

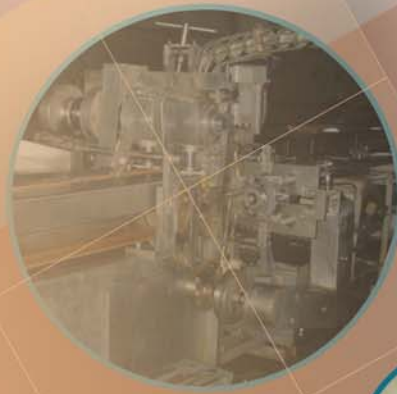


กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุม
ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทอาหารกระป๋อง



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 โรงงานอาหารกระป๋อง โรงงานห้องเย็น และโรงงานสิ่งทอ
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยการปรับแต่งหัวเผา

ผลจากการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้จัดทำคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋อง 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 :	ข้อมูลทั่วไป.....	1-1
บทที่ 2 :	รายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง	
2.1	กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง	2-1
2.2	กระบวนการผลิตปลากระป๋อง	2-3
2.3	กระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปู, หอย) บรรจุกระป๋อง	2-5
2.4	สรุปกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง	2-7
บทที่ 3 :	รายละเอียดอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต	
3.1	อุปกรณ์หลักที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต	3-2
3.2	อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ในกระบวนการผลิต	3-5
บทที่ 4 :	ลักษณะการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง	
4.1	กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง	4-1
4.2	กระบวนการผลิตปลากระป๋อง	4-2
4.3	กระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปู, หอย) และข้าวโพดบรรจุกระป๋อง	4-3
4.4	ภาพรวมของการใช้พลังงานและลักษณะการสูญเสียพลังงานความร้อน (เชื้อเพลิง) ใน กระบวนการผลิต	4-4
4.5	การแปลความหมายของแผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน	4-6
4.6	การแปลความหมายของดัชนีการใช้พลังงาน	4-6
4.7	ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานที่ได้ทำการตรวจวัด	4-7
บทที่ 5 :	การตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน	
5.1	พื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงาน	5-1
5.2	การตรวจวัดเบื้องต้น	5-5
5.3	อุปกรณ์การตรวจวัด ซึ่งต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัด	5-9
5.4	การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน	5-19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 : การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง	
6.1 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานสำหรับอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิต.....	6-1
6.2 แนวทางอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบความร้อน	6-3
6.3 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้า	6-7
6.4 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	6-14
6.5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศ.....	6-15
6.6 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบจ่ายน้ำ	6-15
6.7 การอนุรักษ์พลังงานในระบบหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)	6-16
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

ข้อมูลทั่วไป

อุตสาหกรรมอาหารมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศในระดับสูง โดยมีมูลค่ารวมของอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 28.3 ของ GDP มีอัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 13 ต่อปี และมีมูลค่าเพิ่มในตัวอุตสาหกรรมประมาณร้อยละ 19 ของมูลค่าเพิ่มของภาคอุตสาหกรรม เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบในประเทศมากกว่าร้อยละ 80 และมีต้นทุนการใช้ทรัพยากรต่ำ จึงมีความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบ และความสามารถในการแข่งขันสูง อีกทั้งยังเป็นตลาดรองรับผลผลิตทางการเกษตรและเป็นแหล่งจ้างงานมากกว่า 10 ล้านคน ในอุตสาหกรรมอาหารเกษตร และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีโอกาสขยายตัวเพื่อช่วงชิงส่วนแบ่งทางการตลาดของโลกในระดับสูงอีกด้วย

อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องจัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ มลพิษทางน้ำ อากาศ และของเสีย ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นโรงงานแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร และสัตว์น้ำ ซึ่งในปัจจุบันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมยุทธศาสตร์ของชาติ และได้รับการส่งเสริมสนับสนุนจากภาครัฐ หากโรงงานได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ และทันสมัย และนำมาตรการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมมาใช้ ก็จะสามารถลดต้นทุนการผลิต เพิ่มความสามารถและโอกาสในการแข่งขัน ประหยัดเงินตราต่างประเทศจากการช่วยลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงของประเทศโดยรวม รวมไปถึงสนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นผู้นำในการส่งออกสินค้าอาหาร และคงความเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญของโลกอีกด้วย

โรงงานผลิตอาหารกระป๋องโดยมาก จะเป็นโรงงานในกลุ่มโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) เนื่องจากมีขนาดของกิจการสอดคล้องกับข้อกำหนดของวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม ดังที่แสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ข้อกำหนดของวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม (SMEs)

ประเภท	ขนาดย่อม		ขนาดกลาง	
	จำนวน (คน)	สินทรัพย์ถาวร (ล้านบาท)	จำนวน (คน)	สินทรัพย์ถาวร (ล้านบาท)
กิจการการผลิต	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	51-200	เกินกว่า 50-200
กิจการการบริการ	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50	51-200	เกินกว่า 50-200
กิจการค้าส่ง	ไม่เกิน 25	ไม่เกิน 50	26-50	เกินกว่า 50-100
กิจการค้าปลีก	ไม่เกิน 15	ไม่เกิน 30	16-30	เกินกว่า 30-60

ที่มา : กฎกระทรวง กำหนดจำนวนการจ้างงาน และมูลค่าสินทรัพย์ถาวรของวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม พ.ศ. 2545

ผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋องประกอบด้วย ผักและผลไม้กระป๋อง ปลากระป๋อง และอาหารทะเลกระป๋อง โดยมีข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตและการส่งออกของอุตสาหกรรมผักและผลไม้กระป๋อง ดังนี้

ผู้ผลิต : รวม 536 ราย

- ขนาดเล็ก (คนงานไม่เกิน 50 คน) : 233 ราย
- ขนาดกลาง (คนงานไม่เกิน 51-200 คน) : 120 ราย
- ขนาดใหญ่ (คนงานไม่เกิน 200 คน) : 183 ราย

จำนวนคนงาน : 85,000 คน

โครงสร้างราคา :

- การใช้ปัจจัยการผลิตในประเทศ (ร้อยละ 75.5)
- การใช้ปัจจัยการผลิตนอกประเทศ (ร้อยละ 18.9)
- Approx. margin (ร้อยละ 5.6)

โครงสร้างการส่งออก

- ผลไม้กระป๋อง และแปรรูป ร้อยละ 80
- ผักกระป๋อง และแปรรูป ร้อยละ 20

แนวโน้มการส่งออกปี 2546

การส่งออกผักผลไม้กระป๋อง และแปรรูปในช่วง 10 เดือนแรก (มกราคม – ตุลาคม 2546) มีมูลค่า 743.85 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาเดียวกันของปี 2545 ร้อยละ 23.80 โดยสินค้าส่งออกสำคัญในกลุ่มนี้ คือ สับปะรดกระป๋อง และน้ำสับปะรด ขยายตัวร้อยละ 30.94 และ 66.27 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อน การส่งออกขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องก็เพราะสินค้าสับปะรดแปรรูปของไทยมีคุณภาพดี และเป็นที่ยอมรับในตลาดส่งออกหลัก เมื่อเทียบกับสินค้าจากประเทศคู่แข่ง เช่น ใต้หวัน และมาเลเซีย นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากการที่วัตถุดิบมีมากพอที่จะนำไปใช้ในการแปรรูป อย่างไรก็ตาม การส่งออกสินค้าผักผลไม้กระป๋อง และแปรรูป ในช่วง 2 เดือนสุดท้ายของปี 2546 อาจชะลอตัวเนื่องจากผลกระทบจากค่าเงินบาทมีแนวโน้มแข็งค่าขึ้น สถานการณ์น้ำท่วมภาคใต้ และการประกาศขึ้นค่าระวางสินค้าทางเรือของบริษัทขนส่ง ถึงแม้ว่าตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายนไปจนถึงกุมภาพันธ์จะเริ่มเข้าสู่ฤดูกาลสับปะรดแล้วก็ตาม

ตลาดหลัก : สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ แคนาดา เยอรมนี

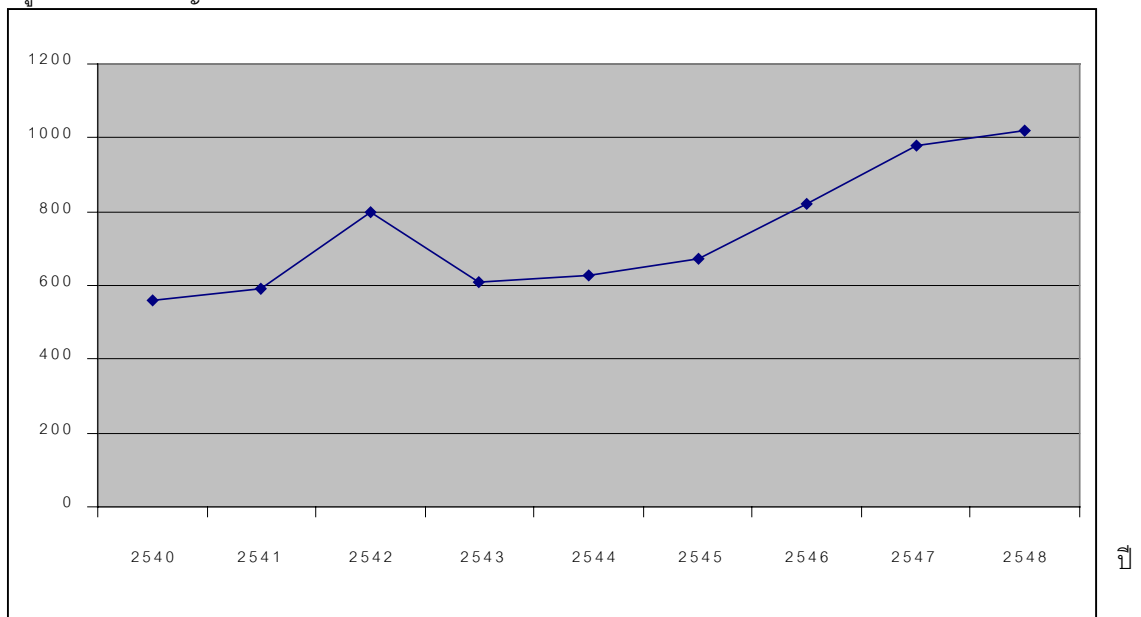
ตลาดที่มีศักยภาพ : ออสเตรเลีย รัสเซีย จีน สิงคโปร์ สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์

เป้าหมายการส่งออกปี 2546 : มูลค่า 866.27 ล้านดอลลาร์สหรัฐ อัตราขยายตัวร้อยละ 18 ทั้งนี้จากสถานการณ์ปัจจุบันคาดว่าจะทั้งปีการส่งออกจะขยายตัวร้อยละ 24 มากกว่าเป้าที่ตั้งไว้

ตารางที่ 1.2 แสดงสัดส่วนตลาดการส่งออกที่สำคัญ

	มูลค่า : ล้าน USD			อัตราขยายตัว : ร้อยละ			สัดส่วน : ร้อยละ		
	2544	2545	2546 (ม.ค.-ต.ค.)	2544	2545	2546 (ม.ค.-ต.ค.)	2544	2545	2546 (ม.ค.-ต.ค.)
1. สหรัฐอเมริกา	184.66	222.55	214.62	18.44	20.52	16.95	29.17	30.31	28.85
2. เนเธอร์แลนด์	90.18	90.41	81.82	-12.19	0.26	8.25	14.25	12.32	11.00
3. ญี่ปุ่น	54.23	63.59	73.88	-15.02	17.27	45.32	8.57	8.66	9.93
4. แคนาดา	25.78	29.78	41.66	31.53	15.52	74.83	4.07	4.06	5.60
5. เยอรมนี	36.51	35.62	37.26	-0.37	-2.45	31.95	5.77	4.85	5.01
6. สหราชอาณาจักร	24.45	28.44	27.14	11.78	16.34	14.64	3.86	3.87	3.65
7. สเปน	11.91	14.63	18.37	-18.97	22.78	51.42	1.88	1.99	2.47
8. ฝรั่งเศส	16.24	17.62	16.54	-11.75	8.48	13.30	2.57	2.40	2.22
9. ออสเตรเลีย	16.17	17.41	15.77	-24.45	7.70	20.47	2.55	2.37	2.12
10. เกาหลีใต้	11.41	17.50	14.98	46.67	53.40	-1.50	1.80	2.38	2.01
รวม 10 ประเทศ	471.53	537.55	542.05	1.88	14.00	22.99	74.49	73.22	72.87
อื่น	161.47	196.58	201.80	1.58	21.74	26.04	25.51	26.78	27.13
มูลค่ารวม	633.00	734.13	743.85	1.80	15.97	23.80	100.00	100.00	100.00

มูลค่า : ล้านเหรียญ



รูปที่ 1-1 กราฟมูลค่าการส่งออกผักผลไม้กระป๋องและแปรรูป

ในอุตสาหกรรมการผลิตผักผลไม้ และอาหารกระป๋อง สิ่งที่สำคัญที่สุด คือ กระบวนการผลิตที่ได้มาตรฐาน สะอาด ปลอดภัย ดังนั้นผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋องควรมีความรู้ ความเข้าใจในระบบ

การจัดการคุณภาพด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร หรือเรียกย่อๆ ว่า HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) ซึ่งจะเป็นระบบคุณภาพการผลิตที่สำคัญที่จะถูกนำมาเป็นเงื่อนไขสำคัญสำหรับการส่งออกสินค้าประเภทอาหารกระป๋องของไทยไปยังต่างประเทศ โดยรายละเอียดของระบบการจัดการคุณภาพ HACCP มีดังนี้

HACCP คืออะไร

HACCP คือ ระบบการจัดการคุณภาพด้านความปลอดภัยของสินค้าอาหาร ซึ่งใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตในทุกกระบวนการผลิตแทนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย รวมถึงการวางมาตรการในการป้องกันและตรวจติดตามแก้ไข เพื่อให้ได้อาหารที่ผลิตนั้นมีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์ สารเคมี และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ที่อาจมีอันตรายต่อผู้บริโภค

ปัจจุบัน HACCP มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการส่งออก เนื่องจากประเทศผู้นำเข้ารายใหญ่ อาทิ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น แคนาดา เกาหลีใต้ มีการใช้ระบบ HACCP หรือระบบผลิตอาหารระบบอื่นที่คล้ายคลึงกัน เพื่อคุ้มครองผู้บริโภค ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ที่ส่งออกในตลาดดังกล่าวต้องผ่านการรับรองระบบ HACCP

หลักการของระบบ HACCP

ระบบ HACCP ประกอบด้วยหลัก 7 ประการดังนี้

1. วิเคราะห์อันตราย (Conduct a Hazard Analysis) ระบุอันตรายที่มีโอกาสเกิดขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับการผลิตอาหารทุกขั้นตอนตั้งแต่วัตถุดิบ เครื่องปรุง การผลิต การแปรรูป การเก็บรักษา การกระจาย/การจำหน่าย จนถึงผู้บริโภค นอกจากนี้ต้องประเมินหาโอกาสที่จะเกิดอันตราย และระบุมาตรการป้องกันสำหรับอันตรายเหล่านั้น
2. กำหนดจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Determine the Critical Control Points) กำหนดจุด/กระบวนการ/ขั้นตอนปฏิบัติงานที่ต้องควบคุมให้ได้ เพื่อสามารถกำจัดอันตราย หรือลดโอกาสที่จะเกิดอันตรายให้ต่ำที่สุด คำว่าขั้นตอน หมายถึง ขั้นตอนใดก็ได้ในกระบวนการผลิตอาหาร ซึ่งรวมถึง การผลิต การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การรับวัตถุดิบ การเตรียมสูตรส่วนผสม การแปรรูป การเก็บรักษา ฯลฯ
3. กำหนดค่าวิกฤต (Establish critical Limits) กำหนดค่าวิกฤตที่ต้องปฏิบัติตาม เพื่อให้มั่นใจว่าจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมยังอยู่ภายใต้การควบคุม
4. กำหนดระบบตรวจติดตามเพื่อควบคุมจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Establish a System to Monitor Control of the CCP) กำหนดระบบตรวจติดตามจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมโดยทดสอบ หรือสังเกตตามช่วงเวลาในตารางที่กำหนดไว้ล่วงหน้า และแน่นอน
5. กำหนดการแก้ไข (Establish the Corrective Action) กำหนดการแก้ไขเมื่อการตรวจติดตามแสดงว่าจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมใดไม่อยู่ภายใต้การควบคุม
6. กำหนดการทวนสอบ (Establish Procedures for Verification) กำหนดกระบวนการทวนสอบ เพื่อยืนยันว่าระบบ HACCP กำหนดการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

7. กำหนดระบบเอกสารและการเก็บบันทึกข้อมูล (Establish Documentation and Records Keeping)
- กำหนดระบบเอกสารที่เกี่ยวกับกระบวนการทั้งหมด และการบันทึกข้อมูลให้เหมาะสมกับหลักการที่กล่าวมา และประยุกต์ใช้

ประโยชน์ของ HACCP

HACCP เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในอาหาร ช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในอุตสาหกรรมอาหาร ประโยชน์ของระบบ HACCP อาจแบ่งออกเป็นประโยชน์ทางด้านการเงิน และที่ไม่เกี่ยวกับด้านการเงินได้ ดังนี้

ด้านการเงิน

1. ลดการแก้ไขผลิตภัณฑ์ที่เสียหายไม่ได้คุณภาพ
2. ลดภาระค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยเฉพาะด้านคุณภาพความปลอดภัย
3. ลดจำนวนตัวอย่างผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องสุ่มตรวจ
4. ยืดอายุของผลิตภัณฑ์
5. ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และการผลิต

ด้านที่ไม่เกี่ยวกับการเงิน

1. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารภายในองค์กร
2. เกิดภาพพจน์ที่ดีต่อองค์กร และผลิตภัณฑ์
3. เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน
4. เป็นระบบคุณภาพด้านความปลอดภัยของอาหารที่สามารถขอรับการรับรองได้

นอกจากนี้ระบบ HACCP ยังช่วยกระตุ้นให้หน่วยงานมีการติดตามการทำงานแก้ไขปัญหา และปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง และเป็นระบบ ซึ่งเป็นการเพิ่มความมั่นใจในความปลอดภัยของอาหารให้กับผู้บริโภคอีกด้วย

การวางระบบ HACCP ในโรงงานอาหาร

การนำระบบ HACCP มาประยุกต์ใช้ประกอบด้วยการดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดนโยบายในการจัดทำระบบ HACCP เพื่อเป็นการกำหนดทิศทางให้องค์กร ผู้บริหารระดับสูงจึงควรวางแผนนโยบายที่ชัดเจนให้พนักงานทราบถึงบทบาทและเป้าหมายขององค์กร เพื่อให้สามารถดำเนินงานไปในแนวเดียวกัน
2. จัดตั้งคณะทำงาน HACCP การพัฒนาแผน HACCP ที่มีประสิทธิภาพนั้น ทีมงานจะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่จะจัดตั้งระบบ ซึ่งจะทำได้โดยจัดตั้งคณะทำงานมาจากหน่วยงาน/ส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตทุกหน่วย
3. กำหนดขอบข่ายการศึกษา โดยกำหนดรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ (Describe Product) ที่จะจัดตั้งระบบ HACCP ทีมงาน HACCP ต้องกำหนดขอบข่ายของการจัดทำระบบ HACCP ให้ชัดเจนว่าจะจัดทำในผลิตภัณฑ์ใด กระบวนการผลิต หรือสายการผลิตใดรวมถึงสถานที่ผลิตด้วย โดยต้องบรรยายรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ ซึ่งรวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับความปลอดภัย เช่น ส่วนประกอบโครงการทางเคมี/กายภาพ (รวมทั้งค่า a_w (Water Activity) ค่าความเป็นกรดต่าง ฯลฯ) กระบวนการผลิตหลัก ภาชนะบรรจุ อายุการเก็บ สภาพการเก็บ และวิธีการในการกระจายผลิตภัณฑ์
ระบุวิธีการนำไปบริโภค (Identify Intended Use) จุดประสงค์ของการนำไปใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำผลิตภัณฑ์ไปบริโภค ในกรณีเฉพาะอาจจำเป็นต้องพิจารณากลุ่มคนซึ่งมีโอกาส
4. สร้างแผนภูมิการผลิต (Construct Flow Diagram) ทีมงาน HACCP ควรร่วมกันสร้างแผนภูมิการผลิต ซึ่งจะต้องครอบคลุมทุกขั้นตอนในกระบวนการตั้งแต่การรับวัตถุดิบเข้ามาในโรงงาน การเก็บรักษา การแปรรูป ตลอดจนถึงการขนส่งจนถึงมือผู้บริโภค
5. การทวนสอบแผนภูมิการผลิต ณ บริเวณผลิตจริง (On-Site Verification of Flow Diagram) ทีมงาน HACCP ยืนยันความถูกต้องของแผนภูมิการผลิตโดยการตรวจสอบเทียบกับการปฏิบัติงานผลิตทุกขั้นตอน และทุกช่วงของการปฏิบัติงาน ทั้งนี้อาจจำเป็นต้องแก้ไขแผนภูมิการผลิตตามความเหมาะสม
6. ระบุอันตรายทั้งหมดที่มีโอกาสเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต รวมถึงสาเหตุของอันตราย และพิจารณาหามาตรการป้องกันควบคุมอันตรายที่ระบุไว้ (หลักการที่ 1) (List all Potential Hazards Associate with Each Step, Conduct A Hazard Analysis and Consider Any Measures to Control Identified Hazards, Principle 1) ทีมงาน HACCP จะต้องระบุอันตรายในแง่ต่างๆ ทั้งทางชีวภาพ ทางเคมี และทางกายภาพที่คาดการณ์อย่างมีเหตุผลว่าจะเกิดขึ้นได้ ตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ การแปรรูป และการกระจายสินค้าจนกระทั่งถึงการบริโภค โดยทีมงาน HACCP จะวิเคราะห์อันตรายที่มีโอกาสเกิดขึ้น เพื่อระบุไว้สำหรับแผน HACCP โดยการพิจารณาถึง
 - โอกาสที่จะเกิดอันตราย รวมทั้งความรุนแรงของอันตรายต่อสุขภาพ
 - การประเมินผลคุณสมบัติและ/หรือเชิงปริมาณของอันตราย
 - การรอดชีวิต หรือการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง
 - การเกิด หรือการมีอยู่ของสารพิษ สารเคมี หรือวัสดุทางกายภาพในอาหาร และสภาวะที่ทำให้เกิดสิ่งแปลกปลอมข้างต้น

หลังจากนั้นทีมงาน HACCP จะต้องพิจารณาระบบมาตรการควบคุมอันตรายแต่ละอย่าง ซึ่งอาจเป็นมาตรการที่สร้างขึ้นเฉพาะจุด หรือเฉพาะอันตรายในขั้นตอนนั้นๆ หรือเป็นโปรแกรมสุขลักษณะสุขาภิบาลใดที่โรงงานจัดทำไว้ หรือแม้แต่ขั้นตอนในกระบวนการผลิตใดขั้นตอนหนึ่ง ในการที่จะควบคุมอันตรายที่ระบุ ซึ่งอาจต้องใช้มาตรการควบคุมมากกว่าหนึ่งอย่าง และมาตรการควบคุมอย่างเดียวกัน อาจสามารถควบคุมอันตรายได้หลายอย่าง

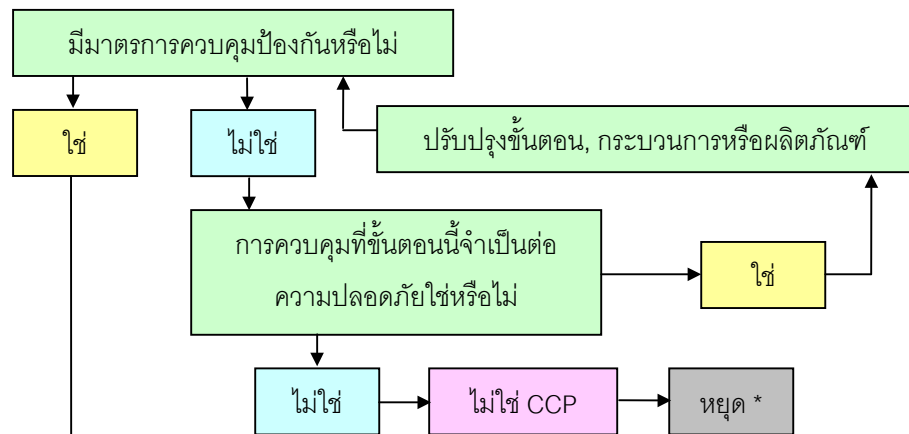
7. การวิเคราะห์หาจุดควบคุมวิกฤต (หลักการที่ 2) (Determine Critical Control Points, Principle 2) การวิเคราะห์ที่ต้องควบคุมในระบบ HACCP อาจทำได้หลายวิธี แต่เพื่อความสะดวกในการตัดสินใจ Codex ได้แนะนำแผนผังการตัดสินใจ (Decision tree) (ดังแผนภาพที่แนบ) เพื่อใช้ในกระบวนการต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการฆ่าสัตว์ การแปรรูป การเก็บ การแพร่กระจายสินค้าหรือกระบวนการอื่นๆ ซึ่งผังนี้จะประกอบด้วยคำถามทั้งหมด 4 คำถาม เมื่อทีมงานทำการศึกษา และตอบคำถามทั้ง 4 คำถามแล้ว จะได้ผลลัพธ์ว่าจุดใดในกระบวนการผลิตจะเป็นจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม หากไม่ควบคุมที่จุดนั้นแล้ว อันตรายอาจมีโอกาสดังเหลือติดไปกับผลิตภัณฑ์จนก่อให้เกิดอันตรายกับผู้บริโภคได้
8. การกำหนดค่าวิกฤตของแต่ละจุดวิกฤต (หลักการที่ 3) (Establish Critical Limit for Each CCP, Principle 3) ค่าจำกัดวิกฤต ควรเป็นค่าที่ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจในการแบ่งระหว่างที่ยอมรับได้กับการยอมรับไม่ได้ของอันตรายที่มีโอกาสเกิดขึ้น ซึ่งควรมีลักษณะเฉพาะสำหรับแต่ละจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม เกณฑ์ตัดสินใจที่มักนิยมใช้เพื่อกำหนดค่าจำกัดวิกฤตรวมถึงการวัดอุณหภูมิ เวลา ความชื้น ความเป็นกรดต่าง และลักษณะทางประสาทสัมผัส เป็นต้น
9. การจัดทำโปรแกรมการเฝ้าระวังติดตามสำหรับจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมแต่ละจุด (หลักการที่ 4) (Establish A Monitoring System for Each CCP, Principle 4) การเฝ้าระวังติดตามได้แก่ การวัดค่าหรือสังเกตจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมตามช่วงเวลาที่ยาวนานไว้เปรียบเทียบกับค่าจำกัดวิกฤตที่กำหนด เพื่อติดตามว่าจุดวิกฤตนั้นอยู่ในการควบคุมหรือไม่ วิธีการตรวจติดตามต้องสามารถหาการสูญเสียหากวิกฤตไม่อยู่ในการควบคุม ยิ่งไปกว่านั้น การตรวจติดตามต้องสามารถให้ข้อมูลสำหรับการปรับปรุงแก้ไขที่ทันเวลา เพื่อให้มั่นใจว่าการควบคุมกระบวนการสามารถป้องกันการเบี่ยงเบนไปจากค่าวิกฤต
10. การกำหนดวิธีการแก้ไข (หลักการที่ 5) (Establish Corrective Actions, Principle 5) ต้องมีการจัดทำวิธีการแก้ไขเฉพาะสำหรับจุดวิกฤตเฉพาะสำหรับจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมแต่ละจุดในระบบ HACCP เมื่อพบว่าการควบคุมเกิดการเบี่ยงเบนไปจากค่าจำกัดที่กำหนด การแก้ไขต้องแน่ใจว่าจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมกลับอยู่ภายใต้การควบคุมอีกครั้ง
11. กำหนดกระบวนการในการทวนสอบ (หลักการที่ 6) (Establish Verification Procedures, Principle 6) การทวนสอบ และวิธีตรวจประเมินกระบวนการทำงาน และทวนสอบ รวมทั้งการสุ่มตัวอย่าง และการตรวจวิเคราะห์สามารถใช้ตัดสินว่าระบบ HACCP ดำเนินการได้ถูกต้องเพียงใด ความถี่ของการทวนสอบควรจะเพียงพอที่จะยืนยันว่าระบบ HACCP ยังดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ
12. จัดทำระบบเอกสาร (หลักการที่ 7) (Establish Documentation and Record Keeping, Principle 7) การเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องเป็นสิ่งจำเป็นในการประยุกต์ใช้ระบบ HACCP การดำเนินงานต่างๆ ในระบบ HACCP จะต้องบันทึกเป็นหลักฐาน ระบบเอกสาร และการเก็บบันทึกจะต้องมีระบบที่เหมาะสมกับลักษณะ และขนาดของกระบวนการ

หน่วยงานที่ให้การรับรองระบบ HACCP ในประเทศไทย

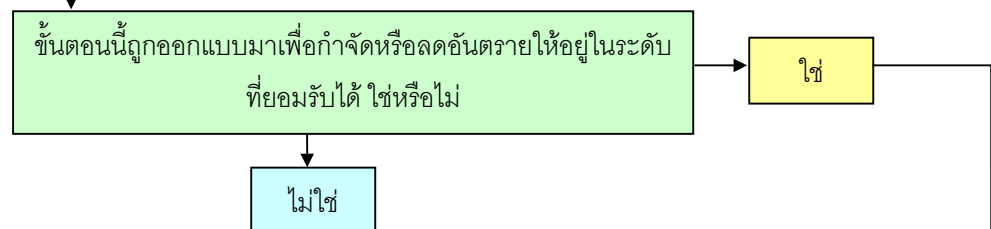
1. อย./สมอ. สำหรับทุกประเภทผลิตภัณฑ์อาหาร
2. กรมประมง สำหรับผลิตภัณฑ์ประมง
3. กรมปศุสัตว์ สำหรับผลิตภัณฑ์ปศุสัตว์
4. SGS สำหรับทุกประเภทผลิตภัณฑ์อาหาร
5. กรมวิชาการเกษตร สำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้

ตัวอย่างของผังการตัดสินใจ (Decision Tree) เพื่อระบุวิกฤตที่ต้องควบคุม (CCP)

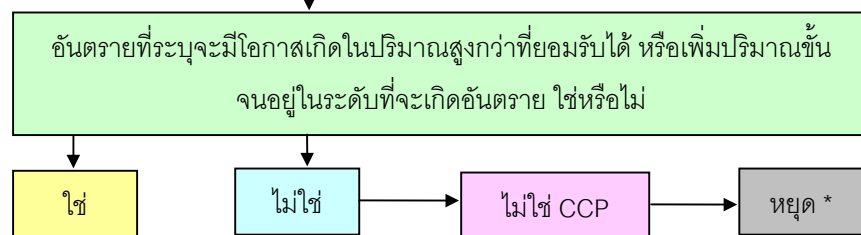
คำถามที่ 1 :



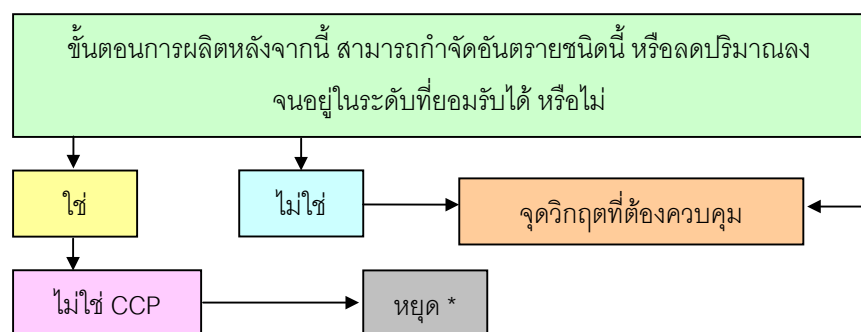
คำถามที่ 2 :



คำถามที่ 3 :



คำถามที่ 4 :



* ตรวจสอบอันตรายอื่นที่ระบุได้ในกระบวนการผลิตต่อไป

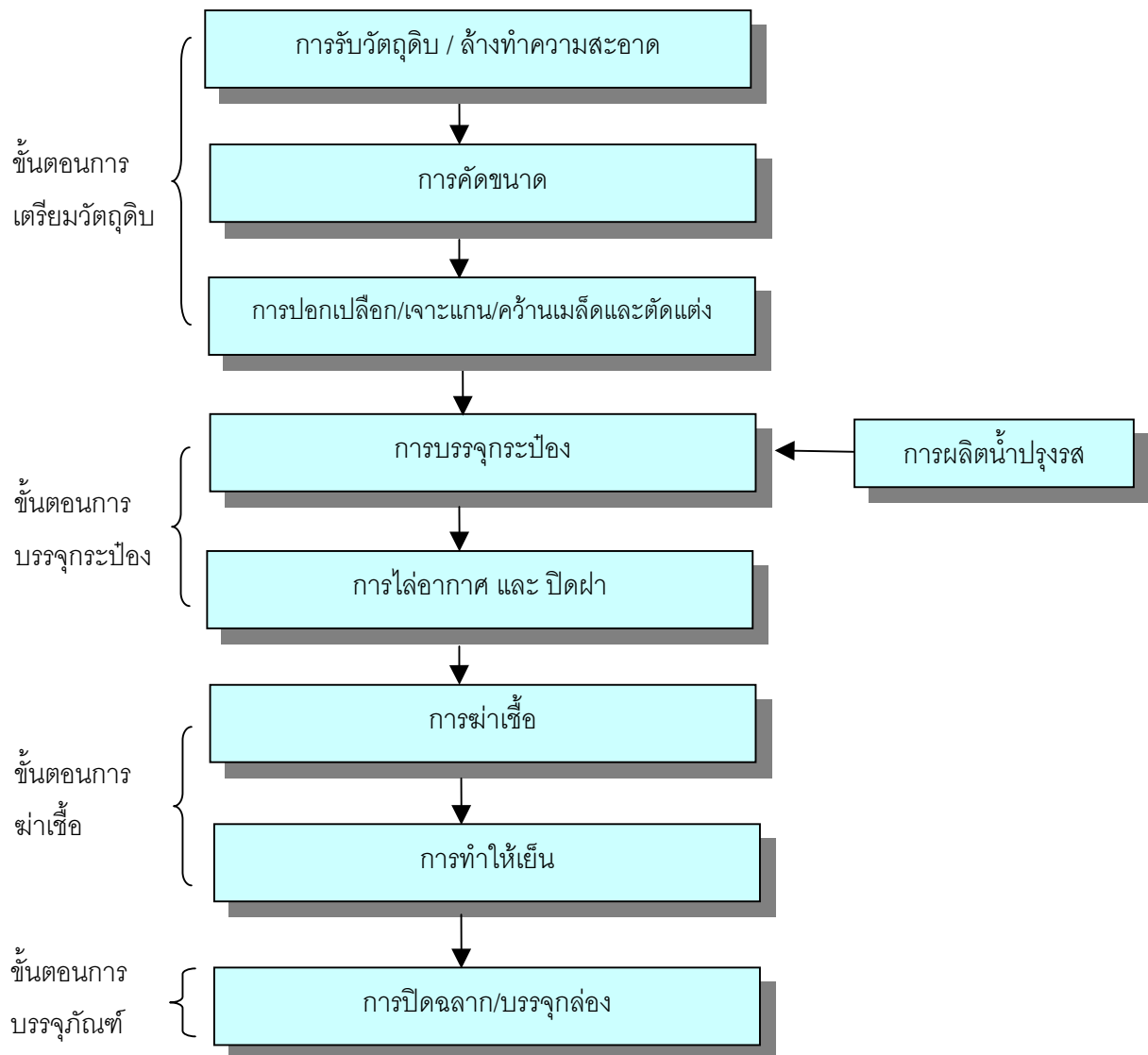
** ระดับที่ยอมรับได้และไม่ได้นั้น จะต้องถูกกำหนดไว้ในวัตถุประสงค์รวม ในการระบุจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมของแผน HACCP

บทที่ 2

รายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

สำหรับบทนี้จะแสดงถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง ประกอบด้วยกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง กระบวนการผลิตปลากระป๋อง และกระบวนการผลิตอาหารทะเลกระป๋อง โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการผลิตในภาพรวมทั้งหมดของอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง เพื่อความเข้าใจพื้นฐานในลำดับขั้นตอนการผลิตก่อนจะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และลักษณะการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตในบทต่อไป

2.1 กระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง



รูปที่ 2-1 แสดงกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

รายละเอียดกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

1. การรับวัตถุดิบ/ล้างทำความสะอาด

วัตถุดิบที่รับเข้ามาโดยทั่วไปจะถูกล้างด้วยน้ำเพื่อล้างทำความสะอาด คุณสมบัติของน้ำที่ใช้ล้างจะแตกต่างกันตามชนิดของวัตถุดิบ เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของวัตถุดิบ

ในการล้างทำความสะอาด อาจใช้การล้างวัตถุดิบด้วยระบบสายพานลำเลียงผ่านระบบสเปรย์น้ำเพื่อล้างทำความสะอาด และควรจัดให้มีวัตถุดิบเต็มสายพานลำเลียงอยู่เสมอ เพื่อประหยัดเวลา และลดการสูญเสีย น้ำล้างทำความสะอาด

2. การคัดขนาด

วัตถุดิบที่ล้างทำความสะอาดแล้วจะถูกลำเลียงด้วยสายพานลำเลียงเพื่อทำการคัดขนาด

3. การปอกเปลือก/เจาะแกน/คว้านเมล็ด และตัดแต่ง

ในขั้นตอนปอกเปลือก หรือเจาะแกนจะพบการสูญเสียเนื้อวัตถุดิบติดไปกับเปลือก จากนั้นเนื้อวัตถุดิบที่ได้จะถูกลำเลียงด้วยสายพานไปตัดแต่ง เช่น ตัดเป็นแว่น เป็นต้น

4. การผลิตน้ำปรุงรส

น้ำปรุงรสที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋องเป็นน้ำเชื่อมสำหรับปรุงรสให้กับผลไม้ในกระป๋อง โดยผลิตจากส่วนผสมของน้ำตาลและน้ำ เมื่อน้ำปรุงรสผ่านการผลิตจนเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำไปบรรจุลงในกระป๋องเพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

5. การบรรจุกระป๋อง

ในการบรรจุกระป๋องพนักงานจะทำการคัดเลือกเนื้อผลไม้ที่ตัดแต่งแล้ว และมีขนาดเท่ากันสภาพใกล้เคียงกันบรรจุลงกระป๋อง และ ส่งไปเติมน้ำปรุงรส

6. ไล่อากาศ และปิดฝา

หลังจากเติมน้ำปรุงแล้ว ผลไม้กระป๋องจะถูกส่งไปไล่อากาศภายในกระป๋องก่อนปิดผนึก การไล่อากาศอาจใช้ระบบปั๊มสุญญากาศ หรือใช้ระบบการไล่อากาศโดยใช้ไอน้ำก็ได้ โรงงานผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้ระบบการไล่อากาศด้วยไอน้ำ และอุปกรณ์หลักที่ใช้ก็คือตู้ไล่อากาศ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่า คุณสมบัติของไอน้ำที่ใช้ในการไล่อากาศจะอยู่ที่ประมาณ 100°C ถึง 120°C

7. การฆ่าเชื้อ

หลังจากปิดผนึกแล้วผลไม้กระป๋องจะผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ การควบคุมอุณหภูมิ และเวลาเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญในการฆ่าเชื้อ หม้อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นชนิดใช้ไอน้ำ และเป็นระบบปิดเนื่องจากการใช้ไอน้ำปริมาณมาก และเป็นเวลานาน อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ประมาณ 90°C ถึง 120°C ขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์

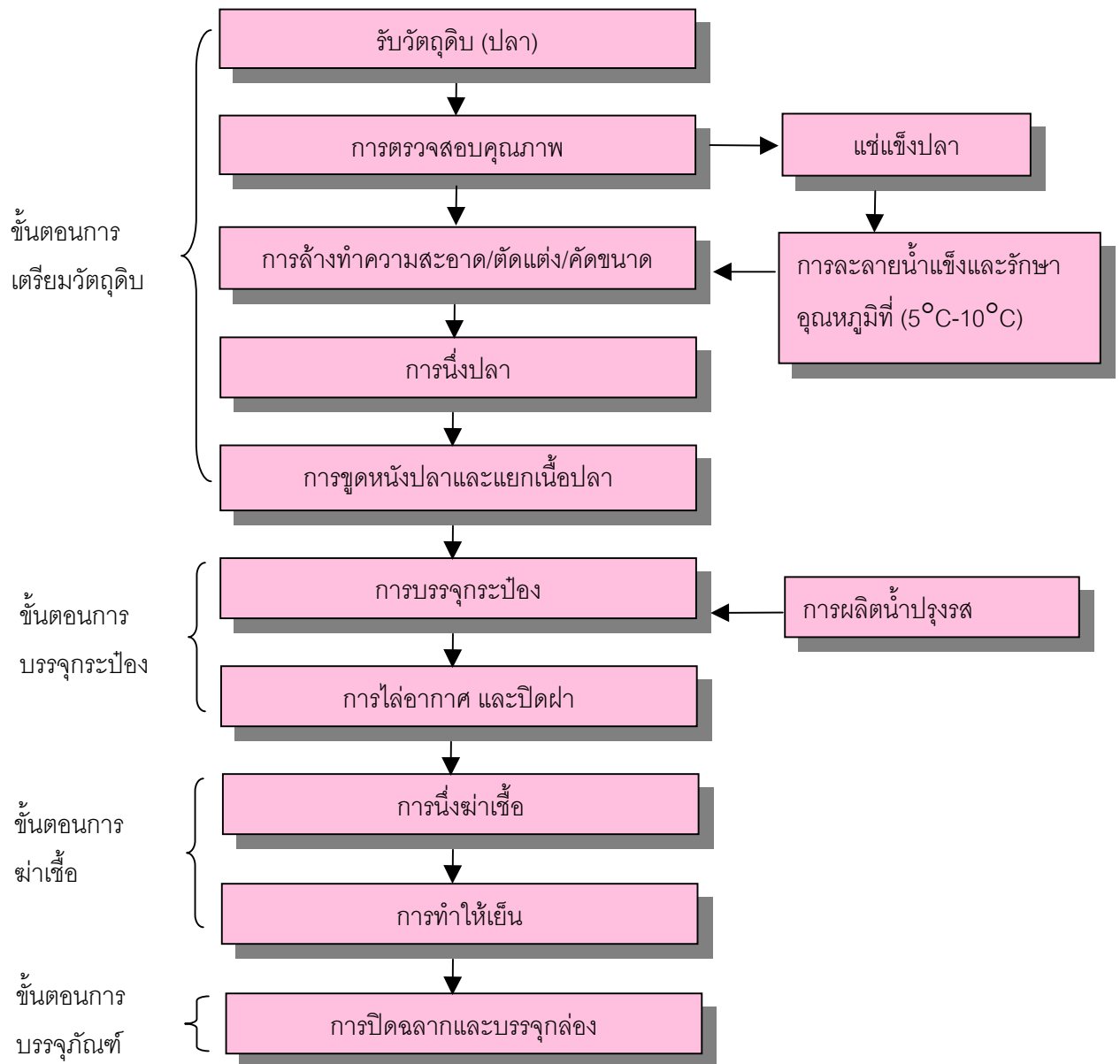
8. การทำให้เย็น

ภายหลังจากฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จะต้องลดอุณหภูมิของผลไม้กระป๋องลงโดยเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้รสชาติและคุณค่าของ ผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อ และน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งน้ำ และนำกลับมาใช้ใหม่

9. การปิดฉลากและบรรจุกล่อง

หลังจากผลไม้กระป๋องมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง และถูกทำให้แห้งสนิทแล้ว จะถูกนำมาปิดฉลากและบรรจุกล่องเพื่อเก็บรักษาและขนส่งต่อไป

2.2 กระบวนการผลิตปลากระป๋อง



รูปที่ 2-2 แสดงกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

รายละเอียดกระบวนการผลิตปลากระป๋อง

1. รับวัตถุดิบ/ล้างทำความสะอาด

วัตถุดิบที่รับเข้ามาโดยทั่วไปจะถูกล้างทำความสะอาดเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เช่น ความสด จากนั้นจะถูกส่งไปแช่แข็ง หรือส่งไปทำปลากระป๋อง

2. การละลายน้ำแข็ง และรักษาอุณหภูมิ

ในกรณีที่วัตถุดิบเป็นปลาแช่แข็ง จะนำมาละลายน้ำแข็ง โดยใส่ไว้ในบ่อพักแล้วเติมน้ำ จากนั้นรอและรักษาอุณหภูมิในตัวปลาประมาณ 5°C ถึง 10°C เพื่อป้องกันการเสื่อมของเนื้อปลาเนื่องจากจุลินทรีย์

3. การล้างทำความสะอาด/ตัดแต่ง/คัดขนาด

ปลาที่ผ่านการละลายน้ำแข็งจะถูกนำมาผ่าท้อง ควักไส้และล้างเพื่อลดจุลินทรีย์ลงพร้อมทั้งตัดแต่งและคัดขนาดปลา

4. การนึ่งปลา

ปลาที่ถูกควักไส้และสะอาดแล้วจะถูกนำมานึ่ง ระยะเวลาที่ให้ความร้อนจะขึ้นกับขนาดและชนิดของปลา การนึ่งปลาทำให้หนังและกระดูกแยกจากเนื้อ และทำให้ขูดปลาได้ง่าย อุปกรณ์หลักที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือหม้อนึ่งโดยใช้ไอน้ำ

5. การขูดหนังปลาและแยกเนื้อปลา

ปลาที่ผ่านหม้อนึ่งจะถูกนำไปลดอุณหภูมิให้ต่ำลงเพื่อป้องกันการสุกเกินไป จากนั้นจะถูกนำมาขูดหนัง แยกก้าง และเนื้อที่สะอาด

6. การผลิตน้ำปรุงรส

น้ำปรุงรสที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิตปลากระป๋องเป็นน้ำปรุงรสที่ผลิตจากส่วนผสมของซอสมะเขือเทศ และเครื่องปรุงรส โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อน เมื่อน้ำปรุงรสผ่านการผลิตจนเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำไปบรรจุลงในกระป๋อง เพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

7. การบรรจุกระป๋อง

นำปลาที่ได้มาบรรจุกระป๋อง และเติมน้ำปรุงรส เพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศและปิดฝาต่อไป

8. การไล่อากาศ และปิดฝา

หลังจากเติมน้ำปรุงแล้ว ปลากระป๋องจะถูกส่งไปไล่อากาศภายในกระป๋องก่อนปิดผนึก การไล่อากาศอาจจะใช้ระบบปั๊มสุญญากาศ หรือใช้ระบบการไล่อากาศโดยใช้ไอน้ำก็ได้ โรงงานผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้ระบบการไล่อากาศด้วยไอน้ำ และอุปกรณ์หลักที่ใช้ก็คือตู้ไล่อากาศ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่า อุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้ในการไล่อากาศจะอยู่ที่ประมาณ 100°C ถึง 120°C

9. การนึ่งฆ่าเชื้อ

หลังจากปิดผนึกแล้ว ปลากระป๋องจะผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ หม้อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นชนิดใช้ไอน้ำ และเป็นแบบปิด เนื่องจากมีการใช้ไอน้ำปริมาณมาก และเป็นเวลานาน อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ประมาณ 90°C ถึง 120°C

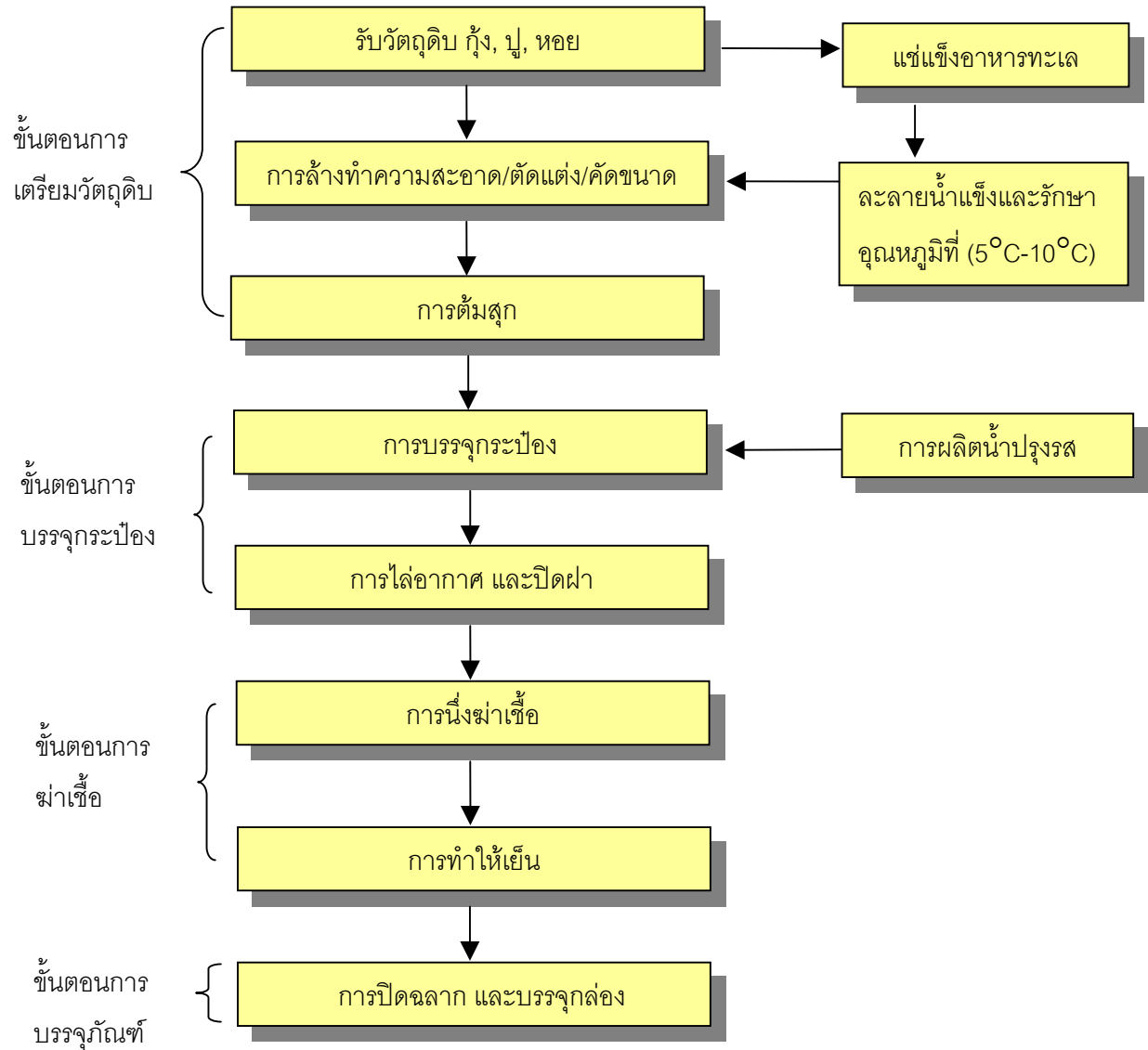
10. การทำให้เย็น

ภายหลังจากฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จะต้องลดอุณหภูมิของปลากระป๋องลงโดยเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้รสชาติและคุณค่าของ ผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อ และน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งน้ำ และนำกลับมาใช้ใหม่

11. การปิดฉลากและบรรจุกล่อง

หลังจากปลากระป๋องมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง และถูกทำให้แห้งสนิทแล้ว จะถูกนำมาปิดฉลากและบรรจุกล่องเพื่อเก็บรักษาและขนส่งต่อไป

2.3 กระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปลา, หอย) บรรจุกระป๋อง



รูปที่ 2-3 แสดงกระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปลา, หอย) บรรจุกระป๋อง

รายละเอียดกระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปลา, หอย) บรรจุกระป๋อง

1. รับวัตถุดิบ/ล้างทำความสะอาด

วัตถุดิบที่รับเข้ามาโดยทั่วไปจะถูกล้างเพื่อตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เช่นความสด จากนั้นจะถูกส่งไปแช่แข็ง หรือส่งไปทำอาหารทะเลกระป๋อง

2. การละลายน้ำแข็ง และรักษาอุณหภูมิ

ในกรณีที่รับวัตถุดิบแช่แข็ง จะนำมาละลายน้ำแข็ง โดยใส่ไว้ในบ่อพักแล้วเติมน้ำ จากนั้นรอและรักษาอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่า 5°C ถึง 10°C เพื่อป้องกันการเสื่อมของเนื้อ เนื่องจากจุลินทรีย์

3. การล้างทำความสะอาด/ตัดแต่ง/คัดขนาด

วัตถุดิบที่ผ่านการละลายน้ำแข็งจะถูกนำมาผ่าท้อง ควักไส้และล้างเพื่อลดจุลินทรีย์ลง

4. การต้มสุก

สัตว์ทะเลที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว จะถูกนำมาต้มสุก อุปกรณ์หลักที่ใช้ในขั้นตอนนี้คือหม้อต้มโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำ

5. การผลิตน้ำปรุงรส

น้ำปรุงรสที่ผลิตขึ้นในกระบวนการผลิตอาหารทะเลกระป๋อง เป็นน้ำเกลือที่ผลิตจากส่วนผสมของน้ำและเกลือ เมื่อน้ำปรุงรสผ่านการผลิตจนเสร็จเรียบร้อยแล้วจะนำไปบรรจุลงในกระป๋อง เพื่อส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศ และปิดฝาต่อไป

6. การบรรจุกระป๋อง

สัตว์ทะเลที่ผ่านการต้ม จะถูกคัดขนาดและบรรจุกระป๋อง หลังจากนั้นจะทำการเติมน้ำปรุงรส ก่อนส่งไปยังกระบวนการไล่อากาศ และปิดฝาต่อไป

7. การไล่อากาศ และปิดฝา

หลังจากเติมน้ำปรุงแล้ว อาหารทะเลกระป๋องจะถูกส่งไปไล่อากาศภายในกระป๋องก่อนปิดผนึก การไล่อากาศอาจจะใช้ระบบปั๊มสุญญากาศ หรือใช้ระบบการไล่อากาศโดยใช้ไอน้ำก็ได้ โรงงานผลิตอาหารทะเลกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้ระบบการไล่อากาศด้วยไอน้ำ และอุปกรณ์หลักที่ใช้ก็คือตู้ไล่อากาศ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต่ำกว่า อุณหภูมิของไอน้ำที่ใช้ในการไล่อากาศจะอยู่ที่ประมาณ 100°C ถึง 120°C

8. การฆ่าเชื้อ

หลังจากปิดผนึกแล้ว อาหารทะเลกระป๋องจะผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อเพื่อทำลายจุลินทรีย์ หม้อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นชนิดใช้ไอน้ำ และเป็นแบบปิด เนื่องจากมีการใช้ไอน้ำปริมาณมาก และเป็นเวลานาน อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ ประมาณ 90°C ถึง 120°C

9. การทำให้เย็น

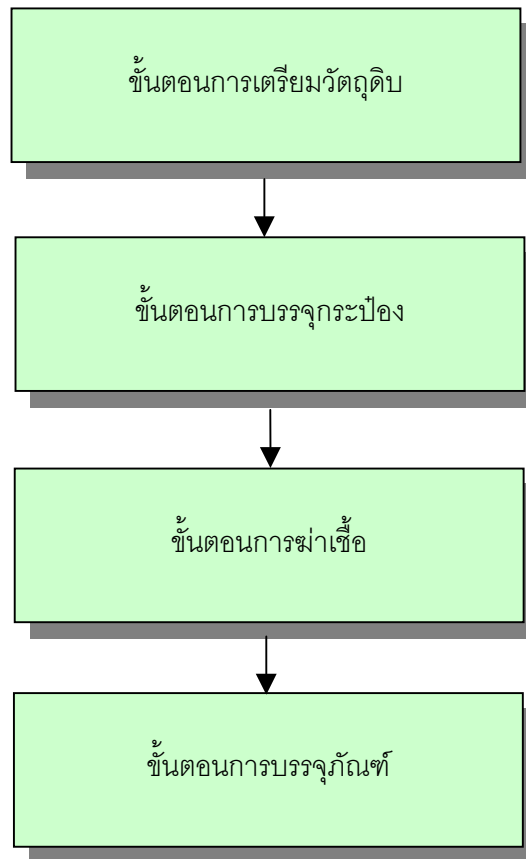
ภายหลังจากฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จะต้องลดอุณหภูมิของอาหารทะเลกระป๋องลงโดยเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้อุณหภูมิและคุณค่าของ ผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อ และน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งน้ำ และนำกลับมาใช้ใหม่

10. การปิดฉลากและบรรจุกล่อง

หลังจากอาหารทะเลกระป๋องมีอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง และถูกทำให้แห้งสนิทแล้ว จะถูกนำมาปิดฉลากและบรรจุกล่องเพื่อเก็บรักษาและขนส่งต่อไป

2.4 สรุปกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

จากหัวข้อที่ผ่านมาทั้งหมด สามารถสรุปขั้นตอนของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องได้เป็นขั้นตอนหลักร่วมกันทั้งหมด 4 ขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2-4 แสดงลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

โดยในรายละเอียดของขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบจะแตกต่างกันไปสำหรับอาหารกระป๋องแต่ละประเภท แต่ในภาพรวมแล้ว อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องทั้งหมดจะมีลำดับขั้นตอนกระบวนการผลิต อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และลักษณะการใช้พลังงานที่คล้ายคลึงกัน

บทที่ 3

รายละเอียดอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต

จากรายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตอาหารกระป๋องที่แสดงไว้ในบทที่ 2 สามารถแจกแจงอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

ในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ผลิตไอน้ำคือ หม้อไอน้ำ และการใช้งานหม้อไอน้ำควรผลิตไอน้ำที่ความดันไม่เกิน 2 bar เพราะถ้าหม้อไอน้ำผลิตไอน้ำที่ความดันสูงกว่า 2 bar จะทำให้เปลืองพลังงานมาก



รูปที่ 3-1 หม้อไอน้ำ

ไอน้ำที่ผลิตจากหม้อไอน้ำจะถูกส่งไปให้ความร้อนกับอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำอาจมีลักษณะของการใช้ไอน้ำเป็นแบบให้ความร้อนโดยตรง (แบบสัมผัสตรง) หรืออาจเป็นแบบให้ความร้อนทางอ้อม (แบบแลกเปลี่ยนความร้อน) ขึ้นกับลักษณะของการผลิตในกระบวนการ โดยนอกจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลักแล้ว ยังอาจมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเสริมบ้างเล็กน้อยในมอเตอร์สายพานลำเลียง เช่น ในกรณีของตู้ไล่อากาศ

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องมีดังนี้

- ถังต้ม
- หม้อหนึ่ง
- ตู้ไล่อากาศ
- หม้อฆ่าเชื้อ
- หม้อน้ำปรุงรส

นอกเหนือจากอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ ยังมีอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ได้แก่

- ระบบสายพานลำเลียง
- เครื่องสูบน้ำ
- เครื่องอัดอากาศ
- เครื่องทำความเย็น
- เครื่องปิดฝากระป๋อง
- เครื่องปิดฉลาก

3.1 อุปกรณ์หลักที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต

3.1.1 ถังต้ม



รูปที่ 3-2 ถังต้มที่ใช้ไอน้ำในการให้ความร้อน



รูปที่ 3-3 หม้อนึ่งปลา

ถังต้มเป็นถังน้ำร้อนที่ใช้ในขั้นตอนการต้ม หรือ ลวก วัตถุดิบก่อนที่จะบรรจุลงในกระป๋อง การต้มหรือ ลวก ทำได้โดยนำวัตถุดิบไปผ่านในน้ำร้อน หรืออาจใช้ไอน้ำให้ความร้อนกับวัตถุดิบโดยตรง (นึ่ง) อุปกรณ์ที่ใช้ในการต้ม ลวก หรือ นึ่ง อาจเป็นแบบต่อเนื่อง หรือทำงานเป็นช่วงๆ

ลักษณะการใช้พลังงานของถังต้มจะมีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเพียงอย่างเดียว

ขนาดของถังต้มจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการต้ม ถังต้มแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1) ถังต้มที่ใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนโดยตรง

ถังต้มชนิดนี้จะให้ความร้อนโดยใช้ท่อไอน้ำเจาะรูเล็กๆ วางอยู่ด้านล่างในถัง ไอน้ำจะพ่นผ่านรูดังกล่าวขึ้นไปสัมผัสให้ความร้อนกับน้ำโดยตรง การควบคุมอุณหภูมิจะใช้ลิ้นไอน้ำในการควบคุมปริมาณไอน้ำให้พอดีกับภาระความร้อนที่ต้องการ หากแรงดันไอน้ำสูงเกินความจำเป็น หรือ ขนาดท่อไม่เหมาะสม หรือการปรับตั้งลิ้นไอน้ำไม่เหมาะสม ไอน้ำจะให้ความร้อนกับน้ำได้ไม่เต็มที่ และมีความร้อนสูญเสียเกิดขึ้นในระบบ

2) ถังต้มที่ใช้ไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อน

ถังต้มชนิดนี้จะใช้ไอน้ำในการให้ความร้อนผ่านตัวอุปกรณ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นถังหรือหม้อสองชั้น โดยไอน้ำจะถูกส่งไปให้ความร้อนรอบๆ หรืออาจเป็นการใช้ไอน้ำผ่านชุดท่อไอน้ำ การใช้ไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ จะมีกับดักไอน้ำทำหน้าที่เป็นลิ้นอัตโนมัติในการปล่อย น้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวออกจากถัง การควบคุมอุณหภูมิ จะควบคุมโดยการปรับความดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ข้อเสียของถังต้มชนิดนี้ คือ ใช้เวลาในการเร่งความร้อนนานกว่าถังต้มแบบการใช้ไอน้ำให้ความร้อนโดยตรง

3.1.2 ตู้ไล่อากาศ



รูปที่ 3-4 ตู้ไล่อากาศ

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการบรรจุกระป๋อง ได้แก่ ตู้ไล่อากาศ ในขั้นตอนการไล่อากาศ ถึงแม้ว่าวิธีการ ขจัดอากาศออกจากผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในกระป๋อง ก่อนปิดฝานั้น มีหลายวิธี เช่นใช้เครื่องสูญญากาศ แต่ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ จะใช้วิธีการนำกระป๋องบรรจุผลิตภัณฑ์ไปให้ความร้อนโดยใช้ไอน้ำโดยตรงในตู้ที่ออกแบบมีลักษณะเป็นกล่องยาว หรือตู้ไล่อากาศ

ตัวอย่าง รูปแบบของตู้ไล่อากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3-4 ไอน้ำจะถูกฉีดเข้าไปในตู้ผ่านท่อไอน้ำที่วางอยู่ในตู้ไล่อากาศอาจมีความยาวประมาณ 5 ถึง 10 เมตร ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์ ลักษณะการทำงานจะทำงานต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์จะถูกนำผ่านตู้โดยสายพาน ใช้เวลาตั้งแต่เข้าถึงออกจากตู้ประมาณ 10 ถึง 20 นาที ขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ เช่น ขนาดเล็ก/ใหญ่ ความเข้มข้น เป็นต้น อุณหภูมิใช้งานประมาณ 100°C ถึง 120°C

ลักษณะการใช้พลังงานของตู้ไล่อากาศจะมีการใช้งานทั้งพลังงานความร้อนจากไอน้ำในการไล่อากาศ และพลังงานไฟฟ้าในการหมุนมอเตอร์สายพานลำเลียง

3.1.3 หม้อฆ่าเชื้อ



รูปที่ 3-5 หม้ออบฆ่าเชื้อ



รูปที่ 3-6 หม้ออบฆ่าเชื้อ

อุปกรณ์หลักที่มักใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อ ได้แก่ หม้ออบฆ่าเชื้อ (Retorts) เป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานมาก ในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง การฆ่าเชื้อ (Sterilization) แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการให้ความร้อน ได้แก่ การฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำภายใต้ความดัน และการฆ่าเชื้อโดยใช้น้ำร้อน

ลักษณะการใช้พลังงานของหม้อฆ่าเชื้อจะมีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก รวมทั้งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องสูบน้ำ และมอเตอร์พัดลมสำหรับกระบวนการทำให้เย็นในหอผึ่งน้ำ

การให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ หรือแบคทีเรีย และเอนไซม์ในผลิตภัณฑ์ เพื่อถนอมอาหารที่อยู่ในกระป๋องที่ปิดฝาแล้วนั้น จะต้องทราบอุณหภูมิใช้งานที่เหมาะสมกับแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้ในการพิจารณาใช้งานหม้ออบฆ่าเชื้อ

หม้ออบฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำภายใต้ความดัน โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกวางขนานกับพื้น โดยกระป๋องที่บรรจุผลิตภัณฑ์ที่ปิดฝาแล้วจะถูกใส่เข้าไปในหม้ออบฆ่าเชื้อ ซึ่งมีฝาปิด ทั้งนี้จะใช้ไอน้ำโดยตรงในการให้ความร้อนภายใต้ความดัน โดยเริ่มต้นจะใช้เวลาในการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 10-20 นาทีขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์ ลักษณะการทำงานเริ่มแรกจะเป็นการไล่อากาศออกจากหม้ออบฆ่าเชื้อ โดยไอน้ำจะเข้ามาแทนที่อากาศที่อยู๋ในตู้อุปกรณ์จะเป็นอุปกรณ์สำคัญในการถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำไปสู่ผลิตภัณฑ์ ทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามที่ต้องการ และมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย สำหรับในช่วงของการให้ความร้อน ล้นระบายอากาศอัตโนมัติ จะเป็นตัวระบายอากาศที่ปนมากับไอน้ำ ให้ออกจากหม้ออบฆ่าเชื้อ ตลอดระยะเวลา

ในการให้ความร้อน ระยะเวลาในการอบจะอยู่ในช่วง 20-50 นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ หลังจากการอบฆ่าเชื้อจนได้ระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว จะต้องลดอุณหภูมิของอาหารกระป๋องลงโดยเร็ว เพื่อป้องกันความร้อนสะสม ซึ่งอาจทำให้รสชาติและคุณค่าของ ผลิตภัณฑ์ลดลง โดยทั่วไปจะใช้ระบบน้ำเย็นฉีดเข้าไปในหม้อฆ่าเชื้อ และน้ำดังกล่าวจะถูกหมุนเวียน โดยนำกลับไประบายความร้อนด้วยหอผึ่งน้ำ และนำกลับมาใช้ใหม่ ในเวลาดังกล่าวจะต้องมีการอัดอากาศเพื่อรักษาความดันในหม้ออบฆ่าเชื้อ เนื่องจากไอน้ำเมื่อกลั่นตัวแล้วจะเกิดสุญญากาศในหม้ออบฆ่าเชื้อ ซึ่งมีผลเสียหายต่อกระป๋องผลิตภัณฑ์ได้

สำหรับหม้อฆ่าเชื้อชนิดให้ความร้อนโดยใช้น้ำร้อน จะมีอุณหภูมิประมาณ 90 °C ถึง 120 °C การผลิตน้ำร้อน จะใช้ไอน้ำทั้งการให้ความร้อนโดยตรง และการแลกเปลี่ยนความร้อน ลักษณะของอุปกรณ์อาจจะเป็นถึงน้ำร้อนหรือรางน้ำร้อน มีขนาดตามปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานเหมือนหม้อต้มทั่วไป

3.2 อุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ในกระบวนการผลิต

สำหรับอุปกรณ์อื่นๆ ในกระบวนการผลิตจะเป็นอุปกรณ์ที่ไม่ใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ แต่จะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งได้แก่ เครื่องปิดฝา เครื่องปิดฝาขวดแก้ว และสายพานลำเลียง เป็นต้น ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 3-7 เครื่องปิดฝา



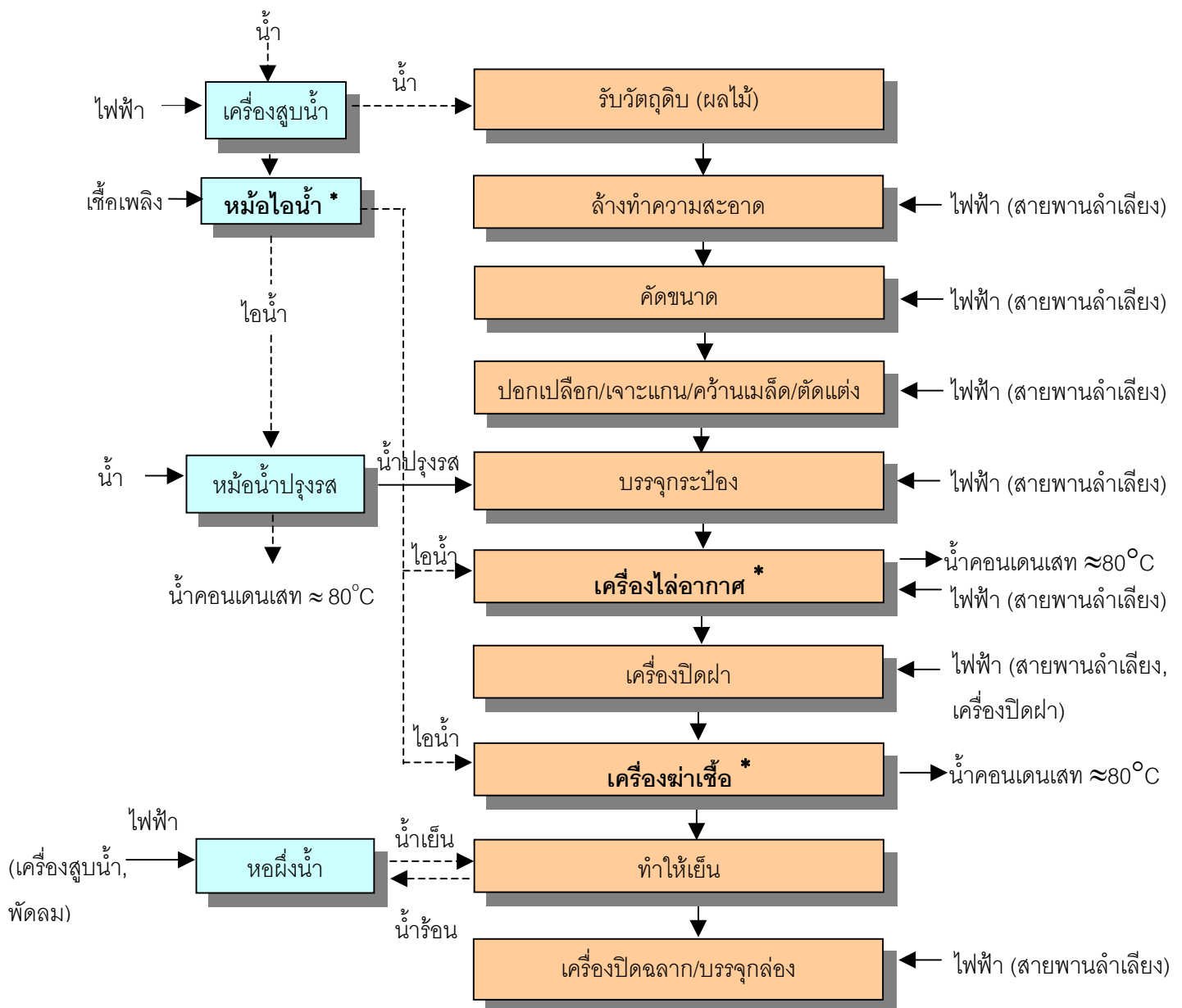
รูปที่ 3-8 เครื่องปิดฝาขวดแก้ว



รูปที่ 3-9 สายพานลำเลียง

ลักษณะการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

4.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง



รูปที่ 4-1 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตผลไม้กระป๋อง

รูปที่ 4-3 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารทะเล (กุ้ง, ปลา, หอย) และข้าวโพดบรรจุกระป๋อง

หมายเหตุ

* หมายถึง อุปกรณ์ในขั้นตอนกระบวนการผลิตที่มีการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการผลิตและการใช้ไอน้ำ

4.4 ภาพรวมของการใช้พลังงาน และลักษณะการสูญเสียพลังงานความร้อน (เชื้อเพลิง) ในกระบวนการผลิตจากการศึกษา ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องทั้ง 3 ตัวอย่างข้างต้น สรุปได้ดังนี้

การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องโดยทั่วไปจะใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ผลิตไอน้ำคือ หม้อไอน้ำ

อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตที่ใช้ไอน้ำได้แก่

- หม้อต้ม

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อต้ม และน้ำคอนเดนเสท
- หม้อหนึ่ง

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อหนึ่ง และน้ำคอนเดนเสท
- หม้อฆ่าเชื้อ (Retort)

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางน้ำคอนเดนเสท
- เครื่องไล่อากาศ

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางไอน้ำ
- หม้อน้ำเชื่อม/น้ำปรุงรส

มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อและน้ำคอนเดนเสท

เมื่อพิจารณาจากกระบวนการผลิตที่ผ่านมาพบว่า ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง 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)

อุปกรณ์ในระบบการผลิตที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ได้แก่

- ระบบสายพานลำเลียง
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการ Slip ของสายพานและจากการหย่อนของสายพาน
- เครื่องสูบน้ำ
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
- เครื่องอัดอากาศ
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการรั่วของอากาศอัดจากระบบอัดอากาศ
- เครื่องทำความเย็น
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากภาระการทำงานที่เพิ่มขึ้นของเครื่องคอมเพรสเซอร์
- หอผึ่งน้ำ
มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น
- เครื่องปิดฉลาก

ลักษณะการสูญเสียพลังงานความร้อน (เชื้อเพลิง) จากการผลิตไอน้ำ และการใช้ไอน้ำ มีดังนี้

1. อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำไม่เหมาะสม
2. การควบคุมการปล่อยน้ำร้อนทิ้งจากหม้อไอน้ำ (Blow down) ไม่เหมาะสม
3. อุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายไอน้ำบางส่วนไม่มีการหุ้มฉนวนกันความร้อน เช่น บางส่วนของท่อส่งจ่ายไอน้ำ วาล์ว
4. มีการรั่วของไอน้ำในระบบท่อส่งจ่ายไอน้ำ
5. น้ำคอนเดนเสทจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ เช่น หม้อน้ำเชื่อม/น้ำปรุง หม้ออบฆ่าเชื้อ ซึ่งยังมีอุณหภูมิสูง (บางส่วนมีอุณหภูมิสูงถึง 80°C) ปริมาณมากถูกทิ้งโดยไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่นสามารถนำกลับมาผสมน้ำป้อนกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำได้ หรือป้อนกลับให้แก่หม้อต้มวัตถุดิบได้
6. ปล่อยก๊าซเสียของหม้อไอน้ำ (มีอุณหภูมิสูงถึง 220°C) ทิ้งโดยไม่ได้นำกลับมาใช้ประโยชน์ เช่นสามารถนำกลับมาอุ่นอากาศป้อนกลับเข้าสู่หม้อไอน้ำได้

4.5 การแปลความหมายของแผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน

แผนภาพที่แสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน เป็นแผนภาพที่แสดงรายละเอียดที่บ่งบอกถึงปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละองค์ประกอบ จากภาพรวมของการใช้พลังงานที่กำหนด โดยที่แผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานของโรงงาน
- แผนภาพแสดงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของอุปกรณ์
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

โดยที่แผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละประเภทข้างต้น จะแสดงถึงความหมายที่แตกต่างกัน เพื่อให้ผู้พิจารณาสามารถวิเคราะห์และเข้าใจสภาพการใช้พลังงานในรายละเอียดของแต่ละส่วน ทำให้สามารถกำหนดจุดวิกฤติ (Critical Point) ของการใช้พลังงานในเครื่องจักรและอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตได้ รวมทั้งการหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตต่อไป

4.6 การแปลความหมายของดัชนีการใช้พลังงาน

ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การพิจารณาดัชนีการใช้พลังงานของโรงงาน ซึ่งมีการกำหนดนิยาม ดังนี้

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

โดยที่ค่าดัชนีการใช้พลังงานยังสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของการพิจารณาประเภทของพลังงานและผลผลิต เช่น ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นการพิจารณาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เป็นต้น

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

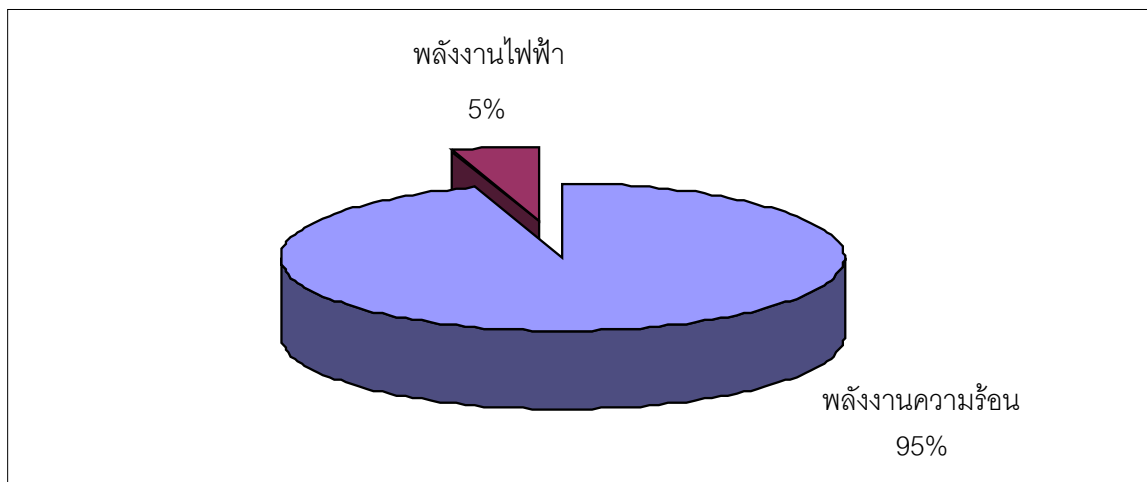
หน่วยของผลผลิตควรจะใช้เป็นหน่วยมาตรฐาน ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก ความยาว พื้นที่ หรือปริมาตร ตัวอย่าง เช่น ผลผลิตที่เป็นอาหารควรใช้หน่วยเป็นน้ำหนัก ซึ่งอาจเป็นกิโลกรัมหรือเป็นตัน การผลิตกระดาษควรใช้หน่วยเป็นพื้นที่ของกระดาษที่ผลิตได้ ซึ่งอาจเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุต ท่อหรือเหล็กเส้นควรใช้หน่วยความยาวเป็นเมตรหรือฟุต น้ำดื่มหรือน้ำอัดลมควรใช้หน่วยปริมาตรเป็นลิตรหรือลูกบาศก์เมตร หน่วยของผลผลิตที่มีความคลุมเครือ เช่น กล้อง หนีบ ช้อน อัน ขวด ฯลฯ มักจะใช้ประโยชน์ได้เฉพาะการติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในโรงงานใดโรงงานหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถใช้เปรียบเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ หรือเปรียบเทียบกับดัชนีการใช้พลังงานมาตรฐาน ซึ่งมักจะมีสถาบันหรือสมาคมอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลกจัดทำไว้สำหรับอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

ดังนั้นหน่วยของดัชนีการใช้พลังงานจึงอาจเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน เมกกะจูลต่อลิตร เมกกะจูลต่อตารางเมตร ฯลฯ ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานโดยใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงาน คือ สามารถนำค่าดัชนีการใช้พลังงานมาเป็นค่าอ้างอิง (Reference Value) สำหรับการปรับปรุงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตภายหลังจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน โดยเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานและการประเมินผลสัมฤทธิ์จากการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานคือ การลดค่าดัชนีการใช้พลังงานลง เพื่อให้ต้นทุนด้านพลังงาน (Energy Cost) ในกระบวนการผลิตมีค่าต่ำที่สุด ทำให้โรงงานผลิตมีผลกำไรที่เพิ่มขึ้น

4.7 ตัวอย่างสภาพการใช้พลังงานของโรงงานที่ได้ทำการตรวจวัด

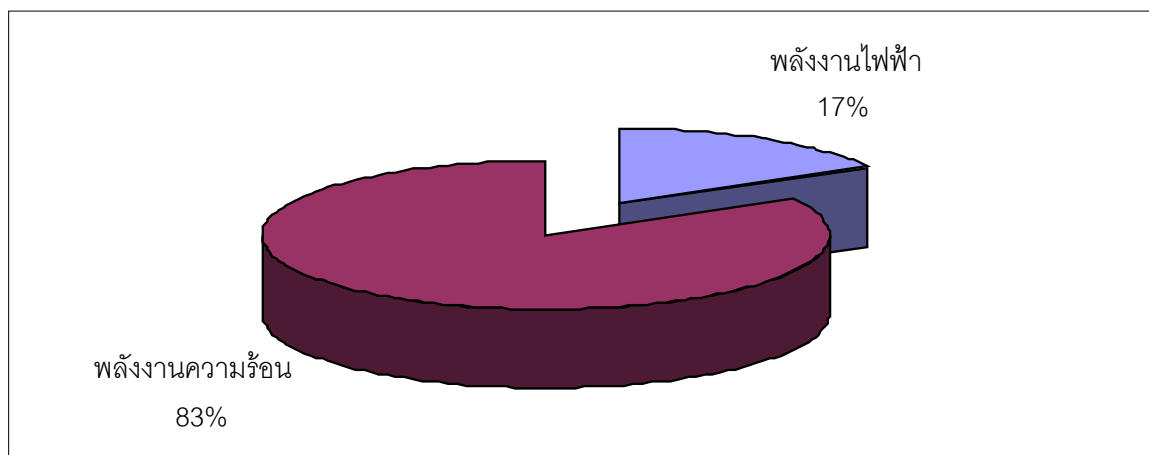
ตัวอย่างที่ 1 โรงงานผลิตผัก ผลไม้กระป๋อง และปลาทูน่ากระป๋อง

1. สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงาน



รูปที่ 4-4 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

2. สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน

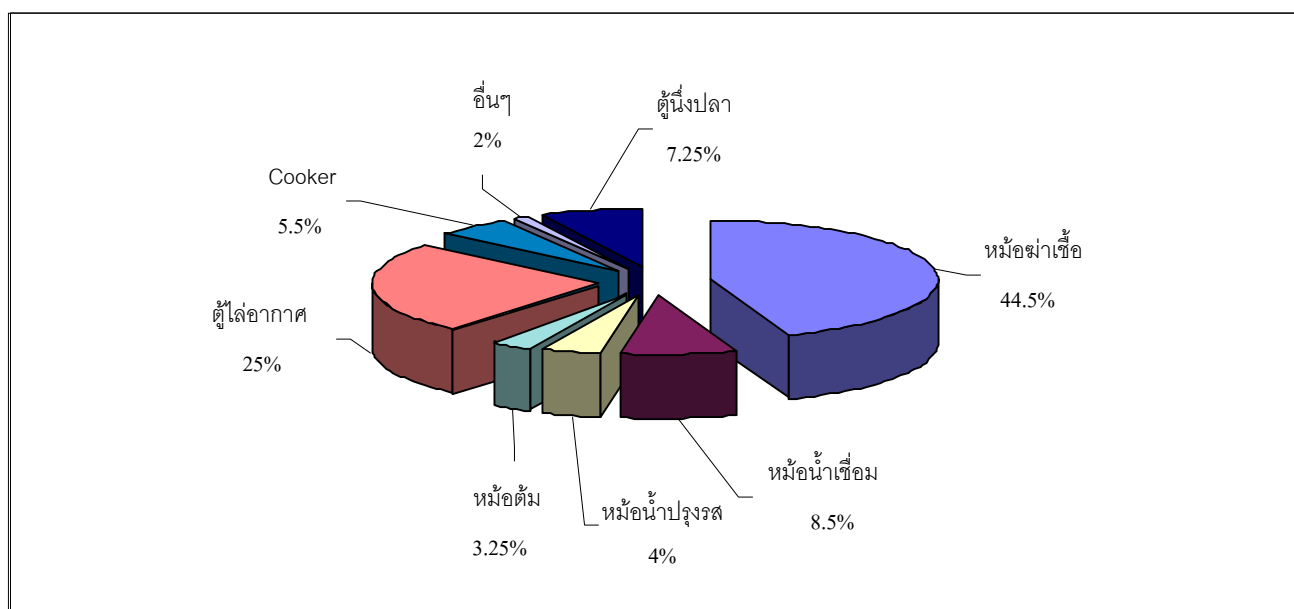


รูปที่ 4-5 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมของโรงงาน

3. การใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของอุปกรณ์หลัก

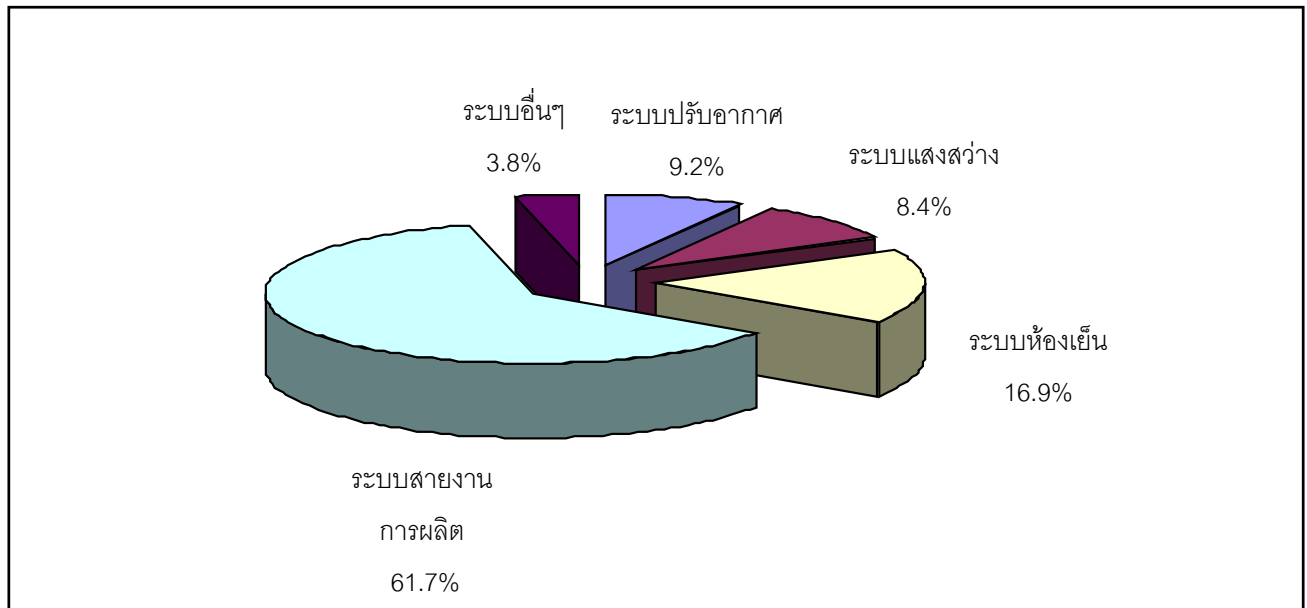
การใช้พลังงานความร้อนของอุปกรณ์หลักที่ใช้ไอน้ำแสดงได้ดังนี้

- หม้อฆ่าเชื้อ	44.5	%
- ตู้ไล่อากาศ	25	%
- หม้อน้ำเชื่อม	8.5	%
- ตู้นึ่งปลา	7.25	%
- Cooker	5.5	%
- หม้อน้ำปรุงรส	4	%
- หม้อต้ม	3.25	%
- อื่นๆ	2	%



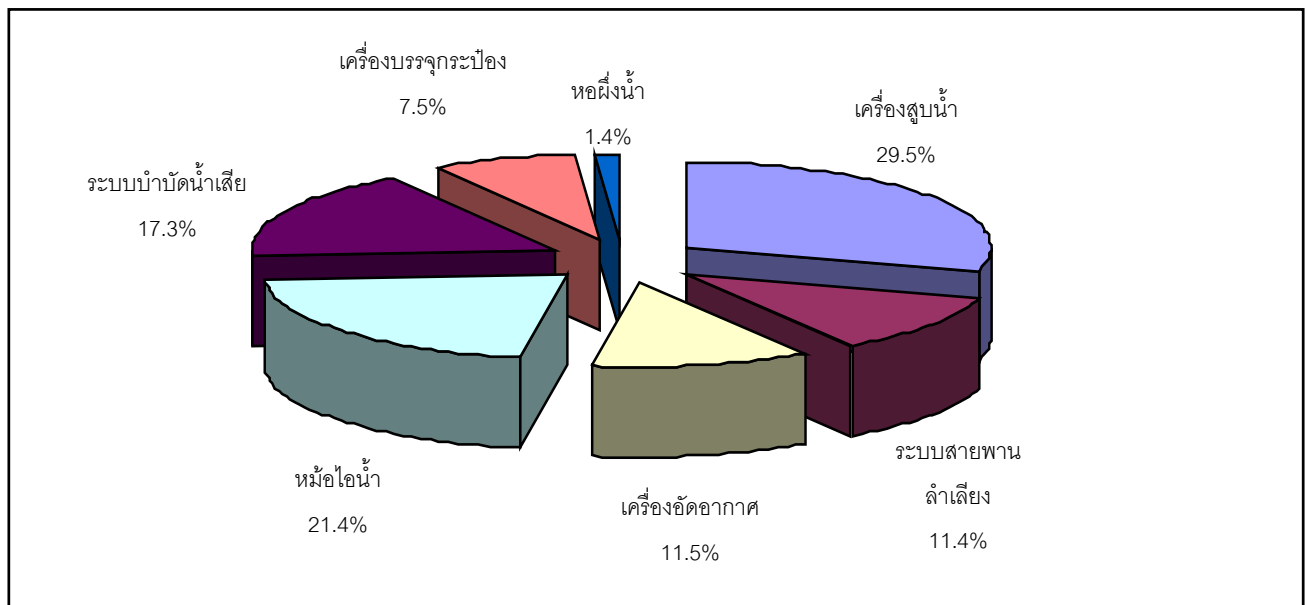
รูปที่ 4-6 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของโรงงาน

4. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน



รูปที่ 4-7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน

5. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

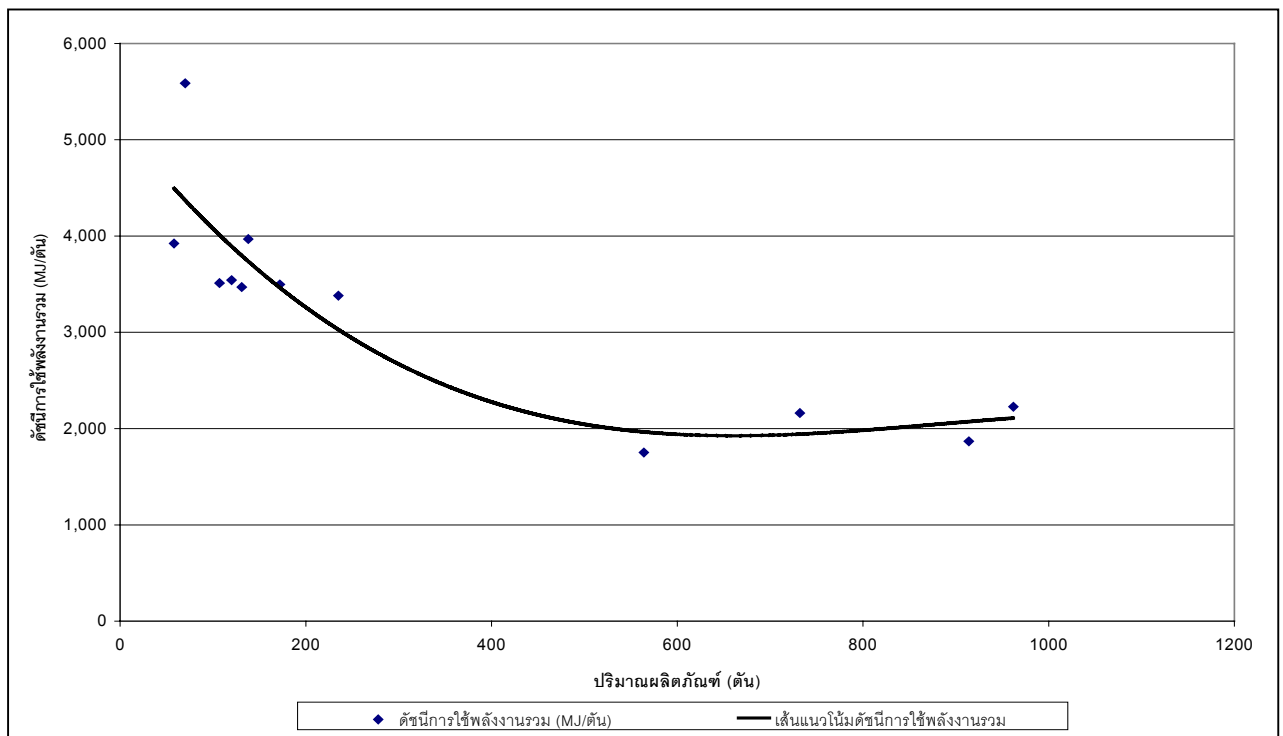


รูปที่ 4-8 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

6. ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

ตารางที่ 4.1 ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานในระหว่างเดือนธันวาคม 2545 – เดือนพฤศจิกายน 2546

เดือน	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ (ตัน)	ปริมาณพลังงาน				ดัชนีการใช้พลังงาน		
		ความร้อน (MJ)	ไฟฟ้า		รวม (MJ)	ความร้อน (MJ/ตัน)	ไฟฟ้า (MJ/ตัน)	รวม (MJ/ตัน)
			(kWh)	(MJ)				
ธันวาคม 2545	120	328,650	26,765	96,350	425,000	2,739	803	3,542
มกราคม 2546	131	375,920	21,857	78,680	454,600	2,870	601	3,470
กุมภาพันธ์ 2546	70	319,600	19,845	71,440	391,040	4,566	1,021	5,586
มีนาคม 2546	58	162,800	17,985	64,740	227,540	2,807	1,116	3,923
เมษายน 2546	107	298,490	21,449	77,210	375,700	2,790	722	3,511
พฤษภาคม 2546	732	1,436,140	40,502	145,810	1,581,950	1,962	199	2,161
มิถุนายน 2546	962	1,899,000	67,663	243,590	2,142,590	1,974	253	2,227
กรกฎาคม 2546	564	839,350	41,265	148,550	987,900	1,488	263	1,752
สิงหาคม 2546	914	1,522,200	51,359	184,890	1,707,090	1,665	202	1,868
กันยายน 2546	235	657,190	38,114	137,210	794,400	2,797	584	3,380
ตุลาคม 2546	138	454,800	25,767	92,760	547,560	3,296	672	3,968
พฤศจิกายน 2546	172	502,530	27,516	99,060	601,590	2,922	576	3,498
รวม	4,203	8,796,670	400,087	1,440,290	10,236,960	2,093	343	2,436



รูปที่ 4-9 ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์
ในระหว่างเดือนธันวาคม 2545 – เดือนพฤศจิกายน 2546

7. ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์สถานภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างที่ 1

โรงงานมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 95% และการใช้พลังงานไฟฟ้ามีเพียง 5% เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใช้พลังงานจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูง ได้แก่ หม้อฆ่าเชื้อ (Retort) และตู้ไล่อากาศเนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้แก่ ห้องเย็น หม้อไอน้ำและเครื่องสูบน้ำ

ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่า 343 MJ/ตัน/ปี ดัชนีการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยมีค่า 2,093 MJ/ตัน/ปี และดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเฉลี่ยมีค่า 2,436 MJ/ตัน/ปี

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า

มีมาตรการดังนี้

1. การติดคาปาซิเตอร์ที่ตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก
2. การปรับแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม
3. การใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง
4. การใช้คอมไพร์เฟลคเตอร์ประสิทธิภาพสูง
5. การใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำ
6. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

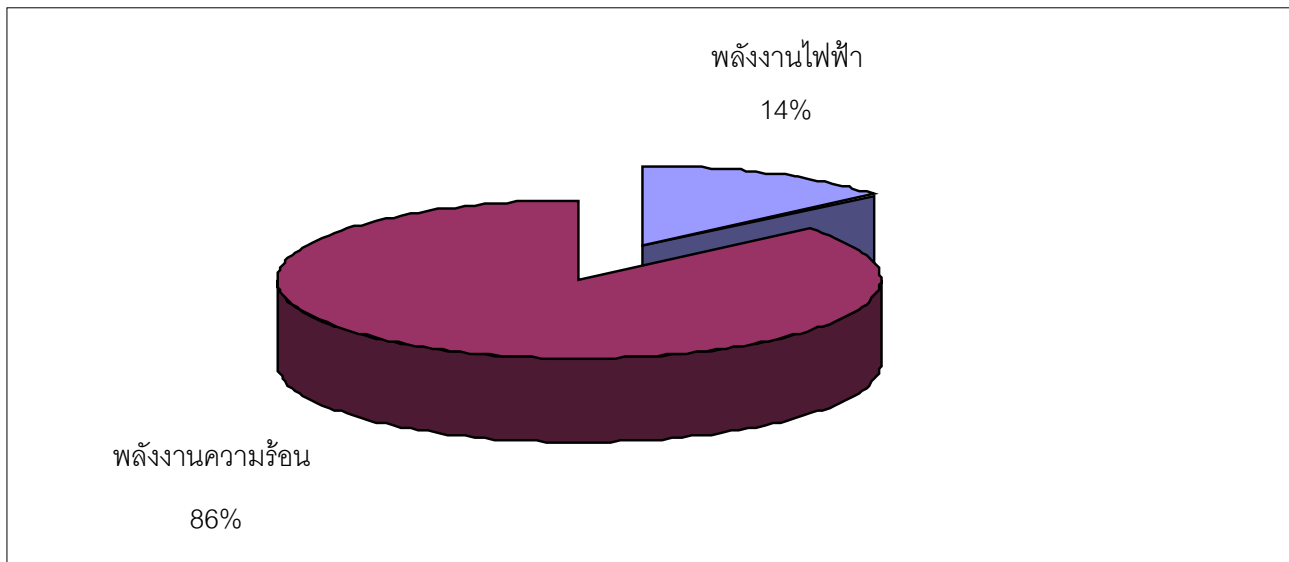
การอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน

มีมาตรการดังนี้

1. การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
2. การหุ้มฉนวนอุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายไอน้ำ
3. การควบคุมการไหลวนน้ำให้เหมาะสม
4. การอุ่นอากาศป้อนโดยใช้ความร้อนจากก๊าซเสีย
5. การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาผสมน้ำป้อนหม้อไอน้ำ
6. การซ่อมรอยรั่วของไอน้ำ
7. การอุ่นน้ำป้อนโดยใช้ความร้อนจากน้ำร้อนทิ้ง

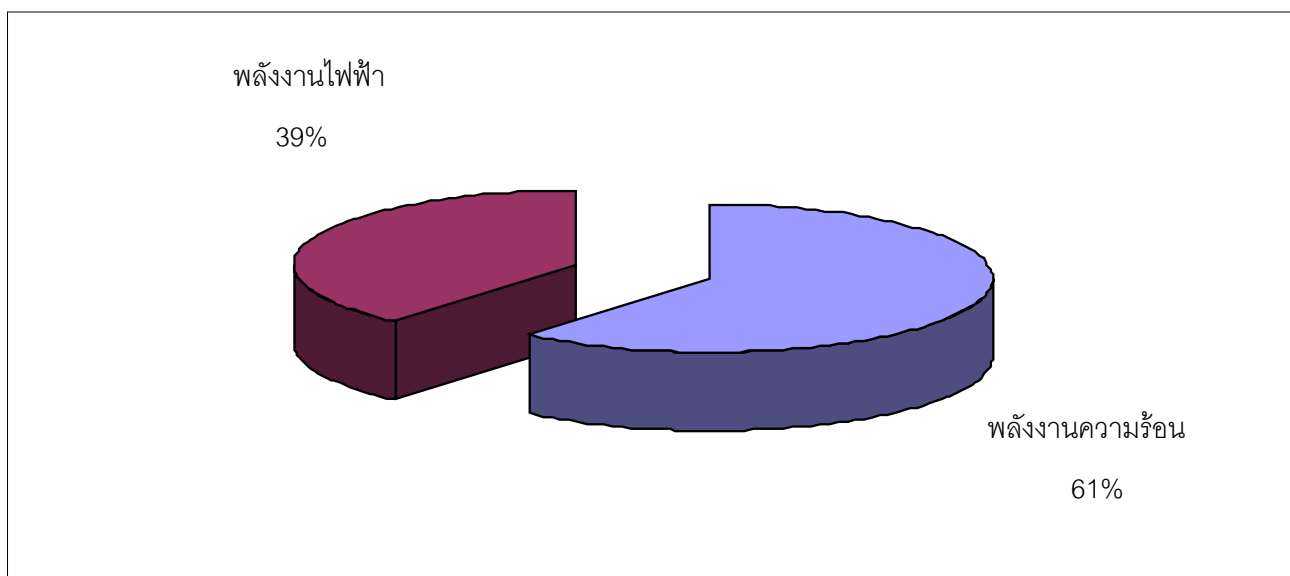
ตัวอย่างที่ 2 โรงงานผลิตผัก และผลไม้กระป๋อง

1. สัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน



รูปที่ 4-10 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

2. สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน

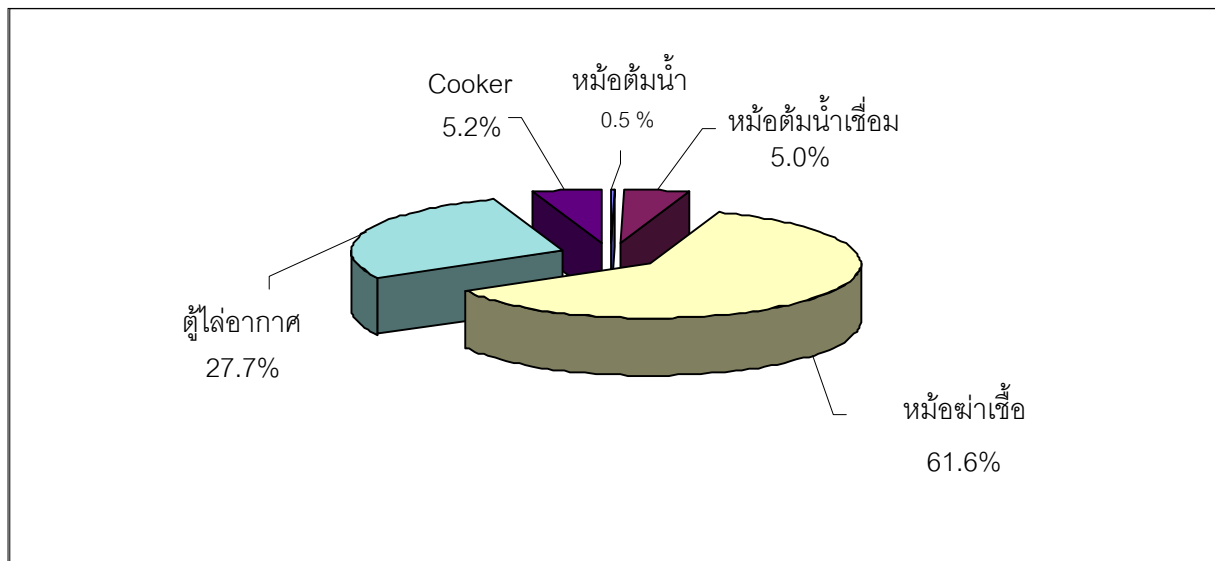


รูปที่ 4-11 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมของโรงงาน

3. การใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของอุปกรณ์หลัก

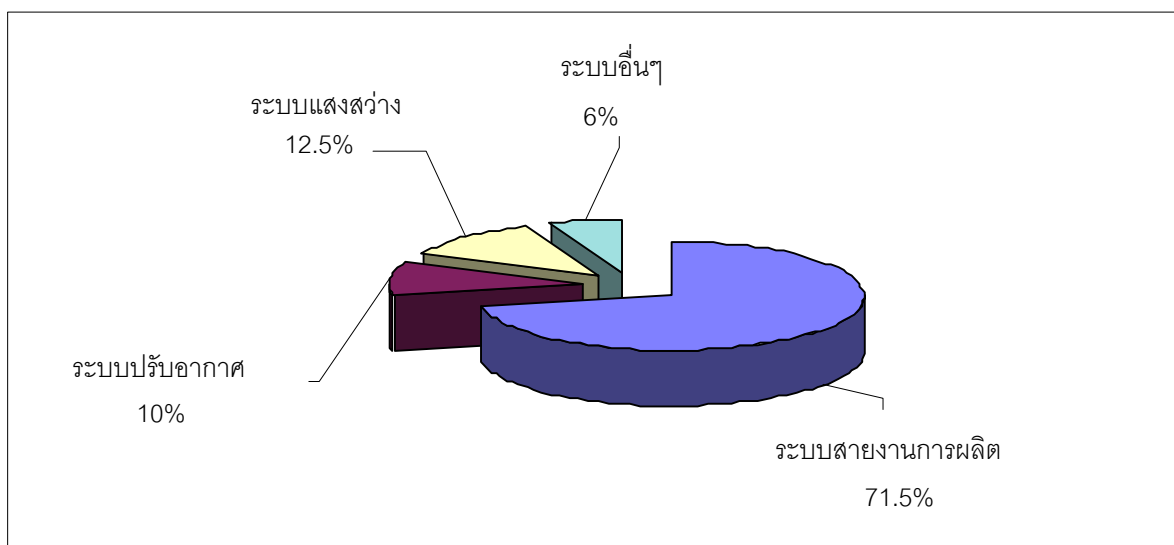
การใช้พลังงานความร้อนของอุปกรณ์หลักที่ใช้ไอน้ำแสดงได้ดังนี้

- หม้อฆ่าเชื้อ	61.6	%
- ตู้ไล่อากาศ	27.7	%
- Cooker	5.2	%
- หม้อต้มน้ำเชื่อม	5.0	%
- หม้อต้มน้ำ	0.5	%



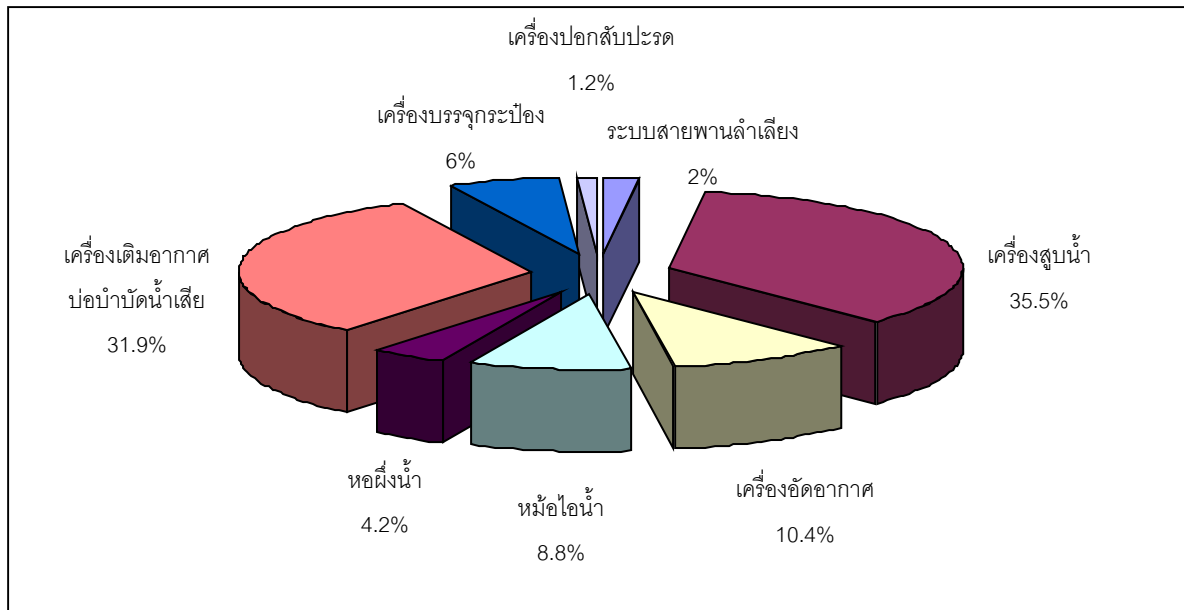
รูปที่ 4-12 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของโรงงาน

4. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน



รูปที่ 4-13 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน

5. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

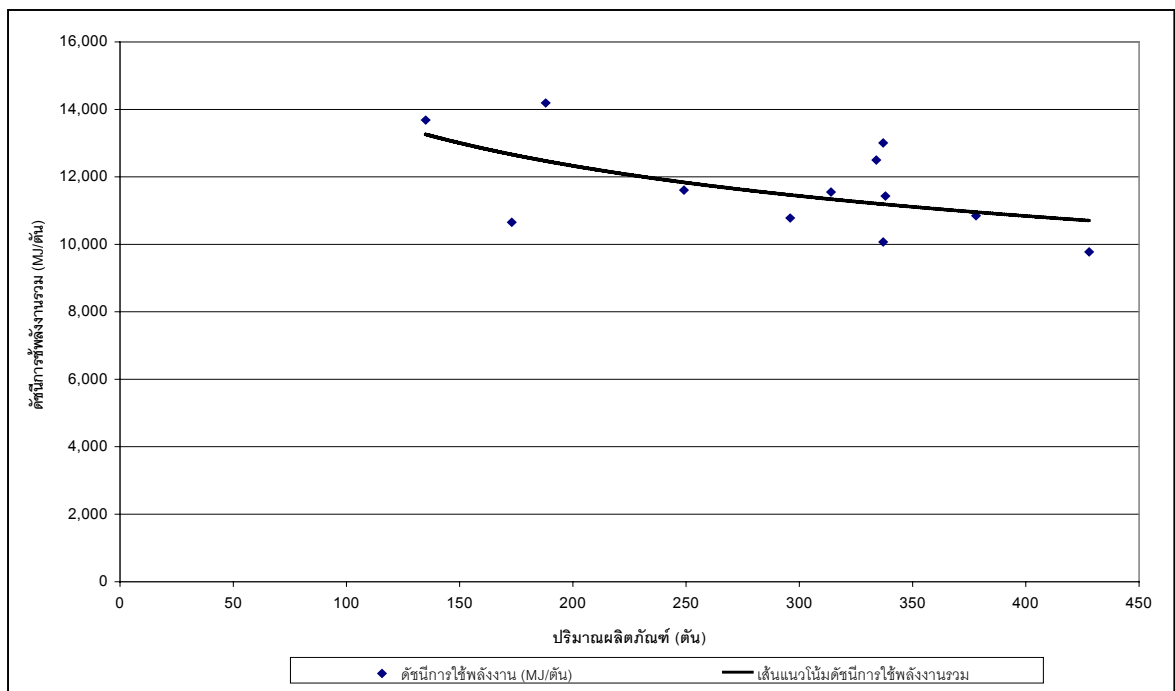


รูปที่ 4-14 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

6. ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

ตารางที่ 4.2 ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานในระหว่างเดือนธันวาคม 2545 – เดือนพฤศจิกายน 2546

เดือน	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ (ตัน)	ปริมาณพลังงาน				ดัชนีการใช้พลังงาน		
		ความร้อน (MJ)	ไฟฟ้า		รวม (MJ)	ความร้อน (MJ/ตัน)	ไฟฟ้า (MJ/ตัน)	รวม (MJ/ตัน)
			(kWh)	(MJ)				
ธันวาคม 2545	135	1,741,190	29,431	105,950	1,847,140	12,898	785	13,683
มกราคม 2546	173	1,737,060	29,431	105,950	1,843,010	10,041	612	10,653
กุมภาพันธ์ 2546	188	2,551,520	32,274	116,190	2,667,710	13,572	618	14,190
มีนาคม 2546	338	3,707,360	43,437	156,370	3,863,730	10,969	462	11,431
เมษายน 2546	337	3,233,050	44,363	159,710	3,392,760	9,594	474	10,068
พฤษภาคม 2546	428	4,023,150	44,678	160,840	4,183,990	9,400	376	9,776
มิถุนายน 2546	296	3,030,780	44,347	159,650	3,190,430	10,239	539	10,778
กรกฎาคม 2546	249	2,749,660	39,211	141,160	2,890,820	11,043	568	11,610
สิงหาคม 2546	378	3,879,080	61,568	221,640	4,100,720	10,262	587	10,848
กันยายน 2546	337	4,162,260	61,520	221,470	4,383,730	12,351	657	13,008
ตุลาคม 2546	334	3,906,330	74,224	267,210	4,173,540	11,696	801	12,496
พฤศจิกายน 2546	314	3,421,290	57,088	205,520	3,626,810	10,896	645	11,550
รวม	3,507	38,142,730	561,572	2,021,660	40,164,390	10,876	576	11,453



รูปที่ 4-15 ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเทียบกับปริมาณผลผลิต
ในระหว่างเดือนธันวาคม 2545 – เดือนพฤศจิกายน 2546

7. ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์สถานภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างที่ 2

โรงงานมีส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 86% และการใช้พลังงานไฟฟ้ามีเพียง 14% เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใช้พลังงานจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่มีส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูง ได้แก่ หม้อต้มเชื้อ และตู้รางไล่อากาศ เนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์หลักที่มีส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้แก่ เครื่องเติมอากาศบ่อบำบัดน้ำเสีย และเครื่องสูบน้ำ

ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่า 557 MJ/ตัน/ปี ดัชนีการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยมีค่า 10,876 MJ/ตัน/ปี และดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเฉลี่ยมีค่า 11,433 MJ/ตัน/ปี

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า

มีมาตรการดังนี้

1. การติดคาปาซิเตอร์ที่ตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก
2. การปรับแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม
3. การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ
4. การใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
5. การใช้โคมไฟฟลูออโรไลต์ประสิทธิภาพสูง
6. การใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำ
7. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

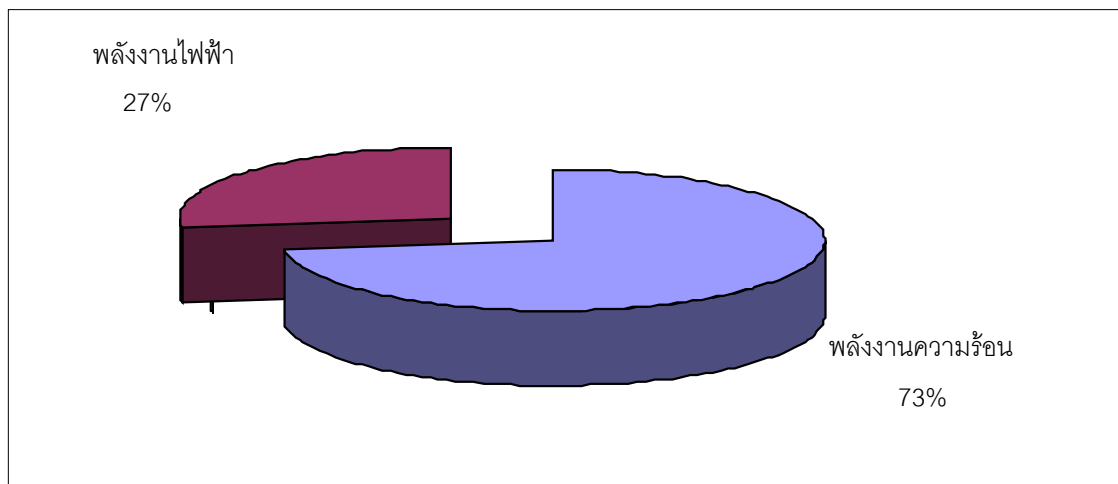
การอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน

มีมาตรการดังนี้

1. การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
2. การหุ้มฉนวนอุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายไอน้ำ
3. การควบคุมการโบว์ดาวน์ให้เหมาะสม
4. การอุ่นอากาศป้อนโดยใช้ความร้อนจากก๊าซเสีย
5. การเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำ

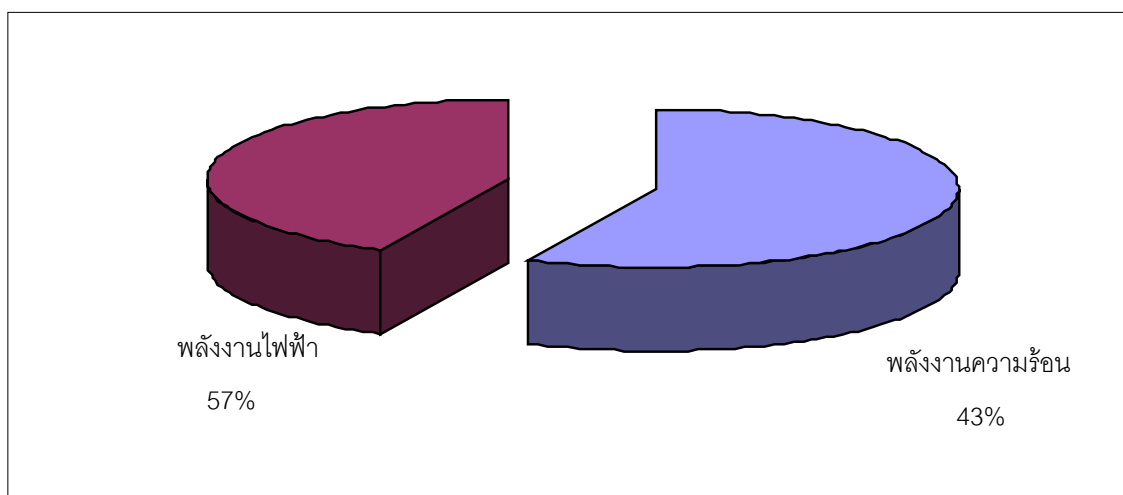
ตัวอย่างที่ 3 โรงงานผลิตอาหารทะเลและข้าวโพดบรรจุกระป๋อง

1. สัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน



รูปที่ 4-16 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

2. สัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน

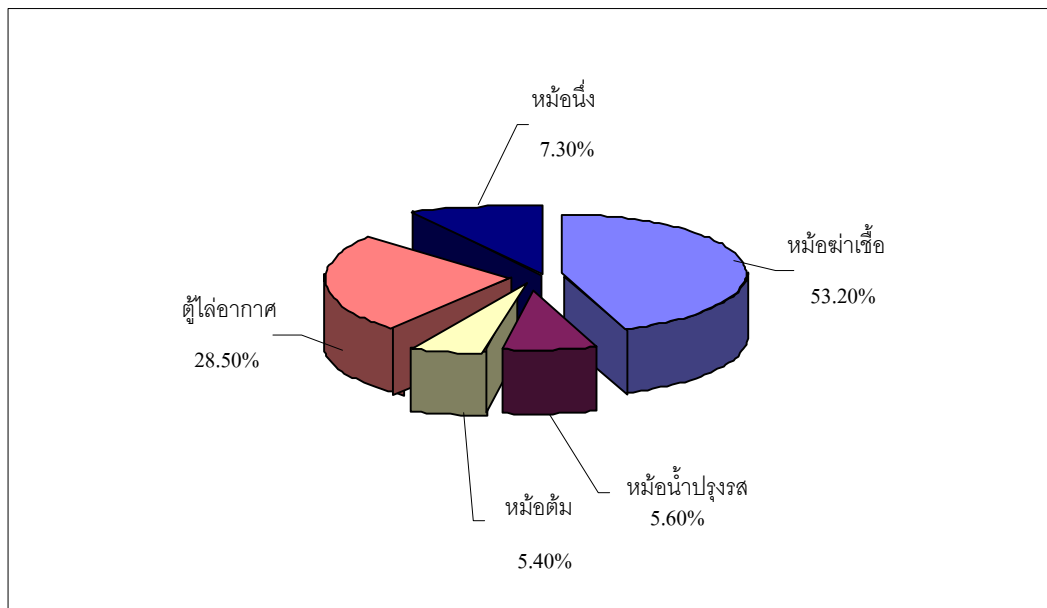


รูปที่ 4-17 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมของโรงงาน

3. การใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของอุปกรณ์หลัก

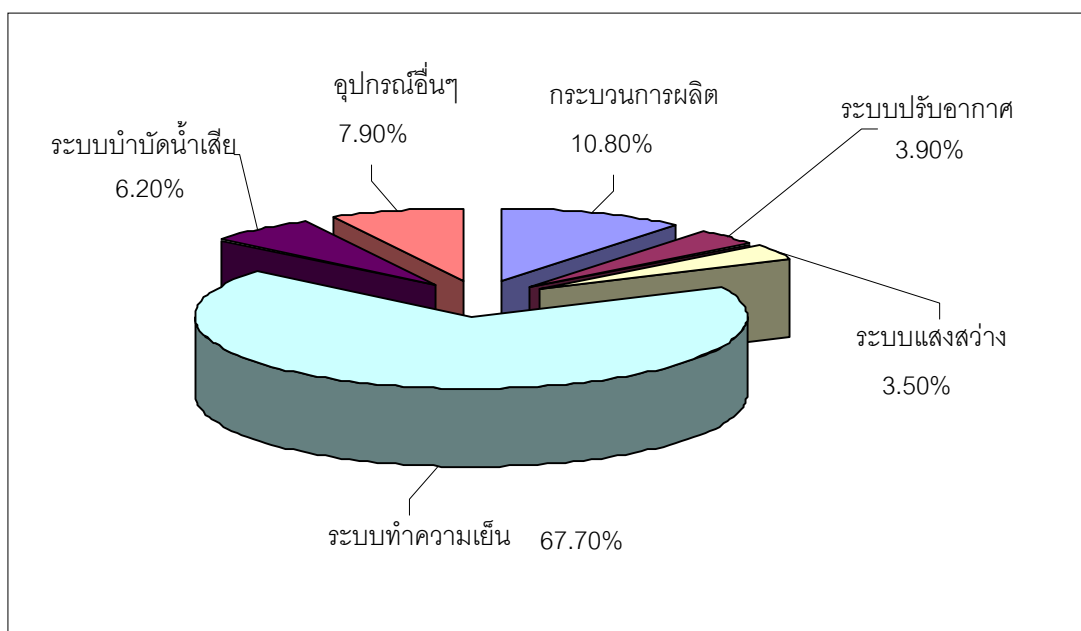
การใช้พลังงานความร้อนของอุปกรณ์หลักที่ใช้ไอน้ำแสดงได้ดังนี้

- หม้อฆ่าเชื้อ	53.20	%
- ตู้ไล่อากาศ	28.50	%
- หม้อนึ่ง	7.30	%
- หม้อน้ำปรุงรส	5.60	%
- หม้อต้ม	5.40	%



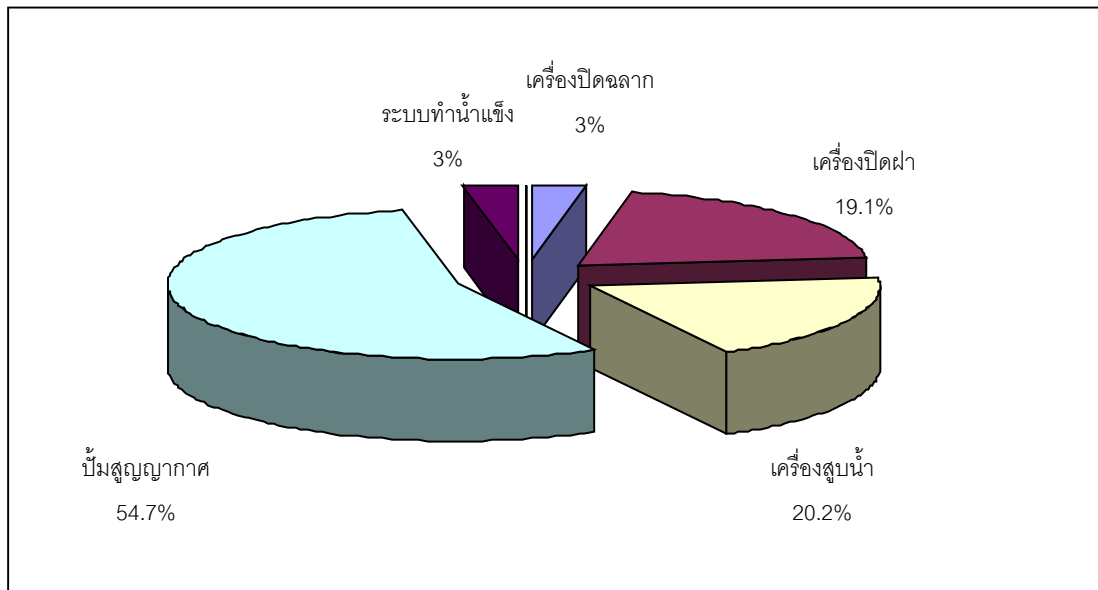
รูปที่ 4-18 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของโรงงาน

4. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน



รูปที่ 4-19 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน

5. สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

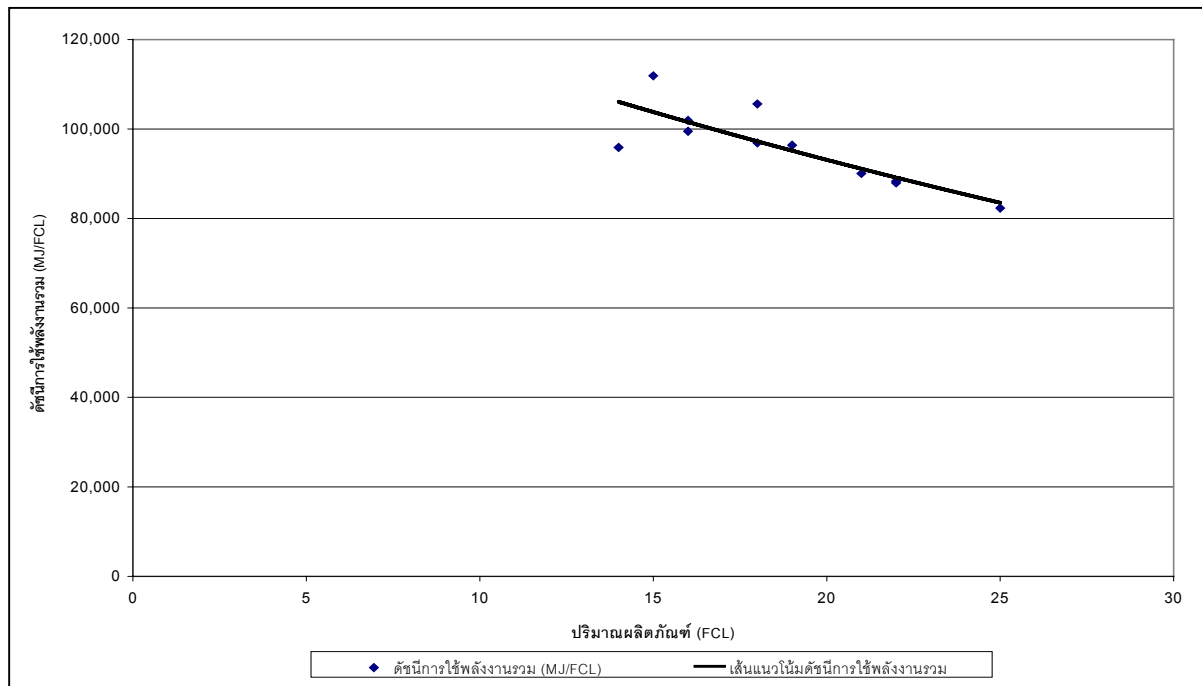


รูปที่ 4-20 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

6. ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

ตารางที่ 4.3 ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานในระหว่างเดือนมกราคม - พฤศจิกายน 2546

เดือน	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ (FCL)	ปริมาณพลังงาน				ดัชนีการใช้พลังงาน		
		ความร้อน (MJ)	ไฟฟ้า		รวม (MJ)	ความร้อน (MJ/FCL)	ไฟฟ้า (MJ/FCL)	รวม (MJ/FCL)
			(kWh)	(MJ)				
มกราคม 2546	16	1,190,020	111,694	402,097	1,592,117	74,376	25,131	99,507
กุมภาพันธ์ 2546	14	995,880	96,201	346,324	1,342,204	71,134	24,737	95,872
มีนาคม 2546	16	1,200,175	119,655	430,758	1,630,933	75,011	26,922	101,933
เมษายน 2546	15	1,235,758	122,931	442,552	1,678,310	82,384	29,503	111,887
พฤษภาคม 2546	18	1,344,902	154,442	555,990	1,900,892	74,717	30,888	105,605
มิถุนายน 2546	19	1,308,906	145,087	522,314	1,831,220	68,890	27,490	96,380
กรกฎาคม 2546	22	1,450,125	137,061	493,420	1,943,545	65,915	22,428	88,343
สิงหาคม 2546	18	1,265,604	132,948	478,613	1,744,217	70,311	26,590	96,901
กันยายน 2546	21	1,405,295	134,991	485,968	1,891,263	66,919	23,141	90,060
ตุลาคม 2546	25	1,565,998	136,746	492,286	2,058,284	62,640	19,691	82,331
พฤศจิกายน 2546	22	1,455,120	133,236	479,650	1,934,770	66,142	21,802	87,944
รวม	206	14,417,783	1,424,992	5,129,972	19,547,755	69,989	24,903	94,892



รูปที่ 4-21 ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเทียบกับปริมาณผลผลิต

ในระหว่างเดือนมกราคม - พฤศจิกายน 2546

7. ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์สถานการณ์ภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างที่ 3

โรงงานมีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนสูงถึง 73% และการใช้พลังงานไฟฟ้า 27% เนื่องจากอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต ใช้พลังงานจากไอน้ำเป็นหลัก โดยอุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนได้แก่ หม้อฆ่าเชื้อ และตู้ไล่อากาศเนื่องจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์หลักที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้แก่ ระบบทำความเย็นห้องเย็น

ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่า 27,167 MJ/FCL/ปี ดัชนีการใช้พลังงานความร้อนเฉลี่ยมีค่า 76,352 MJ/FCL/ปี และดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงานเฉลี่ยมีค่า 103,519 MJ/FCL/ปี

จากผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้า

มีมาตรการดังนี้

1. การติดคาปาซิเตอร์ที่ตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก
2. การปรับแรงดันของหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม
3. การใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง
4. การใช้โคมไฟฟลูออโรสโคปประสิทธิภาพสูง
5. การใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำ
6. การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

การอนุรักษ์พลังงานด้านความร้อน

มีมาตรการดังนี้

1. การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม
2. มาตรการนำไอน้ำมาอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิงแทนการใช้พลังงานไฟฟ้า
3. การหุ้มฉนวนหม้อต้มวัตถุดิบและหม้อนึ่งปลา
4. การหุ้มฉนวนอุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายไอน้ำ
5. การควบคุมการโบล์วดาวนให้เหมาะสม
6. การนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาผสมน้ำป้อนหม้อไอน้ำ
7. การซ่อมรอยรั่วของไอน้ำ
8. การอุ่นน้ำป้อนโดยใช้ความร้อนจากน้ำร้อนทิ้ง

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

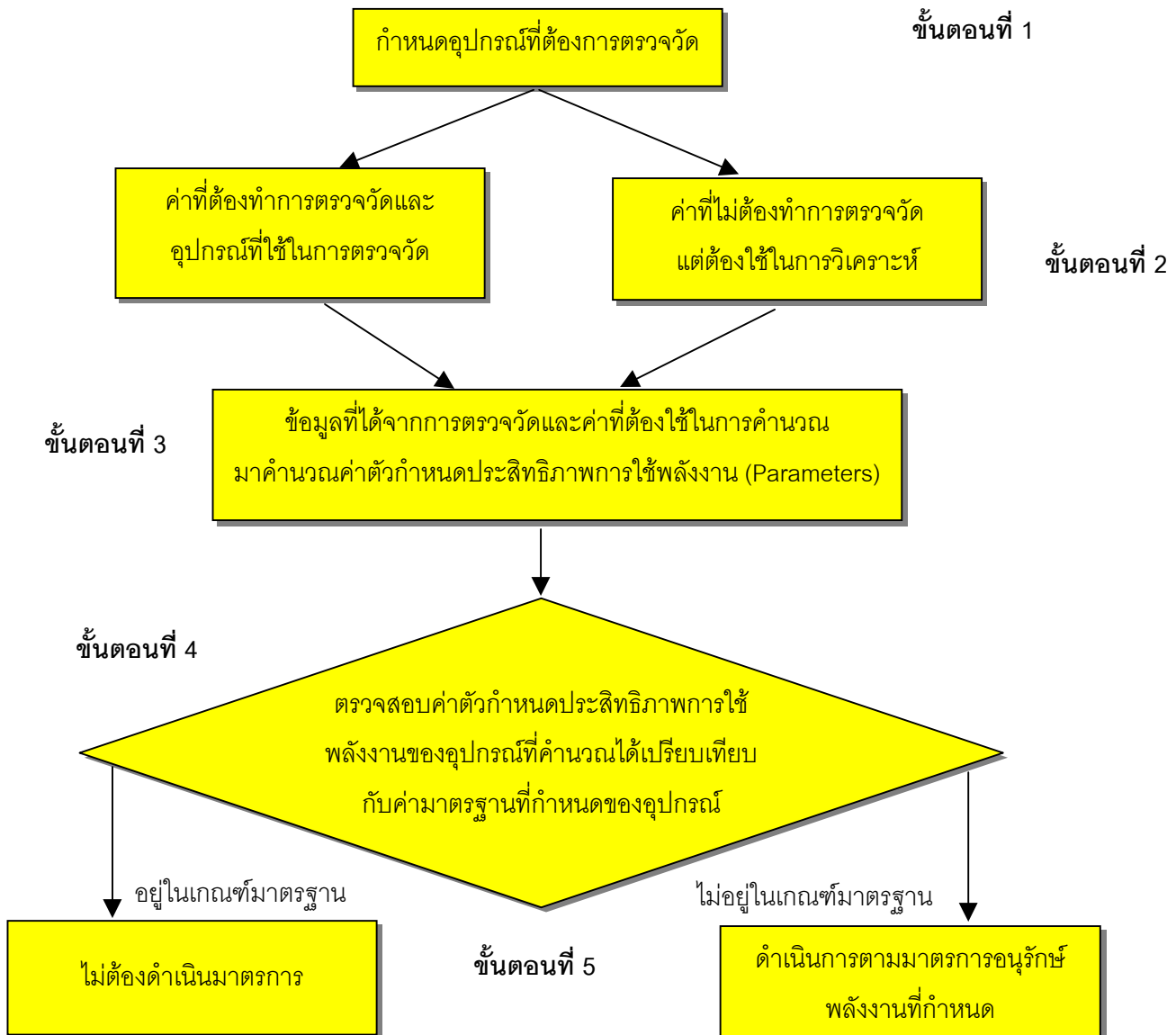
ดังนั้นการตรวจวัดการใช้พลังงานที่ดีควรมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด มีการวางแผนการตรวจวัดอย่างเป็นระบบ และทำการตรวจวัดให้ได้ค่าที่ถูกต้อง จะทำให้การวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงานเป็นไปอย่างชัดเจน ถูกต้อง และรวดเร็ว การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุนมีความถูกต้องแม่นยำ ทำให้การตัดสินใจดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานของโรงงานสามารถทำได้อย่างมั่นใจ

แสดงว่าขั้นตอนการตรวจวัดการใช้พลังงานเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่มีความสำคัญ ซึ่งจะนำไปสู่ขั้นตอนในลำดับต่อไป คือ ขั้นตอนของการคำนวณ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ สำหรับการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่ เพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในอุปกรณ์ต่อไป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานได้เป็นขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ที่สามารถสรุปเป็น “ระเบียบวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน” ได้ดังนี้

ระเบียบวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ลำดับขั้นตอนสำหรับการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อนำไปสู่การตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ในกระบวนการผลิต สามารถแสดงได้ดังแผนภาพข้างล่างนี้



รูปที่ 5-1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์

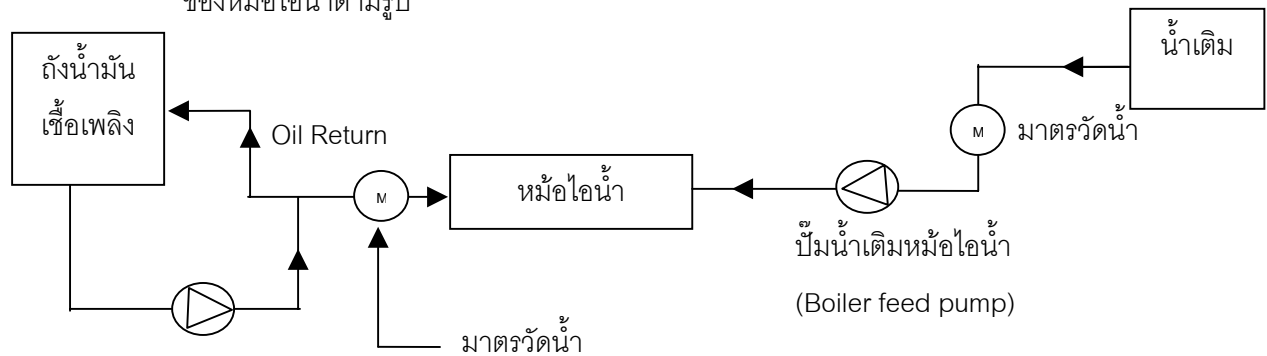
ลำดับขั้นตอนการทำงานดังกล่าวจะเป็นลำดับขั้นตอนการทำงานหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต

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

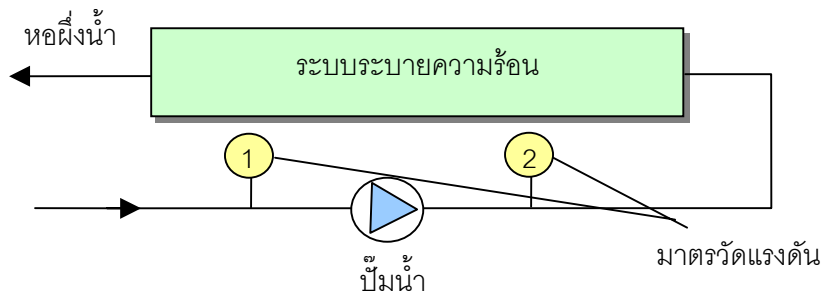


รูปที่ 5-3 มาตรวัด

จากมาตรวัดทั้ง 2 เราสามารถคำนวณการใช้เชื้อเพลิงต่อปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (น้ำเต็มหม้อไอน้ำ จะเท่ากับปริมาณไอน้ำที่ผลิต) ทั้งนี้จะได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอย่างง่าย ๆ

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

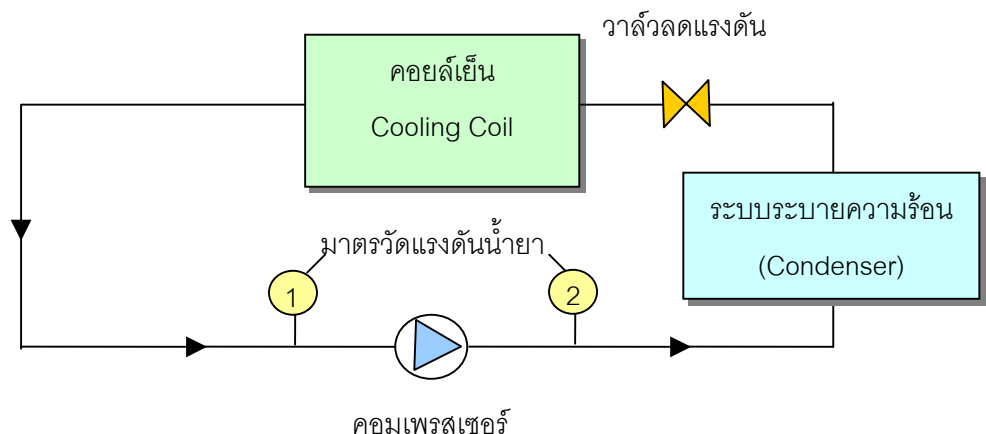
การที่มีการติดตั้งมาตรวัดแรงดัน จะทำให้เรารู้สถานะการทำงาน และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสะดวกในการบำรุงรักษา และเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง ยกตัวอย่าง เช่น ในรูป



รูปที่ 5-4 แสดงการติดตั้งมาตรวัดแรงดันของปั๊มน้ำ

ในการจัดบันทึกจากมาตรวัดหมายเลข 2 ถ้าค่าที่อ่านได้สูงขึ้นกว่าที่จัดไว้ แสดงว่าอาจมีการอุดตันในระบบระบายความร้อน ซึ่งจะทำให้การระบายความร้อนไม่มีประสิทธิภาพ ต้องบำรุงรักษาโดยการล้างทำความสะอาด เป็นต้น หรือถ้าค่าแตกต่างระหว่างมาตรวัดหมายเลข 2 และหมายเลข 1 มีค่าน้อยลง แสดงว่าปั๊มน้ำทำงานมีประสิทธิภาพต่ำลง จำเป็นจะต้องตรวจสอบหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ เพื่อให้ระบบทำงานตามปกติ เป็นต้น

4. มาตรวัดแรงดันน้ำยาทำความเย็นทางด้านดูด และด้านส่งในกรณีที่มีเครื่องทำความเย็นเป็นอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิต 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

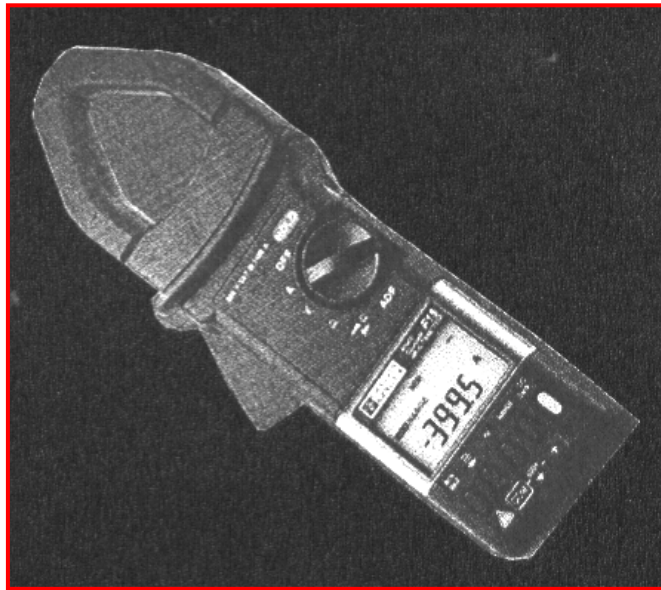
สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ส่วนใหญ่จะมีการติดตั้ง 2 แบบ คือ แบบใช้ของเหลว หรือปรอท และแบบ Thermocouple (ใช้โลหะสองชนิดประกบติดกัน) จุดที่ควรติดตั้งสำหรับตรวจวัดการทำงานอยู่ตลอดเวลา คือ

- 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 = 300°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

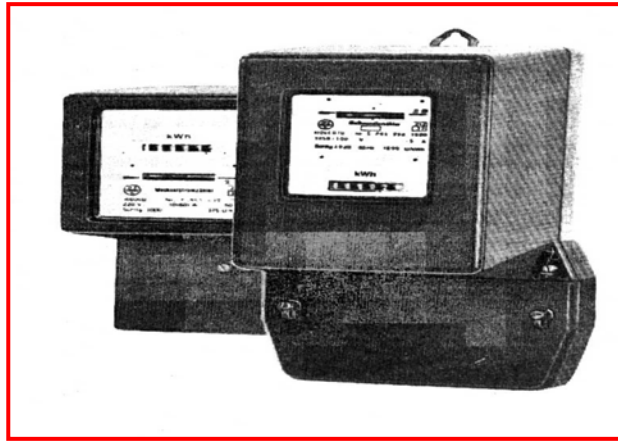
เครื่องมือตรวจวัดมีทั้งชนิดที่วัดค่าทางไฟฟ้าแบบชั่วขณะ เช่น แอมป์มิเตอร์หรือเพาเวอร์มิเตอร์แบบคลั่งวัด มิเตอร์วัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และเครื่องมือตรวจวัดชนิดที่วัดและบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง

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 ค่าทางไฟฟ้ารวมทั้งช่วงระยะเวลาการติดต่อของคอมเพรสเซอร์เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 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

● ระบบแสงสว่าง

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

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า และเครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

ตารางที่ 5.3 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 นอกจากนี้ยังต้องมีการสำรวจจุดรั่วไหลของระบบส่งจ่ายอากาศอัดภายในโรงงาน และสำรวจเวลาการใช้งานเครื่องอัดอากาศ

สำหรับโรงงานที่มีช่วงเวลาที่สามารถหยุดระบบอากาศอัดได้ จะทำให้การตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศและการตรวจวัดปริมาณอากาศรั่วไหลในระบบทำได้อย่างแม่นยำขึ้น โดยการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศสามารถทำได้โดยการจับเวลาที่ใช้ในการอัดอากาศเข้าถังเก็บอากาศจากถังเปล่าจนกระทั่งมีความดันเท่ากับค่าที่กำหนดรวมกับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ส่วนการตรวจวัดปริมาณอากาศรั่วไหลในระบบสามารถทำได้โดยการจับเวลาที่เครื่องเดินและหยุดระหว่างความดันสองระดับที่ตั้งไว้รวมกับการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น และนาฬิกาจับเวลา

ตารางที่ 5.4 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 5.5 การตรวจวัดเครื่องสูบน้ำ

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

● มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ และช่วงเวลาการทำงาน ตลอดจนความเร็วรอบในกรณีของมอเตอร์ที่ต้องการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วย
เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า และเครื่องวัดความเร็วรอบ

ตารางที่ 5.6 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 5.7 การตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
หม้อไอน้ำ	- ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และอุณหภูมิของก๊าซเสีย - อุณหภูมิผิวผนังหม้อไอน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม และพื้นที่ผิว - อัตราการผลิต อุณหภูมิ และความดันของไอน้ำ - อัตราการใช้ และอุณหภูมิเชื้อเพลิง - อัตราการไหล และอุณหภูมิของน้ำป้อน - อัตราการไหล และอุณหภูมิของอากาศป้อน - อัตราการไหลของน้ำ - ค่า TDS ของน้ำป้อนและน้ำป้อน - อุณหภูมิแวดล้อม	- เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ - เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ - เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส



รูปที่ 5-13 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

• ระบบส่งจ่ายไอน้ำ

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

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส และดัลบ์เมตร

ตารางที่ 5.8 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายไอน้ำ

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

• อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

ดำเนินการตรวจวัดค่าต่างๆ กระทำเหมือนกับระบบส่งจ่ายไอน้ำ โดยเน้นที่การวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียผ่านผนังของอุปกรณ์ การสำรวจสภาพของฉนวนความร้อน สภาพของตัวสตีมน้ำ และปริมาณของน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น สำหรับการนำไปประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานความร้อนจากการนำกลับน้ำคอนเดนเสทมาเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส กระบอกตวงวัดปริมาตร นาฬิกาจับเวลา เกจวัดความดันไอน้ำ และตลับเมตร

ตารางที่ 5.9 การตรวจวัดอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

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

• สตีมน้ำ (กับดักไอน้ำ)

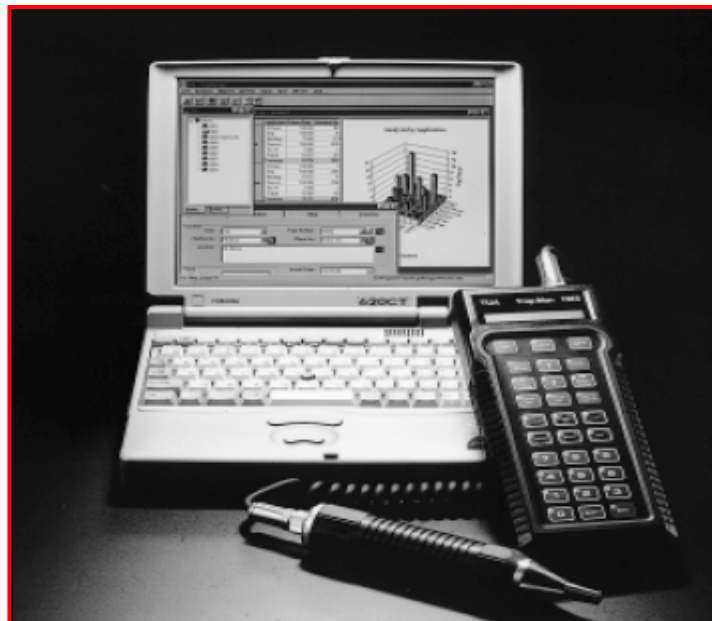
อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตต้องมีการติดตั้งตัวสตีมน้ำ หรือตัวกับดักไอน้ำสำหรับทำหน้าที่ระบายน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้ความร้อนจากไอน้ำ ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพการทำงานที่ดีของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ จึงต้องตรวจสอบให้ตัวสตีมน้ำทำงานได้ดีอยู่เสมอ ไม่มีการรั่วของไอน้ำ จากตัวสตีมน้ำหรือการไม่ทำงาน (เสีย) ของตัวสตีมน้ำที่ระบายน้ำคอนเดนเสทออกจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

การตรวจวัดสตีมน้ำจะเป็นการตรวจสอบสภาพการทำงานของตัวสตีมน้ำ ว่าสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามปกติหรือไม่ ขนาดและประเภทของสตีมน้ำเหมาะสมกับลักษณะการใช้ไอน้ำของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำหรือไม่

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

ตารางที่ 5.10 การตรวจวัดสตีมแทรก

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ตัวสตีมแทรก (กับดักไอน้ำ)	ปริมาณการรั่วของไอน้ำจากตัวสตีมแทรก	อุปกรณ์ Ultrasonic Leak Detector



รูปที่ 5-14 อุปกรณ์ Ultrasonic Leak Detector



รูปที่ 5-15 แสดงการตรวจวัดตัวสตีมแทรก

5.4 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน

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

บทที่ 6

การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

แนวทางอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตอาหารกระป๋องสามารถแยกประเภทตามอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ได้ดังนี้

1. อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิต
2. ระบบความร้อน
3. ระบบไฟฟ้า
4. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
5. ระบบปรับอากาศ
6. ระบบจ่ายน้ำ
7. ระบบหล่อเย็น
8. ระบบบำบัดน้ำเสีย
9. ระบบทำความเย็น

6.1 แนวทางอนุรักษ์พลังงานสำหรับอุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิต

6.1.1 อุปกรณ์ถังต้ม

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับถังต้มมีดังนี้

- (1) เลือกขนาดของถังให้เหมาะสม

ขนาดของถังที่เหมาะสม จะประเมินจากปริมาณของน้ำและวัตถุดิบ ที่ต้องการต้ม และควรเผื่อขนาดไว้ไม่เกิน 20% ของปริมาณที่ต้องการใช้งานจริง นอกจากนั้นแล้วควรจะทำให้มีความลึกของระดับผิวน้ำถึงท่อจ่ายไอน้ำให้มากที่สุดเท่าที่ไม่มีผลเสีย หรือความสะดวกต่อการใช้งาน เนื่องจากจะมีผลให้ไอน้ำมีเวลาในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำได้นานที่สุด

- (2) การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติแทนการปรับอุณหภูมิด้วยมือ

เพื่อช่วยให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ และช่วยลดการสูญเสียไอน้ำจากการจ่ายไอน้ำเกินความต้องการ ลดจำนวนผลิตภัณฑ์เสียหายจากการใช้ความร้อนที่สูงเกินความต้องการ

- (3) ใช้ความดันของไอน้ำที่ใช้งานต่ำที่สุดเท่าที่ต้องการใช้งาน

ในกรณีของการใช้ไอน้ำแบบสัมผัสโดยตรง ควรใช้ไอน้ำที่มีความดันไอน้ำประมาณ 2 bar

6.1.2 ตู้ไล่อากาศ (Exhaust Box)

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับตู้ไล่อากาศแบบเปิดมีดังนี้

- (1) พยายามลดช่องเปิดด้านเข้าและด้านออกของตู้ให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียไอน้ำ ที่หนีออกไปกับช่องดังกล่าว การเลือกใช้ขนาดของตู้ไล่อากาศให้เหมาะสมกับขนาดของกระป๋องจะเป็นหนทางหนึ่งที่ช่วยลดขนาดของช่องทางเข้าและออกของตู้ และมีผลช่วยการลดการสูญเสียไอน้ำดังกล่าว
- (2) การบรรจุน้ำปรุงรสหรือส่วนผสมที่ให้ความร้อนมาก่อนในระดับหนึ่งจะช่วยลดเวลาในการให้ความร้อนในการอบไล่อากาศของตู้ไล่อากาศ
- (3) การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ เพื่อควบคุมปริมาณไอน้ำให้สอดคล้องกับอุณหภูมิที่ความต้องการใช้งานแทนการปรับปริมาณไอน้ำด้วยมือ จะช่วยลดการสูญเสียไอน้ำ และเป็นการป้องกันการให้ความร้อนที่เกินความต้องการกับผลิตภัณฑ์

6.1.3 หม้อฆ่าเชื้อ (Retorts)

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับหม้อฆ่าเชื้อชนิดให้ความร้อนด้วยไอน้ำมีดังนี้

- (1) การติดตั้งอุปกรณ์ไล่อากาศอัตโนมัติ
 - (2) การเลือกขนาดของหม้อฆ่าเชื้อให้เหมาะสมกับปริมาณผลิตภัณฑ์
- ในการทำงานแต่ละครั้งจะมีการสูญเสียไอน้ำในการเริ่มต้นกระบวนการในหม้อฆ่าเชื้อจำนวนมาก การใช้หม้อฆ่าเชื้อที่มีขนาดไม่เหมาะสม เช่น ในกรณีที่ขนาดเล็กเกินไป จะทำให้ต้องทำงานบ่อยครั้งมากขึ้น ซึ่งในแต่ละครั้งในการทำงานจะมีการสูญเสียดังกล่าว นอกจากนั้นแล้วในตอนท้ายของการทำงานจะมีการสูญเสียจากการหล่อเย็นในแต่ละครั้ง
- (3) การหุ้มฉนวนหม้อฆ่าเชื้อ
- เนื่องจากหม้อฆ่าเชื้อ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูง การพิจารณาหุ้มฉนวนหม้ออบฆ่าเชื้อ จึงเป็นมาตรการหนึ่งที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อน และเป็นการรักษาความร้อนในหม้อฆ่าเชื้อ ให้อยู่ในจุดที่ต้องการ
- (4) กำหนดเวลาและอุณหภูมิให้เหมาะสมกับขนาดของกระป๋อง ชนิดของผลิตภัณฑ์ ชนิดของส่วนผสม
- ซึ่งพบว่าแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ แต่ละขนาดของกระป๋อง นั้นต้องการอุณหภูมิและเวลาในการนึ่งฆ่าเชื้อที่ไม่เท่ากัน การเลือกใช้เวลาและอุณหภูมิให้เหมาะสมนั้นทำให้เกิดการประหยัดเวลา ประหยัดพลังงานในการฆ่าเชื้อ และยังทำให้คุณภาพของอาหารกระป๋องที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

6.1.4 ระบบสายพานลำเลียง

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบสายพานลำเลียงมีดังนี้

- (1) ติดตั้งระบบควบคุมการทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อให้มีการลำเลียง (เดินสายพาน) เมื่อมีการผลิต และหยุดการลำเลียง เมื่อไม่มีการผลิต หรือการหยุดพักการผลิตชั่วคราว

6.2 แนวทางอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบความร้อน

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบผลิตไอน้ำ เพื่อจ่ายพลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋อง มีดังนี้

(1) การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

โดยทั่วไปอากาศส่วนเกินเป็นจุดสูญเสียที่สำคัญที่สุดของหม้อไอน้ำ ในกระบวนการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และกำมะถันในเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และพลังงานความร้อน เนื่องจากในการเผาไหม้จริงนั้นไม่สามารถคลุกเคล้า เชื้อเพลิงและอากาศได้อย่างสมบูรณ์แบบ จำเป็นต้องมีอากาศส่วนเกินเข้าไปเผาไหม้ด้วยบางส่วน ถ้าปริมาณอากาศส่วนเกินต่ำเกินไป จะทำให้เชื้อเพลิงบางส่วนเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO) และมีเขม่าควันจัดเป็นการสูญเสียพลังงานลักษณะหนึ่ง (Combustible Loss) ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณอากาศมากเกินไปจะทำให้เชื้อเพลิงส่วนหนึ่งต้องใช้เพื่อเผาอากาศให้ร้อน แล้วปล่อยออกไปเป็นการสูญเสียอีกด้านหนึ่ง (Excess Gas Loss) ดังนั้นการควบคุมการเผาไหม้ที่เหมาะสมก็คือ ควบคุมอากาศส่วนเกินให้ให้ต่ำที่สุดที่ยังเผาไหม้ได้สมบูรณ์ ไม่เกิดเขม่าควัน ซึ่งเป็นช่วงที่การสูญเสียรวมต่ำที่สุด หรือประสิทธิภาพเผาไหม้ดีที่สุด ซึ่งค่าอากาศส่วนเกินที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 6.1 และควรปรับแต่งเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ทุกๆ 3 เดือน เพื่อให้ค่าอัตราส่วนอากาศอยู่ในระดับที่เหมาะสมอยู่เสมอ

ตารางที่ 6.1 อากาศส่วนเกินที่เหมาะสม

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

(2) การควบคุมอุณหภูมิก๊าซไอเสีย

อุณหภูมิก๊าซไอเสีย เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานความร้อนไปกับก๊าซไอเสีย (Flue Gas Loss) ณ ที่อัตราส่วนอากาศเดียวกันแต่อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงขึ้น การสูญเสียความร้อนของก๊าซไอเสียจะสูงขึ้นด้วย อุณหภูมิก๊าซไอเสียที่สูงขึ้น หมายถึง ต้องเผาไหม้เชื้อเพลิงมากขึ้น เพื่อให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผิวด้านความร้อนระหว่างไฟและน้ำไม่ดี ทำให้ต้องผลิตก๊าซไอเสียอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวแปรหนึ่งที่บ่งบอกประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนได้ ก็คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างก๊าซไอเสียและอุณหภูมิไอน้ำอัดตัวที่ความดันไอน้ำใช้งาน ซึ่งการออกแบบทั่วไปจะให้ค่าประมาณ 50-60 °C เมื่อใช้งานไป จะมีตะกรันมาเกาะที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านน้ำ และมีเขม่าเกาะด้านท่อไฟ ทำให้อุณหภูมิแตกต่างจะมีค่าสูงขึ้นพร้อมๆ กับการสูญเสียที่มากขึ้น เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งโรงงานทำความสะอาดอุณหภูมิแตกต่างนี้ก็กลับลดลงอีกครั้ง

(3) การควบคุมการปล่อยน้ำระบาย (Blow Down) เหมาะสม

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

ผลอีกแง่หนึ่งของคุณภาพน้ำก็คือ การใช้งานหม้อไอน้ำจำเป็นต้องมีการระบายน้ำทิ้ง เพื่อลดความเข้มข้นของสารที่ปนมาในน้ำไม่ให้มีค่าสูงเกินขนาดที่จะส่งผลเสียกับหม้อไอน้ำ น้ำป้อนที่ไม่สะอาด มีสารแขวนลอย มีโลหะเจือปนก็จะทำให้ต้องระบายน้ำทิ้งบ่อยและปริมาณมาก หรือในบางโรงงานก็มีการระบายที่ไม่เหมาะสม ระบายบ่อยเกินไป จึงเหมือนกับต้องเติมน้ำที่ต้มแล้วทิ้งเสียทั้งค่าพลังงาน ค่าน้ำ และค่าปรับสภาพ อัตราการระบายเป็นร้อยละเทียบกับน้ำป้อน คิดเป็นการสูญเสียความร้อนของหม้อไอน้ำหรือร้อยละของประสิทธิภาพที่ตกลง (Efficiency Loss) ที่ความดันใช้งานต่างๆ แสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 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% ของไอน้ำที่ผลิต ในกรณีที่ต้องระบายน้ำออกบ่อยๆ และมีปริมาณมากควรทำการติดตั้งระบบปล่อยน้ำระบายอัตโนมัติ และนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้โดยการผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

(4) ควรรักษาอุณหภูมิเชื้อเพลิงให้เหมาะสม รักษาความดันไอน้ำ ความดันเชื้อเพลิงและอากาศเข้าไปเผาไหม้ตามที่ผู้ผลิตระบุ

(5) การติดตั้งตัวปรับความเร็วรอบ (VSD) สำหรับพัดลมดูดอากาศดีร่วมกับตัววัดออกซิเจน

หม้อไอน้ำมักมีโหลดไม่เต็มที่ไม่สม่ำเสมอ การปรับอากาศเข้าไปเผาไหม้โดยปรับความเร็วรอบพัดลมจะทำให้สามารถควบคุมสัดส่วนออกซิเจนในอากาศเสียให้เหมาะสมอยู่ได้ตลอดเวลา

(6) การบำรุงรักษาหม้อไอน้ำอย่างเหมาะสม

ควรบำรุงรักษาหม้อไอน้ำและอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบเป็นระยะอย่างสม่ำเสมอตามคำแนะนำของผู้ผลิต เช่น

- ควรตรวจวัดและบันทึกความดัน และอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนเข้าหัวเผา ความดัน และอุณหภูมิของไอน้ำทุกวัน
- ควรทำความสะอาดชุดหัวเผาทุกๆ เดือนเป็นอย่างน้อยสำหรับเชื้อเพลิงเหลวและทุก 6 เดือนสำหรับเชื้อเพลิงก๊าซ
- ควรทำความสะอาดตัวกรอง (Strainer) ของระบบน้ำป้อนและน้ำมันเชื้อเพลิงทุกเดือน
- ควรตรวจสอบคุณภาพน้ำป้อนและน้ำในหม้อไอน้ำทุกสัปดาห์
- ควรตรวจสอบทางเข้าของอากาศในห้องหม้อไอน้ำ และในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำรวมทั้ง ทำความสะอาดด้านดูดของพัดลม Blower และแผงกรองอากาศทุกเดือน
- ควรปรับแต่งปริมาณเชื้อเพลิงและอากาศที่เผาไหม้ เพื่อให้มีค่าอัตราส่วนอากาศที่เหมาะสมอยู่เสมออย่างน้อยทุกๆ 3 เดือน
- ควรตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ ปั๊มเชื้อเพลิง ชุดหัวเผา และชุดอุ่นน้ำมันเชื้อเพลิง วาล์ว และวาล์วอัตโนมัติต่างๆ และมอเตอร์พัดลมอย่างน้อยปีละ 1 – 2 ครั้ง
- ควรทำความสะอาดผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านสัมผัสน้ำและด้านสัมผัสไฟทุกปี
- ควรทำความสะอาดถังเก็บน้ำป้อน ถังสารเคมี และถังเก็บน้ำมันเชื้อเพลิงทุกปี
- ควรตรวจสอบสภาพอิฐทนไฟ ฉนวน 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 ส่วนความร้อนสัมผัสที่อยู่ในคอนเดนเสทซึ่งมีประมาณ 10 - 20 % จะไม่ได้ใช้ประโยชน์ ไอน้ำที่ใช้งานแล้วยังสะอาดอยู่สามารถนำกลับมาป้อนเข้าหม้อไอน้ำได้อีกครั้งโดยตรง ถ้าการนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ได้ทั้ง 100% จะลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ 20 % ที่เดียว ในกรณีที่คอนเดนเสทมีสิ่งเจือปนแม้ไม่สามารถส่งเข้าหม้อไอน้ำได้โดยตรง ควรนำคอนเดนเสทมาถ่ายเทความร้อนกับของไหลอื่น ซึ่งความร้อนที่เหลืออยู่คอนเดนเสทก็ยังสามารุณใช้แลกเปลี่ยนให้ความร้อนกับของไหลอื่นได้โดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

(11) การนำความร้อนทิ้งในก๊าซไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์

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

ท่อที่ไม่มีการหุ้มฉนวนจะมีการสูญเสียความร้อนดังนี้

ตารางที่ 6.3 การสูญเสียความร้อนผ่านท่อไม่หุ้มฉนวน (Watt per meter) (อ้างอิงที่อุณหภูมิประมาณ 30°C)

Surface	Nominal / outside diameter in mm												
Temp $^{\circ}\text{C}$	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

6.3 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้า

1. อัตราค่าไฟฟ้า

โดยทั่วไปอัตราค่าไฟฟ้าสำหรับโรงงานขนาดกลาง และขนาดเล็กมี 2 ประเภทดังนี้

– อัตราแบบปกติ

อัตราแบบปกติมีให้เลือกใช้สำหรับโรงงานเดิมที่ใช้ค่าไฟฟ้าอัตรานี้อยู่แล้ว และเหมาะสำหรับใช้กับโรงงานที่มีการใช้ไฟฟ้ามากในช่วงเวลากลางวันในวันจันทร์ถึงศุกร์. ส่วนช่วงเวลากลางคืน และวันเสาร์ - อาทิตย์ มีการใช้ไฟฟ้าน้อย ซึ่งในโรงงานผลิตอาหารกระป๋องที่มีอยู่เดิมที่มีการใช้ไฟฟ้ามากในช่วงเวลากลางวัน และสามารถลดการใช้ในช่วงหัวค่ำได้ โดยมากจะเลือกใช้อัตราแบบปกติ

– อัตราแบบ TOU (Time of Use)

อัตราแบบ TOU ค่าไฟฟ้าจะถูกหักหลังช่วงเวลา 22.00 น. ในวันปกติ และวันเสาร์-อาทิตย์ ดังนั้นอัตราแบบ TOU เหมาะสำหรับใช้กับโรงงานที่มีการใช้ไฟฟ้าสม่ำเสมอ และมีการใช้ไฟฟ้าในเวลากลางคืนหลังช่วงเวลากลางคืน รวมทั้งวันหยุดมากๆ

สำหรับโรงงานใหม่การไฟฟ้ากำหนดให้ใช้เฉพาะในอัตราแบบ TOU ดังนั้นโรงงานที่ใช้ค่าไฟฟ้าในอัตราแบบ TOU อยู่ หากสามารถบริหารการผลิตให้สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้าที่เสียอยู่จะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้

● 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) ตามค่าที่อ่านได้เฉพาะเดือนนั้นๆ (สมมติค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด = 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 นี้จะแสดงถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้ากล่าวคือ ถ้าโรงงานใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดตลอด 24 ชั่วโมงต่อวัน และ 30 (31) วันต่อเดือน ค่า Load Factor = 100% หมายความว่า โรงงานนั้นใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องในการผลิต โดยไม่มีหยุด การใช้ไฟฟ้าในการผลิตเต็มที่ 100% แต่ถ้าโรงงานใช้กำลังไฟฟ้ามากบ้าง น้อยบ้าง ค่า Load Factor ก็จะมีน้อยลงตามลำดับ ตัวอย่างเช่น โรงงานที่ผลิตเฉพาะ

กลางวัน 8 ชั่วโมง และทำงานเฉพาะวันจันทร์ – วันศุกร์ และเครื่องจักรเดินไม่เต็มกำลังตลอด ค่า Load Factor อาจต่ำลงถึง 20% เป็นต้น

เนื่องจากราคาค่าไฟฟ้าจะคิดจากความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าพลังงานไฟฟ้ารวม ดังนั้นหากโรงงานใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยมี Load Factor สูง ค่าเฉลี่ยของราคาไฟฟ้าต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ (บาทต่อ กิโลวัตต์-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

ผู้ใช้บริการค่าไฟฟ้าประเภทนี้จะต้องหลีกเลี่ยงการเดินเครื่องจักรในช่วงเวลา 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

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

1) 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

2) ค่าพลังงานไฟฟ้า	=	250,000 x 1.7034	
	=	425,850.00	บาท

3) 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	ความต้องการกำลังไฟฟ้า	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

1) ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

On Peak	=	465 x 132.93	
	=	61,812.45	บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า Peak	=	100,000 x 2.6950	
	=	269,500	บาท

2) ค่าพลังงานไฟฟ้า Off Peak	=	150,000 x 1.1914	
	=	178,710	บาท
รวม	=	448,210	บาท

3) 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%

2. หม้อแปลงไฟฟ้า และระบบจ่ายไฟฟ้า

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า และระบบจ่ายไฟฟ้ามีดังนี้

2.1 ใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของในหม้อแปลง เป็นเกณฑ์หนึ่งในการพิจารณาการจัดซื้อหม้อแปลง เมื่อมีความจำเป็นต้องการติดตั้งใหม่ หรือขยายเพิ่มเติม

2.2 ปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสม โดยแรงดันไฟฟ้าวัดที่แผง ประธานไฟฟ้าขณะจ่ายโหลดสูงสุดควรมีค่าประมาณ 380 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าที่สูง หรือต่ำเกินไปจะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้า ทำงานที่ประสิทธิภาพลดลง ทั้งนี้ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่อยู่ปลายทางควรมีแรงดันไฟฟ้าตกไม่เกิน 3%

2.3 ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ณ แผงประธานไฟฟ้าของโรงงานให้มี ค่าสูงอยู่เสมอโดยติดตั้งคาร์ปาซิเตอร์ และอุปกรณ์ควบคุมตัวประกอบกำลังอัตโนมัติทำงาน ให้มีค่าตัวประกอบกำลัง ณ แผงประธานไฟฟ้าประมาณ 0.95 ทั้งนี้หากค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ามีค่าต่ำ การสูญเสียเนื่องจาก copper loss ในหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าสูง

2.4 ทำความสะอาด และขันย้าจุดต่อทางไฟฟ้าทุกจุดให้แน่นหนาอย่างน้อยปีละครั้ง จะช่วยลด การสูญเสีย ณ จุดต่อทางไฟฟ้า และเป็นการป้องกันปัญหาทางไฟฟ้าที่เกิดจากจุดต่อทางไฟฟ้าหลวมได้อีกด้วย

2.5 ติดตั้งเครื่องตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่แผงประธานไฟฟ้า และโหลดกลุ่มต่างๆในโรงงาน เช่น กลุ่มสำนักงาน กระบวนการผลิต ระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบจ่ายน้ำ เป็นต้น และเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการ ปรับปรุงเครื่องจักร/อุปกรณ์หรือวิธีการดำเนินงานต่างๆ เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

3. มอเตอร์ไฟฟ้า

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับมอเตอร์มีดังนี้

3.1 การใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ

มอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงมาก เมื่อภาระลดลงต่ำกว่าร้อยละ 40 ของพิกัด ดังนั้นควรปรับปรุงการใช้งานมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ โดยการเปลี่ยนมอเตอร์ที่ใช้งานซ้ำภาระต่ำกว่า ร้อยละ 60 ที่มีอยู่ให้มีขนาดเล็กลง สำหรับการเลือกขนาดมอเตอร์ใช้งานโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่กว่าภาระสูงสุดร้อยละ 110 ถึง 120

3.2 หยุดการใช้งานมอเตอร์เมื่อไม่มีภาระ

การทำงานของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องจะพบได้เช่น การเดิน สายพานลำเลียงขณะไม่มีวัตถุดิบบนสายพาน กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปจะสูงถึงร้อยละ 30 ของกำลังพิกัด การปรับปรุงทำได้โดยการติดอุปกรณ์ตรวจจับผลิตภัณฑ์ เพื่อควบคุมให้เครื่องทำงานโดยอัตโนมัติ และการวางแผน กระบวนการผลิตใหม่เพื่อลดเวลาสูญเสียให้มากที่สุด

3.3 มีการระบายความร้อนมอเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

3.4 ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม เนื่องจากมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพการทำงานลดลง และอายุการใช้งานจะสั้นลงเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ไม่เหมาะสม เช่นแรงดันไฟฟ้าที่สมดุลกันทุกเฟส มีรูปคลื่นเพี้ยน หรือแรงดันตก

3.5 ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ทั่วไปประมาณร้อยละ 1 ถึง 3 มอเตอร์ขนาดเล็ก (ขนาดต่ำกว่า 10 กิโลวัตต์) ที่ชำรุด หรือ ราคาซ่อมมอเตอร์เกินร้อยละ 50 ของมอเตอร์ใหม่ ควรเปลี่ยนมอเตอร์เป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและเลือกขนาดให้เหมาะสมกับภาระ เนื่องจากการส่งมอเตอร์ไปพันใหม่ ประสิทธิภาพจะลดลง 1 - 2.5% ค่าบำรุงรักษาจะเพิ่มขึ้น

ในกรณีมอเตอร์ขนาดกลางขึ้นไป (ตั้งแต่ 10 กิโลวัตต์) มีราคาสูงขึ้น อาจส่งไปพันใหม่เมื่อชำรุดในครั้งแรก และหากเสียอีกก็ควรเปลี่ยนมอเตอร์

3.6 การบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าและระบบส่งกำลังอย่างสม่ำเสมอ

เมื่อติดตั้งมอเตอร์ใหม่ ควรบันทึกค่ากำลัง แรงดัน กระแส ความเร็วรอบ อุณหภูมิ เสียง ความสั่นสะเทือน ของมอเตอร์เมื่อเดินตัวเปล่า และเมื่อต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่ถูกขับเคลื่อนในภาวะไร้อภาระและภาระใช้งานปกติ เพื่อให้เป็นค่าอ้างอิงเมื่อเกิดปัญหา

6.4 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างมีดังนี้

1. การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงและเหมาะสมกับการใช้งานดังนี้
 - ใช้หลอดที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้หลอด Fluorescent แทนหลอดไส้ หรือใช้หลอดเมทัลฮาไลด์ หรือ หลอดโซเดียมความดันสูง แทนหลอดแสงจันทร์ เมื่อจำเป็นต้องติดตั้งในที่สูงมากๆ เป็นต้น
 - ใช้โคมไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงมีผิวสะท้อนแสงที่ดี จะช่วยให้สามารถลดจำนวนหลอดต่อโคมลงได้ อาทิเช่นในสำนักงานสามารถใช้โคมประสิทธิภาพสูงแบบ 2 หลอดต่อดวงโคม ทดแทนโคมธรรมดาแบบ 3 หลอดต่อโคมที่ใช้กันทั่วไป
 - ใช้บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ เช่นการใช้บัลลาสต์ แกนเหล็กกำลังสูญเสียต่ำ จะช่วยลดการสูญเสียจากการใช้บัลลาสต์ธรรมดาจากประมาณ 10 วัตต์ เหลือประมาณ 5-6 วัตต์ต่อหลอด หรือการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถลดความสูญเสียในบัลลาสต์ลงเหลือประมาณ 2-3 วัตต์
2. ควรปรับปรุค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้กับโคมไฟฟ้า โดยการติดตั้ง Capacitor ให้มีค่าไม่ต่ำกว่า 0.85 ในกรณีที่ใช้บัลลาสต์ชนิดแกนเหล็ก
3. จัดตำแหน่งโคมใหม่ หรือการจัดกลุ่มสวิตช์ตามการใช้งาน

การจัดตำแหน่งดวงโคมใหม่จะช่วยลดจำนวนโคมส่วนเกินได้ หรือการวางตำแหน่งโคมตามตำแหน่งที่ใช้งานและจัดกลุ่มสวิตช์โคมไฟสำหรับพื้นที่ทำงานเดียวกันเข้าด้วยกัน และแยกโคมไฟสำหรับพื้นที่ที่ทำงานไม่พร้อมกันได้ออกจากกัน ทำให้เปิดปิดเป็นส่วนๆ ได้ ในโรงงานที่หลังคาสูง การลดระดับโคมมายังระดับที่เหมาะสม ทำให้สามารถใช้แสงได้มากขึ้น และลดจำนวนโคมลงได้

บริเวณที่มีความสว่างมากเกินไปควรถอดหลอดและบัลลาสต์ ที่ไม่จำเป็นออก เช่น บริเวณทางเดิน ห้องน้ำ ฯลฯ ถ้ารู้ตำแหน่งที่ทำงานชัดเจนควรลดจำนวนหลอดในบริเวณที่ไม่จำเป็นแล้วให้แสงเน้นเฉพาะจุด

4. ปิดสวิตช์เมื่อไม่ใช้งาน หรือการจำกัดการใช้งาน

การปิดเมื่อไม่ใช้เป็นมาตรการลดการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างได้ดีที่สุด ควรขอความร่วมมือจากพนักงานปิดไฟเมื่อไม่ใช้งานหรือไม่อยู่ เช่น ช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิต สามารถปิดไฟที่ไม่จำเป็นลงบางส่วนได้ หรือปิดสลับเป็นแถวเพื่อลดความสว่างลง ติดป้ายประกาศและกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อสร้างนิสัยการใช้งานที่ดี

5. นำแสงสว่างจากธรรมชาติใช้ประโยชน์ตามศักยภาพของโรงงาน

โรงงานที่ก่อสร้างใหม่ควรผนวกเข้ากับแนวคิดในการออกแบบ โดยติดตั้งหลังคากระเบื้องหรือกระจกที่ยอมให้แสงผ่าน ส่วนโรงงานเก่าก็ควรจะศึกษาว่าจะปรับปรุงได้หรือไม่

6. ทำความสะอาดหลอดและโคมไฟฟ้าตามวาระ

ควรบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแสงสว่างด้วยการทำความสะอาด จะช่วยรักษาระดับความสว่างไว้ได้ในระดับที่ต้องการใช้งานได้ยาวนาน

7. ทาสีสถานที่ทำงานให้สว่าง

6.5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศ

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศมีดังนี้

1. ทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ
2. ตำแหน่งติดตั้งคอยล์ร้อนต้องสามารถระบายอากาศร้อนได้ดี
3. ตั้งอุณหภูมิใช้งานที่ 25°C - 26°C
4. ใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูงแทน เมื่อเครื่องเก่าที่ชำรุด
5. ติดตั้งฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาตามความเหมาะสมของอาคาร
6. ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเหมาะสม

6.6 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบจ่ายน้ำ

แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบจ่ายน้ำมีดังนี้

1. ใช้เครื่องสูบน้ำที่มีขนาดเหมาะสมกับปริมาณความต้องการใช้น้ำ
2. ใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กหลายชุด ในกรณีที่ปริมาณความต้องการใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงกว้าง และเดินเครื่องตามจำนวนที่จำเป็นโดยใช้การควบคุมแบบอัตโนมัติควบคุมจำนวนเครื่องสูบน้ำที่จำเป็นต้องทำงาน
3. เปลี่ยนเครื่องสูบน้ำที่ชำรุด และประสิทธิภาพต่ำ
4. ใช้เครื่องสูบน้ำแรงดันสูงเฉพาะจุด
หากมีความต้องการใช้น้ำแรงดันสูงในบางจุด ควรติดตั้งเครื่องสูบน้ำแรงดันสูงแยกเฉพาะจุด ส่วนที่เหลือก็ใช้เครื่องสูบน้ำแรงดันปกติ
5. การบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำตามวาระ
6. การบำรุงรักษาระบบท่อจ่ายน้ำไม่ให้มีจุดรั่วไหล
7. ติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำในขั้นตอน ของกระบวนการผลิต

6.7 การอนุรักษ์พลังงานในระบบหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

(1) ทฤษฎีของหอผึ่งน้ำ

หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) เป็นอุปกรณ์ระบายความร้อนของน้ำ โดยอาศัยหลักการของความร้อนแฝง กล่าวคือ เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ (โดยการระเหย) จะคายความร้อนออกมาส่วนหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ความร้อนแฝง (Latent heat) ผลจากการคายความร้อนดังกล่าวจะทำให้ น้ำในสถานะของเหลวนั้น เย็นลง แต่จะมีปริมาณน้ำสูญเสียจากการระเหยบางส่วน

(2) คำศัพท์เฉพาะที่ควรรู้ประกอบในเรื่องนี้มีดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ในขณะที่ กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์แห้งอยู่ อุณหภูมินี้คือ อุณหภูมิที่สัมผัสได้ หรือ อุณหภูมิของอากาศ
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ในขณะ ที่กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์เปียก (โดยเอาผ้าหรือสำลีชุบน้ำพันรอบกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์) จะเป็นอุณหภูมิของน้ำขณะระเหยและถูกดึงความร้อนออก
- ความชื้น (Humidity) คือ ค่าของไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศ มีหน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ของอากาศ)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ ค่าร้อยละ (เปอร์เซ็นต์) ของไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศ เมื่อเทียบกับความสามารถที่ไอน้ำจะระเหยปนอยู่ได้เต็มที่ในขณะนั้น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โดยปกติอากาศรอบตัวเราจะมีน้ำผสมอยู่เสมอในรูปของก๊าซ (ไอน้ำ) อากาศที่อุณหภูมิต่างๆ กัน มีความสามารถในการรับไอน้ำเข้าผสมอยู่ในปริมาณต่างๆ กัน ยิ่งอุณหภูมิสูง ความสามารถในการรับไอน้ำผสมอยู่จะยิ่งมาก

ความแตกต่างของไอน้ำที่มีอยู่จริง กับความสามารถที่รับไอน้ำได้ เมื่อเทียบเป็นร้อยละแล้วเราเรียกว่า “ความชื้นสัมพัทธ์” (Relative humidity)

ตัวอย่าง เช่น ที่อุณหภูมิ 35°C มีความชื้นสัมพัทธ์ 75% หมายความว่า ขณะนั้นมีไอน้ำระเหยในตัวอยู่แล้วถึง 75% และสามารถรับไอน้ำเข้าไปได้อีก 25%

หรือตัวอย่าง เช่น ที่อุณหภูมิ 35°C มีความชื้นสัมพัทธ์ 45% หมายความว่า อากาศขณะนั้นสามารถรับไอน้ำระเหยได้อีกมากถึง 55%

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าววัดได้โดยวัดอุณหภูมิของอากาศที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) แล้วนำไปเทียบกับตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 Relative humidity

C							DRYBULB TEMPERATURE C (CELCIUS)																											
Db - Wb	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42											
0.5	96	96	96	96	95	96	96	96	96	96	96	96	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97											
1.0	91	91	92	92	92	92	92	92	93	93	93	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94	94	94											
1.5	87	87	87	88	88	88	88	89	89	89	89	90	90	90	90	90	90	91	91	91	91	91	91											
2.0	83	83	83	84	84	84	85	85	85	86	86	86	86	87	87	87	87	87	88	88	88	88	88											
2.5	78	79	79	80	80	81	81	82	82	82	83	83	83	83	84	84	84	85	85	85	85	85	86											
3.0	74	75	76	75	77	77	78	78	79	79	79	80	80	80	81	81	81	82	82	82	82	83	83											
3.5	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77	77	78	78	78	79	79	79	80	80	80											
4.0	66	67	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	76	77	77	77	78											
4.5	62	63	64	65	66	67	67	69	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	74	75	75											
5.0	59	60	61	62	62	63	64	65	65	66	67	67	68	69	69	70	70	70	71	71	72	72	72											
5.5	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63	64	64	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70											
6.0	51	52	54	55	56	57	58	59	59	60	61	62	62	63	64	64	65	65	66	66	67	67	68											
6.5	48	49	50	51	52	54	56	55	56	57	58	59	60	60	61	61	62	63	63	64	64	65	65											
7.0	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	58	59	60	60	61	61	62	62	63											
7.5	41	42	44	45	46	47	49	50	51	52	52	53	54	55	56	57	58	58	59	60	60	61	61											
8.0	37	39	40	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	52	53	54	55	55	56	57	57	58	58											
8.5			37	39	40	41	43	44	45	46	47	48	48	50	51	51	52	58	54	54	55	56	56											
9.0					37	38	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	51	52	53	53	54											
9.5							37	38	40	41	42	43	44	45	46	47	48	48	49	50	51	51	52											
10.0									37	38	39	41	42	43	44	44	45	46	47	48	48	49	50											
10.5												38	39	40	41	42	43	44	45	46	46	47	48											
11.0															38	39	40	41	42	43	44	45	46											
11.5																38	39	40	41	42	42	43	44											
12.0																		38	39	40	40	41	42											
12.5																				38	38	39	40											
13.0																							38											

ช่องตารางทางซ้ายมือจะเป็นค่าความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Db) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wb) หรืออาจสังเกตได้ง่ายๆ คือ ถ้าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีมาก แสดงว่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

ความสามารถในการระบายความร้อนของห้องขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิกระเปาะเปียก กล่าวคือ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะสามารถระบายความร้อนได้ดี และถ้าอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำ น้ำที่ระบายความร้อนแล้ว จะมีอุณหภูมิต่ำลงด้วย

เราสามารถวัดประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำได้อย่างง่ายๆ คือ

1. วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature)
2. วัดอุณหภูมิน้ำออกจากหอผึ่งน้ำ

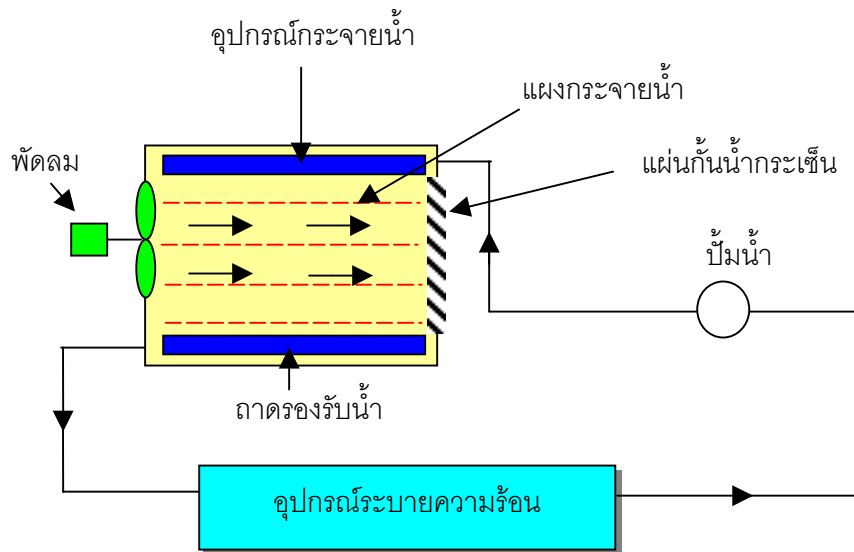
ถ้าอุณหภูมิของน้ำที่ระบายความร้อนแล้วมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก แสดงว่าประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดี

(3) แบบและลักษณะของหอผึ่งน้ำ

ลักษณะโดยทั่วไปของหอผึ่งน้ำ คือ การกระจายน้ำให้เป็นเม็ดเล็กๆ แล้วทำให้มีกระแสลมผ่านเม็ดน้ำเหล่านั้น เพื่อให้ น้ำบางส่วนระเหย

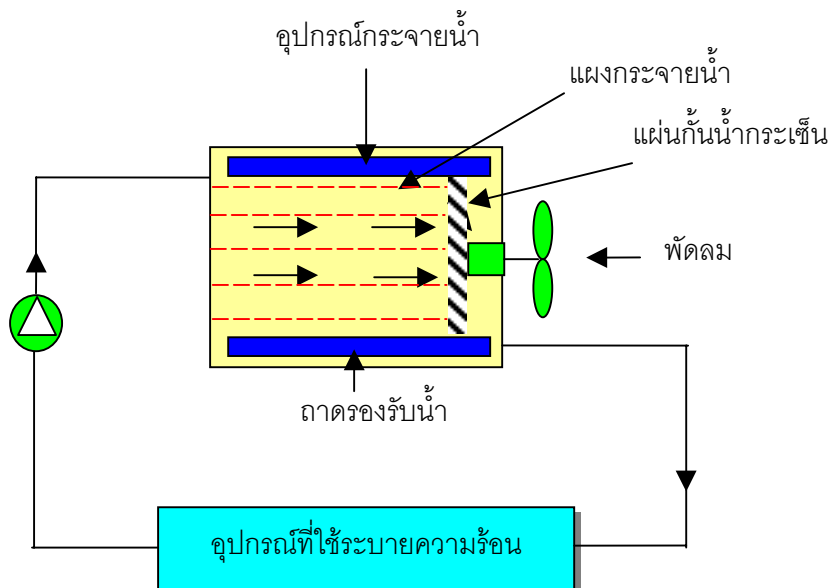
การแบ่งประเภทของหอผึ่งน้ำแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการเป่าลมดังนี้

- หอผึ่งน้ำแบบ Force draft คือ แบบที่ติดตั้งพัดลมเป่าลมผ่านไปบนเม็ดน้ำตามแบบข้างล่าง

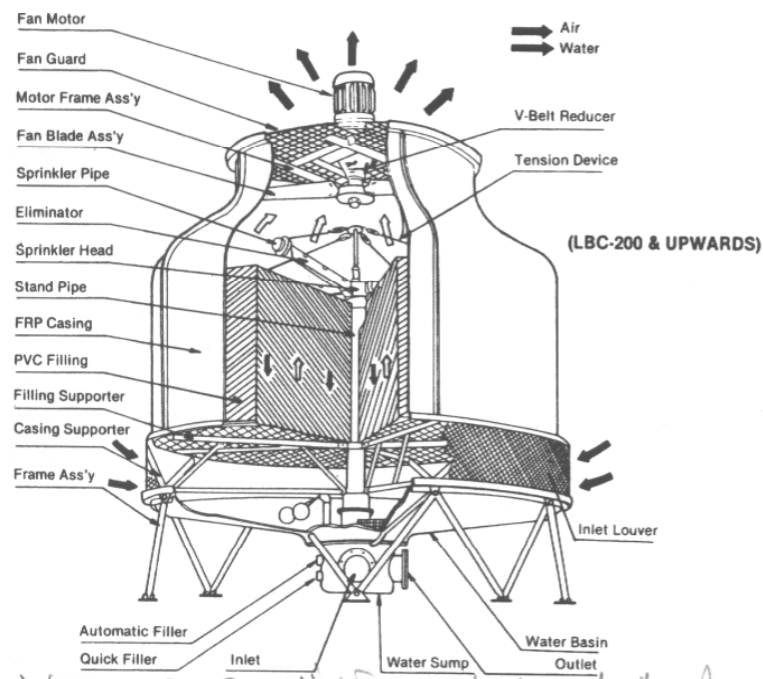
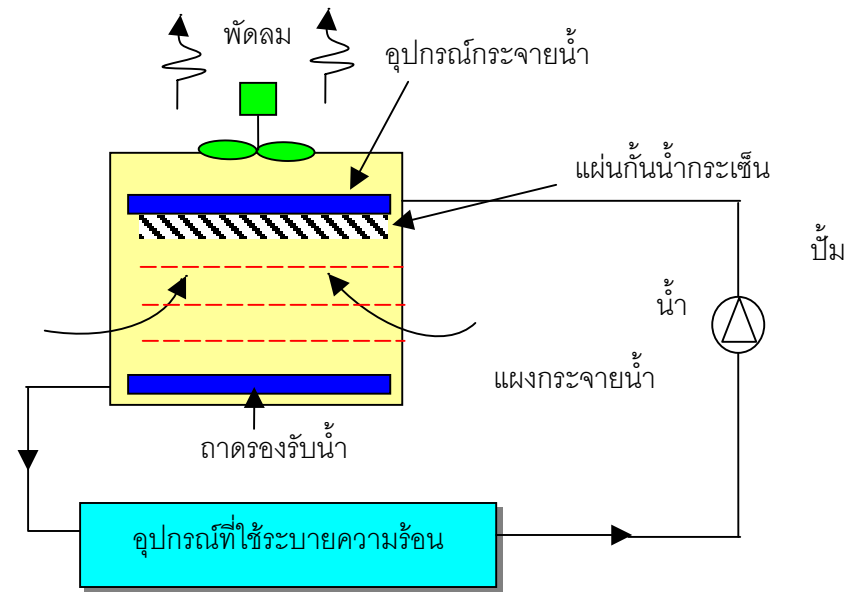


รูปที่ 6-1 หอผึ่งน้ำแบบ Force draft

- หอผึ่งน้ำแบบ Induced draft เป็นแบบที่ติดตั้งพัดลมไว้หลังการกระจายน้ำ โดยใช้วิธีดูดลมผ่าน (Induce) ซึ่งอาจเป็นแบบนอน (Horizontal Flow) หรือแบบตั้ง (Vertical Flow)



รูปที่ 6-2 หอผึ่งน้ำแบบ Induced draft (Horizontal Flow)



รูปที่ 6-3 หอดึงน้ำแบบ Induced draft (Vertical Flow)

ที่นิยมใช้ปัจจุบันจะเป็นแบบ Induced draft, Vertical Flow เพราะการกระจายลมให้สัมผัสกับน้ำมีประสิทธิภาพดีกว่า และการสูญเสียน้ำจากการกระเซ็น (Carry Over) มีน้อยกว่า

(4) ข้อควรดูแลในการประหยัดพลังงานของหอผึ่งน้ำ

1. **พัดลมและมอเตอร์**

พัดลมที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ ถ้าเป็นระบบสายพานจะต้องคอยตรวจสอบสายพานให้อยู่ในสภาพดี และมีแรงตึงพอเหมาะ เนื่องจากสายพานดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่จะต้องถูกน้ำอยู่ตลอดเวลา

- พัดลมบางแบบสามารถปรับมุมได้ เพื่อให้จ่ายลมได้เหมาะสมกับความต้องการ จะต้องได้รับการปรับแต่งให้พอเหมาะกับการใช้งาน
- ถ้าเป็นไปได้ควรใช้มอเตอร์ที่สามารถปรับภาระกรรม (Load) ได้ เช่น 2-Speed motor หรือ Variable Speed motor เพื่อปรับการใช้พลังงานตามความต้องการ

2. **ระบบน้ำ**

- การปรับสภาพของน้ำโดยลดความกระด้างเป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับระบบการระบายความร้อนด้วยน้ำ เพราะถ้าน้ำกระด้างจะเป็นสาเหตุให้เกิดตะกอนในอุปกรณ์ระบายความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนต่ำ เนื่องจากน้ำในระบบจะสัมผัสกับอากาศภายนอกอยู่ตลอดเวลา เป็นสาเหตุให้เกิดสาหร่ายต่างๆ (Algae fungi) เจริญเติบโตในระบบ ซึ่งจะไปเคลือบอุปกรณ์ระบายความร้อนเช่นเดียวกับตะกอน จึงควรใส่สารเคมีเพื่อป้องกัน
- จากสาเหตุของตะกอนและสาหร่าย ประกอบกับสารเคมีที่ใส่ในระบบ จะทำให้เกิดความเข้มข้นของสารต่างๆ (Concentration) จึงต้องระบายความเข้มข้นดังกล่าวออกจากระบบ (Bleeding) โดยอาจใช้แบบ Automatic bleed off โดยมีเครื่องวัดจากความเข้มข้นของน้ำ แล้วส่งสัญญาณไปเปิดวาล์วระบายออก (Bleed off) ซึ่งจะเป็นการประหยัดน้ำระบายออก หรืออาจใช้เป็นการระบายแบบต่อเนื่อง (Continuous bleed off) โดยหีรวาล์วระบายค่อยๆ ระบายออกตลอดเวลา แต่จะเป็นการสิ้นเปลืองน้ำในระบบมาก
- การกระเด็นออกของน้ำ (Carry Over) จะต้องตรวจสอบการกระเด็นออกของน้ำอยู่เสมอ โดยทั่วไปหอผึ่งน้ำจะมีการกระเด็นของน้ำน้อยมาก สาเหตุจากการกระเด็นอาจเกิดจาก
 - 1) ตั้งพัดลมแรงเกินไป
 - 2) แผงกระจายน้ำชำรุด
 - 3) หัวฉีดน้ำชำรุด
- ระบบกระจายน้ำให้เป็นฝอย, ละออง ซึ่งโดยปกติน้ำจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดฝอย (Spray nozzle) เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการระเหยของน้ำได้ดี จึงควรตรวจสอบให้หัวฉีดดังกล่าวอยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ

6.8 การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเสีย

เนื่องด้วยได้มีพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 จึงได้มีประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นทั้งทางกฎหมายและทางสังคมที่โรงงานจะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานให้ได้ตามมาตรฐานดังกล่าว ระบบบำบัดน้ำเสียจึงเป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับโรงงาน และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากแหล่งหนึ่ง ซึ่งสมควรจะเรียนรู้ระบบดังกล่าว เพื่อจะได้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน

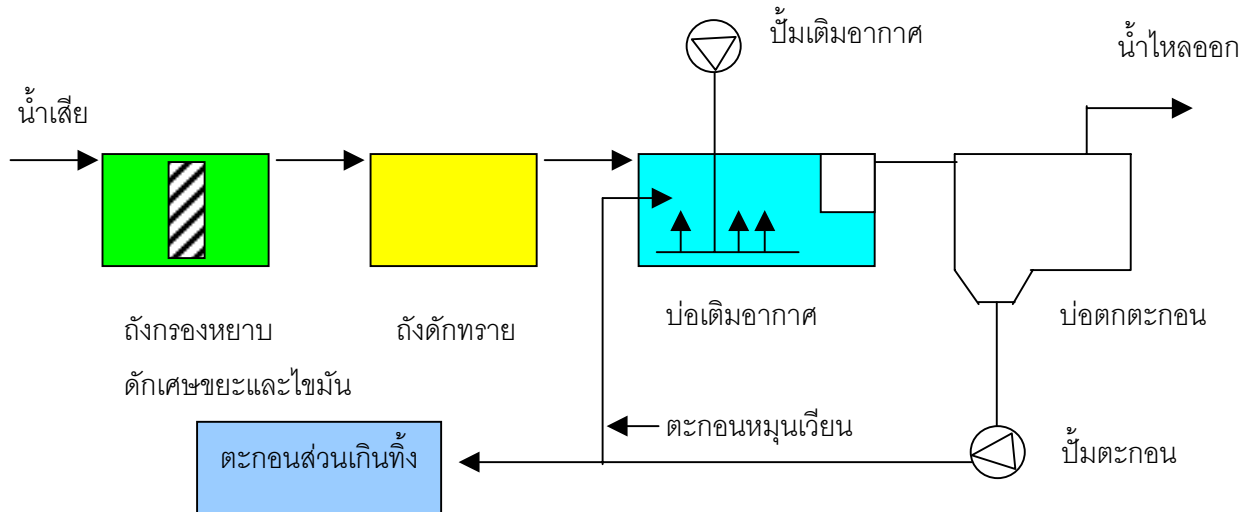
แหล่งน้ำเสียจากโรงงานจะเกิดจากกระบวนการผลิต, น้ำระบายความร้อน, น้ำล้างอุปกรณ์ และ จากระบบไอน้ำ ฯลฯ ซึ่งมีสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดน้ำเสียต่างๆ กัน การบำบัดน้ำเสียดังกล่าวจึงจำเป็นต้องรู้ถึงสาเหตุและสารปนเปื้อน ตลอดจนปริมาณ เพื่อประกอบในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ

ก่อนอื่นจะต้องทำความเข้าใจเบื้องต้นสำหรับคำศัพท์เฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของโรงงานดังต่อไปนี้

- สารอินทรีย์ หมายถึง สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอน (Carbon) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งได้มาจากธรรมชาติ และสิ่งมีชีวิต 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 แตกต่างกันอยู่ที่การหาค่าโดย 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 6-4 แสดงแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge

น้ำเสียจะถูกส่งผ่านไปยังถังกรอง ซึ่งจะกรองเศษวัสดุหยาบ และไขมันออกขั้นหนึ่งก่อน เพราะเศษวัสดุ และไขมันดังกล่าวจะย่อยสลายยาก หลังจากนั้นอาจมีถังตกทราย ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการอุดตันภายในระบบ ออกอีกขั้นหนึ่ง น้ำเสียจะถูกส่งต่อไปยังบ่อเติมอากาศ

ในบ่อเติมอากาศจะมีจุลชีพที่ย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่ ซึ่งเป็นแบบจุลชีพที่ใช้ ออกซิเจนในการย่อยสลาย (Aerobic Bacteria) จึงต้องมีการเติมอากาศเพื่อเป็นการให้ออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา การใช้พลังงานส่วนใหญ่ของระบบบำบัดน้ำเสียจะเกิดในขั้นตอนเติมอากาศนี้

จากนั้นน้ำเสียจากถูกจุลชีพย่อยสลาย แล้วจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอน เพื่อให้สารแขวนลอยในน้ำที่ถูกบำบัด รวมตัวเป็นมวลขนาดใหญ่ขึ้น และตกตะกอนลงไปยังก้นถัง จะเหลือน้ำใสที่ถูกบำบัดแล้วทิ้งออกนอก ระบบต่อไป

ส่วนตะกอนจะถูกกำจัด โดยอาจเป็นระบบกลบฝังทำปุ๋ย หรือนำไปทิ้งในที่เตรียมไว้ ฯลฯ และเนื่องจาก บางส่วนของตะกอนอาจมีจุลชีพปนออกมา ทำให้จุลชีพในบ่อเติมอากาศเจือจางลง จึงมีระบบนำตะกอนดังกล่าว บางส่วนนำกลับไปใช้ใหม่ในถังเติมอากาศอีก

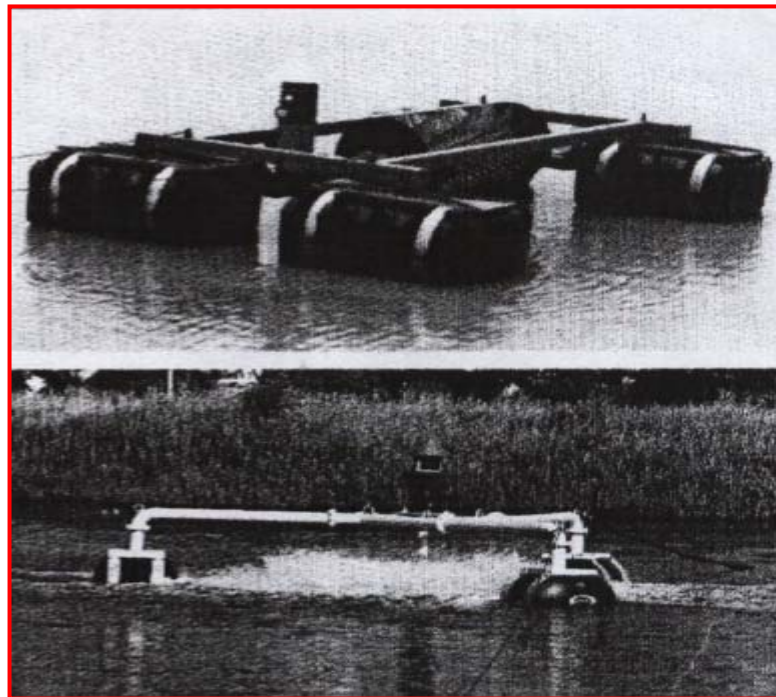
2) การประหยัดพลังงานในระบบบำบัดน้ำเสีย

การออกแบบระบบจะเป็นจุดเริ่มต้นของการประหยัดพลังงานในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะต้องมีข้อมูลพร้อมในการออกแบบ ได้แก่

- ชนิดของน้ำเสีย ส่วนผสมของสารอินทรีย์
- ปริมาณช่วงผลิตเต็มกำลัง และช่วงผลิตน้อย เพื่อเลือกอุปกรณ์ในการเดินเครื่องขณะภาระต่ำ
- อุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในระบบ
- เนื้อที่ก่อสร้างระบบ

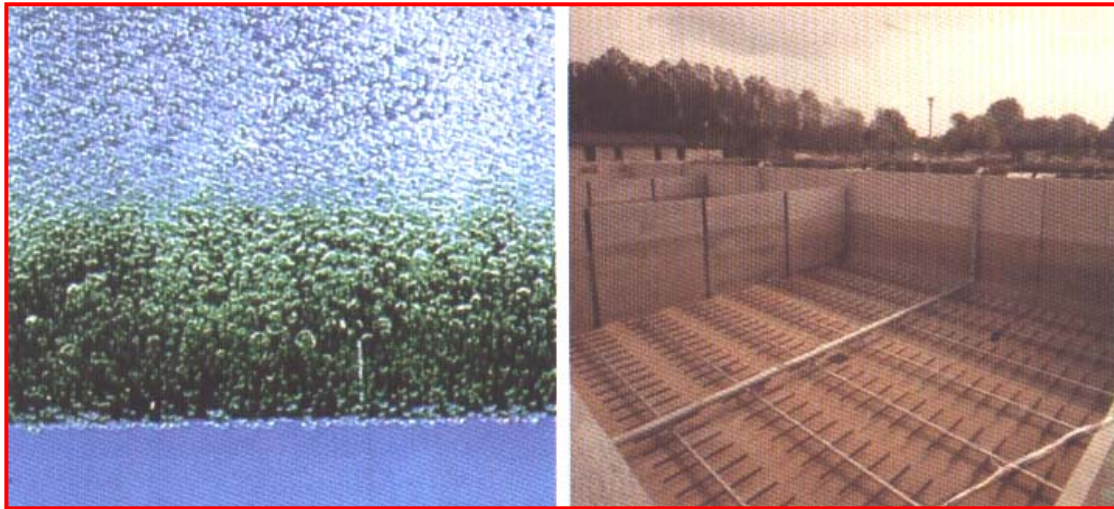
ในระบบ Activated sludge ซึ่งมีการเติมอากาศ จะมีระบบการเติมอากาศหลายระบบ ตัวอย่างเช่น

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



รูปที่ 6-5 ระบบเติมอากาศแบบ Surface aeration

- Submersible aeration การใช้เครื่องเติมอากาศแบบจุ่ม ราคาถูก แต่การกระจายอากาศไม่ค่อยทั่วถึง เพราะฟองอากาศใหญ่ประสิทธิภาพที่อากาศจะสัมผัสกับจุลชีพน้อย
- ระบบที่มีประสิทธิภาพดี แต่ต้นทุนในการติดตั้งค่อนข้างสูง คือ ระบบ Air blower พร้อม Air diffuser ลักษณะของระบบจะเป็นเครื่องเติมอากาศต่อท่อลงไปยังก้นบ่อ โดยบริเวณก้นบ่อโดยรอบจะมีท่อซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็กต่อถึงกัน ทำให้อากาศกระจายโดยทั่ว และฟองอากาศจะมีขนาดเล็ก ทำให้โอกาสที่อากาศสัมผัสกับจุลชีพมีสูง เป็นการประหยัดพลังงานในการเติมอากาศได้

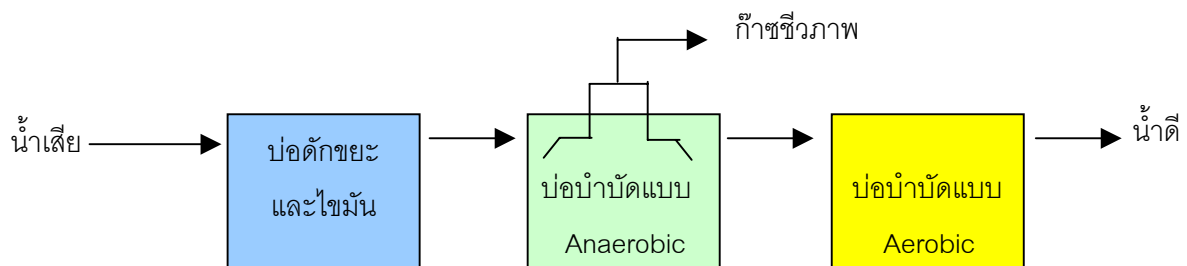


รูปที่ 6-6 แสดงระบบ Air diffuser

- 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 6-7 การบำบัดแบบผสม

ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องที่มีน้ำเสียอุณหภูมิต่ำๆ ระบายลงมาในระบบ จะเป็นอุปสรรคในการย่อยสลายของจุลชีพ เนื่องจากจุลชีพจะย่อยสลายได้ดีในอุณหภูมิประมาณ 35 – 38°C จึงมีความจำเป็นต้องทำให้น้ำเสียดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อน โดยอาจใช้ความร้อนที่ทิ้งจากระบบอื่นมาทำการเพิ่มอุณหภูมิ

ตารางที่ 6.5 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. เปสตีไซด์ (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 6.6 มาตรการประหยัดพลังงานระบบบำบัดน้ำเสีย แบบ Activated Sludge (AS)

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

ตารางที่ 6.7 มาตรการประหยัดพลังงานของหอผึ่งน้ำ

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

6.9 การอนุรักษ์พลังงานของเครื่องทำความเย็น

ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเก็บรักษาวัตถุดิบจะเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับการเดินเครื่องทำความเย็น ซึ่งใช้ในกระบวนการแช่แข็งวัตถุดิบ และกระบวนการเก็บรักษาวัตถุดิบในห้องเย็น จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะควบคุมดูแลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบ ซึ่งควรจะคำนึงถึงปัจจัยสำคัญดังนี้

ข้อคำนึงในการออกแบบระบบห้องเย็น

- 1) การใช้ฉนวนบุห้องเย็นให้มีขนาดพอเพียงสำหรับลดการสูญเสียความเย็น ซึ่งโดยทั่วไปขนาดความหนาและประเภทของฉนวนควรจะเป็นดังนี้

ห้องแช่แข็ง (อุณหภูมิ -40°C)

ฉนวน Polystyrene หนา 250 mm.

ฉนวน Polyurethane หนา 150 – 200 mm.

ห้องเก็บ (อุณหภูมิ -20°C)

ฉนวน Polystyrene หนา 200 mm.

ฉนวน Polyurethane หนา 100 – 125 mm.

ส่วนของหลังคาควรมีแผ่นสะท้อนกันความร้อน (โดยทั่วไปจะเป็น Aluminum foil) บุด้านนอกห้องอีก 1 ชั้น ภายในห้องจะต้องปิดมิดชิด เพื่อกันอากาศร้อน และความชื้นภายนอก

- 2) เส้นทางกลิ้งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ควรจะลดความสูญเสียความเย็น โดยควรออกแบบให้แนวทางกลิ้งต่อเนื่องตามกระบวนการผลิต และอยู่ในบริเวณที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้

- 3) การเลือกซื้ออุปกรณ์และการออกแบบระบบ

- 3.1) ควรออกแบบระบบทำความเย็นให้อุณหภูมิทางด้านกลับของน้ำยา (Suction Temperature) ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของคอยล์เย็น (Evaporator Coil) เพื่อลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์

- 3.2) ควรออกแบบระบบท่อทางเดินน้ำยาให้มีระยะสั้นที่สุด และมีขนาดพอเหมาะที่จะไม่เพิ่มภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์

- 3.3) ระบบระบายความร้อน เช่น แผงระบายความร้อน (Condenser Coil) หรือหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) ควรให้มีขนาดใหญ่พอที่จะลดอุณหภูมิของน้ำยาได้โดยสะดวก ถึงแม้ประสิทธิภาพจะลดลงบ้างจากการใช้งานเป็นระยะเวลานาน

สถานที่ตั้งระบบระบายความร้อนจะต้องไม่เป็นที่อับ และสามารถทำให้การระบายความร้อนเป็นไปอย่างสะดวก

การเลือกแผงระบายความร้อนด้วยอากาศจะต้องเป็นแบบที่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง เป็นระยะเวลานาน เช่น มีความห่างของครีระบายความร้อนพอสมควร โดยทั่วไปการเลือกใช้ครีระบายความร้อนที่ใช้ในระบบปรับอากาศ มาใช้ในระบบเครื่องทำความเย็น จะทำให้เกิดการอุดตันได้ง่าย อีกทั้งเนื่องจากสถานที่ติดตั้งอยู่ใกล้ชายทะเล จะทำให้เกิดสนิม (ออกไซด์ของโลหะ) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลง จึงควรใช้แบบที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมห้องเย็น เท่านั้น ความห่างของครีระบายความร้อนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 2.5 – 3.5 mm.

การทำความสะอาดแผงระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอจะช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ระบบระบายความร้อน (Condensing temperature) ที่เหมาะสม ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ 36 – 38°C

ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ 43 – 45°C

- 3.4) การเลือกคอยล์เย็น (Evaporator Coil หรือ Cooling Coil) ควรเลือกที่มีขนาดใหญ่และเลือกที่สถานะอุณหภูมิที่คอยล์เย็น (Evaporating temperature) ใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน การเลือกคอยล์เย็นที่อุณหภูมิต่ำๆ จะได้คอยล์เย็นที่มีขนาดเล็กลง ราคาถูก แต่ใช้พลังงานในการเดินเครื่องสูงกว่า ครีปของคอยล์เย็นควรเป็นแบบห่าง เพื่อให้เกิดการตันจากน้ำแข็งได้ยาก
- 3.5) จะต้องมีการติดตั้งระบบละลายน้ำแข็ง (Defrost) ในคอยล์เย็นเสมอ ในระหว่างการใช้งาน คอยล์เย็นจะมีน้ำแข็งมาจับ อันเนื่องมาจากความชื้นของผลิตภัณฑ์ หรือจากอากาศภายนอก ซึ่งน้ำแข็งจะเป็นตัวทำให้การถ่ายเทความร้อนของคอยล์เย็นด้อยประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงาน จึงต้องมีการละลายน้ำแข็งอย่างสม่ำเสมอ
การใช้ระบบละลายน้ำแข็งด้วยก๊าซร้อนของสารทำความเย็นจะประหยัดพลังงานกว่าใช้ระบบไฟฟ้า การละลายน้ำแข็งโดยใช้น้ำฉีด หรือหยุดเครื่องทำความเย็น เป็นเหตุให้การรักษามันไม่คงที่ จึงควรมีระบบละลายน้ำแข็งโดยใช้การตั้งเวลา และควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ
- 3.6) ในระบบทำความเย็นที่มีอุปกรณ์ไล่อากาศในท่อทางเดินสารทำความเย็น จะต้องตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าวให้ใช้งานได้คืออยู่เสมอ การที่มีอากาศปนอยู่ในระบบสารทำความเย็น จะทำให้การหมุนเวียนของสารทำความเย็นไม่สะดวก (เกิด Airlock) อีกทั้งการระบายความร้อนในระบบระบายความร้อนจะลดประสิทธิภาพลง เป็นเหตุให้การใช้พลังงานในการเดินเครื่องสูงผิดปกติ
- 3.7) การออกแบบระบบแช่แข็งและระบบเก็บ ซึ่งมีอุณหภูมิใช้งานต่างกัน ควรแยกการใช้งานเครื่องคอมเพรสเซอร์คนละระบบ ในการใช้คอมเพรสเซอร์ชุดเดียวทำงานทั้งระบบแช่แข็ง (อุณหภูมิ Suction temperature ต่ำกว่า -40°C) และระบบเก็บในห้องเย็น (Suction temperature ต่ำกว่า -20°C) จะทำให้คอมเพรสเซอร์มีภาระการทำงานมากกว่าปกติ เพื่อลดความดันลงต่ำ
- 3.8) คอมเพรสเซอร์ที่เลือกใช้ควรคำนึงถึงการใช้งาน เช่น
 - คอมเพรสเซอร์แบบ Screw จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเดินเครื่องเกิน 80% ของ Full load แต่จะมีประสิทธิภาพต่ำมาก เมื่อเดินเครื่องที่ภาระการทำงานต่ำๆ
 - คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบ Screw ที่ Full load แต่จะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ Load น้อย
 - ควรเลือกคอมเพรสเซอร์ที่มีอุปกรณ์ลดการทำงานของลูกสูบ (Unloaded) เพื่อช่วยลดการทำงานของมอเตอร์ขณะที่ Load ต่ำๆ

ข้อคำนึงในการเดินเครื่องห้องเย็น

- 3.9) ในบางกรณี เมื่อผู้ประกอบการเลือกการใช้ไฟฟ้าแบบ TOU ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (กลางคืน) ต่ำกว่ากลางวันมาก จะมีวิธีการเดินเครื่องห้องเย็นเก็บของ โดยลดอุณหภูมิให้ต่ำลงจากเดิมประมาณ -20°C ลงเป็น -30°C เพื่อให้มวลของห้องและมวลของผลิตภัณฑ์สามารถเก็บความเย็นไว้ในช่วงกลางคืน และจะค่อยๆ ระบายออกมาในช่วงกลางวัน ทำให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ในเวลากลางวันลดลง ซึ่งทำให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง
- 3.10) ในการแช่แข็งแบบใช้ระบบเครื่องทำความเย็น การตรวจสอบอุณหภูมิแช่แข็งที่กึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ (Core temperature) ให้เท่ากับ -18°C จะเป็นส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานได้มาก การที่ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องแช่แข็งนานเกินความจำเป็น จะเป็นผลให้การใช้พลังงานสูงกว่าปกติ
- 3.11) บริเวณหน้าห้องแช่แข็งและห้องเก็บควรจะมีห้องกักบริเวณทางเข้า (Anti-Room) โดยต้องออกแบบให้ลดความชื้น
- 3.12) บริเวณโดยทั่วไปจะต้องทำให้แห้งอยู่เสมอ เพื่อลดภาระของเครื่องทำความเย็น เนื่องจากความชื้นของบริเวณ

อุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานในระบบเครื่องทำความเย็น ได้แก่

- เทอร์โมมิเตอร์ในห้องแช่แข็ง, ห้องเก็บ และเทอร์โมมิเตอร์ในการตรวจวัด Core temperature ของผลิตภัณฑ์
- มาตรวัดความดันในระบบของสารทำความเย็นทั้งทางด้าน Suction และ Discharge
- มาตรวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นโดยแยกระหว่างระบบแช่แข็ง และระบบห้องเย็นเก็บผลิตภัณฑ์

อุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

รายการเครื่องจักรและอุปกรณ์	มาตรการ
1. อุปกรณ์ถังต้ม	- เลือกขนาดของถังต้มให้เหมาะสมกับปริมาณของน้ำ และวัตถุดิบที่ต้องการต้ม - การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ แทนการปรับลิ้นไอน้ำด้วยมือ - ใช้ความดันของไอน้ำที่ใช้งานให้ต่ำที่สุดเท่าที่ต้องการใช้งาน
2. ตู้ไล่อากาศ (Exhaust Box)	- ลดการสูญเสียไอน้ำ โดยการลดช่องเปิดด้านเข้า และด้านออกของตู้ให้น้อยที่สุด - การบรรจุน้ำปรุงรสหรือส่วนผสมผ่านการให้ความร้อนมาก่อน เพื่อลดเวลาในการให้ความร้อนในการอบไล่อากาศ - ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมปริมาณไอน้ำอัตโนมัติให้สอดคล้องกับอุณหภูมิไอน้ำร้อนที่ต้องการใช้งาน
3. หม้อฆ่าเชื้อ (Retorts)	- การติดตั้งอุปกรณ์ไล่อากาศอัตโนมัติ - การเลือกขนาดของหม้อฆ่าเชื้อให้เหมาะสมกับปริมาณผลิตภัณฑ์ - การหุ้มฉนวนหม้อฆ่าเชื้อ - การกำหนดเวลาและอุณหภูมิในการอบฆ่าเชื้อให้เหมาะสมกับขนาดของกระป๋อง ชนิดของผลิตภัณฑ์ และชนิดของส่วนผสม
4. ระบบสายพานลำเลียง	ติดตั้งระบบควบคุมการทำงานอัตโนมัติ

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋อง

เครื่องทำความเย็น

รายการเครื่องจักรและอุปกรณ์	มาตรการ
1. ฉนวนบุห้องเย็น ห้องแช่แข็ง (-40 °C) ห้องเย็นเก็บของ (-20 °C) บุฝ้าเพดานเพิ่ม	Poly Styrene หนา 250 mm. Polyurethane หนา 150-200 mm. Poly Styrene หนา 200 mm. Polyurethane หนา 100-125 mm. Aluminum foil
2. เส้นทางลำเลียงผลิตภัณฑ์	สะดวกและใกล้กัน
3. การออกแบบระบบ แผงระบายความร้อน (Condenser Coil)	ออกแบบให้เหมาะสมโดยเฉพาะงานห้องเย็น มีครีบบระบายห่าง
4. คอลล์เย็น (Evaporator Coil)	มีขนาดใหญ่ Suction temperature
5. คอลล์เย็น	ติดตั้งระบบละลายน้ำแข็ง (Defrost)
6. ระบบสารทำความเย็น	ไล่อากาศภายในระบบสารทำความเย็น
7. ระบบเครื่องทำความเย็น	แยกเครื่องระบบแช่แข็งและระบบห้องเย็นออกจากกัน
8. คอมเพรสเซอร์	แบบสกรูควรที่จะเดินที่ใกล้เคียง Full load ตลอดเวลา
9. การเดินเครื่องห้องเย็นเก็บของ	อาจเดินในเวลากลางคืน (Off Peak) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ (-30 °C) เพื่อสำรองความเย็นไว้ในเวลากลางวัน
10. ระบบการแช่แข็ง	ตรวจสอบอุณหภูมิการแช่แข็ง (-18 °C) อย่าให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องแช่แข็งนานเกินความจำเป็น

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 - ปัมป์แรงดันสูง - แปรงทำความสะอาดและน้ำยาเคมี

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

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

ระบบปรับอากาศ (สำนักงาน)

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

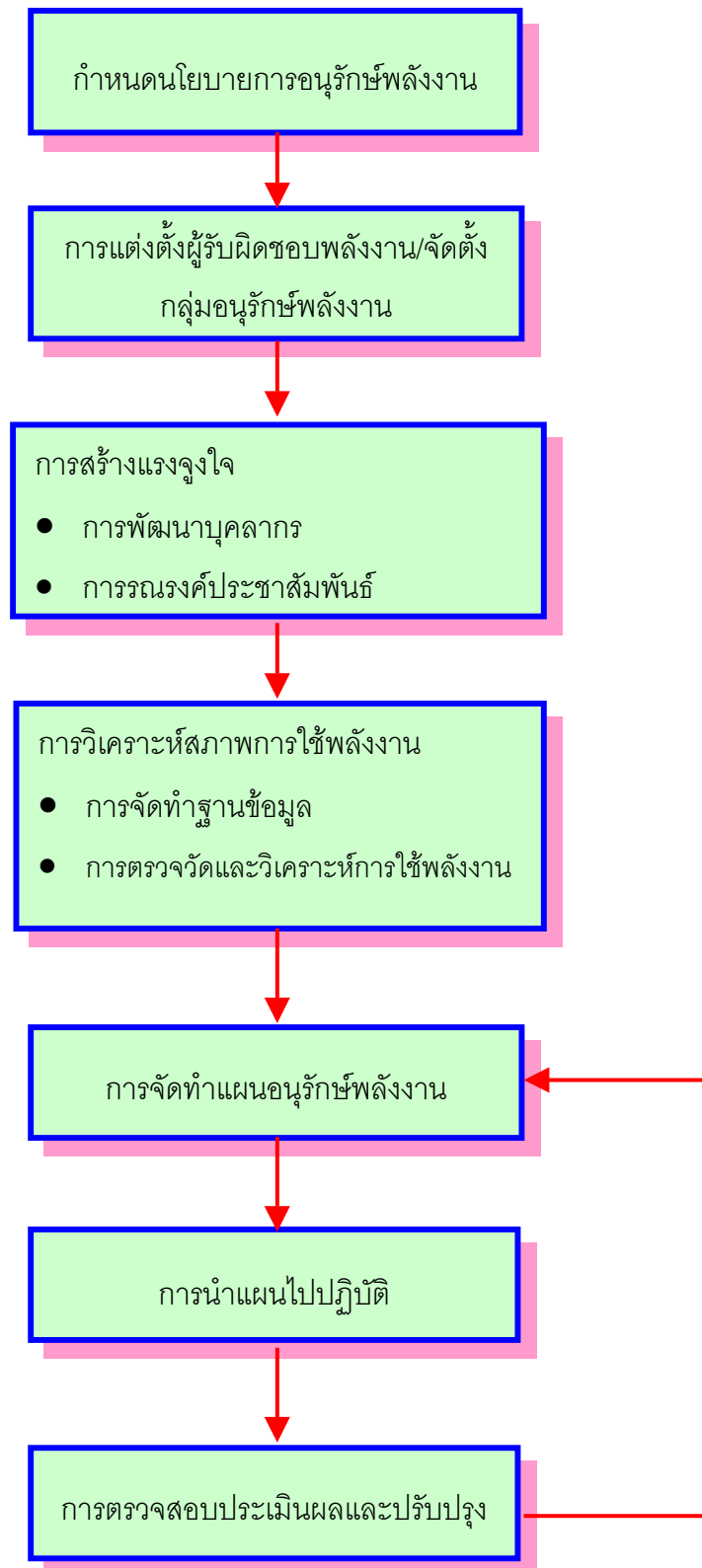
จากแนวทางเบื้องต้นดังกล่าวมา พบว่าการบริหารจัดการพลังงานเป็นวิธีการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพ และผลการตอบแทนสูง แต่มีการลงทุนน้อยหรือไม่มีการลงทุน โดยเน้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมวิธีการคิด และวิธีการทำงานให้เหมาะสม รวมถึงการปลูกจิตสำนึกการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดขึ้นภายในองค์กร

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

◆ แต่งตั้งเป็นทางการให้เป็นที่รับรู้ทั้งองค์กรในบทบาทและหน้าที่

- สนับสนุนให้มีการพัฒนาวัฒนธรรมองค์กรเพื่อนำไปสู่จิตสำนึกในเรื่องการอนุรักษ์พลังงาน
- สร้างระบบและขั้นตอนในการติดตามและประเมินผลการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- ส่งเสริมและเผยแพร่ความสำเร็จขององค์กรในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- นำเสนอแผนและผลการดำเนินการต่อผู้บริหารโดยมีเนื้อหาดังนี้
 - เข้าใจง่าย
 - เกี่ยวข้องกับงานขององค์กร
 - เป็นประโยชน์ต่อองค์กร
 - น่าเชื่อถือ
 - มีข้อมูลค่าใช้จ่ายและผลตอบแทนที่ได้รับ
 - ถูกกาลเทศะ

7.2.3 การจัดตั้งกลุ่มอนุรักษ์พลังงาน

● วัตถุประสงค์

เพื่อขยายผลการดำเนินการอนุรักษ์ไปสู่ทุกส่วนในองค์กร อย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

● หน้าที่รับผิดชอบ

- ◆ ร่วมกำหนดนโยบายพลังงานและแผนอนุรักษ์พลังงาน
- ◆ ร่วมกันจัดรูปองค์กรโดยมีผู้แทนจากหน่วยต่าง ๆ
- ◆ กำหนดรูปแบบและวิธีการสร้างการรับรู้เพื่อให้มีส่วนร่วมให้แก่บุคลากรในองค์กร
- ◆ 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
 - ให้พนักงาน/องค์กร เสนอความคิด/โครงการประหยัดพลังงาน
 - ให้ความชมเชย/รางวัล แก่ผู้ประสบความสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงาน
 - ประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่กิจกรรมที่ประสบความสำเร็จ
 - ◆ การเผยแพร่ความรู้และเสริมสร้างทักษะ
 - เพื่อให้พนักงานมีความรู้และหาโอกาสในการประหยัดพลังงาน
 - เผยแพร่ความรู้ในเรื่องการประหยัดพลังงาน
 - สัมมนา
 - เอกสารเผยแพร่

บทที่ 8

ปัจจัยที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงานใน โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก

บริษัท องค์กร หรือโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป รวมทั้งโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก มักประสบปัญหาความไม่ชัดเจนในสิ่งที่จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับโครงการอนุรักษ์พลังงาน ทำให้โครงการที่ดีที่ให้ผลตอบแทนมากและคืนทุนรวดเร็วอาจจะไม่ได้รับการพิจารณาดำเนินการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการไม่ได้รับการสนับสนุนจากระดับบริหารหรือเจ้าของกิจการเนื่องจากความไม่ชัดเจนดังกล่าว ดังนั้นเนื้อหาที่กล่าวถึงต่อไปนี้ จะอธิบายถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงานที่ควรพิจารณาเพื่อให้ได้รับการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากฝ่ายบริหาร แนวทางการประเมินสถานะการจัดการด้านพลังงานของโรงงาน ตลอดจนแนวทางการประสานโครงการอนุรักษ์พลังงานเข้ากับกิจกรรมอื่นของโรงงาน

8.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงาน

ผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ดูแลการใช้พลังงานในโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็กมักจะเป็นฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายซ่อมบำรุง หรือแม้กระทั่งฝ่ายผลิตเนื่องจากใกล้ชิดกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ทำให้มีโอกาสที่จะได้สังเกตการทำงานของเครื่องจักรและมองเห็นแนวการลดการใช้พลังงานลงได้ อย่างไรก็ตาม บ่อยครั้งที่ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานได้เสนอแนะแนวทางการลดการใช้พลังงานให้กับฝ่ายบริหารแต่ไม่ได้รับการสนับสนุนเท่าที่ควรเนื่องจากไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าผลประโยชน์ที่จะได้รับหรือข้อดีข้อเสียของโครงการมีอะไรบ้าง ทำให้โครงการอนุรักษ์พลังงานที่ดีหลายโครงการไม่เกิดขึ้น ดังนั้น ผู้ที่รับผิดชอบด้านพลังงานของโรงงาน รวมทั้งฝ่ายบริหารเอง จำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ 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 การติดตั้งเครื่องควบคุมปริมาณอากาศป้องกันการตรวจวัดคุณภาพไอเสียอย่างต่อเนื่องของหม้อไอน้ำ จะส่งผลให้เขม่าควันจากการเผาไหม้ลดลง คุณภาพชีวิตของพนักงานในโรงงานก็จะดีขึ้น รวมทั้งสภาพอากาศบริเวณรอบๆ โรงงานก็จะดีขึ้นตามไปด้วย ซึ่งในด้านสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้นนี้อาจจะประเมินเป็นผลประหยัดได้ค่อนข้างลำบากแต่ก็ถือเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาควบคู่กันไปพร้อมกับด้านอื่นๆ 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 และมีความคุ้มค่าฝ่ายบริหารมากพอที่จะตัดสินใจดำเนินการโครงการได้

- **กรณีศึกษา: ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการอนุรักษ์พลังงาน กรณีที่ 2**

โรงงานอาหารกระป๋องได้มีการดำเนินการเปลี่ยนขนาดของหม้ออบฆ่าเชื้อ (Retorts) ให้เหมาะสมกับปริมาณของผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องที่ต้องการอบฆ่าเชื้อ ซึ่งก่อนที่จะทำการเปลี่ยน โรงงานได้มีการพิจารณาผลประโยชน์ที่จะได้รับในด้านต่างๆ ดังนี้

- สามารถลดปริมาณการใช้ไอน้ำในขั้นตอนของการไล่อากาศออกจากหม้ออบฆ่าเชื้อ – เนื่องจากการเลือกใช้ขนาดของหม้ออบฆ่าเชื้อที่เหมาะสม จะทำให้ลดจำนวนครั้งของการอบฆ่าเชื้อ (กรณีที่หม้ออบฆ่าเชื้อมีขนาดเล็ก) เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

- เพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น – เนื่องจากสามารถทำงานได้ผลผลิตมากขึ้น ลดเวลาที่ต้องใช้ในกระบวนการอบฆ่าเชื้อ
- ลดปริมาณน้ำหล่อเย็นในขั้นตอนของการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ – เนื่องจากการเลือกใช้ขนาดของหม้ออบฆ่าเชื้อที่เหมาะสม จะทำให้ลดจำนวนครั้งของการลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ภายหลังการอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ

8.1.2 เกณฑ์การลงทุนขององค์กร

การลงทุนในโครงการอนุรักษ์พลังงานจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนเช่นเดียวกับโครงการในด้านอื่นๆ ซึ่งโดยปกติแล้ว ฝ่ายบริหารของแต่ละองค์กรก็จะมีเกณฑ์ในการพิจารณาการลงทุนที่ต่างกันไป ผู้ที่รับผิดชอบด้านพลังงานจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงเกณฑ์การลงทุนขององค์กรของตนเองด้วย 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 และสภาพการใช้น้ำมันไม่สมบูรณ์

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 และอัตราดอกเบี้ย - วิธีที่รวดเร็วสำหรับการเปรียบเทียบโครงการ	- 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 ซึ่งค่ายิ่งมากยิ่งแสดงว่ามีความคุ้มค่าในการที่จะลงทุนสูง ค่า ROI ต้องมีค่าตั้งแต่ 1.0 หรือ 100 % ขึ้นไป จะคุ้มค่าทางการลงทุน

● **กรณีศึกษา การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุน**

พิจารณามาตรการประหยัดพลังงานสองมาตรการ ได้แก่ มาตรการที่ 1 การใช้บัลลาสต์โลว์ลอสแทนบัลลาสต์แบบธรรมดา และมาตรการที่ 2 การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ แทนบัลลาสต์ธรรมดา

รายการ	มาตรการที่ 1	มาตรการที่ 2
เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)	10,000	15,000
ผลประโยชน์เฉลี่ยต่อปี (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
- ตรวจสอบวัดและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ มอเตอร์พัดลมต่างๆ

2) ดำเนินการ 6 เดือน/ครั้ง

- ทำการล้างครั้งใหญ่ เพื่อทำความสะอาดคอยล์เย็น และคอยล์ร้อน โดยใช้น้ำหรือน้ำยาทำความสะอาด

เครื่องปรับอากาศที่มีการบำรุงรักษา และทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ จะมีการใช้พลังงานต่างกัันดังนี้

รายการทดสอบ	สภาพเครื่องปรับอากาศ		ผลต่าง
	ไม่มีการบำรุงรักษา	บำรุงรักษาสม่ำเสมอ	
อุณหภูมิแฉะจุ่มเย็น (°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

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

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 $\geq 60,000$ บีทียู/ชั่วโมง ค่าบำรุงรักษา = 1,500 บาท/เครื่อง/2 ครั้ง/ปี)

หมายเหตุ : ผลประหยัดที่ได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขเฉพาะช่วงที่มีการบำรุงรักษาโดยการล้างใหญ่ 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 เปอร์เซ็นต์

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 เปอร์เซ็นต์ (%)
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 เปอร์เซ็นต์ (%)
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

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

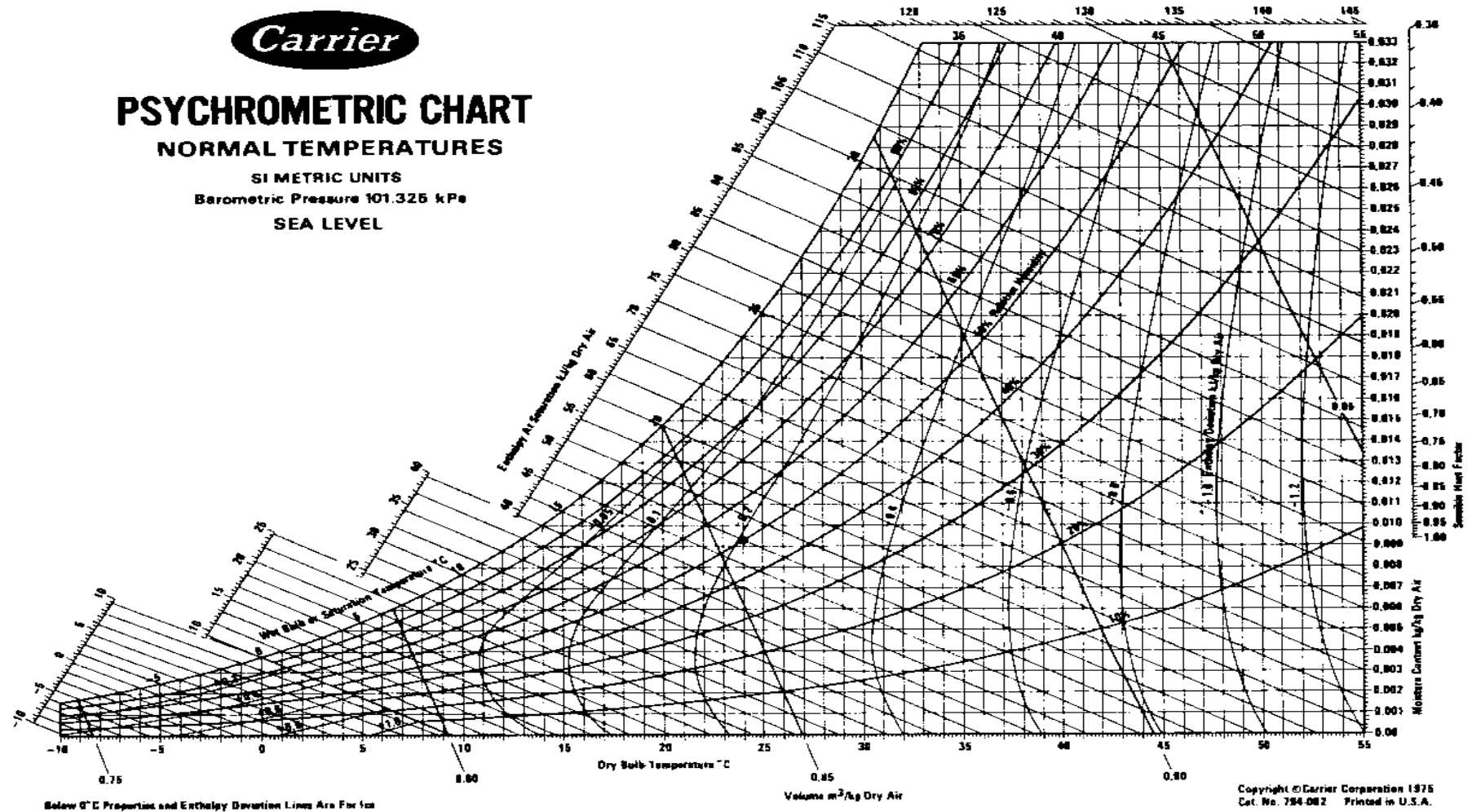
การลงทุนและผลตอบแทน

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

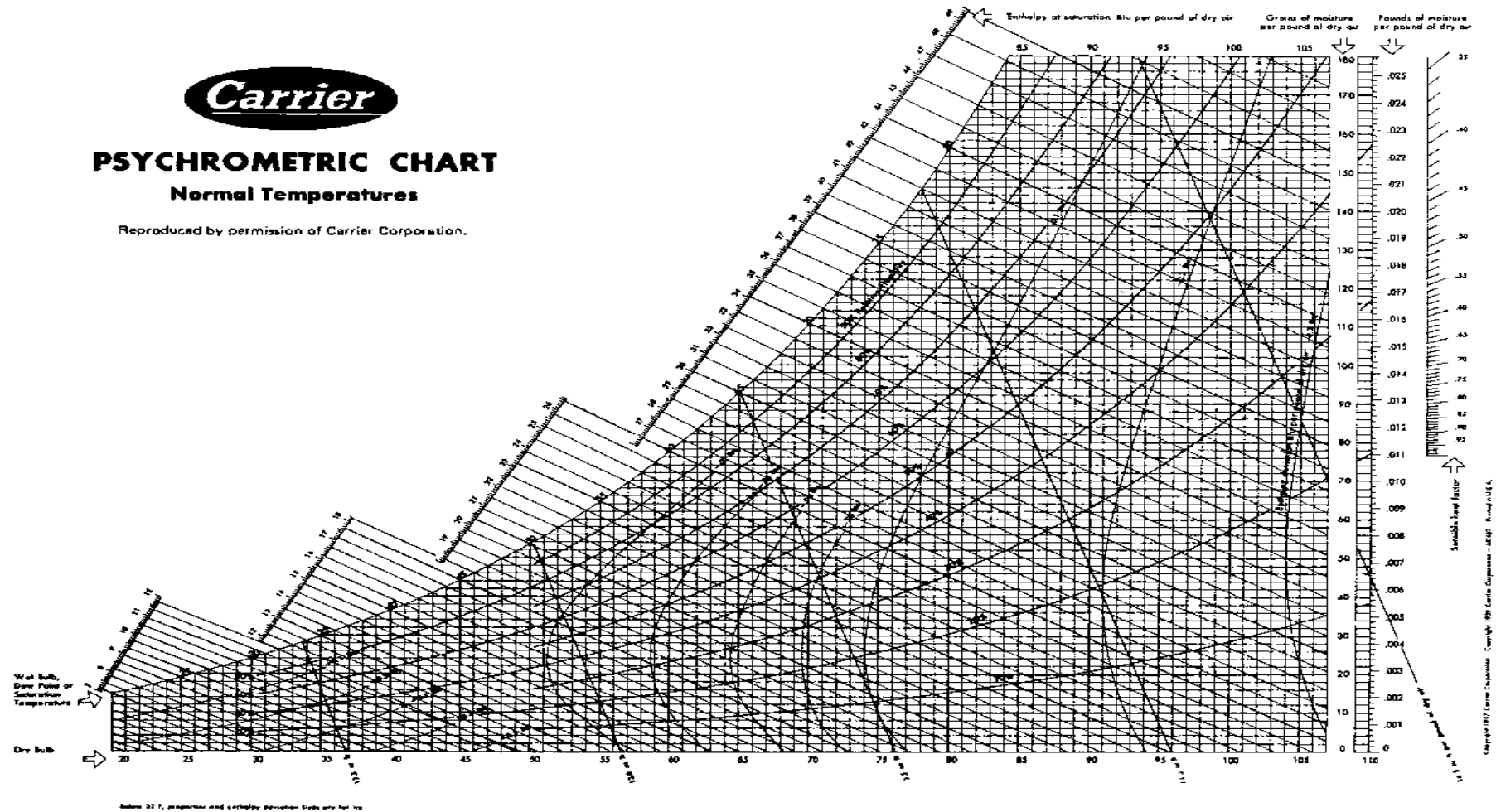
ตารางที่ 1 ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น และกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ติดหน้าต่าง และเครื่อง
ทำความเย็นแบบเป็นชุด

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 ไซโครเมตริกชาร์ทในหน่วยสากล (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
		<u>3.31</u>	<u>7.46</u>	<u>10.77</u>
เวลาการใช้งาน	=		3,000	ชั่วโมง/ปี
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=		2.5	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

หลังปรับปรุง

เสนอให้ย้ายโหลดของหม้อแปลงลูกที่ 1 มาใช้กับหม้อแปลงลูกที่ 2 (กรณีที่มีระบบ Tie-Bus อยู่แล้ว)

รายการ	หน่วย	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

เลือกใช้ขนาดคาร์ปาซิเตอร์	=	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 ปัจจุบันได้มีการพัฒนาบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาเป็นบัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำ 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 พบว่ามีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบัลลาสต์จากแกนเหล็กเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ ประมาณ 4 วัตต์ต่อตัว แต่สามารถลดกำลังไฟฟ้าที่หลอดได้ประมาณ 4 วัตต์ต่อหลอด (บัลลาสต์ชนิด 1 ตัว ใช้กับ 1 หลอด) ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาลงได้ประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว

บริเวณตัวอย่างเป็นแผนกับวัดดูดิบ 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

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋อง

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 : ราคบัลลาสต์ที่ใช้เป็นราคาขายปลีก อายุการใช้งาน 256,000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส)

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

จากการสำรวจและตรวจวัดระบบแสงสว่างของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่ามีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 36 วัตต์ บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบัลลาสต์จากแกนเหล็กเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ ประมาณ 6 วัตต์ต่อตัว แต่สามารถลดกำลังไฟฟ้าที่หลอดได้ประมาณ 4 วัตต์ต่อหลอด (บัลลาสต์ชนิด 1 ตัว ใช้กับ 2 หลอด) ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาลงได้ประมาณ 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

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 พบว่าบางบริเวณมีการใช้หลอดไส้ ขนาด 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 (กิโลวัตต์ , kW)	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 กิโลปาสคาล (kPa) หรือ 7 บาร์ (Bar) ค่าไฟฟ้า 2 บาทต่อหน่วย

$$\text{จากสมการ } P1V1 / T1 = P2V2 / T2$$

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

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

$$\text{ดังนั้น อากาศที่ } 20^\circ\text{C} \text{ มีความหนาแน่นกว่าอากาศที่ } 30^\circ\text{C} = (1 - (293 / 303)) \times 100$$

$$= 3.3003300 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับคอมเพรสเซอร์ขนาดกำลังไฟฟ้า 4 กิโลวัตต์ลดลง} = 0.0330033 \times 4 \times 2000$$

$$= 264.0 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี}$$

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

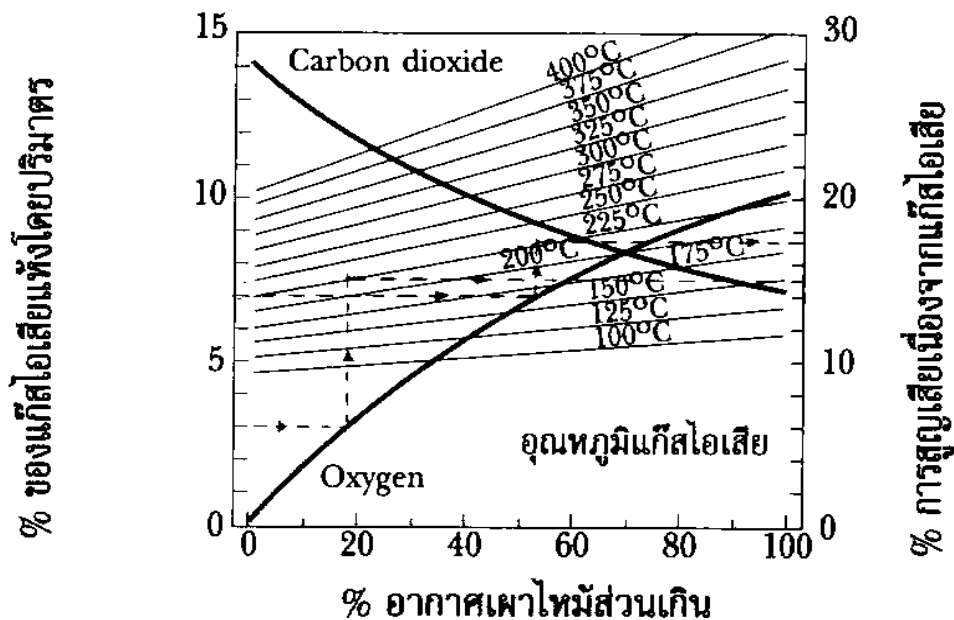
ตัวอย่างที่ 1 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ (การลดปริมาณออกซิเจนส่วนเกินในแก๊สไอเสีย)

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	=	30.0x3,000.0x2.4/100	
	=	2,160.0	ลิตร/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	2,160.0x9.00	
	=	19,440.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

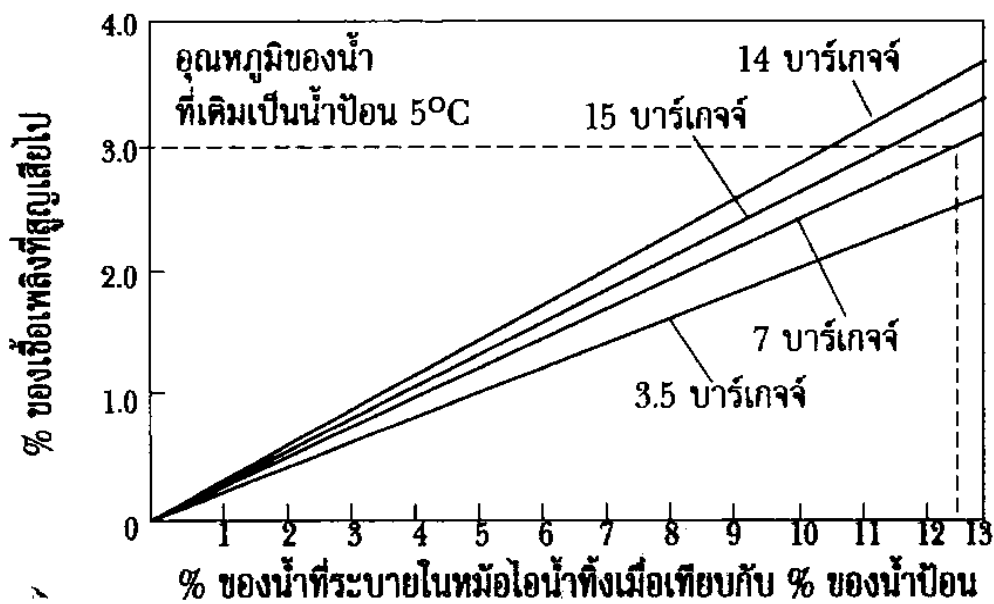
จ้างบริษัทมาทำการตรวจวัดสภาพการเผาไหม้พร้อมกับการปรับแต่งหัวเผา

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

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

เปอร์เซ็นต์การระเหยน้ำทิ้ง = $200.0 \times 100 / (3,000.0 - 200.0) / 8.0$
= 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

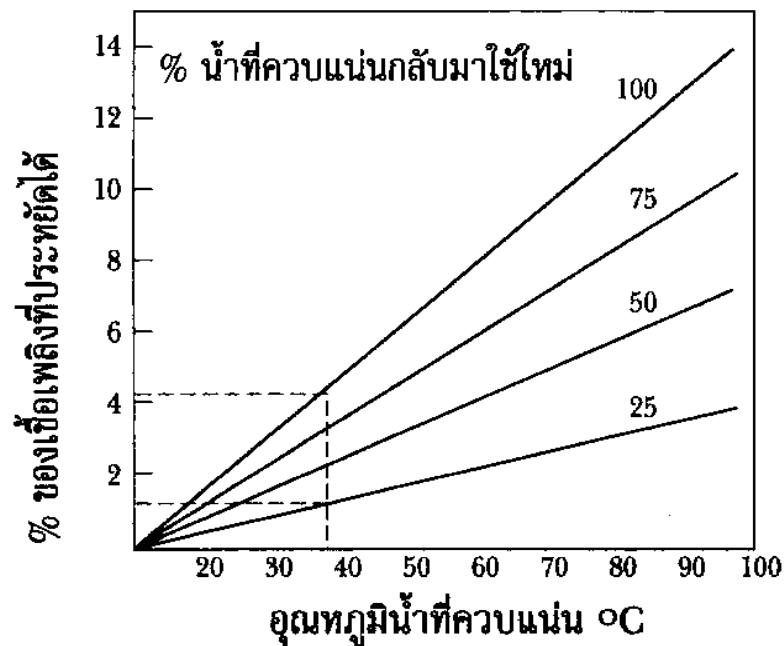
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น = 0.11 ปี

= 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

ราคากระบวนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ประมาณ	=	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 เนื่องจากจำนวนครั้งในการทำความสะอาดท่อไผ่เพียงน้อยเกินไปทำให้เขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้เกาะที่บริเวณผิวท่อมากจะลดปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านไปให้น้ำ 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

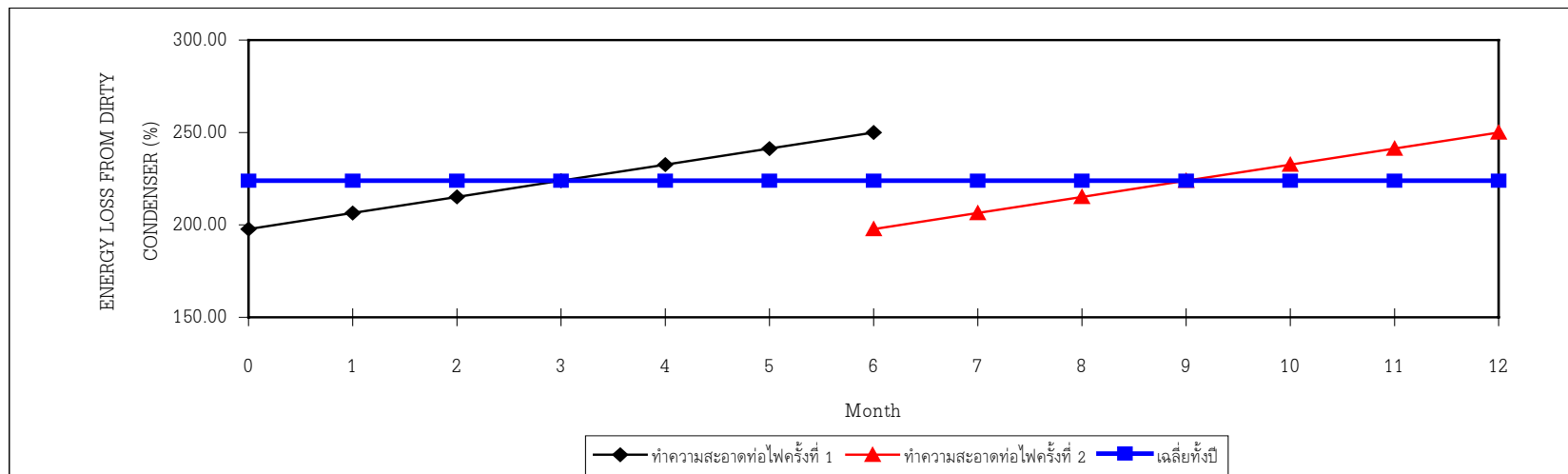
ปริมาณความร้อนจากก๊าซไอเสียลดลง	=	1,582.47	kCal/h
เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิง	=	1,582.47 / 9,855	
	=	0.16	kg/h
	=	0.16 / 0.86	
	=	0.19	litre/h
	=	0.19 x 3,000	
	=	570.0	litre/ปี
คิดเป็นเงิน	=	570.0 x 9.00	
	=	5,130.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

กรณีที่เจ้าหน้าที่ของโรงงานสามารถดำเนินการได้จะไม่มีการลงทุน

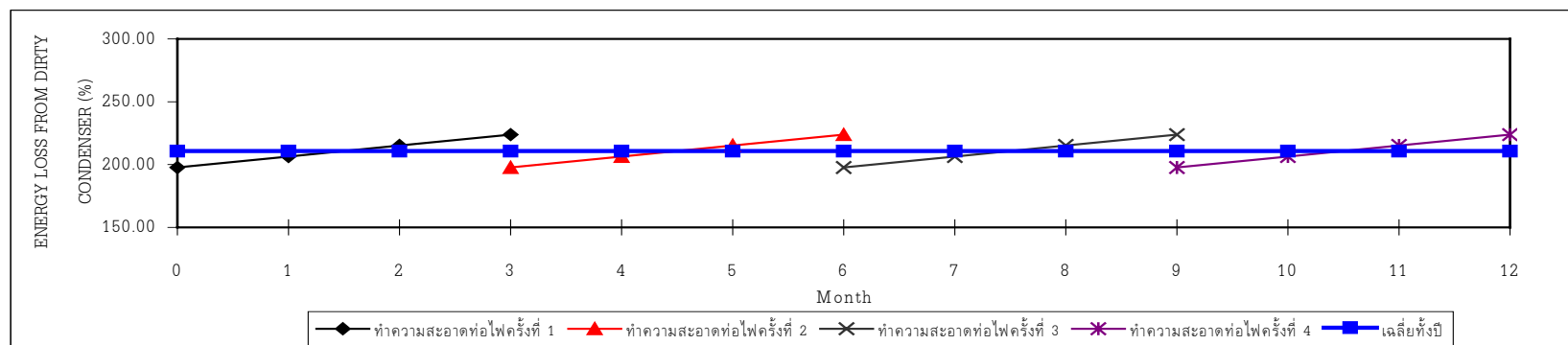
การทำความสะอาดท่อไฟทุก 6 เดือน

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 อุณหภูมิไอน้ำ (°C)	30.00	38.72	47.44	56.16	64.88	73.60	82.32							-
							30.00	38.72	47.44	56.16	64.88	73.60	82.32	
เวลาหลังจากทำความสะอาด ท่อไฟ	0	1	2	3	4	5	6							
	Month	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										210.76
														210.76
														210.76
อุณหภูมิก๊าซไอเสียสูงกว่าอุณหภูมิไอน้ำ (°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										43.08
														43.08
														43.08
เวลาหลังจากทำความสะอาดท่อไฟ	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	2.4559×10^{-3}	1.8665	2.4884×10^{-3}	2.537×10^{-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
	1.45038×10^{-4}	4.0186×10^{-3}	2.953×10^{-4}	9.8692×10^{-6}	0.0075	10^{-5}	1.0192×10^{-5}	1

	lb	grain	ounce	kg
Mass	1	7000	16	0.45359
	1.4286×10^{-4}	1	2.2857×10^{-3}	6.4800×10^{-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	5.787×10^{-4}	4.329×10^{-3}	0.0163871	1.63871×10^{-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
	1.2851×10^{-3}	1	0.32383	1.355818	1.355818
	3.9683×10^{-3}	3.08803	1	4.1868	4.1868
	9.4782×10^{-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	lb _m /(ft-s)
	1	2.0885×10^{-3}	5.8014×10^{-7}	0.1	0.1	6.71955×10^{-2}
	478.8026	1	2.7778×10^{-4}	47.88026	47.88026	32.17405
	1,723,689	3,600	1	172,369	172,369	115,827
	10	0.020885	5.8014×10^{-6}	1	1	0.0671955
	14.8819	3.1081×10^{-2}	8.6336×10^{-6}	1.4882	1.4882	1

	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

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋อง

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 : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอาหารกระป๋อง

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

คณะกรรมการประสานและรับรองงาน : กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
นายวิโรจน์ เชาวจิรพันธุ์
นายสุภวัฒน์ ธาดาจารย์มงคล
นายศุภกิจ บุญศิริ
นายวิศิษฐ์ศักดิ์ กฤษณะพันธุ์

ที่ปรึกษา : ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ที่ปรึกษาโครงการ : บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเม้นท์ จำกัด

