การอนุรักษ์พลังงานโดยการประยุกต์ใช้หลักการจัดการทางวิศวกรรมในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

Energy Conservation by the Application of Engineering Principles in a Large Industrial Plant

สุรศักดิ์ เรืองศรี[1] ปฏิวุฒิ ช่วยประดิษฐ์[2] อัศวิน คงทัพ[3*] นิติพันธ์ คุณประเสริฐ[4]

[1,2,3]นักศึกษา [4]อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

บทคัดย่อ

บทความปัญหาพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาการอนุรักษ์พลังงานโดยการประยุกต์ใช้หลักการจัดการทางวิศวกรรมในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ไม้แห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรปราการ โดยโรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตจำนวน 7,408,000 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 25,988,055 บาท/ปี และมีการใช้พลังงานความร้อนจากหม้อไอน้ำซึ่งใช้เชื้อเพลิง จากเศษไม้ที่เหลือใช้ในกระบวนการผลิต จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน และทำการสำรวจการใช้พลังงานอย่างละเอียดทำให้สามารถหามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานจำนวน 8 มาตรการแบ่งออกเป็นมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า 7 มาตรการ และมาตรการอนุรักษ์พลังงานความร้อน 1 มาตรการ ในส่วนของมาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าสามารถลดการใช้พลังงานได้ทั้งหมด 479,837.60 kWh/ปี ในส่วนของมาตรการอนุรักษ์พลังงานความร้อนสามารถลดการสูญเสียได้ 120,297.15 MJ/ปี คิดเป็นเชื้อเพลิงไม้ที่สามารประหยัดได้ 9.4 ตัน/ปี โดยมาตรการทั้งหมดใช้เงินลงทุน 1,028,350 บาท และได้มีการเสนอแนวทางการวางแผนการดำเนินมาตรการทั้งหมดโดยการประยุกต์หลักการจัดการทางวิศวกรรมเพื่อให้การลงทุนในการดำเนินมาตรการมีประสิทธิภาพมากที่สุด จากการประเมินผลการประหยัดของมาตรการทั้งหมดทำให้สามารถปรับปรุงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตซึ่งเป็นตัวบอกถึงความมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเดิม 0.57 kWh/ft^3 เป็น 0.54 kWh/ft^3 ลดลง 5.26 %

Abstract

This article presents the energy conservation of the wood furniture factory in Samutprakarn province by using engineering management technique. The electrical energy of 7,408,000 kWh per year or 25,988,055 Bath per year is mainly used in the processes including a heating energy system that is derived from wood scrap. After detailed audit, it was found that 8 measures have a potential to improve energy efficiency. 7 measures for electrical energy can reduce the energy of 479,837.60 kWh per year and the rest decreases heating energy of 120,297.15 MJ/Year or saving the scrap of 9.4 tons per year. In order to assess economic possibility, all measure also were considered. The result showed that it was worth to investment. In addition, specific energy consumption (SEC) can be improved from 0.57 kWh/ft^3 to 0.54 kWh/ft^3 or diminishing of 5.26 %

คำสำคัญ : การจัดการทางวิศวกรรม การอนุรักษ์พลังงาน โรงงานเฟอร์นิเจอร์

Keywords : Engineering Management , Energy Conservation Measures , Furniture Factory

[*]*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ u_sawin@hotmail.com โทร. 084-667-6179*

1. บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

โรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันส่วนใหญ่มีการใช้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตหลายชนิด ซึ่งต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกมาป้อนเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้ โดยส่วนใหญ่จะเป็นในรูปของความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและจากพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีแนวโน้มของราคาที่สูงขึ้นเรื่อยๆทำให้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตสินค้าของอุตสาหกรรมต่างๆอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และทำให้สินค้ามีราคาสูงตามไปด้วย ดังนั้นการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้การใช้พลังงานเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตสินค้าของภาคอุตสาหกรรม

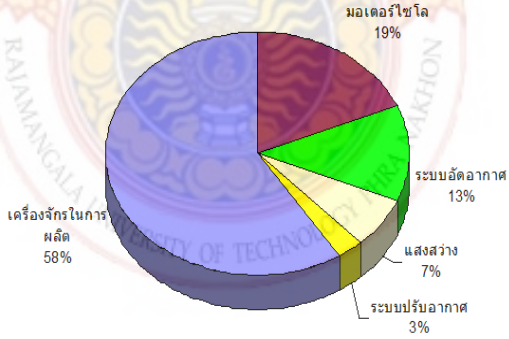
2. วิธีการศึกษา

2.1 สภาพทั่วไปของโรงงาน

โรงงานที่เป็นกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ยางพาราส่งออกต่างประเทศเช่น โต๊ะรับประทานอาหาร ตู้เสื้อผ้า และเก้าอี้ เป็นต้นโดยมีอัตราการผลิตเฟอร์นิเจอร์ทั้งหมดประมาณ 400,000 ชิ้น/ปี มีพนักงานทั้งหมด 1,800 คน การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,500 kVA จำนวน 1 ลูก และขนาด 2,500 kVA จำนวน 1 ลูกรวมเป็น 4,000 kVA จัดเป็นโรงงานควบคุมโรงงานหนึ่ง และจัดเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง มีการใช้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 23 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานความร้อนคิดเป็น 77 เปอร์เซ็นต์

2.2 ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงาน

โรงงานใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลักในกระบวนการผลิต ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าระดับแรงดัน 24 kV จากการไฟฟ้านครหลวงในอัตราตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Rate : TOU) และพลังงานความร้อนได้มาจากเชื้อเพลิงไม้ยางพาราที่เหลือจากกระบวนการผลิต โดยมีรายละเอียดการใช้พลังงานเฉลี่ยในรอบ 1 ปีดังนี้ประเภทการใช้ไฟฟ้า 4.2.2 TOU กิจการขนาดใหญ่หม้อแปลงติดตั้ง 4,000kVA พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน 617,333 kWh/ เดือน พลังงานไฟฟ้าเทียบเท่า MJ 2,222,398.8 MJ พลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 2,287 kVAค่าไฟฟ้าต่อเดือนเฉลี่ย 2,165,671.33 บาท/ เดือนค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย 3.51 บาท/ kWhโหลดแฟกเตอร์ เฉลี่ย 0.37ไม้ฟืนที่ใช้เฉลี่ยต่อเดือน 458.33 ตัน/ เดือนค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อเดือน215,644.265 บาทพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน7,333,333.33 MJ/เดือน



รูปที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงาน

จากรูปที่ 1 การใช้ไฟฟ้าในส่วนของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตจะมีสัดส่วนถึง 58% โดยส่วนใหญ่จะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส การหามาตรการประหยัดพลังงานคือการใช้พลังงานของระบบมอเตอร์ไซโลดูดฝุ่นใช้มอเตอร์ขนาด 50 ถึง 70 แรงม้าเปิดทำงานวันละ 10 ชั่วโมงเป็นอีกจุดหนึ่งที่คาดว่าจะสามารถหามาตรการที่เหมาะสมเพื่อลดการใช้พลังงานได้

ตารางที่ 1 ข้อมูลแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าใน รอบ 1 ปี

เดือน/ปี	พลังงานไฟฟ้า					
	พลังไฟฟ้าสูงสุด(kW)		พลังงานไฟฟ้า	ค่าไฟฟ้า	LOAD FACTOR	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย
	ON PEAK	OFF PEAK	(kWh)	(บาท)		(บาท/kWh)
กรกฎาคม 2548	2,147	2,098	849,000	2,482,341.87	0.53	2.92
สิงหาคม 2548	2,148	2,093	850,000	2,553,725.74	0.53	3.00
กันยายน 2548	2,348	2,318	704,000	2,263,367.12	0.42	3.22
ตุลาคม 2548	2,348	2,367	558,000	2,013,522.97	0.32	3.61
พฤศจิกายน 2548	2,276	2,306	478,000	1,754,905.04	0.29	3.67
ธันวาคม 2548	2,210	2,232	431,000	1,599,327.58	0.26	3.71
มกราคม 2549	2,211	2,235	499,000	1,861,475.86	0.30	3.73
กุมภาพันธ์ 2549	2,221	2,207	506,000	1,956,835.87	0.34	3.87
มีนาคม 2549	2,323	2,357	667,000	2,497,015.74	0.38	3.74
เมษายน 2549	2,336	2,414	540,000	2,018,266.92	0.31	3.74
พฤษภาคม 2549	2,444	2,446	661,000	2,433,724.38	0.36	3.68
มิถุนายน 2549	2,378	2,369	665,000	2,553,546.84	0.39	3.84
รวม	-	-	7,408,000	25,988,055.93	-	3.51
เฉลี่ย	2,283	2,287	617,333	2,165,671.33	0.37	3.51

ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนจากเศษไม้ยางพาราในรอบ 1 ปี

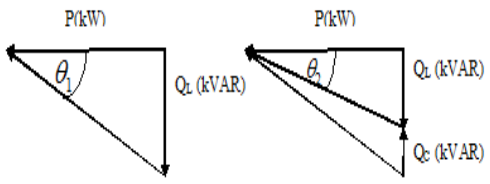
เดือน/ปี	ค่าใช้จ่ายพลังงานรวมต่อเดือน			
	เศษไม้จากการผลิต		(บาท)	พลังงานจากไม้ฟืน (MJ)
	(ตัน)	(บาท)		HHV = 16 MJ/kg
กรกฎาคม 2548	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
สิงหาคม 2548	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
กันยายน 2548	450	211,725.00	211,725.00	7,200,000
ตุลาคม 2548	350	164,675.00	164,675.00	5,600,000
พฤศจิกายน 2548	350	164,675.00	164,675.00	5,600,000
ธันวาคม 2548	350	164,675.00	164,675.00	5,600,000
มกราคม 2549	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
กุมภาพันธ์ 2549	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
มีนาคม 2549	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
เมษายน 2549	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
พฤษภาคม 2549	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
มิถุนายน 2549	500	235,250.00	235,250.00	8,000,000
รวม	5,500.00	2,587,750.00	2,587,750.00	88,000,000
เฉลี่ย	458.33	215,645.83	215,645.83	7,333,333.33

2.3 การดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลการใช้พลังงานทั้งหมดในรอบ 1 ปีเพื่อหาจุดที่คาดว่าจะมีศักยภาพสูงในการอนุรักษ์พลังงาน และกำหนดเป้าหมายที่จะทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องวัดต่างๆเพื่อเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินผลประหยัดต่อไป

2.4 มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

โรงงานจะมีตู้คาปาซิเตอร์แบงก์แบบอัตโนมัติมีหน้าที่ตรวจเช็คค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบว่ามีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยทั่วไปจะไม่ให้มีค่าต่ำกว่า 0.85 หรือ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ (kVAR) ในระบบจะต้องไม่เกิน 61.97% ของกำลังไฟฟ้าแอคตีฟสูงสุดในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการคิดค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้า ซึ่งคาปาซิเตอร์จะเป็นตัวช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟชดเชยให้ระบบและทำให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ดีขึ้น



รูปที่ 1 แสดงการลักษณะของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุง

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Power Factor, PF)

= $COS\,\theta$

เมื่อ

θ =มุมที่เกิดขึ้นระหว่างกำลังไฟฟ้าแอคตีฟกับกำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟ

P=กำลังไฟฟ้าแอคตีฟที่โหลดในระบบใช้งานจริง (kW)

Q_L=กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟที่ระบบฟ้าจ่ายให้กับโหลด (kVAR)

Q_C=กำลังไฟฟ้ารีแอคตีฟที่คาปาซิเตอร์จ่ายชดเชย ให้กับระบบ (kVAR) = $P \times (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

$COS\,\theta_1$ =ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบก่อนปรับปรุง

$COS\,\theta_2$ =ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบที่ต้องการ

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 แนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าที่การไฟฟ้ากำหนดทำให้ต้องเสียค่าปรับดังกล่าวในอัตราเฉลี่ยเดือนละ 3,584 บาท/เดือน กำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 2,300 kW และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบเฉลี่ยเท่ากับ 0.811 ในรอบ 1 ปี

แนวทางการปรับปรุงของมาตรการ

ติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงก์เพิ่มที่หม้อแปลงทั้งสองชุด โดยวิเคราะห์จากค่าพลังฟ้าสูงสุดเฉลี่ย และค่าตัวประกอบโหลดเฉลี่ยในรอบ1 ปี ค่าคาปาซิเตอร์ขนาด 3x60 kVAR จำนวน 2 ชุดเพื่อจ่ายชดเชยค่ากำลังไฟฟ้า รีแอคตีฟให้แก่ระบบ ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 0.85

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

ผลจากการคำนวณโดยติดตั้งคาปาซิเตอร์แบงก์ขนาด 3 × 60 kVAR จำนวน 2 ชุด ราคาพร้อมค่าติดตั้ง 390 บาท/ kVAR คิดเป็นเงินลงทุนทั้งหมด 140,400 บาท ทำให้สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในช่วงของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ต่ำกว่า 0.87 และลดค่าปรับตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 0.85 ของการไฟฟ้าและกำลังสูญเสียที่ภาระโหลดของหม้อแปลงได้เป็นเงิน 72,471.193 บาท/ปี โดยมีระยะเวลาคืนทุน 1.932 ปี

มาตรการปรับปรุงระบบแสงสว่างโดยใช้บัลลาสต์ความสูญเสียต่ำ

บัลลาสต์ซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าให้ได้ตามพิกัดที่หลอดต้องการ ซึ่งบัลลาสต์ที่ใช้ที่มีคุณภาพต่ำส่งผลให้เกิดความสูญเสียจากสภาวะที่เรียกว่าการสูญเสียในแกนเหล็กที่สูง ในปัจจุบันมีการผลิตบัลลาสต์ที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวซึ่งมีราคาแพงและส่งผลให้มีฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าสูงหากต้องใช้บัลลาสต์แบบอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก

แนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

การติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 kW ทั้งหมดจำนวน 5,500 หลอดซึ่งได้ทำการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนเป็นบัลลาสต์ความสูญเสียต่ำไปแล้วจำนวน 50 หลอด บัลลาสต์ความสูญเสียต่ำของหลอดที่เหลืออีกจำนวน 5,450 หลอดซึ่งจะช่วยให้โรงงานลดความสูญเสียจากบัลลาสต์ได้ถึง 5 วัตต์ต่อหลอด คิดเป็น 50%ของการสูญเสียทั้งหมด

แนวทางการปรับปรุงของมาตรการ

ต้องทำการเปลี่ยนบัลลาสต์มีจำนวนถึง 5,450 หลอด ดังนั้นในการดำเนินการจะใช้เวลาประมาณ 5 เดือน โดยกำหนดเป้าหมายไว้ที่การเปลี่ยนบัลลาสต์เฉลี่ยเดือนละ 1,090 หลอด

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

ผลการคำนวณจากการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ความสูญเสียต่ำจำนวน 5,450 หลอด ราคาตัวละ 125 บาทคิดเป็นเงินลงทุนทั้งหมด 681,250 บาท สามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 82,022.5 kWh/ปีคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 287,078.75 บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน 2.37 ปี และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของมาตรการนี้อยู่ที่ 17%

3.2 มาตรการลดความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการเดินมอเตอร์ตัวเปล่า

แนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

เครื่องจักรใช้มอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสแบบเหนี่ยวนำเป็นตัวขับเกือบทั้งหมด มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งใช้ในส่วนของเครื่องขัดกระดาษทราย และเครื่องตัดไม้ ไม่มีระบบควบคุมการใช้งานของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์มีการใช้งานเดินตัวเปล่าขณะรอการป้อนชิ้นงานต่อไปอยู่เสมอซึ่งสามารถ คิดเป็น 25% ของระยะเวลาการใช้งานมอเตอร์ทั้งหมด

แนวทางการปรับปรุงของมาตรการ

การปรับปรุงกระบวนการในการป้อนชิ้นงานให้มีความต่อเนื่องมากขึ้นเพื่อลดการเกิดช่วงเวลาที่มอเตอร์ต้องเดินตัวเปล่า พร้อมทั้งติดตั้งสวิทช์เพิ่มเติมเพื่อหยุดเดินมอเตอร์เมื่อไม่มีการป้อนชิ้นงานชั่วคราว

ตารางที่ 3 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียจากการเดินมอเตอร์ตัวเปล่าของโรงงาน

ชนิดของมอเตอร์	ขนาดพิกัด		จำนวน	มอเตอร์เดินตัวเปล่า 25%ของ 3,010 ชั่วโมง/ปี		
	(HP)	(kW)		กำลังไฟฟ้าที่ 30%ของพิกัด (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ปี)
เครื่องเลื่อยไม้สายพาน	1	0.75	1	0.225	169.31	592.59
	2	1.49	1	0.447	336.37	1,177.29
	3	2.24	5	0.672	2,528.40	8,849.40
	5	3.73	8	1.119	6,736.38	23,577.33
	7.5	5.6	1	1.68	1,264.20	4,424.70
	8.5	6.34	1	1.902	1,431.26	5,009.39
เครื่องขัดกระดาษทราย	1	0.75	2	0.225	338.63	1,185.19
	2	1.49	5	0.447	1,681.84	5,886.43
	3	2.24	24	0.672	12,136.32	42,477.12
	5	3.73	6	1.119	5,052.29	17,683.00
	6	4.48	3	1.344	3,034.08	10,619.28
รวมทั้งหมด			57	9.852	31,674.98	110,862.44

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าการปล่อยให้มอเตอร์เดินตัวเปล่าขณะไม่ได้ใช้งาน ทำให้มอเตอร์เดินตัวเปล่าซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งหมด 31,674.98 kWh/ปี คิดเป็นเงิน 110,862.44 บาท ซึ่งหลังจากทำการปรับปรุงโดยทำการติดตั้งสวิทช์เพิ่มเติมใช้เงินลงทุนทั้งหมด 17,100 บาท จะทำให้สามารถประหยัดเงินได้จากค่าไฟฟ้าที่ลดลง 110,862.44บาทต่อปี มีระยะเวลาคนทุนที่ 0.15 ปี หรือ1.8 เดือน

มาตรการลดอัตราการรั่วในระบบอัดอากาศ

แนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

รอยรั่วในระบบ ทำให้ลมที่ผลิตได้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ จึงควรจะทำงานซ่อมแซมรูรั่วที่เกิดขึ้นในระบบเพื่อลดอัตราการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากการสำรวจระบบส่งลมอัดภายในพบว่าระบบส่งลมมีการรั่วไหลอยู่หลายจุด

แนวทางการปรับปรุงของมาตรการ

ตรวจเช็คหาอัตราการรั่วของอากาศในช่วงเวลาหยุดการใช้ในกระบวนการผลิตเช่นในเวลาเลิกงานเป็นต้น ซึ่งสามารถหาอัตราการรั่วของระบบอัดอากาศได้จากสมการที่ (1) ซึ่งโดยทั่วไปจะยอมให้มีเปอร์เซ็นต์การรั่วได้ไม่เกิน 5 %ของอัตราการไหลของอากาศที่พิกัด

ปริมาณอากาศรั่ว L= $$Q\frac{T_L}{(T_L+T_{UL})}$$ (1)

L=ปริมาณอากาศรั่ว (ลิตร/วินาที) Q=อัตราการไหลของอากาศ (ลิตร/วินาที)

T_L=เวลาที่เครื่องอัดอากาศมีโหลด (วินาที) T_{UL}=เวลาที่เครื่องอัดอากาศไม่มีโหลด (วินาที)

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

ตรวจวัดหาการรั่วของอากาศได้ 25% ของอัตราการไหลที่พิกัด และหลังจากทำการปรับปรุงอัตราการรั่วของอากาศที่ยอมให้เกิดขึ้นคือ 10% ทำให้สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 153,961.5 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ต่อปีเท่ากับ 538,865.25บาท/ปีประเมินเงินลงทุนทั้งหมดที่ 60,000 บาท ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.11ปี

มาตรการลดความดันของอากาศอัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน

แนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

โรงงานมีการผลิตอากาศอัดที่ความดัน 7 บาร์เกจ ซึ่งที่การใช้อากาศจริงที่อุปกรณ์ต่างๆอยู่ที่ความดันไม่เกิน 5.5-5.8 บาร์เกจ เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ใช้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความดันอากาศที่เครื่องอัดอากาศผลิต ตามสมการที่ (2) การผลิตอากาศที่ความดันสูงจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ดังนั้นควรทำการลดความดันที่ผลิตลงมาที่ 6.5 บาร์เกจ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

<u>สมการกำลังงานที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศ</u> (W)

$$W = \frac{n}{n-1} P_1 \times FAD \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] kW \qquad (2)$$

เมื่อ

n = ดัชนีการอัดสำหรับอากาศ = 1.4P_1 = ความดันของอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ = 1 atm (1.013 bar)

P_2 = ความดันอากาศใช้งาน (ความดันเกจ+1.013 bar) bar

FAD= อัตราการไหลเข้าเครื่องอัดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน $\frac{m^3}{s}$ (ที่พิกัดเครื่อง)

แนวทางการปรับปรุงของมาตรการ

ตรวจสอบรอยรั่วในระบบเพื่อลดอัตราการรั่วของอากาศให้ได้ตามเป้าหมาย เนื่องจากการผลิตความดันของอากาศที่สูงเกินความจำเป็นเพื่อชดเชยความดันที่การส่งของระบบและการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบ จึงทำการปรับลดความดันของอากาศลงมาที่ 6.5 บาร์เกจ

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

ลดความดันจาก 7 บาร์ เหลือ 6.5 บาร์ ทำให้สามารถลดพลังงานที่ใช้ในเครื่องขนาด 50 แรงม้าจำนวน 9 ตัวได้ 4.08% และที่เครื่องขนาด 70 แรงม้าจำนวน 3 ตัวได้ 4.26 % คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ 60,741.8 kWh/ปี และคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้เท่ากับ 212,596.3 บาท/ปี ซึ่ง

การใช้พลังงานของเครื่องจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เข้าเครื่องตามสมการที่ (3) อุณหภูมิที่วัดได้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 41 องศาเซลเซียส

มาตรการลดอุณหภูมิทางเข้าของเครื่องอัดอากาศแนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

โรงงานติดตั้งอยู่ในบริเวณที่อากาศถ่ายเทไม่สะดวก ทำให้ความร้อนจากการระบายความร้อนของเครื่องไหลเวียนอยู่ในบริเวณดังกล่าว ส่งผลให้อุณหภูมิที่ทางเข้าของเครื่องสูงตามไปด้วย ซึ่งการ

<u>สมการกำลังงานที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศ</u>

$$W = \frac{n}{n-1} \rho RT \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad kW/liter/\sec \quad (3)$$

เมื่อ n = ดัชนีการอัดสำหรับอากาศ = 1.4

P_1 = ความดันของอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ = 1 atm (1.013 bar)

P_2 = ความดันอากาศใช้งาน (ความดันเกจ+1.013 bar) bar

R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 0.2871 kJ/kg .K

T=อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศ K

ρ = ค่าความหนาแน่นของอากาศ

= 0.00123 kg/liter

แนวทางการปรับปรุงของมาตรการ

การปรับปรุงโดยการย้ายตำแหน่งของเครื่องให้จุดที่ลมร้อนถูกระบายออกเข้าใกล้ช่องเปิดมากขึ้น พร้อมทั้งทำปล่องสำหรับดักลมร้อนเพื่อพาอากาศร้อนให้สามารถถ่ายเทออกไปสู่ภายนอกโรงงานให้ได้มากที่สุด

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

ลดอุณหภูมิทางเข้าของเครื่องจาก 41 องศาเซลเซียส ให้เป็น 36 องศาเซลเซียสจะลดพลังงานที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลงได้ 1.67% คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ 24,444.51 kWh/ปี และคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้เท่ากับ 85,555.78 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนประมาณ 50,000 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.58 ปี

มาตรการลดความดันอากาศที่ใช้ในการทำความสะอาด

แนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

ระบบอัดอากาศของโรงงาน จะใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแล้ว บริเวณรอบนอกของโรงงานจะมีท่อลมของอากาศอัดต่อไว้สำหรับให้พนักงานใช้ฉีดพ่นทำความสะอาดเศษฝุ่นผงของไม้ที่ใช้ในกระบวนการผลิตในช่วงพักกลางวัน และในช่วงที่เลิกงาน ซึ่งลมที่ใช้ทำความสะอาดดังกล่าวไม่มีการต่อผ่านอุปกรณ์ลดความดันลม

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

จำนวนพนักงานในการผลิต 1,500 คนจากทั้งหมด 1,800 คนจะใช้ระบบอัดอากาศวันละ 1 นาที คิดเป็นระยะเวลาการใช้ทั้งหมด 7,500 ชั่วโมงต่อปี หลังปรับลดความดันอากาศจาก 7 บาร์เหลือ 3 บาร์ สามารถลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 14.171 kW คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 106,286.25 kWh/ปี และคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 372,001.875บาท/ปี ใช้เงินลงทุน 20,000 บาท ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.05 ปี

3.1.8 มาตรการหุ้มฉนวนท่อไอน้ำ

แนวคิดในการวิเคราะห์มาตรการ

ท่อไอน้ำมีการหุ้มฉนวนเพียงบางส่วน และในส่วนของวาล์ว และหน้าแปลนต่างๆยังไม่มีการหุ้มฉนวน ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนเกิดขึ้นที่ท่อไอน้ำที่ส่งไปยังกระบวนการผลิต

แนวทางการปรับปรุงของมาตรการ

ทำการหุ้มฉนวนหนา 2 นิ้ว ท่อไอน้ำ วาล์ว และหน้าแปลนเพิ่มเติมในส่วนที่ยังไม่มีการหุ้มฉนวน พร้อมทั้งซ่อมแซมฉนวน ที่ชำรุดในบางส่วน

การประเมินผลประหยัดของมาตรการ

การหุ้มฉนวนหนา 2 นิ้ว ของท่อไอน้ำในส่วนที่ยังไม่หุ้มฉนวนทำให้สามารถประหยัดถึง 9.4 ตัน/ปี คิดเป็นพลังงานเท่ากับ 120,297.15 MJ/ปี ใช้เงินลงทุน 64,240 บาทโดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 14.5 ปี

การหาดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะต่อผลผลิตของโรงงานเฟอร์นิเจอร์ (SEC)

ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต(SEC) เป็นค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมของผลิตภัณฑ์ว่าต้องใช้พลังงานจำนวนเท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย

$$SEC = \frac{E}{P} \qquad (4)$$

SEC = ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต

E = ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ในการผลิต

P = ปริมาณผลผลิตทั้งหมดในช่วงเวลาเดียวกัน

การหาดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของกระบวนการผลิตในโรงเฟอร์นิเจอร์ซึ่งมีผลผลิต 4 ชนิด ประกอบไปด้วย เก้าอี้ โต๊ะ เตียง และตู้ ซึ่งผลผลิตแต่ละชนิดมีการใช้ไม้เป็นวัตถุดิบในปริมาณที่ต่างกัน

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณการผลิตสินค้าทั้งหมดต่อปี และปริมาตรไม้ที่ใช้ในการผลิต

ผลผลิต	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	ปริมาตรไม้ที่ใช้ในการผลิต (ลูกบาศก์ฟุต,ft^3)	ปริมาตรไม้ทั้งหมด (ลูกบาศก์ฟุต,ft^3)
เก้าอี้	239,497	0.649	155414.2042
โต๊ะ	472,758	2.801	1323968.275
เตียง	929,691	3.268	3038022.811
ตู้	1,848,910	4.531	8376747.283
รวมทั้งหมด	3,490,856	-	12,894,153

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดต่อปี

รูปแบบของพลังงาน	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ปี)		
	ก่อนปรับปรุง	พลังงานที่ประหยัดได้	หลังปรับปรุง
พลังงานไฟฟ้า	7,408,000	479,837.60	6,928,162.40

จากข้อมูลในตารางที่ 4 ปริมาณไม้ที่ใช้ในการผลิตสินค้าทั้งหมดต่อปี (ft^3) และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดต่อปี (kWh) จากตารางที่ 3.4 ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะหาได้จากสมการที่ (4) ดังนี้

ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ในการผลิตก่อนปรับปรุง

(E_1) =7,408,000 kWh/ปี

ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ในการผลิตหลังปรับปรุง

(E_2) =6,928,162.40 kWh/ปี

ปริมาณไม้ทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตสินค้าช่วงเวลาเดียวกัน (P) =12,894,153 ft^3

ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตก่อนปรับปรุง

$$(SEC_1) = \frac{E_1}{P} = \frac{7{,}408{,}000}{12{,}894{,}153}\ \frac{kWh}{ft^3}$$

$$= 0.57\ \frac{kWh}{ft^3}$$

ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตหลังปรับปรุง (SEC_2) $= \frac{E_2}{P} = \frac{6{,}928{,}162.40}{12{,}894{,}153}\ \frac{kWh}{ft^3}$

$$= 0.54\ \frac{kWh}{ft^3}$$

ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตที่ลดลง $= \frac{SEC_1 - SEC_2}{SEC_1} \times 100\%$

$$= \frac{0.57 - 0.54}{0.57} \times 100\% \quad = 5.26\ \%$$

คำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตที่ลดลง 5.26% ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตหลังจากดำเนินมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานมีประสิทธิภาพดีขึ้นเช่นกัน

4. สรุป

4.1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้ง 8 มาตรการจากการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อผลผลิตเฉลี่ยจาก 0.57 kWh/ft^3 เป็น 0.54 kWh/ft^3 ลดลง 5.26 % คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ทั้งหมด 479,837.6 kWh/ปี และ

ในส่วนของพลังงานความร้อนลดลง 120,297.15 MJ/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 1,028,350 บาท และมีผลการประหยัดคิดเป็นเงิน 1,683,854.29 บาท/ปี

4.2 มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุขนาด 3×60 kVAR คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 72,471.193 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 140,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 1.9 ปี

4.3 มาตรการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์แกนเหล็กความสูญเสียต่ำ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 287,078.75 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 681,250 บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 2.37ปี

4.4 มาตรการปรับปรุงโดยการลดการสูญเสียจากการเดินมอเตอร์ตัวเปล่า คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 110,862.44 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 17,100 บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.15 ปี

4.5 มาตรการปรับปรุงโดยการลดอัตราการั่วในระบบอัดอากาศ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 538,865.25 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 60,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.11 ปี

4.6 มาตรการลดความดันของอากาศอัดในระบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 212,596.3 บาท/ปี โดยไม่ต้องใช้เงินลงทุน

4.7 มาตรการลดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าเครื่องอัดอากาศ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 85,555.78 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 50,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.58 ปี

4.8 มาตรการลดความดันอากาศที่ใช้ในการทำความสะอาด คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 372,001.875 บาท/ปี ใช้เงินลงทุนทั้งหมด 20,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุนที่ 0.05 ปี

4.9 มาตรการหุ้มฉนวนท่อไอน้ำในส่วนที่ยังไม่มีการหุ้มฉนวน คิดเป็นเศษไม้ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้เท่ากับ 9.4 ตัน/ปี

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการศึกษาขอขอบพระคุณ อาจารย์จันทนา กุญชรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ อาจารย์อัมพร กุญชรรัตน์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแนวทางในการจัดทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พร้อมกันนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงงานเฟอร์นิเจอร์ ที่อำนวยความสะดวกในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

ศุภชัย ปัญญาวีร์. 2549. **คู่มือการลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน.** สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์.2548.**เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม**.สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัชระ มั่งวิทิตกุล. 2544. **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม**. จัดพิมพ์โดยศูนย์อนุรักพลังงานแห่งประเทศไทย.