



กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุม
ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทสิ่งทอ



ดำเนินการโดย

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

คำนำ

กรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีอำนาจหน้าที่ กำกับดูแลการประกอบกิจการโรงงานให้ความปลอดภัยต่อคน ทรัพย์สิน ชุมชน สิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมได้ดำเนินการโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กมีความเข้าใจการปฏิบัติ วิเคราะห์ประเมินการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานของตนเอง สร้างแนวทางมาตรการ และยกระดับการปฏิบัติงานให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอย่างแท้จริง รวมทั้งการลดการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมและประเทศ ซึ่งการดำเนินโครงการประกอบไปด้วย 3 กิจกรรมหลักคือ

1. การฝึกอบรมถ่ายทอดการอนุรักษ์พลังงานให้แก่ผู้ประกอบการโรงงาน
2. การจัดทำคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม 3 ประเภท ได้แก่ โรงงานอาหาร กระป๋อง โรงงานห้องเย็น และโรงงานสิ่งทอ
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยการปรับแต่งหัวเผา

ผลจากการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้จัดทำคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ โดยคู่มือเล่มนี้ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรม รายละเอียดกระบวนการผลิต อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต การตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสม การบริหารจัดการด้านพลังงานในโรงงาน ปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงาน และสุดท้ายกรณีศึกษา มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ขอขอบคุณผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการฯ เป็นอย่างยิ่ง โดยได้รับความร่วมมือในการให้ข้อมูลและดำเนินโครงการจนบรรลุวัตถุประสงค์ รวมทั้งได้เป็นกรณีตัวอย่างให้แก่ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างดี

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

พฤษภาคม 2547

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 :	ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมสิ่งทอ	1-1
บทที่ 2 :	รายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ	
2.1	กระบวนการทอผ้า	2-1
2.2	กระบวนการการฟอกย้อม พิมพ์ผ้า และตกแต่งสำเร็จ	2-2
2.3	ตัวอย่างกรณีศึกษากระบวนการผลิตสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง	2-4
	และขนาดเล็ก	
บทที่ 3 :	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต	3-1
บทที่ 4 :	ลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ	
4.1	ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต	4-1
4.2	ตัวอย่างกรณีศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม	4-3
	ขนาดกลางและขนาดเล็ก	
4.3	ภาพรวมของการใช้พลังงานและลักษณะการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต	4-7
4.4	การแปลความหมายของแผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน	4-9
4.5	การแปลความหมายของดัชนีการใช้พลังงาน	4-9
4.6	ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานทอผ้าย้อมสี	4-10
4.7	ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานย้อมผ้าฝ้ายและยางยืด	4-14
4.8	ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัดเย็บและฟอกย้อมเสื้อผ้าสำเร็จรูป	4-17
บทที่ 5 :	การตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน	
5.1	พื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงาน	5-1
5.2	การตรวจวัดเบื้องต้น	5-5
5.3	อุปกรณ์การตรวจวัดซึ่งต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัด	5-9
5.4	การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน	5-20
บทที่ 6 :	การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ	
6.1	การอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต	6-1
6.2	การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า	6-6
6.3	การอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน	6-19
6.4	การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเสีย	6-24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 :	การบริหารจัดการด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก	
7.1	ความหมายของการบริหารจัดการพลังงาน	7-1
7.2	หลักการบริหารจัดการพลังงาน.....	7-2
บทที่ 8 :	ปัจจัยที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก	
8.1	ปัจจัยที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงาน.....	8-1
ภาคผนวก ก.	กรณีศึกษา	ก-1
ภาคผนวก ข.	การเปลี่ยนหน่วย	ข-1
ภาคผนวก ค.	ตารางแสดงคุณสมบัติ	ค-1

บทที่ 1

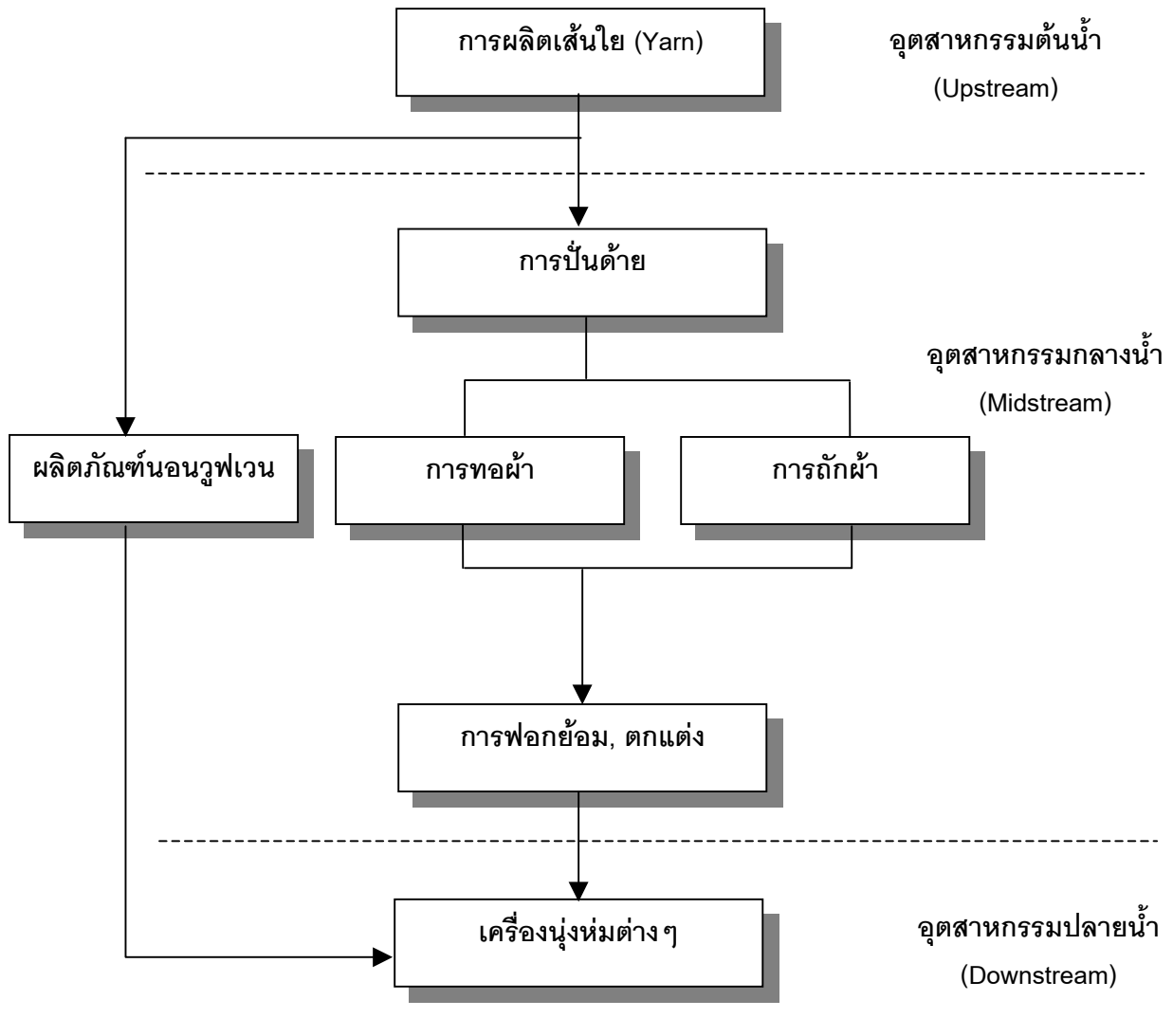
ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นอุตสาหกรรมที่มีจุดประสงค์เพื่อผลิตเครื่องนุ่งห่มเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีประเภทของผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท แต่สามารถแยกประเภทตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้ 3 ประเภท ดังนี้

- ก. อุตสาหกรรมต้นน้ำ (Upstream) เป็นอุตสาหกรรมเริ่มต้นของสิ่งทอ ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะเป็นเส้นใย ซึ่งมีทั้งเส้นใยจากพืช และเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน โพลีเอสเตอร์ โพลีเอทิลีนไตรล เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีระดับสูง ใช้แรงงานไม่มาก ผลผลิตในอุตสาหกรรมนี้จะนำไปใช้ต่อในอุตสาหกรรมกลางน้ำ
- ข. อุตสาหกรรมกลางน้ำ (Midstream) คือ อุตสาหกรรมปั่นด้าย ทอผ้าและถักผ้า ฟอกย้อม พิมพ์ และตกแต่งเสร็จเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีสูงและเทคโนโลยีเปลี่ยนแปลงเร็วมาก ผลผลิตที่ได้จะนำไปใช้ในการผลิตในอุตสาหกรรมขั้นปลายต่อไป
- ค. อุตสาหกรรมปลายน้ำ (Downstream) คือ อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและเสื้อผ้าสำเร็จรูปเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แรงงานเป็นปัจจัยหลักในการผลิต ประสิทธิภาพของแรงงานมีความสำคัญมากกว่าประสิทธิภาพของเครื่องจักร เทคโนโลยีที่ทันสมัยมีส่วนช่วยในการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบและสิ่งของให้เร็วขึ้น ผลผลิตจากอุตสาหกรรมนี้จะจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคต่อไป

อุตสาหกรรมต้นน้ำส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและความร้อนปริมาณมาก บางโรงงานจะเป็นอุตสาหกรรมทั้งต้นน้ำและกลางน้ำ แต่ส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ ยกเว้นเส้นใยที่ทำจากพืชอาจมาจากอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม หรืออุตสาหกรรมครัวเรือน

โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำ และอุตสาหกรรมปลายน้ำ ซึ่งมีการใช้พลังงานไม่สูงนัก ในคู่มือฉบับนี้จึงมุ่งเน้นถึงอุตสาหกรรมกลางน้ำและปลายน้ำเป็นหลัก ให้สอดคล้องกับผลการศึกษา ภาพรวมของอุตสาหกรรมสิ่งทอสามารถแสดงได้ในรูปที่ 1-1



รูปที่ 1-1 โครงสร้างของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ผู้ผลิต : โรงงานใยสังเคราะห์ 18 โรงงาน คิดเป็น 0.4%
 โรงงานปั่นด้าย 150 โรงงาน คิดเป็น 9%
 โรงงานฟอกย้อม 410 โรงงาน คิดเป็น 3.3%
 โรงงานทอผ้าย้อม 1,310 โรงงาน คิดเป็น 28.7%
 โรงงานเสื้อผ้าสำเร็จรูป 2,666 โรงงาน คิดเป็น 58.5%

ปริมาณของผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ผลิตได้ทั้งหมดร้อยละ 60 เป็นการผลิตเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบภายในประเทศ ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 40 เป็นการผลิตเพื่อการส่งออก โดยที่กำลังการผลิต ปริมาณการผลิต ปริมาณการนำเข้า รวมทั้งปริมาณการขายภายในประเทศและการส่งออกไปยังต่างประเทศ แสดงได้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงกำลังผลิต ปริมาณการผลิต ปริมาณการนำเข้า ปริมาณการขายภายในประเทศ และการส่งออกไปยังต่างประเทศ

ช่วงเวลา : เมษายน – มิถุนายน 2546

หน่วย : ตัน

ผลิตภัณฑ์	Tariff No.	กำลังการผลิต	ปริมาณการผลิต	ปริมาณการนำเข้า	ยอดขาย		ยอดขายรวม
					ภายในประเทศ	ต่างประเทศ	
<i>Polyester</i>							
Polyester High Tenacity	5,402.200	3,210	3,498	1,541	1,302	1,838	3,140
Polyester POY	5,402.420	52,545	49,595	1,759	18,508	11,134	29,642
Polyester Filament Yarn	5,402.430	34,780	32,141	667	18,133	7,754	25,887
Polyester Staple Fiber	5,503.200	99,550	89,533	6,880	46,060	39,122	85,182
รวม		190,085	174,767	10,847	84,003	59,848	143,851
<i>Nylon</i>							
Nylon High Tenacity	5,402.100	3,540	3,372	5,466	2,235	538	2,773
Nylon Filament Yarn	5,402.410	6,751	5,397	1,432	1,763	2,684	4,447
Nylon Filament Yarn	5,402.510	3,133	2,437	23	945	105	1,050
รวม		13,424	11,206	6,921	4,943	3,327	8,270
<i>Acrylic</i>							
Acrylic Staple Fiber	5,503.300	14,250	14,550	3,463	5,332	6,999	12,331
<i>Rayon</i>							
Rayon Staple Fiber	5,504.100	16,250	18,911	178	8,498	9,472	17,970
รวม		234,009	219,434	21,409	102,776	79,646	182,422
(% Utilization / Production)			93.77	9.76	46.84	36.30	83.13

ที่มา : 1. For Production Capacity, Quantity and Domestic Sales collected from TSMA.s Member

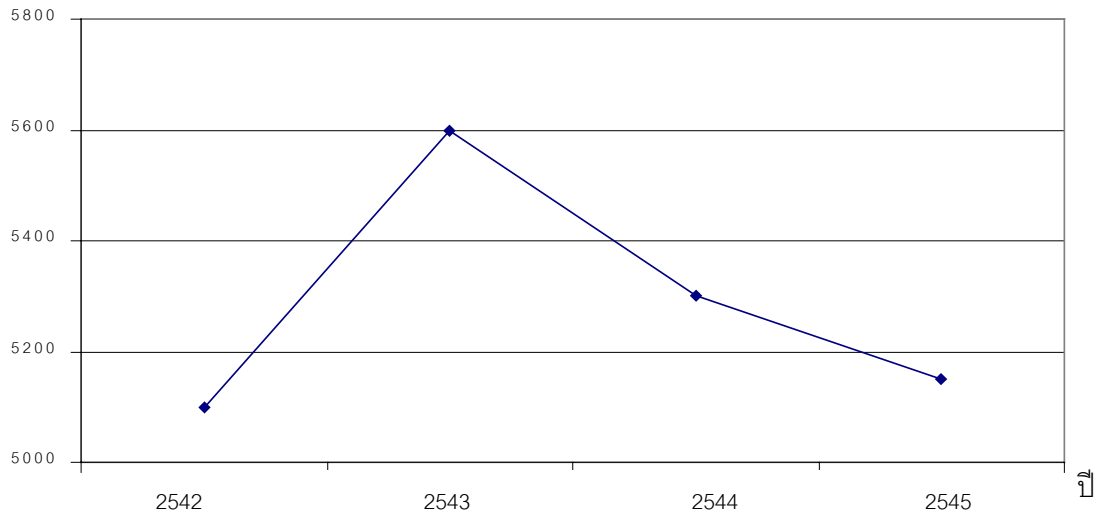
2. For Import & Export compiled from Thai Customs Dept.

ภาพรวมการส่งออก

- เป้าหมายการส่งออก : ปี 2546
5,359 ล้านเหรียญสหรัฐฯ อัตราการขยายตัวร้อยละ 4.0
- มูลค่าการส่งออกสิ่งทอ (ม.ค. – ก.พ. 2546)
845.12 ล้านเหรียญสหรัฐฯ อัตราการขยายตัวร้อยละ 15.43
- สัดส่วนสินค้าส่งออกสำคัญ (ม.ค. – พ.ย. 2546)
 - เครื่องนุ่งห่ม 57.27%
 - เส้นใยประดิษฐ์ 5.86%
 - อื่นๆ 10.21%
 - ผ้าฝ้ายและด้าย 23.85%
 - เคหะสิ่งทอ 2.81%

- สัดส่วนตลาดส่งออกสำคัญ (ม.ค. – ก.พ. 2546)
 - สหรัฐอเมริกา 37.06%
 - ญี่ปุ่น 7.40%
 - สหราชอาณาจักร 4.55%
 - ฮองกง 3.18%
 - จีน 2.68%

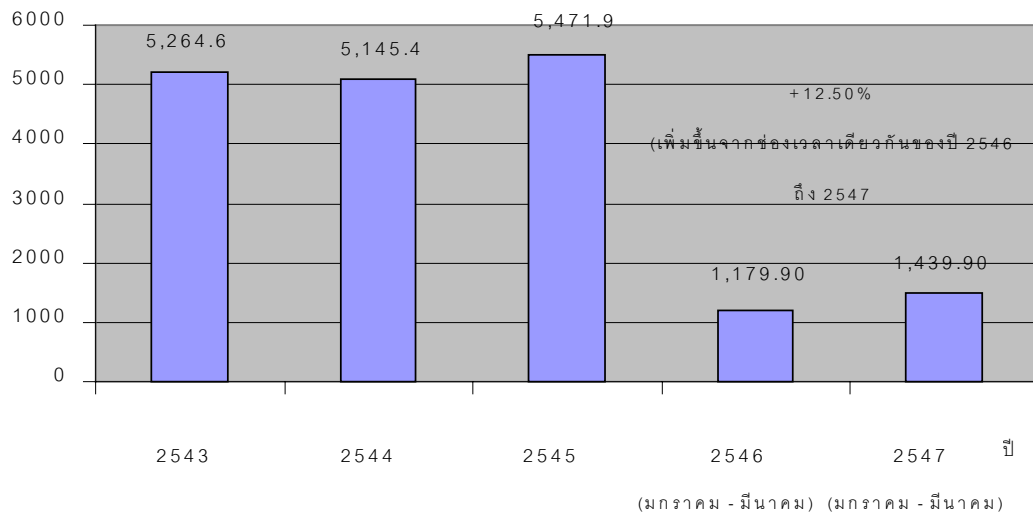
มูลค่า : ล้านดอลลาร์สหรัฐ



รูปที่ 1-2 กราฟแสดงมูลค่าการส่งออกสิ่งทอของไทย

ส่วนมูลค่าการส่งออกของสิ่งทอของประเทศไทยจากปี 2543 ถึง 2547 แสดงในแผนภาพที่ 1.3

มูลค่า : ล้านดอลลาร์สหรัฐ



รูปที่ 1-3 แสดงแผนภาพมูลค่าการส่งออกสิ่งทอไทยจากปี 2543 ถึง 2547

บทที่ 2

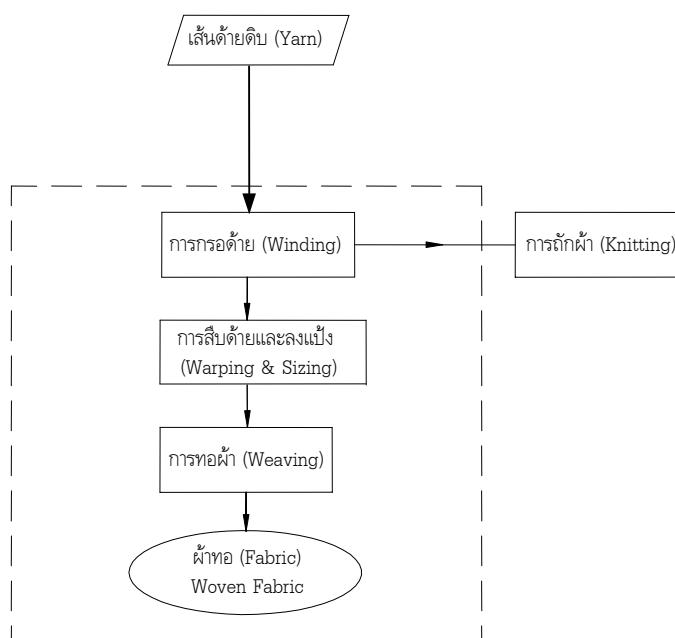
รายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

กระบวนการผลิตหลักๆ ในอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันเกือบทุกโรงงาน แตกต่างกันเพียงรายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก และเนื่องจากอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก จะเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำและอุตสาหกรรมปลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในคู่มือฉบับนี้จะแสดงเพียงอุตสาหกรรมกลางน้ำและอุตสาหกรรมปลายน้ำเท่านั้น

จากโครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอที่กล่าวในบทที่ 1 ในส่วนของอุตสาหกรรมกลางน้ำจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการผลิตเส้นทอและเส้นถัก และการปั่นด้าย (ประกอบด้วย การทอผ้า และการฟอกย้อม) ซึ่งจะขกกล่าวเพียงการทอผ้า และการฟอกย้อมเท่านั้น โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้

2.1 กระบวนการทอผ้า

สามารถแบ่งเป็น 3 วิธีหลักๆ คือ การทอผ้า (Weaving) การถักผ้า (Knitting) และการทำผ้าอเนก-วูฟเวน (non-woven) สำหรับใช้ทำเป็นเครื่องนุ่งห่ม โดยมีขั้นตอนการผลิตหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-1

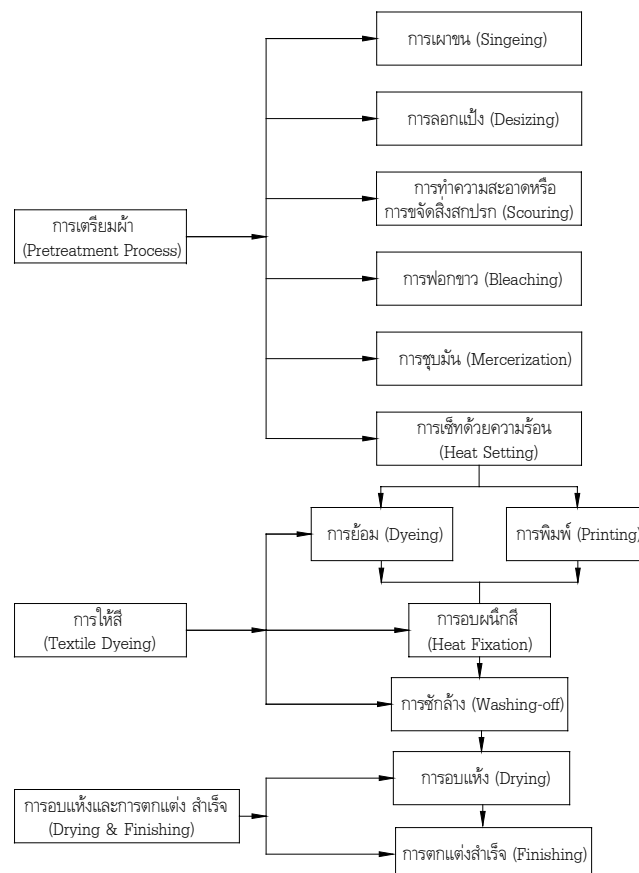


รูปที่ 2-1 ขั้นตอนการผลิตในกระบวนการทอผ้า

- **การกรอด้วย (winding)** เป็นขั้นตอนการจับด้ายให้มีความเรียบร้อย โดยการม้วนด้วยลูกด้าย (Package) เหตุผลอีกประการ คือ เพื่อให้สามารถตรวจสอบข้อบกพร่อง และสิ่งแปลกปลอมของเส้นด้ายได้ พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนนี้จะเป็นพลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า
- **การสืบด้วยและลงแป้ (warping & sizing)** เป็นขั้นตอนการนำลูกด้ายมาเรียงต่อกัน ก่อนม้วนลงบี้ม (Beam) สำหรับการลงแป้ จุดประสงค์เพื่อลดการขาดของเส้นด้าย โดยผ่านอ่างแป้และระเหยน้ำให้แห้ง ในขั้นตอนนี้จะใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
- **การทอผ้า (weaving)** เป็นการนำเส้นด้าย 2 ชุดมาสานเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดเป็นแผ่นและมีลวดลายตามที่ต้องการ ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้เฉพาะพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นมอเตอร์ในเครื่องทอ

2.2 กระบวนการการฟอกย้อม พิมพ์ผ้าและตกแต่งสำเร็จ

การผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์ผ้า เป็นกระบวนการผลิตที่ทำหน้าที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอ คือเส้นด้ายหรือผ้าดิบ โดยผ่านกระบวนการทางเคมีที่ปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใยหรือผ้าโดยใช้สารเคมีและสีย้อมพิมพ์ที่เหมาะสม ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-2



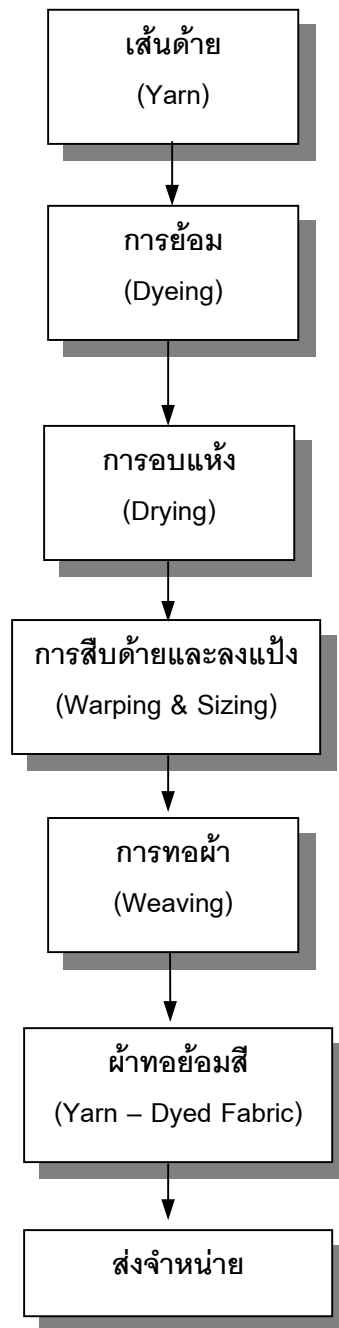
รูปที่ 2-2 ขั้นตอนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์ผ้า

- 1) การเตรียมผ้า (Pretreatment Process) ในขั้นตอนการเตรียมผ้าประกอบด้วย
 - การเผาขน (Singeing) เป็นการกำจัดขนที่เกิดขึ้นบนผิวด้าย เพื่อให้มีผิวเรียบร้อยก่อนนำไปฟอกย้อม ในขั้นตอนนี้จะใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการเผาขนก่อน ถ้าใช้การชดักก็จะใช้พลังงานไฟฟ้าหรือถ้าใช้เปลวไฟก็จะใช้แก๊ส เป็นต้น
 - การลอกแป้ง (Desizing) ขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดสารลงแป้ง (sizing) ที่มีอยู่ในเส้นด้าย เพื่อให้ผ้ามีคุณสมบัติการเปียกน้ำได้ดี มีคุณสมบัติในการดูดสีได้ดีและสม่ำเสมอ ขั้นตอนนี้จะมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
 - การทำความสะอาดหรือการขจัดสิ่งสกปรก (scouring) เป็นการกำจัดไขมันและสารปนเปื้อนต่างๆ ที่ติดมาตามธรรมชาติ และจากขั้นตอนการปั่นทอ เพื่อให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำได้ดี ขั้นตอนนี้มีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน
 - การฟอกขาว (Bleaching) เป็นการกำจัดสารมีสีในธรรมชาติที่ติดมากับวัสดุสิ่งทอ โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เส้นใยขาวขึ้น
 - การชุบมัน (Mercerization) เป็นการทำให้ผ้ามีคุณสมบัติดีขึ้นในด้านความสามารถในการดูดซึมน้ำ
- 2) การให้สี (Textile Dyeing) กระบวนการนี้จะประกอบไปด้วย
 - ขั้นตอนการย้อม (Dyeing) คือการทำให้เส้นด้ายหรือเส้นด้ายมีสีเหมือนกันทั้งผืน โดยทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับผ้า
 - ขั้นตอนการอบผนึกสี (Heat Fixation) คือการใช้ความร้อนทำให้สีติดกับเส้นใย
 - การซักล้าง (Washing – Off) คือการกำจัดสีและสารเคมีส่วนเกินที่ไม่ได้ผนึกอยู่บนเส้นใยให้หลุดออกไป
- 3) การอบแห้งและการตกแต่งสำเร็จ กระบวนการนี้ประกอบด้วย
 - การอบแห้ง (Drying) คือการนำผ้าที่ผ่านการล้างขั้นสุดท้ายแล้วมาอบให้แห้งซึ่งถือเป็นกระบวนการสุดท้ายของขั้นตอนการย้อมและพิมพ์ผ้า
 - การตกแต่งสำเร็จ (Finishing) คือการตกแต่งเส้นด้ายหรือผืนผ้าให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้นทั้งความสวยงามและประโยชน์ใช้สอย

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็กประเภทอุตสาหกรรมสิ่งทอที่นำมาเป็นกรณีศึกษาทั้งหมด 3 โรงงาน ประกอบด้วย โรงงานทอผ้าย้อมสี, โรงงานย้อมสี และโรงงานตัดเย็บและฟอกย้อมผ้าสำเร็จรูป ซึ่งมีรายละเอียดกระบวนการผลิต ดังที่จะแสดงเป็นตัวอย่างต่อไปในหัวข้อที่ 2.3

2.3 ตัวอย่างกรณีศึกษากระบวนการผลิตสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

2.3.1 โรงงานกรณีศึกษาที่ 1 (กระบวนการผลิตผ้าทอย้อมสี)



รูปที่ 2-3 แผนผังกระบวนการผลิตผ้าทอย้อมสี

รายละเอียดขั้นตอนในกระบวนการผลิต

- การกรอด้าย (Winding) นำด้ายดิบ (Yarn) มากรอเข้าหลอดด้ายด้วยเครื่องกรอด้าย (Winding machine) ให้เรียบร้อย ในขั้นตอนที่จะใช้เฉพาะพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น



รูปที่ 2-4 ลักษณะหลอดด้าย

- การย้อม (Dyeing) นำด้ายเข้าย้อมสีด้วยเครื่องย้อม (Dyeing Machine) โดยใช้ความร้อนจากไอน้ำที่อุณหภูมิ 120°C โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 30 นาที พลังงานที่ใช้จะมีทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2-5 เครื่องย้อมผ้า (Dyeing Machine)

- **การอบแห้ง (Drying)** นำด้ายที่ถูกย้อมมาทำการอบแห้งด้วยหม้ออบ โดยใช้ไอน้ำจากหม้อไอน้ำผ่านเครื่องสร้างลมร้อน แล้วนำลมร้อนไปอบเส้นด้าย เมื่อเส้นด้ายแห้งแล้วจะถูกส่งไปยังขั้นตอนต่อไป โดย ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 20 นาที พลังงานที่ใช้จะมีทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน



รูปที่ 2-6 เครื่องอบแห้ง

- **การสืบด้ายและลงแป้ง (Warping & Sizing)** นำด้ายที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาเข้าเครื่องสืบด้าย (Warping Machine) เพื่อต่อด้ายและทำการลงแป้ง (Sizing) เพื่อให้เส้นด้ายมีความคงทนแข็งแรง



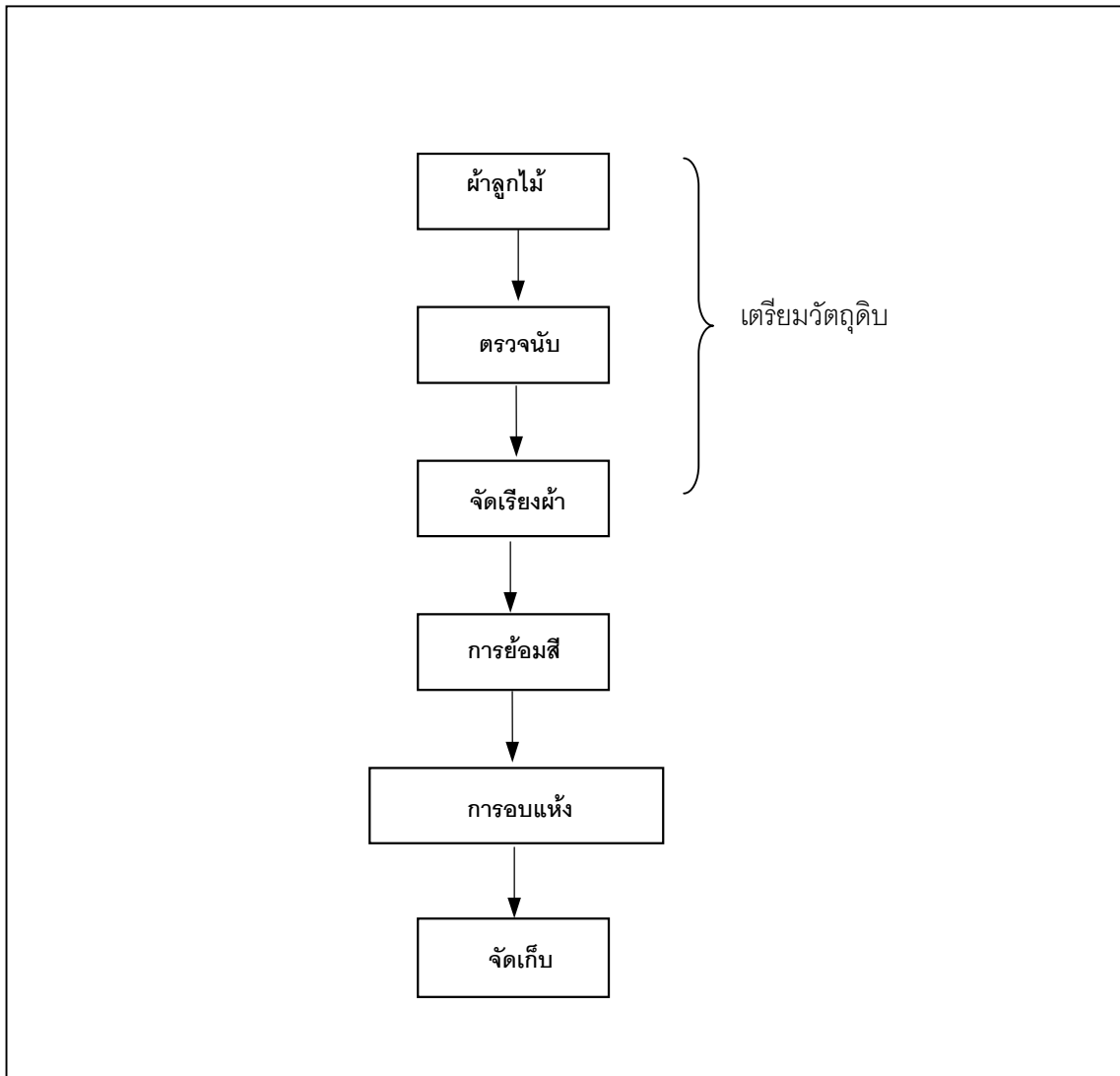
รูปที่ 2-7 เครื่องสืบด้าย (Warping Machine)

- **การทอผ้า (Weaving)** เมื่อทำการลงแป้งเรียบร้อยแล้วนำเส้นด้ายมาทอเป็นผืนด้วยเครื่องทอผ้า (Weaving Machine) ในขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าเท่านั้นเมื่อทอผ้าเสร็จก็จะได้ผ้าทอย้อมสีที่รอการจำหน่ายสู่อุตสาหกรรมปลายน้ำต่อไป



รูปที่ 2-8 เครื่องทอผ้า (Weaving Machine)

2.3.2 โรงงานกรณีศึกษาที่ 2 (กระบวนการผลิตย้อมผ้าลูกไม้)



รูปที่ 2-9 แสดงแผนผังกระบวนการย้อมสี

รายละเอียดขั้นตอนในกระบวนการผลิต

- **เตรียมวัตถุดิบ (Preparation)** ขั้นตอนนี้จะเป็นการเตรียมเพื่อนำผ้าไปย้อมสี โดยการนำผ้าลูกไม้มาทำการตรวจนับจำนวน และจัดเรียงเพื่อเตรียมนำไปย้อม
- **การย้อมสี (Dyeing)** เพื่อให้ได้ผ้าลูกไม้ที่มีสีตามที่ต้องการ โดยการนำผ้าที่จัดเตรียมไว้ลงย้อมสีในเครื่องย้อม ซึ่งย้อมโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ โดยผ่านเครื่องย้อมผ้าที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ตั้งแต่ 75°C ถึง 140°C ตามลำดับ เพื่อให้สีที่ย้อมติดแน่นและสม่ำเสมอทั่วผืนผ้า



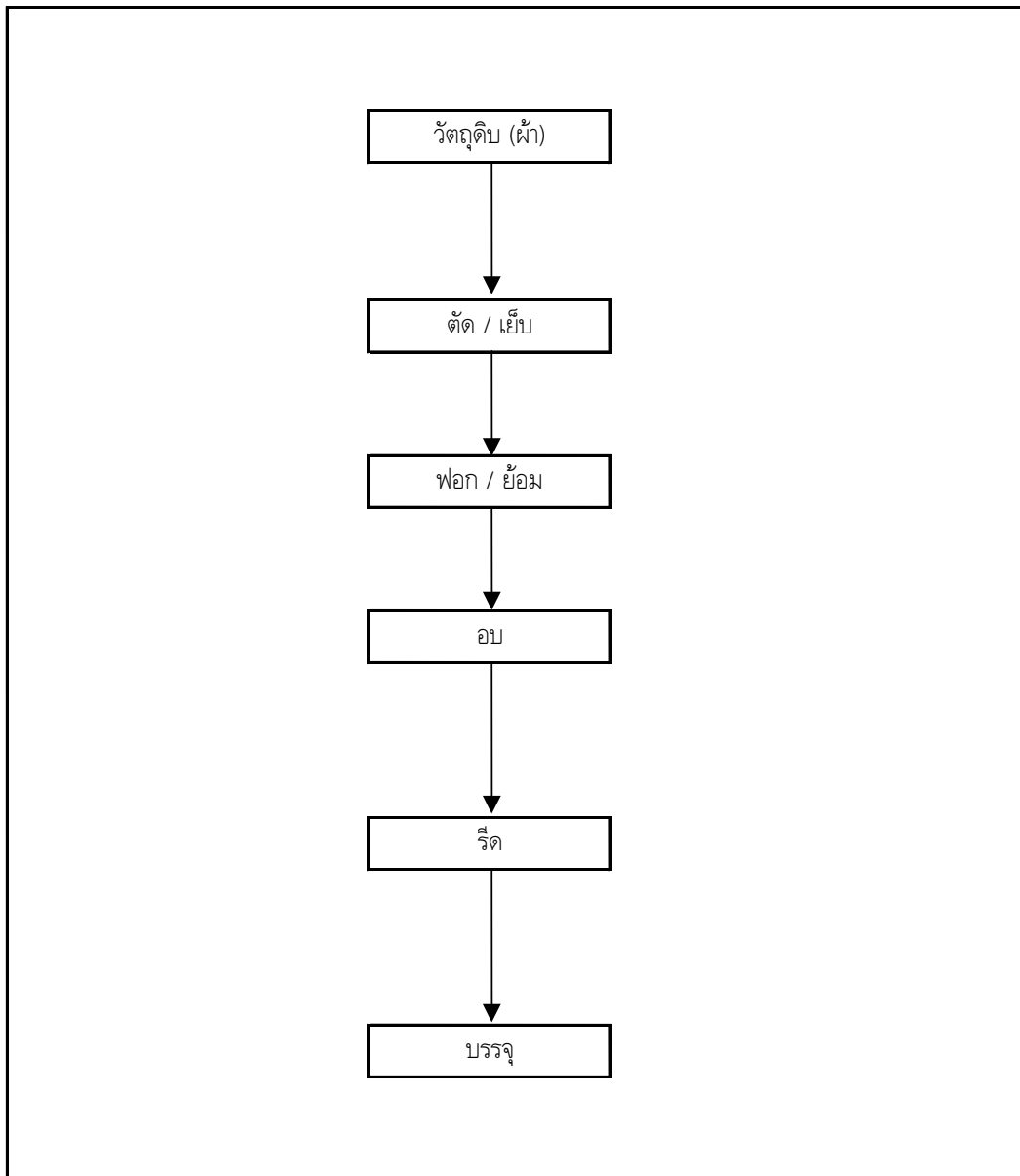
รูปที่ 2-10 เครื่องย้อมผ้า (Dyeing Machine)

- **การอบแห้ง (Drying)** เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการย้อมก่อนนำไปตัดแต่งสำเร็จ โดยการนำผ้าที่ย้อมสีเรียบร้อยแล้วนำเข้าเครื่องอบให้แห้งและเป็นการขยายหน้าผ้า โดยจะใช้ความร้อนจากหม้อน้ำมันร้อนอุณหภูมิใช้งานประมาณ 215°C หลังจากอบแห้งเรียบร้อยแล้วนำส่งเพื่อรอจำหน่าย



รูปที่ 2-11 เครื่องอบแห้ง (Drying Machine)

2.3.3 โรงงานกรณีศึกษาที่ 3 (กระบวนการตัดเย็บและฟอกย้อม)



รูปที่ 2-12 แผนผังแสดงกระบวนการตัดเย็บและฟอกย้อม

รายละเอียดขั้นตอนในกระบวนการผลิต

- **การนำวัตถุดิบ** ทางโรงงานได้จัดซื้อและนำวัตถุดิบ (ผ้าม้วน) ตามรายการสั่งซื้อ ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบทั้งหมดแล้วทำการส่งเข้าในขั้นตอนต่อไป
- **การตัดและเย็บ** ในขั้นตอนนี้เมื่อได้รับวัตถุดิบมาแล้ว ทำการตัดผ้าตามรูปแบบและขนาดที่ได้ออกแบบไว้แล้วส่งเย็บเป็นผลิตภัณฑ์ เสื้อผ้าสำเร็จรูป ในขั้นตอนที่จะใช้พลังงานไฟฟ้า
- **การฟอกและย้อม** ในขั้นตอนนี้เมื่อทำการตัดเย็บเรียบร้อยแล้ว ก็จะต้องผ่านกระบวนการฟอกและย้อมเพื่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะใช้พลังงานความร้อนเป็นหลัก



รูปที่ 2-13 เครื่องฟอกและย้อมผ้า

- **การอบ** ขั้นตอนนี้เมื่อทำการฟอกและย้อมเสร็จแล้วก็ต้องผ่านการอบ โดยผ่านความร้อนตามกระบวนการเพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พลังงานที่ใช้จะเป็นพลังงานความร้อน



รูปที่ 2-14 เครื่องอบผ้า

- **การรีด** เมื่อทำการอบเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนจากนี้ก็จะขั้นตอนการรีด โดยใช้เตารีดไอน้ำเข้ารูปทรง เพื่อเป็นการตกแต่งผลิตภัณฑ์ให้และสวยงามตามที่ได้ออกแบบไว้ พลังงานที่ใช้จะเป็นพลังงานความร้อน
- **การบรรจุ** เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการ โดยการแยกจัดเก็บและบรรจุผลิตภัณฑ์ ตามชนิดของแต่ละประเภท แล้วทำการจัดส่งเก็บตามกระบวนการต่อไป

บทที่ 3

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอในคู่มือฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะกระบวนการผลิตทอผ้าย้อมสี ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำและกระบวนการผลิตตัดเย็บ และฟอกย้อมเสื้อผ้าสำเร็จรูป ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำเท่านั้น

1) กระบวนการผลิตทอผ้าย้อมสี

เครื่องจักรที่ใช้กระบวนการผลิตทอผ้าย้อมสี ประกอบด้วย

- เครื่องย้อม
- เครื่องสับไฟฟ้า
- เครื่องตีเกลียว
- เครื่องทอ
- เครื่องกรอด้วยฟุ้ง
- มอเตอร์ขับเคลื่อนสายพาน
- Blower เป่าลมร้อน
- เครื่องอบขยายหน้าผ้า
- เครื่องสลัดผ้า
- เครื่องม้วนผ้า
- เครื่องโรยผ้า

● การเตรียมวัตถุดิบ (Preparation)

วัตถุดิบในกระบวนการนี้เกือบทั้งหมดจะเป็นเส้นด้าย ซึ่งอาจจะเป็นผ้าฝ้าย, โยสังเคราะห์ ซึ่งรับมาจากอุตสาหกรรมต้นน้ำ ขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบจะมีการใช้พลังงานหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำเข้า บางกระบวนการจะต้องมีการปั่นด้ายก่อน เครื่องจักรที่ใช้พลังงาน เช่น

- เครื่องตีเกลียว จะใช้พลังงานไฟฟ้า

● การย้อม (Dyeing)

ขั้นตอนการย้อมจะมีการใช้ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าอยู่ด้วยกัน โดยพลังงานความร้อนที่ใช้จะเป็นไอน้ำที่รับมาจากหม้อไอน้ำ ส่วนพลังงานไฟฟ้าจะเป็นจำพวกมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลัก เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนนี้ ได้แก่ เครื่องย้อม

● การอบแห้ง (Drying)

ขั้นตอนการอบแห้ง จะมีการใช้พลังงานทั้งในส่วนไฟฟ้า และความร้อน โดยไฟฟ้าจะเป็นมอเตอร์ใช้กำลังไฟฟ้าไม่สูงนักส่วนใหญ่อจะใช้ความร้อนจากไอน้ำหรือหม้อน้ำมันร้อน เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการนี้ ได้แก่ หม้ออบ, เครื่องอบแห้ง, เครื่องอบขยายหน้าผ้า

- การสืบด้ายและลงแป้ (Warping & Sizing)

ในขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก และจะใช้พลังงานความร้อนเล็กน้อยในการลงแป้ เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่ เครื่องสืบด้าย, เครื่อง Sizing

- การทอผ้า (Weaving)

ในขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว โดยโหลดจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดไม่สูงนัก เพียงประมาณ 0.55-1 กิโลวัตต์เท่านั้น เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการนี้ได้แก่ เครื่องทอผ้า

2) กระบวนการตัดเย็บและฟอกย้อม

เครื่องจักรของโรงงานที่ทำการศึกษาในกระบวนการตัดเย็บและฟอกย้อมมีดังนี้

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| ● เครื่องตอกกระดุม | ● เครื่องอบ |
| ● เครื่องฟอก | ● มอเตอร์จักรอุตสาหกรรม |
| ● เครื่องสลัด | ● เครื่องรีดกาว |
| ● เครื่องรีด | ● ป้อนน้ำ |

- การเตรียมวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะไม่มีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและความร้อน

- การตัด/เย็บ

ในขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการนี้ได้แก่ เครื่องจักรอุตสาหกรรม, เครื่องตัดผ้า ขนาดของมอเตอร์ประมาณ 400 วัตต์เท่านั้น

- การฟอก/ย้อม

ขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและความร้อน โดยจะใช้ความร้อนเป็นหลัก เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่ เครื่องย้อม, เครื่องฟอก

- การอบ

ขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและความร้อน โดยจะใช้ความร้อนเป็นหลัก เครื่องจักรที่ใช้ได้แก่ เครื่องอบแห้ง

- การรีด

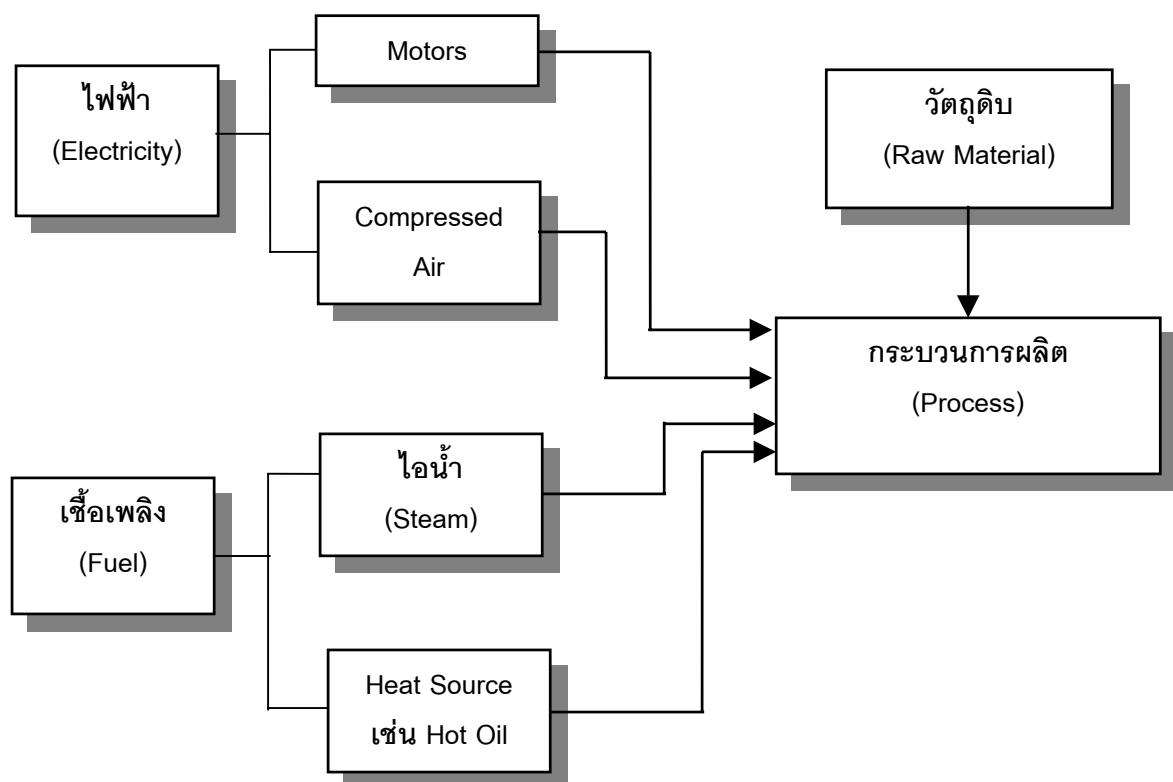
ขั้นตอนนี้จะใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและความร้อน โดยการรีดจะใช้น้ำจากหม้อไอน้ำ เครื่องจักรที่ใช้ได้แก่ เครื่องรีด

นอกจากพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรงแล้วยังมีเครื่องจักร/อุปกรณ์บางส่วนที่ช่วยสนับสนุนการผลิต ซึ่งหมายถึงระบบ Utility ได้แก่

- มอเตอร์ปั๊มน้ำ
- เครื่องปรับอากาศ
- มอเตอร์ลิฟท์ยกของ
- รอกไฟฟ้า (Crane)
- ไฟฟ้าแสงสว่าง
- เครื่องอัดอากาศ
- หม้อไอน้ำ

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาตามลักษณะการใช้งานจริงแล้วจะพบว่าหม้อไอน้ำ เครื่องอัดอากาศ และมอเตอร์ปั๊มน้ำ ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิตได้

จากรายละเอียดของกระบวนการผลิต สามารถพิจารณาถึงแหล่งพลังงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้ดังนี้



รูปที่ 3-1 แสดงแหล่งพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมทอผ้าฝ้ายอมสี

ลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอจะมีทั้งการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ และการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.1)

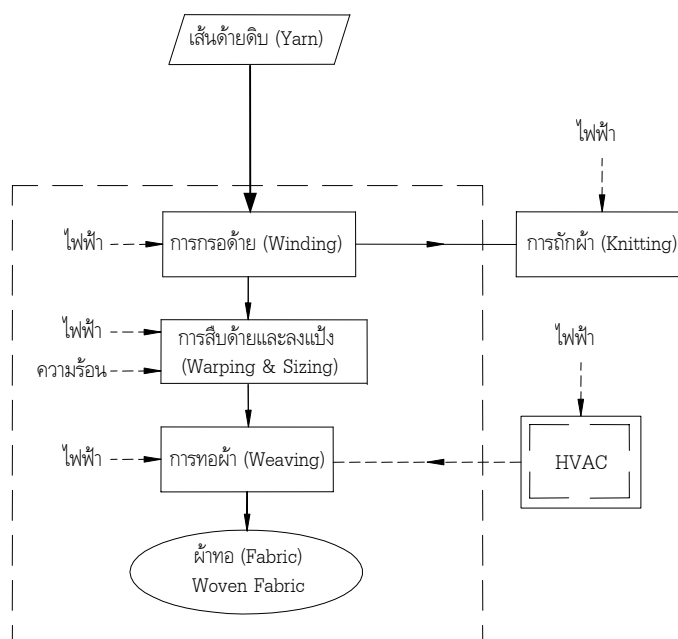
ในคู่มือเล่มนี้ได้ทำการสำรวจการใช้พลังงานในโรงงานประเภทสิ่งทอจำนวน 3 โรงงาน ซึ่งประกอบด้วย (รายละเอียดแสดงในหัวข้อที่ 4.2)

1. โรงงานทอผ้าย้อมสี
2. โรงงานย้อมผ้าลูกไม้และยางยืด
3. โรงงานตัดเย็บและฟอกสีเสื้อผ้าสำเร็จรูป

4.1 ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

(1) กระบวนการทอผ้า

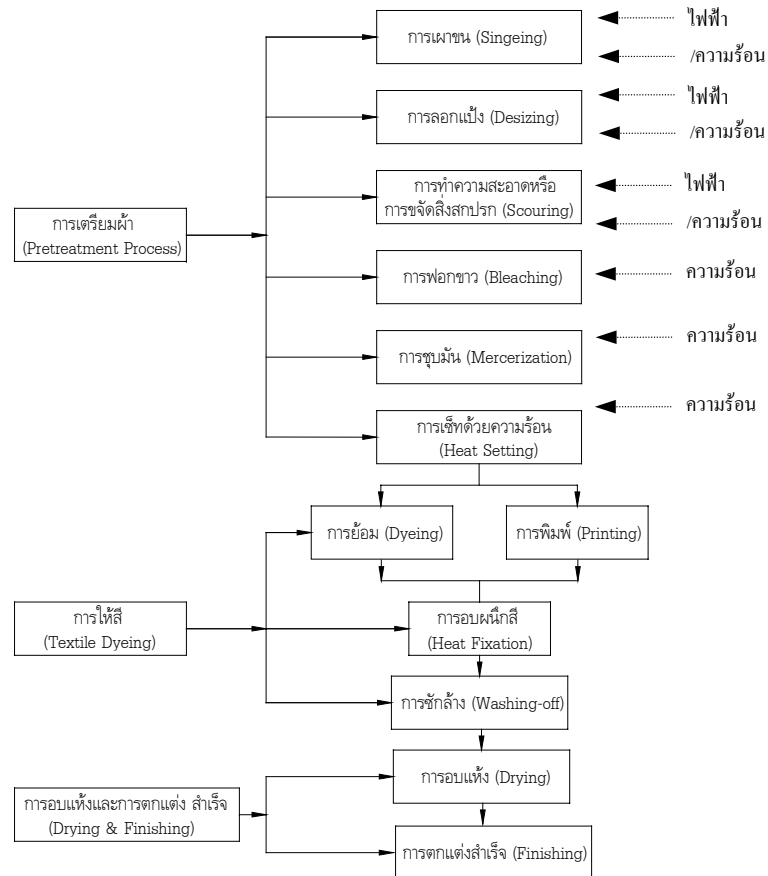
ลักษณะการใช้พลังงานความร้อน และพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการทอดผ้า แสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการทอผ้า

(2) กระบวนการฟอกย้อม พิมพ์ผ้าและตกแต่งสำเร็จ

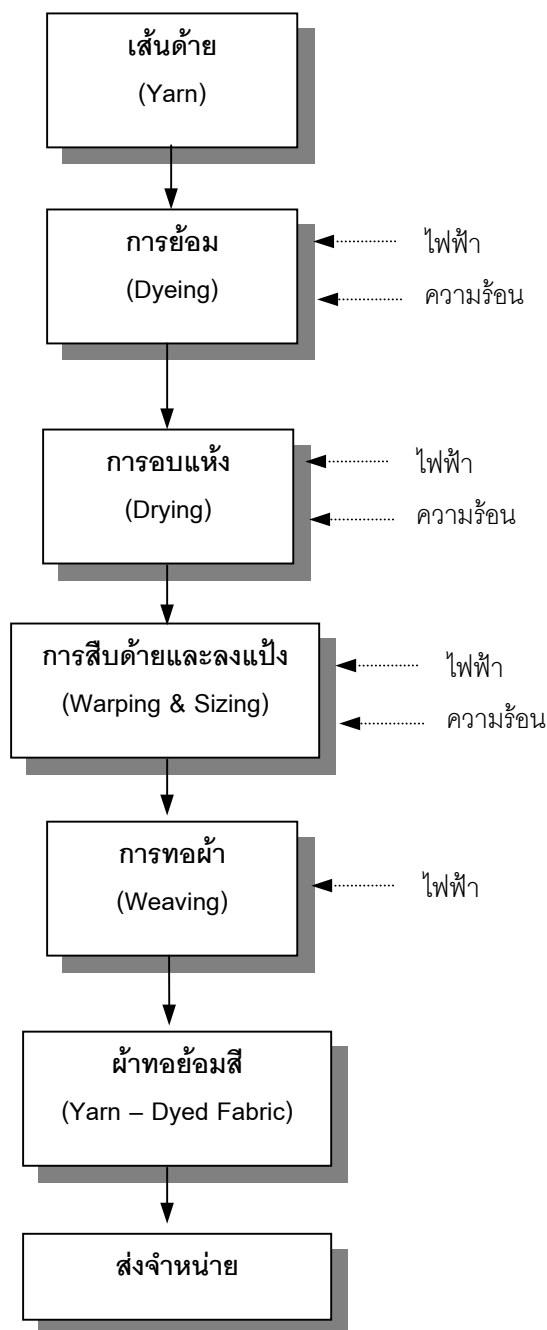
ลักษณะการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าในกระบวนการฟอกย้อม พิมพ์ผ้า และตกแต่งสีแล้ว
แสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการฟอกย้อมพิมพ์ผ้า

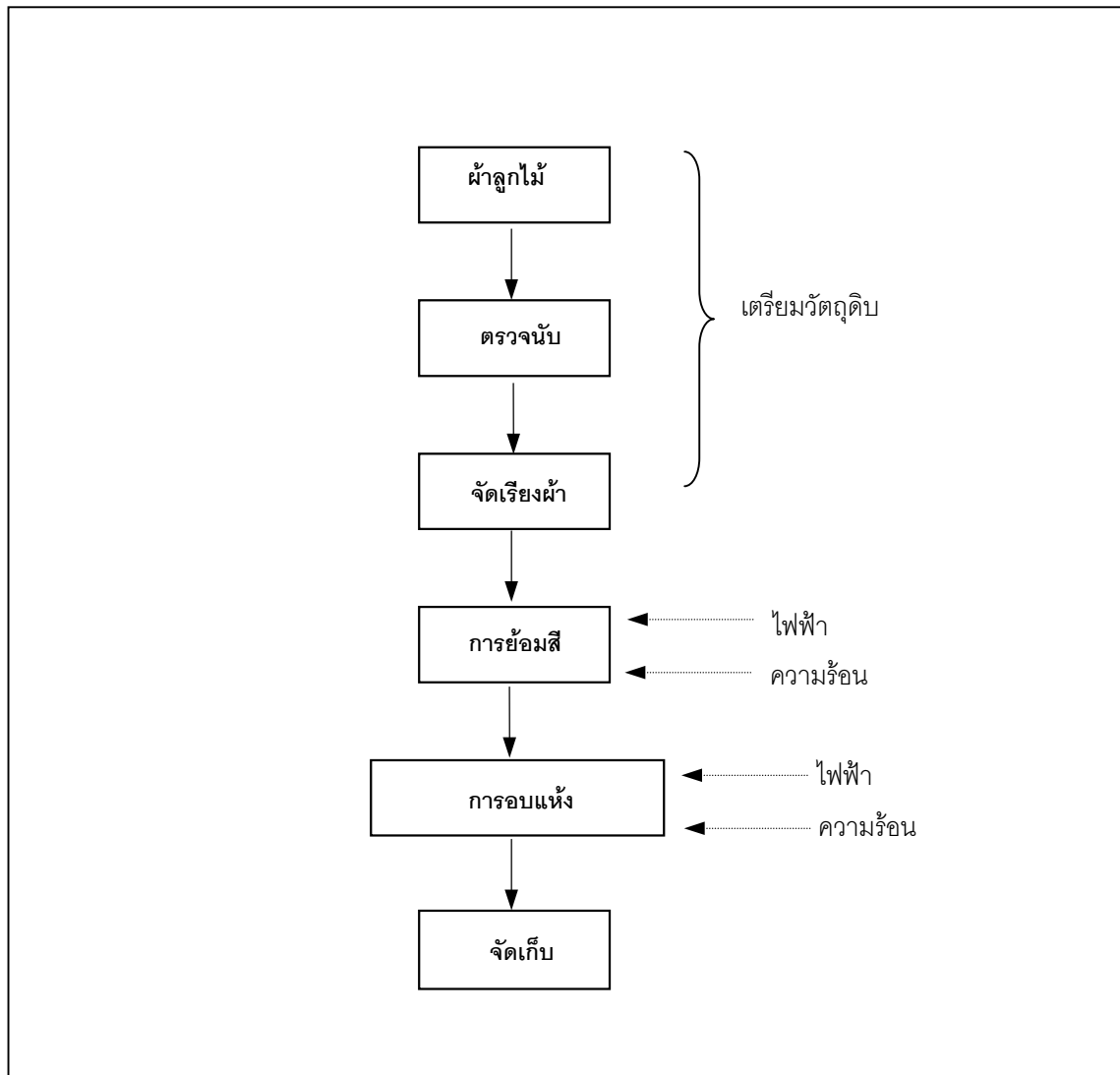
4.2 ตัวอย่างกรณีศึกษาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

(1) โรงงานกรณีศึกษาที่ 1 (กระบวนการผลิตผ้าทอข้อมสี)



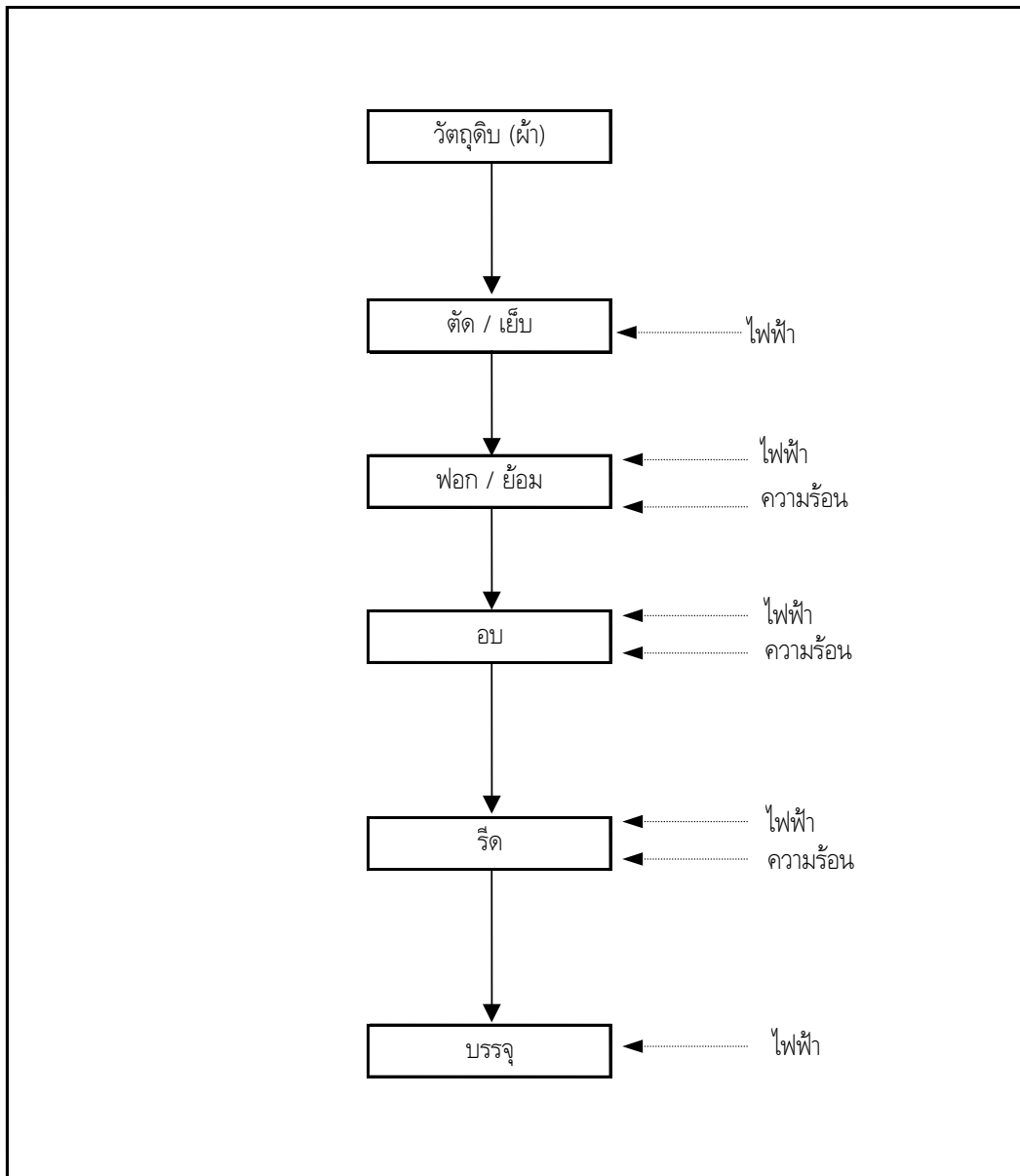
รูปที่ 4-3 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผ้าทอข้อมสี

(2) โรงงานกรณีศึกษาที่ 2 (กระบวนการผลิตย้อมผ้าลูกไม้)



รูปที่ 4-4 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตย้อมผ้าลูกไม้

(3) โรงงานกรณีศึกษาที่ 3 (กระบวนการตัดเย็บและฟอกย้อม)



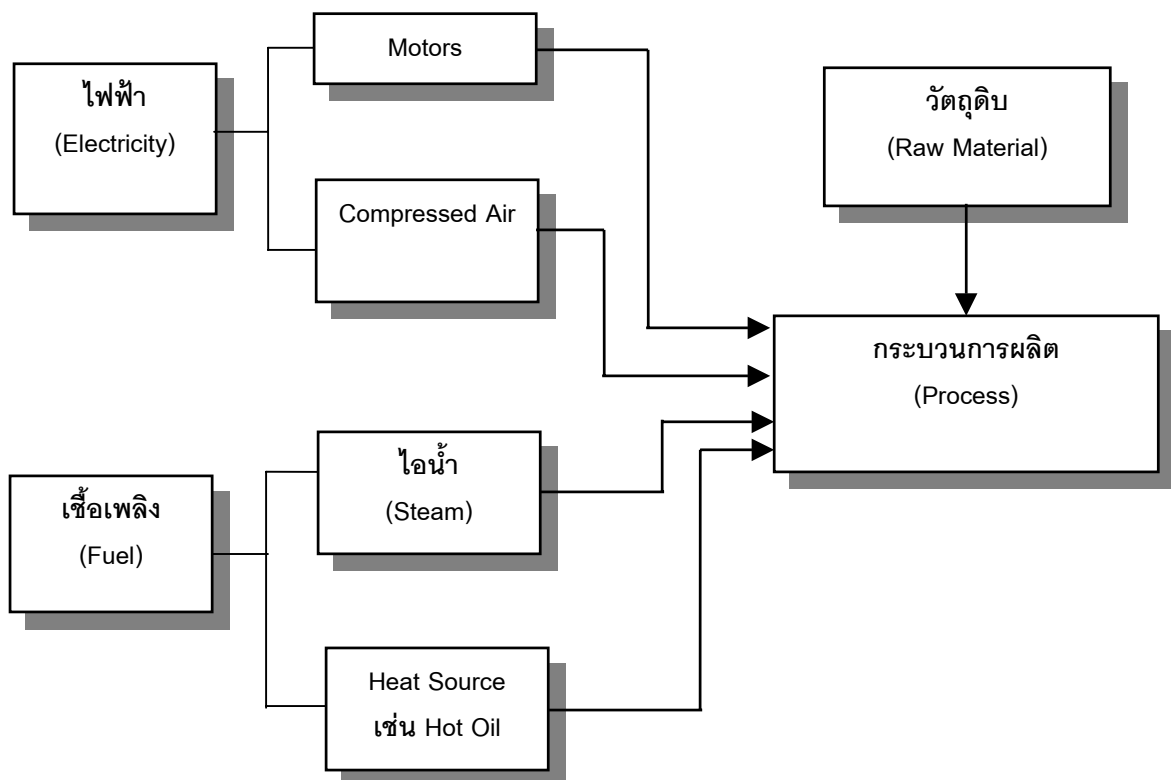
รูปที่ 4-5 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการตัดเย็บและฟอกย้อม

นอกจากพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยตรงแล้วยังมีเครื่องจักร/อุปกรณ์บางส่วนที่ช่วยสนับสนุนการผลิต ซึ่งหมายถึงระบบ Utility ได้แก่

- มอเตอร์ปั๊มน้ำ
- ไฟฟ้าแสงสว่าง
- เครื่องปรับอากาศ
- เครื่องอัดอากาศ
- มอเตอร์ลิฟท์ยกของ
- หม้อไอน้ำ
- รถไฟฟ้า (Crane)

อย่างไรก็ตามถ้าพิจารณาตามลักษณะการใช้งานจริงแล้วจะพบว่าหม้อไอน้ำ เครื่องอัดอากาศ และมอเตอร์ปั๊มน้ำ ก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิตได้

จากรายละเอียดของกระบวนการผลิต สามารถพิจารณาถึงแหล่งพลังงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้ดังนี้



รูปที่ 4-6 แสดงแหล่งพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมทอผ้าฝ้าย

4.3 ภาพรวมของการใช้พลังงานและลักษณะการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต

จากการศึกษาลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ สามารถสรุปได้ดังนี้

การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยทั่วไปจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ คือหม้อไอน้ำ ที่ใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไอน้ำจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (น้ำมันเตา) และส่งไอน้ำที่ผลิตได้ไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตได้แก่

- เครื่องย้อม

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังเครื่องย้อม การรั่วของไอน้ำ และน้ำคอนเดนเสท

- เครื่องอบแห้ง

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังเครื่องอบแห้ง การรั่วของไอน้ำ และน้ำคอนเดนเสท

- เครื่องรีด

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังเครื่องรีด การรั่วของไอน้ำ และน้ำคอนเดนเสท

เมื่อพิจารณาจากกระบวนการผลิตที่ผ่านมาพบว่า ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะอยู่ในรูปของความร้อนจากไอน้ำ (Steam) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไอน้ำคือ หม้อไอน้ำ (Boiler) ซึ่งหม้อไอน้ำจะใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (น้ำมันเตา) ในการให้ความร้อนกับน้ำในหม้อไอน้ำ จนเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอน้ำที่ความดันใช้งานที่กำหนด ซึ่งข้อดีและข้อเสียของการใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตสามารถสรุปได้ดังนี้

ข้อดีของการใช้ไอน้ำ

1. ประหยัดต้นทุนของการผลิตพลังงานความร้อนของโรงงาน เนื่องจากรวมการผลิตทั้งหมดไว้ที่หม้อไอน้ำ
2. ไอน้ำที่มีสภาพเป็นของไหลสามารถไหลไปตามระบบท่อลำเลียงไอน้ำ เพื่อใช้งานในสถานที่ต่างๆ ที่มีอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตได้ดี
3. หม้อไอน้ำมีระบบควบคุมการผลิตไอน้ำ ที่ขึ้นกับความดันไอน้ำภายในหม้อไอน้ำ ทำให้สามารถควบคุมการผลิตไอน้ำได้โดยอัตโนมัติ
4. ระบบการผลิตไอน้ำ และการใช้ไอน้ำที่ได้รับการออกแบบให้มีการนำกลับความร้อนทิ้ง (Heat Recovery) จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนของระบบสูงสุด (ขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต)

ข้อเสียของการใช้ไอน้ำ

1. มีการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ เนื่องจากประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ
2. มีการสูญเสียความร้อน เนื่องจากการส่งไอน้ำไปตามท่อส่งไอน้ำก่อนถึงอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

3. การผลิตไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะควบคู่ไปกับการบำรุงรักษาและการใช้งานหม้อไอน้ำที่ถูกวิธีเท่านั้น
4. มีการสูญเสียความร้อนจากไอน้ำในรูปของน้ำคอนเดนเสทที่ออกจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ ทำให้ไม่สามารถใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำได้ทั้งหมด (กรณีที่ไม่สามารถนำกลับน้ำคอนเดนเสทคืนสู่ระบบการผลิตไอน้ำได้)

ลักษณะการสูญเสียพลังงานความร้อน (เชื้อเพลิง) จากการผลิตไอน้ำ และการใช้ไอน้ำ มีดังนี้

1. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำไม่เหมาะสม
2. การควบคุมการปล่อยน้ำร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) ไม่เหมาะสม
3. อุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายไอน้ำบางส่วนไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เช่น บางส่วนของท่อส่งจ่ายไอน้ำ วาล์ว
4. มีการรั่วของไอน้ำในระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ
5. น้ำคอนเดนเสทจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ เช่น เครื่องย้อม เครื่องอบแห้ง และเครื่องรีด ซึ่งยังมีอุณหภูมิสูง (บางส่วนมีอุณหภูมิสูงถึง 80°C) ปริมาณมากถูกทิ้งโดยไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น สามารถนำกลับมาผสมน้ำป้อนกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำได้ หรือป้อนกลับให้แก่เครื่องย้อมผ้าได้
6. ปล่อยก๊าซเสียของหม้อไอน้ำ (มีอุณหภูมิสูงถึง 220°C) ทิ้งโดยไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่น สามารถนำกลับมาอุ่นอากาศป้อนกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำได้

การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ได้แก่

- เครื่องตีเกลียว
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
- เครื่องสับด้าย
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
- เครื่องทอผ้า
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
- เครื่องม้วนผ้า
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า
- เครื่องอัดอากาศ
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการรั่วของอากาศอัดจากระบบอัดอากาศ
- เครื่องสูบน้ำ
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

4.4 การแปลความหมายของแผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน

แผนภาพที่แสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน เป็นแผนภาพที่แสดงรายละเอียดที่บ่งบอกถึงปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละองค์ประกอบ จากภาพรวมของการใช้พลังงานที่กำหนด โดยที่แผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานของโรงงาน
- แผนภาพแสดงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของอุปกรณ์
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

โดยที่แผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละประเภทข้างต้น จะแสดงถึงความหมายที่แตกต่างกัน เพื่อให้ผู้พิจารณาสามารถวิเคราะห์และเข้าใจสภาพการใช้พลังงานในรายละเอียดของแต่ละส่วน ทำให้สามารถกำหนดจุดวิกฤติ (Critical Point) ของการใช้พลังงานในเครื่องจักรและอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตได้ รวมทั้งการหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตต่อไป

4.5 การแปลความหมายของดัชนีการใช้พลังงาน

ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การพิจารณาดัชนีการใช้พลังงานของโรงงาน ซึ่งมีการกำหนดนิยาม ดังนี้

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงาน} = \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงาน (หน่วยพลังงาน)}}{\text{ปริมาณผลผลิต (หน่วยผลผลิต)}}$$

โดยที่ค่าดัชนีการใช้พลังงานยังสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของการพิจารณาประเภทของพลังงานและผลผลิต เช่น ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นการพิจารณาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เป็นต้น

หน่วยของปริมาณการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นหน่วยกลาง หรือหน่วยมาตรฐาน สำหรับพลังงานไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ส่วนพลังงานความร้อนทั้งที่ได้มาจากเชื้อเพลิงไอน้ำ น้ำมันร้อน หรือโดยสารถางานอื่น ควรจะแปลงหน่วยให้เป็นจูล (J) หรือเมกกะจูล (MJ) ซึ่งเป็นหน่วยพลังงานมาตรฐาน

หน่วยของผลผลิตควรจะใช้เป็นหน่วยมาตรฐาน ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก ความยาว พื้นที่ หรือปริมาตร ตัวอย่างเช่น ผลผลิตที่เป็นอาหารควรใช้หน่วยเป็นน้ำหนัก ซึ่งอาจเป็นกิโลกรัมหรือเป็นตัน การผลิตกระดาษควรใช้หน่วยเป็นพื้นที่ของกระดาษที่ผลิตได้ ซึ่งอาจเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุต ท่อหรือเหล็กเส้นควรใช้หน่วยความยาวเป็นเมตรหรือฟุต น้ำดื่มหรือน้ำอัดลมควรใช้หน่วยปริมาตรเป็นลิตรหรือลูกบาศก์เมตร หน่วยของผลผลิตที่มีความคลุมเครือ เช่น กล้อง ทีวี ตู้เย็น ฯลฯ มักจะใช้ประโยชน์ได้เฉพาะการติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในโรงงานใดโรงงานหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถใช้เปรียบเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ หรือเปรียบเทียบกับดัชนีการใช้พลังงานมาตรฐาน ซึ่งมักจะมีสถาบันหรือสมาคมอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลกจัดทำไว้สำหรับอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

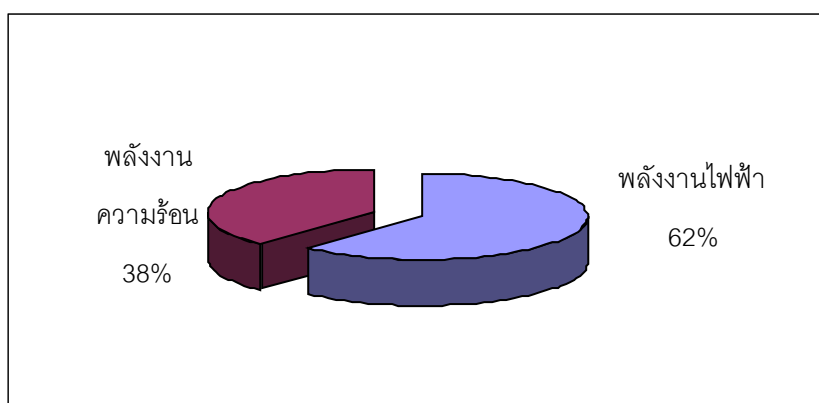
ดังนั้นหน่วยของดัชนีการใช้พลังงานจึงอาจเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน เมกกะจูลต่อลิตร เมกกะจูลต่อตารางเมตร ฯลฯ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานโดยการใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงาน คือ สามารถนำค่าดัชนีการใช้พลังงานมาเป็นค่าอ้างอิง (Reference Value) สำหรับการปรับปรุงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตภายหลังจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน โดยเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงาน และการประเมินผลสัมฤทธิ์จากการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน คือ การลดค่าดัชนีการใช้พลังงานลง เพื่อให้ต้นทุนด้านพลังงาน (Energy Cost) ในกระบวนการผลิตมีค่าต่ำที่สุด ทำให้โรงงานผลิตมีผลกำไรที่เพิ่มขึ้น

4.6 ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานทอผ้าย้อมสี

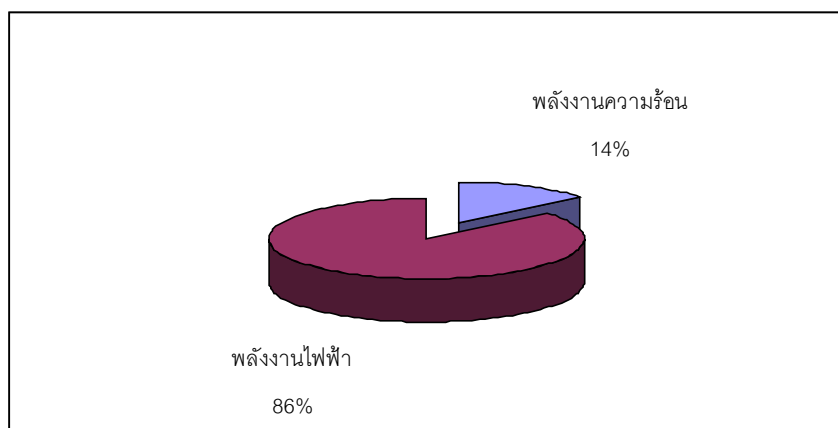
1. สัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

พลังงานรวมแบ่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน



รูปที่ 4-7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

2. สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน

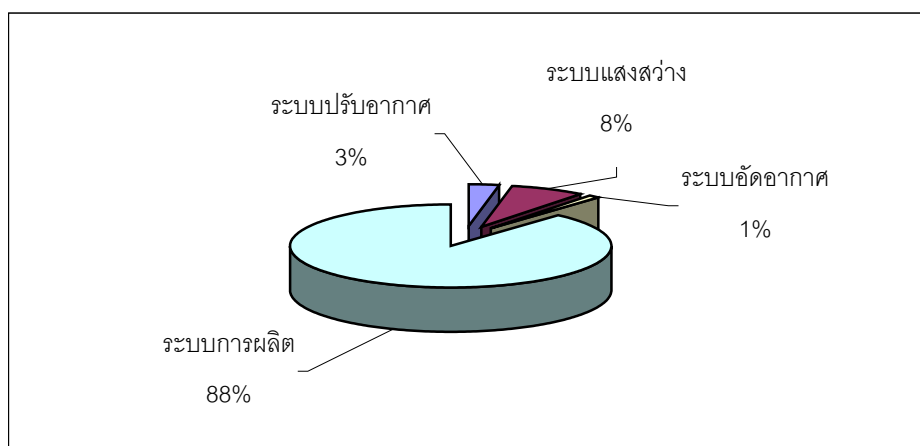


รูปที่ 4-8 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมของโรงงาน

3. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน

รายการ	พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	พลังงานความร้อน เทียบเท่า (MJ/ปี)	สัดส่วน (%)
ระบบปรับอากาศ	124,595	448,545	3
ระบบแสงสว่าง	310,731	1,118,634	8
ระบบอัดอากาศ	39,302	141,489	1
อุปกรณ์ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต	3,601,962	12,967,063	88
รวม	4,076,590	14,675,731	100

หมายเหตุ : ค่าความร้อนเทียบเท่าของพลังงานไฟฟ้า 3.6 MJ/kWh



รูปที่ 4-9 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน

4. การใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน

เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าย้อมสี ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันเตาเพียงชนิดเดียว สำหรับโรงงานที่ได้ทำการศึกษาจะเป็นน้ำมันเตาเกรด C ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ สำหรับการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณการใช้ดังนี้

น้ำมันเตาเกรด C ปริมาณ	237,000	ลิตร/ปี
หรือ	9,056	GJ/ปี
คิดเป็นมูลค่า	1,692,180	บาท/ปี

หมายเหตุ : ค่าความร้อนเทียบเท่าของน้ำมันเตาเกรด C 38.21 MJ/ลิตร

5. ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

ดัชนีการใช้พลังงานเป็นตัวชี้วัดถึงความสามารถในการใช้พลังงานว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงไร ส่วนมากดัชนีการใช้พลังงานจะเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์

หน่วยของปริมาณการใช้พลังงานสามารถเลือกใช้หลายหน่วย เช่น ถ้าโรงงานมีการใช้เพียงพลังงานไฟฟ้า สามารถใช้หน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อผลผลิตได้ กรณีที่มีการใช้พลังงานหลายชนิด เช่น พลังงานไฟฟ้า และ เชื้อเพลิง จะต้องเปลี่ยนให้เป็นหน่วยมาตรฐาน เช่น MJ หรือ GJ เป็นต้น เพื่อให้หน่วยพลังงานอยู่ในฐานเดียวกัน

หน่วยของผลผลิตขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์แต่ส่วนมากจะใช้หน่วยมาตรฐาน เช่น ตันผลผลิต ดัชนีการใช้พลังงานหาได้จากสูตร

$$\bullet \text{ ดัชนีการใช้พลังงาน} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้}}{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์}}$$

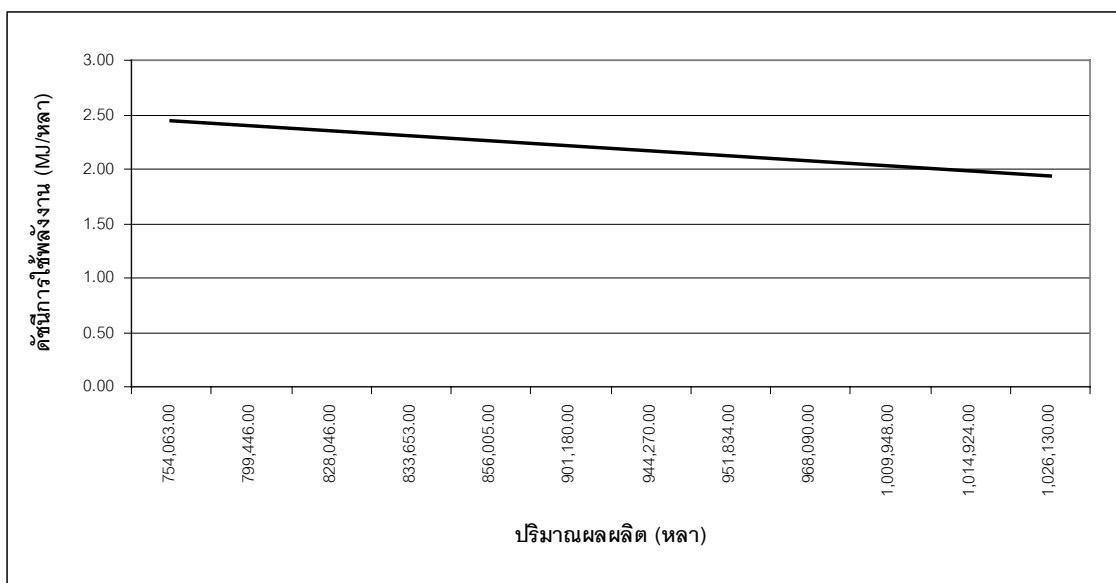
ตารางที่ 4.1 แสดงการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานในปี 2546

เดือน	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ (หลา)	พลังงานความร้อน ปริมาณ ($\times 10^3$ MJ)	พลังงานไฟฟ้า ปริมาณ		พลังงานรวม ($\times 10^3$ MJ)	ดัชนี พลังงาน รวม (MJ/หลา)
			(kWh)	($\times 10^3$ MJ)		
มกราคม	856,005	802	270,900	975	1,777	2.08
กุมภาพันธ์	799,446	917	285,108	1,026	1,943	2.43
มีนาคม	951,834	688	318,992	1,148	1,836	1.93
เมษายน	968,090	688	234,684	845	1,533	1.58
พฤษภาคม	1,014,924	917	294,840	1,061	1,978	1.95
มิถุนายน	1,026,130	917	324,680	1,169	2,086	2.03
กรกฎาคม	1,009,948	688	426,672	1,536	2,224	2.20
สิงหาคม	754,063	229	378,948	1,364	1,593	2.11
กันยายน	901,180	688	412,236	1,484	2,172	2.41
ตุลาคม	828,046	688	404,544	1,456	2,144	2.59
พฤศจิกายน	944,270	917	385,272	1,387	2,304	2.44
ธันวาคม	833,653	917	339,719	1,223	2,140	2.57
รวม	10,887,589	9,056	4,076,592	14,676	23,732	2.18

ตัวอย่างการหาดัชนีการใช้พลังงาน (ยกตัวอย่างเดือนมกราคม)

- พลังงานที่ใช้
 - พลังงานความร้อน = 802 GJ
 - พลังงานไฟฟ้า = 975 GJ

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานรวม} &= \text{พลังงานความร้อน} + \text{พลังงานไฟฟ้า} \\
 &= 802 + 975 \quad \text{GJ} \\
 &= 1,777 \quad \text{GJ} \\
 \bullet \text{ ผลผลิต} &= 856,055 \quad \text{หลา} \\
 \bullet \text{ ดัชนีการใช้พลังงาน} &= \frac{\text{พลังงานที่ใช้}}{\text{ผลผลิต}} \\
 &= \frac{1,777 \text{ GJ}}{856,005 \text{ หลา}} = 0.0020 \text{ GJ/หลา} \\
 &= 2.08 \quad \text{MJ/หลา}
 \end{aligned}$$

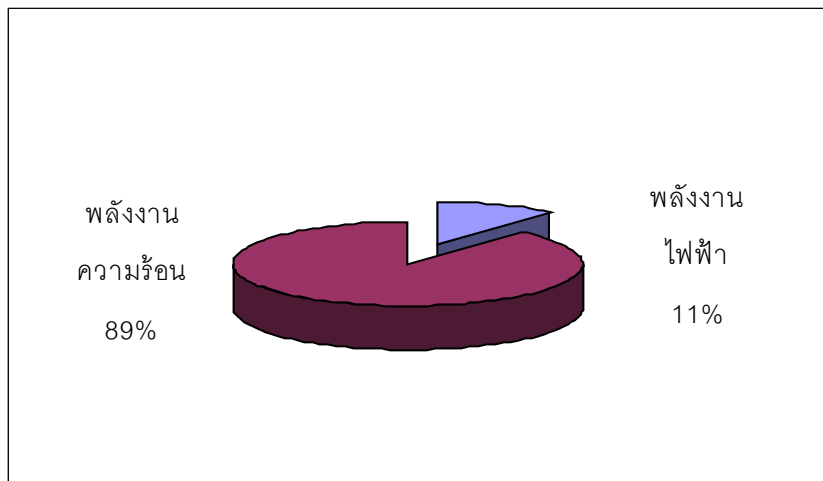


รูปที่ 4-10 กราฟแสดงดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์ในปี 2546

4.7 ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานย้อมผ้าฝ้ายและยางยืด

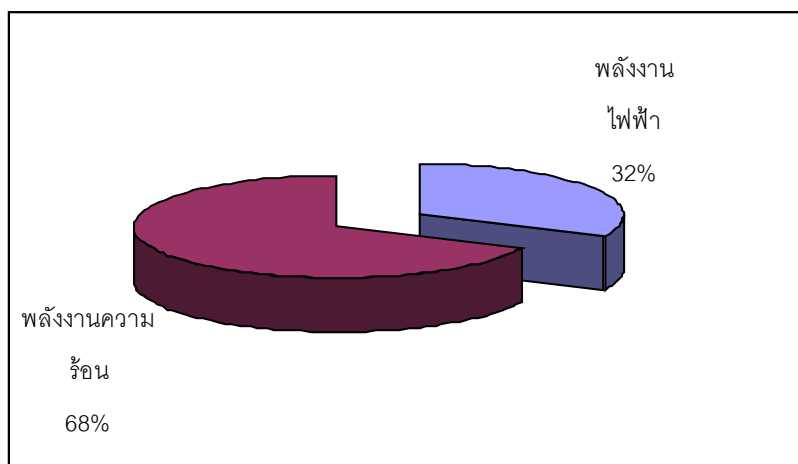
1. สัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

พลังงานรวมแบ่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน



รูปที่ 4-11 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

2. สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน

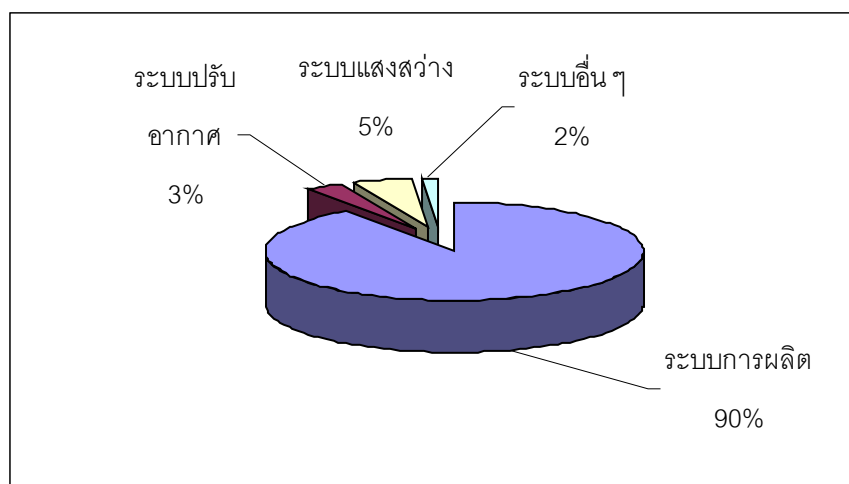


รูปที่ 4-12 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมของโรงงาน

3. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน

รายการ	พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	พลังงานความร้อนเทียบเท่า (MJ/ปี)	สัดส่วน (%)
ระบบสายงานการผลิต	721,478	2,597,322	90
ระบบปรับอากาศ	270,033	97,320	3
ระบบแสงสว่าง	38,897	140,031	5
ระบบอื่นๆ	12,030	43,309	2
รวม	799,440	2,877,984	100

หมายเหตุ : ค่าความร้อนเทียบเท่าของพลังงานไฟฟ้า 3.6 MJ/kWh



รูปที่ 4-13 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน

4. การใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน

เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมย้อมผ้าลูกไม้และยางยืดในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันเตาเพียงชนิดเดียว สำหรับโรงงานที่ได้ทำการศึกษาจะเป็นน้ำมันเตาเกรด C ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ สำหรับการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณการใช้ดังนี้

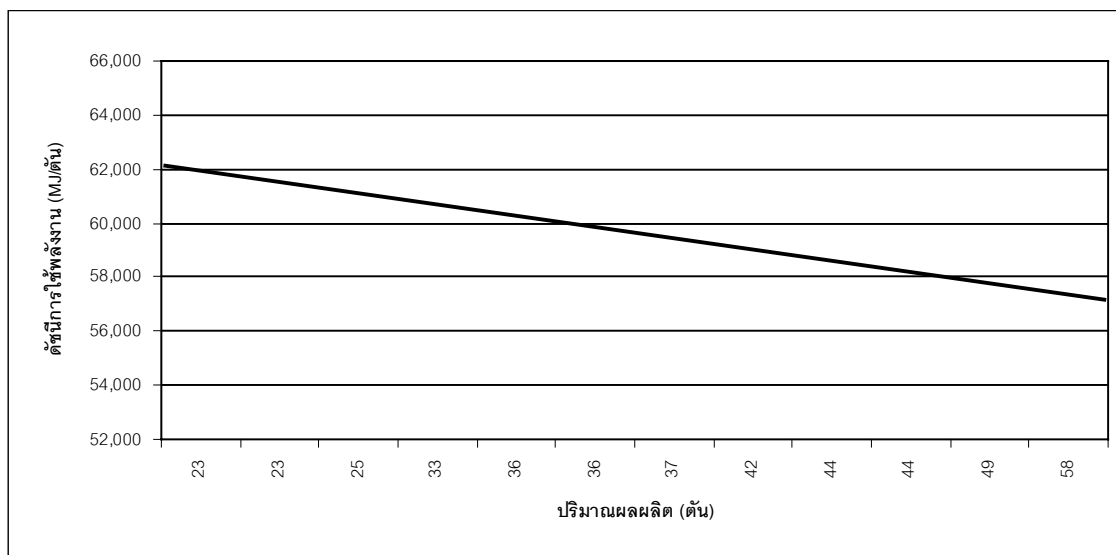
น้ำมันเตาเกรด C ปริมาณ	576,000	ลิตร/ปี
หรือ	23,777	GJ/ปี
คิดเป็นมูลค่า	4,786,560	บาท/ปี

หมายเหตุ : ค่าความร้อนเทียบเท่าของน้ำมันเตาเกรด C 38.21 MJ/ลิตร

5. ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

ตารางที่ 4.2 แสดงการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานโรงงานในปี 2546

เดือน	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ (ตัน)	ปริมาณพลังงาน				ดัชนีการใช้พลังงาน		
		ความร้อน (x10 ³ MJ)	ไฟฟ้า		รวม (x10 ³ MJ)	ความร้อน (MJ/ตัน)	ไฟฟ้า (MJ/ตัน)	รวม (MJ/ตัน)
			(kWh)	(x10 ³ MJ)				
มกราคม	44	2,332	80,040	288	2,620	52,636	6,503	59,139
กุมภาพันธ์	43	2,312	76,920	277	2,589	52,634	6,305	58,939
มีนาคม	49	2,580	73,200	264	2,844	52,685	5,381	58,067
เมษายน	23	1,218	63,180	227	1,445	52,220	9,753	61,973
พฤษภาคม	58	3,075	74,640	269	3,344	52,751	4,609	57,360
มิถุนายน	33	1,734	57,660	208	1,941	53,101	6,358	59,459
กรกฎาคม	42	2,229	51,360	185	2,414	53,100	4,404	57,504
สิงหาคม	23	1,238	48,660	175	1,414	53,105	7,512	60,616
กันยายน	36	1,899	57,720	208	2,107	53,101	5,811	58,911
ตุลาคม	37	1,940	59,340	214	2,154	53,126	5,850	58,975
พฤศจิกายน	36	1,899	72,660	262	2,160	53,101	7,315	60,415
ธันวาคม	25	1,321	84,060	303	1,624	52,2440	12,013	64,453
รวม	450	23,777	799,440	2,878	26,655	52,838	6,396	59,234

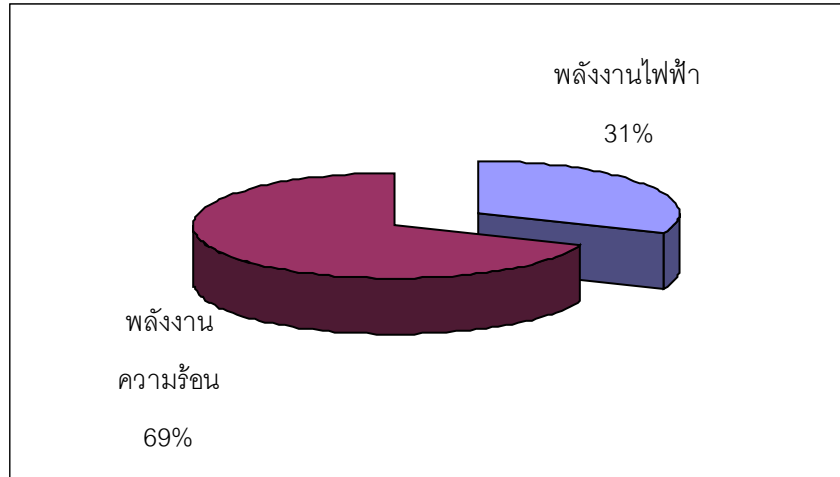


รูปที่ 4-14 กราฟแสดงดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์ในปี 2546

4.8 ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัดเย็บและฟอกย้อมเสื้อผ้าสำเร็จรูป

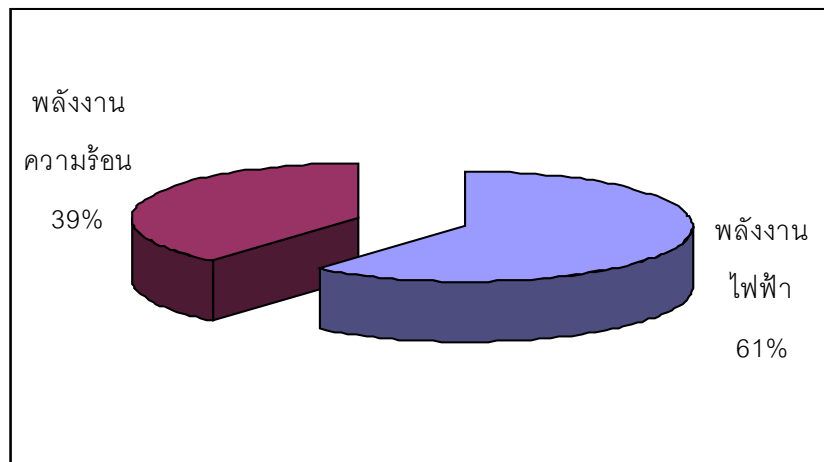
1. สัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

พลังงานรวมแบ่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน



รูปที่ 4-15 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

2. สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน

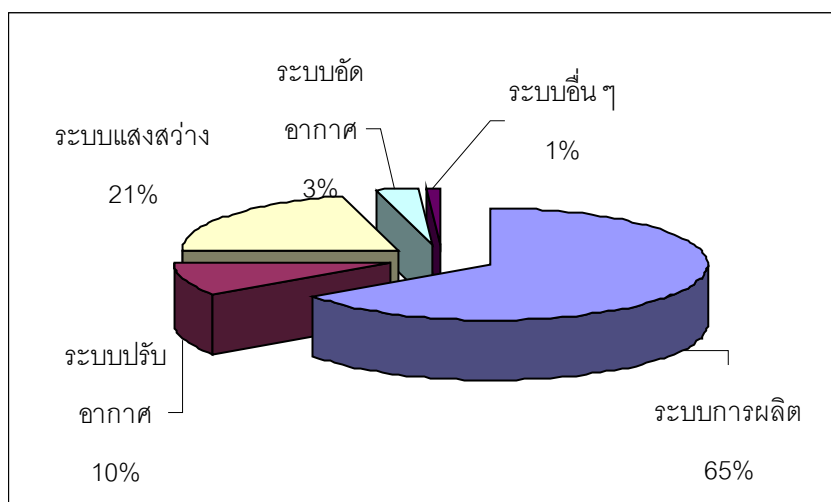


รูปที่ 4-16 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมของโรงงาน

3. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน

รายการ	พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	พลังงานความร้อน เทียบเท่า (MJ/ปี)	สัดส่วน (%)
ระบบปรับอากาศ	124,596	448,544	10
ระบบแสงสว่าง	277,331	998,393	21
ระบบอัดอากาศ	39,302	141,487	3
อุปกรณ์ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต	855,432	3,079,557	65
เครื่องจักรและอุปกรณ์อื่นๆ	14,540	52,342	1
รวม	1,311,201	4,720,325	100

หมายเหตุ : ค่าความร้อนเทียบเท่าของพลังงานไฟฟ้า 3.6 MJ/kWh



รูปที่ 4-17 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของโรงงาน

4. การใช้พลังงานความร้อนของโรงงาน

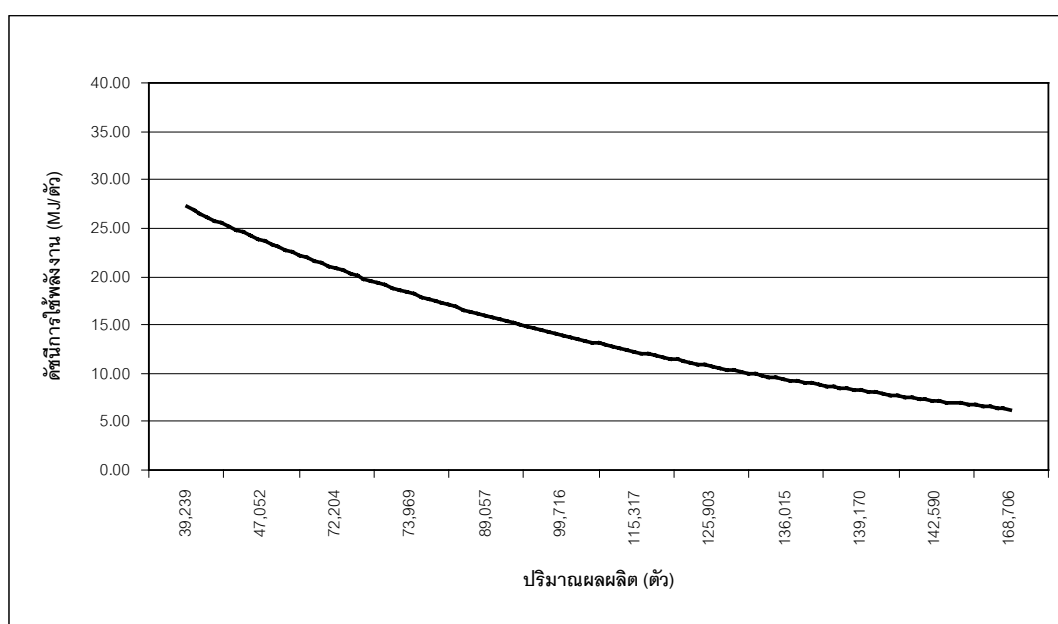
เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมตัดเย็บและฟอกสีเสื้อผ้าสำเร็จรูป ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำมันเตาเพียงชนิดเดียว สำหรับโรงงานที่ได้ทำการศึกษาจะเป็นน้ำมันเตาเกรด C ใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำสำหรับการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด ซึ่งมีปริมาณการใช้ดังนี้

น้ำมันเตาเกรด C ปริมาณ	276,000	ลิตร/ปี
หรือ	10,546	GJ/ปี
คิดเป็นมูลค่า	2,238,120	บาท/ปี
หมายเหตุ : ค่าความร้อนเทียบเท่าของน้ำมันเตาเกรด C	38.21	MJ/ลิตร

5. ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

ตารางที่ 4.3 แสดงการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานในปี 2546

เดือน	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ (ตัว)	พลังงานความร้อน ปริมาณ (x10 ³ MJ)	พลังงานไฟฟ้า		พลังงานรวม (GJ)	ดัชนี พลังงานรวม (MJ/ตัว)
			ปริมาณ			
			(kWh)	(x10 ³ MJ)		
มกราคม	168,706	917	77,086	278	1,195	7.08
กุมภาพันธ์	39,239	917	100,420	362	1,279	32.58
มีนาคม	142,590	917	115,990	418	1,335	9.36
เมษายน	72,204	917	98,783	356	1,273	17.63
พฤษภาคม	136,015	917	122,445	441	1,358	9.98
มิถุนายน	73,969	917	125,887	453	1,370	18.52
กรกฎาคม	139,170	917	130,518	470	1,387	9.97
สิงหาคม	115,317	917	126,429	455	1,372	11.90
กันยายน	47,052	1,376	105,935	381	1,757	37.34
ตุลาคม	89,057	917	98,376	354	1,271	14.27
พฤศจิกายน	99,716	459	91,785	330	789	7.91
ธันวาคม	125,903	459	117,548	423	882	7.00
รวม	1,248,938	1,0546	1,311,201	4,720	15,266	1.84



รูปที่ 4-18 กราฟแสดงดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์ในปี 2546

6. ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์สถานภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัดเย็บ และฟอกย้อมเสื้อผ้าสำเร็จรูป

โรงงานมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 69% และการใช้พลังงานไฟฟ้า 31% เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูง ได้แก่ เครื่องฟอกย้อม และเครื่องอบผ้า เนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เป็นเวลานาน อุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง ได้แก่ เครื่องตัดเย็บ

การพิจารณาการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะพิจารณาจากอุปกรณ์ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงสุดก่อน เนื่องจากมีปริมาณการใช้พลังงานมาก และอาจมีการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นมากด้วยเช่นกัน

เมื่อพิจารณาจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานกับปริมาณผลผลิต จะพบว่าเส้นกราฟที่ได้มีลักษณะที่แสดงความสัมพันธ์แบบผกผัน หมายความว่าเมื่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น แต่ค่าดัชนีการใช้พลังงานลดลง แสดงว่าโรงงานมีต้นทุนคงที่ด้านพลังงาน (Fixed Energy Cost) สูง แต่มีต้นทุนผันแปรด้านพลังงาน (Variable Energy Cost) ต่ำ ทำให้มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตในปริมาณมาก (Mass Production) เพราะการผลิตในปริมาณมากจะทำให้ต้นทุนด้านการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตต่ำ

แต่ถ้าในช่วงที่มีปริมาณการผลิตน้อย เมื่อต้องการให้ค่าดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานมีค่าลดลง ทางโรงงานควรลดทางเดินเครื่องจักรใหญ่ที่มีกำลังการผลิตสูง โดยเปลี่ยนมาใช้เครื่องจักรขนาดเล็กที่เหมาะสมกับปริมาณการผลิตทดแทนจะทำให้โรงงานมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตลดลง

บทที่ 5

การตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน

การตรวจวัดการใช้พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการที่จะทราบถึงปริมาณการใช้พลังงาน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ซึ่งจำเป็นในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงาน การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ตลอดจนการตรวจสอบติดตามผลการประหยัดที่เกิดขึ้นจริงหลังจากที่ได้ดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน

เนื้อหาในเอกสารนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงาน การตรวจวัดการใช้พลังงานของระบบไฟฟ้าและระบบความร้อน รวมทั้งการตรวจสอบและติดตามผลโดยใช้ดัชนีชี้วัดที่เหมาะสม

5.1 พื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงาน

พลังงานมีความสำคัญต่อผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพลังงานเป็นต้นทุนหลักอย่างหนึ่งของสินค้า การลดหรือการบริหารจัดการการใช้พลังงานที่เหมาะสมจะช่วยปรับปรุงในด้านต่างๆ ของโรงงาน ได้แก่ ราคาของสินค้า งบประมาณรายจ่าย ตลอดจนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงาน โดยการที่จะลดการใช้พลังงานได้นั้น จะต้องทำการตรวจวัดการใช้พลังงานประกอบด้วยเสมอ ซึ่งความสำคัญของการตรวจวัดการใช้พลังงานสามารถสรุปได้ดังนี้

- ทำให้ทราบปริมาณการใช้และการสูญเสียพลังงาน ทั้งก่อนและหลังการดำเนินการมาตรการประหยัดพลังงาน
- ทำให้ทราบประสิทธิภาพการใช้พลังงานทั้งของเครื่องจักร อุปกรณ์ และของโรงงานโดยรวม
- เป็นข้อมูลในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงานที่เป็นได้ และใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน
- ใช้ในการกำหนดดัชนีการใช้พลังงานเพื่อใช้ตรวจสอบ และติดตามผลการประหยัดพลังงานหลังจากได้มีการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานไปแล้ว

วัตถุประสงค์ในการตรวจวัดการใช้พลังงานเพื่อให้ทราบว่า

- มีการใช้พลังงานที่ไหนและเมื่อไร เช่น กระบวนการผลิตส่วนใดของโรงงานมีการใช้พลังงานบ้าง ช่วงเวลาของการใช้พลังงานในแต่ละส่วนคิดเป็นกี่ชั่วโมงต่อวันหรือกี่วันต่อสัปดาห์
- มีการใช้พลังงานอย่างไร เช่น มีการใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่หม้อไอน้ำ มีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในการต้มวัตถุดิบ
- มีการใช้พลังงานเพื่อทำอะไร เช่น เพื่ออบแห้งสินค้า เพื่อให้ความเย็นในพื้นที่การผลิต

ดังนั้น จากวัตถุประสงค์ดังกล่าว ทำให้พอที่จะสรุปสิ่งที่จะต้องทำการตรวจวัดได้อย่างน้อย 4 ประการ คือ

- กระบวนการและปริมาณการผลิตของโรงงานในสภาพปกติ
- ปริมาณการใช้พลังงานในสภาพปกติ ทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้า และปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
- ช่วงเวลาการผลิต และช่วงเวลาที่ไม่ได้ทำการผลิตของโรงงาน
- สภาพภูมิอากาศแวดล้อม ในกรณีที่สภาพภูมิอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต

จะสังเกตได้ว่า การตรวจวัดการใช้พลังงานจะเน้นที่การตรวจวัดในสภาวะที่โรงงานทำการผลิตปกติ ไม่ใช่ช่วงเวลาที่ต้องเร่งทำการผลิต เนื่องจากมีคำสั่งซื้อเข้ามามากในช่วงเทศกาล หรือในทางกลับกัน ไม่ใช่ช่วงเวลาผลิตน้อยกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ที่ได้จากสภาวะปกตินั้นจะเป็นค่าที่แท้จริงของโรงงาน และสามารถใช้เป็นค่าฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน และใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบก่อนและหลังการดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานได้

ในการตรวจวัดการใช้พลังงานจะกระทำกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ การตรวจวัดแบบชั่วขณะ และการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

● การตรวจวัดแบบชั่วขณะ

เป็นการตรวจวัดครั้งเดียวเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานในขณะที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทำงานที่สภาวะปกติ ซึ่งในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก การตรวจวัดชั่วขณะส่วนใหญ่จะเพียงพอแล้วสำหรับการวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงาน ข้อดีของการตรวจวัดแบบชั่วขณะคือ ทำได้ง่าย และประหยัดเวลา ส่วนข้อเสียคือ หากตรวจวัดในช่วงเวลาที่เครื่องจักรไม่ได้ทำงานที่สภาวะปกติ จะทำให้ได้ค่าตัวแทนที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ได้เบี่ยงเบนไปจากความเป็นจริง

● การตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

เป็นการตรวจวัดการใช้พลังงานซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่ง เช่น ทุกชั่วโมง หรือทุก 15 นาที เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่การตรวจวัดแบบนี้จะทำกับเครื่องจักรที่มีลักษณะการทำงานไม่คงที่ แปรเปลี่ยนตลอดเวลา หรือเป็นเครื่องจักรหลักที่มีการใช้พลังงานมากและต้องการทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงาน (Energy Load Profile) อย่างละเอียด ข้อดีของการตรวจวัดแบบต่อเนื่องคือ ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานของเครื่องจักรที่ถูกต้องแน่นอน ทำให้สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้เวลามาก และสิ้นเปลืองกำลังคนในการบันทึกข้อมูล หรือสิ้นเปลืองเงินลงทุนในการเช่าหรือซื้อเครื่องมือวัดที่สามารถบันทึกข้อมูลต่อเนื่องได้อย่างอัตโนมัติ

การตรวจวัดการใช้พลังงานโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้น เช่น บันทึกปริมาณการผลิต ใบเสร็จค่าไฟฟ้า ใบเสร็จค่าเชื้อเพลิง รายละเอียดของเครื่องจักรที่ใช้พลังงาน ฯลฯ
- 2) จำแนกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้พลังงานตามประเภทของพลังงานที่ใช้
- 3) ศึกษาการใช้พลังงานของเครื่องจักรและจุดต่างๆ ในกระบวนการผลิต
- 4) กำหนดแผนการตรวจวัด ได้แก่ เครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตที่ต้องการตรวจวัด ตัวแปรที่จำเป็นต้องวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ช่วงเวลาในการตรวจวัดที่สอดคล้องกับสภาพการใช้พลังงาน ผู้รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอน
- 5) จัดเตรียมเครื่องมือวัดที่จำเป็น ทั้งจากการเช่าและจากการซื้อเอง โดยหากโรงงานต้องการซื้อเครื่องมือวัดไว้ใช้เอง ควรพิจารณาถึงด้านต่างๆ ได้แก่ ราคา ความถี่ในการใช้งาน ช่วงการตรวจวัด ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตลอดจนความสะดวกในการพกพาเพื่อให้สามารถตรวจวัดได้หลายจุด
- 6) ดำเนินการตรวจวัดจริง และเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่น บันทึกการเดินเครื่องจักร (Logsheet) บันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ต่างๆ

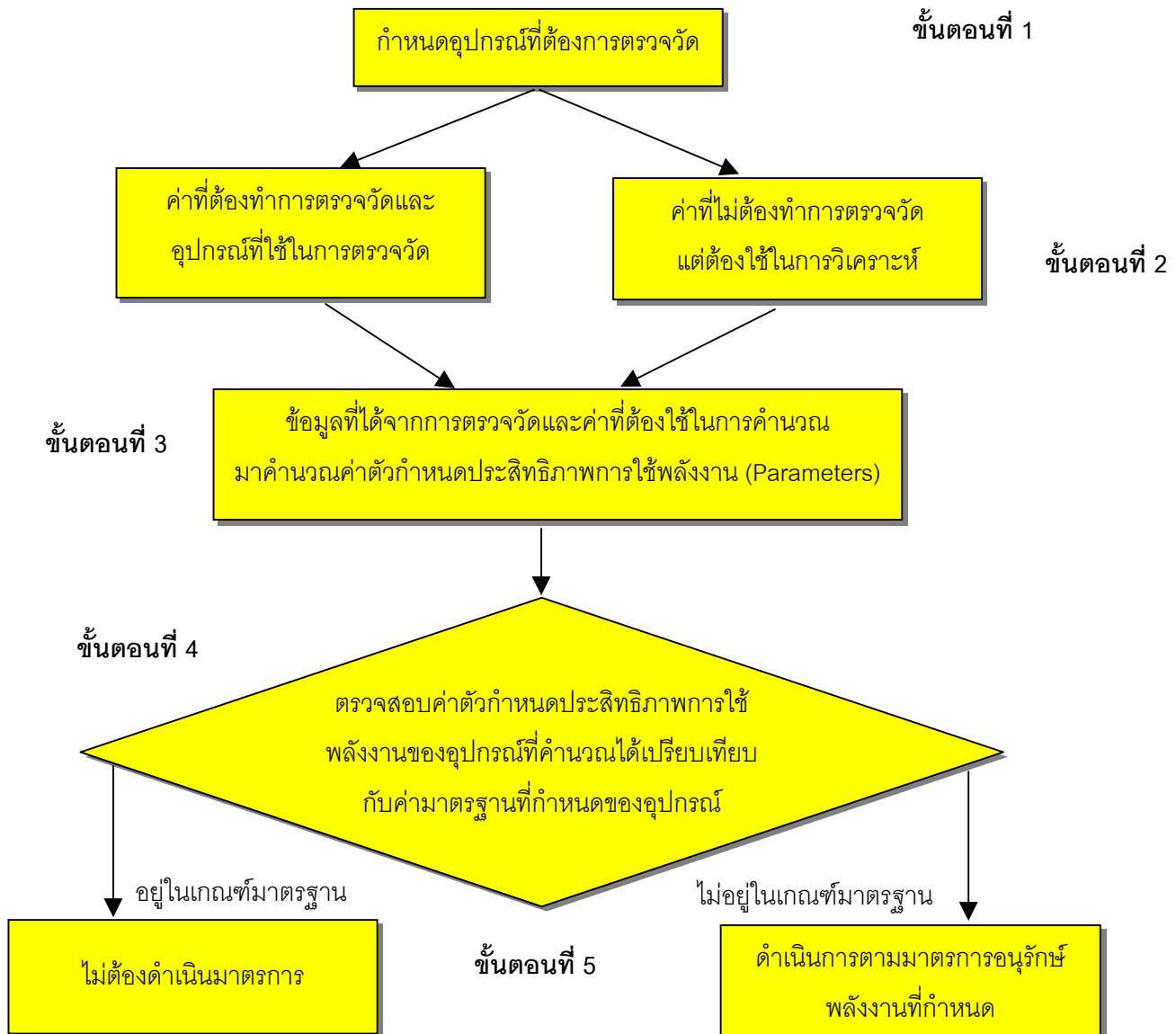
ดังนั้นการตรวจวัดการใช้พลังงานที่ดีควรมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด มีการวางแผนการตรวจวัดอย่างเป็นระบบ และทำการตรวจวัดให้ได้ค่าที่ถูกต้อง จะทำให้การวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงานเป็นไปอย่างชัดเจน ถูกต้อง และรวดเร็ว การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุนมีความถูกต้องแม่นยำ ทำให้การตัดสินใจดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานของโรงงานสามารถทำได้อย่างมั่นใจ

แสดงว่าขั้นตอนการตรวจวัดการใช้พลังงานเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่มีความสำคัญ ซึ่งจะนำไปสู่ขั้นตอนในลำดับต่อไป คือ ขั้นตอนของการคำนวณ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ สำหรับการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่ เพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในอุปกรณ์ต่อไป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานได้เป็นขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ที่สามารถสรุปเป็น “ระเบียบวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน” ได้ดังนี้

ระเบียบวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ลำดับขั้นตอนสำหรับการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อนำไปสู่การตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ในกระบวนการผลิต สามารถแสดงได้ดังแผนภาพข้างล่างนี้



รูปที่ 5-1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์

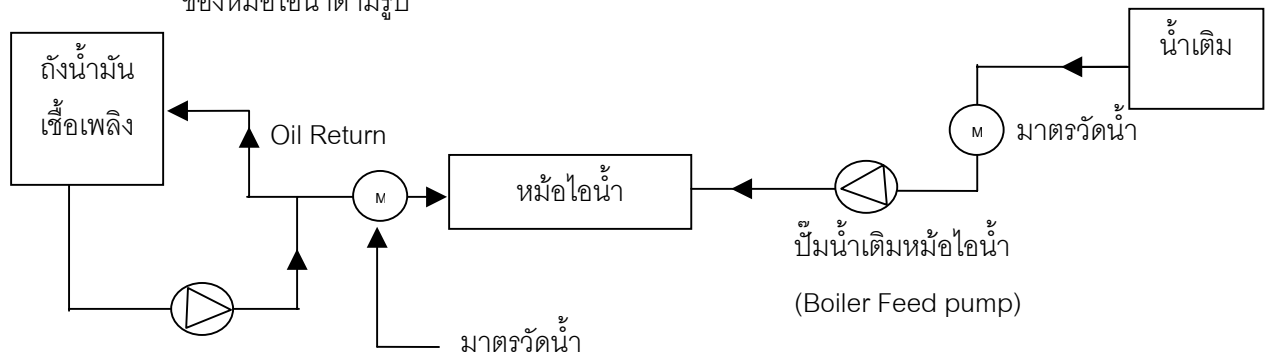
ลำดับขั้นตอนการทำงานดังกล่าวจะเป็นลำดับขั้นตอนการทำงานหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต

5.2 การตรวจวัดเบื้องต้น

ซึ่งทางโรงงานสามารถปฏิบัติได้เองเพื่อประโยชน์ในการปฏิบัติงาน และบำรุงรักษาเพื่ออนุรักษ์พลังงาน อุปกรณ์เบื้องต้นในการตรวจวัดที่โรงงานสามารถตรวจวัดได้ด้วยตนเอง

- อุปกรณ์พื้นฐานที่ราคาไม่สูงมากนัก และมีความจำเป็นในการติดตั้ง เพื่อประกอบการตรวจวัดในการประหยัดพลังงานสามารถจะติดตั้งได้โดยง่ายดังต่อไปนี้

1. มาตรวัดน้ำ (Water Meter) ควรติดตั้งในบริเวณที่ใช้น้ำจำนวนมาก ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบ, จัดบันทึกการใช้น้ำเปรียบเทียบกับการทำงาน เพื่อมีมาตรการในการลดการใช้น้ำต่อไป
2. มาตรวัดน้ำติดตั้ง ณ จุดจ่ายน้ำของหม้อไอน้ำ และมาตรวัดน้ำติดตั้ง ณ จุดจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำตามรูป



รูปที่ 5-2 แผนผังแสดงการติดตั้งมาตรวัดที่หม้อไอน้ำ

ข้อสังเกตในการติดตั้ง

- มาตรวัดน้ำเต็มจะติดตั้งทางด้านดูดของปั๊มจ่ายน้ำ (Boiler feed pump) เพื่อไม่ต้องรับแรงดันสูง
- มาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิงจะวัดปริมาณน้ำมันที่แท้จริงของหม้อไอน้ำ โดยติดตั้งหลังจากท่อน้ำมันไหลกลับ

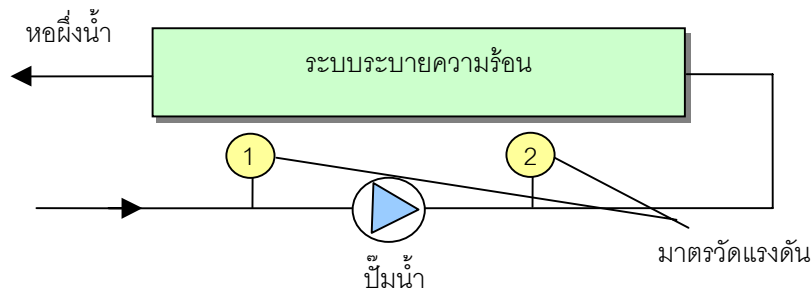


รูปที่ 5-3 มาตรวัด

จากมาตรวัดทั้ง 2 เราสามารถคำนวณการใช้เชื้อเพลิงต่อปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (น้ำเต็มหม้อไอน้ำ จะเท่ากับปริมาณไอน้ำที่ผลิต) ทั้งนี้จะได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอย่างง่าย ๆ

3. มาตรวัดแรงดันติดตั้งทางด้านดูด และทางด้านส่งของปั๊มต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำสำหรับใช้งานทั่วไป, ปั๊มน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ, ปั๊มน้ำระบายความร้อนของระบบเครื่องปรับอากาศ และของเครื่องทำน้ำเย็น ฯลฯ

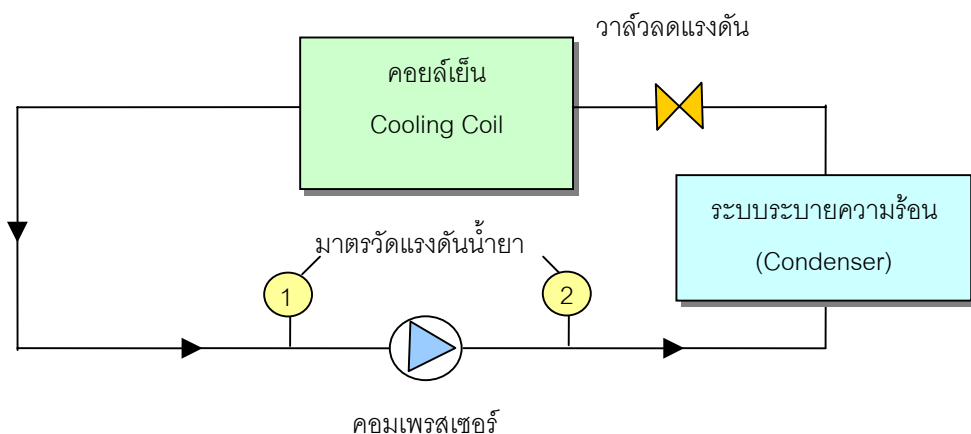
การที่มีการติดตั้งมาตรวัดแรงดัน จะทำให้เรารู้สถานะการทำงาน และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสะดวกในการบำรุงรักษา และเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง ยกตัวอย่าง เช่น ในรูป



รูปที่ 5-4 แสดงการติดตั้งมาตรวัดแรงดันของปั๊มน้ำ

ในการจุดบันทึกจากมาตรวัดหมายเลข 2 ถ้าค่าที่อ่านได้สูงขึ้นกว่าที่จดไว้ แสดงว่าอาจมีการอุดตันในระบบระบายความร้อน ซึ่งจะทำให้การระบายความร้อนไม่มีประสิทธิภาพ ต้องบำรุงรักษาโดยการล้างทำความสะอาด เป็นต้น หรือถ้าค่าแตกต่างระหว่างมาตรวัดหมายเลข 2 และหมายเลข 1 มีค่าน้อยลง แสดงว่าปั๊มน้ำทำงานมีประสิทธิภาพต่ำลง จำเป็นจะต้องตรวจสอบหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ เพื่อให้ระบบทำงานตามปกติ เป็นต้น

4. มาตรวัดแรงดันน้ำยาทำความเย็นทางด้านดูด และด้านส่งในกรณีที่เครื่องทำความเย็นเป็นอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิต และใช้พลังงานสูง จำเป็นจะต้องติดตั้งมาตรวัดแรงดันของน้ำยาทั้งด้านดูด และด้านส่งตามรูป



รูปที่ 5-5 แสดงการติดตั้งมาตรวัดแรงดันของคอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็น

การตรวจสอบแรงดันน้ำยาทางด้านส่งและด้านดูด เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบโดยสามารถประเมินผลได้โดยคร่าวๆ ดังนี้

- ถ้าแรงดันน้ำยาทางด้านส่งสูงขึ้น แสดงว่าการระบายความร้อนมีข้อขัดข้อง ต้องการการบำรุงรักษา เพื่อลดการใช้พลังงาน
- ถ้าแรงดันน้ำยาทางด้านดูดสูง อาจเกิดจากมี Load มากผิดปกติ ทำให้ระบบทำความเย็นไม่พอเพียง
- ถ้าแรงดันน้ำยาทางด้านดูดต่ำกว่าปกติ และไม่สามารถทำความเย็นได้ อาจเกิดจากน้ำยาทำความเย็นรั่วออกจากระบบ

หากเกิดเหตุข้างต้นและไม่สามารถตรวจสอบได้ อาจเรียกช่างผู้ชำนาญการมาตรวจสอบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดพลังงานสูงเกินความจำเป็น

5. เทอร์โมมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์จำเป็นอีกอย่างหนึ่งในการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เช่น ระบบไอน้ำ, ระบบปรับอากาศ, ระบบทำความเย็น, ระบบทำความร้อนอื่นๆ การติดตั้งควรตรวจสอบอุณหภูมิที่ใช้งาน และเลือกขนาด และแบบของเทอร์โมมิเตอร์ให้ถูกต้อง ตัวอย่างเช่น

- เทอร์โมมิเตอร์แบบใช้ของเหลว หรือปรอท สำหรับวัดอุณหภูมิขนาดปานกลางตั้งแต่ -40°C ถึง 100°C
- เทอร์โมมิเตอร์แบบ Thermocouple ใช้วัดอุณหภูมิที่สูง และต่ำมาก ๆ
- เทอร์โมมิเตอร์แบบใช้รังสี Infrared ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่สูง (การหลอมละลายของโลหะ) เป็นต้น

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ส่วนใหญ่จะมีการติดตั้ง 2 แบบ คือ แบบใช้ของเหลว หรือปรอท และแบบ Thermocouple (ใช้โลหะสองชนิดประกบติดกัน) จุดที่ควรติดตั้งสำหรับตรวจวัดการทำงานอยู่ตลอดเวลา คือ

- ห้องปรับอากาศ เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของห้องให้อยู่ในจุดที่เหมาะสม ($24 - 25^{\circ}\text{C}$) เพื่อประหยัดพลังงาน
- ระบบระบายความร้อน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการระบายความร้อน
- ปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการเผาไหม้, ส่วนผสมของอากาศ ฯลฯ

6. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่โรงงานควรมี ได้แก่ เครื่องมือ “Multi meter” ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถวัดค่าต่างๆ ได้ดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า (โวลท์)
- กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
- ความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม)

เครื่องมือดังกล่าวมีลักษณะตามรูป



รูปที่ 5-6 เครื่องมือตรวจวัดทางไฟฟ้า (Multi meter)

เครื่องมือวัดนี้สามารถวัดค่าเบื้องต้นทางไฟฟ้าเพื่อประกอบการบำรุงรักษาและการปฏิบัติงาน เช่น

- วัดค่าแรงดันไฟฟ้าแรงต่ำ (380/220V) ว่าเป็นปกติเหมาะสมในการเดินเครื่องหรือไม่
- วัดความต้านทานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในกรณีที่ต้องการตรวจสอบค่าตามมาตรฐาน หรือการลัดวงจรทางไฟฟ้า
- วัดค่าการใช้กระแสไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ โดยประมาณ (ถ้าต้องการวัดโดยละเอียดจะต้องใช้อุปกรณ์ชนิดที่ละเอียดกว่า ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป)

7. เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy meter) หรือมิเตอร์ไฟฟ้าแบบที่ใช้วัดค่าไฟฟ้าตามบ้าน สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีเครื่องไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ามากๆ ซึ่งมีผลต่อค่าไฟฟ้าโดยรวม ควรจะมีการติดตั้ง Energy meter นี้ไว้ เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานในกรณีที่ประสิทธิภาพของเครื่องไฟฟ้างดงกล่าวลดลง จะสามารถสังเกตได้จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้ หรือสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับผลผลิต ฯลฯ อีกด้วย

เครื่องมือวัดที่ยกตัวอย่างข้างต้น สามารถจัดหาได้โดยง่าย ราคาถูก และใช้งานได้โดยง่าย ควรจะมีประจำอยู่ตามโรงงานทั่วไป สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการจัดหาเครื่องมือดังกล่าว คือ ความคลาดเคลื่อนในการวัดของเครื่องมือ ซึ่งไม่ควรใช้เครื่องมือที่มีความคลาดเคลื่อนเกิน 5% (Accuracy $\pm 5\%$)

ค่ามาตรฐานที่ควรรู้

ในการปฏิบัติงานตามปกติควรรู้ค่ามาตรฐานต่างๆ จะช่วยให้ทราบถึงความผิดปกติของการปฏิบัติงานได้ และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หรือการสิ้นเปลืองพลังงานได้อีกด้วย

ค่ามาตรฐานอุณหภูมิ และความชื้น

(RH = Relation Humidity = ความชื้นสัมพัทธ์)

อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยโดยประมาณ

ฤดูร้อน 36°C db 65% RH

ฤดูฝน 34°C db 75% RH

ฤดูหนาว 28°C db 60% RH

อุณหภูมิพอมะในห้องปรับอากาศ = 24 – 25°C, 55 – 60% RH

อุณหภูมิสารทำความเย็นทางด้านดูด (Suction temperature) = 7 – 8°C

อุณหภูมิสารทำความเย็นทางส่งหรืออุณหภูมิสารทำความเย็นกลั่นตัว (Discharge or condensing temperature)
= 40 – 50°C

อุณหภูมิห้องเก็บอาหารแช่แข็ง = -20°C

อุณหภูมิห้องแช่แข็ง = -40°C

อุณหภูมิลมเย็นจากเครื่องปรับอากาศ ประมาณ = 12 ± 2°C

อุณหภูมิปล่องไอเสียของหม้อไอน้ำ ประมาณ = 180 – 250°C

5.3 อุปกรณ์การตรวจวัดซึ่งต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัด

ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยละเอียดจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่ตรวจวัดได้อย่างละเอียด มีความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดไม่เกิน 1% (Accuracy ± 1%) ซึ่งมีราคาสูง อีกทั้งจะต้องทำการตรวจวัดโดยผู้ได้รับการฝึกฝนโดยเฉพาะ ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจวัดนี้ สามารถนำมาคำนวณและวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างละเอียด และเป็นที่เชื่อถือได้

การตรวจวัดดังกล่าวควรจะมีการกระทำโดยสม่ำเสมออย่างน้อยปีละครั้ง ทั้งนี้เพื่อผู้ประกอบการจะได้ทราบล่วงหน้าถึงการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรต่างๆ และสามารถวางแผนในการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ การตรวจวัดดังกล่าวได้แก่

5.3.1 ระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

● ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

หมายถึง ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าตั้งแต่จุดที่ออกจากหม้อแปลง จนถึงตู้ส่งจ่ายหรือตู้ MDB (Main Distribution Breaker) ที่แต่ละจุดภายในโรงงาน

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กระแสไฟฟ้า (แอมป์) กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ซึ่งเรียกโดยรวมว่าค่าทางไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของระบบ เช่น ลักษณะการใช้ไฟฟ้า เวลาที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อจัดโหลดหลีกเลี่ยงช่วง Peak ของค่าไฟฟ้า ความสมดุลของแรงดันและกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า ศักยภาพในปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าซึ่งควรจะสูงกว่า 0.90 ฯลฯ

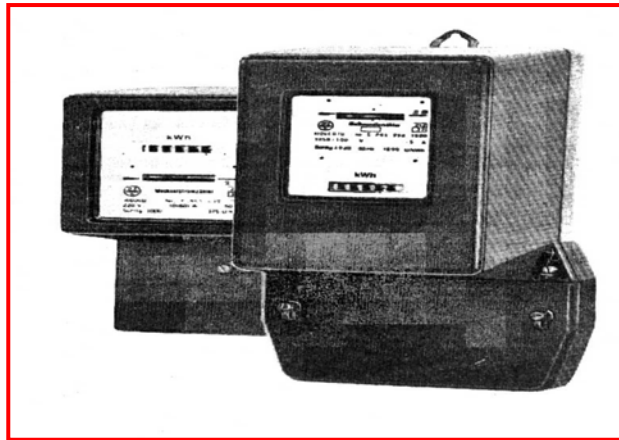
เครื่องมือตรวจวัดมีทั้งชนิดที่วัดค่าทางไฟฟ้าแบบชั่วคราว เช่น แอมป์มิเตอร์หรือเพาเวอร์มิเตอร์แบบคลั่งวัด มิเตอร์วัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และเครื่องมือตรวจวัดชนิดที่วัดและบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.1 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า	- แรงดันไฟฟ้า - กระแสไฟฟ้า - กำลังไฟฟ้า - ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	- เพาเวอร์มิเตอร์แบบคลั่งวัด - เครื่องมือวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 5-7 เพาเวอร์มิเตอร์แบบคลั่งวัด (Clamp on meter)



รูปที่ 5-8 มิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า (Kilowatt Hour Meter)



รูปที่ 5-9 เครื่องวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่องชนิดพกพา (Portable Energy Recorder)

- ระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

หมายถึง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split-type) เครื่องปรับอากาศแบบติดหน้าต่าง (Window-type) และเครื่องปรับอากาศแบบเป็นชุด (Packaged Unit)

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้ารวมทั้งช่วงเวลาการติดต่อของคอมเพรสเซอร์เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและลมกลับรวมทั้งปริมาณลมจ่ายเพื่อคำนวณภาระการทำความเย็นและสมรรถนะการทำงานของระบบปรับอากาศซึ่งไม่ควรจะใช้พลังงานเกิน 1.61 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น และค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์และอากาศแวดล้อมภายนอก

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น ชนิดของเทอร์โมสแตท สภาพของแผงกรองอากาศ เวลาใช้งาน

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดความเร็วลม

ตารางที่ 5.2 การตรวจวัดระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว	• ค่าทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ • ความเร็วลมและพื้นที่ช่องจ่ายลมเย็น • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์ • อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมภายนอก	• เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า • เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ • เครื่องวัดความเร็วลม



รูปที่ 5-10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 5-11 เครื่องมือวัดความเร็วลม

● ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central System) มักจะประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ที่ติดตั้งอยู่ในห้องเครื่องศูนย์กลาง ทำหน้าที่ส่งจ่ายน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็น (AHU, Air Handling Unit และ FCU, Fan Coil Unit) ซึ่งจะติดตั้งกระจายอยู่ตามพื้นที่ปรับอากาศต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดการตรวจวัดดังนี้

◆ เครื่องส่งลมเย็น

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัดสำหรับเครื่องส่งลมเย็น ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย (Supply Air) และลมกลับ (Return Air) รวมทั้งปริมาณลมจ่ายเพื่อคำนวณภาระการทำความเย็น ค่าทางไฟฟ้าของพัดลมของเครื่องส่งลมเย็น ความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศเพื่อตรวจสอบสภาพการใช้งานด้านลมจ่าย และความดันตกคร่อมและอัตราการไหลในท่อน้ำเย็นเพื่อตรวจสอบสมดุลน้ำ นอกจากนี้ยังต้องรวบรวมข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่จำเป็นเช่นเดียวกับระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว เช่น ชนิดของเทอร์โมสแตท สภาพของแผงกรองอากาศ และเวลาใช้งาน

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วลม และเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ

ตารางที่ 5.3 การตรวจวัดเครื่องส่งลมเย็น

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
เครื่องส่งลมเย็น	- อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่าย - อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมกลับ - ความเร็วลมและพื้นที่ของจ่ายลมเย็น - ค่าทางไฟฟ้าของพัดลม - ความดันตกคร่อมแผงกรองอากาศ - ความดันตกคร่อมท่อน้ำเย็น - อัตราการไหลของน้ำเย็น	- เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า - เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - เครื่องวัดความเร็วลม - เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ - เกจวัดความดัน

◆ เครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ใช้สำหรับผลิตน้ำเย็น ทั้งเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศและใช้ในกระบวนการผลิต

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัดสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำเย็น และอุณหภูมิน้ำเย็นด้านเข้าและด้านออก เพื่อคำนวณภาระการทำความเย็น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้านเข้าและด้านออก เพื่อคำนวณอัตราการระบายความร้อนทิ้ง ค่าทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์เพื่อใช้ประกอบกับภาระการทำความเย็นในการประเมินสมรรถนะการทำงานของระบบซึ่งไม่ควรใช้พลังงานเกิน 0.7 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็นสำหรับระบบที่ระบายความร้อนด้วยน้ำและ 1.2 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็นสำหรับระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ตลอดจนการสำรวจเวลาใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็น

นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่ควรตรวจวัดด้วย เช่น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ปั๊มน้ำเย็น และปั๊มน้ำหล่อเย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่พัดลมระบายความร้อนทั้งที่คอนเดนเซอร์ก็ระบายความร้อนด้วยอากาศและที่หอผึ่งน้ำก็ระบายความร้อนด้วยน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ตารางที่ 5.4 การตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
เครื่องทำน้ำเย็น	- ค่าทางไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ - อัตราการไหลของน้ำเย็น - อุณหภูมิน้ำเย็นด้านเข้าและด้านออก - อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น - อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นด้านเข้าและด้านออก - ค่าทางไฟฟ้าของเครื่องน้ำเย็นและเครื่องน้ำหล่อเย็น - ค่าทางไฟฟ้าของพัดลมระบายความร้อน	- เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า - เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส - เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ

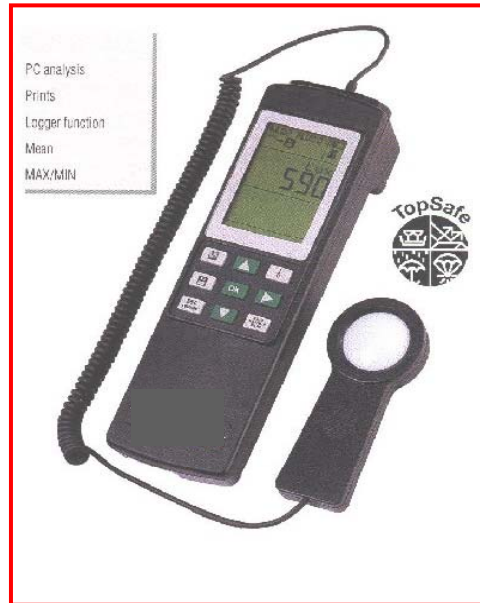
● ระบบแสงสว่าง

ค่าที่จำเป็นต้องสำรวจและตรวจวัดสำหรับระบบแสงสว่าง ได้แก่ ชนิดและจำนวนของหลอดไฟและโคมไฟในแต่ละพื้นที่ที่ตลอดจนค่าทางไฟฟ้าเพื่อคำนวณดัชนีการใช้แสงสว่างซึ่งไม่ควรเกิน 16 วัตต์ต่อตารางเมตรสำหรับพื้นที่สำนักงานทั่วไปและ 23 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับพื้นที่ทำงานที่ต้องการความสว่างมากขึ้น เช่น พื้นที่ตรวจสอบชิ้นงาน ค่าความส่องสว่าง (Lux) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนและตำแหน่งของหลอดไฟและโคมไฟเมื่อเทียบกับลักษณะการใช้งานของแต่ละพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องวัดค่าความส่องสว่างในระดับความสูงเดียวกับพื้นที่ใช้งานจริง เช่น บนโต๊ะทำงาน หรือบนพื้นทางเดินภายในโรงงาน นอกจากนี้ ยังต้องสำรวจเวลาใช้งานระบบแสงสว่างในแต่ละพื้นที่อีกด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า และเครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

ตารางที่ 5.5 การตรวจวัดระบบแสงสว่าง

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบแสงสว่าง	- ค่าทางไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง - ค่าความส่องสว่าง - ขนาดพื้นที่ของแต่ละส่วน	- เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า - เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)



รูปที่ 5-12 เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

- ระบบอากาศอัด

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัดสำหรับระบบอากาศอัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้า ความดันของอากาศอัด อัตราการไหลของอากาศเข้า รวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้า เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศทั้งที่เป็นอัตราการผลิตอากาศอัดที่ทำได้ (Free Air Delivery) และเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่ออากาศอัดที่ผลิตได้ซึ่งไม่ควรเกิน 0.111 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ต้องมีการสำรวจจุดรั่วไหลของระบบส่งจ่ายอากาศอัดภายในโรงงาน และสำรวจเวลาการใช้งานเครื่องอัดอากาศ

สำหรับโรงงานที่มีช่วงเวลาที่สามารถหยุดระบบอากาศอัดได้ จะทำให้การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศและการตรวจวัดปริมาณอากาศรั่วไหลในระบบทำได้อย่างแม่นยำขึ้น โดยการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศสามารถทำได้โดยการจับเวลาที่ใช้ในการอัดอากาศเข้าถึงเก็บอากาศจากถังเปล่าจนกระทั่งมีความดันเท่ากับค่าที่กำหนดรวมกับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ส่วนการตรวจวัดปริมาณอากาศรั่วไหลในระบบสามารถทำได้โดยการจับเวลาที่เครื่องเดินและหยุดระหว่างความดันสองระดับที่ตั้งไว้ร่วมกับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น และนาฬิกาจับเวลา

ตารางที่ 5.6 การตรวจวัดระบบอากาศอัด

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบอากาศอัด	- ค่าทางไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ - ความเร็วลมและพื้นที่ของช่องอากาศเข้า - อุณหภูมิและความชื้นของอากาศเข้า - ช่วงเวลาการตัดต่อของเครื่องอัดอากาศ	- เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า - เครื่องวัดความเร็วลม - เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - นาฬิกาจับเวลา

• เครื่องสูบน้ำ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้า ความดันด้านส่งและด้านดูดของเครื่องสูบน้ำเพื่อใช้ตรวจสอบสมรรถนะการทำงานของปั๊ม ความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ ตลอดจนการประเมินความเป็นไปได้ในการติดตั้งเครื่องปรับลดความเร็วรอบเพื่อประหยัดพลังงานซึ่งต้องใช้ค่าที่ต้องตรวจวัดทั้งหมดมาประกอบกัน นอกจากนี้ ยังต้องสำรวจเวลาการทำงานของเครื่องสูบน้ำอีกด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดความเร็วรอบ และเกจวัดความดัน

ตารางที่ 5.7 การตรวจวัดเครื่องสูบน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
เครื่องสูบน้ำ	- ค่าทางไฟฟ้าของปั๊ม - ความเร็วรอบมอเตอร์ - ความดันด้านส่งและด้านดูดของปั๊ม	- เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า - เครื่องวัดความเร็วรอบ - เกจวัดความดัน

• มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ และช่วงเวลาการทำงาน ตลอดจนความเร็วรอบในกรณีของมอเตอร์ที่ต้องการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า และเครื่องวัดความเร็วรอบ

ตารางที่ 5.8 การตรวจวัดมอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า	- ค่าทางไฟฟ้า - ความเร็วรอบ กรณีเป็นมอเตอร์	- เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า - เครื่องวัดความเร็วรอบ

5.3.2 ระบบที่ใช้พลังงานความร้อน

• หม้อไอน้ำ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ เปอร์เซ็นต์ของออกซิเจนในก๊าซเสีย อุณหภูมิก๊าซเสีย และค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำและความร้อนสูญเสียจากการเผาไหม้ อุณหภูมิผิวของหม้อไอน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม พื้นที่ผิว และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) เพื่อวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียทางผิวผนังหม้อไอน้ำ ตลอดจนอัตราการไหลและค่า TDS (Total Dissolved Solid) ของน้ำ boiler drain และน้ำป้อนเพื่อใช้วิเคราะห์ความร้อนสูญเสียจากการ boiler drain นอกจากนี้ ต้องสำรวจข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่น อัตราการใช้และอุณหภูมิของเชื้อเพลิง อัตราการผลิตไอน้ำ อุณหภูมิและความดันของไอน้ำที่ผลิต อุณหภูมิของน้ำป้อน อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ สภาพฉนวนระยะเวลาการใช้งาน ฯลฯ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ตารางที่ 5.9 การตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
หม้อไอน้ำ	- ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และอุณหภูมิของก๊าซเสีย - อุณหภูมิผิวผนังหม้อไอน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม และพื้นที่ผิว - อัตราการผลิต อุณหภูมิ และความดันของไอน้ำ - อัตราการใช้ และอุณหภูมิเชื้อเพลิง - อัตราการไหล และอุณหภูมิของน้ำป้อน - อัตราการไหล และอุณหภูมิของอากาศป้อน - อัตราการ boiler drain - ค่า TDS ของน้ำ boiler drain และน้ำป้อน - อุณหภูมิแวดล้อม	- เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ - เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ - เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส



รูปที่ 5-13 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

• ระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของท่อส่งจ่าย วาล์ว และหน้าแปลน อุณหภูมิแวดล้อม และค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของพื้นผิว ตลอดจนสภาพของฉนวน ซึ่งค่าทั้งหมดจะใช้ในการประเมินความสูญเสียของระบบส่งจ่ายไอน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส และคลิบเมตร

ตารางที่ 5.10 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายไอน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบส่งจ่ายไอน้ำ	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของท่อ วาล์ว และหน้าแปลน - อุณหภูมิแวดล้อม	- เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส - คลิบเมตร

• อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

ดำเนินการตรวจวัดค่าต่างๆ กระทำเหมือนกับระบบส่งจ่ายไอน้ำ โดยเน้นที่การวิเคราะห์ความสูญเสียผ่านผนังของอุปกรณ์ การสำรวจสภาพของฉนวนความร้อน สภาพของตัวสตรึมแทรป และปริมาณของน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น สำหรับการนำไปประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานความร้อนจากการนำกลับน้ำคอนเดนเสทมาเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส กระบอกตวงวัดปริมาตร นาฬิกาจับเวลา เกจวัดความดันไอน้ำ และคลิบเมตร

ตารางที่ 5.11 การตรวจวัดอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ	- อุณหภูมิผิวและพื้นที่ผิวของอุปกรณ์ - อุณหภูมิแวดล้อม - ปริมาณน้ำคอนเดนเสท - ความดันไอน้ำใช้งาน	- เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส - เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - กระบอกตวงวัดปริมาตร - นาฬิกาจับเวลา - เกจวัดความดันไอน้ำ - คลิบเมตร

● สติมแทป (ก๊าดักไอน้ำ)

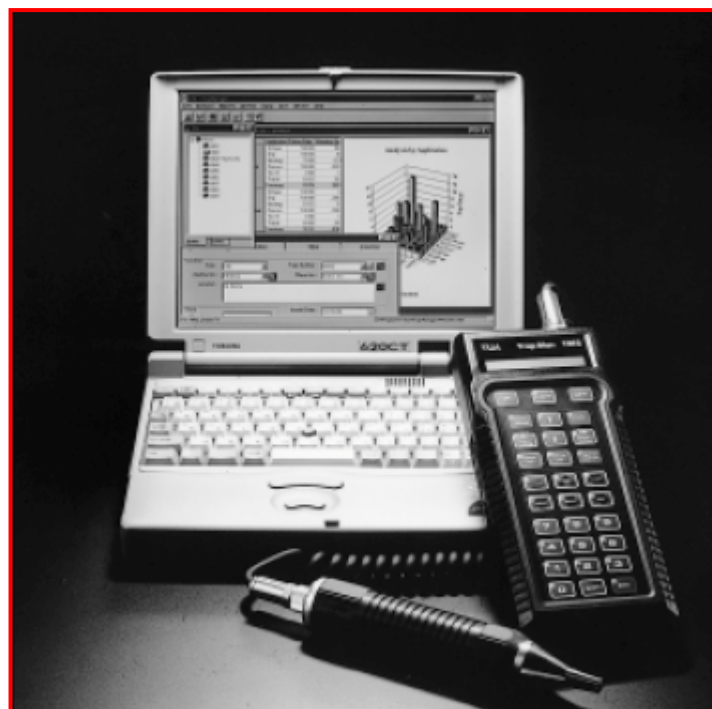
อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตต้องมีการติดตั้งตัวสติมแทป หรือตัวก๊าดักไอน้ำสำหรับทำหน้าที่ยะบายน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้ความร้อนจากไอน้ำ ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ จึงต้องตรวจสอบให้ตัวสติมแทปทำงานได้ดีอยู่เสมอ ไม่มีการรั่วของไอน้ำจากตัวสติมแทปหรือการไม่ทำงาน (เสีย) ของตัวสติมแทปที่ไม่ระบายน้ำคอนเดนเสทออกจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

การตรวจวัดสติมแทปจะเป็นการตรวจสอบสภาพการทำงานของตัวสติมแทป ว่าสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามปกติหรือไม่ ขนาดและประเภทของสติมแทปเหมาะสมกับลักษณะการใช้ไอน้ำของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำหรือไม่

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ อุปกรณ์ Ultrasonic Leak Detector (อุปกรณ์ตรวจวัดการรั่วของสติมแทป) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีราคาสูงมาก ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

ตารางที่ 5.12 การตรวจวัดสติมแทป

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ตัวสติมแทป (ก๊าดักไอน้ำ)	● ปริมาณการรั่วของไอน้ำจากตัวสติมแทป	● อุปกรณ์ Ultrasonic Leak Detector



รูปที่ 5-14 อุปกรณ์ Ultrasonic Leak Detector



รูปที่ 5-15 แสดงการตรวจวัดตัวสตีมแทรป

5.4 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน

ภายหลังจากการตรวจวัดระบบ หรืออุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงาน ลำดับต่อไปคือการนำค่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาคำนวณค่าตัวกำหนดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Parameters) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยที่ค่าตัวกำหนดประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่คำนวณได้ของอุปกรณ์มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แสดงว่าอุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดี มีการสิ้นเปลืองพลังงานในการใช้งานน้อย แต่ถ้าค่าตัวกำหนดประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่คำนวณได้ของอุปกรณ์มีค่าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แสดงว่าอุปกรณ์นั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ มีการสิ้นเปลืองพลังงานในการใช้งานมาก จึงต้องหามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมมาดำเนินการเพื่อให้อุปกรณ์มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานในระยะยาว (ภายหลังระยะเวลาคืนทุนในกรณีที่ต้องมีการลงทุนในมาตรการ)

บทที่ 6

การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ

ในอุตสาหกรรมสิ่งทอการอนุรักษ์พลังงานสามารถดำเนินการได้หลายแนวทางทั้งในกระบวนการผลิตและระบบ Utility ซึ่งช่วยสนับสนุนการทำงานของกระบวนการผลิต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- การอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต
- การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง
- การอนุรักษ์พลังงานในเครื่องสูบน้ำ
- การอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์ไฟฟ้า
- การอนุรักษ์พลังงานในระบบอากาศอัด
- การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ
- การอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน

6.1 การอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต

1. การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมในบริเวณส่วนผลิต

ความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณผลิตโดยเฉพาะกระบวนการปั่นด้ายที่มีค่าสูง จะทำให้การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศสูงเกินความจำเป็น การควบคุมความชื้นและอุณหภูมิให้เหมาะสมกับชนิดผลิตภัณฑ์จะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ ความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับชนิดของเส้นใยแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงการปรับอากาศที่เหมาะสมในโรงงานสิ่งทอ

ชนิดเส้นใย	กระบวนการ	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
ฝ้าย (Cotton)	Spinning (ปั่นด้าย)	30 – 35	50 – 60
	Doubling & Twisting (ตีเกลียวเส้นด้าย)	26 - 33	65 – 75
	Weaving (ทอผ้า)	37 – 31	70 – 85
	Finishing (ตกแต่งสำเร็จ)	30 – 35	50 – 65
ขนสัตว์ (Worsted)	Spinning (ปั่นด้าย)	25 –30	65 – 80
	Weaving (ทอผ้า)	25 – 30	70 – 85
	Finishing (ตกแต่งสำเร็จ)	25 – 32	60 – 75
โพลีเอสเตอร์ (Polyester)	Preparation (การเตรียมสิ่งทอ)	26.7	65 – 75
	Weaving (ทอผ้า)	26.7	65 – 75

ตารางที่ 6.1 แสดงการปรับอากาศที่เหมาะสมในโรงงานสิ่งทอ (ต่อ)

ชนิดเส้นใย	กระบวนการ	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%RH)
ไนลอน (Nylon)	Preparation (การเตรียมสิ่งทอ)	26.7	60 – 70
	Weaving (ทอผ้า)	26.7	60 – 70
เรยอน (Rayon)	Twisting (การตีเกลียว)	26.7	65 – 75
	Weaving (ทอผ้า)	26.7	50 – 65
อะซีเตต (Acetate)	Twisting (การตีเกลียว)	26.7	50 – 65
	Weaving (ทอผ้า)	26.7	55 – 65
ไหม (Silk)	Preparation (การเตรียมสิ่งทอ)	26.7	60 – 70
	Weaving (ทอผ้า)	26.7	60 – 70

หมายเหตุ การเตรียมสิ่งทอในที่นี้หมายถึง กระบวนการผลิตก่อนขั้นตอนการปั่นด้าย ตั้งแต่การสางใย (Carding) การรีดปุ๋ย (Drawing) การโรฟวิ้ง (Roving) เป็นต้น

2. การเลือกใช้ความเร็วในการปั่นด้ายที่เหมาะสม (Optimum Spindle Speed)

ความเร็วของแกนปั่นที่หมุนสูงๆจะทำให้การใช้พลังงานของแกนปั่นมีค่าสูงขึ้นและที่ความเร็วรอบสูงมากๆ พลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักแกนปั่นที่เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยจะมากขึ้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน ควรเลือกความเร็วของการปั่นด้ายให้เหมาะสมกับชนิดของเส้นด้าย ซึ่งสามารถประเมินปริมาณการใช้พลังงานที่ความเร็วแกนปั่นค่าต่างๆ ได้จากสมการ

$$\text{พลังงานไฟฟ้า } P(\text{kW}) = -1.5626 \times 10^{-5} S^2 + 0.54525 S - 3,245$$

โดยที่ S(rpm) คือ ความเร็วแกนปั่น (RPM)

3. การเลือกใช้สายพานแกนปั่น ที่เหมาะสม (Optimum Spindle Tape)

เครื่องจักรในอุตสาหกรรมปั่นด้าย สายพานขับแกนหมุน (Spindle Tape) เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนได้ สายพานที่ดีที่ก่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานต้องเป็นสายพานที่มีน้ำหนักเบา (Lesser Weight) หนาบาง (Lesser Thickness) มีการยืดตัวตามยาวต่ำ (Lower Elongation) มีความทนทานต่อการขัดสีสูง (Higher Abrasion Resistance) และมีค่าความแข็งแรงต่อการดึง (Tensile Strength) เพียงพอ

4. การใช้ Spindle และ Bobbin ที่มีน้ำหนักเบา จะใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับให้แกนปั่นน้อยกว่าแกนปั่นที่มีน้ำหนักมาก

5. การเปลี่ยน Spindle ที่มีอายุการใช้งานยาวนานและเสื่อมสภาพ

ในการศึกษาวิจัยพบว่าเมื่ออายุการใช้งานของแกนปั่นเพิ่มมากขึ้น การใช้พลังงานจะเพิ่มขึ้นตามอายุของแกนปั่นที่เพิ่มขึ้น โดยแกนปั่นที่มีอายุตั้งแต่ 5 ปีขึ้นไปถึง 15 ปี แต่ก็ขึ้นอยู่กับการทำงานและการบำรุง

รักษาของแต่ละโรงงานด้วยเช่นกัน การลงทุนปรับเปลี่ยนแกนปั่นทุกๆ 4 ปี จะสามารถประหยัดพลังงานในระดับที่สามารถคืนทุนได้

6. การบำรุงรักษาและการปรับตั้งเครื่องทอ

การบำรุงรักษานอกจากช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องแล้ว ยังส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการทอผ้า กล่าวคือ การหยุดเดินเครื่องเนื่องจากเครื่องเสียน้อยลง การปรับตั้งเครื่องทอผ้าแต่ละชนิด ควรมีการบันทึกข้อมูลที่สำคัญไว้เช่น ความตึงด้ายยืน ความกว้างการเปิดตะกรอ เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงการพึ่งพาทักษะของคน เช่น การปรับความตึงด้ายยืนในเครื่องทอสมัยเก่า ความตึงขึ้นอยู่กับการรู้สึกรู้สียงของช่างแต่ละคน โดยข้อมูลเหล่านี้จะช่วยประหยัดเวลาเมื่อทอผ้าซ้ำรายการเดิม

7. การลดการรั่วไหลของอากาศเย็นบริเวณปรับอากาศ

ควรพยายามลดพื้นที่เปิดของบริเวณปรับอากาศให้มากที่สุด เช่น บริเวณประตูเปิด – ปิดขนถ่ายสินค้า การเปิดช่องให้อากาศภายนอกซึ่งร้อนกว่าบริเวณปรับอากาศไหลเข้ามา เป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็นให้กับระบบปรับอากาศ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศมากขึ้น

8. การลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต

สามารถดำเนินการได้โดยการปรับปรุงระยะเวลาที่กำหนดไว้โปรแกรมการผลิต การแบ่งชนิดของโปรแกรมให้ละเอียดแยกย่อยมากขึ้นและปรับปรุงให้เหมาะสม สามารถช่วยประหยัดได้ทั้งพลังงานที่ใช้ เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตรวดเร็วขึ้น โดยการปรับปรุงสูตรเคมีที่ใช้ ตัวอย่างเช่น การปรับปรุงสูตรเคมีที่ใช้ในการขจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวด้วยเครื่องแบบเกียร์ (Scoring/Bleaching Formulation) สามารถลดเวลาที่ใช้ในการผลิตจาก 10 ชั่วโมงลงเหลือประมาณ 2 ชั่วโมงกว่าๆ เป็นต้น

9. การติดตั้งและใช้งานฝาครอบเครื่องฟอกย้อม

เครื่องฟอกย้อมแบบจิกเกอร์หรือแบบวินช์ มักจะใช้งานโดยเปิดฝาครอบขึ้นแม้ขณะทำการผลิต ในช่วงที่อุณหภูมิสูง การติดตั้งและการใช้งานฝาครอบเพื่อลดปริมาณความร้อนสูญเสียไปกับการระเหยสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้ถึง 50%

10. การติดตั้งฉนวนที่เครื่องจักร

การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ผิวเครื่องจักรที่ใช้ความร้อนจะสามารถลดการสูญเสียความร้อนได้ ซึ่งหมายถึงสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงด้วย

11. การนำความร้อนของน้ำย้อมทิ้งกลับมาใช้

ปริมาณความร้อนทิ้งในโรงงานฟอกย้อมจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน รวมทั้งระดับอุณหภูมิของน้ำย้อมร้อนที่ปล่อยทิ้งและปริมาณน้ำเย็นที่ใช้ในกระบวนการ สำหรับกระบวนการผลิตภายใต้ความดันน้ำย้อมในกระบวนการจะต้องผ่านขั้นตอนการระบายความร้อน (Cooling) ของเครื่อง ซึ่งจะลดอุณหภูมิลงมาถึงประมาณ 60 – 80 °C เสียก่อนที่จะปล่อยทิ้ง แต่ในขณะที่กระบวนการผลิตภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ ระดับอุณหภูมิของน้ำทิ้งสายร้อนอาจมีค่าสูงกว่านี้ อาจสูงถึง 70 – 95 °C อย่างไรก็ตามหากกระบวนการผลิตน้ำทิ้งร้อนและเย็นมีการปล่อยทิ้งผสมรวมกัน อุณหภูมิน้ำทิ้งรวมจะลดต่ำลงประมาณ 40 – 50 °C ซึ่งการนำความร้อนที่ปล่อยทิ้งจากจุดนี้กลับมาใช้ประโยชน์อาจไม่เกิดความคุ้มค่า ดังนั้นควรทำการแยกสายน้ำทิ้งสายร้อนและสายเย็น

เพื่อนำความร้อนทิ้งจากน้ำร้อนสายร้อนกลับมาแลกเปลี่ยนกับน้ำเย็นที่ใช้เดิมเข้าสู่กระบวนการผลิต จะช่วยทำให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไอน้ำได้

12. การลดอุณหภูมิของไอน้ำหรือน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การลดอุณหภูมิของไอน้ำหรือน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยการปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตถ้าหากสิ่งทอที่ผลิตสามารถเลือกประเภทสีย้อมได้หลากหลาย ไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนการย้อมด้วยสีไดเรกซ์ที่ย้อมที่อุณหภูมิ 100 – 120 °C มาทำการย้อมด้วยสีรีแอคทีฟที่ย้อมที่อุณหภูมิ 40 – 60 °C สามารถลดปริมาณความร้อนที่ใช้ในการให้ความร้อนกับน้ำลดความร้อนที่สูญเสียไปกับการแผ่รังสีและการพาความร้อน รวมทั้งลดการสูญเสียไปกับการทำให้ผ้าร้อนขึ้นได้

13. การลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต

การลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นการพิจารณาเพื่อปรับเปลี่ยนวิธีการผลิตบ้างเล็กน้อย เพื่อลดขั้นตอนการผลิต ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและเวลาในการผลิต

14. การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวัดควบคุมอุณหภูมิหรือเทอร์โมสแตท ร่วมกับการติดตั้งวาล์วเปิด – ปิดอัตโนมัติ

เครื่องย้อมแบบจิกเกอร์หรือวินช์รุ่นเก่าๆ มักจะไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ การผลิตจึงเป็นไปในลักษณะที่ใช้แรงงานคนในการควบคุมอุณหภูมิ โดยการหรีวาล์วจ่ายไอน้ำหรือผลิตในลักษณะต้มให้เดือดจัด เป็นการปฏิบัติงานที่ใช้พลังงานสูงเกินความจำเป็น การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและเทอร์โมสแตทควบคู่กันเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิน้ำย้อมที่ร้อน แล้วทำการส่งสัญญาณไปควบคุมวาล์วจ่ายไอน้ำเปิด – ปิดอัตโนมัติที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ส่งจ่ายไอน้ำ เพื่อรักษาให้อุณหภูมิของน้ำในเครื่องอยู่ในระดับที่เหมาะสม สามารถลดปริมาณการใช้ไอน้ำที่เกิดความจำเป็นลง ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน

15. การลดการย้อมซ้ำ

ควรพยายามลดการย้อมซ้ำให้น้อยที่สุดเพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งต้องทำการศึกษาหาสาเหตุของการต้องทำซ้ำอย่างละเอียด และต้องทำการเก็บบันทึกข้อมูลของการผิดพลาด

16. การลดปริมาณอากาศระบายให้ต่ำที่สุด

ในขั้นตอนการอบแห้งสีพิมพ์ด้วยความร้อน จำเป็นต้องระบายอากาศร้อนที่หมุนเวียนในเครื่องออกเพื่อกำจัดสารระเหยที่เกิดขึ้น ซึ่งการใช้พลังงานของเครื่องกว่า 80% เป็นการใช้พลังงานความร้อนไปกับการทำให้อากาศร้อน ดังนั้นควรพิจารณาลดความร้อนสูญเสียไปกับส่วนนี้ให้น้อยที่สุด ควรทำการลดปริมาณอากาศระบายให้ต่ำที่สุดเท่าที่จำเป็น ในทางทฤษฎีแล้วปริมาณอากาศที่ระบายออกในขณะผลิตควรมีค่าอยู่ในอัตรา 10 kg อากาศ/ 1 kg ผ้า การลดอัตราการระบายอากาศให้อยู่ในจุดที่เหมาะสมสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ถึง 30%

17. หลีกเลี่ยงการอบแห้งมากเกินไป

การอบแห้งผ้าในทางปฏิบัติมักจะอบแห้งแบบแห้งผาก หรือเป็นการอบแห้งที่มากเกินไปโดยคิดว่าเป็นการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดจากการที่ผ้าไม่แห้ง เกิดจุดด่างดำเนื่องจากราบนผ้า หรือสีที่พิมพ์ หรือย้อมบนผ้าไม่แห้ง ซึ่งโดยธรรมชาติของเส้นใยชนิดต่างๆ จะมีการดูดซึมความชื้นอยู่ในเส้นใยอยู่ระดับหนึ่งเสมอ

ดังแสดงในตารางที่ 6.2 ดังนั้นการอบแห้งที่มากเกินไปจะเป็นการใช้พลังงานโดยไม่เกิดผลอะไร เนื่องจากผ้าจะมีการดูดซับความชื้นจนกระทั่งเข้าสู่ระดับค่าการดูดซับความชื้น (Regain Value) ของเส้นใย ดังนั้นในการอบแห้งควรจะทำให้การควบคุมระดับความเร็วของลูกกลิ้งอบแห้ง หรือควบคุมระดับความชื้นในผ้าที่ออกจากเครื่องอบแห้งให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่แห้งมากเกินไป เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงระดับค่าการดูดซับความชื้น (Regain Value) ของเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ สภาวะอุณหภูมิ 20 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65%

ชนิดเส้นใย	ค่าการดูดซับความชื้น (Regain Value) ของเส้นใย (%)	ชนิดเส้นใย	ค่าการดูดซับความชื้น (Regain Value) ของเส้นใย (%)
ฝ้าย	7.0	ไนลอน 6.6	4.3
ขนสัตว์	16 – 18	ไนลอน 6	4.4
วิสโคส	12.5	โพลีเอสเตอร์	0.4
ไดอะซิเตท	6.9	อะคริลิก	1.5
ไตรอะซิเตท	4.5	โพลีโพรพิลีน	0.0

18. การรีดน้ำออกจากผ้าก่อนการอบแห้ง

การกำจัดน้ำออกจากผ้าให้มากที่สุดก่อนที่จะเข้าเครื่องจะช่วยลดใช้พลังงานในการอบแห้ง ในการกำจัดน้ำสามารถใช้วิธีการกำจัดน้ำด้วยอุปกรณ์เชิงกล เช่น เครื่องบีบน้ำแบบลูกกลิ้ง (Mangle) เครื่องสลัดน้ำแบบเหวี่ยง (Centrifugal) เครื่องดูดน้ำด้วยสุญญากาศแบบช่องยาว (Suction Slot) หรือเครื่องที่ใช้ลมเป่าให้น้ำกระจายออกจากผ้า (Air Knives) หรือกำจัดน้ำโดยการอบแห้งแบบสัมผัส (Cylinder Dryer) ซึ่งการอบแห้งแบบสัมผัสด้วยลูกกลิ้งไอน้ำจะใช้พลังงานในการอบแห้งสูงกว่าการดูดน้ำด้วยสุญญากาศกว่า 5 เท่าตัว แต่กระนั้นคิดเป็นพลังงานที่ใช้เพียง 0.5 เท่า หรือ 2/3 เท่าของพลังงานที่ใช้ของเครื่อง Stenter

ตารางที่ 6.3 แสดงข้อจำกัดของปริมาณน้ำที่เหลือติดผ้าแต่ละชนิดสำหรับเครื่องกำจัดน้ำออกจากผ้าแบบลูกกลิ้ง บีบ (Mangle) และเครื่องดูดน้ำแบบช่องยาว (Suction Slot)

ประเภทของผ้า	ปริมาณน้ำที่เหลือติดผ้า (%)	
	เครื่องแบบลูกกลิ้งบีบ	เครื่องดูดแบบช่องยาว
ฝ้าย (Cotton)	45 – 70	40 – 55
วิสโคส (Viscose)	60 – 100	60 – 80
ไดอะซิเตท (Diacetate)	40 – 50	27 – 40
ไนลอน 6.6 (Nylon 6.6)	20 – 40	14 – 30
โพลีเอสเตอร์ (Polyester)	20 – 30	10 – 16
ขนสัตว์ (Wool)	58 – 60	35 – 55

19. การนำกลับน้ำคอนเดนเสท

น้ำคอนเดนเสทที่มีอุณหภูมิสูงที่ระบายออกทิ้งก็มีค่าความร้อนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ โดยนำกลับไปผสมกับน้ำป้อนหม้อไอน้ำ หรือนำไปผสมกับน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ก็จะสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงได้

20. การบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำ

โรงงานควรมีการตรวจสอบ ซ่อมแซม และบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งที่ใช้ไอน้ำเป็นระยะ การรั่วไหลของไอน้ำเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่เกิดประโยชน์ การหมั่นตรวจสอบและซ่อมแซมจุดรั่วไหลของไอน้ำสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ จุดรั่วไหลของไอน้ำของเครื่องที่อาจพบได้บ่อย บริเวณข้อต่อ จุดเชื่อมต่อท่อไอน้ำ บริเวณสตีมแทรป จุดหมุน เป็นต้น

6.2 การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า

6.2.1 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1) ใช้แสงสว่างที่เหมาะสมกับการใช้งานเท่านั้น จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ ค่าความสว่างที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ระดับความส่องสว่างภายในอุตสาหกรรมสิ่งทอ พร้อมค่า UGR และดัชนี ความถูกต้องของสี

ประเภทของพื้นที่และกิจกรรม	E_m Lux	UGR _L	R _{a(min)}	หมายเหตุ
1. พื้นที่ทั่วไป	200	25	60	
2. พื้นที่แต่ง ชัก รีด ดึงผ้า	300	22	80	
3. พื้นที่ปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า	500	22	80	ป้องกันเรื่อง Stroboscopic Effect
4. พื้นที่เย็บ ถัก ปัก ละเลียด	750	22	90	
5. พื้นที่ออกแบบลวดลาย	750	22	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
6. พื้นที่ย้อมผ้า	500	22	80	
7. พื้นที่อบแห้ง	100	28	60	
8. พื้นที่พิมพ์ผ้าด้วยเครื่องจักร	500	25	80	
9. พื้นที่พับ แต่งขอบผ้า	1000	19	80	
10. พื้นที่ตรวจสอบสี คุณภาพผ้า	1000	16	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
11. พื้นที่ซ่อมแซมผ้า	1500	19	90	อุณหภูมิสีอย่างต่ำ 4000 K
12. พื้นที่ตัดเย็บทั่วไป	500	22	80	

ที่มา : ข้อเสนอแนะระดับความส่องสว่างภายในอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม สมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย

นิยาม

1. E_m : Maintained Illuminance หมายถึง ระดับความส่องสว่างขั้นต่ำ (โดยเฉลี่ย) ที่วัดได้ และต้องคงไว้ ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน (Task Area) มีหน่วยเป็น Lux
2. UGR_L : Limiting Unified Glare Rating หมายถึง ค่าระดับความไม่สบายตาจากแสงสว่าง (UGR : Unified Glare Rating) ที่ยอมได้สูงสุดเมื่อติดตั้งระบบแสงสว่างเสร็จแล้ว ณ พื้นที่หรือจุดทำงาน
3. $R_a(\min)$: Minimum Colour Rendering Index หมายถึง ดัชนีความถูกต้องของสี (R_a : Colour Rendering Index) หรือความเหมือนจริงของสีของวัตถุขั้นต่ำสุดเมื่อมองเห็นขณะที่แสงจากระบบแสงสว่าง ณ พื้นที่หรือจุดทำงานกระทบผิววัตถุ
- 2) ปิดสวิตช์เมื่อไม่ใช้งานหรือการจำกัดพื้นที่ใช้งาน การปิดเมื่อไม่ใช้เป็นมาตรการลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างได้ดีที่สุด ควรขอความร่วมมือจากพนักงานปิดไฟเมื่อไม่ใช้งานหรือไม่อยู่ เช่น ช่วงพักเที่ยง ไปห้องน้ำ ฯลฯ หรือช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิต หรือลดการผลิต หรือขณะทำความสะอาด สามารถปิดไฟที่ไม่จำเป็นลงบางส่วน
- 3) นำแสงสว่างจากธรรมชาติใช้ประโยชน์ตามศักยภาพของโรงงาน
- 4) การจัดตำแหน่งโคมใหม่ หรือการจัดกลุ่มสวิตช์ตามการใช้งาน สามารถลดจำนวนโคมที่เกินได้ ทั้งยังสามารถควบคุมการเปิดใช้งานอย่างเหมาะสม ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้
- 5) การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น
 - หลอดประหยัดพลังงาน
 - บัลลัสต์ประสิทธิภาพสูง เช่น บัลลัสต์โลว์ลอส บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์
 - การใช้โคมไฟแผ่นสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูง
 - การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเปิด-ปิดอัตโนมัติ เช่น สวิตช์ตั้งเวลา (Timer Switch)
- 6) จัดตารางทำความสะอาดโคม ควรบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแสงสว่างด้วยการทำความสะอาด การเปลี่ยนหลอดที่เสื่อมสภาพทำให้อายุการใช้งานยาวนาน และรักษาความสว่างไว้ได้ในระดับที่ต้องการ

6.2.2 เครื่องสูบน้ำ

1. การเปลี่ยนขนาดปั๊มให้เหมาะสมกับอัตราการไหลและเฮดที่ต้องการ

เครื่องสูบน้ำที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ต้องทำงานที่อัตราการไหลและความดันสูงเกินความจำเป็น จะทำให้เกิดความสูญเสียที่เกินความจำเป็น ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมต่ำ สามารถปรับลดได้โดยการลดขนาดของเครื่องให้ใกล้เคียงกับภาระ ควรเปลี่ยนไปใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็กหลายตัวเพื่อให้ปั๊มแต่ละชุดทำงานใกล้เคียงกับพิกัดให้มากที่สุดและประสิทธิภาพการใช้งานสูงขึ้น

2. การเจียรแต่งใบพัดปั๊ม, เปลี่ยนใบพัด

ถ้าปั๊มมีขนาดใหญ่กว่าภาระมาก อัตราการไหลหรือเฮดจะสูงกว่าความต้องการใช้งานมาก จำเป็นต้องใช้วาล์วหริ่ ซึ่งปั๊มจะต้องทำงานเอาชนะความเสียดทานที่เพิ่มขึ้น การปรับปรุงที่ลงทุนน้อยที่สุดก็คือ การเจียร

แต่งใบพัด หรือเปลี่ยนเอาใบพัดที่มีขนาดเล็กลง ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการไหลจะแปรผันตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และเฮดของปั๊มจะแปรผันตามเส้นผ่านศูนย์กลางกำลังสอง

3. การใช้ปั๊มน้ำขนาดเล็กหลายชุดและเดินเครื่องตามจำนวนที่จำเป็น

ในกรณีที่อัตราการไหลมีการเปลี่ยนแปลงกว้างและมีการติดตั้งปั๊มน้ำขนาดเล็กหลายชุด เมื่ออัตราการไหลที่ต้องการลดลงแล้ว ควรมีสวิตช์อัตโนมัติตัดปั๊มน้ำบางเครื่องออก และใช้งานเท่าที่จำเป็น ในกรณีที่มีปั๊มหลายชุดเดินขนานกัน การควบคุมด้วยสวิตช์ความดันจะสามารถหยุดปั๊มที่ไม่จำเป็นลดลงได้

4. การเปลี่ยนปั๊มที่ชำรุด สมรรถนะลดลง

เมื่อปั๊มชำรุด เช่น ใบพัดสึกหรอ หัก บุกซิง แหวน แบริ่งชำรุด จะทำให้คุณลักษณะการทำงานเปลี่ยนไปอย่างมาก ทั้งสมรรถนะของปั๊มและกำลังฟัดจะตกลงอย่างมาก ควรดำเนินการซ่อมแซมและปรับเปลี่ยนทันที

5. การใช้ปั๊มน้ำความดันสูงเฉพาะจุด

หากมีการใช้งานความดันสูงในบางจุด ควรติดตั้งเครื่องสูบน้ำความดันสูง (Booster Pump) แยกเฉพาะสำหรับจุดเท่านั้น ส่วนที่เหลือก็ใช้ความดันต่ำ เนื่องจากการผลิตที่ความดันสูงและนำมาลดความดันแล้ว ใช้งานจะสูญเสียพลังงานมากเกินความจำเป็น

6. การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD)

การใช้งานควบคุมอัตราการไหลที่ไม่เต็มพิกัดและแปรเปลี่ยนสามารถใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (VSD) ควบคุมความเร็วมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระได้ตลอดเวลา เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการควบคุมด้วยวิธีการอื่น พลังงานที่มอเตอร์ใช้จะลดลงอย่างมาก

6.2.3 มอเตอร์ไฟฟ้า

1. การใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลด

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพลดลงเมื่อภาระลดลง และเมื่อภาระลดลงต่ำกว่าร้อยละ 40 ของพิกัดประสิทธิภาพของมอเตอร์จะลดลงเร็วอย่างยิ่ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อภาระลดลงกำลังสูญเสียส่วนหนึ่งยังคงที่ เช่น กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก กำลังสูญเสียจากพัดลมระบายความร้อนด้านท้าย แรงเสียดทาน เป็นต้น ทำให้ประสิทธิภาพต่ำลง ดังนั้นควรเลือกใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ ร้อยละของภาระเทียบกับภาระพิกัดควรจะสูงกว่าร้อยละ 60 ซึ่งโรงงานควรปรับปรุงให้การใช้งานมอเตอร์เหมาะสมกับโหลดมากขึ้น โดยการสลับสับเปลี่ยนมอเตอร์ที่มีอยู่ให้มอเตอร์มีขนาดเล็กลง จะลดกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องการลงได้ค่อนข้างมาก

2. หลีกเลี่ยงการใช้งานมอเตอร์ในภาวะไร้โหลด (Idle Running)

การทำงานในภาวะไร้โหลดจะพบโดยทั่วไปในอุปกรณ์ประเภทเครื่องอัดอากาศ สายพานลำเลียง และเครื่องมือกลต่างๆ ในขณะที่ไร้ภาระ เช่น เครื่องอัดอากาศไม่ได้อัดอากาศเข้าถัง ไม่มีวัตถุติดบนสายพาน ฯลฯ แต่วามอเตอร์ยังคงหมุนอยู่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในภาวะไร้ภาระนี้อาจสูงถึง 30 – 40% ของกำลังพิกัด ซึ่งเป็นการสูญเสียพลังงาน การปรับปรุงที่ทำได้ ได้แก่ การหยุดเครื่อง เมื่อไม่มีภาระ การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการวิ่งของชิ้นงาน การวางผัง

กระบวนการผลิตใหม่เพื่อลดเวลาที่ต้องรอ หรือการถ่ายโอนภาระไปใช้งานกับเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูง หรือทำให้เครื่องนั้นรับภาระสูงขึ้น และลดการใช้งานเครื่องที่ไร้โหลด

3. มีการระบายความร้อนที่ดี

มอเตอร์ก็เหมือนกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ที่ทำงานได้ดีเมื่อมีการระบายความร้อนที่ดี เมื่อใช้งานไปจะมีฝุ่น สิ่งสกปรกมาเกาะมอเตอร์ ทำให้การระบายความร้อนแย่ลง อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้น และการสูญเสียมากขึ้น อุณหภูมิมอเตอร์ที่สูงขึ้น 25°C จะหมายถึง การสูญเสียที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10

4. การควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

มอเตอร์จะทำงานได้มีประสิทธิภาพสูงเมื่อได้รับระดับแรงดันที่พิกัดใช้งานหรือแตกต่างกันไม่เกิน 5 % และควรอยู่ในสภาวะสมดุลด้วย แรงดันที่สมดุลกันทุกเฟส ระดับแรงดันมีผลต่อประสิทธิภาพคือ ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลเกินร้อยละ 2 จะเพิ่มความสูญเสียขึ้นถึงร้อยละ 25 ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ไม่ควรเสียสมดุลเกิน 1% และระดับแรงดันควรมีค่าใกล้เคียงแรงดันพิกัด สำหรับแรงดันที่มีฮาร์มอนิกส์มากจะทำให้มอเตอร์ร้อนขึ้นและแรงบิดของมอเตอร์ลดลง มอเตอร์ที่ร้อนเกินอายุการใช้งานจะสั้นลง

5. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงได้รับการออกแบบมาให้มีกำลังสูญเสียต่ำ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ทั่วไป 1 – 3% เนื่องจากมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานค่อนข้างนาน 15 – 20 ปี ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น จึงทำให้ค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานลดลงอย่างมาก

6. การบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าและระบบส่งกำลังอย่างถูกต้องเหมาะสม

6.2.4 ระบบอัดอากาศ

1. การลดการรั่วไหลของอากาศอัด

การรั่วของอากาศอัดเป็นความสูญเสียที่สูญเสียเปล่าของโรงงาน ซึ่งเครื่องอัดอากาศต้องทำงานมากขึ้นและนานขึ้นเพื่ออัดอากาศให้ได้ตามความต้องการ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานมากไปโดยไม่จำเป็น โดยทั่วไปอากาศรั่วจะสูงเกินกว่าร้อยละ 10 ของปริมาณอากาศอัดทั้งหมด ในบางโรงงานอาจมีอากาศรั่วสูงถึง 20 – 30% การรั่วมักจะเกิดขึ้นตามข้อต่อ ข้องอ ท่อส่งลม วาล์วเชื่อมต่อต่างๆ หรือจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต ดังนั้นโรงงานจึงควรมีการตรวจสอบและซ่อมแซมรั่วในระบบอัดอากาศเป็นระยะๆ อย่างน้อยปีละครั้ง สำหรับระบบอัดอากาศที่มีการตรวจสอบและมีแผนการบำรุงรักษาเป็นระยะอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณลมรั่วในระบบอัดอากาศไม่ควรมีค่าเกินร้อยละ 10 ของการผลิตอากาศอัดทั้งหมดในระบบอัดอากาศ

2. การลดอุณหภูมิอากาศเข้า

พลังงานที่เครื่องอัดอากาศใช้แปรผันตามอุณหภูมิอากาศที่เข้าเครื่อง จากการศึกษาอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะมีความหนาแน่นของอากาศมากกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ในการอัดอากาศให้ได้ระดับความดันที่ต้องการ ถ้าใช้อากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำลงหรือเป็นอากาศเย็น ซึ่งอาจจะทำได้โดยจัดการระบายความร้อนในห้องเครื่องให้ดีขึ้น หรือเดินท่อนำอากาศเย็นจากภายนอกเข้ามา เครื่องอัดอากาศจะใช้พลังงานลดลง ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศให้มีค่าต่ำ จะส่งผลต่อการประหยัดพลังงานได้

3. การปรับลดความดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เนื่องจากปริมาณพลังงานที่เครื่องอัดอากาศใช้ มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความดันอากาศที่เครื่องอัดอากาศผลิต การผลิตอัดอากาศที่ความดันสูงจะสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังนั้นจึงควรตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการของอุปกรณ์ปลายทาง โดยทั่วไปถ้าความดันที่ใช้สูงกว่าความดันที่ต้องการมากกว่า 69 kPa (10 psi) ขึ้นไป ควรพิจารณาความเป็นไปได้ในการลดความดันลง (ยกเว้นกรณีที่มีความดันตกในท่อมาก) และทุกๆ 69 kPa ที่ลดความดันลง การสูญเสียจากการรั่วไหลจะลดลง 5%

4. การเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศให้มีขนาดเหมาะสมกับโหลด

เครื่องอัดอากาศรุ่นเก่าๆ ขณะที่ไม่มีภาระจะกินกำลัง 80 – 90% ของกำลังพิกัดขณะที่เครื่องอัดอากาศรุ่นใหม่ๆ จะกินกำลัง 40 – 60% ของกำลังพิกัด การที่เลือกเครื่องอัดอากาศใหญ่กว่าภาระที่ต้องการ คอมเพรสเซอร์จะทำงานเพื่อผลิตอากาศในช่วงระยะเวลานั้นๆ ที่เหลือเป็นการสูญเสียไปในภาวะไม่มีภาระ การเปลี่ยนให้มีขนาดเหมาะสมกับภาระคอมเพรสเซอร์จะทำงานอัดอากาศเกือบตลอด การสูญเสียในขณะไร้โหลดก็จะลดลง ดังนั้นคอมเพรสเซอร์ที่มีสัดส่วนการทำงานต่ำๆ จึงควรพิจารณาลดขนาดเครื่องลง

5. การลดการเดินเครื่องอัดอากาศแบบไร้โหลดหรือการบริหารเครื่องอัดอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากเครื่องอัดอากาศมีประสิทธิภาพ จะลดต่ำลงมาเมื่อทำงานที่ภาระน้อยๆ การเดินเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กที่ภาระเต็มพิกัดโหลด ประสิทธิภาพจะดีกว่าการเดินเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ที่ภาระการทำงานต่ำๆ (Part Load) ดังนั้นในระบบรวมที่ใช้เครื่องอัดอากาศหลายชุดจึงควรเลือกเดินเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงสุด และให้ทุกเครื่องทำงานใกล้เคียงกับพิกัดให้มากที่สุด หยุดเครื่องที่ทำงานภาระน้อย

6. การนำความร้อนทิ้งจากเครื่องอัดอากาศมาใช้

เครื่องอัดอากาศทั้งแบบลูกสูบและแบบสกรู พลังงานที่ใช้ในการอัด 60 – 90% ส่วนที่เหลือจะสูญเสียไปในรูปความร้อน 10 – 40% ความร้อนส่วนนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ต้องการความร้อน อุณหภูมิต่ำ หรืออุ่นน้ำป้อนหม้อไอน้ำได้ ความร้อนทิ้งที่อาจจะเป็นทั้งอากาศระบายความร้อนและน้ำหล่อเย็นในเครื่องอัดอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องอัดอากาศว่าเป็นแบบหล่อเย็นด้วยน้ำหรือหล่อเย็นด้วยอากาศ

7. การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศตามวาระ

โรงงานควรมีแผนการบำรุงรักษาตามวาระ ซึ่งจุดที่ควรให้ความสำคัญมีดังนี้

- ควรตรวจหาและซ่อมจุดรั่วไหลของอากาศอย่างสม่ำเสมอ
- ควรตรวจสอบระบบระบายน้ำอัตโนมัติ ถ้าไม่มีให้ตรวจสอบการระบายน้ำในถังลมและท่อ

อย่างสม่ำเสมอ ควรตรวจสอบทุกวัน

- ควรหมั่นทำความสะอาด ชุดกรองอากาศในระบบอัดอากาศ แฉกกรองอากาศก่อนเข้าเครื่องตัวกรองสารแขวนลอยในระบบน้ำหล่อเย็นทุกเดือน รวมทั้งทำการเปลี่ยนเมื่อถึงระยะเวลาที่เหมาะสม

- ควรตรวจสอบสภาพและปริมาตรของน้ำมันหล่อลื่นทุกวัน
- ควรเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นและไส้กรอง อัดจาระบีทุก 6 เดือน หรือเมื่อหมดอายุการใช้งาน
- ควรตรวจและปรับแต่งสายพานกำลังส่ง หรือชุดเกียร์ส่งกำลังอย่างสม่ำเสมอทุกเดือน

- ควรมีการตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิ และความดันของอากาศเข้าเครื่องอัด และอากาศในถัง และอุณหภูมิสารระบายความร้อนเข้าและออก

6.2.5 อัตราค่าไฟฟ้า

- **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการคิดค่าไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก**

โดยทั่วไปการใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก จะรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หรือไฟฟ้าเอกชน (ผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายย่อย Small power producer) เป็นระบบไฟฟ้าแรงสูง 22 kV แล้วจึงแปลงแรงดันไฟฟ้า โดยหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ลงเป็น 380 V และการคิดอัตราค่าไฟฟ้าจะอยู่ใน 3 ประเภท คือ

1. ประเภทกิจการขนาดกลาง ใช้พลังงานเฉลี่ยไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน
2. แบบ TOU (Time of use) ใช้พลังงานเกินข้อ 1.
3. แบบ TOD (Time of day) เป็นการคิดค่าไฟฟ้าแบบเดิม ซึ่งอาจมีบางโรงงานใช้อยู่

การคิดค่าไฟฟ้าของทุกประเภทจะแบ่งออกเป็น 3 รายการ คือ

1) ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

เป็นค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเดือนนั้นๆ โดยคิดเป็นต่อหน่วยกิโลวัตต์

ตัวอย่าง เช่น โรงงานหนึ่งวัดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ (จากมาตรวัดของการไฟฟ้าฯ) ดังนี้

เดือน	ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด	วันที่	เวลา
มกราคม	350 kW	20	15:30 น.
กุมภาพันธ์	330 kW	12	16:45 น.
มีนาคม	320 kW	30	14:30 น.
เมษายน	380 kW	10	11:00 น.

ในแต่ละเดือนข้างต้นจะต้องเสียค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand Charge) ตามค่าที่อ่านได้ เฉพาะเดือนนั้นๆ (สมมุติค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด = 221.50 บาท/กิโลวัตต์)

ดังนั้น	เดือนมกราคม	จะเสียค่าความต้องการ	=	221.50 x 350	=	77,525 บาท
	เดือนกุมภาพันธ์	จะเสียค่าความต้องการ	=	221.50 x 338	=	70,880 บาท
	เดือนเมษายน	จะเสียค่าความต้องการ	=	221.50 x 380	=	84,170 บาท

2) ค่าพลังงานไฟฟ้า

เป็นค่าพลังงานที่ใช้จริงรวมทั้งเดือน มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) คือ ผลรวมค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด

- 3) ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (Ft – tuel transfer) จะปรับเปลี่ยนตามราคาค่าเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ถ้าค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย (น้ำมันเตา, น้ำมันดีเซล, ก๊าซ, ถ่านหิน ฯลฯ) สูงขึ้นหรือต่ำลง ค่านี้จะมีค่าแปรผันตรงกัน คือ สูงขึ้น หรือต่ำลง เช่นกัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าทั้งหมดจะประกอบด้วยผลรวมของ

1. ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า
2. ค่าพลังงานไฟฟ้า
3. ค่าผันแปรต้นทุนการผลิต

พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งเดือนเมื่อเทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด เราเรียกว่า Load Factor โดยมีสูตรดังนี้

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้ารวม}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุด} \times 24 \text{ ชั่วโมง} \times \text{จำนวนวันในเดือนนั้น}} \times 100$$

มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

ค่า Load Factor นี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้าโรงงานใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 30 (31) วันต่อเดือน ค่า Load Factor = 100% หมายความว่า โรงงานนั้นใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องในการผลิต โดยไม่มีหยุด การใช้ไฟฟ้าในการผลิตเต็มที่ 100% แต่ถ้าโรงงานใช้กำลังไฟฟ้ามากบ้าง น้อยบ้าง ค่า Load Factor ก็จะน้อยลงตามลำดับ ตัวอย่างเช่น โรงงานที่ผลิตเฉพาะกลางวัน 8 ชั่วโมง และทำงานเฉพาะวันจันทร์ – วันศุกร์ และเครื่องจักรเดินไม่เต็มกำลังตลอด ค่า Load Factor อาจต่ำลงถึง 20% เป็นต้น

เนื่องจากราคาค่าไฟฟ้าจะคิดจากความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังนั้น หากโรงงานใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยมี Load Factor สูง ค่าเฉลี่ยของราคาไฟฟ้าต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ (บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง) จะต่ำกว่าโรงงานที่มี Load Factor ต่ำๆ

ตัวอย่าง เช่น ค่า Load Factor 80% เฉลี่ยค่าไฟฟ้าประมาณ 2.40 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ค่า Load Factor 30% เฉลี่ยค่าไฟฟ้าประมาณ 3.00 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จึงควรมีการจัดการให้เดินเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอเฉลี่ยตลอดเวลา โดยหลีกเลี่ยงการเดินเครื่องจักรพร้อมๆ กันในเวลาใดเวลาหนึ่ง

ข้อแตกต่างการคิดค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ โดยสรุป

- ประเภทธุรกิจขนาดกลาง
ค่าความต้องการไฟฟ้ามีค่าคงที่
ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ทุกวัน

- ประเภท TOU

ค่าความต้องการไฟฟ้ามีค่าตามเวลาดังนี้

On Peak วันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น. มีค่าสูง

Off Peak วันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

Off Peak วันเสาร์ – วันอาทิตย์ และวันหยุดราชการ ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

ค่าพลังงานไฟฟ้า

On Peak ค่าพลังงานมีค่าสูง

Off Peak ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า (ประมาณ 50%)

ดังนั้นโรงงานที่อยู่ในข่ายต้องใช้ค่าไฟฟ้าระบบ TOU ควรจะมีการจัดการ จัดเวลาการเดินเครื่องจักรให้อยู่ในช่วง Off Peak เพื่อสามารถจะลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมาก

- ประเภท TOD

การคิดค่าไฟฟ้าประเภทนี้เฉพาะโรงงานที่ใช้ไฟฟ้าอยู่เดิม ก่อนประกาศใช้ระบบ TOU และคิดค่าไฟฟ้าระบบ TOD มาแล้ว โดยมีอัตราการคิดดังนี้

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

On Peak เวลา 18.30 – 21.30 น. ทุกวัน ราคาสูง

Partial Peak เวลา 08.00 – 18.30 น. ทุกวัน ราคาถูก

Off Peak เวลา 21.30 – 08.00 น. ทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการ

ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากันตลอดทุกเวลา

ผู้ให้บริการค่าไฟฟ้าประเภทนี้จะต้องหลีกเลี่ยงการเดินเครื่องจักรในช่วงเวลา On Peak (18.30 – 21.30 น. ทุกวัน) เพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ซึ่งอาจไม่สะดวกต่อการปฏิบัติงานแบบต่อเนื่อง อีกทั้งค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจะสูงกว่าระบบ TOU

โรงงานที่มีการปฏิบัติการต่อเนื่องและมี Load Factor โดยเฉลี่ยสูงกว่า 60% จึงควรจะเปลี่ยนจากระบบ TOD ไปใช้ระบบ TOU

• ตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าแบบธุรกิจขนาดกลาง

ข้อมูลในเดือนสิงหาคม 2546

- ความต้องการกำลังไฟฟ้า	465	kW
- พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งเดือน	250,000	kWh
- ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (Ft)	0.2713	บาท/kWh
- ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า	196.26	บาท/kW
- ค่าพลังงานไฟฟ้า	1.7034	บาท/kWh

การคำนวณ

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า	=	465 x 196.26
=	91,260.90	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	=	250,000 x 1.7034
=	425,850.00	บาท
ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (Ft)	=	250,000 x 0.2713
=	67,825.00	บาท
รวม 1 + 2 + 3	=	584,935.90
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	=	40,945.51
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	=	625,881.41
		บาท

• ตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD

ข้อมูลในเดือนสิงหาคม 2546

- ความต้องการกำลังไฟฟ้า On Peak	440	kW
- ความต้องการกำลังไฟฟ้า Partial Peak	465	kW
- พลังงานไฟฟ้ารวม	250,000	kWh
- ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า On Peak	285.05	บาท/kW
- ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า Partial Peak	58.88	บาท/kW
- ค่าพลังงานไฟฟ้า	1.7034	บาท/kWh
- ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต	0.2713	บาท/kWh

การคำนวณ

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

On Peak	=	440 x 285.05	
	=	125,422.20	บาท
Partial Peak	=	(465 – 440) x 58.88	
	=	1,472.00	บาท
รวมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า	=	126,894.00	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	=	250,000 x 1.7034	
	=	425,850.00	บาท
ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (Ft)	=	250,000 x 0.2713	
	=	67,825.00	บาท
รวม 1 + 2 + 3	=	619,097	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	=	43,336.79	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	=	662,433.79	บาท

● ตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU

ข้อมูลในเดือนสิงหาคม 2547

	ช่วงเวลาที่ใช้ไฟฟ้า	ความต้องการ กำลังไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า
วันจันทร์ – วันศุกร์ (Peak)	09.00 – 22.00 น.	465 kW	100,000 kWh
วันจันทร์ – วันศุกร์ (Off Peak)	22.00 – 09.00 น.	440 kW	150,000 kWh
วันเสาร์, วันอาทิตย์, วันหยุดราชการ	24 ชั่วโมง		
- ค่าความต้องการไฟฟ้า Peak	132.93	บาท/kW	
- ค่าพลังงานไฟฟ้า Peak	2.6950	บาท/kWh	
- ค่าพลังงานไฟฟ้า On Peak	1.1914	บาท/kWh	
- ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต	0.2713	บาท/kWh	

การคำนวณ

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า			
On Peak	=	465 x 132.93	
	=	61,812.45	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า Peak			
	=	100,000 x 2.6950	
	=	269,500	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า Off Peak			
	=	150,000 x 1.1914	
	=	178,710	บาท
รวม	=	448,210	บาท
ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (Ft)			
	=	(100,000 + 150,000) x 0.2713	
	=	67,825.00	บาท
รวม 1 + 2 + 3	=	577,847.45	บาท
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	=	40,449.32	บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	=	618,296.77	บาท

จากตัวอย่างทั้ง 3 แสดงให้เห็นว่าการใช้ไฟฟ้าระบบ TOU จะเสียค่าไฟฟ้าต่ำ ถ้า Load Factor ประมาณ 70%

6.2.6 ระบบปรับอากาศ

1. การปรับอุณหภูมิน้ำเย็นให้เหมาะสม

การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นให้สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ จะทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานในการขับเคลื่อนเพรสเซอร์ลดลง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะสูงขึ้น ถ้าเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นขึ้นทุกๆ 1°C จะสามารถประหยัดพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้ 1.5 – 2%

2. การปรับปรุงอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นให้เหมาะสม

โดยทั่วไปอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของบรรยากาศ ประมาณ 3 - 5°C เมื่อทำให้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานในการขับเคลื่อนเพรสเซอร์ลดลง ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นจะสูงขึ้น โดยประมาณประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นจะดีขึ้น 0.5% ทุกๆ 1°C ที่ลดลงของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ

ประสิทธิภาพการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ จะทำให้อุณหภูมิที่เข้าคอนเดนเซอร์ต่ำ ซึ่งส่งผลถึงพลังงานที่ลดลงของเครื่องทำความเย็น สามารถลดพลังงานไฟฟ้าลงได้ การระบายอากาศอย่างเหมาะสมหอผึ่งน้ำต้องอยู่ในตำแหน่งที่มีการถ่ายเทอากาศได้สะดวก ไม่มีสิ่งกีดขวางทางลม ไม่มีการหมุนเวียนของอากาศร้อนเข้าไประบายความร้อนซ้ำ

4. การปรับตั้งอุณหภูมิที่เหมาะสม

การตั้งอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน อุณหภูมิที่ตั้งควรจะปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งาน ฤดูกาล กรณีเป็นพื้นที่ปรับอากาศเพื่อภาวะสุขสบาย ควรปรับตั้งไว้ที่ 25°C ส่วนกรณีการปรับอากาศสำหรับกระบวนการผลิต ควรตั้งอุณหภูมิให้สูงที่สุด โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

5. การใช้ Return และ Outside Air ที่เหมาะสม

การนำอากาศจากภายนอกอย่างเหมาะสมจะช่วยลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศได้มาก เมื่ออากาศภายนอกเย็นกว่าลมกลับ (Return Air) การนำอากาศภายนอกเข้ามาใช้แทนอากาศกลับในการปรับอากาศให้มากที่สุด และควรนำมาใช้ให้น้อยที่สุดเมื่ออากาศภายนอกร้อนกว่าอากาศภายใน โดยการเปรียบเทียบค่าเอนทัลปีของอากาศภายนอกกับค่าเอนทัลปีของอากาศกลับ ในสภาวะการปรับอากาศของโรงงานที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของบริเวณปรับอากาศ ในกรณีที่สภาวะอากาศภายในโรงงานขึ้น ระบบจะทำการปรับความชื้นสัมพัทธ์โดยการใช้อากาศกลับเข้ามาผสมเพื่อให้ได้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ แต่ถ้าอากาศภายในโรงงานแห้งและมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะใช้อากาศภายนอกเข้ามาผสมเพื่อให้ได้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ต้องการ เมื่ออากาศภายนอกมีค่าเอนทัลปีต่ำกว่าอากาศกลับแต่สูงกว่าอากาศจ่าย (Supply Air) การใช้อากาศภายนอกแทนที่จะใช้อากาศกลับจะสามารถช่วยลดภาระของเครื่องทำน้ำเย็นลงได้ ซึ่งข้อมูลสภาวะอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยาระบุว่าจำนวนชั่วโมงที่สภาวะอากาศภายนอกมีค่าเอนทัลปีต่ำกว่าอากาศกลับแต่สูงกว่าอากาศจ่าย (Supply Air) มีค่าคิดเป็นร้อยละ 48 เฉพาะที่เดียว ดังนั้นโรงงานควรพิจารณาเอาอากาศภายนอกในช่วงเวลาที่มีค่าเอนทัลปีต่ำกว่าอากาศกลับเข้ามาใช้แทนในปริมาณที่เหมาะสม

6. การควบคุมอากาศใหม่ และการระบายอากาศให้ต่ำที่สุด

ปริมาณอากาศใหม่ที่ต้องใช้จะเท่ากับอากาศที่ระบายออกและอากาศรั่วไหลตามช่องเปิดต่างๆ การนำอากาศใหม่มาปรับอากาศจะใช้พลังงานสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องลดการระบายอากาศให้ต่ำที่สุดเพียงพอต่อการอยู่อาศัย ลดปริมาณอากาศรั่วจากบริเวณไม่ปรับอากาศให้น้อยที่สุด หรือลดพื้นที่เปิดที่ออกสู่บริเวณที่ไม่ปรับอากาศให้น้อยที่สุด อย่าเปิดประตู หน้าต่างทิ้งไว้ เนื่องจากจะทำให้อากาศร้อนจากภายนอกเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณปรับอากาศ ซึ่งจะส่งผลทำให้ภาระของเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำน้ำเย็นสูงขึ้น

7. การตรวจสอบสภาพของฉนวนที่หุ้ม และทำการหุ้มฉนวนท่อน้ำให้มีความหนาที่เหมาะสม

ตรวจสอบสภาพของฉนวนต่างๆ ที่หุ้มเครื่องทำน้ำเย็น เครื่องส่งลมเย็น ท่อลม และท่อน้ำ หากมีการชำรุดหรือเสื่อมสภาพให้รีบดำเนินการแก้ไข หรือทำการหุ้มฉนวนให้มีความหนาที่เหมาะสม เพื่อป้องกันความร้อนจากบรรยากาศที่จะถ่ายเทเข้าสู่ฉนวนและอากาศเย็น ซึ่งจะทำให้ภาระการปรับอากาศสูงขึ้น

8. การบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ

- ควรทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์ อย่างสม่ำเสมอทุก 6 เดือนเป็นอย่างน้อย เมื่อใช้งานเครื่องปรับอากาศไปนานๆ อาจเกิดตะกันบนพื้นผิวถ่ายเทความร้อน เนื่องจากคุณภาพน้ำระบายความร้อนไม่ดี หรือไม่มีการล้างถ่ายระบบน้ำระบายความร้อนในเวลาที่เหมาะสม ส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลง ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นจะต่ำลง ดังนั้นควรดำเนินการล้างระบบและคอนเดนเซอร์เพื่อผลในการประหยัดพลังงาน

- ควรทำการปรับแต่งคุณภาพน้ำที่เติมเข้าสู่หอผึ่งน้ำและปรับแต่งน้ำที่ไหลเวียนอยู่ในระบบระบายความร้อน โดยในส่วนคุณภาพน้ำที่เติมสามารถปรับแต่งได้โดยการควบคุมการ Bleed Off สารเคมี เพื่อให้น้ำอ่อนและทำให้น้ำสะอาด จะทำให้หอผึ่งน้ำและคอนเดนเซอร์มีประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ดีขึ้น ทำให้ความดันน้ำยาในคอนเดนเซอร์ไม่สูง และคอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานลดลงอย่างน้อยทุก 3 – 6 เดือน

- ตรวจสอบการหล่อลื่นอุปกรณ์ที่เคลื่อนไหวทั้งหมดอย่างสม่ำเสมอ เช่น เพื่องของพัดลม หอผึ่งน้ำ พัดลมส่งความเย็นต่างๆ ปรับความตึงสายพานที่ใช้ในการส่งกำลังของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นระยะอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้มอเตอร์ขับต่างๆ ใช้พลังงานลดลง

- ตรวจสอบการรั่วของลมเย็นในบริเวณต่างๆ ของท่อลมอย่างสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันการสูญเสียความเย็น ซึ่งอาจทำให้บางบริเวณของพื้นที่ปรับอากาศไม่เย็น เนื่องจากลมเย็นไม่สามารถส่งไปถึงบริเวณนั้นๆ ได้หรือได้น้อยกว่าปริมาณที่ต้องการและทำการทดสอบและทำสมดุลระบบทั้งหมด ทั้งระบบน้ำเย็นและระบบลมเย็นอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

- หมั่นตรวจเช็คการทำงานของวาล์วระบายอากาศ ให้ทำงานไล่อากาศภายในระบบท่อน้ำ เนื่องจากอากาศเมื่ออยู่ในระบบท่อน้ำหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (AHU, FCU) จะทำให้น้ำเย็นแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศได้ไม่ดี เนื่องจากมีอากาศเป็นฉนวนกั้นอยู่

- ตรวจสอบการรั่วของน้ำเย็นบริเวณแกนของปั๊ม หรือบริเวณต่างๆ เนื่องจากน้ำเย็นมีอุณหภูมิประมาณ $4.5 - 7^{\circ}\text{C}$ ซึ่งถ้ารั่วไหลก็ต้องเติมน้ำเข้าสู่ระบบ โดยน้ำที่เดิมมีอุณหภูมิประมาณ 32°C ทำให้เกิดการ

สูญเสียพลังงานในการทำให้น้ำนั้นๆ เย็นขึ้น ถ้าน้ำเย็นที่รั่วออก 1 GPM จะทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานมากขึ้นประมาณ 2 ตันความเย็น

- ควรตรวจสอบสภาพสีและปริมาณของสารทำความเย็น และน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องทำน้ำเย็นอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

9. การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแยกส่วน

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ขาดการดูแลรักษาและทำความสะอาดอย่างเพียงพอจะทำให้เครื่องปรับอากาศต้องทำงานหนักในการระบายความร้อนและใช้พลังงานไฟฟ้าต่อต้านการทำความเย็นสูงกว่าเครื่องที่มีการบำรุงรักษาและทำความสะอาดชุดระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นควรดำเนินการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ โดยควรทำการตรวจสอบวงจรการควบคุมต่างๆ ว่าทำงานถูกต้องหรือไม่และใช้ลมเป่าทำความสะอาดคอยล์ร้อน คอยล์เย็น รวมทั้งกรองอากาศต่างๆ อย่างน้อย 3 เดือนครั้ง และทำการล้างทำความสะอาดคอยล์ร้อน คอยล์เย็น รวมทั้งกรองอากาศต่างๆ ครั้งใหญ่โดยใช้น้ำหรือน้ำยาทำความสะอาดทุก 6 เดือน

6.3 การอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน

6.3.1. ระบบไอน้ำ

1. การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

โดยทั่วไปอากาศส่วนเกินเป็นจุดสูญเสียที่สำคัญที่สุดของหม้อไอน้ำ ในกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันในเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และพลังงานความร้อน เนื่องจากในการเผาไหม้จริงนั้นไม่สามารถคลุกเคล้า เชื้อเพลิงและอากาศได้อย่างสมบูรณ์แบบ จำเป็นต้องมีอากาศส่วนเกินเข้าไปเผาไหม้ด้วยบางส่วน ถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) และมีเขม่าควันจัดเป็นการสูญเสียพลังงานลักษณะหนึ่ง (Combustible Loss) ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณอากาศมากเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงส่วนหนึ่งต้องใช้เพื่อเผาอากาศให้ร้อน แล้วปล่อยออกไปเป็นการสูญเสียอีกด้านหนึ่ง (Excess Gas Loss) ดังนั้นการควบคุมการเผาไหม้ที่เหมาะสมก็คือ ควบคุมอากาศส่วนเกินให้ให้ต่ำที่สุดที่ยังเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ไม่เกิดเขม่าควัน ซึ่งเป็นช่วงที่การสูญเสียรวมต่ำที่สุด หรือประสิทธิภาพเผาไหม้ดีที่สุด ซึ่งค่าอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 6.5 และควรปรับแต่งเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ทุกๆ 3 เดือน เพื่อให้ค่าอัตราส่วนอากาศอยู่ในระดับที่เหมาะสมอยู่เสมอ

ตารางที่ 6.5 อากาศส่วนเกินที่เหมาะสม

ประเภทเชื้อเพลิง	ร้อยละของออกซิเจนในก๊าซไอเสีย (%O ₂)	อัตราส่วน อากาศ
เชื้อเพลิงเหลว	3 – 5	1.2-1.3
เชื้อเพลิงก๊าซ	1 – 2	1.2

2. การควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

อุณหภูมิก๊าซไอเสีย เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานความร้อนไปกับก๊าซไอเสีย (Flue Gas Loss) ณ ที่อัตราส่วนอากาศเดียวกันแต่อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงขึ้น การสูญเสียความร้อนของก๊าซไอเสียจะสูงขึ้นด้วย อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูงขึ้นหมายถึง ต้องเผาไหม้เชื้อเพลิงมากขึ้น เพื่อให้ให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผิวถ่ายเทความร้อนระหว่างไฟและน้ำไม่ดี ทำให้ต้องผลิตก๊าซไอเสียอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวแปรหนึ่งที่บอกประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนได้ ก็คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างก๊าซไอเสียและอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันไอน้ำใช้งาน ซึ่งการออกแบบทั่วไปจะให้มีความประมาณ 50-60 °C เมื่อใช้งานไป จะมีตะกันมาเกาะที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านน้ำและมีเขม่าเกาะด้านท่อไฟ ทำให้อุณหภูมิแตกต่างจะมีค่าสูงขึ้นพร้อมๆ กับการสูญเสียที่มากขึ้น เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งโรงงานทำความสะอาดอุณหภูมิแตกต่างนี้ก็จะกลับลดลงอีกครั้ง

3. การควบคุมการปล่อยน้ำระบาย (Blow Down) เหมาะสม

คุณภาพของน้ำที่ใช้กับหม้อไอน้ำมีความสัมพันธ์กับการใช้พลังงาน คือ เมื่อปริมาณหินปูน (CaCO_3) และของแข็งที่สะสมอยู่ในน้ำซึ่งไม่ระเหยเป็นไอไป มีความเข้มข้นสูงขึ้นเมื่อใช้งานไปและสะสมเป็นตะกันเกาะอยู่ที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน จะทำให้การถ่ายเทความร้อนได้น้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงขึ้นแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดการแตกตัวได้อีกด้วย เช่น เกลือของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่ละลายอยู่ในน้ำจะสะสมในรูปตะกอนที่ผิวท่อ ทำให้การถ่ายเทความร้อนไม่ดี และท่อโลหะได้รับความร้อนสะสม

ผลอีกแง่หนึ่งของคุณภาพน้ำก็คือ การใช้งานหม้อไอน้ำจำเป็นต้องมีการระบายน้ำทิ้ง เพื่อลดความเข้มข้นของสารที่ปนมาในน้ำไม่ให้มีค่าสูงเกินขนาดที่จะส่งผลเสียกับหม้อไอน้ำ น้ำป้อนที่ไม่สะอาด มีสารแขวนลอย มีโลหะเจือปนก็จะทำให้ต้องระบายน้ำทิ้งบ่อยและปริมาณมาก หรือในบางโรงงานก็มีการระบายที่ไม่เหมาะสม ระบายบ่อยเกินไป จึงเหมือนกับต้องเทน้ำที่ดื่มแล้วทิ้งเสียทั้งค่าพลังงาน ค่าน้ำ และค่าปรับสภาพ อัตราการระบายเป็นร้อยละเทียบกับน้ำป้อน คิดเป็นการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำหรือร้อยละของประสิทธิภาพที่ตกลง (Efficiency Loss) ที่ความดันใช้งานต่างๆ แสดงในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 อัตราการระบายเมื่อคิดเป็นร้อยละการสูญเสียความร้อน

ร้อยละของการระบาย เทียบกับอัตราการผลิตไอน้ำ	การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการระบายน้ำ(Blow down)				
	2 bar (g)	4 bar (g)	6 bar (g)	8 bar (g)	10 bar (g)
2	0.3%	0.4%	0.4%	0.5%	0.5%
5	0.8%	1.0%	1.1%	1.2%	1.2%
10	1.6%	1.9%	2.1%	2.3%	2.4%

หมายเหตุ ที่อุณหภูมิของน้ำป้อน 33 °C

แต่อย่างไรก็ตามการปล่อยน้ำระบายเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อปรับสภาพน้ำในหม้อไอน้ำ ความถี่ของการระบายขึ้นกับคุณสมบัติและปริมาณน้ำป้อนที่นำมาใช้ ระดับของสารที่จะก่อให้เกิดปัญหาในน้ำหม้อไอน้ำ ประเภทของหม้อไอน้ำ และความดันที่ใช้งานของแต่ละโรงงาน โดยทั่วไปแล้วน้ำระบายไม่ควรเกิน 1 -3% ของไอน้ำที่ผลิตในกรณีที่จำเป็นต้องระบายน้ำออกบ่อยๆ และมีปริมาณมากควรทำการติดตั้งระบบปล่อยน้ำระบายอัตโนมัติ และนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ โดยการผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

4. **ควรรักษาอุณหภูมิเชื้อเพลิงให้เหมาะสม** รักษาความดันไอน้ำ ความดันเชื้อเพลิงและอากาศเข้าไปเผาไหม้ตามที่ผู้ผลิตระบุ

5. **การติดตั้งตัวปรับความเร็วรอบ (VSD) สำหรับพัดลมดูดอากาศตีร่วมกับตัวดูดออกซิเจน**
หม้อไอน้ำมักมีโหลดไม่เต็มที่และไม่สม่ำเสมอ การปรับอากาศเข้าไปเผาไหม้โดยปรับความเร็วรอบพัดลม จะทำให้สามารถควบคุมสัดส่วนออกซิเจนในอากาศเสียให้เหมาะสมอยู่ได้ตลอดเวลา

6. **การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำอย่างเหมาะสม**
ควรบำรุงรักษาหม้อไอน้ำและอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบ เป็นระยะอย่างสม่ำเสมอตามคำแนะนำของผู้ผลิต เช่น

- ควรตรวจวัดและบันทึกความดัน และอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าหัวเผา ความดัน และอุณหภูมิของไอน้ำทุกวัน
- ควรทำความสะอาดชุดหัวเผาทุกๆ เดือนเป็นอย่างน้อยสำหรับเชื้อเพลิงเหลวและทุก 6 เดือนสำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ
- ควรทำความสะอาดตัวกรอง (Strainer) ของระบบน้ำป้อนและน้ำมันเชื้อเพลิงทุกเดือน
- ควรตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำทุกสัปดาห์
- ควรตรวจสอบทางเข้าของอากาศในห้องหม้อไอน้ำ และในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำรวมทั้งทำความสะอาดด้านดูดของพัดลม Blower และแผงกรองอากาศทุกเดือน
- ควรปรับแต่งปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ เพื่อให้มีค่าอัตราส่วนอากาศที่เหมาะสมอยู่เสมอ อย่างน้อยทุกๆ 3 เดือน
- ควรตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ ปั๊มเชื้อเพลิง ชุดหัวเผา และชุดอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง วาล์ว และวาล์วอัตโนมัติต่างๆ และมอเตอร์พัดลมอย่างน้อยปีละ 1 – 2 ครั้ง
- ควรทำความสะอาดผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านสัมผัสน้ำและด้านสัมผัสไฟทุกปี
- ควรทำความสะอาดถังเก็บน้ำป้อน ถังสารเคมี และถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงทุกปี
- ควรตรวจสอบสภาพอิฐทนไฟ ผนัง และฉนวนของหม้อไอน้ำทุกปี
- ควรทำความสะอาดปล่องก๊าซไอเสียทุก 3 ปี

7. **ควรเลือกเดินหม้อไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดก่อน**

8. **การปรับลดความดันของไอน้ำให้เหมาะสมกับการใช้งาน**

ในอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำให้ความร้อนโดยอ้อม ไอน้ำที่มีความดันยิ่งต่ำค่าความร้อนแฝงก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ดังนั้นการใช้ไอน้ำที่ความดันต่ำลงเท่าใดก็จะสามารถดึงความร้อนจากไอน้ำออกมาใช้ได้มากเท่านั้น

9. การตรวจสอบและซ่อมแซมจุดรั่วไหลของท่อไอน้ำ ท่อคอนเดนเสท และซ่อมกับดักไอน้ำที่ชำรุด

จุดรั่วของไอน้ำ และท่อคอนเดนเสทจะเป็นจุดที่มีการสูญเสียพลังงานอย่างมาก ควรตรวจสอบและซ่อมแซมทันที จุดรั่วมักเกิดตามข้อต่อต่างๆ รวมทั้งกับดักไอน้ำที่ชำรุดจะปล่อยไอน้ำให้ผ่านไปได้เป็นการสูญเสียไอน้ำค่อนข้างมาก จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบและซ่อมทันที และโดยปกติกับดักไอน้ำส่วนหนึ่งจะชำรุดเมื่อใช้งานไปได้ระยะหนึ่ง

10. ควรนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

การใช้ไอน้ำในอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นการใช้ความร้อนแฝง ส่วนความร้อนสัมผัสที่อยู่ในคอนเดนเสท ซึ่งมีประมาณ 10 -20 % จะไม่ได้ใช้ประโยชน์ ไอน้ำที่ใช้งานแล้วยังสะอาดอยู่สามารถนำกลับมาป้อนเข้าหม้อไอน้ำได้อีกครั้งโดยตรง ถ้าการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ได้ทั้ง 100% จะลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ 20 % ที่เดียว ในกรณีที่คอนเดนเสทมีสิ่งเจือปนแม้ไม่สามารถส่งเข้าหม้อไอน้ำได้โดยตรง ควรนำคอนเดนเสทมาถ่ายเทความร้อนกับของไหลอื่น ซึ่งความร้อนที่เหลืออยู่คอนเดนเสทก็ยังสามารถใช้แลกเปลี่ยนให้ความร้อนกับของไหลอื่นได้โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

11. ควรนำความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์

การนำความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียกลับมาอุ่นอากาศ (Air Preheater) เป็นการลดการสูญเสียความร้อนในก๊าซไอเสียและทำให้ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสูงขึ้น หรือการนำความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียกลับมาอุ่นน้ำป้อน ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นำความร้อนกลับมาใช้ ซึ่งนอกจากจะลดการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซไอเสียแล้ว ยังทำให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้น จากข้อมูลของผู้ผลิตอีโคโนไมเซอร์ ทุกๆ 20 °C ของอุณหภูมิก๊าซไอเสียที่นำมาใช้ได้จะลดการใช้เชื้อเพลิงลงประมาณ 1% แต่ข้อจำกัดในการนำความร้อนทิ้งของก๊าซไอเสียมาใช้ก็คือ การควบแน่นของสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิง จะทำให้เกิดกรดซัลฟิวริกกัดกร่อนอุปกรณ์ ซึ่งอุณหภูมิของก๊าซไอเสียหลังแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว อุณหภูมิไม่ควรต่ำกว่าอุณหภูมิควบแน่นของกรด (ควรสูงกว่า 170 °C)

12. ควรหุ้มฉนวนท่อไอน้ำ หน้าแปลน วาล์ว ท่อคอนเดนเสทและถังแฟรช

ท่อที่ไม่มีการหุ้มฉนวนจะมีการสูญเสียความร้อน ดังนี้

ตารางที่ 6.7 การสูญเสียความร้อนผ่านท่อไม่หุ้มฉนวน (Watt per meter) (อ้างอิงที่อุณหภูมิบรรยากาศ 30°C)

Surface Temp °C	Nominal / outside diameter in mm												
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250
	21.7	27.2	34	42.7	48.6	60.5	76.3	89.1	114.3	139.8	165.2	219.1	273
50	19	23	28	34	38	46	56	64	80	96	113	144	175
60	30	37	45	54	61	74	91	104	129	154	182	231	282
70	43	52	63	77	86	105	128	147	183	218	258	327	398
80	57	68	83	102	114	138	169	193	241	287	339	430	524
90	71	86	105	128	143	173	212	243	303	360	426	541	658
100	87	104	128	155	174	211	258	296	369	439	520	659	803
110	103	124	152	185	207	251	307	352	439	523	619	785	956
120	120	145	177	216	242	293	359	412	514	611	724	918	1119
130	138	167	204	249	279	338	414	475	592	705	835	1060	1292
140	157	190	232	283	317	385	472	542	676	804	953	1210	1475
150	177	214	262	324	358	434	533	612	763	809	1077	1368	1568
160	198	240	293	358	401	486	597	685	856	1019	1208	1535	1873
170	220	266	326	398	416	541	664	763	953	1135	1346	1711	2088
180	243	294	360	440	493	598	735	844	1055	1257	1491	1896	2315
190	267	323	396	484	542	685	809	930	1162	1385	1644	2091	2554
200	292	354	433	529	594	721	887	1019	1274	1520	1804	2296	2805

ที่มา : คู่มือการออกแบบการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.4 การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเสีย

เนื่องด้วยได้มีพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 จึงได้มีการประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นทั้งทางกฎหมายและทางสังคมที่โรงงานจะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานให้ได้ตามมาตรฐานดังกล่าว ระบบบำบัดน้ำเสียจึงเป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับโรงงาน และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากแหล่งหนึ่ง ซึ่งสมควรจะเรียนรู้ระบบดังกล่าว เพื่อจะได้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน

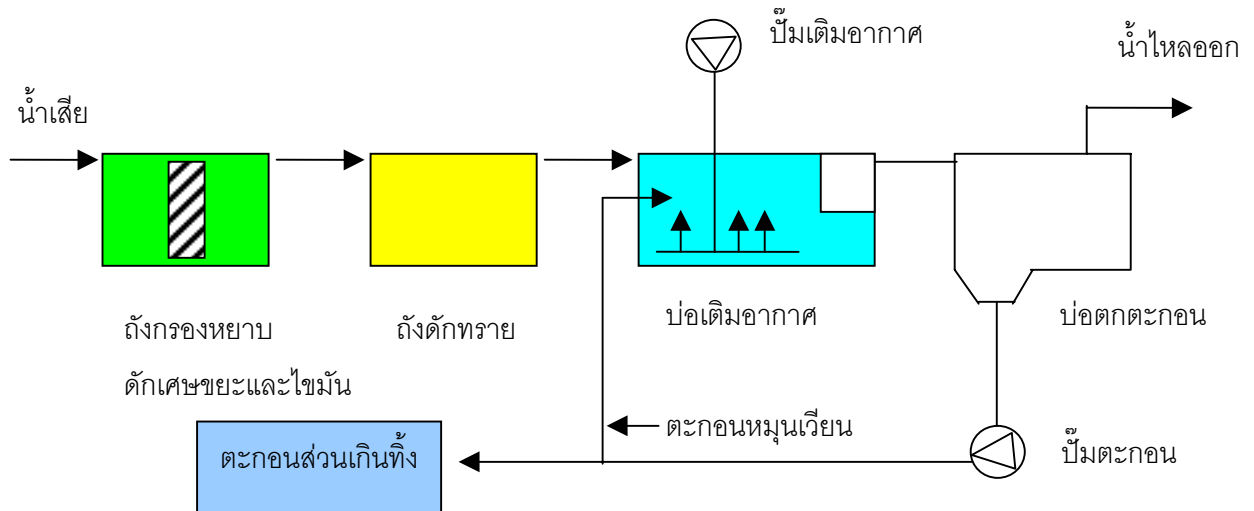
แหล่งน้ำเสียจากโรงงานจะเกิดจากกระบวนการผลิต, น้ำระบายความร้อน, น้ำล้างอุปกรณ์ และ จากระบบไอน้ำ ฯลฯ ซึ่งมีสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดน้ำเสียต่างๆ กัน การบำบัดน้ำเสียดังกล่าวจึงจำเป็นต้องรู้ถึงสาเหตุและสารปนเปื้อน ตลอดจนปริมาณ เพื่อประกอบในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ

ก่อนอื่นจะต้องทำความเข้าใจเบื้องต้นสำหรับคำศัพท์เฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของโรงงานดังต่อไปนี้

- สารอินทรีย์ หมายถึง สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอน (Carbon) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งได้มาจากธรรมชาติและสิ่งมีชีวิต เช่น ไขมัน โปรตีน ฯลฯ
- สารอนินทรีย์ หมายถึง สารที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ได้มาจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น เกลือ และแร่ธาตุต่างๆ
- พี เอช (pH) ย่อมาจาก Positive potential of hydrogenous ซึ่งเป็นค่าแสดงความเป็นกรด ต่างของน้ำ pH=7 จะมีค่าเป็นกลาง ค่ามากกว่า 7 จะมีสภาพเป็นด่าง ค่าต่ำกว่า 7 จะมีความเป็นกรด โดยปกติสิ่งมีชีวิตในน้ำจะมีชีวิตอยู่ได้ถ้าค่า pH อยู่ระหว่าง 6-8
- บีโอดี (BOD – Bio Chemical Oxygen Demand) เป็นค่าความต้องการออกซิเจนของจุลชีพเพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำ ถ้าค่า BOD มาก แสดงว่าน้ำสกปรกมาก
- ซีโอดี (COD – Chemical Oxygen Demand) คล้ายกับ BOD แตกต่างกันอยู่ในการหาค่าโดย COD หาจากห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารเคมีประกอบการหาค่า มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD มาก แสดงว่าน้ำสกปรกมาก
- ของแข็งทั้งหมด (TS) เช่น ปริมาณสารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำเสีย มีทั้งที่ละลายอยู่ในน้ำ (TDS – Total Dissolved Solids) และที่ไม่ละลายน้ำ (Undissolved Solids) มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร
- Aerobic bacteria คือ จุลชีพที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ชนิดนี้ต้องการออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลาย
- Anaerobic bacteria คือ จุลชีพที่ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยไม่ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลาย

1) การบำบัดน้ำเสีย

ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กจะมีกระบวนการบำบัดที่ใช้โดยทั่วไป คล้ายๆ กัน เรียกว่า ระบบ Activated sludge (AS) ตามรูป



รูปที่ 6-1 แสดงแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge

น้ำเสียจะถูกส่งผ่านไปยังถังกรอง ซึ่งจะกรองเศษวัสดุหยาบ และไขมันออกขั้นหนึ่งก่อน เพราะเศษวัสดุและไขมันดังกล่าวจะย่อยสลายยาก หลังจากนั้นอาจมีถังตกทราย ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการอุดตันภายในระบบออกอีกขั้นหนึ่ง น้ำเสียจะถูกส่งต่อไปยังบ่อเติมอากาศ

ในบ่อเติมอากาศจะมีจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่ ซึ่งเป็นแบบจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลาย (Aerobic Bacteria) จึงต้องมีการเติมอากาศเพื่อเป็นการให้ออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา การใช้พลังงานส่วนใหญ่ของระบบบำบัดน้ำเสียจะเกิดในขั้นตอนเติมอากาศนี้

จากนั้นน้ำเสียจากจุลินทรีย์ย่อยสลาย แล้วจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอน เพื่อให้สารแขวนลอยในน้ำที่ถูกบำบัด รวมตัวเป็นมวลขนาดใหญ่ขึ้น และตกตะกอนลงไปยังก้นถัง จะเหลือน้ำใสที่ถูกบำบัดแล้วทิ้งออกนอกระบบต่อไป

ส่วนตะกอนจะถูกกำจัด โดยอาจเป็นระบบกลบฝังทำปุ๋ย หรือนำไปทิ้งในที่เตรียมไว้ ฯลฯ และเนื่องจากบางส่วนของตะกอนอาจมีจุลินทรีย์ปนออกมา ทำให้จุลินทรีย์ในบ่อเติมอากาศเจือจางลง จึงมีระบบนำตะกอนดังกล่าวบางส่วนนำกลับไปใช้ใหม่ในถังเติมอากาศอีก

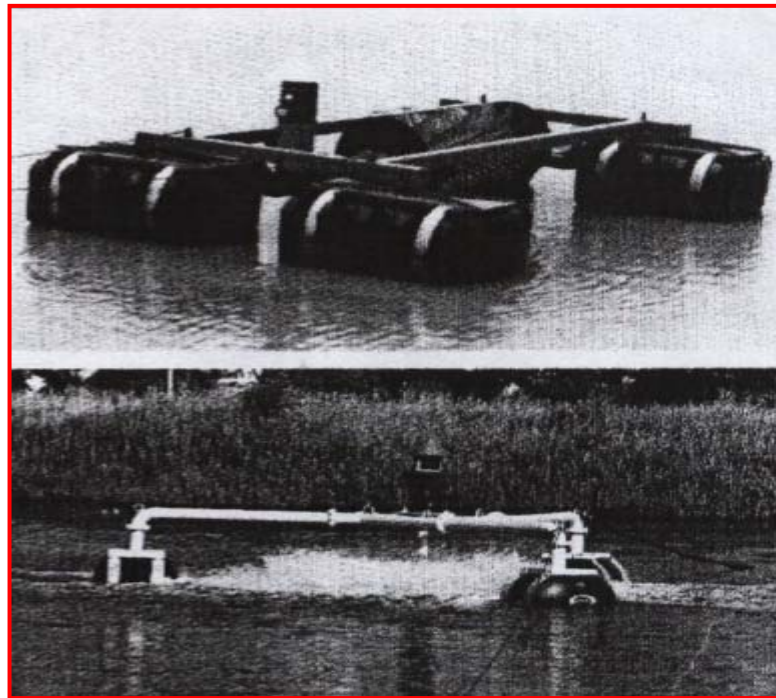
2) การประหยัดพลังงานในระบบบำบัดน้ำเสีย

การออกแบบระบบจะเป็นจุดเริ่มต้นของการประหยัดพลังงานในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะต้องมีข้อมูลพร้อมในการออกแบบ ได้แก่

- ชนิดของน้ำเสีย ส่วนผสมของสารอินทรีย์
- ปริมาณช่วงผลิตเต็มกำลัง และช่วงผลิตน้อย เพื่อเลือกอุปกรณ์ในการเดินเครื่องขณะภาระต่ำ
- อุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในระบบ
- เนื้อที่ก่อสร้างระบบ

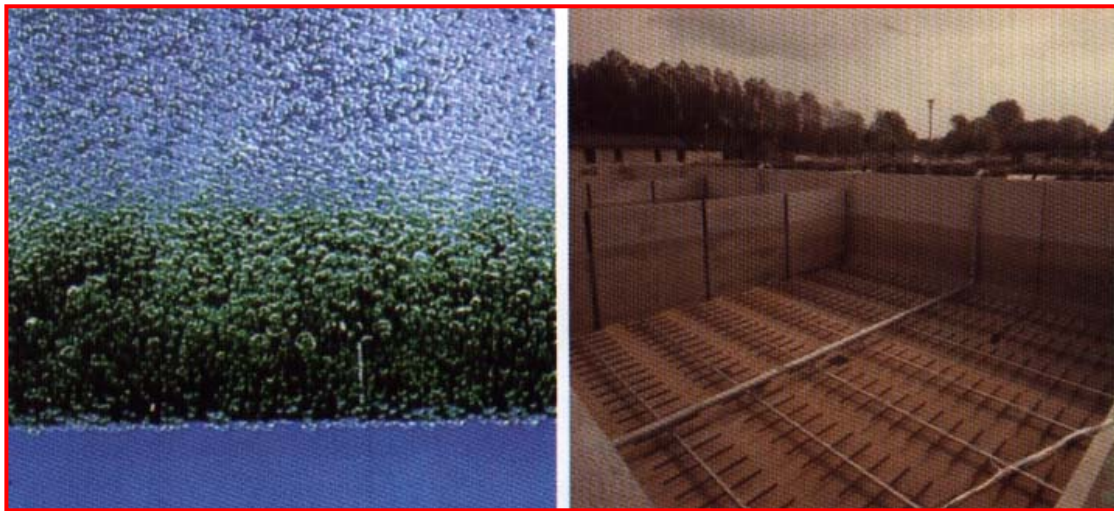
ในระบบ Activated sludge ซึ่งมีการเติมอากาศ จะมีระบบการเติมอากาศหลายระบบ ตัวอย่างเช่น

- Surface aeration การเติมอากาศที่ผิวน้ำ โดยใช้กังหันแบบทุ่นลอย เหมาะสำหรับบ่อเติมอากาศตื้นๆ ใช้พื้นที่มาก เพราะอากาศที่เติมจะอยู่บริเวณผิวน้ำ ประมาณ 1-2 เมตร



รูปที่ 6-2 ระบบเติมอากาศแบบ Surface aeration

- Submersible aeration การใช้เครื่องเติมอากาศแบบจุ่ม ราคาถูก แต่การกระจายอากาศไม่ค่อยทั่วถึง เพราะฟองอากาศใหญ่ประสิทธิภาพที่อากาศจะสัมผัสกับจุลชีวันน้อย
- ระบบที่มีประสิทธิภาพดี แต่ต้นทุนในการติดตั้งค่อนข้างสูง คือ ระบบ Air blower พร้อม Air diffuser ลักษณะของระบบจะเป็นเครื่องเติมอากาศต่อท่อลงไปยังก้นบ่อ โดยบริเวณก้นบ่อโดยรอบจะมีท่อซึ่งมีรูพุนขนาดเล็กต่อถึงกัน ทำให้อากาศกระจายโดยทั่ว และฟองอากาศจะมีขนาดเล็ก ทำให้โอกาสที่อากาศสัมผัสกับจุลชีวันสูง เป็นการประหยัดพลังงานในการเติมอากาศได้

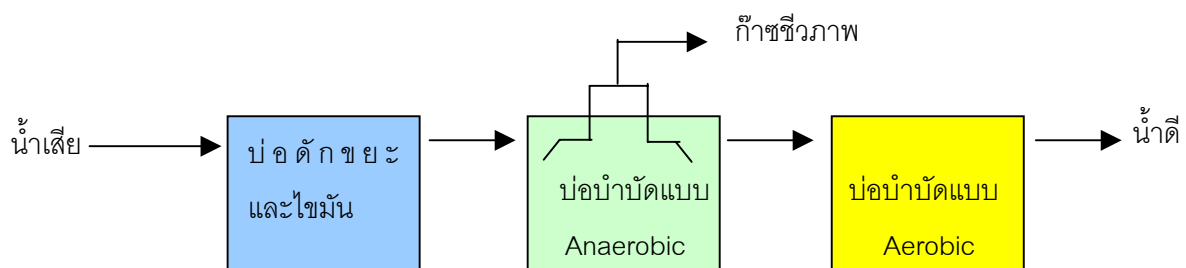


รูปที่ 6-3 แสดงระบบ Air diffuser

- อุปกรณ์เสริมในบ่อเติมอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพชนิดหนึ่ง คือ การใช้ตัวกลาง (Media) ติดตั้งในบ่อเติมอากาศ โดยตัวกลางจะเป็นวัสดุลักษณะพรุน หรือเป็นแผ่นติดตั้งทั่วๆ ไปในบ่อ เพื่อให้จุลชีพเกาะ จุลชีพจะกระจายได้ทั่วบ่อ และไม่คอยหลุดลอย ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายดีขึ้น

การจะให้อากาศได้สัมผัสกับจุลชีพอย่างมีประสิทธิภาพในบ่อแบบนี้ ความลึกของบ่อเติมอากาศจะอยู่ในช่วง 5-6 เมตร การตรวจสอบค่า BOD ของน้ำที่บำบัดแล้วอยู่เสมอจะทำให้การเดินเครื่องเติมอากาศพอเหมาะกับภาระที่ต้องการ เช่น ขณะที่น้ำเสียมีอยู่น้อย การเติมอากาศอาจสามารถลดลงได้ตามความจำเป็น

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับ อาหารและโรงงานอื่นๆ ที่มีค่า BOD สูงๆ (ประมาณ 2,000 – 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) การใช้ระบบ Aerobic อย่างเดียวจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานมาก การออกแบบให้มีระบบ Anaerobic บำบัดก่อนในขั้นต้นอาจช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมาก อีกทั้งก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบ Anaerobic ยังสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานความร้อนได้อีกด้วย ตามรูป



รูปที่ 6-4 การบำบัดแบบผสม

ในโรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็นที่มีน้ำเสียอุณหภูมิต่ำๆ ระบายลงมาในระบบ จะเป็นอุปสรรคในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์จะย่อยสลายได้ดีในอุณหภูมิประมาณ 35 – 38°C จึงมีความจำเป็นต้องทำให้น้ำเสียดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อน โดยอาจใช้ความร้อนที่ทิ้งจากระบบอื่นมาทำการเพิ่มอุณหภูมิ

ตารางที่ 6.8 ตารางค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายจากโรงงานอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน
1. พีเอช	5.5 – 9.0
2. ค่าทีดีเอส	ไม่เกิน 3,000 มก./ล.* หากระบายลงแหล่งน้ำที่มีค่าความเค็มเกิน 2,000 มก./ล. น้ำทิ้งจะมีค่าทีดีเอสมากกว่าค่าทีดีเอสในแหล่งน้ำนั้นได้ไม่เกิน 5,000 มก./ล.
3. สารแขวนลอย	ไม่เกิน 50 มก./ล. *
4. อุณหภูมิ	ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส
5. สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
6. ซัลไฟด์ (as H ₂ S)	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
7. ไฮยาไนต์ (as HCN)	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
8. น้ำมันและไขมัน	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.
9. ฟอสฟอรัส	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
10. สารประกอบฟีนอล	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
11. คลอรีนอิสระ	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
12. เปสติดไซด์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบ
13. บีโอดี	ไม่เกิน 20 มก./ล. *
14. ทีเคเอ็น	ไม่เกิน 100 มก./ล. *
15. ซีโอดี	ไม่เกิน 120 มก./ล. *
16. สังกะสี	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.
17. โครเมียม (+6)	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
18. โครเมียม (+3)	ไม่เกิน 0.75 มก./ล.
19. ทองแดง	ไม่เกิน 2.0 มก./ล.
20. แคดเมียม	ไม่เกิน 0.03 มก./ล.
21. แบเรียม	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
22. ตะกั่ว	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.
23. นิเกิล	ไม่เกิน 1.0 มก./ล.
24. แมงกานีส	ไม่เกิน 5.0 มก./ล.
25.ปรอท	ไม่เกิน 0.005 มก./ล.
26. อาร์เซนิก	ไม่เกิน 0.25 มก./ล.
27. เซเลเนียม	ไม่เกิน 0.02 มก./ล.

หมายเหตุ * อาจแตกต่างจากนี้ตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร

ตารางที่ 6.9 มาตรการประหยัดพลังงานระบบบำบัดน้ำเสีย แบบ Activated Sludge (AS)

อุปกรณ์	มาตรการ
ออกแบบระบบบ่อเติมอากาศ	- ควรมีบ่อดักไขมันและเศษวัสดุขนาดใหญ่ - ควรลึกประมาณ 5-6 เมตร เพื่อให้ฟองอากาศมีอากาศสัมผัสจุลชีพได้นาน - อาจติดตั้งตัวกลาง (Media) เพื่อให้จุลชีพเกาะโดยทั่วถึง
อุปกรณ์เติมอากาศ	- ควรมีขนาดและจำนวนพอเพียงสำหรับเดินขณะโรงงานปฏิบัติงานเต็มที่ และสำหรับการปฏิบัติงานบางส่วน (Part load)
ระบบกระจายอากาศ	- ควรมีระบบกระจายอากาศที่สามารถทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กโดยทั่วทั้งบ่อ
ทางเข้าของระบบน้ำเสีย	- ต้องกำกวดเศษวัสดุขนาดใหญ่ออกพร้อมทั้งไขมัน เพราะจะย่อยสลายยาก - ตรวจสอบอย่าให้มีสารพิษเข้ามาในระบบ จะทำให้จุลชีพลดน้อยลง - อุณหภูมิของน้ำเสียจะต้องอยู่ในระหว่าง 30 – 35°C หากต่ำกว่านี้จะต้องหาทางเพิ่มอุณหภูมิโดยใช้ความร้อนทั้งจากระบบ
ระหว่างเดินเครื่อง	- ตรวจสอบค่า BOD อย่างสม่ำเสมอ
น้ำเสียที่มีค่า BOD สูงกว่า 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร	- ควรใช้ระบบบำบัดแบบ Anaerobic ก่อน แล้วจึงบำบัดด้วยระบบ Aerobic

ตารางที่ 6.10 มาตรการประหยัดพลังงานของหอผึ่งน้ำ

อุปกรณ์	มาตรการ
มอเตอร์	- ใช้แบบ 2 Speed motor หรือ Variable speed motor
สายพาน	- ตรวจสอบสภาพของสายพาน - ตรวจสอบความตึงของสายพาน
พัดลม	- ปรับมุมใบพัด (ในกรณีที่ปรับได้) ให้พอเหมาะกับความต้องการ (ทำโดยผู้ชำนาญการ)
ระบบน้ำ	- ตรวจสอบสภาพของน้ำ ลดความกระด้าง - เติมสารเคมีท้องถิ่น Algae, fungi - ระบายความเข้มข้นของน้ำออกเป็นระยะโดยระบบ Automatic bleed off - ตรวจสอบแผงกันกระเซ็นป้องกันการสูญเสีย
หัวฉีดน้ำฝอย	- ตรวจสอบ, เปลี่ยนระบบหัวฉีดน้ำฝอยให้อยู่ในสภาพที่สามารถทำให้น้ำเป็นละอองได้

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

การอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต

มาตรการ
1. การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของการปรับอากาศให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ (เส้นใย) (อ้างอิงค่าตามตารางที่ 6.1)
2. การเลือกใช้ความเร็วในการปั่นด้ายที่เหมาะสม
3. การเลือกใช้สายพานแกนปั่นที่เหมาะสม (Optimum Spindle Tape)
4. การใช้ Spindle และ Bobbin ที่มีน้ำหนักเบา
5. การเปลี่ยน spindle ที่มีอายุการใช้งานยาวนานและเสื่อมสภาพ
6. การบำรุงรักษาและการปรับตั้งเครื่องทอ
7. การลดการรั่วไหลของอากาศเป็นบริเวณปรับอากาศ
8. การลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต
9. การติดตั้งและใช้งานฝาครอบเครื่องฟอกย้อม
10. การติดตั้งฉนวนที่เครื่องจักร
11. การนำความร้อนของน้ำย้อมทิ้งกลับมาใช้
12. การลดอุณหภูมิของไอน้ำหรือน้ำร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต
13. การลดเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต
14. การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวัดควบคุมอุณหภูมิ หรือเทอร์โมสแตทร่วมกับการติดตั้งวาล์วเปิด-ปิด อัตโนมัติ
15. การลดการย้อมซ้ำ
16. การลดปริมาณอากาศระบายให้ต่ำที่สุด
17. หลีกเลี่ยงการอบแห้งมากเกินไป (อ้างอิงตามตารางที่ 6.2)
18. การรีดน้ำออกจากผ้าก่อนการอบแห้ง (อ้างอิงตามตารางที่ 6.3)
19. การนำกลับน้ำคอนเดนเสท
20. การบำรุงรักษาเครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำ

ระบบไอน้ำ

อุปกรณ์	มาตรการ
1. ห้องเผาไหม้	ตรวจสอบส่วนผสมของอากาศจากเปลวไฟ - เปลวสีส้ม, อากาศพอดี - เปลวไฟมีสีสด, มีควัน, อากาศน้อย - เปลวไฟสีจ้ำ, เคลื่อนไหวแรง, อากาศมาก
2. ระบบท่อจ่ายไอน้ำ	ตรวจสอบรอยรั่ว
3. ระบบท่อจ่ายไอน้ำ	ตรวจสอบฉนวนหุ้ม
4. ระบบ Blow down	ตรวจสอบรอยรั่วซึม
5. หม้อไอน้ำ	ตรวจอุณหภูมิปล่องไอเสียสูงผิดปกติต่อเนื่อง แสดงว่ามีความสกปรกภายในระบบน้ำ หรือห้องเผาไหม้
6. ระบบ Condensate	หาทางนำไอน้ำจากการใช้พร้อม Condensate กลับคืนมายังระบบ

ระบบน้ำใช้

อุปกรณ์	มาตรการ
1. ระบบส่งน้ำ	ปรับแรงดันให้พอดีกับความต้องการ
2. มีเครื่องวัดปริมาณน้ำ	ติดตั้งมิเตอร์ตามจุดใช้งานที่สำคัญ เพื่อตรวจสอบการใช้
3. การปรับสภาพน้ำ	ปรับสภาพน้ำให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ เช่น ลดความกระด้าง
4. ระบบน้ำเย็น	ลดอุณหภูมิเบื้องต้นก่อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็นหรือละลายในน้ำแข็ง - ใช้หอผึ่งน้ำ - ทิ้งไว้ในบ่อเปิด
5. ควรล้างทำความสะอาด	ใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม - สายยางพร้อมหัวฉีดปรับได้ - ปัมแรงดันสูง - แปรงทำความสะอาดและน้ำยาเคมี

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

อุปกรณ์	มาตรการ
1. อัตราการคิดค่าไฟฟ้า	- เปรียบเทียบระบบ TOU - เปลี่ยนการทำงานไปในช่วง Off Peak
2. หม้อแปลงและมาตรวัด	- ตรวจสอบและปรับปรุง Power Factor - บำรุงรักษาหม้อแปลงและแผงสวิตช์ปีละครั้ง - ติดตั้งมาตรวัดพลังงานตามแหล่งที่ใช้พลังงานสูง เพื่อตรวจสอบ

ระบบปรับอากาศ

อุปกรณ์	มาตรการ
1. เครื่องปรับอากาศ	- คอยล์ร้อนจะต้องระบายลมได้สะดวก - ทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ - ล้างแผ่นกรองอากาศที่คอยล์เย็นเดือนละครั้ง
2. การควบคุมอุณหภูมิ	- ตั้งอุณหภูมิที่ 24 - 26°C
3. ห้องปรับอากาศ	- ต้องไม่มีรอยรั่ว - หลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ให้ความร้อน เช่น ตู้เย็น, หม้อต้มน้ำ เครื่องถ่ายเอกสาร ฯลฯ
4. เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง	- เมื่อต้องเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศให้พิจารณาเครื่องที่มี ประสิทธิภาพสูง
5. ระบบปรับอากาศที่ไม่เย็นเกิดจาก	- คอยล์เย็นและคอยล์ร้อนอุดตัน - น้ำยาทำความเย็นรั่ว - มีอากาศภายนอกเข้ามาในห้อง - ฉนวนโครงสร้างของห้องไม่เหมาะสม

ระบบแสงสว่าง

อุปกรณ์	มาตรการ
1. การติดตั้งดวงโคม	- ใช้แสงอาทิตย์ช่วยให้ความสว่าง - ติดตั้งดวงโคมตรงกับจุดที่ทำงาน - แยกวงจรเปิดปิดไฟตามการใช้งาน
2. อุปกรณ์ช่วยประหยัดพลังงาน	- หลอดประหยัดไฟ - บัลลัสต์ Low Loss - แผงสะท้อนในโคมไฟ - สวิตช์เปิดปิดไฟอัตโนมัติ

บทที่ 7

การบริหารจัดการด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก

7.1 ความหมายของการบริหารจัดการพลังงาน

การบริหารจัดการพลังงาน หมายถึง การจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดความต้องการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น หรือ ลดความสูญเสียด้านพลังงาน โดยการจัดการบริหารที่นำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน หรือต้นทุน รวมถึงปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีแนวทางเบื้องต้นดังนี้

- การลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น (Good Housekeeping) เช่น การตั้งอุณหภูมิควบคุมของห้องปรับอากาศให้เหมาะสม การปิดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้งาน หรือการลดเวลาการใช้งานเครื่องจักรหรืออุปกรณ์
- การลดความสูญเสีย (Losses) เช่น ความสูญเสียที่เกิดจากการจัดการไม่ดี การออกแบบไม่ดี หรือกรรมวิธีผลิตที่ไม่ดี มีขั้นตอนมากเกินไป ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดการใช้พลังงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ
- การนำความร้อนสูญเสีย (Heat Recovery) กลับมาใช้ งาน เช่น การนำก๊าซร้อนที่เหลือจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ในการผลิตเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร
- การจัดการความต้องการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับภาระการทำงาน เช่น ในกรณีระบบพลังงานนั้น ๆ ประกอบด้วย เครื่องจักรหลาย ๆ เครื่องจักร จะต้องเพิ่มภาระการทำงานของเครื่องจักรให้ใกล้เคียงกับพิกัดติดตั้งเพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้เครื่องจักรที่ไม่มีภาระ
- การบำรุงรักษาที่ดี ซึ่งจะมีผลทำให้เครื่องจักรมีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

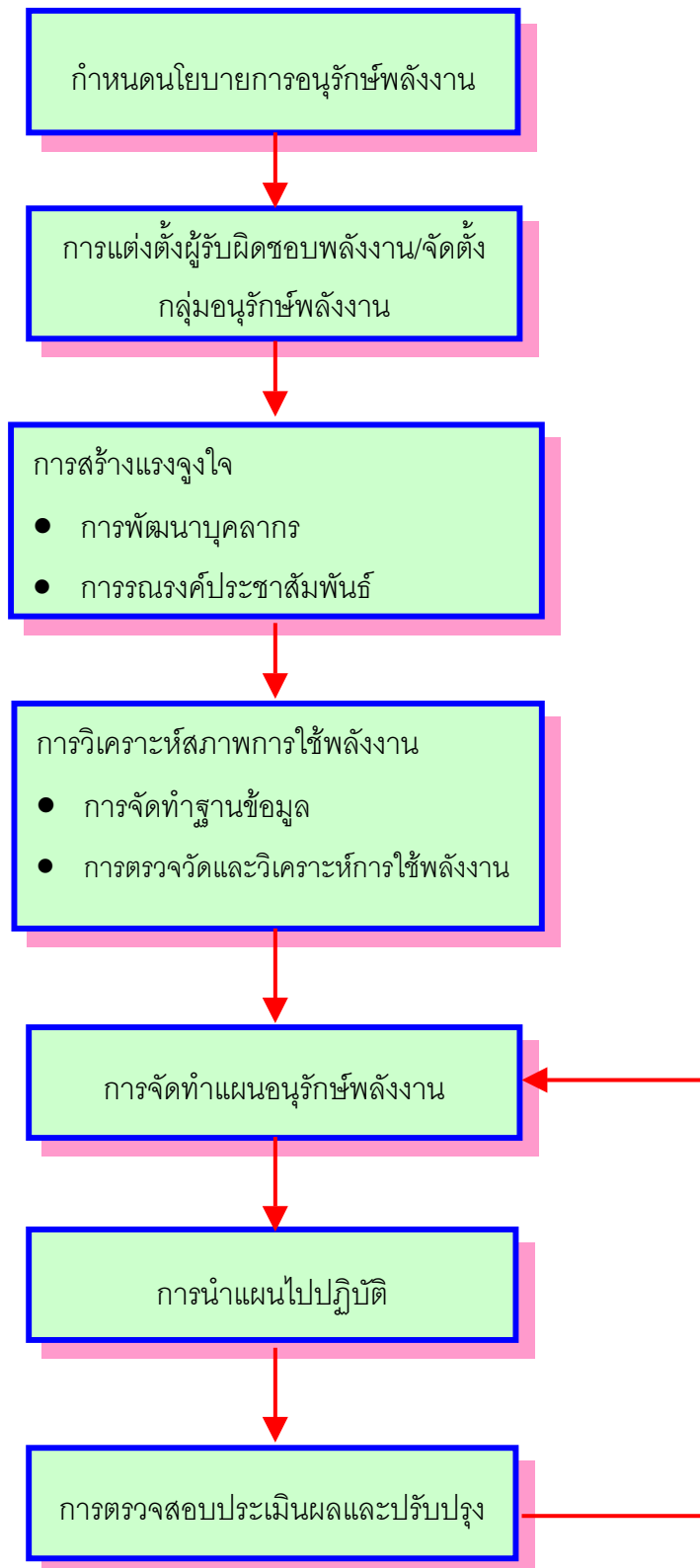
จากแนวทางเบื้องต้นดังกล่าวมา พบว่าการบริหารจัดการพลังงานเป็นวิธีการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพและผลการตอบแทนสูง แต่มีการลงทุนน้อยหรือไม่มีการลงทุน โดยเน้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมวิธีการคิด และวิธีการทำงานให้เหมาะสม รวมถึงการปลูกจิตสำนึกการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดขึ้นภายในองค์กร

7.2 หลักการบริหารจัดการพลังงาน

ในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความยั่งยืนจำเป็นต้องมีระบบการจัดการด้านพลังงานที่เหมาะสม และมีปัจจัยหลายอย่างที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการจัดการด้านพลังงาน เช่น

- นโยบายการบริหารจัดการด้านพลังงานเป็นที่ยอมรับจากผู้บริหาร
- มีบุคลากร/องค์กรที่สามารถดำเนินการ และชี้แนะในเรื่องจากจัดการพลังงาน
- มีพนักงานในองค์กรตระหนักและยอมรับถึงความสำคัญของการจัดการพลังงานอย่างกว้างขวาง
- มีแผนปฏิบัติตามแผนอย่างจริงจังและต่อเนื่อง
- มีการติดตามประเมินผลและปรับปรุงการปฏิบัติการอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง
- รณรงค์และประชาสัมพันธ์ผลงานอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นสามารถสรุปภาพรวมหรือองค์ประกอบของการจัดการด้านระบบการจัดการพลังงานให้เป็นขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 7-1



รูปที่ 7-1 แสดงขั้นตอนด้านการบริหารจัดการด้านพลังงาน

7.2.1 การกำหนดนโยบายพลังงานของบริษัท

- **วัตถุประสงค์**

เพื่อให้พนักงานทราบถึงความเอาใจจริงของบริษัทในด้านจัดการพลังงาน โดยผู้บริหารระดับสูง มีหน้าที่ในการกำหนดนโยบาย และทิศทางของการอนุรักษ์พลังงานให้ผู้บริหารระดับกลางและระดับล่างสามารถนำไปปฏิบัติและประยุกต์ใช้ให้เกิดผล

- **ขั้นตอนการปฏิบัติ**

- ◆ ผู้บริหารออกประกาศให้พนักงานทราบโดยทั่วถึงว่าการจัดการพลังงานเป็นนโยบายสำคัญของบริษัทที่พนักงานทุกคนจะต้องถือปฏิบัติอย่างเคร่งครัดและจริงจัง
- ◆ ผู้บริหารออกประกาศแต่งตั้งบุคคลเป็นผู้รับผิดชอบในการดำเนินการด้านการจัดการพลังงาน โดยควรเป็นผู้มีอำนาจในการบริหารระดับสูงพอสมควร
- ◆ ผู้บริหารสนับสนุนการจัดตั้งองค์กรด้านการจัดการพลังงานและสนับสนุนกิจกรรมด้านอนุรักษ์พลังงาน
- ◆ ควรกำหนดว่าผลการดำเนินการในเรื่องพลังงานถือเป็นเกณฑ์หนึ่งในการพิจารณาความดีความชอบประจำปี

7.2.2 การแต่งตั้งผู้รับผิดชอบพลังงาน

- **วัตถุประสงค์**

เพื่อให้มีบุคลากรเป็นแกนนำในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

- **หน้าที่รับผิดชอบ**

- ◆ จัดเก็บบันทึกและทำสถิติการใช้พลังงาน
- ◆ วิเคราะห์และกำหนดจุดที่มีโอกาสปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- ◆ แนะนำวิธีการปรับปรุงเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- ◆ แนะนำการจัดทำ การรวบรวมวิเคราะห์ การบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานในส่วนงานต่าง ๆ
- ◆ จัดทำแผนการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้งการพัฒนาบุคลากร
- ◆ รณรงค์ส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพอย่างทั่วถึงทั้งองค์กร รวมทั้งการจัดตั้งองค์กรรณรงค์อนุรักษ์พลังงาน

● วิธีการดำเนินการ

◆ คัดเลือกบุคลากรที่มีคุณสมบัติดังนี้

- กระตือรือร้นที่จะทำงาน
- ชอบศึกษาหาความรู้
- มีความริเริ่มในการเสาะหาและแก้ปัญหา
- มีมนุษยสัมพันธ์เป็นที่ยอมรับขององค์กร
- หากมีความรู้ด้านเทคนิคจะช่วยให้ดำเนินงานได้ดีขึ้น
- มีทักษะชัดเจนในการพูด

◆ แต่งตั้งเป็นทางการให้เป็นที่ยอมรับทั้งองค์กรในบทบาทและหน้าที่

- สนับสนุนให้มีการพัฒนาวัฒนธรรมองค์กรเพื่อนำไปสู่จิตสำนึกในเรื่องการอนุรักษ์พลังงาน
- สร้างระบบและขั้นตอนในการติดตามและประเมินผลการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- ส่งเสริมและเผยแพร่ความสำเร็จขององค์กรในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- นำเสนอแผนและผลการดำเนินการต่อผู้บริหารโดยมีเนื้อหา ดังนี้
 - เข้าใจง่าย
 - เกี่ยวข้องกับงานขององค์กร
 - เป็นประโยชน์ต่อองค์กร
 - น่าเชื่อถือ
 - มีข้อมูลค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่ได้รับ
 - ถูกกาลเทศะ

7.2.3 การจัดตั้งกลุ่มอนุรักษ์พลังงาน

● วัตถุประสงค์

เพื่อขยายผลการดำเนินการอนุรักษ์ไปสู่ทุกส่วนในองค์กร อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

● หน้าที่รับผิดชอบ

- ◆ ร่วมกำหนดนโยบายพลังงานและแผนอนุรักษ์พลังงาน
- ◆ ร่วมกันจัดรูปองค์กรโดยมีผู้แทนจากหน่วยต่าง ๆ
- ◆ กำหนดรูปแบบและวิธีการสร้างการจูงใจเพื่อให้มีส่วนร่วมให้แก่บุคลากรในองค์กร
- ◆ สร้างระบบสารสนเทศ
- ◆ สร้างระบบประเมินผลและประชาสัมพันธ์
- ◆ รายงานผลต่อผู้บริหาร

- **วิธีดำเนินการ**
 - ◆ ผู้บริหารประกาศเป็นนโยบายในเรื่องการจัดตั้งองค์กร
 - ◆ ตั้งตัวแทนจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยคัดเลือกจากผู้มีจิตสำนึก และสนใจด้านอนุรักษ์พลังงาน และเป็นที่ยอมรับในองค์กร
 - ◆ ศึกษาวัฒนธรรมองค์กรเพื่อกำหนดยุทธศาสตร์การชักจูงบุคลากรให้สนับสนุนและมีส่วนร่วมในโครงการ
 - ◆ รวบรวมข้อมูลด้านการใช้และค่าใช้จ่ายพลังงาน
 - ◆ ศึกษาและเสาะหาโอกาสและสถานที่ที่จะประหยัดพลังงาน
 - ◆ กำหนดแผนปฏิบัติและกฎเกณฑ์การประเมินผล
 - ◆ รณรงค์และประชาสัมพันธ์แผนปฏิบัติเพื่อให้เกิดความยอมรับและนำมาปฏิบัติ
 - ◆ จัดให้มีการเสนอความคิดหรือการประกวดโครงการอนุรักษ์พลังงานจากข้อเสนอของบุคคลหรือองค์กร
 - ◆ ติดตามประเมินผลและปรับปรุงแผนดำเนินการ
 - ◆ ประชาสัมพันธ์ในเรื่องโครงการอนุรักษ์พลังงานที่ได้รับผลสำเร็จและการชมเชย
 - ◆ เผยแพร่ความรู้และความก้าวหน้าใหม่ ๆ ในด้านพลังงาน

7.2.4 การพัฒนาบุคลากรด้านการจัดการพลังงาน

- **วัตถุประสงค์**

เพื่อให้ความรู้และปลูกฝังจิตสำนึกในเรื่องพลังงานให้เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการคุณภาพในองค์กรรวม (TQM) ในประเด็นต่อไปนี้

 - ◆ พนักงานจะได้รับการส่งเสริมในเรื่องประหยัดพลังงาน
 - ◆ พนักงานต้องสนใจในการปฏิบัติการประหยัดพลังงาน
 - ◆ พนักงานต้องรู้จักหาโอกาสในการประหยัดพลังงาน (VE)
 - ◆ พนักงานต้องมีทักษะเกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน
- **วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการ**
 - ◆ การสร้างจิตสำนึกด้านพลังงาน
 - กลยุทธ์การจัดซื้อ
 - จัดซื้ออุปกรณ์และพลังงานที่เหมาะสม
 - กำหนดข้อปฏิบัติที่ประหยัดพลังงาน
 - การควบคุมการใช้งาน
 - การบำรุงรักษา
 - ◆ กระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ
 - ◆ การเผยแพร่ความรู้

- กลยุทธ์การจัดซื้อ
 - ◆ ศึกษาเปรียบเทียบข้อมูลราคาพลังงานและประโยชน์ที่จะได้
 - ◆ จัดซื้ออุปกรณ์และเชื้อเพลิงที่ให้ประโยชน์สูงสุด
 - ไม่จำเป็นต้องเป็นราคาต่ำสุด
 - เปรียบเทียบราคากับประสิทธิภาพ
 - อายุการใช้งานนาน
 - อะไหล่มีพร้อมและราคาไม่สูง
 - การบำรุงรักษาง่าย และไม่บ่อยเกินไป
- กลยุทธ์ในการกำหนดข้อปฏิบัติ
 - ◆ ควบคุมการใช้งาน
 - ศึกษาและจัดทำคู่มือการใช้งาน
 - ฝึกอบรมผู้ปฏิบัติถึงวิธีการใช้งานที่ถูกต้อง
 - ติดคู่มือการใช้พลังงานอย่างย่อในส่วนที่จำเป็น
 - ติดป้ายเตือนการปิดเครื่องเมื่อเลิกใช้
 - ◆ การบำรุงรักษา
 - จัดทำแผนการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด
 - ติดตามให้เกิดการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาที่วางไว้
 - เก็บข้อมูลชั่วโมงการทำงานและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเพื่อเก็บสถิติและเปรียบเทียบ
 - ◆ การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ
 - จัดทำป้ายโปสเตอร์กระตุ้นเรื่องการประหยัดพลังงาน
 - จัดให้มีโครงการรณรงค์เพื่ออนุรักษ์พลังงาน
 - สัมมนาระดมความคิด และสร้างการยอมรับ
 - จัดการประกวดโครงการประหยัดพลังงาน
 - ให้นักงาน/องค์กร เสนอความคิด/โครงการประหยัดพลังงาน
 - ให้ความชมเชย/รางวัล แก่ผู้ประสบความสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงาน
 - ประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่กิจกรรมที่ประสบความสำเร็จ

- ◆ การเผยแพร่ความรู้และเสริมสร้างทักษะ
เพื่อให้พนักงานมีความรู้และหาโอกาสในการประหยัดพลังงาน
 - เผยแพร่ความรู้ในเรื่องการประหยัดพลังงาน
 - สัมมนา
 - เอกสารเผยแพร่

บทที่ 8

ปัจจัยที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงานใน โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

บริษัท องค์กร หรือโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก มักประสบปัญหาความไม่ชัดเจนในสิ่งที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับโครงการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้โครงการที่ดีที่ให้ผลตอบแทนมากและคืนทุนรวดเร็วอาจจะไม่ได้รับการพิจารณาดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการไม่ได้รับการสนับสนุนจากระดับบริหารหรือเจ้าของกิจการเนื่องจากความไม่ชัดเจนดังกล่าว ดังนั้น เนื้อหาที่กล่าวถึงต่อจากนี้ จะอธิบายถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงานที่ควรพิจารณาเพื่อให้ได้รับการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากฝ่ายบริหาร แนวทางการประเมินสถานะการจัดการด้านพลังงานของโรงงาน ตลอดจนแนวทางการประสานโครงการอนุรักษ์พลังงานเข้ากับกิจกรรมอื่นของโรงงาน

8.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงาน

ผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ดูแลการใช้พลังงานในโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็กมักจะเป็นฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายซ่อมบำรุง หรือแม้กระทั่งฝ่ายผลิตเนื่องจากใกล้ชิดกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ทำให้มีโอกาสที่จะได้สังเกตการทำงานของเครื่องจักรและมองเห็นแนวทางการลดการใช้พลังงานลงได้ อย่างไรก็ตาม บ่อยครั้งที่ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานได้เสนอแนะแนวทางการลดการใช้พลังงานให้กับฝ่ายบริหารแต่ไม่ได้รับการสนับสนุนเท่าที่ควร เนื่องจากไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าผลประโยชน์ที่จะได้รับหรือข้อดีข้อเสียของโครงการมีอะไรบ้าง ทำให้โครงการอนุรักษ์พลังงานที่ดีหลายโครงการไม่เกิดขึ้น ดังนั้น ผู้ที่รับผิดชอบด้านพลังงานของโรงงาน รวมทั้งฝ่ายบริหารเอง จำเป็นที่จะต้องเข้าใจปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้การพิจารณาโครงการทำได้อย่างชัดเจน รอบคอบ และได้ผลประโยชน์ตามที่คาดหวังไว้

ปัจจัยที่จำเป็นต้องพิจารณาสำหรับโครงการอนุรักษ์พลังงานมีดังนี้

- ผลประโยชน์ที่องค์กรจะได้รับ
- เกณฑ์การลงทุนขององค์กร
- ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโครงการ
- ความเสี่ยงของโครงการ
- การจัดการด้านพลังงานขององค์กร

8.1.1 ผลประโยชน์ที่องค์กรจะได้รับ

ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการอนุรักษ์พลังงานส่วนใหญ่มักจะพิจารณาถึงการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเพียงอย่างเดียว ซึ่งในความเป็นจริงแล้วยังมีผลประโยชน์ในด้านอื่นๆ ที่ควรจะพิจารณาร่วมกันไปด้วย

- **ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลง**

การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานซึ่งเป็นต้นทุนหนึ่งของการผลิตนั้น เป็นผลประโยชน์ที่จะได้รับโดยตรงจากโครงการอนุรักษ์พลังงาน และเป็นจุดประสงค์หลักในการดำเนินการโครงการบางโครงการอาจทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงมากจนกระทั่งฝ่ายบริหารเห็นว่าสมควรอนุมัติให้ดำเนินการโครงการได้ทันที แต่สำหรับในบางโครงการ เฉพาะค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลงเพียงอย่างเดียวอาจไม่มากพอที่จะจูงใจฝ่ายบริหารได้ จึงจำเป็นต้องพิจารณาผลประโยชน์ที่จะได้รับในด้านอื่นๆ ประกอบกันไปด้วย

- **การใช้แรงงานที่ลดลง**

เครื่องจักรที่ได้รับการปรับปรุงใหม่หรืออุปกรณ์ประหยัดพลังงานที่ติดตั้งใหม่ส่วนใหญ่มักจะลดความต้องการคนควบคุมหรือคนดูแลรักษาได้ ซึ่งเป็นผลให้ต้นทุนด้านแรงงานลดลง รวมทั้งสามารถจัดกำลังคนไปเสริมในส่วนอื่นๆ ที่จำเป็นได้

- **ประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ดีขึ้น**

การปรับปรุงเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นจะมีประโยชน์ที่จะได้ตามมาหลายประการ เช่น ประหยัดพลังงานมากขึ้น ทำงานได้รวดเร็วขึ้นซึ่งทำให้ได้ปริมาณผลผลิตมากขึ้น ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพมากขึ้น ลดการควบคุมด้วยคนลง ตลอดจนความต้องการการบำรุงรักษาที่ลดลงซึ่งทำให้ลดแรงงานและลดความถี่ในการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่ลงได้

- **ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น**

การปรับปรุงเครื่องจักรและการติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงานเข้าไปจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ทำให้ผลิตได้เร็วขึ้น มีของเสียน้อยลง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยตรง

- **คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น**

การที่คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้น ทำให้โรงงานสามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น หรือสามารถจำหน่ายในราคาที่สูงขึ้นได้

● สภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น

สภาพแวดล้อมในที่นี้ หมายถึงทั้งสภาพแวดล้อมในที่ทำงาน ตลอดจนสิ่งแวดล้อมภายนอกโรงงาน ตัวอย่างเช่น การติดตั้งเครื่องควบคุมปริมาณอากาศก่อนจากการตรวจวัดคุณภาพไอเสียอย่างต่อเนื่องของหม้อไอน้ำ จะส่งผลให้เขม่าควันจากการเผาไหม้ลดลง คุณภาพชีวิตของพนักงานในโรงงานก็จะดีขึ้น รวมทั้งสภาพอากาศบริเวณรอบๆ โรงงานก็จะดีขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในด้านสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้นนี้อาจจะประเมินเป็นผลประโยชน์ได้ค่อนข้างลำบากแต่ก็ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาควบคู่กันไปพร้อมกับด้านอื่นๆ ด้วย ไม่ว่าจะเป็นด้วยเหตุผลด้านกฎหมายข้อบังคับ การแสดงความเอาใจใส่ในคุณภาพชีวิตของพนักงานในโรงงาน หรือเป็นการแสดงความรับผิดชอบต่อชุมชนในบริเวณโรงงาน ซึ่งไม่สามารถประเมินออกมาเป็นจำนวนเงินได้ก็ตาม

● กรณีศึกษา: ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการอนุรักษ์พลังงาน กรณีที่ 1

โรงงานแห่งหนึ่งกำลังพิจารณาที่จะเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 500 ตันซึ่งใช้งานมานานกว่า 10 ปี เป็นเครื่องใหม่ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากเครื่องที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพต่ำลงอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานพบว่า เครื่องทำน้ำเย็นปัจจุบันมีค่าสมรรถนะในการทำความเย็น 0.8 กิโลวัตต์/ตัน และต้องทำความสะอาดตะกอนในท่อคอนเดนเซอร์ปีละ 2 ครั้ง ในขณะที่เครื่องใหม่มีค่าสมรรถนะในการทำความเย็น 0.64 กิโลวัตต์/ตัน และต้องการการทำความสะอาดท่อคอนเดนเซอร์เพียงปีละ 1 ครั้ง

เมื่อพิจารณาผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นในด้านต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

- ปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะลดลง 20%
- การบำรุงรักษาจะลดลง 50%
- สามารถลดคนควบคุมระบบลงได้จาก 4 คนเหลือเพียง 2 คน

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงการนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้หลายด้าน และมีความมุ่งใจฝ่ายบริหารมากพอที่จะตัดสินใจดำเนินการโครงการได้

● กรณีศึกษา: ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการอนุรักษ์พลังงาน กรณีที่ 2

โรงงานย้อมผ้าได้มีการพิจารณาเปลี่ยนเครื่องอบแห้งจากแบบเดิมซึ่งใช้หัวเผาเชื้อเพลิงเป็นแหล่งความร้อน เป็นแบบที่ใช้อินฟราเรดในการอบผ้าแทน ซึ่งก่อนที่จะทำการเปลี่ยน โรงงานได้มีการพิจารณาผลประโยชน์ที่จะได้รับในด้านต่างๆ ดังนี้

- การใช้แรงงานที่ลดลง – เนื่องจากระบบใหม่ต้องการการบำรุงรักษาที่น้อยลง
- การบำรุงรักษาที่ลดลง – นอกจากค่าแรงงานที่ลดลงแล้ว ค่าชิ้นส่วนที่ต้องเปลี่ยนหรือบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย เนื่องจากระบบใหม่ไม่มีชิ้นส่วนของหัวเผา
- ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น – เนื่องจากเครื่องใหม่จะใช้เวลาในการทำให้ผ้าแห้งได้รวดเร็วขึ้น

- คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น – เครื่องเก่าจะอบผ้าให้แห้งได้ไม่สม่ำเสมอทั้งเครื่องอบเมื่อเทียบกับเครื่องใหม่ ทำให้คุณภาพผ้าที่ได้ไม่สม่ำเสมอ
- สภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น – เครื่องใหม่จะไม่ทำให้เกิดเสียงดังเหมือนกับเครื่องเก่า รวมทั้งยังไม่ปล่อยความร้อน กลิ่น ควัน และเขม่าออกมาภายนอกด้วย นอกจากนี้ เครื่องใหม่ยังใช้พื้นที่ในการติดตั้งเพียง 60% ของเครื่องเก่าทำให้การทำงานเป็นไปอย่างสะดวกขึ้น

8.1.2 เกณฑ์การลงทุนขององค์กร

การลงทุนในโครงการอนุรักษ์พลังงานจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนเช่นเดียวกับโครงการในด้านอื่นๆ ซึ่งโดยปกติแล้ว ฝ่ายบริหารของแต่ละองค์กรก็จะมีเกณฑ์ในการพิจารณาการลงทุนที่ต่างกันไป ผู้ที่รับผิดชอบด้านพลังงานจึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงเกณฑ์การลงทุนขององค์กรของตนเองด้วย เพื่อที่จะได้จัดลำดับความสำคัญของโครงการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ได้ และทำการเสนอโครงการที่จะเกิดประโยชน์สูงสุดต่อองค์กรและได้รับการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากฝ่ายบริหาร

เกณฑ์การวิเคราะห์การเงินที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่

- **วงเงินลงทุน (Capital Cost)**

เป็นเกณฑ์การลงทุนขั้นพื้นฐานที่สุดและจะแตกต่างกันไปตามขนาดและสภาวะทางการเงินของโรงงาน บางโรงงานอาจไม่ต้องการลงทุนในโครงการที่ต้องใช้เงินทุนเกิน 1 ล้านบาท ในขณะที่โรงงานที่มีขนาดเล็กกว่าหรือมีสภาพเศรษฐกิจไม่ดีก็อาจไม่ต้องการลงทุนในโครงการใดก็ตามที่ต้องใช้เงินเกิน 1 แสนบาท

- **ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น (Simple Payback Period)**

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่โครงการจะได้รับผลตอบแทนกลับคืนจากเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มต้น}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

เงินลงทุนเริ่มต้น ประกอบด้วย ค่าอุปกรณ์ ค่าติดตั้ง และค่าบริหารโครงการ เป็นต้น

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สุทธิเฉลี่ยต่อปี คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อปี หลังจากหักค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการและการบำรุงรักษา

ระยะเวลาคืนทุน สำหรับโครงการประหยัดพลังงานที่ยอมรับได้โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 5 ปี อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับขนาดของโครงการ ถ้าโครงการมีขนาดใหญ่ เงินลงทุนสูง อายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ระยะเวลาคืนทุนที่ยอมรับได้อาจจะมากกว่า 5 ปี

- **กรณีศึกษา การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน**

โรงงานแห่งหนึ่งทำการติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ทดแทนมอเตอร์ชนิดธรรมดา เนื่องจากมีอายุการใช้งานมาก และสภาพการใช้งานเดิมไม่สมบูรณ์

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เฉลี่ยต่อปี

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	3,653	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	11,032.06	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าอุปกรณ์	42,900	บาท
ค่าติดตั้ง	4,290	บาท
รวม	47,190	บาท
ระยะเวลาคืนทุน = 47,190 / 11,032.06 = 4.28 ปี		

ตารางที่ 8.1 แสดงข้อดีและข้อจำกัดของการวิเคราะห์แบบระยะเวลาคืนทุน

ข้อดีของระยะเวลาคืนทุน	ข้อจำกัดของระยะเวลาคืนทุน
● การวิเคราะห์และคำนวณทำได้ง่าย ● แสดงผลเข้าใจง่าย (จำนวนปีและจำนวนเดือนที่จะคุ้มทุน) ● ไม่ต้องคำนึงถึงอัตราเงินเฟ้อ และอัตราดอกเบี้ยวิธีที่รวดเร็วสำหรับการเปรียบเทียบโครงการ	● ไม่คำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้หลังจากที่คืนทุนแล้ว ● ไม่คำนึงถึงมูลค่าการลงทุนของโครงการตลอดอายุโครงการ ซึ่งอาจจะมีค่าเหลืออยู่เมื่อสิ้นสุดโครงการ ● ไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

- **อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Return on Investment, ROI)**

ผลตอบแทนการลงทุน (ROI) คือ ร้อยละของผลประโยชน์หลังจากหักค่าใช้จ่ายเงินลงทุนที่ได้รับตลอดอายุการใช้งานเทียบกับเงินลงทุน สามารถคำนวณจาก

$$\text{ผลตอบแทนการลงทุน ROI} = \frac{\text{ผลประโยชน์ตลอดอายุการใช้งาน} - \text{เงินลงทุน}}{\text{เงินลงทุน}} \times 100\%$$

วิธีนี้ลดข้อจำกัดจากการวิเคราะห์โดยใช้ระยะเวลาคืนทุน กล่าวคือ ผลตอบแทนการลงทุนจะคำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้หลังจากที่คืนทุนแล้ว ซึ่งค่าที่ยังมากยิ่งแสดงว่ามีความคุ้มค่าในการที่จะลงทุนสูง ค่า ROI ต้องมีค่าตั้งแต่ 1.0 หรือ 100 % ขึ้นไป จะคุ้มค่าทางการลงทุน

● **กรณีศึกษา การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน**

พิจารณามาตรการประหยัดพลังงานสองมาตรการ ได้แก่ มาตรการที่ 1 การใช้บัลลาสต์โวลต์ลอส แทนบัลลาสต์แบบธรรมดา และมาตรการที่ 2 การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แทนบัลลาสต์ธรรมดา

รายการ	มาตรการที่ 1	มาตรการที่ 2
เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)	10,000	15,000
ผลประหยัดเฉลี่ยต่อปี (บาท)	5,000	7,500
อายุการใช้งาน (ปี) (ถ้าเวลาทำงาน 4,000 ชม./ปี)	7	10

จะเห็นว่า ทั้งสองมาตรการ มีระยะเวลาคืนทุนเท่ากัน 2 ปี แต่เมื่อหาค่า ROI

มาตรการที่ 1

$$ROI = 100 \times [(5,000 \times 7) - 10,000] / 10,000 = 250 \%$$

มาตรการที่ 2

$$ROI = 100 \times [(7,500 \times 10) - 15,000] / 15,000 = 400 \%$$

สรุปว่า ทั้งสองมาตรการสมควรลงทุน เนื่องจากให้ผลตอบแทนการลงทุนสูง แต่ถ้าต้องการเลือกเพียงมาตรการเดียว มาตรการที่ 2 เหมาะสมกว่าเนื่องจากให้ผลตอบแทนการลงทุนสูงกว่า

ตารางที่ 8.2 แสดงข้อดีและข้อจำกัดของการวิเคราะห์แบบ ROI

ข้อดีของ ROI	ข้อจำกัดของ ROI
- การวิเคราะห์ทำได้ง่ายและรวดเร็ว - เป็นการประเมินผลประโยชน์ของโครงการตลอดอายุการใช้งาน	ไม่คำนึงถึงผลของมูลค่าเงินที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

ภาคผนวก ก

กรณีศึกษา

กรณีศึกษาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ตัวอย่างที่ 1 การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากการสำรวจระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ในโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ก่อนปรับปรุง

ขนาดพิกัดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	=	30,000	บีทียู/ชั่วโมง
กำลังไฟฟ้าติดตั้ง	=	3.50	กิโลวัตต์
เปอร์เซ็นต์โหลดของมอเตอร์ประมาณ	=	95	เปอร์เซ็นต์
การบำรุงรักษา	=	ไม่มี	ครั้ง/ปี
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
เวลาการใช้งาน	=	3,000	ชั่วโมง/ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์ประมาณ	=	80	เปอร์เซ็นต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	$3.50 \times 95 \times 3,000 \times 80 / 100 / 100$	
	=	7,980.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

หลังปรับปรุง

เสนอให้มีการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ ซึ่งจะช่วยให้การระบายความร้อนของระบบ และประสิทธิภาพของ

เครื่องดีขึ้น โดยการพิจารณาดำเนินการดังต่อไปนี้

1) ดำเนินการเดือนละ 1 ครั้ง

- ใช้ลมเป่าทำความสะอาดคอยล์เย็น คอยล์ร้อน รวมทั้ง Filter ต่างๆ
- ตรวจสอบวงจรการควบคุมต่างๆ ว่าทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดหรือไม่ เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบปรับอากาศ Fresh air ของเครื่อง
- ตรวจสอบและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ มอเตอร์พัดลมต่างๆ

2) ดำเนินการ 6 เดือน/ครั้ง

- ทำการล้างครั้งใหญ่ เพื่อทำความสะอาดคอยล์เย็น และคอยล์ร้อน โดยใช้น้ำหรือน้ำยาทำความสะอาด

เครื่องปรับอากาศที่มีการบำรุงรักษา และทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ จะมีการใช้พลังงานต่างกันดังนี้

รายการทดสอบ	สภาพเครื่องปรับอากาศ		ผลต่าง
	ไม่มีการบำรุงรักษา	บำรุงรักษาสม่ำเสมอ	
อุณหภูมิแผงจ่ายลมเย็น (°C)	7.2	7.2	-
อุณหภูมิการระบายความร้อน (°C)	54.4	51.0	3.4
อุณหภูมิอากาศภายนอก (°C)	35.0	35.0	-
กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (W)	3,700	3,590	110
ปริมาณความเย็นที่ทำได้ (Btu/h)	27,900	29,340	1,440
ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Btu/h/Watt)	7.54	8.17	0.63
กำลังไฟฟ้าต่อปริมาณความเย็น (kW/TR)	1.59	1.47	0.12
สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP)	2.21	2.40	0.19

หมายเหตุ ข้อมูลจาก Technical data ของ Compressor Energy Efficiency

ปริมาณความเย็น 1 ตัน (TR) มีค่าเท่ากับ 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง (Btu/h)

$$\begin{aligned}
 \text{ผลต่างที่ประหยัดได้} &= 0.63 \times 100 / 8.17 \\
 &= 7.71 \% \\
 \text{บำรุงรักษาโดยการล้างใหญ่} &= 2 \text{ ครั้ง/ปี} \\
 \text{หรือผลประหยัดเฉลี่ยทั้งปี} &= 7.71 / 2 \\
 &= 3.86 \%
 \end{aligned}$$

ผลประหยัด

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ช่วยลดลง} &= 7,980.0 \times 3.86 / 100 \\
 &= 308.0 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี} \\
 \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 308.0 \times 2.50 \\
 &= 770.0 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

การลงทุนและผลตอบแทน

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศขนาด < 60,000 บีทียู/ชั่วโมง} &= 750 \text{ บาท/เครื่อง/2 ครั้ง/ปี} \\
 \text{ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น} &= 0.97 \text{ ปี} \\
 &= 11.7 \text{ เดือน}
 \end{aligned}$$

(สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด => 60,000 บีทียู/ชั่วโมง ค่าบำรุงรักษา = 1,500 บาท/เครื่อง/2 ครั้ง/ปี)

หมายเหตุ : ผลประหยัดที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยเฉพาะช่วงที่มีการบำรุงรักษาโดยการล้างใหญ่ สำหรับการบำรุงรักษาโดยการล้างย่อยจะมีผลประหยัดด้วย

กรณีที่เจ้าหน้าที่ของโรงงานทำการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายจะน้อยกว่าการจ้างจากภายนอกมาก

ตัวอย่างที่ 2 การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดประสิทธิภาพสูงแทนเครื่องปรับอากาศเดิม

จากการสำรวจและตรวจวัดเครื่องปรับอากาศของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ก่อนปรับปรุง

ลักษณะเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน	=	แขวนเพดาน
พิกัดขนาดทำความเย็น	=	38,300 บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)
พิกัดกำลังไฟฟ้า	=	4.0 กิโลวัตต์ (kW)
อายุการใช้งาน	=	8 ปี
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	2.5 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
เวลาการใช้งาน	=	3,000 ชั่วโมง/ปี
เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์ประมาณ	=	80 เปอร์เซนต์

ผลการตรวจวัด

ความสูงของช่องจ่ายลม	=	8.5 เซนติเมตร (cm)
	=	8.5 / 30.48
	=	0.28 ฟุต (ft)
ความยาวของช่องจ่ายลมเย็น	=	180.0 เซนติเมตร (cm)
	=	180.0 / 30.48
	=	5.91 ฟุต (ft)
ความเร็วเฉลี่ยของลมเย็น (ตรวจวัดหลายตำแหน่ง)	=	3.40 เมตร/วินาที (m/s)
	=	3.4 / 0.00508
	=	669.3 ฟุต/นาที (ft/min)
ปริมาณลมเย็น	=	0.28x5.91x669.3
	=	1107.6 ลูกบาศก์ฟุต/นาที (CFM)
อุณหภูมิของลมกลับเข้าคอยล์เย็นเฉลี่ย (Return Air)	=	24.3 องศาเซลเซียส (°C)
	=	75.7 องศาฟาเรนไฮต์ (°F)
ความชื้นของลมกลับเข้าคอยล์เย็นเฉลี่ย (Return Air)	=	59.3 เปอร์เซนต์ (%)
จากไซโครเมตริกชาร์ทจะให้ความร้อนจำเพาะของลมกลับ (Enthalpy), h1	=	30.48 บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)
จากไซโครเมตริกชาร์ทจะได้อุณหภูมิกระเปาะเปียก , TWB	=	18.80 องศาเซลเซียส (°C)
อุณหภูมิลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นเฉลี่ย (Supply Air)	=	15.6 องศาเซลเซียส (°C)
	=	60.1 องศาฟาเรนไฮต์ (°F)
ความชื้นลมจ่ายออกจากคอยล์เย็นเฉลี่ย (Supply Air)	=	91.7 เปอร์เซนต์ (%)
จากไซโครเมตริกชาร์ทจะให้ความร้อนจำเพาะของลมจ่าย (Enthalpy), h2	=	25.45 บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)
อุณหภูมิของอากาศเข้าระบายที่คอยล์ร้อนนอกห้องเฉลี่ย	=	32.1 องศาเซลเซียส (°C)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศที่สภาวะใช้งานจริง	=	3.8 กิโลวัตต์
ปริมาณความเย็นที่สภาวะใช้งานจริง	=	4.5xCFMx(h1-h2)
	=	4.5x1,107.6x(30.48-25.45)
	=	25,071 บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)

หาค่าแก้ไขปรับค่าปริมาณความเย็น และกำลังไฟฟ้าที่สภาวะจริงกลับไปสู่สภาวะมาตรฐานจากตารางค่าแก้ไขอุณหภูมิ
กระเปาะเปียกของอากาศเข้าคอยล์เย็น (TWB) 18.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ร้อน 32.1 องศาเซลเซียส
จะได้

ค่าแก้ปริมาณความเย็น	=	1.000	
ค่าแก้กำลังไฟฟ้า	=	0.953	
ปริมาณความเย็นเมื่อเทียบกลับไปสู่สภาวะมาตรฐาน	=	25,071/1.000	
	=	25,071	บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)
	=	2.1	ตันความเย็น
กำลังไฟฟ้าเมื่อเทียบกลับไปสู่สภาวะมาตรฐาน	=	3.80/0.953	
	=	3.99	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าต่อปริมาณความเย็น	=	3.99/2.1	
	=	1.90	กิโลวัตต์/ตันความเย็น
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	3.80x3,000x80/100	
	=	9,120.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

หลังปรับปรุง

เครื่องปรับอากาศชนิด High EER ที่จะนำมาเปลี่ยนใหม่ ขนาด	=	38,300	บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)
ปริมาณความเย็นที่สภาวะใช้งานจริง	=	38,300x1.000	
	=	38,300	บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)
ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน (Energy Efficiency Ratio , EER)	=	9.6	Btu/h/Watt
กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศที่สภาวะใช้งานจริง	=	(38,300/(9.6x1000))x0.953	
	=	3.80	กิโลวัตต์
เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์ประมาณ	=	(25,071/38,300)x80	
	=	52	%
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	3.80x3,000x52/100	
	=	5,928.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	=	9,120.0-5,928.00	
	=	3,192.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	3,192.0 x 2.50	
	=	7,980.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

ราคาเครื่องปรับอากาศขนาด 38,300 บีทียู/ชั่วโมง ประมาณ	=	40,000	บาท
ค่ารื้อถอนเครื่องเก่า และติดตั้งใหม่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์	=	4,000	บาท
รวมเงิน	=	44,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	5.51	ปี

ตารางที่ 1 ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น และกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ติดหน้าต่าง และเครื่อง

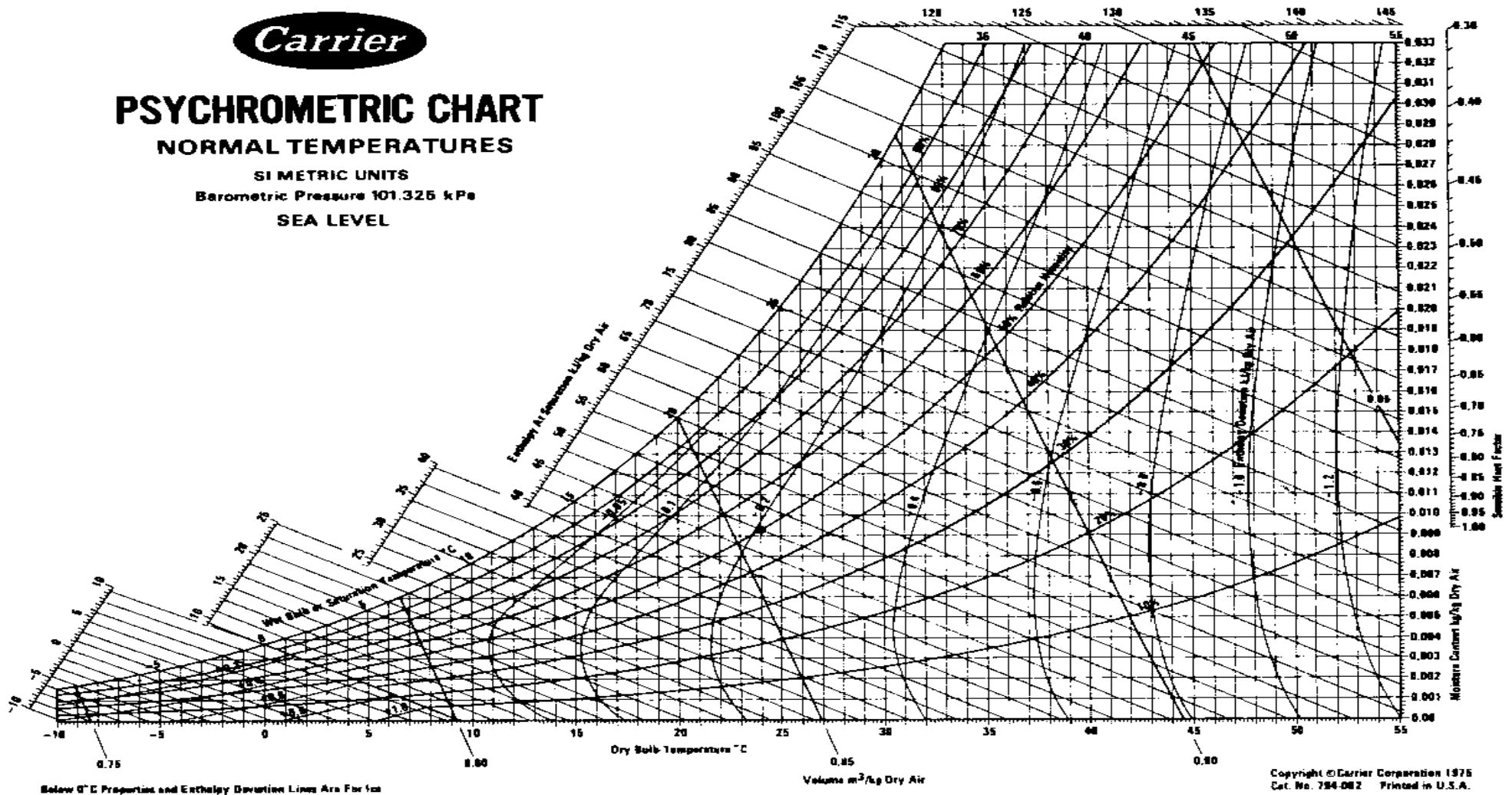
ทำความเย็นแบบเป็นชุด

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อน (°C)	อุณหภูมิกระเปาะเปียก อากาศเข้าคอยล์เย็น (°C)	ค่าแก้ไข	
		ขนาดทำความเย็น	กำลังไฟฟ้า
25	16	0.96	0.83
	18	1.03	0.85
	19	1.07	0.86
	19.4	1.08	0.87
	20	1.10	0.88
	22	1.18	0.90
30	16	0.92	0.89
	18	0.99	0.91
	19	1.02	0.93
	19.4	1.04	0.93
	20	1.06	0.94
	22	1.14	0.97
35	16	0.89	0.95
	18	0.95	0.98
	19	0.98	0.99
	19.4	1.00	1.00
	20	1.02	1.01
	22	1.09	1.04
40	16	0.85	1.01
	18	0.91	1.04
	19	0.94	1.06
	19.4	0.95	1.07
	20	0.97	1.08
	22	1.04	1.11
45	16	0.81	1.08
	18	0.86	1.11
	19	0.89	1.13
	19.4	0.91	1.14
	20	0.92	1.15
	22	0.98	1.18
50	16	0.76	1.15
	18	0.81	1.18
	19	0.84	1.20
	19.4	0.86	1.21
	20	0.87	1.22
	22	0.93	1.26

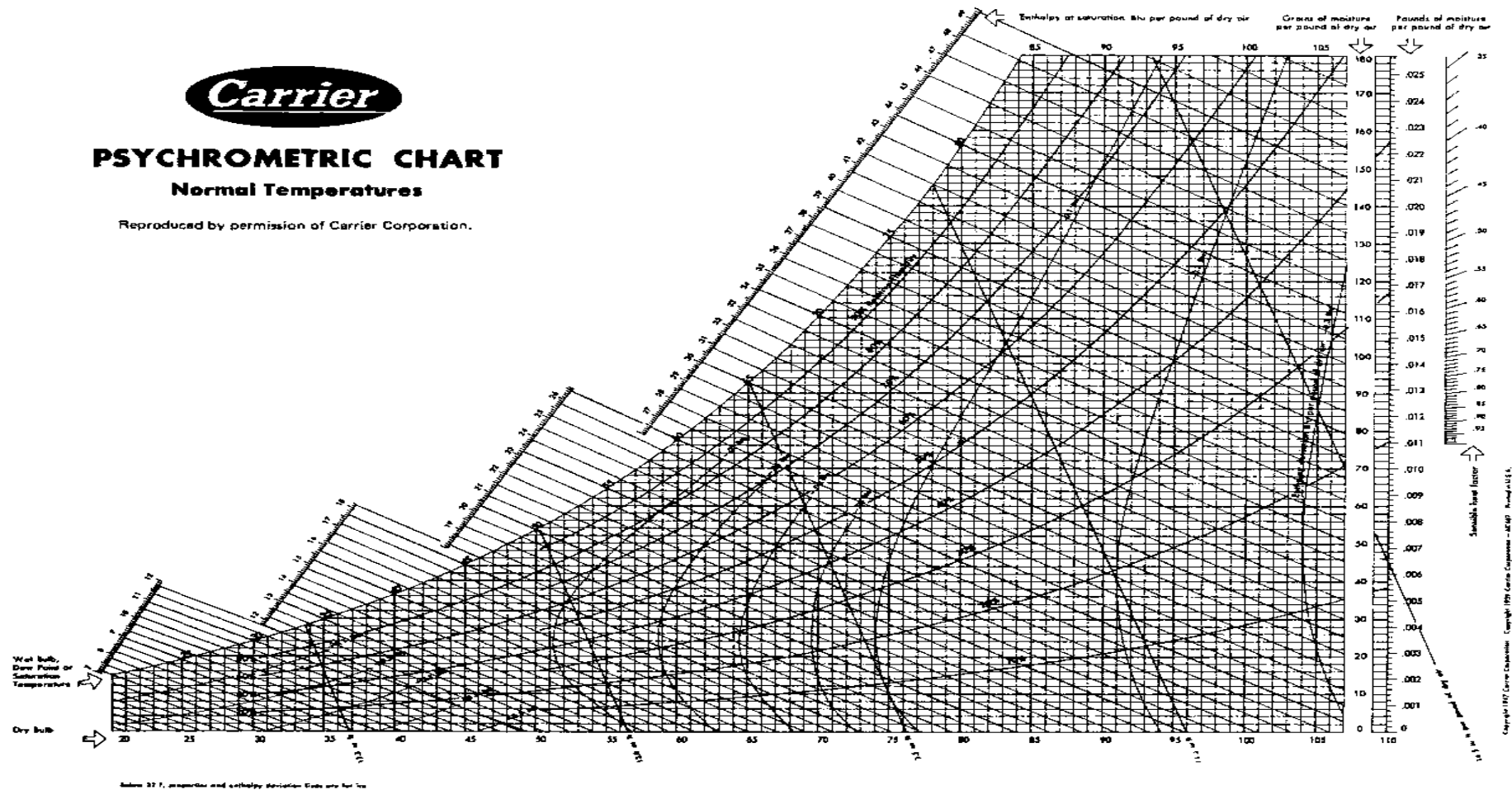
หมายเหตุ : 1. สภาวะมาตรฐาน ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อนเท่ากับ 35°C และ

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเข้าคอยล์เย็นเท่ากับ 19.4°C

2. ค่าแก้ไขของกำลังไฟฟ้าเป็นค่าแก้ไขรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งส่วนระบายความร้อนและส่วนคอยล์เย็น



รูปที่ 1 ไชโครเมตริกชาร์ทในหน่วยสากล (Psychrometric Chart, SI units)



รูปที่ 2 ไชโครเมตริกชาร์ทในหน่วยอเมริกัน (Psychrometric Chart, U.S. units)

กรณีศึกษาระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

ตัวอย่างที่ 1 การย้ายโหลดหม้อแปลงที่มีภาระน้อยมารวมกับหม้อแปลงที่มีภาระมาก

จากการตรวจวัดการใช้งานของหม้อแปลงในโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ก่อนปรับปรุง

รายการ	หน่วย	หม้อแปลงลูกที่ 1	หม้อแปลงลูกที่ 2	รวม
พิกัดติดตั้ง				
กำลังไฟฟ้าปรากฏ	กิโลโวลท์แอม, kVA	250	630	880
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก	กิโลวัตต์, kW	0.7	1.42	2.12
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	กิโลวัตต์, kW	3.25	6.50	882.12
ตรวจวัด				
กำลังไฟฟ้าปรากฏ	กิโลโวลท์แอม, kVA	33.0	242.14	275.1
กำลังไฟฟ้าใช้งานเฉลี่ย	กิโลวัตต์, kW	28.38	186.45	214.83
วิเคราะห์				
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	กิโลวัตต์, kW	3.25	6.50	9.75
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	กิโลวัตต์, kW	$3.25 \times (33.0/250.0)^2$	$6.50 \times (242.1/630.0)^2$	$882.12 \times (275.1/880.0)^2$
		0.06	0.96	1.02
กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม	กิโลวัตต์, kW	3.25+0.06	6.50+0.96	9.75+1.02
		3.31	7.46	10.77
เวลาการใช้งาน	=	3,000	ชั่วโมง/ปี	
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง	

หลังปรับปรุง

เสนอให้ย้ายโหลดของหม้อแปลงลูกที่ 1 มาใช้กับหม้อแปลงลูกที่ 2 (กรณีที่มีระบบ Tie-Bus อยู่แล้ว)

รายการ	หม้อแปลงลูกที่ 2
พิกัดติดตั้ง	
กำลังไฟฟ้าปรากฏ	กิโลโวลท์แอม, kVA 630
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก	กิโลวัตต์, kW 1.42
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	กิโลวัตต์, kW 6.50
ตรวจวัด	
กำลังไฟฟ้าปรากฏ	กิโลโวลท์แอม, kVA 275.14
กำลังไฟฟ้าใช้งานเฉลี่ย	กิโลวัตต์, kW 214.83

วิเคราะห์

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	กิโลวัตต์,kW	6.50
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	กิโลวัตต์,kW	$6.50 \times (275.1/630.0)^2$
		1.24
กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม	กิโลวัตต์,kW	6.50+1.24
		<u>7.74</u>

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง	=	10.77-7.74	
	=	3.03	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง	=	3.03x3,000	
	=	9,090.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	9,090.0 x 2.50	
	=	22,725.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุน กรณีที่โรงงานมีระบบ Tie-Bus อยู่แล้ว

หมายเหตุ : กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็กและสูญเสียในขดลวดที่พิกัดติดตั้งหม้อแปลงได้จากตารางคุณสมบัติของหม้อแปลง

ตารางคุณสมบัติของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

พิกัด หม้อแปลง (KVA)	การสูญเสีย (W)		เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย (%)		ประสิทธิภาพ (%)
	การสูญเสีย ในแกนเหล็ก (Core Loss)	การสูญเสีย ในขดลวด (Copper Loss)	การสูญเสีย ในแกนเหล็ก (Core Loss)	การสูญเสีย ในขดลวด (Copper Loss)	
50	210	1050	0.17	0.83	97.48
100	340	1750	0.16	0.84	97.91
160	480	2350	0.17	0.83	98.23
250	670	3252	0.17	0.83	98.43
315	900	3900	0.19	0.81	98.47
400	980	4600	0.18	0.82	98.60
500	1150	5500	0.17	0.83	98.77
630	1350	6500	0.17	0.83	98.75
800	1600	11000	0.13	0.87	98.43
1000	1900	13500	0.12	0.88	98.56
1250	2300	16400	0.12	0.88	98.50
1500	2800	19800	0.12	0.88	98.50
2000	3250	24000	0.12	0.88	98.63

ตัวอย่างที่ 2 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในหม้อแปลง

จากการตรวจวัดการใช้งานของหม้อแปลงในโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ก่อนปรับปรุง

พิกัดติดตั้ง	=	630	กิโลโวลท์แอม
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก	=	1.42	กิโลวัตต์
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	=	6.5	กิโลวัตต์
ตรวจวัด			
กำลังไฟฟ้าใช้งานเฉลี่ย	=	186.45	กิโลวัตต์
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ($\cos\theta_1$)	=	0.600	
หรือมุม θ_1	=	39.64	
เวลาการใช้งาน	=	3,000	ชั่วโมง/ปี
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
kVA1	=	$\text{kW} / \cos \theta_1$	
	=	186.45 / 0.600	
	=	310.75	กิโลโวลท์แอม
Copper Loss 1	=	Copper Loss at Full Load x $(\text{kVA1} / \text{kVA}_{\text{rated}})^2$	
	=	6.50x(310.8/630.0)^2	
	=	1.58	กิโลวัตต์

หลังปรับปรุง

เสนอให้ติดตั้งปรับค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า			
ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ($\cos\theta_2$)	=	0.950	
หรือมุม θ_2	=	18.19	
หาขนาดคาร์ปาซิเตอร์ จากสมการ			
kVAR	=	$\text{kW} \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$	
	=	186.45x(tan39.64 - tan18.19)	
	=	186.45 x (0.828 - 0.329)	
	=	93	กิโลวาร์

เลือกใช้นาฬิกาคาร์ปาซิเตอร์	=	100	กิโลวาร์
kVA2	=	kW / cos θ 1	
	=	186.45 / 0.950	
	=	196.26	กิโลโวลท์แอม
Copper Loss 2	=	Copper Loss at Full Load x	
		(kVA1 / kVArated) ²	
	=	6.50x(196.3/630.0) ²	
	=	0.63	กิโลวัตต์

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าสูญเสียลดลง	=	1.58-0.63	
	=	0.95	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง	=	0.95x3,000	
	=	2,850.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	2,850.0 x 2.50	
	=	7,125.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

ราคาชุดควบคุมการทำงานของคาร์ปาซิเตอร์ 4 ชั้น	=	15,000	บาท
ราคาคาร์ปาซิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบ			
คาร์ปาซิเตอร์ขนาด 25 กิโลวาร์	=	11,500	บาท/ตัว
แมกเนติกคอนแทคเตอร์ขนาด 25 กิโลวาร์	=	11,500	บาท/ตัว
ฟิวส์	=	300	บาท/ตัว
จำนวน	=	4	ชุด
รวมเงินค่าคาร์ปาซิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบ	=	93,200	บาท
ราคาตู้ไฟฟ้า	=	10,000	บาท
รวมเงิน	=	118,200	บาท
ค่าดำเนินการ 10 เปอร์เซ็นต์	=	11,820	บาท
รวมเงินลงทุนทั้งหมด	=	130,020	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	18.25	ปี

กรณีศึกษาระบบแสงสว่าง

ตัวอย่างที่ 1 การใช้บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำแทนบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา

จากการสำรวจและตรวจวัดระบบแสงสว่างของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่ามีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาเป็นบัลลาสต์บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 5.5 วัตต์ต่อตัว ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาลงได้ประมาณ 4.5 วัตต์ต่อตัว

บริเวณตัวอย่างเป็นแผนกรับวัตถุดิบ มีการติดตั้งโคม หลอด และบัลลาสต์ ดังนี้

ชนิดโคมที่ติดตั้ง	=	2	หลอด/โคม
จำนวนโคม	=	15	โคม
กำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์	=	36	วัตต์/หลอด
เวลาการใช้งาน	=	12	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	300	วัน/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ก่อนปรับปรุง : บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	30	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	36	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x36	
	=	1,080.0	วัตต์
จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30	ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	10.0	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30x10.0	
	=	300.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	1,080.0+300.0	
	=	1,380.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,380.0x12.0x300/1000	
	=	4,968.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

หลังปรับปรุง : บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำ

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	30	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	36	วัตต์

กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x36	
	=	1,080.0	วัตต์
จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30	ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	5.5	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30x5.5	
	=	165.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	1,080.0+165.0	
	=	1,245.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,245.0x12.0x300/1000	
	=	4,482.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ผลประหยัด			
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	=	300.0-165.0	
	=	135.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	=	4,968.0-4,482.0	
	=	486.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลง	=	486.0x2.50	
	=	1,215.0	บาท/ปี
การลงทุนและผลตอบแทน			
จำนวนบัลลาสต์	=	30	ตัว
ราคาบัลลาสต์ประมาณ	=	120	บาท/ตัว
ค่าติดตั้งบัลลาสต์	=	30	บาท/ตัว
รวมเงิน	=	30x(120+30)	
	=	4,500	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	3.70	ปี
	=	44.4	เดือน
หมายเหตุ : อายุการใช้งานของบัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำประมาณ 15 ปี			

ตัวอย่างที่ 2 การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ชนิด 1 ตัว ต่อ 1 หลอด) แทนบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา

จากการสำรวจและตรวจวัดระบบแสงสว่างของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่ามีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบัลลาสต์จากแกนเหล็กเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ประมาณ 4 วัตต์ต่อตัว แต่สามารถลดกำลังไฟฟ้าที่หลอดได้ประมาณ 4 วัตต์ต่อหลอด (บัลลาสต์ชนิด 1 ตัว ใช้กับ 1 หลอด) ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาได้ประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว

บริเวณตัวอย่างเป็นแผนกรับวัตถุดิบ มีการติดตั้งโคม หลอด และบัลลาสต์ ดังนี้

ชนิดโคมที่ติดตั้ง	=	2	หลอด/โคม
จำนวนโคม	=	15	โคม
กำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์	=	36	วัตต์/หลอด
เวลาการใช้งาน	=	12	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	300	วัน/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ก่อนปรับปรุง : บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	30	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	36	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x36	
	=	1,080.0	วัตต์
จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30	ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	10.0	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30x10.0	
	=	300.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	1,080.0+300.0	
	=	1,380.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,380.0x12.0x300/1000	
	=	4,968.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

หลังปรับปรุง : บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ชนิด 1 ตัว ต่อ 1 หลอด)

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	30	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	36	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดลดลง	=	4	วัตต์/หลอด

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x(36-4)	
	=	960.0	วัตต์
จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30	ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	4.0	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30x4.0	
	=	120.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	960.0+120.0	
	=	1,080.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,080.0x12.0x300/1000	
	=	3,888.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ผลประหยัด			
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	=	300.0-120.0	
	=	180.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	=	4,968.0-3,888.0	
	=	1080.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลง	=	1,080.0x2.50	
	=	2,700.0	บาท/ปี
การลงทุนและผลตอบแทน			
จำนวนบัลลาสต์	=	30	ตัว
ราคาบัลลาสต์ประมาณ	=	600	บาท/ตัว
ค่าติดตั้งบัลลาสต์	=	30	บาท/ตัว
รวมเงิน	=	30x(600+30)	
	=	18,900	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	7.00	ปี
	=	84.0	เดือน

หมายเหตุ : ราคาบัลลาสต์ที่ใช้เป็นราคาขายปลีก อายุการใช้งาน 256,000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่ 3 การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ชนิด 1 ตัว ต่อ 2 หลอด) แทนบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา

จากการสำรวจและตรวจวัดระบบแสงสว่างของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่ามีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบัลลาสต์จากแกนเหล็กเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ประมาณ 6 วัตต์ต่อตัว แต่สามารถลดกำลังไฟฟ้าที่หลอดได้ประมาณ 4 วัตต์ต่อหลอด (บัลลาสต์ชนิด 1 ตัว ใช้กับ 2 หลอด) ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาได้ประมาณ 16 วัตต์ต่อ 2 หลอด

บริเวณตัวอย่างเป็นแผนกรับวัตถุดิบ มีการติดตั้งโคม หลอด และบัลลาสต์ ดังนี้

ชนิดโคมที่ติดตั้ง	=	2	หลอด/โคม
จำนวนโคม	=	15	โคม
กำลังไฟฟ้าของหลอดฟลูออเรสเซนต์	=	36	วัตต์/หลอด
เวลาการใช้งาน	=	12	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	300	วัน/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ก่อนปรับปรุง : บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	30	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	36	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x36	
	=	1,080.0	วัตต์
จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30	ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	10.0	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30x10.0	
	=	300.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	1,080.0+300.0	
	=	1,380.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,380.0x12.0x300/1000	
	=	4,968.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

หลังปรับปรุง : บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (ชนิด 1 ตัว ต่อ 2 หลอด)

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	30	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	36	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดลดลง	=	4	วัตต์/หลอด

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x(36-4)	
	=	960.0	วัตต์
จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	15	ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	6.0	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	15x6.0	
	=	90.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	960.0+90.0	
	=	1,050.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,050.0x12.0x300/1000	
	=	3,780.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ผลประหยัด			
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	=	300.0-90.0	
	=	210.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	=	4,968.0-3,780.0	
	=	1188.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลง	=	1,188.0x2.50	
	=	2,970.0	บาท/ปี
การลงทุนและผลตอบแทน			
จำนวนบัลลาสต์	=	30	ตัว
ราคาบัลลาสต์ประมาณ	=	820	บาท/ตัว
ค่าติดตั้งบัลลาสต์	=	30	บาท/ตัว
รวมเงิน	=	30x(820+30)	
	=	25,500	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	8.59	ปี
	=	103.1	เดือน

หมายเหตุ : ราคบัลลาสต์ที่ใช้เป็นราคาขายปลีก อายุการใช้งาน 256,000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส)

ตัวอย่างที่ 4 การใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดไส้

จากการสำรวจและตรวจวัดระบบแสงสว่างของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่าบางบริเวณมีการใช้หลอดไส้ขนาด 60 วัตต์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่สามารถใช้แทนหลอดไส้ โดยความส่องสว่างมีค่าใกล้เคียงกันแต่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้

บริเวณตัวอย่างเป็นทางเดินภายในสำนักงาน มีการติดตั้งโคม หลอด ดังนี้

ชนิดโคมที่ติดตั้ง	=	1	หลอด/โคม
จำนวนโคม	=	10	โคม
กำลังไฟฟ้าของหลอดไส้	=	60	วัตต์/หลอด
เวลาการใช้งาน	=	12	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	=	300	วัน/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ก่อนปรับปรุง : หลอดไส้

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	10	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	60	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	10x60	
	=	600.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	600.0x12.0x300/1000	
	=	2,160.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

หลังปรับปรุง : หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ภายใน

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	10	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดรวมบัลลาสต์	=	11	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	10x11	
	=	110.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	110.0x12.0x300/1000	
	=	396.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	=	600.0-110.0	
	=	490.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	=	2,160.0-396.0	
	=	1764.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลง	=	1,764.0x2.50	
	=	4,410.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

จำนวนหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	=	10	หลอด
ราคาหลอดประมาณ	=	500	บาท/หลอด
รวมเงิน	=	10x500	
	=	5,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	1.13	ปี
	=	13.6	เดือน

กรณีศึกษาระบบอากาศอัด

ตัวอย่างที่ 1 การลดความดันของอากาศอัด

จากการสำรวจการใช้งานของระบบอากาศอัดของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ชนิดของการอัดอากาศ	=	ขั้นตอนเดียว
ปริมาณอากาศอัดที่ผลิต	=	100 ลิตร/วินาที
ความดันของอากาศที่เครื่องอัดผลิต	=	7 bar (g)
ความดันของอากาศที่อุปกรณ์ใช้งานต้องการ	=	5 bar (g)
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	2.0 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
เวลาการใช้งาน	=	2,000 ชั่วโมง/ปี

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดอากาศ ในทางทฤษฎี

ความดันลม		Theoretical Isentropic Power , kW/l/s Free Air		
กิโลปาสคาล (kPa)	บาร์ (Bar)	อัดขั้นตอนเดียว (Single Stage)	อัดสองขั้นตอน (Double Stages)	อัดสามขั้นตอน (Triple Stages)
100	1.0	0.0769	0.0731	0.0719
300	3.0	0.1719	0.1541	0.1490
500	5.0	0.2352	0.2054	0.1966
700	7.0	0.2856	0.2437	0.2316
1,000	10.0	0.3465	0.2880	0.2714
1,400	14.0	0.4114	0.3332	0.3114

จากตาราง ที่ความดันอากาศอัด 7.0 bar (g) ชนิดของการอัด ขั้นตอนเดียว จะได้

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดอากาศ = 0.2856 kW/l/s Free Air

หลังปรับปรุง

ต้องการลดความดันของเครื่องอัดอากาศให้ต่ำลงเหลือ = 5 bar (g)

จากตาราง ที่ความดันอากาศอัด 5.0 bar (g) ชนิดของการอัด ขั้นตอนเดียว จะได้

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดอากาศ = 0.2352 kW/l/s Free Air

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ให้กับเครื่องอัดอากาศลดลง = $(0.2856 - 0.2352) \times 100 / 0.2856$
= 17.65 %

พลังงานไฟฟ้าที่ให้กับเครื่องอัดอากาศลดลง = $0.2856 \times 100 \times 2,000 \times 17.65 / 100$
= 10,081.7 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = $10,081.7 \times 2.00$

= 20,163.0 บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

สำหรับการลดความดันของอากาศอัดไม่มีการลงทุน

ตัวอย่างที่ 2 การประหยัดพลังงานจากการลดอุณหภูมิของอากาศด้านดูด

จากการสำรวจและตรวจวัดอุณหภูมิอากาศด้านดูดของเครื่องอัดอากาศของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ก่อนปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ	=	4	กิโลวัตต์/เครื่อง
จำนวนเครื่องอัดอากาศ	=	1	เครื่อง
ผลิตอากาศอัดที่ความดัน	=	7	bar (g)
อุณหภูมิอากาศด้านดูด	=	30	°C
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	2.0	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
เวลาการใช้งาน	=	2,000	ชั่วโมง/ปี

หลังปรับปรุง

ต้องการลดอุณหภูมิของอากาศด้านดูดให้ต่ำลงเหลือ

= 20 °C

จากสมการ

$$P_1 V_1 / T_1 = P_2 V_2 / T_2$$

เมื่อ

P_1	=	ความดันอากาศก่อนลดอุณหภูมิ (bar,g)	P_2	=	ความดันอากาศหลังลดอุณหภูมิ (bar,g)
V_1	=	ปริมาตรอากาศก่อนลดอุณหภูมิ (m^3)	V_2	=	ปริมาตรอากาศหลังลดอุณหภูมิ (m^3)
T_1	=	อุณหภูมิอากาศก่อนปรับปรุง (K)	T_2	=	อุณหภูมิอากาศหลังปรับปรุง (K)

ลดอุณหภูมิอากาศจาก 30.0 องศาเซลเซียส เป็น 20.0 องศาเซลเซียส ที่ความดัน (P) เท่ากัน จะได้

$$\begin{aligned} V_2 \text{ ที่ } 20.0 \text{ } ^\circ\text{C} &= V_1 \text{ ที่ } 30.0 \text{ } ^\circ\text{C} \times (T_2 / T_1) \\ &= V_1 \text{ ที่ } 30.0 \text{ } ^\circ\text{C} \times (20.0+273) / (30.0+273) \\ &= 0.9669967 V_1 \text{ ที่ } 30.0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น อากาศที่ } 30.0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ มีความหนาแน่นกว่าอากาศที่ } 20.0 \text{ } ^\circ\text{C} &= (1 - (20.0+273) / (30.0+273)) \times 100 \\ &= 3.300 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

ผลประหยัด

$$\begin{aligned} \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศลดลง} &= 4 \times 1 \times 2,000 \times 3.300 / 100 \\ &= 264.0 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี} \\ \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 264.0 \times 2.00 \\ &= 528.0 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

การลงทุนและผลตอบแทน

เปลี่ยนตำแหน่งการดูดอากาศของเครื่องอัดอากาศ จากบริเวณที่อากาศร้อนเป็นบริเวณที่มีอากาศเย็นกว่า
ซึ่งจะต้องทำติดตั้งท่อดูดอากาศใหม่ การลงทุนไม่สูงมาก

หมายเหตุ : อ้างอิงอุณหภูมิอากาศเริ่มต้นที่ 30 °C

ตารางแสดงปริมาณของอากาศเมื่ออุณหภูมิทางด้านเข้าต่างกัน

อุณหภูมิอากาศ ทางด้านเข้า (°C)	ปริมาณของอากาศ	
	ตัวคูณ ¹⁾	เปอร์เซ็นต์
0	1.0730	+ 7.3
5	1.0540	+ 5.4
15	1.0170	+ 1.7
20	1.0000	เท่าเดิม
25	0.9830	- 1.7
30	0.9670	- 3.3
35	0.9510	- 4.9
40	0.9360	- 6.4
45	0.9210	- 7.9
50	0.9070	- 9.3

หมายเหตุ 1) ตัวเลขที่แสดงกำหนดให้อุณหภูมิอากาศทางด้านเข้าที่ 20 °C เป็นค่าบรรทัดฐาน
และกำหนดให้ความดันอากาศด้านเข้ามีค่าคงที่

เครื่องหมาย บวก (+) แสดงปริมาณอากาศเพิ่มขึ้น

เครื่องหมาย ลบ (-) แสดงปริมาณอากาศลดลง

ตารางประมาณการประหยัดจากการลดอุณหภูมิของอากาศด้านดูด

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ของเครื่องอัด	อุณหภูมิของอากาศที่ลดลงทางด้านดูดเข้าเครื่อง (°C)							
	3°C		6°C		10°C		20°C	
	ประหยัดพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง , kWh)	ประหยัดเงิน (บาท)	ประหยัดพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง , kWh)	ประหยัดเงิน (บาท)	ประหยัดพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง , kWh)	ประหยัดเงิน (บาท)	ประหยัดพลังงาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง , kWh)	ประหยัดเงิน (บาท)
4	80	160	160	320	264	528	528	1,056
7.5	150	300	300	600	495	990	990	1,980
11	220	440	440	880	725	1,450	1,450	2,900
15	300	600	600	1,200	990	1,980	1,980	3,960
22	440	880	880	1,760	1,450	2,900	2,900	5,800
30	600	1,200	1,200	2,400	1,980	3,960	3,960	7,920
37	740	1,480	1,480	2,960	2,440	4,880	4,880	9,760
55	1,100	2,200	2,200	4,400	3,625	7,250	7,251	14,502
75	1,500	3,000	3,000	6,000	4,950	9,900	9,900	19,800
110	2,200	4,400	4,400	8,800	7,260	14,520	1,452	2,904
160	3,200	6,400	6,400	12,800	10,550	21,100	21,100	42,200

หมายเหตุ : คิดที่เวลาใช้งาน 2,000 ชั่วโมงต่อปี เครื่องอัดอากาศความดัน 700 กิโลปาสกาล (kPa) หรือ 7 บาร์ (Bar) ค่าไฟฟ้า 2 บาทต่อหน่วย

จากสมการ $P1V1 / T1 = P2V2 / T2$

ลดอุณหภูมิอากาศจาก 30 °C เป็น 20 °C ที่ความดัน (P) เท่ากัน

$$V2 \text{ ที่ } 20^\circ\text{C} = V1 \text{ ที่ } 30^\circ\text{C} \times T2 / T1 = V1 \text{ ที่ } 30^\circ\text{C} \times (273+20) / (273+30) = 0.9669967 V1 \text{ ที่ } 30^\circ\text{C}$$

ดังนั้น อากาศที่ 20 °C มีความหนาแน่นกว่าอากาศที่ 30 °C

$$= (1 - (293 / 303)) \times 100$$
$$= 3.3003300 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับคอมเพรสเซอร์ขนาดกำลังไฟฟ้า 4 กิโลวัตต์ลดลง

$$= 0.0330033 \times 4 \times 2000$$
$$= 264.0 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี}$$

ตัวอย่างที่ 3 การลดการรั่วไหลของอากาศอัด

จากการสำรวจการใช้งานของระบบท่ออากาศอัดของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ชนิดเครื่องอัดอากาศ	=	ขั้นตอนเดียว
ความดันของอากาศอัดในระบบ	=	7 bar (g)
ขนาดรูรั่ว	=	3 mm.
จำนวนรูรั่ว	=	3 จุด
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	2.0 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
เวลาการใช้งาน	=	2,000 ชั่วโมง/ปี

ก่อนปรับปรุง

ปริมาณลมที่ปล่อยผ่าน Orifice ขนาดต่าง ๆ (ลิตรต่อวินาที , l/s)

ความดันลม		ขนาด Orifice (มิลลิเมตร , mm)						
กิโลปาสกาล (kPa)	บาร์ (Bar)	0.5	1	2	3	5	10	12.5
50	0.5	0.06	0.22	0.92	2.10	5.70	22.80	35.50
100	1.0	0.08	0.33	1.33	3.00	8.40	33.60	52.50
250	2.5	0.14	0.58	2.33	5.50	14.60	58.60	91.40
500	5.0	0.25	0.97	3.92	8.80	24.40	97.50	152.00
700	7.0	0.33	1.31	5.19	11.60	32.50	129.00	202.00

จากตาราง ที่ความดันอากาศอัด 7.0 bar (g) ขนาดรูรั่ว 3.0 mm จะได้

ปริมาณอากาศที่รั่ว	=	11.60	ลิตร/วินาที
	=	11.60 x 3	
	=	34.80	ลิตร/วินาที
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดอากาศสูญเสีย	=	0.2856	kW/l/s Free Air

หลังปรับปรุง

อุดรูรั่วทุกจุด จนไม่มีอากาศรั่วไหลออกจากระบบ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากการรั่วของอากาศอัดไม่มี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดลดลง	=	34.80 x 0.2856 x 2,000	
	=	19,877.8	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	19,877.8 x 2.00	
	=	39,756.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

สำหรับการลดการรั่วไหลของอากาศออกจากระบบ จะมีการลงทุนบ้างเล็กน้อย

ตารางเปลี่ยนหน่วยปริมาณและความดัน

หน่วยเริ่มต้น		หน่วยที่เปลี่ยน
ลิตรต่อวินาที (l/s) x 2.11887	=	ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (ft ³ /min , CFM)
ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (ft ³ /min , CFM) x 0.47195	=	ลิตรต่อวินาที (l/s)
ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m ³ /h , CMH) x 0.58857	=	ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (ft ³ /min , CFM)
ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in ² , psi) x 6.895	=	กิโลปาสคาล (kPa)
กิโลปาสคาล (kPa) x 0.145	=	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/in ² , psi)
บาร์ (Bar) x 100	=	กิโลปาสคาล (kPa)

กฎทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับระบบอัดอากาศ

1. การผลิตและจ่ายลม 1 ลิตรต่อวินาที (l/s) ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 0.33 กิโลวัตต์ (kW) ที่ความดัน 700 กิโลปาสคาล (kPa)
2. ความดันลมที่ลดลงทุก ๆ 50 กิโลปาสคาล (kPa) จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 4 เปอร์เซ็นต์ (%)
3. อุณหภูมิของลมขาเข้าที่คอมเพรสเซอร์ลดลงทุก ๆ 3 องศาเซลเซียส (°C) จะสามารถประหยัดพลังงานได้ 1 เปอร์เซ็นต์ (%)
4. ความเร็วของลมในท่อจ่ายลมหลักไม่ควรเกิน 6 เมตรต่อวินาที (m/s)
5. ความเร็วของลมที่เพิ่มสูงขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ (%) จากความเร็วสูงสุดที่แนะนำจะทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 2 เปอร์เซ็นต์ (%) โดยประมาณ

กรณีศึกษาระบบไอน้ำ

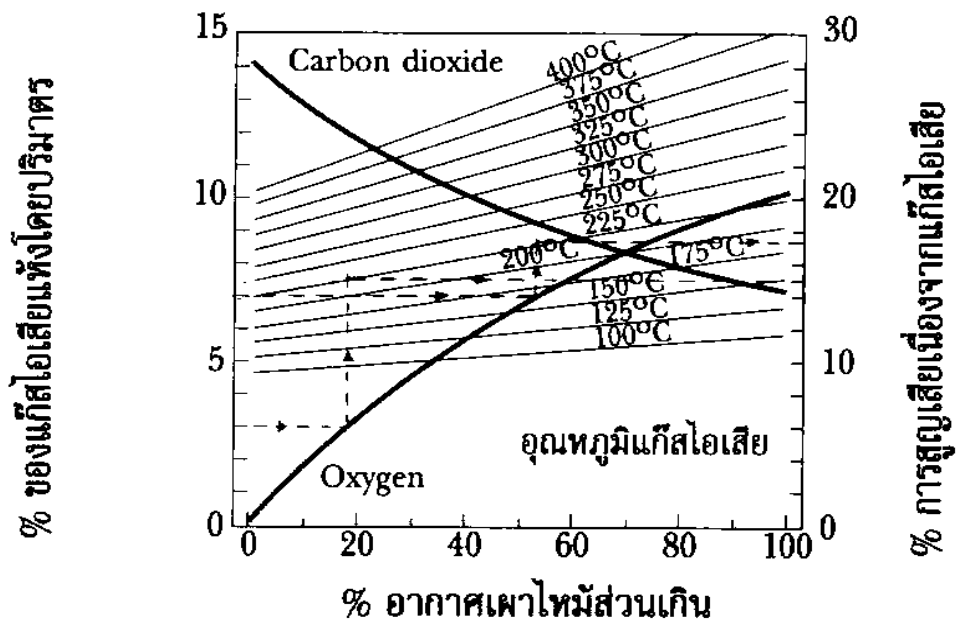
ตัวอย่างที่ 1 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ (การลดปริมาณออกซิเจนส่วนเกินในแก๊สไอเสีย)

จากการสำรวจและตรวจวัดหม้อไอน้ำของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ชนิดเชื้อเพลิง	=	น้ำมันเตา	
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	=	30	ลิตร/ชั่วโมง
ราคาเชื้อเพลิง	=	9.0	บาท/ลิตร
เวลาการใช้งาน	=	3,000	ชั่วโมง/ปี

ผลการตรวจวัดแก๊สไอเสีย

อุณหภูมิแก๊สไอเสีย	=	232	°C
แก๊สออกซิเจนส่วนเกิน	=	7.0	%



รูปที่ 3 การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสีย เมื่อใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

ก่อนปรับปรุง

จากกราฟ ที่ปริมาณออกซิเจน 7 % อุณหภูมิแก๊สไอเสีย 232 °C จะได้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ประมาณ = 17.4 %

หลังปรับปรุง

ปรับแต่งหัวเผาเพื่อลดปริมาณออกซิเจนลงเหลือประมาณ 3 %

จากกราฟ ที่ปริมาณออกซิเจน 3 % อุณหภูมิแก๊สไอเสีย 232 °C จะได้

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ประมาณ = 15.0 %

ผลประหยัด

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	=	2.4	%
เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	=	$30.0 \times 3,000.0 \times 2.4 / 100$	
	=	2,160.0	ลิตร/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	$2,160.0 \times 9.00$	
	=	19,440.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

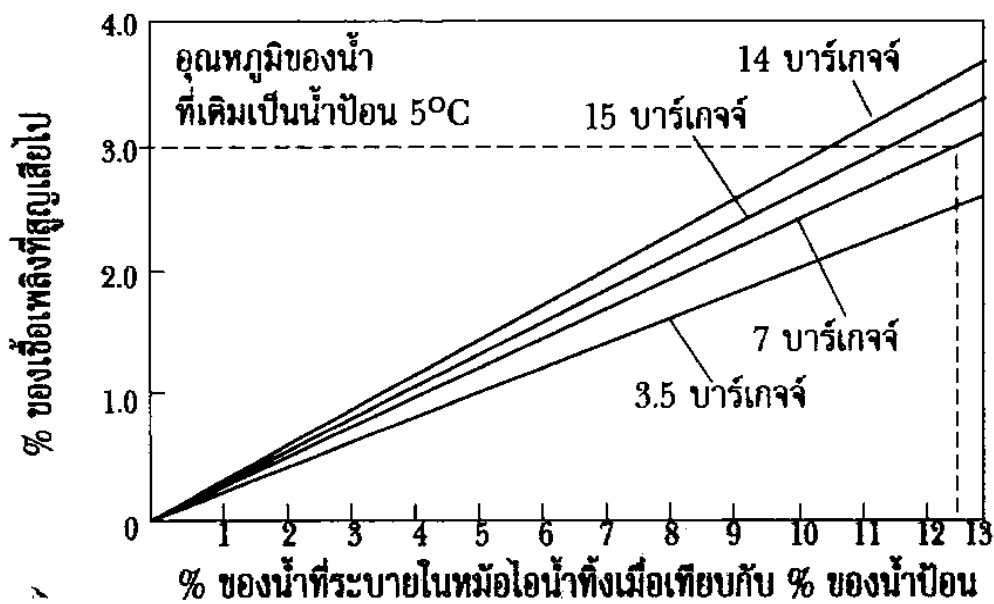
จ้างบริษัทมาทำการตรวจวัดสภาพการเผาไหม้พร้อมกับการปรับแต่งหัวเผา

เงินลงทุนค่าปรับแต่ง	=	3,500	บาท/ครั้ง
จำนวนครั้งในการปรับแต่งประมาณ	=	3	ครั้ง/ปี
รวม	=	10,500	บาท/ปี
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	=	735	บาท
รวมเงินลงทุน	=	11,235	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	0.58	ปี
	=	7.0	เดือน

ตัวอย่างที่ 2 การลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการระบายน้ำในหม้อไอน้ำทิ้ง

จากการสำรวจลักษณะการไหลของน้ำและตรวจวัดค่าสารละลายรวมทั้งหมด (Total Dissolved Solid : TDS) ที่อยู่ในน้ำป้อนและน้ำไหลออกจากหม้อไอน้ำของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ความดันหม้อไอน้ำ	=	7	bar (g)
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	=	30	ลิตร/ชั่วโมง
ราคาเชื้อเพลิง	=	9.0	บาท/ลิตร
เวลาการใช้งาน	=	3,000	ชั่วโมง/ปี
ผลการตรวจวัดน้ำ			
ค่า TDS ของน้ำป้อน	=	200.00	ppm
ค่า TDS ของน้ำไหลออกจาก	=	1,000.00	ppm
อัตราการไหล	=	2	ชั่วโมง/ครั้ง
ค่า TDS ของน้ำที่ต้องการในหม้อไอน้ำ	min	= 3,000.00	ppm
	max	= 3,500.00	ppm



รูปที่ 4 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการระบายน้ำบางส่วนทิ้ง

ก่อนปรับปรุง

เปอร์เซ็นต์การระบายน้ำทิ้งต่อชั่วโมง	=	$200.0 \times 100 / (1,000.0 - 200.0) / 2.0$
	=	12.5 %
ปริมาณการเพิ่มของค่า TDS	=	$(1,000.0 - 200.0) / 2$
	=	400.00 ppm/ชั่วโมง

จากกราฟ ที่เปอร์เซ็นต์น้ำที่ระเหย 12.5 % ความดันไอน้ำ 7.0 bar (g)

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเชื้อเพลิง = 3 %

หลังปรับปรุง

ขยายเวลาในการระบายน้ำทิ้งเป็น = 3,000.0/400.0
= 8 ชั่วโมง/ครั้ง

เปอร์เซ็นต์การระบายน้ำทิ้ง = $200.0 \times 100 / (3,000.0 - 200.0) / 8.0$
= 3.6 %

จากกราฟ ที่เปอร์เซ็นต์น้ำที่ระเหย 3.6 % ความดันไอน้ำ 7.0 bar (g)

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเชื้อเพลิง = 0.7 %

ผลประหยัด

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเชื้อเพลิงลดลง = 2.3 %

เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง = $30.0 \times 3,000.0 \times 2.3 / 100$
= 2,070.0 ลิตร/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = $2,070.0 \times 9.00$
= 18,630.0 บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

ราคาอุปกรณ์ตรวจวัดค่า TDS ของน้ำ = 2,000 บาท

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % = 140 บาท

รวมเงินลงทุน = 2,140 บาท

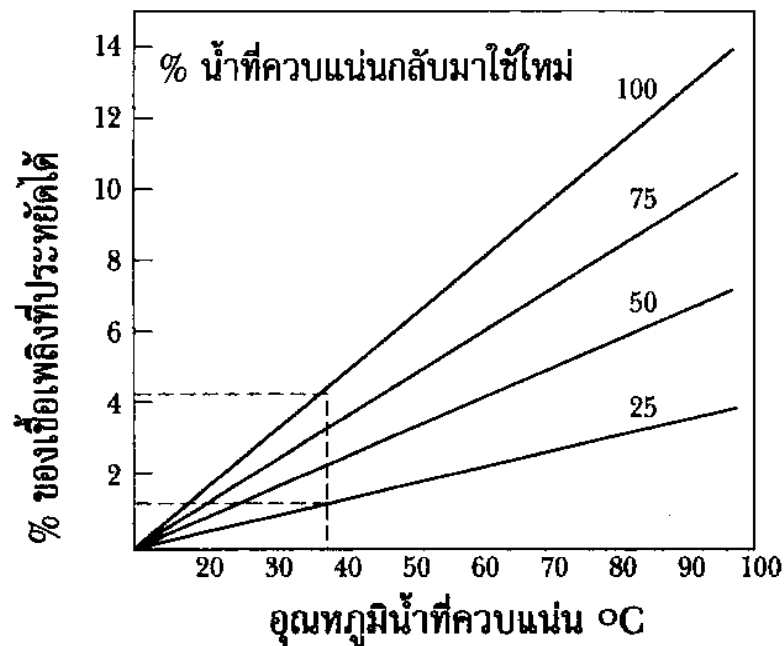
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น = 0.11 ปี

= 1.4 เดือน

ตัวอย่างที่ 3 การลดการสูญเสียจากการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

จากการสำรวจการใช้ไอน้ำของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่าทุกอุปกรณ์ใช้ไอน้ำแบบไม่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง น้ำคอนเดนเสท (Condensate) หลังจากการใช้งานเป็นน้ำที่สะอาดและมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง มีการปล่อยทิ้งจำนวนมาก โดยนำกลับมาใช้งานบางส่วน ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

อุณหภูมิของน้ำคอนเดนเสท	=	38	°C
ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ต่อชั่วโมง	=	25	%
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	=	30	ลิตร/ชั่วโมง
ราคาเชื้อเพลิง	=	9.0	บาท/ลิตร
เวลาการใช้งาน	=	3,000	ชั่วโมง/ปี



รูปที่ 5 การประหยัดพลังงานจากการนำน้ำที่ควบแน่นกลับมาใช้

ก่อนปรับปรุง

จากกราฟ ที่อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท 38.0 C ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ 25.0 %
เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ประหยัด = 1.2 %

หลังปรับปรุง

ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ต่อชั่วโมง = 100 %
เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ประหยัด = 4.2 %

ผลประหยัด

เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ประหยัดเพิ่มขึ้น	=	3.0	%
เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง	=	$30.0 \times 3,000.0 \times 3.0 / 100$	
	=	2,700.0	ลิตร/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	$2,700.0 \times 9.00$	
	=	24,300.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

ราคาระบบนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ประมาณ	=	30,000	บาท
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 %	=	2100	บาท
รวมเงินลงทุน	=	32,100	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	1.32	ปี
	=	15.9	เดือน

ตัวอย่างที่ 4 การเพิ่มจำนวนครั้งในการบำรุงรักษาท่อไผ่

จากการสำรวจ ตรวจวัด ความดันไอน้ำและอุณหภูมิก๊าซไอเสียของหม้อไอน้ำของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ผลดังนี้

ชนิดเชื้อเพลิง	=	เตากรด A
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้	=	30 ลิตร/ชั่วโมง
ราคาเชื้อเพลิง	=	9.0 บาท/ลิตร
ความร้อนค่าของเชื้อเพลิง	=	9,855 kCal/kg
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง	=	0.86 kg/litre
ความดันไอน้ำ	=	6.6 bar (g)
อุณหภูมิไอน้ำที่ความดันไอน้ำอิ่มตัว	=	167.68 °C
อุณหภูมิบรรยากาศ	=	35.1 °C
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย	=	250.0 °C
ก๊าซออกซิเจน	=	4 %
เวลาการใช้งาน	=	3,000 ชั่วโมง/ปี
การทำความสะอาดท่อไผ่	=	2 ครั้ง/ปี

จากผลการตรวจวัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสียดังกล่าวข้างต้น พบว่ามีค่าสูง (ค่าอุณหภูมิไอเสียสูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำโดยทั่วไปประมาณ 20-50 °C) การที่อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนไปกับก๊าซไอเสียมากกว่าปกติ เนื่องจากจำนวนครั้งในการทำความสะอาดท่อไผ่บ่อยเกินไปทำให้เขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้เกาะที่บริเวณผิวท่อมากจะลดปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านไปให้น้ำ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาด เมื่อดำเนินการแล้วจะทำให้อุณหภูมิก๊าซไอเสียต่ำลงโดยกำหนดให้สูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำประมาณ 30 °C การสูญเสียไปกับก๊าซไอเสียลดลง สามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายลงได้ โดยมีรายละเอียดวิธีการคำนวณดังนี้

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง
ปริมาณอากาศทางทฤษฎี Bolie's Equation			
$A_o = (12.38 \times LH/10000) - 1.36$	$(12.38 \times 9,855.0/10000) - 1.36$	$(12.38 \times 9,855.0/10000) - 1.36$	
	10.84	10.84	- Nm ³ /kg _{Fuel}
ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎี Bolie's Equation			
$G_o = (15.75 \times LH/10000) - 3.91$	$(15.75 \times 9,855.0/10000) - 3.91$	$(15.75 \times 9,855.0/10000) - 3.91$	
	11.61	11.61	- Nm ³ /kg _{Fuel}
อัตราส่วนของอากาศ			
$R = 21/(21-O_2)$	$(21/(21-4.0))$	$(21/(21-4.0))$	
	1.24	1.24	-
ปริมาณก๊าซเสียจริง			
$G = G_o + A_o(R-1)$	$11.61 + 10.84 \times (1.24-1)$	$11.61 + 10.84 \times (1.24-1)$	
	14.21	14.21	- Nm ³ /kg _{Fuel}
จำนวนครั้งในการทำความสะอาดท่อไผ่	2	4	- ครั้ง/ปี
อุณหภูมิก๊าซไอเสียเฉลี่ย	$(250.00 + (167.68 + 30))/2$	$(223.84 + (167.68 + 30))/2$	°C
	223.84	210.76	
ปริมาณความร้อนสูญเสียของก๊าซเสีย $30.00 \times 0.86 \times 14.21 \times 0.33 \times (223.84 - 35.10)$		$30.00 \times 0.86 \times 14.21 \times 0.33 \times (210.76 - 35.10)$	
$Q_e = F \times D \times G \times 0.33 \times (T_g - T_a)$	22,834.51	21,252.04	1,582.47 kCal/h
(ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ของก๊าซเสีย = 0.33 kCal/Nm ³ °C)			

ผลประหยัด

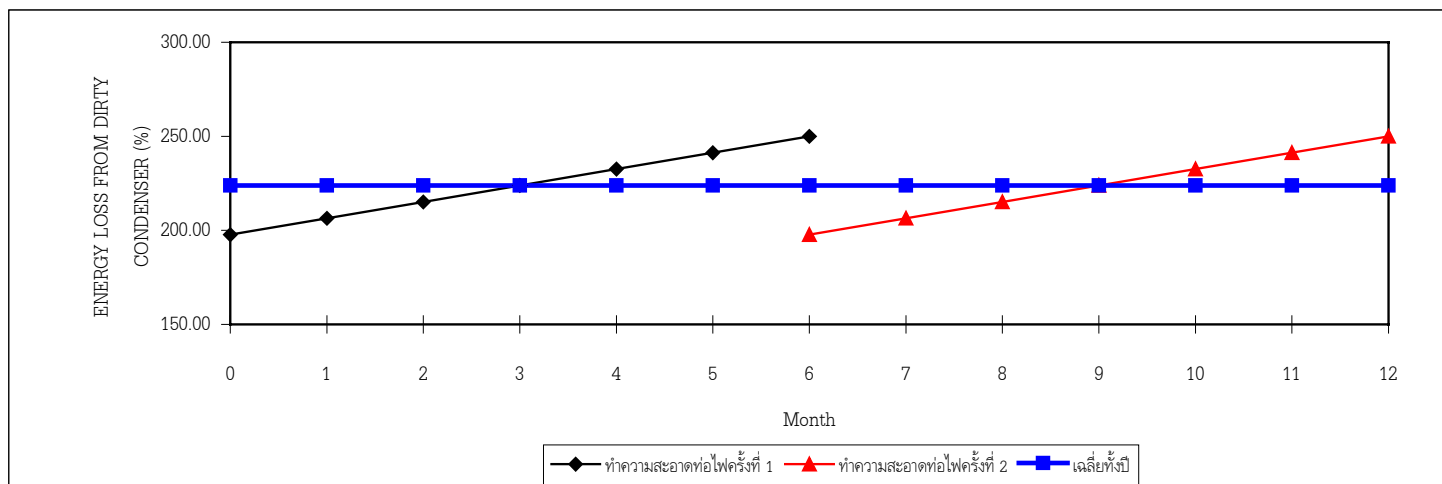
ปริมาณความร้อนจากก๊าซไอเสียลดลง	=	1,582.47	kCal/h
เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิง	=	1,582.47 / 9,855	
	=	0.16	kg/h
	=	0.16 / 0.86	
	=	0.19	litre/h
	=	0.19 x 3,000	
	=	570.0	litre/ปี
คิดเป็นเงิน	=	570.0 x 9.00	
	=	5,130.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

กรณีที่เจ้าหน้าที่ของโรงงานสามารถดำเนินการได้จะไม่มีการลงทุน

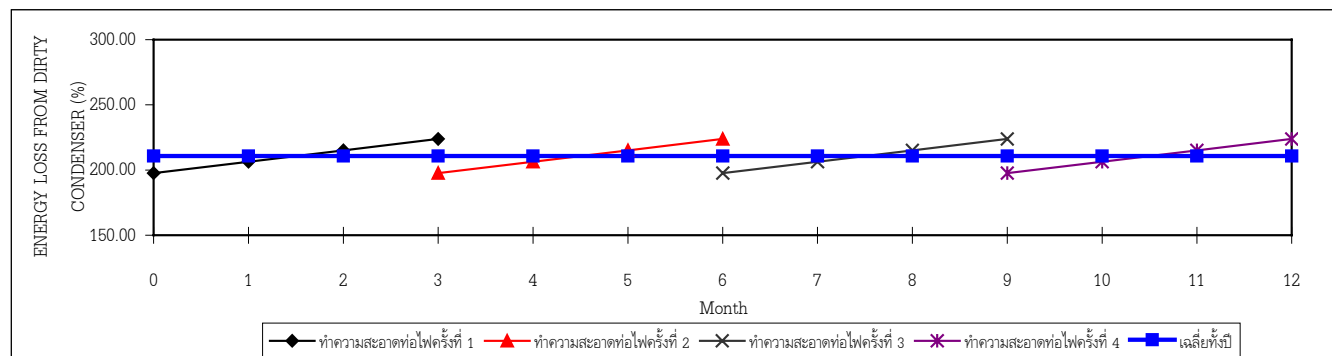
การทำความสะอาดท่อไฟทุก 6 เดือน

ความดันไอน้ำ (bar (g))	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	เฉลี่ย
อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	-
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	197.68	206.40	215.12	223.84	232.56	241.28	250.00							223.84
							197.68	206.40	215.12	223.84	232.56	241.28	250.00	223.84
อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่า	30.00	38.72	47.44	56.16	64.88	73.60	82.32							-
อุณหภูมิไอน้ำ (°C)							30.00	38.72	47.44	56.16	64.88	73.60	82.32	
เวลาหลังจากทำความสะอาด	0	1	2	3	4	5	6							
ท่อไฟ							0	1	2	3	4	5	6	6
	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	



การทำความสะอาดท่อไฟทุก 3 เดือน

ความดันไอน้ำ (bar (g))	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	เฉลี่ย
อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	167.68	-
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	197.68	206.40	215.12	223.84	206.40	215.12	223.84	206.40	215.12	223.84	206.40	215.12	223.84	210.76
				197.68										
อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่า อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	30.00	38.72	47.44	56.16	38.72	47.44	56.16	38.72	47.44	56.16	38.72	47.44	56.16	43.08
				30.00										
เวลาหลังจากทำความสะอาด ท่อไฟ	0	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
				0										
	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month	



ภาคผนวก ข

การเปลี่ยนหน่วย

ตารางการเปลี่ยนหน่วย

	(psi)	in. of water (60 °F)	in. Hg (32 °F)	mm Hg (atmosphere)	mm Hg (32 °F)	bar	kgf/cm ²	pascal
Pressure	1	27.708	2.0360	0.068046	51.715	0.068948	0.07030696	6894.8
	0.036091	1	0.073483	2.4559 X 10 ⁻³	1.8665	2.4884 X 10 ⁻³	2.537 X 10 ⁻³	248.84
	0.491154	13.609	1	0.033421	25.4	0.033864	0.034532	3386.4
	14.696	407.19	29.921	1	760	1.01325	1.03323	101325
	0.0193368	0.53578	0.03937	0.00131579	1	0.0013332	0.0013595	133.32
	14.5038	401.86	29.53	0.98692	750.062	1	1.01972	10 ⁵
	14.223	394.1	28.959	0.96784	735.559	0.98066	1	98066.5
	1.45038 X 10 ⁻⁴	4.0186 X 10 ⁻³	2.953 X 10 ⁻⁴	9.8692 X 10 ⁻⁶	0.0075	10 ⁻⁵	1.0192 X 10 ⁻⁵	1

	lb	grain	ounce	kg
Mass	1	7000	16	0.45359
	1.4286 X 10 ⁻⁴	1	2.2857 X 10 ⁻³	6.4800 X 10 ⁻⁵
	0.0625	437.5	1	0.02835
	2.20462	15432	35.274	1

	cubic inch	cubic foot	gallon	litre	cubic metre(m ³)
Volume	1	5.787 X 10 ⁻⁴	4.329 X 10 ⁻³	0.0163871	1.63871 X 10 ⁻⁵
	1728	1	7.48055	28.317	0.028317
	231.0	0.13368	1	3.7854	0.0037854
	61.02374	0.035315	0.264173	1	0.001
	61,023.74	35.315	264.173	1000	1

	Btu	ft-lb	calorie(cal)	joule(J)	watt-second(W-s)
Energy	1	778.17	251.9957	1055.056	1055.056
	1.2851 X 10 ⁻³	1	0.32383	1.355818	1.355818
	3.9683 X 10 ⁻³	3.08803	1	4.1868	4.1868
	9.4782 X 10 ⁻³	0.73756	0.23885	1	1

	lb/ft ³	lb/gal	g/cm ³	kg/m ³ (g/L)
Density	1	0.133680	0.016018	16.018463
	7.48055	1	0.119827	119.827
	62.4280	8.34538	1	1000
	0.0624280	0.008345	0.001	1

	ft ³ /lb	gal/lb	cm ³ /g	m ³ /kg (L/g)
Specific Volume	1	7.48055	62.4280	0.0624280
	0.133680	1	8.34538	0.008345
	0.016018	0.119827	1	0.001
	16.018463	119.827	1000	1

	Btu/lb-°F	cal/(g-K)	kJ/(kg-K)
Specific Heat or Entropy	1	1	4.1868
	1.0	1	4.1868
	0.23885	0.23885	1

	Btu/lb	cal/g	J/g
Enthalpy	1	0.55556	2.326
	1.8	1	4.1868
	0.42992	0.23885	1

	Btu/h-ft-°F	cal/(s-cm-°C)	W/(m-K)
Thermal Conductivity	1	4.1338×10^{-3}	1.7307
	241.91	1	418.68
	0.57779	2.3885×10^{-3}	1

Viscosity (absolute)	1 poise = 1 dyne-sec/cm ² = 0.1 Pa-s = 1 g/(cm-s)				
	poise	lb _f -s/ft ²	lb _f -h/ft ²	kg/(m-s)	N-s/m ²
	1	2.0885×10^{-3}	5.8014×10^{-7}	0.1	0.1
	478.8026	1	2.7778×10^{-4}	47.88026	47.88026
	1,723,689	3,600	1	172,369	172,369
	10	0.020885	5.8014×10^{-6}	1	1
	14.8819	3.1081×10^{-2}	8.6336×10^{-6}	1.4882	1.4882

	Btu/h-ft ² -°F	cal/(s-cm ² -°C)	kcal/(h-m ² -°C)	W/(m ² -K)
Coefficient of Heat Transfer	1	1.3562×10^{-4}	4.8824	5.6783
	7373.5	1	36,000	41,868
	0.2048	2.778×10^{-5}	1	1.1630
	0.1761	2.3885×10^{-5}	0.8598	1

การเปลี่ยนหน่วยพลังงาน

ตัวอย่าง พลังงานความร้อนปริมาณ 40 MJ จะเท่ากับพลังงานความร้อนปริมาณเท่าใดในหน่วย kCal

วิธีทำ พลังงานความร้อน 40 MJ = 40×10^6 J

พลังงานความร้อน 1 J = 0.23885 Cal

ดังนั้น พลังงานความร้อนในหน่วย kCal หาได้จาก

$$= 40 \times 10^6 \text{ J} \times \left(\frac{0.23885 \text{ Cal}}{1 \text{ J}} \right) = 9,554,000 \text{ Cal}$$

โดยที่ = 9,554,000 Cal = $9,554 \times 10^3$ Cal

= 9,554 kCal = (1 k = 10^3)

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงคุณสมบัติ

ค่าความร้อนเชื้อเพลิง

Type	Unit	Kcal/Unit	Toe/10**6 Unit	Mj/Unit	10**3 Btu/Unit
<i>Modern Energy</i>					
1. Crude Oil	litre	8680	860.00	36.33	34.44
2. Condensate	litre	7900	782.72	33.07	31.35
3. Natural Gas					
3.1 Wet	scf.	248	24.57	1.04	0.98
3.2 Dry	scf.	244	24.18	1.02	0.97
4. Petroleum Products					
4.1 LPG	litre	6360	630.14	26.62	25.24
4.2 Gasoline	litre	7520	745.07	31.48	29.84
4.3 Aviation Fuel	litre	8250	817.40	34.53	32.74
4.4 Keroscne	litre	8250	817.40	34.53	32.74
4.5 Diesel	litre	8700	861.98	36.42	34.52
4.6 Fuel Oil	litre	9500	941.24	39.77	37.70
4.7 Bitumen	litre	9840	974.93	41.19	39.05
4.8 Petroleum Coke	litre	8400	832.26	35.16	33.33
5. Electricity	kWh	860	85.21	3.60	3.41
6. Hydro-Electric	kWh	2236	221.54	9.36	8.87
7. Geothermal-Electric	kWh	9500	941.24	39.77	37.70
8. Coal (Import)	kg.	6300	624.19	26.37	25.00
9. Coke	kg.	6600	653.92	27.63	26.19
10. Anthracite	kg.	7500	743.09	31.40	29.76
11. Lignitc					
11.1 Li	kg.	4400	435.94	18.42	17.46
11.2 Krabi	kg.	2600	257.60	10.88	10.32
11.3 Mae Moh	kg.	2500	247.70	10.47	9.92
11.4 Chae Khon	kg.	3610	357.67	15.11	14.32
<i>Renewable Energy</i>					
12. Fuel Wood	kg.	3820	378.48	15.99	15.16
13. Charcoal	kg.	6900	683.64	28.88	27.38
14. Paddy Husk	kg.	3440	340.83	14.40	13.65
15. Bagasse	kg.	1800	178.34	7.53	7.14
16. Garbage	kg.	1160	114.93	4.86	4.60
17. Saw Dust	kg.	2600	257.60	10.88	10.32
18. Agricultural Waste	kg.	3030	300.21	12.68	12.02

ตารางไอน้ำ (Steam Tables)

Pressure		Temperature	Specific enthalpy			Specific volume steam
bar	kPa	°C	Water (hf) kJ/kg	Evaporation (hfg) kJ/kg	Steam (hg) kJ/kg	m ³ /kg
0.3	30.0	69.10	289.23	2 336.1	2 625.3	5.229
0.5	50.0	81.33	340.49	2 305.4	2 645.9	3.240
0.75	75.0	91.78	384.39	2 278.6	2 663.0	2.217
0.95	95.0	98.20	411.43	2 261.8	2 673.2	1.777
1.00	100.0	99.63	417.51	2 257.9	2 675.4	1.694
1.013	101.3	100.00	419.06	2 257.0	2 676.0	1.673
0	0	100.00	419.06	2 257.0	2 676.0	1.673
0.10	10.0	102.66	430.2	2 250.2	2 680.2	1.533
0.20	20.0	105.10	440.8	2 243.4	2 684.2	1.414
0.30	30.0	107.39	450.4	2 237.2	2 687.6	1.312
0.40	40.0	109.55	459.7	2 231.3	2 691.0	1.225
0.50	50.0	111.61	468.3	2 225.6	2 693.9	1.149
0.60	60.0	113.56	476.4	2 220.4	2 696.8	1.088
0.70	70.0	115.40	484.1	2 215.4	2 699.5	1.024
0.80	80.0	117.14	491.6	2 210.5	2 702.1	0.971
0.90	90.0	118.80	498.9	2 205.6	2 704.5	0.923
1.00	100.0	120.42	505.6	2 201.1	2 706.7	0.881
1.10	110.0	121.96	512.2	2 197.0	2 709.2	0.841
1.20	120.0	123.46	518.7	2 192.8	2 711.5	0.806
1.30	130.0	124.90	524.6	2 188.7	2 713.3	0.773
1.40	140.0	126.28	530.5	2 184.8	2 715.3	0.743
1.50	150.0	127.62	536.1	2 181.0	2 717.1	0.714
1.60	160.0	128.89	541.6	2 177.3	2 718.9	0.689
1.70	170.0	130.13	547.1	2 173.7	2 720.8	0.665
1.80	180.0	131.37	552.3	2 170.1	2 722.4	0.643
1.90	190.0	132.54	557.3	2 166.7	2 724.0	0.622
2.00	200.0	133.69	562.2	2 163.3	2 725.5	0.603
2.20	220.0	135.88	571.7	2 156.9	2 728.6	0.568
2.40	240.0	138.01	580.7	2 150.7	2 731.4	0.536
2.60	260.0	140.00	589.2	2 144.7	2 733.9	0.509
2.80	280.0	141.92	597.4	2 139.0	2 736.4	0.483
3.00	300.0	143.75	605.3	2 133.4	2 738.7	0.461
3.20	320.0	145.46	612.9	2 128.1	2 741.0	0.440
3.40	340.0	147.20	620.0	2 122.9	2 742.9	0.422
3.60	360.0	148.84	627.1	2 117.8	2 744.9	0.405
3.80	380.0	150.44	634.0	2 112.9	2 746.9	0.389
4.00	400.0	151.96	640.7	2 108.1	2 748.8	0.374
4.50	450.0	155.55	656.3	2 096.7	2 753.0	0.342
5.00	500.0	158.92	670.9	2 086.0	2 756.9	0.315
5.50	550.0	162.08	684.6	2 075.7	2 760.3	0.292
6.00	600.0	165.04	697.5	2 066.0	2 763.5	0.272
6.50	650.0	167.83	709.7	2 056.8	2 766.5	0.255
7.00	700.0	170.50	721.4	2 047.7	2 769.1	0.240
7.50	750.0	173.02	732.5	2 039.2	2 771.7	0.227
8.00	800.0	175.43	743.1	2 030.9	2 774.0	0.215
8.50	850.0	177.75	753.3	2 022.9	2 776.2	0.204
9.00	900.0	179.97	763.0	2 015.1	2 778.1	0.194
9.50	950.0	182.10	772.5	2 007.5	2 780.0	0.185
10.00	1 000.0	184.13	781.6	2 000.1	2 781.7	0.177
10.50	1 050.0	186.05	790.1	1 993.0	2 783.3	0.171
11.00	1 100.0	188.02	798.8	1 986.0	2 784.8	0.163
11.50	1 150.0	189.82	807.1	1 979.1	2 786.3	0.157
12.00	1 200.0	191.68	815.1	1 972.5	2 787.6	0.151
12.50	1 250.0	193.43	822.9	1 965.4	2 788.8	0.148
13.00	1 300.0	195.10	830.4	1 959.6	2 790.0	0.141
13.50	1 350.0	196.62	837.9	1 953.2	2 791.1	0.136
14.00	1 400.0	198.35	845.1	1 947.1	2 792.2	0.132
14.50	1 450.0	199.92	852.1	1 941.0	2 793.1	0.128
15.00	1 500.0	201.45	859.0	1 935.0	2 794.0	0.124
15.50	1 550.0	202.92	865.7	1 928.8	2 794.9	0.119
16.00	1 600.0	204.38	872.3	1 923.4	2 795.7	0.117
17.00	1 700.0	207.17	885.0	1 912.1	2 797.1	0.110
18.00	1 800.0	209.90	897.2	1 901.3	2 798.5	0.105
19.00	1 900.0	212.47	909.0	1 890.5	2 799.5	0.100
20.00	2 000.0	214.96	920.3	1 880.2	2 800.5	0.099 4
21.00	2 100.0	217.35	931.3	1 870.1	2 801.4	0.090 6
22.00	2 200.0	219.65	941.9	1 860.1	2 802.0	0.086 8
23.00	2 300.0	221.85	952.2	1 850.4	2 802.6	0.083 2

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

Gauge pressure		Temperature °C	Specific enthalpy			Specific volume steam m ³ /kg
bar	kPa		Water (hf) kJ/kg	Evaporation (hfg) kJ/kg	Steam (hg) kJ/kg	
24.00	2 400.0	224.02	962.2	1 840.9	2 803.1	0.079 7
25.00	2 500.0	226.12	972.1	1 831.4	2 803.5	0.076 8
26.00	2 600.0	228.15	981.6	1 822.2	2 803.8	0.074 0
27.00	2 700.0	230.14	990.7	1 818.3	2 804.0	0.071 4
28.00	2 800.0	232.05	999.7	1 804.4	2 804.1	0.068 9
29.00	2 900.0	233.93	1 008.6	1 795.6	2 804.2	0.066 6
30.00	3 000.0	235.78	1 017.0	1 787.0	2 804.1	0.064 5
31.00	3 100.0	237.55	1 025.6	1 778.5	2 804.1	0.062 5
32.00	3 200.0	239.28	1 033.9	1 770.0	2 803.9	0.060 5
33.00	3 300.0	240.97	1 041.9	1 761.8	2 803.7	0.058 7
34.00	3 400.0	242.63	1 049.7	1 753.8	2 803.5	0.057 1
35.00	3 500.0	244.26	1 057.7	1 745.5	2 803.2	0.055 4
36.00	3 600.0	245.86	1 065.7	1 737.2	2 802.9	0.053 9
37.00	3 700.0	247.42	1 072.9	1 729.5	2 802.4	0.052 4
38.00	3 800.0	248.95	1 080.3	1 721.6	2 801.9	0.051 0
39.00	3 900.0	250.42	1 087.4	1 714.1	2 801.5	0.049 8
40.00	4 000.0	251.94	1 094.6	1 706.3	2 800.9	0.048 5
41.00	4 100.0	253.34	1 101.6	1 698.3	2 799.9	0.047 3
42.00	4 200.0	254.74	1 108.6	1 691.2	2 799.8	0.046 1
43.00	4 300.0	256.12	1 115.4	1 683.7	2 799.1	0.045 1
44.00	4 400.0	257.50	1 122.1	1 676.2	2 798.3	0.044 1
45.00	4 500.0	258.82	1 128.7	1 668.9	2 797.6	0.043 1
46.00	4 600.0	260.13	1 135.3	1 666.6	2 796.9	0.042 1
47.00	4 700.0	261.43	1 142.2	1 654.5	2 796.6	0.041 2
48.00	4 800.0	262.73	1 148.1	1 647.1	2 795.2	0.040 3
49.00	4 900.0	264.00	1 154.5	1 639.9	2 794.4	0.039 4
50.00	5 000.0	265.26	1 160.8	1 632.8	2 793.6	0.038 6
51.00	5 100.0	266.45	1 166.6	1 626.9	2 792.6	0.037 8
52.00	5 200.0	267.67	1 172.6	1 619.0	2 791.6	0.037 1
53.00	5 300.0	268.84	1 178.7	1 612.0	2 790.7	0.036 4
54.00	5 400.0	270.02	1 184.6	1 605.1	2 789.7	0.035 7
55.00	5 500.0	271.20	1 190.5	1 598.2	2 788.7	0.035 0
56.00	5 600.0	272.33	1 196.3	1 591.3	2 787.6	0.034 3
57.00	5 700.0	273.45	1 202.1	1 584.5	2 786.6	0.033 7
58.00	5 800.0	274.55	1 207.8	1 577.7	2 785.5	0.033 1
59.00	5 900.0	275.65	1 213.4	1 571.0	2 784.4	0.032 5
60.00	6 000.0	276.73	1 218.9	1 564.4	2 783.3	0.031 9
61.00	6 100.0	277.80	1 224.5	1 557.6	2 782.1	0.031 4
62.00	6 200.0	278.85	1 230.0	1 550.9	2 780.9	0.030 8
63.00	6 300.0	279.89	1 235.4	1 544.3	2 779.7	0.030 3
64.00	6 400.0	280.92	1 240.8	1 537.3	2 778.5	0.029 8
65.00	6 500.0	281.95	1 246.1	1 531.2	2 777.3	0.029 3
66.00	6 600.0	282.95	1 251.4	1 524.7	2 776.1	0.028 8
67.00	6 700.0	283.95	1 256.7	1 518.1	2 774.8	0.028 3
68.00	6 800.0	284.93	1 261.9	1 511.6	2 773.5	0.027 8
69.00	6 900.0	285.90	1 267.0	1 501.1	2 772.1	0.027 4
70.00	7 000.0	286.85	1 272.1	1 498.7	2 770.8	0.027 0
71.00	7 100.0	287.80	1 277.3	1 492.2	2 769.5	0.026 6
72.00	7 200.0	288.75	1 282.3	1 485.8	2 768.1	0.026 2
73.00	7 300.0	289.69	1 287.3	1 479.4	2 766.7	0.025 8
74.00	7 400.0	290.60	1 292.3	1 473.0	2 765.3	0.025 4
75.00	7 500.0	291.51	1 297.2	1 466.6	2 763.8	0.025 0
76.00	7 600.0	292.41	1 302.3	1 460.2	2 762.5	0.024 6
77.00	7 700.0	293.91	1 307.0	1 453.9	2 760.9	0.024 2
78.00	7 800.0	294.20	1 311.9	1 447.6	2 759.9	0.023 9
79.00	7 900.0	295.10	1 316.7	1 441.3	2 758.0	0.023 6
80.00	8 000.0	295.96	1 321.5	1 435.0	2 756.5	0.023 3
81.00	8 100.0	296.81	1 326.2	1 428.7	2 754.9	0.022 9
82.00	8 200.0	297.66	1 330.9	1 422.5	2 753.4	0.022 6
83.00	8 300.0	298.50	1 335.7	1 416.2	2 751.9	0.022 3
84.00	8 400.0	299.35	1 340.3	1 410.0	2 750.3	0.022 0
85.00	8 500.0	300.20	1 345.0	1 403.8	2 748.8	0.021 7
86.00	8 600.0	301.00	1 349.6	1 397.6	2 747.2	0.021 4
87.00	8 700.0	301.81	1 354.2	1 391.3	2 745.5	0.021 1
88.00	8 800.0	302.61	1 358.8	1 385.2	2 744.0	0.020 8
89.00	8 900.0	303.41	1 363.3	1 379.0	2 742.3	0.020 5
90.00	9 000.0	304.20	1 367.8	1 372.7	2 740.5	0.020 2
92.00	9 200.0	305.77	1 376.8	1 360.3	2 737.1	0.019 7
94.00	9 400.0	307.24	1 385.7	1 348.0	2 733.7	0.019 2
96.00	9 600.0	308.83	1 394.5	1 335.7	2 730.2	0.018 7
98.00	9 800.0	310.32	1 403.2	1 323.3	2 726.5	0.018 3
100.00	10 000.0	311.79	1 411.9	1 310.9	2 722.8	0.017 8
102.00	10 200.0	313.24	1 420.5	1 298.7	2 719.2	0.017 4
104.00	10 400.0	314.67	1 429.0	1 286.3	2 715.3	0.017 0
106.00	10 600.0	316.08	1 437.5	1 274.0	2 711.5	0.016 6
108.00	10 800.0	317.46	1 445.9	1 261.7	2 707.6	0.016 2
110.00	11 000.0	318.83	1 454.3	1 249.3	2 703.6	0.015 8
112.00	11 200.0	320.17	1 462.6	1 237.0	2 699.6	0.015 4
114.00	11 400.0	321.50	1 470.8	1 224.6	2 695.4	0.015 0
116.00	11 600.0	322.81	1 479.0	1 212.2	2 691.2	0.014 7
118.00	11 800.0	324.10	1 487.2	1 199.8	2 687.0	0.014 4
120.00	12 000.0	325.38	1 495.4	1 187.3	2 682.7	0.014 1

ชื่อหนังสือ : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ

เจ้าของกรรมสิทธิ์ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
75/6 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
กรมโรงงานอุตสาหกรรมขอสงวนสิทธิ์ ห้ามมิให้ผู้ใดนำส่วนหนึ่งส่วนใด
หรือตอนหนึ่งตอนใดของเนื้อเรื่อง และอื่น ๆ ที่ประกอบในคู่มือนี้ไปคัดลอก
โดยวิธีพิมพ์ดีด เรียงตัว สำเนา ถ่ายฟิล์ม ถ่ายเอกสาร พิมพ์โดยเครื่องจักร
หรือวิธีการอื่นใด เพื่อนำไปแจก จำหน่าย เว้นแต่ได้รับอนุญาตจาก
กรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นลายลักษณ์อักษร

พิมพ์เมื่อ : มิถุนายน 2547 จำนวน 100 เล่ม

คณะกรรมการประสานและรับมอบงาน : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
นายวิโรจน์ เซาว์จิรพันธุ์
นายศุภวัฒน์ ธาดาจารุมงคล
นายศุภกิจ บุญศิริ
นายวิศิษฐ์ศักดิ์ กฤษณะพันธุ์

ที่ปรึกษา : ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ที่ปรึกษาโครงการ : บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเม้นท์ จำกัด

