

การศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรม

กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ

ปริญญานิพนธ์

ของ

นภดล สุทธิปัญญา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2553

การศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรม

กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ

ปริญญานิพนธ์

ของ

นพดล สุทธิปัญญา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรม

กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ

บทคัดย่อ

ของ

นพดล สุทธิปัญญา

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2553

นภดล สุทธิปัญญา. (2553). การศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรม: กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ. ปรินญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต; บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; คณะกรรมการควบคุม: ดร. กิตติ สถาพรระสาธน์, ดร. วิชากร จารุศิริ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์การใช้พลังงานในอดีตจากตัวอย่างโรงงานจำนวน 3 โรงงาน จากผลการศึกษามีลักษณะการใช้พลังงานใน 2 ส่วนด้วยกันคือ พลังงานไฟฟ้า และ พลังงานความร้อน โดยพลังงานไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ดังนี้ โรงงานที่ 1 (ATFB) กระบวนการผลิต(process) 96.19% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง(air-conditioning and Lighting system) 2.45% และอื่น ๆ 1.36%, โรงงานที่ 2 (NIC) กระบวนการผลิต(process) 97.45% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง(air-conditioning and Lighting system) 1.78% และอื่น ๆ 0.77% และโรงงานที่ 3 (SNF) กระบวนการผลิต(process) 97.81% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง(air-conditioning and Lighting system) 2.19% ส่วนที่สองเป็นการใช้พลังงานความร้อน จากก๊าซธรรมชาติ(NGV) และปิโตรเลียมเหลว(LPG) คิดเป็นสัดส่วนของการใช้พลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 9.2%, 14.1%, และ 7% ตามลำดับ จากผลการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตของโรงงานสามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ(SEC) โดยมีค่าเฉลี่ยในโรงงานที่ 1 (ATFB) อยู่ที่ 7.55 GJ/TonCasting, โรงงานที่ 2 (NIC) อยู่ที่ 7.52 GJ/TonCasting, โรงงานที่ 3 (SNF) อยู่ที่ 10.01 GJ/TonCasting, และค่าการใช้พลังงานจำเพาะ(SEC) ของทั้ง 3 โรงงานเฉลี่ยอยู่ที่ 8.07 GJ/TonCasting จากข้อมูลของกรมพลังงานค่าเฉลี่ยของกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กหล่อขึ้นรูป(Casting) $SEC = 8.73 \text{ GJ/Unit}$ แนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานนี้มีทั้งวิธีต้องลงทุนและไม่ต้องลงทุน แนวทางที่ไม่ต้องลงทุนได้แก่ มาตรการปรับความตึงสายพานมอเตอร์ สามารถประหยัดพลังงานได้ 60,931.81 kWh/ปี (180,764.37 บาท/ปี) แนวทางการลดแรงดันอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ สามารถประหยัดพลังงานได้ 598,082.32 kWh/ปี (1,774,310.87 บาท/ปี) ส่วนแนวทางการประหยัดพลังงานที่มีการลงทุนได้แก่ มาตรการการประหยัดพลังงานโดยการเพิ่มผลได้ (เพิ่ม % Yield) ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ 1,145,221.80 kWh/ปี (3,397,491.35 บาท/ปี) โดยใช้เงินลงทุนที่ 4,500,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 1.32 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 70

คำสำคัญ: การประหยัดพลังงาน / โรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ / การใช้พลังงานจำเพาะ

The Study of Specific Energy Consumption in the Manufacturing
A Case Study of Iron Casting Industry

AN ABSTRACT
BY
NOPADOL SUTIPANYO

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Engineering Degree in Engineering Management
at Srinakharinwirot University
May 2010

Nopadol Sutipanyo. (2010). *The Study of Specific Energy Consumption in the Manufacturing: A Case Study of Iron Casting Industry*, Master of Engineering: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Dr. Kitti Sathapornprasath, Dr.Wichakorn Jarusiri

This research are to study the specific energy consumption in the iron casting industry on the energy analysis method from 3 factories. The results show that the energy used for this industry can be separated based on the electrical and thermal energy. First, the electrical energy can be separated for 3 parts at factory 1 (ATFB) production process 96.19% , air conditioning and lighting system 2.45% and the others 1.36% . Factory 2 (NIC) production process 97.45%, air conditioning and lighting system 1.78% and the others 0.77%.Factory 3 (SNF) production process 97.81%, air conditioning and lighting system 2.19%. Second, for thermal energy used from natural gas (NGV) and liquid petroleum (LPG). The percentage of used energy at factory 1 (ATFB) 9.2%, factory 2 (NIC) 14.1% and factory 3 (SNF) 7%.From the result of research can be found specific energy consumption (SEC) by used passed data.The average energy of factory 1 (ATFB) 7.55 GJ/Ton Casting, factory 2 (NIC) 7.52 GJ/TonCasting, factory 3 (SNF) 10.01 GJ/TonCasting, and the specific energy of all 3 factories is 8.07 GJ/TonCasting. The information from Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) we found that the average of automotive group (casting) is $SEC = 8.73 \text{ GJ/Unit}$. In this study the two important methods for the energy saving in this factory are invented with and without investment. First, the methods with no investment in this industry adjust the tension of motor belt can be save for 60,931.81 kWh/year (180,764.37 baht/year) and reduceing the pressure of air compressor can be save for 598,082.32 kWh/year (1,774,310.87 baht/year). Second, the methods with investment are increase percentage of yield can be save for 1,145,221.80 kWh/year (3,397,491.35 baht/year). The investment are 4,500,000 baht, rate of return 70% and pay back period 1.32 years.

Keywords: Energy Saving / Iron Casting Industry / Specific Energy Consumption

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรม : กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ

ของ
นภดล สุทธิปัญญา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2553

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน

..... ประธาน

(อาจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย นิยมล)

.....กรรมการ

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

(อาจารย์ ดร.อาจรี ศุภสุธิกุล)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์ ดร.วิษชากร จารุศิริ อาจารย์ผู้ให้คำปรึกษา และให้ความรู้ แนวทาง ทำให้งานวิจัยดำเนินไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำหลักสูตร การจัดการทางวิศวกรรม ที่ให้ทั้งความรู้ทางด้านวิชาการ และประสบการณ์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทำงานวิจัย ขอขอบพระคุณโรงงานตัวอย่างทั้ง 3 โรงงาน ที่อนุเคราะห์ข้อมูล รวมถึงเปิดโอกาสให้เข้าไปทำการศึกษาคู่มือการใช้งานภายในโรงงาน

ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมงาน เพื่อนร่วมสถาบันทั้งตอนเรียนปริญญาตรี และปริญญาโท ที่ให้คำปรึกษาแลกเปลี่ยนความรู้ ตามแต่ละสายงานที่ตัวเองถนัด ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง และภรรยา ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

นภดล สุทธิปัญญา

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการทำวิจัย.....	6
2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
ทฤษฎี.....	7
การศึกษากระบวนการผลิตอุตสาหกรรมหล่อโลหะ	24
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
ศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงาน.....	32
เก็บข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต.....	32
วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน.....	32
วิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางการจัดการเกี่ยวกับการ ประหยัดพลังงาน.....	32
การประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์.....	33
วิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อศักยภาพการ ประหยัดพลังงาน.....	33
สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน อุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ.....	33
4 การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	34
การศึกษาโรงงานที่ 1	34
การศึกษาโรงงานที่ 2	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 (ต่อ)	
การศึกษาโรงงานที่ 3	49
ค่าการใช้พลังงานจำเพาะทั้ง 3 โรงงาน.....	58
แนวทางการจัดการและการประหยัดพลังงาน.....	59
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย.....	66
สรุปผลการศึกษา.....	66
ข้อเสนอแนะเชิงทฤษฎีจากการวิจัย.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก.....	71
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	113

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 การใช้พลังงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2551.....	2
2 ปริมาณการใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตจำแนกตามประเภท	3
3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของบัลลาสต์ชนิดหลอดแกนเหล็กแบบธรรมดา บัลลาสต์โวลท์อส และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์.....	21
4 ตารางค่าการใช้พลังงานจำเพาะ รวมทั้ง 3 โรงงาน.....	58
5 ตารางคำนวณการประหยัดพลังงานโดยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Yield.....	60
6 ตารางสรุปผลการประหยัดพลังงานที่ได้จากมาตรการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Yield	61
7 แสดงผลการศึกษาจากมาตรการตั้งสายพานมอเตอร์.....	62
8 ผลจากการศึกษาการลดแรงดันเครื่องอัดอากาศ.....	63
9 ผลจากการศึกษาการลดแรงดันเครื่องอัดอากาศ.....	64
10 ผลที่ได้จากมาตรการประหยัดพลังงานรวม.....	65
11 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552	73
12 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552 ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	74
13 แสดงปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในปี 2552	75
14 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก๊าซธรรมชาติและพลังงานไฟฟ้า ปี 2552	76
15 ข้อมูลการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน.....	77
16 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในภายในโรงงาน.....	77
17 สัดส่วนการใช้พลังงานในภายในโรงงาน.....	78
18 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	79
19 แสดงปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ปี 2009	80
20 การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน.....	81
21 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยสมการถดถอย.....	84
22 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552	86
23 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552 ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	87
24 แสดงปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในปี 2552	88

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
25	เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลวและ พลังงานไฟฟ้า ปี 2552	89
26	ข้อมูลการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน.....	90
27	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในภายในโรงงาน.....	91
28	สัดส่วนการใช้พลังงานในภายในโรงงาน.....	92
29	สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	93
30	แสดงปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ปี 2009	94
31	การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน.....	95
32	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยสมการถดถอย.....	98
33	แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552	100
34	แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552 ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	101
35	แสดงปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในปี 2552	102
36	เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก๊าซธรรมชาติและ พลังงานไฟฟ้า ปี 2552	103
37	ข้อมูลการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน.....	104
38	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในภายในโรงงาน.....	105
39	สัดส่วนการใช้พลังงานภายในโรงงาน.....	106
40	สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	107
41	แสดงปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ปี 2009	108
42	การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน.....	109
43	เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการ คำนวณโดยสมการถดถอย.....	112

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 สัดส่วนการใช้พลังงานของภาคเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2551.....	1
2 การใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตจำแนกตามประเภท.....	2
3 ความสัมพันธ์ของกำลังงาน.....	14
4 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังงานก่อน และหลังปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์.....	17
5 แสดงการลดกำลังงานสูญเสียในสายเคเบิลเมื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์	18
6 แสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากการหล่อโลหะ.....	25
7 แสดงกระบวนการไหลของการหล่อโลหะ.....	26
8 แสดงเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnaces) ในการหลอมโลหะ	27
9 แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการทำแบบหล่อ (Molding).....	27
10 แสดงเครื่องดูดอากาศที่ใช้กับเครื่องทำแบบหล่อ(ซ้าย) และเตาหลอมเหล็ก(ขวา)	28
11 แสดงหอบายความร้อนที่ใช้ในระบบเตาหลอมโลหะ.....	28
12 แสดงเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในกระบวนการผลิตภายในโรงงาน.....	29
13 แผนผังโรงงานที่ 1	35
14 แผนผัง Line ผลิต B1	36
15 แผนผัง Line ผลิต B2	37
16 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานที่ 1	38
17 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตโรงงานที่ 1	39
18 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 1 (มกราคม – ตุลาคม 2552).....	40
19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงาน (GJ) และ ปริมาณการผลิต(Tons).....	41
20 แผนผังโรงงานโรงงานที่ 2	43
21 แผนผัง Line ผลิต MA &MB.....	44
22 แผนผัง Line ผลิต MC.....	45
23 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานที่ 2	46
24 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตโรงงานที่ 2	47
25 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 2 (มกราคม – ตุลาคม 2552).....	48

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงาน (GJ) และ ปริมาณการผลิต (Tons).....	49
27 แผนผังโรงงานโรงงานที่ 3	51
28 แผนผัง Line ผลิต M1&M10	52
29 แผนผัง Line ผลิต M9&M11	53
30 แผนผัง Line ผลิต M14	54
31 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานที่ 3	55
32 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตโรงงานที่ 3	56
33 การใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 3 (มกราคม – ตุลาคม 2552)	57
34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงาน (GJ) และ ปริมาณการผลิต (Tons).....	58
35 กราฟแสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะ รวมทั้ง 3 โรงงาน.....	59
36 กราฟแสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมทั้ง 3 โรงงาน (หลังมีมาตรการปรับปรุง)	65
37 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ปี 2552	73
38 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	74
39 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	75
40 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ.....	76
41 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน.....	78
42 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	79
43 การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน.....	82
44 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ปี 2552	86
45 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	87
46 ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	88
47 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซปิโตรเลียมเหลว.....	89
48 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซปิโตรเลียมเหลว.....	90
49 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน.....	92

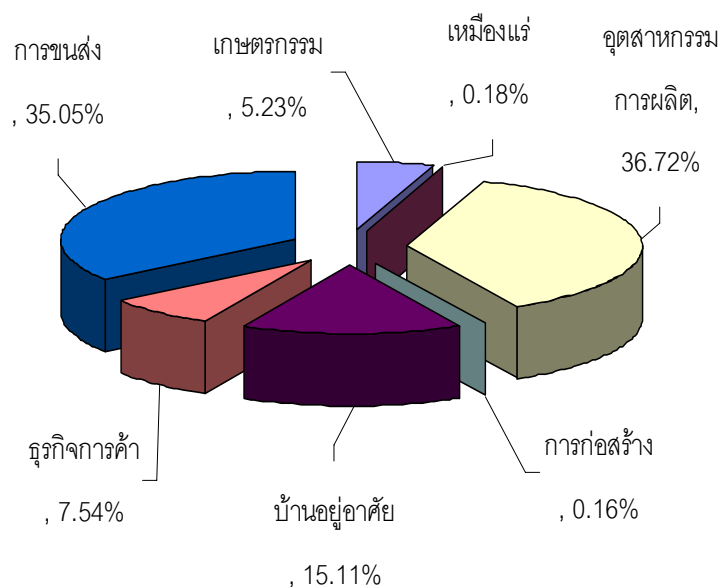
บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
50 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	93
51 การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน.....	96
52 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ปี 2552	100
53 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	101
54 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ในหน่วยพลังงานความร้อน.....	102
55 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ.....	103
56 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน.....	106
57 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	107
58 การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน.....	109

บทที่ 1

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงอยู่ของมนุษย์ เราใช้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า การคมนาคมขนส่ง อุตสาหกรรมการผลิต ที่อยู่อาศัยและธุรกิจการค้า รวมถึงภาคเกษตรกรรม ในประเทศไทยมีการใช้พลังงานอยู่หลายประเภทด้วยกันเช่น พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง พลังงานจากน้ำ จากลม หรือจากก๊าซธรรมชาติ และ อื่นๆ โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงและก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ภายในประเทศซึ่งนับวันมีปริมาณความต้องการใช้เพิ่มขึ้นทุกปี ในขณะที่ประเทศของเราไม่มีแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติที่เพียงพอกับความต้องการใช้ในประเทศ ซึ่งในแต่ละปีประเทศไทยจะต้องสูญเสียงบประมาณในการนำเข้าน้ำมันดิบเป็นจำนวนมหาศาล



ภาพประกอบ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานของภาคเศรษฐกิจ ปี พ.ศ. 2551

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). รายงานพลังงานของประเทศไทยปี พ.ศ. 2551

ปัจจุบันแหล่งพลังงานในโลกมีจำนวนจำกัดและต้องหมดไปประเทศผู้นำเข้าพลังงานอย่าง ประเทศไทยจึงมีความจำเป็นต้องอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้สามารถใช้พลังงานที่เราต้องซื้อมาด้วยราคาแพงให้คุ้มค่าที่สุดการอนุรักษ์พลังงานต้องทำในทุกส่วนของสังคมทั้งภาครัฐและเอกชน⁽¹⁾

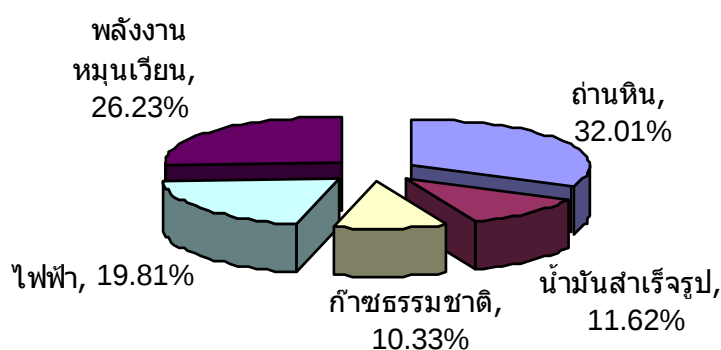
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะที่จะดำเนินการศึกษา ดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะซึ่งจัดอยู่ใน กลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ ในส่วนของอุตสาหกรรมยานยนต์ และชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีความต้องการใช้พลังงานในปริมาณมากโดยเฉพาะในกระบวนการผลิตที่ต้องการใช้พลังงานสูงเนื่องมาจากการหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูง ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน รายงานพลังงานของประเทศไทยปี พ.ศ. 2551 พบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะเครื่องจักรและอุปกรณ์มีการใช้พลังงานกว่า 1,598 kTOE/ปี และแนวโน้มอุตสาหกรรมรถยนต์ปี 2553 คาดว่าจะมีการขยาย 5~10% เมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมา

ตาราง 1 การใช้พลังงานในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2551

กลุ่มอุตสาหกรรม	การใช้พลังงาน (KTOE)				
	ปี 2547	ปี 2548	ปี 2549	ปี 2550	ปี 2551
อาหารและเครื่องดื่ม	6,361	6,335	6,779	7,123	7,294
สิ่งทอ	1,120	1,048	948	1,191	997
ไม้และเครื่องเรือน	185	192	192	212	196
กระดาษ	805	827	814	1,348	2,081
เคมี	2,731	2,747	2,509	2,689	2,059
อโลหะ	6,557	7,583	7,461	7,171	7,928
โลหะมูลฐาน	1,214	1,049	1,287	938	1,024
ผลิตภัณฑ์โลหะ	1,530	1,500	1,557	1,644	1,598
อื่นๆ	1,458	1,362	1,895	1,220	1,018
รวม	21,961	22,643	23,442	23,536	24,195

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). รายงานพลังงานของประเทศไทยปี พ.ศ. 2551



ภาพประกอบ 2 การใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตจำแนกตามประเภท

ตาราง 2 ปริมาณการใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรมการผลิตจำแนกตามประเภท

ชนิดพลังงาน	ปริมาณ (kTOE)	สัดส่วน (%)
ถ่านหิน	7,744.00	32.01%
พลังงานหมุนเวียน	6,347.00	26.23%
ไฟฟ้า	4,793.00	19.81%
น้ำมันสำเร็จรูป	2,812.00	11.62%
ก๊าซธรรมชาติ	2,499.00	10.33%
รวม	24,195.00	100.00%

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551). รายงานพลังงานของประเทศไทยปี พ.ศ. 2551

จากสภาวะปัจจุบันที่ประเทศมีปัญหาเศรษฐกิจและความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้น ส่งผลให้เราต้องจ่ายค่าเชื้อเพลิงนำเข้าในราคาที่สูงกว่าเดิม ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาด้านพลังงาน เนื่องจากมีแหล่งพลังงานธรรมชาติ ไม่เพียงพอต่อการผลิต และการบริการ ของภาคเอกชน และประชาชน โดยต้องพึ่งพาพลังงานประเภทต่างๆ จาก ต่างประเทศโดยเฉพาะปิโตรเลียมวันละประมาณ 7 แสนบาร์เรล หรือร้อยละ 63 ของการจัดหาทรัพยากรปิโตรเลียมของประเทศ ทำให้มีผลกระทบต่อนั่นทุนราคาสินค้า ดังนั้นทางภาครัฐและเอกชนจึงควรให้ความสำคัญต่อการส่งเสริมและ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในระดับสูง เพราะนอกจากจะช่วยในการประหยัดการใช้พลังงาน

แล้ว ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายทางภาครัฐที่ต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ รวมทั้งยังลดค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการในด้านต้นทุนการผลิตอีกด้วยจากสถานการณ์และ นโยบายดังกล่าวทำให้มีการศึกษาค้นคว้าทางด้านการประหยัดพลังงานมากขึ้น โดยจัดให้มีแผนการดำเนินงานนำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในการดำเนินงานตามแนวทางข้างต้นมีการใช้ค่าประสิทธิภาพและค่าดัชนีต่าง ๆ สำหรับการเปรียบเทียบการใช้พลังงานตัวอย่างเช่นค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption)⁽²⁾ ซึ่งหมายถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหนึ่งหน่วยของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตนั้น ๆ ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ} &= \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระยะเวลาหนึ่ง}}{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเดียวกัน}} \\ (\text{Specific Energy Consumption}) \end{aligned}$$

โดยทั่วไปปริมาณพลังงานจะประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าและ พลังงานความร้อนปริมาณพลังงานที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตอาจเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ หรือพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการหลอมเหล็ก ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลอาจกำหนดเป็นวัน เดือน หรือปีก็ได้ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาดังกล่าว ในการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของกระบวนการผลิตหนึ่งๆ อาจจำเป็นจะต้องมีการวัดและวิเคราะห์โดยละเอียด ซึ่งจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายและต้องการผู้ที่มีความรู้ความชำนาญการในด้านนี้ โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่นโรงงานอุตสาหกรรมซีเมนต์ โรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก ซึ่งมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนและสลับซับซ้อน แต่ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและปานกลาง การดำเนินการอาจไม่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก ซึ่งในประเทศไทยส่วนใหญ่มีอุปกรณ์ในการผลิตที่ใช้หลักการและเชื้อเพลิงประเภทเดียวกัน เช่น เตาหลอม เตาอุ่น เครื่องผลิตแบบงานหล่อ (ขนาดอาจจะแตกต่างกันไปตามกำลังการผลิต) เป็นต้น

เนื่องจากค่าการใช้พลังงานจำเพาะ เป็นค่าที่ขึ้นกับปริมาณของผลผลิตรวมที่ผลิตได้และพลังงานที่ใช้ในการผลิตดังกล่าว ดังนั้นค่าที่ได้จึงสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ และถ้ามีการเก็บข้อมูลไว้ทุกปีก็จะมีประโยชน์ในแง่ของประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้น หรือลดลงโดยสามารถอธิบายได้ว่าถ้าหากค่าการใช้พลังงานจำเพาะมีค่าต่ำแสดงว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีค่าต่ำ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดวางแผนนโยบายการใช้พลังงานในหน่วยงาน ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรการบำรุงรักษาหรือปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้งานซึ่งอาจครอบคลุมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวอย่างเช่น การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าช่วย หรือการ

อบรมบุคลากรที่เกี่ยวข้องให้สามารถควบคุมจัดการการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพเป็นต้น หน่วยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้กันมีหลายอย่างเช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าของความร้อนเป็นเมกะจูล (MJ) หรือ แคลลอรี่ (Cal) หรือเป็นค่าเทียบเท่าน้ำมันดิบ (TOE) ต่อหนึ่งหน่วยผลิต เป็นต้น(3)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ
- 1.2.3 เพื่อหาแนวทางการจัดการและการประหยัดพลังงานในโรงงาน
- 1.2.4 เพื่อประเมินผลการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ
- 1.3.2 คัดเลือกกลุ่มโรงงานตัวอย่างกรณีศึกษา จำนวน 3 โรงงาน
 - โรงงานที่ 1
Production capacity of iron casting 55,000 Tons/Year
 - โรงงานที่ 2
Production capacity of iron casting 73,000 Tons/Year
 - โรงงานที่ 3
Production capacity of iron casting 38,583 Tons/Year
- 1.3.3 วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานตัวอย่าง
- 1.3.4 หามาตรการช่วยในการประหยัดพลังงานและแนวทางการจัดการพลังงานที่เหมาะสมกับกลุ่มโรงงานตัวอย่าง
- 1.3.5 วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อศักยภาพการประหยัดพลังงาน
- 1.3.6 สรุปผลการใช้พลังงานจำเพาะของกลุ่มโรงงานตัวอย่าง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาขั้นตอนและลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ
- 1.4.2 เก็บข้อมูลและตรวจวัดการใช้พลังงานและผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต
- 1.4.3 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ

- 1.4.4 วิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางการจัดการเกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน
- 1.4.5 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อศักยภาพการประหยัดพลังงาน
- 1.4.6 สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัย

- 1.5.1 สามารถหาการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ
ซึ่งมีความจำเป็นต่อโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทเดียวกัน และประเภทอื่น
- 1.5.2 สอดคล้องกับนโยบายการประหยัดพลังงานของประเทศ
- 1.5.3 ทราบลักษณะและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน
- 1.5.4 ได้มาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเป็นค่าที่แสดงถึงการใช้พลังงานในการผลิตต่อผลผลิตที่ได้จากการผลิตนั้นๆ ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้(2)

$$\begin{array}{lcl} \text{ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ} & = & \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระยะเวลาหนึ่ง}}{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเดียวกัน}} \quad (2.1) \\ \text{(Specific Energy Consumption)} & & \end{array}$$

โดยทั่วไปพลังงานที่ใช้มักจะประกอบด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า พลังงานที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตอาจเป็น พลังงานความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต จากเตาเผา หรือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลอาจกำหนดเป็นวัน เดือน หรือ ปีก็ได้ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว หน่วยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้กันมีหลายอย่าง เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าของความร้อนเป็น เมกกะจูล (MJ) หรือ แคลลอรี่ (Cal) หรือเป็นค่าเทียบเท่าน้ำมันดิบ (TOE) ต่อหนึ่งหน่วยผลิต เป็นต้น

2.1.1.1 การคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

คือค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน คำนี้นี้มีประโยชน์ที่จะช่วยบอกว่า โรงงานหนึ่งๆ ใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย การติดตามและควบคุมค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน เป็นวิธีการจัดการการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง ค่าการใช้พลังงานจำเพาะหาได้โดยเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งมักจะเป็นเดือนหารด้วยผลผลิตในเดือนเดียวกัน สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานไฟฟ้า (SEC_E) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานความร้อน (SEC_H) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวม ขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่สนใจ โดยทั่วไปเป็นค่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวม

$$SEC_{รวม} = SEC_E + SEC_H \quad (2.2)$$

ในกรณีที่หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมให้แปลงพลังงานไฟฟ้าในหน่วย kWh ให้เป็น MJ โดยคูณด้วย 3.6 และนำมารวมกับ MJ ของพลังงานความร้อน ซึ่งได้จากปริมาณเชื้อเพลิง คุณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นๆ หน่วยพลังงานที่นิยมใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะมักจะเป็น MJ หรือ GJ ในขณะที่ปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผลผลิต ที่นิยมใช้มักเป็นหน่วยน้ำหนัก เช่น ตัน เป็นต้น ในกรณีที่โรงงานมีหลายผลผลิต และไม่มีเครื่องวัดการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิต ให้ตรวจสอบว่าการใช้พลังงานต่อหน่วยของผลผลิตใดสูงกว่าผลผลิตอื่นมากหรือไม่ ถ้ามีเราสามารถคำนวณโดยใช้ผลผลิตนั้นมาเป็นตัวแทน คิดเลขเพียงตัวเดียวก็ได้ แต่ถ้าไม่มีความแตกต่างกันที่ชัดเจน ประเมินว่าการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิต ใกล้เคียงกัน และหน่วยนับผลผลิตเหมือนกัน เช่น เป็นต้นเหมือนกัน อาจจะจับรวมกันเป็นปริมาณเดียวแล้วคิดเลขก็ได้ ในกรณีที่ผลผลิตหลายอย่าง และหน่วยนับแตกต่างกัน ใช้พลังงานต่างกัน การจับมารวมกันจะทำให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะมีความหมายไป ให้คำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะจากราคาผลผลิตรวมแทน โดยแทนที่จะใช้ปริมาณผลผลิต ก็ใช้ราคาต่อหน่วย ของแต่ละผลผลิต มาคิดหาราคาสินค้ารวมที่ขายในเดือนนั้น และนำราคารวมนี้มาคิดค่าการใช้พลังงานจำเพาะราคาต่อหน่วยที่นำมาใช้คำนวณควรใช้ค่าเฉลี่ยกลางๆ และใช้ตัวเลขนี้คงที่ในทุกเดือน เพื่อไม่ให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเบี่ยงเบน

2.1.1.2 ปัจจัยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะนั้นจะลดลงเมื่อโรงงานผลิตมากขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่แปรผันตามปริมาณการผลิต และส่วนที่คงที่ไม่ขึ้นกับผลผลิต เช่น ส่วนของสำนักงาน เป็นต้น เมื่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานหารต่อหน่วยในส่วนนี้จะลด จึงทำให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมลดลงนั่นคือในโรงงานเดียวกันยิ่งผลิตมากการใช้พลังงานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ในแต่ละเดือนก็คือปริมาณผลผลิต แต่จะเห็นว่าแม้ในบางเดือนผลผลิตใกล้เคียงกัน การใช้พลังงานหรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะก็มีความแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ เช่น ความยากง่ายของชิ้นงานในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน วัตถุดิบที่นำเข้ามาคุณภาพต่างกัน หรือมีของเสียในเดือนนั้นมาก หรือจำนวนวันหยุดมาก ฯลฯ ถ้าเราสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะก็จะค่อนข้างสม่ำเสมอ และอยู่ในค่าที่ต้องการ

2.1.1.3 ประโยชน์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

ถ้ามีการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละเดือน ข้อมูลของเดือนใหม่ที่เข้ามาจะ

ทำให้รู้ว่าการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือ แ่ลง และถ้าแ่ลง คือสูงกว่าค่าเฉลี่ยที่เคยทำได้ ก็จะต้องอธิบาย หรือหาสาเหตุมาให้ได้ว่าความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นเกิดจากอะไร บริษัทขนาดใหญ่หลายแห่งโดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริษัทญี่ปุ่น จะกำหนดให้แต่ละหน่วยผลิตย่อย, แผนกมีเครื่องวัดการใช้พลังงานของตัวเองได้ และคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของตัวเองเทียบกับชิ้นงาน หรือ OUTPUT ที่หน่วยงานนั้นทำได้ในแต่ละเดือน คือมีการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะกันทุกระดับ ตั้งแต่ระดับแผนก จนถึงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมของบริษัท ทุกแผนกหน่วยงานจะต้องรายงานค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ของตัวเองอย่างสม่ำเสมอ ในเดือนที่ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของบริษัทโด่งขึ้นมา ก็จะต้องรู้ที่เกิดจากจุดไหน สิ่งที่ต้องทำไปพร้อมๆ กับการติดตามเฝ้าระวังค่าการใช้พลังงานจำเพาะก็คือ การตั้งเป้าหมายหรือ Targeting จากข้อมูลในอดีตจะมีทั้งเดือนที่ใช้พลังงานดี และบางเดือนที่ไม่ดี หลายบริษัทใช้วิธีแบ่งเป็นเดือนที่ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย และพวกที่ใช้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ถ้าสนใจพวกที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยแล้ว หากค่าเฉลี่ยของกลุ่มนี้ตั้งเป็นเป้าหมายของแต่ละหน่วยงานให้ปรับปรุงไปสู่ค่าเฉลี่ยของซีกที่ดีกว่า ก็จะทำให้การใช้พลังงานของทั้งบริษัทปรับปรุงขึ้นด้วย จากการรวบรวม และวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน บางโรงงานสามารถบรรลุเป้าการลดการใช้พลังงานต่อหน่วยลงได้ 3-5 % โดยไม่ต้องลงทุน เปลี่ยนอุปกรณ์ใดเลย ทั้งนี้เพราะการใช้พลังงานนั้นเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือประสิทธิภาพเครื่องจักรอุปกรณ์เอง และ การใช้งาน

2.1.2 ความหมายของการประหยัดพลังงาน

การประหยัดพลังงานในโรงงาน หมายถึง การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยไม่มีผลเสียต่อกิจกรรมการผลิต โดยพยายามใช้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพสูง ลดการสูญเสียพลังงาน เกิดผลดีด้านการลดต้นทุนการผลิตและลดปัญหาด้านมลภาวะซึ่งเป็นผลดีทางอ้อมมี หลักพิจารณาในการประหยัดพลังงานในโรงงาน โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 ประการ คือ

1. การเลือกใช้งานและเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม

การเลือกใช้นิดของพลังงานและเชื้อเพลิงใดควรพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ เศรษฐกิจ ความง่ายในการจัดหาเชื้อเพลิง และที่เก็บเชื้อเพลิง เลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกับงานมากที่สุดเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน

2. การลดการสูญเสียและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้พลังงานในโรงงานมีทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ควรศึกษาสภาพการใช้งานและรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในโรงงาน ทำการศึกษาและวิเคราะห์หาแนวทางลดการสูญเสีย

เนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น การเดินมอเตอร์ตัวเปล่า ลมรั่ว ท่อไอน้ำรั่ว ฉนวนป้องกันความร้อนเสื่อมสภาพเป็นต้น เพื่อให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

3. การนำพลังงานปล่อยทิ้งที่มีคุณภาพกลับมาใช้ประโยชน์

เป็นการศึกษาการวิเคราะห์เพื่อนำพลังงานที่ปล่อยทิ้งเนื่องจากสาเหตุต่างๆ กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นโดยคำนึงถึงความเหมาะสมด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

2.1.3 ประเภทของมาตรการประหยัดพลังงาน

มาตรการต่างๆ ในการประหยัดพลังงาน หากพิจารณาในแง่ของการปรับปรุงหรือระดับการลงทุนโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 มาตรการ(3) คือ

1. มาตรการบำรุงรักษาเครื่องจักร (House Keeping)

เป็นมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนหรือมีการลงทุนน้อยมาก ดำเนินการได้ง่าย เช่น การปรับความตึงสายพาน , ปิดไฟในตำแหน่งที่ไม่ใช้งาน, การลดของเสีย, การจัด lay out .โรงงานเป็นต้น

2. มาตรการปรับปรุงกระบวนการผลิต (Process Improvement)

เป็นมาตรการที่มีการลงทุนแต่ลงทุนไม่มาก เช่น การหุ้มฉนวน , การนำคอนเดนเสทกลับมาใช้ประโยชน์, การเปลี่ยนหัวเผา (Burner) ของหม้อไอน้ำ, การเปลี่ยนบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

3. มาตรการเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก (Major Change of Equipment)

เป็นมาตรการที่ต้องมีการลงทุนสูงโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงเครื่องจักรอุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ เช่น การเปลี่ยนหม้อไอน้ำ , การติดตั้งระบบ Cogeneration เป็นต้น

2.1.4 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน (Energy Audit)

การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานคือ การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงาน โดยทั่วไปการตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน มีขั้นตอนปฏิบัติตามลำดับ 4 ขั้นตอน(4) คือ

1. การตรวจสอบการใช้พลังงานจากข้อมูลการใช้พลังงานในอดีต เป็นการรวบรวมและศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในปีก่อนๆ ที่ทางโรงงานจดบันทึกไว้เพื่อต้องการทราบ ปริมาณพลังงานทุกรูปแบบที่ใช้, ค่าใช้จ่ายพลังงานทุกรูปแบบที่ใช้, ผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณพลังงานที่ใช้และรูปแบบของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงการผลิต

2. การตรวจสอบการใช้พลังงานโดยการเข้าสำรวจในโรงงาน ขั้นตอนแรกเป็นการสำรวจแผนผังของโรงงาน เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของโรงงานรวมถึงกระบวนการผลิตและ อุปกรณ์ต่างๆ พิจารณابริเวณที่มีการใช้พลังงานสูง ระบบการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ บริเวณที่เกี่ยวข้อง

จากนั้นเป็นขั้นตอนการเข้าสำรวจในโรงงานเพื่อ หาตำแหน่งที่มีการสูญเสียพลังงานและต้นเหตุการสูญเสียพลังงาน ทำการสำรวจระบบการใช้พลังงานทุกระบบ ทั้งในช่วงทำการผลิตและหยุดการผลิต รวมทั้งสำรวจมาตรวัดต่างๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์การใช้พลังงานต่อไป

3. การตรวจสอบและการวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด ผลจากการตรวจสอบขั้นต้น นำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียดโดยการทำสมดุลพลังงาน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบ อุปกรณ์และปริมาณพลังงานสูญเสีย ข้อมูลที่วิเคราะห์ได้เมื่อนำมาสร้างรูปแบบการใช้พลังงาน จะทำให้ทราบว่าต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดบ้าง จะทำให้ทราบว่าต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดบ้าง และวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข คัดเลือกวิธีการที่เหมาะสมทั้งในด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ต่อไป

4. การทำบัญชีพลังงาน (Energy Auditing) การทำบัญชีพลังงานเป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานการใช้พลังงานเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและหาแนวทางการประหยัดพลังงาน ข้อมูลพื้นฐานได้จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

4.1 การตรวจสอบการใช้พลังงานโดยศึกษาจากใบเสร็จค่าใช้จ่ายพลังงาน (the billing audit) โดยการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานและราคาเชื้อเพลิงจากใบเสร็จค่าใช้จ่าย (เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา และค่าเชื้อเพลิงต่างๆ) เพื่อเป็นแนวทางในการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลผลิต (สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม)

4.2 การตรวจสอบการใช้พลังงานโดยศึกษาจากการลงสนามสำรวจ (The field audit) เป็นขั้นตอนหลังจากเสร็จสิ้นการตรวจสอบการใช้พลังงานโดยศึกษาจากใบเสร็จค่าใช้จ่ายพลังงาน เพื่อจัดทำรายละเอียดการใช้พลังงานในขั้นตอนของกระบวนการผลิตของอุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆ

2.1.5 องค์ประกอบในการพิจารณาการประหยัดพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีความจำเป็นมากในชีวิตประจำวันพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยทั่วไปแปรสภาพมาจากพลังงานอื่น ซึ่งประสิทธิภาพในการแปรสภาพพลังงานรูปอื่นมาเป็นพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการใช้พลังงานไฟฟ้า จึงควรใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานควรพิจารณาถึงองค์ประกอบ 4 ประการ⁽²⁾ คือ

2.1.5.1 พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณพลังงาน (Energy) ที่ถูกใช้ ซึ่งประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าใช้งานจริงคิดเป็นหน่วยกิโลวัตต์คูณด้วยระยะเวลาเป็นหน่วยชั่วโมง 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ก็คือ 1 หน่วยไฟฟ้าในใบแจ้งค่า

ไฟฟ้า โดยทั่วไปพลังงานที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของผลผลิต ดังนั้นในการพิจารณาถึงพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน จึงใช้หน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิต(Electrical Energy Consumption Index)

$$\text{พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิต} = \frac{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)}}{\text{ปริมาณผลผลิต (หน่วย)}} \quad (2.3)$$

การปรับปรุงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ทำได้โดยการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อผลผลิตดังกล่าว โดยการเพิ่มผลผลิตที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำกว่าปกติหรือ พยายามลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงในกระบวนการผลิตที่กระทำอยู่ในปัจจุบัน

2.1.5.2 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าเป็นปริมาณทางไฟฟ้าส่วนที่ถูกแปลงเป็นพลังงานกล ความร้อน เคมี ฯลฯ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริงมีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือกิโลวัตต์ (kW) การควบคุมกำลังไฟฟ้าในโรงงานจะพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ใช้สูงสุด (Peak Demand) ทำได้โดยการปรับปรุงค่าตัวประกอบภาระ (Load Factor: LF)

$$\text{ตัวประกอบภาระไฟฟ้า (LF)} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้า (kWh)}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุด} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน}} \quad (2.4)$$

การปรับปรุงค่าตัวประกอบภาระ พิจารณาจากเส้นกราฟของภาระไฟฟ้า (Load Factor) ที่แสดงภาพการใช้งานของอุปกรณ์ในช่วงเวลาดังกล่าว โดยพยายามลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถกระทำได้ด้วยมือหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (Demand Controller)

2.1.5.3 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือบางครั้งอาจเรียกว่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ คืออัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าใช้งานจริงต่อกำลังไฟฟ้าเสมือน

$$\text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (kW)}}{\text{กำลังไฟฟ้าเสมือน (kVA)}} \quad (2.5)$$

เครื่องใช้หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ หลอดฟลูออโรเรสเซนต์ เป็นอุปกรณ์ประเภท Inductive Load การปรับปรุงแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขนานเข้ากับภาระไฟฟ้าในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งจะช่วยลดพลังงานสูญเสียขณะใช้งาน ลดแรงดันตก และลดอัตราค่าไฟฟ้าเมื่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าสูงกว่า 85 %

2.1.5.4 ไฟฟ้าแสงสว่าง

การประหยัดพลังงานหรือลดการสูญเสียในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง สามารถกระทำได้โดยทำให้ความสนใจองค์ประกอบหลายๆ อย่างด้วยกัน ซึ่งไม่เฉพาะแต่ด้านไฟฟ้าเท่านั้น แต่ต้องพิจารณาถึงชนิดของงานที่กระทำและพื้นที่ที่กระทำงานนั้นๆ หลักการสำคัญที่ทำให้การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างมีประสิทธิภาพสูงมีดังนี้

1. การทำความเข้าใจพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่างว่าเป็นงานชนิดใด ต้องการระดับความสว่างสูงต่ำมากน้อยเพียงใด ในขณะเดียวกันก็พิจารณาหรือเลือกสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ ด้วย เช่น การใช้สีโทนสว่างเพื่อช่วยสะท้อนแสง
2. การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างอย่างเหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภท ระบบแสงสว่างจะต้องได้รับการออกแบบและติดตั้งเพื่อให้การประกอบกิจการต่างๆ ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้สภาพแวดล้อมทั่วไปของการมองเห็นมีความปลอดภัย
3. การใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างอย่างเหมาะสม เพื่อการประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย เช่น การใช้แสงสว่างอย่างถูกต้องในสถานที่ที่ต้องการ ในเวลาที่ต้องการ
4. การซ่อมบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เมื่อใช้งานระบบไฟฟ้าแสงสว่างไปเป็นระยะเวลานานๆ จะพบว่าความสว่างจะลดลงตามระยะเวลา เนื่องจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ ความสกปรกที่เกิดขึ้นกับโคมไฟฟ้า หรือพื้นเพดานฝาผนังห้องสกปรก

2.1.6 แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้า

2.1.6.1 การควบคุมพลังไฟฟ้าสูงสุด

ค่าพลังไฟฟ้า (kW) คือ ค่าธรรมเนียมที่คิดจากจำนวนความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งเดือนโดยที่อัตราที่แตกต่างกันแต่ละประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าค่าความต้องการไฟฟ้า (Demand Charge) เป็นค่าธรรมเนียมที่คิดจากจำนวนความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดของเดือนนั้น แนวทางในการพิจารณาเพื่อลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด จำเป็นต้องทำความเข้าใจกับค่า

ว่าตัวประกอบโหลด (Load Factor) เสียก่อน ตัวประกอบโหลดเป็นค่าที่ได้จากการวัดความสม่ำเสมอจากการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยมีค่าจำกัดความดังนี้(2)

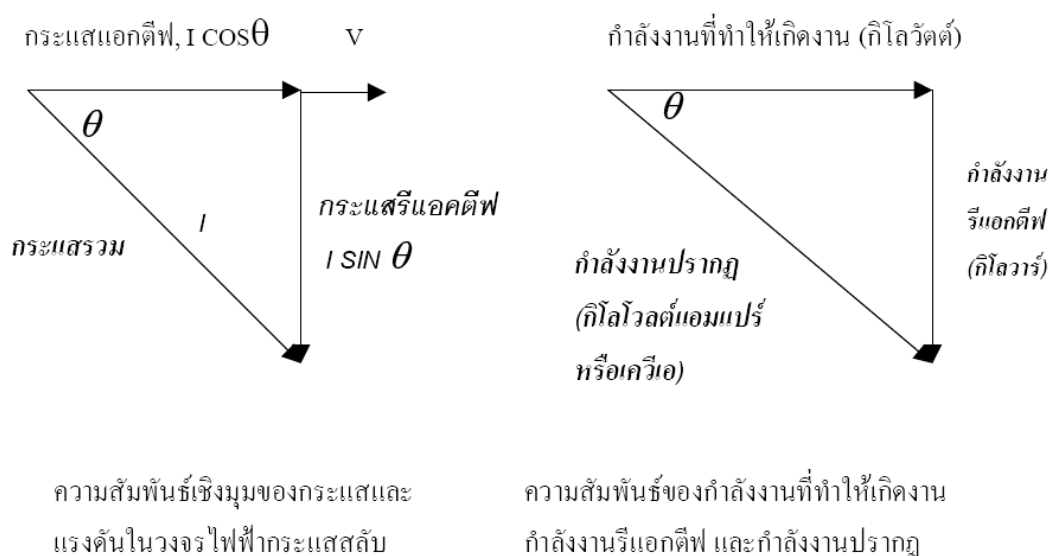
$$\text{ตัวประกอบโหลด(Load Factor)} = \frac{\text{จำนวนกิโลวัตต์- ชั่วโมงที่ใช้ทั้งหมดต่อเดือน} \times 100\%}{\text{กิโลวัตต์สูงสุด} \times \text{จำนวนชั่วโมงในเดือนนั้น}} \quad (2.6)$$

พิจารณาสมการตัวประกอบโหลดจะเห็นว่าตัวแปรที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ตัวประกอบโหลดสูงหรือต่ำจะมีอยู่สองตัว คือจำนวนหน่วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) และจำนวนกิโลวัตต์สูงสุดหรือความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand) ดังนั้นเราสามารถที่จะเพิ่มค่าประกอบโหลดให้สูงขึ้นได้ 2 วิธีคือ

1. ลดจำนวนกิโลวัตต์สูงสุด (Peak demand) ลง
2. ลดการใช้จำนวนกิโลวัตต์-ชั่วโมง (Unit) ลง เพื่อให้สมดุลกับจำนวน Peak demand ที่ลดลง อันจะมีผลทำให้อัตราส่วนของค่าทั้งสองเพิ่มขึ้น แต่การลดจำนวนกิโลวัตต์-ชั่วโมง (Unit) จะมีผลต่อการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดไม่มากนัก แต่จะส่งผลโดยตรงต่อค่าไฟฟ้าที่ลดลง

2.1.6.2 การแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์

หลักการเบื้องต้นเกี่ยวกับเพาเวอร์แฟคเตอร์อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ต้องการกระแสสองส่วนด้วยกัน คือ กระแสส่วนที่ทำให้เกิดการทำงาน (Active Current) เป็นกระแสส่วนที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กซึ่งมีความจำเป็นมากในอุปกรณ์ที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลงมอเตอร์ ฯลฯ ถ้าไม่มีสนามแม่เหล็ก อุปกรณ์ดังกล่าวจะทำงานไม่ได้เลย เราเรียกกำลังงานที่ต้องใช้ส่วนนี้ว่ากำลังงานรีแอกทีฟ และมีหน่วยวัดเป็นวาร์ (VAR) หรือกิโลวาร์ (kVAR) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1



ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ของกำลังงาน

จากภาพประกอบ 3 เราสามารถหาค่ากระแสทั้งหมดที่อุปกรณ์ไฟฟ้าดึงจากแหล่งจ่ายไฟได้ดังนี้

$$\text{Total current} = (\text{Active current}) + (\text{Reactive current})$$

$$I = (I \cos \theta) + (I \sin \theta) \quad (2.7)$$

ถ้าเอาแรงดัน V คูณตลอดทางด้านซ้ายมือและด้านขวามือของสมการที่ 2.7 เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานปรากฏ กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน และกำลังงานรีแอคทีฟ ดังนี้

$$\text{Apparent power} = (\text{Active power}) + (\text{Reactive power})$$

$$VI = (VI \cos \theta) + (VI \sin \theta) \quad (2.8)$$

เพาเวอร์แฟคเตอร์ คือ อัตราส่วนของกำลังงานที่ทำให้เกิดงานต่อกำลังงานปรากฏในวงจรไฟฟ้าใดๆ มีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่โดยปกติมักจะพูดกันเป็น %

$$\text{เพาเวอร์แฟคเตอร์} = \frac{\text{กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน}}{\text{กำลังงานปรากฏ}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \quad (2.9)$$

หรือจากรูปที่ จะได้

$$\text{เพาเวอร์แฟคเตอร์} = \cos \theta \quad (2.10)$$

เพาเวอร์แฟคเตอร์ อาจเป็นแบบตามหลัง หรือแบบนำหน้าก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานรีแอกทีฟ ถ้ากำลังงานทั้งสองส่วนนี้ไหลไปในทิศทางเดียวกันค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบตามหลัง แต่ถ้าไหลไปคนละทิศทางแล้วค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่จุดนั้นจะเป็นแบบนำหน้า เนื่องจากตัวคัปเปเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดกำลังงานรีแอกทีฟเพียงอย่างเดียวมันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นแบบนำหน้าเสมอ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นแบบตามหลัง เพราะมันต้องการทั้งกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานรีแอกทีฟ (ไหลเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) สำหรับชิงโครนสมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้นเกินขนาด (overexcited) นั้นสามารถจ่ายกำลังงานรีแอกทีฟเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้ แต่กำลังงานที่ทำให้เกิดงานต้องไหลเข้ามอเตอร์เสมอ ดังนั้นมันจึงมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เป็นแบบนำหน้าได้

2.1.6.3 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

เมื่อกำลังงานรีแอกทีฟในวงจรไฟฟ้าถูกทำให้ลดลง กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรจะมีค่าลดลงด้วย ถ้าส่วนของกำลังงานที่ทำให้เกิดงานไม่เปลี่ยนแปลงแล้วค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในวงจรจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อกำลังงานรีแอกทีฟมีค่าเป็นศูนย์ ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะเป็น 1 หรือ 100% วิธีคำนวณหาค่าคาปาซิเตอร์จากรูปที่ 2.1 จะได้ความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

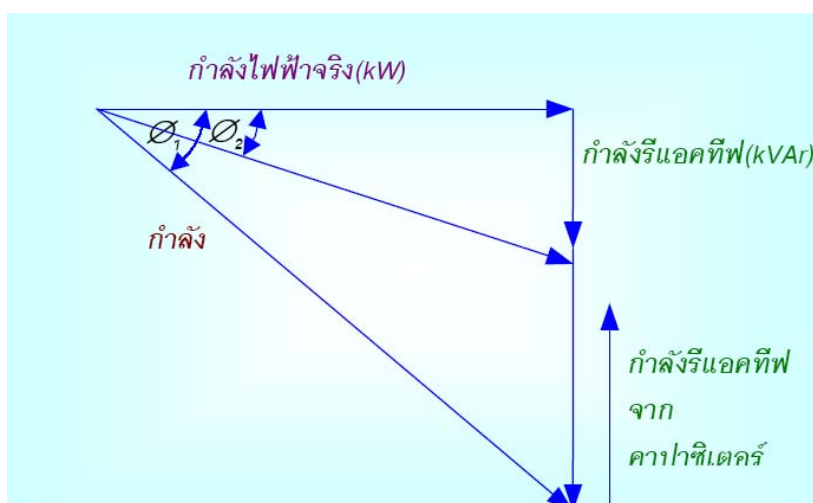
$$\cos \theta = \frac{\text{Active power}}{\text{Apparent power}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \quad (2.11)$$

$$\tan \theta = \frac{\text{Reactive power}}{\text{Active power}} = \frac{\text{kVAR}}{\text{kW}} \quad (2.12)$$

$$\sin \theta = \frac{\text{Reactive power}}{\text{Apparent power}} = \frac{\text{kVAR}}{\text{kVA}} \quad (2.13)$$

ตามปกติแล้วถ้าโหลดไม่เปลี่ยนแปลง ค่ากำลังงานที่ทำให้เกิดงาน (Active power) จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่ากำลังงานปรากฏและกำลังงานรีแอกทีฟจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ดังนั้นสมการที่ใช้ในการคำนวณจะจัดให้อยู่ในรูปของกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน คือ

$$\begin{aligned}\text{กำลังงานรีแอกทีฟ} &= \text{กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน} \times \tan \theta \\ \text{kVAR} &= \text{kW} \times \tan \theta\end{aligned}\quad (2.14)$$



ภาพประกอบ 4 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังงานส่วนต่างๆ ทั้งก่อนและหลังปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

คำนวณหาขนาดของคัปเปเตอร์ที่ต้องใช้ในการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะหาได้ดังนี้

$$\text{กำลังงานรีแอกทีฟที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เดิม} = \text{kW} \times \tan \theta_1 \quad (2.15)$$

$$\text{กำลังงานรีแอกทีฟที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่} = \text{kW} \times \tan \theta_2 \quad (2.16)$$

เมื่อ θ_1 เป็นมุมของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เดิม

θ_2 เป็นมุมของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใหม่

ดังนั้นขนาดของคะแปซิเตอร์ที่ต้องใช้เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ คือ

กำลังงานรีแอกทีฟของตัวคะแปซิเตอร์ = กำลังงานที่ทำให้เกิดงาน $\times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$

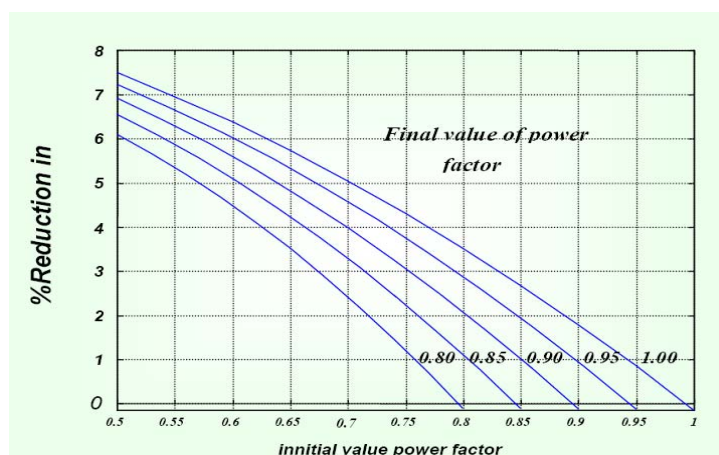
$$kVAR = kW \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (2.17)$$

$$kVAR = kW \times \tan \theta \quad (2.18)$$

ประโยชน์ของการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

1. ระบบไฟฟ้าสามารถรับโหลดได้มากขึ้น (Release of System Capacity) เมื่อปรับปรุงให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์มีค่าสูงขึ้น กระแสที่ไหลอยู่ในระบบระหว่างแหล่งจ่ายไฟกับจุดที่มีการปรับปรุงจะมีค่าลดลง ทำให้สามารถเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบได้โดยไม่ทำให้ระบบรับโหลดเกิดพิบัติอุปกรณ์ต่างๆ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า สายเคเบิล และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดขนาดพิกติได้ด้วยค่ากำลังงานปรากฏ (kVA) แต่ตามปกติแล้วเครื่องจักรต้นกำลัง (Prime Mover) ที่ใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องมีขนาดพิกติของกำลังงานที่ทำให้เกิดงาน (kW) เท่ากับหรือมากกว่ากำลังงานปรากฏของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงจะสามารถทำงานอยู่ได้ ดังนั้นในการทำให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบสูงขึ้นจะทำให้เครื่องจักรต้นกำลังใช้กำลังงานน้อยลง หรือสามารถรับโหลดได้มากขึ้น

2. ลดกำลังงานสูญเสียในสายเคเบิล



ภาพประกอบ 5 การลดลงของกำลังงานสูญเสียในสายเคเบิลเมื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์(3)

3. ลดแรงดันตกและเพิ่มความสามารถของสายส่งในการส่งกำลังงานไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้าโดยทั่วไป ที่ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีคุณสมบัติซึ่งแทนได้ด้วยความต้านทานต่ออนุกรมอยู่กับความเหนี่ยวนำ (Inductance) โดยปกติมีค่าประมาณ 0.4 ถึง 0.9 $\mu\text{H}/\text{m}$ แรงดันตกในสายส่งดังกล่าว เมื่อมีกระแสที่มุมเฟส θ ไหลผ่านจะประมาณได้อย่างหยาบๆ ดังนี้

$$V = I (R \cos \theta + \omega L \sin \theta) \quad (2.19)$$

สำหรับวงจรสายส่ง 3 เฟส เมื่อกำหนดให้แรงดันตกสูงสุดมีค่าไม่เกิน $n\%$ จะได้แรงดันตกสูงสุดมีค่า $V = nV / \sqrt{3}$ และกำลังงานสูงสุดที่สายส่งสามารถส่งได้มีค่าดังนี้

$$I = \frac{V}{(R \cos \theta + \omega L \sin \theta)} = \frac{nV}{3 (R \cos \theta + \omega L \sin \theta)} \quad (2.20)$$

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta \quad (2.21)$$

$$P = \frac{nV}{(R + \omega L \tan \theta)} \quad (2.22)$$

ในทางปฏิบัติ n จะมีค่าประมาณ 5 ถึง 10%

4. ลดกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงกำลังงานสูญเสียในหม้อแปลงแบ่งออกได้เป็นสองส่วนด้วยกันคือ กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็ก และกำลังงานสูญเสียในขดลวด กำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กประมาณเท่ากับกำลังงานที่หม้อแปลงดึงจากแหล่งจ่ายไฟตอนไม่มีโหลด ส่วนกำลังงานสูญเสียในขดลวดจะแปรโดยตรงกับค่ากระแสไหลดยกกำลังสอง จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ดังนั้นกำลังงานสูญเสียในขดลวดที่โหลดค่าใดๆ จะแปรตามกำลังงานปรากฏยกกำลังสอง กำลังงานสูญเสียรวมทั้งหมดในหม้อแปลงจะเท่ากับผลรวมของกำลังงานสูญเสียในแกนเหล็กกับกำลังงานสูญเสียในขดลวดที่โหลดค่าใดๆ

5. ลดค่าไฟฟ้า เมื่อค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงขึ้น ก็มีผลทำให้กระแสที่ไหลในวงจรลดลง กำลังงานสูญเสียในระบบไฟฟ้าก็ลดลง อุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าในโรงงานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก็ลดเช่นกันด้วย

2.1.6.4 ระบบแสงสว่าง

หลักการสำคัญของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่าง มีดังต่อไปนี้

ก) การทำความเข้าใจกับพื้นที่ที่จะใช้แสงสว่าง การทำความเข้าใจกับพื้นที่งานที่จะใช้แสงสว่างคือ การศึกษาถึงประเภทหรือชนิดของงานที่จะกระทำในพื้นที่นั้นๆ ว่าเป็นงานชนิดใด ต้องการระดับความสว่างสูงต่ำมากน้อยเพียงใด ในขณะที่เดียวกันก็พิจารณาหรือเลือกสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมให้กับพื้นที่นั้น ๆ ด้วย เช่น การใช้สีทาที่ฝาผนังเพดานและ พื้นควรเลือกใช้สีที่ส่งผลในการส่องสว่างสูง เป็นต้น ในกรณีที่ภายในห้องที่มีค่าความสว่างเท่ากัน ห้องที่มีฝ้าสว่างกับฝ้ามือจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 20% และถ้าเป็นห้องขนาดใหญ่ที่มีฝ้าสว่าง กับห้องที่มีฝ้ามือ จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 30% สำหรับการให้ความสว่างที่ค่าเท่ากัน

ข) การออกแบบระบบแสงสว่างให้เหมาะสมกับงานแต่ละประเภท ระบบไฟฟ้าแสงสว่างต้องได้รับการออกแบบและติดตั้ง เพื่อให้การประกอบกิจกรรมต่างๆ ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้สภาพแวดล้อมทั่วไปของการมองเห็นมีความปลอดภัย วิธีการให้แสงสว่างที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญของการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

- ข.1 การให้แสงสว่างแบบมีความสว่างเกือบเท่ากันตลอดพื้นที่ (General Lighting)
- ข.2 การให้แสงสว่างเฉพาะพื้นที่ (Localised General Highlight)
- ข.3 การให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่ง (Local lighting)

ค) มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบแสงสว่างจะมีหลายวิธี แต่จะมีแนวทางในการปรับปรุงอยู่เพียง 3 แนวทางใหญ่ๆ คือ

- ค.1 การใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ
- ค.2 การจัดการระบบแสงสว่างให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- ค.3 การเลือกใช้หลอดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประหยัดพลังงานประเภทต่างๆ

2.1.6.5 บัลลัสต์

บัลลัสต์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปิดติดและควบคุมไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เหมาะสม ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ชนิดหลักๆ คือ

ก) บัลลัสต์ชนิดลวดแกนเหล็กแบบธรรมดา บัลลัสต์ชนิดนี้เป็นบัลลัสต์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำซึ่งเป็นส่วนหน้าของวงจรสตาร์ทสำหรับหลอดไฟฟ้า เมื่อเริ่มป้อนไฟฟ้าให้กับวงจร ตัวสวิตช์ Bimetal ในสตาร์ทเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งปิดเมื่อกระแสไหลผ่านไส้หลอดโดยผ่านทางสวิตช์ Bimetal ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดปล่อยไอออนเข้าสู่หลอด ในที่สุดเมื่อสวิตช์ Bimetal ร้อนมากขึ้นและเปิดวงจรตัวเหนี่ยวนำจะพยายามที่จะรักษาระดับของกระแสไฟฟ้าที่ไหลและ กำเนิดแรงดันสูงตกคร่อมหลอดและ

ผลจากการที่มีไอออนออกมาอย่างต่อเนื่องหลอดก็จะ Strike ทันทีที่เกิดการ Discharge ขึ้นซึ่งตามธรรมชาติของหลอดที่พันรอบแกนเหล็ก เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า แกนเหล็กจะเกิดการอิมิตัวทำให้มีกำลังสูญเสียขึ้น เรียกว่า Ballast Loss บัลลัสต์ชนิดหลอดสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นแบบ Induction (ค่า Power factor ของบัลลัสต์ชนิดนี้มีค่าประมาณ 0.5) โดยบัลลัสต์ชนิดนี้จะมีพลังงานสูญเสียประมาณ 10-14 วัตต์

ข) บัลลัสต์หลอดแกนเหล็กแบบประสิทธิภาพสูง หรือบัลลัสต์โลว์ลอส (Low Loss Ballast) เป็นบัลลัสต์ที่พัฒนาโดยใช้แกนเหล็กและหลอดที่มีคุณภาพดี มีความต้านทานของหลอดน้อยลง ทำให้เกิดกำลังสูญเสียของหลอดและกำลังสูญเสียจากการอิมิตัวของแกนเหล็กน้อยลง ซึ่งการสูญเสียพลังงานโดยรวมจะลดลงเหลือ 5-6 วัตต์ต่อตัว

ค) บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Ballast) เป็นบัลลัสต์ที่ทำด้วยชุดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานน้อยประมาณ 1-2 วัตต์ สามารถขับเคลื่อนหลอดฟลูออเรสเซนต์ได้ตั้งแต่ 1-4 หลอด

ตาราง 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของบัลลัสต์หลอดแกนเหล็กแบบธรรมดา บัลลัสต์โลว์ลอส และบัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ โดยทดสอบกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์

หลอดไฟที่ใช้แล้ว	บัลลัสต์ธรรมดา	บัลลัสต์โลว์ลอส	บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์
Lamp Consumption	36 W	36 W	32 W
Ballast Loss	10 W	6 W	4 W
System Consumption	46 W	42 W	36 W
Comparison Index	100%	91%	78%
อายุการใช้งาน	15	15	7

อย่างไรก็ตาม มาตรฐาน IEC 929 แนะนำให้บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์ควรมีความถี่ไม่ต่ำกว่า 25 kHz เพื่อป้องกันการรบกวนของความถี่เสียง และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยสามารถเปิดติดทันที ไม่กระพริบ ไม่ต้องใช้สตาร์ทเตอร์ ทำให้อายุการใช้งานของหลอดนานขึ้น 2 เท่าของหลอดที่เข้าร่วมกับบัลลัสต์แกนเหล็กธรรมดา นอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าบัลลัสต์แบบธรรมดา 30-50% ทั้งนี้ บัลลัสต์อิเล็กทรอนิกส์มีการสูญเสียพลังงานน้อย

กว่าการใช้บัลลาสต์แบบขดลวดแกนเหล็กธรรมดาที่ต่อกับหลอดไฟ ประมาณ 11 วัตต์ต่อหลอด โดยหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์กับบัลลาสต์ชนิดแกนเหล็กแบบธรรมดา 10 วัตต์ จะใช้พลังงาน 46 วัตต์ หากเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะใช้พลังงานเพียง 35 วัตต์ นอกจากนี้ยังประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศ เพราะมีความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่างเกิดขึ้นน้อยอีกด้วย ทั้งนี้การเปรียบเทียบคุณสมบัติของบัลลาสต์ทั้ง 3 ชนิด แสดงดังตาราง 3

2.1.6.6 หม้อแปลงไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นต้องทราบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียที่หม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อใช้ในการพิจารณาแนวทางการประหยัดพลังงาน

ก) การสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้า เกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ

ก.1 การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss หรือ Iron Loss)

ก.2 การสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดทองแดง (Copper Loss)

การสูญเสียในแกนเหล็กจะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่มีกระแสไฟฟ้าเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ (Primary) การสูญเสียในแกนเหล็กจะแปรผันตามกำลังสองของแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ (Primary Voltage) ส่วนการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดทองแดงจะเกิดขึ้นเฉพาะช่วงเวลาที่มีการไหลของไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงไฟฟ้า และการสูญเสียเนื่องจากความต้านทานของขดลวดทองแดงจะแปรผันตามกำลังสองของกระแสทางด้านทุติยภูมิ (Secondary Current)

ข) การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของสายส่งและชนิดของสายไฟฟ้าที่เลือกใช้

2.1.6.5 มอเตอร์

มอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยชนิดของมอเตอร์ ซึ่งนิยมใช้มีดังต่อไปนี้

- มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel cage induction motor) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันทั่วไป เนื่องจากผลิตง่าย การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก และมีจำหน่ายทั่วไป แต่เนื่องจากความต้องการกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทจะเป็นหลายเท่าของขณะใช้งานปกติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกวิธีการสตาร์ทอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อติดตั้งมอเตอร์กำลังงานสูงโดยใช้พลังงานจากแหล่งซึ่ง

มีกระแสไฟฟ้าจำกัด วิธีการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า (Star-delta) จะใช้กับมอเตอร์ที่ให้กำลังงานต่ำ สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ การลดความต้องการกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทมักจะทำโดยใช้ Starting Compensator (Auto transformer) และ Starting Reactor การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์แบบนี้ ทำโดยการควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้า

- มอเตอร์เหนี่ยวนำโดยโรเตอร์ขดลวด (Wound rotor induction motor) เป็นชนิดที่ใช้กับไฟฟ้าแรงสูง เพื่อที่จะลดความต้องการกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทลงมาให้เหลือใกล้เคียงกับความต้องการปกติในขณะเดียวกันก็ให้แรงบิดที่มากพอเมื่อสตาร์ท การปรับความเร็วรอบทำได้โดยการใช้ตัวต้านทานทุติยภูมิ (Secondary resistors) แบบต่อเนื่อง

- มอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับการติดตั้งขนาดใหญ่ ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของมันจะมีความสำคัญเป็นอันดับแรก ค่าพาวเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor) ของมอเตอร์แบบนี้สามารถที่จะควบคุมให้อยู่ในระดับ 1.0 ได้ตลอดช่วงการทำงาน อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดนี้ต้องการอุปกรณ์พิเศษเพื่อปรับให้เป็นความเร็วซิงโครนัสเมื่อสตาร์ท

การพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงประหยัดพลังงานและมีอายุการใช้งานนาน ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

- เลือกขนาดและชนิดของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับงาน
- ใช้มอเตอร์ที่มีขนาดพิกัดเหมาะสมกับโหลด เพราะการใช้มอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้มอเตอร์ทำงานที่โหลดต่ำ ซึ่งเป็นสภาวะการทำงานที่ไม่ดี โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพของมอเตอร์จะมีค่าสูงสุดที่โหลดประมาณ 80 – 100% ของขนาดพิกัดของมอเตอร์
- ถ้ามอเตอร์มีขนาดใหญ่ทำงานเป็นเวลานานๆ ควรติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor) ที่มีขนาดเหมาะสม เพื่อช่วยลดกำลังงานที่สูญเสียในระบบไฟฟ้า
- กำจัดการะว่าง (Idle running) คือ พยายามเดินมอเตอร์ที่โหลดสูงๆ จำนวนน้อยเครื่อง
- หลีกเลี่ยงการเดินมอเตอร์ตัวเปล่า เพราะขณะที่มอเตอร์เดินตัวเปล่าไม่มีโหลด กำลังงานที่มอเตอร์ดึงเข้าไปจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกำลังงานสูญเสียทั้งหมด
- แก้พาวเวอร์แฟกเตอร์ให้สูงขึ้น
- ลดภาระทางกล ทำได้โดยทำการซ่อมเครื่องที่ชำรุด หยุดการเดินเครื่องที่ไม่จำเป็น ปรับการทำงานให้เหมาะสมกับโหลด โดยการลดขนาดเครื่องสูบน้ำ แต่งใบพัด ปรับรอบมอเตอร์ เป็นต้น ทำการตรวจซ่อมน้ำมันรั่วไหล กำจัดการหยีวาล์ว

ซ. การระบายความร้อนของมอเตอร์ต้องดี เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้อายุขณวนสั้นลง

ฌ. ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์อย่างเหมาะสม

ญ. ทำการบำรุงรักษาเครื่องอย่างสม่ำเสมอ ตรวจสอบว่ามีกระแสไฟฟ้ารั่วหรือไม่ เพื่อความปลอดภัยและประหยัดพลังงาน นอกจากนี้ควรป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปที่ขดลวดของมอเตอร์ได้

2.1.7 อัตราผลตอบแทนการลงทุน

การประเมินผลตอบแทนการลงทุน สำหรับงานวิจัยนี้จะอยู่ในรูปของระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และอัตราผลตอบแทนทางการเงิน (Financial Internal Rate of Ratio, FIRR) ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Ratio, IRR) หรืออัตราการปรับลด (Discount Rate, i) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present value) ของกระแสเงินในยอดรายรับเท่ากับรายจ่ายเมื่อสิ้นสุดโครงการ⁽²⁾ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนทั้งหมด}}{\text{ผลตอบแทนสุทธิต่อปี}} \quad (2.23)$$

$$\text{IRR} = \sum_{t=1}^T \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (2.24)$$

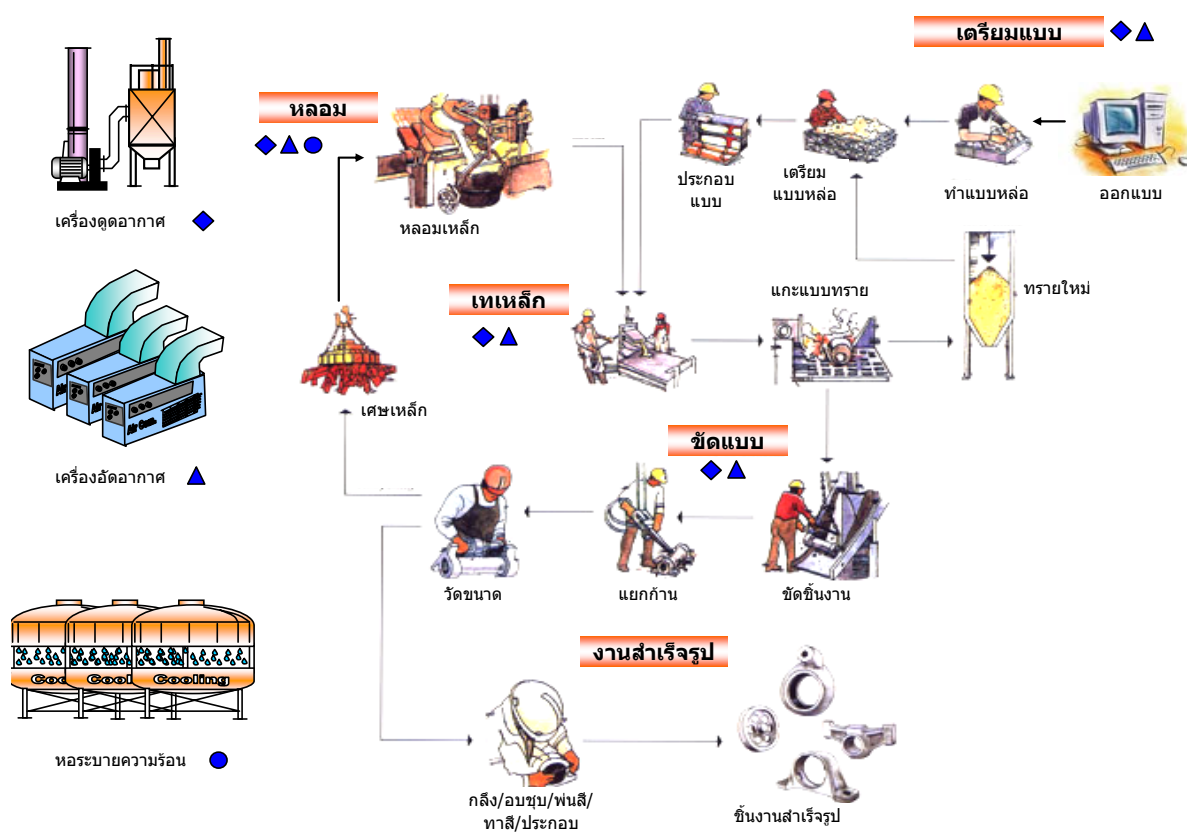
เมื่อ	F_t	คือ	ผลตอบแทนสุทธิที่ปี t (บาท)
	i	คือ	อัตราดอกเบี้ย (%)
	T	คือ	ระยะเวลาของโครงการหรืออายุของอุปกรณ์ (ปี)

2.2 การศึกษากระบวนการผลิตอุตสาหกรรมหล่อโลหะ

ผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่เป็นประเภทผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนโลหะได้แก่ ชิ้นส่วนเครื่องจักร เครื่องยนต์ ส่วนประกอบอะไหล่รถยนต์และข้อต่อต่างๆ ฯลฯ กระบวนการผลิตที่สำคัญประกอบด้วย

1. เตรียมวัตถุดิบ ทำความสะอาดและจัดให้ส่วนผสมวัตถุดิบที่ได้สัดส่วนที่ต้องการ เช่น อัตราส่วนเศษโลหะ (Scrap) และโลหะแท่ง (Billet) ที่ใช้ หรือใช้เหล็ก ทองเหลือง โลหะผสม (Alloys) เป็นต้น ในขณะเดียวกันได้เตรียมทำแบบหล่อไว้ด้วย

2. การหลอมโลหะในเตาหลอมหลัก
3. การถ่ายโลหะเหลวลงในเตาอุ่น (Holding Furnace) และปรับส่วนผสมตามต้องการ
4. การเทโลหะลงในแบบหล่อ
5. การเคาะขึ้นชิ้นส่วนโลหะออกจากแบบ
6. การทำความสะอาด
7. การตัดแต่งชิ้นส่วน
8. การตรวจสอบคุณภาพ
9. ชุบผิวโลหะหรือชุบสีตามต้องการ
10. การบรรจุหีบห่อพร้อมขาย



ภาพประกอบ 6 แสดงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์จากการหล่อโลหะ



ภาพประกอบ 7 แสดงกระบวนการไหลของการหล่อโลหะ

จากการศึกษากระบวนการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะทำให้ทราบถึงการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นสัดส่วนได้ดังนี้

1. การใช้พลังงานในกระบวนการหลอมโลหะ
2. การใช้พลังงานในกระบวนการเตรียมแบบทราย
3. การใช้พลังงานในระบบระบายความร้อน
4. การใช้พลังงานในระบบเครื่องอัดอากาศ
5. การใช้พลังงานในระบบดูดอากาศ
6. การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและแสงสว่าง
7. อื่นๆ

2.2.1 รูปภาพเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต



ภาพประกอบ 8 แสดงเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnaces) ในการหลอมโลหะ



ภาพประกอบ 9 แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการทำแบบหล่อ (Molding)



ภาพประกอบ 10 แสดงเครื่องดูดอากาศที่ใช้กับเครื่องทำแบบหล่อ(ซ้าย) และเตาหลอมเหล็ก(ขวา)



ภาพประกอบ 11 แสดงหอระบายความร้อนที่ใช้ในระบบเตาหลอมโลหะ



ภาพประกอบ 12 แสดงเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในกระบวนการผลิตภายในโรงงาน

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน⁽¹⁾ คู่มือชุดความรู้การอนุรักษ์พลังงาน สำหรับอุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ และพลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานกว่าร้อยละ 80 จะใช้ในกระบวนการผลิต และอีกไม่เกินร้อยละ 20 จะใช้กับระบบสาธารณูปโภค มาตรการสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน ไฟฟ้า เช่น การลดปริมาณพลังงาน ไฟฟ้า โดยลดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด การแก้ไขตัว ประกอบกำลังไฟฟ้า การอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบหล่อเย็นโดยการบำรุงรักษา และปรับแผนการ เดินเครื่อง การอนุรักษ์พลังงานในระบบขับเคลื่อนโดยใช้มอเตอร์ โดย ติดตั้งระบบ Soft starter ช่วย ปิด-เปิดได้บ่อยขึ้นโดยไม่ทำให้มอเตอร์เสียหาย หรือติดตั้งระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์สำหรับ มอเตอร์ที่ทำงานโหลดต่ำและทำงานโหลดสูงเป็นครั้งคราว ติดตั้งตัวเก็บประจุเพื่อแก้ไขค่าประกอบ กำลังไฟฟ้า เลือกใช้หรือเปลี่ยนมอเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับงาน การอนุรักษ์พลังงานในระบบอัด อากาศ ปรับปรุงระบบส่ง-จ่ายอากาศอัดให้สาขาต่างๆ มีลักษณะสมดุลหรือโหลดใกล้เคียงกัน ปรับปรุงระบบท่อส่งให้มีขนาดท่อใกล้เคียงกัน และลดตำแหน่งที่มีข้อต่อหรือท่อที่คดงอมาก พิจารณา

ลดแรงดันอากาศอัดให้เหมาะสมกับการใช้งาน ติดตั้งระบบควบคุมการเดินเครื่องอัตโนมัติ การอนุรักษ์พลังงานในระบบเตาหลอมเหล็ก เพิ่มการหุ้มฉนวนฝาและผิวเตาหลอม อุดช่องรั่วไอร้อน เปลี่ยนอิฐทนไฟ เมื่อชำรุดมาก ติดตั้งระบบควบคุมการทำงานเตาหลอมแบบอัตโนมัติ ปรับแผนการผลิตให้ต่อเนื่อง เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการอุ่นเตา

ศิริศักดิ์ กิตติสารกุล(5) ศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตอะไหล่รถยนต์โดยทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงาน การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรที่สำคัญและวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อปรับปรุงการใช้พลังงานในโรงงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การวิเคราะห์สภาพทั่วไปจะพิจารณาจากค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่า 0.692 สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ 3 เฟส และ 0.711 สำหรับระบบแรงดัน 220 โวลต์ 3 เฟส สำหรับการวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรที่สำคัญ แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ เตาหลอมโลหะไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ และเตาอบชุบไฟฟ้าสำหรับผลการวิเคราะห์พบว่าเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 27 มีประสิทธิภาพตามกฎข้อที่ 2 ร้อยละ 19 และเตาอบชุบไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนร้อยละ 13 และได้มีการเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานให้มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังให้เป็น 0.95 จะมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 25 ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 11 เดือน ได้มีการเสนอแนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนเตาหลอมโลหะไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำจากระบบความถี่ต่ำเป็นระบบความถี่สูง และเตาอบชุบไฟฟ้าได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนผนังเตาจากอิฐทนไฟเป็นใยหิน ซึ่งมีอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 144 ต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน

อมรรัตน์ แก้วประดับ(7) ได้ศึกษาหาแนวทางการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะ โดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานจากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานพบว่ามียุทธศาสตร์การใช้พลังงานใน 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ ระบบแสงสว่าง(lighting system) 3.36 %ระบบปรับอากาศ(air-conditioning system) 14.41% กระบวนการผลิต(process) 81.74% และอื่นๆ 0.48% พบว่าการใช้พลังงานสูงมากในกระบวนการผลิต ส่วนที่สองเป็นการใช้พลังงานความร้อนจากเตาหลอม จากการศึกษาและวิเคราะห์สมดุลพลังงานในเตาหลอม สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาหลอมได้เท่ากับ 25.46% จากผลการสำรวจการใช้พลังงานในโรงงานพบว่าสามารถวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ได้จากการใช้พลังงานในอดีตมีค่าเฉลี่ย 38.97 GJ/Tonอลูมิเนียมซึ่งเป็นช่วงก่อนทำการศึกษา

สำหรับในช่วงทำการศึกษา พบว่ามีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ย 31.61 GJ/Ton อลูมิเนียม ซึ่งเป็นช่วงที่มีการแนะนำให้ดำเนินการด้านประหยัดพลังงานและทางโรงงานได้ดำเนินการแล้วบางส่วน จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานพบว่า มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนดังนี้ แนวทางการจัดการและประหยัดพลังงานที่ไม่ต้องลงทุนได้แก่ แนวทางการย้ายสถานที่ตั้งเครื่องอัดอากาศสามารถประหยัดพลังงานได้ 2,349 kWh/ปี (5,684.58 บาทต่อปี) แนวทางการลดแรงดันอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ สามารถประหยัดพลังงานได้ 3,780 kWh/ปี (9,147.60 บาทต่อปี) แนวทางการปรับความตึงสายพานมอเตอร์ในเครื่องอัดอากาศ สามารถประหยัดพลังงานได้ 2,502.58 kWh/ปี (6,056.23 บาทต่อปี) แนวทางการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด สามารถประหยัดพลังงานได้ 95 kW/ปี (18,644.70 บาทต่อปี) ส่วนแนวทางการจัดการและประหยัดพลังงานที่มีการลงทุนได้แก่ แนวทางการนำความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์ สามารถประหยัดน้ำมันเตาเกรด C ได้ 923.74 ลิตรต่อปี (4,849.62 บาทต่อปี) โดยใช้เงินลงทุน 10,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 2.06 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 26.83 แนวทางการใช้บัลลาสต์ชนิดหลอดชนิดที่มีการสูญเสียต่ำ (Low Loss Ballast) สามารถประหยัดพลังงานได้ 1,944 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ 4,704.48 บาทต่อปี โดยลงทุน 6,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 1.28 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 86.42 แนวทางการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ สามารถประหยัดพลังงานได้ 6,832.63 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ 16,534.97 บาทต่อปี โดยลงทุน 2,500 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 0.15 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 591.16 แนวทางการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ สามารถประหยัดพลังงานได้ 568.29 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ 1,375.25 บาทต่อปี โดยลงทุนติดตั้งคาปาซิเตอร์ 12,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 8.73 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 12.53

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงาน

คือการศึกษการใช้พลังงานภายในโรงงานตัวอย่าง ซึ่งจะเป็นการสำรวจการใช้พลังงานแต่ละพื้นที่หน่วยงานการผลิต ตรวจสอบการติดตั้งเครื่องจักรอุปกรณ์ตามผังของโรงงานเพื่อศึกษการใช้พลังงานแต่ละพื้นที่การผลิต

3.2 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต

การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานและผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิต เช่น ทำการรวบรวมใบเสร็จไฟฟ้า และใบเสร็จค่าก๊าซธรรมชาติ ใบรายงานผลการผลิตประจำเดือน/ประจำปี ที่แสดงในช่วงระยะ 1 ปีที่ผ่านมา การใช้พลังงานอาจมีการตรวจวัดเพิ่มเติมเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานที่ไม่สามารถหาข้อมูลได้ การเก็บรวบรวมข้อมูลอาจแยกเป็นกลุ่มอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้

- 3.2.1 เตาหลอมโลหะ
- 3.2.2 เครื่องปั้นแบบ
- 3.2.3 ระบบน้ำหล่อเย็น
- 3.2.4 ระบบดูดอากาศ
- 3.2.5 ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง
- 3.2.6 อื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวข้างต้น

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน

คำนวณหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ต่อผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบที่ใช้ ณ เวลาเดียวกัน เช่น ชั่วโมง วัน เดือน ปี เป็นต้น โดยค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้ จะใช้เป็นค่าตั้งต้นการใช้พลังงานก่อนมีมาตรการเข้ามาปรับปรุง

3.4 วิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางการจัดการเกี่ยวกับการประหยัดพลังงาน

แนวทางการประหยัดพลังงานในโรงงานตัวอย่าง แบ่งได้ตามระบบต่างๆ ดังนี้

ระบบไฟฟ้า ได้แก่ การลดเวลาในการหลอมเหล็ก

การปรับตั้งความตึงสายพาน
 การปรับลดแรงดันลมให้เหมาะสมกับความต้องการ
 หม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่ การปรับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม
 การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

3.5 การประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน สำหรับมาตรการที่เสนอแนะนั้น จะใช้อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Financial Internal Rate of Return, FIRR) และระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ

3.6 วิเคราะห์หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อศักยภาพการประหยัดพลังงาน

หลังจากหามาตรการการประหยัดพลังงานให้กับโรงงานแล้ว คำนวณหาค่าการใช้พลังงานที่สามารถประหยัดได้ และคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะหลังจากมีมาตรการประหยัดพลังงาน เพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่เหมาะสมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ

3.7 สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ

สรุปผลการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง รวมถึงเสนอแนะแนวทางเพื่อการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้

บทที่ 4

การนำเสนอผลของข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาโรงงานที่ 1

4.1.1 สภาพทั่วไปของโรงงาน

ที่ตั้งอาคาร 700/89 หมู่ 1 ตำบลบ้านเก่า อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี 20160

ก่อตั้ง ปี 2001

กำลังการผลิต 55,000 ตัน/ปี ชิ้นงานหล่อ

เนื้อที่โรงงาน 97,000 ตารางเมตร

ทุนจดทะเบียน 475 ล้านบาท

จำนวนพนักงาน 827 คน

ประเภทอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน

4.1.2 อุปกรณ์และเครื่องจักรหลักในการผลิตโรงงานที่ 1

โรงงานประกอบด้วย 2 line การผลิตหลัก คือ Line B1 และ Line B2 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1.เตาหลอม ชนิดเตาหลอมที่ใช้ในโรงงาน เป็นเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnaces) ประกอบไปด้วยเตาสำหรับหลอมเหล็กและเตาสำหรับอุ่นเหล็กก่อนเทลงแบบหล่อ

- เตาหลอมเหล็กขนาด 8 ตัน จำนวน 2 เตา

- เตาหลอมเหล็กขนาด 6 ตัน จำนวน 3 เตา

- เตาอุ่นเหล็กขนาด 8 ตัน จำนวน 1 เตา

- เตาอุ่นเหล็กขนาด 6 ตัน จำนวน 1 เตา

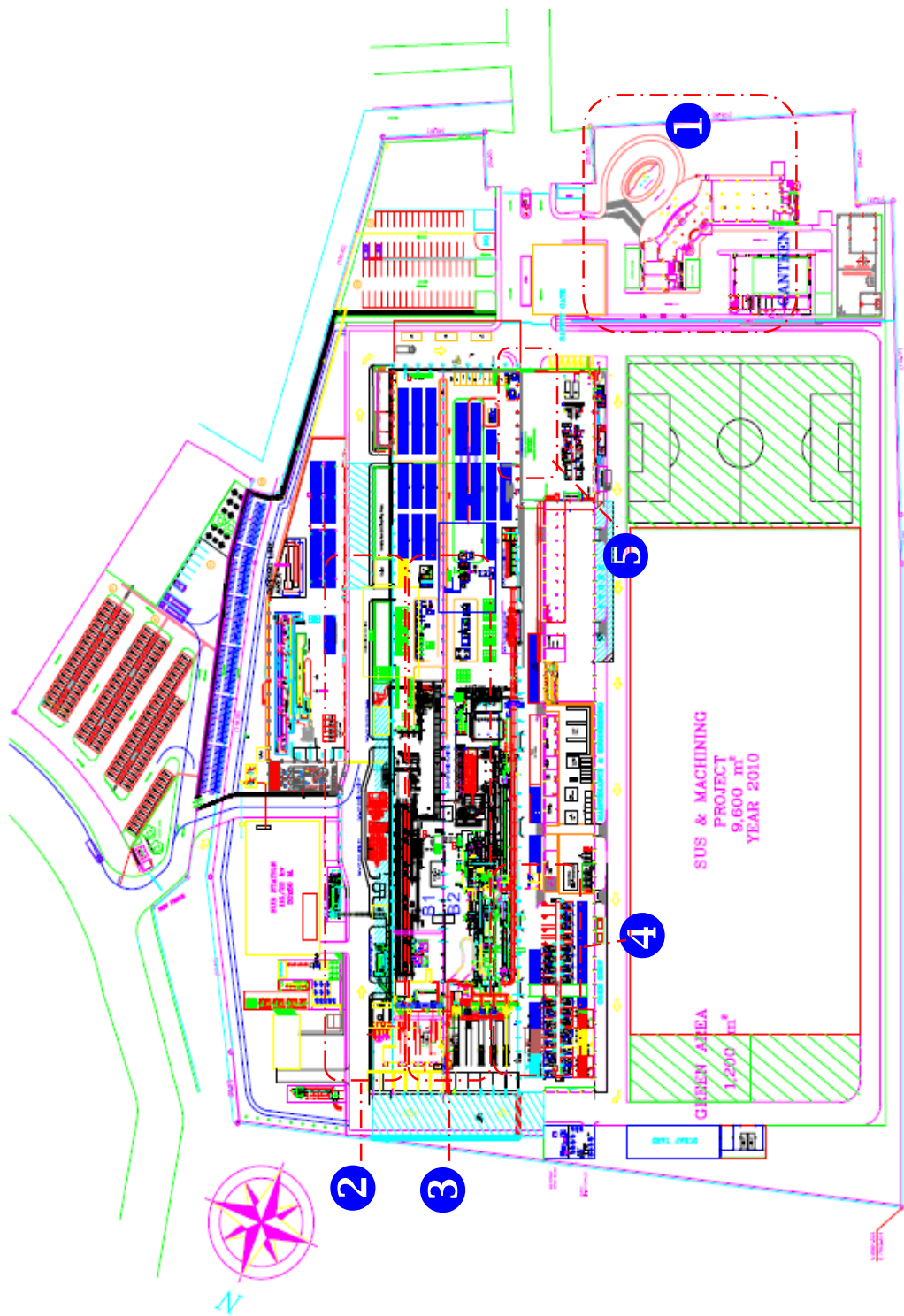
2. เครื่องปั้นแบบ จำนวน 2 เครื่อง

3. หอระบายความร้อน (Cooling system) จำนวน 7 เครื่อง

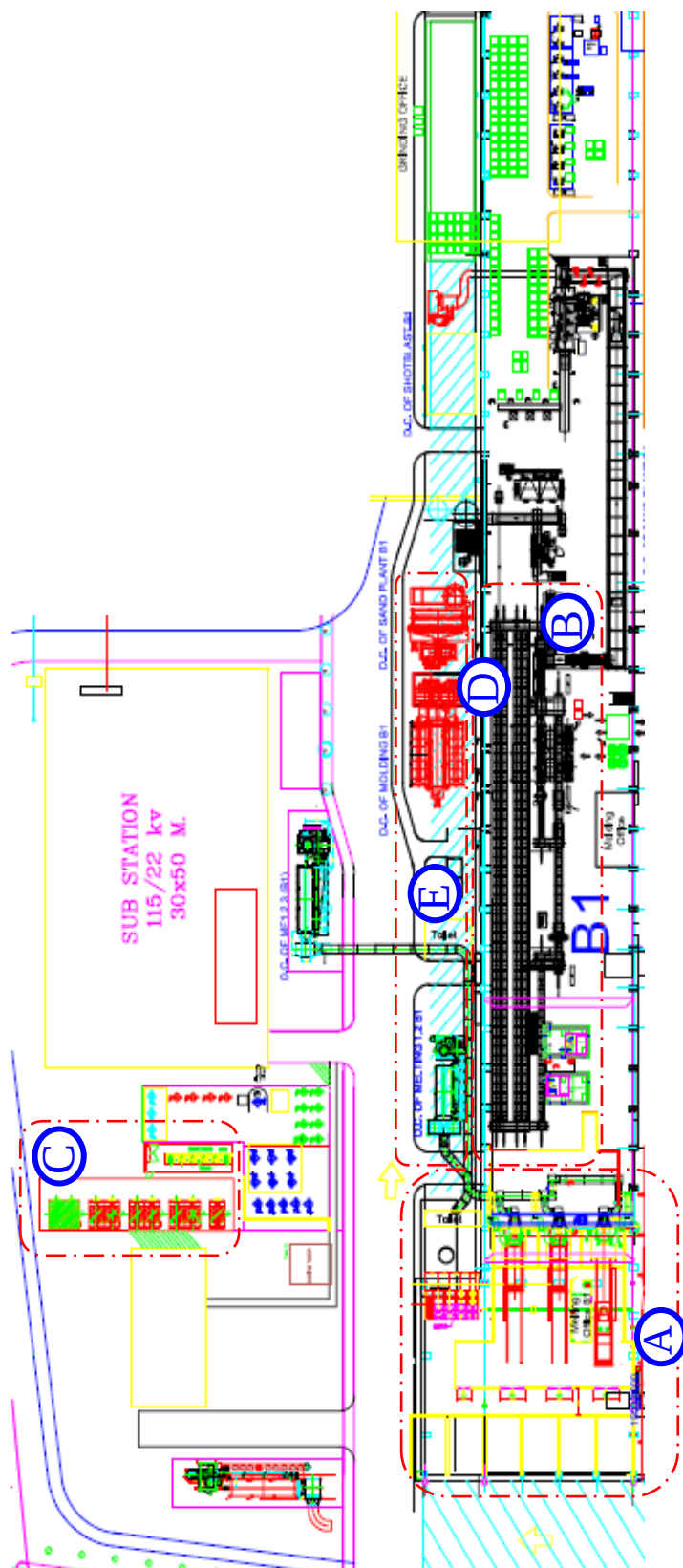
4. เครื่องปั๊มลม จำนวน 5 เครื่อง

5. เครื่องสำหรับดูดควันและฝุ่น จำนวน 4 เครื่อง

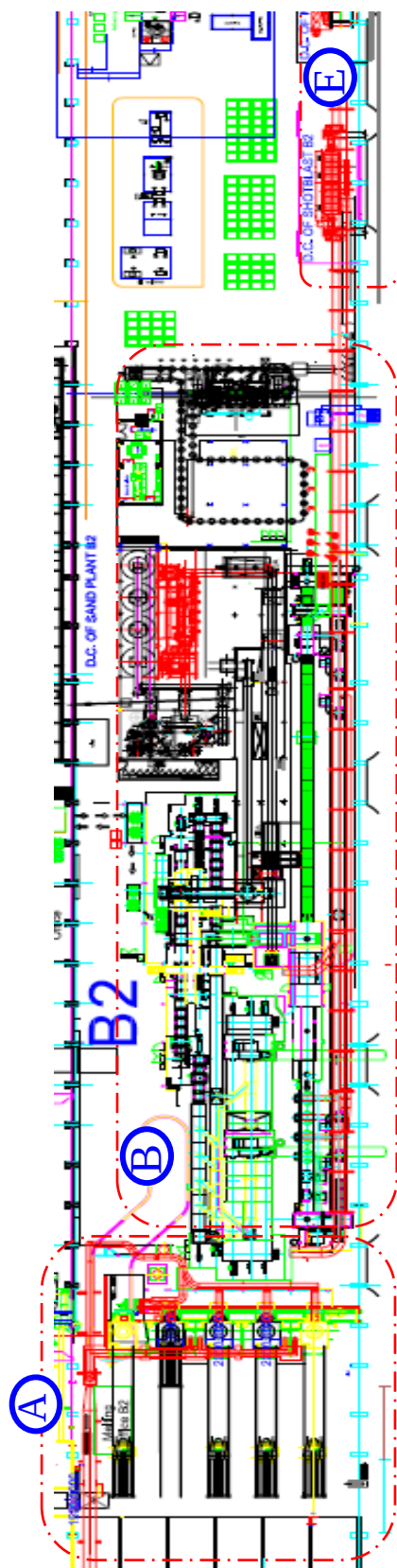
4.1.3 แผนผังโรงงานที่ 1



ภาพประกอบ 13 แผนผังโรงงานที่ 1 (1. Office, 2. Line B1, 3. Line B2, 4. Shell Core, 5. Exhaust pipe)



ภาพประกอบ 14 แผนผัง Line ผลิต B1 (A = Furnance, B = Molding line, C = Cooling system, D = Aircom, E = Dust collector)



ภาพประกอบ 15 แผนผัง Line ผลิต B2 (A = Furnance, B = Molding line, C = Cooling system, D = Aircom, E = Dust collector)

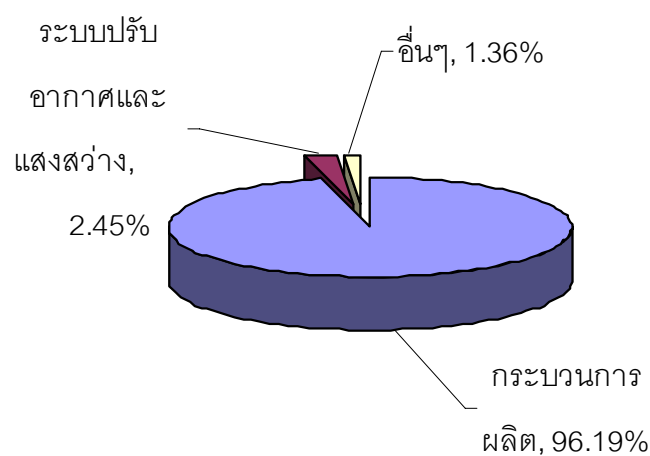
4.1.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานที่ 1

4.1.4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้า

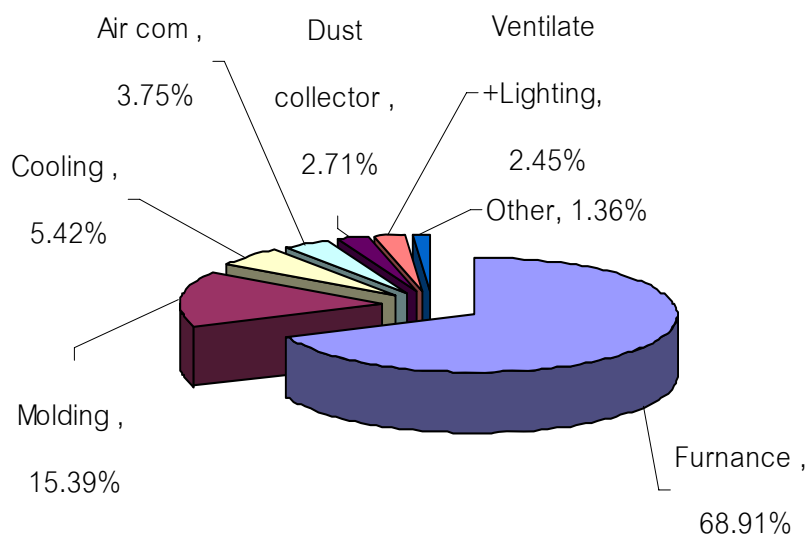
หม้อแปลงขนาด	30x2	MVA
แรงดันไฟฟ้า	115	kV
พลังงานที่ใช้	71,711,037.60	kWh/ปี
เทียบเท่าพลังงานความร้อน	258,159.74	GJ/ปี
โหลดแฟคเตอร์เฉลี่ย	34.89	เปอร์เซ็นต์
เพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ย	0.85	
ค่าใช้จ่ายปริมาณพลังงานไฟฟ้า	213,660,668.7	บาท/ปี
ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	2.98	บาท/kWh
โดยซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่		

จากการตรวจสอบการใช้พลังงานสามารถแยกสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

1. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต	68,979,895.82	kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	96.19	เปอร์เซ็นต์
2. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศและแสงสว่าง	1,755,864.58	kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	2.45	เปอร์เซ็นต์
3. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอื่นๆ	975,277.20	kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	1.36	เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 16 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานที่ 1



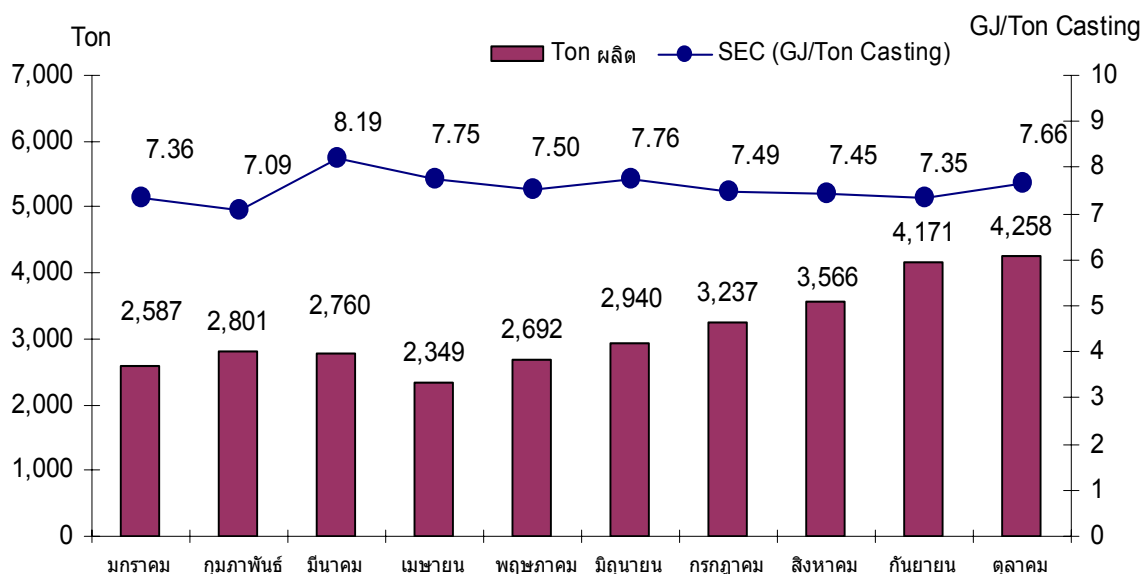
ภาพประกอบ 17 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตโรงงานที่ 1

4.1.4.2 การใช้พลังงานเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ก๊าซธรรมชาติ (NG)	
ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย	709,112.66	ลูกบาศก์เมตร/ปี
เทียบเท่าพลังงานความร้อน	26,020.51	GJ/ปี
ค่าใช้จ่ายปริมาณเชื้อเพลิง	22,352,299.45	บาท/ปี

4.1.5 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 1

การหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในที่นี้จะทำศึกษาจากข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตโดยการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง และปริมาณงานหล่อ ในแต่ละเดือน โดยช่วงเวลาที่ทำการศึกษาคือ มกราคม 2552 – ตุลาคม 2552 ในช่วงทำการศึกษา พบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานเปรียบเทียบกับปริมาณงานหล่อ มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.55 GJ/ton_{Casting} ข้อมูลจากฐานข้อมูลของ พพ. ฐาน 8 วิเคราะห์ข้อมูลเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2548 พบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะของกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กหล่อขึ้นรูป (Casting) ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ = 8.73 GJ/Unit ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานที่ 1 ที่ได้ทำการศึกษามีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ พพ. ผลจากการวิเคราะห์พบว่าหากมีมาตรการต่างๆ เข้ามาช่วยจัดการด้านพลังงานแล้วจะสามารถลดการใช้พลังงานในโรงงานที่ 1 นี้ได้อีก

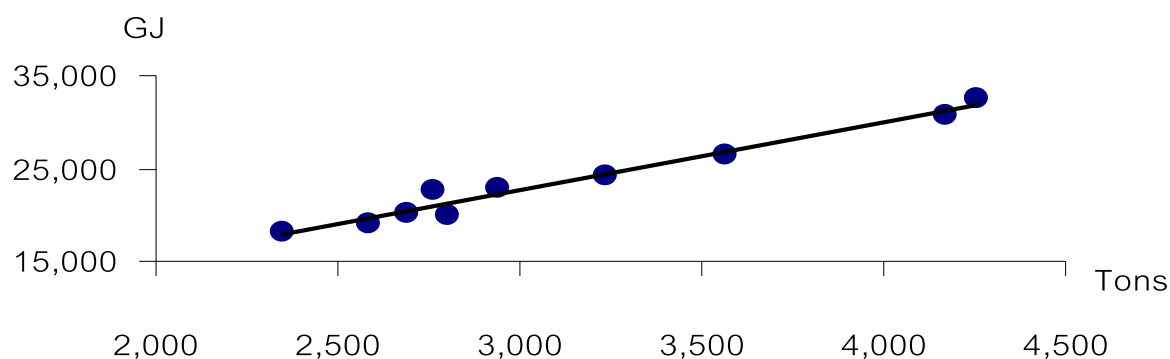


ภาพประกอบ 18 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 1 (มกราคม – ตุลาคม 2552)

4.1.6 การหาความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 1

การหาความสัมพันธ์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมคือ ปริมาณในการผลิต (Tons Casting) ดังนั้นในการพิจารณาค่าความสัมพันธ์เพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ได้ใช้วิธีการเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression) เพื่อวิเคราะห์หาสมการพลังงานที่สามารถสะท้อนถึงการใช้พลังงานโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม คือ ปริมาณใช้พลังงาน กับตัวแปรอิสระคือ ปริมาณในการผลิต ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตได้ดังนี้

$$\text{Energy Equation} = 725.278 + 7.320 X_1$$



ภาพประกอบ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงาน(GJ)และปริมาณการผลิต (Tons)

(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก)

4.2 การศึกษาโรงงานที่ 2

4.2.1 สภาพทั่วไปของโรงงาน

ที่ตั้งอาคาร 19 หมู่ 3 อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี 18230

ก่อตั้ง ปี 1990

กำลังการผลิต 73,000 ตัน/ปี ขึ้นงานหล่อ

เนื้อที่โรงงาน 198,104 ตารางเมตร

ทุนจดทะเบียน 300 ล้านบาท

จำนวนพนักงาน 764 คน

ประเภทอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน

4.2.2 อุปกรณ์และเครื่องจักรหลักในการผลิตโรงงานที่ 2

โรงงานประกอบด้วย 3 line การผลิตหลัก คือ Line MA, MB และ Line MC

ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

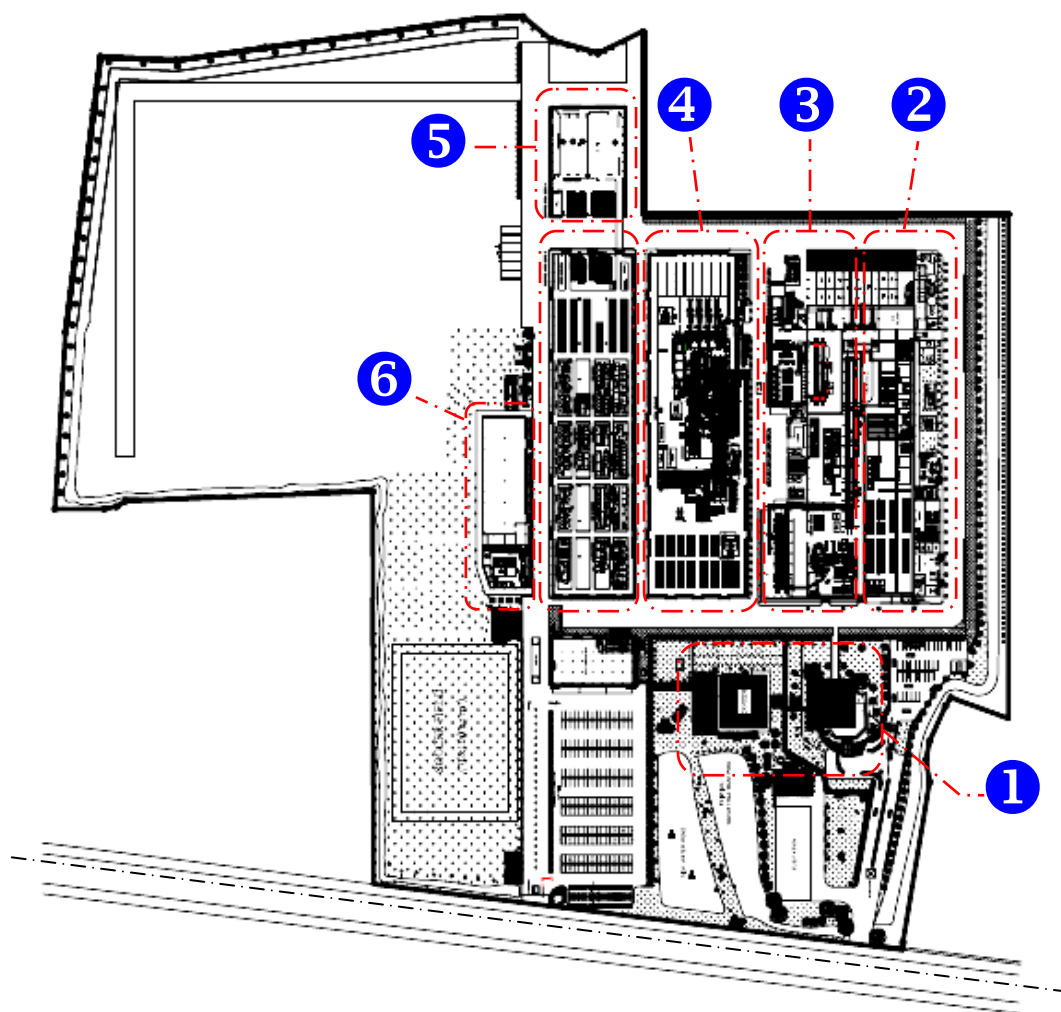
1.เตาหลอม ชนิดเตาหลอมที่ใช้ในโรงงาน เป็นเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnaces) ประกอบไปด้วยเตาสำหรับหลอมเหล็กและเตาสำหรับอุ่นเหล็กก่อนเทลงแบบหล่อ

- เตาหลอมเหล็กขนาด 8 ตัน จำนวน 3 เตา

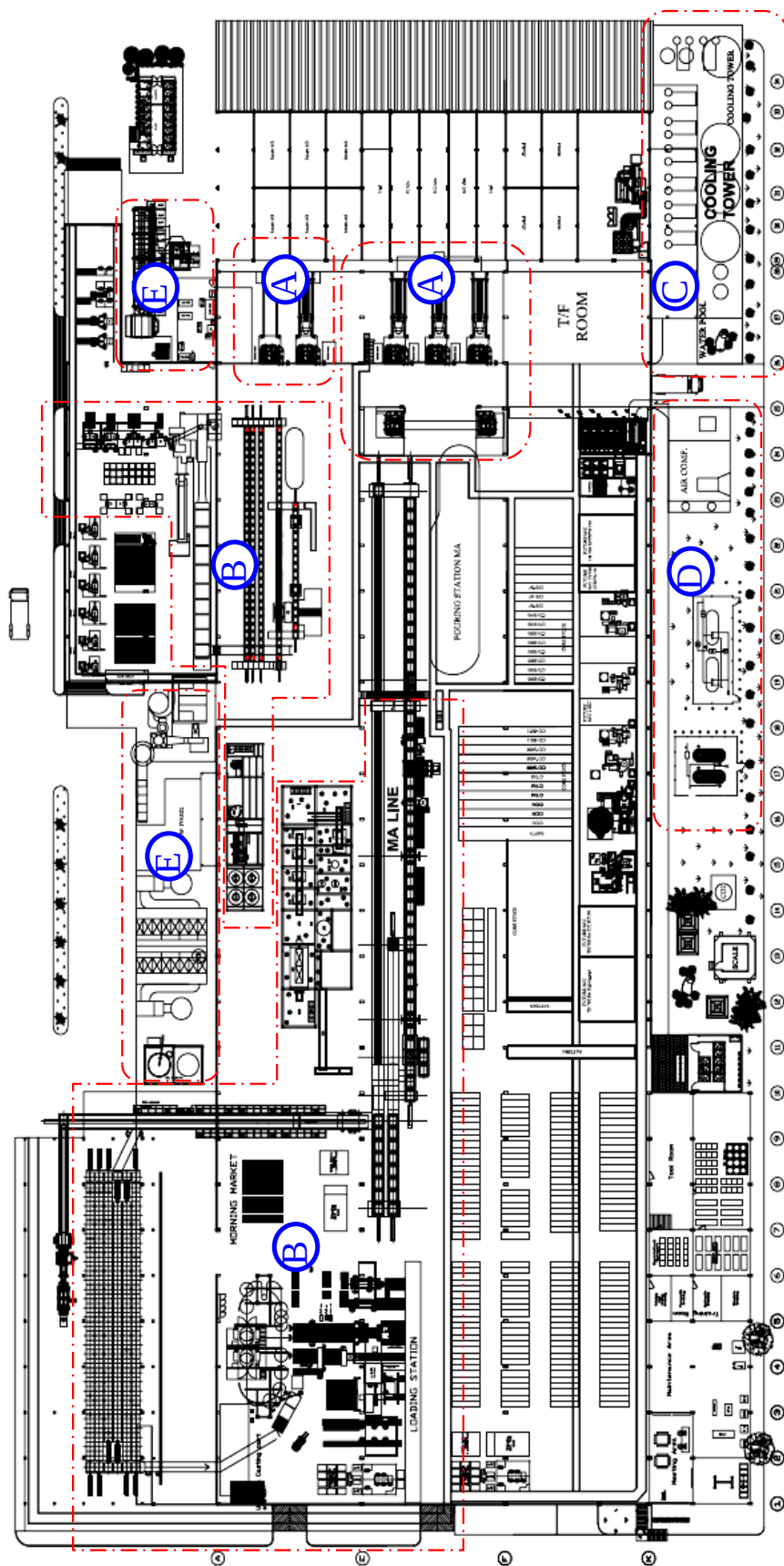
- เตาหลอมเหล็กขนาด 6 ตัน จำนวน 3 เตา

- เตาหลอมเหล็กขนาด 5 ตัน จำนวน 1 เตา
- เตาอุ่นเหล็กขนาด 8 ตัน จำนวน 2 เตา
- เตาอุ่นเหล็กขนาด 6 ตัน จำนวน 1 เตา
- เตาอุ่นเหล็กขนาด 5 ตัน จำนวน 1 เตา
- 2. เครื่องปั้นแบบ จำนวน 3 เครื่อง
- 3. หอระบายความร้อน (Cooling system) จำนวน 11 เครื่อง
- 4. เครื่องปั๊มลม จำนวน 5 เครื่อง
- 5. เครื่องสำหรับดูดควันและฝุ่น จำนวน 7 เครื่อง

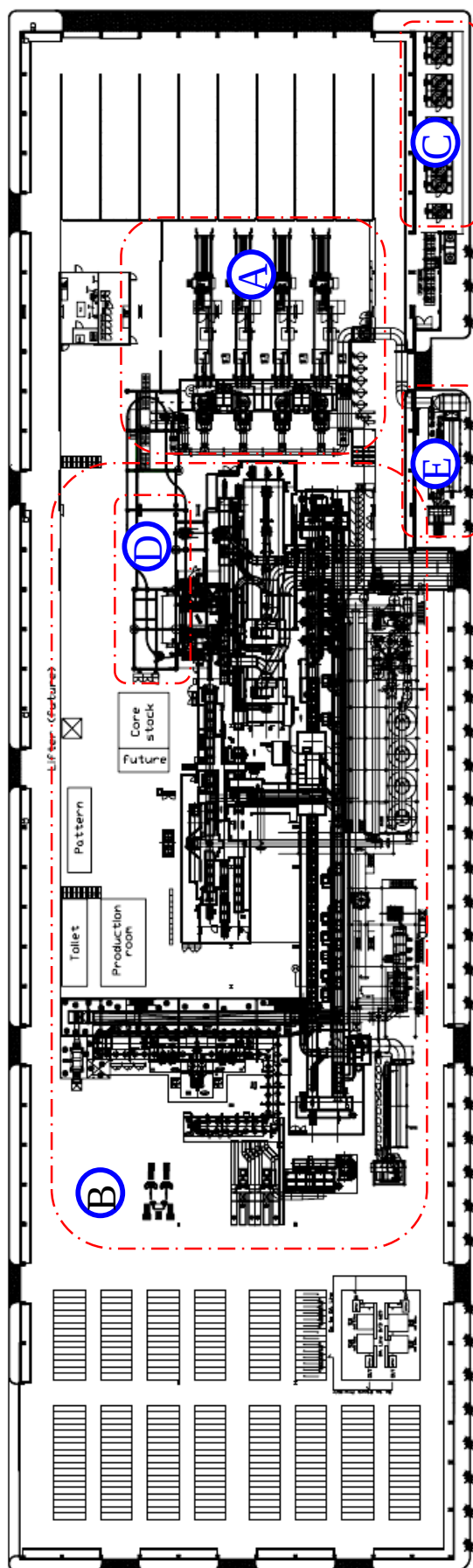
4.2.3 แผนผังโรงงานที่ 2



ภาพประกอบ 20 แผนผังโรงงานที่ 2 (1.Office, 2.Line MA, 3.Line MB, 4.Line MC, 5.Planning & Delivery plan, 6.Store supply)



ภาพประกอบ 21 แผนผัง Line ผลิต MA & MB (A = Furnance, B = Molding line, C = Cooling system, D = Aircom, E = Dust collector)



ภาพประกอบ 22 แผนผัง Line ผลิต MC (A = Furnace, B = Molding line, C = Cooling system, D = Aircom, E = Dust collector)

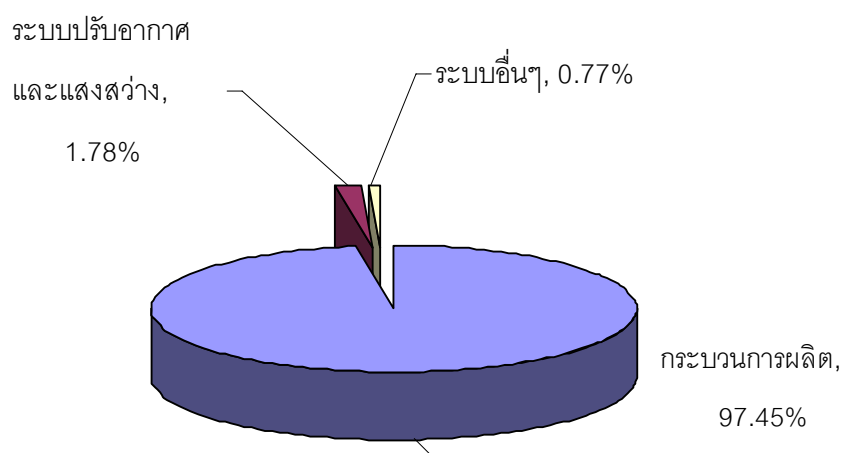
4.2.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานที่ 2

4.2.4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้า

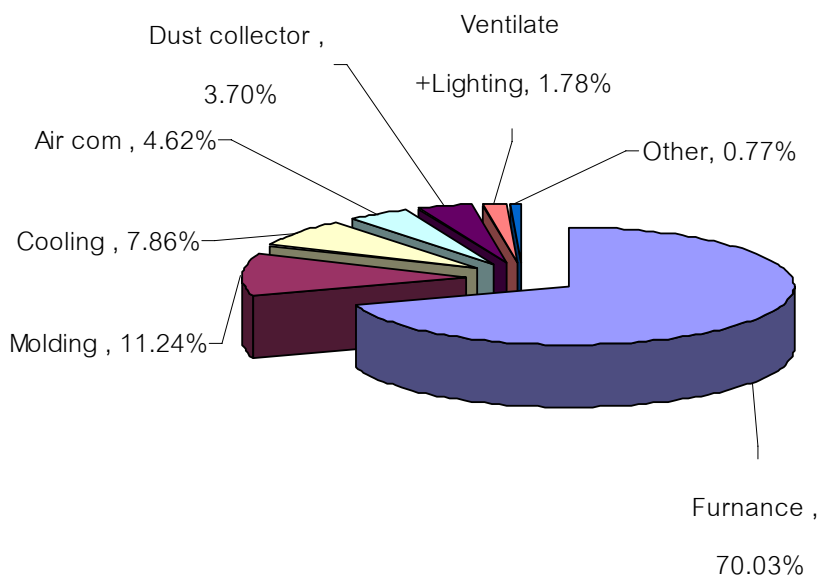
หม้อแปลงขนาด	35, 40	MVA
แรงดันไฟฟ้า	115	kV
พลังงานที่ใช้	74,623,439.12	kWh/ปี
เทียบเท่าพลังงานความร้อน	268,644.38	GJ/ปี
โหลดแฟคเตอร์เฉลี่ย	35.71	เปอร์เซ็นต์
เพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ย	0.80	
ค่าใช้จ่ายปริมาณพลังงานไฟฟ้า	220,139,145.42	บาท/ปี
ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	2.95	บาท/kWh
โดยซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่		

จากการตรวจสอบการใช้พลังงานสามารถแยกสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

1. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต	72,719,614.12	kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	97.45	เปอร์เซ็นต์
2. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศและแสงสว่าง	1,327,948.09	kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	1.78	เปอร์เซ็นต์
3. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอื่น ๆ	575,876.92	kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า	0.77	เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 23 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานที่ 2



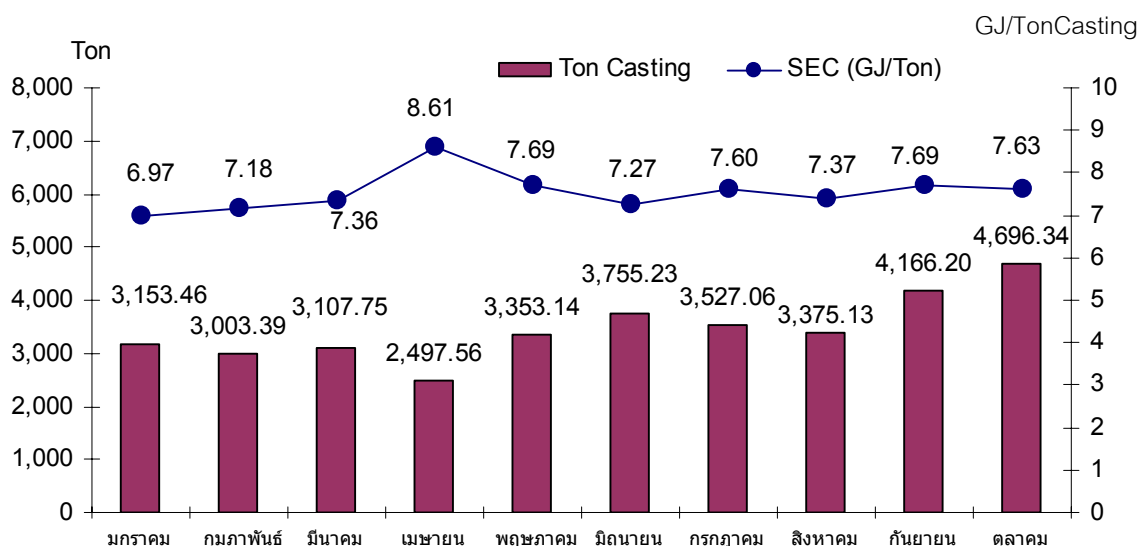
ภาพประกอบ 24 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตโรงงานที่ 2

4.2.4.2 การใช้พลังงานเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว(LPG)	
ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย	875,559.60	กิโลกรัม
เทียบเท่าพลังงานความร้อน	43,970.60	GJ/ปี
ค่าใช้จ่ายปริมาณเชื้อเพลิง	15,066,801.60	บาท/ปี

4.2.5 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 2

การหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในที่นี้จะทำศึกษาจากข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตโดยการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง และปริมาณงานหล่อ ในแต่ละเดือน โดยช่วงเวลาที่ทำการศึกษาคือ มกราคม 2552 – ตุลาคม 2552 ในช่วงทำการศึกษา พบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานเปรียบเทียบกับปริมาณงานหล่อ มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 7.52 GJ/ton_{Casting} ค่าที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับทางโรงงานที่ 1 (ATFB) ผลจากการวิเคราะห์พบว่าหากมีมาตรการต่างๆ เข้ามาช่วยจัดการด้านพลังงานแล้วจะสามารถลดการใช้พลังงานในโรงงานนี้ได้อีก

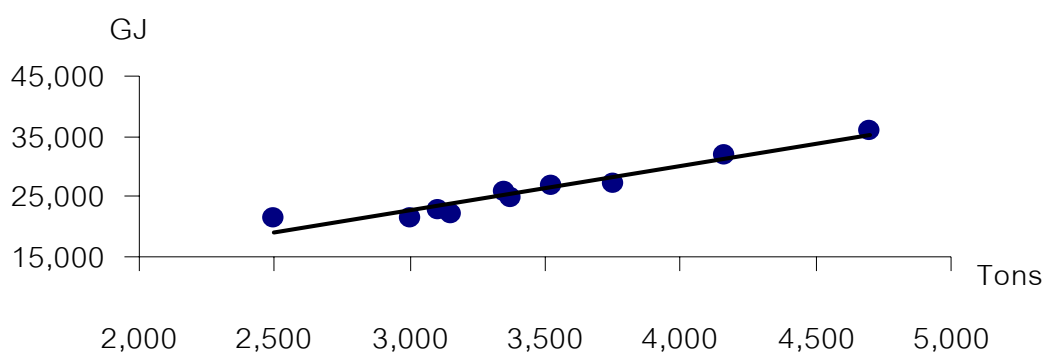


ภาพประกอบ 25 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 2 (มกราคม – ตุลาคม 2552)

4.2.6 การหาความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 2

การหาความสัมพันธ์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมคือ ปริมาณในการผลิต (Tons Casting) ดังนั้นในการพิจารณาหาค่าความสัมพันธ์เพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ได้ใช้วิธีการเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression) เพื่อวิเคราะห์หาสมการพลังงานที่สามารถสะท้อนถึงการใช้พลังงานโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม คือ ปริมาณใช้พลังงาน กับตัวแปรอิสระคือ ปริมาณในการผลิต ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตได้ดังนี้

$$\text{Energy Equation} = 628.492 + 7.340 X1$$



ภาพประกอบ 26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงาน(GJ) และปริมาณการผลิต(Tons)

(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

4.3 การศึกษาโรงงานที่ 3

4.3.1 สภาพทั่วไปของโรงงาน

ที่ตั้งอาคาร 1 หมู่ 9 ตำบลบ้านครัว อำเภอบ้านหมอ จังหวัดสระบุรี 18270

ก่อตั้ง ปี 1977

กำลังการผลิต 38,583 ตัน/ปี ขึ้นงานหล่อ

เนื้อที่โรงงาน 92,352 ตารางเมตร

ทุนจดทะเบียน 308 ล้านบาท

จำนวนพนักงาน 1,064 คน

ประเภทอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน

4.3.2 อุปกรณ์และเครื่องจักรหลักในการผลิตโรงงานที่ 3

โรงงานประกอบด้วย 5 line การผลิตหลัก คือ Line M1, M9, M10, M11 และ Line M14

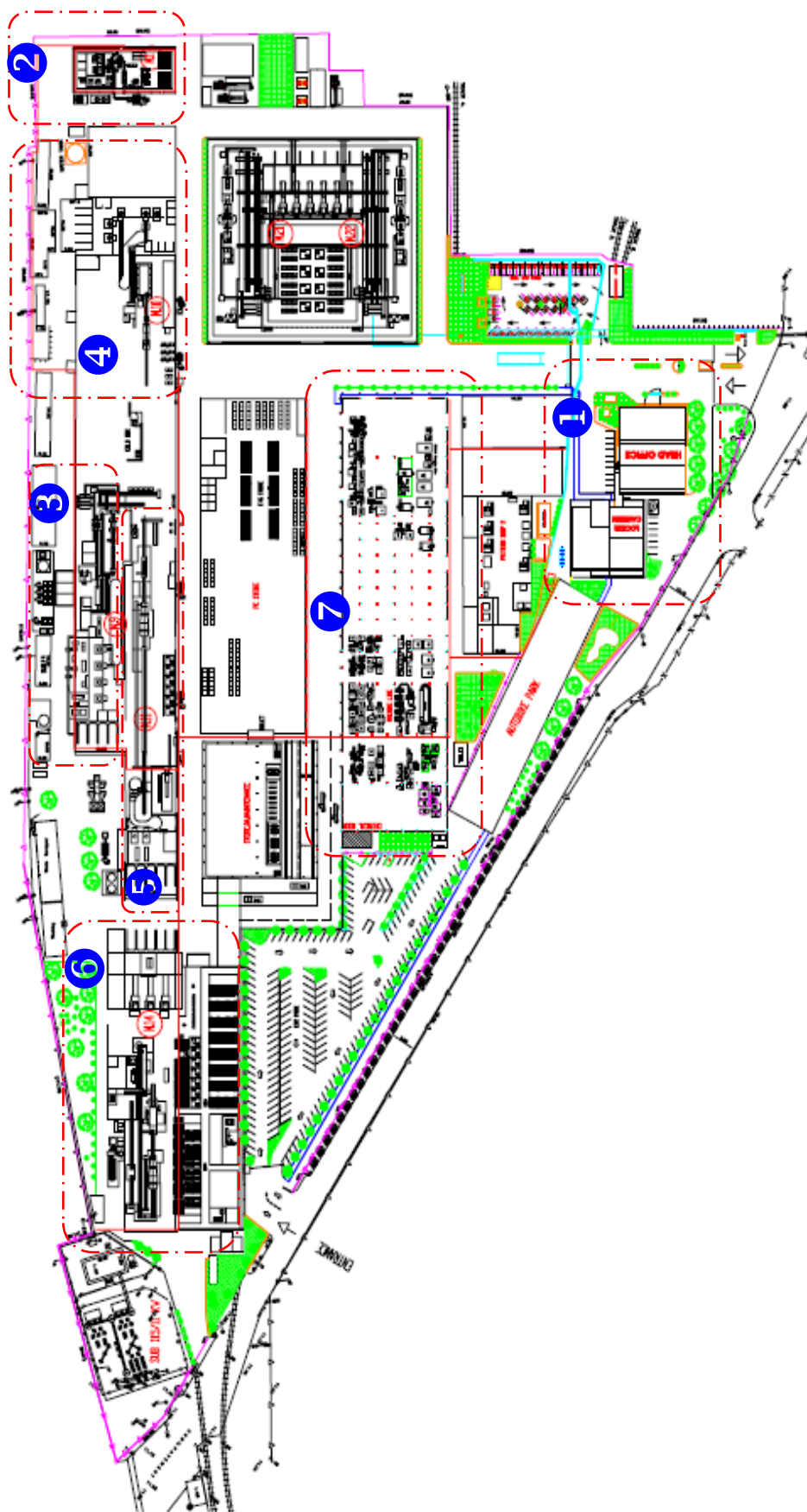
ซึ่งประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1.เตาหลอม ชนิดเตาหลอมที่ใช้ในโรงงาน เป็นเตาหลอมไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Induction Furnaces) ประกอบไปด้วยเตาสำหรับหลอมเหล็กและเตาสำหรับอุ่นเหล็กก่อนเทลงแบบหล่อ

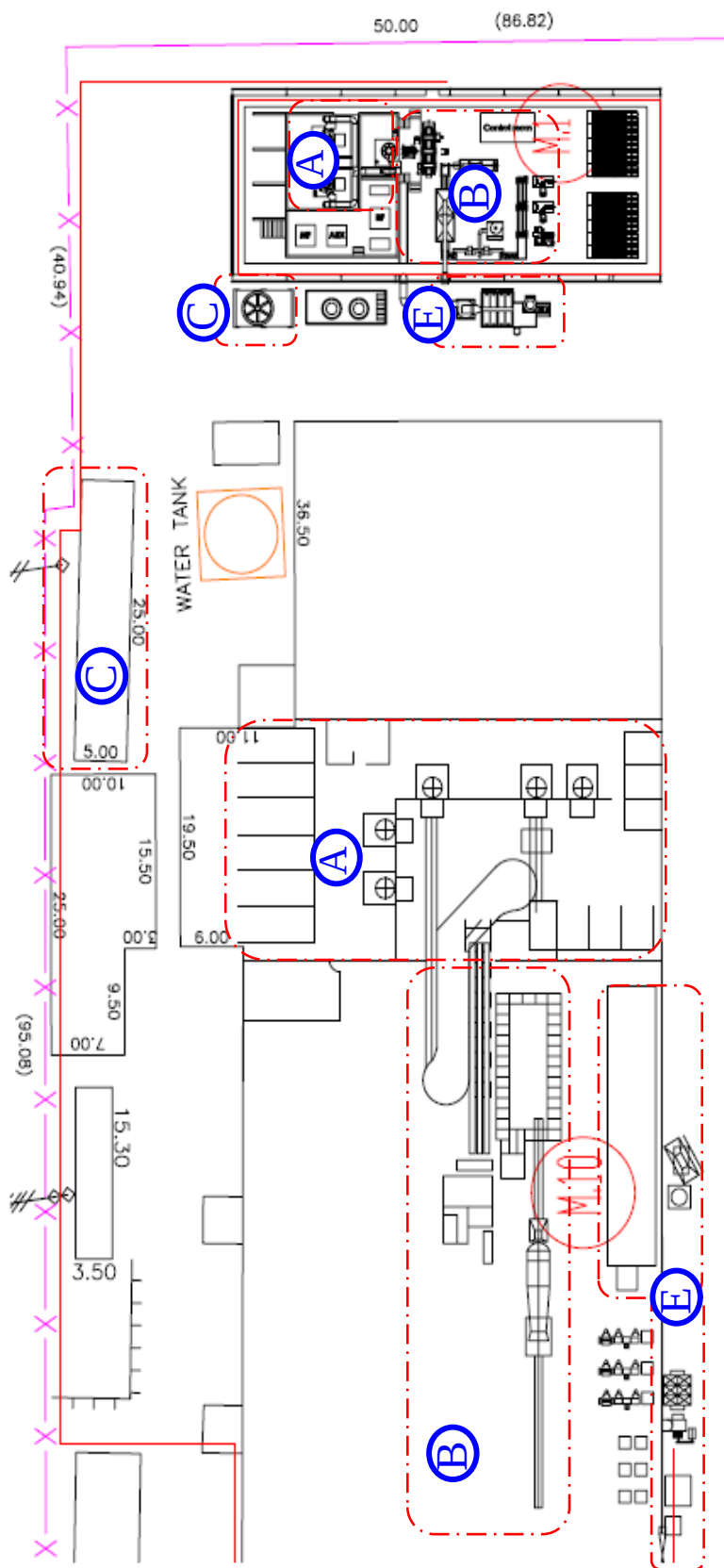
- เตาหลอมเหล็กขนาด 8 ตัน จำนวน 3 เตา
- เตาหลอมเหล็กขนาด 6 ตัน จำนวน 2 เตา
- เตาหลอมเหล็กขนาด 5 ตัน จำนวน 2 เตา

- เตาหลอมเหล็กขนาด 1 ตัน จำนวน 2 เตา
 - เตาอุ่นเหล็กขนาด 8 ตัน จำนวน 2 เตา
 - เตาอุ่นเหล็กขนาด 6 ตัน จำนวน 2 เตา
 - เตาอุ่นเหล็กขนาด 5 ตัน จำนวน 1 เตา
 - เตาอุ่นเหล็กขนาด 2 ตัน จำนวน 1 เตา
2. เครื่องปั้นแบบ จำนวน 5 เครื่อง
 3. หอระบายความร้อน (Cooling system) จำนวน 17 เครื่อง
 4. เครื่องปั๊มลม จำนวน 5 เครื่อง
 5. เครื่องสำหรับดูดควันและฝุ่น จำนวน 9 เครื่อง

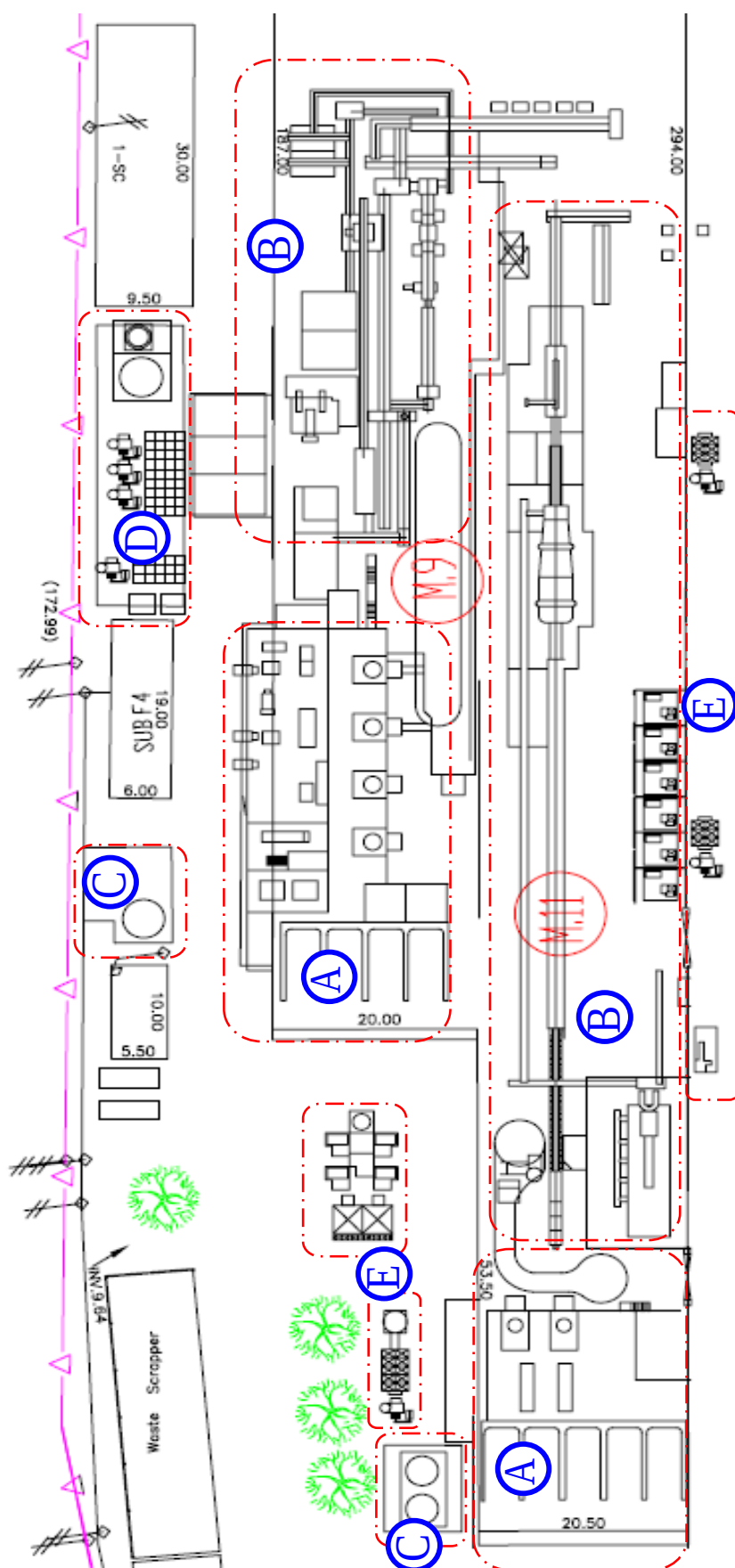
4.3.3 แผนผังโรงงานที่ 3



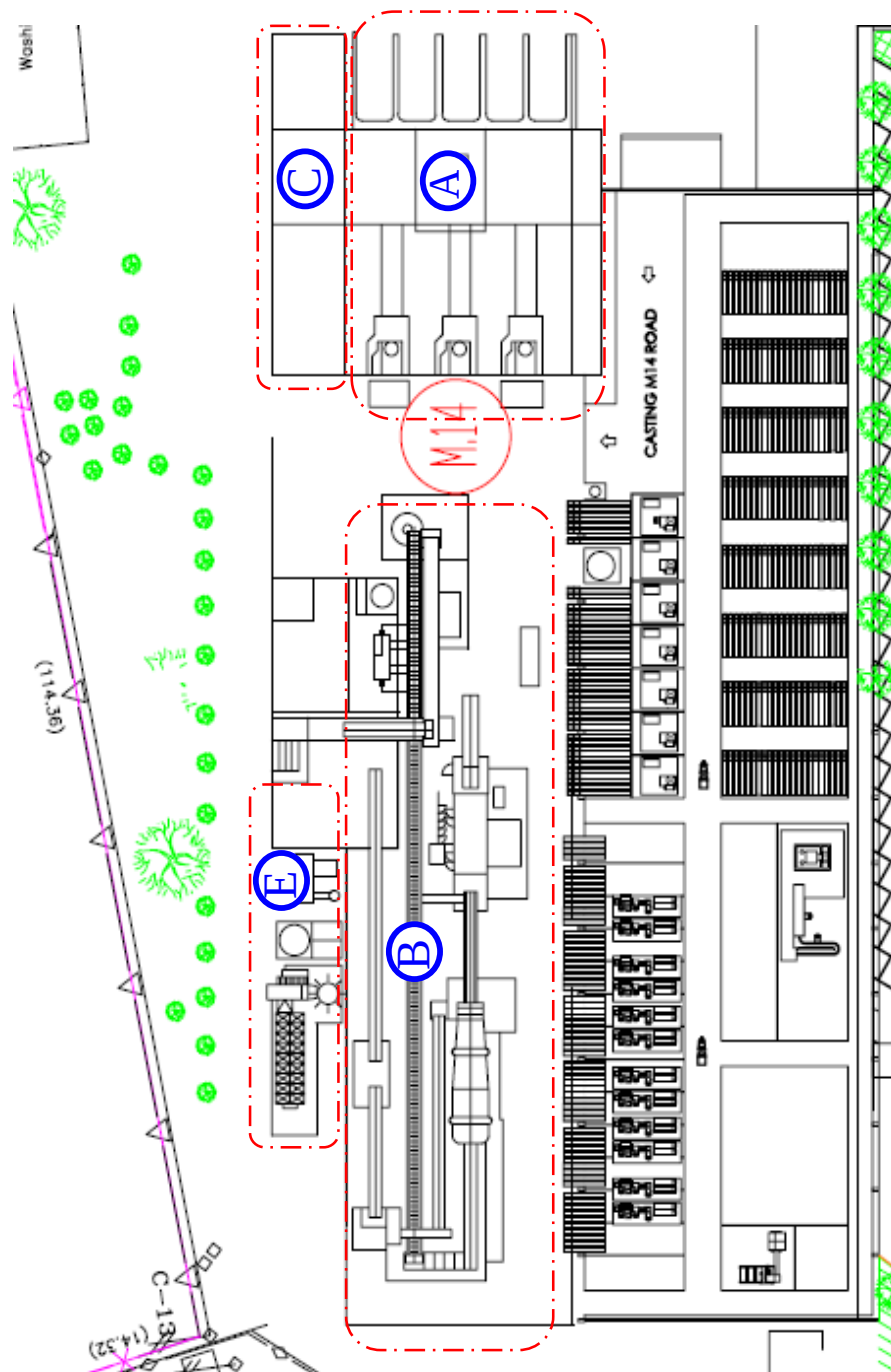
ภาพประกอบ 27 แผนผังโรงงานที่ 3 (1. Office, 2. Line M1, 3. Line M9, 4. Line M10, 5. Line M11, 6. Line M14, 7. Line Machine)



ภาพประกอบ 28 แผนผัง Line ผลิต M1 & M10 (A = Furnace, B = Molding line, C = Cooling system, D = Aircom, E = Dust collector)



ภาพประกอบ 29 แผนผัง Line ผลิต M9 & M11 (A = Furnance, B = Molding line, C = Cooling system, D = Aircom, E = Dust collector)



ภาพประกอบ 30 แผนผัง Line ผลิต M14 (A = Furnace, B = Molding line, C = Cooling system, D = Aircom, E = Dust collector)

4.3.4 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานที่ 3

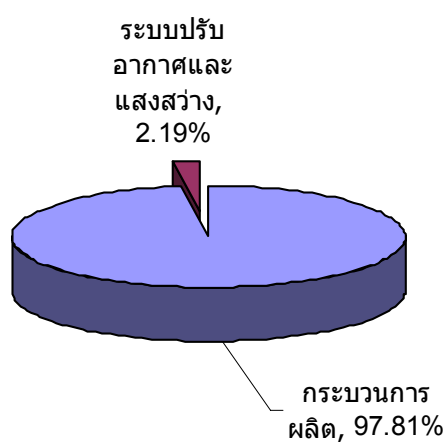
4.3.4.1 การใช้พลังงานไฟฟ้า

หม้อแปลงขนาด	35x2	MVA
แรงดันไฟฟ้า	115	kV
พลังงานที่ใช้	56,017,679.29	kWh/ปี
เทียบเท่าพลังงานความร้อน	201,663.65	GJ/ปี
โหลดแฟคเตอร์เฉลี่ย	30.81	เปอร์เซ็นต์
เพาเวอร์แฟคเตอร์เฉลี่ย	0.89	
ค่าใช้จ่ายปริมาณพลังงานไฟฟ้า	166,372,507.29	บาท/ปี
ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	2.97	บาท/kWh

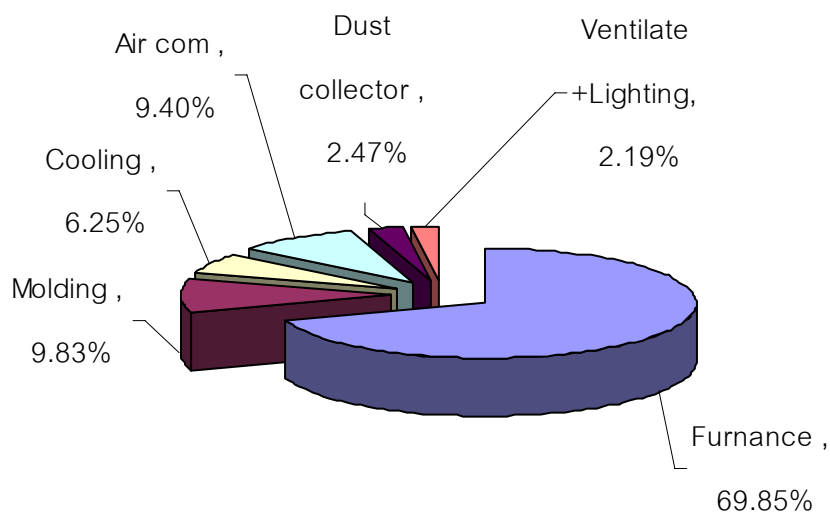
โดยซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดใหญ่

จากการตรวจสอบการใช้พลังงานสามารถแยกสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5

1. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต 54,788,399.01 kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า 97.81 เปอร์เซ็นต์
2. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 1,229,280.28 kWh/ปี
คิดเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า 2.19 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 31 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าโรงงานที่ 3



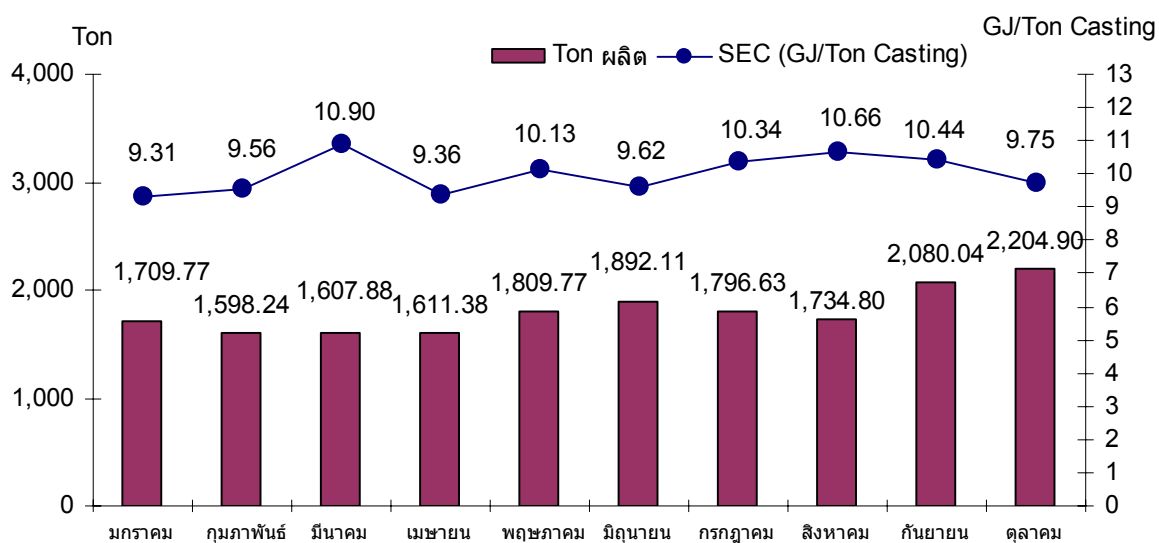
ภาพประกอบ 32 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตโรงงานที่ 3

4.3.4.2 การใช้พลังงานเชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ก๊าซธรรมชาติ (NG)	
ปริมาณเชื้อเพลิงเฉลี่ย	410,914.80	ลูกบาศก์เมตร/ปี
เทียบเท่าพลังงานความร้อน	15,078.30	GJ/ปี
ค่าใช้จ่ายปริมาณเชื้อเพลิง	12,896,702.21	บาท/ปี

4.3.5 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 3

การหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในที่นี้จะทำศึกษาจากข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตโดยการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง และปริมาณงานหล่อ ในแต่ละเดือน โดยช่วงเวลาที่ทำการศึกษาคือ มกราคม 2552 – ตุลาคม 2552 ในช่วงทำการศึกษา พบว่าค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานเปรียบเทียบกับปริมาณงานหล่อ มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 10.01 GJ/ton_{Casting}

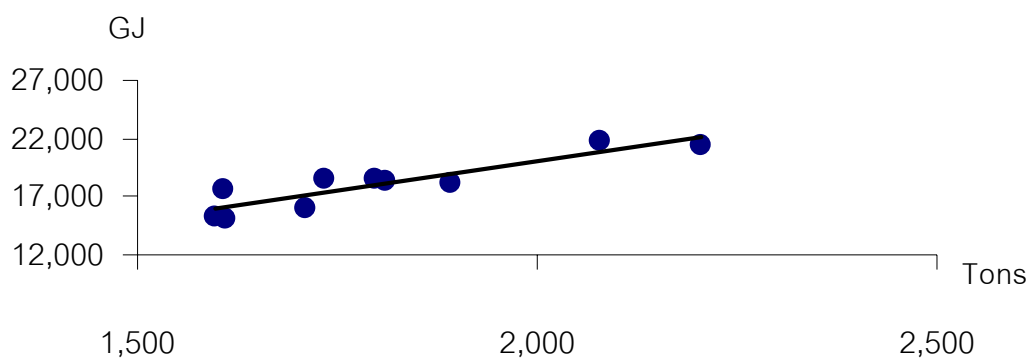


ภาพประกอบ 33 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 3 (มกราคม – ตุลาคม 2552)

4.3.6 การหาความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะโรงงานที่ 3

การหาความสัมพันธ์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมคือ ปริมาณในการผลิต (Tons Casting) ดังนั้นในการพิจารณาหาความสัมพันธ์เพื่อหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ได้ใช้วิธีการเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression) เพื่อวิเคราะห์หาสมการพลังงานที่สามารถสะท้อนถึงการใช้พลังงานโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ตัวแปรตาม คือ ปริมาณใช้พลังงาน กับตัวแปรอิสระคือ ปริมาณในการผลิต ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการและกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตได้ดังนี้

$$\text{Energy Equation} = -232.223 + 10.138 X1$$



ภาพประกอบ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงาน(GJ)และปริมาณการผลิต(Tons)

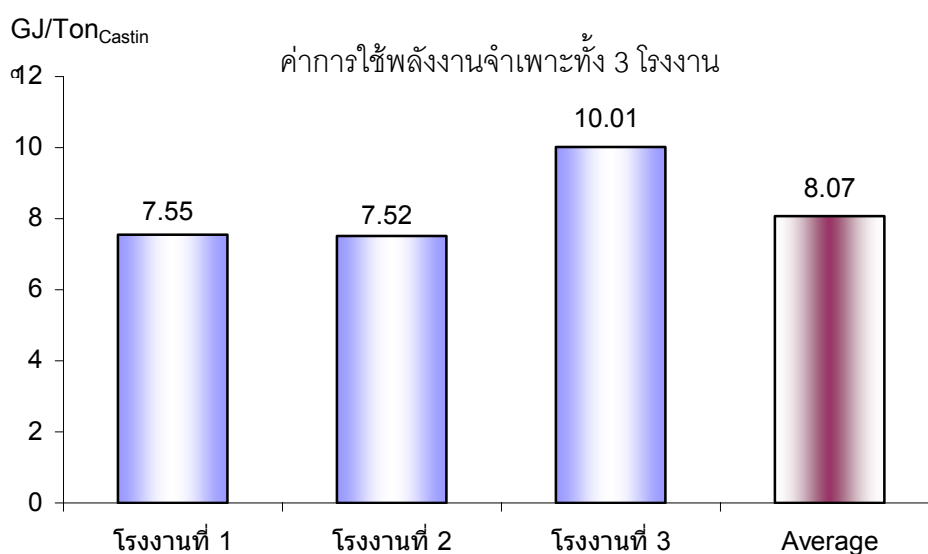
(รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)

4.4 ผลการศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะทั้ง 3 โรงงาน

จากการศึกษาข้อมูลในอดีตทั้งสามโรงงานทำให้เราทราบถึงค่าการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละที่โดยที่โรงงาน ATFB มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 7.55 GJ/Ton_{Casting}, NIC มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 7.52 GJ/Ton_{Casting} และSNF มีค่าการใช้พลังงานจำเพาะเท่ากับ 10.01 GJ/Ton_{Casting} และมีค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 โรงงานอยู่ที่ 8.07 GJ/Ton_{Casting}, ซึ่งการใช้พลังงานกว่าร้อยละ 97 % นั้นเป็นการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และ กว่าร้อยละ 70 % เป็นการใช้ในกระบวนการหลอมเหล็ก และ Line ผลิตตามลำดับ

ตาราง 4 ตารางค่าการใช้พลังงานจำเพาะ รวมทั้ง 3 โรงงาน

	ผลิต (Ton/Year)	พลังงานไฟฟ้า (GJ/Year)	พลังงานความร้อน (GJ/Year)	Sec. (GJ/Ton _{Casting})
โรงงานที่ 1	31,361.00	215,133.11	21,683.76	7.55
โรงงานที่ 2	34,635.26	223,870.33	36,642.17	7.52
โรงงานที่ 3	18,045.51	168,053.04	12,565.25	10.01
TOTAL	84,041.77	607,056.48	70,891.18	8.07



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะ รวมทั้ง 3 โรงงาน

4.5 แนวทางการจัดการและมาตรการการประหยัดพลังงาน

4.5.1 มาตรการการประหยัดพลังงานโดยการเพิ่มผลได้ (เพิ่ม % Yield)

จากการสำรวจพบว่าผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณการหลอมเหล็กมีค่า %Yield อยู่ที่ 35~40 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ทางต่ำซึ่งถ้ามีการปรับค่าให้สูงขึ้นก็จะสามารถลดค่าการใช้พลังงานจากการหลอมเหล็กได้ โดยที่หลังการปรับปรุงอาจมีการใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณและทำการ Simulation ก่อนทำงานจริงเพื่อดูผลกระทบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการออกแบบการเทเหล็กลงแบบหล่อ ซึ่งผลที่ได้จะนำมาปรับปรุงการออกแบบ Pattern งานหล่อเพื่อให้สามารถหาค่า Yield ที่เหมาะสมกับแต่ละชิ้นงานนั้นๆ ซึ่งค่า Yield ที่สูงขึ้นก็จะมีผลทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหล็กลดลง

ผลจากการศึกษา

ตาราง 5 ตารางคำนวณการประหยัดพลังงานโดยเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Yield (ตัวอย่างโรงงานที่ 1)

	Yield 40 %	Yield 41 %	Yield 42 %
น้ำหนัก Casting (ตัน/เดือน)	3,136.10	3,136.10	3,136.10
น้ำหนัก หลอม (ตัน/เดือน)	7,840.25	7,649.02	7,466.90
จำนวนเตา / เดือน (เตาขนาด 8 ตัน)	980.03	956.13	933.36
จำนวนเตาที่ลด / เดือน	-	23.90	46.67
จำนวนพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh)	-	43,384.31	84,702.70
จำนวนวันทำงาน / เดือน	25.00	19.00	15.83
จำนวนวัสดุที่สูญเสีย / เดือน (ตัน)	156.81	152.98	149.34
จำนวนวันทำงานที่เหลือ/เดือน	-	6.00	9.17
จำนวนวัสดุสูญเสียที่ลด (ตัน/เดือน)	-	3.82	7.47
จำนวนพลังงานที่ใช้ (kWh/เดือน)	1,778,756.72	1,735,372.41	1,694,054.02
จำนวนพลังงานที่ลดลง (kWh/เดือน)		43,384.31	84,702.70
% พลังงานที่สามารถลดได้		2.44%	4.76%

ใช้เวลาในการหลอมเตาละ 1.5 ชั่วโมง ที่กำลังไฟฟ้า 1210 kW

จากตารางการคำนวณพบว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Yield ที่สูงขึ้นทำให้ค่าการใช้พลังงานลดลง กล่าวคือในปริมาณน้ำหนักตัน Casting ที่เท่าเดิมแต่ปริมาณการหลอมเหล็กลดลง จำนวนเตาลดลง เวลาที่ใช้หลอมเหล็กลดลงอันเนื่องมาจากมีสัดส่วนที่เป็นชิ้นงานเท่าเดิมและส่วนที่ไม่ใช่ชิ้นงานน้อยลง

ตาราง 6 ตารางสรุปผลการประหยัดพลังงานที่ได้จากมาตรการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Yield

	Furnance (kWh/Year)	Reduce 2.44% (kWh/Year)	ค่าไฟฟ้า (฿/kW)	ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (฿/Year)
โรงงานที่ 1	49,416,902.40	1,205,772.42	2.98	3,593,201.81
โรงงานที่ 2	52,258,128.46	1,275,098.33	2.95	3,761,540.09
โรงงานที่ 3	39,130,928.49	954,794.66	2.97	2,835,740.13
Avg.	46,935,319.78	1,145,221.80	2.97	3,397,491.35

ค่าพลังงานไฟฟ้าในการหลอมเหล็กที่สามารถลดลงได้ต่อปีโดยการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Yield ที่ 41%

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	= 46,935,319.78x 0.0244 kWh/ปี
	= 1,145,221.80 kWh/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	= 2.97 บาทต่อkWh
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	= 3,397,491.35 บาท/ปี

การวิเคราะห์

จากข้อมูลผลการศึกษพบว่า ก่อนมีการปรับปรุง ใช้ค่า Yield 40% มีน้ำหนักต้น Casting 3,136.10 ตัน โดยต้องหลอมเหล็กทั้งหมด 980.03 ตัน ที่น้ำหนักหลอม 7,840.25 ตัน ใช้กำลังไฟฟ้าในการหลอมเหล็ก 14,230,053.75 kWh หลังการปรับปรุง ที่ค่า Yield 41% มีน้ำหนักต้น Casting 3,136.10 ตัน เท่าเดิม แต่หลอมเหล็กทั้งหมด 871.14 ตัน ที่น้ำหนักหลอม 6,969.11 ตัน ใช้กำลังไฟฟ้าในการหลอมเหล็ก 1,581,117.08 kWh ซึ่งลดลง 11.11% เมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงค่า Yield ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าค่า เปอร์เซ็นต์ Yield ที่สูงขึ้นทุก 1% จะส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในการหลอมเหล็กลดลง 2.44%

การลงทุนและผลตอบแทนการลงทุน

งบในการลงทุนสำหรับ คอมพิวเตอร์พร้อมด้วยโปรแกรม Simulation + ลิขสิทธิ์

อุปกรณ์คอมพิวเตอร์	500,000.00 บาท
โปรแกรม Simulation + ลิขสิทธิ์	4,000,000.00 บาท

$$\begin{aligned}
 \text{เงินลงทุนค่าวัสดุรวม} &= 4,500,000.00 \quad \text{บาท} \\
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 4,500,000.00 / 3,397,491.35 \\
 &= 1.32 \quad \text{ปี} \\
 \text{กำหนดให้อายุการใช้งานของวัสดุ 5 ปี} \\
 N &= 5 \quad \text{ปี} \\
 \text{ผลตอบแทนการลงทุน (IRR)} \\
 \text{รายได้สุทธิ} &= [i (1+i)^n / ((1+i)^n - 1)] \\
 \text{เงินลงทุนทั้งหมด} \\
 \frac{3,397,491.35}{4,500,000.00} &= [i (1+i)^5 / ((1+i)^5 - 1)] \\
 i &= 0.70 \\
 \text{หรือ IRR} &= 70 \%
 \end{aligned}$$

4.5.2 มาตรการปรับความตึงสายพานมอเตอร์

ผลจากการศึกษา

ผลการสำรวจพบสภาพของสายพานมอเตอร์หย่อน ทำให้ประสิทธิภาพการส่งกำลังต่ำลง มอเตอร์ต้องใช้กำลังงานเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์⁽²⁾ นอกจากนี้การใช้สายพานไม่ครบร่องจะทำให้สายพานที่เหลืต้องรับแรงมากขึ้นและอายุการใช้งานจะสั้นลง ดังนั้นถ้าปรับความตึงสายพานให้มีความตึงที่เหมาะสมและซ่อมแซมระบบหล่อลื่นส่วนที่เคลื่อนที่ จะสามารถทำให้ประหยัดพลังงานได้ดังนี้

ตาราง 7 แสดงผลการศึกษาจากมาตรการตึงสายพานมอเตอร์

	Dust collector (kWh/Year)	Reduce 3% (kWh/Year)	ค่าไฟฟ้า (฿/kW)	ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (฿/Year)
โรงงานที่ 1	1,944,567.72	58,337.03	2.98	173,844.35
โรงงานที่ 2	2,763,955.00	82,918.65	2.95	244,610.02
โรงงานที่ 3	1,384,658.24	41,539.75	2.97	123,373.05
Avg.	2,031,060.32	60,931.81	2.97	180,764.37

สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้ ปีละ 180,764.37 บาท

การลงทุน

ไม่ต้องลงทุนใด ๆ เพียงทำการปรับสายพานให้มีความตึงที่เหมาะสมเท่านั้น

4.5.3 มาตรการลดแรงดันอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ

จากการสำรวจพบว่าเครื่องอัดอากาศ จำนวน 14 เครื่อง จากโรงงานตัวอย่างทั้ง 3 โรงงาน มีการทำงานโดยผลิตความดันอากาศอัดอยู่ที่ 7.5 kg/cm^2 ซึ่งจากการสำรวจพบว่าเครื่องจักรที่ใช้ต้องการความดันอากาศอัดที่ $4\sim 5 \text{ kg/cm}^2$ เท่านั้น เพื่อลดการผลิตอากาศอัดที่เกินความจำเป็น จึงควรมีการสำรวจรอยรั่วและซีมของท่อส่ง และปรับลดแรงดันอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน การลดแรงดันส่งจำนวน 1 bar ในเครื่องอัดอากาศ จะทำให้การใช้พลังงานลดลงได้ 6-10 เปอร์เซ็นต์⁽⁵⁾

ตาราง 8 ผลจากการศึกษาการลดแรงดันเครื่องอัดอากาศ

	Aircom (kWh/Year)	Reduce 20% (kWh/Year)	ค่าไฟฟ้า (฿/kW)	ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ (฿/Year)
โรงงานที่ 1	2,690,398.80	538,079.76	2.98	1,603,477.68
โรงงานที่ 2	3,445,095.82	689,019.16	2.95	2,032,606.53
โรงงานที่ 3	2,835,740.13	567,148.03	2.97	1,684,429.63
Avg.	2,990,411.58	598,082.32	2.97	1,774,310.87

การวิเคราะห์

ที่ ความดันอากาศอัด 7.5 kg/cm^2 ค่าพลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 2,990,411.58 kWh/Year การสำรวจพบว่าเครื่องจักรที่ใช้งานต้องการความดันอากาศอัดที่ $4\sim 5 \text{ kg/cm}^2$ เท่านั้น ถ้าปรับความดันอากาศอัดลงที่ 5.5 kg/cm^2 หรือลดลง 2 kg/cm^2 ก็ยังเพียงพอต่อความต้องการใช้งาน จาก

มาตรการดังกล่าวค่าพลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 2,392,329.26 kWh/Year คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เท่ากับ 20 % ต่อปี

การลงทุน

ไม่มีการลงทุน เนื่องจากเป็นการปรับแรงดันอากาศอัตโนมัติให้เหมาะสมเท่านั้น

4.5.4 มาตรการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

จากการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าในโรงงานพบว่า โรงงานที่ 1 มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.85, โรงงานที่ 2 มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.80, โรงงานที่ 3 มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.89 ซึ่งมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ เฉลี่ยทั้ง 3 โรงงานอยู่ที่ 0.84 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทางโรงงานอยู่ในระหว่างทำการปรับปรุง จึงพิจารณาหาวิธีการอื่นเพิ่มเติมในการปรับปรุง

ตาราง 9 ผลจากการศึกษาการลดแรงดันเครื่องอัดอากาศ

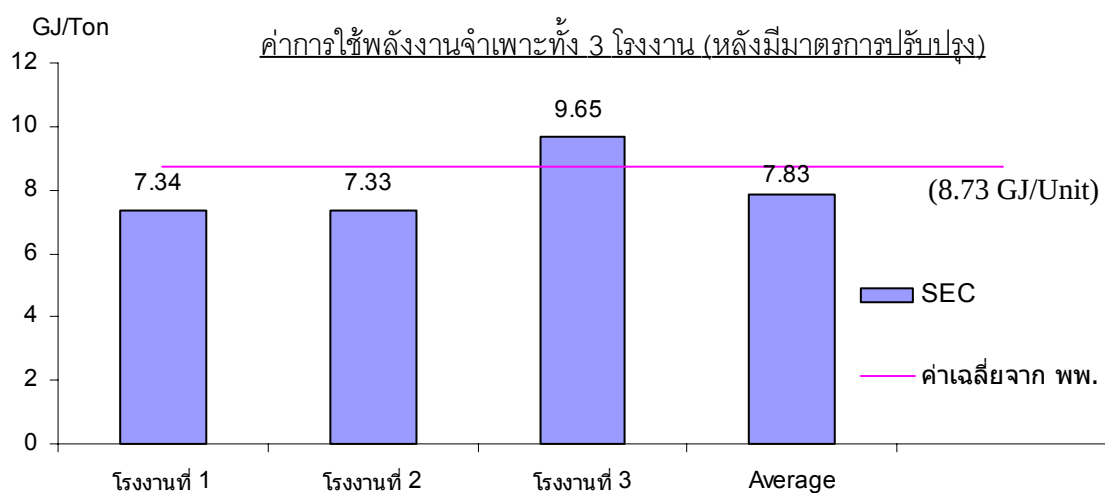
	โรงงานที่ 1	โรงงานที่ 2	โรงงานที่ 3	Avg.
Avg. kVar	14,372.00	18,508.00	11,181.00	14,687.00
Avg.Max kW	23,115.00	24,387.00	21,600.00	23,034.00
$\tan\theta = \text{kVar/kW}$	0.62	0.76	0.52	0.64
$\tan^{-1}(\theta)$	31.80	37.23	27.47	32.62
$\text{PF} = \cos\theta$	0.85	0.80	0.89	0.84

4.5.5 สรุปผลที่ได้จากมาตรการต่างๆ

จากมาตรการต่างๆ ข้างต้น ที่สามารถช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้ประมาณ 1,804,235.93 kw/Year หรือเท่ากับ 6,495.25 GJ/Year มาตรการต่าง ๆ ที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ จะนำมาคำนวณหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Sec) ใหม่ได้ 7.83 GJ/TonCasting ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 10 ผลที่ได้จากมาตรการประหยัดพลังงานรวม

	ผลิต Ton/Year	พลังงาน ไฟฟ้า (GJ/Year)	จากมาตรการ ประหยัดได้ (GJ/Year)	พลังงานความ ร้อน (GJ/Year)	SEC รวม (GJ/Ton)
โรงงานที่ 1	31,361.00	215,133.11	6,495.25	21,683.76	7.34
โรงงานที่ 2	34,635.26	223,870.33	6,495.25	36,642.17	7.33
โรงงานที่ 3	18,045.51	168,053.04	6,495.25	12,565.25	9.65
Average	28,013.92	202,352.16	6,495.25	23,630.39	7.83



ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมทั้ง 3 โรงงาน (หลังมีมาตรการปรับปรุง)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษา

การประเมินศักยภาพของการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหล่อโลหะ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เน้นการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงาน กระบวนการผลิต หาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ และเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานมาตรการที่นำเสนอได้ทำการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานพบว่า มีลักษณะการใช้พลังงานใน 2 ส่วนด้วยกันคือพลังงานไฟฟ้า และ พลังงานความร้อน ซึ่งจะทำการสรุปโดยจะแบ่งตามโรงงานและสรุปภาพรวมดังนี้

1. โรงงานที่ 1 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือระบบการผลิต 96.19% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 2.45% และอื่นๆ 1.36% ส่วนที่ใช้พลังงานสูงสุดคือ กระบวนการผลิต และสามารถวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องจักรในโรงงานดังนี้ เตาหลอมและเตาอุ่นเหล็ก 68.91% เครื่องปั้นแบบ 15.39% ระบบน้ำหล่อเย็น 5.42% ระบบอากาศอัด 3.75% ระบบดูดอากาศ 2.71% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 2.45% และอื่นๆ 1.36% ส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติ(NG) เฉลี่ยต่อปีเท่ากับ $709,112.66 \text{ m}^3$ จากผลการศึกษาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานพบว่า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.55 GJ/Ton Casting

2. โรงงานที่ 2 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือระบบการผลิต 97.45% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 1.78% และอื่นๆ 0.77% ส่วนที่ใช้พลังงานสูงสุดคือ กระบวนการผลิต และสามารถวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องจักรในโรงงานดังนี้ เตาหลอมและเตาอุ่นเหล็ก 70.03% เครื่องปั้นแบบ 11.24% ระบบน้ำหล่อเย็น 7.86% ระบบอากาศอัด 4.62% ระบบดูดอากาศ 3.70% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 1.78% และอื่นๆ 0.77% ส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้มีการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว(LPG) เฉลี่ยต่อปีเท่ากับ $875,559.60 \text{ Kg}$ จากผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.52 GJ/Ton Casting

3. โรงงานที่ 3 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก คือระบบการผลิต 97.81% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 2.19% และอื่นๆ 0.01% ส่วนที่ใช้พลังงานสูงสุดคือ กระบวนการผลิต และสามารถวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องจักรในโรงงานดังนี้ เตาหลอมและเตาอุ่นเหล็ก 69.85% เครื่องปั้นแบบ 9.83% ระบบน้ำหล่อเย็น 6.25% ระบบอากาศอัด 9.40% ระบบดูดอากาศ 2.47% ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง 2.19% และอื่นๆ 0.017% ส่วนพลังงานความร้อนที่ใช้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติ(NG) เฉลี่ยต่อปีเท่ากับ 410,914.80 m³ จากผลการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.01 GJ/Ton_{Casting}

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะรวมของโรงงานตัวอย่างทั้ง 3 โรงงานพบว่ามีการใช้พลังงานอยู่ที่ 8.07 GJ/Ton_{Casting} เมื่อนำมาเทียบกับค่าเฉลี่ยของกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กหล่อขึ้นรูป (Casting) SEC = 8.73 GJ/Unit (ข้อมูลจากฐานข้อมูลของ พพ. ฐาน 8 วิเคราะห์ข้อมูลเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2548) ค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ พพ. แต่ไม่ได้หมายความว่าค่าที่ดี เพราะยังมีมาตรการ วิธีการอีกหลายอย่างที่สามารถนำมาปฏิบัติลงมือทำและมีผลทำให้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้ต่ำลงไปได้อีก ดังมาตรการตัวอย่างดังนี้

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานพบว่ามียกยภาพในการประหยัดพลังงานดังนี้

1. มาตรการประหยัดพลังงานโดยการเพิ่มผลได้ (เพิ่ม % Yield) สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้กว่า 1,145,221.80 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 3,397,491.35 บาท/ปี โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและSimulation ผลกระทบของปัญหาเพื่อแก้ไขปรับปรุงเปอร์เซ็นต์ Yield ให้มากที่สุด โดยมาตรการมีการลงทุน 4,500,000.00 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 1.32 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ 70 %

2. มาตรการปรับความตึงสายพานมอเตอร์ สามารถประหยัดพลังงานได้ 60,931.81 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ 180,764.37 บาทต่อปี โดยไม่มีการลงทุนเนื่องจากเป็นการปรับสายพานให้มีความตึงที่เหมาะสมเท่านั้น

3. มาตรการลดแรงดันอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ สามารถประหยัดพลังงานได้ 598,082.32 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่สามารถประหยัดได้ 1,774,310.87 บาทต่อปี โดยไม่มีการลงทุนเนื่องจากเป็นการปรับสายพานให้มีความตึงที่เหมาะสมเท่านั้น

จากมาตรการตัวอย่างทั้งสามพบว่า สามารถประหยัดพลังงานได้ปีละ 1,804,235.93 Kw/Year หรือเท่ากับ 6,495.25 GJ/Year เมื่อทำการคำนวณหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะใหม่ได้เท่ากับ 7.83 GJ/Ton_{Casting}

5.2 ข้อเสนอแนะเชิงทฤษฎีจากการวิจัย

1. จากผลการศึกษาพบว่ามาตรการ ที่นำเสนอมีระยะเวลาคืนทุนเร็ว เนื่องจากทางโรงงานมีการผลิตเป็นจำนวนมากและเดินเครื่องจักรต่อเนื่องทำให้การลงทุนมีผลตอบแทนที่รวดเร็ว และบางมาตรการไม่ต้องลงทุนแต่สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงไปได้จึงควรรีบดำเนินการก่อน
2. จากผลการศึกษาพบว่าโรงงานมีปัญหาด้านความรู้และ ความเข้าใจในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและ การอนุรักษ์พลังงานในหน่วยงานของตนเองสมควรมีการอบรมให้ความรู้กับพนักงาน เพื่อให้เกิดความรู้และเข้าใจถึงการใช้พลังงานอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด
3. ค่าการใช้พลังงานจำเพาะเป็นค่าที่มีความสำคัญต่อโรงงานเป็นอย่างมาก ค่า SEC ที่ได้จะเป็นข้อมูลอีกทางหนึ่งที่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงาน
4. ค่าการใช้พลังงานจำเพาะจะสูงหรือต่ำนั้นขึ้นอยู่กับ ปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการผลิต แต่ทั้งนี้ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะยังขึ้นอยู่กับการศึกษาและประสิทธิภาพในการผลิตทั้งทางด้านวัตถุดิบ เครื่องจักรและผู้ที่ทำหน้าที่ในกระบวนการผลิต

บรรณานุกรม

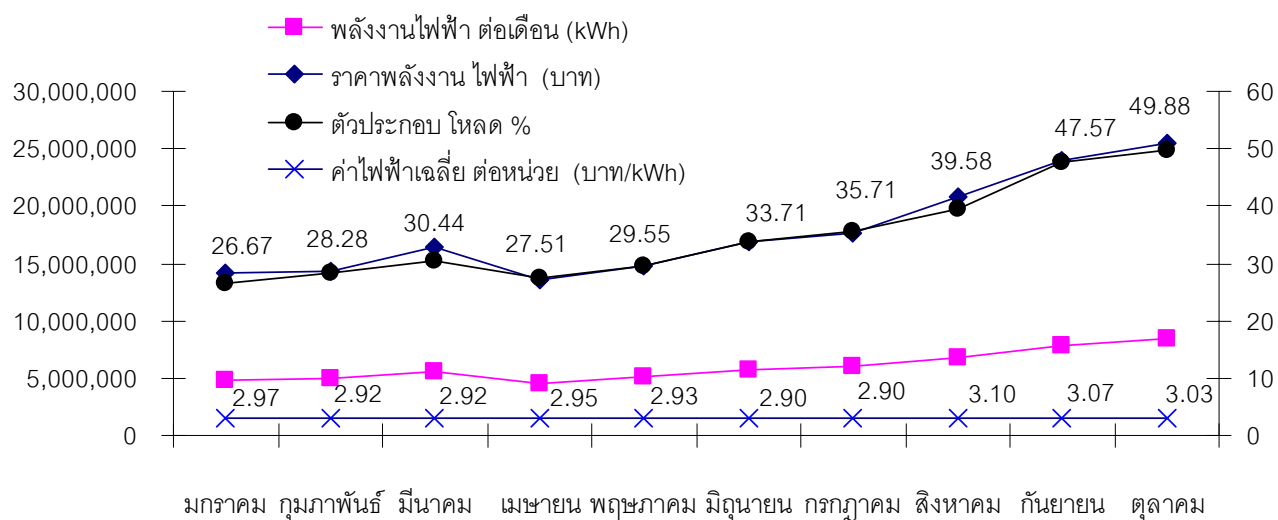
1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือชุดความรู้. การอนุรักษ์พลังงานสำหรับ
อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน. 2548;2000(1): 5-61.
2. อมรรัตน์ แก้วประดับ. การประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะ
[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศ.ม. คณะพลังงานและวัสดุ]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี; 2546.
3. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือชุดความรู้. การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงาน.
2548;2000(1): 9-18.
4. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือชุดความรู้. การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม.
2548;2000(1): 5-26.
5. ศิริศักดิ์ กิตติสารกุล. การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตอะไหล่รถยนต์.
[วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศ.ม. คณะพลังงานและวัสดุ]. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี; 2528.
6. ชัยนธ์ คุ่มภัย, ศิริศักดิ์ กิตติสารกุล. เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับหัวหน้างานและ
วิศวกร. การประหยัดพลังงานในการใช้เตาไฟฟ้าอุตสาหกรรม. 2526:3-6
7. สภาภาพผลิตแห่งชาติ ประเทศอินเดีย. เครื่องมือที่ใช้พลังงานไฟฟ้า. เครื่องอัดอากาศ
และระบบอากาศอัด. 2548:16-20.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายละเอียดการตรวจวัดและข้อมูล
พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โรงงานที่ 1

ตาราง 11 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552

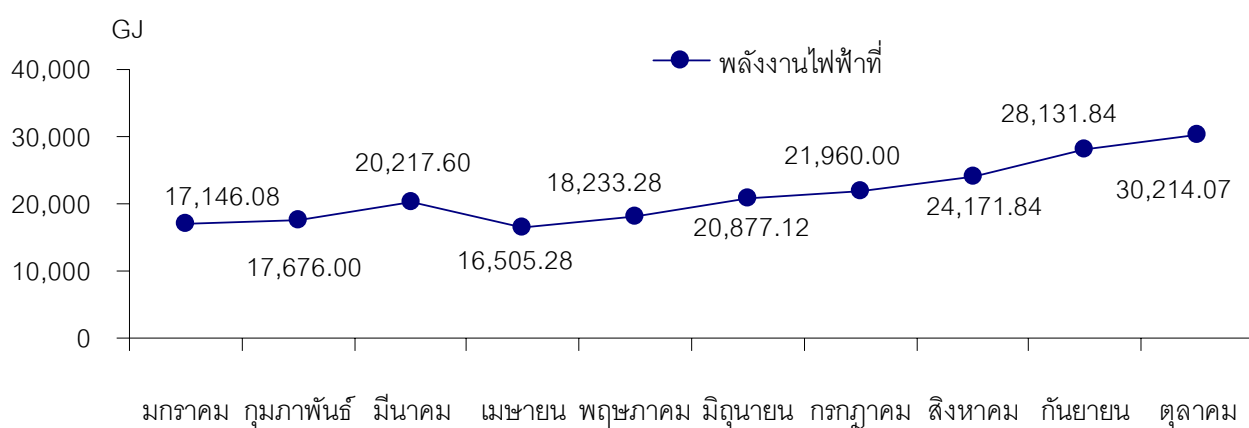
เดือน	กำลังไฟฟ้า สูงสุด	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ราคาพลังงาน ไฟฟ้า (บาท)	ตัวประกอบ โหลด (%)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย ต่อหน่วย(฿/kWh)
มกราคม	24,000.00	4,762,800.00	14,141,250.48	26.67	2.97
กุมภาพันธ์	23,340.00	4,910,000.00	14,350,471.57	28.28	2.92
มีนาคม	24,800.00	5,616,000.00	16,416,224.19	30.44	2.92
เมษายน	22,400.00	4,584,800.00	13,509,944.18	27.51	2.95
พฤษภาคม	23,040.00	5,064,800.00	14,826,356.13	29.55	2.93
มิถุนายน	23,120.00	5,799,200.00	16,821,298.54	33.71	2.90
กรกฎาคม	22,960.00	6,100,000.00	17,691,839.96	35.71	2.90
สิงหาคม	22,800.00	6,714,400.00	20,839,238.25	39.58	3.10
กันยายน	22,080.00	7,814,400.00	24,009,634.00	47.57	3.07
ตุลาคม	22,613.33	8,392,798.00	25,444,299.95	49.88	3.03
รวม	-	59,759,198.00	178,050,557.25	-	-
เฉลี่ยต่อเดือน	23,115.33	5,975,919.80	17,805,055.73	34.89	2.97
เฉลี่ยต่อปี	-	71,711,037.60	213,660,668.70	-	-



ภาพประกอบ 37 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552

ตาราง 12 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552 ในหน่วยพลังงานความร้อน

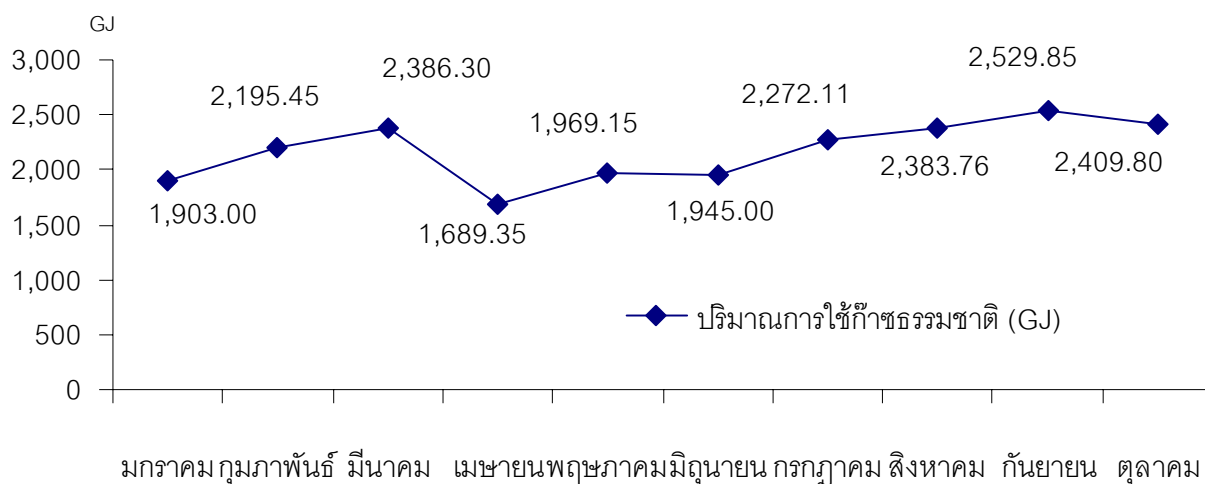
เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (GJ)	ราคาพลังงานไฟฟ้า (บาท)
มกราคม	4,762,800.00	17,146.08	14,141,250.48
กุมภาพันธ์	4,910,000.00	17,676.00	14,350,471.57
มีนาคม	5,616,000.00	20,217.60	16,416,224.19
เมษายน	4,584,800.00	16,505.28	13,509,944.18
พฤษภาคม	5,064,800.00	18,233.28	14,826,356.13
มิถุนายน	5,799,200.00	20,877.12	16,821,298.54
กรกฎาคม	6,100,000.00	21,960.00	17,691,839.96
สิงหาคม	6,714,400.00	24,171.84	20,839,238.25
กันยายน	7,814,400.00	28,131.84	24,009,634.00
ตุลาคม	8,392,798.00	30,214.07	25,444,299.95
รวม	59,759,198.00	215,133.11	178,050,557.25
เฉลี่ยต่อเดือน	5,975,919.80	21,513.31	17,805,055.73
เฉลี่ยต่อปี	71,711,037.60	258,159.74	213,660,668.70



ภาพประกอบ 38 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหน่วยพลังงานความร้อน

ตาราง 13 แสดงปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในปี 2552

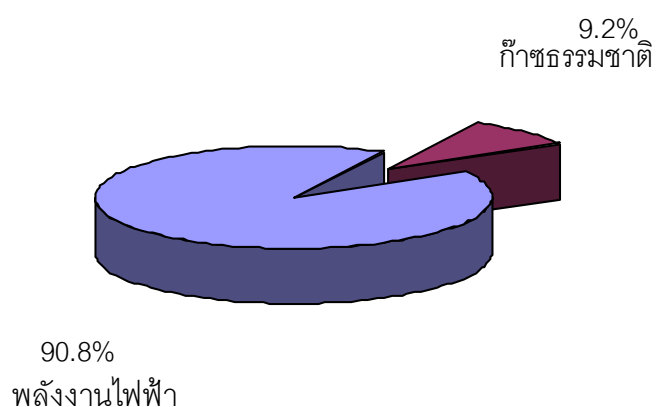
เดือน	ปริมาณ (m ³)	พลังงาน (GJ)	ราคาพลังงาน (บาท)
มกราคม	51,860.75	1,903.00	1,576,273.17
กุมภาพันธ์	59,830.45	2,195.45	1,710,097.70
มีนาคม	65,031.47	2,386.30	2,011,854.40
เมษายน	46,038.16	1,689.35	1,429,340.10
พฤษภาคม	53,663.43	1,969.15	1,474,067.34
มิถุนายน	53,005.31	1,945.00	1,813,596.48
กรกฎาคม	61,919.60	2,272.11	1,981,941.68
สิงหาคม	64,962.51	2,383.76	2,223,531.18
กันยายน	68,943.63	2,529.85	2,320,905.49
ตุลาคม	65,671.91	2,409.80	2,085,308.69
รวม	590,927.22	21,683.76	18,626,916.21
เฉลี่ยต่อเดือน	59,092.72	2,168.38	1,862,691.62
เฉลี่ยต่อปี	709,112.66	26,020.51	22,352,299.45



ภาพประกอบ 39 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ในหน่วยพลังงานความร้อน

ตาราง 14 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก๊าซธรรมชาติและพลังงานไฟฟ้า ปี 2552

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (GJ)	ก๊าซธรรมชาติ (GJ)	พลังงานที่ใช้รวม (GJ)
มกราคม	17,146.08	1,903.00	19,049.08
กุมภาพันธ์	17,676.00	2,195.45	19,871.45
มีนาคม	20,217.60	2,386.30	22,603.90
เมษายน	16,505.28	1,689.35	18,194.63
พฤษภาคม	18,233.28	1,969.15	20,202.43
มิถุนายน	20,877.12	1,945.00	22,822.12
กรกฎาคม	21,960.00	2,272.11	24,232.11
สิงหาคม	24,171.84	2,383.76	26,555.60
กันยายน	28,131.84	2,529.85	30,661.69
ตุลาคม	30,214.07	2,409.80	32,623.87
รวม	215,133.11	21,683.76	236,816.87
เฉลี่ยต่อเดือน	21,513.31	2,168.38	23,681.69



ภาพประกอบ 40 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ

ตาราง 15 ข้อมูลการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน

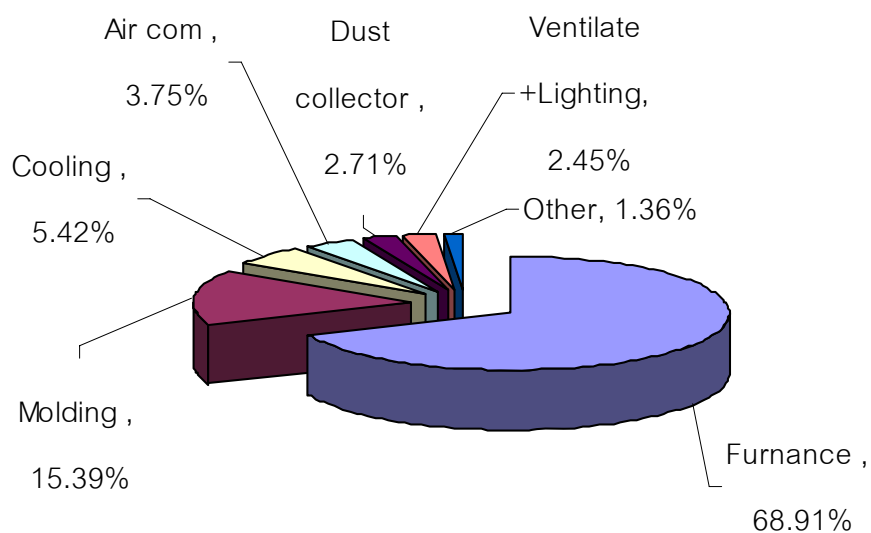
ขนาดหม้อแปลง (MVA)	แรงดัน (kv)	ชนิด	จำนวน เส้น/เฟส
30	115	Oil type	3
30	115	Oil type	3

ตาราง 16 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน

ลำดับ	รายการเครื่องจักร	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)	แฟคเตอร์ ใช้งาน (%)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า รวม (kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)
1	Furnace 1,2 (B1)	24	80	2	2,524.43	14,540,719.20
2	Furnace 3 (B1)	24	80	1	1,346.53	7,756,020.00
3	Furnace 4 (B2)	24	80	1	1,212.51	6,984,032.40
4	Furnace 5 (B2)	24	80	1	1,181.97	6,808,154.40
5	Furnace 6 (B2)	24	80	1	1,139.95	6,566,119.20
6	Furnace 7 (B2)	24	80	1	1,173.93	6,761,857.20
7	Molding B1	24	80	1	875.31	5,041,789.44
8	Molding B2	24	80	1	1,041.16	5,997,102.02
9	Cooling B1	24	80	3	275.84	1,588,814.40
10	Cooling B2	24	80	4	399.36	2,300,321.04
11	Air com	24	80	5	467.08	2,690,398.80
12	Dust collector B1	24	80	3	137.92	794,407.20
13	Dust collector B2	24	80	2	199.68	1,150,160.52
14	Ventilation & Lighting	24	80	-	304.84	1,755,864.58
15	Other	24	80	-	169.32	975,277.20
รวม				26	12,449.83	71,711,037.60

ตาราง 17 สัดส่วนการใช้พลังงานภายในโรงงาน

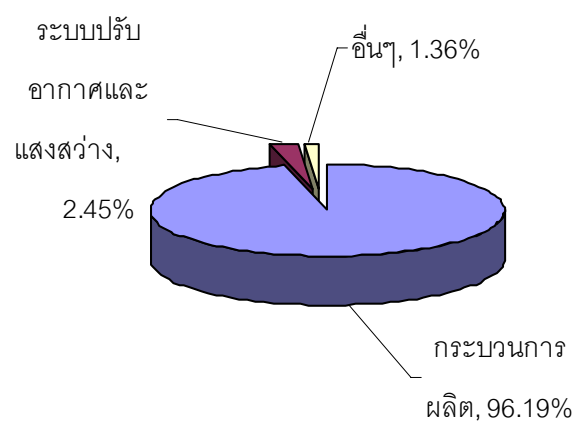
ลำดับ	รายการเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า(kW)	เปอร์เซ็นต์พลังงาน
1	Furnance	7	49,416,902.40	68.91%
2	Molding	2	11,038,891.46	15.39%
3	Cooling	7	3,889,135.44	5.42%
4	Air com	5	2,690,398.80	3.75%
5	Dust collector	5	1,944,567.72	2.71%
6	Ventilation & Lighting	-	1,755,864.58	2.45%
7	Other	-	975,277.20	1.36%
รวม		26	71,711,037.60	100%



ภาพประกอบ 41 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน

ตาราง 18 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

ลำดับ	ประเภทการใช้งาน	กำลังไฟฟ้า(kW)	เปอร์เซ็นต์พลังงาน
1	กระบวนการผลิต	68,979,895.82	96.19%
2	ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง	1,755,864.58	2.45%
3	อื่นๆ	975,277.20	1.36%
รวม		71,711,037.60	100%



ภาพประกอบ 42 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

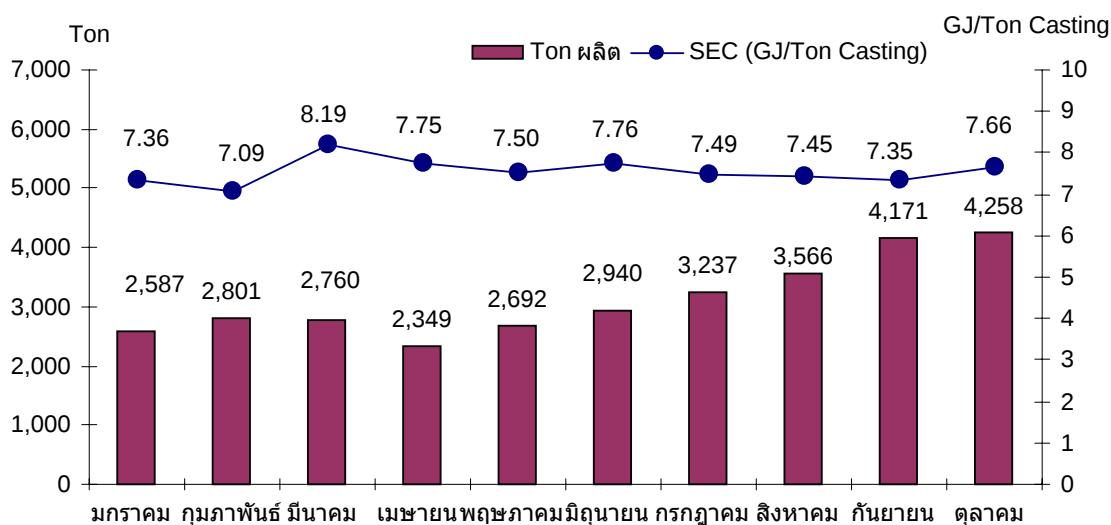
ตาราง 19 แสดงปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ปี 2009

เดือน	ปริมาณ Casting Line B1 (Tons)	ปริมาณ Casting Line B2 (Tons)	รวม (Ton Casting)
มกราคม	1,024	1,563	2,587
กุมภาพันธ์	877	1,925	2,801
มีนาคม	952	1,808	2,760
เมษายน	871	1,477	2,349
พฤษภาคม	1,064	1,628	2,692
มิถุนายน	1,053	1,887	2,940
กรกฎาคม	1,178	2,059	3,237
สิงหาคม	1,355	2,212	3,566
กันยายน	1,607	2,564	4,171
ตุลาคม	1,606	2,652	4,258
เฉลี่ย	1,159	1,978	3,136
รวม	11,586	19,775	31,361

ตาราง 20 แสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน

เดือน	ปริมาณ Casting (Ton)	ปริมาณการใช้พลังงาน (GJ)			พลังงานจำเพาะรวม (GJ/Ton _{Casting})
		ไฟฟ้า	ก๊าซ NGV	รวม	
มกราคม	2,587	17,146.08	1,903.00	19,049.08	7.36
กุมภาพันธ์	2,801	17,676.00	2,195.45	19,871.45	7.09
มีนาคม	2,760	20,217.60	2,386.30	22,603.90	8.19
เมษายน	2,349	16,505.28	1,689.35	18,194.63	7.75
พฤษภาคม	2,692	18,233.28	1,969.15	20,202.43	7.50
มิถุนายน	2,940	20,877.12	1,945.00	22,822.12	7.76
กรกฎาคม	3,237	21,960.00	2,272.11	24,232.11	7.49
สิงหาคม	3,566	24,171.84	2,383.76	26,555.60	7.45
กันยายน	4,171	28,131.84	2,529.85	30,661.69	7.35
ตุลาคม	4,258	30,214.07	2,409.80	32,623.87	7.66
ค่าเฉลี่ย/เดือน	3,136.10	21,513.31	2,168.38	23,681.69	7.55

ค่าเฉลี่ยของกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กหล่อขึ้นรูป(Casting) SEC = 8.73 GJ/Unit
(ข้อมูลจากฐานข้อมูลของ พพ. ฐาน 8 วิเคราะห์ข้อมูลเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2548)



ภาพประกอบ 43 แสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน

การหาความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

การหาความสัมพันธ์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมคือ ปริมาณในการผลิต (Tons Casting) ดังนั้นในการพิจารณาค่าความสัมพันธ์ได้ใช้วิธีการที่เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression) เพื่อวิเคราะห์หาสมการพลังงานที่สามารถสะท้อนถึงการใช้พลังงานโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม คือ ปริมาณใช้พลังงานไฟฟ้า กับตัวแปรอิสระคือ ปริมาณในการผลิต ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการทั่วไปได้ดังนี้

จากสมการ $Y = a + bx$

โดยที่ y คือตัวแปรตาม

a คือตัวแปรอิสระ

b คือสัมประสิทธิ์การถดถอยที่จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระบนตัวแปร

จากความสัมพันธ์เชิงเส้น คือ $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$

ซึ่งประมาณด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น ได้ดังนี้

จากข้อมูลตารางที่ ก.10 คำนวณหาค่า a และ b ได้จากสูตร

$$\begin{aligned}
 SS_{xx} &= \sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum_1^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_1^n X_i\right)^2}{n} & SS_{xx} &= 3935132.900 \\
 SS_{xy} &= \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = \sum_1^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_1^n X_i\right)\left(\sum_1^n Y_i\right)}{n} & SS_{xy} &= 28805369.773 \\
 SS_{yy} &= \sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_1^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_1^n Y_i\right)^2}{n} & SS_{yy} &= 217337927.288 \\
 \bar{X} &= 3136.100 \\
 \bar{Y} &= 23681.687 \\
 \hat{Y} &= a + bX_i \quad a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad b = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}} & b &= 7.320 \\
 & & a &= 725.278
 \end{aligned}$$

ดังนั้นได้สมการถดถอย คือ $\hat{Y} = 725.278 + 7.320 X_1$

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std.Error of the Estimate
1	0.9850	0.9702	0.9665	900.0819

a. Predictors: (Constant), Production (Ton)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2 or R^2)

$$R^2 = \quad r^2 = \quad 0.9702 \quad \text{หรือ} \quad 97.02\%$$

ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ 97.02%

ตาราง 21 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยสมการถดถอย

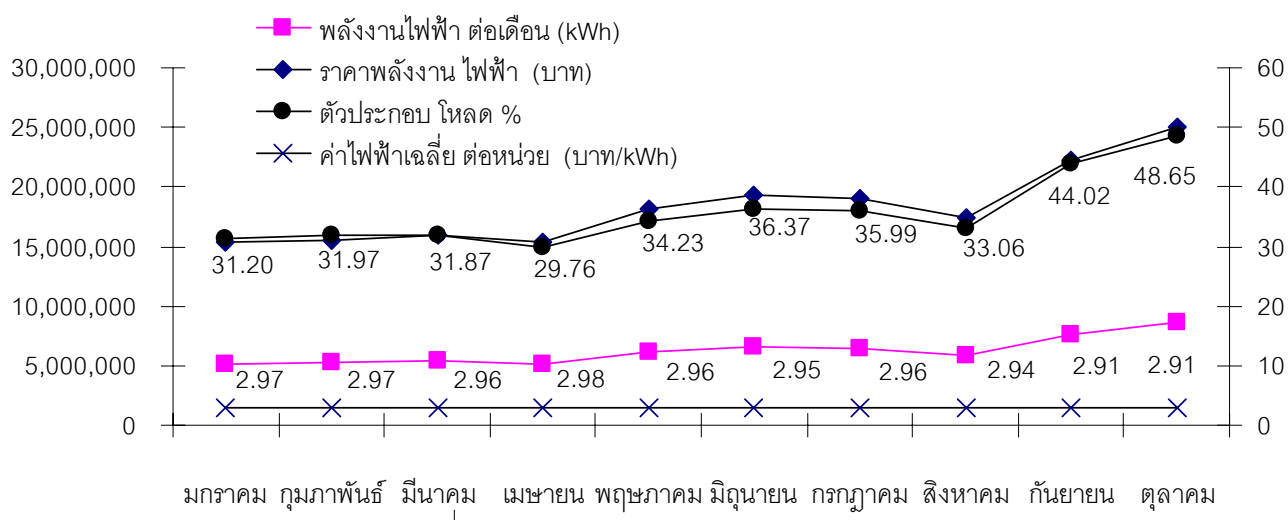
เดือน	ปริมาณ Casting (Ton)	ปริมาณการใช้ พลังงานที่เกิดขึ้นจริง	ปริมาณการใช้ พลังงานที่คำนวณได้	% ความ แตกต่าง
มกราคม	2,587	19,049.08	19,662.12	3.22%
กุมภาพันธ์	2,801	19,871.45	21,228.60	6.83%
มีนาคม	2,760	22,603.90	20,928.48	-7.41%
เมษายน	2,349	18,194.63	17,919.96	-1.51%
พฤษภาคม	2,692	20,202.43	20,430.72	1.13%
มิถุนายน	2,940	22,822.12	22,246.08	-2.52%
กรกฎาคม	3,237	24,232.11	24,420.12	0.78%
สิงหาคม	3,566	26,555.60	26,828.40	1.03%
กันยายน	4,171	30,661.69	31,257.00	1.94%
ตุลาคม	4,258	32,623.87	31,893.84	-2.24%
ค่าเฉลี่ย	3,136	23,682	23,682	0.00%

ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานแสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์ในรูปเส้นตรงกล่าวคือถ้าปริมาณต้นในการผลิตเพิ่มก็จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามกันและ ถ้าต้นในการผลิตลดลงหรือน้อยลงการใช้พลังงานก็น้อยลงเช่นกัน

ภาคผนวก ข
รายละเอียดการตรวจวัดและข้อมูล
พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โรงงานที่ 2

ตาราง 22 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552

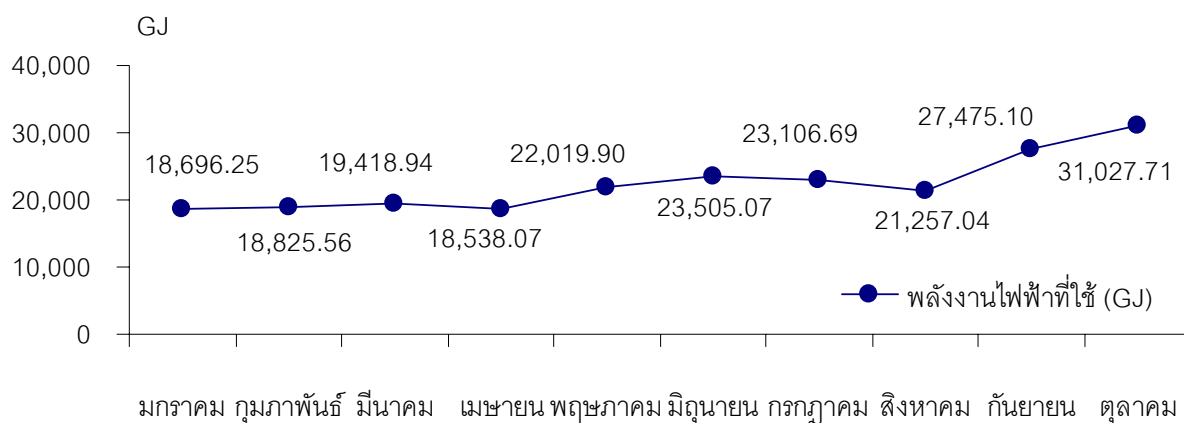
เดือน	กำลังไฟฟ้า สูงสุด	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ราคาพลังงาน ไฟฟ้า (บาท)	ตัวประกอบ โหลด (%)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)
มกราคม	23,963.33	5,193,403.00	15,423,725.97	31.20	2.97
กุมภาพันธ์	24,130.00	5,229,321.00	15,522,478.43	31.97	2.97
มีนาคม	23,670.00	5,394,149.00	15,987,843.62	31.87	2.96
เมษายน	24,090.00	5,149,463.36	15,333,845.48	29.76	2.98
พฤษภาคม	24,630.00	6,116,639.91	18,131,715.77	34.23	2.96
มิถุนายน	24,960.00	6,529,185.31	19,269,279.27	36.37	2.95
กรกฎาคม	24,780.00	6,418,526.13	18,973,614.57	35.99	2.96
สิงหาคม	24,870.00	5,904,733.74	17,380,069.26	33.06	2.94
กันยายน	24,120.00	7,631,971.00	22,242,661.51	44.02	2.91
ตุลาคม	24,660.00	8,618,807.02	25,048,072.29	48.65	2.91
รวม	-	62,186,199.46	183,313,306.16	-	-
เฉลี่ยต่อเดือน	24,387.33	6,218,619.95	18,331,330.62	35.71	2.95
เฉลี่ยต่อปี	-	74,623,439.36	219,975,967.39	-	-



ภาพประกอบ 44 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ปี 2552

ตาราง 23 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552 ในหน่วยพลังงานความร้อน

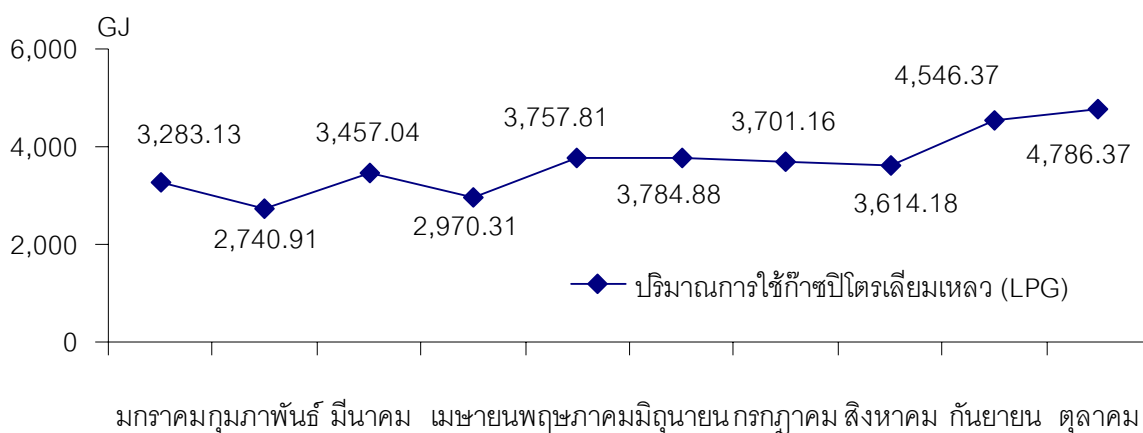
เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (GJ)	ราคาพลังงานไฟฟ้า (บาท)
มกราคม	5,193,403.00	18,696.25	15,423,725.97
กุมภาพันธ์	5,229,321.00	18,825.56	15,522,478.43
มีนาคม	5,394,149.00	19,418.94	15,987,843.62
เมษายน	5,149,463.36	18,538.07	15,333,845.48
พฤษภาคม	6,116,639.91	22,019.90	18,131,715.77
มิถุนายน	6,529,185.31	23,505.07	19,269,279.27
กรกฎาคม	6,418,526.13	23,106.69	18,973,614.57
สิงหาคม	5,904,733.74	21,257.04	17,380,069.26
กันยายน	7,631,971.00	27,475.10	22,242,661.51
ตุลาคม	8,618,807.02	31,027.71	25,048,072.29
รวม	62,186,199.46	223,870.32	183,313,306.16
เฉลี่ยต่อเดือน	6,218,619.95	22,387.03	18,331,330.62
เฉลี่ยต่อปี	74,623,439.36	268,644.38	219,975,967.39



ภาพประกอบ 45 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในหน่วยพลังงานความร้อน

ตาราง 24 แสดงปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวในปี 2552

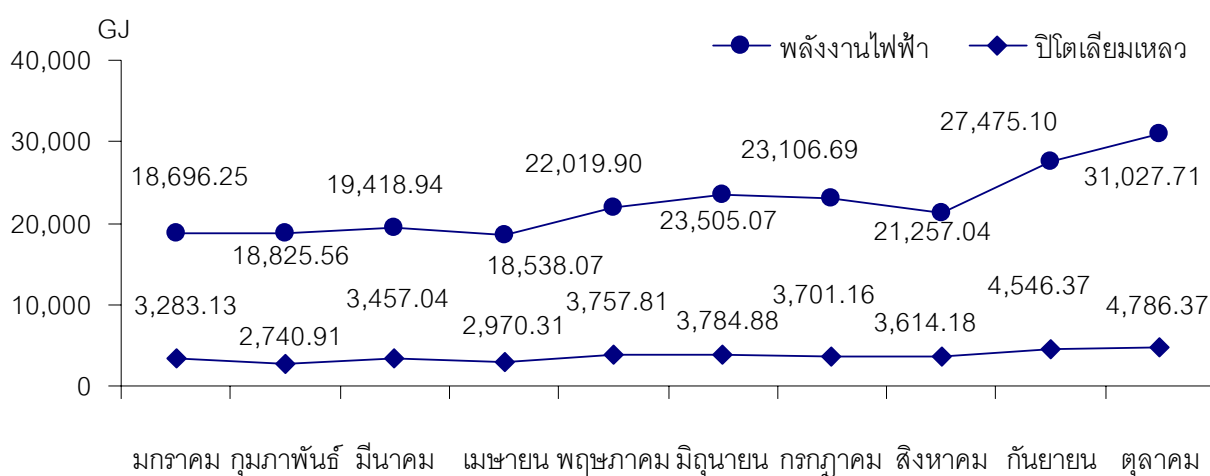
เดือน	ปริมาณ (Kg)	พลังงาน (GJ)	ราคาพลังงาน (บาท)
มกราคม	65,375.00	3,283.13	1,128,664.00
กุมภาพันธ์	54,578.00	2,740.91	936,690.00
มีนาคม	68,838.00	3,457.04	1,169,431.00
เมษายน	59,146.00	2,970.31	1,038,754.00
พฤษภาคม	74,827.00	3,757.81	1,276,740.00
มิถุนายน	75,366.00	3,784.88	1,237,136.00
กรกฎาคม	73,699.00	3,701.16	1,281,339.00
สิงหาคม	71,967.00	3,614.18	1,242,272.00
กันยายน	90,529.00	4,546.37	1,571,956.00
ตุลาคม	95,308.00	4,786.37	1,672,686.00
รวม	729,633.00	36,642.17	12,555,668.00
เฉลี่ยต่อเดือน	72,963.30	3,664.22	1,255,566.80
เฉลี่ยต่อปี	875,559.60	43,970.60	15,066,801.60



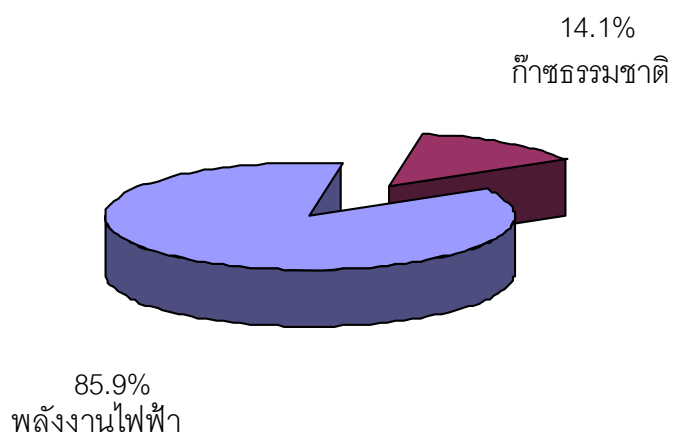
ภาพประกอบ 46 ปริมาณการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว ในหน่วยพลังงานความร้อน

ตาราง 25 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก๊าซปิโตรเลียมเหลวและพลังงานไฟฟ้า ปี 2552

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (GJ)	ปิโตรเลียมเหลว (GJ)	พลังงานที่ใช้รวม (GJ)
มกราคม	18,696.25	3,283.13	21,979.38
กุมภาพันธ์	18,825.56	2,740.91	21,566.46
มีนาคม	19,418.94	3,457.04	22,875.98
เมษายน	18,538.07	2,970.31	21,508.38
พฤษภาคม	22,019.90	3,757.81	25,777.72
มิถุนายน	23,505.07	3,784.88	27,289.95
กรกฎาคม	23,106.69	3,701.16	26,807.86
สิงหาคม	21,257.04	3,614.18	24,871.22
กันยายน	27,475.10	4,546.37	32,021.46
ตุลาคม	31,027.71	4,786.37	35,814.07
รวม	223,870.32	36,642.17	260,512.49
เฉลี่ยต่อเดือน	22,387.03	3,664.22	26,051.25



ภาพประกอบ 47 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซปิโตรเลียมเหลว



ภาพประกอบ 48 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซปิโตรเลียมเหลว

ตาราง 26 ข้อมูลการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน

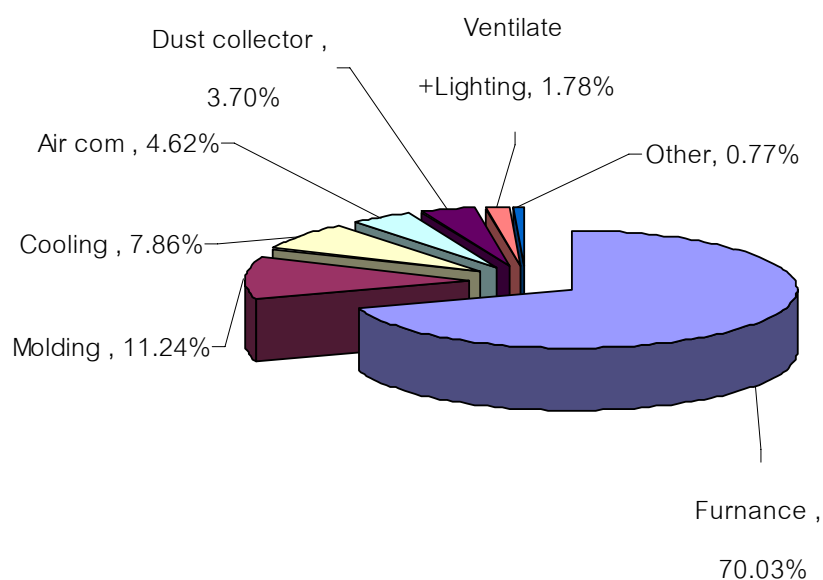
ขนาดหม้อแปลง (MVA)	แรงดัน (kv)	ชนิด	จำนวน เส้น/เฟส
35	115	Oil type	3
40	115	Oil type	3

ตาราง 27 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน

ลำดับ	รายการเครื่องจักร	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)	แฟคเตอร์ การใช้งาน (%)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า รวม (kW)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)
1	Furnace MA	24	80	5	4,035.43	23,244,085.50
2	Furnace MB	24	80	2	1,610.18	9,274,641.01
3	Furnace MC	24	80	4	3,426.98	19,739,401.94
4	Molding MA	24	80	1	540.76	3,114,753.05
5	Molding MB	24	80	1	255.32	1,470,665.34
6	Molding MC	24	80	1	659.92	3,801,136.45
7	Cooling MA	24	80	4	297.82	1,715,436.22
8	Cooling MB	24	80	2	209.53	1,206,879.56
9	Cooling MC	24	80	5	511.04	2,943,564.23
10	Air com MA	24	80	2	221.16	1,273,887.25
11	Air com MB	24	80	1	114.43	659,088.91
12	Air com MC	24	80	2	262.52	1,512,119.65
13	Dust collector MA	24	80	3	201.16	1,158,703.20
14	Dust collector MB	24	80	3	209.02	1,203,961.28
15	Dust collector MC	24	80	1	69.67	401,290.51
16	Ventilation & Lighting	24	80	-	230.55	1,327,948.09
17	Other	24	80	-	99.98	575,876.92
รวม				37	12,955.46	74,623,439.12

ตาราง 28 สัดส่วนการใช้พลังงานภายในโรงงาน

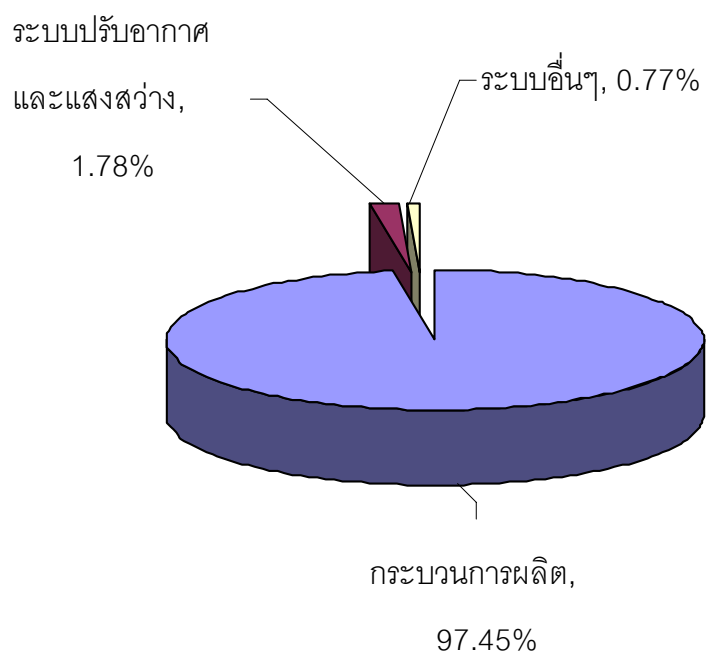
ลำดับ	รายการเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า(kW)	เปอร์เซ็นต์พลังงาน
1	Furnance	11	52,258,128.46	70.03%
2	Molding	3	8,386,554.84	11.24%
3	Cooling	11	5,865,880.01	7.86%
4	Air com	5	3,445,095.82	4.62%
5	Dust collector	7	2,763,955.00	3.70%
6	Ventilation & Lighting	-	1,327,948.09	1.78%
7	Other	-	575,876.92	0.77%
รวม		37	74,623,439.12	100.00%



ภาพประกอบ 49 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน

ตาราง 29 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

ลำดับ	ประเภทการใช้งาน	กำลังไฟฟ้า(kW)	เปอร์เซ็นต์พลังงาน
1	กระบวนการผลิต	72,719,614.12	97.45%
2	ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง	1,327,948.09	1.78%
3	ระบบอื่นๆ	575,876.92	0.77%
รวม		74,623,439.12	100.00%



ภาพประกอบ 50 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

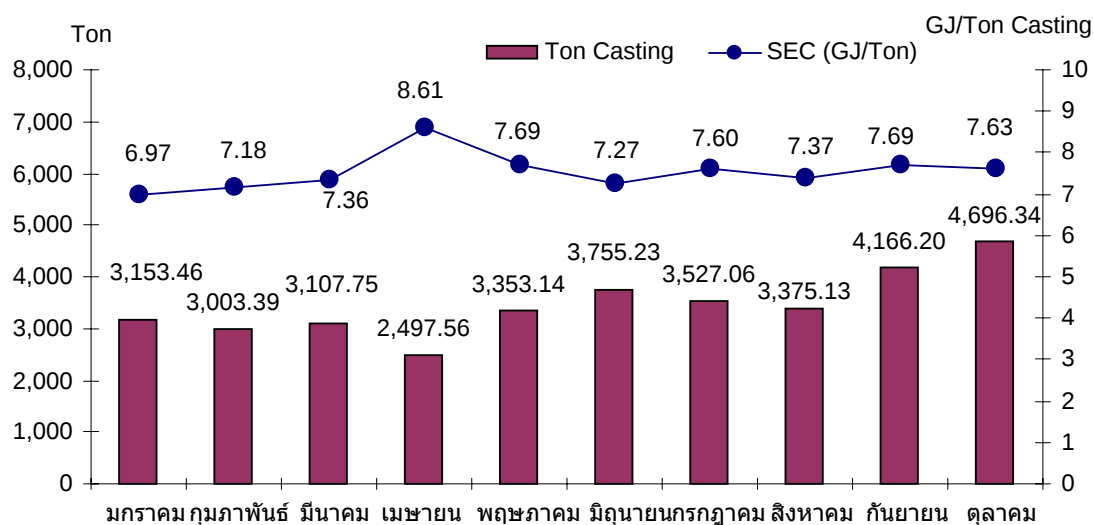
ตาราง 30 แสดงปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ปี 2009

เดือน	ปริมาณ Casting Line MA (Tons)	ปริมาณ Casting Line MB (Tons)	ปริมาณ Casting Line MC (Tons)	รวม (Tons Casting)
มกราคม	1,324.21	361.02	1,360.13	3,045.36
กุมภาพันธ์	1,295.01	378.53	1,486.58	3,160.12
มีนาคม	1,435.35	304.07	1,533.96	3,273.38
เมษายน	2,029.99	812.15	2,044.43	4,886.57
พฤษภาคม	1,786.26	477.27	1,331.98	3,595.50
มิถุนายน	2,038.74	436.33	1,280.16	3,755.23
กรกฎาคม	1,308.71	517.39	1,700.97	3,527.06
สิงหาคม	1,159.58	438.31	1,777.24	3,375.13
กันยายน	1,242.16	536.16	2,387.87	4,166.20
ตุลาคม	1,655.56	577.50	2,463.29	4,696.34
เฉลี่ย	1,528	484	1,737	3,748
รวม	15,276	4,839	17,367	37,481

ตาราง 31 แสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน

เดือน	ปริมาณ	ปริมาณการใช้พลังงาน (GJ)			พลังงานจำเพาะรวม
	Casting (Ton)	ไฟฟ้า	แก๊ส LPG	รวม	(GJ/Ton _{Casting})
มกราคม	3,153.46	18,696.25	3,283.13	21,979.38	6.97
กุมภาพันธ์	3,003.39	18,825.56	2,740.91	21,566.47	7.18
มีนาคม	3,107.75	19,418.94	3,457.04	22,875.98	7.36
เมษายน	2,497.56	18,538.07	2,970.31	21,508.38	8.61
พฤษภาคม	3,353.14	22,019.90	3,757.81	25,777.71	7.69
มิถุนายน	3,755.23	23,505.07	3,784.88	27,289.95	7.27
กรกฎาคม	3,527.06	23,106.69	3,701.16	26,807.85	7.60
สิงหาคม	3,375.13	21,257.04	3,614.18	24,871.22	7.37
กันยายน	4,166.20	27,475.10	4,546.37	32,021.47	7.69
ตุลาคม	4,696.34	31,027.71	4,786.37	35,814.08	7.63
ค่าเฉลี่ย/เดือน	3,463.53	22,387.03	3,664.22	26,051.25	7.52

ค่าเฉลี่ยของกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กหล่อขึ้นรูป(Casting) SEC = 8.73 GJ/Unit
(ข้อมูลจากฐานข้อมูลของ พพ. ฐาน 8 วิเคราะห์ข้อมูลเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2548)



ภาพประกอบ 51 การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน

การหาความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

การหาความสัมพันธ์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมคือ ปริมาณในการผลิต (Tons Casting) ดังนั้นในการพิจารณาหาความสัมพันธ์ ได้ใช้วิธีการที่เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression) เพื่อวิเคราะห์หาสมการพลังงานที่สามารถสะท้อนถึงการใช้พลังงานโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม คือ ปริมาณใช้พลังงานไฟฟ้า กับตัวแปรอิสระคือ ปริมาณในการผลิต ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการทั่วไปได้ดังนี้

จากสมการ $Y = a + bx$

โดยที่ y คือตัวแปรตาม

a คือตัวแปรอิสระ

b คือสัมประสิทธิ์การถดถอยที่จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระบนตัวแปร

จากความสัมพันธ์เชิงเส้น คือ $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$

ซึ่งประมาณด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น ได้ดังนี้

จากข้อมูลตารางที่ ข.10 คำนวณหาค่า a และ b ได้จากสูตร

$$\begin{aligned}
 SS_{xx} &= \sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum_1^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_1^n X_i\right)^2}{n} & SS_{xx} &= 3490245.460 \\
 SS_{xy} &= \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = \sum_1^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_1^n X_i\right)\left(\sum_1^n Y_i\right)}{n} & SS_{xy} &= 25618885.162 \\
 SS_{yy} &= \sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_1^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_1^n Y_i\right)^2}{n} & SS_{yy} &= 201943747.677 \\
 \bar{X} &= 3463.526 \\
 \bar{Y} &= 26051.250 \\
 \hat{Y} &= a + bX_i \quad a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad b = \frac{SS_{xx}}{SS_{xy}} & b &= 7.340 \\
 & & a &= 628.492
 \end{aligned}$$

ดังนั้นได้สมการถดถอย คือ $\hat{Y} = 628.492 + 7.340 X_1$

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std.Error of the Estimate
1	0.965	0.931	0.923	1318.028

a. Predictors: (Constant), Production (Ton)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2 or R^2)

$$R^2 = \quad r^2 = \quad 0.9312 \quad \text{หรือ} \quad 93.12\%$$

ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ 93.12%

ตาราง 32 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยสมการถดถอย

เดือน	ปริมาณ Casting (Ton)	ปริมาณการใช้ พลังงานที่เกิดขึ้นจริง	ปริมาณการใช้ พลังงานที่คำนวณได้	% ความ แตกต่าง
มกราคม	3,153	21,979.38	23,774.87	8.17%
กุมภาพันธ์	3,003	21,566.47	22,673.39	5.13%
มีนาคม	3,108	22,875.98	23,439.35	2.46%
เมษายน	2,498	21,508.38	18,960.57	-11.85%
พฤษภาคม	3,353	25,777.71	25,240.52	-2.08%
มิถุนายน	3,755	27,289.95	28,191.89	3.31%
กรกฎาคม	3,527	26,807.85	26,517.14	-1.08%
สิงหาคม	3,375	24,871.22	25,401.97	2.13%
กันยายน	4,166	32,021.47	31,208.36	-2.54%
ตุลาคม	4,696	35,814.08	35,099.64	-1.99%
ค่าเฉลี่ย	3,464	26,051	26,051	0.00%

ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานแสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์ในรูปเส้นตรงกล่าวคือถ้าปริมาณต้นในการผลิตเพิ่มก็จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามกันและ ถ้าต้นในการผลิตลดลงหรือน้อยลงการใช้พลังงานก็น้อยลงเช่นกัน

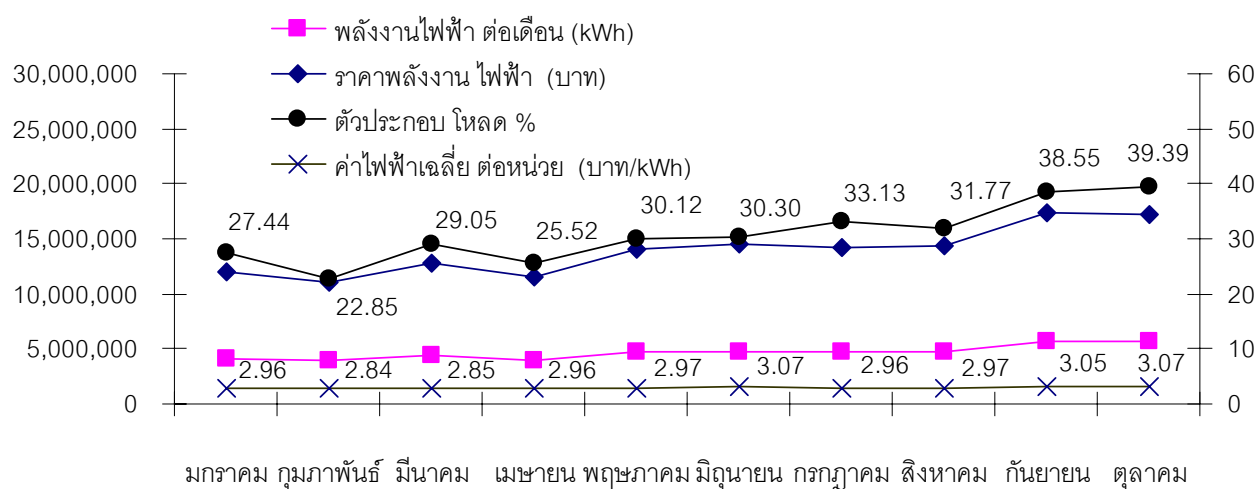
ภาคผนวก ค

รายละเอียดการตรวจวัดและข้อมูล

พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โรงงานที่ 3

ตาราง 33 แสดงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552

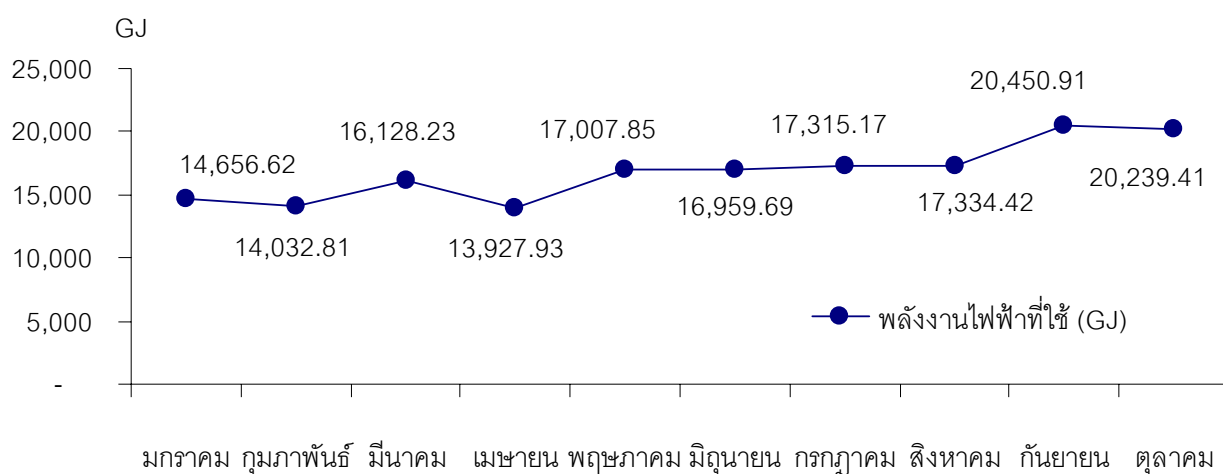
เดือน	กำลังไฟฟ้า สูงสุด	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ราคาพลังงาน ไฟฟ้า (บาท)	ตัวประกอบ โหลด %	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย ต่อหน่วย(฿/kWh)
มกราคม	20,960.00	4,071,283.30	12,065,867.44	27.44	2.96
กุมภาพันธ์	24,320.00	3,898,003.10	11,054,834.64	22.85	2.84
มีนาคม	21,840.00	4,480,063.90	12,779,548.72	29.05	2.85
เมษายน	21,440.00	3,868,869.69	11,449,025.56	25.52	2.96
พฤษภาคม	22,160.00	4,724,403.90	14,029,971.85	30.12	2.97
มิถุนายน	22,000.00	4,711,023.84	14,480,645.76	30.30	3.07
กรกฎาคม	20,480.00	4,809,768.75	14,235,511.89	33.13	2.96
สิงหาคม	21,360.00	4,815,117.11	14,298,134.73	31.77	2.97
กันยายน	21,040.00	5,680,808.10	17,346,635.61	38.55	3.05
ตุลาคม	20,400.00	5,622,057.72	17,232,880.40	39.39	3.07
รวม	-	46,681,399.41	138,973,056.60	-	-
เฉลี่ยต่อเดือน	21,600.00	4,668,139.94	13,897,305.66	30.81	2.97
เฉลี่ยต่อปี	-	56,017,679.29	166,767,667.92	-	-



ภาพประกอบ 52 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ปี 2552

ตาราง 34 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ปี 2552 ในหน่วยพลังงานความร้อน

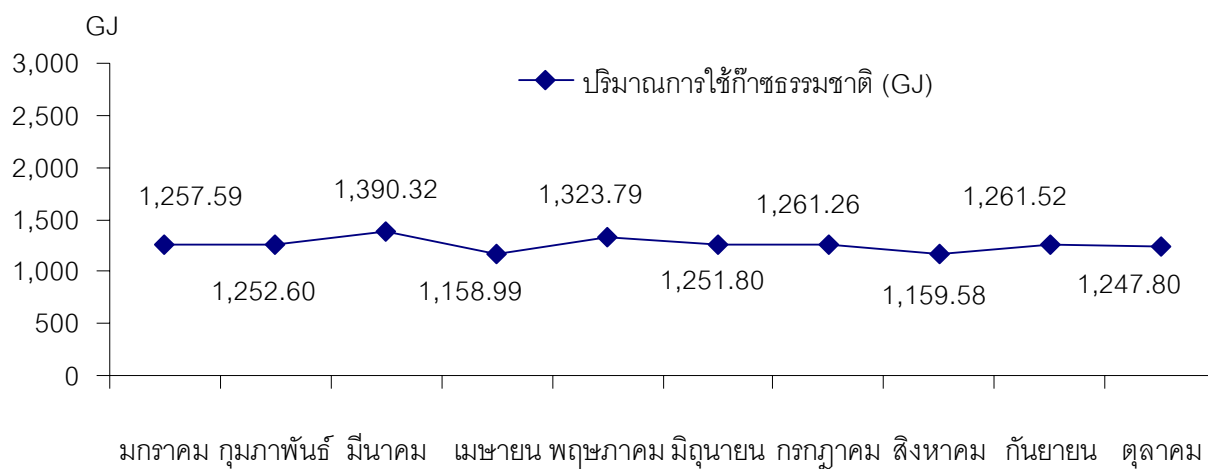
เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (GJ)	ราคาพลังงานไฟฟ้า (บาท)
มกราคม	4,071,283.30	14,656.62	12,065,867.44
กุมภาพันธ์	3,898,003.10	14,032.81	11,054,834.64
มีนาคม	4,480,063.90	16,128.23	12,779,548.72
เมษายน	3,868,869.69	13,927.93	11,449,025.56
พฤษภาคม	4,724,403.90	17,007.85	14,029,971.85
มิถุนายน	4,711,023.84	16,959.69	14,480,645.76
กรกฎาคม	4,809,768.75	17,315.17	14,235,511.89
สิงหาคม	4,815,117.11	17,334.42	14,298,134.73
กันยายน	5,680,808.10	20,450.91	17,346,635.61
ตุลาคม	5,622,057.72	20,239.41	17,232,880.40
รวม	46,681,399.41	168,053.04	138,973,056.60
เฉลี่ยต่อเดือน	4,668,139.94	16,805.30	13,897,305.66
เฉลี่ยต่อปี	56,017,679.29	201,663.65	166,767,667.92



ภาพประกอบ 53 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในหน่วยพลังงานความร้อน

ตาราง 35 แสดงปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติในปี 2552

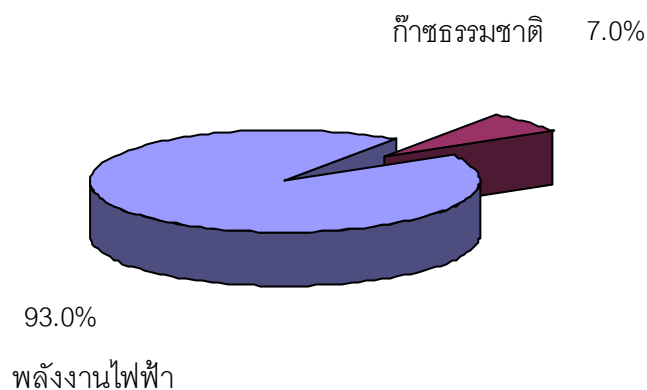
เดือน	ปริมาณ (m ³)	พลังงาน (GJ)	ราคาพลังงาน (บาท)
มกราคม	34,272.00	1,257.59	1,041,674.71
กุมภาพันธ์	34,136.00	1,252.60	975,688.71
มีนาคม	37,889.00	1,390.32	1,172,157.96
เมษายน	31,585.00	1,158.99	980,614.88
พฤษภาคม	36,076.00	1,323.79	990,962.71
มิถุนายน	34,114.00	1,251.80	1,167,223.34
กรกฎาคม	34,372.00	1,261.26	1,100,189.53
สิงหาคม	31,601.00	1,159.58	1,081,636.34
กันยายน	34,379.00	1,261.52	1,157,328.17
ตุลาคม	34,005.00	1,247.80	1,079,775.49
รวม	342,429.00	12,565.25	10,747,251.84
เฉลี่ยต่อเดือน	34,242.90	1,256.53	1,074,725.18
เฉลี่ยต่อปี	410,914.80	15,078.30	12,896,702.21



ภาพประกอบ 54 ปริมาณการใช้ก๊าซธรรมชาติ ในหน่วยพลังงานความร้อน

ตาราง 36 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานก๊าซธรรมชาติและพลังงานไฟฟ้า ปี 2552

เดือน	พลังงานไฟฟ้า (GJ)	ก๊าซธรรมชาติ (GJ)	พลังงานที่ใช้รวม (GJ)
มกราคม	14,656.62	1,257.59	15,914.21
กุมภาพันธ์	14,032.81	1,252.60	15,285.41
มีนาคม	16,128.23	1,390.32	17,518.55
เมษายน	13,927.93	1,158.99	15,086.93
พฤษภาคม	17,007.85	1,323.79	18,331.64
มิถุนายน	16,959.69	1,251.80	18,211.48
กรกฎาคม	17,315.17	1,261.26	18,576.43
สิงหาคม	17,334.42	1,159.58	18,494.00
กันยายน	20,450.91	1,261.52	21,712.43
ตุลาคม	20,239.41	1,247.80	21,487.20
รวม	168,053.04	12,565.25	180,618.29
เฉลี่ยต่อเดือน	16,805.30	1,256.53	18,061.83



ภาพประกอบ 55 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติ

ตาราง 37 ข้อมูลการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน

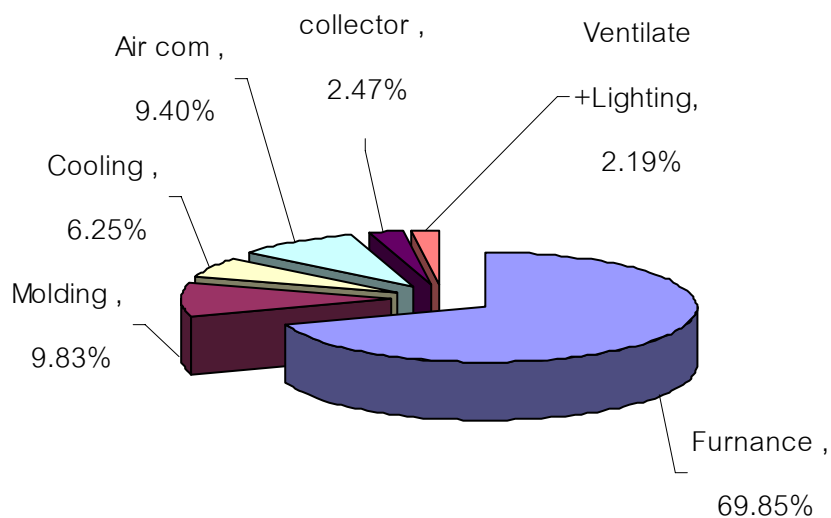
ขนาดหม้อแปลง (MVA)	แรงดัน (kv)	ชนิด	จำนวน เส้น/เฟส
35	115	Oil type	3
35	115	Oil type	3

ตาราง 38 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในภายในโรงงาน

ลำดับ	รายการเครื่องจักร	การใช้งาน (ชั่วโมง/วัน)	แฟคเตอร์ ใช้งาน(%)	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า รวม(kW)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/ปี)
1	Furnace M1	24	80	3	365.94	2,107,811.62
2	Furnace M9	24	80	4	1397.96	8,052,263.01
3	Furnace M10	24	80	5	890.59	5,129,817.93
4	Furnace M11	24	80	2	1432.65	8,252,089.13
5	Furnace M14	24	80	3	2706.41	15,588,946.81
6	Molding M1	24	80	1	30.53	175,845.26
7	Molding M9	24	80	1	286.87	1,652,370.15
8	Molding M10	24	80	1	97.73	562,925.09
9	Molding M11	24	80	1	207.77	1,196,764.03
10	Molding M14	24	80	1	333.21	1,919,301.45
11	Cooling M1	24	80	3	42.65	245,690.13
12	Cooling M9	24	80	4	133.98	771,753.46
13	Cooling M10	24	80	5	51.08	294,200.15
14	Cooling M11	24	80	2	120.38	693,378.12
15	Cooling M14	24	80	3	259.33	1,493,742.99
16	Air com	24	80	5	914.38	5,266,841.44
21	Dust collector M1	24	80	1	18.17	104,662.28
22	Dust collector M9	24	80	1	53.87	310,291.52
23	Dust collector M10	24	80	2	21.66	124,755.62
24	Dust collector M11	24	80	3	49.64	285,901.38
25	Dust collector M14	24	80	2	97.06	559,047.43
26	Ventilation & Lighting	24	80	-	213.42	1,229,280.28
รวม				53	9,725.2	56,017,679.29

ตาราง 39 สัดส่วนการใช้พลังงานภายในโรงงาน

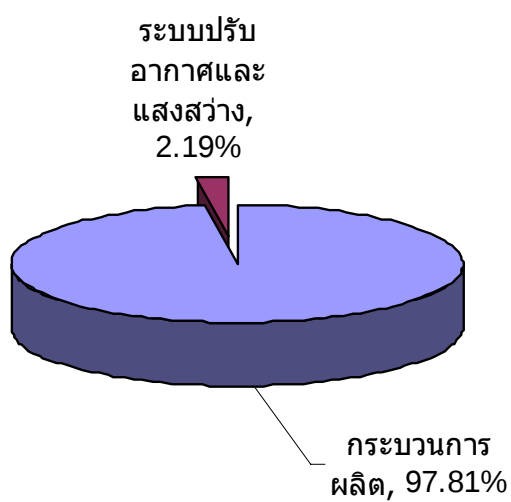
ลำดับ	รายการเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	กำลังไฟฟ้า(kW)	เปอร์เซ็นต์พลังงาน
1	Furnance	17	39,130,928.49	69.85%
2	Molding	5	5,507,205.98	9.83%
3	Cooling	17	3,498,764.85	6.25%
4	Air com	5	5,266,841.44	9.40%
5	Dust collector	9	1,384,658.24	2.47%
6	Ventilation & Lighting	-	1,229,280.28	2.19%
รวม		53	56,017,679.29	100%



ภาพประกอบ 56 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงาน

ตาราง 40 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

ลำดับ	ประเภทการใช้งาน	กำลังไฟฟ้า(kW)	เปอร์เซ็นต์พลังงาน
1	กระบวนการผลิต	54,788,399.01	97.81%
2	ระบบปรับอากาศและแสงสว่าง	1,229,280.28	2.19%
	รวม	56,017,679.29	100%



ภาพประกอบ 57 สรุปสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

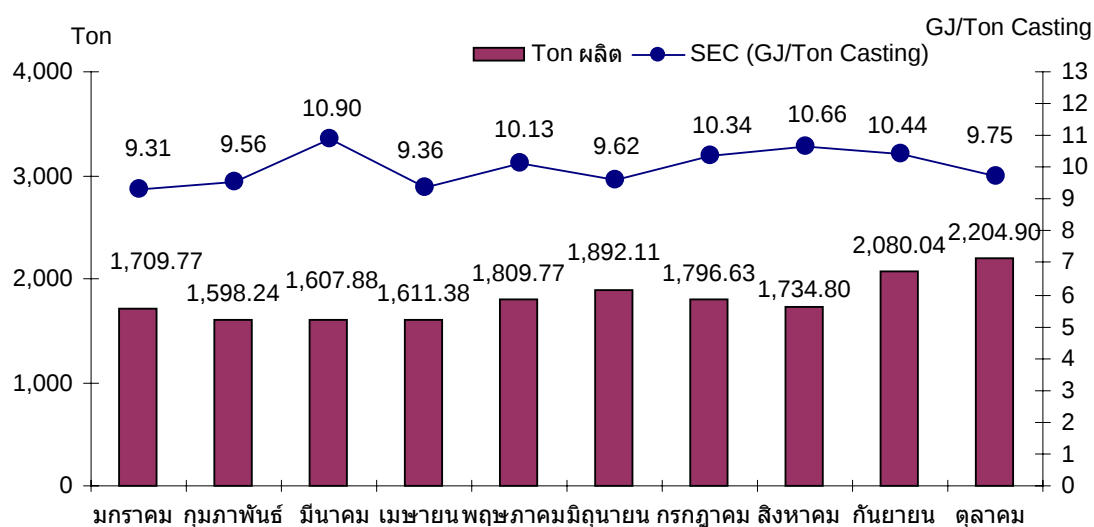
ตาราง 41 แสดงปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ปี 2009

เดือน	Casting Line M1 (Tons)	Casting Line M9 (Tons)	Casting Line M10 (Tons)	Casting Line M11 (Tons)	Casting Line M14 (Tons)	รวม (Ton)
มกราคม	112	425	235	453	484	1,710
กุมภาพันธ์	122	443	243	373	418	1,598
มีนาคม	135	424	223	347	479	1,608
เมษายน	115	464	216	167	649	1,611
พฤษภาคม	140	459	283	228	700	1,810
มิถุนายน	141	369	244	174	963	1,892
กรกฎาคม	138	288	211	373	787	1,797
สิงหาคม	87	245	154	393	856	1,735
กันยายน	127	390	122	496	945	2,080
ตุลาคม	151	425	39	596	992	2,205
เฉลี่ย	127	393	197	360	727	1,805
รวม	1,267	3,933	1,971	3,601	7,274	18,046

ตาราง 42 แสดงค่าการใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน

เดือน	ปริมาณ	ปริมาณการใช้พลังงาน (GJ)			ค่าการใช้พลังงานรวม
	Casting (Ton)	ไฟฟ้า	ก๊าซ NGV	รวม	(GJ/Ton _{Casting})
มกราคม	1,709.77	14,656.62	1,257.59	15,914.21	9.31
กุมภาพันธ์	1,598.24	14,032.81	1,252.60	15,285.41	9.56
มีนาคม	1,607.88	16,128.23	1,390.32	17,518.55	10.90
เมษายน	1,611.38	13,927.93	1,158.99	15,086.92	9.36
พฤษภาคม	1,809.77	17,007.85	1,323.79	18,331.64	10.13
มิถุนายน	1,892.11	16,959.69	1,251.80	18,211.49	9.62
กรกฎาคม	1,796.63	17,315.17	1,261.26	18,576.43	10.34
สิงหาคม	1,734.80	17,334.42	1,159.58	18,494.00	10.66
กันยายน	2,080.04	20,450.91	1,261.52	21,712.43	10.44
ตุลาคม	2,204.90	20,239.41	1,247.80	21,487.21	9.75
ค่าเฉลี่ย/เดือน	1,804.55	16,805.30	1,256.53	18,061.83	10.01

ค่าเฉลี่ยของกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กหล่อขึ้นรูป(Casting) SEC = 8.73 GJ/Unit
(ข้อมูลจากฐานข้อมูลของ พพ. ฐาน 8 วิเคราะห์ข้อมูลเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2548)



ภาพประกอบ 58 การใช้พลังงานจำเพาะรายเดือน

การหาความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

การหาความสัมพันธ์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานรวมคือ ปริมาณในการผลิต (Tons Casting) ดังนั้นในการพิจารณาค่าความสัมพันธ์เพื่อได้ใช้วิธีการเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple regression) เพื่อวิเคราะห์หาสมการพลังงานที่สามารถสะท้อนถึงการใช้พลังงานโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม คือ ปริมาณใช้พลังงานไฟฟ้า กับตัวแปรอิสระคือ ปริมาณในการผลิต ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการทั่วไปได้ดังนี้

จากสมการ $Y = a + bx$

โดยที่ y คือตัวแปรตาม

a คือตัวแปรอิสระ

b คือสัมประสิทธิ์การถดถอยที่จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระบนตัวแปร

จากความสัมพันธ์เชิงเส้น คือ $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i$

ซึ่งประมาณด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น ได้ดังนี้

จากข้อมูลตารางที่ ค.10 คำนวณหาค่า a และ b ได้จากสูตร

$$\begin{aligned}
 SS_{xx} &= \sum (X_i - \bar{X})^2 = \sum_1^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_1^n X_i\right)^2}{n} & SS_{xx} &= 376340.375 \\
 SS_{xy} &= \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) = \sum_1^n X_i Y_i - \frac{\left(\sum_1^n X_i\right)\left(\sum_1^n Y_i\right)}{n} & SS_{xy} &= 3815236.603 \\
 SS_{yy} &= \sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum_1^n Y_i^2 - \frac{\left(\sum_1^n Y_i\right)^2}{n} & SS_{yy} &= 47072910.472 \\
 \bar{X} &= 1804.551 \\
 \bar{Y} &= 18061.829 \\
 \hat{Y} &= a + bX_i \quad a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad b = \frac{SS_{xx}}{SS_{xy}} & b &= 10.138 \\
 & & a &= -232.223
 \end{aligned}$$

ดังนั้นได้สมการถดถอย คือ

$$\hat{Y} = -232.223 + 10.138 X_1$$

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std.Error of the Estimate
1	0.9065	0.8217	0.7994	1024.3948

a. Predictors: (Constant), Production (Ton)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2 or R^2)

$$R^2 = \quad r^2 = \quad 0.8217 \quad \text{หรือ} \quad 82.17\%$$

ตัวแปรอิสระสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้ 82.17%

ตาราง 43 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยสมการถดถอย

เดือน	ปริมาณ Casting (Ton)	ปริมาณการใช้ พลังงานที่เกิดขึ้นจริง	ปริมาณการใช้ พลังงานที่คำนวณได้	% ความ แตกต่าง
มกราคม	1,710	15,914.21	17,101.38	7.46%
กุมภาพันธ์	1,598	15,285.41	15,970.71	4.48%
มีนาคม	1,608	17,518.55	16,068.50	-8.28%
เมษายน	1,611	15,086.92	16,103.91	6.74%
พฤษภาคม	1,810	18,331.64	18,115.26	-1.18%
มิถุนายน	1,892	18,211.49	18,950.00	4.06%
กรกฎาคม	1,797	18,576.43	17,982.01	-3.20%
สิงหาคม	1,735	18,494.00	17,355.14	-6.16%
กันยายน	2,080	21,712.43	20,855.20	-3.95%
ตุลาคม	2,205	21,487.21	22,121.08	2.95%
ค่าเฉลี่ย	1,805	18,062	18,062	0.00%

ผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานแสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์ในรูปเส้นตรงกล่าวคือถ้าปริมาณต้นในการผลิตเพิ่มก็จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามกันและ ถ้าต้นในการผลิตลดลงหรือน้อยลงการใช้พลังงานก็น้อยลงเช่นกัน

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายณนดล สุทธิปัญญา
วัน เดือน ปีเกิด	12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2516
สถานที่เกิด	อำเภอเซกา จังหวัดหนองคาย
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	91/107 หมู่บ้านพิงภู ตำบลหนองซำซาก อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี 20170
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรประจำโรงงาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ไอชิน ทากาโอกะ (ประเทศไทย) จำกัด 700/89 หมู่ 1 นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ตำบลบ้านเก่า อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี 20160
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2539 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคสกลนคร พ.ศ. 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2553 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ