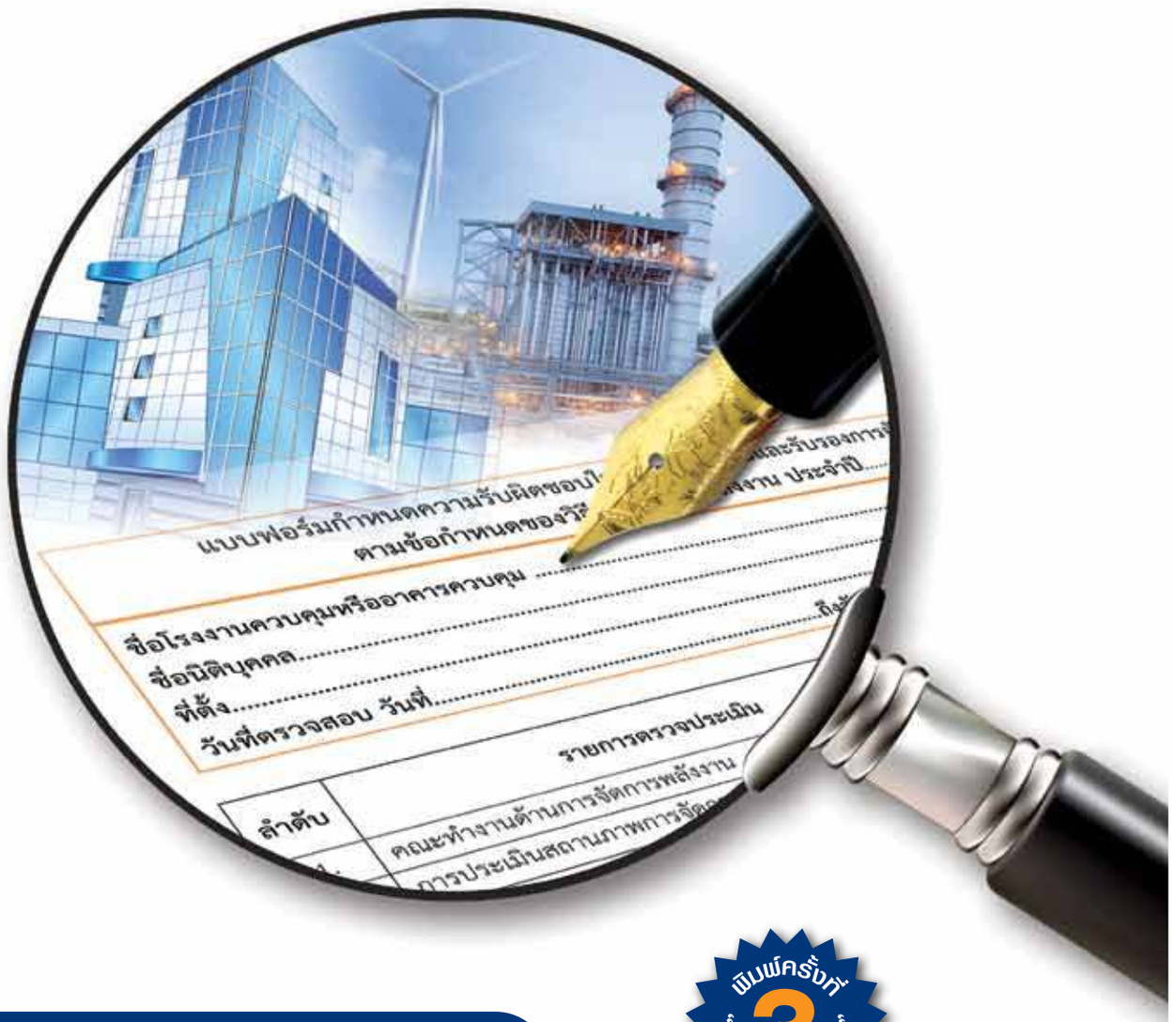
สนับสนุนโดย

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน



พิมพ์ครั้งที่ 3 ฉบับปรับปรุงหลักสูตร

คู่มือการฝึกอบรม

หลักสูตรผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน ระดับผู้ชำนาญการ

ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535
(ฉบับแก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550)

คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน ระดับผู้ชำนาญการ

ที่ปรึกษา

นายธรรมยศ ศรีช่วย	อธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
นายดนัย เอกกมล	รองอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
นายพงศ์พัฒน์ มั่งคั่ง	ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน
นางพรพรรณ บูร์รัชฎะ	นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการพิเศษ
นางสาวศิริวรรณ เหล่าวานิช	นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการพิเศษ
นายชวลิต บุญแสง	นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการพิเศษ
นายวริทธิรัญชน์ วรินทรปวเรศ	นักวิชาการพลังงานชำนาญการ
นางสาวพรพิมล สุวรรณนิมิตร	นักวิชาการพลังงานชำนาญการ
นายเอกวัฒน์ หวังสันติธรรม	นักทรัพยากรบุคคลชำนาญการ

ผู้เรียบเรียง

ดร. ธิรินทร์ ณ ถลาง

จัดทำโดย

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กระทรวงพลังงาน

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	**แนวทางการตรวจสอบเชิงเทคนิค และตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ด้านความร้อนและไฟฟ้า**	**1**
1	**การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อน ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และการประยุกต์ใช้งาน**	**1**
2	**ระบบและอุปกรณ์ด้านวิศวกรรมพลังงาน ด้านไฟฟ้าและความร้อน**	**14**
2.1	การอนุรักษ์พลังงานในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า	14
2.1.1	ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง	14
2.1.2	การเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	21
2.1.3	การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	25
2.1.4	การปรับลดแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า	29
2.1.5	การปรับกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสให้สมดุล	32
2.1.6	บริหารตารางการทำงานให้เหมาะสมกับประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	35
2.2	การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง	37
2.3.1	ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง	37
2.2.2	การแยกวงจรสวิทช์ควบคุมหลอดไฟ	54
2.2.3	การติดตั้งสวิตช์กระตุกควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ	56
2.2.4	การใช้สวิทช์แสงควบคุมการปิด-เปิดหลอดไฟ	58
2.2.5	การใช้โคมประสิทธิภาพสูงพร้อมแผ่นสะท้อนแสง	61
2.2.6	การเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดประหยัดพลังงาน	63
2.2.7	การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟฟ้าชนิดประหยัดพลังงาน	65
2.3	การอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์	68
2.3.1	ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง	68
2.3.2	การปรับความตึงสายพาน	74
2.3.3	การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระโหลด	78
2.3.4	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง	82
2.3.5	การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ให้เหมาะสม	85
2.4	การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ	87
2.4.1	ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง	87
2.4.2	การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ	102
2.4.3	การบริหารการเดินเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับโหลด	106
2.4.4	การปรับลดแรงดันอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน	109
2.4.5	การลดการใช้งานอากาศอัดที่ไม่เหมาะสม	112
2.4.6	มาตรการลดการรั่วไหลของลมในระบบอากาศอัด	116
2.4.7	มาตรการลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ	120
2.4.8	การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	124

2.4.9 การเปลี่ยนระบบการระบายน้ำของเครื่องอัดอากาศ (Auto Drain) 127
2.4.10 การใช้ถังเก็บอากาศอัดที่มีขนาดเหมาะสม 130

2.5 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ 134
2.5.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง 134
2.5.2 การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ 138
2.5.3 การลดความดันไอน้ำให้เหมาะสม 142
2.5.4 การหุ้มฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อน 145
2.5.5 การปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อลดการสูญเสียจากการรั่วไหลของความร้อน 149
2.5.6 การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ 152
2.5.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ 155
2.5.8 การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ 159
2.5.9 การควบคุมน้ำโบลว์ดาวน์ให้เหมาะสม 162
2.5.10 การใช้หม้อไอน้ำประสิทธิภาพสูง 164
2.5.11 การใช้ไอน้ำอุ่นน้ำมันเตาแทนฮีตเตอร์ไฟฟ้า 166
2.5.12 การติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap) 168
2.5.13 การปรับปรุงประสิทธิภาพอุปกรณ์ดักไอน้ำ 172

2.6 การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ 175
2.6.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง 175
2.6.2 การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ 198
2.6.3 การปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร 204
2.6.4 การปรับเพิ่มอุณหภูมิใช้งานของเครื่องปรับอากาศ 208
2.6.5 การป้องกันอากาศร้อนเข้าสู่ห้อง 212
2.6.6 การลดภาระของเครื่องปรับอากาศ 215
2.6.7 การใช้เทอร์โมสตัทชนิดอิเล็กทรอนิกส์ 218
2.6.8 การติดตั้ง Timer ควบคุมเวลาเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ 220
2.5.9 การใช้เครื่องปรับอากาศ/เครื่องทำความเย็นชนิดประสิทธิภาพสูง 223

2.7 การอนุรักษ์พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น 227
2.7.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง 227
2.7.2 การบำรุงรักษาทำความสะอาด Condenser ของเครื่องทำความเย็น 236
2.7.3 การปรับเพิ่มอุณหภูมิการผลิตน้ำเย็น 239
2.7.4 การปรับปรุงระบบฉนวนของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง 242
2.7.5 การเปลี่ยนเครื่องอัดน้ำยาเป็นแบบประสิทธิภาพสูง 246
2.7.6 การลดการใช้งานพัดลมในหอผึ่งน้ำ (Cooling tower) 248
2.7.7 การบำรุงรักษาโดยการทำความสะอาดหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) 252
2.7.8 การปรับปรุงสมรรถนะของหอผึ่งน้ำ (Cooling tower) 255

บทที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน **259**

1. การแต่งตั้งทีมผู้ตรวจสอบ 261
2. การจัดทำแผนและกำหนดการตรวจประเมิน 262
3. การจัดเตรียมรายการตรวจสอบ 262
4. การตรวจสอบรายงานการจัดการพลังงาน 263
5. การตรวจสอบ ณ โรงงานควบคุม/อาคารควบคุม 263
6. การสรุปผลการตรวจสอบ 266
7. การจัดทำรายงานผลการตรวจสอบและจัดส่งให้กับโรงงานควบคุม/อาคารควบคุม 267

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก **268**

ภาคผนวก ก-1 กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 269

ภาคผนวก ก-2 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 275

ภาคผนวก ข **289**

ภาคผนวก ข-1 รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินการตามข้อกำหนด 290

ภาคผนวก ข-2 แบบรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน 318

บทนำ

ตามที่กระทรวงพลังงาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กำหนดให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุม ต้องจัดให้มีการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานโดยผู้ได้รับใบอนุญาตตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานจาก พพ. ภายในเดือนมีนาคมของทุกปี ซึ่งการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม จะต้องดำเนินการโดยผู้ได้รับใบอนุญาตฯ ซึ่งประกอบด้วยผู้ชำนาญการอย่างน้อย 1 คน และผู้ช่วยผู้ชำนาญการอย่างน้อย 2 คน ทั้งนี้ การมีคุณสมบัติเป็นหนึ่งในทีมผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานคือการผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานซึ่งจัดโดย พพ. หรือหน่วยงานฝึกอบรมที่ได้รับการขึ้นทะเบียนจาก พพ. ตามข้อ 3 (1) ค ของกฎกระทรวงกำหนดคุณสมบัติของผู้ขอรับใบอนุญาต หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการขอรับใบอนุญาตและการอนุญาตตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน พ.ศ. ๒๕๕๕

คู่มือการฝึกอบรมผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบุคลากรด้านการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามกฎหมาย ในระดับผู้ชำนาญการ เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับแนวทางการตรวจสอบเชิงเทคนิค และตัวอย่างมาตรการการอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อนและไฟฟ้า รวมถึงวิธีการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

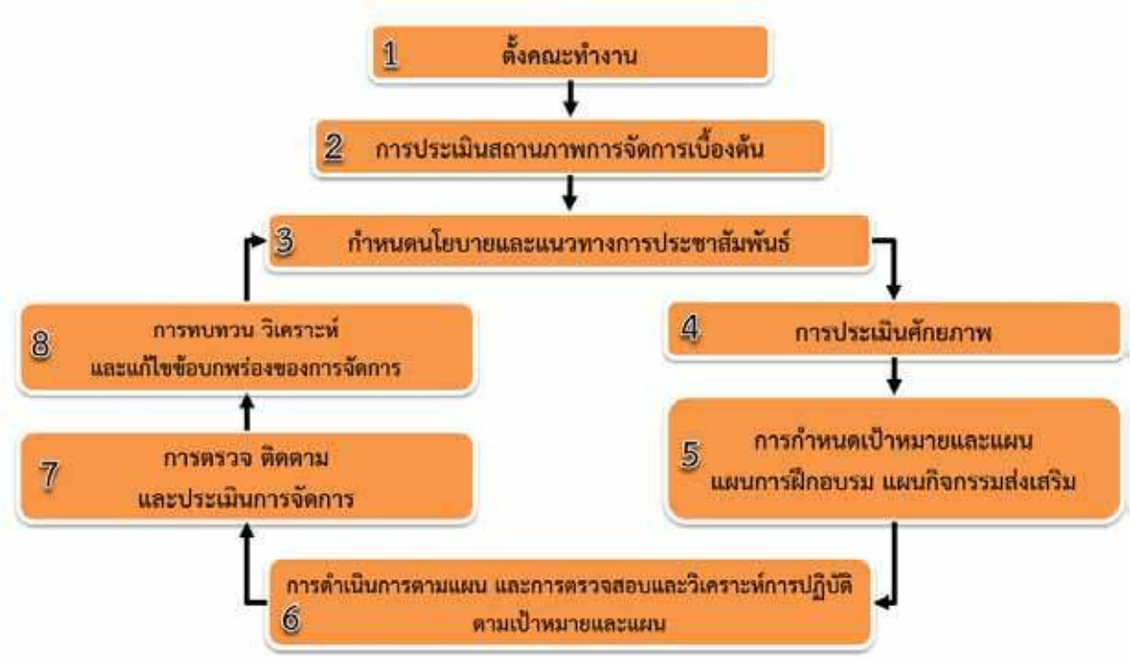
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานที่ผ่านการฝึกอบรมจะสามารถดำเนินการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามกฎหมายของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดประสิทธิผลตามความคาดหวัง และนำไปสู่การพัฒนาการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน (Sustainable Energy Management)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
กันยายน 2559

บทที่ 1
แนวทางการตรวจสอบเชิงเทคนิค และตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อนและไฟฟ้า

1. การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อน ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และการประยุกต์ใช้งาน

มาตรฐานสากล ISO 50001:2011 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 50001-2555 ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4413 (พ.ศ. 2555) เรื่อง การกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ระบบการจัดการพลังงาน - ข้อกำหนดและข้อแนะนำในการใช้ มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยให้องค์กรสามารถใช้จัดระบบและกระบวนการที่จำเป็นเพื่อการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงาน ประสิทธิภาพพลังงาน ลักษณะการใช้พลังงานและปริมาณการใช้พลังงาน ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งต้นทุนด้านพลังงาน มาตรฐานนี้ระบุข้อกำหนดของระบบการจัดการพลังงานสำหรับองค์กรในการกำหนดนโยบายพลังงานและการนำไปปฏิบัติ รวมถึง การกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และแผนการปฏิบัติงาน โดยมีแผนผังแสดงขั้นตอนสู่ระบบการจัดการพลังงานตามกฎหมาย ดังแสดงในรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 ขั้นตอนสู่ระบบการจัดการพลังงานตามกฎหมาย

การวางแผนด้านพลังงาน

1. ข้อกำหนดทั่วไป

องค์กรต้องวางแผนด้านพลังงานและจัดทำเป็นเอกสาร โดยต้องสอดคล้องกับนโยบายพลังงานและต้องทำให้เกิดกิจกรรมการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง การวางแผนด้านพลังงานต้องรวมถึงการทบทวนกิจกรรมต่างๆ ขององค์กรซึ่งส่งผลต่อสมรรถนะด้านพลังงาน

2. ข้อกำหนดด้านกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ

องค์กรต้องชี้บ่ง นำไปปฏิบัติและเข้าถึงข้อกำหนดด้านกฎหมายและข้อกำหนดอื่นที่เกี่ยวข้อง องค์กรต้องกำหนดวิธีปฏิบัติตามข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้พลังงาน และประสิทธิภาพพลังงาน และต้องมั่นใจว่าได้มีการนำข้อกำหนดเหล่านี้มาใช้ในการจัดทำระบบ นำไปปฏิบัติ และรักษาไว้ซึ่งระบบการจัดการพลังงาน องค์กรต้องทบทวนข้อกำหนดด้านกฎหมายและข้อกำหนดอื่นตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้

3. การทบทวนด้านพลังงาน

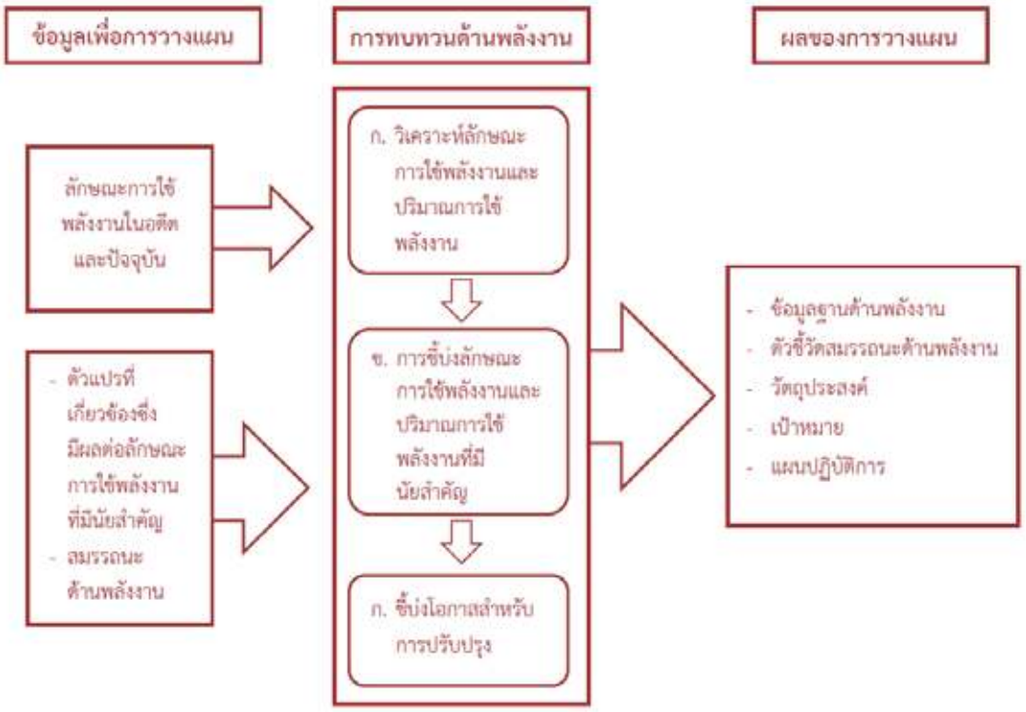
องค์กรต้องจัดให้มี บันทึก และรักษาไว้ซึ่งการทบทวนด้านพลังงาน โดยจัดทำวิธีการและเกณฑ์กำหนดเป็นเอกสาร ในการทบทวนด้านพลังงาน องค์กรต้อง

ก. วิเคราะห์ลักษณะและปริมาณการใช้พลังงานบนพื้นฐานของการวัดและข้อมูลอื่น เช่น
- ชี้บ่งแหล่งพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน
- ประเมินลักษณะและปริมาณการใช้พลังงานในอดีตและปัจจุบัน

ข. ชี้บ่งลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญจากผลของการวิเคราะห์ลักษณะและปริมาณการใช้พลังงาน เช่น
- ชี้บ่งสิ่งอำนวยความสะดวก อุปกรณ์ ระบบ กระบวนการ และบุคลากรที่ทำงานให้แก่องค์กรหรือในนามขององค์กรซึ่งส่งผลต่อลักษณะและปริมาณการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ
- ชี้บ่งตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องซึ่งส่งผลต่อลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ
- พิจารณาสมรรถนะด้านพลังงานของสิ่งอำนวยความสะดวก อุปกรณ์ ระบบ และกระบวนการที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญตามที่ชี้บ่งไว้
- ประมาณการลักษณะการใช้พลังงานและปริมาณการใช้พลังงานในอนาคต

ค. ชี้บ่ง จัดลำดับความสำคัญ และบันทึกโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงาน

<u>หมายเหตุ</u> โอกาสในการปรับปรุงอาจสัมพันธ์กับแหล่งพลังงานที่มีความเป็นไปได้ การใช้พลังงานทดแทนหรือแหล่งพลังงานทางเลือกอื่น เช่น พลังงานจากของเสีย ต้องปรับปรุงการทบทวนด้านพลังงานให้เป็นปัจจุบันตามช่วงเวลาที่กำหนดและสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญเกี่ยวกับสิ่งอำนวยความสะดวก อุปกรณ์ ระบบ หรือกระบวนการ



รูปที่ 1-2 ตัวอย่างกระบวนการวางแผนด้านพลังงาน

4. ข้อมูลฐานด้านพลังงาน

องค์กรต้องจัดทำข้อมูลฐานด้านพลังงานโดยใช้ข้อมูลการทบทวนด้านพลังงานเบื้องต้น การใช้ข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณการใช้พลังงานขององค์กร การเปลี่ยนแปลงสมรรถนะด้านพลังงานต้องมีการตรวจวัดเปรียบเทียบกับข้อมูลฐานด้านพลังงาน องค์กรต้องปรับข้อมูลฐานด้านพลังงานในกรณีใดกรณีหนึ่ง ดังนี้

- ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานไม่สะท้อนลักษณะการใช้พลังงานและปริมาณการใช้พลังงานขององค์กร *หรือ*
- มีการเปลี่ยนแปลงสำคัญเกี่ยวกับกระบวนการ รูปแบบการนำไปปฏิบัติ หรือระบบพลังงาน *หรือ*
- สืบเนื่องจากวิธีการที่กำหนดไว้ล่วงหน้า องค์กรต้องบันทึกข้อมูลฐานด้านพลังงานและเก็บรักษาไว้

5. ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน

องค์กรต้องชี้บ่งตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานที่เหมาะสมกับการเฝ้าระวังและการวัดสมรรถนะด้านพลังงาน วิธีการในการกำหนดและปรับปรุงตัวชี้วัดต้องจัดทำเป็นบันทึกและมีการทบทวนอย่างสม่ำเสมอ องค์กรต้องทบทวนตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานและเปรียบเทียบกับข้อมูลฐานด้านพลังงานตามความเหมาะสม

6. วัตถุประสงค์ด้านพลังงาน เป้าหมายพลังงาน และแผนปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงาน

องค์กรต้องกำหนด จัดทำเป็นเอกสาร นำไปปฏิบัติ และรักษาไว้ซึ่งวัตถุประสงค์และเป้าหมายพลังงานในหน่วยงานแต่ละระดับ กระบวนการ หรือหน่วยประกอบการที่เกี่ยวข้องภายในองค์กร โดยต้องกำหนดกรอบระยะเวลาในการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมาย วัตถุประสงค์และเป้าหมายพลังงานต้องสอดคล้องกับนโยบายพลังงาน เป้าหมายพลังงานต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ด้านพลังงาน

ในการกำหนดและทบทวนวัตถุประสงค์และเป้าหมาย องค์กรต้องคำนึงถึงข้อกำหนดด้านกฎหมายและข้อกำหนดอื่นๆ ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ และโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงานตามที่ชี้บ่งไว้ในการทบทวนด้านพลังงาน รวมทั้งต้องพิจารณาด้านการเงิน เงื่อนไขการดำเนินงานและธุรกิจ ทางเลือกด้านเทคโนโลยี และทัศนะของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

องค์กรต้องจัดทำ นำไปปฏิบัติ และรักษาไว้ซึ่งแผนปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงานเพื่อให้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายพลังงาน แผนปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงานต้องรวมถึง :

ก. การมอบหมายหน้าที่ความรับผิดชอบ

ข. วิธีการและกรอบระยะเวลาซึ่งต้องบรรลุแต่ละเป้าหมาย

ค. มีการทวนสอบวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะด้านพลังงาน

ง. มีวิธีการทวนสอบผลการดำเนินงานที่เกี่ยวข้อง

ต้องจัดทำแผนปฏิบัติการด้านการจัดการพลังงานเป็นเอกสาร และปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้

แนวทางการทบทวนการใช้พลังงาน (Energy Review)

1. การรวบรวมประเภทพลังงานที่นำมาใช้และจุดที่ใช้พลังงาน

องค์กรจะต้องรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับประเภทพลังงานที่นำมาใช้ โดยตามคำนิยามของ มอก./ISO 50001:2011 กำหนดให้พลังงาน หมายถึง “ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ไอน้ำ ความร้อน อากาศอัด และพลังงานรูปแบบอื่นๆ” ซึ่งต้องเป็นพลังงานที่นำข้ามขอบเขตจากภายนอก และเพื่อใช้คุณสมบัติด้านพลังงาน เช่น หากองค์กรนำน้ำจากแม่น้ำมาใช้ระบายความร้อนโดยตรง ไม่ผ่านหอหล่อเย็น ให้คิดน้ำดังกล่าวเป็นพลังงานประเภทหนึ่ง แต่หากองค์กรมีหอหล่อเย็น (Cooling Tower) และ นำน้ำจากแม่น้ำมาใช้ Makeup หอหล่อเย็น กรณีนี้ไม่จัดว่าน้ำดังกล่าวเป็นพลังงานเพราะได้พิจารณาพลังงานไฟฟ้าเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เป็นต้น หลังจากที่สามารถสรุปประเภทพลังงานจนครบถ้วนสมบูรณ์แล้ว ในลำดับถัดไป องค์กรต้องระบุพื้นที่ภายในองค์กรที่นำพลังงานประเภทต่างๆ ไปใช้

2. การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละประเภท

จากข้อมูลประเภทพลังงานที่รวบรวมในข้อ 1 ให้องค์กรรวบรวมข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานแต่ละประเภทย้อนหลัง 3 ปี พร้อมแปลงหน่วยที่ใช้ให้เป็น “เมกะจูล (MJ)” โดยใช้ค่า Conversion Factors ที่เหมาะสม จากนั้นให้องค์กรคำนวณปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ (MJ) และสัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละประเภท (ร้อยละ) กรณีที่พลังงานประเภทใดมีสัดส่วนการใช้งานต่ำมาก เช่น ต่ำกว่าร้อยละ 1 ของปริมาณการใช้พลังงานรวม เป็นต้น องค์กรสามารถระบุให้การใช้พลังงานประเภทนั้นไม่มีนัยสำคัญ

3. การชี้บ่งลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ

เพื่อจัดลำดับความสำคัญ (Priority) ด้านพลังงานของลักษณะการใช้พลังงานต่างๆ องค์กรต้องทำการชี้บ่งนัยสำคัญ โดยสามารถดำเนินการได้หลายแนวทาง โดยขั้นตอนที่เสนอในคู่มือนี้เป็นเพียงแนวทางหนึ่งเท่านั้น ขั้นตอนการชี้บ่งมีดังต่อไปนี้

- จัดทำบัญชีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในองค์กร รวมทั้งข้อมูลขนาดการใช้พลังงาน (kW หรือ MJ ต่อชั่วโมง) ชั่วโมงการใช้งานต่อปี และศักยภาพในการปรับปรุง (ซึ่งอาจได้แก่ อายุการใช้งาน จำนวนครั้งที่เสียต่อปี และระยะเวลาครั้งสุดท้ายที่มีการประยุกต์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน)

- กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับประเด็นต่างๆ ข้างต้น เช่น กรณีขนาดการใช้พลังงานไฟฟ้า

  < 10 kW ระดับคะแนน = 1
  10 kW - 50 kW ระดับคะแนน = 2
  50 kW - 100 kW ระดับคะแนน = 3
  100 kW - 200 kW ระดับคะแนน = 4
  > 200 kW ระดับคะแนน = 5

  เกณฑ์กำหนดขึ้นอยู่กับดุลยพินิจขององค์กรที่จะพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพจริงขององค์กร
- คำนวณระดับคะแนนรวม โดยคูณระดับคะแนนของขนาดการใช้พลังงาน ชั่วโมงการใช้งานต่อปี และศักยภาพในการปรับปรุง เข้าด้วยกัน
- จัดลำดับระดับคะแนนรวมจากสูงไปต่ำ และกำหนดให้อุปกรณ์ที่อยู่ในส่วนร้อยละ 20 แรก เป็นอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญ

เกณฑ์การให้คะแนน

ประเด็น		ระดับ				
		1	2	3	4	5
ขนาดการใช้พลังงาน	ไฟฟ้า (kW)	0 - 10.0	10.1 - 100.0	100.1-500.0	500.1 - 1,000.0	> 1,000.0
	ความร้อน (MJ/hr)	0 - 100.0	100.1 - 500.0	500.1 -1,000.0	1,000.1 - 2,500.0	> 2,500.0
ชม. การใช้งาน	(% ของ 8,760)	0% - 60.0%	60.1% - 70.0 %	70.1 % - 80.0%	80.1% - 90.0%	> 90.0%
ศักยภาพในการปรับปรุง	อายุการใช้งาน (ปี)	0 - 3.0	3.1 - 6.0	6.1 - 10.0	10.1 - 15.0	> 15.0
	Unplanned Breakdown ต่อปี	0 - 2	3 - 4	5 - 6	7 – 8	> 8
	ครั้งสุดท้ายที่ทำมาตรการ (ปี)	0 - 1	1 - 2	2 -5	5 - 10	> 10

เกณฑ์ระดับนัยสำคัญ

	Lower Limit	Upper Limit
ไม่มีนัยสำคัญ	1	10
นัยสำคัญ “ต่ำ”	10.1	15
นัยสำคัญ “กลาง”	15.1	25
นัยสำคัญ “สูง”	25.1	125

รูปที่ 1-3 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินนัยสำคัญ

4. การประเมินศักยภาพในการปรับปรุง

หลังจากได้บัญชีรายการอุปกรณ์ที่มีระดับนัยสำคัญ “สูง” องค์กรจะต้องทำการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ดังกล่าว โดยใช้วิธีการที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ผลการประเมินประสิทธิภาพสามารถจัดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

- หากพบว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีอยู่*ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยและใกล้ค่าที่ต่ำที่สุด* ควรกำหนดมาตรการปรับปรุงทันที เป็นมาตรการเร่งด่วน
- หากพบว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีอยู่*ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย* ควรกำหนดมาตรการปรับปรุงเป็นมาตรการระยะปานกลาง
- หากพบว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีอยู่*ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด* ควรกำหนดมาตรการปรับปรุงเป็นมาตรการระยะยาว

ตัวอย่างเช่น จากการประเมินประสิทธิภาพ Lubricated Screw Type Air Compressor พบว่าค่า Specific Energy Consumption (SEC) เท่ากับ 35.64 kWh/100 scfm-hr ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmark) ซึ่งระบุว่าค่าที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 17.24 kWh/100 scfm-hr ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.63 kWh/100 scfm-hr และค่าที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 50.93 kWh/100 scfm-hr จากการเปรียบเทียบดังกล่าวจะสรุปได้ว่าประสิทธิภาพที่วัดได้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยและใกล้เคียงกับค่าที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงควรกำหนดมาตรการเร่งด่วนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของ Air Compressor เครื่องดังกล่าว เป็นต้น

การกำหนดมาตรการประหยัดพลังงาน

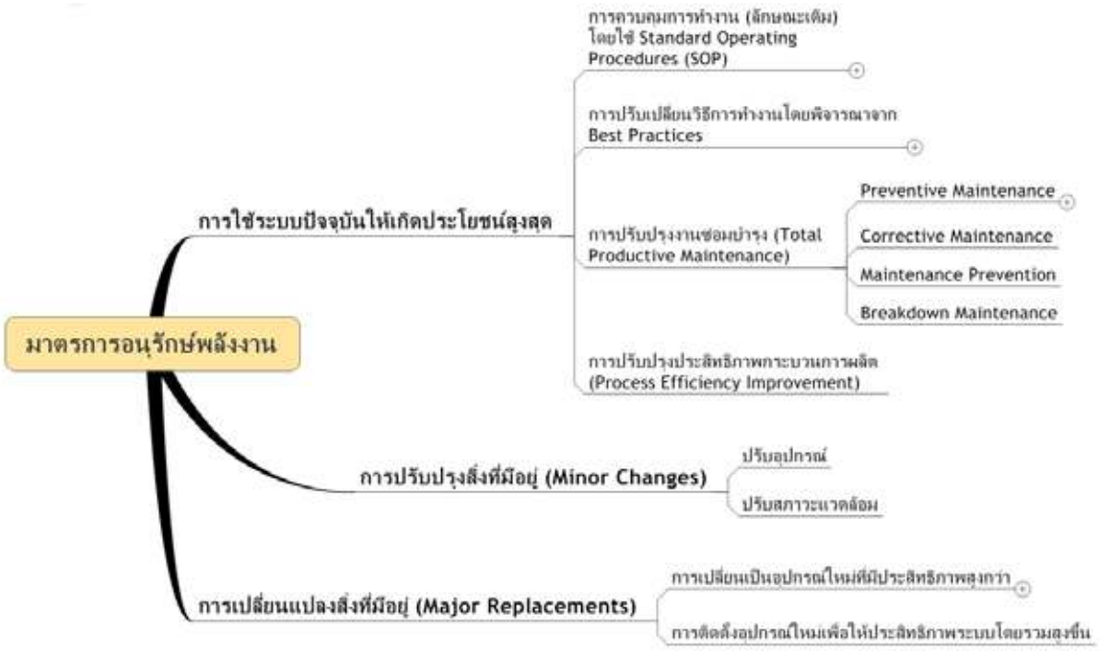
แนวทางการกำหนดมาตรการที่ช่วยแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่พบจากการจัดเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmark) มีด้วยกันหลากหลายวิธี ขึ้นกับความคุ้นเคยของแต่ละองค์กร ในคู่มือนี้ใช้หลักการของ Cause-and-Effect Diagram หรือที่ในบางครั้งเรียกว่า “Fishbone Diagram” หรือ “Ishikawa Diagram” เป็นแนวทางในการระดมความคิดเห็น โดยเริ่มจากผลที่ได้รับ (Effect) คืออุปกรณ์ประสิทธิภาพต่ำเป็นหัวปลาอยู่ทางขวามือ และพิจารณาทีละประเด็นเริ่มจาก เครื่องจักร/อุปกรณ์ วิธีการทำงาน วัสดุที่ใช้ และพนักงาน ทุกประเด็นสามารถเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการใช้พลังงานสูงได้ จึงไม่ควรละเลย ที่สำคัญ คำตอบที่ว่า “ก็เราเคยทำแบบนี้มาตั้งแต่ก่อตั้งโรงงาน” ไม่เพียงพออีกต่อไปแล้ว การอนุรักษ์พลังงานอย่างยั่งยืน ต้องอาศัยการเรียนรู้วิธีการทำงานใหม่ๆ อยู่ตลอดเวลา ไม่มีที่สิ้นสุด

เมื่อทราบสาเหตุที่ก่อให้เกิดการใช้พลังงานสูงกว่าเกณฑ์แล้ว ลำดับถัดไปคือการกำหนดมาตรการที่เหมาะสมการแก้ไขสาเหตุที่ค้นพบข้างต้น จะเป็นเครื่องชี้แนะแนวมาตรการที่จะนำมาประยุกต์ใช้ เช่น หากหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ค่า SEC ของ Air Compressor สูงกว่าค่าเฉลี่ยอุตสาหกรรมคืออุณหภูมิของอากาศที่ใช้ (Air Intake) ดังนั้น มาตรการที่ควรกำหนดคือการปรับปรุงให้อากาศนี้มีอุณหภูมิที่ลดลง อาจโดยปรับปรุงการถ่ายเทของ Compressor House ก็ได้ เป็นต้น

แนวทางการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่องค์กรสามารถประยุกต์ใช้รวมถึง

1) การใช้ระบบปัจจุบันที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดย
    - ควบคุมการทำงานแนวทางเดิมให้ดีขึ้นโดยการใช้ Standard Operating Procedures (สาเหตุที่พบจากการทำ Cause-and-Effect Analysis คือพนักงาน)
    - การปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานโดยพิจารณาจาก Best Practices (สาเหตุที่พบจากการทำ Cause-and-Effect Analysis คือวิธีการทำงาน)
    - การปรับปรุงงานซ่อมบำรุง โดยพิจารณาให้ประยุกต์องค์ประกอบของหลักการ Total Preventive Maintenance (TPM) ซึ่งประกอบด้วย Preventive Maintenance, Corrective Maintenance, Maintenance Prevention และ Breakdown Maintenance องค์กรไม่จำเป็นต้องประยุกต์ใช้ทั้ง 4 องค์ประกอบ หากแต่ควรนำองค์ประกอบที่เหมาะสมกับสภาพ/ความพร้อมมาใช้ (สาเหตุที่พบจากการทำ Cause-and-Effect Analysis คือเครื่องจักร/อุปกรณ์)
    - การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต (สาเหตุที่พบจากการทำ Cause-and-Effect Analysis คือวัสดุที่ใช้)

2) การปรับปรุงสิ่งที่มีอยู่ เช่น การปรับสภาพของ Compressor House เพื่อให้ Air Intake มีอุณหภูมิลดลง เป็นต้น
3) การเปลี่ยนแปลงสิ่งที่มีอยู่ เช่น การติดตั้ง Air Compressor เครื่องใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าของเดิมเพื่อช่วยดึงค่าประสิทธิภาพโดยรวมในการผลิต Compressed Air ขององค์กร เป็นต้น



รูปที่ 1-4 แนวทางการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

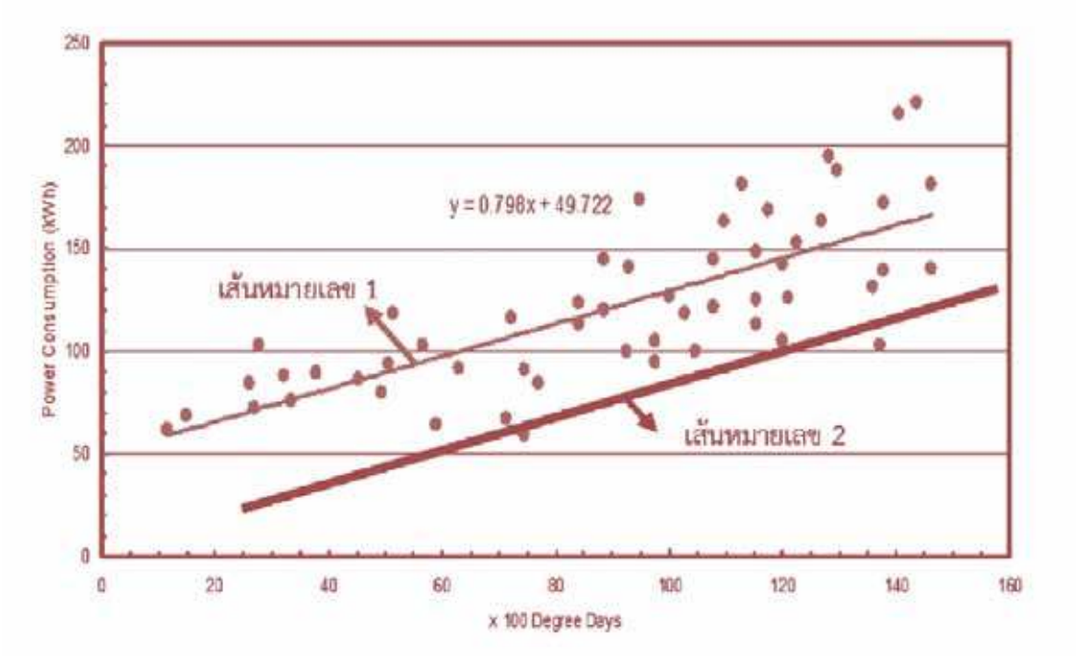
จากมาตรการต่างๆ ที่กำหนดตามแนวทางที่กล่าวถึงข้างต้น องค์กรต้องตัดสินใจกำหนดเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อใช้เป็นหลักในการประเมินความสำเร็จ ใช้เป็นจุดที่รวมความพยายามของพนักงานทั้งองค์กร โดยทั่วไปมีแนวทางที่ใช้ในการกำหนดเป้าหมายอยู่ 3 แนวทาง ได้แก่

แนวทางที่ 1 ผู้บริหารระดับสูง “ทุบโต๊ะ” หรือ “ฟันธง” กำหนดเป้าหมายโดยมิได้พิจารณาข้อมูลในอดีต หรือความเป็นไปได้ในอุตสาหกรรม การกำหนดเป้าหมายแนวทางนี้เป็นที่แพร่หลายในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ทั้งยังได้ยินบ่อยครั้งในช่วงวิกฤตที่มีการลดค่าใช้จ่ายทุกหน่วยงานในองค์กรเท่าๆกัน ตัวอย่างเช่น ในกรณีของ Air Compressor ที่วัดค่า SEC ได้เท่ากับ 35.64 kWh/100 scfm-hr หากกำหนดเป้าหมายโดยแนวทางนี้ ผู้บริหารเมื่อเห็นว่ามีค่าสูงมาก อีกทั้งจากการทำ Process Mapping พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิต Compressed Air คิดเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 25 ของทั้งโรงงาน อาจระบุให้ลดค่า SEC ลง 50% ภายใน 1 ปี หรือค่า SEC ใหม่เท่ากับ 17.82 kWh/100 scfm-hr ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดในฐานข้อมูล แต่ผู้บริหารไม่ทราบข้อมูลนี้ จึงไม่ตระหนักถึงอุปสรรค ที่อาจเกิดจากการกำหนดเป้าหมายแนวทางนี้ เป็นต้น การกำหนดเป้าหมายแบบนี้ขัดกับหลักการ “Achievable” ใน SMART อาจก่อให้เกิดทัศนคติที่ว่า “ทำให้ตายก็ไม่มีทางเป็นไปได้ จะทำไปทำไม” ก็ได้

แนวทางที่ 2 เป็นการกำหนดโดยศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการทำเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmark) โดยกำหนดค่าที่ดีถัดไปเป็นเป้าหมาย ตัวอย่างเช่น ในกรณีของ Air Compressor ค่าที่ดี ถัดไปคือค่าเฉลี่ย (21.63 kWh/100 scfm-hr) ซึ่งจะเป็นเป้าหมายที่องค์กรกำหนด เป็นต้น ข้อดีของการกำหนดแนวทางนี้คือมีหลักฐานว่า

มีผู้สามารถทำได้ อย่างไรก็ตาม อาจเป็นค่าที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ไม่สามารถบรรลุได้โดยใช้อุปกรณ์ที่องค์กรนั้นมีอยู่ การจะบรรลุเป้าหมาย อาจจำเป็นต้องมีการลงทุนในระดับที่สูงมากจนไม่คุ้มกับการลงทุน

แนวทางที่ 3 กำหนดให้เป้าหมายเป็นค่าที่ต่ำสุดในแผนภูมิที่ได้จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานที่ใช้กับตัวแปร (Driver) ดังแสดงในรูป เส้นหมายเลข 1 เป็นค่าเฉลี่ยระดับการใช้พลังงานในอดีต ในขณะที่เส้นหมายเลข 2 ลากผ่านจุดการใช้พลังงานที่ต่ำสุดและเป็นเส้นกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน การที่มีข้อมูลแสดงไว้ยืนยันว่าสามารถทำได้ภายในองค์กร เพียงแต่ไม่มีความแน่นอน ขั้นแรกในการกำหนดมาตรการจึงเป็นการสร้างความสามารถในการควบคุม (Control-ability)



รูปที่ 1-5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับพลังงานที่ใช้กับตัวแปร (Driver)

แนวทางการพัฒนาตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (ENERGY PERFORMANCE INDICATOR; ENPI)

องค์กรสามารถเลือกกำหนดตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicator; EnPI) ได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น ตัวเลขแสดงปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละเดือน สัดส่วนพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงงาน กระบวนการผลิต หรืออุปกรณ์ เป็นต้น ประเภท EnPI ที่องค์กรเลือกใช้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ขององค์กรในการใช้ EnPI ในการติดตามและตรวจสอบ

นอกจากนี้ ในการกำหนด EnPI องค์กรควรกำหนด EnPI ในหลายระดับตามความต้องการของผู้ใช้ ตัวอย่างเช่น ระดับองค์กร ระดับโรงงาน ระดับระบบ หรือระดับอุปกรณ์ เป็นต้น ตัวอย่างของ EnPI ได้แก่สำหรับผู้บริหารระดับสูง ซึ่งโดยทั่วไปมักจะไม่สนใจประสิทธิภาพระดับอุปกรณ์ แต่ต้องการข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต แต่สำหรับวิศวกรที่รับผิดชอบการควบคุม ดูแล อุปกรณ์ การตรวจวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวางแผนการควบคุมจะเป็นประโยชน์มากกว่าสัดส่วนการใช้พลังงานต่อการผลิต เป็นต้น ตัวอย่างของการกำหนด EnPI หลายระดับยังมีกำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ซึ่งกำหนดดำเนินการใน 3 ระดับ ได้แก่

(1) ระดับองค์กร ให้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า การผลิตหรือการบริการ และการใช้พลังงานของปีที่ผ่านมา เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบ หรือกระบวนการผลิตต่างๆ ทั้งนี้เพื่อใช้เปรียบเทียบหาสถานภาพการใช้พลังงานรวมขององค์กร

(2) การประเมินระดับผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่มีการใช้พลังงานในการผลิตสามารถแยกได้เป็นหลายผลิตภัณฑ์ ให้เปรียบเทียบต้นทุนทางพลังงานของการผลิตสินค้า โดยการวิเคราะห์กระบวนการผลิตหรือการบริการ และหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) จากอัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดต่อหน่วยผลผลิต

(3) การประเมินระดับอุปกรณ์ ให้ประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ ของแต่ละอุปกรณ์หลักรวมทั้งวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการสูญเสียพลังงานในแต่ละอุปกรณ์

รูปที่ 1-6 ระดับการประเมิน 3 ระดับ

การที่องค์กรจะสามารถประเมินสมรรถนะด้านพลังงานได้ครบถ้วน สมบูรณ์ องค์กรต้องกำหนดตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน หรือ EnPI เป็นชุดเพื่อจะสามารถจัดการ ควบคุม ดูแลการใช้พลังงานขององค์กรอย่างมีประสิทธิภาพในทุกระดับ และแม้ว่าจะสามารถมี EnPI ได้หลายประเภท แต่หนึ่งใน EnPI ที่กำหนดจะต้องสามารถอธิบายการปรับปรุงสมรรถนะรวมด้านพลังงานขององค์กรอันเป็นผลมาจากการนำระบบการจัดการพลังงานมาประยุกต์ใช้ในองค์กร เพื่อให้ได้ EnPI ที่เหมาะสม องค์กรต้องชี้บ่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์หากดำเนินการรวบรวม ตรวจวัด และวิเคราะห์ โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทบทวนด้านพลังงาน

การรวบรวมข้อมูลจากขั้นตอนการทบทวนด้านพลังงาน

ข้อมูลจากการทบทวนด้านพลังงานมีความสำคัญต่อการกำหนด EnPI และฐานการใช้พลังงาน (Energy Baseline, EnB) เพราะขั้นตอนดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับประเภทพลังงาน ลักษณะการใช้พลังงาน ปริมาณพลังงานที่ใช้ ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (SEU) และตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน และเพื่อให้องค์กรสามารถกำหนดประเภทข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะด้านพลังงานที่ต้องติดตาม ตรวจสอบ องค์กรต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

- กำหนดขอบเขต (Boundary) ของ EnPI
- กำหนดประเภทและปริมาณพลังงาน และลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญขององค์กร
- กำหนดประเภทและค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง รวมถึงปัจจัยสถิต (Static Factors) ภายในขอบเขตของ EnPI

1. การกำหนดขอบเขต (Boundary) ของ EnPI

ขอบเขตการตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับ EnPI แต่ละรายการเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการประเมินสมรรถนะด้านพลังงาน ขอบเขตที่ควรกำหนด ให้พิจารณาจาก

- ลักษณะการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ แต่ละรายการที่องค์กรต้องการควบคุมและปรับปรุง
- กระบวนการผลิตและพื้นที่ปฏิบัติงานที่อยู่ในความรับผิดชอบขององค์กร
- อุปกรณ์ เครื่องจักร กระบวนการผลิต ที่องค์กรต้องการจัดการเนื่องจากมีความสำคัญสูง

2 กำหนดประเภทและปริมาณพลังงาน และ SEU ขององค์กร

หลังจากที่กำหนดขอบเขตสำหรับ EnPI แต่ละระดับเป็นที่เรียบร้อยแล้ว องค์กรจะต้องทำการกำหนดประเภทพลังงานที่นำเข้ามาภายในขอบเขตของ EnPI นั้นๆ รวมทั้ง SEU ที่เกี่ยวข้อง ในกรณีที่เป็น EnPI ระดับองค์กรและระดับผลิตภัณฑ์

3 การกำหนด EnPI

หลังจากที่องค์กรกำหนดประเภทข้อมูลพลังงานที่ต้องการติดตามตรวจสอบ องค์กรก็พร้อมที่จะกำหนด EnPI โดย EnPI ที่เลือกจะต้องช่วยให้เจ้าหน้าที่ด้านพลังงานประเมินอัตราการใช้พลังงาน ลักษณะการใช้พลังงาน หรือประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลง EnPI อาจเป็นตัวเลขแสดงปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละเดือน สัดส่วนพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือค่าที่คำนวณจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโรงงาน กระบวนการผลิต หรืออุปกรณ์ การเลือก EnPI ต้องพิจารณาปัจจัย 2 ประการ ได้แก่

- ใครเป็นผู้ใช้ข้อมูล
- ผลลัพธ์ที่เกี่ยวกับสมรรถนะด้านพลังงานใดที่สามารถตรวจวัดได้

ในกรณีของระดับอุปกรณ์ EnPI มักอยู่ในรูปของ “ร้อยละ” หรือ “สัดส่วน” โดยนอกจากจะต้องพิจารณาประเด็นต่างๆ ที่กล่าวถึงข้างต้นแล้ว องค์กรยังต้องพิจารณาว่าฐานข้อมูลที่องค์กรจะใช้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของอุปกรณ์กำหนด EnPI ในรูปแบบใด ตัวอย่าง EnPI สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังตาราง

ตารางที่ 1-1 ตัวอย่าง EnPI สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์	EnPI
เครื่องปรับอากาศ	EER
มอเตอร์	% Load
Pump	% Efficiency
Air Compressor	kWh/100 scfm-h หรือ kW/(ls)
เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)	kW/TR
หอหล่อเย็น (Cooling Tower)	% Efficiency
Refrigeration System	Coefficient of Performance (COP)
Boiler	% Efficiency (direct or indirect)
Furnace	% Net Thermal Efficiency

แนวทางการพัฒนาข้อมูลฐานด้านพลังงาน (ENERGY BASELINE)

ข้อมูลฐานด้านพลังงาน หรือค่ามาตรฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline, EnB) เป็นหลักอ้างอิง (Reference) เพื่อใช้เปรียบเทียบสมรรถนะด้านพลังงานระหว่างช่วงเวลาอดีต ปัจจุบัน และอนาคต เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น EnB ช่วยให้องค์กรประเมินได้ว่าหากไม่มีการนำมาตรการประหยัดพลังงานมาประยุกต์ใช้ การใช้พลังงานขององค์กรจะมีแนวโน้มในทิศทางใด

การสร้าง EnB มีความเชื่อมโยงกับการกำหนด EnPI โดย EnPI แสดงข้อมูลพลังงานที่ถูกเปรียบเทียบระหว่างช่วงที่ถูกกำหนดให้เป็นปีฐาน (Baseline Period) กับช่วงที่ต้องการประเมินสมรรถนะ (Performance Period) การเปรียบเทียบค่า EnPI ระหว่าง Baseline Period กับ Performance Period ทำให้ทราบความก้าวหน้าของการจัดการพลังงาน

การกำหนดช่วงเวลาฐาน

องค์กรจะต้องกำหนดช่วงระยะเวลาฐานว่าจะเป็นช่วงเวลาใดและเป็นระยะเวลานานเท่าไร ในส่วนของช่วงเวลาใดนั้น มาตรฐาน ISO 50001:2011 ระบุให้องค์กรเป็นผู้กำหนด โดยพิจารณาความรับผิดชอบขององค์กรที่มีต่อข้อกำหนดด้านกฎหมายหรือตัวแปรต่างๆ ซึ่งส่งผลต่อลักษณะการใช้พลังงานและปริมาณการใช้พลังงาน ตัวแปรเหล่านี้ ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล วงจรกิจกรรมทางธุรกิจ และเงื่อนไขอื่นๆ ช่วงเวลาที่มักใช้กันในงานด้านพลังงาน ได้แก่

- ช่วงเวลา 1 ปี เป็นช่วงระยะเวลาที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสอดคล้องกับระยะเวลาทางธุรกิจ เช่น การกำหนดเป้าหมายการประหยัดพลังงานเทียบกับปีที่ผ่านมา เป็นต้น นอกจากนี้ การกำหนดช่วงระยะเวลา 1 ปี ยังครอบคลุมผลกระทบที่อาจเกิดจากฤดูกาล
- ช่วงเวลาน้อยกว่า 1 ปี เหมาะสมกับกรณีที่ลักษณะและปริมาณการใช้พลังงานค่อนข้างคงที่ตลอดปี ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องรอจนครบปีเพื่อประเมินผล ตัวอย่างเช่น ช่วงระยะเวลารายเดือนในกรณีที่กำลังการผลิตคงที่ เป็นต้น

- ช่วงเวลามากกว่า 1 ปี เป็นผลมาจากฤดูกาลบวกกับแนวโน้มทางธุรกิจ โดยเฉพาะในกรณีที่อุตสาหกรรมมีช่วงระยะเวลาการผลิตที่สั้น ตัวอย่างเช่น โรงงานน้ำตาลซึ่งมีฤดูหีบอ้อยเพียง 4 - 6 เดือนต่อปี ทำให้ต้องมีการเปรียบเทียบข้อมูลของหลายๆ ปี เป็นต้น

การรวบรวมข้อมูล

หลังจากที่กำหนด EnPI องค์กรสามารถระบุประเภทข้อมูลและระยะเวลาที่ต้องรวบรวม อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนนี้ องค์กรอาจพบว่าไม่สามารถติดตามประเมิน EnPI บางรายการเนื่องจากข้อจำกัดด้านข้อมูลหรืออุปสรรคอื่นๆ ดังนั้น อาจต้องมีการปรับเปลี่ยนรายละเอียด EnPI และ EnB ในขั้นตอนนี้ ประเด็นที่ต้องพิจารณาเกี่ยวกับการรวบรวมข้อมูล ได้แก่

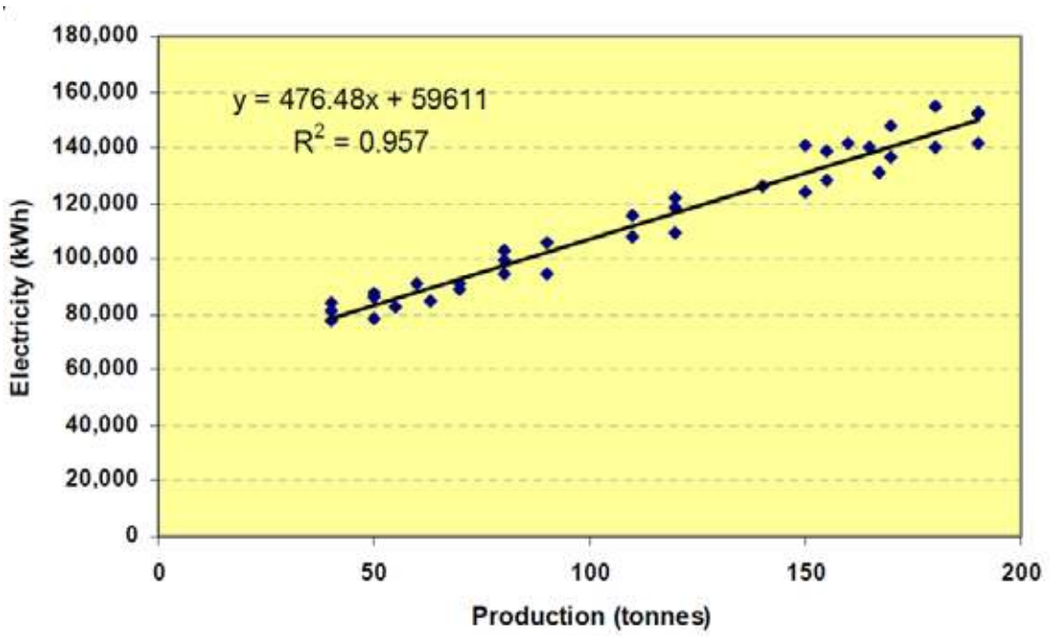
- มิเตอร์และการตรวจวัด ตัวแปรทุกรายการที่ระบุต้องถูกตรวจวัด ดังนั้นองค์กรจึงต้องพิจารณาความพร้อมและความแม่นยำของมิเตอร์
- ความถี่ของข้อมูล ซึ่งขึ้นกับวัตถุประสงค์ของ EnB นั้นๆ เช่น หากกำลังประเมินสมรรถนะของ Boiler ความถี่ในระดับรายวันเป็นสิ่งจำเป็น แต่ถ้าพิจารณาปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งองค์กร ความถี่รายเดือนก็เพียงพอ เป็นต้น
- คุณภาพของข้อมูล วิธีการทดสอบข้อมูลสามารถทำได้โดยการคำนวณค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของข้อมูล และวิเคราะห์หาจำนวนข้อมูลห่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า 2.5 เท่าของค่า Standard Deviation หากข้อมูลโดยรวมมีลักษณะการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น โอกาสที่จะพบข้อมูลอยู่นอกกรอบดังกล่าวเท่ากับ ร้อยละ 1.2

การสร้างสมการฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline Equation)

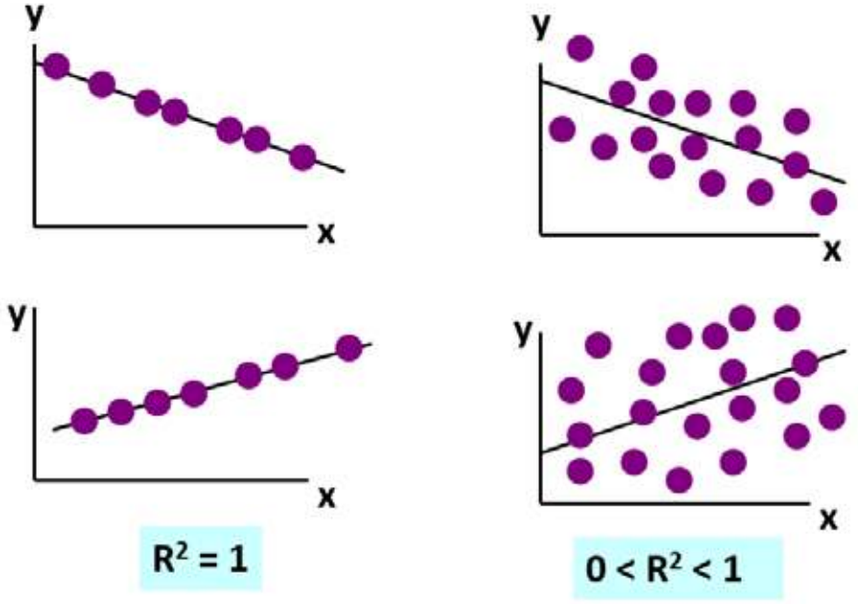
หลังจากที่รวบรวมและทดสอบคุณภาพข้อมูลที่ต้องใช้เพื่อกำหนด EnB องค์กรต้องนำข้อมูลเหล่านั้นมากำหนดเป็นสมการ Baseline โดยรูปแบบเส้นตรงที่มีความชันและจุดตัดผ่านแกนตั้ง เป็นรูปแบบที่พบมากที่สุด โดยจุดตัดแกน y คือ พลังงานที่กระบวนการผลิตต้องใช้แต่ไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ ค่าความชัน คือ พลังงานที่ต้องใช้เพื่อก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอีก 1 หน่วยการกระจายของจุด คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงในปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตที่ระดับการผลิตหนึ่งๆ รูปแบบสมการ: $y = mx + b$

การทดสอบสมการ Baseline

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) จะต้องผ่านการทดสอบความเหมาะสมทางสถิติมาตรฐานสากล Internal Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) กำหนดให้สมการที่เหมาะสม ที่จะถูกใช้เป็นสมการ Baseline ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.75



รูปที่ 1-7 ตัวอย่างการใช้ Regression analysis



รูปที่ 1-8 Coefficient of Determination (R^2)

2. ระบบและอุปกรณ์ด้านวิศวกรรมพลังงาน ด้านไฟฟ้าและความร้อน

2.1 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า

2.1.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง

<u>การกำหนดประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า</u>

การไฟฟ้าฯ ได้จัดแบ่งผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็น 7 ประเภท ดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 การแบ่งประเภทผู้ใช้ฟ้า

ประเภทที่	คำอธิบาย
1	บ้านอยู่อาศัย สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่างๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นบ้านอยู่อาศัยขนาดเล็ก ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 kWh ต่อเดือน และบ้านอยู่อาศัยขนาดใหญ่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 kWh ต่อเดือน
2	กิจการขนาดเล็ก สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรมและหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 kW
3	กิจการขนาดกลาง สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 kW และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 kWh ต่อเดือน โดยมีการคิดค่าไฟฟ้า 2 อัตรา คืออัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
4	กิจการขนาดใหญ่ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 kWh ต่อเดือน โดยมีการคิดค่าไฟฟ้า 2 อัตรา คืออัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
5	กิจการเฉพาะอย่าง สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าที่พักอาศัยตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป โดยมีการคิดค่าไฟฟ้าเพียงอัตราเดียวเท่านั้น คืออัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) ในช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดเป็นชนิด TOU อนุโลมให้คิดค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติไปพลางก่อน
6	ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สำหรับการใช้ไฟฟ้าของส่วนราชการ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 1,000 kW ขึ้นไป และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 kWh ต่อเดือน และองค์กรที่ไม่ใช่ส่วนราชการแต่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน รวมถึงสถานที่ที่ใช้ในการประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง

ประเภทที่	คำอธิบาย
	แต่ไม่รวมถึงหน่วยงานของรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ โดยมีการคิดค่าไฟฟ้า 2 อัตราคือ อัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)
7	สูบน้ำเพื่อการเกษตร สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของส่วนราชการ กลุ่มการเกษตรที่ทางราชการรับรอง หรือ สหกรณ์เพื่อการเกษตร โดยมีการคิดค่าไฟฟ้า 2 อัตราคืออัตราปกติและอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

การไฟฟ้าฯ ได้จำแนกประเภทของของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยระบุเป็นตัวเลขในใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า/ ใบกำกับภาษี เช่น ประเภทที่ 1.2 จะหมายถึงผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติ มีการใช้ไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน หรือขนาดเครื่องวัดเกินกว่า 5 Amp เป็นต้น รายละเอียดการจำแนก มีดังนี้

1. บ้านอยู่อาศัย
    - 1.1 อัตราปกติ ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 kWh ต่อเดือน และขนาดเครื่องวัดไม่เกิน 5 Amp
    - 1.2 อัตราปกติ ใช้ไฟฟ้าเกิน 150 kWh ต่อเดือน และขนาดเครื่องวัดเกิน 5 Amp
    - 1.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (อัตรา TOU)
2. กิจการขนาดเล็ก
    - 2.1 อัตราปกติ
    - 2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (อัตรา TOU)
3. กิจการขนาดกลาง
    - 3.1 อัตราปกติ
    - 3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (อัตรา TOU)
4. กิจการขนาดใหญ่
    - 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (อัตรา TOD)
    - 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (อัตรา TOU)
5. กิจการเฉพาะอย่าง
    - 5.1 อัตราปกติ
    - 5.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (อัตรา TOU)
6. ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร
    - 6.1 อัตราปกติ
    - 6.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (อัตรา TOU)
7. สูบน้ำเพื่อการเกษตร
    - 7.1 อัตราปกติ
    - 7.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (อัตรา TOU)

ส่วนประกอบของค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฯ เรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน จะประกอบไปด้วยค่าไฟฟ้าหลายส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า และปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand charge) ความต้องการพลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนที่การไฟฟ้านำมาคิดค่าไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้านั้น คือ ความต้องการพลังไฟฟ้ามีหน่วยวัดเป็น kW ที่เป็นค่าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วง on peak และ/หรือ partial peak ในเดือนนั้นๆ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็น บาท/kW เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงการลงทุนในการขยายกำลังการผลิตของระบบการผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่ายไฟฟ้า ตามระดับแรงดัน เรียกว่า Capacity cost
2. ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) เป็น ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ใช้ไปในรอบเดือนนั้นๆ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็น บาท/kWh หรือบาทต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าในส่วนนี้เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา การดำเนินงาน และค่าเชื้อเพลิง โดยแบ่งเป็นระดับแรงดัน เรียกเป็น Energy cost
3. ค่าบริการ (Service charge) เป็นค่าบริการเกี่ยวกับเครื่องวัดฯ ค่าดำเนินการจดหน่วย จัดทำใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า และการดำเนินการจัดเก็บเงินค่าไฟฟ้า มีหน่วยเป็น บาท/เดือน ค่าไฟฟ้าส่วนนี้เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุนค่าบริการของผู้ใช้ไฟฟ้าให้มีความชัดเจน เรียกเป็น Customer cost
4. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power factor charge) สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มี Power factor แบบล้าหลัง (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใด ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้า Reactive เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดเมื่อคิดเป็น kVAR เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้า Active เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดเมื่อคิดเป็น kW แล้ว เฉพาะ kVAR ส่วนที่เกินจะต้องเสียค่า Power factor โดยมีอัตราคิดเป็น บาท/kVAR ค่าไฟฟ้าส่วนนี้เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงการลงทุน การบำรุงรักษาเครื่องวัดฯ สำหรับการติดตั้ง Capacitor ในระบบไฟฟ้า โดยกำหนดให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไปมีค่า Power factor ไม่ต่ำกว่า 0.85
5. ค่าไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum charge) ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา มีหน่วยเป็นบาทต่อเดือน ค่าไฟฟ้าส่วนนี้เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงการลงทุนที่การไฟฟ้าฯ ได้ลงทุนขยายระบบไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอกับการใช้ไฟฟ้าแต่ผู้ใช้ไฟฟ้ากลับไม่ได้ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงความจำนงไว้
6. ค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่อยู่ในความควบคุมของการไฟฟ้าฯ เช่น ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากราคาฐานที่ใช้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้า อัตราค่าตัวประกอบการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ มีหน่วยเป็น บาท/kW-hr
7. ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) อัตราร้อยละ 7

<u>รูปแบบของอัตราค่าไฟฟ้า</u>

อัตราค่าไฟฟ้าชุดปัจจุบัน สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 แบบ

1. **อัตราค่าไฟฟ้า 1 ส่วน (One-part tariff)** เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่รวมค่าพลังไฟฟ้ากับค่าพลังงานไฟฟ้าเข้าด้วยกัน อยู่ในรูปของค่าพลังงานไฟฟ้าแบ่งออกได้เป็น 3 แบบย่อย คือ
    1) อัตราแบบคงที่ (Flat rate) เป็นการคิดอัตราต่อหน่วยคงที่ตลอดไม่ว่าจะมีการใช้ไฟฟ้าปริมาณมาก-น้อยเพียงใด ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตรานี้ คือ
        - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็กที่ซื้อไฟฟ้าจากระดับ 12-33 kV
        - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร ที่ซื้อไฟฟ้าจากระดับแรงดันตั้งแต่ 12 kV ขึ้นไป

    2) อัตราแบบกึ่งคงที่ (Semi flat rate) เป็นการคิดแบบอัตราต่อหน่วยคงที่ 2 ระดับ การใช้ไฟฟ้าในช่วงแรกหรือระดับแรกจะคิดในอัตราที่ต่ำกว่า แต่เมื่อใช้เกินช่วงที่กำหนดไปแล้วจะคิดในอัตราที่แพงขึ้น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตรานี้ คือ
        - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร ที่ซื้อไฟฟ้าจากระดับแรงดันต่ำกว่า 12 kV
        - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

    3) อัตราแบบก้าวหน้า (Progressive rate) เป็นการคิดอัตราต่อหน่วยสูงขึ้น เมื่อมีการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อให้สะท้อนถึงการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตรานี้คือ
        - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่
        - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ที่ซื้อไฟฟ้าจากระดับแรงดันต่ำกว่า 12 kV

2. **อัตราค่าไฟฟ้า 2 ส่วน (Two-part tariff)** เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่แยกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน เพื่อให้สะท้อนถึงต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างชัดเจนขึ้น อย่างไรก็ตาม อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและอัตราค่าพลังงานไฟฟ้า ยังเป็นแบบอัตราคงที่ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตรานี้คือ
    - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3.1 กิจการขนาดกลาง
    - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 5.1 กิจการเฉพาะอย่าง (ช่วงที่ยังไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดชนิด TOU)

    อัตราค่าไฟฟ้า 2 ส่วนนี้ ในประกาศอัตราค่าไฟฟ้า จะเรียกเป็นอัตราปกติ

3. **อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของวัน (TOD rate)** เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่แยกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน โดยมีการแบ่งแยกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า ให้มีอัตราที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน ทั้งนี้เพื่อให้สะท้อนถึงต้นทุนของการผลิต การส่ง และการจำหน่ายไฟฟ้า โดยช่วงเวลา 24 ชั่วโมงในแต่ละวัน จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ดังนี้
    - On peak ระหว่างเวลา 18:00-21:30 น. ทุกวัน
    - Partial peak ระหว่างเวลา 08:00-18:30 น. ทุกวัน
    - Off peak ระหว่างเวลา 21:30-08:00 น. ทุกวัน

สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้าในอัตรา TOD นี้ ยังเป็นแบบอัตราคงที่ คือพลังงานไฟฟ้าทุกหน่วยมีราคาเท่ากัน ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตรานี้ คือผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4.1 กิจการขนาดใหญ่ (ผู้ใช้ไฟฟ้าอัตรา TOD รายเดิม)

4. **อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU rate)** เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่แยกค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าออกจากกัน โดยมีการแบ่งแยกค่าพลังงานไฟฟ้าให้มีอัตราที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวัน และวันของสัปดาห์ หรือตามช่วงเวลาของการใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สะท้อนถึงต้นทุนการผลิต การส่ง และการจำหน่ายไฟฟ้า โดยแบ่งเวลาในแต่ละสัปดาห์ออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ
   - On peak ระหว่างเวลา 09:00-22:00 ของวันจันทร์-ศุกร์
   - Off peak ระหว่างเวลา 22:00-09:00 ของวันจันทร์-ศุกร์ รวมทั้งวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย)

   สำหรับค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอัตรา TOU นี้จะเป็นแบบอัตราคงที่ โดยคิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉพาะในช่วง On peak เท่านั้น ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตรานี้ คือ
   - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3.2 กิจการขนาดกลาง
   - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4.2 กิจการขนาดใหญ่
   - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 5.2 กิจการเฉพาะอย่าง (อัตราบังคับใช้)
   - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 6.2 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร (อัตราเลือกใช้)
   - ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 7.2 สูบน้ำเพื่อการเกษตร (อัตราเลือกใช้)

   นอกจากนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยขนาดใหญ่ และกิจการขนาดเล็ก ยังสามารถเลือกเสียค่าไฟฟ้าตามอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) ที่เป็นอัตราพิเศษได้ด้วย โดยในอัตรา TOU แบบพิเศษนี้จะรวมค่าพลังไฟฟ้ากับค่าพลังงานไฟฟ้าเข้าด้วยกันอยู่ในรูปของค่าพลังงานไฟฟ้า

<u>แนวทางการลดไฟฟ้าเบื้องต้น</u>

แบ่งเป็น 4 กลุ่มของผู้ใช้ไฟฟ้า

1. **กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าแบบ 1 ส่วน** คือเสียเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น เนื่องจากค่าไฟฟ้ามีเฉพาะส่วนของค่าพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว การลดค่าไฟฟ้าจะทำได้จึงต้องอาศัยหลักการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อลดการสูญเสีย

2. **กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติ (อัตราค่าไฟฟ้าแบบ 2 ส่วน)** เนื่องจากค่าไฟฟ้าประกอบด้วยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า โดยค่าไฟฟ้าทั้ง 2 ส่วนนี้เป็นแบบอัตราคงที่ ไม่ขึ้นกับเวลาที่ใช้งาน ดังนั้นแนวทางการลดค่าไฟฟ้าจึงต้องดำเนินการ 2 แนวทาง คือ
   1) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า โดยดำเนินการเหมือนกับกลุ่มผู้เสียค่าไฟฟ้าแบบ 1 ส่วน
   2) ใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) สูง ซึ่งทำได้โดยการหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์พร้อมๆ กันในเวลาเดียวกัน

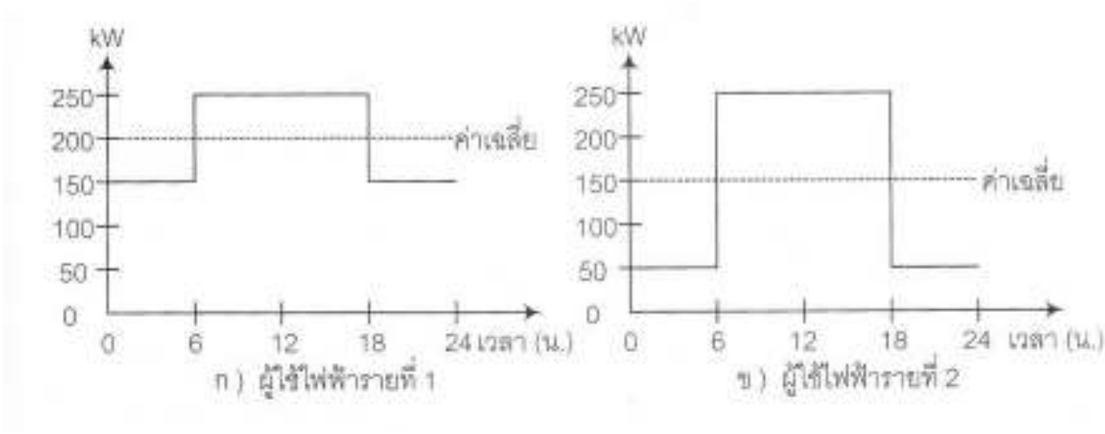
3. **กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD)** ผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้จะเสียค่าพลังงานไฟฟ้าในอัตราคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา แต่จะเสียค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าโดยขึ้นกับช่วงเวลาของวัน กล่าวคือ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วง 18:30-21:30 น. จะมีราคาแพงที่สุด แต่ในช่วงเวลา 21:30-08:00 น. ไม่ต้องเสียค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นแนวทางการลดค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้สามารถดำเนินการได้ 2 แนวทางดังนี้
    1) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า โดยดำเนินการเหมือนกับกลุ่มผู้เสียค่าไฟฟ้าแบบ 1 ส่วน
    2) หลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าแพง คือช่วง 18:30-21:30 น. ของทุกวัน และเพิ่มการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าถูก หรือไม่ต้องเสียค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า คือช่วง 21:30-08:00 ของทุกวัน ในช่วงเวลาที่ต้องเสียค่าความต้องการพลังไฟฟ้าจะต้องใช้ไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอด้วย การหลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีค่าต้องการพลังงานไฟฟ้าแพง อาจทำได้ด้วยวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้
        - ย้ายโหลดไปเดินในช่วงเวลาอื่นแทน
        - ผลิตไฟฟ้าใช้เองเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้า
        - หากเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าที่ทำงานเพียงวันละ 2 กะ ให้แยกเวลาทำงานระหว่างกะ ตอนช่วงเวลา 18:30-21:30 น. แทน
        - ใช้ระบบเก็บสะสมพลังงานแทนระบบปกติ เช่น ใช้ระบบปรับอากาศแบบ Ice storage เพื่อผลิตน้ำแข็งตอนกลางคืน แล้วดึงความเย็นไปใช้ตอนกลางวัน หรือผลิตน้ำแข็งตอนกลางวัน แล้วดึงความเย็นไปใช้ตอนหัวค่ำ เป็นต้น

4. **กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)** ผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้จะเสียค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอัตราคงที่ โดยคิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า เฉพาะความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ที่เกิดขึ้นระหว่างเวลา 09:00-22:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ โดยไม่รวมวันหยุดราชการตามปกติด้วยเท่านั้น ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้านั้นจะเสียในอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ กล่าวคือ หากใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 09:00-2200 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์จะเสียค่าพลังงานไฟฟ้าแพงที่สุด ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางคืนของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ระหว่างเวลา 22:00-09:00 น. และวันเสาร์-วันอาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติทั้งวัน จะเสียค่าพลังงานไฟฟ้าถูกกว่า ดังนั้นผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้ จึงควรใช้แนวทางการลดค่าไฟฟ้าดังต่อไปนี้
    1) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า โดยดำเนินการเหมือนกับกลุ่มผู้เสียค่าไฟฟ้าแบบ 1 ส่วน
    2) การใช้ไฟฟ้าในช่วงที่ต้องเสียค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า จะต้องใช้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อไม่ให้เกิดความต้องการพลังงานสูงสุดสูงเกินควร
    3) หลีกเลี่ยงหรือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าแพง (09:00-22:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์)
    4) ปรับกิจกรรมการทำงานใหม่ โดยเพิ่มกิจกรรมในช่วงกลางคืนถึงตอนเช้า (22:00-09:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์) ให้มากขึ้น พร้อมทั้งเพิ่มกิจกรรมในวันเสาร์-อาทิตย์และวันหยุดราชการ ซึ่งมีค่าพลังงานไฟฟ้าถูกเท่ากับช่วงกลางคืน

ตัวประกอบโหลด

ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายจะมีการใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ผู้ใช้ไฟฟ้าบางกลุ่มจะใช้ไฟฟ้าค่อนข้างจะสม่ำเสมอตลอดเวลา ในขณะที่ผู้ใช้ไฟฟ้าอีกกลุ่มหนึ่งอาจใช้ไฟฟ้าที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การที่จะบอกว่าผู้ใช้ไฟฟ้ารายใดใช้ไฟฟ้าสม่ำเสมอหรือเปลี่ยนแปลงมาก สามารถบอกได้โดยใช้ตัวประกอบโหลด (Load factor) โดยใช้ตัวย่อว่า LF

LF (%) = (ความต้องการพลังไฟฟ้าค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนด / ความต้องการพลังไฟฟ้าค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนด) x 100



รูปที่ 1-9 ตัวอย่างรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า

ตัวอย่างเช่น

Load factor ในช่วงเวลา 1 วันของผู้ใช้ไฟฟ้า 2 รายที่มีรูปแบบการใช้ไฟฟ้าดังแสดงในรูป สามารถหาได้ดังนี้

- ผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ 1 มีความต้องการพลังไฟฟ้าค่าเฉลี่ยเป็น 200 kW และมีความต้องการพลังไฟฟ้าค่าสูงสุดเป็น 250 kW จึงได้ LF (%) = (200/250) x 100 = 80%
- ผู้ใช้ไฟฟ้ารายที่ 2 มีความต้องการพลังไฟฟ้าค่าเฉลี่ยเป็น 150 kW และมีความต้องการพลังไฟฟ้าค่าสูงสุดเป็น 250 kW จึงได้ LF (%) = (150/250) x 100 = 60%

โดยปกติแล้วค่า Load factor ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าจะเป็นค่า Load factor ในช่วงเวลา 1 เดือน สมการที่ใช้หาค่า Load factor จะเป็น

LF (%) = (Average Demand x เวลาในรอบเดือน / Max. Demand x เวลาในรอบเดือน) x 100

LF (%) = (ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในรอบเดือน (kWh)/ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าค่าสูงสุดในรอบเดือน x จำนวนชั่วโมงในรอบเดือนนั้น) x 100

หากผู้ใช้ไฟฟ้าเสียค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติ (อัตราแบบ 2 ส่วน) การใช้ไฟฟ้าในลักษณะที่ให้ค่า LF สูงจะเสียค่าไฟฟ้าถูกลง แต่ในกรณีที่เสียค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOD หรืออัตรา TOU การใช้ไฟฟ้าในลักษณะที่ให้ค่า LF สูงมากๆ อาจไม่ได้ทำให้ค่าไฟฟ้าถูกที่สุดก็ได้ เพราะมีตัวแปรอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

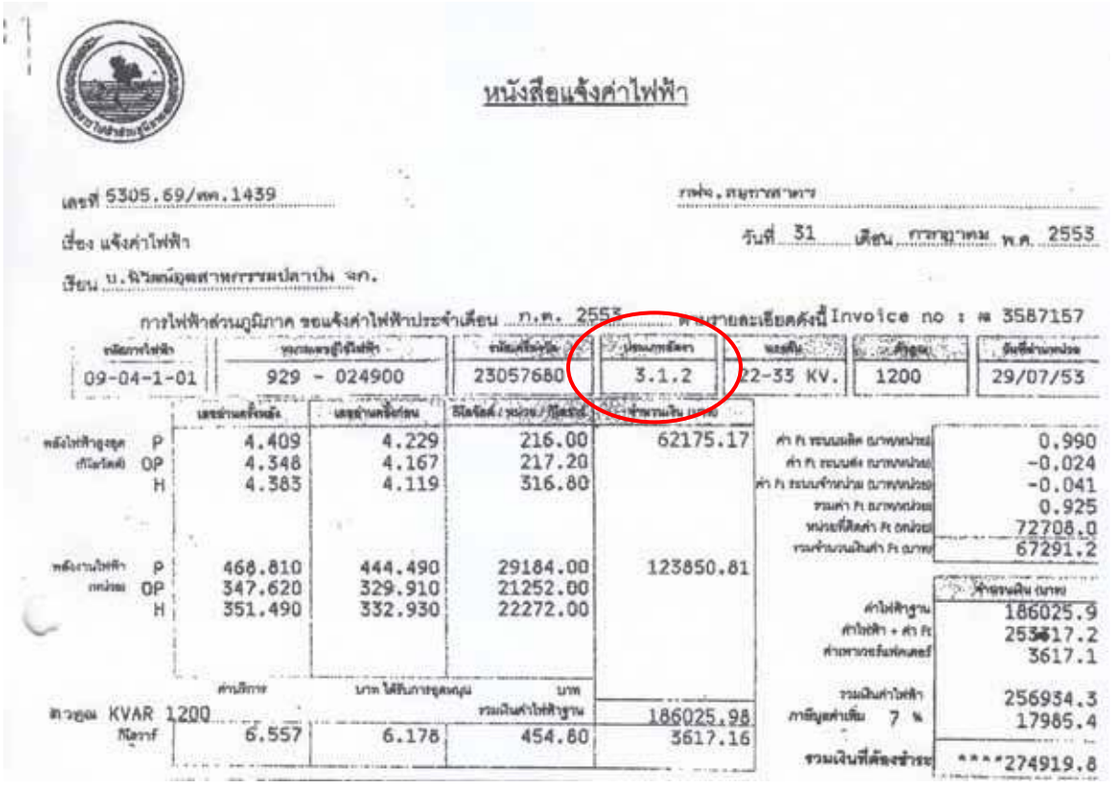
2.1.2 การเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ปัจจุบันโรงงานเสียค่าไฟฟ้าในอัตราปกติ โดยเสียค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด 196.26 บาทต่อกิโลวัตต์ ค่าพลังงานไฟฟ้า 1.7034 บาทต่อหน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ในอัตราคงที่ ตลอด 24 ชั่วโมง ทุกวัน

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเวลา Off Peak ซึ่งควรบริหารจัดการประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตของโรงงาน



หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

เลขที่ 5305.69/พพ.1439

เรื่อง แจ้งค่าไฟฟ้า

เรียน บ.พิวเตอร์อุตสาหกรรมปตท.จก.

วันที่ 31 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2553

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือน ก.ค. 2553 ดังรายละเอียดดังนี้ Invoice no : ผ 3587157

อัตราค่าไฟฟ้า	หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า	หมายเลขเครื่องวัด	ประเภทผู้ใช้	แรงดัน	ตัวคูณ	วันที่จดหน่วย
09-04-1-01	929 - 024900	23057680	3.1.2	22-33 KV.	1200	29/07/53

		เลขอ่านครั้งหลัง	เลขอ่านครั้งก่อน	หน่วย/กิโลวัตต์	จำนวนเงิน (บาท)
พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์)	P	4.409	4.229	216.00	62175.17
	OP	4.348	4.167	217.20	
	H	4.383	4.119	316.80	
พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	P	468.810	444.490	29184.00	123850.81
	OP	347.620	329.910	21252.00	
	H	351.490	332.930	22272.00	
		ค่าบริการ	บาท ได้รับการยกเว้น	บาท รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน	186025.98
ตัวคูณ KVAR 1200					
กิโลวาร์		6.557	6.178	454.80	3617.16

ค่า Ft ระบบผลิต (บาท/หน่วย)	0.990
ค่า Ft ระบบส่ง (บาท/หน่วย)	-0.024
ค่า Ft ระบบจำหน่าย (บาท/หน่วย)	-0.041
รวมค่า Ft (บาท/หน่วย)	0.925
หน่วยที่ใช้คำนวณค่า Ft (หน่วย)	72708.0
รวมจำนวนเงินค่า Ft (บาท)	67291.2
	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าไฟฟ้าฐาน	186025.9
ค่าไฟฟ้า + ค่า Ft	253617.2
ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์	3617.1
รวมเงินค่าไฟฟ้า	256934.3
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	17985.4
รวมเงินที่ต้องชำระ	****274919.8

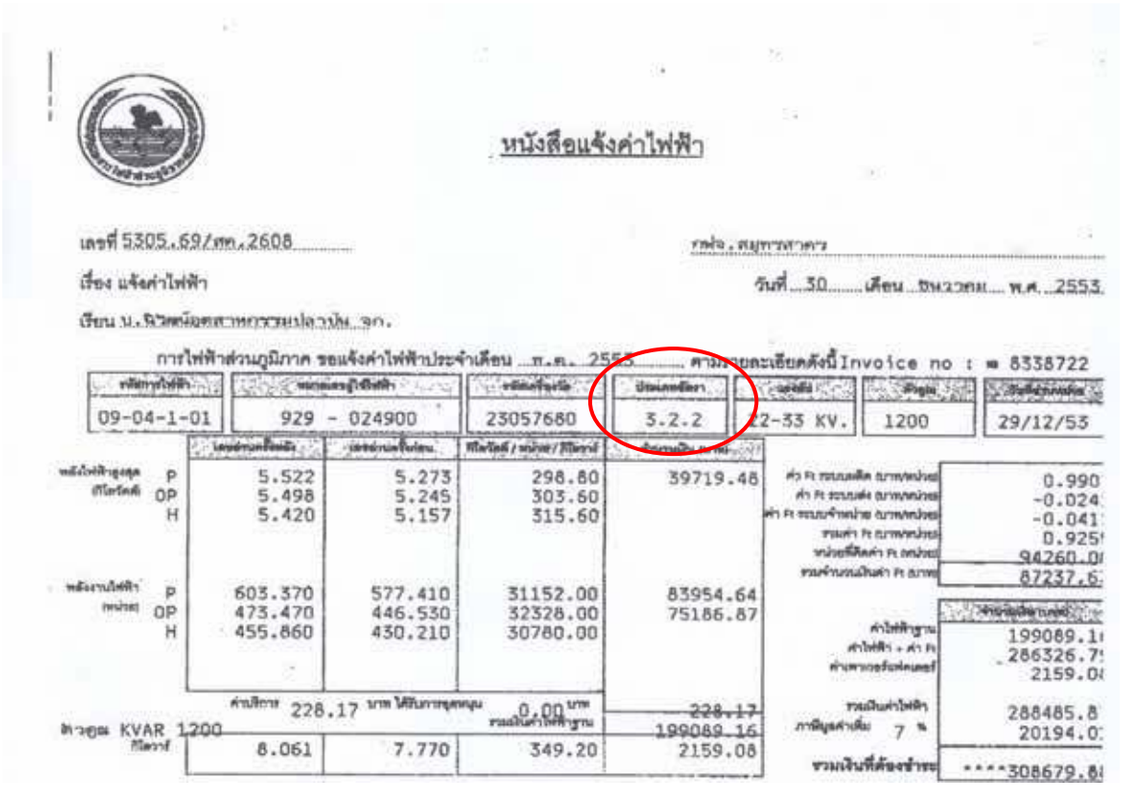
รูปประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า อัตราปกติ

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เปลี่ยนจากประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราปกติ เป็นประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าไปเป็นแบบ TOU (Time of use) ซึ่งคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้า ซึ่งเหมาะสมกับลักษณะการใช้พลังงานของโรงงาน

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากดำเนินการตามรายละเอียดในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วนั้นโรงงานสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้ ดังนี้



หนังสือแจ้งค่าไฟฟ้า

เลขที่ 5305.69/ทต.2608

เรื่อง แจ้งค่าไฟฟ้า

วันที่ 30 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2553

เรียน น.

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือน ธ.ค. 2553 ตามรายละเอียดดังนี้ Invoice no : = 8338722

รหัสการใช้ไฟฟ้า	หมายเลขผู้ใช้ไฟฟ้า	หมายเลขเครื่องวัด	ประเภทอัตรา	แรงดัน	ตัวคูณ	วันที่จดหน่วย
09-04-1-01	929 - 024900	23057680	3.2.2	22-33 KV.	1200	29/12/53

		เลขอ่านครั้งนี้	เลขอ่านครั้งก่อน	ที่ใช้ไป / หน่วย / กิโลวาร์	จำนวนเงิน บาท
หลังไฟฟ้าสูงสุด กิโลวัตต์	P	5.522	5.273	298.80	39719.48
	OP	5.498	5.245	303.60	
	H	5.420	5.157	315.60	
พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	P	603.370	577.410	31152.00	83954.64
	OP	473.470	446.530	32328.00	75186.87
	H	455.860	430.210	30780.00	
ค่าบริการ 228.17 บาท				ค่าปรับการอุดหนุน 0.00 บาท	228.17
ตัวคูณ KVAR 1200				รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน	199089.16
กิโลวาร์		8.061	7.770	349.20	2159.08

ค่า Ft ระบบสลับ บาท/หน่วย	0.990
ค่า Ft ระบบส่ง บาท/หน่วย	-0.024
ค่า Ft ระบบจำหน่าย บาท/หน่วย	-0.041
รวมค่า Ft บาท/หน่วย	0.925
หน่วยที่คิดค่า Ft หน่วย	94260.0
รวมจำนวนเงินค่า Ft บาท	87237.6
ค่าไฟฟ้าฐาน	199089.1
ค่าไฟฟ้า + ค่า Ft	286326.7
ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์	2159.0
รวมเงินค่าไฟฟ้า	288485.8
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	20194.0
รวมเงินที่ต้องชำระ	****308679.8

รูปประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า อัตรา TOU

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในปีที่ผ่านมา

เดือน/ปี	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย				พลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย				
	ความต้องการพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์)			ค่าใช้จ่าย (บาท)	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง, หน่วย)				ค่าใช้จ่าย (บาท)
	On Peak	Off Peak	Holiday		On Peak	Off Peak	Holiday	Total	
ส.ค. 52	356.40	333.60	325.20	69,947.06	52,116.00	39,516.00	33,192.00	124,824.00	212,625.20
ก.ย. 52	312.00	306.00	300.00	61,233.12	28,680.00	24,552.00	28,224.00	81,456.00	138,752.15
ต.ค. 52	314.40	355.20	326.40	69,711.55	38,328.00	29,268.00	24,120.00	91,716.00	156,229.03
พ.ย. 52	306.00	300.00	331.20	65,001.31	28,764.00	25,080.00	17,880.00	71,724.00	122,174.66
ธ.ค. 52	298.80	307.20	285.60	60,291.07	36,600.00	24,000.00	28,596.00	89,196.00	151,936.47
ม.ค. 53	297.60	298.80	278.40	58,642.49	37,452.00	23,028.00	25,944.00	86,424.00	147,214.64
ก.พ. 53	315.60	314.40	304.80	61,939.66	35,136.00	27,792.00	21,180.00	84,108.00	143,269.57
มี.ค. 53	292.80	273.60	276.00	57,464.93	36,993.00	26,119.00	33,136.00	96,248.00	163,951.14
เม.ย. 53	322.80	315.60	316.80	63,352.73	34,896.00	31,696.00	35,508.00	102,100.00	173,746.80
พ.ค. 53	325.20	320.40	325.20	63,823.75	33,828.00	31,296.00	22,584.00	87,708.00	149,401.81
มิ.ย. 53	294.00	296.40	290.00	58,171.46	23,508.00	27,612.00	21,072.00	72,192.00	122,971.85
ก.ค. 53	216.00	217.20	316.80	62,175.17	29,184.00	21,252.00	22,272.00	72,708.00	123,850.81
เฉลี่ย	**304.30**	**303.20**	**306.37**	**62,646.19**	**34,623.75**	**27,600.92**	**26,142.33**	**88,367.00**	**150,510.34**
รวม	**-**	**-**	**-**	**751,754.30**	**415,485.00**	**331,211.00**	**313,708.00**	**1,060,404.00**	**1,806,124.13**

การคำนวณอัตรา TOU

การคำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบอัตรา TOU

ข้อมูล	สัญลักษณ์	การคำนวณ	ปริมาณ	หน่วย
ค่าไฟฟ้า ช่วง On Peak	Bon	Audit Data	2.6950	บาท/kWh
ค่าไฟฟ้า ช่วง Off Peak และ Holiday	Boff	Audit Data	1.1914	บาท/kWh
ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด	Bp	Audit Data	132.93	บาท/kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้เวลาทำงาน	Pon	Audit Data	304.30	kW
พลังงานไฟฟ้าช่วง Peak	Ep1	Audit Data	415,485	kWh/y
พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak	Ep2	Audit Data	331,211	kWh/y
พลังงานไฟฟ้าช่วง Holiday	Ep3	Audit Data	313,708	kWh/y
เป็นเงินค่าพลังงานไฟฟ้า	B1	(Ep1×Bon)+ ((Ep2+ Ep3)×Boff)	1,888,088	บาท/ปี
ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด	B2	Bp × Pon × 12	485,407	บาท/ปี
รวมค่าไฟฟ้า	**B(TOU)**	**B1 +B2**	**2,373,495**	**บาท/ปี**

การคำนวณอัตราปกติ

การคำนวณอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบอัตราปกติ

ข้อมูล	สัญลักษณ์	การคำนวณ	ปริมาณ	หน่วย
ค่าพลังงานไฟฟ้า	Ec	Audit Data	1.7034	บาท/kWh
ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด	Dc	Audit Data	196.26	บาท/kW
พลังงานไฟฟ้า	Epn	Ep	1,060,404	kWh/y
ค่าพลังงานไฟฟ้า	Bc	Epn × Ec	1,806,124.13	บาท/ปี
ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า	Bpeak	Audit Data	751,754.30	บาท/ปี
รวม	**B(NOR)**	**Bc + Bpeak**	**2,557,878.43**	**บาท/ปี**

การคิดผลประหยัด

การคิดผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า

ข้อมูล	สัญลักษณ์	การคำนวณ	ปริมาณ	หน่วย
ผลประหยัด	Bsave	B(NOR) - B(TOU)	184,383.43	บาท/ปี
เงินลงทุน	Inv	ค่าดำเนินการ	20,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	-	Inv/Bsave2	0.11	ปี

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	การเปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสม	
เงินลงทุน	20,000.00	บาท
เงินที่ประหยัดได้	184,383.43	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.11	ปี

2.1.3 การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานดำเนินการการผลิตประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 350 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 405,193.44 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 1,520,322.05 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.75 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 500 kVA โดยทำการเปิดใช้งานวันละ 16 ชั่วโมงต่อวัน และ 350 วันต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 500 kVA พบว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (P.F.) มีค่าเท่ากับ 0.76 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่การไฟฟ้าได้กำหนดไว้และทางโรงงานเสียค่าปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในบิลค่าไฟฟ้าด้วย โดยทางโรงงานได้มีการติดตั้งชุดตัวเก็บประจุ (ขนาด 6 x 25 kVAR) เป็นที่เรียบร้อยแล้ว และชุดควบคุมการทำงานสั่งการให้ตัวเก็บประจุทำงานทั้ง 6 ชุด แต่ชุดตัวเก็บประจุทำงานเพียง 4 ชุดเท่านั้น จึงมีแนวทางในการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น

รูปแสดงหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 500 kVA ชุดตัวเก็บประจุ และผลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงาน สามารถสรุปได้ว่าทางโรงงานควรทำการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยการตรวจวัดการใช้พลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้า
2. วิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลเชิงเทคนิคมาสรุปแนวทางปรับปรุงการใช้งาน และนำเสนอในที่ประชุมเพื่อให้คณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานพิจารณา
3. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการเปลี่ยนฟิวส์ของตัวเก็บประจุ ขนาด 63 A จำนวน 3 ตัว
4. ตรวจสอบวิธีของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาได้เข้าตรวจสอบการดำเนินการตามแผนที่ได้เสนอในที่ประชุมและทำการตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง
5. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ดำเนินการเปลี่ยนฟิวส์ของตัวเก็บประจุ ขนาด 63 A จำนวน 3 ตัว ซึ่งสามารถประเมินผลการประหยัดได้ ดังนี้

รูปแสดงการเปลี่ยนฟิวส์ของตัวเก็บประจุและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า หลังการปรับปรุง

ระยะเวลาการดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	600	บาท
พลังงานที่ประหยัดได้	1,570	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	0.134	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.03	ปี

ข้อเสนอแนะ ไม่มี

แนวทางการขยายผล ไม่มี

การคำนวณผลประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังหม้อแปลงไฟฟ้า Tr.1 # 500 kVA			
รายการ	**หน่วย**	**ตัวย่อ**	**ปริมาณ**
ข้อมูล			
โหลดที่วัดได้	kW	L_{ac}	143.0
แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้	V	V_{ac}	396
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า		$\cos\theta_1$	0.76
ขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า	kVA	kVA_{tr}	500
พิกัดแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้า	V	V_{tr}	400
Copper loss ที่โหลดเต็มพิกัด	kW	CL	5.5
ชั่วโมงการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	h/d	H	16
จำนวนวันดำเนินการ	d/y	D	350
ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	฿/kWh	Pr_e	3.75
การคำนวณ			
สภาพก่อนปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า			
พลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ $Pw_{re,1} = L_{ac} \times \{\sqrt{(1-\cos\theta_1^2)}/\cos\theta_1\}$	kVAR	$Pw_{re,1}$	122.29
พลังไฟฟ้าปรากฏ $Pw_{ap,1} = \sqrt{(L_{ac}^2 + Pw_{re,1}^2)}$	kVA	$Pw_{ap,1}$	188.16
สภาพหลังปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า			
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง		$\cos\theta_2$	0.95
พลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ $Pw_{re,2} = L_{ac} \times \{\sqrt{(1-\cos\theta_2^2)}/\cos\theta_2\}$	kVAR	$Pw_{re,2}$	47.00
พลังไฟฟ้าปรากฏ $Pw_{ap,2} = \sqrt{(L_{ac}^2 + Pw_{re,2}^2)}$	kVA	$Pw_{ap,2}$	150.53
สรุปผลการวิเคราะห์			
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (Copper loss) $S_e = CL \times \{(Pw_{ap,1}/C)^2-(Pw_{ap,2}/C)^2\} *H*D$	kWh/y	S_e	1,570
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ $SC = S_e*Pr_e$	฿/y	SC	5,887.50
ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์	฿/y	$SC_{PF.}$	11,706.70
ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้รวม $SC_{TOTAL} = SC + SC_{PF.}$	฿/y	SC_{TOTAL}	17,594.20

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังหม้อแปลงไฟฟ้า Tr.1 # 500 kVA			
รายการ	**หน่วย**	**ตัวย่อ**	**ปริมาณ**
การลงทุน			
ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนฟิวส์ของตัวเก็บประจุ ขนาด 63 A จำนวน 3 ตัว ราคาตัวละ 200 บาท	฿	INV	600
ระยะเวลาคืนทุน $PB = INV / S_E$	y	PB	0.03

2.1.4 การปรับลดแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการดำเนินการผลิตประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 312 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 2,461,104.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 8,215,890.07 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.35 บาทต่อหน่วย มีหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,000 kVA จำนวน 1 ตัว

รูปแรงดันไฟฟ้า ก่อนปรับปรุง

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีแรงดันทุติยภูมิสูงกว่าพิกัดมาก ที่ปลายโหลดแรงดันใช้งานด้านแรงต่ำมีค่าสูงกว่าพิกัดที่ระดับ 405 Volt ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในแกนเหล็ก (Core Loss) ของหม้อแปลง อีกทั้งยังส่งผลให้อุปกรณ์ใช้งานบางประเภทเกิดความเสียหายได้

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

โรงงานควรพิจารณาว่าจ้างการไฟฟ้ามาปรับ TAP ของหม้อแปลงลงจำนวน 1 TAP คิดเป็น 10 Volt ซึ่งหลังจากปรับลดแรงดันแล้ว จะส่งผลให้โรงงานสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนของหม้อแปลงและอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้ จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางโรงงานจะว่าจ้างการไฟฟ้ามาปรับ TAP ให้เหมาะสม เพื่อเป็นการลดความร้อนสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยตรวจวัดแรงดันใช้งานด้านแรงต่ำที่ปลายสาย และข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นในการวิเคราะห์
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา การว่าจ้างการไฟฟ้ามาปรับ TAP และระยะเวลาการดำเนินการ
3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ โดยเลือกช่วงเวลาที่ทำการแก้ไขปรับปรุงโดยไม่กระทบต่อการผลิตของโรงงาน
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการจัดจ้างบริษัทเพื่อเข้าดำเนินการ ทั้งนี้จะทำการสอบถามรายละเอียดขั้นตอนในการทำงานทำการวางแผนเตรียมความพร้อม

6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการแก้ไขปรับปรุง พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ทำการปรับลดแรงดันไฟฟ้าแล้วซึ่งสามารถคำนวณประเมินศักยภาพการประหยัดได้ ดังนี้

รูปแรงดันไฟฟ้า หลังดำเนินการปรับปรุงและการตรวจวัด

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ค่าการสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดต่างๆ

พิกัดหม้อแปลง (kVA)	กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (WI)	กำลังสูญเสียในตัวนำสูงสุด (WC)	อัตราส่วน α	โหลดแฟกเตอร์ที่ทำให้หม้อแปลงเกิดประสิทธิภาพสูงสุด
315	700	3,900	5.57	0.42
400	850	4,600	5.41	0.43
500	1,000	5,500	5.50	0.43
800	1,300	11,000	8.46	0.34
1,000	1,600	13,500	8.43	0.34
1,500	2,000	19,800	9.90	0.31
2,000	2,700	24,000	8.88	0.33

จากตารางค่าการสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดต่างๆ

ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า	=	1,000	kVA
Core Loss, (WI)	=	1.6	kW
แรงดันไฟฟ้าพิกัด, (Vr)	=	400	V
ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้า, (n)	=	85	%
แรงดันไฟฟ้าก่อนปรับปรุง, (Va)	=	405	V

แรงดันไฟฟ้าหลังปรับปรุง, (Vb)	=	390	V
ขนาดมอเตอร์รวมทั้งหมด, (Wm)	=	215	kW
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี, (h1)	=	8,760	ชั่วโมง/ปี
ชั่วโมงการทำงาน, (h2)	=	3,744	ชั่วโมง/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	3.35	บาท/kWh

Core Loss หม้อแปลงไฟฟ้าที่ลดลง = $WI \times [(Va/Vr)^2 - (Vb/Vr)^2] \times h1$

= $1.6 \times [(405/400)^2 - (390/400)^2] \times 8,760$

= 973.76 kWh/ปี

Iron Loss มอเตอร์ที่ลดลง = $Wm \times [(100/n) - 1] \times 0.3 \times [(Va/Vr)^2 - (Vb/Vr)^2] \times h2$

= $215\ kW \times [(100/85) - 1] \times 0.3 \times [(405/400)^2 - (390/400)^2] \times 3,744$

= 2,960.71 kWh/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	Core Loss หม้อแปลงลดลง + Iron Loss มอเตอร์ลดลง	
	=	973.76 + 2,960.71	kWh/ปี
	=	3,934.48	kWh/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	=	$3,934.48 \times 85.21 \times 10^{-6}$	
	=	0.335	toe/ปี
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	
	=	3,934.48 kWh/ปี x 3.35 บาท/kWh	
	=	13,180.49	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าปรับปรุงแรงดันไฟฟ้า	=	2,500.00	บาท
ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	13,180.49	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	2,500.00/ 13,180.49	
	=	0.190	ปี

2.1.5 การปรับกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสให้สมดุล

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

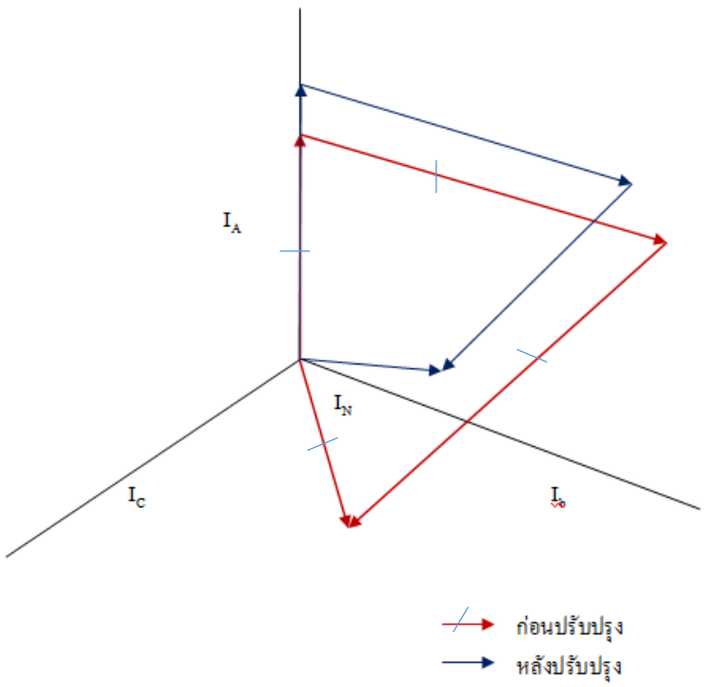
ปัจจุบันโรงงานเสียค่าไฟฟ้าในระบบมิเตอร์แรงต่ำ โดยไม่เสียค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 4.16 บาทต่อหน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ในอัตราคงที่ ตลอด 24 ชั่วโมง ทุกวัน

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจสอบระบบไฟฟ้าที่ตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board) พบว่ามีกระแสไฟฟ้าไหลในสายนิวทรอล 35 แอมป์ ซึ่งเกิดจากการจ่ายเฟสไม่สมดุลของระบบไฟฟ้า ทำให้มีค่าความสูญเสียในสายไฟฟ้าสูงตามไปด้วย

ข้อมูลจากการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุงมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์	ก่อนปรับปรุง (A)	หลังปรับปรุง (A)
I_A	50	55
I_b	70	70
I_c	60	50.4
I_N	20.2	18.0



รูปแสดงผลการปรับสมดุลเฟส

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ปรับการจ่ายเฟสให้สมดุล เพื่อให้กระแสในสายนิวทรอลเหลือไม่เกิน 10% ของขนาดกระแสเดิม จะทำให้ลดค่าความสูญเสียในสายไฟฟ้าลง โดยขั้นตอนการดำเนินการ มีดังต่อไปนี้

1. ประชุมร่วมกับทางทีมงานที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ในส่วนโรงงานเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น
2. หาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข
3. ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟส
4. วิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัด
5. ปรับย้ายอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าให้ใกล้เคียงในแต่ละเฟส (พัดลม อุปกรณ์สำนักงาน)

รูปการตรวจวัดระบบไฟฟ้าที่ตู้จ่ายไฟฟ้า

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงานจากการปรับเฟสสมดุล (แนวทางการคำนวณ)

ปรับเฟสสมดุล กระแสนิวทรอลลดลง	= 20.2 A – (20.2A x 10%)	
	= 18	A
ความต้านทานสายนิวทรอล	= 0.2549	ohm/km
ความยาวสายนิวทรอลรวม	= 500	m
ค่าความสูญเสียในสายนิวทรอลลดลง	= 18^2A x 0.2549 ohm/km x 500 m / 1000	
	= 126.46	W
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= 41.29 W x 8,448 hour / 1,000	
	= 348.85	kWh/yr
คิดเป็น toe	= (348.85 kWh/yr) x (85.21 x 10^{-6} kWh/toe)	
	= 0.029	toe/yr
ราคาค่าไฟฟ้า	= 4.16	Baht/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 348.85 x 4.16	
	= 1,451.21	Baht/yr

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การปรับกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสให้สมดุล

เงินลงทุน	-	บาท
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	348.85	kWh/ปี
	0.029	toe/ปี
เงินที่ประหยัดได้	1,451.21	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	คืนทุนทันที	

2.1.6 การบริหารตารางการทำงานให้เหมาะสมกับประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ปัจจุบันหน่วยงาน เสียค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU Rate โดยเสียค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด 132.93 บาทต่อกิโลวัตต์ และค่าพลังงานไฟฟ้า 2.691 บาทต่อหน่วย ในช่วง 9.00 - 22.00 น. สำหรับในช่วง 22.00 - 9.00 น. จันทร์ - ศุกร์ และวันเสาร์ อาทิตย์ ตลอด 24 ชั่วโมง ค่าพลังงานไฟฟ้า 1.191 (บาท/หน่วย) เนื่องด้วยเครื่องหลอมพลาสติกเปิดใช้งาน วันจันทร์ – เสาร์ หยุดวันอาทิตย์ โดยพิจารณาส่วนต่างค่าไฟฟ้าในช่วง On Peak และ Holiday Peak

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนการปรับปรุง

เครื่องหลอดพลาสติกเดิมที่เปิดใช้งาน วันจันทร์ - เสาร์ และหยุดวันอาทิตย์ โดยมีกำลังไฟฟ้า 89.45 kW (156.6 A) และเป็นเครื่องจักรที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงมาก ดังนั้นทางโรงงานจึงผลักดันการย้ายช่วงเวลาการทำงานจากการหยุดวันอาทิตย์ มาหยุดวันพฤหัสบดีแทน

รูปเครื่องหลอมพลาสติกที่ใช้งานในโรงงาน

สภาพหลังการปรับปรุง

เปลี่ยนวันเวลาในการทำงาน โดยให้มีการผลิตในวันศุกร์ – พุธ และหยุดวันพฤหัสบดีตลอดวัน ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมกับลักษณะการใช้พลังงานของโรงงาน เพื่อลดต้นทุน โดยเฉพาะค่าไฟฟ้าให้ถูกลง

การคำนวณผลประหยัดพลังงาน

รายการ		หน่วย	ตัวย่อ	ปริมาณ
ข้อมูล				
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้	kW	CLc	89.45
	พลังงานที่ใช้ต่อชั่วโมง	kWh	kWh/hr	52.70
	จำนวนชั่วโมง ช่วง On Peak	Hr	hr	13
	จำนวนวันต่อเดือน	Day/เดือน	Day	4
	ราคาค่าพลังงานไฟฟ้า On Peak	฿/kWh1	Prp1	2.691
	ราคาค่าพลังงานไฟฟ้า Off Peak	฿/kWh2	Prp2	1.191
การคำนวณ				
- ก่อนปรับปรุง	ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในช่วง On Peak	฿/เดือน	SC	7,374
- หลังปรับปรุง	ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในช่วง Off Peak	฿/เดือน	SC	3,264
ผลประหยัด	ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า	฿/เดือน	SC	4,110.49
		฿/ปี	SC	49,325.90
การลงทุน	ค่าแรง	฿	INV	-
	ระยะเวลาในการคืนทุน	y	PB	-
	PB = INV/SC			

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสม

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	-	kWh/ปี
ประหยัดได้	=	49,325.90	บาท/ปี
เงินที่ประหยัดได้ทั้งหมด	=	49,325.90	บาท/ปี

2.2 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง

2.2.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง

หลอดไฟฟ้า

1. หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp)

หลอดประเภทนี้อาศัยหลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดทั่วไปทำจากทังสเตน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและแสงสว่างขึ้น หลอดไส้เป็นหลอดที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างน้อยที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด รวมทั้งมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้นคือประมาณ 1, 000 – 3,000 ชั่วโมง แต่หลอดชนิดนี้ยังเป็นหลอดที่นิยมใช้เป็นอย่างมาก เนื่องจากง่ายต่อการติดตั้งและค่าติดตั้งเริ่มต้นมีราคาถูกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamp) และหลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

1) หลอดไส้แบบธรรมดา หลอดชนิดนี้ประกอบด้วยขดลวดทังสเตนบรรจุในหลอดแก้ว เมื่อกระแสไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดการเปล่งแสงออกมา ขณะหลอดทำงานขดลวดทังสเตนจะค่อยๆ ระเหย จนกระทั่งหมดอายุการใช้งาน ซึ่งไส้หลอดมีลักษณะเป็นขดลวด ส่วนใหญ่ทำจากทังสเตน (Tungsten) มีข้อดีคือจุดหลอมเหลวมีค่าสูง (3,653 K) และมีความดันไอต่ำ ทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ โดยที่อุณหภูมิทำงานของไส้หลอด มีค่าประมาณ 2,500-2,700 K ในยุคแรกๆ ไส้หลอดของหลอดเผาไส้จะทำจากทังสเตนเป็นแบบ Coil ชั้นเดียว และต่อมาได้พัฒนาให้เป็นแบบ “Coiled-Coil” Filament ดังแสดงในรูปที่ 1-10 ลักษณะดังกล่าวช่วยลดการระเหิดของทังสเตนที่ใช้เป็นไส้หลอดทำให้อายุการใช้งานหลอดยาวนานขึ้นเป็น 1,000 ชั่วโมง สำหรับขั้วของหลอดทำด้วยทองเหลือง (Brass) หรืออะลูมิเนียม (Aluminum) ขนาดที่นิยมใช้ได้แก่ E10 E14 E27 E40 โดยที่ตัวเลขหมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขั้วหลอด (มิลลิเมตร)

รูปที่ 1-10 ภาพขยายของไส้หลอดแบบ “Coiled-Coil” Filament

หลอดไส้แบบธรรมดาเหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทั่วๆ ไป โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการความรู้สึกแบบอบอุ่น การให้แสงเน้นบรรยากาศ เช่น บ้าน โรงแรม และร้านอาหาร เป็นต้น และการใช้งานแสงสว่างในระยะเวลาสั้นๆ เช่น ห้องเก็บของ ห้องน้ำ หลอดประเภทนี้มีอายุการใช้งานประมาณ 1,000 ชั่วโมง

หลอดไส้แบบธรรมดาสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ หลอด GLS (General Lighting Service) และหลอดสะท้อนแสง (Reflector Lamp) ซึ่งมีลักษณะและรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1-3 หลอดไส้แบบธรรมดาชนิดต่างๆ

ประเภทของหลอดไส้แบบธรรมดา	รูปร่างลักษณะ	รายละเอียด
หลอด GLS		หลอดประเภทนี้มีทั้งประเภทใสและขุ่น ซึ่งเกิดจากการเคลือบผิวด้วยซิลิกา
หลอดสะท้อนแสงชนิด Blown bulb lamp		เป็นหลอดที่มีสารฉาบด้านข้างเพื่อให้แสงสะท้อนออกมาด้านหน้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อการส่องเน้น ซึ่งมีทั้งแบบมุมลำแสงกว้างและมุมลำแสงแคบ
หลอดสะท้อนแสงชนิด Parabolic หรือ หลอด PAR		เป็นหลอดที่ประกอบด้วยแก้ว 2 ส่วน ได้แก่ ตัวสะท้อนแสง (Reflector) ซึ่งมีลักษณะเป็นพาราโบลอยด์ (Paraboloid) ประกบอยู่กับกระจกส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นเลนส์ด้านหน้า

ประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไส้ชนิดธรรมดาขึ้นอยู่กับขนาดของหลอด ข้อมูลค่าฟลักซ์การส่องสว่างและประสิทธิผลการส่องสว่าง ของหลอดที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่างๆ กัน แสดงได้ดังตาราง 1-4

ตารางที่ 1-4 มูลค่าฟลักซ์การส่องสว่าง และประสิทธิผลการส่องสว่าง ของหลอดที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่างๆ กัน

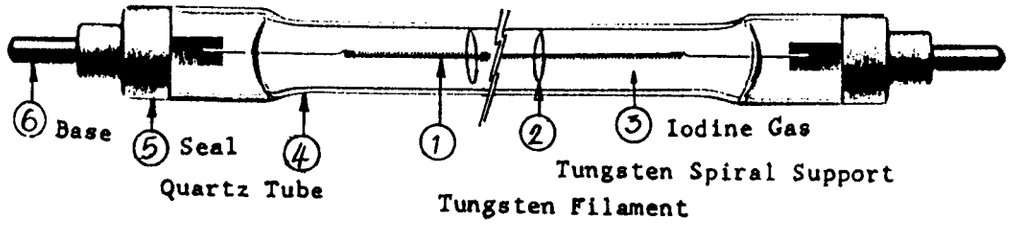
กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
25	200	8.0
40	400	10.0
60	700	17.5
75	900	12.0
100	1,350	13.5

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของหลอดไส้แบบธรรมดาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1-5 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยของหลอดไส้แบบธรรมดา

ข้อดี	ข้อด้อย
1) ให้แสงที่มีความถูกต้องของสีมาก 2) สามารถหรี่หรือปรับความสว่างได้ง่ายๆ ด้วยระบบหรี่ไฟ 3) หลอดจะสว่างทันทีที่เปิดสวิทซ์ใช้งาน 4) ไม่เกิดคลื่นสัญญาณรบกวน	1) ใช้กำลังไฟฟ้ามากทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้ามาก 2) อายุการใช้งานสั้น ประมาณ 750 – 1,000 ชั่วโมง 3) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน 4) ประสิทธิภาพในการส่องสว่างต่ำ

2) หลอดทังสเตนฮาโลเจน เนื่องจากหลอดเผาไส้ธรรมดา อุณหภูมิจะสูงขณะใช้งานทำให้เกิดการระเหิดของทังสเตน ที่ใช้ทำไส้หลอดมาเกาะอยู่ที่ผิวในกระเปาะ ทำให้กระเปาะแก้วมีสีดำ เรียกว่า Blackening Effect และไส้หลอดบางลงจนขาดในที่สุด จึงได้มีการพัฒนาหลอดเผาไส้ธรรมดานี้โดยบรรจุธาตุตระกูลฮาโลเจนเข้าไปกับแก๊สที่บรรจุในหลอด แล้วอาศัยปรากฏการณ์ Halogen Regenerative Cycle ที่เกิดจากการรวมตัวของก๊าซฮาโลเจนกับโลหะทังสเตนที่ร้อนจนระเหิด แล้วกลายเป็นสารประกอบทังสเตน - ฮาโลเจน และกลับมาเกาะที่ไส้หลอดใหม่ ทำให้หลอดมีอายุการใช้งานมากขึ้น และช่วยให้หลอดไม่เปลี่ยนไปเป็นสีดำ โครงสร้างของหลอดทังสเตน-ฮาโลเจน แสดงดังรูป

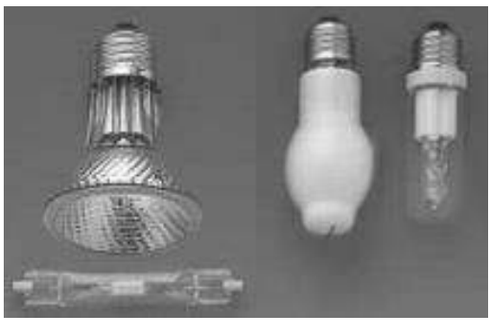


รูปที่ 1-11 โครงสร้างของหลอดทังสเตน-ฮาโลเจน

หลอดฮาโลเจนบางรุ่นจะเคลือบ Dichroic film ที่แผ่นสะท้อนแสง ทำให้รังสีความร้อน (Infrared Ray) ประมาณ 60 % ผ่านทะลุ Dichroic film ออกไปด้านหลังหลอด และไม่ออกมากับลำแสงด้วย บางครั้งจึงเรียกกันว่าลำแสงเย็น (Cool beam) เหมาะสำหรับใช้ส่องวัตถุที่ไวต่อความร้อน เช่น ผลไม้ อาหาร หรืองานศิลปะ ที่ความร้อนจากลำแสงสามารถทำให้สีของวัตถุซีดจางได้ อย่างไรก็ตามการเลือกโคมไฟที่ใช้กับหลอดจะต้องพิจารณาถึงการระบายความร้อนออกด้านหลังโคมไฟด้วย

หลอดทังสเตนฮาโลเจนนี้มีขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหลอดแบบส่องเน้น เพราะสามารถให้ลำแสงแคบได้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามระดับแรงดันการใช้งาน ได้แก่ หลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ และหลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ ลักษณะของหลอดแสดงดังรูปที่ 1-12 โดยหลอดทังสเตนฮาโลเจนนี้มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างสูงกว่าหลอดไส้แบบธรรมดาประมาณ 10% และมีอายุการใช้งานประมาณ 3,000 ชั่วโมง หลอดทังสเตนฮาโลเจนแรงดันต่ำ เป็นหลอดที่มีขนาดเล็กใช้งานกับงานส่องเน้นให้สีออกขาวกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ (อุณหภูมิสีประมาณ 3,200 เคลวิน) ระดับแรงดันที่ใช้งานคือ 6V 12V หรือ 24V โดยต่อ

ผ่านหม้อแปลงซึ่งจะต้องไม่ติดตั้งห่างจากตัวโคมมากเกินไป เนื่องจากจะมีปัญหาเรื่องแรงดันตกในสาย โดยมีมุมแสงให้เลือกขนาดที่ 12 24 และ 36 องศา หลอดชนิดที่ไม่มีกระจกป้องกันหลอด ไม่ควรสัมผัสถูกบริเวณหลอดเพราะจะทำให้อายุการใช้งานของหลอดลดลงได้ ข้อมูลประสิทธิภาพพลังงานของหลอดทังสเตนฮาโลเจนแสดงในตารางที่ 1-6 และ 1-7



ก) ชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ 220 V

ข) ชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ

รูปที่ 1-12 หลอดทังสเตนฮาโลเจน

ตารางที่ 1-6 ข้อมูลทั่วไปของหลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ 220 V อายุการใช้งานเฉลี่ย 2,000 ชั่วโมง

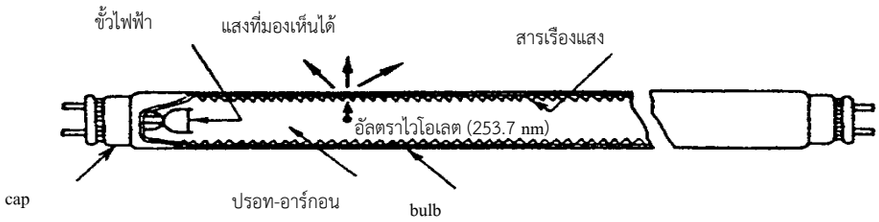
กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
75	1,100	14.7
100	1,500	15
150	2,600	17.4
300	5,000	16.7
500	9,500	19
1,000	22,000	22
2,000	44,000	22

ตารางที่ 1-7 ข้อมูลทั่วไปของหลอดทังสเตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ อายุการใช้งานเฉลี่ย 3,000 ชั่วโมง

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
20	320	16
35	600	17.2
50	930	18.6
75	1,450	19.4
90	1,800	20

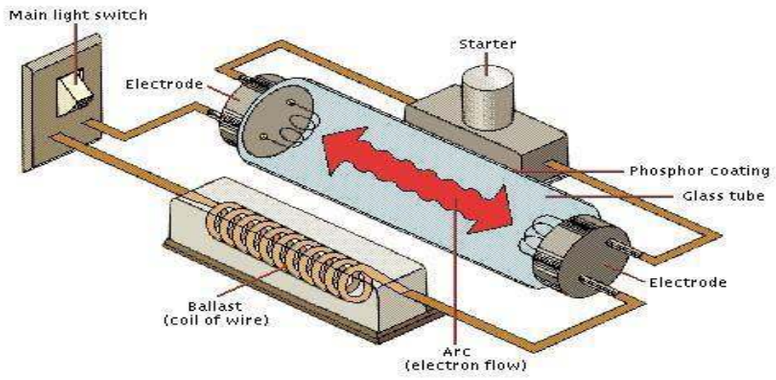
2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)

เป็นหลอด Discharge lamp ที่กำเนิดแสงที่มองเห็นได้ด้วยการที่รังสีอัลตราไวโอเลตที่เกิดจากการคายประจุของไอปรอทความดันต่ำ ไปกระตุ้นสารเรืองแสง โครงสร้างของหลอดแสดงไว้ในรูปที่ 1-13 โดยภายในผิวหลอดแก้วจะมีสารเรืองแสงเคลือบอยู่ และที่ไส้หลอดรูปคอยล์ที่ขั้วหลอดจะมีสาร Emitter เคลือบอยู่ ในหลอดจะมีปรอทจำนวนเล็กน้อยกับก๊าซอาร์กอนบรรจุอยู่ เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าจะเกิดการคายประจุขึ้น ขั้วหลอดจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนร้อนออกมา อิเล็กตรอนจะไปชนกับอะตอมของปรอทเกิดรังสีอัลตราไวโอเลต (253.7 มม. เป็นส่วนใหญ่) ขึ้น รังสีอัลตราไวโอเลตจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงและถูกแปลงเป็นแสงที่มองเห็นได้ (ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Photoluminescence)



รูปที่ 1-13 โครงสร้างทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์

การทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์จะมีบัลลาสต์ และสตาร์ทเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ตามวงจรแสดงในรูปที่ 1-14 โดยบัลลาสต์จะต่ออนุกรมกับหลอด ทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลเข้าสู่ขั้วหลอด ส่วนสตาร์ทเตอร์ (Starter) จะต่อขนานกับขั้วหลอดทั้งสองข้าง ทำหน้าที่จุดหลอดและถูกตัดออกมาจากวงจรเมื่อหลอดติดแล้ว วงจรดังรูปเป็นวงจรสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ส่วนมากที่ไส้หลอดจะต้องทำการอุ่นก่อนการจุดหลอด ซึ่งการอุ่นจะอาศัยสตาร์ตเตอร์ อย่างไรก็ตาม หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบจุดติดเร็วซึ่งมีการอุ่นไส้หลอดตลอดเวลา และหลอดแบบจุดติดทันที (Instant Start) ซึ่งไม่ต้องอุ่นไส้หลอด หลอดทั้ง 2 แบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีสตาร์ตเตอร์



รูปที่ 1-14 วงจรการทำงานและการนำกระแสของก๊าซเมื่อจ่ายแรงดัน

ชนิดของหลอดฟลูออเรสเซนต์อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอก (Tubular Fluorescent) และหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) นอกจากนี้ยังมีหลอดฟลูออเรสเซนต์อีกประเภทคือ หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent) ซึ่งใช้หลักการเปล่งแสงคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไปแต่วิธีการจุดหลอดปล่อยประจุต่างกัน

1) หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอก (Tubular Fluorescent) เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นแรกที่ผลิตออกมา ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีประสิทธิผลสูง และมีอายุการใช้งานที่นานกว่าหลอดไส้ รูปร่างของหลอดมีลักษณะแตกต่างกัน 3 แบบ ได้แก่ แบบทรงกระบอกตรง แบบทรงกระบอกรูปตัวยู (U-shape) และ แบบทรงกระบอกรูปวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 1-15

(ก) แบบทรงกระบอกตรง

(ข) แบบทรงกระบอกรูปตัวยู

(ค) แบบทรงกระบอกรูปวงกลม

รูปที่ 1-15 หลอดฟลูออเรสเซนต์รูปทรงกระบอกรูปแบบต่างๆ

หลอดฟลูออเรสเซนต์มีวิวัฒนาการและเริ่มผลิตมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2482 หลอดฟลูออเรสเซนต์ยุคแรกมีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 38 mm (หรือ 1.5 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T12 (ปัจจุบันเลิกผลิตจำหน่ายแล้ว) ต่อมาหลอดประเภทนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีประสิทธิผลสูงขึ้นและใช้กำลังไฟลดลง โดยหลอดประเภทนี้เรียกว่าหลอดผอม ทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 26 มิลลิเมตร (หรือ 1 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T8 ซึ่งขนาดที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปได้แก่ 18 W 36 W และ 58W

ปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบฟลักซ์การส่องสว่างสูง ได้พัฒนาเทคโนโลยีสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในใหม่ เรียกว่า ไตรฟอสเฟอร์ (Tri-phosphor) โดยมีชื่อเรียกทางการค้าว่า หลอดขั้วเขียว เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ควบคุมปริมาณสารปรอทให้ต่ำเพียง 3-5 มิลลิกรัมต่อหลอด (ขณะที่ของเดิมมีปริมาณปรอทถึง 15-40 มิลลิกรัมต่อหลอด) ซึ่งใช้หลักการผสมแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว น้ำเงิน เคลือบสารเป็นสารเรืองแสงภายใน ทำให้แสงสีที่เปล่งออกมามีครบทุกเฉดสี ผลทำให้ดัชนีบอกความถูกต้องของสีของหลอดสูงขึ้น และทำให้ปริมาณฟลักซ์การส่องสว่างเพิ่มขึ้นถึง 30% มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงขึ้น และอายุการใช้งานนานขึ้น

สีของหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่นิยมใช้กันมี 3 แบบคือ Warm White, Cool White, และ Day Light โดยที่หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Warm White เหมาะที่จะใช้กับบริเวณที่ต้องการค่าความสว่างไม่เกิน 300 ลักซ์ แต่ต้องการความรู้สึกที่อบอุ่น หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Day Light เหมาะที่ใช้กับสถานที่ที่ต้องการค่าความสว่างสูง หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ Cool White เหมาะที่ใช้กับบริเวณที่ต้องการความสว่างไม่เกิน 500 ลักซ์

ต่อมาได้มีการพัฒนาหลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่คือหลอดฟลักซ์การส่องสว่างสูง ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Lamps: HE Lamps) หรือหลอด T5 หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่นี้มีขนาดเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 16 mm (หรือ 5/8 นิ้ว) มีรหัสเรียกว่า T5 แต่หลอดประเภทนี้จะต้องใช้ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ โดยขนาดมีทั้งที่เป็นแบบมาตรฐาน (Standard) ที่มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 14 W 21 W 28 W และ 35W และแบบความเข้มสูง (High output, HO) ที่มีขนาดต่างๆ ได้แก่ 24W 39W 54W และ 80W หากจะเปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด T5 T8 และ T12 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1-8 จะเห็นได้ว่าพัฒนาการของ T5 ทำให้ได้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ตารางที่ 1-8 การเปรียบเทียบปริมาณแสง และประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด T5 T8 และ T12

ประเภทหลอด	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	ความยาว (นิ้ว)	ปริมาณแสง (ลูเมน)		ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (ลูเมน ต่อ วัตต์)
			เริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยตลอดอายุการใช้งาน	
T5 มาตรฐาน	14	22	1,350	1,269 – 1,275	96
	21	34	2,100	1,974 – 2,000	100
	28	46	2,900	2,726 – 2,750	104
	35	58	3,650	3,431 – 3,450	104
T5 ความเข้มสูง	24	22	2,000	1,880 – 1,895	83
	39	34	3,500	3,290 – 3,320	90
	54	46	5,000	4,700 – 4,740	93
	80	58	7,000	6,580 – 6,650	88
T12	40	48	3,050 – 3,250	2,775 – 2,950	81
	34	48	2,650 – 2,800	2,430 – 2,520	82
T8	32	48	2,700 – 2,850	2,550 – 2,710	89
ที่มา: http://dsm.egat.co.th/t5/t5vst8.php: 27/11/2007					

2) หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) หลอดประเภทนี้เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ โดยหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์นี้มีอายุการใช้งานประมาณ 8,000 ชั่วโมง และประหยัดไฟได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ เนื่องจากหลอดประเภทนี้มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ ดังนั้นจึงสามารถใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ได้ในบางพื้นที่หรือบางกิจกรรม โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องมีการเปิดไฟทิ้งไว้เป็นเวลานาน เช่น ไฟส่องสว่างทางเดิน เป็นต้น

สำหรับการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เพื่อทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ เช่น การส่องสว่างในสำนักงานนั้น จะต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีลักษณะของแสงที่เป็นจุด ดังนั้นหากใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งลักษณะของแสงเป็นแนวยาวจะทำให้เกิดเงาขึ้นเป็นจำนวนมาก หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีทั้งแบบบัลลาสต์แยก และแบบบัลลาสต์ในตัว ซึ่งมีรูปร่างลักษณะดังรูปที่ 1-16 และข้อมูลทั่วไปเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพพลังงานได้แสดงไว้ในตารางที่ 1-9

ก) แบบบัลลาสต์แยกภายนอก

ข) แบบบัลลาสต์ในตัว

รูปที่ 1-16 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ

ตารางที่ 1-9 ข้อมูลทั่วไปของหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง(lm/W)
บัลลาสต์แยกภายนอก	8	360	45
	14	720	51.5
	18	1,000	55.6
บัลลาสต์ในตัว	8	420	52.5
	11	650	59.1
	15	950	63.4
	23	1,350	58.7

3) หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent) หลอดประเภทนี้มีหลักการทำงาน คือ เมื่อรับไฟผ่านจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดพิเศษเข้ามาที่ขดลวดปฐมภูมิที่พันอยู่บนแกนเฟอร์ไรต์ ตัวหลอดที่คล้องอยู่ในแกนเฟอร์ไรต์เสมือนเป็นทุติยภูมิ ไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจากขดลวดปฐมภูมิ จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นที่รอบตัวหลอด ทำให้เกิดแรงดันสูงเหนี่ยวนำขึ้นที่หลอด ส่งผลให้อิเล็กตรอนภายในหลอดเกิดการแตกตัวและวิ่งไปกระทบกับอะตอมปรอทปล่อยรังสียูวี และผ่านสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในผิวหลอดกลายเป็นแสงที่มองเห็นได้ ซึ่งหลักการเปล่งแสงคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป เนื่องจากหลอดประเภทนี้ไม่มีขั้วหลอด จึงมีอายุการใช้งานนาน เช่น หลอดขนาด 100-150 W มีอายุการใช้งานนานถึง 60,000 ชั่วโมง มีค่าฟลักซ์การส่องสว่าง 8,000-12,000 lm และประสิทธิภาพ 80 lm/W ลักษณะและข้อมูลทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำแสดงดังรูปที่ 1-17 และตารางที่ 1-10

รูปที่ 1-17 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ

ตารางที่ 1-10 ข้อมูลทั่วไปของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ อายุการใช้งานเฉลี่ย 60,000 ชั่วโมง

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
100	8,000	80
150	12,000	80

3. หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium)

เป็นหลอดที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างสูงที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด คือจะมีค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง 100 – 189 lm/W หลอดโซเดียมความดันต่ำจะใช้ก๊าซนีออน (Neon) และก๊าซอาร์กอน (Argon) ช่วยในการจุดติดหลอด โดยในการดีสชาร์จจะทำให้ผนังหลอดแก้วร้อนขึ้น ซึ่งจะทำให้โซเดียมกลายเป็นไอให้แสงสีเหลือง หลอดนี้มีช่วงเวลาที่ใช้ในการจุดติดหลอดและช่วงเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) 12-15 นาที ข้อมูลทั่วไปแสดงดังตารางที่ 1-11

เนื่องด้วยประสิทธิผลการส่องสว่างที่สูงของหลอดโซเดียมความดันต่ำ หลอดชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ต้องเปิดไฟไว้เป็นระยะเวลานาน หลอดชนิดนี้ให้ความเพี้ยนสีสูง จึงไม่ควรนำไปใช้กับกิจกรรมหรือบริเวณที่ต้องความถูกต้องของสีสูง

รูปที่ 1-18 หลอดโซเดียมความดันต่ำ

ตารางที่ 1-11 ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันต่ำ อายุการใช้งานเฉลี่ย 14,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
ชนิดธรรมดา	35	4,500	123
	55	7,800	148
	90	13,000	146
	135	20,800	161
	180	32,500	179
ชนิดปรับปรุงประสิทธิผลการส่องสว่าง	18	1,800	100
	26	3,600	144
	36	5,800	171
	66	10,500	172
	91	17,000	189
	180	32,500	180.6

4. หลอดไอปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury)

หรือหลอดแสงจันทร์ เป็นหลอดดีสชาร์จความดันสูงชนิดแรกที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งาน เพื่อใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดชนิดนี้ที่ใช้เป็นไฟส่องสว่างสำหรับไฟถนนในซอย หลักการทำงานของหลอดไอปรอทความดันสูงอาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้ คือ ช่วงจุดหลอด (Ignition) ช่วงกำลังเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) และช่วงสภาวะคงตัว (Stabilization)

- ช่วงจุดหลอด (Ignition) เกิดจากการทำงานของขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary Electrode) ของหลอด โดยเมื่อเริ่มจุดหลอดจะเกิดแรงดันคร่อมระหว่างขั้วไฟฟ้าหลักและขั้วไฟฟ้าช่วย ซึ่งทำให้เกิดการดีสชาร์จของก๊าซ ตัวต้านทานที่ต่ออยู่ที่ขั้วไฟฟ้าจะเป็นตัวจำกัดกระแส จนสุดท้ายจะเกิดเป็นอาร์กดีสชาร์จระหว่างขั้วไฟฟ้าหลัก ซึ่งในช่วงจุดหลอดนี้ หลอดจะทำงานที่สภาวะความดันต่ำ และหลอดจะเกิดแสงสีฟ้าขึ้น
- ช่วงกำลังเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) หลังจากจุดหลอดแล้ว อาร์กดีสชาร์จที่เกิดขึ้นในหลอดจะเป็นตัวทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ปรอทกลายเป็นไอ โดยแสงที่ได้จากหลอดจะยังมีค่าไม่เต็มที่จนกว่าปรอทในหลอดดีสชาร์จจะกลายเป็นไอทั้งหมด เมื่อความดันไออยู่ในช่วงประมาณ 2-15 kpa แสงจะเริ่มมีสีขาว ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ตั้งแต่จุดไส้หลอดจนถึงเวลาที่หลอดให้แสงสว่าง 80% จะมีค่าประมาณ 4 นาที
- ช่วงสภาวะคงที่ (Stabilization) เป็นช่วงที่หลอดให้ความสว่างเต็มที่ซึ่งจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 5 นาที

หลอดไอปรอทความดันสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่แบบใส และแบบเคลือบสารช่วยกระจายแสง (ดังรูปที่ 1-19) และแบ่งตามโครงสร้างวงจรได้เป็น 2 แบบ คือ แบบใช้บัลลาสต์ กับแบบไม่ใช้บัลลาสต์ ในหลอดแบบใช้บัลลาสต์ มีค่าประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 40-60 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 14,000 ชั่วโมง และฟลักซ์การส่องสว่างจะลดลงตามอายุการใช้งานของหลอด

หลอดไอปรอทความดันสูงแบบใส

หลอดไอปรอทความดันสูงแบบเคลือบ

รูปที่ 1-19 หลอดไอปรอทความดันสูงแบบใสและแบบเคลือบ

สำหรับในหลอดแบบไม่ใช้บัลลาสต์ช่วยจุดหลอด บางครั้งถูกเรียกว่า หลอดแสงผสม (Blended Light Lamp) เพื่อใช้ทดแทนหลอดไส้ที่กำลังไฟฟ้าสูงๆ ภายในจะมีไส้หลอดลักษณะคล้ายหลอดไส้ ให้ความร้อนและเปล่งแสงในช่วงแรกทันทีเพื่อช่วยกระตุ้นให้ก๊าซภายในหลอดอาร์กแตกตัวและเปล่งแสงจริงให้หลอดอาร์กสว่างเต็มที่ หลอดชนิดนี้มีประสิทธิผลการส่องสว่างไม่สูงมากนัก คือ 19-28 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 6,000 ชั่วโมง ซึ่งสั้นกว่าแบบใช้บัลลาสต์ แต่มีข้อดีคือเมื่อเปิดไฟ จะมีแสงสว่างที่ได้จากหลอดไส้ในช่วงแรกทันที ทำให้ส่องสว่างพื้นที่ได้ไวกว่า

ตารางที่ 1-12 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแบบใช้บัลลาสต์ อายุการใช้งานเฉลี่ย 14,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
ใส	125	5,900	47.2
	400	21,000	52.5
เคลือบ	50	1,800	36
	80	3,700	46.3
	125	6,300	50.4
	250	13,000	52
	400	22,000	55
	700	38,000	54.3
	1,000	58,000	58
เคลือบแบบพิเศษ	50	2,000	40
	80	4,000	50
	125	6,500	52
	250	14,000	56
	400	24,000	60

ตารางที่ 1-13 ข้อมูลทั่วไปของหลอดไอปรอทความดันสูงแบบ*ไม่ใช้บัลลาสต์* อายุการใช้งานเฉลี่ย 6,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
ใส	160	3,100	19.4
	250	5,600	22.4
	500	14,000	28

5. หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium)

เป็นหลอดที่ให้ประสิทธิภาพการมองเห็นที่ดีที่สุดเนื่องจากหลอดให้เปล่งแสงสีทอง-เหลือง ซึ่งเป็นสีที่ไวต่อการมองเห็นของมนุษย์ หลอดประเภทนี้มีอายุการใช้งานยาวนานจึงนิยมใช้สำหรับการให้แสงสว่างภายนอกอาคาร อาทิเช่น ที่จอดรถ ลานรับ-ส่งสินค้า ไฟสนามกีฬา เป็นต้น มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 1-20

รูปที่ 1-20 หลอดโซเดียมความดันสูง

หลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดที่มีประสิทธิผลการส่องสว่างค่อนข้างสูง 70 – 140 lm/W แต่ให้ความถูกต้องของสีค่อนข้างต่ำ (CRI 23) ยกเว้นรุ่นที่มีการปรับปรุงคุณภาพของแสงซึ่งจะให้ความถูกต้องของสีประมาณ 60 – 85 หลอดไฟประเภทนี้ ต้องจุดไส้หลอดด้วยพัลส์แรงดันสูงประมาณ 1.8-5 kV และต้องใช้เวลาในการอุ่นไส้หลอดประมาณ 3 – 7 นาที แสงที่ออกมาจากหลอดจึงจะสว่างเต็มที่

หลอดโซเดียมความดันสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ คือ หลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐาน หลอดโซเดียมความดันสูงแบบประสิทธิผลการส่องสว่างสูง หลอดโซเดียมที่ออกแบบให้ใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง และหลอดโซเดียมความดันสูงที่มีความถูกต้องของสีสูง หลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐานใช้เซนอน (Xenon) เป็นก๊าซช่วยจุดติดที่ความดันประมาณ 3 kPa โดยต้องใช้อิกนิเตอร์ช่วยในการทำให้หลอดติด (ยกเว้นหลอดที่มีขนาดกำลังไฟต่ำ เช่น 50W และ 70W เนื่องจากว่าแรงดันจุดหลอด (Ignition Voltage) มีค่าสูงถึง 2.8 kV

หลอดโซเดียมความดันสูงแบบประสิทธิผลการส่องสว่างสูง สามารถทำได้โดยเพิ่มความดันของ Xenon เป็นประมาณ 30 kPa ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างเพิ่มขึ้นจากหลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐานประมาณ 15%

หลอดโซเดียมที่ออกแบบให้ใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง หลอดประเภทนี้สามารถใช้กับบัลลาสต์หลอดไอปรอทความดันสูงได้ และไม่ต้องใช้อิกนิเตอร์ (Igniter) เนื่องจากมี Build-in Starting Aid หลอดโซเดียมความดันสูงประเภทนี้เมื่อใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง จะใช้กำลังไฟฟ้าลดลง 15% และให้ฟลักซ์การส่องสว่างเพิ่มขึ้น 40 % ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันสูง แสดงไว้ในตารางที่ 1-14

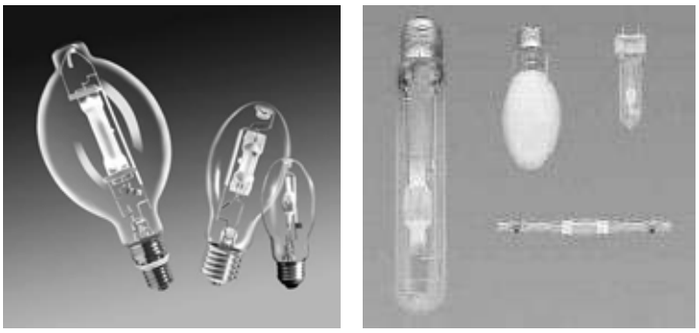
ตารางที่ 1-14 ข้อมูลทั่วไปของหลอดโซเดียมความดันสูง อายุการใช้งานเฉลี่ย 18,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
ชนิดมาตรฐาน	50	3,450	69
	70	5,600	80
	150	14,500	96.7
	250	26,500	106
	400	49,000	122.5
	1000	130,000	130
ชนิดประสิทธิผลการส่องสว่างสูง	100	10,000	100
	150	16,000	106.7
	250	30,000	120
	400	56,000	140
ชนิดใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง	220	20,000	91
	350	34,500	98.6

6. หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide)

มีลักษณะการทำงานคล้ายหลอดไอปรอทความดันสูง แต่แตกต่างกันตรงที่ภายในหลอดประเภทนี้จะเติมสารประกอบเมทัลฮาไลด์เข้าไปกับปรอท เพื่อทำให้ได้สีของแสงดีขึ้น ดังนั้นหลอดเมทัลฮาไลด์นี้จึงมีคุณสมบัติทางสีที่ดี เหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการแสงสีที่ดี เช่น สนามกีฬา และโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการเห็นแสงสีของวัสดุ เป็นต้น

ประสิทธิผลการส่องสว่างของหลอดเมทัลฮาไลด์ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้า แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าประมาณ 65 - 95 ลูเมนต่อวัตต์ อายุการใช้งานหลอดประเภทนี้จะมีอายุการใช้งานน้อยกว่าหลอดไอปรอทความดันสูง คือมีอายุการใช้งานประมาณ 9,000-20,000 ชั่วโมง ลักษณะและข้อมูลทั่วไปของหลอดเมทัลฮาไลด์แสดงอยู่ในรูปที่ 1-21 และตารางที่ 1-15 ตามลำดับ



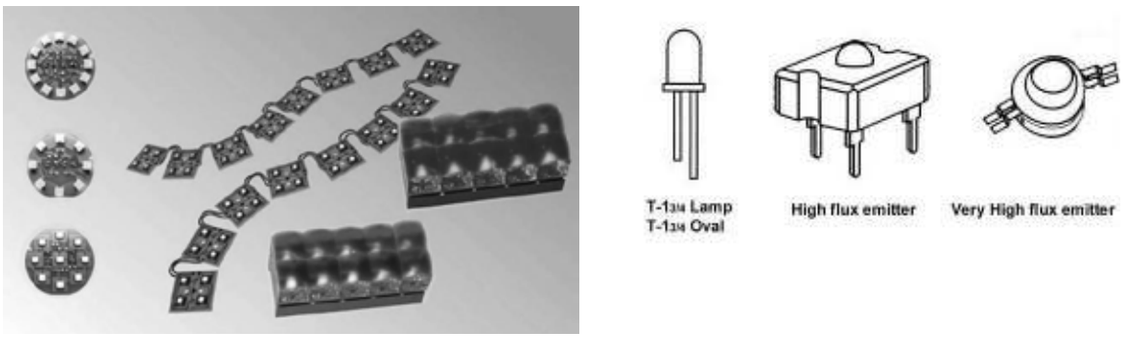
รูปที่ 1-21 หลอดเมทัลฮาไลด์

ตารางที่ 1-15 ข้อมูลทั่วไปของหลอดเมทัลฮาไลด์ อายุการใช้งานเฉลี่ย 9,000-20,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
ขั้วเดี่ยว (Tubular)	250	17,000	68
	400	31,500	78.8
	1000	81,000	81
	2000	189,000	94.5
ขั้วเดี่ยว (Double	70	5,100	72.9
	150	11,000	73.4
สองขั้ว	70	5,500	78.6
	150	11,250	75
	250	20,000	80

7. หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode , LED)

หลอดแอลอีดีเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการเปล่งแสงและถูกควบคุมการกระจายแสงด้วยเลนส์ที่เคลือบไว้ เมื่อใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง อิเล็กตรอนจะผ่านไปตามอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ทำให้เกิดแสงออกมาตามความถี่ของแสงที่ได้กำหนดไว้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีหลอดแอลอีดีให้มีความเข้มการส่องสว่างสูงจนสามารถใช้กับงานด้านแสงสว่างได้ซึ่งมีข้อดีเมื่อเทียบกับหลอดประเภทอื่น คือ ขนาดเล็กกระทัดรัด ทนการสั่นสะเทือนสูง เปิดปิดได้บ่อยครั้ง อายุยาวนาน มีประสิทธิผลด้านแสงสูง ไม่มีการแผ่รังสียูวีและอินฟราเรด ไม่มีกำลังสูญเสียในการจุดหลอด ซึ่งแอลอีดีสมัยใหม่ที่นิยมใช้งานด้านนี้คืออะลูมินั่มอินเดียมแกลเลียมฟอสไฟด์ (Aluminum indium gallium phosphide, AlInGaP) และอินเดียมแกลเลียมไนไตรด์ (Indium gallium nitride, InGaN) โดยแบ่งกลุ่มหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงดังนี้ คือ หลอดแอลอีดีทรงวงรี หลอดแอลอีดีฟลักซ์การส่องสว่างสูง (High flux emitter) และหลอดแอลอีดีฟลักซ์การส่องสว่างสูงมาก (Very high flux emitter) ซึ่งนิยมใช้กับงานป้ายโฆษณา ป้ายสัญลักษณ์ และไฟสัญญาณจราจร หรืองานที่ต้องการลักษณะการให้แสงที่มีความเข้มการส่องสว่างสูง โดยหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงขนาด 1 วัตต์ สีแดงจะให้ประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 37 ลูเมนต่อวัตต์ สีเขียวจะให้ประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ สีน้ำเงินจะให้ประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 12 ลูเมนต่อวัตต์ และสีขาวจะให้ประสิทธิผลการส่องสว่างประมาณ 34 ลูเมนต่อวัตต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 50,000 ชั่วโมง

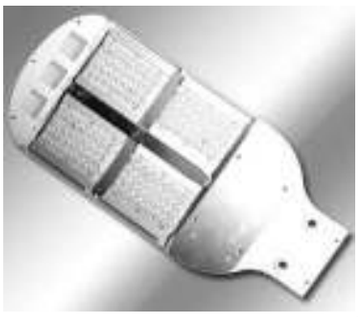


รูปที่ 1-22 หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูง

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาแอลอีดีให้อยู่ในรูปหลอดไฟที่มีขั้วหลอดแบบทั่วไป เช่น E27 และ E40 ซึ่งสามารถเปลี่ยนทดแทนหลอดไส้ หรือหลอดปล่อยประจุความเข้มแสงสูง (HID) ได้เลย สามารถใช้ได้ทั้งในและนอกอาคาร และในสถานที่ที่ไม่ต้องการการเกิดประกายไฟช่วงจุดหลอด ทำงานได้ในอุณหภูมิช่วงกว้างถึง -40 ถึง 180 องศาฟาเรนไฮน์ ความเสื่อมทางแสงต่ำ จุดติดเร็ว ไม่ต้องใช้บัลลาสต์ในหลอดแอลอีดีย่อยแต่ละตัวจะมีขนาดเล็ก มีเลนส์ค่าสะท้อนแสงสูงอยู่ในตัว และบังคับทิศทางแสงส่องลงด้านล่างเป็นหลัก จึงไม่จำเป็นต้องใช้โคมที่มีการสะท้อนแสงสูง มีแสงบาดตาต่ำ ประหยัดเงินค่าบำรุงรักษา หลอดประเภทนี้ยังไม่นิยมใช้แพร่หลายเนื่องจากมีราคาสูงอยู่มาก ข้อมูลทั่วไปของหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงแสดงไว้ในตารางที่ 1-16

ก) หลอดขนาด 5 W 300 lm ขั้วหลอด E27

ข) หลอดขนาด 28 W 2,100 lm ขั้วหลอด E40



ค) หลอดสำหรับไฟถนนชนิดสำเร็จรูปทั้งดวงโคม

รูปที่ 1-23 หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงที่ออกแบบใช้ทดแทนหลอดไฟแบบทั่วไป

ตารางที่ 1-16 ข้อมูลทั่วไปของหลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงที่ออกแบบในรูปหลอดไฟขั้วหลอดแบบทั่วไป อายุการใช้งานเฉลี่ย 50,000 ชั่วโมง

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
ขั้วหลอดแบบ E27	5	300	60
ขั้วหลอดแบบ E40 และแบบสำเร็จรูปทั้งดวงโคม	28	2,100	75
	48	3,300	68.8
	60	4,400	73.4
	80	6,000	75
	100	7,600	76
	125	9,400	75.2
	140	10,600	75.7
	180	13,800	76.7

จากประเภทหลอดไฟที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด สามารถทำการสรุปเปรียบเทียบข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1-17

ตารางที่ 1-17 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟ

ชนิดหลอด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)	อายุการใช้งานเฉลี่ย (h)
อินแคนเดสเซนต์	15-500	120-8,400	8-17	1,000
ฮาโลเจนแรงดันปกติ	75-2,000	975-50,000	13-25	2,000
ฟลูออเรสเซนต์ ฟลักซ์การส่องสว่างสูง	18-36	1,300-3,350	72-93	12,000
ฟลูออเรสเซนต์ฟลักซ์การส่องสว่างสูง ประสิทธิภาพสูง	14-35	1,350-3,650	93-104	20,000
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์แยกภายนอก	8-18	360-1,000	45-56	8,000
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์ในตัว	8-23	420-1,350	53-64	8,000
ฟลูออเรสเซนต์ แบบเหนี่ยวนำ	100-150	8,000-12,000	80	60,000
โซเดียมความดันต่ำ (ประสิทธิผลการส่องสว่างสูง)	18-180	1,800-32,500	100-181	14,000
ไอปรอทความดันสูง (เคลือบ) แบบใช้บัลลาสต์	50-1,000	1,800-58,000	36-58	14,000
ไอปรอทความดันสูง แบบไม่ใช้บัลลาสต์	160-250	3,100-5,600	19-22	6,000
โซเดียมความดันสูง (มาตรฐาน)	50-1,000	3,450-130,000	69-130	18,000
โซเดียมความดันสูง ประสิทธิผลการส่องสว่างสูง	100-400	10,000-56,000	100-140	18,000
เมทัลฮาไลด์ (ขั้วเดี่ยว)	70-2,000	5,100-189,000	73-95	20,000
เมทัลฮาไลด์ (สองขั้ว)	70-2,000	5,500-220,000	79-80	9,000
แอลอีดีสมรรถนะสูง ขั้วหลอดแบบ E27	5	300	60	50,000
แอลอีดีสมรรถนะสูง ขั้วหลอดแบบ E40	28-180	2,100-13,800	75-77	50,000

<u>การพิจารณาเลือกใช้หลอดไฟฟ้า</u>

การเลือกหลอดไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอาจพิจารณาได้จากค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง โดยหลอดที่มีประสิทธิภาพพลังงานที่สูงหมายถึงหลอดไฟฟ้านั้นมีค่าประสิทธิผลการส่องสว่าง ซึ่งประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดไฟฟ้าที่มีค่าประสิทธิภาพพลังงานที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม โดยหลอดแต่ละประเภทมีความแตกต่างด้านการนำไปใช้งาน ดังนั้น จึงไม่ควรพิจารณาเฉพาะค่าประสิทธิผลการส่องสว่างเพียงอย่างเดียว ยังต้องมีปัจจัยอื่นประกอบอีกมากมาย เช่น ฟลักซ์การส่องสว่าง กำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบ อายุการใช้งาน ความถูกต้องของสี ราคาหลอดไฟ ประเภทกิจกรรม และข้อเปรียบเทียบด้านการใช้งานในที่ต่างๆ เป็นต้น ตารางที่ 1-18 ได้แสดงสรุปเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆ ของหลอดไฟเพื่อประโยชน์ในการตัดสินเลือกใช้หลอดไฟ

ตารางที่ 1-18 การเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆ ของหลอดประเภทต่างๆ

	Incandescent	Tubular fluorescent	Compact fluorescent	Discharge
ราคาต้นทุน	ถูก	ต่ำ	ปานกลาง	ปานกลาง – สูง
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ – ต่ำมาก
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	15 – 1,500	8 – 150	9 – 36	35 – 3,500
อายุ (ชั่วโมง)	1,000	5,000 – 20,000	8,000	4,000 – 24,000
อัตราการเสื่อมของลูเมน	15%	15 – 20%	15-30%	10-40%
ความถูกต้องของสี[1]	ดี	ดี	ปานกลาง – ดี	น้อย – ดีมาก
ระยะเวลาในการจุดหลอด	ทันที	หน่วงเล็กน้อย	หน่วงเล็กน้อย	5 – 10 นาที
ความสูงที่ติดตั้ง	สูงสุด 6 เมตร	สูงสุด 6 เมตร	สูงสุด 6 เมตร	6 – 30 เมตร
การใช้งาน	ระดับแสงต่ำๆ หรือแสงสว่างที่ใช้ในการตบแต่ง เช่น ตู้โชว์	แสงสว่างภายในทั่วไป โรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ สำนักงาน, โรงเรียน บ้าน	แสงสว่างภายในทั่วไป โรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ สำนักงาน โรงเรียนบ้าน	แสงสว่างภายนอกไฟถนน ไฟตกแต่ง แสงสว่างภายในที่ต้องติดตั้งในระดับที่สูง
อื่นๆ	แรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อแสงสว่างจากหลอด	แรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อแสงสว่างจากหลอด ความถี่ในการเปิดปิดจะทำให้อายุของหลอดสั้นลง	สามารถใช้ติดตั้งแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ได้โดยตรง	ต้องใช้คู่กับบัลลาสต์ที่เฉพาะของหลอด, การเลือกใช้ประเภทของหลอดชนิดนี้ต้องเหมาะสมกับสถานที่ใช้งาน

หมายเหตุ [1] ดัชนีบอกความถูกต้องของสี (Color Rendering Index, CRI) เป็นการวัดค่าของหลอดไฟว่ามีประสิทธิภาพในการแสดงคุณลักษณะของสีเป็นอย่างไรโดยจะใช้ค่าดัชนีบอกความถูกต้องของสีเป็นตัวเปรียบเทียบ ดังนั้นค่า CRI จะเป็นตัวบ่งชี้ความถูกต้องของสีของหลอดไฟชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับความถูกต้องของสีที่ได้จากแสงอาทิตย์ซึ่งมีค่า CRI เท่ากับ 100

2.2.2 การแยกวงจรสวิทช์ควบคุมหลอดไฟ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานผลิตอาหารกระป๋องเปิดดำเนินการ 15 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 843,315.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 2,398,888.43 บาท/ปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.85 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม คณะทำงานของทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการได้ร่วมกันสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานของสถานประกอบการ จากการสำรวจพบว่า ในส่วนของไลน์การผลิตได้มีการติดตั้งสวิทช์ที่ควบคุมการเปิด-ปิดไฟ ที่เดียวคือเมื่อเปิดสวิทช์ หลอดไฟจะติดหมดทุกดวง ซึ่งทำให้ใช้พลังงานมากเกินความจำเป็น

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

หลังจากทีมงานได้ทำการสำรวจสภาพการใช้งานของระบบแสงสว่าง ในส่วนของไลน์การผลิตพบว่าสวิทช์ที่ควบคุมการเปิดปิดไฟ มีการเปิดที่เดียวคือเมื่อเปิดสวิทช์ หลอดไฟจะติดหมดทุกดวงทั้งที่พื้นที่บางส่วนไม่จำเป็นต้องใช้แสงสว่างมากนัก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นทางทีมงานจึงเสนอที่จะแยกสวิทช์ควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟเป็นโซนเพื่อการประหยัดพลังงาน

รูปสภาพก่อนการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางโรงงานควรจะติดตั้งสวิทช์แยกควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟเป็นโซน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจและตรวจวัดการใช้งานของระบบแสงสว่าง
2. วิเคราะห์และประเมินลักษณะงาน
3. ดำเนินการปรับปรุงโดยการติดตั้งสวิทช์แยกควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟเป็นโซนในส่วนของไลน์การผลิต
4. ตรวจสอบ ติดตามผล
5. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้

สภาพหลังปรับปรุง

จากเดิมในส่วนของไลน์การผลิตนั้น มีสวิทซ์ที่ควบคุมการทำงานของหลอดไฟเพียงที่เดียว ทางทีมงานจึงได้ทำการติดตั้งสวิทซ์แยกควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟเป็นโซน เพื่อลดการใช้พลังงาน หลังจากทำการปรับปรุง แล้วทำให้ประหยัดพลังงานได้ 12,978.00 kWh /ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 36,857.52 บาท/ปี

รูปสภาพหลังการปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	1	เดือน	
เงินลงทุน	1,500	บาท	
ผลประหยัดที่ได้	36,857.52	บาท/ปี	(คิดเป็น 0.106 toe)
ระยะเวลาคืนทุน	0.04	ปี	

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 2 * 36 วัตต์ ก่อนปรับปรุง	=	382 หลอด
จำนวนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 2 * 36 วัตต์ หลังปรับปรุง ที่ปิดได้	=	112 หลอด
กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= (36+10) x 112 หลอด/ 1000	
	= 5.15	kW
ชั่วโมงการทำงาน	= 12	ชั่วโมง
จำนวนวันที่ทำงาน/ปี	= 300	วัน
ค่าพลังงานไฟฟ้า	= 2.84	บาท / หน่วย
Load Factor	= 70%	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	= 5.15 kW x 12 x 300 x 70%	
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= 12,978.00	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 12,978.00kWh/ปี x 2.84 บาท	
	= 36,857.52	บาท/ปี
คิดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	= 12,978.00 x 85.21/1000000	
	= 1.106	toe
คิดเป็นเงินลงทุน	= 1,500	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= 0.04	ปี

2.2.3 การติดตั้งสวิตช์กระตุกควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานได้ติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 W ใช้ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กในส่วนสำนักงานจำนวน 20 โคม โคมละ 2 หลอด เปิดใช้งาน 16 ชั่วโมง/วัน ทำงาน 300 วัน/ปี และมีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย/หน่วยเท่ากับ 3.43 บาท

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

ทีมอนุรักษ์พลังงานพบว่า การใช้งานหลอดฟลูออเรสเซนต์ในส่วนสำนักงานของโรงงาน ในช่วงพักและช่วงไม่มีพนักงานทำงานอยู่ จะมีการเปิดไฟแสงสว่างทิ้งไว้ หากทำการปิดตั้งแต่ 11.30 -12.30 น. และ 17.00-18.00 น. จะช่วยประหยัดพลังงานได้

รูปหลอดฟลูออเรสเซนต์ไฟฟ้าแสงสว่าง ก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สำรวจการใช้งาน
2. ระดมความคิดหาแนวทางการปรับปรุง
3. วิเคราะห์ศักยภาพการประหยัดพลังงาน
4. ดำเนินการติดตั้งสวิทช์กระตุกหลอดฟลูออเรสเซนต์และประเมินผล
5. ขยายผล

สภาพหลังการปรับปรุง

อยู่ระหว่างการดำเนินการ (จำนวนที่สามารถปิดได้ 20 หลอดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตั้งแต่ 11.30-12.30 น. และ 17.00-18.00 น.)

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

กำลังไฟฟ้าที่ใช้	=	0.046	kW
กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ x จำนวนหลอดที่ปิดได้	
	=	0.046 x 20	
	=	0.92	kW
พลังงานที่ประหยัดได้	=	0.92 kW x 2 ชั่วโมง/วัน x 300 วัน/ปี	
	=	552.00	kWh/ปี
เทียบเท่าน้ำมันดิบ 552.00 x 85.21/1000000 = 0.047			toe/ปี
คิดเป็นผลประหยัด	=	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง x ราคาค่าไฟฟ้า	
	=	552.00 x 3.43	
	=	1,893.36	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าสวิทช์กระตุกควบคุมเปิด-ปิด 400.00 บาท

ระยะเวลาคืนทุน	=	เงินลงทุน / ผลประหยัด	
	=	400.00 / 1,893.36	
	=	0.21	ปี

สรุปมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน การใช้สวิตช์กระตุกควบคุมการเปิด-ปิดหลอดไฟ

ระยะเวลาดำเนินการ	อยู่ระหว่างการดำเนินการ	
เงินลงทุน	400.00	บาท
พลังงานที่ประหยัดได้	552.00	kWh/ปี
คิดเป็น	0.047	toe/ปี
ผลประหยัดที่ได้	1,893.36	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.21	ปี

2.2.4 การใช้สวิทช์แสงควบคุมการปิด-เปิดหลอดไฟ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ส่วนการผลิตของโรงงานมีการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์จำนวน 644 หลอด ขนาด 36 W ใช้ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็ก 10 W ในแผนกตัดแบบมีจำนวน 134 หลอด เพื่อเปิดให้แสงสว่างในพื้นที่ทำงาน ค่าความส่องสว่าง 202 Lux มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.79 บาท/kWh ทำงานวันละ 16 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

หลังจากดำเนินการแยกสวิทช์ควบคุมการเปิด-ปิดหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นบางส่วน แต่มีอีก 2 จุดที่สวิตช์ควบคุมอยู่ไกล มีการควบคุมลำบาก ทำให้ไม่สามารถปิดไฟฟ้าแสงสว่างที่เกินความจำเป็นในส่วนที่ไม่มีพนักงานทำงานอยู่ได้ จึงเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ หากทำการใช้โฟโต้เซลล์ควบคุม จะช่วยประหยัดพลังงานได้อย่างมาก

รูปแสดงหลอดไฟฟ้าแสงสว่างและการตรวจวัดค่าความส่องสว่างในโรงงาน ก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สำรวจการใช้งานและตรวจสอบเวลาการใช้งาน
2. ระดมความคิดหาแนวทางการปรับปรุง
3. วิเคราะห์ศักยภาพการประหยัดพลังงาน
4. ดำเนินการและประเมินผล
5. ขยายผล (ถ้ามี)

สภาพหลังการปรับปรุง

ทางโรงงานทำการใช้โฟโต้เซลล์ควบคุมจำนวน 2 จุด จุดละ 4 หลอด ลดได้เป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งจุดนี้อยู่ใกล้ประตูทางเข้าออก เป็นพื้นที่เก็บวัตถุดิบไม่มีพนักงานทำงานประจำอยู่ และลดการควบคุมโดยพนักงานที่ปิดบ้างไม่ปิดบ้าง จึงช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้เพิ่มเติม ตรวจวัดค่าความส่องสว่างได้ 102 Lux เพียงพอต่อการทำงาน

รูปแสดงการปิดหลอดที่ไม่จำเป็นและการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

การแยกวงจรสวิทช์ควบคุมหลอดไฟ คำนวณผลประหยัดได้ดังนี้

กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟก่อนปรับปรุง	= 0.046	kW
กำลังไฟฟ้าประหยัดได้	= 0.046 x 8	
	= 0.37	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= 0.37 kW x 8 ชั่วโมง/วัน x 300 วัน/ปี	
	= 883.20	kWh/ปี
เทียบเท่าน้ำมันดิบ 883.20 x 85.21/1000000	= 0.075	toe/ปี

ด้านค่าใช้จ่ายที่ลดลง

คิดเป็นผลประหยัด = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ x ราคาค่าไฟฟ้า

= 883.20 x 3.79

= 3,347.33 บาท/ปี

เงินลงทุน

ค่าโฟโต้เซลล์ควบคุมการเปิด-ปิด 2 ชุด ชุดละ 150.00 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน / ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

= 300.00 / 3,347.33

= 0.09 ปี

สรุปมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน การใช้สวิทช์แสงควบคุมการปิด-เปิดหลอดไฟ

เงินลงทุน	300.00	บาท
พลังงานที่ประหยัด	883.20	kWh/ปี
คิดเป็น	0.075	toe/ปี
ผลประหยัดที่ได้	3,347.33	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.09	ปี

2.2.5 การใช้โคมประสิทธิภาพสูงพร้อมแผ่นสะท้อนแสง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ระบบแสงสว่างในโรงงาน มีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ชนิดโคม 2:1 จำนวนมากเป็นโคมชนิดขาวขุ่น และใช้บัลลาสต์ ชนิดขดลวดธรรมดา และ มีการเปิดใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง/วัน 325 วัน/ปี เปิดใช้งาน 80 เปอร์เซ็นต์

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ด้วยคุณภาพแสงสว่างในพื้นที่สำนักงานและคัดแยกไม่เพียงพอ ประมาณ 350 ลักซ์ ทำให้ทางโรงงานมีแผนปรับปรุงในระบบแสงสว่าง ซึ่งทางโรงงานได้พิจารณา การเลือกซื้อแผ่นสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงมาทดแทนของเดิม

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เสนอให้มีการใช้แผ่นสะท้อนแสง ชนิดโคม 1:1 เปลี่ยนจากเดิม 2:1 จำนวน 50 แผ่น โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

1. ศึกษาสภาพการใช้งานในบริเวณต่างๆ
2. ทำการวัดค่าความสว่างก่อนการติดตั้งโคมไฟประสิทธิภาพสูงและก่อนการปลดหลอดฟลูออเรสเซนต์
3. ทดลองปลดหลอดฟลูออเรสเซนต์ ในแต่ละโคมไฟ
4. ติดตามผลการดำเนินมาตรการว่าความสว่างหลังการปลดหลอดได้ค่าตามมาตรฐานหรือไม่ และความสว่างหลังปรับปรุงมีผลกระทบต่อการทำงานของพนักงานหรือไม่

รูประบบแสงสว่างที่มีการเปิดใช้งานในโรงงาน (โคม 2:1)

หลังจากการประชุมเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นแล้ว ที่ประชุมจึงดำเนินการจัดทำรายงานต่อผู้บริหาร ซึ่งในรายงานประกอบด้วยเหตุผลของการดำเนินมาตรการ ประโยชน์ที่จะได้รับ การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการคำนวณผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับหลังการดำเนินการ

สภาพหลังปรับปรุง

ทางโรงงานได้ดำเนินการติดตั้งแผ่นสะท้อนสะท้อนแสง บริเวณส่วนสำนักงาน ห้องคัดแยก โดยได้มอบหมายให้ช่างเทคนิครับผิดชอบ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้เป็นจำนวนหนึ่ง

รูประบบแสงสว่างที่มีการเปิดใช้งานในโรงงาน (โคม + แผ่น สะท้อนแสง 1:1)

ตารางแสดงการคำนวณผลประหยัดพลังงาน

ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	โคมไฟฟ้าปัจจุบัน		หลอดไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน				บัลลาสต์ที่ใช้ปัจจุบัน		กำลังไฟฟ้า (W)		การใช้งาน			พลังงานไฟฟ้ารวม
		หลอดต่อโคม	จำนวน (โคม)	ชนิดหลอด	ขนาด (W)	จำนวนหลอด ใช้งาน	จำนวนหลอด ดับ	ชนิด	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (W/ตัว)	ติดตั้ง	ใช้งาน	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	(kWh/ปี)
1	ห้องตัดแต่ง	2	30	T 8	36	60	0	ขดลวด	10	2,760	2,760	12	325	80	8,611.2
รวมทั้งหมด			**30**							**2,760**	**2,760**				**8,611.2**

หลังปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	โคมไฟฟ้าปัจจุบัน		หลอดไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน				บัลลาสต์ที่ใช้ปัจจุบัน		กำลังไฟฟ้า (W)		การใช้งาน			พลังงานไฟฟ้ารวม
		หลอดต่อโคม	จำนวน (โคม)	ชนิดหลอด	ขนาด (W)	จำนวนหลอด ใช้งาน	จำนวนหลอด ดับ	ชนิด	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (W/ตัว)	ติดตั้ง	ใช้งาน	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	(kWh/ปี)
1	ห้องตัดแต่ง	1	50	T 8	36	50	0	ขดลวด	10	2,300	2,300	12	325	80	7,176.0
รวมทั้งหมด			**50**							**2,300**	**2,300**				**7,176.0**

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การใช้โคมไฟประสิทธิภาพสูงพร้อมแผ่นสะท้อนแสง

ระยะเวลาการดำเนินการ	3	เดือน
เงินลงทุน	16,500	บาท
ปริมาณพลังงานที่ลดลง	1,435.20	kWh/ปี (คิดเป็น 0.12 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	4,830.91	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	3.42	ปี

2.2.6 การเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ชนิดประหยัดพลังงาน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ระบบแสงสว่างในโรงงาน มีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ชนิดโคม 2:1 และ 1:1 จำนวนมาก ใช้บัลลาสต์ชนิดขดลวดธรรมดา มีการเปิดใช้งานวันละ 12 ชั่วโมง/วัน 300 วัน/ปี เปิดใช้งาน 80 เปอร์เซ็นต์

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาในโรงงานสูงถึง 430 V ทำให้บัลลาสต์ที่ใช้อยู่เกิดการไหม้ ทางโรงงานจึงพิจารณาการเลือกซื้อบัลลาสต์ประหยัดพลังงานทดแทนของเดิม

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เสนอให้มีการเปลี่ยนบัลลาสต์ชนิดขดลวดเดิม ที่มีการสูญเสียพลังงาน 10 วัตต์/ตัว มาเป็นบัลลาสต์การสูญเสียต่ำ การสูญเสียพลังงาน 6 วัตต์/ตัว จำนวน 60 ตัว โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

1. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง
2. ติดตาม และประเมินผลหลังปรับปรุง
3. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง
4. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

รูประบบแสงสว่างที่มีการเปิดใช้งานในโรงงาน

หลังจากการประชุมเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นแล้ว ที่ประชุมจึงดำเนินการจัดทำรายงานต่อผู้บริหาร ซึ่งในรายงานประกอบด้วยเหตุผลของการดำเนินมาตรการ ประโยชน์ที่จะได้รับ การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการคำนวณผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับหลังการดำเนินการ

สภาพหลังปรับปรุง

ทางโรงงานได้ดำเนินการเปลี่ยนบัลลาสต์ มาใช้ชนิดโลว์ลอส บริเวณส่วนสำนักงาน ห้องคัดแยก โดยได้มอบหมายให้ช่างเทคนิครับผิดชอบ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้เป็นจำนวนหนึ่ง

รูปบัลลาสต์โลว์ลอสที่ติดตั้งใช้งานในโรงงาน

ตารางแสดงการคำนวณผลประหยัดพลังงาน

ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	โคมไฟฟ้าปัจจุบัน		หลอดไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน				บัลลาสต์ที่ใช้ปัจจุบัน		กำลังไฟฟ้า (W)		การใช้งาน			พลังงานไฟฟ้ารวม
		หลอดต่อโคม	จำนวน (โคม)	ชนิดหลอด	ขนาด (W)	จำนวนหลอด ใช้งาน	จำนวนหลอด สำรอง	ชนิด	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (W/ตัว)	ติดตั้ง	ใช้งาน	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	(kWh/ปี)
1	สำนักงาน + ห้องคัดแต่ง	2	30	T8	36	60	0	ขดลวด	10	2,760	2,760	12	300	80	7,948.8
รวมทั้งหมด			30							2,760	2,760				7,948.8

หลังปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	โคมไฟฟ้าปัจจุบัน		หลอดไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน				บัลลาสต์ที่ใช้ปัจจุบัน		กำลังไฟฟ้า (W)		การใช้งาน			พลังงานไฟฟ้ารวม
		หลอดต่อโคม	จำนวน (โคม)	ชนิดหลอด	ขนาด (W)	จำนวนหลอด ใช้งาน	จำนวนหลอด สำรอง	ชนิด	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (W/ตัว)	ติดตั้ง	ใช้งาน	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	(kWh/ปี)
1	สำนักงาน + ห้องคัดแต่ง	2	30	T8	36	60	0	ขดลวด	6	2,520	2,520	12	300	80	7,257.6
รวมทั้งหมด			30							2,520	2,520				7,257.6

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ประหยัดพลังงาน (บัลลาสต์โลว์ลอส)

ระยะเวลาการดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	7,200	บาท
ปริมาณพลังงานที่ลดลง	691.20	kWh/ปี (คิดเป็น 0.06 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	2,315.80	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	3.10	ปี

2.2.7 การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟฟ้าชนิดประหยัดพลังงาน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานทำผลิตภัณฑ์จากพลาสติก เช่น ถ้วยรองน้ำยางพารา ชิ้นส่วนของเล่นเด็ก และชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือผลิตภัณฑ์ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ภายในอาคารผลิตของโรงงานมีการใช้ระบบแสงสว่างซึ่งหลอดที่ใช้เป็นหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ ชนิดบัลลาสต์เป็นแกนเหล็กแบบธรรมดาซึ่งมีความสูญเสียสูงและมีอุณหภูมิขณะทำงานสูง

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ภายในโรงงานมีการใช้โคมชนิดฟลูออเรสเซ็นต์ชนิดบัลลาสต์แกนเหล็กแบบธรรมดาจำนวน 51 ชุด ใช้กำลังไฟฟ้าต่อหลอดสูงถึง 46 วัตต์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หลอดประหยัดพลังงาน (T-5) และบัลลาสต์อิเล็คทรอนิกส์ จะพบว่าหลอดประหยัดพลังงาน (T-5) และบัลลาสต์อิเล็คทรอนิกส์ใช้กำลังไฟฟ้าต่อหลอด 30 วัตต์เท่านั้น

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการที่ทางบริษัทติดตั้งโคมไฟฟ้าที่ใช้หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์แบบธรรมดาขนาด 36 วัตต์ร่วมกับบัลลาสต์แกนเหล็กแบบธรรมดา ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 46 วัตต์ต่อหลอด ดังนั้นหากเปลี่ยนไปใช้หลอดไฟแบบ T5 ขนาด 28 วัตต์ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะให้ปริมาณแสงสว่างเท่ากันจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเพียง 30 วัตต์ต่อหลอด ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ 16 วัตต์ต่อหลอด โดยพิจารณาเฉพาะดวงโคมที่ใช้งานเป็นประจำวันละ 12 ชั่วโมง ประกอบด้วยดวงโคมไฟฟ้าแบบหลอดไฟ 1 หลอดต่อดวงโคมจำนวน 51 โคม

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

การใช้หลอดประหยัดพลังงาน (T-5) และบัลลาสต์อิเล็คทรอนิกส์

ลำดับ	รายการ	สัญลักษณ์	การคำนวณ	ปริมาณ	หน่วย
ก่อนการปรับปรุง (ใช้หลอดฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 36 วัตต์และบัลลาสต์แกนเหล็กแบบธรรมดา)					
1	จำนวนหลอด	N	Audit Data	51	หลอด
2	จำนวนบัลลาสต์	N_b	Audit Data	51	ตัว
3	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อหลอด	W_1	Audit Data	36.00	วัตต์
4	กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของบัลลาสต์	B_1	Audit Data	10.00	วัตต์
5	กำลังไฟฟ้ารวม	W_a	$Nx(W_1+B_1)$	2,346.00	วัตต์
6	กำลังไฟฟ้ารวม	kW_b	W_a /1,000	2.346	kW
หลังการปรับปรุง [ใช้หลอดประหยัดพลังงาน (T-5) และบัลลาสต์อิเล็คทรอนิกส์]					
7	จำนวนหลอดต่อโคม	n	Audit Data	1	หลอด/โคม
8	จำนวนหลอดฟลูออเรสเซ็นต์	N_1	N_1 x n	51	หลอด
9	จำนวนบัลลาสต์อิเล็คทรอนิกส์	N_2	Audit Data	51	ตัว
10	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อหลอด	W_2	Audit Data	28	วัตต์
11	กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียของบัลลาสต์	B_2	Audit Data	2.0	วัตต์
12	กำลังไฟฟ้ารวม	W_b	$N_1x(W_2+B_2)$	1,530.00	วัตต์
13	กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้รวม	kW_s	$(W_a-W_b)/1000$	**0.816**	kW
14	ชั่วโมงทำงานต่อวัน	H_d	Audit Data	12	ชม./วัน
15	วันทำงานต่อปี	D_y	Audit Data	350	วัน/ปี
16	Factor การใช้งาน	D_F	Audit Data	0.90	-
17	พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้รวม	E_s	$(kW_s)(H_d)(D_y)(D_F)$	**3,084.48**	kWh/ปี
18	เปอร์เซ็นต์ผลประหยัด	%Save	(kW_s/kW_b) x 100	**34.780**	%
19	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	E_c	ข้อมูลค่าไฟฟ้า	3.18	บาท/kWh
20	คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	B_{save}	E_cxE_s	**9,808.65**	บาท/ปี
การวิเคราะห์การลงทุน					
21	ราคาบัลลาสต์และหลอดต่อชุด	U_{C1}	ราคาตลาด	230.00	บาท
22	คิดเป็นเงินลงทุนทั้งสิ้น	Inv	$(U_{C1}+U_L)xN_1$	**11,730.00**	บาท
23	มีระยะเวลาคืนทุน	PB	Inv/B_{save}	**1.20**	ปี

รูปแสดงดวงโคมฟลูออเรสเซนต์แบบธรรมดาที่ใช้ในบริษัท

สภาพหลังปรับปรุง

บริษัทได้ดำเนินการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แบบธรรมดาเป็นแบบ T5 โดยทีมงานอนุรักษ์พลังงานได้เสนอการคำนวณผลการประหยัด ดังนี้

ระยะเวลาของการดำเนินการ	1	สัปดาห์
เงินลงทุน	11,730.00	บาท
ผลประหยัดที่ได้	9,808.65	บาท/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	3,084.48	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
คิดเป็น	1.696	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.20	ปี

2.3 การอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์

2.3.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง

มอเตอร์ไฟฟ้าคืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานมากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม โดยคาดว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าถึงร้อยละ 65 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด มอเตอร์ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมทั่วไปในปัจจุบันคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ซึ่งสามารถทำงานที่ความเร็วต่างๆ ได้ โดยขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าและเป็นแหล่งกำลังงานกลที่ใช้ขับเคลื่อนที่มีความหลากหลายและราคาค่อนข้างถูก มอเตอร์ส่วนใหญ่จะได้รับการออกแบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดเมื่อทำงานเต็มพิกัด แต่ในทางปฏิบัติมอเตอร์มักจะไม่ค่อยได้ทำงานตามที่ออกแบบไว้

รูปที่ 1-24 Cutaway view through stator of induction motor

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับประกอบด้วยวงจรที่มีการเหนี่ยวนำทางด้านสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งการเหนี่ยวนำนี้จะผ่านช่องว่างของอากาศที่อยู่ระหว่างส่วนที่หมุน (Rotor) และส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในขดลวด stator จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระแสสลับขึ้น มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ 1) Synchronous motor 2) Induction motor ในที่นี้จะเน้นไปที่ Induction motor ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัย โดยแทบจะกล่าวได้ว่ามีมากที่สุด โครงสร้างของ Induction motor มี 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ 1) Stator 2) Rotor

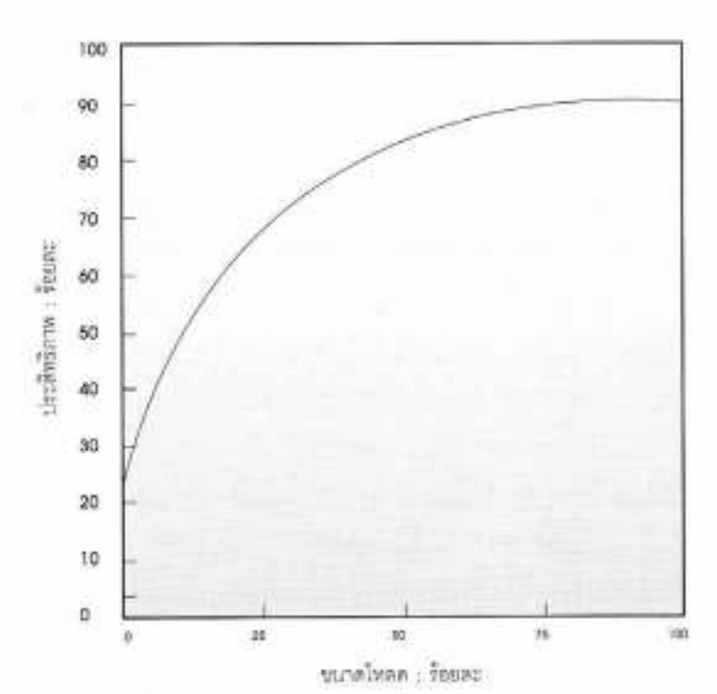
Stator ทำจาก Cast iron หรือ Steel โครง Stator จะประกอบด้วยแกนแผ่นอัด (Laminated core) ที่ทำจากแผ่นเหล็กไฟฟ้า (Electrical sheet steel) ที่มีค่าของความซาบซึมได้ (Permeability) สูง ซึ่งมีความสูญเสียจาก Hysteresis ต่ำ และมีค่าการสูญเสียเนื่องจากกระแสวน (Eddy current loss) ต่ำอีกด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นแล้วขดลวด Stator จะถูกจัดไว้เป็นหลายเฟส สำหรับการเปลี่ยนความเร็วรอบได้อีกด้วย ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นจาก Stator จะข้ามจากแกน Stator ผ่านช่องว่างอากาศไปยังแกน Rotor ได้

Rotor ของ Induction motor ประกอบด้วยแกนแผ่นอัดติดตั้งอยู่บนเพลา (Shaft) ซึ่งขดลวด Rotor จะวางอยู่ในช่องของแกน Rotor โดยมีการต่อแบบลัดวงจรไว้ (Short circuit) หรืออาจต่อเข้ากับความต้านทานที่อยู่ภายนอกก็ได้ กระแสไฟฟ้าในชุดขดลวด Stator จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในชุดขดลวด Rotor ในทิศทางที่ตรงข้ามกัน

<u>การเลือกขนาดของมอเตอร์</u>

โหลดสูงสุดที่จะให้มอเตอร์ทำงานนั้นมักมีค่าต่ำกว่าขนาดพิกัดของมอเตอร์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน ซึ่งบางครั้งเกิดขึ้นภายในโรงงานเอง ตัวอย่างเช่น การเผื่อขนาดของการออกแบบทางกล การเผื่อขนาดมอเตอร์โดยการใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่กว่าปกติเพื่อความน่าเชื่อถือของระบบขับเคลื่อน และเผื่อการเปลี่ยนแปลงหรือการเพิ่มการผลิตที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต

อุตสาหกรรมแต่ละประเภทมักมีการใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่กว่าปกติแตกต่างกัน อาจกล่าวได้ว่าโหลดเฉลี่ยที่มอเตอร์ทำงานโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับร้อยละ 65 ของขนาดพิกัดของมอเตอร์ ในหลายๆ กรณี ผู้ใช้อาจไม่สามารถเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีการติดตั้งมาเป็นชุดสำเร็จรูปพร้อมอุปกรณ์อื่นๆ ซึ่งผู้ผลิตอุปกรณ์มักจะใช้สภาวะทำงานหนักที่สุดในการเลือกขนาดของมอเตอร์สำหรับชุดอุปกรณ์นั้นๆ



รูปที่ 1-25 ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำมาตรฐานเทียบกับโหลด

ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะแปรเปลี่ยนตามขนาดพิกัด ตามระดับโหลดที่ทำงาน และขึ้นกับผู้ผลิตแต่ละรายมอเตอร์มาตรฐานโดยทั่วๆ ไปขณะทำงานเต็มพิกัด อาจมีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณร้อยละ 55 ถึง 95 โดยขึ้นกับขนาดและความเร็วรอบ มอเตอร์ที่มีความเร็วต่ำก็จะมีประสิทธิภาพต่ำตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของมอเตอร์ขนาดเล็กที่มีพิกัดไม่เกิน 1.5 kW เส้นโค้งประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐานทั่วไป จะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1-25 โดยประสิทธิภาพจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อมอเตอร์ทำงานที่โหลดประมาณร้อยละ 75 ถึง 100 ของค่าพิกัด และประสิทธิภาพจะตกลงไปประมาณ ร้อยละ 5 เมื่อมอเตอร์ทำงานที่ โหลดประมาณร้อยละ 50 เมื่อมอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำกว่านี้ ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่ารูปร่างของเส้นโค้ง ประสิทธิภาพของมอเตอร์จะมีลักษณะ

เหมือนกัน สำหรับมอเตอร์ที่มีพิกัดต่างกัน แต่ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาดเล็กกว่าจะต่ำกว่าของมอเตอร์ขนาดใหญ่กว่า

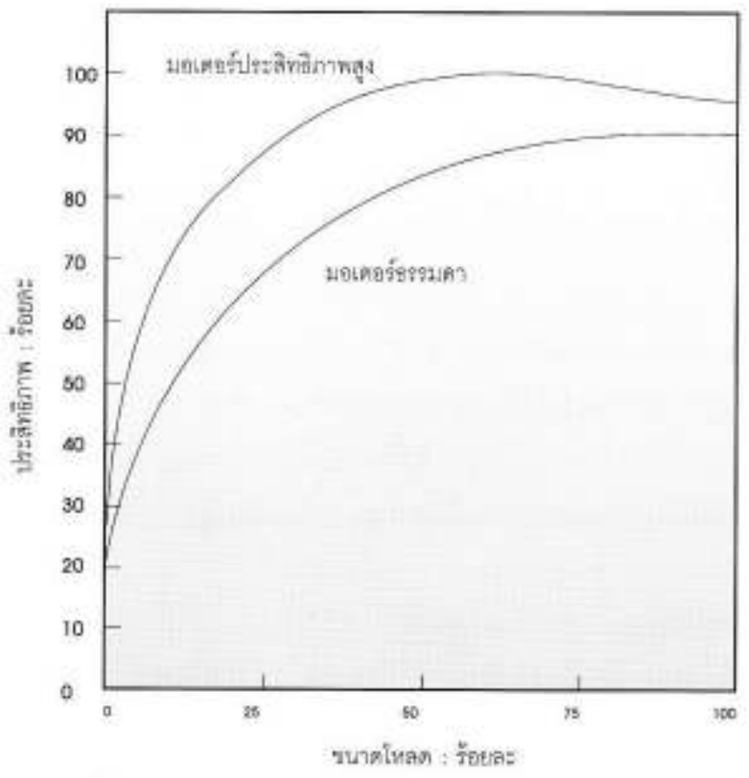
ระดับโหลดจะมีผลต่อค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์ด้วย ค่าตัวประกอบกำลังของมอเตอร์จะลดลงเร็วกว่าค่าประสิทธิภาพที่โหลดระดับเดียวกัน ผลที่ตามมาคือ หากมอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำๆ หรือมอเตอร์มีขนาดใหญ่กว่าปกตินั้น การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังจะต้องใช้ชุดตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ต้องลงทุนสูงกว่า

มอเตอร์ขนาดใหญ่กว่าปกติ

การใช้มอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าปกติ มีผลเสียต่อค่าประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลัง และจะให้ผลเลวร้ายลงไปอีก เมื่อหมุนตัวเปล่าเป็นเวลานานๆ ดังนั้นควรมีการสำรวจสภาพการทำงานของมอเตอร์เพื่อตรวจสอบว่าโหลดสูงสุดจริงๆ ที่มอเตอร์แต่ละตัวต้องรับภาระมีค่ามากน้อยเพียงใด โดยเปรียบเทียบกับขนาดพิกัดของมอเตอร์ การเปลี่ยนมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าแต่ทำงานต่ำด้วยมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กกว่า เพื่อให้ทำงานเต็มพิกัด ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กนั้น ต้องคำนึงถึงสภาพปัญหาของการติดตั้ง ตลอดจนโหลดค่าสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ที่อาจเกิดขึ้นด้วย ซึ่งในกรณีอย่างนี้จะไม่สามารถใช้มอเตอร์ตัวเล็กกว่าทดแทนมอเตอร์ตัวใหญ่กว่าได้ แต่ควรพิจารณาความเป็นไปได้ของการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงทดแทนตัวเดิม

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในมอเตอร์เหนี่ยวนำ ประกอบไปด้วย กำลังสูญเสียที่แปรตามโหลด และกำลังสูญเสียที่มีค่าคงที่ไม่ว่าโหลดจะมีค่ามากน้อยเพียงใด โดยคร่าวๆ แล้วกำลังสูญเสียที่แปรค่าตามโหลดกับกำลังสูญเสียที่ไม่แปรค่าตามโหลดจะมีสัดส่วนเป็นร้อยละ 70 และ 30 ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดขณะทำงานที่โหลดเต็มที่



รูปที่ 1-26 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์ธรรมดาเทียบกับโหลดของมอเตอร์

กำลังสูญเสียทางไฟฟ้าประกอบด้วย กำลังสูญเสียที่ความต้านทานของตัวนำใน Rotor กำลังสูญเสียที่ความต้านทานของชุดขดลวดใน Stator และ Stray losses ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณร่องตัวนำของ Rotor เมื่อมอเตอร์หมุนตัวเปล่าไม่ได้จ่ายโหลด กำลังสูญเสียในตัวนำจะมีค่าต่ำมาก แต่เมื่อมีโหลดเพิ่มขึ้น กำลังสูญเสียในส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นตามค่ากระแสยกกำลังสอง จึงมักเรียกว่าการสูญเสีย I2R นอกจากกำลังสูญเสียที่กล่าวมาแล้ว ยังมีกำลังสูญเสียในแกนเหล็กซึ่งใช้เป็นวงจรแม่เหล็กของมอเตอร์ด้วย กำลังสูญเสียนี้อยู่ในรูปของการสูญเสียจากผลของกระแสวนและการสูญเสีย Hysteresis ของเหล็ก โดยขึ้นกับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ จึงมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่ขึ้นกับโหลดของมอเตอร์

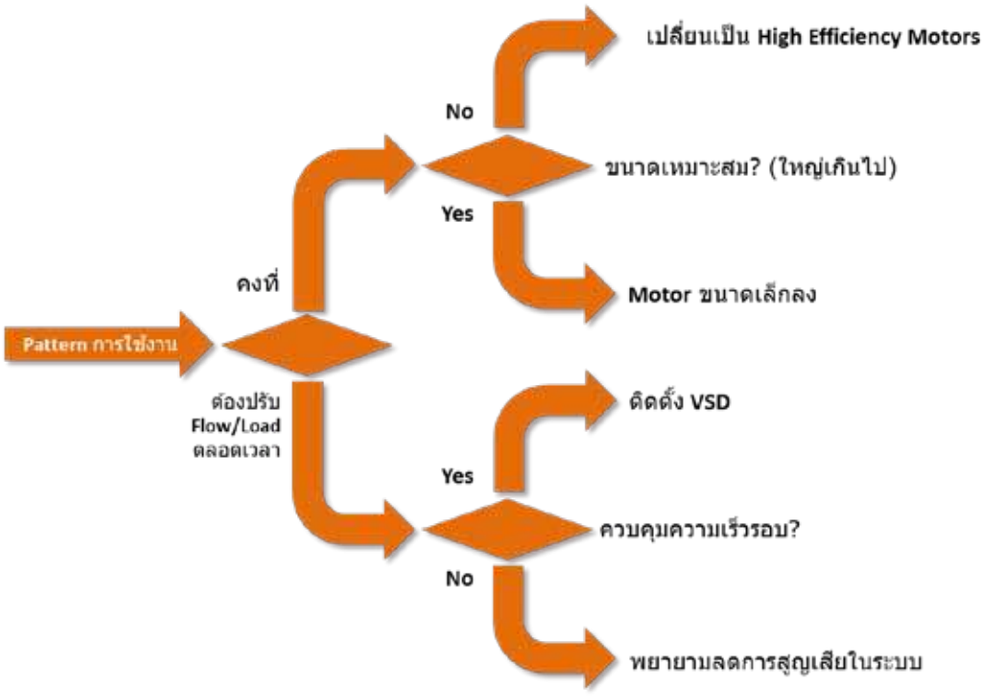
กำลังสูญเสียทางกลเกิดจากแรงเสียดทานที่บริเวณรองลื่น (Bearing) การปะทะลมของ Rotor และพัดลมระบายอากาศ มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเป็นมอเตอร์ที่ได้รับการออกแบบและผลิตให้การสูญเสียดังกล่าวลดลง

การออกแบบโดยเน้นให้กำลังสูญเสียมีต่ำจะส่งผลให้มอเตอร์มีราคาสูงขึ้นจากการที่ต้องใช้วัสดุต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น การลดการสูญเสีย I2R ต้องใช้ลวดตัวนำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดโตกว่าเดิม เพื่อลดค่าความต้านทาน R อีกทั้งต้องใช้แกนเหล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดโตกว่าเดิม เพื่อลดการสูญเสียจากผลของกระแสวน และการสูญเสีย Hysteresis อย่างไรก็ตามเมื่อมีการสูญเสียทางไฟฟ้าลดลง ก็สามารถลดขนาดของพัดลมที่ใช้ในการระบายความร้อนได้ ทำให้การสูญเสียทางกล (การปะทะลม) ลดตามลงไปด้วย แม้ว่าในปัจจุบันมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง จะมีราคาสูงกว่ามอเตอร์มาตรฐานทั่วไป แต่ความแตกต่างของราคาก็มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ประกอบกับพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้น ในบางกรณีการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์ธรรมดาก็อาจคุ้มทุนได้

ปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการพิจารณาความคุ้มทุนของการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ประกอบด้วย

- ลักษณะของโหลดที่มอเตอร์ต้องทำงาน เช่น ค่าโหลดสูงสุดที่จะเกิดขึ้น สภาพการแปรเปลี่ยนขึ้นๆ ลงๆ ของโหลด จากข้อมูลนี้จะช่วยให้เราสามารถเลือกขนาดที่เหมาะสมของมอเตอร์ได้ และประเมินค่าโหลดเฉลี่ยได้
- ค่าประสิทธิภาพที่ต่างกันของมอเตอร์ธรรมดาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่มีขนาดพิกัดเดียวกันและที่ค่าโหลดเฉลี่ยเดียวกัน
- จำนวนชั่วโมงทำงานตลอดปี เพื่อใช้ในการประเมินผลประหยัดพลังงาน
- อัตราค่าไฟฟ้า ทั้งอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าและอัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

เมื่อมีความต้องการเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่หรือการสร้างโรงงานใหม่หรือการขยายโรงงาน ความคุ้มทุนของการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์ธรรมดาจะอยู่ในช่วงประมาณ 6 เดือนถึง 2 ปี ทั้งนี้ขึ้นกับว่าใช้งานต่อเนื่องตลอดทั้งปี (โรงงานทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 7 วันต่อสัปดาห์) หรือทำงานกะเดียว (โรงงานทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 5 วันต่อสัปดาห์)

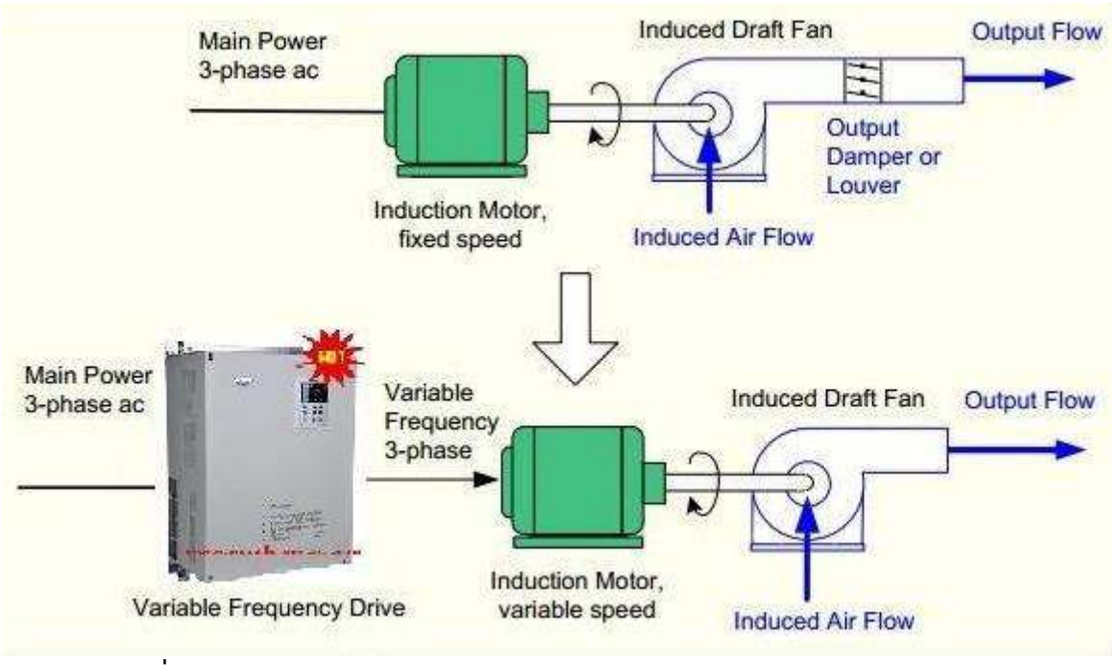


รูปที่ 1-27 แนวทางการประเมินมอเตอร์

<u>ชุดขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วรอบได้</u>

การใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพื่อขับพัดลมและปั๊มนั้นมีอยู่สูงถึงประมาณ ร้อยละ 55 ของมอเตอร์ที่ใช้งานทั้งหมดในปัจจุบัน อัตราการไหลของลมจากพัดลมและของเหลวจากปั๊มมักถูกควบคุมด้วยการเพิ่มความต้านทานต่อการไหลโดยใช้วิธีการทางกล นั่นคือใช้แผ่น damper กับพัดลมและใช้วาล์วกับปั๊ม การควบคุมแบบนี้สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ตามที่ต้องการ และอาจช่วยลดโหลดของมอเตอร์ที่ขับพัดลมหรือปั๊มด้วย แต่การควบคุมด้วยวิธีทางกลดังกล่าวนี้จะเพิ่มพลังงานสูญเสียให้กับระบบทำให้ไม่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ดี หากเราทำการควบคุมอัตราการไหลโดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่พับพัดลมหรือปั๊มแทน เราจะได้ระบบควบคุมการไหลที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

ในสภาพความเป็นจริงผลการประหยัดที่เกิดขึ้นอาจสูงกว่าค่าที่คาดหวังไว้เมื่อลดความเร็วของพัดลมหรือปั๊มลง อัตราการไหลจะลดลงตามสัดส่วนของความเร็วที่ลดลง แต่กำลังที่ใช้ขับพัดลมหรือปั๊มจะลดลงตามความเร็วยกกำลังสาม



รูปที่ 1-28 Retrofit of an induced draft fan for variable speed operation

ตัวอย่างเช่น หากต้องการลดอัตราการไหลลงร้อยละ 20 ต้องปรับให้ความเร็วของของพัดลมหรือปั๊มน้ำลดลงเหลือเพียงร้อยละ 80 ของค่าความเร็วปกติ แต่กำลังงานที่มอเตอร์ต้องใช้ในการขับพัดลมหรือปั๊มจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 51.2 จากของเดิมเท่านั้น

เราสามารถทำให้เกิดการประหยัดพลังงานที่สูงระดับนี้ ได้โดยอาศัยชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบได้ (VSD : Variable Speed Drive) เพื่อควบคุมอัตราการไหล ซึ่งเป็นมาตรการการลงทุนที่ให้ผลตอบแทนที่รวดเร็วเมื่อเทียบกับมาตรการต่างๆ ที่ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ การคืนทุนโดยทั่วไปอยู่ในระดับไม่เกิน 2 ปี และในบางกรณีอาจคืนทุนภายในปีเดียว

ในอดีตการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำได้ยาก แต่ในปัจจุบันที่อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจำพวก Power electronic และ Micro processor ได้รับการพัฒนาไปมากและมีราคาถูกลง ทำให้เกิดการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ electronic ที่เรียกกันทั่วไปว่า Inverter ระบบการควบคุมความเร็วรอบแบบใหม่นี้ให้สมรรถนะและความเชื่อถือได้ดีกว่าระบบเดิมและเงินลงทุนของอุปกรณ์ก็ลดลง ดังนั้นในการใช้ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบได้ โดยพิจารณาจากปัจจัยทางด้านค่าไฟฟ้าที่ลดลงเพียงปัจจัยเดียวจึงมีความเป็นไปได้สูง สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการเลือกว่าควรใช้ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบได้แบบใดจึงจะเหมาะสมนั้น อยู่ที่เงื่อนไขในการทำงานของมอเตอร์และรายละเอียดอื่นๆ เช่น ขนาดพิกัดของมอเตอร์ จำนวนชั่วโมงในการทำงาน ความต้องการใช้ลมหรือน้ำ ซึ่งหมายถึงรูปแบบของอัตราการไหล ตลอดจนอัตราค่าไฟฟ้า เป็นต้น

2.3.2 การปรับความตึงสายพาน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 254,757 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 1,045,712.46 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 4.12 บาทต่อหน่วย เวลาทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และทำงาน 300 วันต่อปี ในกระบวนการผลิตจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับจ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ส่วนมากจะใช้สายพานขับพลูเล่เพื่อส่งถ่ายเทกำลังเพื่อขับสายพาน และเครื่องจักรอื่นๆ ภายในโรงงาน

รูปการใช้งานของสายพานหย่อนที่ชุดมอเตอร์กำลัง

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

มอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต มีสภาพการใช้งานที่ขาดการบำรุงรักษาไม่ดีพอเท่าที่ควร คือ สายพานที่ใช้ขับพลูเล่ มีสภาพที่หย่อนขาดการปรับแต่งให้สายพานตึง และตำแหน่งของพลูเล่ไม่ได้จุดศูนย์ถ่วง ทำให้เวลาใช้งานของมอเตอร์จะเกิดการลื่นไหล Slip of Motor ซึ่งทำให้สูญเสียกำลังไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ และเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะทำให้แบริ่งของมอเตอร์กับพลูเล่เกิดการสึกหรอเสียหายขึ้นได้ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขและกระบวนการผลิตต้องหยุดลงด้วย การดำเนินการตรวจสอบและแก้ไขปรับแต่งความหย่อนของสายพานมอเตอร์อย่างสม่ำเสมอ จะสามารถลดการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายต่างๆ ได้

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทางทีมงานอนุรักษ์ของโรงงานและทีมที่ปรึกษาร่วมกันเดินสำรวจพื้นที่ใช้งานของเครื่องจักรต่างๆ พบว่ามีมอเตอร์หลายตัว ที่สายพานหย่อน ทางทีมงานอนุรักษ์ของโรงงานจึงชี้แจงให้ทาง ช่างซ่อมบำรุงมาดำเนินการตรวจสอบสภาพใช้งานของสายพานและแก้ไขปรับปรุงความหย่อนของสายพาน และกำหนดผู้รับผิดชอบในการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ

รูปลักษณะของสายพาน หลังการปรับปรุง

สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากดำเนินการปรับความตึงของสายพานและปรับตำแหน่งของพลูเลให้ได้จุดศูนย์ถ่วงพร้อมตรวจสอบการหล่อลื่นของพลูเล่ว่าใช้งานได้ดีแล้ว จึงเดินเครื่องจักรให้ทำงานตามปกติ และตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

สามารถคำนวณผลประหยัดได้ดังนี้

มอเตอร์ ขนาด 3.7 kW 3 ชุด

กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน (จากการตรวจวัด)

มอเตอร์ชุดที่ 1	=	3.3	kW
มอเตอร์ชุดที่ 2	=	3.1	kW
มอเตอร์ชุดที่ 3	=	2.9	kW
รวม	=	9.3	kW
ชั่วโมงการเปิดใช้งาน	=	12	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	300	วัน/ปี
เปอร์เซ็นต์การใช้งาน	=	75 %	
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด	=	9.3 x 12 x 300 x 75/100	
	=	25,110	kWh/ปี

จากการตรวจวัดการแก้ไขปรับแต่งความตึงของสายพาน สามารถลดการเกิดการลื่นไหล Slip of Motor จะสามารถลดการสูญเสียพลังงาน ลง 2 %

รูปการตรวจวัดความเร็วของพลูเล่

เปอร์เซ็นต์ที่ประหยัดได้หลังการปรับปรุง	=	2% (จากการลดการสูญเสียของการส่งถ่ายกำลัง)	
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	25,110 x 2/100	
	=	502.20	kWh/ปี

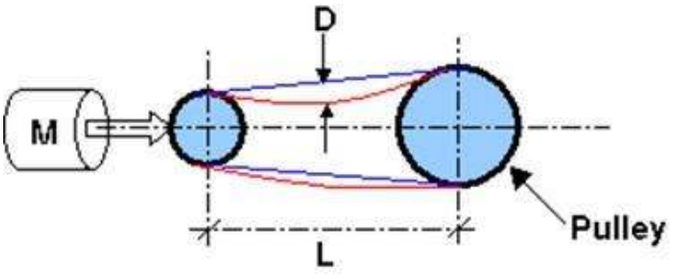
ด้านค่าใช้จ่าย

ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	=	4.12	บาท/kWh
	=	502.20 x 4.12	
	=	2,069.06	บาท/ปี

การลงทุน

ไม่มีการลงทุนเนื่องจากทางโรงงานสามารถดำเนินการได้เอง

<u>วิธีการตรวจเช็ค</u> เมื่อใช้นิ้วมือกดลงที่สายพาน ระยะ D จะต้องไม่เกิน 1 เซนติเมตร ดังนั้นวิธีการตรวจสอบสายพานอย่างง่ายคือการใช้นิ้วมือกดลงบนสายพาน ระยะ D จะต้องเท่ากับความกว้างของสายพานเส้นนั้น



Energy Loss = 2-3 % Effect for % Slip Motor

D = L/100

D : ระยะความหย่อนของสายพานที่เหมาะสม

L : ระยะความห่างของ Pulley

Ext. Motor from pulley the interval = 100 cm.
Energy formula ; L/100 = 100/100 = 1

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ผลที่ประหยัดได้	502.20	kWh/ปี
	0.04	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	2,069.06	บาท/ปี
เงินลงทุน	-	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	-	

2.3.3 การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระโหลด

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานเปิดดำเนินการ 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,528,633.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 4,518,257.68 บาท/ปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.96 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม คณะทำงานของทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการได้ร่วมกันสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานของสถานประกอบการ จากการสำรวจพบว่าทางโรงงานมีการใช้มอเตอร์ของเครื่องตัดไม้และซอยไม้โดยติดตั้งมาพร้อมกับเครื่องจักร ซึ่งมีเป็นจำนวนมาก และทางโรงงานได้มีนโยบายเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์เครื่องจักรให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

หลังจากทีมงานได้ทำการสำรวจการใช้อุปกรณ์เครื่องจักรในโรงงานแล้วพบว่าเครื่องตัดไม้และซอยไม้ ของทางโรงงานมี 18 ชุด โดยที่จะทำงาน ชุดที่ 1 -12 ส่วนชุดที่ 13 -18 สำรองใช้งาน หลังจากทีมงานได้มีการตรวจวัดการใช้พลังงานของมอเตอร์แต่ละชุดพบว่ามอเตอร์แต่ละชุดกินกระแสไฟไม่เท่ากัน ดังนั้น ทางทีมงานจึงเสนอที่จะจัดลำดับการใช้งานของเครื่องตัดและซอยไม้ใหม่โดยเลือกชุดที่กินกระแสไฟน้อยที่สุด ทำงานก่อนเพื่อการประหยัดพลังงาน

รูปสภาพก่อนการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่าทางโรงงานจัดลำดับการใช้งานของเครื่องตัดและซอยไม้ใหม่โดยเลือกชุดที่กินกระแสไฟน้อยที่สุด ทำงานก่อนเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจการใช้งานของมอเตอร์เลื่อยแต่ละชุด
2. ตรวจวัดและบันทึกค่าการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง
3. วิเคราะห์และประเมินจุดคุ้มทุนหรือต้นทุน
4. ดำเนินการปรับปรุง โดยการจัดลำดับการใช้งานของเครื่องตัดและซอยไม้ให้เหมาะสม
5. ตรวจสอบและติดตามผล
6. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

จากเดิมทางโรงงานจะเปิดใช้งาน มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 1 -12 โดยที่ชุดที่ 13- 18 สำรองใช้งานมีค่ากำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง 168.50 kW ทางทีมงานจึงจัดโหลดของมอเตอร์เลื่อยใหม่ โดยใช้งานชุดที่1,3,5,7,8,11,13,14,15,16,17,18 มีค่ากำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง 146.82 kW หลังจากที่ทีมงานได้ทำการปรับปรุง ทำให้สามารถประหยัดพลังงานลงได้ 20,640.0 kWh /ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 61,094.4 บาท/ปี

รูปสภาพหลังการปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	1	สัปดาห์			
เงินลงทุน	-	บาท			
ผลประหยัดที่ได้	61,094.4	บาท/ปี	หรือ	1.759	ktoe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี			

จากการตรวจวัดมอเตอร์ เครื่องตัดและซอยไม้		
ลำดับที่	**ขนาด**	**กำลังไฟฟ้าใช้จริง (kW)**
1	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 1	11.28
2	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 2	17.72
3	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 3	14.15
4	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 4	15.8
5	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 5	14.24
6	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 6	16.91
7	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 7	10.45
8	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 8	12.95
9	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 9	15.22
10	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 10	14.31
11	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 11	10.45
12	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 12	15.02
13	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 13	13.73
14	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 14	14.25
15	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 15	10.33
16	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 16	9.87
17	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 17	12.24
18	มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 18	12.88
รวม		**241.8**

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากเดิมทางโรงงานจะเปิดใช้งาน มอเตอร์เลื่อยชุดที่ 1 -12 โดยที่ชุดที่ 13- 18 สำรองใช้งาน

จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ของมอเตอร์เลื่อยทั้ง 18 ชุด	=	241.8	kW
หลังจากที่จัดโหลดของมอเตอร์เลื่อย โดยใช้งานชุดที่ 1,3,5,7,8,11,13,14,15,16,17,18			
จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า ของมอเตอร์เลื่อยทั้ง 12 ชุด	=	146.82	kW
จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	168.50	kW
จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	146.82	kW
กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	21.68	kW
ค่าพลังงานไฟฟ้า	=	2.96	บาท / หน่วย
Load Factor	=	80	%
ชั่วโมงการทำงาน/วันที่ลดลง	=	10	ชั่วโมง
จำนวนวันดำเนินการ	=	300	วัน/ปี

หลังการปรับปรุง

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	21.68 kW x 10 ชั่วโมง x 300 วัน x 80%
	=	52,032.0 kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	52,032.0 kWh/ปี x 2.96 บาท
	=	154,014.7 บาท
คิดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	=	52,032.0 x 85.21/1,000,000
	=	4.434 toe
คิดเป็นเงินลงทุน	=	-
ระยะเวลาคืนทุน	=	-

2.3.4 การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงาน เปิดดำเนินการ 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,356,865.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 3,847,790.81 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.84 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม คณะทำงานของทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการได้ร่วมกันสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานของสถานประกอบการ จากการสำรวจ พบว่าทางโรงงานมีการติดตั้งมอเตอร์มอเตอร์ Feed น้ำของระบบ Boiler ขนาด 3.5 kW จำนวน 2 ชุด โดยมีการเปิดใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 365 วันต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

หลังจากทีมงานได้ทำการสำรวจสภาพการใช้งานของมอเตอร์ Feed น้ำของระบบ Boiler ขนาด 3.5 kW จำนวน 2 ชุด จากการสำรวจและตรวจวัดของทีมงานอนุรักษ์พลังงานพบว่ามอเตอร์มีสภาพค่อนข้างเก่าและมีการกินกระแสไฟเกินสเป็ค ดังนั้นทางทีมงานจึงเสนอที่จะเปลี่ยนมอเตอร์ตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิมเพื่อการประหยัดพลังงาน

รูปสภาพก่อนการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่าทางโรงงานควรเปลี่ยนมอเตอร์ Feed น้ำตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม โดยมีขั้นตอนการ ทำงานดังนี้

1. สำรวจการทำงานของมอเตอร์ feed pump
2. บันทึกข้อมูลการใช้งานก่อนปรับปรุง และนำเสนอในที่ประชุมเพื่อให้คณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานพิจารณา
3. ดำเนินการปรับปรุง โดยทำการเปลี่ยนมอเตอร์ Feed น้ำตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเดิม
4. ตรวจสอบ ติดตามผล โดยที่ปรึกษาได้เข้าตรวจสอบการดำเนินการตามแผนที่ได้เสนอในที่ประชุม
5. วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์feed pump ขนาด 3.5 kW ก่อนปรับปรุงพบว่ามีกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 3.51 kW ปัจจุบันทางโรงงานได้ทำการเปลี่ยนมอเตอร์ feed pump ตัวใหม่ ขนาด 3.5 kW ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 2.04 kW หลังจากทำการปรับปรุงแล้วทำให้ประหยัดพลังงานลงได้ 10,371.84 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 29,456.0 บาท/ปี

รูปสภาพหลังการปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	10,000	บาท
ผลประหยัดที่ได้	29,456.0	บาท/ปี หรือคิดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ 0.884 toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.34	ปี

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากการตรวจวัดมอเตอร์ feed pump ก่อนปรับปรุง	
ขนาด	กำลังไฟฟ้าใช้จริง (kW)
มอเตอร์ feed pump ขนาด 3.5 kW	3.51
รวม	3.51

จากการตรวจวัดมอเตอร์ feed pump หลังปรับปรุง	
ขนาด	กำลังไฟฟ้าใช้จริง (kW)
มอเตอร์ feed pump ขนาด 3.5 kW	2.04
รวม	2.04

จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์feed pump ในระบบบอยเลอร์ ขนาด 3.5 kW

ชั่วโมงการทำงานที่ลดลง/วัน	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันที่ทำงาน/ปี	365	วัน
Load factor	80 %	
ค่าพลังงานไฟฟ้า	2.84	บาท / หน่วย
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	= 3.51 – 2.04	
	= 1.48	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	= 1.48 kW x 365 วัน x 24 ชั่วโมง x 80%	
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= 1.48 x 365 x 24 x 80%	
	= 10,371.84	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 10,371.84 kWh/ปี x 2.84 บาท	
	= 29,456.0	บาท/ปี
คิดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	= 10,371.84 x 85.21/1,000,000	
	= 0.884	toe/ปี
คิดเป็นเงินลงทุน	= 10,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= 0.34	ปี

2.3.5 การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ให้เหมาะสม

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานเปิดดำเนินการ 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,346,037.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 3,881,594.87 บาท/ปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.88 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม คณะทำงานของทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการได้ร่วมกันสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานของสถานประกอบการ จากการสำรวจพบว่าทางโรงงานมีการติดตั้งมอเตอร์โบลว์เวอร์ดูดควันของบอยเลอร์ ขนาด 7.5 kW จำนวน 1 ชุด เปิดใช้งาน 12 ช.ม./วัน 300 วัน/ปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

หลังจากทีมงานได้มีการสำรวจการทำงานของมอเตอร์โบลว์เวอร์ดูดควันของบอยเลอร์ขนาด 7.5 kW พบว่าปัจจุบันนี้ทางโรงงานมีการใช้งานบอยเลอร์ขนาด 5 ตัน จำนวน 1 ชุด โดยใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งมีควันจากการเผาไหม้มากน้อยแล้วแต่ช่วงเวลา ทำให้พนักงานต้องมาปรับวาล์วตลอดเวลาดังนั้นทางทีมงานจึงมีแนวคิดที่จะติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมการดูดควันจากเตาเพื่อการประหยัดพลังงาน

รูปสภาพก่อนการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางโรงงานควรทำการติดตั้ง Inverter มอเตอร์โบลว์เวอร์ เพื่อควบคุมการดูดควันจากเตา โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจสภาพการใช้งานของมอเตอร์โบลว์เวอร์ ขนาด 7.5 kW
2. บันทึกข้อมูลการปรับหรี่วาล์วและตรวจวัดค่าการใช้พลังงานของมอเตอร์โบลว์เวอร์
3. ดำเนินการปรับปรุง โดยการติดตั้ง Inverter มอเตอร์โบลว์เวอร์ เพื่อควบคุมการดูดควันจากเตา
4. ตรวจสอบ ติดตามผล
5. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้

สภาพหลังปรับปรุง

จากเดิมทางโรงงานทำการปรับหรี่วาล์วโดยใช้พนักงานที่ควบคุมเป็นผู้ปรับหรี่ ปัจจุบันทางทีมงานได้ทำการทดลองติดตั้ง Inverter เพื่อควบคุมการดูดควันจากเตา หลังจากทำการปรับปรุงคาดว่าจะทำให้ประหยัดพลังงานได้ 8,294.4 kWh /ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 23,887.87 บาท/ปี

รูปสภาพหลังการปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	13,000	บาท
ผลประหยัดที่ได้	23,887.87	บาท/ปี (เท่ากับ 0.707 toe)
ระยะเวลาคืนทุน	0.54	ปี

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

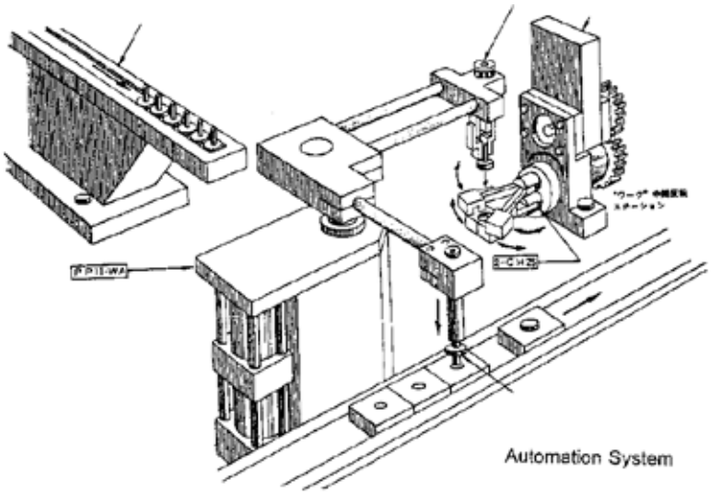
จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์โบลว์เวอร์ขนาด 7.5 kW ก่อนการปรับปรุง	=	6.15	kW
จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์โบลว์เวอร์ขนาด 7.5 kW หลังปรับปรุง	=	3.27	kW
ชั่วโมงการทำงานที่ลดลง/วัน	12 ชั่วโมง/วัน		
จำนวนวันที่ทำงาน/ปี	300 วัน		
Load factor	80 %		
ค่าพลังงานไฟฟ้า	2.88 บาท / หน่วย		
กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	6.15 – 3.27	kW
	=	2.88	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	2.88 kW x 300 วัน x 12 ชั่วโมง x 80%	
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	2.88 x 300 x 12 x 80%	
	=	8,294.4	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	8,294.4 kWh/ปี x 2.88 บาท	
	=	23,887.87	บาท/ปี
คิดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	=	8,294.4 x 85.21/1,000,000	
	=	0.707	toe/ปี
คิดเป็นเงินลงทุน	=	13,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	0.54	ปี

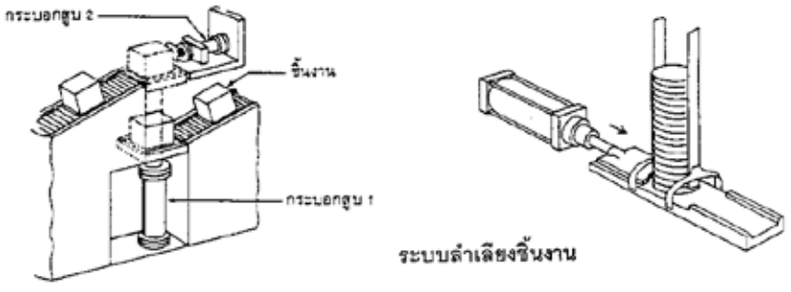
2.4 การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัดอากาศ

2.4.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง

<u>การใช้ประโยชน์จากระบบอัดอากาศ</u>

อากาศอัด หรือระบบนิวแมติกได้ถูกนำมาใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมอย่างหลากหลาย เช่น เครื่องจักรในการประกอบชิ้นส่วน เครื่องจักรในการบรรจุหีบห่อ เครื่องจักรผลิตอาหาร เครื่องจักรงานไม้ เครื่องจักรในการขนย้ายวัสดุ ฯลฯ





รูปที่ 1-29 ตัวอย่างการใช้งานระบบลมอัด

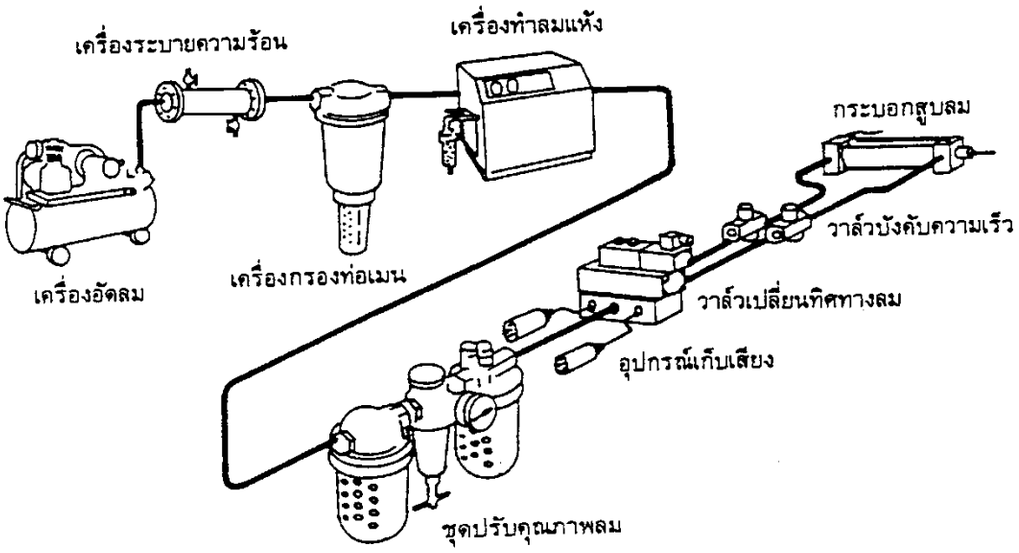
เหตุผลที่มีการนำอากาศอัดมาใช้ในอย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรม เนื่องมาจาก

- ความต้านทานการไหลของระบบอากาศอัดในท่อทางส่งมีค่าน้อยกว่าความต้านทานการไหลของน้ำมันในระบบไฮโดรลิก จึงสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า
- สามารถปรับความเร็วในการทำงานได้โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว
- สามารถปรับความดันให้มีค่ามากน้อยได้ตามต้องการโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน
- ทำการดัดแปลงได้ง่าย
- สามารถใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าในการบังคับจากระยะไกลได้

- อุปกรณ์ของระบบอากาศอัดมีราคาถูกกว่าระบบไฮโดรลิก เพราะโครงสร้างของอุปกรณ์บังคับอากาศเป็นแบบง่ายๆ และทำงานที่ความดันต่ำกว่าระบบไฮโดรลิก
- ระบบอากาศอัดเมื่อใช้งานแล้ว สามารถระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศได้เลย ไม่ต้องเดินท่อทางนำกลับมาใช้อีก ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
- ไม่มีการระเบิดหรือลุกไหม้เป็นเปลวไฟ จึงประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการป้องกันอัคคีภัย
- การดูแลรักษาง่าย
- ความสะอาดของระบบอากาศอัดดีมาก เพราะมีชุดปรับคุณภาพอากาศก่อนนำไปใช้งาน
- มีความปลอดภัยในการทำงานสูง เพราะมีอุณหภูมิในการทำงานต่ำ
- มีความปลอดภัยถ้าใช้งานเกินกำลัง

<u>ส่วนประกอบของระบบอัดอากาศ</u>

การทำงานของระบบอากาศอัดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 1-30 อุปกรณ์และระบบนิวแมติก

เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) คือเครื่องที่เปลี่ยนพลังงานจากพลังงานไฟฟ้าเป็นอากาศอัด ทำให้มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ แบ่งขนาดความสามารถของเครื่องอากาศอัดออกได้เป็น 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 1-19 ความสามารถของเครื่องอากาศอัดในการสร้างความดันอากาศอัดได้ถึง 10 bar โครงสร้างของเครื่องอากาศอัดแบ่งออกเป็นแบบลูกสูบ และแบบสกรู ฯลฯ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 1-19 ขนาดและความสามารถของเครื่องอัดอากาศ

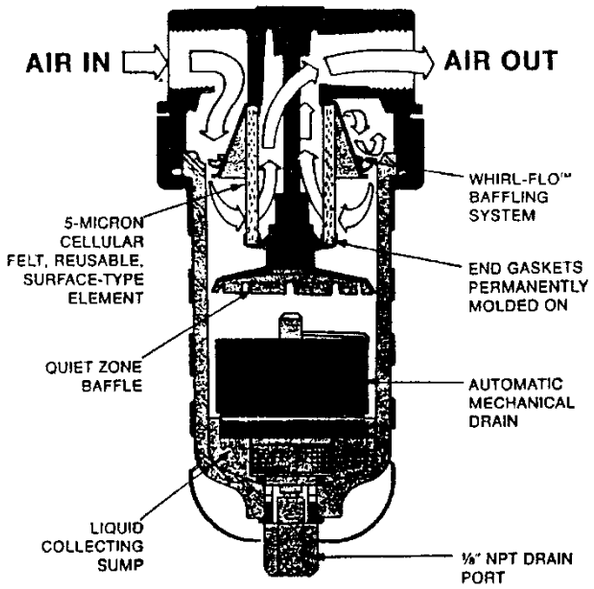
ขนาด	ระบบระบายความร้อน	กำลังเครื่องอัดอากาศ
เล็ก	อากาศ	0.2 - 7.5 kW
กลาง	อากาศและน้ำ	7.5 - 75 kW
ใหญ่	น้ำ	75 kW

เครื่องระบายความร้อนอากาศอัด (Heat Exchanger) เนื่องจากเครื่องอัดอากาศจะดูดอากาศที่ความดันบรรยากาศด้วยปริมาตรประมาณ 8 ลูกบาศก์เมตรไปอัดให้มีความดันสูงขึ้น 7 ถึง 10 bar เหลือปริมาตรของอากาศประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นอากาศที่มีความดันสูงนี้จะมีอุณหภูมิสูง ถ้าใช้อากาศอัดนี้ไปใช้งานโดยตรงจะสร้างความเสียหายให้แก่ซีลต่างๆ ของอุปกรณ์ จึงจำเป็นจะต้องลดอุณหภูมิของอากาศอัดด้วยเครื่องระบายความร้อน

เครื่องกรองท่อเมน (Main Air Filter) จะเป็นตัวกรองฝุ่นละออง สนิม และน้ำที่มีปะปนมากับอากาศอัดให้สะอาดก่อนนำไปใช้งานและก่อนที่จะนำไปใช้กับเครื่องจักรในระบบนิวแมติก

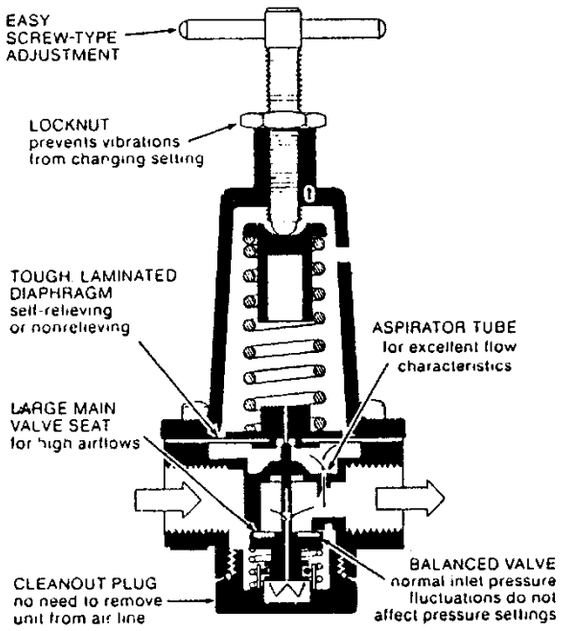
เครื่องทำอากาศให้แห้ง (Air Dryer) อากาศอัดที่ออกจากเครื่องอัดอากาศจะมีความชื้นปนอยู่มาก ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำอากาศอัดให้เย็นลงเพื่อจะดูดเอาความชื้นออกจากอากาศอัด หรืออาจจะใช้สารเคมีในการขับความชื้นออกจากอากาศอัดก็ได้ ความชื้นที่ถูกดูดออกมาจะกลั่นตัวเป็นน้ำ และถูกนำออกมาทิ้งจากระบบด้วยกับดักน้ำ (Water Trap)

กรองอากาศ (Air Filter) ทำหน้าที่คล้ายกับเครื่องกรองอากาศในท่อเมนเพื่อป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ที่ใช้อากาศ ในกรณีที่ไม่มีเครื่องทำอากาศให้แห้ง ตัวกรองอากาศนี้จะทำหน้าที่ดักน้ำที่ปนมากับอากาศด้วย



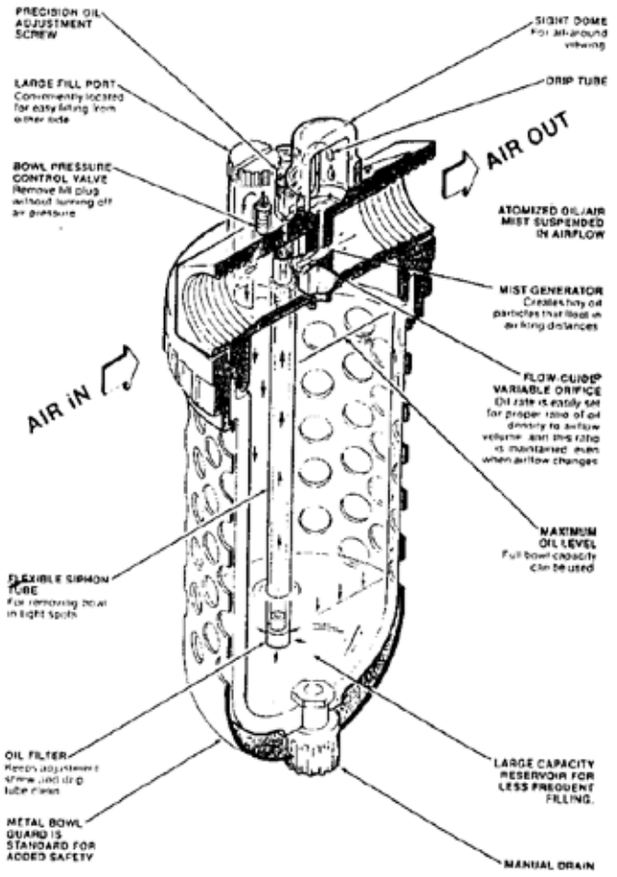
รูปที่ 1-31 การทำงานของ Air filter

วาล์วลดความดัน (Pressure Reducing Valve) เครื่องอัดอากาศจะทำหน้าที่อัดอากาศไว้ในถังพักให้มีค่าความดันอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่าความดันนี้จะมีค่ามากกว่าค่าความดันใช้งานเล็กน้อย ดังนั้นในการใช้งานจึงจำเป็นจะต้องลดค่าความดันลงมาโดยใช้วาล์วลดความดันทำหน้าที่ดังกล่าว



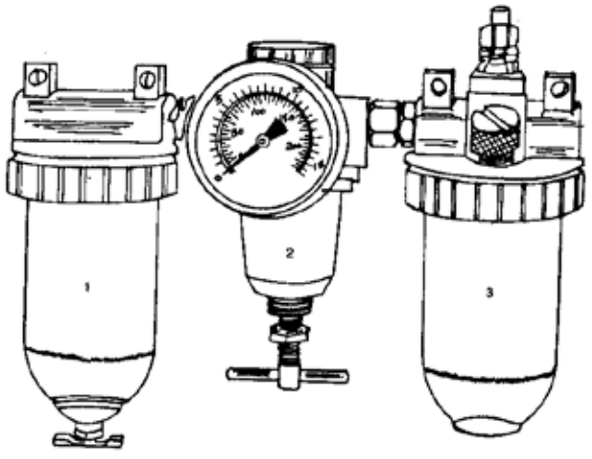
รูปที่ 1-32 การทำงานของ Air pressure regulator

อุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่น (Oil Lubricator) เนื่องจากในอุปกรณ์อากาศอัดส่วนใหญ่จะต้องมีการหล่อลื่นชิ้นส่วนภายใน จึงจำเป็นที่จะต้องให้มีน้ำมันหล่อลื่นปนไปกับอากาศอัดเพื่อทำการหล่อลื่น แต่ในงานบางประเภทของระบบอากาศอัดห้ามมีน้ำมันหล่อลื่นปนไปกับอากาศอัด เช่นงานด้านผลิตอาหาร



รูปที่ 1-33 การทำงานของ Oil lubricator

โดยปกติแล้ว กรองอากาศ วาล์วลดความดัน และอุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่นมักจะรวมอยู่ในชุดเดียวกัน เรียกว่า ชุดปรับปรุงคุณภาพอากาศ (Service Unit)



FRL unit in combination: Filter + Regulator + Lubricator

Symbol of FRL unit

รูปที่ 1-34 ชุดปรับปรุงคุณภาพอากาศ (Service unit)

อุปกรณ์เก็บเสียง (Air Silencer) อากาศอัดเมื่อถูกใช้งานแล้วจะระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศ โดยออกมาทางรูระบาย ถ้าไม่มีตัวเก็บเสียงมาติดตั้งที่รูระบายแล้ว เมื่ออากาศอัดถูกระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศจะมีเสียงดัง

วาล์วเปลี่ยนทิศทางอากาศ (Air Flow Change Valve) ทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่อุปกรณ์การทำงานของระบบอากาศอัด เช่น กระบอกสูบเลื่อนออกหรือเลื่อนเข้า มอเตอร์หมุนทางซ้ายหรือหมุนทางขวา วิธีการบังคับเปลี่ยนทิศทางนั้นอาจจะใช้การป้อนสัญญาณไฟฟ้าหรือการป้อนอากาศอัด บังคับให้เคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศ

วาล์วบังคับความเร็ว (Speed Control Valve) ทำหน้าที่บังคับอากาศอัดให้เคลื่อนที่เร็วหรือช้า โดยการปรับปริมาตรอากาศอัดให้ได้มากน้อยตามต้องการ ซึ่งมีผลทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออกเร็วหรือช้า รวมทั้งการหมุนของมอเตอร์ด้วย บางครั้งเรียกวาล์วประเภทนี้ว่าวาล์วควบคุมการไหล (Flow Control Valve)

กระบอกสูบ (Air Cylinder) เป็นอุปกรณ์ทำงาน ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานอัดให้อยู่ในรูปของพลังงานกล โดยทั่วไปกระบอกสูบอากาศอัดมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้มักจะเป็นกระบอกสูบทำงานแบบ 2 ทาง

<u>คุณสมบัติของอากาศและทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์</u>

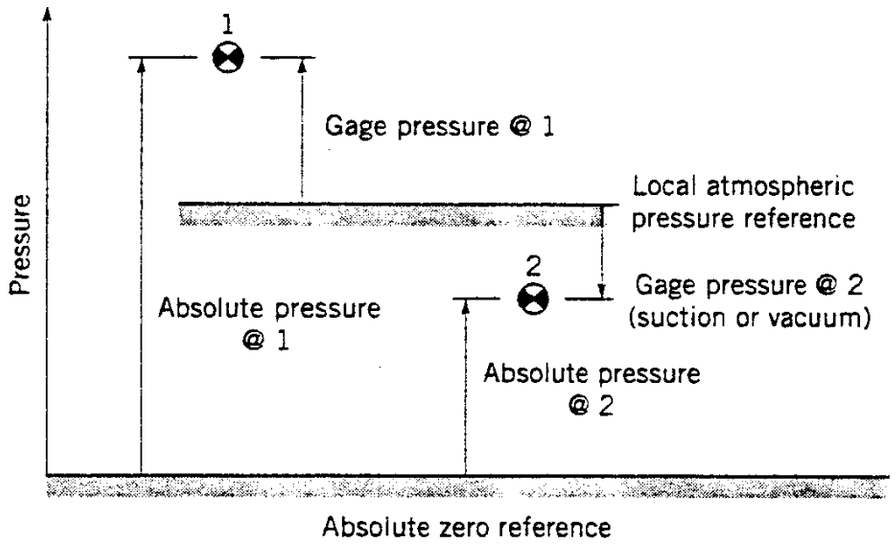
ส่วนประกอบ : อากาศเป็นส่วนผสมของก๊าซหลายๆ ชนิด ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ประกอบด้วยก๊าซสำคัญดังนี้ ก๊าซไนโตรเจน ประมาณ 78% โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจน ประมาณ 21% โดยปริมาตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่นๆ รวมทั้งไอน้ำ ประมาณ 1% โดยปริมาตร

ความดันอากาศ : ความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่า 14.7 psia ความดันอากาศจะมีค่าลดลง เมื่อระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมีค่าค่ามากขึ้น กล่าวคือ ความสูงเปลี่ยนไป 1,000 ฟุต ความดันจะเปลี่ยนไป 0.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

อากาศมาตรฐาน (Standard air) : เป็นอากาศทางทฤษฎีที่สภาวะระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ 68° F ความดัน 14.7 psi ความชื้นสัมพัทธ์ 36%

การคำนวณอากาศมาตรฐาน ต้องใช้ค่าสมบูรณ์ตามสมการ

ความดันสัมบูรณ์ = ความดันเกจ + ความดันบรรยากาศ
อุณหภูมิสัมบูรณ์ = อุณหภูมิที่อ่านได้ + อุณหภูมิอ้างอิงที่จุดเยือกแข็งของน้ำ



รูปที่ 1-35 การเปรียบเทียบความดันเกจและความดันสัมบูรณ์

Absolute Pressure and Temperature

psia = psig + 14.7 หรือ $(kPa)_a=(kPa)_g + 101.325$

°R = °F +140 หรือ K = °C+373.5

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบอากาศอัด

อากาศสามารถอัดให้มีปริมาตรเล็กลงและขยายตัวให้โตขึ้นได้ โดยที่มีกฎที่ใช้กับก๊าซ ดังนี้

Boyle's law: ถ้าอุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะเปลี่ยนไปตามกำลังผกผันของความดัน ซึ่งเขียนได้ว่า

$\frac{V_2}{V_1}=\frac{P_1}{P_2}$ หรือ $V_1P_1=V_2P_2$ if T = constant

Charle's law: ถ้าความดันคงที่ ปริมาตรของก๊าซจะแปรเปลี่ยนโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ซึ่งเขียนได้ว่า

$\frac{V_2}{V_1}=\frac{T_2}{T_1}$ หรือ $\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_1}{T_1}$ if P = constant

Amonton's law: ถ้าปริมาตรคงที่ ความดันของก๊าซจะแปรเปลี่ยนโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ ซึ่งเขียนได้ว่า

$\frac{P_2}{P_1}=\frac{T_2}{T_1}$ หรือ $\frac{P_2}{T_2}=\frac{P_1}{T_1}$ if V = constant

จากการรวมกันของกฎทั้งสาม จะได้เป็น**กฎของก๊าซทั่วไป (General Gas Law)**

$\frac{P_1V_1}{T_1}=\frac{P_2V_2}{T_2}$ = constant

ถ้ากระบวนการอัดอากาศเป็นกระบวนการไอเซนโทรปิค $(\Delta s = 0)$

PV^n = constant

อากาศจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิของก๊าซเปลี่ยนไปตามสูตร

$$T_2 = T_1\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$$

เมื่อ n = ค่าคงที่ไอเซนโทรปิค

เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้น้ำมันหล่อลื่นร้อนขึ้น ซึ่งถ้าร้อนเกินไป (Over heat) ทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพเร็ว เกิดการสึกหรอสูงขึ้น

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Indicated Power)

$$i.p. = \left(\frac{n}{n-1}\right)\dot{m}RT\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{nx}} - 1\right]$$

เมื่อ $i.p.$ = Indicated Power (hp)

n = ค่าคงที่ไอเซนโทรปิค สำหรับอากาศใช้ n = 1.3

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (สำหรับอากาศใช้ R = 0.287 kJ/kg.K)

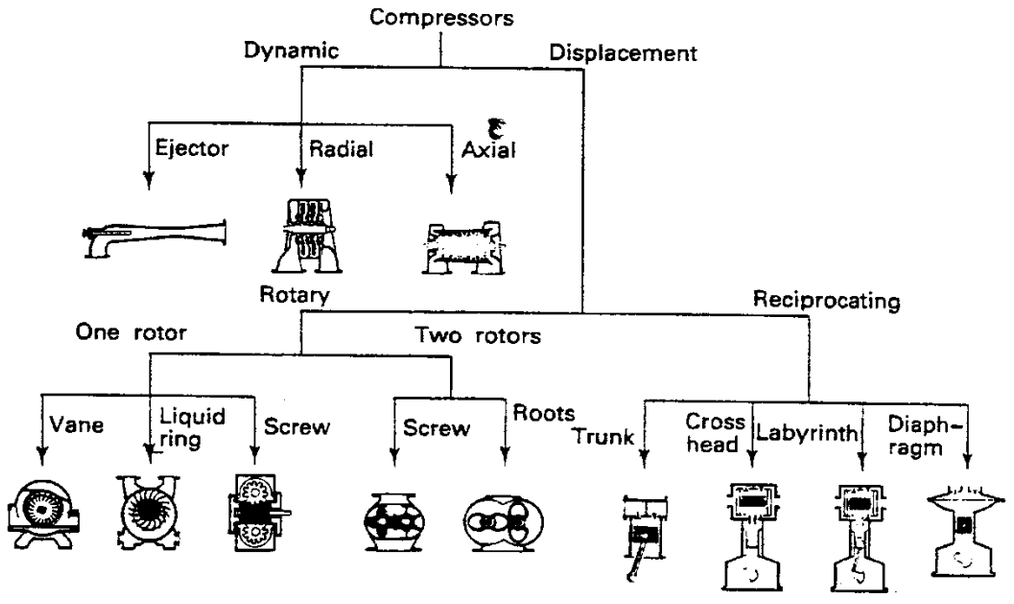
$\dot{m}$ = อัตราไหลเชิงมวล (kg/sec)

T = อุณหภูมิของอากาศ (Kelvin)

$\frac{P_2}{P_1}$ = อัตราส่วนอัด (Compression Ratio)

<u>ประเภทของเครื่องอัดอากาศ</u>

โดยทั่วไปเครื่องอัดอากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทปริมาตร (Displacement type) และประเภทไดนามิคส์ (Dynamic type)



รูปที่ 1-36 ประเภทของ Compressor

เครื่องอัดอากาศประเภทปริมาตร (Displacement type)

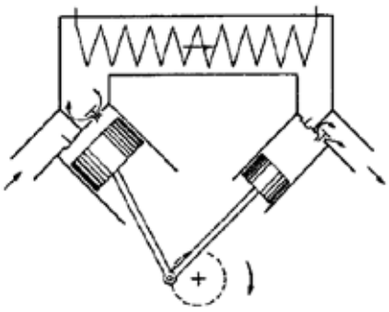
มีหลักการทำงานคือให้อากาศไหลเข้าไปในปริมาตรอันหนึ่งภายในเครื่องอัด แล้วลดปริมาตรอากาศนี้ลง โดยใช้พลังงานจากภายนอก เมื่ออากาศมีปริมาตรน้อยลงความดันของอากาศจะสูงขึ้น เมื่อความดันสูงขึ้นแล้วก็จะถูกปล่อยออกไปเป็นอากาศที่มีความดัน เครื่องอัดอากาศปริมาตรนี้ มีทั้งแบบลูกสูบและแบบโรตารี่ แบบลูกสูบเป็นแบบที่ใช้กันมานานและยังคงใช้มากอยู่ในปัจจุบัน แบบลูกสูบมีหลายชนิด ได้แก่ single-stage, two-stage และ two-stage double acting ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะแบบ two-stage double acting ส่วนแบบโรตารี่เช่น rotary vane และ rotary screw ซึ่งมีทั้งแบบ oil-flooded และ oil-free มีประสิทธิภาพดีพอสมควร

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

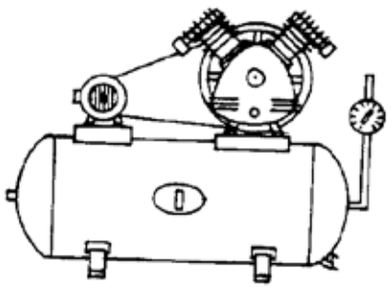
เครื่องแบบลูกสูบสามารถอัดอากาศได้ในช่วงความดันที่กว้าง สำหรับแบบ single-stage สามารถอัดอากาศได้ถึงความดัน 10 bar ส่วนเครื่องชนิด two-stage สามารถอัดอากาศได้ถึง 70 bar เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเป็นเครื่องอัดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอื่น โดยเฉพาะแบบ two-stage double acting with intercooling

การเลือกใช้แบบต่างๆ นั้น โดยทั่วไปเครื่องขนาดเล็กมากนิยมใช้เป็นแบบ single-stage และระบายความร้อนด้วยอากาศ ส่วนเครื่องขนาดที่ใหญ่ขึ้นมักเป็นแบบ two-stage และระบายความร้อนด้วยอากาศ สำหรับเครื่องที่ใหญ่มากมักจะเป็นแบบ two-stage double acting และระบายความร้อนด้วยน้ำ การระบายความร้อนด้วยน้ำจะสามารถระบายความร้อนออกจากอากาศที่กำลังอัดอยู่ได้มากกว่าแบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ และแบบระบายความร้อนด้วยน้ำจะให้ประสิทธิภาพของการอัดที่สูงกว่า แต่ในบางกรณีที่แม้ต้องการปริมาณอากาศไม่มากแต่ต้องการอากาศที่มีความดันสูง ก็อาจเลือกใช้แบบ multistage ได้

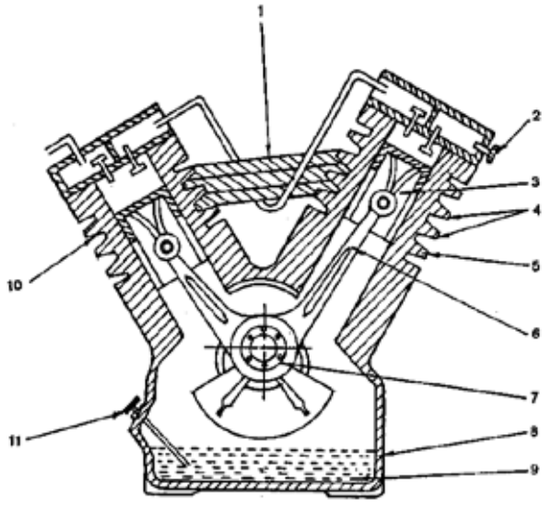
การวางลูกสูบมีแบบต่างๆ กัน เช่นระบบวางความยาวแบบ “W” และแบบ “H” เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบสามารถรับโหลดที่แปรเปลี่ยนได้ดี และสามารถทำงานในลักษณะ on-load โดยที่มอเตอร์ยังหมุนอยู่แต่ใช้พลังงานน้อยมาก



ลักษณะการทำงาน



ถังพักลมแบบนอน



Schematic view of two-stage reciprocating air compressor:
1. Intercooler with elements 2. Suction filter 3. Piston
4. Fins 5. First stage cylinder 6. Piston rod 7. Crank and-
crank shaft 8. Crank case 9. Oil 10. Second stage cylinder
11. Dip-stick and oil filter

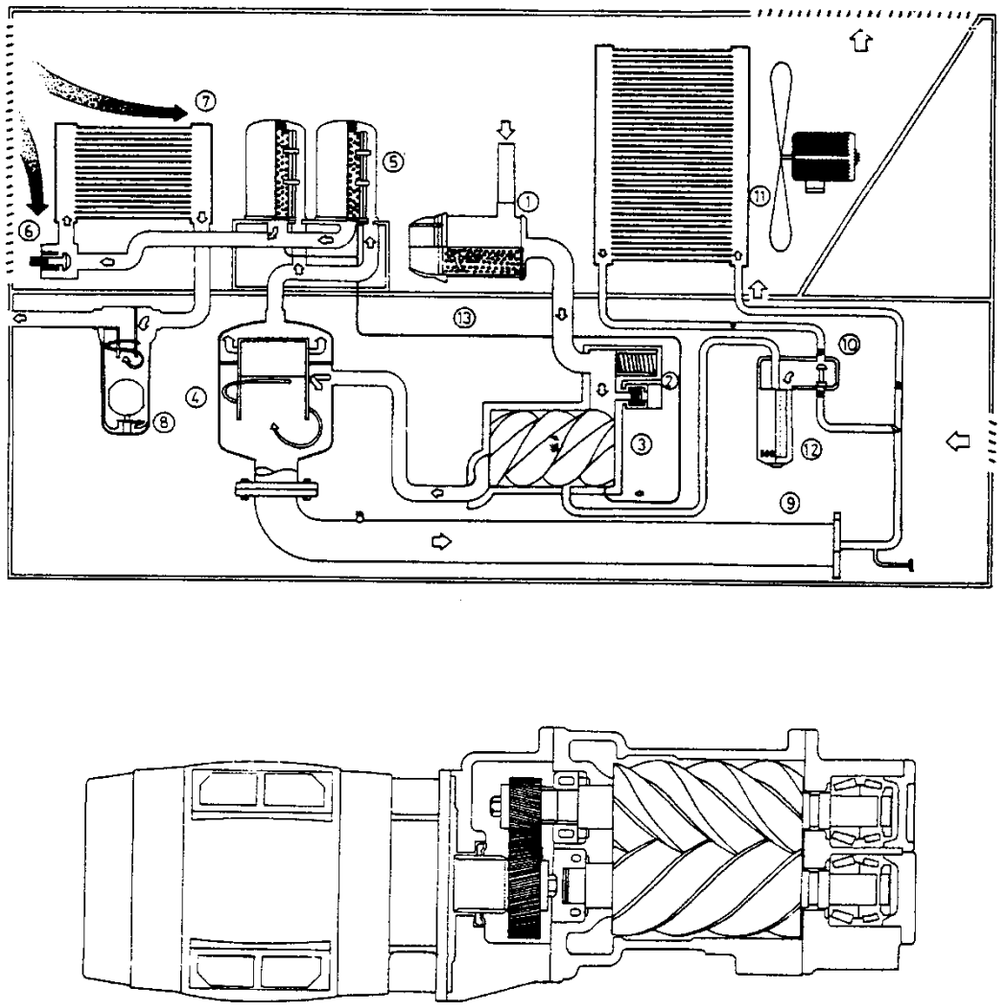
รูปที่ 1-37 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรู

เป็นเครื่องอัดอากาศแบบปริมาตรที่มีอัตราส่วนการอัดตายตัว หรือ Pressure Ratio มีค่าคงที่ โดยขึ้นอยู่กับรูปร่างของสกรู หลักการทำงานคือ มีโรเตอร์แบบสกรูสองตัวสวมกันได้พอดี ตัวหนึ่งเป็นตัวผู้ อีกตัวหนึ่งเป็นตัวเมีย โรเตอร์ทั้งสองถูกขับด้วยเฟือง โรเตอร์ทั้งสองนี้ไม่มีส่วนที่แตะกันและไม่แตะกับเสื้อ (casing) ด้วย การที่ทำงานโดยไม่แตะกันนี้ สามารถสร้างให้เป็นชนิดไม่มีน้ำมันได้ หรือแบบมีน้ำมันก็ได้

เครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรูนี้ ไม่มีวาล์วอากาศเข้าและวาล์วอากาศออกอย่างของแบบลูกสูบ มีแต่เพียงช่องอากาศเข้าและช่องอากาศออก ทำให้เครื่องแบบโรตารี่สามารถหมุนด้วยความเร็วสูง และเนื่องจากไม่มีกลไกในการเปิด-ปิดวาล์ว เครื่องอัดอากาศแบบนี้จึงสามารถอัดอากาศได้เป็นปริมาณมาก เมื่อเทียบขนาดของตัวเครื่องภายนอก และเหมาะสมที่ทำงานเป็น base-load คือทำงานอย่าง full-load อย่างต่อเนื่อง แต่ถ้าการทำงานของเครื่องโรตารี่สกรูที่โหลดต่ำ ประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงมาก ในบางกรณีการทำงานที่ no-load จะใช้พลังงานถึง 75% ของการทำงานที่ full-load

ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศแบบโรตารี่สกรูแบบ oil-flood จะมีค่าสูงกว่าแบบ oil-free เล็กน้อย เนื่องจาก ฟิล์มของน้ำมันทำหน้าที่เป็นซีลอุดช่องว่าง จึงทำให้อากาศรั่วในระหว่างการอัดมีน้อย แต่จะมีน้ำมันถูกอัดผสมติดเข้าไปกับอากาศอัดและต้องมีที่กับดักน้ำมันด้านอากาศออก เพื่อแยกน้ำมันออกจากอากาศ แล้วน้ำมันที่ถูกแยกออกไปนี้จะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ถึงอย่างไรก็ตามอาจจะมีไอน้ำมันจำนวนเล็กน้อยติดไปกับอากาศแล้วเข้าไปในระบบได้ สำหรับอากาศที่ใช้กับระบบเครื่องกลปริมาณน้ำมันจำนวนเล็กน้อยนี้ไม่มีปัญหาแต่อย่างไร แต่ถ้าเป็นการใช้อากาศอัดที่เกี่ยวข้องกับอาหาร การใช้เครื่องอัดอากาศแบบไม่มีน้ำมันก็เป็นสิ่งจำเป็น



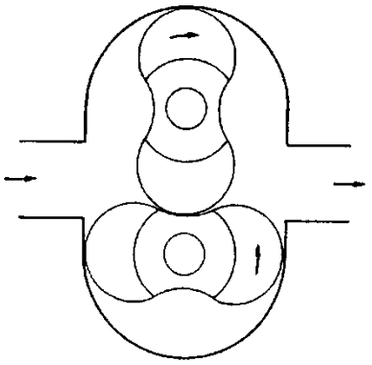
รูปที่ 1-38 เครื่องอัดอากาศแบบสกรู

เครื่องอัดอากาศแบบ Lobe Rotor

เครื่องอัดอากาศแบบนี้สามารถอัดอากาศได้ความดันค่อนข้างต่ำ คือประมาณ 0.7 bar อย่างไรก็ตามเครื่องอัดอากาศแบบนี้สามารถอัดอากาศได้ถึง 2 bar แต่ประสิทธิภาพจะต่ำลงมาก ข้อดีของเครื่องอัดอากาศแบบนี้คือ มีรูปแบบง่ายๆ การใช้งานได้ดี โดยเฉพาะที่ความดันช่วงต่ำๆ เครื่องอัดอากาศแบบนี้ใช้ความเร็วรอบประมาณ 250 รอบ/นาที จนถึง 6,000 รอบ/นาที

ปัญหาของเครื่องอัดอากาศแบบนี้คือ การอัดอากาศที่ความดันสูงจะมีการรั่วของอากาศจากด้านความดันสูงไปด้านความดันต่ำ เครื่องอัดอากาศนี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับแบบอื่นๆ ที่ความดันต่ำกว่า 0.6 bar ถ้าต้องการความดัน

ที่สูงขึ้นพร้อมที่มีประสิทธิภาพด้วยต้องทำเป็นแบบ two-stage with intercooling สามารถสร้างความดันได้ถึง 2 bar เครื่องอัดอากาศแบบนี้มีขนาดประมาณ 1.4-8.5 m^3/min

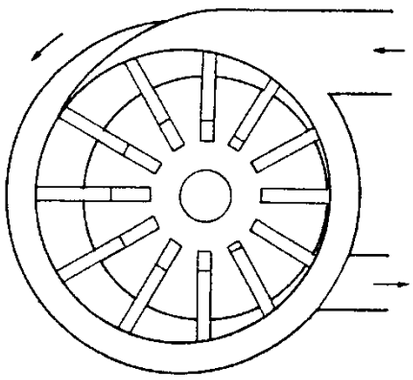


รูปที่ 1-39 เครื่องอัดอากาศแบบ Lobe rotor

เครื่องอัดอากาศแบบ Vane

การออกแบบของโรเตอร์ของเครื่องอัดอากาศจะเป็นแบบทรงกระบอกกลม โรเตอร์จะวางให้เยื้องศูนย์กับเสื้อ (casing) โรเตอร์จะมีร่องตามยาวกับแนวแกน ภายในร่องมีใบพัดตรง เมื่อโรเตอร์หมุน ใบพัดเหล่านี้จะถูกเหวี่ยงออกไปโดยที่ขอบของใบพัดสัมผัสกับเสื้อ ใบพัดนี้จะแบ่งช่องว่างระหว่างโรเตอร์กับเสื้อเป็นห้องๆ เมื่อโรเตอร์หมุนใบพัดหมุนตามไปด้วย เมื่อห้องหนึ่งหมุนมาตรงกับช่องอากาศเข้าอากาศจะเริ่มไหลเข้า เมื่อโรเตอร์หมุนต่อไปห้องนี้จะมีปริมาตรโตขึ้นก็จะดูดอากาศเข้า เมื่อโรเตอร์หมุนต่อไปใบพัดจะปิดช่องทางอากาศเข้า แล้วห้องนี้จะมีปริมาณเล็กลง ขณะเดียวกันความดันของอากาศจะสูงขึ้น เมื่อโรเตอร์หมุนต่อไปจนห้องอากาศนี้ตรงกับช่องทางออก อากาศที่มีความดัน จะไหลออกไป การทำงานจะหมุนเวียนไปเรื่อยๆ

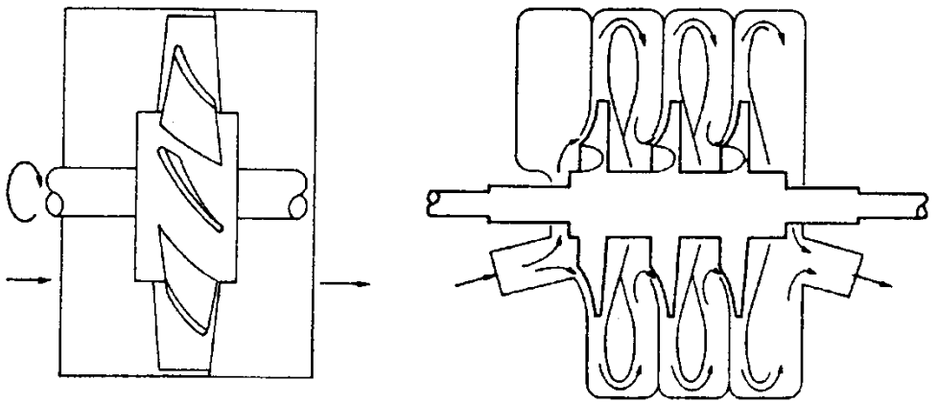
ปัญหาของเครื่องอัดอากาศแบบนี้อยู่ที่ความสึกหรอ ซึ่งเกิดจากการเสียดสีของปลายใบพัดกับภายในเสื้อ วัสดุที่ใช้ทำใบพัดตามปกติแล้วจะเป็นแผ่นเรซิ่น แต่สำหรับเครื่องขนาดเล็กจะเป็นเหล็กกล้าชุบแข็ง จำนวนใบพัดมีจำนวนมากที่สุดไม่เกิน 12 ใบ เมื่อขับด้วยความเร็วสูงจะได้ความดันของอากาศ 7 bar สำหรับเครื่องที่มีใบพัดน้อย เช่น 8 ใบ แต่ละใบต้องมีความแข็งแรงมากกว่า เครื่องอัดอากาศแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงที่ความดันต่ำ และมีขนาดในช่วง 1.5-6 m^3/min



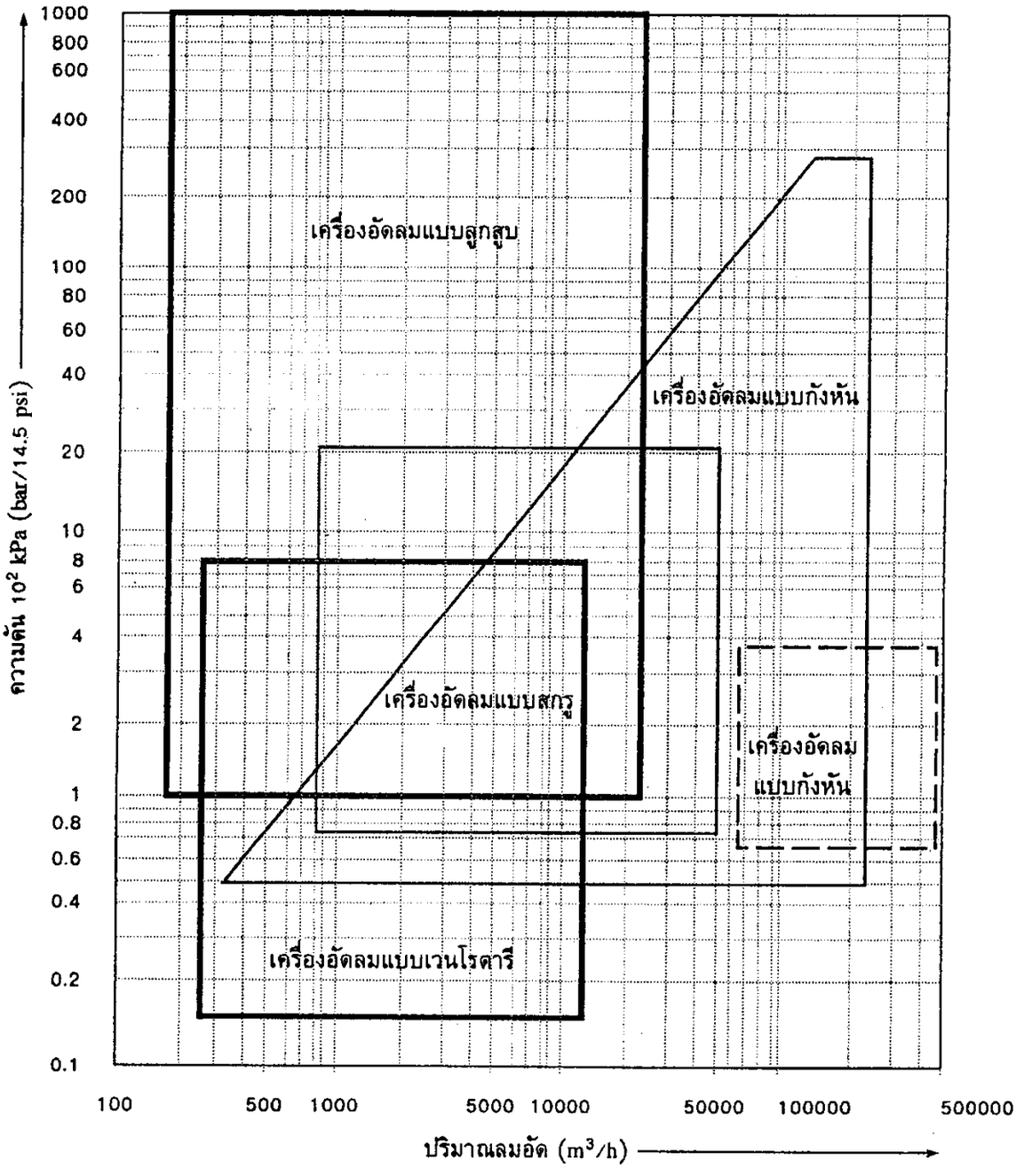
รูปที่ 1-40 เครื่องอัดอากาศแบบ Vane

เครื่องอัดอากาศแบบ Dynamic

มีหลักการทำงานคือ ให้พลังงานกลแก่อากาศทำให้อากาศมีความเร็วเพิ่มขึ้นโดยผ่านโรเตอร์แล้ว อาศัยรูปร่างของ casing ภายในเครื่องอัดอากาศลดความเร็วของอากาศลง จะทำให้พลังงานของอากาศในรูปของพลังงานจลน์เปลี่ยนเป็นความดันของอากาศแล้วอากาศนี้ ไหลผ่านช่องทางออก ตัวอย่างเครื่องอัดอากาศประเภทนี้ได้แก่ Centrifugal Compressor



รูปที่ 1-41 เครื่องอัดอากาศแบบ Dynamic



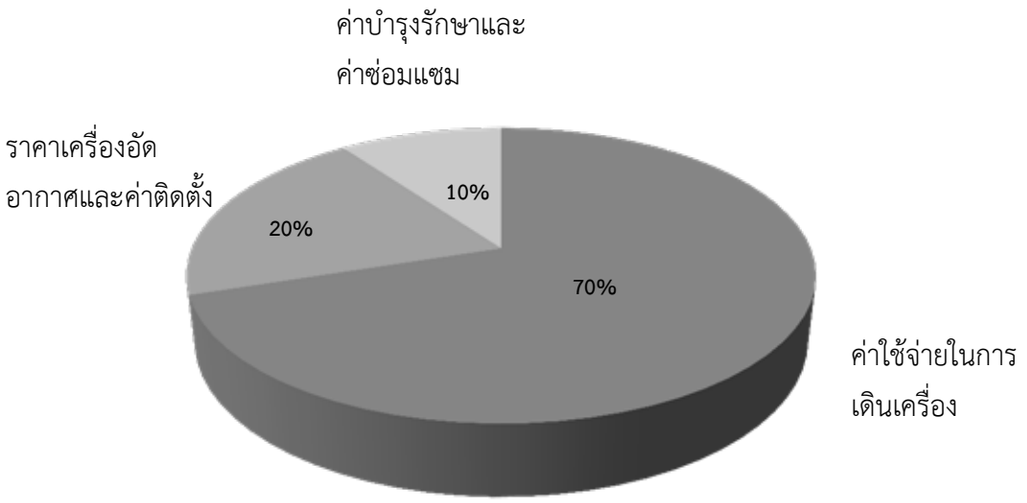
รูปที่ 1-42 การหาชนิดของเครื่องอัดลมสำหรับงานต่างๆ

ค่าใช้จ่ายของอากาศอัด

ค่าใช้จ่ายของระบบอัดอากาศ ประกอบด้วย:

- ราคาเครื่องปรับสภาพอากาศและค่าติดตั้ง
- ค่าบำรุงรักษาและค่าซ่อมแซม
- ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง
    - ค่าไฟฟ้า
    - ค่าวัสดุในการการหล่อลื่น
    - ค่าน้ำหล่อเย็น (หากมี)
    - ค่าแรงงาน

ซึ่งจะพบว่าระบบอัดอากาศที่มีอายุการใช้งานเกิน 15 ปี จะเสียค่าไฟฟ้า 60-70% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด



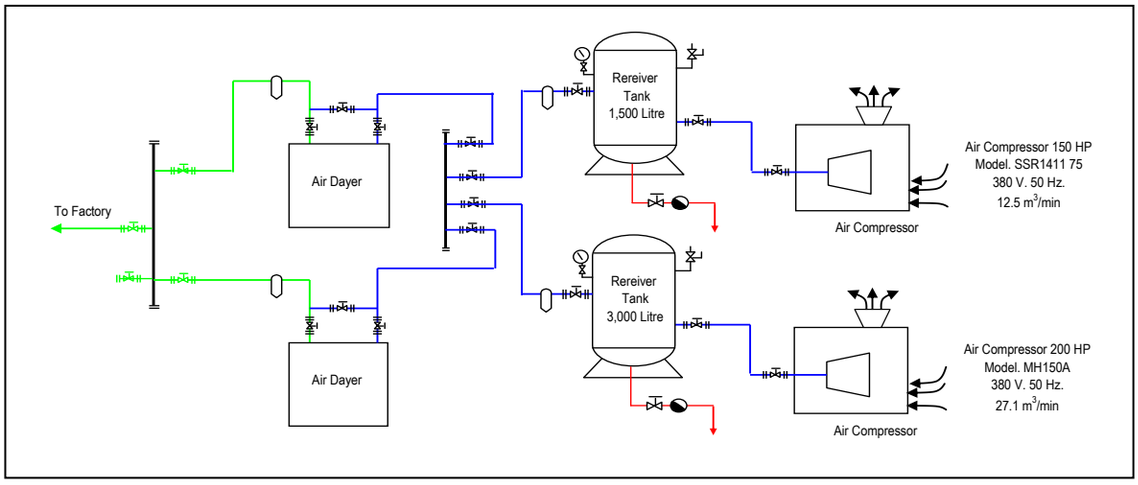
รูปที่ 1-43 สัดส่วนค่าใช้จ่ายต่างๆ ในระบบอัดอากาศโดยทั่วไป อายุการใช้งานเกิน 15 ปี

2.4.2 การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ โดยใช้เหล็กแผ่นมาขึ้นรูปตามแบบแม่พิมพ์ต่างๆ และผลิตแบบแม่พิมพ์ เพื่อส่งให้กับโรงงานประกอบต่อไป มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่กระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับเครื่องปั๊มเหล็ก เครื่องขึ้นรูป และเครื่องอัดอากาศ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ทางทีมงานอนุรักษ์พลังงานของโรงงานและทางทีมที่ปรึกษาได้ไปสำรวจการใช้พลังงานในส่วนต่างๆ ภายในโรงงานแล้ว พบว่าระบบอัดอากาศมีการใช้พลังงานมากที่สุด เนื่องจากเครื่องอัดอากาศมีพิกัดขนาด 100 แรงม้า (HP) จำนวน 3 ชุด สำรอง 1 ชุด และขนาด 200 แรงม้า (HP) จำนวน 1 ชุด โดยเปิดใช้งานตลอดเวลา เพื่อนำลมมาใช้ในกระบวนการเป่าทำความสะอาดชิ้นงาน และควบคุมระบบนิวแมติกส์ในเครื่องจักรต่างๆ

ผังการทำงาน



รูปแผนผังแสดงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจการใช้งานของระบบอากาศอัดของโรงงาน พบว่ามีการใช้เครื่องอัดอากาศ จำนวน 4 ชุด โดยปกติจะเปิดใช้งานจำนวน 2 ชุด เมื่อตรวจสอบการทำงานและสภาพการใช้งานของเครื่องดังกล่าวฯ แล้ว พบว่าไส้กรองอากาศ Filter Air Compressor สำหรับกรองอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ขาดการบำรุงรักษาทำให้มีคราบน้ำมันและฝุ่นต่างๆ เกาะติดตามไส้กรองและครีบระบายความร้อนเป็นปริมาณมาก เนื่องจากเจ้าหน้าที่ที่ดูแลเครื่องได้เปิดฝาเครื่องอัดอากาศเพื่อระบายความร้อน ทำให้มีคราบน้ำมันและฝุ่นต่างๆ เกาะติดตามไส้กรองได้เร็วยิ่งขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการอัดอากาศของเครื่องทำงานได้ไม่เต็มที่และดูดปริมาณอากาศได้น้อย เครื่องต้องทำงานหนักขึ้นและสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น

รูปแสดงการใช้งานของ Filter Air Compressor ก่อนการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. ทำความสะอาดไส้กรอง โดยการใช้ลมเป่าตามครีบของไส้กรองให้สะอาด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศทำให้ดูดปริมาณอากาศได้มากขึ้นและช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้
2. จัดทำตารางการบำรุงรักษาอย่างชัดเจน เพื่อยืดอายุการใช้งานและช่วยทำให้เครื่องอัดอากาศทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตลอดเวลา

สภาพหลังปรับปรุง

หลังทำความสะอาดไส้กรองอากาศ Filter Air Compressor ทั้ง 2 เครื่องแล้วส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องดีขึ้น และสามารถลดอุณหภูมิของอากาศอัดให้เย็นตัวลงและลดความชื้นได้เร็วขึ้น ดังนั้นจากการดำเนินการตามขั้นตอนทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ คิดเป็นผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า 15,719.89 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี หรือคิดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย 56,906.01 บาท/ปี

รูปแสดงการใช้งานของ Filter Air Compressor หลังปรับปรุง

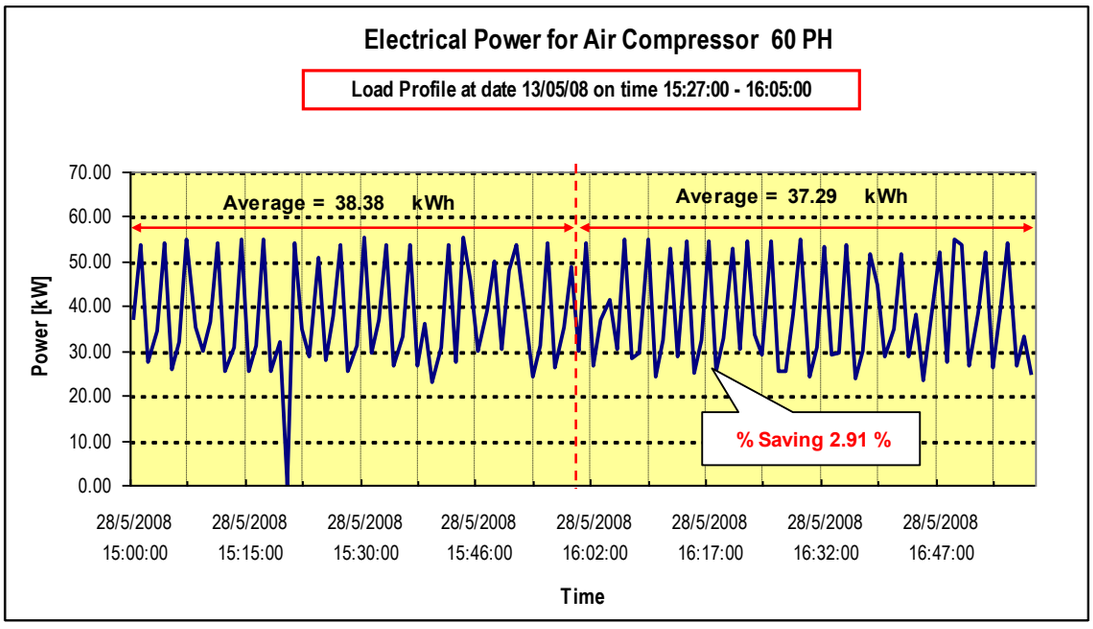
ระยะเวลาดำเนินการ	12	เดือน
เงินลงทุน	-	บาท
ผลที่ประหยัดได้	56,906.01	บาท/ปี (เท่ากับ 1.338 toe/ปี)
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

แนวทางการขยายผล

หลังจากที่มีการกำหนดแผนการบำรุงรักษาและทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอในแต่ละเดือน ต้องมีการจัดทำตารางบันทึกประวัติการบำรุงรักษาของเครื่องอัดอากาศ และทำการตรวจเช็คหลังจากที่มีการบำรุงรักษาแล้วว่าเครื่องมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าจากการใช้งานว่าลดลงหรือไม่

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จำนวนเครื่องอัดอากาศที่ใช้งาน	=	2	เครื่อง
ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 100 HP กำลังไฟฟ้าที่ตรวจวัดเฉลี่ย		67.71	kW.
ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้า 200 HP กำลังไฟฟ้าที่ตรวจวัดเฉลี่ย		165.80	kW.
กำลังไฟฟ้าที่ตรวจวัดรวม	=	233.51 kW.	
ชั่วโมงการเปิดใช้งาน	=	12	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	330	วัน/ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงานเฉลี่ยทั้ง 2 ชุด	=	85.0	%
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ	=	233.51 x 12 x 330 x 85/100	
	=	785,994.66	kWh/ปี



* หมายเหตุ : ข้อมูลจาก Technical data ของ compressor energy efficiency ผลต่างที่ประหยัดได้ 2-4 % พลังงานที่ประหยัดได้ Energy Saving

ดังนั้น หลังจากทำความสะอาดไส้กรอง Filter Air Compressor ทั้งหมดคาดว่าจะประหยัดพลังงานได้ 2-4 %

พลังงานที่ประหยัดได้	=	(785,994.66 x 2.0 %)	
	=	15,719.89	kWh/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	=	3.62	บาท/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	(15,719.89 x 3.62)	
	=	56,906.01	บาท/ปี
คิดเป็นผลประหยัดจากพลังงาน	=	(15,719.89 x 3.60)	
	=	56,591.62	MJ/ปี
	=	1.338	toe/ปี

การลงทุน

มาตรการนี้ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ เนื่องจากทางโรงงานสามารถดำเนินการได้เอง

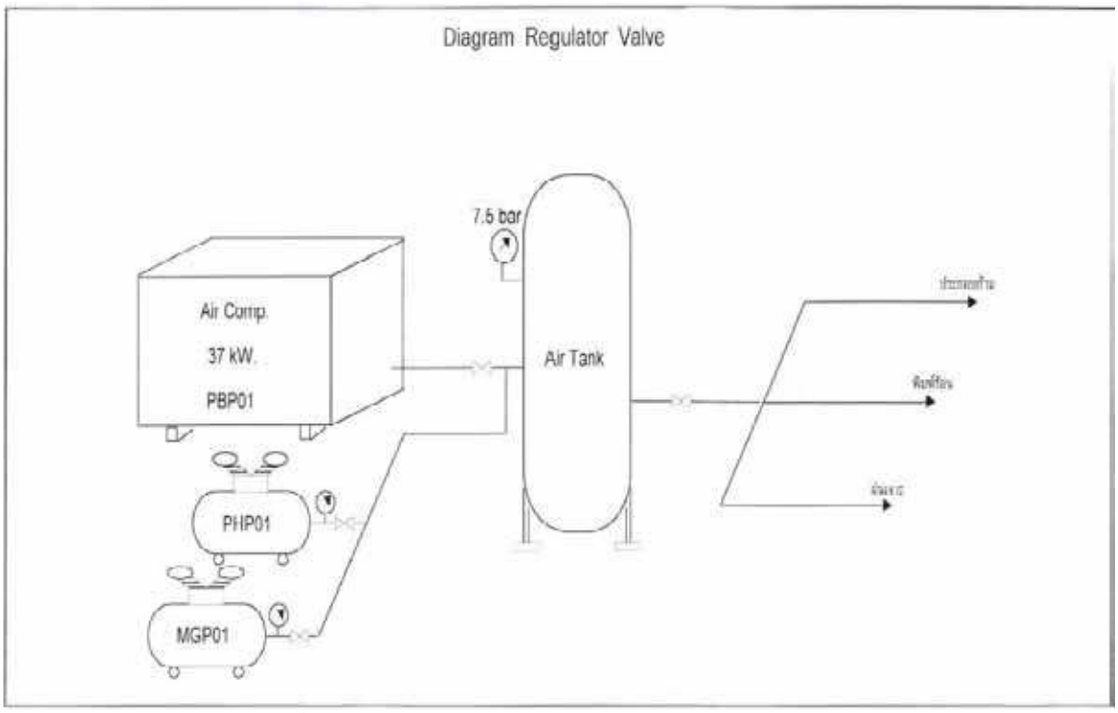
2.4.3 การบริหารการเดินเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับโหลด

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการเป็นอุตสาหกรรมผลิตดิสเบรกรถยนต์และมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบอัดอากาศในแผนกปั๊มพิมพ์ร้อนและแผนกถ่างประกอบก้ามเบรกโดยติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศแบบสกรู ขนาด 37 กิโลวัตต์ (50 แรงม้า) จำนวน 1 เครื่อง ใช้ในตอนกลางวัน และตอนกลางคืน ส่วนเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ขนาด 11 กิโลวัตต์ จำนวน 2 เครื่องจะใช้เป็นชุดสำรองไว้ เมื่อเครื่องอัดอากาศตัวใหญ่มีปัญหา ในการออกแบบท่อลมอัดนั้นทางโรงงานได้เดินท่อลมรอบโรงงาน และต่อท่อไปยังจุดที่ใช้งาน

รูปเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในกระบวนการผลิตขนาด 37 กิโลวัตต์

รูปเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในกระบวนการผลิตขนาด 11 กิโลวัตต์ 2 เครื่อง



รูปผังการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ และแนวการเดินท่ออากาศอัดไปยังจุดใช้งาน

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

จากผังการทำงานด้านบน จะเห็นได้ว่าปัจจุบัน ท่อส่งจ่ายอากาศอัดสามารถส่งจ่ายอากาศอัดไปทั่วทั้งโรงงาน เป็นระบบท่อเดียวกันทั้งส่วนของแผนกปั๊มพิมพ์ร้อน และแผนกประกอบก้าม โดยที่ปริมาณการใช้อากาศอัดในช่วงตอนกลางวันจะมีมากกว่าช่วงตอนกลางคืน ซึ่งช่วงตอนกลางคืนจะใช้เฉพาะสำหรับเป่าทำความสะอาดในแผนกฝนเจาะเท่านั้น แต่ต้องเปิดเครื่องอัดอากาศ ขนาด 37 กิโลวัตต์ ใช้งานในตอนกลางคืน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

เนื่องจากทางโรงงานได้ทราบว่าเครื่องอัดอากาศแบบสกรู นั้นมีค่าพลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลา Load และ Unload ดังนั้นทางทีมงานจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการบริหารการเดินเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับโหลด โดยการควบคุมการใช้งานเครื่องอัดอากาศ ซึ่งจะเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศ ขนาด 37 กิโลวัตต์ ในตอนกลางวัน ส่วนเครื่องอัดอากาศขนาด 11 กิโลวัตต์ จะเปิดใช้งานในตอนกลางคืน

โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขดังนี้

1. ประชุมร่วมกับทางทีมงานที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ในส่วนโรงงานเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น
2. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ
3. ประเมินผลการสูญเสียพลังงานจากการทำงานของเครื่องอัดอากาศชุดเดิม
4. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

สภาพหลังการปรับปรุง

เมื่อทางทีมงานได้ข้อสรุปถึงแนวทางการดำเนินการแล้วนั้น จึงได้ดำเนินการปรับปรุงตามแนวทางดังกล่าว พบว่าในตอนเวลากลางคืน จะเปิดใช้เฉพาะเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ขนาด 11 กิโลวัตต์ จำนวน 1 ตัว ซึ่งพบว่าไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

การวิเคราะห์ผลประหยัดสำหรับมาตรการนี้ จะวิเคราะห์จากค่าพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศแบบสกรู และแบบลูกสูบ ก่อนและหลังจากการปรับปรุง โดยมีรายละเอียดเบื้องต้นมีดังต่อไปนี้

<u>ก่อนการปรับปรุง</u>

เครื่องอัดอากาศขนาด 37 กิโลวัตต์

พลังไฟฟ้าตรวจวัด (Load)	=	33.5	kW
พลังไฟฟ้าตรวจวัด (Unload)	=	15.8	kW
ชั่วโมงช่วงเวลากลางคืนที่ใช้งานต่อวัน	=	6	ชั่วโมงต่อวัน
วันทำงาน	=	300	วันต่อปี
เวลาในการทำงานช่วง (Load)	=	1.8	ชั่วโมงต่อวัน
เวลาในการทำงานช่วง (Unload)	=	4.2	ชั่วโมงต่อวัน

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง Load	=	kW_{Load} x ชั่วโมงการเปิดใช้งานต่อวัน x วันทำงานต่อปี
	=	33.5 x 1.8 x 300
	=	18,090 kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง Unload	=	kW_{Unload} x ชั่วโมงการเปิดใช้งานต่อวัน x วันทำงานต่อปี
	=	15.8 x 4.2 x 300
	=	19,908 kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้ารวม	=	18,090 + 19,908 kWh/ปี
	=	37,998 kWh/ปี

<u>หลังการปรับปรุง</u>

เครื่องอัดอากาศขนาด 11 กิโลวัตต์

พลังไฟฟ้าตรวจวัด (Load)	= 10.5 kW
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง Load	= kW_{Load} x ชั่วโมงการเปิดใช้งานต่อปีx เปอร์เซ็นต์การทำงานในช่วง Load
	= 10.5 x 6 x 300 x 0.66
	= 12,474 kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= 37,998 - 12,474 kWh/ปี
	= 25,524 kWh/ปี
	= 25,524 x 3.54 บาทต่อปี
	= 90,354.90 บาทต่อปี

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	การบริหารการเดินเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับโหลด
เงินลงทุน	- บาท
ผลที่ประหยัดได้	25,524 kWh/ปี = 2.17 toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	90,354.90 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	คืนทุนทันที

2.4.4 การปรับลดแรงดันอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานการดำเนินการผลิตประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 189,840.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 1,158,829.16 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.65 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศ 2 ตัว

ข้อมูลทั่วไป	เครื่องอัดอากาศ 1	เครื่องอัดอากาศ 2
ขนาดมอเตอร์ (กิโลวัตต์)	2.2	2.2
ขนาดถัง (ลิตร)	120	120
ประเภท	ลูกสูบ	ลูกสูบ
ความดันใช้งาน (บาร์)	10.0	10.0

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานพบว่าในโรงงานมีการปรับตั้งค่าแรงดันอากาศอัดที่สูง เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์

รูปแสดงแรงดันเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในโรงงาน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางโรงงานควรมีการลดแรงดันอากาศให้เหมาะสม เพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็น โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยตรวจวัดแรงดันอากาศและอุปกรณ์ที่ใช้งาน ชั่วโมงการใช้ทำงาน และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา ในการปรับลดแรงดันอากาศอัด และระยะเวลาการดำเนินการ
3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ โดยเลือกช่วงเวลาที่ทำการแก้ไขปรับปรุงโดยไม่กระทบต่อการผลิตของโรงงาน
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการจัดจ้างบริษัทเพื่อเข้าดำเนินการ ทั้งนี้จะทำการสอบถามรายละเอียดขั้นตอนในการทำงานทำการวางแผนเตรียมความพร้อม
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการแก้ไขปรับปรุงพร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงลดแรงดันของระบบอากาศอัดพบว่า ทางโรงงานสามารถทำงานได้ตามปกติ และสามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้

รูปแสดงสภาพหลังปรับปรุง

ระยะเวลาของการดำเนินการ	2	สัปดาห์
เงินลงทุน	-	บาท
ผลประหยัดที่ได้	6,160.56	บาท/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	926.40	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	0.079	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

ชั่วโมงการทำงาน	=	16	ชม./วัน (300 วัน/ปี)
	=	4,800	ชม./ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	6.65	บาท/kWh
กำลังไฟฟ้าเครื่องอัดอากาศช่วงโหลด, Pw	=	1.50	kW
ความดันอากาศอัดก่อนปรับปรุง, P1	=	10	บาร์
ความดันอากาศอัดหลังปรับปรุง, P2	=	8	บาร์
ความดันอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ, Pa	=	1.013	บาร์

กำลังไฟฟ้าหลังปรับลดความดันอากาศ $= Pw \times \{[(P2/Pa)^{(k-1)/(ik)} - 1]/[(P1/Pa)^{(k-1)/(ik)} - 1]\}$

เมื่อ

K คือ อัตราส่วนความร้อนจำเพาะของอากาศ มีค่า เท่ากับ 1.4

i คือ ขั้นตอนการอัด(stage) ของเครื่องอัดอากาศ มีค่า เท่ากับ 1

$= 1.50 \times \{[(8/1.013)^{(1.4-1)/(1 \times 1.4)} - 1]/ [(10/1.013)^{(1.4-1)/(1 \times 1.4)} - 1]\}$

$= 1.307$ kW

กำลังไฟฟ้าที่ประหยัด	= กำลังไฟฟ้าก่อน – กำลังไฟฟ้าหลัง	
	= 1.50 - 1.307	kW
	= 0.193	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงรวม x ชั่วโมงการใช้งาน	
	= 0.193 kW x 4,800 ชั่วโมง/ปี	
	= 926.40	kWh/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	$= 926.40 \times 85.21 \times 10^{-6}$	
	= 0.079	toe/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	
	= 926.40 kWh/ปี x 6.65 บาท/kWh	
	= 6,160.56	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าปรับปรุง	=	-	บาท
ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	6,160.56	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี

2.4.5 การลดการใช้งานอากาศอัดที่ไม่เหมาะสม

ความเป็นมาและลักษณะการใช้พลังงาน

สถานประกอบการเป็นโรงงานอุตสาหกรรมพลาสติก มีการทำงานในส่วนการผลิต 18 ชั่วโมงต่อวัน วันทำงาน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบปีที่ผ่านมา (พ.ย. 2552 - ก.ค. 2553) 929,096 kWh/ปี ค่าพลังงาน 3,068,891.65 บาท อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.30 บาท/หน่วย

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจระบบอัดอากาศภายในโรงงาน พบว่ามีทั้งหมด 1 ชุด ขนาด 11 kW จ่ายอากาศอัดให้กับส่วนผลิต 2 ส่วนหลักๆ คือ จ่ายลมให้กับแผนกเป่าเส้นเทป เพื่อกรอเส้นพลาสติก และเป่าลมทำความสะอาด ในการเป่าลมทำความสะอาดนั้น พบว่ามีการใช้อากาศอัดที่ไม่เหมาะสม กล่าวคือมีการใช้เป่าทำความสะอาดตามร่างกาย ผ่านทางสายฉีดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. มีระยะเวลาการใช้เฉลี่ย 1 ชั่วโมง/วัน ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็น

รูปหัวฉีด ก่อนการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

จากการระดมแนวคิดเพื่อหามาตรการประหยัดพลังงาน ได้ข้อสรุปว่าควรจะมีการใช้หัวฉีดเป็นแบบปืนลม ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณอากาศที่ใช้ลงได้ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงทำให้เครื่องอัดอากาศทำงานน้อยลง ประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยการดำเนินงานช่วงแรกจะทำการปรับเปลี่ยนหัวฉีดจำนวน 3 จุด

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สำรวจบริเวณที่ต้องการเปลี่ยนหัวฉีดเป็นแบบปืนลม
2. วางแผนการดำเนินงาน
3. คำนวณผลประหยัด และคิดระยะเวลาคืนทุน เพื่อนำเสนอผู้บริหารอนุมัติเงินลงทุน
4. เปลี่ยนหัวฉีดเป็นแบบปืนลม เมื่อผู้บริหารอนุมัติ
5. ติดตามผลจากผู้ใช้งาน
6. ถ้าไม่มีผลกระทบกับผู้ใช้งาน ให้ผู้บริหารออกเอกสารแจ้งผลการดำเนินงานของทีมงาน และแจ้งผลประหยัดให้พนักงานทุกท่านในโรงงานทราบ

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากมีการเปลี่ยนหัวฉีดจากเดิมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. เป็นปืนลมที่มีขนาดหัวฉีดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. ทำให้อากาศอัดที่ใช้ในการทำความสะอาดใช้ปริมาณลดลง

รูปหัวฉีดแบบปืนลม หลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางแสดงปริมาณลมที่ปล่อยผ่าน Orifice ขนาดต่างๆ (l/s)

ความดันลม (kPa)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Orifice (มม.)									
	0.5	1	2	3	4	5	6	8	10	12.5
50	0.06	0.22	0.92	2.10	3.90	5.70	9.12	15.96	22.80	35.50
100	0.08	0.33	1.33	3.00	5.70	8.40	13.44	23.52	33.60	52.50
250	0.14	0.58	2.33	5.50	10.05	14.60	23.40	41.00	58.60	91.40
400	0.21	0.81	3.28	7.48	13.98	20.48	32.77	57.36	81.94	127.76
500	0.25	0.97	3.92	8.80	16.60	24.40	39.02	68.26	97.50	152.00
550	0.27	1.06	4.24	9.53	18.00	26.47	42.27	73.85	105.44	164.77
600	0.29	1.14	4.56	10.20	19.33	28.45	45.41	79.33	113.25	177.00
700	0.33	1.31	5.19	11.60	22.05	32.50	51.80	90.40	129.00	202.00

ที่มา: คู่มือประหยัดพลังงานสำหรับระบบอัดอากาศ โดยศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย

โรงงานมีจุดเป่าทำความสะอาด ซึ่งมีรายละเอียดการใช้งานดังนี้

จุดที่ใช้ลม	ก่อน	หลัง
ความดันลม (บาร์)	5	5
ขนาดท่อ (มม.)	5	3
จำนวนจุด	3	3
ความถี่ที่ใช้ (ช.ม./วัน)	1	1

พิจารณาปริมาณลมอัดที่ต้องสูญเสียจากการใช้เป่าทำความสะอาด ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 5 มม. ที่แรงดัน 5 บาร์ จากตารางด้านบน มีค่าเท่ากับ 24.40 l/s

ปริมาณลมอัดที่สูญเสียนี้สามารถลดลงได้โดยการเปลี่ยนขนาดหัวฉีดให้เหลือเท่าที่จำเป็น โดยการใช้หัวฉีดแบบปืนกดขนาดหัวฉีด 3 มม. ที่ระดับความดันเท่าเดิม ซึ่งสามารถคำนวณได้เท่ากับ 8.80 l/s

ปริมาณลมอัดที่ใช้เป่าทำความสะอาดลงลงเท่ากับ 24.40 – 8.80 l/s เท่ากับ 15.60 l/s

กำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องอัดอากาศที่ความดันลม 5 บาร์	= 0.34	kW/l/s
ดังนั้นใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 0.34 x 15.60 x 3 kW	= 15.91	kW
ในแต่ละวันมีการใช้งานประมาณ 1 ช.ม./วัน เวลาทำงาน 300 วัน/ปี		
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 15.91 x 1 x 300 kWh/yr	= 4,773	kWh/yr
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	= 3.30	บาท/kWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้เท่ากับ 4,773 x 3.30 บาท/ปี	= 15,750	บาท/ปี

การลงทุน

หัวฉีดแบบปืนมีราคาตัวละ			270	บาท
จำนวนหัวฉีดทั้งหมด			4	หัว
เงินลงทุนทั้งหมดเท่ากับ	270 x 4	=	1,080	บาท

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การลดการใช้งานอากาศอัดที่ไม่เหมาะสม

เงินลงทุน	1,080	บาท
ผลที่ประหยัดได้	4,773	kWh/ปี
	0.41	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	15,750	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.07	ปี

2.4.6 มาตรการลดการรั่วไหลของลมในระบบอากาศอัด

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการดำเนินการผลิตประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 189,840.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 1,158,829.16 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.65 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานเครื่องอัดอากาศ 2 ตัว

ข้อมูลทั่วไป	เครื่องอัดอากาศ 1	เครื่องอัดอากาศ 2
ขนาดมอเตอร์ (กิโลวัตต์)	2.2	2.2
ขนาดถัง (ลิตร)	120	120
ประเภท	ลูกสูบ	ลูกสูบ
ความดันใช้งาน (บาร์)	10.0	10.0

รูปแสดงเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในโรงงาน

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานพบว่าในโรงงานมีอากาศอัดที่รั่วไหล เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์

ตารางแสดงขนาดรูและปริมาณจุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด

ขนาดรู (มม.)	จำนวน (จุด)
0.5	2
1	2

รูปแสดงจุดรั่วไหลของอากาศอัดในโรงงาน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางบริษัทควรมีการปรับปรุงโดยทำการแก้ไขจุดที่มีอากาศรั่วไหลในระบบ เพื่อเป็นการลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียโดยไม่จำเป็น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยทำการสำรวจจุดรั่วไหลพลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ชั่วโมงการใช้ทำงาน และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา โดยสอบถามค่าดำเนินการในการแก้ไขจุดรั่วไหลของอากาศอัด การติดตั้งและระยะเวลาการดำเนินการ
3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ โดยเลือกช่วงเวลาที่ทำการปรับปรุงโดยไม่กระทบต่อการผลิตของโรงงาน
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการจัดจ้างบริษัทเพื่อเข้าดำเนินการ ทั้งนี้จะทำการสอบถามรายละเอียดขั้นตอนในการทำงานทำการวางแผนเตรียมความพร้อม
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการติดตั้งหุ้มฉนวนให้เหมาะสม พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงพบว่าการผลิตของทางโรงงาน สามารถทำงานได้ตามปกติ และสามารถลดการสูญเสียพลังงานลงได้

รูปแสดงการปรับปรุงจุดรั่วไหลของระบบอากาศอัดในโรงงาน

ระยะเวลาของการดำเนินการ	2	สัปดาห์
เงินลงทุน	-	บาท
ผลประหยัดที่ได้	44,368.80	บาท/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	6,672.00	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	0.569	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

การคำนวณใช้ข้อมูลอ้างอิงการประมาณลมรั่ว จากคู่มือการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน ตารางแสดงปริมาณอากาศอัดที่ความดัน 9 บาร์ ไหลผ่านรูขนาดต่างๆ

Hole diameter (มม.)	Air leakage at 9 bar (l/s)
0.5	0.40
1	1.58
2	6.33
3	14.25

จากตารางแสดงปริมาณอากาศอัดที่ความดัน 9 บาร์ ไหลผ่านรูขนาดต่างๆ ข้างต้น ขนาดรู 0.5 และ 1 มม. จะสิ้นเปลืองอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ 0.40 และ 1.58 l/s ตามลำดับ

ชั่วโมงการทำงาน	=	16	ชม./วัน (300 วัน/ปี)	=	4,800	ชม./ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	6.65	บาท/kWh			
ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า	=	0.35	kW/l/s			

การคำนวณผลการประหยัดพลังงานขนาดรู 0.5 มม.

จำนวนจุดที่มีการรั่วไหล = 2 จุด

ปริมาณอากาศอัดที่สูญเสีย = ปริมาณอาศอัดรั่วไหล x จำนวนจุด

= 0.40 l/s x 2 จุด

= 0.80 l/s

การคำนวณผลการประหยัดพลังงานขนาดรู 1 มม.

จำนวนจุดที่มีการรั่วไหล = 2 จุด

ปริมาณอากาศอัดที่สูญเสีย = ปริมาณอากาศอัดรั่วไหล x จำนวนจุด

= 1.58 l/s x 2 จุด

= 3.16 l/s

ผลการประหยัด

ปริมาณอากาศที่สูญเสีย = ปริมาณอากาศอัดที่สูญเสียขนาดรู 0.5 มม.+ ปริมาณอากาศอัดที่สูญเสียขนาดรู 1 มม.

= 0.80 + 3.16 l/s = 3.96 l/s

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง = ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า x ปริมาณอากาศที่สูญเสีย

= 0.35 kW/l/s x 3.96 l/s

= 1.39 kW

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงรวม x ชั่วโมงการใช้งาน

= 1.39 kW x 4,800 ชั่วโมง/ปี

= 6,672.00 kWh/ปี

เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ = $6{,}672.00 \times 85.21 \times 10^{-6}$

= 0.569 toe/ปี

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย

= 6,672.00 kWh/ปี x 6.65 บาท/kWh

= 44,368.80 บาท/ปี

การลงทุน

ค่าปรับปรุง = - บาท

ค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 44,368.80 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = - ปี

2.4.7 มาตรการลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานเปิดดำเนินการโดยประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 907,878 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 3,027,720 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.34 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม คณะทำงานของทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการได้ร่วมกันสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานของสถานประกอบการจากการสำรวจ พบว่าทางบริษัทฯ มีเครื่องเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) จำนวน 2 ชุด ชุดละ 20 kW (MP 20 Bar) แต่จากการร่วมกันสำรวจพบว่าบริเวณพื้นที่ตั้งของเครื่องอัดอากาศมีอุณหภูมิโดยรอบสูงมาก เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าว มีเครื่องอัดอากาศตั้งอยู่ 2 ชุด ทั้งยังมีเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ตั้งอยู่ด้วยซึ่งแผงระบายความร้อน (Condenser) ก็อยู่ในพื้นที่ดังกล่าวด้วย ดังนั้นทำให้อุณหภูมิ อากาศเข้าเครื่องอัดอากาศสูง เป็นสาเหตุให้เครื่องอัดอากาศทำงานหนัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ข้อมูลทั่วไป	เครื่องอัดอากาศ	หน่วย
กำลังไฟฟ้า	20	kW
จำนวน	2	ชุด
เวลาใช้งานต่อวัน	16	ชั่วโมง

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจและตรวจวัดของทีมงานพบว่า อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศสูงเนื่อง จากบริเวณดังกล่าวมีเครื่องจักรตั้งอยู่หลายตัว และพื้นที่เป็นพื้นที่แคบอับอากาศ อากาศถ่ายเทไม่สะดวก ซึ่งทำให้อุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องสูง จากการตรวจวัดอุณหภูมิเข้าเครื่องอัดอากาศ ก่อนปรับปรุงได้ 47-48 °C ซึ่งเป็นเหตุให้เครื่องอัดอากาศทำงานหนัก และใช้พลังงานมาก โดยไม่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด จากการร่วมกันสำรวจดังกล่าว จึงได้สรุปการดำเนินงานและการปรับปรุงเพื่อลดอุณหภูมิอากาศ ก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

รูปแสดงพื้นที่ตั้งเครื่องอัดอากาศซึ่งมีเครื่องจักรตั้งอยู่หลายตัว

รูปแสดงเครื่องอัดอากาศตั้งอยู่ใกล้กับแผงระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการสำรวจ และตรวจวิเคราะห์การใช้งานของระบบเครื่องอัดอากาศ พบว่าอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศจากการตรวจวัดมีอุณหภูมิสูงถึง 47-48 °C จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความหนาแน่นของอากาศน้อย โมเลกุลของอากาศบางเบา ทำให้เครื่องต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อให้ได้ระดับแรงดันที่ตั้งไว้ คือ 20 bar ดังนั้นเครื่องอัดอากาศจึงต้องให้พลังงานมากตามไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงมีแนวทางปรับปรุงระบบดังกล่าวเพื่อลดอุณหภูมิเข้าเครื่องอัดอากาศ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากการประชุมร่วมกันของทีมที่ปรึกษา และทีมอนุรักษ์พลังงานของทางบริษัทฯ ผู้บริหารระดับสูง ซึ่งมีข้อสรุปและแนวทางปฏิบัติ ดังต่อไปนี้

1. ตรวจวัด และเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องอัดอากาศ
2. นำข้อมูลดังกล่าว มาดำเนินการต่อปล่องเพื่อนำความร้อนจากแผงระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นไปทิ้งนอกพื้นที่ และทำห้องให้เป็นแบบเปิดโล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก
3. วิเคราะห์การใช้งาน หลังดำเนินการปรับปรุงและวัดอุณหภูมิหลังปรับปรุงได้ 35-36 °C
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงระบบดังกล่าว ทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของบริษัทฯ ร่วมกัน
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการปรับปรุงระบบดังกล่าว พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ดำเนินการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ซึ่งอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะทำให้ความหนาแน่นและโมเลกุลของอากาศมากกว่า ทำให้เครื่องอัดอากาศทำงานน้อยลง ซึ่งการใช้พลังงานก็ลดลงตาม ซึ่งสามารถประเมินผลการประหยัดและค่าใช้จ่าย ได้ดังนี้

ระยะเวลาการดำเนินการ	30	วัน
เงินลงทุน	12,519	บาท
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	4,591	kWh/ปี (คิดเป็น 1.291 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	15,152.12	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.83	ปี

การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน จากการลดอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	สูตร	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	รวม
ชั่วโมงการใช้งานเครื่องอัดอากาศตลอดปี	ชั่วโมง/ปี	h		3,600	3000	
เวลาการเดินของเครื่องใน 1 Cycle หรือช่วง Load	Sec	T_L		250	210	
เวลาการหยุดของเครื่องใน 1 Cycle หรือ Unload	Sec	T_U		45	50	
ค่าคงที่ของอากาศ	kJ/kg K	R		0.2871	0.2871	
ค่าคงที่ (n)	-	n		1.3	1.3	
อุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องอัด	K	T_O		323	321	
อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด (เดิม)	K	T_I		320.8	320	
อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด หลังจากปรับปรุง	K	T_{IN}		306	305	
ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด	kPa	P_I		100	100	
ความดันอากาศออกเครื่องอัด	kPa	P_O		20000	20000	
พลังไฟฟ้าใช้กับเครื่องอัดช่วงรับ Load	kW	E_I		18.5	17.5	
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	บาท/kWh	C_E		3.30	3.3	
การคำนวณ						
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนปรับปรุง	kJ/kg	W_I	$W_I = (n/(n-1) \times R \times T_I \times ((P_O/P_I)^{n-1/n}-1)$	956.38	953.9985	
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังจากลดอุณหภูมิ	kJ/kg	W_{IN}	$W_I = (n/(n-1) \times R \times T_{IN} \times ((P_O/P_I)^{n-1/n}-1)$	912.26	909.2798	
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์พลังงานในการอัดลดลง	%	W_S	$W_S = ((W_I-W_{IN})/W_I) \times 100$	4.61	4.6875	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง	kWh/ปี	E_S	$E_S = E_I \times h \times (I_L/(T_L+T_U) \times (W_S/100)$	2,603.87	1987.68	4,591.55
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	บาท/ปี	Msave	$M_E = E_S \times C_E$	8,592.78	6559.345	15,152.12
คิดเป็นเทียบเท่าน้ำมันดิบ	toe/ปี		(Esave*85.21)/1000000			0.3912
การลงทุน						
ค่าใช้จ่ายในการเดินท่อ/ปล่อง	บาท	CT		7,169	5350	12,519
ระยะเวลาคืนทุน	ปี	PB	PE = CT/Msave	0.83	0.81563	0.826221

2.4.8 การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

บริษัทมีการใช้งานเครื่องอัดอากาศ ขนาด 50 แรงม้า (HP) เปิดใช้งาน 16 ชม.ต่อวัน (6.00-22.00 น.) ทำงาน 312 วันต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากปริมาณการใช้ลมมีความแปรผันตามการผลิต โดยพบว่าในช่วงที่มีการผลิตสูง มีการเปิดใช้งานตลอดเวลา แต่ปริมาณการใช้ลมมีไม่มาก ทำให้เครื่องทำงานแบบ unload เป็นเวลานาน จากการตรวจวัดในช่วงเวลา load ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 75 A มีค่าโหลดแฟคเตอร์อยู่ที่ประมาณ 0.6 ซึ่งในเวลา unload ยังใช้กระแสไฟฟ้าสูงถึง 50 A

รูปก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ทำการติดตั้งระบบ Inverter และชุด Controller เพื่อให้เครื่องอัดอากาศทำงานสัมพันธ์กับภาระการใช้งาน

- เมื่อภาระน้อย Inverter จะลดความถี่ลงเหลือ 30 Hz
- เมื่อภาระมาก Inverter จะเพิ่มความถี่กลับมาเป็น 50 Hz
- เมื่อไม่มีภาระ Inverter จะตัดการทำงาน (ตั้งเวลาตัดการทำงาน)

ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. สำรวจเก็บข้อมูลสภาพการใช้งานปัจจุบัน
2. ทีมงานร่วมกันหาวิธีการปรับปรุง
3. จัดทำแผนปฏิบัติและนำเสนอแผนต่อผู้บริหารเพื่อพิจารณาอนุมัติ
4. ดำเนินการตามแผนปฏิบัติ
5. ติดตามและประเมินผลโดยทีมงานอนุรักษ์พลังงานและทีมตรวจติดตามภายในที่ได้แต่งตั้งขึ้น
6. รายงานผลต่อผู้บริหาร

สภาพหลังปรับปรุง

รูปหลังปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	96,272	บาท
ผลประหยัดที่ได้	132,520.44	บาท/ปี (คิดเป็น 0.00349 ktoe/ปี)
ระยะเวลาคืนทุน	0.73	ปี

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

เปิดใช้งาน	16	ชั่วโมง/วัน
ทำงาน	312	วัน/ปี
ค่าไฟฟ้า	3.23	บาท/หน่วย
Inverter 50 HP	85,000	บาท
ชุด Controller	11,272	บาท

ก่อนปรับปรุง (บันทึกที่เวลา 16.00 น. ของทุกวัน)			**หลังปรับปรุง**		
วันที่	**kWh meter**	**kWh / วัน**	**วันที่**	**kWh meter**	**kWh / วัน**
11/6/2008	26,637	-	16/6/2008	29,158	-
12/6/2008	27,138	501	17/6/2008	29,549	391
13/6/2008	27,647	509	18/6/2008	29,924	375
14/6/2008	28,145	490	19/6/2008	30,274	350
15/6/2008	28,655	510	20/6/2008	30,642	368
เฉลี่ย	**-**	**502.5**	**เฉลี่ย**	**-**	**371.0**

ผลประหยัด

คิดเป็นค่ากำลังไฟฟ้า	= (502.5-371.0) x 312	=	41,028	kWh/ปี
คิดเป็นค่าไฟฟ้า	= 41,028 x 3.23	=	132,520.44	บาท/ปี
คิดเป็นค่าน้ำมันดิบ	= 0.00349 ktoe/ปี			

ระยะเวลาคืนทุน

เงินลงทุน	= 85,000 +11,272	= 96,272	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= 96,272 / 132,520.44	= 0.73	ปี

2.4.9 การเปลี่ยนระบบการระบายน้ำของเครื่องอัดอากาศ (Auto Drain)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้ระบบอากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศ ขนาด 11 kW จำนวน 1 ชุด โดยตั้งค่าแรงดันลมอัดสำหรับจ่ายให้กับอุปกรณ์อยู่ที่ 5 บาร์ เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของเครื่องจักรและมีระบบการระบายน้ำ (Blow) ของระบบลมอัดโดยใช้คนมาเปิดวาล์วการระบายอากาศทุกๆ เช้าและบ่ายใช้เวลาครั้งละประมาณ 5 นาที (รวมเช้าและบ่าย 10 นาที/วัน) ซึ่งบางครั้งไม่มีน้ำอยู่ในระบบเลย ทำให้มีการสิ้นเปลืองอากาศอัดโดยใช่เหตุ

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนการปรับปรุง

โรงงานได้มีการตรวจสอบระบบระบายน้ำของระบบอากาศอัด (Blow down) ภายในพื้นที่เครื่องอากาศอัด และพบว่ามีอัตราการระบายน้ำ (Blow down) และทุกครั้งที่มีการระบายน้ำ พบว่าจะมีอากาศอัดถูกปล่อยออกมาพร้อมกับน้ำที่ถูกระบาย (Blow) เสมอ ซึ่งในจุดดังกล่าวเกิดการสูญเสียพลังงานในการสร้างความดันอากาศอัดใหม่ หลังจากตรวจสอบระบบระบายน้ำของระบบอากาศอัด พบว่าขนาดท่อในการระบายน้ำมีขนาดท่อ 6 มม. ซึ่งการรั่วไหลของอากาศอัดสามารถลดลงได้โดยการเปลี่ยนระบบการระบายน้ำ (Blow down) จากเดิมมาปรับปรุงใหม่

รูประบบระบายน้ำของอากาศอัด ก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ปรับปรุงระบบการระบายน้ำของถังเก็บอากาศอัด โดยทำการเปลี่ยนเป็น Auto Drain ใหม่แล้วจะทำให้ลดเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอากาศอัด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

1. ตรวจสอบระบบการระบายน้ำของถังเก็บอากาศอัด
2. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ และทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอากาศอัด
3. วิเคราะห์และประเมินผลประหยัด และการลงทุน
4. ทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ระบายน้ำเป็นแบบอัตโนมัติ
5. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

รูประบบระบายน้ำของอากาศอัดแบบ Auto Drain หลังปรับปรุง

สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากมีการปรับปรุงระบบระบายน้ำของระบบอากาศอัด โดยทำการเปลี่ยนเป็น Auto Drain ใหม่แล้วจะทำให้ลดเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของอากาศอัด

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางแสดงปริมาณลมที่ปล่อยผ่าน Orifice ขนาดต่างๆ (l/s)

ความดันลม (kPa)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง Orifice (มม.)									
	0.5	1	2	3	4	5	6	8	10	12.5
50	0.06	0.22	0.92	2.10	3.90	5.70	9.12	15.96	22.80	35.50
100	0.08	0.33	1.33	3.00	5.70	8.40	13.44	23.52	33.60	52.50
250	0.14	0.58	2.33	5.50	10.05	14.60	23.40	41.00	58.60	91.40
400	0.21	0.81	3.28	7.48	13.98	20.48	32.77	57.36	81.94	127.76
500	0.25	0.97	3.92	8.80	16.60	24.40	39.02	68.26	97.50	152.00
550	0.27	1.06	4.24	9.53	18.00	26.47	42.27	73.85	105.44	164.77
600	0.29	1.14	4.56	10.20	19.33	28.45	45.41	79.33	113.25	177.00
700	0.33	1.31	5.19	11.60	22.05	32.50	51.80	90.40	129.00	202.00

ที่มา: คู่มือประหยัดพลังงานสำหรับระบบอัดอากาศ โดยศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย

ปริมาณอากาศอัดรั่วไหล (ลิตร/วินาที) = 39.02 ลิตร/วินาที (จากตารางข้างบน)
อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ = 0.34 kW/ลิตร/วินาที
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย = 39.02 x 0.34
= 13.27 kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 13.27 kW x 0.16 ชั่วโมง x 300 วัน/ปี
= 637 kWh/ปี
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 637 x 3.30 บาท/ปี = 2,102.10 บาท/ปี

เงินลงทุน

ราคา Automatic Drain ชุดละ	2,000	บาท
ค่าแรงการติดตั้ง โดยพนักงานซ่อมบำรุง	-	บาท/ชุด

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การเปลี่ยนระบบการระบายน้ำของเครื่องอัดอากาศ

เงินลงทุน	2,000	บาท
ผลที่ประหยัดได้	637	kWh/ปี
	0.05	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	2,102.10	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.95	ปี

2.4.10 การใช้ถังเก็บอากาศอัดที่มีขนาดเหมาะสม

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

บริษัทมีการใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 5.5 kW จำนวน 1 เครื่องขนาด 3.7 kW จำนวน 2 เครื่องทำงาน 24 ชั่วโมง ที่ความดัน 7 bar และจะใช้งานเครื่องอัดอากาศขนาด 5.5 kW เป็นหลัก และจากการใช้งานพบว่าที่บริเวณเครื่อง Blister นั้นปริมาณลมไม่พอเพียง ส่งผลให้เกิดความเสียหายของผลผลิต (การขึ้นรูปกล่องพลาสติก) ในบางครั้งที่มีการใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องจากเป็นบริเวณที่ไกลจากแหล่งจ่ายลมมากที่สุด ประกอบกับท่อส่งลมนั้นมีขนาดเล็กเกินไป คือมีขนาด ¾ นิ้ว

รูปเครื่องอัดอากาศ และการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ปัญหาก่อนการปรับปรุง

บริเวณเครื่อง Blister นั้นมีปริมาณลมไม่เพียงพอต่อความต้องการ ส่งผลให้เกิดความเสียหายของผลผลิตในบางครั้งที่มีการใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน เนื่องมาจากเป็นบริเวณที่ไกลจากแหล่งจ่ายลมมากที่สุด ประกอบกับท่อส่งลมนั้นมีขนาดเล็กเกินไป คือมีขนาด ¾ นิ้ว

รูปขนาดท่อส่งลมอัด

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

จากปัญหาที่กล่าวมานั้น ทางทีมงานจึงมีแนวคิดที่ต้องทำการเพิ่มถังพักลม เพื่อช่วยชดเชยปริมาณลมที่ไม่เพียงพอที่จุดที่ไกลจากแหล่งจ่ายลมอัด และเพื่อช่วยลดการทำงานของเครื่องอัดอากาศได้อีกทางหนึ่ง

รูปการใช้งานของเครื่อง Blister

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

การคำนวณความต้องการปริมาณลมที่บริเวณเครื่อง Blister ซึ่งประกอบด้วยลูกสูบดังตาราง

ลำดับ	ขนาด		จำนวน	ปริมาตรทั้งหมด (m^3)
	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)	ระยะชัก (cm)		
1	13.0	15.0	4	0.008
2	15.0	35.0	2	0.012
3	16.0	25.0	2	0.010
			รวม	**0.030**

กรณีถูกใช้งานวันชั่วโมงละ 3,600 ครั้ง ปริมาณลมที่ต้องการ = 3,600 x 0.03

= 108 m^3/ชั่วโมง

= 108,000.00 ลิตร/ชั่วโมง

= 1,800 ลิตร/นาที

= 30 ลิตร/วินาที

ขนาดของถังเก็บลม ต้องเลือกถังอากาศอัดให้มีขนาดใหญ่พอเพื่อจะได้จ่ายอากาศโดยไม่เกิดการกระเพื่อมของความดันในขณะที่ต้องการอากาศมาก ปกติถังเก็บอากาศต้องมีความจุประมาณ 8 เท่าของอากาศอัดได้ในหนึ่งวินาที และควรเพิ่มค่าเผื่ออีก 25% สำหรับการขยายในอนาคต

ดังนั้นถังพักลมควรมีขนาด 8 เท่า = 8 x 30
= 240 ลิตร
เพื่ออนาคตอีก 25 % = 300 ลิตร

จากการคำนวณที่ผ่านมาบริเวณดังกล่าวควรมีถังพักลมอัดขนาด 300 ลิตร ติดตั้งเพิ่มเติม เพื่อชดเชยปริมาณในช่วงที่มีการใช้งานที่มาก จึงจะช่วยลดปัญหาปริมาณลมไม่เพียงพอได้ และเป็นการช่วยเพิ่มผลผลิตได้อีกทางหนึ่ง

รูปการเพิ่มถังพักลมบริเวณเครื่อง Blister

การคำนวณ

จากการที่เพิ่มถังพักลมบริเวณเครื่อง Blister พบว่าปริมาณลมเพียงพอต่อการใช้งาน และทำให้ผลผลิตไม่เสียหาย และล่าช้าอันเนื่องมาจากปริมาณลมไม่เพียงพอ ซึ่งจากการตรวจวัดการใช้พลังงานเดิมของเครื่องอัดอากาศขนาด 5.5 kW เดิมนั้นทำงานตลอดเวลา แต่หลังจากการเพิ่มถังพักลมแล้วส่งผลให้เครื่องอัดอากาศมีการตัดต่อการทำงาน ดังรายละเอียดในตาราง

การทดลอง	**ครั้งที่**	**ความดันเริ่มต้น**	**ความดันสิ้นสุด**	**ช่วงเวลา Load**		**ช่วงเวลา No-load**		**%การทำงาน**
		Bar	Bar	sec	Amp	sec	Amp	%
การตรวจวัดการทำงานของเครื่องอัดอากาศ	1	6.0	5.0	65.50	8.41	13.20	0	83.23
	2	6.0	5.0	66.10	8.45	14.10	0	82.42
	3	6.0	5.0	64.90	8.33	12.20	0	84.18
	เฉลี่ย	**6.0**	**5.0**	**65.50**	**8.40**	**13.17**	**0**	**83.27**

พลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในช่วง Load ก่อนปรับปรุง	= 1 x 5.5 x 24 x300 kWh/ปี	
	= 39,600.00	kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้า ที่ใช้ในช่วง Load หลังปรับปรุง	= ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี x % การประหยัดพลังงาน	
	= 39,600.00 x 0.8327	
	= 32,974.92	kWh/ปี
ผลการประหยัดพลังงาน	= 39,600.00 - 32,974.92 = 6,625.08 kWh/ปี	
	= 0.565	toe/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	= 3.51	บาท/kWh
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	= 6,625.08 x 3.51	
	= 23,254.03	บาท/ปี
เงินลงทุนค่าถังลม และการติดตั้ง	= 12,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= 12,000.00 /23,254.03	
	= 0.52	ปี

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การใช้ถังเก็บอากาศอัดที่มีขนาดเหมาะสม

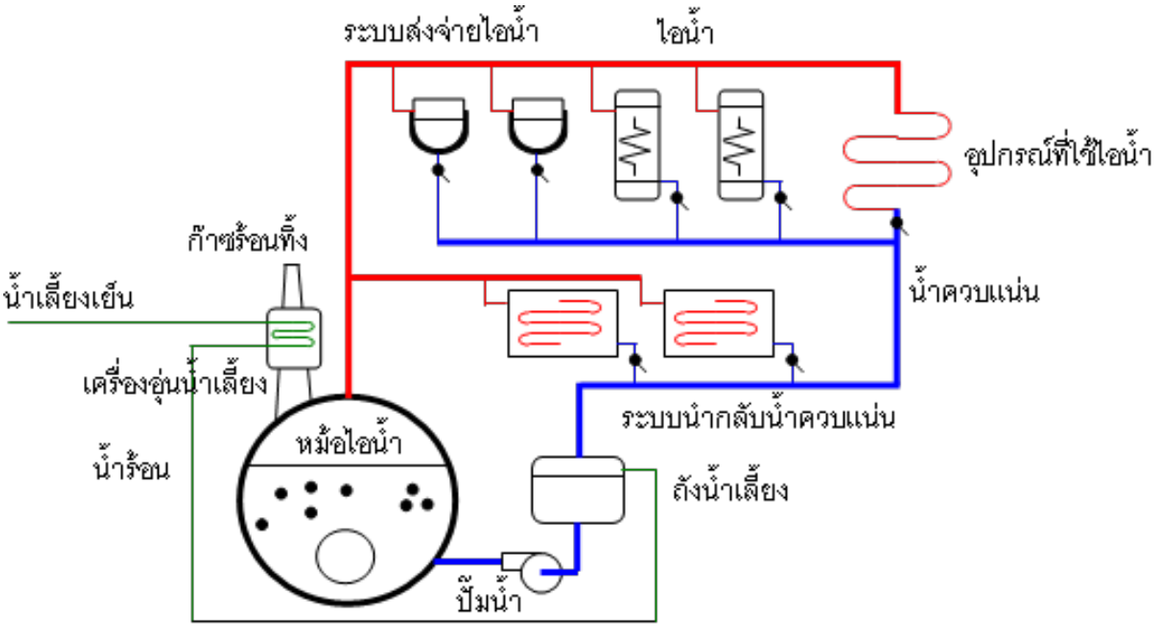
เงินลงทุน	12,000.00	บาท
ผลที่ประหยัดได้	6,625.08	kWh/ปี
	0.565	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	23,254.03	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.52	ปี

2.5 การอนุรักษ์พลังงานในระบบไอน้ำ

2.5.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง

ระบบไอน้ำประกอบด้วยอุปกรณ์และระบบย่อยต่างๆ ได้แก่

- หม้อไอน้ำ (Generation)
- ระบบส่งจ่ายไอน้ำ (Distribution)
- อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ หรือ ผู้ใช้ไอน้ำปลายทาง (End use)
- ระบบนำกลับไอน้ำควบแน่น หรือ คอนเดนเสท (Recovery)



รูปที่ 1-44 แผนภาพระบบไอน้ำและการทำงานของหม้อไอน้ำ

น้ำป้อนที่มีอุณหภูมิต่ำจะถูกผ่านเข้าไปยังหม้อไอน้ำเพื่อรับความร้อนจากก๊าซเผาไหม้และกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำที่ผลิตขึ้นจะถูกส่งไปยังผู้ใช้ในโรงงานซึ่งได้แก่อุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ผ่านระบบส่งจ่ายไอน้ำ ไอน้ำหรือน้ำร้อนควบแน่นที่เหลือจากกระบวนการผลิตจะถูกนำกลับมายังหม้อไอน้ำอีกครั้งเพื่อรวมกับน้ำเติม ก่อนที่จะส่งไปยังหม้อไอน้ำและผลิตเป็นไอน้ำต่อไป

ก๊าซร้อนจากกระบวนการเผาไหม้ เมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำแล้ว จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนที่ปล่อยออกไปพร้อมกับก๊าซไอเสียนี้เป็นการสูญเสียพลังงานมากที่สุดของหม้อไอน้ำ

รูปที่ 1-45 หม้อไอน้ำ

ประเภทหม้อไอน้ำ

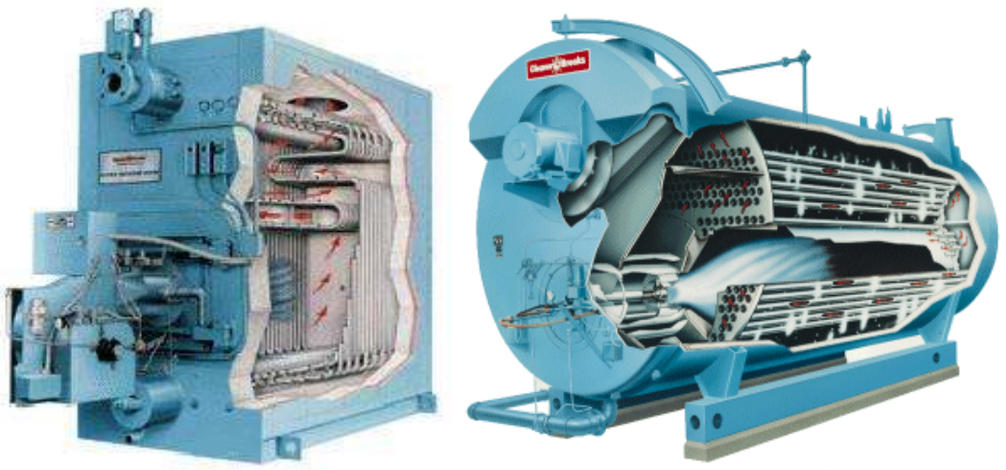
หม้อไอน้ำจำแนกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1 หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler)

2 หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler)

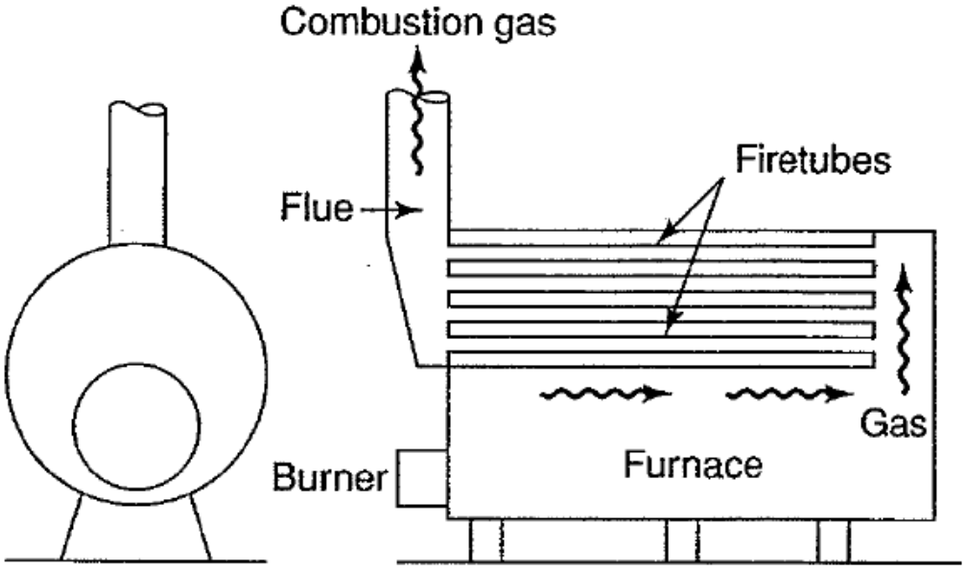
หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (Water-tube Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้น้ำจะถูกบรรจุและไหลอยู่ในท่อโดยเปลวไฟหรือก๊าซร้อนจะเคลื่อนที่อยู่โดยรอบท่อ มักใช้สำหรับโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำขนาดใหญ่ (Steam power plant) หรือ สำหรับผลิตไอน้ำในกระบวนการใช้งานในด้านอุตสาหกรรม เหมาะสำหรับกรณีที่ภาระของไอน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เพราะสามารถผลิตไอน้ำได้ทันต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็วกว่าหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ หม้อน้ำชนิดท่อน้ำ มีช่วงพิกัดตั้งแต่ขนาดกลางประมาณ 100 ล้าน บีทียู/ชั่วโมง

หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ (Fire-tube or Shell Boiler) หม้อไอน้ำชนิดนี้ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ในท่อซึ่งจมอยู่ในน้ำ โดยที่น้ำจะอยู่นอกท่อ (ระหว่างเปลือกหม้อไอน้ำและท่อ) ของหม้อไอน้ำ สามารถผลิตไอน้ำให้ได้ความดันตามต้องการช้ากว่าหม้อไอน้ำแบบท่อน้ำ จำนวนกลับของท่อไฟยิ่งมากประสิทธิภาพหม้อไอน้ำก็ยิ่งสูงขึ้น เนื่องจากก๊าซร้อนใช้เวลาไหลอยู่ในหม้อไอน้ำนานกว่า สำหรับหม้อไอน้ำขนาดเล็กมักจะมีจำนวนกลับเพียง 2 กลับ ขณะที่ส่วนหม้อไอน้ำขนาดใหญ่จะมี 3 หรือ 4 กลับ หม้อน้ำชนิดท่อไฟมีราคาถูกกว่าชนิดท่อน้ำ แต่จะมีความทนทานน้อยกว่า หม้อน้ำชนิดท่อไฟมีช่วงพิกัดตั้งแต่ขนาดเล็ก ประมาณ 20 ล้าน บีทียู/ชั่วโมง



(ก) หม้อไอน้ำชนิดท่อน้ำ (ข) หม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ

รูปที่ 1-46 ประเภทของหม้อไอน้ำ



รูปที่ 1-47 หม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

การควบคุมหม้อไอน้ำ

การควบคุมหม้อน้ำ มี 2 ประเภทคือ การควบคุมการทำงาน (Operating control) และการควบคุมความปลอดภัย (Safety control)

การควบคุมการทำงาน จะควบคุมหัวเผา (Burner) ในระหว่างช่วงการทำงานปกติใน unit ขนาดเล็ก อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Room thermostat) ทำหน้าที่เริ่มเดินและหยุดหัวเผา ตอบสนองตามสภาวะการทำงานใน unit ขนาดใหญ่ มีอุปกรณ์ควบคุมตรวจจับสภาวะในหม้อน้ำ ควบคุมการทำงานของหัวเผา; ในหม้อไอน้ำ (Steam boilers) มีการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมความดัน (Pressure controller) และในหม้อน้ำร้อน (Hot water boiler) มีการใช้อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) เมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์ตรวจจับควบคุมสภาวะ (Controls sensing conditions) ในหม้อน้ำก็มักจะมีการใช้การควบคุมการทำงานขั้นทุติยภูมิไปด้วย ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Room thermostat) อาจนำมาใช้ควบคุมการไหลของน้ำไปสู่ unit ปลายทางในแต่ละห้อง

การควบคุมความปลอดภัย (Safety controls) ป้องกัน หรือหยุด มิให้สภาพที่ไม่ปลอดภัยเกิดขึ้นมาได้ ซึ่งการควบคุมความปลอดภัยหม้อไอน้ำอาจตรวจสอบ คือ

1) ความดันไอน้ำสูง (หม้อไอน้ำ (Steam boilers))
2) อุณหภูมิน้ำร้อนสูง(หม้อน้ำร้อน (Hot water boilers))
3) ความดันของ น้ำมันเชื้อเพลิง/ก๊าซเชื้อเพลิง สูง หรือ ต่ำ
4) อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง สูง หรือ ต่ำ
5) ระดับน้ำต่ำ
6) เปลวไฟขัดข้อง (Flame failure)

เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ (Fuel and combustion)

การเผาไหม้ เป็นกระบวนการรวมตัวกันทางเคมีระหว่าง สารที่ติดไฟได้ในรูปเชื้อเพลิง กับออกซิเจน (ในอากาศ) ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในกระบวนการ พลังงานที่เก็บสะสมไว้จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของพลังงานความร้อน (ความร้อน) ซึ่งเป็นผลของการเผาไหม้ เชื้อเพลิงฟอสซิลหลักที่ใช้ในหม้อน้ำและเตาเผา (Furnace) คือ ก๊าซ น้ำมัน และถ่านหิน โดยที่ก๊าซและน้ำมันถูกนำมาใช้งานแทนเชื้อเพลิงถ่านหินสำหรับหม้อน้ำทำความร้อน และเตาเผา เนื่องจากสามารถจัดเก็บได้ง่าย และผลิตผลจากการเผาไหม้เกิดมลพิษน้อย ถ่านหินยังคงมีใช้งานกันอยู่อย่างกว้างขวางในหม้อน้ำขนาดใหญ่ ในโรงผลิตไฟฟ้าเนื่องจากมีราคาถูกกว่า

2.5.2 การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้หม้อไอน้ำ (Boiler) ขนาด 4 ตัน ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ที่ความดันใช้งาน 2 บาร์ 120 ºC ซึ่งเดิมที่ใช้งานที่ 6 บาร์ เพื่อผลิตไอน้ำไปอบผลไม้และต้มวัตถุดิบและบางส่วนนำไปใช้ในผสมน้ำเชื่อมที่อุณหภูมิ 90 - 100 ºC

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการพิจารณาเบื้องต้น พบว่าความดันไอน้ำที่ใช้ลดต่ำลงจากที่เคยใช้ ซึ่งปัจจุบันอยู่ที่ 2 บาร์ เท่านั้นและมีประสิทธิภาพการเผาไหม้ 73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคาดว่าเกิดจากตะกรัน เขม่า ควัน ไปจับและอุดตัน การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหม้อไอน้ำ (ในช่วง 1 ปี ที่ผ่านมาโรงงานยังไม่มีการล้างบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ)

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เสนอให้ล้างบำรุงรักษาหม้อไอน้ำอย่างสม่ำเสมอ อย่างน้อย 4 – 6 เดือน/ครั้ง โดยมอบหมายให้ฝ่ายซ่อมบำรุงเป็นทีมดำเนินการในครั้งนี้

รูปการสำรวจและความร้อนที่ได้จากหม้อไอน้ำ

หลังจากการประชุมเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นแล้ว ที่ประชุมจึงดำเนินการจัดทำรายงานต่อผู้บริหาร ซึ่งในรายงานประกอบด้วยเหตุผลของการดำเนินมาตรการ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการคำนวณผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับหลังการดำเนินการ

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากล้างบำรุงรักษาหม้อไอน้ำ พบว่าหม้อไอน้ำมีความดันใช้งานที่เพิ่มขึ้นเป็น 6 บาร์ ที่อุณหภูมิ 160 °C และมีประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเป็น 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะสามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นอย่างมาก ไม่มีผลต่อการทำงานและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ (ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น)

รูปการล้างบำรุงรักษาหม้อไอน้ำขนาด 4 ตัน

การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ชนิดของเชื้อเพลิง	ตัวย่อ	ข้อมูลการใช้พลังงาน	Unit
ถ่านหิน	LN	26.5	MJ/kg
ก่อนปรับปรุง			
ปริมาณการใช้ทั้งปี (Unit)	PY	2,869,000.00	kg
ราคาเชื้อเพลิง ต่อ หน่วย	B	2.00	บาท
ค่าใช้จ่ายต่อปี	BN	5,738,000.00	บาท
ประสิทธิภาพ %	N1%	73	%
อุณหภูมิน้ำป้อน ©	T1	29.2	°C
วิเคราะห์ผล			
อัตราผลิตไอน้ำ (kg:Unit) : (LN x 1000) x N1% /(hg 2 bar – T1 x 4.186)	P1	7.49	(kg : Unit)
ไอน้ำ 1 ตัน สิ้นเปลืองพลังงาน (Unit) : (1000 / P1)	W1	133.56	kg
คิดเป็นเงิน (บาทต่อตัน st) : W1 x B	B1	267.13	บาท
หลังปรับปรุง			
ปริมาณการใช้ทั้งปี (Unit)	PY	2,869,000.00	kg
ราคาเชื้อเพลิง ต่อ หน่วย	B	2.00	บาท
ประสิทธิภาพ %	N2%	75	%
อุณหภูมิน้ำป้อน ©	T2	29.2	°C
วิเคราะห์ผล			
อัตราผลิตไอน้ำ (kg : Unit) : (LN x 1000) x N2% /(hg 2 bar – T2 x 4.186)	P2	7.69	(kg : Unit)
ไอน้ำ 1 ตัน สิ้นเปลืองพลังงาน (Unit) : (1000 / P2)	W2	130.00	kg
คิดเป็นเงิน (บาทต่อตัน st) : (1000 / P2)	B2	260.00	บาท
สรุปผลประหยัด			
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตทั้งปี : PY x P1 / 1000	STN	21,480.56	ton
ประหยัดได้ (บาท) : STN x (B1 – B2)	SB	153,013.33	บาท
ประหยัดได้ (Unit) : SB / B	SL	76,506.67	kg
เปอร์เซ็นต์ผลประหยัด : S%		2.67%	%
ลงทุน : IV	IV	40,000.00	บาท
คืนทุน : IV / SB	y	0.26	Year

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ระยะเวลาการดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	40,000	บาท
ปริมาณพลังงานที่ลดลง	76,506.67	kg/ปี (คิดเป็น 6.12 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	153,013.33	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.26	ปี

2.5.3 การลดความดันไอน้ำให้เหมาะสม

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานใช้หม้อไอน้ำขนาด 5 ตัน/ชั่วโมง จำนวน 1 เครื่อง ทำงานที่ความดันไอน้ำที่ 5 บาร์ เพื่อผลิตไอน้ำป้อนให้กับเครื่องอบผ้าจำนวน 2 ชุด เครื่องอบผ้าแต่ละเครื่องจะมีวาล์วควบคุมแรงดันไอน้ำ ซึ่งสามารถปรับลดหรือเพิ่มได้เมื่อผ้าที่นำมาอบมีขนาดแตกต่างกัน หม้อไอน้ำใช้ก๊าซ LPG เป็นเชื้อเพลิง ค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ยประมาณ 15.76 บาท/kg มีการเปิดใช้งานหม้อไอน้ำวันละ 16 ชั่วโมง/วัน 352 วัน/ปี

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

เนื่องจากทีมงานของโรงงานขาดความรู้เกี่ยวกับระบบไอน้ำ ทางที่ปรึกษาจึงอบรมให้ความรู้พร้อมทั้งแนะนำเทคนิคการประหยัดพลังงานในระบบไอน้ำ หลังจากนั้นทีมงานของโรงงานจึงประชุมร่วมกันและเสนอว่า เนื่องจากการอบผ้าต้องการอุณหภูมิเพียง 70-80 ºC แต่ความดันไอน้ำจากหม้อไอน้ำ 5 บาร์ และเข้าเครื่องอบผ้าที่ 2.5 บาร์ ซึ่งที่ความดัน 2.5 บาร์ อุณหภูมิไอน้ำ 125 º C ซึ่งยังสูงกว่าความต้องการใช้งานมาก

รูปแสดงความดันไอน้ำก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อลดการสูญเสียไอน้ำ ทางโรงงานตรวจสอบและดำเนินมาตรการ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สำรวจการใช้งานไอน้ำภายในโรงงาน
2. วิเคราะห์ศักยภาพประหยัดพลังงาน
3. เสนอมาตรการลดความดันไอน้ำ ที่เครื่องอบผ้าไอน้ำ
4. ทำการปรับลดความดันไอน้ำ
5. ติดตามและประเมินผล

สภาพหลังการปรับปรุง

ทางโรงงานได้ทำการปรับลดความดันไอน้ำที่เครื่องอบผ้าจำนวน 1 เครื่อง จาก 2.5 บาร์ ลดลงเหลือ 1.5 บาร์ (อุณหภูมิไอน้ำ 110 °C) ทำให้ช่วยประหยัดพลังงานได้และผ้าไม่ร้อนจัด เพราะก่อนปรับปรุงโรงงานมีปัญหาเรื่องผ้าหดจากการได้ความร้อนมากเกินไป

รูปแสดงความดันไอน้ำหลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

การลดความดันไอน้ำเครื่องอบผ้า สามารถประเมินได้ ดังต่อไปนี้

ปริมาณการใช้ LPG ในรอบปี มีค่าเท่ากับ 135,780.58 kg/ปี

ปรับปรุงลดความดันไอน้ำเข้าเครื่องอบผ้า 1 เครื่อง

ไอน้ำความดัน	2.5 Bar	พลังงาน	2,718.40	kJ/kg
ไอน้ำความดัน	1.5 Bar	พลังงาน	2,695.00	kJ/kg

เปอร์เซ็นต์การใช้เชื้อเพลิงลดลง = (2,718.40 – 2,695.00)/2,718.40

= 0.86 %

ประหยัด LPG ได้ = (ปริมาณLPGต่อปี / จำนวนเครื่องอบ) x เปอร์เซ็นต์ลดลง

= (135,780.58 / 2) x 0.86 %

= 583.90 kg/ปี

คิดเทียบน้ำมันดิบ = (583.90 x 1,166.93) / 1,000,000

= 0.681 toe/ปี

ด้านค่าใช้จ่ายที่ลดลง

ค่าLPG	=	15.76	บาท/ลิตร
คิดเป็นผลประหยัด	=	ปริมาณLPG ที่ลดลง x ราคาLPG	
	=	583.90 x 15.76	
	=	9,202.19	บาท/ปี

แนวทางการขยายผล

ปรับลดความดันที่หม้อไอน้ำจะสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงได้มากกว่าที่เครื่องอบ

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การลดความดันไอน้ำให้เหมาะสม

เงินลงทุน	0.00	บาท
LPG ที่ประหยัด	583.90	kg/ปี
ผลประหยัดที่ได้	9,202.19	บาท/ปี
คิดเป็น	0.681	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.00	ปี

2.5.4 การหุ้มฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการดำเนินการผลิตประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 312 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเดือนกันยายน 2552 ถึงเดือนสิงหาคม 2553 ประมาณ 2,461,104.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 8,215,890.07 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.35 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนผลิตไอน้ำที่ความดันประมาณ 3 บาร์ มีอุณหภูมิประมาณ 135 ℃ เพื่อจ่ายไปยังกระบวนการอบไม้ โดยมีปริมาณการใช้ฟืนประมาณ 2,262,400.00 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 2,194,528.00 บาทต่อปี ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.97 บาทต่อกิโลกรัม

ขนาดท่อไอน้ำ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm)	ความยาว (m)	อุณหภูมิผิว (°C)
ท่อ 4"	105.4	4.00	140
ท่อ 6"	158.4	75.00	140
ท่อ 8"	209.2	13.00	140

รูปแสดงระบบท่อไอน้ำและการตรวจวัด

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิที่ผิวท่อส่งไอน้ำซึ่งไม่มีการหุ้มฉนวน พบว่าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมมาก ซึ่งหากมีการแก้ไขโดยการหุ้มฉนวนอย่างเหมาะสมแล้วอุณหภูมิพื้นผิวควรจะอยู่ที่ประมาณ 40 ℃ จึงควรให้มีปรับปรุงติดตั้งฉนวนพร้อมหุ้มแจ็คเก็ตให้เหมาะสม ทั้งนี้หากมีการดำเนินการแล้ว จะสามารถลดความร้อนสูญเสียในระบบท่อส่งไอน้ำได้

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางโรงงานควรมีการปรับปรุงหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำให้เหมาะสม เพื่อเป็นการลดความร้อนสูญเสียโดยไม่จำเป็น โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยตรวจวัดอุณหภูมิผิวอุปกรณ์ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม พื้นที่ผิวอุปกรณ์ ชั่วโมงการใช้ทำงาน และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา โดยสอบถามค่าดำเนินการในการหุ้มฉนวน การติดตั้งและระยะเวลาการดำเนินการ

3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ โดยเลือกช่วงเวลาที่ทำการติดตั้งหุ้มฉนวนโดยไม่กระทบต่อการผลิตของโรงงาน
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการจัดจ้างบริษัทเพื่อเข้าดำเนินการ ทั้งนี้จะทำการสอบถามรายละเอียดขั้นตอนในการทำงานทำการวางแผนเตรียมความพร้อม
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการติดตั้งหุ้มฉนวนให้เหมาะสม พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ทำการปรับปรุงติดตั้งฉนวนหุ้มท่อส่งไอน้ำแล้วซึ่งสามารถคำนวณประเมินศักยภาพการประหยัดได้ดังนี้

ระบบท่อไอน้ำ	ขนาด Dia. (มม.)	หุ้มฉนวน หนา (มม.)
ท่อ 4”	105.4	25
ท่อ 6”	158.4	25
ท่อ 8”	209.2	25

รูปแสดงระบบท่อไอน้ำ หลังดำเนินการปรับปรุงและการตรวจวัด

ระยะเวลาการดำเนินการ	30	วัน
เงินลงทุน	150,000	บาท
ปริมาณฟืนที่ลดลง	98,381	กิโลกรัม/ปี (คิดเป็น 3.82 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	95,430	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.57	ปี

คำนวณการหุ้มฉนวนกันความร้อนระบบท่อส่งไอน้ำ

		(1)					(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(S)
No.	ประเภท อุปกรณ์ (ท่อ/วาล์ว)	ขนาด (นิ้ว)	คลาส	ความดันไอน้ำ (บาร์)	ชื่อ เครื่องจักร/ อุปกรณ์	ความหนา ฉนวนใยแก้ว (mm.)	ความร้อน สูญเสียที่ลดลง (W/เมตร)	ความยาว (เมตร)	จำนวน (ชุด)	ความร้อน สูญเสียที่ลดลง (W)	ความร้อน สูญเสียที่ลดลง (MJ/ปี)	ความร้อนสูญเสีย (ก่อนหุ้มฉนวน) (W/เมตร)	ความร้อนสูญเสีย (หลังหุ้มฉนวน) (W/เมตร)
							-(7)-(5)			-(2)x(3)x(4)	-(5)/1,000x(9)x3.6	Table Data	Table Data
1	Pipe	4	10	3.0	ห้องอบไม้	25	537.9	4	1	2,151.48	57,997.02	599.60	61.73
2	Pipe	6	10	3.0	ห้องอบไม้	25	776.3	75	1	58,225.50	1,569,573.16	866.50	90.16
3	Main Pipe	8	10	3.0	ห้องอบไม้	25	1,528.0	13	1	19,864.00	535,469.88	1728.00	200.00
										รวม	**2,163,040**		

หมายเหตุ ชั่วโมงการใช้งานไอน้ำ 7,488 ชั่วโมง/ปี

คำนวณโดยใช้ NEMA 3E plus Program

การคำนวณ	ค่าที่ได้	หน่วย	คำนวณ
ค่าพลังงานความร้อนรวมที่ประหยัดได้จากการหุ้มฉนวน	2,163,040	MJ/year	
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	55	%	
% Safety Factor	40	%	
พลังงานความร้อนป้อนเข้าหม้อไอน้ำที่ประหยัดได้เทียบเท่า	1,573,120	MJ/year	2,163,040/100/(55/100)
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	15.99	MJ/kg	
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	98,381	Kg/year	1,573,120/15.99
	3.82	Toe/year	95,430/25,000
ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วย	0.97	Bath/litre	
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	95,430	Bath/year	98,381 x 0.97
เงินลทุนทั้งมาตรการ	150,000	Bath	
ระยะเวลาคืนทุน	1.57	Year	150,000/95,430

การลงทุน

ค่าปรับปรุงติดตั้งฉนวนพร้อมหุ้มแจ็คเก็ต	=	150,000.00	บาท
ค่าใช้จ่ายฟืนที่ประหยัดได้	=	95,430	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	150,000.00 / 95,430	
	=	1.57	ปี

2.5.5 การปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อลดการสูญเสียจากการรั่วไหลของความร้อน

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการดำเนินการผลิตประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 312 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเดือน กันยายน 2552 ถึงเดือนสิงหาคม 2553 ประมาณ 2,461,104.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 8,215,890.07 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.35 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ผลิตไอน้ำที่ความดันประมาณ 3 บาร์ มีอุณหภูมิประมาณ 135 °C เพื่อจ่ายไปยังกระบวนการอบไม้ โดยมีปริมาณการใช้ฟืนประมาณ 2,262,400.00 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 2,194,528.00 บาทต่อปี ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.97 บาทต่อกิโลกรัม

ข้อมูลทั่วไป	หม้อไอน้ำ 1	หม้อไอน้ำ 2	หม้อไอน้ำ 3
ขนาด (ตัน/ชั่วโมง)	8	10	12
ประเภท	ท่อไฟ	ท่อไฟ	ท่อไฟ
ชนิดเชื้อเพลิง	ไม้ฟืน	ไม้ฟืน	ไม้ฟืน
ความดันใช้งาน (บาร์)	3.0	3.0	3.0
ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กิโลกรัม)	0.97	0.97	0.97

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานพบว่าในโรงงานมีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำขนาด 8, 10 และ 12 ตัน/ชั่วโมง มีการใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในปริมาณสูง เมื่อทำการตรวจประเมินระบบน้ำคอนเดนเสทพบว่าบริเวณถังเก็บน้ำคอนเดนเสทมีการรั่วไหลเป็นจำนวนมาก เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนในระบบน้ำคอนเดนเสทโดยเปล่าประโยชน์

รูปแสดงบริเวณที่มีการรั่วไหลของน้ำคอนเดนเสท (ก่อนการปรับปรุง)

รูปแสดงการซ่อมแซมถังคอนเดนเสท (หลังปรับปรุง)

สภาพหลังปรับปรุง

ระยะเวลาการดำเนินการ	30	วัน
เงินลงทุน	2,000	บาท
ปริมาณไม้ฟืนที่ลดลง	1,960.59	กิโลกรัม/ปี (คิดเป็น 0.076 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	1,901.77	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.05	ปี

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่รั่วไหล	10 ลิตร/ชั่วโมง
อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท	90 ℃
อุณหภูมิน้ำป้อน	30 ℃

พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิน้ำ 90 ℃	= 376.94 kJ/kg (จากตารางไอน้ำ)
พลังงานความร้อนที่อุณหภูมิน้ำ 30 ℃	= 125.71 kJ/kg (จากตารางไอน้ำ)
พลังงานความร้อนที่สูญเสีย	= 376.94 - 125.71 kJ/kg
	= 251.23 kJ/kg
ปริมาณความร้อนสูญเสีย	= ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่รั่วไหล x พลังงานที่สูญเสีย
	= 10 x 251.23 kJ = 2,512.3 kJ/ชม. หรือ 2.512 MJ/ชั่วโมง
เทียบเท่าปริมาณฟืนที่ใช้ลดลง	= ปริมาณความร้อนสูญเสีย / (ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ x 15.99)
	= 2.512 / (0.60 x 15.99) กิโลกรัม/ชั่วโมง
	= 0.262 กิโลกรัม/ชั่วโมง
ชั่วโมงการทำงานต่อปี	= 24 x 312
	= 7,488.00 ชั่วโมง/ปี

<u>หมายเหตุ</u> ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ 60% จากการคำนวณโดยประมาณ

คิดเป็นปริมาณฟืนที่ใช้ลดลง	= 0. 262 x 7,488.00 กิโลกรัม/ปี	= 1,960.59	กิโลกรัม/ปี
ค่าใช้จ่ายฟืนที่ลดลง	= 1,960.59 x 0.97 บาท/ปี	= 1,901.77	บาท/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	= 1,901.77/25,000	= 0.076	toe/ปี

การลงทุน

ค่าปรับปรุง	=	2,000.00	บาท
ค่าใช้จ่ายฟืนที่ประหยัดได้	=	1,901.77	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	2,000.00 / 1,901.77	
	=	1.05	ปี

2.5.6 การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานดำเนินการการผลิตประมาณ 16 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 350 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 405,193.44 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 1,520,322.05 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.75 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงเป็นไม้ฟืน ขนาด 6 ตันต่อชั่วโมง ทำการผลิตไอน้ำที่ความดันประมาณ 4 บาร์ มีอุณหภูมิประมาณ 151.85 °C เพื่อจ่ายไปยังกระบวนการอบปลาป่น โดยมีปริมาณการใช้ฟืนประมาณ 5,371,563 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 5,316,658.55 บาทต่อปี ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.99 บาทต่อกิโลกรัม

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจของทีมงานพบว่าในโรงงานมีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำขนาด 6 ตันต่อชั่วโมง มีการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง พบว่าทางโรงงานได้มีการนำคอนเดนเสทมากลับในงานเพียงบางส่วน โดยมีการต่อไปยังถังคอนเดนเสทซึ่งมีการสูญเสียในบริเวณดังกล่าว ทางโรงงานจึงมีแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำคอนเดนเสทกลับกลับมาใช้งาน

รูปแสดงระบบท่อคอนเดนเสทและการรั่วไหลของคอนเดนเสท (ก่อนการปรับปรุง)

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางโรงงานควรทำการเพิ่มประสิทธิภาพในการนำคอนเดนเสทกลับกลับมาใช้งาน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยการสำรวจการใช้งานหม้อไอน้ำ
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา โดยสอบถามค่าดำเนินการในการปรับปริมาณอากาศและตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้และระยะเวลาในการจัดจ้าง
3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการติดตั้งวาล์วควบคุมคอนเดนเสทในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการปรับปริมาณอากาศและตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้ พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ทำการติดตั้งวาล์วควบคุมคอนเดนเสทในการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ ซึ่งสามารถประเมินผลการประหยัดได้ดังนี้

รูปแสดงการติดตั้งวาล์วควบคุมคอนเดนเสท (หลังการปรับปรุง)

ระยะเวลาการดำเนินการ	2	เดือน
เงินลงทุน	1,500.00	บาท
ปริมาณไม้ฟืนที่ลดลง	81,865	กิโลกรัม/ปี (คิดเป็น 3.242 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	81,046.35	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.02	ปี

การคำนวณผลการประหยัดพลังงานจากการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

มาตรการเพิ่มอุณหภูมิน้ำป้อนหม้อไอน้ำ	หน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ
ข้อมูล			
ชั่วโมงการทำงาน	h / y	H	5,600
ราคาเชื้อเพลิง	฿ / kg	Pr_f	0.99
อัตราการไหลของน้ำป้อน (ประมาณ)	l / h	V_w	5,000
อุณหภูมิน้ำป้อนก่อนการปรับปรุง	$^{\circ}$ C	$T_{w,before}$	55.6
อุณหภูมิน้ำป้อนหลังการปรับปรุง	$^{\circ}$ C	$T_{w,after}$	90.0
ความหนาแน่นของน้ำ	kg / l	r_w	1.04
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	kJ / kg	LHV	15,990
ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ	kJ / kg - $^{\circ}$ C	$C_{p,w}$	1.30
การคำนวณ			
ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้	kJ / y	S_E	1,309,016,733
$S_E = V_w * r_w * C_{p,w} * (T_{w,after} - T_{w,before})$			
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	kg / y	S_f	81,865
$S_f = S_E / LHV$			
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้	฿ / y	SC	81,046
$SC = S_f * Pr_f$			
การลงทุน			
ค่าใช้จ่ายในการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้งาน	฿	INV	1,500
ระยะเวลาในการคืนทุน	y	PB	0.02
PB = INV / SC			

2.5.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้พลังงานจากบีทูมินัสในระบบหม้อไอน้ำ โดยเจ้าหน้าที่จะตั้งระบบป้อนเชื้อเพลิงอัตโนมัติไว้เพื่อผลิตไอน้ำสำหรับกระบวนการผลิต โดยปริมาณเชื้อเพลิงที่เติมจะใช้วิธีการตั้งอัตโนมัติโดยอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศไม่เหมาะสม คือ มีปริมาณเชื้อเพลิงต่ำเกินไป

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจสอบการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำที่ใช้ในโรงงานพบว่า ขณะที่เติมเชื้อเพลิงเสร็จหม้อไอน้ำมีอุณหภูมิของก๊าซไอเสียทิ้งเท่ากับ 252.4°C โดยมีปริมาณออกซิเจนในก๊าซไอเสียเท่ากับ 14.20% ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐาน โดยอากาศที่เหลือจากการเผาไหม้จะนำความร้อนออกไปกับไอเสีย ดังนั้นปริมาณอากาศส่วนเกินที่มากก็จะทำให้การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากตามไปด้วย ถ้าทางโรงงานมีการปรับลดปริมาณสัดส่วนอากาศให้เหมาะสมโดยให้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เป็นมาตรฐาน (O_2 = 10%) จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำความร้อนดีขึ้นซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานได้

ตารางแสดงการตรวจวัดหม้อไอน้ำ (ก่อนการปรับปรุง)

ชื่อ	ปริมาณ O_2 ในไอเสีย(%)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)	ภาพก่อนการปรับปรุง
หม้อไอน้ำ	14.2	100.75	

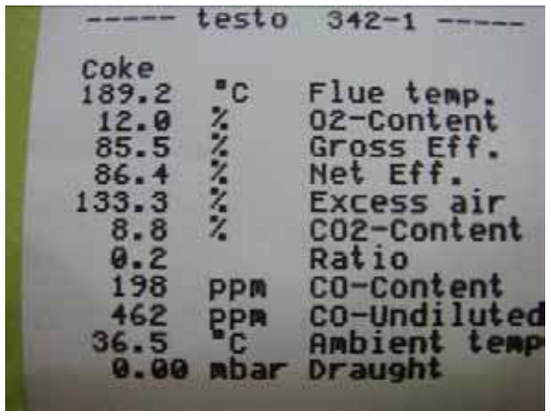
แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

บริษัทฯ จำเป็นต้องมีการใช้งานหม้อไอน้ำ การปรับเปลี่ยนสัดส่วนอากาศเข้าห้องเผาไหม้ โดยคณะทำงานด้านอนุรักษ์พลังงานได้ทำการตรวจวิเคราะห์ไอเสียควบคู่กับการให้ช่างผู้ดูแลรับผิดชอบทำการสังเกตปริมาณควันและสีของก๊าซร้อนทิ้งจากปล่องควัน เพื่อให้การเผาไหม้มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงใกล้เคียงกับมาตรฐาน หากพบว่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงไม่เป็นไปตามมาตรฐาน จะทำการปรับเปลี่ยนปริมาณอากาศใหม่จนกระทั่งการเผาไหม้เป็นไปตามมาตรฐาน ผลที่ได้รับคือการประหยัดพลังงานความร้อนโดยการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยตรวจวิเคราะห์ไอเสียจากการเผาไหม้ในระบบหม้อไอน้ำอย่างละเอียด
2. เนื่องจากการดำเนินการไม่มีค่าใช้จ่าย จึงไม่มีการสำรวจข้อมูลด้านราคา
3. จัดทำแผนปรับปรุงร่วมกับคณะทำงานของสถานประกอบการ โดยวางแผนในการปรับปรุงทันที
4. วิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลทั้งหมดและแผนงานดังกล่าวมาวิเคราะห์นำเสนอเจ้าของโรงงานเพื่อพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยทีมงานอนุรักษ์พลังงานเป็นผู้ปรับตั้งอัตราส่วนอากาศโดยมีขั้นตอน ดังนี้
    - ปรับตั้งปีกผีเสื้อโดยหมุนคันโยกตามเข็มนาฬิกาตามรูปซ้ายมือเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศควบคู่กับการสังเกตสีควันจากปล่อง ซึ่งควรจะมีสีดำลดลงจนเป็นสีเทา
    - หากทำขั้นตอนแรกเสร็จแล้วควันยังมีสีดำ ให้ปรับลดการป้อนเชื้อเพลิง โดยการขนาดช่องจ่ายเชื้อเพลิงบริเวณด้านหน้าห้องเผาไหม้ดังแสดงในภาพขวามือ จากนั้นทำการสังเกตสีของควันจากปล่องกลายเป็นสีเทา
    - บันทึกปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละเดือนเพื่อใช้เปรียบเทียบกับการปรับตั้งครั้งต่อไป
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความถูกต้องในการปรับอัตราส่วนอากาศพร้อมทั้งตรวจวิเคราะห์ไอเสียจากการเผาไหม้หลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในแง่วิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

ภาพแสดงการปรับปรุงโดยการปรับตั้งปริมาณอากาศให้เหมาะสม

ตารางแสดงการตรวจวัดหม้อไอน้ำ (หลังการปรับปรุง)

ชื่อ	ปริมาณ O_2 ในไอเสีย(%)	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)	ภาพหลังการปรับปรุง
หม้อไอน้ำ	12.00	94.62	

สภาพหลังปรับปรุง

การดำเนินการปรับตั้งอัตราส่วนอากาศสำหรับการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ จำนวนทั้งสิ้น 1 ชุด โดยให้แผนกซ่อมบำรุงของบริษัทฯ เป็นผู้ดำเนินการเดือนละ 1 ครั้ง สามารถประหยัดพลังงานได้ ดังนี้

ระยะเวลาดำเนินการ	1	สัปดาห์
เงินลงทุน	2,000.00	บาท
ผลประหยัดที่ได้	98,642.76	บาท/ปี
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	29,445.60	กิโลกรัม/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	19.259	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.02	ปี

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการให้ความรู้เกี่ยวกับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ให้กับเจ้าหน้าที่ที่ดูแลระบบไอน้ำของโรงงาน โดยการสังเกตดูปริมาณควันและสีของก๊าซร้อนทิ้งจากปล่องควัน เพื่อให้มีการดูแลรักษา และปรับเปลี่ยนปริมาณการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น

แนวทางการขยายผล

หากมีการติดตั้งมาตรวัดอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ปล่อยออกสู่ปล่องและทำการบันทึกค่าเก็บไว้เป็นประจำ จะทำให้สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบและทำให้สามารถทำการบำรุงรักษามีประสิทธิภาพขึ้น

ตัวอย่างการคำนวณผลการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้

ข้อมูลทั่วไป

ชนิดเชื้อเพลิง	=	บิทูมินัส	
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง	=	27.63	เมกะจูล/กก.
ปริมาณ O_2 ในไอเสียก่อนการปรับปรุง ($O_{2,1}$)	=	14.20	%ของปริมาณก๊าซร้อน
อัตราการป้อนเชื้อเพลิงก่อนการปรับปรุง (m_o)	=	100.75	กก./ชม.
ปริมาณ O_2 ในไอเสียก่อนการปรับปรุง ($O_{2,2}$)	=	12.00	%ของปริมาณก๊าซร้อน
อัตราการป้อนเชื้อเพลิงหลังการปรับปรุง (m_n)	=	94.62	กก./ชม.
จำนวนวันทำงาน (d)	=	300	วัน/ปี
จำนวนชั่วโมงการทำงาน (h)	=	16	ชั่วโมง/วัน
ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย (C)	=	3.35	บาท/กก.

การคำนวณ

เชื้อเพลิงที่ใช้ก่อนการปรับปรุง (W_O)	$= m_o \times (h \times d)$	= 483,600	กก./ปี
เชื้อเพลิงที่ใช้หลังการปรับปรุง (W_N)	$= m_n \times (h \times d)$	= 454,154	กก./ปี

ผลการประหยัดพลังงาน

เชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ (Q_S)	$= W_O - W_N$	= 29,446	กก./ปี
หรือ	$= Q_S \times 27.63$	= 813,582	เมกะจูล/ปี
หรือ	= 813,582 / 42,244	= 19.259	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ (C_S)	$= E_S \times C$	= 98,642.8	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าแรง	=	2,000	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	0.02	ปี

หมายเหตุ

เนื่องจากโรงงานแห่งนี้มีมาตรการการประหยัดพลังงานที่เกี่ยวข้องกับหม้อไอน้ำ 4 มาตรการ โดยก่อนการดำเนินการทั้งหมด อัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำคือ 100.75 กิโลกรัม/ชั่วโมง แต่ภายหลังจากดำเนินการมาตรการทั้งหมดแล้ว อัตราการใช้เชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำลดลงเหลือ 91.85 กิโลกรัม/ชั่วโมง หรือลดลง 8.90 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งเป็นการลดลงจากมาตรการนี้เท่ากับ 6.13 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยประมาณจากการคำนวณอัตราการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซเสียก่อนและหลังจากการปรับปรุง

2.5.8 การเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ภายในโรงงานมีการใช้หม้อไอน้ำใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิง ด้วยปริมาณ 468,000.00 ลิตรต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนการปรับปรุง

มีการใช้น้ำมันเตาเกรด C เป็นเชื้อเพลิง ในปริมาณ 468,000.00 ลิตรต่อปี ซึ่งมีราคาแพง จึงต้องการลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงลง โดยเปลี่ยนระบบหม้อไอน้ำใหม่เป็นระบบใช้เชื้อเพลิงชนิดก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG)

รูปก่อนการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อน้ำลักษณะนี้ สามารถใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ได้เช่นกัน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) มีราคาถูกกว่า การเปลี่ยนมาใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงแทน จะสามารถลดค่าเชื้อเพลิงลงได้ประมาณครึ่งหนึ่งด้วย

สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากดำเนินการตามรายละเอียดในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วนั้น โรงงานสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้

รูปหลังการปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	4	สัปดาห์
เงินลงทุนทั้งหมด	2,000,000.00	บาท
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	2,122,783.84	บาท/ปี
คิดเป็นประหยัดพลังงานได้	113,639.39	กิโลกรัม/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.94	ปี

ข้อเสนอแนะ

ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนหม้อไอน้ำใหม่ เพียงแค่เปลี่ยนชุดหัวเผาใหม่ก็สามารถใช้งานได้เป็นการประหยัดค่าซื้อหม้อไอน้ำ

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

เชื้อเพลิงปัจจุบัน น้ำมันเตา C

อัตราการใช้เชื้อเพลิง	FU1 =	468,000	ลิตร/ปี
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง	Df =	0.97	กก./ลิตร
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	HV1 =	42.56	MJ/ลิตร
ราคาของเชื้อเพลิง	CF1 =	18.68	บาท/ลิตร
ปริมาณความร้อนที่ใช้	Qc =	FU1 x HV1 x Df	
	=	19,320,537.60	MJ/ปี
ค่าเชื้อเพลิง	FC1 =	FU1 x CF1	
	=	8,742,240.00	บาท/ปี

เชื้อเพลิงใหม่ แก๊ส LPG

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	HV2 =	46.70	MJ/กก.
ราคาของเชื้อเพลิง	CF2 =	16.00	บาท/กก.
ปริมาณความร้อนที่ใช้	Qc =	19,320,537.60	MJ/ปี
อัตราการใช้เชื้อเพลิง	FU2 =	Qc/HV2	
	=	413,716.01	กก./ปี
ค่าเชื้อเพลิง	FC2 =	FU2 x CF2	
	=	6,619,456.16	บาท/ปี
ผลประหยัด	FS=	FC1 - FC2	
	=	2,122,783.84	บาท/ปี

การลงทุน

เงินลงทุนค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง	=	2,000,000	บาท
ผลประหยัด	=	2,122,783.84	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	0.94	ปี

2.5.9 การควบคุมน้ำโบลว์ดาวน์ให้เหมาะสม

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการดำเนินการผลิตประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 189,840.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 1,158,829.16 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.65 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงใยปาล์ม ผลิตไอน้ำที่ความดันประมาณ 10 บาร์ มีอุณหภูมิประมาณ 180.0 °C เพื่อจ่ายไปยังกระบวนการผลิต โดยมีปริมาณการใช้ใยปาล์ม ประมาณ 2,234,484.76 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 491,586.65 บาทต่อปี ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.22 บาทต่อกิโลกรัม ค่าความร้อนของใยปาล์มมีค่าเท่ากับ 11.80 MJ/kg

ข้อมูลทั่วไป	หม้อไอน้ำ
ขนาด (ตัน/ชั่วโมง)	27
ประเภท	ท่อน้ำ
ชนิดเชื้อเพลิง	ใยปาล์ม
ความดันใช้งาน (บาร์)	10.0
ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กิโลกรัม)	0.22

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานพบว่าในโรงงานมีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำ 27 ตัน/ชั่วโมง จากการสำรวจพบว่าทางโรงงานทำการโบลว์ดาวน์น้ำภายในหม้อไอน้ำค่อนข้างบ่อยโดยไม่ได้มีการตรวจสอบและจัดทำวิธีการโบลว์ดาวน์ที่เหมาะสม ซึ่งการทำโบลว์ดาวน์บ่อยและไม่เหมาะสมจะทำให้ทางโรงงานสูญเสียปริมาณเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์

รูปแสดงการใช้งานหม้อไอน้ำของทางโรงงาน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ทำการปรับปรุงโดยควบคุมน้ำโบลว์ดาวน์ให้เหมาะสม จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ควรมีการนำควบคุมน้ำโบลว์ดาวน์ให้เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค ปริมาณน้ำโบลว์ดาวน์ และข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นในการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย
2. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ
3. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
4. ดำเนินการตามมาตรการ
5. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการดำเนินการพร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
6. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุงพบว่าการผลิตของทางโรงงาน สามารถทำงานได้ตามปกติ และสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้

ระยะเวลาการดำเนินการ	30	วัน
เงินลงทุน	-	บาท
ปริมาณใยปาล์มที่ลดลง	24,272.54	กิโลกรัม/ปี (คิดเป็น 0.214 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	5,339.9	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

ปริมาณน้ำโบลว์ดาวน์ที่สามารถลดได้	150	kg/ชั่วโมง	
ความดันใช้งานไอน้ำ	22	บาร์เกจ	
ค่าเอนทาลปีของน้ำโบลว์ดาวน์ที่ความดัน 22 บาร์เกจ มีค่าเท่ากับ 941.8 kJ/kg			
ค่าเอนทาลปีของน้ำป้อน 30 $^{\circ}$C มีค่าเท่ากับ 125.8kJ/kg			
เวลาการทำงานของ Boiler	12 ชั่วโมง/วัน, 300 วัน/ปี		
ค่าความร้อนของใยปาล์ม เท่ากับ	11.80 MJ/kg		
ราคาใยปาล์มเฉลี่ย เท่ากับ	0.22 บาท/kg		
คิดเปอร์เซ็นต์การใช้งาน เท่ากับ	65 เปอร์เซ็นต์ = 65/100 = 0.65		
พลังงานที่ประหยัดได้ เท่ากับ	150x12x300x0.65 (941.8-125.8)/1,000 MJ/ปี		
	= 286,416 MJ/ปี		
คิดเป็นใยปาล์ม	= 286,416/11.80 กิโลกรัม/ปี	= 24,272.54	กิโลกรัม/ปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	= 24,272.54 x 0.22 บาท/ปี	= 5,339.9	บาท/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	= 5,339.9/25,000บาท	= 0.214	toe/ปี

2.5.10 การใช้หม้อไอน้ำประสิทธิภาพสูง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้งานระบบไอน้ำสำหรับทำความสะอาด และอบแห้งวัตถุดิบ ใช้ไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำขนาด 6 ตันที่ความดัน 8.5 บาร์ โดยใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาเกรด C การใช้งานรวมเฉลี่ยวันละ 9 ชั่วโมง และมีการทำงาน 6 วัน/สัปดาห์หรือ 320 วัน/ปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ทางโรงงานมีหม้อไอน้ำ 2 ลูก ซึ่งมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน

รูปก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. ตรวจวัดประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำทั้ง 2 ลูก
2. จัดเวลาการผลิตใหม่ เลือกเดินหม้อไอน้ำ ลูกที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก

สภาพหลังปรับปรุง

จากการตรวจสอบพบว่าหม้อไอน้ำเครื่องที่ 1 มีประสิทธิภาพ 73% หม้อไอน้ำเครื่องที่ 2 มีประสิทธิภาพ 79 % ดังนั้นจึงเลือกเดินหม้อไอน้ำเครื่องที่ 2 เป็นหลัก และหลังพบว่าสามารถลดปริมาณการใช้น้ำมันเตาลงได้โดยไม่กระทบกับกระบวนการผลิต

ระยะเวลาดำเนินการ	เลือกเปลี่ยนการเดินเตาได้เลย
เงินลงทุน	ไม่มี เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้ว
ผลประหยัดที่ได้	100,253 บาท/ปี (เท่ากับ 0.00446 toe/ปี)
ระยะเวลาคืนทุน	คืนทุนทันที

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากการเลือกเดินหม้อไอน้ำลูกที่มีประสิทธิภาพสูง พบว่าสามารถลดการใช้น้ำมันเตาลงได้โดยไม่กระทบกับกระบวนการผลิต

ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ No.1	η_1	=	73	%
ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ No.2	η_2	=	80	%
ปริมาณการใช้น้ำมันเตา C ใน 1 ปี		=	120,000	ลิตร/ปี
ค่าความร้อนน้ำมันเตา C		=	41.28	MJ/ลิตร
พลังงานที่ประหยัดได้		=	$\left(1-\left(\frac{\eta_1}{\eta_2}\right)\right)\times 120{,}000\times 41.28$	
		=	$\left(1-\left(\frac{73}{80}\right)\right)\times 120{,}000\times 41.28$	
		=	376,222.80	MJ/ปี
คิดเป็นเชื้อเพลิง		=	376,222.80/41.28	
		=	9,113.9	ลิตร/ปี

แต่เนื่องจากโดยปกติโรงงานทำการเดินสลับการใช้งานอยู่แล้ว ดังนั้นจึงคิดผลประหยัดแค่ 50 %

หรือเท่ากับ	=	4,556.95	ลิตร/ปี
เทียบเท่า	=	4,556.95 x (9.7718×10^{-7})	MJ/ปี
	=	0.00446	ktoe/ปี
ราคาน้ำมันเตา C เฉลี่ย	=	22	บาท/ลิตร
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	100,253	บาท/ปี

2.5.11 การใช้ไอน้ำอุ่นน้ำมันเตาแทนฮีตเตอร์ไฟฟ้า

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้หม้อไอน้ำ (Boiler) ขนาด 1 ตัน ใช้น้ำมันเตา B เป็นเชื้อเพลิง ที่ความดันใช้งาน 1 บาร์ เพื่อผลิตไอน้ำไปอบแห – อวน และบางส่วนนำไปใช้ในการย้อมสีแห - อวน คลี่แห - อวน ที่อุณหภูมิ 80 – 90 $^{\circ}C$

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการพิจารณาเบื้องต้น พบว่าน้ำมันเตาที่ก่อนป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ต้องใช้ heater ขนาด 8 kW อุ่นก่อนตลอดเวลาที่ใช้งานและจาการตรวจวัดพลังงานที่ใช้ พบว่ากำลังที่ใช้สูงถึง 5.34 kW เปิดใช้งาน 16 ชั่วโมง/วัน ดังนั้น น่าจะเป็นการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ โดยการใช้ไอน้ำอุ่นน้ำมันเตาแทนไฟฟ้า

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เสนอให้ต่อท่อไอน้ำมาอุ่นน้ำมันเตา โดยการต่อท่อระยะ 5 เมตร ร่วมกับคอล์ยความร้อน (ไส้ไก่) แช่อยู่ในถังน้ำมันเตา โดยมอบหมายให้ฝ่ายซ่อมบำรุงเป็นทีมดำเนินการในครั้งนี้

โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขดังนี้

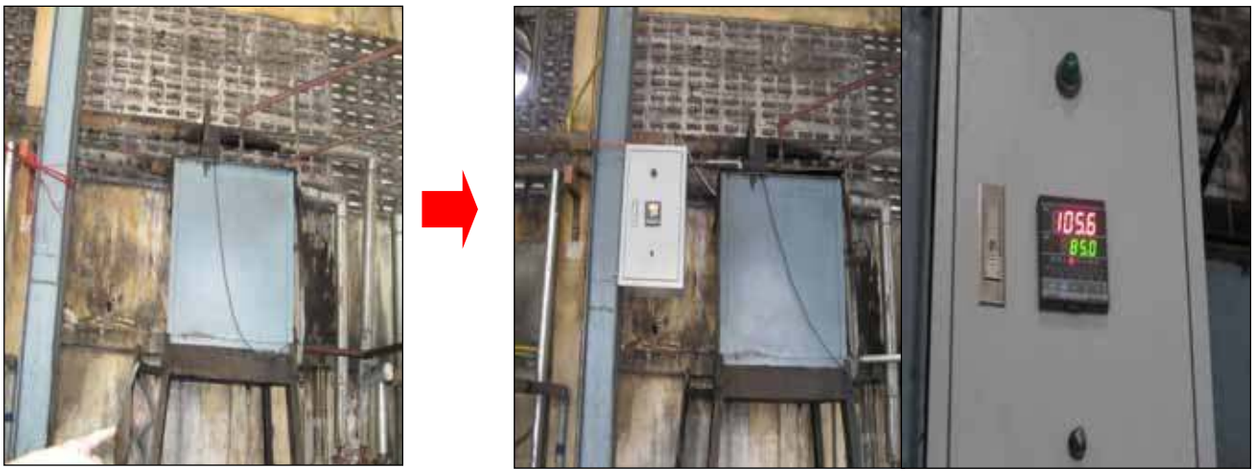
1. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ก่อนปรับปรุง
2. ติดตาม และประเมินผลหลังปรับปรุง
3. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

รูปการสำรวจและตรวจวัดการใช้พลังงานและความเหมาะสมการเดินท่อไอน้ำสู่ถังน้ำมันเตา

หลังจากการประชุมเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นแล้ว ที่ประชุมจึงดำเนินการจัดทำรายงานต่อผู้บริหาร ซึ่งในรายงานประกอบด้วยเหตุผลของการดำเนินมาตรการ ประโยชน์ที่จะได้รับจากการคำนวณผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับหลังการดำเนินการ

สภาพหลังปรับปรุง

หลังจากต่อท่อไอน้ำสู่ถังบรรจุน้ำมันเตา พบว่าลดการเปิดใช้งาน Heater วันละ 14 ชั่วโมง/วัน และอุณหภูมิจาก 50 °C เพิ่มสูงขึ้นเป็น 90 – 105 °C และจากการใช้งานพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้เป็นอย่างมาก ไม่มีผลต่อการทำงานหม้อไอน้ำและคุณภาพของผลิตภัณฑ์



รูปการต่อท่อน้ำคอนเดนเสทกลับมาที่ถังน้ำป้อน

การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	ขนาด (kw)	จำนวน (ชุด)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh/ปี)
1	Heater อุ่นน้ำมันเตา	8	1	5.34	16	300	95	24,349.6
2								
รวมทั้งหมด			**1**	**5.34**				**24,349.6**

หลังปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	ขนาด (kw)	จำนวน (ชุด)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh/ปี)
1	Heater อุ่นน้ำมันเตา	8	1	5.34	2	300	95	3,043.7
2								
รวมทั้งหมด			**1**	**5.34**				**3,043.7**

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การใช้ไอน้ำอุ่นน้ำมันเตาแทนฮีตเตอร์ไฟฟ้า

ระยะเวลาการดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	20,000	บาท
ปริมาณพลังงานที่ลดลง	21,305.91	kW/ปี (คิดเป็น 1.82 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	71,407.75	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.28	ปี

2.5.12 การติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ทางสถานประกอบการ มีการใช้ความร้อนในกระบวนการผลิต โดยการใช้หม้อไอน้ำขนาด 0.5 ตัน ใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตาเกรด C มีการผลิตประมาณวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี ซึ่งตั้งแรงดันไอน้ำไว้ที่ 7 bar โดยนำความร้อนที่ได้ไปใช้ในการลวกกุ้ง

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

จากการร่วมสำรวจตรวจสอบการใช้พลังงานความร้อนของสถานประกอบการ ร่วมกันระหว่างทีมงานของโรงงาน และทีมที่ปรึกษานั้น ทำให้พบว่าท่อไอน้ำที่ส่งจ่ายไอน้ำไปใช้งานในกระบวนการผลิต ไม่ได้ติดตั้งกับดักไอน้ำไว้ เนื่องจากแต่เดิมที่เคยติดตั้งใช้งานอยู่นั้นกับดักไอน้ำได้เกิดการชำรุด จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไข โดยไม่ได้ติดตั้งกับดักไอน้ำตัวใหม่แทนตัวเดิม ทำให้คอนเดนเสทท่วมอยู่ในท่อไอน้ำและไม่สามารถระบายออกไปทิ้งได้ ส่งผลให้ไอน้ำที่ใช้ลวกกุ้งมีอุณหภูมิต่ำลง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ดังกล่าวมาแล้วนั้น ทางทีมงานจึงวางแผนที่จะดำเนินการปรับปรุงโดยการติดตั้งกับดักไอน้ำใหม่ โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

1. ตรวจสอบบริเวณจุดที่ติดตั้งดักไอน้ำ
2. วิเคราะห์ศักยภาพประหยัดพลังงาน
3. ดำเนินการ
4. ติดตามและประเมินผล

รูปก่อนปรับปรุง

สภาพหลังปรับปรุง

เมื่อดำเนินการติดตั้งกับดักไอน้ำเรียบร้อยแล้ว ส่งผลให้ไอน้ำที่ใช้ลวกกุ้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ โดยมีการใช้น้ำมันเตาในปริมาณที่ลดลง

รูปหลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางข้อมูลในการคำนวณ

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ
ข้อมูลทั่วไป			
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา	litre/y	C_S	35,000
ราคาค่าเชื้อเพลิงน้ำมันเตา	฿/litre	C_E	16
แฟคเตอร์การใช้งานหม้อไอน้ำ (Used Factor)	%	US	70
อุณหภูมิไอน้ำที่หม้อไอน้ำ	°C	T_1	165
เอนธาลปีไอน้ำที่หม้อไอน้ำ	kJ/kg	h_1	2,763.50
อุณหภูมิไอน้ำที่ใช้งานก่อนปรับปรุง	°C	T_2	143
เอนธาลปีไอน้ำที่ใช้งานก่อนปรับปรุง	kJ/kg	h_2	2,738.53
อุณหภูมิไอน้ำที่ใช้งานหลังปรับปรุง	°C	T_3	148
เอนธาลปีไอน้ำที่ใช้งานหลังปรับปรุง	kJ/kg	h_3	2,743.91

ตารางการคำนวณผลประหยัดพลังงาน

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ
การคำนวณ			
ความร้อนที่สูญเสียก่อนปรับปรุง, $Q_O = h_1 - h_2$	kJ/kg	Q_O	24.97
ความร้อนที่สูญเสียหลังปรับปรุง, $Q_N = h_1 - h_3$	kJ/kg	Q_N	15.59
ความร้อนที่สูญเสียลดลง, $Q_S = Q_O - Q_N$	kJ/kg	Q_S	9.38
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความร้อนที่สูญเสียลดลง $P_S = (Q_O - Q_S) / Q_O$	%	P_S	24.59
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่ลดลง $E_S = C_S \times (P_S/100) \times (US/100)$	litre/y	E_S	6,024
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ลดลง $S_C = E_S \times C_E$	฿/y	S_C	96,384
toe/yr			5.67

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานความร้อนได้อย่างคุ้มค่าโดยต่อเนื่อง ทางโรงงานควรตรวจสอบการทำงานของกับดักไอน้ำที่ติดตั้งใช้งานอยู่เป็นประจำ เมื่อพบว่ากับดักไอน้ำตัวใดมีการทำงานที่ผิดปกติ ก็ควรดำเนินการเปลี่ยนโดยเร็ว เพื่อมิให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก เมื่อกับดักไอน้ำชำรุดแบบปิดค้าง และป้องกันมิให้เกิดการรั่วไหลของไอน้ำในกรณีของการชำรุดแบบเปิดค้าง โดยการจัดให้มีการสำรองกับดักไอน้ำไว้ในสต๊อกเพื่อให้พร้อมที่จะดำเนินการเปลี่ยนได้ตลอดเวลา เนื่องจากมาตรการนี้เป็นมาตรการที่ลงทุนน้อย และมีระยะเวลาการคืนทุนที่เร็วมาก

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	การติดตั้งอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap)	
เงินลงทุน	4,000	บาท
ผลที่ประหยัดได้ (น้ำมันเตา)	6,024	ลิตร/ปี
	5.67	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	96,384	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.04	ปี

2.5.13 การปรับปรุงประสิทธิภาพอุปกรณ์ดักไอน้ำ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการดำเนินการผลิตประมาณ 12 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 312 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณ 2,461,104.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 8,215,890.07 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.35 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืน ผลิตไอน้ำที่ความดันประมาณ 3 บาร์ มีอุณหภูมิประมาณ 135 °C เพื่อจ่ายไปยังกระบวนการอบไม้ โดยมีปริมาณการใช้ฟืนประมาณ 2,262,400.00 กิโลกรัมต่อปี คิดเป็นมูลค่าประมาณ 2,194,528.00 บาทต่อปี ราคาเฉลี่ยอยู่ที่ 0.97 บาทต่อกิโลกรัม

ข้อมูลทั่วไป	หม้อไอน้ำ 1	หม้อไอน้ำ 2	หม้อไอน้ำ 3
ขนาด (ตัน/ชั่วโมง)	8	8	10
ประเภท	ท่อไฟ	ท่อไฟ	ท่อไฟ
ชนิดเชื้อเพลิง	ไม้ฟืน	ไม้ฟืน	ไม้ฟืน
ความดันใช้งาน (บาร์)	3.0	3.0	3.0
ราคาเชื้อเพลิง (บาท/กิโลกรัม)	0.97	0.97	0.97

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานพบว่าในโรงงานมีการติดตั้งใช้งานหม้อไอน้ำขนาด 8 และ 10 ตัน/ชั่วโมง มีการใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในปริมาณสูง เมื่อทำการตรวจประเมินระบบไอน้ำพบว่าอุปกรณ์ดักไอน้ำ (Steam trap) ซึ่งมีอายุการใช้งานมาก มีไอน้ำรั่วไหลออกมา เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนในระบบไอน้ำโดยเปล่าประโยชน์

รูปแสดงการรั่วไหลของไอน้ำจากชุดกับดักไอน้ำ

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากผลการตรวจวัดอุปกรณ์ดักไอน้ำ พบว่ามีไอน้ำไหลออกมาตลอดเวลา ซึ่งหากมีการแก้ไขปรับปรุงให้เหมาะสม จะสามารถลดความร้อนสูญเสียในระบบไอน้ำได้ จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่าทางโรงงานควรมีการปรับปรุงอุปกรณ์ดักไอน้ำให้เหมาะสม เพื่อเป็นการลดความร้อนสูญเสียโดยไม่จำเป็น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยตรวจวัดปริมาณไอน้ำไหลออกมา ชั่วโมงการใช้ทำงาน และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์ความร้อนสูญเสีย
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา อุปกรณ์ดักไอน้ำ การติดตั้งและระยะเวลาการดำเนินการ
3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ โดยเลือกช่วงเวลาที่ทำการแก้ไขปรับปรุงโดยไม่กระทบต่อการผลิตของโรงงาน
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการจัดจ้างบริษัทเพื่อเข้าดำเนินการ ทั้งนี้จะทำการสอบถามรายละเอียดขั้นตอนในการทำงานทำการวางแผนเตรียมความพร้อม
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการแก้ไขปรับปรุงพร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ดักไอน้ำ และสามารถลดการสูญเสียพลังงานความร้อนลงได้ ซึ่งสามารถคำนวณประเมินศักยภาพการประหยัดได้ ดังนี้

รูปแสดงอุปกรณ์ดักไอน้ำ หลังดำเนินการปรับปรุงและการตรวจวัด

ระยะเวลาการดำเนินการ	20	วัน
เงินลงทุน	5,000	บาท
ปริมาณไม้ฟืนที่ลดลง	55,499.44	กิโลกรัม/ปี (คิดเป็น 2.1533 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	53,834.45	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.0928	ปี

<u>วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน</u>

เวลาการทำงานของหม้อไอน้ำ 12 ชั่วโมง/วัน, 300 วัน/ปี

ชั่วโมงการทำงานต่อปี	=	12 x 300	ชั่วโมง/ปี
	=	3,600	ชั่วโมง/ปี

ก่อนทำการเปลี่ยนสตรียมแทปวัดปริมาณไอน้ำที่รั่วได้ 1.5 kg/นาที

ความดันใช้งานไอน้ำ 3 บาร์เกจ

ค่าเอนทาลปีของไอน้ำที่ความดัน 3 บาร์เกจ มีค่าเท่ากับ 2,739 kJ/kg

ค่าความร้อนของไม้ฟืน	=	15.99	MJ/kg
ราคาไม้ฟืนเฉลี่ย	=	0.97	บาท/kg
พลังงานที่ประหยัดได้	=	1.5 x 60 x 12 x 300 x (2,739/1000)	MJ/ปี
	=	887,436	MJ/ปี
คิดเป็นไม้ฟืน	=	887,436/ 15.99	กิโลกรัม/ปี
	=	55,499.44	กิโลกรัม/ปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	55,499.44 x 0.97	บาท/ปี
	=	53,834.45	บาท/ปี
เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ	=	53,834.45/25,000	
	=	2.1533	toe/ปี

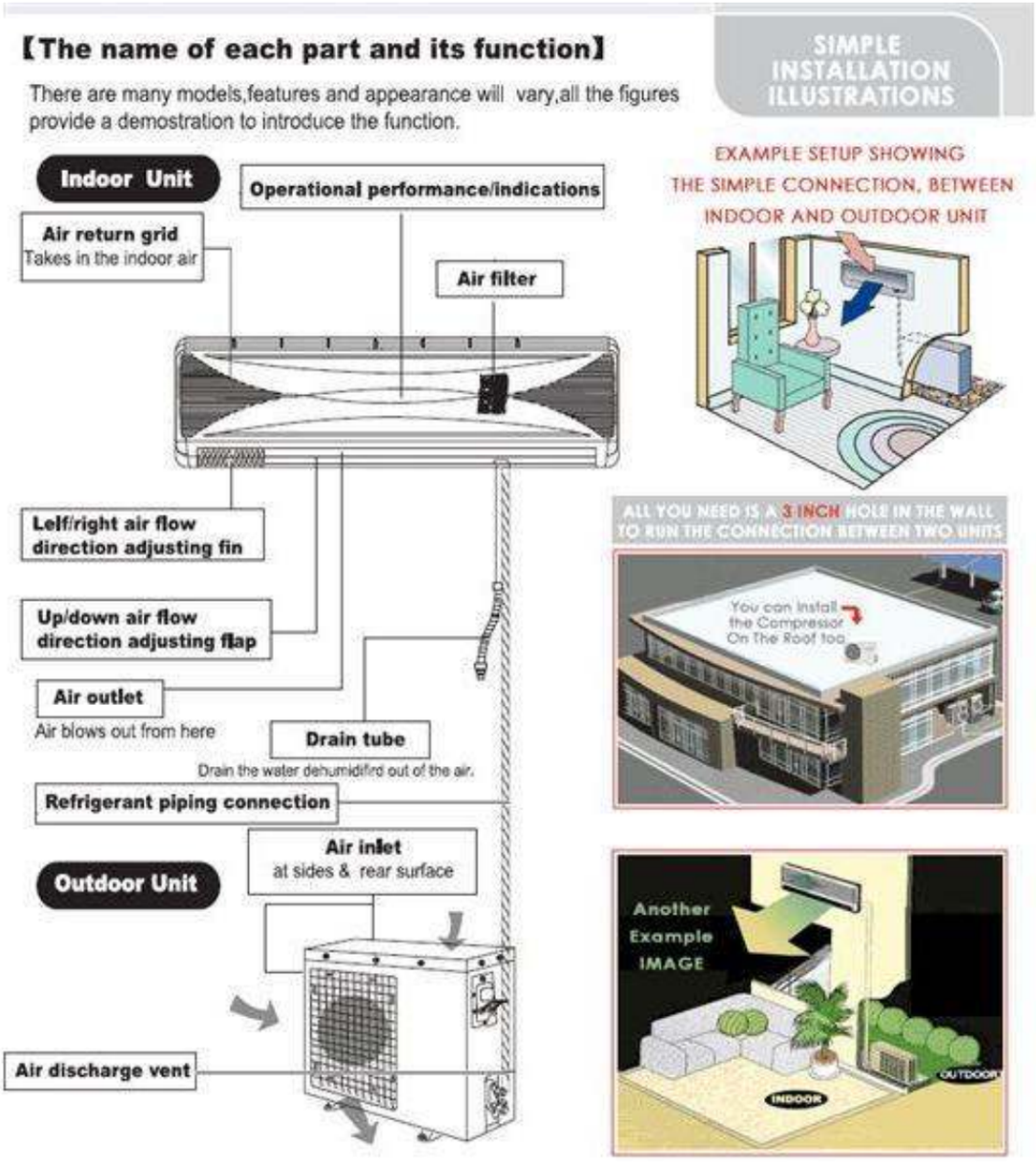
<u>การลงทุนและผลตอบแทนการลงทุน</u>

เงินลงทุน	=	5,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	5,000 / 53,834.45	ปี
	=	0.0928	ปี

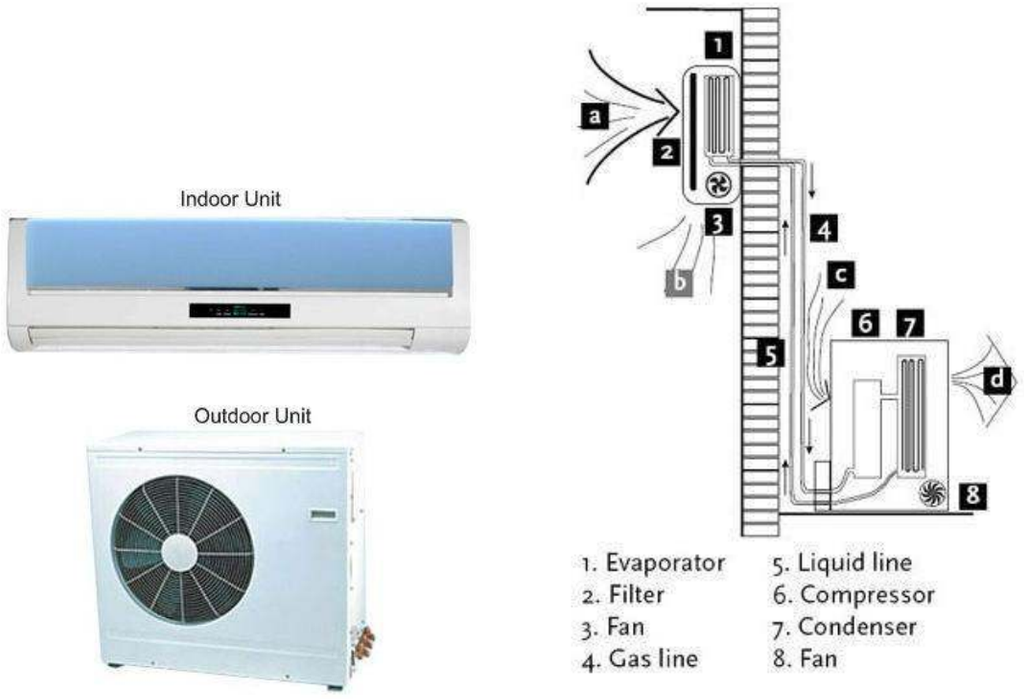
2.6 การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

2.6.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง

<u>เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner)</u>



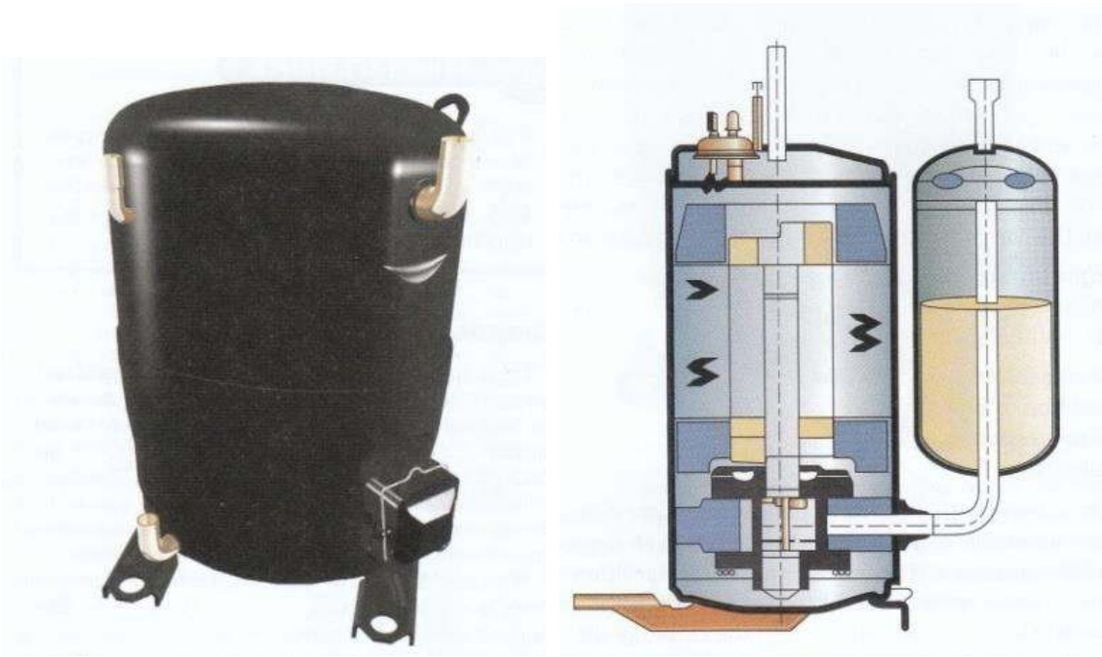
รูปที่ 1-48 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 1-49 ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner) ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ Outdoor unit และ Indoor unit โดย Outdoor unit จะติดตั้งอยู่ภายนอกห้อง นอกตัวอาคาร ชิ้นส่วนสำคัญๆ ในส่วนนี้ ได้แก่ Compressor, Condenser และวาล์วควบคุมความดัน (Expansion valve) สำหรับส่วน Indoor unit ประกอบด้วย Evaporator หรือคอยล์ทำความเย็น และพัดลมทำความเย็น (Cooling fan) เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นประเภทหนึ่งของเครื่องปรับอากาศที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุด ก่อนหน้านี้มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบหน้าต่างกันกว้างขวางมากที่สุด แต่ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนได้ก้าวเข้ามาแทนที่แล้ว เนื่องจากทำงานด้วยเสียงที่เบากว่า และมีรูปลักษณ์อันสวยงาม ข้อดีอีกประการหนึ่งของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนก็คือไม่จำเป็นต้องเจาะช่องบนผนังตรงจุดติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และไม่ทำลายความสวยงามของห้อง ปัจจุบัน Indoor unit ของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมีสีสันและรูปแบบให้เลือกมากมาย

ชุด Outdoor unit จะติดตั้งภายนอกห้องในบริเวณพื้นที่ว่างเปิดโล่ง ช่วยให้ง่ายและสะดวกต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา ใน Outdoor unit ความร้อนจำนวนมากจะถูกสร้างขึ้นมาใน Compressor และ Condenser ดังนั้นจำเป็นต้องมีการไหลเวียนของอากาศอย่างเพียงพอรอบๆ ตัวเครื่อง



รูปที่ 1-50 Compressor

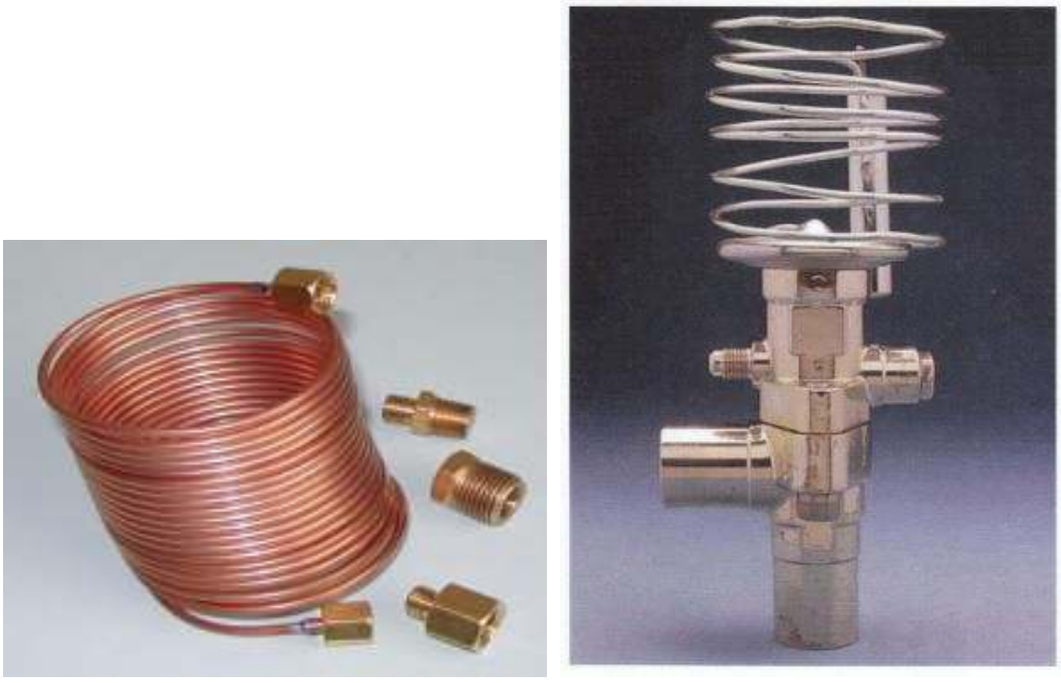
ในเครื่องปรับอากาศใดๆ Compressor เป็นชิ้นส่วนประกอบสำคัญที่สุด โดยทำหน้าที่อัดน้ำยาและเพิ่มความดันน้ำยาก่อนส่งเข้าสู่ Condenser ขนาดของ Compressor จะแปรเปลี่ยนตามภาระโหลดการปรับอากาศที่ต้องการ เครื่องปรับอากาศสำหรับที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่จะใช้ Compressor ชนิด Hermetically sealed type โดย Compressor แบบนี้มอเตอร์ที่ใช้ขับเพลาจะถูกวางอยู่ในตำแหน่งภายใน Sealed unit และไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอก กำลังงานจากภายนอกจะถูกจ่ายเข้ามาให้แก่ Compressor เพื่อใช้ในการอัดสารทำความเย็น ซึ่งในระหว่างกระบวนการดังกล่าวนี้จะเกิดความร้อนจำนวนมากที่ Compressor ดังนั้นจึงจำเป็นต้องระบายความร้อนนี้ออกไปให้ได้ด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่ง

Condenser ของ Outdoor unit ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จะเป็นแบบขดท่อทองแดงแถวเดียวหรือหลายแถว ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องปรับอากาศและ Compressor ยิ่งขนาดตันความเย็นของเครื่องปรับอากาศ และ Compressor มีมากเท่าใด จำนวนขดท่อและจำนวนแถวก็ยิ่งจะมีจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย สารทำความเย็นอุณหภูมิและความดันสูงจาก Compressor จะเข้ามาใน Condenser เพื่อปลดปล่อยความร้อนออก ท่อทำจากทองแดง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีอัตราการนำความร้อนสูง Condenser จะถูกห่อหุ้มด้วยครีบอลูมิเนียม (Aluminum fins) ทำให้ความร้อนจากสารทำความเย็นสามารถถ่ายเทออกไปได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 1-51 ท่อทองแดงในชุดคอนเดนซิง (Copper tube in condensing unit)

ความร้อนที่เกิดขึ้นภายใน Compressor จำเป็นต้องถูกระบายออกไป ถ้าความร้อนระบายออกไม่สมบูรณ์และการทำงานที่ต่อเนื่องจะทำให้ Compressor มีความร้อนสูงเกินไป และขดลวดของมอเตอร์จะไหม้ ส่งผลให้ Compressor และระบบปรับอากาศทั้งหมดพังเสียหาย สารทำความเย็นภายในคอยล์ Condenser ต้องถูกทำให้เย็นลง เพื่อว่าหลังจากการขยายตัว (Expansion) แล้วอุณหภูมิของมันจะลดต่ำลงเพียงพอที่จะสร้าง ผลทำความเย็น (Cooling effect) ขึ้นมาได้ พัดลมระบายความร้อนที่ Condenser (condenser cooling fan) เป็นพัดลมธรรมดา มีใบพัดจำนวน 3 หรือ 4 ใบ และถูกขับเคลื่อนให้ทำงานด้วยมอเตอร์ พัดลมระบายความร้อนจะวางอยู่ตรงตำแหน่งด้านหน้า Compressor และคอยล์ Condenser เมื่อใบพัดของพัดลมหมุน มันจะดูดอากาศรอบๆ จากพื้นที่ว่างเปิดโล่ง ให้ไหลผ่าน Compressor และ Condenser ที่มีครีบอลูมิเนียม เพื่อทำให้ทั้ง Compressor และ Condenser เย็นตัวลง อากาศร้อนจะถูกเป่ากลับออกไปในพื้นที่ว่างเปิดโล่ง และการไหลเวียนของอากาศดำเนินต่อไป โดยไม่ควรมีสิ่งกีดขวางใดๆ ของการหมุนเวียนอากาศ

วาล์วควบคุมความดัน (Expansion valve) โดยปกติจะเป็น Capillary tube ทำจากขดท่อทองแดงม้วนเป็นวงหลาย ๆ รอบ สำหรับในเครื่องปรับอากาศที่มี Capacity มากๆ จะเป็นแบบ Thermostatic Expansion Valve ซึ่งอาจควบคุมการทำงานด้วยระบบเชิงกลหรืออิเลคทรอนิกส์อัตโนมัติ สารทำความเย็นความดันสูงและอุณหภูมิสูงออกจาก Condenser และเข้าสู่วาล์วควบคุมความดัน ที่ซึ่งทำให้อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นลดลงอย่างทันทีทันใด



รูปที่ 1-52 Metering devices

ระบบท่อสารทำความเย็น ทำมาจากท่อทองแดงเชื่อมต่อ Indoor unit กับ Outdoor unit เข้าด้วยกัน สารทำความเย็นอุณหภูมิและความดันต่ำ ออกจากวาล์วควบคุมความดัน (Expansion valve) และเข้าสู่ท่อทองแดง ซึ่งถูกต่อเชื่อมอยู่กับ Evaporator หรือ คอยล์ทำความเย็นที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ระยะห่างระหว่าง Indoor unit กับ Outdoor unit จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ว่างที่มีอยู่ภายในบ้าน หรืออาคารสำนักงาน ระยะห่างดังกล่าวยิ่งมีมากเท่าใดก็ยิ่งทำให้ความยาวของท่อสารทำความเย็นที่เชื่อมต่อระหว่าง Unit ทั้งสองยิ่งมากขึ้นเท่านั้น เมื่อสารทำความเย็นในท่อไหลจาก Indoor unit ไปสู่ Outdoor unit จะมีความสูญเสียผลทำความเย็น (Cooling effect) จำนวนหนึ่งเกิดขึ้นในระหว่างทาง ดังนั้นระยะห่างระหว่าง Indoor unit กับ Outdoor unit จะต้องรักษาให้มีระยะสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ สำหรับระยะห่างไม่เกิน 15 เมตร การสูญเสียผลทำความเย็น จะไม่เห็นผลมากนัก แต่ถ้ามากเกินไปจากนี้แล้วจะมีความสูญเสียเกิดขึ้นมาก การที่ท่อสารทำความเย็นทำมาจากทองแดง เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่มีความเหนียว (Ductile) และยืดหยุ่น (Malleable) สูงมาก การผลิตท่อจากวัสดุทองแดงทำได้ง่าย ท่อทองแดงมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะถูกบิดเป็นมุมต่างๆ และพันม้วนได้ง่าย ท่อทองแดงนำมาใช้เป็น Condenser และ Evaporator มีส่วนช่วยในด้านการให้อัตราการนำความร้อนสูง

คอยล์ทำความเย็น (Cooling coil) เป็นขดท่อทองแดงที่ทำมาจากท่อทองแดงขดไปมา อาจมีแถวเดียวหรือหลายแถว ขึ้นกับ Capacity ของระบบปรับอากาศ คอยล์ทำความเย็นถูกห่อหุ้มไว้ด้วยครีบอลูมิเนียมเพื่อให้สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากคอยล์ไปยังอากาศภายในห้องได้ปริมาณสูงสุด สารทำความเย็นจากท่อที่มีอุณหภูมิและความดันต่ำมากๆ จะเข้าสู่คอยล์ทำความเย็น Blower ดูดอากาศร้อนจากภายในห้องหรือจากบรรยากาศให้ไหลผ่านคอยล์ทำความเย็นส่งผลให้อากาศร้อนนั้นเย็นตัวลง จากนั้นอากาศจะถูกเป่าไปยังห้องที่ต้องการปรับอากาศ เมื่ออากาศให้ Cooling effect เรียบร้อยแล้ว จะถูก Blower ดูดออกไปอีกครั้งหนึ่ง และกระบวนการทำความเย็นให้กับห้องดำเนินต่อไปอย่างต่อเนื่อง หลังจากดูดความร้อนจากอากาศภายในห้องแล้ว อุณหภูมิของสารทำความเย็นภายในคอยล์ทำความเย็นจะสูงขึ้น สารทำความเย็นจะไหลกลับผ่านท่อทองแดงขากลับไปยังเข้าสู่ Compressor ที่อยู่ภายใน Outdoor unit

สารทำความเย็นภายในท่อ จะมีอุณหภูมิต่ำมากๆ และความยาวของท่อระหว่าง Outdoor กับ Indoor unit จะมีระยะค่อนข้างยาว ท่อถูกเปิดเผยสู่บรรยากาศเปิดที่มีอุณหภูมิสูงมาก จากเหตุผลเหล่านี้ ถ้าท่อถูกปล่อยทิ้งไว้โดยไม่มีการปิดหุ้ม Cooling effect ทั้งหมดจะสูญเสียออกไปกับบรรยากาศ และเมื่อสารทำความเย็นเข้าสู่คอยล์ทำความเย็น อุณหภูมิของมันจะสูงเกินไป จนไม่สามารถสร้าง Cooling effect ได้ตามความต้องการ เพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ดังกล่าว ทั้งท่อสารทำความเย็นที่จ่ายสารทำความเย็นจาก Expansion valve ไปยัง Indoor unit และจ่ายสารทำความเย็นจาก Indoor unit ไปยัง Compressor จะต้องหุ้มฉนวน เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงาน

กรองอากาศ (Air filter) เป็นชิ้นส่วนของ Indoor unit ที่มีความสำคัญมาก ทำหน้าที่กำจัดอนุภาคสิ่งสปรกออกจากอากาศในห้องและช่วยจ่ายอากาศสะอาดเข้าสู่ห้องกรองอากาศของ Indoor unit ชนิดแยกส่วนจะวางอยู่ที่ตำแหน่งก่อนถึงคอยล์ทำความเย็น เมื่อ Blower ดูดอากาศร้อนภายในห้อง อันดับแรกจะผ่านกรองอากาศ และจากนั้นไปผ่านคอยล์ทำความเย็น ดังนั้นอากาศสะอาดอุณหภูมิต่ำจะถูกจ่ายเข้าไปในห้องโดย blower

ภายใน Indoor unit จะมี Blower ดูดอากาศในห้องหรืออากาศจากบรรยากาศ ระหว่างดูดอากาศในห้องอยู่นั้น อากาศจะผ่านไปยังคอยล์ทำความเย็นและกรองอากาศ อุณหภูมิของอากาศจะลดลงพร้อมๆ กับอนุภาคสิ่งสกปรกทั้งหมดในอากาศถูกกำจัดออกไปด้วย Blower ดูดอากาศร้อนและสกปรกออกไปจากห้องและจ่ายอากาศเย็นและสะอาดกลับคืนเข้าสู่ห้อง เพลาของ Blower หมุนอยู่ภายในปลอกบุช (Bush) และต่อเชื่อมอยู่กับมอเตอร์ความเร็วหลายระดับขนาดเล็ก (Multiple speed motor) ดังนั้น ความเร็วของ Blower จึงสามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยควบคุมผ่าน Speed controller

เนื่องจากสารทำความเย็นภายในคอยล์ทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) ของอากาศภายในห้อง เมื่ออากาศในห้องถูก Blower ดูดให้ผ่านคอยล์ทำความเย็น อุณหภูมิของอากาศจะลดลงถึงระดับต่ำมาก และไปถึงระดับต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างของมัน ไอน้ำในอากาศจะกลั่นตัวเป็นน้ำค้างหรือหยดน้ำจับตัวอยู่บนผิวของคอยล์ทำความเย็น หยดน้ำเหล่านี้จะตกลงจากคอยล์ทำความเย็นและถูกเก็บรวบรวมอยู่ในพื้นที่ด้านล่างของ Indoor unit น้ำเหล่านี้สามารถกำจัดทิ้งได้โดยต่อท่อระบาย (Drain pipe) เข้ากับจุดนี้เพื่อระบายน้ำออกไปทิ้งภายนอกห้อง ดังนั้น Drain pipe จะช่วยกำจัดหยดน้ำที่สะสมอยู่ใน Indoor unit ออกไปทิ้งข้างนอก เพื่อให้การระบายน้ำทิ้งออกจาก Indoor unit มีประสิทธิรูปมากขึ้น Indoor unit จะต้องเอียงเป็นมุมเล็กๆ ขนาด 2 ถึง 3 องศา น้ำจะได้ไปรวมตัวอยู่ตรงจุดที่ต้องการและถูกระบายออกไปทิ้งได้โดยง่าย ถ้ามุมเอียงดังกล่าวอยู่ในทิศทางที่ไม่ถูกต้อง หรือมีมุมเอียงมากเกินไป น้ำควบแน่นนี้อาจเกิดการรั่วออกจาก Indoor unit ลงภายในห้อง ทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากน้ำดังกล่าว

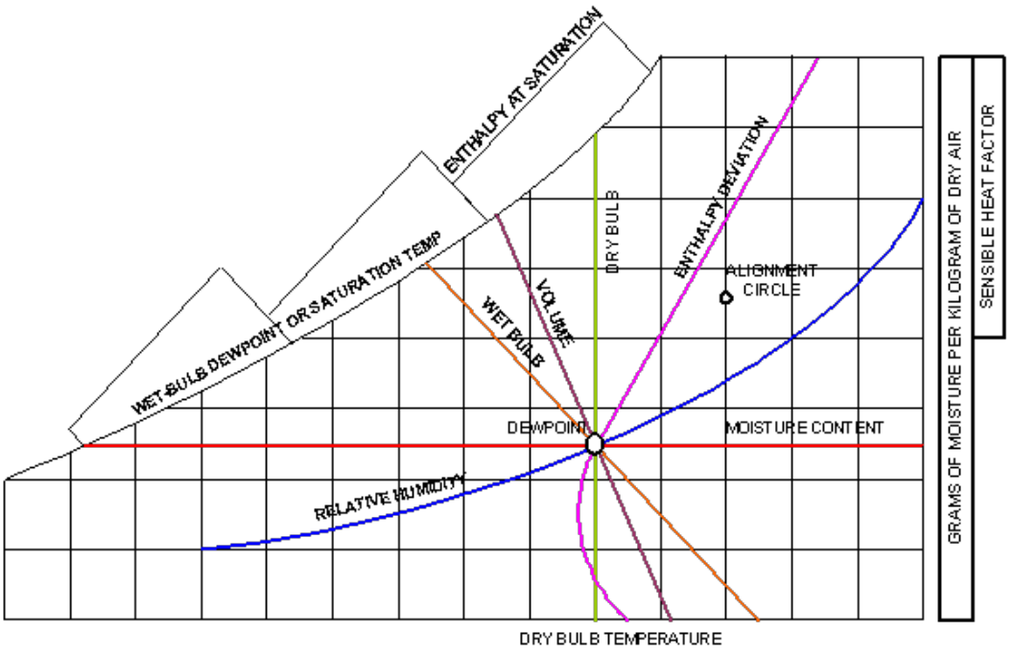
อากาศเย็นที่ Blower จ่ายออกมา จะส่งผ่านเข้าไปในห้องผ่านทางหน้ากากบานเกล็ด (Louvers) แผ่น Louvers นี้จะช่วยปรับเปลี่ยนมุมหรือทิศทางของอากาศที่จ่ายเข้าไปในห้อง ให้ได้ตามต้องการ และช่วยให้เราปรับทิศทางของอากาศเย็นปริมาณมากที่สุดให้ไหลผ่านไปในทิศทางที่ต้องการได้โดยง่าย

<u>แผนภูมิไซโครเมตริก (Phychrometric Chart)</u>

อากาศที่อยู่โดยรอบตัวเราประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) อากาศแห้ง และ 2) ไอน้ำ (หรือความชื้น) เราสามารถทราบค่าสมบัติของอากาศชื้นได้จากการอ่านแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) แผนภูมิไซโครเมตริกยังสามารถใช้เพื่อแสดงสภาวะของอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการปรับอากาศต่างๆ และสามารถใช้ประเมินภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ของระบบปรับอากาศ ซึ่งจะนำไปสู่การประเมินค่าของพลังงานที่ใช้ของระบบปรับอากาศได้ต่อไป

แผนภูมิไซโครเมตริกสามารถแสดงค่าสมบัติที่สำคัญของอากาศชื้น ได้ดังนี้

1. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature) แสดงบนแกนนอนของแผนภูมิ อุณหภูมิกระเปาะแห้งสามารถวัดและอ่านได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบธรรมดา
2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature) แสดงบนเส้นแนวทแยงของแผนภูมิ อุณหภูมิกระเปาะเปียกสามารถวัดและอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าหรือสำลีชุบน้ำหุ้มอยู่ที่กระเปาะ
3. อุณหภูมิจุดกลั่นตัว (Dew-point Temperature) คือค่าของอุณหภูมิที่ทำให้ไอน้ำเริ่มกลั่นตัว อุณหภูมิจุดกลั่นตัวที่ภาวะหนึ่งๆ อ่านได้โดยการลากเส้นแนวนอนจากสภาวะนั้นๆ ไปทางซ้ายของแผนภูมิจนตัดเส้นโค้งความชื้นสัมพัทธ์ 100% และค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่อ่านได้ ณ จุดนั้นคืออุณหภูมิจุดกลั่นตัว
4. ความชื้น
    - ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หมายถึง มวลของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรอากาศ (กรัม/ลบ.ม.)
    - ความชื้นจำเพาะหรือสัดส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หมายถึง มวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้งหนึ่งหน่วย (g/kg) แสดงบนแกนตั้งของแผนภูมิ
    - ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอที่ปริมาณไอน้ำจริงในอากาศต่อความดันไอที่ปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงบนเส้นโค้งของแผนภูมิ
5. เอนทาลปี (Enthalpy) คือ ปริมาณพลังงานความร้อนในอากาศ ซึ่งสามารถอ่านได้จากเส้นทแยงในแผนภูมิที่มีความชันใกล้เคียงกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก ค่าความร้อนภายในของอากาศประกอบด้วย 2 ส่วน คือ
    - ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ความชื้นจำเพาะคงที่
    - ความร้อนแฝง (Latent Heat) การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในอากาศที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่



รูปที่ 1-53 ค่าสมบัติของอากาศชื้นบนแผนภูมิไซโครเมตริก

ประโยชน์สำคัญประการหนึ่งของแผนภูมิไซโครเมตริก คือ การใช้คำนวณภาระการทำความเย็น หรือปริมาณความร้อนที่ต้องดึงออกจากอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ ตัวอย่างเช่น จากตารางที่ 1-20 อากาศที่ผ่านกระบวนการทำความเย็นและลดความชื้น (2→3) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นที่คอยล์เย็นของเครื่องปรับอากาศ อากาศจะเปลี่ยนสภาวะจากอุณหภูมิ 30°C ความชื้นสัมพัทธ์ 70% เป็นอากาศที่อุณหภูมิ 15 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 93% ภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นต่ออากาศ 1 kg คือ ค่าเอนทาลปีที่เปลี่ยนแปลงซึ่งเท่ากับ 38.5 kJ/kg หากอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านคอยล์เย็นมีค่าเท่ากับ 0.1 kJ/s หมายความว่า เครื่องปรับอากาศสามารถทำความเย็นหรือดึงความร้อนออกได้ในอัตรา 3.85 kJ/s หรือ 3.85 kW (เทียบเท่ากับ 13,136 Btuh) ค่าอัตราการทำความเย็นหรือความสามารถในการทำความเย็นนี้ สามารถนำไปใช้คำนวณปริมาณพลังงานที่ใช้และประสิทธิรูปของระบบปรับอากาศต่อไปได้

การควบแน่นบนพื้นผิว

ความชื้นบนกระจกถูกควบแน่นจากอากาศในห้องเมื่ออุณหภูมิของกระจกต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำค้างของอากาศในห้อง อากาศสัมผัสกับกระจกจะถูกทำให้เย็นลงต่ำว่าจุดน้ำค้างของมัน จากนิยามของจุดน้ำค้าง อากาศจะอิ่มตัวด้วยไอน้ำเมื่อถูกทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมินี้ เมื่อทำให้เย็นลงต่อไปอีก มันจะไม่สามารถรับไอน้ำแม้เพียงเล็กน้อยไว้ได้อีกจึงมีน้ำบางส่วนควบแน่นออกมา

การทำความเข้าใจแนวคิดนี้ ทำให้เราสามารถพิจารณาตัดสินได้ว่า จะมีความชื้นสูงสุดคงอยู่ภายในห้องได้เป็นปริมาณเท่าใดจึงจะไม่เกิดการควบแน่นบนผิวหน้าต่าง ควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการควบแน่น เนื่องจากหยดน้ำจะทำให้เป็นคราบและทำความเสียหายให้กับพื้นผิว สำหรับหน้าต่างกระจกชั้นเดียว (single-glazed windows) พื้นผิวกระจกภายในจะมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอกเล็กน้อย เนื่องจากความต้านทานทางความร้อนของกระจกมีค่าต่ำ ปัญหาเดียวกันนี้เกิดขึ้นกับระบบท่อน้ำเปลือย เดินท่อผ่านบริเวณพื้นที่ (space) ท่อน้ำเย็นมักมีการหุ้มฉนวนเพื่อให้พื้นผิวด้านนอกอยู่

สูงกว่าจุดน้ำค้างของอากาศ อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องใช้แผ่นกั้นไอ (vapor barrier covering) เพื่อป้องกันการอพยพย้ายที่ของไอน้ำใดๆ ผ่านฉนวนไปสู่พื้นผิวท่อเย็น ซึ่งเป็นบริเวณไอน้ำเกิดการควบแน่น

เส้นกระบวนการบนไซโครเมตริกชาร์ท (Process line on the psychrometric chart)

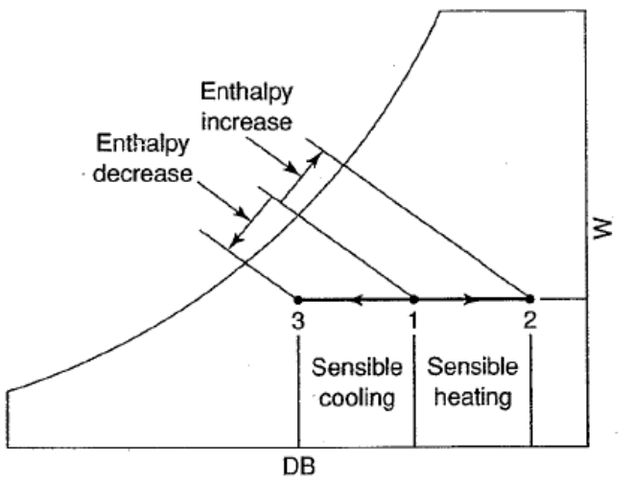
จุดประสงค์ของเครื่องปรับอากาศ คือเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศเข้าให้ไปสู่สภาวะใหม่ การเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่ากระบวนการ (process) การแสดงกระบวนการเหล่านี้บนไซโครเมตริกชาร์ท เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการเลือกอุปกรณ์ และต่อปัญหาที่ต้องวิเคราะห์ การแสดงกระบวนการทำได้โดยลากเส้นจากจุดสภาวะอากาศเริ่มต้น ไปยังสภาวะสุดท้ายของมัน อากาศจะเปลี่ยนแปลงสมบัติตามแนวเส้นนี้ กระบวนการส่วนใหญ่แสดงด้วยเส้นตรง

การเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัส (ทำความร้อน และความเย็น)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัส เป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งความร้อนจะถูกเพิ่มเข้าไป หรือดึงออกจากอากาศ และส่งผลให้อุณหภูมิ DB เปลี่ยนแปลง แต่ส่วนประกอบของไอน้ำจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทิศทางของกระบวนการต้องไปตามแนวเส้นสัดส่วนความชื้นคงที่

Sensible heating process (1-2) ทำให้ DB และ เอนทาลปี เพิ่มขึ้น

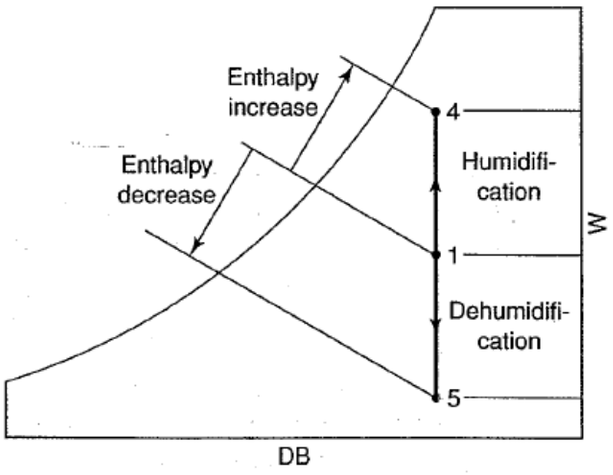
Sensible cooling process (1-3) คือ การดึงความร้อนออก และทำให้ DB และเอนทาลปีลดลง



รูปที่ 1-54 กระบวนการ sensible heating และ sensible cooling

การเปลี่ยนแปลง latent heat (humidifying และ dehumidifying)

กระบวนการเพิ่มไอน้ำเข้าไปในอากาศมีชื่อเรียกว่า humidifcation และกระบวนการดึงไอน้ำออกจากอากาศมีชื่อเรียกว่า dehumidification กระบวนการ 1-4 เป็น humidification ส่งผลให้สัดส่วนความชื้นและเอนทาลปีเพิ่มขึ้น ใน humidifiation เอนทาลปีของไอน้ำจะถูกเพิ่มเข้าไป นี้คือเหตุผลทำไมต้องเรียกว่า การเปลี่ยนแปลง latent heat ในกระบวนการ dehumidification กระบวนการ 1-5 การดึงไอน้ำออกไปทำให้เอนทาลปีลดลง กระบวนการเหล่านี้มีชื่อเรียกว่า pure humidification และ pure dehumidification โดย sensible heat ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งไม่เกิดขึ้นบ่อยนักในกระบวนการปรับอากาศในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตาม แนวคิดนี้มีความสำคัญต่อการทำความเข้าใจสภาวะที่



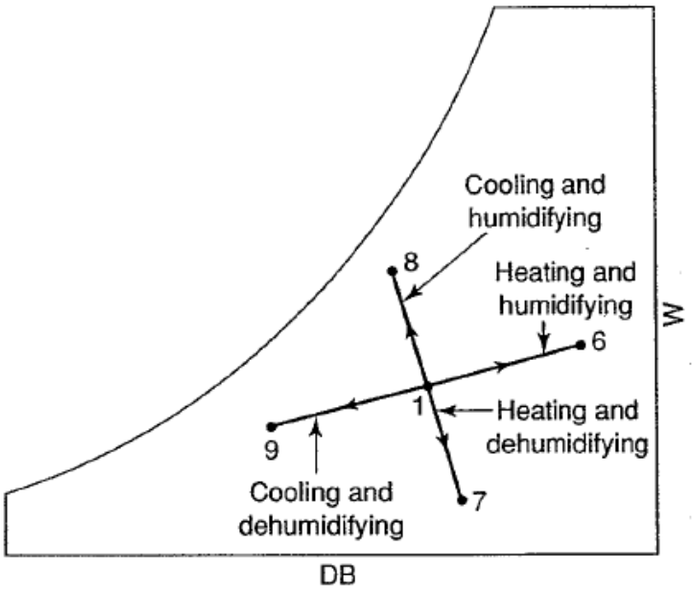
รูปที่ 1-55 กระบวนการ Humidification และ dehumidification (เปลี่ยนแปลง latent heat)

<u>การรวมกันระหว่างการเปลี่ยนแปลง sensible heat และ latent heat</u>

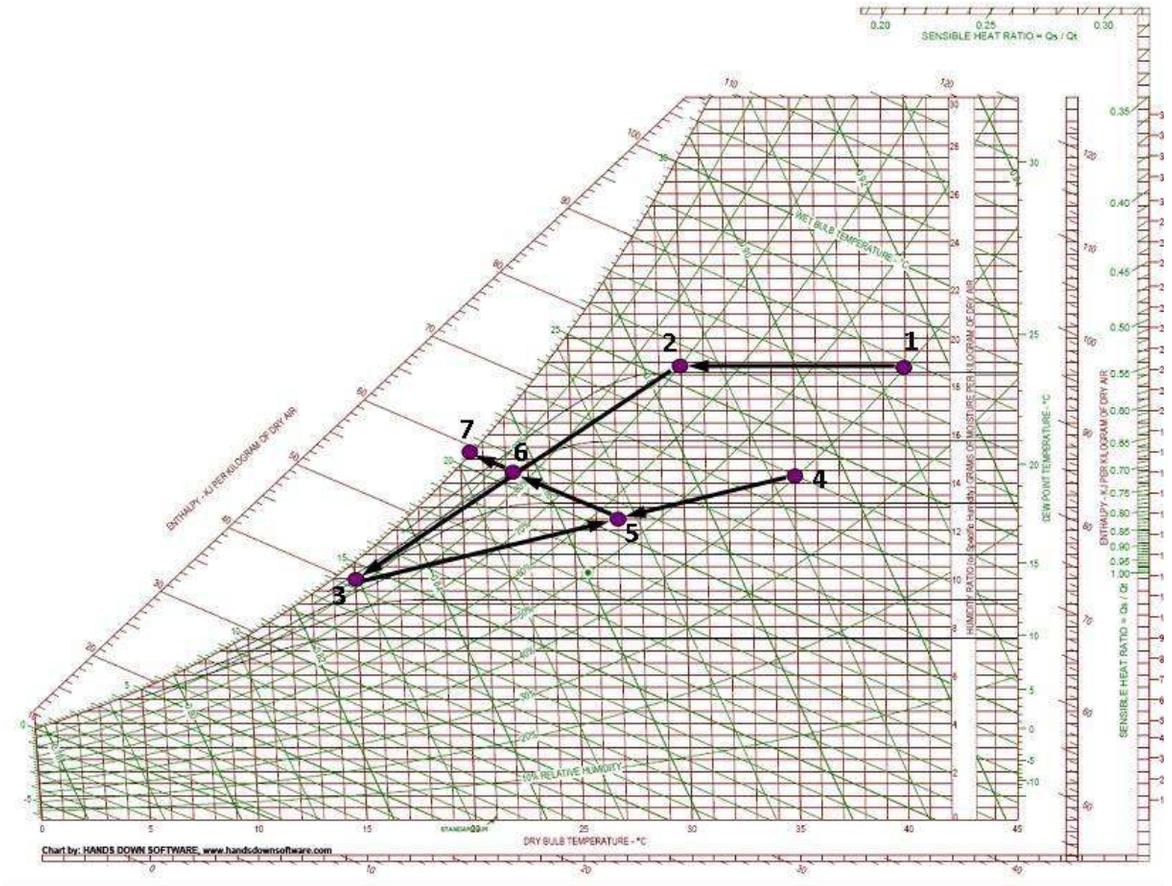
กระบวนการรวมกันระหว่าง sensible และ latent ต่อไปนี้ อาจเกิดขึ้นในการปรับอากาศ:

1. sensible heating และ humidification (1-6)
2. sensible heating และ dehumidification (1-7)
3. sensible cooling และ humidification (1-8)
4. sensible cooling และ dehumidification (1-9)

โดยทั่วไปแล้ว DB, W และเอนทาลปีทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการ cooling และ dehumidification 1-9 ทั้ง DB และ W มีค่าลดลง และเอนทาลปีลดลง เนื่องจากทั้ง sensible และ latent heat ถูกดึงออกไป จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาปริมาณความร้อนและไอน้ำที่ต้องเพิ่มเข้าไปหรือถึงออกในอุปกรณ์ปรับอากาศ และหาการเปลี่ยนแปลงของสมบัติ สามารถทำได้โดยใช้สมการ sensible และ latent heat โดยใช้ไซโครเมตริกชาร์ทช่วย



รูปที่ 1-56 : กระบวนการรวมกันระหว่างการเปลี่ยนแปลง sensible และ latent heat



รูปที่ 1-57 กระบวนการปรับอากาศ

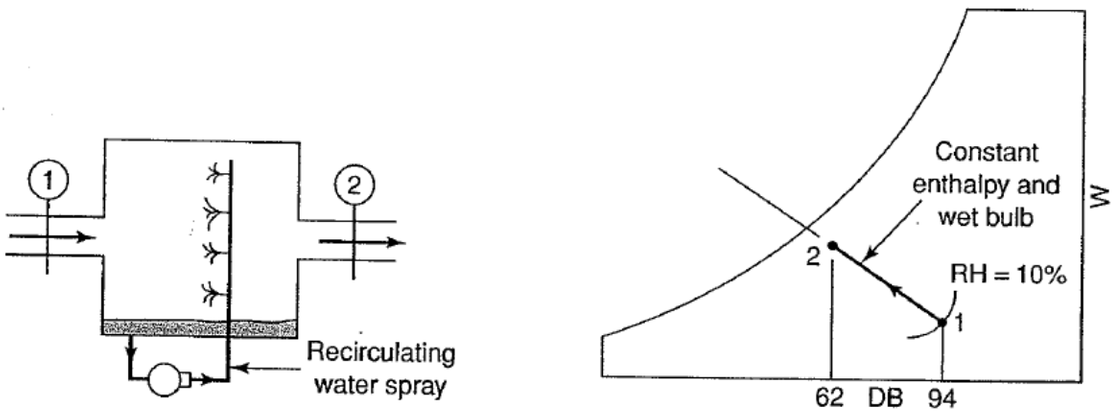
กระบวนการปรับอากาศมีอยู่หลายลักษณะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการใช้งาน ตารางที่ 1-20 และแผนภูมิไซโครเมตริกในรูปที่ 1-57 แสดงกระบวนการปรับอากาศในลักษณะต่างๆ

ตารางที่ 1-20 กระบวนการปรับอากาศ

ตำแหน่งในรูปที่ 1-57	กระบวนการ	วิธีการ	อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($^{\circ}$C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	เอนทาลปี (kJ/kg)	การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (kJ/kg)
1⟶2	การทำความเย็น	คอยล์เย็น	40⟶30	40⟶70	88⟶78.5	9.5
2⟶3	การทำความเย็นและลดความชื้น	คอยล์เย็นทำความเย็นและเกิดการกลั่นตัว	30⟶15	70⟶93	78.5⟶40	38.5
3+4⟶5	การผสมระหว่างอากาศ 2 สภาวะ	กระเปาะแห้ง 35°C กระเปาะเปียก 24°C 7 อยู่ระหว่าง 5 และ 6 และใช้สัดส่วนของอากาศที่ไหล	27	56	59	19
5⟶6	การทำความเย็นแบบระเหย	ตัวทำความเย็นแบบระเหยเชิงพาณิชย์ (อุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่) ประสิทธิภาพ 80%	27⟶21.5	56⟶90	59	0
5⟶7	การทำความเย็นแบบระเหยและเกิดการกลั่นตัว	บนเส้นอิ่มตัว	27⟶20.5	56⟶100	59	0

<u>การทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling)</u>

กระบวนการทำความเย็นและ humidification ที่พิเศษกระบวนการหนึ่งมีชื่อเรียกว่า evaporative cooling ตามรูปที่ 1-58 น้ำจะถูกสเปรย์เข้าสู่ลำอากาศ น้ำบางส่วนระเหยออกไป ส่วนผสมไอน้ำในอากาศเพิ่มสูงขึ้น น้ำส่วนที่ไม่ระเหยจะถูกไหลเวียนกลับอย่างต่อเนื่อง และไม่มีความร้อนจากภายนอกถูกเพิ่มเข้ามาในระบบ



รูปที่ 1-58 กระบวนการทำความเย็นแบบระเหย

ถ้าอุณหภูมิ (กระเปาะแห้ง) อากาศเข้าและออก คอนเดนซิ่งยูนิตถูกวัดค่าออกมา อุณหภูมิขาออกต้องต่ำกว่าขาเข้า ถึงแม้ว่าจะไม่มีการใช้แหล่งทำความเย็นภายนอกก็ตาม แสดงให้เห็นว่า sensible heat ถูกกำจัดออกไปจากอากาศ คำถามคือ สาเหตุคืออะไร?

การระเหยของน้ำต้องการความร้อน เนื่องจากไม่มีแหล่งความร้อนภายนอก ไม่เหมือนกับกระบวนการ pure humidification ความร้อนนี้ต้องได้รับมาจากอากาศ ทำให้อุณหภูมิตัวมันลดลง

ข้อเท็จจริงสำคัญอันดับต่อไปเกี่ยวกับกระบวนการทำความเย็นแบบระเหยคือ กระบวนการเอนทาลปีคงที่ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากไม่มีความร้อนเพิ่มเข้ามา หรือดึงออกไป จากของผสม air-water vapor mixture มีเพียงการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในของผสม sensible heat ลดลง และ latent heat เพิ่มขึ้น ด้วยปริมาณเท่ากัน กระบวนการซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบความร้อน (heat content) มีชื่อเรียกว่ากระบวนการ adiabatic ถึงตอนนี้เราสามารถหาเส้นกระบวนการบนไซโครเมตริกชาร์ท สำหรับกระบวนการทำความเย็นแบบระเหยได้แล้ว มันคือเส้นส่วนประกอบเอนทาลปีคงที่ (constant enthalpy content)

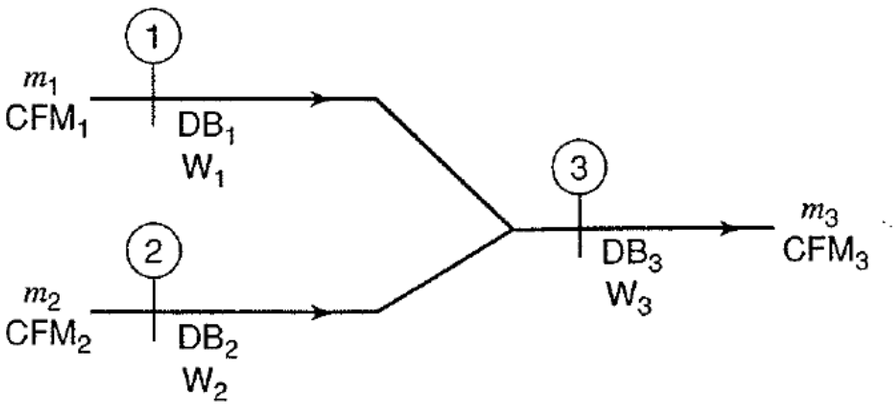
ตามนิยามของอุณหภูมิกระเปาะเปียกระบุว่า เป็นอุณหภูมิที่ถูกบันทึกด้วยเทอร์โมมิเตอร์ มีไส้สำลีชุ่มน้ำหุ้มไว้ตรงกระเปาะ และวางมันไว้ในกระแสอากาศ จะเห็นได้ว่าการทำความเย็นแบบระเหยเป็นกระบวนการเกิดขึ้นในกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ ส่งผลให้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกอ่านค่าอุณหภูมิได้ต่ำกว่า อากาศผ่านไส้สำลีจะอิ่มตัวโดยสมบูรณ์ ดังนั้นกระบวนการทำความเย็นแบบระเหยจึงเป็นกระบวนการอุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่ (constant wet bulb temperature process) ถ้าเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกวางอยู่บนลำอากาศขาเข้า และขาออก เครื่องทำความเย็นแบบระเหย มันจะต้องอ่านค่าได้เหมือนกัน

ถ้ากระบวนการทำความเย็นแบบระเหยสามารถผลิตอากาศที่อุณหภูมิต่ำเพียงพอต่อการทำความเย็นให้กับพื้นที่ (อย่างน้อยที่สุด 60 – 65°F DB) แสดงว่าไม่จำเป็นต้องมีเครื่องทำความเย็นอีกต่อไปแล้ว รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมันด้วย อย่างไรก็ตามกระบวนการทำความเย็นแบบระเหยในทางปฏิบัติใช้เป็นการปรับอากาศได้เฉพาะในภูมิอากาศแห้งแล้งมากเท่านั้น ดูจากไซโครเมตริกชาร์ทที่สภาวะออกแบบอากาศ outdoor ทั่วไป ในภูมิอากาศชื้นบอกไว้ว่าเป็น 90°F DB และ74°F WB ถ้าไล่ตามเส้นกระเปาะเปียกแล้วการทำความเย็นแบบระเหยจะสามารถผลิตอากาศได้เพียง 74°F DB แม้ว่าด้วยการอิ่มตัวโดยสมบูรณ์ก็ตาม ไม่เพียงแต่ค่า DB จะทำให้ต่ำได้ไม่เพียงพอสำหรับการทำความเย็นได้เท่านั้น แต่ความชื้นที่สูงของอากาศจ่ายส่งผลให้สภาวะความชื้นอยู่ในระดับไม่สบายอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตาม ถ้าอากาศ outdoor เป็น 94°F DB และ 10% RH (60°F WB) ซึ่งเป็นภูมิอากาศของพื้นที่ทะเลทรายทั่วไป การทำความเย็นแบบระเหยสามารถสร้างอากาศจ่ายได้ที่ 62°F DB เหมาะสมสำหรับการปรับอากาศ

แม้แต่ในภูมิอากาศแห้งทั่วไปบางแห่ง อาจมีบางวันที่ความชื้นมีค่าสูงพอจนทำให้การทำความเย็นแบบระเหยไม่มีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาใช้การปรับอากาศด้วยการทำความเย็นแบบระเหย ต้องตัดสินใจว่าในช่วงเวลานั้นมีความขาดแคลนการปรับอากาศในระดับยอมรับได้หรือไม่ หรือการลงทุนกับอุปกรณ์ระบบปรับอากาศมีความคุ้มค่าหรือไม่

<u>กระบวนการผสมอากาศ (Air mixing process)</u>

กระบวนการผสมอากาศ เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งกระแสอากาศสองลำมารวมกันเพื่อสร้างเป็นกระแสลำที่สาม กระบวนการนี้เกิดขึ้นบ่อยในการปรับอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผสมอากาศภายนอกกับลมกลับ (return air) จากห้อง ถ้าทราบสภาวะของกระแสอากาศสองลำที่จะมาผสมกัน ก็สามารถหาสภาวะอากาศหลังจากผสมกันออกมาได้ตามรูป อธิบายวิธีการหา DB และ W



รูปที่ 1-59 กระบวนการผสมอากาศ (Air mixing process)

ตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน ส่วนผสม sensible heat ของอากาศก่อนและหลังการผสม จะมีค่าเท่ากัน นั่นคือ

$m_3 \times DB_3 = (m_1 \times DB_1) + (m_2 \times DB_2)$

หาค่า DB_3 ออกมา

$$DB_3 = \frac{(m_1 \times DB_1) + (m_2 \times DB_2)}{m_3}$$

ถ้าปริมาตรจำเพาะของกระแสที่ไม่ได้ผสมไม่แตกต่างกันมาก สามารถเขียนสมการโดยใช้อัตราการไหลเป็น CFM แทนการใช้ lb/hr โดยความถูกต้องอยู่ในระดับยอมรับได้:

$$DB_3 = \frac{(CFM_1 \times DB_1) + (CFM_2 \times DB_2)}{CFM_3}$$

สัดส่วนความชื้น W_3 ของอากาศผสม หาได้ในลักษณะเดียวกัน ใช้หลักการอนุรักษ์มวล นั่นคือ ส่วนผสมไอน้ำก่อนและหลังการผสม มีค่าเท่ากัน

$$m_3 \times W_3 = (m_1 \times W_1) + (m_2 \times W_2)$$

หาค่า W_3 ออกมา

$$W_3 = \frac{(m_1 \times W_1) + (m_2 \times W_2)}{m_3}$$

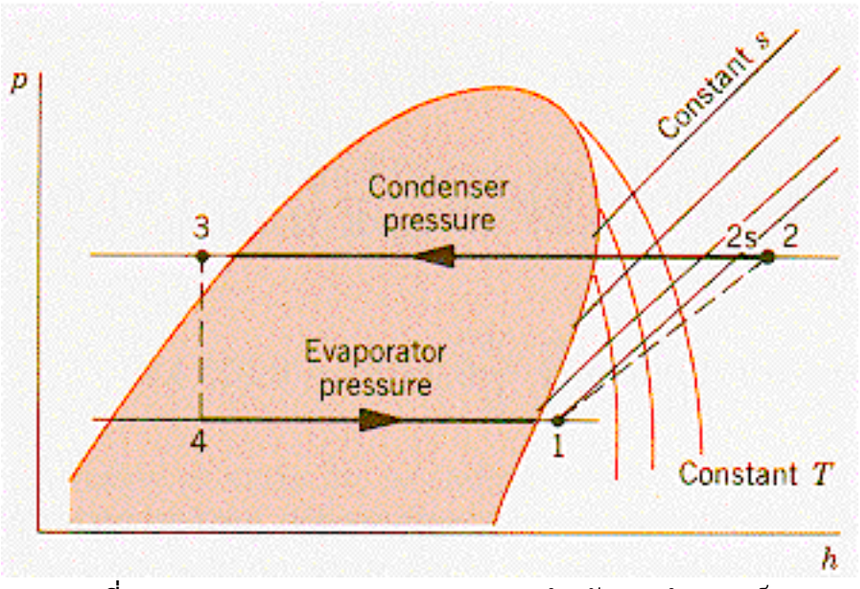
เช่นเดียวกับก่อนหน้านี้ สมการโดยประมาณอย่างถูกต้องต่อไปนี้สามารถใช้ได้:

$$W_3 = \frac{(CFM_1 \times W_1) + (CFM_2 \times W_2)}{CFM_3}$$

ไดอะแกรม ความดัน – เอนทาลปี (Pressure-Enthalpy diagram)

ไดอะแกรมความดัน - เอนทาลปีช่วยให้การวิเคราะห์กระบวนการทางเทอร์โมไดนามิกส์ง่ายขึ้น โดยการตัดลดรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ให้กลายเป็นเพียงการบวกและการลบ

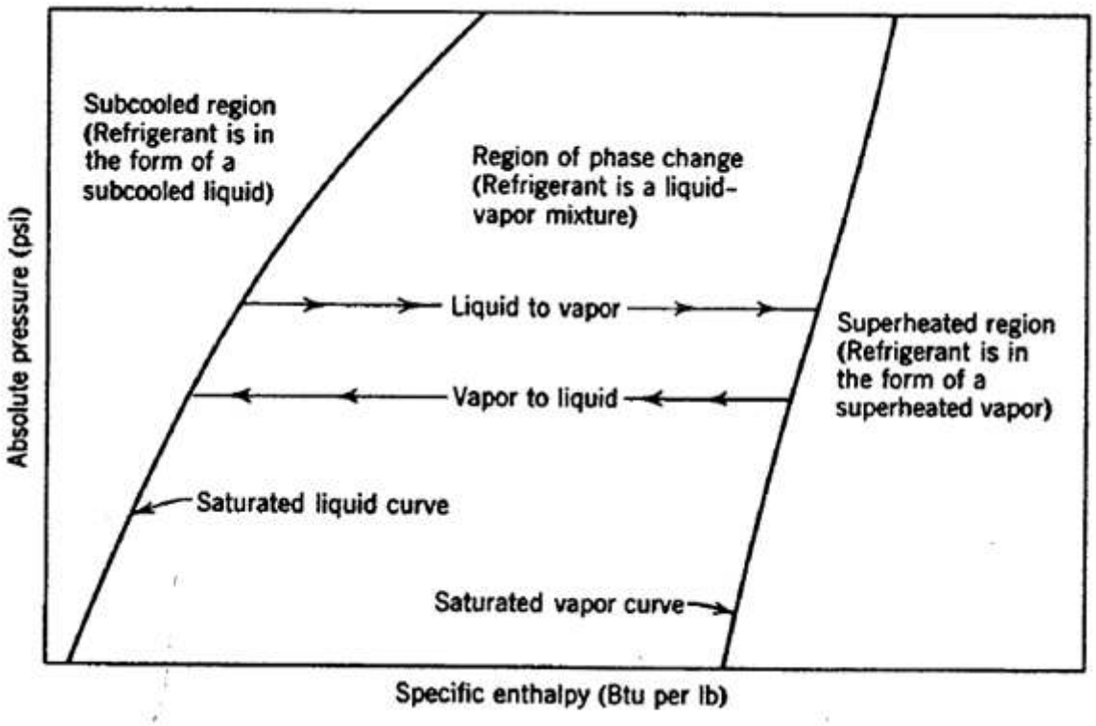
ไดอะแกรม ความดัน-เอนทาลปี นี้ใช้หน่วยเป็นระบบ IP ส่วนไดอะแกรมที่เป็นหน่วย SI ก็มีสร้างขึ้นไว้แล้วเช่นกัน แกนนอนของไดอะแกรมมีหน่วยเป็นเอนทาลปีจำเพาะ (specific enthalpy) (BTU/lbm) และแกนตั้งเป็นหน่วยของความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) (psia) สภาวะของสารทำความเย็น ณ สถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ใดๆ (thermodynamic state) ภายในช่วงของการทำงานของสารทำความเย็น จะถูกแสดงไว้ด้วยจุดแสดงสถานะ (state point) ที่เหมาะสมบนไดอะแกรม ต้องการสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์จำนวน 2 ตัวของสารทำความเย็นซึ่งทราบค่า เพื่อนำไปกำหนดตำแหน่ง state point เมื่อกำหนดตำแหน่งบนไดอะแกรมเรียบร้อยแล้ว สามารถอ่านค่าสมบัติอื่นๆ ของสารทำความเย็น ณ state point นั้นๆ จากไดอะแกรมได้ทันที



รูปที่ 1-60 Pressure-enthalpy diagram สำหรับสารทำความเย็น

ขอบเขตบริเวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ของ ph chart (Thermodynamic regions of a ph chart)

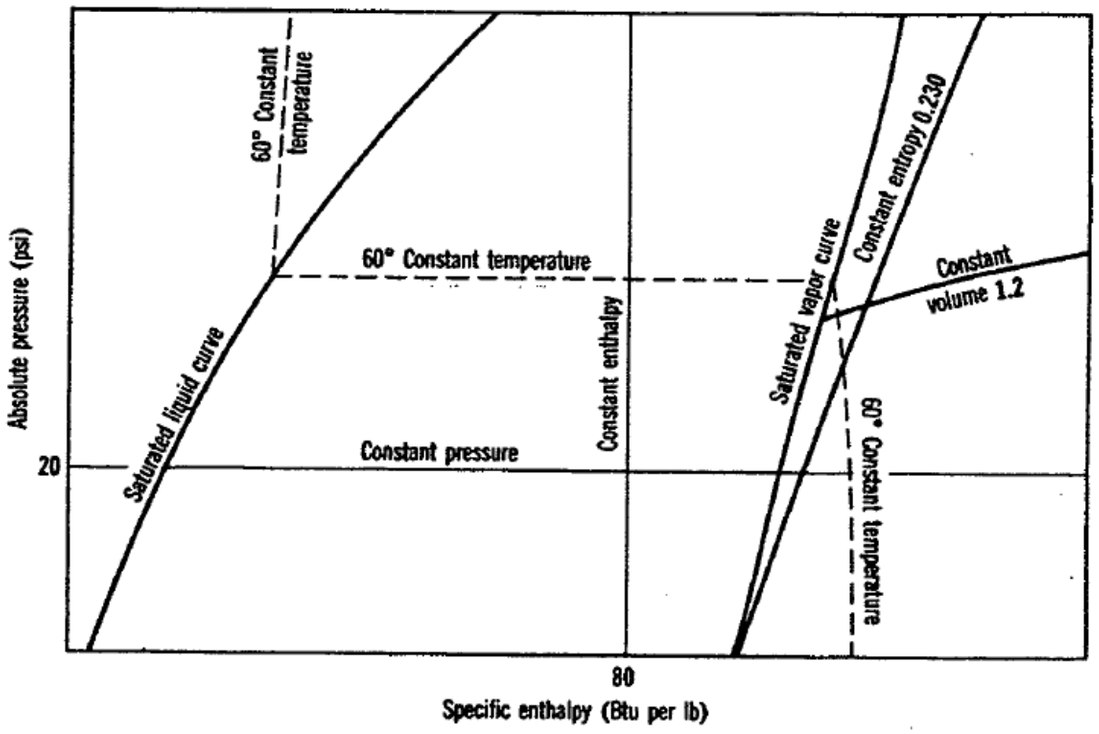
รูป ph diagram โดยสรุปแสดงไว้ในรูปที่ 1-61 ไดอะแกรมนี้แสดงเส้นหลักๆ ที่ใช้ในการสร้าง ph diagram ขึ้นมาเส้นเอียงในแนวดิ่งด้านซ้ายมือของไดอะแกรมคือเส้นของเหลวอิ่มตัวของสารทำความเย็น เส้นอิ่มตัวสร้างขึ้นมาจากการต่อเชื่อมจุด state point ทั้งหมดซึ่งแสดงสภาวะอิ่มตัวของของไหล ณ ความดันนั้นๆ เส้นเอียงในแนวดิ่งด้านขวามือของไดอะแกรมคือเส้นไออิ่มตัว สร้างขึ้นมาจากการต่อเชื่อมจุด state point ซึ่งแสดงสภาวะอิ่มตัวของไอ ณ ความดันนั้นๆ เส้นอิ่มตัวเป็นเส้นแบ่งไดอะแกรมเป็นพื้นที่แยกออกจากกัน 3 ส่วน พื้นที่ด้านซ้ายของเส้นของเหลวอิ่มตัวมีชื่อเรียกว่า บริเวณ subcooled จุดใดๆ ที่อยู่ภายในบริเวณนี้ subcooled นี้ สารทำความเย็นจะอยู่ในเฟสของเหลวและมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดอิ่มตัวที่ความดันปัจจุบันนั้นๆ ของมัน พื้นที่บริเวณด้านขวามือของเส้นไออิ่มตัวคือบริเวณ superheated จุด state point ใดๆ ที่อยู่ในบริเวณ superheat แสดงว่าสารทำความเย็นอยู่ในเฟสไอ และอุณหภูมิของมันสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว ณ ความดันปัจจุบันนั้นๆ ของมัน ส่วนของไดอะแกรมในตำแหน่งระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวมีชื่อเรียกว่าบริเวณส่วนผสม (mixture region) จุดใดๆ ที่อยู่ภายในบริเวณนี้แสดงว่าสารทำความเย็นอยู่ภายใต้กระบวนการเปลี่ยนอุณหภูมิของมันจะเท่ากับอุณหภูมิอิ่มตัว ณ ความดันปัจจุบันของมันภายในบริเวณนี้ ส่วนผสมของเหลว-ไอ (liquid-vapor mixture) ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์ของไอ (x) และเปอร์เซ็นต์ของของเหลว (1-x) จุดสถานะของสารทำความเย็น (refrigerant states) ตรงตำแหน่งใกล้ๆ กับเส้นของเหลวอิ่มตัวแสดงว่าส่วนผสมของเหลว-ไอ ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่จุดสถานะตรงตำแหน่งใกล้ๆ กับเส้นไออิ่มตัว ส่วนผสมนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในเฟสไอ



รูปที่ 1-61 โครงสร้าง ph diagram แสดงบริเวณ 3 ส่วน และทิศทางของการเปลี่ยนเฟส

ระยะแนวนอนระหว่างเส้นอิ่มตัว 2 เส้น คือขนาดของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำความเย็น ณ ความดันปัจจุบันของมัน เนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอแปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของความดันอิ่มตัว ณ จุดที่เกิดการเปลี่ยนเฟส เส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัวจึงไม่ขนานกัน การเปลี่ยนเฟสจากของเหลวไปเป็นไอเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทีละน้อยจากด้านซ้ายมือไปทางด้านขวามือตามแนวเส้นในแนวนอนที่อยู่ภายในบริเวณพื้นที่ส่วนผสม (mixture region) ของ ph diagram ในทางกลับกันการเปลี่ยนเฟสจากไอไปเป็นของเหลวเกิดขึ้นอย่าง

ต่อเนื่องทีละน้อยจากด้านขวามือไปทางด้านซ้ายมือตามแนวเส้นในแนวนอนที่อยู่ภายในบริเวณพื้นที่ส่วนผสม จุดทั้งหมดที่อยู่บนเส้นของเหลวอิ่มตัวแสดงถึงสารทำความเย็น ณ จุดสถานะของเหลวอิ่มตัวของมัน ในทำนองเดียวกัน จุดทั้งหมดที่อยู่บนเส้นไออิ่มตัว แสดงถึงสารทำความเย็น ณ สถานะไออิ่มตัวของมัน



รูปที่ 1-62 อธิบายเส้นที่เพิ่มเข้ามาเพื่อแสดงสมบัติทาง thermodynamic บน ph diagram.

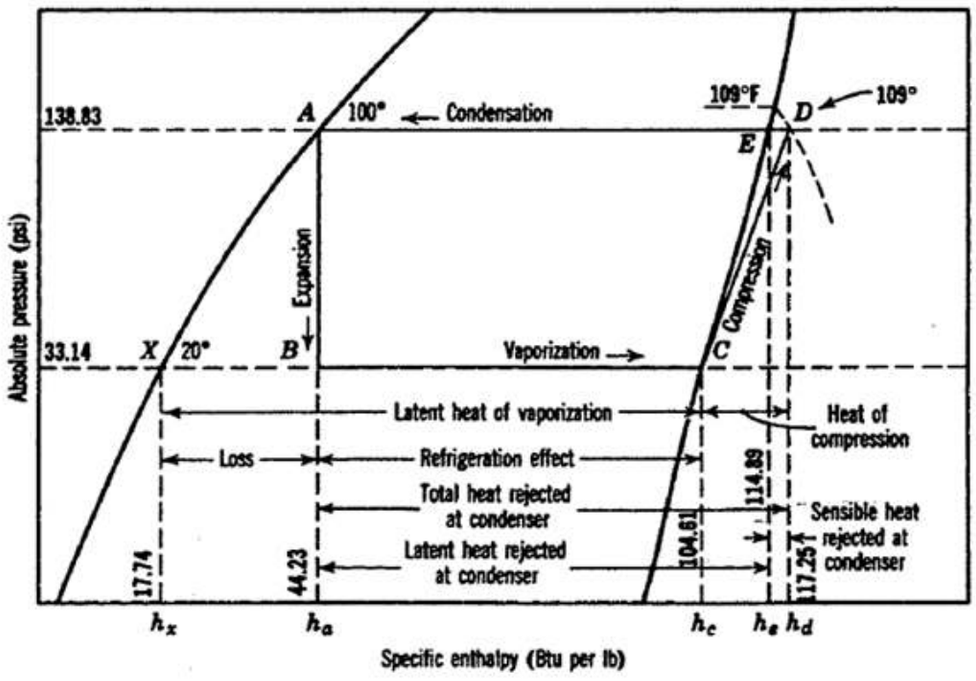
1. เส้นแนวนอนต่อยื่นออกไปจากไดอะแกรมในแนวขวาง คือเส้นความดันคงที่ (isobaric) ดังนั้น ความดันของจุดสถานะใดๆ ที่อยู่บนเส้นนี้จะมีค่าเท่ากันทั้งหมด
2. เส้นแนวดิ่ง คือเส้นเอลทาลปีคงที่ (isenthalpic) ดังนั้น เอนทาลปีของจุดสถานะใดๆ ที่อยู่บนเส้นนี้จะมีค่าเท่ากันทั้งหมด
3. เส้นอุณหภูมิคงที่ แปรผันตามทิศทางของมัน ขึ้นกับสถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็น
    a. ในบริเวณ subcooled เส้นอุณหภูมิคงที่เกือบจะตั้งเป็นแนวดิ่งและเกือบขนานกับเส้นเอนทาลปีคงที่
    b. ในบริเวณของผสม (mixture region) เส้นอุณหภูมิคงที่จะขนาน และทับกันสนิทกับเส้นความดันคงที่ ยืนยันว่าการเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นโดยอุณหภูมิและความดันมีค่าคงที่
    c. ณ เส้นไออิ่มตัว เส้นอุณหภูมิคงที่เกิดการเปลี่ยนทิศทาง โดยจะตกลงอย่างรวดเร็วในบริเวณ superheated ของไดอะแกรม
4. เส้นตรงซึ่งต่อยื่นออกไปในแนวทแยงมุม และเกือบจะเป็นแนวดิ่งขวางบริเวณไอ superheated คือเส้นเอนทาลปีคงที่ (isentropic) เส้นโค้งซึ่งเกือบจะเป็นเส้นนอนขวางบริเวณพื้นที่ไอ superheated คือเส้นปริมาตรคงที่

ค่าสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ใดๆ เหล่านี้ ของสารทำความเย็นสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจาก ph diagram เพื่อให้การอ่านค่าง่ายขึ้น จึงต้องให้เส้นบนไดอะแกรมนี้มีจำนวนน้อยที่สุด ค่าสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็นซึ่งมีความสำคัญน้อยที่สุดใน 1 หรือ 2 บริเวณ จะถูกตัดออกไปจากไดอะแกรม ตัวอย่างเช่น ในบริเวณของเหลว และของผสม ค่าเอนโทรปีและปริมาตรมีความสำคัญน้อยมากต่อการวิเคราะห์วัฏจักร ดังนั้นในบริเวณนี้ค่า

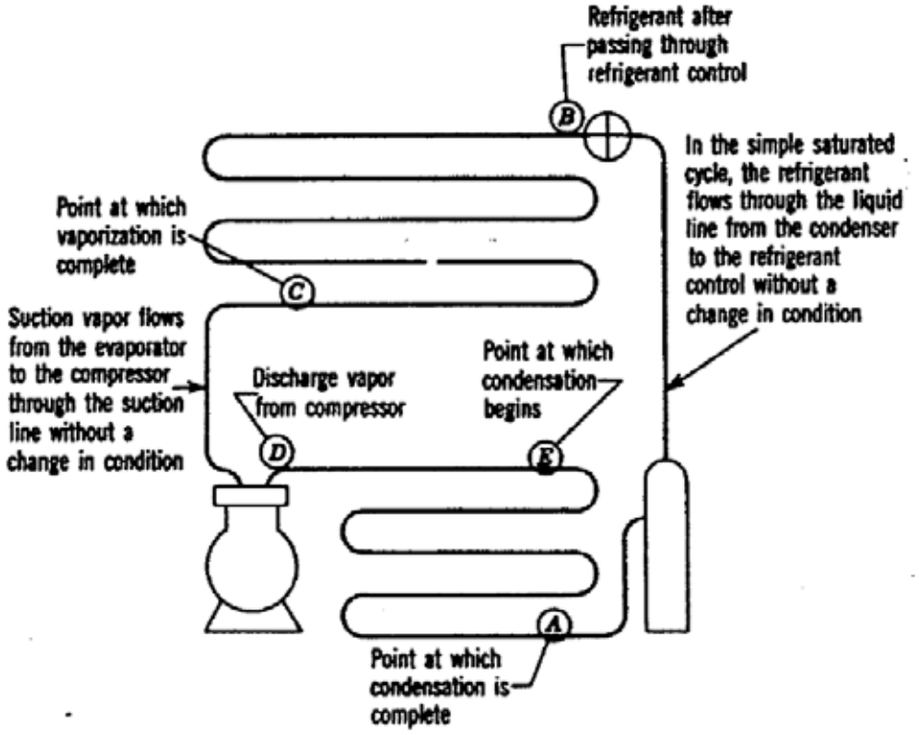
เอนโทรปีและปริมาตรจึงถูกตัดออกไป เมื่อ ph diagram ขึ้นอยู่กับหน่วยมวลของสารทำความเย็น ดังนั้นปริมาตร เอนทาลปี เอนโทรปี จึงอยู่ในรูปของหน่วยค่าจำเพาะหรือค่าอ้างอิงมวล (specific หรือ mass based unit)

วัฏจักรทำความเย็นอิ่มตัวพื้นฐาน เป็นวัฏจักรทางฤษฎี เนื่องจากมีการกำหนดสมมติฐานต่างๆ มากมาย ซึ่งแตกต่างไปจากคำตอบที่ได้จากวัฏจักรทำความเย็นของจริง *ประการแรก* วัฏจักรทำความเย็นอิ่มตัวพื้นฐาน จะสมมติว่าไอสารทำความเย็นที่ออกจากอีแวพเพอเรเตอร์ และเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ เป็นไออิ่มตัว ดังนั้นมันจะมี อุณหภูมิและความดันเดียวกันกับในอีแวพเพอเรเตอร์ *ประการที่สอง* ในวัฏจักร์ทำความเย็นอิ่มตัวพื้นฐาน สมมติให้สาร ทำความเย็นเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์และเข้าสู่ metering device อยู่ในสภาวะอิ่มตัวเช่นเดียวกันกับที่อยู่ภายใน คอนเดนเซอร์ สภาวะในวัฏจักรทำความเย็นของจริงจะเบี่ยงเบนไปจากลักษณะในอุดมคติเนื่องจากมักมี superheating และ subcooling เกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย ยิ่งไปกว่านี้การพิจารณาความแตกต่างระหว่างกระบวนการทำความเย็นทาง ทฤษฎีและทางปฏิบัติจริง การวิเคราะห์วัฏจักรอิ่มตัวมีความคุ้มค่ามากเนื่องจากกระบวนการเชิงหลักการสามารถบ่งชี้ ออกมาและทำความเข้าใจได้ง่ายมากกว่า นอกจากนี้วัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐานถูกตั้งไว้เป็นมาตรฐาน ใช้เปรียบเทียบกับ วัฏจักรอัดไอของจริงทั้งหมดเพื่อหาค่าประสิทธิรูปสัมพัทธ์ (relative efficiency) ณ สภาวะการทำงานต่างๆ

วัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐานสำหรับระบบตัวอย่าง R-134a เขียนไว้ใน ph diagram แสดงไว้ในรูปที่ 1-63 วัฏจักร อธิบายถึงระบบทำความเย็นทำงานด้วยความดันอิ่มตัว 33.14 psia ในอีแวพเพอเรเตอร์และความดันอิ่มตัว 138.83 psia ในคอนเดนเซอร์ จุดสถานะกระบวนการ (process state points) A, B, C, D และ E วางอยู่บน ph diagram พร้อม ๆ กับตำแหน่งในไดอะแกรมระบบทำความเย็นแสดงไว้ในรูป จุดสถานะ A ถูกเลือกเป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์ วัฏจักรอัดไอ ดังนั้นเมื่อวัฏจักรเสร็จสมบูรณ์ สารทำความเย็นจะถูกขยายตัว ระเหย และอัดควบแน่น และย้อนกลับมาสู่ สภาวะสถานะ A



รูปที่ 1-63 Pressure-enthalpy diagram of a simple saturated cycle operating at a vaporizing temperature of 20 °F and a condensing temperature of 100 °F (refrigerant-134a)



รูปที่ 1-64 รูปผังการไหลของ simple saturated cycle

จุดสถานะ A วางอยู่ใกล้ส่วนล่างของคอนเดนเซอร์ที่ซึ่งสารทำความเย็นเป็นของเหลวอิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันที่เกิดการควบแน่น (condensing) เมื่อในวัฏจักรทางทฤษฎี สารทำความเย็น ณ จุด A เป็นของเหลวอิ่มตัวเสมอ ดังนั้นตำแหน่งของจุดใน ph diagram จะต้องอยู่บนเส้นจุดใดจุดหนึ่งบนเส้นของเหลวอิ่มตัว ถ้าทราบค่าความดัน อุณหภูมิ หรือเอนทาลปี ค่าใดค่าหนึ่งหรือทุกค่าของจุดสถานะ A ตำแหน่งของมันในไดอะแกรมหาได้โดยไล่ตามเส้นสมบัติของตัวแปรที่ทราบค่าไปยังจุดที่ตัดกับเส้นของเหลวอิ่มตัว จุด A ก็คือจุดตัดระหว่างเส้นสองเส้นนี้

สมบัติของสารทำความเย็นที่จุด A เป็นดังนี้

p = 138.33	psia
T = 100	$^{\circ}$F
h = 44.23	BTU/lbm
s = 0.89848	BTU/lbm $^{\circ}$F
v = 0.339	ft^3/lbm

ค่าเอนโทรปีและปริมาตรจำเพาะอ่านได้จากสมบัติของไอ superheated สำหรับ R134a ในทางปฏิบัติ ความดันและอุณหภูมิสามารถวัดค่าได้โดยตรงด้วยเกจบริการ (service gauge) และเทอร์โมมิเตอร์ ดังนั้น จุด A สามารถ plot ลงบนไดอะแกรมได้โดยง่าย

ในวัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐาน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารทำความเย็นของเหลวเมื่อมันไหลมาจากคอนเดนเซอร์ ผ่านท่อ liquid line และเข้าสู่ metering device ดังนั้น สถานะของของเหลวเข้าสู่ metering device จึงเป็นสถานะเดียวกันกับที่จุด A ในคอนเดนเซอร์ กระบวนการ throttling เกิดขึ้นภายใน metering device เมื่อความดันของสารทำความเย็นและอุณหภูมิลดลง เนื่องจาก throttling เป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่ การลงตำแหน่ง

จุด B ในไดอะแกรมทำได้โดยลากเส้นแนวดิ่งจากสถานะจุด A ไปยังจุดตัดกับเส้นความดันในแนวนอนที่แสดงถึงความดันอิ่มตัวในอีแวพเพอเรเตอร์

เมื่อสารทำความเย็นของเหลวผ่าน metering device orifice มันจะขยายตัวเมื่อเข้าสู่อีแวพเพอเรเตอร์ซึ่งมีความดันต่ำกว่า ระหว่างกระบวนการขยายตัว อุณหภูมิของของเหลวจะลดลงจากอุณหภูมิควบแน่นไปสู่อุณหภูมิระเหย (evaporating temperature) กระบวนการ adiabatic นี้ (Δheat = 0) เกิดขึ้นโดยการ flashing ส่วนของสารทำความเย็นของเหลวที่อุ่นกว่า เข้าไปสู่เฟสไอของมัน เนื่องจากการกลายเป็นไปเพียงบางส่วนของสารทำความเย็นของเหลวในช่วงกระบวนการ A-B สารทำความเย็นที่จุด B จะเป็น ของผสมระหว่างของเหลวกับไอ ดังนั้น สถานะ B จึงอยู่บริเวณพื้นที่ของผสม (mixture) บน ph diagram

สมบัติของสารทำความเย็นที่จุด B เป็นดังนี้

p = 33.14 psia
T = 20 $^{\circ}$F
h = 44.23 BTU/lbm (เหมือนกันกับจุด A)
s = 0.94586 BTU/lbm $^{\circ}$F
v = 0.4357 ft^3/lbm

ค่าความดัน อุณหภูมิ และเอนทาลปี สามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากได ph diagram การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ A-B มีสาเหตุมาจากการขยายตัวของของไหลที่ไม่ก่อให้เกิดงาน ด้วยเหตุที่สารทำความเย็น ณ จุด B เป็นของผสมระหว่างของเหลวกับไอ ดังนั้นเฉพาะค่าเอนทาลปี ความดัน และอุณหภูมิของมันเท่านั้นที่สามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากตารางสมบัติของสาร R-134a เอนทาลปีของสารทำความเย็น ณ จุด B จะเหมือนกันกับค่า ณ จุดค่าเอนโทรปีและปริมาตรจำเพาะ ณ จุด B ปกติจะไม่อยู่ในความสนใจ ดังนั้น จึงไม่มีระบุไว้บนทั้ง ph diagram และในตารางสมบัติของสาร หากต้องการค่าเหล่านี้ จะต้องคำนวณหาโดยใช้คุณภาพของของผสม

กระบวนการ B-C แสดงการระเหยของสารทำความเย็นในอีแวพเพอเรเตอร์ ณ จุด C สารทำความเย็นระเหยกลายเป็นไอทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว เนื่องจากการระเหยเกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันคงที่ กระบวนการ B-C จึงเป็นแบบกระบวนการ isothermal และกระบวนการ isobaric ดังนั้น จุด C การวางตำแหน่งของจุด C บน ph diagram ทำได้โดยไล่ไปตามแนวเส้นความดันคงที่หรืออุณหภูมิคงที่ เริ่มจากจุด B ไปยังจุดตัดกับเส้นไออิ่มตัว สารทำความเย็นที่มีอยู่ ณ สถานะ C จะเป็นไออิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันระเหยของอีแวพเพอเรอเตอร์

สมบัติของสารทำความเย็น ณ จุด C เป็นดังนี้

p = 33.14 psia (เหมือนกันกับจุด B)
T = 20 $^{\circ}$F (เหมือนกันกับจุด B)
h = 104.61 BTU/lbm
s = 0.220455 BTU/lbm $^{\circ}$F
v = 1.401 ft^3/lbm

เอนทาลปีของสารทำความเย็นเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสารทำความเย็นไปลผ่านอีแวพเพอเรอเตอร์ ดูดความร้อนจากบริเวณทำความเย็น (refrigerate space) ในระหว่างกระบวนการ B-C ปริมาณของความร้อนที่สารทำความเย็นดูดเข้าไป (refrigerating effect) คือ ความแตกต่างของเอนทาลปีของมันระหว่างจุด B และ C เอนทาลปีของสารทำความเย็น ณ จุด A, B, C, D, E และ X เขียนแทนด้วย h_a, h_b, h_c, h_d, h_e และ h_x ตามลำดับ สมการต่อไปนี้ใช้เพื่อคำนวณ refrigerating effect ของสารทำความเย็นในอีแวพเพอเรเตอร์ เมื่อ hb มีค่าเท่ากับ ha ทั้งสองสมการสามารถนำมาใช้เพื่อคำนวณ refrigerating effect ของวัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐานได้อีกด้วย

$$q_{refrigeration\ effect} = h_c - h_b$$
$$q_{refrigeration\ effect} = h_c - h_a$$

ระยะระหว่างจุด X และจุด C บน ph diagram แสดงความร้อนแฝงรวมของการระเหย (total latent heat of vaporization) ของ R-134a จำนวน 1 lbm ณ ความดันระเหย 33.14 psia ค่านี้สอดคล้องกับ h_{fc} ที่ระบุไว้ในตารางสมบัติสาร R-134a เมื่อระยะ B-C เป็น refrigeration effect ที่ได้ประโยชน์ (useful refrigeration effect) ความแตกต่างเชิงคณิตศาสตร์ระหว่าง (X-C) และ (B-C) คือ refrigeration effect สูญเสีย (loss of refrigeration effect) ซึ่งก็คือระยะ X-B บนไดอะแกรมนั้นเอง

ในวัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐาน สารทำความเย็นจะไม่เปลี่ยนแปลงสภาวะของตัวมันขณะไหลผ่าน suction line ดังนั้น กระบวนการ C-D เกิดขึ้นภายในคอมเพรสเซอร์ ความดันของไอเพิ่มสูงขึ้นจากความดันอิ่มตัวในอีแวพเพอเรเตอร์ไปสู่ความดันอิ่มตัวภายในคอมเพรสเซอร์ ในวัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐาน กระบวนการอัด (C-D) จะถูกสมมติว่าเป็น isentropic การอัดแบบ isentropic เป็นกระบวนการ adiabatic ชนิดพิเศษ (ย้อนกลับได้) ที่เกิดขึ้นโดยไม่มีความสูญเสียเนื่องจากความฝืด กระบวนการอัดเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า frictionless-adiabatic หรือการอัดแบบเอนโทรปีคงที่ (constant-entropy) compression เนื่องจากกระบวนการนี้ถูกสมมติว่าสามารถย้อนกลับได้ (reversible) จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของไอระหว่างกระบวนการ C-D ดังนั้น เอนโทรปีของสารทำความเย็น ณ จุด D จึงมีค่าเหมือนกับที่จุด C การลงตำแหน่งจุดสถานะ D บน ph diagram ทำได้โดยไล่ตามเส้นเอนโทรปีคงที่จากจุด C ไปยังจุดตัดกับเส้นความดันคงที่พร้อม ๆ กับค่าความดันควบแน่น (condensing pressure)

สมบัติของสารทำความเย็นที่จุด D เป็นดังนี้

p = 138.83	psia
T = 109	$^{\circ}$F (โดยประมาณ)
h = 117.25	BTU/lbm (โดยประมาณ)
s = 0.220455	BTU/lbm $^{\circ}$F (เหมือนกับที่จุด C)
v = 0.358	ft^3/lbm (โดยประมาณ)

สมบัติทั้งหมดของสารทำความเย็น ณ จุดสถานะ D สามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากไดอะแกรม กรณีค่าอุณหภูมิ เอนทาลปี และปริมาตรจำเพาะ หาได้จากการ interpolation ค่าที่ระบุไว้จะบอกเป็นค่าโดยประมาณ ระหว่างกระบวนการ C-D จะมีการทำงานเกิดขึ้น โดยส่วนประกอบภายในคอมเพรสเซอร์กระทำกับไอสารทำความเย็น การเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงาน (เอนทาลปี) ของไอ มีค่าเท่ากับปริมาณงานเชิงกล (mechanical work) ที่กระทำโดยคอมเพรสเซอร์ พลังงานเทียบเท่าของงานนี้มีชื่อเรียกว่าความร้อนของการอัด (heat of compression) ความร้อนของการอัดคำนวณได้จาก

$$q_{heat\ of\ compresson} = h_d - h_c$$

สืบเนื่องจากการดูดความร้อนของการอัดไอที่ถูกจ่ายจากคอมเพรสเซอร์จะอยู่ในสภาวะ superheated ด้วยเหตุนี้ อุณหภูมิของมันจึงสูงกว่าอุณหภูมิอิ่มตัว ณ ความดันปัจจุบันของมัน จากตัวอย่างนี้ ไอออกจากคอมเพรสเซอร์ที่อุณหภูมิ 109°F แต่อุณหภูมิอิ่มตัว ณ ความดันของมัน (138.83 psia) มีค่าเพียง 100°F ก่อนไอที่ถูกจ่ายออกมาจะควบแน่น อุณหภูมิ superheated ที่เพิ่มเข้ามา 9°F จะต้องถูกกำจัดออกไป อุณหภูมิของไอสามารถลดต่ำลงจากอุณหภูมิจ่าย (discharge temperature) ณ จุดสถานะ D ไปสู่อุณหภูมิอิ่มตัวของมัน ณ จุดสถานะ E กระบวนการ D-E แสดงกระบวนการทำความเย็นดังกล่าวนี้

กระบวนการ D-E เกิดขึ้นอยู่ที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งเมื่อสารทำความเย็นไหลผ่าน discharge line ความร้อนส่วนที่เหลือจะถูกกำจัดทิ้งในบริเวณส่วนบนของคอนเดนเซอร์ ระหว่างกระบวนการ D-E ความดันของไอจะคงเหลือคงที่ ดังนั้นการเขียนจุด E บน ph diagram ทำได้โดยไล่ไปตามเส้นความดันคงที่ จากจุด D ไปยังจุดตัดกับเส้นโค้งไออิ่มตัว ที่จุด E สารทำความเย็นจะเป็นไออิ่มตัว ณ อุณหภูมิและความดันควบแน่นอีกครั้ง ปริมาณความร้อนแฝง (superheat) ถูกดึงออกไปต่อหน่วยมวลของไอเมื่อมันเย็นตัวลงจากอุณหภูมิ discharge ไปสู่อุณหภูมิควบแน่น คือ ความแตกต่างระหว่างเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่จุด D และจุด E $(h_d - h_e)$

สมบัติของสารทำความเย็นที่จุด E เป็นดังนี้

p = 138.83	psia (เหมือนกับที่จุด D)
T = 100	°F
h = 114.89	BTU/lbm
s = 0.216096	BTU/lbm °F
v = 0.339	ft^3/lbm

กระบวนการ E-A แสดงการเปลี่ยนเฟสของไออิ่มตัวสู่ของเหลวอิ่มตัวภายในคอนเดนเซอร์ เนื่องจากควบแน่นเกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันคงที่ กระบวนการ E-A เป็นไปตามแนวเส้นความดันและอุณหภูมิคงที่แนวนอนระหว่างจุด E และจุด A ความร้อนที่ถูกกำจัดทิ้งไปยังสารตัวกลางควบแน่น (condensing medium) ระหว่างกระบวนการ E-A คือ ค่าแตกต่างระหว่างเอนทาลปีของสารทำความเย็นที่จุด E และ A $(h_e - h_a)$ เนื่องจากทั้งกระบวนการ D-E และ E-A เกิดขึ้นภายในคอนเดนเซอร์ ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่สารทำความเย็นกำจัดทิ้งออกไปสู่ตัวกลางควบแน่น ก็คือผลรวมของประมาณความร้อนที่ถูกกำจัดทิ้งไประหว่างกระบวนการ D-E และ E-A ความร้อนทั้งหมดที่สารทำความเย็นกำจัดทิ้งไปในระหว่างกระบวนการควบแน่น

$$q_{conderser} = h_d - h_a$$

เมื่อกลับสู่จุด A นั่นคือสารทำความเย็นไหลครบ 1 วงจร ถ้าสารทำความเย็นไปถึงจุด A ที่ตอนสิ้นสุดของวัฏจักรในสถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์เดียวกันกับตอนที่เริ่มต้นวัฏจักร ความร้อนทั้งหมดที่คอนเดนเซอร์กำจัดทิ้งไปต้องมีค่าเท่ากับความร้อนที่สารทำความเย็นได้รับที่จุดอื่นๆ ทั้งหมดภายในวัฏจักร ในวัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐาน พลังงานความร้อนของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นจาก 2 กระบวนการภายในวัฏจักร

1. ระหว่างการระเหยเป็นไอภายในอีแวพเพอเรเตอร์ ($q_{evaporator}$).
2. ระหว่างการกระบวนการอัดไอภายในคอมเพรสเซอร์ ($q_{compression}$)

ใช้สมดุลความร้อน

$q_{conderser} = q_{evaporator} + q_{compression}$

การคำนวณสมรรถนะ (Performance calculation)

มีการกำหนดมาตรฐานขึ้นมาเพื่อใช้วัดประสิทธิภาพของวัฏจักรทางเทอร์โมไดนามิกส์ สมการเหล่านี้ถูกใช้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของวัฏจักรของจริง กับวัฏจักรในอุดมคติทางทฤษฎี

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (coefficient of performance :COP) ของวัฏจักรทำความเย็น คือนิพจน์ประสิทธิภาพวัฏจักรของระบบ ค่า COP ในเชิงคณิตศาสตร์ คือ อัตราส่วนของความร้อนที่ถูกดูดในบริเวณพื้นที่ทำความเย็น สำหรับแต่ละหน่วยพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ เพื่อที่จะคำนวณค่า COP ได้อย่างถูกต้อง พลังงานที่จ่ายให้กับคอมเพรสเซอร์ต้องแปลงให้เป็นหน่วยพลังงานความร้อน หรืออีกนัยหนึ่ง COP สำหรับวัฏจักรทางทฤษฎี มีค่าเท่ากับ refrigerating effect $\left(q_{evaporator}\right)$ หารด้วยความร้อนของการอัด $\left(q_{compression}\right)$ เมื่อปริมาณพลังงานที่สารทำความเย็นดูดเข้าไปในอีแวพเพอเรเตอร์เพิ่มสูงขึ้นสำหรับพลังงานทุกหน่วยที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ ประสิทธิภาพของวัฏจักรจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แสดงว่าสามารถถ่ายเทความร้อนที่เป็นประโยชน์ได้มากขึ้นสำหรับพลังงานทุกหน่วยของพลังงานที่คอมเพรสเซอร์ต้องการ ค่า COP ทางทฤษฎีสำหรับวัฏจักรอิ่มตัวพื้นฐานคำนวณได้จากสมการ

$$COP = \frac{refrigerating\ effect}{heat\ of\ compresion} = \frac{(h_c - h_b)}{(h_d - h_c)} = \frac{(h_c - h_a)}{(h_d - h_c)} = \frac{q_{evaporator}}{q_{compression}}$$

2.6.2 การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ทางสถานประกอบการเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนกล้องถ่ายรูปและอุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิคส์ มีการทำงานในส่วนของสำนักงานวันละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ในส่วนการผลิต 10 ชั่วโมงต่อวัน วันทำงาน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบปีที่ผ่านมา (ส.ค. 2552 - ก.ค. 2553) 641,225 kWh/ปี ค่าพลังงาน 2,460,320.93 บาท อัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.84 บาท/หน่วย

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจระบบการใช้งานในระบบปรับอากาศซึ่งมีติดตั้งในทุกๆ แผนกของกระบวนการผลิต โดยมีการใช้งานเป็นประจำ สำหรับการบำรุงรักษาและทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศทางสถานประกอบการมีแผนการดำเนินการอยู่แล้ว แต่จากการตรวจสอบของทีมอนุรักษ์พลังงานพบว่า เครื่องปรับอากาศบางตัว ระยะเวลาในการบำรุงรักษาและทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศห่างเกินไป ประกอบกับโรงงานตั้งอยู่ในสถานที่ค่อนข้างอับและมีฝุ่นค่อนข้างเยอะทำให้การระบายอากาศไม่ดีเท่าที่ควร จากการตรวจสอบสภาพของเครื่องปรับอากาศดังกล่าวพบว่าเครื่องปรับอากาศดังกล่าวขาดการบำรุงรักษาที่ดีโดยสังเกตได้จากชุดคอล์ยร้อนซึ่งสกปรก

รูปก่อนทำการปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว ทางทีมงานอนุรักษ์พลังงานจึงได้มีแนวคิดร่วมกันปรึกษากับผู้ที่รับผิดชอบโดยสามารถปรับปรุงแก้ไขโดยการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ จากแนวคิดดังกล่าวจึงนำไปสู่การทดลองปฏิบัติงานจริงควบคู่ไปกับการตรวจวัดพลังไฟฟ้า เพื่อนำไปสู่การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานที่ได้รับ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไขดังนี้

1. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุง
2. จัดทำแผนการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
3. ติดตาม และประเมินผลหลังปรับปรุง
4. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศหลังปรับปรุง
5. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

สภาพหลังปรับปรุง

เสนอให้มีการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะช่วยให้การระบายความร้อนของระบบ และประสิทธิภาพของเครื่องดีขึ้น โดยพิจารณาดำเนินการดังต่อไปนี้

1) ดำเนินการเดือนละ 1 ครั้ง

- ใช้ลมเป่าทำความสะอาดคอล์ยเย็น และคอล์ยร้อนรวมทั้ง Filter ต่าง ๆ
- ใช้น้ำฉีดทำความสะอาดคอล์ยร้อน และ Filter ของคอล์ยเย็น
- ตรวจสอบวงจรควบคุมต่างๆ ว่าทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดหรือไม่

2) ดำเนินการ 3/6 เดือน/ครั้ง

- ทำการล้างใหญ่เพื่อความสะอาดคอล์ยเย็นและคอล์ยร้อน รวมทั้ง Filterโดยใช้น้ำหรือน้ำยาทำความสะอาด
- ตรวจสอบกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ และพัดลม

รูปหลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

อาคาร	ลำดับ	Place (สถานที่)	Machince ยี่ห้อ/ผู้ผลิต	Capacity	Q'TY	Frequency	Power Consumption (kW)		การทำงาน		% การทำงาน	kW save (kW)	kWh save (kWh/ปี)
							ก่อน	หลัง	ชั่วโมง/วัน	วัน/ปี			
2	1	UDP Press 8	แฮฟไฟร์ ดัคท์	56,200	1	ทุกเดือน	3.66	3.63	10	300	65	0.03	58.5
2	2	UDP Press 8	แฮฟไฟร์ ดัคท์	18,000	1	ทุกเดือน	1.78	1.72	10	300	65	0.06	117
2	3	Canteen1	แฮฟไฟร์ ดัคท์	60,000	1	ทุกเดือน	5.04	5	10	300	65	0.04	78
2	4	Canteen1	แฮฟไฟร์ ดัคท์	77,070	2	ทุกเดือน	4.86	4.02	10	300	65	0.84	3276
2	5	Check 6	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุกเดือน	6.04	5.56	10	300	65	0.48	936
2	6	Material Warehouse NS	แฮฟไฟร์ ดัคท์	60,000	2	ทุกเดือน	5.04	5.01	10	300	65	0.03	117
2	7	Material Painting (Paint)	แฮฟไฟร์ แฮวน	12,500	1	ทุกเดือน	1.35	1.23	10	300	65	0.12	234
2	8	Material Painting (Dreing)	แฮฟไฟร์ แฮวน	25,000	1	ทุกเดือน	2.31	2.12	10	300	65	0.19	370.5
2	9	Flocy Preperation	แฮฟไฟร์ แฮวน	35,300	1	ทุกเดือน	3.21	3	10	300	65	0.21	409.5
2	10	stock UDP	แฮฟไฟร์ ดัคท์	77,070	1	ทุกเดือน	4.86	4.63	10	300	65	0.23	448.5
2	11	Locker Room	แฮฟไฟร์ แฮวน	38,500	1	ทุก 3 เดือน	3.66	3.42	8	300	70	0.24	403.2
2	12	Final Inspection	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุก 3 เดือน	5.06	4.89	8	300	70	0.17	285.6
2	13	B.P.stock 1	แฮฟไฟร์ ดัคท์	38,300	1	ทุก 3 เดือน	3.62	3.41	8	300	70	0.21	352.8
2	14	B.C.stock	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุก 3 เดือน	5.04	4.92	8	300	70	0.12	201.6
2	15	F.G.stock	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุก 3 เดือน	5.04	4.92	8	300	70	0.12	201.6
2	16	Meeting Room 1	แฮฟไฟร์ แฮวน	12,500	1	ทุก 3 เดือน	1.35	1.02	6	100	70	0.33	138.6
2	17	Meeting Room 2	แฮฟไฟร์ แฮวน	12,500	1	ทุก 3 เดือน	1.35	1.02	6	100	70	0.33	138.6
2	18	Meeting Room 3	แฮฟไฟร์ แฮวน	18,300	1	ทุก 3 เดือน	1.79	1.53	6	100	70	0.26	109.2
2	19	Store 1	เทรน แฮวน	38,500	1	ทุก 3 เดือน	3.65	3.25	24	365	70	0.4	2452.8
2	20	Store 2	แฮฟไฟร์ แฮวน	12,500	1	ทุก 3 เดือน	1.35	1.03	24	365	70	0.32	1962.24
2	21	Store 3	แฮฟไฟร์ แฮวน	25,500	1	ทุก 3 เดือน	2.86	2.63	24	365	70	0.23	1410.36
		รวม											**13,701.60**

ข้อมูลจากการตรวจวัดพบว่า

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ทั้งหมด	=	13,701.60	kWh
ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3.84 บาท/kWh			
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้เท่ากับ	=	52,614.14	บาท/ปี

เงินลงทุน

เงินค่าแรงคนล้างทำความสะอาดและค่าน้ำประมาณ 20,000 บาท/ปี

สรุปหลังปรับปรุง

เพื่อให้เครื่องปรับอากาศที่มีการบำรุงรักษาและทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ทางสถานประกอบการมีแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

แผนการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ

Facility Maintenance Anual Plan — Year 2011

Isuued Date : 4/1/2011 Rev. : 02

อาคาร	ลำดับ	Place (สถานที่)	Machince ยี่ห้อ/ผู้ผลิต	Capacity	Q'TY	Frequency	เดือน																																		หมายเหตุ
							January				Febuary				March				Apirl				May				June				July				August				September				October				November				December				
							1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
2	1	UDP Press 8	แชฟไฟร์ ดัคท์	56,200	1	ทุกเดือน	◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	2	UDP Press 8	แชฟไฟร์ ดัคท์	18,000	1	ทุกเดือน	◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	3	Canteen1	แชฟไฟร์ ดัคท์	60,000	1	ทุกเดือน		◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	4	Canteen1	แชฟไฟร์ ดัคท์	77,070	2	ทุกเดือน		◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	5	Check 6	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุกเดือน		◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	6	Material Warehouse NS	แชฟไฟร์ ดัคท์	60,000	2	ทุกเดือน			◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	7	Material Painting(Paint)	แชฟไฟร์ แขวน	12,500	1	ทุกเดือน			◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	8	Material Painting(Dreing)	แชฟไฟร์ แขวน	25,000	1	ทุกเดือน			◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	9	Flocy Preperation	แชฟไฟร์ แขวน	35,300	1	ทุกเดือน			◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	10	stock UDP	แชฟไฟร์ ดัคท์	77,070	1	ทุกเดือน			◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				◇				
2	11	Locker Room	แชฟไฟร์ แขวน	38,500	1	ทุก3เดือน										◇										◇										◇										◇										◇				
2	12	Final Inspection	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุก3เดือน										◇										◇										◇										◇										◇				
2	13	B.P.stock 1	แชฟไฟร์ ดัคท์	38,300	1	ทุก3เดือน										◇										◇										◇										◇										◇				
2	14	B.C.stock	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุก3เดือน											◇										◇										◇										◇										◇				
2	15	F.G.stock	ฮิตาชิ ดัคท์	60,300	1	ทุก3เดือน											◇										◇										◇										◇										◇				
2	16	Meeting Room 1	แชฟไฟร์ แขวน	12,500	1	ทุก3เดือน											◇										◇										◇										◇										◇				
2	17	Meeting Room 2	แชฟไฟร์ แขวน	12,500	1	ทุก3เดือน											◇										◇										◇										◇										◇				
2	18	Meeting Room 3	แชฟไฟร์ แขวน	18,300	1	ทุก3เดือน											◇										◇										◇										◇										◇				
2	19	Store 1	เทรน แขวน	38,500	1	ทุก3เดือน												◇										◇										◇										◇										◇				
2	20	Store 2	แชฟไฟร์ แขวน	12,500	1	ทุก3เดือน												◇										◇										◇										◇										◇				
2	21	Store 3	แชฟไฟร์ แขวน	25,500	1	ทุก3เดือน												◇										◇										◇										◇										◇				

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	การบำรุงรักษาทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ/ทำความเย็น	
เงินลงทุน	20,000	บาท
ผลที่ประหยัดได้	13,701.60	kWh/ปี
	1.16	toe/ปี
ผลประหยัดที่ได้	52,614.14	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.38	ปี

2.6.3 การปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการเปิดดำเนินการ 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 300 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสิ้น 757,260 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 2,870,962.17 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.79 บาทต่อหน่วย มีการติดตั้งใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับห้องสำนักงาน ห้องทำงานผู้บริหาร และห้องประชุม เพื่อปรับสภาวะความเย็นให้ความสบาย

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจของทีมงานอนุรักษ์พลังงานพบว่าเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในห้องทำงานผู้บริหารบริเวณชั้นลอย มีชั่วโมงการทำงานมาก เมื่อทำการสำรวจบริเวณเหนือฝ้าเพดานพบว่า มีหลังคาเป็นชนิด Metal sheet โดยไม่มีการบุฉนวนทำให้อุณหภูมิช่องว่างใต้หลังคาอยู่ที่ประมาณ 42 °C ทั้งนี้ฝ้าเพดานก็ไม่มีการบุฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนเช่นกัน ด้วยเหตุนี้พื้นที่ปรับอากาศบริเวณชั้นลอย จึงมีภาระความร้อนผ่านฝ้าเพดานในปริมาณสูง ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนัก เพื่อระบายความร้อนส่วนนี้ออกไปจากพื้นที่ปรับอากาศ หากมีการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารโดยการบุฉนวนกันความร้อนฝ้าเพดานบริเวณดังกล่าวแล้ว จะช่วยทำให้ภาระความร้อนของพื้นที่ปรับอากาศลดลงได้มาก จะส่งผลให้เครื่องปรับอากาศทำงานน้อยลง ซึ่งเป็นการลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกินความจำเป็นสำหรับระบบปรับอากาศลงได้ จากข้อมูลการตรวจวัดสามารถสรุป ได้ดังนี้

ข้อมูลเบื้องต้นของหลังคา	ขนาดพื้นที่รวม (m^2)	ชนิดฝ้าเพดาน	อุณหภูมิด้านบนฝ้าเพดาน (^oC)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก่อนปรับปรุง (Btu/hr-m^2 ^oC)
ห้องผู้บริหาร 1-3	57.8	แผ่นยิบซั่ม	42	24

รูปแสดงการสำรวจกรอบอาคารห้องผู้บริหาร 1, 2 และ 3 บริเวณชั้นลอยของโรงงาน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เนื่องจากไม่มีการบุฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนจากหลังคาเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศ ทำให้มีภาระความร้อนเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศในปริมาณสูง หากมีการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการบุฉนวนกันความร้อนฝ้าเพดานพื้นที่ปรับอากาศของห้องผู้บริหารจำนวน 3 ห้อง บริเวณชั้นลอยให้เหมาะสมแล้ว จะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกินความจำเป็นสำหรับระบบปรับอากาศลงได้ สภาวะอากาศภายในห้องดีขึ้น นอกจากนี้จะทำให้ตัวคอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยลง ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ให้ยาวนานขึ้น

จากการปรึกษาหารือกับทางผู้บริหารและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ว่า ทางโรงเรียนควรมีการบุฉนวนกันความร้อนฝ้าเพดานพื้นที่ปรับอากาศบริเวณชั้น 3 โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค โดยตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศเย็นด้านจ่ายและกลับ อุณหภูมิบริเวณช่องว่างใต้หลังคาและฝ้าเพดาน ค่าการนำความร้อนของวัสดุและข้อมูลอื่นๆที่จำเป็นในการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในส่วนนี้
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา โดยสอบถามราคาฉนวนที่ใช้บุฝ้าเพดานพร้อมการติดตั้ง วิธีการขั้นตอนในการติดตั้งอุปกรณ์และระยะเวลาในการสั่งซื้อ
3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกันกับคณะทำงานของผู้ประกอบการ โดยวางแผนงานในการติดตั้งปรับปรุงโดยไม่ให้มีผลกระทบต่อการทำงาน
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ด้านราคา และแผนงานในการปรับปรุงจัดทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการบริหารขององค์กรประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยการจัดจ้างบริษัทให้ทำการบุฉนวนฝ้าเพดาน ทั้งนี้จะทำการสอบถามรายละเอียดขั้นตอนในการทำงานจากผู้ดำเนินการติดตั้งเพื่อทำการวางแผนเตรียมความพร้อม
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการปรับปรุงและติดตั้ง พร้อมทั้งตรวจวัดข้อมูลเชิงเทคนิคหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สรุปหลังปรับปรุง

สถานประกอบการได้ดำเนินการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการบุฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนจากหลังคาเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศอย่างเหมาะสม ช่วยลดภาระความร้อนผ่านหลังคาเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องลดลง มีสภาวะอากาศภายในห้องทำงานที่ดี ลดเวลาการทำงานของตัวคอมเพรสเซอร์ได้ ทั้งนี้สามารถประเมินผลการประหยัดได้ ดังนี้

ข้อมูลเบื้องต้นของหลังคา	ขนาดพื้นที่ (m^2)	ชนิดฝ้าเพดาน	อุณหภูมิด้านบนฝ้าเพดาน (^oC)	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหลังปรับปรุง (Btu/hr-m^2 ^oC)
ห้องผู้บริหาร 1-3	57.8	บุฉนวน 3”	42	8

รูปแสดงห้องผู้บริหารที่ดำเนินการบุฉนวนฝ้าเพดานเพื่อลดภาระความร้อนผ่านหลังคา

ระยะเวลาการดำเนินการ	30	วัน
เงินลงทุน	6,262	บาท
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	3,773.2	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี (คิดเป็น 0.322 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	14,300.43	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.44	ปี

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการอบรมเจ้าหน้าที่ดูแลเครื่องปรับอากาศ ให้มีความรู้เกี่ยวกับวิธีการสังเกต และวิธีการบำรุงรักษาเบื้องต้น เพื่อพนักงานจะได้มีหลักปฏิบัติที่ถูกต้อง และสามารถแจ้งให้ฝ่ายซ่อมบำรุงให้เข้าทำการแก้ไขซ่อมแซมโดยเร็ว ควรมีตารางบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานอย่างสม่ำเสมอ และให้มีผู้ที่มีประสบการณ์ในการดูแลเกี่ยวกับระบบปรับอากาศอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อจะทำให้ระบบเครื่องปรับอากาศในโรงงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

<u>วิธีการคำนวณผลการประหยัดจากการปรับปรุงกรอบอาคารเพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร</u>

ภาระความร้อนของระบบปรับอากาศก่อนการบุฉนวน = U x A x (Tout-Tin)

= 24 Btu/hr-m^2-°C x 57.8 m^2 x (42-25) °C

= 23,582.4 Btu/hr

ภาระความร้อนของระบบปรับอากาศหลังการบุฉนวน = U x A x (Tout-Tin)

= 8 Btu/hr-m^2-°C x 57.8 m^2 x (42-25) °C

= 7,860.8 Btu/hr

ภาระความร้อนที่ลดลง = ภาระความร้อนก่อนการบุฉนวน- ภาระความร้อนหลังการบุฉนวน

= 23,582.4 - 7,860.8 Btu/hr

= 15,721.6 Btu/hr (เทียบเท่า 1.310 ตันความเย็น)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง x ชั่วโมงการทำงาน x สัดส่วนการทำงาน

= 1.310 TR x 1.20 kW/TR x 8 ชม./วัน x 300 วัน/ปี x 1.00

= 3,773.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

คิดเป็น = 3,773.2 x (3.6 / 42,244) toe/ปี = 0.322 toe/ปี

คิดเป็นเงิน = 3,773.2 x 3.79 บาท/ปี = 14,300.43 บาท/ปี

การลงทุน

ฉนวนบุฝ้าเพดานหนา 3 นิ้ว ราคา 108.3 บาท/ตรม. มีพื้นที่บุฉนวนทั้งหมดประมาณ 57.8 ตรม. รวมเป็นเงิน 6,262 บาท โดยทางโรงงานสามารถทำการติดตั้งได้เอง

ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง	6,262	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	14,300.43	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.44	ปี

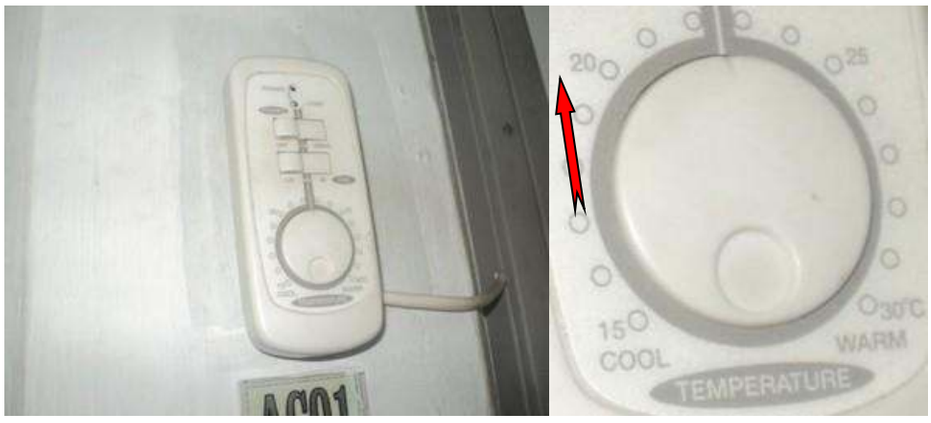
2.6.4 การปรับเพิ่มอุณหภูมิใช้งานของเครื่องปรับอากาศ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการเป็นโรงงานผลิตผ้าใบเบรก พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ส่วนใหญ่ใช้กับเครื่องจักรประเภทมอเตอร์และฮีตเตอร์ ส่วนในสำนักงานมีการใช้งานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจำนวน 6 เครื่อง แบ่งออกเป็นเครื่องขนาด 25,000 Btu จำนวน 2 เครื่อง และเครื่องขนาด 30,000 Btu จำนวน 4 เครื่อง

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานอนุรักษ์พลังงาน พบว่ามีการปรับตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 23 องศาเซลเซียส ทำให้มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ทำงานนานกว่าปกติ เป็นผลให้มอเตอร์กินกำลังไฟฟ้ามากขึ้น เกิดความสูญเสียด้านพลังงาน



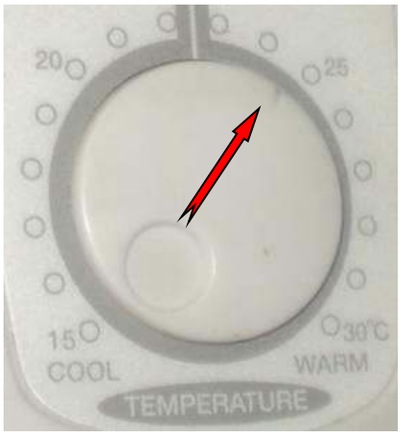
รูปเครื่องปรับอากาศ

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ปรับเพิ่มอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศขึ้น 2 องศาเซลเซียส จาก 23 เป็น 25 องศาเซลเซียส

สภาพหลังการปรับปรุง

พบว่าอุณหภูมิของห้องเฉลี่ยอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ทำให้ช่วงเวลาที่มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ทำงานสั้นลง เป็นผลให้เกิดการประหยัดพลังงาน



รูปเครื่องปรับอากาศที่ปรับอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

ลำดับ	Place (สถานที่)	Machince ยี่ห้อ/ผู้ผลิต	Capacity (Btu)	Power Consumption (kW)	การทำงาน	
					ชั่วโมง/วัน	วัน/ปี
1	ฝ่ายบุคคล	SAIJO DENKI	25,000	2.32	8	300
2	ฝ่ายจัดซื้อ	SAIJO DENKI	25,000	2.34	8	300
3	ฝ่ายวางแผนการผลิต	CENTRAL AIR	30,000	3.22	8	300
4	ฝ่ายวางแผนการผลิต	CENTRAL AIR	30,000	3.26	8	300
5	ฝ่ายธุรการ-บัญชี	CENTRAL AIR	30,000	3.20	8	300
6	ฝ่ายธุรการ-บัญชี	CENTRAL AIR	30,000	3.24	8	300

ตารางข้อมูลในการคำนวณ

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ
ข้อมูลทั่วไป			
พลังไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศ	kW	P	17.58
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	h/d	h	8.00
จำนวนวันทำงาน	d/y	d	300
แฟคเตอร์การใช้งานห้องปรับอากาศ (Used Factor)	%	US	75.00
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	฿/kWh	C_E	3.54
อุณหภูมิอากาศภายในอาคาร	°C	T_1	23.00
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในอาคาร	%	RH_1	70.00
เอนธาลปีอากาศภายในอาคาร	Btu/lb	h_1	31.50
อุณหภูมิอากาศภายนอกอาคาร	°C	T_2	35.00
ความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอกอาคาร	%	RH_2	60.00
เอนธาลปีอากาศภายนอกอาคาร	Btu/lb	h_2	47.00
เอนธาลปีอากาศภายในอาคาร เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้น	Btu/lb	h_3	34.00

ตารางการคำนวณผลประหยัดพลังงาน

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	ปริมาณ
การคำนวณ			
ภาระความเย็นเดิมในการปรับอากาศ			
$Q_O = h_2 - h_1$	Btu/lb	Q_O	15.50
ภาระความเย็นใหม่ในการปรับอากาศหลังจากเพิ่มอุณหภูมิภายในอาคารเพิ่มขึ้น			
$Q_N = h_2 - h_3$	Btu/lb	Q_N	13.00
ภาระการทำความเย็นลดลง			
$Q_S = Q_O - Q_N$	Btu/lb	Q_S	2.50
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ภาระความเย็นที่ลดลง			
$P_S = (Q_S \times 100) / Q_O$	%	P_S	16.13
พลังงานไฟฟ้าลดลง			
$E_S = P \times (P_S/100) \times h \times d \times (US/100)$	kWh/y	E_S	5,104.17
คิดไฟฟ้าที่ประหยัดได้			
$S_C = E_S \times C_E$	฿/y	S_C	18,068.76
toe/yr			0.43

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การปรับเพิ่มอุณหภูมิใช้งานของเครื่องปรับอากาศ

เงินลงทุน	-	บาท
ผลที่ประหยัดได้	5,104.17	kWh/ปี
	0.43	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	18,068.76	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	คืนทุนทันที	

2.6.5 การป้องกันอากาศร้อนเข้าสู่ห้อง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานเป็นโรงงานชำแหละและแปรรูปปลาหมึกทะเลสดเพื่อส่งออก โดยการปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่ปรับอากาศที่ควบคุมอุณหภูมิ 18 – 20 °C และบางพื้นที่ที่ไม่ต้องควบคุมอุณหภูมิ เช่นพื้นที่ลวกวัตถุดิบ และต้มอุปกรณ์การชำแหละ (เขียง มีด) เปิดใช้งานในตั้งแต่เวลา 7.00 – 20.00 น. 12 ชั่วโมงต่อวัน วันจันทร์ – เสาร์ 325 วัน/ปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจภายในบริเวณพื้นที่ชำแหละปลาหมึก พบว่าพื้นที่บริเวณประตูทางเข้า - ออก ระหว่างห้องต้ม ลวก วัตถุดิบและอุปกรณ์ชำแหละไม่ได้มีประตูหรืออุปกรณ์ป้องกันความร้อนเข้าไปในพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งทำให้พื้นที่ต้องควบคุมอุณหภูมิสูงถึง 22 °C โดยที่ห้องต้มลวกมีอุณหภูมิ 24 °C ซึ่งจากการเปิดประตูทิ้งไว้จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อากาศร้อนเข้ามาภายในพื้นที่ปฏิบัติงานซึ่งทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

รูปแสดงแหล่งความร้อนและการเปิดพื้นที่ ร้อน - เย็น ทิ้งไว้

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ไม่ให้อากาศร้อนเข้าพื้นที่ปรับอากาศ โดยการปรับปรุงหม้อต้ม – ลวก และติดตั้งม่านพลาสติก บริเวณทางเข้า-ออก เพื่อลดปริมาณอากาศร้อนเข้ามาภายในพื้นที่แปรรูป การดำเนินการดังกล่าวจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานได้

รูปแสดงการปรับปรุงหม้อต้ม - ลวกและการกันพื้นที่ ร้อน - เย็น

สภาพหลังการปรับปรุง

ยังมีการใช้งานตามปกติ ทางเข้า – ออกไม่มีการชำรุดหรือเสียหายเนื่องจากปิด - เปิดบ่อย รวมถึงพนักงานทุกท่านตระหนักถึงการปิดม่านทางเข้า – ออกทุกครั้ง เมื่อมีการเปิดทิ้งไว้ เพื่อป้องกันมิให้อากาศร้อนจากห้องหม้อต้มเข้าสู่ภายในพื้นที่แปรรูป การดำเนินการดังกล่าว พบว่าอุณหภูมิพื้นที่แปรรูปลดต่ำลงอยู่ที่ 20 $^{\circ}$C เป็นไปตามมาตรฐานที่ตั้งไว้

1. ควบคุมการเปิดม่านกันทิ้งไว้
2. วางแผนการปรับปรุง
3. ปิดม่านพลาสติก ทุกครั้งที่เดินผ่านเข้า – ออก

วิธีการคำนวณผลประหยัด

มาตรการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร – การประเมินผลประหยัดพลังงานจากการลดการรั่วไหลของอากาศร้อน - เย็น

ข้อมูลจากการตรวจสอบการใช้พลังงาน

ประตูทางเข้า – ออกเปิดทำให้มีพื้นที่ที่อากาศจากหม้อต้ม ลวก เข้าพื้นที่ปรับอากาศได้ 4.25 ตารางเมตร (17 x 2.50) จำนวน 1 บาน

ความเร็วลมเข้า - ออก ร้านอาหาร 0.075 เมตร/วินาที

อุณหภูมิภายในห้องต้ม ลวก 24.0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 80 %

โดย h = 62.49 kJ/kg (จาก Psychrometric Chart)

อุณหภูมิภายในห้องแปรรูปเฉลี่ย 22 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 72 %

โดย h = 52.51 kJ/kg (จาก Psychrometric Chart)

ปริมาณอากาศทั้งหมดที่เข้ามาภายในอาคาร 0.075 m/วินาที x 4.25 m^2 x 60 วินาที/นาที = 19.13 m^3/นาที

K = 1.2 Isentropic of air Constant

ภาระทำความเย็นเนื่องจากอากาศเข้าภายในตัวอาคาร

= 1.2 kg/ m^3 x 19.13 m^3/นาที x (62.49 – 52.51) kJ/kg x 60 นาที/ชั่วโมง

= 13,742.46 kJ/ชั่วโมง

โดย 1 ตันความเย็น = 12,660 kJ/ชั่วโมง

ดังนั้น 13,742.46 kJ/ชั่วโมง เท่ากับความสามารถในการทำความเย็น คือ 1.09 ตัน

ซึ่งเท่ากับสูญเสียพลังไฟฟ้าในการทำความเย็นในส่วนนี้เท่ากับ 1.09 ตัน x 0.95 kW/ตัน เท่ากับ 1.04 kW

เนื่องจากเปิดทิ้งไว้ประมาณ 10 ชั่วโมง/วัน เป็นระยะเวลา 325 วัน/ปี
จะทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้นประมาณ (เปอร์เซ็นต์การใช้งาน 90%)

= 1.04 kW x 10 ชั่วโมง/วัน x 325 วัน/ปี x 900 %

= 3,016.34 kWh/ปี

ดังนั้นเงินที่ประหยัดได้ = 3,016.34kWh/ปี x 3.37 บาท/kWh

= 10,153.34 บาท/ปี

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การลดภาระโหลดของเครื่องปรับอากาศ/เครื่องทำความเย็น

ระยะเวลาการดำเนินการ	2	เดือน
เงินลงทุน	4,000	บาท
ปริมาณพลังงานที่ลดลง	3,016.34	kWh/ปี (คิดเป็น 0.265 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	10,153.34	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.39	ปี

2.6.6 การลดภาระของเครื่องปรับอากาศ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 5 ตัน จำนวน 3 ชุดแบ่งเป็น 2 ห้องทำงาน ใช้ปรับอากาศให้กับพนักงานแผนกคัดแยกผลิตภัณฑ์ ตั้งอุณหภูมิ Set Point ที่ 27 °C เปิดใช้งาน 14 ชั่วโมงต่อวัน ทำงาน 304 วันต่อปี ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.47 บาทต่อหน่วย

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจการใช้งานเครื่องปรับอากาศพบว่าตั้งอุณหภูมิอยู่ที่ 27 °C ห้องทำงานเป็นห้องเปิดโล่ง จากการตรวจวัดอุณหภูมิห้องสูงถึง 32 °C จึงทำการตรวจวัดพลังไฟฟ้าที่ใช้พบว่าคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศห้องที่ 1 ทำงานตลอดเวลาที่พลังไฟฟ้าเฉลี่ย 6.49 kW ส่วนห้องที่ 2 ใช้เครื่องปรับอากาศ 2 ชุดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ 6.21 kW และ 5.08 kW ซึ่งคณะทำงานเห็นว่าหากมีการกั้นห้อง จะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศได้

รูปแสดงพื้นที่ทำงานของเครื่องปรับอากาศและการตรวจวัด ก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

กั้นห้องทำงานเพื่อลดพื้นที่ปรับอากาศและลดภาระการปรับอากาศ เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สำรวจการใช้งานเครื่องปรับอากาศ
2. เก็บข้อมูลของเครื่องปรับอากาศ
3. ดำเนินการกั้นห้อง
4. เก็บข้อมูลการใช้งานเครื่องปรับอากาศหลังปรับลดอุณหภูมิ
5. วิเคราะห์ผลประหยัด

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานดำเนินการกั้นพื้นที่ทำงานเป็นห้อง 30 ตารางเมตร พร้อมซ่อมบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ และปรับลดระดับเครื่องปรับอากาศให้ต่ำลง อุณหภูมิ Set Point ที่ 27 $^{\circ}$C ทำให้เวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ห้องที่ 1 ลดลงเหลือ 8.17%

รูปแสดงการกั้นห้อง หลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จับเวลาการตัด ต่อ คอมเพลสเซอร์ ดังนี้

ทดสอบครั้งที่	ก่อนปรับปรุง (วินาที)		หลังปรับปรุง (วินาที)	
	ทำงาน	ไม่ทำงาน	ทำงาน	ไม่ทำงาน
1	100%	0	41	484
2	100%	0	43	496
3	100%	0	46	482
เฉลี่ย	**1.00**	**0.00**	**43.33**	**487.33**

พลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 6.49 kW
ก่อนปรับปรุงคอมเพรสเซอร์ทำงาน 100 %
หลังปรับปรุงคอมเพรสเซอร์ทำงาน 8.17 %
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง = พลังไฟฟ้า x จำนวนชั่วโมงทำงาน x % ตัด/ต่อ
= 6.49 kW x 14 x 304 x 100%
= 27,621,44 kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง = พลังไฟฟ้า x จำนวนชั่วโมงทำงาน x % ตัด/ต่อ
= 6.49 kW x 14 x 304 x 8.17%
= 2,256.67 kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 27,621,44 – 2,256.67
= 25,364.77 kWh/ปี
เทียบเท่าน้ำมันดิบ = 25,364.77 x 85.21/1,000,000 = 2.161 toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = พลังงานที่ประหยัดได้ x ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย
= 25,364.77 x 3.47
= 88,015.75 บาท/ปี

การลงทุน
ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งห้องรวม 32,000.00 บาท
ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน / ผลประหยัด = 32,000.00 / 88,015.75 = 0.36 ปี

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม
ทำการซ่อมบำรุงเครื่องปรับอากาศอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เช่น ทำความสะอาดแผงกรองอากาศ

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

เงินลงทุน	32,000.00	บาท
พลังงานที่ประหยัดได้	25,364.77	kWh/ปี
คิดเป็น	2.161	toe/ปี
ผลประหยัดที่ได้	88,015.75	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.36	ปี

2.6.7 การใช้เทอร์โมสตัทชนิดอิเล็กทรอนิกส์

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

จากการสำรวจระบบปรับอากาศของโรงงาน มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจยูนิต (Package Unit) ขนาด 360,000 Btu/hr ระบายความร้อนด้วยอากาศ จำนวน 3 ชุด แต่เสีย 1 ชุด โดยมีค่าสมรรถนะการทำความเย็น 1.63 kW/TonR ในพื้นที่ห้องทอ ป้าย เลเบิลผ้า ใช้งานมาแล้วกว่า 17 ปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

โรงงาน มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแพ็คเกจ ขนาด 360,000 Btu/hr จำนวน 3 เครื่อง โดยมีค่าสมรรถนะการทำความเย็นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (1.63 kW/TonR) เปิดใช้งาน 2 เครื่อง/วัน, 24 ชั่วโมง/วัน, 365 วัน/ปี โดยอุณภูมิที่พื้นที่ใช้งาน 20 – 22 $^{\circ}$C ซึ่งพบว่าระบบควบคุมอุณหภูมิได้ชำรุด ไม่สามารถตั้งอุณหภูมิหรือกำหนดอุณหภูมิภายในห้องได้ ทำให้พื้นที่การใช้งานเย็นจัดและสิ้นเปลืองพลังงานมาก ดังนั้นทางโรงงานจึงมีแผนควบคุมการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน

รูปแสดงการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิของระบบทำความเย็น

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

สำรวจตรวจสอบและตรวจวัดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ เพื่อติดตั้ง Temp Control และปรับอุณหภูมิการใช้งานจากเดิม 20 – 22 $^{\circ}$C มาเป็น 25 $^{\circ}$C และตรวจสอบถึงผลกระทบจากการปรับเพิ่มอุณหภูมิว่ามีผลต่อการขาดของเส้นด้ายและคุณภาพของชิ้นงานหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

1. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศก่อนปรับปรุง
2. ติดตาม และประเมินผลหลังปรับปรุง
3. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศหลังปรับปรุง
4. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	ขนาด (ตัน)	จำนวน (ชุด)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh/ปี)
1	เครื่องปรับอากาศ Package Unit	30	1	14.20	24	365	100	124,417.2
2	เครื่องปรับอากาศ Package Unit	30	1	11.86	24	365	100	103,937.0
รวมทั้งหมด			**2**	**26.07**				**228,354.2**

หลังปรับปรุง

ลำดับ	ชื่อห้อง/ชื่อบริเวณ	ขนาด	จำนวน (ชุด)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ชม./วัน	วัน/ปี	Operate Factor (%)	พลังงานไฟฟ้ารวม (kWh/ปี)
1	เครื่องปรับอากาศ Package Unit	30	1	14.20	24	365	60	74,650.3
2	เครื่องปรับอากาศ Package Unit	30	1	11.86	24	365	60	62,362.2
รวมทั้งหมด			**2**	**26.07**				**137,012.5**

สภาพหลังปรับปรุง

เมื่อมีการติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิความเย็นที่ระบบ และกำหนดอุณหภูมิห้องที่ 25 °C จากการดำเนินการดังกล่าวสามารถประหยัดพลังงานได้เป็นจำนวนมาก และไม่มีผลต่อคุณภาพระดับความเย็นที่ต้องการ

รูปแสดงอุณหภูมิของระบบทำความเย็น Package Unit

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การใช้เทอร์โมสตัทชนิดอิเล็กทรอนิกส์ (Temp Control)

ระยะเวลาการดำเนินการ	2	เดือน
เงินลงทุน	4,500	บาท
ปริมาณพลังงานที่ลดลง	91,341.68	kWh/ปี (คิดเป็น 7.78 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	298,459.82	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.02	ปี

2.6.8 การติดตั้ง Timer ควบคุมเวลาเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศ

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ทางโรงงานติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาด 5 ตันจำนวน 1 เครื่อง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ 2.828 kW เพื่อปรับอากาศในห้องเครื่องอัดอากาศ ตั้งอุณหภูมิ 16 °C เปิดไว้ 24 ชั่วโมง/วัน มีวันทำงาน 330 วัน/ปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.82 บาท/kWh

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

เครื่องอัดอากาศทำงานเฉลี่ย 16 ชั่วโมงต่อวัน แต่เครื่องปรับอากาศสำหรับห้องเครื่องเปิด 24 ชั่วโมง และคอมเพลสเซอร์ทำงาน 100% เนื่องจากตั้งอุณหภูมิไว้ต่ำมากที่ 16 °C อุณหภูมิห้องเครื่อง 19-21°C ทีมอนุรักษ์พลังงานของโรงงานจึงเสนอการติดตั้ง Timer เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ จะช่วยประหยัดพลังงานลงได้อย่างมาก

รูปแสดงเครื่องปรับอากาศและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ ก่อนปรับปรุง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

เพื่อลดเวลาการทำงานของเครื่องปรับอากาศในห้องเครื่องอัดอากาศ โดยมีขั้นตอนการปรับปรุง ดังนี้

1. ตรวจสอบการใช้งาน
2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ
3. ตรวจสอบเวลาที่เหมาะสม
4. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้
5. ติดตามผลกระทบ

สภาพหลังการปรับปรุง

โรงงานทำการติดตั้ง Timer ควบคุมการเปิด – ปิด เครื่องปรับอากาศสามารถลดการใช้ได้ 8 ชั่วโมง/วัน ช่วงเวลา 24:00-8:00 น. จึงช่วยให้ประหยัดพลังงานได้มาก

รูปการติดตั้ง อุปกรณ์ควบคุมการเปิด – ปิด เครื่องปรับอากาศ หลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

การติดตั้ง Timer ควบคุมเวลาเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศห้องอัดอากาศ สามารถวิเคราะห์ผลประหยัดได้ ดังนี้

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องอัดอากาศ = 2.828 kW

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ x ชั่วโมง/วัน x วัน/ปี x %การทำงาน
= 2.828 x 24 x 330 x 100%
= 22,397.76 kWh/ปี

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ x ชั่วโมง/วัน x วัน/ปี x %การทำงาน
= 2.828 x 16 x 330 x 100%
= 14,931.84 kWh/ปี

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง - พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง
= 22,397.76-14,931.84
= 7,465.92 kWh/ปี

เทียบเท่าน้ำมันดิบ = 7,465.92 kWh x 85.21/1000000
= 0.636 toe/ปี

คิดเป็นผลประหยัด = พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง x ราคาค่าไฟฟ้า
= 7,465.92 x 3.82
= 28,519.81 บาท/ปี

การลงทุน

ค่าอุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศ 1,000.00 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน / ผลประหยัด
= 1,000.00/28,519.81
= 0.04 ปี

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

การติดตั้ง Timer ควบคุมเวลาเปิด-ปิด เครื่องปรับอากาศระยะเวลา เงินลงทุน 1,000.00 บาท

พลังงานที่ประหยัดได้	7,465.92	kWh/ปี
คิดเป็น	0.636	toe/ปี
ผลประหยัดที่ได้	28,519.81	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.04	ปี

2.6.9 การใช้เครื่องปรับอากาศ/เครื่องทำความเย็นชนิดประสิทธิภาพสูง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงแรมเปิดให้บริการตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,263,758.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 2,323,730.86 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.34 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม คณะทำงานของทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการได้ร่วมกันสำรวจและวิเคราะห์การใช้พลังงานของสถานประกอบการจากการสำรวจ พบว่าทางโรงแรมมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศในส่วนที่ไม่ใช่ห้องพักอยู่เป็นประจำซึ่งเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็นสัดส่วนที่สูง จึงมีแนวทางเพื่อลดการใช้พลังงาน ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

ชื่อห้อง	ขนาด (ตัน)	จำนวน (ตัว)	kW (วัดจริง)	ความสามารถในการทำความเย็น EER	ช.ม./วัน	วัน/ปี	Factor ใช้งาน
ห้องนวด	2	10	2.15	8.26	10	365	0.8

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจพบว่าห้องนวด มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่เก่า จึงทำการสุ่มตรวจวัดประสิทธิภาพของเครื่องจำนวน 1 เครื่อง ทำให้พบว่ามีค่า EER ที่ค่อนข้างต่ำ ซึ่งจากการสำรวจร่วมกันของทีมงานที่ปรึกษา และทีมอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการ ได้พบปัญหา สรุปได้ดังนี้

1. มีการใช้เครื่องปรับอากาศเก่าในห้องนวด จำนวน 10 ตัว
2. ขนาดเครื่องปรับอากาศ 2 ตัน/เครื่อง
3. มีชั่วโมงการใช้งานมาก

รูปแสดงเครื่องปรับอากาศ

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการสำรวจ และตรวจวิเคราะห์ การใช้งานของระบบปรับอากาศในห้องนวด และจากการประชุมร่วมกันของทีมที่ปรึกษา และทีมอนุรักษ์พลังงานของทางโรงแรม ผู้บริหารระดับสูง ซึ่งมีข้อสรุปและแนวทางปฏิบัติ ดังต่อไปนี้

1. ทำการ เปลี่ยน เครื่องปรับอากาศในห้องนวดเป็นแบบประสิทธิภาพสูง
2. เลือกชนิดการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้เหมาะสม
3. วิเคราะห์ลักษณะการใช้งาน ลักษณะความต้องการของผู้ใช้
4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลเชิงเทคนิค ค่าดำเนินการ และแผนงานในการปรับปรุงระบบปรับอากาศทำเป็นเอกสารเพื่อนำเสนอต่อผู้บริหารประกอบการพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยทีมที่ปรึกษา และทีมงานอนุรักษ์พลังงานของโรงแรมร่วมกัน
6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยที่ปรึกษาจะเข้าไปดูความเรียบร้อยในการปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศในห้องนวด พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลหลังการปรับปรุง
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลการประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นและสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

โรงแรมได้ดำเนินการปรับเปลี่ยน เครื่องปรับอากาศเก่าเป็นแบบประสิทธิภาพสูงโดยมีอัตราการกินไฟต่ำ ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถประเมินผลการประหยัด ได้ดังนี้

รูปแสดงเครื่องปรับอากาศหลังการปรับปรุง

ระยะเวลาการดำเนินการ	60	วัน
เงินลงทุน	280,000	บาท
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	19,096.8	kWh/ปี (คิดเป็น 1.627 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	63,783.31	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	4.39	ปี

การคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

จากการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศเป็นแบบประสิทธิภาพสูงจากการสำรวจ และตรวจวัดระบบปรับอากาศ

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	สูตร	ค่า
ขนาดเครื่องปรับอากาศ	TonR			2
พลังไฟฟ้าวัดได้	kW			2.15
จำนวนเครื่องปรับอากาศ	เครื่อง	จ.น.		10
ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน	h/d	hr		10
วันทำงานต่อปี	D/y	d		365
เปอร์เซนต์การใช้งาน	%	LF		80
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เดิม	kWh/ปี	Eold	kW x จ.น. x hr x d x LF	62,780
การคำนวณประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ				
อุณหภูมิ	^{o}C	T_{in}		25.23
ความชื้น	%	RH		74.53
พลังงาน	kJ/kg	H_{in}		63.87
	Kg/ m^3	T_{in}		1.17
อุณหภูมิ	^{o}C	T_{out}		16.6
ความชื้น	%	RH		85.97
พลังงาน	kJ/kg	h_{out}		39.8
	Kg/ m^3	P_{out}		1.21
ความเร็วลม	fps	V_{out}		6.46
พื้นที่หน้าตัด	F^2	A_{out}		0.99
อัตราการไหลของอากาศ	cfm			383
	kJ/kg		$h_{in} - h_{out}$	24.07
	kJ/ m^3		kJ/kg x Kg/ m^3	28.64
	btu/f^2		kJ/ m^3 x 0.024	0.773
อัตราการทำความเย็น	btu/hr		btu/f^2 x cfm x 60	17,763
พลังไฟฟ้าที่ใช้	W		11.5Apmx220Voltx0.85	2,150.50
ความสามารถในการทำความเย็น	btu/W		btu/hr/W	8.26

หลังจากเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงาน ได้มีการดำเนินการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศ ดังต่อไปนี้

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	สูตร	ค่า
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	W		8Amp x 220 Volt x 0.85	1,496
	kW		W/1,000	1.496
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใหม่	kWh/ปี	Enew	kW x จ.น. x hr x d x LF	43,638.20
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด	kWh/ปี	Esave	Eold - Enew	19,096.80
คิดเป็นเทียบเท่า	Toe/ปี		(Esave x 85.21)/1,000	1.627
ราคาค่าไฟฟ้า	บาท/kWh	CE		3.34
จำนวนเงินที่ประหยัด	บาท/ปี	Msave	Esave x CE	63,783.31
การลงทุน				
ราคาเครื่องปรับอากาศ	บาท/ชุด	C1		28,000
ราคารวม	บาท	CT		280,000
ระยะเวลาการคืนทุน	ปี	PB	CT/ Msave	4.39

2.7 การอนุรักษ์พลังงานในระบบผลิตน้ำเย็น (Refrigeration and Water chiller)

2.7.1 ทฤษฎี หลักการ ที่เกี่ยวข้อง

เครื่องทำน้ำเย็น (Water chiller)

เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ ประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และเอ็กแพนชั่นวาล์ว (Expansion Valve) มีสารทำความเย็น เช่น R134a บรรจุอยู่ภายใน โดยทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นส่งไปให้กับเครื่องส่งลมเย็น เครื่องทำน้ำเย็นใช้คอมเพรสเซอร์ได้หลายแบบ

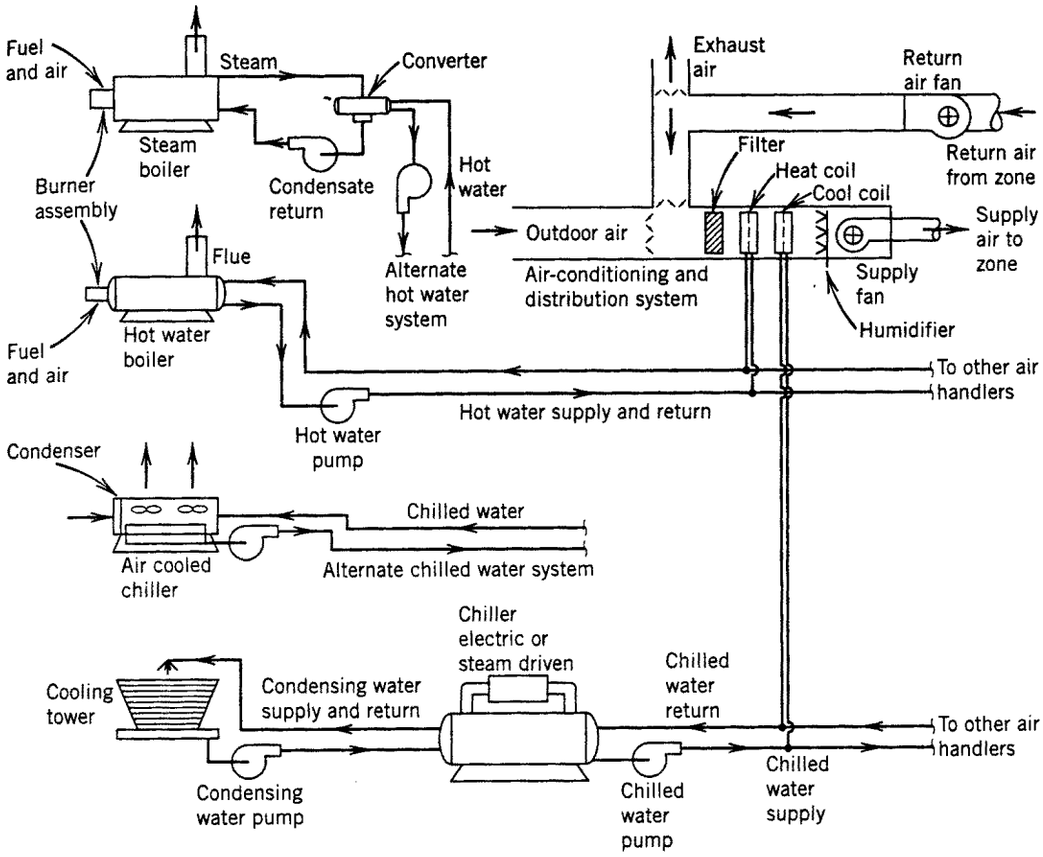
1) เครื่องทำน้ำเย็นขนาดเล็กประมาณ 100 ตันความเย็นจะใช้คอมเพรสเซอร์ลูกสูบ (Piston) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพต่ำ เช่น 1.0 kW/Ton
2) เครื่องทำน้ำเย็นขนาดกลางประมาณ 300 ตันความเย็น จะใช้คอมเพรสเซอร์แบบสกรู (Screw) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพปานกลาง เช่น 0.8 kW/Ton
3) เครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ประมาณ 500 ตันความเย็น (Ton) นิยมใช้คอมเพรสเซอร์แบบเซ็นทริฟิวเกิล (Centrifugal) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูง เช่น 0.6 kW/Ton

ก) เครื่องทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (Piston)

ข) เครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรู (Screw)

ค) เครื่องทำน้ำเย็นแบบเซ็นทริฟิวเกิล (Centrifugal)

รูปที่ 1-65 เครื่องทำน้ำเย็นแบบต่างๆ



รูปที่ 1-66 ผังอุปกรณ์ของระบบ Water chiller และ Air handling unit (AHU)

จากรูปเป็นผังแสดงส่วนประกอบหลักของระบบ Water chiller และ Air handling unit (AHU) โดยที่ระบบ Chiller ทำหน้าที่ในการสร้างน้ำเย็น ให้มีอุณหภูมิ 7 °C และใช้ปั๊มน้ำในการหมุนเวียนน้ำเย็นไปยังคอยล์เย็น (Cooling coil) ของ AHU เพื่อสร้างลมเย็นสำหรับงานปรับอากาศ และรับกลับน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 12 °C เพื่อสร้างน้ำเย็น ให้มีอุณหภูมิ 7 °C และส่งต่อไปยัง AHU เป็นวงจรน้ำเย็นอย่างต่อเนื่อง พลังงานความร้อนที่ Chiller รับมาจาก AHU จะถูกนำไประบายความร้อนได้สองรูปแบบ *รูปแบบที่หนึ่ง* เรียกว่า Air cooled chiller ดังแสดงในรูปที่ 1-67 โดยการใช้พัดลมดึงอากาศให้ไหลผ่านที่ Condenser และการติดตั้ง Chiller จะต้องติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ระบายอากาศและความร้อนได้ดี *รูปแบบที่สอง* เรียกว่า Water cooled chiller ดังแสดงในรูปที่ 1-68 โดยการใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำให้ไหลผ่านที่ Condenser และนำความร้อนไประบายออกที่หอผึ่งน้ำ (Cooling tower) ออกสู่บรรยากาศ

ระบบ AHU ดึงอากาศจากภายนอก (Outdoor air) ให้มาผสมกับลมย้อนกลับ (Return air) กลายเป็น Mixing air และไหลผ่านระบบกรอง (Filter) และระบบคอยล์เย็น (Cooling coil) ส่งผลเย็นเข้าสู่พื้นที่ในการปรับอากาศ ผ่านระบบจ่ายลม (Supply air) เมื่อลมเย็นทำหน้าที่ในการปรับอากาศแล้ว ก็จะถูกดึงกลับผ่านระบบลมกลับ (Return air) ลมเย็นที่ถูกดึงกลับบางส่วนจะถูกดึงออกจากระบบด้วย Damper เรียกว่า Exhaust air ด้วยเหตุผลที่ต้องมีการเจือจางอากาศและนำ Outdoor air ใหม่เข้ามา ลมเย็นที่เหลือจากการดึง Exhaust air ออกแล้วจะเรียกว่า Return air เพื่อนำไปผสมกับ Outdoor air ใหม่ที่ไหลเข้ามา

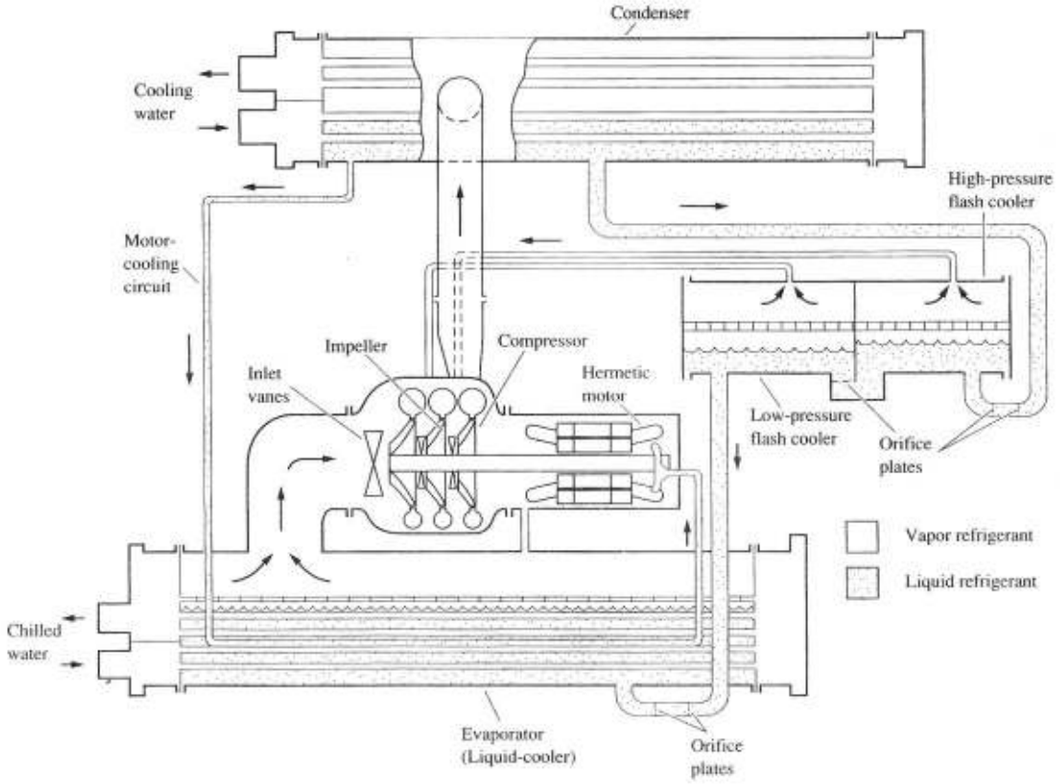
รูปที่ 1-67 เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (air-cooled chiller)

รูปที่ 1-68 เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (water-cooled chiller)

การควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller control)

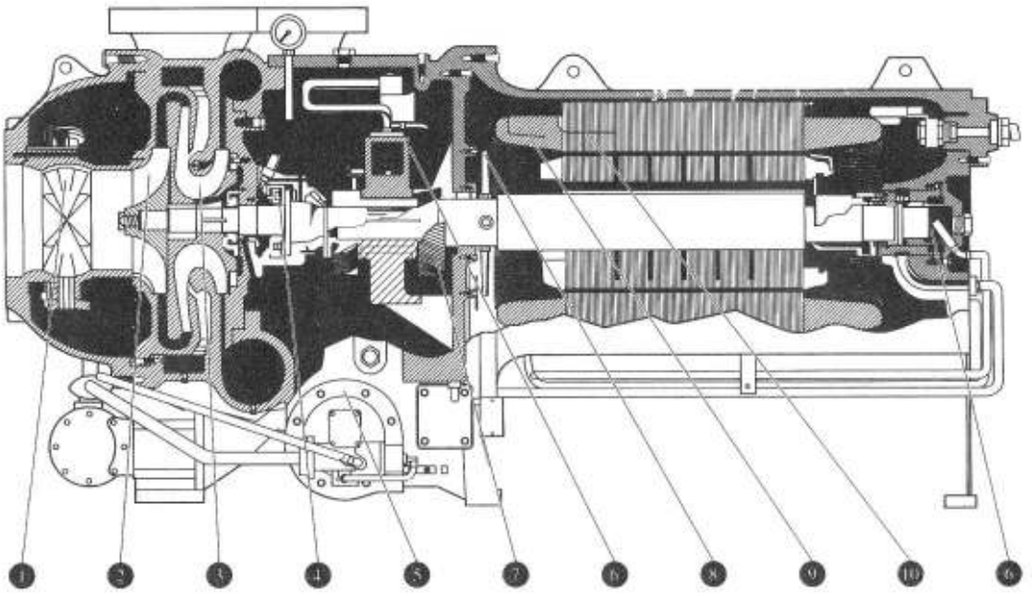
Centrifugal chiller ประกอบด้วย Compressor แบบหอยโข่ง (Centrifugal compressor), Evaporator หรือ Liquid cooler, Condenser, Throttling device, ท่อและระบบการเชื่อมต่อท่อ และชุดควบคุม Compressor แบบหอยโข่งจัดอยู่ในประเภท Turbomachine ค่า Total head lift ในหน่วย psi (kPa) หาได้จากการแปลงความดันความเร็ว (Velocity pressure) ไปเป็นความดันสถิต (Static pressure) สามารถใช้ Compressor ได้ทั้ง Single-stage, Two-stage, หรือ Three-stage (ขึ้นกับจำนวน Impeller ที่ต่ออยู่ภายใน) การต่ออนุกรมกันของ Impeller

จะช่วยเพิ่มอัตราส่วนการอัด (Compression ratio) และ COP ของระบบทำความเย็น ตัวอย่างระบบดังแสดงในรูปที่ 1-69



รูปที่ 1-69 เครื่องทำน้ำเย็นหอยโข่งระบายความร้อนด้วยน้ำ แบบสามจังหวะ
(Typical three-stage, water-cooled centrifugal chiller)

จากรูปแสดง Compressor หอยโข่งแบบสองจังหวะ (Two-stage centrifugal compressor) สารทำความเย็นในสถานะไอจะถูกดูดผ่าน Inlet vanes และเข้าสู่ First-stage impeller จากนั้น Impeller จะทำการอัดไอและปล่อยออกไปผ่าน Diffuser ซึ่งเป็นที่ที่ไอสารทำความเย็นจะรวมกับ Flashed vapor refrigerant จาก Flash cooler จากนั้นของผสม (Mixture) เข้าสู่ Second-stage impeller ที่ซึ่งสารทำความเย็นจะถูกอัดต่อไปอีก ก๊าซร้อน (Hot gas) จะถูกปล่อยเข้าสู่ Collecting volute ผ่านทาง Diffusers เมื่อสารทำความเย็นในสถานะก๊าซไหลผ่าน Compressor พื้นที่ของแนวการไหล (Flow passage) เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ความเร็วของก๊าซลดลง ดังนั้นจึงต้องแปลงความดันความเร็ว (Velocity pressure) ให้เป็นความดันสถิต (Static pressure)



รูปที่ 1-70 เครื่องทำน้ำเย็นหอยโข่งแบบสองจังหวะ (Two-stage centrifugal chiller (Carrier Corporation))

เนื่องจากการยกระดับ Evaporating pressure ให้สูงขึ้นไปจนถึง Condensing pressure นั้นต้องการ Head lift ที่สูง ความเร็วของก๊าซร้อนที่ปล่อยออกมา (Hot gas discharge velocity) ณ จุดทางออกของ Second-stage impeller จะต้องเข้าใกล้ Acoustic velocity ของไออิ่มตัว Compressor แบบ Centrifugal ต้องการ Peripheral velocity สูง และความเร็วรอบของการหมุนสูง (1,800 ถึง 50,000 rpm) ค่า Refrigeration capacity ของ Centrifugal compressor อยู่ในช่วง 100 ถึง 10,000 ตัน การผลิต Centrifugal compressor ขนาดเล็กนั้นย่อมไม่คุ้ม เนื่องจากลักษณะที่เป็น Turbomachines ดังนั้น Centrifugal compressors จึงมีอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate) สูงกว่า Positive displacement compressors ค่า Isentropic efficiency ของ Centrifugal compressor ที่ใช้งานตามสภาวะการออกแบบทั่วๆ ไป มีค่าสูงสุดได้ถึงประมาณ 0.83 อย่างไรก็ตาม ค่านี้อาจลดลงต่ำถึง 0.6 ระหว่างช่วงทำงาน Part-load

การควบคุม Capacity ของ Centrifugal chiller หลักๆ แล้วทำได้โดยการปรับปริมาตรการไหลของสารทำความเย็นที่ตัว Centrifugal chillerอุปกรณ์ Inlet vanes ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางโดยใช้เป็น Stepless capacity control สำหรับ Centrifugal compressor ในช่วงขณะทำงาน Part-load นอกจากนี้ Variable-speed drives ก็สามารถควบคุม Capacity ได้เช่นกัน การควบคุมดังกล่าวทำได้โดยการปรับเปลี่ยนความเร็วของ Centrifugal compressor บางกรณีการทำงานร่วมกันระหว่าง Adjustable frequency variable-speed drive และ Inlet vanes ก็ถูกนำมาใช้งานได้ด้วยเช่นกัน

อุปกรณ์ Inlet vanes มีลักษณะเป็น Pivoted movable vanes ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางเข้าของ Impeller ดังแสดงในรูปที่ 1-69 จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นเฉพาะชุดของ Inlet vane เท่านั้น สำหรับ Three-stage

centrifugal chiller ที่มี Impellers 3 ชุด จะต้องมีชุด Inlet vanes ทั้งหมดจำนวน 3 ชุด ประจำอยู่ใน Impeller ชุดละ 1 ตัว เพื่อช่วยปรับปรุงสมรรถนะ (Performance) ของ Chiller ให้ดีขึ้น Vanes เหล่านี้จะถูกเชื่อมต่อกันอยู่ด้วยวิธีกล ทำให้พวกมันหมุนไปพร้อม ๆ กัน รอบแกนได้ เมื่อการเปิดของ Inlet vanes ที่ทางเข้า Centrifugal compressor ลดลง ทำให้เกิดการรีด (Throttle) การไหลเชิงปริมาตรของไอสารทำความเย็น และทำให้การไหลของสารทำความเย็นเกิดการหมุน หรือเริ่มหมุนก่อนเข้าสู่ Impeller

ถึงแม้ว่า Centrifugal compressors และ Centrifugal fans จะเป็น Centrifugal turbo machinery และเครื่องจักรทั้งสองใช้ Inlet vanes และชุดขับแบบปรับความเร็วรอบ (Variable-speed drive) เพื่อเป็นการควบคุม capacity ระหว่างการทำงาน Part-load เช่นกัน แต่ทั้งสองก็มีความแตกต่างกัน ในระบบพัดลม ความดันรวม (Total pressure) ของ Centrifugal fan โดยหลักๆ แล้วถูกนำไปใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานและความสูญเสียทางไดนามิกส์ (Dynamic losses) ในกระแสลม กรณีนี้จึงต้องการพัดลมที่มี Total pressure drops สูงๆ เมื่อการไหลเชิงปริมาตรของอากาศถูกลดลง ใน Centrifugal chiller ค่า Head ของระบบ (System head) ถูกนำมาใช้หลัก ๆ เพื่อยก Evaporating pressure ให้สูงขึ้นถึง Condensing pressure เพื่อสร้าง Refrigerating effect ความดันลด (Pressure drop) เนื่องจากความเสียดทานและความสูญเสียทางไดนามิก (Dynamic loss) เป็นเพียงส่วนเล็กน้อยของ Head ที่ต้องการทั้งหมด การไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็นที่ลดลงขณะทำงาน Part load มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อ System head ที่ต้องการ ปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลกระทบต่อ System head เมื่อทำงาน Part load ก็คือความแตกต่างระหว่าง ความดันหรืออุณหภูมิของ Condensing และ Evaporating สำหรับ Condenser ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้น้ำหล่อเย็นจากหอผึ่งน้ำ อุณหภูมิ Outdoor wet bulb จะมีอิทธิพลโดยตรงต่ออุณหภูมิเข้าของน้ำ Condenser รวมถึงอุณหภูมิและ Condensing pressure ด้วย

Centrifugal chillers จำนวนมาก ที่มีพิกัดทำความเย็นไม่เกิน 1,200 ตัน จะติดตั้งมาพร้อมกับ Hermatic compressors เครื่อง Centrifugal chillers ขนาดใหญ่มากๆ มักจะใช้ Open compressors ที่มี Motor cooling system เพิ่มเข้ามา การขับเคลื่อน Compressor ทำได้ทั้งแบบขับเคลื่อนโดยตรงด้วยมอเตอร์ หรือแบบใช้ชุดเฟืองขับ (Gear train) Compressor แบบ Direct-drive มักจะมี Impeller เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากขีดจำกัดเรื่องความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ 2 ขั้ว (Two-pole motor) ในทางตรงกันข้าม การขับเคลื่อนโดยตรงจะช่วยลดพลังงานสูญเสียที่เกิดจากกลไกชุดเฟืองขับลงไปได้ ความสูญเสียดังกล่าวมีค่าประมาณ 2-3% ของ Total power input ที่จ่ายให้กับ Compressor

<u>เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)</u>

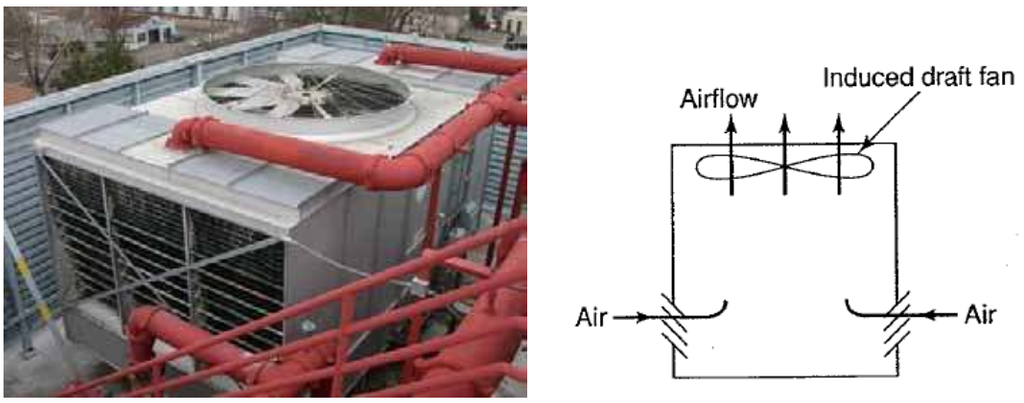
เครื่องส่งลมเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำเย็น ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็นกับอากาศส่งผลให้อากาศที่ผ่านออกไปมีอุณหภูมิต่ำลงและนำไปใช้เพื่อปรับอากาศต่อไป เครื่องส่งลมเย็นเป็นเครื่องชุดคอยล์ทำลมเย็นที่ประกอบด้วย พัดลม คอยล์ทำความเย็น แดมเปอร์ และแผงกรองอากาศรวมอยู่ในตัวเครื่องเดียวกัน เครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่มักจะนิยมเรียกสั้นๆ ว่า AHU (Air Handling Unit) สำหรับเครื่องขนาดเล็ก จะเรียกว่า FCU (Fan Coil Unit) การติดตั้งเครื่องมักจะติดตั้งอยู่ภายในอาคาร โดยถ้าเป็นเครื่องขนาดเล็ก มักจะติดตั้งโดยการแขวนใต้ฝ้าเพดาน ยึดติดกับผนัง ตั้งพื้น หรือซ่อนในฝ้าเพดาน สำหรับเครื่องขนาดใหญ่มักจะจัดให้มีห้องเครื่อง และนำเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่มาตั้งภายในห้องนี้ หากมีการใช้ระบบท่อลมในการส่งลมเย็นก็จะต่อท่อลมมาเข้ากับเครื่อง ท่อลมที่ออกจากเครื่องเรียกว่าท่อลมส่ง (Supply Air Duct) ท่อลมที่นำลมภายในห้องกลับมาที่เครื่อง เรียกว่าท่อลมกลับ (Return Air Duct)

(ก) FCU (Fan Coil Unit)　　(ข) AHU (Air Handling Unit)

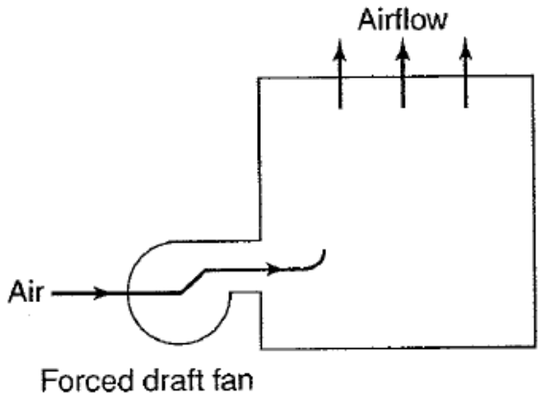
รูปที่ 1-71 เครื่องส่งลมเย็น ในระบบปรับอากาศ

<u>หอผึ่งน้ำ (Cooling tower)</u>

หอทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำหล่อเย็น ซึ่งทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสู่บรรยากาศ ดังนั้นปริมาณของน้ำหล่อเย็นที่ผ่านหอทำความเย็นจะมีปริมาณลดลง จากการระเหยและ Drift Loss จึงต้องมีการเติมน้ำจากแหล่งน้ำภายนอกเข้าสู่ตัวหอทำความเย็นเพื่อรักษาปริมาณน้ำในระบบให้คงที่ การถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่มาจากการระเหยตัวของน้ำควบแน่นปริมาณไม่กี่เปอร์เซนต์สู่บรรยากาศ น้ำจาก Condenser ถูกดึงความร้อนไปเพื่อการระเหย ทำให้น้ำโดยรวมจึงเย็นตัวลง น้ำจาก Condenser จะถูกสูบขึ้นไปด้านบนของหอผึ่งน้ำและสเปรย์เป็นฝอยลงมาภายในหอ โดยด้านในหอผึ่งน้ำ จะมีแผ่นกั้น (Baffle) เรียกชื่อว่า แผ่นกรุ (Fill) เพื่อกระจายน้ำให้เป็นฝอยหยดเล็กๆ เมื่อน้ำกระเซ็นเข้ามาปะทะกับแผ่นกรุ ช่วยปรับปรุงให้การถ่ายเทความร้อนดีขึ้น น้ำเย็นจะถูกเก็บสะสมอยู่ในถาด (Basin) จากนั้นจึงถูกป้อนไหลวนกลับสู่ Condenser



รูปที่ 1-72 Induced draft cooling tower



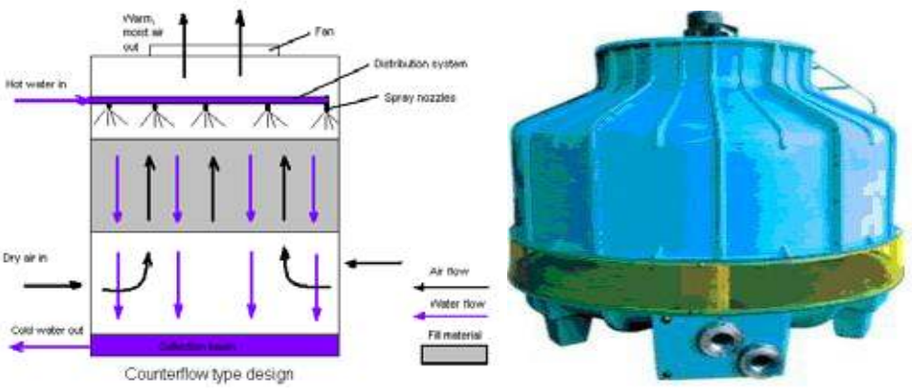
รูปที่ 1-73 การจัดเรียงของ forced และ induced draft fan สำหรับ cooling tower

นอกจากนี้การสูญเสียน้ำเนื่องจากการทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative cooling) เกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ Drift loss จากมีลมเป็นตัวกลางพัดพาน้ำหนีไปกับอากาศ และ Blown down loss จากการระบายทิ้ง (Drain off) และน้ำบางส่วนหายไปจากถาด ซึ่งต้องกระทำปกติประจำเพื่อป้องกันการสะสมตัวของตะกรันเนื่องจากกระบวนการระเหยตัวและ Drift loss เพื่อชดเชยน้ำสูญเสียในส่วนนี้จึงต้องจัดให้มีน้ำเติม (Makeup water) เติมเข้ามาในถาด ควบคุมการทำงานด้วยวาล์วระดับน้ำลูกลอย Mechanical draft towers ใช้พัดลมในการสร้างอัตราการไหลของอากาศสูง ๆ หอผึ่งน้ำชนิด Induced draft fan จะมีพัดลมติดตั้งอยู่ตรงทางออกของ Tower ดังแสดงในรูปที่ 8 แต่ถ้าเป็นชนิด Forced draft fan จะมีการเป่าลมผ่านทะลุเข้าไป ดังแสดงในรูปที่ 1-73

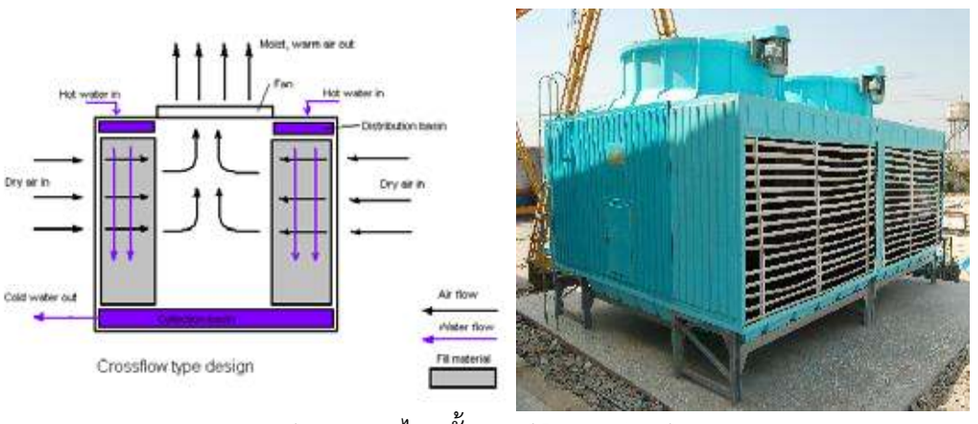
เมื่ออากาศและน้ำเคลื่อนที่ในทิศทางสวนกันขึ้นลง Tower ชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า Counter flow เมื่ออากาศและน้ำเคลื่อนที่สวนทางกันในทิศซ้ายขวาเข้าหากัน Tower ชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า Cross flow รูปที่ 1-74 แสดงให้เห็นความแตกต่างของ Tower ทั้งสองชนิด ในทางปฏิบัติแล้ว ทั้งสองแบบมีข้อดีไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน อย่างไรก็ตามบางครั้ง Cross flow tower จะมีความสูงน้อยกว่า Counter flow tower ในขนาด Capacity เท่ากัน ความสูงน้อยๆ จะดีกว่าหากต้องติดตั้งไว้บริเวณใต้หลังคาคลุม

วัสดุผนัง Tower อาจทำมาจาก Galvanized steel หรือพลาสติก ตัวโครงทำจากเหล็ก ผนังกรุ (Fill) อาจเป็นโลหะหรือพลาสติก แถวแผงกั้น (Baffles) มีชื่อเรียกว่า Eliminators จัดวางอยู่ใกล้กับทางออกของ Tower เพื่อจับและป้องกันการสูญเสียหยดน้ำออกไปจากตัว Tower พิกัด Capacity ของหอผึ่งน้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยของน้ำซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณส่วนผสมของไอน้ำในอากาศแวดล้อม (ความชื้น) มีค่าสูงขึ้น ดังนั้น ยิ่งอุณหภูมิกระเปาะเปียกใน Ambient มีสูงมากเท่าใด หอผึ่งน้ำยิ่งจะมี Capacity น้อยลงมากเท่านั้น

ระหว่างช่วงทำงานของระบบหอผึ่งน้ำ การไหลของน้ำจะเป็นแบบวงจรเปิด และเปิดเผยสู่บรรรยากาศเป็นเหตุให้เกิดคราบ (Scale) และการกัดกร่อนขึ้นกับท่อ การกัดกร่อนและคราบในระบบหอผึ่งน้ำจะไปลดอัตราการถ่ายเทความร้อนลงและทำให้ระบบ Chiller ใช้พลังงานมากขึ้นกว่าเดิมเพื่อให้ได้ Cooling capacity เท่าเดิม สภาพของน้ำหล่อเย็นมีอิทธิพลอย่างชัดเจนต่อการใช้พลังงานของ Chiller การปรับคุณภาพน้ำ (Water treatment) เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของหอผึ่งน้ำ



ก) แบบการไหลสวนทาง (Counter Flow)



ข) แบบการไหลตั้งฉาก (Cross Flow)

รูปที่ 1-74 การไหลของอากาศแบบ Counter Flow และแบบ Cross Flow ในหอผึ่งน้ำ

2.7.2 การบำรุงรักษาทำความสะอาด Condenser ของเครื่องทำความเย็น

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

บริษัทฯ มีชุดทำความเย็นเป็นจำนวนมาก สำหรับทำความเย็นในห้องเย็น 8 ห้อง ชุดทำความเย็นแต่ละชุดประกอบด้วยคอมเพรสเซอร์สำหรับทำความเย็น โดยคอมเพรสเซอร์ที่มีใช้ในโรงงานมีหลายขนาด เช่น ขนาด 25 HP 30 HP และ 35 HP โดยห้องเย็นจะเปิดรับฝากสินค้าเป็นเวลา 24 ชม./วัน และทำงาน 365 วัน/ปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ทีมที่ปรึกษาได้ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำเข้าและออกคอนเดนเซอร์ พบว่ามีอุณหภูมิใกล้เคียงกันประมาณ 32°C ซึ่งในทางปฏิบัติอุณหภูมิน้ำออกคอนเดนเซอร์ควรมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ แสดงว่าคอนเดนเซอร์ของชุดทำความเย็นเกิดการอุดตัน ทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนได้ตามที่ต้องการ มีผลให้ประสิทธิภาพทำความเย็นลดลง และสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก

รูปแสดงคอนเดนเซอร์ของชุดทำความเย็น

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์เป็นประจำ เพื่อทำให้คอนเดนเซอร์สามารถระบายความร้อนได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพทำความเย็นดีขึ้นและประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. สำรวจข้อมูลเชิงเทคนิค ตรวจเช็คสภาพทั่วไปคอนเดนเซอร์ รวมถึงอุณหภูมิน้ำเข้าและออกคอนเดนเซอร์
2. สำรวจข้อมูลด้านราคา โดยตรวจสอบราคาอุปกรณ์และวัสดุที่จำเป็นต้องใช้ในการล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์
3. จัดทำแผนการปรับปรุงร่วมกับคณะทำงานของสถานประกอบการ โดยวางแผนงานในการล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์
4. วิเคราะห์ข้อมูล โดยนำข้อมูลทั้งหมดและแผนงานดังกล่าวมาวิเคราะห์ผลการประหยัดและระยะเวลาคืนทุน และนำเสนอเจ้าของสถานประกอบการเพื่อพิจารณา
5. ดำเนินการตามมาตรการ โดยใช้ช่างของทางบริษัทเองเป็นผู้ล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์

6. ตรวจสอบความถูกต้องของการดำเนินการ โดยตรวจสอบขั้นตอนความถูกต้องในการล้างคอนเดนเซอร์
7. สรุปและประเมินผลการปรับปรุง โดยการวิเคราะห์ผลประหยัดจริงที่เกิดขึ้นทั้งหมด และสรุปผลที่ได้ให้สถานประกอบการ

สภาพหลังปรับปรุง

เมื่อล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์เป็นประจำ เพื่อทำให้คอนเดนเซอร์สามารถระบายความร้อนได้ดี ส่งผลให้ประสิทธิภาพทำความเย็นดีขึ้น และประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น

ระยะเวลาดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	0	บาท
ประหยัดเงินได้	84,658.30	บาท/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	26,210	kWh/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	94,356	MJ/ปี
คิดเป็น toe ได้	2.234	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	ทันที	

รูปแสดงการทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ของชุดทำความเย็น

ข้อเสนอแนะ

หมั่นเช็คอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกของคอนเดนเซอร์ โดยอุณหภูมิของน้ำออกคอนเดนเซอร์ต้องสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำเข้าคอนเดนเซอร์

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงานจาก การบำรุงรักษาทำความสะอาดเครื่องทำความเย็น

ก่อนปรับปรุง วัดกำลังไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ห้องเย็นได้ 176 kW และพบว่ามีภาระการทำงาน 50%

เวลาทำงานใน 1 ปี	= 24 ชม./วัน x 365	วัน/ปี
	= 8,760	ชม./ปี
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	= 176 kW x 8,760 ชม./ปี x 0.5	
	= 770,880	kWh/ปี

หลังล้างคอนเดนเซอร์ วัดกำลังไฟฟ้าได้ 176 kW และพบว่ามีภาระการทำงาน 48.3%

คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้	= 176 kW x 8,760 ชม./ปี x 0.483	
	= 744,670	kWh/ปี
ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้	= 770,880 – 744,670	
	= 26,210	kWh/ปี
คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้	= 26,210 kWh/ปี x 3.6 MJ/kWh	
	= 94,356	MJ/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 26,210 kWh/ปี x 3.23 บาท/kWh	
	= 84,658.30	บาท/ปี
คิดเป็น toe	= (26,210 kWh/ปี) x (3.6 / 42,244 toe/kWh)	
	= 2.234	toe/ปี

การลงทุน

เงินลงทุน	= 0	บาท
เงินที่ประหยัดได้	= 84,658.30	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	= ทันที	

2.7.3 การปรับเพิ่มอุณหภูมิการผลิตน้ำเย็น

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

สถานประกอบการมีการใช้ระบบทำน้ำเย็นจาก Chiller ขนาด 11 kW จำนวน 1 เครื่อง เพื่อระบายความร้อนให้กับเครื่องเป่าพลาสติกจำนวน 7 เครื่องโดยการตั้งอุณหภูมิใช้งานของ Chiller ไว้ที่ 10 °C เพื่อนำไปใช้กับเครื่องเป่าพลาสติก

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

จากการตรวจสอบมีการตั้งอุณหภูมิใช้งานของ Chiller ไว้ที่ 10 °C ทำให้ Compressor ทำงานเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ใช้เวลา 40 นาที และหยุดการทำงานใช้เวลา 20 นาที และจากการปรึกษากับทีมอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการ ได้ข้อสรุปร่วมกันว่า อุณหภูมิน้ำเย็นน่าจะสามารถปรับเพิ่มอุณหภูมิได้

รูป Chiller ขนาด 11 kW

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

จากแนวคิดดังกล่าว ทางทีมงานอนุรักษ์พลังงานจึงได้มีแนวคิดปรับตั้งอุณหภูมิของระบบทำน้ำเย็นของ Chiller เป็น 19 °C เพื่อทำให้ Compressor ทำงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงน้อยลง จากแนวคิดดังกล่าวจึงนำไปสู่การทดลองปฏิบัติงานจริง โดยดำเนินการควบคู่ไปกับการตรวจวัดการใช้พลังไฟฟ้าของเครื่อง Chiller เพื่อนำไปสู่การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานที่ได้รับ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อจะหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

1. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของ Chiller ก่อนปรับเพิ่มอุณหภูมิ
2. ติดตาม และประเมินผลหลังปรับปรุง
3. ตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของ Chiller หลังปรับเพิ่มอุณหภูมิ
4. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากได้ทดลองดำเนินการตามรายละเอียดในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วนั้น ทางทีมงานจึงปรับตั้งอุณหภูมิของระบบทำน้ำเย็นของ Chiller เป็น 19 °C ทำให้ Compressor ทำงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงใช้เวลา 30 นาที และหยุดการทำงานใช้เวลา 30 นาที เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

รูปการปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นของ Chiller หลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

สำหรับมาตรการนี้ พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จะคำนวณจากผลต่างของค่าพลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อน และหลังดำเนินการปรับปรุง ของ Chiller ขนาด 11 kW จำนวน 1 เครื่อง โดยมีการใช้งาน ดังนี้

ก่อนปรับปรุง

กรณีที่มีการปรับอุณหภูมิที่ 10 °C ทำให้ Compressor ทำงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงใช้เวลา 40 นาที และหยุดการทำงานใช้เวลา 20 นาที เฉลี่ยการทำงานในลักษณะนี้ 300 วันต่อปี

พลังงานไฟฟ้าตรวจวัดเครื่อง Chiller เฉลี่ย = 11 x (40/60) x 24 x 300

= 52,800 kWh/ปี

หลังปรับปรุง

กรณีที่มีการปรับอุณหภูมิที่ 19 °C ทำให้ Compressor ทำงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงใช้เวลา 30 นาที และหยุดการทำงานใช้เวลา 30 นาที เฉลี่ยการทำงานในลักษณะนี้ 300 วันต่อปี

พลังไฟฟ้าตรวจวัดเครื่อง Chiller เฉลี่ย	=	11 x (30/60) x 24 x 300	
รวมพลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	39,600	kW/ปี
กำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย	=	52,800 - 39,600	kW/ปี
	=	13,200	kW/ปี
	=	1.12	toe/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.23 บาท/หน่วย			
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	13,200 x 3.23	
	=	42,636	บาท/ปี

อนึ่ง การดำเนินการตามมาตรการนี้ นอกเหนือจากผลประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าตามที่ได้แสดงการคำนวณข้างต้นแล้วนั้น ยังมีผลประหยัดทางอ้อมที่โรงงานจะได้รับ คือการยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์ ขับ Compressor และอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ของเครื่อง Chiller ได้อีกด้วย

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน	การปรับเพิ่มอุณหภูมิการผลิตน้ำเย็น	
เงินลงทุน	-	บาท
ผลที่ประหยัดได้	13,200	kWh/ปี
	1.12	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	42,636	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	

2.7.4 การปรับปรุงระบบฉนวนของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงน้ำแข็งมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ถึงเดือนเมษายน 2551 ประมาณ 3,490,944.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 9,466,262 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.70 บาทต่อหน่วย โดยหลักๆ จะใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ทำความเย็นเพื่อผลิตน้ำแข็ง ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากยังมีอุปกรณ์ในหลายๆ ส่วนที่ยังไม่ได้ทำการหุ้มฉนวนและในบางส่วนเสื่อมสภาพ

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่าอุปกรณ์ส่งจ่ายสารทำความเย็นส่วนมากยังไม่มีการหุ้มฉนวนท่อและอุปกรณ์ ทำให้สูญเสียพลังงาน ทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการผลิตน้ำเย็นโดยเปล่าประโยชน์ หากมีการหุ้มฉนวนก็จะเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายได้

รูปแสดงท่อนำสารทำความเย็นไม่ได้หุ้มฉนวน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการร่วมกันพิจารณาเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นของคณะทำงานและการให้คำปรึกษาของทีมงานที่ปรึกษา เพื่อหามาตรการอนุรักษ์พลังงานได้มีการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานการหุ้มฉนวนท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบส่งจ่ายสารทำความเย็น โดยการหุ้มฉนวนท่อน้ำเย็นและอุปกรณ์ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า

รูปแสดงการหุ้มฉนวนท่อนำสารทำความเย็น หลังการปรับปรุง

สภาพหลังปรับปรุง

หลังการปรับปรุงโดยการหุ้มฉนวนท่อ และอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบส่งจ่ายสารทำความเย็น เพื่อลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า สามารถทำให้ประหยัดพลังงานลงได้ดังวิธีคำนวณผลประหยัดที่แสดงดังนี้

ระยะเวลาของการดำเนินการ	4	สัปดาห์
เงินลงทุนประมาณ	31,000	บาท
ผลประหยัดที่ได้	22,422.10	บาท/ปี
พลังงานที่ประหยัดได้	8,304.48	kWh./ปี
คิดเป็น	0.7076	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.38	ปี

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	การคำนวณ	ค่าที่ได้
ข้อมูล				
ขนาดท่อ norminal diameter		m		0.075
ท่อตรง	Le	m		50.00
อุณหภูมิน้ำเย็นในท่อ	T_b	°C		-5.00
อุณหภูมิผิวท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน	T_S	°C		0.00
อุณหภูมิผิวฉนวน	T_2	°C		24.00
เวลาทำงาน	wh	h/y		8,760
เลือกใช้ความหนาฉนวน	ti	m		0.0250
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	฿/kWh		2.70
ค่า kW/TR ของเครื่องทำความเย็น	kW/TR	kW/TR		1.10
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	Ta	°C		37.0
เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ	do	m		0.0800
เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ	di	m		0.0750
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับผิวท่อ	h_a	$W/(m^2°C)$		8.00
ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างน้ำยากับผิวท่อ	h_W	$W/(m^2°C)$		10,500.00
ค่าการนำความร้อนของเหล็ก	k_S	$W/(m°C)$		34.00
ค่าการนำความร้อนของฉนวน	ki	$W/(m°C)$	$ki = 0.0314 + 0.00016 \times (T_2 + T_S)/2$	0.03332
การคำนวณ				
ค่าความต้านทานความร้อนของอากาศ	Ra		$Ra = 1 / [2 \times pi \times (do / 2) \times Le \times h_a]$	0.01000
ค่าความต้านทานความร้อนของเหล็ก	Rs		$Rs = [1 / (2 \times pi \times Le \times ks)] \times \ln(do/di)$	0.00001
ค่าความต้านทานความร้อนของน้ำยา	Rw		$Rw = 1 / [2 \times pi \times (di / 2) \times Le \times h_W]$	0.00001
ค่าความต้านทานความร้อนของฉนวน	Ri		$Ri = [1 / (2 \times pi \times Le \times ki)] \times \ln[(do + ti)/ do]$	0.02600
ค่าความต้านทานความร้อนรวมกรณีไม่ติดตั้งฉนวน	Rt		$Rt = Ra + Rs + Rw$	0.01000
ค่าความต้านทานความร้อนรวมกรณีติดตั้งฉนวน	Rti		$Rt = Ra + Rs + Rw + Ri$	0.03600
ความร้อนที่สูญเสียจากท่อกรณีไม่หุ้มฉนวน	Q	kW	$Q = [(Ta - Tb) / Rt]/1000$	4.20
ความร้อนที่สูญเสียจากท่อกรณีหุ้มฉนวน	Qi	kW	$Qi = [(Ta - Tb) / Rti]/1000$	1.167
อุณหภูมิผิวของฉนวน	Twi	°C	$Twi = Ta - (Qi \times 1{,}000 \times Ra)$	25.3
พลังงานความร้อนที่ประหยัดได้	Qs	TR	$Qs = (Q - Qi)/3.517$	0.862
พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	Ep	kW	$Ep = kW/TR \times Qs$	0.948
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	Es	kWh/y	$Es = Ep \times wh$	8,304.48
ราคาพลังงานที่ประหยัดได้	Ec	฿/y	$Ec = Es \times C_E$	22,422.10
คิดเป็นการลดใช้พลังงาน		Toe/y	0.71	0.71

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 8,304.48 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

เทียบเท่าตันน้ำมันดิบ = $8,304.48 \times 85.21 \times 10^{-6}$

= 0.7076 toe / ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 0.7076 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี x 2.70 บาท/ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)

= 22,422.10 บาท/ปี

การลงทุน

ชุดควบคุมอุณหภูมิ จำนวน 7 ชุด = 31,000 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 22,422.10 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = 1.38 ปี

2.7.5 การเปลี่ยนเครื่องอัดน้ำยาเป็นแบบประสิทธิภาพสูง

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม 2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2550 ประมาณ 2,423,580 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 5,479,965 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.26 บาทต่อหน่วย โดยมีการผลิต 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการตรวจวัดของทีมงานอนุรักษ์พลังงานพบว่าโรงงาน มีการติดตั้งเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นแบบลูกสูบขนาด 10 แรงม้า จำนวน 3 เครื่อง ไว้ใช้งานที่บริเวณห้องเย็น มีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อทำความเย็นในการเก็บน้ำแข็งหลอด เนื่องจากเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอายุการใช้งานมากและมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ จากข้อมูลการตรวจวัดสามารถสรุปได้ ดังนี้

เครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นแบบลูกสูบ ขนาด	10	แรงม้า
ขนาดกำลังไฟฟ้าที่วัดได้	8.14	kW

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เนื่องจากเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นแบบลูกสูบ ขนาด 10 แรงม้า จำนวน 3 เครื่อง มีอายุการใช้งานมากและมีประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ ทั้งนี้หากมีการดำเนินการเปลี่ยนเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นตัวใหม่อย่างเหมาะสมแล้ว คาดว่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น ซึ่งเป็นผลให้ลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับกระบวนการนี้ลงได้

รูปแสดงเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นที่ใช้กับห้องเย็นและการตรวจวัดทางไฟฟ้า

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ทำการติดตั้งเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีขนาดกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ 4.57 kW แทนที่เครื่องเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นแบบลูกสูบที่ติดตั้งใช้อยู่ในปัจจุบันที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ 8.14 kW ทั้งนี้สามารถประเมินผลการประหยัดได้ดังนี้

ระยะเวลาการดำเนินการ	1	วัน
เงินลงทุน	228,000	บาท
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	56,291.76	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี (คิดเป็น 4.797 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	127,219	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.79	ปี

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการเปลี่ยนเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็น

กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นตัวเก่า วัดได้ 8.14 kW

กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นตัวใหม่ วัดได้ 4.57 kW

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อเครื่อง	= 8.14-4.57 = 3.57 kW	
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงรวม	= กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อเครื่อง x จำนวนเครื่อง = 3.57 x 3 = 10.71 kW	
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	= กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง x ชั่วโมงการทำงาน x สัดส่วนการทำงาน	
	= 10.71 kW x 24 ชม./วัน x 365 วัน/ปี x 0.6	
	= 56,291.76 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี	
คิดเป็น	= 56,291.76 x 85.21 x 10^{-6}	toe/ปี
	= 4.797	toe/ปี
คิดเป็นเงิน	= 56,291.76 x 2.26	บาท/ปี
	= 127,219	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าเครื่องอัดน้ำยาทำความเย็นจำนวน 3 เครื่อง พร้อมติดตั้ง	228,000	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	127,219	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.79	ปี

2.7.6 การลดการใช้งานพัดลมในหอผึ่งน้ำ (Cooling tower)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีการติดตั้ง Cooling Tower ขนาด 80 ตันจำนวน 2 ชุด เพื่อใช้ระบายความร้อนสำหรับระบบหล่อเย็นในกระบวนการขึ้นรูปยางจำนวน 8 เครื่อง จากการสำรวจของทีมงานการใช้พัดลม Cooling Tower เพื่อระบายความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นของเครื่องจักร มีการทำงานวันละ 16 ชั่วโมง 300 วันต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ทางโรงงานใช้งาน Cooling Tower เพื่อใช้หล่อเย็นในกระบวนการผลิตโดย Cooling tower ติดตั้งพัดลมขนาด 3 HP (2.30 kW) จำนวน 2 ชุด กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 1.751 kW ต่อชุด จากการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเข้า 31 $^{\circ}$C และอุณหภูมิน้ำออก 30 $^{\circ}$C พบว่าอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมาก เครื่องขึ้นรูปยางทำงานได้ปกติไม่มีปัญหาจากการระบายความร้อน จึงสามารถลดการใช้พัดลม Cooling Tower ได้ 1 ตัวเป็นเวลา 16 ชั่วโมง/วัน (8.00 น. - 24.00 น.)

แนวความคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

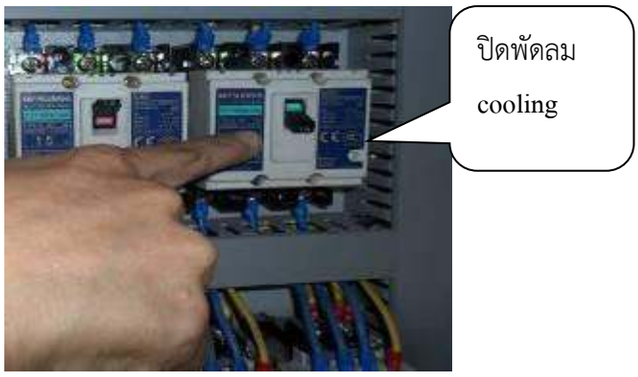
เนื่องจากอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก Cooling Tower ไม่ต่างกันมาก จึงลดการใช้งานพัดลม Cooling Tower ลงได้ ขั้นตอนการปรับปรุงดังนี้

1. สำรวจการใช้งานของ Cooling Tower
2. ระดมความคิดหาแนวทางการปรับปรุง
3. วิเคราะห์ศักยรูปการประหยัดพลังงาน
4. ดำเนินการและประเมินผล

รูปแสดงการตรวจวัดพลังไฟฟ้าที่ใช้และอุณหภูมิ ก่อนปรับปรุง

สภาพหลังการปรับปรุง

ปิดพัดลม Cooling Tower 1 ชุด โดยมอบหมายให้พนักงานแผนกขึ้นรูปเป็นผู้รับผิดชอบ สามารถลดการใช้งานลงได้ 16 ชั่วโมง/วัน (8.00 น.- 24.00 น.) 1 เครื่องเป็นอย่างน้อย จากการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเข้า 32.6 $^{\circ}$C และอุณหภูมิน้ำออก 31.7 $^{\circ}$C พบว่าไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องขึ้นรูปยาง และอาจจะพิจารณาขยายผลปิดพัดลม cooling tower 2 เครื่อง ในช่วงกลางคืนและช่วงฤดูหนาว



รูปแสดงการปิดสวิตช์ควบคุม Cooling Tower หลังปรับปรุง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ปิดการใช้งานพัดลม Cooling Tower เป็นเวลาประมาณ 16 ชั่วโมงสามารถลดการใช้พลังงานได้ ดังนี้

ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	=	3.43	บาท/kWh
กำลังไฟฟ้าพัดลม Cooling Tower	=	1.751	kW
ประหยัดพลังงานได้	=	1.751 kW x 16 ชั่วโมง/วัน x 300 วัน/ปี	
	=	8,404.80	kWh/ปี
คิดเทียบเท่าน้ำมันดิบ 8,404.80 x 85.21/1000000	=	0.716	toe/ปี

ด้านค่าใช้จ่ายที่ลดลง

คิดเป็นผลประหยัด	=	ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลง x ราคาค่าไฟฟ้า	
	=	8,404.80 x 3.43	
	=	28,828.46	บาท/ปี

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ช่วงฤดูหนาวอาจจะลดเวลาทำงานได้เพิ่มเติม

สรุปมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน

เงินลงทุน	-	บาท
พลังงานที่ประหยัด	8,404.80	kWh/ปี
ผลประหยัดที่ได้	28,828.46	บาท/ปี
คิดเป็น	0.716	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	-	ปี

2.7.7 การบำรุงรักษาโดยการทำความสะอาดหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานมีเครื่องทำความเย็นที่ใช้สำหรับเครื่อง Freezer เป็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้ Cooling Tower จำนวน 4 ชุด สำหรับเครื่องทำความเย็นขนาด 30 HP (22 kW) จำนวน 13 ชุด ทำงานวันละ 16 ชั่วโมง 250 วันต่อปี

ปัญหาของระบบก่อนการปรับปรุง

จากการสำรวจพบว่าจากการใช้งานของระบบระบายความร้อนที่ Cooling Tower นั้นถูกใช้งานมาเป็นเวลานาน ไม่ได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ ทำให้การระบายความร้อนทิ้งไม่เต็มประสิทธิภาพ ในส่วนของ Condenser ทุก Unit และไม่เคยทำความสะอาดท่อน้ำ ทำให้ตะกรันตกค้างใน Condenser เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ลดประสิทธิภาพของการระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็น

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

ทีมงานอนุรักษ์พลังงานมีความเห็นว่าการทำความสะอาดบริเวณ Cooling Tower และแก้ไขระบบสเปรย์น้ำเพื่อให้การกระจ่ายน้ำดีขึ้น และจะช่วยลดภาระการทำงานของเครื่องทำความเย็นได้อีกทางหนึ่ง (จากการตรวจวัดใช้พลังงานไฟฟ้า 21.3 kW) ทีมงานอนุรักษ์พลังงานจึงมีแนวคิดล้างทำความสะอาด Cooling Tower ทุกๆ เดือน และให้มีผู้รับผิดชอบ จากแนวคิดนี้เพื่อนำไปสู่การคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานที่ได้รับ

รูปแสดง Cooling Tower

รูป Filler ของ Cooling Tower (ก่อนการปรับปรุง)

สภาพหลังการปรับปรุง

หลังจากได้ทดลองดำเนินการตามรายละเอียดในหัวข้อที่ผ่านมาแล้วนั้น ทางทีมงานทำการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นทั้งหมด ซึ่งแต่ละเครื่องใช้พลังงานไม่เท่ากัน (ใกล้เคียงกัน)

รูปแสดงการตรวจเช็คอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและการทำความสะอาด (หลังการปรับปรุง)

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากการทำความสะอาดและแก้ไขระบบสเปรย์น้ำแล้วส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นลดลงจากเดิม มีอุณหภูมิ 29°C ลดลงเป็น 24 °C และค่าความแตกต่างอุณหภูมิที่สูงขึ้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำลง ซึ่งอาจเนื่องมาจากการอุดตันของคอนเดนเซอร์ภายในเครื่องทำน้ำเย็น

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน Compressor ก่อนปรับปรุง			
จำนวน Batch ที่ทำงานทั้งหมดต่อปี	=	804.00	Batch/ปี
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	=	21.30	kW
เวลาที่ใช้ในการ Freeze เฉลี่ยต่อ Batch	=	14.3	ชั่วโมง/ Batch
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	804.00 x 21.30 x 14.3	
	=	244,890.36	kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน Compressor หลังปรับปรุง			
จำนวน Batch ที่ทำงานทั้งหมดต่อปี	=	804.00 Batch/ปี	
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	=	20.50	kW
เวลาที่ใช้ในการ Freeze เฉลี่ยต่อ Batch	=	14.3	ชั่วโมง/ Batch
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง	=	804.00 x 20.50 x 14.3	
	=	235,692.60	kWh/ปี
สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าไปได้	=	244,890.36 – 235,692.60	
	=	9,197.76	kWh/ปี
	=	33,111.94	MJ/ปี
	=	0.784	toe/ปี
ค่าไฟฟ้า 1 kWh = 3.62 บาท	=	9,197.76 x 3.62	
ประมาณการประหยัดพลังงาน	=	33,295.89	บาท/ปี
การลงทุนทำความสะอาด Cooling Tower	=	25,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	25,000.00 / 33,295.89	
	=	0.75	ปี

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงาน การบำรุงรักษาทำความสะอาดหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

เงินลงทุน	25,000.00	บาท
ผลที่ประหยัดได้	9,197.76	kWh/ปี
	0.784	toe/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	33,295.89	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.75	ปี

2.7.8 การปรับปรุงสมรรถนะของหอผึ่งน้ำ (Cooling tower)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

โรงงานน้ำแข็งใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในช่วงระหว่างเดือนธันวาคม 2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน 2550 ประมาณ 2,423,580 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าประมาณ 5,479,965 บาทต่อปี มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.26 บาทต่อหน่วย โดยมีการผลิต 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากการสำรวจของทีมงานอนุรักษ์พลังงานพบว่า โรงงานติดตั้งหอผึ่งน้ำจำนวน 8 เครื่อง ทั้งนี้มีหอผึ่งน้ำเบอร์ 2 ขนาด 175 ตันความเย็น ไว้ใช้งานร่วมกับเครื่องอัดน้ำยาขนาด 150 แรงม้า มีชั่วโมงการทำงานตลอดช่วง OFF-PEAK เพื่อทำความเย็นในการผลิตน้ำแข็งหลอด ปัจจุบันทางโรงงานมีการติดตั้งใบพัดแบบอลูมิเนียมไว้ใช้เพื่อการระบายความร้อนสำหรับหอผึ่งน้ำดังกล่าว เนื่องจากใบพัดแบบนี้มีน้ำหนักมากและมีคุณสมบัติค่าความเฉื่อยต้านทานการหมุนสูง ทำให้มอเตอร์ขับใบพัดใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินความจำเป็น ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์
จากข้อมูลการตรวจวัดสามารถสรุปได้ ดังนี้

- มอเตอร์แกนยาวแบบขับตรงชนิด 10 poles ขนาด 5.5 แรงม้า
- ขนาดกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ 3.10 kW

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เนื่องจากทางโรงงานมีการติดตั้งใบพัดแบบอลูมิเนียมไว้ใช้เพื่อการระบายความร้อนสำหรับหอผึ่งน้ำเบอร์ 2 ขนาด 175 ตันความเย็น ทั้งนี้ใบพัดแบบนี้มีน้ำหนักมากและมีคุณสมบัติค่าความเฉื่อยต้านทานการหมุนสูง ทำให้มอเตอร์ขับใบพัดที่ใช้ในกระบวนการใช้กำลังไฟฟ้ามากเกินความจำเป็น ทั้งนี้หากมีการปรับเปลี่ยนเป็นใบพัดแบบไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีน้ำหนักเบาและมีคุณสมบัติความเฉื่อยต้านทานการหมุนต่ำกว่า จะเป็นผลให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ขับใบพัดลดลงได้ ซึ่งเป็นผลให้ลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับกระบวนการนี้ลงได้

รูปแสดงหอผึ่งน้ำและใบพัดที่ใช้งาน

สภาพหลังปรับปรุง

โรงงานได้ทำการปรับเปลี่ยนเป็นใบพัดแบบไฟเบอร์กลาสแล้ว พบว่าสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์ขับใบพัดขนาด 5.5 แรงม้าลงได้ ซึ่งจากการวัดพบว่ากำลังไฟฟ้าลดลงเป็น 2.37 kW โดยไม่มีผลกระทบต่อระบบการผลิตน้ำแข็งหลอด ทั้งนี้สามารถประเมินผลการประหยัดได้ ดังนี้

ระยะเวลาการดำเนินการ	1	วัน
เงินลงทุน	12,000	บาท
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	3,909.9	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี (คิดเป็น 0.333 toe/ปี)
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	8,836	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.36	ปี

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการตรวจสอบและทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นตามกำหนดเวลา เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์อยู่เสมอ จะเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงจากการเปลี่ยนใบพัดหอผึ่งน้ำเป็นแบบไฟเบอร์กลาส

กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขับใบพัดก่อนปรับปรุง วัดได้ 3.10 kW

กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ขับใบพัดหลังปรับปรุง วัดได้ 2.37 kW

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	= กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง x ชั่วโมงการทำงาน	
	= (3.10 - 2.37) kW x 103 ชม./wk x 52 wk/ปี	
	= 3,909.9	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
คิดเป็น	= 3,909.9 x 85.21 x 10^{-6}	toe/ปี
	= 0.333	toe/ปี
คิดเป็นเงิน	= 3,909.9 x 2.26	บาท/ปี
	= 8,836	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าดำเนินการปรับปรุง	12,000	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	8,836	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.36	ปี

บทที่ 2
ขั้นตอนการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

การตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน เป็นการตรวจสอบว่าระบบการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม เป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมายหรือไม่ โดยในกระบวนการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน มีคำสำคัญที่ใช้และคำจำกัดความที่ต้องทราบ ดังนี้

คำ	นิยาม
เกณฑ์การตรวจสอบ (Audit Criteria)	ประเด็นที่พิจารณาในการตรวจประเมินตามข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงาน ได้แก่ นโยบายอนุรักษ์พลังงาน เป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน วิธีการจัดการพลังงาน เป็นต้น
หลักฐานที่ได้จากการตรวจประเมิน (Audit Evidence)	บันทึก ข้อความหรือข้อมูลที่แสดงไว้ที่เกี่ยวข้องกับข้อกำหนดการตรวจประเมินและสามารถตรวจสอบได้
สิ่งที่พบเห็นจากการตรวจประเมิน (Audit Finding)	ผลที่ได้จากการประเมินหลักฐานการตรวจประเมินเทียบกับข้อกำหนดการตรวจประเมิน
ความสอดคล้อง (Conformity)	การปฏิบัติที่เป็นไปตามข้อกำหนดระบบการจัดการพลังงาน หรือเป็นไปตามระเบียบปฏิบัติ หรือเอกสารที่เกี่ยวข้องที่กำหนดไว้
ความไม่สอดคล้อง (Non-conformity)	การปฏิบัติที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดระบบการจัดการพลังงานหรือไม่เป็นไปตามระเบียบปฏิบัติ หรือเอกสารที่เกี่ยวข้องที่กำหนดไว้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้ 1. ประเภทร้ายแรง (Major) หมายถึง การไม่มีเอกสารในการดำเนินการจัดการพลังงาน หรือไม่มีหลักฐานการปฏิบัติจริงตามข้อใดข้อหนึ่งของวิธีการจัดการพลังงานที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง 2. ประเภทไม่ร้ายแรง (Minor) หมายถึง ความไม่สอดคล้องของเอกสารขณะที่ปฏิบัติจริง ความไม่สอดคล้องหรือความคลาดเคลื่อนในเชิงปฏิบัติ
ข้อสรุปจากการตรวจสอบ (Audit Conclusion)	ผลสัมฤทธิ์ของการตรวจสอบ ภายหลังจากการพิจารณาเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบและสิ่งที่พบจากการตรวจสอบ (Audit Finding)
ข้อคิดเห็นการปรับปรุง (Observation)	สภาวะหรือการทำงานที่มีแนวโน้มจะส่งผลต่อการปฏิบัติงานที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด หรือข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงกระบวนการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ขั้นตอนการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

การตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามกฎหมาย ประกอบด้วยการดำเนินงานใน 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่

1) **การเตรียมการ** หรือการเตรียมความพร้อมก่อนการตรวจสอบ ประกอบด้วย การแต่งตั้งทีมผู้ตรวจสอบ การจัดทำแผนงานและกำหนดการการตรวจสอบ และการจัดเตรียมรายการตรวจสอบ
2) **การตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน** เป็นการตรวจสอบรายงานการจัดการพลังงานในเบื้องต้น และการลงพื้นที่เพื่อตรวจสอบฯ ณ โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม
3) **การสรุปผลและการจัดทำรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน** เป็นการนำผลที่ได้จากการตรวจสอบเทียบกับข้อกำหนด แล้วทำเป็นข้อสรุป และจัดส่งให้โรงงานควบคุมและอาคารควบคุม เพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป

ขั้นตอนการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

1. การแต่งตั้งทีมผู้ตรวจสอบ

กฎกระทรวงกำหนดคุณสมบัติของผู้ขอรับใบอนุญาต หลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขการขอรับใบอนุญาต และการอนุญาตตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน พ.ศ. 2555 ข้อ 6 กำหนดว่าการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมแต่ละแห่ง ต้องดำเนินการโดยผู้ชำนาญการอย่างน้อย 1 คน และผู้ช่วยผู้ชำนาญการอย่างน้อย 2 คน

ดังนั้น ในการกำหนดหรือแต่งตั้งผู้ตรวจสอบฯ เพื่อดำเนินการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานในโรงงานและอาคารแต่ละแห่ง ต้องคำนึงถึงข้อกำหนดนี้เป็นหลัก

นอกจากนี้ในการแต่งตั้ง หรือมอบหมายผู้ตรวจสอบ เพื่อดำเนินการตรวจสอบในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมแต่ละแห่ง ควรพิจารณาคุณสมบัติต่อไปนี้ประกอบด้วย

- ความเข้าใจกับหลักเกณฑ์ และขั้นตอนการดำเนินการจัดการพลังงาน
- ความรู้ในวิธีการตรวจสอบ
- ความรู้ทางเทคนิคในกิจกรรมที่จะดำเนินการตรวจสอบ
- ความสามารถในการสื่อสาร
- ความเป็นอิสระ ปราศจากผลประโยชน์ที่อาจทำให้ปฏิบัติตนอย่างไม่เป็นกลาง ไม่น่าเชื่อถือ หรืออย่างไม่เสมอภาค
- ผู้ตรวจสอบต้องไม่เคยให้คำปรึกษา หรือเป็นที่ปรึกษาให้แก่โรงงาน/อาคารวบคุมที่เข้าไปดำเนินการตรวจสอบ ภายในระยะเวลา 2 ปีที่ผ่านมา ซึ่งอาจมีผลต่อกระบวนการและการตัดสินความสอดคล้อง/ไม่สอดคล้องได้

บทบาทในการตรวจสอบ

<u>ผู้ชำนาญการ</u>

- บริหารจัดการกระบวนการตรวจสอบ
- คัดเลือกผู้ตรวจสอบ
- วางแผนและควบคุมให้เป็นไปตามแผน
- มอบหมายหน้าที่ความรับผิดชอบ
- เป็นตัวแทนของทีม
- รายงานผลลูกค้าทราบ

<u>ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ</u>

- ปฏิบัติตามคำสั่งของผู้ชำนาญการ
- ทวนสอบบันทึกต่างๆ
- วิเคราะห์และรายงานผลต่อผู้ชำนาญการ

2. การจัดทำแผนและกำหนดการตรวจประเมิน

ผู้ตรวจสอบฯ ต้องวางแผนการตรวจสอบ โดยแผนการตรวจสอบจะต้องชัดเจน ซึ่งอาจประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

1) ชื่อโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม ทำเลที่ตั้ง วันที่ ระยะเวลาและช่วงเวลาที่จะเข้าดำเนินการตรวจสอบ ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบ อาจขึ้นอยู่กับขนาดขององค์กร จำนวนพนักงาน และความซับซ้อนของกระบวนการการทำงาน
2) ชื่อผู้ตรวจสอบ
3) วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบ
4) เกณฑ์การตรวจประเมิน และเอกสารอ้างอิงต่างๆ

แผนการตรวจสอบ ควรจัดทำขึ้นเป็นลายลักษณ์อักษร และสื่อสารแก่ผู้เกี่ยวข้องทราบ ได้แก่ โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม และทีมผู้ตรวจสอบ

3. การจัดเตรียมรายการตรวจสอบ

ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ข้อ 26 กำหนดให้ผู้ตรวจสอบฯ จัดทำรายการตรวจสอบฯ ในการดำเนินการตามข้อกำหนด โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ซึ่งประกอบด้วย

- ชื่อรายการตรวจประเมิน
- ผลการตรวจประเมินว่ามีหรือไม่มีหลักฐาน ในกรณีที่มีหลักฐานให้ระบุชื่อของหลักฐาน ความสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด รวมถึงกำหนดประเภทของความไม่สอดคล้องในกรณีร้ายแรง หรือไม่ร้ายแรง
- ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงวิธีการจัดการพลังงานแต่ละขั้นตอนให้สอดคล้องตามข้อกำหนด

ประโยชน์ของรายการตรวจสอบ (Checklist)

- เพื่อให้มั่นใจว่าครอบคลุมข้อกำหนดทั้งหมด
- เพื่อให้มันใจว่าครอบคลุมวัตถุประสงค์และขอบเขตของการตรวจสอบ
- รู้ประเด็นสำคัญที่ต้องตรวจมีอะไรบ้าง
- ช่วยให้ผู้ตรวจสอบเข้าใจในระบบเอกสารขององค์กรที่จะเข้าไปตรวจ
- เป็นหลักฐานที่ใช้ประกอบการทำรายงานผลการตรวจสอบ
- สามารถส่งให้องค์กรที่ถูกตรวจสอบได้เตรียมตัว
- เพื่อคุมเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบ

4. การตรวจสอบรายงานการจัดการพลังงาน

การตรวจสอบรายงานฯ ในขั้นตอนนี้ เกิดขึ้นเมื่อโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมได้จัดส่งรายงานการจัดการพลังงานมายังผู้ตรวจสอบฯ เพื่อให้ตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์ เป็นการพิจารณาความถูกต้องและครบถ้วนของเอกสารและหลักฐานที่ปรากฏตามข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงานในเอกสาร โดยประเมินว่ารายงานดังกล่าวมีความถูกต้องและครบถ้วนของเอกสารตามข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงานหรือไม่ ข้อกำหนดดังกล่าว ได้แก่

(1) การตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน
(2) การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น
(กรณีที่เป็นการนำวิธีการจัดการพลังงานมาใช้เป็นครั้งแรก)
(3) การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน
(4) การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน
(5) การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน
(6) การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน
(7) มีการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน
(8) การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

ในกรณีที่พบว่าการปฏิบัติไม่เป็นไปตามข้อกำหนดระบบการจัดการพลังงาน หรือไม่เป็นไปตามระเบียบปฏิบัติหรือเอกสารที่เกี่ยวข้องที่กำหนดไว้ ให้ถือว่าการจัดการพลังงานไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงาน ซึ่งต้องพิจารณาว่าเป็นความไม่สอดคล้องในระดับ “รุนแรง (Major)” หรือระดับ “ไม่รุนแรง (Minor)” ตามที่กำหนดในข้อ 24 (3) ของประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552

ทั้งนี้ ผลการพิจารณาในขั้นตอนนี้ยัง “ไม่ถือเป็นที่สุด” โดยให้นำไปประกอบการดำเนินงานตรวจสอบ ณ โรงงานควบคุมและอาคารควบคุมต่อไป

5. การตรวจสอบ ณ โรงงานควบคุม/อาคารควบคุม

ภายหลังจากการตรวจสอบรายงานการจัดการพลังงานแล้ว ผู้ตรวจสอบจะต้องดำเนินการตรวจสอบระบบการจัดการพลังงาน ณ โรงงาน/อาคารควบคุม เพื่อพิจาณาความถูกต้อง และครบถ้วนของเอกสารและหลักฐาน ซึ่งรวมถึงการสัมภาษณ์หรือสอบถามบุคลากรที่เกี่ยวข้องตามข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงาน กิจกรรมการตรวจสอบและรับรอง ณ โรงงานควบคุม/อาคารควบคุม ประกอบด้วย

การเปิดประชุม (Opening Meeting) มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- เพื่อแนะนำคณะผู้ตรวจสอบ
- เพื่อยืนยันการรักษาความลับ
- เพื่อทบทวนวัตถุประสงค์และขอบข่ายของการตรวจสอบ
- เพื่ออธิบายขั้นตอนและวิธีการตรวจสอบ
- เพื่อยืนยันกำหนดการตรวจสอบ

การดำเนินการตรวจสอบ เป็นการเก็บรวบรวม และทวนสอบข้อมูลในระหว่างการตรวจประเมิน เพื่อพิจารณาความถูกต้องและความครบถ้วนของเอกสารและหลักฐาน วิธีการรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยการสัมภาษณ์ การสังเกต การทบทวนเอกสารและบันทึกที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างแหล่งของข้อมูลในระหว่างการตรวจสอบ

1. การสัมภาษณ์ เป็นหนึ่งในเครื่องมือสำคัญในการเก็บข้อมูล ผู้ตรวจประเมินควรพิจารณาสิ่งต่อไปนี้
    - ควรสัมภาษณ์บุคคลจากระดับ และหน่วยงานที่เหมะสมที่ดำเนินกิจกรรมหรืองานภายในขอบข่ายของการตรวจสอบ
    - ควรดำเนินการสัมภาษณ์ระหว่างชั่วโมงทำงานปกติ ณ สถานที่ทำงานปกติของบุคคลที่ให้สัมภาษณ์
    - ควรอธิบายเหตุผลของการสัมภาษณ์ และจดบันทึกระหว่างการสัมภาษณ์
    - เลือกประเภทคำถามที่ใช้อย่างระมัดระวัง เช่น คำถามปลายเปิด คำถามปลายปิด คำถามนำ
    - ควรสรุปและทบทวนผลการสัมภาษณ์ให้ผู้รับการสัมภาษณ์ทราบ
    - ควรขอบคุณผู้ให้การสัมภาษณ์สำหรับการมีส่วนร่วม
2. การสังเกตกิจกรรมและสภาพแวดล้อมในการทำงาน
3. เอกสาร เช่น นโยบาย วัตถุประสงค์ แผนงาน ขั้นตอนการทำงาน มาตรฐาน วิธีการปฏิบัติงาน เป็นต้น
4. บันทึก เช่น บันทึกการตรวจ บันทึกรายงานการประชุม รายงานผลการตรวจติดตามภายใน บันทึกการเฝ้าติดตามและผลการตรวจวัด เป็นต้น
5. ข้อมูลสรุป ผลการวิเคราะห์ และตัวชี้วัดผลการดำเนินงาน
6. รายงานจากแหล่งอื่นๆ เช่น ข้อมูลตอบกลับจากลูกค้า การสำรวจและการวัดผลจากภายนอก
7. ฐานข้อมูล และเวปไซด์

การตัดสินความสอดคล้อง และการเขียนรายงานผลการตรวจสอบ

เป็นการพิจารณาความสอดคล้องในการดำเนินการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมกับข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงาน โดยต้องมีหลักฐานและเอกสาร การสัมภาษณ์บุคลากรที่เกี่ยวข้อง และการปฏิบัติจริงที่โรงงานควบคุมและอาคารควบคุม โดยแบ่งเป็น 2 กรณี

<u>ผ่านการตรวจสอบ</u> หมายถึง การที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมปฏิบัติตามข้อกำหนดครบถ้วนและถูกต้องครบทุกข้อ ให้ถือว่าการปฏิบัติดังกล่าวมีความสอดคล้องกับข้อกำหนด

พบความไม่สอดคล้อง แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทร้ายแรง และประเภทไม่ร้ายแรง

- *ประเภทไม่ร้ายแรง* หมายถึง ความไม่สอดคล้องของเอกสารขณะที่ปฏิบัติจริง ความไม่สอดคล้องหรือความคลาดเคลื่อนในเชิงปฏิบัติ (ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ข้อ 24 (3)(ข))
-

ในกรณีที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการจัดการพลังงานไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างไม่ร้ายแรง ให้ผู้ตรวจสอบและรับรองสรุปผลการพิจารณาว่า**ผ่านการตรวจสอบแต่ต้องแก้ไขในปีถัดไป**

- *ประเภทร้ายแรง* หมายถึง การไม่มีเอกสารในการดำเนินการจัดการพลังงาน หรือไม่มีหลักฐานการปฏิบัติงานจริงตามข้อใดข้อหนึ่งของวิธีการจัดการพลังงานตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง (ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 ข้อ 24 (3)(ก))
-

ในกรณีที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการจัดการพลังงานไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างร้ายแรง ให้ผู้ตรวจสอบและรับรองสรุปผลการพิจารณาว่า **ไม่ผ่านการตรวจสอบ**

การเขียนรายงานสิ่งที่ไม่สอดคล้อง (NC Statement)

การเขียนรายงานสิ่งที่ไม่สอดคล้อง มีองค์ประกอบ ดังนี้

1) สถานที่พบสิ่งที่ไม่สอดคล้อง (Location)
2) หลักฐานที่พบ (Evidence)
3) ลักษณะของความไม่สอดคล้อง (Non conformity)
4) ข้อกำหนดที่อ้างถึง (Requirement)

ตัวอย่าง:

- ที่แผนกบุคคล พบแผนการฝึกอบรมไม่มีรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมายของผู้เข้าอบรม ซึ่งไม่เป็นไปตาม ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 9 (2)
- ที่แผนกวิศวกรรม พบเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน ไม่ได้แยกเป็นมาตรการด้านไฟฟ้าและความร้อนซึ่งไม่เป็นไปตาม ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 7

การประชุมปิด (Closing meeting) มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

- เพื่อกล่าวขอบคุณ
- เพื่อยืนยันการรักษาความลับ
- เพื่อทบทวนวัตถุประสงค์และขอบข่ายของการตรวจสอบ
- เพื่อแจ้งสิ่งที่พบจากการตรวจสอบ (Audit Finding) ในกรณีที่พบสิ่งที่ไม่สอดคล้อง (NC) ให้แจ้งให้ผู้ถูกตรวจสอบรับทราบทุกข้อ
- แจ้งข้อสรุปจากการตรวจสอบ (Audit Conclusion)

6. การสรุปผลการตรวจสอบ

การสรุปผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน ต้องแสดงว่าผลการตรวจสอบ**ผ่าน**หรือ**ไม่ผ่าน** พร้อมทั้งข้อคิดเห็นในการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน

ผลการตรวจสอบ แบ่งได้ 3 กรณี ได้แก่

1) ผ่านการตรวจสอบ เนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม ปฏิบัติตามข้อกำหนดถูกต้องและครบถ้วนทุกข้อ
2) ผ่านการตรวจสอบ แต่ต้องปรับปรุงในปีถัดไป เนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม ปฏิบัติตามข้อกำหนดไม่ครบถ้วนทุกข้อ หรือข้อบกพร่องบางประการไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างไม่ร้ายแรง (Minor)
3) ไม่ผ่านการตรวจสอบ เนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม ดำเนินการจัดการพลังงานไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างร้ายแรง (Major)

7. การจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ และจัดส่งให้กับโรงงานควบคุม/อาคารควบคุม

ผู้ตรวจสอบควรออกรายงานผลการตรวจสอบภายในระยะเวลาที่ตกลงกับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมไว้ หากล่าช้า ควรแจ้งเหตุผลให้ผู้รับการตรวจสอบทราบ ทั้งนี้การจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ให้นำรายการตรวจสอบที่ได้จัดทำขึ้น มาจัดทำเป็นสรุปผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน ซึ่งอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดประกอบด้วย

1. ชื่อรายการตรวจประเมิน
2. ผลการตรวจประเมิน
3. ความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะ

ทั้งนี้ รายงานดังกล่าวต้องลงรายมือชื่อรับรองโดยผู้ตรวจสอบและรับรอง พร้อมทั้งผู้ชำนาญการ และผู้ช่วยผู้ชำนาญการที่ดำเนินการตรวจสอบและรับรองในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมนั้น

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก-1 กฎกระทรวงกาหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงาน ในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552

ภาคผนวก ก-2 ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดาเนินการ จัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552

กฎกระทรวง

กำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงาน
ในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม
พ.ศ. ๒๕๕๒

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ วรรคสอง มาตรา ๙ (๑) และมาตรา ๒๑ (๑) แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงานโดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับเมื่อพ้นกำหนดหนึ่งร้อยยี่สิบวันนับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ข้อ ๒ ในกฎกระทรวงนี้

“โรงงานควบคุม” หมายความว่า โรงงานที่มีพระราชกฤษฎีกากำหนดให้เป็นโรงงานควบคุมตามมาตรา ๘

“เจ้าของโรงงานควบคุม” หมายความรวมถึง ผู้รับผิดชอบในการบริหารโรงงานควบคุมด้วย

“อาคารควบคุม” หมายความว่า อาคารที่มีพระราชกฤษฎีกากำหนดให้เป็นอาคารควบคุมตามมาตรา ๑๘

“เจ้าของอาคารควบคุม” หมายความรวมถึง บุคคลอื่นซึ่งครอบครองอาคารควบคุมด้วย

"ผู้ตรวจสอบและรับรอง" หมายความว่า ผู้มีอำนาจตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ข้อ ๓ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมจัดให้มีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม โดยต้องจัดทำนโยบายอนุรักษ์พลังงาน เป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และวิธีการจัดการพลังงาน

ในกรณีที่เป็นการนำวิธีการจัดการพลังงานตามกฎกระทรวงนี้มาใช้เป็นครั้งแรก ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยพิจารณาจากการดำเนินงานด้านพลังงานที่ผ่านมา ก่อนการกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

ข้อ ๔ ในการจัดทำนโยบายอนุรักษ์พลังงานเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมอาจตั้งคณะทำงานเพื่อช่วยจัดทำนโยบายอนุรักษ์พลังงานก็ได้

นโยบายอนุรักษ์พลังงานต้องแสดงเจตจำนงและความมุ่งมั่นในการจัดการ พลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม โดยจัดทำเป็นเอกสารและลงลายมือชื่อเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม และอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(๑) ข้อความระบุว่าการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานของเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม

(๒) นโยบายอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณพลังงานที่ใช้ในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมนั้น

(๓) การแสดงเจตจำนงที่จะปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์และการจัดการพลังงาน

(๔) แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง

(๕) แนวทางในการจัดสรรทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในการดำเนินการตามวิธีการจัดการพลังงาน

ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมจัดให้มีการเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงาน โดยปิดประกาศไว้ในที่ซึ่งเห็นได้ง่ายในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม หรือโดยวิธีการอื่นที่เหมาะสม เพื่อให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบและปฏิบัติตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานได้

ข้อ ๕ เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน รวมทั้งกำหนดโครงสร้าง อำนาจหน้าที่ และความรับผิดชอบของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน โดยจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่ให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบ

อำนาจหน้าที่ของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานอย่างน้อยต้องมีดังต่อไปนี้

(๑) ดำเนินการจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

(๒) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความร่วมมือในการปฏิบัติการตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงาน รวมทั้งจัดการฝึกอบรมหรือกิจกรรมเพื่อสร้างจิตสำนึกของบุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

(๓) ควบคุมดูแลให้การจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมเป็นไปตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงาน

(๔) รายงานผลการอนุรักษ์และการจัดการพลังงานตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมให้เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมทราบ

(๕) เสนอแนะเกี่ยวกับการกำหนดหรือทบทวนนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงานให้เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมพิจารณา

(๖) สนับสนุนเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมในการดำเนินการตามกฎกระทรวงนี้

ข้อ ๖ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมจัดให้มีการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน โดยการตรวจสอบและประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๗ เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานของพลังงานที่ประสงค์จะให้ลดลง โดยกำหนดเป็นร้อยละของปริมาณพลังงานที่ใช้เดิม หรือกำหนดระดับของการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลผลิต รวมทั้งระบุระยะเวลาการดำเนินการ การลงทุน และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ในการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานตามวรรคหนึ่ง เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีแผนการฝึกอบรมและจัดให้มีกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมเข้าร่วมฝึกอบรมและร่วมกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการให้ความรู้และสร้างจิตสำนึกให้เกิดความตระหนักถึงผลกระทบจากการใช้พลังงาน และเผยแพร่ให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง

ข้อ ๘ เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องควบคุมดูแลให้มีการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน

ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานซึ่งจัดทำขึ้นตามข้อ ๗ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๙ เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องจัดให้มีการตรวจ ติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน รวมถึงการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานตามช่วงเวลาที่กำหนดอย่างเหมาะสมเป็นประจำ อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๑๐ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมจัดให้มีการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมโดยผู้ตรวจสอบและรับรอง

วิธีการตรวจสอบและรับรองให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ ขั้นตอน และวิธีการที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ข้อ ๑๑ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามที่กำหนดในกฎกระทรวงนี้ของปีที่ล่วงมาให้แก่อธิบดีภายในเดือนมีนาคมของทุกปี เว้นแต่ในกรณีที่ในปีที่ล่วงมานั้นเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมมีระยะเวลาที่ต้องดำเนินการจัดการพลังงานตามที่กำหนดในกฎกระทรวงนี้จนถึงวันที่ ๓๑ ธันวาคม น้อยกว่าหนึ่งร้อยแปดสิบวัน ให้ส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานของระยะเวลาดังกล่าวภายในเดือนมีนาคมของปีถัดไป

การส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามวรรคหนึ่ง ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ ขั้นตอน และวิธีการที่รัฐมนตรีประกาศกำหนดในราชกิจจานุเบกษา

ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๕ มิถุนายน พ.ศ. ๒๕๕๒

วรรณรัตน์ ชาญนุกูล

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน

หมายเหตุ :- เหตุผลในการประกาศใช้กฎกระทรวงฉบับนี้ คือ โดยที่เป็นการสมควรกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม เพื่อให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมมีแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนในการจัดการพลังงาน และเป็นฐานข้อมูลของรัฐในการประเมินประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมอันเป็นประโยชน์ในการอนุรักษ์พลังงาน ประกอบกับมาตรา ๙ (๑) และมาตรา ๒๑ (๑) แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ บัญญัติให้รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงานโดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติมีอำนาจออกกฎกระทรวงในเรื่องดังกล่าว จึงจำเป็นต้องออกกฎกระทรวงนี้

ประกาศกระทรวงพลังงาน

เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
ในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม
พ.ศ. ๒๕๕๒

อาศัยอำนาจตามความในข้อ ๖ ข้อ ๗ วรรคหนึ่ง ข้อ ๘ วรรคสอง ข้อ ๙ ข้อ ๑๐ วรรคสอง และข้อ ๑๑ วรรคสอง แห่งกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. ๒๕๕๒ ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๙ ประกอบกับมาตรา ๓๓ มาตรา ๔๑ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน จึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ในประกาศนี้

“โรงงานควบคุม” หมายความว่า โรงงานที่มีพระราชกฤษฎีกากำหนดให้เป็นโรงงานควบคุมตามมาตรา ๘

“เจ้าของโรงงานควบคุม” หมายความรวมถึง ผู้รับผิดชอบในการบริหารโรงงานควบคุมด้วย

“อาคารควบคุม” หมายความว่า อาคารที่มีพระราชกฤษฎีกากำหนดให้เป็นอาคารควบคุมตามมาตรา ๑๘

“เจ้าของอาคารควบคุม” หมายความรวมถึง บุคคลอื่นซึ่งครอบครองอาคารควบคุมด้วย

“ผู้ตรวจสอบและรับรอง” หมายความว่า ผู้มีอำนาจตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

“องค์กร” หมายความรวมถึง โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมแล้วแต่กรณี

“ตรวจสอบ” หมายความว่า สำรวจ ตรวจวัด และเก็บข้อมูล

“คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน” หมายความว่า กลุ่มบุคคลที่ได้รับการแต่งตั้งจากเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมซึ่งตั้งขึ้นตามกฎกระทรวงว่าด้วยการกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม โดยมีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการดำเนินการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานทั้งหมดในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

"อุปกรณ์" หมายความรวมถึง เครื่องจักรและวัสดุที่ใช้ในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

"การใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ" หมายความถึง การใช้พลังงานที่มีสัดส่วนที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานโดยรวมขององค์กร ระบบ หรืออุปกรณ์ นั้น

หมวด ๑

การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

ข้อ ๒ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน โดยการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมของตน เพื่อหาสภาพการสูญเสียพลังงาน รวมทั้งกำหนดมาตรการในการลดการสูญเสียดังกล่าว

การประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญให้พิจารณาปัจจัยหลักในการประเมิน ได้แก่ ขนาดการใช้พลังงาน ชั่วโมงการใช้งาน และศักยภาพในการปรับปรุง

ข้อ ๓ ในการดำเนินการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามข้อ ๒ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมประเมินหาสภาพการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญในระดับองค์กร ระดับผลิตภัณฑ์หรือบริการ และระดับอุปกรณ์ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

(๑) การประเมินระดับองค์กร ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า การผลิตหรือการบริการ และการใช้พลังงาน ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมา เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบ หรือกระบวนการผลิตต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อใช้เปรียบเทียบหาสถานภาพการใช้พลังงานรวมขององค์กร

(๒) การประเมินระดับผลิตภัณฑ์หรือบริการ ในกรณีที่องค์กรมีการใช้พลังงานในการผลิตและบริการ ที่สามารถแยกได้เป็นหลายผลิตภัณฑ์หรือหลายบริการ ให้เปรียบเทียบต้นทุนทางพลังงานของการผลิตสินค้าหรือบริการ โดยการวิเคราะห์กระบวนการผลิตหรือการบริการและหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption) จากอัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานต่อปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในแต่ละผลิตภัณฑ์หรือบริการ ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดดังต่อไปนี้

(ก) โรงงานควบคุม ให้หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะโดยใช้อัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดต่อหน่วยผลผลิต

(ข) อาคารควบคุม ให้หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะโดยใช้อัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดต่อปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคาร เช่น จำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ในกรณีของโรงแรม หรือจำนวนผู้ใช้บริการของอาคารในกรณีของโรงพยาบาล หรือจำนวนพื้นที่ใช้สอยที่ ใช้งานจริงในกรณีของอาคารทั่วไป เป็นต้น

(๓) การประเมินระดับอุปกรณ์ ให้ประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญของแต่ละอุปกรณ์หลัก รวมทั้งวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการสูญเสียพลังงานในแต่ละอุปกรณ์

ข้อ ๔ ให้นำข้อมูลรายละเอียดและผลการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามหมวดนี้รวมเป็นหนึ่งของรายงานการจัดการพลังงาน ซึ่งต้องส่งให้อธิบดีตามหมวด ๖ ของประกาศนี้

หมวด ๒
เป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

ข้อ ๕ เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมต้องดำเนินการจัดทำเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมตามรายละเอียดที่กำหนดในข้อ ๗ และข้อ ๘ ตามลำดับ

ให้นำเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานที่จัดทำขึ้นตามข้อนี้รวมเป็นส่วนหนึ่งของรายงานการจัดการพลังงานซึ่งต้องจัดส่งให้แก่อธิบดีตามหมวด ๖ ของประกาศนี้

ข้อ ๖ ในการจัดทำเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน ให้นำข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ตลอดจนผลการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน และมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งรวบรวมหรือจัดทำตามหมวด ๑ มาใช้ประกอบการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานด้วย

ข้อ ๗ การจัดทำเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานตามหมวดนี้ ให้แยกเป็นมาตรการด้านไฟฟ้าและด้านความร้อน โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(๑) ชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงานและตัวชี้วัดความสำเร็จของเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ ซึ่งกำหนดเป็นร้อยละของการใช้พลังงานที่ประสงค์จะให้ลดลงเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานรวมของปีที่ผ่านมา

(๒) เงินลงทุนและระยะเวลาคืนทุนในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ

ข้อ ๘ แผนอนุรักษ์พลังงานต้องจัดทำขึ้นเพื่อให้การดำเนินการบรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม โดยแยกเป็นมาตรการด้านไฟฟ้าและด้านความร้อน โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(๑) รายชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม และวัตถุประสงค์ของการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ

(๒) ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการโดยระบุระยะเวลาเริ่มต้นและระยะเวลาสิ้นสุดของการดำเนินการ

(๓) เงินลงทุนที่ต้องใช้ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ

(๔) ผู้รับผิดชอบในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ

ข้อ ๙ ในการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานที่จัดทำขึ้นในข้อ ๘ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมจัดทำแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(๑) ชื่อหลักสูตรการฝึกอบรมหรือกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

(๒) กลุ่มเป้าหมายของผู้เข้าอบรม

(๓) ระยะเวลาในการฝึกอบรมหรือดำเนินกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

(๔) ผู้รับผิดชอบในการฝึกอบรมแต่ละหลักสูตรหรือการดำเนินกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแต่ละกิจกรรม

ข้อ ๑๐ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมเผยแพร่แผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง

หมวด ๓
การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

ข้อ ๑๑ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุม ควบคุมดูแลให้มีการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้งแผนการฝึกอบรมหรือกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจัดทำขึ้นตามหมวด ๒

ข้อ ๑๒ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมดูแลตามข้อ ๑๑ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมมอบหมายให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานดำเนินการให้ผู้รับผิดชอบมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมรายงานผลการดำเนินการตามแผนดังกล่าวให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานทราบอย่างสม่ำเสมอ

ข้อ ๑๓ เมื่อได้รับรายงานตามข้อ ๑๒ ให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามแผนดังกล่าวว่าเป็นไปตามเป้าหมายและแผนที่กำหนดไว้หรือไม่

การตรวจสอบและวิเคราะห์ตามวรรคหนึ่ง ให้ดำเนินการตามช่วงเวลาที่เหมาะสมอย่างน้อยสามเดือนต่อครั้ง และให้ดำเนินการเป็นรายมาตรการตามที่กำหนดในแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ในกรณีที่ปรากฏจากการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามแผนดังกล่าวว่าการดำเนินการไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด ให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานระบุสาเหตุของการไม่บรรลุผลนั้น ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่นิยมใช้และเชื่อถือได้ และเสนอแนะแนวทางการแก้ไขในรายงานผล การดำเนินการที่ต้องจัดทำตามข้อ ๑๔ เพื่อทบทวนหรือปรับปรุงเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานต่อไป

ข้อ ๑๔ เมื่อได้ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามข้อ ๑๓ แล้ว ให้เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการให้คณะทำงานด้าน การจัดการพลังงานจัดทำรายงานผลการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการตามที่กำหนดในเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามแบบรายงานผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้งแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(๑) สรุปผลการติดตามการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานโดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดซึ่งประกอบด้วยชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงาน สถานภาพการดำเนินการ และปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ (ถ้ามี)

(๒) ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานสำหรับมาตรการด้านไฟฟ้าและมาตรการด้านความร้อน โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(ก) ชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการแต่ละมาตรการ

(ข) ระยะเวลาดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามแผนและระยะเวลา ที่เกิดขึ้นจริง

(ค) สถานภาพการดำเนินการที่เกิดขึ้นจริง

(ง) เงินลงทุนที่ใช้ตามแผนและเงินลงทุนที่เกิดขึ้นจริง

(จ) ผลการอนุรักษ์พลังงานตามแผนและที่เกิดขึ้นจริง

(ฉ) ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินการ

(ช) ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

(๓) สรุปผลการติดตามการดำเนินการของหลักสูตรการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดซึ่งประกอบด้วยชื่อหลักสูตรการฝึกอบรมหรือกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สถานภาพการดำเนินการ ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ (ถ้ามี) และจำนวนผู้เข้าอบรม

ให้นำรายงานผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานที่จัดทำขึ้นตามข้อนี้รวมเป็นส่วนหนึ่งของรายงานการจัดการพลังงานซึ่งต้องจัดส่งให้แก่อธิบดีตามหมวด ๖ ของประกาศนี้

หมวด ๔
การตรวจติดตาม และประเมินการจัดการพลังงาน การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

ส่วนที่ ๑
การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

ข้อ ๑๕ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน โดยกระทำในลักษณะของการตรวจสอบภายในอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้งตามหลักเกณฑ์และวิธีการดังต่อไปนี้

(๑) ให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานประชุมร่วมกับเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมเพื่อแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กร โดยประกอบด้วยบุคคลอย่างน้อยสองคนซึ่งมีความรู้และความเข้าใจในวิธีการจัดการพลังงาน มีความเป็นกลาง และเป็นอิสระในการดำเนินการ

(๒) ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมลงลายมือชื่อในคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรและเผยแพร่ให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง

(๓) คณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรต้องตรวจสอบให้แน่ชัดว่าโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมได้ปฏิบัติตามที่กฎหมายกำหนด โดยเฉพาะในส่วนของข้อกำหนดดังต่อไปนี้

(ก) การจัดตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

(ข) การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นในกรณีที่นำวิธี การจัดการพลังงานมาใช้เป็นครั้งแรก

(ค) การมีนโยบายอนุรักษ์พลังงานเป็นลายลักษณ์อักษรซึ่งลงลายมือชื่อ โดยเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมและการเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงาน

(ง) การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

(จ) การมีเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมตลอดจนกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

(ฉ) การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน และการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

(ช) การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

(ซ) การทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

ข้อ ๑๖ เพื่อประโยชน์ในการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงานตามหมวดนี้ ให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมรวบรวมเอกสารและหลักฐาน ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมและจัดส่งให้คณะผู้ตรวจประเมิน การจัดการพลังงานภายในองค์กร

ข้อ ๑๗ ให้คณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรดำเนินการตรวจสอบเอกสารและหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานตามข้อ ๑๖ ว่ามีและครบถ้วนหรือไม่ ซึ่งอาจรวมถึงการสอบถามหรือสัมภาษณ์บุคลากรในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม และจัดทำสรุปผลการตรวจติดตามการดำเนินการจัดการพลังงานพร้อมลงลายมือชื่อโดยประธานคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กร ส่งให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานและเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม

ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมนำผลสรุปการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงานที่คณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรจัดทำขึ้นตามวรรคหนึ่งรวมเป็นส่วนหนึ่งของรายงานการจัดการพลังงานซึ่งต้องจัดส่งให้แก่อธิบดีตามหมวด ๖ ของประกาศนี้

ส่วนที่ ๒

การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

ข้อ ๑๘ หลังจากที่คณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรได้ดำเนินการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงานตามส่วนที่ ๑ แล้ว ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม ตามช่วงเวลาที่เหมาะสมอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง โดยนำผลสรุปการตรวจติดตามการดำเนินการจัดการพลังงาน ตามข้อ ๑๗ มาวิเคราะห์ความเหมาะสม และแนวทางการปรับปรุงการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

ในการดำเนินการตามวรรคหนึ่ง ให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมจัดประชุมภายในองค์กรเพื่อสรุปผลการทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมและรายงานให้เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมทราบ โดยอย่างน้อยต้องมีผลการทบทวนการดำเนินการจัดพลังงานในแต่ละขั้นตอนตามที่กฎกระทรวงกำหนดมีความเหมาะสมหรือควรปรับปรุง

หากเห็นควรปรับปรุงให้ระบุข้อบกพร่องที่ตรวจพบ พร้อมแนวทางการปรับปรุงข้อบกพร่องแต่ละขั้นตอน

การประชุมตามวรรคสองต้องมีตัวแทนจากหน่วยงานภายในของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมเข้าร่วมแสดงความคิดเห็นต่อการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

ข้อ ๑๙ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมนำผลการทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องตามข้อ ๑๘ ไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และในกรณีที่ปรากฏข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน ให้ดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องนั้นโดยเร็ว

ข้อ ๒๐ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมเผยแพร่ผลการประชุม ตลอดจนผลการทบทวนวิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง

ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมนำผลสรุปการทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานที่จัดขึ้นตามข้อ ๑๘ เป็นส่วนหนึ่งของรายงานการจัดการพลังงานซึ่งต้องจัดส่งให้แก่อธิบดีตามหมวด ๖ ของประกาศนี้

หมวด ๕
วิธีการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

ข้อ ๒๑ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมจัดให้มีรายงานการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมเป็นประจำทุกปี

ในกรณีที่อธิบดีได้มีการอนุญาตให้บุคคลหรือนิติบุคคลเป็นผู้ดำเนินการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานแทนพนักงานเจ้าหน้าที่ รายงานการจัดการพลังงานดังกล่าวสามารถได้รับการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานโดยผู้ตรวจสอบและรับรองก่อนส่งให้อธิบดีได้

ข้อ ๒๒ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมนำรายงานการจัดการพลังงานซึ่งจัดทำขึ้นตามข้อ ๒๑ เป็นส่วนหนึ่งของรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานที่ต้องจัดส่งให้แก่อธิบดีตามหมวด ๖ ของประกาศนี้

ข้อ ๒๓ ให้ผู้ตรวจสอบและรับรอง ดำเนินการตรวจสอบรายงานการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม โดยการพิจารณาความถูกต้องและครบถ้วนของเอกสารและหลักฐาน ซึ่งอาจรวมถึงการสอบถามหรือสัมภาษณ์บุคลากรที่เกี่ยวข้องตามข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงานดังต่อไปนี้

(๑) คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน

(๒) การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น

(๓) นโยบายอนุรักษ์พลังงาน

(๔) การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

(๕) การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

(๖) การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน

(๗) การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน

(๘) การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

ข้อ ๒๔ การตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของรายงานการจัดการพลังงาน ตามข้อ ๒๓ มีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

(๑) พิจารณาความสอดคล้องในการดำเนินการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมกับข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงานโดยต้องมีหลักฐานและเอกสาร การสัมภาษณ์บุคลากรที่เกี่ยวข้อง และการปฏิบัติจริงที่โรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม

(๒) เกณฑ์การพิจารณาความสอดคล้องกับข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงาน ในกรณีที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมปฏิบัติตามข้อกำหนดครบถ้วนและถูกต้องครบทุกข้อ ให้ถือว่าการปฏิบัติดังกล่าวมีความสอดคล้องกับข้อกำหนด และให้ผู้ตรวจสอบและรับรองสรุปผลการพิจารณาว่าผ่านการตรวจสอบ

(๓) เกณฑ์การพิจารณาความไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงาน ในกรณีที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมปฏิบัติตามข้อกำหนดไม่ครบทุกข้อ หรือครบทุกข้อแต่มีข้อบกพร่องบางประการให้ถือว่าการปฏิบัติดังกล่าวไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด โดยแบ่งความไม่สอดคล้องออกเป็นสองประเภทดังต่อไปนี้

(ก) ประเภทร้ายแรง (Major) หมายถึง การไม่มีเอกสารในการดำเนินการจัดการพลังงาน หรือไม่มีหลักฐานการปฏิบัติจริงตามข้อใด ข้อหนึ่งของวิธีการจัดการพลังงานที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง

การปฏิบัติซึ่งมีความไม่สอดคล้องประเภทร้ายแรง ได้แก่

(ก.๑) การไม่มีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเป็นเอกสาร การไม่กำหนดอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง

(ก.๒) การไม่ประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นทั้งในหน่วยงานย่อยตามโครงสร้างและภาพรวมของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมในกรณีที่มีการนำวิธีการจัดการพลังงานมาใช้เป็นครั้งแรก

(ก.๓) การไม่มีนโยบายอนุรักษ์พลังงานเป็นเอกสาร การไม่กำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงานให้มีสาระสำคัญตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง การไม่ประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการในข้อใดเลยที่กำหนดไว้ในประกาศนี้

(ก.๔) การไม่กำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศนี้ การไม่กำหนดแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

(ก.๕) การไม่ดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศนี้ การไม่ติดตามผลการดำเนินการของการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

(ก.๖) การไม่มีคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรเป็นเอกสาร การไม่ตรวจประเมินการจัดการพลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศนี้ การไม่ทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศนี้ การไม่นำผลการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงานนำเสนอคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน เพื่อทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานในรอบปี การไม่มีผลการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

(ก.๗) การไม่เผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน การไม่เผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กร รวมถึงการไม่เผยแพร่ในเรื่องของนโยบายอนุรักษ์พลังงาน แผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานด้วยวิธีการใด ๆ ให้บุคลากรในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง

ในกรณีที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการจัดการพลังงานไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างร้ายแรง ให้ผู้ตรวจสอบและรับรองสรุปผลการพิจารณาว่าไม่ผ่านการตรวจสอบ

(ข) ประเภทไม่ร้ายแรง (minor) หมายถึง ความไม่สอดคล้องของเอกสารขณะที่ปฏิบัติจริง ความไม่สอดคล้องหรือความคลาดเคลื่อนในเชิงปฏิบัติ

การปฏิบัติซึ่งมีความไม่สอดคล้องประเภทไม่ร้ายแรง ได้แก่

(ข.๑) การมีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน การมีคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กร และการมีนโยบายอนุรักษ์พลังงานเป็นเอกสารแต่ยังไม่ได้ลงลายมือชื่อโดยเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม

(ข.๒) การกำหนดอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานสอดคล้องกับสาระสำคัญบางข้อตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นไม่ครบทุกหน่วยงานย่อยตามโครงสร้างของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม หรือการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นไม่ครบทุกองค์ประกอบตามที่กำหนด การกำหนดนโยบายอนุรักษ์สอดคล้องกับสาระสำคัญบางข้อตามที่กำหนดในกฎกระทรวง มีการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน การตรวจประเมินการจัดการพลังงาน และการทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานในบางข้อหรือไม่ครบทุกองค์ประกอบตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศนี้

(ข.๓) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าและด้านความร้อน และผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานในแต่ละมาตรการไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม ผลการติดตามการจัดฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้

(ข.๔) มีการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน คำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กร นโยบายอนุรักษ์พลังงาน แผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งแล้ว แต่บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมได้รับทราบไม่ทั่วถึง เป็นต้น

ในกรณีที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการจัดการพลังงานไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างไม่ร้ายแรง ให้ผู้ตรวจสอบและรับรองสรุปผลการพิจารณาว่าผ่านการตรวจสอบแต่ต้องแก้ไขในปีต่อไป

ข้อ ๒๕ ในการตรวจสอบและรับรองรายงานการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมตามข้อ ๒๓ ให้ผู้ตรวจสอบและรับรองเสนอข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีดำเนินการจัดการพลังงานในกรณีที่เจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการไม่สอดคล้องกับ

ข้อกำหนดของวิธีการ จัดการพลังงานหรือดำเนินการตามข้อกำหนดแล้วโดยไม่พบข้อบกพร่อง แต่มีโอกาสที่จะปรับปรุง การดำเนินการในแต่ละขั้นตอนให้ดียิ่งขึ้นกว่าที่เป็นอยู่เดิม

ข้อ ๒๖ ให้ผู้ตรวจสอบและรับรองจัดทำรายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินการตามข้อกำหนด โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดซึ่งประกอบด้วยชื่อรายการตรวจประเมิน ผลการตรวจประเมินว่ามีหรือไม่มีหลักฐาน ในกรณีที่มีหลักฐานให้ระบุชื่อของหลักฐาน ความสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องของหลักฐานกับข้อกำหนด รวมถึงการระบุประเภทของความไม่สอดคล้องในกรณีร้ายแรง หรือไม่ร้ายแรง และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงวิธีดำเนินการจัดการพลังงานแต่ละขั้นตอนให้สอดคล้องตามข้อกำหนด

ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมนำรายการตรวจสอบการจัดการพลังงานที่จัดทำขึ้นตามวรรคหนึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานที่ต้องจัดส่งให้แก่อธิบดีตามหมวด ๖ ของประกาศนี้

ข้อ ๒๗ ให้ผู้ตรวจสอบและรับรองจัดทำรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม โดยนำรายการตรวจสอบการจัดการพลังงานที่จัดทำขึ้นตามข้อ ๒๖ มาจัดทำเป็นผลสรุปการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม ซึ่งอย่างน้อยต้องมีรายละเอียดประกอบด้วย ชื่อรายการตรวจประเมิน ผลการตรวจประเมิน และความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะ

ทั้งนี้ การจัดทำรายงานดังกล่าวตามวรรคหนึ่งต้องลงลายมือชื่อรับรองโดยผู้ตรวจสอบและรับรอง พร้อมทั้งผู้ชำนาญการและผู้ช่วยผู้ชำนาญการที่ดำเนินการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน ในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมนั้น

หมวด ๖
การจัดส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

ข้อ ๒๘ ให้เจ้าของโรงงานควบคุมและเจ้าของอาคารควบคุมส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตามข้อ ๒๗ ให้แก่อธิบดีภายในเดือนมีนาคมของทุกปี การจัดส่งรายงานดังกล่าว ต้องประกอบด้วย รายงานการจัดการพลังงานตามข้อ ๒๑ และรายการตรวจสอบการจัดการพลังงานตามข้อ ๒๖

ข้อ ๒๙ การจัดส่งรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานให้กระทำโดยส่งเป็นเอกสารต้นฉบับ พร้อมแผ่นซีดีไฟล์อิเลคทรอนิคส์ด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งดังต่อไปนี้

(๑) นำส่งด้วยตนเอง

(๒) จัดส่งทางไปรษณีย์ลงทะเบียนตอบรับ

ในการส่งรายงานทางไปรษณีย์ลงทะเบียนตอบรับ ให้ถือวันที่ลงทะเบียนเป็นวันส่งรายงาน

ประกาศ ณ วันที่ ๒๕ กันยายน พ.ศ. ๒๕๕๒
วรรณรัตน์ ชาญนุกูล
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน

ภาคผนวก ข

ภาคผนวก ข-1 รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด
ภาคผนวก ข-2 รายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน

ภาคผนวก ข-1

รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	**TSIC-ID :**	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
1. คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน							
1.1	มีการจัดทำคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเป็นเอกสาร (กฎกระทรวงฯ ข้อ 5)						
1.2	มีการกำหนดโครงสร้างอำนาจหน้าที่ และความรับผิดชอบของคณะทำงานการจัดการพลังงาน (กฎกระทรวงฯข้อ 5)						
1.3	อำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของคณะทำงานอย่างน้อยต้องมีดังนี้ (กฎกระทรวงฯ ข้อ 5) (1) ดำเนินการจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงานการจัดการพลังงาน						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	(2) ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความร่วมมือในการปฏิบัติการตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงาน รวมทั้งจัดการฝึกอบรมหรือกิจกรรมเพื่อสร้างจิตสำนึกของบุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม (3) ควบคุมดูแลให้การจัดการพลังงานเป็นไปตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงาน (4) รายงานผลการอนุรักษ์และการจัดการพลังงานตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงานให้เจ้าของทราบ (5) เสนอแนะเกี่ยวกับการกำหนดหรือทบทวนนโยบายอนุรักษ์พลังงานและวิธีการจัดการพลังงานให้เจ้าของพิจารณา (6) สนับสนุนเจ้าของในการดำเนินการตามกฎกระทรวง						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
1.4	มีการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานฯ ให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบ (กฎกระทรวงฯข้อ 5)						
1.5	อื่น ๆ (ระบุ)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	TSIC-ID :	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
2. การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น (ในกรณีที่เป็นการนำวิธีการจัดการพลังงานตามกฎกระทรวงฯ มาใช้เป็นครั้งแรก)							
2.1	มีการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยการพิจารณาจากการดำเนินงานด้านพลังงานที่ผ่านมา ก่อนการกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน (กฎกระทรวงฯ ข้อ 3)						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
2.2	อื่นๆ (ระบุ)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	TSIC-ID :	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
3. นโยบายอนุรักษ์พลังงาน							
3.1	มีการจัดทำนโยบายอนุรักษ์พลังงานเป็นเอกสารและลงลายมือชื่อเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม (กฎกระทรวงฯ ข้อ 4)						
3.2	นโยบายอนุรักษ์พลังงานแสดงเจตจำนงและความมุ่งมั่นในการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม อย่างน้อยต้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (กฎกระทรวงฯ ข้อ 4) 1. ข้อความระบุว่าการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานของเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	2. นโยบายอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมกับลักษณะและปริมาณพลังงานที่ใช้ในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมนั้น 3. การแสดงเจตจำนงที่จะปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์และการจัดการพลังงาน 4. แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง 5. แนวทางการจัดสรรทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพในการดำเนินงานตามวิธีการจัดการพลังงาน						
3.3	มีการเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงานโดยปิดประกาศไว้ในที่ที่ซึ่งเห็นได้ง่ายในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม หรือโดยวิธีการอื่นที่เหมาะสม เพื่อให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบและปฏิบัติตามนโยบายฯ ได้ (กฎกระทรวงฯ ข้อ 4)						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
3.4	อื่นๆ (ระบุ)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก ข-1

รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	TSIC-ID :	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
4. การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน							
4.1	มีการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานโดยการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม เพื่อหาสภาพการสูญเสียพลังงาน รวมทั้งกำหนดมาตรการในการลดการสูญเสียดังกล่าว (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 2)						
4.2	การประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ มีการพิจารณาปัจจัยหลักในการประเมิน ได้แก่ ขนาดการใช้พลังงาน ชั่วโมงการใช้พลังงาน และศักยภาพในการปรับปรุง (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 2)						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
4.3	การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน มีการประเมินหาสภาพการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญในระดับ (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 3) (1) องค์กร (2) ผลิตภัณฑ์หรือบริการ (3) อุปกรณ์						
4.4	การประเมินระดับองค์กรมีการรวบรวมเกี่ยวกับ (1) ระบบไฟฟ้า (2) การผลิตหรือการบริการ (3) การใช้พลังงาน ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคมของปีที่ผ่านมาเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบ หรือกระบวนการผลิตต่างๆ เพื่อใช้เปรียบเทียบหาสถานภาพการใช้พลังงานรวมขององค์กร(ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 3)						
4.5	การประเมินระดับผลิตภัณฑ์หรือบริการมีการวิเคราะห์กระบวนการผลิตหรือบริการและหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption)จากอัตราส่วนของปริมาณการใช้พลังงานต่อปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	ในแต่ละผลิตภัณฑ์หรือบริการ (ในกรณีที่องค์กรมีการใช้พลังงานในการผลิตและบริการ ที่สามารถแยกได้เป็นหลายผลิตภัณฑ์หรือบริการ) (1) สำหรับโรงงานควบคุม มีการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะโดยใช้อัตราส่วนของปริมารการใช้พลังงานทั้งหมดต่อหน่วยผลผลิต (2) สำหรับอาคารควบคุมมีการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะโดยใช้อัตราส่วนของการใช้พลังงานทั้งหมดต่อปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคาร เช่น จำนวนห้องพักที่จำหน่ายได้ในกรณีโรงแรม จำนวนผู้ใช้บริการของอาคารในกรณีของโรงพยาบาล หรือจำนวนพื้นที่ใช้สอยที่ใช้งานจริงกรณีของอาคารทั่วไป เป็นต้น(ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 3 (2))					

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
4.6	การประเมินระดับอุปกรณ์มีการประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญของแต่ละอุปกรณ์หลัก รวมทั้งวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการสูญเสียพลังงงานในแต่ละอุปกรณ์ (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 3 (3))						
4.7	อื่น ๆ (ถ้ามี)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ภาคผนวก ข-1

รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	**TSIC-ID :**	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
5. การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรม และกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน							
5.1	มีการกำหนดเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงานที่ประสงค์จะให้ลดลง โดยกำหนดเป็นร้อยละของปริมาณพลังงานที่ใช้เดิม หรือกำหนดระดับของการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลผลิต รวมทั้งระบุระยะเวลาการดำเนินการ การลงทุน และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการ (กฎกระทรวงฯ ข้อ 7)						
5.2	มีการนำข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ตลอดจนผลการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานและมาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	รวบรวมหรือจัดทำขึ้นตามหมวดที่ 1 ของประกาศกระทรวงฯ มาใช้ประกอบการกำหนดเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงาน (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 6)						
5.3	มีการแยกเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานเป็น (1) มาตรการด้านไฟฟ้า (2) มาตรการด้านความร้อน และมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้ (1) ชื่อมาตรการการอนุรักษ์พลังงานและตัวชี้วัดความสำเร็จของเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ ซึ่งกำหนดเป็นร้อยละของการใช้พลังงานที่ประสงค์จะให้ลดลงเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานรวมของปีที่ผ่านมา (2) เงินลงทุนและระยะเวลาการคืนทุนในการดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 7)						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
5.4	แผนอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้ามีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้(ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 8) (1) รายชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงานและวัตถุประสงค์ของการดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ (2) ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ โดยระบุระยะเวลาเริ่มต้นและระยะเวลาสิ้นสุดของการดำเนินการ (3) เงินลงทุนที่ต้องใช้ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ (4) ผู้รับผิดชอบในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ						
5.5	แผนอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน มีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้ (1) รายชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงานและวัตถุประสงค์ของการดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ (2) ระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ โดยระบุระยะเวลาเริ่มต้น						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	และระยะเวลาสิ้นสุดของการดำเนินการ (3) เงินลงทุนที่ต้องใช้ในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ (4) ผู้รับผิดชอบในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการ (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 8)						
5.6	มีการจัดทำแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานตามแผนการอนุรักษ์พลังงานที่จัดทำขึ้น โดยมีรายละเอียด อย่างน้อยต่อไปนี้ (1) ชื่อหลักสูตรการฝึกอบรมกรือกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2) กลุ่มเป้าหมายของผู้เข้าอบรม (3) ระยะเวลาในการฝึกอบรมหรือดำเนินกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (4) ผู้รับผิดชอบในการฝึกอบรมแต่ละหลักสูตรหรือการดำเนินกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานแต่ละกิจกรรม (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 9)						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
5.7	มีการเผยแพร่แผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 10)						
5.8	อื่นๆ (ถ้ามี)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

รายการการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	**TSIC-ID :**	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
6.การดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน							
6.1	มีการควบคุมดูแลให้มีการดำเนินงานตามแผนการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งแผนการฝึกอบรมหรือกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยการควบคุมตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงานที่ได้จัดทำขึ้นตามกฎกระทรวงฯข้อ 7(กฎกระทรวงฯ ข้อ 8, ประกาศกระทรวงข้อ 11)						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
6.2	มีการมอบหมายให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานดำเนินการให้ผู้รับผิดชอบมาตรการอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมรายงานผลการดำเนินการตามแผนให้คณะทำงานทราบอย่างสม่ำเสมอ (ประกาศกระทรวง ฯ ข้อ 12)						
6.3	มีการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินงานตามแผนจากรายงานผลการดำเนินงานของผู้รับผิดชอบในแต่ละมาตรการ โดยคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานตามช่วงเวลาที่เหมาะสมอย่างน้อยสามเดือนต่อครั้ง โดยดำเนินการเป็นรายมาตรการตามที่กำหนดไว้ในแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนการฝึกอบรม และกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในกรณีที่ผลการดำเนินงานไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด มีการระบุถึงสาเหตุของการไม่บรรลุผลนั้น ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่นิยมใช้						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	และเชื่อถือได้ และเสนอแนวทางการแก้ไขในรายงานการดำเนินการ (ประกาศกระทรวง ฯ ข้อ 13)						
6.4	มีการจัดทำรายงานผลการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงานแต่ละมาตรการตามที่กำหนดในเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามแบบรายงานผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้งแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยอย่างน้อยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (1) สรุปผลการติดตามการดำเนินงานตามแผนการอนุรักษ์พลังงาน โดยอย่างน้อยต้องมีรายละเอียด ซึ่งประกอบด้วย ชื่อมาตรการ สถานภาพการดำเนินการ และปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ (ถ้ามี) (2) ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานสำหรับมาตรการด้านไฟฟ้าและมาตรการด้านความร้อน						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	โดยอย่างน้อยมีรายละเอียด ดังนี้ - ชื่อมาตรการที่ดำเนินการแต่ละมาตรการ - ระยะเวลาดำเนินการ ตามแผนและระยะเวลาที่เกิดขึ้นจริง - สถานภาพการดำเนินการที่เกิดขึ้นจริง - เงินลงทุนที่ใช้ตามแผนและเงินลงทุนที่เกิดขึ้นจริง - ผลการอนุรักษ์พลังงานตามแผนและที่เกิดขึ้นจริง -ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการ -ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ (3) สรุปผลการติดตามการดำเนินการของหลักสูตรการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน อย่างน้อยต้องมีรายละเอียดประกอบด้วย - ชื่อหลักสูตรหรือกิจกรรมการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน - สถานภาพการดำเนินการ						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	- ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ (ถ้ามี) - จำนวนผู้เข้าอบรม (ประกาศกระทรวง ฯ ข้อ 14)						
6.5	อื่น ๆ (ถ้ามี)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	**TSIC-ID :**	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	**รายการตรวจประเมิน**	**ผลการตรวจประเมิน**		**ความสอดคล้อง**			**ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน**
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	**ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน**	**สอดคล้องกับข้อกำหนด**	**ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด**		
					ประเภทร้ายแรง	**ประเภทไม่ร้ายแรง**	
7.การตรวจติดตามและการประเมินการจัดการพลังงาน							
7.1	จัดให้มีการตรวจติดตาม และประเมินการจัดการพลังงาน ในลักษณะของการตรวจสอบภายใน รวมถึงการทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน ช่วงเวลาที่เหมาะสมเป็นประจำ อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง (กฎกระทรวงฯ ข้อ 9, ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 15)						
7.2	มีคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรโดยประกอบด้วยบุคคลอย่างน้อยสองคนซึ่งมีความรู้ความเข้าใจในวิธีการจัดการพลังงาน มีความเป็นกลาง และเป็นอิสระในการดำเนินการโดยเจ้าของโรงงานควบคุมหรือ						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	อาคารควบคุมลงลายมือชื่อในคำสั่ง และเผยแพร่ให้บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 15 (1) และ (2))						
7.3	มีการดำเนินการตรวจติดตามฯ การดำเนินการจัดการพลังงานตามข้อกำหนด ดังนี้ (1) คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน (2) การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นในกรณีที่นำวิธีการจัดการพลังงานมาใช้เป็นครั้งแรก (3) การมีนโยบายอนุรักษ์พลังงานเป็นลายลักษณ์อักษร ซึ่งลงลายมือชื่อโดยเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมและเผยแพร่นโยบายอนุรักษ์พลังงาน (4) การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน (5) การมีเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานและแผนการฝึกอบรม ตลอดจนกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (6) การดำเนินการตามแผนการอนุรักษ์พลังงานและการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตาม						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	เป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน (7) การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน (8) ทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน โดยการตรวจสอบเอกสารและหลักฐานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานว่ามีและครบถ้วนหรือไม่ ซึ่งอาจรวมถึงการสอบถามหรือสัมภาษณ์บุคลากร และจัดทำสรุปผลการตรวจติดตาม พร้อมลงลายมือชื่อโดยประธานคณะผู้ตรวจประเมินฯ ส่งให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานและเจ้าของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 15 (3) ข้อ 16 และข้อ 17)						
7.4	อื่นๆ (ถ้ามี)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

รายการตรวจสอบการจัดการพลังงานในการดำเนินงานตามข้อกำหนด

ชื่อนิติบุคคลที่ถูกตรวจสอบ :	**ประจำปี :**	**ครั้งที่ :**
ชื่อโรงงานควบคุม/อาคารควบคุมที่ถูกตรวจสอบ:	**TSIC-ID :**	**วันที่ :**
ชื่อผู้ตรวจสอบ :		

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
8. การทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน							
8.1	มีการประชุมเพื่อทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน ตามช่วงเวลาที่เหมาะสมอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยนำผลสรุปจากการตรวจติดตามการดำเนินการจัดการพลังงานมาวิเคราะห์ความเหมาะสม และแนวทางการปรับปรุงการดำเนินการจัดการพลังงานและรายงานให้เจ้าของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบ โดยอย่างน้อยต้องมีผลการทบทวนการดำเนินการจัดการพลังงานในแต่ละขั้นตอนตามที่กฎกระทรวงกำหนดว่ามีความเหมาะสมหรือควรปรับปรุง หากเห็นควรปรับปรุงให้ระบุข้อบกพร่องที่ตรวจพบ พร้อมแนวทางการ						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
	ปรับปรุงข้อบกพร่องแต่ละขั้นตอน (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 18)						
8.2	มีตัวแทนจากหน่วยงานภายในของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมเข้าร่วมแสดงความคิดเห็นต่อการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 18)						
8.3	เจ้าของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม มีการนำผลการทบทวน วิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และในกรณีที่ปรากฏข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน มีการดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องนั้นโดยเร็ว (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 19)						

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ

(.....) (.....) (.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความสอดคล้อง			ข้อคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		ชื่อรายละเอียดของหลักฐานที่ตรวจพบ	ไม่มี/ไม่พบหลักฐาน	สอดคล้องกับข้อกำหนด	ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด		
					ประเภทร้ายแรง	ประเภทไม่ร้ายแรง	
8.4	มีการเผยแพร่ผลการประชุมและผลการทบทวนวิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานให้บุคลากรรับทราบอย่างทั่วถึง (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 20)						
8.5	อื่นๆ (ถ้ามี)						

หมายเหตุ : 1. กรณีที่มีหลักฐาน ให้ระบุหลักฐานที่มีอยู่ในหัวข้อนั้นๆ
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องหลักฐานว่าไม่มี/ไม่พบหลักฐาน ในกรณีที่ไม่มี/ไม่พบเอกสารหรือหลักฐานในหัวข้อนั้นๆ
3. ในกรณีที่มีหลักฐาน และสอดคล้องกับข้อกำหนดให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องสอดคล้องกับข้อกำหนด, กรณีไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด ให้ทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องว่าเป็นประเภทร้ายแรงหรือไม่ร้ายแรง

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ .....ผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ลงชื่อ .....ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ
(.....)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

รายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน
ประจำปี.....

1. ข้อมูลพื้นฐาน ☐ โรงงานควบคุม ☐ อาคารควบคุม

ชื่อโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุม .....**TSIC-ID**.....

ชื่อนิติบุคคล.....

ที่ตั้ง.....

โทรศัพท์.....**โทรสาร**.....**Website**.....

ชื่อผู้ติดต่อประสานงาน.....**ตำแหน่ง**.....

โทรศัพท์สำนักงาน.....**โทรศัพท์มือถือ**.....**E-mail**.....

วันที่ตรวจสอบ วันที่.....**ถึงวันที่**.....

2.	**รายชื่อผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน**
	2.1 .....ตำแหน่ง.....เลขประจำตัวประชาชน.....
	2.2 .....ตำแหน่ง.....เลขประจำตัวประชาชน.....
	2.3 .....ตำแหน่ง.....เลขประจำตัวประชาชน.....
	2.4 .....ตำแหน่ง.....เลขประจำตัวประชาชน.....
	2.5 .....ตำแหน่ง.....เลขประจำตัวประชาชน.....

3.	**สรุปข้อมูลผลการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม**	
3.1	กลุ่มของโรงงานและอาคารควบคุม	☐ กลุ่มที่ 1 (ขนาดเล็ก) : ประเภทอาคาร/ประเภทอุตสาหกรรม..... ☐ กลุ่มที่ 2 (ขนาดใหญ่): ประเภทอาคาร/ประเภทอุตสาหกรรม.....
3.2	ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน จำนวน .....คน	(1) ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานอาวุโส ชื่อ.....ทะเบียนเลขที่..... ชื่อ.....ทะเบียนเลขที่..... (2) ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ ชื่อ.....ทะเบียนเลขที่..... ชื่อ.....ทะเบียนเลขที่.....
3.3	ข้อมูลการใช้อาคาร/ ข้อมูลการผลิต	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ภาคผนวก ก ของรายงานการจัดการพลังงาน)
3.4	ข้อมูลระบบไฟฟ้า	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ภาคผนวก ก ของรายงานการจัดการพลังงาน)
3.5	ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ภาคผนวก ข ของรายงานการจัดการพลังงาน)
3.6	ข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิง	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ภาคผนวก ค ของรายงานการจัดการพลังงาน)
3.7	ข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ภาคผนวก ง ของรายงานการจัดการพลังงาน)
3.8	ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ภาคผนวก จ ของรายงานการจัดการพลังงาน)
3.9	ข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานเชื้อเพลิง	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ภาคผนวก ฉ ของรายงานการจัดการพลังงาน)
3.10	ผลการวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า และด้านความร้อน	รายละเอียดตามเอกสารแนบ (ตารางสรุปขั้นตอนที่ 6 ของรายงานการจัดการพลังงาน)

4.	สรุปผลการตรวจสอบ
☐	**ผ่านการตรวจสอบ เนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม ปฏิบัติตามข้อกำหนดถูกต้องและครบถ้วนทุกข้อ**
☐	**ผ่านการตรวจสอบ แต่ต้องปรับปรุงในปีถัดไปเนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม ปฏิบัติตามข้อกำหนดไม่ครบทุกข้อ หรือข้อบกพร่องบางประการไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างไม่ร้ายแรงจำนวน.....ข้อแสดงรายละเอียดตามข้อ 5**
☐	**ไม่ผ่านการตรวจสอบ เนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุมดำเนินการจัดการพลังงานไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างร้ายแรง จำนวน..... ข้อ และ ปฏิบัติตามข้อกำหนดไม่ครบทุกข้อ หรือข้อบกพร่องบางประการไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดอย่างไม่ร้ายแรงจำนวน.....ข้อ แสดงรายละเอียดตามข้อ 5 และ 6**

5	**รายละเอียดความไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดประเภทไม่ร้ายแรง** (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 24 (3) (ข))	**ระบุรายละเอียดสิ่งที่ไม่สอดคล้อง**
	☐ (ข.1) การมีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานการมีคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรและการมีนโยบายอนุรักษ์พลังงานเป็นเอกสารแต่ยังไม่ได้ลงลายมือชื่อโดยเจ้าของโรงงานควบคุมหรือเจ้าของอาคารควบคุม	
	☐ (ข.2) การกำหนดอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานสอดคล้องกับสาระสำคัญบางข้อตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นไม่ครบทุกหน่วยงานย่อยตามโครงสร้างของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมหรือการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นไม่ครบทุกองค์ประกอบตามที่กำหนด การกำหนดนโยบายอนุรักษ์สอดคล้องกับสาระสำคัญบางข้อตามที่กำหนดในกฎกระทรวง มีการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานการตรวจประเมินการจัดการพลังงานและการทบทวนวิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานในบางข้อหรือไม่ครบทุกองค์ประกอบตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศกระทรวง	

5	**รายละเอียดความไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดประเภทไม่ร้ายแรง** (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 24 (3) (ข)	**ระบุรายละเอียดสิ่งที่ไม่สอดคล้อง**
	☐ (ข.3) ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานรวมถึงผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าและด้านความร้อนและผลการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลการปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานในแต่ละมาตรการไม่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมผลการติดตามการจัดฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้	
	☐ (ข.4) มีการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรนโยบายอนุรักษ์พลังงานแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานด้วยวิธีการใดวิธีการหนึ่งแล้วแต่บุคลากรของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมได้รับทราบไม่ทั่วถึงเป็นต้น	
	☐อื่นๆ	

6	**รายละเอียดความไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดประเภทร้ายแรง** (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 24 (3) (ก))	**ระบุรายละเอียดสิ่งที่ไม่สอดคล้อง**
	☐ (ก.1) การไม่มีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเป็นเอกสารการไม่กำหนดอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง	
	☐ (ก.2) การไม่ประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นทั้งในหน่วยงานย่อยตามโครงสร้างและภาพรวมของโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมในกรณีที่มีการนำวิธีการจัดการพลังงานมาใช้เป็นครั้งแรก	
	☐ (ก.3) การไม่มีนโยบายอนุรักษ์พลังงานเป็นเอกสารการไม่กำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงานให้มีสาระสำคัญตามที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวงการไม่ประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการในข้อใดเลยที่กำหนดไว้ในประกาศ	
	☐ (ก.4) การไม่กำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศการไม่กำหนดแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	
	☐ (ก.5) การไม่ดำเนินการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศการไม่ติดตามผลการดำเนินการของการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	
	☐ (ก.6) การไม่มีคำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรเป็นเอกสารการไม่ตรวจประเมินการจัดการพลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศการไม่ทบทวนวิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในประกาศการไม่นำผลการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงานนำเสนอคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเพื่อทบทวนวิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงานในรอบปีการไม่มีผลการทบทวนวิเคราะห์และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน	

6	**รายละเอียดความไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดประเภทร้ายแรง** (ประกาศกระทรวงฯ ข้อ 24 (3) (ก)	**ระบุรายละเอียดสิ่งที่ไม่สอดคล้อง**
	☐ (ก.7) การไม่เผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานการไม่เผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งคณะผู้ตรวจประเมินการจัดการพลังงานภายในองค์กรรวมถึงการไม่เผยแพร่ในเรื่องของนโยบายอนุรักษ์พลังงานแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานด้วยวิธีการใดๆให้บุคลากรในโรงงานควบคุมหรืออาคารควบคุมทราบอย่างทั่วถึง	
	☐ อื่นๆ	

7. รายละเอียดผลสรุปการตรวจสอบ

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		สอดคล้อง	ไม่สอดคล้อง	
1.	คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน			
2.	การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น			
3.	นโยบายอนุรักษ์พลังงาน			
4.	การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน			
5.	การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน			

ลำดับที่	รายการตรวจประเมิน	ผลการตรวจประเมิน		ความคิดเห็นการปรับปรุงวิธีการดำเนินการจัดการพลังงาน
		สอดคล้อง	ไม่สอดคล้อง	
6.	การดำเนินการตามแผนการอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน			
7.	การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน			
8.	การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน			

ขอรับรองว่าข้อความข้างต้นถูกต้อง เป็นความจริงทุกประการ

ลงชื่อ ..... (.....) วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... (ผู้รับใบอนุญาต) ใบอนุญาตเลขที่.....	ลงชื่อ ..... (.....) วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... (ผู้ชำนาญการ)	ลงชื่อ ..... (.....) วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... (ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ)	ลงชื่อ ..... (.....) วันที่.....เดือน.....พ.ศ..... (ผู้ช่วยผู้ชำนาญการ)

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน
อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ
ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 0 2577 7035-41 โทรสาร 0 2577 7047
http://www2.dede.go.th/bhrd/old/

ISBN 978-616-8040-14-0
9 786168 040140
คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน
ระดับผู้ชำนาญการ