



กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

โครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือจากโรงงานควบคุม
ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

ประเภทห้องเย็น



ดำเนินการโดย

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม

คำนำ

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

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

ผลจากการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมที่นอกเหนือโรงงานควบคุมตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ได้จัดทำคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทห้องเย็น โดยคู่มือเล่มนี้ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรม รายละเอียดกระบวนการผลิต อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต การตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมการบริหารจัดการด้านพลังงานในโรงงาน ปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงาน และสุดท้ายกรณีศึกษา มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม ขอขอบคุณผู้ประกอบการอุตสาหกรรมที่เข้าร่วมโครงการฯ เป็นอย่างยิ่ง โดยได้รับความร่วมมือในการให้ข้อมูลและดำเนินโครงการจนบรรลุวัตถุประสงค์ รวมทั้งได้เป็นกรณีตัวอย่างให้แก่ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างดี

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

พฤษภาคม 2547

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 :	ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมห้องเย็น	1-1
บทที่ 2 :	รายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมห้องเย็น	2-1
บทที่ 3 :	รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต	
3.1	การเตรียมวัตถุดิบ	3-1
3.2	การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง	3-2
3.3	การแช่แข็ง.....	3-3
3.4	การบรรจุภัณฑ์	3-8
3.5	กระบวนการเก็บในห้องเย็น.....	3-8
3.6	การจัดส่งออกจำหน่าย	3-8
บทที่ 4 :	ลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็น	
4.1	กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ.....	4-1
4.2	กระบวนการทำให้สุก.....	4-2
4.3	กระบวนการแช่แข็ง	4-3
4.4	กระบวนการเก็บในห้องเย็น.....	4-4
4.5	ภาพรวมของการใช้พลังงาน และลักษณะการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต	4-5
4.6	การแปลความหมายของแผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน.....	4-7
4.7	การแปลความหมายของดัชนีการใช้พลังงาน.....	4-7
4.8	สัดส่วนการใช้พลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็นแช่แข็งอาหารทะเล	4-8
บทที่ 5 :	การตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงาน	
5.1	พื้นฐานของการตรวจวัดการใช้พลังงาน.....	5-1
5.2	การตรวจวัดเบื้องต้น.....	5-5
5.3	อุปกรณ์การตรวจวัด ซึ่งต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัด	5-9
5.4	การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน.....	5-20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 : การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมห้องเย็น

6.1	การอนุรักษ์พลังงานของเครื่องทำความเย็น	6-1
6.2	การอนุรักษ์พลังงานของระบบความเย็น (ไอน้ำ)	6-4
6.3	การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำใช้	6-5
6.4	การอนุรักษ์พลังงานระบบไฟฟ้า.....	6-8
6.5	การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง	6-15
6.6	การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์ธรรมดา	6-15
6.7	ข้อควรระวังในการใช้ห้องแช่แข็งหรือห้องเย็น	6-15
6.8	การอนุรักษ์พลังงานในระบบหอดึงน้ำ.....	6-16
6.9	การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเสีย	6-21

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

ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรมห้องเย็น

อุตสาหกรรมห้องเย็น คือ อุตสาหกรรมการเก็บอาหารให้สดอยู่เสมอ โดยนำมาบรรจุ และรักษาไว้ในอุณหภูมิที่ต่ำ เพื่อให้เก็บไว้ได้นาน โดยอาจเป็นแบบแช่แข็งในกรณีของอาหารทะเล, เนื้อสัตว์ต่างๆ หรือการเก็บรักษาอุณหภูมิ และความชื้นที่พอเหมาะในกรณีของผลผลิตทางการเกษตร

อุตสาหกรรมห้องเย็น ทำให้เราสามารถเก็บรักษาผลผลิตส่วนเกินไว้ได้, ป้องกันผลผลิตราคาตกต่ำเมื่อมีการผลิตเกินความต้องการ และยังสามารถนำไปจำหน่ายได้ในสถานที่ไกลจากแหล่งผลิตมาๆ ได้อีกด้วย

การประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมห้องเย็นครบวงจร ได้แก่ การรับซื้อวัตถุดิบจากแหล่งผลิตมาเข้ากระบวนการถนอมและรักษา หรือทำให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป พร้อมทั้งเก็บไว้ในห้องเย็น รวมทั้งจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ไปยังแหล่งจำหน่ายต่อไป

ธุรกิจอุตสาหกรรมห้องเย็นบางแห่งจะรับเฉพาะเก็บรักษาไว้ในห้องเย็นแต่เพียงอย่างเดียว

จุดที่ตั้งของอุตสาหกรรมห้องเย็นส่วนมากจะมีอยู่ 2 ประเภท คือ

- 1) ที่ตั้งใกล้แหล่งผลิตวัตถุดิบ เพื่อจะได้รับวัตถุดิบที่ยังสดอยู่ สามารถนำเข้ากระบวนการถนอมผลิตภัณฑ์และเก็บรักษาคุณภาพได้ทันที
- 2) ที่ตั้งในศูนย์กลางของแหล่งจำหน่าย ส่วนมากจะเป็นเฉพาะห้องเก็บรักษาอุณหภูมิหลังผ่านกระบวนการขนส่งมาจากธุรกิจข้อ 1) เพื่อจัดเก็บไว้จำหน่ายต่อไป

ผลประโยชน์ทางด้านธุรกิจของอุตสาหกรรมห้องเย็น ได้แก่ การที่สามารถจำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้ราคาดีขึ้นขณะที่ยังสดอยู่, เก็บรักษาไว้ได้นานเพื่อจำหน่ายในราคาดีกว่าเมื่อมีความต้องการสูง, รายได้มาจากค่าขนส่ง, ผลกำไรจากการซื้อขาย และสิ่งที่เป็นรายจ่ายสำคัญ ส่วนหนึ่งนอกจากราคาวัตถุดิบ คือ ค่าใช้จ่ายในกระบวนการถนอมผลิตภัณฑ์และรักษาอุณหภูมิ ซึ่งคือค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง และบำรุงรักษาเครื่องทำความเย็น (Refrigeration Machine) นั้นเอง ถ้าสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายนี้ลดลงก็สามารถจะเพิ่มผลกำไรให้กับธุรกิจนี้มากยิ่งขึ้น

ในคู่มือฉบับนี้จะกล่าวถึงการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมห้องเย็นสำหรับแช่แข็งและเก็บอาหารทะเล ข้อความบางตอนอาจมีความสัมพันธ์กับอุตสาหกรรมห้องเย็นสำหรับผลิตภัณฑ์อื่นๆ บ้าง แต่เป็นเพียงแนวทางโดยสังเขปเท่านั้น

จุดที่ตั้งของอุตสาหกรรมห้องเย็นแช่แข็งและเก็บอาหารทะเลส่วนใหญ่อยู่บริเวณจังหวัดชายทะเล และส่วนมากจะเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) เพื่อจัดจำหน่ายภายในประเทศ และต่างประเทศ หรือจัดส่งให้ผู้ดำเนินธุรกิจขนาดใหญ่เพื่อทำการแปรรูปต่อไป



รูปที่ 1-1 แสดงผลิตภัณฑ์กุ้งสดแช่แข็งที่ได้จากอุตสาหกรรมห้องเย็น

ผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมห้องเย็น ได้แก่ กุ้งสดแช่เย็น แช่แข็ง แปรรูป และต้มสุก ซึ่งเป็นสินค้าอาหารทะเลที่สำคัญ และนำรายได้เข้าสู่ประเทศ โดยมีข้อมูลเกี่ยวกับอุตสาหกรรมการผลิต และการส่งออกกุ้งสดแช่เย็น แช่แข็ง แปรรูป และต้มสุก (ไม่รวมกุ้งกระป๋อง) ดังนี้

โรงงานผู้ผลิต : รวม 180 โรง

ต้นทุนการเลี้ยงกุ้งกุลาดำ 1 ไร่ :

- ค่าพันธุ์กุ้ง ร้อยละ 12 (ลูกกุ้ง 100,000 ตัว)
- ค่าอาหาร ร้อยละ 34 ค่าแรงงาน ร้อยละ 14
- ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ร้อยละ 40

พื้นที่การเลี้ยงกุ้ง : (ประมาณ) 500,000 ไร่

จำนวนแรงงาน : 700,000 คน

ปริมาณการผลิต : 250,000 – 260,000 ตันต่อปี

โครงสร้างราคา :

- การใช้ปัจจัยการผลิตในประเทศไทย ร้อยละ 86.4
- การใช้ปัจจัยการผลิตนอกประเทศ ร้อยละ 9.6
- Approx Margin ร้อยละ 4

โครงสร้างการส่งออก :

- กุ้งสดแช่เย็น แช่แข็ง ประมาณร้อยละ 50
- กุ้งแปรรูป ประมาณร้อยละ 50

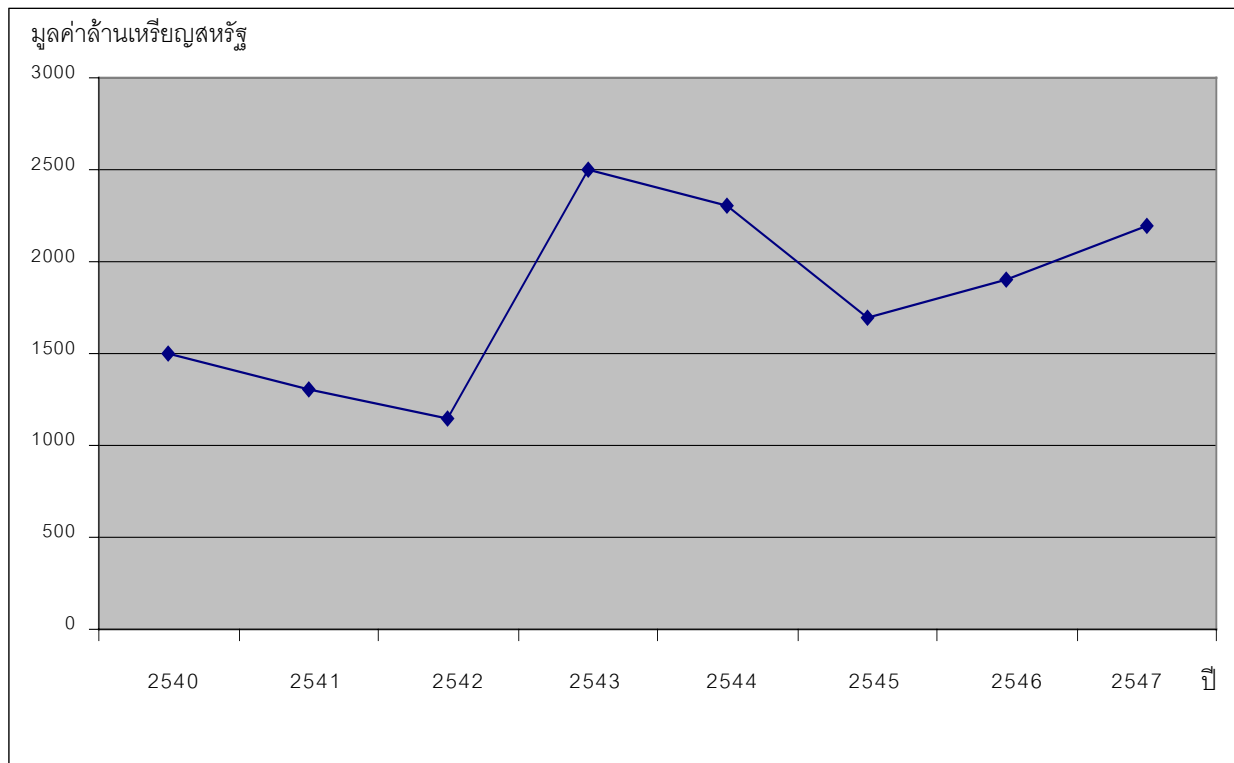
แนวโน้มการส่งออกปี 2546 :

การส่งออกกุ้งสด แช่เย็น แช่แข็ง แปรรูป และต้มสุก ในปี 2546 เดือนมกราคม – พฤษภาคม มีมูลค่า 606.69 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.63 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีก่อน แต่ราคาส่งออกสินค้ากุ้งต่อตันลดลง เนื่องจากมีผลผลิตกุ้งในตลาดโลกมากขึ้น ผู้ส่งออกจึงหันมาใช้กุ้งขาวแวนนาไมที่มีราคาถูกกว่ากุ้งกุลาดำ และกุ้งนำเข้าจากต่างประเทศมาใช้ในการแปรรูป เพื่อส่งออกมากขึ้น เพื่อปรับลดราคาส่งออกให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก การระบาดของโรคซาร์สในจีน และเวียดนามทำให้คู่ค้าหันมานำเข้าสินค้าจากไทยเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อวันที่ 24 มิถุนายน 2546 คณะกรรมาธิการยุโรปได้ยกเลิกมาตรการตรวจสอบเข้ม 100% ในสินค้ากุ้งจากไทย คาดว่าในครึ่งปีหลังไทยจะสามารถส่งออกกุ้งไปสหภาพยุโรปได้มากขึ้น

ตลาดส่งออก :

- ตลาดหลัก : สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น แคนาดา เกาหลีใต้ และสิงคโปร์
- ตลาดที่มีศักยภาพ : นิวซีแลนด์ สวิตเซอร์แลนด์ กวม ฝรั่งเศส ซาอุดีอาระเบีย

เป้าหมายการส่งออกปี 2546 : มีมูลค่า 1,890 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (ขยายตัวเพิ่มขึ้น ร้อยละ 13.00)



รูปที่ 1-2 กราฟมูลค่าการส่งออกกุ้งสดแช่เย็น แช่แข็ง

ตารางที่ 1.1 แสดงสัดส่วนตลาดการส่งออกที่สำคัญ

	มูลค่า : ล้าน USD			อัตราขยายตัว : ร้อยละ			สัดส่วน : ร้อยละ		
	2544	2545	2546 (ม.ค.-พ.ค.)	2544	2545	2546 (ม.ค.-พ.ค.)	2544	2545	2546 (ม.ค.-พ.ค.)
1. สหรัฐอเมริกา	1,130.95	887.15	325.24	-14.89	-21.56	19.66	51.68	53.04	23.61
2. ญี่ปุ่น	483.35	418.99	163.62	-0.58	-13.32	18.68	22.09	25.05	26.97
3. แคนาดา	103.46	92.03	26.73	3.31	-11.05	6.16	4.73	5.50	4.41
4. เกาหลีใต้	38.80	34.80	18.61	2.97	-10.32	32.52	1.77	2.08	3.07
5. สิงคโปร์	121.42	75.57	18.27	-37.63	-37.76	-42.39	5.55	4.52	3.01
6. ออสเตรเลีย	54.12	40.50	15.29	-7.97	-25.17	9.30	2.47	2.42	2.52
7. ไต้หวัน	46.39	32.91	9.86	-13.59	-29.04	-22.58	2.12	1.97	1.63
8. จีน	32.46	12.02	5.55	-31.07	-62.97	-17.00	1.48	0.72	0.91
9. ฮองกง	34.26	16.78	5.00	-21.84	-51.03	-47.32	1.57	1.00	0.82
10. เกาหลีเหนือ	17.51	14.30	3.61	84.55	-18.32	-38.78	0.80	0.86	0.60
รวม 10 ประเทศ	2,062.73	1,625.05	591.79	-12.61	-21.22	11.78	94.27	97.16	97.54
อื่น	125.46	47.57	14.90	-5.16	-62.08	-37.81	5.73	2.84	2.46
มูลค่ารวม	2,188.19	1,672.62	606.69	-12.22	-23.56	9.63	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 1.2 ประมาณการตลาดส่งออกสำคัญ ปี 2545 – 2547 สินค้ากุ้งสดแช่เย็น แช่แข็ง แปรรูป และต้มสุก

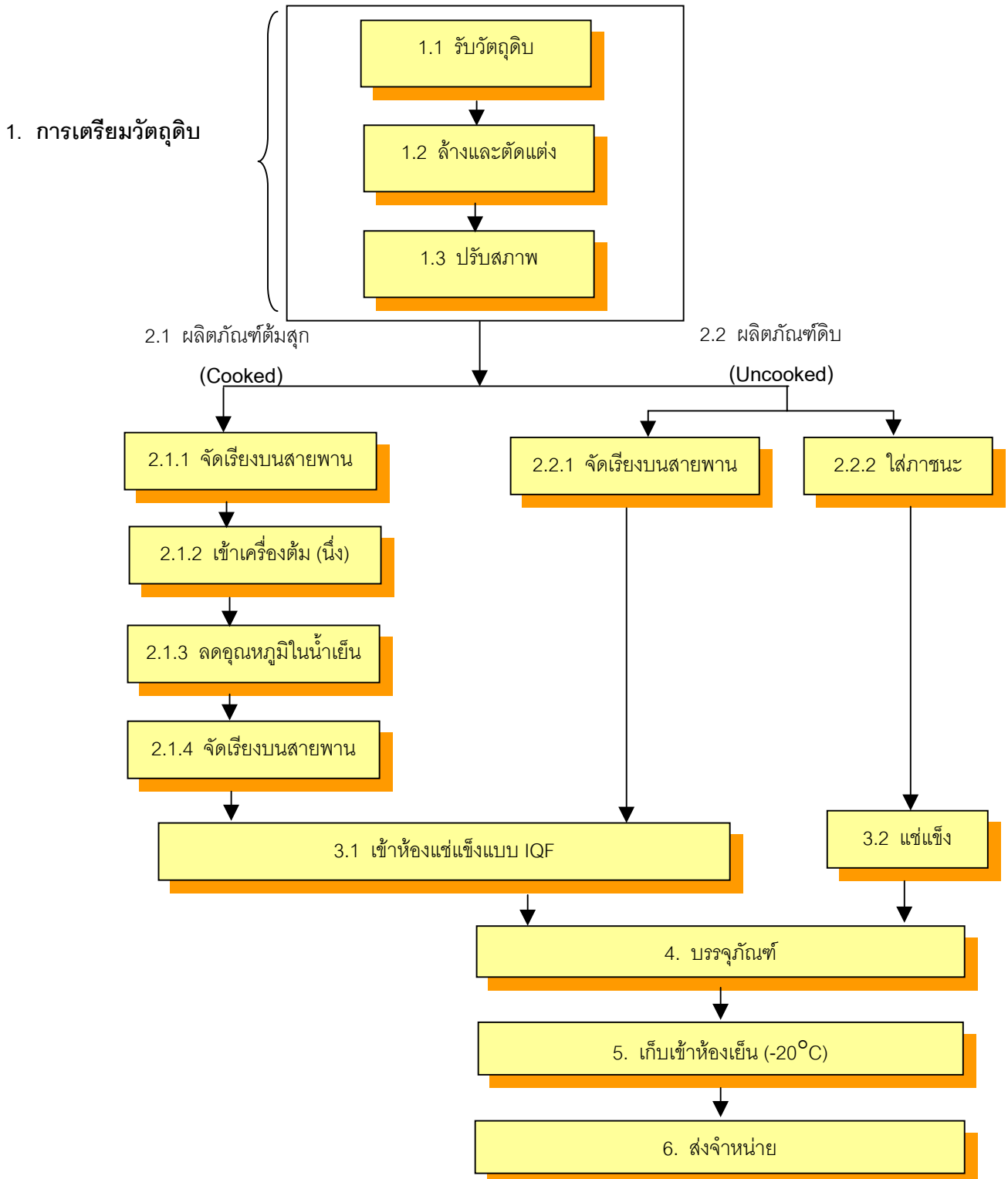
	มูลค่า : ล้าน USD				อัตราขยายตัว : ร้อยละ			สัดส่วน : ร้อยละ		
	2544	2545	2546	2547	2545	2546	2547	2545	2546	2547
1. สหรัฐอเมริกา	1,131.08	820.60	886.55	970.56	-27.45	8.04	9.48	53.57	53.73	53.92
2. ญี่ปุ่น	483.36	339.14	363.33	393.84	-29.84	7.13	8.40	22.14	22.02	21.88
3. แคนาดา	121.42	84.56	90.42	97.56	-30.36	6.93	7.90	5.52	5.48	5.42
4. เกาหลีใต้	103.46	76.28	82.67	91.08	-26.27	8.36	10.18	4.98	5.01	5.06
5. สิงคโปร์	38.80	29.72	32.18	35.46	-23.41	8.27	10.21	1.94	1.95	1.97
6. ออสเตรเลีย	54.12	37.84	40.26	44.46	-30.09	6.41	10.43	2.47	2.44	2.47
7. ไต้หวัน	46.39	32.78	35.18	39.42	-29.34	9.23	10.10	2.14	2.17	2.19
8. จีน	34.26	19.61	20.96	22.86	-42.77	6.87	9.09	1.28	1.27	1.27
9. ฮองกง	17.51	16.15	20.79	22.50	9.35	8.58	8.23	1.25	1.26	1.25
10. เกาหลีเหนือ	32.46	14.09	15.18	16.56	-56.58	7.72	9.09	0.92	0.92	0.92
ตลาดที่มีศักยภาพ										
1. สหราชอาณาจักร	31.49	12.10	12.87	13.86	-61.57	6.35	7.69	0.79	0.78	0.77
2. เยอรมนี	28.34	9.80	10.40	11.16	-65.41	6.03	7.36	0.64	0.63	0.62
3. นิวซีแลนด์	5.00	6.13	7.43	80.10	22.55	21.18	9.09	0.40	0.45	0.45
4. ฝรั่งเศส	13.51	5.06	5.28	5.58	-62.58	4.45	5.68	0.33	0.32	0.31
5. เนเธอร์แลนด์	17.50	6.89	7.26	7.74	-60.61	5.32	6.61	0.45	0.44	0.43
รวม 15 ประเทศ	2,158.70	1,513.74	1,631.35	1,780.74	-29.88	7.77	9.16	98.82	98.87	98.93
ตลาดหลัก	2,062.86	1,473.76	1,588.12	1,734.30	-28.56	7.76	9.20	96.21	96.25	96.35
ตลาดที่มีศักยภาพ	95.84	39.98	43.23	46.44	-58.28	8.13	7.43	2.61	2.62	2.58
อื่นๆ	29.62	18.08	18.65	19.26	-38.98	3.15	3.30	1.18	1.13	1.07
มูลค่ารวม	2,188.32	1,533.82	1,650.00	1,800.00	-30.00	7.72	9.09	100.00	100.00	100.00

หมายเหตุ อื่น ๆ : ครอบคลุม 94 ประเทศ

บทที่ 2

รายละเอียดกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมห้องเย็น

กระบวนการผลิตอาจแสดงได้ตามแผนผังข้างล่างนี้



รูปที่ 2-1 แผนผังแสดงกระบวนการผลิต

1. การเตรียมวัตถุดิบ

1.1 การรับวัตถุดิบ

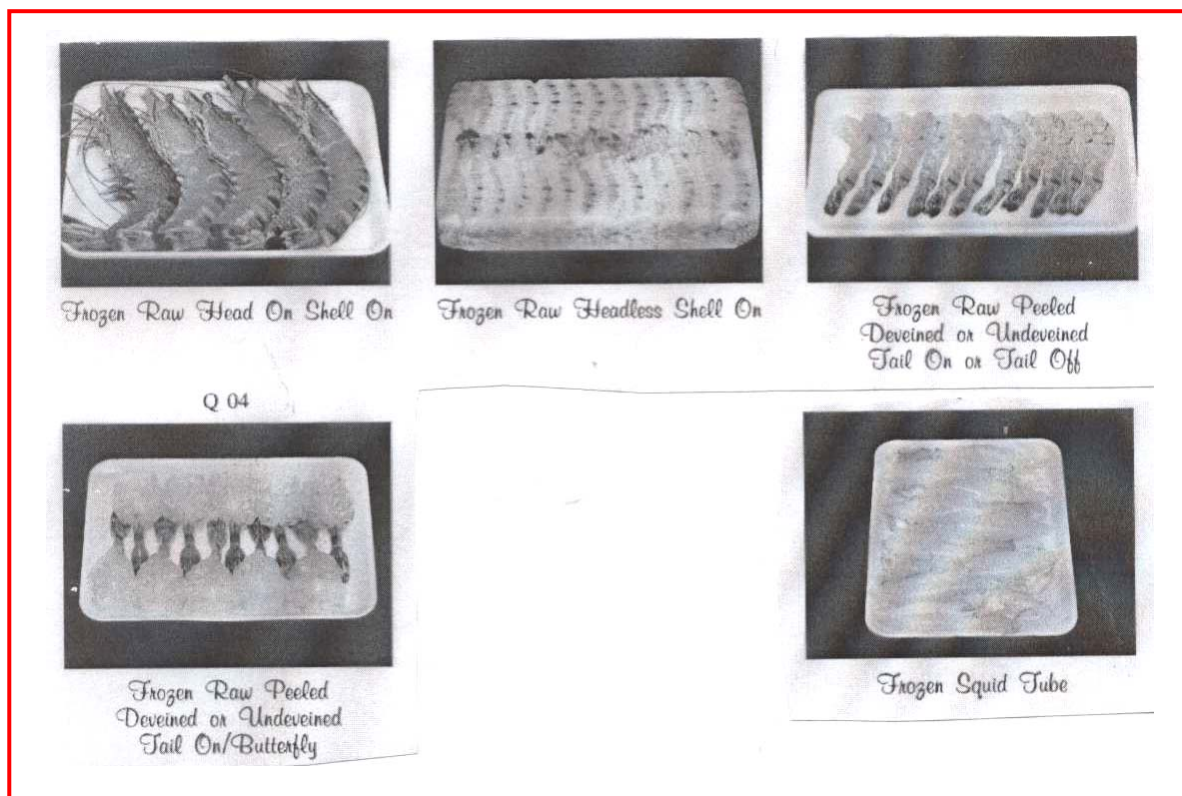
อาหารทะเล เช่น กุ้งและปลาหมึกหรือปลาที่รับเข้ามาจะมาในรูปของการแช่ในน้ำแข็ง หรือแช่แข็งมาจากห้องเย็นของเรือ หรืออาจรับมาสดๆ จากแหล่งผลิต ซึ่งในการเตรียมจะต้องล้างให้สะอาด โดยปกติจะล้างในน้ำเย็นที่อุณหภูมิประมาณ 5-10°C เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของวัตถุดิบ แล้วจึงนำไปคัดแยกขนาด

1.2 การตัดแต่งวัตถุดิบ

ในกรณีของกุ้งอาจจะต้องมีการตัดแต่งตามที่คุณค้าต้องการในหลายๆ รูปแบบ เช่น

1. กุ้งทั้งตัวไม่ลอกเปลือก (Head on, Shell on)
2. ไม่ลอกเปลือกแต่เอาหัวออก (Shell on, Head less)
3. ลอกเปลือก (Peeled)
4. ตีเส้นกลางตัว (Deveined)
5. ไม่รวมหาง (Tail off)
6. แล่ตรงกลางแผ่ออก (Butterfly)

อาจเป็นรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง หรือรวมกันหลายๆ แบบ ส่วนปลาหมึกจะเป็นในรูปลอกเปลือก และล้างทำความสะอาด



รูปที่ 2-2 แสดงตัวอย่างรูปแบบของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมห้องเย็น

1.3 การปรับสภาพ

หลังจากขั้นตอนที่แล้ว ในบางรายจะต้องนำไปแช่ในสารปรับแต่งสภาพ ซึ่งจะทำให้ดูสวยงาม และรสชาติดีขึ้นด้วย โดยกระบวนการนี้ต้องแช่น้ำยาในน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 5-10°C

ในขั้นตอนต่อไปยังแบ่งออกเป็นการผลิตแบบต้ม (นึ่ง) สุก (Cooked) และผลิตภัณฑ์แบบดิบ (Raw, Uncooked)

2. การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง

2.1 ผลิตภัณฑ์แบบต้มสุก (Cooked)

2.1.1 จัดเรียงวัตถุดิบที่ตัดแต่งปรับสภาพแล้วลงบนสายพาน

2.1.2 สายพานลำเลียงวัตถุดิบเข้าบริเวณต้ม (นึ่ง) โดยใช้ไอน้ำให้ความร้อน ความเร็วของสายพานจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และเวลาที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์สุกพอดีความต้องการ

2.1.3 จากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ที่สุกแล้วลงแช่ในน้ำเย็น (5-10°C) เพื่อลดอุณหภูมิ

2.1.4 นำผลิตภัณฑ์ที่ลดอุณหภูมิแล้วจัดเรียงบนสายพานเพื่อนำเข้ากระบวนการแช่แข็งแบบ IQF (Individual Quick Freeze)

2.2 ผลิตภัณฑ์แบบดิบ (Raw, Uncooked)

ยังแยกเป็นผลิตภัณฑ์แบบเป็นชิ้น (Individual) และเป็นกลุ่ม (Packed)

2.2.1 สำหรับผลิตภัณฑ์แบบเป็นชิ้น (Individual) จะนำมาจัดเรียงในสายพานเพื่อนำเข้ากระบวนการแช่แข็งเพื่อเตรียมเข้าห้องแช่แข็งแบบ IQF (Individual Quick Freeze)

2.2.2 สำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะจำหน่ายเป็นกลุ่ม (Packed) (หรือเก็บไว้ใช้ในกระบวนการผลิตอื่นๆ ภายหลัง) จะนำไปใส่ภาชนะขนาดเหมาะสมต่อการเก็บ เพื่อนำเข้าห้องแช่แข็งต่อไป

3. กระบวนการแช่แข็ง

จุดประสงค์ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิภายใน (Core temperature) ไม่ต่ำกว่า -18°C ซึ่งแบ่งวิธีการแช่แข็งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

3.1 แช่แข็งแบบ Individual Quick Freeze สามารถแบ่งตามอุปกรณ์ได้ดังนี้

3.1.1 แบบ Air blast โดยใช้ลมเย็น (ประมาณ -40°C) จากเครื่องทำความเย็นเป่าลงไปโดยตรงยังผลิตภัณฑ์ที่ผ่านมาในสายพาน โดยให้ความสัมพันธ์ความเร็วของสายพานกับเวลาของกระบวนการเป่าลมเย็นให้สอดคล้องกับที่กำหนด เพื่อที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิภายใน (Core temperature) ไม่ต่ำกว่า -18°C

3.1.2 แบบ Cryogenic โดยใช้ก๊าซเหลว (N₂ – Nitrogen หรือ CO₂ – Carbondioxide) ปรับความดันให้ได้อุณหภูมิประมาณ -70°C แล้วเป่าโดยตรงไปยังผลิตภัณฑ์ โดยอาจมีพัดลมเล็กๆ จำนวนหนึ่ง หมุนเวียนความเย็นให้ทั่วถึงผลิตภัณฑ์ ซึ่งเคลื่อนที่บนสายพานจนอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ภายใน (Core temperature) ได้ไม่ต่ำกว่า -18°C

หลังจากผ่านกระบวนการ IQF ผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่กระบวนการบรรจุต่อไป

3.2 แช่แข็งแบบ Packed ส่วนใหญ่จะมี 2 ระบบ ดังนี้

- 3.2.1 แบบห้องแช่แข็ง (Freezing Room) นำผลิตภัณฑ์ใส่ภาชนะขนาดพอเหมาะแล้ว ใส่ในชั้นที่มี ล้อเข็นนำเข้าแช่แข็งในห้องแช่แข็ง (ซึ่งมี 2 แบบ คือ แบบ Air blast และแบบคอยล์ไส้ไก่) ที่ อุณหภูมิ -40°C จนอุณหภูมิ - กลางผลิตภัณฑ์ (Core temperature) ได้ไม่ต่ำกว่า -18°C
- 3.2.2 แช่แข็งโดยใช้เครื่องระบบ Contact Plate freezer วัตถุดิบจะถูกนำไปบรรจุลงในถาดเฉพาะ สำหรับเครื่อง โดยใส่น้ำเต็มลงจนเต็ม แล้วนำถาดนี้วางไว้บนชั้นของเครื่อง Contact Plate freezer เมื่อเรียงถาดเสร็จแล้วจะมีอุปกรณ์เลื่อนชั้นต่างๆ ให้กดลงชิดกับถาดพอดี (Contact) ภายในชั้นต่างๆ จะมีสารทำความเย็นหมุนเวียนอยู่ดึงความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์จนกระทั่ง อุณหภูมิ - กลางผลิตภัณฑ์ได้ -18°C ซึ่งนำออกจากเครื่อง

4. การบรรจุภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ออกจากห้องแช่แข็งอาจจะต้องนำเข้าบรรจุหีบห่อเพื่อเตรียมจำหน่าย โดยการบรรจุจะทำ ภายในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการเสียหายของผลิตภัณฑ์

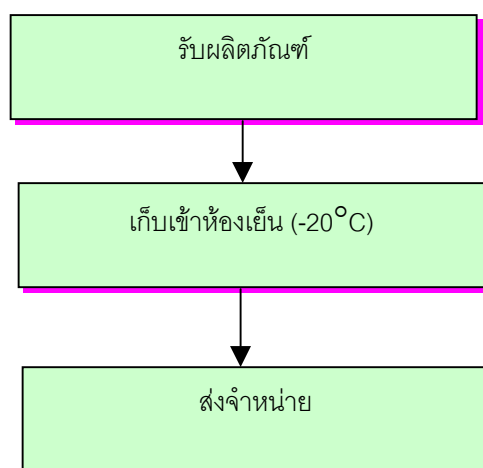
5. การเก็บในห้องเย็น

หลังจากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ที่บรรจุหีบห่อแล้วจัดเรียงในชั้นที่มีรถเข็นมาเข้าเก็บในห้องเย็น โดยจะรักษา อุณหภูมิไว้ที่ประมาณ -20°C

6. การส่งจำหน่าย

เมื่อมีการจำหน่าย หรือทำกระบวนการผลิตจะนำผลิตภัณฑ์ออกจากห้องเก็บ เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการ ผลิตในอุตสาหกรรมแช่แข็งและเก็บอาหารทะเล

สำหรับโรงงานที่รับเฉพาะเก็บอาหารทะเลที่แช่แข็งมาแล้ว จะมีกระบวนการดังนี้



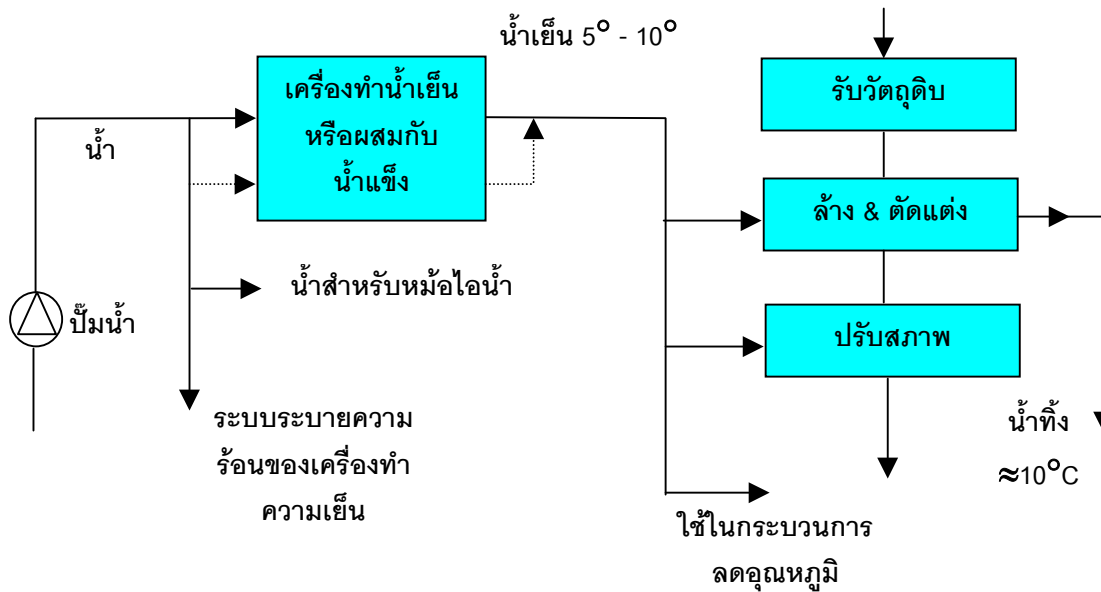
รูปที่ 2-3 แสดงกระบวนการเก็บรักษาอาหารทะเลที่ผ่านการแช่แข็งมาแล้ว

บทที่ 3

รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมห้องเย็น แสดงได้ตามกระบวนการผลิต ดังนี้

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ



รูปที่ 3-1 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้ จะต้องใช้น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 5-10°C เพื่อเตรียมวัตถุดิบ ทั้งนี้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของกุ้งหรือปลาหมึก ในระหว่างการเตรียมวัตถุดิบ

น้ำที่ได้มาจากระบบประปา หรือน้ำบาดาล ซึ่งบางครั้งยังมีอุณหภูมิสูง จึงต้องทำให้เย็นลงโดย

- ละลายกับน้ำแข็ง
- ผ่านเครื่องทำน้ำเย็นจนได้อุณหภูมิประมาณ 5-10°C จึงนำไปใช้งาน

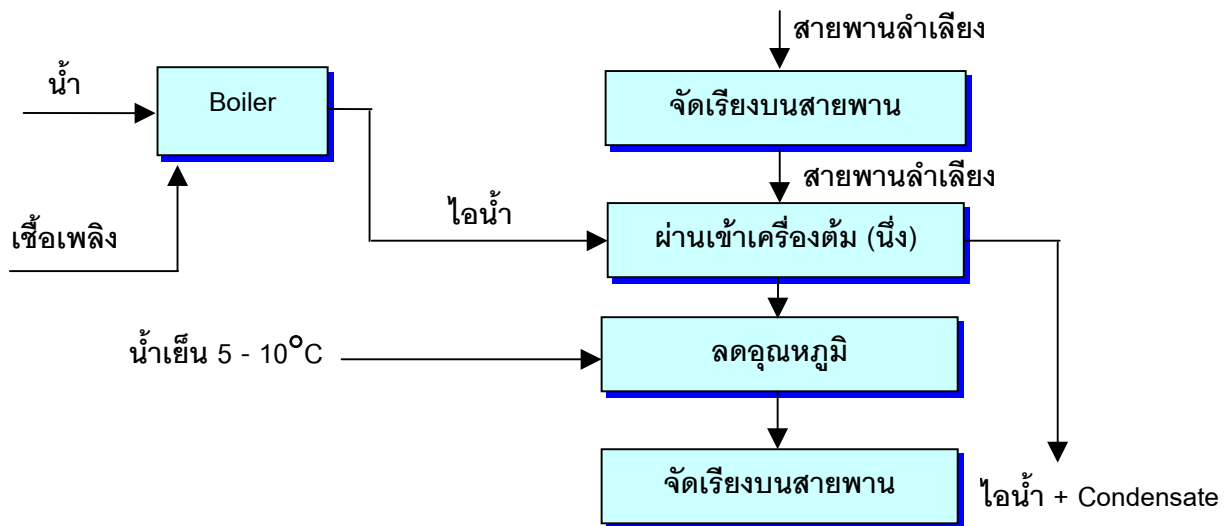
อุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนนี้ได้แก่

- ปั๊มน้ำ สำหรับจ่ายน้ำทุกระบบ
- เครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งอาจมีหลายแบบ
- ชุดเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Packaged Water Chiller, Water Cooled)
- ชุดเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Packaged Water Chiller, air cooled)

โดยทั่วไปถ้าปริมาณน้ำเย็นที่ใช้ไม่มากนัก จะใช้แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เพราะสามารถติดตั้งได้สะดวกกว่า

3.2 การเตรียมผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง

3.2.1 ผลิตภัณฑ์ต้มสุก (Cooked)



รูปที่ 3-2 แสดงแผนภาพอุปกรณ์ในขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ต้มสุก

อุปกรณ์ในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วย

- สายพานลำเลียงสำหรับชุดให้ความร้อน
- หม้อไอน้ำ (Boiler)
- เครื่องหนึ่งโดยใช้ไอน้ำ
- ถังน้ำเย็นลดอุณหภูมิ

3.2.2 ผลิตภัณฑ์ดิบ (Uncooked)

- 1) จัดเรียงบนสายพาน
- 2) ใส่ภาชนะรวมแล้วใส่ในชั้นที่มีล้อ

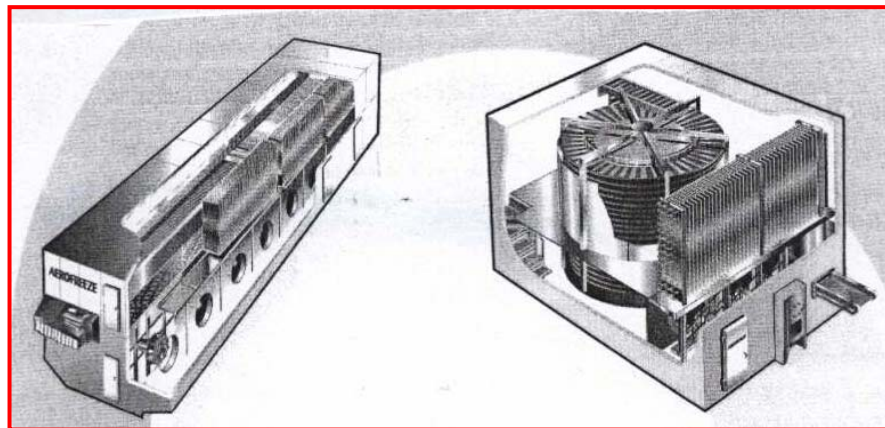
อุปกรณ์ในขั้นตอนนี้อาจจะมีสายพานลำเลียงในการขนส่งด้วยก็ได้

3.3 การแช่แข็ง

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการแช่แข็งแต่ละแบบ มีดังต่อไปนี้

3.3.1 การแช่แข็งแบบ Individual Quick Freeze (IQF)

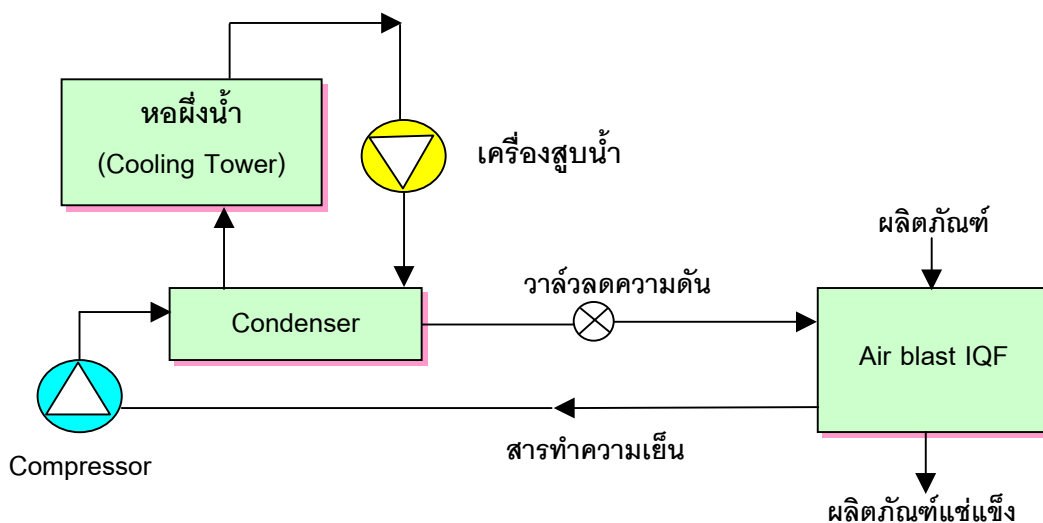
1) IQF แบบ Tunnel/Spiral Freezer



รูปที่ 3-3 Tunnel Freezer

รูปที่ 3-4 Spiral Freezer

โดยหลักการ ภายในเครื่องประกอบด้วยสายพานลำเลียง ซึ่งเป็นแบบตรงเป็นแถวยาว (Tunnel) ตามรูปที่ 3-3 หรือเป็นเกลียว (Spiral) ตามรูปที่ 3-4 โดยที่ผลิตภัณฑ์จะจัดวางบนสายพานดังกล่าวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ด้านข้างจะมีคอยล์ทำความเย็น (Cooling Coil) พร้อมพัดลมสำหรับเป่าลมเย็น (-40°C) ไปยังสายพาน จนได้อุณหภูมิที่ต้องการ (Core temperature ไม่ต่ำกว่า -18°C) ผลิตภัณฑ์จะถูกส่งออกยังทางออกของเครื่อง

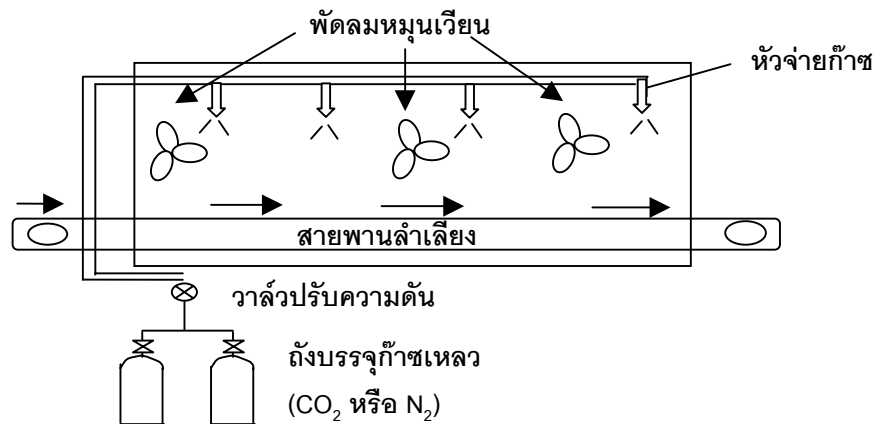


รูปที่ 3-5 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบ IQF

อุปกรณ์ในกระบวนการนี้จะประกอบด้วย

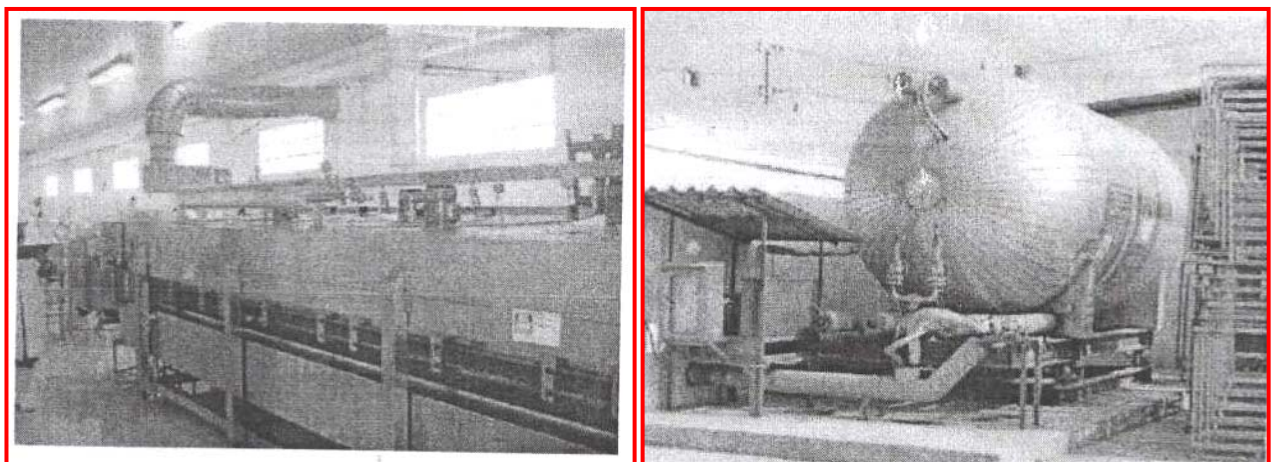
- เครื่องแช่แข็งแบบ IQF แบบ Tunnel/Spiral Freezer
- คอมเพรสเซอร์ของเครื่อง IQF
- ระบบระบายความร้อนของสารทำความเย็น
- หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

2) เครื่องแช่แข็งแบบ Cryogenic (ก๊าซเหลว)



รูปที่ 3-6 แสดงวงจรการทำงานของการแช่แข็ง IQF แบบ Cryogenic

ผลิตภัณฑ์จะถูกจัดเรียงบนสายพานลำเลียงเพื่อส่งยังห้องแช่แข็งลักษณะเป็นอุโมงค์ยาว โดยมีหัวฉีดก๊าซซึ่งปรับความดันแล้วฉีดก๊าซลงไปยังผลิตภัณฑ์ และเพื่อให้การกระจายความเย็นมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น จึงใช้พัดลมกระจายความเย็นด้วย

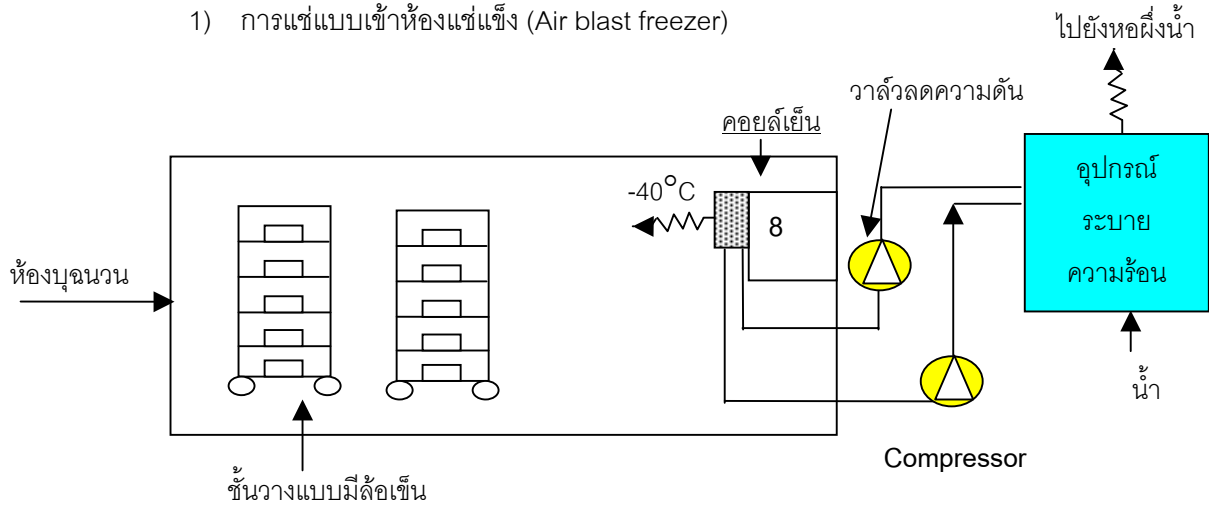


รูปที่ 3-7 แสดงเครื่อง Cryogenic และถังก๊าซเหลว

อุปกรณ์ส่วนนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นการเช่าจากบริษัทผู้จำหน่ายก๊าซเหลว โดยผู้ประกอบ การต้องซื้อก๊าซเหลวจากผู้ให้เช่า

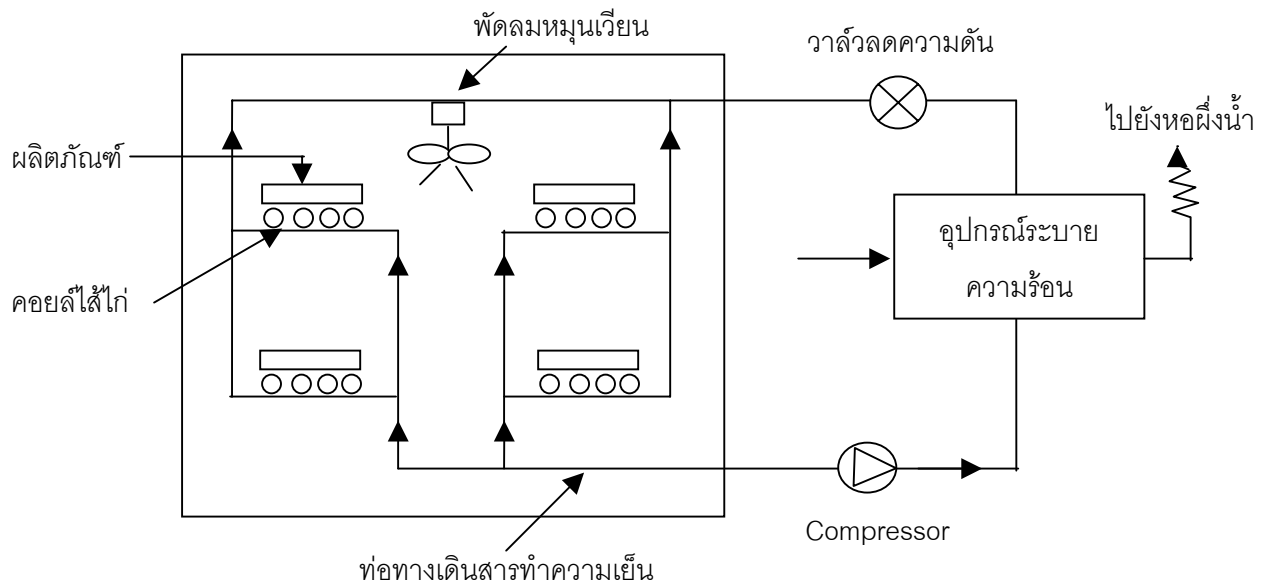
3.3.2 การแช่แข็งแบบรวม (Packed)

1) การแช่แบบเข้าห้องแช่แข็ง (Air blast freezer)



รูปที่ 3-8 แสดงวงจรการทำงานของ การแช่แข็งแบบ Air blast

2) การแช่แข็งในห้องแช่แข็งแบบคอยล์ใส่ไก่



รูปที่ 3-9 แสดงรูปการทำงานของ การแช่แข็งแบบคอยล์ใส่ไก่

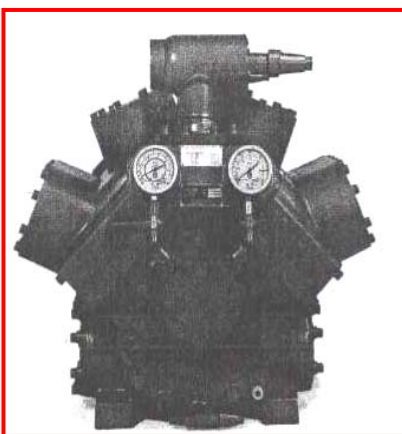
ผลิตภัณฑ์จะถูกไถ่ลงในภาชนะและวางลงบนชั้น ซึ่งทำจากท่อสารทำความเย็น ตัว ภาชนะสัมผัสโดยตรงกับท่อสารทำความเย็น

ข้อแตกต่างของการแช่แข็งแบบ Air blast และแบบคอยล์ใส่ไก่

- แบบคอยล์ใส่ไก่ใช้เวลาในการแช่แข็งนานกว่า (ประมาณ 8 – 10 ชั่วโมง) ต่อการแช่แข็ง 1 ครั้ง ส่วนแบบ Air blast ใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง
- ผลิตรักษะที่ผ่านการแช่แบบ Air blast จะสูญเสียน้ำหนักบางส่วนจากการระเหยของน้ำในขณะแช่แข็ง ส่วนแบบคอยล์ใส่ไก่จะสูญเสียน้ำหนักน้อยมาก จึงเหมาะสำหรับการแช่ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการให้เสียราคา เนื่องจากน้ำหนักลดลง (เช่น ปลาที่แช่ทั้งตัว เป็นต้น)
- การเดินเครื่องทำความเย็นแบบคอยล์ใส่ไก่ จะสูญเสียพลังงานมากกว่า แบบ Air blast เนื่องจากระยะเวลาในการเดินเครื่องนานกว่า ทำให้มีการสูญเสียจากความร้อนที่ผ่านผนังห้องเข้ามา
- การใช้ภาชนะปิดมิดชิด (Sealed) เพื่อกันน้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ จะช่วยทำให้การสูญเสียน้ำหนักลดลงได้ (ในกรณีที่แช่แข็งแบบ Air blast)

อุปกรณ์ประกอบด้วย

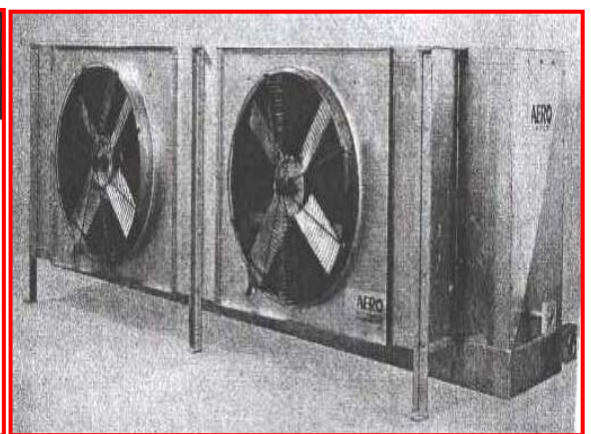
- คอมเพรสเซอร์เครื่องทำความเย็น ซึ่งมีหลายแบบ เช่น
 - Screw (สกรู)
 - Reciprocating (ลูกสูบ)
- คอยล์เย็น (Cooling coil or Evaporator coil) พร้อมพัดลมกระจายความเย็น
- อุปกรณ์ระบายความร้อน (Condenser, Condensing Unit)
- หอผึ่งน้ำ (Cooling tower)



คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ



คอมเพรสเซอร์แบบสกรู

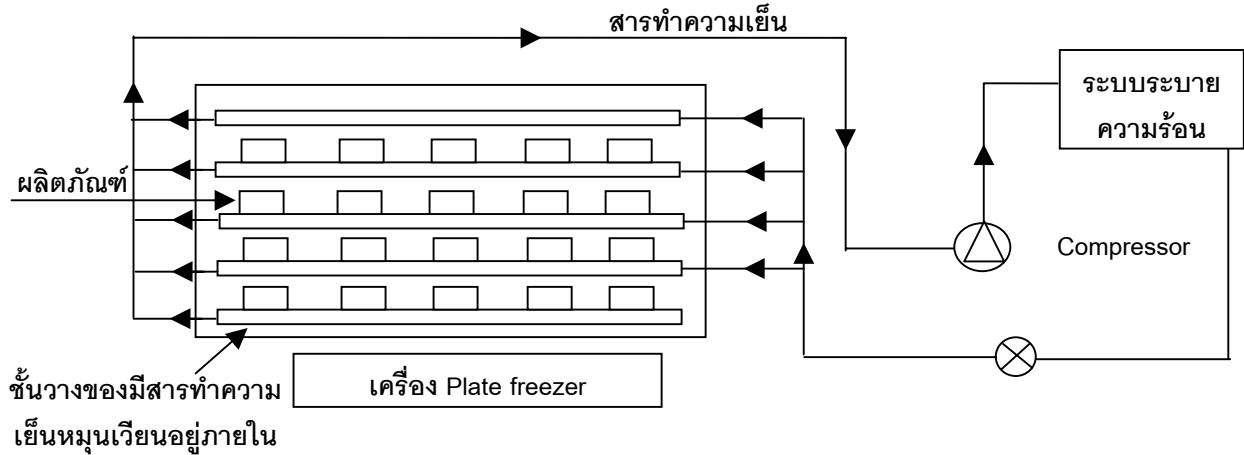


คอยล์เย็นพร้อมพัดลม

รูปที่ 3-10 แสดงเครื่องคอมเพรสเซอร์และคอยล์เย็นของระบบเครื่องทำความเย็น

ในกรณีที่ระบบระบายความร้อนของสารทำความเย็น (Refrigerant) เป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ จะใช้แผงระบายความร้อน (Air Cooled Condenser Coil) แต่ถ้าเป็นระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จะใช้หอผึ่งน้ำ (Cooling tower)

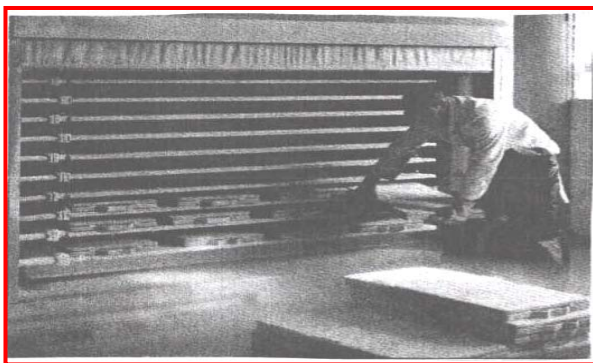
3) แช่แข็งแบบ Contact plate freezer



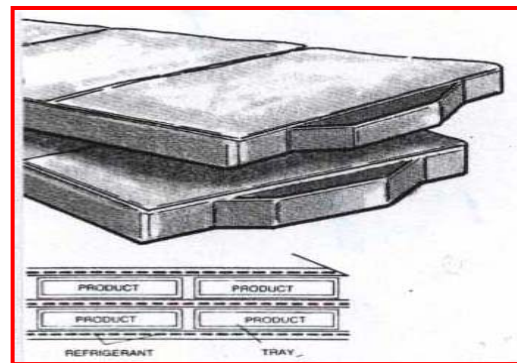
รูปที่ 3-11 แสดงวงจรการทำงานของเครื่องแช่แข็งแบบ Contact plate freezer

อุปกรณ์ประกอบด้วย

- เครื่อง Plate freezer ซึ่งเป็นเครื่องประกอบสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต ประกอบด้วย ชั้นวางผลิตภัณฑ์หลายๆ ชั้น ภายในชั้นจะเป็นช่องว่างให้สารทำความเย็น (Refrigerant) ไหลผ่านได้เมื่อนำผลิตภัณฑ์ซึ่งใส่ถาดพร้อมน้ำวางบนชั้นแล้ว ชั้นเหล่านี้จะสามารถเลื่อนเข้าหากันจนชิดติดผลิตภัณฑ์นั้น ทั้งด้านบนและด้านล่าง (Contact) สารทำความเย็นจะสามารถถ่ายเทความร้อนจากชั้นลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง
- Compressor ซึ่งใช้แบบเดียวกับ Compressor ห้องแช่แข็งทั่วไป โดยมีทั้งแบบลูกสูบและแบบสกปรู
- ระบบระบายความร้อนมีทั้งระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Condenser coil) และแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Cooling tower)



รูปที่ 3-12 เครื่อง Contact plate freezer



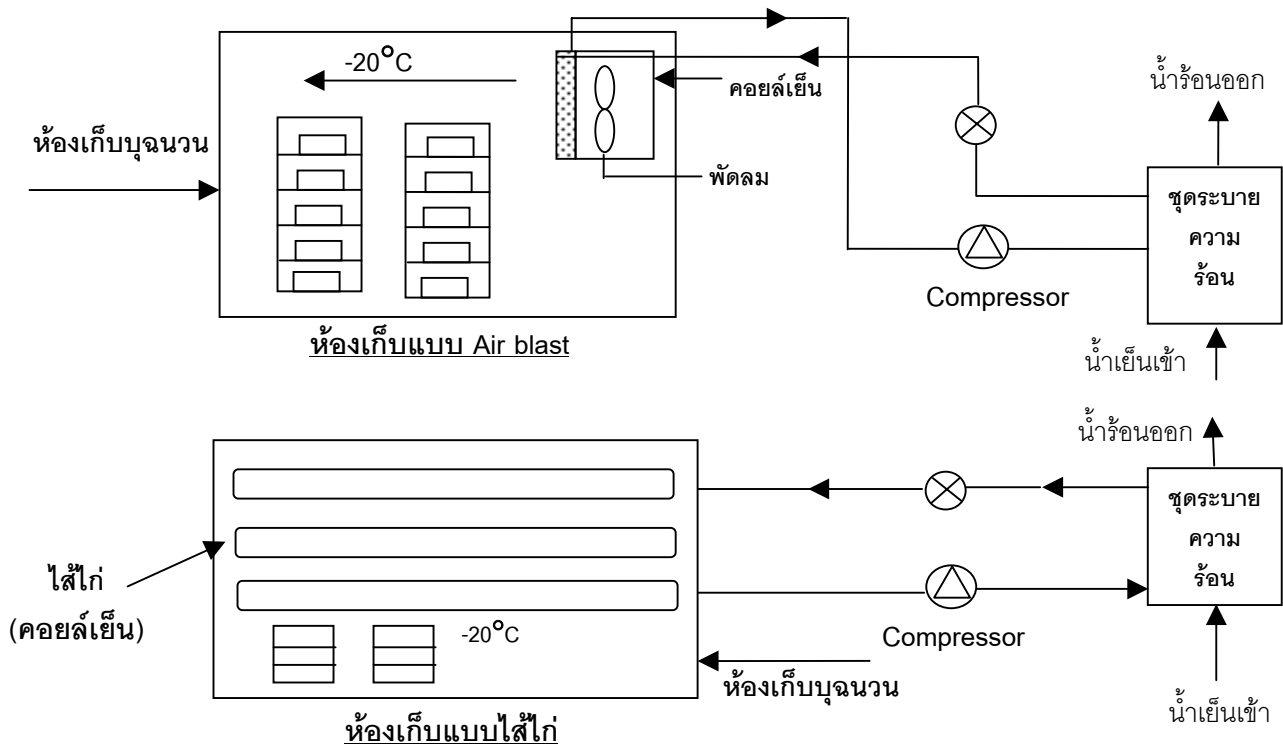
รูปที่ 3-13 ลักษณะของถาดใส่ผลิตภัณฑ์

3.4 การบรรจุภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งจะนำเข้าบรรจุหีบห่อเพื่อเตรียมเก็บจำหน่าย โดยอุปกรณ์หลักในขั้นตอนนี้ได้แก่ เครื่องบรรจุหีบห่อ ซึ่งแต่ละแบบแล้วแต่ลักษณะและวัตถุที่ใช้ทำหีบห่อบรรจุภัณฑ์

3.5 กระบวนการเก็บในห้องเย็น

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุภัณฑ์แล้วจะนำเข้าเก็บไว้ในห้องเย็น ซึ่งรักษาอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ -20°C ซึ่งห้องเก็บมี 2 แบบ คือ แบบ Air blower (ใช้คอยล์เย็น โดยมีพัดลมเป่า) และแบบใส่ไก่อ (เป็นชุดท่อสารความเย็นรอบๆ ห้อง ซึ่งอาจมีพัดลมช่วยถ่ายเทความเย็นด้วยก็ได้)



รูปที่ 3-14 แสดงแผนภาพการทำงานของห้องเก็บแบบแบบ Air blast และแบบใส่ไก่อ

อุปกรณ์หลักของกระบวนการนี้ได้แก่

- คอยล์เย็น ซึ่งแบ่งออกเป็น
- แบบ Air Blast คือ คอยล์เย็นชนิดมีพัดลมเป่าผ่านกระจายความเย็นให้ทั่วห้อง
- แบบใส่ไก่อ เป็นชุดท่อสารความเย็นติดตั้งเป็นแผงตามผนัง หรือเพดานของห้องเย็นโดยให้ความเย็นแผ่ออกมาเอง โดยอาจมีพัดลมเป่าด้วยก็ได้
- คอมเพรสเซอร์
- ชุดระบายความร้อน

3.6 การจัดส่งออกจำหน่าย

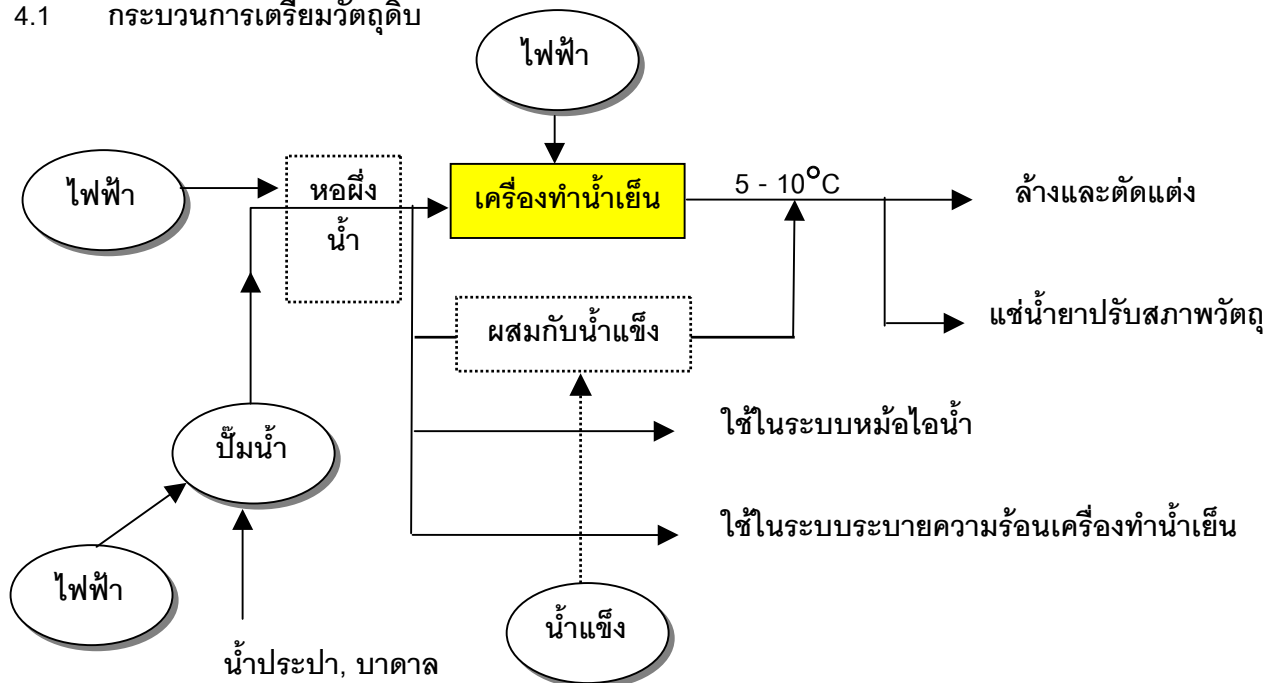
อุปกรณ์ได้แก่ เครื่องมือ เครื่องจักร ที่ใช้ในการขนส่งต่างๆ ตามความเหมาะสมของแต่ละสถานที่อาจประกอบด้วย ระบบสายพาน, รถยก ฯลฯ

บทที่ 4

ลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็น

การตรวจสอบลักษณะการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมนี้ เราสามารถตรวจสอบตามขั้นตอนกระบวนการผลิต และอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน ได้ดังนี้

4.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ



รูปที่ 4-1 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับ

- ปั๊มน้ำ
- หอผึ่งน้ำ (ในกรณีที่น้ำจากแหล่งน้ำบาดาลมีความร้อนสูง)
- เครื่องทำน้ำเย็น

พลังงานอื่นๆ ได้แก่

- น้ำแข็ง

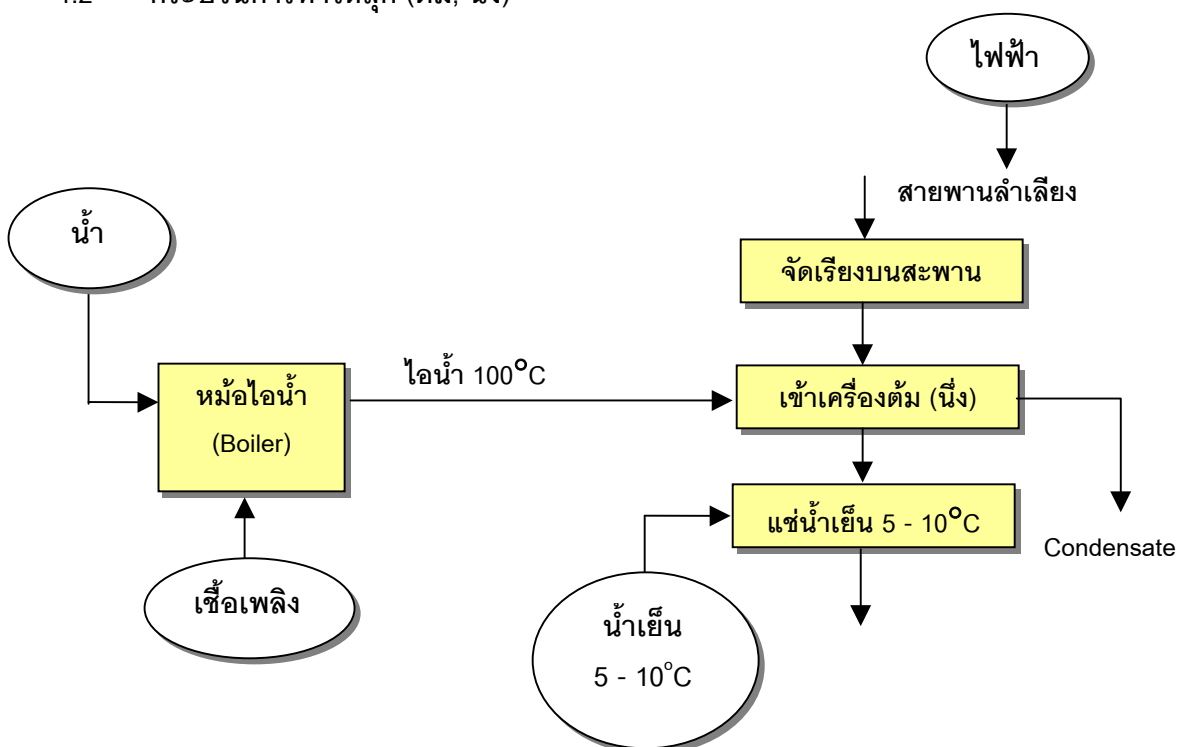
เนื่องจากในกระบวนการล้าง ตัดแต่ง และแช่น้ำยาปรับสภาพต้องการใช้น้ำเย็น (5-10°C) จำนวนมาก การจัดการเรื่องน้ำ การลดอุณหภูมิของน้ำ จึงเป็นการใช้พลังงานสูงในขั้นตอนนี้

เป็นที่สังเกตว่า น้ำเย็นหลังจากใช้ล้าง แช่สารแปรสภาพแล้ว ยังมีความเย็นอยู่ (ประมาณ 10°C) จะถูกทิ้งไปโดยไม่นำมาใช้ประโยชน์อีก

แหล่งน้ำของโรงงานบางแห่งได้จากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ ซึ่งยังมีอุณหภูมิสูงอยู่มาก (อาจสูงถึง 50°) การจะทำให้เย็นลงโดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นหรือละลายน้ำแข็งโดยตรงจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน จึงควรต้องมีการลดอุณหภูมิในเบื้องต้น โดยใช้หอผึ่งน้ำ (Cooling tower) หรือปล่อยไว้ในบ่อเปิด (Open Reservoir) ฯลฯ

นอกจากนี้ หลังเสร็จสิ้นการทำงาน จะมีการล้างบริเวณทำงานตลอดจนเครื่องมือและภาชนะต่างๆ ซึ่งต้องใช้น้ำในปริมาณมากเช่นเดียวกัน การจัดการเรื่องน้ำจึงมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมนี้

4.2 กระบวนการทำให้สุก (ต้ม, นึ่ง)



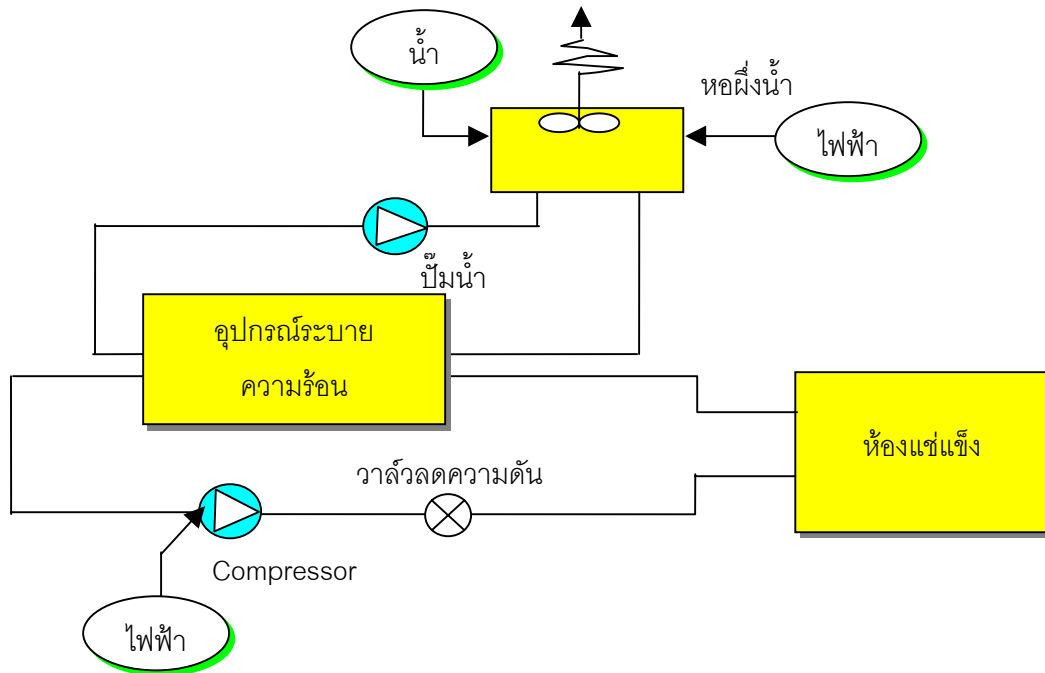
รูปที่ 4-2 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการต้มและนึ่งให้สุก

พลังงานส่วนใหญ่ในขั้นตอนนี้ เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งได้จากไอน้ำของหม้อไอน้ำ (Boiler)

โดยทั่วไป Boiler ที่ใช้จะใช้ไอน้ำที่แรงดันต่ำ และเป็นไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) โดยใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันเตา (Fuel oil) เป็นส่วนมาก การใช้ไอน้ำมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของผลิตภัณฑ์ และการตั้งเวลาที่ทำให้สุกอย่างถูกต้อง การปรับไอน้ำไม่ให้มีไอน้ำทิ้งมากนัก

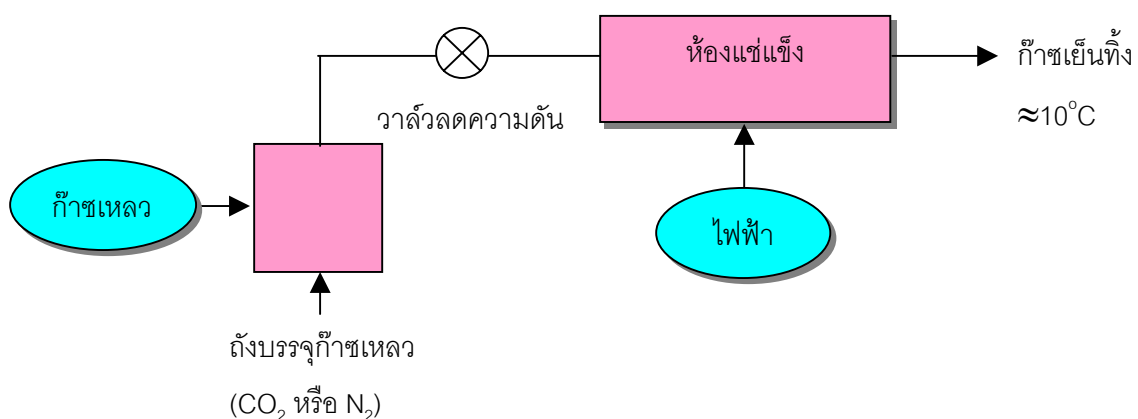
ส่วนพลังงานอื่นที่เข้าได้แก่ พลังงานในการจัดหาเพิ่มเติมหม้อไอน้ำ และน้ำเย็นแช่ผลิตภัณฑ์หลังจากทำให้สุกแล้ว เพื่อลดอุณหภูมิก่อนเข้าแช่แข็ง

4.3 กระบวนการแช่แข็ง



รูปที่ 4-3 แสดงการใช้พลังงานในระบบแช่แข็งแบบใช้สารทำความเย็น

พลังงานที่ใช้ในระบบการนี้ทั้งหมดเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานมากที่สุดในทุกกระบวนการผลิต เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิติดต่อกันถึง -18°C (หรือต่ำกว่านี้ตามความต้องการของลูกค้า) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ควรดูแลอย่างใกล้ชิด เพื่อไม่ให้เกิดการใช้พลังงานสูงจนเกินไป



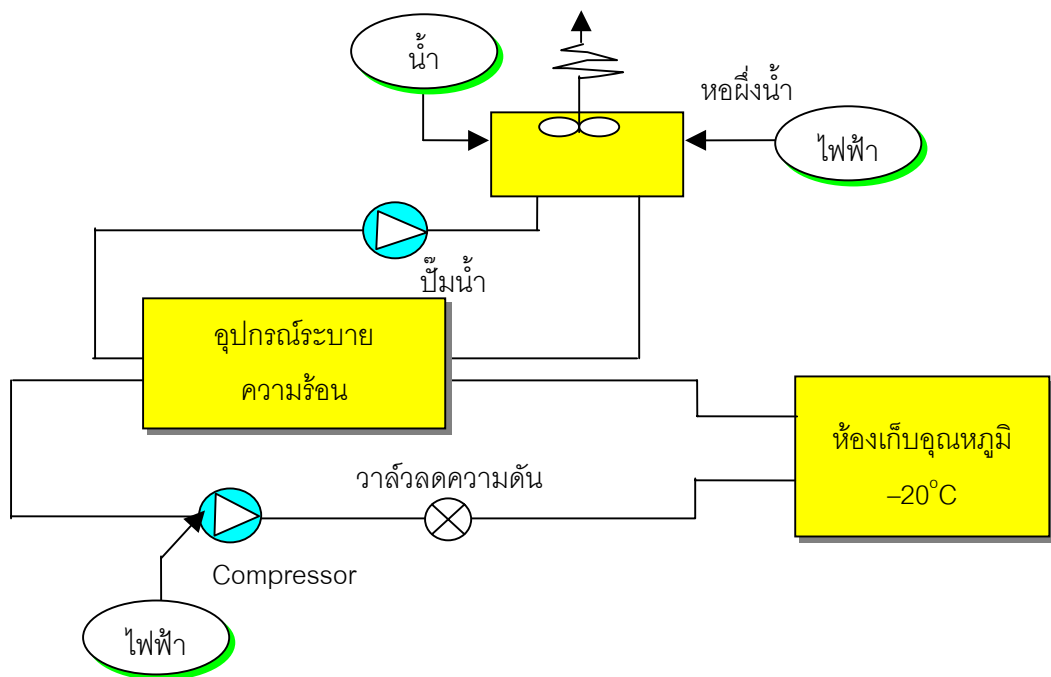
รูปที่ 4-4 แสดงการใช้พลังงานในระบบการแช่แข็งแบบ Cryogenic

สำหรับกระบวนการแช่แข็ง Cryogenic การใช้ก๊าซเหลวนับเป็นการใช้พลังงานด้วยเช่นเดียวกัน นอกจากนี้แล้วยังมีการใช้พลังงานเล็กน้อยในระบบสายพาน และพัดลมหมุนเวียนอีกด้วย

ข้อเปรียบเทียบการใช้ระบบแช่แข็งแบบสารทำความเย็น (Refrigeration) และแบบก๊าซเหลว (Cryogenic)

- การลงทุนเครื่องจักรระบบ Refrigeration มีต้นทุนสูงกว่า จุดคุ้มทุน ใช้ระยะเวลานาน (ประมาณ 3-5 ปี)
- ราคาค่าเดินเครื่องและค่าพลังงานระบบ Cryogenic สูงกว่ามาก
- ถ้าผลิตภัณฑ์มีลักษณะคงที่แน่นอน และระยะเวลาการผลิตต่อเนื่อง ใช้ระบบ Refrigeration จะเหมาะสมกว่า
- ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์อยู่บ่อยๆ การผลิตไม่ต่อเนื่อง การใช้ระบบ Cryogenic จะสามารถยืดหยุ่นได้มากกว่า

4.4 กระบวนการเก็บในห้องเย็น



รูปที่ 4-5 แสดงการใช้พลังงานในกระบวนการเก็บในห้องเย็น

เช่นเดียวกันกับกระบวนการแช่แข็ง กระบวนการเก็บในห้องเย็นเป็นกระบวนการที่ใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงาน ถึงแม้จะไม่สูงกว่ากระบวนการแช่แข็ง แต่เป็นการใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง จึงควรจะมีการตรวจสอบการใช้พลังงานอย่างใกล้ชิดเช่นเดียวกัน

4.5 ภาพรวมของการใช้พลังงาน และลักษณะการสูญเสียพลังงานในกระบวนการผลิต

จากการศึกษาลักษณะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ของอุตสาหกรรมห้องเย็นแช่แข็งอาหารทะเล สามารถสรุปได้ดังนี้

การใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิต เป็นการใช้ความร้อนจากไอน้ำในกระบวนการผลิตทำให้สูง โดยอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตไอน้ำ คือ หม้อไอน้ำ (Boiler) ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิต ได้แก่

- เครื่องต้ม
มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อต้ม และน้ำคอนเดนเสท
- เครื่องนิ่ง
มีการสูญเสียพลังงานความร้อนทางผนังหม้อนิ่ง และน้ำคอนเดนเสท

เมื่อพิจารณาจากกระบวนการผลิตที่ผ่านมาพบว่า ในอุตสาหกรรมอาหารห้องเย็น พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตส่วนใหญ่เป็นพลังงานไฟฟ้า 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. การผลิตไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจะควบคู่ไปกับการบำรุงรักษาและการใช้งานหม้อไอน้ำที่ถูกต้องเท่านั้น
4. มีการสูญเสียความร้อนจากไอน้ำในรูปของน้ำคอนเดนเสทที่ออกจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ ทำให้ไม่สามารถใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำได้ทั้งหมด (กรณีที่ไม่สามารถนำกลับน้ำคอนเดนเสทคืนสู่ระบบการผลิตไอน้ำได้)

ลักษณะการสูญเสียพลังงานความร้อน (เชื้อเพลิง) จากการผลิตไอน้ำ และการใช้ไอน้ำ มีดังนี้

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

ส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นพลังงานที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดของอุตสาหกรรมประเภทห้องเย็น ได้แก่

- เครื่องทำความเย็น

มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) ที่ต่ำของระบบทำความเย็น การสูญเสียพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณแวดล้อมเข้าสู่บริเวณทำความเย็น (Condensing Unit) ซึ่งเป็นผลทำให้ภาระการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น

- เครื่องสูบน้ำ

มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

- หอผึ่งน้ำ

มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น

- เครื่องทำน้ำเย็น

มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) ที่ต่ำของเครื่องทำน้ำเย็น การสูญเสียพลังงานจากการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณแวดล้อมเข้าสู่บริเวณท่อส่งน้ำเย็น และจากประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของชุดระบายความร้อน (Condensing Unit) ซึ่งเป็นผลทำให้ภาระการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น

4.6 การแปลความหมายของแผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน

แผนภาพที่แสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน เป็นแผนภาพที่แสดงรายละเอียดที่บ่งบอกถึงปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละองค์ประกอบ จากภาพรวมของการใช้พลังงานที่กำหนด โดยที่แผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้

- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานของโรงงาน
- แผนภาพแสดงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงาน
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำของอุปกรณ์
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน
- แผนภาพแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต

โดยที่แผนภาพแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานแต่ละประเภทข้างต้น จะแสดงถึงความหมายที่แตกต่างกัน เพื่อให้ผู้พิจารณาสามารถวิเคราะห์และเข้าใจสภาพการใช้พลังงานในรายละเอียดของแต่ละส่วน ทำให้สามารถกำหนดจุดวิกฤติ (Critical Point) ของการใช้พลังงานในเครื่องจักรและอุปกรณ์ของกระบวนการผลิตได้ รวมทั้งการหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิตต่อไป

4.7 การแปลความหมายของดัชนีการใช้พลังงาน

ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานมีด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การพิจารณาดัชนีการใช้พลังงานของโรงงาน ซึ่งมีการกำหนดนิยาม ดังนี้

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

(หน่วยพลังงาน/หน่วยผลผลิต)

โดยที่ค่าดัชนีการใช้พลังงานยังสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของการพิจารณาประเภทของพลังงานและผลผลิต เช่น ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นการพิจารณาเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เป็นต้น

หน่วยของปริมาณการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นหน่วยกลาง หรือหน่วยมาตรฐาน สำหรับพลังงานไฟฟ้า จะมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ส่วนพลังงานความร้อนทั้งที่ได้มาจากเชื้อเพลิงไอน้ำ น้ำมันร้อน หรือโดยสารทำงานอื่น ควรจะแปลงหน่วยให้เป็นจูล (J) หรือเมกะจูล (MJ) ซึ่งเป็นหน่วยพลังงานมาตรฐาน

หน่วยของผลผลิตควรจะใช้เป็นหน่วยมาตรฐาน ซึ่งได้แก่ น้ำหนัก ความยาว พื้นที่ หรือปริมาตร ตัวอย่าง เช่น ผลผลิตที่เป็นอาหารควรใช้หน่วยเป็นน้ำหนัก ซึ่งอาจเป็นกิโลกรัมหรือเป็นตัน การผลิตกระดาษควรใช้หน่วยเป็นพื้นที่ของกระดาษที่ผลิตได้ ซึ่งอาจเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุต ท่อหรือเหล็กเส้นควรใช้หน่วยความยาวเป็นเมตรหรือฟุต น้ำดื่มหรือน้ำอัดลมควรใช้หน่วยปริมาตรเป็นลิตรหรือลูกบาศก์เมตร หน่วยของผลผลิตที่มีความคลุมเครือ เช่น กล้อง ทีวี ซีดี อื่น ฯลฯ มักจะใช้ประโยชน์ได้เฉพาะการติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในโรงงานใดโรงงานหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถเปรียบเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมอื่นๆ หรือเปรียบเทียบกับดัชนีการใช้พลังงานมาตรฐาน ซึ่งมักจะมีสถาบันหรือสมาคมอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลกจัดทำไว้สำหรับอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

ดังนั้น หน่วยของดัชนีการใช้พลังงานจึงอาจเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อดัน เมกกะจูลต่อลิตร เมกกะจูลต่อตารางเมตร ฯลฯ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานโดยการใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงาน คือ สามารถนำค่าดัชนีการใช้พลังงานมาเป็นค่าอ้างอิง (Reference Value) สำหรับการปรับปรุงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตภายหลังจากการดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน โดยเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงาน และการประเมินผลสัมฤทธิ์จากการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานคือ การลดค่าดัชนีการใช้พลังงานลง เพื่อให้ต้นทุนด้านพลังงาน (Energy Cost) ในกระบวนการผลิตมีค่าต่ำที่สุด ทำให้โรงงานผลิตมีผลกำไรที่เพิ่มขึ้น

4.8 สัดส่วนการใช้พลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็นแช่แข็งอาหารทะเล

เราอาจประเมินการใช้พลังงานสำหรับโรงงานนี้ได้ โดยแบ่งประเภทของการประกอบกันได้ ดังนี้

โรงงานปลาทะเลแช่แข็ง โดยนำปลาจากเรือประมงมาทำความสะอาด คัดแยก นำเข้าแช่แข็ง แล้วนำเข้าเก็บในห้องเย็น โดยการใช้ระบบทำความเย็นแบบใช้สารทำความเย็นอย่างเดียว

พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด โดยสามารถแยกตามระบบการใช้งานได้ ดังนี้

- | | |
|---------------------------------------|-----|
| 1. ระบบห้องแช่แข็ง | 65% |
| 2. ระบบห้องเก็บ | 25% |
| 3. ระบบระบายความร้อนเครื่องทำความเย็น | 5% |
| 4. ระบบปรับอากาศ แสงสว่าง และอื่นๆ | 5% |

ค่าใช้จ่ายอื่นๆ นอกจากพลังงานไฟฟ้าจะเป็นค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปา ซึ่งเป็นสัดส่วน ดังนี้

- | | |
|---------------------|-----|
| ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า | 97% |
| ค่าใช้จ่ายน้ำประปา | 3% |

ค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายรวมต่อผลผลิต ประมาณ 2.25 บาทต่อกิโลกรัม

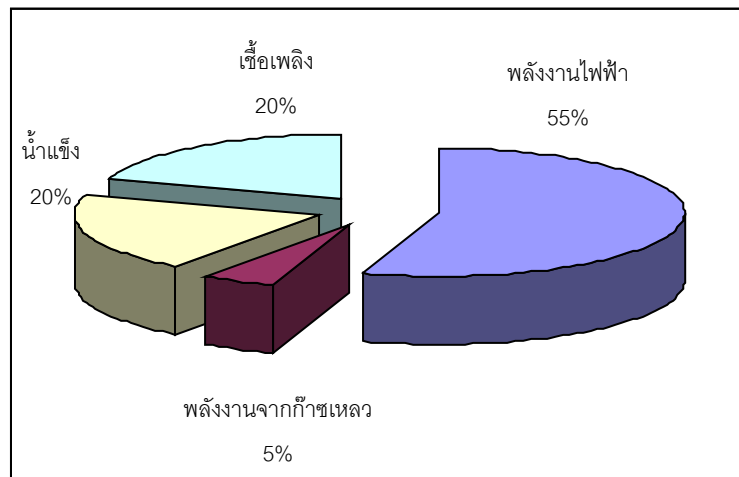
จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับห้องแช่แข็งมีสัดส่วนสูงมาก จึงควรจะได้รับ การดูแลให้มีประสิทธิภาพสูงอยู่เสมอ เช่นเดียวกันกับห้องเก็บ ซึ่งส่วนใหญ่จะทำงานอยู่ตลอด 24 ชั่วโมง จึงควร มีมาตรการประหยัดพลังงานด้วย

โดยสรุปธุรกิจแช่แข็งและเก็บอาหารทะเลนี้การใช้พลังงานระบบทำความเย็นมีสูงกว่า 90% ดังนั้น จึง ควรจะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ ซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่การออกแบบ เลือกรูปแบบการเดินเครื่องและการบำรุงรักษา ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

โรงงานอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ โรงงานแช่แข็งผลิตภัณฑ์กุ้งพร้อมแปรรูป โดยทำให้สุกเป็นบางส่วน โดย โรงงานประเภทนี้บางส่วนของกระบวนการแช่แข็งจะใช้แบบ Cryogenic โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลว ใน กระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ และการทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นลงหลังจากต้มสุก จะใช้น้ำแข็งเป็นจำนวนมาก กระบวนการต้มสุกใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำ ซึ่งใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

เราสามารถประเมินการใช้พลังงานได้ ดังนี้

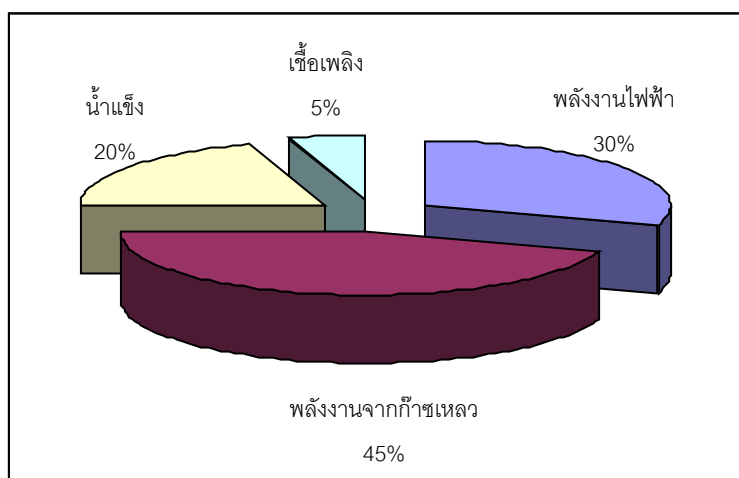
พลังงานไฟฟ้า	35 – 55%
พลังงานจากก๊าซเหลว	10 – 5%
น้ำแข็ง	15 – 20%
เชื้อเพลิง	40 – 20%



รูปที่ 4-6 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานรวมของโรงงาน

สำหรับค่าใช้จ่ายพลังงานสามารถประเมินได้ ดังนี้

พลังงานไฟฟ้า	10 – 30%
พลังงานจากก๊าซเหลว	55 – 45%
น้ำแข็ง	30 – 20%
เชื้อเพลิง	5%



รูปที่ 4-7 แสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานรวมของโรงงาน

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนการใช้พลังงาน และอัตราส่วนค่าใช้จ่าย ซึ่งพอจะอธิบายได้ ดังนี้

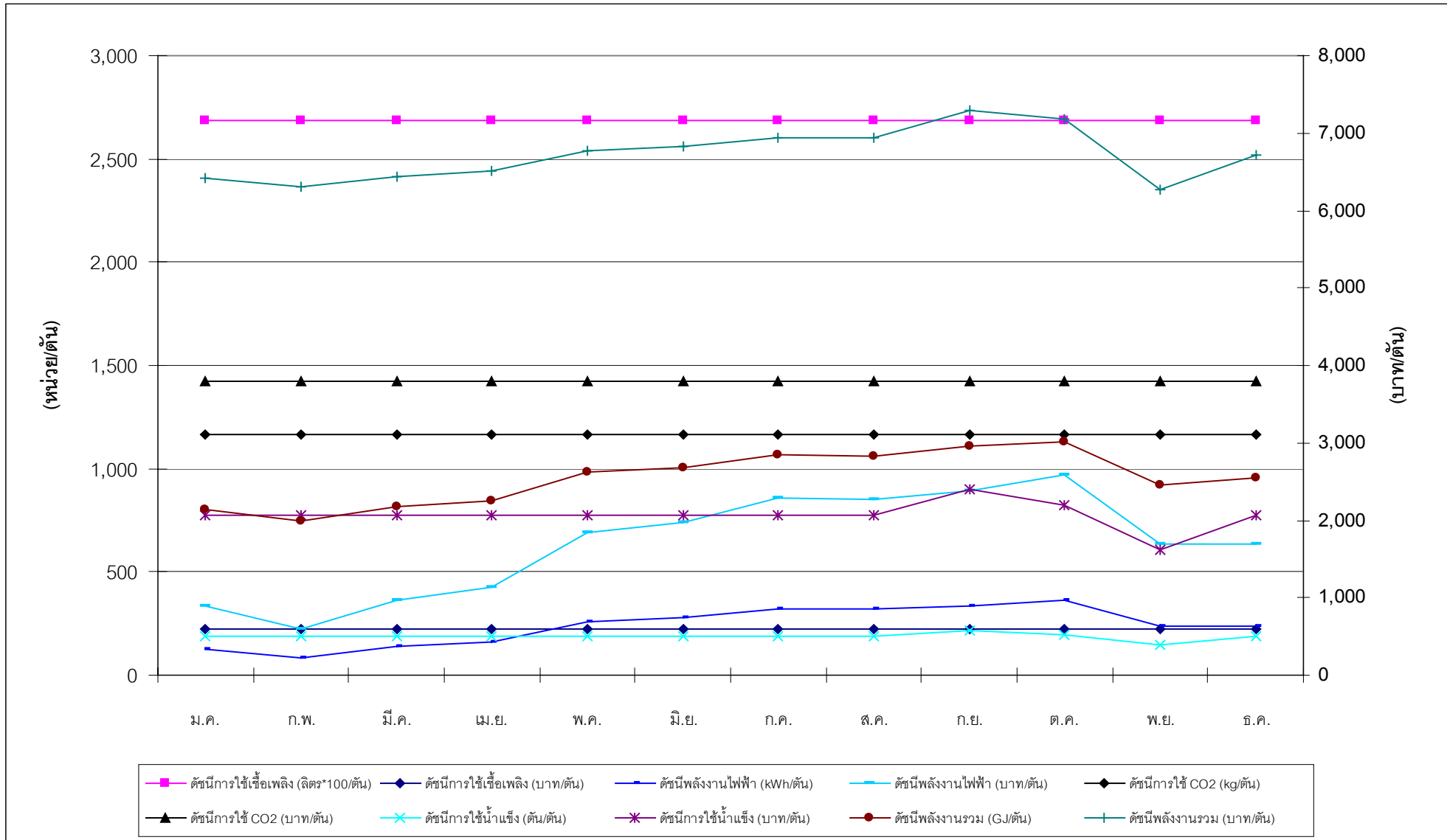
1. ค่าพลังงานเชื้อเพลิงจะถูกกว่าค่าพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากเป็นพลังงานที่แปรสภาพโดยตรง เป็นพลังงานความร้อนต่างจากพลังงานไฟฟ้า ซึ่งค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจะสูงกว่า
2. ค่าพลังงานจากก๊าซเหลวจะสูงมาก เนื่องจากต้นทุนการผลิตก๊าซเหลวสูง ดังนั้น การใช้ก๊าซเหลวจึงควรคำนึงถึงความเหมาะสมด้วย

ข้อที่น่าสังเกตอีกประการหนึ่งคือ การใช้น้ำแข็ง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 20 – 30% ของค่าใช้จ่ายรวม โดยที่บางโรงงานอาจลดการใช้ลงโดยวิธีทำความเย็นแบบอื่นเสริมด้วย เช่น

- ใช้การระเหยของจากหอผึ่งน้ำ หรือบ่อเปิด
 - ใช้เครื่องทำความเย็น
 - ใช้ระบบแลกเปลี่ยนความเย็นจากแหล่งความเย็นที่ทิ้งไป เช่น น้ำเย็นที่ทิ้งจากกระบวนการผลิต ฯลฯ
- เมื่อพิจารณาด้านดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน สามารถวิเคราะห์และแปลความหมายได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานช่วงเดือนมกราคม - ธันวาคม 2546

เดือน	ปริมาณ ผลิตภัณฑ์ (ตัน)	ปริมาณพลังงาน									ดัชนีการใช้เชื้อเพลิง		ดัชนีพลังงานไฟฟ้า		ดัชนีการใช้ CO ₂		ดัชนีการใช้น้ำแข็ง		ดัชนีพลังงานรวม	
		พลังงานความร้อน		พลังงานไฟฟ้า		CO ₂		น้ำแข็ง		รวม										
		(ลิตร)	(MJ)	(kWh)	(MJ)	(ตัน)	(MJ)	(ตัน)	(MJ)		(MJ)	(ลิตร/ตัน)	(บาท/ตัน)	(kWh/ตัน)	(บาท/ตัน)	(ตัน/ตัน)	(บาท/ตัน)	(ตัน/ตัน)	(บาท/ตัน)	(GJ/ตัน)
ม.ค.	279	7,500	281,625	35,027	126,098	325	73,739	1,376	115,182	596,643	26.88	223.12	125.55	335.12	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,139	6,417
ก.พ.	279	7,500	281,625	23,342	84,032	325	73,752	1,376	115,182	554,591	26.88	223.12	83.66	223.32	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	1,988	6,305
มี.ค.	279	7,500	281,625	38,064	137,030	325	73,752	1,376	115,182	607,590	26.88	223.12	136.43	364.17	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,178	6,446
เม.ย.	279	7,500	281,625	44,324	159,566	325	73,752	1,376	115,182	630,125	26.88	223.12	158.87	424.06	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,259	6,506
พ.ค.	279	7,500	281,625	72,412	260,682	325	73,752	1,376	115,182	731,241	26.88	223.12	259.54	692.79	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,621	6,774
มิ.ย.	279	7,500	281,625	77,151	277,745	325	73,752	1,376	115,182	748,304	26.88	223.12	276.53	738.14	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,682	6,820
ก.ค.	279	7,500	281,625	89,475	322,109	325	73,752	1,376	115,182	792,668	26.88	223.12	320.70	856.04	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,841	6,938
ส.ค.	279	7,500	281,625	88,900	320,038	325	73,752	1,376	115,182	790,598	26.88	223.12	318.64	850.54	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,834	6,932
ก.ย.	279	7,500	281,625	93,172	335,419	325	73,752	1,592	133,240	824,037	26.88	223.12	333.95	891.41	1.17	3,787.33	5.70	2,395.81	2,954	7,298
ต.ค.	279	7,500	281,625	101,415	365,095	325	73,752	1,463	122,466	842,938	26.88	223.12	363.50	970.28	1.17	3,787.33	5.24	2,202.06	3,021	7,183
พ.ย.	279	7,500	281,625	66,328	238,782	325	73,752	1,073	89,852	684,012	26.88	223.12	237.74	634.59	1.17	3,787.33	3.85	1,615.65	2,452	6,261
ธ.ค.	279	7,500	281,625	66,328	238,782	325	73,752	1,376	115,182	709,341	26.88	223.12	237.74	634.59	1.17	3,787.33	4.93	2,071.10	2,542	6,716
เฉลี่ย	279	7,500	281,625	66,328	238,781	325	73,751	1,376	115,183	709,341	26.88	223.12	237.74	634.59	1.17	3,787.33	4.93	2,071.12	2,542	6,716
รวม	3,348	90,000	3,379,500	795,938	2,865,376	3,902	885,015	16,510	1,382,196	8,512,088	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



รูปที่ 4-8 ดัชนีการใช้พลังงานรวมของโรงงาน ในระหว่างเดือนมกราคม - ธันวาคม 2546

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงการจัดบันทึกการใช้พลังงานโดยรวมในเดือนต่างๆ เพื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละเดือน ในโรงงานตัวอย่างนี้มีผลผลิตต่อเดือนเท่าๆ กัน ทั้งปี (โดยประมาณ) แต่การใช้พลังงานไม่เท่ากันทุกเดือน ซึ่งพอจะวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นได้ ดังนี้

1. การใช้พลังงานความร้อนจากน้ำมันเฉลี่ยเท่ากันทุกเดือน
2. การใช้พลังงานจากก๊าซเหลวในการแช่แข็งเฉลี่ยเท่ากันทุกเดือน การใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานจากน้ำแข็งในกระบวนการแตกต่างกันในแต่ละเดือน ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องจาก
 - อุณหภูมิอากาศภายนอกเปลี่ยนแปลง ทำให้ใช้พลังงานในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น
 - อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสูง ทำให้ใช้น้ำแข็งเพิ่มขึ้น
 - การขาดการควบคุมในการเดินเครื่องทำความเย็น อาจเป็นผลให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นมาก

เมื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุแล้ว ควรมีการตรวจสอบหรือจัดบันทึกการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ จะทำให้สามารถป้องกันการใช้พลังงานที่สูงเกินความจำเป็นได้ในอนาคต

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 ไม่ใช่ช่วงเวลาที่ผลิตน้อยกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ที่ได้จากสภาวะปกตินั้นจะเป็นค่าที่แท้จริงของโรงงาน และสามารถใช้เป็นค่าฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน และใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบก่อนและหลังการดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานได้

ในการตรวจวัดการใช้พลังงานจะกระทำกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ การตรวจวัดแบบชั่วขณะ และการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

● การตรวจวัดแบบชั่วขณะ

เป็นการตรวจวัดครั้งเดียวเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานในขณะเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทำงานที่สภาวะปกติ 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

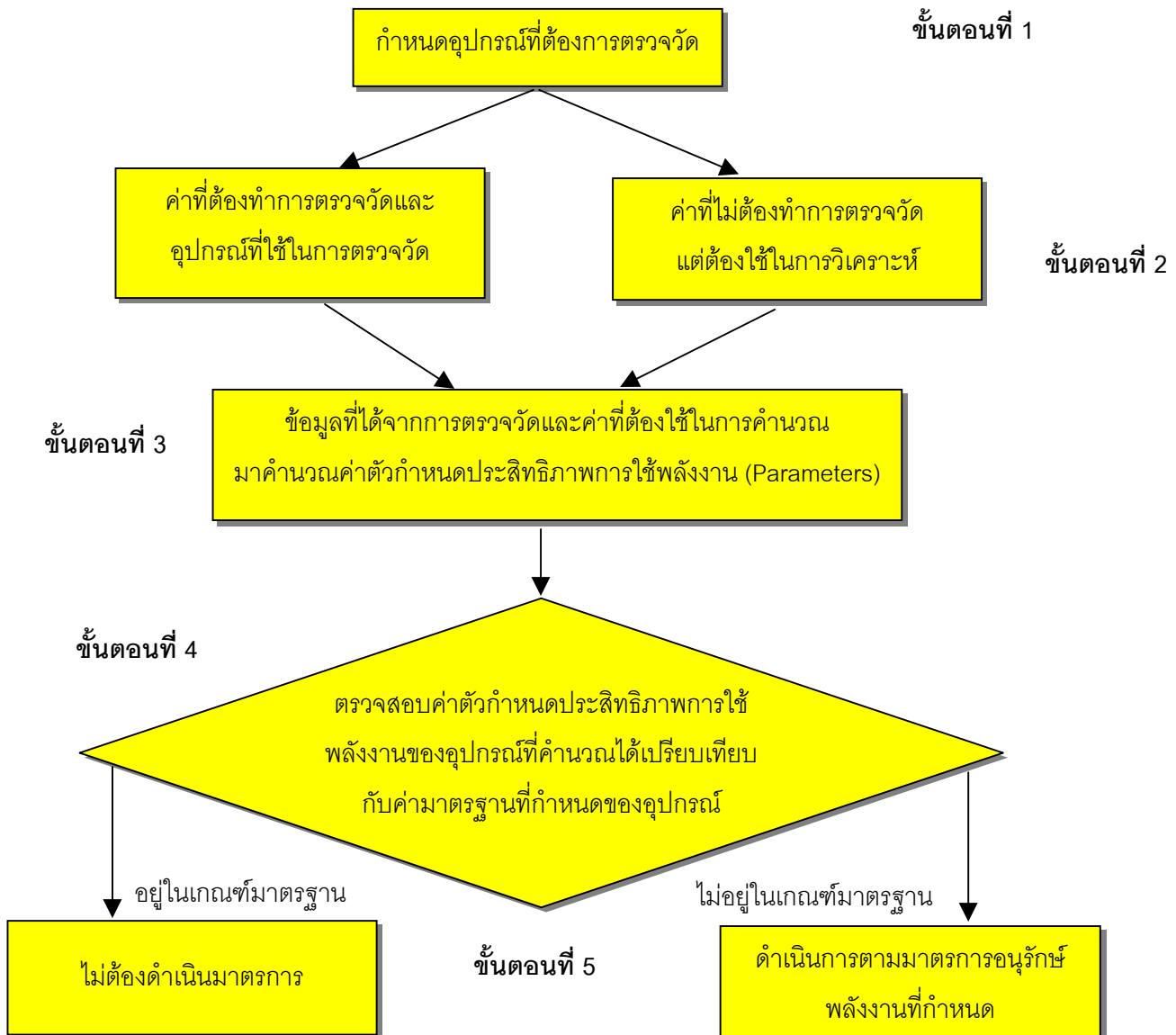
ดังนั้น การตรวจวัดการใช้พลังงานที่ดีควรมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด มีการวางแผนการตรวจวัดอย่างเป็นระบบ และทำการตรวจวัดให้ได้ค่าที่ถูกต้อง จะทำให้การวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงานเป็นไปอย่างชัดเจน ถูกต้อง และรวดเร็ว การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุนมีความถูกต้องแม่นยำ ทำให้การตัดสินใจดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานของโรงงานสามารถทำได้อย่างมั่นใจ

แสดงว่าขั้นตอนการตรวจวัดการใช้พลังงานเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่มีความสำคัญ ซึ่งจะนำไปสู่ขั้นตอนในลำดับต่อไป คือ ขั้นตอนของการคำนวณ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ สำหรับการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่ เพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในอุปกรณ์ต่อไป

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานได้เป็นขั้นตอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ที่สามารถสรุปเป็น “ระเบียบวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน” ได้ดังนี้

ระเบียบวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ลำดับขั้นตอนสำหรับการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อนำไปสู่การตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ในกระบวนการผลิต สามารถแสดงได้ดังแผนภาพข้างล่างนี้



รูปที่ 5-1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์

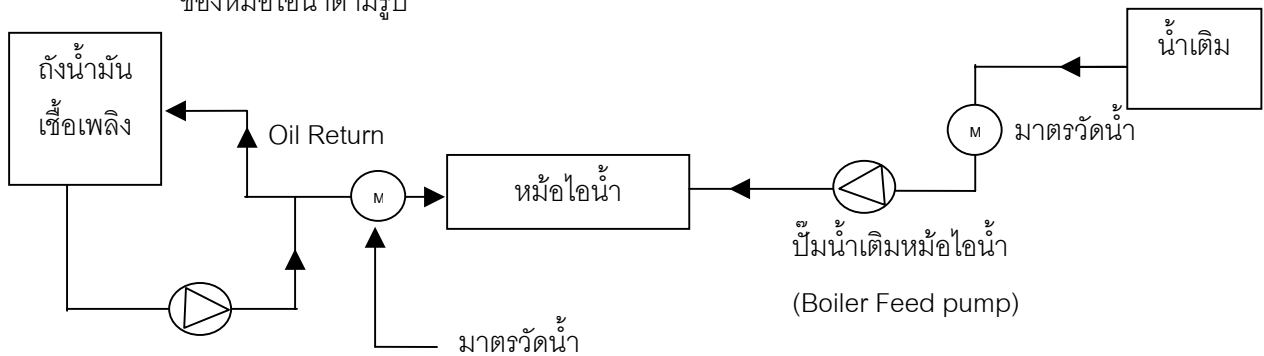
ลำดับขั้นตอนการทำงานดังกล่าวจะเป็นลำดับขั้นตอนการทำงานหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์หลักที่ใช้ในกระบวนการผลิต

5.2 การตรวจวัดเบื้องต้น

ซึ่งทางโรงงานสามารถปฏิบัติได้เองเพื่อประโยชน์ในการปฏิบัติงาน และบำรุงรักษาเพื่ออนุรักษ์พลังงาน อุปกรณ์เบื้องต้นในการตรวจวัดที่โรงงานสามารถตรวจวัดได้ด้วยตนเอง

- อุปกรณ์พื้นฐานที่ราคาไม่สูงมากนัก และมีความจำเป็นในการติดตั้ง เพื่อประกอบการตรวจวัดในการประหยัดพลังงานสามารถจะติดตั้งได้โดยง่ายดังต่อไปนี้

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



รูปที่ 5-2 แผนผังแสดงการติดตั้งมาตรวัดที่หม้อไอน้ำ

ข้อสังเกตในการติดตั้ง

- มาตรวัดน้ำเต็มจะติดตั้งทางด้านดูดของปั๊มจ่ายน้ำ (Boiler feed pump) เพื่อไม่ต้องรับแรงดันสูง
- มาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิงจะวัดปริมาณน้ำมันที่แท้จริงของหม้อไอน้ำ โดยติดตั้งหลังจากท่อน้ำมันไหลกลับ

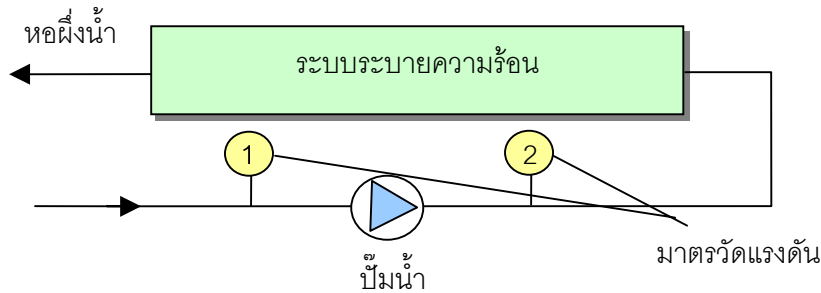


รูปที่ 5-3 มาตรวัด

จากมาตรวัดทั้ง 2 เราสามารถคำนวณการใช้เชื้อเพลิงต่อปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ (น้ำเต็มหม้อไอน้ำ จะเท่ากับปริมาณไอน้ำที่ผลิต) ทั้งนี้จะได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำอย่างง่าย ๆ

3. มาตรวัดแรงดันติดตั้งทางด้านดูด และทางด้านส่งของปั๊มต่างๆ เช่น ปั๊มน้ำสำหรับใช้งานทั่วไป ปั๊มน้ำป้อนเข้าหม้อไอน้ำ ปั๊มน้ำระบายความร้อนของระบบเครื่องปรับอากาศ และของเครื่องทำน้ำเย็น ฯลฯ

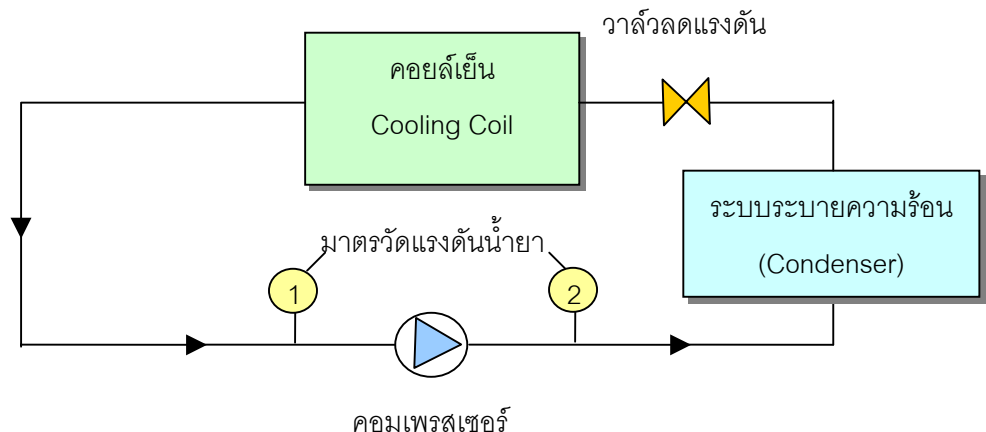
การที่มีการติดตั้งมาตรวัดแรงดัน จะทำให้เรารู้สถานะการทำงาน และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสะดวกในการบำรุงรักษา และเป็นการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง ยกตัวอย่าง เช่น ในรูป



รูปที่ 5-4 แสดงการติดตั้งมาตรวัดแรงดันของปั๊มน้ำ

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

4. มาตรวัดแรงดันน้ำยาทำความเย็นทางด้านดูด และด้านส่งในกรณีที่เครื่องทำความเย็นเป็นอุปกรณ์สำคัญในกระบวนการผลิต และใช้พลังงานสูง จำเป็นจะต้องติดตั้งมาตรวัดแรงดันของน้ำยาทั้งด้านดูด และด้านส่งตามรูป



รูปที่ 5-5 แสดงการติดตั้งมาตรวัดแรงดันของคอมเพรสเซอร์ของระบบทำความเย็น

การตรวจสอบแรงดันน้ำยาทางด้านส่งและด้านดูด เพื่อตรวจสอบการทำงานของระบบโดยสามารถประเมินผลได้โดยคร่าวๆ ดังนี้

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

หากเกิดเหตุข้างต้นและไม่สามารถตรวจสอบได้ อาจเรียกช่างผู้ชำนาญการมาตรวจสอบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ทำงานสูงเกินความจำเป็น

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
- เทอร์โมมิเตอร์แบบใช้รังสี Infrared ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่สูง (การหลอมละลายของโลหะ) เป็นต้น

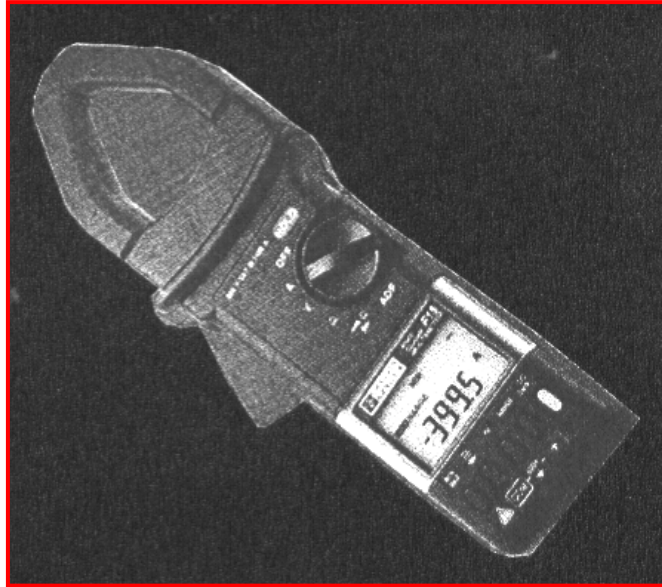
สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป ส่วนใหญ่จะมีการติดตั้ง 2 แบบ คือ แบบใช้ของเหลว หรือปรอท และแบบ Thermocouple (ใช้โลหะสองชนิดประกบติดกัน) จุดที่ควรติดตั้งสำหรับตรวจวัดการทำงานอยู่ตลอดเวลา คือ

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

6. เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าที่โรงงานควรมี ได้แก่ เครื่องมือ “Multi meter” ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถวัดค่าต่างๆ ได้ ดังนี้

- 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 ควรจะได้มีการติดตั้ง Energy meter นี้ไว้ เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานในกรณีที่ประสิทธิภาพของเครื่องไฟฟ้างดงกล่าวลดลง จะสามารถสังเกตได้จากการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงได้ หรือสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อเทียบกับผลผลิต ฯลฯ อีกด้วย

เครื่องมือวัดที่ยกตัวอย่างข้างต้น สามารถจัดหาได้โดยง่าย ราคาถูก และใช้งานได้ง่าย 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 การตรวจวัดดังกล่าว ได้แก่

5.3.1 ระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

● เครื่องทำความเย็น

หมายถึง เครื่องทำความเย็นที่ใช้สำหรับการทำความเย็นของห้องแช่แข็งในอุตสาหกรรมห้องเย็นประกอบด้วยเครื่องแช่แข็งแบบ Individual Quick Freeze (IQF) เครื่องแช่แข็งแบบ Cryogenic และเครื่องแช่แข็งแบบ Air blast freezer

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็น (Refrigerant) ทางด้านดูด (Suction) และทางด้านส่ง (Discharge) ของเครื่องคอมเพรสเซอร์ รวมทั้งค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการของเครื่องคอมเพรสเซอร์ในการทำงาน ซึ่งสามารถนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (Coefficient of Performance : COP) ของระบบทำความเย็น เพื่อใช้ในการประเมินและตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่

โดยในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) ของระบบทำความเย็นยังต้องอาศัยข้อมูลประกอบการคำนวณที่จำเป็นอื่นๆ อีก ได้แก่ ค่าคุณสมบัติของเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็น วัฏจักรการทำความเย็นของระบบทำความเย็น จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ เป็นต้น

เครื่องมือในการตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เทอร์โมมิเตอร์แบบสัมผัส มาตรวัดความดันสารทำความเย็น และเครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า

ตารางที่ 5.1 การตรวจวัดเครื่องทำความเย็น

ระบบ	ค่าตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบการทำความเย็น	- อุณหภูมิอีแวปอเรเตอร์ - แรงดันด้านดูด (Suction) - อุณหภูมิกอนเดนเซอร์ - แรงดันทางด้านส่ง (Discharge)	- เทอร์โมมิเตอร์แบบสัมผัส - มาตรวัดความดันสารทำความเย็น
เครื่องคอมเพรสเซอร์	กำลังไฟฟ้าที่ใช้	เครื่องวัดและบันทึกค่าไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง

• ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

หมายถึง ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าตั้งแต่จุดที่ออกจากหม้อแปลง จนถึงตู้ส่งจ่ายหรือตู้ MDB (Main Distribution Breaker) ที่แต่ละจุดภายในโรงงาน

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

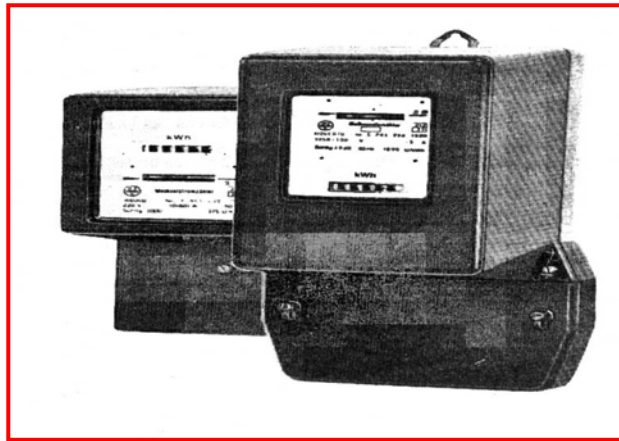
เครื่องมือตรวจวัดมีทั้งชนิดที่วัดค่าทางไฟฟ้าแบบชั่วขณะ เช่น แอมป์มิเตอร์หรือเพาเวอร์มิเตอร์แบบคล็องวัด มิเตอร์วัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และเครื่องมือตรวจวัดชนิดที่วัดและบันทึกค่าแบบต่อเนื่อง

ตารางที่ 5.2 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายไฟฟ้า

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ระบบส่งจ่ายไฟฟ้า	- แรงดันไฟฟ้า - กระแสไฟฟ้า - กำลังไฟฟ้า - ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	- เพาเวอร์มิเตอร์แบบคล็องวัด - เครื่องวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 5-7 เพาเวอร์มิเตอร์แบบคล็องวัด (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 ค่าทางไฟฟ้ารวมทั้งช่วงเวลารับการติดต่อของคอมเพรสเซอร์เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงานของคอมเพรสเซอร์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมจ่ายและลมกลับรวมทั้งปริมาณลมจ่ายเพื่อคำนวณภาระการทำความเย็นและสมรรถนะการทำงานของระบบปรับอากาศซึ่งไม่ควรจะใช้พลังงานเกิน 1.61 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น และค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์และอากาศแวดล้อมภายนอก

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น ชนิดของเทอร์โมสแตท สภาพของแผงกรองอากาศ เวลาใช้งาน

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดความเร็วลม

ตารางที่ 5.3 การตรวจวัดระบบปรับอากาศแบบหน่วยเดียว

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



รูปที่ 5-10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 5-11 เครื่องมือวัดความเร็วลม

● ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

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

◆ เครื่องส่งลมเย็น

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

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดความเร็วลม และเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ

ตารางที่ 5.4 การตรวจวัดเครื่องส่งลมเย็น

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

◆ เครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ใช้สำหรับผลิตน้ำเย็น ทั้งเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศและใช้ในกระบวนการผลิต

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

นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลประกอบอื่นๆ ที่ควรตรวจวัดด้วย เช่น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่ปั้มน้ำเย็น และปั้มน้ำหล่อเย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่พัดลมระบายความร้อนทั้งที่คอนเดนเซอร์ก็ระบายความร้อนด้วยอากาศและที่ห้องน้ำกรณี่ระบายความร้อนด้วยน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในท่อ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ตารางที่ 5.5 การตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็น

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

● 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 5.6 การตรวจวัดระบบแสงสว่าง

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



รูปที่ 5-12 เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง (Lux Meter)

• เครื่องสูบน้ำ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้า ความดันด้านส่งและด้านดูดของเครื่องสูบน้ำเพื่อใช้ตรวจสอบสมรรถนะการทำงานของปั๊ม ความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ ตลอดจนการประเมินความเป็นไปได้ในการติดตั้งเครื่องปรับลดความเร็วรอบเพื่อประหยัดพลังงานซึ่งต้องใช้ค่าที่ต้องตรวจวัดทั้งหมดมาประกอบกัน นอกจากนี้ ยังต้องสำรวจเวลาการทำงานของเครื่องสูบน้ำอีกด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า เครื่องวัดความเร็วรอบ และเกจวัดความดัน

ตารางที่ 5.7 การตรวจวัดเครื่องสูบน้ำ

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

• มอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่นๆ

ค่าที่จำเป็นต้องตรวจวัด ได้แก่ ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ และช่วงเวลาการทำงาน ตลอดจนความเร็วรอบในกรณีของมอเตอร์ที่ต้องการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วย

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า และเครื่องวัดความเร็วรอบ

ตารางที่ 5.8 การตรวจวัดมอเตอร์และอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

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

5.3.2 ระบบที่ใช้พลังงานความร้อน

● หม้อไอน้ำ

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

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้ เครื่องวิเคราะห์สภาพน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส

ตารางที่ 5.9 การตรวจวัดหม้อไอน้ำ

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



รูปที่ 5-13 เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้

● ระบบส่งจ่ายไอน้ำ

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

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส และตลับเมตร

ตารางที่ 5.10 การตรวจวัดระบบส่งจ่ายไอน้ำ

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

● อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

ดำเนินการตรวจวัดค่าต่างๆ กระทำเหมือนกับระบบส่งจ่ายไอน้ำ โดยเน้นที่การวิเคราะห์ความร้อนสูญเสียผ่านผนังของอุปกรณ์ การสำรวจสภาพของฉนวนความร้อน สภาพของตัวสไตรัมแทป และปริมาณของน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้น สำหรับการนำไปประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานความร้อนจากการนำกลับน้ำคอนเดนเสทมาเป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ

เครื่องมือตรวจวัดที่จำเป็น ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบสัมผัส กระบอกตวงวัดปริมาตร นาฬิกาจับเวลา เกจวัดความดันไอน้ำ และตลับเมตร

ตารางที่ 5.11 การตรวจวัดอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

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

• สติมແຫຼປ (ก๊าดักไอน้ำ)

อุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตต้องมีการติดตั้งตัวสติมແຫຼປ หรือตัวก๊าดักไอน้ำสำหรับทำหน้าที่ยระบายน้ำคอนเดนเสทที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้ความร้อนจากไอน้ำ ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพการใช้งานที่ดีของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ จึงต้องตรวจสอบให้ตัวสติมແຫຼປทำงานได้ดีอยู่เสมอ ไม่มีการรั่วของไอน้ำจากตัวสติมແຫຼປหรือการไม่ทำงาน (เสีย) ของตัวสติมແຫຼປที่ไม่ระบายน้ำคอนเดนเสทออกจากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำ

การตรวจวัดสติมແຫຼປจะเป็นการตรวจสอบสภาพการทำงานของตัวสติมແຫຼປ ว่าสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามปกติหรือไม่ ขนาดและประเภทของสติมແຫຼປเหมาะสมกับลักษณะการใช้ไอน้ำของอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำหรือไม่

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

ตารางที่ 5.12 การตรวจวัดสติมແຫຼປ

ระบบ	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือ
ตัวสติมແຫຼປ (ก๊าดักไอน้ำ)	ปริมาณการรั่วของไอน้ำจากตัวสติมແຫຼປ	อุปกรณ์ Ultrasonic Leak Detector



รูปที่ 5-14 อุปกรณ์ Ultrasonic Leak Detector



รูปที่ 5-15 แสดงการตรวจวัดตัวสตีมแทรป

5.4 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดระบบที่ใช้พลังงาน

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

บทที่ 6

การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมห้องเย็น

ในอุตสาหกรรมห้องเย็นนี้เราสามารถแยกประเภทการอนุรักษ์พลังงานได้ตามเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

1. เครื่องทำความเย็น
2. ระบบความร้อน (ไอน้ำ)
3. ระบบน้ำใช้
4. ระบบไฟฟ้า
5. ระบบแสงสว่าง
6. ระบบหอดึงน้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย

6.1 การอนุรักษ์พลังงานของเครื่องทำความเย็น

ในอุตสาหกรรมห้องเย็น พลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการเดินเครื่องทำความเย็น ซึ่งใช้ในกระบวนการแช่แข็งและกระบวนการเก็บในห้องเย็น จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะควบคุมดูแลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบ ซึ่งควรจะคำนึงถึงปัจจัยสำคัญดังนี้

6.1.1 ข้อคำนึงในการออกแบบระบบห้องเย็น

- 1) การใช้ฉนวนบุห้องเย็นให้มีขนาดพอเพียงสำหรับลดการสูญเสียความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปขนาดความหนา และประเภทของฉนวนควรจะเป็นดังนี้

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.

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

- 2) เส้นทางกำเลียงวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ควรจะลดความสูญเสียความเย็น โดยควรออกแบบให้แนวทางกำเลียงต่อเนื่องตามกระบวนการผลิต และอยู่ในบริเวณที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- 3) การเลือกซื้ออุปกรณ์และการออกแบบระบบ
 - 3.1) ควรออกแบบระบบทำความเย็นให้อุณหภูมิทางด้านกลับของน้ำยา (Suction Temperature) ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของคอยล์เย็น (Evaporator Coil) เพื่อลดภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์
 - 3.2) ควรออกแบบระบบท่อทางเดินน้ำยาให้มีระยะสั้นที่สุด และมีขนาดพอเหมาะที่จะไม่เพิ่มภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์
 - 3.3) ระบบระบายความร้อน เช่น แผงระบายความร้อน (Condenser Coil) หรือหอดึงน้ำ (Cooling Tower) ควรให้มีขนาดใหญ่พอที่จะลดอุณหภูมิของน้ำยาได้โดยสะดวก ถึงแม้ประสิทธิภาพจะลดลงบ้างจากการใช้งานเป็นระยะเวลานาน
สถานที่ตั้งระบบระบายความร้อนจะต้องไม่เป็นที่อับ และสามารถทำให้การระบายความร้อนเป็นไปอย่างสะดวก
การเลือกแผงระบายความร้อนด้วยอากาศจะต้องเป็นแบบที่สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง เป็นระยะเวลานาน เช่น มีความห่างของครีบบระบายความร้อนพอสมควร โดยทั่วไปการเลือกใช้ครีบบระบายความร้อนที่ใช้ในระบบปรับอากาศ มาใช้ในระบบเครื่องทำความเย็น จะทำให้เกิดการอุดตันได้ง่าย อีกทั้งเนื่องจากสถานที่ติดตั้งอยู่ใกล้ชายทะเล จะทำให้เกิดสนิม (ออกไซด์ของโลหะ) ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลง จึงควรใช้แบบที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมห้องเย็นเท่านั้น ความห่างของครีบบระบายความร้อนที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 2.5 – 3.5 mm.
การทำความสะอาดแผงระบายความร้อนอย่างสม่ำเสมอจะช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ระบบระบายความร้อน (Condensing temperature) ที่เหมาะสมระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ 36 – 38°C
ระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ 43 – 45°C
 - 3.4) การเลือกคอยล์เย็น (Evaporator Coil หรือ Cooling Coil) ควรเลือกที่มีขนาดใหญ่และเลือกที่สภาวะอุณหภูมิที่คอยล์เย็น (Evaporating temperature) ใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน การเลือกคอยล์เย็นที่อุณหภูมิต่ำๆ จะได้คอยล์เย็นที่มีขนาดเล็กลง ราคาถูก แต่ใช้พลังงานในการเดินเครื่องสูงกว่า ครีบบของคอยล์เย็นควรเป็นแบบห่าง เพื่อให้เกิดการตันจากน้ำแข็งได้ยาก
 - 3.5) จะต้องมีการติดตั้งระบบละลายน้ำแข็ง (Defrost) ในคอยล์เย็นเสมอ ในระหว่างการใช้งานคอยล์เย็นจะมีน้ำแข็งมาจับ อันเนื่องมาจากความชื้นของผลิตภัณฑ์ หรือจากอากาศภายนอก ซึ่งน้ำแข็งจะเป็นตัวทำให้การถ่ายเทความร้อนของคอยล์เย็นด้อยประสิทธิภาพและสิ้นเปลืองพลังงาน จึงต้องมีการละลายน้ำแข็งอย่างสม่ำเสมอ

การใช้ระบบละลายน้ำแข็งด้วยก๊าซร้อนของสารทำความเย็นจะประหยัดพลังงานกว่าใช้ระบบไฟฟ้า การละลายน้ำแข็งโดยใช้ไฟฟ้า หรือหยุดเครื่องทำความเย็น เป็นเหตุให้การรักษาอุณหภูมิไม่คงที่ จึงควรมีระบบละลายน้ำแข็งโดยใช้การตั้งเวลา และควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

- 3.6) ในระบบทำความเย็นที่มีอุปกรณ์ไล่อากาศในท่อทางเดินสารทำความเย็น จะต้องตรวจสอบอุปกรณ์ดังกล่าวให้ใช้งานได้ดีอยู่เสมอ 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

6.1.2 ข้อคำนึงในการเดินเครื่องห้องเย็น

- 1) ในบางกรณี เมื่อผู้ประกอบการเลือกการใช้ไฟฟ้าแบบ TOU ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (กลางคืน) ต่ำกว่ากลางวันมาก จะมีวิธีการเดินเครื่องห้องเย็นเก็บของ โดยลดอุณหภูมิให้ต่ำลงจากเดิมประมาณ -20°C ลงเป็น -30°C เพื่อให้มวลของห้องและมวลของผลิตภัณฑ์สามารถเก็บความเย็นไว้ในช่วงกลางคืน และจะค่อยๆ ระบายออกมาในช่วงกลางวัน ทำให้การทำงานของคอมเพรสเซอร์ในเวลากลางวันลดลง ซึ่งทำให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ส่วนหนึ่ง
- 2) ในการแช่แข็งแบบใช้ระบบเครื่องทำความเย็น การตรวจสอบอุณหภูมิแช่แข็งที่กึ่งกลางของผลิตภัณฑ์ (Core temperature) ให้เท่ากับ -18°C จะเป็นส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานได้มาก การที่ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์อยู่ในห้องแช่แข็งนานเกินความจำเป็น จะเป็นผลให้การใช้พลังงานสูงกว่าปกติ
- 3) บริเวณหน้าห้องแช่แข็งและห้องเก็บควรมีห้องกักบริเวณทางเข้า (Anti-Room) โดยต้องออกแบบให้ลดความชื้น
- 4) บริเวณโดยทั่วไปจะต้องทำให้แห้งอยู่เสมอ เพื่อลดภาระของเครื่องทำความเย็น เนื่องจากความชื้นของบริเวณ

อุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานในระบบเครื่องทำความเย็น ได้แก่

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

6.2 การอนุรักษ์พลังงานของระบบความร้อน (ไอน้ำ)

ระบบไอน้ำและหม้อไอน้ำ เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก หากไม่ได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอก็จะเป็นสาเหตุหนึ่งของการใช้พลังงานสิ้นเปลือง

สิ่งที่ควรตรวจสอบระหว่างการใช้งานของหม้อไอน้ำและระบบไอน้ำมีดังต่อไปนี้

- 1) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ โดยตรวจสอบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงว่าอยู่ในลักษณะปกติของการใช้งานหรือไม่ (ตรวจสอบกับสมุดคู่มือ)

ส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิงพอเหมาะหรือไม่ หากส่วนผสมของอากาศมีน้อยไป การเผาไหม้จะไม่สมบูรณ์ จะเกิดเขม่าและก๊าซ CO มาก

ส่วนผสมของอากาศที่มีมากเกินไปเป็นเหตุให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลง

ในการตรวจวัดก๊าซไอเสียจากปล่องของหม้อไอน้ำไม่ควรมีปริมาณออกซิเจนเกินกว่า 4% โดยประมาณ เราสามารถตรวจดูได้เบื้องต้นจากการสังเกตลักษณะของเปลวไฟ ดังนี้

- ถ้าปริมาณอากาศพอดี เปลวไฟจะเป็นสีส้ม และไม่มีควัน
- ถ้าปริมาณอากาศน้อย เปลวไฟจะมีสีดำและมีควัน
- ถ้าอากาศมากเกินไป เปลวไฟจะมีสีม่วงจ้ำ และลักษณะการเคลื่อนไหวรุนแรง อาจมีควันสีขาว

- 2) การตรวจสอบรอยรั่วของระบบท่อไอน้ำ และคอยซ่อมแซมส่วนที่ชำรุด เพื่อลดการสูญเสียไอน้ำ

- 3) ตรวจสอบฉนวนหุ้มในระบบท่อส่งไอน้ำ และอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทุกแห่ง การที่ฉนวนชำรุดหรือไม่มีการหุ้มฉนวนในระบบไอน้ำ เป็นสาเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน

- 4) ระบบ Blow down ของหม้อไอน้ำ คือ การระบายน้ำออกจากกระบอกไอน้ำ โดยจะระบายออกก่อนเดินเครื่องหม้อไอน้ำ (หรืออาจจะระบายระหว่างเดินเครื่องในกรณีที่ต้องเดินเครื่องหม้อไอน้ำติดต่อกันเป็นเวลานาน)

จุดประสงค์เพื่อลดความเข้มข้นของสารตกค้างในน้ำออก ซึ่งโดยปกติจะระบายออกก่อนเดินเครื่องหม้อไอน้ำ ขณะที่อุณหภูมิน้ำที่ระบายออกยังไม่สูงนัก เป็นการลดการสูญเสียความร้อน

เมื่อมีการใช้งานเป็นเวลานาน วาล์วที่ใช้ในการ Blow down อาจชำรุด มีการรั่ว ทำให้มีน้ำร้อนออกตลอดเวลา ทำให้สูญเสียพลังงานความร้อน จึงควรตรวจสอบอยู่เสมอ และคอยซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี

- 5) การบำรุงรักษาห้องเผาไหม้ เมื่อใช้งานหม้อไอน้ำในระยะเวลาหนึ่ง ภายในห้องเผาไหม้จะเกิดความสกปรก เนื่องจาก
 - ในระบบท่อไฟเกิดเขม่าจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
 - ในระบบน้ำอาจเกิดตะกอนจากการตกตะกอนของสารละลายที่ปนมากับน้ำ
 การบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอจะลดความสูญเสียพลังงานที่เกิดจากสาเหตุข้างต้น เราสามารถสังเกตความผิดปกติในระบบได้โดยติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย ถ้าอุณหภูมิที่อ่านได้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ แสดงว่าการถ่ายเทความร้อนระหว่างห้องเผาไหม้กับระบบเกิดผิดปกติ ซึ่งเกิดจากสาเหตุที่กล่าวถึงข้างต้น
- 6) การเลือกใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่สามารถนำ Condensate กลับมาใช้ใหม่ได้ จะช่วยลดการใช้พลังงานความร้อนได้อย่างมาก

ในระบบนี้ควรมีเครื่องมือตรวจวัด เพื่อตรวจสอบการใช้พลังงานดังนี้

 - มาตรวัดน้ำที่เติมเข้าไปในระบบไอน้ำ
 - มาตรวัดเชื้อเพลิงที่ใช้
 - มาตรวัดปริมาณไอน้ำที่หม้อไอน้ำผลิตได้
 - เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิปล่องไอเสีย
- 7) การใช้ความร้อนที่ทิ้งไป เช่น จากปล่องไอเสีย จากไอน้ำที่ทิ้งกลับมาเพิ่มอุณหภูมิให้น้ำที่เติมเข้าไปในหม้อไอน้ำ เป็นวิธีที่ง่าย ประหยัดพลังงานได้อีกวิธีหนึ่ง

6.3 การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำใช้

ในอุตสาหกรรมห้องเย็นมีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตในเกือบทุกๆ ขั้นตอน ดังนี้

- การเตรียมผลิตภัณฑ์ ต้องใช้น้ำล้างทำความสะอาดวัตถุดิบ ใช้น้ำเย็นประกอบการปรับสภาพวัตถุดิบ ล้างสถานที่และภาชนะต่างๆ
- การใช้น้ำในระบบหม้อไอน้ำ
- ใช้น้ำในการทำผลิตภัณฑ์เย็นหลังจากต้มสุก
- ใช้น้ำในระบบระบายความร้อนของเครื่องทำความเย็น

การควบคุมการใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพก็เป็นมาตรการในการลดพลังงานได้อีกประการหนึ่ง กล่าวคือ

- 1) จัดการระบบจ่ายน้ำให้มีแรงดันพอสมควรไม่สูงเกินไป ซึ่งจะเป็นการลดภาระการทำงานของปั๊มน้ำลงได้
- 2) ติดตั้งมิเตอร์วัดน้ำในจุดสำคัญที่ใช้น้ำมากๆ เพื่อควบคุมปริมาณการใช้น้ำให้คงที่ หรือลดลงในแต่ละวัน โดยอาจเปรียบเทียบกับปริมาณวัตถุดิบ หรือผลิตภัณฑ์ และการใช้พลังงานอื่นๆ
- 3) การนำน้ำไปใช้ในระบบไอน้ำ หรือระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น จะต้องทำให้น้ำหายกระด้างเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนของน้ำกระด้างไปจับอยู่บริเวณพื้นที่ถ่ายเทความร้อนของหม้อไอน้ำ หรือของระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น ต้องตรวจตราให้ระบบลดความกระด้างทำงานอย่างมีประสิทธิภาพตลอด

4) ในกรณีที่ใช้น้ำเย็นในกระบวนการผลิต แหล่งน้ำที่นำมาใช้จะต้องลดอุณหภูมิลงให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ (อย่างน้อยเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ) เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น หรือลดปริมาณการใช้น้ำแข็งลง อาจทำได้โดย

- เก็บน้ำไว้ในบ่อเปิด (Open reservoir) เพื่อให้ลดอุณหภูมิ โดยการระเหยของน้ำตามธรรมชาติ หรืออาจทำเป็นระบบน้ำตก น้ำพุ เพื่อช่วยการระบายความร้อน
- ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงมากๆ และไม่มีบริเวณทำบ่อเปิด (น้ำบาดาลในบางแห่งจะมีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 50°C) ควรใช้ระบบหอผึ่งน้ำ (Cooling tower) เพื่อลดอุณหภูมิเบื้องต้น
- ใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้ประโยชน์จากน้ำเย็นที่ทิ้งไป (จากกระบวนการเตรียมและปรับสภาพ) เป็นตัวทำให้น้ำที่นำเข้ามาใช้เย็นลง

ทั้งนี้จะต้องศึกษาความเป็นไปได้ พร้อมทั้งอุปสรรคที่เกิดจากความสกปรกของน้ำทิ้งด้วย

5) การใช้อุปกรณ์ในการล้างทำความสะอาดและแรงดันน้ำที่ถูกต้อง จะทำให้การใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดลดปริมาณลง อุปกรณ์ดังกล่าว ได้แก่

- สายยางพร้อมหัวฉีดปรับได้
- ปืนแรงดันสูงใช้เฉพาะงาน
- แปรงทำความสะอาด และน้ำยาทำความสะอาด ฯลฯ

การลดน้ำใช้ให้มีการใช้อย่างประหยัดจะมีผลทำให้ลดการใช้งานของระบบบำบัดน้ำเสียลงโดยตรง

6) การอนุรักษ์พลังงานในการใช้น้ำแข็ง

ในอุตสาหกรรมห้องเย็นแช่แข็งปลาและเก็บอาหารทะเล น้ำแข็งเป็นส่วนประกอบสำคัญในกระบวนการผลิตตั้งแต่

- การเตรียมวัตถุดิบ ล้างทำความสะอาด
- การแช่วัตถุดิบในสารปรับสภาพ
- การลดอุณหภูมิหลังจากทำให้สุก

ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำแข็งดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนค่อนข้างสูง (20 – 30%) ของค่าใช้จ่ายรวมในกระบวนการทั้งหมด การใช้น้ำแข็งอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เราสามารถแบ่งน้ำแข็งตามลักษณะได้ดังนี้

- น้ำแข็งก้อน
- น้ำแข็งป่น หรือน้ำแข็งเกล็ด

น้ำแข็งก้อน ขนาดประมาณ 3 – 5 ซม. เหมาะสำหรับใช้ควบคุมอุณหภูมิของน้ำเย็นโดยใส่น้ำที่เย็นแล้วให้ลอยอยู่บนผิวน้ำ

น้ำแข็งป่นหรือน้ำแข็งเกล็ด จะเป็นเกล็ดละเอียดขนาดไม่ใหญ่กว่า 1 ซม. ใช้สำหรับละลายน้ำให้เย็นลงโดยเร็ว เพื่อต้องการลดอุณหภูมิของน้ำ ขั้วระวังในการใช้น้ำแข็งป่นหรือน้ำแข็งเกล็ด คือ ถ้าละลายน้ำไม่หมด ความคมของน้ำแข็งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหายเป็นรอยได้

การลดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้น้ำแข็งจะทำให้สะดวกและรวดเร็ว แต่เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานมาก เนื่องจากจะต้องเสียประสิทธิภาพในการทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง ต้นทุนจึงสูงทางเลือกเพื่อลดการใช้พลังงาน คือ การทำให้น้ำเย็นลงในระดับหนึ่งก่อนโดยใช้

- หอผึ้งน้ำ
- บ่อเก็บน้ำแบบเปิด
- เครื่องทำน้ำเย็น
- เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

น้ำทิ้งจากการล้าง แช่สารแปรสภาพ และลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ยังมีความเย็นเหลืออยู่พอสมควร หากได้รับการจัดการที่ถูกต้อง สามารถนำไปลดอุณหภูมิของน้ำก่อนจะใช้น้ำแข็งทำความเย็นได้อีกด้วย อนึ่ง น้ำทิ้งดังกล่าวหากนำลงสู่ระบบบำบัดน้ำเสียโดยตรง น้ำที่ยังมีอุณหภูมิต่ำอยู่จะไปลดประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ประมาณ 35 – 38°C จึงจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนนำไปบำบัด

6.4 การอนุรักษ์พลังงานระบบไฟฟ้า

6.4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการคิดค่าไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก โดยทั่วไป การใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก 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) จะปรับเปลี่ยนตามราคาเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ถ้าค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย (น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ก๊าซ ถ่านหิน ฯลฯ) สูงขึ้นหรือต่ำลง ค่านี้จะมีค่าแปรผันตรงกัน คือ สูงขึ้น หรือต่ำลง เช่นกัน

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าทั้งหมดจะประกอบด้วยผลรวมของ

1. ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า
2. ค่าพลังงานไฟฟ้า
3. ค่าผันแปรต้นทุนการผลิต

พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งเดือนเมื่อเทียบกับความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด เราเรียกว่า Load Factor โดยมีสูตรดังนี้

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

มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

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

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

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

จึงควรมีการจัดการให้เดินเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอเฉลี่ยตลอดเวลา โดยหลีกเลี่ยงการเดินเครื่องจักรพร้อมๆ กันในเวลาใดเวลาหนึ่ง

ข้อแตกต่างการคิดค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ โดยสรุป

- ประเภทธุรกิจขนาดกลาง
ค่าความต้องการไฟฟ้ามีค่าคงที่
ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ทุกวัน
- ประเภท TOU
ค่าความต้องการไฟฟ้ามีค่าตามเวลาดังนี้
On Peak วันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น. มีค่าสูง
Off Peak วันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด
Off Peak วันเสาร์ – วันอาทิตย์ และวันหยุดราชการ ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

ค่าพลังงานไฟฟ้า

On Peak ค่าพลังงานมีค่าสูง

Off Peak ค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า (ประมาณ 50%)

ดังนั้นโรงงานที่อยู่ในข่ายต้องใช้ค่าไฟฟ้าระบบ TOU ควรจะมีการจัดการ จัดเวลาการเดินเครื่องจักรให้อยู่ในช่วง Off Peak เพื่อจะสามารถลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมาก

- ประเภท TOD

การคิดค่าไฟฟ้าประเภทนี้เฉพาะโรงงานที่ใช้ไฟฟ้าอยู่เดิม ก่อนประกาศใช้ระบบ TOU และคิดค่าไฟฟ้าระบบ TOD มาแล้ว โดยมีอัตราการคิดดังนี้

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

On Peak เวลา 18.30 – 21.30 น. ทุกวัน ราคาสูง

Partial Peak เวลา 08.00 – 18.30 น. ทุกวัน ราคาถูก

Off Peak เวลา 21.30 – 08.00 น. ทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการ

ค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากันตลอดทุกเวลา

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

โรงงานที่มีการปฏิบัติการต่อเนื่องและมี Load Factor โดยเฉลี่ยสูงกว่า 60% จึงควรจะเปลี่ยนจากระบบ TOD ไปใช้ระบบ TOU

ตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าแบบธุรกิจขนาดกลาง

ข้อมูลในเดือนสิงหาคม 2546

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

การคำนวณ

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

การคำนวณ

1) ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{On Peak} &= 465 \times 132.93 \\ &= 61,812.45 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

2) ค่าพลังงานไฟฟ้า Peak

$$\begin{aligned} &= 100,000 \times 2.6950 \\ &= 269,500 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

ค่าพลังงานไฟฟ้า Off Peak

$$\begin{aligned} &= 150,000 \times 1.1914 \\ &= 178,710 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

$$\text{รวม} = 448,210 \quad \text{บาท}$$

3) ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต (Ft)

$$\begin{aligned} &= (100,000 + 150,000) \times 0.2713 \\ &= 67,825.00 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

$$\text{รวม } 1 + 2 + 3 = 577,847.45 \quad \text{บาท}$$

$$\text{ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7\%} = 40,449.32 \quad \text{บาท}$$

$$\text{รวมเป็นเงินทั้งสิ้น} = 618,296.77 \quad \text{บาท}$$

จากตัวอย่างทั้ง 3 แสดงให้เห็นว่าการใช้ไฟฟ้าระบบ TOU จะเสียค่าไฟฟ้าต่ำ ถ้า Load Factor ประมาณ 70%

- 6.4.2 ระบบหม้อแปลงไฟฟ้าและมาตรวัด
- หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) เป็นอุปกรณ์หลักในการรับไฟฟ้าที่แรงดันสูง (22 kV) มาปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องจักร (380 – 400 Volt) ในกรณีที่การใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงงานเกิดผลต่อระบบไฟฟ้าทำให้ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor) ต่ำ จำเป็นจะต้องติดตั้ง Capacitor เพื่อปรับปรุงค่า Power factor เพื่อลดการเสียค่าใช้จ่าย สำหรับค่าปรับ Power factor
- การบำรุงรักษาหม้อแปลงอย่างน้อยปีละครั้งจะเป็นผลให้ลดการสูญเสียจากข้อต่อที่ไม่แน่น (ซึ่งอาจเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าขัดข้อง อันเป็นผลเสียต่อกระบวนการผลิตอย่างยิ่ง)
- อนึ่ง ในระบบแผงสวิทช์แรงต่ำ ศูนย์ควบคุมของมอเตอร์ (Motor Control Center) และ อุปกรณ์ สตาร์ทของมอเตอร์ (Motor Starter) ก็ควรจะได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอเช่นเดียวกัน (อย่างน้อยปีละครั้ง)
- การที่หน้าสัมผัสของอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่สนิท จะมีผลให้เกิดการสูญเสียการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ด้วย
- 6.4.3 การติดตั้งมาตรวัดพลังงาน (Energy Meter) ต้นทางแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังระบบต่างๆ ภายในโรงงานจะช่วยให้มีการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบ และสามารถควบคุมได้ในเชิงปริมาณ
- 6.4.4 ระบบปรับอากาศ ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง จึงสมควรได้รับการตรวจสอบการทำงาน ดังนี้
- 1) จุดตั้งของแผงระบายความร้อนจะต้องระบายลมร้อนได้สะดวก หมั่นทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ (จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับสถานที่ติดตั้ง ถ้ามีฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกมากจะต้องทำความสะอาดบ่อยครั้งขึ้น)
- จุดที่ตั้งของเครื่องเป่าลมเย็น (Fan coil) จะต้องอยู่ในที่ๆ สามารถทำความสะอาดได้ง่าย และกระจายลมได้ดี การล้างแผงกรองอากาศควรทำอย่างสม่ำเสมออย่างน้อยเดือนละครั้ง จะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพดี และสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าน้อยลง
- 6.4.5 การตั้งอุณหภูมิภายในบริเวณปรับอากาศ ควรจะตรวจสอบให้อยู่ในเกณฑ์พอสมควร (ปกติประมาณ 24°C – 26°C) ถ้าควบคุมอุณหภูมิในห้องให้ต่ำกว่านี้ จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น
- 6.4.6 ควรตรวจสอบรอยรั่วของห้อง เพื่อลดการสูญเสียความเย็นอันเนื่องมาจากความร้อนของอากาศภายนอกที่รั่วเข้ามาได้ (อากาศภายนอกที่อุณหภูมิ 35°C ที่รั่วเข้ามาประมาณ 7 ลบ. เมตรต่อ นาที จะสูญเสียความเย็นของระบบปรับอากาศประมาณ 1 ตันความเย็น)
- 6.4.7 ลดการนำอุปกรณ์ที่มีความร้อนเข้ามาติดตั้งในบริเวณห้องปรับอากาศ เช่น ตู้เย็น เครื่องถ่ายเอกสาร หม้อต้มน้ำ ฯลฯ
- 6.4.8 ในกรณีที่เครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานมานาน การพิจารณาเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า อาจทำให้คุ้มทุนในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้
- 6.4.9 การที่เครื่องปรับอากาศทำงานแต่ไม่สามารถทำความเย็นได้ อาจเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้
- คอยล์เย็นอุดตันไม่สามารถกระจายลมเย็นได้
 - แผงระบายความร้อนอุดตัน หรือลมร้อนระบายออกไม่สะดวก
 - ระบบน้ำยาทำความเย็นรั่ว
 - มีอากาศภายนอกที่รั่วไหลเข้ามาในห้องปรับอากาศมาก
 - ระบบโครงสร้างของห้องทำให้มีความร้อนเข้ามามาก เช่น หน้าต่างกระจก เพดานที่ปิดไม่สนิท ผนังห้องที่มีฉนวนไม่พอเพียง ฯลฯ
- ซึ่งสาเหตุดังกล่าวสามารถตรวจสอบได้ เพื่อลดการใช้พลังงานที่สูงโดยไม่จำเป็น

การอนุรักษ์พลังงานในการใช้อุปกรณ์แช่แข็ง IQF แบบ Cryogenic

ในกระบวนการ Cryogenic ซึ่งใช้ก๊าซเหลว (Carbon dioxide หรือ Nitrogen) มาลดความดันนั้น ค่าก๊าซจะเป็นปัจจัยสำคัญในค่าใช้จ่ายการผลิต หากตรวจสอบรายละเอียดในกระบวนการแช่แข็งนี้ จะเห็นได้ว่าการสิ้นเปลืองการใช้พลังงานอย่างมากจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

- การใช้พลังงานอย่างมากในการเพิ่มความดันก๊าซจนเป็นของเหลว แล้วจึงมาลดความดันในขณะใช้งาน
- ก๊าซที่ใช้งานแล้วต้องปล่อยทิ้ง ทิ้งๆ ที่ยังมีความเย็นอยู่อีกมาก (ประมาณ $\pm 0^{\circ}\text{C}$) ซึ่งอาจจะนำไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก ถ้ามีการแช่แข็งแบบ IQF เป็นจำนวนมากๆ สม่าเสมอตลอดปี การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายเปรียบเทียบกับการใช้ระบบเครื่องทำความเย็น (Refrigeration machine)

6.5 การอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่าง

การใช้แสงสว่างอย่างเหมาะสมในกระบวนการผลิต และฝ่ายอื่นๆ จะช่วยประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยมีข้อแนะนำดังนี้

- 1) การติดตั้งระบบแสงสว่างควรคำนึงถึงการใช้แสงสว่างจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ช่วยในการให้ความสว่าง
- 2) ระยะห่างระหว่างดวงโคมกับจุดทำงานควรจะให้ใกล้ที่สุดเท่าที่จะทำได้
- 3) แยกวงจรเปิดปิดไฟให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน เช่น เปิดเป็นแถว เฉพาะจุด การใช้สวิทช์แบบดึงเฉพาะจุด จะช่วยลดการใช้พลังงานแสงสว่างได้มาก
- 4) การทาสีสถานที่ทำงานให้สว่างจะช่วยลดการติดตั้งโคมไฟได้
- 5) ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยประหยัดไฟฟ้าแสงสว่าง เช่น
 - หลอดประหยัดไฟ
 - บัลลาสต์แบบ Low Loss
 - ติดตั้งแผงสะท้อนแสงในโคมไฟ
 - ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเปิด-ปิดอัตโนมัติ โดยอาจเป็นแบบตั้งเวลา (Timer Switch) หรือ ระบบแบบตั้งเวลาไว้หลังจากเปิด จะปิดเองอัตโนมัติ (Timer Delay Switch)

6.6 การใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (High efficiency motor – HEM) แทนมอเตอร์ธรรมดา

มอเตอร์ธรรมดาจะมีประสิทธิภาพ (Efficiency) ที่แปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ต่ำกว่า 85% ส่วนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีประสิทธิภาพสูงถึง 90% หรือมากกว่า

อย่างไรก็ตามมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะมีราคาสูงกว่ามอเตอร์ธรรมดา ประมาณ 30 - 50% เมื่อต้องการเปลี่ยนมอเตอร์เนื่องจากเสีย หรือเสื่อมสภาพ จึงควรคำนึงถึงการเปลี่ยนเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงด้วย

6.7 ข้อควรระวังในการใช้ห้องแช่แข็ง หรือห้องเย็น

ข้อควรระวังในการใช้ห้องแช่แข็ง หรือห้องเย็นอีกประการหนึ่ง ได้แก่ การขนส่งผ่านประตูห้อง โดยทั่วไปประตูห้องแช่แข็ง และห้องเย็นเก็บของจะติดตั้งม่านพลาสติก เพื่อลดการนำความร้อนจากอากาศภายนอกเข้าห้องระหว่างการขนส่ง แต่เนื่องจากบางครั้งผู้ปฏิบัติงานเกรงว่าจะทำการขนส่งไม่สะดวกจึงเปิดม่านพลาสติกไว้ตลอดเวลาที่ทำการขนส่ง เป็นเหตุให้สิ้นเปลืองพลังงานเป็นจำนวนมากจากความร้อนที่เข้ามาในห้องได้

6.8 การอนุรักษ์พลังงานในระบบหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

6.8.1 ทฤษฎีของหอผึ่งน้ำ

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

6.8.2 คำศัพท์เฉพาะที่ควรรู้ประกอบในเรื่องนี้มีดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature) คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ในขณะที่กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์แห้งอยู่ อุณหภูมินี้คือ อุณหภูมิที่สัมผัสได้ หรือ อุณหภูมิของอากาศ
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ในขณะที่กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์เปียก (โดยเอาผ้าหรือสำลีชุบน้ำพันรอบกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์) จะเป็นอุณหภูมิของน้ำขณะระเหยและถูกดึงความร้อนออก
- ความชื้น (Humidity) คือ ค่าของไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศ มีหน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ของอากาศ)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คือ ค่าร้อยละ (เปอร์เซ็นต์) ของไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศเมื่อเทียบกับความสามารถที่ไอน้ำจะระเหยปนอยู่ได้เต็มที่ในขณะนั้น มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

โดยปกติอากาศรอบตัวเราจะมีน้ำผสมอยู่เสมอในรูปของก๊าซ (ไอน้ำ) อากาศที่อุณหภูมิต่างๆ กันมีความสามารถในการรับไอน้ำเข้าผสมอยู่ในปริมาณต่างๆ 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 6.1

[illegible]

ความสามารถในการระบายความร้อนของห้องน้ำขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิกระเปาะเปียก กล่าวคือ ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะสามารถระบายความร้อนได้ดี และถ้าอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำ น้ำที่ระบายความร้อนแล้ว จะมีอุณหภูมิต่ำลงด้วย

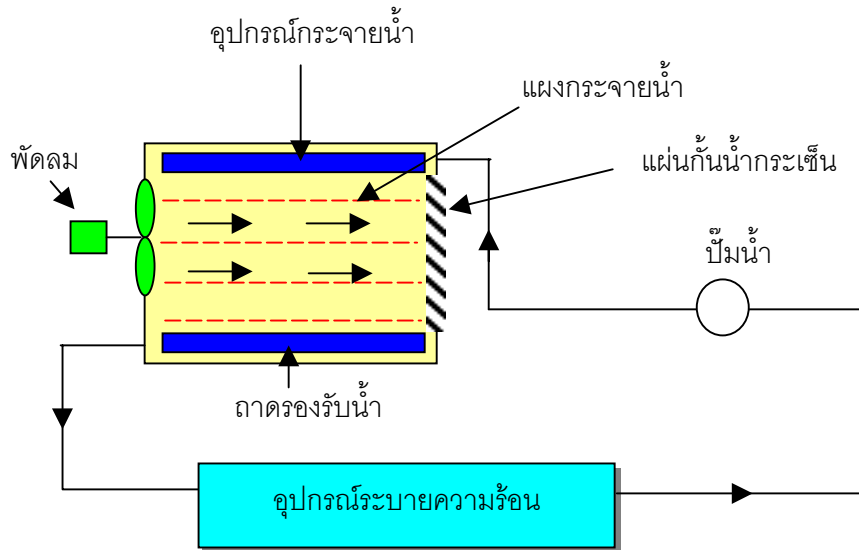
ถ้าคุณหมูนึกของน้ำที่ระบายความร้อนแล้วมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก แสดงว่าประสิทธิภาพในการระบายความร้อนดี

6.8.3 แบบและลักษณะของหอผึ่งน้ำ

ลักษณะโดยทั่วไปของหอผึ่งน้ำ คือ การกระจายน้ำให้เป็นเม็ดเล็กๆ แล้วทำให้มีกระแสลมผ่านเม็ดน้ำเหล่านั้น เพื่อให้ น้ำบางส่วนระเหย

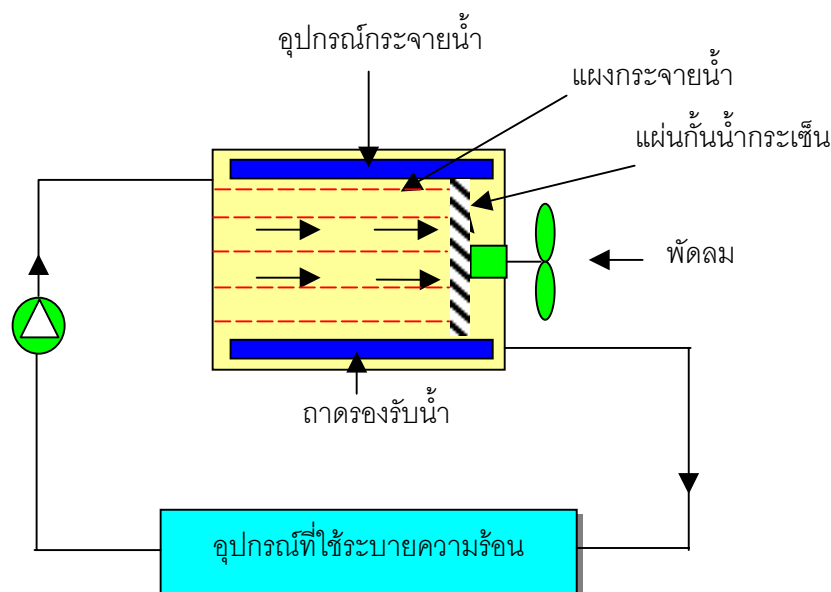
การแบ่งประเภทของหอผึ่งน้ำแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการเป่าลม ดังนี้

- หอผึ่งน้ำแบบ Force draft คือ แบบที่ติดตั้งพัดลมเป่าลมผ่านไปบนเม็ดน้ำตามแบบข้างล่าง

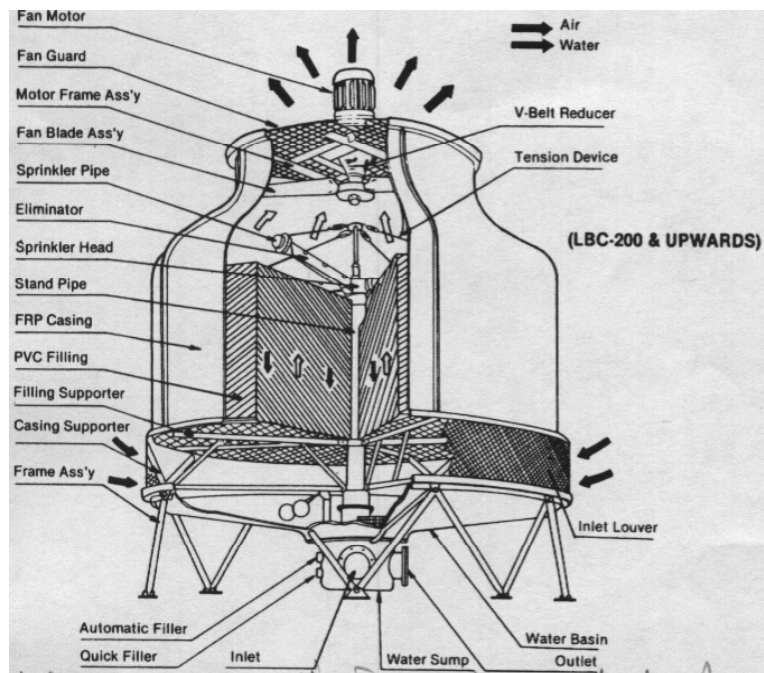
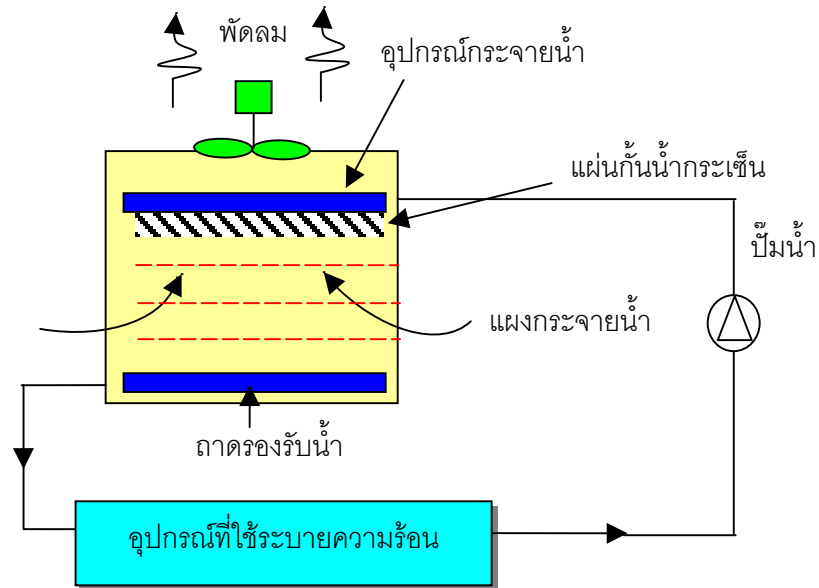


รูปที่ 6-1 หอผึ่งน้ำแบบ Force draft

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



รูปที่ 6-2 หอผึ่งน้ำแบบ Induced draft (Horizontal Flow)



รูปที่ 6-3 หอผึ่งน้ำแบบ Induced draft (Vertical Flow)

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

6.8.4 ข้อควรดูแลในการประหยัดพลังงานของห้องเย็น

1. พัดลมและมอเตอร์

พัดลมที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ ถ้าเป็นระบบสายพานจะต้องคอยตรวจสอบสายพานให้อยู่ในสภาพดี และมีแรงตึงพอเหมาะ เนื่องจากสายพานดังกล่าวอยู่ในสภาวะที่จะต้องถูกน้ำอยู่ตลอดเวลา

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

2. ระบบน้ำ

- การปรับสภาพของน้ำโดยลดความกระด้างเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับระบบการระบายความร้อนด้วยน้ำ เพราะถ้าน้ำกระด้างจะเป็นสาเหตุให้เกิดตะกอนในอุปกรณ์ระบายความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนต่ำ เนื่องจากน้ำในระบบจะสัมผัสกับอากาศภายนอกอยู่ตลอดเวลา เป็นสาเหตุให้เกิดสาหร่ายต่างๆ (Algae fungi) เจริญเติบโตในระบบ ซึ่งจะไปเคลือบอุปกรณ์ระบายความร้อนเช่นเดียวกับตะกอน จึงควรใส่สารเคมีเพื่อป้องกัน
- จากสาเหตุของตะกอนและสาหร่าย ประกอบกับสารเคมีที่ใส่ในระบบ จะทำให้เกิดความเข้มข้นของสารต่างๆ (Concentration) จึงจะต้องระบายความเข้มข้นดังกล่าวออกจากระบบ (Bleeding) โดยอาจใช้แบบ Automatic bleed off โดยมีเครื่องวัดจากความเข้มข้นของน้ำ แล้วส่งสัญญาณไปเปิดวาล์วระบายออก (Bleed off) ซึ่งจะเป็นการประหยัดน้ำระบายออก หรืออาจใช้เป็นการระบายแบบต่อเนื่อง (Continuous bleed off) โดยที่วาล์วระบายค่อยๆ ระบายออกตลอดเวลา แต่จะเป็นการสิ้นเปลืองน้ำในระบบมาก
- การกระเซ็นออกของน้ำ (Carry Over) จะต้องตรวจสอบการกระเซ็นออกของน้ำอยู่เสมอ โดยทั่วไปห้องเย็นน้ำจะมีการกระเซ็นของน้ำน้อยมาก สาเหตุจากการกระเซ็นอาจเกิดจาก
 - 1) ตั้งพัดลมแรงเกินไป
 - 2) แผงกระจายน้ำชำรุด
 - 3) หัวฉีดน้ำชำรุด
- ระบบกระจายน้ำให้เป็นฝอย, ละออง ซึ่งโดยปกติน้ำจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดฝอย (Spray nozzle) เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการระเหยของน้ำได้ดี จึงควรตรวจสอบให้หัวฉีดดังกล่าวอยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ

6.9 การอนุรักษ์พลังงานในระบบน้ำเสีย

เนื่องด้วยได้มีพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 จึงได้มีประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

ดังนั้น จึงมีความจำเป็นทั้งทางกฎหมายและทางสังคมที่โรงงานจะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานให้ได้ตามมาตรฐานดังกล่าว ระบบบำบัดน้ำเสียจึงเป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับโรงงาน และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากแหล่งหนึ่ง ซึ่งสมควรจะเรียนรู้ระบบดังกล่าว เพื่อจะได้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน

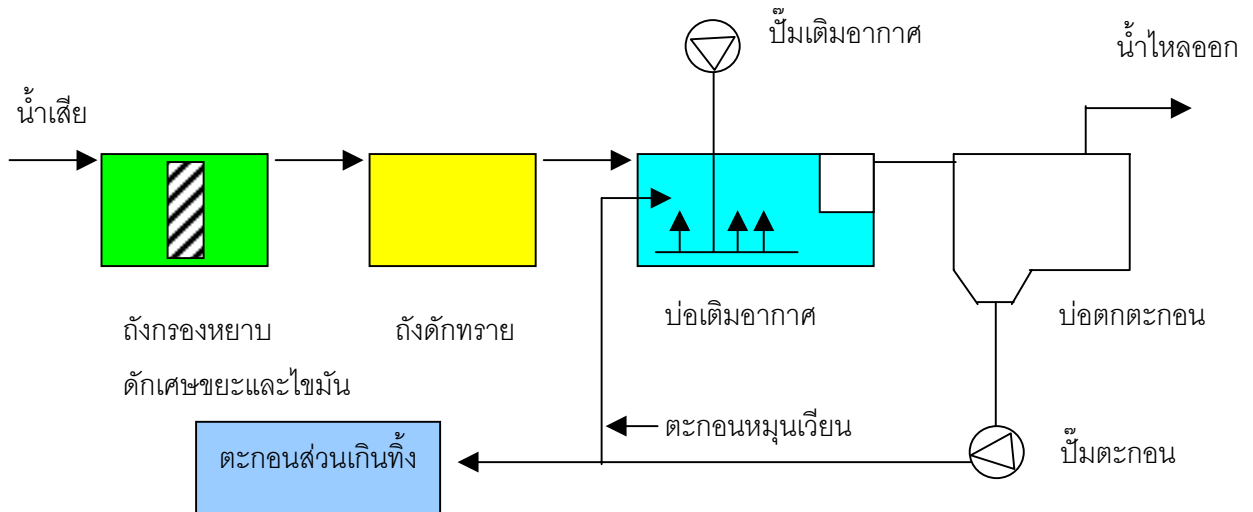
แหล่งน้ำเสียจากโรงงานจะเกิดจากกระบวนการผลิต น้ำระบายความร้อน น้ำล้างอุปกรณ์ และจากระบบไอน้ำ ฯลฯ ซึ่งมีสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดน้ำเสียต่างๆ กัน การบำบัดน้ำเสียดังกล่าวจึงจำเป็นต้องรู้ถึงสาเหตุและสารปนเปื้อน ตลอดจนปริมาณ เพื่อประกอบในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอย่างมีประสิทธิภาพ

ก่อนอื่นจะต้องทำความเข้าใจเบื้องต้นสำหรับคำศัพท์เฉพาะในระบบบำบัดน้ำเสียในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของโรงงานดังต่อไปนี้

- สารอินทรีย์ หมายถึง สารประกอบที่มีธาตุคาร์บอน (Carbon) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งได้มาจากธรรมชาติและสิ่งมีชีวิต เช่น ไขมัน โปรตีน ฯลฯ
- สารอนินทรีย์ หมายถึง สารที่ไม่ใช่สารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ได้มาจากสิ่งไม่มีชีวิต เช่น เกลือ และแร่ธาตุต่างๆ
- พี เอช (pH) ย่อมาจาก Positive potential of hydrogenous ซึ่งเป็นค่าแสดงความเป็นกรด ต่างของน้ำ pH=7 จะมีค่าเป็นกลาง ค่ามากกว่า 7 จะมีสภาพเป็นด่าง ค่าต่ำกว่า 7 จะมีความเป็นกรด โดยปกติสิ่งมีชีวิตในน้ำจะมีชีวิตอยู่ได้ถ้าค่า pH อยู่ระหว่าง 6-8
- บีโอดี (BOD – Bio Chemical Oxygen Demand) เป็นค่าความต้องการออกซิเจนของจุลชีพเพื่อใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรของน้ำ ถ้าค่า BOD มาก แสดงว่าน้ำสกปรกมาก
- ซีโอดี (COD – Chemical Oxygen Demand) คล้ายกับ BOD 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

6.9.1 การบำบัดน้ำเสีย

ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็กจะมีกระบวนการบำบัดที่ใช้โดยทั่วไป คล้ายๆ กัน เรียกว่า ระบบ Activated sludge (AS) ตามรูป



รูปที่ 6-4 แสดงแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated Sludge

น้ำเสียจะถูกส่งผ่านไปยังถังกรอง ซึ่งจะกรองเศษวัสดุหยาบ และไขมันออกชิ้นหนึ่งก่อน เพราะเศษวัสดุ และไขมันดังกล่าวจะย่อยสลายยาก หลังจากนั้นอาจมีถังตกทราย ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการอุดตันภายในระบบ ออกอีกชิ้นหนึ่ง น้ำเสียจะถูกส่งต่อไปยังบ่อเติมอากาศ

ในบ่อเติมอากาศจะมีจุลชีพที่ย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่ ซึ่งเป็นแบบจุลชีพที่ใช้ ออกซิเจนในการย่อยสลาย (Aerobic Bacteria) จึงต้องมีการเติมอากาศเพื่อเป็นการให้ออกซิเจนอยู่ตลอดเวลา การใช้พลังงานส่วนใหญ่ของระบบบำบัดน้ำเสียจะเกิดในขั้นตอนเติมอากาศนี้

จากนั้นน้ำเสียจากถูกจุลชีพย่อยสลาย แล้วจะถูกส่งต่อไปยังถังตกตะกอน เพื่อให้สารแขวนลอยในน้ำที่ถูกบำบัด รวมตัวเป็นมวลขนาดใหญ่ขึ้น และตกตะกอนลงไปยังก้นถัง จะเหลือน้ำใสที่ถูกบำบัดแล้วทิ้งออกนอก ระบบต่อไป

ส่วนตะกอนจะถูกกำจัด โดยอาจเป็นระบบกลบฝังทำปุ๋ย หรือนำไปทิ้งในที่เตรียมไว้ ฯลฯ และเนื่องจาก บางส่วนของตะกอนอาจมีจุลชีพปนออกมา ทำให้จุลชีพในบ่อเติมอากาศเจือจางลง จึงมีระบบนำตะกอนดังกล่าว บางส่วนนำกลับไปใช้ใหม่ในถังเติมอากาศอีก

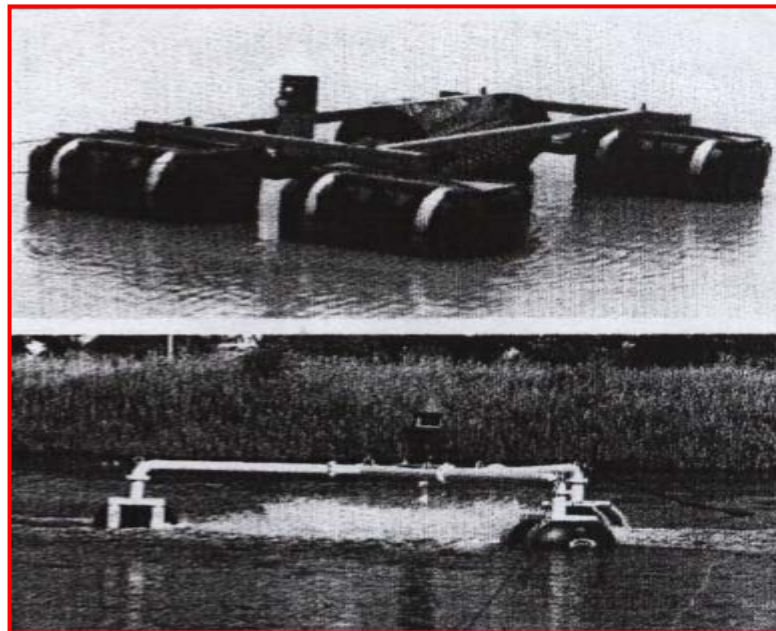
6.9.2 การประหยัดพลังงานในระบบบำบัดน้ำเสีย

การออกแบบระบบจะเป็นจุดเริ่มต้นของการประหยัดพลังงานในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยจะต้องมีข้อมูลพร้อมในการออกแบบ ได้แก่

- ชนิดของน้ำเสีย ส่วนผสมของสารอินทรีย์
- ปริมาณช่วงผลิตเต็มกำลัง และช่วงผลิตน้อย เพื่อเลือกอุปกรณ์ในการเดินเครื่องขณะภาระต่ำ
- อุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในระบบ
- เนื้อที่ก่อสร้างระบบ

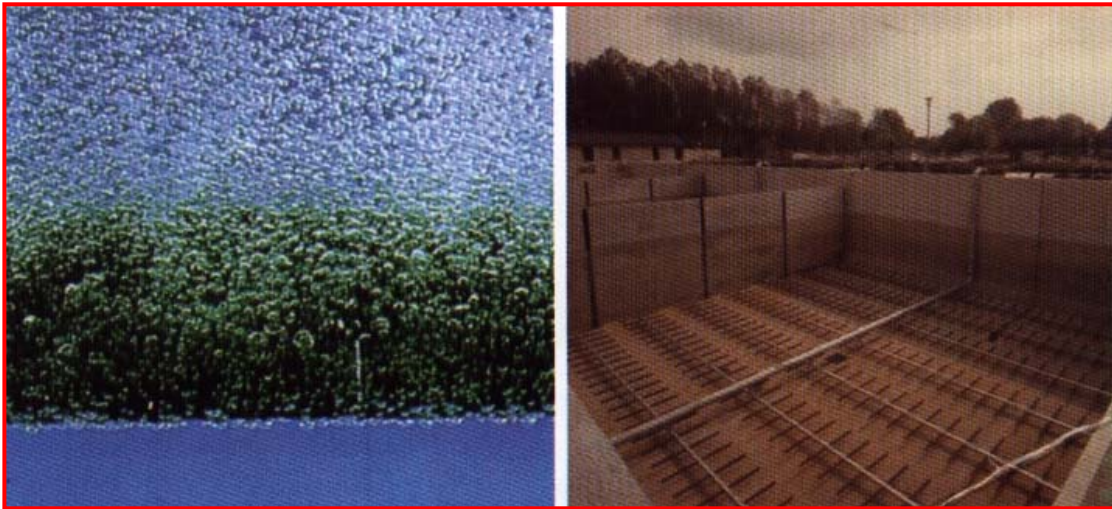
ในระบบ Activated sludge ซึ่งมีการเติมอากาศ จะมีระบบการเติมอากาศหลายระบบ ตัวอย่างเช่น

- 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 โดยบริเวณก้นบ่อโดยรอบจะมีท่อ ซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็กต่อถึงกัน ทำให้อากาศกระจายโดยทั่ว และฟองอากาศจะมีขนาดเล็ก ทำให้อากาศสัมผัสกับจุลชีพมีสูง เป็นการประหยัดพลังงานในการเติมอากาศได้

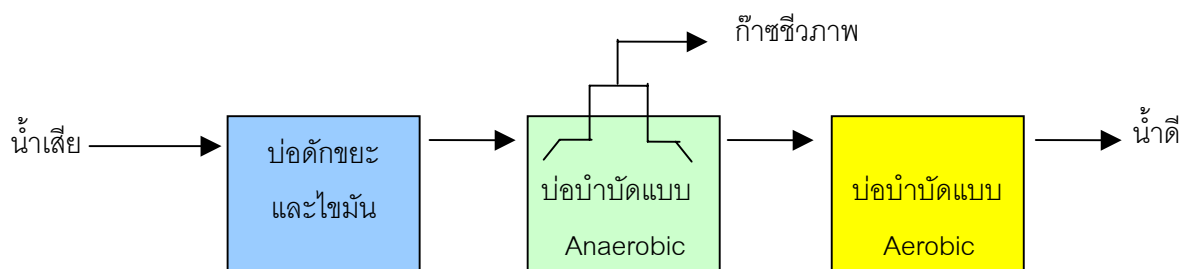


รูปที่ 6-6 แสดงระบบ Air diffuser

- อุปกรณ์เสริมในบ่อเติมอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพชนิดหนึ่ง คือ การใช้ตัวกลาง (Media) ติดตั้งในบ่อเติมอากาศ โดยตัวกลางจะเป็นวัสดุลักษณะพรุน หรือเป็นแผ่นติดตั้งทั่วๆ ไปในบ่อ เพื่อให้จุลินทรีย์เกาะ จุลชีพจะกระจายได้ทั่วบ่อ และไม่ค่อยหลุดลอย ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายดีขึ้น

การจะให้อากาศได้สัมผัสกับจุลินทรีย์อย่างมีประสิทธิภาพในบ่อแบบนี้ ความลึกของบ่อเติมอากาศจะอยู่ในช่วง 5-6 เมตร การตรวจสอบค่า BOD ของน้ำที่บำบัดแล้วอยู่เสมอมจะทำให้การเดินเครื่องเติมอากาศพอเหมาะกับภาระที่ต้องการ 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

ในโรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็นที่มีน้ำเสียอุณหภูมิต่ำๆ ระบายลงมาในระบบ จะเป็นอุปสรรคในการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เนื่องจากจุลินทรีย์จะย่อยสลายได้ดีในอุณหภูมิประมาณ 35 – 38°C จึงมีความจำเป็นต้องทำให้น้ำเสียดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อน โดยอาจใช้ความร้อนที่ทิ้งจากระบบอื่นมาทำการเพิ่มอุณหภูมิ

ตารางที่ 6.2 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. เปสทิไซด์ (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 6.3 มาตรการประหยัดพลังงานระบบบำบัดน้ำเสีย แบบ Activated Sludge (AS)

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

ตารางที่ 6.4 มาตรการประหยัดพลังงานของห้องน้ำ

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

สรุปมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมห้องเย็น

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 มีครีบบายท่าง
4. คอยล์ (Evaporator Coil)	มีขนาดใหญ่ Suction temperature ใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง
5. คอยล์เย็น	ติดตั้งระบบละลายน้ำแข็ง (Defrost)
6. ระบบสารทำความเย็น	ไล่อากาศภายในระบบสารทำความเย็น
7. ระบบเครื่องทำความเย็น	แยกเครื่องระบบแช่แข็งและระบบห้องเย็นออกจากกัน
8. คอมเพรสเซอร์	แบบสกรูควรจะเป็นที่ใกล้เคียง 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	ตรวจสอบอุณหภูมิปล่องไอเสียสูงผิดปกติต่อเนื่อง แสดงว่ามีความสกปรกภายในระบบน้ำ หรือห้องเผาไหม้
6. ระบบ Condensate	หาทางนำไอน้ำจากการใช้พร้อม Condensate กลับคืนมายังระบบ

ระบบน้ำใช้

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

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

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

ระบบปรับอากาศ

อุปกรณ์	มาตรการ
1. เครื่องปรับอากาศ	- คอยล์ร้อนจะต้องระบายลมได้สะดวก - ทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ - ล้างแผ่นกรองอากาศที่คอยล์เย็นเดือนละครั้ง
2. การควบคุมอุณหภูมิ	- ตั้งอุณหภูมิที่ 24 - 26°C
3. ห้องปรับอากาศ	- ต้องไม่มีรอยรั่ว - หลีกเลี่ยงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ให้ความร้อน เช่น ตู้เย็น หม้อต้ม น้ำ 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 โดยการจัดการบริหารที่ดีนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 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

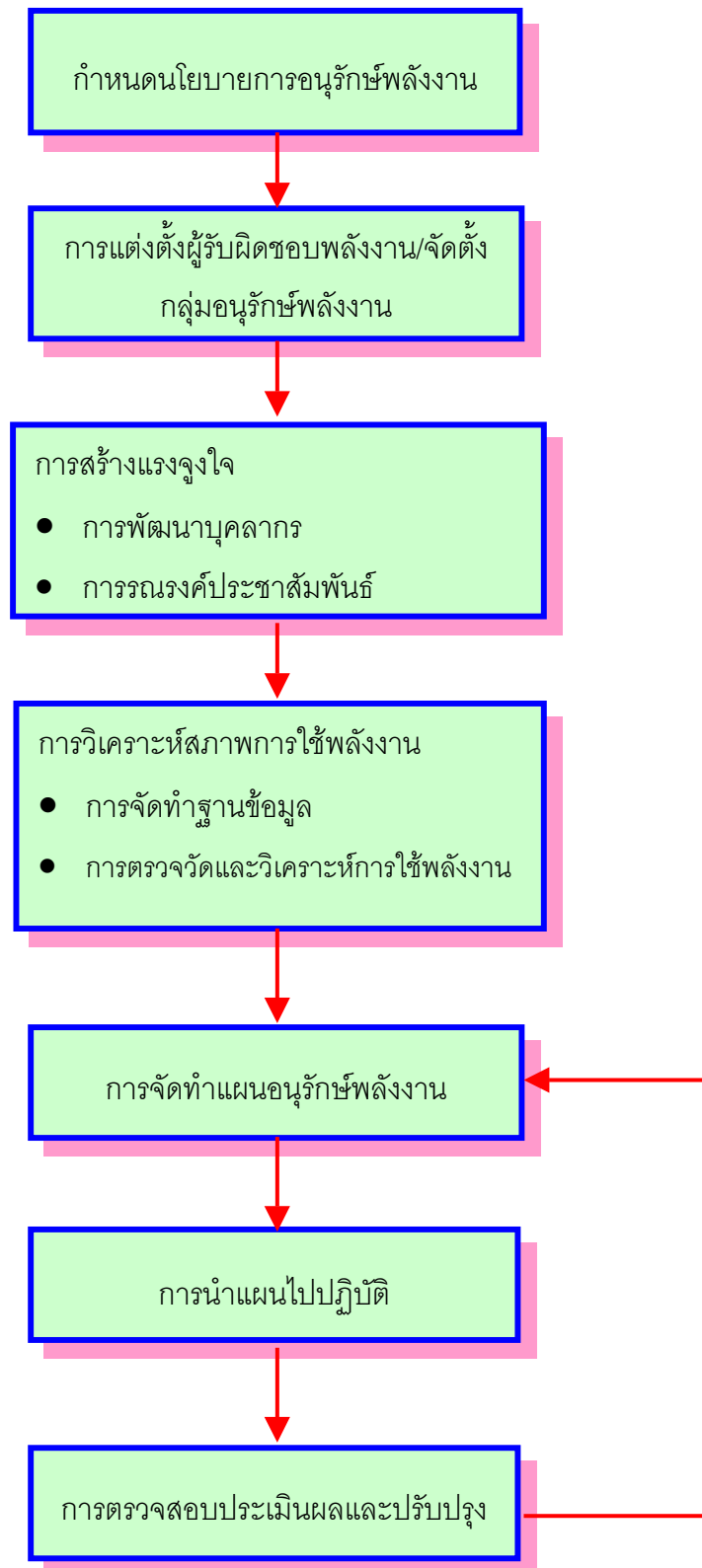
จากแนวทางเบื้องต้นดังกล่าวมา พบว่าการบริหารจัดการพลังงานเป็นวิธีการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพ และผลการตอบแทนสูง แต่มีการลงทุนน้อยหรือไม่มีการลงทุน โดยเน้นการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมวิธีการคิด และวิธีการทำงานให้เหมาะสม รวมถึงการปลูกจิตสำนึกการอนุรักษ์พลังงานให้เกิดขึ้นภายในองค์กร

7.2 หลักการบริหารจัดการพลังงาน

ในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความยั่งยืนจำเป็นต้องมีระบบการจัดการด้านพลังงานที่เหมาะสม และมีปัจจัยหลายอย่างที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการจัดการด้านพลังงาน เช่น

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

ดังนั้น สามารถสรุปภาพรวมหรือองค์ประกอบของการจัดการด้านระบบการจัดการพลังงานให้เป็นขั้นตอนการดำเนินงาน 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
 - ะไหล่มีพร้อมและราคาไม่สูง
 - 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 ดังนั้น เนื้อหาที่กล่าวถึงต่อจากนี้ จะอธิบายถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงานที่จะต้องพิจารณาเพื่อให้ได้รับการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากฝ่ายบริหาร แนวทางการประเมินสถานะการจัดการด้านพลังงานของโรงงาน ตลอดจนแนวทางการประสานโครงการอนุรักษ์พลังงานเข้ากับกิจกรรมอื่นของโรงงาน

8.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบกับโครงการอนุรักษ์พลังงาน

ผู้ที่ได้รับมอบหมายให้ดูแลการใช้พลังงานในโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็กมักจะเป็นฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายซ่อมบำรุง หรือแม้กระทั่งฝ่ายผลิตเนื่องจากใกล้ชิดกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ทำให้มีโอกาสที่จะได้สังเกตการทำงานของเครื่องจักรและมองเห็นแนวทางการลดการใช้พลังงานลงได้ อย่างไรก็ตาม บ่อยครั้งที่ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานได้เสนอแนะแนวทางการลดการใช้พลังงานให้กับฝ่ายบริหารแต่ไม่ได้รับการสนับสนุนเท่าที่ควร เนื่องจากไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าผลประโยชน์ที่จะได้รับหรือข้อดีข้อเสียของโครงการมีอะไรบ้าง 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 การติดตั้งเครื่องควบคุมปริมาณอากาศป้องกันการตรวจวัดคุณภาพโอโซนอย่างต่อเนื่องของหม้อไอน้ำ 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 และต้องทำความสะอาดตะกั่วในท่อคอนเดนเซอร์ปีละ 2 ครั้ง ในขณะที่เครื่องใหม่มีค่าสมรรถนะในการทำความเย็น 0.64 กิโลวัตต์/ตัน และต้องการการทำความสะอาดท่อคอนเดนเซอร์เพียงปีละ 1 ครั้ง

เมื่อพิจารณาผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นในด้านต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถสรุปได้ดังนี้

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

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงการนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้หลายด้าน และมีความมุ่งใจฝ่ายบริหารมากพอที่จะตัดสินใจดำเนินการโครงการได้

● กรณีศึกษา: ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการอนุรักษ์พลังงาน กรณีที่ 2

โรงงานอุตสาหกรรมห้องเย็นได้มีการพิจารณาเปลี่ยนห้องเย็นจากเดิมที่เป็นการแช่แข็งในห้องแช่แข็งแบบคอยล์ได้ไ้มาเป็นแช่แข็งในห้องแช่แข็งแบบ Air Blast ซึ่งก่อนที่จะทำการเปลี่ยน โรงงานได้มีการพิจารณาผลประโยชน์ที่จะได้รับในด้านต่างๆ ดังนี้

- ลดเวลาที่ต้องใช้ในการแช่แข็งลง – เนื่องจากระบบการแช่แข็งแบบ Air Blast จะใช้ระยะเวลาในการแช่แข็งน้อยกว่าแบบคอยล์ได้ไ้ประมาณ 40 – 50%
- ประหยัดพลังงานในการแช่แข็ง – เนื่องจากเครื่องแช่แข็งแบบคอยล์ได้ไ้จะมีการสูญเสียพลังงานมากกว่าแบบ Air Blast เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลาในการแช่แข็งที่นานกว่า
- เพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น – เนื่องจากสามารถทำงานได้ผลผลิตมากขึ้น ลดเวลาที่ต้องใช้ในการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ลง

8.1.2 เกณฑ์การลงทุนขององค์กร

การลงทุนในโครงการอนุรักษ์พลังงานจะต้องมีการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนเช่นเดียวกับโครงการในด้านอื่นๆ ซึ่งโดยปกติแล้ว ฝ่ายบริหารของแต่ละองค์กรก็จะมีเกณฑ์ในการพิจารณาการลงทุนที่ต่างกันไป ผู้ที่รับผิดชอบด้านพลังงานจึงจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงเกณฑ์การลงทุนขององค์กรของตนเองด้วย เพื่อที่จะได้จัดลำดับความสำคัญของโครงการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ ได้ และทำการเสนอโครงการที่จะเกิดประโยชน์สูงสุดต่อองค์กรและได้รับการสนับสนุนอย่างเต็มที่จากฝ่ายบริหาร

เกณฑ์การวิเคราะห์การเงินที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่

- **วงเงินลงทุน (Capital Cost)**

เป็นเกณฑ์การลงทุนขั้นพื้นฐานที่สุดและจะแตกต่างกันไปตามขนาดและสถานะทางการเงินของโรงงาน 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 และสภาพการใช้งานเดิมไม่สมบูร์

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 (จำนวนปีและจำนวนเดือนที่ จะคุ้มทุน) - ไม่ต้องคำนึงถึงอัตราเงินเฟ้อ และอัตราดอกเบี้ย วิธีที่รวดเร็วสำหรับการเปรียบเทียบโครงการ	- ไม่คำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้หลังจากที่คืนทุนแล้ว - ไม่คำนึงถึงมูลค่าการลงทุนของโครงการตลอด อายุโครงการ ซึ่งอาจจะมีค่าเหลืออยู่เมื่อสิ้นสุด โครงการ - ไม่คำนึงถึงมูลค่าของเงินที่แปรเปลี่ยนตามเวลา

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

ผลตอบแทนการลงทุน (ROI) คือ ร้อยละของผลประโยชน์หลังจากหักค่าใช้จ่ายเงินลงทุนที่ได้รับ ตลอดอายุการใช้งานเทียบกับเงินลงทุน 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

กรณีศึกษาระบบทำความเย็น

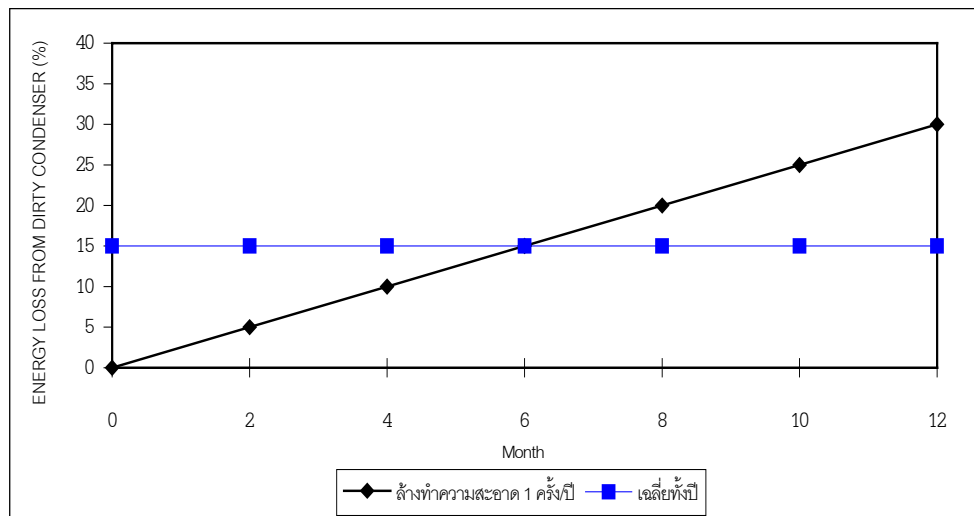
ตัวอย่างที่ 1 การเพิ่มจำนวนครั้งในการล้างคอนเดนเซอร์เครื่องทำความเย็น

จากการสำรวจระบบทำความเย็นที่ใช้กับห้องเย็นของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ก่อนปรับปรุง

ชนิดเครื่องอัดน้ำยา	=	ลูกสูบ
ชนิดสารระบายความร้อนน้ำยา	=	น้ำบาดาลผ่านอุปกรณ์ปรับสภาพ
ค่าสารเจือปนในน้ำสูง (Total Disolved Solid : TDS)	=	สูง
จำนวน	=	4 เครื่อง
พิกัดขนาดการทำความเย็นติดตั้ง	=	15 ตัน/เครื่อง
กำลังไฟฟ้าติดตั้ง	=	15 กิโลวัตต์/เครื่อง
เปอร์เซ็นต์โหลดของมอเตอร์	=	80 %
เวลาการใช้งาน	=	8,760 ชั่วโมง/ปี
เปอร์เซ็นต์การใช้งาน	=	90 %
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	2 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
จำนวนครั้งในการล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์	=	1 ครั้ง/ปี
พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากสิ่งสกปรกในท่อคอนเดนเซอร์มีดังนี้		

ENERGY LOSS FROM DIRTY CONDENSER	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
ENERGY CONSUMPTION AT 100 % LOAD	100%	105%	110%	115%	120%	125%	130%
CONDENSER TUBE FOULING FACTOR	0.00025	0.00050	0.00100	0.00150	0.00200	0.00250	0.00300
CONDENSER TUBE SCALE THICKNESS	0.00 mm	0.15 mm	0.30 mm	0.45 mm	0.60 mm	0.75 mm	0.90 mm
COOLING WATER TYPE	TIME AFTER CONDENSER TUBE CLEANING						
- TREATED WATER	0 Month	2 Month	4 Month	6 Month	8 Month	10 Month	12 Month

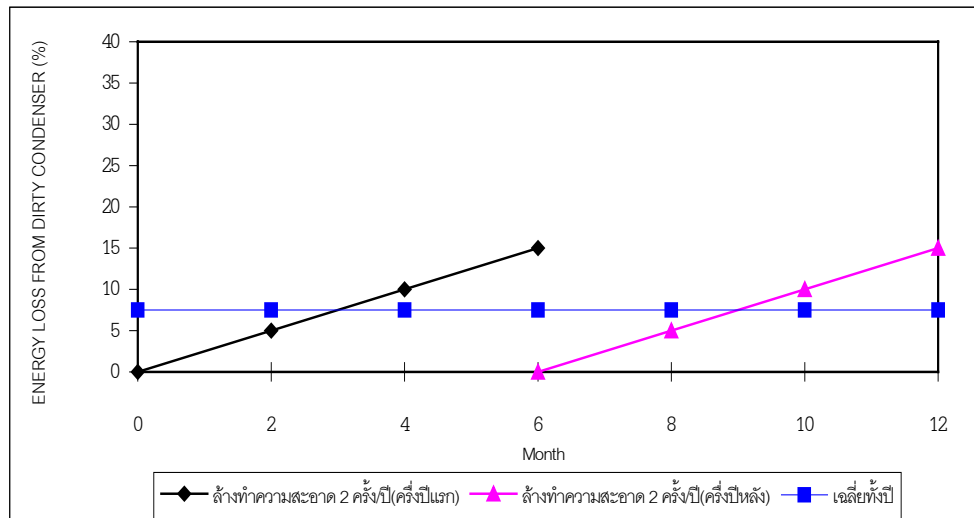


$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} &= 4.0 \times 15.0 \times 80.0 \times 8,760 \times 90.0 / 100 / 100 \\
 &= 378,432.0 \text{ kWh/ปี} \\
 \text{พลังงานไฟฟ้าสูญเสียหลังจากล้างคอนเดนเซอร์ เดือนที่ 0} &= 0.00 \% \\
 \text{พลังงานไฟฟ้าสูญเสียก่อนล้างคอนเดนเซอร์ เดือนที่ 12} &= 30.0 \% \\
 \text{พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ย} &= 15.0 \% \\
 \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำความเย็นจริง} &= 378,432.0 \times (1 + (15.0 / 100)) \\
 &= 435,196.8 \text{ kWh/ปี}
 \end{aligned}$$

หลังปรับปรุง

$$\text{ล้างคอนเดนเซอร์เพิ่ม} = 1 \text{ ครั้ง/ปี}$$

ENERGY LOSS FROM DIRTY CONDENSER	0%	5%	10%	15%			
				0%	5%	10%	15%
ENERGY CONSUMPTION AT 100 % LOAD	100%	105%	110%	115%			
				100%	105%	110%	115%
CONDENSER TUBE FOULING FACTOR	0.00025	0.00050	0.00100	0.00150			
				0.00025	0.00050	0.00100	0.00150
CONDENSER TUBE SCALE THICKNESS	0.00	0.15	0.30	0.45			
				0.00	0.15	0.30	0.45
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
COOLING WATER TYPE	TIME AFTER CONDENSER TUBE CLEANING						
- TREATED WATER	0	2	4	6	8	10	12
	Month	Month	Month	Month	Month	Month	Month



พลังงานไฟฟ้าสูญเสียหลังจากล้างคอนเดนเซอร์ เดือนที่ 0	=	0.00	%
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียก่อนล้างคอนเดนเซอร์ เดือนที่ 6	=	15.0	%
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียหลังจากล้างคอนเดนเซอร์ เดือนที่ 6	=	0.00	%
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียก่อนล้างคอนเดนเซอร์ เดือนที่ 12	=	15.0	%
พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ย	=	7.5	%
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องทำความเย็นจริง	=	$378,432.0 \times (1 + (7.5/100))$	
	=	406,814.4	kWh/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	435,196.8 - 406,814.4	
	=	28,382.4	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลง	=	28,382.4 x 2.0	
	=	56,765.0	บาท/ปี

การลงทุน

ค่าเคมี และค่าแรงในการล้างคอนเดนเซอร์ 4 เครื่อง	=	20,000	บาท/ครั้ง
จำนวนครั้งในการล้างคอนเดนเซอร์เพิ่ม	=	1	ครั้ง/ปี
รวมเงินลงทุน	=	20,000	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	0.35	ปี

รายการ	ก่อนปรับปรุง							หลังปรับปรุง							
ENERGY LOSS FROM DIRTY CONDENSER	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	0%	5%	10%	0%	5%	10%	0%	
ENERGY CONSUMPTION AT 100 % LOAD	100%	105%	110%	115%	120%	125%	130%	100%	105%	110%	115%	100%	105%	110%	115%
CONDENSER TUBE FOULING FACTOR	0.00025	0.00050	0.00100	0.00150	0.00200	0.00250	0.00300	0.00025	0.00050	0.00100	0.00150	0.00025	0.00050	0.00100	0.00150
CONDENSER TUBE SCALE THICKNESS	0.00	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90	0.00	0.15	0.30	0.45	0.00	0.15	0.30	0.45
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
COOLING WATER TYPE - TREATED WATER	TIME AFTER CONDENSER TUBE CLEANING							TIME AFTER CONDENSER TUBE CLEANING							
	0 Month	2 Month	4 Month	6 Month	8 Month	10 Month	12 Month	0 Month	2 Month	4 Month	6 Month	8 Month	10 Month	12 Month	

กรณีศึกษาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ตัวอย่างที่ 1 การบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากการสำรวจระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ในโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ก่อนปรับปรุง

ขนาดพื้นที่การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ	=	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 และประสิทธิภาพของเครื่องดีขึ้น โดยการพิจารณาดำเนินการดังต่อไปนี้

- ดำเนินการเดือนละ 1 ครั้ง
 - ใช้ลมเป่าทำความสะอาดคอยล์เย็น คอยล์ร้อน รวมทั้ง Filter ต่างๆ
 - ตรวจสอบวงจรการควบคุมต่างๆ ว่าทำงานถูกต้องตามข้อกำหนดหรือไม่ เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบปรับอากาศ Fresh air ของเครื่อง
 - ตรวจวัดและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ มอเตอร์พัดลมต่างๆ
- ดำเนินการ 6 เดือน/ครั้ง
 - ทำการล้างครั้งใหญ่ เพื่อทำความสะอาดคอยล์เย็น และคอยล์ร้อน โดยใช้ น้ำหรือน้ำยาทำความสะอาด

เครื่องปรับอากาศที่มีการบำรุงรักษา และทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ จะมีการใช้พลังงานต่างกันดังนี้

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

หมายเหตุ ข้อมูลจาก Technical data ของ Compressor Energy Efficiency

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

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

ผลประหยัด

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

การลงทุนและผลตอบแทน

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

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

หมายเหตุ : ผลประหยัดที่ได้น้อยเนื่องจากคิดเฉลี่ยเฉพาะช่วงที่มีการบำรุงรักษาโดยการล้างใหญ่ สำหรับการบำรุงรักษาโดยการล้างย่อยจะมีผลประหยัดด้วย

กรณีมีเจ้าหน้าที่ของโรงงานทำการบำรุงรักษา 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 (%)
จากไซโครเมตริกชาร์ทจะได้ความร้อนจำเพาะของลมกลับ (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 (%)
จากไซโครเมตริกชาร์ทจะได้ความร้อนจำเพาะของลมจ่าย (Enthalpy), h2	=	25.45 บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)
อุณหภูมิของอากาศเข้าระบายที่คอยล์ร้อนนอกห้องเฉลี่ย	=	32.1 องศาเซลเซียส (°C)
กำลังไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องปรับอากาศที่สภาวะใช้งานจริง	=	3.8 กิโลวัตต์
ปริมาณความเย็นที่สภาวะใช้งานจริง	=	4.5xCFMx(h1-h2)
	=	4.5x1,107.6x(30.48-25.45)
	=	25,071 บีทียู/ชั่วโมง (Btu/h)

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

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

หลังปรับปรุง

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

ผลประหยัด

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

การลงทุนและผลตอบแทน

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

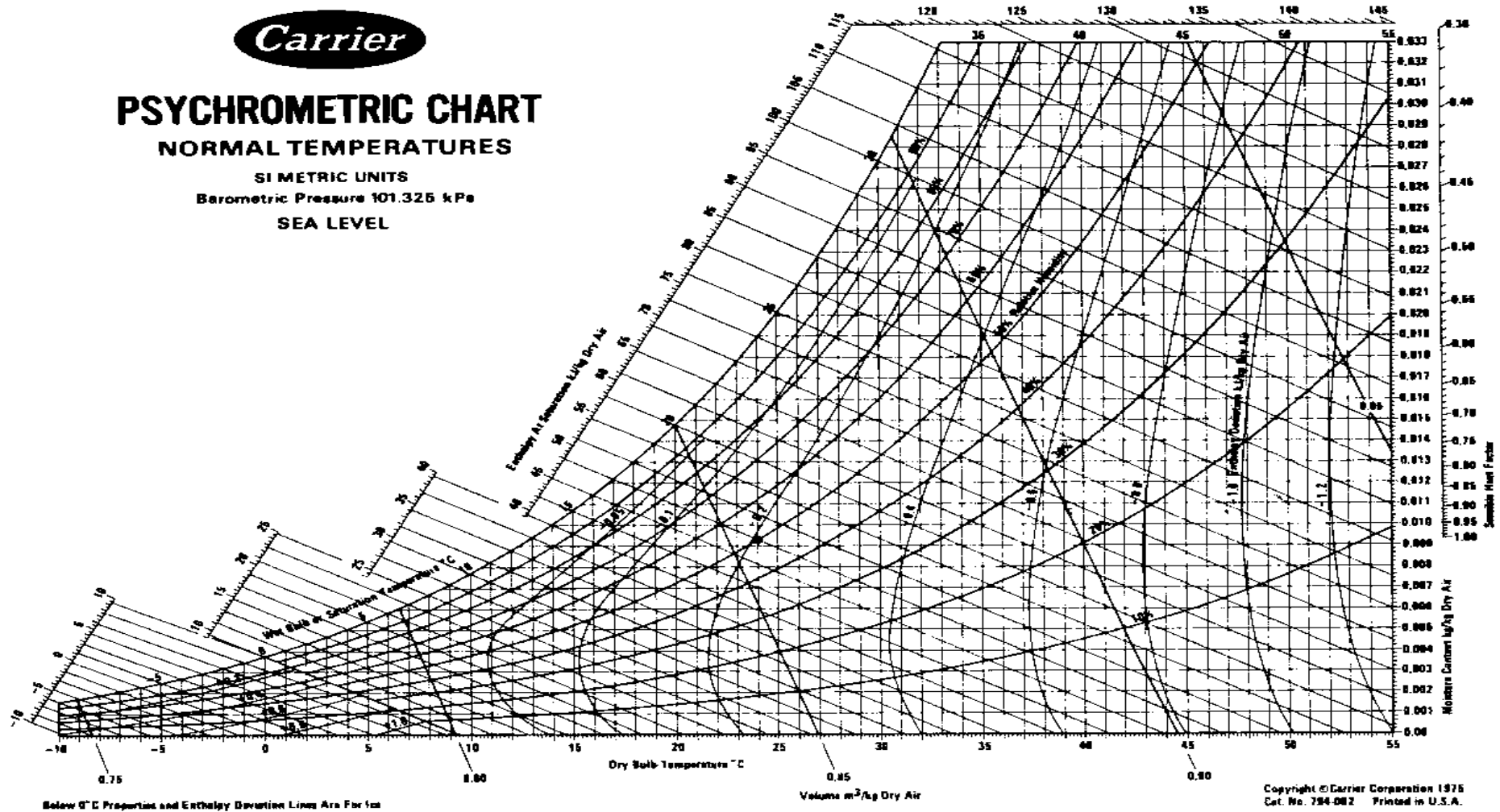
ตารางที่ 1 ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น และกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ติดหน้าต่าง และเครื่องทำความเย็นแบบเป็นชุด

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

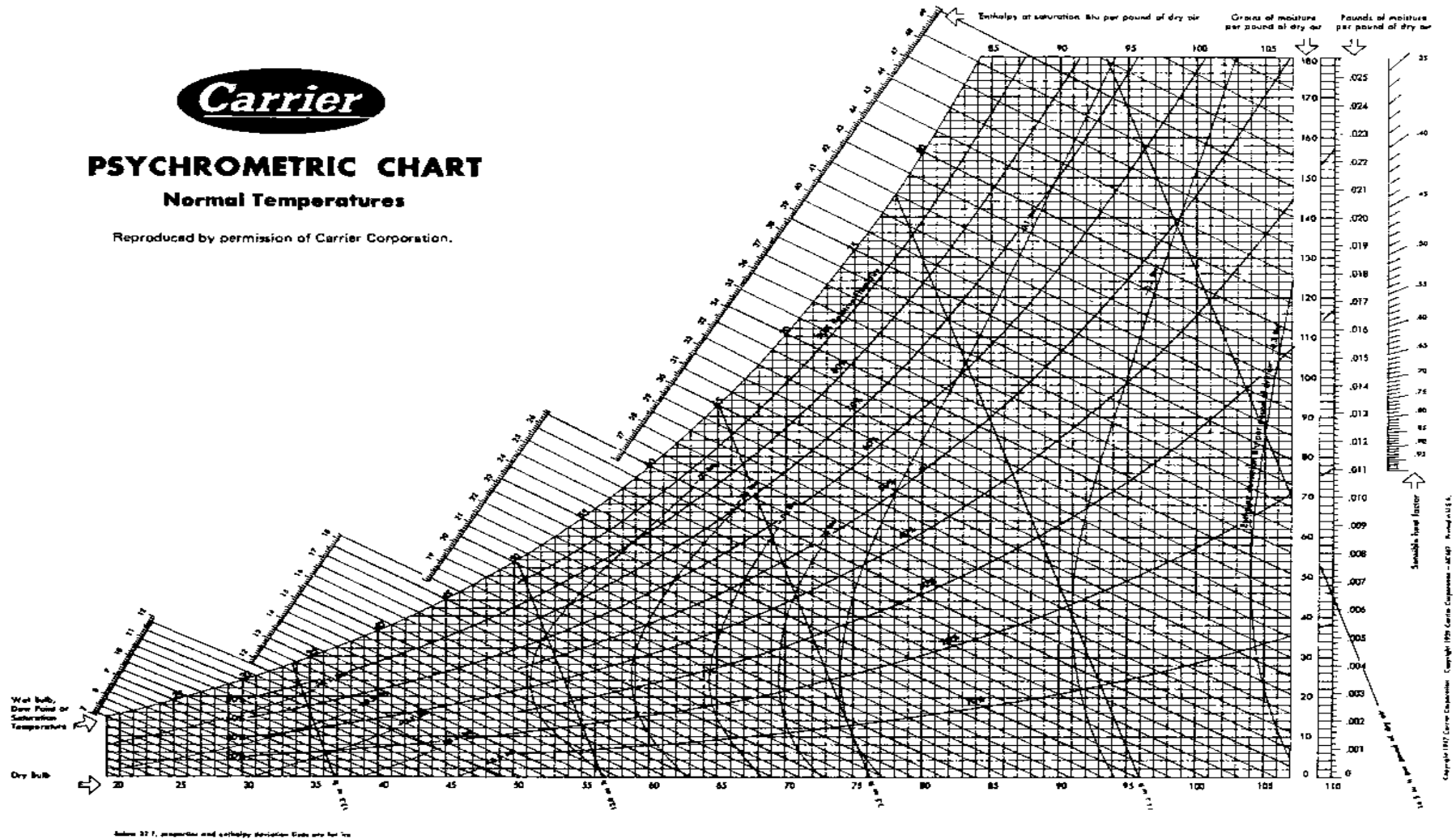
หมายเหตุ : 1. สภาวะมาตรฐาน ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเข้าคอยล์ระบายความร้อนเท่ากับ 35°C และ

อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเข้าคอยล์เย็นเท่ากับ 19.4°C

2. ค่าแก้ไขของกำลังไฟฟ้าเป็นค่าแก้ไขรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งส่วนระบายความร้อนและส่วนคอยล์เย็น



รูปที่ 1 ไซโครเมตริกชาร์ตในหน่วยสากล (Psychrometric Chart , SI units)



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

กรณีศึกษาระบบแสงสว่าง

ตัวอย่างที่ 1 การใช้บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำแทนบัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดา

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

บริเวณตัวอย่างเป็นแผนกรับวัตถุดิบ มีการติดตั้งโคม หลอด และบัลลาสต์ ดังนี้

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

ก่อนปรับปรุง : บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา

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

หลังปรับปรุง : บัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำ

จำนวนหลอดทั้งหมด	=	30	หลอด
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอด	=	36	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x36	
	=	1,080.0	วัตต์
จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30	ตัว

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	5.5	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30x5.5	
	=	165.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	1,080.0+165.0	
	=	1,245.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,245.0x12.0x300/1000	
	=	4,482.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	300.0-165.0	
	=	135.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	4,968.0-4,482.0	
	=	486.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลง	=	486.0x2.50	
	=	1,215.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

จำนวนบัลลาสต์	=	30	ตัว
ราคาบัลลาสต์ประมาณ	=	120	บาท/ตัว
ค่าติดตั้งบัลลาสต์	=	30	บาท/ตัว
รวมเงิน	=	30x(120+30)	
	=	4,500	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	3.70	ปี
	=	44.4	เดือน

หมายเหตุ : อายุการใช้งานของบัลลาสต์แกนเหล็กชนิดความสูญเสียต่ำประมาณ 15 ปี

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

จากการสำรวจและตรวจวัดระบบแสงสว่างของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่ามีการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ บัลลาสต์ที่ใช้เป็นชนิดแกนเหล็กธรรมดา มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 10 วัตต์ต่อตัว ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต บัลลาสต์จากแกนเหล็กเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวบัลลาสต์ประมาณ 4 วัตต์ต่อตัว แต่สามารถลดกำลังไฟฟ้าที่หลอดได้ประมาณ 4 วัตต์ต่อหลอด (บัลลาสต์ชนิด 1 ตัว ใช้กับ 1 หลอด) ทำให้สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการใช้บัลลาสต์แกนเหล็กธรรมดาได้ประมาณ 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
กำลังไฟฟ้าใช้งานของหลอดทั้งหมด	=	30x(36-4)	
	=	960.0	วัตต์

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทห้องเย็น

จำนวนบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30	ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์	=	4.0	วัตต์/ตัว
กำลังไฟฟ้าสูญเสียของบัลลาสต์ทั้งหมด	=	30x4.0	
	=	120.0	วัตต์
กำลังไฟฟ้าใช้งานทั้งหมด (หลอดรวมบัลลาสต์)	=	960.0+120.0	
	=	1,080.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1,080.0x12.0x300/1000	
	=	3,888.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	=	300.0-120.0	
	=	180.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	=	4,968.0-3,888.0	
	=	1080.0	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลง	=	1,080.0x2.50	
	=	2,700.0	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

จำนวนบัลลาสต์	=	30	ตัว
ราคาบัลลาสต์ประมาณ	=	600	บาท/ตัว
ค่าติดตั้งบัลลาสต์	=	30	บาท/ตัว
รวมเงิน	=	30x(600+30)	
	=	18,900	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	7.00	ปี
	=	84.0	เดือน

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

ตัวอย่างที่ 3 การใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์แทนหลอดไส้

จากการสำรวจและตรวจวัดระบบแสงสว่างของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่าบางบริเวณมีการใช้หลอดไส้ขนาด 60 วัตต์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ที่สามารถใช้แทนหลอดไส้ โดยความส่องสว่างมีค่าใกล้เคียงกันแต่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้

บริเวณตัวอย่างเป็นทางเดินภายในสำนักงาน มีการติดตั้งโคม หลอด ดังนี้

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

ก่อนปรับปรุง : หลอดไส้

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

หลังปรับปรุง : หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ใน

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

ผลประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	600.0-110.0	
	=	490.0	วัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง	=	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

กรณีศึกษาระบบไอน้ำ

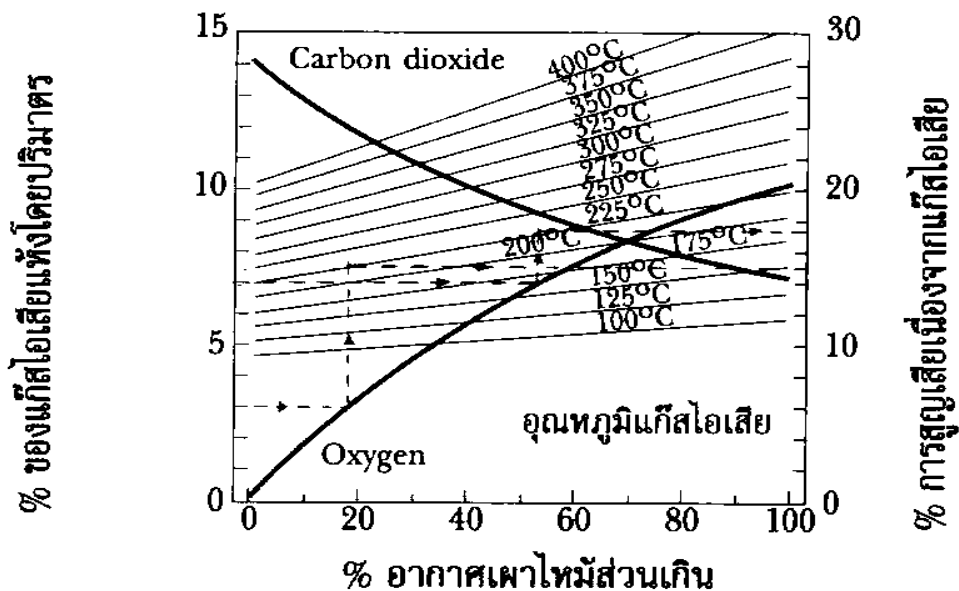
ตัวอย่างที่ 1 การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ (การลดปริมาณออกซิเจนส่วนเกินในแก๊สไอเสีย)

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

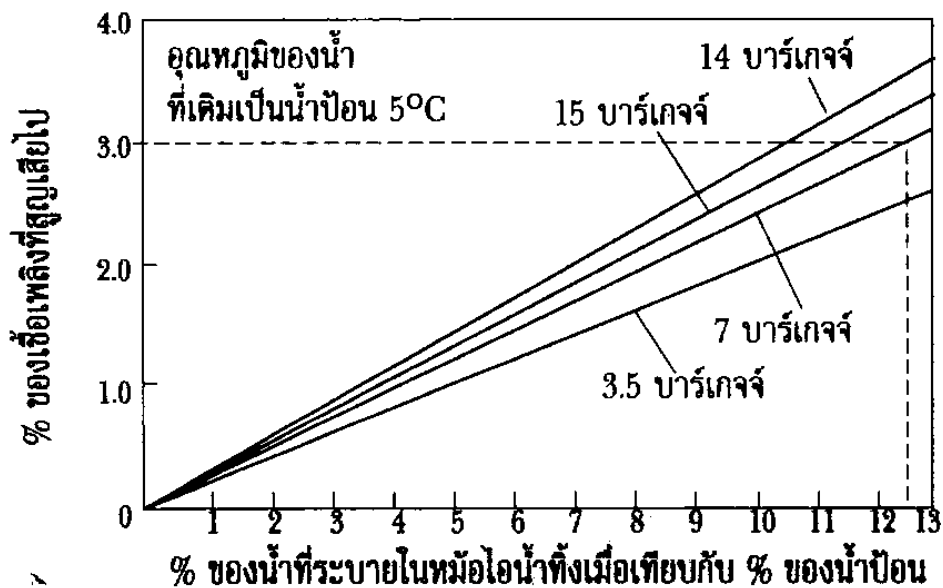
จ้างบริษัทมาทำการตรวจวัดสภาพการเผาไหม้พร้อมกับการปรับแต่งหัวเผา

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

จากการสำรวจลักษณะการไหลของน้ำ และตรวจวัดค่าสารละลายรวมทั้งหมด (Total Dissolved Solid : TDS) ที่อยู่ในน้ำป้อนและน้ำไหลออกจากหม้อไอน้ำของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

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



รูปที่ 4 การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการระบายน้ำบางส่วนทิ้ง

ก่อนปรับปรุง

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

จากกราฟ ที่เปอร์เซ็นต์น้ำที่ระเหย 12.5 % ความดันไอน้ำ 7.0 bar (g)

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเชื้อเพลิง = 3 %

หลังปรับปรุง

ขยายเวลาในการระบายน้ำทิ้งเป็น = 3,000.0/400.0

= 8 ชั่วโมง/ครั้ง

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

= 3.6 %

จากกราฟ ที่เปอร์เซ็นต์น้ำที่ระเหย 3.6 % ความดันไอน้ำ 7.0 bar (g)

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเชื้อเพลิง = 0.7 %

ผลประหยัด

เปอร์เซ็นต์การสูญเสียเชื้อเพลิงลดลง = 2.3 %

เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง = $30.0 \times 3,000.0 \times 2.3 / 100$

= 2,070.0 ลิตร/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = $2,070.0 \times 9.00$

= 18,630.0 บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทน

ราคาอุปกรณ์ตรวจวัดค่า TDS ของน้ำ = 2,000 บาท

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 % = 140 บาท

รวมเงินลงทุน = 2,140 บาท

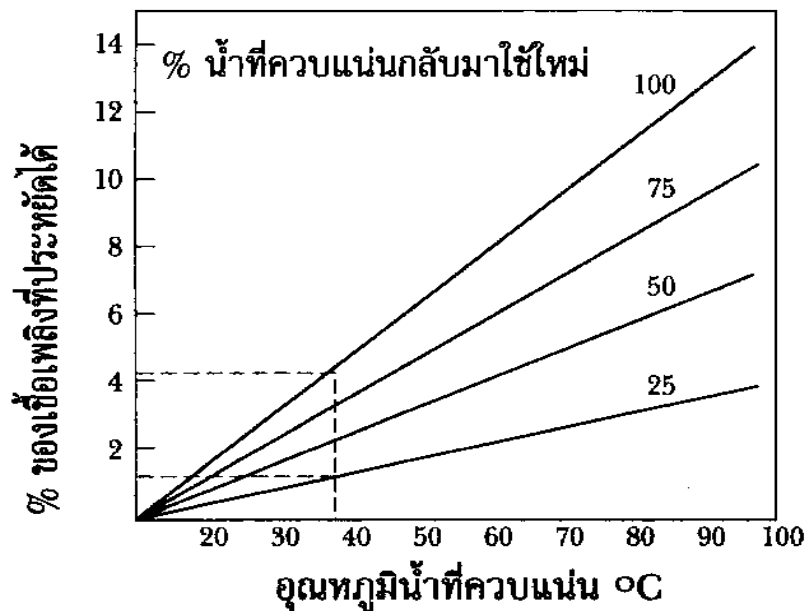
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น = 0.11 ปี

= 1.4 เดือน

ตัวอย่างที่ 3 การลดการสูญเสียจากการนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ใหม่

จากการสำรวจการใช้ไอน้ำของอุปกรณ์ใช้ไอน้ำของโรงงานแห่งหนึ่ง พบว่าทุกอุปกรณ์ใช้ไอน้ำแบบไม่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรง น้ำคอนเดนเสท (Condensate) หลังจากการใช้งานเป็นน้ำที่สะอาดและมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง มีการปล่อยทิ้งจำนวนมาก โดยนำกลับมาใช้งานบางส่วน ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

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



รูปที่ 5 การประหยัดพลังงานจากการนำน้ำที่ควบแน่นกลับมาใช้

ก่อนปรับปรุง

จากกราฟ ที่อุณหภูมิน้ำคอนเดนเสท 38.0 C ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ 25.0 %

เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ประหยัด = 1.2 %

หลังปรับปรุง

ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่นำกลับมาใช้ต่อชั่วโมง = 100 %

เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ประหยัด = 4.2 %

ผลประหยัด

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงที่ประหยัดเพิ่มขึ้น} &= 3.0 \% \\ \text{เทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง} &= 30.0 \times 3,000.0 \times 3.0 / 100 \\ &= 2,700.0 \text{ ลิตร/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} &= 2,700.0 \times 9.00 \\ &= 24,300.0 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

การลงทุนและผลตอบแทน

$$\begin{aligned} \text{ราคาระบบนำน้ำคอนเดนเสทกลับมาใช้ประมาณ} &= 30,000 \text{ บาท} \\ \text{ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7 \%} &= 2100 \text{ บาท} \\ \text{รวมเงินลงทุน} &= 32,100 \text{ บาท} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น} &= 1.32 \text{ ปี} \\ &= 15.9 \text{ เดือน} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

การเปลี่ยนหน่วย

ตารางการเปลี่ยนหน่วย

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Viscosity (absolute)	1 poise = 1 dyne-sec/cm ² = 0.1 Pa-s = 1 g/(cm-s)					
	poise	lb _f -s/ft ²	lb _f -h/ft ²	kg/(m-s)	N-s/m ²	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

คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทห้องเย็น

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 : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทห้องเย็น

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

พิมพ์เมื่อ : มิถุนายน 2547 จำนวน 100 เล่ม

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

ที่ปรึกษา : ดร. ประเสริฐ ตปนียางกูร
รองอธิบดีกรมโรงงานอุตสาหกรรม

ที่ปรึกษาโครงการ : บริษัท ทีม เอ็นเนอร์ยี่ แมเนจเม้นท์ จำกัด

