

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 33, 36, 37 และ 38



นางสาว เป็นธิดา มณีโชติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY EFFICIENCY STUDY OF THE DESIGNATED FACTORIES :

TSIC 33, 36, 37 AND 38



Miss Pentida Maneechot

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม :

TSIC 33, 36, 37 และ 38

โดย

นางสาว เป็นธิดา มณีโชติ

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร

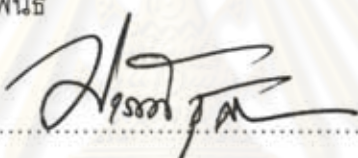
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

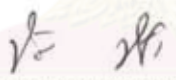
รองศาสตราจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศนिरวงศ์)

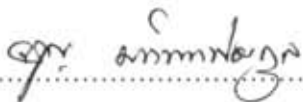
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ไชยะ แซ่มซ้อย)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ จรุณ มณีธำฟองกุล)

เป็นธิดา มณีโชติ : การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 33, 36, 37 และ 38. (ENERGY EFFICIENCY STUDY OF THE DESIGNATED FACTORIES : TSIC 33, 36, 37 AND 38) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. จันทนา จันทโร, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รศ. ไชยะ แซ่มซ้อย, 301 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในรูปของสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ และวิเคราะห์ดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) ของโรงงานควบคุมตัวอย่างใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (TSIC 36) อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37) และอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ (TSIC 38) ทั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (cumulative sum of different, CUSUM) เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานและเป็นเครื่องมือในการสร้างสมการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานได้ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ สมการตัวแทนเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ เพื่อใช้ในการทำนายการใช้พลังงานเมื่อทราบปริมาณการผลิต และค่า SEC ของแต่ละโรงงาน ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานที่มีการผลิตใกล้เคียงกัน และพบว่าข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานนั้นมีความเสถียร แสดงถึงการจัดการพลังงานที่ดี ขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ และอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ ยังมีโรงงานที่ต้องเร่งพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ ส่วนกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือนนั้นมีโรงงานตัวอย่างเพียงโรงงานเดียวไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมของทั้งกลุ่มได้ นอกจากนี้หากโรงงานควบคุมตัวอย่างมีพฤติกรรมการใช้พลังงานตามสมการกำหนดเป้าหมาย จะสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ 3-39%

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่อ..... เ็นธิดา มณีโชติ
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2553..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5170388521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION (SEC) / ENERGY EFFICIENCY/
CUSUM CHART / ENERGY MANAGEMENT

PENTIDA MANEECHOT : ENERGY EFFICIENCY STUDY OF THE
DESIGNATED FACTORIES : TSIC 33, 36, 37 AND 38. ADVISOR :
ASSOC.PROF. JANTANA JANTARO, CO-ADVISOR : ASSOC.PROF. CHAIYA
CHAMCHOY, 301 pp.

The objective of this research is to determine the simple or multiple linear regression equation of energy consumption and production, and to analyze the energy efficiency by evaluating the specific energy consumption (SEC) of the designated factories for 4 industry sectors ; wood and furniture (TSIC 33), non-metallic mineral products (TSIC 36), primary metal (TSIC 37) and fabricated metal products, machinery and equipment (TSIC 38). The application of cumulative sum of different (CUSUM) chart is also used to explain the energy consumption behavior and build the target energy consumption equation. The results of this research showed the energy consumption model and SEC of each factories, which can be used as the reference value for the similar production factories to evaluating the energy consumption efficiency. Moreover, the stability of the energy consumption data of the designated factories in primary metal sectors, due to the good energy management. However, there are some factories in non-metallic mineral products and fabricated metal products, machinery and equipment sectors instantly need to develop the energy management. When, the wood and furniture sectors have only one sample so it can't explain overall sector. Lastly, if all of these factories have the energy behavior closely the target energy consumption equation, it can save energy about 3-39%.

Department : Industrial Engineering

Field of Study : Industrial Engineering

Academic Year : 2010

Student's Signature *Pentida Maneechot*

Advisor's Signature *J. Jantana*

Co-advisor's Signature *Ch. Chamchoy*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์จันทนา จันทโร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ทางทฤษฎี ให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนแนวทางแก้ไขปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ และรองศาสตราจารย์จรรยา มหิตาฟองกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและแง่คิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินอุดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณนริศ ลาภสุนทรพิทักษ์ พี่ ๆ วิศวกรและพี่ ๆ ที่สำนักงานที่ปรึกษาตรวจสอบพลังงานของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกคน ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล รวมถึงสละเวลาให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณพัชรมาศ นุ่มดี ที่เป็นเพื่อนที่อยู่เคียงข้างมาตลอด คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ แบ่งปันความคิด ตลอดจนกระตุ้นให้ทำงานจนสำเร็จ รวมทั้งขอบคุณ คุณบุญญารัตน์ แสงปิยะ คุณนิชนันท์ ปัญญาโชติกุล คุณเบญจวรรณ นิรมิตวสุ และเพื่อน ๆ ปริญาโททุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ตลอดจนคุณน้าและคุณป้าที่คอยดูแลสนับสนุนการศึกษาเป็นอย่างดี และเป็นกำลังใจที่สำคัญในการทำวิจัยจนสำเร็จได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 โรงงานควบคุม.....	7
2.2 โครงสร้างของกลุ่มอุตสาหกรรม.....	7
2.2.1 การจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรม.....	7
2.2.2 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตที่ศึกษา.....	9
2.3 หลักการบริหารจัดการด้านพลังงาน.....	13
2.4 ดัชนีการใช้พลังงาน.....	14
2.5 การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์.....	16
2.5.1 แผนภาพกระจาย.....	17
2.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย.....	18
2.5.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ.....	22
2.5.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์.....	24
2.5.5 การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ระบบการตรวจติดตามและการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	31
2.6.1 การวัดผลและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง.....	33
2.6.2 การวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงาน.....	33
2.6.3 การรายงานผล.....	35
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิต.....	39
3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิต.....	39
3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์.....	40
3.2.1 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา.....	41
3.2.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น.....	42
3.2.3 วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย.....	47
3.2.4 วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ.....	48
3.2.5 วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล.....	53
3.2.6 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	60
3.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์.....	64
3.3.1 วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ.....	65
3.3.2 วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ.....	68
3.3.3 วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล.....	68
3.3.4 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	70
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	74
4.1 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33).....	75
4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา.....	75
4.1.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น.....	75
4.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ.....	76
4.1.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ.....	78
4.1.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล.....	78
4.1.6 การวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	78

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (TSIC 36).....	80
4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา.....	80
4.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น.....	80
4.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ.....	84
4.2.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ.....	85
4.2.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล.....	87
4.2.6 การวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	87
4.3 กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37).....	87
4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา.....	88
4.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น.....	88
4.3.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ.....	94
4.3.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ.....	96
4.3.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล.....	100
4.3.6 การวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	100
4.4 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ (TSIC 38)...	101
4.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา.....	102
4.4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น.....	102
4.4.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ.....	109
4.4.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ.....	111
4.4.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล.....	114
4.4.6 การวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	114
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	120
รายการอ้างอิง.....	123
ภาคผนวก.....	126
ภาคผนวก ก ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการใช้พลังงาน.....	127
ภาคผนวก ข แผนภาพกระจายของการใช้พลังงาน 24 เดือน.....	163

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานรายปี.....	199
ภาคผนวก ง ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปี.....	235
ภาคผนวก จ แผนภาพกระจายของค่า SEC 24 เดือน.....	257
ภาคผนวก ฉ กราฟ CUSUM ใช้ฐานอ้างอิง 24 เดือน.....	279
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	301



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย.....	22
2.2 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายด้วย Data Analysis Tools ในโปรแกรม Microsoft Office Excel.....	29
2.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุด้วยโปรแกรมSPSS.....	31
3.1 ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์.....	41
3.2 สัดส่วนค่า C ต่อพลังงานเฉลี่ย.....	44
3.3 แนวโน้มเส้นการถดถอยของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตเปรียบเทียบ 2 ปี....	47
3.4 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายของข้อมูลทั้ง 24 เดือน.....	48
3.5 ค่า SEC_T เชิงอนุกรมเวลา.....	49
3.6 ค่า SEC_E เชิงอนุกรมเวลา.....	49
3.7 ค่า SEC_H เชิงอนุกรมเวลา.....	50
3.8 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานรวมทั้ง 24 เดือน.....	55
3.9 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 24 เดือน.....	56
3.10 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อนทั้ง 24 เดือน.....	57
3.11 ชุดฐานอ้างอิงและชุดข้อมูลที่เหลือของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 24 เดือน.....	60
3.12 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 11-14, 19-20.....	62
3.13 ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์.....	64
3.14 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานรวม.....	65
3.15 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	66
3.16 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานความร้อน.....	67
3.17 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลิตต่อเหล็ก ERW ทั้ง 24 เดือน.....	69
3.18 สรุปหลักการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอน.....	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.1 จำนวนข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์.....	74
4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 33).....	77
4.3 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 33).....	77
4.4 ค่า R^2 24 เดือน ของกลุ่ม TSIC 36.....	81
4.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานรวม (TSIC 36).....	83
4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 36).....	83
4.7 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานความร้อน (TSIC 36).....	83
4.8 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานรวม TSIC 36200-d	84
4.9 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 36)	86
4.10 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ (TSIC 36)	86
4.11 ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 36).....	87
4.12 ค่า R^2 24 เดือน ของกลุ่ม TSIC 37.....	89
4.13 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานรวม (TSIC 37).....	91
4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 37).....	92
4.15 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานความร้อน (TSIC 37).....	93
4.16 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของกลุ่ม TSIC 37.....	94
4.17 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 37).....	97
4.18 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ (TSIC 37)	99
4.19 ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 37).....	100
4.20 ค่า R^2 24 เดือน ของกลุ่ม TSIC 38.....	103
4.21 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานรวม (TSIC 38).....	106
4.22 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 38).....	107
4.23 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานความร้อน (TSIC 38).....	108

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.24	ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของกลุ่ม TSIC 38.....	109
4.25	ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 38).....	112
4.26	ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ (TSIC 38).....	113
4.27	ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 38).....	114
4.28	สมการตัวแทนการใช้พลังงานของแต่ละข้อมูล.....	116
5.1	จำนวนข้อมูลโรงงานควบคุมตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์.....	120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	จำนวนโรงงานควบคุมในจังหวัดสมุทรปราการและระยองจำแนกตามอุตสาหกรรม การผลิต ปี 2550 และ 2553	4
1.2	การใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง ปี 2550...	4
2.1	จำนวนโรงงานควบคุมในจังหวัดสมุทรปราการและระยองจำแนกตามอุตสาหกรรม การผลิต ปี 2553.....	9
2.2	ตัวอย่างแผนภาพกระจายแสดงความสัมพันธ์แบบต่าง ๆ.....	18
2.3	ความผิดพลาด 3 ลักษณะของเส้นการถดถอย.....	26
2.4	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์สมการถดถอยและค่า R^2 ในแผนภาพกระจาย.....	29
2.5	วิธีการการทำระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน.....	32
2.6	พลังงานผันแปรและพลังงานคงที่ตามสมการ $Y = mX + C$	34
2.7	เปรียบเทียบผลจาก CUSUM chart และ Traditional chart.....	38
3.1	แผนภาพขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล.....	40
3.2	ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละเดือนของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต.....	41
3.3	แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานรวมและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน.....	42
3.4	แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน.....	43
3.5	แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน.....	43
3.6	แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานรวมและปริมาณผลผลิตรายปี.....	45
3.7	แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตรายปี.....	46
3.8	แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนและปริมาณผลผลิตรายปี.....	46
3.9	ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปี.....	51
3.10	แผนภาพกระจายของค่า SEC และปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน.....	52
3.11	กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานรวมที่ใช้ข้อมูลฐานอ้างอิง 24 เดือน.....	58
3.12	กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ข้อมูลฐานอ้างอิง 24 เดือน.....	59
3.13	กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อนที่ใช้ข้อมูลฐานอ้างอิง 24 เดือน.....	59
3.14	แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือของข้อมูลการใช้พลังงาน ไฟฟ้า.....	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 11-14, 19-20.....	61
3.16 แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือของข้อมูลการใช้พลังงานความร้อน.....	63
3.17 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อนใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 4, 10, 11, 13, 16 และ 24.....	63
3.18 กราฟ CUSUM ที่ใช้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลิตต่อเหล็ก ERW 24 เดือน เป็นข้อมูลฐานอ้างอิง.....	70
3.19 แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า.....	71
3.20 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 1, 2, 4, 13, 14 และ 16.....	71
4.1 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 33 จำแนกตามค่า R^2 24 เดือน.....	76
4.2 แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของ TSIC 33112-a.....	79
4.3 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 13, 14, 17, 19, 23 และ 24 ของ TSIC 33112-a.....	79
4.4 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 36 จำแนกตามค่า R^2 24 เดือน.....	80
4.5 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 37 จำแนกตามค่า R^2 24 เดือน.....	88
4.6 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานที่ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ.....	90
4.7 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 38 จำแนกตามค่า R^2 24 เดือน.....	102
4.8 ตัวอย่างแผนภาพกระจายของการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของข้อมูลที่แยกกันอยู่เป็นกลุ่ม.....	104
4.9 ตัวอย่างแผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนรายปีของข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือ.....	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว ประกอบกับจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความต้องการพลังงานภายในประเทศสูงขึ้นเรื่อย ๆ จึงต้องมีการติดตามสถานการณ์พลังงาน มีสถิติและข้อมูลพื้นฐานด้านพลังงานที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายบริหารและจัดการพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการของทุกภาคส่วน และสอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ

จากรายงานพลังงานประจำปีของประเทศไทยในช่วงเกือบสิบปีที่ผ่านมา ภาคอุตสาหกรรมการผลิตเป็นหนึ่งในสองสาขาที่ใช้พลังงานขั้นสุดท้ายสูงสุดมาโดยตลอด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 34-37 ของการใช้พลังงานทั้งประเทศ และยังเป็นภาคเศรษฐกิจที่สำคัญ ภาครัฐจึงกำหนดยุทธศาสตร์การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อให้การใช้ทรัพยากรพลังงานเกิดประโยชน์สูงสุด

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) เป็นหน่วยงานภาครัฐหน่วยงานหนึ่งที่ดำเนินการสำรวจ เก็บรวบรวม วิเคราะห์ และเผยแพร่สถิติและข้อมูลพื้นฐานการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม เพื่อนำไปใช้วางแผนและบริหารจัดการด้านพลังงานในภาคอุตสาหกรรม การตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนในการส่งเสริม สนับสนุน และกำกับการอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้งการวิจัย ค้นคว้า และพัฒนาพลังงานทดแทน ทั้งนี้เมื่อประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ทำให้โรงงานควบคุมทุกแห่งต้องจัดส่งรายงานการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานให้แก่ พพ. เนื่องจากเป็นกลุ่มโรงงานที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงตามเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด จึงต้องติดตามและควบคุมการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ

ต่อมาประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 กำหนดให้เจ้าของโรงงานควบคุมประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานของทุกฝ่ายหรือแผนกที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นข้อมูลของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมในรอบปีที่ผ่านมา และจัดทำข้อมูลดังกล่าวเป็นภาพรวมขององค์กร รวมทั้งตรวจสอบและประเมินการใช้พลังงาน แล้วรวบรวมข้อมูลจัดส่งเป็นรายงานการจัดการพลังงาน (กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [พพ.], 2552) แล้วดำเนินการตรวจสอบรายงานการจัดการพลังงานนี้

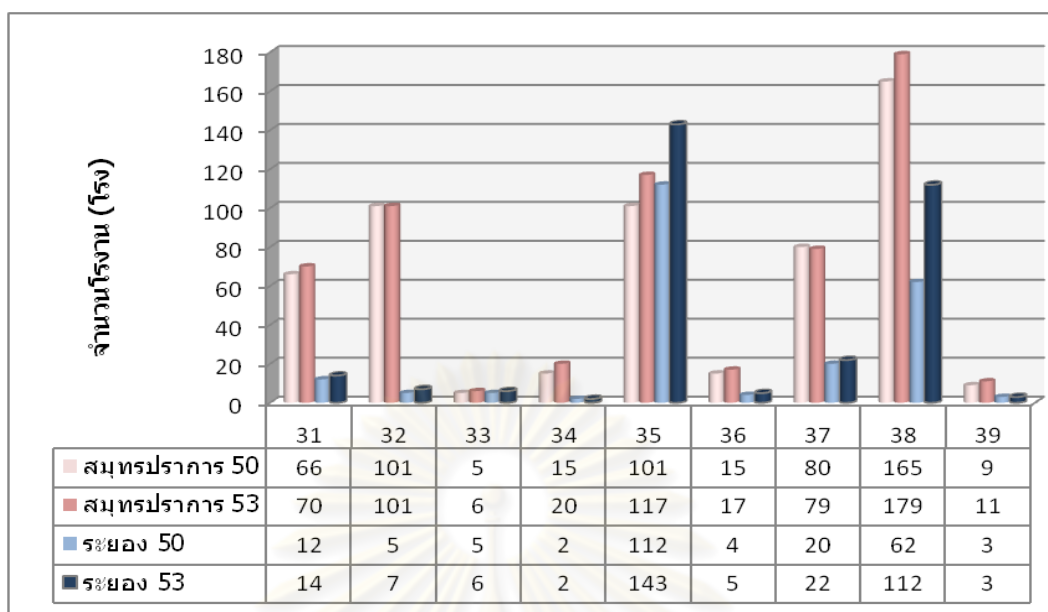
โดยที่ปรึกษาตรวจสอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นหน่วยงานหนึ่งที่ได้รับมอบหมายจาก พพ. ให้มีหน้าที่เป็นตัวแทนของ พพ. ในการบริหารงานให้โรงงานควบคุมที่อยู่ภายใต้การดูแลดำเนินงานตามที่กฎหมายกำหนดได้อย่างครบถ้วน ถูกต้อง และต่อเนื่อง รวมทั้งตรวจสอบติดตามและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากการเข้าร่วมกิจกรรมหรือโครงการที่ พพ. จัดทำขึ้น ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากรายงานที่ผ่านมาพบว่าข้อมูลการใช้พลังงาน และข้อมูลปริมาณผลผลิตถูกเก็บรวบรวมเป็นสถิติ และนำมาใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) เพื่อหาดัชนีต้นทุนทางพลังงานของการผลิตสินค้าเพียงเท่านั้น ซึ่งเป็นดัชนีพลังงานที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตในแต่ละช่วงเวลาของโรงงานเอง หรือเปรียบเทียบกับโรงงานอื่นในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน นอกจากนี้แล้วการวิเคราะห์ข้อมูลมักจะเป็นกราฟแบบอนุกรมเวลา ซึ่งเป็นรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยข้อมูลที่นำมาพล็อต ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงาน ปริมาณผลผลิต และค่า SEC แต่ละกราฟสามารถเปรียบเทียบให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในช่วงเวลาที่ผ่านมา แต่ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์หรือสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลใด ๆ ได้ จึงไม่สามารถอธิบายหรือหาสาเหตุการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามหากวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตด้วยกราฟรูปแบบอื่นที่เหมาะสม ก็จะสามารถอธิบายและตีความหมายของข้อมูลจากรูปแบบอื่นได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมา ซึ่งจะเป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานของโรงงานต่อไป ส่งผลให้เกิดระบบการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพได้

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว (XY Scatter) พร้อมกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์และเป็นที่ยอมรับในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เช่น SPSS for windows, MINITAB หรือแม้กระทั่ง Microsoft Office Excel ช่วยให้การวิเคราะห์ทางสถิติมีความสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำมากขึ้น ถ้าหากการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมนั้น ๆ ขึ้นกับปัจจัยของปริมาณการผลิตเป็นหลัก การกระจายตัวของข้อมูลจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์จะมีระดับความสัมพันธ์สูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่ามากกว่า 0.7 และเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) จะพบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเป็นเส้นตรงถึง 0.84 จึงสามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย (Simple linear regression) สำหรับประเมินปริมาณการใช้พลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังบอกถึงค่าพลังงานคงที่และค่าพลังงานที่ต้องใช้เมื่อเพิ่มผลผลิตขึ้นไปหนึ่งหน่วยด้วย อย่างไรก็ตามหากโรงงานนั้นไม่ได้ผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีผลต่อการใช้พลังงานไม่เท่ากัน ทำ

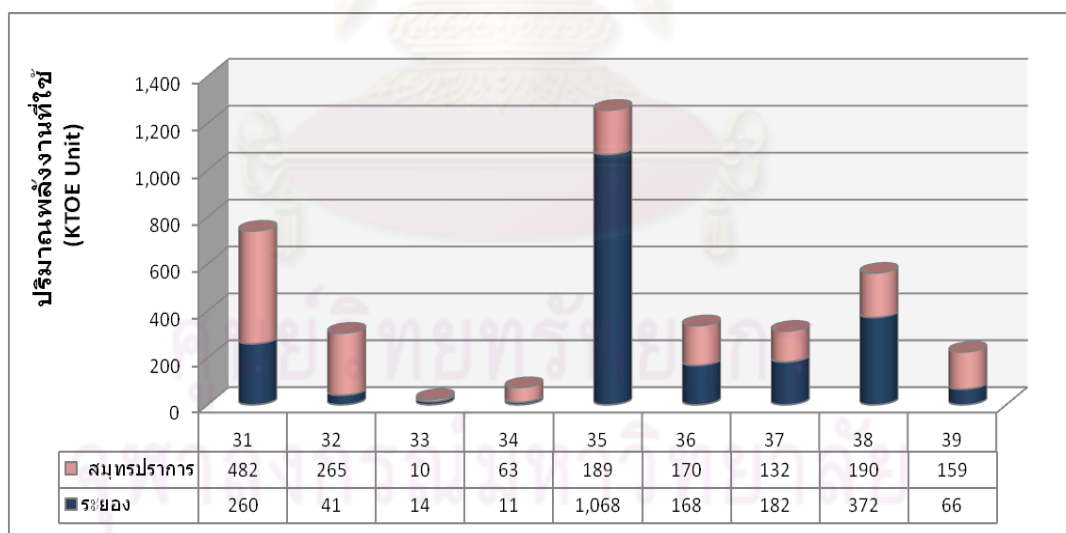
ให้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายอาจไม่แม่นยำเพียงพอ จึงต้องหาความสัมพันธ์ด้วยการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear regression) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ด้วยวิธี CUSUM (Cumulative Sum) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญ และมีประสิทธิภาพในการตรวจติดตามพฤติกรรมและแนวโน้มการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยเทียบกับช่วงเวลาที่กำหนดให้เป็นช่วงอ้างอิง สามารถชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแม้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

ทั้งนี้ โรงงานควบคุมที่อยู่ในโครงการของที่ปรึกษาตรวจสอบมีหลากหลายกลุ่ม แบ่งตามระบบจำแนกประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (TSIC) ซึ่งจำแนกตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ข้อมูลจาก พพ. (2550ก, 2553) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 พบว่าโรงงานควบคุมส่วนใหญ่ในจังหวัดสมุทรปราการและระยองเป็นอุตสาหกรรมในกลุ่ม 38 (ผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์) และ 35 (เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี) ส่วนกลุ่ม 31 (อาหาร เครื่องดื่ม และยาสูบ) 32 (สิ่งทอ) และ 37 (โลหะขั้นมูลฐาน) มีจำนวนปานกลาง ขณะที่กลุ่ม 33 (ไม้และเครื่องเรือน) 34 (กระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ) 36 (ผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ) และ 39 (อุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ) มีจำนวนน้อย ซึ่งจำนวนโรงงานควบคุมในปี 2553 เพิ่มขึ้น จากปี 2550 เล็กน้อย ยกเว้นกลุ่ม 35 และ 38 ที่มีจำนวนโรงงานเพิ่มขึ้นมาก แต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมย่อมมีพฤติกรรมการใช้พลังงานแตกต่างกันไป เนื่องจากกิจกรรมการผลิตที่ต่างกัน ส่วนรูปที่ 1.2 (กระทรวงพลังงาน, พพ., 2550ข) แสดงปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมของปี 2550 จึงควรศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของทุกกลุ่มอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษา 4 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตที่มีทั้งจำนวนมากและน้อยรวมกัน ได้แก่ กลุ่ม 33, 36, 37 และ 38

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (33) ผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (36) โลหะขั้นมูลฐาน (37) และผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ (38) โดยการตรวจติดตามและวิเคราะห์จากข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิต ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ที่ปรึกษาตรวจสอบโรงงาน และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในโรงงานให้มีความเข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม และใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพต่อไป



รูปที่ 1.1 จำนวนโรงงานควบคุมในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง
จำแนกตามอุตสาหกรรมการผลิต ปี 2550 และ 2553



รูปที่ 1.2 การใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง ปี 2550

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อหาสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน ผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ โลหะขั้นมูลฐาน และผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์
2. เพื่อวิเคราะห์ดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน ผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ โลหะขั้นมูลฐาน และผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นข้อมูลทุติยภูมิ โดยเป็นข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างภายใต้ความดูแลของที่ปรึกษาตรวจสอบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ครอบคลุมเฉพาะในเขตจังหวัดระยองและสมุทรปราการ ปี พ.ศ. 2551-2552
2. พิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนจากเชื้อเพลิง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนการจัดการทางด้านพลังงานได้
2. ทราบสมการความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับปริมาณการผลิตของโรงงานตัวอย่าง
3. ทราบดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง
4. ได้แนวทางการตรวจติดตามและการกำหนดเป้าหมาย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง
5. สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม การประยุกต์ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านพลังงานร่วมกับหลักการทางสถิติ
2. รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตของโรงงานควบคุมตัวอย่างในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน ผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ โลหะขั้นมูลฐาน และผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์

3. วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในรูปแบบสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุของแต่ละโรงงาน
4. วิเคราะห์ดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละโรงงาน
5. วิเคราะห์และติดตามแนวโน้มการใช้พลังงานด้วย CUSUM
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงาน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงงานควบคุม

พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540 กำหนดโรงงานที่ได้รับอนุมัติจากผู้จำหน่ายให้ใช้เครื่องวัดไฟฟ้า หรือให้ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าชุดเดียวหรือหลายชุดรวมกัน ขนาดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ หรือ 1,175 กิโลโวลท์แอมแปร์ ขึ้นไป หรือโรงงานที่มีการใช้ไฟฟ้าจากระบบของผู้จำหน่ายพลังงาน ความร้อนจากไอน้ำจากผู้จำหน่ายพลังงาน หรือพลังงานสิ้นเปลืองอื่นจากผู้จำหน่ายพลังงานหรือของตนเอง อย่างหนึ่งอย่างใดหรือรวมกันในรอบปีปฏิทินที่ผ่านมา มีปริมาณพลังงานตั้งแต่ 20 ล้านเมกะจูลขึ้นไป ให้เป็นโรงงานควบคุม

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม ที่อยู่ในเขตจังหวัดระยอง และสมุทรปราการ ซึ่งจากสถิติในเดือนกุมภาพันธ์ ปี พ.ศ. 2553 (กระทรวงพลังงาน, พพ., 2553) จังหวัดระยองมีจำนวนโรงงานควบคุม 318 โรงงาน ส่วนจังหวัดสมุทรปราการมีจำนวนโรงงานควบคุม 600 โรงงาน รวมเป็น 918 โรงงาน จากโรงงานควบคุมทั่วประเทศ 3,533 โรงงาน โดยแบ่งเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตประเภทต่าง ๆ ตามหมวดย่อยของเกณฑ์การจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.2 โครงสร้างของกลุ่มอุตสาหกรรม

2.2.1 การจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรม

กรมการจัดหางาน (2544) ได้จัดทำโครงสร้างการจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรม (ประเทศไทย) (Thai Standard Industry Classification : TSIC) โดยใช้หลักเกณฑ์การจัดแบ่งประเภทเช่นเดียวกับการจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมสากล ISIC 1990 คือ จัดแบ่งอุตสาหกรรมตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจ ออกเป็นกลุ่มในระดับต่าง ๆ 4 ระดับ คือ หมวดใหญ่ หมวดย่อย หมู่ใหญ่ และหมู่ย่อย และกำหนดรหัสแสดงระดับต่าง ๆ ด้วยตัวอักษรและเลขรหัส ดังนี้

ระดับที่ 1 แบ่งอุตสาหกรรมออกเป็นหมวดใหญ่ 17 หมวด (Section) แทนด้วยตัวอักษร 1 ตัว คือ A-Q

ระดับที่ 2 แบ่งหมวดใหญ่แต่ละหมวดเป็นหมวดย่อย (Division) แทนด้วยเลขรหัสหลักที่ 1-2

ระดับที่ 3 แบ่งหมวดย่อยแต่ละหมวดเป็นหมู่ใหญ่ (Group) แทนด้วยเลขรหัสหลักที่ 3

ระดับที่ 4 แบ่งหมู่ใหญ่แต่ละหมู่เป็นหมู่ย่อย (Class) แทนด้วยเลขรหัสหลักที่ 4

การจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมสากล (ISIC) จะจัดแบ่งไว้ถึงระดับหมู่ย่อยนี้เท่านั้น สำหรับการจัดจำแนกในระดับที่เล็กลงจากระดับหมู่ย่อยนี้ องค์การสหประชาชาติให้เป็นหน้าที่ของแต่ละประเทศในการพิจารณาจัดจำแนกรายละเอียดลงในระดับตัวอุตสาหกรรม ตามโครงสร้างเศรษฐกิจของแต่ละประเทศ ซึ่งประเทศไทยได้จัดแบ่งเพิ่มอีก 1 ระดับ คือ

ระดับที่ 5 ตัวอุตสาหกรรม (Industry) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่จัดแบ่งอยู่ในหมู่ย่อย ตัวอุตสาหกรรมที่กรมการจัดหางานจัดทำขึ้นนั้น จัดจำแนกตามสภาพความเป็นจริงของโครงสร้างเศรษฐกิจของประเทศ โดยมีรายละเอียดลักษณะกิจกรรมของอุตสาหกรรมต่าง ๆ แทนด้วยเลขรหัสหลักที่ 5

ดังนั้น ในหมวดใหญ่ A จะเขียนเลขรหัสตามมาตรฐาน TSIC ได้ว่า xxxxx

เมื่อใช้มาตรฐาน TSIC จัดจำแนกประเภทแล้วหมวด D อุตสาหกรรมการผลิต แบ่งออกเป็นหมวดย่อยตามเลขรหัสหลักที่ 1-2 ดังนี้ (กระทรวงพลังงาน, พพ., 2550ค)

กลุ่ม 29 การทำเหมืองแร่

กลุ่ม 31 การผลิตอาหาร เครื่องดื่มและยาสูบ

กลุ่ม 32 การผลิตสิ่งทอ

กลุ่ม 33 การผลิตไม้และเครื่องเรือน

กลุ่ม 34 การผลิตกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ

กลุ่ม 35 การผลิตเคมีภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์เคมี

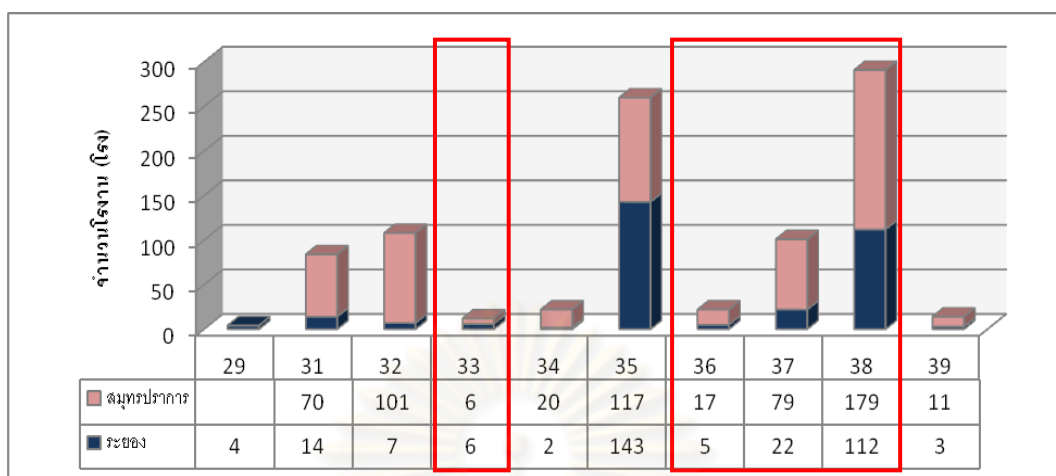
กลุ่ม 36 การผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ

กลุ่ม 37 อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน

กลุ่ม 38 การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์

กลุ่ม 39 อุตสาหกรรมการผลิตอื่น ๆ

โดยแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมมีจำนวนโรงงานควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 จำนวนโรงงานควบคุมในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง
จำแนกตามอุตสาหกรรมการผลิต ปี 2553

2.2.2 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาอุตสาหกรรมการผลิต 4 กลุ่ม ได้แก่

1. กลุ่ม 33 การผลิตไม้และเครื่องเรือน อุตสาหกรรมในหมวดใหญ่นี้รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการเลื่อยไม้และการไสไม้; ไม้อัด (พลายวูด) แผ่นไม้บาง (วีเนียร์) ภาชนะไม้ เครื่องเรือนและสิ่งติดตั้งอยู่กับที่ ยกเว้นที่ทำด้วยโลหะเป็นส่วนใหญ่ และผลิตภัณฑ์จากไม้ซึ่งมิได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น

- กลุ่ม 331 การผลิตไม้ และผลิตภัณฑ์จากไม้ ยกเว้นเครื่องเรือน รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการเลื่อยไม้ การไสไม้และการอบไม้ การอัดน้ำยาไม้ การผลิตไม้บาง (วีเนียร์) ไม้อัด (พลายวูด) แผ่นขึ้นไม้อัด กระดาษไม้บดลอก ภาชนะไม้ และสิ่งของเล็ก ๆ น้อย ๆ ซึ่งทำด้วยไม้ ซึ่งมีได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น
- กลุ่ม 332 การผลิตเครื่องเรือน เครื่องตกแต่งและสิ่งปูพื้น ยกเว้นที่ทำด้วยโลหะเป็นส่วนใหญ่

2. กลุ่ม 36 การผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ อุตสาหกรรมในหมวดใหญ่นี้ รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการ ผลิตเครื่องเซรามิค แก้ว ผลิตภัณฑ์จากดินที่ใช้กับงานก่อสร้าง เช่น อิฐ และกระเบื้องมุงหลังคา ซีเมนต์ ปูนขาวและปูนพลาสติก ผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์ยิปซัม และผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ ซึ่งมีได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น

- กลุ่ม 361 อุตสาหกรรมเครื่องดินเผา ได้แก่ การผลิตเครื่องดินเผาทั้งชนิดเคลือบและไม่เคลือบ; พอร์ซเลน และสโตนแวร์; เครื่องดินเผาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมและในห้องวิทยาศาสตร์; เครื่องสุขภัณฑ์; กระถางต้นไม้; เหยือกน้ำ ฯลฯ
- กลุ่ม 362 อุตสาหกรรมแก้ว รวมถึงสถานประกอบการที่มีการผลิตแก้วและผลิตภัณฑ์แก้ว ซึ่งเป็นการผลิตที่ตอบสนองต่อความต้องการของอุตสาหกรรมต่อเนื่อง เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์การแพทย์ เฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง การตกแต่งอาคาร สำนักงาน บรรจุภัณฑ์อาหาร ยา เครื่องสำอาง ตลอดจนเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ฯลฯ
- กลุ่ม 369 การผลิตผลิตภัณฑ์แร่โลหะอื่น ๆ รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะที่ใช้กับงานก่อสร้าง เช่น ซีเมนต์ ปูนขาว และปูนปลาสเตอร์ และผลิตภัณฑ์แร่โลหะซึ่งมิได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น เช่น ผลิตภัณฑ์คอนกรีต ซีเมนต์แอสเบสทอส (ซีเมนต์ผสมแร่ใยหิน) ผลิตภัณฑ์ยิปซัม ผลิตภัณฑ์หินอ่อนและผลิตภัณฑ์หินชนิดเฉื่อยหรือตัด ซึ่งมีได้ผลิตขึ้นต่อเนื่องกับการทำเหมือง

3. กลุ่ม 37 อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน อุตสาหกรรมในหมวดใหญ่นี้ รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กและเหล็กกล้าขั้นมูลฐาน รวมทั้งผลิตภัณฑ์โลหะซึ่งมิใช่เหล็กที่ประกอบด้วยกรรมวิธีทุกขั้นตอนนับตั้งแต่การถลุง การรีด การผสม การทำให้บริสุทธิ์ การทำให้เป็นรูปพรรณและการหล่อ

สถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการหล่อโลหะรูปพรรณอันเป็นส่วนหนึ่งของการประดิษฐ์ผลิตภัณฑ์ โดยการนำชิ้นส่วนที่หล่อไปตบแต่งด้วยการบีมหรือกระแทกขึ้นรูป การอัดขึ้นรูป การตบแต่งด้วยเครื่องมือกล หรือการประกอบสิ่งประดิษฐ์ของสินค้า ก็จัดประเภทไว้ในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ ที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทนั้น ๆ

- กลุ่ม 371 กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กและเหล็กกล้าขั้นมูลฐาน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งหรือทุกขั้นตอน นับตั้งแต่การถลุงด้วยเตาถลุงแร่แบบ Blast Furnace และแบบ Direct Reduced และรวมถึงสถานประกอบการที่ดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการหลอมละลายเศษเหล็ก โดยผลิตภัณฑ์เหล็กในกลุ่มนี้ ได้แก่

- การผลิตเหล็กในลักษณะเป็นเม็ด หรือผง หรือแท่งเหล็กถลุงเป็นท่อน เป็นก้อน แร่เหล็กหรือเศษเหล็กที่เป็นก้อนหรือเป็นของเหลว
- การทำเหล็กให้บริสุทธิ์โดยกรรมวิธีทางไฟฟ้าหรือทางเคมีอื่น ๆ
- การผลิตเหล็กถลุง รวมทั้งเหล็กสปีเกิล สารเจือเหล็ก และเหล็กพูน
- การผลิตเหล็กกล้าโดยกระบวนการผลิตที่ใช้แรงลมอัดหรือเผาไฟ

ยกเว้น

- การผลิตแร่เหล็กโดยวิธีซินเตอร์ได้จัดประเภทไว้ในหมวดการทำเหมืองแร่
 - ท่อมีตะเข็บ และท่อหมุดย้ำ ท่อและโพรไฟล์กลวง
 - การผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กหรือผลิตภัณฑ์เหล็กกล้าสำเร็จรูปอื่น
 - การผลิตหลอดและท่อ รวมทั้งท่อผนังบ่อ
 - การดำเนินการเกี่ยวกับการตีเหล็กหรือหล่อเหล็กในรูปของส่วนประกอบ สิ่งประดิษฐ์ของสินค้าที่กำหนดให้ ได้จัดประเภทไว้ในหมู่ย่อยการผลิตตาม สินค้าชนิดนั้น ๆ ในกลุ่ม 38 การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์
- กลุ่ม 372 กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการนำเหล็กพูน เหล็กถลุง และเศษเหล็กมาหลอมโดยยังไม่มี การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป เช่น การผลิตแท่งเหล็กกล้าหรือแท่งเหล็กกล้าเจือ การผลิตเหล็กแท่งใหญ่ เหล็กแท่งเล็ก เหล็กที่ใช้กับโครงสร้าง หลังคา หรือผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปจากเหล็ก เหล็กกล้า หรือเหล็กกล้าเจือ
- กลุ่ม 373 กลุ่มอุตสาหกรรมขั้นปลาย รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการแปรรูปผลิตภัณฑ์เหล็กในขั้นกลาง มาผ่านกระบวนการผลิต คือ การรีด หรือการรีดซ้ำ (รีดเย็น) หรือการหล่อ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และรวมถึงสถานประกอบการที่มีกระบวนการทางกลเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์
- กลุ่ม 374 อุตสาหกรรมโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กขั้นมูลฐาน รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กขั้นมูลฐาน อันประกอบด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่การถลุงขั้นต้นและขั้นที่สอง การทำโลหะผสม การทำบริสุทธิ์ การรีด การตีง การหล่อ และการทำรูปพรรณ ตลอดจนกรรมวิธีที่เป็นการผลิตโลหะให้เป็นแท่ง ท่อน เส้น รูปหน้าตัดต่าง ๆ รวมทั้ง

ผลิตภัณฑ์ที่ต้องหล่อและอัดบีบเป็นรูปพรรณขนาดใหญ่ สถานประกอบการที่ดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการแยกดีบุกออกจากเศษโลหะ และการแยกเศษโลหะกลับคืนมาใช้ประโยชน์ก็จัดไว้ในกลุ่มนี้ด้วย

- กลุ่ม 375 อุตสาหกรรมโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กชั้นกลาง รวมถึงสถานประกอบการที่ดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กที่ยังไม่ขึ้นรูปหรือขึ้นรูป เช่น ทองแดงแท่ง อลูมิเนียมแท่ง ตะกั่วแท่ง ผง สังกะสี และผงโลหะอื่น ๆ ฯลฯ
- กลุ่ม 376 อุตสาหกรรมโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กชั้นปลาย รวมถึงสถานประกอบการที่ดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการรีด รีดซ้ำหรืออัดรีด และกิจการโรงหล่อโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็ก โดยผลิตภัณฑ์ในหมวดย่อยนี้มีลักษณะกึ่ง

4. กลุ่ม 38 การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ อุตสาหกรรมในหมวดใหญ่นี้รวมถึงสถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ อุตสาหกรรมเครื่องจักรและอุปกรณ์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมโลหะซึ่งมิได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น

- กลุ่ม 381 การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ ได้แก่ สถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ โดยผ่านกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การหล่อ (Casting) การปั๊มขึ้นรูป (Press) การตีขึ้นรูป (Forging) การปั๊มตัด (Punch) การขึ้นรูปทางกล (Machining) และการชุบแข็ง (Hardening) เป็นต้น หรือการนำชิ้นส่วนต่าง ๆ มาประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องมือโลหะพื้นฐาน เฟอร์นิเจอร์สำนักงาน (โลหะ) ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างเป็นโลหะ กระจกโลหะ และภาชนะบรรจุสิ่งของอื่น ๆ การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะซึ่งใช้ในงานก่อสร้างหรือการติดตั้ง เป็นต้น
- กลุ่ม 382 การผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์ ได้แก่ สถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการนำวัสดุดิบที่เป็นโลหะและอื่น ๆ มาแปรรูปเป็นเครื่องยนต์และเครื่องกังหันอุตสาหกรรม เครื่องจักร และอุปกรณ์ การเกษตรกรรม เครื่องจักรที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม
- กลุ่ม 383 อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ สถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการนำวัสดุดิบที่เป็นโลหะและอื่น ๆ มาแปรรูปเป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้า

- กลุ่ม 384 อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ ได้แก่ สถานประกอบการซึ่งดำเนินกิจการหลักเกี่ยวกับการนำวัตถุดิบที่เป็นโลหะและอื่น ๆ มาแปรรูปผ่านกระบวนการผลิต เช่น การหล่อขึ้นรูป (Casting) การปั๊มขึ้นรูป (Press) การเชื่อมประกอบ การตีขึ้นรูป (Forging) กระบวนการทางกล (Machining) เป็นต้น รวมไปถึงการประกอบและต่อเติมชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่อยู่ใน อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์
- กลุ่ม 385 กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะและวัสดุอื่น ๆ ซึ่งมีได้จัดประเภทไว้ในที่อื่น

2.3 หลักการบริหารจัดการด้านพลังงาน (ศุภกิจ บุญศิริ, 2548)

การจัดการบริหารที่ดีอันจะนำไปสู่การลดต้นทุน ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และลดการใช้พลังงานของประเทศชาติ

ปัจจัยสู่ความสำเร็จในการบริหารจัดการด้านพลังงาน

1. นโยบายการบริหารจัดการด้านพลังงานเป็นที่ยอมรับจากผู้บริหารระดับสูง
2. มีบุคลากร/องค์กรที่สามารถดำเนินการและชี้แจงเรื่องการจัดการพลังงาน
3. พนักงานในองค์กรตระหนักถึงความสำคัญของการจัดการพลังงานอย่างกว้างขวาง
4. มีแผนปฏิบัติการด้านพลังงานอย่างชัดเจน
5. มีการปฏิบัติตามแผนอย่างจริงจังและต่อเนื่อง
6. มีการติดตามประเมินผลและปรับปรุงการปฏิบัติการอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง
7. วัฒนธรรมและประชาสัมพันธ์ผลงานอย่างต่อเนื่อง

กลยุทธ์และวิธีการดำเนินการ

1. ผู้บริหารกำหนดเรื่องพลังงานเป็นนโยบายสำคัญขององค์กรที่พนักงานจะต้องปฏิบัติ
2. แต่งตั้งบุคลากร/องค์กรเพื่อรับผิดชอบเป็นผู้นำจัดทำแผน ติดตามการปฏิบัติอย่างต่อเนื่อง
3. พัฒนาบุคลากรและองค์กรในเรื่องพลังงาน
 - สร้างจิตสำนึกด้านพลังงาน
 - เผยแพร่ให้ความรู้ด้านพลังงาน
4. วัฒนธรรมเรื่องการจัดการด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง
5. จัดให้มีฐานข้อมูลด้านพลังงาน
 - ค่าใช้จ่ายพลังงาน
 - สถิติการใช้พลังงาน

6. ตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน
7. จัดทำแผนปฏิบัติการ จัดการพลังงาน
8. ติดตามประเมินผลการดำเนินงานและประชาสัมพันธ์
9. รายงานต่อผู้บริหาร

2.4 ดัชนีการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานโดยตรงนั้นไม่ใช่วิธีที่ถูกต้องที่จะสามารถชี้วัดได้ชัดเจนว่าโรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้นหรือแย่มากน้อยเพียงใด เช่น โรงงานที่มีการผลิตมากขึ้น เนื่องจากมีคำสั่งซื้อเข้ามามากขึ้น ย่อมจะมีการใช้พลังงานเป็นปริมาณสูงขึ้นอย่างแน่นอน หรือในทางกลับกันโรงงานที่มีการใช้พลังงานน้อยลง เนื่องจากมียอดการผลิตลดลงก็ไม่ได้หมายความว่าโรงงานแห่งนั้นมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น ด้วยเหตุนี้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงควรจะต้องถึงผลระหว่างปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของโรงงานไปพร้อมกัน ดังนั้นดัชนีการใช้พลังงานจึงหมายถึงสัดส่วนของปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณการผลิต

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงาน} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้}}{\text{ปริมาณการผลิต}} \quad \text{----(2.1)}$$

ดัชนีการใช้พลังงานบ่งชี้ถึงปริมาณการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลผลิต ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลือกหน่วยของพลังงานและหน่วยของผลผลิตที่เหมาะสม จะมีความสำคัญมากในการที่จะสื่อหรือเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน หรือแม้กระทั่งเปรียบเทียบระหว่างอุตสาหกรรมต่างประเภทที่มีลักษณะการผลิตที่คล้ายกันได้

หน่วยของปริมาณการใช้พลังงานควรใช้เป็นหน่วยกลางหรือหน่วยมาตรฐาน สำหรับพลังงานไฟฟ้าจะมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ส่วนพลังงานความร้อน เช่น เชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อไอน้ำ ควรแปลงหน่วยให้เป็นเมกะจูล (MJ) ซึ่งเป็นหน่วยพลังงานมาตรฐาน

หน่วยของผลผลิตควรใช้เป็นหน่วยมาตรฐาน ได้แก่ น้ำหนัก ความยาว พื้นที่ หรือปริมาตร เช่น ผลผลิตที่เป็นอาหารควรใช้หน่วยเป็นน้ำหนักซึ่งอาจเป็นกิโลกรัมหรือเป็นตัน การผลิตกระดาษควรใช้หน่วยเป็นพื้นที่ของกระดาษที่ผลิตได้ ซึ่งอาจเป็นตารางเมตรหรือตารางฟุต ท่อหรือเหล็กเส้นควรใช้หน่วยความยาวเป็นเมตรหรือฟุต น้ำดื่มหรือน้ำอัดลมควรใช้หน่วยปริมาตรเป็นลิตรหรือลูกบาศก์เมตร หน่วยของผลผลิตที่มีความคลุมเครือ เช่น กล้อง ทีวี ขึ้น อัน ขวด ฯลฯ มักจะใช้

ประโยชน์ได้เฉพาะการติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในโรงงานใดโรงงานหนึ่งเท่านั้น ไม่สามารถเปรียบเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ (ศุภกิจ บุญศิริ, 2548)

ดัชนีพลังงานที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC) หมายถึง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหนึ่งหน่วยของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตนั้น ๆ ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระยะเวลาหนึ่ง}}{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเดียวกัน}} \quad \text{----(2.2)}$$

ค่า SEC จะสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ และถ้ามีการเก็บข้อมูลไว้อย่างต่อเนื่อง ก็จะมีประโยชน์ในแง่ของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง โดยสามารถอธิบายได้ว่าถ้าหากค่า SEC มีค่าต่ำ แสดงว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีค่าต่ำ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดวางนโยบายการใช้พลังงานในหน่วยงานทั้งในระยะสั้นและระยะยาวได้ (อมรรัตน์ แก้วประดับ และ พิชัย นามประกาย, 2548)

เมื่อพิจารณาสมการ (2.2) พบว่าการลด SEC สามารถดำเนินการได้ทั้ง 2 ส่วน คือ การลดการใช้พลังงาน และการเพิ่มผลผลิต โดยอาศัย 2 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ บุคลากรที่เป็นผู้ใช้ระบบอุปกรณ์ต่าง ๆ (คน) และระบบอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน (ของ) ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตนั้นจะต้องทำการพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยใช้หลัก 5M คือ

1. Man จะต้องพัฒนาคนให้มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด และใช้ในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งกำหนดมาตรฐานการทำงานโดยให้พนักงานทุกคนใช้เครื่องจักรในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
2. Material จะต้องตรวจสอบคัดเลือกและพัฒนาวัตถุดิบให้ได้คุณภาพดีที่สุด ได้ผลผลิตมากที่สุด ราคาต่ำที่สุด หรือลดการใช้วัตถุดิบลงให้ได้มากที่สุด
3. Machine ระบบ/อุปกรณ์ในการสนับสนุนการผลิต และเครื่องจักร/อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตจะต้องมีประสิทธิภาพสูงสุด เสถียรภาพในการทำงานดีที่สุด ต้นทุนด้านพลังงานต่ำที่สุด
4. Method ขั้นตอน กรรมวิธีการผลิต จะต้องง่ายที่สุด ขั้นตอนสั้นที่สุด ใช้เวลาน้อยที่สุด และได้ผลผลิตมากที่สุด

5. Management การบริหารจัดการทั้ง 4M ที่กล่าวมาจะต้องมีความสัมพันธ์กัน โดยได้คุณภาพสินค้าที่ดีและลูกค้าเกิดความพึงพอใจ

ดังนั้นจะเห็นว่าการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานที่สมบูรณ์นั้นไม่ได้ดำเนินการในเฉพาะเครื่องจักรอุปกรณ์เพียงอย่างเดียว แต่จะต้องดำเนินการทั้ง 5M เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด และการดำเนินการดังกล่าวไม่ใช่ดำเนินการเพียงชั่วขณะหรือครั้งเดียว แต่จะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องตามเทคโนโลยีและสถานะเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของโรงงานลดลงเรื่อย ๆ นั่นคือ องค์การเกิดความเข้มแข็ง และภูมิคุ้มกันในด้านการอนุรักษ์พลังงาน (ศุภชัย ปัญญาวิโร, 2553)

2.5 การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ (ฉันทลักษณ์ ณ ป้อมเพชร และคณะ, 2541; ศรีเพ็ญ ทรัพย์มนชัย, 2545; วัฒนา สุนทรชัย, 2546)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทราบค่า หรือตัวแปรอิสระ (Independent Variable) กับตัวแปรที่ต้องการประมาณ หรือตัวแปรตาม (Dependent Variable) ในกรณีที่ต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวที่มีต่อตัวแปรตาม จะเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย (Simple regression analysis) ส่วนกรณีที่ต้องการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรอิสระหลายตัวที่มีต่อตัวแปรตาม จะเรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุ (Multiple regression analysis) ในขณะเดียวกันความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามอาจเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linear regression) หรืออาจมีความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรง (nonlinear หรือ curvilinear regression) ดังนั้นเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย จึงมีทั้งการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย (Simple linear regression) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple linear regression) การวิเคราะห์การถดถอยเชิงไม่เป็นเส้นตรงแบบง่าย (Simple nonlinear regression) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงไม่เป็นเส้นตรงแบบพหุ (Multiple nonlinear regression) (อนันต์ชัย เขื่อนธรรม, 2549)

ส่วนการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) เป็นการวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษาต้องเป็นตัวแปรสุ่ม (random variables) โดยปกตินิยมใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์การถดถอย เพราะช่วยบอกถึงประสิทธิภาพของเส้นการถดถอย อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อาจถูกใช้โดยลำพังแยกจากการวิเคราะห์การถดถอยได้ ถ้ามีเป้าหมายในการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวเท่านั้น

2.5.1 แผนภาพกระจาย

ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในขั้นแรกจะใช้แผนภาพกระจาย (Scatter Diagram) เพื่อแสดงภาพของข้อมูล โดยให้แกนในแนวตั้ง (แกน Y) แสดงปริมาณของตัวแปรตาม ส่วนแกนในแนวนอน (แกน X) แสดงปริมาณของตัวแปรอิสระ แต่ละจุดบนแผนภาพกระจายแสดงปริมาณของแต่ละข้อมูลที่รวบรวมมาได้ ทั้งค่าของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ซึ่งจะทำให้เห็นภาพของข้อมูลโดยรวมว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างไร มีแบบแผนหรือไม่ มากน้อยเพียงไร และข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างไร ทั้งนี้ลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวมีได้หลายประเภท ดังนี้

1. กรณีความสัมพันธ์เส้นตรง ตัวแปรสองตัวที่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง เมื่อเขียนแผนภาพกระจายจะพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวรอบ ๆ เส้นตรง หรือสามารถลากเส้นตรงผ่านกลุ่มข้อมูลได้ ลักษณะความสัมพันธ์สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงบวกและลบ

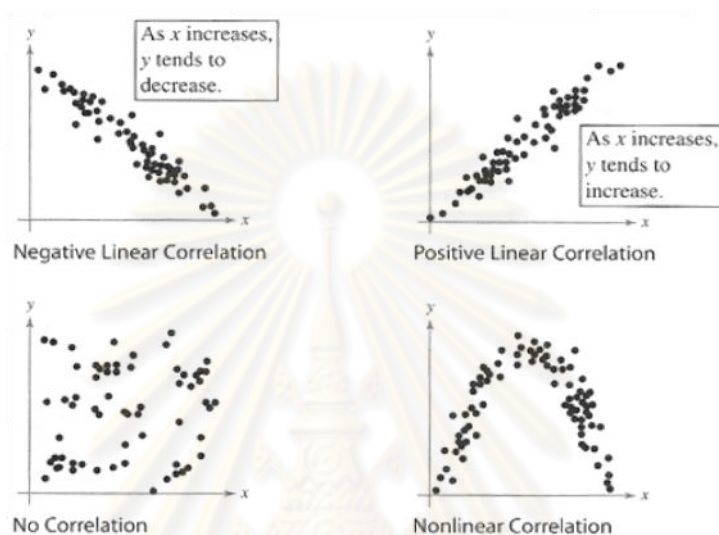
2. กรณีไม่มีความสัมพันธ์ ตัวแปรสองตัวที่ไม่มีความสัมพันธ์กันนั้น เมื่อเขียนแผนภาพกระจายจะพบว่าจุดแสดงข้อมูลกระจัดกระจายไปทั่วกราฟ ไม่สามารถเห็นแนวโน้มได้อย่างชัดเจน บางกรณีการกระจายอาจปรากฏเป็นรูวงกลมหรือวงรี บางกรณีอาจลากเส้นแนวโน้มได้ทั้งในเชิงบวกและลบ ขณะที่ค่าสหสัมพันธ์จะเข้าใกล้ศูนย์

3. กรณีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง บางกรณีความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรอาจไม่แสดงความสัมพันธ์เส้นตรง สืบเนื่องจากแผนภาพกระจายปรากฏเป็นเส้นโค้งลักษณะต่าง ๆ ขณะที่ค่าสหสัมพันธ์จะเข้าใกล้ศูนย์ อาจต้องแปลงข้อมูลตัวแปร X หรือ Y ขึ้นกับลักษณะของเส้นโค้ง จะทำให้ค่าสหสัมพันธ์มีค่าสูงขึ้น

4. กรณีการกระจายของข้อมูลไม่สม่ำเสมอ บางครั้งอาจพบว่า ณ ระดับของตัวแปรอิสระ (X) ที่มีค่าต่ำ ตัวแปรตาม (Y) จะมีการกระจายตัวต่ำ ขณะที่เมื่อค่า X เพิ่มขึ้น ค่า Y จะมีการกระจายตัวมากตามไปด้วย (หรืออาจเป็นตรงข้ามกัน) ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การกระจายของข้อมูลไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะมีผลต่อค่าสถิติต่าง ๆ ทำให้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง เพราะข้อมูลมีความไม่แน่นอนสูง สามารถแก้ไขได้โดยแปลงข้อมูลก่อนเขียนแผนภาพกระจาย เช่น หาค่า natural logarithm การถอดรากที่สองของข้อมูล เป็นต้น

5. กรณีข้อมูลแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ถ้าในแผนภาพกระจายพบข้อมูลมีการแบ่งแยกกลุ่มอย่างเห็นได้ชัด อาจจะต้องเพิ่มตัวแปรเชิงคุณภาพที่แบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มเป็นตัวแปรอิสระอีกหนึ่งตัว หรืออาจใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลแยกออกเป็นกลุ่มทีละกลุ่ม ขึ้นกับปริมาณข้อมูลที่รวบรวมมาได้ว่ามีเพียงพอในการวิเคราะห์แต่ละกลุ่มให้เกิดความเชื่อถือได้หรือไม่

6. กรณีมีข้อมูลบางค่าแตกต่างจากกลุ่มไปอย่างมาก (Outlier) อาจเป็นผลมาจากความผิดปกติที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ไฟดับ เครื่องจักรขัดข้อง หรือข้อมูลผิด เป็นต้น ข้อมูลที่ผิดปกติเหล่านี้มีผลต่อค่าสหสัมพันธ์ ทำให้ได้ข้อสรุปที่เบี่ยงเบนไปจากความเป็นจริงได้ จึงอาจต้องตัดข้อมูลที่ผิดปกติออกไป ถ้าสามารถพิสูจน์ได้ว่าค่าเหล่านี้ผิดปกติจริง



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนภาพกระจายแสดงความสัมพันธ์แบบต่าง ๆ (Bowman, 2009)

2.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย

เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เบื้องต้นระหว่างตัวแปรสองตัวแปร โดยใช้แผนภาพกระจายแล้วพบว่าข้อมูลมีแบบแผนของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ขั้นต่อไปในการวิเคราะห์การถดถอย คือ การหาเส้นที่สามารถใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ของข้อมูลกลุ่มนี้ เพื่อสะท้อนออกมาในรูปสมการถดถอย ซึ่งจะช่วยให้ประมาณค่า Y จากตัวแปร X ที่ทราบค่าได้

รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย (Simple linear regression) เป็นรูปแบบที่ตัวแปรตาม Y มีความสัมพันธ์เชิงสถิติกับตัวแปรอิสระ X เพียงตัวแปรเดียว และลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงซึ่งมีสมการดังนี้

$$\text{สมการในรูปของประชากร} \quad Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad \text{---- (2.3)}$$

$$\text{สมการพยากรณ์ผล} \quad \hat{Y} = a + bX \quad \text{---- (2.4)}$$

เมื่อ Y = ตัวแปรตาม และ \hat{Y} เป็นค่าพยากรณ์หรือตัวประมาณค่าของ Y

X = ตัวแปรอิสระ

α = ค่าคงตัว และ a เป็นตัวประมาณค่าของ α

β = สัมประสิทธิ์การถดถอย และ b เป็นตัวประมาณค่าของ β

E = ค่าคลาดเคลื่อน ($Y - \hat{Y}$) ของประชากร

สมการพยากรณ์ผลจะมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ว่ามีความสอดคล้องกับข้อสมมติของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายมากน้อยเพียงใด ข้อสมมติดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรอิสระ X ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อน E
2. ค่าคลาดเคลื่อน E มีการแจกแจงปกติ
3. ค่าคลาดเคลื่อน E มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์
4. ค่าคลาดเคลื่อน E_i, E_j ไม่มีความสัมพันธ์กัน
5. ค่าคลาดเคลื่อน E มีความแปรปรวนคงตัว
6. X และ Y มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง
7. X และ Y สามารถวัดค่าออกมาได้อย่างแม่นยำ

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การถดถอยจัดได้ว่าเป็นเทคนิคทางสถิติที่มีความแกร่ง (Robustness) ค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าข้อมูลที่ใช้ศึกษาไม่ได้มีการฝ่าฝืนข้อสมมติอย่างรุนแรงจะไม่ส่งผลกระทบต่อผลสรุปของการวิเคราะห์มากนัก (อนันต์ชัย เชื้อนธรรม, 2549)

สำหรับวิธีการที่ง่ายที่สุดในการหาสมการพยากรณ์ผลหรือสมการถดถอย คือ การประมาณด้วยสายตาจากแผนภาพกระจาย โดยลากเส้นตรงผ่านจุดต่าง ๆ ในแผนภาพกระจาย อย่างไรก็ตามวิธีนี้ขาดหลักเกณฑ์ที่แน่นอนและแม่นยำ จึงนิยมใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Squares Method) ซึ่งมีหลักการว่า เส้นการถดถอยที่เหมาะสมกับข้อมูลชุดหนึ่ง ๆ มากที่สุด คือ เส้นที่ทำให้ผลรวมค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง หรือ SSE (Sum square error) ของข้อมูลชุดนั้น ๆ ต่ำสุด

$$SSE = \sum (Y - \hat{Y})^2 \quad \text{----- (2.5)}$$

ในทางทฤษฎี ถ้าข้อสมมติเป็นจริงและใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการคำนวณ a และ b แล้ว a และ b จะเป็นตัวประมาณค่าเชิงเส้นแบบไม่เอนเอียงที่ดีที่สุด (Best linear unbiased

estimator) ของ α และ β ตามลำดับ ซึ่งมีสูตรในการคำนวณหาค่า a และ b ที่พัฒนาโดยอาศัยเทคนิคของวิชาแคลคูลัส ดังนี้

$$b = \frac{\sum XY - n\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - n\bar{X}^2} \quad \text{---- (2.6)}$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad \text{---- (2.7)}$$

เมื่อ \bar{X}, \bar{Y} = ค่าเฉลี่ย
 n = จำนวนข้อมูล

ทั้งนี้ค่า b ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์การถดถอย คือ ความชันของเส้นตรง $\hat{Y} = a + bX$ แสดงถึงอัตราการเพิ่มหรือลดของ Y เมื่อ X มีค่าเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วย ส่วนค่า a เป็นค่าคงตัวของสมการ คือ จุดที่เส้นการถดถอยตัดแกน Y หรืออีกนัยหนึ่ง a เป็นค่าเฉลี่ยของ Y เมื่อ $X = 0$ นั่นเอง

การทดสอบนัยสำคัญ

จุดมุ่งหมายหลักในการวิจัยเชิงพยากรณ์โดยอาศัยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น คือ ต้องการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของตัวแปรตาม Y เมื่อ X เพิ่มขึ้น 1 หน่วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือต้องการศึกษาการมีนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย (b) ถ้า b ไม่มีนัยสำคัญแล้วแสดงว่า X กับ Y ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น จึงไม่มีประโยชน์ที่จะใช้ตัวแปรอิสระ X ไปพยากรณ์ตัวแปรตาม Y (เพราะสามารถใช้ $\hat{Y} = \bar{Y} = a$ เป็นค่าพยากรณ์ได้) แต่ถ้า b มีนัยสำคัญแล้ว สามารถนำตัวแปรอิสระ X ไปพยากรณ์ตัวแปรตาม Y ได้

กรณีการทดสอบนัยสำคัญของ β

สมมติฐาน

$$H_0: \beta = 0$$

$$H_1: \beta \neq 0$$

การทดสอบ

$$t_{\text{คำนวณ}} = \frac{b - \beta}{s_b} = \frac{b}{s_b} \quad \text{เมื่อ } \beta = 0 \quad \text{---- (2.8)}$$

โดย S_b คือ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ b

$$S_b = \frac{S_e}{\sqrt{\sum X^2 - n\bar{X}^2}} \quad \text{---- (2.9)}$$

S_e คือ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - a\sum Y - b\sum XY}{n-2}} \quad \text{---- (2.10)}$$

ถ้า S_e มีค่าน้อยแล้วแสดงว่าค่า Y จะอยู่ใกล้ ๆ เส้นถดถอย หมายความว่า สมการพยากรณ์ผล $\hat{Y} = a + bX$ สามารถใช้พยากรณ์ Y ได้ดี แต่ถ้า S_e มีค่ามากแล้วแสดงว่าค่า Y จะอยู่ห่างจากเส้นถดถอย หมายความว่าผลการพยากรณ์จะมีค่าคลาดเคลื่อนสูงด้วย สมการประมาณค่า $\hat{Y} = a + bX$ จึงใช้พยากรณ์ได้ไม่ดี

การตัดสินใจ

เปิดตาราง t ที่ $df = n-2$ ตามระดับนัยสำคัญที่กำหนด ถ้า $t_{\text{คำนวณ}} \leq -t_{\text{ตาราง}}$ หรือ $t_{\text{คำนวณ}} \geq t_{\text{ตาราง}}$ แล้วให้ปฏิเสธ H_0

การแปลผล

ถ้าปฏิเสธ $H_0: \beta = 0$ แล้วให้สรุปว่า b มีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ ตัวแปรทั้งสอง (X และ Y) มีความสัมพันธ์กัน ในทางตรงกันข้ามถ้ายอมรับ $H_0: \beta = 0$ แล้วให้สรุปว่า b ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน หากต้องการทดสอบนัยสำคัญของ α สามารถทำได้คล้ายกับ β แต่ใช้ S_a ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2.11) แทน S_b และเช่นเดียวกันถ้า $t_{\text{คำนวณ}} \leq -t_{\text{ตาราง}}$ หรือ $t_{\text{คำนวณ}} \geq t_{\text{ตาราง}}$ แล้วให้ปฏิเสธ $H_0: \alpha = 0$ แสดงว่าเส้นการถดถอยไม่ผ่านจุด (0,0)

$$S_a = S_e \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{X}^2}{\sum X^2 - n\bar{X}^2}} \quad \text{---- (2.11)}$$

นอกจากนี้การทดสอบ $H_0: \beta = 0$ อาจใช้การทดสอบ F โดยใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ซึ่งมีแนวคิดพื้นฐานในการเปรียบเทียบค่าแปรปรวนที่อธิบายได้ด้วยสมการถดถอย (SSR) กับค่าแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้ด้วยสมการถดถอย (SSE)

ถ้า SSR มีค่ามาก จะทำให้ค่าที่ใช้ทดสอบมีค่าสูง แสดงว่าสมการถดถอยมีความน่าเชื่อถือมาก แต่เนื่องจาก SSR และ SSE มีระดับชั้นความเสรีที่ต่างกัน จึงใช้ค่าแปรปรวนเฉลี่ย (Mean square: MS) โดยการหารด้วยระดับชั้นความเสรี จึงได้ค่าแปรปรวนที่อธิบายได้เฉลี่ย (MSR) และค่าแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้เฉลี่ย (MSE) สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ได้ดังตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย

ที่มา	ระดับชั้นความเสรี (df)	ผลรวมกำลังสอง (SS)	กำลังสองเฉลี่ย (MS)	ค่า F
Regression	1	SSR	SSR / 1 หรือ MSR	MSR / MSE
Error (หรือ Residual)	n-2	SSE	SSE / n-2 หรือ MSE	
Total	n-1	SST		

2.5.3. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ (Multiple linear regression analysis) เป็นการขยายการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย เพื่อให้ผลการพยากรณ์มีความแม่นยำยิ่งขึ้น โดยมีตัวพยากรณ์หรือตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ดังสมการทั่วไปดังนี้

$$\text{สมการในรูปของประชากร} \quad Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon \quad \text{---- (2.12)}$$

$$\text{สมการพยากรณ์ผล} \quad \hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad \text{---- (2.13)}$$

เมื่อ k = จำนวนของตัวพยากรณ์

X_i = ตัวแปรพยากรณ์ หรือตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรอธิบายตัวที่ i

β_0 = ค่าคงตัว และ b_0 เป็นตัวประมาณค่าของ β_0 (ค่า b_0 เทียบได้กับ a ในการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย)

β_i = สัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนของตัวพยากรณ์ X_i และ b_i เป็นตัวประมาณค่าของ β_i

สำหรับข้อสมมติเบื้องต้นของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุเหมือนกันกับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย

การคำนวณค่า b_0 , b_1 , b_2

สมมติว่ารูปแบบของการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุที่ต้องการวิเคราะห์มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ X_1 และ X_2 ซึ่งการประมาณค่าพารามิเตอร์ก็ใช้หลักการกำลังสองน้อยที่สุด เช่นเดียวกับการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย นั่นคือ ทำให้ $SSE = \sum(Y - \hat{Y})^2$ มีค่าน้อยที่สุด แล้วจะได้สมการ 3 สมการที่ใช้คำนวณค่า b_0 , b_1 , b_2 ได้ ดังนี้

$$\sum Y = nb_0 + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \quad \text{----- (2.14)}$$

$$\sum X_1 Y = b_0 \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 \quad \text{----- (2.15)}$$

$$\sum X_2 Y = b_0 \sum X_2 + b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 \quad \text{----- (2.16)}$$

ความหมายของ b_0 , b_1 , b_2

จากสมการพยากรณ์ผล $\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$

b_0 คือ ค่าคงตัวของสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ แปลความได้แบบเดียวกับค่า a ในเรื่องการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย กล่าวคือ b_0 เป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม Y เมื่อ $X_1, X_2 = 0$ หรือ b_0 เป็นจุดตัดแกน Y บนระนาบสามมิติของตัวแปร X_1, X_2, Y

b_1 คือ ค่าเปลี่ยนแปลงเฉลี่ย (อาจเพิ่มหรือลดอย่างใดอย่างหนึ่ง) ของตัวแปรตาม Y เมื่อ X_1 เพิ่ม 1 หน่วย โดยให้ X_2 มีค่าคงตัว เรียก b_1 ว่า ความชันบางส่วน (Partial slope) หรือสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน (Partial regression coefficient)

สำหรับ b_2 ก็แปลความได้ในลักษณะเดียวกันกับ b_1

การทดสอบนัยสำคัญ

กรณีการทดสอบค่าคงตัว (β_0)

สมมติฐาน

$$H_0: \beta_0 = 0$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0$$

การทดสอบ

$$t_{\text{คำนวณ}} = \frac{b_0}{s_{b_0}} \quad \text{----- (2.17)}$$

ปฏิเสธ H_0 เมื่อ $t_{\text{คำนวณ}} \leq -t_{\text{ตาราง}}$ หรือ $t_{\text{คำนวณ}} \geq t_{\text{ตาราง}}$ โดยเปิดตารางที่ $df = n - k - 1$ ตามระดับนัยสำคัญที่กำหนด มิฉะนั้นให้ยอมรับ H_0

กรณีการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนทุกตัว

สมมติฐาน

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0; i = 1 \text{ หรือ } 2$$

การทดสอบ

$$F_{\text{คำนวณ}} = \frac{MSR}{MSE} = \frac{SSR/k}{SSE/(n-k-1)} \quad \text{---- (2.18)}$$

ปฏิเสธ H_0 เมื่อ $F_{\text{คำนวณ}} \geq F_{\text{ตาราง}}$ โดยเปิดตารางที่ $df_1 = k$, $df_2 = n - k - 1$ ตามระดับนัยสำคัญที่กำหนด หมายความว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม หรือสมการถดถอยมีความเหมาะสม ซึ่งการทดสอบนี้ถือเป็นการทดสอบสมการถดถอยโดยรวม ดังนั้นถ้ามีการปฏิเสธ H_0 แล้วสามารถทดสอบค่า β_i แต่ละตัวได้

กรณีการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนแต่ละตัว (β_i)

สมมติฐาน

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

การทดสอบ

$$t_{\text{คำนวณ}} = \frac{b_i}{s_{b_i}} \quad \text{---- (2.19)}$$

ปฏิเสธ H_0 ถ้า $t_{\text{คำนวณ}} \leq -t_{\text{ตาราง}}$ หรือ $t_{\text{คำนวณ}} \geq t_{\text{ตาราง}}$ โดยเปิดตารางที่ $df = n - k - 1$ ตามระดับนัยสำคัญที่กำหนด มิฉะนั้นให้ยอมรับ H_0

2.5.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์

สหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว ถ้าตัวแปรสองตัวมีสหสัมพันธ์สูง แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหนึ่งมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของอีกตัวแปรหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันหรือทิศทางตรงข้าม ด้วยปริมาณการเปลี่ยนแปลงเท่าไรก็ได้ ในทางตรงข้ามถ้าตัวแปรสองตัวไม่มีสหสัมพันธ์กัน

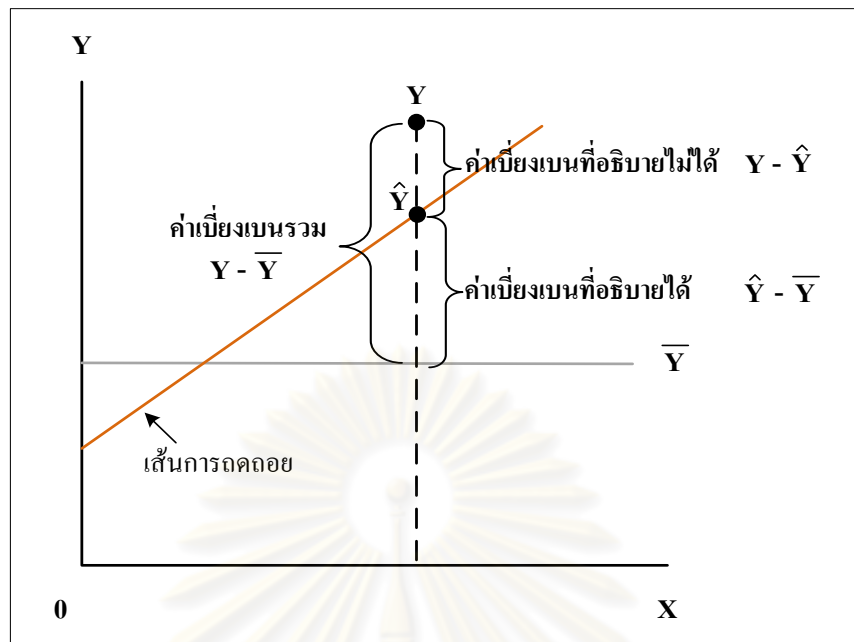
แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหนึ่งไม่มีอิทธิพลใด ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอีกตัวหนึ่งเลย นักสถิติได้พัฒนาค่าที่ใช้เป็นตัวแทนสหสัมพันธ์ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient ; r) และสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of Determination ; R²)

1. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้ในการวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว ใช้ r เป็นสัญลักษณ์ มีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 โดยค่า r ที่มีค่าติดลบหมายความว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ผกผันหรือตรงข้ามกัน ถ้าตัวแปรหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่เหลือจะมีค่าลดลง ขณะที่ค่า r ที่มีค่าบวกหมายความว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน หรือถ้าตัวแปรหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ตัวแปรที่เหลือจะมีค่าเพิ่มตามไปด้วย และค่า r ที่มีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน ถ้าพิจารณาเฉพาะตัวเลข ไม่คำนึงถึงเครื่องหมาย ตัวเลข 1 หมายความว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์ระหว่างกันมาก หรือจุดทุกจุดของข้อมูลที่แสดงในแผนภาพกระจายจะอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน และถ้าเท่ากับ 0 แสดงว่าจุดทุกจุดกระจายจนไม่สามารถลากเส้นในแนวใดได้ ทั้งนี้ค่า r บอกได้เพียงว่าข้อมูลแต่ละจุดกระจายอยู่ใกล้เส้นตรงมากน้อยเพียงใด ซึ่งมีสมการดังนี้

$$r = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum x^2 - n\bar{x}^2)(\sum y^2 - n\bar{y}^2)}} \quad \text{---- (2.20)}$$

2. สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ใช้สัญลักษณ์ R² ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว โดยเน้นถึงปริมาณความผิดพลาดในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม Y ที่ลดลง อันเนื่องมาจากการใช้เส้นการถดถอย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 ความผิดพลาด 3 ลักษณะของเส้นการถดถอย

การพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม Y จากตัวแปรอิสระ X โดยใช้เส้นการถดถอยแทนการใช้ค่าเฉลี่ยของ Y ในการพยากรณ์ทั่วไปนั้น สามารถจำแนกความผิดพลาดได้ 3 ลักษณะ (พิจารณา รูปที่ 2.3 ประกอบ) คือ

- (1) ค่าเบี่ยงเบนรวม (Total Deviation) หมายถึง ความแตกต่างเกิดขึ้นเมื่อไม่ได้ใช้เส้นการถดถอยในการพยากรณ์ แต่ใช้ค่าเฉลี่ย (\bar{Y}) เป็นค่าประมาณแทนตามหลักสถิติทั่วไป คือ ส่วนของ $(Y - \bar{Y})$ ในรูปที่ 2.3
- (2) ค่าเบี่ยงเบนที่อธิบายได้ด้วยเส้นการถดถอย (Explained Deviation) หมายถึง ความแตกต่างที่ลดลงเนื่องจากการใช้ค่า \hat{Y} ที่คำนวณได้จากเส้นการถดถอยเป็นค่าประมาณของตัวแปรตาม Y คือ ส่วนของ $(\hat{Y} - \bar{Y})$ ในรูปที่ 2.3
- (3) ค่าเบี่ยงเบนที่อธิบายไม่ได้หรือความผิดพลาดที่เหลืออยู่ (Unexplained Deviation) หมายถึง ความแตกต่างหรือความผิดพลาดที่เหลืออยู่จากการใช้เส้นการถดถอยกะประมาณค่า Y แล้ว คือ ส่วนของ $(Y - \hat{Y})$ ในรูปที่ 2.3

จากรูปที่ 2.3 พบว่า ณ Y ค่าใด ๆ ค่าเบี่ยงเบนทั้งสามลักษณะมีความสัมพันธ์กัน คือ

$$\begin{aligned} \text{ค่าเบี่ยงเบนรวม} &= \text{ค่าเบี่ยงเบนที่อธิบายได้} + \text{ค่าเบี่ยงเบนที่อธิบายไม่ได้} \\ (Y - \bar{Y}) &= (\hat{Y} - \bar{Y}) + (Y - \hat{Y}) \quad \text{---- (2.21)} \end{aligned}$$

อย่างไรก็ตาม การวัดค่าเบี่ยงเบนทั้งสามลักษณะ ต้องวัดด้วยผลรวมของทุก ๆ ค่าของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ แต่ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนทั้งสามมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอ คือ $\sum(Y - \bar{Y}) = 0$, $\sum(\hat{Y} - \bar{Y}) = 0$, $\sum(Y - \hat{Y}) = 0$ ดังนั้น การคำนวณค่าเบี่ยงเบนทั้งสามจึงวัดด้วยผลรวมของค่าเบี่ยงเบนยกกำลังสอง หรือค่าแปรปรวน คือ

ค่าแปรปรวนรวม = ค่าแปรปรวนที่อธิบายได้ + ค่าแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้

$$\sum(Y - \bar{Y})^2 = \sum(\hat{Y} - \bar{Y})^2 + \sum(Y - \hat{Y})^2 \quad \text{---- (2.22)}$$

$$\text{SST} = \text{SSR} + \text{SSE} \quad \text{---- (2.23)}$$

สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าแปรปรวนที่อธิบายได้กับค่าแปรปรวนรวม ดังสมการ

$$R^2 = \frac{\text{SSR}}{\text{SST}} \quad \text{---- (2.24)}$$

$$= 1 - \frac{\text{SSE}}{\text{SST}}$$

$$= 1 - \frac{\sum(Y - \hat{Y})^2}{\sum(Y - \bar{Y})^2}$$

$$= 1 - \frac{b_0 \sum Y + b_1 \sum XY - n\bar{Y}^2}{\sum Y^2 - n\bar{Y}^2}$$

ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเส้นการถดถอยว่าสามารถลดความผิดพลาดในการพยากรณ์ได้ดีกว่าการใช้ค่าเฉลี่ยกะประมาณเท่าไร ถ้าเส้นการถดถอยสามารถลดความผิดพลาดได้มากหรือค่า R^2 สูง แสดงว่าการใช้ตัวแปรอิสระ X ในการกะประมาณค่า Y ตามเส้นการถดถอยมีความถูกต้องมาก ดังนั้นตัวแปรทั้งสองย่อมมีระดับความสัมพันธ์ระหว่างกันสูง หรือสมการถดถอยมีความน่าเชื่อถือมาก ในทางตรงกันข้ามถ้าเส้นการถดถอยลดความผิดพลาดไม่ได้เลย หรือ R^2 มีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือสมการถดถอยนั้นไม่น่าเชื่อถือ

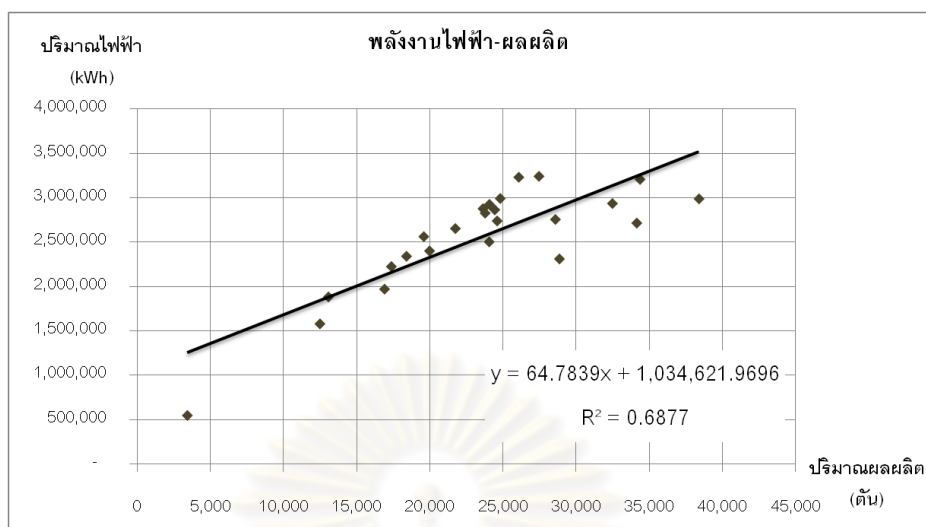
จากสมการคำนวณหาค่า R^2 พบว่าค่า R^2 มีค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 1 เท่านั้น ทั้งนี้เพราะ SSR ไม่สามารถมีค่าติดลบได้ เพราะเป็นค่ายกกำลังสอง ดังนั้นค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ คือ ศูนย์ ขณะที่ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ของ SSR คือ SST ตามสมการความสัมพันธ์ของความผิดพลาดทั้งสิ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า R^2 และ r นั้น พบว่า $R^2 = (r)^2$ ดังนั้นจากความสัมพันธ์ดังกล่าว ทำให้การหาค่าใดค่าหนึ่งเพียงค่าเดียวก็เพียงพอแล้วในการวัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร อย่างไรก็ตามค่า R^2 เป็นที่นิยมใช้มากกว่าในการวิเคราะห์การถดถอย เพราะสามารถอธิบายความหมายได้ชัดเจนกว่าค่า r แม้จะไม่สามารถระบุทิศทางความสัมพันธ์ได้เหมือนค่า r แต่ก็สามารถทราบได้จากค่า b ที่คำนวณได้จากสมการถดถอยอยู่แล้ว

2.5.5 การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

ในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์ โดยใช้สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ในการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของแต่ละโรงงาน แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ดังกล่าวมีขั้นตอนการคำนวณที่สลับซับซ้อนและยุ่งยาก ตลอดจนการทดสอบสมมติฐานต่าง ๆ ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของสมการถดถอย เพื่อความถูกต้องในการพยากรณ์ก็มีหลายประเด็นที่ต้องพิจารณา ทำให้มีการพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์การถดถอย เช่น SPSS, MINITAB หรือแม้แต่โปรแกรม Excel

โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเหล่านี้ จะมีคำสั่งและกระบวนการที่แตกต่างกัน แต่ผลลัพธ์ในเรื่องการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอยของแต่ละโปรแกรมจะคล้ายคลึงกัน โดยให้ผลลัพธ์หลักที่สำคัญ ๆ เหมือนกัน ทำให้การวิเคราะห์และตีความสมการถดถอยให้ผลเท่ากัน ดังนั้นเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายที่มีข้อมูลเป็นจำนวนมากที่ต้องวิเคราะห์ จึงใช้วิธีสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย หลังจากสร้างแผนภาพการกระจายแล้ว โดยการเพิ่มเส้นแนวโน้ม (Add trend line) ซึ่งจะให้สมการถดถอยและค่า R^2 ค่าเดียวกับการวิเคราะห์ regression ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis Tools) ในโปรแกรม Microsoft Office Excel โดยตัวอย่างผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่สมการถดถอยและค่า R^2 ในแผนภาพกระจาย

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายด้วย Data Analysis Tools ในโปรแกรม Microsoft Office Excel

SUMMARY OUTPUT							
Regression Statistics							
Multiple R		0.8293					
R Square		0.6877					
Adjusted R Square		0.6735					
Standard Error		346430.03					
Observations		24					
ANOVA							
	Df	SS	MS	F	Significance F		
Regression	1	5.81E+12	5.81E+12	48.4512	0.0000		
Residual	22	2.64E+12	1.2E+11				
Total	23	8.46E+12					
	Standard				Lower	Upper	
	Coefficients	Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	95.0%
Intercept	1034621.9696	229294.75	4.5122	0.0002	559093.77	1510150.17	559093.77
X Variable 1	64.7839	9.31	6.9607	0.0000	45.48	84.09	45.48

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.2 เห็นได้ว่าจะได้สมการ $y = 64.7839x + 1,034,621.9696$ โดยมีค่า $R^2 = 0.6877$ เท่ากัน ทั้งนี้การวิเคราะห์โดยการเพิ่ม

เส้นแนวโน้มในแผนภาพกระจายนั้น จะไม่สามารถแสดงผลการทดสอบนัยสำคัญของ β หรือ α ได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้จะพิจารณาสมการถดถอยที่มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 ขึ้นไป เมื่อตัวแปร X และ Y มีระดับความสัมพันธ์ระหว่างกันสูงระดับนี้ ดังนั้นยอมที่จะปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งข้อมูลที่ยกตัวอย่างการวิเคราะห์นี้มีค่า R^2 ต่ำกว่า 0.7 ก็ให้ผลการทดสอบนัยสำคัญของ β และ α คือ ปฏิเสธ H_0 โดยดูจากค่า P-value ที่แสดงค่าความน่าจะเป็นของค่า t Stat ในการทดสอบสมมติฐานของค่า β ของประชากร โดยนำไปเปรียบเทียบกับ α ที่กำหนด ซึ่งได้ค่า P-value เท่ากับ 0.0002 และ 0.0000 ตามลำดับ (ถ้า $P\text{-value} \leq \alpha$ จะปฏิเสธ H_0) การอ่านค่า P-value เป็นการประหยัดเวลาและลดความยุ่งยากในการเปิดหาค่าเปรียบเทียบจากตาราง

สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุนั้น จะใช้โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 16.0 ในการวิเคราะห์ โดยการเลือก Analyze > Regression > Linear แล้วเลือกตัวแปรพลังงานใส่ในช่อง Dependent ตัวแปรชนิดผลิตภัณฑ์ทุกชนิดใส่ในช่อง Independent(s) เลือก Method เป็น Stepwise และตั้งค่า Use Probability of F ในหน้าต่าง Options ให้ Entry เท่ากับ 0.05 และ Removal เท่ากับ 0.10 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลผลิตภัณฑ์ 3 ชนิดที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้างานที่ 2.3 ซึ่งจะพิจารณาค่า Adjusted R^2 (ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่ปราศจากความเบี่ยงเบน) ในตาราง Model Summary ซึ่งในตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 0.789 แสดงว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรตามสูง ต่อไปพิจารณาค่า Sig. ในตาราง ANOVA ซึ่งเหมือนค่า P-value แต่กรณีนี้เป็นค่าความน่าจะเป็นของค่า F ถ้า $\text{Sig.} \leq \alpha$ จะปฏิเสธ H_0 เป็นกรณีการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนทุกตัว โดยพิจารณาว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามหรือไม่ จากตัวอย่างนี้แสดงว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม นั่นคือสมการถดถอยโดยรวมมีความเหมาะสม ทั้งนี้การใช้วิธี stepwise โปรแกรมจะเลือก model ที่เหมาะสมมาให้อยู่แล้ว จากนั้นพิจารณาค่า Sig. ในตาราง Coefficients เป็นกรณีการทดสอบค่าคงตัว (β_0) และกรณีการทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนแต่ละตัว (β) จากตัวอย่างนี้ก็ให้ผลปฏิเสธ H_0 เช่นกัน แสดงว่าเส้นการถดถอยไม่ผ่านจุด (0,0) และตัวแปร pdtB มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างนี้โปรแกรมวิเคราะห์มาให้เพียง 1 model ซึ่งสำหรับข้อมูลอื่นอาจมี 1 หรือมากกว่า 1 model ได้

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุด้วยโปรแกรม SPSS

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.893	.798	.789	36024.5890

ANOVA

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.127E11	1	1.127E11	86.817	.000
	Residual	2.855E10	22	1.298E9		
	Total	1.412E11	23			

Coefficients

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	287683.588	23267.411		12.364	.000
	pdtB	713.533	76.580	.893	9.318	.000

2.6 ระบบการตรวจติดตามและการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy monitoring and targeting system) (ประพันธ์ ธนาปิยกุล, 2552ก, 2552ข)

ระบบการตรวจติดตามและการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy monitoring and targeting system) หรือเรียกว่า ระบบ M&T เป็นวิธีหรือเทคนิคในการบริหารจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมาของหน่วยงานเป็นพื้นฐานในการกำหนดและคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการควบคุมระดับการใช้พลังงานในปัจจุบันให้เป็นที่ไปตามค่าที่ควรจะเป็นและเหมาะสม รวมไปถึงใช้ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิตเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้นและมีต้นทุนการใช้พลังงานที่ลดลง จากคำกล่าวที่ว่า “เราไม่สามารถที่จะบริหารจัดการกับพลังงานที่ใช้อยู่ได้ ถ้าหากว่าเรายังไม่สามารถวัดหรือประเมินการใช้พลังงานที่มีอยู่ออกมาได้” ดังนั้นเพื่อที่จะนำระบบ M&T มาประยุกต์ใช้งานในการบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องผนวกองค์ความรู้ในเรื่องของทฤษฎีพื้นฐานของพลังงาน ข้อมูลการใช้พลังงาน และวิชาสถิติเข้าด้วยกัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำระบบ M&T

- ช่วยในการทวนสอบความถูกต้องของระบบการจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของหน่วยงาน
- ใช้กำหนดสัดส่วนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เหมาะสม โดยแยกย่อยลงไปถึงระดับฝ่ายต่าง ๆ ภายในหน่วยงาน
- สามารถประเมินสมรรถนะหรือประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของหน่วยงานได้อย่างถูกต้อง
- เป็นเครื่องมือสำหรับบันทึกและติดตามผลของการใช้พลังงาน โดยเฉพาะหากมีการดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน จะช่วยให้ทราบผลประหยัดที่ได้รับจากมาตรการนั้น ๆ
- ช่วยในการวิเคราะห์ให้เห็นถึงปัญหาของการใช้พลังงานหรือประสิทธิภาพของระบบหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่เพื่อหาแนวทางการแก้ไขและป้องกันที่ถูกต้อง เหมาะสม

ขั้นตอนที่สำคัญ 3 ขั้นตอนในการทำระบบ M&T มีดังนี้

1. การวัดผลและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Data recording)
2. การวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงาน (Analysis & Interpretation)
3. การรายงานผล (Reporting)



รูปที่ 2.5 วัฏจักรการทำระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

2.6.1 การวัดผลและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

หากข้อมูลที่เกี่ยวข้องมีความผิดพลาดหรือไม่สัมพันธ์กันแล้ว จะเป็นการยากที่จะนำไปใช้งานต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นต้องให้ความสำคัญและมีความเข้าใจในข้อมูลแต่ละส่วนที่จัดเก็บ ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ข้อมูลพลังงานและค่าใช้จ่าย ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงานทั้งด้านไฟฟ้าและความร้อน (เชื้อเพลิง) ซึ่งมักจะเก็บบันทึกในรอบ 1 เดือน เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ระดับหน่วยงาน ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าสามารถเก็บจากใบเสร็จของการไฟฟ้า ซึ่งได้มาจากการจดผ่านมาตรวัดไฟของการไฟฟ้าโดยตรง แต่ข้อมูลการใช้พลังงานความร้อน (เชื้อเพลิง) เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ถ่านหิน เป็นต้น ควรหลีกเลี่ยงการใช้ข้อมูลจากใบเสร็จ เพราะส่วนใหญ่เป็นยอดการส่งเชื้อเพลิงเข้าหน่วยงาน ไม่ใช่ส่วนที่ถูกต้องจริงในการผลิต ยกเว้นก๊าซธรรมชาติ (NG) ซึ่งค่าที่ปรากฏในใบเสร็จนั้นได้มาจากมาตรวัดก๊าซโดยตรงเหมือนกับไฟฟ้า

2. ข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน (Energy driver) เป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการใช้พลังงาน เช่น ปริมาณผลผลิต ซึ่งจะต้องเก็บบันทึกในรอบเวลาที่ตรงกับรอบการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานเสมอ และต้องเลือกหน่วยในการจัดเก็บที่สัมพันธ์กับปริมาณพลังงานที่ใช้ได้ เช่น ผลิตภัณฑอาหารควรใช้หน่วยผลผลิตเป็นหน่วยของน้ำหนัก แต่ถ้าเป็นเครื่องดื่ม หรือผลิตภัณฑที่เป็นของเหลว ควรใช้เป็นหน่วยของปริมาตร เป็นต้น

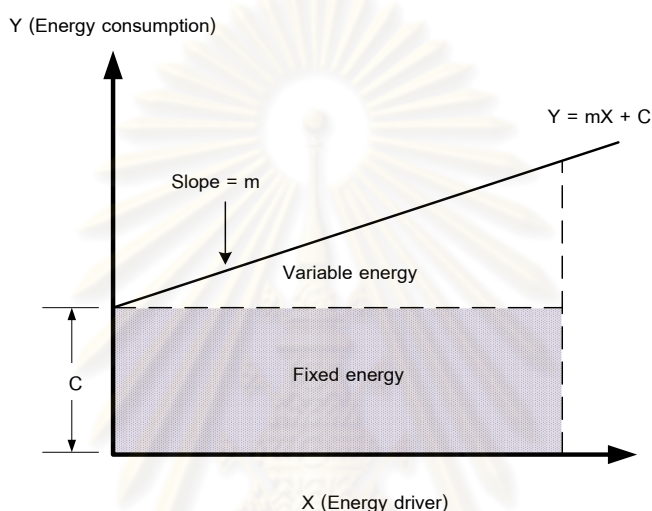
2.6.2 การวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงาน

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้กับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน มักนิยมทำในรูปของกราฟต่าง ๆ ขึ้นกับแนวทางการวิเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงควรใช้ข้อมูลต่อเนื่องกันอย่างน้อย 2 ปี หรือ 24 เดือน (ไชยะ แซ่มซ้อย, 2553) ได้แก่

1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลา (Time series analysis) เป็นรูปแบบที่นิยมมากที่สุด จะใช้เป็นกราฟแท่งหรือกราฟเส้น เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลต่าง ๆ ในปัจจุบันเทียบกับในอดีตที่ผ่านมาและทำให้เห็นว่าช่วงใดที่น่าจะเกิดปัญหา ทั้งนี้มักพล็อตข้อมูลการใช้พลังงาน (Energy consumption) หรือข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต หรือข้อมูลการใช้พลังงานจำเพาะ (ดัชนีการใช้พลังงาน) หรือข้อมูลการใช้พลังงานจำเพาะและปริมาณผลผลิต

2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว (XY Scatter) เป็นการพล็อตกราฟเทียบกันระหว่างปริมาณผลผลิต (แกน X) และปริมาณพลังงานที่ใช้ (แกน Y) ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยหาความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้น (Linear

regression) $Y = mX + C$ ซึ่งเป็นรูปแบบที่วิเคราะห์ดีได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ถ้าหากสมการมีความแม่นยำ (R^2) สูงก็สามารถนำไปใช้พยากรณ์ค่าพลังงานที่ควรจะเป็น (Baseline) ได้เมื่อทราบปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน แล้วเปรียบเทียบกับค่าพลังงานที่ใช้ไปจริง การกระจายของจุดบนแผนภาพจะแสดงถึงความไม่แน่นอนของการใช้พลังงาน ซึ่งแสดงถึงการควบคุมที่ไม่ดี แต่ทั้งนี้อาจเกิดจากความไม่แน่นอนในการตรวจวัดก็ได้



รูปที่ 2.6 พลังงานผันแปรและพลังงานคงที่ตามสมการ $Y = mX + C$

จากรูปแบบสมการเชิงเส้น $Y = mX + C$ รูปที่ 2.6 จะได้ว่า

- m = ความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ
- = ค่าพลังงานส่วนที่แปรผันตามปริมาณผลผลิต (Variable energy) ซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต การจัดวางผังการผลิต
ขั้นตอน และเวลาที่ใช้ในการผลิต
- C = จุดตัดแกน Y เมื่อ $X = 0$
- = ค่าพลังงานคงที่ (Fixed energy) หรือค่าพลังงานที่ต้องใช้แม้ไม่มีการผลิตเกิดขึ้น ซึ่งมักจะเป็นพลังงานที่ใช้ในส่วนของระบบปรับอากาศ ระบบอากาศอัด ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบระบายอากาศ หรือระบบอื่น ๆ ที่ไม่มีผลต่อการผลิต
- R^2 = ค่าที่บอกถึงความแม่นยำและน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์ XY ที่ได้ว่าอยู่ในระดับใด โดยปกติจะมีค่าระหว่าง 0-1 ซึ่งถ้ายังมีค่ามาก แสดงว่าการ

ควบคุม การตั้งค่าเป้าหมายและการประเมินผลลัพธ์จะทำได้แม่นยำมากขึ้น

3. การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ เป็นการพล็อตระหว่างปริมาณผลผลิต (แกน X) และ SEC (แกน Y) ซึ่งเป็นสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ (ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง) กับปริมาณผลผลิตหรือตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน ณ เวลาเดียวกัน

4. การวิเคราะห์และติดตามแนวโน้มการใช้พลังงานด้วยวิธี CUSUM (Cumulative Sum) เป็นวิธีการที่ใช้วิเคราะห์แนวโน้มของการใช้พลังงานในหน่วยงาน โดยคำนวณ CUSUM จากผลรวมของค่าผลต่างระหว่างพลังงานที่ใช้จริงในแต่ละรอบเดือน แล้วเทียบกับค่าพลังงานที่ควรจะเป็นที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของค่าพลังงานกับปริมาณผลผลิตในปีที่ใช้อ้างอิง ซึ่งในแต่ละเดือนก็จะมีผลต่างเกิดขึ้น และเมื่อนำผลต่างที่ได้มาสะสมรวมกันทุกเดือน จะได้เส้นแนวโน้ม (Trend line) ของการใช้พลังงาน ทำให้ทราบถึงทิศทางการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานของหน่วยงาน

2.6.3 การรายงานผล

ขั้นตอนสุดท้ายสำหรับการทำระบบ M&T คือการนำสิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์ไปรายงานให้ผู้ที่เกี่ยวข้องทราบ ทั้งนี้ขึ้นกับรูปแบบของสายงานบังคับบัญชา การบริหาร หรือวัฒนธรรมองค์กร อย่างไรก็ตามข้อมูลควรถูกต้อง กระชับ ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ตามตำแหน่งงานและขอบเขตความรับผิดชอบ มีเนื้อหาสาระที่ทันกับสภาพปัญหาของการใช้พลังงาน เพื่อให้สามารถแก้ไขได้ทัน่วงที

จากขั้นตอนทั้งสามในการทำระบบ M&T ที่กล่าวมานั้น งานวิจัยนี้จะเริ่มดำเนินการในขั้นตอนการวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงาน เนื่องจากข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลระดับทุติยภูมิ (Secondary data) จึงผ่านขั้นตอนการวัดผลและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาแล้ว

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Signor, Westphal และ Lamberts (2001) ได้วิเคราะห์การถดถอยสำหรับทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงานใน 14 เมืองของประเทศบราซิล เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารคิดเป็น 46% ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด และส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ใช้ในกับระบบปรับอากาศและแสงสว่าง ตัวแปรที่ใช้ในแบบจำลองเป็นตัวแปรทางด้านการออกแบบและโครงสร้าง ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ขนาดอาคาร (จำนวนชั้นและพื้นที่) สัดส่วนหน้าต่างต่อประตู การถ่ายเทความร้อนและการดูดซับความร้อนของหลังคา shading coefficient ของกระจก สีหลังคา กิจกรรมและความต้องการพลังงาน

ไฟฟ้า (หลอดไฟและอุปกรณ์ต่าง ๆ) แบบจำลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือสูง โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 ขึ้นไปในทุกเมือง

เสรี กังวานกิจ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ (2549) ศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ในชุมชนชนบทระดับหมู่บ้าน และพิจารณาหาสมการที่สามารถใช้ในการประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดในครัวเรือน จำนวน 70 ครัวเรือน ของหมู่บ้านป่าคาย ต.ป่ายาง อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก แล้วทำการเปลี่ยนข้อมูลของพลังงานไฟฟ้า เป็นข้อมูลพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยใช้ค่าคงที่ในการปรับแก้ ผลการศึกษาพบว่า รายได้ใน ครัวเรือนเฉลี่ยเท่ากับ 53,470 บาท/ปี มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในหน่วย กิโลกรัมเทียบเท่าน้ำมันดิบ ต่อปีเฉลี่ยเท่ากับ 85,802 กิโลกรัมเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อปี และสามารถประมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงาน (Y) กับ จำนวนสมาชิกในครัวเรือน (X_1) และรายได้ของครัวเรือน (X_2) คือ $Y = 49674X_1 - 1.83X_2 + 18243.39$ โดยมีค่า $R^2 = 0.967$

สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาจากตัวแปรหลัก คือ ปริมาณผลผลิต เพราะพลังงานที่ใช้ไปส่วนใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเป็นส่วนของการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิงในการทำงานสูง ขณะที่อาคารสำนักงานจะเป็นส่วนของระบบปรับอากาศเป็นส่วนใหญ่ ตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศจึงเป็นขนาดอาคาร และการออกแบบโครงสร้างต่าง ๆ ส่วนการใช้พลังงานสำหรับครัวเรือนในชนบทนั้น ประมาณจากจำนวนสมาชิกและรายได้ของครัวเรือน อย่างไรก็ตาม ค่า R^2 ที่ได้จากทั้งสองงานวิจัยมีค่าสูงมาก แสดงว่าสมการที่ใช้ทำนายมีความน่าเชื่อถือมาก

ชณิชา หมอชาติ (2550) ได้ศึกษาหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงกลุ่มหนึ่ง เมื่อพิจารณาโครงสร้างต้นทุนการผลิตทั้งหมดของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ พบว่าต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่เป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานซึ่งประกอบด้วยค่าไฟฟ้าและค่าเชื้อเพลิง คิดเป็นประมาณร้อยละ 44 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมดในปี พ.ศ. 2548 ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือวิธีการลดพลังงานในกระบวนการผลิตลงและทำการวิเคราะห์ค่า SEC เพื่อหาเกณฑ์การใช้พลังงานที่สามารถนำไปกำหนดเป็นมาตรฐานการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ จากการศึกษาพบว่าค่า SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรมนี้มีค่าแตกต่างกันขึ้นกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิตและคุณลักษณะของวัตถุดิบ เป็นต้น

เบญจมาศ ปุຍ้ออก และมิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล (2550) ได้ศึกษาเรื่องการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก (SEC) โดยแบ่งกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าเป็น 15 ประเภทตามกระบวนการผลิต ซึ่งมีหลักการคำนวณค่า SEC ดังนี้

- ค่า SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็ก คำนวณจากผลรวมของพลังงานไฟฟ้าทุกโรงงานหารด้วยผลรวมของการผลิตสินค้าเหล็กทั้งหมด
- ค่า SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กแต่ละประเภท คำนวณจากการแปลงพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงเป็นหน่วยเมกะจูล แล้วรวมพลังงานของทุกโรงงานในประเภทนั้นหารด้วยผลรวมของการผลิตสินค้าเหล็กประเภทนั้น
- ค่า SEC เฉลี่ยของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กแต่ละประเภท จะถ่วงน้ำหนักค่าการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่าง ๆ กับปริมาณผลผลิตที่ได้จากแบบสอบถาม

กฤษณ์นัส มนัสปิติ (2549) กล่าวว่าการใช้ค่า SEC มาเป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก ซึ่งเป็นค่าที่ประเมินจากผลการวิเคราะห์การตรวจวัดประสิทธิภาพพลังงานในโรงงานที่เข้าร่วมโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกจำนวน 32 โรง สามารถแบ่งกระบวนการผลิตได้เป็น 3 กลุ่มตามลักษณะของการใช้พลังงาน คือ

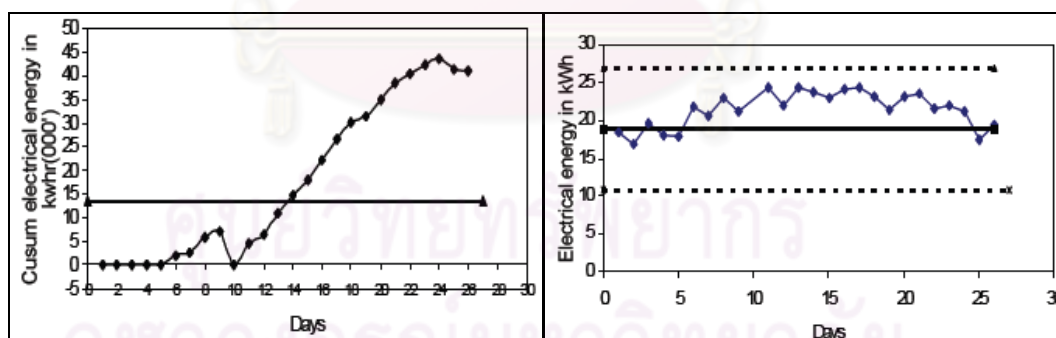
- กลุ่มที่ใช้พลังงานสม่ำเสมอ มีค่า SEC เฉลี่ยต่ำกว่า 1 kWh/kg
- กลุ่มที่ใช้พลังงานไม่สม่ำเสมอ มีค่า SEC เฉลี่ยสูงกว่า 2 kWh/kg
- กลุ่มที่ใช้พลังงานแบบผสม มีค่า SEC เฉลี่ยสูงกว่า 1 kWh/kg

และเมื่อพิจารณากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมทั้งหมด ก็พบว่าการใช้พลังงานในการผลิตของทุกอุตสาหกรรมสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถประมวลผลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานได้นั้น จะต้องมีข้อกำหนดรหัสอุตสาหกรรมให้สอดคล้องกับรหัสสากล โดยการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกของไทยได้ใช้มาตรฐาน TSIC ซึ่งในแต่ละประเภทย่อยจะประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไป ย่อมจะมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้มาตรฐาน TSIC ในงานที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพพลังงาน เช่น การประมาณต้นทุนพลังงานของภาคอุตสาหกรรม หรือการวัดเทียบสมรรถนะด้านพลังงาน เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยเฉพาะ SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยพิจารณาจากข้อมูลสถิติการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตของโรงงาน

ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าจะจำแนกเป็นกลุ่มดังเช่นงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ด้านพลังงานต่อไป

Puranik (2007) ศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของเตาหลอมระบบอินดักชันในโรงงานตัวอย่าง เนื่องจากกระบวนการหลอมเหล็กใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดถึงร้อยละ 75-85 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในโรงงาน เมื่อเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) และปริมาณเหล็กหลอมที่ผลิตได้ (ตัน) รายวันเป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าข้อมูลในเดือนกันยายน มีค่า R^2 เท่ากับ 0.85 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด จึงเลือกสมการถดถอยของเดือนนั้นเป็นสมการอ้างอิงในการสร้าง CUSUM chart ทั้งนี้จาก CUSUM chart แสดงให้เห็นว่าข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 1 เดือน โดยเริ่มใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 4 ซึ่งเป็นผลมาจากการทำความสะอาดเครื่องมือไม่ดีและการเปิดเตาหลอมทิ้งไว้ นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบการตรวจติดตามการใช้พลังงานด้วย CUSUM chart กับ Traditional Shewhart chart (\bar{X} -chart) พบว่า CUSUM chart แสดงให้เห็นแนวโน้มพลังงานที่เพิ่มขึ้นเกินขีดควบคุมในวันที่ 14 ขณะที่ Traditional chart ไม่พบความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งเดือน ดังนั้น CUSUM chart จึงมีประสิทธิภาพมากกว่า Traditional chart เนื่องจากสามารถตรวจพบการเปลี่ยนแปลงที่เล็กน้อยได้ ส่งผลให้ดำเนินการแก้ไขได้ทันเวลาที่



รูปที่ 2.7 เปรียบเทียบผลจาก CUSUM chart และ Traditional chart

งานวิจัยนี้ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในรอบ 2 ปี เช่นเดียวกับงานวิจัยข้างต้นที่ได้เลือกศึกษารอบ 1 ปี ทั้งนี้ช่วงเวลารอบปีจะมีคุณสมบัติของข้อมูลครบถ้วน และนำแผนภูมิ CUSUM มาใช้ในการตรวจติดตามข้อมูลการใช้พลังงาน เนื่องจากมีความไวในการตรวจพบการเปลี่ยนแปลง

บทที่ 3

การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิต

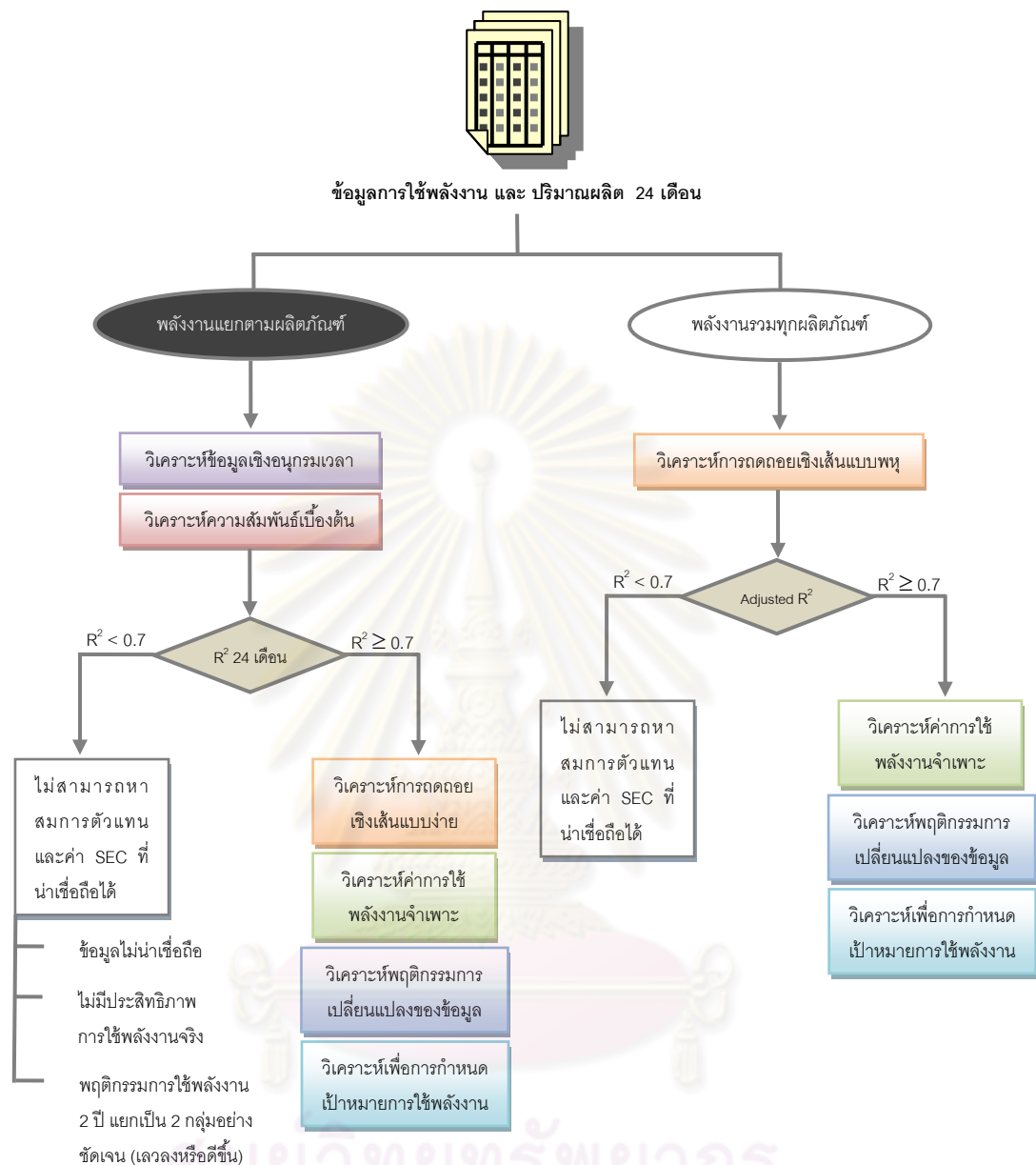
งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการตรวจติดตามและการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (M&T) ดังที่ได้กล่าวในบทที่ 2 มาแล้วนั้น เมื่อรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานรายเดือนทั้งปริมาณไฟฟ้าและเชื้อเพลิง พร้อมด้วยปริมาณผลผลิตจากรายงานการจัดการพลังงานในปี 2551 และ 2552 ของโรงงานควบคุมตัวอย่างที่มีรหัสกลุ่มอุตสาหกรรมตามมาตรฐาน TSIC 33, 36, 37 และ 38 ในเขตจังหวัดระยองและสมุทรปราการได้แล้ว จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิตต่อไป

3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิต

ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตที่ได้จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะข้อมูล คือ กลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ หมายถึง มีข้อมูลพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากโรงงานที่มีผลิตภัณฑ์เดียว (Single product) หรือโรงงานที่มีผลิตภัณฑ์หลายชนิด (Multiple products) แต่สามารถเก็บบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ได้ และกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ หมายถึง มีเฉพาะข้อมูลพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์รวมทุกชนิด ไม่สามารถแยกเฉพาะแต่ละผลิตภัณฑ์ได้ เป็นข้อมูลที่ได้จากโรงงานที่มีผลิตภัณฑ์หลายชนิด ซึ่งข้อมูล 2 กลุ่มนี้จะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ต่างกัน โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์มีดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา
2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น
3. วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย
4. วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ
5. วิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล
6. วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

แต่สำหรับกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์จะยกเว้นขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น แต่ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุแทนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายเลย ทั้งนี้สามารถเขียนเป็นแผนภาพเพื่อให้เข้าใจโดยง่ายได้ดังรูปที่ 3.1



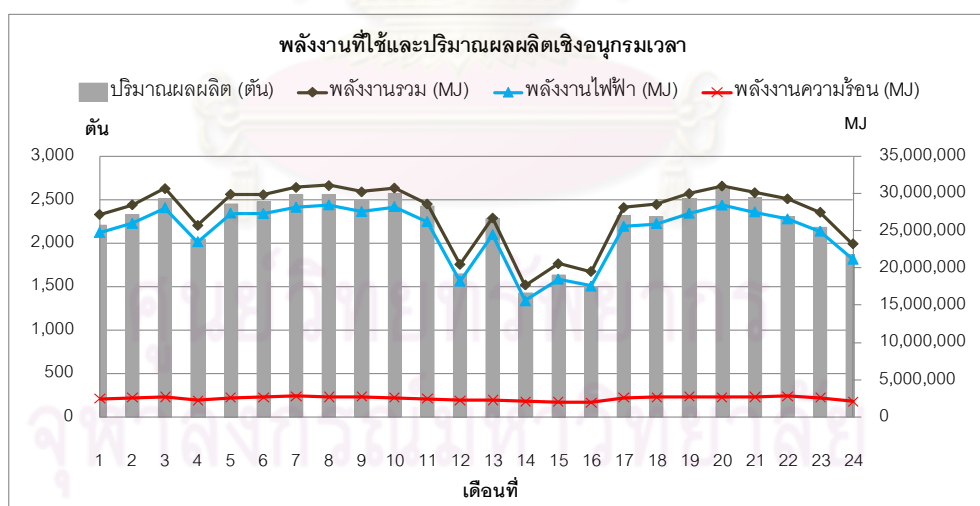
รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (ไชยะ แซ่มซ้อย, 2553ก, 2553ข, 2553ค)

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงาน ซึ่งแบ่งเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง และพลังงานรวม ในช่วง 24 เดือน ของโรงงานแห่งหนึ่งในกลุ่ม TSIC 37 ที่มีผลิตภัณฑ์ 1 ชนิด

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์

เดือน	ปี 51				ปี 52			
	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณความร้อน (MJ)	พลังงานรวม (MJ)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณความร้อน (MJ)	พลังงานรวม (MJ)
ม.ค.	2,212.73	6,880,800	2,446,545.00	27,217,425	2,284.08	6,802,000	2,249,260.00	26,736,460
ก.พ.	2,326.01	7,215,200	2,550,990.00	28,525,710	1,426.64	4,344,400	2,039,315.00	17,679,155
มี.ค.	2,514.50	7,795,600	2,656,490.00	30,720,650	1,630.81	5,150,800	2,008,720.00	20,551,600
เม.ย.	2,043.16	6,537,200	2,203,895.00	25,737,815	1,496.04	4,891,600	1,894,780.00	19,504,540
พ.ค.	2,453.02	7,600,400	2,591,080.00	29,952,520	2,313.70	7,109,200	2,565,760.00	28,158,880
มิ.ย.	2,475.71	7,581,600	2,597,410.00	29,891,170	2,304.15	7,212,800	2,605,850.00	28,571,930
ก.ค.	2,565.00	7,814,160	2,750,385.00	30,881,361	2,508.76	7,592,800	2,714,515.00	30,048,595
ส.ค.	2,566.83	7,902,400	2,678,645.00	31,127,285	2,620.97	7,896,000	2,639,610.00	31,065,210
ก.ย.	2,490.59	7,656,400	2,714,515.00	30,277,555	2,520.79	7,644,400	2,651,215.00	30,171,055
ต.ค.	2,578.37	7,840,800	2,569,980.00	30,796,860	2,311.18	7,382,400	2,756,715.00	29,333,355
พ.ย.	2,422.00	7,282,000	2,420,170.00	28,635,370	2,188.82	6,929,600	2,572,090.00	27,518,650
ธ.ค.	1,651.07	5,074,000	2,196,510.00	20,462,910	1,867.59	5,887,600	2,057,250.00	23,252,610
รวม	28,298.99	87,180,560	30,376,615.00	344,226,631	25,473.51	78,843,600	28,755,080.00	312,592,040
เฉลี่ย	2,358.25	7,265,047	2,531,384.58	28,685,553	2,122.79	6,570,300	2,396,256.67	26,049,337



รูปที่ 3.2 ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละเดือนของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต

3.2.1 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา

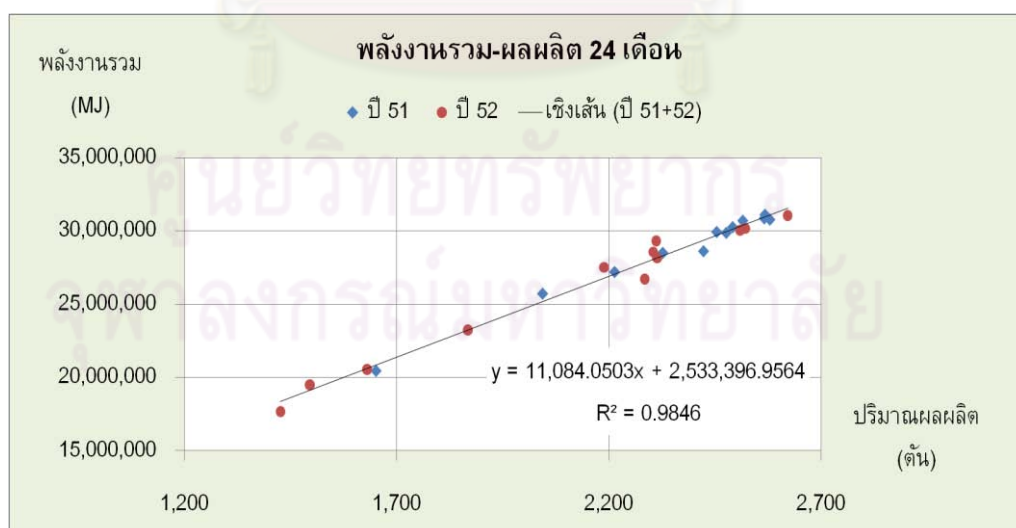
ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลโดยทั่วไปนั้น มักเริ่มจากการแปลงข้อมูลในรูปแบบตารางเป็นกราฟเชิงอนุกรมเวลา เพื่อให้เห็นข้อมูลในเชิงเปรียบเทียบที่ชัดเจนขึ้นดังรูปที่ 3.2 พบว่าปริมาณ

พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานไฟฟ้าแปรผันตามปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ขณะที่พลังงานความร้อนใช้ในปริมาณน้อยอย่างสม่ำเสมอ สำหรับปริมาณผลผลิตมีแนวโน้มลดลงในช่วงต้นปีและปลายปี อย่างไรก็ตามกราฟเชิงอนุกรมเวลาแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตโดยรวมที่แปรเปลี่ยนไปตามเวลา แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเดือนใดมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงหรือต่ำ และแตกต่างกันอย่างไร จึงต้องวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

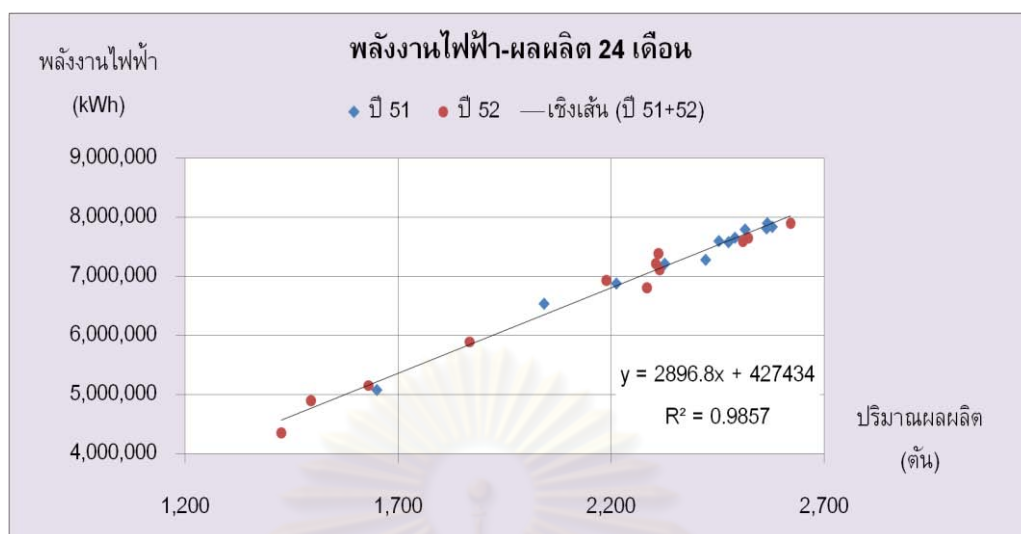
3.2.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น

3.2.2.1 แผนภาพกระจาย 24 เดือน

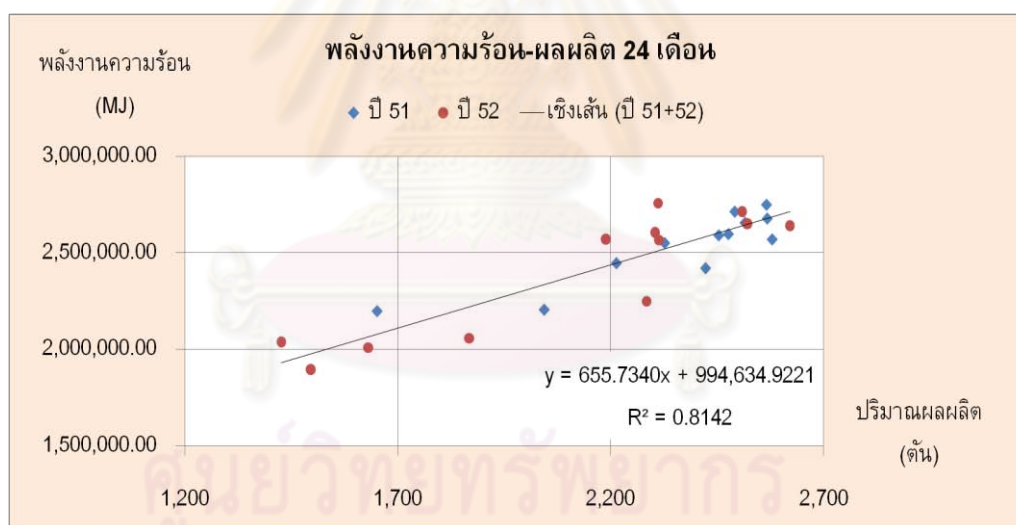
จากข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาเมื่อสร้างแผนภาพกระจาย ทำให้เห็นได้ชัดว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูง ค่า R^2 เท่ากับ 0.9846 ดังรูปที่ 3.3 แสดงว่าปริมาณการใช้พลังงานรวมขึ้นกับปริมาณผลผลิต เมื่อพิจารณาแยกพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ซึ่งมาจากก๊าซธรรมชาติ ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 พบว่ามีค่า R^2 สูงเช่นกัน (มากกว่า 0.8) โดยพลังงานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณผลผลิตสูงกว่าพลังงานความร้อน ทั้งนี้การแยกพล็อตข้อมูลแต่ละปี เพื่อให้เห็นการกระจายตัวของข้อมูลส่วนใหญ่ในแต่ละปีว่าอยู่เหนือหรือต่ำกว่าเส้นพลังงานเฉลี่ยหรือเส้นการถดถอยของทั้ง 2 ปี ซึ่งในกรณีโรงงานตัวอย่างนี้ ทั้งข้อมูลพลังงานรวม พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนมีการกระจายตัวรอบเส้นพลังงานเฉลี่ยพอ ๆ กัน



รูปที่ 3.3 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานรวมและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน



รูปที่ 3.4 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน



รูปที่ 3.5 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน

จากข้อมูลการใช้พลังงานในตารางที่ 3.1 สามารถหาค่าพลังงานรวมเฉลี่ยทั้ง 2 ปี ได้เท่ากับ 27,367,445 เมกะจูล และจากสมการถดถอยในรูปที่ 3.3 มีค่า C เท่ากับ 2,533,397 เมกะจูล ดังนั้น สัดส่วนของค่า C (%C) เท่ากับ $(2,533,397/27,367,445) \times 100 = 9.26\%$ ของพลังงานรวมเฉลี่ย

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนค่า C ต่อพลังงานเฉลี่ย

		พลังงานเฉลี่ย	ค่า C	%C
พลังงานรวม	(เมกะจูล)	27,367,445	2,533,397	9.26
พลังงานไฟฟ้า	(กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	6,917,673	427,434	6.18
	(เมกะจูล)	24,903,624	1,538,762	6.18
พลังงานความร้อน	(เมกะจูล)	2,463,821	994,635	40.37

สำหรับผลการคำนวณค่า %C ของพลังงานไฟฟ้าและความร้อนได้แสดงในตารางที่ 3.2 เห็นได้ว่า %C ของพลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้ามีค่าน้อยมากไม่ถึง 10% นั่นคือ ค่าพลังงานคงที่ (Fixed energy) หรือ Unproductive Energy Consumption (UEC) หมายถึงพลังงานที่จำเป็นต้องใช้แม้ไม่มีการผลิตเกิดขึ้น (ไซยะ แซ่มซ้อย, 2553ก) คิดเป็นสัดส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานรวมหรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน ขณะที่พลังงานความร้อนที่ใช้ไปโดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนเป็นส่วนของพลังงานคงที่ถึง 40%

พลังงานคงที่นี้เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่า SEC เนื่องจากสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ

$$Y = mX + C \quad \text{---- (3.1)}$$

เมื่อ Y = ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ เมกะจูล)

X = ปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน (หน่วย)

ถ้าหารด้วย X ทุกเทอม จะได้เทอม Y/X คือ พลังงานที่ใช้ไปต่อ 1 หน่วยผลผลิต นั่นคือ ค่า SEC จึงได้สมการ (3.2)

$$SEC = m + C/X \quad \text{---- (3.2)}$$

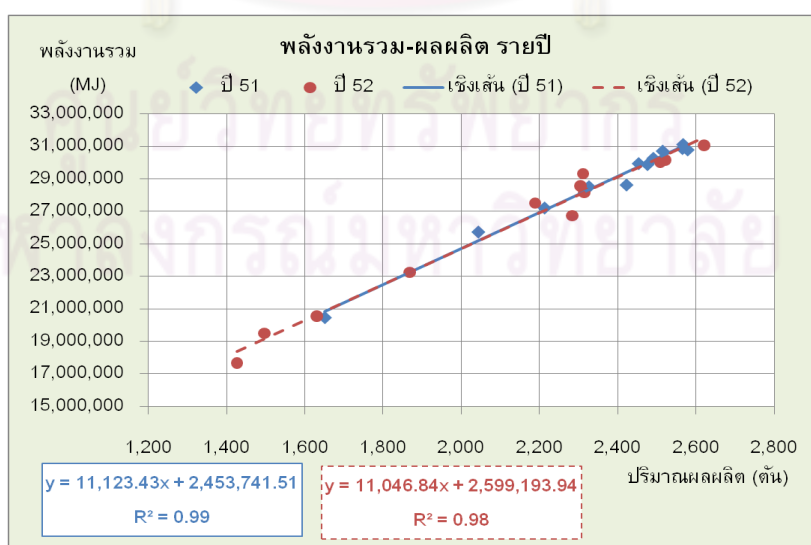
ดังนั้น เมื่อปริมาณการผลิตเปลี่ยนแปลงไปหรือค่า X เปลี่ยนแปลงนั่นเอง จะส่งผลต่อค่า SEC โดยถ้าสัดส่วนของพลังงานคงที่ (%C) มีค่ามาก ผลของ C/X จะมีมาก ทำให้ค่า SEC ที่เกิดจากส่วนนี้มีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่หาก %C มีค่าน้อย ผลของ C/X อาจจะมีผลไม่มาก ทำให้ค่า

SEC เปลี่ยนแปลงไม่มากและเข้าใกล้ค่า m ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อไป

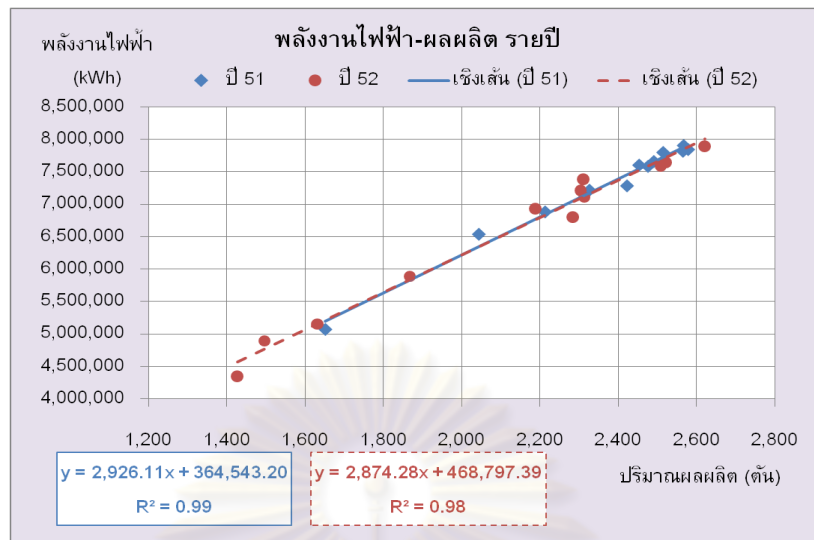
3.2.2.2 แผนภาพกระจายรายปี

การพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตแบบรายปีนั้น เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้พลังงานแต่ละปี ในรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 เห็นได้ชัดว่าจุดข้อมูลทั้ง 2 ปี กระจายตัวอยู่บนเส้นตรงที่ใกล้เคียงกันมากจนดูเหมือนเป็นเส้นเดียวกัน แสดงถึงความเสถียรอย่างมากของการใช้พลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่างในช่วง 2 ปี เนื่องจากการใช้พลังงานส่วนใหญ่ของโรงงานนี้เป็นพลังงานไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์พลังงานรวมจึงเป็นไปในลักษณะเดียวกับพลังงานไฟฟ้า ปริมาณการใช้พลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้าแต่ละปีมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณผลผลิตสูงมาก มีค่า R^2 สูงถึง 0.9800 ขึ้นไป ทั้งนี้การใช้พลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอมาก เนื่องจากค่า R^2 ทั้ง 2 ปีมีค่าใกล้เคียงกันมากและเมื่อเปรียบเทียบสมการถดถอยที่ได้ ปี 2552 มีค่า m ลดลง แต่ค่า C เพิ่มขึ้น โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยมากจากปี 2551

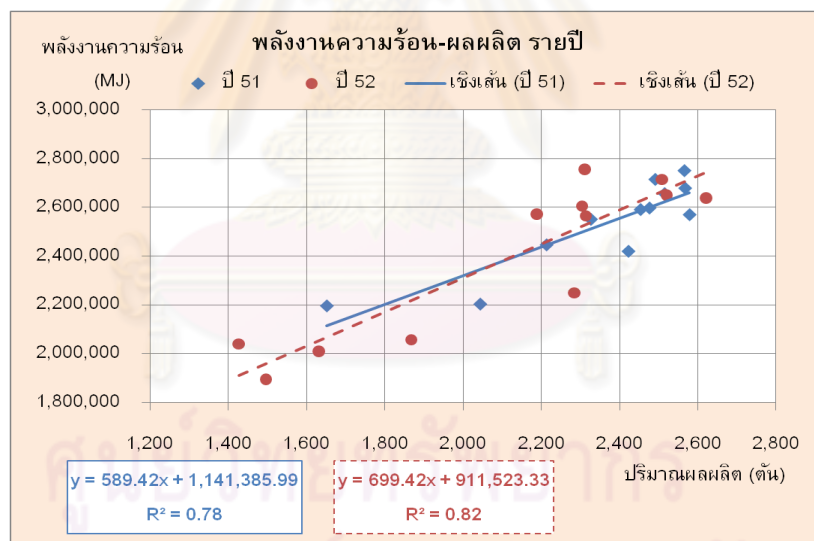
ขณะที่พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงมีความเสถียรน้อยกว่าพลังงานไฟฟ้าสังเกตได้จากรูปที่ 3.8 แสดงค่า R^2 ทั้งสองปีที่ต่ำกว่า แต่มีความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานความร้อน เพราะค่า R^2 แต่ละปีมีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ค่า m และ C เปลี่ยนแปลงมากขึ้นเล็กน้อย แต่ในทิศทางตรงกันข้าม



รูปที่ 3.6 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานรวมและปริมาณผลผลิตรายปี



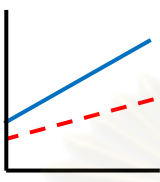
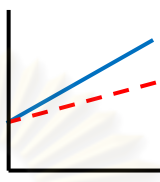
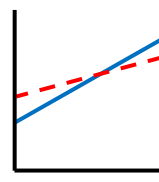
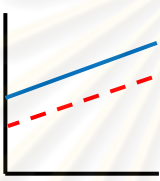
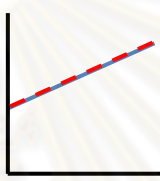
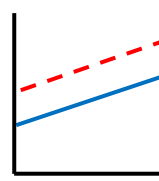
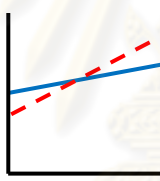
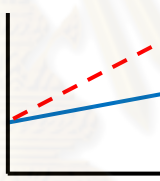
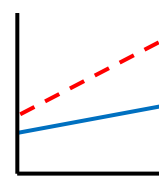
รูปที่ 3.7 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตรายปี



รูปที่ 3.8 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนและปริมาณผลผลิตรายปี

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่า m และ C ในปี 2552 เทียบกับปี 2551 มีทั้งลดลง เพิ่มขึ้น หรือคงที่ (คำว่า “คงที่” ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงตัวเลขเท่าเดิม เพราะเป็นไปได้ยากมาก แต่จะหมายถึงค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนเห็นได้ว่าการถดถอยขนานกัน หรือตัดแกน Y ที่จุดเดิม) ซึ่งสามารถสรุปแนวโน้มเส้นการถดถอยในแผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตรายปี เมื่อค่า m และ C เปลี่ยนแปลงตามกรณีต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แนวโน้มเส้นการถดถอยของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตเปรียบเทียบ 2 ปี

ค่า C ค่า m	ลดลง	คงที่	เพิ่มขึ้น
ลดลง	กรณีที่ 1 	กรณีที่ 4 	กรณีที่ 7 
คงที่	กรณีที่ 2 	กรณีที่ 5 	กรณีที่ 8 
เพิ่มขึ้น	กรณีที่ 3 	กรณีที่ 6 	กรณีที่ 9 

หมายเหตุ เส้นสีน้ำเงิน (—) หมายถึง ข้อมูลปีแรก
เส้นสีแดง (---) หมายถึง ข้อมูลปีหลัง

3.2.3 วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย

การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาสมการเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุที่เป็นตัวแทนของข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการนำไปวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ โดยลดทั้งค่า m และ C (ในกรณีของสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย)

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา ทำให้ได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายที่ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลทั้ง 24 เดือน ของปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานความร้อนดังตารางที่ 3.4 ซึ่งเป็นกรวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีที่สะดวกที่สุด โดยการเพิ่มเส้นแนวโน้มในแผนภาพกระจาย จากนั้นพิจารณาค่า R^2 ของสมการที่ได้ ถ้ามีค่าเท่ากับหรือสูงกว่า 0.7 แสดงว่าสมการถดถอยนั้นมีความน่าเชื่อถือมาก เนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณการใช้พลังงาน

เกิดจากปริมาณการผลิตไม่น้อยกว่า 70% ดังนั้นสามารถใช้เป็นสมการตัวแทนสำหรับการพยากรณ์การใช้พลังงานได้ดี หรือแสดงถึงความเสถียรของการใช้พลังงานได้อีกนัยหนึ่ง เพราะจุดข้อมูลกระจายตัวอยู่รอบ ๆ เส้นตรง หรือสามารถลากเส้นตรงผ่านจุดข้อมูลส่วนใหญ่ได้ ซึ่งกรณีโรงงานตัวอย่างนี้ค่า R^2 มีค่าสูงมาก โดยมากกว่า 0.81 แสดงว่าสามารถใช้สมการถดถอยทั้ง 3 สมการ เป็นสมการตัวแทนใช้อธิบายการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน ตลอดจนพลังงานรวมได้ดี

ตารางที่ 3.4 สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายของข้อมูลทั้ง 24 เดือน

	สมการ	R^2
พลังงานรวม	$Y = 11,084.05X + 2,533,396.96$	0.9846
พลังงานไฟฟ้า	$Y = 2,896.75X + 427,433.90$	0.9857
พลังงานความร้อน	$Y = 655.73X + 994,634.92$	0.8142

แต่ถ้าหากค่า R^2 มีค่าต่ำกว่า 0.7 แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยไม่สามารถใช้เพื่อเป็นสมการตัวแทนได้ เพราะอาจมีปัจจัยอื่นที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามไม่ต่ำกว่า 30% ขึ้นไป หรือบ่งชี้ว่าการใช้พลังงานของโรงงานมีความเสถียรต่ำ เนื่องจากจุดข้อมูลกระจายตัวห่างจากเส้นตรง หรือพฤติกรรมการใช้พลังงานในแต่ละช่วงมีความแตกต่างกันสูงมาก โดยเดิมมีพฤติกรรมดีอยู่แล้ว จากนั้นเกิดพฤติกรรมไม่ดี มีการสูญเสียพลังงานมาก หรือเดิมมีพฤติกรรมที่ไม่ดีอยู่แล้วทำกิจกรรมที่ลดหรือประหยัดพลังงานได้ปริมาณมาก จึงทำให้ข้อมูลแตกตัวเป็นกลุ่ม ๆ หรือแม้กระทั่งข้อมูลไม่น่าเชื่อถือเลย เพราะเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ ส่งผลให้ค่า R^2 ต่ำมาก ๆ ได้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาค่าเป็นกรณีใดได้จากการพิจารณาแผนภาพกระจายและสมการถดถอยแบบรายปี ทั้งนี้กรณีที่ค่า R^2 ต่ำมาก ๆ ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ ก็ไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

3.2.4 วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

การวิเคราะห์ที่ผ่านมาเป็นเพียงการนำเสนอข้อมูลดิบในรูปแบบต่าง ๆ ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการวิเคราะห์หาดัชนีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้ง 2 ชุด คือ ข้อมูลการใช้พลังงาน และข้อมูลปริมาณผลผลิต ซึ่งโดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์ออกมาในเทอมของ SEC ซึ่งคำนวณได้จากพลังงานที่ใช้หารด้วยปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ซึ่งตารางที่ 3.5 แสดงค่า SEC ของพลังงาน

รวม (SEC_T), ตารางที่ 3.6 แสดงค่า SEC ของพลังงานไฟฟ้า (SEC_E) และตารางที่ 3.7 แสดงค่า SEC ของพลังงานความร้อน (SEC_H)

ตารางที่ 3.5 ค่า SEC_T เชิงอนุกรมเวลา

เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	พลังงานรวม (เมกะจูล)	SEC_T (เมกะจูล/ตัน)	เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	พลังงานรวม (เมกะจูล)	SEC_T (เมกะจูล/ตัน)
1	2,212.73	27,217,425	12,300	13	2,284.08	26,736,460	11,706
2	2,326.01	28,525,710	12,264	14	1,426.64	17,679,155	12,392
3	2,514.50	30,720,650	12,217	15	1,630.81	20,551,600	12,602
4	2,043.16	25,737,815	12,597	16	1,496.04	19,504,540	13,037
5	2,453.02	29,952,520	12,210	17	2,313.70	28,158,880	12,171
6	2,475.71	29,891,170	12,074	18	2,304.15	28,571,930	12,400
7	2,565.00	30,881,361	12,040	19	2,508.76	30,048,595	11,977
8	2,566.83	31,127,285	12,127	20	2,620.97	31,065,210	11,853
9	2,490.59	30,277,555	12,157	21	2,520.79	30,171,055	11,969
10	2,578.37	30,796,860	11,944	22	2,311.18	29,333,355	12,692
11	2,422.00	28,635,370	11,823	23	2,188.82	27,518,650	12,572
12	1,651.07	20,462,910	12,394	24	1,867.59	23,252,610	12,451
รวม	28,298.99	344,226,631		รวม	25,473.51	312,592,040	
เฉลี่ย	2,358.25	28,685,553	12,164	เฉลี่ย	2,122.79	26,049,337	12,271

ตารางที่ 3.6 ค่า SEC_E เชิงอนุกรมเวลา

เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	SEC_E (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน)	เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	SEC_E (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตัน)
1	2,212.73	6,880,800	3,110	13	2,284.08	6,802,000	2,978
2	2,326.01	7,215,200	3,102	14	1,426.64	4,344,400	3,045
3	2,514.50	7,795,600	3,100	15	1,630.81	5,150,800	3,158
4	2,043.16	6,537,200	3,200	16	1,496.04	4,891,600	3,270
5	2,453.02	7,600,400	3,098	17	2,313.70	7,109,200	3,073
6	2,475.71	7,581,600	3,062	18	2,304.15	7,212,800	3,130
7	2,565.00	7,814,160	3,046	19	2,508.76	7,592,800	3,027
8	2,566.83	7,902,400	3,079	20	2,620.97	7,896,000	3,013
9	2,490.59	7,656,400	3,074	21	2,520.79	7,644,400	3,033
10	2,578.37	7,840,800	3,041	22	2,311.18	7,382,400	3,194
11	2,422.00	7,282,000	3,007	23	2,188.82	6,929,600	3,166
12	1,651.07	5,074,000	3,073	24	1,867.59	5,887,600	3,153
รวม	28,298.99	87,180,560		รวม	25,473.51	78,843,600	
เฉลี่ย	2,358.25	7,265,047	3,081	เฉลี่ย	2,122.79	6,570,300	3,095

ตารางที่ 3.7 ค่า SEC_H เชิงอนุกรมเวลา

เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณความร้อน (เมกะจูล)	SEC_H (เมกะจูล/ตัน)	เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณความร้อน (เมกะจูล)	SEC_H (เมกะจูล/ตัน)
1	2,212.73	2,446,545	1,106	13	2,284.08	2,249,260	985
2	2,326.01	2,550,990	1,097	14	1,426.64	2,039,315	1,429
3	2,514.50	2,656,490	1,056	15	1,630.81	2,008,720	1,232
4	2,043.16	2,203,895	1,079	16	1,496.04	1,894,780	1,267
5	2,453.02	2,591,080	1,056	17	2,313.70	2,565,760	1,109
6	2,475.71	2,597,410	1,049	18	2,304.15	2,605,850	1,131
7	2,565.00	2,750,385	1,072	19	2,508.76	2,714,515	1,082
8	2,566.83	2,678,645	1,044	20	2,620.97	2,639,610	1,007
9	2,490.59	2,714,515	1,090	21	2,520.79	2,651,215	1,052
10	2,578.37	2,569,980	997	22	2,311.18	2,756,715	1,193
11	2,422.00	2,420,170	999	23	2,188.82	2,572,090	1,175
12	1,651.07	2,196,510	1,330	24	1,867.59	2,057,250	1,102
รวม	28,298.99	30,376,615		รวม	25,473.51	28,755,080	
เฉลี่ย	2,358.25	2,531,385	1,073	เฉลี่ย	2,122.79	2,396,257	1,129

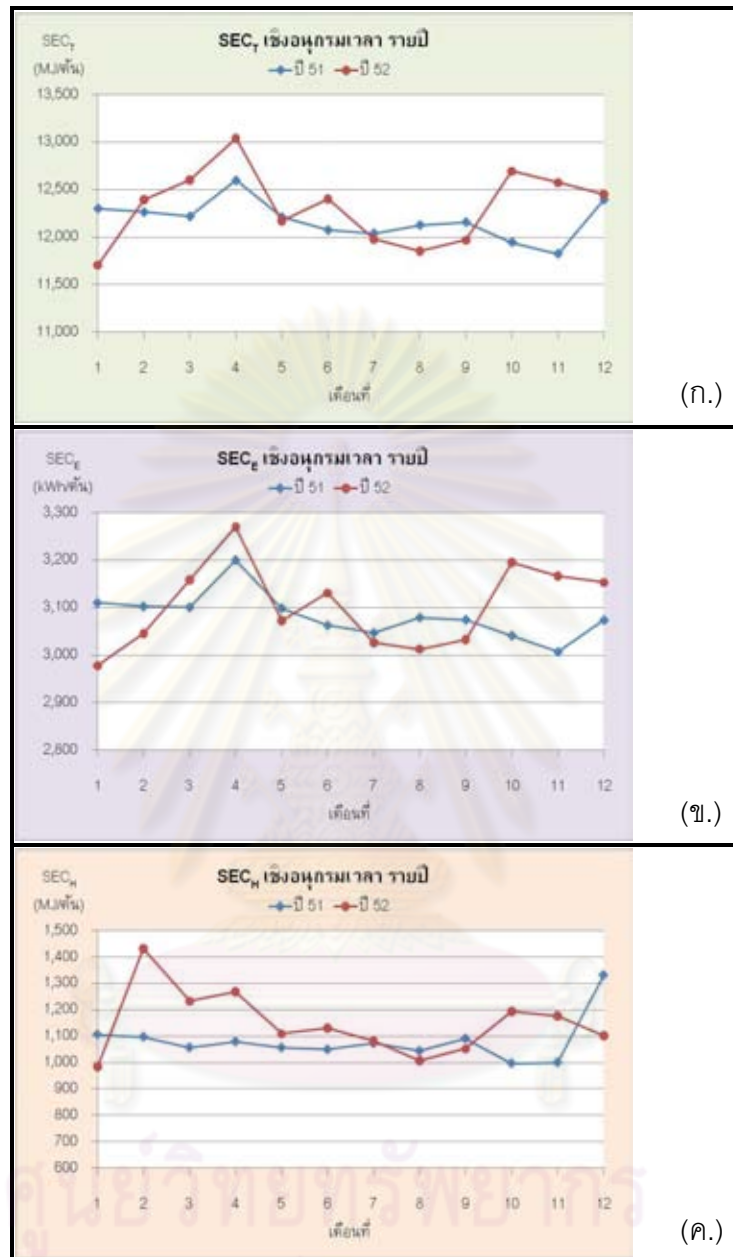
ค่า SEC ที่วิเคราะห์ได้เมื่อนำเสนอในรูปแบบกราฟเชิงอนุกรมเวลาดังรูปที่ 3.9 ทำให้เห็นประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เพิ่ม-ลดในแต่ละเดือน

จากกราฟ ก. SEC_T อยู่ในช่วง 11,600-13,000 เมกะจูลต่อตัน

กราฟ ข. SEC_E อยู่ในช่วง 2,950-3,300 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน หรือ 10,600-11,900 เมกะจูลต่อตัน

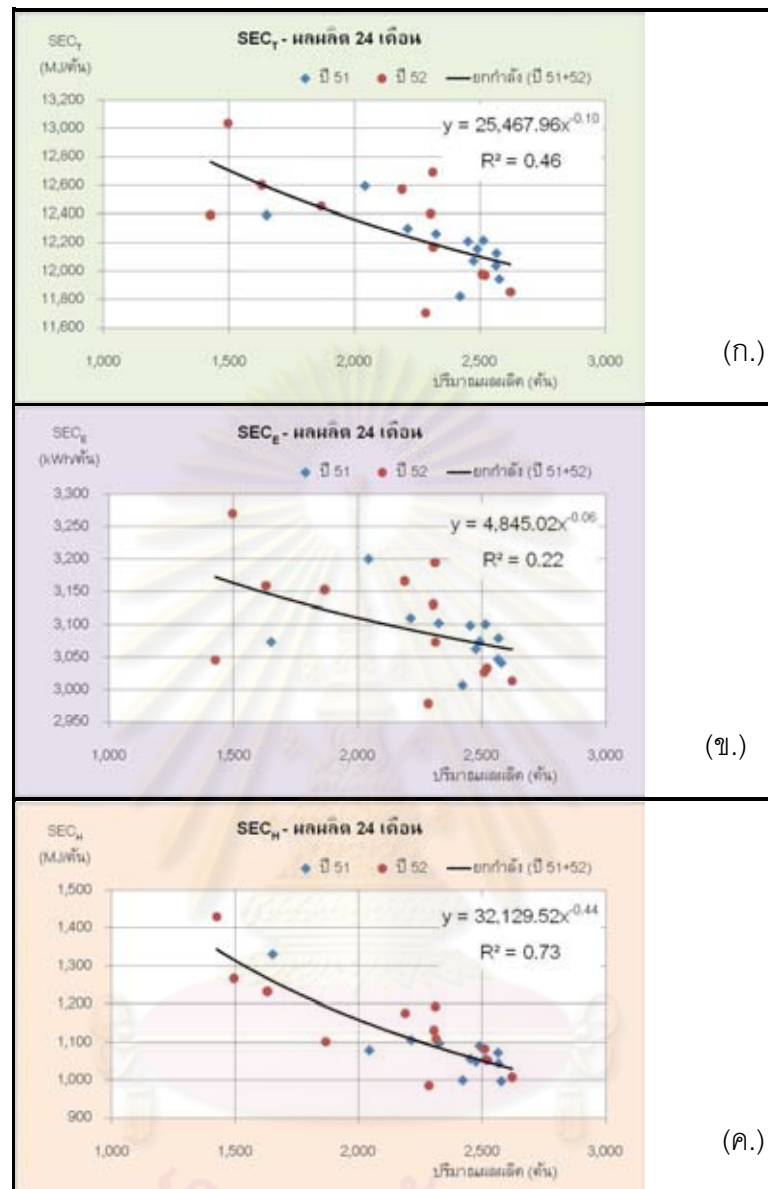
กราฟ ค. SEC_H อยู่ในช่วง 950-1,400 เมกะจูลต่อตัน

นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่าทั้งค่า SEC_T และ SEC_E ในแต่ละปีมีค่าสูงสุดในเดือนที่ 4 และต่ำลงมากในช่วงเดือนที่ 7-9 ซึ่งเป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ส่วนค่า SEC_H นั้นมีค่าสม่ำเสมอมากในปี 2551 ดูจากเส้นกราฟที่ค่อนข้างคงที่ แต่ผันผวนในช่วงปลายปี 2551 ถึงครึ่งปีแรกของปี 2552 แล้วเส้นกราฟจึงค่อย ๆ หนึ่งมากขึ้น



รูปที่ 3.9 ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปี

ทั้งนี้กราฟเชิงอนุกรมเวลาแสดงให้เห็นค่า SEC ที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาเท่านั้น จึงสร้างแผนภาพกระจายของค่า SEC และปริมาณผลผลิตได้ดังรูปที่ 3.10 เพื่ออธิบายการเพิ่ม-ลดของค่า SEC เนื่องจากค่า SEC จะขึ้นกับปริมาณผลผลิตที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือน



รูปที่ 3.10 แผนภาพกระจายของค่า SEC และปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน

จากสมการ (3.2) เมื่อมีการผลิตมากขึ้น ค่า SEC จะมีค่าลดลง ซึ่งจากแผนภาพกระจายรูปที่ 3.10 ก็มีแนวโน้มเช่นนั้น ทั้งนี้เส้นการถดถอยที่ใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลจะได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบยกกำลัง (power regression) เพราะกราฟความสัมพันธ์นี้ส่วนใหญ่จะไม่กระจายตัวเป็นเชิงเส้นตรง ถ้าใช้สมการเชิงเส้นตรงจะทำให้ตัวแทนมีความคลาดเคลื่อนมาก

ดังที่กล่าวไปแล้วว่าค่าพลังงานคงที่หรือค่า C มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า SEC โดยพิจารณาจากสมการ (3.2) ถ้าค่า C มีค่ามาก ส่วนของพลังงานแปรผัน (m) จะมีค่าน้อย และเมื่อค่า X เปลี่ยนแปลง จะทำให้ผลของ C/X นั้นมีผลมาก อธิบายได้ว่าถ้า X มีค่าน้อย (ผลิตน้อย) ค่า

C/X ก็จะมีค่ามาก ค่า SEC จึงมีค่ามาก แต่ในทางกลับกันถ้า X มีค่ามากขึ้น (ผลิตมากขึ้น) ค่า C/X ก็ลดลงอย่างมาก ค่า SEC จึงมีค่าลดลงมาก ทำให้ค่า SEC มีค่าแปรเปลี่ยนมากหรือแกว่งมาก และเมื่อเขียนแผนภาพกระจาย ลักษณะเส้นการถดถอยจะเป็นเส้นโค้ง ซึ่งในรูปที่ 3.10 กราฟ ค. มีลักษณะโค้งเล็กน้อย และโค้งมากกว่ากราฟอื่น เนื่องจากพลังงานความร้อนมีค่า %C เท่ากับ 40.37% ซึ่งมากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่มีเพียง 6.18% ทำให้เส้นการถดถอยค่อนข้างเป็นเส้นตรงดังกราฟ ข. การที่ค่า %C มีค่าน้อย นั่นคือส่วนของค่า C มีค่าน้อย แต่ส่วนของค่า m จะมากขึ้น ดังนั้นผลของ C/X จึงมีค่าน้อย ค่า SEC_E จึงเท่ากับค่า m รวมกับค่า C/X อีกเล็กน้อย ค่า SEC_E จึงแกว่งตัวได้น้อย เมื่อพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ของโรงงานตัวอย่างนี้เป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานรวมจึงขึ้นกับพลังงานไฟฟ้า สัดส่วนค่าพลังงานคงที่ของพลังงานรวมจึงมีค่าน้อยตามไปด้วยเท่ากับ 9.26% ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเกิดจากการรวมส่วนของพลังงานความร้อน

ดังนั้นเมื่อทราบค่า %C จะทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า SEC สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการผลิตเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุดในกรณีที่ค่า SEC มีค่าแปรเปลี่ยนมาก หรือในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณผลผลิตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า SEC น้อย ก็ต้องหาแนวทางในการลดความสูญเสีย ปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร หรือการบริหารจัดการเพื่อลดค่า SEC เพื่อให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3.2.5 วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

ในที่นี้เป็นการประยุกต์ใช้กราฟ CUSUM ซึ่งเป็นเครื่องมือทางด้าน SPC (Statistical Process Control) ที่ใช้ในกระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิต มาใช้ในงานทางด้านพลังงาน เนื่องจากกราฟ CUSUM มีลักษณะเด่น คือ

1. ไวต่อค่าที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ถ้าการใช้พลังงานมีการเปลี่ยนแปลงไปจากฐานไม่มาก เมื่อเขียนกราฟแบบอนุกรมเวลาอาจจะไม่สามารถมองเห็นได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนั้นมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับฐาน แต่กราฟ CUSUM เป็นการนำเสนอการสะสมสิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่เมื่อมีการสะสมต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ก็จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดขึ้น
2. แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้อย่างชัดเจน ว่าข้อมูลมีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด เช่น เปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น หรือลดลง
3. แสดงจุดเริ่มเปลี่ยนของพฤติกรรมและช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น อาจจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง หรือเปลี่ยนแปลงชั่วคราวแล้วกลับไปสู่พฤติกรรมเดิม

กราฟ CUSUM เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงผลรวมสะสมของความแตกต่างของการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจริงกับค่าฐานที่ใช้อ้างอิง ในการสร้างกราฟ CUSUM นั้นเริ่มจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตอย่างน้อย 24 เดือน โดยสร้างแผนภาพกระจายและวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อสร้างสมการ Baseline จากนั้นวิเคราะห์ค่า Expected, DIFF และ CUSUM ของแต่ละเดือน แล้วจึงเขียนกราฟแท่งของ DIFF และกราฟเส้นของ CUSUM

ทั้งนี้ค่า Expected คือ ปริมาณพลังงานที่คำนวณได้จากการแทนค่าปริมาณผลผลิตในเดือนนั้นลงในสมการ Baseline

ค่า DIFF คือ ผลต่าง (Difference) ของค่าพลังงานที่ใช้จริงกับค่า Expected ในแต่ละเดือน (พลังงานที่ใช้จริง - ค่า Expected)

ค่า CUSUM คือ ผลรวมสะสมของค่า DIFF โดยค่า CUSUM ในเดือนสุดท้ายจะต้องเป็น 0 แต่ในทางปฏิบัติอาจทำได้แค่ใกล้เคียง 0 เพราะผลจากการคำนวณทศนิยม

ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และ พลังงานความร้อนทั้ง 24 เดือนแสดงในตารางที่ 3.8, ตารางที่ 3.9 และตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.8 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานรวมทั้ง 24 เดือน

Baseline equation: Y = 11,084.05 X + 2,533,396.96					
เดือนที่	ปริมาณผลผลิต	พลังงานที่ใช้จริง	Expected	DIFF	CUSUM
	(ตัน)	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)
1	2,213	27,217,425	27,059,456	157,969	157,969
2	2,326	28,525,710	28,315,040	210,670	368,639
3	2,515	30,720,650	30,404,274	316,376	685,015
4	2,043	25,737,815	25,179,857	557,958	1,242,973
5	2,453	29,952,520	29,722,785	229,735	1,472,708
6	2,476	29,891,170	29,974,300	- 83,130	1,389,578
7	2,565	30,881,361	30,963,986	- 82,625	1,306,953
8	2,567	31,127,285	30,984,246	143,039	1,449,992
9	2,491	30,277,555	30,139,238	138,317	1,588,308
10	2,578	30,796,860	31,112,125	- 315,265	1,273,043
11	2,422	28,635,370	29,378,967	- 743,597	529,446
12	1,651	20,462,910	20,833,924	- 371,014	158,432
13	2,284	26,736,460	27,850,278	- 1,113,818	- 955,386
14	1,427	17,679,155	18,346,297	- 667,142	- 1,622,527
15	1,631	20,551,600	20,609,431	- 57,831	- 1,680,359
16	1,496	19,504,540	19,115,597	388,943	- 1,291,416
17	2,314	28,158,880	28,178,534	- 19,654	- 1,311,070
18	2,304	28,571,930	28,072,724	499,206	- 811,864
19	2,509	30,048,595	30,340,567	- 291,972	- 1,103,835
20	2,621	31,065,210	31,584,401	- 519,191	- 1,623,027
21	2,521	30,171,055	30,473,923	- 302,868	- 1,925,895
22	2,311	29,333,355	28,150,579	1,182,776	- 743,119
23	2,189	27,518,650	26,794,336	724,314	- 18,805
24	1,868	23,252,610	23,233,805	18,805	0

ตารางที่ 3.9 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 24 เดือน

Baseline equation: $Y = 2,896.75 X + 427,433.90$					
เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	พลังงานที่ใช้จริง (kWh)	Expected (kWh)	DIFF (kWh)	CUSUM (kWh)
1	2,213	6,880,800	6,837,182	43,618	43,618
2	2,326	7,215,200	7,165,322	49,878	93,496
3	2,515	7,795,600	7,711,332	84,268	177,764
4	2,043	6,537,200	6,345,960	191,240	369,004
5	2,453	7,600,400	7,533,228	67,172	436,176
6	2,476	7,581,600	7,598,960	- 17,360	418,816
7	2,565	7,814,160	7,857,609	- 43,449	375,366
8	2,567	7,902,400	7,862,904	39,496	414,862
9	2,491	7,656,400	7,642,066	14,334	429,196
10	2,578	7,840,800	7,896,325	- 55,525	373,671
11	2,422	7,282,000	7,443,373	- 161,373	212,298
12	1,651	5,074,000	5,210,174	- 136,174	76,124
13	2,284	6,802,000	7,043,859	- 241,859	- 165,735
14	1,427	4,344,400	4,560,047	- 215,647	- 381,382
15	1,631	5,150,800	5,151,504	- 704	- 382,087
16	1,496	4,891,600	4,761,099	130,501	- 251,586
17	2,314	7,109,200	7,129,647	- 20,447	- 272,033
18	2,304	7,212,800	7,101,994	110,806	- 161,227
19	2,509	7,592,800	7,694,682	- 101,882	- 263,109
20	2,621	7,896,000	8,019,751	- 123,751	- 386,860
21	2,521	7,644,400	7,729,534	- 85,134	- 471,995
22	2,311	7,382,400	7,122,341	260,059	- 211,936
23	2,189	6,929,600	6,767,895	161,705	- 50,230
24	1,868	5,887,600	5,837,370	50,230	0

ตารางที่ 3.10 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อนทั้ง 24 เดือน

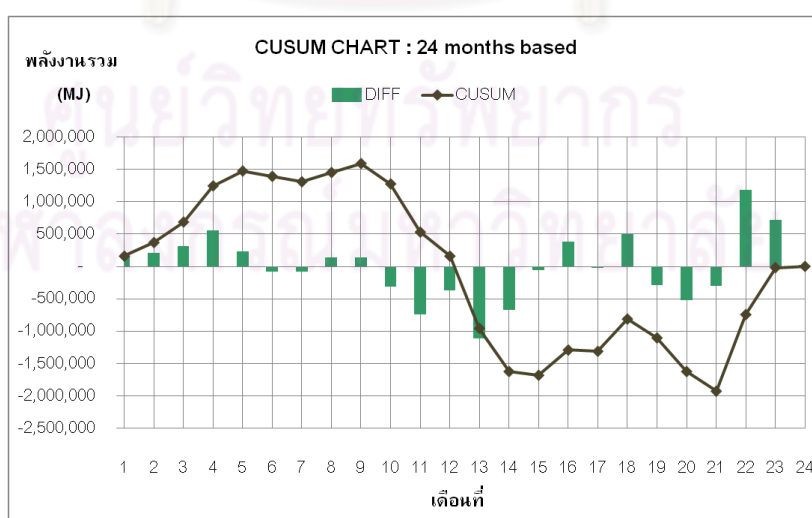
Baseline equation: $Y = 655.73 X + 994,634.92$					
เดือนที่	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	พลังงานที่ใช้จริง (MJ)	Expected (MJ)	DIFF (MJ)	CUSUM (MJ)
1	2,213	2,446,545	2,445,600	945	945
2	2,326	2,550,990	2,519,880	31,110	32,055
3	2,515	2,656,490	2,643,480	13,010	45,065
4	2,043	2,203,895	2,334,403	- 130,508	- 85,443
5	2,453	2,591,080	2,603,163	- 12,083	- 97,526
6	2,476	2,597,410	2,618,043	- 20,633	- 118,158
7	2,565	2,750,385	2,676,593	73,792	- 44,366
8	2,567	2,678,645	2,677,791	854	- 43,512
9	2,491	2,714,515	2,627,800	86,715	43,203
10	2,578	2,569,980	2,685,356	- 115,376	- 72,174
11	2,422	2,420,170	2,582,823	- 162,653	- 234,826
12	1,651	2,196,510	2,077,297	119,213	- 115,613
13	2,284	2,249,260	2,492,385	- 243,125	- 358,738
14	1,427	2,039,315	1,930,128	109,187	- 249,551
15	1,631	2,008,720	2,064,016	- 55,296	- 304,847
16	1,496	1,894,780	1,975,640	- 80,860	- 385,707
17	2,314	2,565,760	2,511,805	53,955	- 331,752
18	2,304	2,605,850	2,505,545	100,305	- 231,447
19	2,509	2,714,515	2,639,711	74,804	- 156,643
20	2,621	2,639,610	2,713,296	- 73,686	- 230,329
21	2,521	2,651,215	2,647,600	3,615	- 226,715
22	2,311	2,756,715	2,510,151	246,564	19,849
23	2,189	2,572,090	2,429,915	142,175	162,024
24	1,868	2,057,250	2,219,274	- 162,024	0

เมื่อนำค่า DIFF และ CUSUM ไปเขียนกราฟ CUSUM ได้ดังรูปที่ 3.11, รูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 พบว่าเส้นกราฟมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง โดยแบ่งเป็นช่วง ๆ ทั้งนี้ถ้าพิจารณาข้อมูลเชิงตัวเลขจะไม่สามารถมองเห็นพฤติกรรมได้ ขณะที่แผนภาพกระจายก็ไม่สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าข้อมูลแบ่งเป็นชุดย่อย ๆ ได้ จึงต้องใช้กราฟ CUSUM

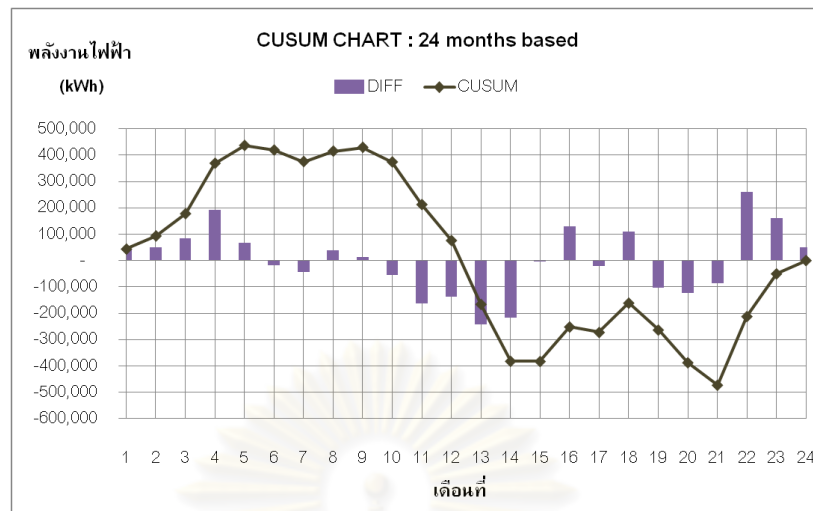
ช่วงที่กราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบหรือค่า DIFF มีค่าติดลบ เป็นช่วงที่การใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ถือเป็นช่วงที่มีพฤติกรรมการใช้พลังงานที่ดี เกิดการประหยัดพลังงาน ในทางตรงกันข้ามช่วงที่กราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวกหรือค่า DIFF มีค่าบวก เป็นช่วงที่การใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย แสดงว่ามีพฤติกรรมการใช้พลังงานที่ไม่ดี เกิดการสูญเสียพลังงาน และช่วงที่กราฟ CUSUM มีความชันเป็น 0 หรือค่า DIFF มีค่าน้อยมาก ๆ เป็นช่วงที่การใช้พลังงานใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ถือเป็นช่วงที่มีพฤติกรรมการใช้พลังงานเสมอตัว

จากรูปที่ 3.12 เห็นได้ว่าเส้นกราฟของพลังงานไฟฟ้าอาจแบ่งเป็นช่วงใหญ่ ๆ ได้ 6 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เดือนที่ 1-5 ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวก ช่วงที่ 2 เดือนที่ 6-9 ใช้พลังงานใกล้เคียงค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็น 0 ช่วงที่ 3 เดือนที่ 10-15 ใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ ช่วงที่ 4 เดือนที่ 16-18 ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวก ช่วงที่ 5 เดือนที่ 19-21 ใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ ช่วงที่ 6 เดือนที่ 22-24 ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวก ซึ่งกราฟ CUSUM ของพลังงานรวมในรูปที่ 3.11 ก็มีแนวโน้มเดียวกันนี้

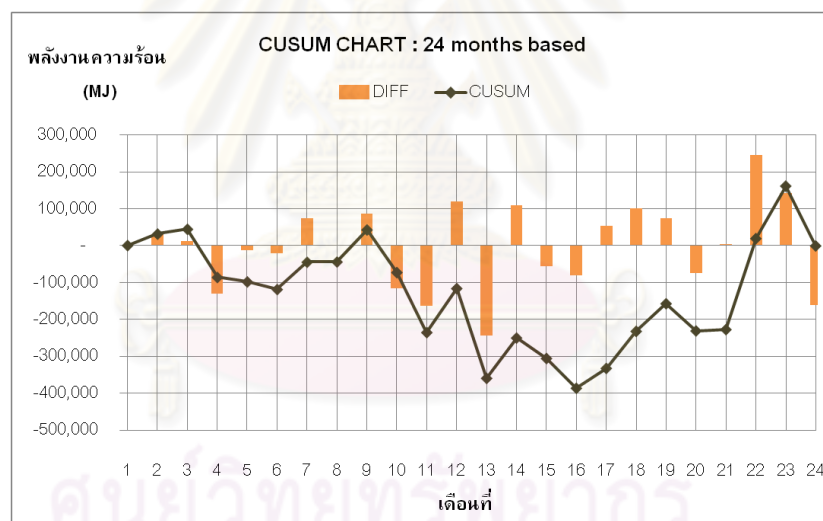
ส่วนกราฟ CUSUM ของพลังงานความร้อนในรูปที่ 3.13 มีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงมากกว่าเส้นกราฟของพลังงานไฟฟ้าจนไม่สามารถแบ่งเป็นช่วงได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับค่า R^2 ที่ได้จากการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนในช่วง 24 เดือน ที่มีค่าเท่ากับ 0.8142 ต่ำกว่าค่า R^2 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีค่าเท่ากับ 0.9857



รูปที่ 3.11 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานรวมที่ใช้ข้อมูลฐานอ้างอิง 24 เดือน



รูปที่ 3.12 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ข้อมูลฐานอ้างอิง 24 เดือน



รูปที่ 3.13 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อนที่ใช้ข้อมูลฐานอ้างอิง 24 เดือน

ถ้าหากพิจารณาจากแผนภาพกระจายและค่า R^2 ที่ผ่านมาเพียงเท่านั้น อาจทำให้เชื่อได้ว่าการใช้พลังงานมีความเสถียรสูงมากแล้ว แต่เมื่อพิจารณาจากกราฟ CUSUM แล้ว ทำให้เห็นว่าการสูญเสียพลังงานอยู่บ่อยครั้ง ถึงแม้จะเป็นการสูญเสียพลังงานในระดับเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้จริง แต่ถ้าสามารถหาสาเหตุและหาทางลดขนาดการเกิดของช่วงที่มีการใช้พลังงานที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยได้ จะทำให้ลดการสูญเสียพลังงาน การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3.2.6 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

เมื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยใช้กราฟ CUSUM แล้ว ทั้งนี้สามารถใช้ประโยชน์ต่อเนื่องได้ โดยการใช้ตารางผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานทั้ง 24 เดือน ในการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ส่วนพลังงานรวมนั้นไม่ต้องวิเคราะห์ เพราะพลังงานรวมเป็นผลจากการจัดการพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน แต่ทั้งนี้จะอธิบายขั้นตอนอย่างละเอียดเฉพาะการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่านั้น

ขั้นตอนการวิเคราะห์ประกอบด้วย

1. เลือกเดือนที่มีค่า DIFF ติดลบมาก ๆ ประมาณ 6-8 เดือน เพื่อใช้เป็นช่วงฐานอ้างอิง โดยไม่จำเป็นต้องเป็นเดือนที่ต่อเนื่องกัน เพราะถือว่ากิจกรรมที่เกิดขึ้นนั้นเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดประโยชน์ และใช้เป็นค่าเป้าหมายในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงได้ เพราะถือว่าเป็นเหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นแล้วในอดีต น่าจะทำให้เกิดพฤติกรรมเช่นนั้นได้อีก ดังนั้นจากตารางที่ 3.9 และรูปที่ 3.12 จะเลือกเดือนที่ 11-14 และเดือนที่ 19-20 รวมทั้งหมด 6 เดือน

2. แยกข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดฐานอ้างอิงและชุดข้อมูลที่เหลือ ดังตารางที่ 3.11

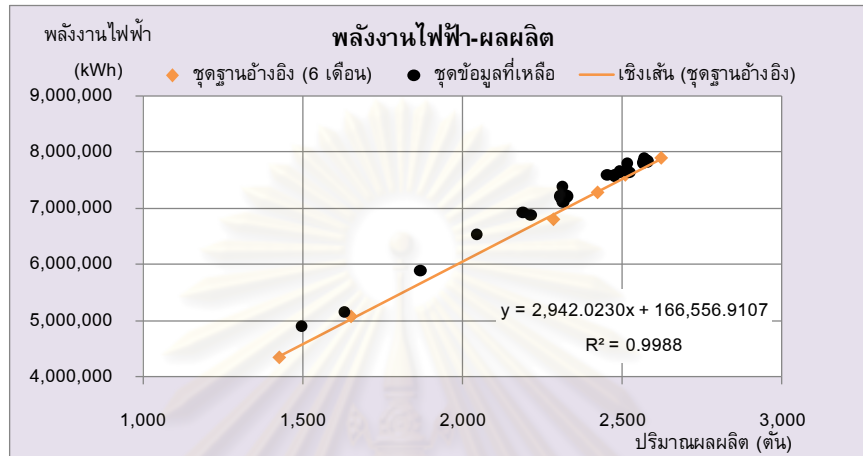
ตารางที่ 3.11 ชุดฐานอ้างอิงและชุดข้อมูลที่เหลือของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 24 เดือน

เดือนที่	DIFF	ปริมาณผลผลิต	พลังงานที่ใช้จริง
	(kWh)	(ตัน)	(kWh)
11	- 161,373	2,422	7,282,000
12	- 136,174	1,651	5,074,000
13	- 241,859	2,284	6,802,000
14	- 215,647	1,427	4,344,400
19	- 101,882	2,509	7,592,800
20	- 123,751	2,621	7,896,000
1	43,618	2,213	6,880,800
2	49,878	2,326	7,215,200
3	84,268	2,515	7,795,600
4	191,240	2,043	6,537,200
5	67,172	2,453	7,600,400
6	- 17,360	2,476	7,581,600
7	- 43,449	2,565	7,814,160
8	39,496	2,567	7,902,400
9	14,334	2,491	7,656,400
10	- 55,525	2,578	7,840,800
15	- 704	1,631	5,150,800
16	130,501	1,496	4,891,600
17	- 20,447	2,314	7,109,200
18	110,806	2,304	7,212,800
21	- 85,134	2,521	7,644,400
22	260,059	2,311	7,382,400
23	161,705	2,189	6,929,600
24	50,230	1,868	5,887,600

ชุดฐานอ้างอิง

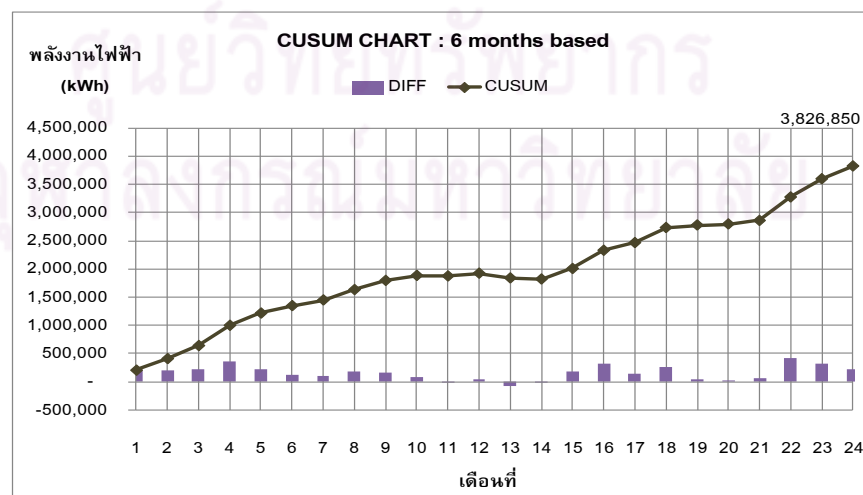
ชุดข้อมูลที่เหลือ

3. นำข้อมูลทั้ง 2 ชุด ไปเขียนแผนภาพกระจายและหาสมการการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงได้ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลที่เหลือทั้ง 18 เดือน อยู่เหนือชุดฐานอ้างอิง นั่นคือมีการใช้พลังงานสูงกว่าข้อมูลที่จะใช้เป็นค่าเป้าหมายทั้งสิ้น



รูปที่ 3.14 แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือ
ของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า

4. วิเคราะห์ค่า Expected, DIFF และ CUSUM ดังตารางที่ 3.12 และเขียนเป็นกราฟดังรูปที่ 3.15
5. ประเมินศักยภาพการประหยัดพลังงานที่จะเกิดขึ้น



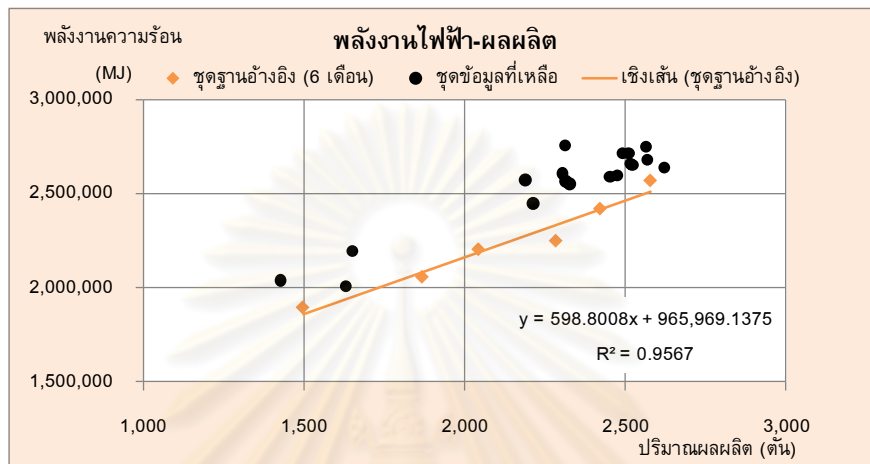
รูปที่ 3.15 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 11-14, 19-20

ตารางที่ 3.12 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 11-14, 19-20

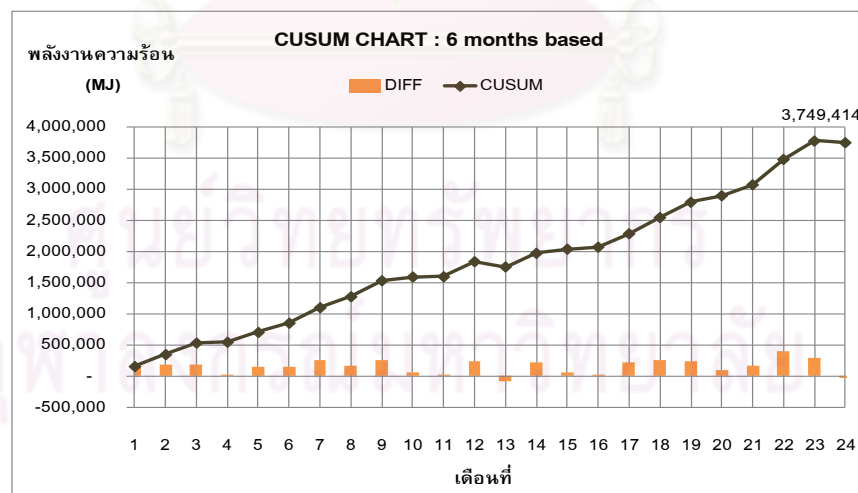
Baseline equation: $Y = 2,942.02 X + 166,556.91$					
เดือนที่	ปริมาณผลผลิต	พลังงานที่ใช้จริง	Expected	DIFF	CUSUM
	(ตัน)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	2,213	6,880,800	6,676,472	204,328	204,328
2	2,326	7,215,200	7,009,740	205,460	409,788
3	2,515	7,795,600	7,564,282	231,318	641,105
4	2,043	6,537,200	6,177,573	359,627	1,000,732
5	2,453	7,600,400	7,383,396	217,004	1,217,736
6	2,476	7,581,600	7,450,155	131,445	1,349,181
7	2,565	7,814,160	7,712,846	101,314	1,450,495
8	2,567	7,902,400	7,718,224	184,176	1,634,672
9	2,491	7,656,400	7,493,934	162,466	1,797,138
10	2,578	7,840,800	7,752,166	88,634	1,885,771
11	2,422	7,282,000	7,292,137	- 10,137	1,875,635
12	1,651	5,074,000	5,024,039	49,961	1,925,596
13	2,284	6,802,000	6,886,379	- 84,379	1,841,217
14	1,427	4,344,400	4,363,751	- 19,351	1,821,866
15	1,631	5,150,800	4,964,452	186,348	2,008,214
16	1,496	4,891,600	4,567,946	323,654	2,331,868
17	2,314	7,109,200	6,973,508	135,692	2,467,561
18	2,304	7,212,800	6,945,422	267,378	2,734,938
19	2,509	7,592,800	7,547,373	45,427	2,780,366
20	2,621	7,896,000	7,877,522	18,478	2,798,844
21	2,521	7,644,400	7,582,769	61,631	2,860,474
22	2,311	7,382,400	6,966,087	416,313	3,276,787
23	2,189	6,929,600	6,606,102	323,498	3,600,285
24	1,868	5,887,600	5,661,035	226,565	3,826,850

ผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมาพบว่าจากการที่ข้อมูลในอดีตมีทั้งพฤติกรรมดีและไม่ดีปะปนกันอยู่นั้น พฤติกรรมไม่ดีทั้ง 18 เดือนนั้น ทำให้เสียพลังงานไฟฟ้าไป 3,826,850 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (13,776,660 เมกะจูล) หรือโดยเฉลี่ยเดือนละประมาณ 212,600 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (765,370 เมกะจูล) และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานความร้อน เลือกรายข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 4, 10, 11, 13, 16 และ 24 ซึ่งเขียนแผนภาพกระจายและกราฟ CUSUM ได้ดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17

ตามลำดับ พบว่าเสียพลังงานความร้อนไป 3,749,414 เมกะจูล หรือโดยเฉลี่ยเดือนละประมาณ 208,300 เมกะจูล ซึ่งถือเป็นพลังงานที่จะประหยัดได้ ถ้ามีการบริหารจัดการที่ดีขึ้น ดังนั้น ในอนาคตไม่ควรจะต้องสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็นเช่นนี้อีก



รูปที่ 3.16 แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือ
ของข้อมูลการใช้พลังงานความร้อน



รูปที่ 3.17 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อน
ใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 4, 10, 11, 13, 16 และ 24

3.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.13 แสดงตัวอย่างข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงาน ซึ่งแบ่งเป็น พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนจากน้ำมันดีเซลและก๊าซปิโตรเลียมเหลว และพลังงานรวม ในช่วง 24 เดือน ของโรงงานแห่งหนึ่งในกลุ่ม TSIC 37 ที่มีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด คือ ท่อเหล็ก ERW, ท่อเหล็ก CD, ท่อเหล็ก Cutting และท่อเหล็ก Processing

ตารางที่ 3.13 ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของโรงงานตัวอย่างในกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์

เดือน	ปริมาณผลผลิต				พลังงานไฟฟ้า (kWh)	พลังงานความร้อน (MJ)	พลังงานรวม (MJ)
	ERW (ตัน)	CD (ตัน)	Cutting (ตัน)	Processing (ตัน)			
ม.ค. 51	4,848.15	2,211.07	2,876.21	648.52	1,125,097	6,843,279	10,893,628
ก.พ. 51	4,498.63	2,194.27	3,092.99	754.20	1,139,357	7,093,073	11,194,758
มี.ค. 51	5,004.67	2,105.96	3,148.47	596.31	1,224,955	7,385,655	11,795,493
เม.ย. 51	3,785.52	1,897.34	2,519.84	579.98	1,010,436	6,198,366	9,835,937
พ.ค. 51	4,812.03	2,190.62	3,114.34	595.65	1,225,987	7,691,193	12,104,746
มิ.ย. 51	4,487.00	1,999.00	2,954.04	570.09	1,219,698	6,558,883	10,949,795
ก.ค. 51	5,122.71	2,346.12	3,203.96	581.59	1,290,857	7,519,692	12,166,778
ส.ค. 51	4,750.35	2,163.01	2,891.60	530.29	1,256,997	7,100,254	11,625,443
ก.ย. 51	5,066.31	2,417.32	2,559.13	595.77	1,273,370	7,134,705	11,718,837
ต.ค. 51	4,894.97	2,438.82	2,570.20	667.43	1,315,497	7,336,602	12,072,392
พ.ย. 51	4,066.17	2,177.05	2,202.38	640.84	1,261,004	6,849,004	11,388,618
ธ.ค. 51	1,937.06	1,072.31	1,440.03	462.26	796,854	3,646,575	6,515,250
ม.ค. 52	2,564.85	1,162.06	1,895.27	430.95	858,149	4,280,050	7,369,385
ก.พ. 52	2,253.48	1,064.39	1,570.28	333.71	821,824	5,436,164	8,394,731
มี.ค. 52	3,248.30	1,832.53	2,223.43	419.86	1,065,381	5,873,480	9,708,852
เม.ย. 52	2,420.49	1,250.14	1,732.55	346.81	852,142	4,988,566	8,056,277
พ.ค. 52	2,779.71	1,655.17	1,962.66	412.94	1,048,045	5,699,367	9,472,328
มิ.ย. 52	3,401.74	1,851.44	2,230.00	439.00	1,065,576	5,961,114	9,797,189
ก.ค. 52	3,283.37	2,124.96	2,301.97	513.66	1,123,046	6,879,638	10,922,604
ส.ค. 52	3,273.54	1,578.09	2,141.31	575.61	1,172,405	8,179,331	12,399,989
ก.ย. 52	3,608.33	1,670.26	2,284.49	597.35	1,244,144	8,987,585	13,466,505
ต.ค. 52	3,866.95	1,676.56	2,099.40	563.52	1,259,856	8,409,540	12,945,021
พ.ย. 52	3,744.10	1,663.45	2,309.37	480.60	1,202,667	8,054,397	12,383,996
ธ.ค. 52	3,539.34	1,786.67	2,145.72	480.60	1,151,089	7,730,063	11,873,982
รวม	91,257.74	44,528.60	57,469.64	12,817.54	27,004,433	161,836,575	259,052,533
เฉลี่ย	3,802.41	1,855.36	2,394.57	534.06	1,125,185	6,743,191	10,793,856

3.3.1 วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ

สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์จะใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน อาจมีกระบวนการผลิตต่างกัน ทำให้ใช้พลังงานในการผลิตต่อหน่วยต่างกัน จึงต้องวิเคราะห์ผลของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่มีต่อปริมาณการใช้พลังงาน โดยกำหนดให้แต่ละผลิตภัณฑ์เป็นตัวแปรอิสระ สำหรับโรงงานตัวอย่างนี้มีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด จึงศึกษาผลของตัวแปรอิสระ 4 ตัวที่มีต่อการใช้พลังงานในทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS 16.0 โดยใช้วิธี Stepwise ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 ซึ่งวิธี Stepwise จะเป็นการเลือกตัวแปรอิสระที่ละตัวที่มีผลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ได้สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุออกมาในรูปแบบของ model ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.14, 3.15 และ 3.16

ตารางที่ 3.14 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานรวม

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.718 ^a	.516	.494	1.2806090E6

a. Predictors: (Constant), ERW

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.844E13	1	3.844E13	23.439	.000 ^a
	Residual	3.608E13	22	1.640E12		
	Total	7.452E13	23			

a. Predictors: (Constant), ERW

b. Dependent Variable: พลังงานรวม

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	5.711E6	1.082E6		5.279	.000
	ERW	1336.739	276.109	.718	4.841	.000

a. Dependent Variable: พลังงานรวม

ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานรวมดังตารางที่ 3.14 โปรแกรมวิเคราะห์ห้ออกมาได้ 1 model เท่านั้น พบว่ามีเพียงทอเหลือ ERW ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานรวม โดยจากผลการทดสอบ ANOVA ได้ค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α ($\alpha = 0.05$) ดังนั้นปฏิเสธ $H_0: \beta = 0$ นั้นหมายความว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมและเมื่อพิจารณาค่า Sig. ของ Constant และทอเหลือ ERW เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α เช่นกัน แสดงว่าสมการไม่ผ่านจุด (0,0) และทอเหลือ ERW มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงได้สมการ $Y = 1,336.74$ ทอเหลือ ERW + 5,711,000 แต่อย่างไรก็ตามสมการนี้มีค่า Adjusted R² เท่ากับ 0.494 ซึ่งน้อยกว่า 0.7 ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนการใช้พลังงานรวมที่น่าเชื่อถือได้

ตารางที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานไฟฟ้า

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.847 ^a	.717	.704	8.5137186E4

a. Predictors: (Constant), ERW

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	4.044E11	1	4.044E11	55.787	.000 ^a
	Residual	1.595E11	22	7.248E9		
	Total	5.638E11	23			

a. Predictors: (Constant), ERW

b. Dependent Variable: ไฟฟ้า

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	603858.380	71928.852		8.395	.000
	ERW	137.104	18.356	.847	7.469	.000

a. Dependent Variable: ไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานไฟฟ้าดังตารางที่ 3.15 พบว่าโปรแกรมวิเคราะห์ห้ออกมา 1 model เช่นกัน มีเพียงท่อเหลือ ERW ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจากผลการทดสอบ ANOVA ได้ค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α แสดงว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมและเมื่อพิจารณาค่า Sig. ของ Constant และท่อเหลือ ERW เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α เช่นกัน แสดงว่าสมการไม่ผ่านจุด (0,0) และท่อเหลือ ERW มีนัยสำคัญทางสถิติ จะได้สมการ $Y = 137.10$ ท่อเหลือ ERW + 603,858.38 ทั้งนี้มีค่า Adjusted R^2 เท่ากับ 0.704 ซึ่งมากกว่า 0.7 ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นสมการตัวแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

ตารางที่ 3.16 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานความร้อน

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.630 ^a	.397	.370	1.0273038E6

a. Predictors: (Constant), ERW

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.529E13	1	1.529E13	14.491	.001 ^a
	Residual	2.322E13	22	1.055E12		
	Total	3.851E13	23			

a. Predictors: (Constant), ERW

b. Dependent Variable: ค.ร้อน

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	3.537E6	867926.064		4.075	.001
	ERW	843.163	221.495	.630	3.807	.001

a. Dependent Variable: ค.ร้อน

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานความร้อนดังตารางที่ 3.16 โปรแกรมวิเคราะห์ห้ออกมาได้ 1 model แต่มีค่า Adjusted R² เท่ากับ 0.370 ซึ่งต่ำมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนการใช้พลังงานความร้อนได้

ดังนั้นผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของโรงงานตัวอย่างนี้จะได้สมการตัวแทนของการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงสมการเดียวเท่านั้น คือ $Y = 137.10$ ต่อเหล็ก ERW + 603,858.38 จึงทำการวิเคราะห์เฉพาะข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นต่อไป

3.3.2 วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

การวิเคราะห์ค่า SEC ของข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์นั้น ถ้าคำนวณจากพลังงานที่ใช้หารด้วยปริมาณผลผลิตรวมในแต่ละเดือน จะได้ค่า SEC โดยรวมทุกผลิตภัณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามหากหน่วยผลผลิตเป็นคนละหน่วยกัน ก็ไม่สามารถคิดรวมกันได้ และในความเป็นจริงผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันย่อมใช้พลังงานในการผลิตต่างกัน จึงควรวิเคราะห์ค่า SEC เฉพาะแต่ละผลิตภัณฑ์ไป

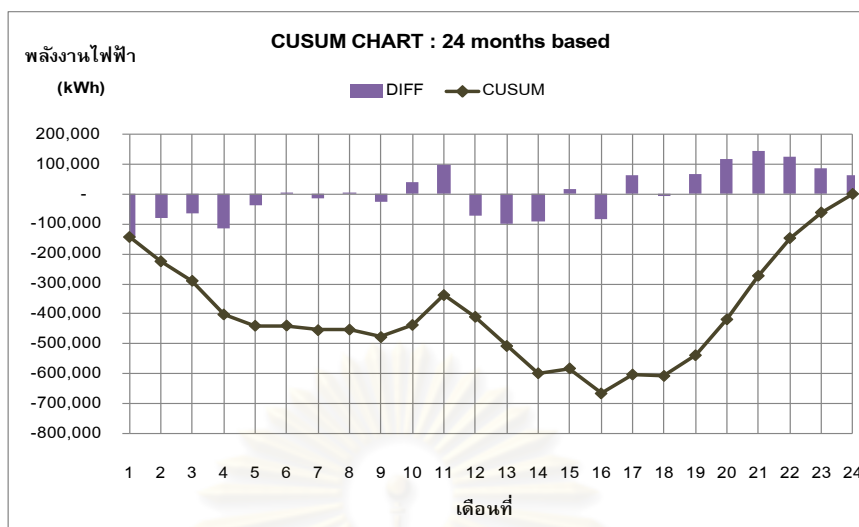
เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายที่ใช้เป็นสมการตัวแทนในการทำนายการใช้พลังงานนั้น ซึ่งหมายถึงค่า m หรือค่าพลังงานแปรผันนั่นเอง ถือเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตต่อหน่วยผลผลิต โดยไม่รวมส่วนของพลังงานคงที่ (ค่า C) ค่า m จึงเป็นค่า SEC สำหรับการผลิตที่ไม่คิดค่าพลังงานคงที่รวมด้วย ในทำนองเดียวกันกรณีของสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนของแต่ละตัวแปรอิสระใด ๆ (ค่าสัมประสิทธิ์ที่อยู่หน้าแต่ละตัวแปร) คือ ค่าเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของตัวแปรตาม เมื่อตัวแปรอิสระนั้นเพิ่ม 1 หน่วย โดยให้ตัวแปรอิสระอื่นมีค่าคงตัว ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนจึงเปรียบเหมือนค่าพลังงานแปรผันของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด หมายถึงค่า SEC สำหรับการผลิตของผลิตภัณฑ์นั้นนั่นเอง ในกรณีของโรงงานตัวอย่างนี้ จะได้ค่า SEC_E เฉลี่ยของผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว คือ ต่อเหล็ก ERW มีค่าเท่ากับ 137.10 kWh/ตัน ในช่วงผลผลิต 1,900-2,100 ตัน

3.3.3 วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลด้วย CUSUM จะใช้สมการตัวแทนที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุเป็นสมการอ้างอิง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ดังตารางที่ 3.17

ตารางที่ 3.17 ผลการวิเคราะห์ค่า DIFF และ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลิต
 ท่อเหล็ก ERW ทั้ง 24 เดือน

Baseline equation: Y = 137.10 X + 603,858.38					
เดือนที่	ท่อเหล็ก ERW	พลังงานที่ใช้จริง	Expected	DIFF	CUSUM
	(ตัน)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	4,848.15	1,125,097	1,268,539	- 143,442	- 143,442
2	4,498.63	1,139,357	1,220,621	- 81,264	- 224,706
3	5,004.67	1,224,955	1,289,999	- 65,044	- 289,750
4	3,785.52	1,010,436	1,122,852	- 112,416	- 402,166
5	4,812.03	1,225,987	1,263,588	- 37,601	- 439,767
6	4,487.00	1,219,698	1,219,026	672	- 439,095
7	5,122.71	1,290,857	1,306,181	- 15,324	- 454,419
8	4,750.35	1,256,997	1,255,131	1,866	- 452,554
9	5,066.31	1,273,370	1,298,449	- 25,079	- 477,633
10	4,894.97	1,315,497	1,274,959	40,538	- 437,095
11	4,066.17	1,261,004	1,161,330	99,674	- 337,421
12	1,937.06	796,854	869,429	- 72,575	- 409,996
13	2,564.85	858,149	955,499	- 97,351	- 507,346
14	2,253.48	821,824	912,811	- 90,987	- 598,333
15	3,248.30	1,065,381	1,049,200	16,181	- 582,152
16	2,420.49	852,142	935,707	- 83,565	- 665,717
17	2,779.71	1,048,045	984,956	63,088	- 602,629
18	3,401.74	1,065,576	1,070,237	- 4,660	- 607,289
19	3,283.37	1,123,046	1,054,008	69,038	- 538,251
20	3,273.54	1,172,405	1,052,660	119,745	- 418,507
21	3,608.33	1,244,144	1,098,561	145,584	- 272,923
22	3,866.95	1,259,856	1,134,017	125,839	- 147,084
23	3,744.10	1,202,667	1,117,174	85,492	- 61,591
24	3,539.34	1,151,089	1,089,102	61,987	395



รูปที่ 3.18 กราฟ CUSUM ที่ใช้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลิตต่อเหล็ก ERW 24 เดือน เป็นข้อมูลฐานอ้างอิง

เมื่อสร้างกราฟ CUSUM ดังรูปที่ 3.18 พบว่าเส้นกราฟของพลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็นช่วงใหญ่ ๆ ได้ 5 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1 เดือนที่ 1-5 ใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ

ช่วงที่ 2 เดือนที่ 6-9 ใช้พลังงานใกล้เคียงค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็น 0

ช่วงที่ 3 เดือนที่ 10-11 ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวก

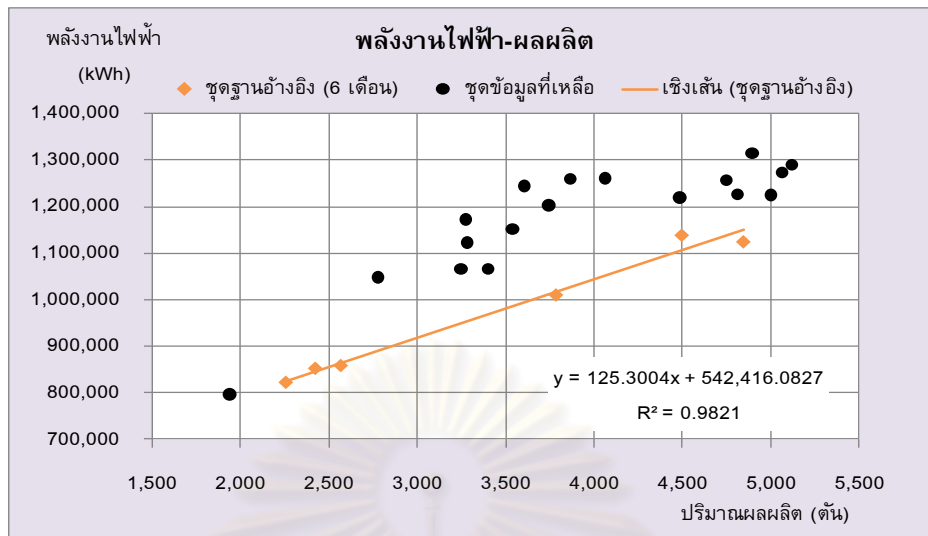
ช่วงที่ 4 เดือนที่ 12-16 ใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ

ช่วงที่ 5 เดือนที่ 17-24 ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย กราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวก

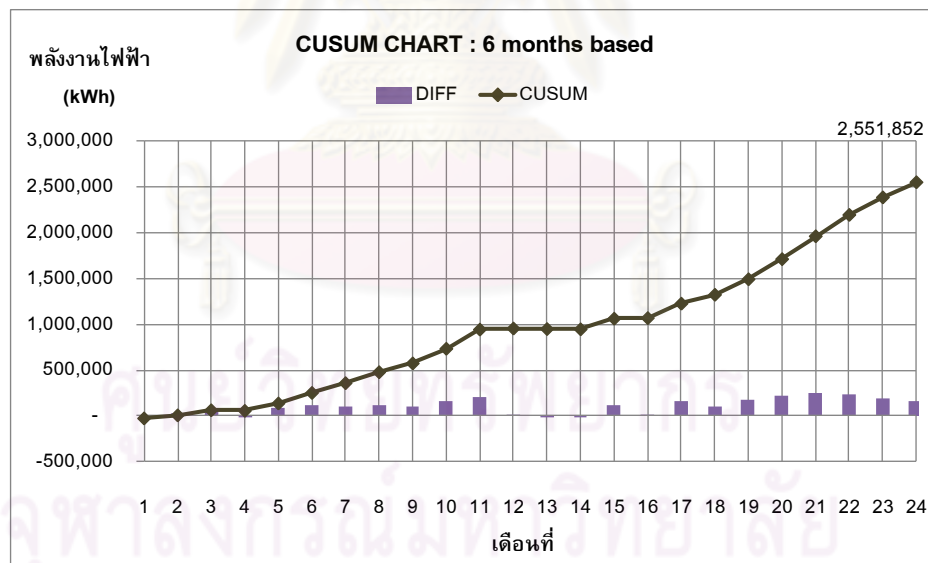
โดยสรุปจะเห็นได้ว่าในปี 2551 เกิดการประหยัดพลังงาน และต่อเนื่องไปจนถึง 4 เดือนแรกของปี 2552 หลังจากนั้นเกิดการสูญเสียพลังงานอย่างต่อเนื่อง แต่มีแนวโน้มสูญเสียลดลง

3.3.4 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

เลือกใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 1, 2, 4, 13, 14 และ 16 เมื่อเขียนแผนภาพกระจายและกราฟ CUSUM ได้ดังรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20 ตามลำดับ พบว่าสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไป 2,551,852 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (9,186,667 เมกะจูล) หรือโดยเฉลี่ยเดือนละประมาณ 141,700 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (510,000 เมกะจูล) ซึ่งถือเป็นพลังงานที่จะประหยัดได้



รูปที่ 3.19 แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.20 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้า
ใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 1, 2, 4, 13, 14 และ 16

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิตทั้งหมดที่ผ่านมาสรุปหลักการวิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนดังตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 สรุปหลักการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน	เครื่องมือ	แกน Y vs. แกน X	วัตถุประสงค์
การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา	1. แผนภูมิเชิงอนุกรมเวลา	พลังงาน, ผลผลิต vs. เวลา	ดูพลังงานและผลผลิตโดยรวมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
วิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น	2. แผนภาพกระจาย	พลังงาน vs. ผลผลิต	
	2.1 24 เดือน		a. ดูความสัมพันธ์ของพลังงานและผลผลิต b. วิเคราะห์ค่า R^2 c. พิจารณาค่า m และ C ถ้าติดลบจะไม่ใช้ข้อมูลนั้น d. คำนวณค่า %C เพื่อทราบแนวโน้มเส้นกราฟในข้อ 6
	2.2 รายปี		a. เปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้พลังงานแต่ละปี โดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูล ประกอบกับความเป็นไปได้ของข้อมูล b. ดูความสม่ำเสมอของการใช้พลังงาน โดยเปรียบเทียบค่า R^2 2 ปี c. เปรียบเทียบค่า m และ C แต่ละปี
วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ	3. แผนภาพกระจายจากข้อ 2.1		วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย เพื่อใช้ทำนายการใช้พลังงานหรือ SEC เมื่อทราบปริมาณผลผลิต
	4. โปรแกรมวิเคราะห์การถดถอย SPSS		วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ เพื่อใช้ทำนายการใช้พลังงานหรือ SEC เมื่อทราบปริมาณผลผลิต

ตารางที่ 3.18 สรุปหลักการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอน (ต่อ)

ขั้นตอน	เครื่องมือ	แกน Y vs. แกน X	วัตถุประสงค์
วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงาน จำเพาะ 4	5. แผนภูมิเชิงอนุกรมเวลารายปี	SEC vs. เวลา	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของ SEC แต่ละปี
	6. แผนภาพกระจาย 24 เดือน	SEC vs. ผลผลิต	ดูความสัมพันธ์ของ SEC และผลผลิต
วิเคราะห์พฤติกรรม การเปลี่ยนแปลงของข้อมูล 5	7. CUSUM ใช้ชุดฐานอ้างอิง 24 เดือน	CUSUM, DIFF vs. เวลา	วิเคราะห์พฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของข้อมูลการใช้พลังงานแบบ ละเอียด
วิเคราะห์เพื่อกำหนด เป้าหมายการใช้พลังงาน 6	8. ตารางและกราฟ CUSUM จากข้อ 7		แสดงค่า DIFF เพื่อเลือกค่า DIFF ที่ติดลบมาก ๆ 6 เดือน
	9. แผนภาพกระจาย	พลังงาน vs. ผลผลิต	วิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อใช้เป็นสมการอ้างอิง
	10. CUSUM ใช้ชุดฐานอ้างอิง 6 เดือน	CUSUM, DIFF vs. เวลา	วิเคราะห์พลังงานที่จะประหยัดได้ เมื่อมีพฤติกรรมแบบ 6 เดือน ที่ เลือกเป็นเป้าหมายการใช้พลังงาน

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานควบคุมตัวอย่างที่มีรหัสกลุ่มอุตสาหกรรมตามมาตรฐาน TSIC 33 จำนวน 1 โรงงาน, TSIC 36 จำนวน 6 โรงงาน, TSIC 37 จำนวน 18 โรงงาน และ TSIC 38 จำนวน 41 โรงงาน รวมทั้งสิ้น 66 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 15.49 ของจำนวนโรงงานควบคุมทั้งหมด (ปี 2553) ตามกลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวในจังหวัดระยองและสมุทรปราการซึ่งมี 426 โรงงาน เนื่องจากโรงงานควบคุมให้ความร่วมมือในการส่งรายงานการจัดการพลังงานเข้ามาไม่มากนัก นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่ขาดความครบถ้วนสมบูรณ์ เช่น บางโรงงานส่งข้อมูลเพียงปีเดียว บางโรงงานมีข้อมูลไม่ครบทั้ง 24 เดือน บางโรงงานมีเพียงข้อมูลการใช้พลังงานหรือข้อมูลผลผลิตอย่างใดอย่างหนึ่ง เป็นต้น และข้อมูลที่ขาดความน่าเชื่อถือ เช่น ข้อมูลซ้ำกัน 2 ปี ข้อมูลผลผลิตหรือข้อมูลการใช้พลังงานเท่ากันทุกเดือน เป็นต้น จึงไม่นำมาศึกษาวิเคราะห์จำนวน 27 โรงงาน

ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตที่นำมาวิเคราะห์นั้นต้องมีข้อมูลครบถ้วนทั้ง 24 เดือน เมื่อพิจารณาตามลักษณะข้อมูลสามารถแบ่งแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ และกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ ซึ่งแจกแจงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์

TSIC	จำนวน โรงงาน	จำนวนข้อมูล		
		พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์	พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์	รวม
33	1	1	0	1
36	6	5	1	6
37	18	23	5	28
38	41	41	7	48
รวม	66	70	13	83

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตทั้ง 83 ข้อมูลแล้ว ได้ผลการวิเคราะห์โดยแบ่งตามรหัสกลุ่มอุตสาหกรรมตามมาตรฐาน TSIC ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

4.1 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33)

กลุ่มนี้ส่งรายงานเข้ามาเพียง 1 โรงงาน (33112-a) จากจำนวนโรงงานในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง (ปี 2553) ทั้งสิ้น 12 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 8.33 โดยเป็นข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา

ผลการวิเคราะห์พบว่าโรงงานนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากน้ำมันเตา ร่วมกับการใช้ชี๊เลื่อยเป็นพลังงานหมุนเวียน โดยพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อน ดังแสดงในภาคผนวก ก

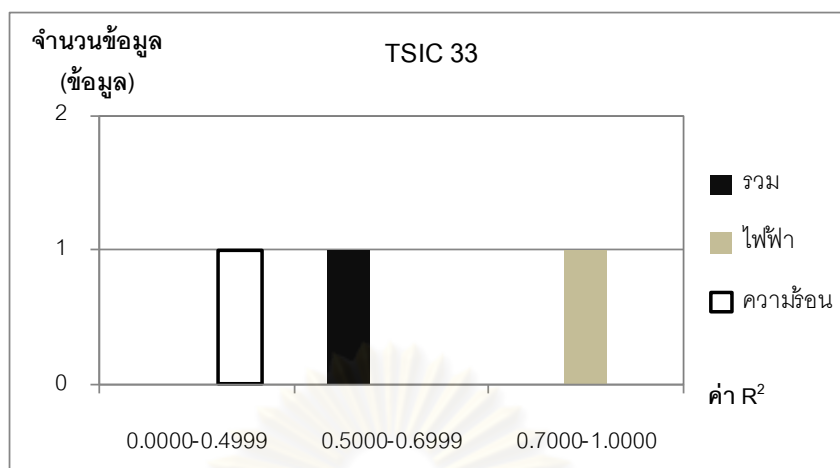
4.1.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น

4.1.2.1 แผนภาพกระจาย 24 เดือน

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน ได้แสดงในภาคผนวก ข พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตเชิงเส้นตรงสูง ($R^2 \geq 0.7$) โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.7910 สามารถแจกแจงจำนวนข้อมูลตามช่วงของค่า R^2 ได้ดังรูปที่ 4.1 แสดงว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความเสถียรสูง นั่นคือสมการเส้นตรงที่ได้มีความน่าเชื่อถือมาก สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนของการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานนี้ได้ ขณะที่ข้อมูลพลังงานความร้อนมีค่า R^2 เท่ากับ 0.3962 ถือว่าต่ำมาก อาจเนื่องมาจากปัญหาที่สำคัญของการเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา มักเป็นปริมาณที่เข้ามาแต่ไม่ใช่ปริมาณที่ใช้จริง ทำให้ข้อมูลพลังงานความร้อนอาจไม่แปรผันตามปริมาณผลผลิต ประกอบกับโรงงานนี้ใช้ชี๊เลื่อยร่วมด้วย ซึ่งประสิทธิภาพการให้ความร้อนของชี๊เลื่อยขึ้นกับปริมาณความชื้น ทำให้ชี๊เลื่อย 1 กิโลกรัม อาจไม่ได้ให้ปริมาณความร้อนถึง 10.88 เมกะจูล จึงส่งผลให้ข้อมูลพลังงานความร้อนมีความคลาดเคลื่อนได้สูง

เมื่อข้อมูลพลังงานความร้อนมีค่า R^2 ต่ำมาก ส่งผลให้ข้อมูลพลังงานรวมมีค่า R^2 ต่ำไปด้วย ซึ่งเท่ากับ 0.5571 เนื่องจากโรงงานนี้ใช้พลังงานความร้อนเป็นส่วนใหญ่ สมการเส้นตรงที่ได้จึงไม่สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนของการใช้พลังงานความร้อนหรือพลังงานรวมได้

นอกจากนี้เมื่อคำนวณค่า %C ของข้อมูลพลังงานไฟฟ้ามีค่าประมาณ 25% ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำ แสดงว่าค่า SEC จะมีช่วงแปรเปลี่ยนน้อย แม้ปริมาณผลผลิตจะเปลี่ยนแปลงมาก



รูปที่ 4.1 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 33 จำแนกตามค่า R² 24 เดือน

4.1.2.2 แผนภาพกระจายรายปี

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตรายปี ได้แสดงในภาคผนวก ค พบว่าข้อมูลในปี 2551 และ 2552 กระจายตัวลักษณะเดียวกัน โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าปี 2552 มีประสิทธิภาพดีกว่าปี 2551 ค่า m ลดลง ค่า C เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเหมือนคงที่ ลักษณะเส้นการถดถอย 2 ปี จึงเป็นไปตามกรณีที่ 4 และมีการใช้พลังงานสม่ำเสมอ เพราะมีค่า R² รายปีสูงใกล้เคียงกัน ขณะที่การใช้พลังงานความร้อนซึ่งมีค่า R² 24 เดือน เท่ากับ 0.3962 ที่ถือว่าต่ำมากนั้น พบว่าจุดข้อมูลกระจายตัวห่างจากเส้นตรงมาก และค่า R² รายปีต่ำเท่ากับ 0.47 ทั้ง 2 ปี แม้ปริมาณผลผลิตที่ใกล้เคียงกันกลับมีการใช้พลังงานแตกต่างกันมาก แสดงว่าการใช้พลังงานความร้อนมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งอาจเนื่องมาจากข้อมูลมีความคลาดเคลื่อน สูงดังที่กล่าวมาแล้ว จึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานความร้อนต่อไป สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานรวมก็มีแนวโน้มตามข้อมูลพลังงานความร้อน

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

4.1.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นที่ผ่านมา ทำให้ได้สมการตัวแทนของการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายเพียงสมการเดียวดังแสดงในตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 33)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	R ² ไฟฟ้า	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (kWh)	%C
					m	C		
1	33112-a	แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด	ลบ.ม.	0.7910	150.55	229,063.53	917,937	24.95

ตารางที่ 4.3 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 33)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T 24 เดือน (MJ/หน่วย)			SEC _E 24 เดือน (kWh/หน่วย)			SEC _H 24 เดือน (MJ/หน่วย)		
				Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย
1	33112-a	แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด	ลบ.ม.	1,535	6,270	4,992	-	-	-	141	307	196	-	-	-

หมายเหตุ หลังเลขรหัส TSIC ประกอบด้วย

ตัวอักษร (a, b, c,...) แทน หมายเลขประจำโรงงาน (ID) ซึ่งมี 4 หลัก

ตัวเลขหลังตัวอักษร (1, 2, 3,...) แทน ชนิดผลิตภัณฑ์ ในกรณีที่โรงงานมีผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

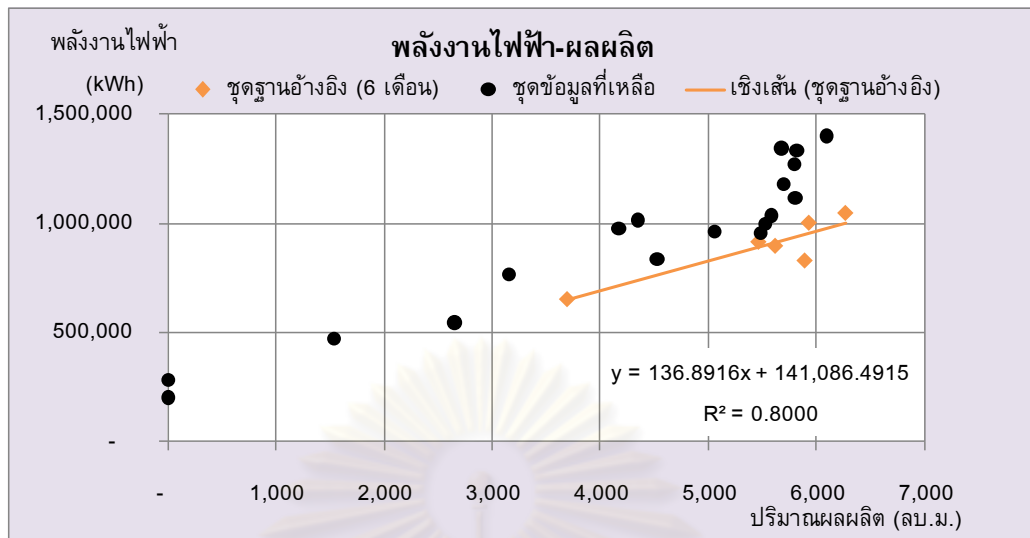
ผลการคำนวณค่า SEC ของการใช้พลังงานไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปีแสดงในภาคผนวก และผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของค่า SEC ในช่วง 24 เดือน แสดงในภาคผนวก จ ซึ่งเส้นกราฟในแผนภาพกระจายมีลักษณะโค้งเล็กน้อย สอดคล้องกับค่า %C ที่มีค่าน้อย

4.1.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

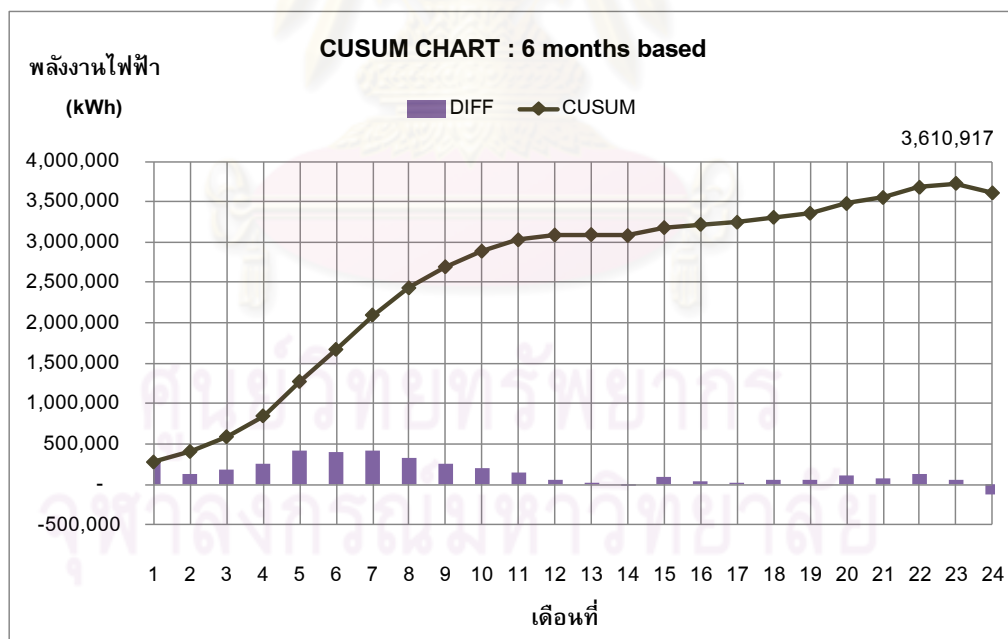
ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยใช้กราฟ CUSUM แสดงในภาคผนวก ฉ พบว่ากราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเดือนที่ 1-3 เป็นช่วงสั้นๆ ที่การใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ ช่วงเดือนที่ 4-11 เป็นช่วงที่การใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าค่าเฉลี่ย 24 เดือน และช่วงเดือนที่ 12-24 เป็นช่วงที่การใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 24 เดือน แสดงว่ามีการประหยัดพลังงานในปี 2552 อย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานในปีนี้ เพราะปริมาณผลผลิตยังคงเท่าเดิม แต่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง

4.1.6 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

สำหรับผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้านั้น ได้เลือกใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 13, 14, 17, 19, 23 และ 24 สังเกตได้ว่าเป็นช่วงเดือนในปี 2552 ที่มีการใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาก ๆ เมื่อเขียนแผนภาพกระจายและกราฟ CUSUM ได้ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ พบว่าสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไป 3,610,917 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือโดยเฉลี่ยเดือนละประมาณ 200,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือคิดเป็น 21.64% ซึ่งถือเป็นพลังงานที่จะประหยัดได้ใน 18 เดือนที่เหลือ โดยสามารถใช้สมการ $Y = 136.89X + 141,086.49$ ในรูปที่ 4.2 เป็นสมการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานเพื่อลดความสูญเสียดังกล่าวได้



รูปที่ 4.2 แผนภาพกระจายของข้อมูลชุดฐานอ้างอิงและชุดที่เหลือ
ของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของ TSIC 33112-a



รูปที่ 4.3 กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้า
ใช้ข้อมูลชุดฐานอ้างอิงเดือนที่ 13, 14, 17, 19, 23 และ 24 ของ TSIC 33112-a

4.2 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (TSIC 36)

กลุ่มนี้รวบรวมได้ 6 โรงงาน จากจำนวนโรงงานในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง (ปี 2553) ทั้งสิ้น 22 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 27.27 โดยข้อมูลจาก 6 โรงงานนี้เป็นข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ 5 ข้อมูล (จาก 5 โรงงาน) และข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ 1 ข้อมูล ซึ่งทั้งหมดเป็นโรงงานในอุตสาหกรรมแก้ว

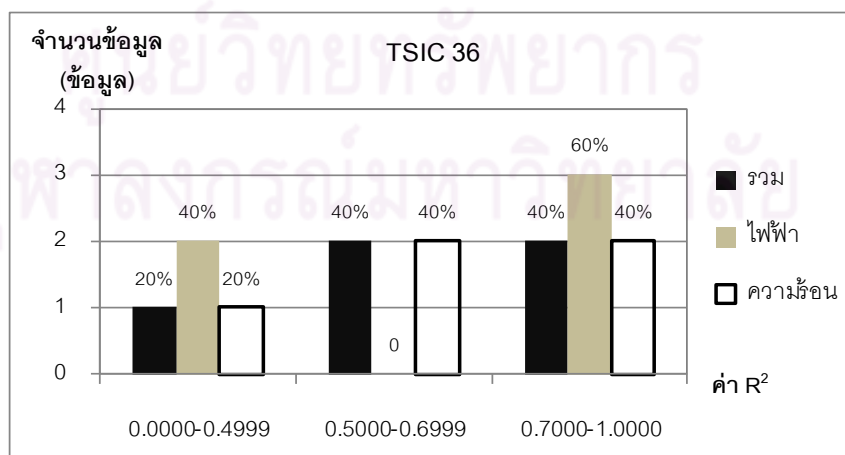
4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา

ผลการวิเคราะห์พบว่าโรงงานในกลุ่มนี้ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจาก ก๊าซธรรมชาติทุกโรงงาน แต่มี 2 โรงงานที่ใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลร่วมด้วย โดยมีการใช้พลังงานความร้อนเป็นพลังงานส่วนใหญ่ ซึ่งส่วนของพลังงานความร้อนมากกว่าพลังงานไฟฟ้าถึง 6 เท่าขึ้นไป ดังแสดงในภาคผนวก ก

4.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น

4.2.2.1 แผนภาพกระจาย 24 เดือน

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน แสดงในภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแจกแจงจำนวนข้อมูลตามช่วงของค่า R^2 ได้ดังรูปที่ 4.4 พบว่าข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่มีค่า R^2 มากกว่า 0.7 ซึ่งสามารถใช้สมการเส้นตรงที่ได้เป็นสมการตัวแทนได้ดี



รูปที่ 4.4 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 36 จำแนกตามค่า R^2 24 เดือน

ตารางที่ 4.4 ค่า R^2 24 เดือน ของกลุ่ม TSIC 36

ลำดับที่	TSIC	R^2 รวม	R^2 ไฟฟ้า	R^2 ค.ร้อน	เชื้อเพลิง
1	36200-a	0.9462	0.9187	0.9349	ก๊าซธรรมชาติ, น้ำมันเตา, น้ำมันดีเซล
2	36200-b	0.6633	0.0027	0.6861	ก๊าซธรรมชาติ
3	36200-c	0.9015	0.9442	0.8712	ก๊าซธรรมชาติ
4	36200-e	0.2754	0.3301	0.3381	ก๊าซธรรมชาติ, น้ำมันดีเซล
5	36200-f	0.5824	0.8064	0.5763	ก๊าซธรรมชาติ

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่า R^2 24 เดือน ที่วิเคราะห์ได้ พบว่ามี 2 ข้อมูล คือ 36200-a และ 36200-c ที่การใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนมีความเสถียรสูง ขณะที่ 36200-f มีเฉพาะพลังงานไฟฟ้าเท่านั้นที่มีความเสถียรสูง แต่พลังงานความร้อนยังไม่ค่อยเสถียร โรงงานนี้ควรบริหารจัดการการใช้พลังงานความร้อนให้ดีขึ้นโดยเร็ว เนื่องจากเป็นพลังงานส่วนใหญ่ จะทำให้การใช้พลังงานรวมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่วนข้อมูล 36200-b และ 36200-e การใช้พลังงานไม่มีความเสถียรเลย ต้องไปพิจารณาแผนภาพกระจายรายปีเพื่อหาค่าอธิบายเพิ่มเติม

เมื่อคำนวณค่า %C แล้วพบว่าค่า %C ส่วนใหญ่มีค่าน้อยไม่เกิน 20% แสดงว่าผลของเทอม C/X จะมีน้อย ทำให้ค่า SEC มีช่วงแปรเปลี่ยนน้อยมาก ยกเว้นพลังงานไฟฟ้าของ 36200-f มีค่า %C ประมาณ 42% ค่า SEC มีช่วงแปรเปลี่ยนมากขึ้น

4.2.2.2 แผนภาพกระจายรายปี

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตรายปี ได้แสดงในภาคผนวก ค พบว่าข้อมูลที่มีค่า R^2 ในช่วง 24 เดือนสูงมาก ($R^2 \geq 0.7$) เมื่อวิเคราะห์แบบรายปีแล้วจะเห็นว่าข้อมูลแต่ละปีมีค่า R^2 สูง ซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานที่มีความเสถียรหรือมีประสิทธิภาพที่ดี แต่บางข้อมูลจะมีเพียงข้อมูลปีใดปีหนึ่งที่มีค่า R^2 สูง ขณะที่อีกปีค่า R^2 ต่ำมาก สาเหตุเนื่องมาจากพฤติกรรมการผลิตในปีนั้นที่ผลิตอยู่ในช่วงปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ทำให้ข้อมูลเกาะกลุ่ม ไม่กระจายตามเส้นแนวยาว จึงไม่แสดงความสัมพันธ์ ขณะที่ข้อมูลที่มีค่า R^2 ในช่วง 24 เดือนต่ำกว่า 0.7 แต่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 นั้นเป็นกลุ่มที่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานยังไม่ได้เท่าที่ควร มีโอกาสที่จะดีขึ้นหรือเลวลงได้ เพราะเมื่อพิจารณาแผนภาพกระจายรายปีของข้อมูลในกลุ่มนี้แล้วจะมีปีใดปีหนึ่งที่มีค่า R^2 สูงกว่า 0.7 แต่อีกปีมีค่า R^2 ค่อนข้างต่ำ ส่วนข้อมูลที่มีค่า R^2 ในช่วง 24 เดือนต่ำกว่า 0.5 เช่น พลังงานไฟฟ้าของ 36200-b และ 36200-e พบว่าข้อมูลในแต่ละปีมีการกระจายตัวมาก จนไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น และเส้นการถดถอยมีความชันเป็นลบ แสดง

ถึงข้อมูลที่ไม่มีความน่าเชื่อถือ ขณะที่ข้อมูลพลังงานความร้อนของ 36200-e มีค่า R^2 ต่ำมาก เนื่องจากพฤติกรรมการใช้พลังงานความร้อน 2 ปี ต่างกันมาก ในช่วงการผลิตช่วงเดียวกัน ปี 2551 จะใช้พลังงานความร้อนแตกต่างกันมาก มีค่า R^2 เท่ากับ 0.42 แต่ปี 2552 ใช้พลังงานความร้อนใกล้เคียงกัน จึงมีค่า R^2 สูงขึ้นมาก เท่ากับ 0.74 แสดงว่ามีการจัดการการใช้พลังงานที่ดีขึ้น

เมื่อพิจารณาแนวโน้มเส้นการถดถอยโดยรวมแล้ว พบว่าปี 2551 มีประสิทธิภาพดีกว่าปี 2552

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นสรุปได้ดังตารางที่ 4.5, ตารางที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.7



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานรวม (TSIC 36)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	R ² รวม	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (MJ)	%C
					m	C		
1	36200-a	ภาชนะขวดแก้ว	ตัน	0.9462	5,427.79	18,324,022.44	247,513,108	7.40
2	36200-c	ขวดแก้ว	ตัน	0.9015	5,563.89	12,835,742.77	97,432,483	13.17

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 36)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	R ² ไฟฟ้า	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (kWh)	%C
					m	C		
1	36200-a	ภาชนะขวดแก้ว	ตัน	0.9187	186.94	1,699,675.20	9,593,083	17.72
2	36200-c	ขวดแก้ว	ตัน	0.9442	199.95	793,673.95	3,833,808	20.70
3	36200-f	ไม่มีชื่อ	ตัน	0.8064	95.87	24,747.67	59,042	41.92

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานความร้อน (TSIC 36)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	เชื้อเพลิง	R ² ค.ร้อน	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (MJ)	%C
						m	C		
1	36200-a	ภาชนะขวดแก้ว	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ, น้ำมันเตา, น้ำมันดีเซล	0.9349	4,754.82	12,205,191.71	212,978,008	5.73
2	36200-c	ขวดแก้ว	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ	0.8712	4,844.08	9,978,516.56	83,630,773	11.93

4.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์แล้ว ทำให้ได้สมการตัวแทนเชิงเส้นตรงแบบง่ายของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.28

สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์นั้นต้องวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ โดยข้อมูล 36200-d มีผลิตภัณฑ์ 4 ชนิด คือ BENT, TEMPERD, LAMINATED, และ INSULATED เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม SPSS 16.0 โดยใช้วิธี Stepwise ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของการใช้พลังงานรวม TSIC 36200-d

TSIC	พลังงาน	Model	Adjusted R ²	ANOVA		Coefficients	
				Sig.	ตัวแปร	B	Sig.
36200-d	รวม	1	0.835	0.000	(Constant)	1821000.00	0.000
					LAMINATED	3743.81	0.000
	ไฟฟ้า	1	0.789	0.000	(Constant)	287683.59	0.000
					LAMINATED	713.53	0.000
	ความร้อน	1	0.606	0.000	(Constant)	785545.86	0.000
					LAMINATED	1175.09	0.000

โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้าออกมาได้อย่างละ 1 model เท่านั้น พบว่ามีเพียง LAMINATED ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้า โดยจากผลการทดสอบ ANOVA ได้ค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α หมายความว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสม และเมื่อพิจารณาค่า Sig. ของ Constant และ LAMINATED เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α เช่นกัน แสดงว่าสมการไม่ผ่านจุด (0,0) และ LAMINATED มีนัยสำคัญทางสถิติ จึงได้สมการ $Y = 3,743.81LAMINATED + 1.821E6$ สำหรับพลังงานรวม และสมการ $Y = 713.53LAMINATED + 287,683.59$ สำหรับพลังงานไฟฟ้า โดยมีค่า Adjusted R² สูงกว่า 0.7 จึงใช้สมการที่ได้นี้เป็นสมการตัวแทนการใช้พลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้าของ TSIC 36200-d ได้

ขณะที่ข้อมูลพลังงานความร้อน ก็ให้ผลเช่นเดียวกับพลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้า แต่มีค่า Adjusted R² เท่ากับ 0.606 ซึ่งต่ำกว่า 0.7 จึงไม่สามารถใช้สมการที่ได้เป็นสมการตัวแทนการใช้พลังงานความร้อนของ TSIC 36200-d

4.2.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

ผลการคำนวณค่า SEC ของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์แสดงได้ในตารางที่ 4.9 ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปีแสดงในภาคผนวก ง และผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของค่า SEC ในช่วง 24 เดือน แสดงในภาคผนวก จ ซึ่งในกลุ่มนี้มีข้อมูลที่มีค่า %C น้อยกว่า 20 % ทำให้เส้นกราฟในแผนภาพกระจายมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรง

สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ จะได้ค่า SEC ของการผลิตที่ไม่รวมส่วนของพลังงานคงที่ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระที่แทนผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดในสมการเชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 36)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T 24 เดือน (MJ/หน่วย)			SEC _E 24 เดือน (kWh/หน่วย)			SEC _H 24 เดือน (MJ/หน่วย)		
				Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย
1	36200-a	ภาชนะขวดแก้ว	ตัน	22,368	49,789	42,225	5,512	6,705	5,862	213	264	227	4,696	5,800	5,044
2	36200-c	ขวดแก้ว	ตัน	10,751	17,342	15,205	5,943	6,978	6,408	235	271	252	4,995	6,074	5,500
3	36200-f	ไม่มีชื่อ	ตัน	284	430	358	-	-	-	149	185	165	-	-	-

ตารางที่ 4.10 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ (TSIC 36)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T เฉลี่ย	SEC _E เฉลี่ย	SEC _H เฉลี่ย
				Min	Max	เฉลี่ย	(MJ/หน่วย)	(kWh/หน่วย)	(MJ/หน่วย)
1	36200-d	LAMINATED	ตัน	129	445	288	3,743.81	713.53	-

4.2.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงของข้อมูล

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยใช้กราฟ CUSUM แสดงในภาคผนวก ข พบว่ากราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนส่วนใหญ่เป็นลักษณะการใช้พลังงานต่ำกว่าค่าเฉลี่ย 24 เดือน ในช่วงปี 2551 และเป็นการใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ยในปี 2552 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลส่วนใหญ่ในกลุ่มนี้เกิดการประหยัดพลังงานในปี 2551 นั่นคือมีประสิทธิภาพดีกว่าปี 2552 ดังที่กล่าวมาแล้วจากการพิจารณาแผนภาพกระจายรายปี

4.2.6 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนนั้นแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 36)

ลำดับที่	TSIC	พลังงาน	สมการชุดฐานอ้างอิง 6 เดือน	พลังงานที่จะประหยัดได้	คิดเป็น (%)
1	36200-a	ไฟฟ้า	$Y = 199.52 X + 747,943.21$	10,093,686 kWh	5.73
		ความร้อน	$Y = 5079.86 X - 10,252,400.92$	209,589,701 MJ	5.41
2	36200-c	ไฟฟ้า	$Y = 198.82 X + 699,274.74$	2,677,490 kWh	3.91
		ความร้อน	$Y = 4,779.20 X + 5,992,233.61$	119,343,991 MJ	7.88
3	36200-f	ไฟฟ้า	$Y = 98.72 X + 20,914.47$	67,579 kWh	6.23
4	36200-d	ไฟฟ้า	$Y = 760.23 \text{LAMINATED} + 239,055.09$	844,032 kWh	9.18

4.3 กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37)

กลุ่มนี้มีข้อมูล 18 โรงงาน จากจำนวนโรงงานในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง (ปี 2553) ทั้งสิ้น 101 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 17.82 โดยข้อมูลจาก 18 โรงงานนี้เป็นข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ 23 ข้อมูล (จาก 13 โรงงาน) และข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ 5 ข้อมูล ซึ่งข้อมูลทั้ง 28 ข้อมูลนี้มาจากกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้นและกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง

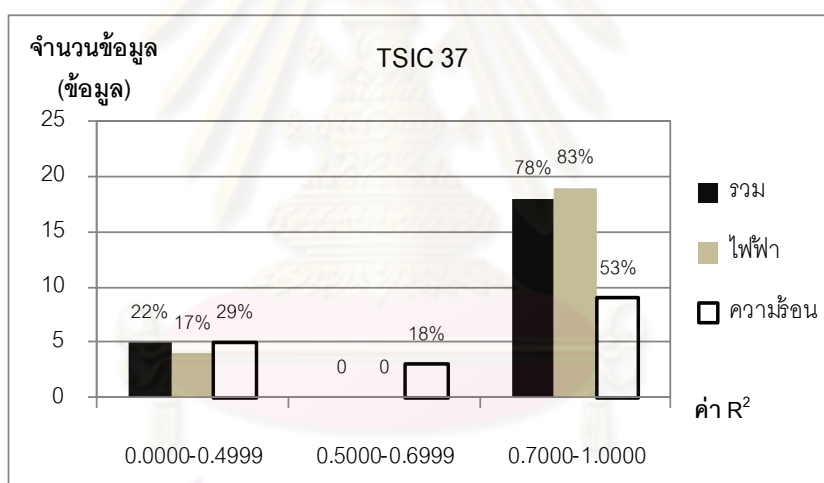
4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา

ผลการวิเคราะห์พบว่ามี 17 ข้อมูลที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากก๊าซธรรมชาติ, น้ำมันเตา (A, C), น้ำมันดีเซล, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และไอน้ำ โดยแบ่งเป็น 10 ข้อมูลที่ใช้พลังงานความร้อนเป็นพลังงานส่วนใหญ่ และ 7 ข้อมูลที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานส่วนใหญ่ ขณะที่อีก 6 ข้อมูลที่เหลือใช้เพียงพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น ดังแสดงในภาคผนวก ก

4.3.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น

4.3.2.1 แผนภาพกระจาย 24 เดือน

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน แสดงในภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแจกแจงจำนวนข้อมูลตามช่วงของค่า R^2 ได้ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 37 จำแนกตามค่า R^2 24 เดือน

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานรวมส่วนใหญ่มีค่า R^2 มากกว่า 0.7 และที่เหลือมีค่า R^2 ต่ำกว่า 0.5 ขณะที่ค่า R^2 ของข้อมูลพลังงานความร้อนส่วนใหญ่อยู่ในช่วงมากกว่า 0.7 เช่นกัน แต่รองลงมา คือ ค่า R^2 ที่ต่ำมาก ๆ (ต่ำกว่า 0.5) และค่า R^2 ในช่วงกลาง ๆ ตามลำดับ และเมื่อแสดงค่า R^2 24 เดือน ที่วิเคราะห์ได้ทั้งหมดในตารางที่ 4.12 ทำให้เห็นได้ชัดว่าข้อมูลที่มีค่า R^2 มากกว่า 0.7 นั้น ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงมากถึงระดับ 0.9 ซึ่งเป็นโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น (กลุ่ม 371) และใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ขณะที่ค่า R^2 ที่ต่ำก็จะต่ำมาก ๆ

สำหรับการคำนวณค่า %C พบว่ากลุ่ม TSIC 37 นี้มีค่า %C ค่อนข้างต่ำเป็นส่วน
ใหญ่ มีค่าไม่เกิน 50%

ตารางที่ 4.12 ค่า R^2 24 เดือน ของกลุ่ม TSIC 37

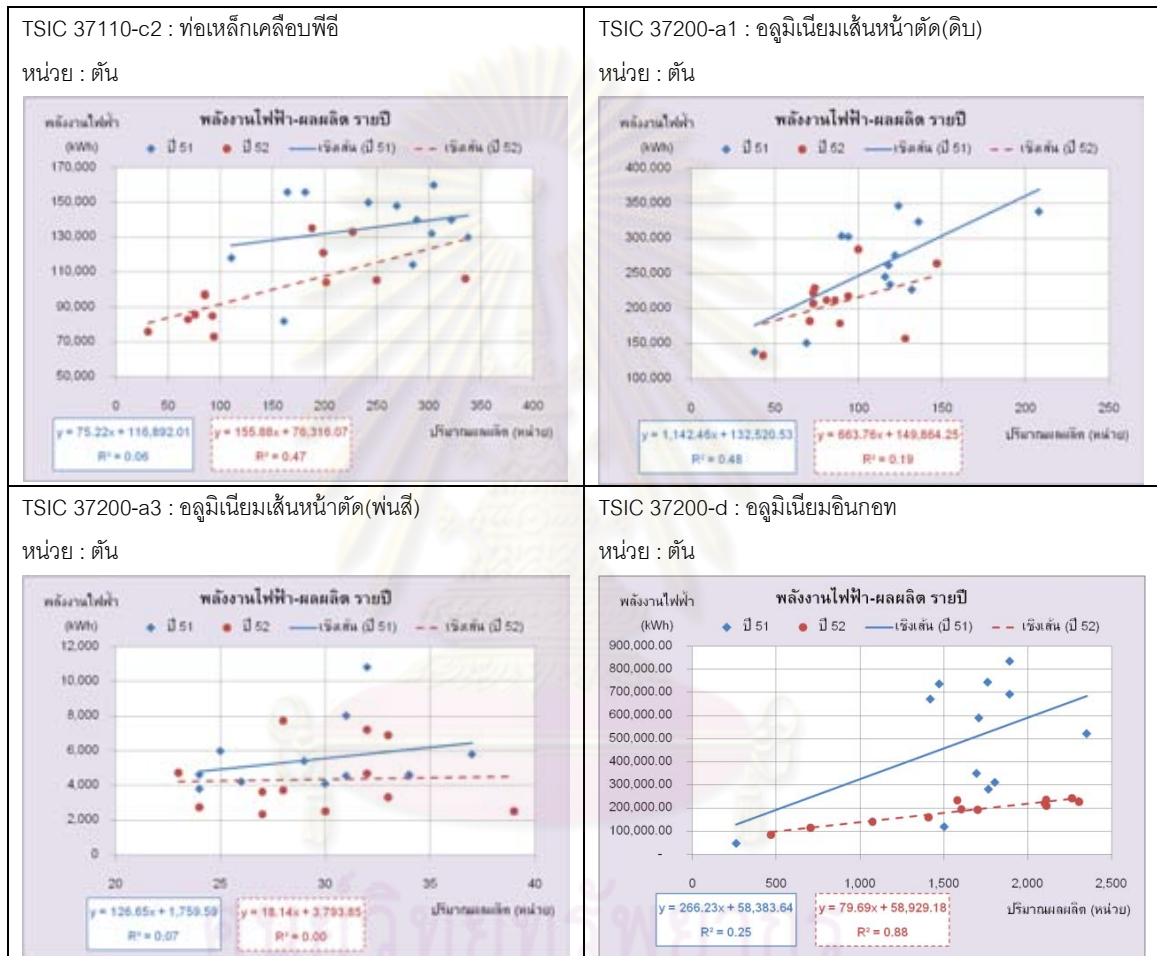
ลำดับที่	TSIC	R^2 รวม	R^2 ไฟฟ้า	R^2 ค.ร้อน	เชื้อเพลิง
1	37110-a1	0.9796	0.9796	-	-
2	37110-a2	0.3118	0.8079	0.2196	น้ำมันเตา(C)
3	37110-b	0.9846	0.9857	0.8142	ก๊าซธรรมชาติ
4	37110-c1	0.9433	0.9611	0.1176	น้ำมันดีเซล, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
5	37110-c2	0.4103	0.4103	-	-
6	37110-e1	0.9710	0.9908	0.6271	ก๊าซธรรมชาติ
7	37110-e2	0.9865	0.9910	0.7874	ก๊าซธรรมชาติ
8	37110-e3	0.9001	0.9001	-	-
9	37110-e4	0.9751	0.9751	-	-
10	37110-e5	0.8988	0.8988	-	-
11	37110-f	0.9192	0.8794	0.9178	น้ำมันเตา(C)
12	37110-g	0.7295	0.7484	0.6684	น้ำมันเตา(C), น้ำมันดีเซล, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
13	37110-i	0.9339	0.9266	0.9265	ก๊าซธรรมชาติ
14	37110-j1	0.9852	0.9532	0.9866	ก๊าซธรรมชาติ, ไอน้ำ
15	37110-j2	0.9050	0.7449	0.8584	ก๊าซธรรมชาติ, ไอน้ำ
16	37110-j3	0.8874	0.9266	0.7435	ก๊าซธรรมชาติ, ไอน้ำ
17	37110-l	0.9840	0.9895	0.8993	ก๊าซธรรมชาติ
18	37120-a	0.9798	0.9798	-	-
19	37200-a1	0.4126	0.4575	0.3166	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
20	37200-a2	0.8519	0.8386	0.6881	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
21	37200-a3	0.1080	0.0225	0.1019	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
22	37200-b	0.8845	0.9062	0.7477	ก๊าซธรรมชาติ
23	37200-d	0.3871	0.1224	0.4618	ก๊าซธรรมชาติ

4.3.2.2 แผนภาพกระจายรายปี

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตรายปี
ได้แสดงในภาคผนวก ค พบว่าในกลุ่มนี้มีข้อมูลที่มีค่า R^2 สูงกว่า 0.7 เป็นจำนวนมาก ซึ่งเมื่อ
พิจารณารายปีแล้ว ต่างมีค่า R^2 ที่สูงมากเช่นกัน แสดงว่าโรงงานส่วนใหญ่ที่นำมาวิเคราะห์นั้น
การใช้พลังงานสม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงมาก

สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีค่า R^2 ต่ำมาก ได้แก่ TSIC 37110-c2
พบว่าข้อมูลการจัดกระจายมาก ไม่มีความน่าเชื่อถือ เช่นเดียวกับ TSIC 37200-a1 และ TSIC

37200-a3 สำหรับ TSIC 37200-d ข้อมูลปี 2551 มีค่า R^2 ต่ำมาก แต่พอปี 2552 ค่า R^2 กลับสูงขึ้นมาก จุดข้อมูลเรียงตัวกันเป็นเส้นตรง และถ้าดูที่ปริมาณผลิต 1,500 ตัน สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก 700,000 kWh เหลือเพียง 200,000 kWh ซึ่งลดลงได้อย่างไม่น่าเชื่อ แสดงแผนภาพกระจายรายปีของข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานที่ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ

ส่วนข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนที่มีค่า R^2 ต่ำมาก มีสาเหตุจากความคลาดเคลื่อนของการเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณเชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และก๊าซปิโตรเลียมเหลวที่ไม่ตรงกับปริมาณที่ใช้จริง

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นสรุปได้ดังตารางที่ 4.13, ตารางที่ 4.14 และตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานรวม (TSIC 37)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	R ² รวม	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (MJ)	%C
					m	C		
1	37110-a1	เหล็กแท่ง billet	ตัน	0.9796	2,284.34	117,870.52	27,119,550	0.43
2	37110-b	ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์	ตัน	0.9846	11,084.05	2,533,396.96	27,367,445	9.26
3	37110-c1	ท่อเหล็กร้อยสายไฟชุบสังกะสี	ตัน	0.9433	999.06	747,277.26	3,528,137	21.18
4	37110-e1	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire)	ตัน	0.9710	996.68	366,724.92	4,454,441	8.23
5	37110-e2	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand)	ตัน	0.9865	1,231.69	158,112.31	6,935,599	2.28
6	37110-e3	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอธิลีน (PE)	ตัน	0.9001	134.55	1,207.90	11,106	10.88
7	37110-e4	ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh)	ตัน	0.9751	198.62	13,812.36	337,194	4.10
8	37110-e5	ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw)	ตัน	0.8988	127.72	23.82	29,778	0.08
9	37110-f	เหล็กเส้น	ตัน	0.9192	1,865.32	1,452,695.02	10,265,008	14.15
10	37110-g	STEEL WIRE	ตัน	0.7295	1,242.58	1,213,686.44	4,899,071	24.77
11	37110-i	เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย	ตัน	0.9339	1,340.80	4,094,123.71	18,531,976	22.09
12	37110-j1	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง(CRS)	ตัน	0.9852	1,842.20	8,617,296.10	59,459,748	14.49
13	37110-j2	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP)	ตัน	0.9050	1,986.75	5,340,732.67	31,699,703	16.85
14	37110-j3	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)	ตัน	0.8874	770.19	4,050,028.03	9,492,900	42.66
15	37110-l	เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์)	ตัน	0.9840	11,095.79	4,341,670.88	28,410,619	15.28
16	37120-a	ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม	ตัน	0.9798	21.28	142,334.15	664,950	21.41
17	37200-a2	อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ชุบ)	ตัน	0.8519	6,924.10	175,935.62	1,246,286	14.12
18	37200-b	ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ)	ตัน	0.8845	11,779.03	1,760,912.93	7,074,969	24.89

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 37)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	R ² ไฟฟ้า	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (kWh)	%C
					m	C		
1	37110-a1	เหล็กแท่ง billet	ตัน	0.9796	634.54	32,741.81	7,533,208	0.43
2	37110-a2	เหล็กรูปก้อนที่รีดร้อน	ตัน	0.8079	63.15	246,147.16	838,458	29.36
3	37110-b	ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์	ตัน	0.9857	2,896.75	427,433.90	6,917,673	6.18
4	37110-c1	ท่อเหล็กร้อยสายไฟหุ้มสังกะสี	ตัน	0.9611	265.45	56,503.11	795,375	7.10
5	37110-e1	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire)	ตัน	0.9908	237.71	30,305.24	1,005,233	3.01
6	37110-e2	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand)	ตัน	0.9910	296.75	20,774.67	1,653,671	1.26
7	37110-e3	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอทิลีน (PE)	ตัน	0.9001	37.38	335.53	3,085	10.88
8	37110-e4	ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh)	ตัน	0.9751	55.17	3,836.77	93,665	4.10
9	37110-e5	ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw)	ตัน	0.8988	35.48	6.62	8,272	0.08
10	37110-f	เหล็กเส้น	ตัน	0.8794	79.15	110,551.24	484,497	22.82
11	37110-g	STEEL WIRE	ตัน	0.7484	87.76	189,304.98	449,582	42.11
12	37110-i	เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย	ตัน	0.9266	73.49	309,599.75	1,100,918	28.12
13	37110-j1	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS)	ตัน	0.9532	121.06	853,107.45	4,194,078	20.34
14	37110-j2	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP)	ตัน	0.7449	127.39	299,572.28	1,989,751	15.06
15	37110-j3	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)	ตัน	0.9266	106.92	229,925.75	985,527	23.33
16	37110-l	เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์)	ตัน	0.9895	2,069.18	1,013,714.57	5,502,166	18.42
17	37120-a	ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม	ตัน	0.9798	5.91	39,537.26	184,708	21.41
18	37200-a2	อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ซูป)	ตัน	0.8386	1,337.50	16,643.51	223,399	7.45
19	37200-b	ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ)	ตัน	0.9062	2,452.07	306,634.85	1,412,875	21.70

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานความร้อน (TSIC 37)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	เชื้อเพลิง	R ² ค.ร้อน	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (MJ)	%C
						m	C		
1	37110-b	ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ	0.8142	655.73	994,634.92	2,463,821	40.37
2	37110-e2	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand)	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ	0.7874	163.39	83,323.48	982,382	8.48
3	37110-f	เหล็กเส้น	ตัน	น้ำมันเตา(C)	0.9178	1,580.36	1,054,710.57	8,520,820	12.38
4	37110-i	เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ	0.9265	1,076.24	2,979,564.61	14,568,671	20.45
5	37110-j1	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS)	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ, ไอน้ำ	0.9866	1,406.41	5,546,109.29	44,361,065	12.50
6	37110-j2	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP)	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ, ไอน้ำ	0.8584	1,528.14	4,262,272.48	24,536,599	17.37
7	37110-j3	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ, ไอน้ำ	0.7435	385.27	3,222,295.33	5,945,003	54.20
8	37110-l	เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์)	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ	0.8993	3,646.75	692,298.44	8,602,822	8.05
9	37200-b	ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ)	ตัน	ก๊าซธรรมชาติ	0.7477	2,951.58	657,027.45	1,988,619	33.04

4.3.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์แล้ว สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายที่มีค่า R^2 24 เดือน มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนได้ดังแสดงในตารางที่ 4.28 ซึ่งเป็นตารางสรุปสมการตัวแทนทั้งหมด

ข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ 5 ข้อมูล โดยใช้วิธี Stepwise ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 เช่นเดิม ซึ่งให้ผลได้ดังตารางที่ 4.16 พบว่าแม้ทุก model ที่เลือกมาจะให้การทดสอบจะ Sig. ทั้งหมด แต่ก็มีข้อมูลพลังงานรวมและพลังงานความร้อนของ TSIC 37110-h ข้อมูลพลังงานของ TSIC 37110-m และข้อมูลพลังงานรวมและพลังงานความร้อนของ TSIC 37200-c ที่มีค่า Adjusted R^2 น้อยกว่า 0.7 ไม่สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนได้

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของกลุ่ม TSIC 37

TSIC	พลังงาน	Model	Adjusted R^2	ANOVA	Coefficients			
				Sig.	ตัวแปร	B	Sig.	
37110-d	รวม	2	0.966	0.000	(Constant)	2563000.00	0.000	
					แผ่นเหล็ก	606.78	0.000	
					เคลือบ			
					โครเมียม			
	ไฟฟ้า	2	0.980	0.000	0.000	แผ่นเหล็ก	746.85	0.000
						เคลือบดีบุก		
						(Constant)	353374.69	0.000
						แผ่นเหล็ก	103.50	0.000
						เคลือบ		
ความร้อน	2	0.884	0.000	0.000	โครเมียม	149.98	0.000	
					แผ่นเหล็ก			
					เคลือบดีบุก			
					(Constant)	1291000.00	0.000	
					แผ่นเหล็ก	234.16	0.000	
					เคลือบ			
					โครเมียม			
					แผ่นเหล็ก	206.94	0.000	
					เคลือบดีบุก			

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของกลุ่ม TSIC 37 (ต่อ)

TSIC	พลังงาน	Model	Adjusted R ²	ANOVA Sig.	Coefficients		
					ตัวแปร	B	Sig.
37110-h	รวม	1	0.586	0.000	(Constant)	4977000.00	0.016
					แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม	1253.52	0.000
					แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม		
	ไฟฟ้า	2	0.839	0.000	(Constant)	434969.51	0.044
					แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม	167.25	0.000
					แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก	46.55	0.000
	ความร้อน	1	0.557	0.000	(Constant)	1821000.00	0.050
					แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม	544.26	0.000
37110-k	รวม	3	0.972	0.000	(Constant)	1085000.00	0.000
					ลวดเหล็กตีเกลียว	1682.35	0.000
					ลวดเหล็กเส้นเดี่ยว	1049.14	0.000
					ลวดเหล็กชุบสังกะสี	1828.25	0.014
	ไฟฟ้า	3	0.983	0.000	(Constant)	175052.50	0.001
					ลวดเหล็กตีเกลียว	401.267	0.000
					ลวดเหล็กเส้นเดี่ยว	274.38	0.000
					ลวดเหล็กชุบสังกะสี	271.78	0.047

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของกลุ่ม TSIC 37 (ต่อ)

TSIC	พลังงาน	Model	Adjusted R ²	ANOVA		Coefficients	
				Sig.	ตัวแปร	B	Sig.
37110-k	ความร้อน	2	0.781	0.000	(Constant)	539812.31	0.000
					ลวดเหล็กตีเกลียว	270.41	0.000
					ลวดเหล็กชุบสังกะสี	821.02	0.004
37110-m	รวม	1	0.265	0.006	(Constant)	242309.53	0.000
					เหล็กแถบสลิต	21.95	0.006
	ไฟฟ้า	1	0.265	0.006	(Constant)	67308.20	0.000
					เหล็กแถบสลิต	6.10	0.006
37200-c	รวม	1	0.494	0.000	(Constant)	5711000.00	0.000
					ERW	1336.74	0.000
	ไฟฟ้า	1	0.704	0.000	(Constant)	603858.38	0.000
					ERW	137.10	0.000
	ความร้อน	1	0.370	0.001	(Constant)	3537000.00	0.001
					ERW	843.16	0.001

4.3.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

ผลการคำนวณค่า SEC ของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์แสดงได้ในตารางที่ 4.17 ส่วนผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปีแสดงในภาคผนวก ง และผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของค่า SEC ในช่วง 24 เดือน แสดงในภาคผนวก จ ซึ่งพบว่ากราฟส่วนใหญ่มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรงจนถึงโค้งเล็กน้อย เพราะข้อมูลในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่มีค่า %C ต่ำ

สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ จะได้ค่า SEC ของการผลิตที่ไม่รวมส่วนของพลังงานคงที่ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระที่แทนผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดในสมการเชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.17 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 37)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T 24 เดือน (MJ/หน่วย)			SEC _E 24 เดือน (kWh/หน่วย)			SEC _H 24 เดือน (MJ/หน่วย)		
				Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย
1	37110-a1	เหล็กแท่ง billet	ตัน	4,666	17,043	11,820	2,161	2,453	2,294	600	682	637	-	-	-
2	37110-a2	เหล็กรูปภัณฑ์รีดร้อน	ตัน	5,458	13,311	9,380	-	-	-	75	113	89	-	-	-
3	37110-b	ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์	ตัน	1,427	2,621	2,241	11,706	13,037	12,215	2,978	3,270	3,088	985	1,429	1,100
4	37110-c1	ท่อเหล็กร้อยสายไฟชุบสังกะสี	ตัน	1,404	3,790	2,783	1,113	1,443	1,268	262	307	286	-	-	-
5	37110-e1	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire)	ตัน	1,352	5,751	4,101	987	1,516	1,086	230	278	245	-	-	-
6	37110-e2	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand)	ตัน	2,283	7,783	5,503	1,177	1,426	1,260	286	338	301	128	217	179
7	37110-e3	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอทิลีน (PE)	ตัน	2.88	294.08	73.56	81	255	151	22.43	70.95	41.94	-	-	-
8	37110-e4	ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh)	ตัน	746	3,150	1,628	155	238	207	43.00	66.21	57.53	-	-	-
9	37110-e5	ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw)	ตัน	3	658	233	46	164	128	12.83	45.52	35.51	-	-	-
10	37110-f	เหล็กเส้น	ตัน	152	7,292	4,724	1,778	2,800	2,173	86	204	103	1,469	2,148	1,804
11	37110-g	STEEL WIRE	ตัน	842	5,037	2,966	1,104	2,101	1,652	107	248	152	-	-	-
12	37110-i	เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลม และเหล็กข้ออ้อย	ตัน	6	25,096	10,768	1,398	108,486	1,721	77	23,007	102	1,056	25,662	1,353

ตารางที่ 4.17 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 37) (ต่อ)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T 24 เดือน (MJ/หน่วย)			SEC _E 24 เดือน (kWh/หน่วย)			SEC _H 24 เดือน (MJ/หน่วย)		
				Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย
13	37110-j1	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS)	ตัน	6,496	47,771	27,599	2,000	3,469	2,154	128	256	152	1,509	2,547	1,607
14	37110-j2	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบตีบุกหรือโครเมียมบรจุอาหาร (TMBP)	ตัน	5,226	19,995	13,267	2,051	2,806	2,389	124	209	150	1,587	2,289	1,849
15	37110-j3	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)	ตัน	1,982	14,866	7,067	980	3,051	1,343	110	208	139	553	2,360	841
16	37110-i	เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยาง)	ตัน	1,002	2,843	2,169	12,304	15,501	13,097	2,391	3,050	2,536	3,348	4,841	3,966
17	37120-a	ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม	ตัน	12,298	38,460	24,557	24	34	27	6.64	9.32	7.52	-	-	-
18	37200-a2	อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ทุบ)	ตัน	66	228	155	6,971	9,999	8,062	1,262	1,863	1,445	-	-	-
19	37200-b	ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ)	ตัน	147	705	451	13,167	24,544	15,682	2,666	4,907	3,132	3,418	6,880	4,408

ตารางที่ 4.18 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ (TSIC 37)

ลำดับ ที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T เฉลี่ย (MJ/หน่วย)	SEC _E เฉลี่ย (kWh/หน่วย)	SEC _H เฉลี่ย (MJ/หน่วย)
				Min	Max	เฉลี่ย			
1	37110-d	แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม	ตัน	2,304	10,451	5,026	606.78	103.50	103.50
		แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก	ตัน	3,555	9,424	6,527	746.85	149.98	149.98
2	37110-h	แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม	ตัน	3,420	12,139	8,508	-	167.25	-
		แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก	ตัน	-	29,686	14,927	-	46.55	-
3	37110-k	ลวดเหล็กตีเกลียว	ตัน	22	2,978	1,301	1,682.35	401.27	270.41
		ลวดเหล็กเส้นเดี่ยว	ตัน	376	3,527	1,977	1,049.14	274.38	-
		ลวดเหล็กชุบสังกะสี	ตัน	59	505	211	1,828.25	271.78	821.02
4	37200-c	ERW	ตัน	1,937	5,123	3,802	-	137.10	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยใช้กราฟ CUSUM แสดงในภาคผนวก ฉ

4.3.6 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนนั้นแสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 37)

ลำดับที่	TSIC	พลังงาน	สมการชุดฐานอ้างอิง 6 เดือน	พลังงานที่จะประหยัดได้	คิดเป็น (%)
1	37110-a1	ไฟฟ้า	$Y = 597.27 X + 172,321.32$	7,223,845 kWh	5.28
2	37110-a2	ไฟฟ้า	$Y = 63.81 X + 156,797.30$	1,994,348 kWh	12.75
3	37110-b	ไฟฟ้า	$Y = 2,942.02 X + 166,556.91$	3,826,850 kWh	3.01
		ความร้อน	$Y = 598.80 X + 965,969.14$	3,749,414 MJ	8.20
4	37110-c1	ไฟฟ้า	$Y = 260.27 X + 27,906.93$	1,032,414 kWh	7.23
5	37110-d	ไฟฟ้า	$Y = 101.35 \text{เคลือบโครเมียม} + 140.65 \text{เคลือบดีบุก} + 357,330.04$	1,626,413 kWh	4.84
		ความร้อน	$Y = 232.85 \text{เคลือบโครเมียม} + 203.30 \text{เคลือบดีบุก} + 1,016,631.05$	7,318,736 MJ	10.33
6	37110-e1	ไฟฟ้า	$Y = 226.88 X + 37,954.18$	882,493 kWh	5.00
7	37110-e2	ไฟฟ้า	$Y = 291.82 X - 7,048.77$	1,319,373 kWh	4.28
		ความร้อน	$Y = 176.56 X - 158,208.22$	4,057,189 MJ	22.04
8	37110-e3	ไฟฟ้า	$Y = 36.89 X - 298.62$	16,074 kWh	30.71
9	37110-e4	ไฟฟ้า	$Y = 56.59 X - 6,449.62$	191,437 kWh	10.96
10	37110-e5	ไฟฟ้า	$Y = 30.97 X - 1,193.17$	54,015 kWh	39.14
11	37110-f	ไฟฟ้า	$Y = 85.45 X + 20,404.80$	1,449,276 kWh	15.96
		ความร้อน	$Y = 1,533.71 X + 238,113.85$	24,887,850 MJ	15.48
12	37110-g	ไฟฟ้า	$Y = 77.47 X + 157,094.09$	1,505,031 kWh	17.39
13	37110-h	ไฟฟ้า	$Y = 185.74 \text{เคลือบโครเมียม} + 43.30 \text{เคลือบดีบุก} + 52,059.58$	6,580,534 kWh	13.40

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์เพื่อการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 37) (ต่อ)

ลำดับ ที่	TSIC	พลังงาน	สมการมาตรฐานอ้างอิง 6 เดือน	พลังงานที่จะ ประหยัดได้	คิดเป็น (%)
14	37110-i	ไฟฟ้า	$Y = 72.76 X + 152,855.37$	3,950,652 kWh	18.08
		ความร้อน	$Y = 1,106.99 X + 344,191.83$	55,301,586 MJ	19.31
15	37110-j1	ไฟฟ้า	$Y = 117.06 X + 535,606.01$	10,266,085 kWh	12.71
		ความร้อน	$Y = 1,405.34 X + 3,662,320.12$	45,919,715 MJ	5.00
16	37110-j2	ไฟฟ้า	$Y = 121.12 X + 120,779.23$	6,287,994 kWh	16.82
		ความร้อน	$Y = 1,427.47 X + 3,102,518.45$	59,886,729 MJ	13.24
17	37110-j3	ไฟฟ้า	$Y = 107.28 X + 99,031.58$	3,079,855 kWh	16.90
		ความร้อน	$Y = 451.82 X + 1,520,977.53$	29,544,460 MJ	25.34
18	37110-k	ไฟฟ้า	$Y = 401.72 \text{ลวดเหล็กตีเกลียว} + 282.19 \text{ลวดเหล็กเส้นเดี่ยว} + 146.50 \text{ลวดเหล็กชุบสังกะสี} + 112,238.07$	1,759,027 kWh	7.30
		ความร้อน	$Y = 274.35 \text{ลวดเหล็กตีเกลียว} + 941.27 \text{ลวดเหล็กชุบสังกะสี} + 355,971.92$	3,678,947 MJ	18.30
19	37110-l	ไฟฟ้า	$Y = 2,043.36 X + 895,861.92$	4,172,649 kWh	4.16
		ความร้อน	$Y = 3,774.72 X - 473,995.94$	21,329,006 MJ	13.28
20	37120-a	ไฟฟ้า	$Y = 5.77 X + 34,242.50$	208,765 kWh	6.14
21	37200-a2	ไฟฟ้า	$Y = 1,255.26 X + 3,304.01$	625,252 kWh	15.27
22	37200-b	ไฟฟ้า	$Y = 2,569.85 X + 102,493.46$	3,624,111 kWh	14.18
		ความร้อน	$Y = 3,270.19 X + 190,396.41$	7,749,368 MJ	21.37
23	37200-c	ไฟฟ้า	$Y = 125.30 \text{ERW} + 542,416.08$	2,551,814 kWh	12.04

4.4 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ (TSIC 38)

กลุ่มนี้มีข้อมูล 41 โรงงาน จากจำนวนโรงงานในจังหวัดสมุทรปราการและระยอง (ปี 2553) ทั้งสิ้น 291 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 14.09 โดยข้อมูลจาก 41 โรงงานนี้เป็นข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ 41 ข้อมูล (จาก 34 โรงงาน) และข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ 7 ข้อมูล ซึ่งข้อมูลทั้งหมดมาจากโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ อุตสาหกรรมเครื่องจักรและอุปกรณ์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และ อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์

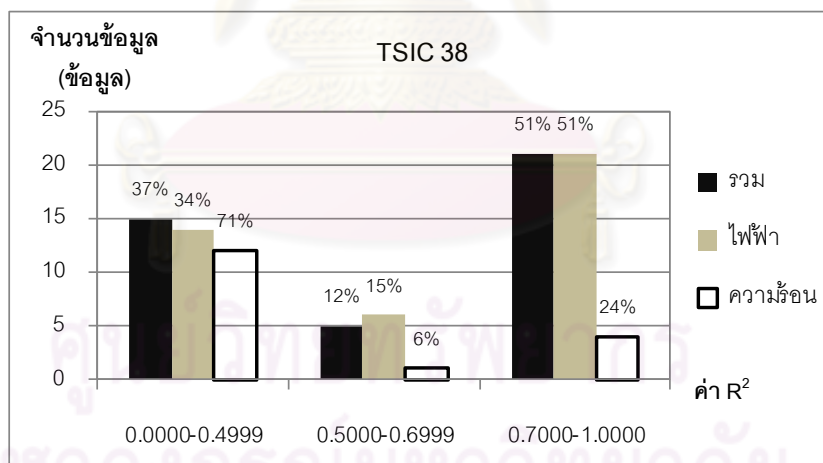
4.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา

ผลการวิเคราะห์พบว่า มี 17 ข้อมูลที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากก๊าซธรรมชาติ, ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และน้ำมันเตา (A, C) โดยแบ่งเป็น 14 ข้อมูลที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานส่วนใหญ่ และ 3 ข้อมูลที่ใช้พลังงานความร้อนเป็นพลังงานส่วนใหญ่ ขณะที่อีก 24 ข้อมูลนั้นใช้เพียงพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในภาคผนวก ก

4.4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น

4.4.2.1 แผนภาพกระจาย 24 เดือน

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน แสดงในภาคผนวก ข ซึ่งสามารถแจกแจงจำนวนข้อมูลตามช่วงของค่า R^2 ได้ดังรูปที่ 4.7 พบว่าข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานรวมส่วนใหญ่มีค่า R^2 มากกว่า 0.7 รองลงมาคือค่า R^2 ต่ำกว่า 0.5 ขณะที่ค่า R^2 ของข้อมูลพลังงานความร้อนมีค่า R^2 ต่ำกว่า 0.5 มากที่สุด ซึ่งแสดงค่า R^2 ที่วิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 4.20



รูปที่ 4.7 จำนวนข้อมูลในกลุ่ม TSIC 38 จำแนกตามค่า R^2 24 เดือน

ตารางที่ 4.20 ค่า R^2 24 เดือน ของกลุ่ม TSIC 38

ลำดับที่	TSIC	R^2 รวม	R^2 ไฟฟ้า	R^2 ค.ร้อน	เชื้อเพลิง
1	38120-a	0.7549	0.7445	0.7463	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
2	38130-a	0.9406	0.9406	-	-
3	38191-a	0.9619	0.9619	-	-
4	38191-b	0.2974	0.6123	0.2150	ก๊าซธรรมชาติ
5	38192-a	0.8362	0.8575	0.2565	น้ำมันเตา(A)
6	38198-a	0.4617	0.2364	0.4903	ก๊าซธรรมชาติ
7	38198-b	0.2671	0.1146	0.2969	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
8	38198-c	0.0127	0.0127	-	-
9	38199-b	0.8362	0.7222	0.8671	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว, น้ำมันเตา(C), ก๊าซธรรมชาติ
10	38199-c	0.3718	0.3718	-	-
11	38210-a	0.0052	0.0052	-	-
12	38230-a	0.9510	0.9510	-	-
13	38240-a	0.3487	0.3438	0.1356	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
14	38291-a	0.0859	0.1284	0.0001	ก๊าซธรรมชาติ
15	38292-a	0.9243	0.9243	-	-
16	38292-b	0.9490	0.9097	0.7319	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
17	38299-a	0.5805	0.5777	0.0986	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
18	38320-b	0.7381	0.7381	-	-
19	38320-c	0.3076	0.3076	-	-
20	38391-a	0.0536	0.0536	-	-
21	38391-b1	0.7860	0.7860	-	-
22	38391-b2	0.0352	0.0352	-	-
23	38392-a	0.4882	0.4518	0.3738	ก๊าซธรรมชาติ
24	38411-a	0.5351	0.5351	-	-
25	38431-a1	0.8659	0.8659	-	-
26	38431-a2	0.5019	0.5019	-	-
27	38431-b	0.8052	0.8052	-	-
28	38439-b	0.9576	0.9576	-	-
29	38439-c	0.6649	0.6649	-	-
30	38439-d	0.9341	0.9341	-	-
31	38439-f1	0.1931	0.2742	0.0832	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
32	38439-f2	0.1225	0.0749	0.0706	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
33	38439-f3	0.0309	0.0309	-	-
34	38439-g	0.8423	0.8017	0.1324	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
35	38439-i	0.8205	0.8526	0.2826	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว

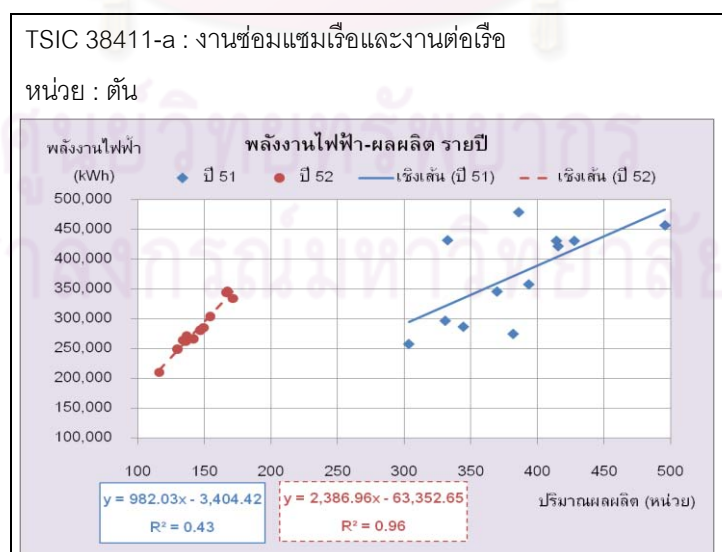
ตารางที่ 4.20 ค่า R^2 24 เดือน ของกลุ่ม TSIC 38 (ต่อ)

ลำดับที่	TSIC	R^2 รวม	R^2 ไฟฟ้า	R^2 ค.ร้อน	เชื้อเพลิง
36	38439-j	0.7432	0.7432	-	-
37	38439-l	0.9613	0.9644	0.8922	ก๊าซธรรมชาติ
38	38440-a1	0.5116	0.5116	-	-
39	38440-a2	0.9419	0.9419	-	-
40	38440-a3	0.7886	0.7728	0.6925	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว
41	38440-a4	0.8103	0.8103	-	-

สำหรับการคำนวณค่า %C พบว่ากลุ่ม TSIC 38 นี้มีค่า %C หลากหลายมากตั้งแต่ติดลบไปจนถึงมากกว่า 100% โดยข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่มีค่า R^2 สูง จะมีค่า %C ต่ำ

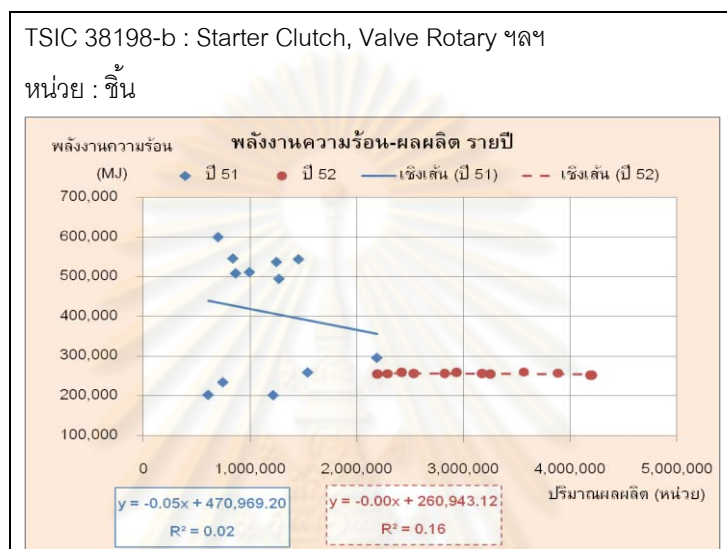
4.4.2.2 แผนภาพกระจายรายปี

ผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตรายปีได้แสดงในภาคผนวก ค พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในแต่ละปีมีความหลากหลายมาก และมีข้อมูลจำนวนมากที่มีช่วงการผลิตในแต่ละปีต่างกัน มีทั้งช่วงแคบลงหรืออยู่กันคนละช่วงคือ ปีหนึ่งผลิตอยู่ในช่วงน้อย ๆ แต่อีกปีหนึ่งผลิตอยู่ในช่วงมาก ๆ เช่น TSIC 38411-a จึงมีลักษณะของข้อมูลที่แยกกันอยู่เป็นกลุ่ม ๆ ดังเช่นรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างแผนภาพกระจายของการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของข้อมูลที่แยกกันอยู่เป็นกลุ่ม

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลการใช้พลังงานความร้อนของ TSIC 38198-b ดังรูปที่ 4.9 เห็นได้ว่าในปี 2552 ใช้ปริมาณพลังงานความร้อนเท่ากันแม้ว่าจะผลิตในปริมาณที่ต่างกัน ขณะที่ในปี 2551 กลับใช้พลังงานมากกว่า ทั้งที่ผลิตน้อยกว่าและมีความแตกต่างของพลังงานที่ใช้ จึงแสดงถึงความไม่น่าเชื่อถือของข้อมูล ซึ่งอาจเกิดจากการบันทึกข้อมูลของพนักงานคนละคนกัน



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างแผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนรายปีของข้อมูลที่น่าเชื่อถือ

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นสรุปได้ดังตารางที่ 4.21, ตารางที่ 4.22 และ ตารางที่ 4.23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานรวม (TSIC 38)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	R ² รวม	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (MJ)	%C
					m	C		
1	38120-a	เฟอร์นิเจอร์สำนักงานจากโลหะ	ตัน	0.7549	2,089.18	1,589,591.28	2,859,222	55.60
2	38130-a	ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์	ตัน	0.9406	6,736.04	337,387.47	2,527,650	13.35
3	38191-a	ไม่มีชื่อ	ตัน	0.9619	414.12	820,017.04	9,239,100	8.88
4	38192-a	แป้นเกลียวหกเหลี่ยม	ตัน	0.8362	3,120.52	520,161.93	1,269,986	40.96
5	38230-a	ผลิตภัณฑ์จากโลหะ	ตัน	0.9510	1,125.58	339,445.52	906,000	37.47
6	38292-a	พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)	ตัน	0.9243	4,312.79	1,815,331.40	4,781,700	37.96
7	38292-b	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	0.9490	24.30	400,446.51	2,742,113	14.60
8	38320-b	แผ่นวงจรรอิเล็กทรอนิกส์	ชิ้น	0.7381	0.99	2,780,941.65	5,305,950	52.41
9	38391-b1	ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร	ตัน	0.7860	1,157.43	513,276.97	1,478,162	34.72
10	38431-a1	ชิ้นส่วนยานยนต์ (บีมขึ้นรูปและเชื่อมประกอบ)	ตัน	0.8659	1,244.73	2,456,399.98	8,563,482	28.68
11	38431-b	ชุดสายไฟประกอบ	ชิ้น	0.8052	0.09	125,210.86	686,366	18.24
12	38439-b	ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending)	ตัน	0.9576	1.18	431,793.12	4,520,700	9.55
13	38439-g	ผ้าเบรครถยนต์	ชิ้น	0.8423	3.10	924,933.88	2,059,671	44.91
14	38439-i	เพลาช่าง	ชิ้น	0.8205	26.83	1,124,138.20	3,737,671	30.08
15	38439-l	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	0.9613	4,164.12	630,785.52	4,285,129	14.72
16	38440-a2	ฉีดยพลาสติก	ชิ้น	0.9419	1.67	293,049.21	1,501,211	19.52
17	38440-a4	บีมขึ้นรูปโลหะ	ชิ้น	0.8103	0.06	58,375.77	155,444	37.55

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (TSIC 38)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	R ² ไฟฟ้า	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (kWh)	%C
					m	C		
1	38120-a	เฟอร์นิเจอร์สำนักงานจากโลหะ	ตัน	0.7445	249.63	143,253.38	294,958	48.57
2	38130-a	ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์	ตัน	0.9406	1,871.12	93,718.74	702,125	13.35
3	38191-a	ไม่มีชื่อ	ตัน	0.9619	115.03	227,782.51	2,566,417	8.88
4	38192-a	แป้นเกลียวหกเหลี่ยม	ตัน	0.8575	759.10	46,264.06	228,667	20.23
5	38199-b	แกนเหล็กอ่อน	ตัน	0.7222	264.65	454,635.79	605,279	75.11
6	38230-a	ผลิตภัณฑ์จากโลหะ	ตัน	0.9510	312.66	94,290.42	251,667	37.47
7	38292-a	พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)	ตัน	0.9243	1,198.00	504,258.72	1,328,250	37.96
8	38292-b	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	0.9097	4.80	48,300.90	510,769	9.46
9	38320-b	แผ่นวงจรถิเล็กทรอนิกส์	ชิ้น	0.7381	0.27	772,483.79	1,473,875	52.41
10	38391-b1	ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร	ตัน	0.7860	321.51	142,576.94	410,601	34.72
11	38431-a1	ชิ้นส่วนยานยนต์ (ปั๊มขึ้นรูปและเชื่อมประกอบ)	ตัน	0.8659	345.76	682,333.33	2,378,745	28.68
12	38431-b	ชุดสายไฟประกอบ	ชิ้น	0.8052	0.03	34,780.79	190,657	18.24
13	38439-b	ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending)	ตัน	0.9576	0.33	119,942.53	1,255,750	9.55
14	38439-g	ผ้าเบรครถยนต์	ชิ้น	0.8017	0.80	222,770.00	515,048	43.25
15	38439-i	เพลาช้าง	ชิ้น	0.8526	6.60	229,039.14	872,070	26.26
16	38439-l	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	0.9644	1,042.79	173,434.70	1,088,562	15.93
17	38440-a2	ฉีดพลาสติก	ชิ้น	0.9419	0.46	81,402.56	417,003	19.52
18	38440-a4	ปั๊มขึ้นรูปโลหะ	ชิ้น	0.8103	0.02	16,215.49	43,179	37.55

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของการใช้พลังงานความร้อน (TSIC 38)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	เชื้อเพลิง	R ² ค.ร้อน	สมการตัวแทน		พลังงานเฉลี่ย (MJ)	%C
						m	C		
1	38120-a	เฟอร์นิเจอร์สำนักงานจากโลหะ	ตัน	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	0.7463	1,190.51	1,073,879.10	1,797,372	59.75
2	38292-b	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	0.7319	7.02	226,563.27	903,345	25.08
3	38439-l	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	ก๊าซธรรมชาติ	0.8922	410.09	6,420.60	366,305	1.75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์แล้ว สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายที่มีค่า R^2 24 เดือน มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 สามารถใช้เป็นสมการตัวแทนของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนได้ดังแสดงในตารางที่ 4.28 ส่วนข้อมูลที่มีค่า R^2 24 เดือน ต่ำกว่า 0.7 หรือมีค่า m หรือ C ติดลบ จะไม่มีสมการตัวแทน

สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ 7 ข้อมูล โดยใช้วิธี Stepwise ที่ระดับนัยสำคัญ (α) 0.05 เช่นเดิม ซึ่งให้ผลสรุปได้ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุของกลุ่ม TSIC 38

TSIC	พลังงาน	Model	R^2	Adjusted R^2	ANOVA Sig.	Coefficients		
						ตัวแปร	B	Sig.
38199-a	รวม	1	0.804	0.795	0.000	(Constant)	86414.67	0.178
						สแตนเลส	5966.28	0.000
	ไฟฟ้า	1	0.804	0.795	0.000	(Constant)	24004.07	0.178
						สแตนเลส	1657.30	0.000
38310-a	รวม	1	0.637	0.621	0.000	(Constant)	2476000.00	0.012
						yc1	60.07	0.000
	ไฟฟ้า	1	0.586	0.568	0.000	(Constant)	543913.54	0.008
						yc1	11.08	0.000
	ความร้อน	1	0.631	0.614	0.000	(Constant)	518113.30	0.107
						yc1	20.17	0.000
38320-a	รวม	2	0.854	0.840	0.000	(Constant)	488135.67	0.001
						DAIKIN	6.16	0.000
						ABS	9.32	0.003
	ไฟฟ้า	2	0.854	0.840	0.000	(Constant)	135593.24	0.001
						DAIKIN	1.71	0.000
						ABS	2.59	0.003

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุในกลุ่ม TSIC 38 (ต่อ)

TSIC	พลังงาน	Model	R ²	Adjusted R ²	ANOVA Sig.	Coefficients		
						ตัวแปร	B	Sig.
38439-a	รวม	2	0.933	0.927	0.000	(Constant)	12610000.00	0.000
						ลัทธิถดถอย	177.20	0.000
						ลัทธิถดถอย การยกยอนต์	89.39	0.001
	ไฟฟ้า	3	0.981	0.978	0.000	(Constant)	878489.91	0.000
						ลัทธิถดถอย	10.16	0.000
						ลัทธิถดถอย การยกยอนต์	6.74	0.000
						การบอกข้อ ข้อ	7.26	0.014
	ความร้อน	2	0.900	0.891	0.000	(Constant)	9445000.00	0.001
						ลัทธิถดถอย	132.00	0.000
ลัทธิถดถอย การยกยอนต์						59.22	0.008	
38439-e	รวม	1	0.961	0.959	0.000	(Constant)	85425.77	0.000
						Stamping	1.09	0.000
	ไฟฟ้า	1	0.961	0.959	0.000	(Constant)	23729.38	0.000
						Stamping	0.30	0.000
38439-h	รวม	1	0.652	0.636	0.000	(Constant)	267479.88	0.002
						ประกอบช่วง ล่างถดถอย	0.52	0.000
	ไฟฟ้า	1	0.652	0.636	0.000	(Constant)	74299.97	0.002
						ประกอบช่วง ล่างถดถอย	0.14	0.000
38439-k	รวม	1	0.763	0.753	0.000	(Constant)	629322.46	0.000
						ถึงน้ำมัน	400.40	0.000
	ไฟฟ้า	3	0.944	0.936	0.000	(Constant)	22754.49	0.035
						PA	0.69	0.000
						หม้อน้ำถดถอย	17.39	0.000
						ถึงน้ำมัน	20.03	0.000
ความร้อน	1	0.697	0.683	0.000	(Constant)	257795.80	0.000	
					ถึงน้ำมัน	252.66	0.000	

จากตารางที่ 4.24 ได้สมการตัวแทนของ TSIC 38320-a, 38439-a, 38439-e และ 38439-k (พลังงานรวมและพลังงานไฟฟ้า) ซึ่งให้ผลการทดสอบ Sig. ทั้งหมด และมีค่า Adjusted R^2 สูงกว่า 0.7 สมการตัวแทนที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุนี้จะแสดงในตารางสรุปสมการตัวแทนตารางที่ 4.28

4.4.4 การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

ผลการคำนวณค่า SEC ของการใช้พลังงานรวม พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์แสดงได้ในตารางที่ 4.25 สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปีแสดงในภาคผนวก ง และผลการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของค่า SEC ในช่วง 24 เดือน แสดงในภาคผนวก จ

สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ จะได้ค่า SEC ของการผลิตที่ไม่รวมส่วนของพลังงานคงที่ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรอิสระที่แทนผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดในสมการตัวแทนเชิงเส้นแบบพหุ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.25 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ (TSIC 38)

ลำดับที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T 24 เดือน (MJ/หน่วย)			SEC _E 24 เดือน (kWh/หน่วย)			SEC _H 24 เดือน (MJ/หน่วย)		
				Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max	เฉลี่ย
1	38120-a	เฟอร์นิเจอร์สำนักงานจากโลหะ	ตัน	239	1,531	608	2,525	8,138	4,705	266	805	485	1,569	5,336	2,958
2	38130-a	ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์	ตัน	173	408	325	6,986	9,129	7,774	1,941	2,536	2,159	-	-	-
3	38191-a	ไม่มีชื่อ	ตัน	3,420	26,067	20,330	420	571	454	117	159	126	-	-	-
4	38192-a	แป้นเกลียวหกเหลี่ยม	ตัน	111	452	240	4,036	8,772	5,285	726	1,363	952	-	-	-
5	38199-b	แกนเหล็กอ่อน	ตัน	98	1,097	569	-	-	-	611	3,880	1,063	-	-	-
6	38230-a	ผลิตภัณฑ์จากโลหะ	ตัน	113	1,114	503	1,312	3,187	1,800	364	885	500	-	-	-
7	38292-a	พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)	ตัน	452	979	688	6,202	8,631	6,952	1,723	2,397	1,931	-	-	-
8	38292-b	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	11,344	145,264	96,378	25	57	28	4.58	12.98	5.30	6.84	12.08	9.37
9	38320-b	แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์	ชิ้น	1,082,307	3,665,261	2,556,354	1.70	3.20	2.08	0.47	0.89	0.58	-	-	-
10	38391-b1	ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร	ตัน	317	1,194	882	1,379	2,400	1,750	383	667	486	-	-	-
11	38431-a1	ชิ้นส่วนยานยนต์	ตัน	2,543	6,905	4,906	1,479	2,482	1,745	411	689	485	-	-	-
12	38431-b	ชุดสายไฟประกอบ	ชิ้น	3,547,186	10,039,277	6,025,424	0.09	0.15	0.11	0.02	0.04	0.03	-	-	-
13	38439-b	ชิ้นส่วนยานยนต์(Pressing, Welding)	ตัน	1,952,243	4,792,316	3,467,732	1.20	1.49	1.30	0.33	0.41	0.36	-	-	-
14	38439-g	ผ้าเบรครถยนต์	ชิ้น	291,238	459,683	365,879	4.87	6.25	5.63	1.21	1.58	1.41	-	-	-
15	38439-i	เพลาช้าง	ชิ้น	53,180	127,294	97,413	33	46	38	7.93	10.94	8.95	-	-	-
16	38439-l	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	403	1,798	878	3,982	6,033	4,883	1,014	1,515	1,240	319	581	417
17	38440-a2	ฉีดพลาสติก	ชิ้น	230,791	1,120,998	724,482	1.65	3.07	2.07	0.46	0.85	0.58	-	-	-
18	38440-a4	ปั๊มขึ้นรูปโลหะ	ชิ้น	534,832	2,542,678	1,640,149	0.08	0.26	0.09	0.02	0.07	0.03	-	-	-

ตารางที่ 4.26 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตของข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ (TSIC 38)

ลำดับ ที่	TSIC	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	ปริมาณผลผลิต 24 เดือน (หน่วย)			SEC _T เฉลี่ย (MJ/หน่วย)	SEC _E เฉลี่ย (kWh/หน่วย)	SEC _H เฉลี่ย (MJ/หน่วย)
				Min	Max	เฉลี่ย			
1	38320-a	DAIKIN	ชิ้น	58,791	203,848	124,662	6.16	1.71	-
		ABS	ชิ้น	25,746	102,314	62,428	9.32	2.59	-
2	38439-a	ล้อรถยนต์	ตัน	90,476	293,984	190,384	177.20	10.16	132.00
		ล้อรถจักรยานยนต์	ตัน	43,114	190,568	105,741	89.39	6.74	59.22
		กระบอกฉีดอับ	ตัน	40,261	135,103	86,799	-	7.26	-
3	38439-e	Stamping	ชิ้น	21,761	307,966	158,154	1.09	0.30	-
4	38439-k	ถังน้ำมัน	ชิ้น	457	3,235	1,572	400.40	20.03	-
		PA	ชิ้น	79,227	207,214	142,756	-	0.69	-
		หม้อน้ำรถยนต์	ชิ้น	38	3843	877.29167	-	17.39	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.5 การวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงของข้อมูล

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์เปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยใช้กราฟ CUSUM แสดงในภาคผนวก ข

4.4.6 วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนนั้นแสดงดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 38)

ลำดับที่	TSIC	พลังงาน	สมการชุดฐานอ้างอิง 6 เดือน	พลังงานที่จะประหยัดได้	คิดเป็น (%)
1	38120-a	ไฟฟ้า	$Y = 195.73 X + 108,823.63$	1,612,496 kWh	27.88
		ความร้อน	$Y = 1,016.56 X + 861,175.13$	7,641,952 MJ	22.08
2	38130-a	ไฟฟ้า	$Y = 1,763.23 X + 87,802.54$	984,000 kWh	7.52
3	38191-a	ไฟฟ้า	$Y = 114.27 X + 108,786.28$	3,230,300 kWh	6.88
4	38192-a	ไฟฟ้า	$Y = 775.46 X + 8,844.47$	803,715 kWh	19.84
5	38199-b	ไฟฟ้า	$Y = 230.81 X + 390,419.82$	2,003,480 kWh	17.57
6	38230-a	ไฟฟ้า	$Y = 314.16 X + 63,664.87$	716,892 kWh	15.95
7	38292-a	ไฟฟ้า	$Y = 1,196.15 X + 438,429.21$	1,610,339 kWh	6.50
8	38292-b	ไฟฟ้า	$Y = 4.21 X + 51,594.32$	1,277,488 kWh	13.57
		ความร้อน	$Y = 6.88 X + 82,288.55$	3,801,368 MJ	21.57
9	38320-a	ไฟฟ้า	$Y = 1.92DAIKIN + 2.50ABS + 55,707.25$	1,439,340 kWh	15.38
10	38320-b	ไฟฟ้า	$Y = 0.28 X + 624,865.95$	3,031,711 kWh	11.18
11	38391-b1	ไฟฟ้า	$Y = 354.99 X + 62,571.29$	1,154,479 kWh	14.73
12	38431-a1	ไฟฟ้า	$Y = 343.20 X + 493,685.98$	4,829,350 kWh	10.97
13	38431-b	ไฟฟ้า	$Y = 0.03 X - 655.18$	608,358 kWh	16.95
14	38439-a	ไฟฟ้า	$Y = 14.49 \text{ ล้อรถยนต์} + 9.95 \text{ ล้อรถจักรยานยนต์} - 7.36 \text{ กระบอกรีไซเคิล} + 797,052.46$	4,487,912 kWh	5.69
		ความร้อน	$Y = 144.36 \text{ ล้อรถยนต์} + 27.28 \text{ ล้อรถจักรยานยนต์} + 6,057,790.58$	105,909,494 MJ	14.00

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์เพื่อการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (TSIC 38) (ต่อ)

ลำดับ ที่	TSIC	พลังงาน	สมการชุดฐานอ้างอิง 6 เดือน	พลังงานที่จะ ประหยัดได้	คิดเป็น (%)
15	38439-b	ไฟฟ้า	$Y = 0.34 X - 12,975.84$	1,840,597 kWh	8.17
16	38439-e	ไฟฟ้า	$Y = 0.28 \text{Stamping} + 19,786.02$	186,567 kWh	13.82
17	38439-g	ไฟฟ้า	$Y = 0.72 X + 226,583.79$	589,473 kWh	6.26
18	38439-i	ไฟฟ้า	$Y = 6.35 X + 183,625.85$	1,675,745 kWh	10.43
19	38439-k	ไฟฟ้า	$Y = 0.76PA + 20.42 \text{หม้อน้ำรถยนต์} + 13.60 \text{ถังน้ำมัน} + 8,785.26$	278,491 kWh	9.27
20	38439-l	ไฟฟ้า	$Y = 1,054.02 X + 64,782.69$	2,371,110 kWh	12.31
		ความร้อน	$Y = 361.11 X - 13,600.12$	1,511,987 MJ	22.36
21	38440-a2	ไฟฟ้า	$Y = 0.45 X + 38,101.25$	1,234,048 kWh	15.36
22	38440-a4	ไฟฟ้า	$Y = 0.02 X + 10,177.59$	102,814 kWh	12.12

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่ายหรือแบบพหุ เพื่อหาสมการตัวแทนสำหรับใช้ทำนายข้อมูลการใช้พลังงานในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ หรือใช้ทำนายค่า SEC ในกรณีที่เป็นสมการเชิงเส้นตรงอย่างง่าย และบอกค่า SEC ของการผลิตที่ไม่รวมส่วนของพลังงานคงที่ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ในกรณีที่เป็นสมการเชิงเส้นแบบพหุ สามารถสรุปสมการตัวแทนที่ได้ดังตารางที่ 4.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 สมการตัวแทนการใช้พลังงานของแต่ละข้อมูล

ลำดับ ที่	TSIC	ชนิด pdt	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	สมการตัวแทน		
					พลังงานรวม	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานความร้อน
1	33112-a	1	แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด	ลบ.ม.	-	Y = 150.55 X + 229,063.53	-
2	36200-a	1	ภาชนะขวดแก้ว	ตัน	Y = 5,427.79 X + 18,324,022.44	Y = 186.94 X + 1,699,675.20	Y = 4,754.82 X + 12,205,191.71
3	36200-c	1	ขวดแก้ว	ตัน	Y = 5,563.89 X + 12,835,742.77	Y = 199.95 X + 793,673.95	Y = 4,844.08 X + 9,978,516.56
4	36200-d	4	BENT+TEMPERD+LAMINATED+INSULATED	ตัน	Y = 3,743.81LAMINATED + 1.821E6	Y = 713.53LAMINATED + 287,683.59	-
5	36200-f	1	ไม่มีชื่อ	ตัน	-	Y = 95.87 X + 24,747.67	-
6	37110-a1	1	เหล็กแท่ง billet	ตัน	Y = 2,284.34 X + 117,870.52	Y = 634.54 X + 32,741.81	-
7	37110-a2	1	เหล็กรูปก้อนหรือรีดร้อน	ตัน	-	Y = 63.15 X + 246,147.16	-
8	37110-b	1	ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์	ตัน	Y = 11,084.05 X + 2,533,396.96	Y = 2,896.75 X + 427,433.90	Y = 655.73 X + 994,634.92
9	37110-c1	1	ท่อเหล็กร้อยสายไฟขุบสังกะสี	ตัน	Y = 999.06 X + 747,277.26	Y = 265.45 X + 56,503.11	-
10	37110-d	2	แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม+แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก	ตัน	Y = 606.78แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม + 746.85แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก+2563000.00	Y = 103.50แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม+ 149.98แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก+ 353,374.69	Y = 234.16แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม+ 206.94แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก+1291000.00
11	37110-e1	1	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire)	ตัน	Y = 996.68 X + 366,724.92	Y = 237.71 X + 30,305.24	-
12	37110-e2	1	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand)	ตัน	Y = 1,231.69 X + 158,112.31	Y = 296.75 X + 20,774.67	Y = 163.39 X + 83,323.48
13	37110-e3	1	ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอธิลีน	ตัน	Y = 134.55 X + 1,207.90	Y = 37.38 X + 335.53	-
14	37110-e4	1	ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh)	ตัน	Y = 198.62 X + 13,812.36	Y = 55.17 X + 3,836.77	-
15	37110-e5	1	ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw)	ตัน	Y = 127.72 X + 23.82	Y = 35.48 X + 6.62	-
16	37110-f	1	เหล็กเส้น	ตัน	Y = 1,865.32 X + 1,452,695.02	Y = 79.15 X + 110,551.24	Y = 1,580.36 X + 1,054,710.57
17	37110-g	1	STEEL WIRE	ตัน	Y = 1,242.58 X + 1,213,686.44	Y = 87.76 X + 189,304.98	-
18	37110-h	2	แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก + แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม	ตัน	-	Y = 167.25แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม + 46.55แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก + 434,969.51	-

ตารางที่ 4.28 สมการตัวแทนการใช้พลังงานของแต่ละข้อมูล (ต่อ)

ลำดับ ที่	TSIC	ชนิด pdt	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	สมการตัวแทน		
					พลังงานรวม	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานความร้อน
19	37110-i	1	เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย	ตัน	$Y = 1,340.80 X + 4,094,123.71$	$Y = 73.49 X + 309,599.75$	$Y = 1,076.24 X + 2,979,564.61$
20	37110-j1	1	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS)	ตัน	$Y = 1,842.20 X + 8,617,296.10$	$Y = 121.06 X + 853,107.45$	$Y = 1,406.41 X + 5,546,109.29$
21	37110-j2	1	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบดีบุกหรือโครเมียม สำหรับอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP)	ตัน	$Y = 1,986.75 X + 5,340,732.67$	$Y = 127.39 X + 299,572.28$	$Y = 1,528.14 X + 4,262,272.48$
22	37110-j3	1	เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)	ตัน	$Y = 770.19 X + 4,050,028.03$	$Y = 106.92 X + 229,925.75$	$Y = 385.27 X + 3,222,295.33$
23	37110-k	3	ลวดเหล็กแรงดึงสูงความผ่อนคลายต่ำ เส้นเดี่ยว + ลวดเหล็กแรงดึงสูงความผ่อนคลายต่ำ ดีเกลียว + ลวดเหล็กชุบสังกะสี เส้นเดี่ยว และดีเกลียว	ตัน	$Y = 1682.35 \text{ลวดเหล็กดีเกลียว} + 1049.14 \text{ลวดเหล็กเส้นเดี่ยว} + 1828.25 \text{ลวดเหล็กชุบสังกะสี} + 1085000.00$	$Y = 401.267 \text{ลวดเหล็กดีเกลียว} + 274.38 \text{ลวดเหล็กเส้นเดี่ยว} + 271.78 \text{ลวดเหล็กชุบสังกะสี} + 175052.50$	$Y = 270.41 \text{ลวดเหล็กดีเกลียว} + 821.02 \text{ลวดเหล็กชุบสังกะสี} + 539,812.31$
24	37110-l	1	เส้นใยเหล็กกล้า (ลวดเสริมยางรถยนต์)	ตัน	$Y = 11,095.79 X + 4,341,670.88$	$Y = 2,069.18 X + 1,013,714.57$	$Y = 3,646.75 X + 692,298.44$
25	37120-a	1	ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม	ตัน	$Y = 21.28 X + 142,334.15$	$Y = 5.91 X + 39,537.26$	-
26	37200-a2	1	อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ชุบ)	ตัน	$Y = 6,924.10 X + 175,935.62$	$Y = 1,337.50 X + 16,643.51$	-
27	37200-b	1	ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ)	ตัน	$Y = 11,779.03 X + 1,760,912.93$	$Y = 2,452.07 X + 306,634.85$	$Y = 2,951.58 X + 657,027.45$
28	37200-c	4	ท่อเหล็ก ERW + ท่อเหล็ก CD + ท่อเหล็ก Cutting + ท่อเหล็ก Processing	ตัน	-	$Y = 137.10 \text{ERW} + 603,858.38$	-
29	38120-a	1	เฟอร์นิเจอร์สำนักงานจากโลหะ	ตัน	$Y = 2,089.18 X + 1,589,591.28$	$Y = 249.63 X + 143,253.38$	$Y = 1,190.51 X + 1,073,879.10$
30	38130-a	1	ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์	ตัน	$Y = 6,736.04 X + 337,387.47$	$Y = 1,871.12 X + 93,718.74$	-
31	38191-a	1	ไม่มีชื่อ	ตัน	$Y = 414.12 X + 820,017.04$	$Y = 115.03 X + 227,782.51$	-

ตารางที่ 4.28 สมการตัวแทนการใช้พลังงานของแต่ละข้อมูล (ต่อ)

ลำดับ ที่	TSIC	ชนิด pdt	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	สมการตัวแทน		
					พลังงานรวม	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานความร้อน
32	38192-a	1	แป้นเกลียวหกเหลี่ยม	ตัน	$Y = 3,120.52 X + 520,161.93$	$Y = 759.10 X + 46,264.06$	-
33	38199-b	1	แกนเหล็กอ่อน	ตัน	-	$Y = 264.65 X + 454,635.79$	-
34	38230-a	1	ผลิตภัณฑ์จากโลหะ	ตัน	$Y = 1,125.58 X + 339,445.52$	$Y = 312.66 X + 94,290.42$	-
35	38292-a	1	พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)	ตัน	$Y = 4,312.79 X + 1,815,331.40$	$Y = 1,198.00 X + 504,258.72$	-
36	38292-b	1	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	$Y = 24.30 X + 400,446.51$	$Y = 4.80 X + 48,300.90$	$Y = 7.02 X + 226,563.27$
37	38320-a	8	AIR BAG SENSOR + RADIO + ANTENNA + PWB ASSY + CAR AUDIO + DAIKIN + HAPE + AI	ชิ้น	$Y = 6.16DAIKIN + 9.32ABS + 488,135.67$	$Y = 1.71DAIKIN + 2.59ABS + 135,593.24$	-
38	38320-b	1	แผ่นวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์	ชิ้น	$Y = 0.99 X + 2,780,941.65$	$Y = 0.27 X + 772,483.79$	-
39	38391-b1	1	ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร	ตัน	$Y = 1,157.43 X + 513,276.97$	$Y = 321.51 X + 142,576.94$	-
40	38431-a1	1	ชิ้นส่วนยานยนต์ (บี้มขึ้นรูปและเชื่อมประกอบ)	ตัน	$Y = 1,244.73 X + 2,456,399.98$	$Y = 345.76 X + 682,333.33$	-
41	38431-b	1	ชุดสายไฟประกอบ	ชิ้น	$Y = 0.09 X + 125,210.86$	$Y = 0.03 X + 34,780.79$	-
42	38439-a	4	ล้อรถยนต์ + ล้อรถจักรยานยนต์ + ฝาสูบ และเสื่อสูบ รถจักรยานยนต์ + ครอบรถจักรยานยนต์ และชิ้นส่วนอื่นๆ	ตัน	$Y = 177.20 \text{ล้อรถยนต์} + 89.39 \text{ล้อรถจักรยานยนต์} + 12610000.00$	$Y = 10.16 \text{ล้อรถยนต์} + 6.74 \text{ล้อรถจักรยานยนต์} + 7.26 \text{ครอบรถจักรยานยนต์} + 878489.91$	$Y = 132.00 \text{ล้อรถยนต์} + 59.22 \text{ล้อรถจักรยานยนต์} + 9445000.00$
43	38439-b	1	ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending)	ตัน	$Y = 1.18 X + 431,793.12$	$Y = 0.33 X + 119,942.53$	-
44	38439-e	4	Stamping part + Catalytic convertor + Filter Assembly + Kubota Assembly	ชิ้น	$Y = 1.09 \text{Stamping} + 85425.77$	$Y = 0.30 \text{Stamping} + 23729.38$	-
45	38439-g	1	ผ้าเบรครถยนต์	ชิ้น	$Y = 3.10 X + 924,933.88$	$Y = 0.80 X + 222,770.00$	-
46	38439-i	1	เพลลาข้าง	ชิ้น	$Y = 26.83 X + 1,124,138.20$	$Y = 6.60 X + 229,039.14$	-

ตารางที่ 4.28 สมการตัวแทนการใช้พลังงานของแต่ละข้อมูล (ต่อ)

ลำดับ ที่	TSIC	ชนิด pdt	ผลิตภัณฑ์	หน่วย	สมการตัวแทน		
					พลังงานรวม	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานความร้อน
47	38439-k	4	หม้อน้ำรถยนต์+ถังน้ำมัน+Part Ass'y+Air Tank	ชิ้น	$Y = 400.40 \text{ ถังน้ำมัน} + 629,322.46$	$Y = 0.69 \text{ PA} + 17.39 \text{ หม้อน้ำรถยนต์} + 20.03 \text{ ถังน้ำมัน} + 22,754.49$	-
48	38439-l	1	ชิ้นส่วนยานยนต์	ชิ้น	$Y = 4,164.12 X + 630,785.52$	$Y = 1,042.79 X + 173,434.70$	$Y = 410.09 X + 6,420.60$
49	38440-a2	1	ฉีดพลาสติก	ชิ้น	$Y = 1.67 X + 293,049.21$	$Y = 0.46 X + 81,402.56$	-
50	38440-a4	1	ปั๊มขึ้นรูปโลหะ	ชิ้น	$Y = 0.06 X + 58,375.77$	$Y = 0.02 X + 16,215.49$	-

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการที่ข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลปริมาณผลผลิตในรายงานการจัดการพลังงานที่โรงงานควบคุมจัดทำส่งที่ปรึกษาตรวจสอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นหน่วยงานตัวแทนของ พพ. นั้นถูกเก็บรวบรวมเป็นสถิติ และนำมาใช้ในการคำนวณค่า SEC เพื่อหาต้นทุนทางพลังงานของการผลิตสินค้าเพียงเท่านั้น เมื่อนำมาวิเคราะห์และตีความข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟที่เหมาะสม จะสามารถอธิบายและตีความหมายของข้อมูลได้มากขึ้น ทำให้ใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่มีได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มความสามารถในการตรวจติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้

ผลการรวบรวมข้อมูลโรงงานควบคุมตัวอย่างแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมในจังหวัดระยองและสมุทรปราการแสดงดังตารางที่ 5.1 จำนวนโรงงานที่นำมาวิเคราะห์ถือเป็นสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนโรงงานควบคุมทั้งหมด เนื่องจากโรงงานควบคุมให้ความร่วมมือในการส่งรายงานการจัดการพลังงานเข้ามาน้อย นอกจากนี้มีข้อมูลที่ขาดความครบถ้วนสมบูรณ์ และขาดความน่าเชื่อถือจึงไม่นำมาศึกษาวิเคราะห์

ตารางที่ 5.1 จำนวนข้อมูลโรงงานควบคุมตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

TSIC	จำนวนโรงงานควบคุม		ร้อยละ
	วิเคราะห์	ทั้งหมด	
33	1	12	8.33
36	6	22	27.27
37	18	101	17.82
38	41	291	14.09
รวม	66	426	15.49

ข้อมูลจากโรงงานควบคุมทั้งหมด 66 โรงงาน สามารถแบ่งตามลักษณะข้อมูลได้เป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ จำนวน 70 ข้อมูล และข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ จำนวน 13 ข้อมูล รวม 83 ข้อมูล โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลของกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์มีดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา (ภาคผนวก ก)
2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น (ภาคผนวก ข และ ค)

3. วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย
4. วิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (ภาคผนวก ง และ จ)
5. วิเคราะห์พฤติกรรมกาเปลี่ยนแปลงของข้อมูล (ภาคผนวก ฉ)
6. วิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

แต่สำหรับกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์จะยกเว้นขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาและการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น แต่ทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุแทนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายเลย

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นพบว่าข้อมูลที่ทางโรงงานควบคุมจัดทำส่งมานั้นมีข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถืออีกมาก ทำให้ได้สมการตัวแทนของข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์จำนวน 41 ข้อมูล และข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์จำนวน 9 ข้อมูล รวม 50 ข้อมูล ซึ่งสรุปผลสมการตัวแทนที่ได้ไว้ในบทที่ 4 ตารางที่ 4.28

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนทั้งหมดที่ผ่านมาแสดงให้เห็นพฤติกรรมกาใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งข้อมูลที่วิเคราะห์จัดอยู่ในกลุ่มย่อยดังต่อไปนี้

TSIC 33 - 331 การผลิตไม้ และผลิตภัณฑ์จากไม้ ยกเว้นเครื่องเรือน

TSIC 36 - 362 อุตสาหกรรมแก้ว

TSIC 37 - 371 กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นต้น

372 กลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กขั้นกลาง

TSIC 38 - 381 การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ

382 การผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์

383 อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

384 อุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์

โดยกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33) มีข้อมูลเพียงโรงงานเดียวจึงไม่สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมของทั้งกลุ่มได้ แต่สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมอีก 3 กลุ่ม มีจำนวนข้อมูลมากพอที่จะแสดงให้เห็นพฤติกรรมโดยรวมได้ ซึ่งพบว่าข้อมูลการใช้พลังงานส่วนใหญ่ของกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37) นั้นมีค่า R^2 สูง ข้อมูลทั้ง 2 ปีเกาะกลุ่มกัน แสดงถึงความเสถียร การใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพ และมีการจัดการพลังงานที่ดี ขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (TSIC 36) และอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์ (TSIC 38) มีข้อมูลที่มีค่า R^2 หลากหลาย ซึ่งส่วนใหญ่ก็เป็นกลุ่ม R^2 สูง แต่ที่มีค่า R^2 ต่ำก็มีจำนวนมาก แสดงว่ามีทั้งข้อมูลที่มีความเสถียร มีการจัดการพลังงานที่ดี

และข้อมูลที่ไม่มีความเสถียรของการใช้พลังงาน ต้องเร่งพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ

สำหรับผลการวิเคราะห์ค่า SEC นั้นได้แสดงช่วงของค่า SEC และช่วงของปริมาณผลผลิตของกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ในตารางที่ 4.3, 4.9, 4.17, และ 4.25 สำหรับค่า SEC เฉลี่ยและช่วงของปริมาณผลผลิตของกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ในตารางที่ 4.10, 4.18 และ 4.26 ในบทที่ 4 ทั้งนี้สามารถทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า SEC ได้เมื่อทราบค่า %C ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุดในกรณีที่ค่า SEC มีค่าแปรเปลี่ยนมาก โดยค่า %C จะมีค่ามาก หรือในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณผลผลิตมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า SEC น้อย นั่นคือ ค่า %C จะมีค่าน้อย ก็ต้องหาแนวทางในการลดความสูญเสีย ปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร หรือการบริหารจัดการเพื่อลดค่า SEC ให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ยังได้สมการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน และพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนที่จะประหยัดได้เมื่อมีพฤติกรรมแบบ 6 เดือน ที่เลือกเป็นเป้าหมาย โดยโรงงานตัวอย่างของกลุ่ม TSIC 33 จะสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 21.64%, กลุ่ม TSIC 36 ประหยัดได้ 3.91-9.18%, กลุ่ม TSIC 37 ประหยัดได้ 3.01-39.14% และกลุ่ม TSIC 38 ประหยัดได้ 5.69-27.88%

อย่างไรก็ตามขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ ตรวจสอบติดตาม ไปจนถึงการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานในโรงงานอื่น ๆ ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กลัยมนัส มนต์ปิติ. 2549. การพัฒนาระบบการจำแนกประเภทอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกตามประสิทธิภาพพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฉันทลักษณ์ ณ ป้อมเพชร, เยาวมาลย์ เมธาภิรักษ์ และ ศรีเพ็ญ ทรัพย์มนชัย. 2541. สถิติเพื่อการวางแผน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชณิชา หมอยาดี. 2550. มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไชยะ แซ่มซ้อย. 2553ก. การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อกำหนดเป้าหมายและการตรวจสอบสัมฤทธิ์ผลการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัดสำเนา)
- ไชยะ แซ่มซ้อย. 2553ข. การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อกำหนดเป้าหมายและการตรวจสอบสัมฤทธิ์ผลการอนุรักษ์พลังงาน(1). เทคนิค 312 (มีนาคม): 91-101.
- ไชยะ แซ่มซ้อย. 2553ค. การบริหารจัดการเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า[ออนไลน์]. สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. แหล่งที่มา: <http://e-learning.erc.or.th/> [2552, พฤศจิกายน 9]
- เบญจมาศ ปุยอ้อ และ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล. 2550. การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก (SEC). การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3. 23-25 พฤษภาคม ณ โรงแรมไบฮอกสกาย กรุงเทพมหานคร.
- ประพันธ์ ธนาปิยกุล. 2552ก. การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน(1). เทคนิค 304 (สิงหาคม): 73-84.
- ประพันธ์ ธนาปิยกุล. 2552ข. การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน(2). เทคนิค 305 (กันยายน): 89-95.
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550ก. ทำเนียบโรงงานควบคุม[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/berc/.../allnamefac.xls> [2552, กุมภาพันธ์ 12]

- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550ข. โครงการศึกษาและจัดทำระบบวิเคราะห์โครงสร้างการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม[ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <http://www3.dede.go.th/dede/index.php?id=1042>[2552, กุมภาพันธ์ 12]
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550ค. ความหมายการจับกลุ่มอุตสาหกรรม[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.enconlab.com/fbr/download.asp>[2552, กุมภาพันธ์ 1]
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552. คู่มือพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/oct52/3.pdf>[2552, กุมภาพันธ์ 1]
- พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. การอนุรักษ์พลังงานตาม พ.ร.บ.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=34>[2553, กุมภาพันธ์ 24]
- แรงงาน, กระทรวง. กรมการจัดหางาน. 2544. การจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรม(ประเทศไทย) ปี 2544 [ออนไลน์]. วลลภ กลั้ววงษ์ (ผู้เผยแพร่).แหล่งที่มา:http://123.242.163.3/POC/PhaseII/IT3_10Detail.aspx?id=2[2552, กุมภาพันธ์ 1]
- วัฒนา สุนทรชัย. 2546. เรียนสถิติด้วย SPSS ภาคสถิติอิงพารามิเตอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร: วิทญ์พัฒน.
- ศรีเพ็ญ ทรัพย์มันชัย. 2545. การวิเคราะห์การถดถอยเชิงธุรกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ปิ่นเกล้าการพิมพ์.
- ศุภกิจ บุญศิริ. 2548. การทำดัชนีการใช้พลังงานเพื่อการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม[ออนไลน์]. สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
แหล่งที่มา: <http://www2.diw.go.th/.../การทำดัชนีการใช้พลังงานเพื่อการประหยัดพลังงานในโรง...>[2552, มิถุนายน 18]
- ศุภชัย ปัญญาวิวัฒน์. 2553. การอนุรักษ์พลังงานอย่างสมบูรณ์และยั่งยืน. เทคนิค 313 (เมษายน): 83.
- เสรี กังวานกิจ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2549. การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในชุมชนชนบทระดับหมู่บ้าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อนันต์ชัย เชื้อนธรรม. 2549. วิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 1.

กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อมรรัตน์ แก้วประดับ และ พิชัย นามประกาย. 2548. การศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ
ในอุตสาหกรรมประเภทโลหะ. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 1. 11-13 พฤษภาคม ณ โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน จังหวัดชลบุรี.

ภาษาอังกฤษ

Bowman. 2009. Statistics Notes-Correlation[Online]. Available from:

<http://rchsbowman.wordpress.com/2009/04>[2010, February 2]

Puranik, V.S. 2007. CUSUM Quality Control Chart for Monitoring Energy Use
Performance. Proceedings of the 2007 IEEE IEEM: 1231-1235.

Signor, R., Westphal, F.S., and Lamberts, R. 2001. Regression analysis of electric
energy consumption and architectural variables of conditioned commercial
buildings in 14 Brazilian cities. Seventh International IBPSA Conference. Rio de
Janeiro, Brazil.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



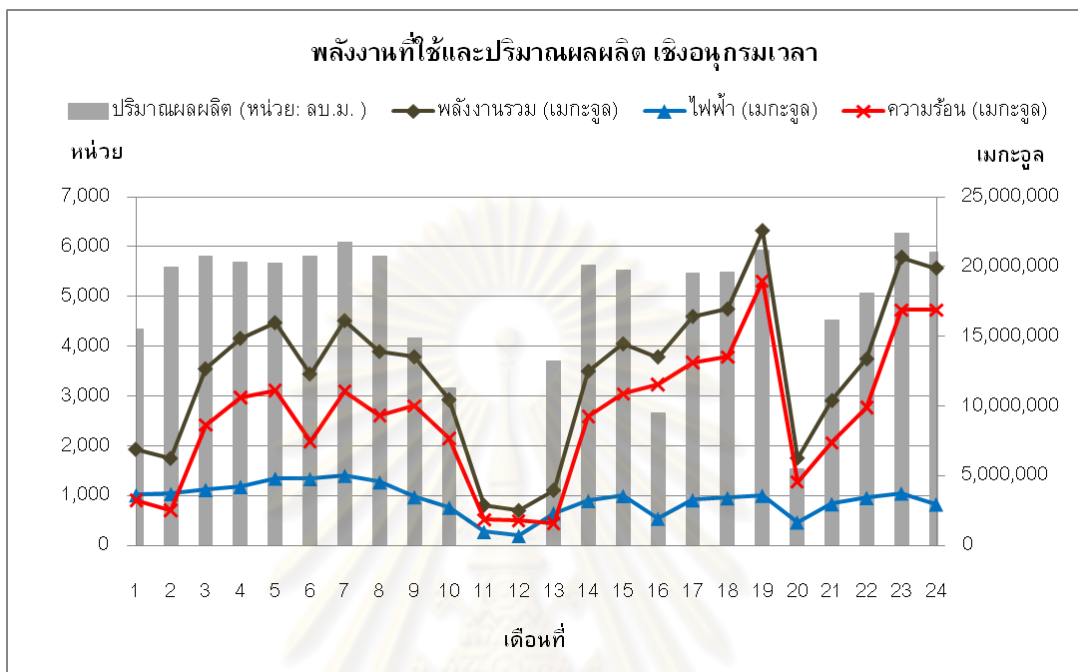
ภาคผนวก ก

ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของการใช้พลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

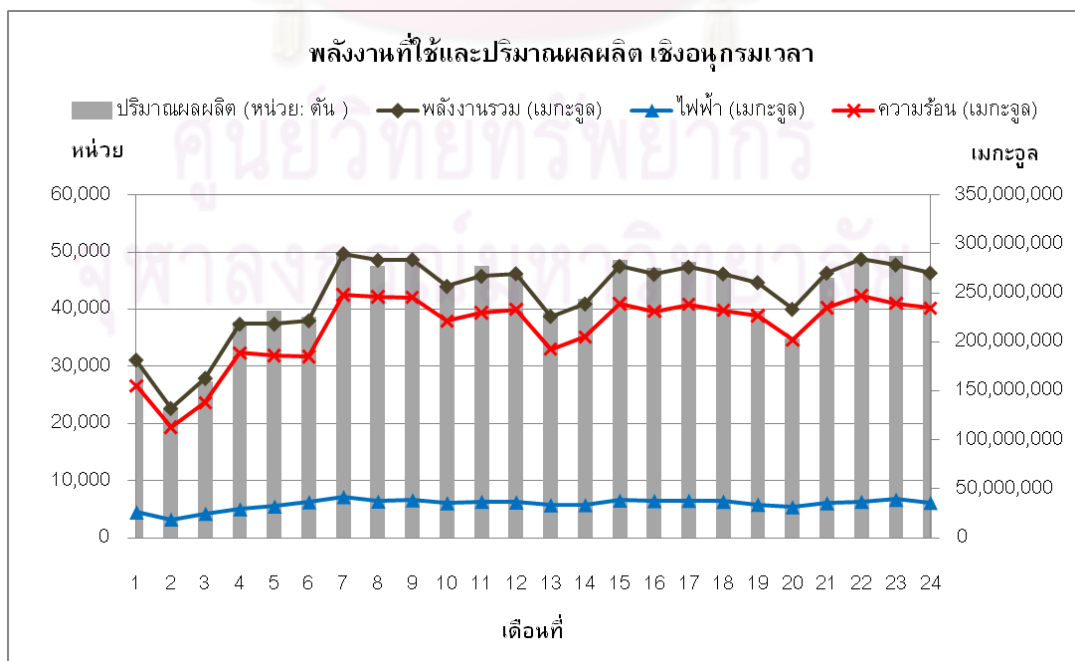
1. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33)

TSIC 33112-a ผลิตภัณฑ์: แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด หน่วย: ลบ.ม.



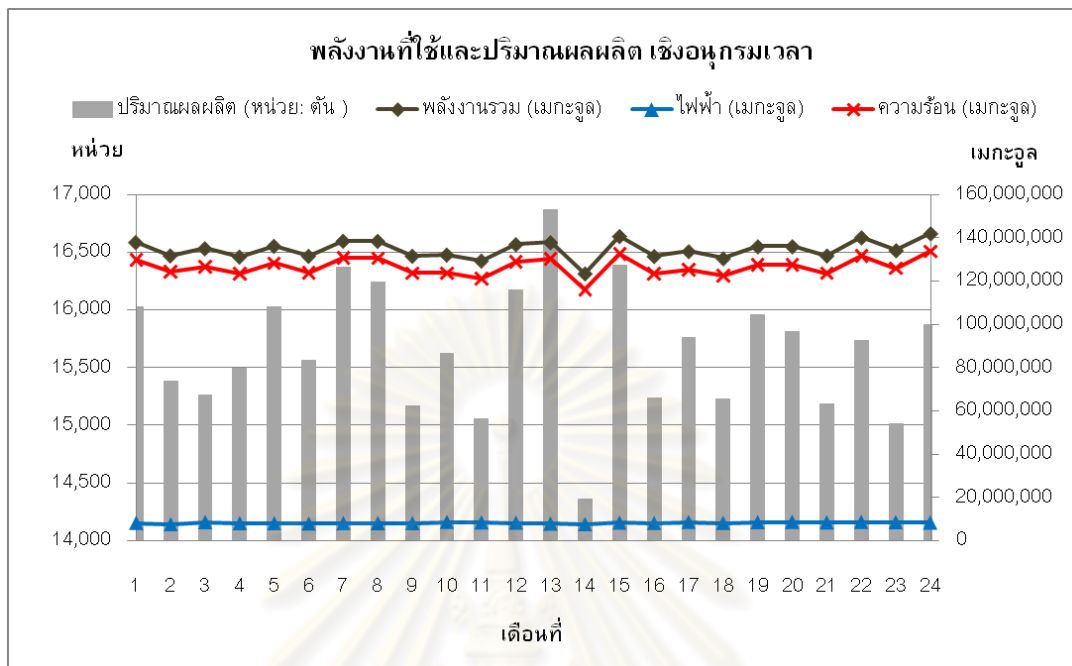
2. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (TSIC 36)

TSIC 36200-a ผลิตภัณฑ์: ภาชนะขวดแก้ว หน่วย: ตัน



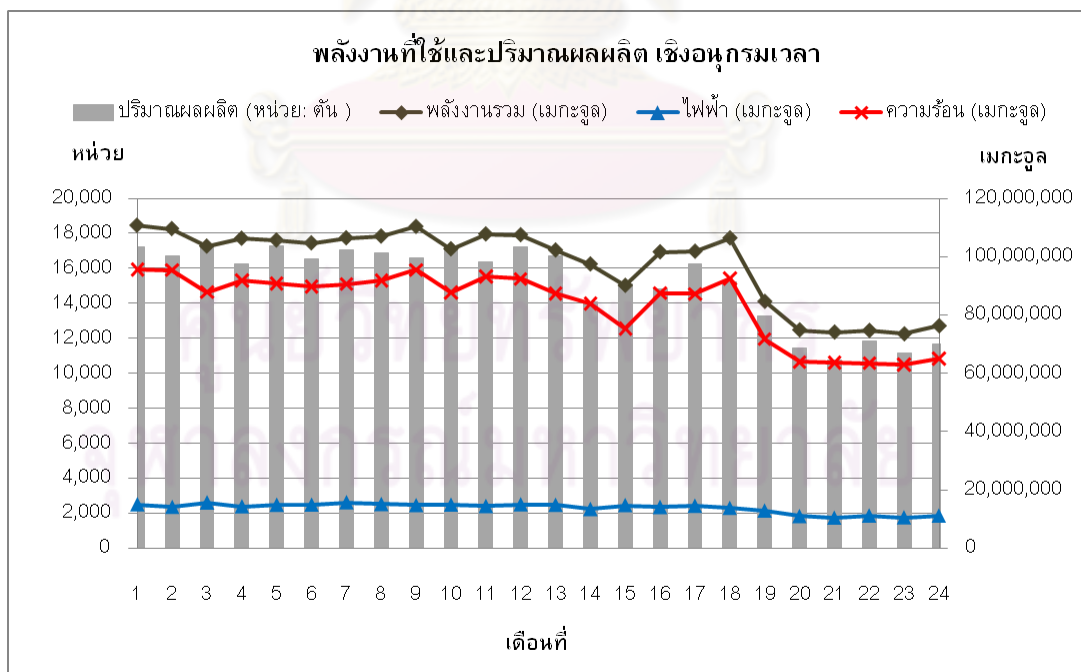
TSIC 36200-b ผลิตภัณฑ์: กระจกไฟรดสีเขียว

หน่วย: ตัน



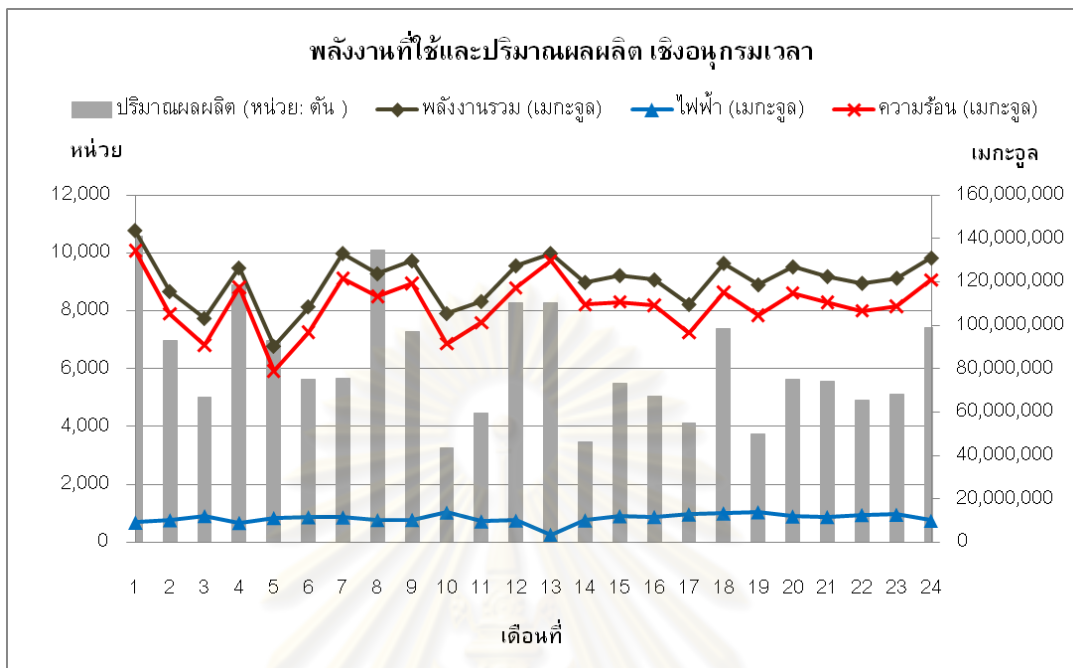
TSIC 36200-c ผลิตภัณฑ์: ขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



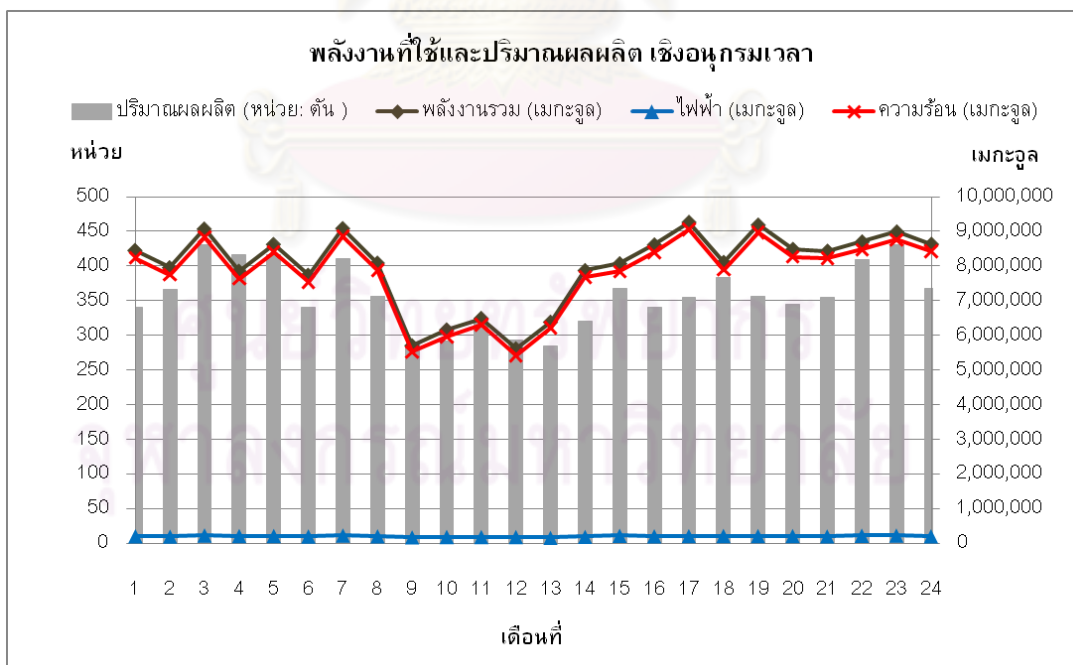
TSIC 36200-e ผลิตภัณฑ์: กระดาษแผ่นเรียบ

หน่วย: ตัน



TSIC 36200-f ผลิตภัณฑ์: ไม่มีชื่อ

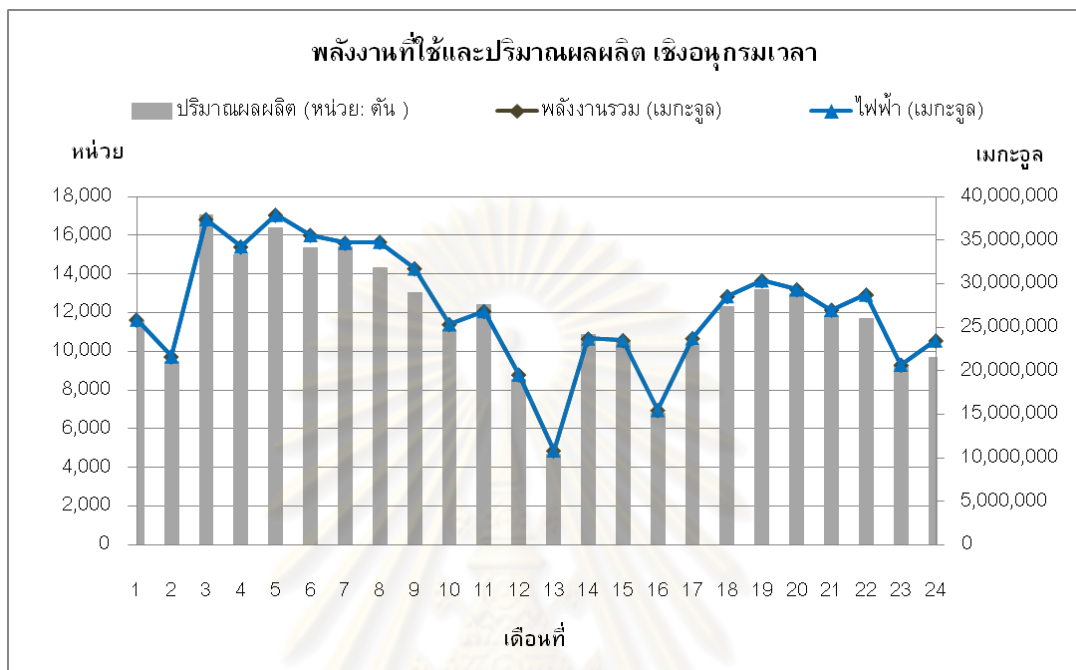
หน่วย: ตัน



3. กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37)

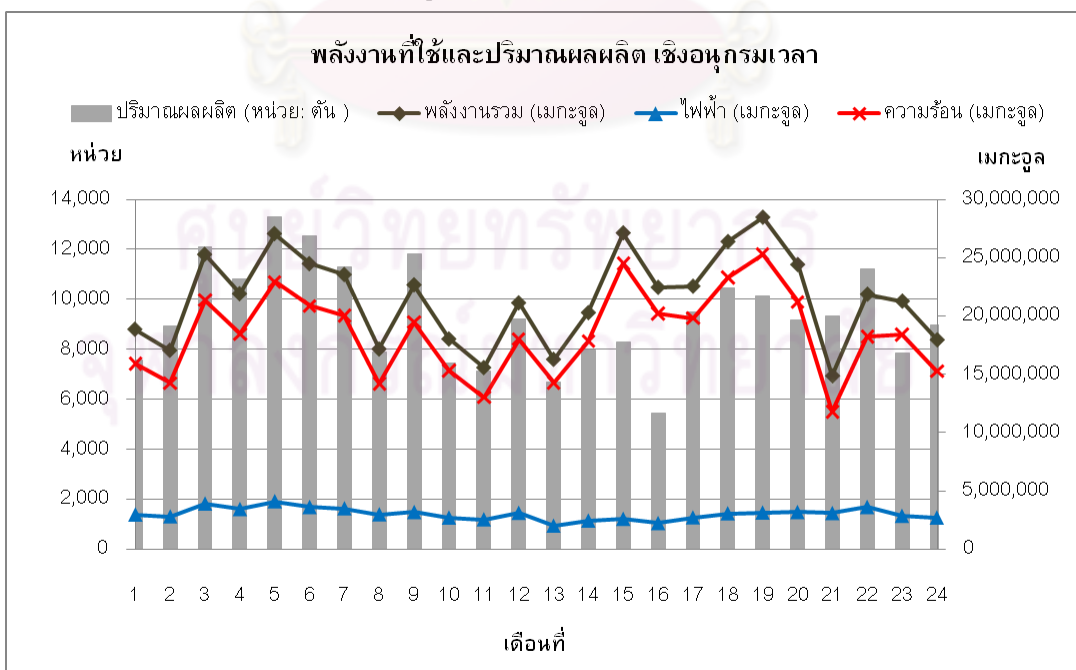
TSIC 37110-a1 ผลิตภัณฑ์: เหล็กแท่ง billet

หน่วย: ตัน



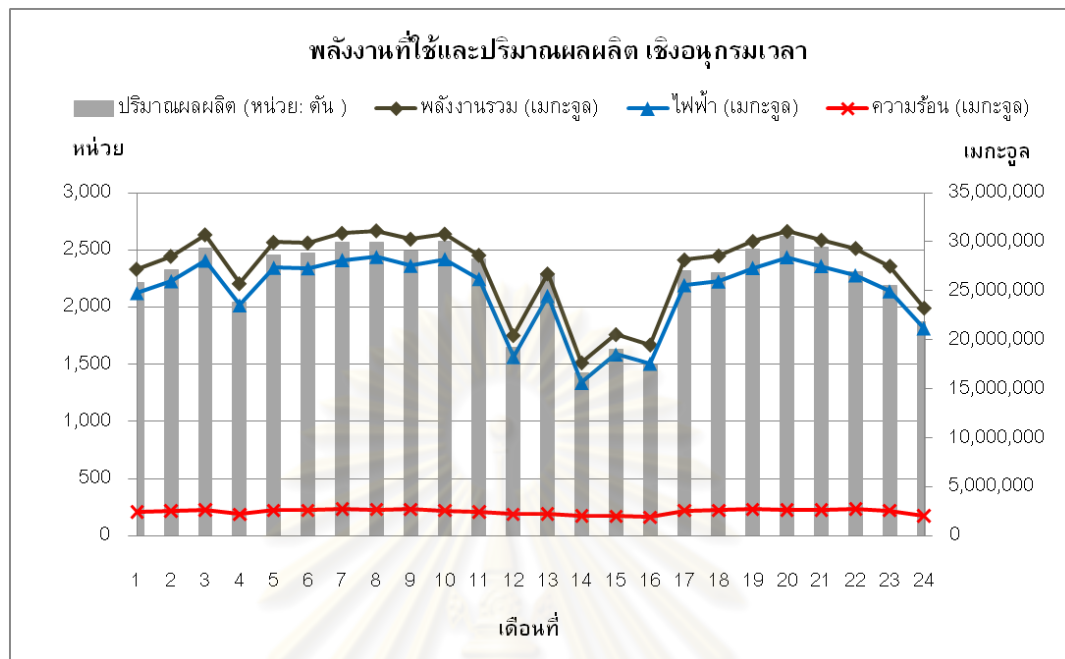
TSIC 37110-a2 ผลิตภัณฑ์: เหล็กรูปภาคทรีดร้อน

หน่วย: ตัน



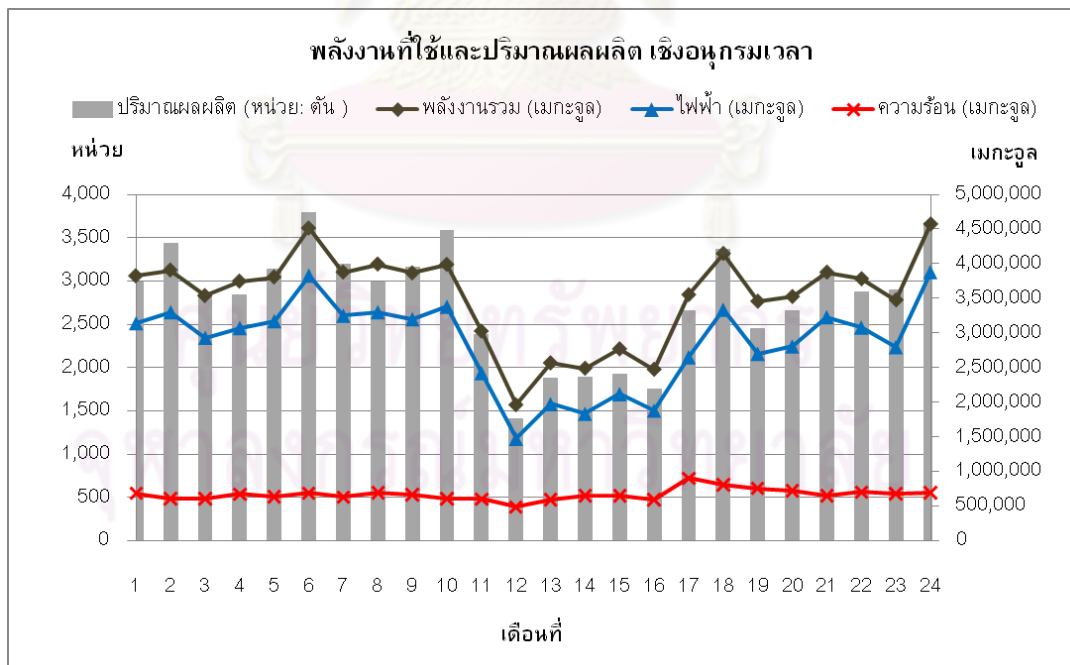
TSIC 37110-b ผลิตภัณฑ์: ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์

หน่วย: ตัน



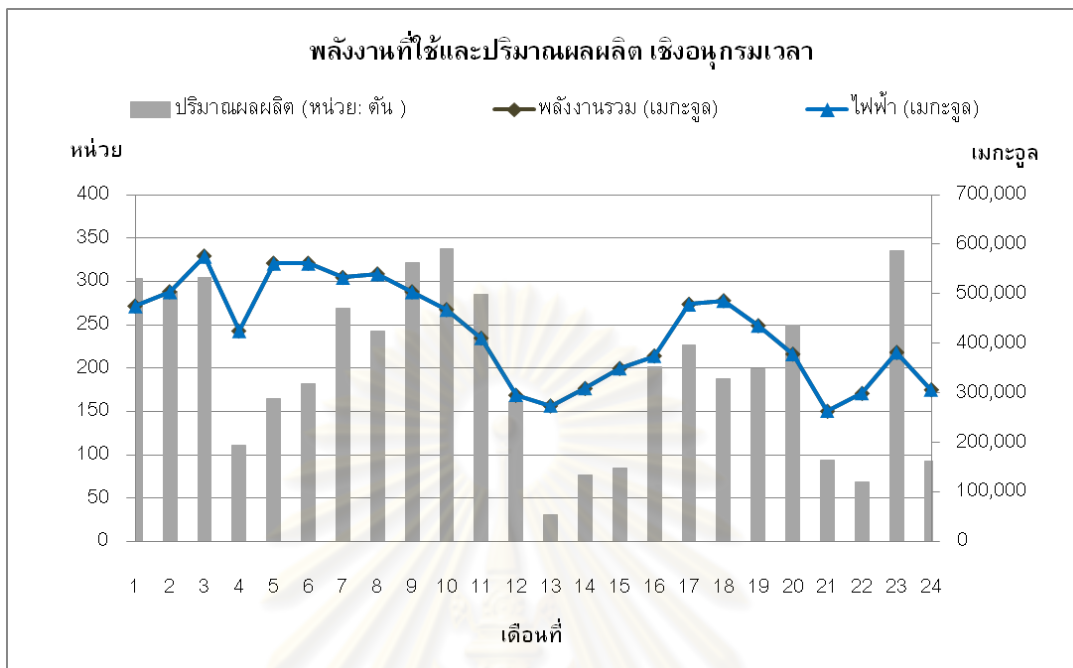
TSIC 37110-c1 ผลิตภัณฑ์: ท่อเหล็กร้อยสายไฟชุบสังกะสี

หน่วย: ตัน



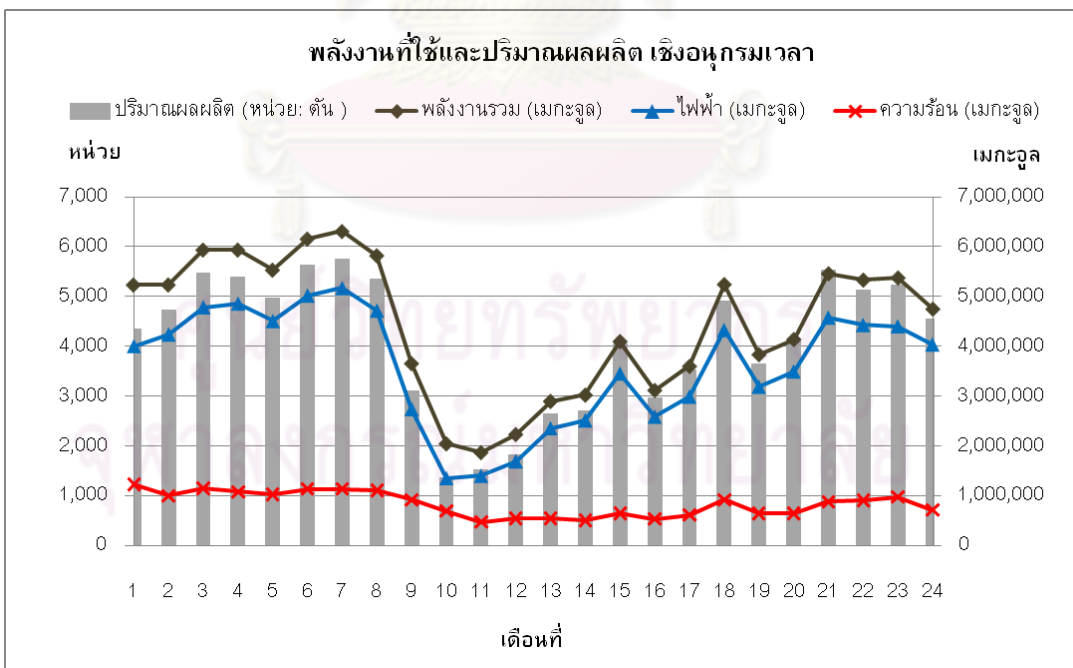
TSIC 37110-c2 **ผลิตภัณฑ์:** ท่อเหล็กเคลือบพียู

หน่วย: ตัน

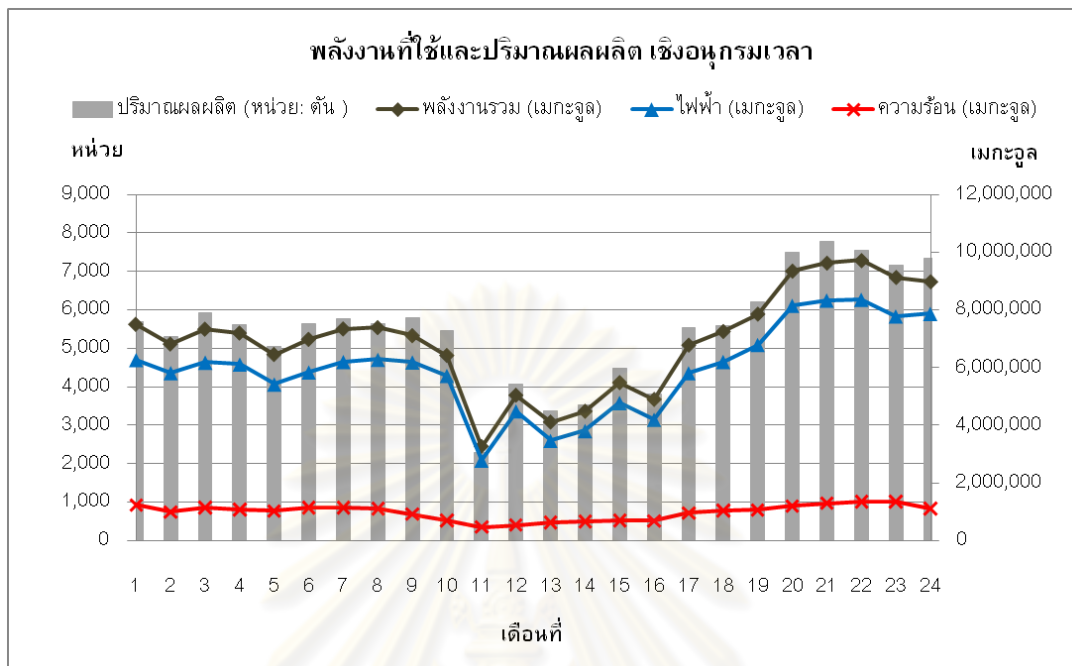


TSIC 37110-e1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire)

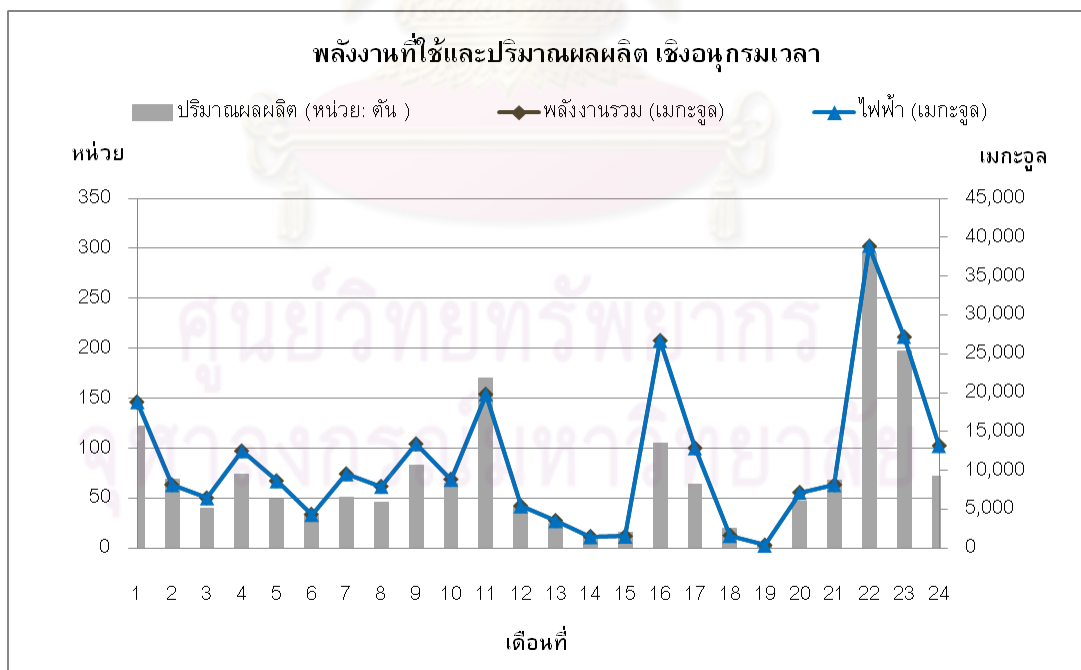
หน่วย: ตัน



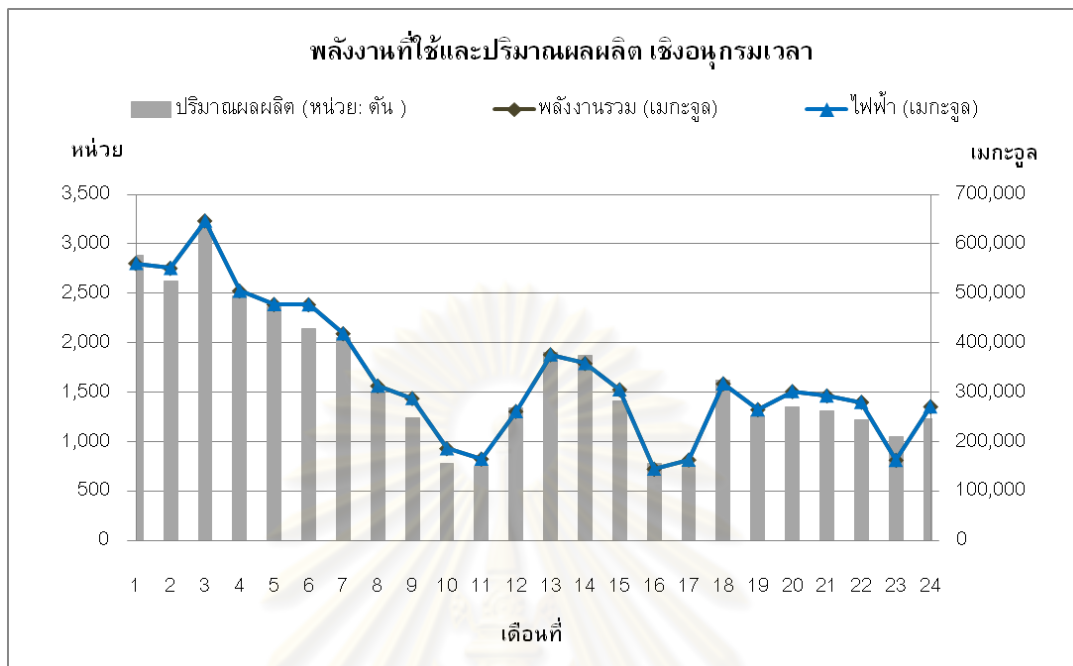
TSIC 37110-e2 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand) **หน่วย:** ตัน



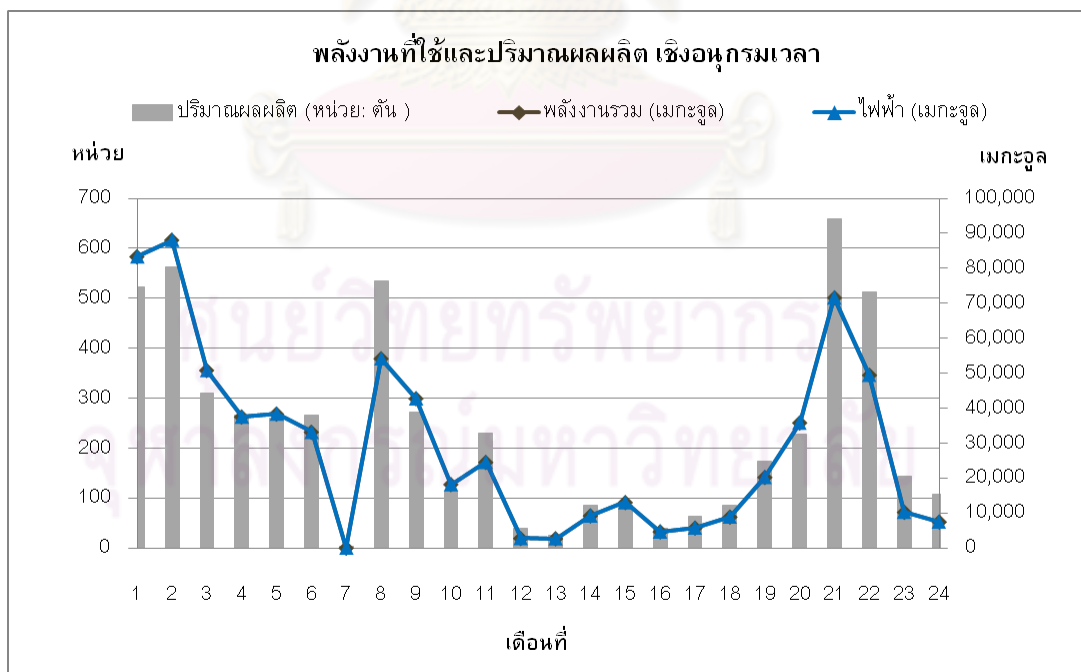
TSIC 37110-e3 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอทิลีน (PE) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-e4 **ผลิตภัณฑ์:** ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh) **หน่วย:** ตัน



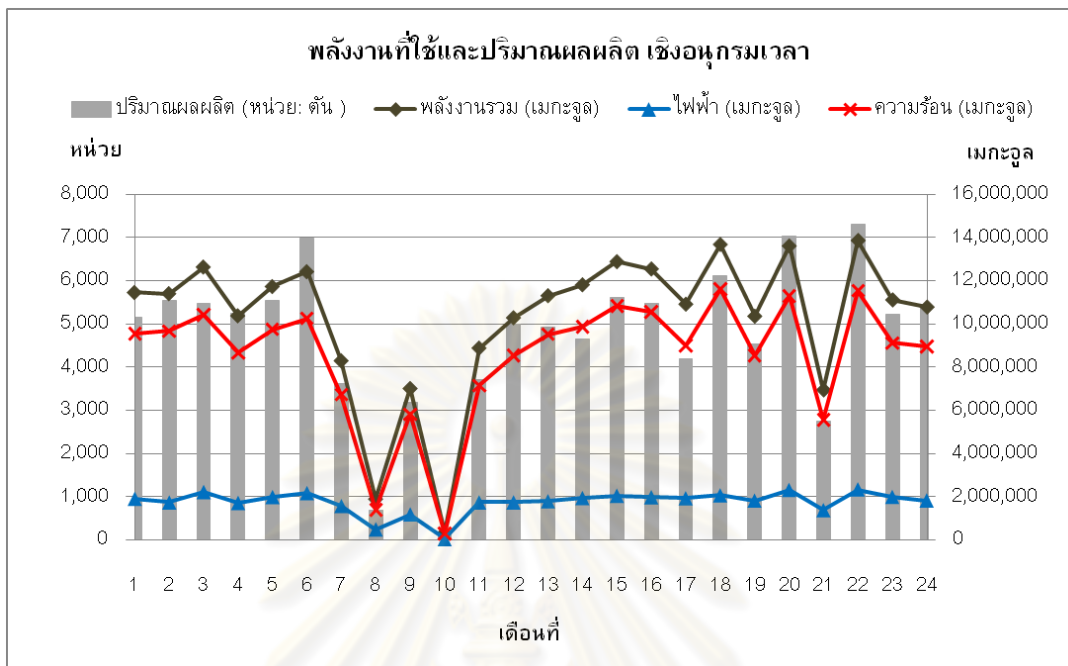
TSIC 37110-e5 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-f

ผลิตภัณฑ์: เหล็กเส้น

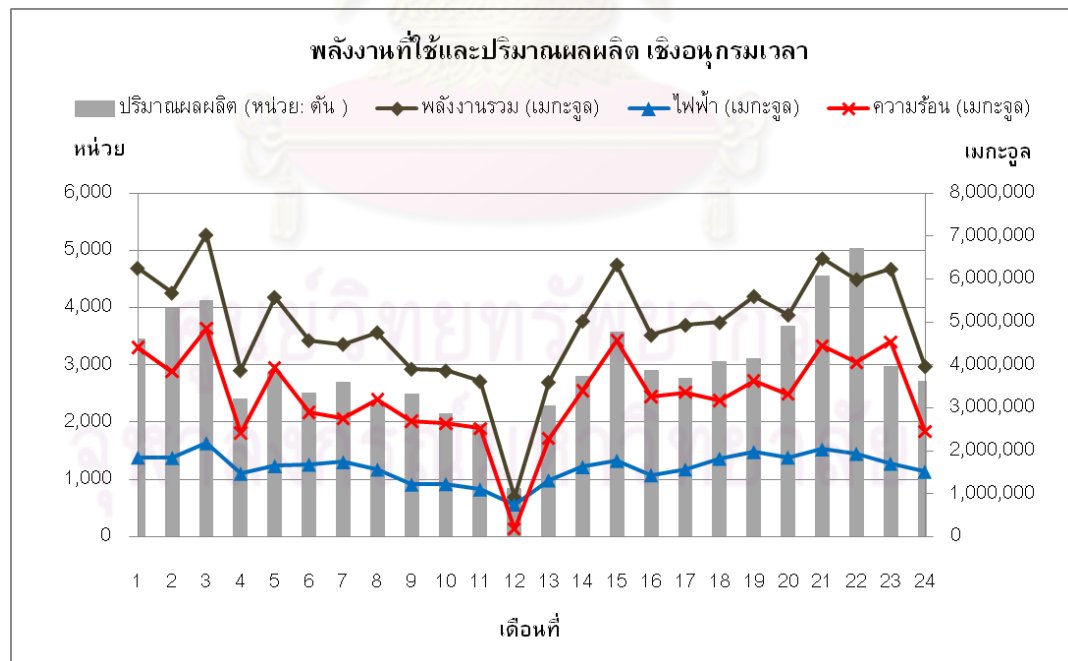
หน่วย: ตัน



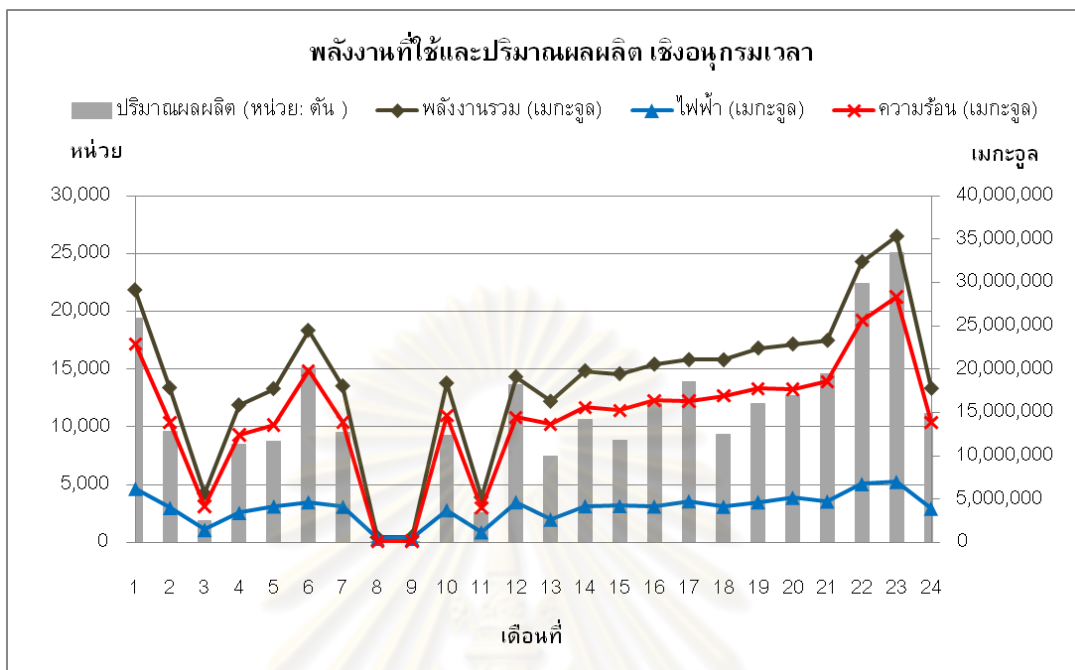
TSIC 37110-g

ผลิตภัณฑ์: STEEL WIRE

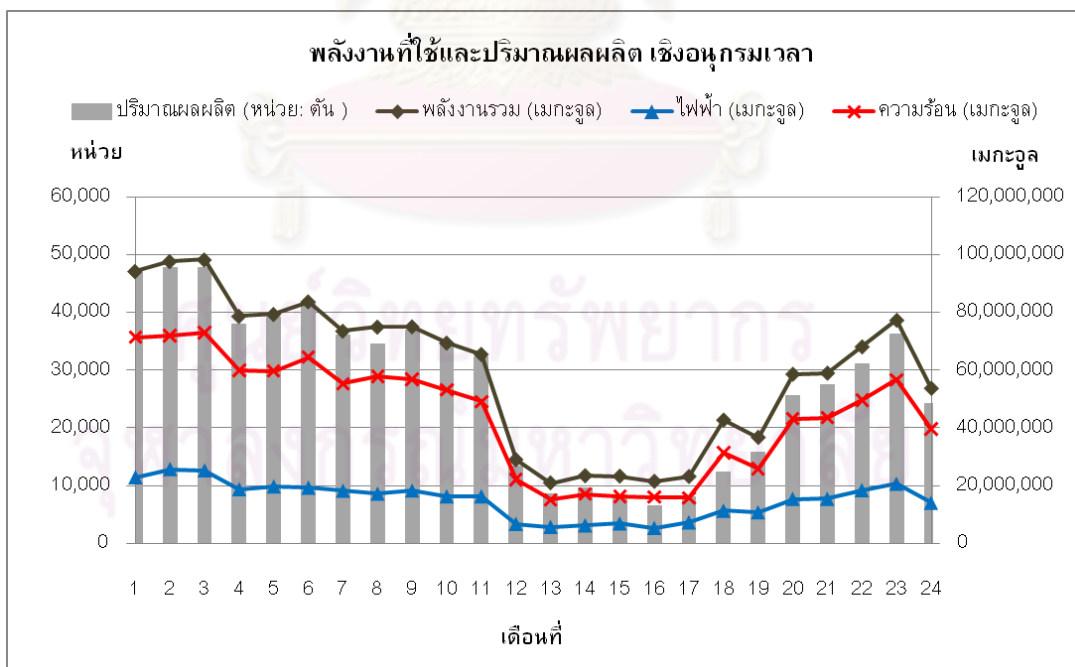
หน่วย: ตัน



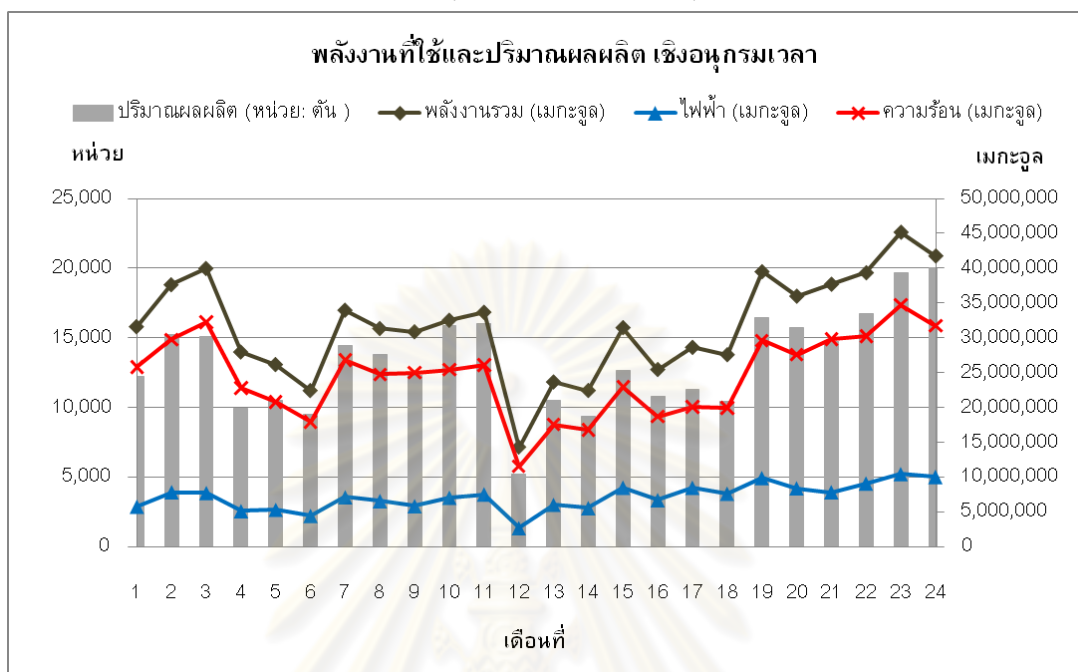
TSIC 37110-i **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย **หน่วย:** ตัน



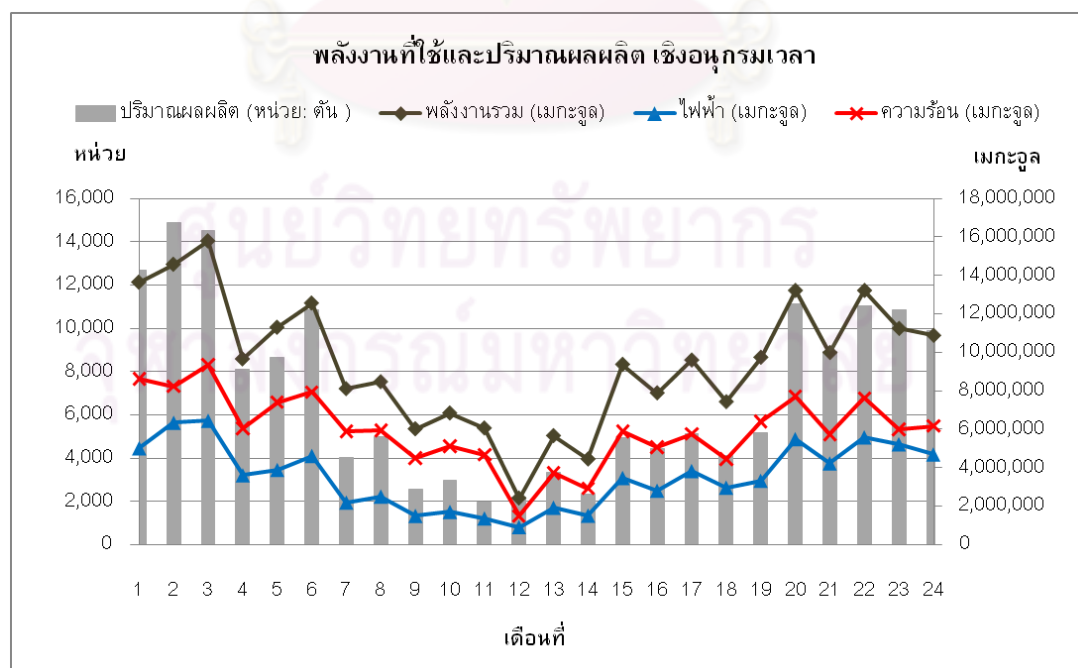
TSIC 37110-j1 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-j2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบดีบุกหรือโครเมียม **หน่วย:** ตัน
สำหรับอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP)



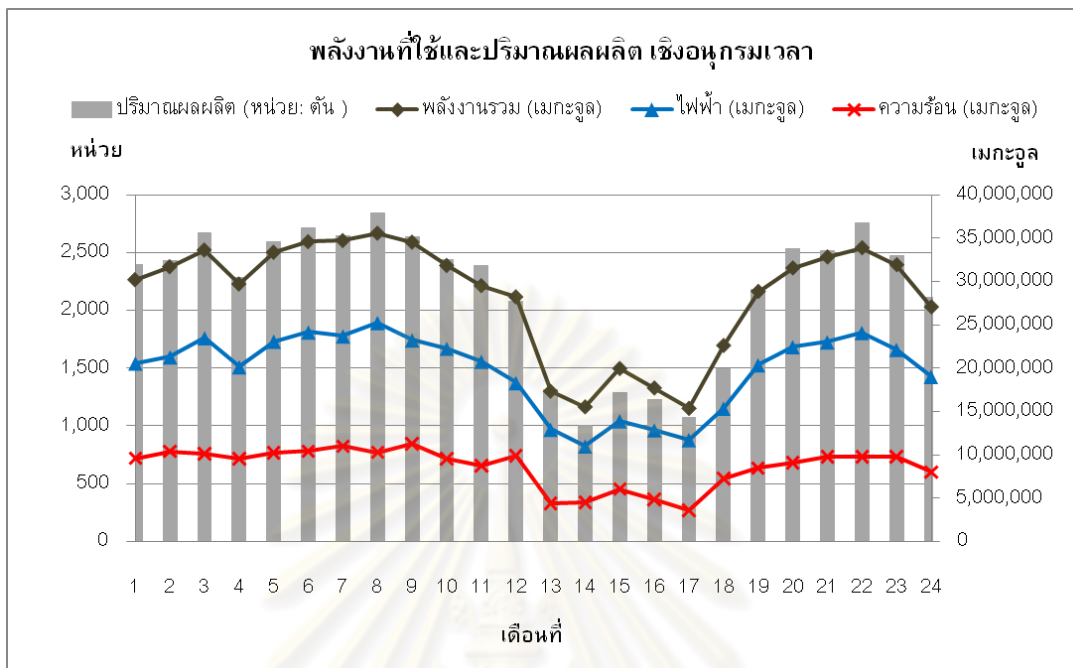
TSIC 37110-j3 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-I

ผลิตภัณฑ์: เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์)

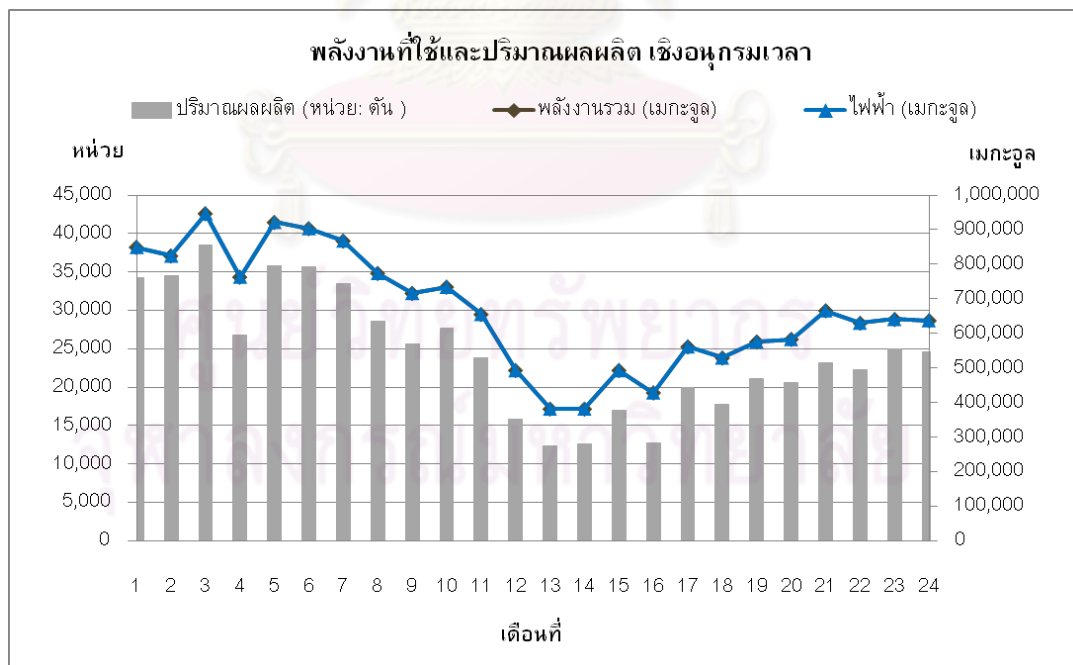
หน่วย: ตัน



TSIC 37120-a

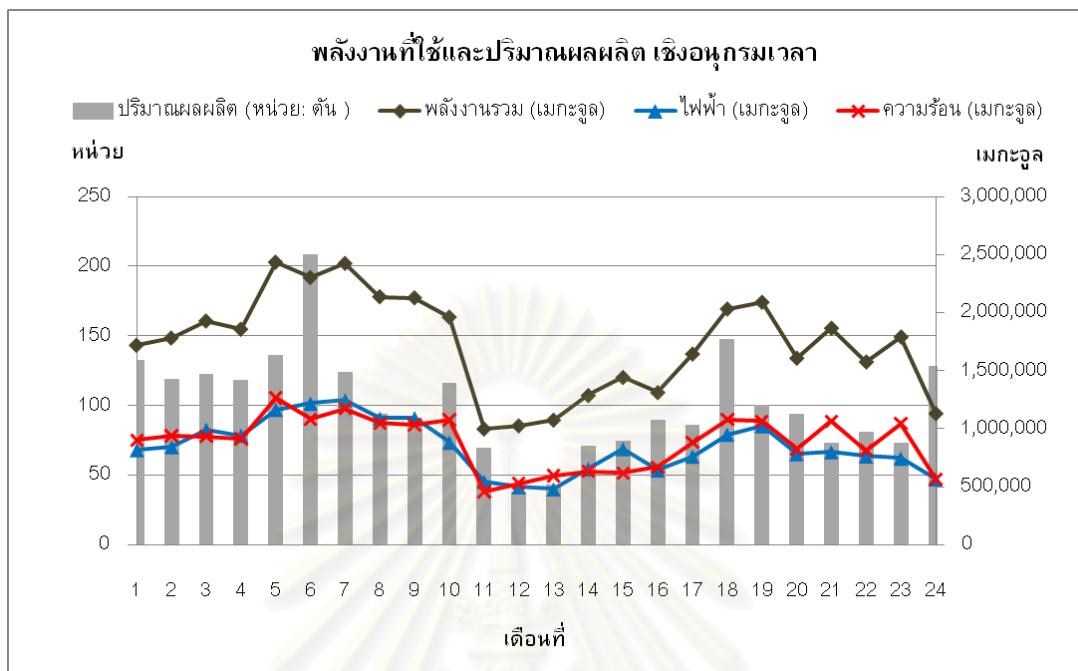
ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

หน่วย: ตัน



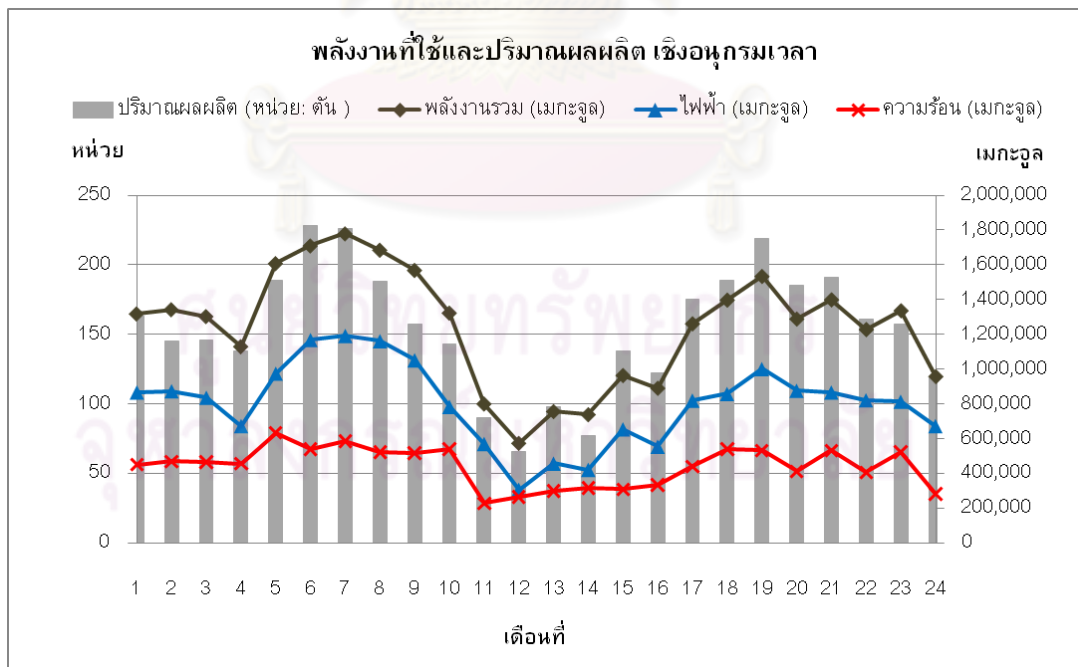
TSIC 37200-a1 ผลิตภัณฑ์: อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ดิบ)

หน่วย: ตัน



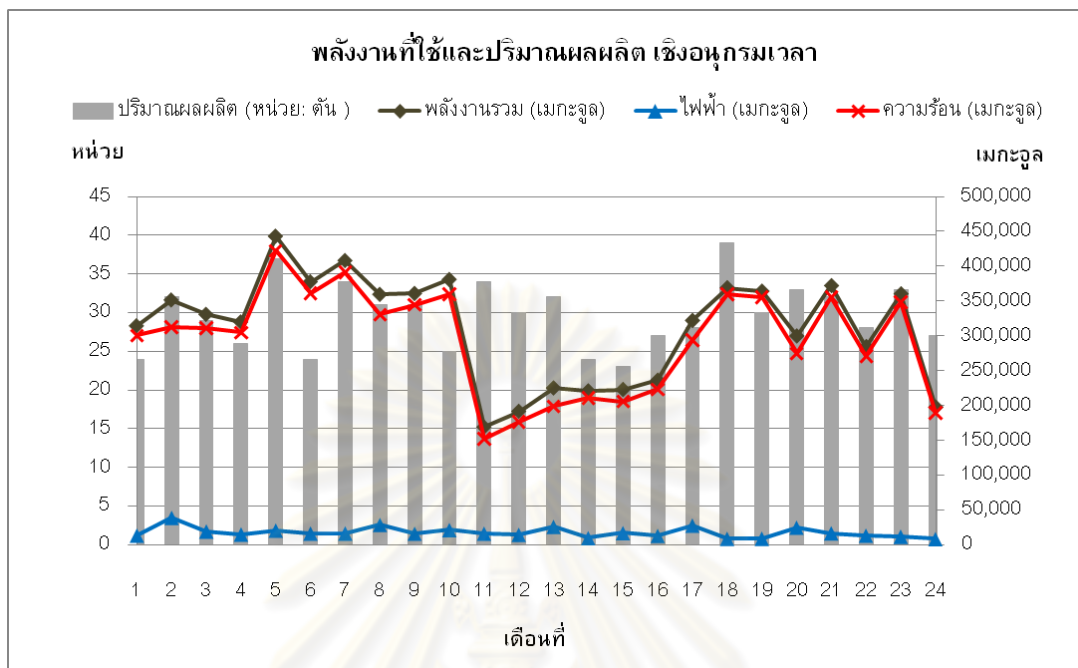
TSIC 37200-a2 ผลิตภัณฑ์: อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ชุบ)

หน่วย: ตัน

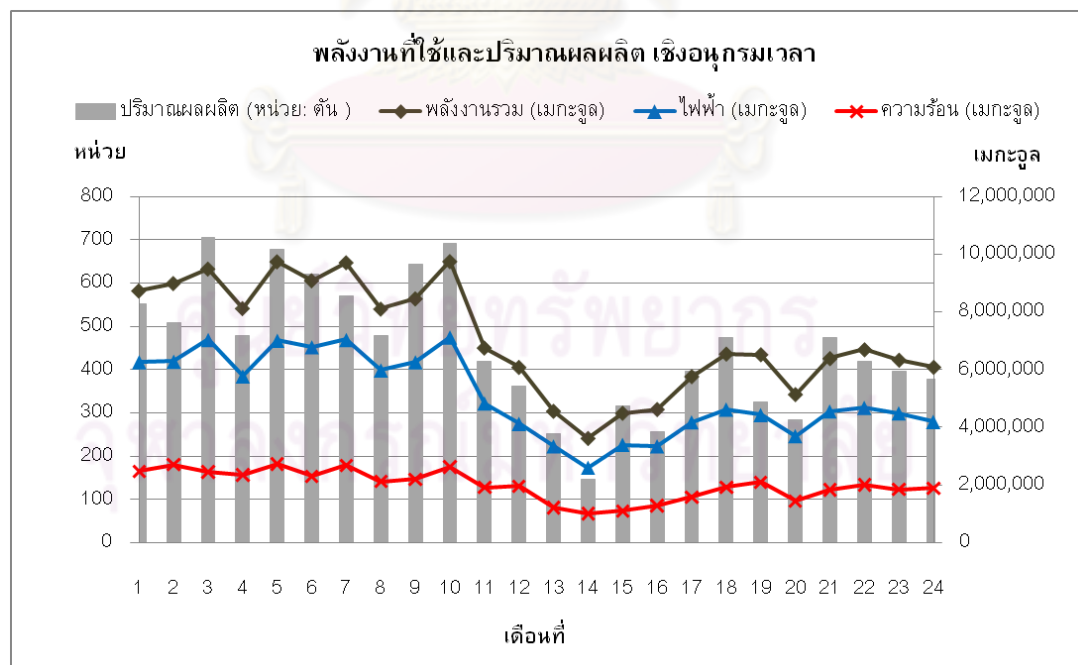


TSIC 37200-a3 **ผลิตภัณฑ์:** อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ฟันสี่)

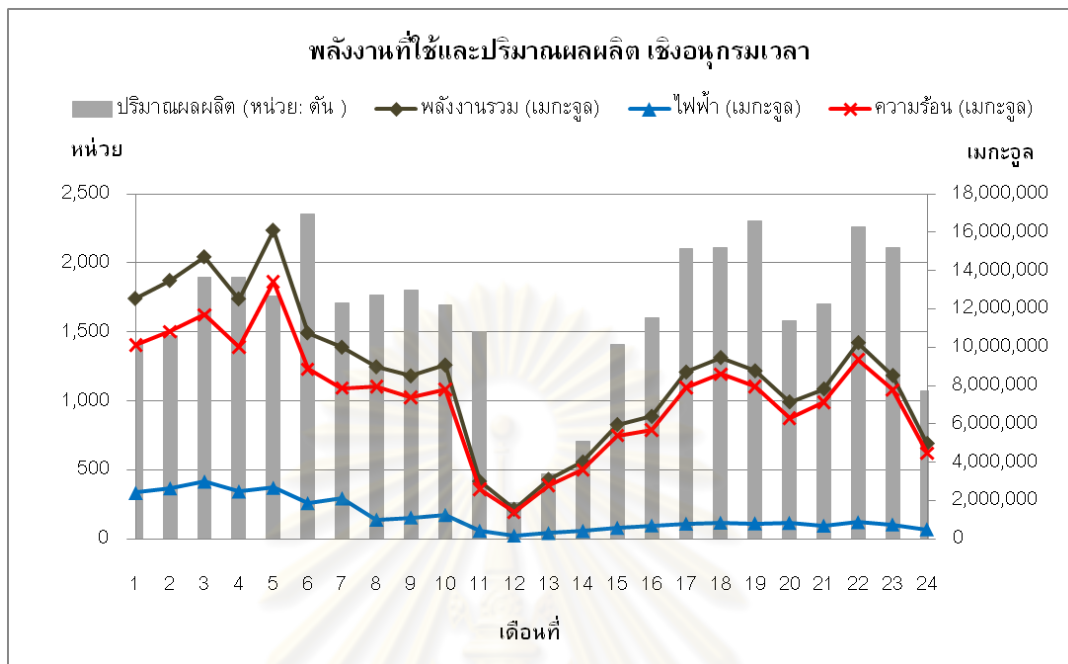
หน่วย: ตัน



TSIC 37200-b **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ) **หน่วย:** ตัน

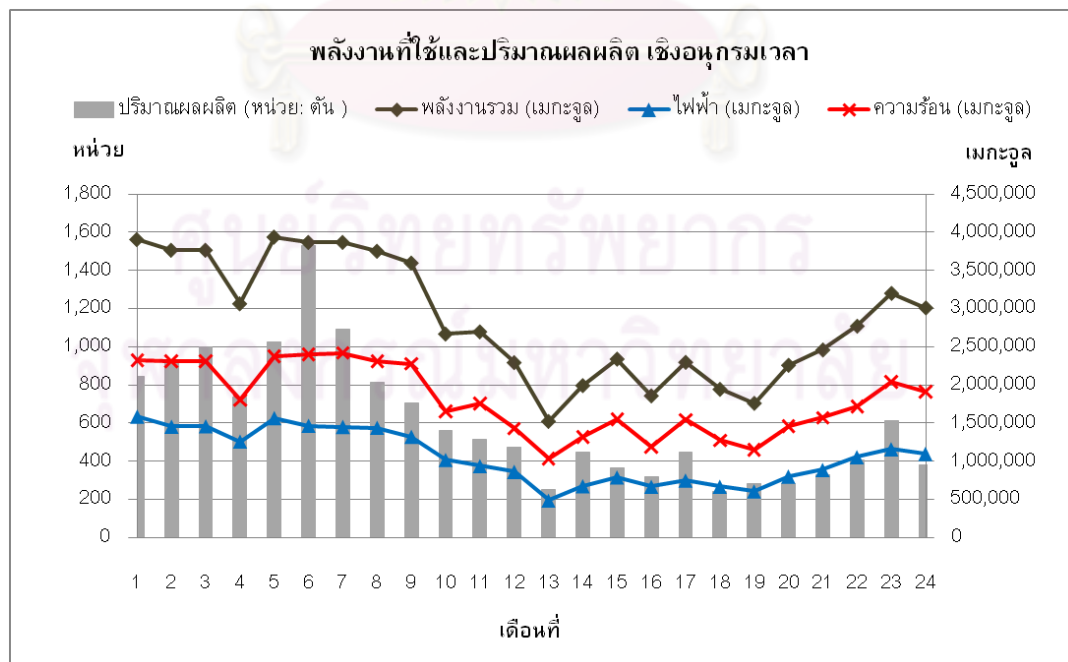


TSIC 37200-d ผลิตภัณฑ์: อลูมิเนียมอินกอท หน่วย: ตัน



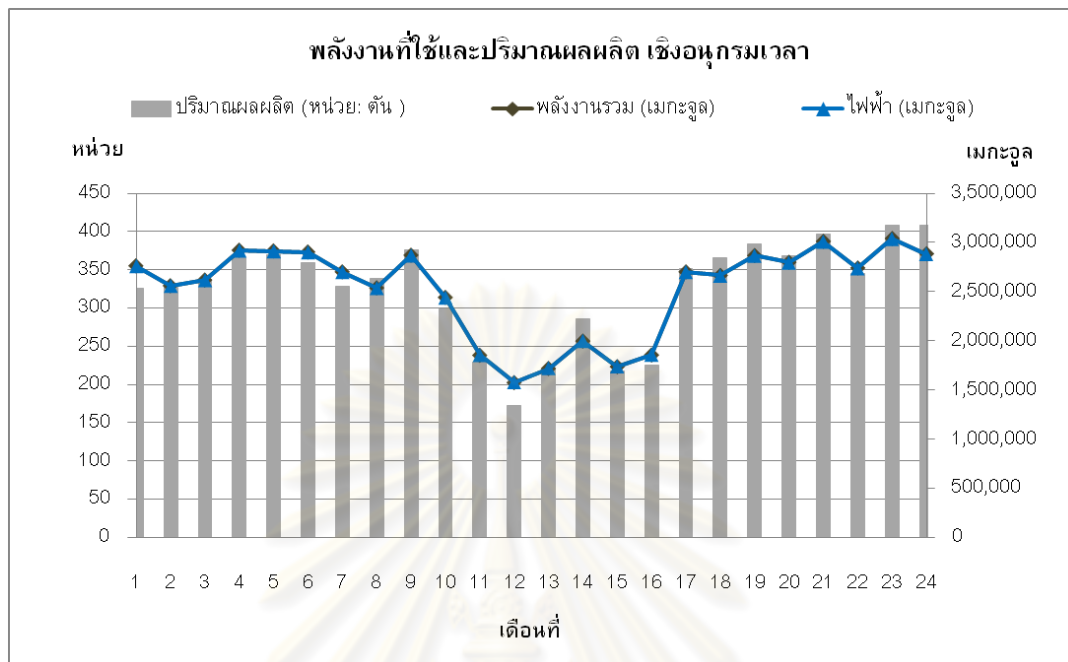
4. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38)

TSIC 38120-a ผลิตภัณฑ์: เฟอรรินเจอร์สำนักงานจากโลหะ หน่วย: ตัน



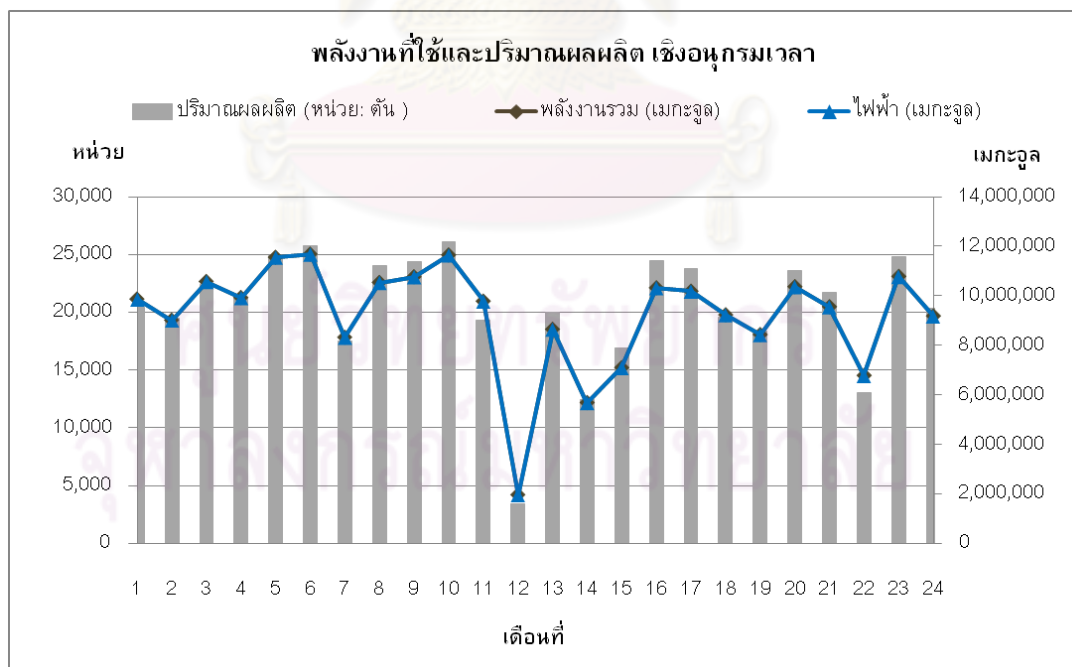
TSIC 38130-a ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์

หน่วย: ตัน



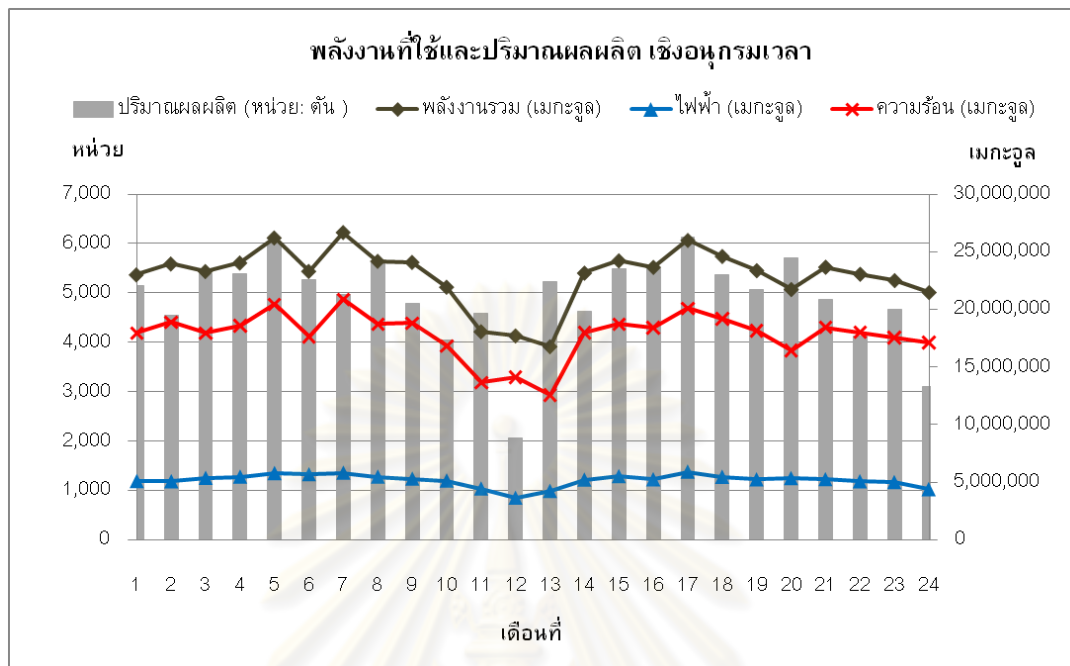
TSIC 38191-a ผลิตภัณฑ์: ไม่มีชื่อ

หน่วย: ตัน



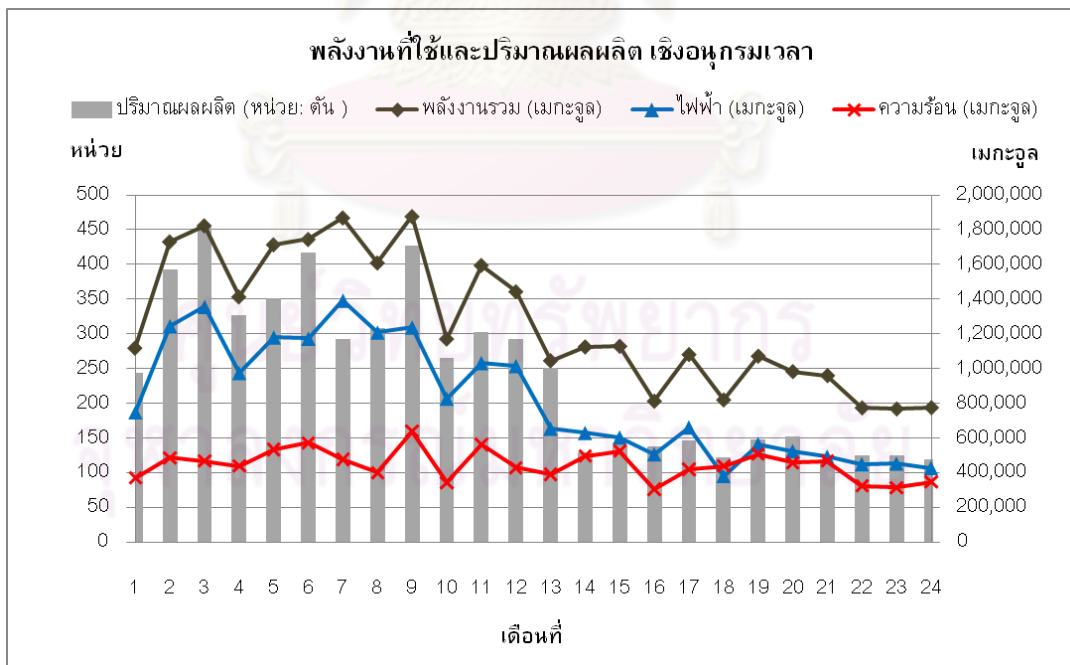
TSIC 38191-b ผลิตภัณฑ์: กระป๋องและฝา

หน่วย: ตัน



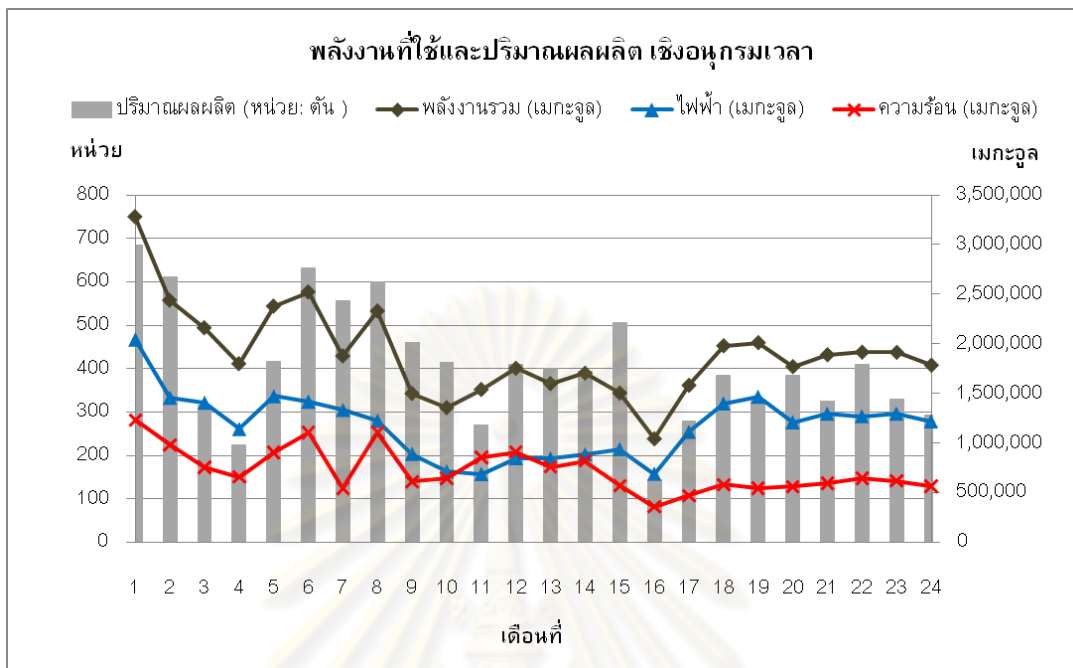
TSIC 38192-a ผลิตภัณฑ์: แป้นเกลียวหกเหลี่ยม (Heavy hexagon nut)

หน่วย: ตัน



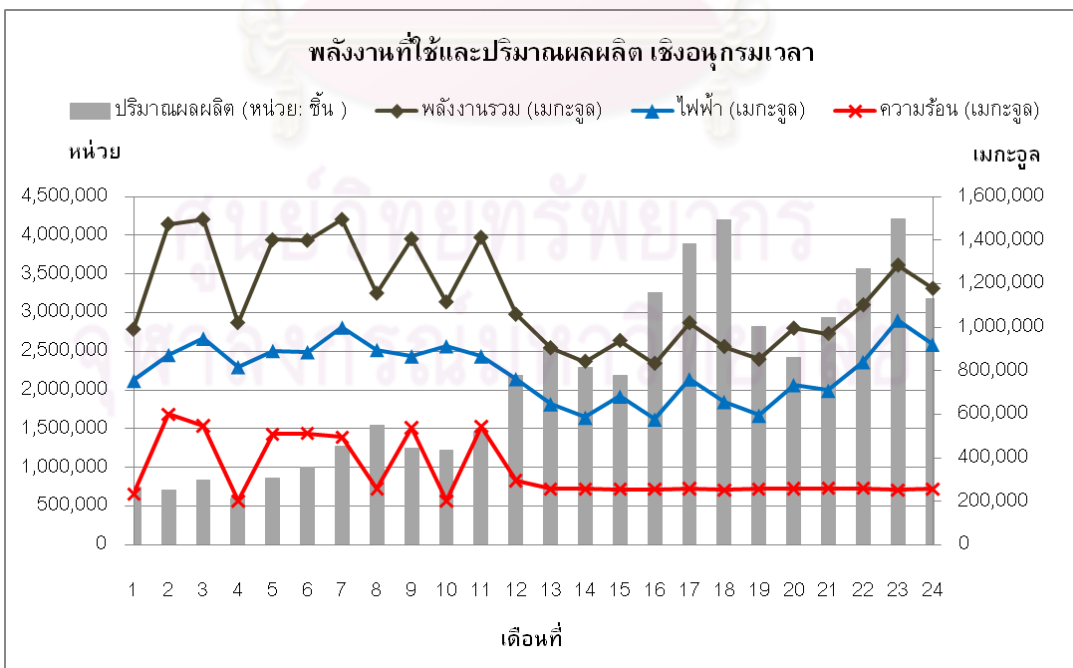
TSIC 38198-a ผลิตภัณฑ์: นัท-สกรู

หน่วย: ตัน



TSIC 38198-b ผลิตภัณฑ์: Starter Clutch, Valve Rotary, Cam Ring, Rotor Vane Pump , Pin Dowel, Cap&Plug, Pin Crank, Bush

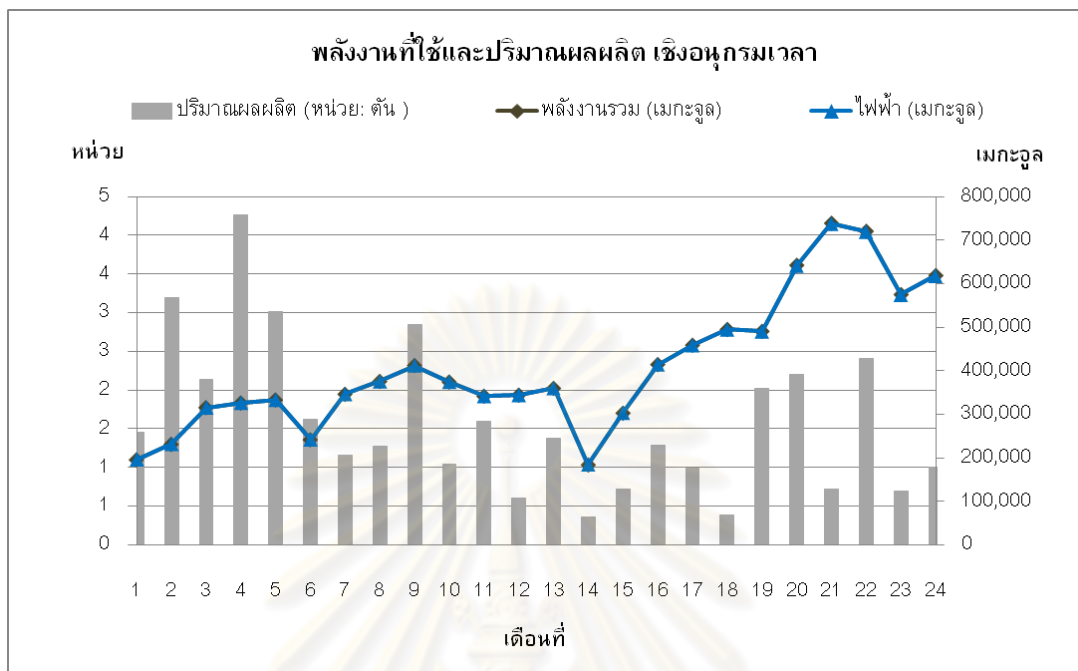
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38198-c

ผลิตภัณฑ์: ชูบเคลือบผิวแม่พิมพ์

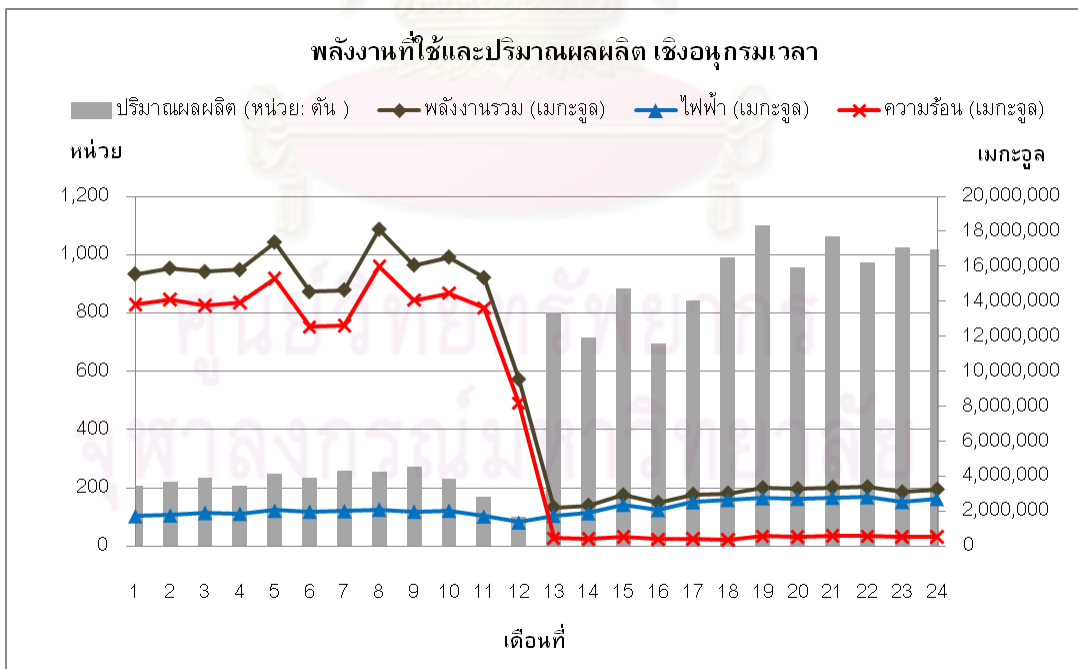
หน่วย: ตัน



TSIC 38199-b

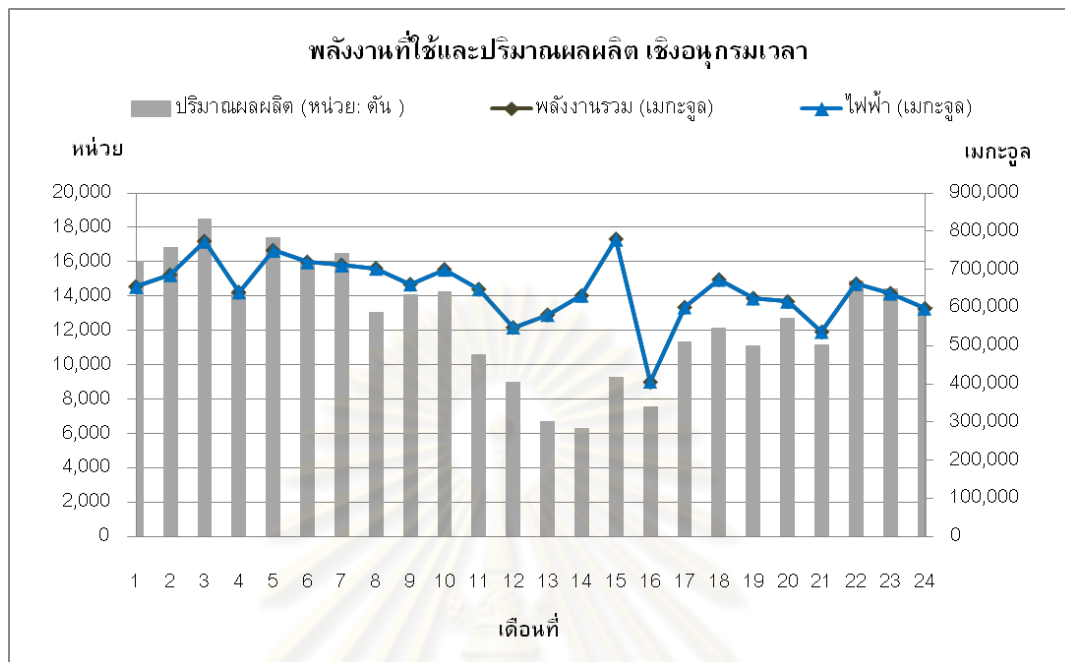
ผลิตภัณฑ์: แกนเหล็กอ่อน Soft ferrite Core

หน่วย: ตัน



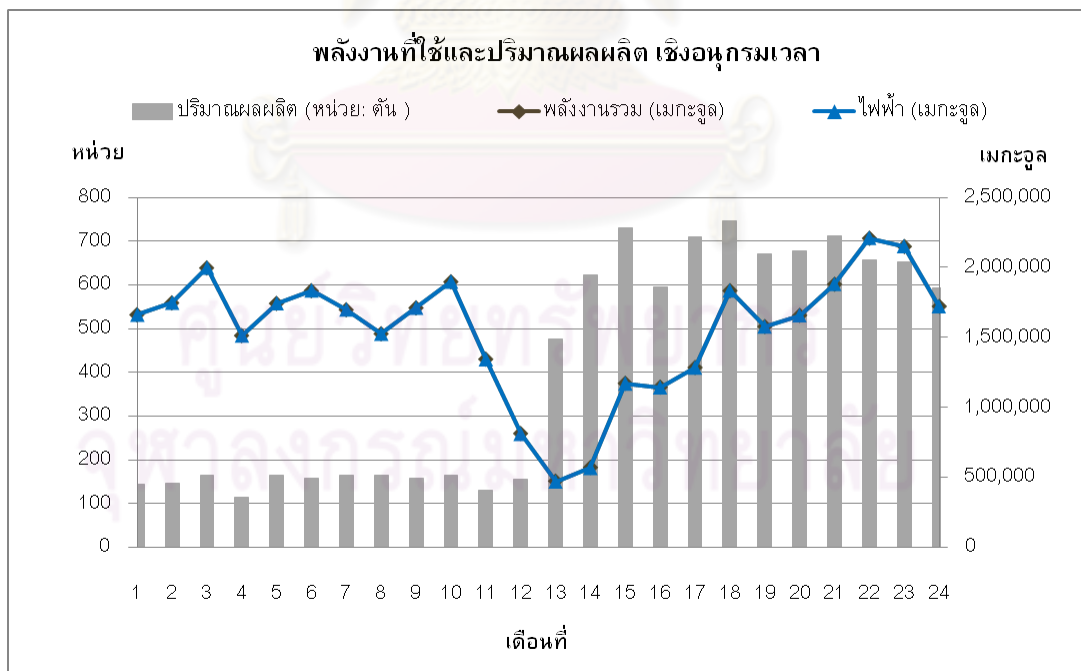
TSIC 38199-c ผลิตภัณฑ์: โลหะแผ่น

หน่วย: ตัน

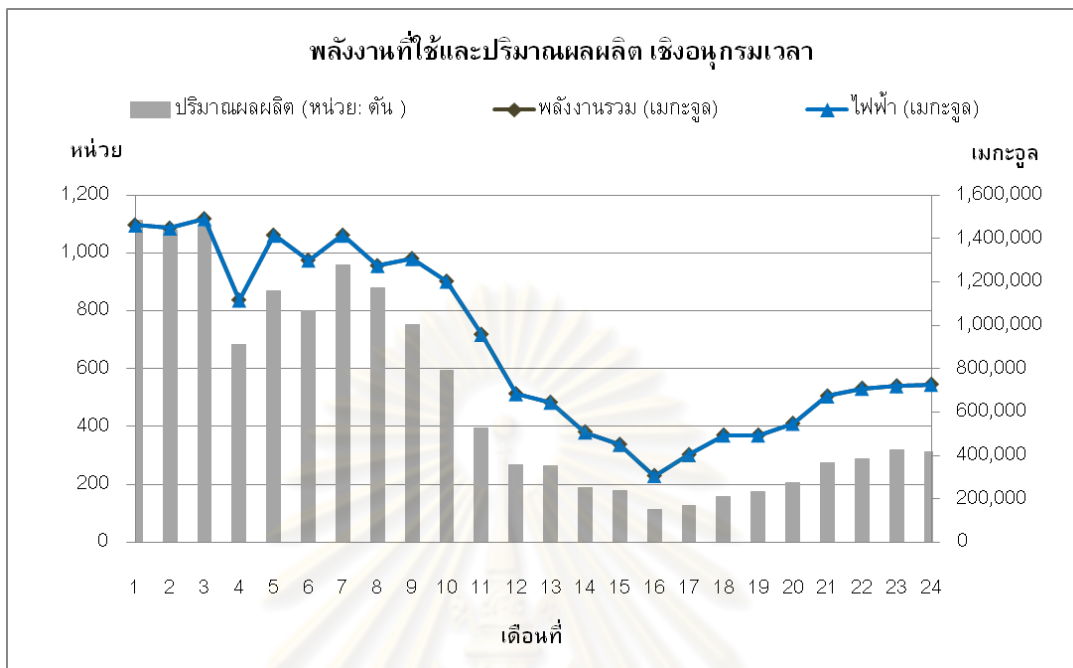


TSIC 38210-a ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนปั้มน้ำมันดีเซลในรถยนต์

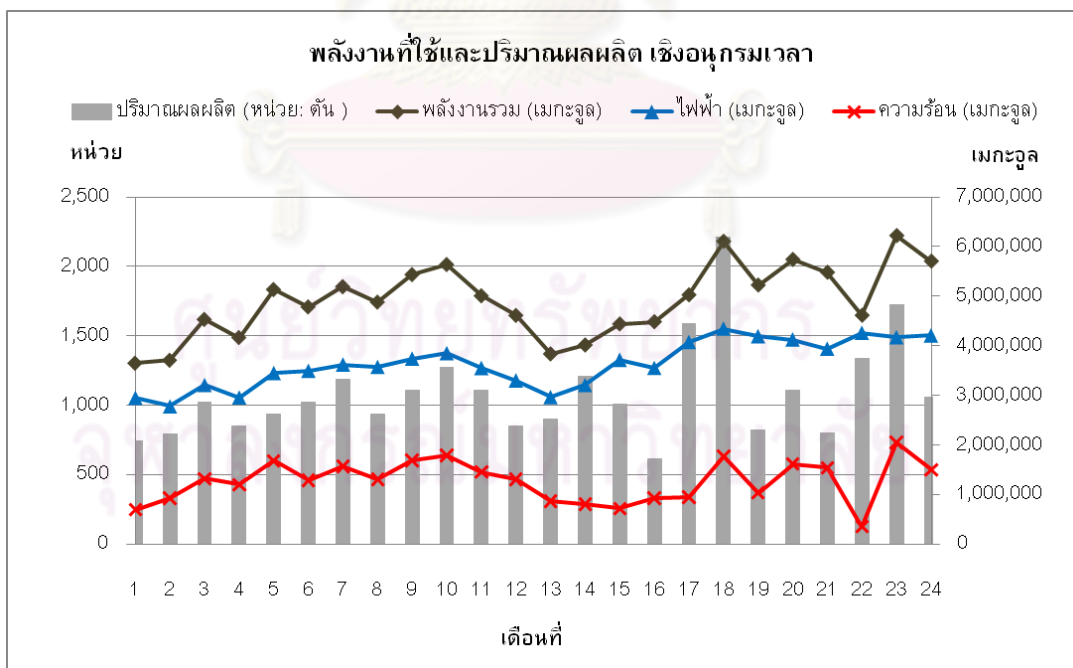
หน่วย: ตัน



TSIC 38230-a ผลิตภัณฑ์: ผลิตภัณฑ์จากโลหะ หน่วย: ตัน

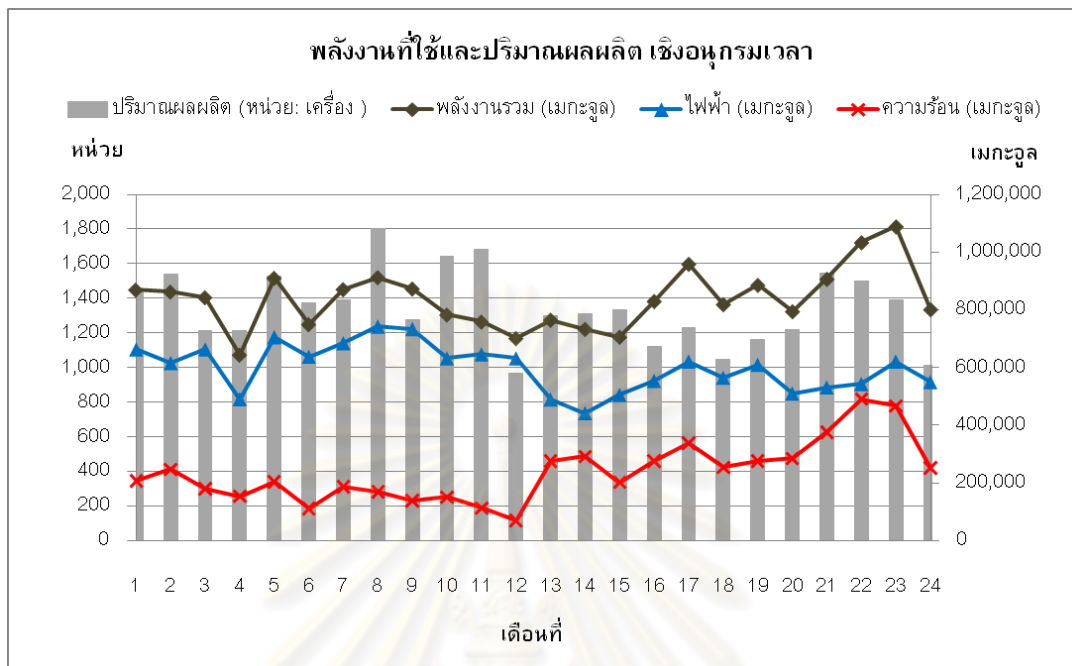


TSIC 38240-a ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก หน่วย: ตัน



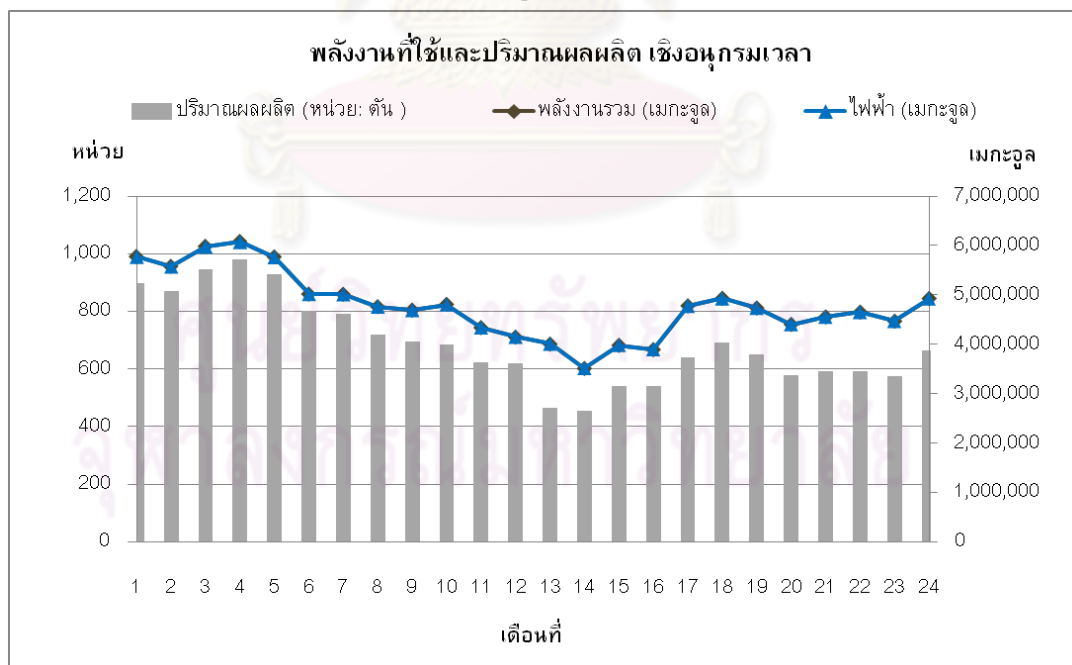
TSIC 38291-a **ผลิตภัณฑ์:** ประกอบเครื่องซักผ้า

หน่วย: เครื่อง



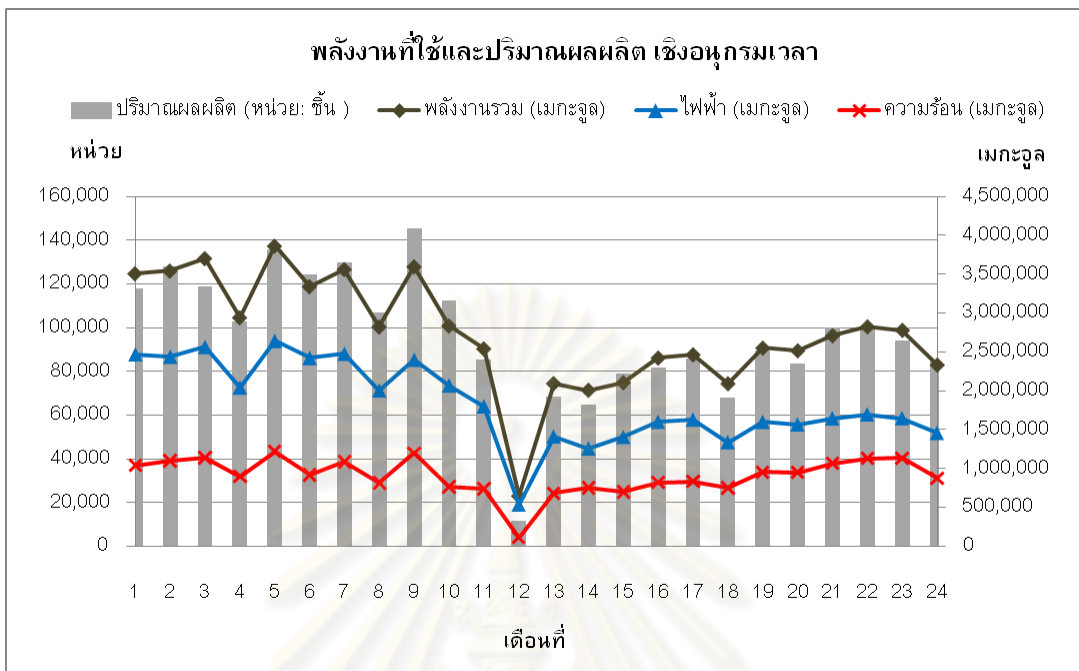
TSIC 38292-a **ผลิตภัณฑ์:** พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)

หน่วย: ตัน



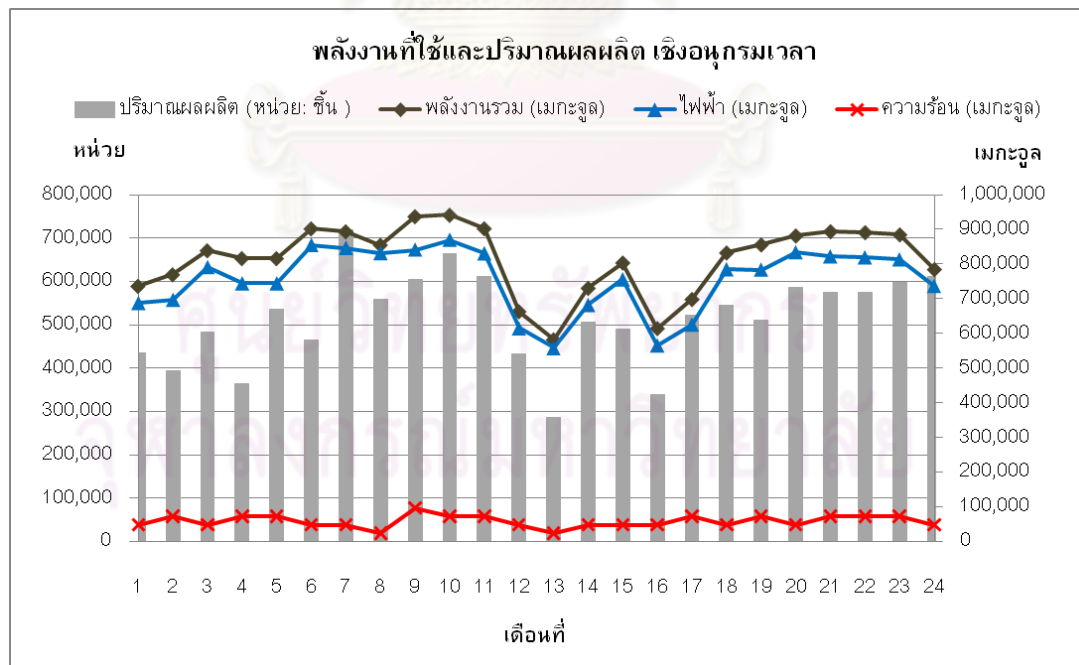
TSIC 38292-b ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น

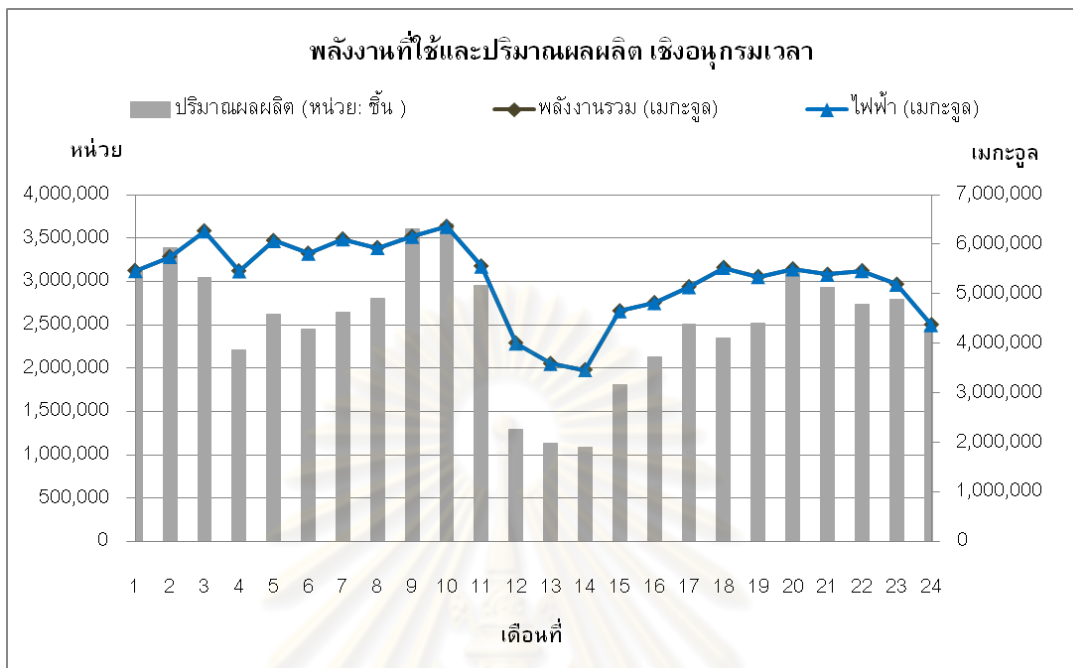


TSIC 38299-a ผลิตภัณฑ์: Rocker Arm

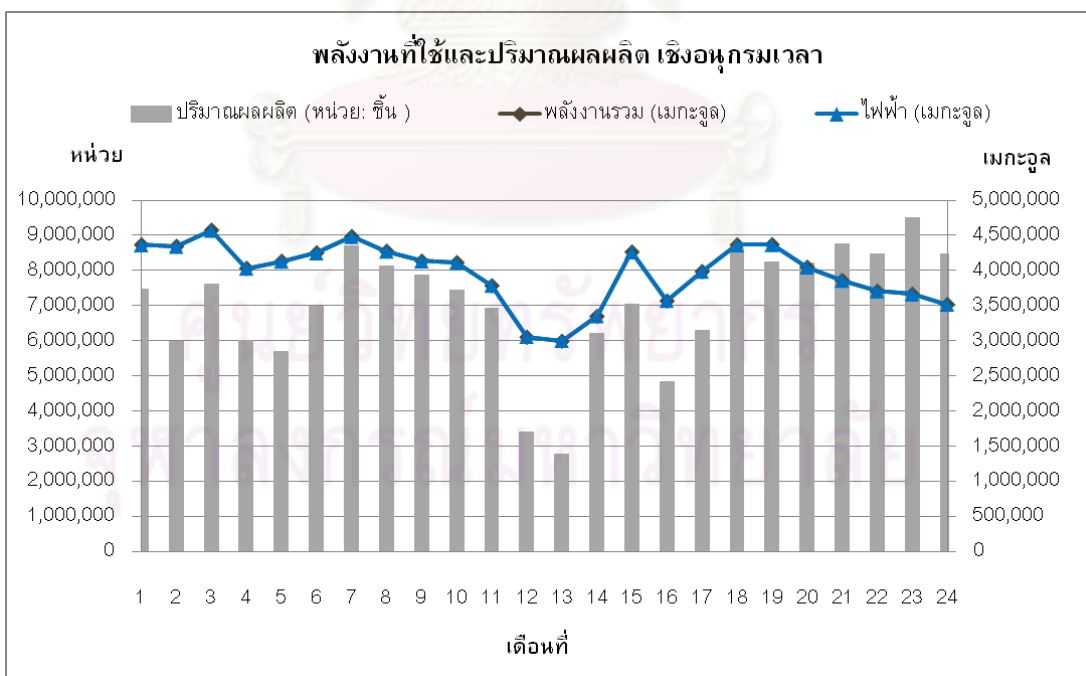
หน่วย: ชิ้น



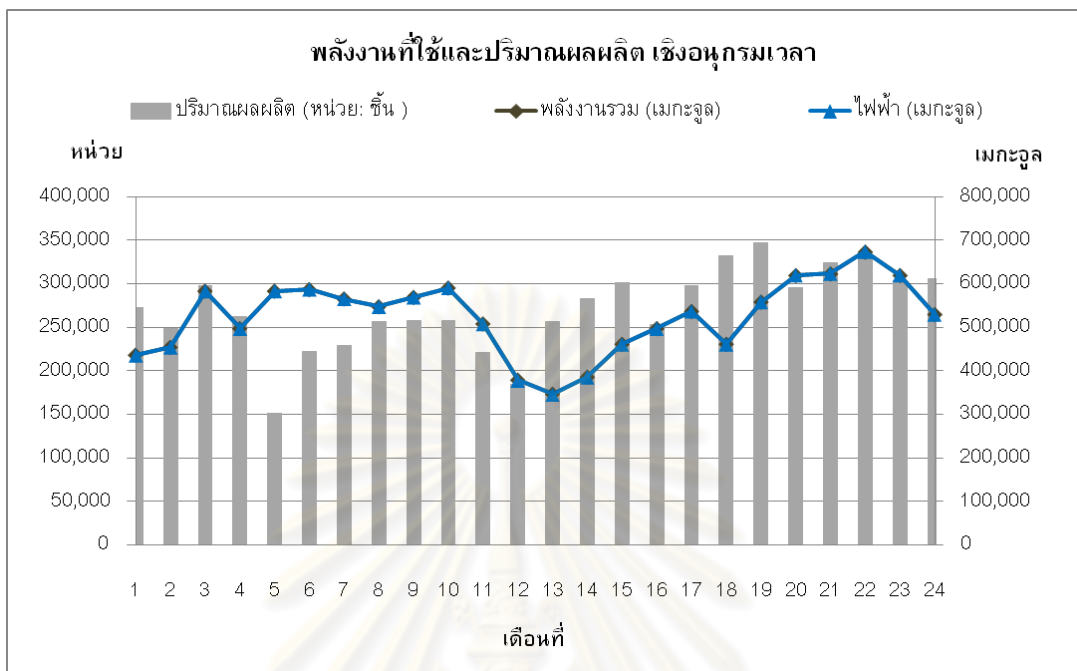
TSIC 38320-b ผลิตภัณฑ์: แผ่นวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ หน่วย: ชิ้น



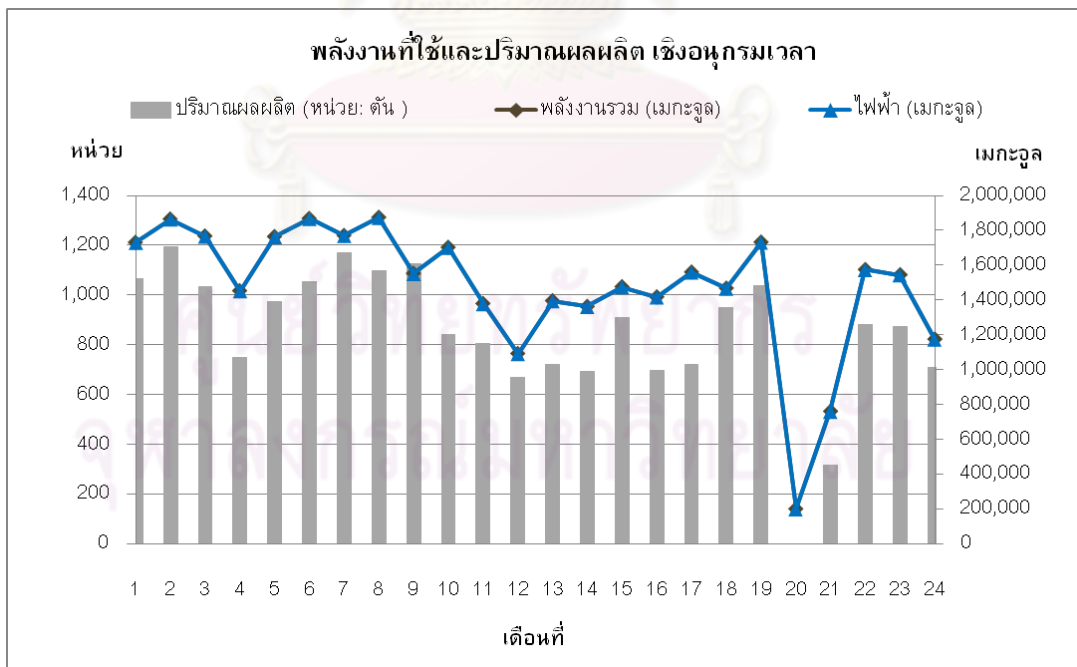
TSIC 38320-c ผลิตภัณฑ์: Bearing สำหรับ Spindle Motor (Bearphite Unit) หน่วย: ชิ้น



TSIC 38391-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (มอเตอร์สตาร์ทเตอร์, อุปกรณ์ไฟฟ้า) **หน่วย:** ชิ้น

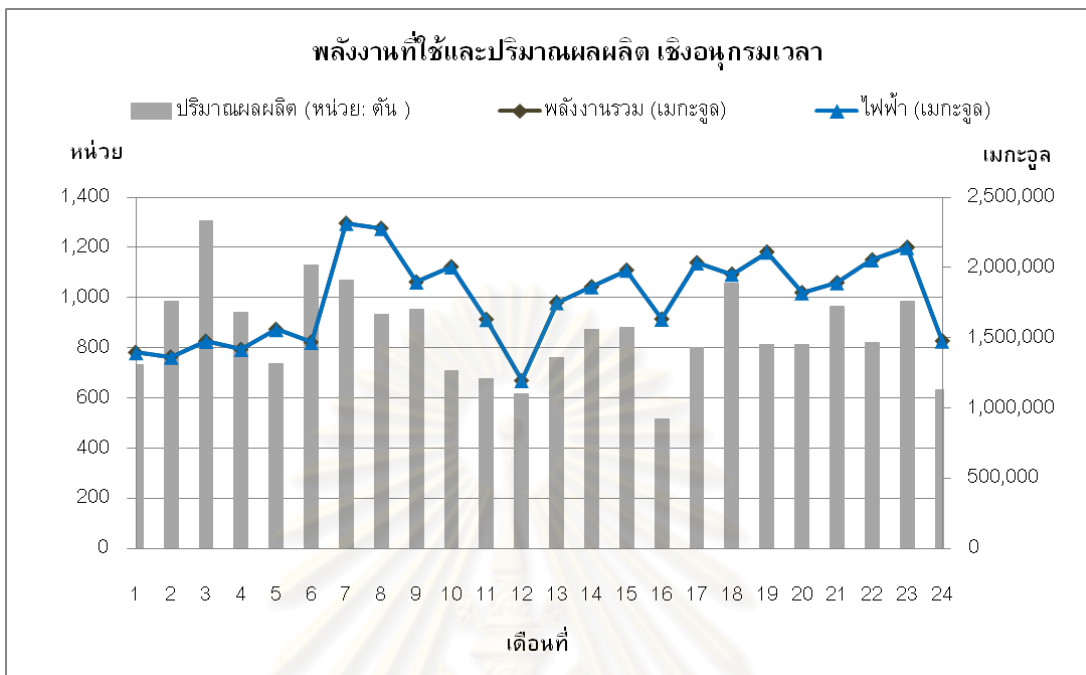


TSIC 38391-b1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร **หน่วย:** ตัน



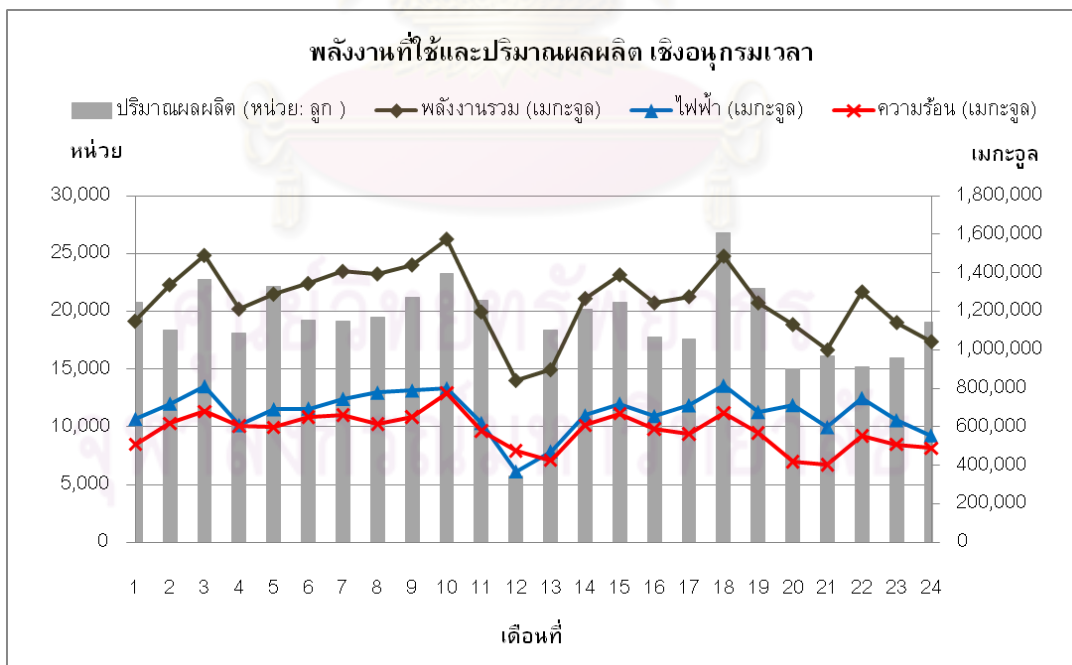
TSIC 38391-b2 ผลิตภัณฑ์: สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน

หน่วย: ตัน



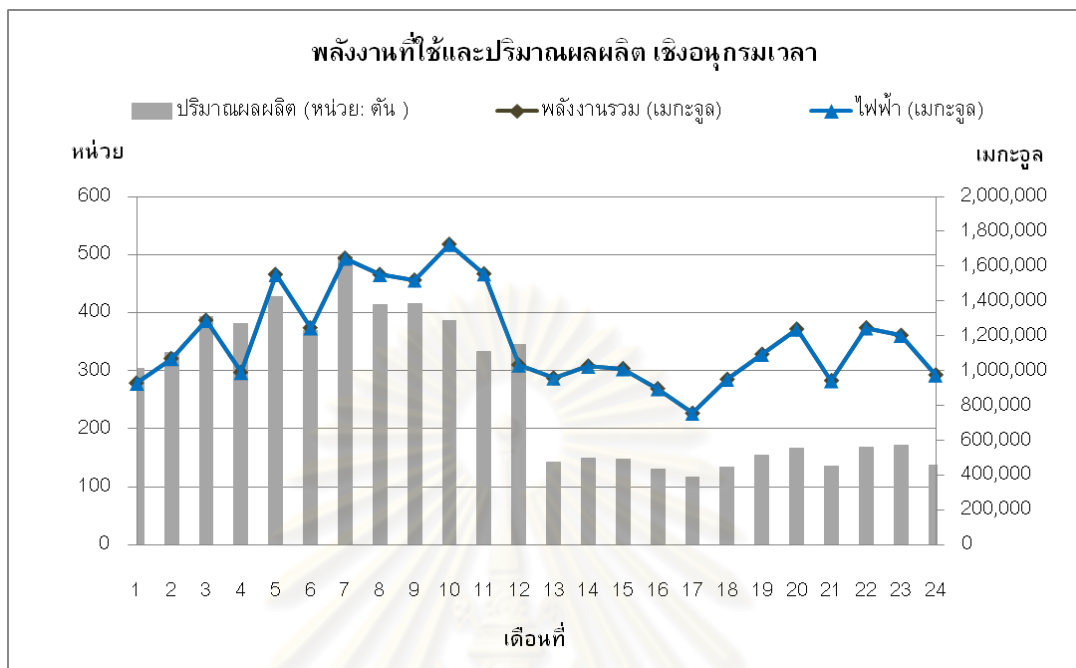
TSIC 38392-a ผลิตภัณฑ์: แบตเตอรี่รถยนต์

หน่วย: ลูก



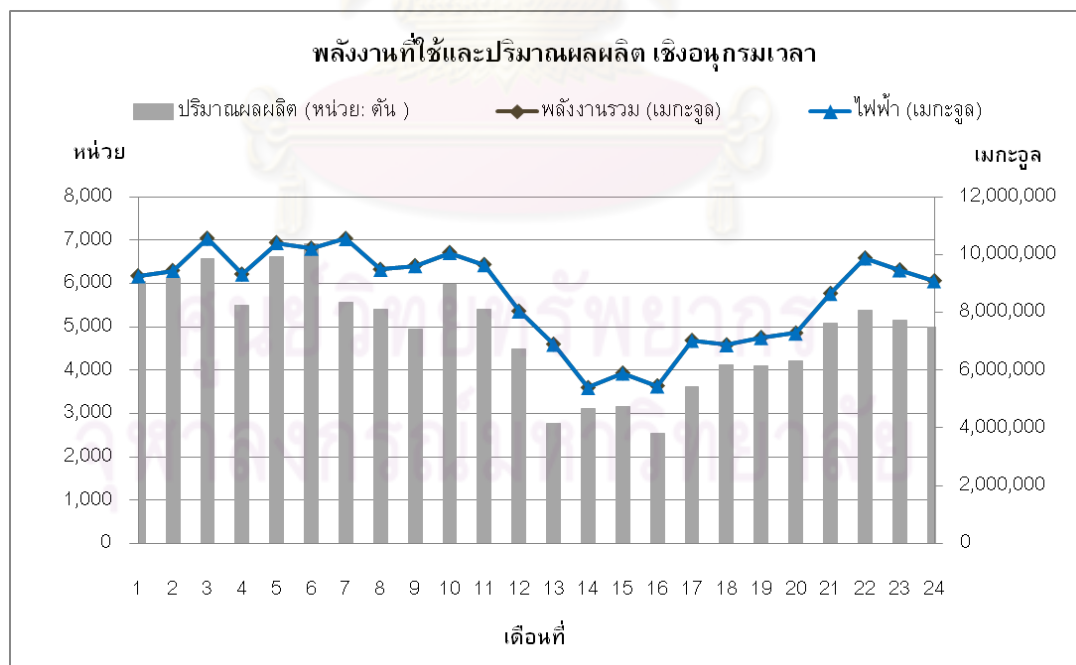
TSIC 38411-a ผลิตภัณฑ์: งานซ่อมแซมเรือและงานต่อเรือ

หน่วย: ตัน



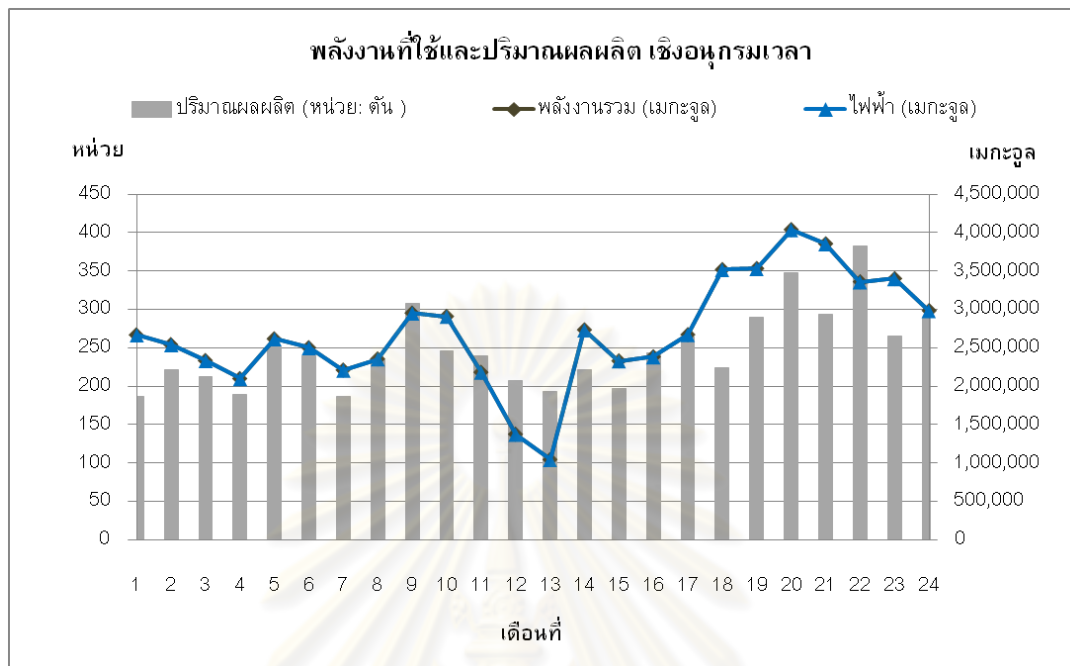
TSIC 38431-a1 ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์ (ปั๊มชิ้นรูปและเชื่อมประกอบ)

หน่วย: ตัน



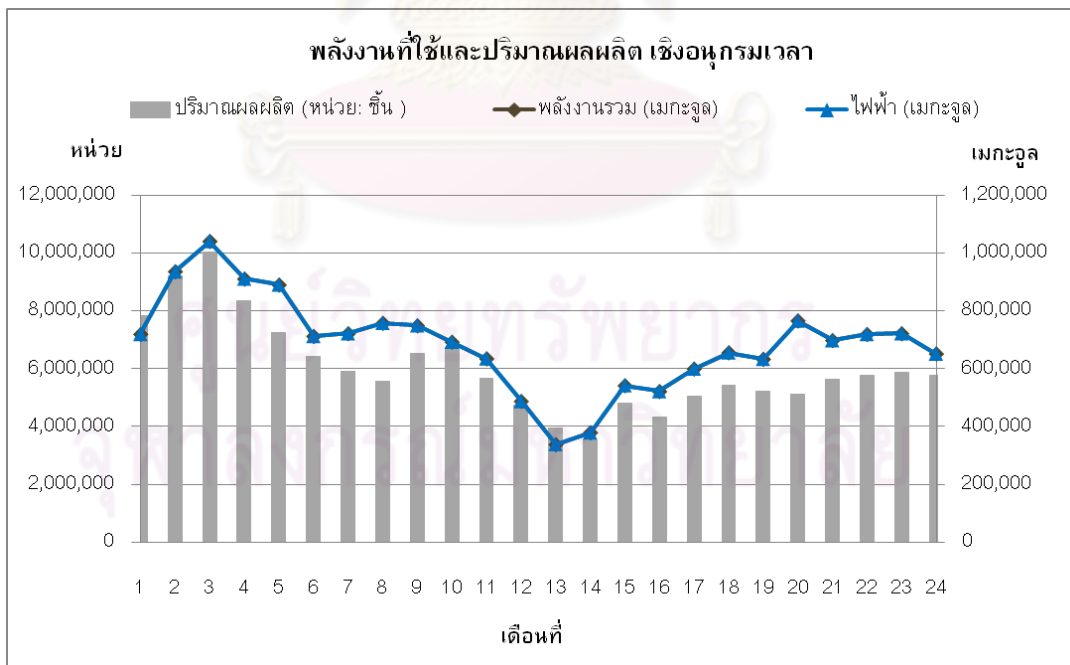
TSIC 38431-a2 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ฉีดพลาสติก)

หน่วย: ตัน

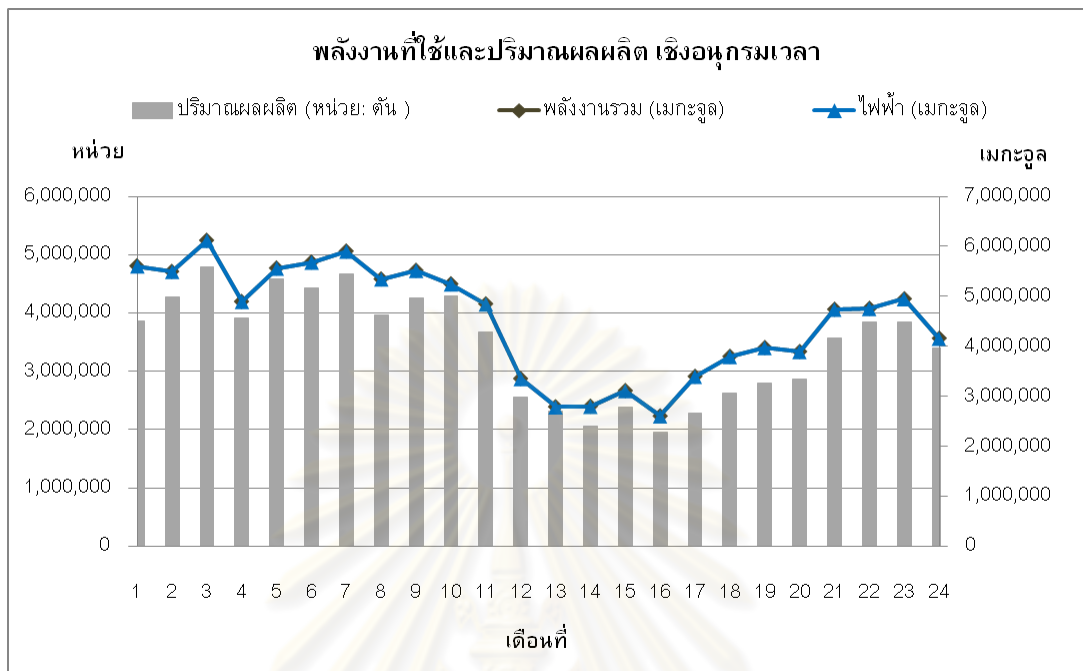


TSIC 38431-b **ผลิตภัณฑ์:** ชุดสายไฟประกอบ

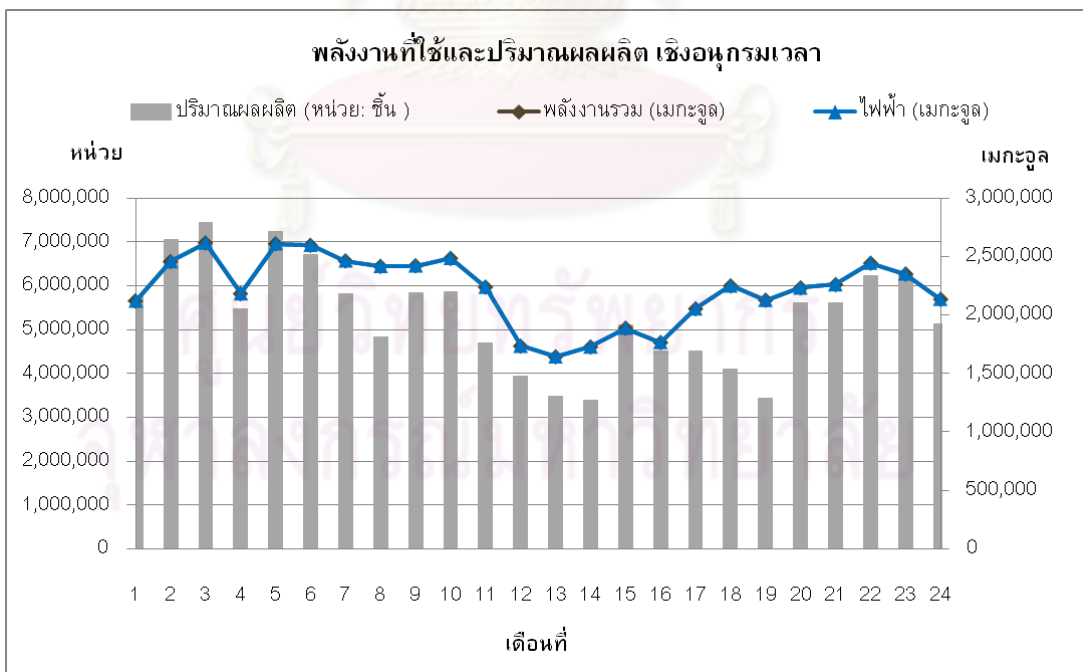
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38439-b **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending) **หน่วย:** ตัน

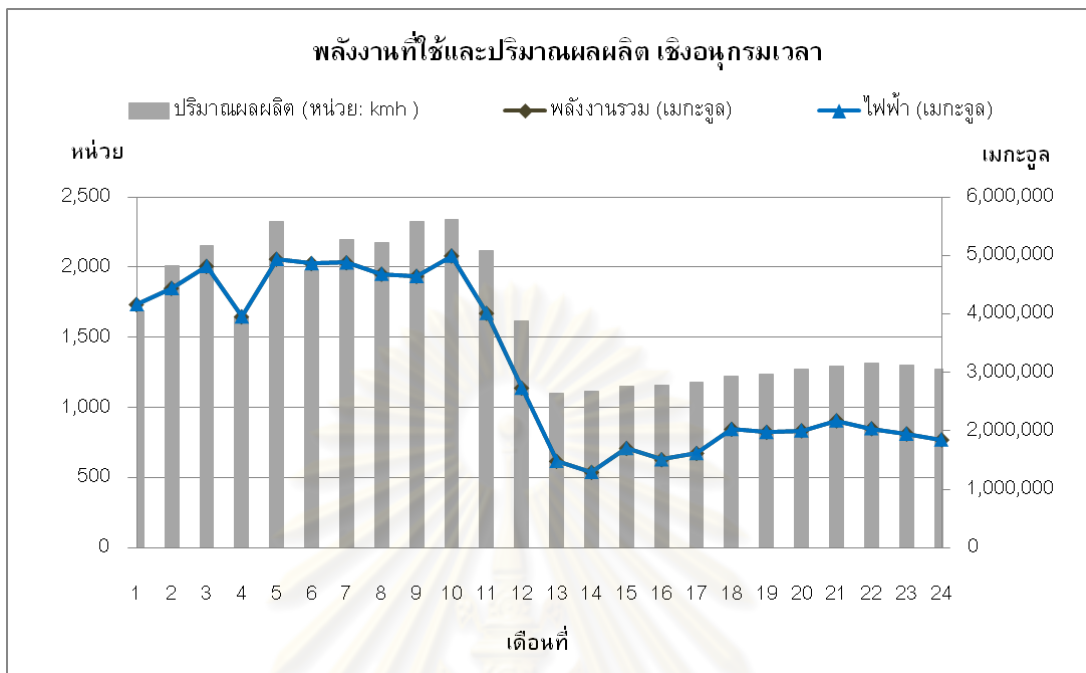


TSIC 38439-c **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนรถยนต์ **หน่วย:** ชิ้น



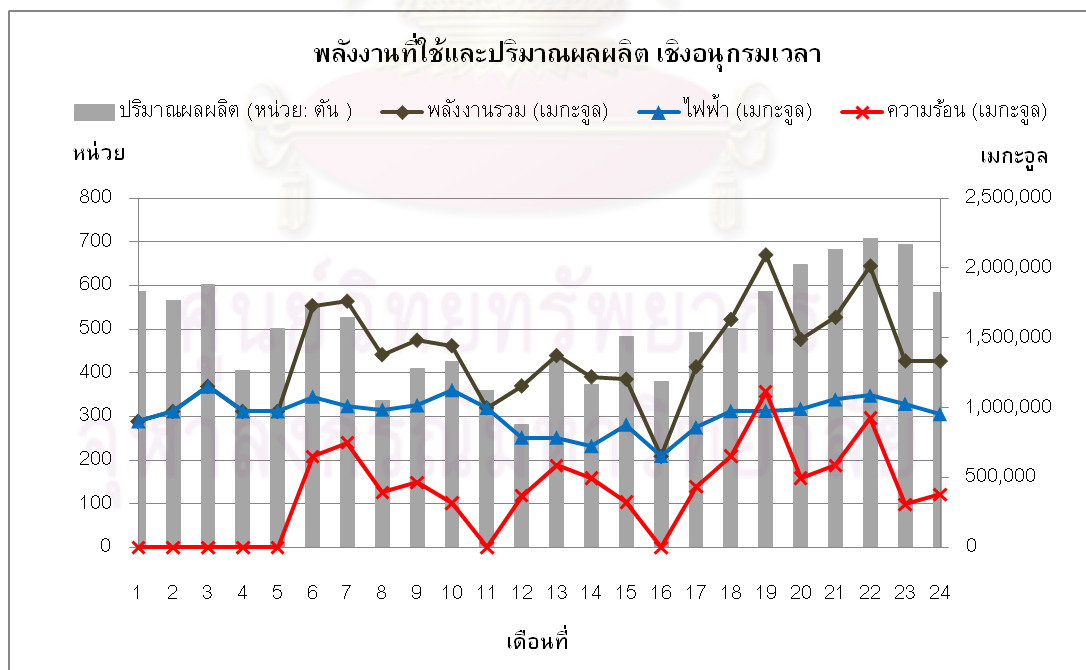
TSIC 38439-d ผลิตภัณฑ์: สายไฟในรถยนต์

หน่วย: kmh



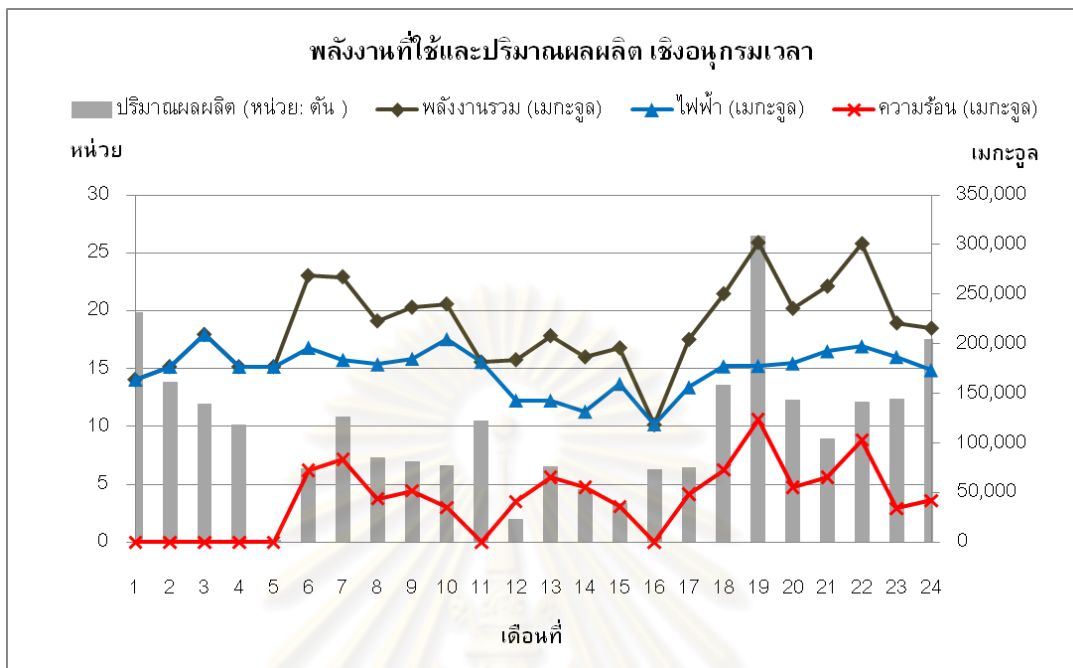
TSIC 38439-f1 ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนประกอบรถยนต์

หน่วย: ตัน



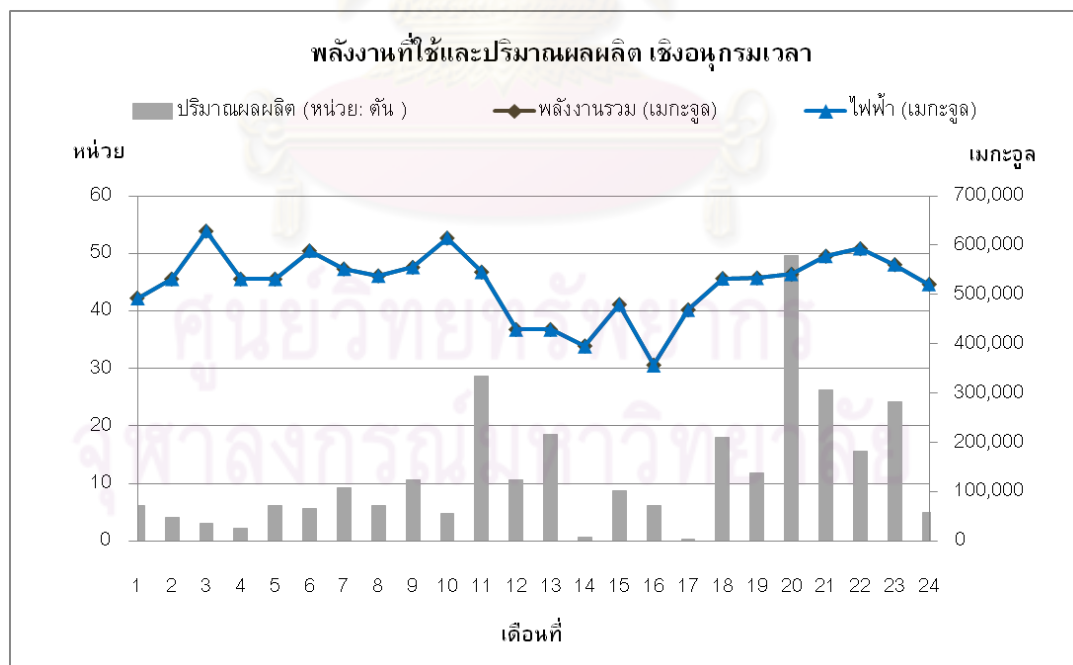
TSIC 38439-f2 ผลิตภัณฑ์: หม้อน้ำรถยนต์

หน่วย: ตัน

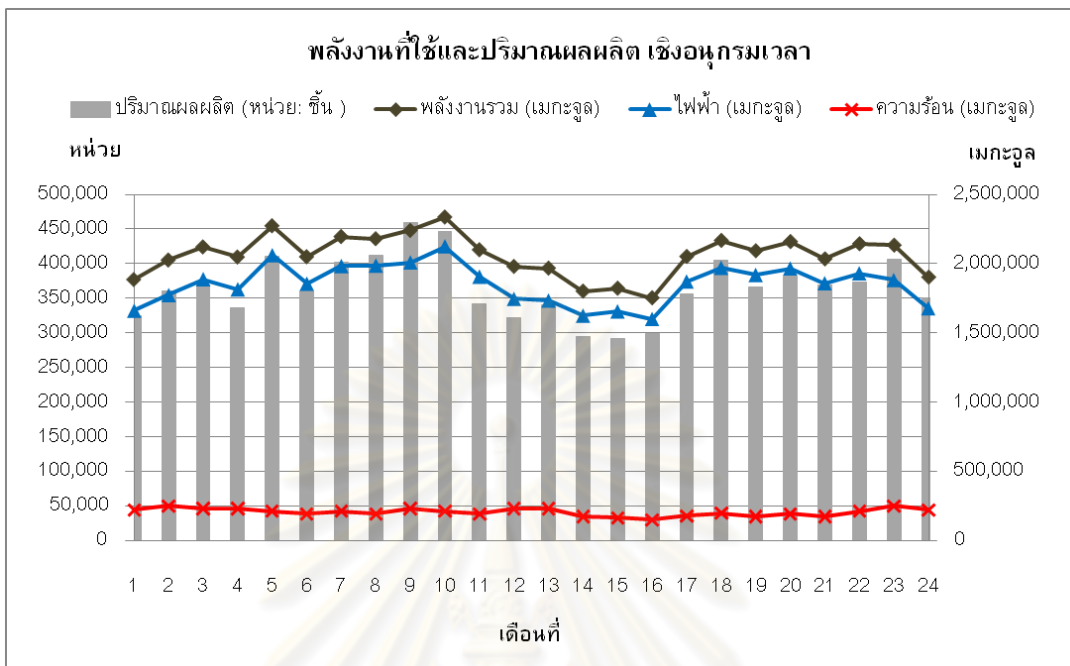


TSIC 38439-f3 ผลิตภัณฑ์: แม่พิมพ์

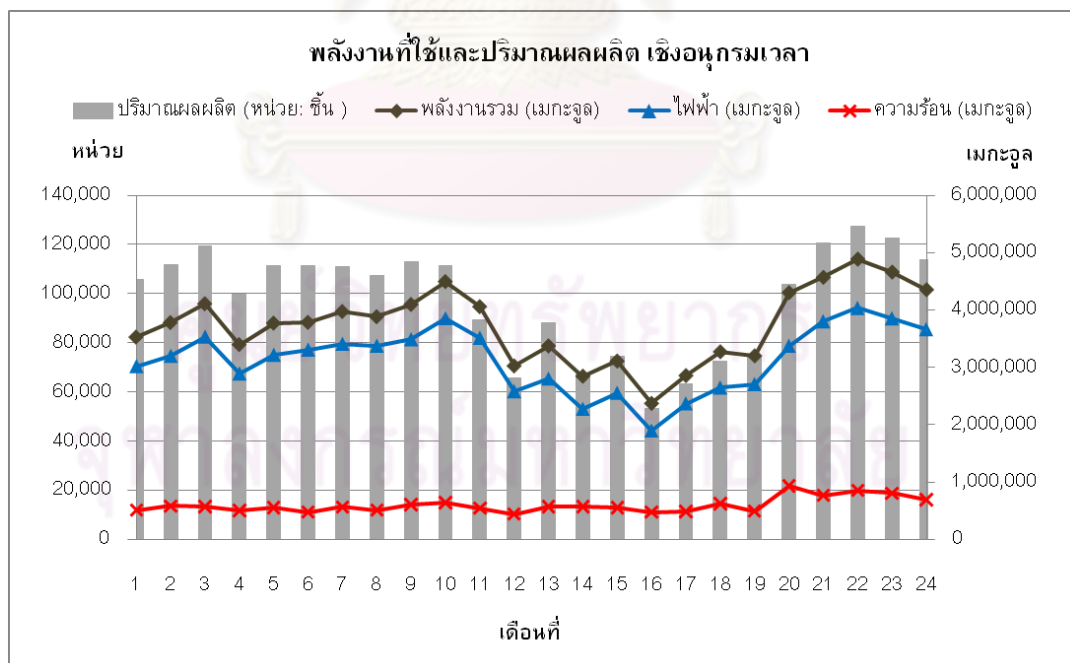
หน่วย: ตัน



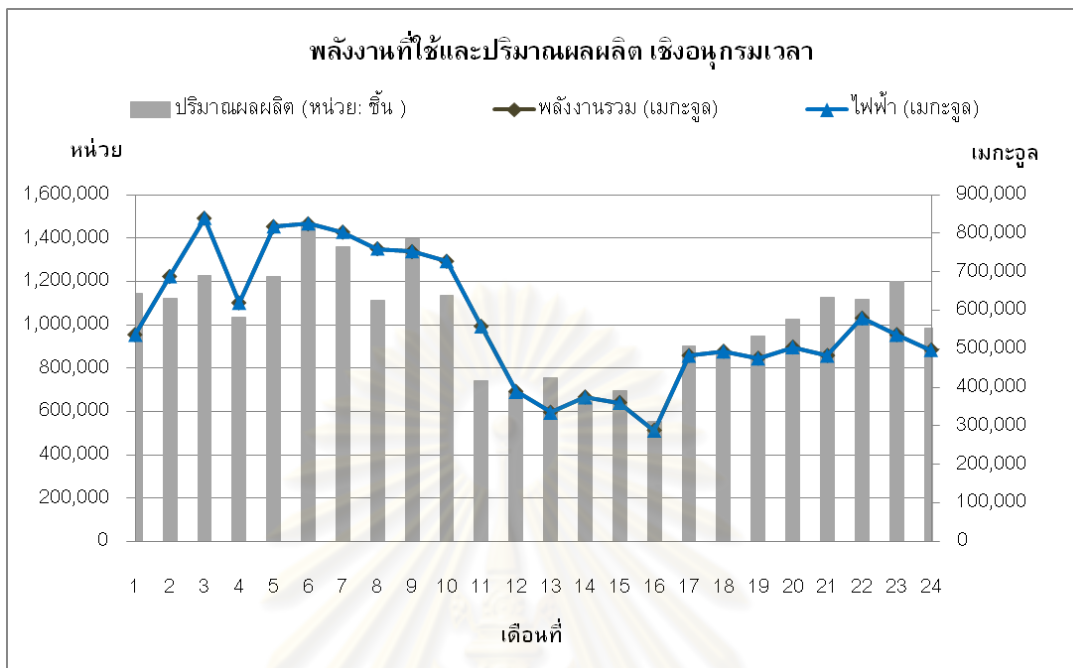
TSIC 38439-g ผลิตภัณฑ์: ผ้าเบรครถยนต์ หน่วย: ชิ้น



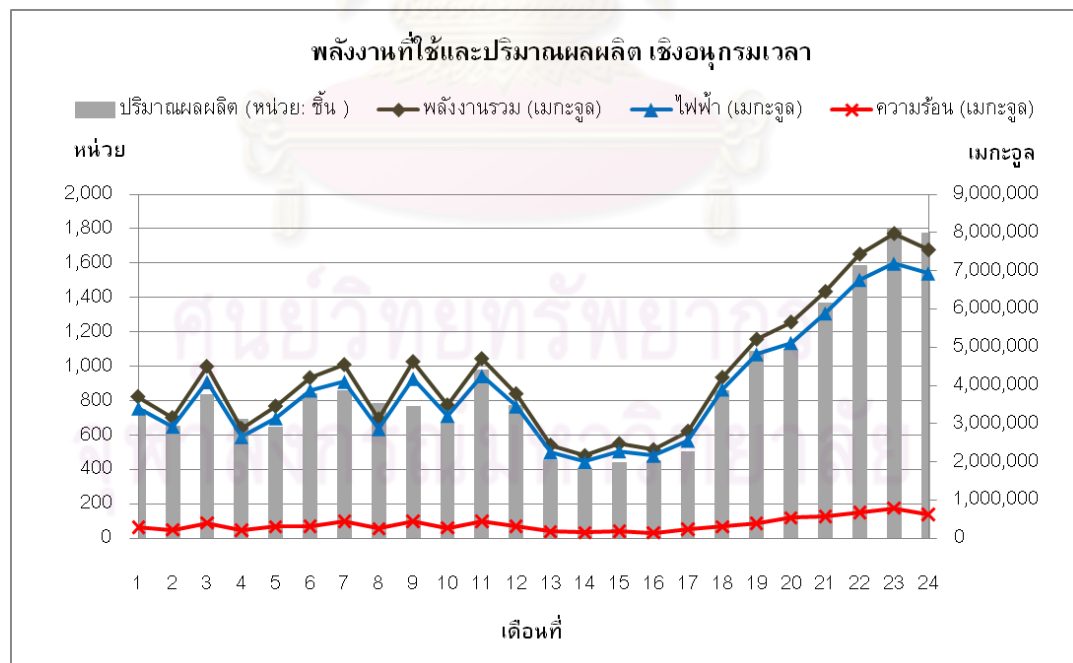
TSIC 38439-i ผลิตภัณฑ์: เพลาข้าง หน่วย: ชิ้น



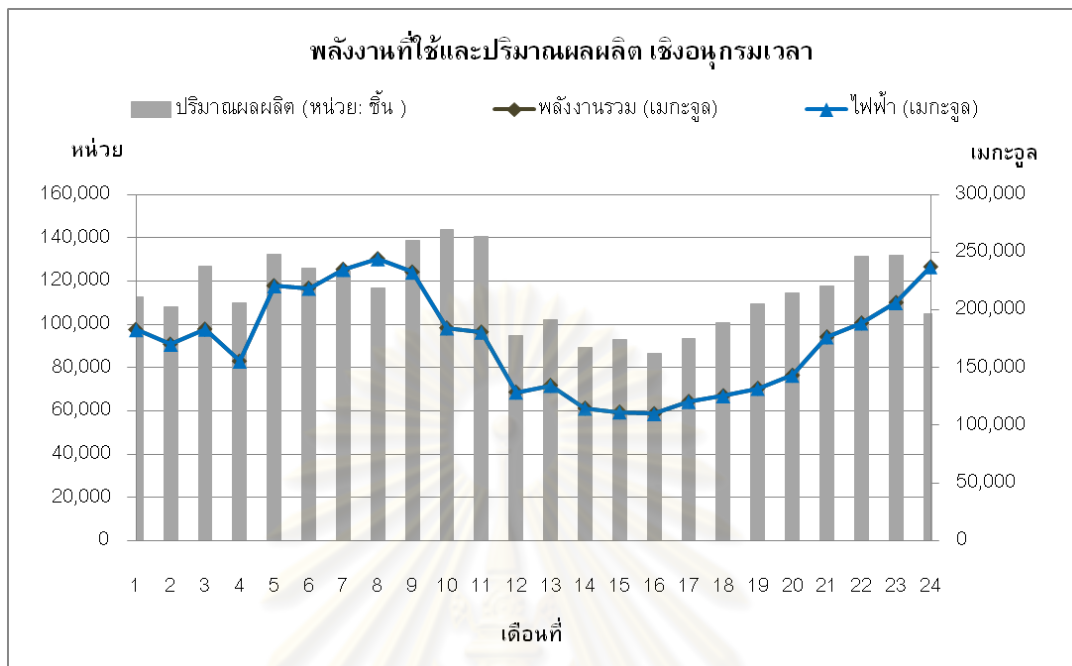
TSIC 38439-j **ผลิตภัณฑ์:** PRESS PART **หน่วย:** ชิ้น



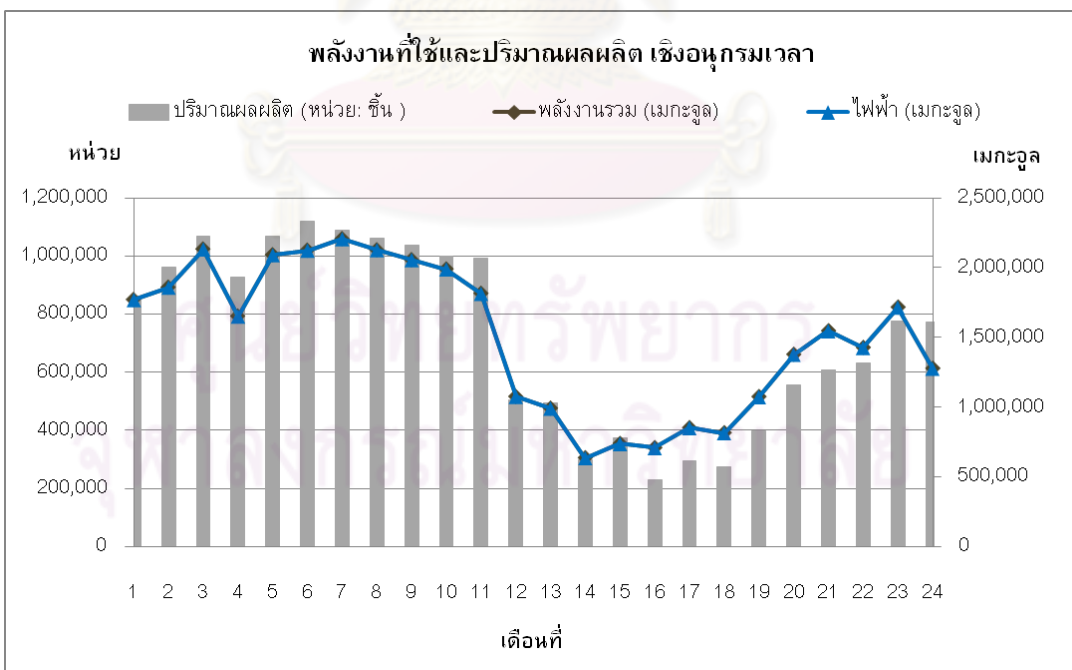
TSIC 38439-I **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ **หน่วย:** ชิ้น



TSIC 38440-a1 **ผลิตภัณฑ์:** เบาะรถจักรยานยนต์ **หน่วย:** ชิ้น

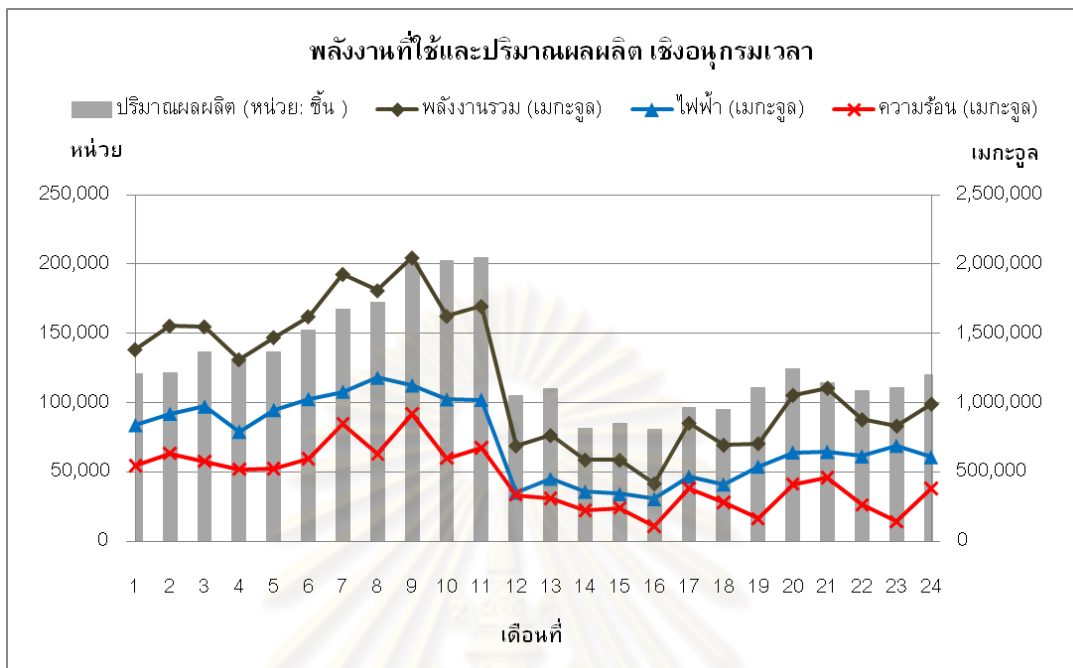


TSIC 38440-a2 **ผลิตภัณฑ์:** ซีดพลาสติก **หน่วย:** ชิ้น



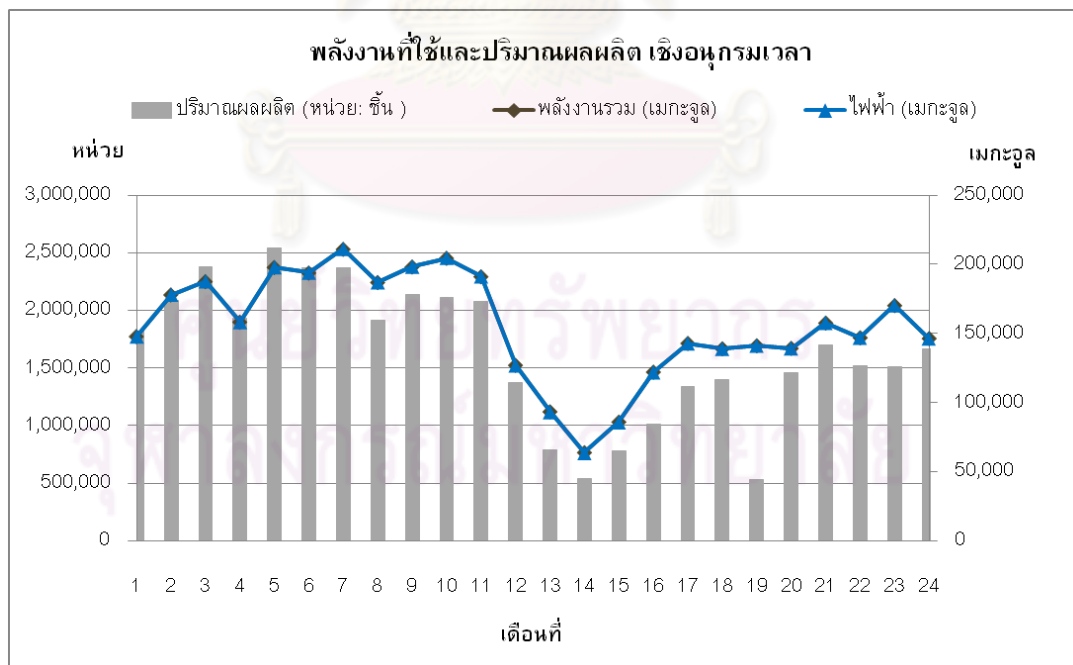
TSIC 38440-a3 ผลิตภัณฑ์: ฟันสี

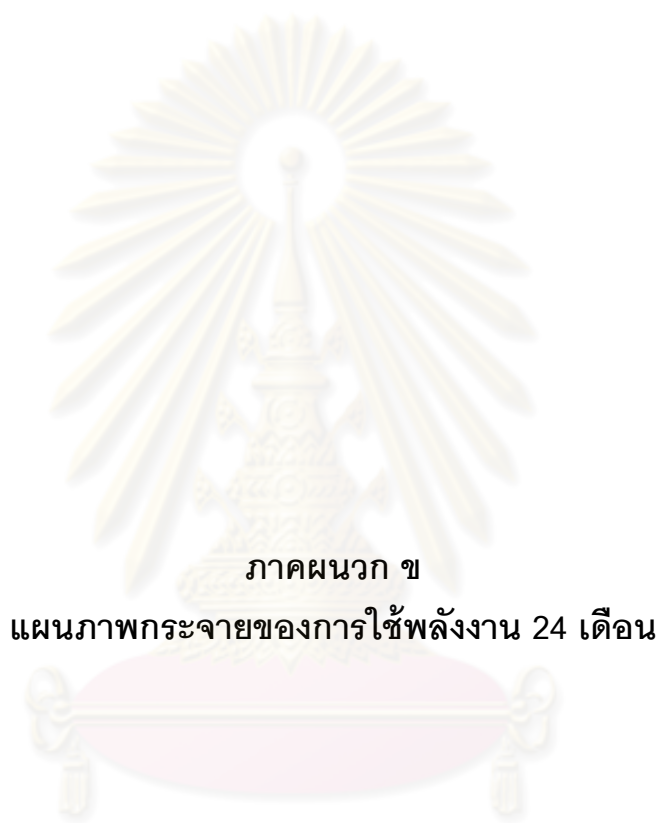
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38440-a4 ผลิตภัณฑ์: ปุ่มขึ้นรูปโลหะ

หน่วย: ชิ้น





ภาคผนวก ข

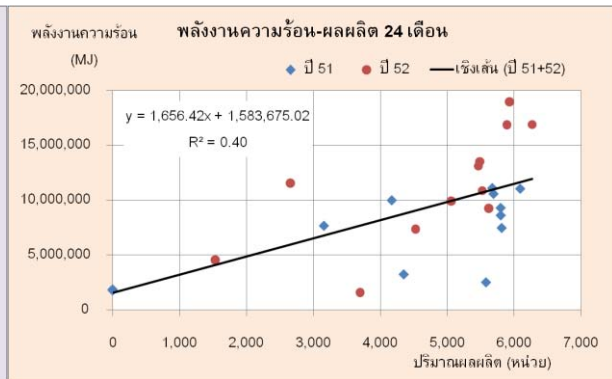
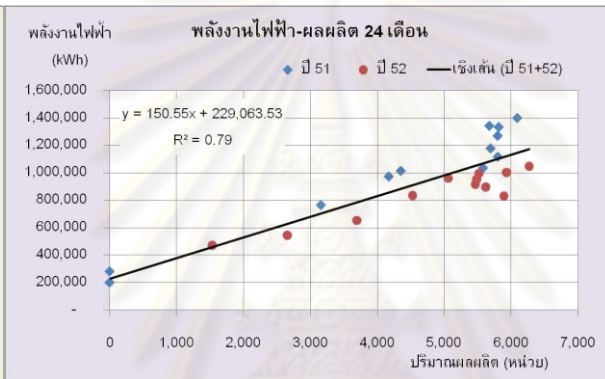
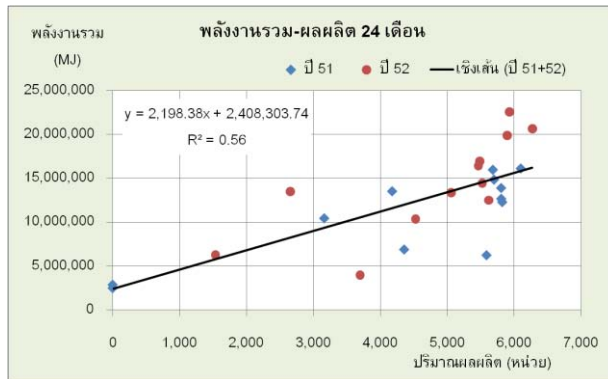
แผนภาพกระจายของการใช้พลังงาน 24 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33)

TSIC 33112-a ผลิตภัณฑ์: แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด

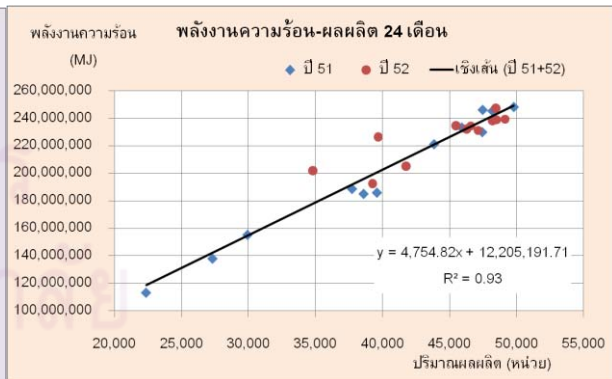
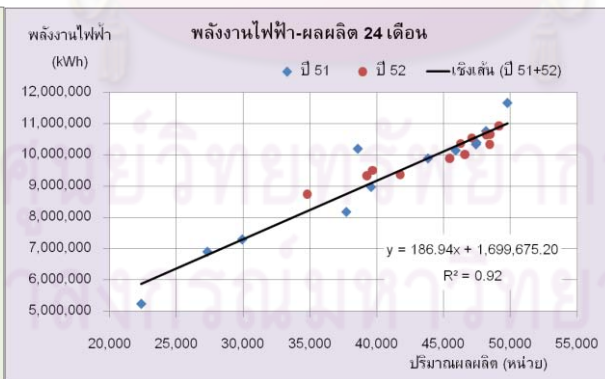
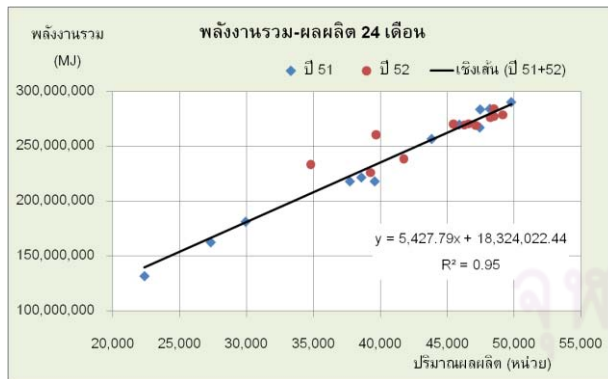
หน่วย: ลบ.ม.



2. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โอลิโหะ (TSIC 36)

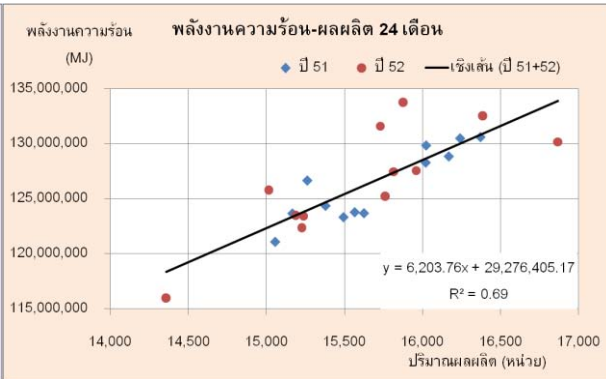
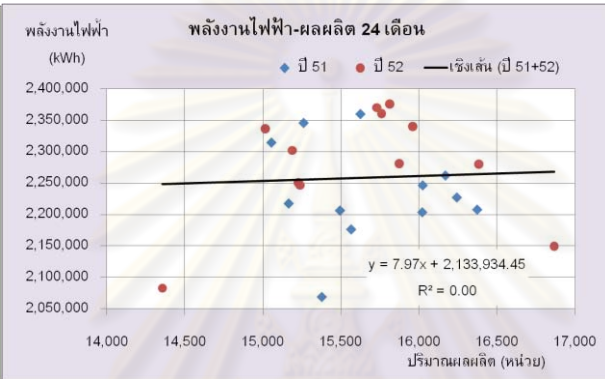
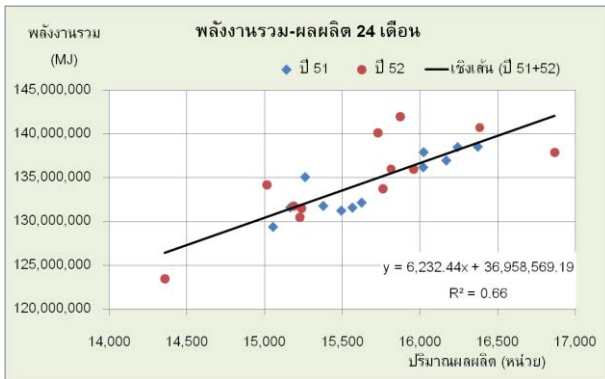
TSIC 36200-a ผลิตภัณฑ์: ภาชนะขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



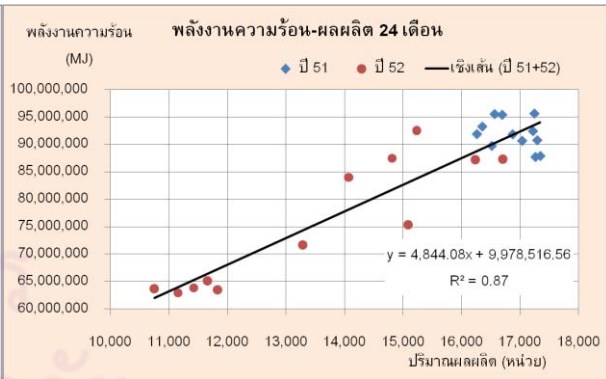
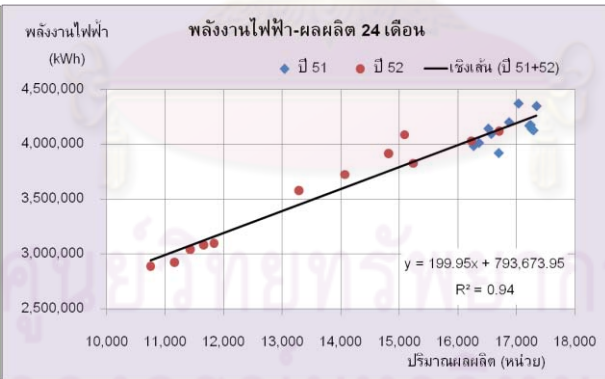
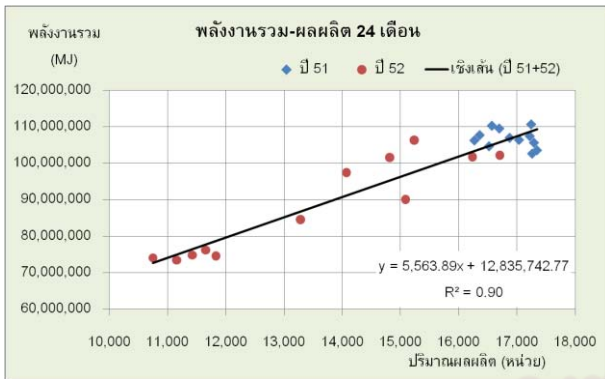
TSIC 36200-b **ผลิตภัณฑ์:** กระจากไฟรตสี่เหลี่ยม

หน่วย: ตัน



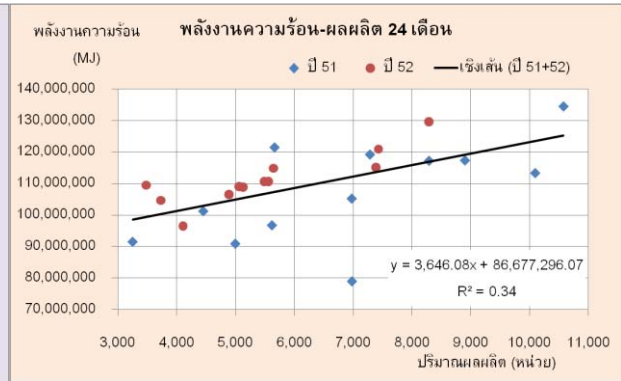
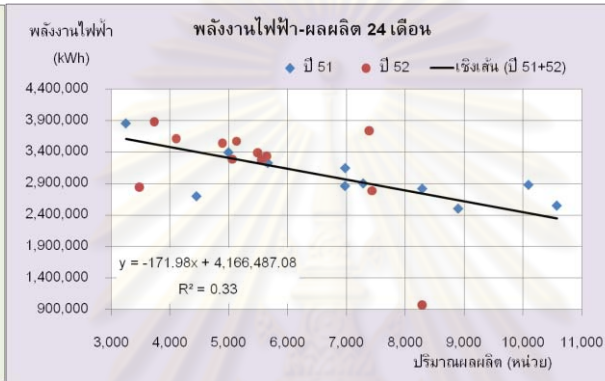
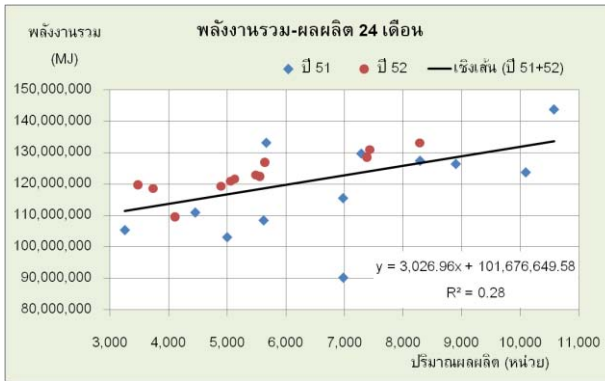
TSIC 36200-c **ผลิตภัณฑ์:** ขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



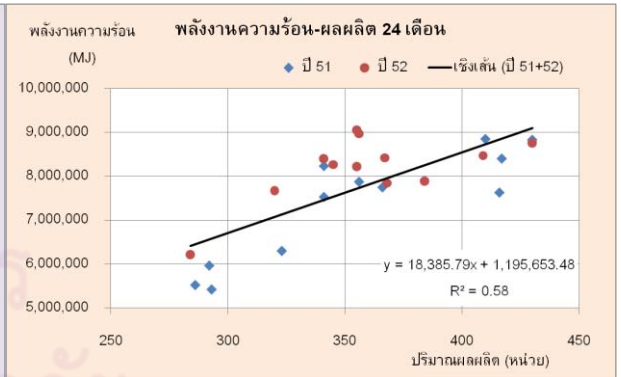
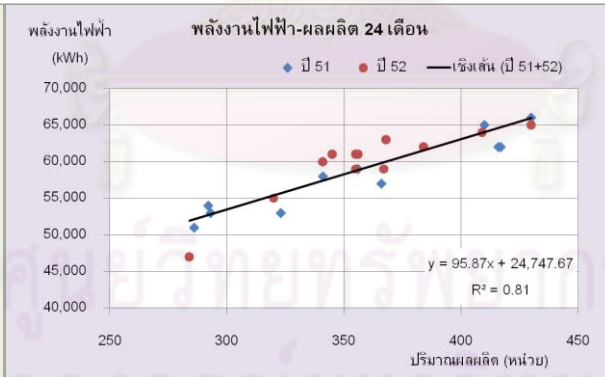
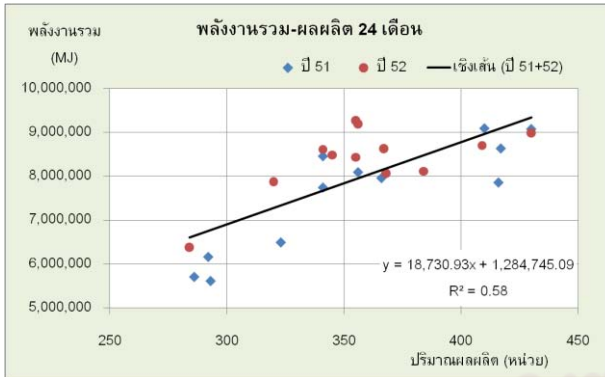
TSIC 36200-e **ผลิตภัณฑ์:** กระดาษแผ่นเรียบ

หน่วย: ตัน



TSIC 36200-f **ผลิตภัณฑ์:** ไม่มีชื่อ

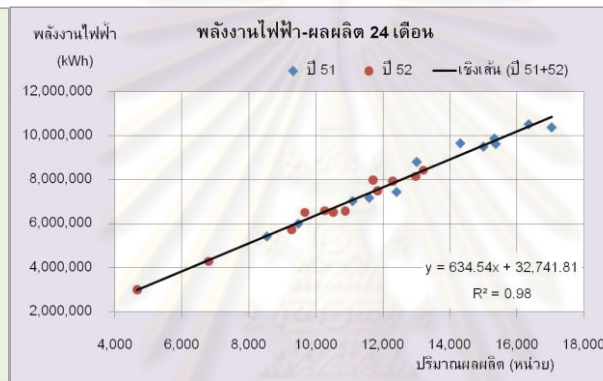
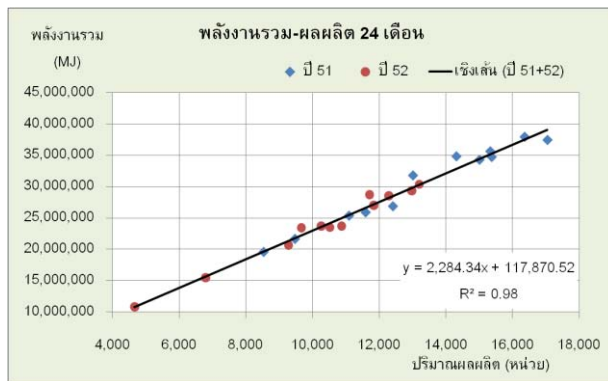
หน่วย: ตัน



3. กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37)

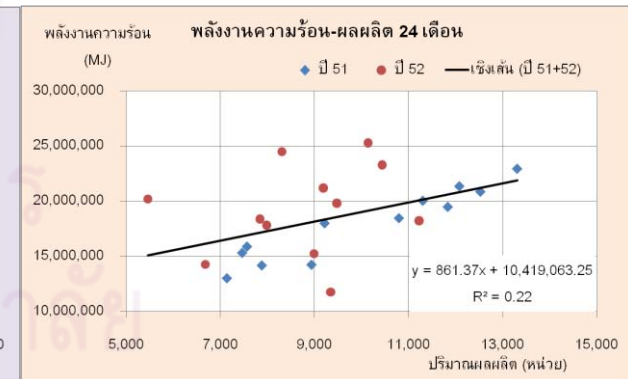
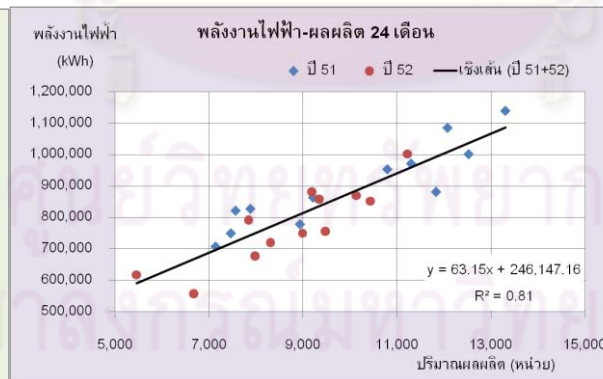
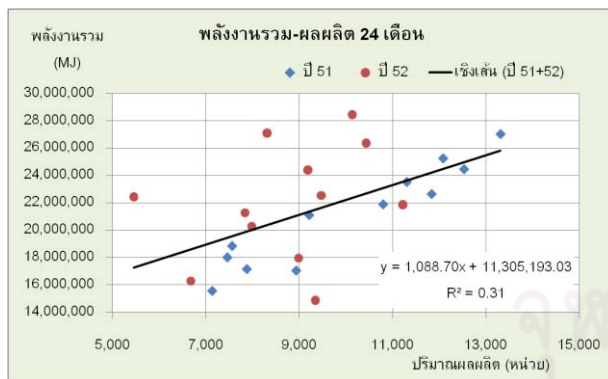
TSIC 37110-a1 ผลิตภัณฑ์: เหล็กแท่ง billet

หน่วย: ตัน



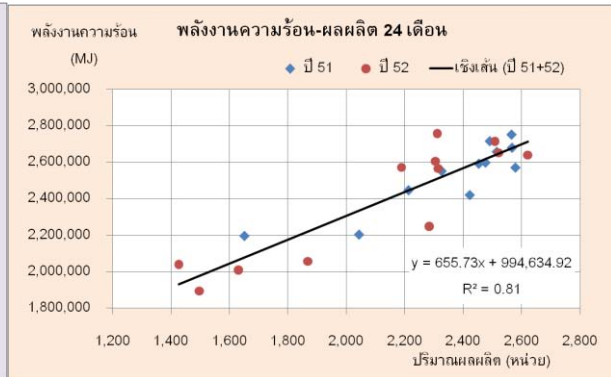
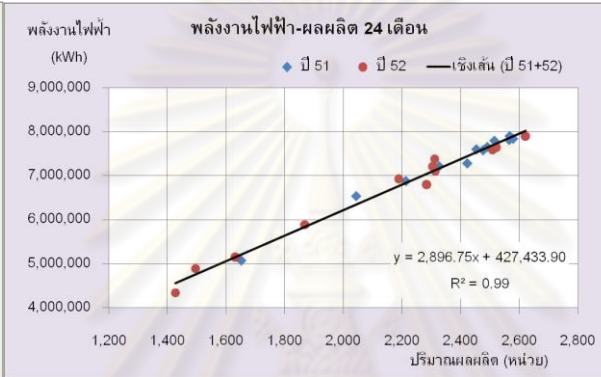
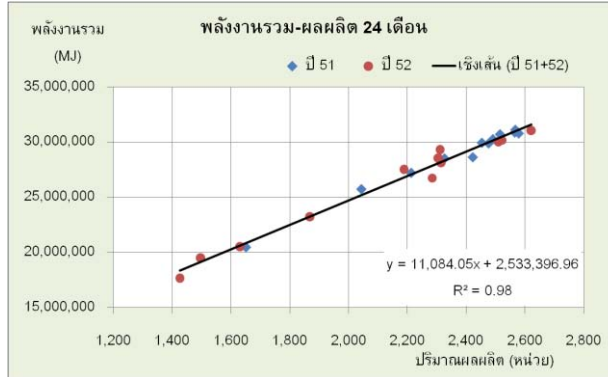
TSIC 37110-a2 ผลิตภัณฑ์: เหล็กรูปภัณฑ์รีดร้อน

หน่วย: ตัน



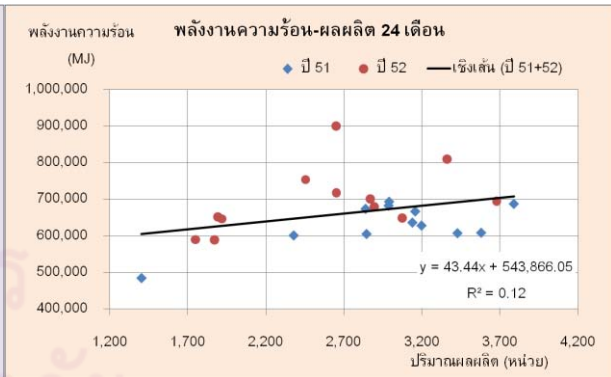
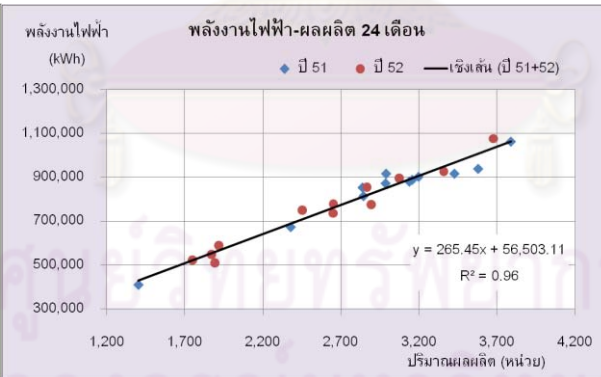
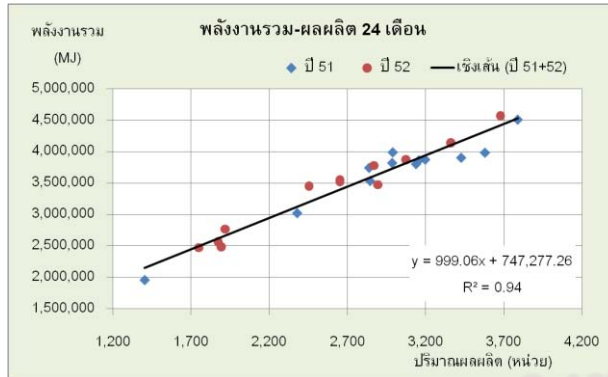
TSIC 37110-b **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์

หน่วย: ตัน



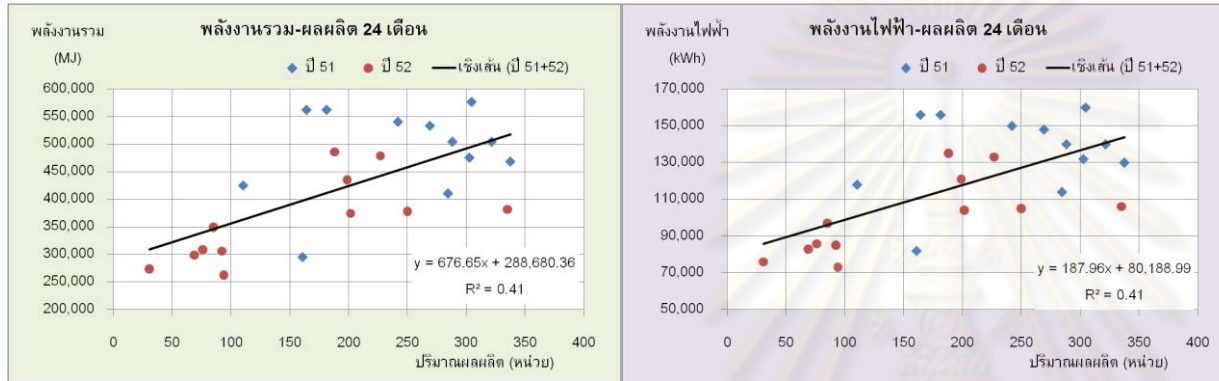
TSIC 37110-c1 **ผลิตภัณฑ์:** ท่อเหล็กร้อยสายไฟชุบสังกะสี

หน่วย: ตัน



TSIC 37110-c2 **ผลิตภัณฑ์:** ท่อเหล็กเคลือบพียู

หน่วย: ตัน

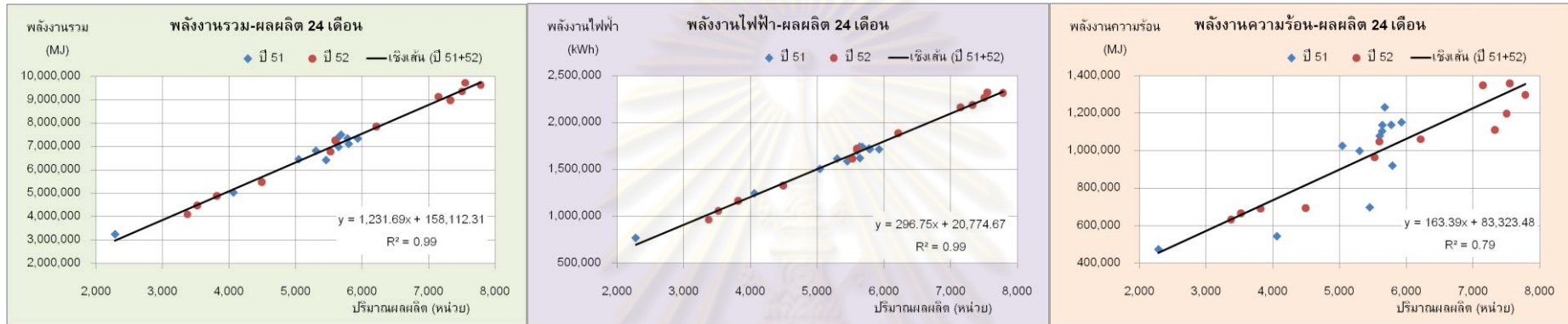


TSIC 37110-e1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire)

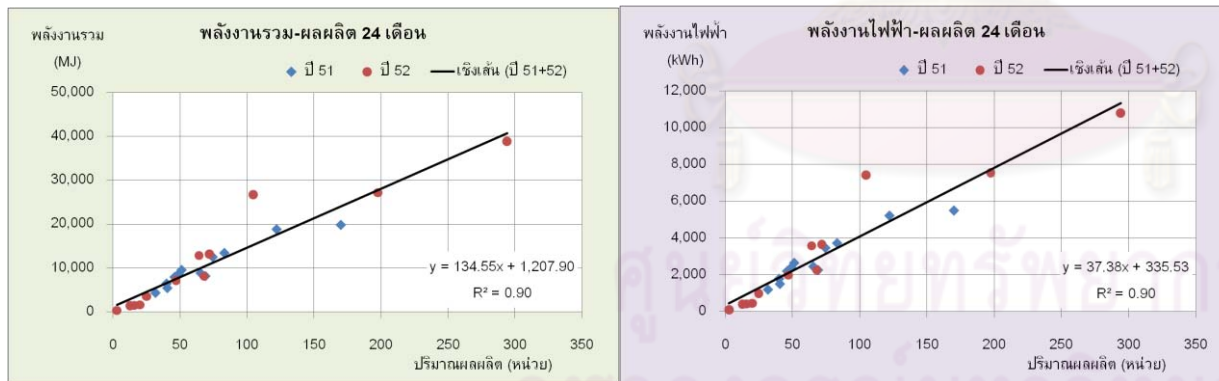
หน่วย: ตัน



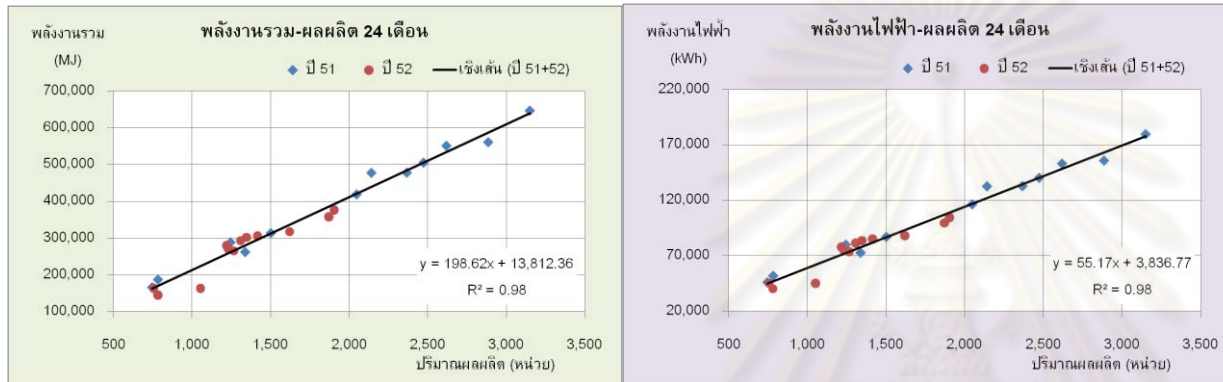
TSIC 37110-e2 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand) **หน่วย:** ตัน



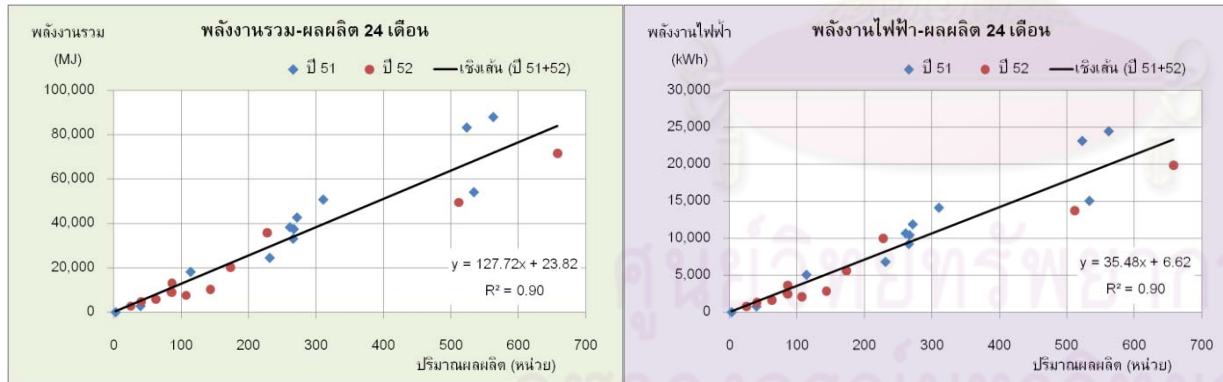
TSIC 37110-e3 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอทิลีน (PE) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-e4 **ผลิตภัณฑ์:** ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh) **หน่วย:** ตัน

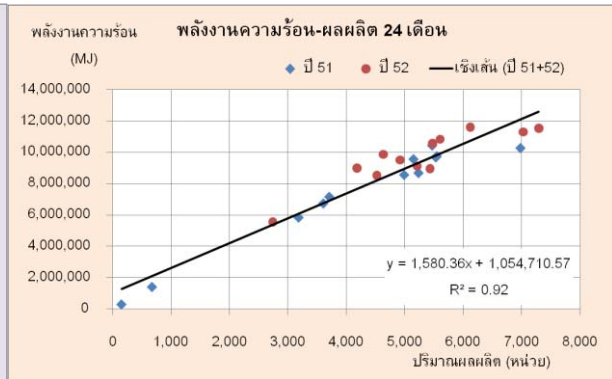
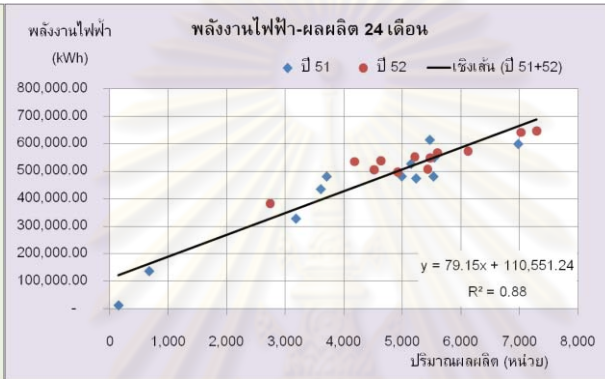
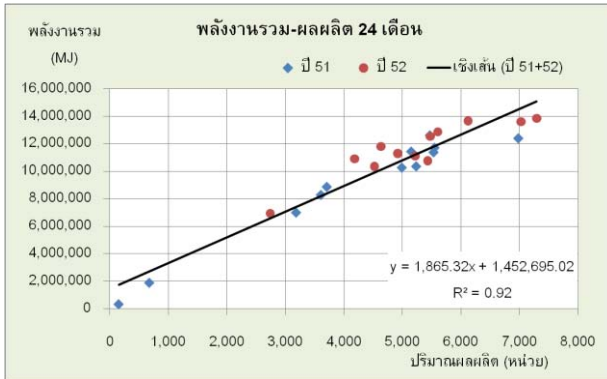


TSIC 37110-e5 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw) **หน่วย:** ตัน



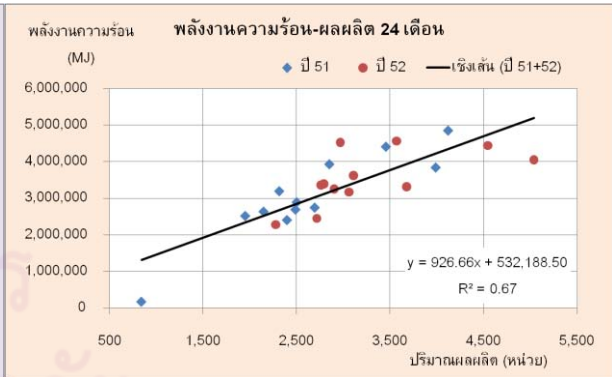
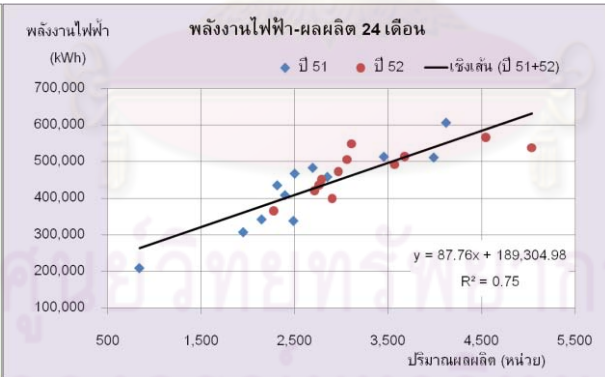
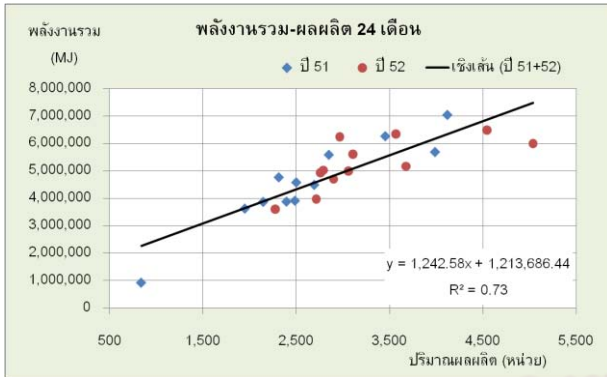
TSIC 37110-f **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้น

หน่วย: ตัน

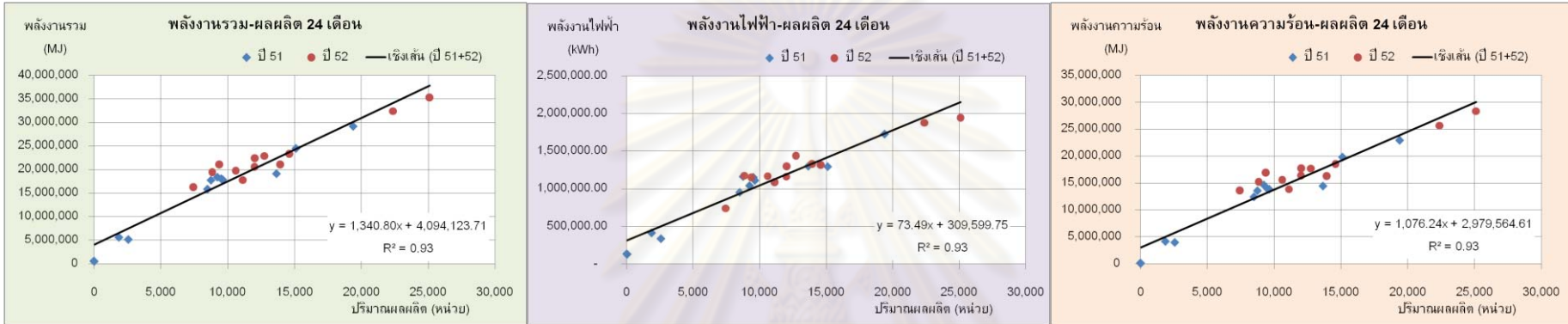


TSIC 37110-g **ผลิตภัณฑ์:** STEEL WIRE

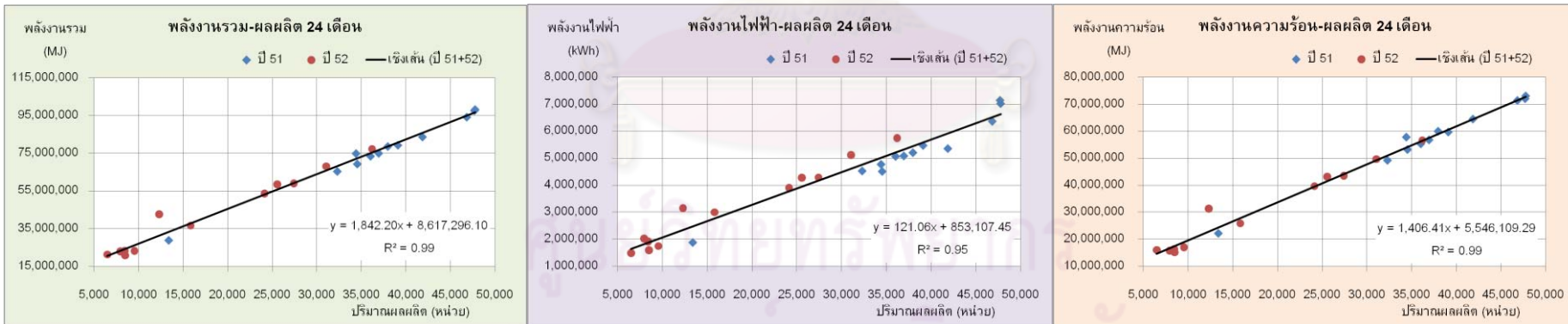
หน่วย: ตัน



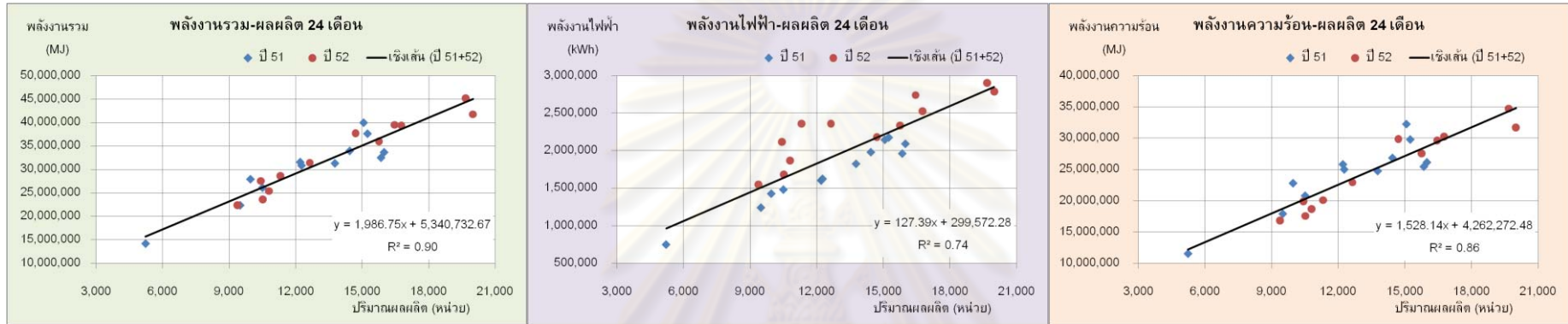
TSIC 37110-i **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย **หน่วย:** ตัน



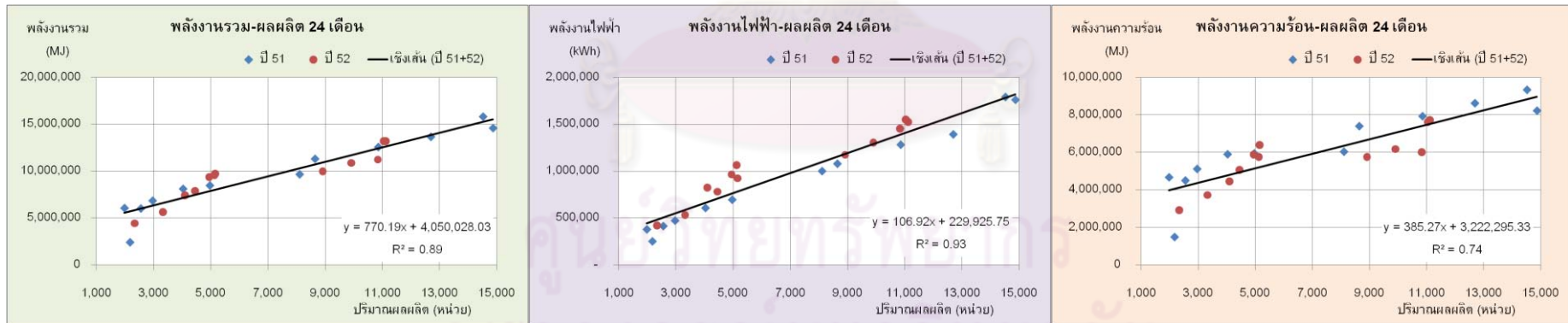
TSIC 37110-j1 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS) **หน่วย:** ตัน



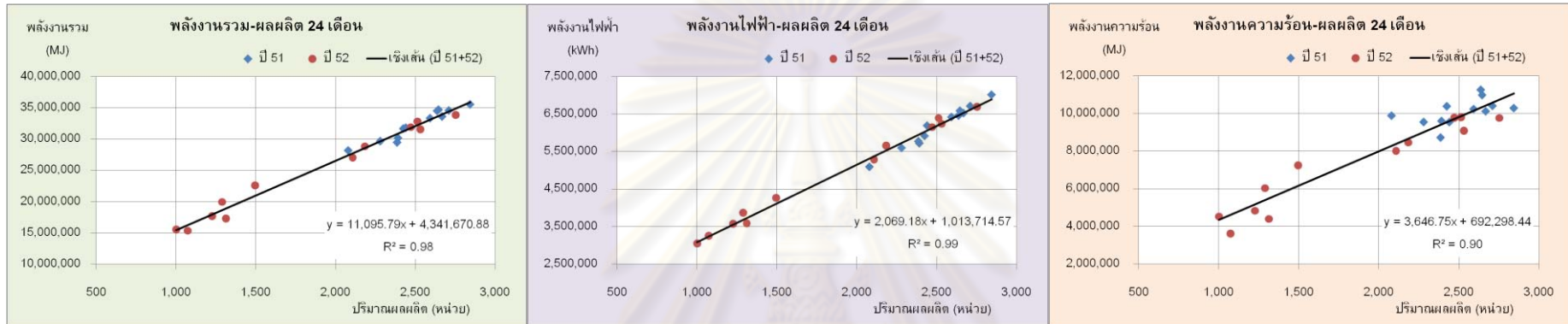
TSIC 37110-j2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบตีบุกหรือโครเมียมสำหรับอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP) **หน่วย:** ตัน



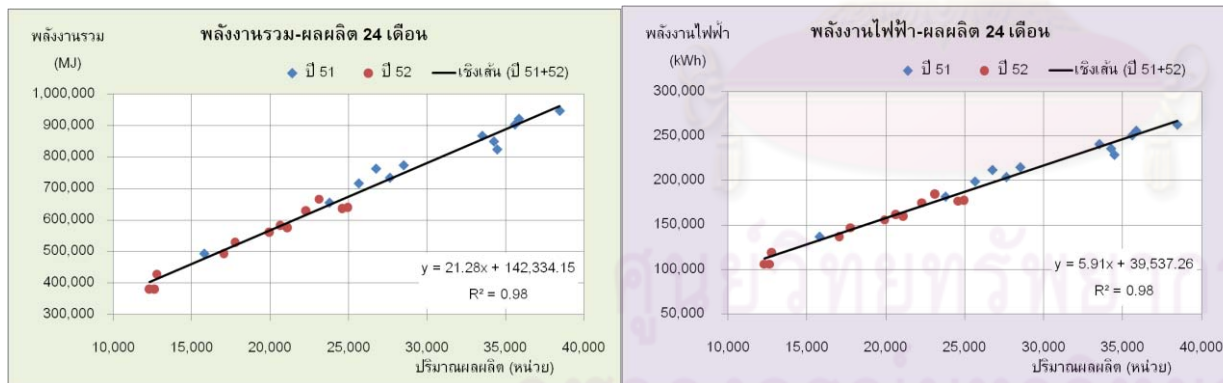
TSIC 37110-j3 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-I **ผลิตภัณฑ์:** เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์) **หน่วย:** ตัน

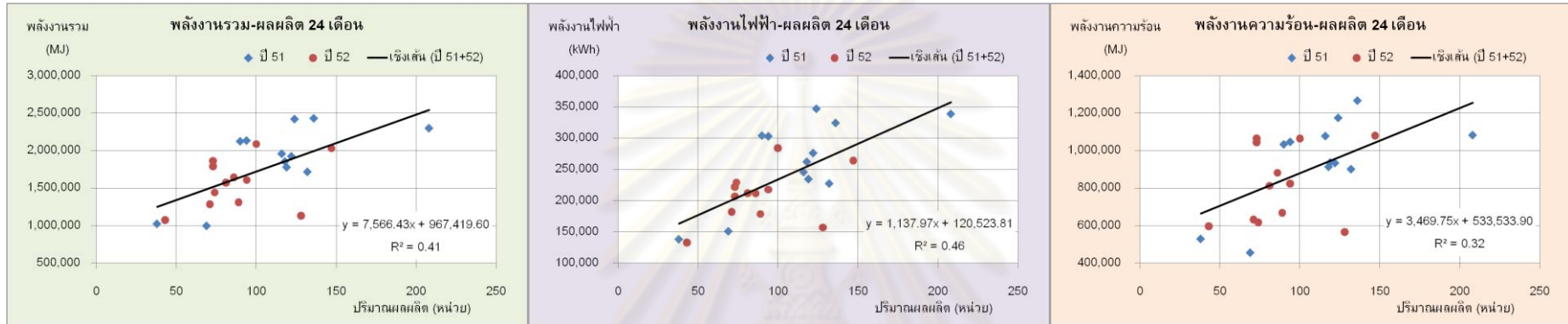


TSIC 37120-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม **หน่วย:** ตัน



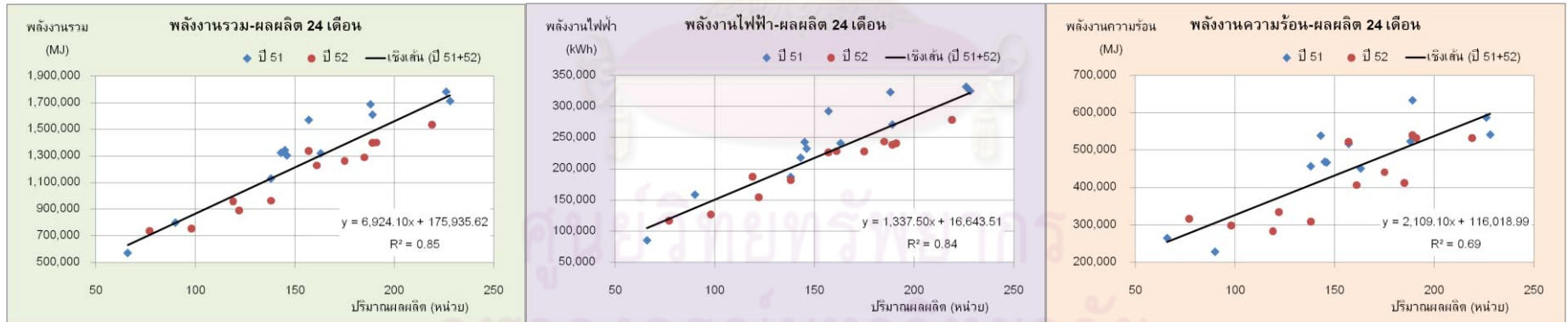
TSIC 37200-a1 ผลิตรภัณฑ์: อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ดิบ)

หน่วย: ตัน



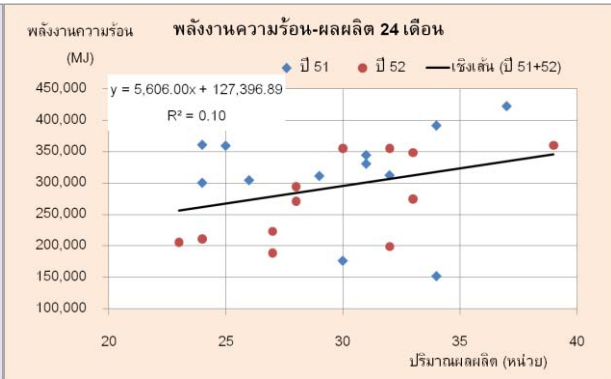
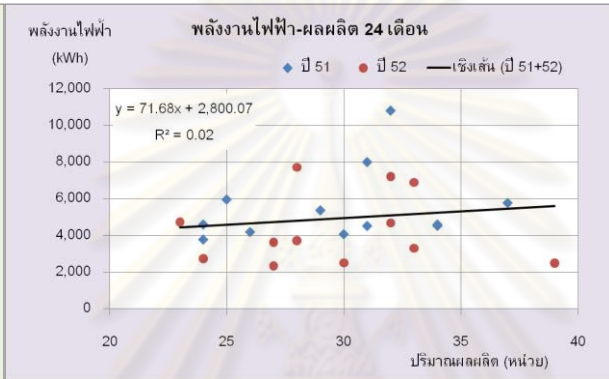
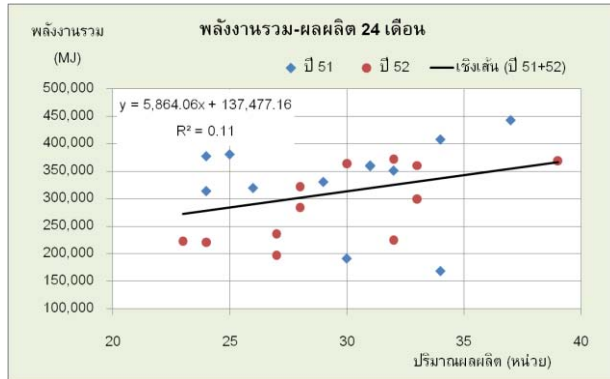
TSIC 37200-a2 ผลิตรภัณฑ์: อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ชุบ)

หน่วย: ตัน

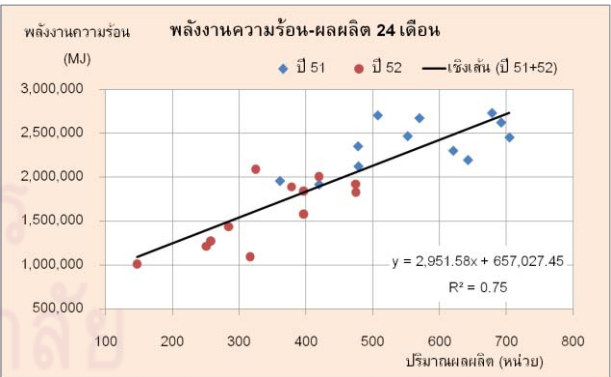
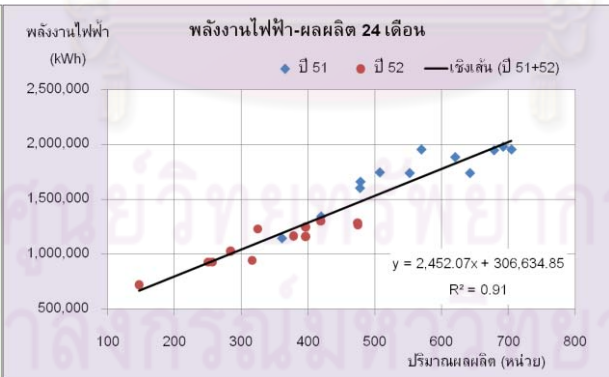
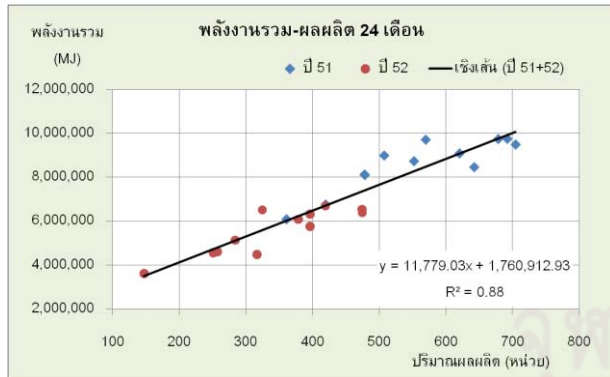


TSIC 37200-a3 **ผลิตภัณฑ์:** อดูมิเนียมเส้นหน้าตัด(พ่นสี)

หน่วย: ตัน

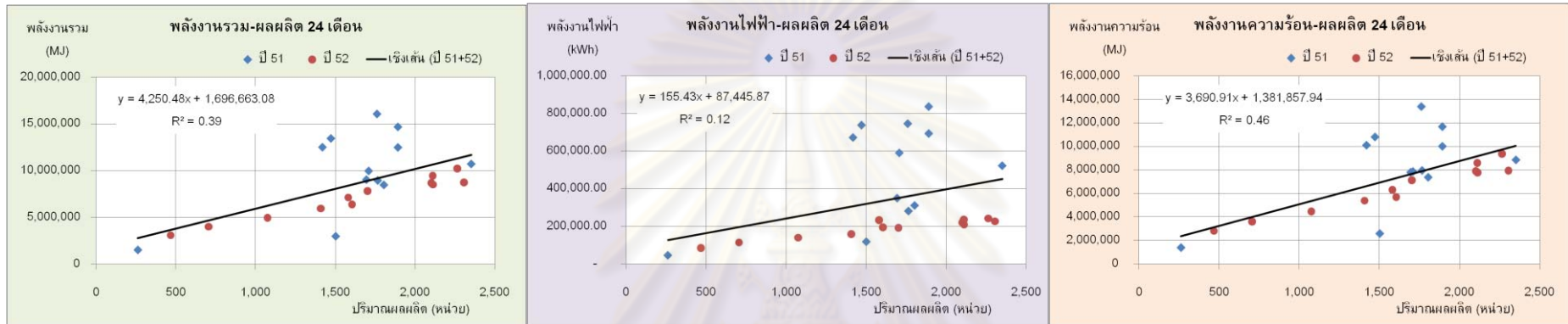


TSIC 37200-b **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37200-d ผลิตภัณฑ์: อดูมิเนี่ยมอินกอท

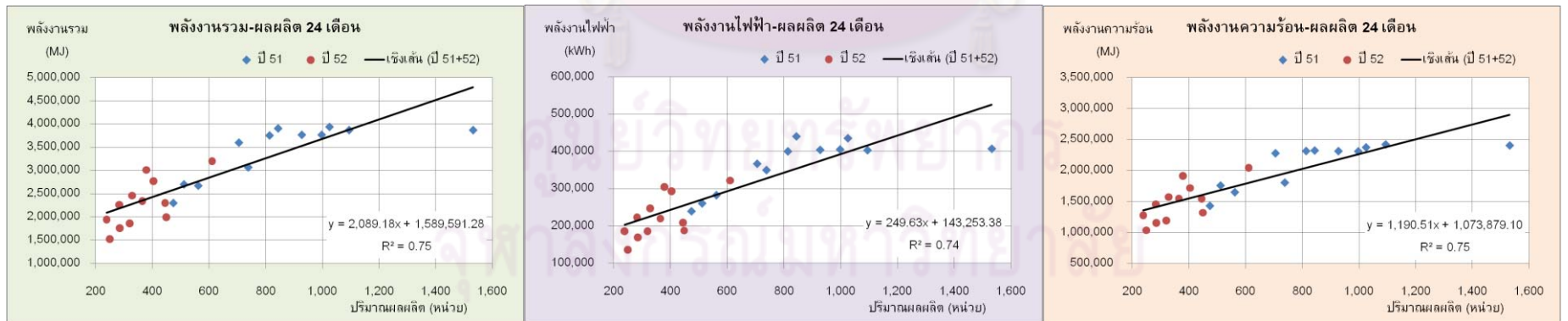
หน่วย: ตัน



4. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38)

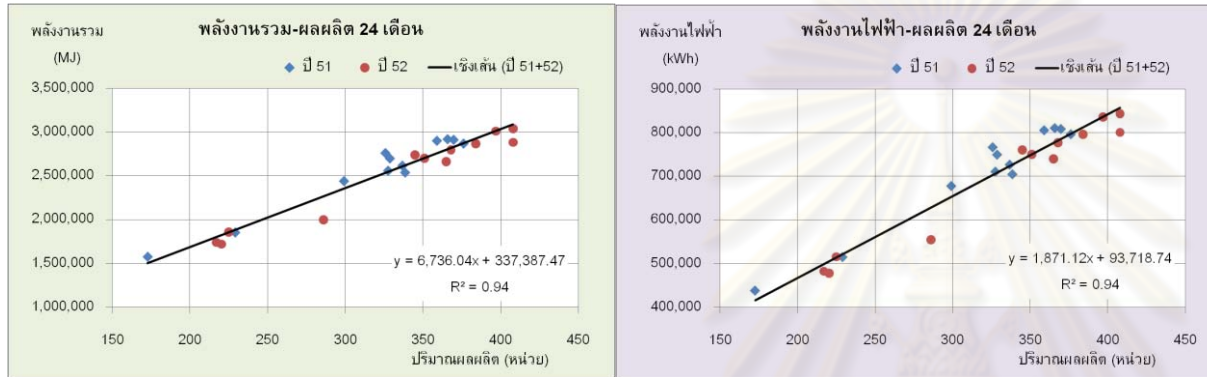
TSIC 38120-a ผลิตภัณฑ์: เฟอริไนเจอร์สำนักงานจากโลหะ

หน่วย: ตัน



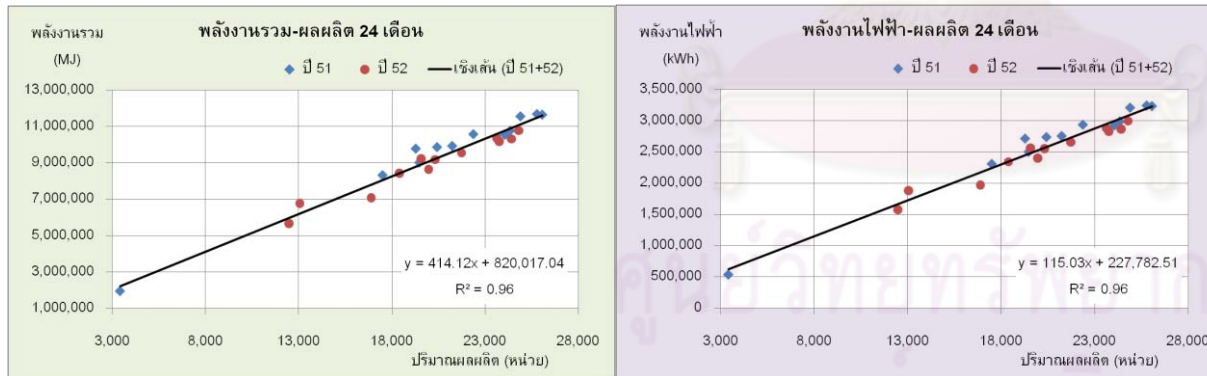
TSIC 38130-a ผลิตรภัณฑ์: ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์

หน่วย: ตัน



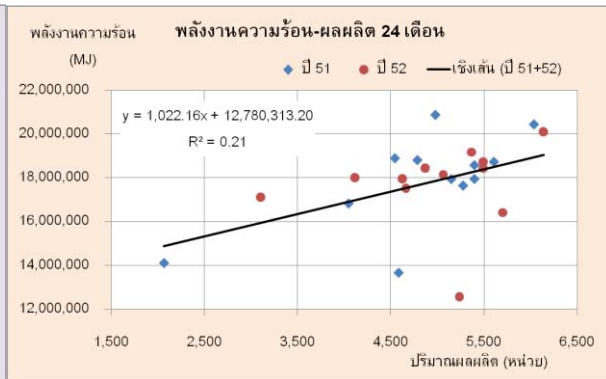
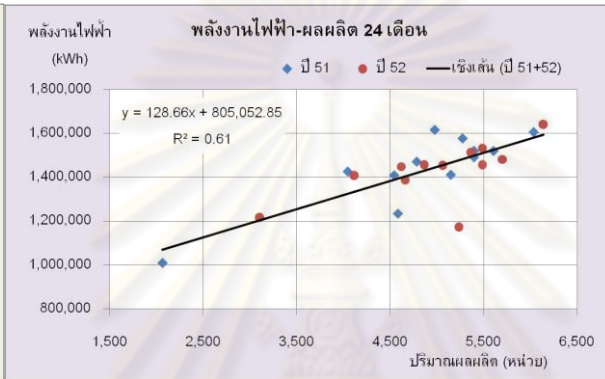
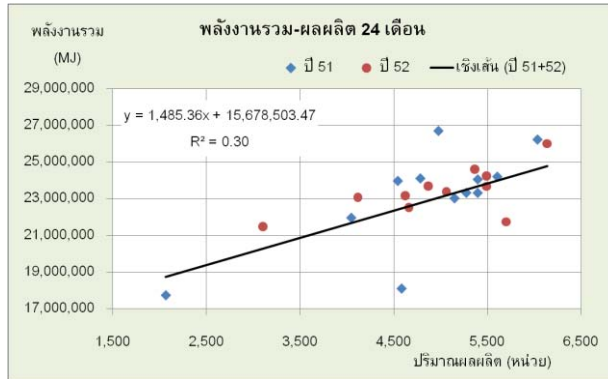
TSIC 38191-a ผลิตรภัณฑ์: ไม่มีชื่อ

หน่วย: ตัน



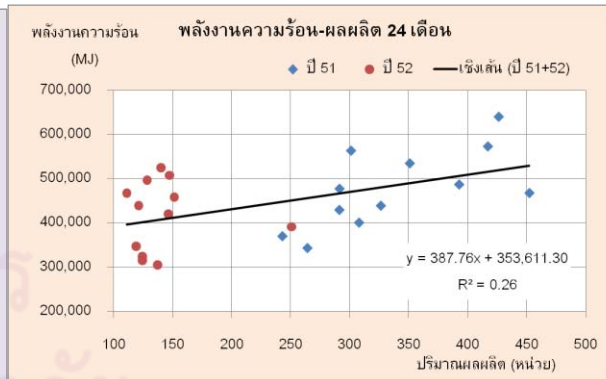
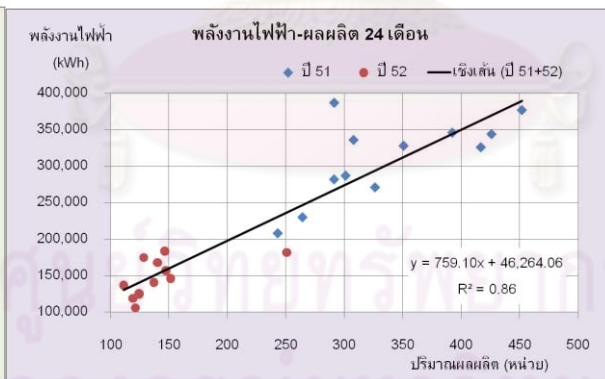
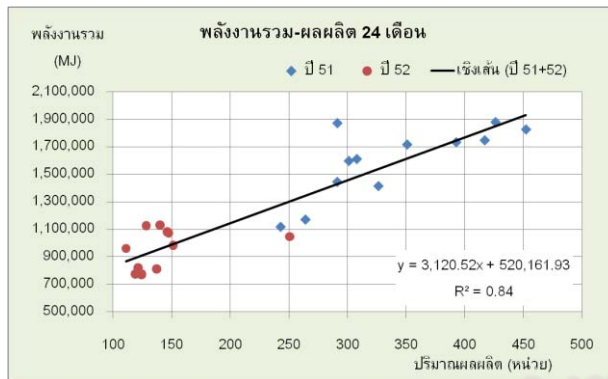
TSIC 38191-b ผลิตภัณฑ์: กระจกป้องกันและฝ้า

หน่วย: ตัน



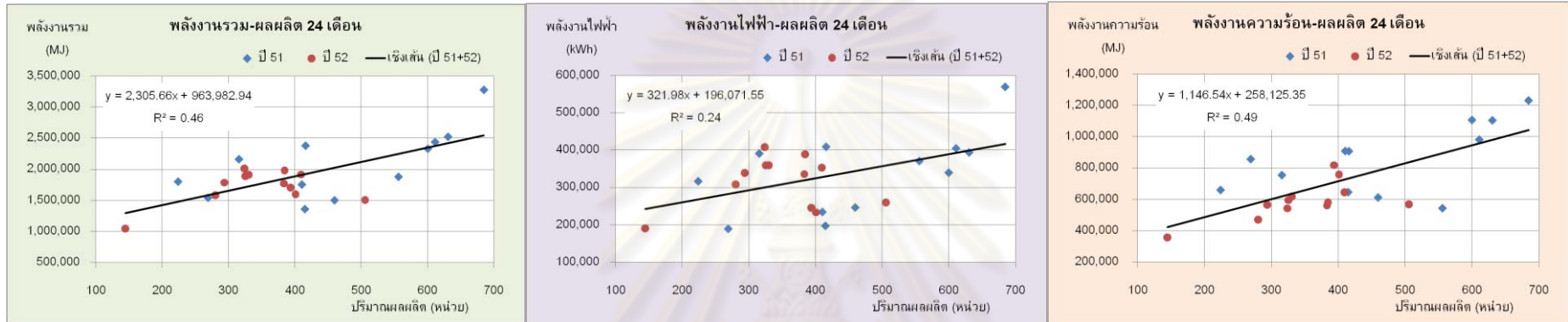
TSIC 38192-a ผลิตภัณฑ์: แป้นเกลียวหกเหลี่ยม (Heavy hexagon nut)

หน่วย: ตัน



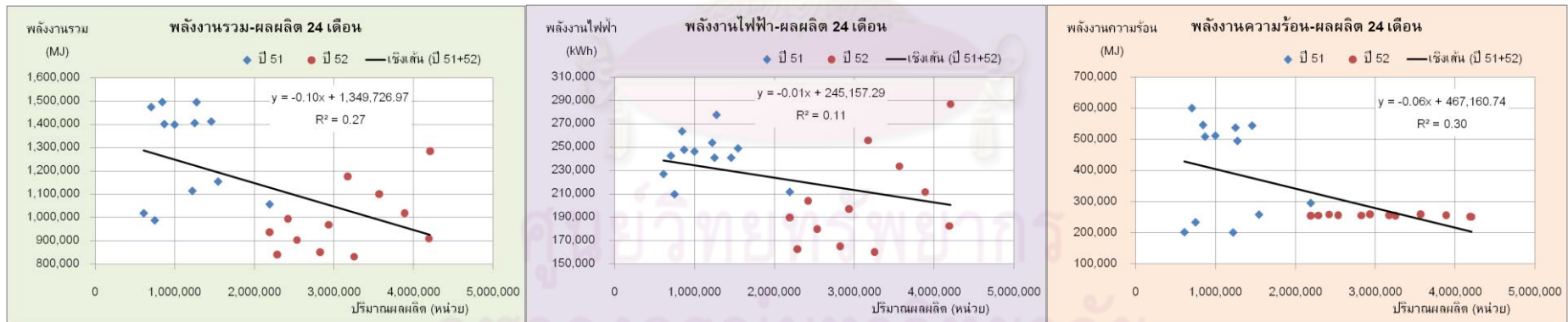
TSIC 38198-a **ผลิตภัณฑ์:** น้ำ-สกู

หน่วย: ตัน



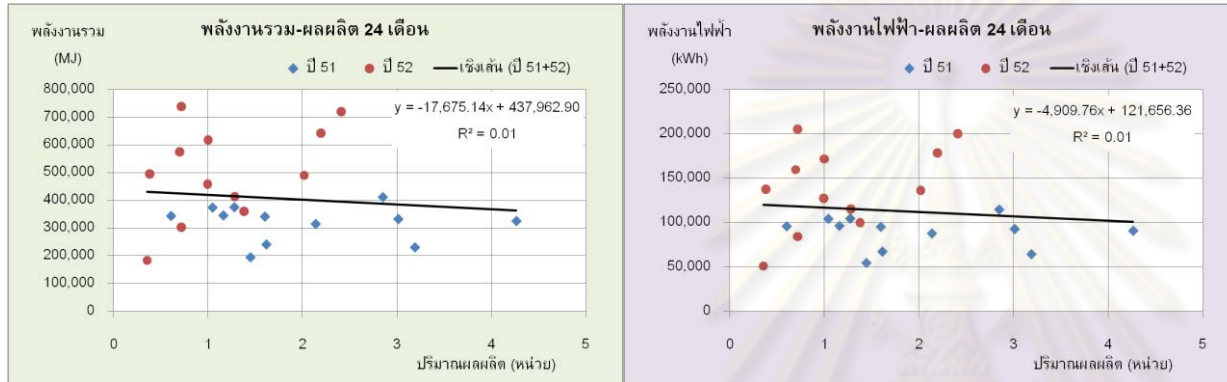
TSIC 38198-b **ผลิตภัณฑ์:** Starter Clutch, Valve Rotary, Cam Ring, Rotor Vane Pump , Pin Dowel, Cap&Plug, Pin Crank, Bush

หน่วย: ชิ้น



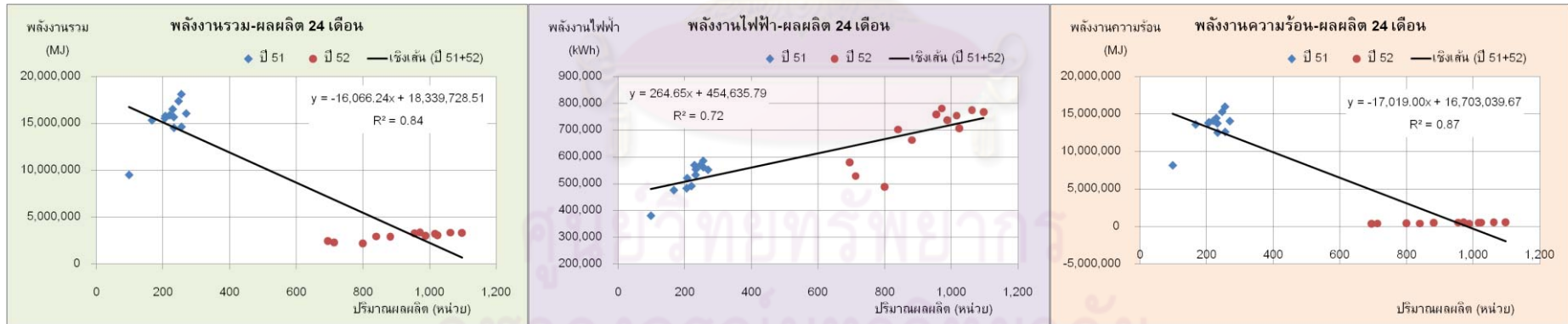
TSIC 38198-c **ผลิตภัณฑ์:** ทูบเคลือบผิวแม่พิมพ์

หน่วย: ตัน



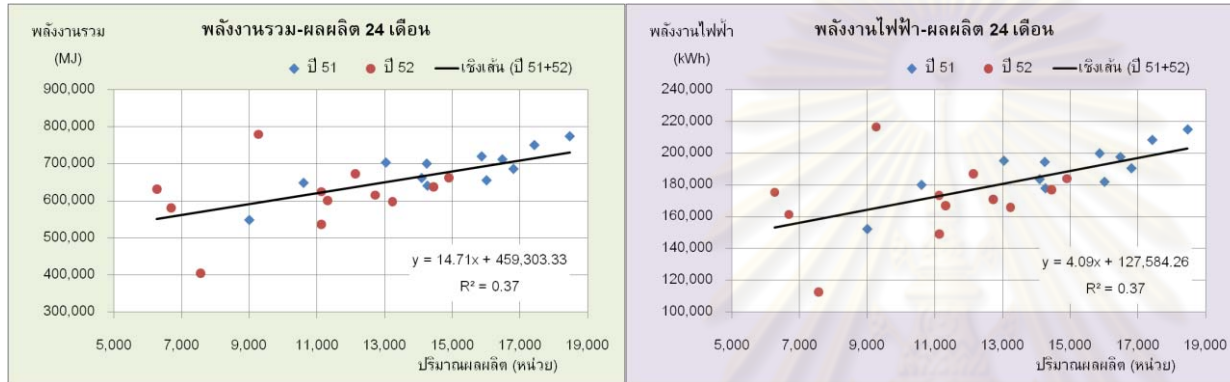
TSIC 38199-b **ผลิตภัณฑ์:** แกนเหล็กอ่อน Soft ferrite Core

หน่วย: ตัน



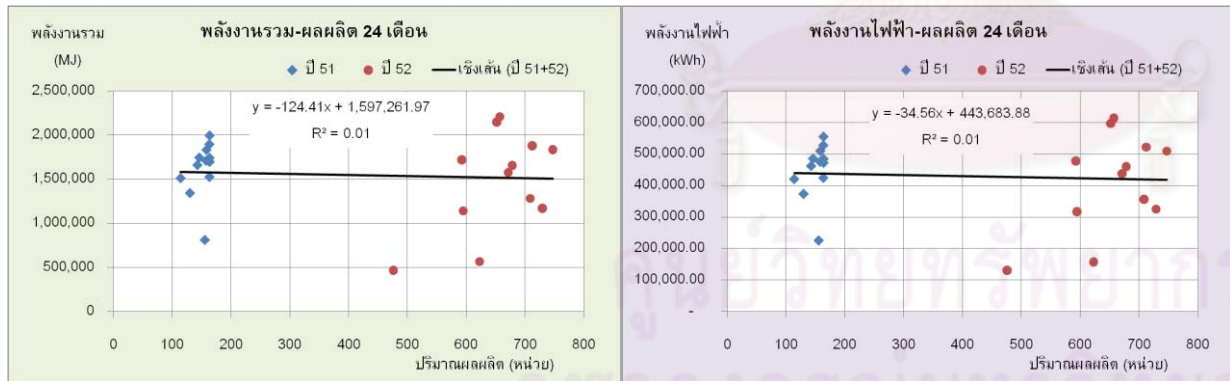
TSIC 38199-c ผลิตภัณฑ์: โลหะแผ่น

หน่วย: ตัน



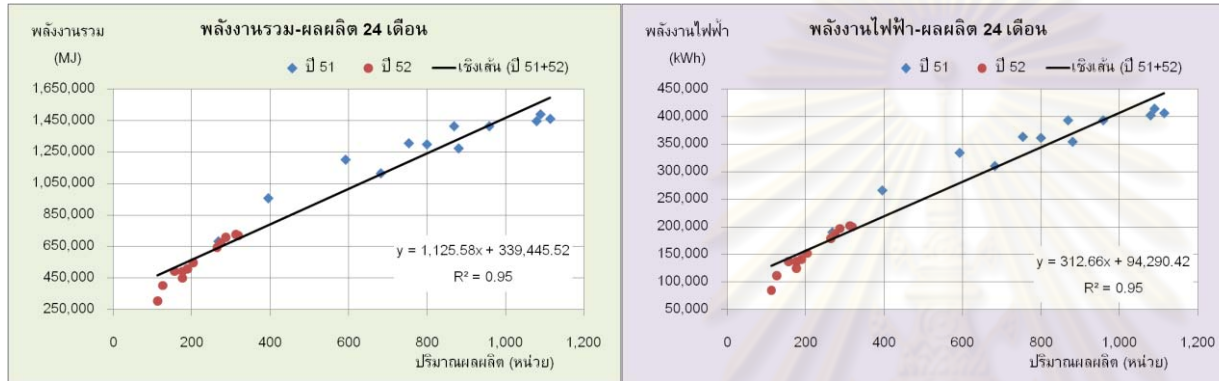
TSIC 38210-a ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนปั้มน้ำมันดีเซลในรถยนต์

หน่วย: ตัน

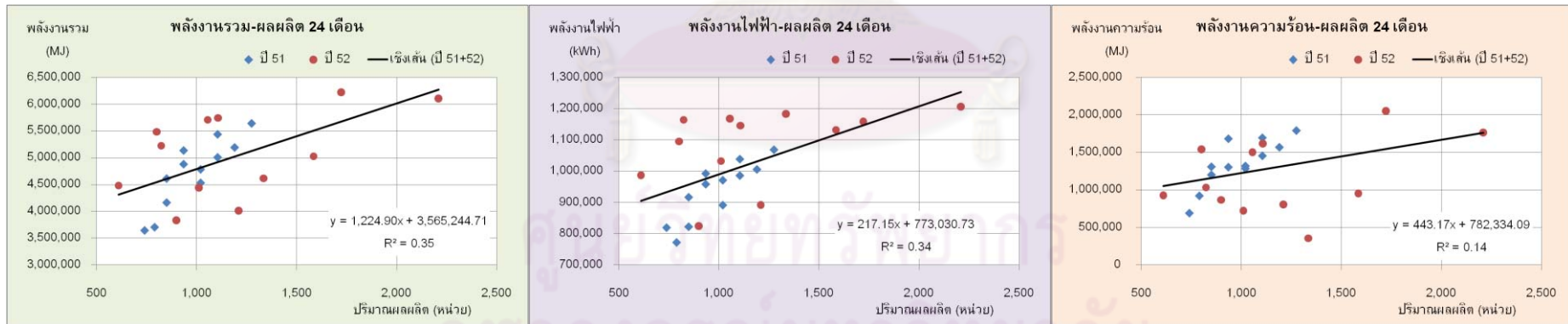


TSIC 38230-a **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์จากโลหะ

หน่วย: ตัน

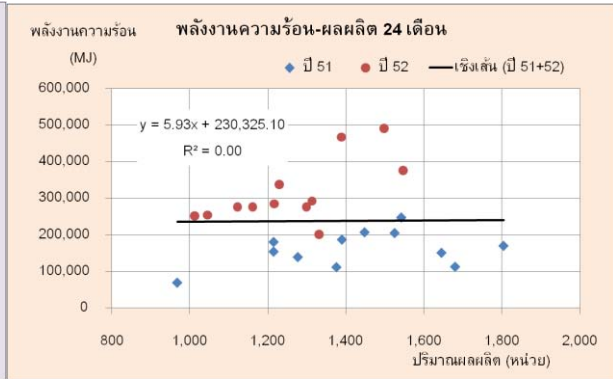
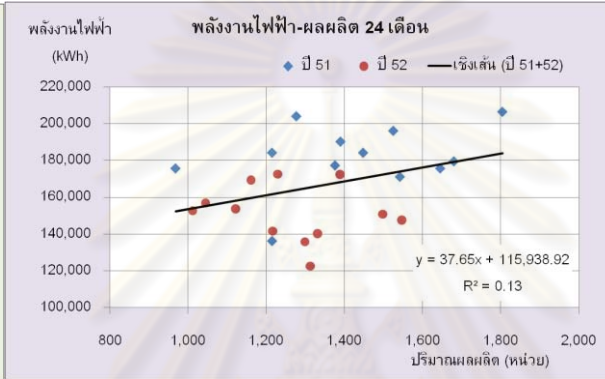
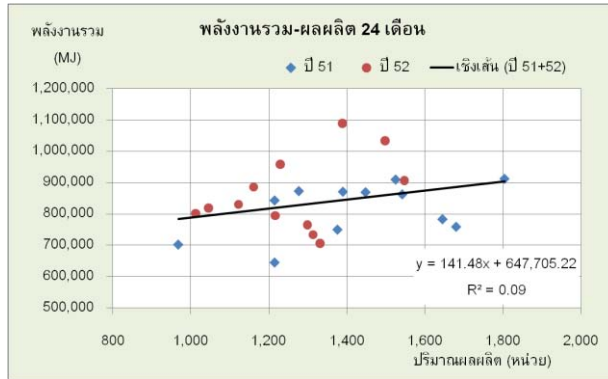


TSIC 38240-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก หน่วย: ตัน



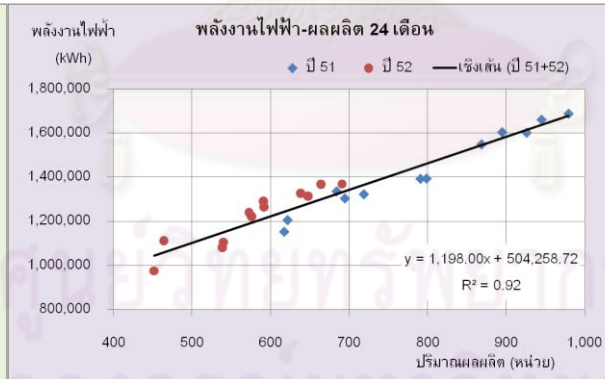
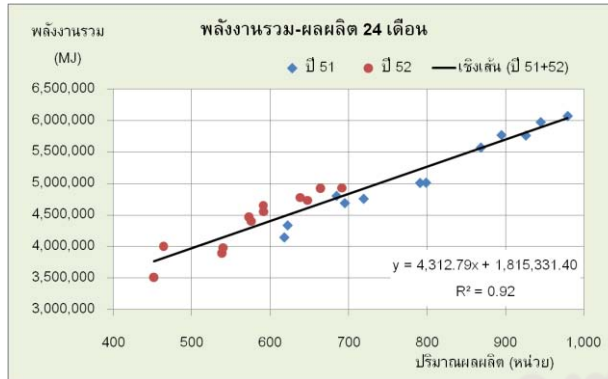
TSIC 38291-a **ผลิตภัณฑ์:** ประกอบเครื่องซักผ้า

หน่วย: เครื่อง



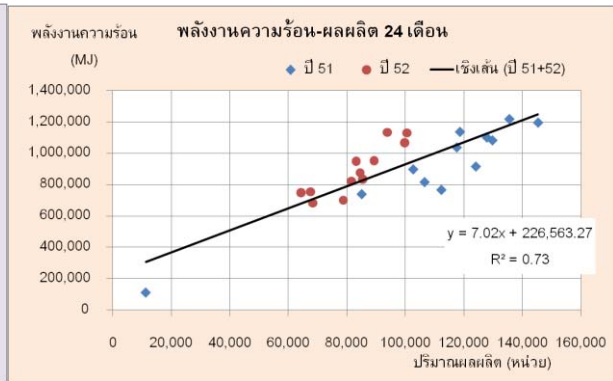
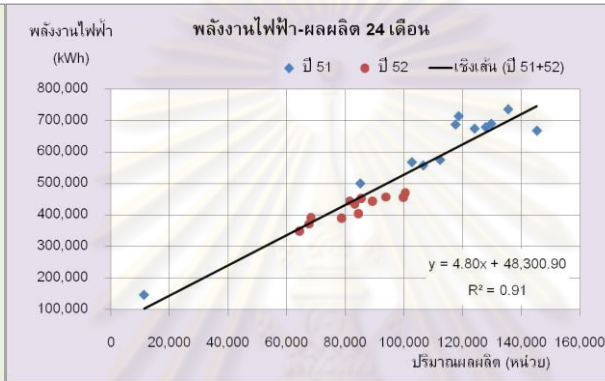
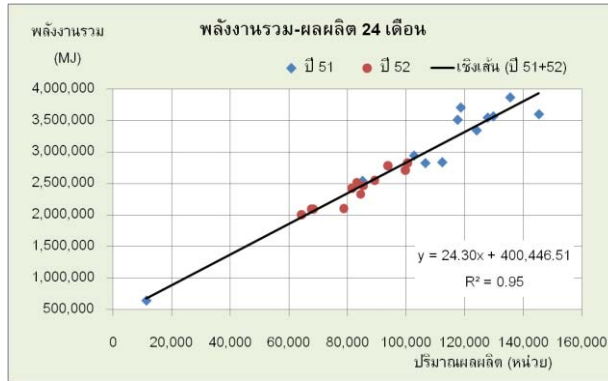
TSIC 38292-a **ผลิตภัณฑ์:** พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)

หน่วย: ตัน



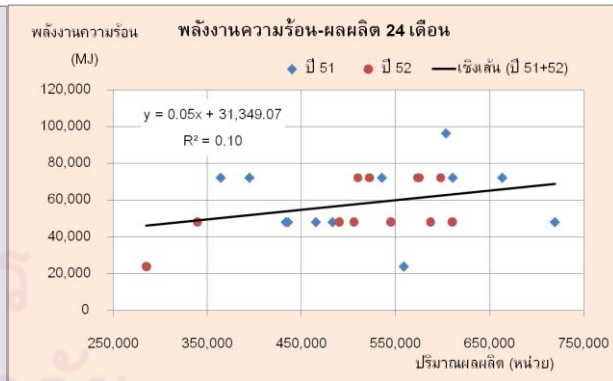
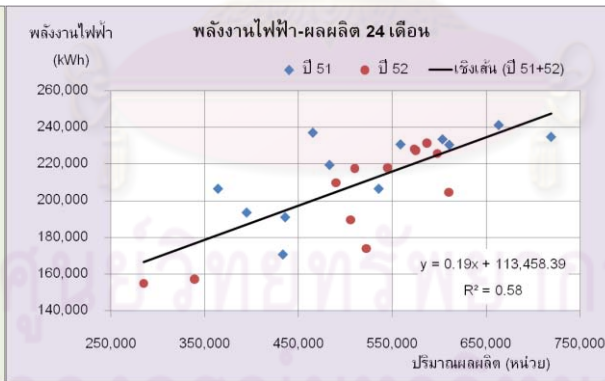
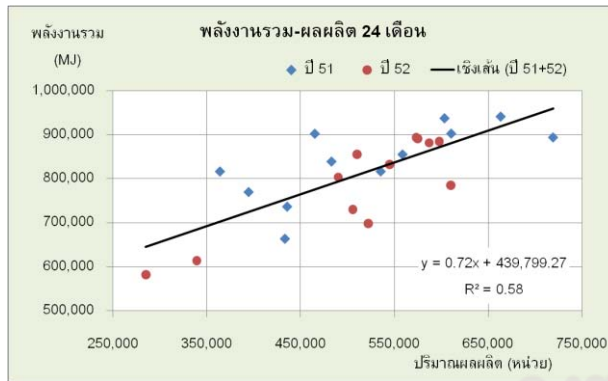
TSIC 38292-b ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



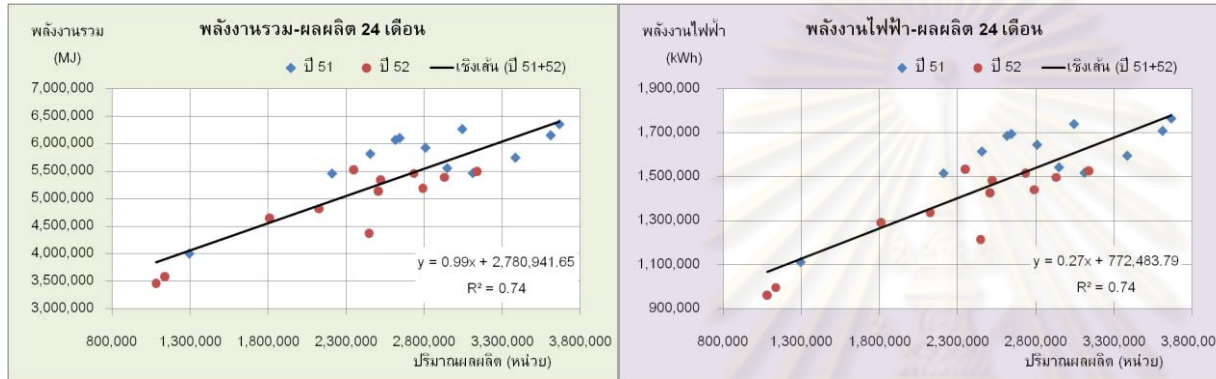
TSIC 38299-a ผลิตภัณฑ์: Rocker Arm

หน่วย: ชิ้น



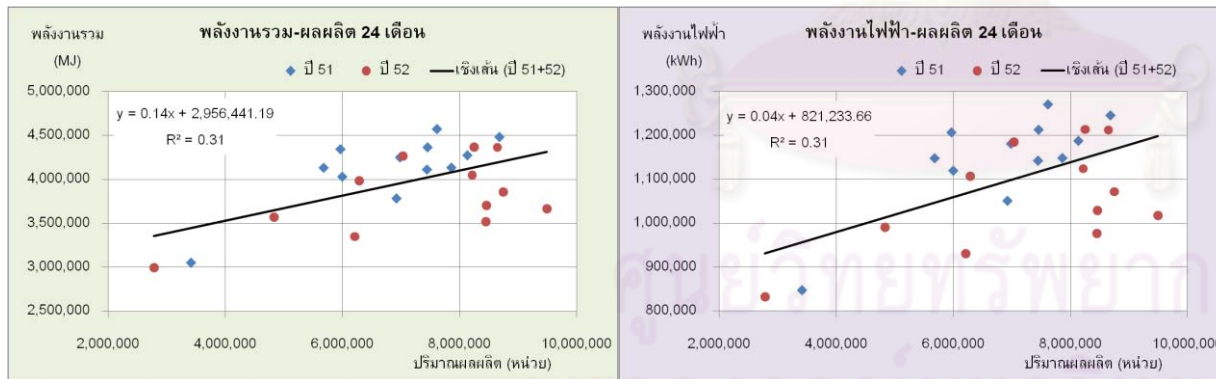
TSIC 38320-b **ผลิตภัณฑ์:** แผ่นวงจรีเล็กทรอนิกส์

หน่วย: ชิ้น

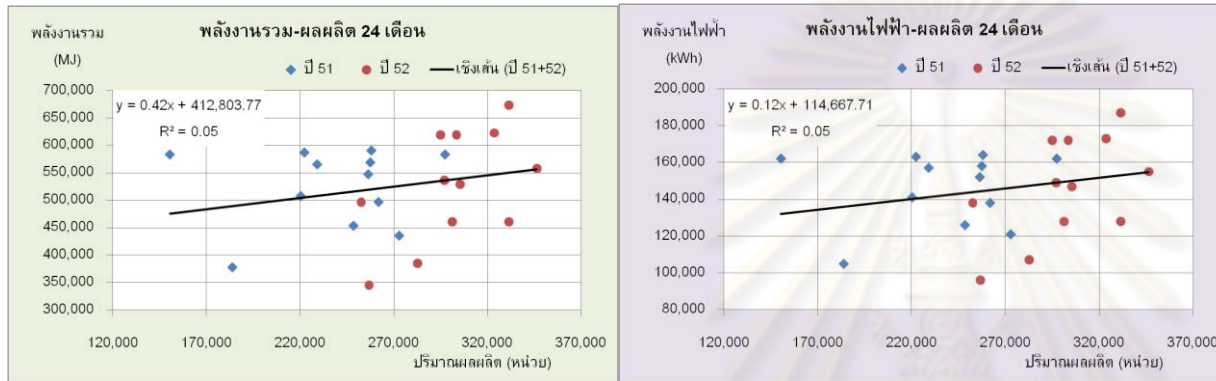


TSIC 38320-c **ผลิตภัณฑ์:** Bearing สำหรับ Spindle Motor (Bearphite Unit)

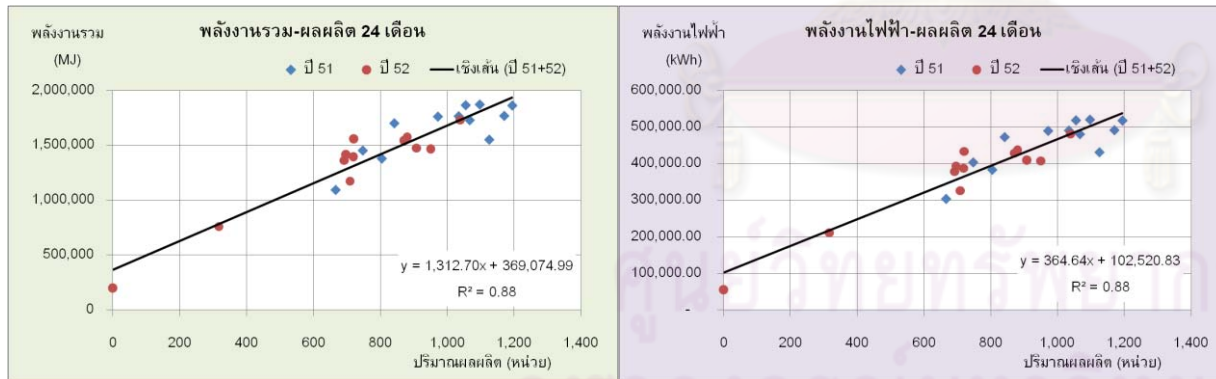
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38391-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (มอเตอร์สตาร์ทเตอร์, อุปกรณ์ไฟฟ้า) **หน่วย:** ชิ้น

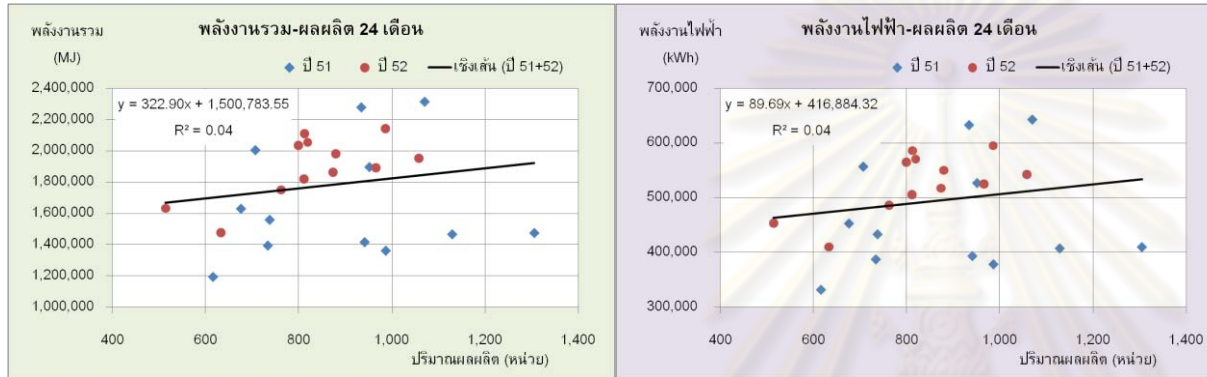


TSIC 38391-b1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร **หน่วย:** ตัน



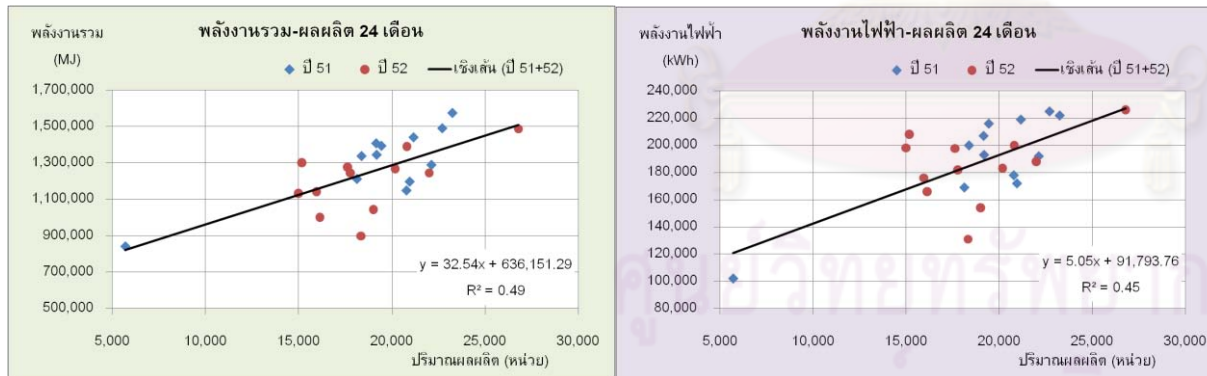
TSIC 38391-b2 **ผลิตภัณฑ์:** สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน

หน่วย: ตัน



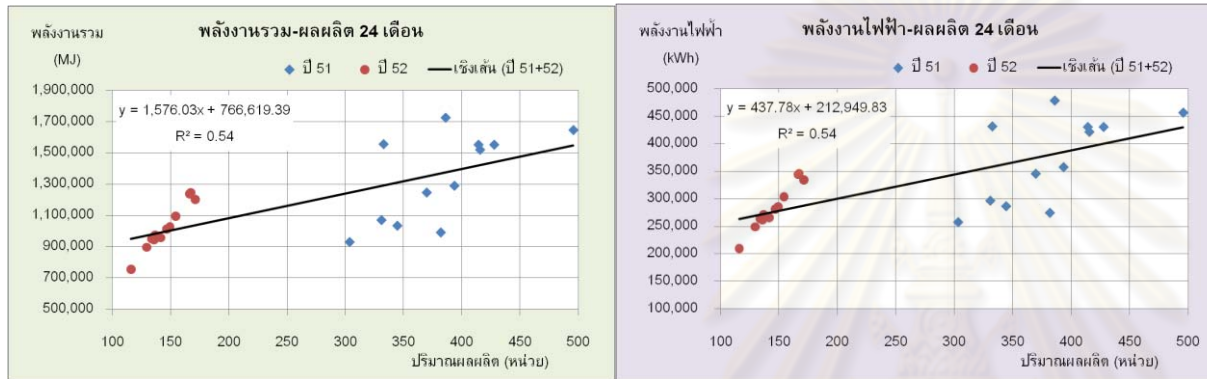
TSIC 38392-a **ผลิตภัณฑ์:** แบตเตอรี่รถยนต์

หน่วย: ลูก



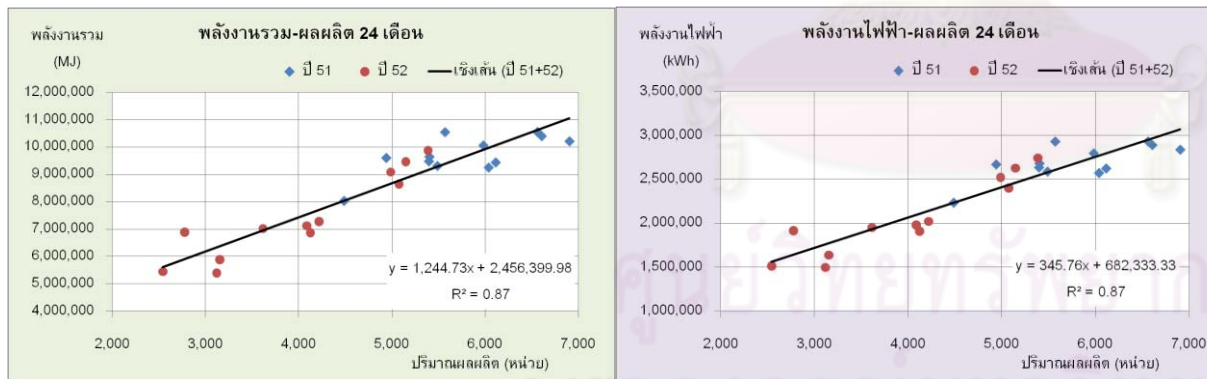
TSIC 38411-a **ผลิตภัณฑ์:** งานซ่อมแซมเรือและงานต่อเรือ

หน่วย: ตัน



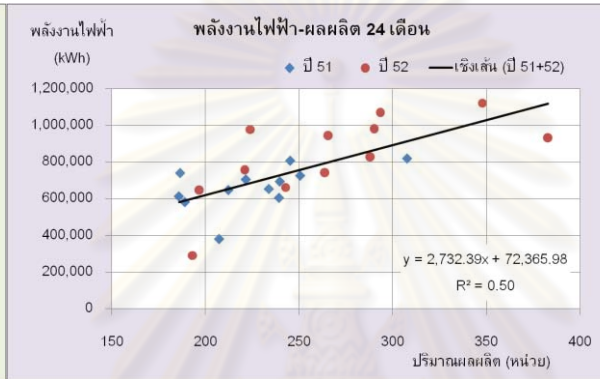
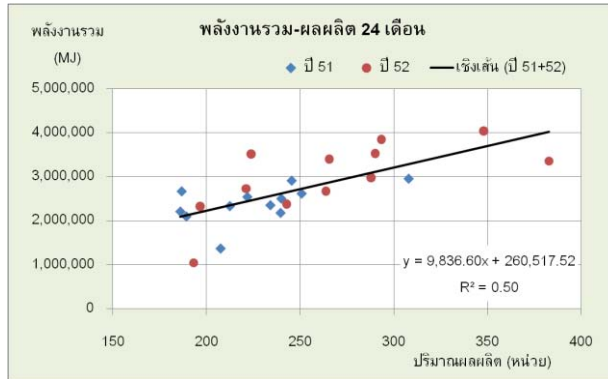
TSIC 38431-a1 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ปัมป์ชิ้นรูปและเชื่อมประกอบ)

หน่วย: ตัน



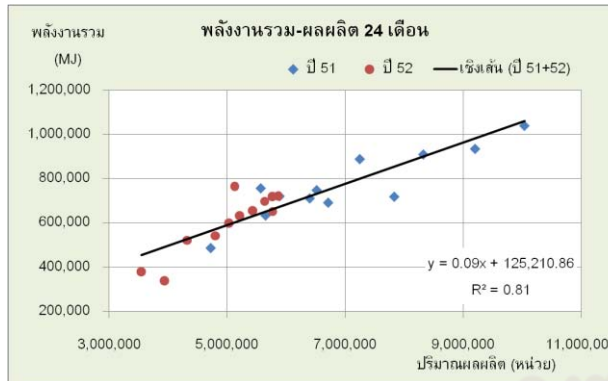
TSIC 38431-a2 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ฉีดพลาสติก)

หน่วย: ตัน

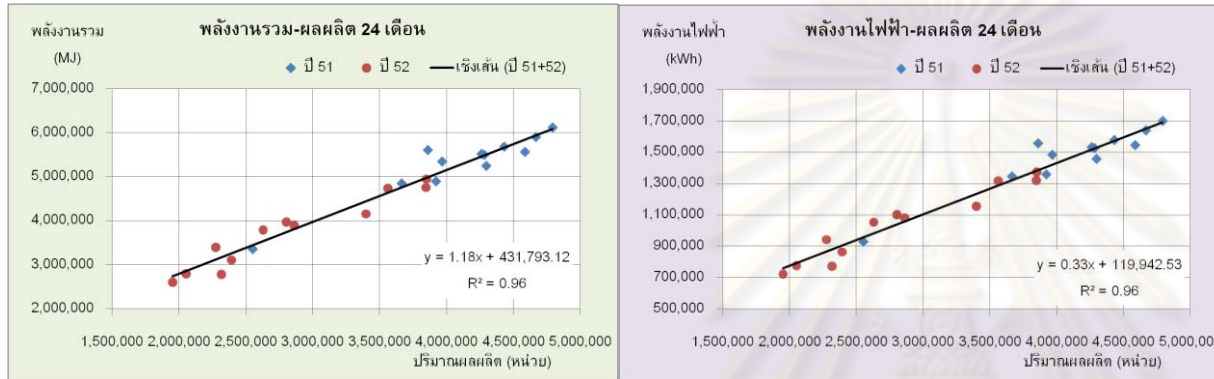


TSIC 38431-b **ผลิตภัณฑ์:** ชุดสายไฟประกอบ

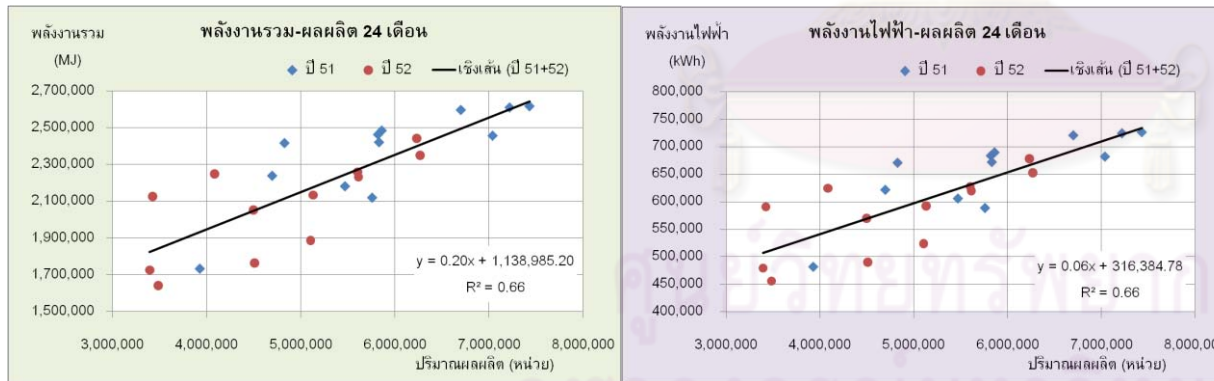
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38439-b **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending) **หน่วย:** ตัน

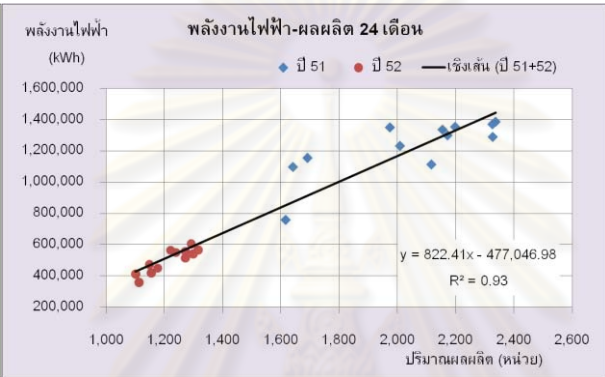
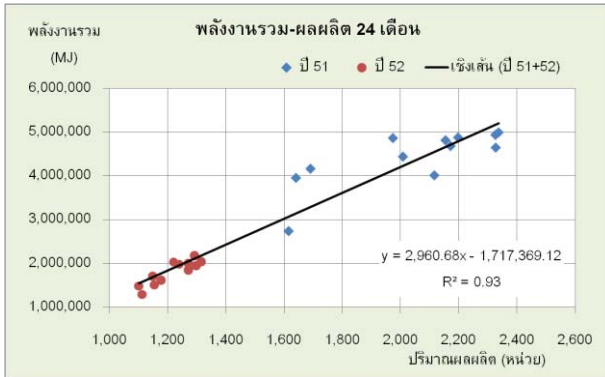


TSIC 38439-c **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนรถยนต์ **หน่วย:** ชิ้น



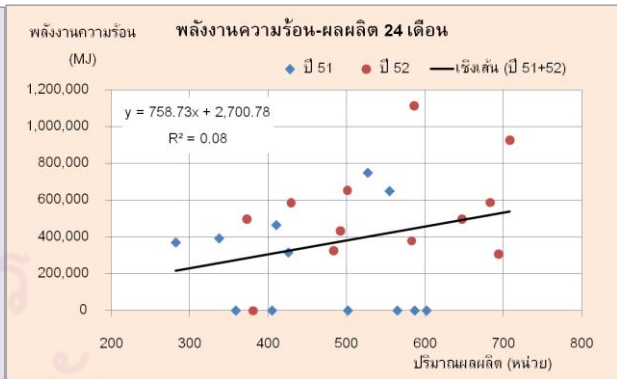
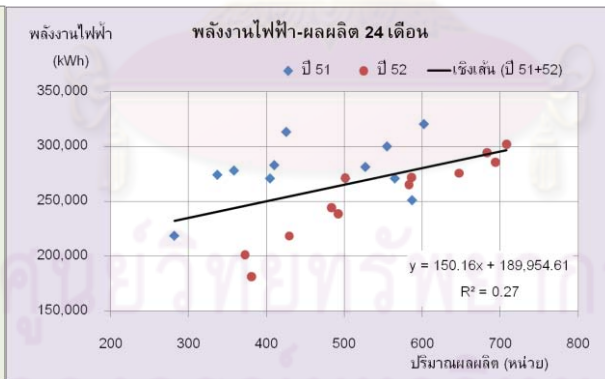
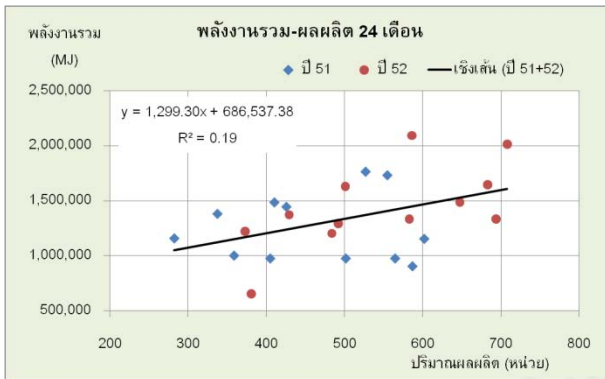
TSIC 38439-d ผลิตรัถน์: สายไฟในรถยนต์

หน่วย: kmh



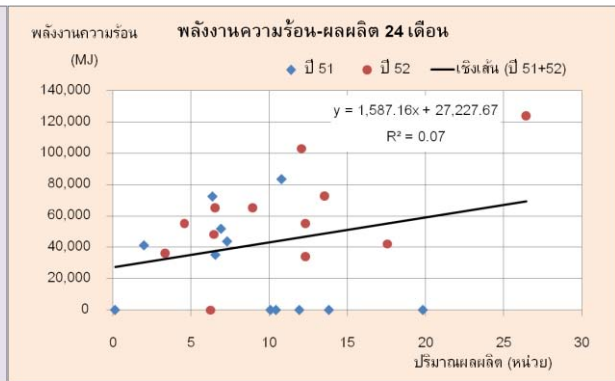
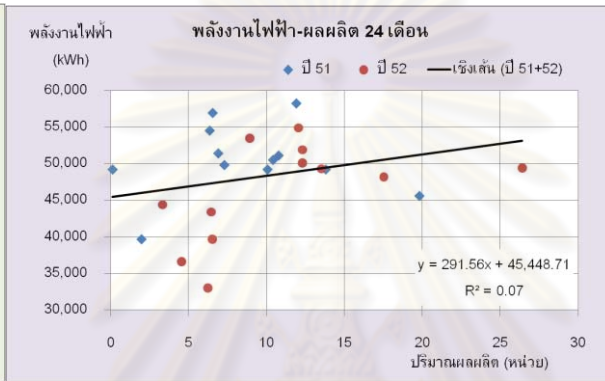
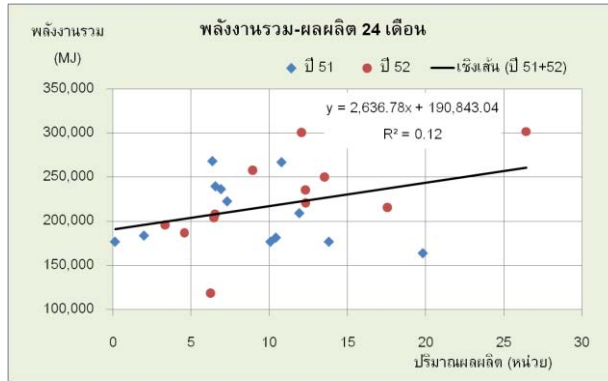
TSIC 38439-f1 ผลิตรัถน์: ชิ้นส่วนประกอบรถยนต์

หน่วย: ตัน



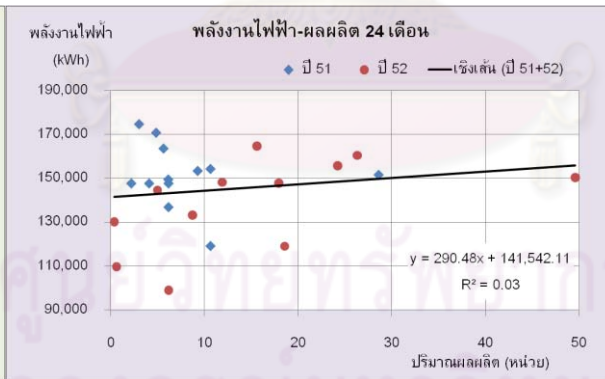
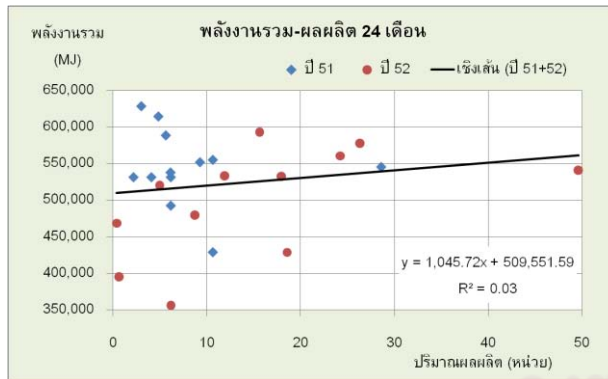
TSIC 38439-f2 **ผลิตภัณฑ์:** หม้อน้ำรถยนต์

หน่วย: ตัน



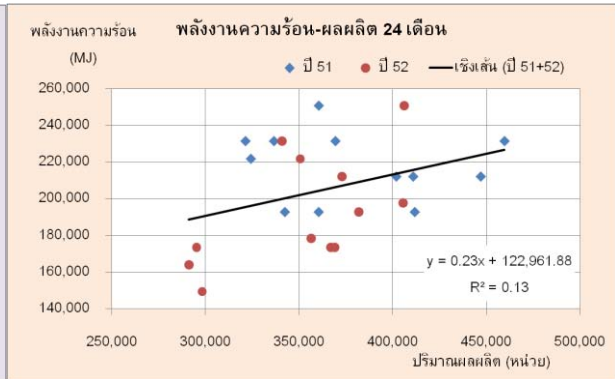
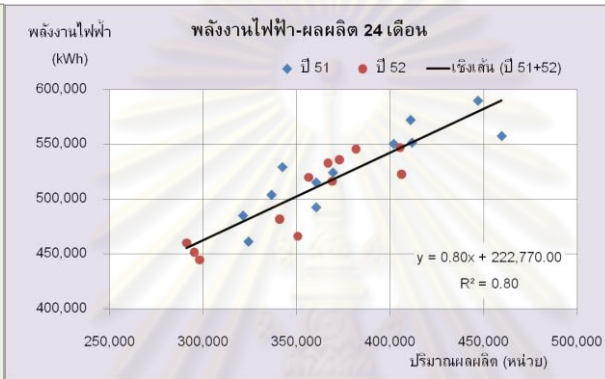
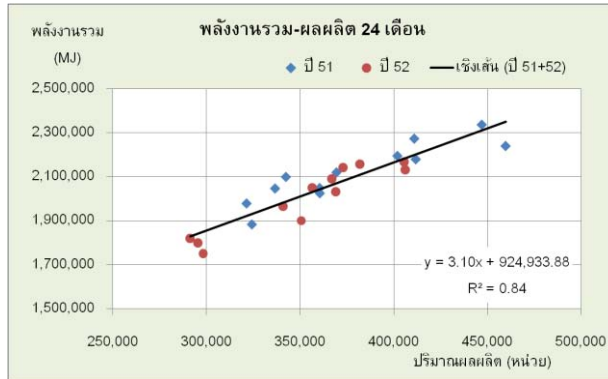
TSIC 38439-f3 **ผลิตภัณฑ์:** แม่พิมพ์

หน่วย: ตัน



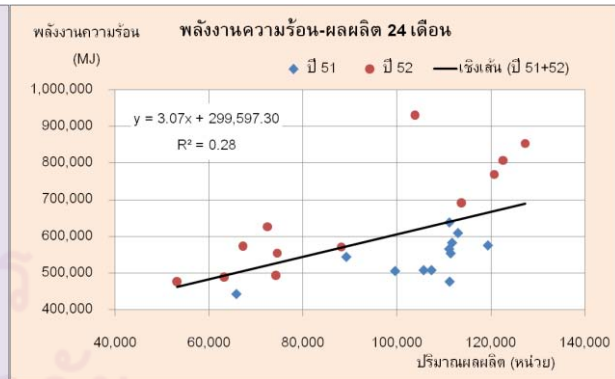
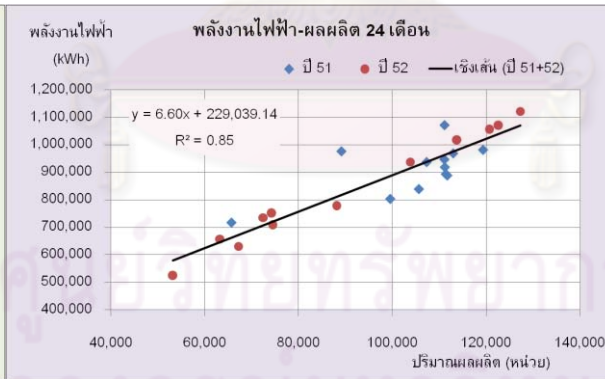
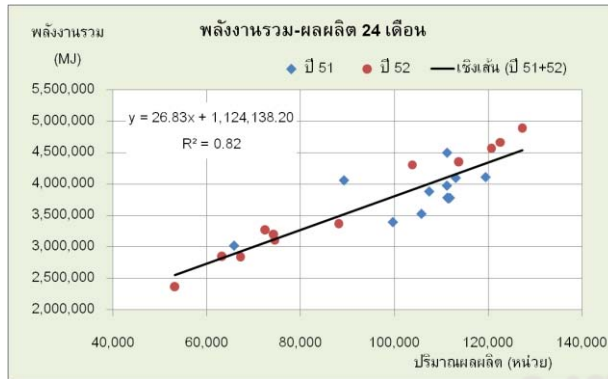
TSIC 38439-g **ผลิตภัณฑ์:** ผ้าเบรครถยนต์

หน่วย: ชิ้น



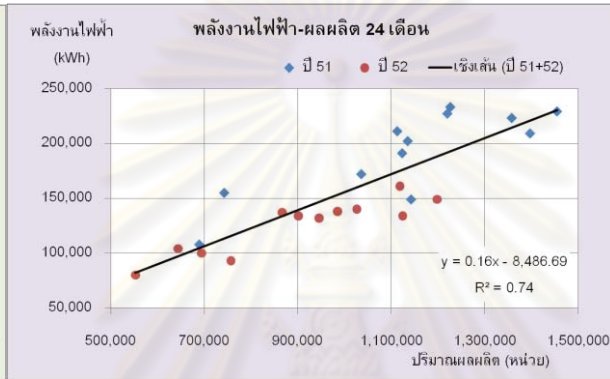
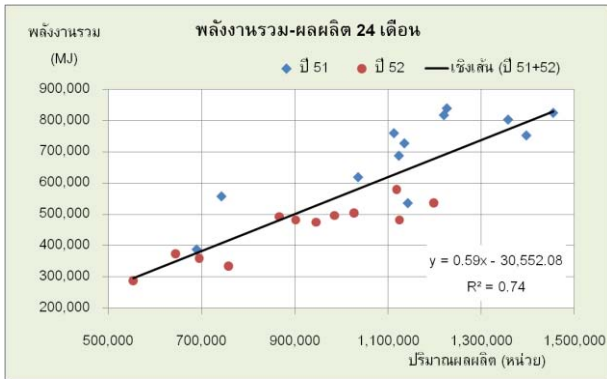
TSIC 38439-i **ผลิตภัณฑ์:** เพล่าข้าง

หน่วย: ชิ้น



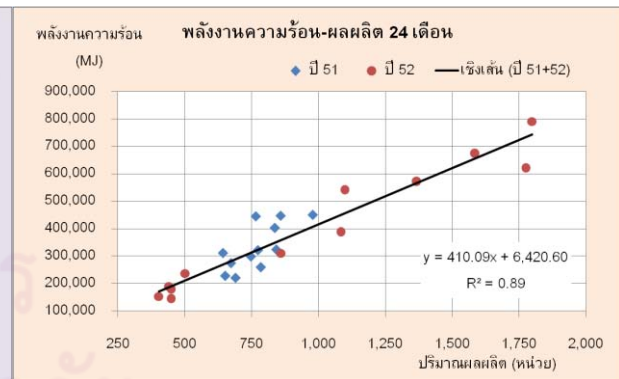
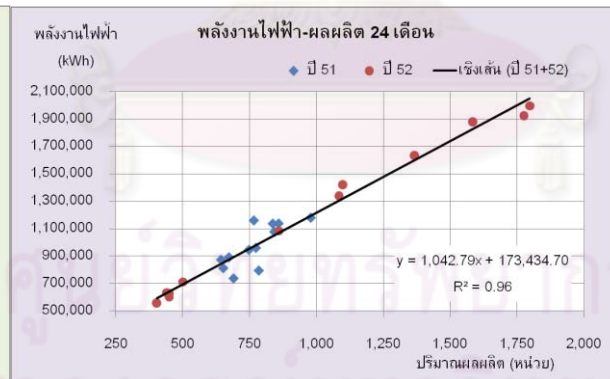
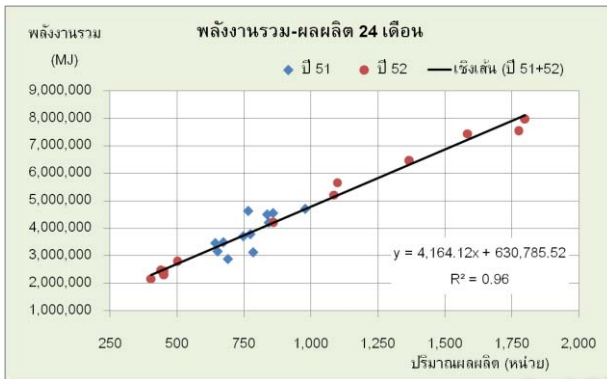
TSIC 38439-j ผลิตภัณฑ์: PRESS PART

หน่วย: ชิ้น



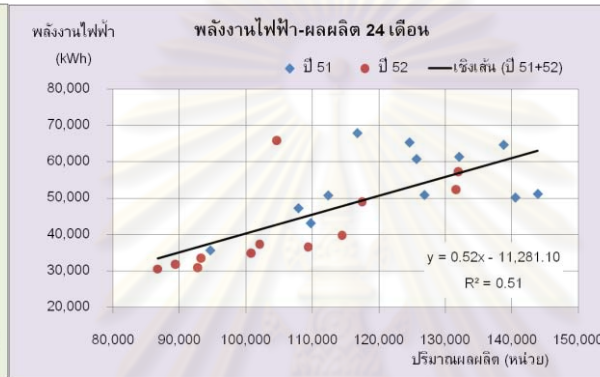
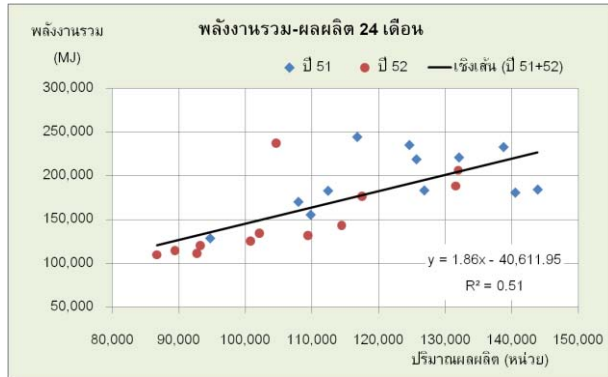
TSIC 38439-I ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



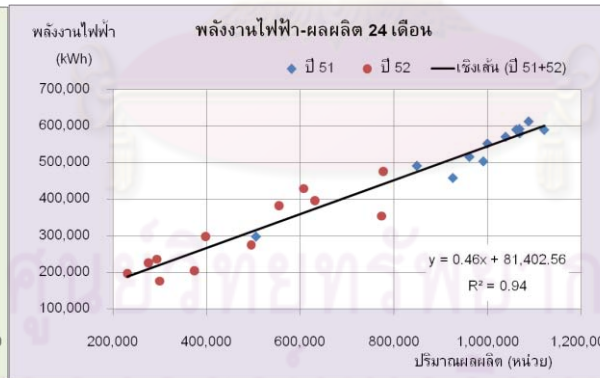
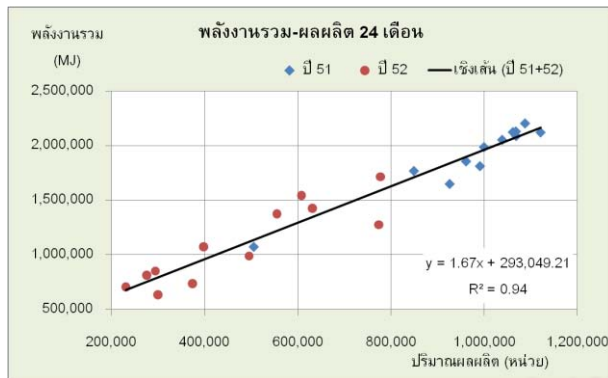
TSIC 38440-a1 **ผลิตภัณฑ์:** เบาะรถจักรยานยนต์

หน่วย: ^๓ซัน



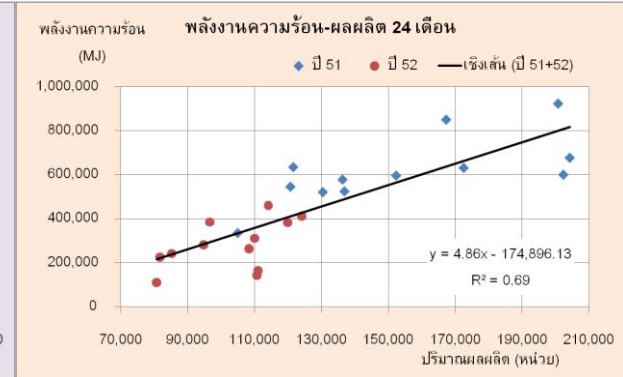
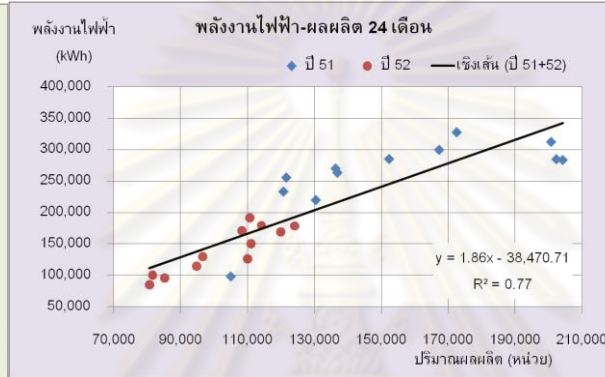
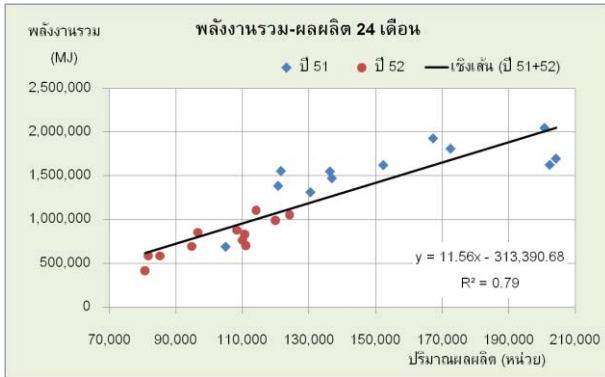
TSIC 38440-a2 **ผลิตภัณฑ์:** ซีดพลาสติก

หน่วย: ^๓ซัน



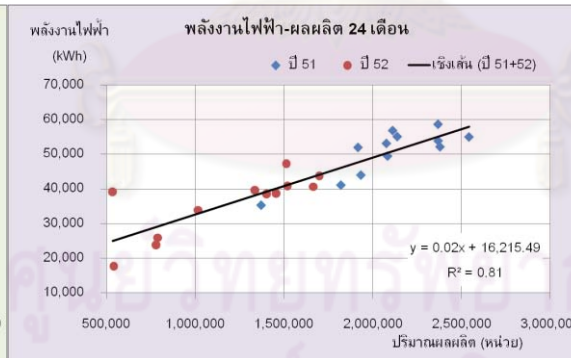
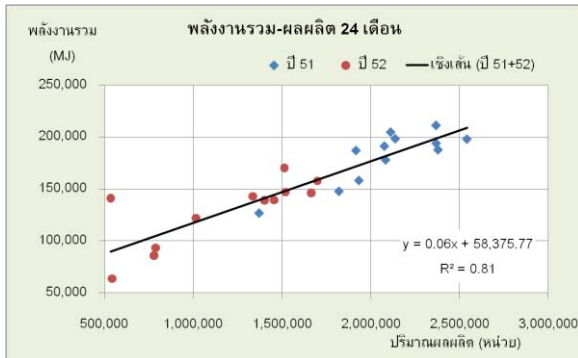
TSIC 38440-a3 ผลิตรภัณฑ์: ฟันสี

หน่วย: ชิ้น



TSIC 38440-a4 ผลิตรภัณฑ์: ปืนขึ้นรูปโลหะ

หน่วย: ชิ้น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

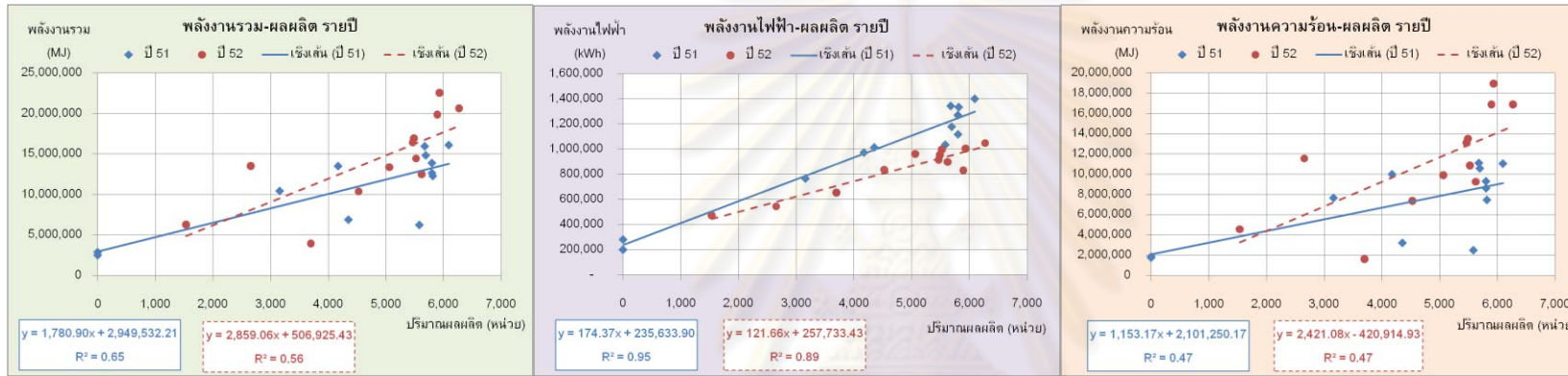


ภาคผนวก ค
แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานรายปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

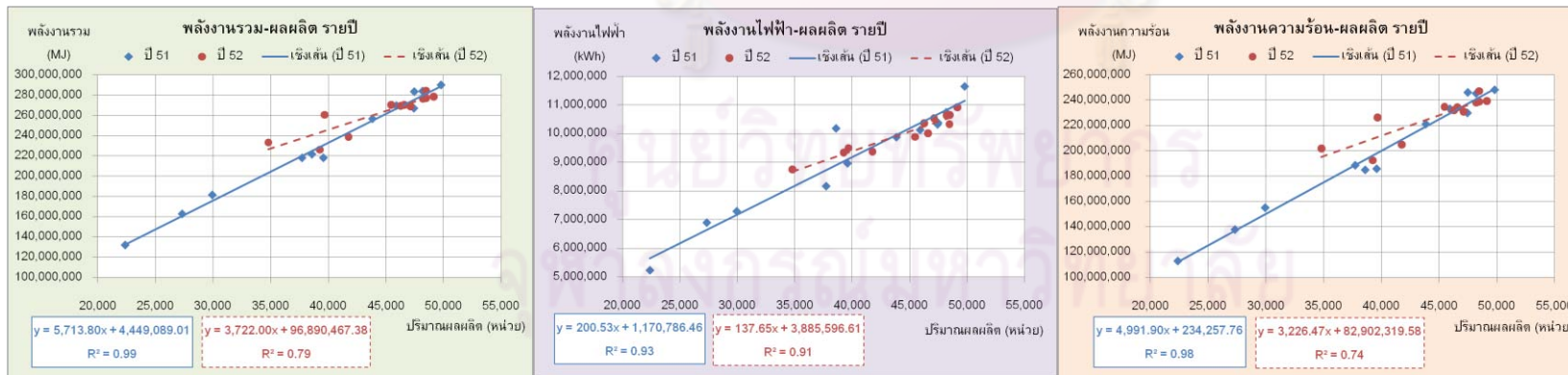
1. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33)

TSIC 33112-a ผลิตภัณฑ์: แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด หน่วย: ลบ.ม.



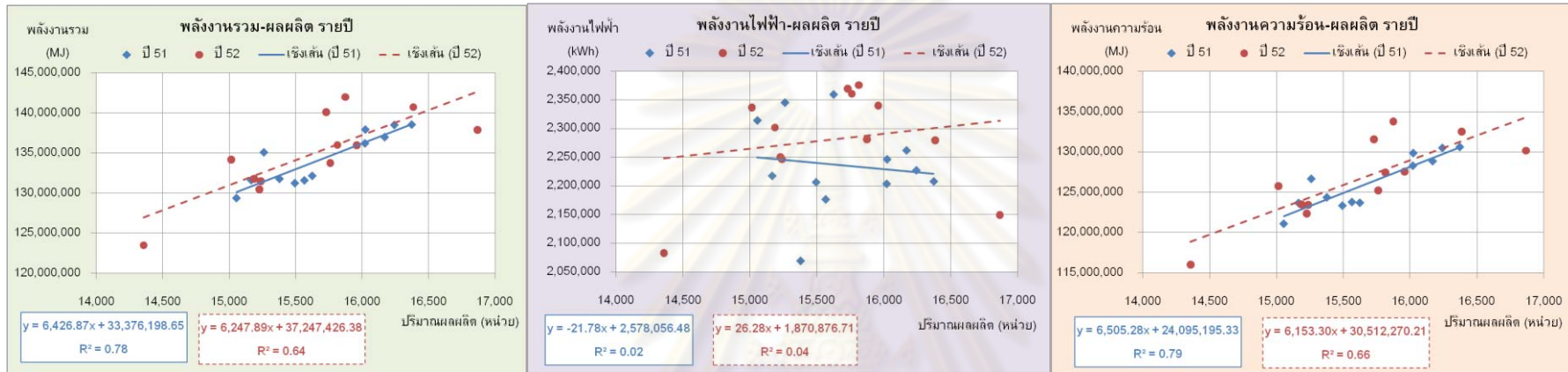
2. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่อลูมิเนียม (TSIC 36)

TSIC 36200-a ผลิตภัณฑ์: ภาชนะขวดแก้ว หน่วย: ตัน



TSIC 36200-b **ผลิตภัณฑ์:** กระดาษไฟรตสี่เหลี่ยม

หน่วย: ตัน



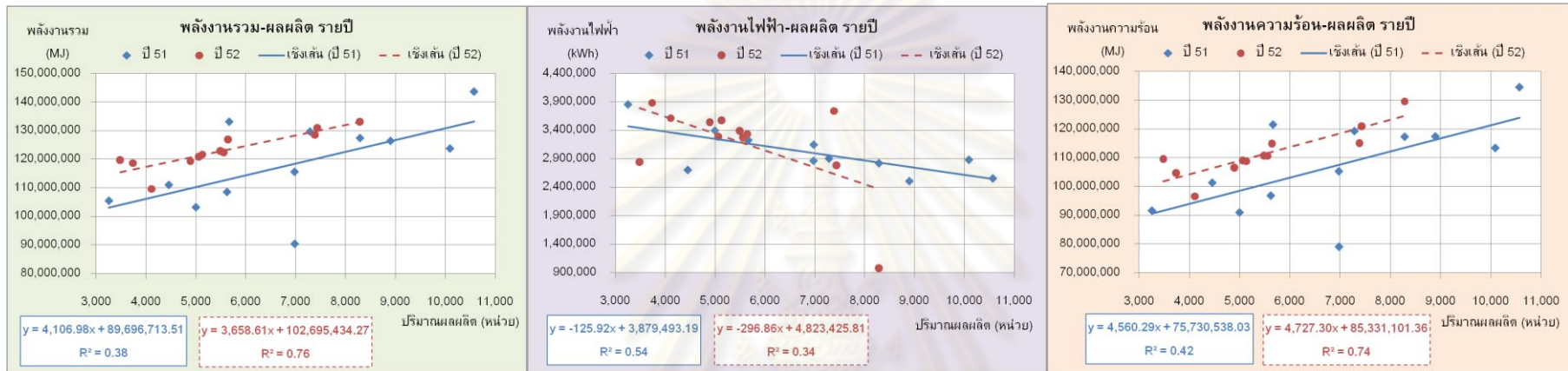
TSIC 36200-c **ผลิตภัณฑ์:** ขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



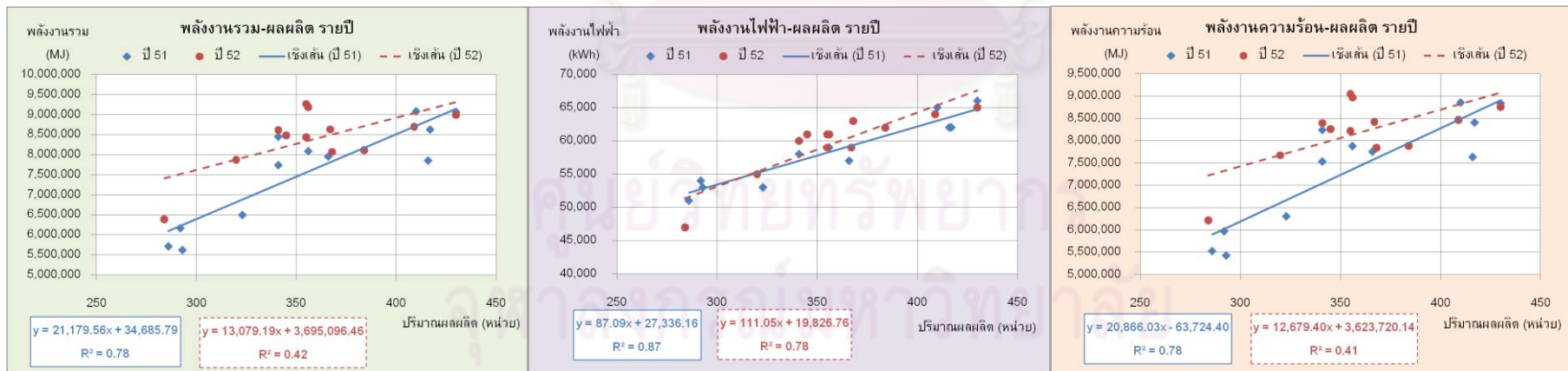
TSIC 36200-e ผลิตภัณฑ์: กระดาษแผ่นเรียบ

หน่วย: ตัน



TSIC 36200-f ผลิตภัณฑ์: ไม่มีชื่อ

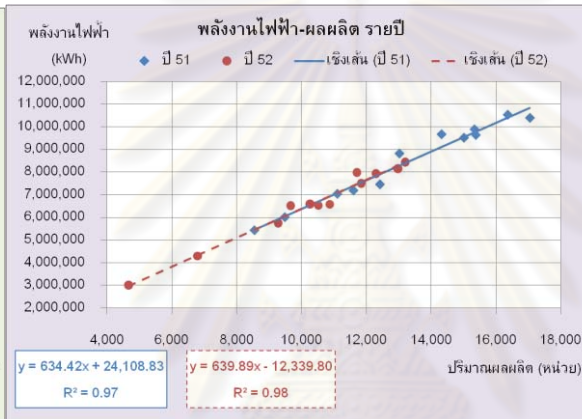
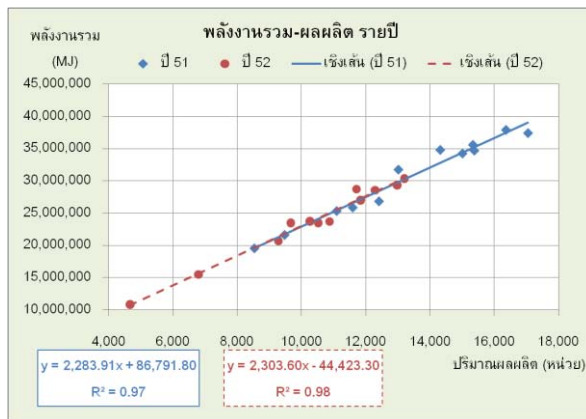
หน่วย: ตัน



3. กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37)

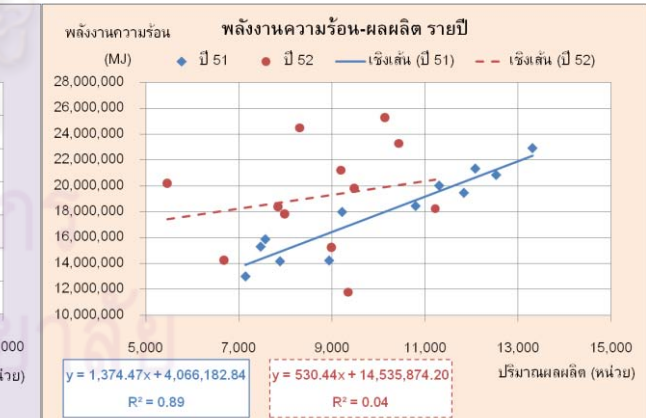
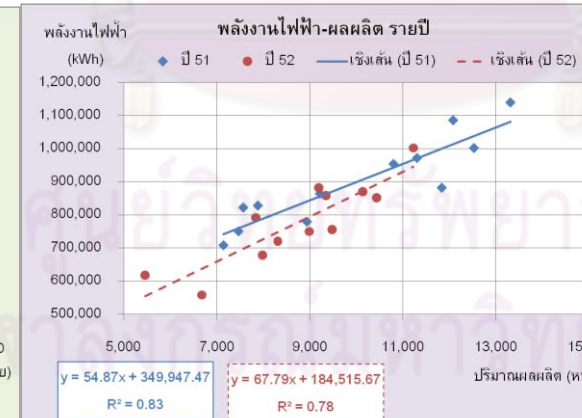
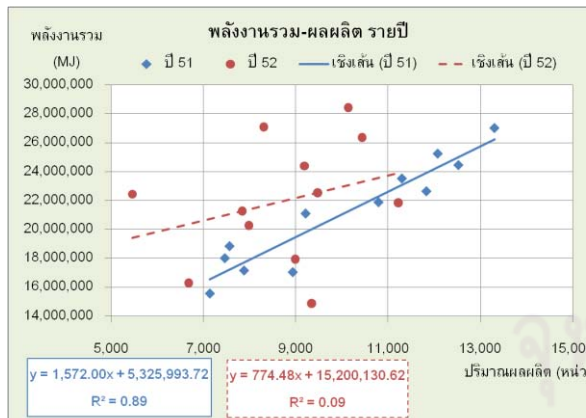
TSIC 37110-a1 ผลิตภัณฑ์: เหล็กแท่ง billet

หน่วย: ตัน



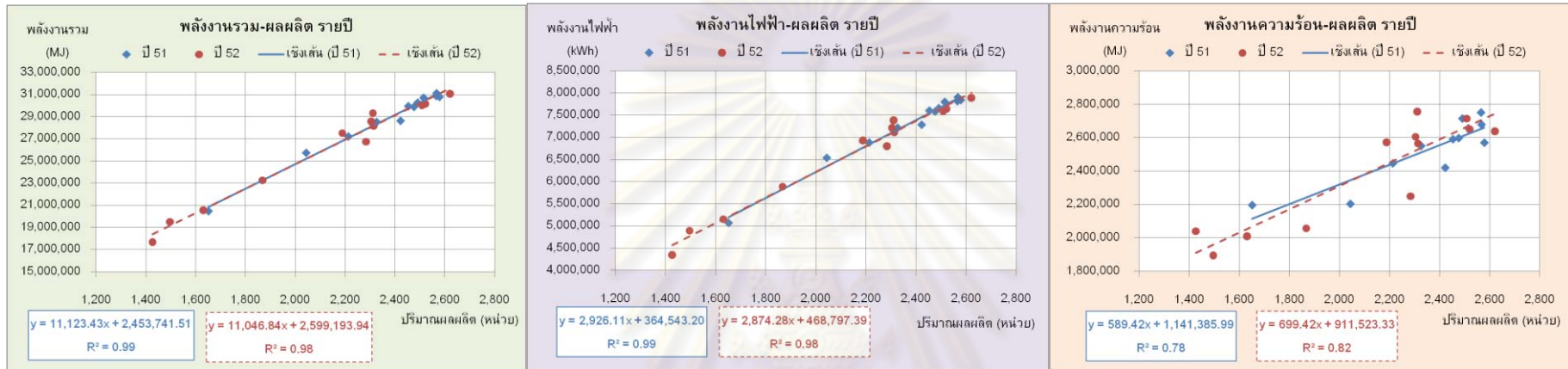
TSIC 37110-a2 ผลิตภัณฑ์: เหล็กรูปภัณฑ์รีดร้อน

หน่วย: ตัน



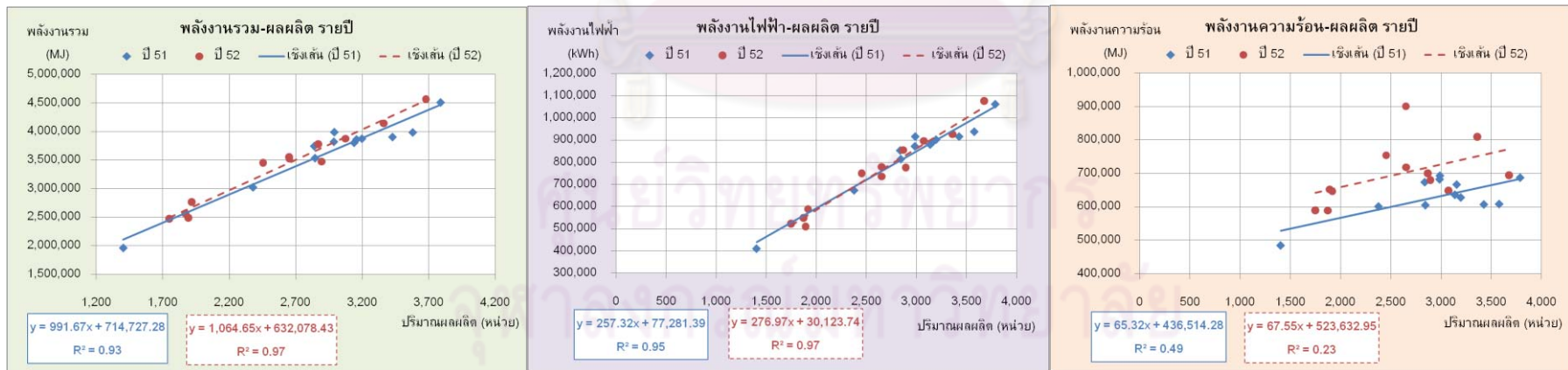
TSIC 37110-b ผลิตภัณฑ์: ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์

หน่วย: ตัน



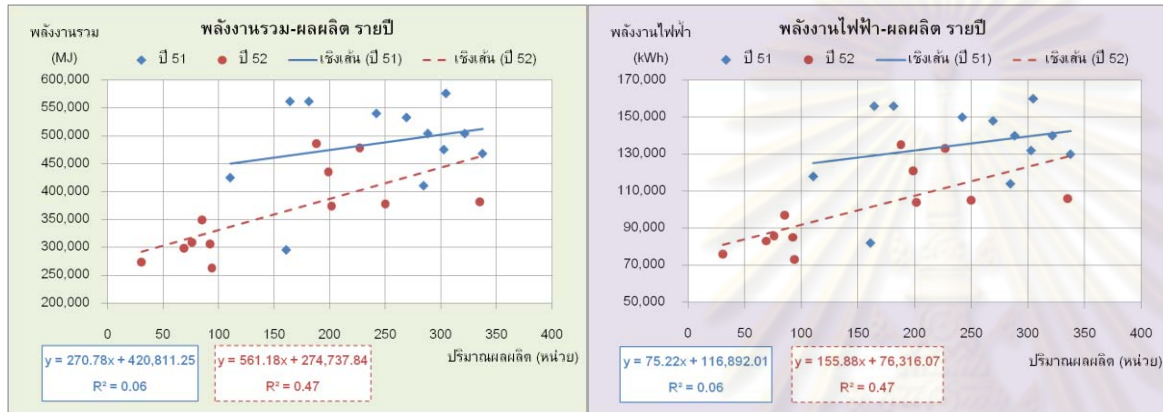
TSIC 37110-c1 ผลิตภัณฑ์: ท่อเหล็กร้อยสายไฟชุบสังกะสี

หน่วย: ตัน



TSIC 37110-c2 **ผลิตภัณฑ์:** ท่อเหล็กเคลือบพียู

หน่วย: ตัน

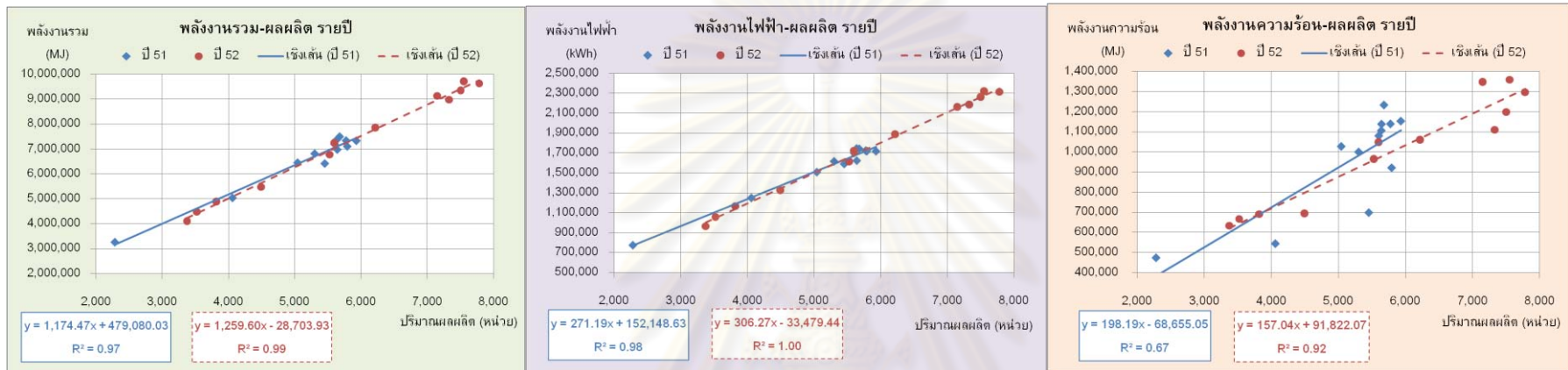


TSIC 37110-e1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire)

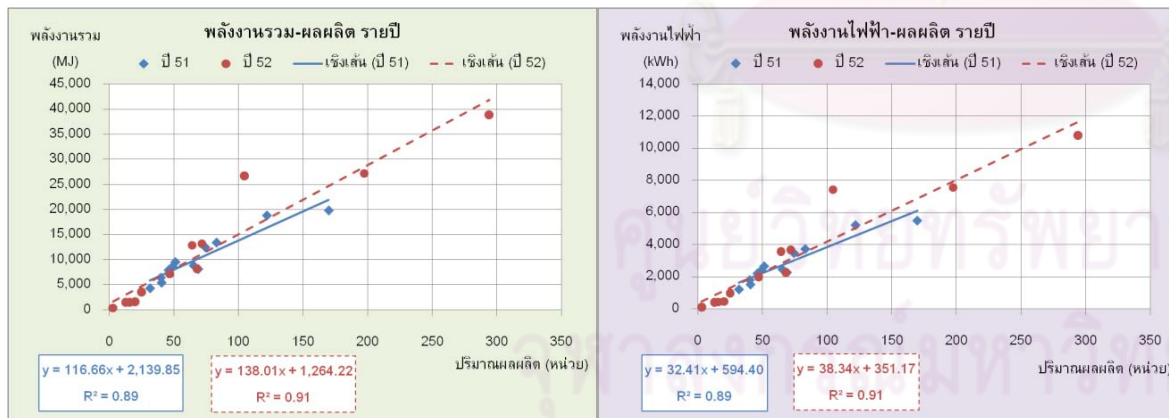
หน่วย: ตัน



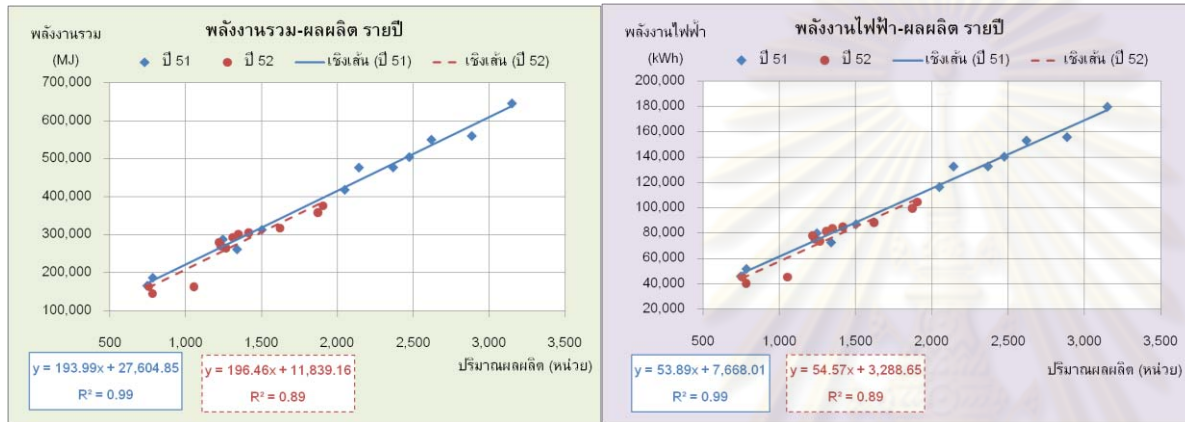
TSIC 37110-e2 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand) **หน่วย:** ตัน



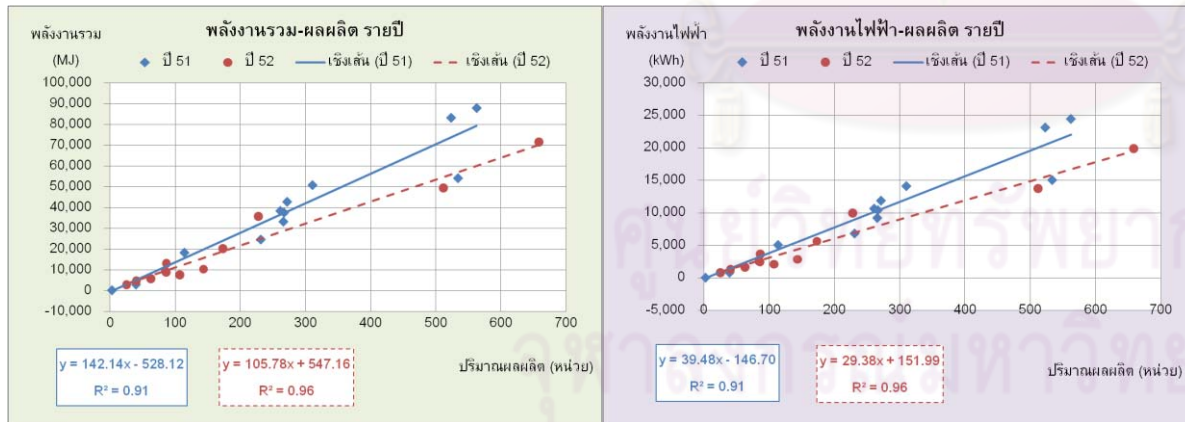
TSIC 37110-e3 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอทิลีน (PE) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-e4 **ผลิตภัณฑ์:** ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh) **หน่วย:** ตัน

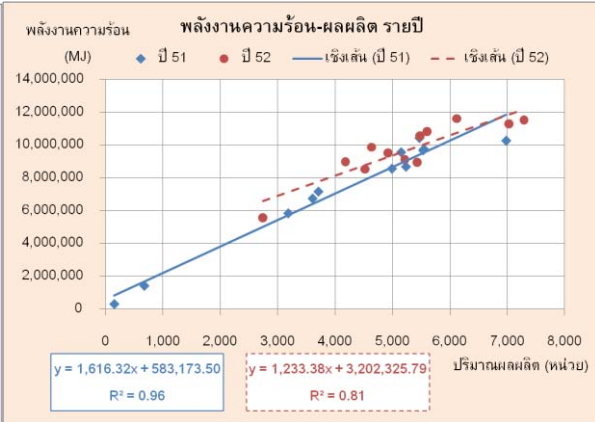
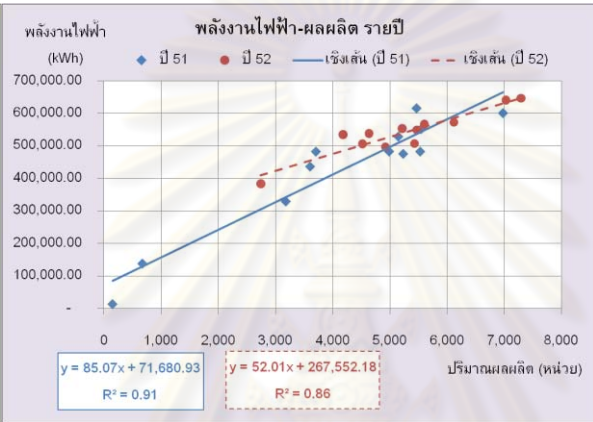
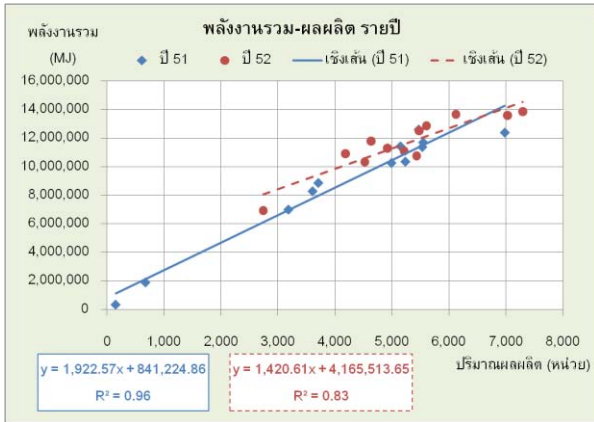


TSIC 37110-e5 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw) **หน่วย:** ตัน



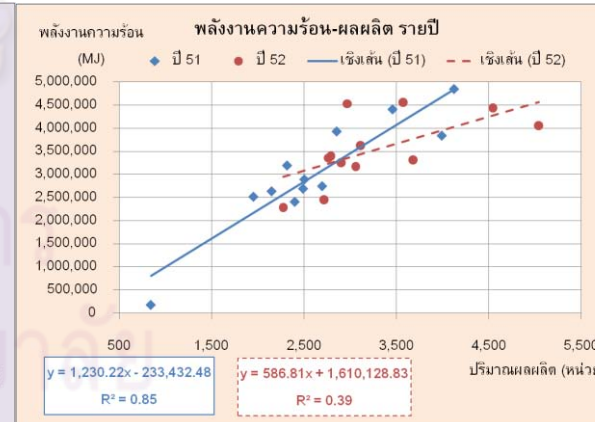
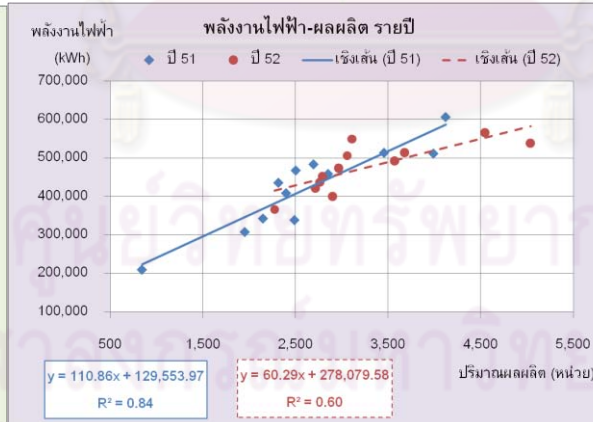
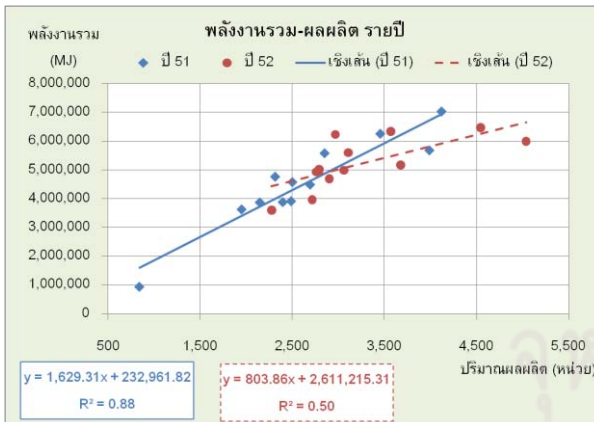
TSIC 37110-f ผลิตภัณฑ์: เหล็กเส้น

หน่วย: ตัน

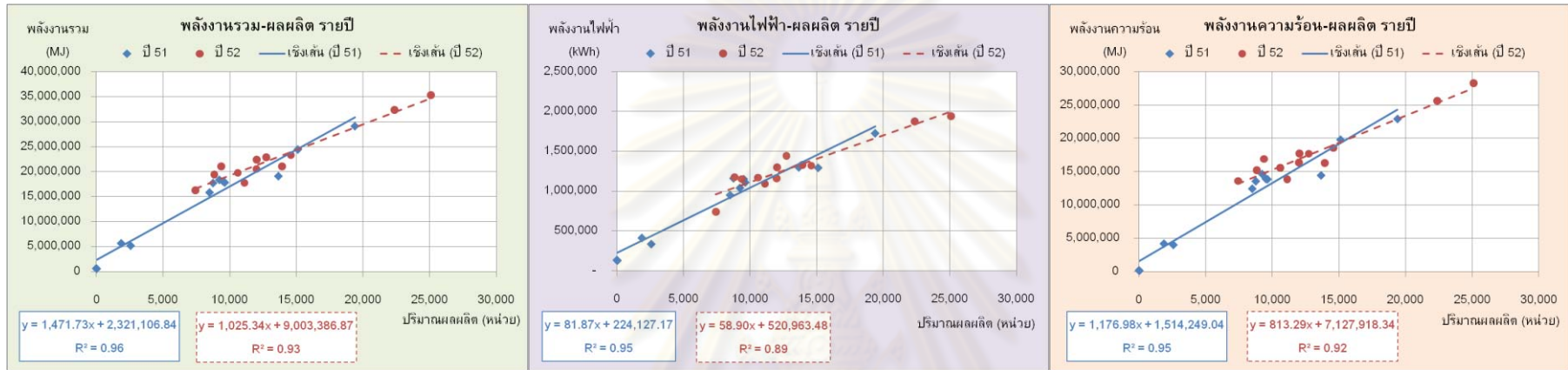


TSIC 37110-g ผลิตภัณฑ์: STEEL WIRE

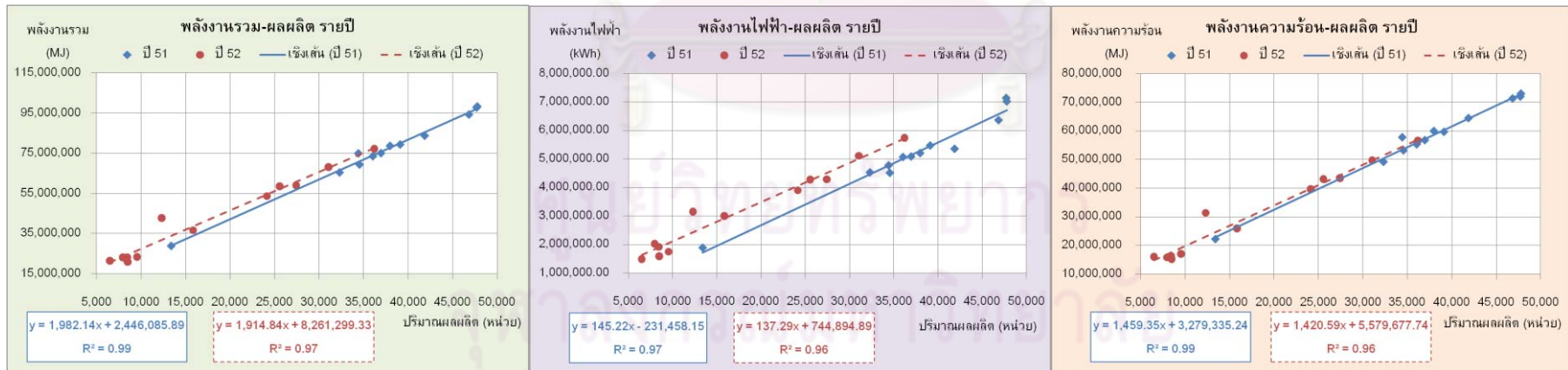
หน่วย: ตัน



TSIC 37110-i **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-j1 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS) **หน่วย:** ตัน



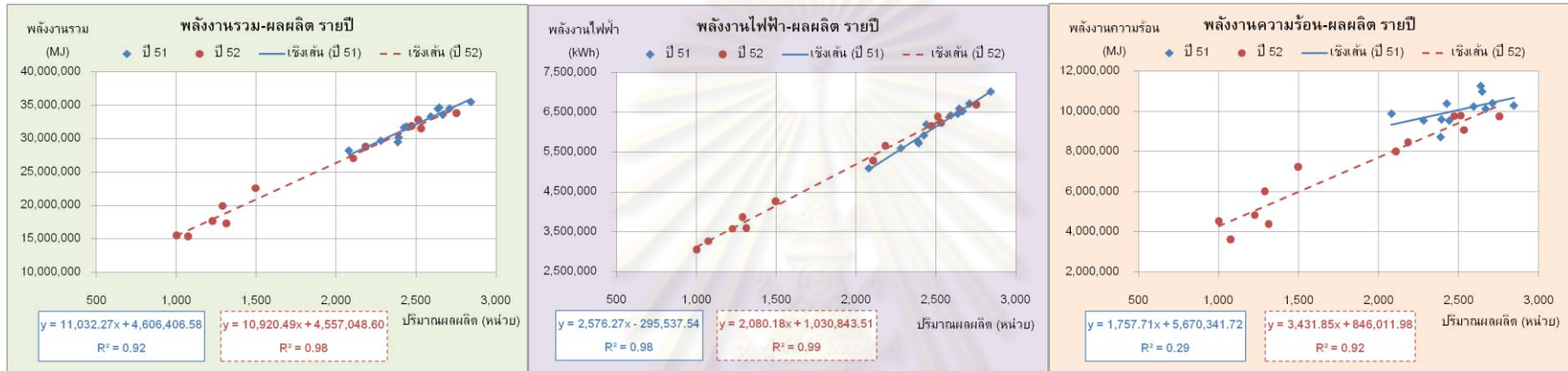
TSIC 37110-j2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบตีบุกหรือโครเมียมสำหรับอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP) **หน่วย:** ตัน



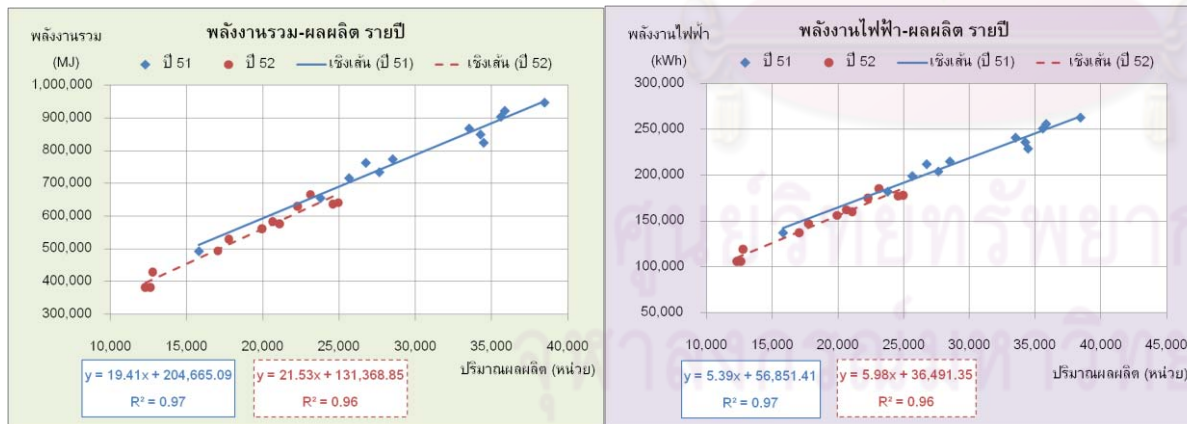
TSIC 37110-j3 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-I **ผลิตภัณฑ์:** เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์) **หน่วย:** ตัน

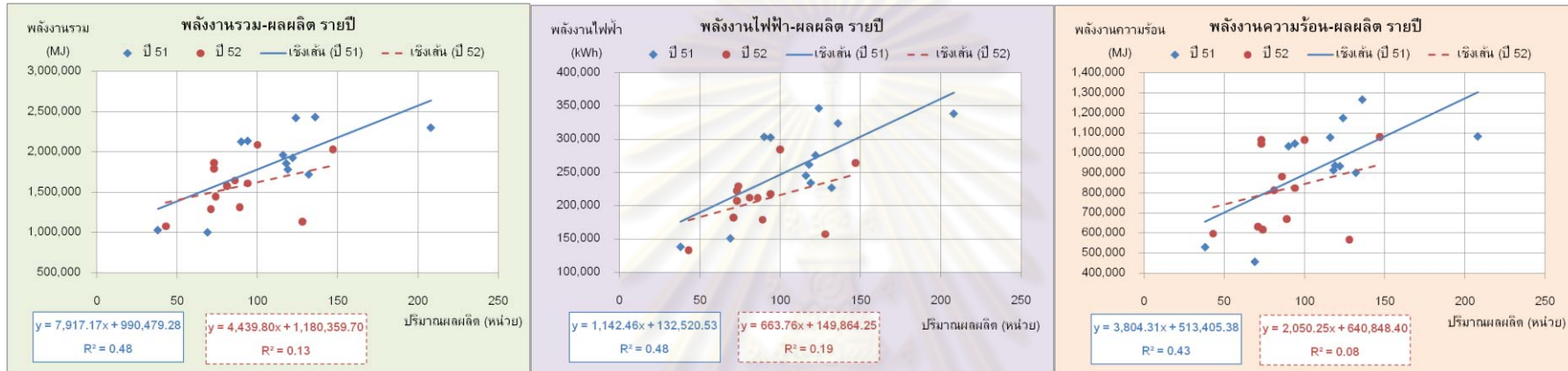


TSIC 37120-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม **หน่วย:** ตัน



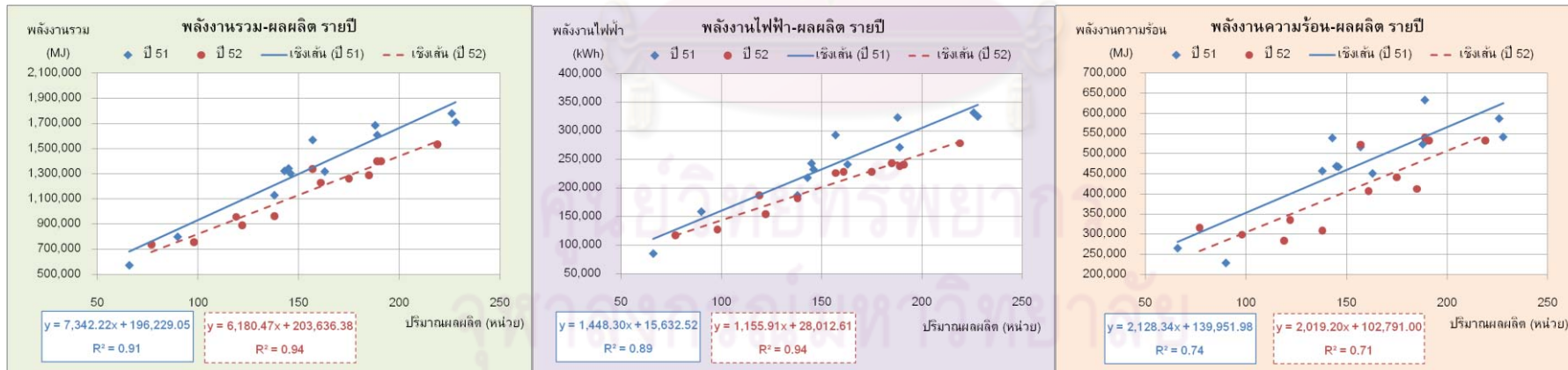
TSIC 37200-a1 **ผลิตภัณฑ์:** อดูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ดิบ)

หน่วย: ตัน



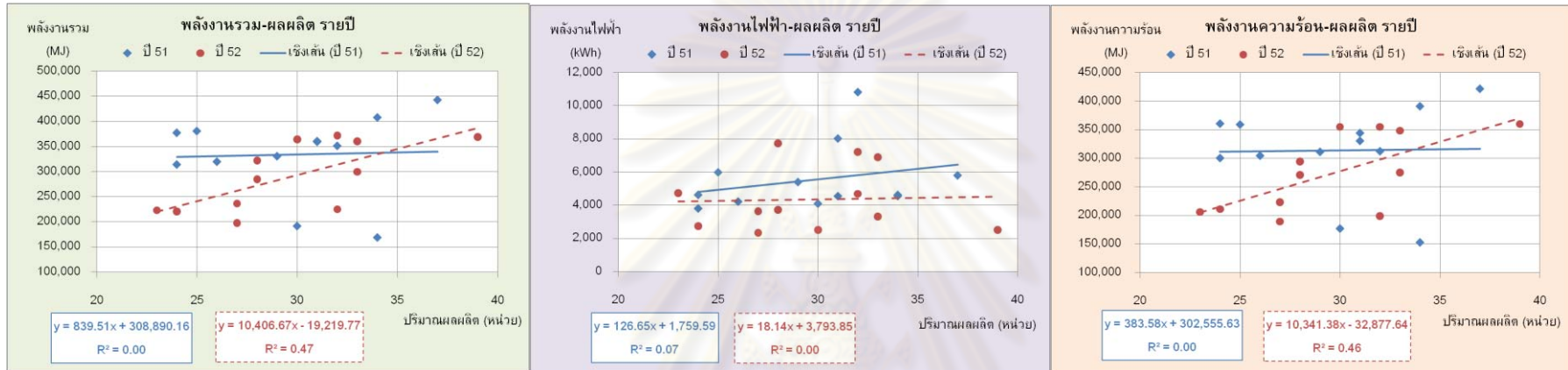
TSIC 37200-a2 **ผลิตภัณฑ์:** อดูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ชุบ)

หน่วย: ตัน

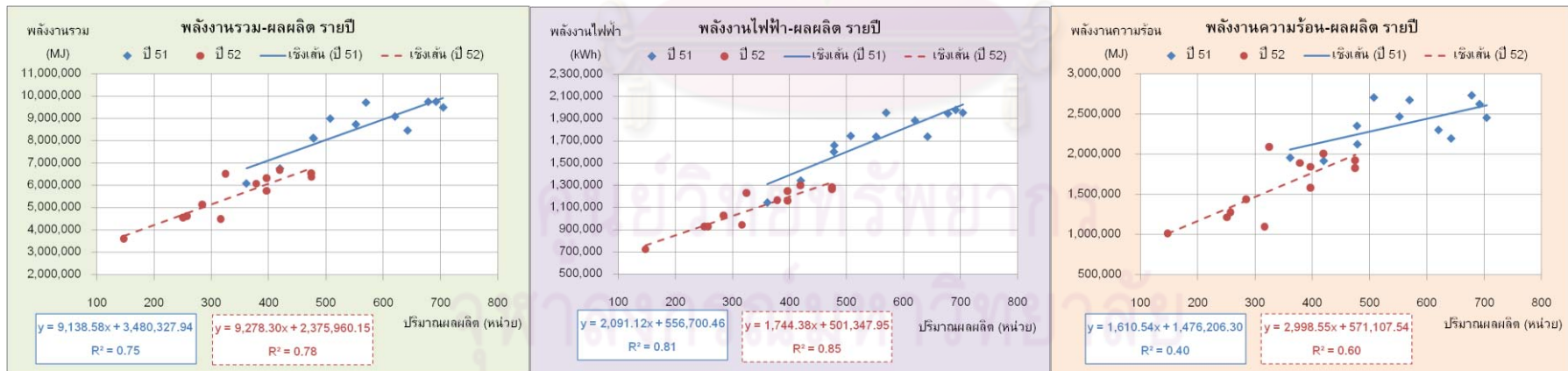


TSIC 37200-a3 **ผลิตภัณฑ์:** อดูมิเนียมเส้นหน้าตัด(พ่นสี)

หน่วย: ตัน



TSIC 37200-b **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37200-d **ผลิตภัณฑ์:** อลูมิเนียมอินกอท

หน่วย: ตัน



4. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38)

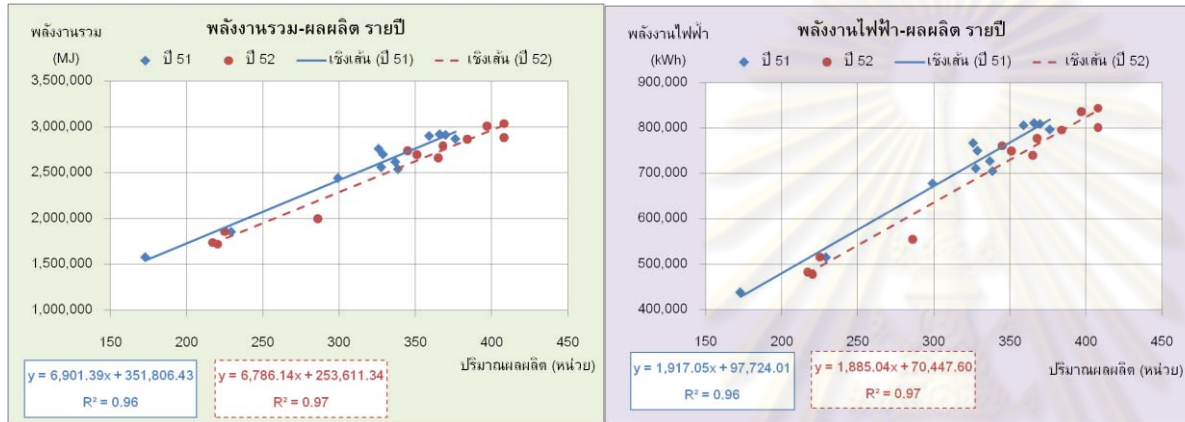
TSIC 38120-a **ผลิตภัณฑ์:** เฟอร์นิเจอร์สำนักงานจากโลหะ

หน่วย: ตัน



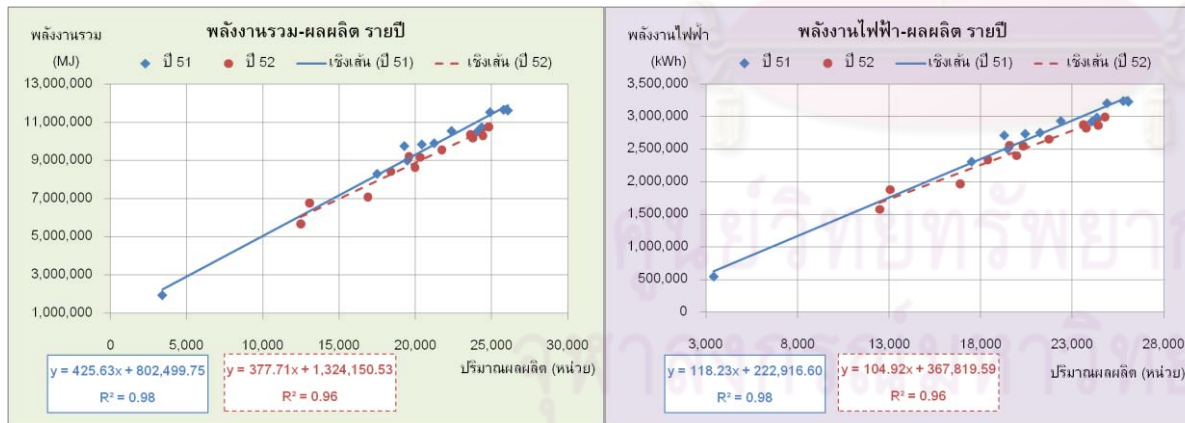
TSIC 38130-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์

หน่วย: ตัน



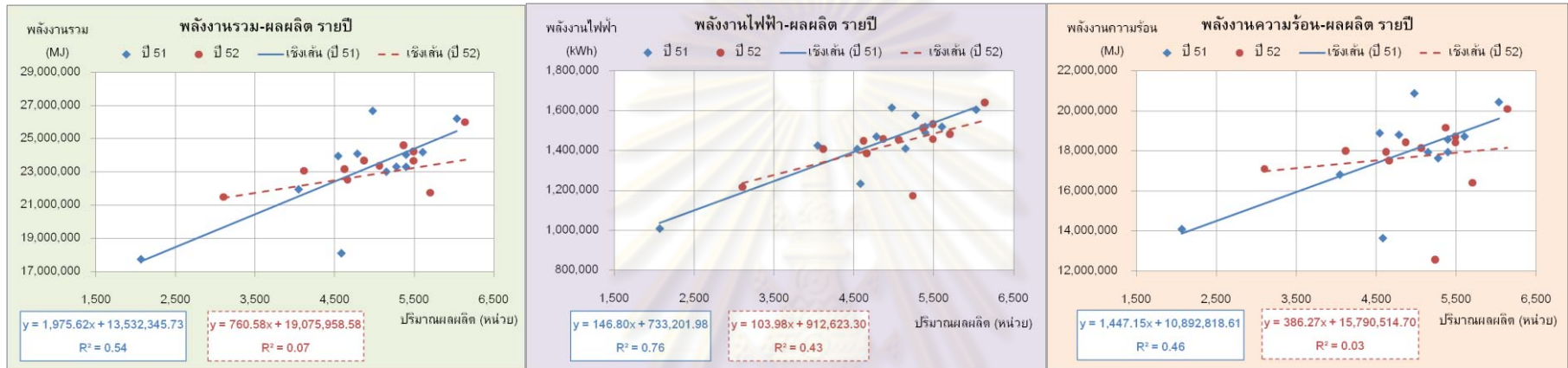
TSIC 38191-a **ผลิตภัณฑ์:** ไม่มีชื่อ

หน่วย: ตัน



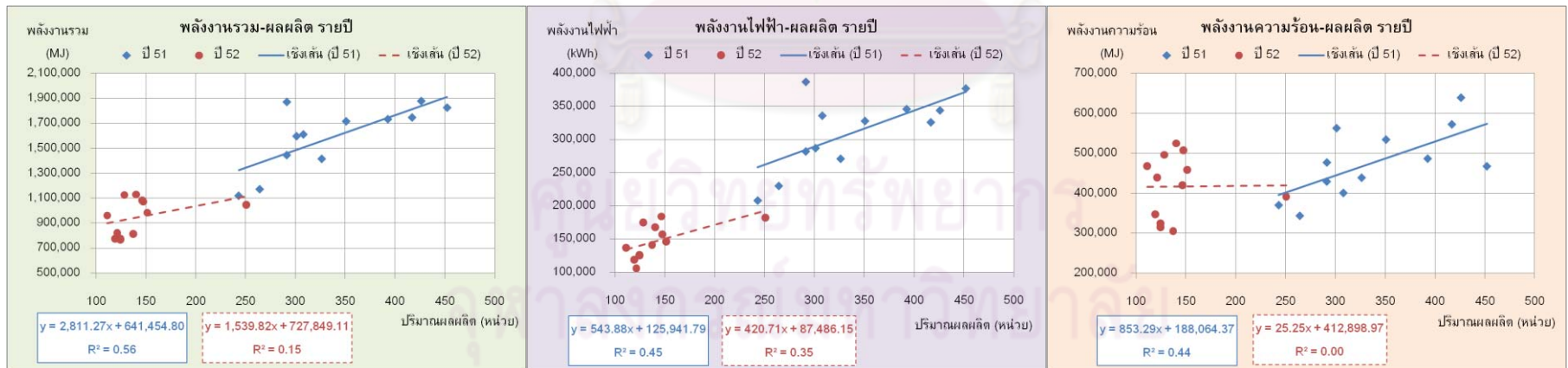
TSIC 38191-b ผลิตภัณฑ์: กระป๋องและฝา

หน่วย: ตัน



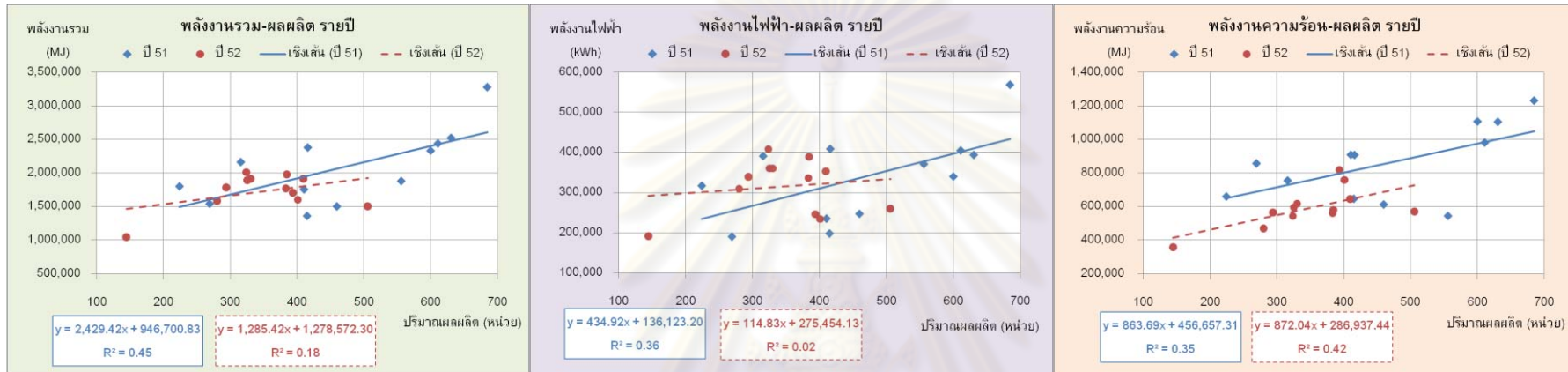
TSIC 38192-a ผลิตภัณฑ์: แป้นเกลียวหกเหลี่ยม (Heavy hexagon nut)

หน่วย: ตัน



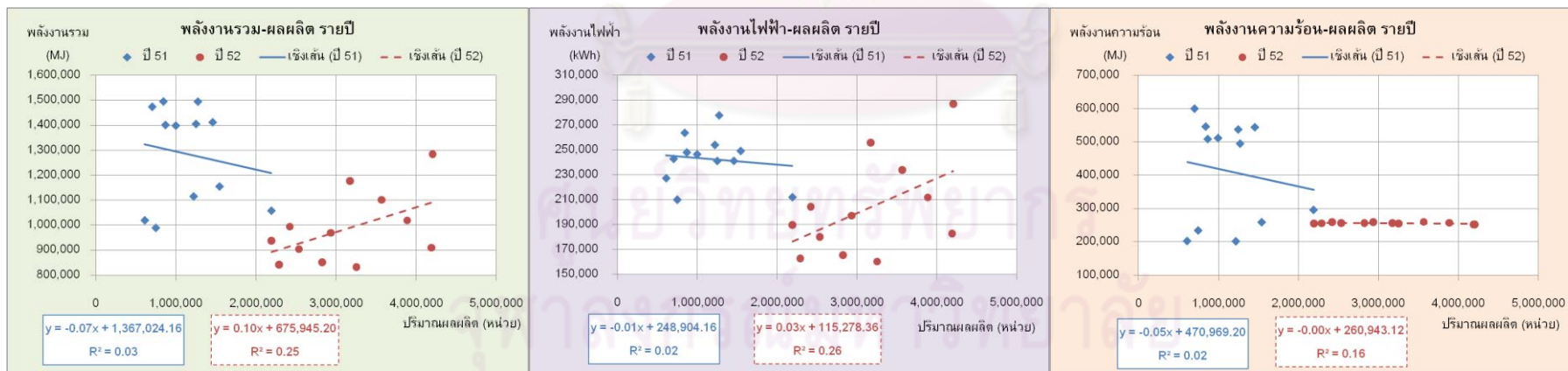
TSIC 38198-a ผลิตภัณฑ์: น้ำ-สกรู

หน่วย: ตัน



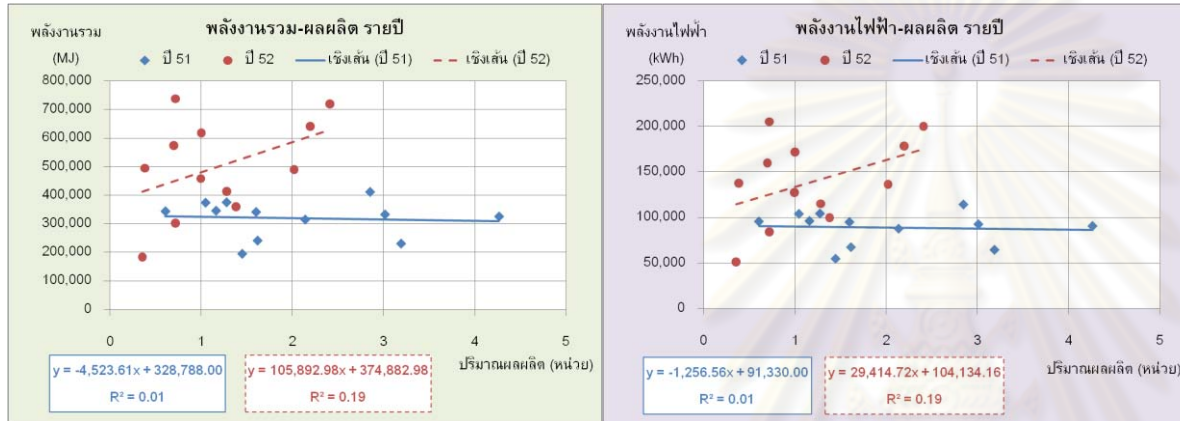
TSIC 38198-b ผลิตภัณฑ์: Starter Clutch, Valve Rotary, Cam Ring, Rotor Vane Pump, Pin Dowel, Cap&Plug, Pin Crank, Bush

หน่วย: ชิ้น



TSIC 38198-c ผลิตภัณฑ์: ทุบเค็ลือบผิวแม่พิมพ์

หน่วย: ตัน



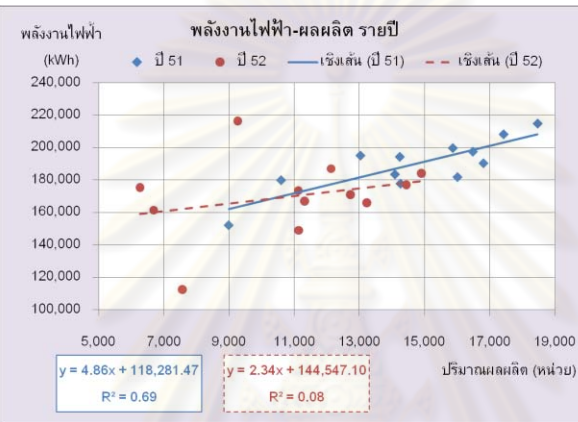
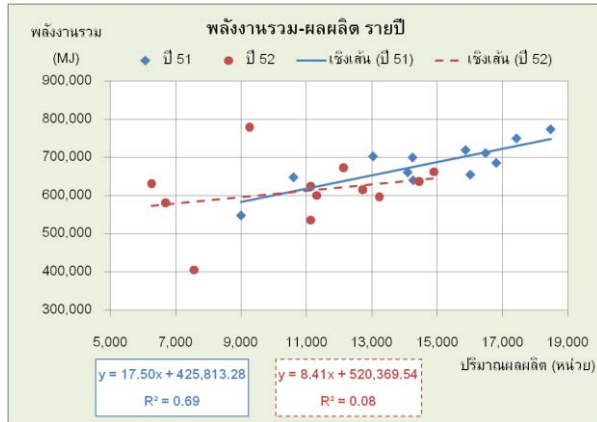
TSIC 38199-b ผลิตภัณฑ์: แกนเหล็กอ่อน Soft ferrite Core

หน่วย: ตัน



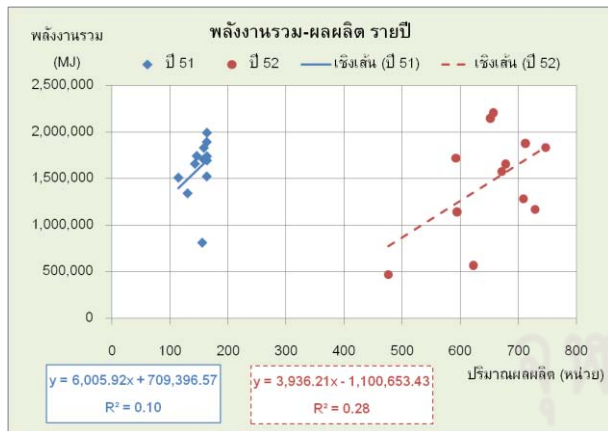
TSIC 38199-c ผลิตภัณฑ์: โลหะแผ่น

หน่วย: ตัน



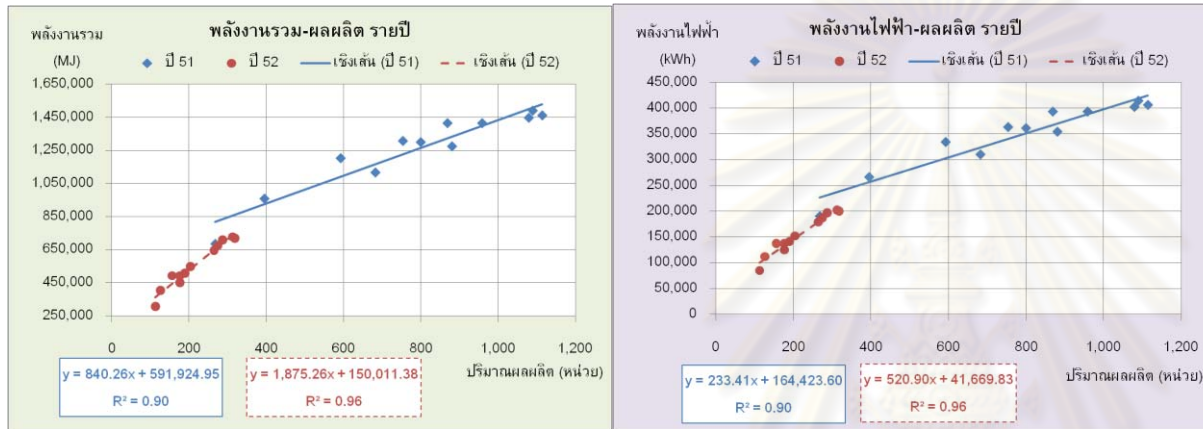
TSIC 38210-a ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนปั้มน้ำมันดีเซลในรถยนต์

หน่วย: ตัน



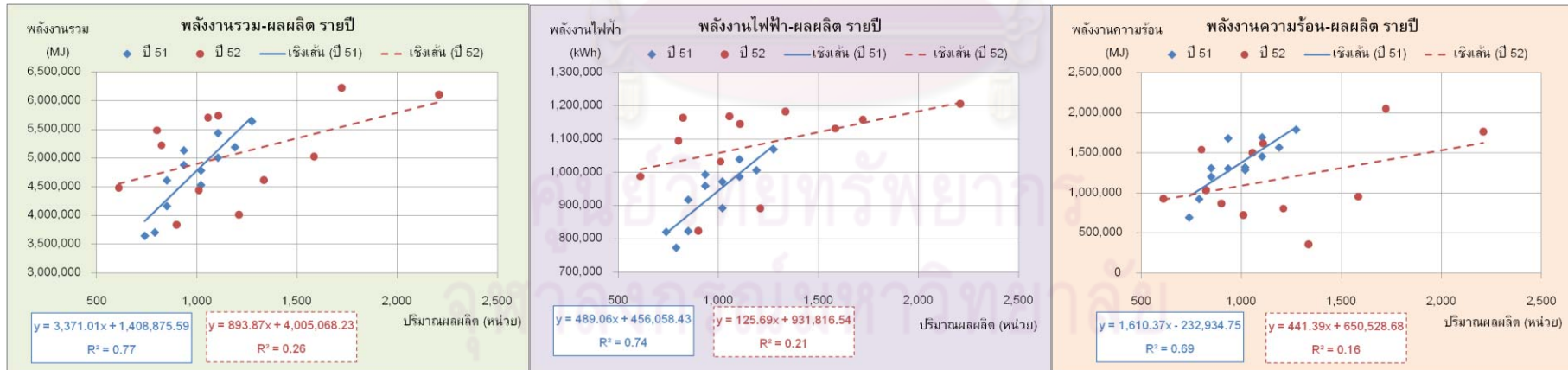
TSIC 38230-a **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์จากโลหะ

หน่วย: ตัน



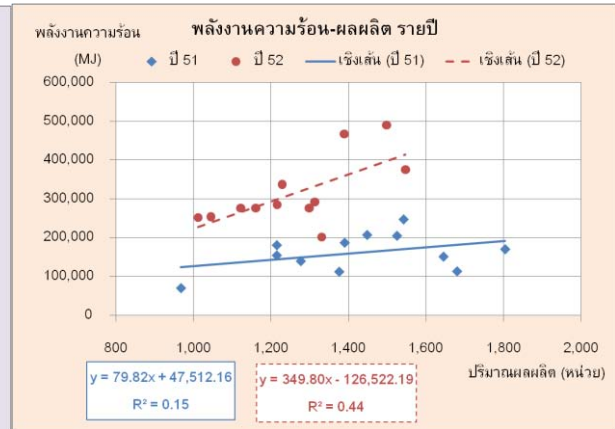
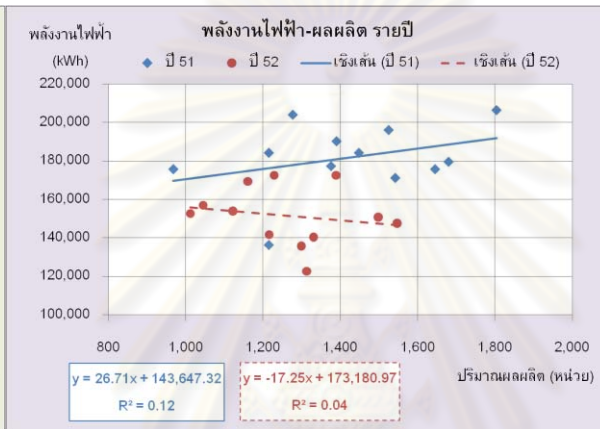
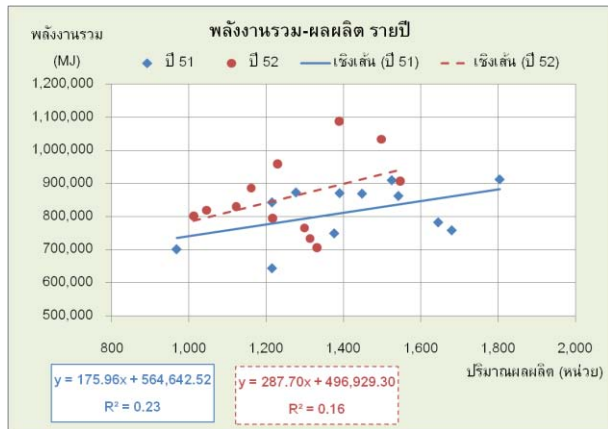
TSIC 38240-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก

หน่วย: ตัน



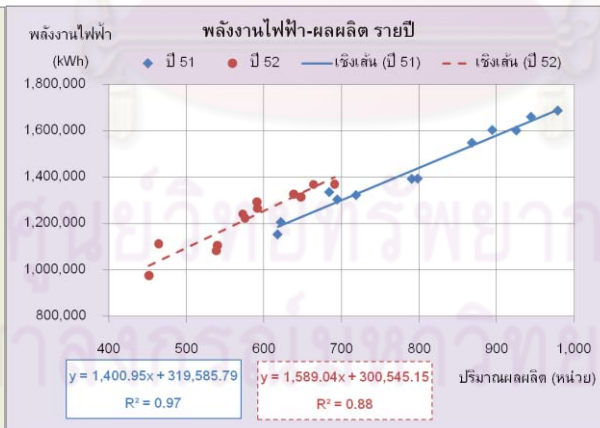
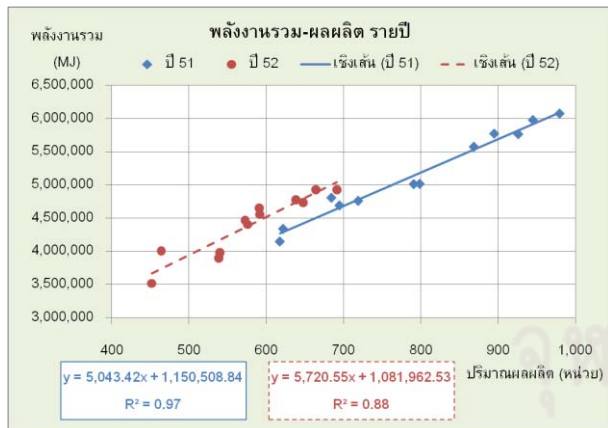
TSIC 38291-a **ผลิตภัณฑ์:** ประกอบเครื่องซักผ้า

หน่วย: เครื่อง



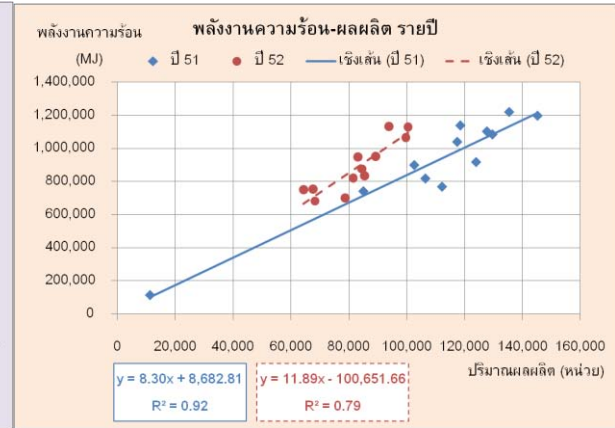
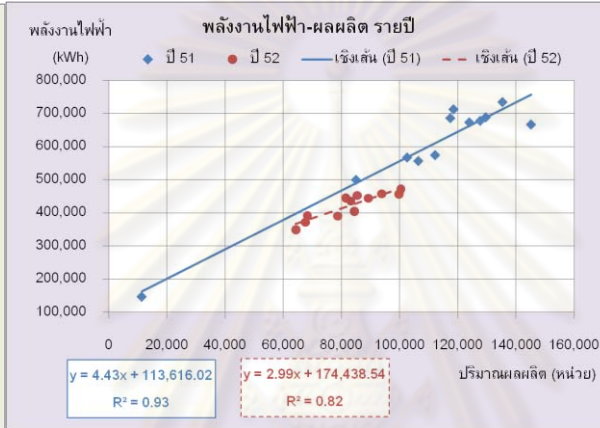
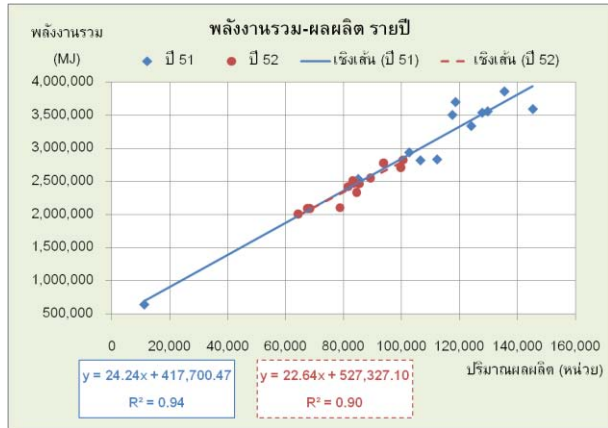
TSIC 38292-a **ผลิตภัณฑ์:** พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)

หน่วย: ตัน



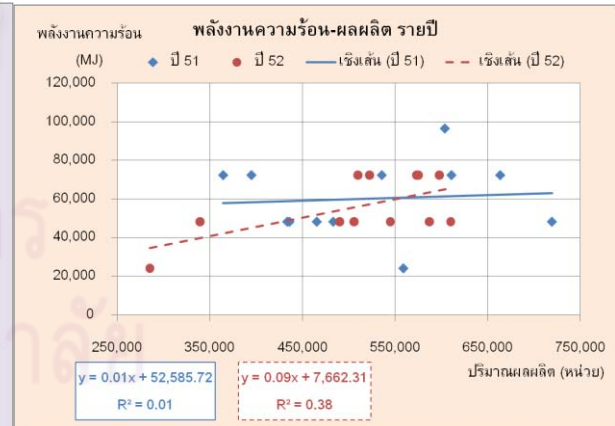
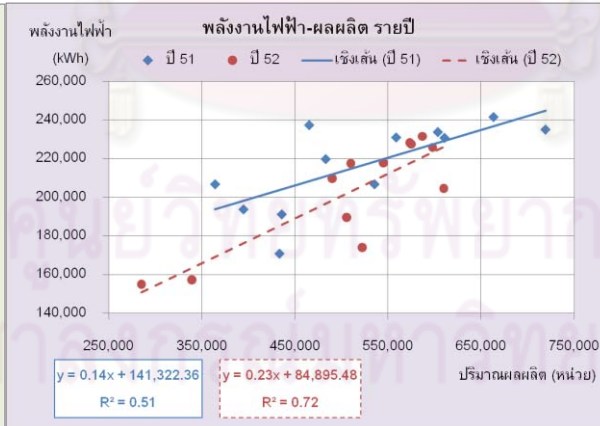
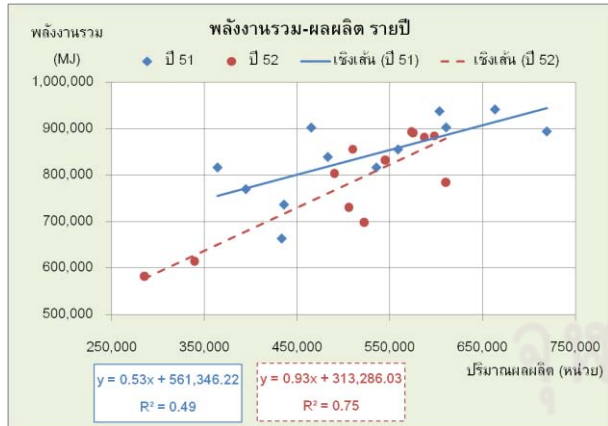
TSIC 38292-b ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



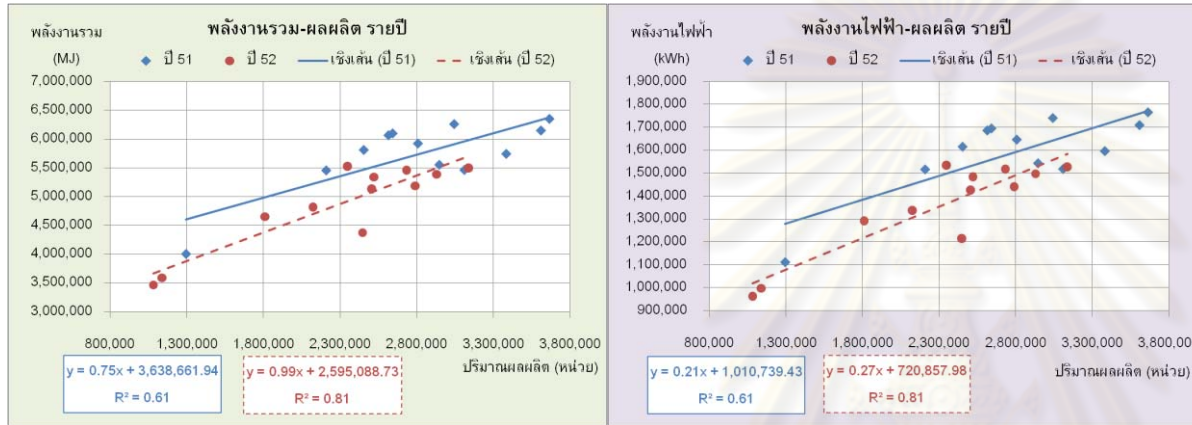
TSIC 38299-a ผลิตภัณฑ์: Rocker Arm

หน่วย: ชิ้น



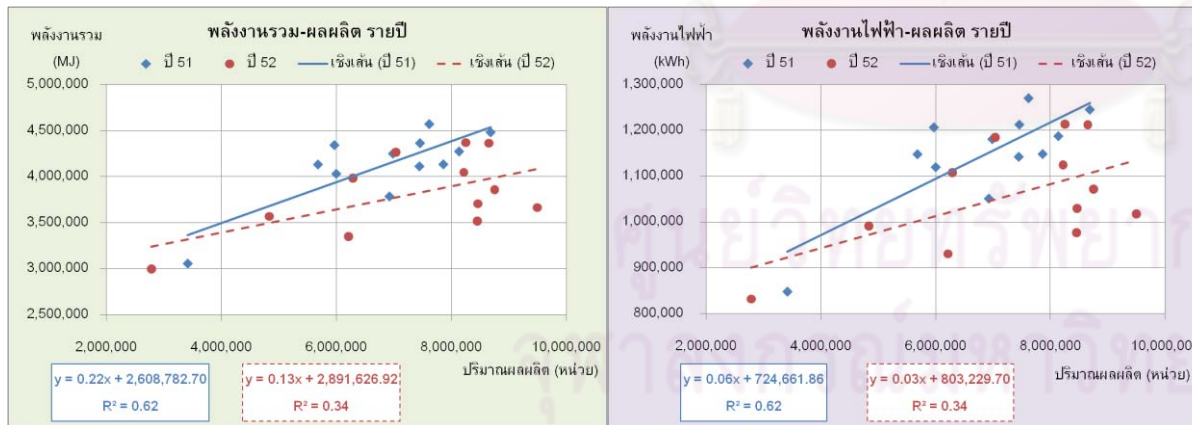
TSIC 38320-b **ผลิตภัณฑ์:** แผ่นวงจรีเล็กทรอนิกส์

หน่วย: ชิ้น

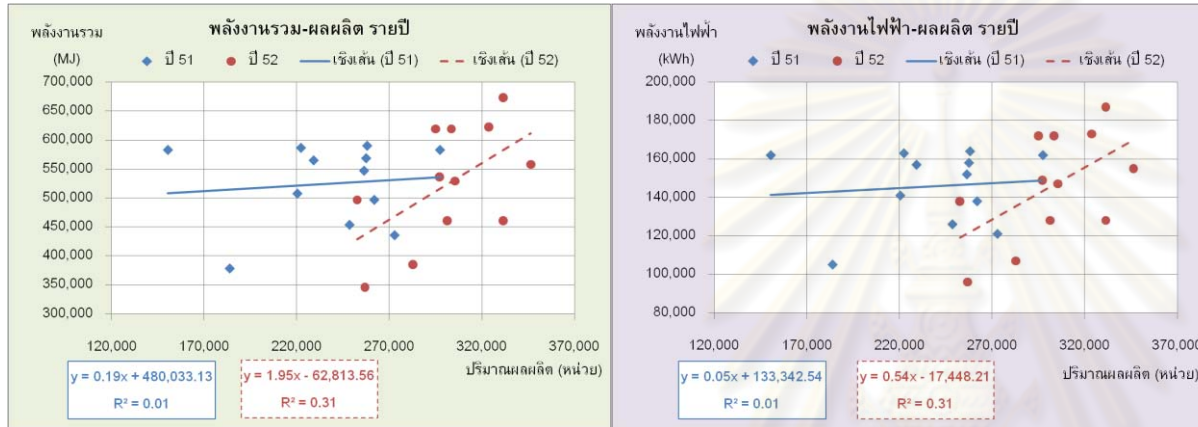


TSIC 38320-c **ผลิตภัณฑ์:** Bearing สำหรับ Spindle Motor (Bearphite Unit)

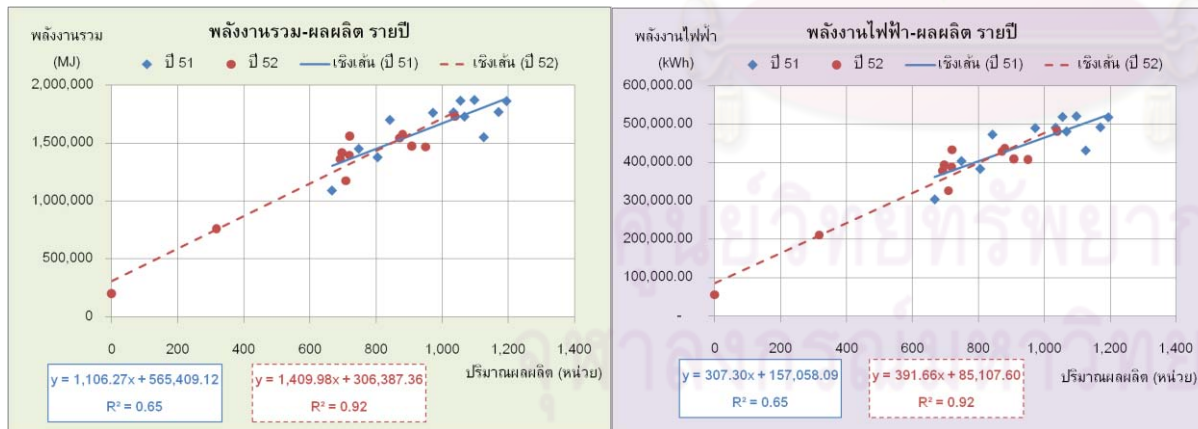
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38391-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (มอเตอร์สตาร์ทเตอร์, อุปกรณ์ไฟฟ้า) **หน่วย:** ชิ้น

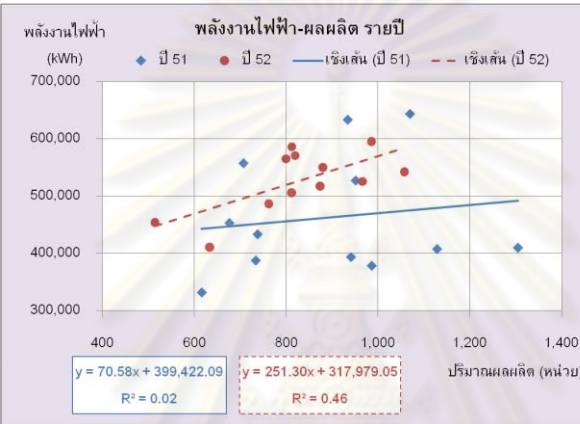
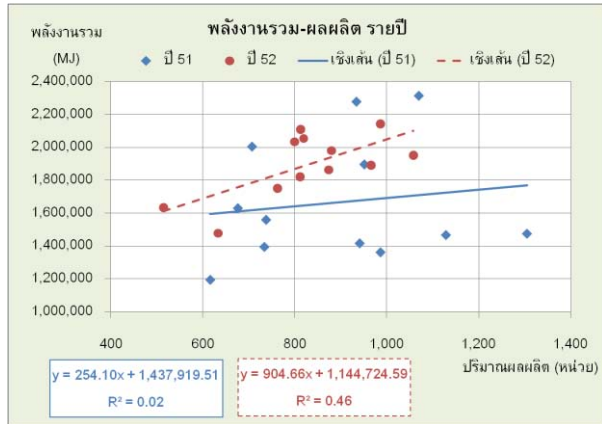


TSIC 38391-b1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร **หน่วย:** ตัน



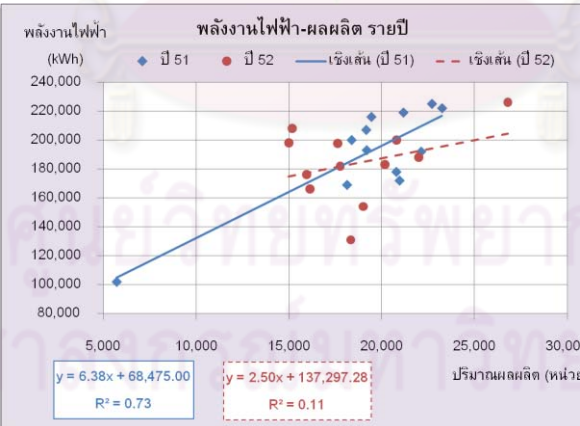
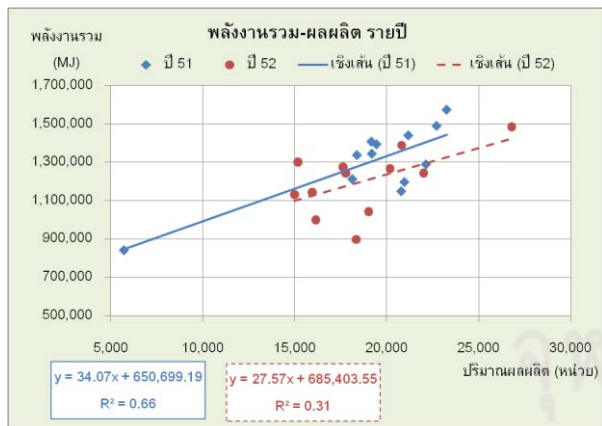
TSIC 38391-b2 **ผลิตภัณฑ์:** สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน

หน่วย: ตัน

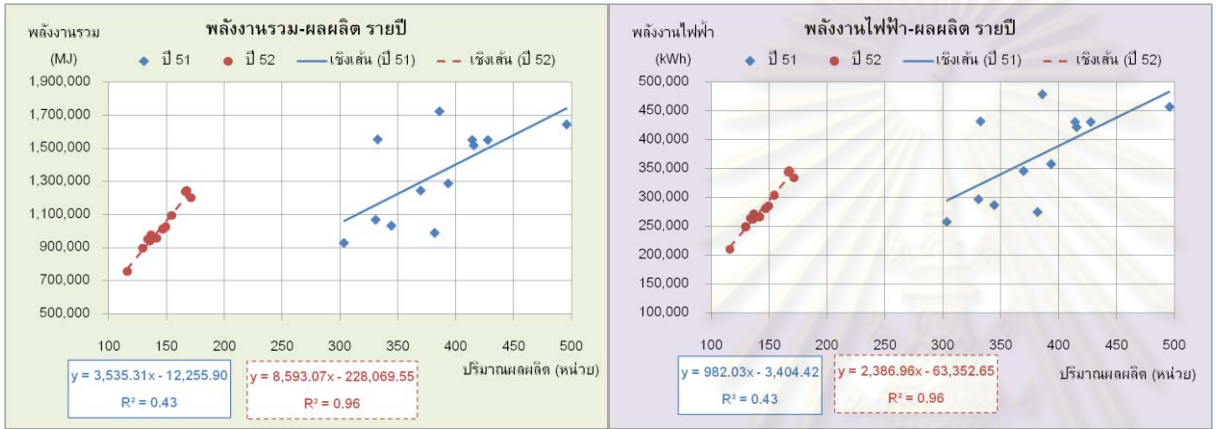


TSIC 38392-a **ผลิตภัณฑ์:** แบตเตอรี่รถยนต์

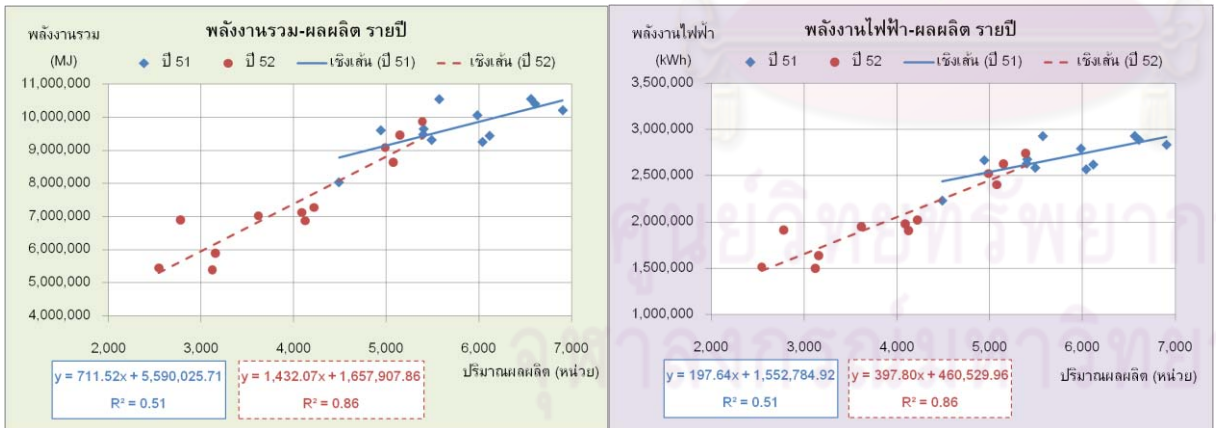
หน่วย: ลูก



TSIC 38411-a **ผลิตภัณฑ์:** งานซ่อมแซมเรือและงานต่อเรือ **หน่วย:** ตัน

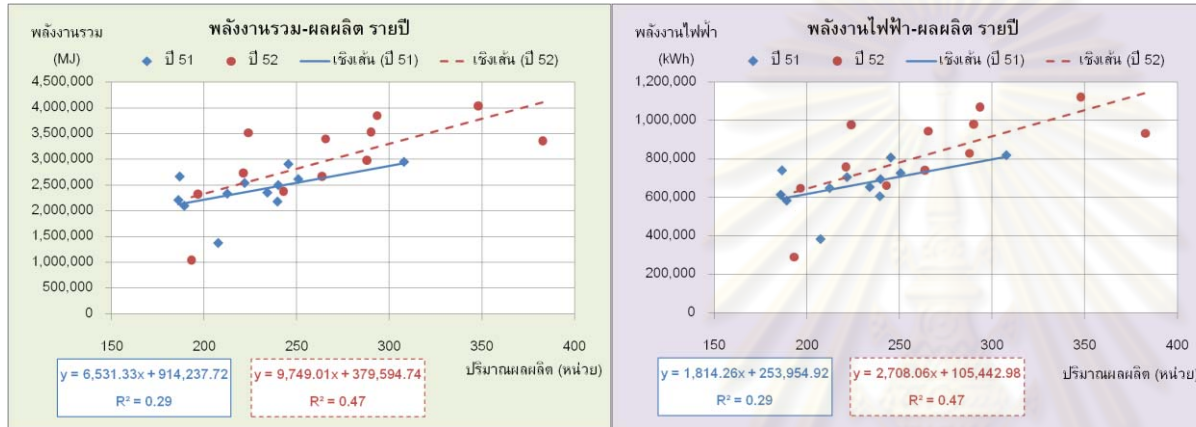


TSIC 38431-a1 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ปัมป์ขึ้นรูปและเชื่อมประกอบ) **หน่วย:** ตัน



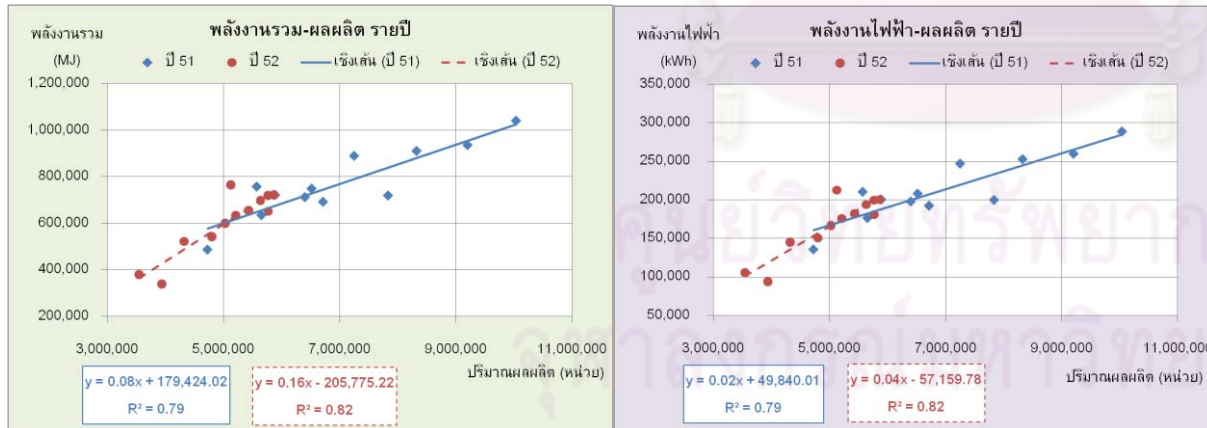
TSIC 38431-a2 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ฉีดพลาสติก)

หน่วย: ตัน

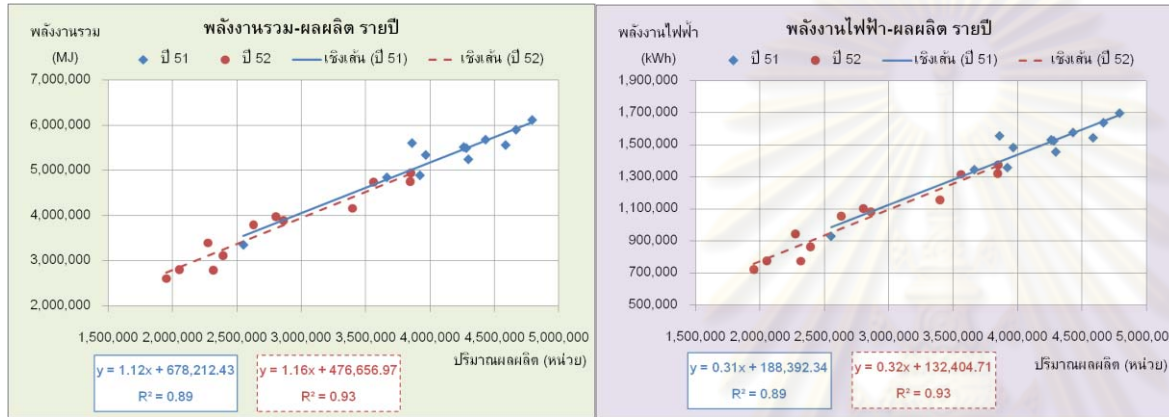


TSIC 38431-b **ผลิตภัณฑ์:** ชุดสายไฟประกอบ

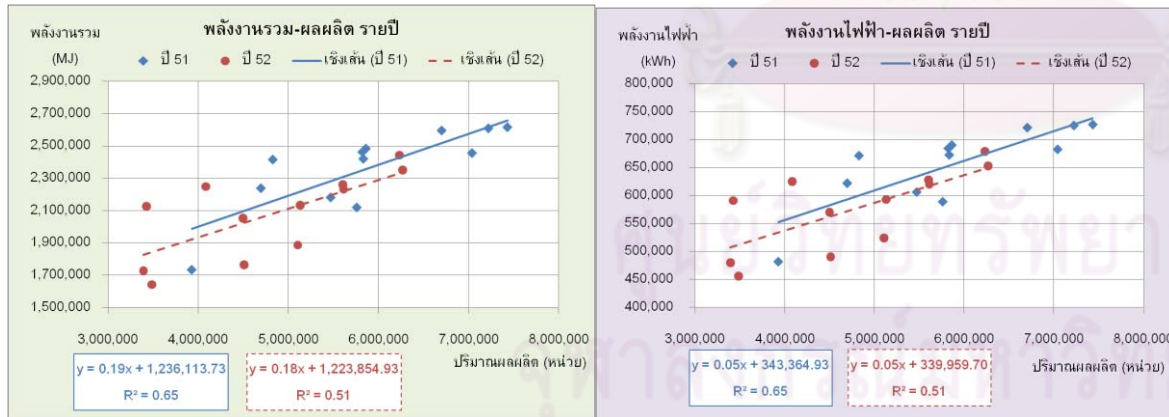
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38439-b **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending) **หน่วย:** ตัน

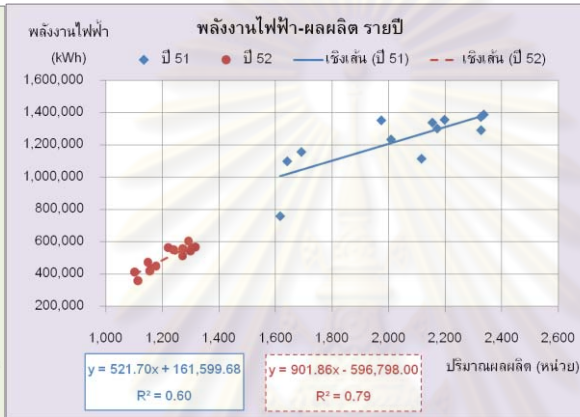
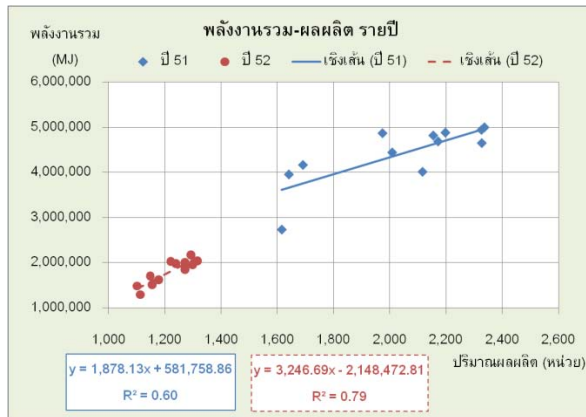


TSIC 38439-c **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนรถยนต์ **หน่วย:** ชิ้น



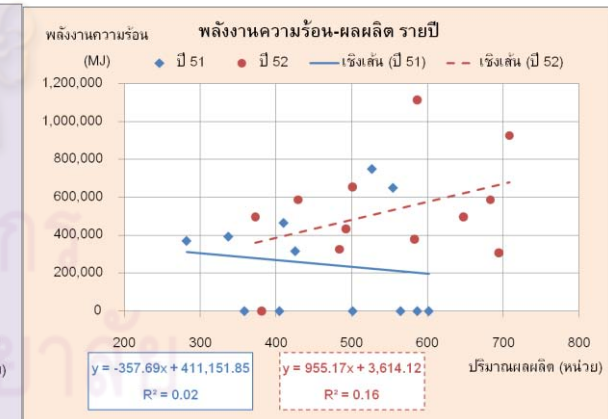
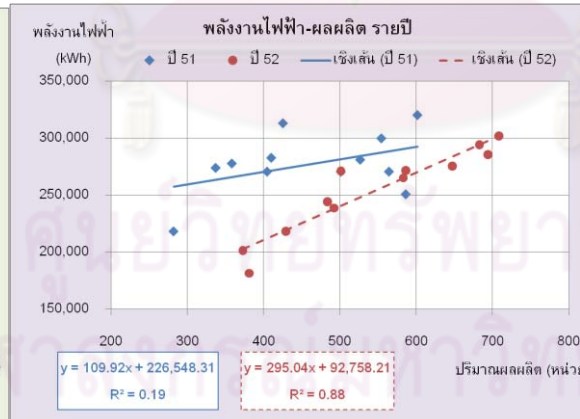
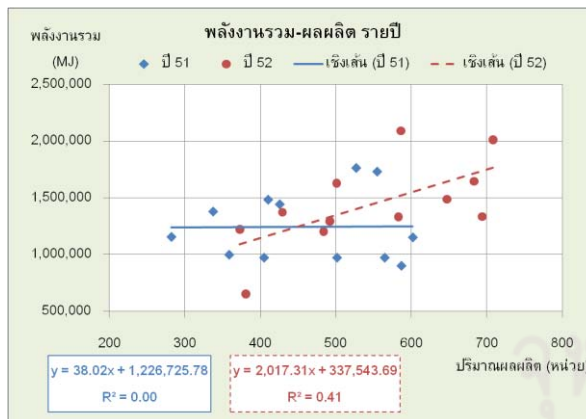
TSIC 38439-d **ผลิตภัณฑ์:** สายไฟในรถยนต์

หน่วย: kmh



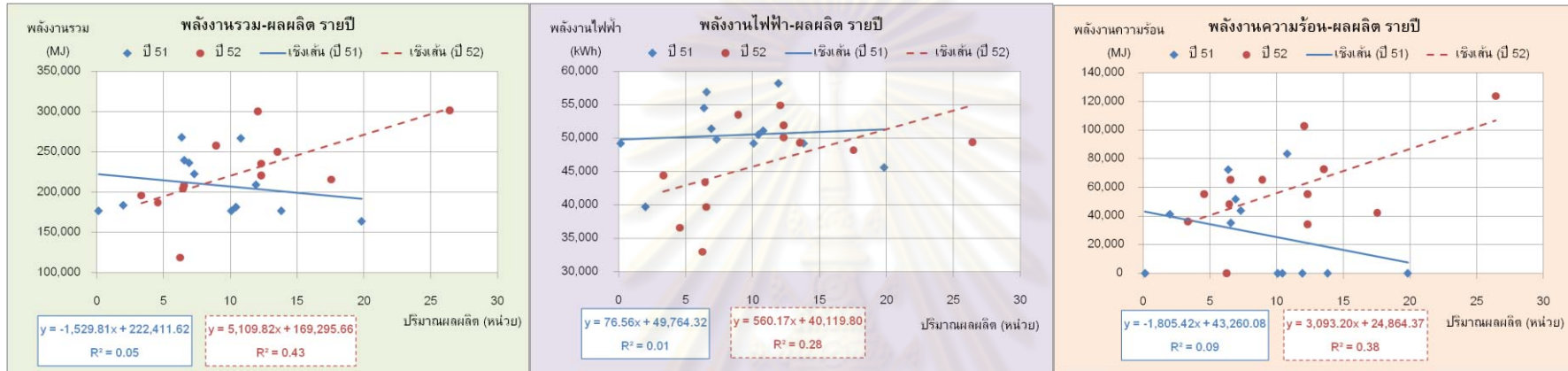
TSIC 38439-f1 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนประกอบรถยนต์

หน่วย: ตัน



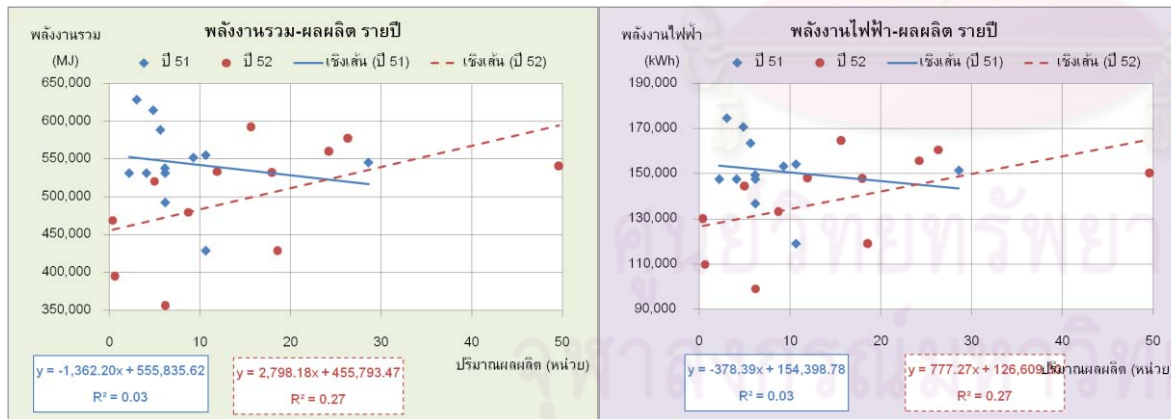
TSIC 38439-f2 **ผลิตภัณฑ์:** หม้อน้ำรถยนต์

หน่วย: ตัน



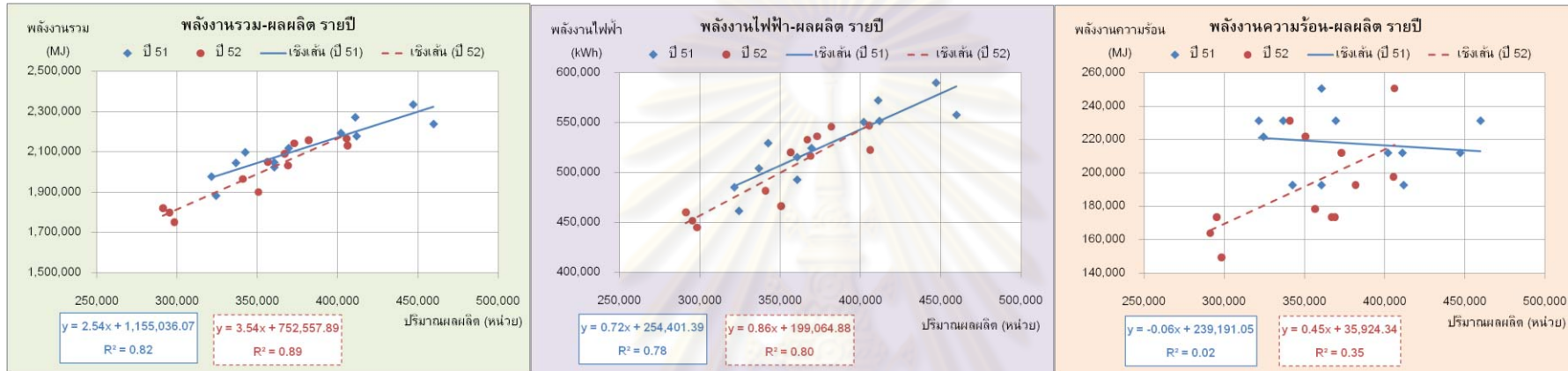
TSIC 38439-f3 **ผลิตภัณฑ์:** แม่พิมพ์

หน่วย: ตัน



TSIC 38439-g ผลิตภัณฑ์: ผ้าเบรครถยนต์

หน่วย: ชิ้น



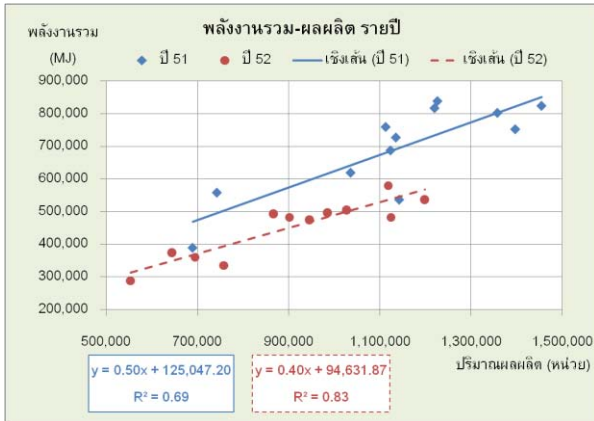
TSIC 38439-i ผลิตภัณฑ์: เพล่าข้าง

หน่วย: ชิ้น



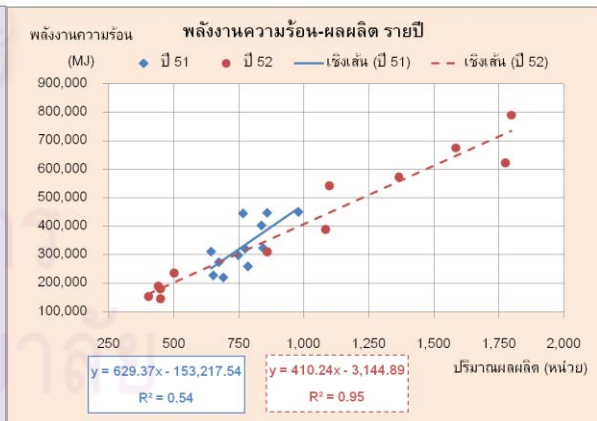
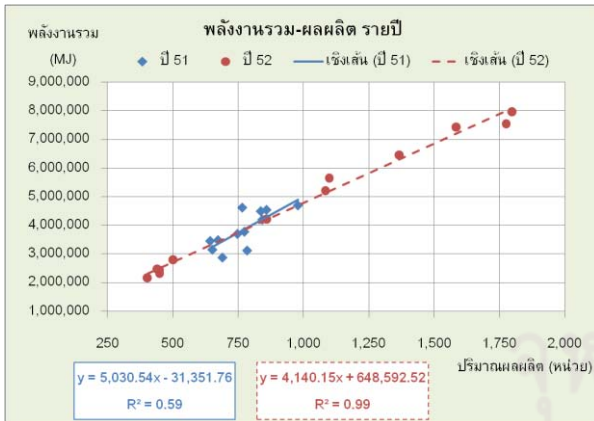
TSIC 38439-j ผลิตภัณฑ์: PRESS PART

หน่วย: ชิ้น



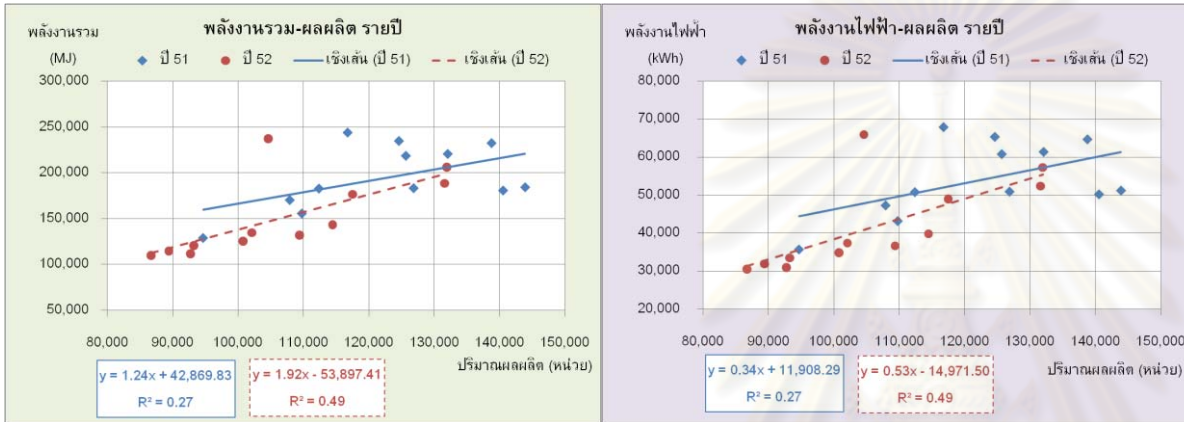
TSIC 38439-l ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



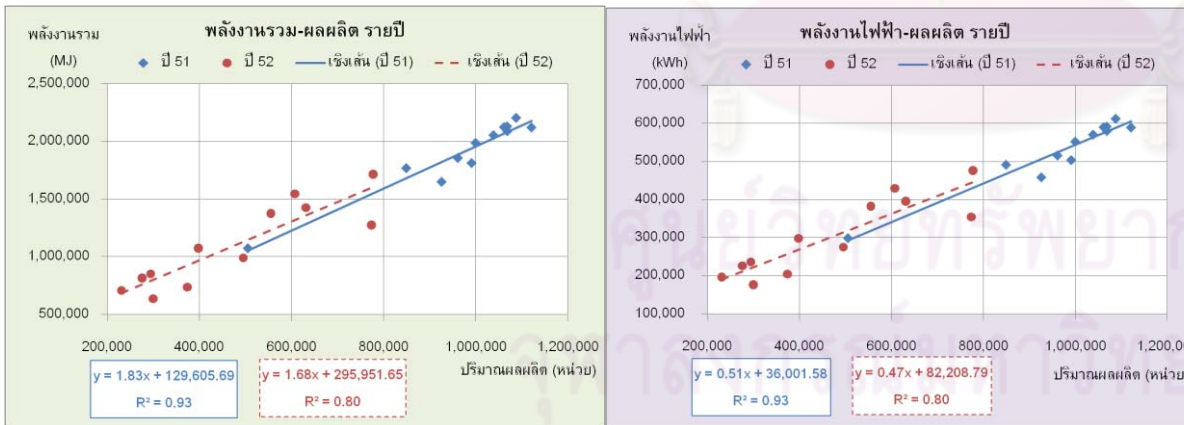
TSIC 38440-a1 **ผลิตภัณฑ์:** เบาะรถจักรยานยนต์

หน่วย: ^๓ซึ้น



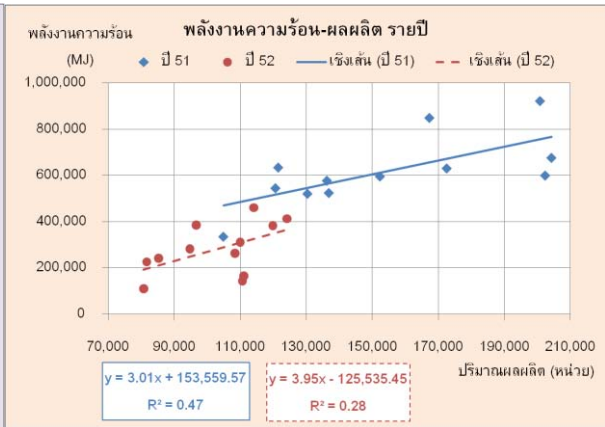
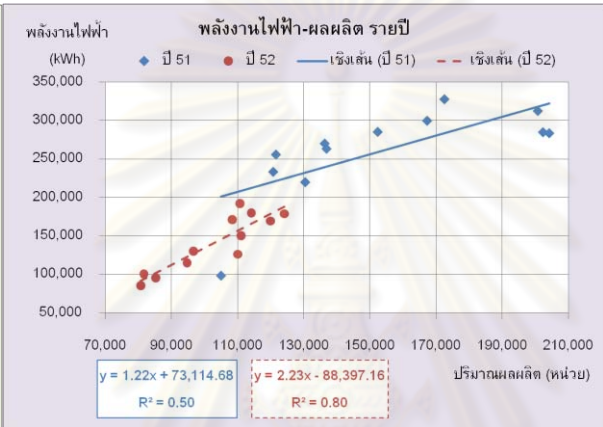
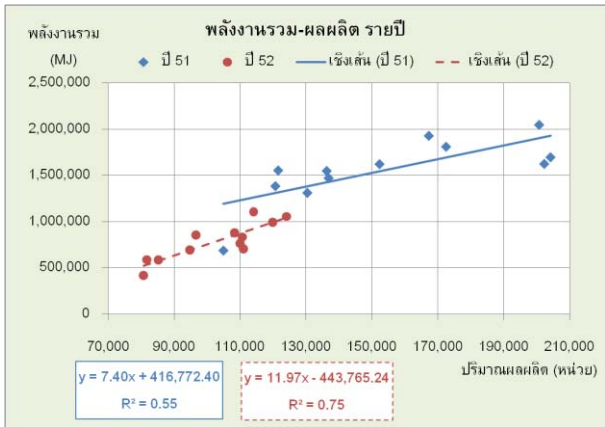
TSIC 38440-a2 **ผลิตภัณฑ์:** ซีดพลาสติก

หน่วย: ^๓ซึ้น



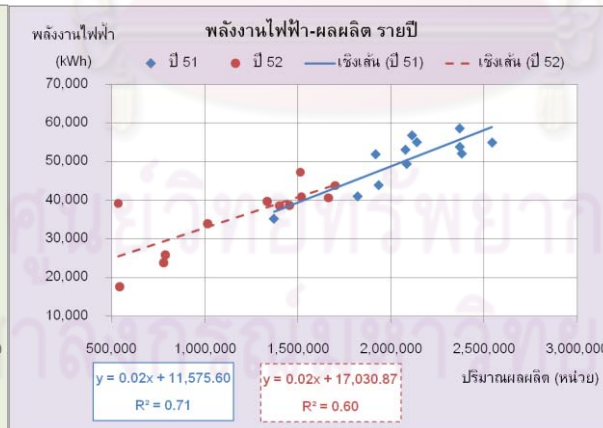
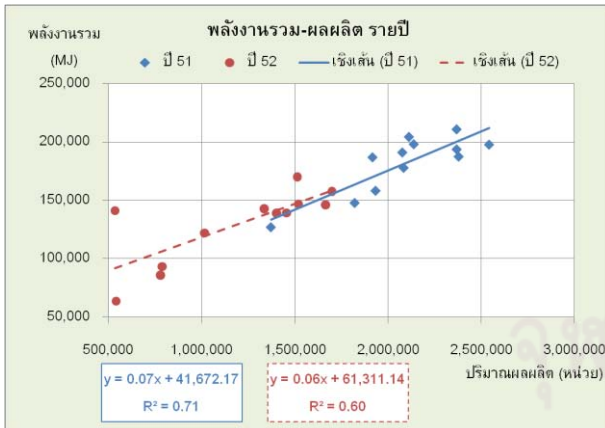
TSIC 38440-a3 ผลิตภัณฑ์: ฟันสี

หน่วย: ชิ้น



TSIC 38440-a4 ผลิตภัณฑ์: ปี่ขึ้นรูปโลหะ

หน่วย: ชิ้น





ภาคผนวก ง

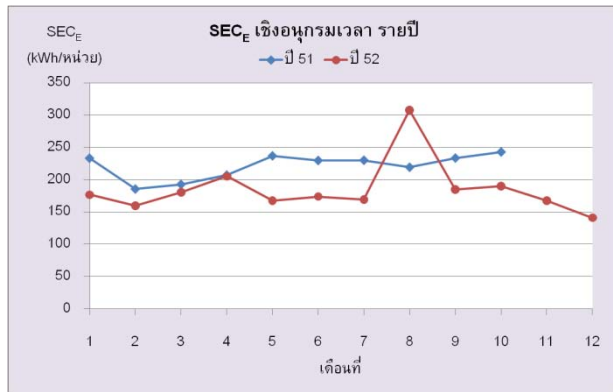
ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาของค่า SEC รายปี

ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33)

TSIC 33112-a ผลิตภัณฑ์: แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด

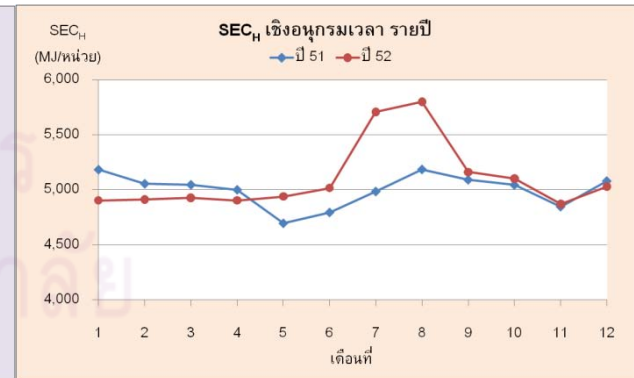
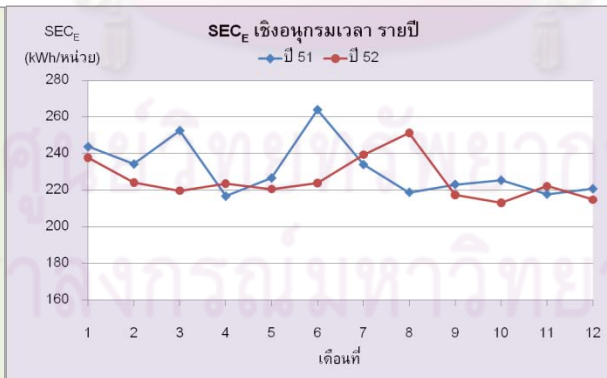
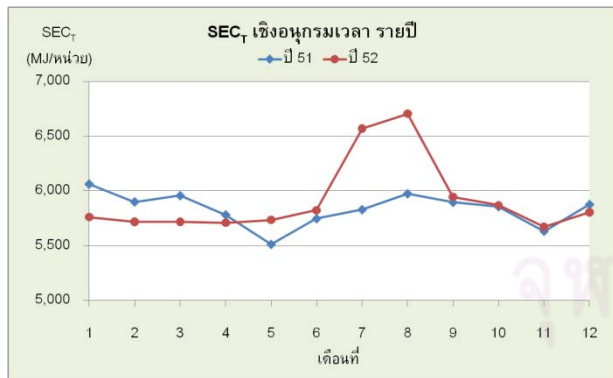
หน่วย: ลบ.ม.



2. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โอลิโหะ (TSIC 36)

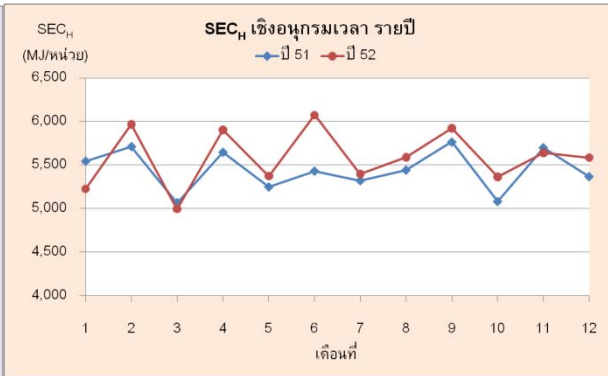
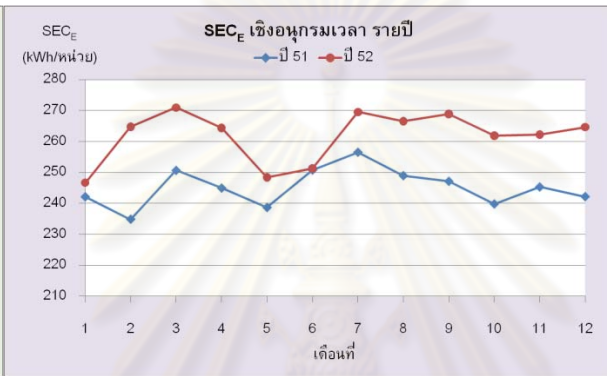
TSIC 36200-a ผลิตภัณฑ์: ภาชนะขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



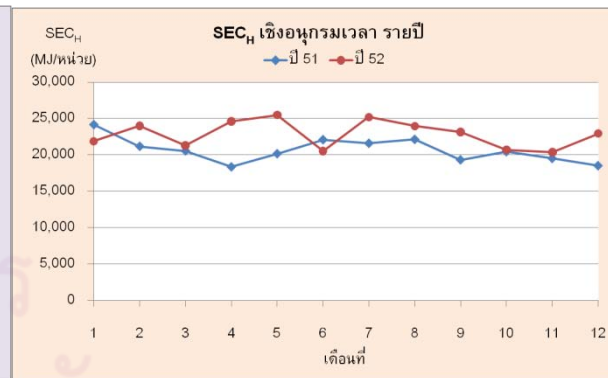
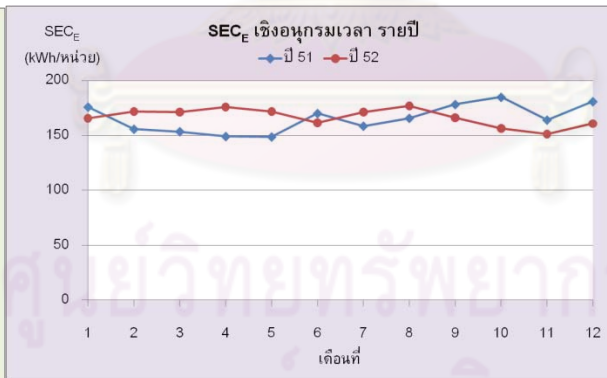
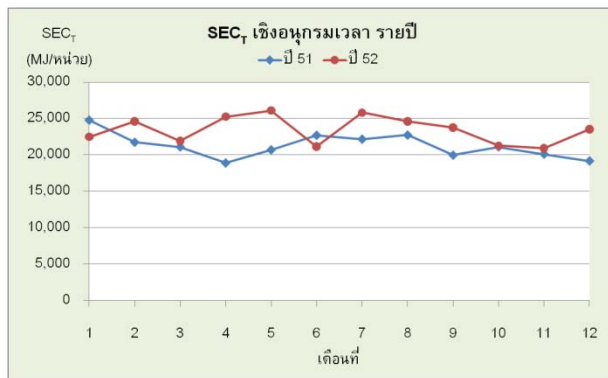
TSIC 36200-c ผลิตภัณฑ์: ขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



TSIC 36200-f ผลิตภัณฑ์: ไม่มีชื่อ

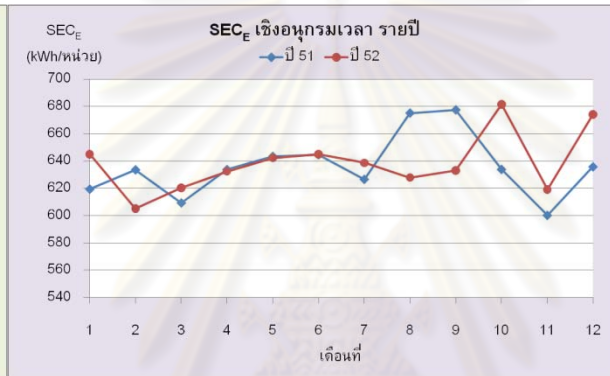
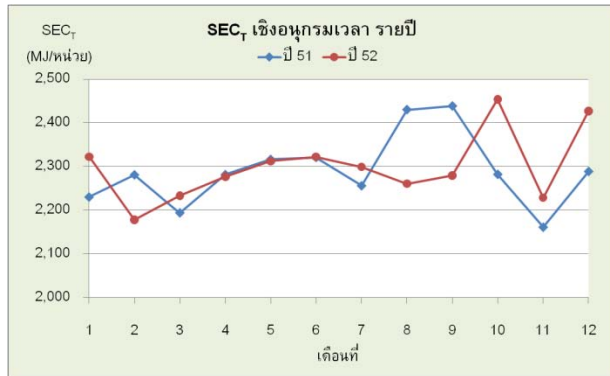
หน่วย: ตัน



3. กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37)

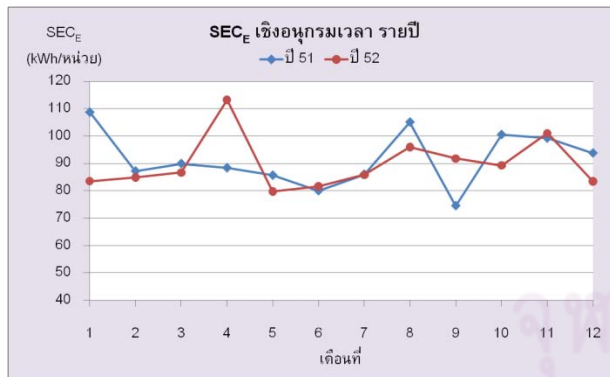
TSIC 37110-a1 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแท่ง billet

หน่วย: ตัน



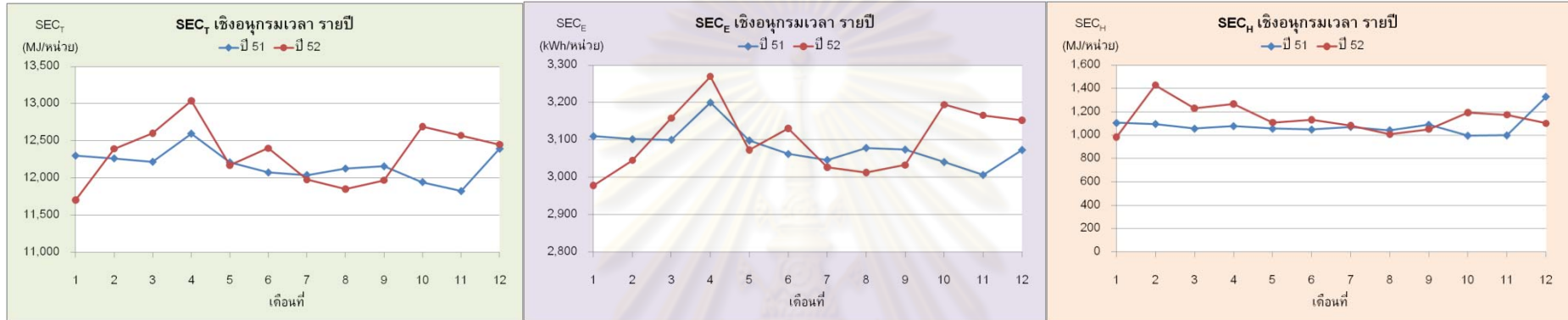
TSIC 37110-a2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กรูปภาคพื้นรีดร้อน

หน่วย: ตัน



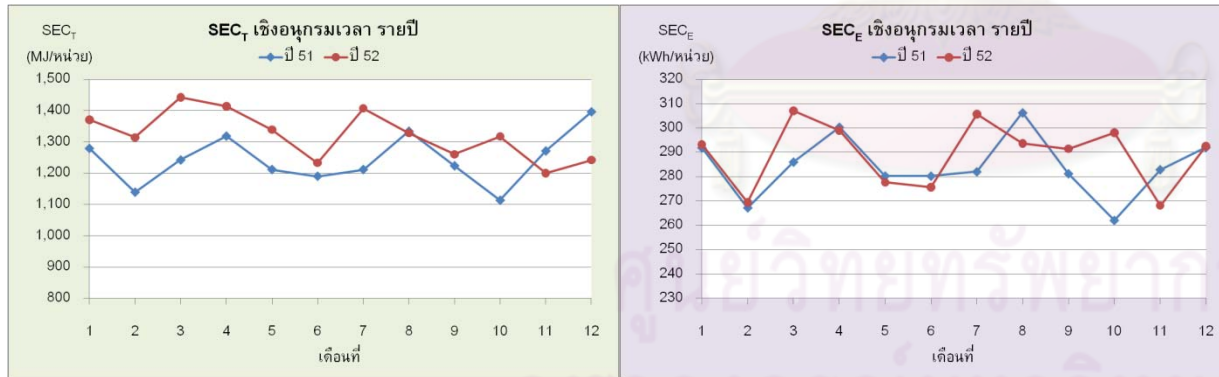
TSIC 37110-b ผลิตภัณฑ์: ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์

หน่วย: ตัน

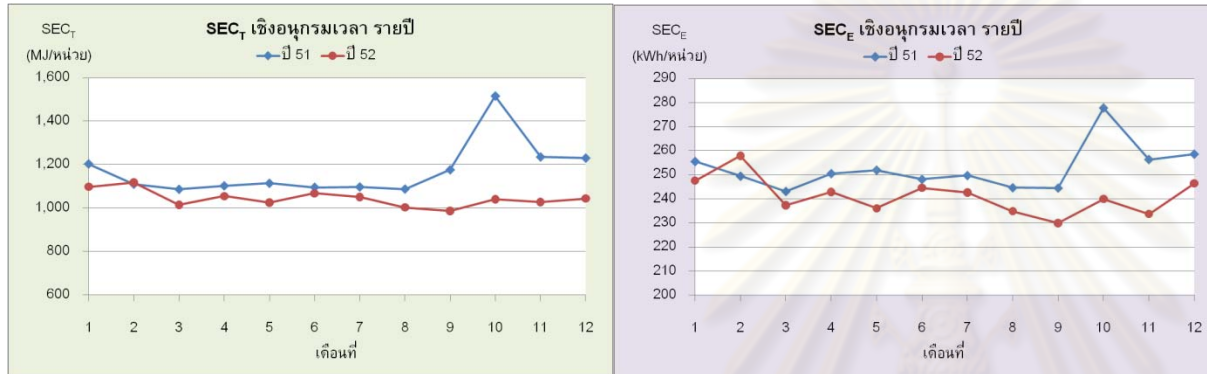


TSIC 37110-c1 ผลิตภัณฑ์: ท่อเหล็กร้อยสายไฟพุ่มสังกะสี

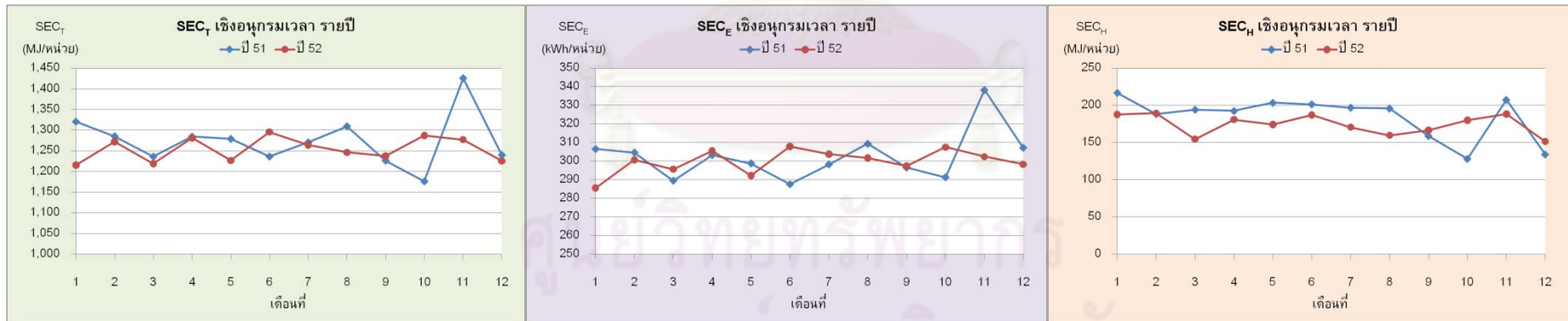
หน่วย: ตัน



TSIC 37110-e1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-e2 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-e3 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอธิลีน (PE) **หน่วย:** ตัน

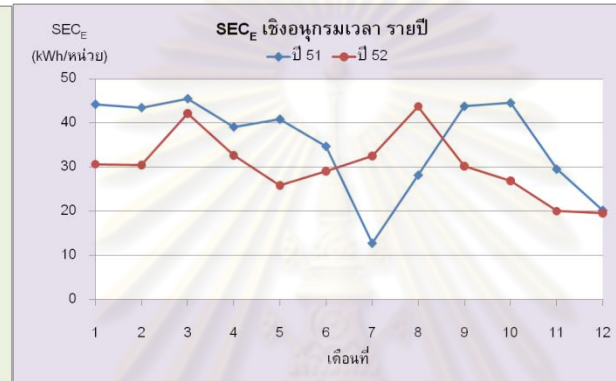
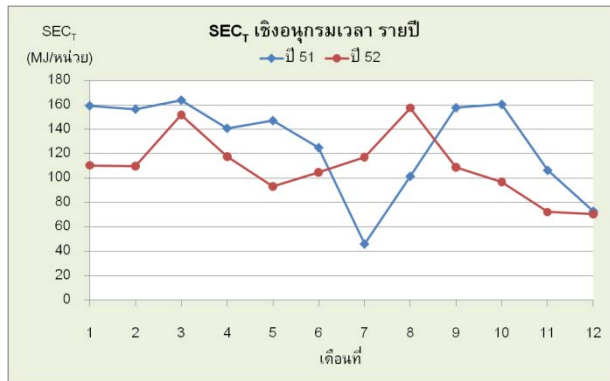


TSIC 37110-e4 **ผลิตภัณฑ์:** ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh) **หน่วย:** ตัน



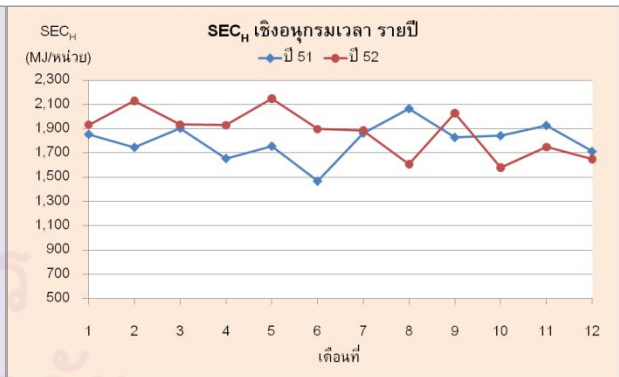
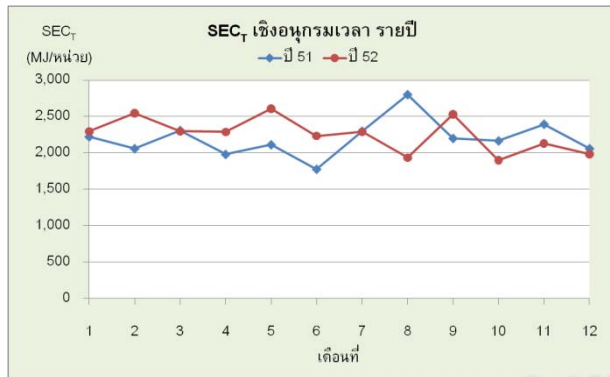
TSIC 37110-e5 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw)

หน่วย: ตัน



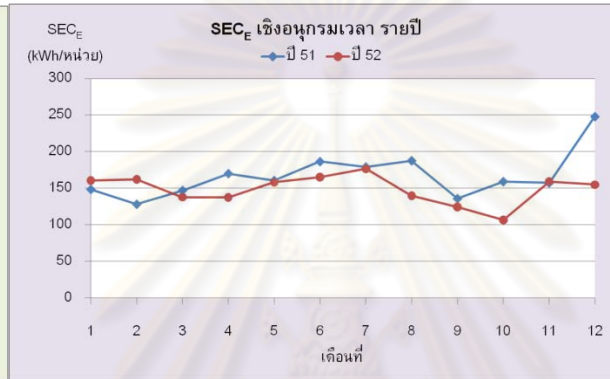
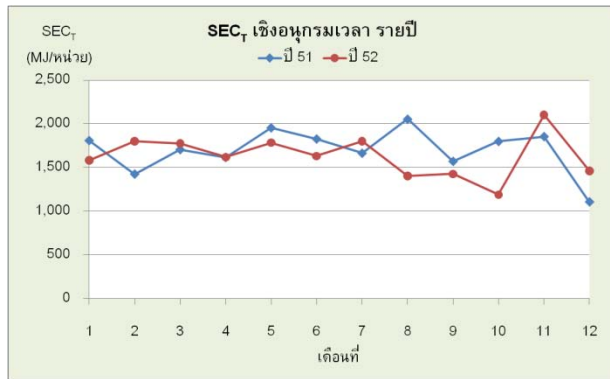
TSIC 37110-f **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้น

หน่วย: ตัน

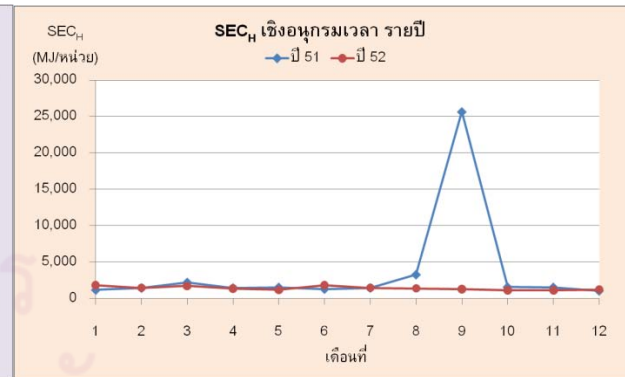
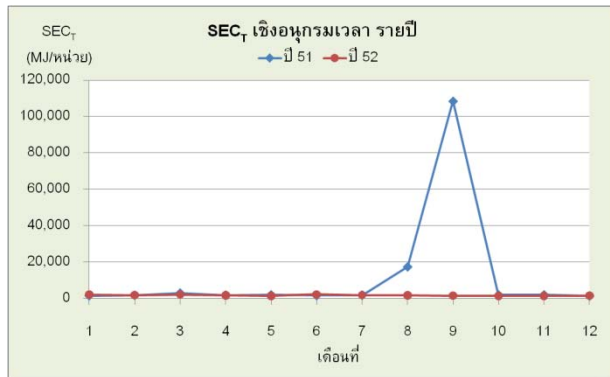


TSIC 37110-g **ผลิตภัณฑ์:** STEEL WIRE

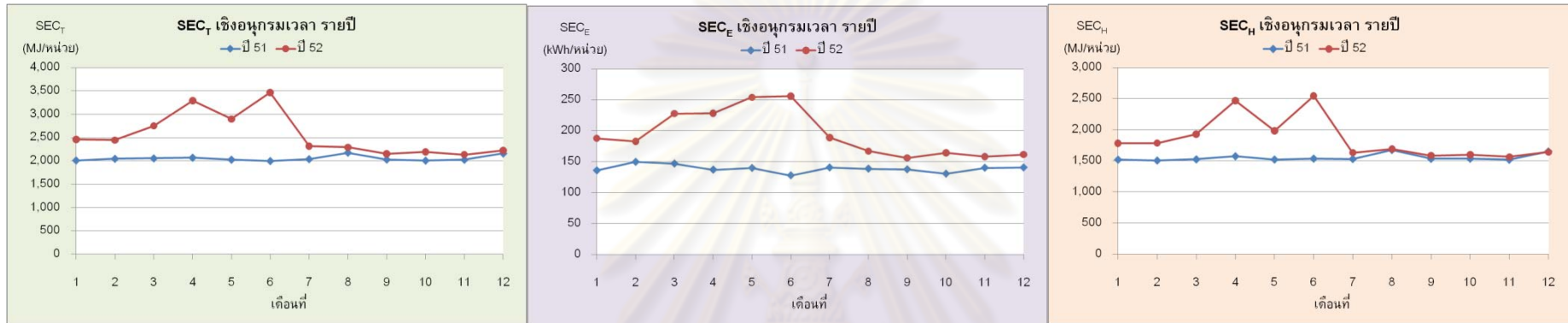
หน่วย: ตัน



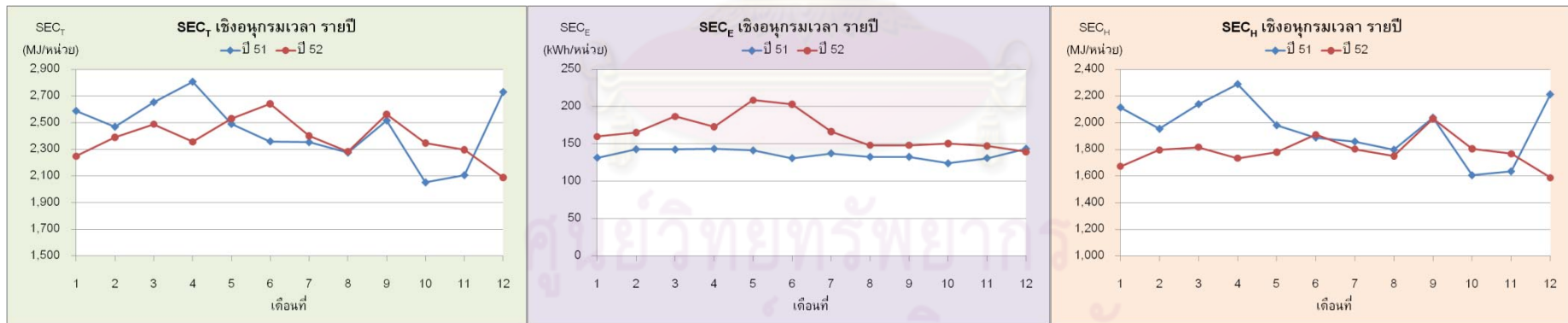
TSIC 37110-i **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-j1 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS) **หน่วย:** ตัน

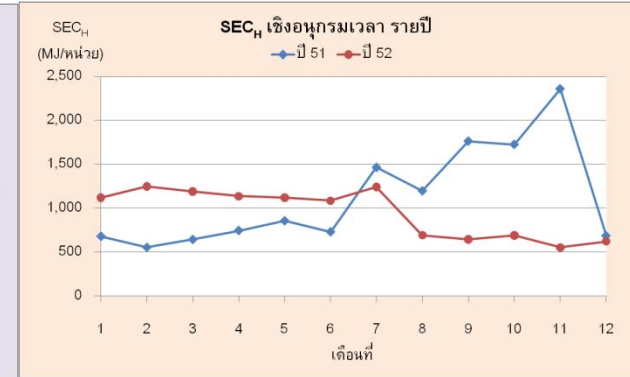
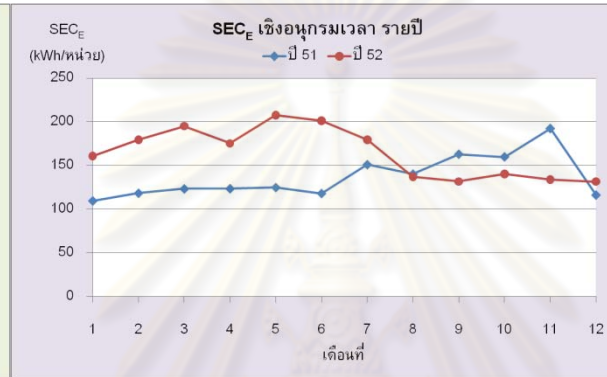
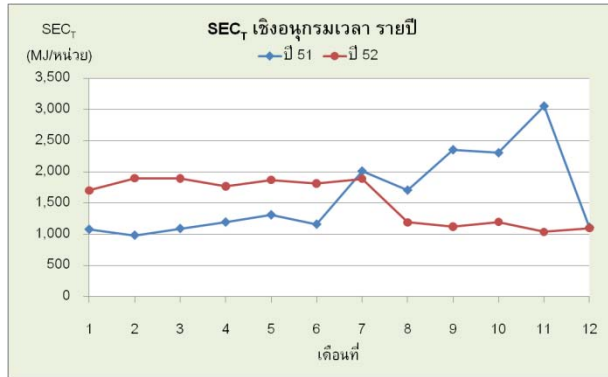


TSIC 37110-j2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบตีบุกหรือโครเมียมสำหรับอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP) **หน่วย:** ตัน



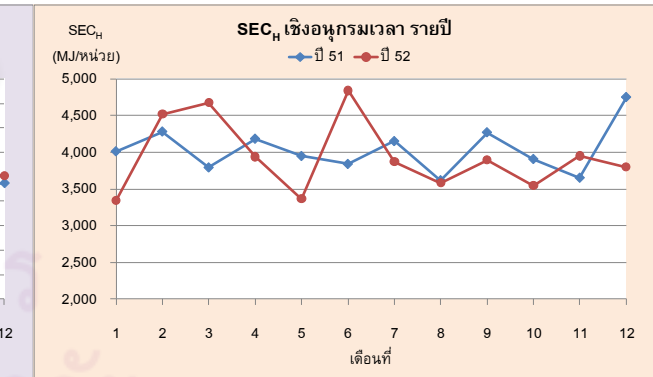
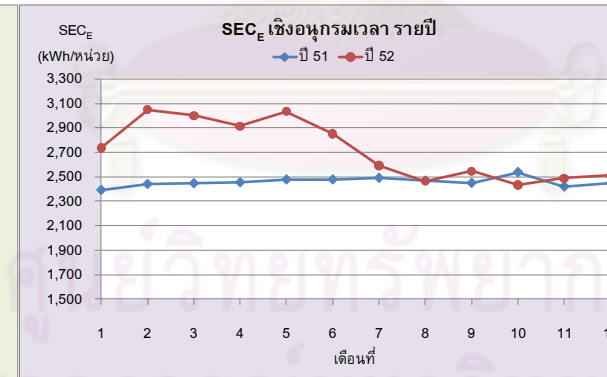
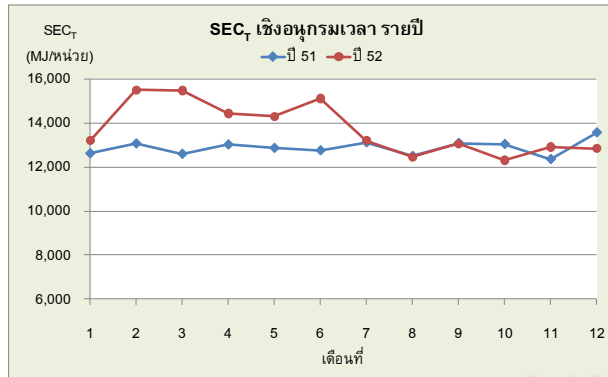
TSIC 37110-j3 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)

หน่วย: ตัน

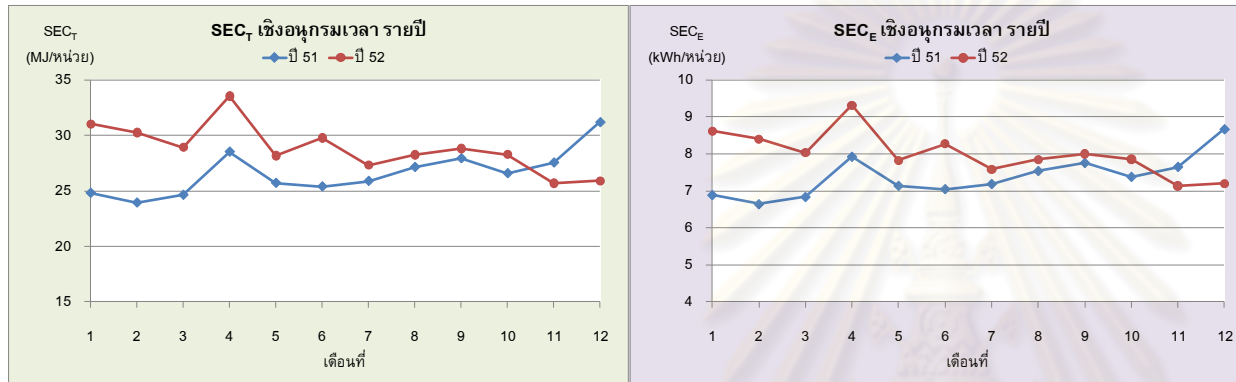


TSIC 37110-l **ผลิตภัณฑ์:** เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์)

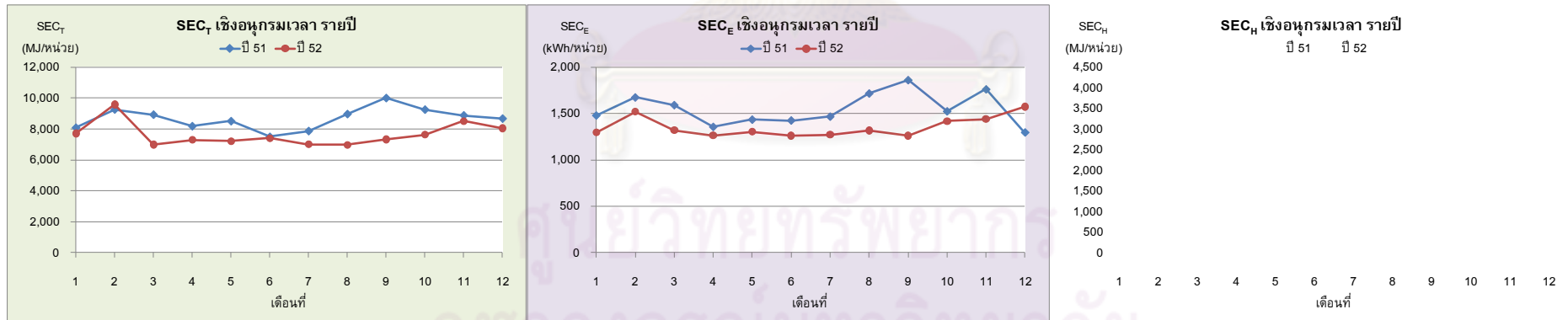
หน่วย: ตัน



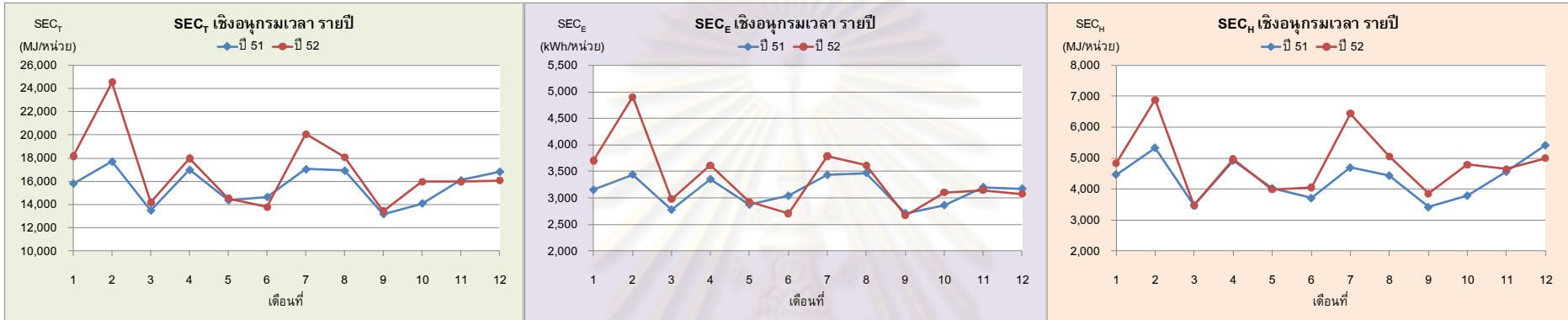
TSIC 37120-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม **หน่วย:** ตัน



TSIC 37200-a2 **ผลิตภัณฑ์:** อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ซูป) **หน่วย:** ตัน

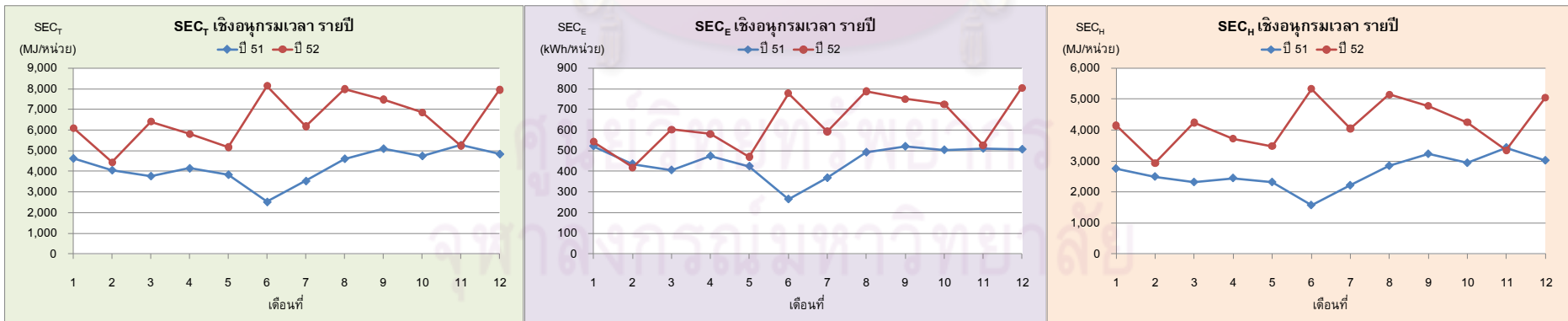


TSIC 37200-b **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ) **หน่วย:** ตัน



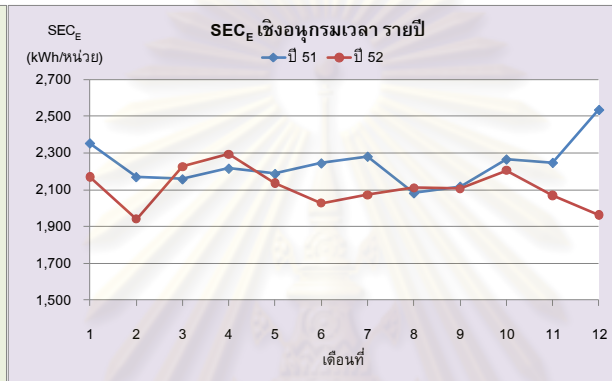
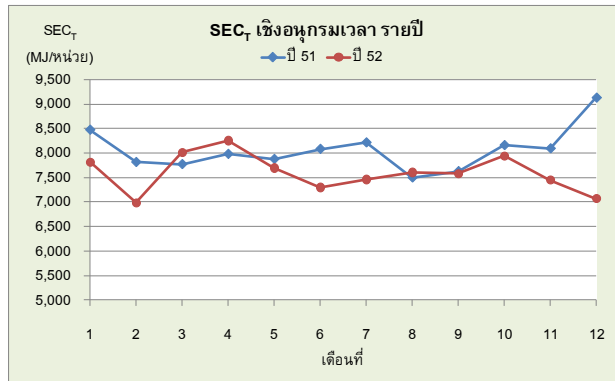
4. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38)

TSIC 38120-a **ผลิตภัณฑ์:** เฟอริไนเจอร์สำนักงานจากโลหะ **หน่วย:** ตัน



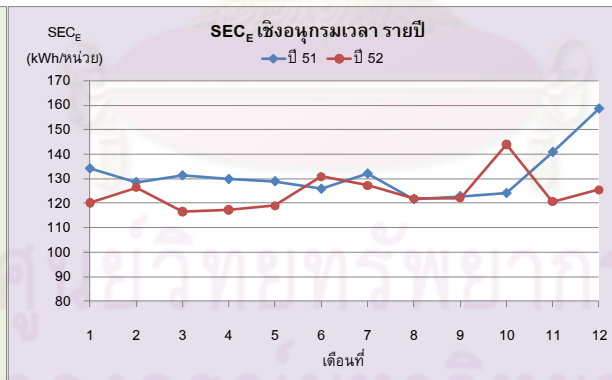
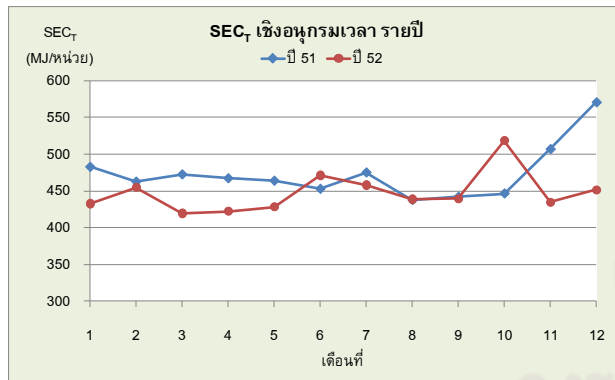
TSIC 38130-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์

หน่วย: ตัน

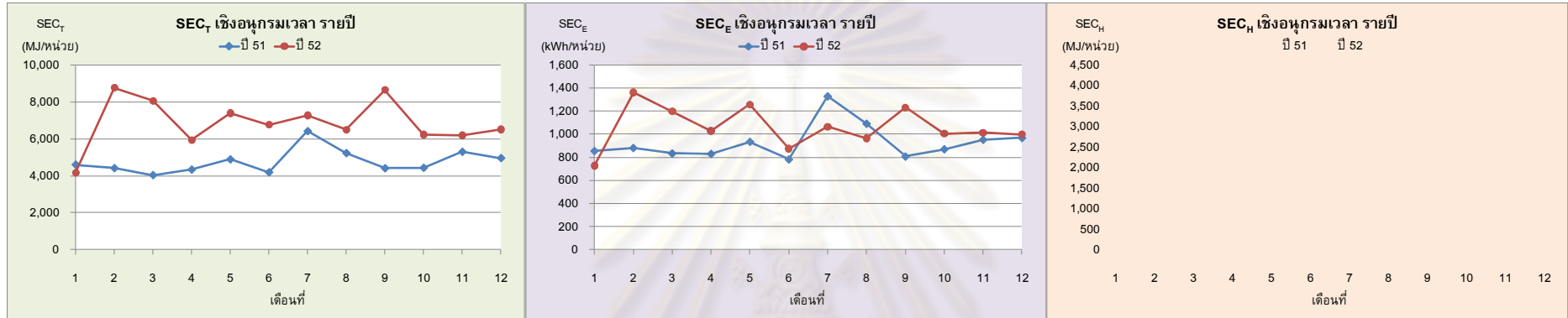


TSIC 38191-a **ผลิตภัณฑ์:** ไม่มีชื่อ

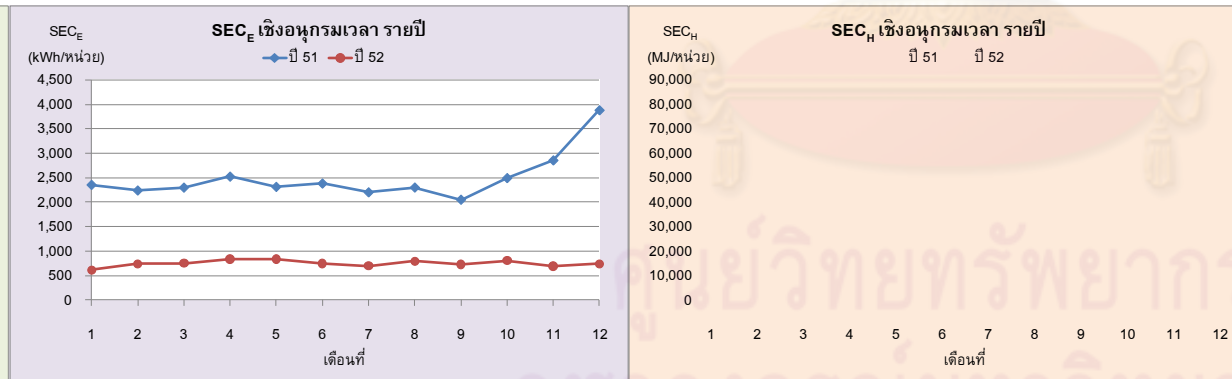
หน่วย: ตัน



TSIC 38192-a **ผลิตภัณฑ์:** แป้นเกลียวหกเหลี่ยม (Heavy hexagon nut) **หน่วย:** ตัน

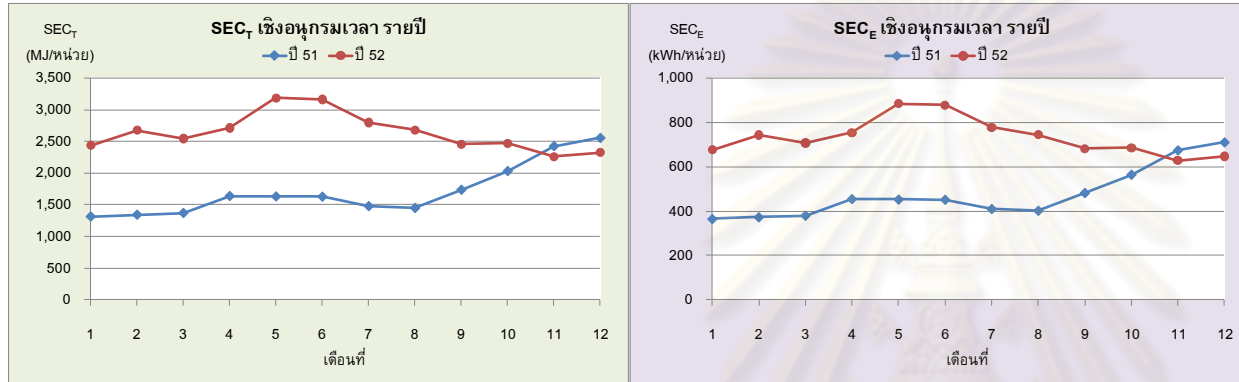


TSIC 38199-b **ผลิตภัณฑ์:** แกนเหล็กอ่อน Soft ferrite Core **หน่วย:** ตัน



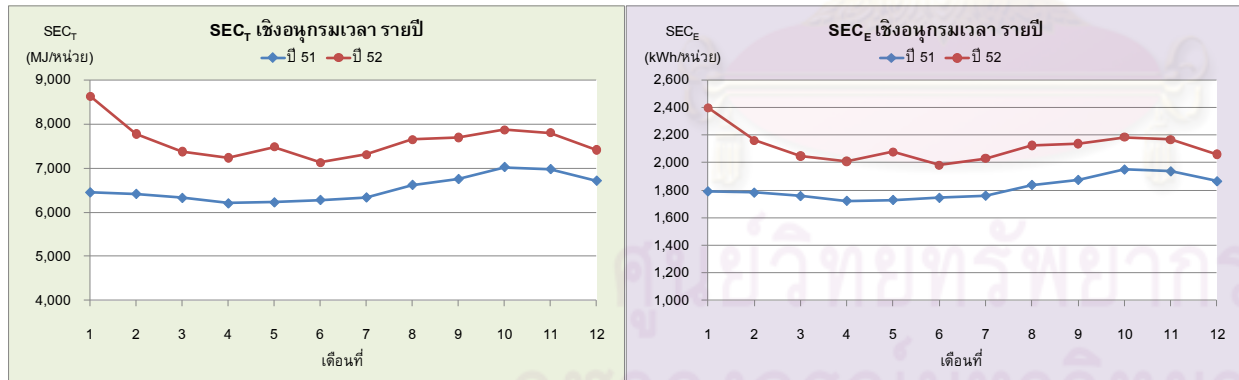
TSIC 38230-a **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์จากโลหะ

หน่วย: ตัน



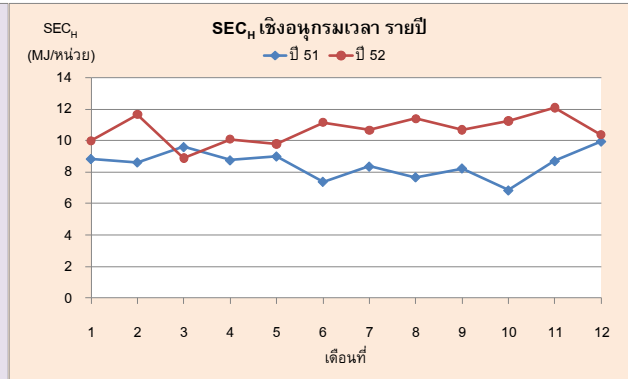
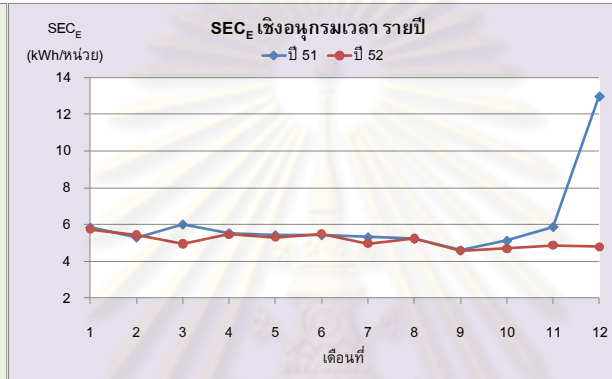
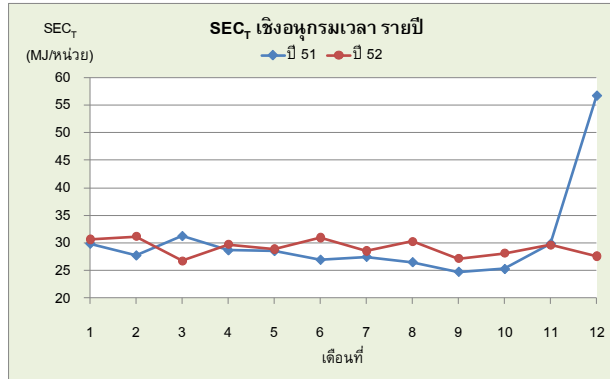
TSIC 38292-a **ผลิตภัณฑ์:** พลาสติกฉีดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)

หน่วย: ตัน



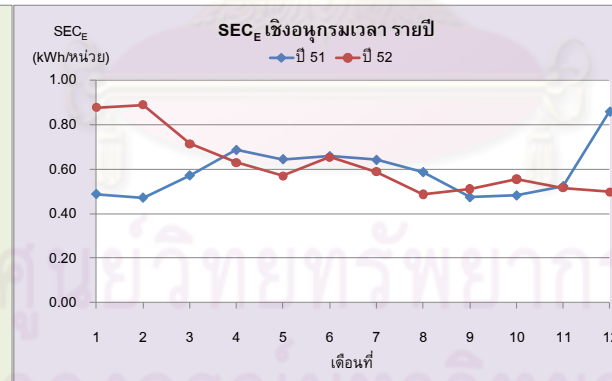
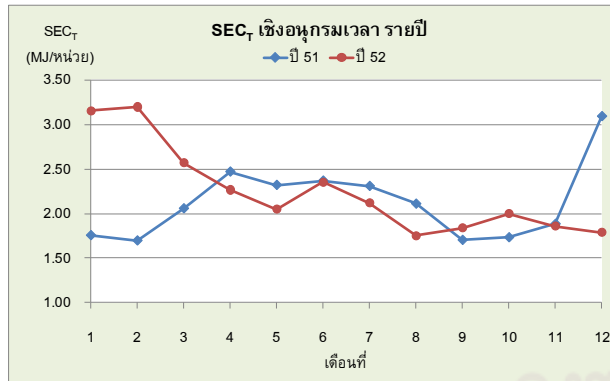
TSIC 38292-b ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



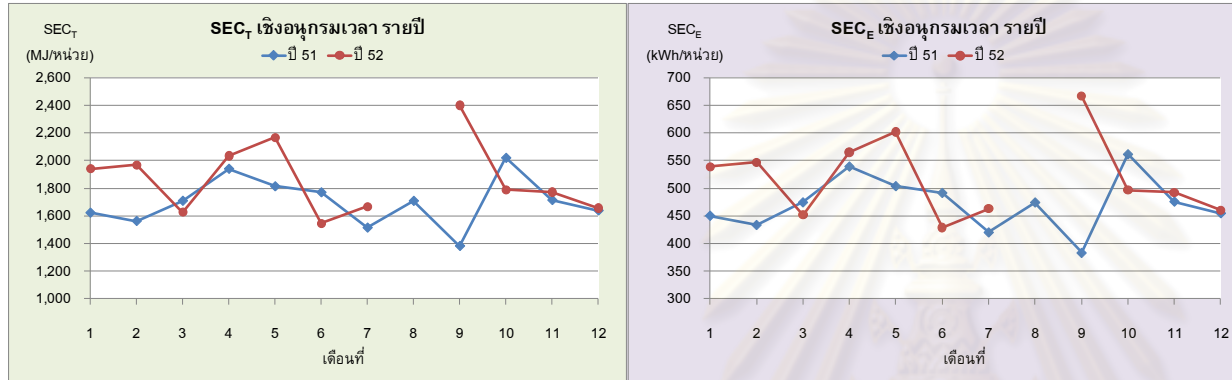
TSIC 38320-b ผลิตภัณฑ์: แผ่นวงจรรีเลย์ทรานซิสต์

หน่วย: ชิ้น



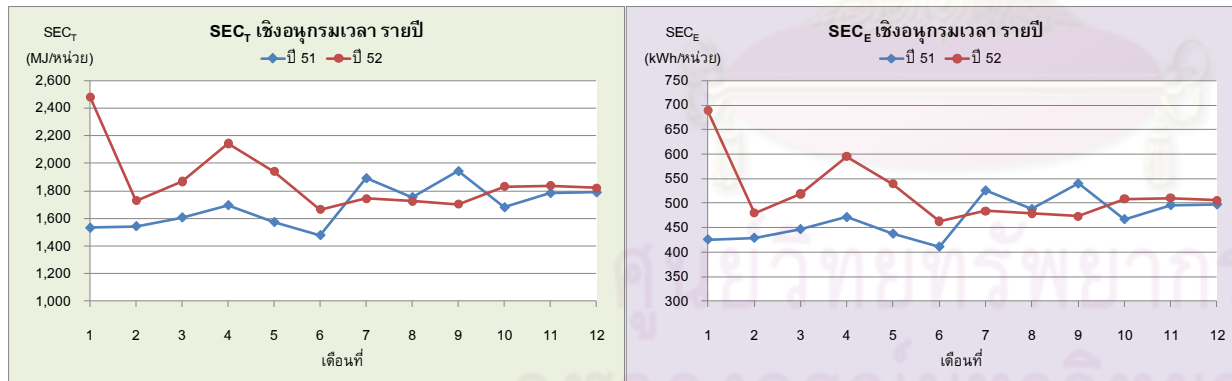
TSIC 38391-b1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร

หน่วย: ตัน



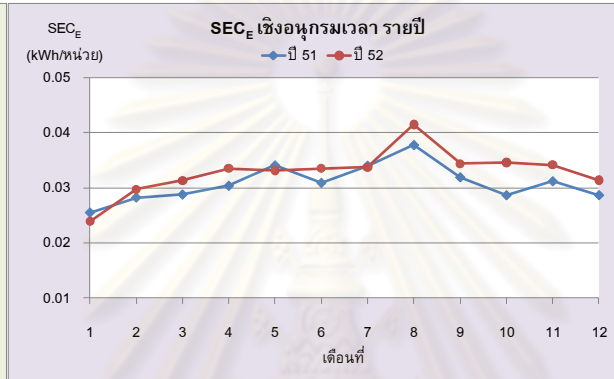
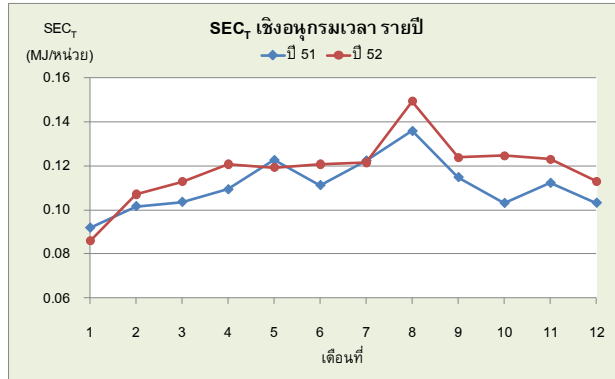
TSIC 38431-a1 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ปั๊มขึ้นรูปและเชื่อมประกอบ)

หน่วย: ตัน



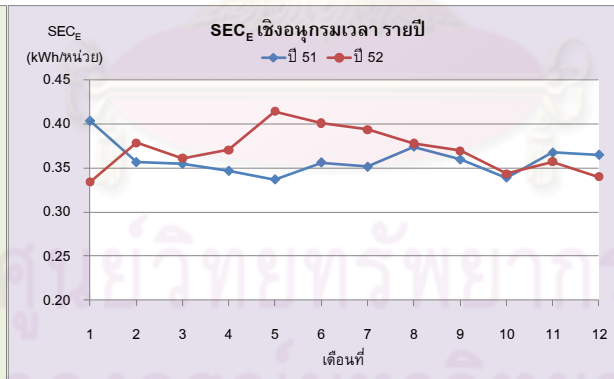
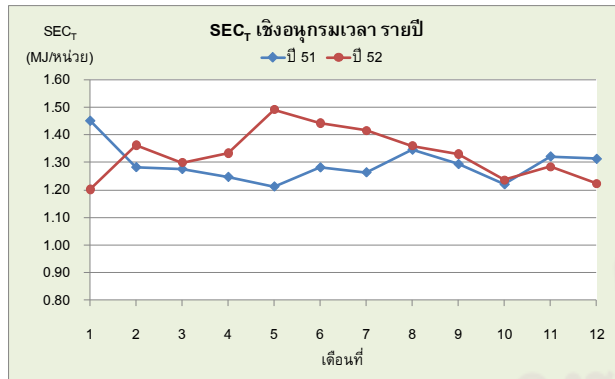
TSIC 38431-b ผลิตภัณฑ์: ชุดสายไฟประกอบ

หน่วย: ชิ้น



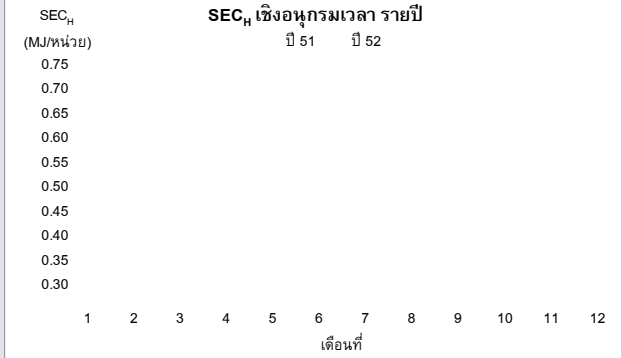
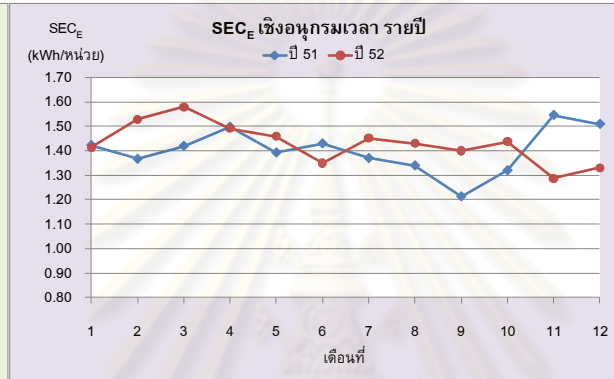
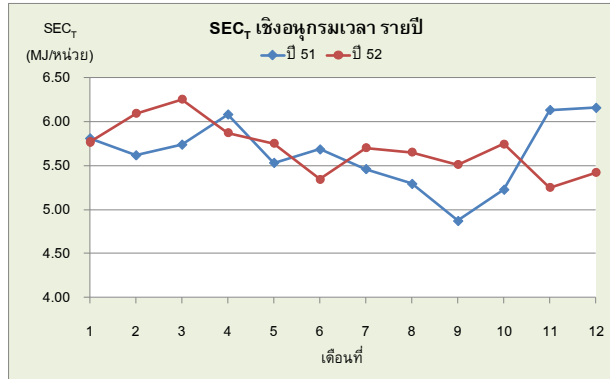
TSIC 38439-b ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending)

หน่วย: ตัน



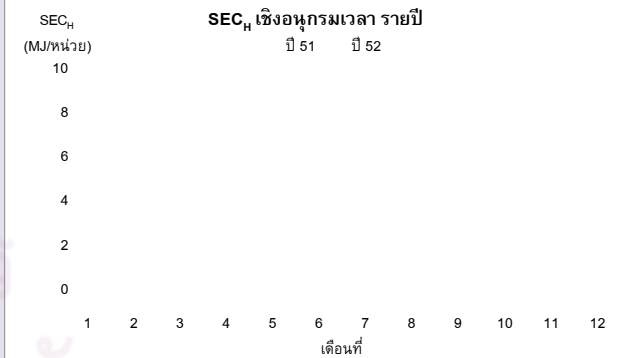
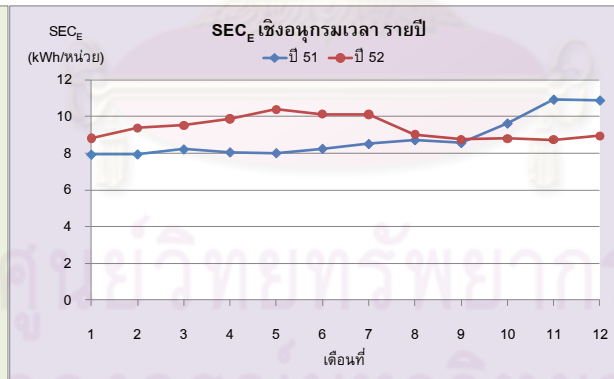
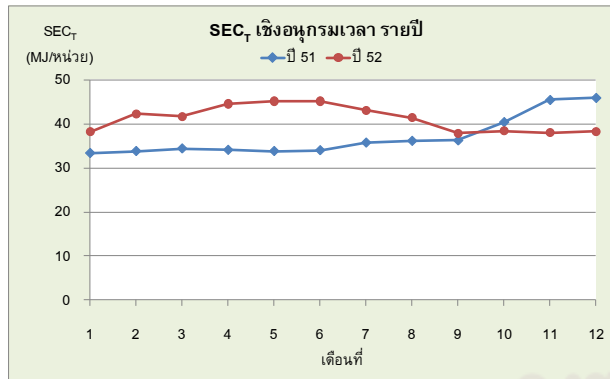
TSIC 38439-g **ผลิตภัณฑ์:** ผ้าเบรครถยนต์

หน่วย: $\frac{\text{บาท}}{\text{ตัน}}$



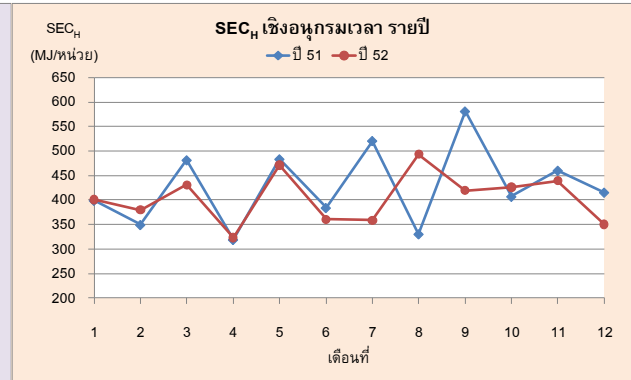
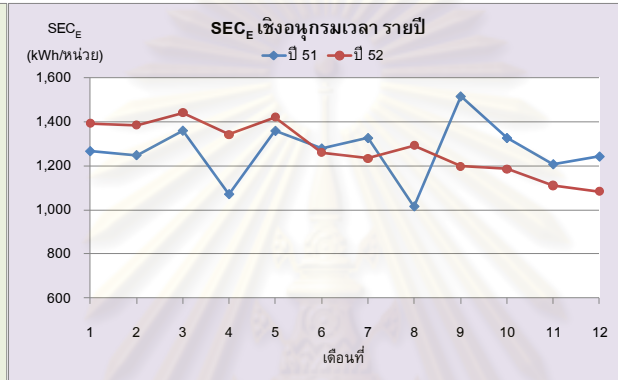
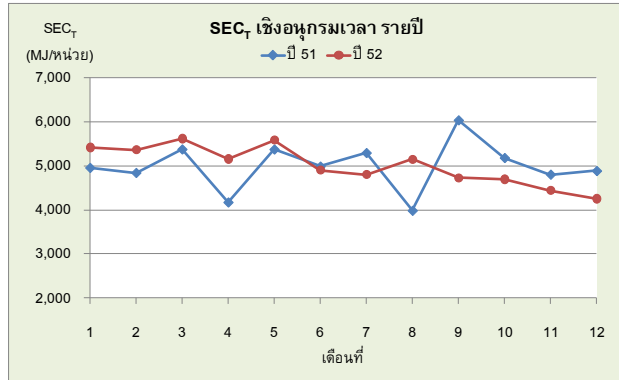
TSIC 38439-i **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กขี้ผึ้ง

หน่วย: $\frac{\text{บาท}}{\text{ตัน}}$



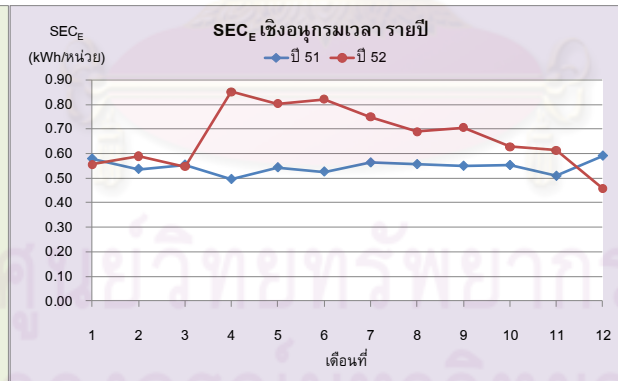
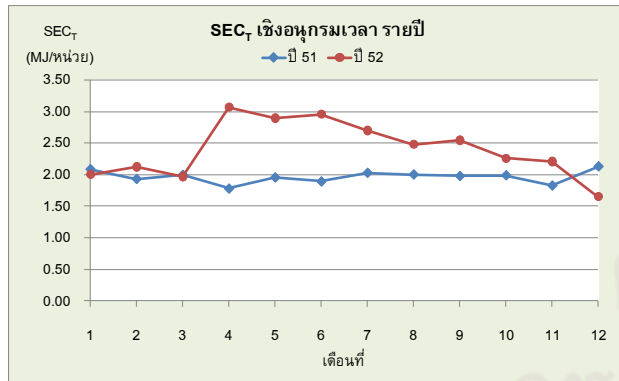
TSIC 38439-I ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



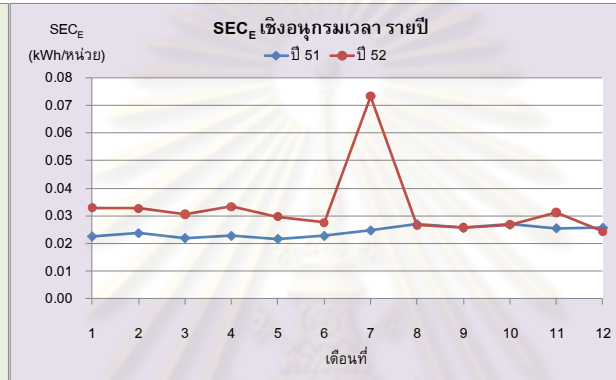
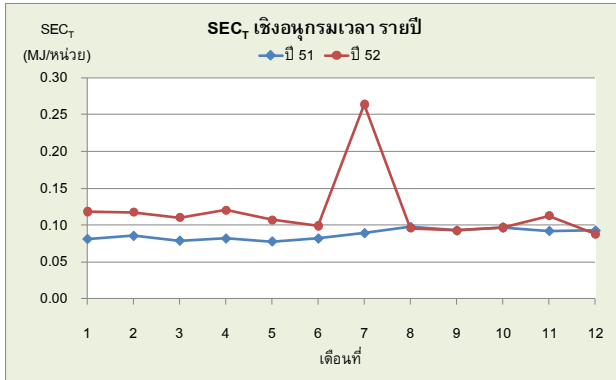
TSIC 38440-a2 ผลิตภัณฑ์: ชิ้นพลาสติก

หน่วย: ชิ้น

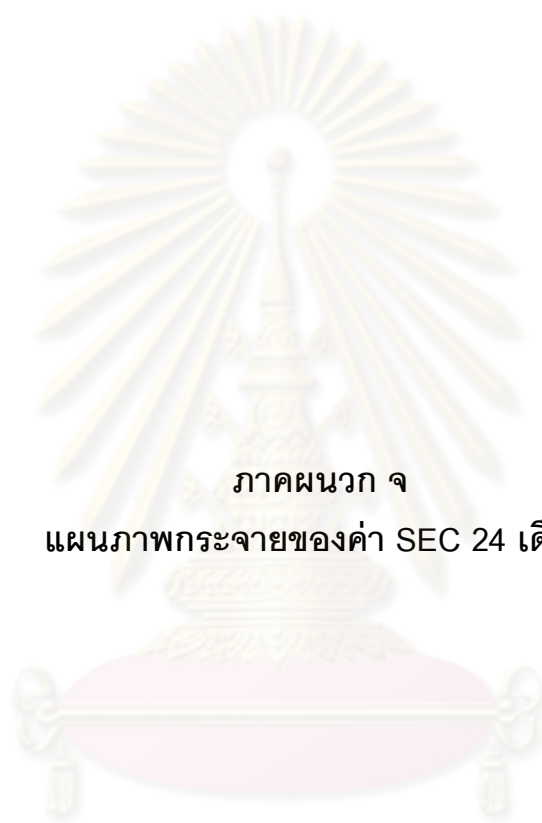


TSIC 38440-a4 ผลิตภัณฑ์: ปี่ม้วนรูปโลหะ

หน่วย: ชิ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

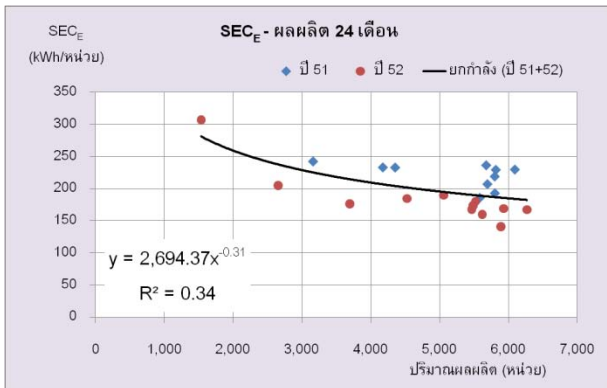
แผนภาพกระจายของค่า SEC 24 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33)

TSIC 33112-a ผลิตภัณฑ์: แผ่นไม้ปาร์ติเกิ้ลบอร์ด

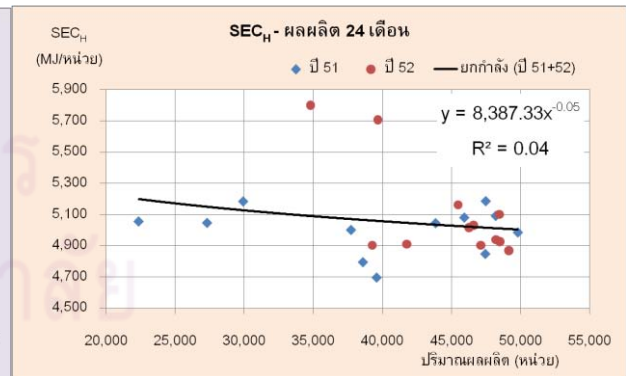
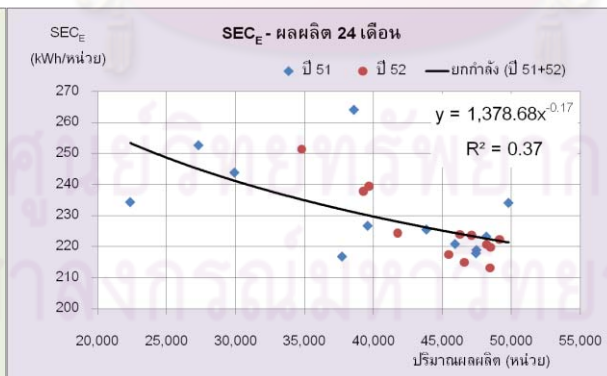
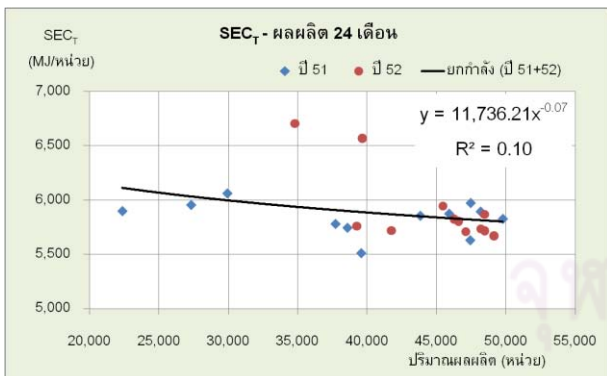
หน่วย: ลบ.ม.



2. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โอลิหะ (TSIC 36)

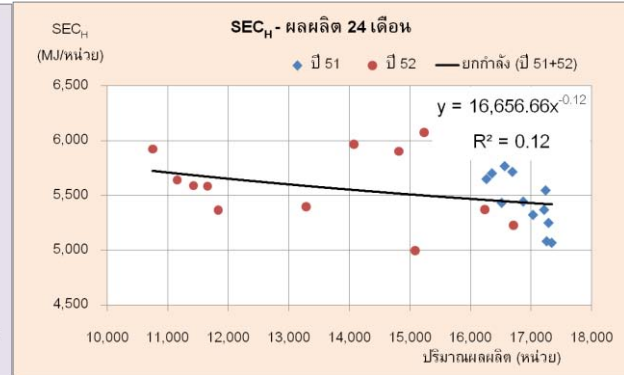
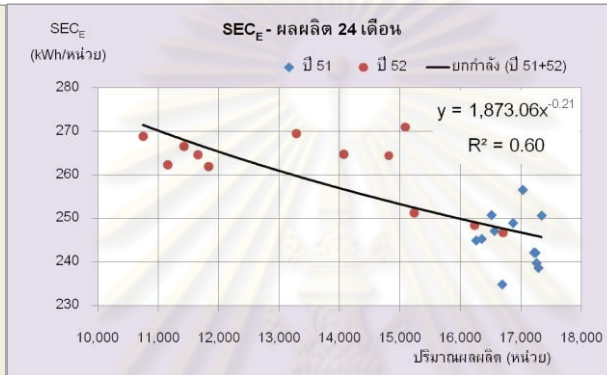
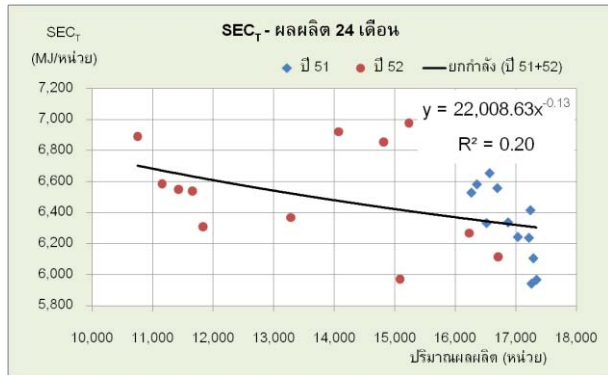
TSIC 36200-a ผลิตภัณฑ์: ภาชนะขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



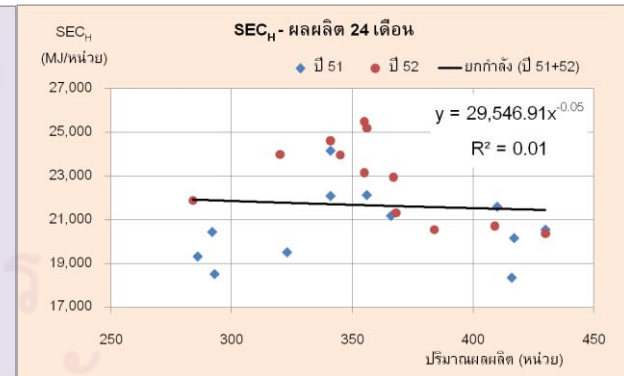
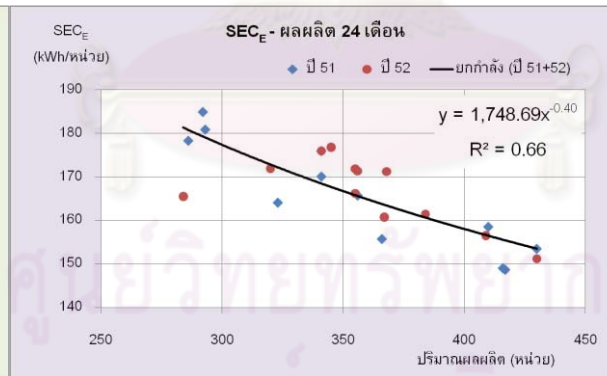
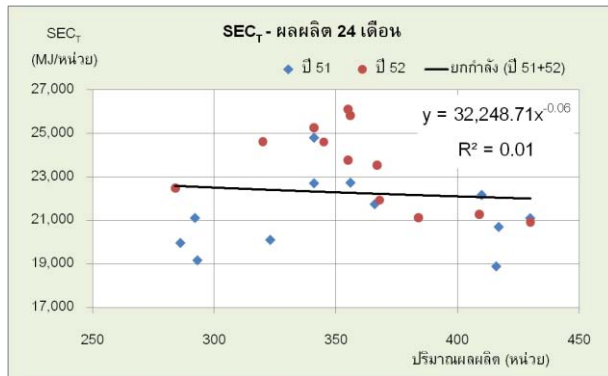
TSIC 36200-c ผลิตรัณฑ์: ขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



TSIC 36200-f ผลิตรัณฑ์: ไม่มีชื่อ

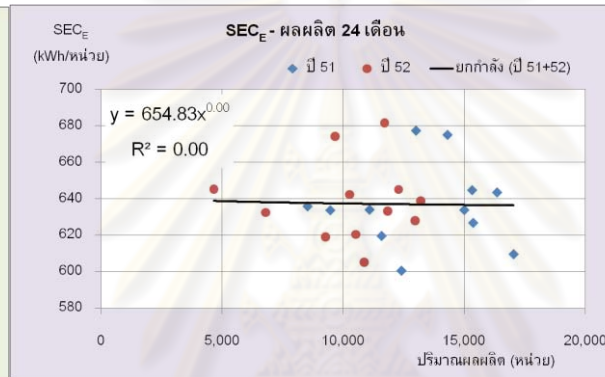
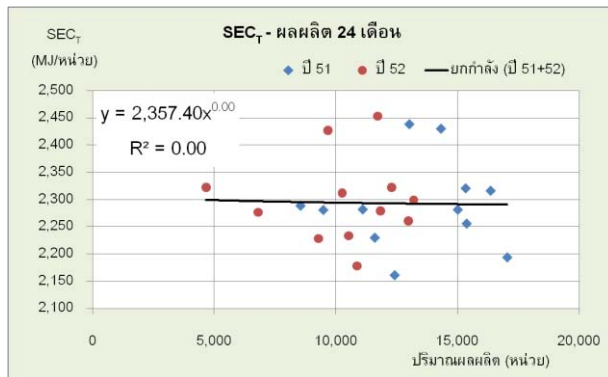
หน่วย: ตัน



3. กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37)

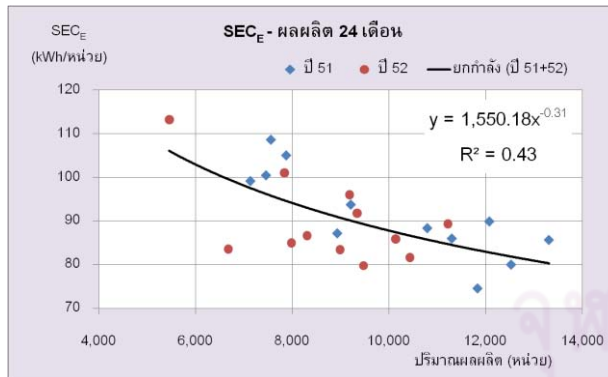
TSIC 37110-a1 ผลิตภัณฑ์: เหล็กแท่ง billet

หน่วย: ตัน



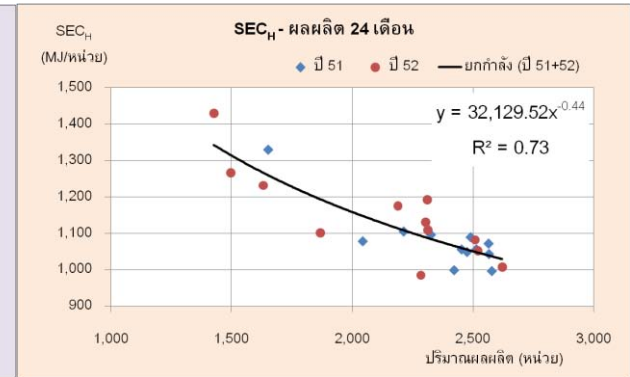
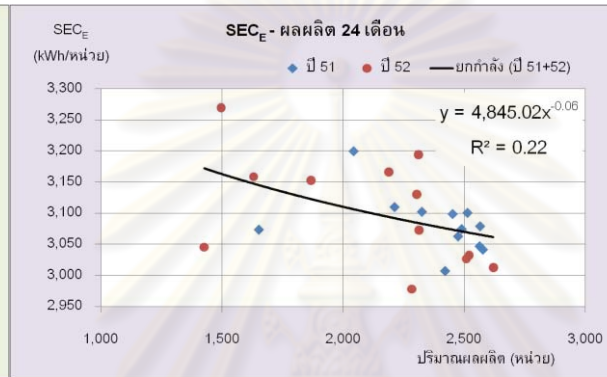
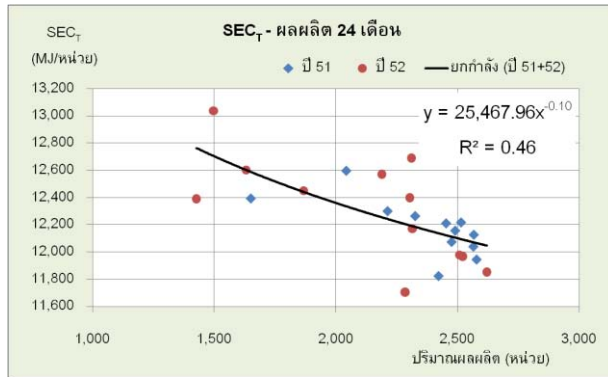
TSIC 37110-a2 ผลิตภัณฑ์: เหล็กรูปกลมที่รีดร้อน

หน่วย: ตัน



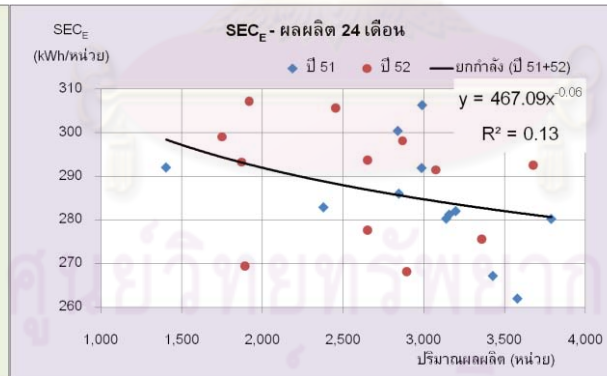
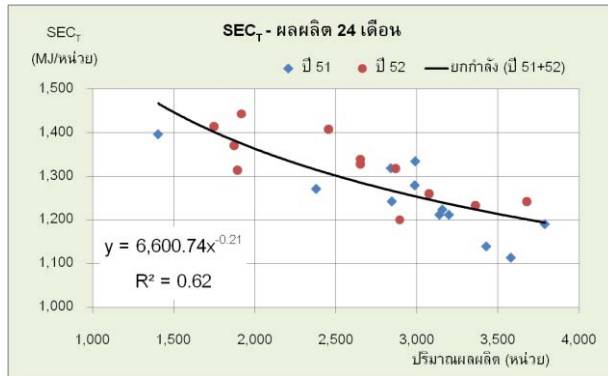
TSIC 37110-b ผลิตภัณฑ์: ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์

หน่วย: ตัน

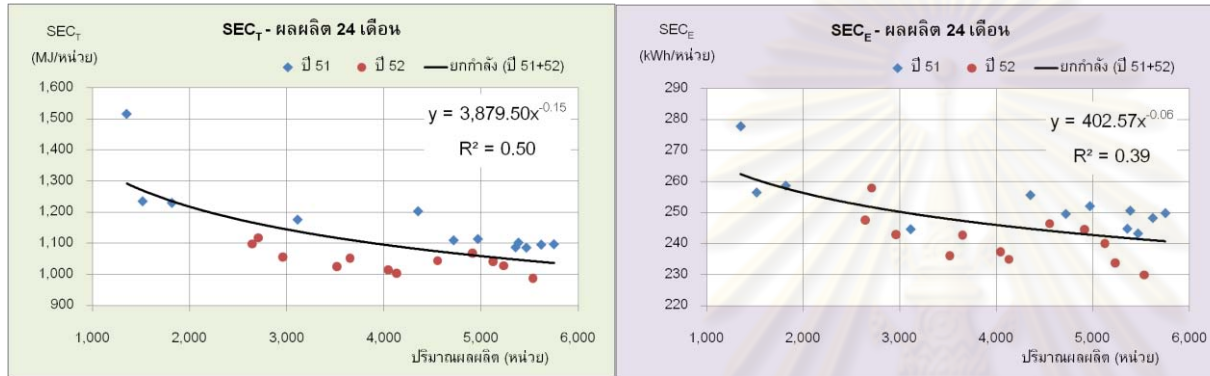


TSIC 37110-c1 ผลิตภัณฑ์: ท่อเหล็กร้อยสายไฟทาบสังกะสี

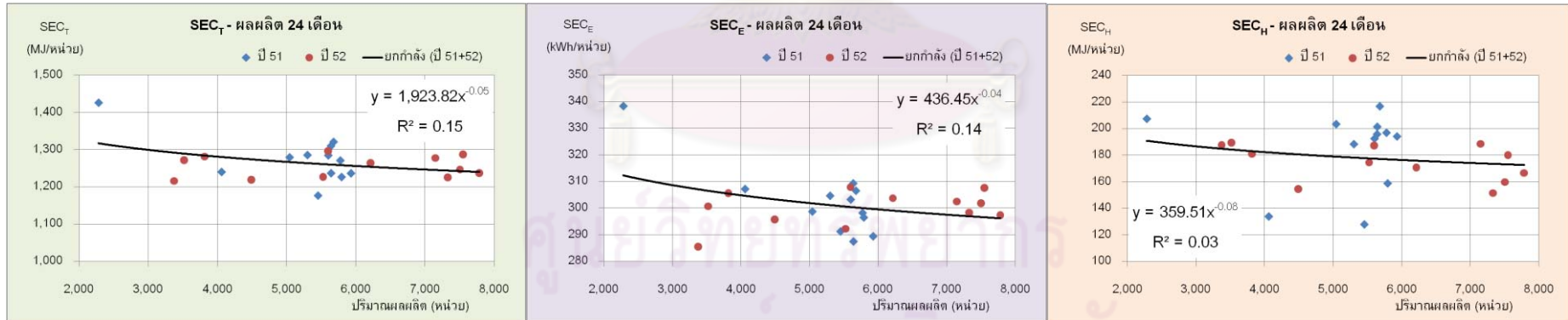
หน่วย: ตัน



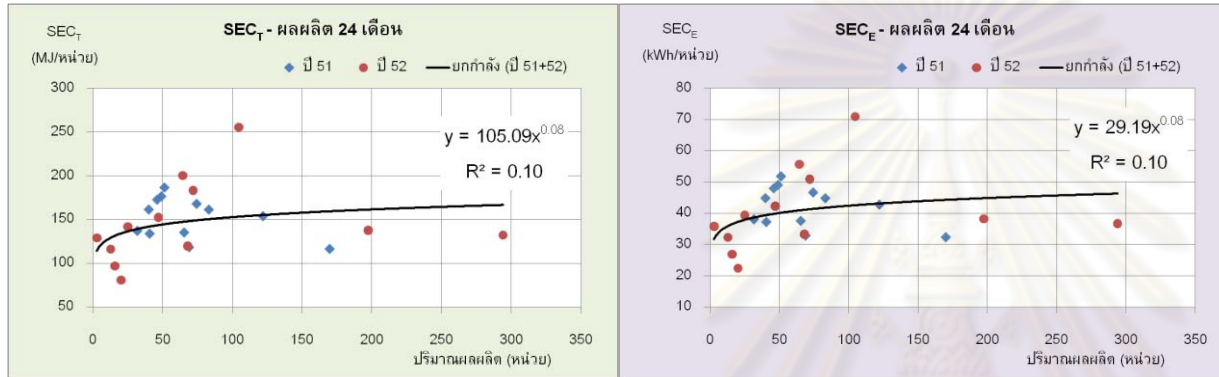
TSIC 37110-e1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire) **หน่วย:** ตัน



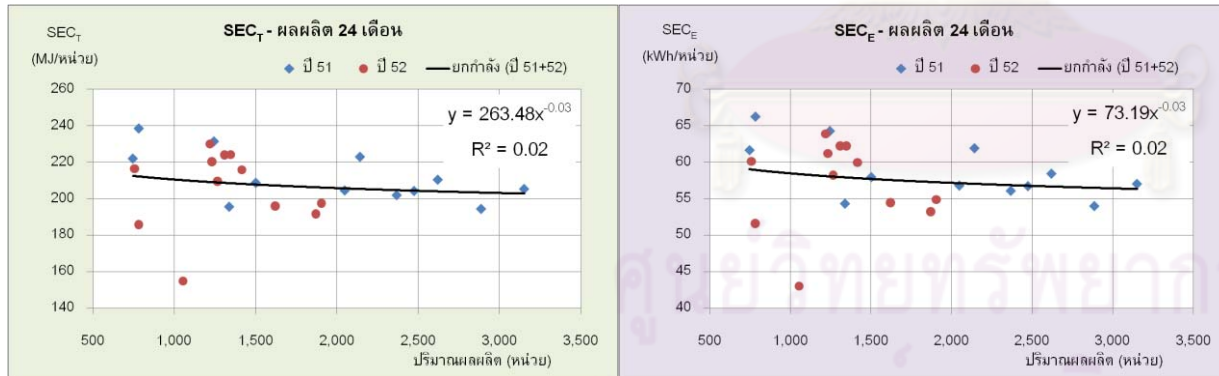
TSIC 37110-e2 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-e3 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอธิลีน (PE) **หน่วย:** ตัน

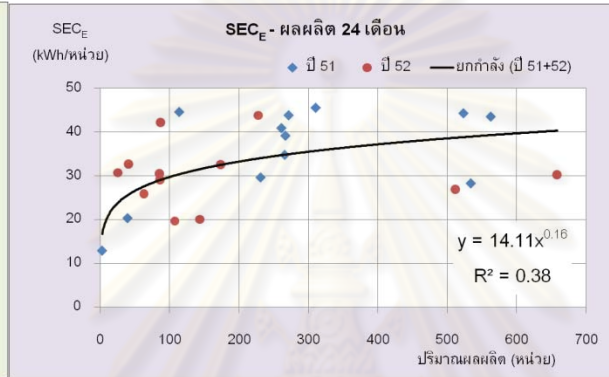
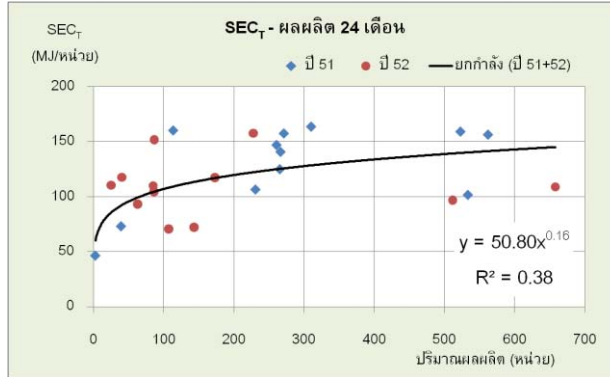


TSIC 37110-e4 **ผลิตภัณฑ์:** ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh) **หน่วย:** ตัน



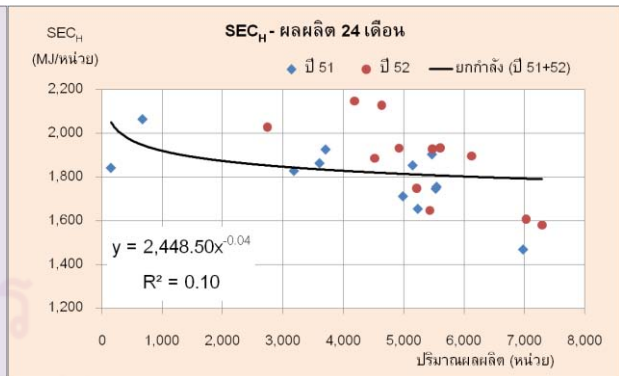
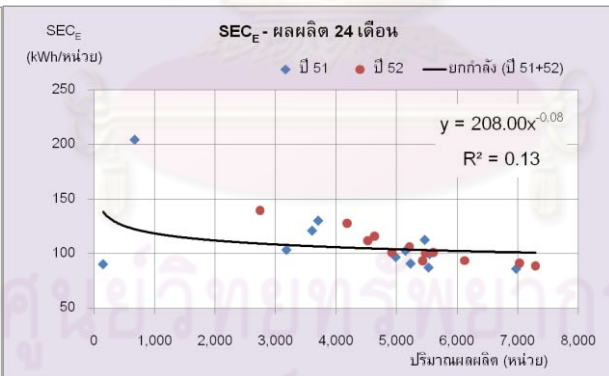
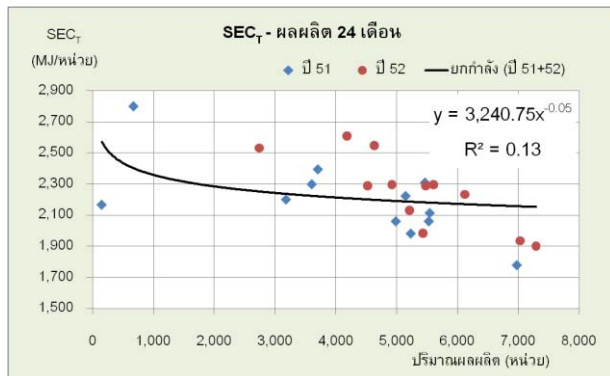
TSIC 37110-e5 ผลิตภัณฑ์: ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw)

หน่วย: ตัน



TSIC 37110-f ผลิตภัณฑ์: เหล็กเส้น

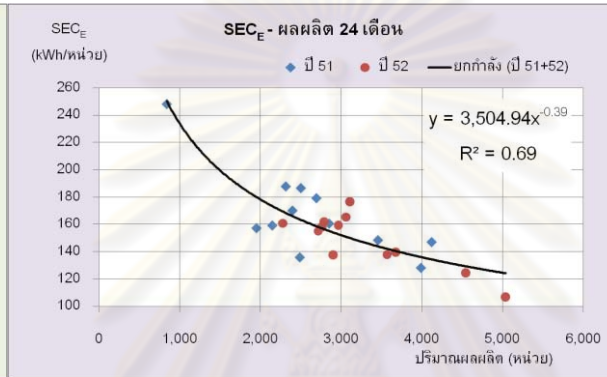
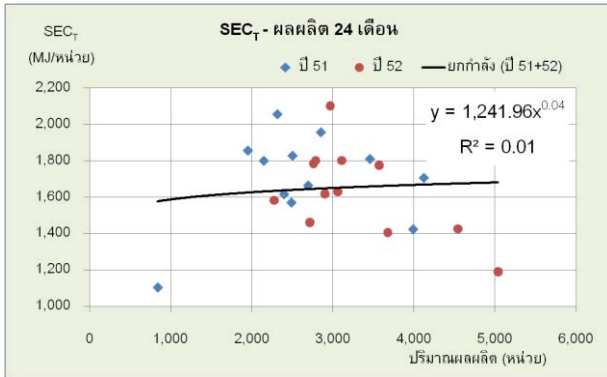
หน่วย: ตัน



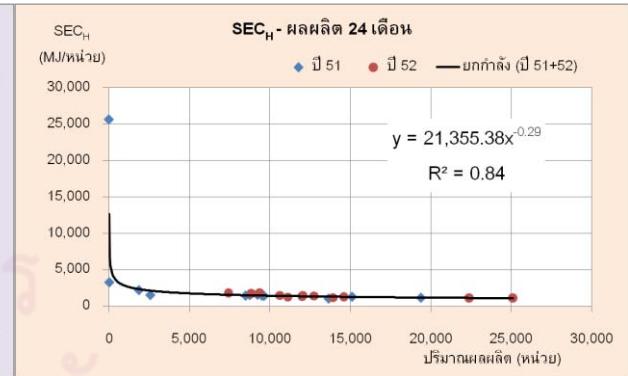
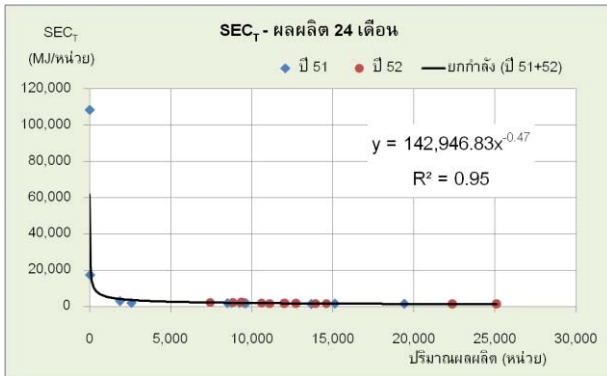
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TSIC 37110-g **ผลิตภัณฑ์:** STEEL WIRE

หน่วย: ตัน

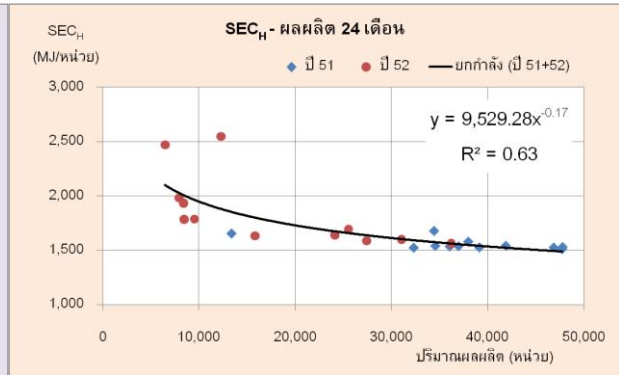
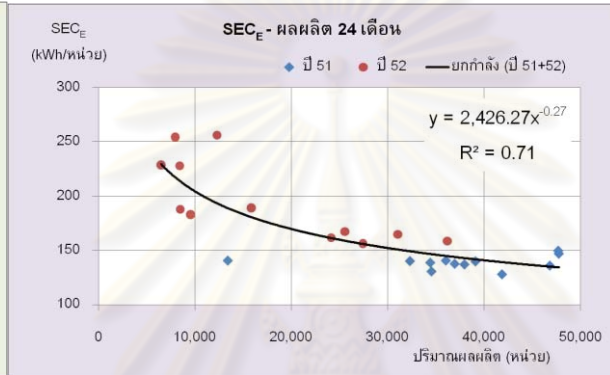
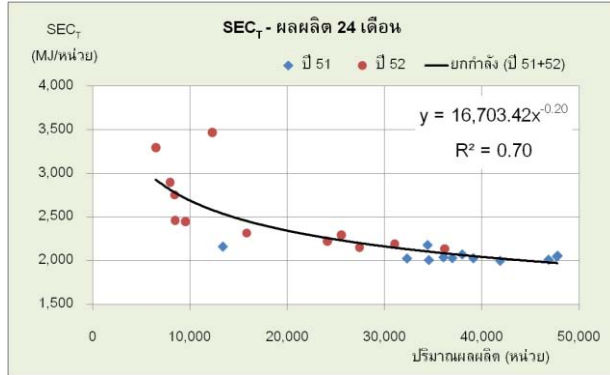


TSIC 37110-i **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย **หน่วย:** ตัน

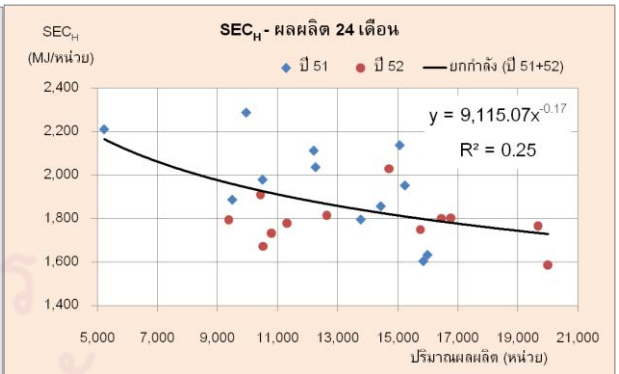
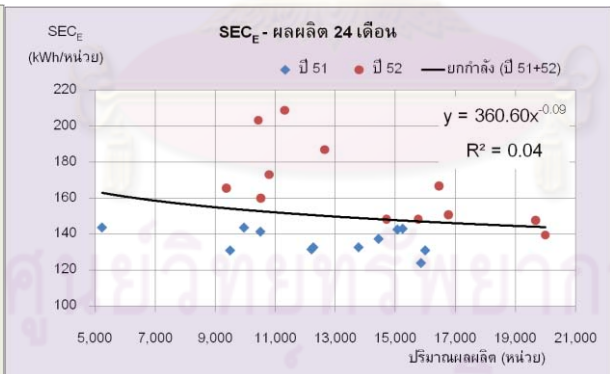
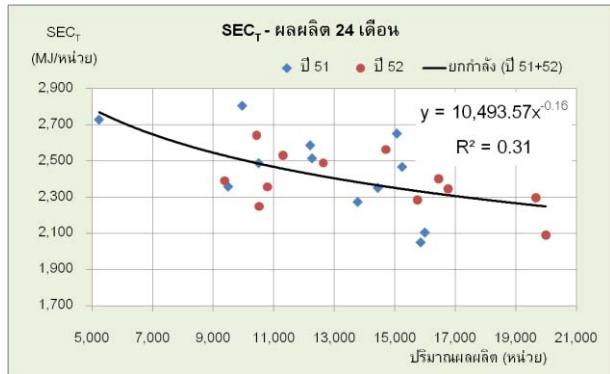


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TSIC 37110-j1 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS) **หน่วย:** ตัน

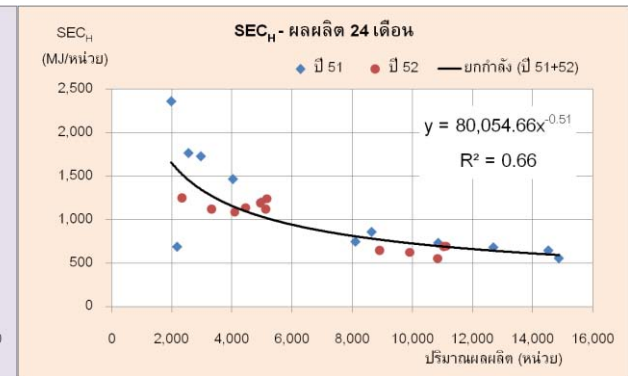
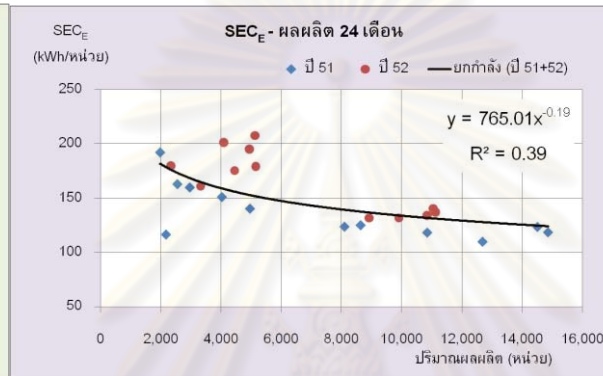
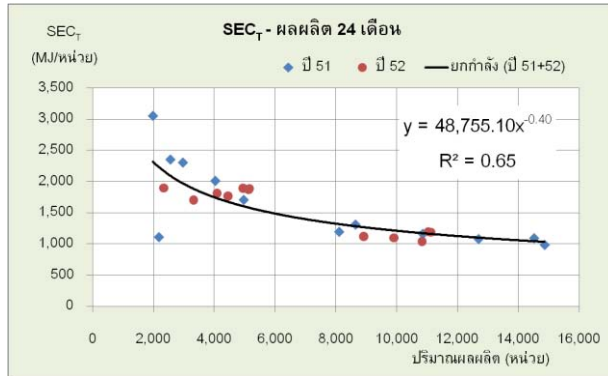


TSIC 37110-j2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบตีบุกหรือโครเมียมสำหรับอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP) **หน่วย:** ตัน



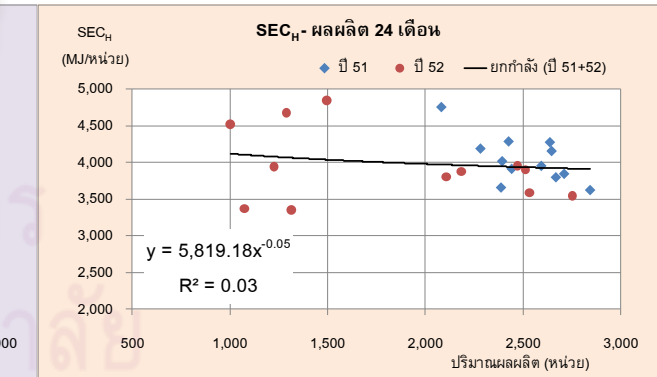
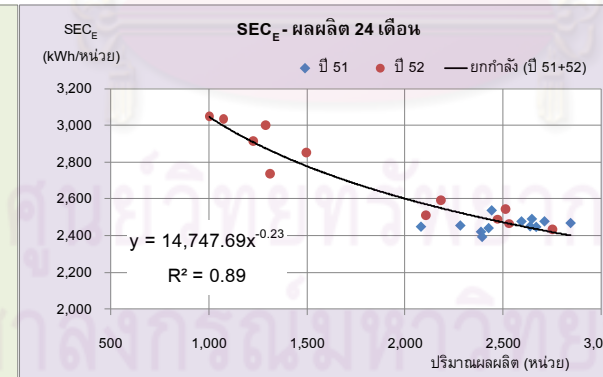
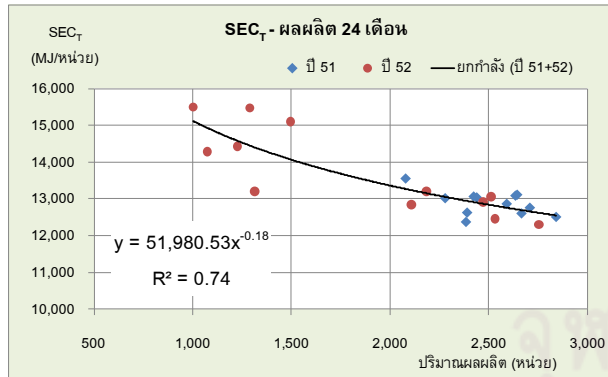
TSIC 37110-j3 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)

หน่วย: ตัน

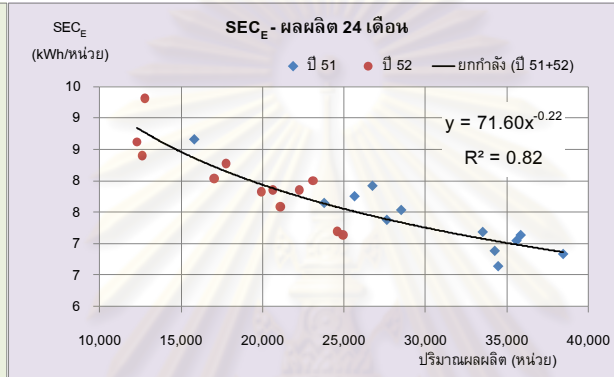
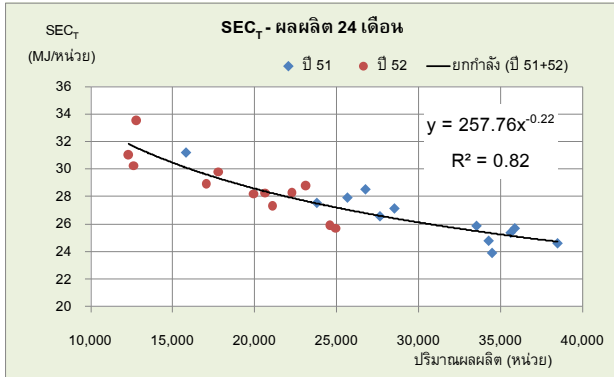


TSIC 37110-I **ผลิตภัณฑ์:** เส้นใยเหล็กกล้า (ลวดเสริมยางรถยนต์)

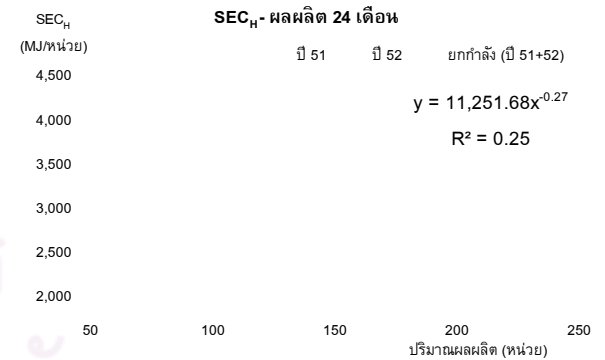
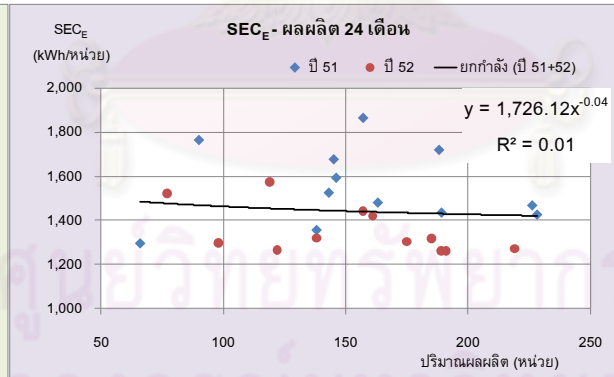
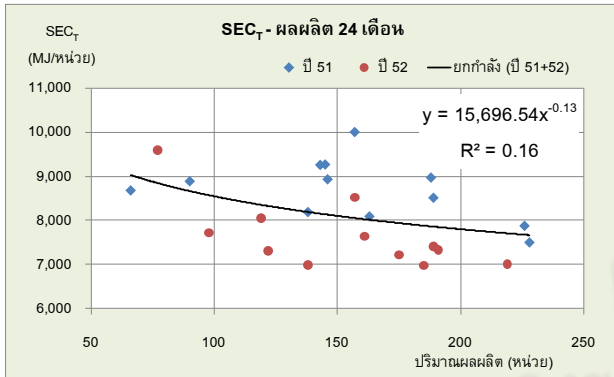
หน่วย: ตัน



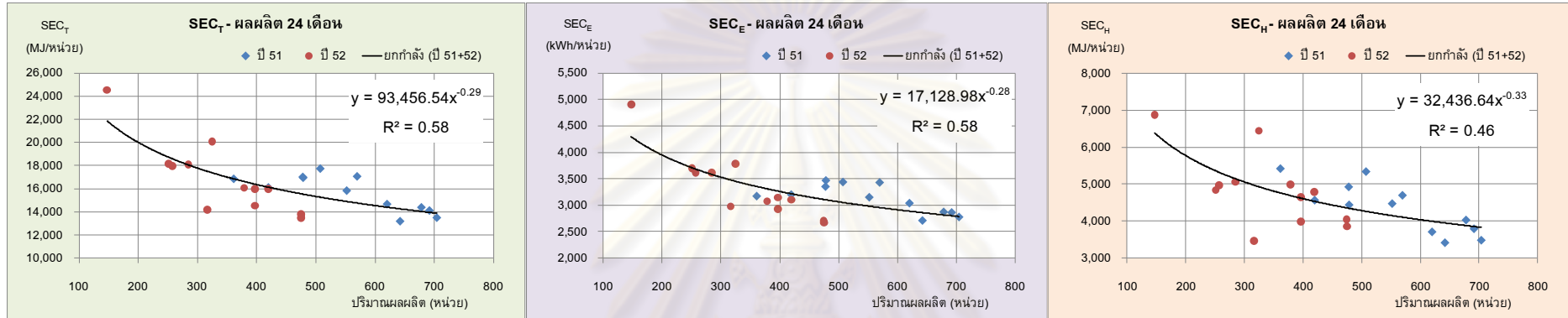
TSIC 37120-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนเหล็กที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม **หน่วย:** ตัน



TSIC 37200-a2 **ผลิตภัณฑ์:** อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(ซูป) **หน่วย:** ตัน

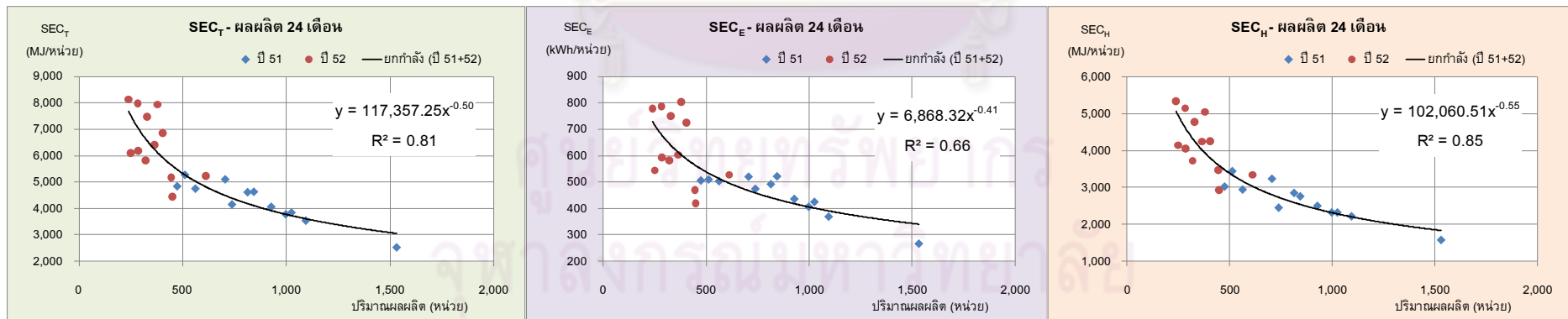


TSIC 37200-b **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ) **หน่วย:** ตัน



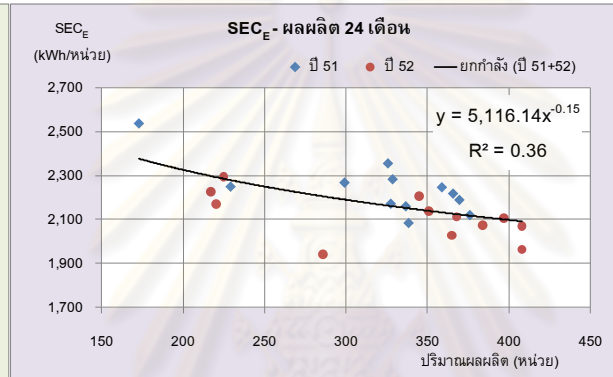
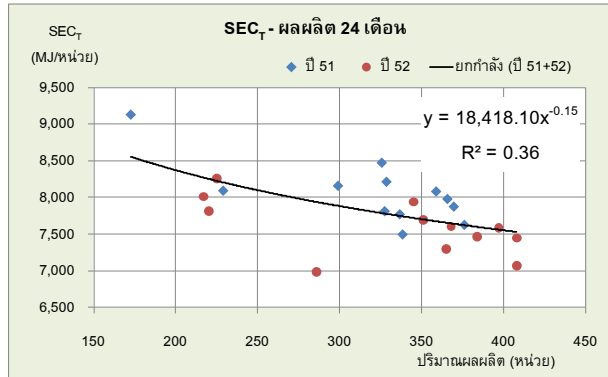
4. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38)

TSIC 38120-a **ผลิตภัณฑ์:** เฟอรันิเจอร์สำนักงานจากโลหะ **หน่วย:** ตัน



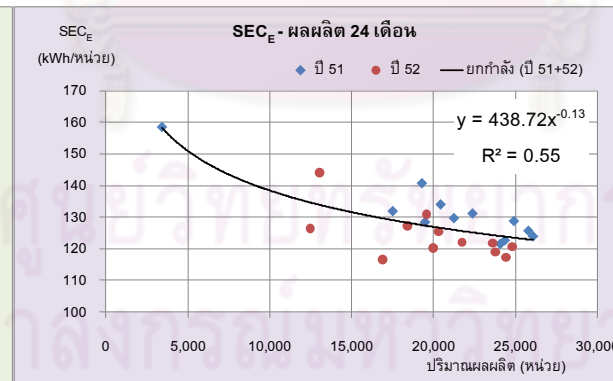
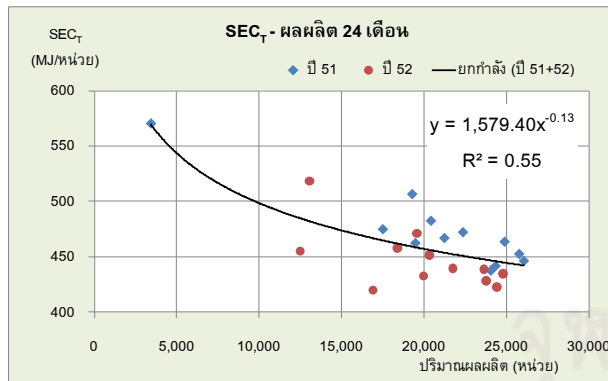
TSIC 38130-a ผลิตรภัณฑ์: ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์

หน่วย: ตัน

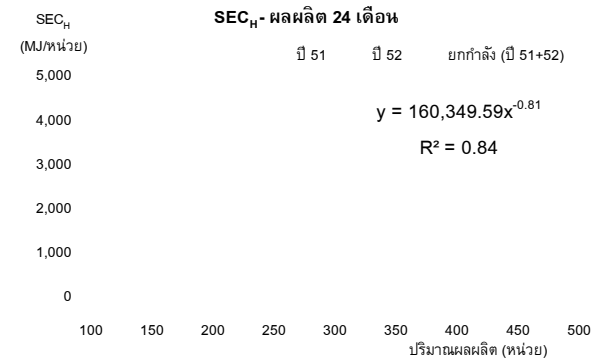
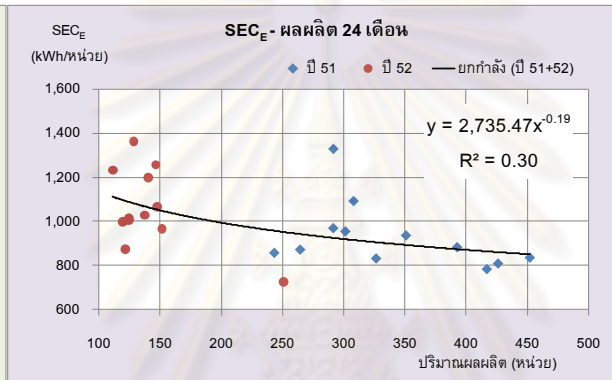
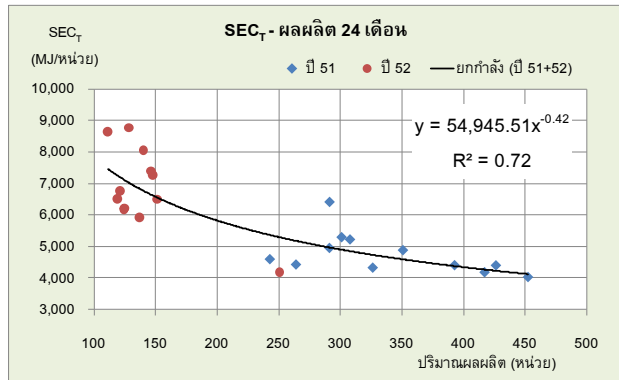


TSIC 38191-a ผลิตรภัณฑ์: ไม้สี่เหลี่ยม

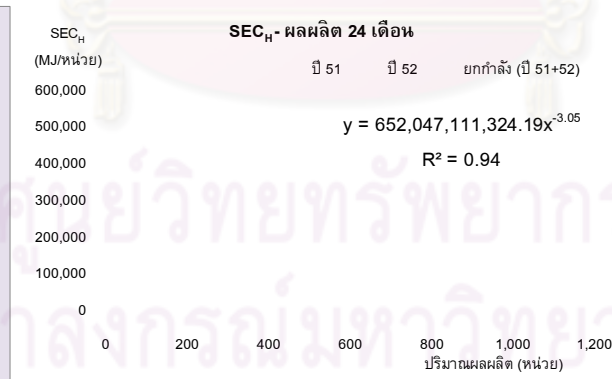
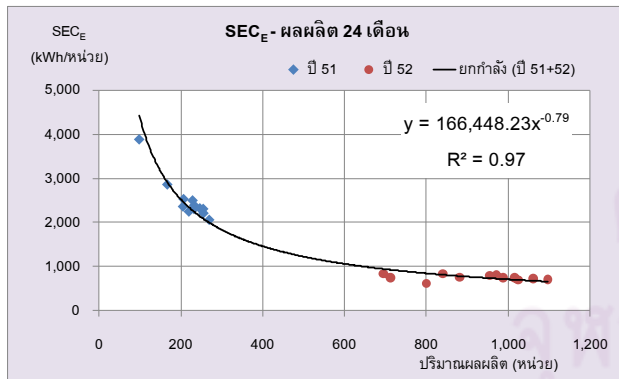
หน่วย: ตัน



TSIC 38192-a **ผลิตภัณฑ์:** แป้นเกลียวหกเหลี่ยม (Heavy hexagon nut) **หน่วย:** ตัน

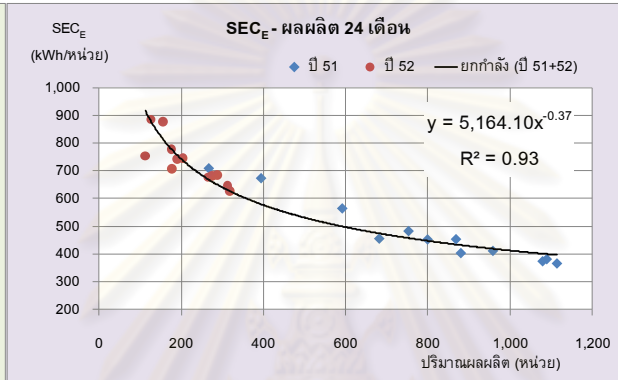
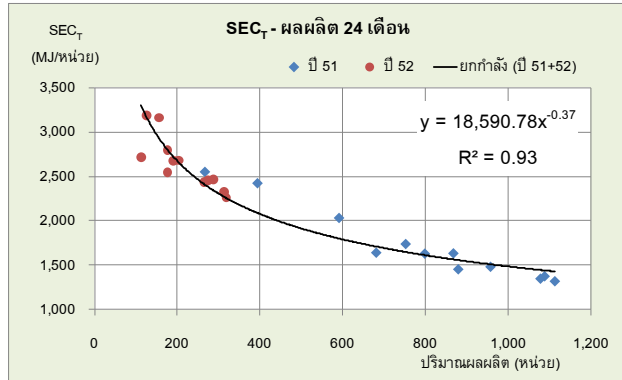


TSIC 38199-b **ผลิตภัณฑ์:** แกนเหล็กอ่อน Soft ferrite Core **หน่วย:** ตัน



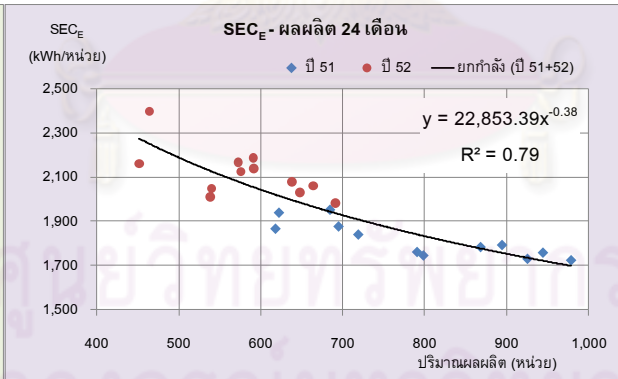
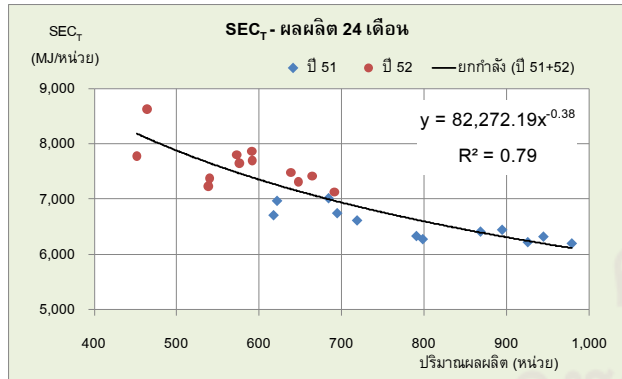
TSIC 38230-a **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์จากโลหะ

หน่วย: ตัน



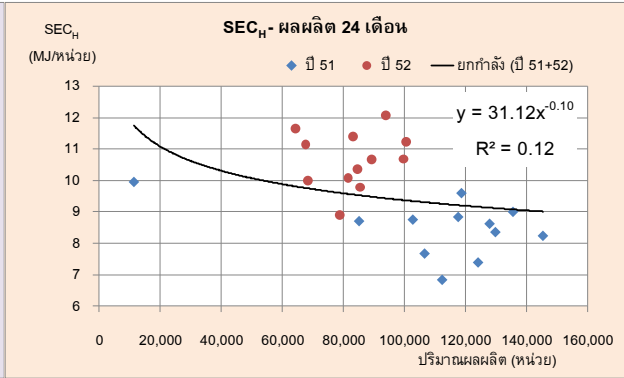
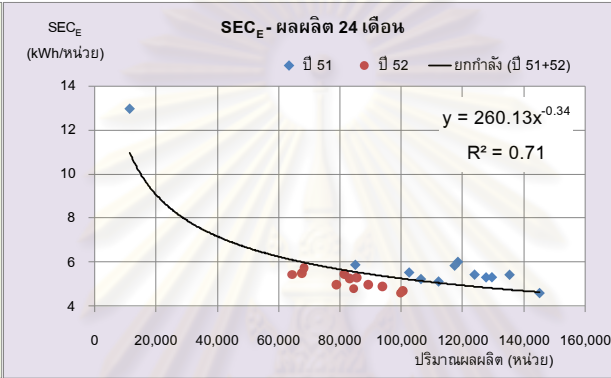
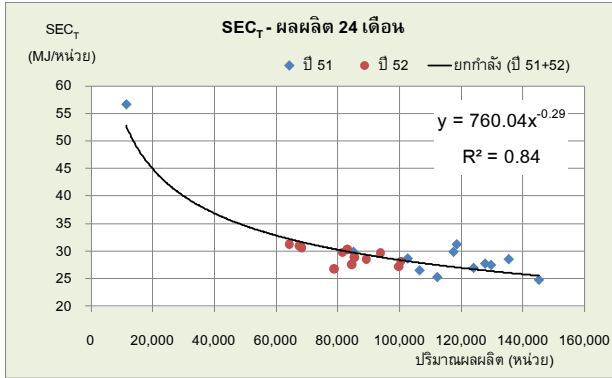
TSIC 38292-a **ผลิตภัณฑ์:** พลาสติกชนิดขึ้นรูป (ชิ้นส่วนยานยนต์)

หน่วย: ตัน



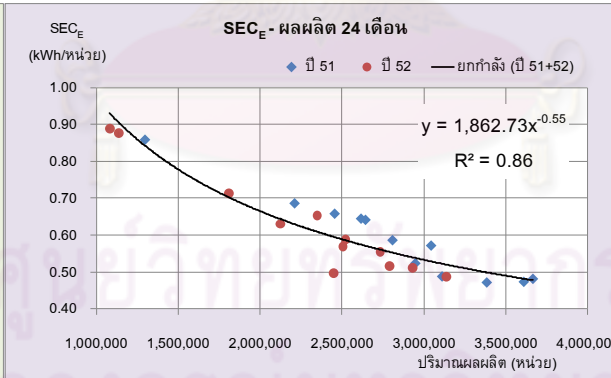
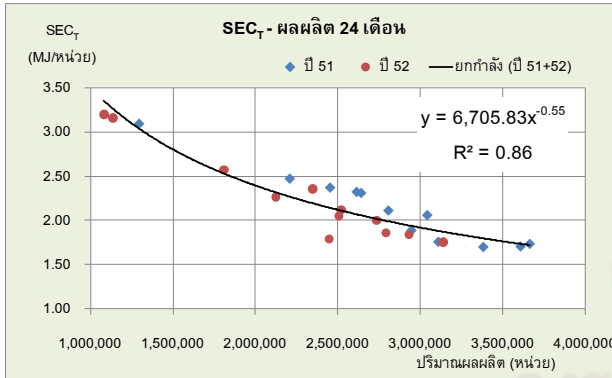
TSIC 38292-b ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



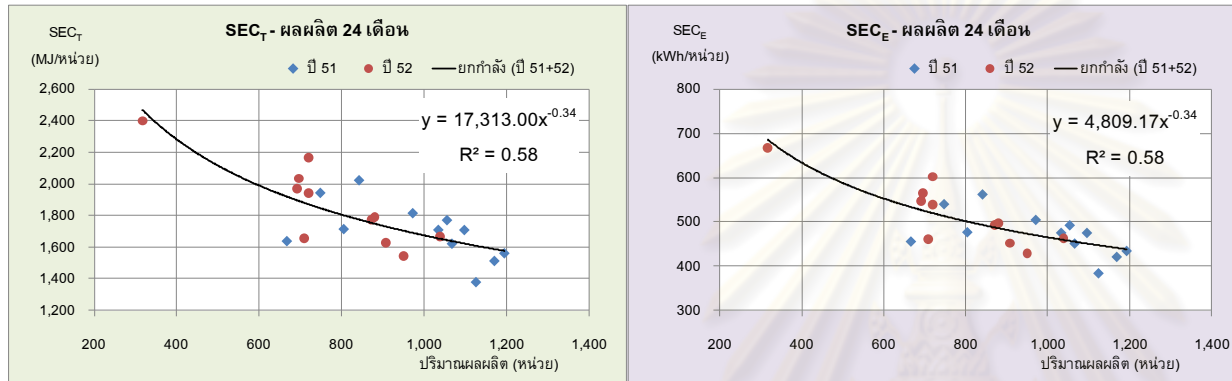
TSIC 38320-b ผลิตภัณฑ์: แผ่นวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์

หน่วย: ชิ้น



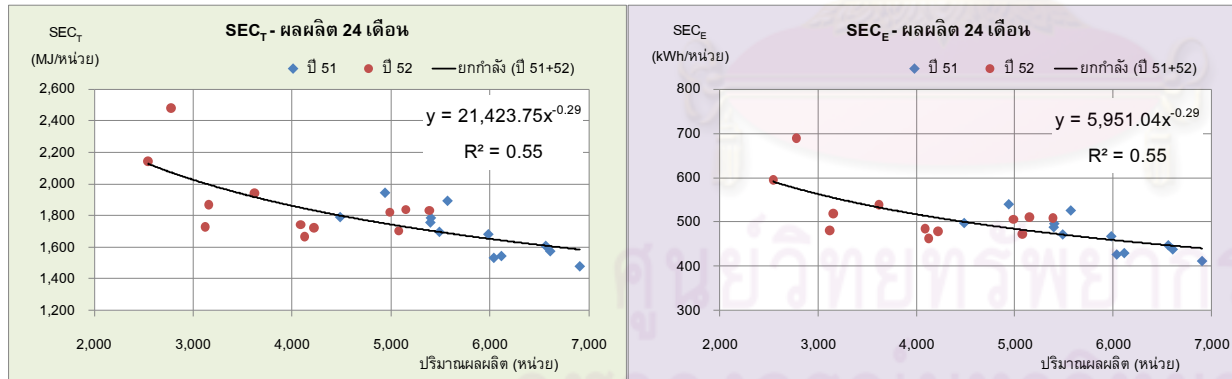
TSIC 38391-b1 **ผลิตภัณฑ์:** ถวดทองแดง 8 มิลลิเมตร

หน่วย: ตัน



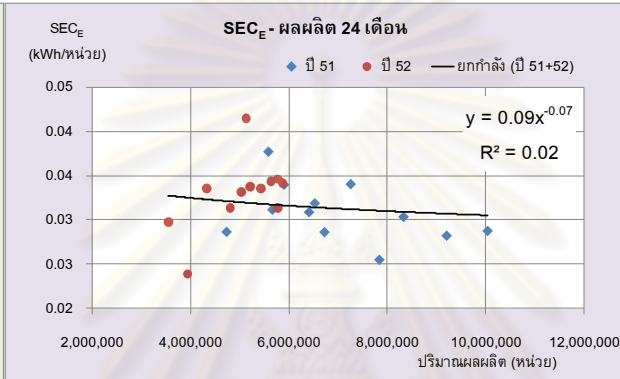
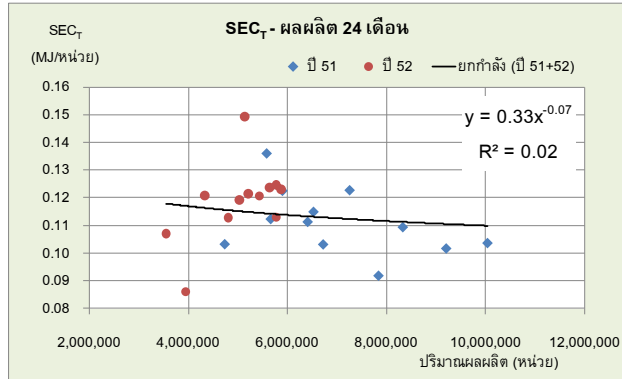
TSIC 38431-a1 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ปั๊มขึ้นรูปและเชื่อมประกอบ)

หน่วย: ตัน



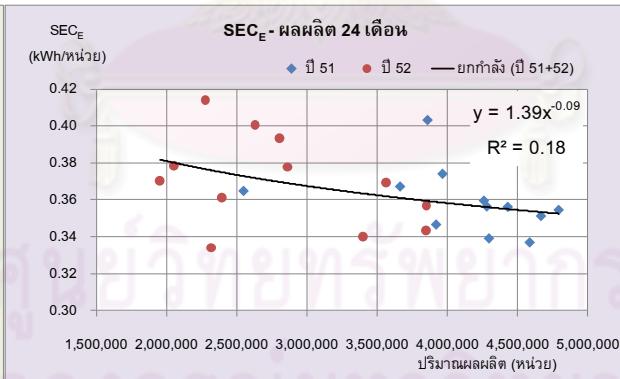
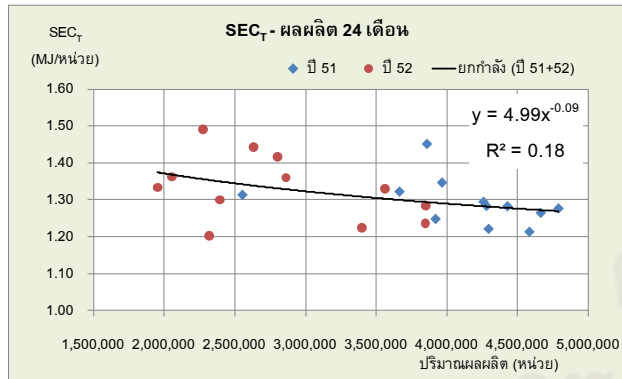
TSIC 38431-b ผลิตภัณฑ์: ชุดสายไฟประกอบ

หน่วย: ชิ้น



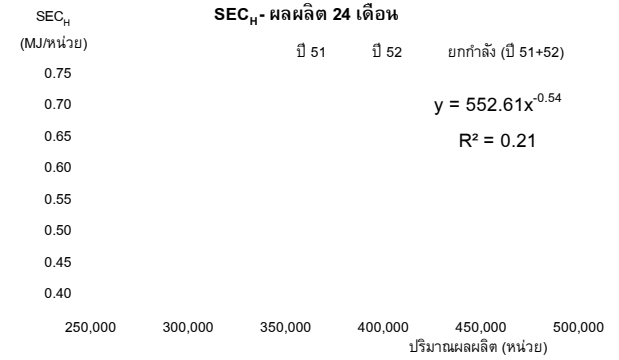
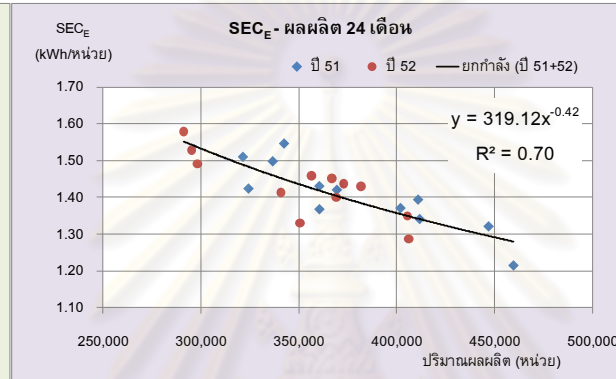
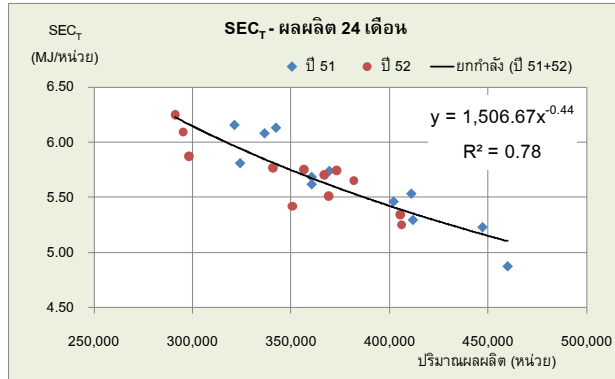
TSIC 38439-b ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending)

หน่วย: ตัน



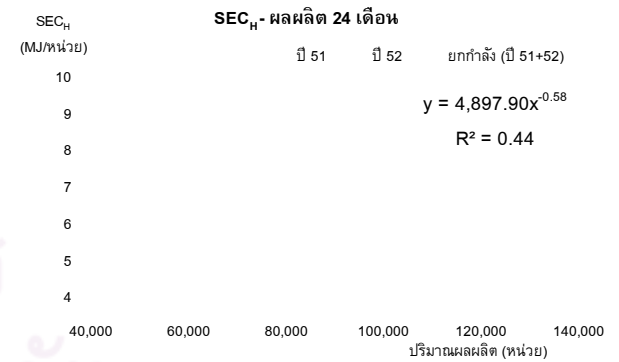
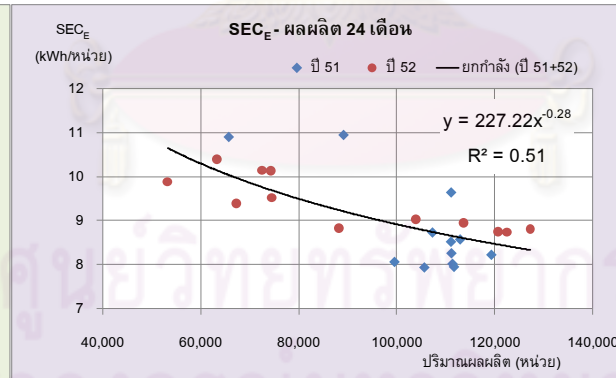
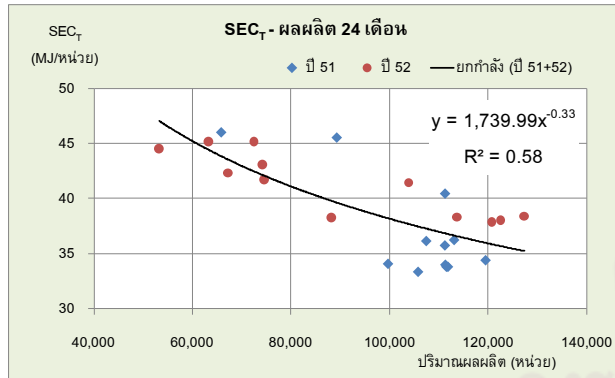
TSIC 38439-g ผลิตภัณฑ์: ผ้าเบรกรถยนต์

หน่วย: ชิ้น



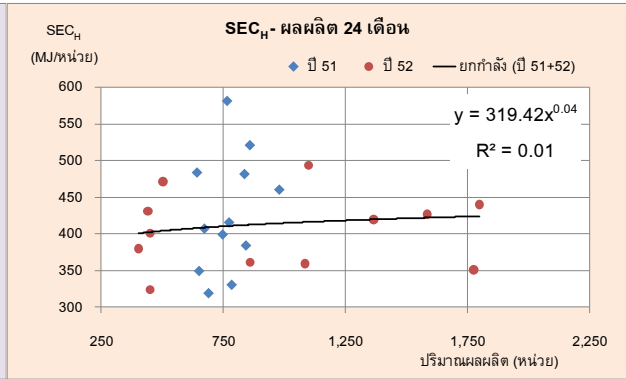
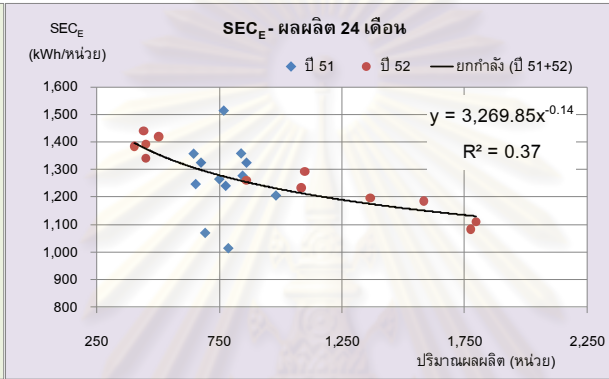
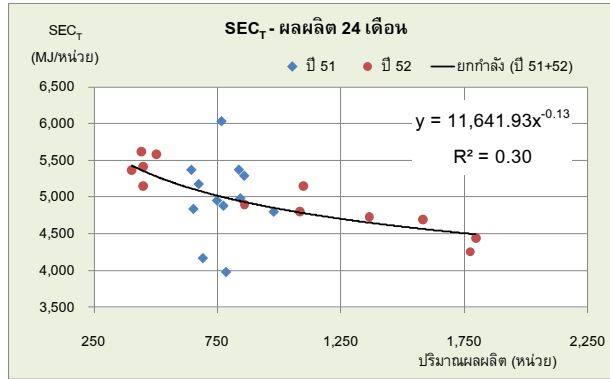
TSIC 38439-i ผลิตภัณฑ์: เพล่าข้าง

หน่วย: ชิ้น



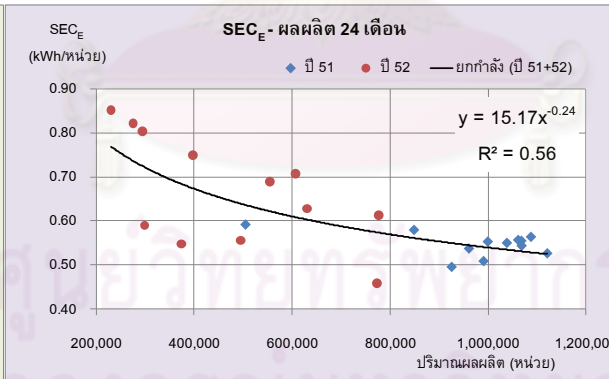
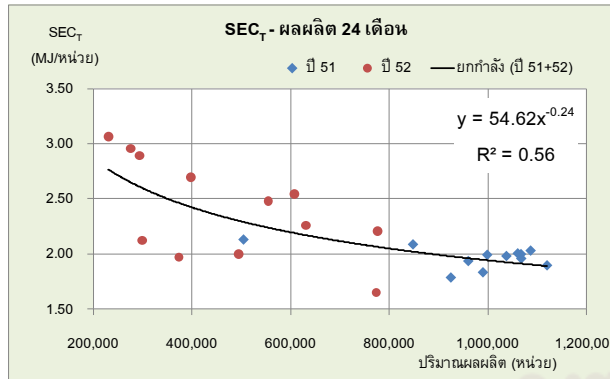
TSIC 38439-I ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนยานยนต์

หน่วย: ชิ้น



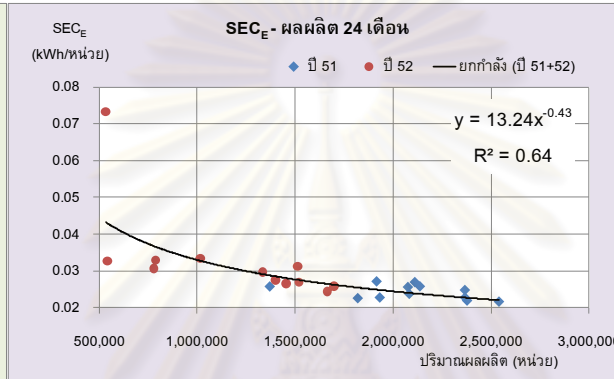
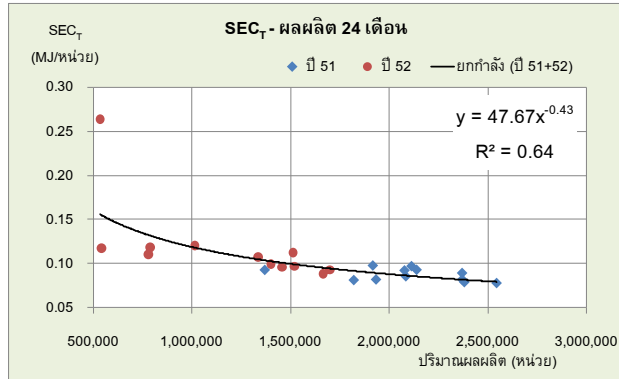
TSIC 38440-a2 ผลิตภัณฑ์: ชิ้นพลาสติก

หน่วย: ชิ้น



TSIC 38440-a4 ผลิตภัณฑ์: ปิ๋มขึ้นรูปโลหะ

หน่วย: ชิ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



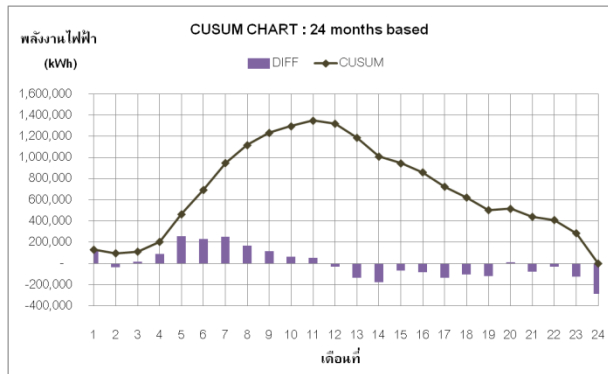
ภาคผนวก จ
กราฟ CUSUM ใช้ฐานอ้างอิง 24 เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33)

TSIC 33112-a ผลิตภัณฑ์: แผ่นไม้ปาร์ติเกิลบอร์ด

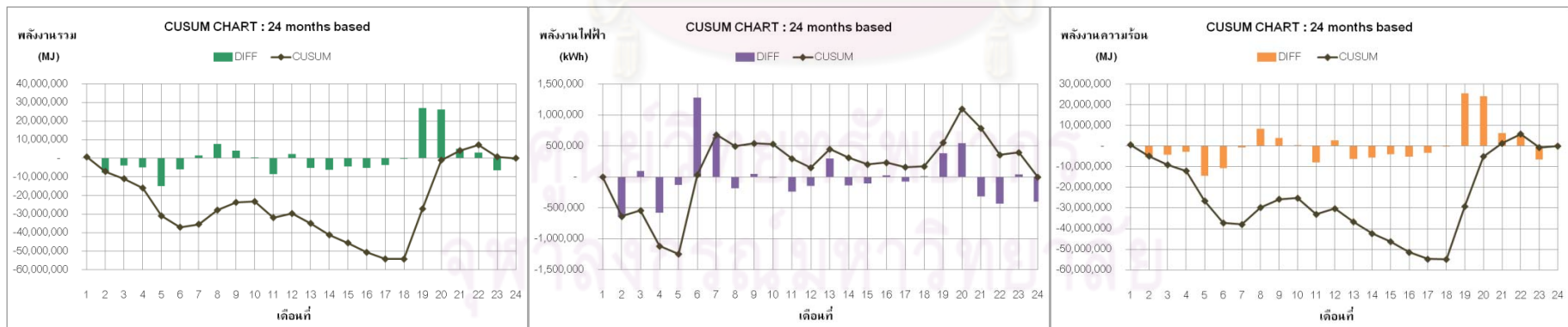
หน่วย: ลบ.ม.



2. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โอลิโหะ (TSIC 36)

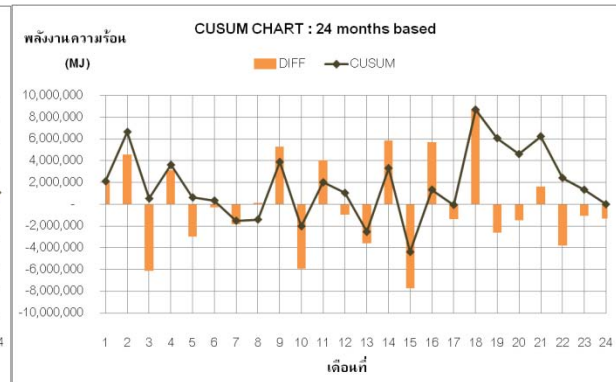
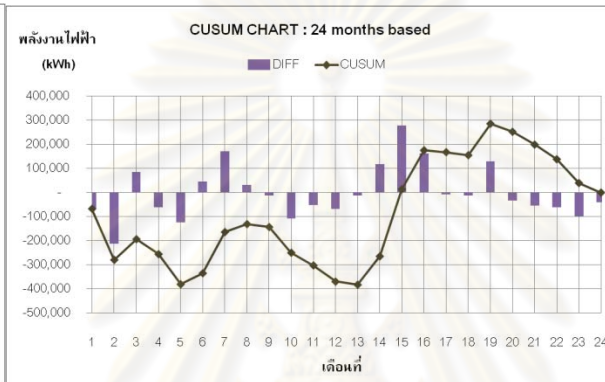
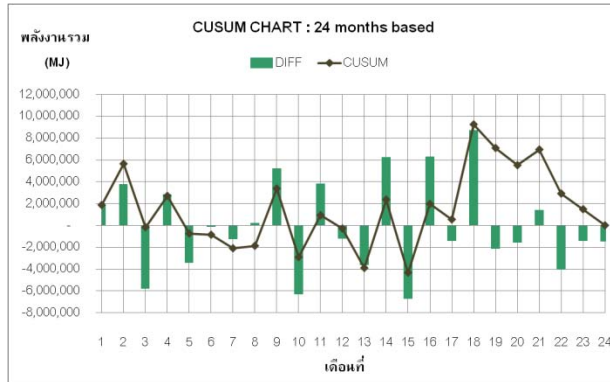
TSIC 36200-a ผลิตภัณฑ์: ภาชนะขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



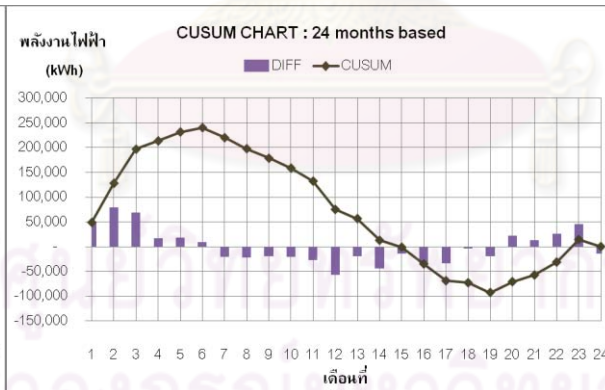
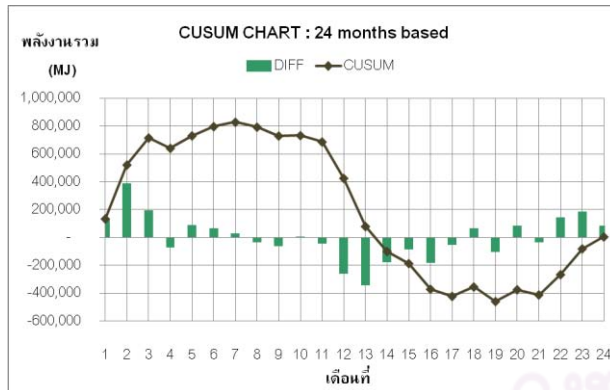
TSIC 36200-c ผลิตภัณฑ์: ขวดแก้ว

หน่วย: ตัน



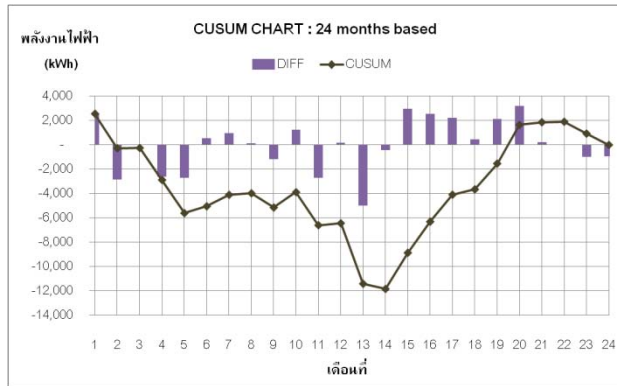
TSIC 36200-d ผลิตภัณฑ์: BENT+TEMPERD+LAMINATED+INSULATED

หน่วย: ตัน



TSIC 36200-f ผลิตภัณฑ์: ไม้สี่ซี้

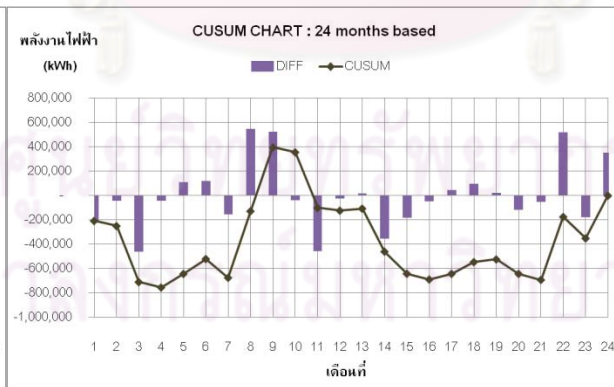
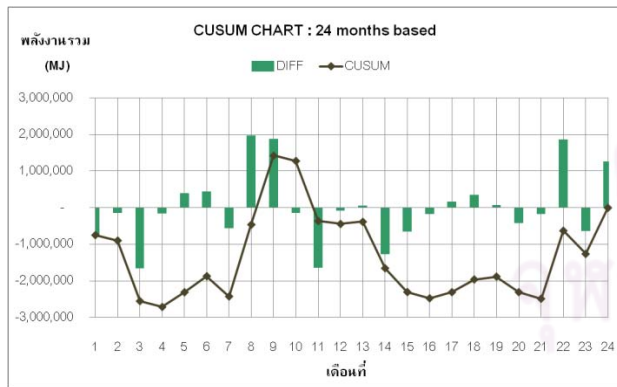
หน่วย: ตัน



3. กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37)

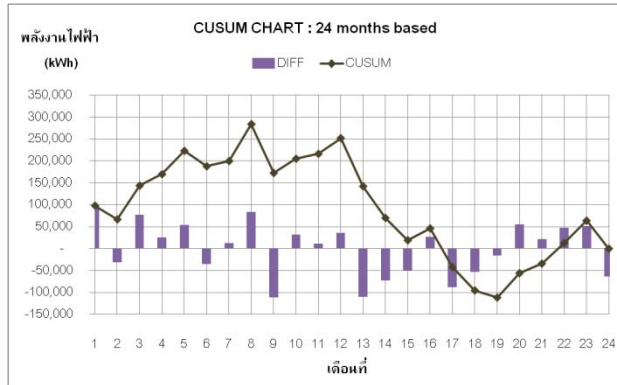
TSIC 37110-a1 ผลิตภัณฑ์: เหล็กแท่ง billet

หน่วย: ตัน



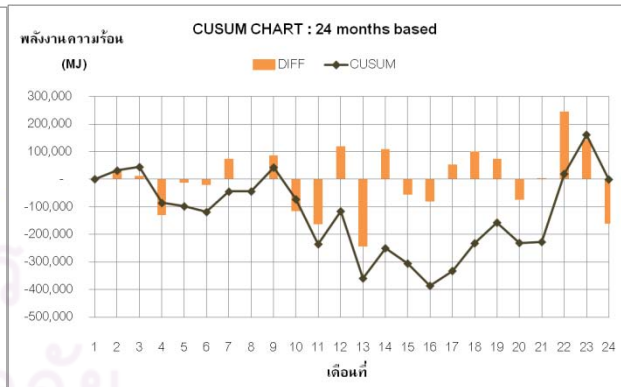
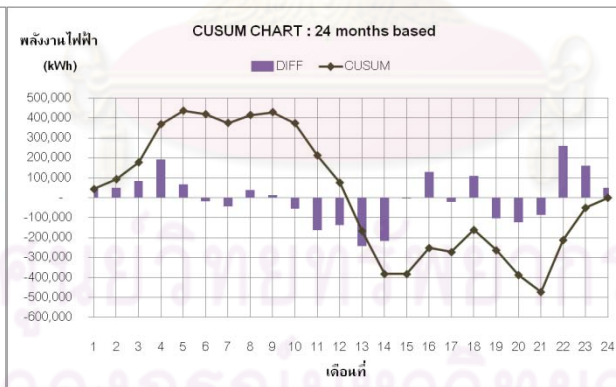
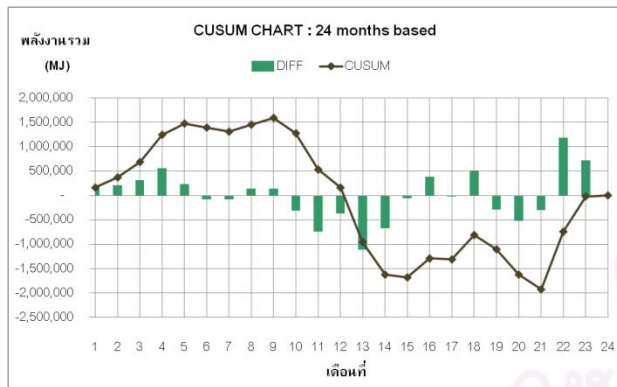
TSIC 37110-a2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กรูปภัณฑ์รีดร้อน

หน่วย: ตัน

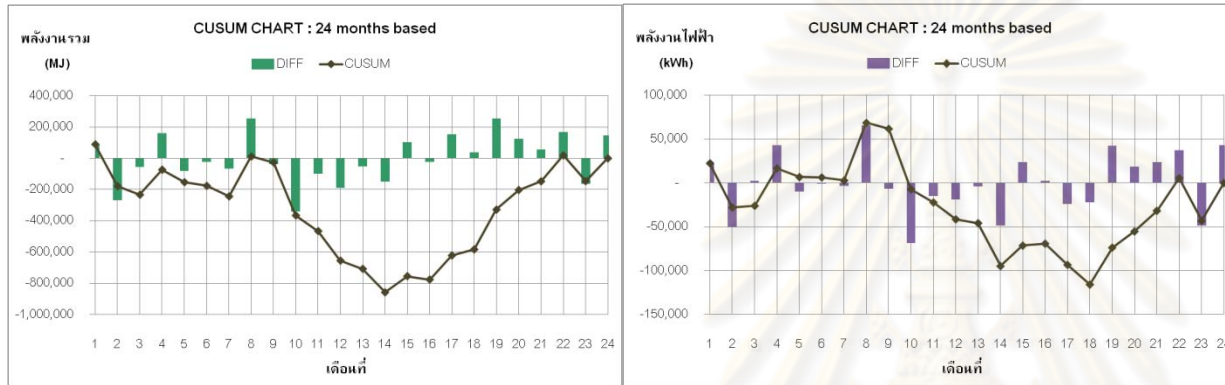


TSIC 37110-b **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเสริมหน้ายางรถยนต์

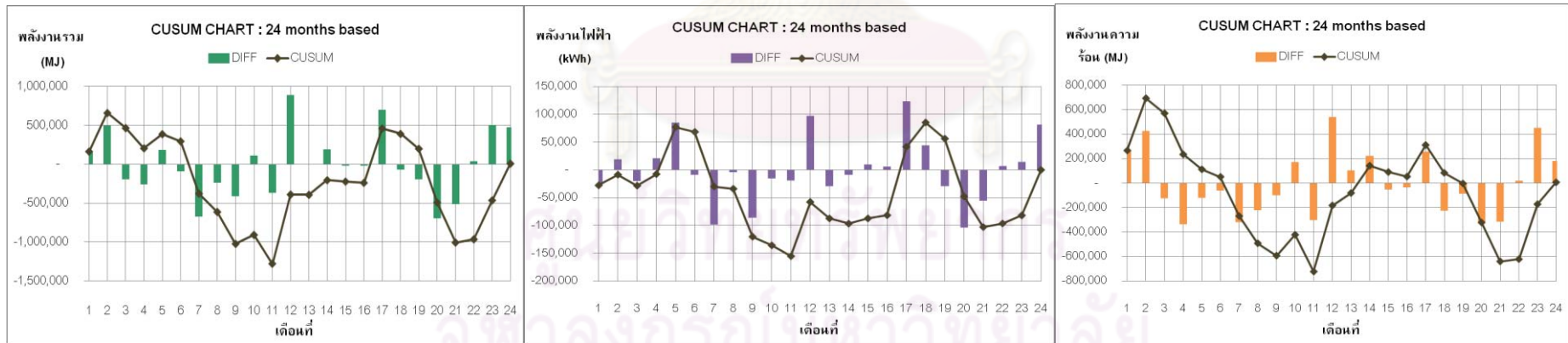
หน่วย: ตัน



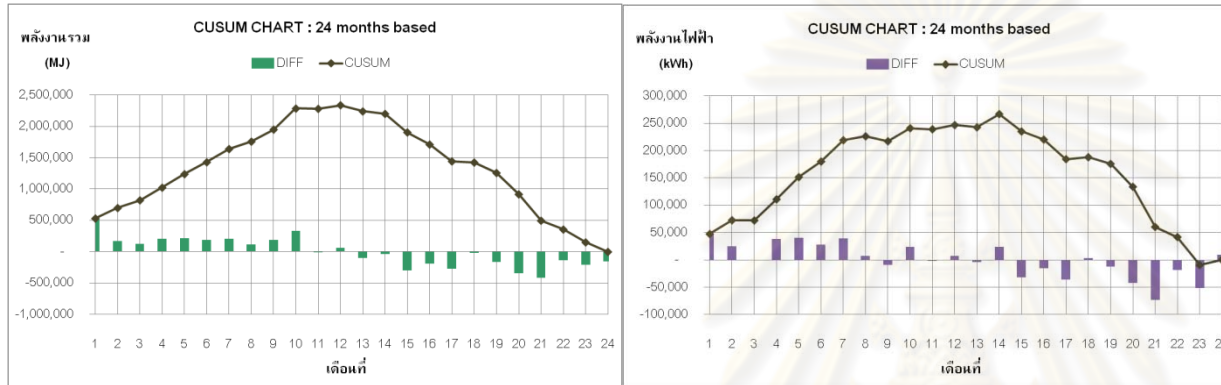
TSIC 37110-c1 **ผลิตภัณฑ์:** ท่อเหล็กร้อยสายไฟชุบสังกะสี **หน่วย:** ตัน



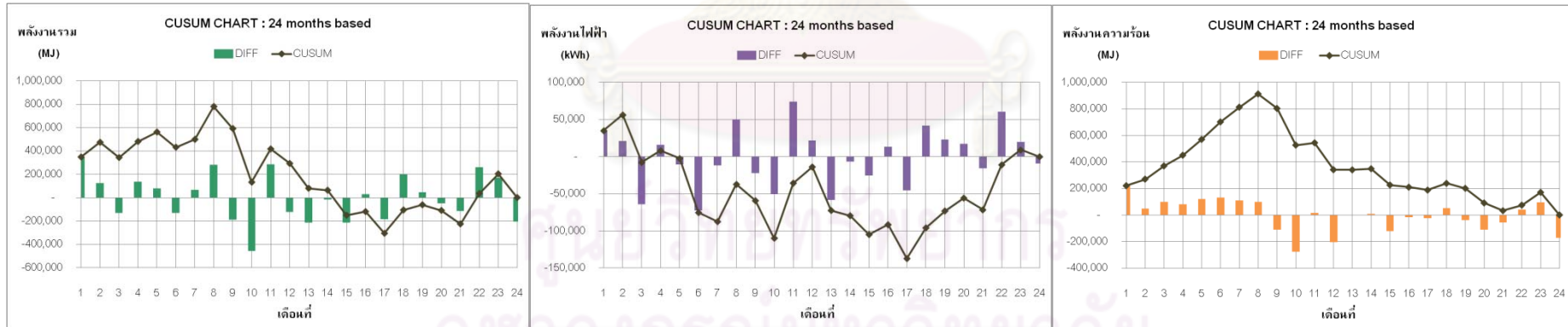
TSIC 37110-d **ผลิตภัณฑ์:** แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก + แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม **หน่วย:** ตัน



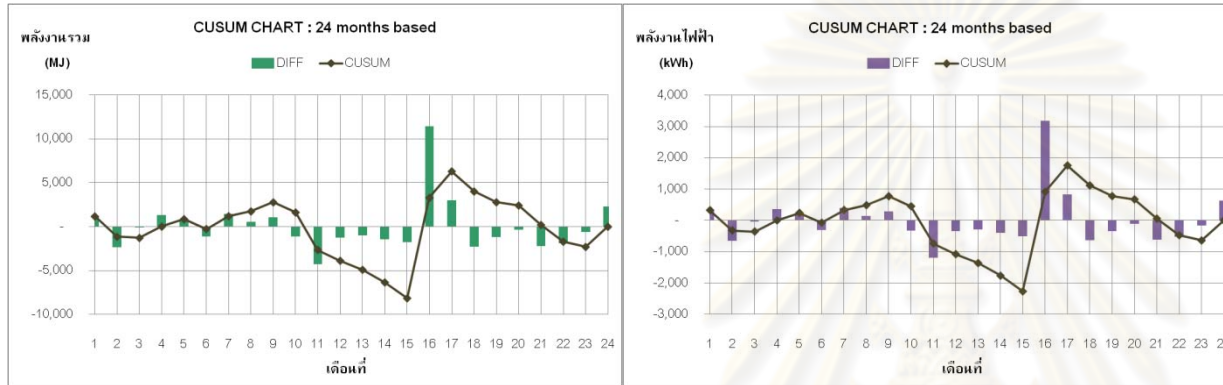
TSIC 37110-e1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดเส้นเดี่ยว (PC-Wire) **หน่วย:** ตัน



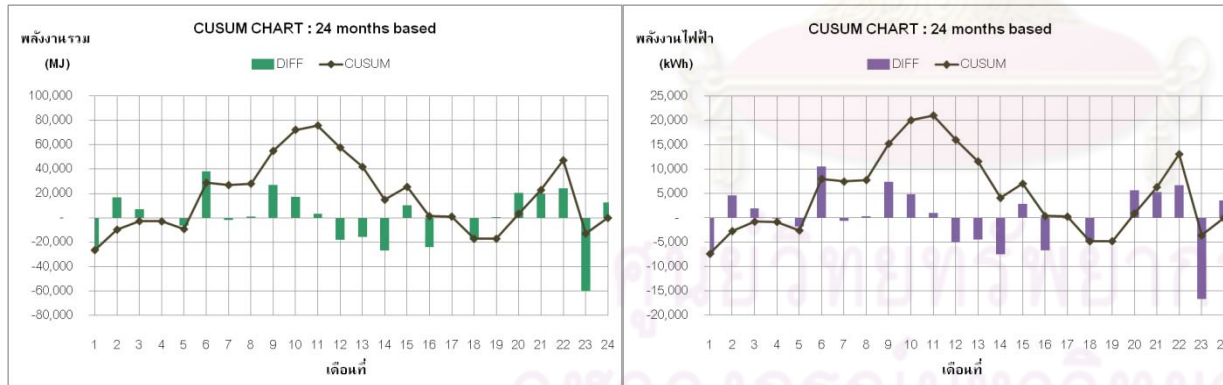
TSIC 37110-e2 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียว (PC-Strand) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-e3 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงชนิดตีเกลียวเคลือบโพลีเอธิลีน (PE) **หน่วย:** ตัน

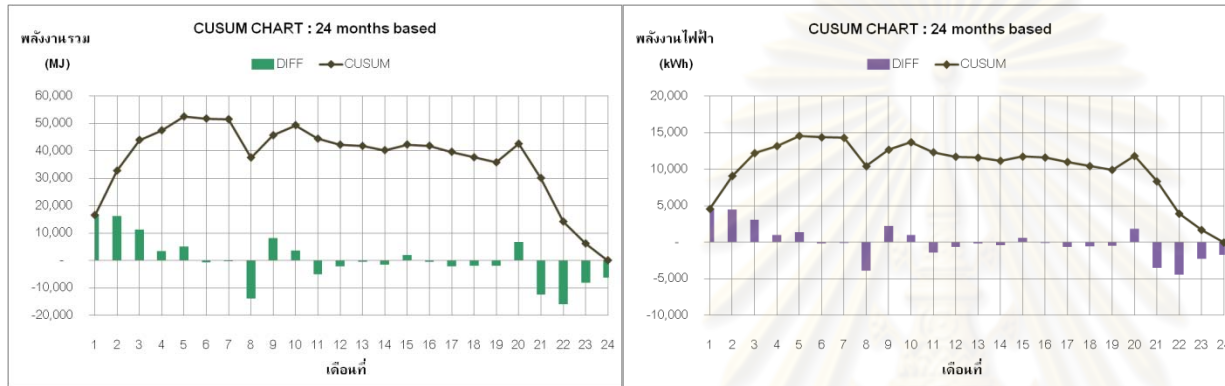


TSIC 37110-e4 **ผลิตภัณฑ์:** ตะแกรงเหล็กกล้าเชื่อมติด (Wire Mesh) **หน่วย:** ตัน



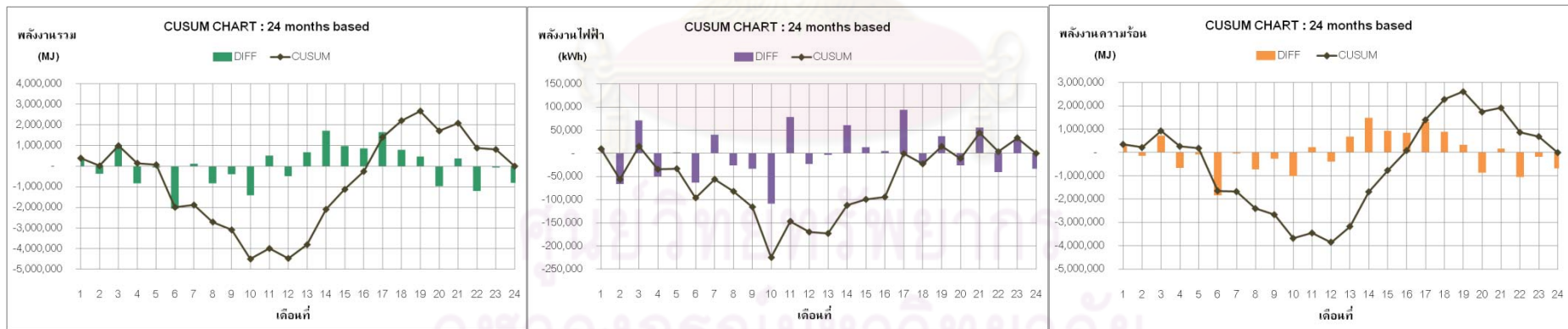
TSIC 37110-e5 ผลิตภัณฑ์: ลวดเหล็กกล้าดึงเย็น (Cold draw)

หน่วย: ตัน



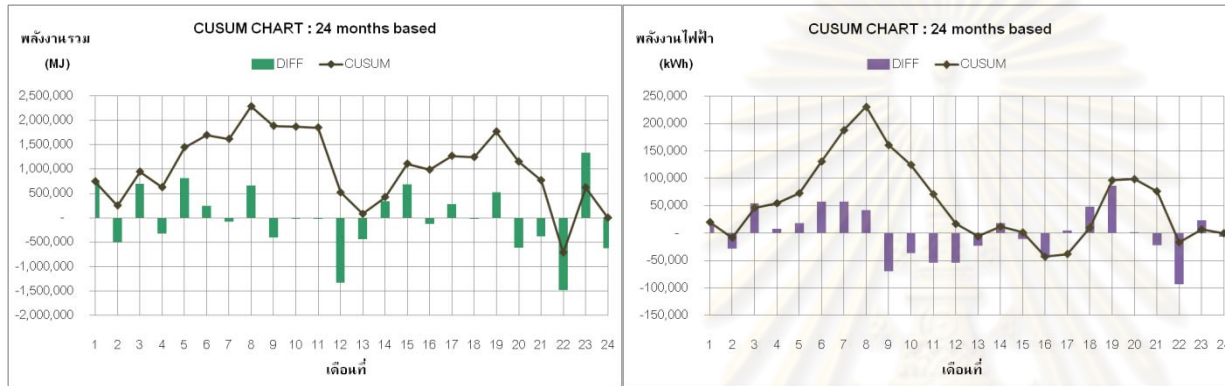
TSIC 37110-f ผลิตภัณฑ์: เหล็กเส้น

หน่วย: ตัน

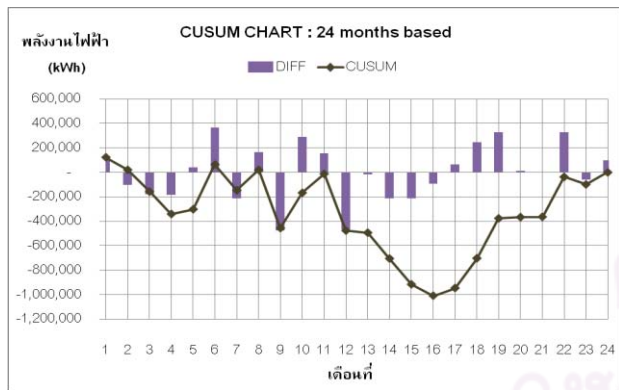


TSIC 37110-g **ผลิตภัณฑ์:** STEEL WIRE

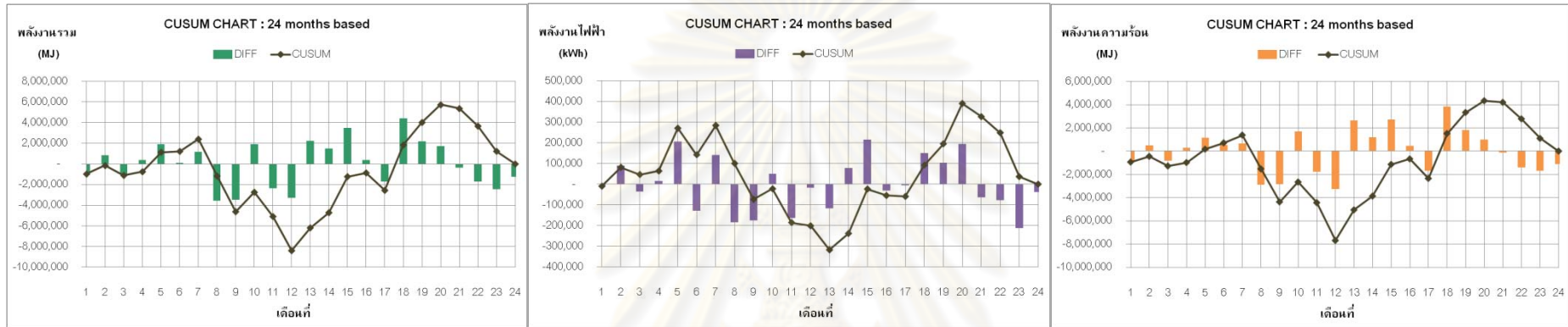
หน่วย: ตัน



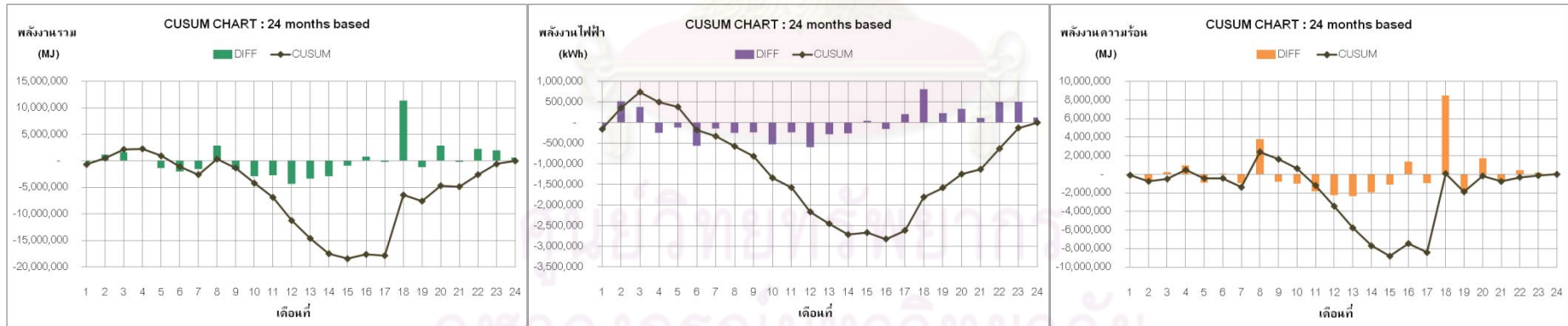
TSIC 37110-h **ผลิตภัณฑ์:** แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก + แผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-i **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กเส้นก่อสร้าง ชนิดเหล็กเส้นกลมและเหล็กข้ออ้อย **หน่วย:** ตัน

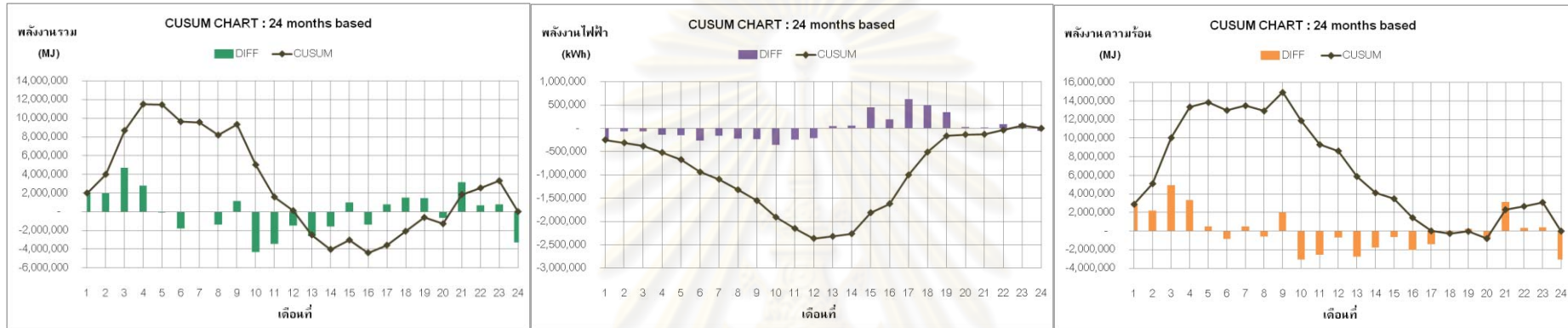


TSIC 37110-j1 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (CRS) **หน่วย:** ตัน



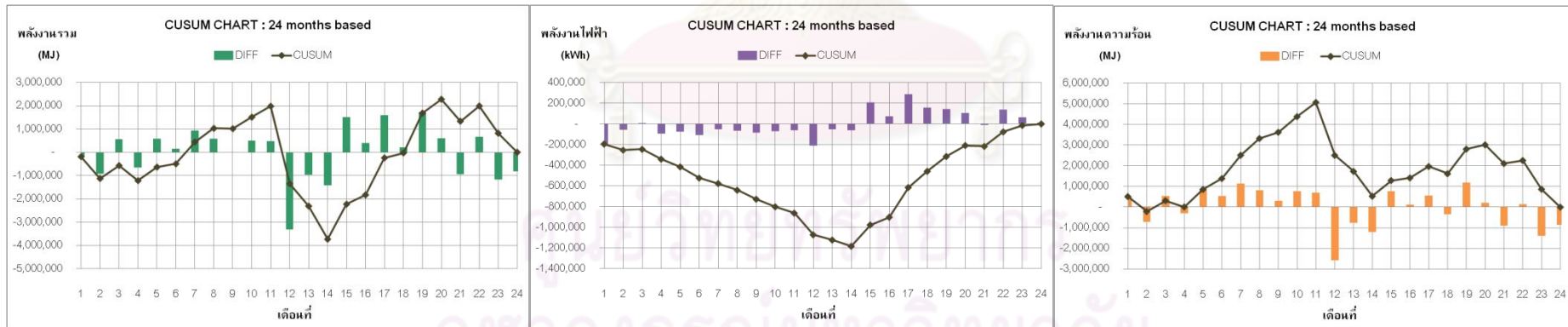
TSIC 37110-j2 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบตีบุกหรือโครเมียมสำหรับอุตสาหกรรมภาชนะบรรจุอาหาร (TMBP)

หน่วย: ตัน

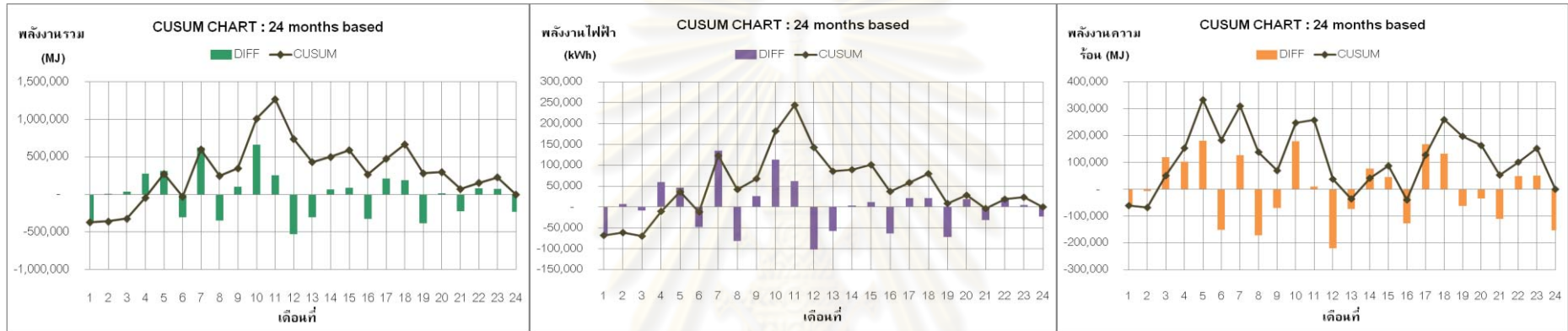


TSIC 37110-j3 **ผลิตภัณฑ์:** เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับเคลือบสังกะสีสำหรับงานก่อสร้าง (GIS)

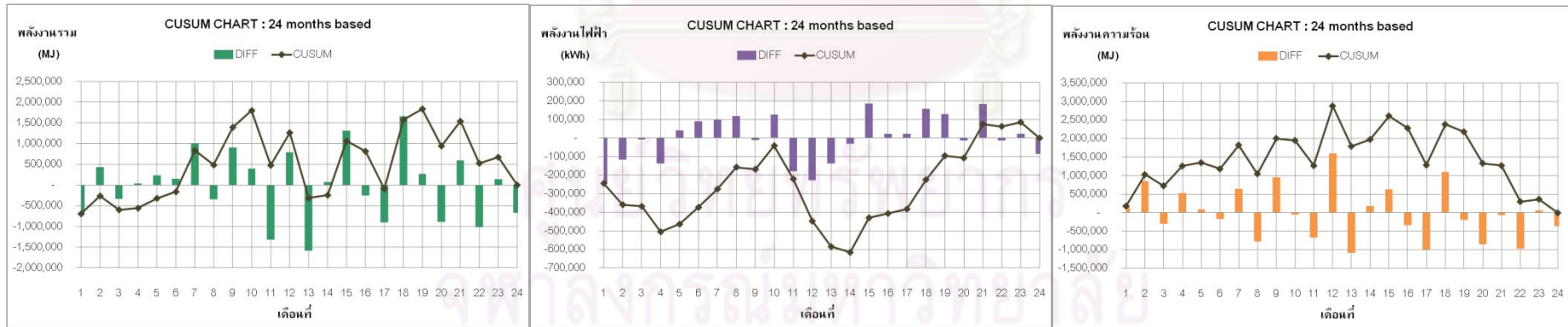
หน่วย: ตัน



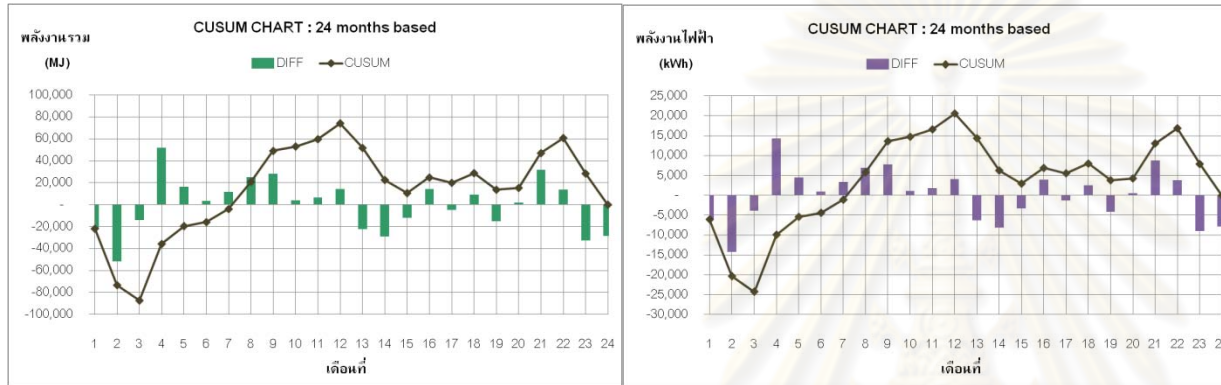
TSIC 37110-k **ผลิตภัณฑ์:** ลวดเหล็กแรงดึงสูงความผ่อนคลายต่ำ เส้นเดียว + ลวดเหล็กแรงดึงสูงความผ่อนคลายต่ำ ทีเกลียว +
 ลวดเหล็กชุบสังกะสี เส้นเดียว และทีเกลียว **หน่วย:** ตัน



TSIC 37110-l **ผลิตภัณฑ์:** เส้นใยเหล็กกล้า(ลวดเสริมยางรถยนต์) **หน่วย:** ตัน



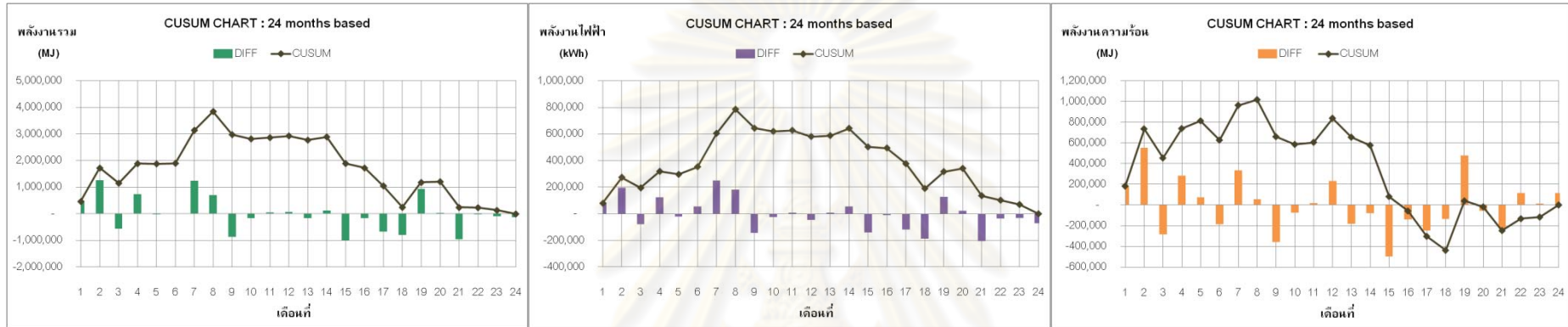
TSIC 37120-a **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนหลักที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม **หน่วย:** ตัน



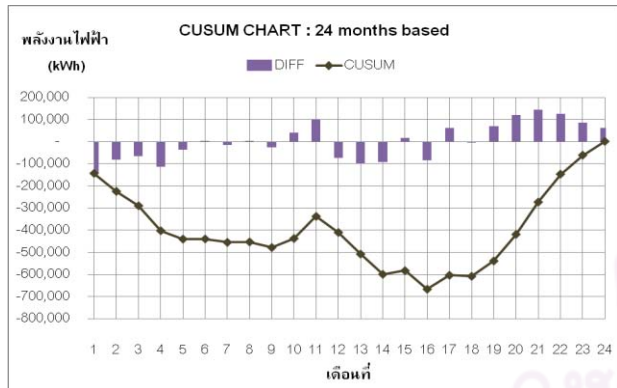
TSIC 37200-a2 **ผลิตภัณฑ์:** อลูมิเนียมเส้นหน้าตัด(รูป) **หน่วย:** ตัน



TSIC 37200-b **ผลิตภัณฑ์:** ผลิตภัณฑ์ วาล์วน้ำทองเหลือง และชิ้นส่วนวาล์ว (KITZ) **หน่วย:** ตัน



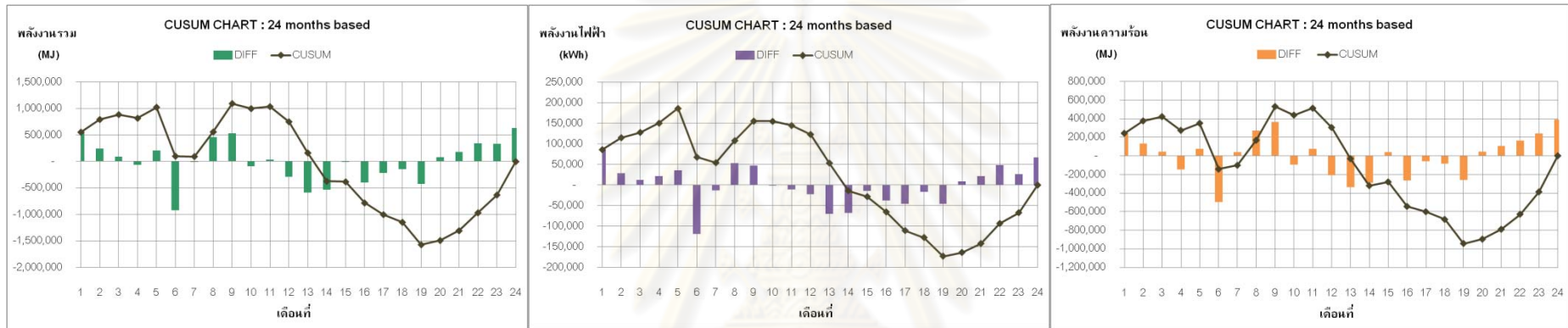
TSIC 37200-c **ผลิตภัณฑ์:** ท่อเหล็ก ERW + ท่อเหล็ก CD + ท่อเหล็ก Cutting + ท่อเหล็ก Processing **หน่วย:** ตัน



4. กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38)

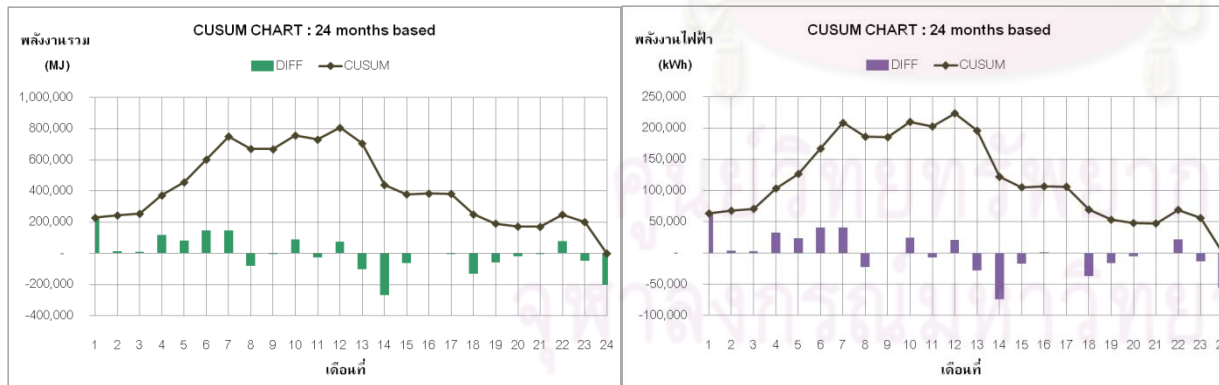
TSIC 38120-a ผลิตภัณฑ์: เฟอริไนเจอร์สำนักงานจากโลหะ

หน่วย: ตัน



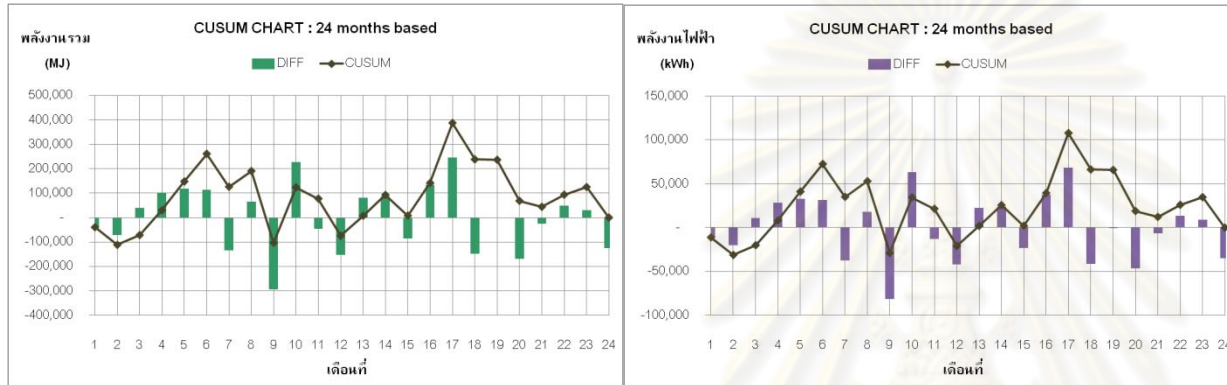
TSIC 38130-a ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนท่อแอร์รถยนต์

หน่วย: ตัน



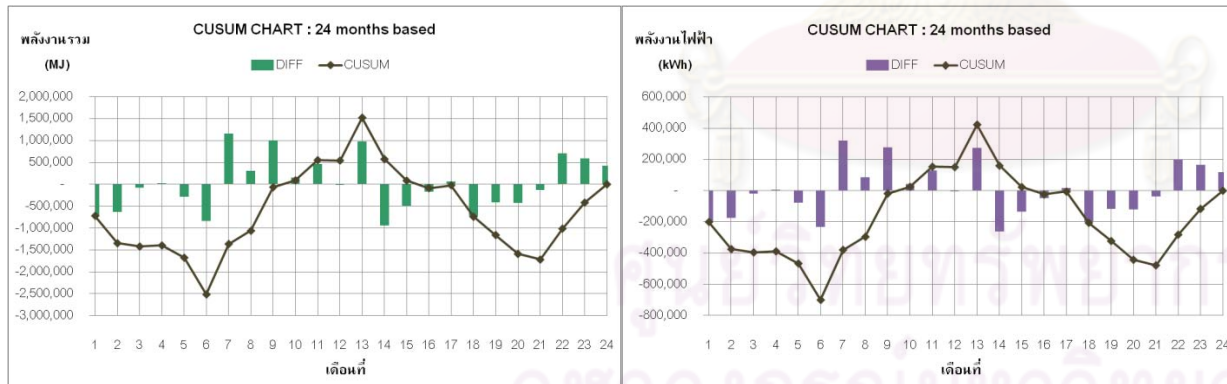
TSIC 38391-b1 **ผลิตภัณฑ์:** ลวดทองแดง 8 มิลลิเมตร

หน่วย: ตัน



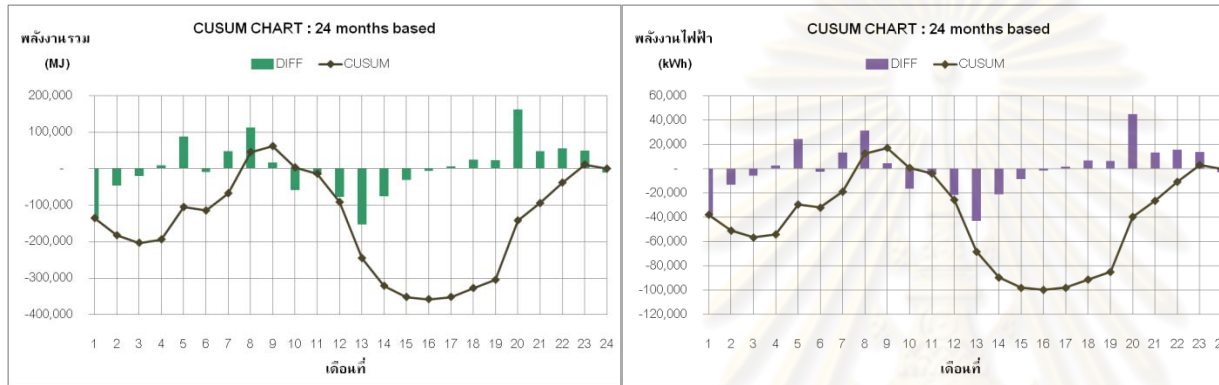
TSIC 38431-a1 **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (ปั๊มขึ้นรูปและเชื่อมประกอบ)

หน่วย: ตัน



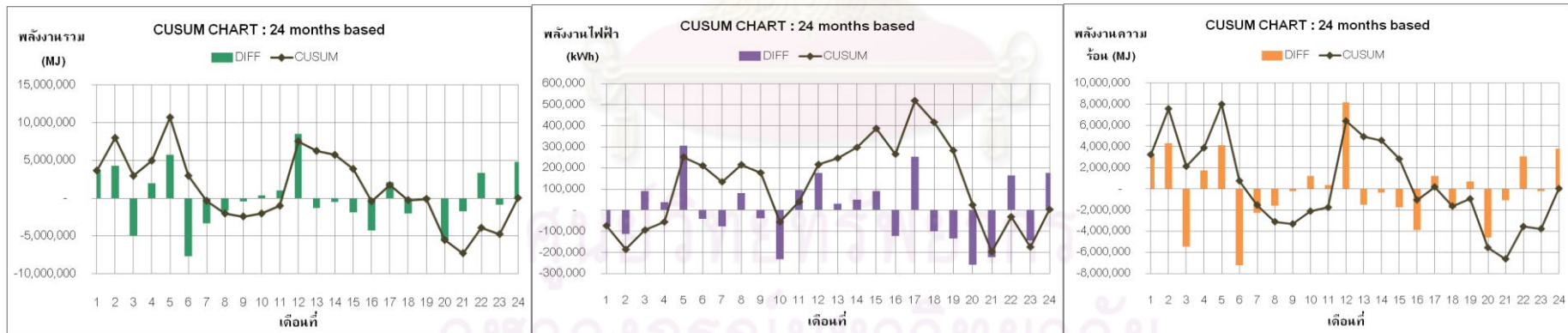
TSIC 38431-b **ผลิตภัณฑ์:** ชุดสายไฟประกอบ

หน่วย: ชิ้น

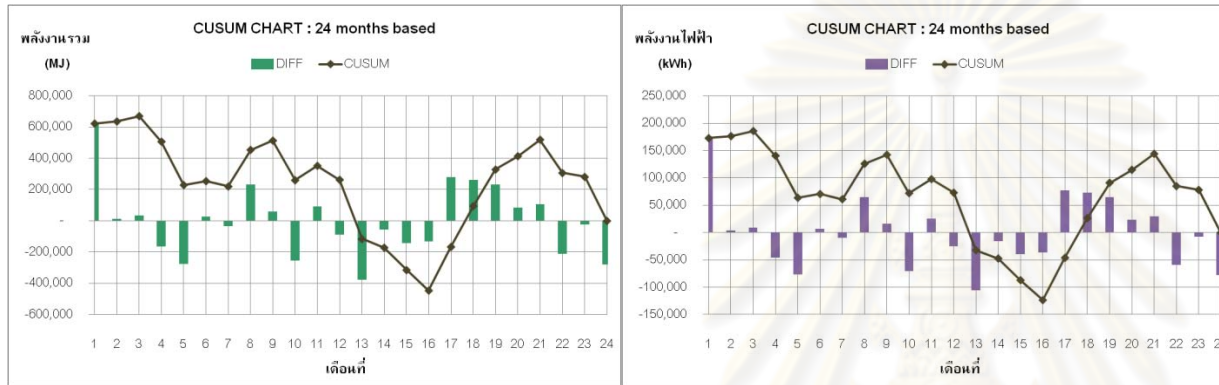


TSIC 38439-a **ผลิตภัณฑ์:** ล้อรถยนต์ + ล้อรถจักรยานยนต์ + ฝาสูบ และเสื้อสูบรถจักรยานยนต์ + กระบอกช็อคค้อบ และชิ้นส่วนอื่นๆ

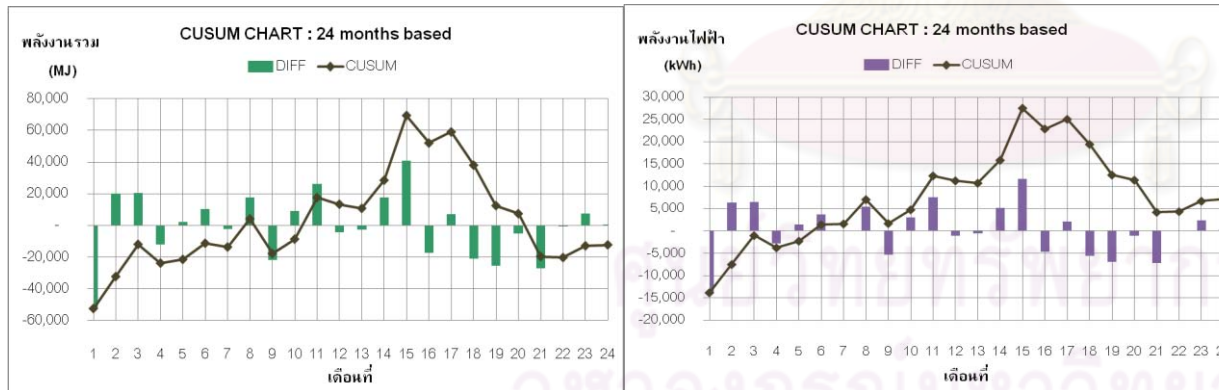
หน่วย: ตัน



TSIC 38439-b **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ (Pressing, Welding Bending) **หน่วย:** ตัน

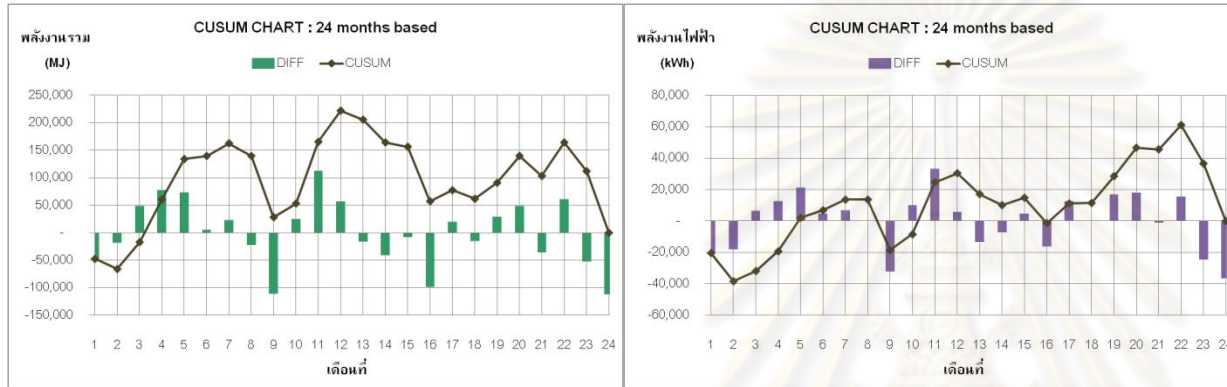


TSIC 38439-e **ผลิตภัณฑ์:** Stamping part + Catalytic convertor + Filter Assembly + Kubota Assembly **หน่วย:** ตัน



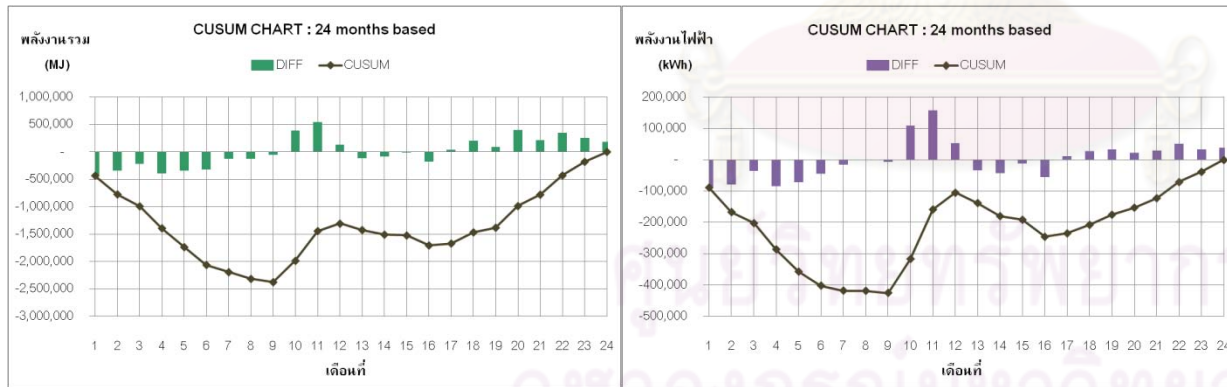
TSIC 38439-g ผลิตภัณฑ์: ผ้าเบรครถยนต์

หน่วย: ชิ้น

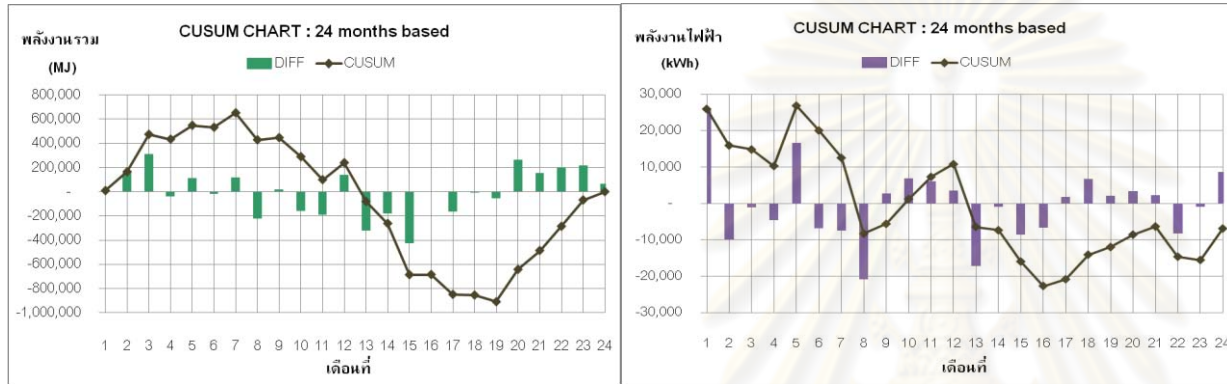


TSIC 38439-i ผลิตภัณฑ์: เพล้าข้าง

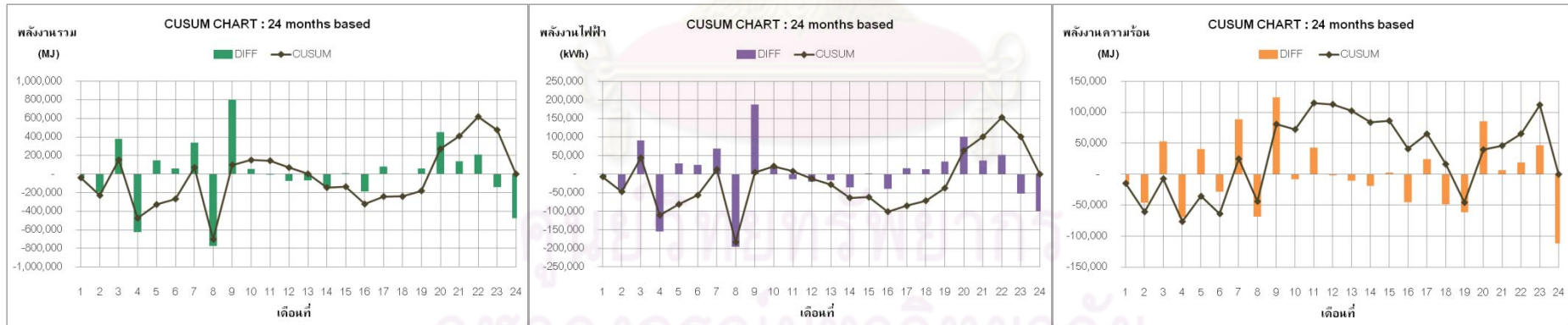
หน่วย: ชิ้น



TSIC 38439-k **ผลิตภัณฑ์:** หม้อน้ำรถยนต์+ถังน้ำมัน+Part Ass'y+Air Tank **หน่วย:** ชิ้น

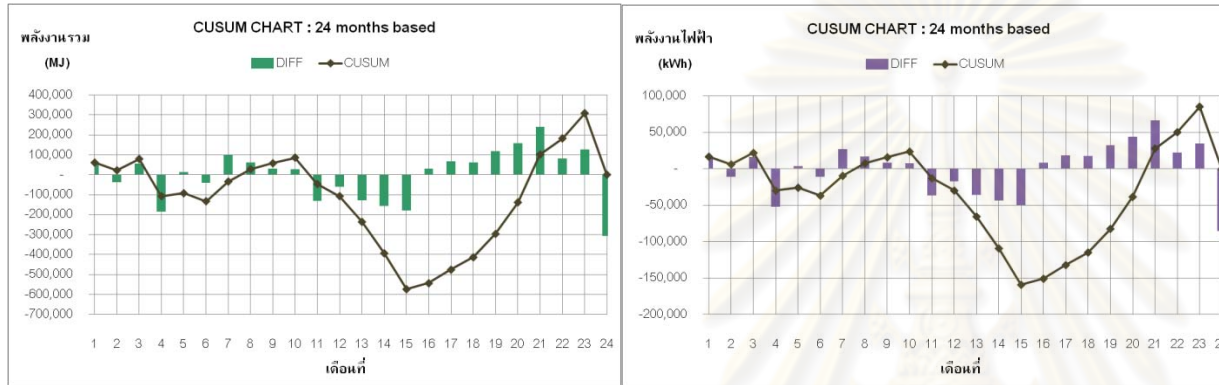


TSIC 38439-l **ผลิตภัณฑ์:** ชิ้นส่วนยานยนต์ **หน่วย:** ชิ้น



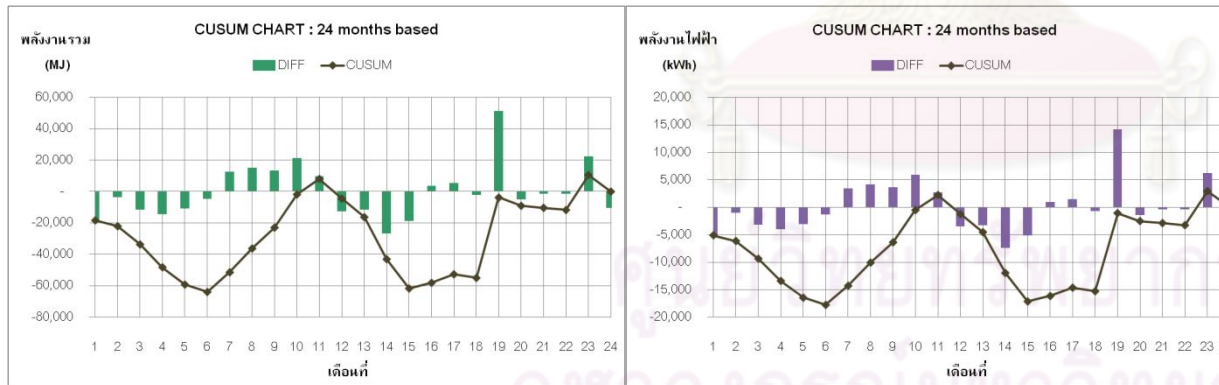
TSIC 38440-a2 ผลิตภัณฑ์: ซีดีพลาสติก

หน่วย: ชิ้น



TSIC 38440-a4 ผลิตภัณฑ์: ปี่ม้วนรูปโลหะ

หน่วย: ชิ้น



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเป็นธิดา มณีโชติ เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2528 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนศรีอยุธยา จังหวัดชุมพร ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสายปัญญาในพระบรมราชินูปถัมภ์ กรุงเทพมหานคร และระดับปริญญาตรีจากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2550 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย