

การศึกษาพลังงานในโรงงานผลิตพลาสม่า

ปภาวดี ภิญญ

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม

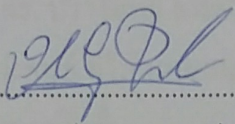
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม 2561

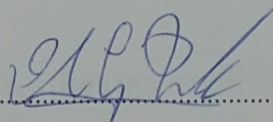
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

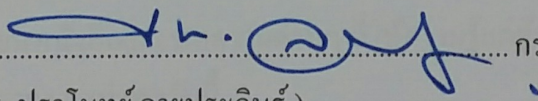
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณา
งานนิพนธ์ของ ปภาวดี ภิญโญ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา
ได้

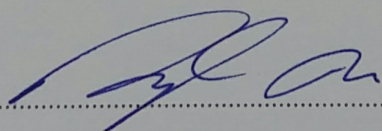
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี)

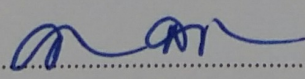
คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์


..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี)


..... กรรมการ
(ดร. ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์)


..... กรรมการ
(ดร. ภาณุวัฒน์ ด้านกลาง)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของ
มหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 16 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รองศาสตราจารย์ ดร. วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี ที่กรุณาให้เกียรติเป็นที่ปรึกษางานนิพนธ์นี้ ผู้ให้ความช่วยเหลือ ให้ความรู้ในการค้นคว้า และวิจัยข้อมูล รวมไปถึงการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอดการวิจัย ผู้เขียนจึงขอกราบ ขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. ปราโมทย์ ลายประดิษฐ์ และ ดร. ภาณุวัฒน์ ด้านกลาง คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการคัดกรอง และตรวจแก้ไข งานนิพนธ์นี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ โรงงานพาเลทไม้ในจังหวัดระยอง ผู้เอื้อเฟื้อสถานที่และข้อมูล กระบวนการผลิตที่ใช้ในการวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และครอบครัว ผู้เป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนให้ โอกาสในการศึกษาตลอดมา

ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดงานนิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คุณค่าและคุณประโยชน์ของงานนิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้เขียนหนังสือและบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนทำให้เป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาตราบนานเท่านาน

ปกาวดี ภิญโญ

56920948: สาขาวิชา: การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม; วศ.ม. (การจัดการพลังงาน
และสิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: การศึกษาพลังงาน/ ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน/ การไหลภายในท่อ/ พาเลท/
พาเลทไม้/ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ปกาวดี วิทยุ: การศึกษาพลังงานในโรงงานผลิตพาเลทไม้ (STUDY OF WOODEN
PALLET FACTORY ENERGY CONSUMPTION) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์:
วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดี, วศ.ด., 72 หน้า. ปี พ.ศ. 2561.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานผลิตพาเลทไม้ขนาดเล็กแห่งหนึ่งใน
จังหวัดระยอง ซึ่งเป็น โรงงานประกอบพาเลทไม้ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า พลังงานหลักที่ใช้ คือ
พลังงานไฟฟ้า และไม่มีการใช้พลังงานในรูปแบบอื่น ๆ ในการศึกษาจะทำการศึกษาเฉพาะ
กระบวนการผลิต จากการคำนวณสมรรถนะของเครื่องอัดอากาศ 2 เครื่อง พบว่า มีการสูญเสีย
พลังงานจากระบบส่งจ่ายลม (ระบบอัดอากาศ) 628.77 ลิตร/ นาที โดยแบ่งเป็นลมรั่วจากเครื่องอัด
อากาศที่ 1 เท่ากับ 535.69 ลิตร/ นาที และลมรั่วจากเครื่องอัดอากาศที่ 2 เท่ากับ 93.08 ลิตร/ นาที
ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อปรับปรุงระบบส่งจ่ายลมนี้ โดยเปลี่ยนเครื่องอัด
อากาศจากขนาด 10 แรงม้า เป็น 15 แรงม้า เพียง 1 เครื่อง ปรับปรุงระบบส่งจ่ายลมจากท่อลมยาง
เป็นเหล็กชุบกำลัปป์วไนซ์ จากผลลัพท์ที่ได้ พบว่า สามารถลดค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์
จาก 0.79 MJ/ Unit เหลือ 0.58 MJ/ Unit และเมื่อคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า
มีจุดคุ้มทุนที่ 0.12 ปี เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง และ 0.23 ปี เมื่อระบบทำงานแบบครึ่งกำลัง

56920948: MAJOR: ENERGY AND ENVIRONMENT MANAGEMENTAL; M.Eng.
(ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)

KEYWORD: ENERGY CONSUMPTION/ ENERGY EFFICIENCY/ INTERNAL FLOW/
PALLET/ WOODEN PALLET/ ECONOMIC COST BENEFIT

PAPAWADEE PHINYO: STUDY OF WOODEN PALLET FACTORY ENERGY
CONSUMPTION. ADVISORSY COMMITTEE: WORACHEST PIROMPUGD, D.Eng., 72 P.
2018.

This research aims to study about the energy consumption in a small wooden pallet factory in Rayong province. A wooden pallet factory is based on customer's orders. The main energy used is electrical energy and there are no other forms of energy used. Focusing on the process of calculating the efficiency of the compressor, there is a loss of power from the air distribution system. The compressed air is lost from two compressors to the ambient at a rate of 628.77 liters/ minute: air compressor # 1 535.69 liters/ minute and air leakage from the air compressor # 2 93.08 liters/ minute. The researcher proposed a solution to improve the air distribution system by replacing an air compressors of 10 HP with 15 HP, changing the air distribution system from rubber hose to galvanized steel. From the results, it can be found that SEC decreases from 0.79 MJ/ Unit to 0.58 MJ/ Unit and its benefit have a payback period of 0.12 year in full load and 0.23 year in half load.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
สมมติฐานของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
ความหมายของพลังงาน.....	5
การจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม.....	5
แนวทางการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	5
การใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC).....	6
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	6
พหุเลข.....	7
มาตรฐาน IPPC/ ISPM 15.....	9
การลดต้นทุน.....	9
การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต.....	10
เครื่องอัดอากาศ.....	11
การควบคุมเครื่องอัดอากาศ.....	14
การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ.....	15
การคำนวณการสูญเสียภายในท่อ.....	15

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
สมการเบอร์นูลี.....	17
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ.....	17
การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์.....	17
ความสูญเสีย 7 ประการ.....	18
กรณีศึกษาจากวรรณกรรม.....	19
3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	22
ข้อมูลและสภาพทั่วไปของโรงงานผลิตพลาเทไม้.....	23
ขั้นตอนการดำเนินงานของโรงงานผลิตพลาเทไม้.....	24
การวางแผนตรวจประเมินการใช้พลังงาน โรงงานผลิตพลาเทไม้.....	25
ขั้นตอนและกระบวนการผลิต.....	28
ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน.....	32
ประเด็นที่น่าสนใจเพื่อนำเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	38
เสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน.....	41
4 ผลการวิจัย.....	42
การสำรวจอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งจ่ายลม.....	42
การออกแบบแผนผังการเดินท่อลมแบบใหม่.....	43
การคำนวณหาความดันและกำลังสูงสุด.....	44
การคำนวณหากำลังสูงสุดของระบบ.....	46
การคำนวณกำลังที่ระบบส่งจ่ายลมต้องการ.....	52
การคำนวณหาพลังงานของระบบนี้ที่ใช้ในการผลิตพลาเทไม้ 1 ตัว.....	53
การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการประกอบพลาเทไม้ 1 ตัว.....	54
การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC).....	59
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	59
การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบเต็มกำลัง.....	61
การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบครึ่งกำลัง.....	65

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 บทสรุป.....	69
การปรับเปลี่ยนระบบส่งจ่ายลม.....	69
การผลิตแบบเต็มกำลังของระบบ.....	69
การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบเต็มกำลัง.....	69
การผลิตแบบครึ่งกำลังของระบบ.....	70
การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบครึ่งกำลัง.....	70
ข้อเสนอแนะ.....	70
บรรณานุกรม.....	72
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของพาเลทแต่ละชนิด.....	8
3-1	รายการเครื่องจักรแสดงตามแผนผังโรงงาน.....	27
3-2	รายการเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้.....	34
3-3	วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ #1.....	39
3-4	วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ #2.....	40
4-1	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อที่ใช้ในการคำนวณแบบที่ 1 ให้ลมออกจาก ช่องลมที่ 1.....	49
4-2	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อ ในการคำนวณความสูญเสียภายในท่อ ช่วง G.....	51
4-3	ความดันภายในท่อและอัตราการใช้ไฟฟ้าของระบบในแต่ละช่วง.....	52
4-4	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียภายในท่อย่าง G.....	57
4-5	รายการอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของระบบส่งจ่ายลม.....	61
4-6	ค่าเฉลี่ยของรายรับสุทธิรายปีระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงแบบเต็มกำลัง.....	62
4-7	ค่าเฉลี่ยของรายรับสุทธิรายปีระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงแบบครึ่งกำลัง.....	66

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1-1 พาเลทไม้	1
1-2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ของประเทศไทย ปี 2557	2
1-3 ขอบเขตของการวิจัย	4
2-1 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ	12
2-2 เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรม	12
2-3 เครื่องอัดอากาศชนิดสกรู	13
2-4 เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อน	13
2-5 เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดหมุน	14
3-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	22
3-2 โครงสร้างองค์กร	23
3-3 ผลิตภัณฑ์พาเลทไม้	24
3-4 ไม้ยางพาราสำหรับผลิตพาเลทไม้	24
3-5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโรงงานผลิตพาเลทไม้	25
3-6 แผนผังโรงงานและเครื่องจักร	26
3-7 กระบวนการประกอบพาเลทไม้	28
3-8 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	29
3-9 ขั้นตอนการตัดไม้	29
3-10 ขั้นตอนการผ่าเพื่อลดความหนา	30
3-11 ขั้นตอนการไส	30
3-12 ขั้นตอนการริบข้าง	31
3-13 ขั้นตอนการประกอบ	31
3-14 ขั้นตอนการขัด	32
3-15 นำพาเลทไม้เข้าเก็บในโกดังเพื่อรอการขนส่ง	32
3-16 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงาน	33
3-17 อัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559	33
3-18 ข้อมูลการผลิตของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-19 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559.....	36
3-20 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558- มิถุนายน 2559.....	36
3-21 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับยอดการผลิต.....	37
3-22 ค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559.....	38
3-23 เครื่องอัดอากาศ #1.....	39
3-24 เครื่องอัดอากาศ #2.....	40
4-1 เครื่องอัดอากาศ #1 ยี่ห้อ PUMA ขนาด 10 แรงม้า.....	42
4-2 แนวท่อลมยางแบบเก่า.....	43
4-3 แผนผังการเดินระบบท่อลมและจุดปล่อยลม.....	43
4-4 รายละเอียดระบบท่อลมและการแบ่งช่วงเพื่อการคำนวณ.....	45
4-5 รายละเอียดข้อต่อตามจุดต่าง ๆ.....	45
4-6 การเดินทางของลมออกช่องที่ 1 ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง.....	47
4-7 Moody diagram.....	48
4-8 เส้นทางการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน.....	54
4-9 รอบเวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการ.....	60
4-10 Cash flow diagram หลังการปรับปรุง เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง.....	62
4-11 Cash flow diagram ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการ เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง.....	64
4-12 ตารางดอกเบี้ยทบต้น 7%.....	64
4-13 Cash flow diagram หลังการปรับปรุง เมื่อระบบทำงานแบบครึ่งกำลัง.....	65
4-14 Cash flow diagram ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการ เมื่อระบบทำงานแบบครึ่งกำลัง.....	67

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

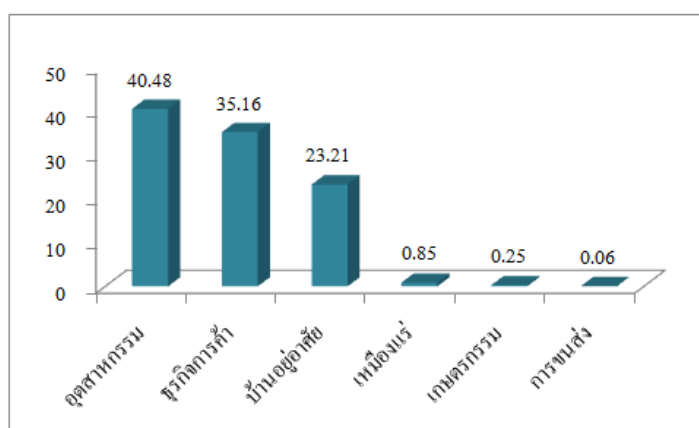
ปัจจุบันมีการรวมตัวของชาติในกลุ่มอาเซียนหรือที่เรียกว่า AEC (Asean Economics Community) ซึ่งมีทั้งหมด 10 ประเทศ คือ ไทย พม่า ลาว เวียดนาม มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ กัมพูชา และบรูไน โดยจะส่งผลให้มีอำนาจต่อรองกับคู่ค้าได้มากขึ้น รวมไปถึง การส่งออกและการนำเข้าระหว่างชาติอาเซียนก็จะเสรี (ยกเว้นสินค้าบางประเภทตามที่ แต่ละประเทศกำหนด) ซึ่งประเทศไทยตั้งอยู่บนภูมิประเทศที่มีความสามารถในการขนส่งได้ หลากหลายช่องทาง เช่น ทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ซึ่งสามารถเอื้อประโยชน์ให้เกิดรายได้ เข้าประเทศเป็นอย่างมากทั้งธุรกิจขนส่ง ค่าธรรมเนียมผ่านทางรวมไปถึงอุปกรณ์ อำนาจความสะดวกต่าง ๆ ซึ่งพาลูกก็เป็นอุปกรณ์ที่นิยมกันอย่างแพร่หลายใช้เพื่อการขนย้ายสินค้า ทั้งในและต่างประเทศ



ภาพที่ 1-1 พาเลทไม้

จากภาพที่ 1-1 พาเลท คือ แทนสำหรับวางสินค้า ซึ่งนิยมใช้กันในหลากหลายธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นธุรกิจจำหน่ายสินค้าทั้งปลีกและส่ง ภาคอุตสาหกรรมที่ใช้ในระบบการจัดการ คลังสินค้า การเก็บรักษาสินค้า รวมไปถึงธุรกิจการขนส่งสินค้า เนื่องจากพาเลทช่วยให้ สะดวกสบายในการขนย้ายสินค้าในปริมาณมากด้วยรถโฟล์คลิฟท์ (Forklift) และสามารถป้องกัน

ความเสียหายที่เกิดจากการขนส่ง โดยรถพ่วงบรรทุกจะสอดขาเข้าไปในช่องใต้พาเลทแล้วยกให้ลอยจากพื้น ซึ่งพาเลทจะมีหลากหลายขนาดและหลายรูปแบบ เช่น พาเลทไม้ พาเลทพลาสติก พาเลทเหล็ก พาเลทกระดาษ และพาเลทโฟม ซึ่งพาเลทแต่ละประเภทก็จะมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันออกไป โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกและออกแบบพาเลทตามความต้องการใช้งานได้ พาเลทที่นิยมใช้งานมี 2 ประเภท คือ พาเลทที่ทำจากพลาสติกและพาเลทที่ทำจากไม้ หรือที่เราเรียกว่า "พาเลทไม้" ซึ่งได้รับความนิยมเนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานสามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าพาเลทพลาสติก โดยในปัจจุบันยังมีอีกหนึ่งธุรกิจที่เป็นผลพลอยได้และกำลังได้รับความนิยม คือ การนำพาเลทไม้มือสองมาทำเป็น โต๊ะ เก้าอี้ รวมไปถึงเฟอร์นิเจอร์ตกแต่งบ้านเนื่องจากขนาด สี สันและลวดลายของพาเลทไม้ที่มีความสวยงาม สามารถนำไปดัดแปลงได้ง่าย ส่งผลให้พาเลทไม้มีความต้องการในตลาดมากยิ่งขึ้น ทำให้มีผู้ประกอบการธุรกิจผลิตพาเลทไม้เกิดขึ้นใหม่หลายรายส่งผลให้มีการแข่งขันกันสูง ทั้งในด้านของความสวยงาม คุณภาพต้องได้มาตรฐาน รวมไปถึงต้นทุนในการผลิต ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการช่วยเพิ่มความสามารถในการแข่งขันได้ ผู้ประกอบการจึงต้องหาวิธีในการลดต้นทุนด้านต่าง ๆ ทั้งในการผลิต การขนส่ง รวมไปถึงด้านพลังงาน เนื่องจากปัจจุบันพลังงานมีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง และประเทศไทยยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงาน (น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ) มาจากประเทศเพื่อนบ้าน เนื่องจากแหล่งพลังงานในประเทศเริ่มหมดไป ภาครัฐจึงได้มีการรณรงค์ให้ทุกภาคส่วนตระหนักถึงความสำคัญของการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ดังจะเห็นได้ว่าภาครัฐมีการสนับสนุนงบประมาณในสถานประกอบการที่ต้องการเข้าร่วมโครงการประหยัดพลังงาน รวมไปถึงการลดภาษีอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงศักยภาพการใช้พลังงานตามสถานประกอบการ



ภาพที่ 1-2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ของประเทศไทย ปี 2557

จากรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ของประเทศไทยประจำปี 2557 ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน พบว่าภาคอุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานสูงที่สุดถึงร้อยละ 40.48% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย รองลงมา คือ ภาคธุรกิจการค้า และบ้านอยู่อาศัย ดังภาพที่ 1-2 ซึ่งนับเป็นปริมาณที่สูงมาก เกือบครึ่งหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ของประเทศไทย หากเราสามารถใช้เวลาใช้พลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ก็จะส่งผลให้สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยลดลง และผู้ประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรมก็ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตสินค้าได้ จึงเป็นที่มาของการศึกษาฉบับนี้ ที่ผู้วิจัยต้องการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานพาเลทไม้ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าให้คุ้มค่ามากที่สุด และลดต้นทุนในการผลิตสินค้า ทำให้สามารถแข่งขันในตลาดโลกได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตพาเลทไม้
2. เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
3. วิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

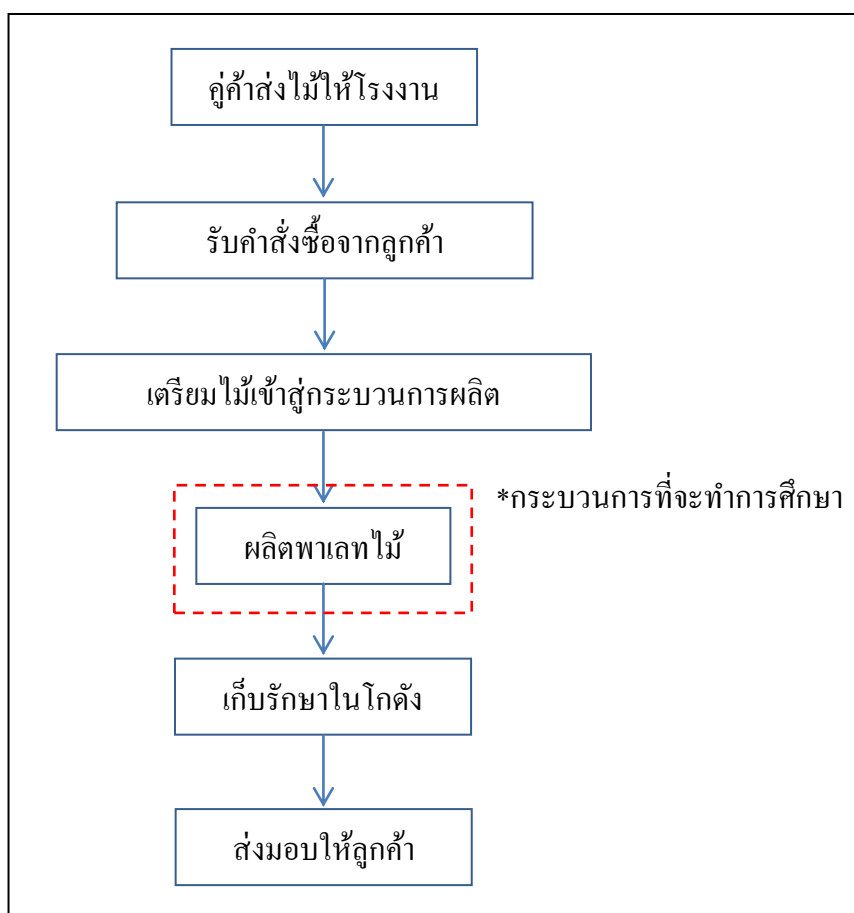
สมมติฐานของการวิจัย

1. มีการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ในกระบวนการผลิต
2. การคำนวณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต อ้างอิงตามการใช้งานจริงของโรงงาน
 - 2.1 ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 15 บาท ตามที่โรงงานชำระจริง
 - 2.2 ค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak of demand) ปริมาณการใช้งาน หรือช่วงเวลาการใช้งานไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าไฟฟ้า

ขอบเขตของการวิจัย

1. โรงงานผลิตพาเลทไม้
 - 1.1 โรงงานประกอบพาเลทไม้เท่านั้น ไม่มีการอบหรืออัดน้ำยากันแมลง
 - 1.2 พลังงานที่ใช้ คือ พลังงานไฟฟ้าเท่านั้น ไม่มีการใช้พลังงานความร้อน หรือพลังงานอื่น ๆ

- 1.3 การผลิตเป็นแบบผลิตตามคำสั่งซื้อ (Made to order) ไม่มีการเก็บสินค้าคงคลัง
- 1.4 ศึกษาพาเลทไม้เฉพาะรุ่นที่มีกระบวนการผลิตเหมือนกันเท่านั้น ซึ่งจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากลูกค้าเป็นผู้กำหนดเองตามลักษณะการนำไปใช้งาน
2. ทำการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉพาะในกระบวนการผลิตเท่านั้น ไม่คำนึงถึงการขนส่ง การเก็บรักษา การใช้งาน และการทำลาย ดังภาพที่ 1-3



ภาพที่ 1-3 ขอบเขตของการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตพาเลทไม้ในปัจจุบัน
2. เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวางกลยุทธ์เพื่อลดการใช้พลังงานในอนาคต
3. แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า
4. แนวทางในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความหมายของพลังงาน

พลังงาน (Energy) หมายถึง ความสามารถของสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่สามารถทำงานได้ซึ่งเป็นผลของการกระทำของแรง เป็นเหตุให้สิ่งนั้นเคลื่อนที่ได้ ค่าของพลังงานสามารถวัดได้ด้วยงานที่เกิดขึ้น โดยการใช้พลังงานแต่ละครั้งจะเกิดงานมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้ และระยะทางที่วัตถุถูกกระทำให้เคลื่อนที่ไปในแนวแรง พลังงานสามารถทำให้เกิดงานเชิงกล หรือการเคลื่อนที่ไหวได้ สิ่งใดก็ตามที่สามารถทำให้วัตถุย้ายตำแหน่งไปจากตำแหน่งเดิมได้ สิ่งนั้นย่อมมีพลังงาน เช่น สิ่งมีชีวิตสามารถเปลี่ยนอริยาบถได้ก็เพราะมีพลังงาน หรือยานพาหนะที่สามารถเคลื่อนที่ได้ หรือเครื่องจักรกลที่สามารถทำงานได้ก็เป็นเพราะพลังงานเช่นเดียวกัน อาจกล่าวได้ว่า การทำให้เกิดงานล้วนแล้วแต่ต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น

การจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม

การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า หมายถึง กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการและควบคุมการใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้าและแสงสว่าง เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าและส่งเสริมให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดย

1. จัดการและควบคุมค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า (จำนวนหน่วยที่ใช้) ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า k (Reactive power) ให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
2. ดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของการจัดการและการควบคุมมีอยู่หลายตัว การเลือกใช้ดัชนี ตัวใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละสถานประกอบการ ได้แก่ ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย ค่าตัวประกอบโหลด ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต มูลค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยพื้นที่

แนวทางการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

เป็นกระบวนการปรับเปลี่ยนลักษณะการใช้ไฟฟ้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงานไฟฟ้า วิธีการส่งเสริมการประหยัดค่าพลังงาน และการใช้กลไกด้านราคาพลังงานไฟฟ้า

1. ลดกำลังไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุด
2. เพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาโหลดต่ำ

3. เฉลี่ยการใช้โหลดในแต่ละเวลาให้ใกล้เคียงกัน
4. อนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า โดยดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพอยู่เสมอ ผลตอบแทนจากการจัดการใช้ไฟฟ้ามี่ดังนี้
5. การลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด สามารถชะลอการลงทุนช่วงการสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้
6. การเพิ่มค่าตัวประกอบโหลด (Load factor)
7. ทำให้ราคาค่าไฟฟ้าโดยรวมลดลง

การใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Specific energy consumption: SEC)

การใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับรายผลผลิต โดยวัดปริมาณพลังงานที่ใช้เทียบกับหน่วยนับของผลผลิตทางกายภาพ เทียบต่อตัน ต่อชิ้น ต่อลิตร เพื่อวัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับมูลฐานที่สุด ดังสมการที่ 2-1

$$SEC = \frac{\sum E_b - \sum E_s}{\sum P} \quad (2-1)$$

เมื่อ SEC = Specific energy consumption

$\sum E$ = ผลรวมของพลังงาน ได้จากค่าความร้อนคูณกับปริมาณไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ในรอบ 1 ปี โดยคิดจากพลังงานสุทธิ คือ พลังงานที่ซื้อทั้งหมดหักลบด้านพลังงานที่ขาย

$\sum P$ = ผลรวมของปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

ศิริพรรณ ชงชัย และพิชัย อัญมมงคล (2548) กล่าวว่า การควบคุมการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด สามารถทำได้โดยการควบคุมค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า ค่าความต้องการพลังงานสูงสุด และค่าความต้องการกำลังไฟรีแอกทีฟสูงสุดให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดัชนีที่ชี้วัดประสิทธิภาพระบบไฟฟ้ามีอยู่หลายตัว การเลือกใช้ตัวใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละสถานประกอบการ ได้แก่ ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย ค่าตัวประกอบกำลัง ปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต มูลค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต เป็นต้น

ศุภชัย ปัญญาวิวี (2553) การประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานและอาคารนั้น จะต้องดำเนินการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ภาพรวม การใช้พลังงานของ โรงงานและอาคาร เพื่อให้ทราบว่าแต่ละเดือนและรอบปีของโรงงานหรืออาคารมีการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงอย่างไร และต้นทุนการผลิตด้านพลังงานเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้การใช้พลังงานสูงหรือดัชนีการใช้พลังงาน (Specific energy consumption: SEC) ที่สูงนั้นว่าเกิดจากสาเหตุใด การลด SEC สามารถดำเนินการได้ทั้ง 2 ส่วน คือ การลดการใช้พลังงานและการเพิ่มผลผลิต การดำเนินการให้ SEC ลดลงนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ บุคลากรที่เป็นผู้ใช้ระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ (คน) และระบบอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน (ของ) ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตนั้นจะต้องทำการพัฒนาและแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยใช้หลัก 5M คือ

1. Man จะต้องพัฒนาคนให้มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด และใช้ในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
2. Material จะต้องตรวจสอบคัดเลือกและพัฒนาวัตถุดิบให้ได้คุณภาพดีที่สุด ได้ผลผลิตมากที่สุด ราคาต่ำที่สุดหรือลดการใช้วัตถุดิบลงให้ได้มากที่สุด
3. Machine ระบบ/ อุปกรณ์ ในการสนับสนุนการผลิต และเครื่องจักร/ อุปกรณ์การผลิตจะต้องมีประสิทธิภาพสูงสุด เสถียรภาพในการทำงานดีที่สุด ต้นทุนด้านพลังงานต่ำที่สุด
4. Method ขั้นตอน กรรมวิธีการผลิตจะต้องง่ายที่สุด ขั้นตอนสั้นที่สุด ใช้เวลาน้อยที่สุด และได้ผลผลิตมากที่สุด
5. Management การบริหารจัดการทั้ง 4M ที่กล่าวมาจะต้องมีความสัมพันธ์กัน โดยได้คุณภาพสินค้าที่ดีและถูกค่าเกิดความพึงพอใจ

พาเลท (Pallet)

พาเลท คือ แท่นสำหรับวางสินค้าในภาคอุตสาหกรรมหรือในระบบการจัดการคลังสินค้า เพื่อให้รถโฟล์คลิฟท์ (Forklift) ทำการขนย้ายได้สะดวกและรวดเร็ว โดยรถโฟล์คลิฟท์จะสอดขาเข้าไปในช่องใต้พาเลทแล้วยกขึ้นเพื่อทำการขนย้าย ซึ่งพาเลทก็มีหลายประเภทตามวัสดุและตามความต้องการใช้งาน มีรายละเอียดดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของพาลาทแต่ละชนิด

ชนิดของพาลาท	ข้อดี	ข้อเสีย
พาลาทไม้	<ul style="list-style-type: none"> - ระยะเวลาในการผลิตสั้น - ราคาไม้แพง แข็งแรง ทนทาน - นำกลับมาใช้ใหม่ได้ - สามารถซ่อมแซมได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - สูญเสียทรัพยากรป่าไม้ - เกิดเชื้อราและแมลงกัดกิน - ไม้ทนความชื้น - ไม้ อาจเกิดการ โกง บิดตัว หรือ โกงงอ
พาลาทโฟม	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำหนักเบา - สามารถลดต้นทุนในการขนส่ง - ไม้ขึ้นรา ทนต่อความชื้น - ทำความสะอาดได้ง่าย 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม - เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ - ความแข็งแรงทนทานน้อย
พาลาทเหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> - แข็งแรง ทนทาน - อายุการใช้งานยาวนาน - วัสดุไม่เป็นเชื้อไฟ 	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำหนักมาก - เหมาะกับการหมุนเวียนใช้ภายในโรงงาน - ราคาสูง
พาลาทพลาสติก	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำหนักเบา - เก็บรักษาง่าย - ไม่มีปัญหาเรื่องความชื้น แมลง การ โกง บิด - สามารถนำไปขายเป็นพาลาทมือสอง - สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ - ลดปัญหาการตัดไม้ 	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถใช้งานได้ 3-5 ปี - ราคาขึ้นลงตามราคาพลาสติก
พาลาทกระดาษ	<ul style="list-style-type: none"> - น้ำหนักเบา - ลดน้ำหนักการขนส่งสินค้า 	<ul style="list-style-type: none"> - อาจเกิดเชื้อรา - ไม้ทนน้ำ - ความแข็งแรง ทนทาน อาจน้อยกว่าพาลาทชนิดอื่น ๆ - ความแข็งแรง ทนทาน อาจน้อยกว่าพาลาทชนิดอื่น ๆ

มาตรฐาน IPPC/ ISPM 15

ISPM 15 (International standard for phytosanitary measure No.15) หรือมาตรการสุขอนามัยพืช ฉบับที่ 15 ระบุว่า จะต้องมีการกำจัดศัตรูพืชที่อาจติดไปกับบรรจุภัณฑ์ที่มีไม้เป็นส่วนประกอบก่อนการส่งออกนอกประเทศ ภายใต้อนุสัญญา IPPC (International plant protection convention) ซึ่งเป็นสัญญาที่เกี่ยวข้องกับการอารักขาพันธุ์พืชระหว่างประเทศไม่ให้เป็นอันตราย โดยการระบายนอกประเทศ โดยมิวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของแมลง หนอน ศัตรูพืชจากประเทศต้นทางไปยังปลายทาง และลดการสูญเสียที่จะเกิดกับพันธุ์พืชของประเทศปลายทาง ลดการระบาดของแมลงข้ามถิ่น ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อระบบนิเวศน์และเศรษฐกิจของประเทศปลายทาง

วิธีปฏิบัติสำหรับบรรจุภัณฑ์ไม้ตามมาตรฐาน ISPM 15 มี 2 วิธี คือ

1. Methyl bromide (MB) fumigation: ในวิธีนี้บรรจุภัณฑ์ไม้จะต้องผ่านการรมยาด้วยสาร Methyl bromide ซึ่ง APHIS ได้มอบหมายให้ NWPCA เป็นผู้ดูแล
2. Heat treatment (HT) ในวิธีนี้บรรจุภัณฑ์ไม้จะต้องผ่านการอบโดยให้อุณหภูมิที่แกนกลางของไม้ ไม่น้อยกว่า 56 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที ซึ่ง APHIS ได้มอบหมายให้ American lumber standards committee: ALSC เป็นผู้ดูแล

หมายเหตุ: มาตรฐานตาม ISPM15 บังคับใช้กับไม้ทุกชนิด ในขณะที่บางมาตรฐานจะบังคับใช้กับไม้เนื้ออ่อน เท่านั้น

การลดต้นทุน (Cost Reduction)

ต้นทุนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ต้นทุน (Cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ
2. ต้นทุนการผลิต (Production cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินกิจกรรมการผลิต เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ดี มีคุณภาพ ตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยองค์ประกอบของต้นทุนการผลิต ประกอบด้วย

2.1 ต้นทุนด้านวัสดุ (Material cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการผลิต เช่น วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งมีทั้งต้นทุนวัสดุทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

2.1.1 วัสดุทางตรง (Direct material cost) คือ วัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้เพื่อการผลิต โดยตรง ส่วนมากจะเป็นส่วนประกอบหนึ่งของผลิตภัณฑ์ เช่น เงานะกระป๋องมีเงาะและกระป๋องเป็นวัตถุดิบทางตรง ยางรถยนต์มียางเป็นวัตถุดิบทางตรง เป็นต้น จำนวนในการใช้งานวัสดุ/ วัตถุดิบ

ทางตรง จะแปรผันกับหน่วยในการผลิตโดยตรง คือ หากผลิตมากก็จะใช้วัสดุทางตรงมาก หากผลิตน้อยก็จะใช้วัสดุทางตรงน้อย

2.1.2 วัสดุทางอ้อม (Indirect material cost) เช่น วัสดุ เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้สนับสนุนในการผลิตโดยส่วนมากจะไม่แปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง เช่น กระดาษทราย ผ้าเช็ดมือ กรรไกร เป็นต้น ในบางครั้งวัสดุทางอ้อมก็อาจถูกจัดให้อยู่ในหมวดหมู่ของวัสดุทางตรงก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนโยบายทางการบัญชีของแต่ละองค์กร เช่น มีคดลิ่งสำหรับเครื่องจักรซีเอ็นซี ซึ่งเป็นวัตถุดิบทางอ้อม สามารถถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของวัตถุดิบทางตรงก็ได้ อันเนื่องมาจากเหตุผลด้านราคาที่สูงและสามารถคำนวณอายุการใช้งานต่อจำนวนชิ้นงานที่ทำการผลิตได้ถึงแม้ว่ามีคดลิ่งจะไม่ได้ถูกประกอบไปกับชิ้นงานก็ตาม

2.2 ต้นทุนด้านแรงงาน (Labor cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับพนักงาน หรือแรงงานในการทำงานและผลิตสินค้าเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป สามารถแบ่งออกได้คล้าย ๆ กับต้นทุนวัสดุ คือ ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางอ้อม ดังนี้

2.2.1 ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางตรง (Direct labor cost) เช่น ค่าจ้างรายวันหรือเงินเดือนของพนักงานฝ่ายผลิต ซึ่งจะแปรผันกับปริมาณการผลิตโดยตรง เนื่องจากหากมีการผลิตมากอาจจะต้องมีการจ้างพนักงานเพิ่ม หรือมีการจ่ายค่าล่วงเวลา (Overtime)

2.2.2 ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทางอ้อม (Indirect labor cost) เช่น เงินเดือนของพนักงานขาย เงินเดือนของผู้จัดการ เงินเดือนของวิศวกร ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะไม่แปรผันกับปริมาณในการผลิตโดยตรง

2.2.3 ค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าโสหุ้ยในการผลิต (Overhead cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่นอกเหนือจากค่าใช้จ่ายของวัสดุและค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน เช่น สวัสดิการพนักงานต่าง ๆ ค่าสาธารณูปโภค ค่าเช่าโรงงาน ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต เป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เป็นการรวบรวม แจกแจง วิเคราะห์ และรายงานค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในส่วนของต้นทุนต่าง ๆ ของการผลิตเพื่อประโยชน์ต่อการบริหารงานและการดำเนินนโยบายของฝ่ายบริหาร วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต มีดังนี้

1. เพื่อกำหนดหาต้นทุนการผลิตที่ใกล้เคียงที่สุด โดยปกติแล้วต้นทุนการผลิตที่ได้จากการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากหลาย ๆ ปัจจัยในการผลิต เช่น งานเสียต้องผลิตซ้ำทำให้

ต้นทุนค่าแรงหรือค่าวัสดุต่อหน่วยเพิ่มเป็นสองเท่า กระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิภาพทำให้กระบวนการผลิตล่าช้า ส่งผลให้สิ้นเปลืองทรัพยากรในโรงงานเพิ่มขึ้น ต้นทุนแรงงานเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตจะทำให้ทราบถึงจุดที่มีต้นทุนการผลิตที่สูง-ต่ำ รวมไปถึงสาเหตุและที่มาที่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงได้

2. เพื่อควบคุมและลดต้นทุนการผลิต เมื่อทราบสาเหตุที่ทำให้เกิดต้นทุนการผลิตที่สูง ทำให้สามารถหามาตรการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ต้นทุนการผลิตลดลงได้

3. เพื่อตัดสินใจและวางแผนงานต่าง ๆ เช่น เมื่อทราบปัญหาที่ทำให้เกิดต้นทุนการผลิตที่สูง และหลังจากที่ได้มีการกำหนดมาตรฐานในการลดต้นทุนการผลิต ทำให้สามารถประมาณการต้นทุนการผลิตและราคาขายที่ต่ำลงมาได้ ทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในด้านราคาได้

4. เพื่อกำหนดกำไรและฐานะทางการเงินของกิจการ การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตจะทำให้สามารถประมาณการต้นทุนการผลิตที่แม่นยำ ซึ่งจะทำให้ผู้บริหารสามารถประมาณการผลประกอบการและกำไรของกิจการได้

5. เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินผลและควบคุมการบริหารงาน สามารถนำผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตมาประเมินผลงาน ทั้งประสิทธิภาพส่วนบุคคลที่ดำเนินงานและผังการบริหารองค์กร (Organization) เพื่อการปรับปรุงและปรับเปลี่ยนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เครื่องอัดอากาศ (Compressor)

เครื่องอัดอากาศ หมายถึง เครื่องจักรกลทำหน้าที่ดูดอากาศเข้ามาในเครื่องที่ความดันปกติ แล้วอัดให้มีความดันที่สูงขึ้นแล้วส่งไปเก็บไว้ในถังเก็บลม แล้วจ่ายให้กับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้งานตามต่อลมต่อไป เครื่องอัดอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 6 ชนิด ได้แก่

1. เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ (Piston compressor) เป็นเครื่องอัดอากาศชนิดที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก ประสิทธิภาพดี สามารถอัดอากาศได้ในช่วง 4-300 บาร์ ส่งลมได้ 2-500 ลูกบาศก์เมตร/ นาที เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบสามารถจำแนกตามจำนวนชั้นของการอัดอากาศได้อีก 3 ชนิด คือ

1.1 ชนิดลูกสูบอัดชั้นเดียว (Single stage) ความดัน 4-10 บาร์

1.2 ชนิดลูกสูบอัดสองชั้น (Double stage) ความดัน 15-30 บาร์ ชนิดลูกสูบอัดสามชั้น (Triple stage or multistage) ความดัน 250 บาร์ขึ้นไป ซึ่งเป็นแรงดันสูง ใช้ทั้งชนิดลูกสูบอัดสามชั้น

1.3 ชนิดลูกสูบอัดสี่ชั้น (Four stage) หรือชนิดลูกสูบอัดหลายชั้น (Multi-stage)



ภาพที่ 2-1 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ

เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบนั่นลมอัดจะมีอุณหภูมิสูงเนื่องจากลมโดนอัดให้มีความดันสูง จึงมีการลดอุณหภูมิของลมอัดด้วย 3 วิธี คือ

1. ระบายความร้อนตามธรรมชาติ โดยการทำ crib ระบายความร้อนที่กระบอกสูบ
2. ระบายความร้อนโดยใช้พัดลมระบายความร้อนอยู่ภายนอกท่อ นิยมใช้กับเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดใหญ่
3. ระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยการให้ท่ออยู่ในที่ลมทำการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยการให้น้ำพาความร้อนจากอากาศไปถ่ายเทออกภายนอก

2. เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรม (Diaphragm compressor) การทำงานคล้ายกับชนิดลูกสูบเพียงแต่ใช้แผ่นไดอะแฟรมในการดูดและอัดอากาศแทนการใช้ลูกสูบ



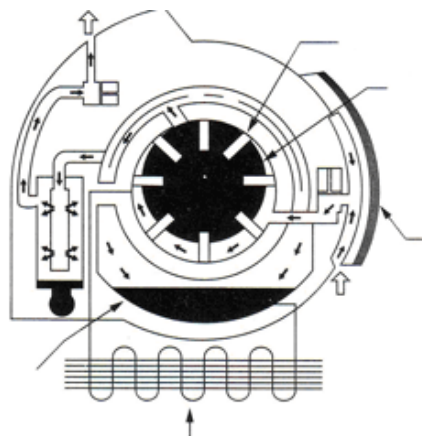
ภาพที่ 2-2 เครื่องอัดอากาศชนิดไดอะแฟรม

3. เครื่องอัดอากาศชนิดสกรู (Screw compressor) การทำงานใช้การหมุนขบกันของ เพลาที่มีลักษณะเป็นสกรู 2 เพลา โดยตัวหนึ่งมีฟันเป็นเส้นนูน อีกตัวหนึ่งเป็นเส้นเว้า ฟันเพลาหมุน ขบเข้าหากันทำให้เกิดการอัดอากาศ



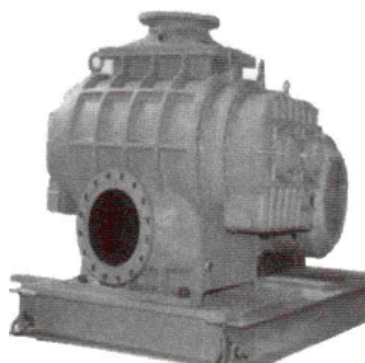
ภาพที่ 2-3 เครื่องอัดอากาศชนิดสกรู

4. เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อน (Sliding vane rotary compressor) การทำงาน ใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในการทำให้ใบพัดเลื่อนเกิดการเลื่อนเข้าออกในร่องใบพัด โดยเมื่อเพลา หมุนจนใบพัดเลื่อนออกจากร่องเกิดห้องที่มีปริมาตรหนึ่งรับอากาศเข้ามาเต็มห้อง แล้วเพลาหมุน ต่อจนใบพัดเลื่อนเข้าไปเรื่อย ๆ ปริมาตรของห้องที่รับอากาศเล็กลงแต่ปริมาณอากาศเท่าเดิม อากาศ จึงถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้น เครื่องอัดอากาศชนิดนี้หมุนเรียบ ไม่มีเสียงดัง ผลิตลมอัดได้สม่ำเสมอ ไม่ขาดเป็นห้วง ๆ เหมือนชนิดลูกสูบ



ภาพที่ 2-4 เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดเลื่อน

5. เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดหมุน (Root compressor) การทำงานใช้การหมุนเข้าหากันของใบพัด 2 เฟลา โดยใบพัดทั้งสองเฟลาจะรับอากาศจากทางลมเข้าแล้วกวาดลมไปด้านทางลมออก แต่ปริมาตรด้านทางลมออกจะเท่ากับด้านทางลมเข้าไม่เกิดการอัดจากการลดปริมาตรเหมือนชนิดใบพัดเลื่อน แต่เกิดการอัดอากาศเนื่องจากการเพิ่มปริมาณอากาศให้กับด้านทางลมออกจนมีปริมาณและความดันที่มากพอที่เอาชนะความดันด้านทางลมออกที่มีอยู่แล้ว



ภาพที่ 2-5 เครื่องอัดอากาศชนิดใบพัดหมุน

6. เครื่องอัดอากาศชนิดกังหันหรือกระแสอากาศ (Turbo compressor or flow compressor) การทำงานอาศัยหลักการใช้กังหันในการเปลี่ยนความเร็วลม (พลังงานจลน์) เป็นลมอัด (พลังงานความดัน) มี 2 ชนิด ได้แก่

6.1 เครื่องอัดอากาศชนิดเรเดียล โพลว์ หรือเซนตริฟิวกัล (Radial-flow or centrifugal compressor) อาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางในการทำให้อากาศเกิดความดัน

6.2 เครื่องอัดอากาศชนิดแอกเซียล โพลว์ (Axial-flow compressor)

การควบคุมเครื่องอัดอากาศ

เพื่อป้องกันอันตรายจากการอัดอากาศมากเกินไปจนความจุสูงสุดของถังลม เพราะอาจเกิดอันตรายได้ จึงต้องมีการควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศและการจ่ายลมอัดให้มีความเหมาะสม ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

1. การควบคุมแบบเปิด-ปิด (On-off or stop-start) คือ การใช้สวิตซ์ความดันทำการต่อวงจรไฟฟ้าให้เครื่องอัดอากาศทำงานเมื่อความดันภายในถังลดลงน้อยกว่าความดันที่ตั้งไว้ และตัดวงจรไฟฟ้าให้เครื่องอัดอากาศหยุดทำงานเมื่อความดันภายในถังเท่ากับหรือมากกว่าความดันที่ตั้งไว้ ใช้ควบคุมเครื่องอัดอากาศขนาดเล็ก

2. การควบคุมแบบอันโหลดดิ้งเรกูเลชัน (Unloading regulation) คือ หลักการทำงานคล้ายวิธีเปิด-ปิด แต่ไม่มีการตัดวงจรไฟฟ้าโดยมอเตอร์ยังคงทำงานปกติ คือ หมุนตัวเปล่า ใช้ในกรณีตั้งระดับความดันช่วงแคบ ๆ มี 2 วิธี

2.1 การควบคุมวิธีระบายลมอัด (Exhaust regulation) คือ การใช้ลมอัดไปดันวาล์ว 2/2 ให้ปล่อยแรงดันลมออกเมื่อแรงดันลมสูงกว่าแรงดันของสปริงวาล์วที่ตั้งไว้ เมื่อความดันต่ำลงแล้ววาล์ว 2/2 ก็จะเลื่อนกลับตำแหน่งปิดด้วยแรงดันของสปริง

2.2 การควบคุมวิธีปิด (Shut-off regulation) คือ การใช้ลมอัดไปดันวาล์ว 3/2 ไว้เมื่อลมอัดสูงมากกว่าความดันสปริง วาล์ว 3/2 จะถูกเลื่อน ทำให้ลมอัดหมุนเวียนจากเครื่องอัดอากาศเข้าสู่ระบบผ่านวาล์ว 3/2 และเมื่อความดันต่ำลงวาล์ว 3/2 จะเลื่อนกลับตำแหน่งเดิม

การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศ

การบำรุงรักษาเครื่องอัดอากาศสามารถทำได้หลากหลายวิธี คือ

1. ควรติดตั้งในบริเวณที่ไม่มีฝุ่นละออง แห้งและมีอุณหภูมิต่ำ เพราะอากาศที่เย็นจะได้ปริมาณลมอัดที่มาก
2. ติดตั้งชุดกรองอากาศด้านดูดเข้าและทำความสะอาดไส้กรองสม่ำเสมอ
3. ตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่นและเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทุก 500 ชั่วโมงการทำงาน
4. ตรวจสอบหารอยรั่วตามข้อต่อต่าง ๆ อย่างน้อยปีละครั้ง
5. ระบายน้ำในถังเก็บลมอัดหรือในท่อออกเมื่อเลิกงาน

การคำนวณการสูญเสียภายในท่อ

จากการทดลองของ Reynolds พบว่าการไหลในท่อจะมีลักษณะเป็นไปตามกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ที่เรียกว่า Reynolds number: Re โดยถ้าการไหลที่มี Re ต่ำ ๆ จะเป็นการไหลแบบไม่ปั่นป่วน (Laminar flow) แต่ถ้าเมื่อใดที่ Re มีค่าสูง ($Re > 2,300$) จะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) สามารถคำนวณหา Re ได้จาก สมการ

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (2-2)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2-3)$$

การเปลี่ยนแปลงความดันในท่อนั้นมีผลต่อการไหลในท่อมาก โดยการเปลี่ยนแปลงความดันอาจเกิดมาจากระดับความสูงของท่อ ความเร็วการไหล ความเสียดทานของท่อ และข้อต่อต่าง ๆ

การสูญเสียความดันในท่อ (Pressure losses) เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันในท่อ โดยสามารถแบ่งการสูญเสียความดันได้สองประเภท

1. Major Losses (h_L) การสูญเสียความดันจากแรงเสียดทานในท่อ

1.1 การไหลแบบไม่ปั่นป่วน (Laminar flow) คำนวณหาความสูญเสียความดันจากแรงเสียดทานในท่อได้จากสมการที่ 2-4

$$h_L = \left(\frac{64}{\text{Re}} \right) \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (2-4)$$

1.2 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) คำนวณหาความสูญเสียความดันจากแรงเสียดทานในท่อได้จากสมการที่ 2-5

$$h_L = (f) \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (2-5)$$

โดยสามารถหาค่า f ได้จาก Moody chart

2. Minor losses (h_m) ความสูญเสียความดันจากการไหลผ่านสิ่งต่าง ๆ เช่น ข้อต่อสามทาง ตัวลดขนาดท่อ Valve ต่าง ๆ โดยสามารถคำนวณโดยใช้ สมการที่ 2-6

$$h_m = \frac{\sum kV^2}{2g} = (f) \left(\frac{L_e}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right) \quad (2-6)$$

k คือ Loss coefficient เป็นค่าคงที่ของสิ่งทีไหลผ่าน เช่น ข้อต่อสามทาง หรือ Valve L_e คือ ความยาวเทียบเท่าของท่อ ที่ทำให้เกิดความสูญเสียความดันเท่ากับสิ่งกีดขวางนั้น (Equivalent length) โดยพิจารณาความสูญเสียความดันทั้งสองชนิด สามารถรวมสมการได้ ดังสมการที่ 2-7 (เมื่อเกิดการไหลแบบปั่นป่วน)

$$h = \left[f \left(\frac{L}{D} \right) + \sum k \right] \times \left(\frac{V_{\text{avg}}^2}{2g} \right) \quad (2-7)$$

สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli Equation)

Daniel bernoulli ได้เสนอสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความดัน ความเร็ว และระยะทาง ซึ่งต่อมาเรียกสมการนี้ว่า สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli equation) ซึ่งจะสมมุติว่า คุณสมบัติต่าง ๆ ของ ρ, V, P และ A มีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่วัดตามแนวการไหล (Stream line) โดยถ้าเป็นการไหลแบบมี Shaft work และมี Friction จากท่อ และข้อต่อต่าง ๆ ดังสมการที่ 2-8

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \left(\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) + h_L + h_m \quad (2-8)$$

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ

การลงทุนในโครงการจำเป็นต้องวิเคราะห์ความคุ้มค่าเนื่องจากทรัพยากรที่มีอย่างจำกัด และงบประมาณที่ลงทุนไป ความคุ้มค่าของโครงการ คือ ผลที่ได้รับจากการดำเนินโครงการ ตามลักษณะของแต่ละโครงการที่เราต้องการผลตอบแทน เช่น ทางเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ หรือความมั่นคง โดยโครงการจะมีความคุ้มค่าก็ต่อเมื่อผลที่ได้รับมีมูลค่าสูงกว่าต้นทุนของทรัพยากรที่ใช้เพื่อการลงทุนในโครงการ และรวมกับผลกระทบด้านลบที่เกิดขึ้น รวมไปถึงเป็นที่ยอมรับแก่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง โดยต้องวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในด้านต่าง ๆ ของโครงการ เช่น การศึกษาด้านการจัดการ ด้านเทคนิค ด้านการเงิน ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อม

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจลงทุน เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าที่ลงทุนในโครงการ ผลตอบแทนที่จะได้รับ และระยะเวลาการคืนทุน

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value: NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลการประหยัดต้นทุนต่าง ๆ ในรูปแบบของรายรับสุทธิที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไป รวมไปถึงดอกเบี้ยในแต่ละปีภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา

$$NPV = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \quad (2-9)$$

2. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) คือ อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการตลอดอายุโครงการ

$$0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \quad (2-10)$$

3. งวดเวลาคืนทุน (Payback period: PB) คือ ระยะเวลาที่รายรับสุทธิเท่ากับพอดีกับรายจ่ายที่ลงทุนตอนเริ่มโครงการ สำหรับโครงการที่มีการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรก และให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี โดยโครงการนี้จะคำนวณที่กำลังการผลิตสูงสุดที่โครงการนี้จะสามารถทำได้

$$0 = \sum PW$$

$$0 = -CF_0 + A(P/A, i\%, n) + F(P/F, i\%, n) \quad (2-11)$$

ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Waste)

ในกระบวนการผลิตมักจะเกิดความสูญเสียในการทำงานเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเกิดแผนการผลิต เครื่องจักร คน หรืออื่น ๆ โดยหากไม่เกิดความสูญเสียในระบบแล้ว จะสามารถเพิ่มผลการผลิตได้มากขึ้น โดยความสูญเสีย 7 ประการ คือ

1. ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตเกินพอดี (Overproduction) หากมีการผลิตสินค้าในปริมาณมากเกินไป จะทำให้สูญเสียเวลา แรงงาน วัตถุดิบในการผลิต และเกิดสินค้าคงคลัง ส่งผลให้เกิดต้นทุนจม หรือต้นทุนจากการแก้ไขงาน (Rework)
2. ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transportation) ในกระบวนการผลิตที่มีการขนส่งในกระบวนการไป-มา จะทำให้สูญเสียเวลาในการขนย้ายและกระบวนการต่อไปก็จะเกิดการรอคอยงาน รวมไปถึงสูญเสียพนักงานในการขนส่งด้วย
3. ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion) การทำงานที่ต้องเคลื่อนไหวมาก ๆ และบ่อยครั้ง หรือทำทางในการทำงานไม่เหมาะสม เช่น มีการก้มหยิบชิ้นงานเพื่อมาประกอบ หรือต้องมีการเดินไปหยิบชิ้นส่วนในระยะไกล ส่งผลให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้า เกิดข้อบกพร่องในชิ้นงาน ใช้เวลาในการผลิตมากขึ้น หรืออาจเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานได้
4. ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory) เมื่อมีการผลิตที่มากเกินไป จึงต้องเก็บเป็นสินค้าคงคลัง ซึ่งมีการเสียค่าใช้จ่ายในการเช่าโกดัง ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน เกิดการเสื่อมสภาพของสินค้า อาจต้องมีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนสินค้า

5. ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย (Defect) เมื่อมีการผลิตของเสียออกจากกระบวนการผลิต จะต้องมีการนำไปแก้ไขงาน ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบ แรงงาน หรือหากซ่อมแซมไม่ได้ ต้องนำไปกำจัดทิ้งก็ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนย้ายและการกำจัด

6. ความสูญเสียเนื่องจากระบวนการผลิต (Processing) เกิดจากระบวนการที่มีการทำงานซ้ำกัน หรืองานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น งานที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของชิ้นงาน หรืองานที่ไม่ทำให้คุณภาพดีขึ้น

7. ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay) การรอคอยต่าง ๆ ที่ไม่ได้ก่อให้เกิดงาน เช่น การรอเนื่องจากเครื่องจักรขัดข้อง รอการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อการเปลี่ยนรุ่นการผลิต การรอกงานจากระบวนการก่อนหน้า เป็นต้น

กรณีศึกษาจากรรณกรรม

โชคชัย อนามัย (2545) ทำการศึกษาการลดใช้พลังงานในโรงงานเฟอร์นิเจอร์ โดยโรงงานมีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า 4,765,340 kW/ ปี ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 14,398,453 บาท/ ปี และมีเศษไม้เหลือใช้จากระบวนการผลิต โดยจะแบ่งการลดใช้พลังงานไฟฟ้าออกเป็น 2 ประเภท คือ การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ และการผลิตไฟฟ้าใช้เองจากเศษไม้เหลือใช้ การหาแนวทางลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจะดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์หาวิธีการปรับปรุงการใช้พลังงานในระบบต่าง ๆ ส่วนการประเมินศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากเศษไม้เหลือใช้จะใช้เครื่องจักรไอน้ำเป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้งานร่วมกับหม้อไอน้ำความดันต่ำ โรงงานนี้มีผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัตถุดิบอยู่ในช่วง 182.2 kWh ถึง 268.1 kWh/m³ ในส่วนของค่าตัวประกอบโหลดของหม้อแปลงค่อนข้างเหมาะสม พลังงานไฟฟ้าส่วนมากที่ใช้ในโรงงานเป็นการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าในกระบวนการผลิต สำหรับการวิเคราะห์หม้อเตอร์ไฟฟ้าพบว่ามอเตอร์ส่วนมากมีขนาดใหญ่มากกว่าโหลด ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ ทำการปรับปรุงโดยเปลี่ยนมอเตอร์ที่มีการใช้งานต่ำกว่า 40% ของค่าพิกัด ด้วยมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และให้มอเตอร์ทำงานที่ 80% ของค่าพิกัด สามารถประหยัดพลังงานได้ 56,605 kWh/ ปี คิดเป็นมูลค่า 170,948 บาท/ ปี ระยะเวลาคืนทุน 1.4 ปี ระบบแสงสว่างมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 18.4% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในโรงงาน โดยใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีบัลลาสต์เป็นแกนหลักธรรมดา ซึ่งบางพื้นที่มีค่าความสว่างต่ำกว่ามาตรฐาน ปรับปรุงโดยการติดแผ่นสะท้อนแสงที่โคมเดิมเพิ่มเติมหรือใช้โคมประสิทธิภาพสูง

และเปลี่ยนบัลลาสต์เป็นบัลลาสต์โลว์ลอสต์ สามารถประหยัดพลังงานได้ 147,212 บาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน 1.9 ปี สำหรับค่าความร้อนเทียบเท่าของเศษไม้เหลือใช้ที่ได้จากการทดสอบมีค่า 3,273 kW นำมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีเครื่องจักรไอน้ำขนาด 220 kW ใช้งานร่วมกับหม้อไอน้ำขนาด 3 ton/h ผลิตไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันไอน้ำ 21 bar จากผลการวิเคราะห์พบว่าต้องใช้เงินลงทุน 16.35 ล้านบาท และประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 1.92 ล้านบาท/ปี ระยะเวลาคืนทุน 9 ปี ซึ่งใช้เวลานานไม่น่าสนใจที่จะลงทุน

กรณีพิรา แก้วฉิมพลี (2554) ทำการศึกษาแนวทางการลดใช้พลังงานในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์โดยนำหลักการประหยัดพลังงาน และการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานของ บริษัท โมคูลา เฟอร์นิเจอร์ จำกัด โดยมีการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ทรัพยากรที่สำคัญในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ พบว่ามีการใช้พลังงานต่อปริมาณการผลิต 21.29 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร และได้มีการศึกษาการสูญเสียต่าง ๆ ในโรงงาน และได้เสนอแนวทางการปรับปรุง 3 มาตรการ คือ

1. ปรับลดแรงดันอากาศอัดใช้งานที่เครื่องอัดอากาศโดยสามารถประหยัดได้ประมาณ 47,801 บาท/ปี ไม่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน
2. ดำเนินการปรับลดแรงดันอากาศอัดใช้งานที่อุปกรณ์ใช้งานสามารถประหยัดได้ประมาณ 81,954 บาท/ปี ใช้เงินลงทุน 14,157 บาท คำนวณระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.17 ปี
3. ลดรอยรั่วในระบบอัดอากาศสามารถประหยัดได้ประมาณ 52,454 บาท/ปี ใช้เงินลงทุน 6,634 บาท และคำนวณระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.13 ปี

วัลภา จรูญธรรม (2541) ทำการประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมพลาสติกโดยโรงงานนี้ใช้ไฟฟ้าจากหม้อแปลง 1,000 kVA จำนวน 1 ตัว สำหรับระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ มอเตอร์ ฮีตเตอร์ และเครื่องบ่มต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต แนวทางการลดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าทำได้โดยการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ทำให้ประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ 156 กิโลวัตต์ คิดเป็นเงิน 30,615 บาท/ปี การปลดหลอดไฟฟ้าที่เกินความจำเป็นขนาด 18 W จำนวน 57 หลอด และ 36 W จำนวน 10 หลอด สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 3,677 kWh และ 1,060 kWh ตามลำดับ คิดเป็นมูลค่า 7,957 บาท/ปี และ 2,294 บาท/ปี การเปลี่ยนบัลลาสต์แบบ Low watt loss แทนบัลลาสต์แบบธรรมดา ซึ่งเลือกเปลี่ยนเฉพาะหลอดที่มีชั่วโมงการใช้งานมากกว่า 8 ชั่วโมง/วัน จำนวน 48 ตัว ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 4.5 วัตต์/ตัว คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 746 kWh คิดเป็นมูลค่า 1,615 บาท/ปี ใช้เงินลงทุน 6,864 บาท ระยะเวลาคืนทุน 4.25 ปี

วัฒนา จันทะโคตร (2557) ทำการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน และการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. จัดตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน
2. กำหนดนโยบายการอนุรักษ์พลังงาน และเผยแพร่ นโยบาย
3. เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน
4. กำหนดแผนการ มาตรการอนุรักษ์พลังงาน และนำไปสู่การปฏิบัติ
5. ประเมินและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน
6. สรุปผล และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน จากผลการดำเนินงานตามแผน

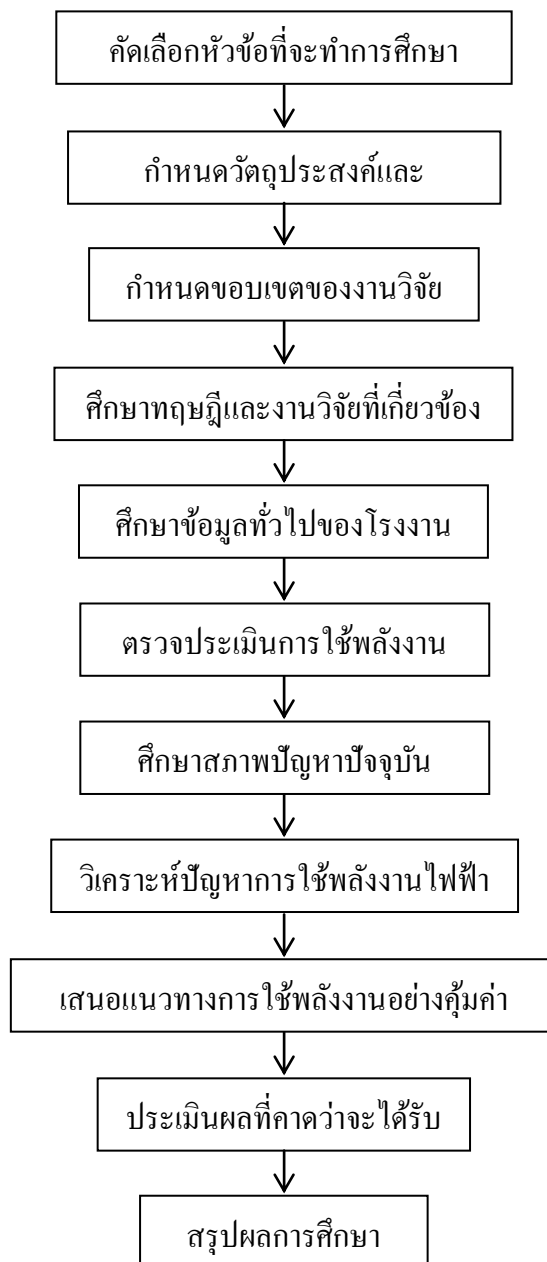
การอนุรักษ์พลังงานนี้ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 700,476.6 kWh/ปี คิดเป็นมูลค่า 2,022,228 บาท/ปี งบประมาณในการลงทุน 2,598,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 0.78 ปี และสามารถประหยัดพลังงานความร้อนได้ 16,719,724 MJ/ปี คิดเป็นมูลค่า 7,913,812 บาท/ปี งบประมาณในการลงทุน 8,000,000 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 0.98 ปี

วิญญู สิทธีราช (2551) ทำการกำหนดระบบการจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ขึ้นส่วนยานยนต์ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางการจัดการระบบพลังงาน และแนวทางในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งต้องอาศัยการมีส่วนร่วมของพนักงานในองค์กร ทั้ง 2 แนวทาง โดยแนวทางการจัดการระบบพลังงานเริ่มจากการกำหนดนโยบายพลังงานโดยผู้บริหารระดับสูงขององค์กร เพื่อนำนโยบายไปเผยแพร่ให้พนักงานทราบถือเป็นข้อปฏิบัติขององค์กร มีการแต่งตั้งคณะทำงานและแบ่งหน้าที่ ความรับผิดชอบเพื่อดำเนินการตามแผนการอนุรักษ์พลังงานรวมถึงการตรวจสอบผลการดำเนินงาน องค์กรประกอบที่สำคัญของแนวทางการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน คือ การระดมสมองของทีมงานที่คิดค้นมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงาน โดยอาศัยเครื่องมือด้านวิศวกรรมช่วยแก้ปัญหา รวมไปถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการทำให้เกิดประสิทธิภาพของการใช้พลังงานและลดการใช้พลังงานลง 844,817 kWh คิดเป็นมูลค่า 2,920,382 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 1.04 ปี

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตพลาสติกในจังหวัดระยอง มี
ขั้นตอนการดำเนินงานดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ข้อมูลและสภาพทั่วไปของโรงงานผลิตพาล์มไม้

จากการเข้าศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงานผลิตพาล์มไม้ในจังหวัดระยอง เป็นโรงงานที่จดทะเบียนในรูปแบบนิติบุคคล แบ่งพื้นที่อาคารเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนสำนักงาน และส่วนอาคารโรงงาน เริ่มก่อตั้งดำเนินงานเมื่อปี พ.ศ. 2558

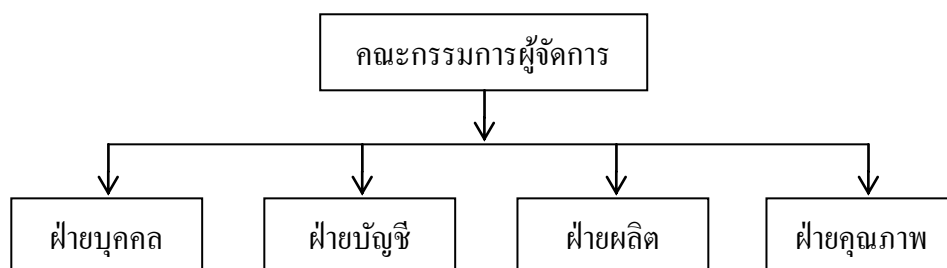
ที่ตั้งโรงงาน: จังหวัดระยอง

จำนวนพนักงาน: 40 คน

เวลาทำงาน: จำนวนชั่วโมงการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ตั้งแต่เวลา 8.00-17.00 น.
พักกลางวัน 1 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 12.00-13.00 น.

จำนวนวันทำงาน: 300 วัน/ ปี วันจันทร์-วันเสาร์ และหยุดทุกวันอาทิตย์

โครงสร้างองค์กร: โรงงานผลิตพาล์มไม้เป็นโรงงานขนาดเล็ก มีโครงสร้างองค์กรดังนี้ คณะกรรมการผู้จัดการมีอำนาจสูงสุดในการตัดสินใจและบริหารงาน ฝ่ายบุคคลทำหน้าที่ดูแลการจ่ายเงินเดือนและสวัสดิการของพนักงาน ฝ่ายบัญชีทำหน้าที่ด้านบัญชี การเงิน การตลาด ฝ่ายผลิตดูแลในส่วนของการผลิตสินค้าให้ได้ตามแผน และแก้ปัญหาต่าง ๆ ในสายการผลิต และฝ่ายคุณภาพทำหน้าที่ควบคุมคุณภาพสินค้าให้ได้มาตรฐานตรงตามความต้องการของลูกค้า โครงสร้างองค์กรของโรงงานดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 โครงสร้างองค์กร

พลังงานหลักที่ใช้: ไฟฟ้า

ผลิตภัณฑ์: พาล์มไม้ตามความต้องการของลูกค้า



ภาพที่ 3-3 ผลิตภัณฑ์พาเลทไม้

วัตถุดิบ: ไม้ยางพาราที่ผ่านการอบไล่ความชื้นและอัดน้ำยากันแมลง



ภาพที่ 3-4 ไม้ยางพาราสำหรับผลิตพาเลทไม้

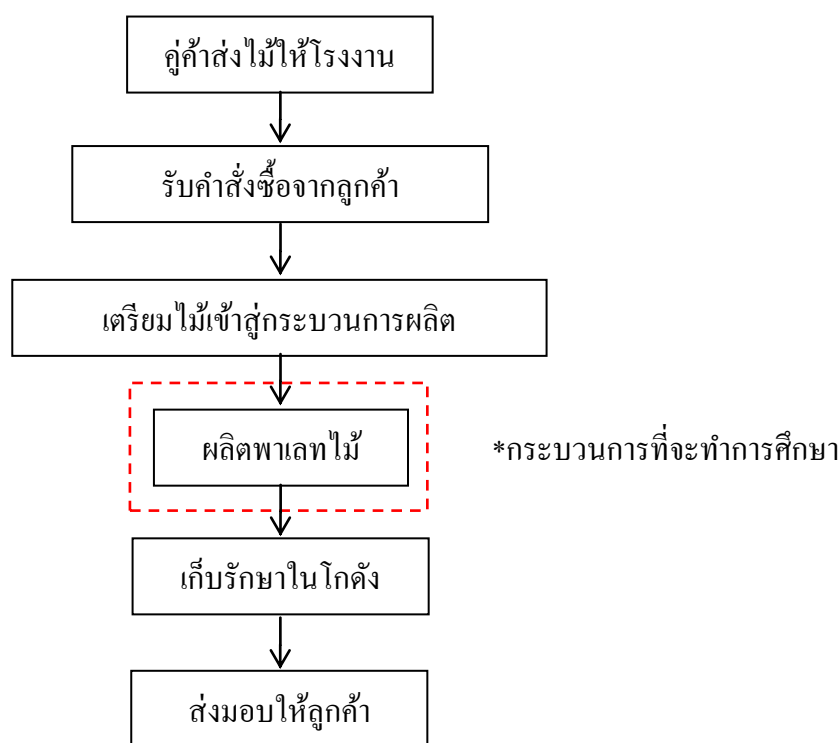
ขั้นตอนการดำเนินงานของโรงงานผลิตพาเลทไม้

โรงงานที่ทำการศึกษานี้เป็นโรงงานประกอบพาเลทไม้ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Made to order) ไม่มีการจัดเก็บสินค้าเป็นสินค้าคงคลัง ซึ่งจะรับวัตถุดิบสำเร็จรูป (ไม้ยางพารา) จากลูกค้า ซึ่งไม้ที่รับมานั้นเป็นไม้ที่ผ่านขั้นตอนการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นให้ต่ำกว่า 15% และอัดน้ำยากันแมลงเพื่อป้องกันปลวกและแมลงต่าง ๆ ตามมาตรฐานการส่งออกผลิตภัณฑ์ไม้ IPPC/ ISPM 15 แล้วจึงทำการส่งมาที่โรงงานผลิตพาเลทไม้ หลังจากรับไม้มาแล้วทางโรงงานจะนำไม้ไปเก็บรักษาไว้ในโกดังก่อนเพื่อรอคำสั่งซื้อจากลูกค้า เมื่อมีคำสั่งซื้อจากลูกค้าเข้ามาจึงนำไม้มาเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของ

กระบวนการผลิตพาเลทไม้เท่านั้น ไม่รวมถึงขั้นตอนการขนส่ง การใช้งานและการเก็บรักษาในโกดัง

โรงงานผลิตพาเลทไม้ดำเนินงานโดยการเช่าพื้นที่โรงงานอื่นอีกทอดหนึ่ง ซึ่งมีการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นราคาคงที่ หน่วยละ 15 บาท จึงไม่สามารถวิเคราะห์ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Peak of demand) และค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) ได้

โรงงานผลิตพาเลทไม้มีขั้นตอนการดำเนินงานดังภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการดำเนินงานของ โรงงานผลิตพาเลทไม้

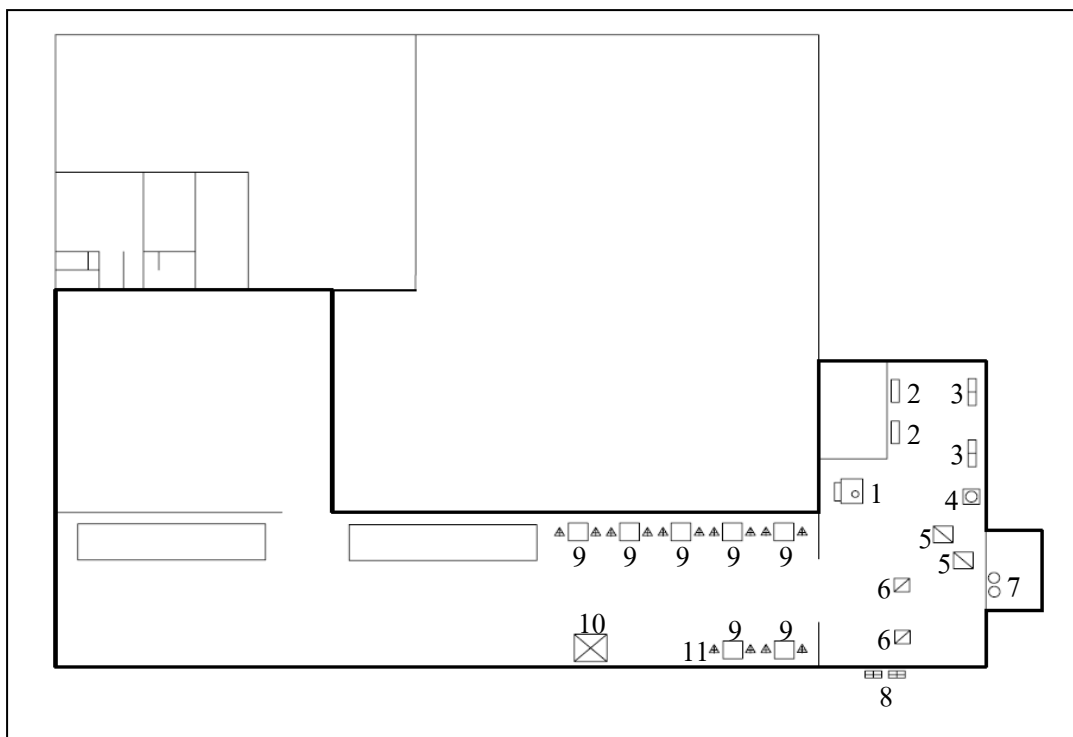
การวางแผนตรวจสอบประเมินการใช้พลังงานโรงงานผลิตพาเลทไม้

ผู้วิจัยทำการตรวจสอบประเมินการใช้พลังงานเพื่อศึกษาถึงประเด็นปัญหาที่สำคัญโดยเริ่มต้นจากการขอความร่วมมือและการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง เพื่อขออนุญาตศึกษากระบวนการผลิตโดยละเอียด เก็บข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานของโรงงาน ตรวจสอบประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต และวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้น มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. สำรวจภายในโรงงาน ทำการสำรวจสภาพทั่วไปของโรงงาน เพื่อศึกษาและ

ทำความเข้าใจกระบวนการประกอบพาเลทไม้ โดยศึกษาถึงวิธีการทำงาน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต












2. จัดทำแผนผังโรงงาน เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และแผนผังกระบวนการผลิตอย่างละเอียด (เส้นหนา คือ บริเวณของโรงงาน) ดังภาพที่ 3-6

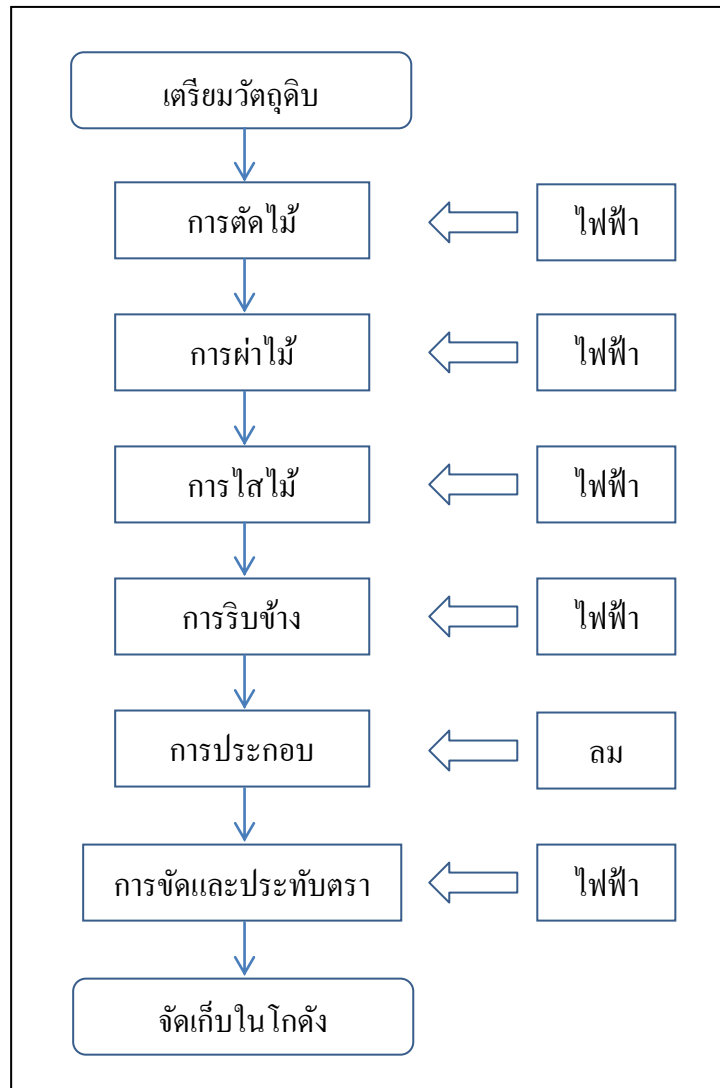


ภาพที่ 3-6 แผนผังโรงงานและเครื่องจักร

จากภาพที่ 3-6 แผนผังโรงงานและเครื่องจักร สามารถอธิบายรายการเครื่องจักรตามสัญลักษณ์และหมายเลขที่ระบุได้ ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 รายการเครื่องจักรแสดงตามแผนผังโรงงาน

ลำดับที่	สัญลักษณ์	รายการเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)
1		เครื่องผ่า	1
2		เครื่องตัดหัวเดียว	2
3		เครื่องตัดสองหัว	2
4		เครื่องเว้าขา	1
5		เครื่องไสหน้าเดียว	2
6		เครื่องซอยริบข้าง	2
7		เครื่องดูดฝุ่นและบีบเกลียว	2
8		เครื่องอัดอากาศ	2
9		โต๊ะประกอบพาเลทไม้	7
10		จุดซัดไม้เก็บรายละเอียด	1
11		ปืนลมยิงตะปู	14



ภาพที่ 3-7 กระบวนการประกอบพาเลทไม้

ขั้นตอนและกระบวนการผลิต

1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

เป็นการนำท่อนไม้ที่รับมาจากลูกค้า ออกจากโกดังเตรียมป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ซึ่งไม้ที่รับมานั้นจะเป็นไม้ขนาดใหญ่ ผ่านการอบไล่ความชื้นและอัดน้ำยากันแมลงเรียบร้อยแล้ว กระบวนการผลิตพาเลทไม้



ภาพที่ 3-8 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

2. ขั้นตอนการตัดไม้ ใช้เครื่องตัดหัวเดียว (สัญลักษณ์ □)

เมื่อทำการผ่าไม้ให้ได้ความหนาที่ต้องการแล้ว จึงนำมาผ่านกระบวนการตัดเพื่อลดขนาดความยาวลง โดยใช้เครื่องตัดสองหัวซึ่งจะสามารถตัดได้ทั้งหัวและท้ายไปพร้อม ๆ กัน



ภาพที่ 3-9 ขั้นตอนการตัดไม้

3. ขั้นตอนการผ่าไม้ ใช้เครื่องผ่า (สัญลักษณ์ □)

ในขั้นตอนนี้เป็นการผ่าไม้เพื่อให้ไม้มีความหนาลดลง เพื่อเตรียมพร้อมเข้าสู่กระบวนการตัดไม้ต่อไป



ภาพที่ 3-10 ขั้นตอนการผ่าไม้เพื่อลดความหนา

4. ขั้นตอนการไสไม้ ใช้เครื่องไสหน้าเดียว (สัญลักษณ์)

ขั้นตอนการไสจะเป็นการไสด้านบน ด้านล่างและเศษ ไม้ ออก เพื่อให้ผิวหน้าไม้เรียบ สวยงาม และไม่มีเศษไม้



ภาพที่ 3-11 ขั้นตอนการไส

5. ขั้นตอนการริบข้าง ใช้เครื่องขอยริบข้าง (สัญลักษณ์)

ทำการไสไม้ด้านข้างเพื่อให้ขอบด้านข้างเรียบ สวยงาม และได้ความกว้างของแผ่นไม้ ตามความต้องการของลูกค้า



ภาพที่ 3-12 ขั้นตอนการริบข้าง

6. ขั้นตอนการประกอบ ใช้โต๊ะประกอบพาเลทไม้ (สัญลักษณ์ □) และปืนลมยิงตะปู (สัญลักษณ์ △)

หลังจากผ่านการเตรียมแผ่นไม้เรียบร้อยแล้ว จึงนำไม้มาประกอบเป็นพาเลท โดย 1 โต๊ะประกอบจะมีพนักงาน 2 คน ใช้ปืนลมยิงตะปูยึดไม้แต่ละชั้นให้ติดกันตามแบบของลูกค้า



ภาพที่ 3-13 ขั้นตอนการประกอบ

7. ขั้นตอนการขัด

เมื่อทำการประกอบแผ่นไม้เป็นพาเลทแล้ว จึงนำมาขัดเก็บรายละเอียดจำพวกครีบน้ำหรือเสี้ยนไม้ต่าง ๆ หลังจากนั้นทำการประทับวันเดือนปีที่ผลิต และสัญลักษณ์มาตรฐาน IPPC



ภาพที่ 3-14 ขั้นตอนการซัด

8. นำพาเลทไม้เข้าเก็บในโกดังเพื่อรอการขนส่ง

หลังจากที่ทำการประกอบและเก็บรายละเอียดเรียบร้อยแล้ว จะนำไปเก็บรักษาใน โกดัง เพื่อรอการขนส่งให้ลูกค้าต่อไป

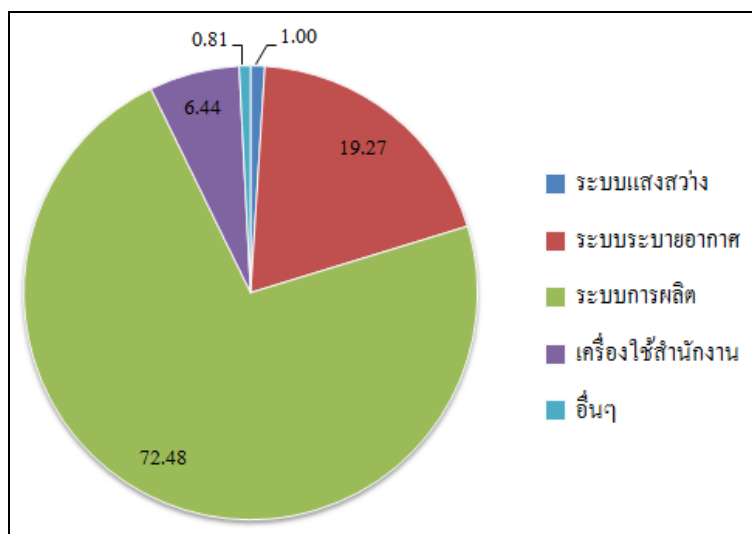


ภาพที่ 3-15 นำพาเลทไม้เข้าเก็บในโกดังเพื่อรอการขนส่ง

ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

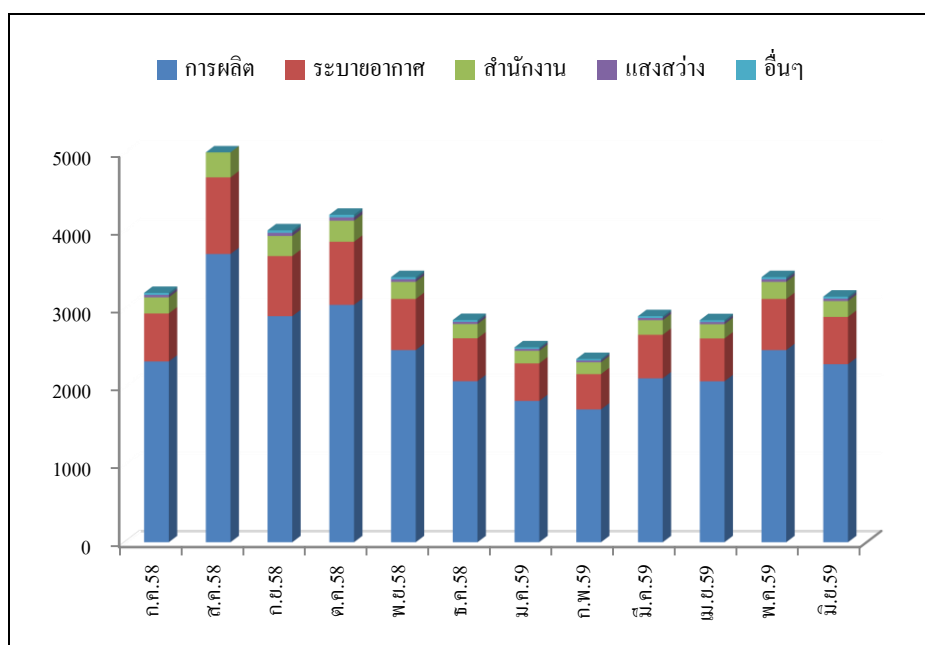
ในการดำเนินการส่วนนี้จะทำการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานพบว่ามีส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558–มิถุนายน 2559 ดังภาพที่

3-16



ภาพที่ 3-16 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงาน

จากการศึกษาสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงานผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาข้อมูลอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559 ดังภาพที่ 3-17



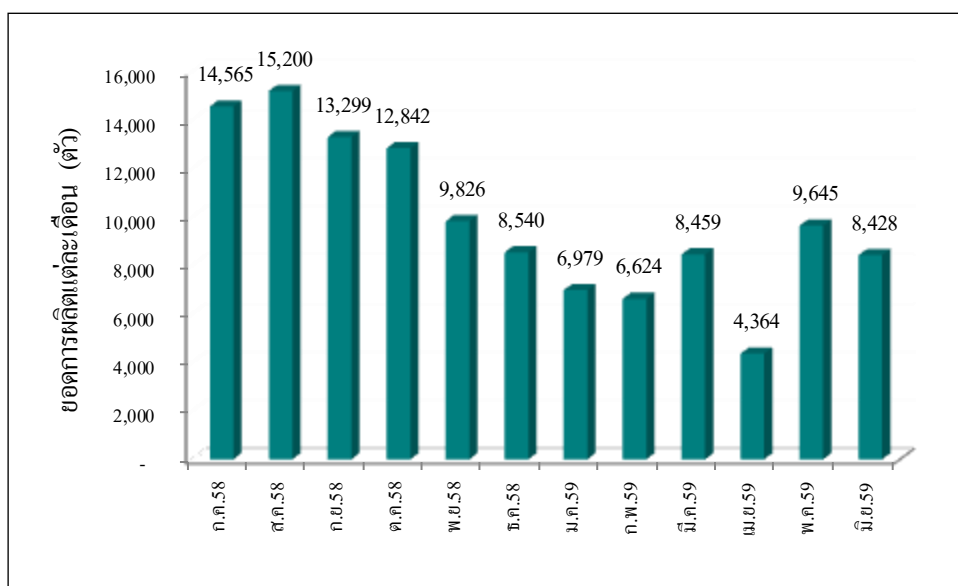
ภาพที่ 3-17 อัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559

จากภาพที่ 3-17 ที่แสดงอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบต่าง ๆ ของโรงงาน จะเห็นว่าระบบการผลิตมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 72.48 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน ดังนั้นจะทำการวิเคราะห์กระบวนการผลิตเพื่อหาความสูญเสียพลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ซึ่งกระบวนการประกอบพลาสม่าไม่มีขั้นตอนดังภาพที่ 3-7 และเมื่อนำมาวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งการดำเนินการจะศึกษาตามลำดับขั้นตอนการทำงาน ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 รายการเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

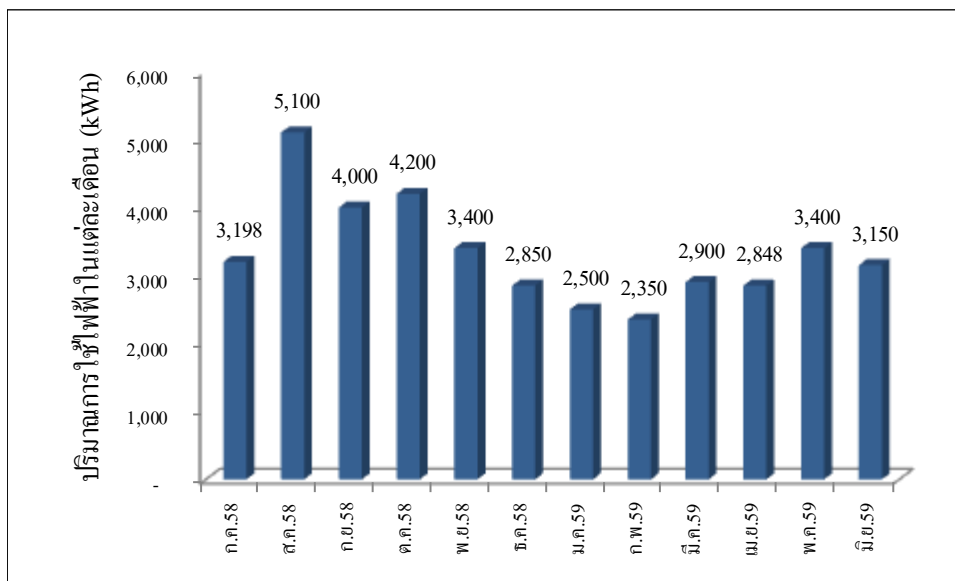
ขั้นตอนการทำงาน	ชื่อเครื่องจักร	พลังงานไฟฟ้า ที่ต้องการ (kWh)	จำนวนชั่วโมง ที่ใช้งาน (hr/ day)	พลังงาน ไฟฟ้าที่ใช้ (kWh/ day)
1. การเตรียมวัตถุดิบ	-	-	-	-
2. การผ่า	เครื่องผ่า	14.91	1.20	17.90
3. การตัด	เครื่องตัดสองหัว	4.47	1.40	6.26
	เครื่องตัดหัวเดียว	2.24	2.13	4.77
4. การไส	เครื่องไสหน้าเดียว	4.10	2.10	8.61
5. การขอยริบข้าง	เครื่องขอยริบข้าง	6.34	1.32	8.37
	เครื่องคูคฝุ่นและขี้เลื่อย 1	3.73	2.50	9.32
	เครื่องคูคฝุ่นและขี้เลื่อย 2	3.73	2.00	7.46
	เครื่องอัดอากาศ #1	7.50	4.35	32.63
6. การประกอบ พลาสม่าไม้	เครื่องอัดอากาศ #2	7.50	1.40	10.50
	เครื่องยิงตะปูลม	ใช้ลม	8.00	ใช้ลม
7. การขัดและ ประทับตรา	เครื่องขัด	0.67	0.35	0.23
8. การเก็บรักษา ในโกดัง	-	-	-	-
	พัดลม	0.23	5.00	7.88
	หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	0.05	2.00	1.56
	รวม	55.46	-	115.49

จากตารางที่ 3-2 เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ พบว่า ความต้องการใช้งานเครื่องจักรของแต่ละเครื่องใน 1 วันมีความแตกต่างกันออกไป โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบตามชั่วโมงการใช้งานแล้วพบว่า เครื่องอัดอากาศ 1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้า สูงที่สุด โดยจะนำเครื่องอัดอากาศทั้ง 2 เครื่อง ซึ่งเป็นรุ่นเดียวกันมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของเครื่องจักร ทำการเก็บข้อมูลยอดการผลิตในแต่ละเดือนของ โรงงานผลิตพลาทไม้มั ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558–มิถุนายน 2559 ดังภาพที่ 3-18



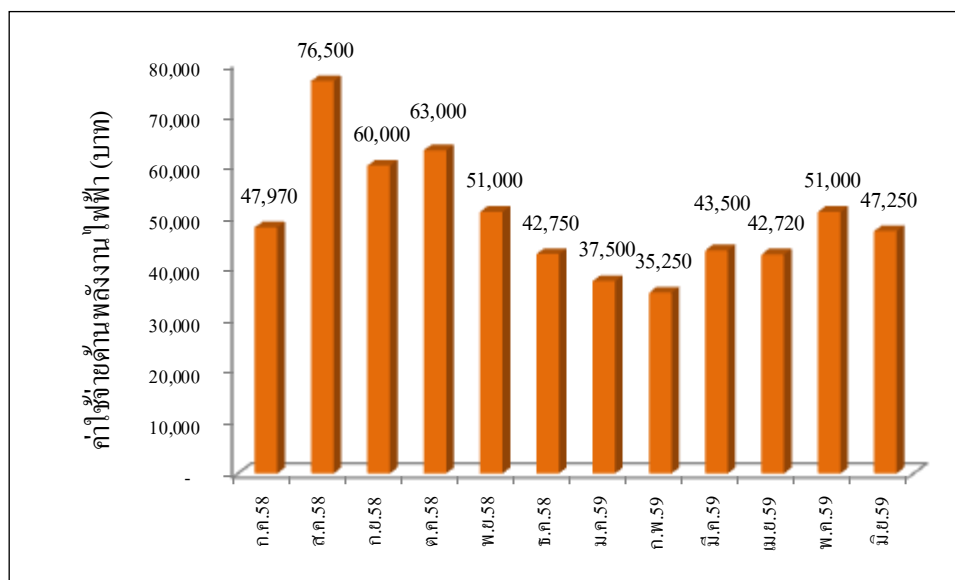
ภาพที่ 3-18 ข้อมูลการผลิตของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558–มิถุนายน 2559

ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนของ โรงงานผลิตพลาทไม้มั ตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม 2558–มิถุนายน 2559 ดังภาพที่ 3-19



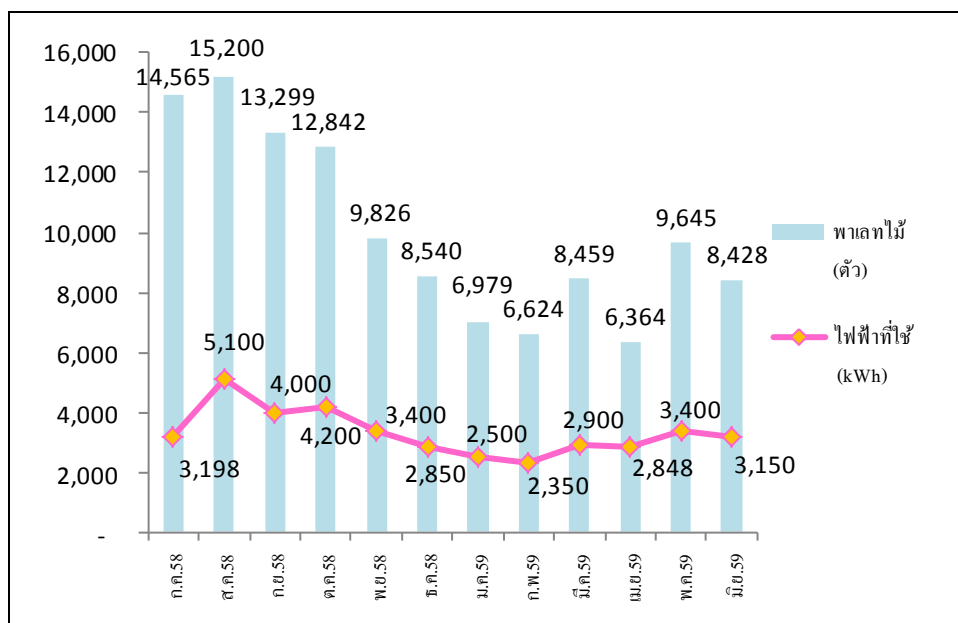
ภาพที่ 3-19 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559

ทำการเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนของโรงงานผลิตพลาสติกตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559 ดังภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-20 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558-มิถุนายน 2559

จากภาพที่ 3-20 เนื่องจากโรงงานนี้เป็นการเช่าพื้นที่โรงงานอื่นเพื่อดำเนินธุรกิจ ซึ่งจะมีการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นหน่วยคงที่ ในราคาหน่วยละ 15 บาท ซึ่งเป็นราคาที่สูงมาก เมื่อนำค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้ามาเปรียบเทียบกับยอดการผลิต ดังภาพที่ 3-21



ภาพที่ 3-21 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับยอดการผลิต

จากภาพที่ 3-21 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับผลผลิตที่ได้ในแต่ละเดือน พบว่ามีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างคงที่แต่ยอดการผลิตลดลง จึงนำมาวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือพลังงานที่ใช้ในการผลิตพalletไม้ 1 ตัว สามารถคำนวณได้จากสูตรค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) ดังต่อไปนี้

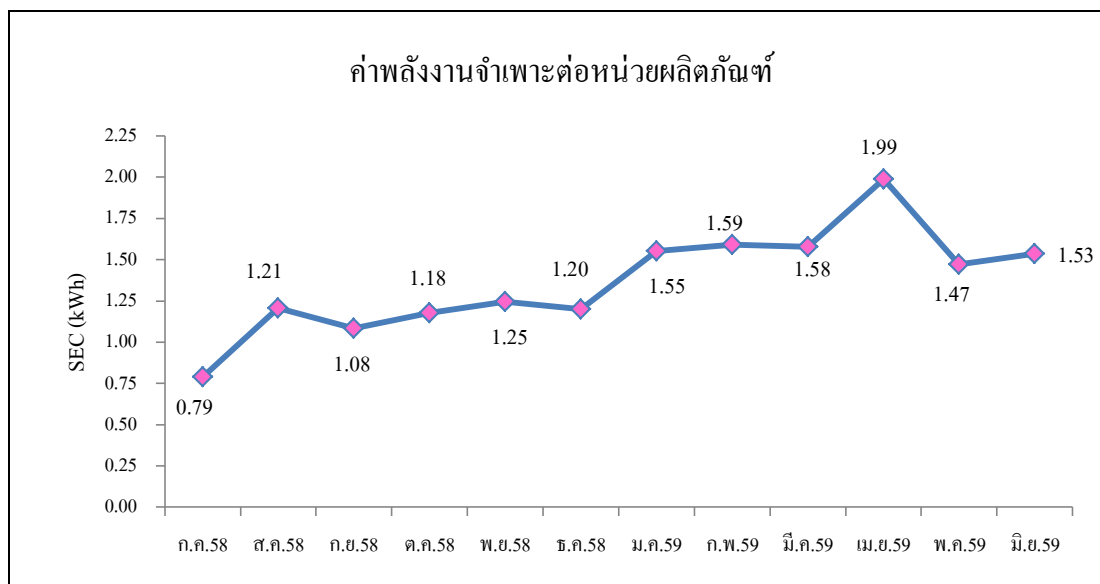
$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)} \times 3.6 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kWh}} \right) + \text{ปริมาณพลังงานความร้อน (MJ)}}{\text{ปริมาณผลผลิต (หน่วย)}} \quad (3-1)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558

$$SEC = \frac{3,198 \times 3.6}{14,565} = 0.79 \text{ MJ/Unit (เมกะจูลต่อหน่วย) หมายความว่า จากการใช้}$$

พลังงานและยอดการผลิตของเดือนกรกฎาคม ต้องใช้พลังงานทั้งหมด 0.79 MJ ในการประกอบ

พลาเทไม้ 1 ตัว ซึ่งค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558–มิถุนายน 2559 รายละเอียดดังภาพที่ 3-22



ภาพที่ 3-22 ค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558–มิถุนายน 2559

จากภาพที่ 3-22 การคำนวณค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์พบว่าการใช้พลังงานมีปริมาณที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ยอดการผลิตลดลง หมายความว่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อค้นหาความสูญเสียในระบบการผลิตและกำหนดเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการเสนอการปรับปรุง

ประเด็นที่น่าสนใจเพื่อนำเสนอแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากข้อมูลภาพที่ 3-17 อัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบต่าง ๆ ของโรงงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2558–มิถุนายน 2559 ของโรงงานพบว่าระบบการผลิตมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด และค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้โรงงานผลิตพลาเทไม้มีต้นทุนด้านพลังงานที่สูงมาก จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสูญเสียค่าของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

1. จากตารางที่ 3-2 รายการเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้พบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศ #1 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องอัดอากาศ #2 มาก จึงจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอัดอากาศทั้ง 2 เครื่อง



ภาพที่ 3-23 เครื่องอัดอากาศ #1

ตารางที่ 3-3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ #1

รายการ	ข้อมูลของเครื่องจักร	หน่วย
ถังเก็บลม	520	l
ความต้องการไฟฟ้า	7.50	kW
ปริมาณลมที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลา	1,780	l/ min
อายุการใช้งาน	7	ปี

การคำนวณประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ #1 (ขณะโหลดใช้ไฟฟ้า 5.5 kW)

การผลิตแรงดันลมจาก 9 บาร์ ไป 10 บาร์ ใช้เวลา 45 sec

$Q = [\text{ขนาดถังลม} \times (\text{ความดันทดสอบสูงสุด} - \text{ความดันทดสอบต่ำสุด}) \times 60] / (\text{เวลาเครื่องอัดอากาศทำงาน} \times 1.013 \times 1,000)$

$$Q = \left(\frac{520 \times (10 - 9) \times 60}{45 \times 1.013 \times 1,000} \right)$$

$$Q = 0.684 \text{ l/ m}^3 / \text{min}$$

$$Q = 684 \text{ l/ min}$$

คำนวณปริมาณลมรั่วของเครื่องเครื่องอัดอากาศ #1

$$Q_{\text{leak}} = \frac{Q \times T_{\text{av}}}{T_{\text{av}} + t_{\text{av}}}$$

$$Q_{\text{leak}} = \frac{684 \times 2.42}{2.42 + 0.67}$$

$$Q_{\text{leak}} = 535.69 \text{ l/ min}$$



ภาพที่ 3-24 เครื่องอัดอากาศ #2

ตารางที่ 3-4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ #2

รายการ	ข้อมูลของเครื่องจักร	หน่วย
ถังเก็บลม	520	l
ความต้องการไฟฟ้า	7.50	kW
ปริมาณลมที่ผลิตได้ต่อหน่วยเวลา	1,780	l/ min
อายุการใช้งาน	1	ปี

การคำนวณประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ #2 (ขณะโหลดใช้ไฟฟ้า 7.9 kW)

การผลิตแรงดันลมจาก 9 บาร์ ไป 10 บาร์ ใช้เวลา 24 sec

$Q = [\text{ขนาดถังลม} \times (\text{ความดันทดสอบสูงสุด} - \text{ความดันทดสอบต่ำสุด}) \times 60] / (\text{เวลาเครื่องอัดอากาศทำงาน} \times 1.013 \times 1,000)$

$$Q = \left(\frac{520 \times (10 - 9) \times 60}{24 \times 1.013 \times 1,000} \right)$$

$$Q = 1.283 \text{ l/ min}$$

$$Q = 1,283 \text{ l/ min}$$

คำนวณปริมาณลมรั่วของเครื่องอัดอากาศ #2

$$Q_{\text{leak}} = \frac{Q \times T_{\text{av}}}{T_{\text{av}} + t_{\text{av}}}$$

$$\% \text{ leak} = \frac{1,300 \times 0.6}{0.6 + 7.67}$$

$$Q_{\text{leak}} = 93.08 \text{ l/ min}$$

จากการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศพบว่าเครื่องอัดอากาศ #1 มีอัตราการรั่วไหล 535.69 ลิตร/ นาที และเครื่องอัดอากาศ #2 มีอัตราการรั่วไหล 93.08 ลิตร/ นาที ซึ่งเครื่องอัดอากาศ #1 ควรปรับปรุงอย่างเร่งด่วน

2. เกิดความสูญเสียในอุปกรณ์เครื่องอัดอากาศ ใช้แรงดันอากาศที่สูงเกินความจำเป็น โดยปัจจุบันทางโรงงานปรับตั้งค่าแรงดันใช้งานไว้ที่ 10 บาร์ ส่งให้กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิตพลาสติกไม้ เช่น เครื่องอัดตะปู แต่เนื่องจากอุปกรณ์มีความต้องการแรงดันอยู่ที่ 7 บาร์ ทำให้เกิดความสูญเสียเปล่าในระบบอัดอากาศ

เสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากสภาพปัญหาที่พบทางผู้วิจัยได้เสนอ

เสนอให้ปรับปรุงระบบส่งจ่ายลม (ท่อลม) และทำการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม โดยจากเดิมใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 10 แรงม้า 2 เครื่อง เปลี่ยนเป็น 15 แรงม้า เพียง 1 เครื่อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และเก็บเครื่องอัดอากาศ #2 ไว้สำรองโดยไม่ต่อเข้าระบบลม เพื่อกรณีเครื่องอัดอากาศ #1 ชำรุด

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. คำนวณแรงดันและปริมาณลมสูงสุดที่อุปกรณ์ต้องการ
2. ตรวจสอบราคาอุปกรณ์ต่าง ๆ
3. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากบทที่ 3 หลังจากได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและสำรวจปัญหา พบว่า มีการสูญเสียพลังงานในระบบอัดอากาศเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ #1 มีอัตราการรั่วไหล 535.69 ลิตร/ นาที จึงได้ทำการเสนอแนวทางการแก้ปัญหาโดยเสนอให้เปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ #1 และทำการปรับปรุงระบบส่งจ่ายลม จากท่อลมยางเปลี่ยนเป็นท่อเหล็กชุบกำลัปวาไนซ์ ซึ่งจะสามารถลดโอกาสการรั่วไหล และลดการสูญเสียความดันจากการขยายตัวของท่ออย่าง ซึ่งจะต้องมีการสำรวจอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งจ่ายลม การออกแบบแผนผังการเดินท่อลม แบบใหม่ การคำนวณความต้องการความดันและกำลังสำหรับระบบส่งจ่ายลมนี้ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการประกอบพาเลทไม้ 1 ตัว ค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) เปรียบเทียบ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่อัตราการผลิตแบบเต็มกำลังและอัตราการผลิตแบบครึ่งกำลัง

การสำรวจอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งจ่ายลม

ทำการสำรวจอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งจ่ายลม เพื่อวิเคราะห์ความต้องการความดัน และกำลังไฟฟ้าของระบบส่งจ่ายลม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เครื่องอัดอากาศ #1 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ ยี่ห้อ PUMA ขนาด 10 แรงม้า ถึงเก็บลมขนาด 520 ลิตร ความดันลม 7-10 บาร์ อัตราการผลิตลม 1,780 ลิตร/ นาที



ภาพที่ 4-1 เครื่องอัดอากาศ #1 ยี่ห้อ PUMA ขนาด 10 แรงม้า

2. ท่อลมยาง

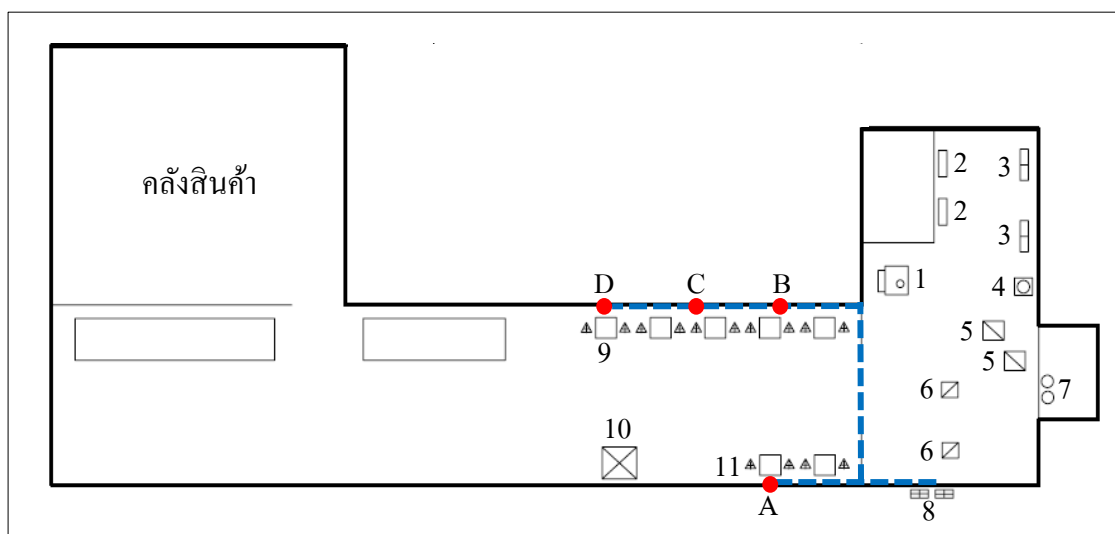
ท่อลมยางขนาด 3/4" เป็นท่อลมหลัก และท่อลมยางขนาด 1/4" ที่ต่อจากข้อต่อทองแดง 4 ทาง เข้ากับปืนลมยิงตะปู โดยจะมีความยาวเส้นละ 3 เมตร จำนวน 14 เส้น ตามจำนวนปืนลมยิงตะปู



ภาพที่ 4-2 แนวท่อลมยางแบบเก่า

การออกแบบแผนผังการเดินท่อลมแบบใหม่

หลังจากสำรวจอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งจ่ายลมแล้ว จึงทำการออกแบบแผนผังแนวท่อลมโดยอ้างอิงจากของเดิม ทั้งแนวการเดินท่อ ขนาดท่อและประโยชน์ในการใช้งาน โดยเปลี่ยนจากท่อลมยางเป็นท่อลมเหล็กชุบกัลวาไนซ์ (คาดฟ้า) ดังภาพที่ 4-3



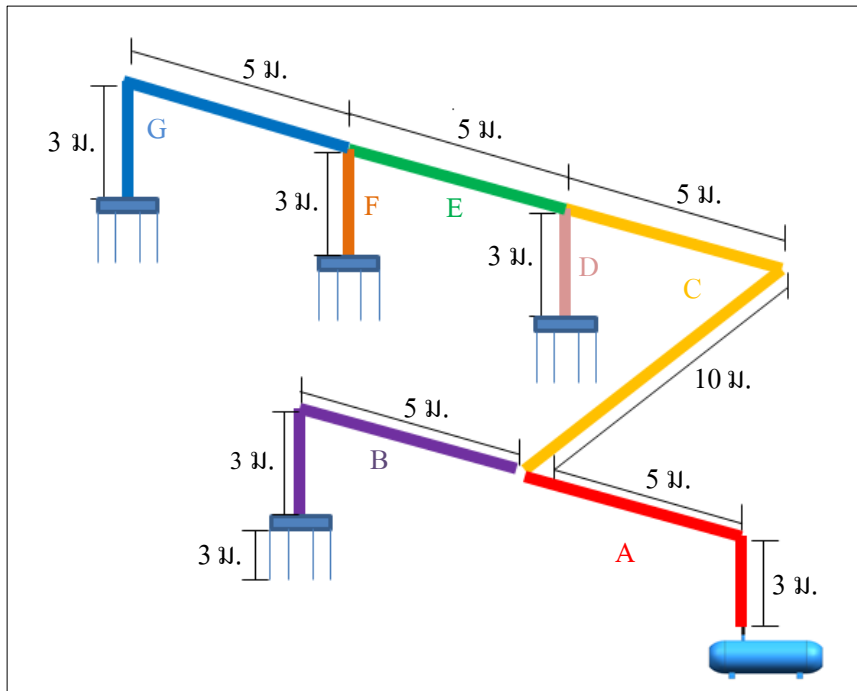
ภาพที่ 4-3 แผนผังการเดินระบบท่อลมและจุดปล่อยลม

จากภาพที่ 4-3 แนวเส้นประ คือ การเดินแนวท่อลมใหม่โดยเปลี่ยนจากท่อลมข้างเป็นท่อเหล็กชุบกัลวาไนซ์ขนาด 3/4" โดยมีจุดปล่อยลม 4 จุด คือ จุดวงกลม A, B, C และ D แต่ละจุดปล่อยลมจะมีข้อต่อทองแดง 4 ทาง เพื่อต่อเข้ากับปืนลมยิงตะปู 4 ตัว (ยกเว้นจุดปล่อยลม D จะใช้งานเพียง 2 ทางเท่านั้น เนื่องจากอ้างอิงการทำงานแบบเดิม) หลังจากนั้นนำข้อมูลมาทำการคำนวณความต้องการลมสูงสุด ความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นในระบบ เพื่อวิเคราะห์ความต้องการปริมาณลม ความดัน และกำลังของเครื่องอัดอากาศให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงดังต่อไปนี้

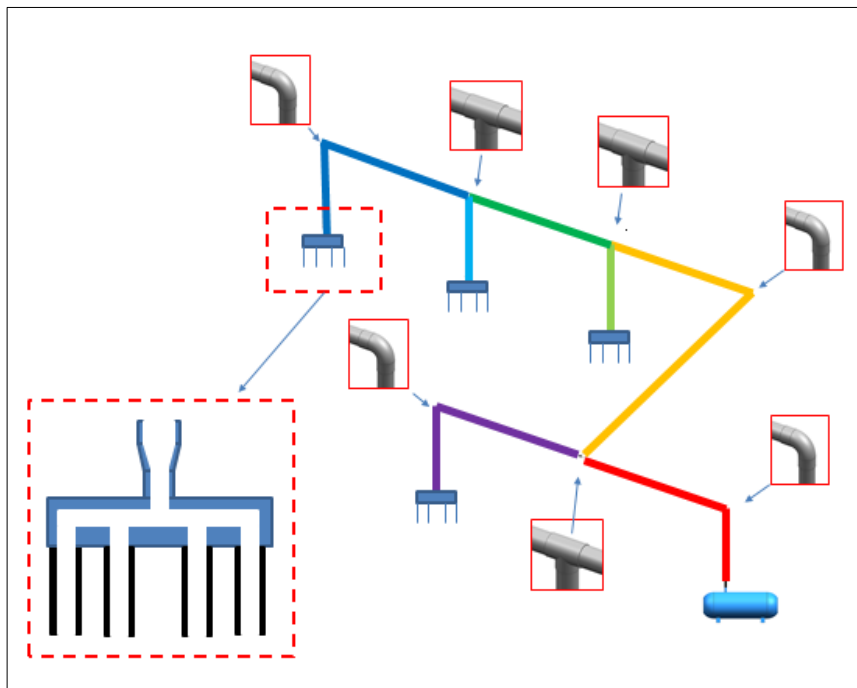
1. ท่อเหล็กชุบกัลวาไนซ์ 3/4" ความยาวรวมกัน 50 เมตร
2. ข้อต่อ 90 องศา จำนวน 3 อัน
3. ข้อต่อ 3 ทาง จำนวน 3 อัน
4. ข้อต่อลดขนาดท่อ จาก 3/4" เป็น 1/4" จำนวน 4 ชิ้น ติดตั้งบริเวณปลายทางออกของท่อ 3/4" (เนื่องจากปืนลมยิงตะปูใช้ท่อลมขนาด 1/4")
5. ข้อต่อทองแดง 4 ทาง (เข้า 1 ออก 4) ขนาด 1/4" จำนวน 4 ชิ้น

การคำนวณหาความดันและกำลังสูงสุด

การคำนวณหาความดันและกำลังสูงสุดที่ระบบส่งจ่ายลมนี้ต้องการ โดยจะแบ่งระบบส่งจ่ายลมออกเป็นทั้งหมด 7 ช่วง เพื่อง่ายต่อการคำนวณ คือ ช่วง A ความยาวท่อ 8 เมตร ช่วง B ความยาวท่อ 8 เมตร ช่วง C ความยาวท่อ 15 เมตร ช่วง D ความยาวท่อ 3 เมตร ช่วง E ความยาวท่อ 5 เมตร ช่วง F ความยาวท่อ 3 เมตร และช่วง G ความยาวท่อ 8 เมตร โดยที่ปลายท่อ B, D และ F จะมีข้อต่อทองแดง 4 ทาง ต่อเข้าปืนลมยิงตะปู 4 ตัว ที่ปลายท่อ G จะมีข้อต่อทองแดง 4 ทาง แต่จะต่อเข้ากับปืนลมยิงตะปูเพียง 2 ตัว เนื่องจากอ้างอิงกับการใช้งานจริง ดังภาพที่ 4-4



ภาพที่ 4-4 รายละเอียดระบบท่อลมและการแบ่งช่วงเพื่อการคำนวณ



ภาพที่ 4-5 รายละเอียดข้อต่อตามจุดต่าง ๆ

จากภาพที่ 4-4 และภาพที่ 4-5 จะแสดงตัวอย่างการคำนวณหาความต้องการความดันกำลังสูงสุด และความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นในระบบนี้ โดยจะแสดงการคำนวณที่จุดปล่อยลม G เป็นตัวอย่าง และในส่วนอื่น ๆ จะแสดงค่าในตารางที่ 4-3

การคำนวณหา กำลังสูงสุดของระบบ

$$\text{จากสมการ Power} = \Delta P \times Q \quad (4-1)$$

$$\text{โดย } \Delta P = P_1 - P_{\text{บรรยากาศ}} \text{ เมื่อ } P_{\text{บรรยากาศ}} = 101.325 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$\text{คำนวณหา } P_1 \text{ จากสมการเบอร์นูลลี } \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad (4-2)$$

$P_2 =$ ความดันบรรยากาศ (101.325×10^3), $\Delta Z = 0.5$ เมตร (ความสูงระหว่างเครื่องอัดอากาศกับปืนลมยิงตะปู) และ $\rho_{\text{อากาศ}} = 1.292 \text{ km} / \text{m}^3$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + h_L$$

$$\frac{P_1}{1.29 \times 9.81} = \frac{101.325 \times 10^3}{1.29 \times 9.81} + Z_2 - Z_1 + h_L$$

$$P_1 = (8,006.78 + h_L + \Delta Z) \times 12.65$$

$$P_1 = (8,006.78 + h_L + 0.5) \times 12.65$$

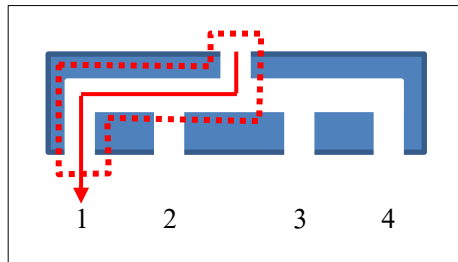
จากนั้นคำนวณหา h_L โดยจะคำนวณเป็นช่วง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การคำนวณ h_L ตั้งแต่ข้อต่อทองแดง 4 ทาง ท่อลมยาง ไปจนถึงปืนลมยิงตะปู

คำนวณ h_L ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง และท่อลมยางความยาว 3 เมตร กำหนดให้ข้อต่อทองแดง 4 ทาง มี h_L เท่ากันทั้ง 4 ช่อง โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

1.1 การคำนวณ h_L ตั้งแต่ข้อต่อทองแดง 4 ทาง ท่อลมยาง ไปจนถึงปืนลมยิงตะปู

กำหนดให้ลมเดินทางผ่านข้อต่อทองแดง 4 ทาง แล้วออกที่ช่องลมที่ 1 ผ่านท่อขนาด 1/4" ความยาว 3 เมตร และผ่านปืนลมยิงตะปูออกสู่บรรยากาศ ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 การเดินทางของลมออกช่องที่ 1 ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง

รายละเอียดภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง ที่ใช้ในการคำนวณ ความยาวข้อต่อทองแดง (L)

$$= 0.05 \text{ m เส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อทองแดง (d) = } \frac{1}{4}'' \text{ หรือ } \frac{1}{4} \times \frac{25.4}{1,000} = 0.00635 \text{ m; } 6.35 \text{ mm}$$

แรงโน้มถ่วงของโลก (g) = 9.81 m/s^2 จากคู่มือการใช้งานของปืนลมยิงตะปูลมยี่ห้อ Bostich รุ่น N58C ปืนมีความต้องการลม 4.3 CFM

$$\text{หรือ } Q = \frac{4.3 \times \left(\frac{25.4 \times 12}{1,000} \right)^3}{60} = 0.002029 \text{ m}^3/\text{s}$$

Roughness of pipe (\mathcal{E}) = 0.0015 mm

$$h = \left[f \left(\frac{L}{D} \right) + \sum k \right] \times \left(\frac{V_{\text{avg}}^2}{2g} \right) \quad (4-3)$$

$$h = \left[f \left(\frac{0.05}{0.00635} \right) + \sum k \right] \times \left(\frac{V_{\text{avg}}^2}{2 \times 9.81} \right)$$

หา f จาก Moody diagram โดยคำนวณ Relative pipe roughness และ Reynolds number เพื่อนำไปหาค่า f ใน Moody diagram

$$\text{คำนวณ Relative pipe roughness จากสมการ } \frac{\mathcal{E}}{d} = \frac{0.0015 \text{ mm}}{6.35 \text{ mm}} = 0.000236 \text{ หรือ}$$

$$2.36 \times 10^{-4}$$

$$\text{คำนวณ Reynolds number จากสูตร } Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (4-4)$$

เมื่อ $\rho = 1.292 \text{ kg/m}^3$, $\mu_{\text{อากาศ}} = 0.0000181$

คำนวณความเร็วของอากาศ (V) จากสมการ $V = \frac{Q}{A}$ (4-5)

คำนวณพื้นที่หน้าตัดของท่อ $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{1''}{4} \times \frac{\left(\frac{25.4}{1,000} \right)}{2} \right)^2 = 0.0000307 \text{ m}^2$

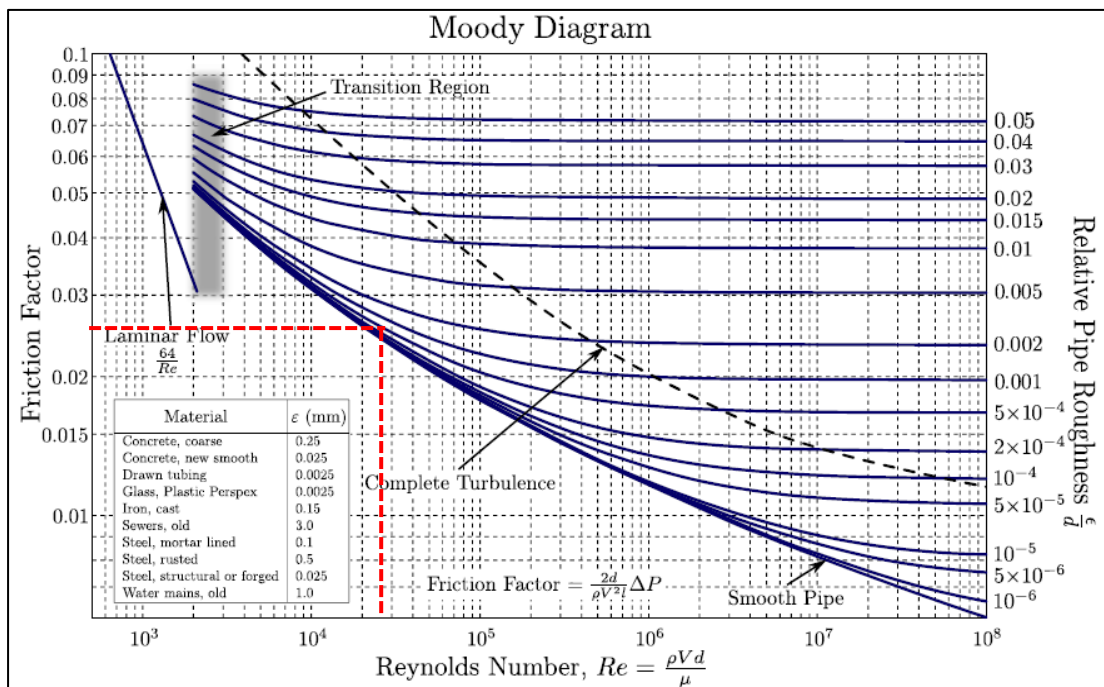
หรือ $3.07 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.002029}{3.07 \times 10^{-5}} = 64.21 \text{ m/s}$

นำ V มาแทนค่าในสมการ $Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{1.292 \times 64.20 \times 0.00635}{0.0000181} = 29,099.98$

นำค่า Relative pipe roughness และ Reynolds number มาหาค่า f ในภาพที่ 4-7 Moody

diagram



ภาพที่ 4-7 Moody diagram

จากภาพที่ 4-7 Moody diagram เมื่อแทนค่า Relative pipe roughness และ Reynolds number จะได้ค่า $f = 0.026$ จากภาพที่ 4-6 การเดินทางของลมออกช่องที่ 1 ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง จะคำนวณหาการสูญเสียแบบ minor คือ เป็นการสูญเสียตามข้อต่อต่าง ๆ โดยมีข้อต่อ 90 องศา ข้อต่อสามทางแบบวิ่งผ่าน และข้อต่อสามทางแบบหักศอก มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficients: K) ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss coefficients: K) ของข้อต่อ (Fitting) ที่ใช้ในการคำนวณแบบที่ 1 ให้ลมออกจากช่องลมที่ 1

คำอธิบาย	ค่า K_L
ข้อต่อ 90° (Miter bend)	1.1
ข้อต่อสามทางแบบวิ่งผ่าน (Tee line flow flanged)	0.2
ข้อต่อสามทางแบบหักศอก (Tee branch)	1

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรวม หรือ $\sum K = 1.1 + 0.2 + 1 = 2.3$ และนำค่าไปแทนในสมการ

$$h_{\text{loss}} = \left[0.026 \times \left(\frac{0.05}{0.00635} \right) + 2.3 \right] \times \frac{64.20^2}{2 \times 9.81} = 526.18$$

ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง ที่ลมออกจากช่องลมที่ 1 จะมีการสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 526.18 เมตร

1.2 การคำนวณความสูญเสียในท่อลมยางที่ต่อจากข้อต่อทองแดงเข้าสู่ปืนลมยิงตะปู หลังจากคำนวณความสูญเสียแบบ Minor ในข้อต่อทองแดง 4 ทางแล้ว จะคำนวณความสูญเสียแบบ Major คือ การสูญเสียในท่อลมยาง โดยเป็นท่อขนาด ¼" ความยาว 3 เมตร

รายละเอียดภายในท่อลมยางที่ใช้ในการคำนวณ ความยาวท่อลมยาง (L) = 3 m

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อลมยาง (d) = ¼" หรือ $\frac{1}{4} \times \frac{25.4}{1,000} = 0.00635$ m; 6.35 mm แรงโน้มถ่วงของ

โลก (g) = 9.81 m/s² Roughness of pipe (\mathcal{E}) = 0.0016 (Rubber pipe roughness)

คำนวณ Relative pipe roughness จากสมการ $\frac{\mathcal{E}}{d} = \frac{0.0016 \text{ mm}}{6.35 \text{ mm}} = 0.000252$ หรือ 2.52×10^{-4}

โดย Re จะเท่ากับ ข้อต่อทองแดง 4 ทาง คือ $Re = 29,099.98$ นำไปหาค่า f ในภาพที่ 4-7 Moody diagram โดยจะได้ $f = 0.026$

$$h_{\text{loss}} = \left[0.026 \times \left(\frac{3}{0.00635} \right) + 1 \right] \times \frac{64.20^2}{2 \times 9.81} = 2,790.50$$

ภายในท่อลมยาง จะมีการสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 2,790.50 เมตร

$$\therefore \sum h_{\text{loss}} \text{ ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทางและท่อลมยางทั้ง 4 ช่อง} = (526.18 + 2,790.50) \times 4 = 13,266.72 \text{ m}$$

2. การคำนวณ h_L ในท่อหลักขนาด 3/4" ช่วง G

คำนวณ h_L ภายในท่อหลัก (ท่อเหล็กชุบกำไลวาล์วไนซ์ ขนาด 3/4") โดยจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 7 ช่วง ดังภาพที่ 4-4 โดยจะแสดงวิธีการคำนวณในช่วง G ซึ่งในจุดนี้จะมีปืนลมยิงตะปู เพียง 2 ตัว

รายละเอียดภายในท่อหลักขนาด 3/4" ช่วง G ที่ใช้ในการคำนวณ

ความยาวของท่อเหล็กชุบกำไลวาล์วไนซ์ (L) = 8 m

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเหล็กชุบกำไลวาล์วไนซ์ (d) = 3/4" หรือ $\frac{3}{4} \times \frac{25.4}{1,000} = 0.01905 \text{ m}$;

19.05 mm

แรงโน้มถ่วงของโลก (g) = 9.81 m/s^2

จากคู่มือการใช้งานของปืนลมยิงตะปูลมยี่ห้อ Bostich รุ่น N58C ปืนมีความต้องการลม

4.3 CFM

$$\text{หรือ } Q = \frac{4.3 \times \left(\frac{25.4 \times 12}{1,000} \right)^3}{60} = 0.002029 \text{ m}^3/\text{s}$$

Roughness of pipe (\mathcal{E}) = 0.15 mm

คำนวณ Relative pipe roughness จาก $\frac{\mathcal{E}}{d} = \frac{0.15 \text{ mm}}{19.05 \text{ mm}} = 0.0078$ หรือ 7.87×10^{-3}

คำนวณ Reynolds number จากสูตร $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$ เมื่อ $\rho = 1.292$, $\mu_{\text{อากาศ}} = 0.0000181$

คำนวณความเร็วของอากาศ (V) จากสมการ $V = \frac{Q}{A}$

คำนวณอัตราการไหลเมื่อมีปืนลมยิงตะปูใช้งาน 2 ตัว $Q = 0.002029 \times 2 = 0.004058$

m^3/s

$$\text{คำนวณพื้นที่หน้าตัดของท่อ } A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{3''}{4} \times \frac{\left(\frac{25.4}{1,000} \right)}{2} \right)^2 = 2.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.004058}{2.85 \times 10^{-4}} = 14.24 \text{ m/s}$$

$$\text{นำ } V \text{ มาเข้าสู่สูตร } Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{1.292 \times 14.24 \times 0.01905}{0.0000181} = 19,363.83$$

นำค่า Relative pipe roughness และ Reynolds number มาหาค่า f ในภาพที่ 4-7 Moody diagram จะได้ $f = 0.038$ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียภายในท่อช่วง G ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อ ในการคำนวณความสูญเสียภายในท่อช่วง G

คำอธิบาย	ค่า K_L
ข้อต่อ 90° (Smooth bend)	0.3
ข้อต่อสามทางแบบวงผ่าน (Tee line flow flanged)	0.2
ข้อต่อลดขนาดท่อจาก 3/4" เป็น 1/4" (Contraction)	0.07

จากตารางที่ 4-2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรวม หรือ $\sum K = 0.3 + 0.2 + 0.07 = 0.57$

$$h_{\text{loss}} = \left[0.038 \times \left(\frac{8}{0.01905} \right) + 0.57 \right] \times \frac{14.24^2}{2 \times 9.81} = 170.82 \text{ m}$$

ภายในท่อเหล็กชุบสังกะสีในช่วง G ดังภาพที่ 4-4 จะมีการสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 170.82 เมตร คำนวณ h_L ที่จุด G ทั้งหมด ประกอบด้วย ท่อหลัก G ข้อต่อทองแดง 4 ทาง ท่อลมยาง และปืนลม 2 ตัว แต่เนื่องจากจุด G มีการต่อใช้งานปืนลมยิงตะปูเพียง 2 ตัว จึงนำ $\sum h_L$ ภายใน ข้อต่อทองแดง 4 ทางและท่อลมยางทั้ง 4 ช่อง มาหาร 2

$$\therefore \sum h_L = \frac{13,266.72}{2} + 170.82 = 6,804.18 \text{ m}$$

การคำนวณกำลังที่ระบบส่งจ่ายลมต้องการ

หลังจากที่ได้คำนวณความสูญเสียที่อาจจะเกิดในระบบของท่อลมช่วง G ไปจนถึงปีนลมยึงตะปูที่ต่อจากท่อในช่วง G แล้วนั้น จึงนำข้อมูลที่ได้อามาแทนในสมการ เพื่อคำนวณกำลังที่ระบบต้องการ

$$\begin{aligned} P_1 &= (8,006.78 + h_L + \Delta Z) \times 12.65 \\ &= (8,006.78 + 6,804.18 + 0.5) \times 12.65 \\ &= 187,364.97 \text{ Pa} = 1.87 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power} &= (187,364.97 - 101,325) \times (0.002029 \times 2) \\ &= 349.15 \text{ Watt} \end{aligned}$$

จากการคำนวณพลังงานที่จุด G ใช้ในระบบนี้ คือ 349.15 Watt และทำการคำนวณตั้งหัวข้อการคำนวณ h_L ตั้งแต่ข้อต่อทองแดง 4 ทาง ท่อลมยางไปจนถึงปีนลมยึงตะปู และหัวข้อการคำนวณ h_L ในท่อหลักขนาด $\frac{3}{4}$ " ช่วง G เพื่อคำนวณหาความดันภายในท่อและอัตราการใช้ไฟฟ้าของระบบในแต่ละช่วง ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความดันภายในท่อและอัตราการใช้ไฟฟ้าของระบบในแต่ละช่วง

ช่วง	Pressure (Pa)	Pressure (bar)	Power (Watt)	Power (kW)
G	187,364.97	1.87	349.15	0.3492
F, E	367,661.61	3.67	3,242.40	3.2424
D, C	620,268.84	6.20	10,529.00	10.5290
B	277,200.78	2.77	1,427.40	1.4274
A	788,297.17	7.88	19,514.00	19.5140

จากตารางที่ 4-3 จะพิจารณาที่จุด A เท่านั้น เนื่องจากเป็นจุดที่มีอัตราการไหล และความดัน สะสมสูงที่สุด โดยระบบนี้มีความต้องการความดันสูงสุดที่ 7.88 bar หลังจากนั้นทำการคำนวณหาความดัน และพลังงานของระบบนี้ที่ใช้ในการผลิตพาเลทไม้ 1 ตัว โดยจะใช้วิธีการตั้งหัวข้อการคำนวณ h_L ตั้งแต่ข้อต่อทองแดง 4 ทาง ท่อลมยางไปจนถึงปีนลมยึงตะปู และหัวข้อการคำนวณความสูญเสียในท่อลมยางที่ต่อจากข้อต่อทองแดงเข้าสู่ปีนลมยึงตะปู ในการคำนวณ

การคำนวณหาพลังงานของระบบนี้ที่ใช้ในการผลิตพาลาไมท์ 1 ตัว

เมื่อกำหนดความต้องการความดันและกำลังสูงสุดที่ระบบส่งจ่ายลมต้องการแล้ว จึงทำการคำนวณความต้องการความดันและกำลังที่ระบบต้องการในการประกอบพาลาไมท์ 1 ตัว โดยในการประกอบพาลาไมท์ 1 ตัว (1 โต้ะประกอบงาน) จะใช้พนักงาน 2 คน และปืนลมยิงตะปู 2 กระบอก พร้อมกัน จากคู่มือการใช้งานของปืนลมยิงตะปูลมยี่ห้อ Bostich รุ่น N58C มีความต้องการลม 4.3 CFM หรือ $0.002029 \text{ m}^3/\text{s}$ สำหรับการยิงตะปู 100 ตัว/ นาที = ในการยิงตะปู 1 ตัว ต้องใช้ลม 0.043 ft^3

1. การคำนวณปริมาณลมที่ต้องใช้ ในการยิงตะปู 1 ตัว

$$4.3 \text{ ft}^3/\text{min} = 100 \text{ nails}/\text{min}$$

$$1 \text{ nail} = \frac{4.3 \text{ ft}^3/\text{min}}{100 \text{ nails}/\text{min}}$$

$$1 \text{ nail} = 0.043 \text{ ft}^3$$

∴ ในการยิงตะปู 1 ตัว จะต้องใช้ปริมาณลม 0.043 ft^3

2. การคำนวณอัตราการไหลที่ต้องใช้เมื่อประกอบพาลาไมท์

ในการประกอบพาลาไมท์ 1 ตัว ใช้ตะปูทั้งหมด 108 ตัว เวลาในการยิงตะปู 53 วินาที โดยใช้ปืนลมยิงตะปูพร้อมกัน 2 ตัว

$$\begin{aligned} \text{พาลาไมท์ 1 ตัว ใช้ปริมาณอากาศ} &= 108 \times 0.043 \text{ ft}^3 \\ &= 4.64 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

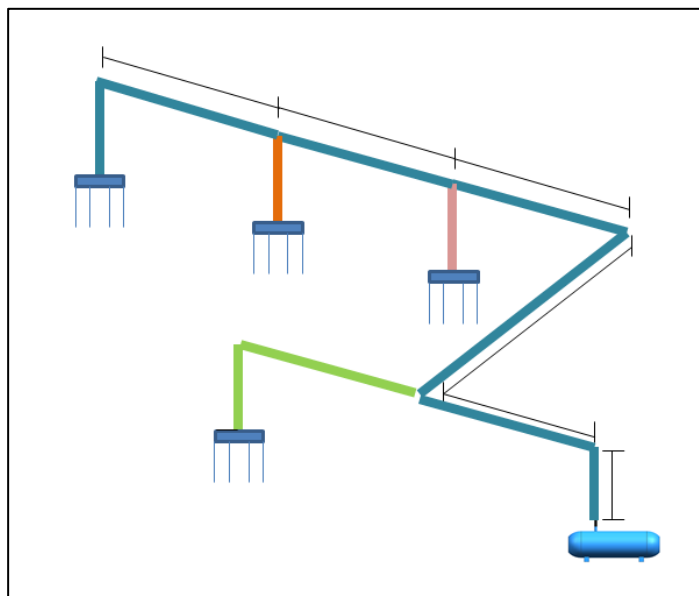
$$\begin{aligned} \text{เวลาในการยิงตะปู 53 วินาที} &= 53 \text{ วินาที} \times \frac{1 \text{ นาที}}{60 \text{ วินาที}} \\ &= \frac{53}{60} \\ &= 0.88 \text{ นาที} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราการไหล (Q)} &= \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \\ &= \frac{4.64}{0.88} \end{aligned}$$

ประกอบพาลาไมท์ 1 ตัว ด้วยปืนลมยิงตะปู 2 ตัว ต้องใช้ลม = 5.27 CFM

$$\begin{aligned} \text{ประกอบพาลาไมท์ 1 ตัว ด้วยปืนลมยิงตะปู 1 ตัว ต้องใช้ลม} &= \frac{5.27}{2} \\ &= 2.64 \text{ CFM} \end{aligned}$$

นำอัตราการไหล (Q) ไปคำนวณตามหัวข้อการคำนวณ h_L ตั้งแต่ข้อต่อทองแดง 4 ทาง ท่อลมยางไปจนถึงปืนลมยิงตะปู และหัวข้อการคำนวณ h_L ในท่อหลักขนาด $\frac{1}{4}$ " ช่วง G อีกครั้ง เพื่อคำนวณการใช้ความดันและการใช้พลังงานในการประกอบพาเลทไม้ 1 ตัว



ภาพที่ 4-8 เส้นทางการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการประกอบพาเลทไม้ 1 ตัว

จากการคำนวณความต้องการสูงสุดของความดันและกำลังที่ต้องใช้ในระบบแล้ว จึงคำนวณค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ระบบส่งจ่ายลมนี้ใช้ ในการประกอบพาเลทไม้ 1 ตัว โดยจะคำนวณเส้นทางที่ยาวที่สุด ดังภาพที่ 4-8 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. จำนวนความสูญเสียภายในข้อต่อทองแดง โดยกำหนดให้ลมออกจากช่องที่ 1 รายละเอียดภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง ที่ใช้ในการคำนวณ

ความยาวข้อต่อทองแดง (L) = 0.05 m

เส้นผ่านศูนย์กลางข้อต่อทองแดง (d) = $\frac{1}{4}$ " หรือ $\frac{1}{4} \times \frac{25.4}{1,000} = 0.00635$ m; 6.35 mm

แรงโน้มถ่วงของโลก (g) = 9.81 m/s²

Roughness of pipe (\mathcal{E}) = 0.0015 mm

$$h = \left[f \left(\frac{L}{D} \right) + \sum k \right] \times \left(\frac{V_{\text{avg}}^2}{2g} \right)$$

$$h = \left[f \left(\frac{0.05}{0.00635} \right) + \sum k \right] \times \left(\frac{V_{\text{avg}}^2}{2 \times 9.81} \right)$$

หา f จาก Moody diagram โดยต้องคำนวณ Relative pipe roughness และ Reynolds number เพื่อนำไปดูค่า f ใน Moody diagram

$$\text{คำนวณ Relative pipe roughness จากสมการ } \frac{\mathcal{E}}{d} = \frac{0.0015\text{mm}}{6.35\text{mm}} = 0.000236 \text{ หรือ}$$

$$2.36 \times 10^{-4}$$

$$\text{คำนวณ Reynolds number จากสูตร } Re = \frac{\rho v d}{\mu} \text{ เมื่อ } \rho = 1.292, \mu_{\text{อากาศ}} = 0.0000181$$

$$\text{คำนวณความเร็วของอากาศ (V) จากสมการ } V = \frac{Q}{A}$$

$$\text{เปลี่ยนหน่วยอัตราการไหลจาก CFM เป็น } m^3/s \quad Q = \frac{2.64 \times \left(\frac{25.4 \times 12}{1,000} \right)^3}{60} = 0.00124 \text{ m}^3/s$$

$$\text{คำนวณพื้นที่หน้าตัดของท่อ } A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{1''}{4} \times \frac{\left(\frac{25.4}{1,000} \right)}{2} \right)^2 = 0.0000317 \text{ m}^2$$

$$\text{หรือ } 3.17 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.00124}{3.17 \times 10^{-5}} = 39.12 \text{ m/s}$$

$$\text{นำ V มาแทนค่าในสมการ } Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{1.292 \times 39.12 \times 0.00635}{0.0000181} = 17,731.95$$

นำค่า Relative pipe roughness และ Reynolds number มาหาค่า f ในภาพที่ 4-7 Moody diagram

ได้ค่า $f = 0.03$ จากภาพที่ 4-6 การเดินทางของลมออกช่องที่ 1 ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทาง

จะคำนวณหาการสูญเสียแบบ Minor คือ เป็นการสูญเสียตามข้อต่อต่าง ๆ โดยมีข้อต่อ 90°,

ข้อต่อสามทางแบบวงผ่าน และข้อต่อสามทางแบบหักศอก มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (Loss

coefficients: K) ดังตารางที่ 4-1 โดย $\sum K = 1.1 + 0.2 + 1 = 2.3$ และนำค่าไปแทนในสมการ

$$h_{\text{loss}} = \left[0.03 \times \left(\frac{0.05}{0.00635} \right) + 2.3 \right] \times \frac{39.12^2}{2 \times 9.81} = 197.83 \text{ m}$$

ที่ลมออกจากช่องลมที่ 1 จะมีการสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 197.83 เมตร

2. การคำนวณความสูญเสียในท่อลมยางที่ต่อจากข้อต่อทองแดงเข้าสู่ปืนลมยิงตะปู หลังจากคำนวณความสูญเสียแบบ Minor ในข้อต่อทองแดง 4 ทางแล้ว จะคำนวณความสูญเสียแบบ Major คือ การสูญเสียในท่อลมยาง โดยเป็นท่อขนาด ¼" ความยาว 3 เมตร

รายละเอียดภายในท่อลมยางที่ใช้ในการคำนวณ

ความยาวท่อลมยาง (L) = 3 m

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อลมยาง (d) = ¼" หรือ $\frac{1}{4} \times \frac{25.4}{1,000} = 0.00635 \text{ m}; 6.35 \text{ mm}$

แรงโน้มถ่วงของโลก (g) = 9.81 m/s²

Roughness of pipe (\mathcal{E}) = 0.0016 (Rubber pipe roughness)

คำนวณ Relative pipe roughness จากสมการ $\frac{\mathcal{E}}{d} = \frac{0.0016 \text{ mm}}{6.35 \text{ mm}} = 0.000252$

หรือ 2.52×10^{-4} โดย Re จะเท่ากับ ข้อต่อทองแดง 4 ทาง คือ Re = 17,731.95 นำไปหาค่า f ในภาพที่ 4-7 Moody diagram โดยจะได้ f = 0.026

$$h_{\text{loss}} = \left[0.026 \times \left(\frac{3}{0.00635} \right) + 1 \right] \times \frac{39.12^2}{2 \times 9.81} = 1,036.12 \text{ m}$$

ภายในท่อลมยางที่ต่อจากข้อต่อทองแดง 4 ทาง ที่ลมออกจากช่องลมที่ 1 ดังภาพที่ 4-6 จะมีการสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 1,036.12 เมตร

$\therefore \sum h_{\text{loss}}$ ภายในข้อต่อทองแดง 4 ทางและท่อลมยาง = 197.83+1,036.12=1,233.95 m

3. คำนวณ h_L ภายในท่อหลัก ¾" โดยจะคำนวณเส้นทางที่ยาวที่สุด ดังภาพที่ 4-8 เพื่อคำนวณการใช้พลังงานในการประกอบพาเลทไม้ 1 ตัว

รายละเอียดภายในท่อหลัก ¾" ที่ใช้ในการคำนวณ

ความยาวของท่อเหล็กชุบกำลัวไนซ์ (L) = 36 m

เส้นผ่านศูนย์กลางท่อเหล็กชุบกำลัวไนซ์ (d) = ¾" หรือ $\frac{3}{4} \times \frac{25.4}{1,000} = 0.01905 \text{ m};$

19.05 mm

แรงโน้มถ่วงของโลก (g) = 9.81 m/s²

Roughness of pipe (\mathcal{E}) = 0.15 mm

คำนวณ Relative pipe roughness จาก $\frac{\mathcal{E}}{d} = \frac{0.15\text{mm}}{19.05\text{ mm}} = 0.0078$ หรือ 7.87×10^{-3}

คำนวณ Reynolds number จากสูตร $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$ เมื่อ $\rho = 1.292$, $\mu_{\text{อากาศ}} = 0.0000181$

คำนวณความเร็วของอากาศ (V) จากสมการ $V = \frac{Q}{A}$

เปลี่ยนหน่วยอัตราการไหลจาก CFM เป็น m^3/s $Q = \frac{(2.64 \times 2) \times \left(\frac{25.4 \times 12}{1,000}\right)^3}{60} =$

$0.0025 \text{ m}^3/\text{s}$ เนื่องจากในการคำนวณการใช้พลังงานนี้ อัตราการไหล (Q) ต้องคิดจากปีนลมยังคงอยู่ 2 กระบอกโดย 1 กระบอกจะใช้ 2.64 CFM

คำนวณพื้นที่หน้าตัดของท่อ $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{3''}{4} \times \frac{\left(\frac{25.4}{1,000}\right)}{2} \right)^2 = 2.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.0025}{2.85 \times 10^{-4}} = 8.77 \text{ m/s}$

นำ V มาเข้าสู่สูตร $Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{1.292 \times 8.77 \times 0.01905}{0.0000181} = 11,925.55$

นำค่า Relative pipe roughness และ Reynolds number มาหาค่า f ในภาพที่ 4-7 Moody diagram จะได้ $f = 0.041$ คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียภายในท่อช่วง G ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียภายในท่อช่วง G

คำอธิบาย	ค่า K_L	จำนวน	ค่า K_L ทั้งหมด
ข้องอ 90° (Smooth bend)	0.3	3	0.9
ข้อต่อสามทางแบบวงผ่าน (Tee line flow flanged)	0.2	2	0.4
ข้อต่อลดขนาดท่อจาก 3/4" เป็น 1/4" (Contraction)	0.07	1	0.07
ข้อต่อสามทางแบบหักศอก (Tee branch)	1	1	1
Pipe inlet	0.8	1	0.8

คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรวม หรือ $\sum K = 0.9 + 0.4 + 0.07 + 1 + 0.8 = 3.17$
และนำค่าไปแทนในสมการ (2-4)

$$h_{\text{loss}} = \left[0.041 \times \left(\frac{36}{0.01905} \right) + 3.17 \right] \times \frac{8.77^2}{2 \times 9.81} = 316.16 \text{ m}$$

ภายในท่อหลัก $\frac{3}{4}$ " ในเส้นทางที่ยาวที่สุด จะมีการสูญเสียจากการไหลภายในท่อ 316.16 เมตร

$$\therefore \sum h_{\text{loss}} \text{ ภายในท่อเส้นทางที่ยาวที่สุดของระบบส่งจ่ายลมนี้} = 1,426.91 + 316.16 = 1,743.07 \text{ m}$$

หลังจากที่ได้คำนวณความสูญเสียที่อาจจะเกิดในระบบท่อลม ของการประกอบพาเลทไม้ 1 ตัว จึงนำข้อมูลที่ได้มาแทนในสมการที่ 4-6

$$\begin{aligned} P_1 &= (8,006.78 + \sum h_L + \Delta Z) \times 12.65 \\ &= (8,006.78 + 1,743.07 + 0.5) \times 12.65 \\ &= 123,341.93 \text{ Pa} = 1.23 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power} &= (123,341.93 - 101,325) \times (0.0025) \\ &= 55.04 \text{ Watt} \end{aligned}$$

$$\text{หรือ} = \frac{55.04}{1,000} = 0.055 \text{ kW}$$

เปลี่ยนหน่วยจาก kW เป็น kWh

เมื่อพาเลท หนึ่งตัวใช้ไฟ 55.04 Watt เป็นเวลา 53 วินาที เปลี่ยนหน่วยเป็นจูล (J) เมื่อ Watt = J/s จะได้ $55.04 \times 53 = 2,917.12 \text{ J}$ กำหนดให้ ค่าไฟ 1 หน่วย = 1 kWh = 15 บาท
 $1 \text{ kWh} = 1,000 \times 3,600 = 3,600,000 \text{ J}$ จากนั้นเทียบ บัญญัติไตรยางศ์ เพื่อหาค่าไฟที่ใช้ในการประกอบพาเลทไม้ 1 ตัว เมื่อ 3,600,000 J ใช้ไฟ 15 บาท 2,917.12 J ใช้ไฟ X บาท

$$\text{แทนค่าในสมการ จะได้} \frac{3,600,000}{2,917.12} = \frac{15}{X}$$

$$X = \frac{2,917.12 \times 15}{3,600,000} = 0.012 \text{ บาท/ตัว}$$

ไม้พาเลท 1 ตัว จะใช้เสีค่าไฟในการประกอบ 0.012 บาท/ตัว

การเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC)

การคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558

$$SEC = \frac{3,198 \times 3.6}{14,565} = 0.79 \text{ MJ/ Unit (เมกะจูลต่อหน่วย) หมายความว่า จากการใช้พลังงานและยอด}$$

การผลิตของเดือนกรกฎาคม ต้องใช้พลังงานทั้งหมด 0.79 MJ ในการประกอบพลาทไม้ 1 ตัว
อ้างอิงจากยอดการผลิตเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2558 หากมีการปรับปรุงระบบการผลิตแบบใหม่

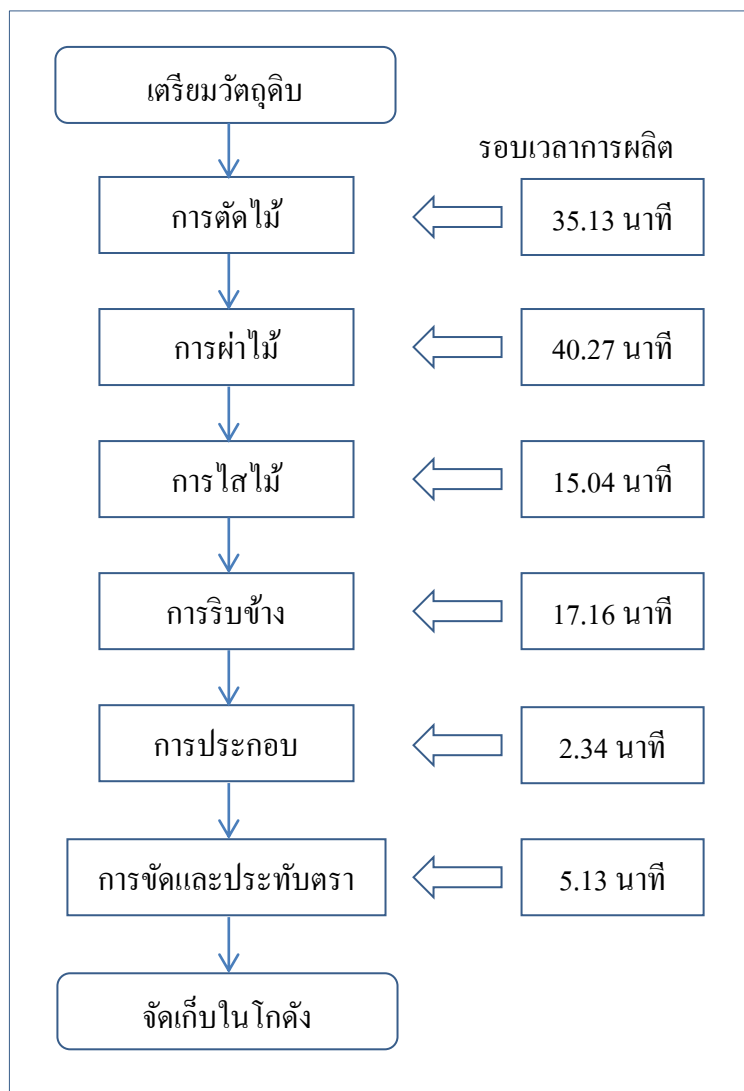
$$\text{จะได้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ คือ } SEC = \frac{2,341.19 \times 3.6}{14,565} = 0.58 \text{ MJ/ Unit}$$

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการที่ได้คำนวณหาความต้องการความดันและกำลังของระบบจ่ายลมแล้ว อาจมีการปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการ โดยจะเปลี่ยนท่อลมจากท่อลมยางเป็นท่อลมเหล็กชุบกัลวาไนซ์ จึงต้องทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหามูลค่าปัจจุบันของโครงการ (Net present value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) และงวดเวลาคืนทุน (Payback period) เพื่อการตัดสินใจและดำเนินการปรับปรุง โดยคำนวณระบบการผลิตแบบใหม่เปรียบเทียบกับระบบการผลิตแบบเดิม

1. ระบบการผลิตแบบเดิม

การผลิตแบบระบบเดิม สามารถผลิตได้เฉลี่ยเดือนละ 9,900 ตัว/ เดือน และมียอดการผลิตสูงสุด 15,200 ตัว ใน 1 เดือน โดยมีรอบเวลาการผลิต (Cycle time) ที่กระบวนการเตรียมไม้เพื่อประกอบอยู่ที่ 108 นาที และรอบเวลาการผลิตที่กระบวนการประกอบอยู่ที่ 2.34 นาที/ ตัว รายละเอียดดังภาพที่ 4-9 ซึ่งความสามารถในการผลิตสูงสุดของระบบนี้อยู่ที่ 27,384 ตัว/ เดือน แต่เนื่องจากพนักงานยังไม่มีจัดการที่ดี เกี่ยวกับการระบุพนักงานประจำกระบวนการ รวมไปถึงการสื่อสารระหว่างพนักงานยังไม่ดีพอ จึงทำให้กระบวนการผลิตไม่ต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าในกระบวนการประกอบจะต้องรอชิ้นงานเป็นเวลา 108 นาที หรือ 1.48 ชั่วโมง จึงจะสามารถประกอบพลาทไม้ตัวแรกได้ เนื่องจากสถานที่และระบบการขนส่งภายใน รวมไปถึงพื้นที่ปฏิบัติงานที่ไม่เอื้ออำนวย เนื่องจากพื้นที่สายการผลิตเป็นรูปตัวแอล (L) ดังภาพที่ 3-6 ซึ่งในระบบการผลิตนี้จะมีบางช่วงเวลาที่ลมในระบบไม่เพียงพอ ส่งผลให้เมื่อยิงตะปูแล้วตะปูไม่จม พนักงานจะทำการแก้ไขงานโดยใช้ค้อนถอนตะปู แล้วทำการยิงใหม่ ส่งผลให้เสียเวลาในการแก้ไขงานส่วนนี้เฉลี่ยตัวละ 0.14 นาที (จะมีงานเสียเฉลี่ย 20 ตัว/ การผลิต 100 ตัว)



ภาพที่ 4-9 รอบเวลาการผลิตของแต่ละกระบวนการ

2. ระบบการผลิตแบบใหม่

จากที่ได้ทำการเสนอแนะปรับปรุงระบบส่งจ่ายลม หากมีการปรับปรุงจะสามารถลดเวลาการแก้ไขงานได้เฉลี่ยตัวละ 0.14 นาที จะทำให้รอบเวลาการผลิตในกระบวนการประกอบลดลงเหลือตัวละ 2.22 นาที โดยมีการสำรวจรายการอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งดังตารางที่

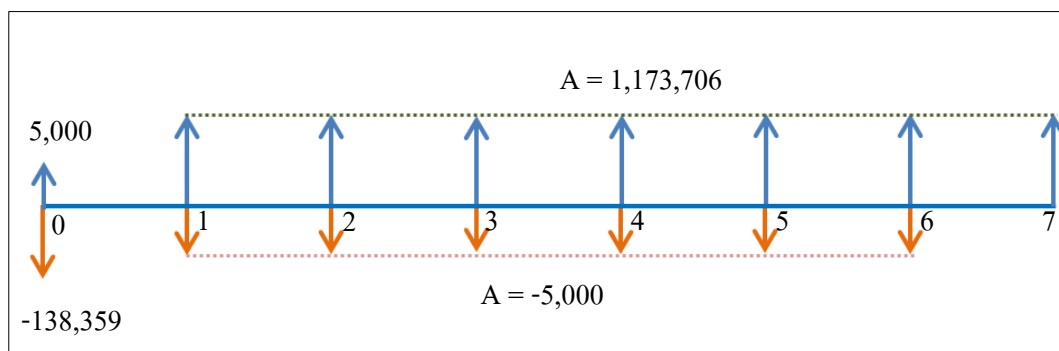
ตารางที่ 4-5 รายการอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของระบบส่งจ่ายลม

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคา	รวม
1	เครื่องอัดอากาศ 15 แรงม้า	ตัว	1	115,000	115,000
2	ข้อต่อทองแดง 4 ทาง	ตัว	4	450	1,800
3	ข้อต่อสวมเร็ว (ตัวผู้-ตัวเมีย)	ตัว	16	90	1,440
4	ท่อเหล็กชุบกลวไนซ์ 3/4" ความยาว 6 เมตร	เมตร	9	737	6,633
5	ท่อ 1/4"	ตัว	48	130	6,240
6	ข้อต่อ 90°	อัน	4	33	132
7	ข้อต่อ 3 ทาง	อัน	3	38	114
8	ค่าแรง (ต่อเมตร)	เมตร	50	140	7,000
รวมทั้งสิ้น					138,359

นำรายรับสุทธิที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงระบบส่งจ่ายลมมาเขียนเป็นกระแสเงินสด (Cash flow diagram) โดยเปรียบเทียบระบบการผลิตแบบเดิมที่กำลังการผลิตสูงสุดกับระบบหลังการปรับปรุงที่กำลังการผลิตสูงสุด โครงการนี้มีอายุ 7 ปี อ้างอิงตามอายุการใช้งานของเครื่องอัดอากาศ ซึ่งจะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 แบบ คือ การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง และการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อระบบทำงานแบบครึ่งกำลัง

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบเต็มกำลัง (Full load)

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง เพื่อรองรับคำสั่งซื้อจากการขยายตัวของธุรกิจในอนาคต โดยจะคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) มีแผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram) ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 Cash flow diagram หลังการปรับปรุง เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง

รายละเอียด ภาพที่ 4-10 Cash flow diagram หลังการปรับปรุง เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง ดังต่อไปนี้

138,359 คือ ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง

5,000 ในปีที่ 0 คือ มูลค่าซากของเครื่องอัดอากาศเครื่องเก่า

$r = 7\%$ คือ ดอกเบี้ยรายปี

CF = กระแสเงินสด (Cash flow)

$A = -5,000$ คือ ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ

$A = 1,173,706$ คือ ค่าเฉลี่ยของรายรับสุทธิรายปีระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง
รายละเอียดดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ค่าเฉลี่ยของรายรับสุทธิรายปีระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงแบบเต็มกำลัง

ระบบ การผลิต	อัตรา การผลิต (ตัว)	กำไร (บาท)	ไม้			ตะปู		
			จำนวน	ราคา	รวม	จำนวน	ราคา	รวม
แบบเก่า	15,200	2,373,336	7,093	240	1,702,320	657	210	137,970
แบบใหม่	30,072	1,199,630	14,034	240	3,368,160	1,300	210	273,000
ส่วนต่าง	14,872	1,173,706	6,941	-	1,665,840	643	-	135,030

1. การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value: NPV)

นำข้อมูลจากภาพที่ 4-10 มาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ คือ ระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลการประหยัดต้นทุนต่าง ๆ ในรูปแบบของรายรับสุทธิที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไป รวมไปถึงดอกเบี้ยในแต่ละปีภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา ดังสมการที่ 4-6

$$\begin{aligned}
 NPV &= CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} & (4-6) \\
 &= (-138,359 + 5,000) + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+0.07)^1} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+0.07)^2} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+0.07)^3} + \\
 &\quad \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+0.07)^4} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+0.07)^5} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+0.07)^6} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+0.07)^7} \\
 NPV &= 6,165,135 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

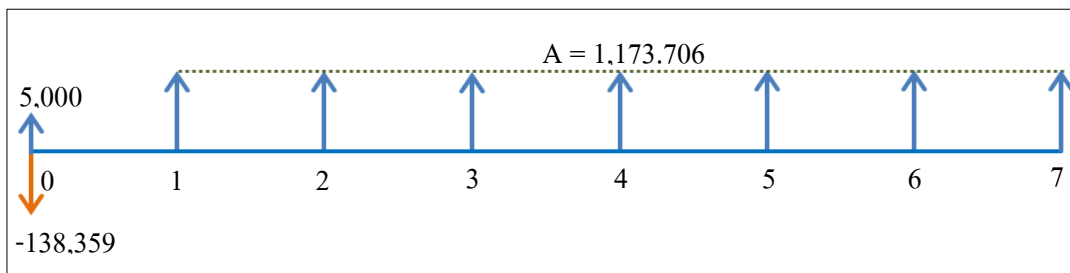
2. การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการตลอดอายุโครงการ

$$\begin{aligned}
 0 &= CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} & (4-7) \\
 0 &= (-138,359 + 5,000) + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+876.36\%)^1} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+876.36\%)^2} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+876.36\%)^3} + \\
 &\quad \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+876.36\%)^4} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+876.36\%)^5} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+876.36\%)^6} + \frac{(1,173,706 - 5,000)}{(1+876.36\%)^7} \\
 IRR &= 876.36\%
 \end{aligned}$$

3. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB)

ระยะเวลาที่รายรับสุทธิเท่ากันพอดีกับรายจ่ายที่ลงทุนตอนเริ่มโครงการ สำหรับโครงการที่มีการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรก และให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี โดยโครงการนี้จะคำนวณที่กำลังการผลิตสูงสุดที่โครงการนี้จะสามารถทำได้ มี Cash flow diagram ดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11 Cash flow diagram ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการ เมื่อระบบทำงานแบบเต็มกำลัง

$$0 = \sum PW \tag{4-8}$$

$$0 = -CF_0 + A(P/A, i\%, n) + F(P/F, i\%, n)$$

$$0 = (-138,359 + 5,000) + 1,173,706 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + 0(P/F, 7\%, 7)$$

$$0 = -138,359 + 1,173,706 \left[\frac{(1+0.07)^{0.1185} - 1}{0.07(1+0.07)^{0.1185}} \right] + 0(0.6227)$$

$$0 = 0$$

นำค่า (P/F, 7%, 7) จากตารางค่าดอกเบี้ยทบต้น (P/F) ของไพบูลย์ แซ่มเพื่อน มาแทนค่าในสมการ (4-8)

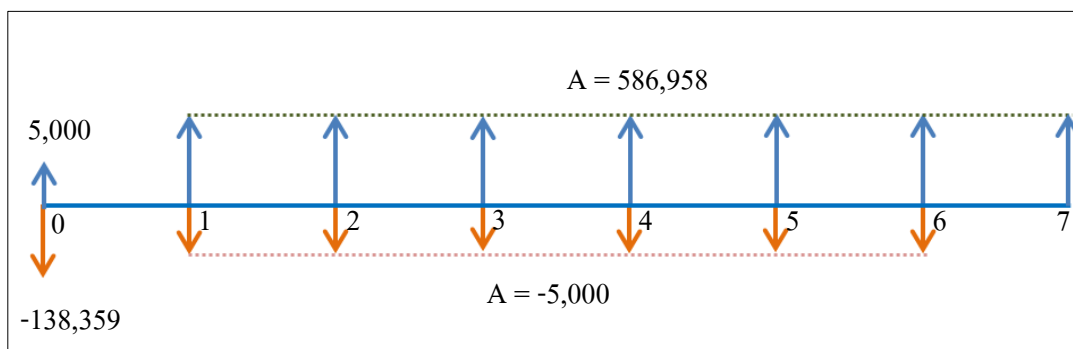
n	Single Payment			Uniform Series			Uniform Gradient		n
	Compound amount factor F/P	Present worth factor P/F	Sinking fund factor A/F	Capital recovery factor A/P	Compound amount factor F/A	Present worth factor P/A	Gradient conversion factor A/G	Present worth factor P/G	
1	1.0700	0.9346	1.000 00	1.070 00	1.000	0.935	0.000	0.000	1
2	1.1449	0.8734	0.483 09	0.553 09	2.070	1.808	0.483	0.873	2
3	1.2250	0.8163	0.311 05	0.381 05	3.215	2.624	0.955	2.506	3
4	1.3108	0.7629	0.225 23	0.295 23	4.440	3.387	1.416	4.795	4
5	1.4026	0.7130	0.173 89	0.243 89	5.751	4.100	1.865	7.647	5
6	1.5007	0.6663	0.139 80	0.209 80	7.153	4.767	2.303	10.978	6
7	1.6058	0.6227	0.115 55	0.185 55	8.654	5.389	2.730	14.715	7
8	1.7182	0.5820	0.097 47	0.167 47	10.260	5.971	3.147	18.789	8
9	1.8385	0.5439	0.083 49	0.153 49	11.978	6.515	3.552	23.140	9
10	1.9672	0.5083	0.072 38	0.142 38	13.816	7.024	3.946	27.716	10

ภาพที่ 4-12 ตารางดอกเบี้ยทบต้น 7% (ไพบูลย์ แซ่มเพื่อน, 2548)

จากการคำนวณงวดเวลาคืนทุน โครงการแบบระบบทำงานเต็มกำลังจะมีจุดคืนทุนที่ 0.1185 ปี, อัตราผลตอบแทนภายใน 876.36% และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ 6,165,135 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีมูลค่าและอัตราผลตอบแทนค่อนข้างสูง เนื่องจากการผลิตระบบเดิมนั้น มีจุดคอขวดหรือสูญเสียเวลาในการประกอบยาวนานที่สุด ซึ่งชิ้นงานจากทุกกระบวนการจะมากองเพื่อรอเข้ากระบวนการประกอบ หมายความว่า หากเราสามารถเพิ่มยอดการผลิตในกระบวนการนี้ได้ ก็จะสามารถเพิ่มยอดการผลิตรายเดือนได้อีก 14,872 ตัว/เดือน ซึ่งมีกำไรเพิ่มขึ้น 1,174,888 บาท/เดือน

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบครึ่งกำลัง (Half load)

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อระบบทำงานแบบครึ่งกำลัง เพื่อประกอบการตัดสินใจในเบื้องต้น ในกรณีที่ยังไม่สามารถเพิ่มกำลังซื้อได้ โดยจะคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) มีแผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram) ดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 Cash flow diagram หลังการปรับปรุง เมื่อระบบทำงานแบบครึ่งกำลัง

รายละเอียด ภาพที่ 4-13 Cash flow diagram หลังการปรับปรุง เมื่อทำงานแบบครึ่งกำลัง ดังต่อไปนี้

138,359 คือ ค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้ง

5,000 ในปีที่ 0 คือ มูลค่าซากของเครื่องอัดอากาศเครื่องเก่า

$r = 7\%$ คือ ดอกเบี้ยรายปี

CF = กระแสเงินสด (Cash flow)

$A = -5,000$ คือ ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ

$A = 586,958$ คือ ค่าเฉลี่ยของรายรับสุทธิรายปีระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง
รายละเอียดดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยของรายรับสุทธิรายปีระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงแบบครึ่งกำลัง

ระบบ การผลิต	อัตรา การผลิต (ตัว)	กำไร (บาท)	ไม้			ตะปู		
			จำนวน	ราคา	รวม	จำนวน	ราคา	รวม
แบบเก่า	7,600	599,710	3,547	240	851,200	329	210	69,090
แบบใหม่	15,036	1,186,668	7,017	240	1,684,032	650	210	136,500
ส่วนต่าง	7436	586958	3,470	-	832,832	321	-	67,410

1. การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value: NPV)

จากภาพที่ 4-12 นำข้อมูลมาคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (Net present value: NPV) หรือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของผลการประหยัดต้นทุนต่าง ๆ ในรูปแบบของรายรับสุทธิที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงินที่จ่ายออกไป รวมถึงไปถึงดอกเบี้ยในแต่ละปีภายใต้โครงการที่กำลังพิจารณา

$$\begin{aligned}
 NPV &= CF_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} \\
 &= (-138,359 + 5,000) + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1+0.07)^1} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1+0.07)^2} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1+0.07)^3} + \\
 &\quad \frac{(586,958 - 5,000)}{(1+0.07)^4} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1+0.07)^5} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1+0.07)^6} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1+0.07)^7} \\
 NPV &= 3,002,981 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

2. การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสด ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการตลอดอายุโครงการ

$$0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n}$$

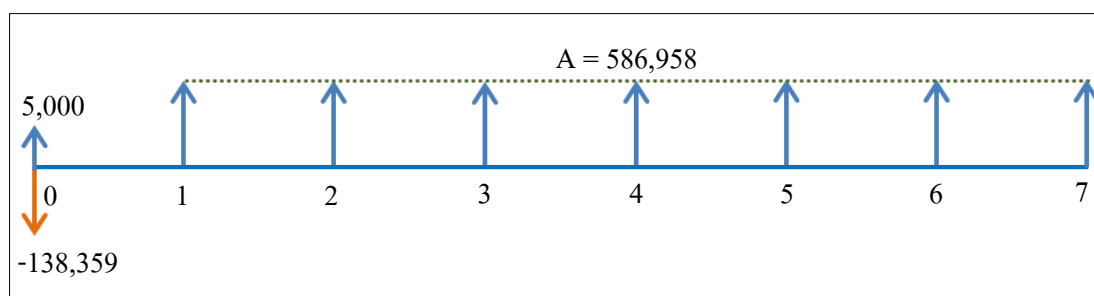
$$0 = (-138,359 + 5,000) + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1 + 436.38\%)^1} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1 + 436.38\%)^2} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1 + 436.38\%)^3} +$$

$$\frac{(586,958 - 5,000)}{(1 + 436.38\%)^4} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1 + 436.38\%)^5} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1 + 436.38\%)^6} + \frac{(586,958 - 5,000)}{(1 + 436.38\%)^7}$$

$$IRR = 436.38\%$$

3. การคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB)

ระยะเวลาที่รายรับสุทธิเท่ากันพอดีกับรายจ่ายที่ลงทุนตอนเริ่มโครงการ สำหรับโครงการที่มีการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรก และให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี โดยโครงการนี้จะคำนวณที่ค่าล้างการผลิตสูงสุดที่โครงการนี้จะสามารถทำได้ มีแผนภาพกระแสเงินสด (Cash flow diagram) ดังภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4-14 Cash flow diagram ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนของโครงการ เมื่อระบบทำงานแบบครั้งล้าง

$$0 = \sum PW$$

$$0 = -CF_0 + A(P/A, i\%, n) + F(P/F, i\%, n)$$

$$0 = (-138,359 + 5,000) + 586,958 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + 0(P/F, 7\%, 7)$$

$$0 = -138,359 + 586,958 \left[\frac{(1+0.07)^{0.237} - 1}{0.07(1+0.07)^{0.237}} \right] + 0(0.6227)$$

$$0 = 0$$

จากการคำนวณงวดเวลาคืนทุนโครงการแบบระบบทำงานครึ่งกำลัง จะมีจุดคืนทุนที่ 0.237 ปี อัตราผลตอบแทนภายใน 436.38% และมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ 3,002,981 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีมูลค่าและอัตราผลตอบแทนค่อนข้างสูง เนื่องจากในการผลิตระบบเดิมนั้น มีจุดคอขวดหรือสูญเสียเวลาในการประกอบยาวนานที่สุด ซึ่งชิ้นงานจากทุกกระบวนการจะมากองเพื่อรอเข้าสู่กระบวนการประกอบ หมายความว่า หากเราสามารถเพิ่มยอดการผลิตในกระบวนการนี้ได้ ก็จะสามารเพิ่มยอดการผลิตรายเดือนได้อีก 7,436 ตัว/เดือน ซึ่งมีกำไรเพิ่มขึ้น 587,444 บาท/เดือน

บทที่ 5

บทสรุป

จากบทที่ 4 ได้นำเสนอการปรับปรุงระบบส่งจ่ายลม เปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ #1 โดยใช้เครื่องอัดอากาศ #2 เป็นเครื่องสำรอง (ไม่ต่อเข้าระบบส่งจ่ายลม) และคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แบบการผลิตเต็มกำลัง และการผลิตครึ่งกำลัง เพื่อเป็นทางเลือกให้ผู้ประกอบการตัดสินใจ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การปรับเปลี่ยนระบบส่งจ่ายลม

การปรับเปลี่ยนระบบส่งจ่ายลมโดยการเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศ #1 จากเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ ยี่ห้อ PUMA ขนาด 10 แรงม้า ถึงเก็บลมขนาด 520 ลิตร ความดันลม 7-10 บาร์ มีอัตราการผลิตลม 1,780 ลิตร/ นาที เป็นเครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ ยี่ห้อ PUMA ขนาด 15 แรงม้า ถึงเก็บลมขนาด 315 ลิตร ความดันลม 7-10 บาร์ มีอัตราการผลิตลม 2,850 ลิตร/ นาที และเปลี่ยนท่อลมยางเป็นท่อเหล็กชุบกัลวาไนซ์ เพื่อลดข้อต่อและลดการสูญเสียในระบบ สามารถลดค่าพลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลิตภัณฑ์จาก 0.79 MJ/ Unit เป็น 0.58 MJ/ Unit

การผลิตแบบเต็มกำลังของระบบ (Full load)

เพื่อเป็นการรองรับคำสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของธุรกิจ จึงทำการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ระบบผลิตแบบเต็มกำลังเพื่อประกอบการตัดสินใจ โดยจากเดิมที่ผลิตได้สูงสุด 15,200 ตัว/ เดือน หากมีการปรับปรุงระบบส่งจ่ายลมและผลิตแบบเต็มกำลังแล้ว จะสามารถเพิ่มการผลิตได้เป็น 30,072 ตัว/ เดือน รายได้สุทธิจะเพิ่มจากเดิม 1,174,888 บาท/ เดือน

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบเต็มกำลัง (Full load)

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจลงทุนสำหรับเจ้าของกิจการ โดยจะคำนวณ มูลค่าปัจจุบันของโครงการ อัตราผลตอบแทนภายใน และงวดเวลาคืนทุน

1. มูลค่าปัจจุบันของโครงการ 6,165,135 บาท
2. อัตราผลตอบแทนภายใน 876.36%

3. งดเวลาคืนทุน 0.1185 ปี ซึ่งหากในอนาคตสามารถเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดและมี ยอดการสั่งซื้อเพิ่มขึ้นก็มีความคุ้มค่าแก่การลงทุน

การผลิตแบบครึ่งกำลังของระบบ (Half load)

เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจลงทุนปรับปรุงระบบให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยยังไม่สามารถเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดได้ จึงทำการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในกรณีที่ระบบผลิตแบบครึ่งกำลังเพื่อประกอบการตัดสินใจ ซึ่งจากระบบเดิม ยอดการผลิตแบบครึ่งกำลังอยู่ที่เดือนละ 7,600 ตัว/ เดือน และหากมีการปรับปรุงระบบส่งจ่ายลมแล้ว จะสามารถเพิ่มการผลิตได้เป็น 15,036 ตัว/ เดือน รายได้สุทธิจะเพิ่มจากเดิม 587,444 บาท/ เดือน

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแบบครึ่งกำลัง (Half load)

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเป็นทางเลือกในการตัดสินใจลงทุนสำหรับ เจ้าของกิจการโดยจะคำนวณ มูลค่าปัจจุบันของโครงการ อัตราผลตอบแทนภายใน และงวดเวลาคืน ทุน

1. มูลค่าปัจจุบันของโครงการ 3,002,981 บาท
2. อัตราผลตอบแทนภายใน 436.38%
3. งดเวลาคืนทุน 0.237 ปี ซึ่งหากในอนาคตสามารถเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด และมียอดการสั่งซื้อเพิ่มขึ้นก็มีความคุ้มค่าแก่การลงทุน

ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ควรจัดทำวางแผนและมีการซ่อมบำรุงประจำปี หรือการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive maintenance: PM) เพื่อป้องกันเครื่องจักรมีปัญหาหรือหยุดทำงานขณะดำเนินการผลิต ซึ่งอาจส่งผลให้เครื่องจักรเสียหาย เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูงกว่าปกติ ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามกำหนด ส่งผลต่อชื่อเสียงและความเชื่อมั่นของบริษัท
2. ควรมีการจัดฝึกอบรมพนักงาน เพื่อให้พนักงานสามารถหมุนเวียนหน้าที่การทำงานในแต่ละกระบวนการได้ และมีการจัดสมดุลกระบวนการผลิต (Production line balancing) เพื่อลดการรอคอยงานในแต่ละกระบวนการ ซึ่งจะสามารเพิ่มผลผลิตได้
3. ควรมีการวิเคราะห์และกำจัดความสูญเสีย 7 ประการ (7 Waste) ได้แก่

3.1 ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตเกินพอดี (Overproduction) หากมีการผลิตสินค้าในปริมาณมากเกินไป จะทำให้สูญเสียเวลา แรงงาน วัตถุดิบในการผลิต และเกิดสินค้าคงคลัง ส่งผลให้เกิดต้นทุนจมโดยไม่จำเป็น

3.2 ความสูญเสียเนื่องจากการขนส่ง (Transportation) ในกระบวนการผลิตนี้จะมี การขนย้ายไม่ไปในกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้การขนย้ายในปริมาณมากต่อครั้ง ด้วยไม่มีน้ำหนักมากและพื้นที่คับแคบ ทำให้สูญเสียเวลาในการขนย้ายและกระบวนการต่อไปก็จะเกิดการรอคอย งาน

3.3 ความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว (Motion) การทำงานที่ต้องเคลื่อนไหว มาก ๆ และบ่อยครั้ง หรือท่าทางในการทำงาน ไม่เหมาะสม เช่น มีการก้มหยิบชิ้นงานเพื่อมา ประกอบ หรือต้องมีการเดินไปหยิบชิ้นส่วนในระยะไกล อาจส่งผลให้พนักงานเกิดความเมื่อยล้า อาจเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน และสูญเสียเวลาในการผลิต

3.4 ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง (Inventory) เมื่อมีการผลิตที่มากเกินไป พอดี จึงต้องเก็บเป็นสินค้าคงคลัง ซึ่งมีการเสียค่าใช้จ่ายในการเช่าโกดัง ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน เกิดการเสื่อมสภาพของสินค้า อาจต้องมีการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนสินค้า

3.5 ความสูญเสียเนื่องจากการผลิตของเสีย (Defect) เมื่อมีการผลิตของเสียออกจาก กระบวนการผลิต จะต้องมีการนำไปแก้ไขงาน ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายด้านวัตถุดิบ แรงงาน หรือหาก ซ่อมแซมไม่ได้ จะต้องนำไปกำจัดทิ้ง

3.6 ความสูญเสียเนื่องจากการกระบวนการผลิต (Processing) เกิดจากกระบวนการที่มีการ ทำงานซ้ำกัน หรืองานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ เช่น งานที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ของสินค้า หรืองานที่ไม่ทำให้คุณภาพดีขึ้น

3.7 ความสูญเสียเนื่องจากการรอคอย (Delay) การรอคอยต่าง ๆ ที่ไม่ได้ก่อให้เกิด งาน เช่น การรอเนื่องจากเครื่องจักรขัดข้อง รอการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อการเปลี่ยนรุ่นการผลิต การรองานจากกระบวนการก่อนหน้า ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการประกอบต้องรองานจาก กระบวนการก่อนหน้าเป็นเวลา 1.48 ชั่วโมง

บรรณานุกรม

- กรณ์พิรา แก้วฉิมพลี. (2554). *การประยุกต์แนวทางการลดการใช้พลังงานในโรงงานเฟอร์นิเจอร์* สารนิพนธ์วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- โชคชัย อนามัยวัช. (2545). *การจัดการการใช้พลังงานในโรงงานเฟอร์นิเจอร์*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ไพบุลย์ เข้มเฟื่อน. (2548). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- วัฒนา จันทะโคตร. (2557). *ระบบการจัดการและอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิต เครื่องใช้ไฟฟ้า*. งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วัลภา จรุงธรรม. (2541). *การประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วิภูญ สิทธีราช. (2551). *ระบบการจัดการและอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมชิ้นส่วน ยานยนต์*. งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศิริพรรณ ชงชัย และพิชัย อัญมมงคล. (2548). *การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ศุภชัย ปัญญาวิโร. (2553). *การอนุรักษ์พลังงานอย่างสมบูรณ์และยั่งยืน*. เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหกรรม, ฉบับที่ 313 เมษายน 2553. 77-83.
- ศุภชัย ปัญญาวิโรและจตุพร สถากุลเจริญ. (2549). *การลดต้นทุนผลิตด้านพลังงาน การอนุรักษ์ พลังงานแบบมีส่วนร่วม*.
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน. (2557). *รายงานสถิติพลังงานรายปี 2557*. กระทรวงพลังงาน.
- Beck, S., & Collins, R. (2008). *Moody diagram*. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/File:Moody_diagram.jpg