หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การจัดการพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม

การจัดการพลังงานในโรงงาน หมายถึง

1. ความพยายามในการใช้พลังงานในจำนวนน้อยที่สุดเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยไม่ทำให้กิจกรรมการผลิตต่ำลงและไม่ลดคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2. การทำให้ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ในส่วนของพลังงานลดน้อยลง

3. การใช้พลังงานตามความจำเป็น และในขณะเดียวกันก็ลดการสูญเสียที่ไม่จำเป็นต่าง ๆ เพื่อให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงขึ้น

4. การเลือกใช้พลังงานให้เหมาะสมทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ และความต่อเนื่องในการจัดหา

แนวทางในการพิจารณาจัดการพลังงาน

1. การเลือกใช้ชนิดพลังงานที่เหมาะสม โดยทั่วไปพลังงานไฟฟ้าเมื่อใช้กับงานขับเคลื่อนเครื่องจักรกลและงานให้แสงสว่างจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานชนิดอื่น แต่ถ้าใช้กับงานในรูปของพลังงานความร้อน โดยทั่วไปการใช้ก๊าซและน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงจะได้เปรียบ เพราะเป็นการแปรสภาพจากพลังงานเคมีเป็นพลังงานความร้อนโดยตรง ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการแปรสภาพพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วค่อยแปรสภาพเป็นพลังงานความร้อนตามต้องการ แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีของอุปกรณ์การผลิตที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิอย่างละเอียด การใช้พลังงานไฟฟ้าในการให้ความร้อนจะได้เปรียบอยู่บ้าง

นั่นคือการเลือกใช้ชนิดของพลังงานนั้นจะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านเศรษฐกิจ โดยพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพรวมที่จะได้ นอกจากนี้ยังอาจต้องพิจารณาถึงผลกระทบในระยะยาวอื่น ๆ ด้วย

2. การป้องกันการสูญเสียพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ พลังงานไฟฟ้านั้นมีที่ใช้งานต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ ใช้ในการให้

ความร้อน ให้แสงสว่าง และใช้ในงานควบคุม เป็นต้น การศึกษาสภาพการใช้งานและหาทางลดการสูญเสียในรูปต่าง ๆ เช่น การเดินเครื่องตัวเปล่าของมอเตอร์ ความร้อนรั่ว ลมรั่วหรือน้ำรั่ว นับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. การใช้ประโยชน์พลังงานที่ยังไม่ได้ใช้ให้เป็นประโยชน์ ในสภาพการปฏิบัติงานบางแห่ง มีการปล่อยความร้อนจากไฟฟ้า ไอน้ำ และก๊าซทิ้งไป โดยไม่ได้ใช้เป็นประโยชน์ ในหม้อไอน้ำหรืออุปกรณ์ให้ความร้อนจากไฟฟ้า พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไปทั้งหมดเมื่อใช้ในการผลิตแล้วโดยทั่วไปก็ยังมีปริมาณความร้อนเหลืออยู่อีกมาก ดังนั้น ถ้านำพลังงานความร้อนส่วนที่เหลือมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เช่น ในการอุ่นวัสดุหรือในการทำน้ำร้อนก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานความร้อนดีขึ้น

ในวงการอุตสาหกรรมโดยทั่วไปนั้น การประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานจะมีได้ต่อเมื่อโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ ได้ดำเนินการดังนี้

ก. จัดตั้งหน่วยบริหารระดับสูง เพื่อรับผิดชอบงานทางด้านการจัดการพลังงาน

ข. กำหนดเป้าหมายของการจัดการพลังงาน

ค. วิธีการประสานงานในแผนงานการจัดการพลังงาน

<u>แนวทางในการจัดการพลังงาน</u>

โดยทั่วไปแนวทางการจัดการพลังงานจะประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ค้นหาปริมาณการใช้และปริมาณสูญเสียของพลังงาน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนเริ่มแรกซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย ๆ ได้ดังนี้

ก. ศึกษาชนิดและปริมาณพลังงานที่ใช้ระบบต่าง ๆ ของโรงงานอย่างละเอียด และพลังงานที่เข้าไปในระบบต่าง ๆ นั้น มีการกระจายการใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือมีการสูญเสียมากน้อยเพียงใด

ข. สร้างและวิเคราะห์สมดุลพลังงานในแต่ละขั้นตอนผลิต อย่างละเอียดถี่ถ้วน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการอัตราการไหลพลังงานเข้า-ออก ในแต่ละขั้นตอนการผลิต

2. ดำเนินการจัดการพลังงานโดยวิธีการต่าง ๆ จากการศึกษาการใช้พลังงานตามข้อ 1 เป็นผลทำให้ทราบถึงรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำหนดวิธีการต่าง ๆ ในการจัดการพลังงานได้ โดยจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้น

3. ติดตามผลที่ได้จากการดำเนินการจัดการพลังงาน การติดตามผลนี้จะทำให้รู้ถึงส่วนเปลี่ยนแปลงของปริมาณพลังงานที่ใช้ และสามารถวางแผนระบบการบำรุงรักษาเครื่องมือเครื่องจักรต่าง ๆ ตลอดจนสามารถทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือเครื่องจักรนั้น ๆ ว่าอยู่ในระดับใด

เป้าหมายของการจัดการพลังงาน ความต้องการในการจัดการพลังงานจำเป็นต้องเขียนออกมาเป็นเป้าหมายที่ชัดเจน ดังตัวอย่างที่แสดงให้เห็นต่อไปนี้

ตารางที่ 26 ตัวอย่างเป้าหมายการจัดการพลังงาน

1. เป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานทั้งหมด
   (1) ลดค่าไฟฟ้าต่อปี ประมาณ ..... %
   (2) ลดการใช้ไอน้ำ ประมาณ ..... %
   (3) ลดการใช้ก๊าซธรรมชาติ ประมาณ ..... %
   (4) ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ประมาณ ..... %
   (5) ลดการใช้อากาศอัด ประมาณ .....%
2. เป้าหมายผลตอบแทนจากการลงทุนของแต่ละโครงการ
   (1) อัตราผลตอบแทนต่ำสุดจากการลงทุนก่อนเสียภาษี คือ.....
   (2) ระยะเวลาคืนทุนต่ำสุด คือ .....
   (3) อัตราส่วนต่ำสุดเงินลงทุน คือ .....
   (4) อัตราผลตอบแทนต่ำสุดจากการลงทุนหลังหักภาษีคือ.....

ที่มา : Dr. Ing Renato Lazzeerini, "Energy Management in Industrial Enterprises," International Centre for Advanced Technical and Vocational Training, p. 5.

การสันดาปอย่างมีประสิทธิภาพ

1. การสันดาป คือ การเกิดปฏิกริยาระหว่างเชื้อเพลิง (เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม) กับออกซิเจน (ในอากาศ) อย่างรวดเร็ว และมีการคายพลังงานความร้อนออกมา ซึ่งความร้อนนี้อาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ ก๊าซร้อนที่ได้จากกระบวนการสันดาปจะประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์จากการสันดาป (ที่สำคัญคือ คาร์บอนไดออกไซด์) สารที่เหลือจากการสันดาป (ที่สำคัญคือ ออกซิเจน ส่วนเกินที่เหลือจากการสันดาปหรือเชื้อเพลิงบางส่วนที่ไม่ถูกสันดาป) สารเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกริยา (ที่สำคัญคือ ไนโตรเจนในอากาศที่ป้อนเข้าทำการสันดาป) อนึ่ง อาจเกิดสารมลพิษจำพวกกำมะถันออกไซด์ (SO) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ได้ ถ้าเชื้อเพลิงมีสารประกอบของกำมะถันปนอยู่ และไนโตรเจนในเชื้อเพลิงและในอากาศถูกออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ดี ปริมาณ NO ที่เกิดขึ้นจะน้อยมาก (ในปริมาณไม่กี่ ppm) ดังนั้น ในการคำนวณการสันดาปจึงอาจถือได้ว่าไนโตรเจนไม่เกิดปฏิกริยาใด ๆ กับออกซิเจนเลย ในระหว่างการสันดาป

2. เชื้อเพลิง เชื้อเพลิงที่ใช้กันในอุตสาหกรรมอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

ก. เชื้อเพลิงแข็ง เช่น ถ่านหิน ลิกไนต์ ถ่านโค๊ก ฟืน ชานอ้อย เป็นต้น

ข. เชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล น้ำมันก๊าด เป็นต้น

ค. ก๊าซเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซหุงต้มหรือ LPG ก๊าซจากการอบถ่านหิน เป็นต้น

องค์ประกอบหลักของเชื้อเพลิงจะประกอบด้วย ไฮโดรเจน คาร์บอน หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เมื่อมีการสันดาปที่สมบูรณ์ไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงจะรวมตัวกับออกซิเจนเป็นน้ำ (ไอน้ำ) ส่วนคาร์บอนจะรวมตัวกับออกซิเจนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์

ตารางที่ 27 แสดงคุณสมบัติและตัวอย่างการใช้งานของเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลวและก๊าซเชื้อเพลิง ส่วนตารางที่ 28 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 27 ประเภทและคุณสมบัติของเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	เชื้อเพลิง	ค่าความร้อนสูง K cal/kg	การใช้งานที่สำคัญ
เชื้อเพลิงแข็ง	ถ่านหิน	4,500-7,500	หม้อไอน้ำ วัตถุดิบ อุตสาหกรรม
	ลิกไนต์	3,000-5,000	หม้อไอน้ำ อุตสาหกรรม
	ถ่านโค๊ก	6,000-7,000	ผลิตเหล็ก อุตสาหกรรม
	briquette	5,000-7,500	รถไฟ ครัวเรือน
	ถ่านไม้	6,700-7,500	ครัวเรือน
	ฟืน	3,000-4,000	ครัวเรือน
เชื้อเพลิงเหลว	น้ำมันระเหยง่าย (Volatile oil)	11,000-11,500	เครื่องยนต์แกสโซลีน
	น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันดิบ	10,000-10,500	อุตสาหกรรม เครื่องกำเนิดไฟฟ้า
	น้ำมันก๊าด	10,500-11,000	เครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมัน สำหรับให้ความอบอุ่น และใช้ในการหุงต้ม เครื่องยนต์ไอพ่น
	น้ำมันเชื้อเพลิงเบา	10,500-11,000	อุตสาหกรรม เครื่องยนต์ดีเซล หม้อไอน้ำ
	น้ำมันเตา	10,000-10,800	หม้อไอน้ำ (เครื่องยนต์ดีเซล) อุตสาหกรรม
ก๊าซเชื้อเพลิง	ก๊าซธรรมชาติ (L.P.G.-Liquefied Peroleum gas)	9,000-12,000	ใช้เป็นก๊าซวัตถุดิบ Town gas เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อไอน้ำ
	Oil gas	5,000-9,500	Town gas
	Coal gas	4,500-5,000	อุตสาหกรรม Town gas
	Water gas	2,000-2,500	อุตสาหกรรม ใช้เป็นก๊าซวัตถุดิบ
	Blast furnace gas	900-1,000	อุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 28 การเปรียบเทียบคุณสมบัติและการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

	เชื้อเพลิงแข็ง	เชื้อเพลิงเหลว	ก๊าซเชื้อเพลิง
การขนส่ง	ขนส่งง่าย การนำเข้าเก็บ การนำมาใช้ยาก	ขนส่ง การนำเข้าเก็บ การนำมาใช้ง่าย	ยกเว้น LPG, LNG แล้ว การขนส่งปริมาณมากทำได้ยาก
การเก็บ	ต้องใช้เนื้อที่กว้าง	ต้องใช้ถัง	ต้องการภาชนะบรรจุพิเศษ
คุณภาพ	ไม่สม่ำเสมอ	สม่ำเสมอ	สม่ำเสมอ
ค่าความร้อนต่อหน่วยน้ำหนัก	ต่ำ	สูง	ไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง
เถ้า	มาก	น้อยมาก	ไม่มี
ประสิทธิภาพการนำมาสันดาป	ต่ำ	สูง	สูงสุด
ความต้องการอากาศส่วนเกิน เพื่อให้การสันดาปสมบูรณ์	มาก	น้อย	น้อยมาก
การปรับควบคุมการสันดาปอัตโนมัติ	ทำได้ลำบาก	ง่าย	ง่าย
ใช้อุปกรณ์สันดาป	ขนาดเล็กไม่ซับซ้อน	ขนาดเล็ก	ขนาดค่อนข้างใหญ่
มลภาวะ	จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	จำเป็นต้องมีการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ	ไม่ต้องเป็นห่วงมากเกี่ยวกับการป้องกันการเกิดมลภาวะต่อบรรยากาศ
ราคา	ถูก	ค่อนข้างแพง	แพงที่สุดต่อความร้อนหนึ่งหน่วย

3. การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเกือบทุกชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจน และจะมีกำมะถันเจือปนอยู่ด้วยเล็กน้อยในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะต้องใช้อากาศช่วย อากาศประกอบด้วยออกซิเจน 21% และไนโตรเจน 79% โดยปริมาตร

การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ทางทฤษฎี จะเกิดขึ้นได้จากการที่เชื้อเพลิงและออกซิเจนในอากาศทำปฏิกริยากันในอัตราส่วนที่ถูกต้องจนกลายเป็น CO_2, H_2O (Water Vapor) และ SO_2 โดยไม่มีสารอื่นเหลืออยู่เลย นอกจากแก๊สไนโตรเจนจากอากาศซึ่งไม่ได้ทำปฏิกริยาใด ๆ กับสารอื่น การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ทางทฤษฎีนี้เป็นการเผาไหม้แบบใช้อากาศส่วนเกิน เป็นศูนย์ (Zero Excess Air or Stoichiometric Combustion) ในกรณีนี้จะให้พลังงานความร้อนออกมาสูงที่สุด แต่ในทางปฏิบัติแล้ว เป็นการยากที่จะให้ออกซิเจนในอากาศที่ป้อนเข้าทำปฏิกริยาทั้งหมดและพอกับความต้องการของเชื้อเพลิงที่สันดาปพอดีได้ ฉะนั้นเชื้อเพลิงส่วนที่ยังไม่รวมตัวกับออกซิเจนก็จะไม่ทำปฏิกิริยาหรือเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนโมนอคไซด์ (CO) เขม่า และควัน กรณีนี้จะไม่ได้พลังงานความร้อนมากเท่าที่พลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องป้อนอากาศส่วนเกิน (Excess Air) เข้าเผาไหม้ ซึ่งปริมาณอากาศส่วนเกินนี้จะต้องควบคุมไม่ให้น้อยจนเกินไปหรือมากจนเกินไป

4. การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเชื้อเพลิงในสภาพเป็นของเหลวจะไม่เผาไหม้ การเผาไหม้จะเกิดเมื่อน้ำมันถูกฉีดออกเป็นฝอยละเอียด ยิ่งละเอียดเท่าใดก็ยิ่งระเหยกลายเป็นไอได้รวดเร็วและสามารถรวมตัวกับอากาศได้ทั่วถึงกัน (โดยไม่จำเป็นต้องใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไป) ก็จะได้การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ สะอาด และให้พลังงานสูงสุด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงคือ หัวเผา (Burner) ซึ่งทำหน้าที่ผสมฝอยน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสม และเมื่อเชื้อเพลิงผสมนี้จุดติดไฟแล้วก็จะเกิดเปลวไฟขึ้นนานตราบเท่าที่ยังป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศติดต่อกันไป ในหัวเผาประกอบด้วยหัวพ่นน้ำมัน หรือหัวฉีดน้ำมัน (Atomizer or nozzle) ส่วนอากาศถูกป้อนเข้าผสมกับฝอยน้ำมัน ผ่านคอคอดรอบ ๆ ปลายหัวฉีด (เรียกว่า Throat หรือ Air Register) หัวเผาบางแบบอาจมีแผ่นกระจายลม (Air Diffuser Plate) อยู่รอบ ๆ ปลายหัวฉีดเพื่อควบคุมให้ลมตีม้วนเป็นเกลียวทำให้ฝอยน้ำมันที่โต ๆ กระจายออกเป็นฝอยที่ละเอียดยิ่งขึ้น จะทำให้น้ำมันระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายรวดเร็ว และรวมตัวกับอากาศได้ทั่วถึงกัน

อากาศที่ป้อนเข้าผสมกับเชื้อเพลิงในหัวเผาเรียกว่า Primary Air ส่วนอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่ป้อนเข้าไปในเปลวไฟในลักษณะที่กระจายม้วนเป็นเกลียวรอบนอก เรียกว่า Secondary Air or Combustion Air ซึ่งในการควบคุมการเผาไหม้ก็จะต้องมีการควบคุมปริมาณลมทั้ง 2 อย่างนี้ให้เหมาะสมกับปริมาณเชื้อเพลิงตามความต้องการของภาระ หัวเผาบางชนิดมี Combustion Air อย่างเดียว

5. การถ่ายเทความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์ เมื่อการเผาไหม้เกิดขึ้น ที่บริเวณเปลวไฟ (Flame Zone) ปริมาณความร้อนประมาณครึ่งหนึ่งจะถ่ายเทออกในรูปการแผ่รังสีให้กับบริเวณโดยรอบห้องเผาไหม้ เช่น ท่อรับรังสีความร้อน (Radiant Tubes ในหม้อน้ำชนิดหลอดน้ำ) ลูกหมู (ห้องเผาไหม้ในหม้อน้ำชนิดหลอดไฟ) และผลิตภัณฑ์ที่ถูกหลอมหรือเผา (ในเตาหลอมเตาเผา) พลังงานความร้อนที่เหลือในรูปแก๊สร้อน (Hot Combustion Gas or Flue Gas) จะเคลื่อนที่ต่อไปและถ่ายเทความร้อนให้กับส่วนที่รับความร้อน เช่น ท่อรับความร้อนแบบการพา (Convection Tubes ในหม้อน้ำหลอดน้ำ) ท่อไฟ (หม้อน้ำหลอดไฟ) หรือผลิตภัณฑ์ที่จะหลอมหรือเผา ถ้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาดใหญ่พอ พลังงานความร้อนในแก๊สร้อนก็จะถ่ายเทออกได้หมด จนอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ออกปล่องมีอุณหภูมิเท่ากับบรรยากาศภายนอก ในกรณีนี้อาจเรียกว่ามีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพื่อนำไปใช้ 100% ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทำได้ ต้องยอมให้มีการสูญเสียพลังงานออกไปทางปล่องประมาณ 10-15% ของพลังงานความร้อนในเชื้อเพลิงด้วยเหตุผลในส่วนของ

ก. ขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะต้องมีขนาดใหญ่โตมาก ราคาแพงไม่คุ้มกับการที่มูลค่าของพลังงานความร้อนในไอเสียที่เหลืออยู่

ข. ปัญหาการผุกร่อนในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 160 ° C ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

6. อุณหภูมิเปลวไฟ เป็นอุณหภูมิสูงสุดของปฏิกิริยาที่เกิดจากการเผาไหม้ ความสำคัญของอุณหภูมิเปลวไฟเปลี่ยนแปลงไปตามการใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปแล้วอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างต้นกำเนิดของความร้อน และสารที่รับความร้อน ถ้าอุณหภูมิแตกต่างกันมาก อัตราการถ่ายเทความร้อนก็ยิ่งมาก ความร้อนจากเปลวไฟสูญเสียไปในการ

ก. ทำให้แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ร้อนขึ้น

ข. ทำให้เชื้อเพลิงและอากาศที่ป้อนเข้าไปร้อนขึ้น

ค. ทำให้สารประกอบในเชื้อเพลิงแตกตัวออกจากกัน

ง. ทำให้บริเวณโดยรอบร้อนขึ้นโดยการรับรังสีจากแก๊สร้อน

จ. ทำให้บริเวณโดยรอบร้อนขึ้นโดยการสัมผัสโดยตรงของแก๊สร้อน

ถ้าลดการสูญเสียความร้อนลงได้ก็จะได้อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้น ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะได้อุณหภูมิเปลวไฟสูงขึ้นอีกมาก เพราะไม่มีการสูญเสียความร้อนไปในการทำให้ไนโตรเจนในอากาศร้อนขึ้น

ในทางทฤษฎีอุณหภูมิเปลวไฟสูงสุดจะเกิดขึ้นได้ เมื่อใช้อากาศส่วนเกินเป็นศูนย์ในการเผาไหม้ แต่อย่างไรก็ตาม เชื้อเพลิงส่วนมากเมื่อเผาไหม้กับอากาศส่วนเกินเล็กน้อยจะให้อุณหภูมิเปลวไฟประมาณ 1850 – 2100 ° C

ในเตาเผา เตาหลอม มีความต้องการใช้อุณหภูมิสูง ฉะนั้นการใช้อากาศส่วนเกินน้อยเผาไหม้เชื้อเพลิงจะช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้มาก เพราะได้อุณหภูมิเปลวไฟสูงกว่าการใช้อากาศส่วนเกินสูงเกินความจำเป็น

7. <u>การวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้</u>

ก. การวัดปริมาณ CO_2 หรือ O_2 ในไอเสียก่อนออกปล่อง จะบอกให้ทราบได้ว่ามีการใช้อากาศส่วนเกินมากน้อยเท่าใด ถ้า CO_2 ที่วัดได้ต่ำ หรือ O_2 สูง แสดงว่าใช้อากาศส่วนเกินมากเกินไปหรือมีอากาศรั่วเข้าไปในช่องทางเดินไอเสียที่จุดใดจุดหนึ่ง ตารางที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณอากาศส่วนเกินกับ CO_2 หรือ O_2 ที่วัดได้

1) ควรทำการวัดทุกช่วงการทำงาน เช่น มีอัตราการเผาไหม้ สูง กลาง และต่ำ

2) สำหรับเตาเผา เตาหลอม เช่น ซีเมนต์หรือแก้ว ซึ่งในวัตถุดิบที่เข้าเผาหรือหลอมแล้วคายแก๊ส CO_2 ออกมาด้วย ในกรณีนี้การใช้เครื่องมือวัด O_2 จะให้ผลวิเคราะห์ถูกต้องแน่นอนกว่า

3) หม้อน้ำชนิดหลอดน้ำขนาดใหญ่ เนื่องจากมีห้องเผาไหม้ขนาดใหญ่มาก เชื้อเพลิงมีเวลาเพียงพอที่จะไหม้หมด สามารถปรับให้ใช้อากาศที่เกินได้ต่ำประมาณ 5 - 10% และถ้ามีเครื่องอุปกรณ์ควบคุมออกซิเจนในไอเสียด้วยแล้ว อาจปรับอากาศส่วนเกินลงได้ถึง 1.0 - 2.0 %

4) หม้อน้ำชนิดหลอดไฟขนาดเล็กซึ่งมีห้องเผาไหม้ขนาดเล็กมาก ถ้าปรับปริมาณอากาศส่วนเกินได้ 25 - 30% โดยไม่เกิดควันที่ปล่องแล้วก็นับว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

ข. การวัดอุณหภูมิปล่อง (Stack Temperature) ใช้เทอร์โมมิเตอร์ทำการวัด ได้เท่าใดต้องหักอุณหภูมิห้องออก เพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพ

ค. การหาการสูญเสียพลังงานความร้อนไปทางปล่องไฟ (Stack or Sensible Heat Loss) ตารางที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ของการสูญเสียความร้อนกับปริมาณอากาศที่เกิน และอุณหภูมิปล่อง

ง. การสูญเสียพลังงานความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation Loss) จากเปลือกหม้อน้ำ

1) ปริมาณการสูญเสียนี้วัดเป็น kcal/m^2/hr ไม่ว่าหม้อน้ำจะเดินใช้งานที่ภาระเต็มที่หรือภาระน้อยก็จะมีการสูญเสียเท่ากัน ฉะนั้นถ้าต้องการจะลดการสูญเสียนี้ให้น้อยที่สุดควรพิจารณาเดินหม้อน้ำจำนวนน้อยลูกที่สุด และแต่ละลูกเดินที่ภาระเต็มที่ตลอดเวลา

2) การวัดปริมาณการสูญเสียนี้ค่อนข้างยาก เกณฑ์ต่อไปนี้อาจใช้เป็นแนวได้คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 29 การวิเคราะห์อากาศส่วนเกิน ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

% อากาศส่วนเกิน	น้ำมันหนัก		น้ำมันเบา		ถ่านหิน (7000 Kcal)		ถ่านหิน (4000 Kcal)		ไม้และชานอ้อย		ก๊าซธรรมชาติ	
	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2	CO_2	O_2
0	16.3	0	15.7	0	18.8	0	19.5	0	21	0	12	0
10	14.7	2	14.2	2	17	2	17.7	1.9	19	2	10.8	2.1
20	13.4	3.7	12.9	3.7	15.6	3.6	16.2	3.6	17.5	3.5	9.8	3.8
30	12.3	5.1	11.9	5.1	14.4	5	14.9	4.9	16.2	4.8	99	5.3
40	11.4	6.3	11	6.3	13.3	6.1	13.8	6.1	15	6	8.3	6.5
50	10.6	7.3	10.2	7.3	12.4	7.1	12.9	7.1	14	7	7.7	7.5
60	9.9	8.2	9.6	8.2	11.6	8	12.1	8	13.1	7.9	7.2	8.4
70	9.3	8.9	9	9	10.9	8.8	11.4	8.7	12.4	8.6	6.8	9.2
80	8.8	9.6	8.5	9.7	10.3	9.5	10.7	9.4	11.7	9.3	6.4	9.9
90	8.3	10.3	8	10.3	9.8	10.1	10.2	10.1	11.1	10	6	10.5
100	7.9	10.8	7.6	10.8	9.3	10.6	9.7	10.6	10.5	10.5	5.7	11.1
110	7.5	11.3	7.2	11.3	8.8	11.1	9.2	11.1	10	11	5.4	11.6
120	7.2	11.8	6.9	11.8	8.4	11.6	8.8	11.6	9.5	11.5	5.2	12

ตารางที่ 30 การสูญเสียความร้อนแบบสัมผัสเทียบเป็นเปอร์เซนต์ของค่าความร้อนค่าสูงของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้า (คิดเหนืออุณหภูมิแวดล้อม 25 °C และความชื้นสัมพัทธ์ 80%)

% อากาศส่วนเกิน	อุณหภูมิเฉลี่ย					
	100 °C	180 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
0	2.8	5.8	6.5	10.4	14.4	18.5
5	2.9	6.0	6.8	10.9	15.1	19.3
10	3.0	6.2	7.1	11.3	15.6	20.1
20	3.3	6.7	7.7	12.2	16.9	21.7
30	3.5	7.1	8.3	13.2	18.1	23.4
40	3.8	7.6	8.9	14.1	19.4	25.0
60	4.3	8.5	10.0	15.9	21.9	28.3
80	4.7	9.5	11.2	17.8	24.5	31.5
100	5.2	10.4	12.3	19.6	27.0	34.7
120	5.7	11.3	13.5	21.4	29.6	38.0
140	6.2	12.2	14.7	23.3	32.1	41.2
160	6.7	13.1	15.8	25.1	34.6	44.4
180	7.2	14.1	17.0	27.0	37.1	47.7
200	7.7	15.0	18.1	28.8	39.7	50.9
250	8.9	17.3	21.0	33.4	46.0	59.0
300	10.2	19.6	24.0	38.0	52.4	67.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง. การสูญเสียพลังงานความร้อนโดยการแผ่รังสี (Radiation Loss) จากเปลือกหม้อน้ำ

1) ปริมาณการสูญเสียนี้วัดเป็น $kcal/m^2/hr$ ไม่ว่าหม้อน้ำจะเดินใช้งานที่ภาระเต็มที่หรือภาระน้อยก็จะมีการสูญเสียเท่ากัน ฉะนั้นถ้าต้องการจะลดการสูญเสียนี้ให้น้อยที่สุดควรพิจารณาเดินหม้อน้ำจำนวนน้อยลูกที่สุด และแต่ละลูกเดินที่ภาระเต็มที่ตลอดเวลา

2) การวัดปริมาณการสูญเสียนี้ค่อนข้างยาก เกณฑ์ต่อไปนี้อาจใช้เป็นแนวได้คือ

ก) หม้อน้ำหลอดน้ำขนาดใหญ่จะมีการสูญเสียประมาณ 0.5-1.0%

ข) หม้อน้ำหลอดไฟทั่ว ๆ ไป ประมาณ 1.5-2.0% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของฉนวนหุ้มหม้อน้ำ

จ. การสูญเสียความร้อนแฝงของการเผาไหม้ไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง (Latent Heat Loss) ขึ้นอยู่กับปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิง จากการที่ไฮโดรเจนสันดาปกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดไอน้ำไหลออกไปทางปล่อง และสามารถทำให้ไอน้ำนี้กลั่นตัวเป็นน้ำได้จะได้ความร้อนแฝงมาเป็นประโยชน์ แต่ในความเป็นจริงไอน้ำนี้ก่อนออกปล่องจะมีอุณหภูมิเท่าไอเสียที่จะออกปล่อง ซึ่งทั่ว ๆ ไปจะสูงกว่า 100 °c ด้วยเหตุนี้จึงมีการสูญเสียความร้อนแฝงนี้ไป ปริมาณการสูญเสียของเชื้อเพลิงบางชนิดจะเป็นดังนี้

1) น้ำมันเตา จะสูญเสียประมาณ 5.5%

2) น้ำมันโซล่า จะสูญเสียประมาณ 6.5%

ฉ. ประสิทธิภาพหม้อน้ำ หรือประสิทธิภาพการเผาไหม้ คือผลรวมของการสูญเสียความร้อนไปทางปล่องโดยการแผ่รังสี ความร้อนแฝงได้เท่าใด นำไปหักออกจาก 100 ดังตัวอย่างเช่น

อุณหภูมิปล่องเมื่อหักอุณหภูมิห้องแล้ววัดได้ 250 °c วัด CO_2 ได้ 125% ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง

- ปริมาณอากาศที่เกิน (ตารางที่ 29) 27.0 %
- สูญเสียไปทางปล่อง (ตารางที่ 30) 10.6 %
- สูญเสียโดยแผ่กระจายทางเปลือกหม้อน้ำ 1.5 %
- สูญเสียความร้อนแฝง 5.5 %
- สูญเสียจากเชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่หมด -

ประสิทธิภาพหม้อน้ำ 100 - 17.6 = 82.4 %

ประสิทธิภาพหม้อน้ำที่คำนวณได้นี้ คิดจากค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูง (Higher Heating Value) ซึ่งหมายความว่าในการหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงนั้นได้รวมความร้อนแฝงของการกลั่นตัวของไอน้ำซึ่งเกิดขึ้นจากไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงกับอากาศเข้าไว้ด้วย ประสิทธิภาพจากการคำนวณแบบนี้เรียกว่า ประสิทธิภาพของหม้อน้ำรวม (Boiler Efficiency (Gross))

ถ้าต้องการหาประสิทธิภาพสุทธิ (Efficiency (Net)) เวลาคำนวณก็ไม่ต้องเอาการสูญเสียความร้อนแฝงเข้าไปรวมกับการสูญเสียอื่น ๆ ในตัวอย่างนี้จะมีประสิทธิภาพประมาณ 87.9%

ช. การวัดควันของแก๊สออกปล่อง สามารถใช้คาดคะเนความสะอาดของการเผาไหม้ มาตรฐานที่กำหนดเบอร์ควันมีตั้งแต่เบอร์ 0 จนถึงเบอร์ 10 (ต่ำสุด) การวัดควันมักใช้ร่วมกับการวัด CO_2 โดยถือหลักว่าให้ปรับอัตราส่วนของน้ำมัน/อากาศจนได้ค่า CO_2 สูงสุด โดยไม่เกิดควันที่ปล่อง หรือวัดควันแล้วจะไม่มากกว่าเบอร์ 4 สำหรับน้ำมันเตา และไม่มากกว่าเบอร์ 2 สำหรับน้ำมันโซล่า ถือได้ว่าจะได้ประสิทธิภาพสูงสุด และการเผาไหม้สะอาดที่สุด (มักนิยมใช้กับหม้อน้ำหลอดไฟเท่านั้น)

ช. การวัดดราฟ (Draft Measurement) หม้อน้ำหลอดน้ำขนาดใหญ่จะมีการวัดดราฟตามจุดต่าง ๆ เช่น ที่พัดลมดูดไอเสียออก กล่องลม เตา ควันเข้าและออกเครื่องอุ่นอากาศ ควันออกพัดลมดูดอากาศ เป็นต้น ดราฟในเตาที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวเผา ความจริงดราฟไม่ได้มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ แต่มีผลต่อประสิทธิภาพของหัวเผา ความมากน้อยของดราฟร่วมกับการปรับแต่งช่องป้อนลมเข้า (Air Register) จะเป็นตัวกำหนดอัตราการไหลของแก๊สเผาไหม้ผ่านหม้อน้ำ

ดราฟสูงมากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิปล่องสูงขึ้นและเปอร์เซนต์ CO_2 ลดลงได้ ส่วนดราฟน้อยไปจะเป็นผลให้มีอากาศเข้าเผาไหม้ไม่เพียงพอและเกิดควันได้ ถ้ามีดราฟในเตาที่เหมาะสม เปลวไฟจะเป็นพุ่มเกือบเต็มห้องเผาไหม้ และมีเวลานานพอที่เชื้อเพลิงจะเผาไหม้หมดและสะอาดไม่มีเขม่าหรือควัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เคมีพื้นฐานของการสันดาป

การสันดาปของไฮโดรเจนและคาร์บอนในเชื้อเพลิง สามารถแสดงด้วยปฏิกริยาเคมีได้ดังต่อไปนี้

$$H_2 + \tfrac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O\ (g) + 57{,}600 \text{ kcal/kmol}$$

หรือ

$$H_2 + \tfrac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O\ (l) + 68{,}300 \text{ kcal/kmol}$$

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 97{,}000 \text{ kcal/kmol}$$

หรือ

$$C + \tfrac{1}{2} O_2 \rightarrow CO_2 + 29{,}400 \text{ kcal/kmol}$$

จะเห็นได้ว่า กรณีที่เกิดน้ำในสถานะของเหลวจะคายความร้อนออกได้มากกว่ากรณีที่เกิดน้ำในสถานะก๊าซ (ไอน้ำ) ความร้อนที่ได้จากการสันดาปเชื้อเพลิงในกรณีแรกนี้มีชื่อเรียกว่าค่าความร้อนค่าสูง ส่วนในกรณีหลังมีชื่อเรียกว่าค่าความร้อนต่ำ สรุปแล้วค่าความร้อนสูงและค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิงใด ๆ จะต่างกันในปริมาณเท่ากับความร้อนแฝงที่ไอน้ำคายออกมาในเวลาควบแน่นเป็นน้ำนั่นเอง

สิ่งที่น่าสังเกตอีกอย่างหนึ่งจากปฏิกริยาข้างต้นก็คือ ถ้าเกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์และเกิดคาร์บอนมอนออกไซด์หรือไม่เกิดการสันดาปเลย (คาร์บอนหลุดหนีออกมาในรูปของเขม่า) ความร้อนที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่ากรณีที่คาร์บอนสันดาปอย่างสมบูรณ์ คือเป็นคาร์บอนไดออกไซด์มาก ด้วยเหตุนี้เราจึงจำเป็นต้องป้อนออกซิเจนในปริมาณที่มากเกินพอ (แต่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้) เพื่อให้เกิดการสันดาปของเชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์

อนึ่งในการเผาไหม้จริงจะไม่ใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ในการสันดาปเพราะมีราคาแพง แต่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีอยู่โดยธรรมชาติในอากาศ ดังนั้นไอเสียที่ออกจากอุปกรณ์สันดาปจะมีไนโตรเจนจากอากาศปนออกมาด้วยเสมอ เนื่องจากไอเสียก็คือก๊าซสันดาปร้อนที่คายความร้อนส่วนหนึ่งออกโดยการถ่ายเทความร้อน (โดยการพาและการแผ่รังสีความร้อน) ให้แก่วัสดุ (น้ำในหม้อหรือวัสดุในเตา) ดังนั้น อุณหภูมิของไอเสียจะยังคงสูงกว่าอุณหภูมิห้องมาก นั่นคือไอเสียจะพาเอาความร้อนส่วนหนึ่งติดออกไปด้วยเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไนโตรเจนและออกซิเจนส่วนเกินที่มีอยู่ในอากาศป้อนเข้าสันดาปจะถูกทำให้ความร้อนแล้วทิ้งออกจากอุปกรณ์สันดาป โดยไม่เกิดประโยชน์อันใด ด้วยเหตุนี้จึงควรบำรุงรักษาอุปกรณ์สันดาปให้อยู่ในสภาพที่ดี เพื่อให้สามารถทำการสันดาปอย่างสมบูรณ์ โดยป้อนอากาศเข้าให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นในการทำให้การสันดาปสมบูรณ์

1. การหาปริมาณอากาศที่ป้อนจริงและอากาศส่วนเกิน ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการสันดาปจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์นั้น นอกจากอุปกรณ์สันดาปจะต้องอยู่ในสภาพดีแล้วยังต้องป้อนอากาศในปริมาณเกินกว่าค่าเชิงทฤษฎีอย่างพอเหมาะด้วย ในขณะเดียวกันเพื่อลดปริมาณความร้อนที่ก๊าซทิ้งพาหนีออกไปจะป้อนอากาศส่วนเกินให้น้อยที่สุดที่จะก่อให้เกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ได้ แต่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่น้อยที่สุด โดยที่ยังเกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์ได้นี้ยังขึ้นกับประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้อีกด้วย โดยทั่วไปก๊าซเชื้อเพลิง เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็งจะสามารถสันดาปอย่างสมบูรณ์ได้โดยมีอากาศส่วนเกินในช่วง 10-20%, 20-50% และ 40-80% ตามลำดับ

ก่อนที่จะพิจารณาว่าควบคุมปริมาณอากาศป้อนกันอย่างไร คำถามที่จะต้องตอบให้ได้ก่อนก็คือ จะวัดหรือคำนวณหาปริมาณอากาศที่ป้อนจริง A และปริมาณไอเสียจริง G ได้อย่างไร

ในภาคปฏิบัติแล้ว การวัดค่าของ A และ G โดยตรงนั้น กระทำได้ลำบากมาก ด้วยเหตุนี้จำเป็นต้องคำนวณค่าอัตราส่วนอากาศ $m = A/A_o$ ก่อน โดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซทิ้งว่ามี O_2 และ/หรือ CO_2 อยู่กี่เปอร์เซนต์ จากนั้นจึงคำนวณหาค่า A จากผลคูณของค่า m ที่วิเคราะห์ได้กับค่าปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี A_o ที่คำนวณได้สำหรับเชื้อเพลิงนั้น รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศ m กับเปอร์เซนต์ของ O_2 หรือ CO_2 ที่วิเคราะห์พบในไอเสียแห้ง ในปัจจุบันนิยมการวิเคราะห์หาเปอร์เซนต์ O_2 ในก๊าซทิ้งมากกว่าการหาเปอร์เซนต์ CO_2 สมการที่ใช้ช่วยในการคำนวณจะเป็นดังต่อไปนี้

$$A = mA_o$$

$$G = G_o + (m-1)A_o$$

$$m = \frac{21}{21-(\%\ O_2 \text{ ในก๊าซทิ้ง})}$$

สรุปแล้ว จากการคำนวณค่า A_o และ G_o ของเชื้อเพลิงที่ใช้และโดยการวิเคราะห์ส่วนประกอบของก๊าซทิ้ง (เปอร์เซนต์ O_2 หรือ CO_2) ก็จะสามารถหาค่าอัตราส่วนอากาศ m ปริมาณอากาศที่ป้อนจริง A และปริมาณไอเสียจริง G ได้

2. <u>ความร้อนที่ไอเสียพาไป</u> พลังงานความร้อนที่ไอเสียพาหนีออกไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ

ก. ความร้อนสัมผัสของไอเสีย รูปที่ 28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนสัมผัสที่สูญเสียไปในไอเสียกับอัตราส่วนอากาศ m (ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไอเสียจริง G) จะเห็นได้ว่าถ้าอุณหภูมิไอเสียยิ่งสูงความร้อนสัมผัสที่สูญเสียจะยิ่งเพิ่มขึ้นและเมื่ออัตราส่วนอากาศ m สูงขึ้น การสูญเสียความร้อนสัมผัสก็จะสูงขึ้น

ข. ความร้อนแฝงที่ออกไปกับไอน้ำในไอเสีย โดยทั่วไปการเก็บความร้อนแฝงจากไอน้ำในไอเสียกระทำได้ลำบากในทางปฏิบัติ ดังนั้นความสูญเสียส่วนนี้จึงมักหลีกเลี่ยงไม่ได้

ค. ความร้อนที่สูญหนีไปกับเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกสันดาป เขม่าและก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์เป็นต้นเหตุที่หลุดหนีออกไปพร้อมกับไอเสีย เปรียบเสมือนการทิ้งเชื้อเพลิงที่ยังมีคุณค่าสูงออกจากอุปกรณ์สันดาปอย่างไร้ประโยชน์ ดังนั้น โดยทั่วไปจะต้องหลีกเลี่ยงการเกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์นี้โดยการป้อนอากาศส่วนเกินที่พอเหมาะ และโดยการบำรุงรักษาอุปกรณ์สันดาปให้อยู่ในสภาพดีตลอดเวลา

รูปที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ CO_2 และเปอร์เซนต์ O_2 ที่ควรพบในไอเสียแห้ง ถ้าการสันดาปเชื้อเพลิงนั้นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในกรณีที่พบว่าเปอร์เซนต์ CO_2 ที่วิเคราะห์ได้มีค่าน้อยกว่าเปอร์เซนต์ CO_2 ที่อ่านได้จากรูปนี้ที่ค่าเปอร์เซนต์ O_2 ที่วิเคราะห์ได้ เราควรรีบหาสาเหตุที่แท้จริงของการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์และดำเนินมาตรการแก้ไขทันที

3. <u>วิธีประเมินผลของการประหยัดพลังงาน</u> ในการประเมินสมรรถนะของอุปกรณ์สันดาป เรามักใช้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็นเกณฑ์

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน } (\eta) = \frac{\text{ความร้อนยังผล}}{\text{ความร้อนที่ป้อนเข้า}} \times 100\ (\%)$$

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็นตัวชี้บอกว่า เมื่อรักษาปริมาณการสันดาปให้เท่ากัน ปริมาณความร้อนที่ยังผล (ใช้ประโยชน์ในอุปกรณ์) จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่าใด แต่สิ่งที่เราต้องการในภาคปฏิบัติก็คือ เพื่อให้ความร้อนยังผลมีปริมาณเท่ากัน เราจะต้องใช้เชื้อเพลิงมากน้อยเท่าใด ด้วยเหตุนี้ในการประเมินผลของการประหยัดพลังงาน อัตราการประหยัดเชื้อเพลิงจึงสื่อความหมายดีกว่าอัตราการเพิ่มของประสิทธิภาพเชิงความร้อน

รูปที่ 30 แสดงความร้อนสัมพันธ์ระหว่างอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าแม้ว่าปริมาณการเพิ่มของประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะเท่ากัน ถ้าอุปกรณ์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนแรกเริ่มต่ำ (อย่างเช่น เตาให้ความร้อนอุณหภูมิสูง) อัตราการประหยัดเชื้อเพลิงที่ได้รับจะสูงกว่าอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงตั้งแต่แรก

4. <u>เทคนิคการประหยัดพลังงานในการสันดาป</u> สิ่งที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเทคนิคพื้นฐานที่โรงงานทุกแห่งที่สนใจการลดต้นทุนการผลิต โดยการประหยัดพลังงานในการสันดาปควรจะกระทำตามลำดับให้ได้ทุกหัวข้อ

ก. การจัดระบบบันทึกข้อมูล ในการดำเนินการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิผล เราจำต้องทราบตัวเลขว่าผลที่ได้รับจากมาตรการประหยัดพลังงานแต่ละอย่างเป็นค่าเท่าใด และทำการบันทึกตัวเลขนั้นไว้

รูปที่ 30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน ในการคำนวณอัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงเราจำต้องบันทึกปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละวัน แต่ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวก็ยังเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้พอสมควร (ดูรูป 31) ดังนั้น จึงต้องคำนวณปรับค่าปริมาตรทั้งหมดให้เป็นของที่อุณหภูมิเดียวกัน (เช่น 15 °C) ก่อนทำการคำนวณอัตราส่วนการประหยัดเชื้อเพลิงที่ได้รับ

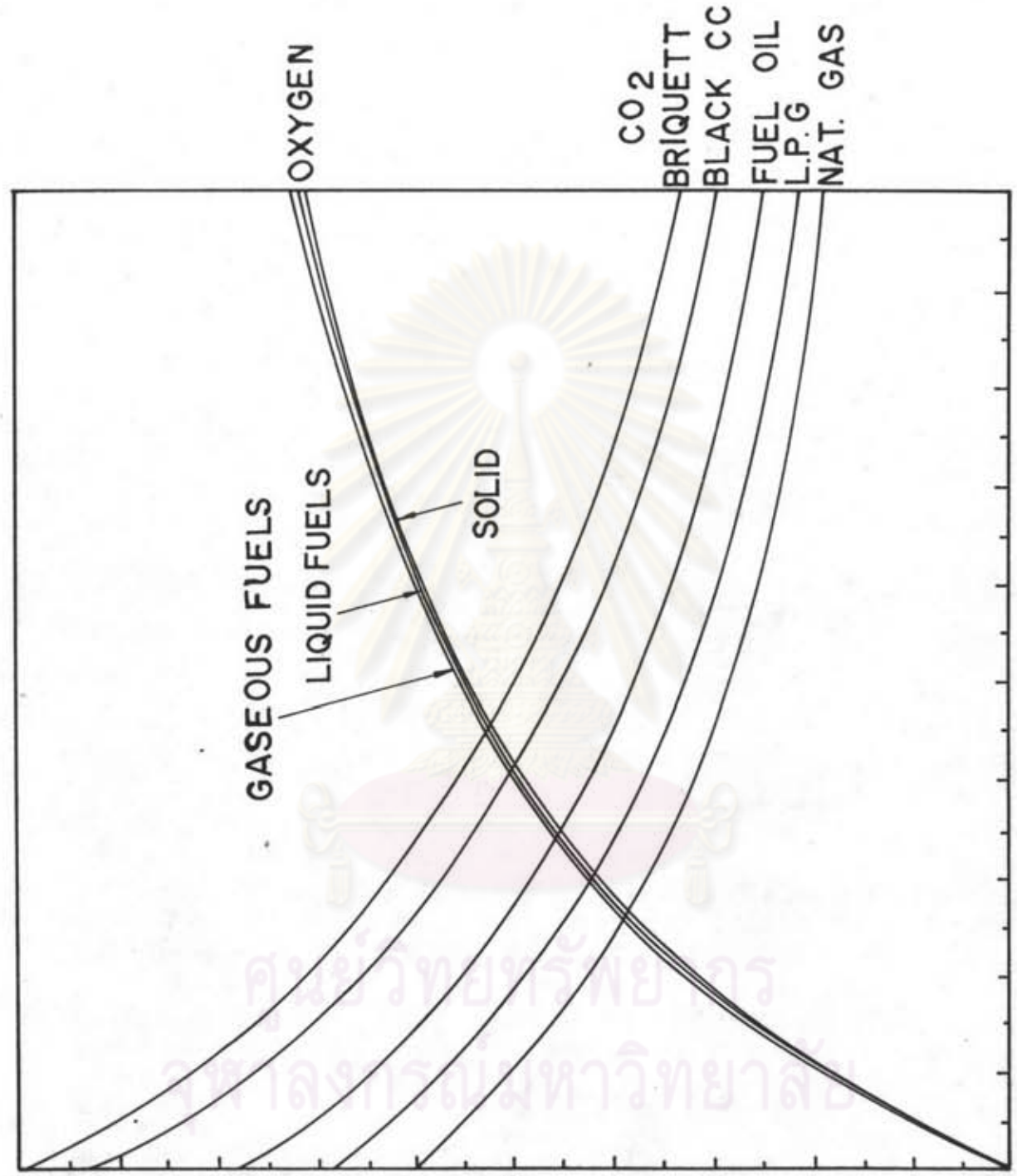
2. <u>การควบคุมดูแลการสันดาปอย่างถี่ถ้วน</u>

ก. การสังเกตสภาพการสันดาปด้วยตาเปล่า เครื่องวิเคราะห์ไอเสียเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมดูแลการสันดาปก็จริง แต่ถ้ามีความเคยชินแล้วเราก็ยังสามารถตัดสินความดีเลวของสภาพการสันดาปได้โดยการสังเกตด้วยตาเปล่า หัวข้อที่สังเกตได้แก่ รูปร่างและสีสันของเปลวไฟและสีสันของไอเสีย ถ้าพบสิ่งผิดปกติในเรื่องเหล่านี้ต้องรีบค้นหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขโดยด่วน

ข. การเลือกขนาดของหัวเผาที่เหมาะสม ไม่ว่าอุปกรณ์สันดาปประเภทใดก็ตาม การกำหนดขนาดของหัวเผาที่ติดมากับเครื่อง มักใช้ภาระสูงสุดของเครื่องเป็นเกณฑ์ด้วยเหตุนี้ในเวลาที่ใช้อุปกรณ์เหล่านี้ที่ภาระต่ำจึงจำต้องทำการดับจุดหัวเผาบ้าง ปรับปริมาณการสันดาปบ้าง เป็นต้น

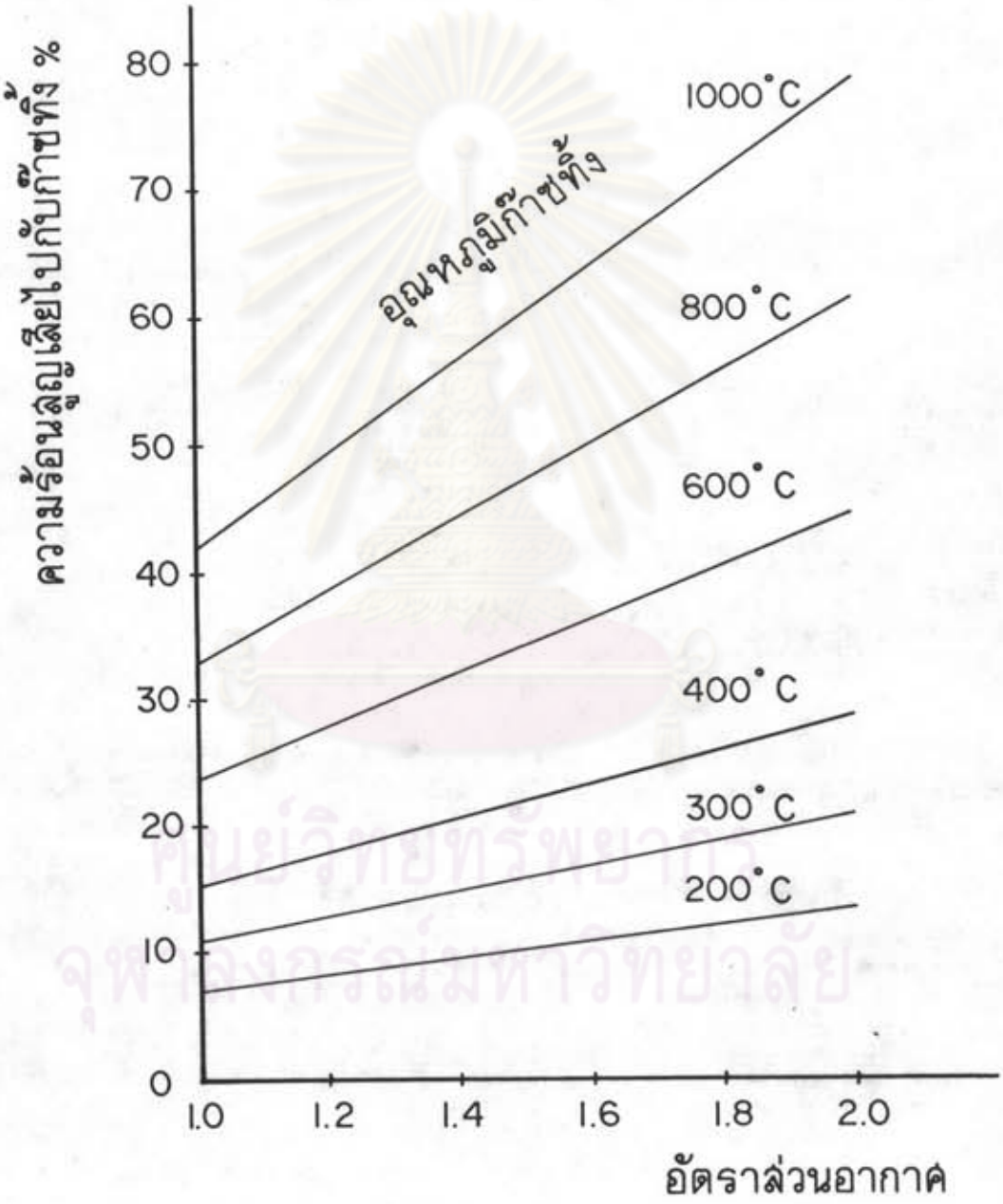
ในกรณีที่ทำการดับจุดหัวเผาบ่อย ๆ นอกจากจะเกิดการเย็นตัวของหัวเผาเนื่องจากอากาศที่รั่วเข้าในเวลาดับหัวเผาทุกครั้งแล้ว ยังมีอันตรายเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุบัติเหตุในการจุดไฟบ่อย ๆ ด้วย

แม้แต่ในกรณีที่ทำการปรับปริมาณการสันดาป โดยการหรี่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอัตราการป้อนอากาศ ถ้าปริมาณการสันดาปลดลงมากสภาพการพ่นฝอยของเชื้อเพลิงจะเลวลง และการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงจะเลวลง ผลก็คือประสิทธิภาพของการสันดาปจะเลวลงเสมอ



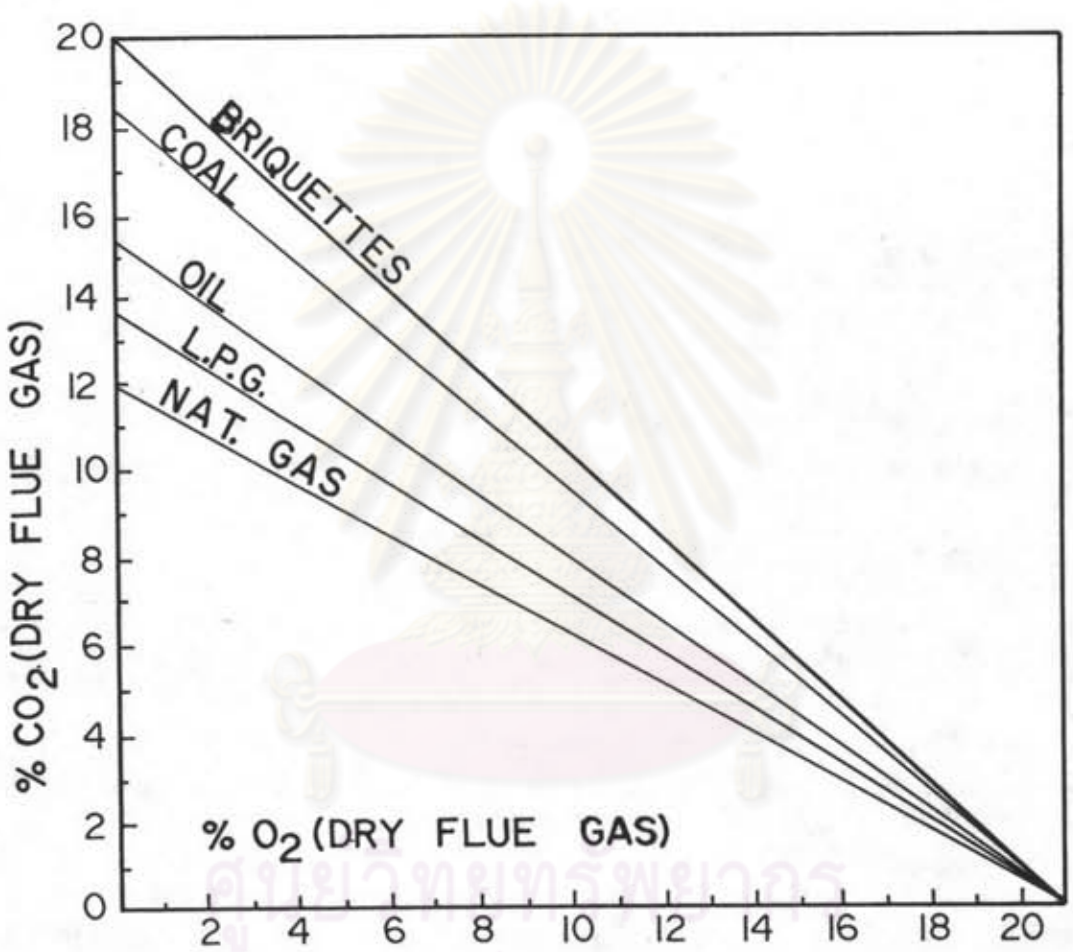
รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศ m กับ % ของ O_2 หรือ CO_2 ที่วิเคราะห์วิเคราะห์พบในก๊าซทิ้งแห้ง

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนอากาศ m กับ % ของ O2หรือ CO2 ที่วิเคราะห์พบในก๊าซทิ้งแห้ง



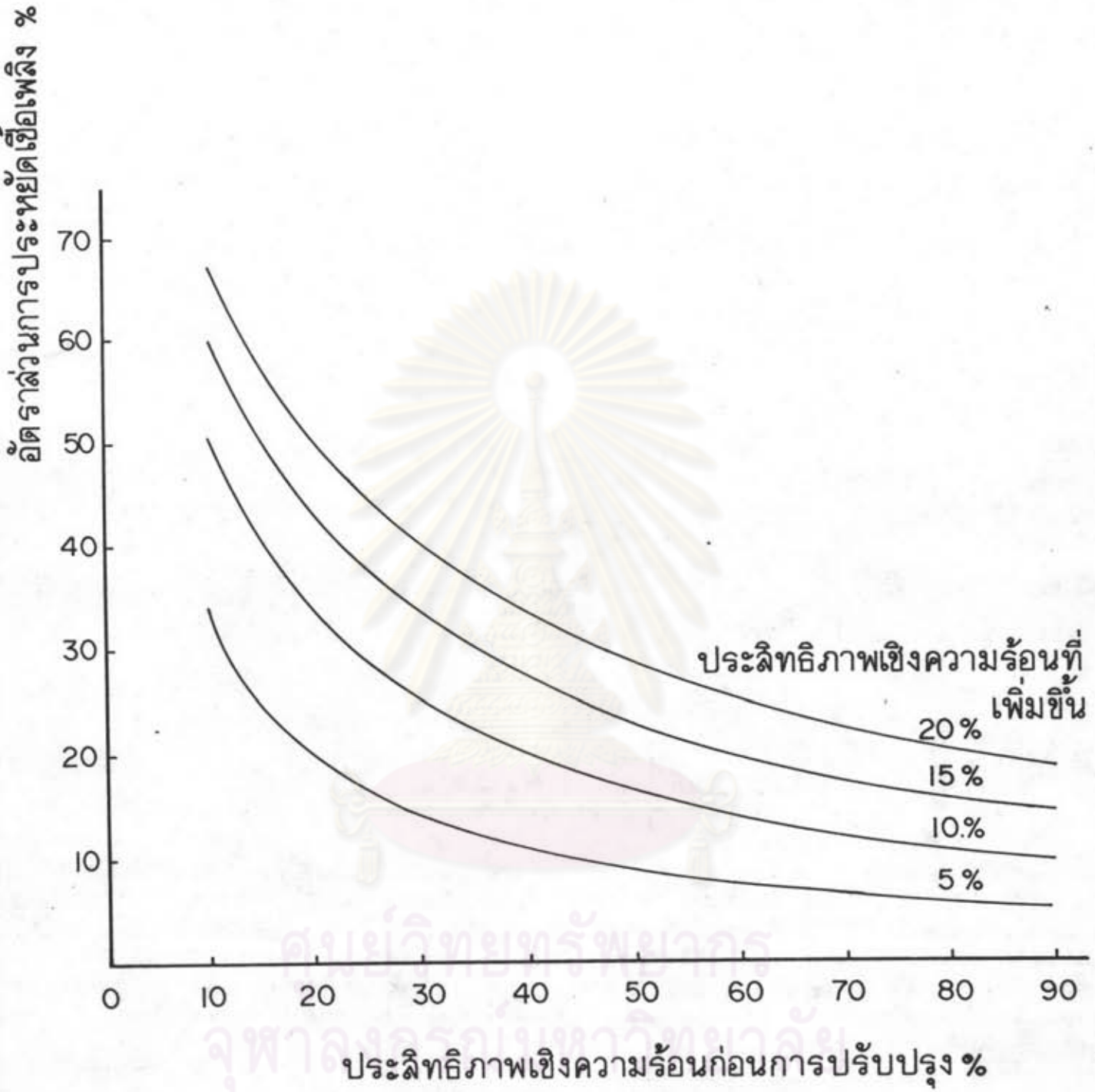
แสดงความสัมผัสระหว่างความร้อนสัมผัสที่สูญเสียไปกับก๊าซทิ้ง กับอัตราส่วนอากาศ m

รูปที่ 28 แสดงความสัมผัสระหว่างความร้อนสัมผัสที่สูญเสียไปกับก๊าซทิ้ง กับอัตราส่วนอากาศ m



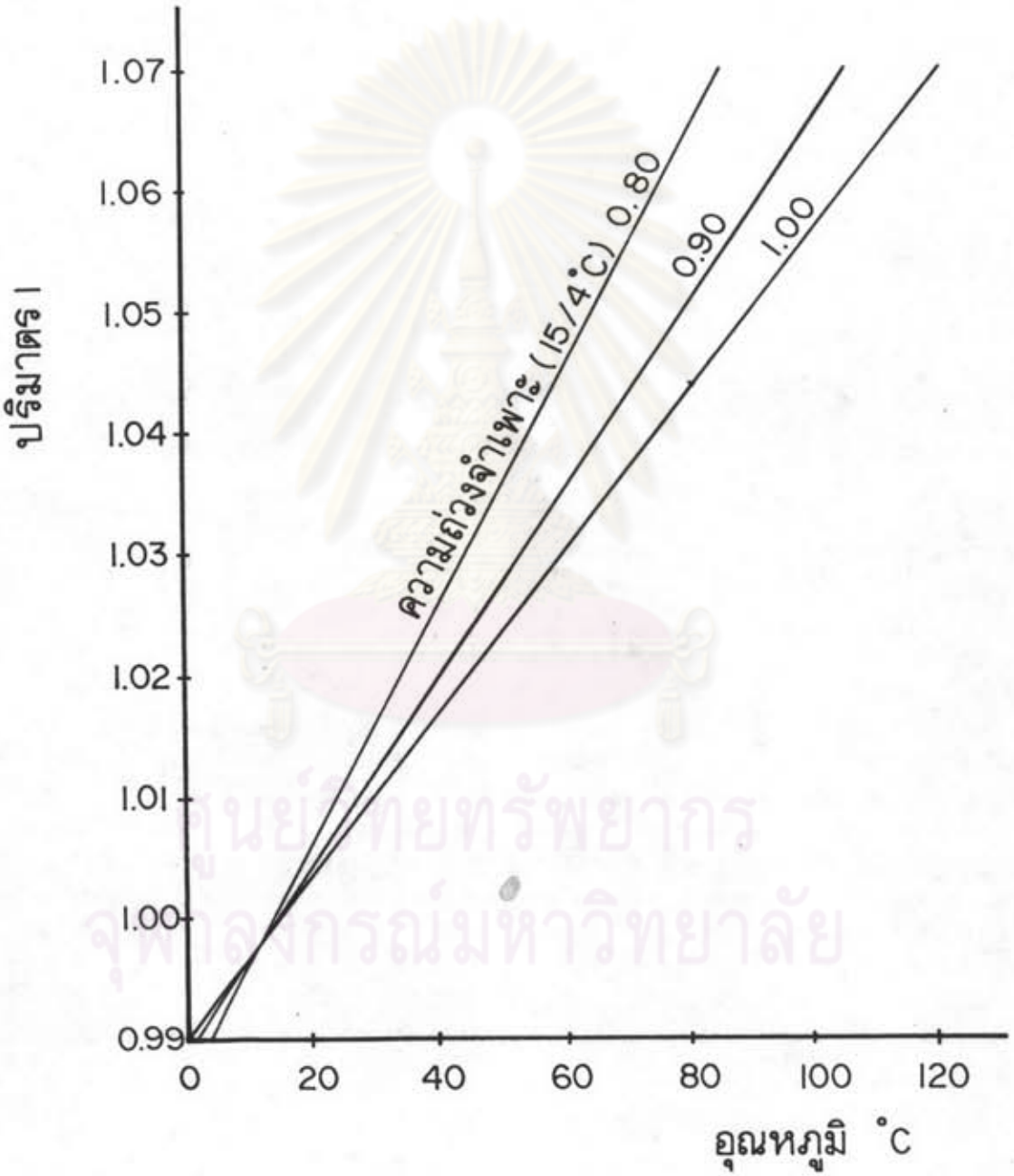
แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO_2 และ % O_2 ที่ควรพบในก๊าซทิ้งแห้ง

รูปที่ 29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % CO_2 และ % O_2 ที่ควรพบในก๊าซทิ้งแห้ง



แสดงความร้อนสัมพันธ์ระหว่างอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 30 แสดงความร้อนสัมพันธ์ระหว่างอัตราการประหยัดเชื้อเพลิงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เพิ่มขึ้น



การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามอุณหภูมิ

รูปที่ 31 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตามอุณหภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. การบำรุงรักษาและตรวจตราอุปกรณ์สันดาป สภาพการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจะมีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการสันดาป ดังนั้น จึงต้องตรวจตราหัวเผาเป็นประจำ ถ้าพบคาร์บอนเกาะติดอยู่ที่ปลายหัวเผา หรือถ้าพบการแปรรูปหรือความเสียหายของหัวเผาแล้วต้องรีบทำการซ่อมแซมทันที ถ้าการเกาะติดของคาร์บอนดูเหมือนมีปริมาณมากผิดปกติก็ควรสงสัยว่าอุณหภูมิที่ใช้อุ่นเชื้อเพลิง (น้ำมันเตา) อาจไม่เหมาะสม ในกรณีนี้ควรกำหนดค่าอุณหภูมิอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะโดยอาศัยรูปที่ 32

ง. การปรับควบคุมปริมาณอากาศป้อน ในการสันดาปเชื้อเพลิงอย่างประหยัดจำเป็นต้องปรับควบคุมปริมาณอากาศป้อนเข้าให้เหมาะสมที่ใดสำหรับเชื้อเพลิงและอุปกรณ์สันดาปนั้น ๆ ในกรณีที่ป้อนอากาศไม่เพียงพอจะเกิดการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ ผลก็คือจะเกิดความสูญเสียอย่างมากเนื่องจากเชื้อเพลิงส่วนหนึ่งถูกปล่อยทิ้งออกไปโดยไม่เกิดประโยชน์ในสภาพของเขม่าและก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ในทางตรงข้ามถ้าป้อนอากาศมากเกินกว่าความจำเป็น ปริมาณของก๊าซทิ้งจะเพิ่มตามด้วย ผลก็คือปริมาณความร้อนทิ้งที่หลุดหนีไปกับก๊าซทิ้งจะเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 28) ด้วยเหตุนี้ปริมาณ (อัตราส่วน) อากาศป้อนที่เหมาะสมที่สุด ก็คือปริมาณที่ก่อให้เกิดก๊าซทิ้งน้อยที่สุดในขณะที่การสันดาปยังเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์นั่นเอง

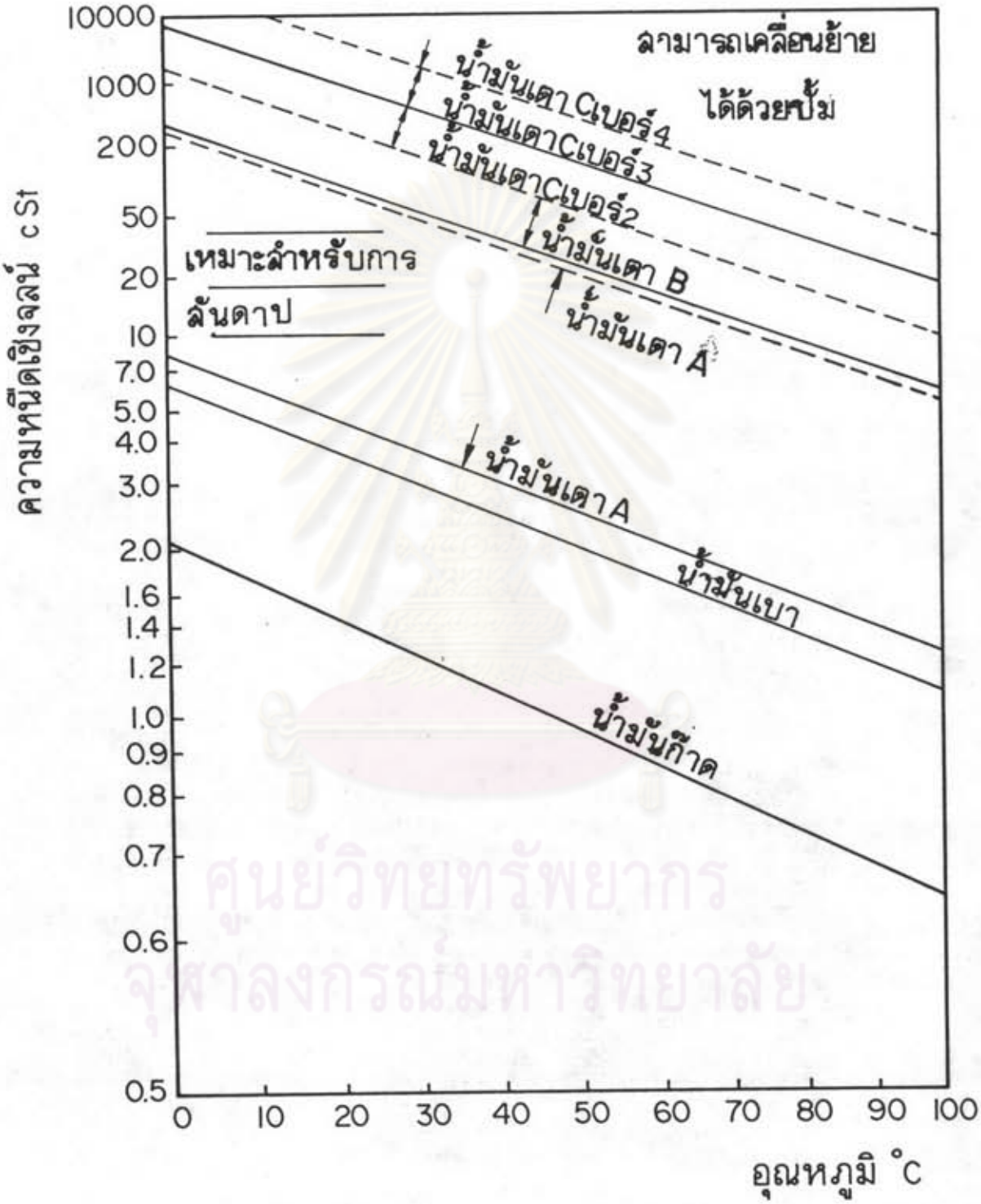
รูปที่ 33 แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงที่จะได้รับ เมื่อลดอัตราส่วนอากาศลงให้ได้ค่าที่เหมาะสม (โดยยังเกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์) จะเห็นได้ว่ายิ่งก๊าซทิ้งมีอุณหภูมิเท่าใด ผลที่ประหยัดเชื้อเพลิงได้ก็ยิ่งมาก มีตัวอย่างจริงที่โรงงานสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ 20 – 30% โดยการควบคุมอัตราส่วนอากาศเท่านั้น การควบคุมอัตราส่วนอากาศสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (เปอร์เซนต์ O_2 หรือ CO_2) ในก๊าซทิ้งที่บริเวณทางออกของอุปกรณ์สันดาป (ดูรูปที่ 27)

จ. การควบคุมความดันในเตา โดยทั่วไปเตาให้ความร้อนจะมีช่องเปิดปิดจำนวนมากเพื่อใช้ป้อนวัสดุเข้าและถ่ายผลิตภัณฑ์ออก ถ้าความดันของก๊าซร้อนภายในเตาสูงหรือต่ำเกินไป เปลวไฟร้อนก็จะแลบออกจากเตาหรืออากาศเย็นภายนอกก็จะแทรกซึมเข้าไปในเตา ในกรณีที่เปลวไฟแลบออกมานอกจากจะเป็นการสูญเสียพลังงาน (เชื้อเพลิง) ส่วนหนึ่งโดยไร้ประโยชน์แล้ว ยังทำให้สภาวะแวดล้อมของสถานที่ปฏิบัติงานเลวลงด้วย. ในทางตรงข้ามถ้ามีอากาศเย็นแทรกซึมเข้าไปในเตา เตาจะเย็นตัวลงทำให้ต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้น (ดูรูปที่ 34)

การปรับควบคุมความดันในเตาให้เหมาะสม ทำได้โดยอาศัยแผ่นควบคุมการไหล (damper) ของท่อควันโดยปรับให้เท่ากับความดันอากาศภายนอก นั่นคือ +0 mm H_2O พอดี การปรับค่านี้ต้องกระทำอย่างละเอียดแม่นยำ อนึ่งเนื่องจากความดันของก๊าซร้อนภายในเตาจะเพิ่มขึ้นตามลำดับความสูงภายในเตา ดังนั้นถึงแม้จะปรับความดันที่ระดับพื้นเตาได้เป็นศูนย์แล้ว ก็ยังมีเปลวไฟแลบออกจากบริเวณรอยแตกบนเพดานเตาหรือช่องเปิดที่ด้านบนของเตาได้ ด้วยเหตุนี้นอกจากช่องเปิดที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงานแล้วต้องหมั่นปิดช่องเปิดอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็น และปรับความดันในระดับที่มีช่องเปิดขนาดโตที่สุดให้มีค่า + 0 mm H_2O อยู่เสมอ

ช. การป้องกันการหนีของความร้อนจากผนังเตา ผนังเตาของเตาที่อยู่ในบริเวณที่มีความร้อนอุณหภูมิสูงย่อมมีอุณหภูมิสูงด้วย ทำให้มีความจำเป็นต้องหุ้มฉนวนความร้อนผนังเตาให้เหมาะสม เพื่อลดปริมาณความร้อนที่หนีผ่านผนังให้น้อยอย่างเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ รูปที่ 35 แสดงปริมาณเชื้อเพลิงที่จะประหยัดได้โดยการหุ้มฉนวนของผนังเตาให้ดีขึ้น อนึ่งแม้ว่าจะหุ้มฉนวนไว้ดีเท่ากัน แต่ถ้าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิวนอกของเตามีค่าสูงขึ้น (เช่น มีลมแรงโกรกรอบ ๆ ตัวเตา) ปริมาณความร้อนที่หนีผ่านผนังเตาก็จะเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้นจึงควรป้องกันไม่ให้มีลมแรงพัดถูกตัวเตาโดยไม่จำเป็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

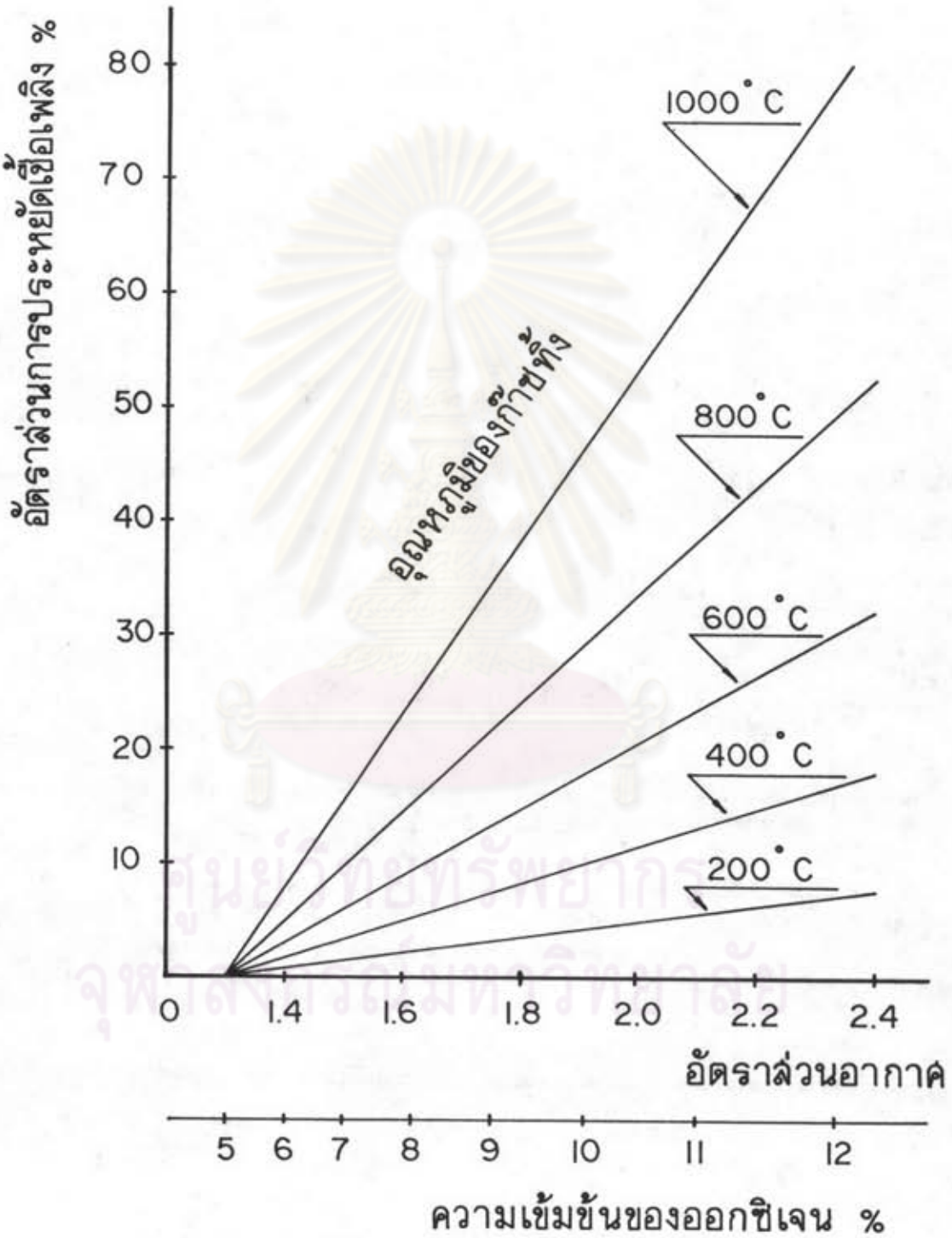


แสดงการอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมของน้ำมันชนิดต่างๆ

รูปที่ 32 แสดงการอุ่นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

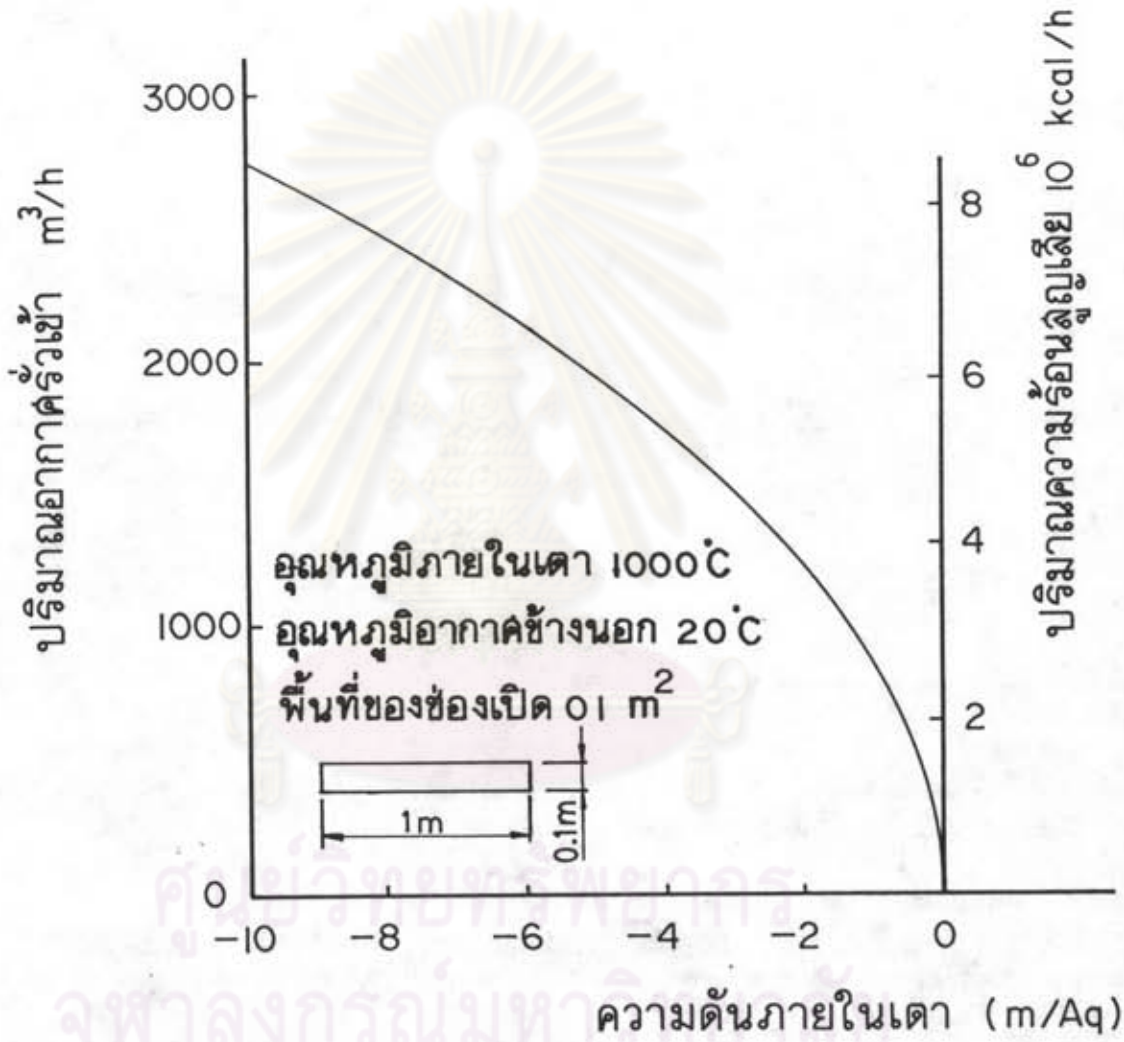
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัตราการประหยัดเชื้อเพลิงที่ได้จากการปรับอัตราส่วนอากาศให้เป็น 1.30



แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงที่จะได้รับเมื่อลดอัตราส่วนอากาศลงให้ได้ค่าที่เหมาะสม

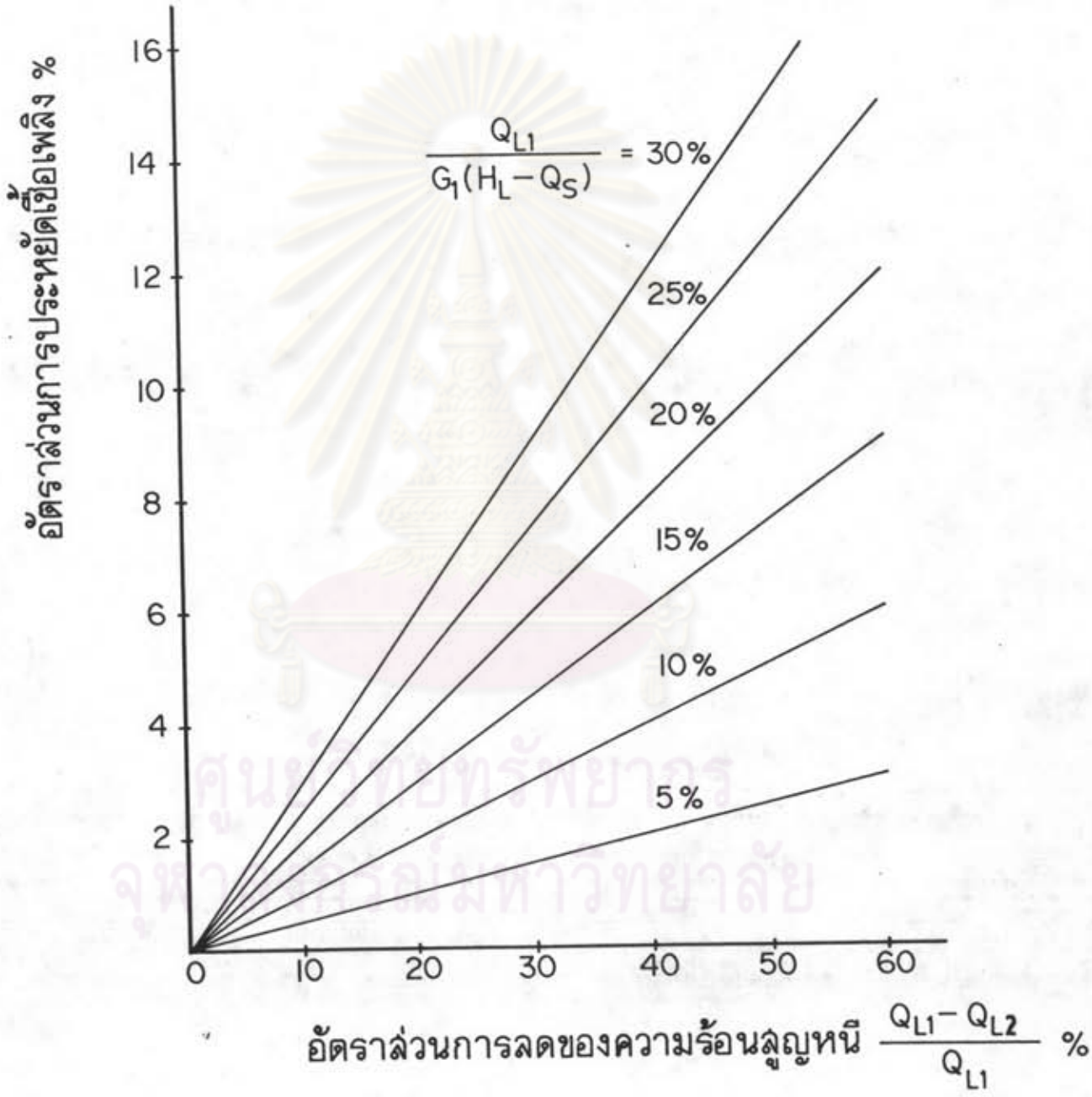
รูปที่ 33 แสดงผลของการประหยัดเชื้อเพลิงที่จะได้รับเมื่อลดอัตราส่วนอากาศลงให้ได้ค่าที่เหมาะสม



ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในเตากับปริมาณความร้อนสูญเสีย

รูปที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในเตากับปริมาณความร้อนสูญเสีย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



อัตราส่วนการประหยัดพลังงานเนื่องจากการทำฉนวนความร้อนให้ดี

รูปที่ 35 อัตราส่วนการประหยัดพลังงานเนื่องจากการทำฉนวนความร้อนให้ดี

การปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor Correction)

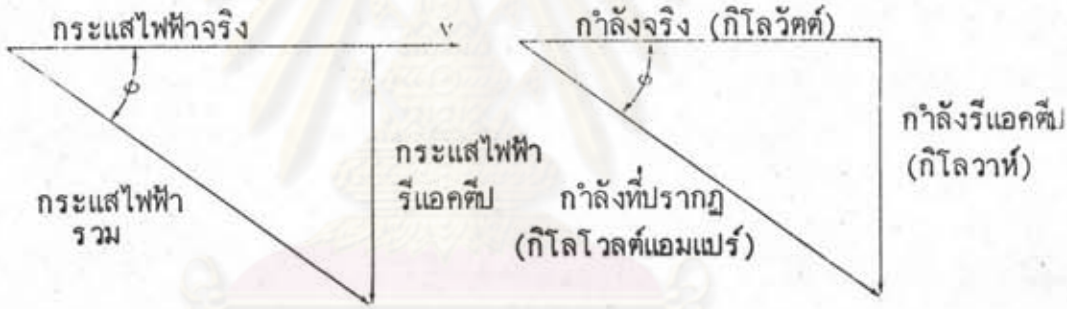
1. หลักการเบื้องต้นของเพาเวอร์แฟคเตอร์

ก. กำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) กำลังไฟฟ้าจริง (Real or Active Power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง มีหน่วยเป็น W หรือ kW

2) กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (Reactive Power) เป็นกำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับสร้างสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น VAr หรือ KVAr

กำลังไฟฟ้าทั้งสองส่วนสามารถรวมเข้าด้วยกันทางเฟสเซอร์ (Phasor) เป็นกำลังไฟฟ้าเสมือน (Apparent Power) มีหน่วยเป็น VA หรือ KVA ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 แสดงกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ

ข. นิยามของเพาเวอร์แฟคเตอร์

$$\text{Power Factor (P.F.)} = \frac{\text{Real Power}}{\text{Apparent Power}}$$

$$= \frac{kW}{KVA}$$

$$= \cos \phi$$

$$kW = KVA \cos \phi$$

P.F. สามารถกำหนดในรูปของแรงดันและกระแสได้ คือ

1) ระบบไฟฟ้า 1 เฟส

$$P.F. = \cos \phi = \frac{W}{VI} \quad \text{.....(5.1)}$$

2) ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

$$P.F. = \cos \phi = \frac{W}{\sqrt{3} V_L I_L} \quad \text{.....(5.2)}$$

ค. Leading และ Lagging P.F. P.F. ของระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าอาจเป็นแบบ Leading หรือ Lagging ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหล ของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ

ถ้ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟไหลในทิศทางเดียวกันเข้าที่จุดอ้างอิงถือว่าระบบมี Legging P.F.

ถ้ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟไหลในทิศทางตรงกันข้ามเข้าที่จุดอ้างอิงถือว่าระบบมี Leading P.F.

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถให้ Leading P.F. ได้แก่

- Synchronous Condenser
- คะแปซิเตอร์

อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนมาก เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำ หม้อแปลง เครื่องเชื่อมไฟฟ้า เป็นต้น จะมี Lagging P.F. เพราะต้องการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ ในการทำงาน

ง. จะปรับปรุง P.F. ได้อย่างไร ภาระของอุปกรณ์ไฟฟ้าต้องการกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟในการทำงาน กำลังไฟฟ้าจริงจะต้องมาจากแหล่งจ่ายไฟอย่างแน่นอน ส่วนกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟนั้น อาจจะได้มาจากแหล่งจ่ายไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้กำเนิดกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ การที่จะนำคะแปซิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟมาต่อขนานเข้ากับภาระ แหล่งจ่ายไฟจะจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟน้อยลงหรือไม่ต้องจ่ายเลย ทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟของระบบลดลง กระแสไฟฟ้าจะลดลงด้วย ผลก็คือ P.F. ของระบบไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้น นั่นคือการนำคะแปซิเตอร์มาต่อขนานเข้ากับภาระจึงเป็นการปรับปรุง P.F. ให้ดีขึ้น

รูปที่ 37 มอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการ

กระแสไฟฟ้าจริง = 80A

กระแสไฟฟ้ารีแอคตีฟ = 60A

กระแสไฟฟ้าปรากฏ = $\sqrt{80^2 + 60^2}$

= 100 A

$$P.F. = \frac{80}{100}$$

= 0.8

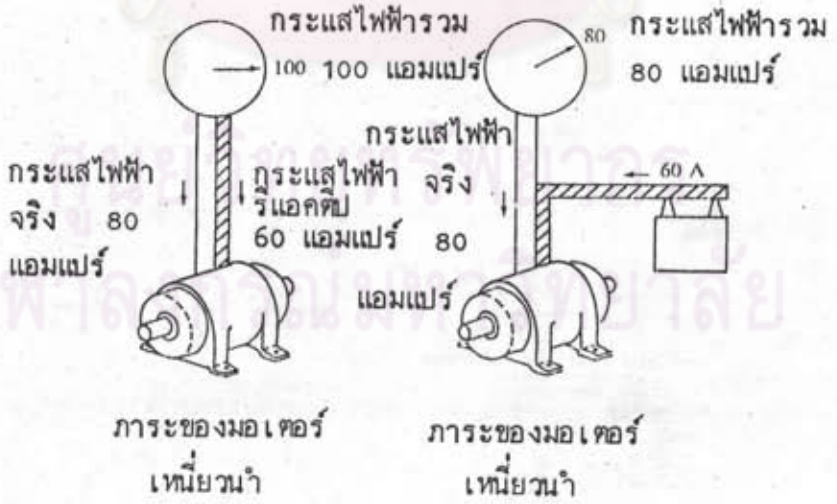
= 80 %

ถ้าติดตั้งคะแปซิเตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าจริง 60 A เข้ามอเตอร์ ระบบไฟฟ้าจะจ่ายเพียงกระแสไฟฟ้าจริง 80 A เข้ามอเตอร์

$$P.F. \text{ หลังติดตั้งคะแปซิเตอร์} = \frac{80}{80}$$

= 1.00

= 100 %



รูปที่ 37 แสดงภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จ. P.F. ของภาระและประเภทโรงงานอุตสาหกรรม

1) P.F. ของภาระและประเภทโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทต่าง ๆ มีค่าดังตารางที่ 31 และตารางที่ 32

ตารางที่ 31 ตัวอย่างค่า P.F. ของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ยังไม่มีการแก้ P.F.

ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม	เพาเวอร์แฟคเตอร์
ชิ้นส่วนประกอบรถยนต์	75-80
เครื่องดื่ม	75-80
ซีเมนต์	80-85
เคมี	65-75
เหมืองถ่านหิน	65-80
เสื้อผ้า	35-60
ซุบโลหะ	65-70
หล่อโลหะ	75-80
ขึ้นรูปโลหะ	70-80
โรงพยาบาล	75-80
ผลิตเครื่องจักร	60-65
งานโลหะ	65-70
อาคารสำนักงาน	80-85
สถานีสูบน้ำมันดิบ	40-60
สี	55-65
พลาสติก	55-70
ปั๊มขึ้นรูป	60-70
เหล็กกล้า	65-80
ทอผ้า	65-75
แม่พิมพ์งานโลหะ	60-65

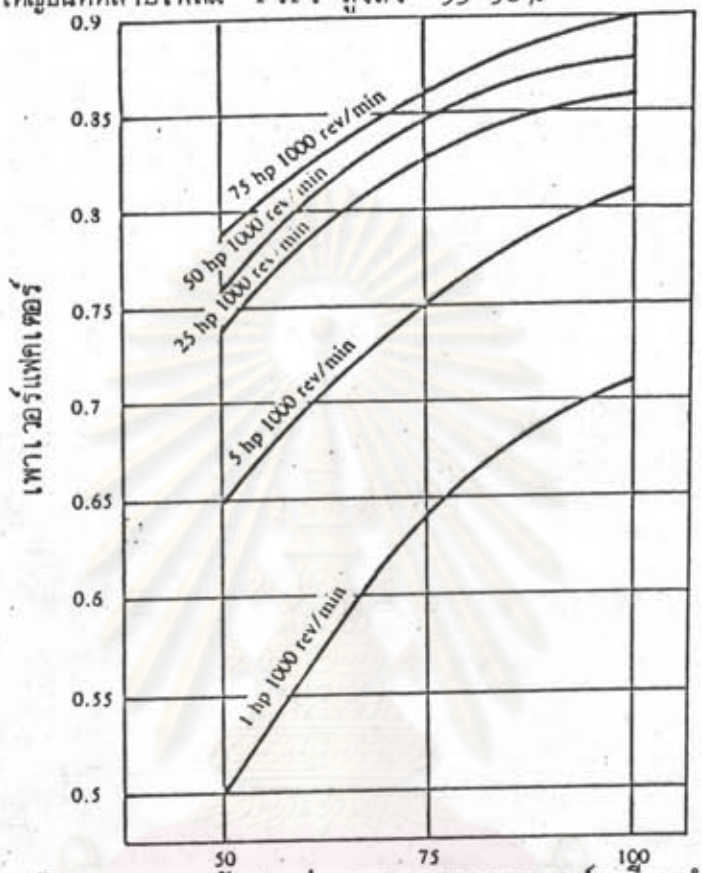
ตารางที่ 32 ตัวอย่างค่า P.F. ของลักษณะงานบางอย่าง

การทำงาน	เพาเวอร์แฟคเตอร์
เครื่องอัดอากาศ	
- มอเตอร์แยกต่างหาก	75-80
- มอเตอร์รวมมาเป็นชุด	50-80
งานโลหะ	
- เชื่อมไฟฟ้า	35-60
- เชื่อมไฟฟ้ามีคะแปซิเตอร์มาด้วย	70-80
การกัดขึ้นรูป	40-65
หลอมโลหะ	
- เตาไฟฟ้าแบบอาร์ค	75-90
- เตาไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ 60 Hz	100
การปั๊มขึ้นรูป	
- มาตรฐาน	60-70
- ความเร็วสูง	45-60
การพ่นให้เป็นฝอย	60-65
เชื่อม	
- แบบอาร์ค	35-60
- แบบความต้านทาน	40-60
แวริ่ง	
- ส่วนตัว	60
- ประกอบ	70
- ไบรต์	70-75

2) มอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้ามีค่า P.F. ขึ้นกับขนาดและภาระของมอเตอร์ ดังรูปที่ 38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) เรคติไฟเออร์ (Rectifier) ชนิดไดโอดไม่มีการควบคุมเฟส เรคติไฟเออร์ขนาดเล็กแบบเฟสเดียวมีค่า P.F. ประมาณ 50% เมื่อทำงานเต็มภาระ สำหรับเรคติไฟเออร์ขนาดใหญ่ชนิดหลายเฟสมี P.F. สูงถึง 95-98%



รูปที่ 38 การปรับปรุงค่า P.F. ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อมีการเพิ่มภาระโหลด

4) เตาไฟฟ้า

ก) เตาไฟฟ้าแบบอาร์คมี P.F. ต่ำมาก ประมาณ 65-75%

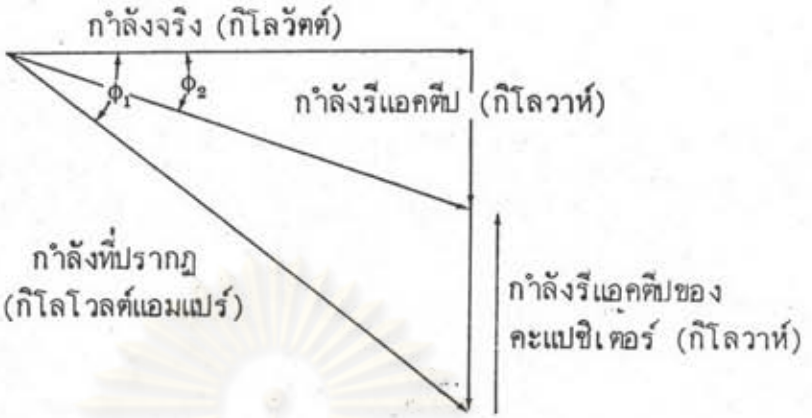
ข) เตาไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำมี P.F. ต่ำเหมือนกัน คือ 30-70%

5) หลอดไฟฟ้า

ก) หลอดแบบไส้ขดลวดธรรมดามี P.F. 100%

ข) หลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดบรรจุก๊าซมี P.F. ต่ำ 30-70%

2. วิธีการคำนวณเพื่อปรับปรุง P.F.



รูปที่ 39 การหาขนาดของคะแปซิเตอร์ในการปรับปรุง P.F.

จากรูปที่ 39 ต้องการปรับปรุง P.F. จาก $\cos \phi_1$ เป็น $\cos \phi_2$ สามารถคำนวณหาขนาดคะแปซิเตอร์ได้ดังนี้

$$\text{KVAr} = \text{Kw} \times \tan \phi$$

$$\text{KVAr at original P.F.} = \text{Kw} \times \tan \phi_1$$

$$\text{KVAR at improved P.F.} = \text{Kw} \times \tan \phi_2$$

$$\text{KVAr of Capacitor} = \text{Kw} (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad \ldots\ldots(5.3)$$

3. ประโยชน์ของการปรับปรุง P.F. เมื่อทำการปรับปรุง P.F. ให้มีค่าสูงขึ้นแล้วจะได้ประโยชน์ดังต่อไปนี้

ก. ระบบไฟฟ้าสามารถรับภาระได้เพิ่มขึ้น

ข. ระดับแรงดันดีขึ้น

ค. กำลังสูญเสียของระบบลดลง

ง. ลดค่าไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าสามารถรับภาระได้เพิ่มขึ้น เมื่อปรับปรุง P.F. ของระบบสูงขึ้น กระแสของระบบจะลดลง นั่นคือ KVA ของภาระรวมลดลงทำให้ระบบสามารถจ่ายภาระได้มากขึ้น ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง และสายไฟฟ้า เป็นต้น มีพิกัดตาม KVA หรือกระแสไฟฟ้า

ถ้ากำลังไฟฟ้าจริง (kW) ของโหลดเท่าเดิม กำลังไฟฟ้าเสมือน (KVA) จะมีค่าลดลง เมื่อ P.F. เพิ่มขึ้น ดังตาราง

เพาเวอร์แฟคเตอร์ (%)	60%	70%	80%	90%	100%
กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	600	600	600	600	600
กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (KVAr)	800	612	450	291	0
กำลังไฟฟ้าเสมือน (KVA)	1000	857	750	667	600

ถ้ากำลังไฟฟ้าเสมือน (KVA) ของระบบคงที่ ระบบจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง (kW) เพิ่มขึ้น ถ้า P.F. เพิ่มขึ้น ดังตาราง

เพาเวอร์แฟคเตอร์ (%)	60%	70%	80%	90%	100%
กำลังไฟฟ้าจริง (kW)	360	420	480	540	600
กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (KVAr)	480	428	360	262	0
กำลังไฟฟ้าเสมือน (KVA)	600	600	600	600	600

<u>ระดับแรงดันดีขึ้น</u>

ก. แรงดันตกในสายไฟฟ้า แรงดันตกระหว่างสายจะคำนวณได้จาก

$$V = \sqrt{3}\, I (R \cos \phi + \sin \phi) \qquad \text{.....(5.4)}$$

โดยที่

I = กระแสสาย (แอมแปร์)

R = ความต้านทานทางเดียว (โอห์ม)

X = รีแอกแตนซ์ทางเดียว (โอห์ม)

ϕ = มุมของ P.F.

เมื่อปรับ P.F. ให้สูงขึ้น I จะลดลง ϕ มีค่าเล็กลง ΔV มีค่าลดลง

<u>กำลังสูญเสียของระบบลดลง</u> กำลังสูญในตัวนำไฟฟ้าของระบบเป็นสัดส่วนกำลังสองของกระแส เมื่อปรับปรุง P.F. ให้สูงขึ้น ทำให้กระแสลดลง ดังนั้นกำลังสูญจึงเป็นสัดส่วนกลับกับ P.F. กำลังสอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสูญเสียกำลัง = $100 \left(\frac{\text{Initial P.F.}}{\text{Final P.F.}}\right)^2$

การสูญเสียลดลง = $100 \left[1 - \left(\frac{\text{P.F.}_1}{\text{P.F.}_2}\right)^2\right]$ .....(5.5)

ส่วนการสูญเสียที่ลดลง = Loss at P.F.

$\left[1 - \left(\frac{\text{P.F.}_1}{\text{P.F.}_2}\right)^2\right]$ .....(5.6)

P.F._1 = เพาเวอร์แฟคเตอร์ ก่อนปรับปรุง

P.F._2 = เพาเวอร์แฟคเตอร์ หลังปรับปรุง

ก. กำลังสูญในสายไฟฟ้า กำลังสูญเสียในสายไฟฟ้าสามารถหาได้จาก

1) ระบบไฟฟ้า 1 เฟส

กำลังสูญ = $2 \times I^2 \times R$ .....(5.7)

2) ระบบไฟฟ้า 3 เฟส

กำลังสูญ = $3 \times I^2 \times R$ .....(5.8)

โดยที่ I = กระแสที่ภาระ (แอมแปร์)

R = ความต้านทานทางเดียวของสายไฟฟ้า (โอห์ม)

ความต้านทานของสายไฟฟ้าหาได้จาก มอก. 11-2518 ดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ความต้านทานของสายไฟฟ้าทองแดง (มอก. 11-2518) และค่าแก้ไขเนื่องจากอุณหภูมิ

พื้นที่หน้าตัดของสายไฟ	ความต้านทานสูงสุดต่อความยาว 1 km ที่อุณหภูมิ 20 °C			
	สายที่ใช้กับบริเวณไม่มีการเคลื่อนที่		สายที่ใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ได้	
	สายเดี่ยว	หลายสาย	สายเดี่ยว	หลายสาย
มม.	โอห์ม	โอห์ม	โอห์ม	โอห์ม
0.5 (solid)	35.7	36.4	-	-
0.5 (28W)	-	-	37.7	39.6
0.5 (16W)	-	-	37.1	39.0
0.75 (42W)	-	-	25.1	26.4
0.75 (24W)	-	-	24.7	26.0

ตารางที่ 33 ความต้านทานของสายไฟฟ้าทองแดง (มอก.11-2518) และค่าแก้ไขเนื่องจากอุณหภูมิ (ต่อ)

พื้นที่หน้าตัดของสายไฟ	ความต้านทานสูงสุดต่อความยาว 1 km ที่อุณหภูมิ 20 °C			
	สายที่ใช้กับบริเวณไม่มีการเคลื่อนที่		สายที่ใช้งานที่มีการเคลื่อนที่ได้	
	สายเดี่ยว	หลายสาย	สายเดี่ยว	หลายสาย
มม.	โอห์ม	โอห์ม	โอห์ม	โอห์ม
1	17.7	18.1	18.5	19.5
1.5	11.9	12.1	12.7	13.3
2.5	7.14	7.28	7.60	7.98
4	4.47	4.56	4.71	4.95
6 (solid)	2.97	3.03	-	-
6 (strand)	3.02	3.08	-	-
6	-	-	3.14	3.30
10 (solid)	1.77	1.81	-	-
10 (strand)	1.79	1.83	1.82	1.91
16	1.13	1.15	-	-
25	0.712	0.727	1.16	1.21
35 (7W)	0.514	0.524	0.743	0.780
35 (19W)	0.514	0.524	-	-
35	-	-	0.527	0.554
50	0.379	0.387	0.368	0.368
70	0.262	0.268	0.259	0.272
95	0.189	0.193	0.196	0.206
120	0.150	0.153	-	-
150	0.122	0.124	-	-
185	0.0972	0.0991	-	-
240	0.0740	0.0754	-	-
300	0.0590	0.0601	-	-
400	0.0448	0.0457	-	-
500	0.0354	0.0361	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าแก้ปรับเนื่องจากอุณหภูมิ

อุณหภูมิ C	สัมประสิทธิ์การแก้ปรับอุณหภูมิ	
	ทองแดง	อลูมิเนียม
25	1.0197	1.0202
30	1.0393	1.0403
35	1.0590	1.0605
40	1.0786	1.0806
45	1.0983	1.1008
50	1.1179	1.1209
55	1.1376	1.1411
60	1.1572	1.1612
65	1.1769	1.1814
70	1.1965	1.2015
75	1.2162	1.2217

ข. กำลังสูญในหม้อแปลง กำลังสูญในหม้อแปลงประกอบด้วย

1) กำลังสูญขณะไม่มีภาระ (No load loss) หมายถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียขณะที่หม้อแปลงยังไม่จ่ายไฟ กำลังสูญนี้เกิดในแกนเหล็ก เดิมเรียกว่า Iron loss ซึ่งประกอบด้วย Hysteresis และ Eddy-Current loss

2) กำลังสูญเนื่องจากภาระ (Load loss) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากกระแสไหลผ่านขดลวดของหม้อแปลง กำลังสูญนี้เดิมเรียกว่า Copper loss กำลังสูญจะเป็นสัดส่วนกับกระแสยกกำลังสอง

เมื่อปรับ P.F. ให้สูงขึ้นแล้ว กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงจะลดลงทำให้กำลังสูญเนื่องจากภาระลดลงตามลำดับ

มาตรฐานกำลังสูญเสียของหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีค่าดังตารางที่ 33

ตารางที่ 34 มาตรฐานกำลังสูญเสียของหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

หม้อแปลง 1 เฟส

KVA	กำลังสูญขณะไม่มีภาระของหม้อแปลงขนาด			กำลังสูญเนื่องจากภาระ	Imp (%)
	11 KV	19 KV	22 KV		
10	70	75	75	160	2.0
20	110	120	120	330	2.0
30	150	160	160	480	2.0
50	190	200	200	740	2.2

หม้อแปลง 3 เฟส

KVA	กำลังสูญขณะไม่มีภาระของหม้อแปลงขนาด			กำลังสูญเนื่องจากภาระ	Imp (%)
	11 KV	22 KV	33 KV		
50	190	210	230	1050	4
100	320	340	350	1750	4
160	460	480	500	2350	4
250	650	670	700	3250	4
315	770	800	850	3900	4
400	930	960	1000	4600	4
500	1100	1150	1200	5500	4
630	1300	1350	1400	6500	4
800	1600	1600	1700	11000	6
1000	1950	1950	2000	13500	6
1250	2300	2300	2350	16400	6
1500	2800	2800	2850	19800	6
2000	3250	3250	3300	24000	6

ลดค่าไฟฟ้า การที่ระบบไฟฟ้ามี P.F. สูงขึ้น มีส่วนดีหลายประการดังกล่าวแล้ว หน่วยงาน 4 แห่ง อันประกอบด้วย การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และสำนักงานพลังงานแห่งชาติ โดยความเห็นชอบของมติคณะรัฐมนตรี ได้ร่วมกันประกาศวิธีการคิดค่าปรับ P.F. ใหม่ตามประกาศ

4. การปรับปรุง P.F. ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สำคัญ

ก. การปรับปรุง P.F. ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

1) ขนาดของคะแปซิเตอร์ มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งมีใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟมากในระบบไฟฟ้า P.F. ของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดและภาระที่ใช้ของมอเตอร์ดังได้กล่าวมาแล้ว

P.F. ของมอเตอร์สามารถปรับปรุงให้สูงขึ้นได้ โดยการต่อคะแปซิเตอร์ขนาดที่เหมาะสมเข้าที่ขั้วของมอเตอร์ (Individual Compensation) ถ้าขนาดของคะแปซิเตอร์โตเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่มอเตอร์และคะแปซิเตอร์ได้ เนื่องจากเมื่อตัดไฟออกแล้ว มอเตอร์ยังหมุนอยู่และทำหน้าที่คล้ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เกิดการ Self-Excitation ทำให้เกิดแรงดันสูง

คะแปซิเตอร์ที่ใช้ควรมีขนาดดังนี้

$$\text{KVAr ของคะแปซิเตอร์} = 0.9 \frac{\sqrt{3}\, V_L I_O}{1000} \qquad \text{.....(5.9)}$$

โดยที่ V_L = แรงดันระหว่างสาย

I_O = กระแสขณะไม่มีภาระของมอเตอร์

ขนาดของคะแปซิเตอร์อาจใช้ตามตารางที่ 34 สำหรับมอเตอร์ที่ทำตามมาตรฐาน IEC

ตารางที่ 35 ขนาดของคะแปซิเตอร์สำหรับใช้ต่อตรงกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อปรับปรุง P.F. ถึง 0.95 หรือมากกว่าที่ทุก ๆ ภาระ

มอเตอร์ (แรงม้า)	ขนาดของคะแปซิเตอร์คิดเป็น KVAr ของมอเตอร์ความเร็วรอบ					
	3000 รอบ/นาที	1500 รอบ/นาที	1000 รอบ/นาที	750 รอบ/นาที	600 รอบ/นาที	500 รอบ/นาที
2.5	0.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5
5	1	1.5	1.5	2.5	3	3
7.5	1.5	2	2.5	3	4	4
10	2.5	3	3	4	5	5
12.5	3	3	4	6	6	6
15	3	4	4	6	6	6
17.5	4	4	5	6	8	8
20	5	5	6	6	8	10
22.5	5	5	6	8	8	10
25	6	6	6	8	10	12
27.5	6	6	8	10	10	12
30	6	8	8	10	12	14
32.5	6	8	8	10	12	14
35	8	8	10	12	14	14
37.5	8	8	10	12	14	14
40	8	10	10	14	14	16
42.5	8	10	12	14	14	16
45	8	10	12	14	16	18
47.5	10	10	12	14	16	18
50	10	12	14	16	18	18
55	10	12	14	16	18	20
60	12	12	14	18	20	22
65	12	14	16	18	20	24
70	12	14	18	18	22	24
75	14	16	18	20	22	26
80	14	16	20	20	24	28
85	14	18	20	22	24	28
95	16	20	24	24	28	30
100	18	22	24	26	28	32

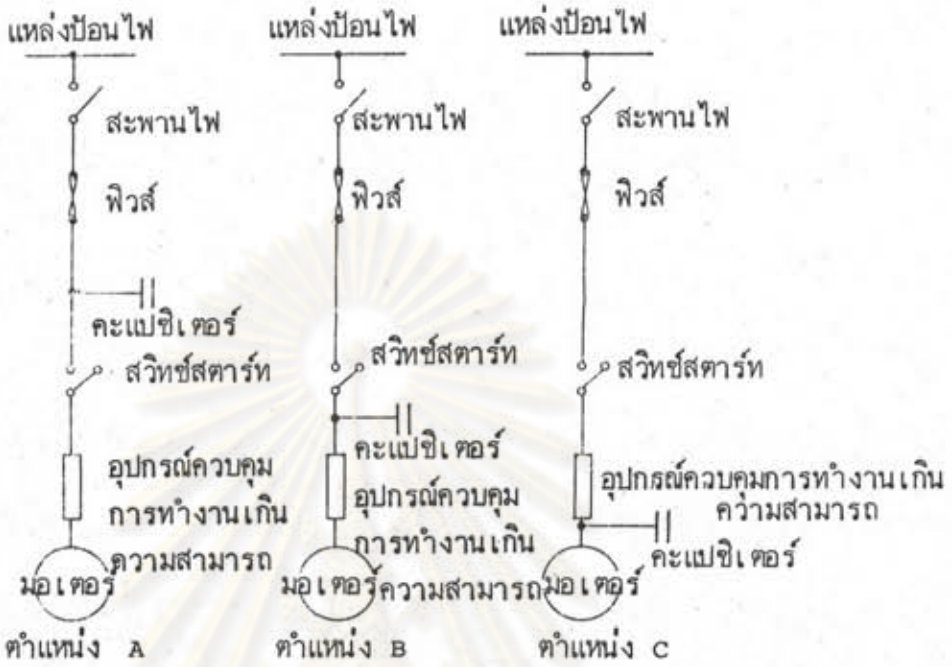
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 35 ขนาดของคะแปซิเตอร์สำหรับใช้ต่อตรงกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อปรับปรุง P.F. ถึง 0.95 หรือมากกว่าที่ทุก ๆ ภาระ (ต่อ)

มอเตอร์ (แรงม้า)	ขนาดของคะแปซิเตอร์คิดเป็น KVAr ของมอเตอร์ความเร็วรอบ					
	3000 รอบ/นาที	1500 รอบ/นาที	1000 รอบ/นาที	750 รอบ/นาที	600 รอบ/นาที	500 รอบ/นาที
105	18	22	24	26	30	32
110	18	24	26	28	30	34
115	18	24	26	28	32	34
120	20	26	26	28	32	36
125	22	26	28	30	34	36
130	22	26	28	30	34	38
135	24	28	28	30	34	38
140	24	28	30	32	36	40
145	26	28	30	32	36	40
150	26	28	30	32	36	42
155	26	30	30	34	38	44
160	28	30	32	34	38	46
165	28	30	32	36	40	48
170	30	32	32	36	40	48
175	30	32	34	38	42	50
180	30	34	34	38	44	50
185	30	34	34	38	44	52
190	32	34	36	40	46	52
195	32	34	36	42	46	54
200	32	36	36	44	46	54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ตำแหน่งติดตั้งของคะแปซิเตอร์สำหรับมอเตอร์ คะแปซิเตอร์สำหรับปรับปรุง P.F. สามารถติดตั้งได้ 3 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 40



รูปที่ 40 ตำแหน่งติดตั้งของคะแปซิเตอร์สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำในการปรับปรุง P.F.

ตำแหน่ง A

- ขนาดของคะแปซิเตอร์ไม่ขึ้นกับกระแสไฟที่มอเตอร์ใช้ขณะไม่มีภาระ
- กระแสสวิทช์สตาร์ตไม่เปลี่ยนแปลง
- การควบคุมการทำงานเกินภาระของมอเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง

ตำแหน่ง B

- ขนาดของคะแปซิเตอร์ขึ้นอยู่กับมอเตอร์ใช้ขณะไม่มีภาระ
- กระแสของสวิทช์สตาร์ตลดลง
- การควบคุมการทำงานเกินภาระของมอเตอร์ไม่เปลี่ยนแปลง

ตำแหน่ง C

- ขนาดของคะแปซิเตอร์ขึ้นอยู่กับมอเตอร์ใช้ขณะไม่มีภาระ
- กระแสของสวิทช์สตาร์ตลดลง
- การควบคุมการทำงานเกินภาระ (OLTA) ของมอเตอร์ลดลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\text{OLTA (with capacitors)} = \text{OLTA (without capacitors)} \times \frac{\text{power factor without capacitors}}{\text{power factor with capacitors}}$$

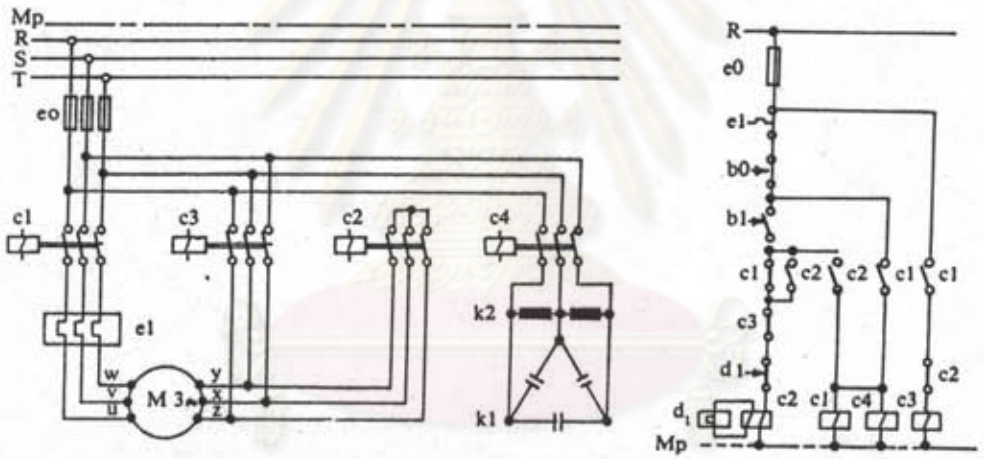
3) ข้อควรระวังในการใช้คะแปซิเตอร์สำหรับปรับปรุง P.F. ของมอเตอร์

ก) มอเตอร์ที่ใช้ต้องไม่มีการ Reversing หรือ Plugging

ข) มอเตอร์ต้องไม่เดินเครื่องใหม่อีกครั้ง ในขณะมอเตอร์ยังไม่หยุดวิ่ง

ค) ไม่ปรับปรุง P.F. กับมอเตอร์ของเครนหรือลิฟท์

ง) ในการปรับปรุง P.F. คะแปซิเตอร์ควรต่อเข้ากับ Line side ของ Contactors ซึ่งมีการเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงเมื่อไม่ต่อไฟ สำหรับการเปลี่ยนแรงดันหรือความเร็ว เช่น Wye-delta starter เป็นต้น ดังรูปที่ 41



b0	ปิด	d_1	อุปกรณ์ตั้งเวลา
b1	เปิด	e0	ฟิวส์
c1	อุปกรณ์ตัดต่อ	e1	รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน
c2	หัวตัดต่อวงจรแบบสตาร์	k1	คะแปซิเตอร์
c3	หัวตัดต่อวงจรแบบเดลต้า	k2	รีแอกแตนซ์สำหรับคายประจุคะแปซิเตอร์
c4	หัวตัดต่อวงจรแบบคะแปซิเตอร์		

ข. การปรับปรุง P.F. ของหม้อแปลง ในระบบไฟฟ้า หม้อแปลงเป็นอุปกรณ์ที่ต้องต่อกับแหล่งจ่ายไฟตลอดเวลา จึงสะดวกที่จะต่อคะแปซิเตอร์โดยตรงเข้าทางด้านขดทุติยภูมิ (Secondary) อย่างถาวร ซึ่งจะลดขนาดของคะแปซิเตอร์ที่จะใช้ปรับปรุง P.F. ของทั้งระบบ ขนาดขั้นต่ำของคะแปซิเตอร์ที่ใช้ปรับปรุง P.F. ของหม้อแปลงขึ้นอยู่กับ No-Load Magnetizing KVA ของหม้อแปลง บางครั้งเพื่อความประหยัดอาจต่อคะแปซิเตอร์

ขนาดโตขึ้นกว่านี้ ซึ่งอาจมีขนาดถึง 10% ของ KVA ของหม้อแปลง อย่างไรก็ตามขนาดโตสุดของคะแปซิเตอร์ที่สามารถต่อเข้าทางด้านขดทุติยภูมิขึ้นอยู่กับการอิ่มตัวทางแม่เหล็กของแกน (Magnetic Core Saturation) ของหม้อแปลง ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันเพิ่มมากทางด้านขดทุติยภูมิและกระแสฮาร์มอนิกที่ 5th และ 7th มีค่าเพิ่มขึ้น

ขนาดคะแปซิเตอร์ที่แนะนำให้ใช้ต่อโดยตรงเข้ากับหม้อแปลงซึ่งออกแบบตามมาตรฐาน IEC มีดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ขนาดของคะแปซิเตอร์ที่ต่อตรงกับหม้อแปลง

ขนาดระบุของหม้อแปลง KVA	ขนาดของคะแปซิเตอร์ (kVAr) ที่แรงดันไฟฟ้า		
	5/10 KV	15/20 KV	25/30 KV
25	2	2.5	3
40	3	4	5
50	4	5	6
63	5	6	7
75	5	6	7
80	6	7	8
100	6	8	10
125	7	8	10
160	10	12	15
200	10	15	20
250	15	18	22
315	18	20	25
400	20	22	28
500	20	25	30
630	30	32	40
750	30	35	45
1000	45	50	55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. การปรับปรุง P.F. ของเครื่องเชื่อมไฟฟ้าแบบอาร์ค (Arc Welders) การปรับปรุง P:F. ของเครื่องเชื่อมอาร์ค ทำได้โดยต่อคะแปซิเตอร์ขนาดที่เหมาะสมเข้าทางขดปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงของเครื่องเชื่อมแบบอาร์ค เนื่องจากเครื่องเชื่อมอาร์คมี P.F. ต่ำ และมีสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงสูง จุดประสงค์ของการใช้คะแปซิเตอร์จึงไม่ใช่เพื่อให้ได้ P.F. สูงแต่อย่างเดียว แต่เพื่อให้กระแสเมื่อไม่มีภาระเท่ากับกระแสไฟขณะเชื่อม สำหรับเครื่องอาร์คแบบเฟสเดียวและเชื่อมจุดเดียว ซึ่งเดิมมี P.F. 35% จะต้องใช้คะแปซิเตอร์ขนาด 50% KVA ของเครื่องเชื่อมอาร์ค เพื่อให้ได้ P.F. 65% ที่ Full Load แม้ว่าที่ P.F. 65% ดูจะมีค่าต่ำ แต่ภาระของเครื่องเชื่อมอาร์คเป็นแบบชั่วคราว (Intermittent Load) และมีการเปลี่ยนแปลงสูงขณะไม่มีภาระจะมี Leading P.F. ดังนั้น P.F. โดยเฉลี่ยตลอดวันอาจสูงถึง 95% Lagging

สำหรับเครื่องเชื่อมอาร์คแบบสามเฟสเชื่อมหลายจุด จะใช้คะแปซิเตอร์ขนาด 35% KVA ของเครื่องเชื่อมอาร์ค เพราะมีค่าการเปลี่ยนแปลง (Diversity) สูงกว่าแบบแรก

ตารางที่ 37 ขนาดของคะแปซิเตอร์ที่ใช้กับเครื่องเชื่อมอาร์ค

ขนาด KVA แบบต่อเนื่อง	ค่าเฉลี่ย P.F. ที่ยังไม่มีการแก้	ขนาดคะแปซิเตอร์ที่แนะนำให้ใช้ KVAr	ค่า P.F. ที่แก้แล้ว
9	0.35	4	0.55
12	0.35	6	0.625
18	0.35	8	0.58
24	0.35	12	0.62
30	0.35	15	0.62
36	0.35	18	0.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในกรณีไฟ 3 เฟส

ชนิด	กำลังไฟสูงสุด KVA	กำลังไฟต่อเนื่อง KVA	P.F. ยังไม่ได้แก้	ขนาดคะแปซิเตอร์ที่แนะนำให้ใช้ KVAr	P.F. ที่แก้แล้ว
350/3	95	57	0.35	16.5	0.48
350/6	190	95	0.35	30	0.49
350/9	285	128	0.35	45	0.51
350/12	380	160	0.35	60	0.53

ง. การปรับ P.F. ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่ใช้บัลลาสต์ที่มีค่า P.F. ต่ำ จะมี P.F. ประมาณ 50% Lagging ถ้าใช้หลอดเป็นจำนวนมากต้องทำการปรับปรุง P.F. ให้สูงขึ้น

ขนาดของคะแปซิเตอร์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังตารางที่ 38 สามารถปรับปรุง P.F. ให้สูงถึง 95%

ตารางที่ 38 ขนาดของคะแปซิเตอร์ที่ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ใช้กับแรงดันไฟฟ้า V.AC	กำลัง W	คะแปซิเตอร์ที่ควรใช้ VAR
110	20	30
220	10	30
	2 × 15	55
	16	40
	20	80
	25	55
	40	70
	2 × 20	70
	65	110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การลดค่าไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม

ค่าไฟฟ้าเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท การใช้ไฟฟ้าอย่างไม่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมจะทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้าแพงกว่าที่ควร การลดต้นทุนการผลิตโดยการลดค่าไฟฟ้านั้นสามารถทำได้ไม่ยากนักถ้าทราบโครงสร้างการคิดค่าไฟฟ้า ในปัจจุบันการไฟฟ้าฯ ได้แบ่งผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็นประเภทต่าง ๆ หลายประเภท เช่น ประเภทบ้านอยู่อาศัย ประเภทธุรกิจและประเภทอุตสาหกรรม เป็นต้น ในการคิดค่าไฟฟ้าสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมนั้น การไฟฟ้าฯ จะแยกคิดค่าไฟฟ้าออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ดังนั้น ในการที่จะหาทางลดค่าไฟฟ้าจึงต้องพิจารณาค่าไฟฟ้าทั้ง 3 ส่วนนี้อย่างละเอียด

1. การลดค่าไฟฟ้าโดยการลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด การใช้พลังงานไฟฟ้าในกิจการต่าง ๆ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา บางขณะมีความต้องการพลังไฟฟ้าสูง แต่บางขณะจะมีความต้องการพลังไฟฟ้าต่ำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของกิจการนั้น ๆ ในการวัดว่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่กิจการต่าง ๆ กำลังใช้อยู่ในช่วงเวลานั้น ๆ มีค่ามากน้อยเพียงใดนั้น การไฟฟ้าฯ จะวัดออกมาในรูปของค่าเฉลี่ย โดยใช้คาบเวลา 15 นาที เป็นช่วงเวลาในการวัด และเรียกความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในรอบเดือนของการใช้ไฟฟ้าว่า ความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ในรูปที่ 42 แสดงให้เห็นถึงการวัดความต้องการพลังไฟฟ้าและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 75 นาที (5 คาบเวลา) พื้นที่ใต้เส้นทึบคือปริมาณพลังงานไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในแต่ละคาบเวลาเมื่อถูกคูณด้วย 4 จะเป็นความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยในคาบเวลานั้น ๆ จากรูปที่ 42 เราจะเห็นว่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดจะเกิดขึ้นในคาบเวลาที่ 4 มีค่า 433.3 กิโลวัตต์ มิเตอร์บันทึกความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของการไฟฟ้าฯ จะบันทึกความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดค่านี้ไว้จนกว่าจะมีค่าที่สูงกว่านี้เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่อไป มิเตอร์จึงจะเปลี่ยนไปบันทึกค่าที่สูงกว่าที่เกิดขึ้นใหม่แทน

ลักษณะการใช้ไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังแสดงได้ด้วยเส้นทึบในรูปที่ 42 ซึ่งเราเรียกว่า เส้นโค้งของภาระ (Load Curves) เส้นโค้งของภาระนี้เราอาจจะบันทึกอย่างละเอียดเป็นรายชั่วโมงหรือรายวันก็ได้ หรือจะบันทึกอย่างหยาบ ๆ เป็นรายสัปดาห์ รายเดือน หรือรายปีก็ได้ รูปที่ 43 แสดงตัวอย่างเส้นโค้งของภาระของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แห่งหนึ่งที่บันทึกไว้ในช่วงวันทำงาน (จันทร์-ศุกร์)

เส้นโค้งของภาระนี้มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับการนำไปวิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ เพื่อวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ใช้วิเคราะห์หาแนวทางลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อลดค่าไฟฟ้า เป็นต้น

ในการพิจารณาว่าจะสามารถลดความต้องการพลังไฟฟ้า เพื่อลดค่าไฟฟ้าได้หรือไม่นั้น จะพิจารณาจากโหลดแฟคเตอร์

ก. โหลดแฟคเตอร์ โหลดแฟคเตอร์คืออัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนดต่อค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันนั้น และแสดงค่าเป็นเปอร์เซนต์ นั่นคือ

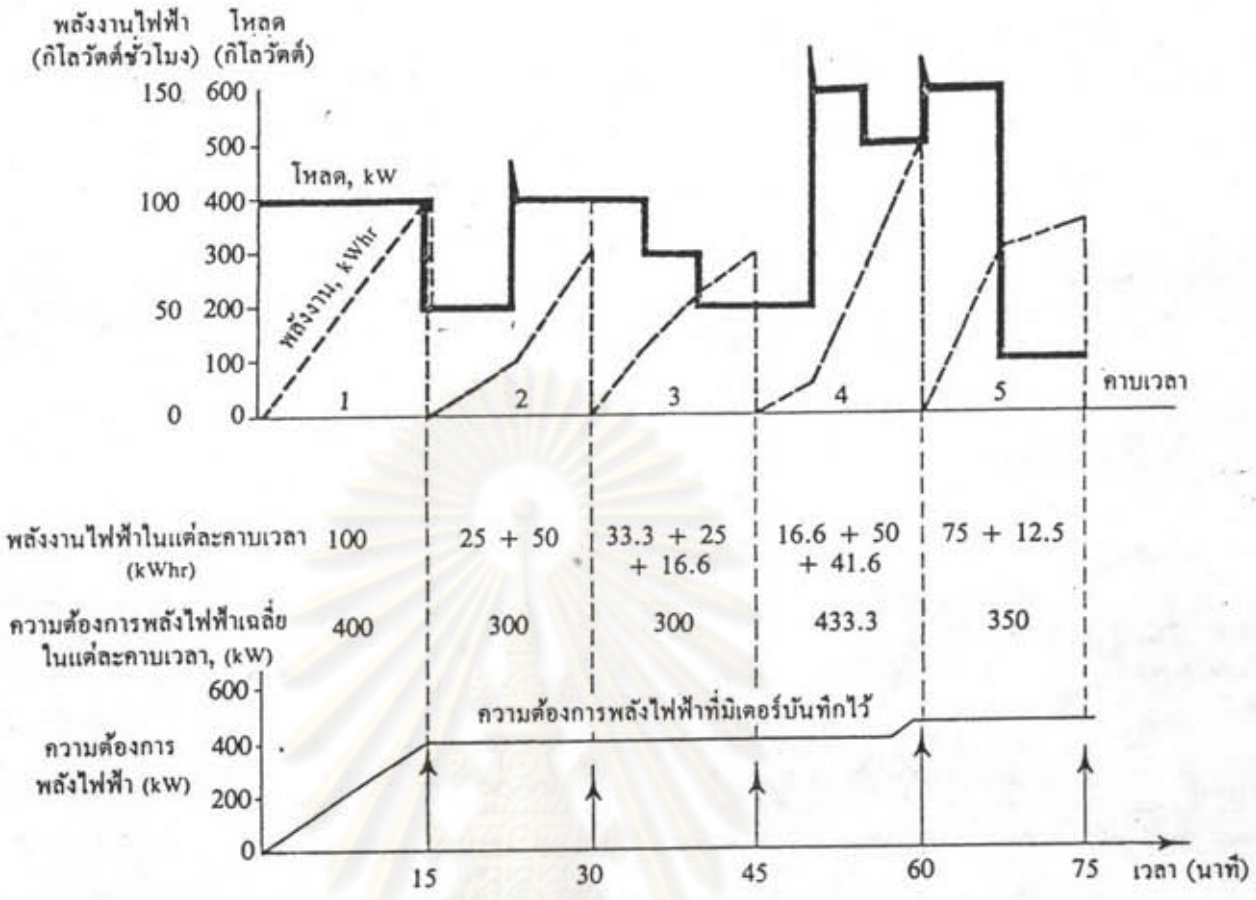
$$\text{โหลดแฟคเตอร์} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (กิโลวัตต์)}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์)}} \times 100$$

สำหรับโหลดแฟคเตอร์รายวันหรือรายเดือนนั้น สามารถหาค่าได้ดังนี้

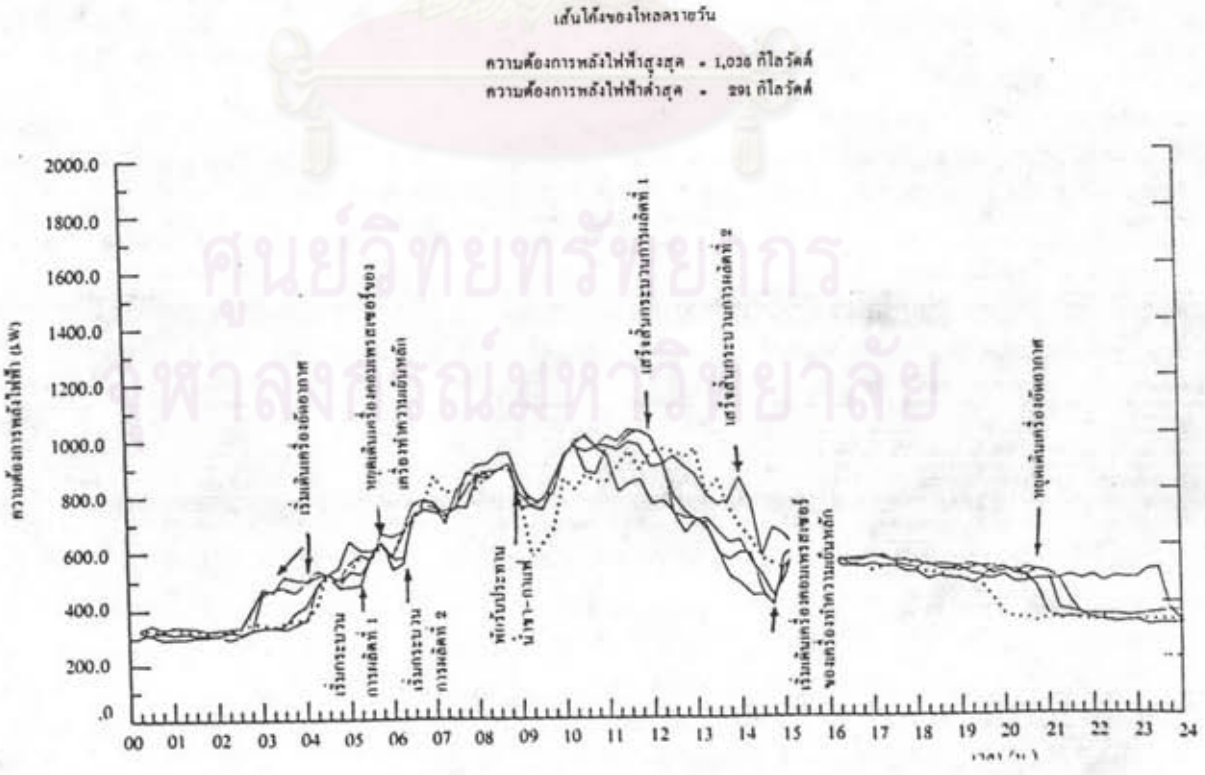
$$\text{โหลดแฟคเตอร์รายวัน (หรือรายเดือน)} = \frac{\text{จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)}}{\text{ความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (กิโลวัตต์)} \times \text{จำนวนชั่วโมงในแต่ละวัน (หรือรายเดือน)}} \times 100$$

ข. การปรับปรุงโหลดแฟคเตอร์ให้สูงขึ้นเพื่อลดค่าไฟฟ้า การเพิ่มค่าโหลดแฟคเตอร์โดยการลดหรือการควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด สามารถกระทำได้โดยพิจารณาเส้นโค้งของภาระรายวันและ/หรือรายเดือน ซึ่งแสดงสภาพหรือสถานะการใช้งานของภาระที่เวลาต่าง ๆ ในแต่ละเดือน จากรูปเส้นโค้งของภาระทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นที่เวลาใด และอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในขณะนั้นมีอะไรบ้าง และจะสามารถลดการใช้งานลงได้บ้างหรือไม่ ดังนั้นในช่วงเวลาที่คาดว่าจะเกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดควรจะตัดหรือหยุดการใช้งานอุปกรณ์ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นไว้ชั่วคราวจนกว่าช่วงเวลาดังกล่าวจะผ่านไปจึงจะเปิดใช้งานตามลำดับก่อนหลังตามความจำเป็นต่อไป การลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถสรุปเป็นแนวทางในการดำเนินการได้ดังนี้

1) สำรวจและจัดทำบัญชีรายการแสดงเครื่องจักรกลที่ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดขึ้น โดยแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ตามลำดับความสำคัญ เช่น กลุ่มเครื่องจักรกลที่มีความจำเป็นต่อกระบวนการผลิต กลุ่มเครื่องจักรที่ใช้ช่วยเสริมการทำงานของกระบวนการผลิต และกลุ่มเครื่องจักรที่ใช้กับสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ



รูปที่ 42 การวัดความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ย ในแต่ละคาบเวลา 15 นาที



รูปที่ 43 เส้นโค้งของภาระของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) พิจารณาวางแผนการใช้ไฟฟ้า โดยพยายามรักษาระดับความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดให้ต่ำที่สุดโดยไม่ทำให้ปริมาณการผลิตลดลง และกำหนดเป้าหมายความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดไว้ด้วย

3) สนับสนุนให้มีการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง และกำหนดมาตรการเพื่อควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ไม่ให้เกินขอบเขตที่กำหนดไว้

4) ลดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิตและกำหนดขั้นตอนการทำงานให้เหมาะสม

5) ตรวจสอบความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด จากเครื่องควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้า (ถ้ามี) หรือจากเส้นโค้งของภาระ แล้วกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการเริ่มเดินเครื่องอุปกรณ์ขนาดใหญ่ ๆ เช่น มอเตอร์ เตาหลอม เป็นต้น

6) กระจายการทำงานของภาระออกไป จากช่วงเวลาที่จะเกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด แล้วทำตารางกำหนดช่วงเวลาทำงานเอาไว้ตามลำดับงาน

7) ในกรณีที่ต้องการควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง ควรใช้เครื่องควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าอัตโนมัติ

ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ แจ้งเหตุ และบันทึกสภาพการใช้กำลังไฟฟ้า และยังสามารถส่งสัญญาณควบคุมให้คอนแทคเตอร์ตัดภาระที่มีความสำคัญน้อย ออกจากระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีแนวโน้มว่าค่าความต้องการพลังไฟฟ้าจะมีค่าสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ได้ด้วย

ในปัจจุบันมีผู้ผลิตหลายราย ที่ได้ทำการผลิตเครื่องควบคุมความต้องการพลังไฟฟ้าอัตโนมัติออกจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งมีอยู่หลายแบบ ตั้งแต่แบบง่าย ๆ ใช้เครื่องตั้งเวลาและคอนแทคเตอร์ไม่กี่ตัว จนถึงแบบที่เป็นระบบที่สลับซับซ้อนต้องใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงาน

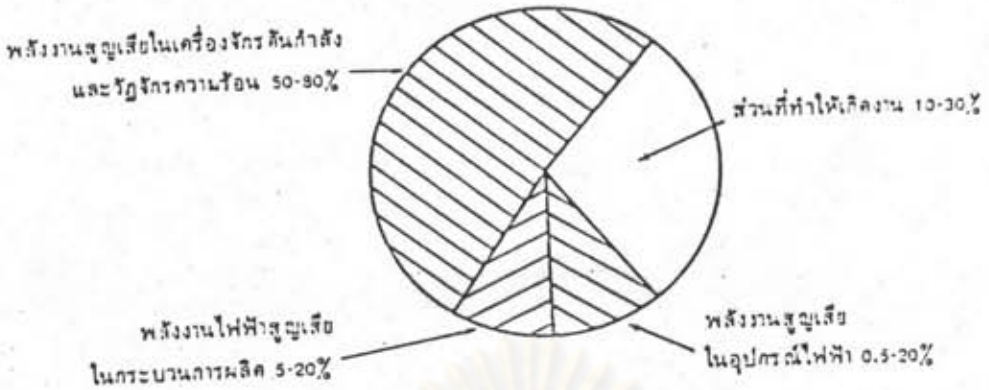
2. <u>การลดค่าไฟฟ้าโดยการลดกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้า</u> การสูญเสียทางไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละแห่งจะมีค่าที่แตกต่างกันมาก ขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนของระบบไฟฟ้า ขนาดของพื้นที่ที่ระบบไฟฟ้าครอบคลุมถึง และชนิดของกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมนั้น ๆ จากการประเมินอย่างคร่าว ๆ จะพบว่า การสูญเสียทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ จะมีค่าตั้งแต่ 0.5-20% รูปที่ 44 แสดงภาพที่เป็นไปได้ของส่วนแบ่งของพลังงานสูญเสีย และส่วนที่ถูกนำไปใช้งาน ซึ่งจะเห็นว่าพลังงานส่วนที่สามารถทำให้เกิดประโยชน์จะมีค่าประมาณ 10-30% ของพลังงานทั้งหมดเท่านั้น

ก. การสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ การที่จะทราบว่าการสูญเสียในระบบไฟฟ้ามีค่ามากน้อยเพียงใดและเกิดขึ้นที่ส่วนใดของระบบไฟฟ้านั้น เราจะต้องทราบก่อนว่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต่ออยู่กับระบบไฟฟ้าในโรงงานนั้น ๆ ประกอบด้วยอุปกรณ์ชนิดใดบ้าง และมีจำนวนมากน้อยเพียงใด อุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะมีการสูญเสียหรือมีประสิทธิภาพสูงต่ำไม่เท่ากัน ในตารางที่ 39 จะแสดงให้เห็นถึงช่วงของการสูญเสียของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนั้นการลดการสูญเสียในระบบไฟฟ้าจึงต้องใช้ความพยายามอย่างสูงและใช้เวลามาก เพราะการสูญเสียไม่ได้เกิดขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งในระบบไฟฟ้าเท่านั้น แต่จะเกิดกระจายอยู่ทั่วไปในระบบไฟฟ้านั้น ๆ และเกิดการสูญเสียขึ้นจุดละเล็กละน้อยเท่านั้น

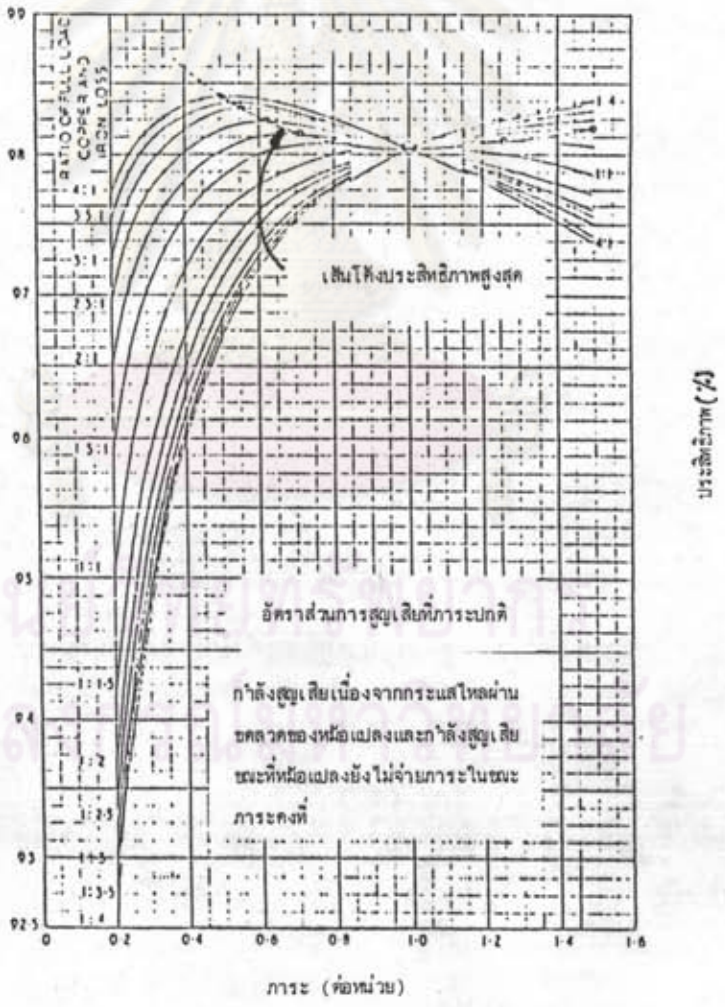
ตารางที่ 39 การสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ

ชนิด	การสูญเสียที่ภาระเต็มที่ (%)
1) เซอร์กิตเบรคเกอร์ใช้งานนอกอาคาร (15-230 KV)	0.002 - 0.015
2) สวิตช์เกียร์แรงดันปานกลาง	0.005 - 0.02
3) รีแอกเตอร์จำกัดกระแส (600 V - 15 V)	0.09 - 0.30
4) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	0.09 - 3.50
5) หม้อแปลง	0.40 - 1.90
6) สวิตช์ตัดโหลด	0.003 - 0.025
7) สตาร์ตเตอร์แรงดันปานกลาง	0.02 - 0.15
8) บัสเวย์ (480 V และต่ำกว่า)	0.05 - 0.50
9) สวิตช์เกียร์แรงดันต่ำ	0.13 - 0.34
10) ศูนย์ควบคุมมอเตอร์	0.01 - 0.40
11) เคเบิ้ล	1.00 - 4.00
12) มอเตอร์	
- 1 - 10 แรงม้า	14.00 - 35.00
- 10 - 200 แรงม้า	6.00 - 12.00
- 200 - 1500 แรงม้า	4.00 - 7.00
- มากกว่า 1,500 แรงม้า	2.30 - 4.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 44 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม



รูปที่ 45 ผลของอัตราส่วน Pk/Po ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลง

ตารางที่ 39 การสูญเสียในอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ (ต่อ)

ชนิด	การสูญเสียที่ภาระเต็มที่ (%)
13) ชุดแปลงไฟ (ขนาดใหญ่)	3.00 - 9.00
14) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ (Static Variable Speed Drives)	4.00 -15.00
15) คะแปซิเตอร์ (W/KVAr)	0.50 - 2.00
16) แสงสว่าง (Im/W)	3.00 - 9.00

ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มอเตอร์ขนาดเล็ก (ขนาดไม่เกิน 10 แรงม้า) จำนวนมากจะมีการสูญเสียทางไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 15% และระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ จะทำให้การสูญเสียเพิ่มขึ้นเป็น 20% ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่เป็นส่วนใหญ่ จะมีการสูญเสียประมาณ 6% เท่านั้น

ข. การลดพลังงานสูญเสียจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในระบบไฟฟ้า เพราะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าเหมาะสมต่อการใช้งาน การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยประหยัดพลังงานและลดค่าไฟฟ้าได้

1) กำลังสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า ในการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าใด ๆ ก็ตามให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องทราบสมรรถนะของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ เสียก่อน ตัวประกอบที่สำคัญตัวหนึ่งที่ใช้บอกสมรรถนะของอุปกรณ์ไฟฟ้าก็คือ กำลังสูญเสีย ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์นั้น ๆ จากตารางที่ 38 เราจะพบว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีกำลังสูญเสียประมาณ 0.04-1.90% ของภาระเต็มพิกัด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดพิกัดของหม้อแปลง

ตามทฤษฎีแล้วกำลังสูญเสียในหม้อแปลงมีอยู่หลายส่วนด้วยกัน แต่ในทางปฏิบัติจะสนใจเฉพาะกำลังสูญเสียที่สำคัญ 2 ส่วน ซึ่งจะมีผลต่อการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ คือ

ก) กำลังสูญเสียเมื่อไม่มีภาระ (No Load Loss) คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในตัวหม้อแปลงขณะที่หม้อแปลงยังไม่ได้จ่ายภาระ กำลังสูญเสียนี้ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก ซึ่งประกอบด้วย Hysteresis และ Eddy-current กำลังสูญเสียส่วนนี้จะมีค่าคงที่ตลอดเวลา ถ้าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่ป้อนให้กับหม้อแปลงไม่เปลี่ยนแปลง

ข) กำลังสูญเสียเนื่องจากภาระ (Load Loss) คือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดต่าง ๆ ขณะที่หม้อแปลงจ่ายภาระ กำลังสูญเสียส่วนนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับภาระยกกำลังสอง

จากกำลังสูญเสียของหม้อแปลง เราสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงได้ดังนี้

$$Eff. = \frac{LF.KVA.Cos}{LF.KVA.Cos\ \emptyset + Po + LF.PK} \quad 100\% \quad .....(5.10)$$

เมื่อ Eff. = ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

LF = ตัวประกอบภาระ

= ภาระที่เกิดขึ้นขณะนั้น ๆ / ขนาดพิกัดของหม้อแปลง

KVA = ขนาดพิกัดของหม้อแปลง

Cos $\emptyset$ = ตัวประกอบกำลังของภาระ

Po = กำลังสูญเสียไม่มีภาระ

Pk = กำลังสูญเสียเนื่องจากภาระ

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจะมีค่าสูงสุด เมื่อกำลังสูญเสียเนื่องจากภาระมีค่าเท่ากับกำลังสูญเสียไม่มีภาระ นั่นคือ ตัวประกอบภาระ LF = Po/Pk

ในรูปที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของหม้อแปลง กับตัวประกอบภาระของหม้อแปลงเมื่อกำลังสูญเสียทั้ง 2 ส่วนรวมกันเท่ากับ 2%

ในการพิจารณาแนวทางประหยัดพลังงานจากการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้านั้น ไม่ควรพิจารณาแต่เพียงค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงเพราะอาจทำให้เข้าใจผิดได้เนื่องจากประสิทธิภาพของหม้อแปลงที่หาได้จากสมการที่ (5.10) นั้น เป็นค่าประสิทธิภาพที่ภาระค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่ภาระของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง ๆ นั้น จะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตหรือความต้องการไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ สิ่งที่ควรพิจารณาเมื่อใช้งานหม้อแปลงก็คือกำลังสูญเสียของมันว่ามีค่ามากน้อยเพียงใด ในช่วงเวลาที่กำหนด เช่น 1 วัน หรือ 1 เดือน หรือ 1 ปี เป็นต้น กำลังสูญเสียรวมในช่วงเวลาดังกล่าวก็คือ พลังงานไฟฟ้าที่ต้องสูญเสียไป ดังนั้น การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสม จะสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง

1) การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน แม้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงมาก แต่ถ้าใช้งานอย่างไม่เหมาะสมก็จะทำให้ประสิทธิผลการใช้งานต่ำได้ เพื่อให้การใช้หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานจึงควรปฏิบัติดังนี้

ก) ปลดหม้อแปลงออกจากระบบไฟฟ้าเมื่อไม่ได้ใช้งาน การทำเช่นนี้จะช่วยลดกำลังสูญเสียไม่มีภาระของหม้อแปลง การปลดหม้อแปลงออกจากระบบไฟฟ้าทำได้โดยติดตั้งเซอร์กิตเบรคเกอร์ทางด้านแรงสูง เช่น Vacuum CB หรือ GAS CB

ข) จัดภาระของหม้อแปลงให้สมดุลกันทุกเฟส เพื่อให้หม้อแปลงทำงานได้เต็มความสามารถ และช่วยลดปัญหาเรื่องแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลด้วย

ค) ถ้าภาระมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดเวลา ไม่เปลี่ยนแปลงมาก เช่น ภาระของโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมเคมี ซึ่งทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ควรใช้งานหม้อแปลงที่จุดซึ่งหม้อแปลงมีค่าประสิทธิภาพสูงสุด

ง) ถ้าภาระมีค่าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง เช่นภาระของสำนักงาน ธนาคาร หรือโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำงานเฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น ในกรณีเช่นนี้ควรใช้หม้อแปลงอย่างน้อย 2 ตัว ตัวหนึ่งมีขนาดใหญ่สำหรับจ่ายภาระในเวลากลางวัน ส่วนอีกตัวหนึ่งมีขนาดเล็กสำหรับจ่ายภาระในเวลากลางคืน ซึ่งได้แก่ ภาระจำพวกแสงสว่าง และระบบรักษาความปลอดภัย เป็นต้น ในกรณีนี้จะทำให้ประหยัดพลังงานได้มาก เพราะไม่ต้องใช้งานหม้อแปลงตัวใหญ่ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ลดกำลังสูญเสียไม่มีภาระได้มาก

จ) ใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่แทนหม้อแปลงขนาดเล็กหลาย ๆ ตัว จะช่วยลดกำลังสูญเสียได้มาก (ต้องเป็นภาระที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก) เช่น ใช้หม้อแปลงขนาด 630 KVA แทนหม้อแปลงขนาด 315 KVA จำนวน 2 ตัว เราพบว่าหม้อแปลงขนาด

630 KVA 22 KV มีกำลังสูญเสียรวมเมื่อจ่ายภาระเต็มพิกัดเท่ากับ 7,850 วัตต์ (1350+ 6500) ในขณะที่หม้อแปลงขนาด 315 KVA 22 KV จำนวน 2 ตัว มีกำลังสูญเสียรวมถึง 9,400 วัตต์ (800 × 2 + 3900 × 2)

ฉ) การใช้หม้อแปลงชนิดประหยัดพลังงาน หรือประสิทธิภาพสูง ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงสามารถผลิตหม้อแปลงชนิดที่มีกำลังสูญเสียไม่มีภาระต่ำได้ จึงทำให้หม้อแปลงชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าหม้อแปลงธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้

ตารางต่อไปนี้แสดงการเปรียบเทียบหม้อแปลงแบบ Dry Type Cast Resin 12 KV/400-230 V ชนิดที่มีกำลังสูญเสียปกติ และชนิดประหยัดพลังงานหรือประสิทธิภาพสูง

KVA Rating	กำลังสูญเสียปกติ		ประสิทธิภาพสูง	
	สูญเสียภาระ	ไม่สูญเสียภาระ	สูญเสียภาระ	ไม่สูญเสียภาระ
500	5600	1200	5750	870
630	7400	1450	8000	1100
800	8950	1500	8950	1300
1000	9100	2100	10250	1550
1600	13700	2800	13950	2250
2000	16300	3500	17000	2650

ช) การเพิ่มค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction) ในกรณีนี้ต้องติดตั้งคะแปซิเตอร์กำลังทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เมื่อตัวประกอบกำลังมีค่าสูงขึ้นจะทำให้กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงมีค่าลดลง ทำให้ค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากภาระของหม้อแปลงลดลง

การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าอย่างถูกต้องและเหมาะสม จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยประหยัดพลังงานและลดค่าไฟฟ้าลงได้ จากขั้นตอนที่กล่าวผ่านมาพบว่าถ้าได้มีการวางแผนเลือกซื้อและใช้งานหม้อแปลงอย่างเหมาะสมแล้ว การปฏิบัติเพื่อการประหยัดพลังงานดังกล่าวแทบจะไม่ต้องลงทุนอะไรเลย

ค. การลดพลังงานสูญเสียในระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อนที่ใช้งานกันอยู่ในกิจการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นระบบขับเคลื่อนของกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม ระบบขับเคลื่อนในอาคารต่าง ๆ เช่น ลิฟท์ บันไดเลื่อน หรือการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ปั๊ม พัดลม เครื่องอัดอากาศ ล้วนแล้วแต่ต้องใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อนทั้งสิ้น ระบบขับเคลื่อนดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบขับเคลื่อนที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่ และระบบขับเคลื่อนที่สามารถควบคุม หรือปรับความเร็วได้ ไม่ว่าจะเป็นระบบขับเคลื่อนแบบใดก็ตาม ระบบขับเคลื่อนจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าและระบบขับเคลื่อนทำงานสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม เช่น มอเตอร์ต้องมีขนาดพอเหมาะกับระบบขับเคลื่อน ไม่ใช้มอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไป ความเร็วของมอเตอร์ต้องเหมาะกับขนาดของภาระ เช่น การใช้มอเตอร์ขับปั๊มหรือพัดลมควรเป็นแบบปรับความเร็วได้ เนื่องจากอัตราการไหลของปั๊มและพัดลมจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้ต้องใช้งานระบบขับเคลื่อนอย่างเหมาะสม เช่น ไม่ปล่อยให้ระบบขับเคลื่อนวิ่งตัวเปล่าอยู่เป็นเวลานาน ๆ เมื่อระบบขับเคลื่อนมีประสิทธิภาพการทำงานสูงก็จะสามารถช่วยให้ประหยัดพลังงานได้มาก

1) มอเตอร์ไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้งานกันอยู่ในขณะนี้มีให้เลือกมากมายหลายแบบ มีตั้งแต่ขนาดเล็กมาก ๆ ไปจนถึงขนาดใหญ่มาก ๆ ที่มีกำลังงานพิกัดเป็นเมกกะวัตต์ ถึงแม้ว่าจะมีมอเตอร์ให้เลือกใช้งานมากมายหลายแบบ แต่มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบโรเตอร์กรงกระรอก (Squirrel cage rotor induction motor) เป็นมอเตอร์ที่มีผู้นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะมีคุณสมบัติที่ดีกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นหลายประการ เช่นโครงสร้างเป็นแบบง่าย ๆ และแข็งแรง ใช้งานได้สะดวก มีความทนทานสูง การบำรุงรักษาและซ่อมแซมทำได้ง่าย ได้รับการออกแบบให้เหมาะกับการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ กันหลายแบบ และประการสำคัญคือ มีราคาถูกกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นที่มีขนาดพิกัดเท่ากัน แต่เดิมนั้นมอเตอร์เหนี่ยวนำถูกใช้ในงานที่มีความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ เพราะถ้าจะให้ควบคุมหรือปรับความเร็วได้อุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวจะมีราคาแพงมาก แต่ในปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้รับการพัฒนาให้สามารถใช้งานที่กำลังสูงมาก ๆ ได้ และในขณะเดียวกันก็มีราคาถูกลงมาก ทำให้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีราคาถูกลงอย่างมากด้วย จึงยิ่งทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับความนิยมในการใช้งานมากขึ้นไปอีก

2) การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้า การที่จะให้ได้ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น มอเตอร์ไฟฟ้าที่เป็นตัวต้นกำลังระบบขับเคลื่อนจะต้องได้รับการเลือกใช้งานอย่างเหมาะสม และใช้งานอย่างถูกต้อง จะเห็นว่าการเลือกระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายประการ เช่น ความต้องการของกระบวนการผลิต เงินลงทุนขั้นแรก ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการบำรุงรักษา เป็นต้น เมื่อได้ระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสมกับเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้แล้วก็ถึงขั้นการใช้งาน ถ้าใช้งานอย่างถูกต้องก็จะได้ระบบขับเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพสูง

3) การใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน ที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่ ระบบขับเคลื่อนที่มีความเร็วค่อนข้างคงที่คือ ระบบขับเคลื่อนที่ไม่มีความจำเป็นต้องปรับความเร็วรอบมอเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการของภาระ เช่น การขับเคลื่อนบันไดเลื่อน การขับเคลื่อนสายพานลำเลียงสิ่งของแบบความเร็วคงที่ พัดลมระบายอากาศ มอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่าง ๆ เป็นต้น เพื่อช่วยให้ระบบขับเคลื่อนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงและประหยัดพลังงาน จึงควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

ก) หลีกเลี่ยงการเดินมอเตอร์ตัวเปล่า ขณะที่มอเตอร์เดินตัวเปล่าไม่มีภาระ กำลังงานที่มอเตอร์ดึงเข้าไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกำลังงานสูญเสียทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก กำลังงานสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน และแรงต้านของลมจากใบพัดระบายอากาศ และกำลังงานสูญเสียในขดลวดทองแดง ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรหยุดเดินมอเตอร์ในขณะที่ไม่มีภาระ อย่างไรก็ตามต้องศึกษาช่วงเวลาที่มอเตอร์ทำงานและหยุดใช้งานอย่างละเอียดด้วย เพราะการหยุดเดินมอเตอร์จะทำให้การระบายความร้อนจากมอเตอร์ต้องใช้เวลานานมากขึ้น เนื่องจากไม่มีพัดลมระบายอากาศตอนมอเตอร์หยุดหมุน

ข) ใช้มอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดเหมาะสมกับภาระ การใช้มอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดใหญ่เกินไปจะทำให้มอเตอร์ทำงานที่ภาระต่ำ ๆ ซึ่งเป็นภาวะการทำงานที่ไม่ดี เพราะมอเตอร์จะมีประสิทธิภาพและเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำ โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพของมอเตอร์จะมีค่าสูงสุดที่ภาระประมาณ 80% ของขนาดพิกัดของมอเตอร์ ถ้าภาระน้อยกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพต่ำลงได้ เมื่อพิจารณาในแง่การประหยัดพลังงานแล้วควรจะใช้มอเตอร์ที่ภาระประมาณ 80-100% ดังนั้นควรเลือกขนาดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระที่ใช้ไม่ควรเผื่อขนาดมอเตอร์ให้ใหญ่จนเกินไป ถ้าเกรงว่ารับภาระเกินพิกัดแล้วจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ก็ควรจะแก้ไขโดยใช้ระบบป้องกันการทำงานเกินที่มีประสิทธิภาพจะดีกว่า

ค) เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นมอเตอร์ที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นแบบตามหลัง (Lagging) ดังนั้น ถ้ามีมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่ทำงานเป็นเวลานาน ๆ ก็ควรจะทำการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยการติดตั้งตัวคะแปซิเตอร์กำลังที่มีขนาดกิโลวัตต์ที่เหมาะสมเข้าที่มอเตอร์เพื่อช่วยลดกำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้า

ง) ใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ให้มีกำลังงานสูญเสียน้อยกว่ามอเตอร์ธรรมดาจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่า เหมาะสมกับภาระที่มีช่วงเวลาในการใช้งานยาวนาน สตาร์ทน้อยครั้ง อย่างไรก็ตามการลงทุนครั้งแรกจะสูง เมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบธรรมดา ทำให้จุดคุ้มทุนนานประมาณ 3-5 ปี

จ) ทำการบำรุงรักษามอเตอร์เป็นประจำ เช่น อัดน้ำมันหล่อลื่นตามเวลาที่กำหนดเพื่อลดกำลังงานสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานหรือความฝืด ตรวจสอบแรงตึงของสายพานให้มีค่าที่เหมาะสม เป็นต้น

ฉ) ตรวจสอบระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ ถ้าให้มอเตอร์ทำงานที่ค่าแรงดันแตกต่างไปจากค่าพิกัดบนป้ายชื่อ จะทำให้สมรรถนะการทำงานของมอเตอร์เปลี่ยนไป ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบขับเคลื่อนและอายุของมอเตอร์ด้วย

ช) ตรวจสอบสภาพระบายความร้อนของมอเตอร์ เป็นประจำ การใช้งานมอเตอร์ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้กำลังงานสูญเสียของมอเตอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้านทานของขดลวดเพิ่มขึ้น

4) ระบบขับเคลื่อนที่สามารถปรับความเร็วได้ ระบบขับเคลื่อนชนิดนี้คือ ระบบขับเคลื่อนที่มีความจำเป็นต้องปรับความเร็วรอบของมอเตอร์หรือความเร็วของภาระให้เหมาะกับการใช้งาน เราพอจะสรุปเหตุผลที่ต้องมีการปรับความเร็วได้ดังนี้

ก) ความจำเป็นในกระบวนการผลิต ในงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น การผลิตกระดาษ การรีดเหล็ก หรือการผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น ระบบขับเคลื่อนต้องสามารถปรับความเร็วให้เหมาะสมกับการผลิตได้ เช่น การผลิตกระดาษ ความเร็วรอบของมอเตอร์ในแต่ละช่วงของการผลิต จะทำให้เกิดแรงดึงขนาดพอเหมาะขึ้นในกระดาษ แรงดึงนี้ทำให้กระดาษเคลื่อนที่ไปได้ และยังทำให้กระดาษที่ได้มีความเหนียวและคุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่ต้องการ มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนในแต่ละช่วงของการผลิต สามารถปรับความเร็วรอบได้อย่างเหมาะสมแล้ว แรงในกระดาษก็จะไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ ถ้ามีแรงมากเกินไปก็อาจจะทำให้กระดาษขาด หรือถ้าแรงน้อยเกินไปกระดาษจะหย่อนทำให้คุณสมบัติของกระดาษเสียไป

ข) การประหยัดพลังงาน ในการใช้งานเครื่องสูบ เครื่องอัดอากาศ หรือพัดลม เมื่อต้องการควบคุมปริมาณการไหลของน้ำ ของเหลว หรือ อากาศ เรามักจะใช้วิธีปล่อยให้มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ดังกล่าวหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ แล้วควบคุมปริมาณการไหลโดยใช้วาล์วหรือแดมเปอร์ (damper) วิธีนี้ได้มีการใช้งานกันมานานแล้ว เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาถูก อย่างไรก็ตามการควบคุมด้วยวิธีนี้จะเกิดพลังงานสูญเสียเป็นจำนวนมาก และสัดส่วนของพลังงานที่สูญเสียไปกับพลังงานที่ใช้จะยิ่งมากขึ้น ถ้าปริมาณการไหลลดลง ดังนั้นเมื่อปริมาณการไหลของน้ำ ของเหลว หรืออากาศเปลี่ยนไป กำลังงานที่ตัวมอเตอร์ดึงจากระบบไฟฟ้าก็ควรจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นสัดส่วนเดียวกัน ซึ่งเราสามารถทำได้โดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

ค) คุณภาพของสินค้า ในกระบวนการผลิตบางอย่าง ระบบขับเคลื่อนต้องสามารถปรับความเร็วได้ในช่วงกว้าง ตอนเริ่มต้นการผลิตจะใช้ความเร็วต่ำและค่อย ๆ เพิ่มความเร็วขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงค่าหนึ่ง และเมื่อจวนสิ้นสุดการผลิต ความเร็วก็จะค่อย ๆ ลดลง ถ้าระบบขับเคลื่อนไม่สามารถปรับได้ในช่วงกว้างก็จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพด้อยกว่า

ง) ความยืดหยุ่นหรือความคล่องตัวในการผลิต ในการผลิตสินค้าเราไม่สามารถทำการจำหน่ายได้หมดทันทีที่ผลิตเสร็จ แต่ต้องมีการเก็บไว้ระยะเวลาหนึ่งจนกว่าจะจำหน่ายได้ ในกระบวนการผลิตที่สามารถปรับความเร็วได้ จะทำให้สินค้าที่ต้องเก็บรักษาไว้ก่อนการจำหน่ายมีจำนวนน้อย เพราะเราสามารถควบคุมปริมาณการผลิตให้พอเหมาะกับความต้องการของตลาดได้ ในทางตรงกันข้ามในกระบวนการผลิตที่ไม่สามารถปรับความเร็วได้ เราต้องผลิตสินค้าด้วยปริมาณที่ค่อนข้างคงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นถ้าตลาดมีความต้องการสินค้าลดลงจะทำให้ต้องเก็บรักษาสินค้าไว้มากทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง

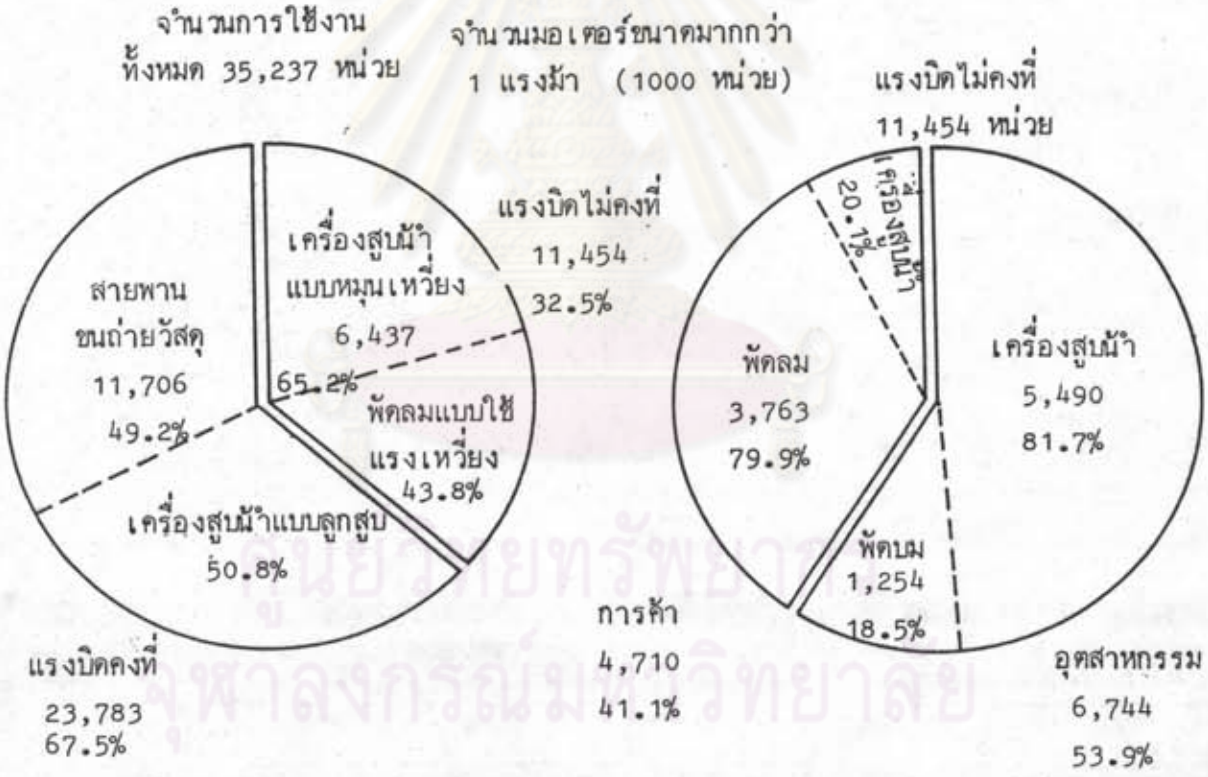
จ) เหตุผลทางเทคนิคและการปฏิบัติการ นอกจากการควบคุมความเร็วตามปกติแล้ว การควบคุมขณะเริ่มต้นเดินเครื่องมอเตอร์ก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย

การสตาร์ทมอเตอร์ด้วยวิธีต่าง ๆ กัน จะเกิดความต้องการพลังไฟฟ้าขณะสตาร์ทและแรงบิดของมอเตอร์ขณะสตาร์ทแตกต่างกัน การสตาร์ทโดยใช้การควบคุมความเร็วของมอเตอร์จะได้การทำงานที่เรียกว่าไม่เกิดการกระตุกทั้งทางระบบไฟฟ้าและระบบทางกล ทำให้ลดผลเสีย

ที่จะเกิดกับระบบไฟฟ้าและระบบทางกลลงได้อย่างมาก เช่น ไม่เกิดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงในระบบไฟฟ้า ในกรณีที่มอเตอร์ต้องใช้เวลานานกว่าจะเข้าสู่ความเร็วตามปกติได้ การสตาร์ทเป็นไปอย่างราบเรียบ ระบบทางกลเกิดการสึกหรอน้อย ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านการดำเนินงานและการบำรุงรักษาลดลง

5) การประหยัดพลังงานของระบบเครื่องสูบและพัดลม ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ที่ปรับความเร็วรอบได้

ระบบขับเคลื่อนที่สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมาก เมื่อเปลี่ยนจากการขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบเกือบคงที่มาเป็นแบบที่เปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ ได้แก่ระบบขับเคลื่อนของเครื่องสูบและพัดลม เป็นต้น เครื่องสูบและพัดลมที่ใช้กันมากที่สุดคือแบบหมุนเหวี่ยง (Centrifugal type) โดยมีสัดส่วนการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 46



รูปที่ 46 แสดงสัดส่วนการใช้งานของมอเตอร์