

การพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง



ปริญญานิพนธ์
ของ
เจษฎา เรืองแสง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
พฤษภาคม 2555

การพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง



ปริญาณิพนธ์
ของ
เจษฎา เรืองแสง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
พฤษภาคม 2555

เจษฎา เรืองแสง. (2555). การพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง.

ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร.อาจรี ศุภสุธิกุล,

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์.

อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยางแปรรูปวัตถุดิบด้วยการใช้เครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณมาก การประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน ด้วยการวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ซึ่งหาได้จากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดหารด้วยปริมาณผลผลิตรวมทางกายภาพ แต่สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ การใช้ปริมาณผลผลิตรวมจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีความยากง่ายในการผลิตและการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตแตกต่างกัน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและเก็บข้อมูลเพื่อทำการปรับปรุงหน่วยของผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธีการปรับเทียบให้เป็นหน่วยเดียวกัน โดยการหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ในแต่ละผลิตภัณฑ์ แล้วทำการเทียบอัตราส่วนกับผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตเฉลี่ยสูงสุดในแต่ละเดือน เพื่อนำไปปรับปรุงหน่วยปริมาณการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ และนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตใหม่โดยใช้เทคนิคหน่วยเทียบ พบว่ามีความแตกต่างจากค่าดัชนีการใช้พลังงานเดิมเฉลี่ย 24.7% จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น พบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงาน คือ ปริมาณการผลิต และชั่วโมงการทำงาน ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถนำมาพัฒนาเป็นสมการการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงาน ได้ดังสมการ ปริมาณพลังงาน (kWh) = 1,231,894 + (0.208 x ปริมาณผลผลิตรวมในหน่วยเทียบ) + ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง)

คำสำคัญ: ดัชนีการใช้พลังงาน การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต เทคนิคหน่วยเทียบ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

DEVELOPMENT OF ENERGY EQUATION IN THE RUBBER PART INDUSTRY



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

May 2012

Jedsada Ruangsang. (2012). *Development of energy equation in the rubber part industry*.

Master thesis, M.Eng. (Engineering Management). Bangkok: Graduate

School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr.Ajaree Supasuteekul,

Asst. Prof. Dr.Kitti Sathapornprasat.

The Rubber parts industry, there are using machinery in the forming process at high temperature so it results in the rubber parts industry, that has high energy consumption. This method assess the energy efficiency by analyzing the consumption energy index per production unit output (Specific Energy Consumption : SEC) which is the ratio of the amount of energy used per physical unit of output product. But, this manufacture that has a variety kind of products. Using the total production volume can cause errors in estimating the energy index due to the production of each product consume the different amount of energy. This thesis presents the study of energy efficiency index equation converting each product unit to be the same. Then, solves the consumption energy index per production unit output using energy consumption unit ratio for each product that has the highest average production amount to be improved and created the new entirely energy consumption index solved by Equivalent Unit technique. The result is different from the previous test approximately 24.7%. The linear regression analysis shows that the amount of energy used in the process significantly related to the product volume and hours of work in Equivalent Unit in each month respectively. Then, can take the whole things to develop energy consumption equation in the rubber parts industry for energy consumption prediction. The following equation is shown below.

$$\text{Energy consumption (kWh)} = 1,231,894 + (0.208 \times \text{Product volume in Equivalent Unit}) + \text{Hours of work(hr.)}$$

Keywords: Energy Use Index. Energy Consumption per Unit. Equivalent Unit Technique. Rubber Part Industry.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

ของ
เจษฎา เรืองแสง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่.....เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2555

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร.อาจรี ศุภสุธิกุล)

.....ประธาน
(อาจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อาจรี ศุภสุธิกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร ฐเนศวาณิชย์)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.อาจรี ศุภสุธิกุล อาจารย์ผู้ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ และเสนอแนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คณะอาจารย์ประจำหลักสูตร การจัดการทางวิศวกรรม ที่ทั้งให้ความรู้ทางด้านวิชาการ และประสบการณ์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทำงานวิจัย ขอขอบคุณคุณโรงงานตัวอย่าง ที่อนุเคราะห์ข้อมูล ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณวีรรัตน์ ชำนิกลาง ที่ช่วยเหลือด้านการรวบรวมข้อมูล และการพิมพ์เอกสาร ขอขอบคุณ เพื่อนร่วมงาน เพื่อนร่วมสถาบัน ที่ให้คำปรึกษาแลกเปลี่ยนความรู้ และกำหนดการในการดำเนินการทำปริญญานิพนธ์ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการทำงานวิจัย

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบพระคุณ นายไพฑูรย์ เรืองแสงและนางดวงใจ เรืองแสง บิดาและมารดา นายวิรุฬห์ เรืองแสง พี่ชาย ซึ่งให้คำปรึกษา สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดจนสำเร็จการศึกษาและตลอดจนปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เจษฎา เรืองแสง

สารบัญ

บทที่

หน้า

1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ประสิทธิภาพด้านพลังงาน	4
ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	6
มาตรฐานการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม	10
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน (Energy factor)	12
ลักษณะพฤติกรรมต้นทุน	13
การศึกษาเวลาโดยตรง	14
การพยากรณ์	15
การวิเคราะห์สมการถดถอยและสหสัมพันธ์	20
ภาพรวมด้านการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยาง	22
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
3 วิธีดำเนินการวิจัย	37
การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน	37
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน	37
การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต	38
การจัดทำสมการดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน	38
ทำการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงาน.....	38
สรุปผลการวิจัยการพัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยาง.....	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการดำเนินการวิจัย	40
การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน	40
การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับใช้พลังงาน.....	41
การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต	44
การจัดทำสมการดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน.....	46
การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการการใช้พลังงาน.....	57
การปรับปรุงสมการพลังงาน	59
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	64
ลักษณะการใช้พลังงานและเกณฑ์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม	
ผลิตภัณฑ์ยาง	64
ขั้นตอนการพัฒนาสมการการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง	64
การพัฒนาสมการพลังงานที่เหมาะสมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง.....	65
ปัญหาและอุปสรรค	65
ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	68
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก.	71
ภาคผนวก ข.	105
ประวัติย่อผู้วิจัย	114

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ตัวแปรที่รวบรวมจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยาง	43
2 ตัวแปรปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง...	43
3 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางในปี 2554	45
4 การกำหนดค่าอัตราส่วนเทียบผลิตภัณฑ์ L	48
5 ค่าดัชนีชีวิตพลังงานหลังปรับปรุงค่า Q ในหน่วยเทียบ	49
6 การเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานเดิมกับค่าดัชนีการใช้พลังงาน ใหม่	51
7 ตัวแปรอิสระซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์.....	53
8 ผลการทดสอบสหสัมพันธ์ (Correlation)	54
9 ค่าสถิติเบื้องต้นที่ใช้พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	55
10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Adjusted R^2	55
11 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย	56
12 ค่าพยากรณ์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2555	58
13 ชั่วโมงการทำงานในแต่ละเดือน	59
14 ชนิดของตัวแปรที่นำมาปรับปรุงสมการพลังงาน.....	60
15 ค่าสถิติเบื้องต้นที่ใช้พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (ปรับปรุงสมการพลังงาน)	61
16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน Adjusted R^2 จากข้อมูลข้างต้น (ปรับปรุงสมการพลังงาน)	61
17 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (ปรับปรุงสมการพลังงาน)	62
18 ค่าพยากรณ์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางในเดือนมกราคม-มีนาคม 2555 (ปรับปรุงสมการ)	63
19 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ A	72
20 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ B	73
21 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ C	74
22 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ D	75
23 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ E	76

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
24	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ F 77
25	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ G..... 78
26	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ H..... 79
27	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ I 80
28	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ J 81
29	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ K..... 82
30	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ L 83
31	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ M..... 84
32	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ N..... 85
33	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ O..... 86
34	รายละเอียดผลิตภัณฑ์ P..... 87
35	สถิติการใช้พลังงานและยอดการผลิตปี 2553..... 88
36	สถิติการใช้พลังงานและยอดการผลิตปี 2554..... 88
37	แผนการผลิตในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2555..... 89
38	ข้อมูลยอดการผลิตของปี 2553..... 90
39	ข้อมูลยอดการผลิตของปี 2554..... 91
40	ข้อมูลยอดการผลิตของปี 2555..... 92
41	ข้อมูลยอดการผลิตในหน่วยเทียบของปี 2554..... 93
42	ข้อมูลยอดการผลิตในหน่วยเทียบของปี 2555..... 94
43	ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2553..... 95
44	ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2554..... 96
45	ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2555..... 97
46	ข้อมูลเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานทั้งหมด 98

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1	กระบวนการขึ้นรูปโดยการอัดแม่พิมพ์	27
2	แผนผังการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์.....	27
3	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในกระบวนการขึ้นรูป.....	28
4	การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์กดอัด.....	28
5	การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์ส่งผ่าน	29
6	การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์อัดฉีด	29
7	แบบจำลองกระบวนการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลนำเข้า	42
8	การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับยอดการผลิตรวมในปี 2554	45
9	ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางในปี 2554...	46
10	สัดส่วนของยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนในปี 2554 ของแต่ละผลิตภัณฑ์.....	47
11	การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับยอดการผลิตรวมในหน่วย เทียบ.....	50
12	ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางในปี 2554 หลังปรับปรุงค่า Q โดยใช้หน่วยเทียบ.....	50
13	การเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานระหว่างค่าดัชนีการใช้พลังงานเดิมกับ ค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่.....	52
14	ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงปกติของยอดการผลิตรวม ในหน่วยเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	54
15	ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงปกติของยอดการผลิตรวมใน หน่วยเทียบและจำนวนชั่วโมงการทำงานกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า....	60

บทที่ 1

บทนำ

การใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในศตวรรษที่ผ่านมา เป็นผลมาจากภาคอุตสาหกรรมเป็นหลัก โดยในช่วงปี 2543 ถึง 2553 การใช้พลังงานขยายตัวร้อยละ 49 ซึ่งมีปัจจัยหลักมาจากการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมถึงร้อยละ 58 ทำให้ภาคอุตสาหกรรมกลายเป็นผู้บริโภคพลังงานหลักแซงหน้าภาคการขนส่ง การเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมนี้สะท้อนให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนภาคอุตสาหกรรมต่อ GDP ซึ่งสวนทางกับประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่ รวมถึงประเทศจีน ที่สัดส่วนของภาคบริการต่อ GDP ขยายตัวเร็วกว่าภาคอุตสาหกรรม สำหรับประเทศไทยภาคอุตสาหกรรม มีการใช้พลังงานมากกว่าภาคบริการมีการขยายตัวในอัตราที่แท้จริงเร็วกว่าภาคบริการ จึงได้มีการรณรงค์ให้มีการอนุรักษ์พลังงานในภาคอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ภายหลังจากที่ประเทศไทยได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน 2535 และ พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2550 ส่งผลให้โรงงานอุตสาหกรรมถูกจัดเป็นเป้าหมายแรกที่จะต้องมีการกิจในการอนุรักษ์พลังงาน แม้ว่าตามกฎหมายจะจัดให้มีที่ปรึกษาด้านพลังงานคอยให้ความช่วยเหลือและดำเนินการแทนก็ตาม แต่ก็เป็นหน้าที่ที่โรงงานจะต้องร่วมดำเนินการด้วย คือ โรงงานจะต้องจัดทำเป้าหมายแผนอนุรักษ์พลังงานทุก 3 ปี จะต้องผ่านขั้นตอนการตรวจวินิจฉัยการใช้พลังงาน และร่วมในที่มอนุรักษ์พลังงาน และให้การรับรองข้อมูลที่ต้องรายงานตามกฎหมายทุก 6 เดือน โรงงานที่ต้องทำกิจกรรมเหล่านี้เรียกว่า “โรงงานควบคุม” ซึ่งเป็นโรงงานที่มีการติดตั้งหม้อแปลงขนาดตั้งแต่ 1,175 kVA ขึ้นไป หรือใช้พลังงานความร้อนรวมปีละ 20 ล้านเมกะจูล ขึ้นไป

อุตสาหกรรมที่มีการบริโภคพลังงานเป็นอันดับต้นๆ ก็คืออุตสาหกรรมยานยนต์ ที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง และมีค่าการใช้พลังงานปริมาณมาก การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์ ช่วยให้เกิดการกระตุ้นและการเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน ให้กับสถานประกอบการ ในวันนี้ได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมยานยนต์ ประเภทโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง มีการใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปยาง และการแปรรูปวัตถุดิบด้วยการใช้อุณหภูมิที่สูง ส่งผลให้เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ปริมาณพลังงานอยู่ในอันดับต้นๆ ปัจจุบันการแข่งขันทางธุรกิจอย่างเข้มข้น จึงมีการพัฒนาศักยภาพและลดต้นทุน ซึ่งต้นทุนของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ย่อมหนีไม่พ้นค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะให้มีการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพและการอนุรักษ์ด้านพลังงาน จึงจะต้องเริ่มต้นในการคิดคำนวณหาถึงต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการผลิต เพื่อเป็นการหาประสิทธิภาพของการผลิต ในปัจจุบันวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจคือคิดคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงาน คือการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) หรือดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ แต่ในความเป็นจริงแล้วยังพบว่าในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ทำให้อาจเกิดความผิดพลาดในการนำผลที่ได้มาใช้ในการคิดคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงาน เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้นในการคิดต้นทุนการใช้พลังงานที่แท้จริง และยังสามารถนำมาใช้ในการกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงานได้ (Benchmarking) โดยเกณฑ์ที่จะทำการศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นตัววัดเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานที่มีคุณภาพที่เหมาะสม คือการใช้เทคนิคอัตราส่วนเทียบ เป็นการแก้ไขให้การคิดคำนวณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นนอกจากนี้แล้วยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของดัชนีชี้วัดการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ได้อีกด้วย

สมการในการคิดคำนวณแบบ $SEC = E/Q$ โดยที่แต่ละโรงงานยังใช้ค่า Q กันอย่างหลากหลาย เช่น ต่อพื้นที่การผลิต หรือ ต่อจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ (ชิ้น หรือ กิโลกรัม) เป็นต้น จึงทำให้การหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) ยังมีความคลาดเคลื่อนส่งผลให้การหาค่าต้นทุนพลังงานต่อผลผลิต (Unit Cost) ของแต่ละหน่วยผลิตภัณฑ์ก็ไม่ถูกต้องด้วย เนื่องจากในโรงงานมีผลิตภัณฑ์อยู่หลายรุ่น หลายขนาด หลายชนิด ทำให้เวลาในการผลิตจริงไม่เท่ากัน ส่งผลให้การนำเอาจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ ไปคิดคำนวณหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตยังไม่ใช้ค่าที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
2. เพื่อทำการประเมินหาค่าดัชนีการใช้พลังงานสำหรับเปรียบเทียบการใช้พลังงาน ในกระบวนการผลิตที่มีหลากหลายผลิตภัณฑ์
3. เพื่อพัฒนาสมการพลังงาน ที่ใช้เป็นแนวทางการจัดการพลังงานเบื้องต้นที่เหมาะสมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

ขอบเขตของงานวิจัย

ในการวิจัยนี้จะทำการคิดหาเฉพาะการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เท่านั้น ประเภทของพลังงานที่จะนำมาพิจารณา คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งหมด โดยทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลปริมาณการผลิตและการบริโภคพลังงาน เฉพาะจัดเก็บจากโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างที่ได้เข้าไปเก็บสำรวจข้อมูล ทำการวิเคราะห์คำนวณค่า ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ในปัจจุบันของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ฯ จำนวนหาเวลามาตรฐานในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ เก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง เพื่อนำมาคิดคำนวณหาค่าอัตราส่วน(เทียบ) วิเคราะห์อัตราส่วนเทียบกับกลุ่มผลิตภัณฑ์ตัวอย่างที่โรงงานได้ผลิตออกมา เพื่อนำมาคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในหน่วยเทียบ ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในปัจจุบันกับวิธีคิดแบบปรับปรุงหน่วยเป็นหน่วยผลผลิตในหน่วยเทียบ จัดทำสมการดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน เพื่อทำการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่แท้จริงสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพัฒนาสมการการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ฯ เพื่อไว้ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพในการใช้พลังงานของโรงงาน
2. เกิดการกระตุ้นและให้ความเข้าใจกับสถานประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ฯ
3. ได้ทราบประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของโรงงาน ได้แก่ การวิเคราะห์การใช้พลังงาน และดัชนีการใช้พลังงาน เป็นต้น
4. ผลจากการศึกษาวิจัยสามารถนำมากำหนดมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) และใช้เป็นเกณฑ์กำหนดดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ฯแต่ละแห่งได้
5. เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่มาตรการการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ฯในอนาคต
6. สามารถนำขั้นตอนการพัฒนาสมการ และปรับปรุงหน่วยการผลิตของผลิตภัณฑ์ เพื่อมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานที่เหมาะสม มาประยุกต์ใช้สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีหลากหลายผลิตภัณฑ์ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการพลังงาน คือ การทำให้มั่นใจว่าได้มีการจัดการทรัพยากรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อบรรลุเป้าหมายขององค์กร นิยมใช้คำว่า “การอนุรักษ์พลังงาน” การอนุรักษ์พลังงานคือ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ฉะนั้นการปรับปรุงการใช้พลังงานจำเป็นต้องรู้ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์ว่ามีพฤติกรรมการบริโภคพลังงานเป็นอย่างไร

2.1 ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy Efficiency)

วิกฤตการณ์ด้านพลังงานอันเนื่องจากราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลให้เกิดภาวะความตึงเครียดด้านความมั่นคงทางเศรษฐกิจ โดยอาจทำให้เกิดการชะลอตัวของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตราเงินเฟ้อที่เพิ่มสูงขึ้น การว่างงานมีอัตราเพิ่มขึ้น ฯลฯ ในฐานะผู้บริโภคพลังงาน 36% ของประเทศ อุตสาหกรรมมีความจำเป็นต้องหามาตรการในการลดการบริโภคพลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อลดต้นทุนการผลิต และการแสวงหาแหล่งพลังงานอื่น เพื่อความมั่นคงของแหล่งพลังงานที่จำเป็นต่อการผลิต

ในฐานะส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิต การเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานจะเป็นเหตุให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยให้มีการลดการบริโภคพลังงานโดยไม่กระทบต่อผลผลิต แต่การที่จะหาวิธีการในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต้องทราบถึงลักษณะการบริโภคพลังงาน กล่าวคือ การบริโภคพลังงานจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปัจจัยใดในการผลิต ทั้งนี้เพื่อจะได้แสวงหาวิธีการในการควบคุมปัจจัยเหล่านั้นให้สามารถบริโภคพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการบริโภคพลังงาน จำเป็นต้องมีการกำหนดตัวชี้วัด (Indicators) เพื่อใช้เป็นฐานสำหรับการเปรียบเทียบ ซึ่งเรียกว่า ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) นั้น ถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นประเด็นหลักในการค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความตื่นตัวของภาครัฐ และเอกชนซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ทั้งนี้ผลลัพธ์ของการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับประเด็นดังกล่าวจะถูกนำไปเชื่อมโยงกับนโยบายทางด้านพลังงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดการพัฒนาในทางที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

ประโยชน์ของการศึกษาในประเด็นดังกล่าวมิได้หยุดอยู่ที่ผลประโยชน์เชิงพาณิชย์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น หากแต่ยังรวมไปถึงการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

ทั้งนี้คำว่า “ประสิทธิภาพพลังงาน” นี้ เป็นพจน์ที่มีความหมายทั่วไปซึ่งหมายถึงความสามารถเชิงพลังงานในการผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ออกมา ทั้งนี้หากเราสามารถลดพลังงานที่ใช้ ในการผลิตสินค้าปริมาณเท่าเดิมลงได้ นั้นย่อมหมายความว่า เราสามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพ พลังงานได้นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วเราไม่สามารถประเมินค่าประสิทธิภาพพลังงานออกมาได้

2.1.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงาน

ในการอธิบายประสิทธิภาพพลังงาน มักจะประสบปัญหาว่า การใช้พลังงานในหน่วยงาน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมมีความหลากหลายของชนิดพลังงานที่ใช้ มีคุณภาพพลังงาน (Energy Quality) ที่แตกต่างกัน ผลผลิตมีความหลากหลายและไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องหาวิธีในการคำนวณวิเคราะห์เพื่ออธิบายถึงความหลากหลายของการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของการผลิต และเทคโนโลยีในการผลิต วิธีที่นิยมใช้คือการแยกองค์ประกอบการใช้พลังงาน (Decompose of Energy Consumption) ในการอธิบายการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม มักจะอธิบายในลักษณะของการบริโภคพลังงาน (Energy Consumption) ความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) และ ความยืดหยุ่น/ สัมประสิทธิ์พลังงาน (Energy Elasticity/ Coefficient)

การบริโภคพลังงาน เป็นการอธิบายว่า โรงงาน/ อุตสาหกรรม/ กลุ่มอุตสาหกรรม ใช้พลังงานไปเท่าไร สำหรับทั้งการผลิตและการดำเนินการด้านอื่นๆ หน่วยก็จะเป็นหน่วยของพลังงานหรือพลังงานเทียบเท่า

ความเข้มของพลังงาน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานจะทำหน้าที่อธิบายว่า พลังงานที่ใส่ให้กับกระบวนการผลิตได้ผลผลิต/ ปริมาณ/ มูลค่าเท่าใด แสดงตัวอย่างตัวชี้วัดความเข้มพลังงานใน Sector ต่างๆ ของสหรัฐอเมริกา และตัวอย่างค่าความเข้มพลังงานของบาง Sector (S)

ความยืดหยุ่น/สัมประสิทธิ์พลังงาน เป็นการอธิบายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ พลังงานต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ตัวชี้วัดนี้ไม่มีหน่วย

2.1.2 การบริโภคพลังงาน

ในอุตสาหกรรม อาจจำแนกการบริโภคพลังงานเป็นสองส่วน คือ การบริโภคพลังงานเพื่อการผลิต และการบริโภคพลังงานเพื่อการบริหารจัดการในขณะที่มีการบริโภคพลังงาน สำหรับการบริหารจัดการจะเป็นเรื่องของการใช้พลังงานในส่วนของสำนักงาน ซึ่งไม่ค่อยจะสัมพันธ์โดยตรงกับ กิจกรรมการผลิต ในส่วนของการบริโภคพลังงานเพื่อการผลิตจะมีความผันแปรของปริมาณพลังงานที่ใช้ตามระดับของการผลิต (Production Level) ซึ่งหมายถึง ปริมาณการผลิต ณ ช่วงเวลานั้นๆ เมื่อผลิตมากก็ย่อมต้องการใช้พลังงานมาก นอกจากนั้นยังผันแปรตาม โครงสร้างการผลิต (Production Structure/ Product Mix) ซึ่งหมายถึงส่วนผสมของสินค้าที่ผลิต

ทั้งนี้เพราะในแต่ละอุตสาหกรรมไม่ได้ผลิตสินค้าเพียงอย่างเดียว แต่ผลิตสินค้าหลายชนิด หลายรุ่น ซึ่งแต่ละชนิด/รุ่น ต้องการปริมาณพลังงานในการผลิตไม่เท่ากัน และสุดท้ายปริมาณพลังงานยังผันแปรตามความเข้มพลังงาน ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์การผลิตและประสิทธิภาพการบริหารจัดการผลิต ดังนั้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดความผันแปรของปริมาณการบริโภคพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย 1) ระดับการผลิต 2) โครงสร้างการผลิต 3) ความเข้มพลังงาน

เพื่อให้ทราบว่าการผันแปรของการบริโภคพลังงานในอุตสาหกรรม ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เป็นผลหรืออิทธิพลมาจากปัจจัยตัวใด จึงควรมีการวิเคราะห์การบริโภคพลังงาน ซึ่งเป็นวิธีการแยกส่วนของพลังงานออกตามปัจจัยทั้งสาม

2.2 ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการผลิต ดังนั้นการใช้พลังงานและปริมาณของผลผลิตจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด การใช้พลังงานโดยทั่วไปจะมีทิศทางในการขยายตัวสอดคล้องกับการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ฉะนั้นเราสามารถประเมินความต้องการพลังงานจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้ โดยมีปัจจัยที่ใช้ประเมินระดับการใช้พลังงานทางเศรษฐกิจ 3 ปัจจัยด้วยกันคือ ระดับการผลิต โครงสร้างทางเศรษฐกิจและผลผลิตหรือกิจกรรมต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ทั้งนี้ในการกำหนดนโยบายของทางภาครัฐในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน นำเสนอมาตรการการอนุรักษ์พลังงานและติดตามผล รวมถึงการสำรวจสถานการณ์การใช้พลังงานที่ผ่านหรือการคาดการณ์แนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคตล้วนต้องการดัชนีชี้วัดเพื่อบ่งบอกหรือประเมินค่าทั้งสิ้น

2.2.1 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต

การดำเนินงานเพื่อนำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานนั้น จำเป็นต้องมีการประเมินการใช้พลังงานของโรงงานเสียก่อน โดยใช้ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งเป็นค่าดัชนีสำหรับชี้วัดปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ในระดับกระบวนการผลิต การติดตามและควบคุมค่า SEC ของโรงงานเป็นวิธีการจัดการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง

การคำนวณค่า SEC

SEC สามารถหาได้ง่าย ๆ โดยนำเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจซึ่งมักจะเป็นเดือนหารด้วยผลผลิตในเดือนนั้น สามารถคำนวณค่า SEC ของพลังงานไฟฟ้า (SECE) หรือ SEC ของพลังงานความร้อน (SECH) หรือ SEC ของการใช้พลังงาน (SECT) จะขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่เอามาคิด หรือว่าเราสนใจจะดูอะไร โดยทั่วไปเรามักจะสนใจค่า SEC ของการใช้พลังงานรวมเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$SEC = \frac{E}{Q}$$

โดยที่ SEC = ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

E = ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น

Q = ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน (หน่วยผลิตภัณฑ์)

ได้แยกค่าดัชนีการใช้พลังงานเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า (SEC) มีหน่วยเป็น kWh ต่อหน่วยผลผลิต และหน่วยรวม เป็น MJ ต่อหน่วยผลผลิต
- 2) ค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อน (SEC) มีหน่วยเป็น MJ ต่อหน่วยผลผลิต
- 3) ค่าดัชนีการใช้พลังงานปฐมภูมิ (Primary SEC) มีหน่วยเป็น MJ ต่อหน่วยผลผลิตหาจากการนำค่า SEC ความร้อนความกับค่า SEC พลังงานไฟฟ้าที่แปลงเป็นค่าพลังงานความร้อนแล้ว โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าหารด้วย ปริมาณผลผลิต (หน่วย kWh/Ton) จากนั้นนำไปคูณกับ 0.0036 GJ/Ton แล้วหารด้วย 0.45*

*หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนของประเทศ ไทย เท่ากับ 45%

โดยทั่วไปพลังงานที่ใช้มักจะประกอบด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า พลังงานที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตอาจเป็นพลังงานความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต จากเตาเผา หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลอาจกำหนดเป็นวัน เดือน หรือ ปีก็ได้ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว หน่วยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้กันมีหลายอย่าง เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าของความร้อนเป็น เมกกะจูล (MJ) หรือ แคลลอรี่ (Cal) หรือเป็นค่าเทียบเท่าน้ำมันดิบ (TOE) ต่อหนึ่งหน่วยผลผลิต เป็นต้น

การคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

คือค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน คำนีมีประโยชน์ที่จะช่วยบอกว่า โรงงานหนึ่งๆ ใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย การติดตามและควบคุมค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงาน เป็นวิธีการจัดการการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง ค่าการใช้พลังงานจำเพาะหาได้โดยเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งมักจะเป็นเดือน หารด้วย ผลผลิตในเดือนเดียวกัน สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานไฟฟ้า (SEC_E) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานความร้อน (SEC_H) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวมขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่สนใจ โดยทั่วไปเป็นค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวม

$$SEC_{รวม} = SEC_E + SEC_H$$

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

ปัจจัยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

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

ประโยชน์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

ถ้าเรามีการเก็บข้อมูลค่า SEC ในแต่ละเดือนและเขียนกราฟไว้ ข้อมูลของเดือนใหม่ที่เราจะทำให้รู้ว่าเราใช้พลังงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือ แย่ลง และถ้าแย่ลง คือต่ำกว่าเส้นเฉลี่ยที่เคยทำได้ ก็จะต้องอธิบายหรือหาสาเหตุมาให้ได้ว่าความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเกิดจากตรงไหน

สิ่งที่ต้องทำไปพร้อมๆ กับการติดตามเผื่อระวังค่า SEC ก็คือการตั้งเป้าหมายหรือ targeting จากข้อมูลในอดีตจะมีทั้งเดือนที่ใช้พลังงานดี และบางเดือนที่ไม่ดี หลายบริษัทใช้วิธี

แบ่งเป็นเดือนที่ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย และพวกที่ใช้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ถ้าเราสนใจพวกที่ดีกว่าค่าเฉลี่ย แล้วหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มนี้ตั้งเป็นเป้าหมายของแต่ละหน่วยงานให้ปรับปรุงไปสู่ค่าเฉลี่ยของฝั่งที่ดีกว่า ก็จะทำให้การใช้พลังงานของทั้งบริษัทปรับปรุงขึ้นด้วย

การรวบรวมและวิเคราะห์ค่า SEC นี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน บางโรงงานสามารถบรรลุเป้าหมายการลดการใช้พลังงานต่อหน่วยลงได้ 3 – 5 % โดยไม่ต้องลงทุน เปลี่ยนอุปกรณ์ได้เลย ทั้งนี้เพราะการใช้พลังงานนั้น เกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือประสิทธิภาพเครื่องจักรอุปกรณ์เอากาการใช้งาน และควบคุมโดยคน แม้ว่าจะปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพดีเลิศ แต่การใช้งานไม่ดี ขาดการดูแล ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำเช่นเดียวกัน

ค่าดัชนีการใช้พลังงานจะมีประโยชน์อย่างมากในการติดตาม และควบคุมการใช้พลังงาน ซึ่งโรงงานควรจะทำและวิเคราะห์ค่าดังกล่าวทุกเดือน ค่าที่ได้ี้สามารถนำมาใช้ในการควบคุม และติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง และยังสามารถนำไปเทียบเคียงกับค่าดัชนีเทียบเคียงการใช้พลังงาน SEC Benchmarking เพื่อประเมินว่าโรงงานมีการใช้พลังงานอยู่ในระดับใดได้อีกด้วย

2.2.2 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต โดยเทคนิคหน่วยเทียบ (Specific Energy Consumption by Equivalent Unit)

เนื่องจากการใช้ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต หรือ ค่า SEC นั้น เป็นการนำค่าการใช้พลังงานทั้งหมดหารด้วยจำนวนผลผลิตทางกายภาพในเดือนนั้นๆ โดยตัวผลผลิตจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวหรือใกล้เคียงกัน เพราะในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งผลิตภัณฑ์ (หรือหนึ่งชิ้น) ใช้พลังงานในการผลิตจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าการใช้พลังงานที่จะนำไปใช้ในการหาค่า SEC แต่เนื่องจากในโรงงานบางแห่งอาจจะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายและมีหลายขนาดมาก ก็อาจจะทำให้เกิดการใช้พลังงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งถ้าเรานำมาคิดแบบ SEC ก็เป็นสิ่งที่เกิดความคลาดเคลื่อน เช่น โรงงานผลิตชิ้นส่วนยางนั้นจะมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายชนิดและหลายขนาด ทำให้ในแต่ละกระบวนการผลิตก็จะใช้เวลาทำการผลิตไม่เท่ากัน บางขั้นตอนก็จะมีความยากง่ายในการผลิตแตกต่างกันด้วย จึงต้องมีการเฉลี่ยค่าการใช้พลังงานให้เท่ากับการผลิตในตอนนั้นๆ กับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นให้มีความสอดคล้องกัน จึงมีการคิดค้นเทคนิคในการเทียบหน่วยผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน

การเทียบอัตราส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยทำได้โดยการ เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ ในที่นี้ใช้การเทียบอัตราส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น โดยนำผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตเฉลี่ยสูงที่สุดเป็นฐานตัวตั้งเพื่อเทียบหน่วย

2.3 มาตรฐานการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

Energy Benchmark เป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานหรือประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารใดอาคารหนึ่งกับอาคารอื่นที่มีสภาพการใช้งานประเภทเดียวกันกับอาคารนั้น หรือเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นในปัจจุบันกับค่าการใช้พลังงานในปีที่ผ่านมาเพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานของอาคารนั้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่และเปลี่ยนแปลงอย่างไร

2.3.1 ประเภทของ Energy Benchmark

โดยทั่วไปจะแบ่ง Benchmark เป็น 2 ประเภท คือ

- 1) Internal Benchmark เป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารนั้นกับการใช้พลังงานที่ผ่านมาของอาคาร โดยจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงการใช้พลังงาน ของอาคาร โดยใช้เป็นตัวชี้วัดว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานหรือไม่ อย่างไร โดยการเปรียบเทียบในรูปแบบ Internal Benchmark สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้
 - 1.1) Annual Energy Consumption เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการ Benchmark โดยเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานทั้งหมดในปีที่ผ่านมา
 - 1.2) Average Annual Energy Use Benchmark เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น สามารถใช้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน (Average Energy Consumption) จากค่าการใช้พลังงานในอดีตมากกว่า 1 ปี แต่ไม่ควรเกิน 3 ปี ถือว่าเป็นวิธีที่แม่นยำมากขึ้นแต่ไม่สามารถบอกได้ถึงลักษณะการใช้พลังงานระหว่างปีได้
 - 1.3) Average Seasonal or Monthly Benchmark ดีกว่าการเปรียบเทียบด้วยค่าพลังงานรวมตลอดปี (Annual Energy Consumption) เนื่องจากสามารถทราบถึงประสิทธิภาพการใช้งานเป็นรายเดือนหรือราย 3 เดือน สามารถทราบถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดปี
 - 1.4) Climate-Corrected Benchmark เป็นสมการการคำนวณ โดยต้องการข้อมูลทางด้านสภาพอากาศมาใช้ในสมการ สามารถคาดการณ์ค่าการใช้พลังงานในเดือนที่ต้องการได้ ซึ่งดีกว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของช่วงฤดูกาลหรือรายเดือน เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละปีมีความแตกต่างกัน ใช้ค่า cooling และ heating degree day ในการแสดงว่าในแต่ละเดือนมีค่าอุณหภูมิร้อนหนาวแตกต่างกันอย่างไร และใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการสร้าง

correction เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานในแต่ละช่วงสภาพอากาศ จะมีความถูกต้องในการคาดการณ์การใช้พลังงานในแต่ละเดือน

- 1.5) Climate-and-Activity-Corrected Benchmark เป็นแบบเดียวกันกับ Climate - corrected benchmark แต่เพิ่มเติม activity เช่น จำนวนของพนักงานภายในอาคารเป็นวิธีที่มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด แต่ต้องการขั้นตอนที่ยุ่งยากและต้องการความเชี่ยวชาญหากเป็นอาคารที่มีการใช้งานแปรเปลี่ยนไปตามสภาพของกิจกรรมจำนวนพนักงานและผู้ใช้อาคารต้องมีการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้เพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อาจต้องการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย

- 2) External Benchmark เป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นกับอาคารอื่นในประเภทอาคารเดียวกันทั่วประเทศ ใช้ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากหน่วยงานของรัฐบาลหรือบริษัทจัดการด้านพลังงาน (ESCOS) ในระดับประเทศและระดับภูมิภาค โดยจะใช้เพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารนั้นว่าดีหรือไม่เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารอื่น และอาจใช้เป็นเป้าหมายในการปรับปรุงค่าการใช้พลังงานในอนาคต

2.3.2 หน่วยสำหรับการวัดพลังงาน

การเปรียบเทียบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง จะดูจากค่าใช้จ่ายการใช้พลังงาน (Energy Expenditures) โดยมีหน่วยเป็น “ค่าการใช้พลังงานทั้งปี/จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์” นั้นค่อนข้างสะดวก เพราะสามารถเปรียบเทียบกันได้ ถ้าเป็นโรงงานที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน หรือถ้าไม่มีโรงงานอื่นที่การผลิตเหมือนกัน ก็สามารถเปรียบเทียบจากค่าที่คำนวณได้ในปัจจุบันเทียบกับปีก่อนว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานด้วยหน่วยการใช้พลังงาน (Energy Metric) เช่น วัตต์ (Watt) แต่ส่วนใหญ่ก็จะเป็นหน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kilowatt – hours (kWh)) เพราะเนื่องจากในโรงงานค่อนข้างที่จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งในกรณีที่จะหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตรวมให้ทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าในหน่วย kWh ให้เป็น MJ โดยคูณด้วย 3.6 และนำมารวมกับ MJ ของพลังงานความร้อน หน่วยเป็น จูล (Jules) ซึ่งได้จากปริมาณเชื้อเพลิงคูณค่าความร้อนของเชื้อเพลิง การเลือกใช้หน่วยใดนั้นขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบ หากต้องการเพียงเพื่อกระตุ้นให้เกิดการลดการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้งานควรเลือกใช้หน่วยที่ง่ายในการวัดค่าและเข้าใจง่าย

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน (Energy factor)

จากการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ พบว่าในการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม มีกลุ่มตัวแปรหลักที่มีต่อการใช้พลังงานซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

- 1) กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน
- 2) กลุ่มตัวแปรด้านอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน
- 3) กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิต

ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 กลุ่มนี้นอกจากจะส่งผลต่อการใช้พลังงานแล้ว ยังมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ตัวแปรในกลุ่มที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงานจะเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อกลุ่มอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน และกลุ่มเครื่องจักรและกระบวนการผลิตทั้งหมดจะส่งผลถึงการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

2.4.1 กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ตัวแปรที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ประกอบด้วย องค์ประกอบด้านดินฟ้าอากาศ (Climate elements) และองค์ประกอบด้านที่ตั้ง (Site element)

โดยที่องค์ประกอบทางดินฟ้าอากาศ หมายถึง อุณหภูมิอากาศ (air temperature) ความเร็วลม (wind speed) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation) และสภาพท้องฟ้า (cloud) โดยองค์ประกอบเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น อุณหภูมิอากาศ ตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิที่สูง แต่ตอนกลางคืนมีอุณหภูมิต่ำรวมถึงเมื่ออยู่ในฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิสูง และในฤดูหนาวจะมีอุณหภูมิต่ำ นั่นคือ ในองค์ประกอบนี้มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล แบ่งวงจรเวลาแบบกลางวัน กลางคืน และวงจรแบบฤดูกาล

ส่วนองค์ประกอบที่ตั้ง คือ พืชพรรณ (vegetation) น้ำ (water bodies) เนินดิน (land slope) ค่าความจุความร้อน (thermal capacity) หรือ อีกอย่างหนึ่งว่า สภาพแวดล้อมเฉพาะ (micro climate) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่ปรับแต่ง สภาพอากาศโดยรอบตัวโรงงานให้อยู่ในสภาวะที่มีการระบายอากาศอย่างทั่วถึง

2.4.2 กลุ่มตัวแปรด้านอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงานซึ่งตัวแปรในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย องค์ประกอบด้านอาคารโรงงาน (Building Factory) และองค์ประกอบด้านการวางแผนผังโรงงาน (Plant Layout) ซึ่งผู้ออกแบบต้องแสวงหารูปแบบอาคารโรงงานและด้านการวางแผนผังงานระบบต่าง ๆ ให้สอดคล้องกันเพื่อให้ได้มาซึ่งอาคารโรงงานที่ใช้พลังงานน้อยในทุกสถานการณ์โดยองค์ประกอบด้านอาคารโรงงาน หมายถึง รูปร่างและรูปทรงอาคาร

โรงงาน (Shape/form) ตำแหน่งที่ตั้ง ส่วนประกอบของเปลือกอาคารโรงงาน (Envelop component) ค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านเปลือกอาคารโรงงาน (U value) ตำแหน่งการติดตั้งฉนวน สีของผนัง (Placement of insulation) และคุณสมบัติของวัสดุ หน้าต่าง (Windows and fenestrations) การควบคุมแสงอาทิตย์ (Solar control) เป็นต้นและองค์ประกอบด้านการวางแผนผังงานระบบต่าง ๆ หมายถึง ระบบหรือเครื่องกลที่ใช้ในอาคารเพื่อก่อให้เกิดการใช้พลังงานน้อยที่สุดและต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย

2.4.3 กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิต

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ได้แก่ ประเภทของเครื่องจักร (Machine) รูปแบบการใช้งานหรือลักษณะของกิจกรรมการทำงานต่างๆ (Activities)

2.5 ลักษณะพฤติกรรมของต้นทุน

แบ่งพฤติกรรมของต้นทุนออกเป็น 3 พฤติกรรม คือ ต้นทุนผันแปร ต้นทุนคงที่และต้นทุนผสม การจำแนกพฤติกรรมของต้นทุนในลักษณะดังกล่าวนี้ จะอยู่ภายใต้ข้อสมมติที่ว่า เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมของต้นทุนในช่วงระดับกิจกรรมหนึ่งๆ ซึ่งเราเรียกว่า “ช่วงกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง” (Relevant range) หมายถึง ช่วงของระดับการผลิตที่กิจการสามารถผลิตได้ ภายใต้กำลังการผลิตที่กำหนดขึ้นในขณะนั้น โดยไม่ทำให้การใช้ปัจจัยการผลิตคงที่ต้องเปลี่ยนแปลงไป

ต้นทุนผันแปร (Variable Costs) คือ ต้นทุนชนิดต่างๆ ที่มีจำนวนของต้นทุนรวมเปลี่ยนแปลงไปในสัดส่วนโดยตรงต่อปริมาณหรือระดับกิจกรรมไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมการผลิตหรือกิจกรรมทางด้านการขายและการดำเนินงานอื่นๆ ตัวอย่างของต้นทุนผันแปร เช่น วัตถุดิบทางตรง ค่าแรงงานทางตรง ค่าใช้จ่ายการผลิตผันแปร ค่านายหน้าพนักงานขาย ค่าเชื้อเพลิง เป็นต้น

ต้นทุนคงที่ (Fixed Costs) เป็นต้นทุนที่มีจำนวนต้นทุนรวมไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณหรือระดับกิจกรรม เช่น ค่าเช่า ค่าภาษีทรัพย์สิน ค่าประกันภัย และรวมถึงค่าใช้จ่ายการผลิตคงที่ต่างๆ เป็นต้น แต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะมีการเปลี่ยนแปลงในทางตรงข้ามกับระดับกิจกรรมที่เปลี่ยนแปลง เช่น เมื่อมีการผลิตสินค้าในจำนวนมากขึ้น ต้นทุนค่าเช่าเฉลี่ยต่อหน่วยของสินค้าที่ผลิตก็จะต่ำลง เป็นต้น

ต้นทุนผสม (Mixed Costs) เป็นต้นทุนซึ่งประกอบด้วยต้นทุนส่วนที่ผันแปร และส่วนที่คงที่อยู่ด้วยกัน ซึ่งบางครั้งอาจจะเรียกว่า ต้นทุนกึ่งผันแปร (Semivariable Costs) หรือต้นทุนกึ่งคงที่ (Semifixed Cost) ก็ได้ เช่น ค่าตอบแทนพนักงานขาย ซึ่งอาจจะประกอบด้วย เงินเดือนและค่านายหน้าการขาย ค่าสาธารณูปโภค ค่าซ่อมบำรุง เป็นต้น

การวิเคราะห์ต้นทุนที่มีพฤติกรรมผสมและการประมาณต้นทุน

มีวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมต้นทุนอยู่หลายวิธี ที่จะสามารถจำแนกต้นทุนผสมให้ออกมาเป็นต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร สมการในทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการจำแนกต้นทุนผสมและประมาณต้นทุนมีลักษณะเป็นสมการเส้นตรงดังนี้

$$Y = a + bx$$

โดยที่ :

Y = จำนวนรวมของต้นทุนผสม

X = จำนวนระดับกิจกรรม เช่น ปริมาณการผลิต ปริมาณการจำหน่าย หรือจำนวนชั่วโมงแรงงานทางตรง เป็นต้น

a = ต้นทุนส่วนที่คงที่

b = อัตราต้นทุนส่วนที่ผันแปร

2.6 การศึกษาเวลาโดยตรง

การศึกษาเวลาโดยตรง เป็นวิธีการศึกษาเวลาที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยอาศัยการจับเวลาด้วยเครื่องมือบันทึกเวลา และแผนบันทึกข้อมูล และอาจมีกล้องถ่ายภาพยนตร์ด้วยในบางกรณี ก่อนทำการศึกษาวงานต้องมั่นใจว่างานนั้นพร้อมที่จะถูกศึกษา กล่าวคือ

- ก. วิธีการทำงานที่ใช้อยู่เป็นวิธีที่ดีที่สุด
- ข. การวางเครื่องมือเครื่องจักรอยู่ในลักษณะที่เหมาะสม
- ค. วัตถุที่ใช้ทำงานเป็นไปตามคุณลักษณะที่ต้องการ
- ง. สภาพการทำงานเหมาะสมและไม่มีปัญหาในเรื่องความปลอดภัย
- จ. คุณภาพของชิ้นงานที่ผลิตเป็นไปตามที่ต้องการ
- ฉ. ความเร็วของเครื่องจักรเป็นไปตามที่ตั้งไว้
- ช. คนงานมีความชำนาญ หรือประสบการณ์พอสมควร

แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นงานย่อย

การแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นงานย่อยเพื่อความสะดวกในการจับเวลาและเพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาเวลาต่อไป คำว่างานย่อย ณ ที่นี้ หมายถึง งานย่อยสำหรับการจับเวลา (Time Study Element) และไม่ควรนำไปปนเปื้อนกับคำว่างานย่อยในที่อื่นๆ ที่กล่าวถึง

นิยาม ของ “งานย่อย” (Element) ในที่นี้หมายถึง หน่วยย่อยของงาน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนสามารถอธิบายและจับเวลาได้ ดังนั้นจะเห็นว่าหน่วยงานย่อยนี้ไม่ได้เล็กเกินไป หรือใหญ่เกินไปจนซับซ้อน หน่วยย่อยของงานนี้ต่างจากหน่วยย่อยของการเคลื่อนในเรื่องของ Motion Study

หลักเกณฑ์ 7 ข้อในการแบ่งงานย่อยเพื่อจับเวลา มีดังนี้

1. งานย่อยควรสั้นพอที่จับเวลาได้อย่างแม่นยำ โดยปกติแล้วงานย่อยจะไม่สั้นกว่า 0.04 นาที หรือ นานกว่า 0.35 นาที

2. งานย่อยทุกงานควรมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่แน่นอน เพื่อสะดวกแก่การแยกจับเวลา จุดสิ้นสุดของงานย่อยหนึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นของงานย่อยต่อไป มีการแยกแยะอย่างเห็นได้ชัด (มักมีสัญญาณหรือเสียง)
3. งานย่อยควรมีความคงเส้นคงวามากที่สุด กล่าวคืองานย่อยสามารถบอกลักษณะงาน หรือกลุ่มของงานที่ทำได้ เช่น การขันน็อต การตัดผ้า การเย็บรังดุม เป็นต้น
4. ควรแยกการจับเวลาของเครื่องจักร ออกจากการจับเวลาการทำงานของคนงาน เพราะเวลาการทำงานของเครื่องจักรจะคงที่ จึงสามารถตรวจสอบกับเวลาที่จับได้ว่าตรงกันหรือไม่ นอกจากนี้จุดสิ้นสุดของเวลาของเครื่องจักรมักจะเป็นจุดเริ่มต้นของงานย่อยต่อไปของพนักงาน
5. แยกงานย่อยของพนักงานที่ทำขณะเครื่องจักรกำลังเดิน (Inside Work Element) ออกจากงานย่อยของคนงานส่วนที่ทำงานขณะเครื่องจักรหยุด (Outside Work Element)
6. ควรแยกงานย่อยคงที่ (Constant Element) ออกจากงานย่อยแปรผัน (Variable Element)
7. ควรแยกงานย่อยประจำ (Regular Element) ออกจากงานย่อยครั้งคราว (Irregular Element)

2.7 การพยากรณ์

ในทางปฏิบัติแล้วการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า เป็นเรื่องที่จะทำได้ยากมาก และในบางกรณีไม่สามารถคาดการณ์ได้ เนื่องจากความต้องการสินค้าหรือบริการของลูกค้านั้นไม่คงที่จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามโลกาภิวัตน์ที่เปลี่ยนแปลงไป รวมทั้งรสนิยมของลูกค้าที่มีความหลากหลาย นอกจากนี้ยังขึ้นกับช่วงของเวลาหรือเทศกาลต่างๆ ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ล้วนมีผลทำให้การพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อน ตัวอย่าง เช่น ปริมาณยอดขายของโรงงานเครื่องประดับเงินส่งออก จะพบว่าจะมีปริมาณความต้องการในช่วงเทศกาลอีสเตอร์และคริสต์มาสเป็นจำนวนมากกว่าปกติ แต่ในบางช่วงเวลาจะมีความต้องการที่ลดลง หรือจำนวนลูกค้าที่เข้ามาใช้บริการในธนาคารสาขาหนึ่งๆ จะมีปริมาณที่มากน้อยไม่เท่ากันในแต่ละวันของสัปดาห์ และในแต่ละช่วงเวลาของวันหนึ่งๆ ก็จะมีจำนวนลูกค้ามากน้อยไม่เท่ากันด้วย เป็นต้น

การพยากรณ์เป็นพื้นฐานของการวางแผนเชิงกลยุทธ์และการตัดสินใจต่างๆ ในโซ่อุปทาน โดยผู้บริหารจะต้องมองการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าทั้งระบบในภาพรวมขององค์กรก่อน และจึงค่อยคำนวณหาปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละประเภท องค์กรที่มีระบบการพยากรณ์ที่ดีจะได้เปรียบองค์กรอื่นๆ ที่เป็นคู่แข่งกัน อย่างไรก็ตามในแต่ละองค์กรอาจจะมีเป้าหมายในการดำเนินธุรกิจที่แตกต่างกันออกไป ทำให้วัตถุประสงค์และขั้นตอนการพยากรณ์ที่จะบรรลุเป้าหมายมีความแตกต่างกันออกไปด้วย โดยทั่วไปแล้วก่อนที่จะดำเนินการพยากรณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องควรจะตอบคำถามด้านการจัดการต่างๆ ต่อไปนี้ก่อน

1. ใครจะเป็นผู้ใช้ผลของการพยากรณ์
2. อะไรคือวัตถุประสงค์ที่ผู้พยากรณ์ต้องการ

3. ขั้นตอนและรายละเอียดในการทำงานมีอะไรบ้าง และกำหนดให้มีการพยากรณ์เมื่อใด
4. ต้องใช้ข้อมูลอะไรบ้าง และข้อมูลที่มีอยู่เพียงพอหรือไม่
5. ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายเป็นเท่าใด
6. ผู้บริหารคาดหวังความถูกต้องในการพยากรณ์มากน้อยเพียงใด
7. การพยากรณ์จะเสร็จทันเวลาเพื่อช่วยในการตัดสินใจของผู้บริหารหรือไม่
8. ผู้พยากรณ์เข้าใจถึงความต้องการของผู้บริหารในการใช้ผลการพยากรณ์อย่างชัดเจนเพียงใด
9. มีการประเมินผลการพยากรณ์ที่ผ่านมาเพื่อดูความคลาดเคลื่อนและนำข้อผิดพลาดมาปรับปรุงแก้ไขวิธีการในอนาคตหรือไม่

นอกจากนั้นแล้วประเด็นที่สำคัญอีกประเด็นหนึ่งก็คือ องค์กรจะต้องเข้าใจว่าปริมาณความต้องการของลูกค้า(Demand) และยอดขาย (Sales) แตกต่างกัน และจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจะต้องทราบปริมาณความต้องการที่แท้จริงของลูกค้า ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับค่ายอดขายต่าง ๆ เหล่านั้นก่อน เนื่องจากปริมาณความต้องการที่แท้จริงของลูกค้า อาจจะไม่ถูกเติมเต็มเนื่องจากไม่มีสินค้าในคลังสินค้า (Stock out) หรือคู่แข่งขึ้นเพิ่มกลยุทธ์ในการขาย การตั้งราคารวมทั้งการส่งเสริมการขายต่าง ๆ (Promotion) ก็ส่งผลต่อปริมาณความต้องการของสินค้าทั้งสิ้น

2.7.1 ประโยชน์ของการพยากรณ์

การพยากรณ์สามารถนำมาช่วยกำหนดตารางการใช้ทรัพยากรในปัจจุบัน และจะทำให้ทราบว่าทรัพยากรในองค์กรที่มีอยู่ในปัจจุบันมีอะไรบ้าง เช่น เครื่องจักร แรงงาน เงินสด ทุนเวียน ได้มีการใช้ไปเท่าใด ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ และมีลักษณะการใช้อย่างไร ส่งผลให้องค์กรไม่เสียเวลาและงบประมาณไปกับสิ่งที่ไม่จำเป็นทำให้องค์กรสามารถหาแนวทางทรัพยากรอื่น ๆ มาเพิ่มจากข้อมูลพื้นฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันกับระยะเวลาที่กำหนดไว้ในแผน นอกจากนี้การพยากรณ์สามารถนำไปใช้ในการวางแผนช่องทางการจัดจำหน่ายให้กับลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในอนาคต เพื่อให้มีสินค้าเพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค และสามารถต่อสู้กับคู่แข่ง รวมทั้งรักษาส่วนแบ่งตลาดได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้แล้วการพยากรณ์สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลการดำเนินงาน เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการหรือกลยุทธ์ที่องค์กรใช้อยู่เป็นวิธีที่เหมาะสมหรือไม่ หรือใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงาน โดยประเมินสถานการณ์และสร้างความคาดหวังในอนาคต ส่งผลให้ผู้ที่เกี่ยวข้องมีความกระตือรือร้นในการทำงานมากขึ้น

2.7.2 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์

หน่วยงานต่าง ๆ ภายในองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการนำค่าพยากรณ์อุปสงค์หรือความต้องการของลูกค้าที่ประมาณการขึ้นไปใช้งาน เช่น

1. ฝ่ายการเงิน อุปสงค์หรือความต้องการของลูกค้าที่ประมาณการขึ้นนั้น สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในจัดทำงบประมาณการขาย เพื่อจะสามารถจัดสรรทรัพยากรให้ทุกส่วนขององค์กรอย่างทั่วถึงและเหมาะสม
2. ฝ่ายการตลาด อุปสงค์หรือความต้องการของลูกค้าที่ประมาณการได้ จะถูกนำไปใช้ในการกำหนดโควตาการขายของพนักงานขาย หรือนำไปสร้างยอดขายให้ได้ตามเป้าหมายของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เพื่อใช้ในการควบคุมงานของฝ่ายขายและฝ่ายการตลาด
3. ฝ่ายการผลิต อุปสงค์หรือความต้องการของลูกค้าที่ประมาณการไว้ จะถูกนำมาใช้ในการดำเนินงานต่าง ๆ ในฝ่ายการผลิต

2.7.3 ขั้นตอนพื้นฐานที่จะช่วยให้การพยากรณ์มีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนพื้นฐานที่จะช่วยให้การพยากรณ์มีประสิทธิภาพ มีดังต่อไปนี้ (Chopra and Meindl, 2007)

1. ระบุวัตถุประสงค์และทำความเข้าใจเพื่อนำผลการพยากรณ์ไปใช้ และช่วงเวลาที่การพยากรณ์จะครอบคลุมถึง เพื่อเลือกใช้ได้ถูกต้องเหมาะสม
2. รวบรวมข้อมูลอย่างมีระบบ ถูกต้องตามความเป็นจริง
3. จำแนกประเภทสินค้าที่มีลักษณะของปริมาณความต้องการที่คล้ายกันไว้เป็นกลุ่มเดียวกัน พยากรณ์สำหรับกลุ่มสินค้าก่อนแล้วจึงแยกการพยากรณ์เป็นรายสินค้าในแต่ละกลุ่มอีกครั้ง โดยเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่มและต่อลักษณะสินค้าด้วย
4. ระบุข้อจำกัดหรือปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อพยากรณ์และระบบสมมติฐานที่ตั้งไว้ในการพยากรณ์ด้วย เพื่อผู้ที่นำผลการพยากรณ์ไปใช้จะได้ทราบถึงเงื่อนไขข้อจำกัดที่มีผลต่อค่าพยากรณ์
5. เลือกเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่จะใช้ในการพยากรณ์
6. ตรวจสอบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ที่ได้กับค่าจริงที่เกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ เพื่อปรับวิธีการ หรือสมการที่ใช้ในการคำนวณให้เหมาะสมเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

2.7.4 ลักษณะของข้อมูลความต้องการของลูกค้าหรืออุปสงค์

การตัดสินใจทางธุรกิจจำเป็นต้องอาศัย “ข้อมูล (Data)” หรืออาจเรียกว่า “ค่าสังเกต” เพื่อใช้ในการพยากรณ์อุปสงค์ หรือ ปริมาณความต้องการของลูกค้า (Demand Forecasting) ซึ่งจะหมายถึงข้อเท็จจริงต่าง ๆ ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ โดยที่ข้อมูลทางสถิตินั้น

ไม่ได้หมายความว่าข้อมูลที่เป็นตัวเลขเท่านั้นแต่ยังรวมถึงข้อความ หรือผลที่ได้จากการสังเกตอื่นๆ ที่มีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการพยากรณ์

1. **ข้อมูลภาคตัดขวาง (Cross Sectional Data)** เป็นข้อมูลที่เก็บ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งที่ทำ การวิจัย เช่น การศึกษาความคิดเห็นของประชาชนต่อการลดการจัดเก็บภาษีน้ำมันของรัฐบาล ว่า จะส่งผลต่อการบริโภคและอัตราเงินเฟ้ออย่างไร เป็นการศึกษา ณ เวลาใดเวลาหนึ่งที่ทำการศึกษา โดยจะศึกษาค่าของข้อมูล ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น และไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของเวลา

2. **ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series)** เป็นข้อมูลที่เก็บต่อเนื่องตั้งแต่ต้น จนถึงสิ้นสุดเวลาที่ ระบุ เพื่อมาใช้ในการพยากรณ์เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต เช่น การศึกษาปริมาณการส่งออก ของสินค้าประเภทสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มตั้งแต่ปี 2545 – 2551 โดยอนุกรมเวลาจะหมายถึงค่า ของข้อมูล หรือค่าสังเกตที่เปลี่ยนแปลงไปตามลำดับของเวลาที่เกิดขึ้น ดังนั้น จึงจำเป็นที่ ผู้ประกอบการจะต้องเก็บข้อมูลความต้องการของลูกค้า หรือบริการต่างๆ ในอดีตตามช่วงเวลา ต่างๆ ไว้ การวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลดังกล่าวจะเรียกว่า การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Analysis of Time Series) วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการวิเคราะห์อนุกรมเวลาก็เพื่อหารูปแบบของตัวแปรที่ เราสนใจ เช่น ปริมาณความต้องการของลูกค้าที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง ของเวลาหรือไม่ โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอาจจะมีรูปแบบหรือไม่ก็ได้ ช่วงเวลาที่ เก็บบันทึกข้อมูลก็จะสามารถบันทึกเป็นรายชั่วโมง วัน สัปดาห์ ไตรมาส หรือรายปี ฯลฯ ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของข้อมูลที่ศึกษา ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ยิ่งมากเท่าใด ผลการวิเคราะห์ก็จะมี ความถูกต้องใกล้เคียงความจริงมากขึ้นเท่านั้นลักษณะพื้นฐานหรือส่วนประกอบพื้นฐานของข้อมูล อนุกรมเวลา

2.7.5 เทคนิคในการพยากรณ์

วิธีการพยากรณ์มีผู้พัฒนาขึ้นหลายวิธี โดยแต่ละวิธีก็จะเหมาะสมกับข้อมูลที่มีลักษณะ การเคลื่อนไหวที่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำเอาค่าพยากรณ์ที่ได้ ไปใช้งาน และจำเป็นอย่างยี่งที่จะต้องเลือกวิธีการพยากรณ์ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ ดังนั้น ก่อนที่จะดำเนินการพยากรณ์ ผู้พยากรณ์จะต้องทราบและตระหนักถึงรายละเอียดต่างๆ ที่ เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปแล้วสามารถจำแนกการพยากรณ์ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ การ พยากรณ์เชิงคุณภาพ(Qualitative Forecasting Methods) ซึ่งขึ้นอยู่กับความคิดเห็นหรือ ประสบการณ์ และการพยากรณ์เชิงปริมาณ(Quantitative Forecasting Methods) ซึ่งใช้ตัวแบบ ทางคณิตศาสตร์และข้อมูลในอดีตเพื่อจะพยากรณ์ การพยากรณ์เชิงปริมาณ สามารถจำแนกได้ เป็น 2 กลุ่ม คือ 1) การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series) และ 2) ตัวแบบหรือการวิเคราะห์เชิง สาเหตุ(Causal or Associative Models)

1. การพยากรณ์เชิงคุณภาพ

การพยากรณ์เชิงคุณภาพ(Qualitative Forecasting Methods) เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ การประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ(Expert opinion) และใช้ดุลยพินิจของบุคคลเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว เป็นการพยากรณ์ที่ใช้วิจารณญาณ(Judgmental Forecasting) โดยจะถือเกณฑ์วิจารณญาณส่วนบุคคล หรือมีการตกลงกันของคณะกรรมการเกี่ยวกับเหตุการณ์ หรือสถานการณ์ในอนาคต ในบางครั้งจะเรียกการพยากรณ์นี้ว่าการพยากรณ์เทคโนโลยี(Technological Forecasting) เมื่อนำไปประยุกต์กับการพัฒนาด้านเทคโนโลยีใหม่ๆ ให้ทันสมัยอยู่เสมอ รวมทั้งพยากรณ์ผลกระทบที่มีต่อสภาพแวดล้อม การพยากรณ์เชิงคุณภาพหรือการพยากรณ์เทคโนโลยีนี้จะช่วยให้ผู้พยากรณ์สามารถจัดระเบียบกระบวนการคิดและการทำนายอนาคตได้อย่างแม่นยำขึ้น

2. การพยากรณ์เชิงปริมาณ

วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ(Quantitative Forecasting Methods) จะใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของข้อมูล ปริมาณความต้องการที่เกิดขึ้นซ้ำๆ ในอดีต(Historical Data) รวมทั้งข้อมูลที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เพื่อใช้ในการพยากรณ์ โดยจะจำแนกวิธีการพยากรณ์ โดยจะจำแนกวิธีการพยากรณ์ออกเป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ 1) การพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลา(Time Series Forecasting) ซึ่งจะมีข้อสมมุติที่ว่า ค่าพยากรณ์ที่เกิดขึ้นกับข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต ดังนั้นวิธีการนี้จึงจะใช้ข้อมูลเชิงปริมาณที่เกิดขึ้นซ้ำๆ ในอดีตมาพยากรณ์ และ 2) การพยากรณ์เชิงสาเหตุ(Causal or Associating Forecasting) จะสมมุติว่าปัจจัยอื่นๆ ตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไป (ตัวแปรอิสระ) มีความสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการ ซึ่งจะนำเข้ามาใช้ในตัวแทนที่จะพยากรณ์ความต้องการในอนาคต เนื่องจากการพยากรณ์เชิงปริมาณนั้นขึ้นกับข้อมูลในอดีต ดังนั้นค่าพยากรณ์จะมีความเชื่อถือลดลงเมื่อระยะเวลาการพยากรณ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นหากองค์กรใดต้องการที่จะพยากรณ์ในระยะยาว ควรจะนำเอาการพยากรณ์ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพเข้ามาร่วมวิเคราะห์ด้วย วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้

2.1. การวิเคราะห์อนุกรมเวลา

การพยากรณ์ด้วยเทคนิคอนุกรมเวลา(Time Series Forecasting) เป็นการพยากรณ์ที่อยู่ภายใต้ข้อสมมุติฐานว่ารูปแบบของข้อมูลในอดีตยังคงเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต หรืออาจกล่าวได้ว่าลักษณะของการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลหรือตัวแปรที่เราสนใจศึกษา เช่น ปริมาณความต้องการ หรืออุปสงค์ในช่วงเวลาที่ผ่านมานั้น จะเรียกว่าตัวแปรตาม(Dependent Variable) จะทำให้สามารถคาดการณ์ หรือทำนายได้ว่าในอนาคตลักษณะของข้อมูลก็ควรจะอยู่ในรูปแบบเช่นนั้นต่อไป โดยในที่นี้เวลาจะเป็นตัวแปรอิสระ(Independent Variable) รูปแบบของอนุกรมเวลาที่พบบ่อย เช่น ราคาน้ำมัน รายได้ประชาชาติ และดัชนีอุตสาหกรรมอื่นๆ เป็นต้น

2.2. การวิเคราะห์เชิงสาเหตุ

ตัวแบบหรือการวิเคราะห์เชิงสาเหตุ(Causal or Associative Models) เป็นวิธีพยากรณ์เชิงปริมาณที่มีข้อสมมุติที่แตกต่างจากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา กล่าวคือจะสมมุติว่าปัจจัยอื่นๆ ตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไปมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ เช่น การพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อราคาน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป หรือว่าขึ้นอยู่กับค่าการตั้งราคา การโฆษณาการประชาสัมพันธ์ และราคาสินค้าที่ทดแทนกันได้หรือไม่ เป็นต้น โดยจะเรียกตัวแปรที่ต้องการการพยากรณ์จะเรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) และข้อมูลหรือตัวแปรอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์จะเรียกว่า ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) โดยตัวแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis Model) ตัวแบบนี้สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ 1) ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย ซึ่งเป็นตัวแบบที่กำหนดว่าตัวแปรตามมีความสัมพันธ์หรือขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว และ 2) ตัวแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน เป็นตัวแบบที่กำหนดว่าตัวแปรตามมีความสัมพันธ์หรือขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปรขึ้นไป

2.8 การวิเคราะห์สมการถดถอยและสหสัมพันธ์

2.8.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปรเป็นการวิเคราะห์สมการของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกันซึ่งพิจารณา สำหรับตัวแปรอิสระ 2 ตัวหรือมากกว่าสองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในสมการ และมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร คือ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกันและไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยสมการถดถอยหลายตัวแปรดังแสดงในสมการ คือ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

โดยที่

Y	=	ตัวแปรตาม
$X_1, X_2, \dots, X_n$	=	ตัวแปรต้น
a	=	จุดตัดแกน Y
b_n	=	Regression coefficient คือค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่า X_n เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ X ตัวอื่นๆ คงที่

ในสมการถดถอยหลายตัวแปร โดยเฉพาะ X_1, X_2 มีโอกาสที่จะเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์โดยค่าเหล่านี้เรียกว่า coefficients of partial regression ปรกติ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1 กับความสัมพันธ์ระหว่าง X_1 และ X_2 จึงเป็นเรื่องปรกติ

2.8.2 การวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis)

การวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis) หรือบางครั้งเรียกว่า การวิเคราะห์ปัจจัย เป็นเทคนิคที่จะจับกลุ่มหรือรวมกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือปัจจัยเดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นไปในทิศทางบวก (ไปในทิศทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) ก็ได้ ส่วนตัวแปรที่คนละปัจจัยจะไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือในอีกความหมายหนึ่งของการวิเคราะห์องค์ประกอบ หรือเรียกว่า การวิเคราะห์ตัวประกอบ เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ผลการวัด โดยใช้เครื่องมือหลายชุดหรือหลายด้าน อาจใช้แบบทดสอบแบบวัด แบบสำรวจ เป็นต้น อาจใช้ชุดเดียวแต่มีการวัดหลายด้าน หรือหลายชุดก็ได้

2.8.3 วิธีการคัดเลือกตัวแปร

วิธีคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการเพื่อให้สมการสามารถทำนายตัวแปรตามได้ดีที่สุด โดยจะใช้วิธีคัดเลือกตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward Selection) ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการนำตัวแปรทำนายทั้งหมดเข้าสมการจากนั้นก็ค่อยๆ ขจัดตัวแปรทำนายออกทีละตัว โดยจะหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรทำนายอื่นๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะขจัดออกจากสมการ แล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไป จนกระทั่งสหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรทำนายแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรอื่นๆ ออกแล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดเลือกและได้สมการการทดสอบที่มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงสุด ขั้นตอนการวิเคราะห์การคัดเลือกตัวแปรและการหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ

2.8.4 สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

การตัดสินใจโดยอาศัยแบบสมการถดถอยจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่แสดงผลที่ว่าความผันแปรในตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ด้วยข้อมูลตามแบบสมการถดถอยนั้นได้มากน้อยเพียงใด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ซึ่งนิยามได้ว่า

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย}}{\text{ความผันแปรทั้งหมดในข้อมูล}}$$

โดยให้ R^2 แทนค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (ใช้ค่ากำลังสอง เนื่องจากการประเมินค่าของสัมประสิทธิ์ดังกล่าว จะพิจารณาจากค่าผลรวมกำลังสอง)

ดังนั้น ผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่ได้คาดหมายที่จะได้ค่า R^2 มีค่ามากๆ เข้าใกล้ 1.00 แต่อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังค่อนข้างมากในการตีความหมาย R^2 ทั้งนี้เนื่องจากว่า ในกรณีที่มีข้อมูล n ตัว แล้วทำการสร้างแบบสมการถดถอยเป็นพหุนามดีกรีอันดับ $n-1$ แล้ว ก็จะได้

$R^2 = 1.00$ เสมอแต่ไม่ได้หมายความว่าแบบสมการถดถอยจะไม่สามารถอธิบายความผันแปรเนื่องจากการทดลอง (Pure error) ได้ ในการวิเคราะห์จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาจากค่าองศาอิสระของความคลาดเคลื่อนเสมอ หากค่าองศาอิสระของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมาก จะทำให้มีโอกาสในการตัดสินใจผิดพลาดสูงมาก

ในการพิจารณาความเหมาะสมของแบบสมการถดถอยนั้น ถ้าหากมีการเพิ่มเทอมตัวแปรถดถอยเข้าไปในแบบสมการแล้วจะมีผลทำให้ R^2 ของแบบสมการใหม่เพิ่มขึ้นเสมอ แต่ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่า แบบสมการใหม่จะดีกว่าสมการเก่า เพราะการเพิ่มเทอมตัวแปรถดถอยเข้าไปในแบบสมการจะทำให้องศาอิสระของความคลาดเคลื่อนในแบบสมการใหม่มีค่าลดลง ดังนั้นแบบสมการใหม่จะดีกว่าแบบสมการเดิมก็ต่อเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนในแบบสมการใหม่ในรูป SSE (Error Sum of Squares) มีค่าลดลงไม่น้อยกว่าค่ามัธยฐานความคลาดเคลื่อนของแบบสมการเดิม, MSE (Mean Square Error) ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ามัธยฐานความคลาดเคลื่อนของแบบสมการใหม่มีค่าต่ำกว่าค่ามัธยฐานความคลาดเคลื่อนของแบบสมการเดิม

ในการทดสอบสมมติฐานของค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยนั้น สามารถทำได้ 2 วิธีคือ ใช้สถิติทดสอบ T หรือสถิติทดสอบ F (ANOVA)

2.8 ภาพรวมด้านการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยาง

อุตสาหกรรมยางจะมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนซึ่งชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานความร้อนในอุตสาหกรรมยาง ณ เวลาที่ทำการศึกษานี้ได้แก่ เบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล ก๊าซปิโตรเลียมเหลวไอน้ำและไอน้ำความดันสูง น้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินนำเข้า ขี้เลื่อย ฟืน และ แกลบ ซึ่งรูปแบบการใช้พลังงานและชนิดของเชื้อเพลิงจะต่างกันออกไปตามชนิดของผลิตภัณฑ์และระดับเทคโนโลยีที่ใช้ ในอุตสาหกรรมยางต้นน้ำส่วนใหญ่แล้วจะเป็นระดับของชาวสวนซึ่งใช้แรงงานเป็นหลัก ถัดมาเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปยางพื้นฐานเช่นการทำยางแผ่น ยางแท่ง เป็นอุตสาหกรรมระดับครอบครัว การใช้พลังงานยังถือว่ามียังมีปริมาณน้อยส่วนใหญ่แล้วจะใช้เศษฟืนและไม่ในการอบรมควัน การใช้พลังงานทั้งความร้อนและไฟฟ้าจะมีสัดส่วนและสำคัญมากยิ่งขึ้นในระดับที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมใหญ่ๆ จำพวกอุตสาหกรรมแปรรูปยางพื้นฐานเป็นผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษาพบว่ากลุ่มย่อยอุตสาหกรรมยางที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ กลุ่มยางล้อ กลุ่มผลิตภัณฑ์ยางจากกระบวนการจุ่ม (Dipping) และกลุ่มยางแท่ง โดยกลุ่มยางล้อจะใช้พลังงานความร้อน จากไอน้ำเป็นตัวกลางในการให้ความร้อนกับแม่พิมพ์ และ ใช้ในการรักษาอุณหภูมิในขั้นตอนอบ ส่วนพลังงานไฟฟ้าถูกใช้มากในขั้นตอนการบดรองลงมาคือขั้นตอนการรีดหน้ายางผสมยาง ส่วนกลุ่มยางแท่งมีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเครื่องบดซึ่งต้องทำถึง 9 ชั้นเพื่อรีดให้ยางเป็นเส้นยาว และใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องตัดขั้นสุดท้ายที่ตัดชิ้นงานเป็นฝอยลงกะละและเครื่องอัดแท่ง สำหรับพลังงานความ

ร้อนทั้งหมดใช้ในขั้นตอนของการอบ โดยมักจะใช้หัวเผา น้ำมันดีเซลผลิตจากโรงกลั่นปิโตรเลียมให้เครื่องอบ

ส่วนพลังงานไฟฟ้าใช้มากในขั้นตอนการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการที่ต่างกันคือ กระบวนการ Dipping Extruding และ Forming ก็ส่งผลให้มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่ต่างกันด้วย เช่นในกระบวนการ Dipping พลังงานความร้อนถูกใช้มากที่สุด ในขณะที่ขั้นตอนของการอบยางให้สุก ส่วนกระบวนการ Forming มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักเนื่องจากในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จะใช้วิธีการอัดพิมพ์ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในมอเตอร์ขับเคลื่อนไฮดรอลิก ส่วนกระบวนการ Extruding มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและความร้อนในทุกขั้นตอน โดยที่พลังงานไฟฟ้าใช้มากที่สุด ในมอเตอร์ขับเคลื่อนสกรูรีดยางส่วนผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอื่นๆ ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นการเตรียมส่วนผสมเพื่อนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อีกต่อหนึ่ง เช่น ยางคอมปาว์ ดังนั้นจึงใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักในเครื่องบดผสมยาง

เมื่อพิจารณาจากขั้นตอนของอุตสาหกรรมเริ่มตั้งแต่เป็นน้ำยางพาราสดจนกระทั่งกลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่นำไปใช้งานจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ

ช่วงที่ 1 - ต้นน้ำ

เป็นการผลิตน้ำยางจากสวนยางในกลุ่มนี้ไม่นับเป็นอุตสาหกรรมแต่หมายถึงเกษตรกรหรือชาวสวนยางพาราและมีนัยสำคัญของการใช้พลังงานน้อยมาก

ช่วงที่ 2 - กลางน้ำ

เป็นกลุ่มที่รับเอาวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมต้นน้ำมาทำการแปรรูปขั้นต้นก่อนที่จะนำส่งไปยังอุตสาหกรรมปลายน้ำเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต ในส่วนนี้ไม่นับเป็นอุตสาหกรรมและการใช้พลังงานเริ่มมีนัยสำคัญ

ช่วงที่ 3 - ปลายน้ำ

เป็นกลุ่มที่รับเอาวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมกลางน้ำมาทำการแปรรูปขั้นสุดท้ายเพื่อที่จะจัดจำหน่ายแก่ผู้บริโภคในส่วนนี้ไม่นับเป็นอุตสาหกรรมเช่นกันและส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานขนาดกลางและใหญ่ มีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและความร้อนในปริมาณสูง

ช่วงที่ 4 – การนำกลับมาใช้ (Recycle)

เป็นกลุ่มที่รับเอาผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วกลับมาผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้เพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมยางหรืออุตสาหกรรมประเภทอื่น โดยในประเทศไทยพบว่าโรงงานแปรรูปสำหรับน้ำยางเก่ากลับมาใช้ใหม่โดยตรงนั้นยังไม่ปรากฏส่วนใหญ่กระบวนการนี้จะเป็นส่วนหนึ่งอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมยางโดยทั่วไปมากกว่า

ดังนั้นการจัดแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมย่อยสำหรับอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางจึงดีกรอบเฉพาะในช่วง กลางน้ำและ ปลายน้ำ เท่านั้น เนื่องจากการใช้พลังงานมีนัยสำคัญ

จากหลักเกณฑ์ดังกล่าวเมื่อนำมาเน้นการพิจารณาด้านพลังงานเป็นหลักโดยพิจารณาจากลักษณะการใช้พลังงานและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางออกเป็น 9 กลุ่มมีผลิตภัณฑ์ในแต่ละกลุ่มดังต่อไปนี้

- ช่วงกลางน้ำ**
1. กลุ่มอุตสาหกรรมยางแผ่น
 2. กลุ่มอุตสาหกรรมยางแท่ง
 3. กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำยางข้น
 4. กลุ่มอุตสาหกรรมยางเทียมหรือยางสังเคราะห์
- ช่วงปลายน้ำ**
5. กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตยางล้อ
 6. กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการจุ่ม (Dipping)
 7. กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการขึ้นรูป (Forming)
 8. กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอัดฉีด (Extruding)
 9. กลุ่มผลิตภัณฑ์อื่นๆ

โรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างของการวิจัยครั้งนี้จะจัดอยู่ในกลุ่มของ ช่วงปลายน้ำ กลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการขึ้นรูป (Forming) เป็นหลัก แต่มีการเตรียมวัตถุดิบมาจาก ยางสังเคราะห์ จึงจัดอยู่ในกลุ่ม ช่วงกลางน้ำด้วย

ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากกระบวนการ Forming ได้แก่ ฟองน้ำยางธรรมชาติ ฟองน้ำยางรองพรอม รองเท้าฟองน้ำ ข้อต่อยาง เส้นยางรัดของ ยาง CURING ENVELOPES, CURING TUBE, CURING FLAP ข้อยาง POLY รองเท้ายาง BUTADIENE RUBBERS สายพาน ยางปูพื้นรถยนต์ แผ่นยางเทคอน ยางเชื่อม ยางทนความร้อน ยางชิ้นส่วนเครื่องจักร/รถ ล้อยาง ลูกยาง แหวนยาง ลูกกลิ้งยาง กันชนยาง ยางแท่นเครื่อง เรือยาง ยางกันกระแทก ยางครอบเกียร์ ซิลยาง โอริง ล้อยาง ปะเก็นยาง ยางอัดแผ่น ยางแท่นเกียร์ ยางกันสะเทือน ยางกันฝุ่น ยางกันน้ำมัน ยางกันซึม ยางรองขาโต๊ะ บังโคลน ยางล้อรถเด็ก ยางรถเข็น ลูกทูนยาง ยางพื้นรองเท้า

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มอุตสาหกรรมยางเทียมหรือยางสังเคราะห์

ยางเทียมหรือยางสังเคราะห์เป็นวัสดุที่มีคุณภาพคล้ายกับยางธรรมชาติ มีความต้านทานต่อน้ำมัน สารเคมีและความร้อนได้สูงและมีอายุการใช้งานยาวนานยางสังเคราะห์ไม่มีความยืดหยุ่นเหมือนยางธรรมชาติดังนั้นในการใช้งานจึงมีการผสมระหว่างยางแท้กับยางเทียมซึ่งจะทำให้ ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติของยางแท้และยางเทียมในตัวเดียวกัน ยางสังเคราะห์มีหลายชนิดได้แก่

ยางสไตรีน-บิวทาไดน์ (styrene-butadiene rubber; SBR) เป็นยางสังเคราะห์ที่ใช้งานกันมากในสหรัฐอเมริกาบางส่วนผสมของบิวทาไดน์ 78% กับสไตรีน 22% มันอาจจะถูกผสมกันที่อุณหภูมิ 40 องศาฟาเรนไฮต์ เมื่อนำมาผสมกันที่ 40 องศาฟาเรนไฮต์ยางจะมีคุณสมบัติพิเศษกว่า ยางธรรมชาติ ใช้ทำยางรถยนต์ ยางสังเคราะห์มีความต้านทานต่อการขูดถลอก สภาพะของลมฟ้าอากาศที่แปรเปลี่ยนไป ต้านทานไฟฟ้าได้ดี เมื่อทิ้งไว้ให้ตากแดดตากลม โอโซน แก๊สโซลีน

และน้ำมันยางจะชำรุดเสียหายได้ ยางนี้ยังใช้ทำท่อยาง ฟันฉนวน สายพานลำเลียง วัสดุหีบห่อ ฟันรองเท้า

ยางบิวทิล (butyl rubber) เป็นยางสังเคราะห์ที่ผสมกันระหว่างไอโซพรีน มีโครงสร้างที่ทนต่ออากาศเพราะยางนี้ให้ก๊าซซึมซาบได้ต่ำมาก ดังนั้นจึงใช้ทำยางรถยนต์แบบไม่มียางใน และสารผสมกันเร็ว ยางนี้มีความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่ายางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดได้ดี ต้านทานการขูดถลอกต้านทานผลิตภัณฑ์แก๊สโซลีนได้ดีต้านทานกรดได้ดี ต้านทานสารละลายได้ดีและต้านทานการแข็งตัว ในอากาศเย็นได้ พอใช้ แต่ไม่ต้านทานต่อเปลวไฟ ต้านทานไฟฟ้าได้ดี จึงเป็นฉนวนไฟฟ้าในอุปกรณ์ไฟฟ้า

ยางเอทิลีน-โพรพิลีน (ethylene-propylene rubber; EPR) เป็นสารผสมจากเอทิลีนและไอโซโพรพิลีนเป็นยางที่มีน้ำหนักเบา ต้านทานแสงแดด ยางสังเคราะห์นี้ต้านทานการขูดถลอกได้ดี ทนต่อการตากแดดตากฝนและการออกซิเดชัน ใช้ทำท่อยาง รองเท้าบูต สายพานตัววี ยางรถยนต์ และเป็นฉนวนสายเคเบิลไฟฟ้า

ยางฟลูออไรด์ (fluoro rubber) ผลิตจากการดิวไฮไดรฟิเคชันของปอลิฟลูออโรเอทิลีนและสารละลายกรดอะคริลิกจนได้ยางออกมา มีคุณสมบัติต้านทานแสงแดด น้ำมันการออกซิเดชัน และสารละลาย เมื่อผสมกับโบรไมน์ยางนี้จะให้ก๊าซซึมซาบผ่านได้ต่ำ ทนต่ออุณหภูมิสูงและต่ำ

ยางไนไตรล์ (nitrile rubber) เป็นการผสมกันของอคริโลไนไตรล์และบิวทาไดน์ ถ้ามีไนไตรล์มากยางจะมีคุณสมบัติต้านทานน้ำมันเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มไนไตรล์ จะลดคุณสมบัติการอ่อนตัวได้ดี เช่น จะบิดงอได้ง่ายความสามารถกลับคืนสภาพเดิม กลุ่มไนไตรล์อาจจะเสริมแรงด้วยคาร์บอน ยางจะทนต่อจาระบี สารละลาย และน้ำมันได้ดีเป็นวัสดุกันรั่วในงานที่มีความร้อน ยางนี้ถูกทำให้เป็นตัวประสาน และเคลือบผลิตภัณฑ์กระดาษใช้เคลือบภายในท่อที่ใช้ในการขนส่งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เคลือบภายในของถังเชื้อเพลิงทำยางโอริง และสนักรองเท้า

ยางโพลีคลอโรเพรน (polychloroprene rubber) หรือที่เรียกว่า ยางนีโอเพรน (neoprene rubber) เป็นยางที่ใช้กันกันอย่างกว้างขวาง ทำจากสารคลอโรเพรนและคลอโรบิวทาไดน์ ยางนี้มีคุณสมบัติทางกลและโครงสร้างคล้ายๆ กับยางธรรมชาติ ต้านทานต่อผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ไอโซน แสงแดด และการขูดถลอก ยางนี้จะไม่เกิดการไหม้แม้ว่าจะถูกเผาจึงใช้ทำปะเก็น ถุงมือ ผ้าป้องกันไฟ ตัวประสาน ท่อและเคลือบท่อ สายพานลำเลียงและฉนวนไฟฟ้า

ยางโพลีซัลไฟด์ (polysulfide rubber) หรือที่เรียกว่า ไทโอโคลหรือโคโรซีล (thiokol or Koroseal) ยางนี้มีการซึมซาบของก๊าซต่ำ และต้านทานสารละลายได้ดี ใช้ทำตัวประสานสำหรับโลหะ ต้านทานต่อการฉีกขาดและการขูดถลอกพอใช้ ต้านทานแสงแดดและออกซิเดชันได้ดี ต้านทานการบวมจากน้ำร้อน ต้านทานกรดได้ดี และต้านทานความร้อนจากเปลวไฟได้ดี ใช้ทำวัสดุอุดรูรั่ว เคลือบภายในถังเชื้อเพลิงและถังกรด ปะเก็น วัสดุกันรั่ว ท่อน้ำมันแก๊สโซลีนและหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้า

ยางโพลียูรีเทน (polyurethane rubber) ถูกใช้ทำตัวประสานหรือยางรถยนต์ทำสันรองเท้า กันน้ำมันรั่วแผ่นไดอะแฟรม เฟือง อุปกรณ์กันสั่นสะเทือน ปะเก็น ฯลฯ วัสดุจะถูกผสมเข้าด้วยกันในแม่พิมพ์หรืออบด้วยความร้อนสูงต้านทานต่อการขูดถูกลอกฉีกขาดและสึกหรอ มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูง และมีความแข็งแรงต่อแรงดึงถึง 8,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ใช้ทำยางรถยนต์ ของยานยนต์ที่เคลื่อนตัวช้า เช่น รถยก เพราะว่าที่ความเร็วสูงจะเกิดความร้อนสูงที่จุดสัมผัสระหว่างผิวถนนและยาง จึงไม่เหมาะสำหรับใช้กับยางรถยนต์ทั่ว ๆ ไป แต่อย่างไรก็ดียางชนิดนี้ก็มีสมบัติของความเสียดทานต่ำ ดังนั้นภายใต้สภาพพิเศษยางนี้จะใช้ทำบูช จะต้านทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจาก - 100 ถึง +200 องศาฟาเรนไฮต์

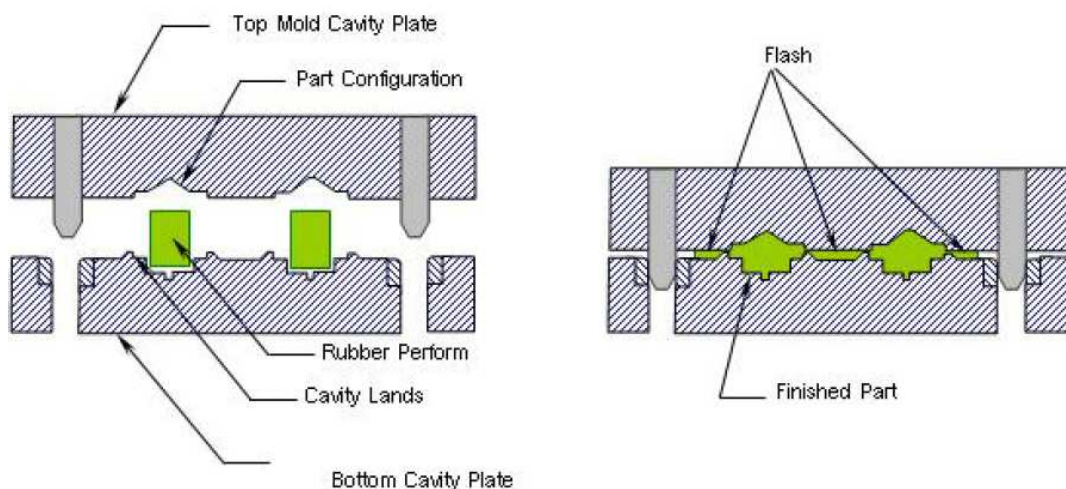
ยางซิลิโคน (silicone rubber) เป็นผลลัพธ์จากการรวมกันของไนโตรลฟีนิล (phenyl) หรือกลุ่มฟลูออไรน์ (fluorine) ยางนี้มีความเสถียรมาก ไม่ได้รับผลกระทบจากแสงแดด ต้านทานต่อน้ำมันร้อน และมีความสามารถต่อการบิดงอ ภายใต้อุณหภูมิ -100 ถึง +500 องศาฟาเรนไฮต์ มีความแข็งแรงต่อแรงดึงเฉลี่ยที่อุณหภูมิห้อง 300 ถึง 600 ปอนด์ ต่อตารางนิ้วมีความสามารถยืดขยายให้ยาวได้ถึง 120%

ผลิตภัณฑ์ยางจากกระบวนการขึ้นรูป (Forming)

ฟองน้ำยางธรรมชาติ ฟองน้ำยางรองพรม รองเท้าฟองน้ำ ข้อต่อยาง เส้นยางรัดของ ยาง CURING ENVELOPES, CURING TUBE, CURING FLAP ข้อยาง POLY BUTADIENE RUBBERS สายพาน ยางปูพื้นรถยนต์ แผ่นยางเทคองยางเชื่อม ยางทนความร้อน ยางชิ้นส่วนเครื่องจักร/รถ ล้อยาง ลูกยาง แหวนยาง ลูกกลิ้งยาง กันชนยาง ยางแท่นเครื่อง เรือยาง ยางกันกระแทก ยางครอบเกียร์ ซิลยาง โอริง ปะเก็นยาง ยางอัดแผ่น ยางแท่นเกียร์ ยางกันสะเทือน ยางกันฝุ่น ยางกันน้ำมัน ยางกันซึม ยางรองขาโต๊ะ บังโคลน ยางล้อรถเด็ก ยางรถเข็น ล้อยาง ลูกทูน ยาง ยางพื้นรองเท้า รองเท้ายาง

การผลิตผลิตภัณฑ์ยางจากกระบวนการขึ้นรูป (Forming)

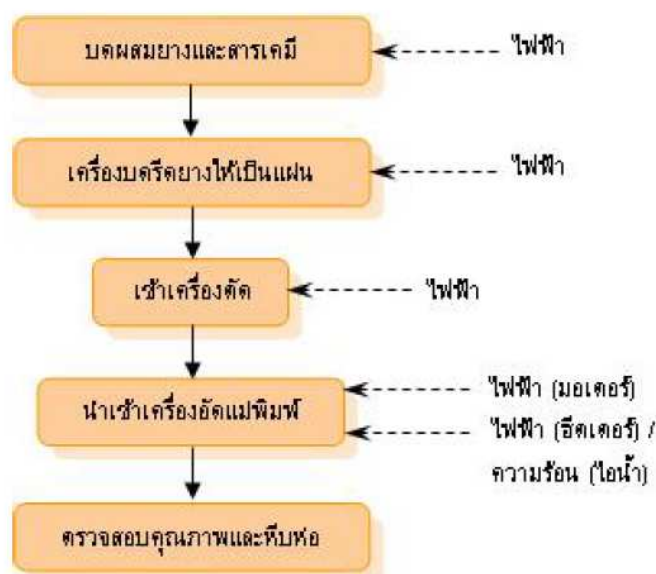
เป็นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางโดยการใช้วิธีอัดยางแห้งที่เป็นแท่งผ่านความร้อนแล้วอัดเข้าแม่พิมพ์แบบปิด ซึ่งมีรูปร่างเป็นโพรง(Cavity) เหมือนกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ที่เรียกว่าโมลด์(Mold) ดังภาพประกอบต่อไปนี้



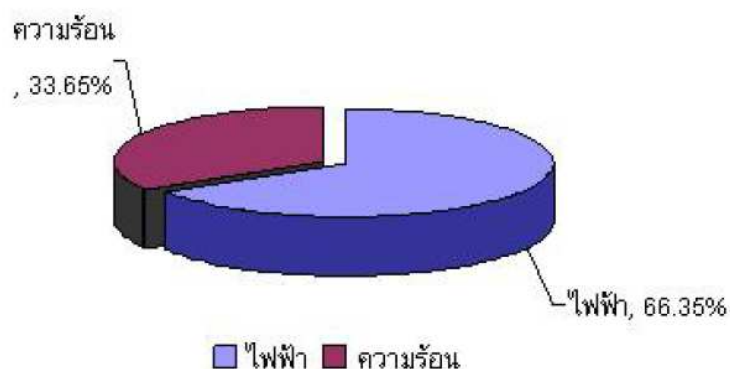
ภาพประกอบ 1 กระบวนการขึ้นรูปโดยการอัดแม่พิมพ์

การใช้พลังงานในการผลิตผลิตภัณฑ์จากกระบวนการขึ้นรูป (Forming)

เนื่องจากอุตสาหกรรมยางล้อมีผลิตภัณฑ์มากมาย ในที่นี้จึงนำมากล่าวถึงเพียงบางส่วน คือ ชิ้นส่วนยางจำพวกอะไหล่รถยนต์ ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก มีส่วนน้อยที่ใช้เชื้อเพลิงผลิตไอน้ำและนำมาให้ความร้อน วิธีการบดผสมยางก็เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้แก่ เครื่องบดผสมแบบปิด (Kneader) และเครื่องรีดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จะใช้การอัดพิมพ์ (Compression Molding) จะใช้พลังงานไฟฟ้าในมอเตอร์ขับเคลื่อนโรตารีและใช้ในส่วนของฮีตเตอร์ไฟฟ้า การใช้ไฟฟ้าที่เหลือ ได้แก่ ไฟฟ้าสำนักงาน ปัมลม ป้อนน้ำมัน หอผึ่งน้ำเย็น และอื่นๆ



ภาพประกอบ 2 แผนผังการใช้พลังงานในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์



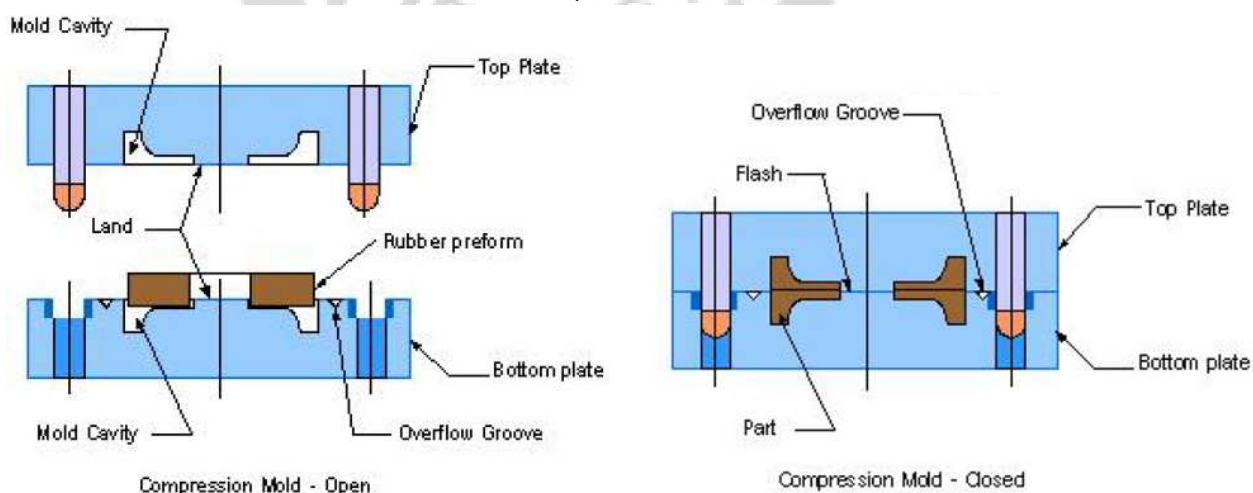
ภาพประกอบ 3 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนในกระบวนการขึ้นรูป

กระบวนการอบคงรูปยาง (Curing processes)

การอบยางให้สุกเพื่อก่อรูปยางถือเป็นหัวใจหลักสำหรับการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง ดังนั้นการพัฒนาหรือเลือกใช้วิธีการอบคงรูปยางที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงเป็นมาตรการที่จะส่งผลกระทบให้เกิดการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมยางได้มากที่สุด โดยเทคนิควิธีการอบยางให้สุกที่เกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างมีดังนี้

แม่พิมพ์กดอัด (Compression molding)

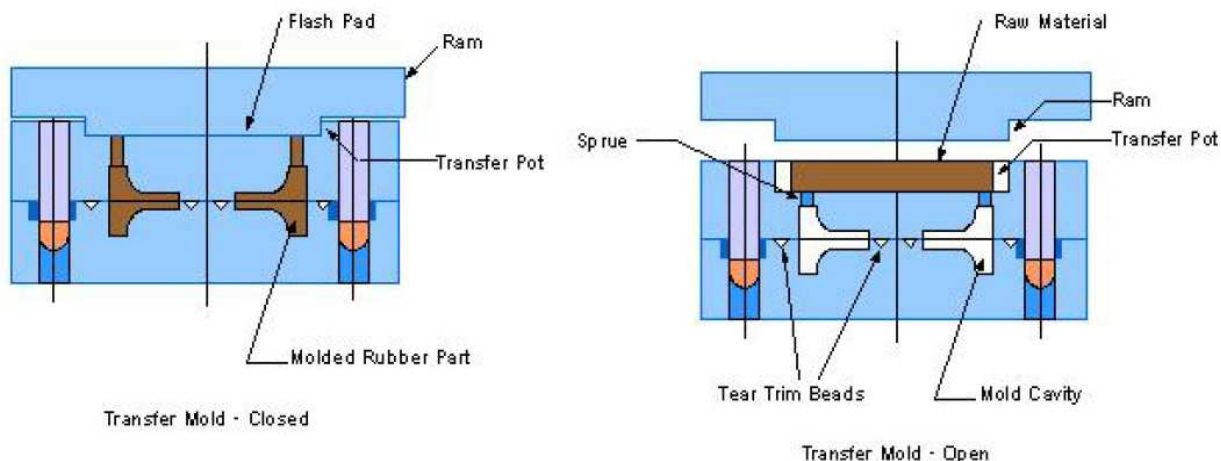
การอบคงรูปยางใช้วิธีวางยางคอมปาวนด์ลงบนแม่พิมพ์ และใช้แรงกดให้ยางไหลลงไปในแม่พิมพ์ และป้อนความร้อนให้แม่พิมพ์ไม่ใหยางสุก



ภาพประกอบ 4 การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์กดอัด

แม่พิมพ์ส่งผ่าน (Transfer molding)

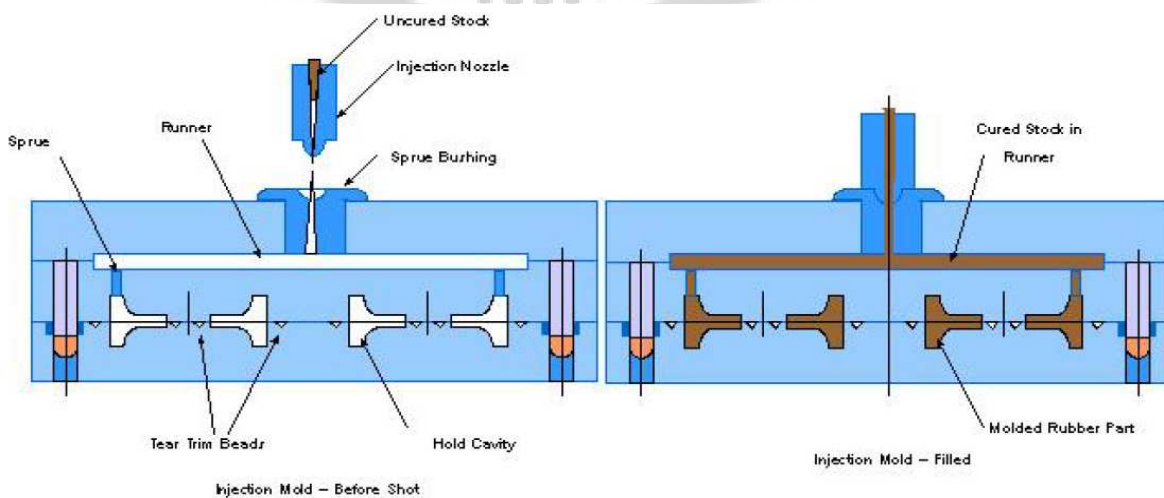
วิธีนี้คล้ายกับกระบวนการแม่พิมพ์แบบกดอัด ต่างกันตรงที่ยางถูกอุ่นให้ร้อนก่อนที่จะถูกแรงอัดเข้าไปในช่องปิดของแม่พิมพ์จากแหล่งป้อนยางที่อยู่ด้านนอก เมื่อยางถูกแรงกดจะทำให้ยางไหลเข้าไปในคาวีตีหรือแม่พิมพ์หลายๆ ช่วง วิธีการนี้จะขึ้นรูปชิ้นงานได้หลายชิ้นจากการอัดเข้าแม่พิมพ์แต่ละครั้ง เนื่องจากแม่พิมพ์เป็นแบบมัลติคาวีตี (multicavity) แม่พิมพ์ส่งผ่านจะใช้เวลาอบคงรูปน้อยกว่าเนื่องจากยางได้ถูกอุ่นก่อนเข้าแม่พิมพ์



ภาพประกอบ 5 การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์ส่งผ่าน

แม่พิมพ์ฉีด (Injection molding)

ยางจะถูกป้อนโดยใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูดแบบสกรู และอัดเข้าไปในแรมฉีดยาง (Injection ram) ที่สามารถฉีดยางที่ร้อนๆ ให้ไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ วิธีการนี้เหมาะสำหรับกระบวนการที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์จำนวนมากๆ และควบคุมการอบขึ้นรูปแบบอัตโนมัติเครื่องอบแบบแม่พิมพ์ฉีดจึงมีราคาแพงกว่าเครื่องอบรูปแบบอื่น



ภาพประกอบ 6 การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์อัดฉีด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จากการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงาน ในอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง พบว่า กลุ่มอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศเนื่องจากเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่ประเทศไทยมีความได้เปรียบในด้านวัตถุดิบอย่างชัดเจน โดยมีปริมาณการผลิตและส่งออกน้ำยางพาราสดเป็นอันดับหนึ่งของโลกและมีแนวโน้มที่จะมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมต่อไปอย่างต่อเนื่อง แม้จะมีคู่แข่งในตลาดโลกเกิดขึ้นพอสมควรก็ตาม ทั้งนี้จากผลการศึกษาของโครงการพบว่า พบว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย (Average SEC) ของกลุ่มอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางมีค่าอยู่ที่ 21.78 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของผลผลิตส่วนมาตรฐานการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยของกลุ่มอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง (Average Benchmark) อยู่ที่ 16.07 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมของผลผลิต แต่ในความเป็นจริงแล้วค่าดัชนีการใช้พลังงานและค่ามาตรฐานการใช้พลังงานจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่มย่อยโดยในมุมมองด้านพลังงานสามารถแบ่งผู้ประกอบการในกลุ่มอุตสาหกรรมยางออกเป็นกลุ่มย่อยได้ 9 กลุ่ม เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานและมาตรฐานการใช้พลังงานกับผู้ประกอบการภายในกลุ่มได้ ส่วนในภาพรวมพบว่ากลุ่มอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางนั้นมีระดับความสำคัญด้านการใช้พลังงานไม่มากนักเมื่อเทียบกับกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นโดยมีค่าความเข้มข้นการใช้พลังงานดับ (Energy Intensity) เฉลี่ยประมาณ 0.412 เมกกะจูลต่อมูลค่าเพิ่มมีหน่วยเป็นบาท ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของกลุ่มอุตสาหกรรมโดยรวมและมีค่าความยืดหยุ่นการใช้พลังงาน (Energy Elasticity) ย้อนหลัง 5 ปีอยู่ที่ 0.463 ซึ่งน้อยกว่า 1 ส่วนในด้านของแนวทางการกำหนดแผนพัฒนาศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นเมื่อนำค่าความแตกต่างของค่าดัชนีการใช้พลังงานกับมาตรฐานการใช้พลังงานของแต่ละกลุ่มย่อยมาเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามปริมาณการผลิตของแต่ละกลุ่มย่อย พบว่ามีศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในภาพรวมของกลุ่มอุตสาหกรรมถึง 32.43 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากทั้งด้านผู้ประกอบการและผู้ชำนาญการ รวมทั้งผู้ทรงคุณวุฒิทำให้สามารถสรุปประเด็นปัญหาของกลุ่มอุตสาหกรรมได้ 4 ข้อและได้มีการกำหนดกลยุทธ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวอันเป็นที่มาของแผนการสนับสนุนและส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานจำนวน 8 โครงการ แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ดังที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 ของเอกสารฉบับนี้รวมทั้งได้กำหนดค่าดัชนีชี้วัดผลการดำเนินการทั้ง 3 ระยะโดยพิจารณาจากค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ลดลงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ต่อปี พร้อมทั้งได้จัดหาเทคโนโลยีและมาตรการอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วยมาตรการโดยทั่วไปที่ใช้ในโรงงานกลุ่มอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางแยกแต่ละกลุ่มย่อย และเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาศึกษาวิจัยและทดลองประยุกต์ใช้กับโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จากการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงาน ในอุตสาหกรรมอลูมิเนียม พบว่า กลุ่มอุตสาหกรรมอลูมิเนียมที่ทำการศึกษประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ แก้ว และกระจก และเซรามิก เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีความเข้มพลังงานสูงที่สุด อุตสาหกรรมอลูมิเนียม โดยรวมใช้พลังงานความร้อนที่สัดส่วนมากกว่า 0.75 ของการใช้พลังงานรวม ปริมาณพลังงานที่ อุตสาหกรรมอลูมิเนียมใช้รวมคิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 4,689 ktoe ต่อปี(พ.ศ. 2548) หรือ เป็นร้อยละ 7.41 ของการใช้พลังงานของประเทศ ปริมาณผลผลิตรวมของอุตสาหกรรมต่อปี เท่ากับ 42.94 ล้านตัน สัดส่วนของการผลิตปูนซีเมนต์ 0.882 แก้วและกระจก 0.049 และเซรามิก 0.069 ความเข้มพลังงานของอุตสาหกรรมมีดังนี้ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 4.04 GJ/ton แก้วและ กระจก 10.88 GJ/ton และเซรามิก 7.52 GJ/ton โดยที่อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีสัดส่วนการผลิต สูงที่สุดของกลุ่มจึงมีผลให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใช้พลังงานรวมเทียบเท่าน้ำมันดิบ 3.621 ktoe ต่อปี การศึกษาโดยใช้ข้อมูลทั้งจากภายในและต่างประเทศเพื่อกำหนดดัชนีการใช้พลังงานอ้างอิง หรือ SEC Benchmark ของอุตสาหกรรมอลูมิเนียม และทดสอบกับโรงงานตัวอย่างที่เข้าร่วม โครงการจำนวน 30 แห่ง อุตสาหกรรมฯ อาจนำ SEC Benchmark ไปประเมินประสิทธิภาพการ ใช้พลังงานของตนเอง เช่นเมื่อช่องห่างระหว่าง SEC(โรงงาน) กับ SEC Benchmark มีค่ามาก แสดงว่าสมรรถนะการใช้พลังงานของโรงงานเองต่ำ มีศักยภาพอนุรักษ์พลังงานได้มาก การ ประเมินศักยภาพอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมอลูมิเนียมโดยรวม ให้ประเมินช่องห่างของ SEC ของ โรงงานอุตสาหกรรมอลูมิเนียมกับ SEC Benchmark แล้วนำมาคูณกับผลผลิต ซึ่งค่า SEC ได้ จากโรงงานตัวอย่างที่เข้า ร่วมโครงการ

นภดล สุทธิปัญญา ศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมหล่ออลูมิเนียม จากผลการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตของโรงงานจำนวน 3 โรงงาน พบว่ามีลักษณะการใช้พลังงานใน 2 ส่วนด้วยกันคือ พลังงานไฟฟ้า และ พลังงานความร้อน โดยพลังงานไฟฟ้าสามารถแบ่งได้ดังนี้ โรงงานที่ 1 กระบวนการผลิต 96.9% ระบบปรับ อากาศและแสงสว่าง 2.45% และอื่นๆ 1.36%, โรงงานที่ 2 กระบวนการผลิต 97.45% ระบบปรับ อากาศและแสงสว่าง 1.78% และอื่นๆ 0.77% และโรงงานที่ 3 กระบวนการผลิต 97.81% ระบบ ปรับอากาศและแสงสว่าง 2.19% ส่วนที่สองเป็นการใช้พลังงานความร้อน จากก๊าซธรรมชาติ (NGV) และปิโตรเลียมเหลว(LPG) คิดเป็นสัดส่วนของการใช้พลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 9.2%, 14.1%, และ 7% ตามลำดับ และสามารถนำมาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ(SEC) โดยมีค่าเฉลี่ยใน โรงงานที่ 1 อยู่ที่ 7.55 GJ/TonCasting, โรงงานที่ 2 อยู่ที่ 7.52 GJ/TonCasting, โรงงานที่ 3 อยู่ ที่ 10.01 GJ/TonCasting, และค่าการใช้พลังงานจำเพาะ(SEC) ของทั้ง 3 โรงงานเฉลี่ยอยู่ที่ 8.07 GJ/TonCasting จากข้อมูลของกรมพลังงานค่าเฉลี่ยของกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กหล่อ ขึ้นรูป(Casting) SEC = 8.73 GJ/Unit แนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานมีทั้งวิธีต้อง ลงทุนและไม่ต้องลงทุน 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 มาตรการประหยัดพลังงานโดยการเพิ่มผลได้ (เพิ่ม % Yield) ซึ่งสามารถประหยัดพลังงานได้ 1,145,221.80 kWh/ปี โดยใช้เงินลงทุนที่ 4,500,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุน 1.32 ปี และอัตราผลตอบแทนการลงทุนร้อยละ 70

รุ่งชัย วิจิตรยืนยง ศึกษาการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานประกอบวงจรรวม โดยศึกษาโครงสร้างการใช้พลังงานหาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต(SEC) ในปี 2548 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.506 MJ/ชิ้น (หน่วยผลผลิตเทียบเท่า) จากนั้นหามาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบปรากฏว่ามีค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต(SEC) ลดลงเหลือ 0.452 MJ/ชิ้น(หน่วยผลผลิตเทียบเท่า)

ศิรินาถ ทองขาว และ เกียรติกร อัครมาศบันลือ ศึกษาการพัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับหน่วยงานของรัฐ โดยใช้ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานเพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยให้หน่วยงานทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเอง หน่วยงานของรัฐเป็นหน่วยงานที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากและควบคุมได้ยาก ดังนั้นหากสามารถพัฒนาดัชนีชี้วัดที่มีประสิทธิภาพถูกต้องตามหลักวิศวกรรมและใช้งานง่าย จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อหน่วยงานและต้นสังกัดมากยิ่งขึ้นในการควบคุมดูแลประสิทธิภาพการใช้พลังงาน งานวิจัยนี้ใช้อาคารสำนักงานของสำนักการแพทย์ กรุงเทพมหานคร เป็นหน่วยงานต้นแบบในการพัฒนา ดัชนีชี้วัดที่พัฒนาขึ้นจะเป็นอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของการปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมของหน่วยงานกับปริมาณการใช้พลังงานจริงของหน่วยงาน ซึ่งปริมาณการใช้จริงนั้นหน่วยงานหน่วยงานสามารถดูได้จากบิลค่าไฟฟ้าของหน่วยงาน สำหรับปริมาณการใช้พลังงานที่เหมาะสมนั้นนำแนวคิดมาจากค่ามาตรฐานการใช้พลังงานซึ่งกำหนดตามกฎหมายหรือแนะนำโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือมาจัดสร้างเป็นสมการ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะการใช้งานเช่นจำนวนบุคลากร จำนวนผู้มาใช้บริการ เวลาในการให้บริการ ขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร เป็นต้น โดยใช้โปรแกรม "ENERGY PLUS" ในการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงาน จากการศึกษาพบว่าหากหน่วยงานปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้ได้ตามเกณฑ์ จะทำให้หน่วยงานสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 40 ต่อปี

พจนีย์ จันทรศิริ ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการใช้พลังงานชีวมวลในภาคใต้ จากการทำการสำรวจและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานจากอุตสาหกรรมหลักในภาคใต้ คือ อุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประมาณการใช้พลังงานชีวมวลจากกลุ่มอุตสาหกรรมข้างต้น โดย

การเก็บข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลของทั้งสองอุตสาหกรรมนี้เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมในภาคใต้ ที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงโดยการส่งแบบสอบถามไปยังทั้งสองอุตสาหกรรมนี้แบ่งเป็นโรงงานแปรรูปไม้ยางพาราและโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากนั้นได้ทำการโทรศัพท์กลับไปทวนสอบข้อมูลอีกครั้งเพื่อความถูกต้องและน่าเชื่อถือของข้อมูลพร้อมทั้งจัดทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณผลผลิตของอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (X_1) และปริมาณผลผลิตของอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา (X_6) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการใช้ชีวมวลของอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Y_1) และของอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา (Y_2) ตามลำดับโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.808 และ 0.891 ตามลำดับ ดังนั้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปริมาณการใช้ชีวมวลในอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ คือ $Y_1 = 0.164X_1 + 6.786$ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปริมาณการใช้ชีวมวลในอุตสาหกรรมแปรรูป ไม้ยางพารา คือ $Y_2 = 0.833X_6 + 2.832$

พีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์ ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้เป็นแนวทางการใช้พลังงานมาตรฐาน (Benchmark) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คำนวณหาค่าการใช้พลังงาน โดยวิเคราะห์หาจากการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ซึ่งหาได้จากการนำเอาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดหารด้วยปริมาณผลผลิตที่ได้ และจากการที่โรงงานแต่ละโรงมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายส่งผลให้หน่วยของผลผลิตที่ได้มีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้เกิดขึ้นจากหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การหาต้นทุนพลังงานต่อผลผลิต (Unit Cost) ที่ได้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอาจมีขนาดและความยากง่ายในการผลิตต่างกันจึงต้องจัดหาวิธีในการปรับเทียบให้เป็นหน่วยเดียวกัน โดยนำเอาเทคนิคหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit : EU) มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ใหม่ให้เป็นหน่วยเทียบเท่าเดียวกัน โดยการศึกษาจะทำการหากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อนำมาวิเคราะห์หาหน่วยเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ผลิตออกมาได้ คำนวณหาเวลามาตรฐานในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ แล้วทำการคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตตามค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูปเพื่อให้สามารถนำค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดได้ ซึ่งจะได้ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตใหม่ ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตั้งแต่ไม่ถึง 1% จนถึง 74% และจากผลการศึกษาพบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงาน คือ ชั่วโมงการทำงาน จำนวนของผลิตภัณฑ์ และผลต่างของอุณหภูมิ

การณย์ สุภมิตรโยธิน ศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น โดยรวบรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยโปรแกรม DOE-2 พบว่าปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารที่มีผลต่อการออกแบบอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารดังนี้

- อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย
- วัสดุเปลือกอาคาร
- การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

ทวี เวชพฤติ งานวิจัยนี้เป็นการได้มาของข้อมูลทางด้านพลังงานนั้นเป็นสิ่งสำคัญมาก ทางด้านการบริหารการใช้พลังงาน (Energy Management) ข้อมูลพื้นฐาน (Database) จะต้องมี ความละเอียดสมบูรณ์ และเป็นข้อมูลที่ทันสมัยเท่าที่จะทำได้ เราพบอยู่เสมอมาในเวลาที่ เรา จะดำเนินการบริหารการใช้พลังงาน เรามักจะยังไม่มีข้อมูลต่างๆอยู่ในมือ

เด่นไชย สุวรรณพฤษ์ ศึกษาและออกแบบการจัดเก็บฐานข้อมูลสำหรับการจัดทำบัญชี พลังงาน โปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือที่จะทำการจัดเก็บปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและราคาเชื้อเพลิง ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าปริมาณการผลิต ปริมาณยอดขาย ในการจัดเก็บรวบรวมการใช้ พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ทั้งที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง โปรแกรมบัญชีพลังงานจะทำการแยกประเภทการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและ พลังงานความร้อนที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิง โดยแยกประเภทการใช้พลังงานของแต่ละประเภท อุปกรณ์เพื่อทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ประเภทใดที่มีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละเท่าใด อีกทั้งยัง แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะทำให้สามารถวิเคราะห์ต้นทุนพลังงานต่อผลผลิตได้ โปรแกรม ยังทำการประมวลผลการใช้พลังงานตามข้อกำหนด และมาตรการประหยัดพลังงานของกรม อนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงานเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจากบัญชี พลังงาน ข้อมูลที่ได้เพิ่มเติมจากการตรวจวัดเพื่อหาผลการประหยัดพลังงาน ทั้งนี้โปรแกรมยัง คำนึงถึงจุดคุ้มทุนในการปรับปรุงอุปกรณ์ให้เกิดการประหยัดพลังงานให้เหมาะสมกับการลงทุน อีกทั้งทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับสถานประกอบการขนาดกลาง และขนาดย่อม

สุรศักดิ์ สุวรรณเกศา ศึกษาและพัฒนาระบบเพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีอยู่ สามวิธีการ คือ การควบคุมตามตารางเวลา การควบคุมด้วยการตัดโหลดเป็นเวลา และการ ควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด การควบคุมตามตารางเวลาเป็นการกำหนดเวลาปิดเปิดโหลด โดย แบ่งเป็นตารางเวลา เวลาทำงานปกติ ตารางวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดอื่นๆ การควบคุมด้วย การตัดโหลดเป็นเวลาเป็นการลดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยการปิดโหลดเป็นช่วงๆ สำหรับโหลดที่ไม่

จำเป็นต้องทำงานตลอดเวลา สำหรับวิธีการจัดการส่วนนี้ได้ใช้เทคนิคในการกระจายการปิดโหลด ด้วยเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูงสุด นอกเหนือจากความสามารถในการประหยัดพลังงานการควบคุม กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเป็นการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้เกินค่าที่ผู้ใช้กำหนด โดยมีการตัด โหลดตามลำดับความสำคัญในกระบวนการดังกล่าวได้อาศัยเทคนิคในการคาดคะเนกำลังไฟฟ้า สูงสุด เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบให้ต่ำกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนด โดยไม่ต้อง ชิงโครไนซ์เวลาของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดขณะที่การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถ กำหนดการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ตามความต้องการของผู้ใช้

ศุภกิจ บุญศิริ ศึกษามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในสถานประกอบการ อุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม โดยได้คัดเลือกสถานประกอบการอุตสาหกรรมผลิตอาหาร กระทบ ได้แก่ สถานประกอบการอุตสาหกรรมผลิตปลากระป๋อง ผลไม้และน้ำผลไม้กระป๋อง จำนวน 12 สถานประกอบการได้ทำการศึกษาระบวนการผลิต การใช้พลังงานของสถาน ประกอบการ ตลอดจนปัญหาอุปสรรคต่อการพัฒนางาน ด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ของสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม ซึ่งจากการสำรวจพบว่ากระบวนการผลิตอาหาร กระทบทั้ง 3 ประเภท มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน มีการใช้พลังงาน 2 ชนิดคือ พลังงานไฟฟ้า และ พลังงานความร้อน โดยส่วนใหญ่จะเป็นพลังงานความร้อนที่ได้จากไอน้ำ ซึ่งผลิตจากหม้อไอน้ำที่ ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ในขณะที่พลังงานไฟฟ้าได้นำมาใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าของอุปกรณ์ ในกระบวนการผลิต และระบบสายพานลำเลียง

ดำรงศักดิ์ การเกษ การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการหาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะส่วน พลังงานไฟฟ้าของโรงพยาบาลเลิดสินซึ่งเป็นโรงพยาบาลศูนย์ขนาด 621 เตียง อาคารที่มีคนไข้ มาใช้บริการมีสามอาคาร ในการศึกษาวิจัยนี้ได้พยายามแยกการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนที่เป็น สำนักงานออกจากส่วนที่ไว้กับคนไข้ ทั้งอาคารคนไข้นอก และอาคารคนไข้ใน เพื่อให้เห็นภาพ ของการใช้พลังงานต่อคนไข้ที่ชัดเจนขึ้น โดยได้คำนวณดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ยของคนไข้นอก และคนไข้ใน เป็น 5.84 kWhต่อคนต่อวัน และ 15 kWhต่อคนต่อวัน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ใช้ โปรแกรม SPSS วิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ของจำนวนคนไข้กับการใช้พลังงาน ไฟฟ้าในแต่ละอาคาร และหาความสัมพันธ์ของจำนวนคนไข้กับค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ พบว่าเมื่อจำนวนคนไข้เพิ่มขึ้นค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะก็จะลดลง และความสัมพันธ์ของ จำนวนคนไข้กับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารต่างๆจากการศึกษาวิจัยนี้พบว่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าของอาคารคนไข้นอกเพิ่มขึ้นตามจำนวนคนไข้นอกที่เพิ่มขึ้นแต่แนวโน้มยังไม่ชัดเจนนัก ส่วนจำนวนคนไข้ในไม่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารคนไข้ใน ทั้งนี้เนื่องมาจากการ ใช้พลังงานของอาคารต่างๆ ของโรงพยาบาล ส่วนใหญ่เป็นส่วนที่ต้องใช้เป็นประจำอยู่แล้ว แม้ว่า จำนวนคนไข้เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลง ของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ชัดเจน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ประเด็นสำคัญหลัก คือ การเก็บข้อมูลในการทำวิจัย ในการเก็บข้อมูลต้องเก็บข้อมูลทั้งในอดีตและปัจจุบันจะทำให้ข้อมูลของงานวิจัยเหมาะสมและถูกต้อง รวมทั้งการใช้พลังงานมีหลายประเภทจึงต้องมีการแปลงหน่วยให้อยู่ในมาตรฐานกลางเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานแต่ละประเภทได้ และดัชนีการใช้พลังงานสามารถบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเบื้องต้นของสถานประกอบการ จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าว ข้างต้นจึงมีประโยชน์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและดำเนินการวิจัย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาการใช้พลังงานและวิธีดำเนินการวิจัยในที่นี้ ได้ทำการศึกษาวิจัยโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาสมการค่าดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในระยะเวลา 1 ปี และนำมาวิเคราะห์ เพื่อจะทำให้ทราบถึงการใช้พลังงานและสามารถทำการพัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้

พลังงาน

ขั้นตอนที่ 2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต

ขั้นตอนที่ 4 การจัดทำสมการพลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน

ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการพลังงานที่จัดทำขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการวิจัยการพัฒนาพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

3.1 การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

เป็นการศึกษากระบวนการผลิตและการใช้พลังงานในโรงงาน โดยทำการรวบรวมข้อมูลเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานที่ผ่านมา

3.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์เกี่ยวกับตัวแปรที่มีปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น

1.2.1 ตัวแปรต้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึง ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงาน

1.2.2 ตัวแปรตาม ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึง ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Energy Consumption) ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางตลอดทั้งปี โดยมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง(kWh) ต่อปี

โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regressions) เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง โดยจะใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต

เป็นการคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ หรือ ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Specific Energy Consumption : SEC) โดยค่าดัชนีการใช้พลังงานที่ได้ จะนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างของดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานที่พัฒนาขึ้นมาใหม่เพื่อให้มีความเหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

3.4 การจัดทำสมการพลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในโรงงาน ซึ่งจะเป็นค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เวลาในการผลิตงานต่อชิ้น ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อเดือน และปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน มาจัดทำสมการดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงาน โดยใช้เทคนิคอัตราส่วนเทียบ โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ ช่วยในการกำหนดสมการเพื่อความแม่นยำยิ่งขึ้น

3.4.1 แบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์

3.4.2 เก็บข้อมูลเวลามาตรฐานในการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์

3.4.3 คำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงาน โดยใช้อัตราส่วนเทียบ มาใช้ในการคำนวณ

3.4.4 เปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานเดิม กับ ค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่

3.4.5 กำหนดเป็นเกณฑ์การใช้พลังงานโดยใช้ค่าเฉลี่ยของ ค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่

3.4.6 จัดทำสมการพลังงานโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

3.5 ทำการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการพลังงานที่จัดทำขึ้น

สมการพลังงานที่จัดทำขึ้น จะต้องสามารถนำไปใช้งานได้จริง มีการเกิดความผิดพลาด (Error) น้อยที่สุดและมีความน่าเชื่อถือที่สามารถยอมรับได้ โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไปแปลงข้อมูล โดยใช้โปรแกรมทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ และทดสอบ โดยการใช้สมการพลังงานที่จัดทำขึ้น ทำการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในเดือนถัดไป เพื่อเป็นการวัดว่าในเดือนนั้นๆได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์ (Forecast) กับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงในเดือนนั้นๆ

3.5.1 วิเคราะห์สมการและปัจจัยที่ส่งผลกับการใช้พลังงาน

3.5.2 ทดลองใช้สมการในการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานในเดือนถัดไป

3.5.3 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานจริงเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์

3.6 สรุปผลการวิจัยการพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ยาง

สรุปผลการพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง โดยทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานแบบเดิมและแบบหน่วยเทียบ รวมถึงเสนอแนะแนวทางขั้นตอนการพัฒนาสมการการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้



บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง พบว่ามีการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต (SEC) อยู่แล้ว แต่ยังใช้วิธีการที่ไม่เหมาะสมจึงต้องทำการวิเคราะห์หาเทคนิคในการคำนวณที่เหมาะสมมาคำนวณใหม่ โดยมีผลและรายละเอียดแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

4.1 การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นและสภาพทั่วไปของโรงงาน

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางที่เข้าไปศึกษาเก็บข้อมูลวิจัย ก่อตั้งเมื่อปีพ.ศ. 2534 จนถึงปัจจุบัน ประเภทโรงงานเป็นโรงงานควบคุม ที่ขึ้นทะเบียนกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และมีโครงการอนุรักษ์พลังงานรวมถึงการใช้พลังงานทดแทนควบคู่กับพลังงานไฟฟ้า คือ โครงการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าประหยัดพลังงาน โครงการพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อแสงสว่างทางเดิน โดยแบ่งโรงงานออกเป็น 4 โรง มีจำนวนพนักงานรวมทั้งหมด 5,342 คน ในส่วนโรงงานที่เข้าไปศึกษาเก็บข้อมูลวิจัย อยู่ในส่วนของโรงงานที่ 2 เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายแตกต่างกัน และมีผลิตภัณฑ์หลักเป็นผลิตภัณฑ์ยาง ที่ใช้กับอุตสาหกรรมยานยนต์ ที่ขึ้นรูปมาจาก เหล็ก กับ ยาง โดยทำการจำหน่ายให้กับลูกค้าทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่ง ณ ปัจจุบันโรงงานจะแบ่งเวลาการทำงานของฝ่ายผลิตออกเป็น 2 กะต่อวัน กะละ 11.15 ชั่วโมง และฝ่ายสำนักงานจะทำงาน 1 กะต่อวัน กะละ 8.15 ชั่วโมง โดยจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือนเฉพาะส่วนของโรงงานที่ 2 ประมาณ 2,383,000 kWh ต่อ เดือน พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ พลังงานไฟฟ้าด้านกระบวนการผลิต ที่มาจากเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตงานโดยตรง ปริมาณ 40% และพลังงานไฟฟ้าด้านอื่นๆ เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบไฟส่องสว่าง ระบบอัดอากาศ ระบบน้ำหล่อเย็น ระบบน้ำร้อน รวมถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าในสำนักงาน ปริมาณ 60%

4.1.2 ข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์หลัก

จำนวนหม้อแปลงทั้งหมด 5 ลูก มีพิกัดขนาดต่างๆดังนี้

1. พิกัด 3,000 kVA แรงดันไฟฟ้า 24 kV/400-230 V. จำนวน 2 เครื่อง
2. พิกัด 2,000 kVA แรงดันไฟฟ้า 22 kV/210 V. จำนวน 2 เครื่อง
3. พิกัด 1,500 kVA แรงดันไฟฟ้า 22 kV/400-230 V. จำนวน 1 เครื่อง

ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า : อัตราแบบเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Rated)

- ระบบอัดอากาศ ชนิด Screw compressor ขนาด 100 kW จำนวน 6 เครื่อง
- ระบบปรับอากาศ ชนิด แบบรวมศูนย์ ขนาด 180RT 214.6 kW 3P 380V 50Hz

จำนวน 6 เครื่อง

4.1.3 รายละเอียดผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ของทางโรงงานได้ทำการจัดแบ่งออกเป็น 16 กลุ่ม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ A-P ซึ่งแบ่งตามประเภทการนำไปใช้งาน แสดงในภาคผนวก ก. (ตาราง 19-34)

4.1.4 สถิติการใช้พลังงาน

จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางระหว่างปี 2553-2554 แสดงในภาคผนวก ก. (ตาราง 35-36)

4.2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

4.2.1 กลุ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง พบว่ามีตัวแปรต่างๆที่ส่งผลกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงาน มีอยู่หลายตัวแปรด้วยกัน จึงได้ทำการแบ่งขั้นตอนและวิธีการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ตามลักษณะข้อมูลและวัตถุประสงค์ในการศึกษา คือ การหาและแบ่งกลุ่มตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในโรงงาน การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานที่ต้องนำมาใช้ในการศึกษาวิจัย และการนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เพื่อจัดทำสมการพลังงานที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

- กลุ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม

- ที่ตั้งของโรงงาน
- สภาพอุณหภูมิภายนอกของโรงงาน

2) กลุ่มตัวแปรด้านโครงสร้างอาคารของโรงงาน และการวางแผนผังของโรงงาน

- อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย
- รูปทรงอาคาร
- พื้นที่ใช้สอย
- จำนวนชั้น
- อายุอาคาร
- ลักษณะการใช้งานอาคารและพื้นที่

3) กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

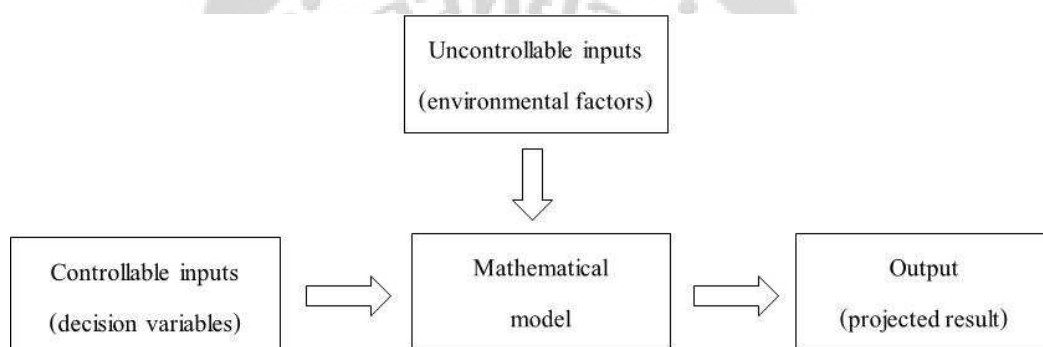
- ชนิดของระบบทำความเย็นภายในอาคาร

- จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อปี
- ความหนาแน่นของพนักงาน
- การใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องจักร
- การวางแผนผังการผลิต

4.2.2 ปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ของการใช้พลังงานในโรงงาน

อุตสาหกรรม

การพิจารณาปัจจัย แบ่งออกเป็น ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) ของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งเมื่อรวมปัจจัยทั้งสองเข้าด้วยกันในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง



ภาพประกอบ 7 แบบจำลองกระบวนการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลนำเข้า (Anderson et al., 1997)

ผลการพิจารณาปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) ได้มาจากการทำการศึกษาจากแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งจำแนกได้ดังต่อไปนี้

ตาราง 1 ตัวแปรที่รวบรวมจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงาน
ในโรงงานอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยาง

ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors)	ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factor)
ที่ตั้งของโรงงาน รูปทรงอาคาร พื้นที่ใช้สอย จำนวนชั้น ชนิดของระบบทำความเย็นภายในอาคาร การวางแผนผังการผลิต	สภาพอุณหภูมิภายนอกของโรงงาน อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย อายุอาคาร ลักษณะการใช้งานอาคารและพื้นที่ จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อปี ความหนาแน่นของพนักงาน การใช้งานและบำรุงรักษาเครื่องจักร

4.2.3 สรุปตัวแปรปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

การศึกษาและรวบรวมตัวแปรและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกับการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง พบว่ามีตัวแปรจำนวนมากที่ส่งผลกระทบกับการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถสรุปตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน โดยศึกษารวบรวมและสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ตัวแปรปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

ประเภทของตัวแปร	ชื่อตัวแปร	รายละเอียด
อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ภายนอกของโรงงาน	ผลต่างของอุณหภูมิ Difference of temperature (°C)	เนื่องจากจะเป็นตัวแปรที่ ควบคุมไม่ได้ ขึ้นอยู่กับ สภาพแวดล้อมภายนอก แต่มี ผลต่อการใช้พลังงานภายใน อาคารโรงงาน
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	ชั่วโมงการทำงาน Operation time (hr.)	การใช้พลังงานจะมากหรือน้อย ก็ย่อมขึ้นอยู่กับชั่วโมงการ ทำงานของเครื่องจักรและ อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

ขั้นตอนกระบวนการผลิต	จำนวนของผลิตภัณฑ์ Quantity of product (Pcs.)	เป็นตัวแปรหลักที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานมากที่สุดเนื่องจากผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจำเป็นต้องมีการใช้พลังงานในการผลิตแต่จะมากหรือน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยความยากง่ายในการผลิต และจำนวนในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์
----------------------	---	---

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเลือกตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานมีทั้งสิ้น 3 ตัวแปร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน เนื่องจากในโรงงานมีการใช้ระบบปรับอากาศสำหรับรายผลิต การรักษาอุณหภูมิภายในโรงงานจึงขึ้นกับผลต่างอุณหภูมิภายนอกโรงงาน เพราะในระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานค่อนข้างสูงถ้าเทียบกับในส่วนอื่นๆ จึงต้องนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรก โดยจะต้องมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายนอกและนำมาปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานภายในโรงงาน แต่การวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาแต่ในส่วนการผลิตจึงไม่นำผลต่างของอุณหภูมิเข้ามาคำนวณด้วย

จำนวนชั่วโมงการทำงาน เป็นตัวแปรที่แปรผันตรงกับการใช้พลังงานและจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อเดือน จำนวนชั่วโมงการใช้พลังงานต่อเดือน หาได้จากจำนวนชั่วโมงการทำงานในแต่ละวันคูณกับจำนวนวันต่อเดือน

ขั้นตอนกระบวนการผลิต พิจารณาจากข้อมูลการใช้พลังงานของแต่ละผลิตภัณฑ์และแต่ละกระบวนการผลิต เพราะผลิตภัณฑ์ที่ออกมาหนึ่งหน่วยย่อมจะต้องมีการใช้พลังงานของเครื่องจักรเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ แต่ก็ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของแต่ละผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต รวมถึงปริมาณในการผลิตต่อเดือน จึงต้องมีการเก็บข้อมูลเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยและพลังงานที่ใช้ไปในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ ในแต่ละผลิตภัณฑ์

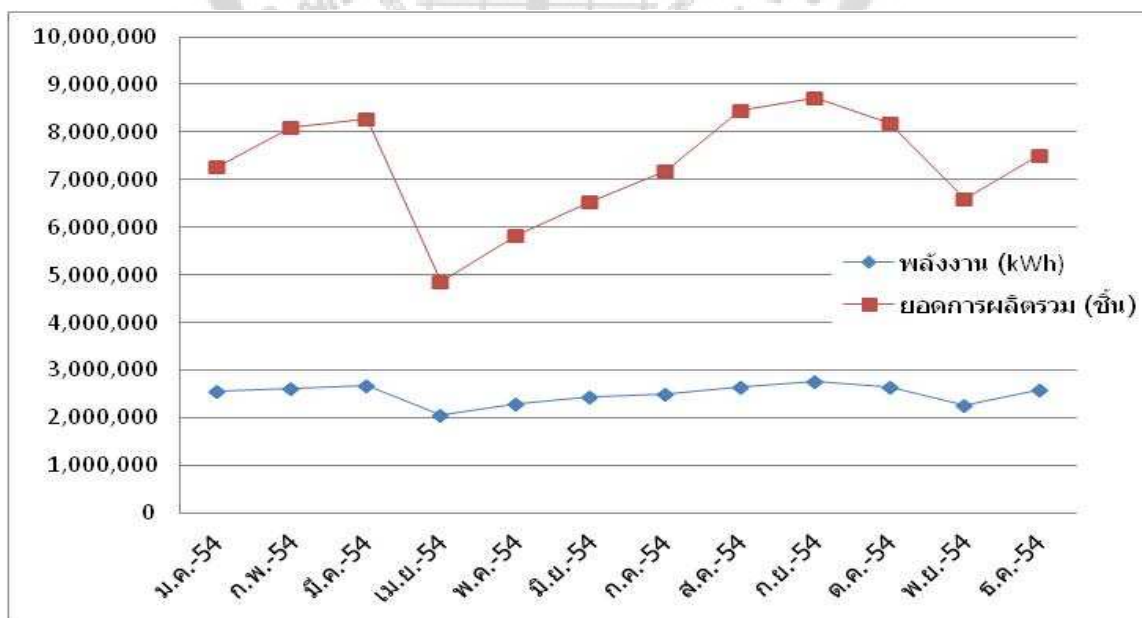
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต

4.3.1 ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

ปัจจุบันทางโรงงานตัวอย่างมีการเก็บรวบรวมค่าดัชนีการใช้พลังงานไว้อยู่แล้ว โดยใช้หน่วยการผลิตของผลิตภัณฑ์ทางกายภาพมาคำนวณดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางในปี 2554

เดือน	พลังงาน (kWh)	ยอดการผลิตรวม (ชิ้น)	ค่าดัชนีการใช้พลังงาน เดิม (kWh/ชิ้น)
ม.ค. 54	2,551,465	7,270,234	0.351
ก.พ. 54	2,610,328	8,110,958	0.322
มี.ค. 54	2,682,718	8,272,718	0.324
เม.ย. 54	2,070,296	4,871,243	0.425
พ.ค. 54	2,282,771	5,843,032	0.391
มิ.ย. 54	2,442,623	6,538,450	0.374
ก.ค. 54	2,494,753	7,177,948	0.348
ส.ค. 54	2,656,009	8,443,180	0.315
ก.ย. 54	2,774,442	8,728,101	0.318
ต.ค. 54	2,644,794	8,191,916	0.323
พ.ย. 54	2,264,598	6,595,481	0.343
ธ.ค. 54	2,595,811	7,519,681	0.345



ภาพประกอบ 8 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับยอดการผลิตรวมในปี 2554



ภาพประกอบ 9 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางในปี 2554

ภาพประกอบ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานและยอดการผลิตในปี 2554 และ ภาพประกอบ 9 ค่าดัชนีการใช้พลังงานในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่างและการกำหนดเป้าหมายโดยอ้างอิงจากค่าเฉลี่ย

4.4 การจัดทำสมการพลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน

4.4.1 ผลการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการ

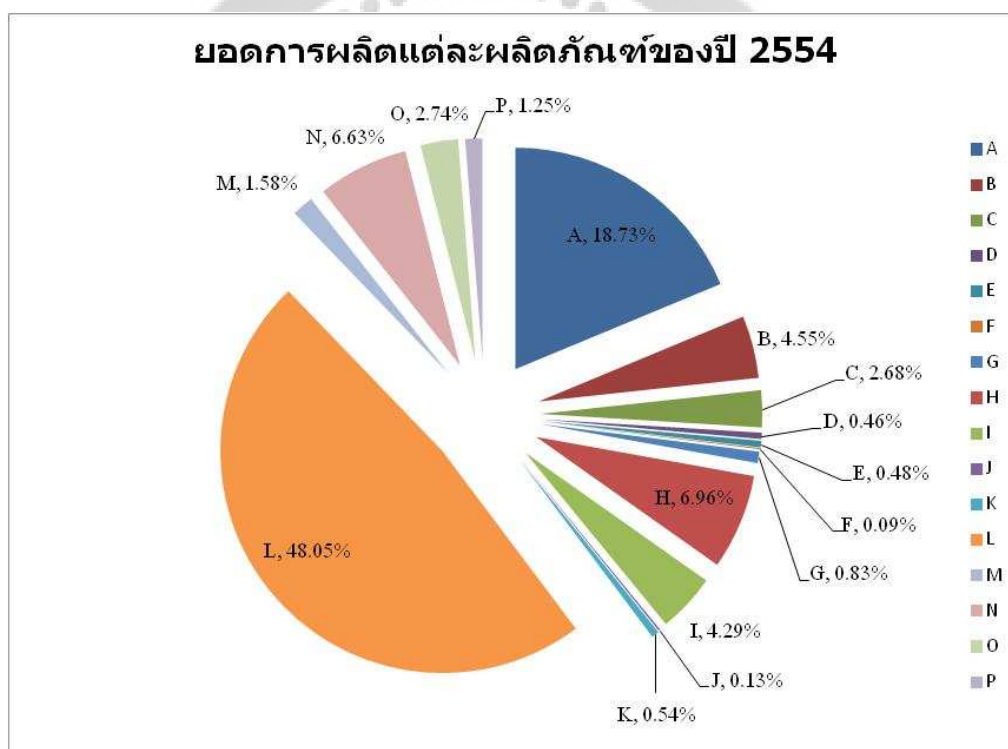
การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของแต่ละผลิตภัณฑ์ ต้องทำการแบ่งกลุ่มแยกประเภทรุ่น หรือความยากง่ายในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาข้อมูลจากกระบวนการผลิต ชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิต กลุ่มลูกค้าของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นการแบ่งกลุ่มตามการไปใช้งานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ได้ทำการจัดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์ลดแรงสั่นสะเทือน (6 ผลิตภัณฑ์) กลุ่มผลิตภัณฑ์ปกป้องฝุ่นละออง/กันรั้วกันซึม (6 ผลิตภัณฑ์) และสุดท้ายกลุ่มผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ขนาดเล็ก เช่น ปั๊มน้ำ เครื่องตัดหญ้า (4 ผลิตภัณฑ์) รวมทั้งหมด 16 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ A-P โดยพลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้จาก การใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องจักรแต่ละกระบวนการคูณกับเวลาในการผลิตชิ้นงานหนึ่งหน่วยในกระบวนการนั้นๆ ซึ่งทางโรงงานได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเวลาในการผลิตต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์และกำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องจักรไว้อยู่แล้ว ดังแสดงในภาคผนวก ก. (ตาราง 38-53)

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ ;

$$\text{พลังงานไฟฟ้า (kWh)} = \text{กำลังไฟฟ้า (kW)} \times \text{ระยะเวลา (hr.)} \quad (4.1)$$

4.4.2 คำนวณหน่วยเทียบ

หลังจากได้ค่าการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยของแต่ละผลิตภัณฑ์ จึงนำมาวิเคราะห์หาอัตราส่วนเทียบโดยการวิจัยครั้งใช้จากยอดการผลิตสูงสุดเป็นฐานตัวตั้งในการเทียบหน่วย เพื่อนำมาปรับค่า Q ให้เป็นหน่วยฐานเดียวกัน การวิเคราะห์ข้อมูลยอดการผลิตเฉลี่ยตลอดทั้งปี 2554 พบว่าผลิตภัณฑ์ L มียอดการผลิตสูงที่สุดอยู่ที่ 48.05% ของยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนทั้งหมด ดังแสดงในภาพประกอบ 10 และมีค่าการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 0.4889 kWh/ชิ้น จึงนำมาเป็นฐานตัวตั้งในการเทียบหน่วย ด้วยวิธีการหาอัตราส่วนต่อผลิตภัณฑ์ L โดยนำค่าการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ L หาค่าการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ ผลที่ออกมาจะเป็นอัตราส่วนต่อผลิตภัณฑ์ L แสดงดังตาราง 4



ภาพประกอบ 10 แสดงสัดส่วนของยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนในปี 2554 ของแต่ละผลิตภัณฑ์

ตาราง 4 การกำหนดค่าอัตราส่วนเทียบผลิตภัณฑ์ L

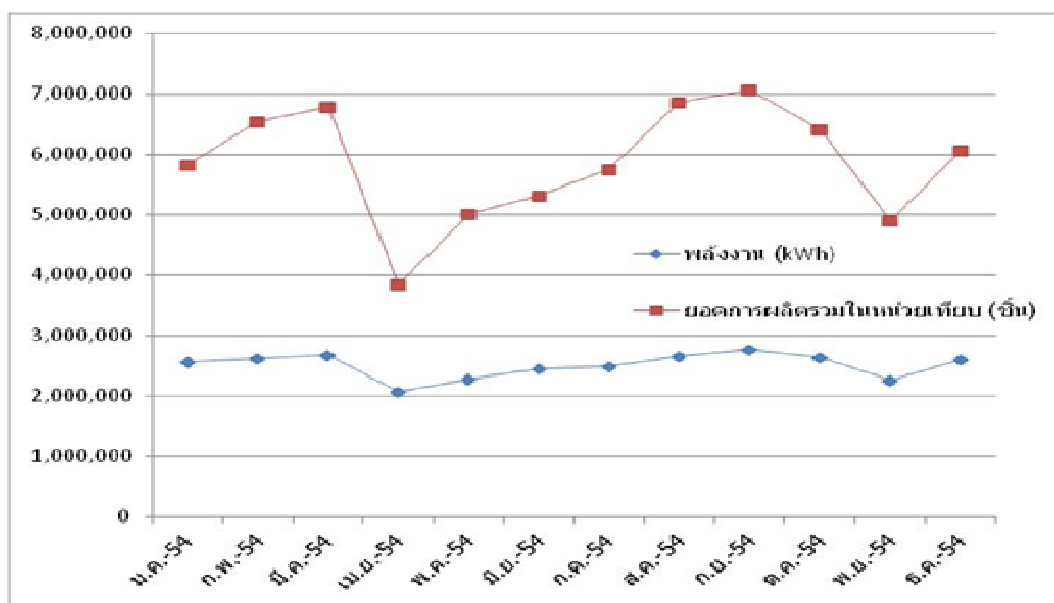
ผลิตภัณฑ์	ยอดการผลิตเฉลี่ย ต่อ เดือน 2554 (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของยอด การผลิต	kWh/ชิ้น	อัตราส่วน เทียบ L
A	1,288,023	18.73%	0.4170	0.85
B	182,195	4.55%	0.7163	1.47
C	610,495	2.68%	0.1259	0.26
D	117,705	0.46%	0.1112	0.23
E	121,245	0.48%	0.1137	0.23
F	22,995	0.09%	0.1164	0.24
G	96,369	0.83%	0.2484	0.51
H	828,928	6.96%	0.2406	0.49
I	604,065	4.29%	0.2035	0.42
J	10,496	0.13%	0.3476	0.71
K	127,138	0.54%	0.1227	0.25
L	2,818,029	48.05%	0.4889	1.00
M	253,629	1.58%	0.1781	0.36
N	23,538	6.63%	8.0801	16.53
O	43,094	2.74%	1.8206	3.72
P	141,875	1.25%	0.2408	0.49

4.4.3 ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานโดยใช้หน่วยเทียบ

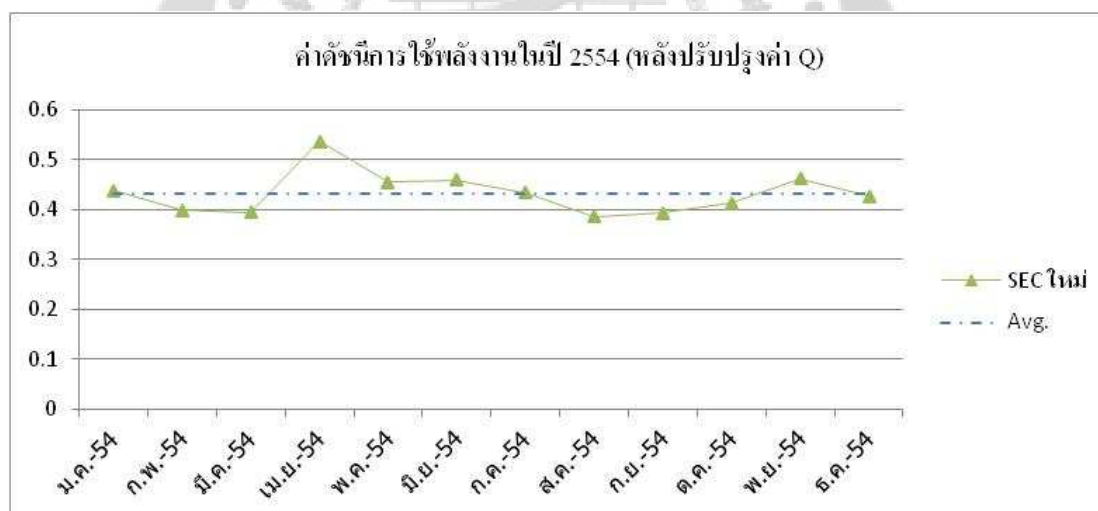
ตาราง 4 ได้ค่าอัตราส่วนเทียบแล้วนำไปคูณเข้ากับยอดการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อทำการปรับปรุงค่า Q ให้อยู่ในหน่วยเทียบเท่าผลิตภัณฑ์ L เหมือนกันทุกผลิตภัณฑ์ และนำมาคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานใหม่ แสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ค่าดัชนีชี้วัดพลังงานหลังปรับปรุงค่า Q ในหน่วยเทียบ

เดือน	พลังงาน (kWh)	ยอดการผลิตรวมใน หน่วยเทียบ (ชิ้นเทียบเท่า)	ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ใหม่ (kWh/ชิ้น)
ม.ค. 54	2,551,465	5,820,594	0.438
ก.พ. 54	2,610,328	6,537,907	0.399
มี.ค. 54	2,682,718	6,786,997	0.395
เม.ย. 54	2,070,296	3,850,973	0.538
พ.ค. 54	2,282,771	5,015,372	0.455
มิ.ย. 54	2,442,623	5,310,002	0.460
ก.ค. 54	2,494,753	5,742,930	0.434
ส.ค. 54	2,656,009	6,855,561	0.387
ก.ย. 54	2,774,442	7,066,114	0.393
ต.ค. 54	2,644,794	6,401,362	0.413
พ.ย. 54	2,264,598	4,906,126	0.462
ธ.ค. 54	2,595,811	6,076,335	0.427



ภาพประกอบ 11 การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับยอดการผลิตรวมในหน่วยเทียบ



ภาพประกอบ 12 ค่าดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางในปี 2554 หลังปรับปรุงค่า Q โดยใช้หน่วยเทียบ

ภาพประกอบ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับยอดการผลิตในหน่วยเทียบ และภาพประกอบ 12 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานที่คำนวณใหม่โดยใช้หน่วยเทียบและค่าเฉลี่ย ซึ่งเปลี่ยนแปลงจากค่าเฉลี่ยของเดิม

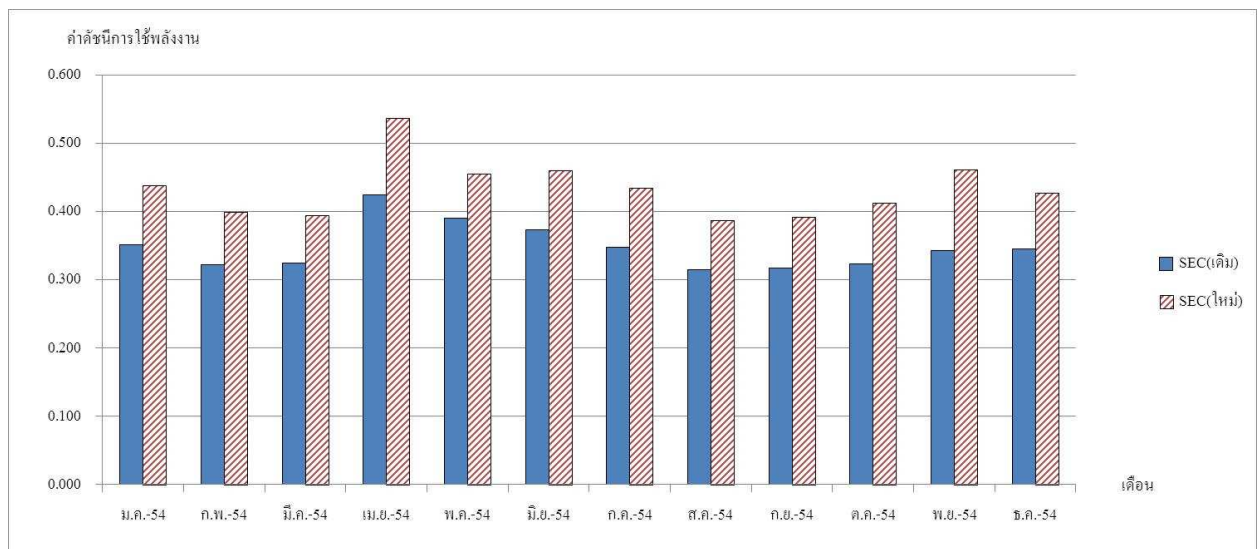
4.4.4 การเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

จากการปรับปรุงหน่วยยอดการผลิตให้อยู่ในหน่วยเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ L แล้วนำมาคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่พบว่ามีความแตกต่างจากการคำนวณแบบเดิมดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 การเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานเดิมกับค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่

เดือน	ค่าดัชนีการใช้พลังงาน เดิม (kWh/ชิ้น)	ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ใหม่ (kWh/ชิ้นเทียบเท่า)	% ความแตกต่าง
ม.ค. 54	0.351	0.438	24.91%
ก.พ. 54	0.322	0.399	24.06%
มี.ค. 54	0.324	0.395	21.89%
เม.ย. 54	0.425	0.538	26.49%
พ.ค. 54	0.391	0.455	16.50%
มิ.ย. 54	0.374	0.460	23.13%
ก.ค. 54	0.348	0.434	24.99%
ส.ค. 54	0.315	0.387	23.16%
ก.ย. 54	0.318	0.393	23.52%
ต.ค. 54	0.323	0.413	27.97%
พ.ย. 54	0.343	0.462	34.43%
ธ.ค. 54	0.345	0.427	23.75%

ข้อมูลในตาราง 6 มีความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีการใช้พลังงานเดิมกับค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่ เฉลี่ยอยู่ที่ 24.7% ส่งผลให้การกำหนดเป้าหมายของโครงการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางในปัจจุบันไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็นเนื่องด้วยการนำเกณฑ์การใช้พลังงานที่คำนวณได้จากวิธีปัจจุบันเป็นตัวกำหนดเป้าหมาย



ภาพประกอบ 13 การเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานระหว่างค่าดัชนีการใช้พลังงานเดิม กับ ค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่

4.4.5 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร การพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้นเป็นสิ่งที่ช่วยให้ได้การตัดสินใจที่เหมาะสม ความสัมพันธ์ของตัวแปรหมายถึงการศึกษาผลจากปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนองหรือการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันของตัวแปร สำหรับการศึกษาผลจากปัจจัยนั้นจะหาได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจัดเป็นการศึกษาภายใต้การวางแผนการทดลอง แต่ ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมครั้งนี้มิได้จากการวางแผนจึงได้นำมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์และจะนำผลของความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ไปสร้างเป็นสมการเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงาน โดยตัวแปรในการนำมาวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ คือ การใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยางในแต่ละเดือน

ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) คือ ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง เป็นตัวแปรเชิงปริมาณทั้งหมดแยกตามกลุ่มของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากในขั้นตอนคำนวณหาอัตราส่วนเทียบหน่วยได้จำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม รวมทั้งหมด 16 ผลิตภัณฑ์ A,B,C,...,P โดยกำหนดตัวแปรอิสระและสัญลักษณ์ย่อ แสดงในตาราง 7

ตาราง 7 ตัวแปรอิสระซึ่งเป็นตัวแปรเชิงปริมาณที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์

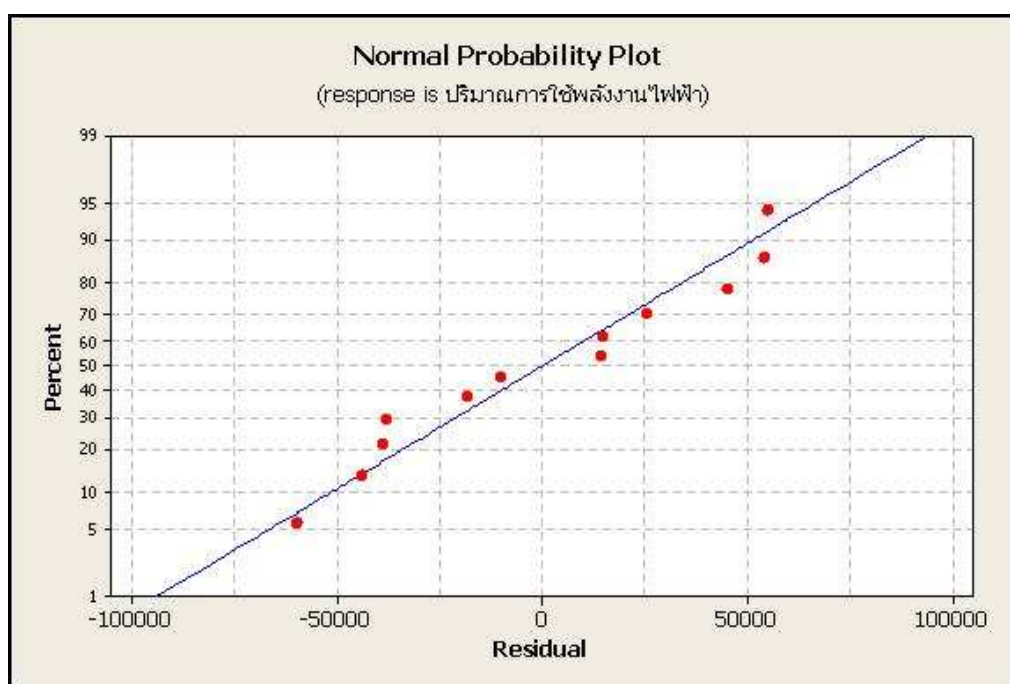
ชื่อ	ผลิตภัณฑ์	ตัวแปร
ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของ กลุ่มผลิตภัณฑ์ลดแรงสั่นสะเทือน	A,B,C,D,E,F	ตัวแปรอิสระ
ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของ กลุ่มผลิตภัณฑ์ป้องกันฝุ่นละออง/กันรั้วกัน ซึม	G,H,I,J,K,L	
ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของ กลุ่มผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องยนต์ ขนาดเล็ก	M,N,O,P	

เมื่อกำหนดชนิดตัวแปรเรียบร้อยแล้ว ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์ที่เป็นสมการเชิงเส้น โดยมีปริมาณการใช้พลังงานพลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยางในแต่ละเดือน เป็นตัวแปรตาม และยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง เป็นตัวแปรอิสระ มีสมมติฐานในการทดสอบความสัมพันธ์หรือการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแปรแบบถดถอยดังนี้

สมมติฐาน $H_0 : \beta_i = 0$: ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

$H_1 : \beta_i \neq 0$: มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ทำการป้อนค่าลงในโปรแกรมทางสถิติ ทำการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)



ภาพประกอบ 14 ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงปกติของยอดการผลิตรวมในหน่วยเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมทางสถิติ พบว่า ปฏิเสธ H_0 และ ยอมรับ H_1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

จากข้อมูลข้างต้นเป็นเพียงการทดสอบว่า มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระหรือไม่ ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด จึงทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) โดยดูค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) หรือเรียกว่า ค่า R คืออัตราส่วนระหว่าง ความแปรปรวนร่วมของตัวแปร และผลคูณของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรทั้ง 2 ตัว ค่าของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation Coefficient จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ยิ่งค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าใด ตัวแปรทั้ง 2 ยิ่งมีความสัมพันธ์ มากขึ้นเท่านั้น ค่า + และ ค่า - คือทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้ง 2

ตาราง 8 ผลการทดสอบสหสัมพันธ์ (Correlation)

สหสัมพันธ์ (Correlation)	R
ปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับยอดการผลิตผลิตภัณฑ์	0.981

ผลการวิเคราะห์ สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระพบว่า ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง มีค่า R เท่ากับ 0.981 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระกันมาก แต่อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination) ประกอบด้วย

ตาราง 9 ค่าสถิติเบื้องต้นที่ใช้พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ตัวแปรอิสระ	R	R^2	Adjusted R^2	ระดับความคลาดเคลื่อน (Std. Error to the Estimate)
X	0.981	0.962	0.958	42,214.5

R^2 คือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เป็นค่าที่แสดงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ X หมายความว่า 96.2% ของการแปรผันปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Y) เนื่องมาจากมีสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ (X) หรือ ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

Adjusted R^2 คือค่า R^2 ที่ปรับค่าแล้ว นำมาพิจารณาเมื่อจำนวนข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองมีน้อยกว่า 30 ค่า

Std. Error to the Estimate คือ ค่าที่แสดงระดับความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้ตัวแปรอิสระมาพยากรณ์ตัวแปรตาม

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Adjusted R^2

Model	SS	DF	MS	F	Sig.
SSR	4.50341E+11	1	4.50341E+11	252.71	0.000
SSE	1.78206E+10	10	1.78206E+9	-	-
SST	4.68161E+11	11	-	-	-

ผลลัพธ์ของตาราง 10 เป็นการพิสูจน์ว่าค่า Adjusted R^2 จากตาราง 9 มีความเหมาะสมที่จะนำสมการไปใช้ได้มากน้อยเพียงใด ตัวสถิติทดสอบความแปรปรวนของค่า Adjusted R^2 คือ F-test ซึ่งมีเงื่อนไขว่าค่า F ที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะต้องมากกว่าค่า F ที่เปิดจากตารางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ เดียวกัน และค่า Sig. ที่คำนวณได้จากโปรแกรมต้องน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงถือได้ว่าตัวแปรตาม Y ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ X จริง ผลลัพธ์จากตาราง 10 อธิบายได้ว่า ค่า F ที่โปรแกรมคำนวณได้เท่ากับ 252.71 และ Sig. คือ นัยสำคัญของค่า F ซึ่งโปรแกรม

คำนวณได้ 0.000 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ Degree of freedom เท่ากับ 10 พบว่ามีค่า F เท่ากับ 4.96 น้อยกว่าค่า F ที่คำนวณได้จากโปรแกรม 252.71 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรตาม Y ขึ้นกับตัวแปรอิสระ X จริงอย่างมีนัยสำคัญ

4.4.6 สรุปผลการจัดทำสมการที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการแปรผันปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยาง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือแบบจำลองสมการการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยาง โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยจากตาราง 9 เพื่อนำไปสร้างสมการพลังงานที่เหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยาง โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไปแปลงข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ ผลลัพธ์ที่ได้ คือ การพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง ทดสอบ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตาราง 11 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย

Model	Unstandardized Coefficient		Standardized Coefficient	
	Constant	B	Constant	B
X	1,266,478	0.211	-	0.981
T	16.05	15.09	-	-
Sig.	0.000	0.000	-	-

ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย ตาราง 11 เป็นการทดสอบว่าจำเป็นต้องคงพจน์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย (B) ไว้ในสมการหรือไม่ สถิติที่ใช้คือ t-test โดยมีเงื่อนไขว่าค่า t ที่คำนวณจากโปรแกรมต้องมีค่ามากกว่าค่า t ที่เปิดจากตารางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ และ Degree of freedom เดียวกัน และค่า Sig. ที่คำนวณได้จากโปรแกรมต้องน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงจะถือว่าค่า B ไม่เท่ากับ 0 จริง พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ Degree of freedom เท่ากับ 10 ได้ค่า t เท่ากับ 2.2281 น้อยกว่าค่า t ที่คำนวณได้จากโปรแกรมคือ 16.05 จึงสรุปได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย (B) ไม่เท่ากับ 0 จริงจึงไม่สามารถตัดพจน์นี้ออกจากสมการได้
เขียนในรูปทั่วไปได้เป็น

$$Y = 1,266,478 + 0.211 X \quad (4.2)$$

โดยที่ Y คือ ปริมาณการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยาง

X คือ ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยางในหน่วยเทียบ

ยอดการผลิตหรือแผนการผลิตผลิตภัณฑ์รวมในหน่วยเทียบ หาได้จากสมการ (4.3)

$$\begin{aligned}
 X &= \text{ผลรวมของแผนการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบ} & (4.3) \\
 &= (0.85X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ A}) + (1.47X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ B}) \\
 &\quad + (0.26X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ C}) + (0.26X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ D}) + (0.23X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ E}) + (0.24X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ F}) \\
 &\quad + (0.51X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ G}) + (0.49X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ H}) + (0.42X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ I}) + \\
 &\quad + (0.71X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ J}) + (0.25X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ K}) \\
 &\quad + (1.00X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ L}) + (0.36X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ M}) + (16.53X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ N}) + (3.72X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ O}) + (0.49X \text{ แผนการผลิตผลิตภัณฑ์ P})
 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (4.2) สรุปได้ว่า

(1) ค่า 1,266,478 เป็นค่าคงที่ บ่งบอกถึงว่าหากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางไม่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ใดเลยก็จะมีการใช้พลังงาน 1,266,478 kWh/เดือน หมายถึง เป็นค่าการใช้พลังงานคงที่ ซึ่งจัดอยู่ในส่วน Utility ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง สำนักงาน เป็นต้น

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร X คือ +0.211 หมายถึง การผลิตผลิตภัณฑ์ 1 หน่วยในหน่วยเทียบ จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.211 kWh

4.5 การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการการใช้พลังงาน

หลังจากได้สมการการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยางเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้นำมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานในเดือนถัดไปเพื่อทำการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนและชี้วัดประสิทธิภาพจากค่าการใช้พลังงานจริง ถ้ามีความคลาดเคลื่อนจากการใช้พลังงานที่พยากรณ์มาก จำเป็นต้องให้ทางโรงงานทำการตรวจสอบหาสาเหตุและเข้าไปทำการปรับปรุงหรือแก้ไข เพื่อเป็นการตรวจสอบถ้าเกิดสิ่งผิดปกติและจะช่วยชี้วัดถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยางอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลการใช้พลังงานและยอดการผลิตของเดือน ม.ค.-กพ. 2555 ในภาคผนวก ก. (ตาราง 37) ได้ผลดังนี้

ตาราง 12 ค่าพยากรณ์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางในเดือน
มกราคม – กุมภาพันธ์ 2555

เดือน	พลังงาน ไฟฟ้า (kWh)	แผนการผลิต รวม (ชิ้น)	แผนการผลิต ในหน่วยเทียบ รวม (ชิ้นเทียบเท่า)	ค่า Forecast จากสมการ พลังงาน (kWh)	Error	%Error
ม.ค. 2555	2,388,396	7,253,965	5,699,555	2,469,084	-80,688	-3.38%
ก.พ. 2555	2,521,351	8,489,047	6,453,438	2,628,153	-106,802	-4.24%

จากตาราง 12 ทำการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน โดยมีค่าความผิดพลาด ซึ่งต่างก็เป็นฟังก์ชันของค่าความคลาดเคลื่อน e_i โดยที่ e_i เป็นผลต่างของค่าที่วัดได้จริงกับค่าพยากรณ์จากสมการการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งจากค่า Error ในตาราง 12 มีค่าอยู่ที่ -3.38% ถึง -4.24% ยังถือว่ามีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งเป็นผลมาจากตัวแปรที่ส่งผลกับปริมาณการใช้พลังงานไม่ได้มีเพียงปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวจึงควรทำการปรับปรุงสมการการใช้พลังงานของโรงงานผลิตภัณฑ์ยาง โดยการนำตัวแปรอื่นเข้ามาร่วมวิเคราะห์สมการการใช้พลังงาน ตัวแปรที่นำเข้ามาในที่นี้คือ จำนวนชั่วโมงการทำงาน

4.6 การปรับปรุงสมการพลังงาน

จากการวิเคราะห์หาตัวแปรที่ส่งผลกับปริมาณการใช้พลังงานตามตาราง 2 พบว่าอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงาน คือ ชั่วโมงการทำงาน

ตาราง 13 ชั่วโมงการทำงานในแต่ละเดือน

เดือน	Working day (day)	ชั่วโมงทำงาน/วัน (hr./day)	ชั่วโมงทำงาน/เดือน (hr./month)
ม.ค. 54	24	22.3	535.2
ก.พ. 54	24	22.3	535.2
มี.ค. 54	27	22.3	602.1
เม.ย. 54	18	22.3	401.4
พ.ค. 54	25	22.3	557.5
มิ.ย. 54	26	22.3	579.8
ก.ค. 54	25	22.3	557.5
ส.ค. 54	24	22.3	535.2
ก.ย. 54	26	22.3	579.8
ต.ค. 54	26	22.3	579.8
พ.ย. 54	25	22.3	557.5
ธ.ค. 54	23	22.3	512.9
ม.ค. 55	20	22.3	446.0
ก.พ. 55	25	22.3	557.5

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าชั่วโมงการทำงานในแต่ละเดือนมีค่าที่แตกต่างกัน รวมถึงวันทำงานล่วงเวลาที่ไม่เท่ากันในแต่ละเดือน จึงได้นำชั่วโมงการทำงานเข้ามาวิเคราะห์หาสมการพลังงานด้วย

โดยใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร แบ่งตัวแปรออกเป็น 2 ชนิด คือ ตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระ โดยที่ ตัวแปรอิสระจะมีมากกว่าหนึ่งตัวแปร แสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ชนิดของตัวแปรที่นำมาปรับปรุงสมการพลังงาน

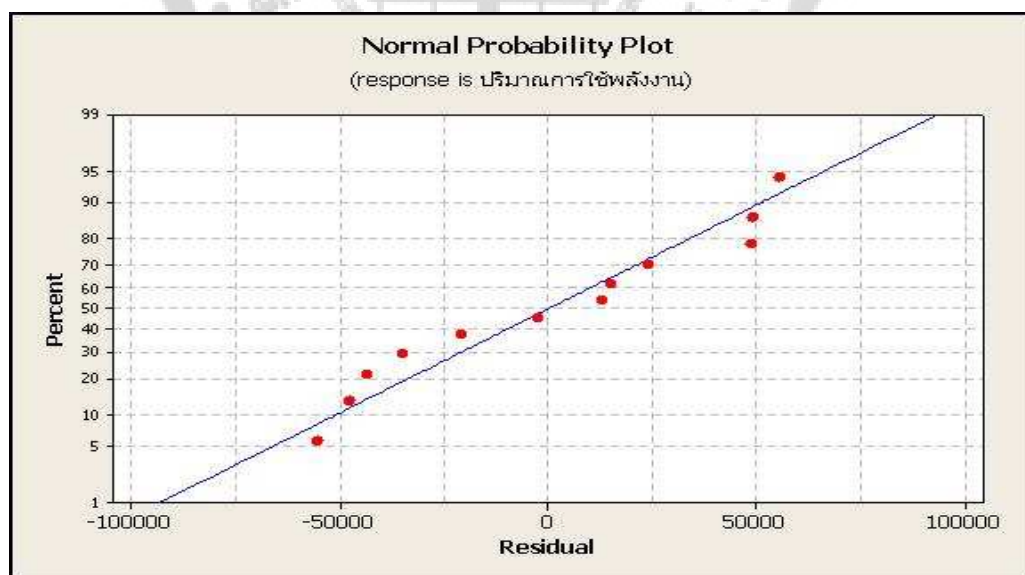
ชื่อ	ตัวแปร	สัญลักษณ์
ยอดการผลิตรวมในหน่วยเทียบ	ตัวแปรอิสระ	X_1
จำนวนชั่วโมงการทำงาน	ตัวแปรอิสระ	X_2
ปริมาณการใช้พลังงาน	ตัวแปรตาม	Y

เมื่อกำหนดชนิดตัวแปรเรียบร้อยแล้ว ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์ที่เป็นสมการเชิงเส้น โดยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยางในแต่ละเดือน เป็นตัวแปรตาม และยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง เป็นตัวแปรอิสระ มีสมมติฐานในการทดสอบความสัมพันธ์หรือการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแปรแบบถดถอยดังนี้

สมมติฐาน $H_0 : \beta_i = 0$: ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

$H_1 : \beta_i \neq 0$: มีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ทำการป้อนค่าลงในโปรแกรมทางสถิติ ทำการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)



ภาพประกอบ 15 ความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงปกติของยอดการผลิตรวมในหน่วยเทียบและจำนวนชั่วโมงการทำงานกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมทางสถิติ พบว่า ปฏิเสธ H_0 และ ยอมรับ H_1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆของสมการถดถอยแบบหลายตัวแปร (Multiple Regression Analysis)

ตาราง 15 ค่าสถิติเบื้องต้นที่ใช้พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (ปรับปรุงสมการพลังงาน)

ตัวแปรอิสระ	R	R^2	Adjusted R^2	ระดับความคลาดเคลื่อน (Std. Error to the Estimate)
X_1	0.981	0.962	0.954	44,275.6
X_2	0.622			

จากผลการวิเคราะห์ สหสัมพันธ์ R ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระพบว่า ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบ มีค่า R เท่ากับ 0.981 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระกันมาก ส่วนชั่วโมงการทำงาน มีค่า R เท่ากับ 0.622 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระรองลงมา

R^2 คือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เป็นค่าที่แสดงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ X_1, X_2 หมายความว่า 96.2% ของการแปรผันปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (Y) เนื่องมาจากมีสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ (X_1, X_2) หรือ ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบและชั่วโมงการทำงานของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยาง

Adjusted R^2 คือค่า R^2 ที่ปรับค่าแล้ว นำมาพิจารณาเมื่อจำนวนข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองมีน้อยกว่า 30 ค่า

Std. Error to the Estimate คือ ค่าที่แสดงระดับความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการใช้ตัวแปรอิสระมาพยากรณ์ตัวแปรตาม

ตาราง 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน Adjusted R^2 (ปรับปรุงสมการพลังงาน)

Model	SS	DF	MS	F	Sig.
SSR	4.50518E+11	2	2.25259E+11	114.91	0.000
SSE	1.76429E+10	9	1.96032E+9	-	-
SST	4.68161E+11	11	-	-	-

ผลลัพธ์ของตาราง 16 เป็นการพิสูจน์ว่าค่า Adjusted R^2 จากตาราง 15 มีความเหมาะสมที่จะนำสมการไปใช้ได้มากน้อยเพียงใด ตัวสถิติทดสอบความแปรปรวนของค่า Adjusted R^2 คือ F-test ซึ่งมีเงื่อนไขว่าค่า F ที่คำนวณได้จากโปรแกรมจะต้องมากกว่าค่า F ที่เปิดจากตารางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ เดียวกัน และค่า Sig. ที่คำนวณได้จากโปรแกรมต้องน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงถือได้ว่าตัวแปรตาม Y ขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระ X_1, X_2 จริง ผลลัพธ์จากตาราง 16 อธิบายได้ว่า ค่า F ที่โปรแกรมคำนวณได้เท่ากับ 252.71 และ Sig. คือ นัยสำคัญของค่า F ซึ่งโปรแกรมคำนวณได้ 0.000 พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ Degree of freedom เท่ากับ 9 พบว่ามีค่า F เท่ากับ 4.26 น้อยกว่าค่า F ที่คำนวณได้จากโปรแกรม 114.91 จึงสรุปได้ว่าตัวแปรตาม Y ขึ้นกับตัวแปรอิสระ X_1, X_2 จริงอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 17 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (ปรับปรุงสมการพลังงาน)

Model	Unstandardized Coefficient			Standardized Coefficient		
	Constant	B ₁	B ₂	Constant	B ₁	B ₂
X	1,231,894	0.208	99.1	-	0.981	0.622
t	8.70	11.72	0.30	-	-	-
Sig.	0.000	0.000	0.770	-	-	-

จากผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย ตาราง 17 เป็นการทดสอบว่าจำเป็นต้องคงพจน์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย (B_1, B_2) ไว้ในสมการหรือไม่ สถิติที่ใช้คือ t-test โดยมีเงื่อนไขว่าค่า t ที่คำนวณจากโปรแกรมต้องมีค่ามากกว่าค่า t ที่เปิดจากตารางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ และ Degree of freedom เดียวกัน และค่า Sig. ที่คำนวณได้จากโปรแกรมต้องน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงจะถือว่าค่า B_1, B_2 ไม่เท่ากับ 0 จริง พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ Degree of freedom เท่ากับ 9 ได้ค่า t เท่ากับ 2.2622 น้อยกว่าค่า t ที่คำนวณได้จากโปรแกรม คือ 11.72 จึงสรุปได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย (B_1) ไม่เท่ากับ 0 จริงจึงไม่สามารถตัดพจน์นี้ออกจากสมการได้ ส่วนในพจน์ B_2 ค่า 99.1 มีค่า Sig. เท่ากับ 0.770 ซึ่งถือว่าไม่เป็น Significant จึงสามารถตัดค่านี้ทิ้งได้ เมื่อนำสมการไปใช้จริง เขียนในรูปทั่วไปได้เป็น

$$Y = 1,231,894 + 0.208 X_1 + X_2 \quad (4.4)$$

โดยที่ Y คือ ปริมาณการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยาง
 X_1 คือ ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยางในหน่วยเทียบ
 X_2 คือ ชั่วโมงการทำงาน

หลังจากได้สมการพลังงานที่ทำการปรับปรุงแล้วจึงนำไปทดลองใช้จริงในการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยาง ดังตาราง 18

ตาราง 18 ค่าพยากรณ์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางในเดือน
มกราคม - มีนาคม 2555 (ปรับปรุงสมการ)

เดือน	พลังงาน ไฟฟ้า (kWh)	แผนการผลิต รวม (ชิ้น)	แผนการผลิต ในหน่วยเทียบ รวม (ชิ้นเทียบเท่า)	ค่า Forecast จากสมการ พลังงาน (kWh)	Error	%Error
ม.ค. 2555	2,388,396	7,253,965	5,699,555	2,417,847	-29,451	-1.23%
ก.พ. 2555	2,521,351	8,489,047	6,453,438	2,574,766	-53,415	-2.12%
มี.ค. 2555	2,389,712	7,681,826	5,746,979	2,427,868	-38,156	-1.60%

จากตาราง 18 นำสมการที่ได้มาพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานในเดือน มีนาคม และคำนวณย้อนกลับของเดือน มกราคม และ กุมภาพันธ์ เพื่อทำการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนโดยมีค่าความผิดพลาด ซึ่งต่างก็เป็นฟังก์ชันของค่าความคลาดเคลื่อน e_i โดยที่ e_i เป็นผลต่างของค่าที่วัดได้จริงกับค่าพยากรณ์จากสมการการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง ซึ่งจากค่า Error ในตาราง 19 มีค่าเป็นค่าลบหมายถึงว่าค่าพยากรณ์มากกว่าค่าจริง แสดงถึงการประหยัดพลังงานของโรงงาน โดยอาจเป็นผลมาจากโครงการลดพลังงานและมาตรการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน แต่ถ้าค่าออกมาเป็นค่าบวกหมายถึงว่ามีการใช้พลังงานจริงมากกว่าค่าพยากรณ์ ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเครื่องจักรมีการผิดปกติ หรือกระบวนการผลิตมีปัญหา ต้องทำการหาสาเหตุและทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง ขนาดใหญ่ซึ่งเป็นโรงงานควบคุม มีผลิตภัณฑ์หลากหลายผลิตภัณฑ์ โดยจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานขึ้นมาใหม่ โดยใช้การปรับปรุงหน่วยของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในหน่วยเทียบ และพัฒนาสมการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง รายละเอียดผลของการศึกษาวิจัยสามารถสรุปผลดังนี้

5.1 ลักษณะการใช้พลังงานและเกณฑ์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

โรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างเป็นโรงงานควบคุม มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 2,505,884 kWh ต่อเดือน ในปี 2554 โดย 40% เป็นการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือน โดยมีผลิตภัณฑ์หลากหลายผลิตภัณฑ์แบ่งกลุ่มตามการไปใช้งานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ได้ทำการจัดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์ลดแรงสั่นสะเทือน (6 ผลิตภัณฑ์) กลุ่มผลิตภัณฑ์ปกป้องฝุ่นละออง/กันรั้วกันซึม (6 ผลิตภัณฑ์) และสุดท้ายกลุ่มผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องยนตขนาดเล็ก เช่น ปั๊มน้ำ เครื่องตัดหญ้า (4 ผลิตภัณฑ์) ทั้งหมด 16 ผลิตภัณฑ์ โดยมีการจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานจากค่าดัชนีการใช้พลังงานอยู่ในปัจจุบัน แต่เนื่องด้วยมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายประเภท กระบวนการผลิตยากง่ายแตกต่างกัน จึงส่งผลให้การคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานมีคลาดเคลื่อน ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงค่า Q ให้อยู่ในหน่วยเทียบ และนำมาคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานใหม่ เฉลี่ยอยู่ที่ 0.434 ซึ่งมีค่าสูงจากเดิม 24.7% และสามารถกำหนดเป็นเกณฑ์การใช้พลังงานใหม่ สำหรับปี 2555 โดยกำหนดเป้าหมายจากค่าเฉลี่ยของค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานที่สามารถทำได้ของปี 2554

5.2 ขั้นตอนการพัฒนาสมการการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล การใช้พลังงานซึ่งเป็นค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนยาง ยอดการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ และชั่วโมงการทำงาน ในช่วงเวลาเดียวกัน
2. การปรับปรุงหน่วยผลิตภัณฑ์ในหน่วยอัตราส่วนเทียบ โดยการนำข้อมูลการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ ของแต่ละผลิตภัณฑ์มาเทียบกัน โดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตเฉลี่ย

สูงสุดเป็นฐานตัวตั้งเพื่อหาอัตราส่วนเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตเฉลี่ยสูงสุด เพื่อนำกลับไปคูณกับยอดการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ ทำให้ได้ ยอดการผลิตในหน่วยเทียบ

3. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและสหสัมพันธ์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ ทำการตรวจสอบหาทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ และ การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสมการ

4. การนำสมการพลังงานที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานจาก แผนปริมาณการผลิตของเดือนถัดไป เพื่อเป็นแนวทางการบริหารจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

5.3 การพัฒนาสมการพลังงานที่เหมาะสมสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยาง

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยพบว่า ตัวแปรอิสระ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ ตัวแปรตาม และและค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) R โดย X_1 เท่ากับ 0.981 และ X_2 เท่ากับ 0.622 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 0.962 กับ ค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.954 อย่างมีนัยสำคัญ โดยนำมาเขียนในรูปทั่วไปได้ดังสมการที่ (4.4)

$$Y = 1,231,894 + 0.208 X_1 + X_2 \quad (4.4)$$

โดยที่ Y คือ ปริมาณการใช้พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยางต่อเดือน
 X_1 คือ ยอดการผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนยางในหน่วยเทียบต่อเดือน/แผนการผลิต
 ผลิตภัณฑ์รวมในหน่วยเทียบต่อเดือนซึ่งหาได้จากสมการที่ (4.3)
 X_2 คือ ชั่วโมงการทำงานต่อเดือน

5.4 ปัญหาและอุปสรรค

ในการทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาสมการการใช้พลังงานในครั้งนี้ สิ่งที่สำคัญคือการรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่คาดว่าจะกระทบกับการใช้พลังงาน ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเป็นหลัก ข้อมูลที่ใช้จึงเกี่ยวกับยอดการผลิตซึ่งข้อมูลที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง จึงทำให้การนำมาวิเคราะห์สมการเกิดความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาจากข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนกระบวนการผลิตเป็นหลักแต่หากต้องการสมการพลังงานที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ในส่วนของปัจจัยอื่นด้วย เช่น ผลต่างของอุณหภูมิ ลักษณะการใช้งานอาคาร ชนิดของระบบปรับอากาศ เป็นต้น

2. จากผลการพัฒนาสมการพลังงานจะเห็นได้ว่า การทำอัตราส่วนของหน่วยเทียบได้มาจากการใช้อัตราส่วนของการใช้พลังงานต่อชิ้น มาเทียบแต่ละผลิตภัณฑ์ ฉะนั้นจึงมีความสำคัญในการรวบรวมข้อมูลให้แม่นยำที่สุด เพราะจะส่งผลต่อการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) และการวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้ยอดการผลิตในหน่วยเทียบ





บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2550). *โครงการศึกษา
เกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง*. กรุงเทพฯ: พพ.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน. (2550). *โครงการศึกษา
เกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมโอโลหะ*. กรุงเทพฯ: พพ.
- ดำรงศักดิ์ การเกษ. (2549). *การหาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในโรงพยาบาล : กรณีศึกษา
โรงพยาบาลเลิดสิน. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน)*. กรุงเทพฯ:
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.
- เด่นไชย สุวรรณพฤษ. (2550). *การพัฒนาโปรแกรมการจัดทำบัญชีพลังงาน และช่วยวิเคราะห์
การประหยัดพลังงานของสถานประกอบการขนาดกลาง และขนาดย่อม*. ปรินญานิพนธ์
วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิ
โรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ทวี เวชพฤติ. (2526). *การประหยัดพลังงานและการบริหารธุรกิจโรงแรม*. เทคโนโลยีใหม่ในงาน
วิศวกรรม. ใน: การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2526, เล่มที่ 1. กรุงเทพฯ: หน้า
22/1-22/7.
- นภดล สุทธิปัญญา. (2553). *การศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะในโรงงานอุตสาหกรรม
กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมหล่อโลหะ*. ปรินญานิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการทาง
วิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พจนีย์ จันทรศิริ. (2552). *แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการใช้พลังงานชีวมวลในภาคใต้*.
วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ถ่าย
เอกสาร
- พีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์. (2552). *การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิค
หน่วยเทียบเท่าใน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาห
การ) กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2550). *การศึกษางานอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป.:
239 - 252.
- ศุภกิจ บุญศิริ. (2543). *มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาด
ย่อม*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. ถ่ายเอกสาร.

ศิรินาถ ทองขาว และ เกรียงไกร อัสวมาศบันลือ. (2553). การพัฒนาดัชนีชี้วัดและเกณฑ์การใช้พลังงานสำหรับ หน่วยงานของรัฐ. ใน เอกสารการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24. หน้า 1-4. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรศักดิ์ สุวรรณเกศา. (2538). การจัดการการใช้พลังงานในอาคาร. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ถ่ายเอกสาร.

สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์. (2552). การบัญชีบริหาร (*Managerial Accounting*). กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล. 148 - 230

Thai Energy Solution: Fusion to Energy and Sustainability. ดัชนีพลังงานเบื้องต้น (*Basic Energy Index*). สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2555, จาก
[<http://www.thaienergysolution.com/category/energy-index/>].







ตาราง 20 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ B

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด											
B	CBS	เป็นดัลบลูกปืนซึ่งอยู่ติดกับเพลากลางของรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง ทำหน้าที่เป็นตัวรองรับและลดแรงสั่นสะเทือนของเพลารับซึ่งส่งกำลังจากเครื่องยนต์มาถึงเพืองท้ายของรถยนต์ ชิ้นส่วนตัวนี้เปรียบเสมือน Safety part เพราะถ้าชิ้นส่วนนี้เกิดการเสียหายเพลาส่งกำลังจะหลุดออกจากเพืองท้าย และทำให้รถพลิกคว่ำได้ ชิ้นส่วนประกอบหลักคือ เหล็ก ยาง และ ดัลบลูกปืน											
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน 1 เตรียมชิ้นส่วน 2 ขึ้นรูปยาง ตกแต่ง ประกอบ 1 ประกอบ 2 ตรวจสอบ จัดจระบี บรรจุ											
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ B													
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน 1			เตรียมชิ้นส่วน 2			ขึ้นรูปยาง	ตกแต่ง	ประกอบ 1	ประกอบ 2	ตรวจสอบ	จัดจระบี	บรรจุ
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3							
กำลังไฟฟ้า	35.88	193.3	1.5	35.88	193.3	1.5	23.5	0.1	0.59	2.12	0.35	0.35	0.1
เวลา/ชิ้น (วินาที)	8.1	1.09	6.14	8.1	1.09	6.14	63	45	28	24	5	7	6
พลังงาน (kWh)	0.08073	0.05858	0.00256	0.08073	0.05858	0.00256	0.41125	0.00125	0.00459	0.01413	0.00049	0.00068	0.00017

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ B ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ B = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.7163 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 21 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ C

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
C	SMM	ทำหน้าที่เป็นจุดยึดและลดแรงสั่นสะเทือนระหว่างมอเตอร์ และป้องกันไม่ให้มอเตอร์กระทบกับตัวเครื่องแล้วเกิดเสียงดัง ยกตัวอย่างเช่น มอเตอร์ที่อยู่ในเครื่องถ่ายเอกสาร, Printer ส่วนประกอบหลักคือยางและเหล็ก บางตัวจะมีส่วนประกอบของอลูมิเนียมด้วย									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน 1 เตรียมชิ้นส่วน 2 ขึ้นรูปยาง ตรวจสอบ บรรจุ									
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ C											
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน 1		เตรียมชิ้นส่วน 2		ขึ้นรูปยาง		ตรวจสอบ	บรรจุ			
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3						
กำลังไฟฟ้า	5.5	8.71	188.29	24.2	24.2	7.0	0.1	0.1			
เวลา/ชิ้น (วินาที)	3.04	4.00	0.79	1.11	1.11	28.27	6.83	1.5			
พลังงาน (kWh)	0.00464	0.00968	0.04149	0.00746	0.00746	0.05497	0.00019	0.00004			

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ C ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ C = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.1259 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 22 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ D

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด											
D	CBB	ทำหน้าที่ยัด CBS Product ให้ติดกับตัวถังรถยนต์ และลดแรงสั่นสะเทือนระหว่าง CBS และตัวถังรถยนต์ ส่วนประกอบหลักคือ ยางและเหล็ก											
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน 1 เตรียมชิ้นส่วน 2 ขึ้นรูปยาง ตกแต่ง อบ แฉกสี ตรวจสอบ 1 ตรวจสอบ 2 บรรจุ											
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ D													
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน 1		เตรียมชิ้นส่วน 2			ขึ้นรูปยาง		ตกแต่ง	อบ	แฉกสี	ตรวจสอบ 1	ตรวจสอบ 2	บรรจุ
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3								
กำลังไฟฟ้า	193.3	1.5	5.5	193.3	1.5	10	29.17	0.10	2.00	0.10	0.10	0.10	0.10
	0.22	0.22	2.22	0.22	0.22			29.00	2.40	6.00	6.00	6.00	
เวลา/ชิ้น (วินาที)													
พลังงาน (kWh)	0.01193	0.00009	0.0034	0.01193	0.00009	0.08102	0.00081	0.00133	0.00007	0.00017	0.00017	0.00017	0.00017

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ D ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ D = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.1112 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 23 รายละเอียดการผลิตก๊าซ E

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด											
E	SLB	เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ช่วยลดแรงสั่นสะเทือนระหว่าง คัมกับรีกัมกับ เกียร์ ส่วนประกอบหลัก คือ ยางและเหล็ก											
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน 1 เตรียมชิ้นส่วน 2 ขึ้นรูปยาง ตักแต่ง ประกอบ ลวดขนาด ตรวจสอบ บรรจุ											
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของการผลิตผลิตภัณฑ์ E													
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน 1						เตรียมชิ้นส่วน 2	ขึ้นรูปยาง	ตักแต่ง	ประกอบ	ลวดขนาด	ตรวจสอบ	บรรจุ
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 4	ขั้นตอน 5	ขั้นตอน 6							
กำลังไฟฟ้า	8.70	1.50	17.25	41.40	11.32	24.20	1.50	7.00	0.10	2.12	2.12	0.10	0.10
เวลา/ชิ้น (วินาที)	3.89	5.10	2.53	0.89	0.67	0.89	4.09	32.46	10.00	5.00	5.00	28.29	6.00
พลังงาน (kWh)	0.0094	0.00213	0.0121	0.01022	0.0021	0.00598	0.0017	0.06312	0.00028	0.00294	0.00294	0.00079	0.00017

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ E ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ E = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.1137 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 24 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ F

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
F	DD	เพื่อช่วย Support และลดแรงสั่นสะเทือน โดยยึดเข้ากับมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องใช้สำนักงาน ส่วนประกอบหลัก ยางและเหล็ก									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน ↓ ขึ้นรูปยาง ↓ ตรวจสอบ ↓ บรรจุ									
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ F											
กระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน					ขึ้นรูปยาง	ตรวจสอบ	บรรจุ		
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 4	ขั้นตอน 5						
กำลังไฟฟ้า	0.4	4.71	188.29	24.2	24.2	11	0.1	0.1	0.1		
เวลา/ชิ้น (วินาที)	1.95	0.76	0.79	1.11	1.11	19.16	5.89	1.2	1.2		
พลังงาน (kWh)	0.00022	0.00099	0.04149	0.00746	0.00746	0.05855	0.00016	0.00003	0.00003		

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ F ;

$$\text{พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ F} = \text{ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ} \\ (\text{kWh/ชิ้น}) = 0.1164 \text{ kWh/ชิ้น}$$

ตาราง 25 รายละเอียดการผลิตก๊าซ G

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด			
G	R/B Boot	เป็นชิ้นส่วนที่ป้องกันฝุ่น, น้ำ, โคลน ไม่ให้เข้าไปในชิ้นส่วนที่อยู่ช่วงล่างของรถยนต์ เช่น Rack พวงมาลัยหรือเพลอาซ์ ส่วนประกอบหลักคือ ยาง หรือ Polymer			
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		ขั้นรูปยาง ↓ ตกแต่ง ↓ ตรวจสอบ ↓ บรรจุ			
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของการผลิตก๊าซ G					
กระบวนการผลิต	ขั้นรูปยาง	ตกแต่ง	ตรวจสอบ	บรรจุ	
กำลังไฟฟ้า	18.0	0.1	0.1	0.1	
เวลา/ชิ้น (วินาที)	49.5	5.0	15.0	12.0	
พลังงาน (kWh)	0.2475	0.00014	0.00042	0.00033	

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ G ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ G = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.2484 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 26 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ H

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
H	IPS	เป็นซีลชนิดหนึ่ง ใช้ครอบท่อน้ำดื่มของหัวฉีดเครื่องยนต์ ทำหน้าที่ป้องกัน และสิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปในฝาครอบวาล์วเครื่องยนต์ และป้องกันละอองน้ำมันเครื่องจากฝาครอบวาล์วไม่ให้รั่วซึมออกมาภายนอก ส่วนประกอบหลักคือ ยาง สปริง และเหล็ก									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน ↑ ขึ้นรูปยาง ↑ อบ ↑ ตรวจสอบ ↑ ตัด ↑ บรรจุ									
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ H											
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน				ขึ้นรูปยาง	อบ	ตรวจสอบ	ตัด	บรรจุ		
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 4							
กำลังไฟฟ้า	5.50	188.29	24.20	24.20	12.20	18.00	0.10	0.10	0.10	0.10	
	2.23	0.46	0.46	0.46	45.41	10.44	9.83	3.00	15.00		
พลังงาน (kWh)	0.00341	0.02414	0.0031	0.0031	0.15388	0.05222	0.00027	0.00008	0.00042		

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ H ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ H = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.2406 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 27 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ I

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
I	SPTS/PTS	เป็นวัสดุชนิดหนึ่งใช้ครอบหัวเทียนและสายหัวเทียนของเครื่องยนต์ และทำหน้าที่ป้องกันน้ำ และสิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปในฝาครอบวาล์วเครื่องยนต์ และป้องกันละอองน้ำมันเครื่องจากฝาครอบวาล์วไม่ให้รั่วซึมออกมาภายนอก ส่วนประกอบหลักคือ ยาง สปริง และเหล็ก									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน ขึ้นรูปยาง อบ ตัด ตรวจสอบ บรรจุ									
		การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ I									
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน					ขึ้นรูปยาง	อบ	ตัด	ตรวจสอบสปริง	ตรวจสอบรอยร้าว	บรรจุ
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 4	ขั้นตอน 5						
กำลังไฟฟ้า เวลา/ชิ้น (วินาที)	18.50	50.00	188.29	24.20	24.20	16.72	18.00	0.10	0.10	0.10	0.10
	2.00	2.50	0.40	1.00	1.00	25.00	1.43	3.50	4.00	3.00	2.00
พลังงาน (kWh)		0.01028	0.03472	0.02092	0.00672	0.11611	0.00717	0.0001	0.00008	0.00008	0.00006

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ I ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ I = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.2035 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 28 รายละเอียดการผลิตภัณฑ์ J

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
J	WMS	เป็นวัสดุที่อยู่ในเครื่องซักผ้า ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำรั่วออกจากตัวเครื่องซักผ้า ส่วนประกอบหลักคือ ยางสปริงและเหล็ก									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน ขึ้นรูปยาง ตัด ประกอบสปริง ประกอบ ตรวจสอบ บรรจุ									
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของการผลิตภัณฑ์ J											
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน				ขึ้นรูปยาง	ตัด	ประกอบสปริง	ประกอบ	ตรวจสอบ	บรรจุ	
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 4							
กำลังไฟฟ้า	17.25	188.29	12	2.48	14.4	0.82	0.1	2.12	0.1	0.1	
เวลา/ชิ้น (วินาที)	2.53	0.24	0.6	0.3	78.6	7.0	5	7	10	3	
พลังงาน (kWh)	0.0121	0.01263	0.00201	0.00021	0.3144	0.00159	0.00014	0.00412	0.00028	0.00008	

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ J ;

$$\text{พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ J} = \text{ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ} \\ (\text{kWh/ชิ้น}) = 0.3476 \text{ kWh/ชิ้น}$$

ตาราง 29 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ K

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
K	CV	เป็นชิ้นส่วนที่อยู่ในระบบเบรคของรถยนต์ ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันของน้ำมันเบรค ส่วนประกอบหลักคือ ยางและเหล็ก									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน → ขึ้นรูปยาง → ตรวจสอบ1 → ส่องกล้อง → ตรวจสอบ2 → บรรจุ									
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ K											
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน					ขึ้นรูปยาง	ตรวจสอบ 1	ส่องกล้อง	ตรวจสอบ 2	บรรจุ	
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 4	ขั้นตอน 5						
กำลังไฟฟ้า	18.50	4.71	11.32	12.00	12.00	20.45	0.10	0.59	0.10	0.10	
	2.00	1.25	0.47	1.01	0.96	17.44	12.00	18.00	11.00	1.50	
พลังงาน (kWh)	0.01028	0.00163	0.00149	0.00337	0.0032	0.09909	0.00033	0.00295	0.00031	0.00004	

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ K ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ K = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.1227 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 30 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ L

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
L	DC	เป็นชิ้นส่วนที่ป้องกันฝุ่นไม่ให้เข้าไปในส่วนที่เป็นจุดหมุนของรอยนต์ เช่น ลูกหมาก ส่วนประกอบหลักคือ ยางและเหล็ก									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เตรียมชิ้นส่วน ↑ ขึ้นรูปยาง ↑ ตรวจสอบ ↑ ตรวจสอบรอยร้าว ↑ บรรจุ									
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ L											
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน			ขึ้นรูปยาง	ตรวจสอบ	ตรวจสอบรอยร้าว	บรรจุ				
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3								
กำลังไฟฟ้า	188.29	12	2.48	23.5	0.1	0.4	0.1				
เวลาชิ้น (วินาที)	0.17	0.42	0.21	73	12	12	15				
พลังงาน (kWh)	0.00872	0.00139	0.00014	0.47653	0.00033	0.00133	0.00042				

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ L ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ L = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 0.4889 \quad kWh/ชิ้น$$

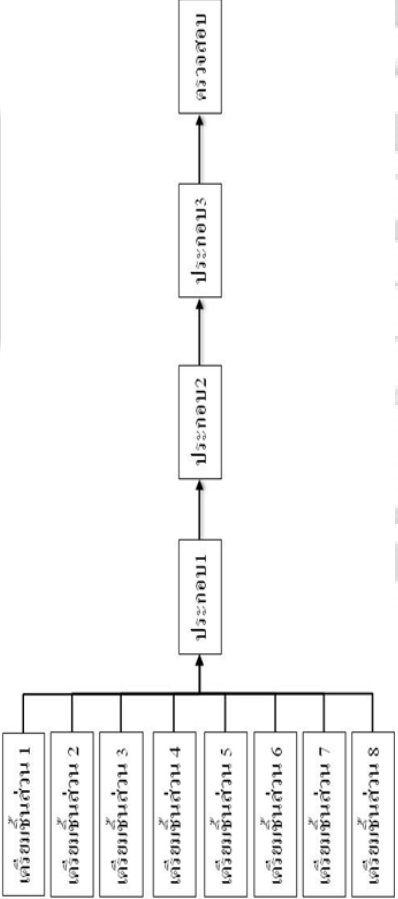
ตาราง 32 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ N

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด													
N	Plastic boot	เป็นชิ้นส่วนที่ป้องกันฝุ่น, น้ำ, โคลน ไม่ให้เข้าไปในชิ้นส่วนที่อยู่ช่วงล่างของรถยนต์ เช่น Rack พวงมาลัยหรือเพลอาซ์ ส่วนประกอบหลักคือ ยาง หรือ Polymer													
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		เศษวัสดุดิบ อบแห้ง อัดขึ้นรูป ตรวจสอบ1 ขึ้นรูปครึ่ง ตรวจสอบ2 ทดสอบ บรรจุ													
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ N															
กระบวนการผลิต	เตรียมชิ้นส่วน				ฉีดขึ้นรูป	ตัดแต่ง	เจาะรู	อบ	ตรวจสอบ	ประกอบ 1	ประกอบ 2	อัดแก๊ส	ตรวจสอบรอยรั่ว	ตรวจสอบ	บรรจุ
	ขั้นตอน 1	ขั้นตอน 2	ขั้นตอน 3	ขั้นตอน 4											
กำลังไฟฟ้า	18.50	128.50	5.00	940.00	72.00	0.10	2.00	50.40	0.10	0.50	3.00	3.00	1.00	0.10	0.10
เวลา/ชิ้น (วินาที)	10.00	50.00	21.60	8.00	176.00	4.00	14.00	36.00	17.00	19.00	27.00	48.00	14.00	7.00	7.00
พลังงาน (kWh)	0.05139	1.78472	0.03	2.08889	3.52	0.00011	0.00778	0.504	0.00047	0.00264	0.0225	0.04	0.00389	0.00019	0.00019

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ N = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 8.0801 \quad kWh/ชิ้น$$

ตาราง 33 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ O

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
O	Recoll	เป็นส่วนที่อยู่ในเครื่องยนต์เล็กเช่น เครื่องตัดหญ้า ทำหน้าที่ช่วยในการเริ่มทำงานของเครื่องยนต์									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		 <pre> graph LR A1[เตรียมชิ้นส่วน 1] --> B1[ประกอบ1] A2[เตรียมชิ้นส่วน 2] --> B1 A3[เตรียมชิ้นส่วน 3] --> B1 A4[เตรียมชิ้นส่วน 4] --> B1 A5[เตรียมชิ้นส่วน 5] --> B1 A6[เตรียมชิ้นส่วน 6] --> B1 A7[เตรียมชิ้นส่วน 7] --> B1 A8[เตรียมชิ้นส่วน 8] --> B1 B1 --> B2[ประกอบ2] B2 --> B3[ประกอบ3] B3 --> B4[ตรวจสอบ] </pre>									

การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ O

กระบวนการ การผลิต	เตรียมชิ้นส่วน 1								เตรียม ชิ้นส่วน 2	เตรียมชิ้นส่วน 3		เตรียมชิ้นส่วน 4		เตรียมชิ้นส่วน 5		เตรียม ชิ้นส่วน 6	เตรียม ชิ้นส่วน 7	เตรียมชิ้นส่วน 8			ประกอบ 1	ประกอบ 2	ประกอบ 3	ตรวจ สอบ	
	ขั้นตอน		ขั้นตอน		ขั้นตอน		ขั้นตอน			ขั้นตอน		ขั้นตอน		ขั้นตอน	ขั้นตอน			ขั้นตอน	ขั้นตอน	ขั้นตอน					ขั้นตอน
	1	2	3	4	5	6	7	8		ขั้นตอน	ขั้นตอน	ขั้นตอน	ขั้นตอน												
กำลังไฟฟ้า	37.00	7.50	1.50	3.70	1.50	50.00	20.00	0.02	17.25	80.00	86.52	0.10	17.25	4.00	17.25	4.00	17.25	86.52	0.40	2.20	0.20	0.20	0.02	0.02	0.10
เวลาขึ้น (วินาที)	2.40	10.90	4.04	24.00	11.25	18.90	8.00	10.00	2.00	6.90	27.50	20.00	2.00	0.04	2.00	0.04	2.00	15.75	2.80	325.05	2.50	60.00	39.00	32.00	26.00
พลังงาน (kWh)	0.02467	0.02271	0.00168	0.02467	0.00469	0.2625	0.04444	0.00005	0.00958	0.00958	0.15333	0.66092	0.00056	0.00958	0.00004	0.00958	0.00004	0.00958	0.37853	0.00031	0.19864	0.00014	0.00333	0.00016	0.00072

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ O ;

พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ O = ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ

$$(kWh/ชิ้น) = 1.8206 \text{ kWh/ชิ้น}$$

ตาราง 34 รายละเอียดผลิตภัณฑ์ P

ผลิตภัณฑ์		รายละเอียด									
P	Uretain	ลดการเสียดสีระหว่างโลหะกับโลหะ เป็นจุดยึดและจุดหมุนของคันเกียร์ ส่วนประกอบหลักคือ Polymer									
ขั้นตอนกระบวนการผลิต		บดละเอียด ผสม อบแห้ง ฉีดขึ้นรูป อบ ตรวจสอบ									
การใช้พลังงานในการผลิตแต่ละกระบวนการของผลิตภัณฑ์ P											
กระบวนการผลิต		บดละเอียด	ผสม	อบแห้ง	ฉีดขึ้นรูป	อบ	ตรวจสอบ				
กำลังไฟฟ้า		3.70	2.50	7.30	18.00	8.75	0.10				
เวลา/ชิ้น (วินาที)		6.75	5.50	3.91	33.50	22.33	12.25				
พลังงาน (kWh)		0.00694	0.00382	0.00793	0.1675	0.05426	0.00034				

คำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ P ;

$$\text{พลังงานไฟฟ้าต่อผลผลิตหนึ่งหน่วยของผลิตภัณฑ์ P} = \text{ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าแต่ละกระบวนการ}$$

$$(\text{kWh/ชิ้น}) = 0.2408 \quad \text{kWh/ชิ้น}$$

ตาราง 35 สถิติการใช้พลังงานและยอดการผลิตปี 2553

เดือน/ปี	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (ชิ้น)
ม.ค. 53	2,223,824	7,194,846
ก.พ. 53	2,235,550	6,900,426
มี.ค. 53	2,466,718	8,222,549
เม.ย. 53	1,989,181	5,830,124
พ.ค. 53	2,354,536	7,983,791
มิ.ย. 53	2,626,469	8,073,093
ก.ค. 53	2,658,681	8,273,608
ส.ค. 53	2,536,680	7,751,576
ก.ย. 53	2,660,623	7,692,906
ต.ค. 53	2,344,302	7,445,673
พ.ย. 53	2,570,067	7,678,300
ธ.ค. 53	2,099,233	6,486,141

ตาราง 36 สถิติการใช้พลังงานและยอดการผลิตปี 2554

เดือน/ปี	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (ชิ้น)
ม.ค. 54	2,551,465	7,270,234
ก.พ. 54	2,610,328	8,110,958
มี.ค. 54	2,682,718	8,272,718
เม.ย. 54	2,070,296	4,871,243
พ.ค. 54	2,282,771	5,843,032
มิ.ย. 54	2,442,623	6,538,450
ก.ค. 54	2,494,753	7,177,948
ส.ค. 54	2,656,009	8,443,180
ก.ย. 54	2,774,442	8,728,101
ต.ค. 54	2,644,794	8,191,916
พ.ย. 54	2,264,598	6,595,481
ธ.ค. 54	2,595,811	7,519,681

ตาราง 37 แผนการผลิตในเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2555

ผลิตภัณฑ์	ยอดการผลิต		ยอดการผลิตในหน่วยเทียบ	
	มกราคม 2555	กุมภาพันธ์ 2555	มกราคม 2555	กุมภาพันธ์ 2555
A	899,247	1,274,723	767,000	1,087,256
B	209,137	238,075	306,412	348,810
C	730,548	833,007	188,128	214,513
D	195,300	208,215	44,421	47,358
E	118,902	150,329	27,652	34,961
F	40,950	41,318	9,750	9,837
G	71,169	96,390	36,160	48,974
H	907,085	1,007,139	446,399	495,638
I	534,240	674,940	222,372	280,937
J	36,288	3,780	25,800	2,688
K	83,475	157,080	20,950	39,423
L	2,974,325	3,246,401	2,974,325	3,246,401
M	257,077	322,996	93,650	117,663
N	14,356	11,534	237,256	190,628
O	64,897	55,227	241,669	205,658
P	116,970	167,895	57,612	82,694
รวม	7,253,963	8,489,049	5,699,555	6,453,436

ตาราง 38 ข้อมูลยอดการผลิของปี 2553

ผลิตภัณฑ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
A	1,560,626	1,411,928	1,725,098	1,414,770	1,778,931	1,776,197	1,566,779	1,384,908	1,482,191	1,538,576	1,433,817	1,177,365	18,251,183	1,520,932
B	199,899	179,823	211,317	159,707	195,426	191,096	192,490	192,967	174,350	216,348	234,484	172,322	2,320,229	193,352
C	532,434	546,693	476,742	374,798	584,126	740,198	817,163	805,550	685,209	517,472	727,577	529,778	7,337,736	611,478
D	111,195	67,410	145,845	98,280	155,925	93,555	107,730	108,360	89,145	93,555	113,085	97,335	1,281,420	106,785
E	108,728	103,163	119,543	127,785	118,755	96,968	119,490	114,503	136,028	114,660	117,653	112,035	1,389,308	115,776
F	12,285	34,388	7,035	25,883	24,255	34,755	46,095	34,178	34,545	15,068	24,885	25,830	319,200	26,600
G	79,695	96,537	104,181	64,890	67,998	70,371	76,335	73,311	73,164	95,714	97,994	79,884	980,074	81,673
H	687,068	683,020	819,173	575,915	765,860	796,693	834,257	837,223	845,072	844,447	790,309	665,270	9,144,303	762,025
I	662,760	549,360	834,120	534,240	733,320	660,240	732,060	714,420	748,440	715,680	653,940	515,340	8,053,920	671,160
J	7,862	1,512	2,722	6,048	10,735	11,340	4,687	9,374	11,340	7,711	7,862	7,409	88,603	7,384
K	101,010	95,130	114,870	82,110	101,220	133,350	126,420	149,100	125,160	132,300	134,820	115,710	1,411,200	117,600
L	2,756,702	2,704,422	3,141,506	2,007,863	2,960,171	2,924,492	3,167,808	2,848,860	2,754,917	2,623,856	2,767,454	2,491,997	33,150,044	2,762,504
M	214,027	259,833	277,909	211,197	287,963	323,222	270,932	254,562	301,198	304,227	347,498	324,975	3,377,540	281,462
N	13,924	10,128	14,155	6,378	17,481	22,113	16,596	19,279	21,576	18,633	25,436	19,480	205,181	17,098
O	34,178	37,065	46,685	35,367	41,241	49,406	47,978	51,367	52,757	50,033	53,963	43,158	543,197	45,266
P	112,455	120,015	181,650	104,895	140,385	149,100	146,790	153,615	157,815	157,395	147,525	108,255	1,679,895	139,991
ผลผลิรวม	7,194,846	6,900,426	8,222,549	5,830,124	7,983,791	8,073,093	8,273,608	7,751,576	7,692,906	7,445,673	7,678,300	6,486,141	89,533,032	7,461,086

ตาราง 39 ข้อมูลยอดการผลิตของปี 2554

ผลิตภัณฑ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
A	1,283,436	1,471,392	1,606,550	804,857	1,259,456	1,387,903	1,310,642	1,271,414	1,410,923	1,164,265	1,381,850	1,103,586	15,456,273	1,288,023
B	183,013	207,459	232,842	128,377	115,065	156,916	176,060	197,329	207,520	183,170	205,300	193,286	2,186,337	182,195
C	558,495	557,918	412,125	500,388	468,353	544,530	762,815	669,659	691,709	661,815	748,178	749,963	7,325,945	610,495
D	147,420	150,570	103,635	111,195	18,585	8,820	60,480	144,900	153,405	165,690	177,660	170,100	1,412,460	117,705
E	134,463	130,200	148,890	103,058	31,868	125,370	131,513	111,500	139,020	120,887	155,379	122,798	1,454,943	121,245
F	23,730	9,975	37,590	4,568	18,270	24,413	2,625	14,963	35,385	45,675	22,890	35,858	275,940	22,995
G	89,712	116,655	108,717	78,960	54,117	95,319	95,361	124,404	102,585	115,899	90,258	84,441	1,156,428	96,369
H	751,947	861,824	898,039	652,575	688,994	876,918	898,522	919,207	979,493	869,684	661,988	887,948	9,947,138	828,928
I	569,520	680,400	597,240	446,040	519,120	563,220	448,560	653,940	723,240	774,900	687,960	584,640	7,248,780	604,065
J	5,746	7,862	756	6,804	15,120	7,258	6,048	18,598	3,931	-	20,714	33,113	125,950	10,496
K	128,520	127,050	159,810	97,440	63,000	95,550	102,060	227,640	90,930	205,800	126,210	101,640	1,525,650	127,138
L	2,846,340	3,240,353	3,431,411	1,578,822	2,289,935	2,232,416	2,696,936	3,470,964	3,436,283	3,285,954	2,061,171	3,245,760	33,816,342	2,818,029
M	329,490	279,179	327,605	189,709	129,045	236,954	281,610	353,110	404,339	320,859	109,877	81,769	3,043,546	253,629
N	19,087	19,325	17,333	20,382	24,914	24,270	27,593	33,285	30,898	27,507	16,038	21,826	282,458	23,538
O	53,995	55,496	57,245	50,525	63,610	54,960	23,406	38,651	59,721	15,872	5,372	38,275	517,126	43,094
P	145,320	195,300	132,930	97,545	83,580	103,635	153,720	193,620	258,720	233,940	124,635	64,680	1,787,625	148,969
ผลผลิตรวม	7,270,234	8,110,958	8,272,718	4,871,243	5,843,032	6,538,450	7,177,948	8,443,180	8,728,101	8,191,916	6,595,481	7,519,681	87,562,941	7,296,912

ตาราง 40 ข้อมูลยอดการผลิตของปี 2555

ผลิตภัณฑ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
A	899,247	1,274,723	938,678	3,112,648	1,037,549
B	209,137	238,075	144,000	591,212	197,071
C	730,548	833,007	749,090	2,312,645	770,882
D	195,300	208,215	357,050	760,565	253,522
E	118,902	150,329	140,070	409,301	136,434
F	40,950	41,318	35,500	117,768	39,256
G	71,169	96,390	99,400	266,959	88,986
H	907,085	1,007,139	1,015,620	2,929,844	976,615
I	534,240	674,940	693,200	1,902,380	634,127
J	36,288	3,780	540	40,608	13,536
K	83,475	157,080	177,200	417,755	139,252
L	2,974,325	3,246,401	2,803,810	9,024,536	3,008,179
M	257,077	322,996	316,355	896,426	298,809
N	14,356	11,534	20,636	46,526	15,509
O	64,897	55,227	56,477	176,601	58,867
P	116,970	167,895	134,200	419,065	139,688
ผลผลิตรวม	7,253,963	8,489,049	7,681,826	23,424,838	7,808,279

ตาราง 41 ข้อมูลยอดการผลิตในหน่วยเทียบของปี 2554

ผลิตภัณฑ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
A	1,094,688	1,255,002	1,370,283	686,490	1,074,234	1,183,791	1,117,892	1,084,433	1,203,426	993,043	1,178,629	941,287	13,183,199	1,098,600
B	268,137	303,954	341,142	188,089	168,585	229,902	257,950	289,111	304,043	268,368	300,791	283,188	3,203,259	266,938
C	143,822	143,673	106,129	128,858	120,609	140,226	196,438	172,448	178,127	170,429	192,668	193,128	1,886,554	157,213
D	33,531	34,247	23,572	25,291	4,227	2,006	13,756	32,957	34,892	37,686	40,409	38,689	321,263	26,772
E	31,271	30,280	34,626	23,967	7,411	29,156	30,585	25,931	32,331	28,114	36,135	28,558	338,366	28,197
F	5,650	2,375	8,950	1,087	4,350	5,812	625	3,562	8,425	10,875	5,450	8,537	65,697	5,475
G	45,581	59,270	55,237	40,118	27,496	48,430	48,451	63,207	52,121	58,886	45,858	42,903	587,557	48,963
H	370,052	424,125	441,947	321,149	339,071	431,553	442,185	452,365	482,033	427,993	325,781	436,982	4,895,237	407,936
I	237,057	283,210	248,596	185,660	216,079	234,435	186,709	272,196	301,042	322,545	286,357	243,351	3,017,236	251,436
J	4,085	5,590	538	4,838	10,750	5,160	4,300	13,223	2,795	-	14,728	23,543	89,548	7,462
K	32,255	31,886	40,108	24,455	15,811	23,980	25,614	57,131	22,821	51,650	31,675	25,509	382,895	31,908
L	2,846,340	3,240,353	3,431,411	1,578,822	2,289,935	2,232,416	2,696,936	3,470,964	3,436,283	3,285,954	2,061,171	3,245,760	33,816,342	2,818,029
M	120,029	101,701	119,342	69,108	47,009	86,319	102,587	128,633	147,296	116,885	40,027	29,787	1,108,725	92,394
N	315,451	319,390	286,471	336,848	411,763	401,108	456,031	550,105	510,660	454,609	265,057	360,726	4,668,219	389,018
O	201,071	206,659	213,173	188,148	236,876	204,664	87,159	143,929	222,393	59,105	20,004	142,530	1,925,710	160,476
P	71,575	96,192	65,473	48,044	41,166	51,044	75,712	95,364	127,428	115,223	61,387	31,857	880,467	73,372
ผลผลิตรวม	5,820,594	6,537,907	6,786,997	3,850,973	5,015,372	5,310,002	5,742,930	6,855,561	7,066,114	6,401,362	4,906,126	6,076,335	70,370,274	5,864,189

ตาราง 42 ข้อมูลยอดการผลิตในหน่วยเทียบของปี 2555

ผลิตภัณฑ์	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ผลรวม	ค่าเฉลี่ย
A	767,000	1,087,256	800,631	2,654,887	884,962
B	306,412	348,810	210,978	866,200	288,733
C	188,128	214,513	192,903	595,545	198,515
D	44,421	47,358	81,211	172,990	57,663
E	27,652	34,961	32,575	95,188	31,729
F	9,750	9,837	8,452	28,039	9,346
G	36,160	48,974	50,503	135,636	45,212
H	446,399	495,638	499,812	1,441,850	480,617
I	222,372	280,937	288,538	791,848	263,949
J	25,800	2,688	384	28,872	9,624
K	20,950	39,423	44,472	104,845	34,948
L	2,974,325	3,246,401	2,803,810	9,024,536	3,008,179
M	93,649	117,663	115,244	326,556	108,852
N	237,256	190,628	341,053	768,933	256,311
O	241,669	205,658	210,313	657,640	219,213
P	57,612	82,694	66,098	206,404	68,801
ผลผลิตรวม	5,699,555	6,453,436	5,746,979	17,899,969	5,966,656

ตาราง 43 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2553

2553 วันที่	ม.ค. (kWh)	ก.พ. (kWh)	มี.ค. (kWh)	เม.ย. (kWh)	พ.ค. (kWh)	มิ.ย. (kWh)	ก.ค. (kWh)	ส.ค. (kWh)	ก.ย. (kWh)	ต.ค. (kWh)	พ.ย. (kWh)	ธ.ค. (kWh)
1	1,295	78,703	85,019	56,913	28,803	87,531	53,895	95,118	85,412	74,435	85,885	81,756
2	5,218	80,292	87,124	87,173	38,281	90,202	82,231	99,369	96,100	57,466	95,803	79,700
3	55,812	78,301	85,101	59,796	82,480	93,799	85,918	96,477	87,230	86,182	104,902	65,505
4	87,589	85,970	50,809	83,731	84,568	89,473	87,288	99,254	69,389	83,487	92,305	56,173
5	88,699	71,694	78,212	92,037	83,618	40,480	86,008	63,324	83,348	87,674	76,481	66,109
6	56,843	65,912	61,303	81,276	59,450	98,464	95,002	94,601	85,421	92,318	70,007	81,750
7	49,669	96,918	84,880	85,256	83,618	109,962	94,651	78,340	82,922	75,885	101,253	77,089
8	64,960	93,962	84,593	48,743	59,450	94,355	60,416	97,264	84,060	50,039	95,896	87,862
9	60,360	80,587	91,988	56,699	92,250	44,070	86,401	101,286	84,741	40,829	96,460	75,762
10	86,541	83,184	96,387	63,310	94,798	89,786	68,813	91,627	82,791	84,943	93,176	64,686
11	95,871	88,034	66,240	53,576	89,956	86,294	91,112	55,083	61,893	80,636	86,549	47,850
12	84,156	73,635	84,233	42,049	83,321	87,417	91,914	85,091	95,929	90,368	76,465	82,346
13	93,487	53,826	63,736	12,394	60,695	85,688	93,848	79,405	91,236	82,464	37,756	85,041
14	57,000	81,939	96,331	23,061	74,989	91,046	55,861	68,870	89,526	83,257	86,278	82,354
15	65,697	85,775	93,463	27,451	40,952	93,758	80,658	89,416	95,478	54,322	91,538	84,657
16	68,460	87,089	86,253	33,907	90,587	87,711	80,347	91,595	103,830	60,467	84,729	87,138
17	79,700	89,303	78,062	47,603	95,199	95,871	69,501	91,430	73,130	82,242	82,305	74,099
18	91,717	87,772	52,066	95,502	87,401	87,745	94,790	92,709	79,559	53,783	85,431	53,905
19	86,639	79,482	79,088	86,999	90,210	84,670	94,405	59,687	102,498	90,636	87,337	85,482
20	91,013	75,823	66,843	93,348	57,983	86,557	88,342	94,946	97,264	100,368	69,103	86,851
21	56,443	122,170	96,731	87,220	78,389	93,372	83,796	75,030	89,924	93,667	86,376	76,383
22	85,926	85,139	91,996	59,949	47,202	80,489	58,851	103,948	90,947	53,904	97,900	86,966
23	82,233	78,670	89,834	77,815	114,967	93,520	85,902	98,443	94,896	55,325	87,909	84,672
24	91,417	89,918	93,503	54,731	88,596	91,062	106,805	101,499	89,178	83,700	88,299	67,559
25	78,463	89,844	54,403	87,302	86,582	89,400	89,301	92,021	76,693	88,959	86,980	52,659
26	81,046	77,149	80,569	88,818	84,025	98,812	93,372	58,090	99,312	88,780	74,842	70,501
27	96,929	74,459	65,839	87,884	59,884	85,688	95,379	95,027	91,447	86,854	82,345	47,472
28	60,031	-	98,854	84,246	72,726	91,152	184,599	76,579	95,052	92,119	112,790	14,271
29	82,723	-	105,333	57,762	64,315	83,608	57,614	111,151	102,900	56,605	107,952	48,841
30	50,307	-	41,191	72,630	84,975	94,487	89,695	-	98,517	58,690	45,015	43,794
31	87,580	-	76,734	-	94,266	-	71,966	-	-	73,898	-	-
รวม	2,223,824	2,235,550	2,466,718	1,989,181	2,354,536	2,626,469	2,658,681	2,536,680	2,660,623	2,344,302	2,570,067	2,099,233

ตาราง 44 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2554

2554 วันที่	ม.ค. (kWh)	ก.พ. (kWh)	มี.ค. (kWh)	เม.ย. (kWh)	พ.ค. (kWh)	มิ.ย. (kWh)	ก.ค. (kWh)	ส.ค. (kWh)	ก.ย. (kWh)	ต.ค. (kWh)	พ.ย. (kWh)	ธ.ค. (kWh)
1	2,470	104,600	99,082	91,119	19,882	86,352	93,103	66,962	97,345	61,319	81,191	92,990
2	27,140	90,611	85,297	57,848	9,998	98,980	107,012	94,970	95,871	88,310	88,760	91,140
3	38,297	87,430	86,941	44,339	80,760	98,967	91,787	96,949	94,732	71,589	87,950	124,294
4	96,528	88,170	94,319	51,552	84,251	64,320	67,122	95,572	80,036	94,233	86,180	84,672
5	116,508	93,020	105,140	94,107	-	50,960	92,270	92,508	73,998	93,921	83,050	73,466
6	88,453	87,913	80,610	90,780	94,360	59,752	82,820	121,813	91,882	94,937	81,544	90,677
7	93,921	66,289	64,999	98,161	65,720	94,270	83,179	88,256	95,625	90,841	30,506	88,335
8	122,558	109,947	54,129	88,789	94,818	94,761	86,121	82,592	94,396	93,315	88,957	113,525
9	78,721	85,487	119,300	50,701	80,073	92,090	61,879	93,180	110,659	90,956	88,908	117,474
10	63,258	85,681	81,989	57,930	129,937	98,627	74,119	90,800	123,609	98,853	90,824	121,349
11	95,620	95,512	83,313	52,253	92,410	63,030	73,192	91,596	88,810	93,225	83,113	85,343
12	87,408	108,499	104,198	45,318	93,180	74,071	81,632	61,793	86,048	94,240	89,104	84,664
13	93,432	84,042	84,181	15,089	100,504	68,780	83,942	121,151	94,298	146,365	67,081	89,063
14	98,650	66,326	67,441	19,960	58,228	94,851	83,057	56,161	90,645	93,332	62,333	101,729
15	88,450	116,151	91,378	37,122	92,312	100,028	94,773	47,800	94,322	57,721	83,995	94,150
16	76,900	97,568	85,962	51,069	72,159	88,259	59,318	95,838	94,061	86,811	83,700	87,991
17	60,051	100,579	83,309	50,790	101,970	92,482	71,738	97,571	89,068	65,036	71,496	92,001
18	90,259	114,534	92,479	53,858	95,248	128,590	72,532	95,572	12,342	96,567	72,136	74,051
19	92,062	107,806	104,929	96,641	61,604	7,160	94,417	99,201	33,055	96,887	80,587	80,044
20	93,079	83,424	80,643	91,722	102,276	65,900	96,842	60,076	40,935	97,722	63,755	117,102
21	91,252	66,588	67,158	96,129	61,604	98,071	97,251	90,694	89,350	94,937	34,364	105,795
22	113,191	115,311	83,571	94,380	78,009	88,670	94,159	71,897	131,941	59,933	94,020	108,654
23	77,238	110,182	93,548	110,318	45,130	89,971	61,337	95,559	109,269	87,228	95,691	102,217
24	64,819	85,049	90,460	85,930	90,759	87,542	67,904	94,507	131,326	66,142	72,192	139,621
25	91,928	114,157	85,762	73,101	99,283	52,171	53,358	95,781	93,528	95,503	71,735	68,637
26	91,412	117,624	109,230	89,940	92,050	70,618	58,581	94,040	74,113	94,085	69,323	35,218
27	95,431	72,986	73,061	90,419	95,850	74,748	73,380	117,852	82,019	94,716	55,352	69,655
28	81,371	54,842	65,736	95,961	75,777	92,832	98,181	87,802	156,796	87,613	32,415	44,268
29	105,497	-	90,972	94,970	86,250	92,667	97,890	63,767	126,739	52,321	83,421	13,525
30	72,941	-	84,558	-	28,369	73,103	62,210	93,749	97,624	64,782	90,915	4,161
31	62,620	-	89,023	-	-	-	79,647	-	-	41,354	-	-
รวม	2,551,465	2,610,328	2,682,718	2,070,296	2,282,771	2,442,623	2,494,753	2,656,009	2,774,442	2,644,794	2,264,598	2,595,811

ตาราง 45 ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของปี 2555

2555 วันที่	มกราคม (kWh)	กุมภาพันธ์ (kWh)	มีนาคม (kWh)
1	38,992	90,006	92,602
2	71,470	91,660	61,907
3	71,889	92,201	92,389
4	74,181	86,466	71,435
5	58,467	68,854	93,339
6	58,863	100,811	97,092
7	58,351	92,226	95,666
8	52,577	88,481	97,346
9	76,079	98,394	69,793
10	78,651	92,111	92,152
11	78,603	92,414	71,729
12	77,389	79,012	99,664
13	82,653	97,952	94,184
14	86,630	92,627	93,831
15	68,084	98,927	86,925
16	94,249	96,911	100,072
17	85,656	95,339	81,879
18	97,558	79,593	66,970
19	91,767	74,252	92,996
20	80,883	89,637	88,408
21	93,577	90,825	80,265
22	74,089	93,470	76,546
23	92,815	95,224	98,489
24	95,904	94,528	66,224
25	81,805	91,594	50,847
26	95,781	73,646	76,110
27	55,484	92,095	70,137
28	60,179	92,095	63,199
29	74,531	-	67,516
30	87,990	-	-
31	93,249	-	-
รวม	2,388,396	2,521,351	2,389,712

ตาราง 46 ข้อมูลเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานทั้งหมด

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	MOTOR (kW)	HEATER (kW)	POWER TOTAL (kW)	POWER SUPPLY
1	SMM	HEAT PRESS 50T 2RT	13	5.5	9.6	15.1	200
2	SLB	HEAT PRESS 50T 3 RT	6	2.5	4.8	7.3	200
3	SLB	HEAT PRESS 110 TON 3RT	1	14.7	17.3	32	200
4	SLB	HEAT PRESS 110 TON 3RT	1	11.0	17.3	28.3	200
5	DD	HEAT PRESS 65 TON 3RT	1	5.6	6.6	12.2	380
6	SLB	5 TON PRESS	2	1.8	-	1.8	200 3Ø
7	SLB	SPRAY XY ROBOT	1	0.7	10.0	10.7	380
8	SLB	PREHEAT DRYER	1	0.7	0.8	1.5	200
9	BUSH	CHAMFER MANUAL (KNULING)	2	1.5	-	1.5	200 3Ø
10	BUSH	30 TON PRESS	4	7.5	-	7.5	200 3Ø
11	BUSH	AUTOMATIC CHAMFERING	13	17.5	-	17.5	200 3Ø
12	BUSH	PAL PHOSPHATE	2	1.9	4	5.9	200 3Ø
13	BUSH	DRY ROTATION	2	0.13	5	5.13	200 3Ø
14	BUSH	CUTTING MACHINE	7	7.4	-	7.4	200 3Ø
15	BUSH	CUTTING MACHINE (CUTTING SOCO)	1	6.5	-	6.5	380 3Ø
16	BUSH	AUTO DEFLASHING MACHINE	2	2.0	-	2.0	200 1Ø
17	BUSH	GRINDING PALMARY	2	18.0	-	18.0	200 3Ø
18	BUSH	GRINDING MACHINE (Saw Blade)	2	12.0	-	12.0	380 3Ø
19	BUSH	SAW BLADE	2	1.5	-	1.5	380 3Ø
20	BUSH	75 TON INJECTION	4	17.76	27.0	44.76	200 3Ø
21	BUSH	150T INJECTION	23	20.76	27.0	47.76	200 3Ø
22	M/C	DRILLING	1	1.5	-	1.5	380 3Ø
23	M/C	POWER PRESS 60 TON	1	7.0	-	7	200 3Ø
24	M/C	POWER PRESS 160 TON	1	15.0	-	15	380 3Ø
25	M/C	AUTO FEED 160 TON	1	1.5	-	1.5	200 3Ø
26	M/C	POWER PRESS 250 TON	1	30.0	-	30	200 3Ø
27	M/C	AUTOR FEED 250T	1	1.2	-	1.2	200 3Ø
28	M/C	POWER PRESS 60 TON	1	5.5	-	5.5	380 3Ø
29	M/C	AUTO FEED 60 TON	1	1.4	-	1.4	380 3Ø
30	M/C	POWER PRESS 110 TON	1	11.0	-	11	380 3Ø
31	M/C	AUTO FEED 110 TON	2	1.2	-	1.2	380 3Ø
32	M/C	POWER PRESS 60 TON	1	6.0	-	6	380 3Ø

ตาราง 46 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	MOTOR (kW)	HEATER (kW)	POWER TOTAL (kW)	POWER SUPPLY
33	M/C	COILCRADLE FOR 60 T AMADA	1	1.2	-	1.2	200 3Ø
34	M/C	POWER PRESS 250 TON	1	30.5	-	30.5	380 3Ø
35	M/C	AUTO FEED 250T	1	1.2	-	1.2	380 3Ø
36	M/C	POWER PRESS 110 TON	1	11.0	-	11.0	200 3Ø
37	M/C	POWER PRESS 110 TON	1	7.5	-	7.5	200 3Ø
38	M/C	POWER PRESS 60 TON	1	7.0	-	7.0	200 3Ø
39	M/C	TAPPING NO.1	3	0.4	-	0.4	380 3Ø
40	M/C	AUTO FEED 60T KOMUTSU	1	0.6	-	0.6	200 3Ø
41	M/C	SPOT WELDING MACHINE	1	70	-	70	380 3Ø
42	MC1	SPOT WELDING MACHINE	2	50	-	50	200 3Ø
43	MC1	SPOT WELDING MACHINE	1	80	-	80	380 3Ø
44	MC1	SPOT WELDING MACHINE	1	80	-	80	380 1Ø
45	MC1	POWER PRESS 200 TON	1	18.5	-	18.5	200 3Ø
46	MC1	DIE INVERSION	1	0.5	-	0.5	200 3Ø
47	MC1	LATHE MACHINE	1	14.0	-	14.0	200 3Ø
48	MC1	POWER PRESS 35 TON	1	3.7	-	3.7	200 3Ø
49	MC1	POWER PRESS 300 TON	1	128.5	-	128.5	200 3Ø
50	MC1	POWER PRESS 80 TON	1	7.5	-	7.5	200 3Ø
51	MC1	POWER PRESS 35 TON	1	2.5	-	2.5	200 3Ø
52	MC1	5 TON HYDROLIC PRESS	1	1.5	-	1.5	200 3Ø
53	MC1	3 TON HYDROLIC PRESS	1	1.5	-	1.5	200 3Ø
54	M/C	TAPPING AUTO MACHINE ET	1	0.7	-	0.7	200 3Ø
55	MC1	BARREL POLISHING MACHINE	1	0.15	-	0.15	200 3Ø
56	MC1	POWER PRESS 250 TON	1	37.0	-	37.0	200 3Ø
57	MC1	AUTO FEED 250T AIDA	1	3.1	-	3.1	200 3Ø
58	M/C	POWER PRESS 200 TON	1	15.0	-	15.0	200 3Ø
59	M/C	UNCOILER POWER PRESS 200 TON	1	2.5	-	2.5	200 3Ø
60	BONDING	DIPPING	1	2.6	5.0	7.6	380 3Ø
61	BONDING	DRYER	1	1.5	5.0	6.5	380 3Ø
62	BONDING	ZINC PHOST PHATE	1	19.3	173.0	192.3	380 3Ø
63	BONDING	ZINC PHOST PHATE	1	25.72	193.0	218.72	380 3Ø
64	BONDING	ALKALI PHOST PHATE	1	8.0	32.0	40.0	200 3Ø

ตาราง 46 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	MOTOR (kW)	HEATER (kW)	POWER TOTAL (kW)	POWER SUPPLY
65	BONDING	FILTER PRESS	2	0.9	-	0.9	200 3Ø
66	BONDING	MIDI BONDING	2	7.0	17.2	24.2	380 3Ø
67	BONDING	SPRAY INSIDE THUMBLER	3	1.05	5.0	6.05	200 3Ø
68	BONDING	PREHEAT FURNACE	1	0.13	5	5.13	200 3Ø
69	BONDING	SPRAY BONDING CBS	2	1.15	-	1.15	200 3Ø
70	BONDING	SPRAY BONDING CBS	12	0.67	-	0.67	200 3Ø
71	BONDING	PREHEAT OVEN SPRAY CBS	3	1.13	5.0	6.13	200 3Ø
72	BONDING	PREHEAT OVEN SPRAY X- Y	2	0.13	5.0	5.13	200 3Ø
73	BONDING	PREHEAT	2	0.9	7.2	8.1	200 3Ø
74	BONDING	PREHEAT	2	1.5	5.0	6.5	200 3Ø
75	BONDING	POST CURE OVEN	3	0.9	7.2	8.1	200 3Ø
76	BONDING	SPRAY OUTSIDE	1	0.3	-	0.3	200 3Ø
77	BONDING	SPRAY INSIDE	3	0.67	-	0.67	200 3Ø
78	BONDING	SPRAY INSIDE	6	0.3	-	0.3	200 3Ø
79	BONDING	MOLD WASHING	1	-	32.0	32.0	380 3Ø
80	BONDING	DEBURING	1	5.1	-	5.1	380 3Ø
81	BONDING	SHOT BLAST	3	9.5	-	9.5	380 3Ø
82	CBS	1TON PRESS	5	0.3	-	0.3	200
83	CBS	5 TON PRESS	4	1.8	-	1.8	200 3Ø
84	CBS	HIGH INSPECTION	1	0.3	-	0.3	200
85	CBS	GREASE FILLING	6	0.3	-	0.3	200
86	CBS	75 TON INJECTION	9	17.76	27.0	44.76	200
87	CBS	TEST CBS	1	18.5	-	18.5	200
88	CBS	TEST CBS	1	15.0	-	15.0	200
89	CBS	DURABILITY TESTER	1	3.25	-	3.25	200
90	CBS	TORQUE TESTING MACHINE	1	7.0	-	7.0	
91	CBS	AUTO GRAPH (TEST QC)	1	6.5	-	6.5	200 3Ø
92	WMS	HEAT PRESS 110T	2	10.0	10.8	20.8	200
93	WMS	TRIMMING M/C	2	0.7	-	0.7	380
94	WMS	PRESS TRIM BUSH INSERT	1	0.7	-	0.7	200
95	C/V	HEAT PRESS 110 TON 3RT	2	0.8	10.8	11.6	200
96	SPTS > C/V	HEAT PRESS 60 TON 2RT	2	5.1	5.4	10.5	200

ตาราง 46 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	MOTOR (kW)	HEATER (kW)	POWER TOTAL (kW)	POWER SUPPLY
97	C/V	SIM 60 TON INJECTION	1	6.8	11.0	17.8	200
98	C/V	SIM 15 TON INJECTION	1	4.8	11.0	15.8	200
99	C/V	SCREENING	2	0.2	-	0.2	200
100	C/V	TRIMMING CONTROL VALVE	1	0.1	-	0.1	200
101	C/V	CHECK LAEK TESTER	1	0.2	-	0.2	200
102	C/V	AIR PUNCHING	1	4.0	-	4.0	200
103	C/V	CAMERA INSPECTION	1	0.5	-	0.5	200
104	C/V	LEAK TEST SIM 15T	1	0.2	-	0.2	200
105	IPS	SPRING WAVE CHECKER	11	0.5	-	0.5	200
106	IPS	1TON PRESS	1	1.8	-	1.8	200
107	IPS	35 TON PRESS	1	5.5	-	5.5	200
108	IPS	EXTRACTOR MACHINE	1	1.5	-	1.5	200
109	IPS	AIR PUNCHING	1	5.0	-	5.0	200
110	IPS	HEAT PRESS 250 TON	3	14.1	14.4	28.5	380
111	IPS	HEAT PRESS 50TON	14	5.0	4.8	9.8	200
112	IPS	HEAT PRESS 60 TON 2RT	2	5.1	5.4	10.5	380
113	IPS	HEAT PRESS 80TON	10	6.5	4.8	11.3	380
114	IPS	SIM 60 TON INJECTION	1	6.5	4.8	11.3	200V 3PH
115	IPS	TRIMMING SNR 120 A	5	0.6	-	0.6	200
116	IPS	TRIMMING FOR 80T	6	0.7	-	0.7	200
117	IPS	POST CURE OVEN	1	0.5	8.4	8.9	200
118	IPS	POST CURE OVER C SUN	1	7.6	50.4	58.0	380
119	IPS	POST CURE OVEN D TYPE	2	2.0	18.0	20.0	200
120	IPS	SEMI AUTO ASSEMBLY	4	0.3	-	0.3	200
121	IPS	LEAK TEST IPS	1	0.5	-	0.5	200
122	SPTS	HEAT PRESS 60T	16	5.1	5.4	10.5	200
123	SPTS	AUTO TRIMMING M/C	3	0.5	-	0.5	200 3P
124	IPS	AUTO TRIMMING M/C	1	0.7	-	0.7	200 3P
125	SPTS	TRIMMING SNR 120 A	6	0.5	-	0.5	380
126	SPTS	SPRING WAVE CHECKER	8	0.2	-	0.2	200
127	SPTS	POST CURE OVER C SUN	2	4.0	30.0	34.0	380
128	O/S	HEAT PRESS 60 TON 2RT	6	4.8	5.4	10.2	200 3Ø

ตาราง 46 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	MOTOR (kW)	HEATER (kW)	POWER TOTAL (kW)	POWER SUPPLY
129	IPS	HEAT PRESS 60T 2RT FK	2	1.8	4.8	6.6	380
130	SPTS > O/S	HEAT PRESS 60 TON 2RT	2	5.1	5.4	10.5	203
131	O/S	HEAT PRESS 60 TON 2RT	19	4.8	5.4	10.2	200 3Ø
132	O/S	HEAT PRESS 110 TON 3RT	8	7.0	9.72	16.72	200 3Ø
133	O/S	HEAT PRESS 110 TON 3RT	1	5.5	9.74	15.24	200 3Ø
134	O/S	HEAT PRESS 110 TON 3RT	2	12.5	9.72	22.22	200 3Ø
135	O/S	TAS 70V TRIMMING	2	0.45	-	0.45	200 3Ø
136	O/S	TNR 120 TRIMMING	4	0.45	-	0.45	200 3Ø
137	O/S	TRIMMING SNR 120 -A2	27	0.45	-	0.45	200
138	IPS > O/S	AUTO TRIMMING M/C	1	0.5	-	0.5	200 3P
139	O/S	SPRING CHECKER	17	0.7	-	0.7	200
140	O/S	LEAK TESTER	1	0.7	-	0.7	200 1Ø
141	O/S	POST CURE OVER C SUN	1	3.0	50.4	53.4	380
142	O/S	2 WAY AUTO GREASE	3	0.5	-	0.5	200
143	O/S	ENCODER GREASE	1	7.0	-	7.0	200V 3PH
144	O/S	MAGNETIZING MACHINE	1	3.0	-	3.0	200V 3PH
145	O/S	MANUAL GREASE MACHINE	3	0.1	-	0.1	200 3Ø
146	O/S	MANUAL GREASE MACHINE	1	0.1	-	0.1	200 1Ø
147	RECOIL	WINDER MACHINE	1	0.4	-	0.4	200 3Ø
148	RECOIL	KNITTING MACHINE	1	2.2	-	2.2	380 3Ø
149	RECOIL	ROPE CUTTING MACHINE	1	0.2	-	0.2	100 1Ø
150	RECOIL	DRY OFF OVEN	1	12.0	-	12.0	380 3Ø
151	RECOIL	BAKE OVEN	1	10.0	16.0	26.0	380 3Ø
152	RECOIL	PRE -TREATMENT	1	8.0	12.0	20.0	380 3Ø
153	RECOIL	ED.COAT	1	17.6	-	17.6	380 3Ø
154	RECOIL	POWDER BOOTH	1	22.0	-	22.0	380 3Ø
155	RECOIL	CONVEYOR	1	3.5	-	3.5	380 3Ø
156	RECOIL	GREASE APPLY MACHINE	4	0.1	-	0.1	-
157	RECOIL	FILTER PRESS	1	0.5	-	0.5	-
158	RECOIL	AIR HANDING UNIT	1	0.4	-	0.4	-
159	RECOIL	BLADDER INSERT MACHINE	1	0.3	-	0.3	200 3Ø
160	RECOIL	ROLLER PRESS FIT MACHINE	1	0.3	-	0.3	200 3Ø

ตาราง 46 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	MOTOR (kW)	HEATER (kW)	POWER TOTAL (kW)	POWER SUPPLY
161	RECOIL	GAS-TIGHT INSPECTION	1	0.1	-	0.1	200 3Ø
162	DC	IM 60 TON INJECTION	3	5.5	18.0	23.5	200V 3PH
163	DC	IM 60 TON INJECTION	4	8.0	13.0	21	200V 3PH
164	DC	IM 60 TON INJECTION	15	5.5	18	23.5	200V 3PH
165	DC	IM 90 TON INJECTION	4	12.9	12.9	25.8	200V 3PH
166	DC	SIM 60 TON INJECTION	9	5.5	18.0	23.5	200V. 3HP
167	DC	SIM 15 TON INJECTION	15	6.4	9.0	15.4	200V 3PH
168	DC	LEAK TEST MACHINE (IM 60)	46	0.4	-	0.4	200V 3PH
169	DC	LEAK TEST MACHINE (IM 60)	2	1.4	-	1.4	200V 3PH
170	DC	LEAK TEST MACHINE (SIM 60)	2	1.5	-	1.5	200V 3PH
171	DC	SHOT BLAST MOLD WASHING	2	0.75	-	0.75	200V 3PH
172	RB inj	N-50 TON INJECTION	8	7.0	11.0	18.0	200V 3PH
173	RB inj	R 100 injection machine	4	16.5	15.4	31.9	200V 3PH
174	RB inj	MOLD PREHEATER	1	-	5.5	5.5	200V 3PH
175	RB inj	NR trimming	3	0.4	-	0.4	200V 3PH
176	RB inj	SCRAP RUBBER BOOT MACHINE	1	0.75	-	0.75	200V 3PH
177	RB inj	POST CURE OVER C SUN	1	4.0	30.0	34.0	380
178	RB inj	POST CURE OVER C SUN	2	7.6	50.4	58.0	380
179	URETRANE	230 TON INJECTION MACHINE	4	93.3	17.05	110.35	3Ø 200 V
180	URETRANE	DRILLING MACHINE	1	0.68	-	0.68	3Ø 200 V
181	URETRANE	COOLING MACHINE (CHILLER)	3	3.5	-	3.5	3Ø 200 V
182	URETRANE	CRUSHING MACHINE	3	0.7	-	0.7	3Ø 200 V
183	URETRANE	HOT AIR DRYER MACHINE	4	2.1	6.45	8.55	3Ø 200 V
184	URETRANE	MATERIAL MIX	1	0.5	-	0.5	3Ø 200 V
185	URETRANE	50 TON INJECTION URETAIN BUSH	2	17.76	27	44.76	3Ø 200 V
186	URETRANE	50 TON INJECTION URETAIN BUSH	1	22.0	3.6	25.6	3Ø 200 V
187	URETRANE	POST CURE OVEN(ROTARY TYPE)	2	1.6	4.5	6.1	200V 3PH
188	PB	PRESS BLOW INJECTION	6	11.0	9.7	20.7	200V 3PH
189	PB	WATER COOLING	6	5.5	-	5.5	200V 3PH
190	PB	LIP FORMING MACHINE	5	0.4	-	0.4	200V 3PH
191	PB	ID TIMMING MACHINE	3	0.4	-	0.4	
192	PB	MATERIAL MIX	4	1.2	-	1.2	200V 3PH

ตาราง 46 (ต่อ)

ลำดับ	กระบวนการผลิต	ชื่อเครื่องจักร	จำนวน (เครื่อง)	MOTOR (kW)	HEATER (kW)	POWER TOTAL (kW)	POWER SUPPLY
193	PB	DUST COLLECTOR	2	1.5	-	1.5	380V 3PH
194	PB	HOT AIR DRYER	2	1.88	6.4	8.28	200V 3PH
195	PB	HOT AIR DRYER	3	0.015	3.1	3.115	200V 3PH
196	CHG	25 TON POWER PRESS (Leak test)	1	7.5	-	7.5	200V 3PH
197	CHG	60 TON POWER PRESS (Tagger)	1	5.5	-	5.5	200V 3PH
198	CHG	150 TON POWER PRESS	1	11.0	-	11.0	380V 3PH
199	CHG	HOT WATER WASHING MACHINE	1	9.2	36.0	45.2	200V 3PH
200	CHG	THREE SHAFT MIXER	1	7.4	-	7.4	200V 3PH
201	CHG	PRINTING MACHINE	1	0.2	-	0.2	200V 3PH
202	CHG	POST CURE OVEN	1	7.2	88.2	95.4	200V 3PH

รวมเครื่องจักรทั้งหมด 637 เครื่อง



ภาคผนวก ข.

ตาราง ข.1 ตารางการแจกแจง F

ตาราง ข.2 ตารางการแจกแจง t

ตาราง ข.1 ตารางการแจกแจง F

ตารางการแจกแจง F ระดับนัยสำคัญที่ .05

df2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	27	30	40	50	75	100	200	500	1000
df1	0.05																														
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54	241.88	242.88	243.61	244.09	245.36	246.55	248.46	248.92	247.32	247.99	248.01	248.58	249.05	249.63	250.10	251.14	251.77	252.62	253.04	253.68	254.08	254.30
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43	19.43	19.44	19.44	19.44	19.45	19.45	19.45	19.45	19.46	19.47	19.47	19.48	19.49	19.49	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.78	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.54	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.98	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.65	5.64	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.54	4.53	4.51	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.39	4.37	4.37
6	5.99	5.14	4.78	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.84	3.82	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.69	3.68	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.41	3.39	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.92	2.90	2.88	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.73	2.72	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.75	2.74	2.72	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.56	2.55	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.78	2.76	2.74	2.72	2.70	2.69	2.67	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.43	2.42	2.41
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.68	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.51	2.48	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.32	2.31	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.44	2.42	2.40	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.22	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.14	2.13
15	4.54	3.68	3.28	3.05	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.28	2.28	2.25	2.24	2.21	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.04	2.02	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.23	2.21	2.19	2.17	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.99	1.97	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.13	2.11	2.09	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.06	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.88	1.86	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.48	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.16	2.14	2.12	2.11	2.10	2.07	2.05	2.03	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.84	1.83	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.00	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.82	1.80	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.08	2.06	2.05	2.02	2.01	1.98	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.00	1.98	1.96	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77	1.75	1.73
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.02	2.01	1.98	1.96	1.94	1.92	1.87	1.84	1.80	1.77	1.75	1.73	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.92	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73	1.71	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.90	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.71	1.69	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.88	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.69	1.67	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	2.01	1.99	1.97	1.96	1.94	1.92	1.90	1.88	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.67	1.65	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89	1.88	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.66	1.64	1.62
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00	1.98	1.96	1.95	1.93	1.92	1.90	1.88	1.85	1.83	1.78	1.75	1.70	1.68	1.65	1.62	1.61
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99	1.97	1.95	1.94	1.92	1.91	1.88	1.88	1.84	1.82	1.77	1.74	1.69	1.67	1.63	1.61	1.60
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98	1.96	1.94	1.93	1.91	1.90	1.87	1.85	1.83	1.81	1.76	1.72	1.68	1.66	1.62	1.60	1.58
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97	1.95	1.93	1.92	1.90	1.89	1.86	1.84	1.82	1.80	1.75	1.71	1.67	1.65	1.61	1.59	1.57

ตาราง ข.1 (ต่อ)

ตารางการแจกแจง F ระดับนัยสำคัญที่ .05 (ต่อ)

df2	df1																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.49	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92	1.90	1.88
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95	1.93	1.91	1.89	1.88
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94	1.92	1.90	1.88	1.87
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93	1.91	1.89	1.88	1.86
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.85
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92	1.90	1.88	1.86	1.85
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91	1.89	1.87	1.86	1.84
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.83
44	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82
45	4.05	3.20	2.81	2.57	2.42	2.30	2.22	2.15	2.09	2.04	2.00	1.97	1.94	1.91	1.89	1.87	1.85	1.83	1.82
46	4.05	3.20	2.80	2.57	2.41	2.30	2.21	2.14	2.09	2.04	2.00	1.96	1.93	1.91	1.88	1.86	1.84	1.83	1.81
47	4.04	3.19	2.80	2.57	2.41	2.29	2.21	2.14	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88	1.86	1.84	1.82	1.81
48	4.04	3.19	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.08	2.03	1.99	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85	1.84	1.82	1.80
49	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.80
50	4.03	3.18	2.78	2.55	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.79
55	4.02	3.16	2.77	2.54	2.38	2.27	2.18	2.11	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.88	1.85	1.83	1.81	1.79	1.78
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.82	1.80	1.78	1.76
65	3.99	3.14	2.75	2.51	2.36	2.24	2.15	2.08	2.03	1.98	1.94	1.90	1.87	1.85	1.82	1.80	1.78	1.76	1.75
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.02	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81	1.79	1.77	1.75	1.74
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.72
90	3.95	3.10	2.71	2.47	2.32	2.20	2.11	2.04	1.99	1.94	1.90	1.86	1.83	1.80	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69
125	3.92	3.07	2.68	2.44	2.29	2.17	2.08	2.01	1.96	1.91	1.87	1.83	1.80	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.67
150	3.90	3.06	2.66	2.43	2.27	2.16	2.07	2.00	1.94	1.89	1.85	1.82	1.79	1.76	1.73	1.71	1.69	1.67	1.65
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.06	1.98	1.93	1.88	1.84	1.80	1.77	1.74	1.72	1.69	1.67	1.66	1.64
400	3.86	3.02	2.63	2.39	2.24	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.78	1.74	1.72	1.69	1.67	1.65	1.63	1.61
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.85	1.81	1.77	1.74	1.71	1.69	1.68	1.64	1.62	1.61
1000	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.84	1.80	1.76	1.73	1.70	1.68	1.65	1.63	1.61	1.60
10000	3.84	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.64	1.62	1.60	1.59

ตาราง ข.1 (ต่อ)

ตารางการแจกแจง F ระดับนัยสำคัญที่ .01

0.01	df1																															
df2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	27	30	40	50	75	100	200	500	1000	
1	4052.18	4899.50	5403.35	5624.53	5763.65	5853.99	5923.36	5981.07	6022.47	6055.85	6083.32	6106.32	6125.86	6142.67	6157.28	6170.10	6181.43	6191.53	6200.58	6208.73	6222.84	6234.63	6249.07	6260.65	6286.78	6302.52	6323.56	6334.11	6349.97	6395.50	6365.55	
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.41	99.42	99.42	99.43	99.43	99.44	99.44	99.44	99.45	99.45	99.45	99.46	99.46	99.47	99.47	99.48	99.48	99.49	99.49	99.50	99.50	
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.81	27.67	27.48	27.35	27.23	27.13	27.05	26.98	26.92	26.87	26.83	26.79	26.75	26.72	26.69	26.64	26.60	26.55	26.50	26.41	26.35	26.28	26.24	26.18	26.15	26.13	
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.31	14.25	14.20	14.15	14.11	14.08	14.05	14.02	13.97	13.93	13.88	13.84	13.75	13.69	13.61	13.58	13.52	13.46	13.46	
5	16.28	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.26	10.16	10.05	9.96	9.89	9.82	9.77	9.72	9.68	9.64	9.61	9.58	9.55	9.51	9.47	9.42	9.38	9.29	9.24	9.17	9.13	9.08	9.04	9.02	
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.28	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.66	7.60	7.56	7.52	7.48	7.45	7.42	7.40	7.35	7.31	7.27	7.23	7.14	7.09	7.02	6.99	6.93	6.90	6.88	
7	12.25	9.65	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.41	6.36	6.31	6.28	6.24	6.21	6.18	6.16	6.11	6.07	6.03	5.99	5.91	5.86	5.79	5.75	5.70	5.67	5.65	
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.61	5.56	5.52	5.48	5.44	5.41	5.38	5.36	5.32	5.28	5.23	5.20	5.12	5.07	5.00	4.96	4.91	4.88	4.86	
9	10.58	8.02	6.99	6.42	6.05	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.05	5.01	4.96	4.92	4.89	4.86	4.83	4.81	4.77	4.73	4.68	4.65	4.57	4.52	4.45	4.41	4.38	4.33	4.31	
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.65	4.60	4.56	4.52	4.49	4.46	4.43	4.41	4.36	4.33	4.28	4.25	4.17	4.12	4.05	4.01	3.98	3.93	3.91	
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.34	4.29	4.25	4.21	4.18	4.15	4.12	4.10	4.06	4.02	3.98	3.94	3.86	3.81	3.74	3.71	3.68	3.62	3.60	
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.10	4.05	4.01	3.97	3.94	3.91	3.88	3.86	3.82	3.78	3.74	3.70	3.62	3.57	3.50	3.47	3.41	3.38	3.36	
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.88	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.91	3.86	3.82	3.78	3.75	3.72	3.69	3.66	3.62	3.59	3.54	3.51	3.43	3.38	3.31	3.27	3.22	3.19	3.17	
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.75	3.70	3.66	3.62	3.59	3.56	3.53	3.51	3.46	3.43	3.38	3.35	3.27	3.22	3.15	3.11	3.08	3.03	3.01	
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.61	3.56	3.52	3.49	3.45	3.42	3.40	3.37	3.33	3.29	3.25	3.21	3.13	3.08	3.01	2.98	2.92	2.88	2.87	
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.88	3.78	3.69	3.62	3.56	3.50	3.45	3.41	3.37	3.34	3.31	3.28	3.26	3.22	3.18	3.14	3.10	3.02	2.97	2.90	2.86	2.81	2.78	2.75	
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.78	3.68	3.59	3.52	3.46	3.40	3.35	3.31	3.27	3.24	3.21	3.18	3.16	3.12	3.08	3.04	3.00	2.92	2.87	2.80	2.76	2.71	2.68	2.65	
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.43	3.37	3.32	3.27	3.23	3.19	3.16	3.13	3.10	3.08	3.03	3.00	2.95	2.92	2.84	2.78	2.71	2.68	2.62	2.59	2.57	
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.24	3.19	3.15	3.12	3.08	3.05	3.03	3.00	2.96	2.92	2.88	2.84	2.76	2.71	2.64	2.60	2.55	2.51	2.49	
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.29	3.23	3.18	3.13	3.09	3.05	3.02	2.99	2.96	2.94	2.90	2.86	2.81	2.78	2.69	2.64	2.57	2.54	2.48	2.44	2.42	
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.12	3.07	3.03	2.99	2.96	2.93	2.90	2.88	2.84	2.80	2.76	2.72	2.64	2.58	2.51	2.48	2.42	2.38	2.36	
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.46	3.35	3.26	3.18	3.12	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.88	2.85	2.83	2.78	2.75	2.70	2.67	2.58	2.53	2.46	2.42	2.36	2.33	2.31	
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	3.02	2.97	2.93	2.89	2.86	2.83	2.80	2.78	2.74	2.70	2.66	2.62	2.54	2.48	2.41	2.37	2.32	2.28	2.26	
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.09	3.03	2.98	2.93	2.89	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.70	2.66	2.61	2.58	2.49	2.44	2.37	2.33	2.27	2.24	2.21	
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	3.06	2.99	2.94	2.89	2.85	2.81	2.78	2.75	2.72	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	2.45	2.40	2.33	2.29	2.23	2.19	2.17	
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.28	3.18	3.09	3.02	2.96	2.90	2.86	2.81	2.78	2.75	2.72	2.69	2.66	2.62	2.58	2.54	2.50	2.42	2.36	2.29	2.25	2.19	2.16	2.13	
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.99	2.93	2.87	2.82	2.78	2.75	2.71	2.68	2.66	2.63	2.59	2.55	2.51	2.47	2.38	2.33	2.26	2.22	2.16	2.12	2.10	
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.96	2.90	2.84	2.79	2.75	2.72	2.68	2.65	2.63	2.60	2.56	2.52	2.48	2.44	2.35	2.30	2.23	2.19	2.13	2.08	2.04	
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.93	2.87	2.81	2.77	2.73	2.69	2.66	2.63	2.60	2.57	2.53	2.49	2.45	2.41	2.33	2.27	2.20	2.16	2.10	2.06	2.02	
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.91	2.84	2.78	2.74	2.70	2.66	2.63	2.60	2.57	2.55	2.51	2.47	2.42	2.39	2.30	2.25	2.17	2.13	2.07	2.03	2.01	
31	7.53	5.36	4.48	3.99	3.67	3.45	3.28	3.15	3.04	2.96	2.88	2.82	2.77	2.72	2.68	2.64	2.61	2.58	2.55	2.52	2.48	2.45	2.41	2.36	2.27	2.22	2.14	2.11	2.04	2.01	1.98	
32	7.50	5.34	4.46	3.97	3.65	3.43	3.26	3.13	3.02	2.93	2.86	2.80	2.74	2.70	2.65	2.62	2.58	2.55	2.53	2.50	2.46	2.42	2.38	2.34	2.25	2.20	2.12	2.08	2.02	1.98	1.96	
33	7.47	5.31	4.44	3.95	3.63	3.41	3.24	3.11	3.00	2.91	2.84	2.78	2.72	2.68	2.63	2.60	2.56	2.53	2.51	2.48	2.44	2.40	2.36	2.32	2.23	2.18	2.10	2.06	2.00	1.96	1.94	
34	7.44	5.29	4.42	3.93	3.61	3.39	3.22	3.09	2.98	2.89	2.82	2.76	2.70	2.66	2.61	2.58	2.54	2.51	2.49	2.46	2.42	2.38	2.34	2.24	2.20	2.12	2.08	2.04	1.98	1.94	1.91	

ตาราง ข.2 ตารางการแจกแจง t

ตารางการแจกแจง t

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
1	3.0777	6.3137	12.7062	15.8945	21.2051	31.8210	63.6559	127.3211	636.5776	
2	1.8856	2.9200	4.3027	4.8487	5.6428	6.9645	9.9250	14.0892	31.5998	
3	1.6377	2.3534	3.1824	3.4819	3.8961	4.5407	5.8408	7.4532	12.9244	
4	1.5332	2.1318	2.7765	2.9985	3.2976	3.7469	4.6041	5.5975	8.6101	
5	1.4759	2.0150	2.5706	2.7565	3.0029	3.3649	4.0321	4.7733	6.8685	
6	1.4398	1.9432	2.4469	2.6122	2.8289	3.1427	3.7074	4.3168	5.9587	
7	1.4149	1.8946	2.3646	2.5168	2.7146	2.9979	3.4995	4.0294	5.4081	
8	1.3968	1.8595	2.3060	2.4490	2.6338	2.8965	3.3554	3.8325	5.0414	
9	1.3830	1.8331	2.2622	2.3984	2.5738	2.8214	3.2498	3.6896	4.7809	
10	1.3722	1.8125	2.2281	2.3593	2.5275	2.7638	3.1693	3.5814	4.5868	
11	1.3634	1.7959	2.2010	2.3281	2.4907	2.7181	3.1058	3.4966	4.4369	
12	1.3562	1.7823	2.1788	2.3027	2.4607	2.6810	3.0545	3.4284	4.3178	
13	1.3502	1.7709	2.1604	2.2816	2.4358	2.6503	3.0123	3.3725	4.2209	
14	1.3450	1.7613	2.1448	2.2638	2.4149	2.6245	2.9768	3.3257	4.1403	
15	1.3406	1.7531	2.1315	2.2485	2.3970	2.6025	2.9467	3.2860	4.0728	
16	1.3368	1.7459	2.1199	2.2354	2.3815	2.5835	2.9208	3.2520	4.0149	
17	1.3334	1.7396	2.1098	2.2238	2.3681	2.5669	2.8982	3.2224	3.9651	
18	1.3304	1.7341	2.1009	2.2137	2.3562	2.5524	2.8784	3.1966	3.9217	
19	1.3277	1.7291	2.0930	2.2047	2.3457	2.5395	2.8609	3.1737	3.8833	
20	1.3253	1.7247	2.0860	2.1967	2.3362	2.5280	2.8453	3.1534	3.8496	
21	1.3232	1.7207	2.0796	2.1894	2.3278	2.5176	2.8314	3.1352	3.8193	
22	1.3212	1.7171	2.0739	2.1829	2.3202	2.5083	2.8188	3.1188	3.7922	
23	1.3195	1.7139	2.0687	2.1770	2.3132	2.4999	2.8073	3.1040	3.7676	
24	1.3178	1.7109	2.0639	2.1715	2.3069	2.4922	2.7970	3.0905	3.7454	
25	1.3163	1.7081	2.0595	2.1666	2.3011	2.4851	2.7874	3.0782	3.7251	
26	1.3150	1.7056	2.0555	2.1620	2.2958	2.4786	2.7787	3.0669	3.7067	
27	1.3137	1.7033	2.0518	2.1578	2.2909	2.4727	2.7707	3.0565	3.6895	
28	1.3125	1.7011	2.0484	2.1539	2.2864	2.4671	2.7633	3.0470	3.6739	
29	1.3114	1.6991	2.0452	2.1503	2.2822	2.4620	2.7564	3.0380	3.6595	
30	1.3104	1.6973	2.0423	2.1470	2.2783	2.4573	2.7500	3.0298	3.6460	
31	1.3095	1.6955	2.0395	2.1438	2.2746	2.4528	2.7440	3.0221	3.6335	
32	1.3086	1.6939	2.0369	2.1409	2.2712	2.4487	2.7385	3.0149	3.6218	
33	1.3077	1.6924	2.0345	2.1382	2.2680	2.4448	2.7333	3.0082	3.6109	
34	1.3070	1.6909	2.0322	2.1356	2.2650	2.4411	2.7284	3.0020	3.6007	
35	1.3062	1.6896	2.0301	2.1332	2.2622	2.4377	2.7238	2.9961	3.5911	

ตาราง ข.2 (ต่อ)

ตารางการแจกแจง t (ต่อ)

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
36	1.3055	1.6883	2.0281	2.1309	2.2595	2.4345	2.7195	2.9905	3.5821	
37	1.3049	1.6871	2.0262	2.1287	2.2570	2.4314	2.7154	2.9853	3.5737	
38	1.3042	1.6860	2.0244	2.1267	2.2546	2.4286	2.7116	2.9803	3.5657	
39	1.3036	1.6849	2.0227	2.1247	2.2524	2.4258	2.7079	2.9756	3.5581	
40	1.3031	1.6839	2.0211	2.1229	2.2503	2.4233	2.7045	2.9712	3.5510	
41	1.3025	1.6829	2.0195	2.1212	2.2483	2.4208	2.7012	2.9670	3.5443	
42	1.3020	1.6820	2.0181	2.1195	2.2463	2.4185	2.6981	2.9630	3.5377	
43	1.3016	1.6811	2.0167	2.1179	2.2445	2.4163	2.6951	2.9592	3.5316	
44	1.3011	1.6802	2.0154	2.1164	2.2428	2.4141	2.6923	2.9555	3.5258	
45	1.3007	1.6794	2.0141	2.1150	2.2411	2.4121	2.6896	2.9521	3.5203	
46	1.3002	1.6787	2.0129	2.1136	2.2395	2.4102	2.6870	2.9488	3.5149	
47	1.2998	1.6779	2.0117	2.1123	2.2380	2.4083	2.6846	2.9456	3.5099	
48	1.2994	1.6772	2.0106	2.1111	2.2365	2.4066	2.6822	2.9426	3.5050	
49	1.2991	1.6766	2.0096	2.1099	2.2351	2.4049	2.6800	2.9397	3.5005	
50	1.2987	1.6759	2.0086	2.1087	2.2338	2.4033	2.6778	2.9370	3.4960	
51	1.2984	1.6753	2.0076	2.1076	2.2325	2.4017	2.6757	2.9343	3.4917	
52	1.2980	1.6747	2.0066	2.1066	2.2313	2.4002	2.6737	2.9318	3.4877	
53	1.2977	1.6741	2.0057	2.1055	2.2301	2.3988	2.6718	2.9293	3.4837	
54	1.2974	1.6736	2.0049	2.1046	2.2289	2.3974	2.6700	2.9270	3.4799	
55	1.2971	1.6730	2.0040	2.1036	2.2279	2.3961	2.6682	2.9247	3.4765	
56	1.2969	1.6725	2.0032	2.1027	2.2268	2.3948	2.6665	2.9225	3.4730	
57	1.2966	1.6720	2.0025	2.1018	2.2258	2.3936	2.6649	2.9204	3.4695	
58	1.2963	1.6716	2.0017	2.1010	2.2248	2.3924	2.6633	2.9184	3.4663	
59	1.2961	1.6711	2.0010	2.1002	2.2238	2.3912	2.6618	2.9164	3.4632	
60	1.2958	1.6706	2.0003	2.0994	2.2229	2.3901	2.6603	2.9146	3.4602	
61	1.2956	1.6702	1.9996	2.0986	2.2220	2.3890	2.6589	2.9127	3.4572	
62	1.2954	1.6698	1.9990	2.0979	2.2212	2.3880	2.6575	2.9110	3.4545	
63	1.2951	1.6694	1.9983	2.0971	2.2203	2.3870	2.6561	2.9093	3.4517	
64	1.2949	1.6690	1.9977	2.0965	2.2195	2.3860	2.6549	2.9076	3.4491	
65	1.2947	1.6686	1.9971	2.0958	2.2188	2.3851	2.6536	2.9060	3.4466	
66	1.2945	1.6683	1.9966	2.0951	2.2180	2.3842	2.6524	2.9045	3.4441	
67	1.2943	1.6679	1.9960	2.0945	2.2173	2.3833	2.6512	2.9030	3.4418	
68	1.2941	1.6676	1.9955	2.0939	2.2166	2.3824	2.6501	2.9015	3.4395	
69	1.2939	1.6672	1.9949	2.0933	2.2159	2.3816	2.6490	2.9001	3.4372	
70	1.2938	1.6669	1.9944	2.0927	2.2152	2.3808	2.6479	2.8987	3.4350	

ตาราง ข.2 (ต่อ)

ตารางการแจกแจง t (ต่อ)

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
71	1.2936	1.6666	1.9939	2.0922	2.2146	2.3800	2.6469	2.8974	3.4329	
72	1.2934	1.6663	1.9935	2.0916	2.2139	2.3793	2.6458	2.8961	3.4308	
73	1.2933	1.6660	1.9930	2.0911	2.2133	2.3785	2.6449	2.8948	3.4289	
74	1.2931	1.6657	1.9925	2.0906	2.2127	2.3778	2.6439	2.8936	3.4270	
75	1.2929	1.6654	1.9921	2.0901	2.2122	2.3771	2.6430	2.8924	3.4249	
76	1.2928	1.6652	1.9917	2.0896	2.2116	2.3764	2.6421	2.8913	3.4232	
77	1.2926	1.6649	1.9913	2.0891	2.2110	2.3758	2.6412	2.8902	3.4214	
78	1.2925	1.6646	1.9908	2.0887	2.2105	2.3751	2.6403	2.8891	3.4197	
79	1.2924	1.6644	1.9905	2.0882	2.2100	2.3745	2.6395	2.8880	3.4180	
80	1.2922	1.6641	1.9901	2.0878	2.2095	2.3739	2.6387	2.8870	3.4164	
81	1.2921	1.6639	1.9897	2.0873	2.2090	2.3733	2.6379	2.8860	3.4148	
82	1.2920	1.6636	1.9893	2.0869	2.2085	2.3727	2.6371	2.8850	3.4132	
83	1.2918	1.6634	1.9890	2.0865	2.2080	2.3721	2.6364	2.8840	3.4116	
84	1.2917	1.6632	1.9886	2.0861	2.2076	2.3716	2.6356	2.8831	3.4101	
85	1.2916	1.6630	1.9883	2.0857	2.2071	2.3710	2.6349	2.8822	3.4086	
86	1.2915	1.6628	1.9879	2.0854	2.2067	2.3705	2.6342	2.8813	3.4073	
87	1.2914	1.6626	1.9876	2.0850	2.2063	2.3700	2.6335	2.8804	3.4059	
88	1.2912	1.6624	1.9873	2.0846	2.2058	2.3695	2.6329	2.8795	3.4046	
89	1.2911	1.6622	1.9870	2.0843	2.2054	2.3690	2.6322	2.8787	3.4033	
90	1.2910	1.6620	1.9867	2.0839	2.2050	2.3685	2.6316	2.8779	3.4019	
91	1.2909	1.6618	1.9864	2.0836	2.2047	2.3680	2.6309	2.8771	3.4006	
92	1.2908	1.6616	1.9861	2.0833	2.2043	2.3676	2.6303	2.8763	3.3995	
93	1.2907	1.6614	1.9858	2.0830	2.2039	2.3671	2.6297	2.8755	3.3982	
94	1.2906	1.6612	1.9855	2.0826	2.2035	2.3667	2.6291	2.8748	3.3970	
95	1.2905	1.6611	1.9852	2.0823	2.2032	2.3662	2.6286	2.8741	3.3958	
96	1.2904	1.6609	1.9850	2.0820	2.2028	2.3658	2.6280	2.8733	3.3948	
97	1.2903	1.6607	1.9847	2.0817	2.2025	2.3654	2.6275	2.8727	3.3937	
98	1.2903	1.6606	1.9845	2.0814	2.2022	2.3650	2.6269	2.8720	3.3926	
99	1.2902	1.6604	1.9842	2.0812	2.2018	2.3646	2.6264	2.8713	3.3915	
100	1.2901	1.6602	1.9840	2.0809	2.2015	2.3642	2.6259	2.8707	3.3905	
105	1.2897	1.6595	1.9828	2.0796	2.2000	2.3624	2.6235	2.8676	3.3856	
110	1.2893	1.6588	1.9818	2.0784	2.1986	2.3607	2.6213	2.8648	3.3811	
115	1.2890	1.6582	1.9808	2.0773	2.1973	2.3592	2.6193	2.8622	3.3772	
120	1.2886	1.6576	1.9799	2.0763	2.1962	2.3578	2.6174	2.8599	3.3734	
125	1.2884	1.6571	1.9791	2.0754	2.1951	2.3566	2.6157	2.8577	3.3701	
130	1.2881	1.6567	1.9784	2.0746	2.1942	2.3554	2.6142	2.8557	3.3670	

ตาราง ข.2 (ต่อ)

ตารางการแจกแจง t (ต่อ)

df	0.1	0.05	0.025	0.02	0.015	0.01	0.005	0.0025	0.0005	One-tail
	0.2	0.1	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001	Two-tail
140	1.2876	1.6558	1.9771	2.0731	2.1924	2.3533	2.6114	2.8522	3.3613	
150	1.2872	1.6551	1.9759	2.0718	2.1909	2.3515	2.6090	2.8492	3.3565	
160	1.2869	1.6544	1.9749	2.0706	2.1896	2.3499	2.6069	2.8465	3.3523	
170	1.2866	1.6539	1.9740	2.0696	2.1885	2.3485	2.6051	2.8441	3.3487	
180	1.2863	1.6534	1.9732	2.0687	2.1874	2.3472	2.6034	2.8421	3.3453	
190	1.2860	1.6529	1.9725	2.0679	2.1865	2.3461	2.6020	2.8402	3.3424	
200	1.2858	1.6525	1.9719	2.0672	2.1857	2.3451	2.6006	2.8385	3.3398	
250	1.2849	1.6510	1.9695	2.0645	2.1826	2.3414	2.5956	2.8322	3.3299	
300	1.2844	1.6499	1.9679	2.0627	2.1805	2.3388	2.5923	2.8279	3.3232	
350	1.2840	1.6492	1.9668	2.0614	2.1790	2.3370	2.5899	2.8249	3.3186	
400	1.2837	1.6487	1.9659	2.0605	2.1779	2.3357	2.5882	2.8227	3.3151	
500	1.2832	1.6479	1.9647	2.0591	2.1763	2.3338	2.5857	2.8195	3.3101	
600	1.2830	1.6474	1.9639	2.0582	2.1753	2.3326	2.5841	2.8175	3.3068	
700	1.2828	1.6470	1.9634	2.0576	2.1745	2.3317	2.5829	2.8160	3.3044	
800	1.2826	1.6468	1.9629	2.0571	2.1740	2.3310	2.5820	2.8148	3.3027	
900	1.2825	1.6465	1.9626	2.0567	2.1735	2.3305	2.5813	2.8140	3.3014	
1000	1.2824	1.6464	1.9623	2.0564	2.1732	2.3301	2.5807	2.8133	3.3002	
1500	1.2821	1.6459	1.9615	2.0555	2.1722	2.3288	2.5791	2.8112	3.2970	
2000	1.2820	1.6456	1.9612	2.0551	2.1716	2.3282	2.5783	2.8102	3.2954	
3000	1.2818	1.6454	1.9608	2.0546	2.1711	2.3276	2.5775	2.8091	3.2938	
4000	1.2818	1.6452	1.9606	2.0544	2.1709	2.3273	2.5771	2.8086	3.2930	
5000	1.2817	1.6452	1.9604	2.0543	2.1707	2.3271	2.5768	2.8083	3.2925	
10000	1.2816	1.6450	1.9602	2.0540	2.1704	2.3267	2.5763	2.8076	3.2915	
20000	1.2816	1.6449	1.9601	2.0539	2.1702	2.3265	2.5761	2.8074	3.2911	
30000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1702	2.3265	2.5760	2.8072	3.2908	
40000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1702	2.3264	2.5759	2.8072	3.2908	
50000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1702	2.3264	2.5759	2.8072	3.2908	
60000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2908	
70000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	
80000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	
90000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	
100000	1.2816	1.6449	1.9600	2.0538	2.1701	2.3264	2.5759	2.8071	3.2906	

จัดทำโดย : ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์ คำนวณค่าต่างๆ ในตารางด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2000



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายเจษฎา เรืองแสง
วัน เดือน ปีเกิด	20 มีนาคม พ.ศ.2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	44/21 หมู่บ้านปริญญาวิวัฒน์ หมู่ 5 ตำบลหนองรี อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	วิศวกรประจำโรงงาน
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ไทย เอ็น โอ เค จำกัด 700/452 หมู่ 7 นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร ตำบลดอนหัวฬ่อ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2544	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนชลราษฎรอำรุง
พ.ศ.2550	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ.2555	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการทางวิศวกรรม (พลังงานและสิ่งแวดล้อม) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ