

การสร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานด้วยการวิเคราะห์การควบคุม กระบวนการเชิงสถิติ : กรณีศึกษา โรงงานผลิตเครื่องเสียงติดรถยนต์ The Equation of Energy Forecasting by Statistical Process Control Analysis: Case Study of Car Audio Industry

รัตนาพร อินทรพานิชย์ และวรณี มังคละศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

จิตติ มังคละศิริ*

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Ratthanaporn Intarapanich and Woranee Mungkalasiri

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Jitti Mungkalasiri*

National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development

Agency, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม โดยเลือกโรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องเสียงติดรถยนต์เป็นกรณีศึกษา และประเมินหาปริมาณผลิตภัณฑ์รวมด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยวิธีทั่วไป การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยเทคนิคอัตราส่วนเทียบ การคำนวณโดยใช้เฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก audio และการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยใช้อัตราส่วนการใช้พลังงาน ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม และจำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน ซึ่งสามารถสร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปัจจัยที่มีผลกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 4 รูปแบบ และเมื่อนำสมการพยากรณ์การใช้พลังงานมาใช้นำมาทำนายค่าการใช้พลังงานจริงในโรงงานผลิตเครื่องเสียงติดรถยนต์ ผลการศึกษาพบว่าสมการพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์รวมด้วยวิธีอัตราส่วนการใช้พลังงานสามารถพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานในโรงงานได้น่าเชื่อถือมากที่สุด โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยระหว่างค่าไฟฟ้าจริงและค่าไฟฟ้าพยากรณ์เพียง 2.45 %

คำสำคัญ : การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ; การถดถอยพหุคูณ; การพยากรณ์การใช้พลังงาน; ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม; โรงงานผลิตเครื่องเสียงติดรถยนต์

Abstract

This research analyses the energy consumption in automobile assembly industry. The car audio manufacturing industry is selected as the case study. This research defined 4 methods for evaluation the amount of total product; general method, equivalent unit method, audio method and energy ratio method. The results show that the main factors affecting to the energy consumption are the production summary and office working days. The relationship between electrical energy consumption and affecting factors can be expressed in 4 equations. Furthermore, the results of difference between actual and forecasting of energy consumption in car audio industry show that the energy ratio method can be used as reliable methods for predicting energy consumption in the car audio industry with 2.45 % of error.

Keywords: statistical process control; multiple regression; forecasting of energy consumption; amount of total product; car audio industry

1. บทนำ

การพัฒนาด้านสังคมและเศรษฐกิจอย่างก้าวกระโดดส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] ประเทศไทยพึ่งพาแหล่งพลังงานทั้งจากภายในและภายนอกประเทศเพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสร้างความเป็นอยู่ที่ดีของประชาชน แหล่งพลังงานส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยก๊าซธรรมชาติจัดเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตมาใช้มากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า [2,3] ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงาน คิดเป็นมูลค่ากว่า 316,373 ล้านบาท โดยมีการนำเข้าน้ำมันดิบมากที่สุด [4] แผนอนุรักษ์พลังงานได้มีการคาดการณ์ว่าในระยะ 20 ปีข้างหน้า หากไม่มีมาตรการอนุรักษ์และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือปรับโครงสร้างอุตสาหกรรมและระบบขนส่งที่มีนัยสำคัญ ความต้องการพลังงานจะเพิ่มขึ้นจาก 71,000 ktoe (พินตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ) ต่อปีในปัจจุบัน เป็น 151,000 ktoe หรือประมาณ 2.1 เท่าของปัจจุบัน หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.9 ต่อปี ภายใต้สมมติฐานที่ GDP จะขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 4.2 ต่อปี โดยที่ความต้องการใน

ภาคอุตสาหกรรมยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าภาคอื่น ๆ [5] สำหรับประเทศไทยจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นกลุ่มเป้าหมายที่สำคัญในการรณรงค์ส่งเสริมเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากสาขาอุตสาหกรรมมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานอยู่ในระดับสูง และก่อให้เกิดผลกระทบแก่ภาพรวมการใช้พลังงานของประเทศค่อนข้างมาก [2]

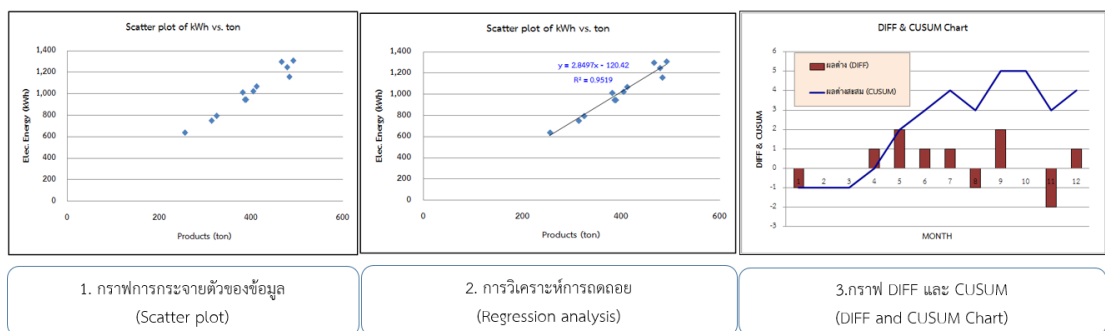
อย่างไรก็ตาม โรงงานควบคุมที่เป็นประเภทอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง [3] ส่งผลให้บริษัทที่เป็นอุตสาหกรรมประเภทชิ้นส่วนยานยนต์ขยายตัวตามไปด้วย ด้วยเหตุดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการจัดการพลังงานของโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์ ภายใต้ขอบเขตของการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องเสียงดีทรอยนต์ ประเภทของพลังงานที่จะนำมาพิจารณาคือพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากโรงงานดังกล่าวไม่มีกระบวนการใช้พลังงานจากแหล่งความร้อน หรือแหล่งพลังงานอื่น เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการผลิต การใช้พลังงาน และปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเก็บข้อมูล

ย้อนหลังจำนวน 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ. 2558 เพื่อใช้พยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานในอนาคต นอกจากนี้งานวิจัยได้ศึกษาหาแนวทางการคำนวณค่าปริมาณผลิตภัณฑ์รวมที่เหมาะสม เนื่องจากโรงงานผลิตเครื่องเสียงนั้นจะมีผลิตภัณฑ์หลักอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ unit และ audio ซึ่งมีความแตกต่างกันโดย unit เป็นชิ้นส่วนในการประกอบเครื่องเสียงหน่วยเป็นชิ้น/เซต (set) แต่ละชิ้นมีขนาดที่หลากหลายและมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิตไม่เท่ากัน ส่วน audio เป็นผลิตภัณฑ์ที่มาจากการประกอบชิ้นส่วนการผลิต มีหน่วยเป็นเซต (set) ซึ่งทั้ง audio และ unit มีความซ้ำซ้อนกันบางส่วน การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมแบบเดิมนั้นจะนำปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทมาบวกรวมกัน ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์รวมที่มากกว่าความเป็นจริง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติกับการจัดการพลังงาน

การประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (statistical process control, SPC) กับงานด้านการจัดการพลังงาน ใช้แนวคิดการเปลี่ยนข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องพลังงาน เช่น ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ รายเดือน ตลอดจนปริมาณผลผลิตรายเดือน จากข้อมูลเชิงตัวเลขที่อยู่ในรูปแบบตารางข้อมูลต่าง ๆ ให้เป็นข้อมูลเชิงรูปภาพ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการมองเห็นข้อมูลในเชิงเปรียบเทียบ (relative) ได้ง่ายและชัดเจน วิธีเบื้องต้นด้าน SPC ที่จำเป็นต้องวิเคราะห์อย่างน้อยต้องประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์แผนภาพการกระจาย (scatter plot) การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (regression analysis) และการวิเคราะห์แผนภูมิ DIFF และ CUSUM [6] ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิการวิเคราะห์โดยใช้หลักการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC)

2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (linear multiple regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณเป็นการศึกษาความสัมพันธ์และสร้างสมการพยากรณ์ โดยใช้ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น (X) ตั้งแต่ 2 ตัว ขึ้นไป พยากรณ์ตัวแปรตาม (Y) 1 ตัว ตัวอย่าง เช่น $Y = a +$

$b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$ ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณนั้นจะต้องหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation coefficient) เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณจะต้องหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าของ

ตัวแปรตาม (Y) และหาความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standard error) รวมทั้งหาค่าสหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation) เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณมีข้อสมมุติ (assumptions) ที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ [7]

2.2.1 คะแนนค่าพยากรณ์ตัวแปรตาม (Y) มีการแจกแจงปกติ (normal distribution) ในแต่ละค่าของตัวแปรอิสระ (X)

2.2.2 คะแนนค่าพยากรณ์ตัวแปรตาม (Y) มีความแปรปรวนเท่ากันที่แต่ละจุดของค่าตัวแปรอิสระ (X)

2.2.3 ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ (error) มีการแจกแจงปกติและเป็นความคลาดเคลื่อนสุ่ม (random) พร้อมกับมีความแปรปรวนเท่ากันทุกจุดของตัวแปรอิสระ (X)

นอกจากนี้การแปลความหมายระดับของความสัมพัทธ์ระหว่างตัวแปรด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination, R^2) มีความหมาย [8] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดและความหมาย

ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด	ความหมาย
0.85-1.00	มีความสัมพันธ์มากที่สุด
0.71-0.84	มีความสัมพันธ์มาก
0.51-0.70	มีความสัมพันธ์น้อย
0.00-0.50	มีความสัมพันธ์น้อยที่สุด

3. วิธีการวิจัย

3.1 การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

เป็นการศึกษากระบวนการผลิตและการใช้

พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องเสียงดีทรอยนต์ โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณผลิตภัณฑ์รวมของโรงงาน และปริมาณการใช้พลังงานของโรงงานที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ.2558 วิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงาน และข้อมูลทางด้านพลังงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.2 การศึกษาแนวทางการหาปริมาณผลิตภัณฑ์รวม

เป็นการคำนวณหาปริมาณผลิตภัณฑ์รวมของโรงงาน เนื่องจากโรงงานดังกล่าวมีผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งประเภท และมีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นจึงวิเคราะห์เพื่อหาวิธีคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมที่เหมาะสมกับโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยหลักการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) ต่อไป โดยวิธีที่วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับมี 4 วิธี ได้แก่

3.2.1 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยวิธีทั่วไป (general)

3.2.2 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยเทคนิคอัตราส่วนเทียบ (equivalent unit, EU)

3.2.3 การคำนวณโดยใช้เฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก (audio)

3.2.4 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยใช้อัตราส่วนการใช้พลังงาน (energy ratio, ER)

3.3 การวิเคราะห์การจัดการพลังงานโดยใช้หลักการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC)

การวิเคราะห์และติดตามแนวโน้มและพฤติกรรมการใช้พลังงานโดยใช้หลักการของ SPC ใช้วิธีผลรวมสะสม (cumulative sum control หรือแผนภูมิควบคุม CUSUM) หรือหาค่าผลต่างสะสมเชิงอนุกรมเวลา ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แนวโน้มของการใช้พลังงานในโรงงาน โดยเทียบกับช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งกำหนดให้เป็นช่วงอ้างอิง ค่าผลรวมสะสม (CUSUM) นี้จะคำนวณจากผลรวมของค่าผลต่างระหว่างพลังงาน

ที่ใช้จริงในแต่ละเดือนเทียบกับค่าพลังงานที่คาดว่าจะใช้ที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ของพลังงานกับปริมาณผลผลิตรวมในช่วงที่ใช้อ้างอิง (baseline) หรือการถดถอยอย่างง่าย (simple regression) โดยใช้ปริมาณผลผลิตหรือปริมาณผลิตภัณฑ์รวม จากข้อ 3.2 ที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดโดยพิจารณาจากค่า R^2 จากสมการถดถอยอย่างง่าย โดยนำผลต่างของพลังงานที่ใช้จริงกับค่าพลังงานที่คาดว่าจะใช้ในแต่ละเดือนมาหาผลต่างสะสมรวม (ทุกเดือน) จะได้เส้นแนวโน้มของการใช้พลังงาน ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของทิศทางการใช้พลังงานของหน่วยงานได้ เนื่องจากแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM) มีความไวต่อการแสดงผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานแม้เพียงเล็กน้อย

3.4 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างที่เข้าไปศึกษา ด้วยการประเมินผลจากพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์ โดยใช้หลักการ SPC ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น

3.4.1 ตัวแปรต้น (X) ซึ่งในงานวิจัยนี้หมายถึง ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์

3.4.2 ตัวแปรตาม (Y) ซึ่งในงานวิจัยนี้หมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์ (รายเดือน) จำนวน 3 ปี โดยมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ต่อปี

โดยข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (linear multiple regression) โดยจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS ในการคำนวณเพื่อศึกษาความ

สัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน

3.5 สร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงาน

ด้วยโปรแกรม SPSS

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในโรงงานตัวอย่างที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงาน เช่น ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เวลาในการผลิตงานต่อชิ้น ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อเดือน และปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน มาจัดทำสมการพยากรณ์การใช้พลังงาน โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS มาช่วยในการสร้างสมการเพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต

3.6 การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการพยากรณ์การใช้พลังงาน

สมการความสัมพันธ์ที่ได้จัดทำขึ้นจะต้องสามารถนำไปใช้งานได้จริง มีความผิดพลาดน้อยที่สุด และมีความน่าเชื่อถือที่สามารถยอมรับได้ โดยการนำสมการพยากรณ์การใช้พลังงานที่ได้จากข้อ 3.5 มาพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2559 เพื่อเป็นการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนในการศึกษาดังนี้

3.6.1 วิเคราะห์สมการและปัจจัยที่ส่งผลกับการใช้พลังงาน

3.6.2 ทดลองใช้สมการในการพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานในแต่ละเดือนเทียบกับข้อมูลจริงของปี พ.ศ. 2559

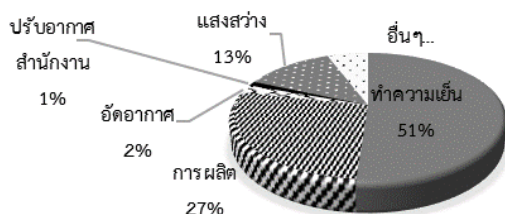
3.6.3 เก็บข้อมูลการใช้พลังงานจริงเพื่อเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์

4. ผลการวิจัย

4.1 การศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของโรงงานและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

โรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์ที่ศึกษาเป็นโรงงานควบคุมในกลุ่มที่ 2 หรือโรงงานควบคุม

ขนาดใหญ่ หรือโรงงานควบคุมที่ใช้เครื่องวัดไฟฟ้าหรือติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้ารวมกันตั้งแต่ 3,000 กิโลวัตต์ หรือ 3,530 กิโลวัตต์แอมแปร์ขึ้นไป ประเภทอุตสาหกรรมตามกฎหมายเป็นประเภทผลิตภัณฑ์จากโลหะ โรงงานมีจำนวนชั่วโมงทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน หรือประมาณ 8,424 ชั่วโมงต่อปี สำหรับข้อมูลระบบไฟฟ้ามีขนาดหม้อแปลงรวมกัน 7,500 กิโลวัตต์แอมแปร์ สำหรับประเภทธุรกิจมีกำลังการผลิตแยกเป็น audio จำนวน 19,600,000 sets/ปี และ sub-assembly หรือ unit จำนวน 30,000,000 ชิ้น/ปี ส่งขายไปยังทั่วทุกภูมิภาคของโลก มีปริมาณการขายมากกว่า 25,000 ล้านบาทต่อปี และมีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยเดือนละประมาณ 1,500,000 kWh ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีตรอยนต์ที่ศึกษา

จากรูปที่ 2 โรงงานผลิตเครื่องเสียงดีตรอยนต์ได้กำหนดอัตราส่วนการใช้พลังงานต่าง ๆ แบ่งออกเป็นระบบทำความเย็น ระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศสำนักงาน ระบบการผลิต ระบบอัดอากาศ และระบบอื่น ๆ ซึ่งระบบอื่น ๆ คือ ระบบที่นอกเหนือจากระบบที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น ได้แก่ อุปกรณ์เครื่องใช้ในสำนักงาน ระบบบำบัดอากาศ และระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

4.2 การวิเคราะห์แนวทางการหาปริมาณผลิตภัณฑ์รวม

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดในการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

4.2.1 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยวิธีทั่วไป (general)

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ของโรงงานมีสองประเภทหลัก ๆ คือ audio และ unit การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมเป็นการนำปริมาณรวมของ audio และ unit มารวมกัน ตัวอย่าง เช่น เดือนมกราคมปี พ.ศ. 2556 ปริมาณรวมของ unit เท่ากับ 696,739 เซต และปริมาณรวมของ audio เท่ากับ 419,437 เซต ปริมาณผลิตภัณฑ์รวมทั้งหมดเท่ากับ $696,739 + 419,437 = 1,116,176$ เซต

4.2.2 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยเทคนิคอัตราส่วนเทียบ (equivalent unit, EU)

วิธีนี้เป็นการจำแนกประเภทผลิตภัณฑ์หลัก ๆ 2 ประเภทของโรงงานซึ่งโรงงานนี้มีผลิตภัณฑ์หลัก ๆ 2 ประเภทคือ audio กับ unit ซึ่งพบว่าแต่ละเดือนมีสัดส่วนของ audio กับ unit ไม่เท่ากัน จึงได้วิเคราะห์หาอัตราส่วนเทียบ โดยใช้ปริมาณการผลิตสูงสุดในแต่ละเดือนเป็นฐานตั้ง เพื่อนำมาปรับค่าปริมาณการผลิตรวมให้เป็นหน่วยฐานเดียวกัน [9] ตัวอย่าง เช่น เดือนมกราคมปี พ.ศ. 2556 ปริมาณรวมของ unit เท่ากับ 696,739 เซต และปริมาณรวมของ audio เท่ากับ 419,437 เซต ในเดือนนี้ใช้ค่าปริมาณรวมของ unit เป็นฐานตั้ง เนื่องจากมีปริมาณมากที่สุด นำปริมาณรวมของ unit ไปหาร ปริมาณรวมของ audio หรือ 419,437 เซต หารด้วย 696,739 เซต ได้อัตราส่วนเทียบเท่ากับ 0.6020 และปริมาณรวมผลิตภัณฑ์แบบอัตราส่วนเทียบเท่ากับ $(419,437 \times 0.6020) + (696,739 \times 1) = 949,240$ เซต

4.2.3 การคำนวณโดยใช้เฉพาะปริมาณผลิตภัณฑ์รวมของผลิตภัณฑ์หลัก (audio)

วิธีนี้เป็นการนำปริมาณ audio ไปใช้ใน

การพิจารณาโดยไม่คำนึงถึงปริมาณผลิตภัณฑ์การผลิต unit เนื่องจากกระบวนการผลิต audio มีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงมากกว่ากระบวนการผลิต unit จึงใช้ปริมาณการผลิต audio เป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด

4.2.4 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวม โดยใช้อัตราส่วนการใช้พลังงาน (energy ratio, ER)

วิธีนี้เป็นการหาค่าอัตราส่วนการใช้พลังงาน โดยการใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า หรือการใช้ nameplate เครื่องจักรกรรมที่ไม่สามารถตรวจวัดได้ เพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนการใช้พลังงาน จากนั้นนำไปเทียบกับกระบวนการผลิตของโมเดลที่ต้องการศึกษา ว่ากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผ่านกระบวนการใดบ้าง และใช้เวลานานเท่าใด เนื่องจากกระบวนการการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยนั้น จะใช้พลังงานมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตและระยะเวลาในการผ่านเครื่องจักรดังกล่าวมาน้อยเพียงใด จากการศึกษาพบว่าไลน์การผลิตที่มีการจัดวาง lay out ที่เหมือนกัน และมีการใช้เครื่องจักรชนิดและยี่ห้อเดียวกัน จะมีค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ตัวแปรสำคัญที่เป็นตัวกำหนดปริมาณการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน คือ ระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตของแต่ละไลน์ ถ้ามองในมุมของอัตราส่วนการใช้พลังงานของโมเดลที่ต้องการศึกษา พบว่าโมเดลดังกล่าว ใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของผลิตภัณฑ์ประเภทการผลิตชิ้นส่วนที่นำมาประกอบหรือ unit เท่ากับ 8.5 % และใช้พลังงานในส่วนของไลน์ประกอบชิ้นส่วนหรือ audio เท่ากับ 91.5 %

จากอัตราส่วนการใช้พลังงานข้างต้น นำมาคิดคำนวณปริมาณรวมผลิตภัณฑ์แบบอัตราส่วนการใช้พลังงานได้โดยนำปริมาณผลิตภัณฑ์คูณอัตราส่วนการใช้พลังงาน ยกตัวอย่างเช่น เดือนมกราคมปี พ.ศ. 2556 ปริมาณรวมของ unit เท่ากับ

696,739 เซท และปริมาณรวมของ audio เท่ากับ 419,437 เซท ปริมาณรวมผลิตภัณฑ์แบบอัตราส่วนการใช้พลังงานเท่ากับ $(696,739 \times 0.085) + (419,437 \times 0.915)$ เท่ากับ 443,008 เซท

4.3 การวิเคราะห์การจัดการพลังงานโดยใช้หลักการการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC)

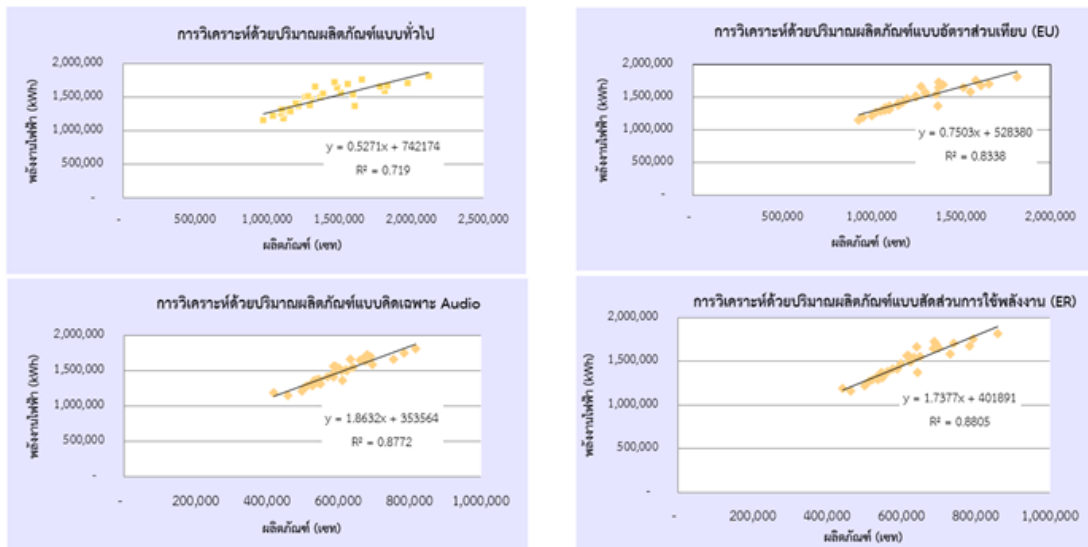
4.3.1 การวิเคราะห์การถดถอย

สำหรับการวิเคราะห์การจัดการพลังงานโดยใช้หลักการของการควบคุมกระบวนการเชิงสถิตินี้เป็นการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและจำนวนหรือปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไรบนแผนภาพการกระจายของข้อมูลในรูปแบบความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (linear) โดยใช้โปรแกรม excel ทั้งนี้ได้วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างพลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลิตภัณฑ์ โดยคำนวณปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์จาก 4 วิธี ได้แก่ การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยวิธีทั่วไป (general) การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยเทคนิคอัตราส่วนเทียบ (equivalent unit) การคำนวณโดยใช้เฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก (audio) และการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยใช้อัตราส่วนการใช้พลังงาน (energy ratio) ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์การถดถอยดังรูปที่ 3

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นจะออกมาในภาพของสมการ จากผลการวิเคราะห์ความถดถอยพบว่าค่า R^2 จากการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมแบบวิธีทั่วไป (general) เท่ากับ 0.719 การคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยเทคนิคอัตราส่วนเทียบ (EU) เท่ากับ 0.8338 การคำนวณโดยใช้เฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก (audio) เท่ากับ 0.8772 และการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวม

โดยใช้อัตราส่วนการใช้พลังงาน (ER) เท่ากับ 0.8805 จากการวิเคราะห์นี้ได้พิจารณาเลือก R^2 ที่มากกว่า 0.8 ไปวิเคราะห์หาค่า DIFF และ CUSUM โดยใช้หลักการของการควบคุมกระบวนการทางสถิติในขั้นตอนต่อไป

ซึ่งวิธีที่ถูกเลือก ได้แก่ วิธีคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวม โดยเทคนิคอัตราส่วนเทียบ วิธีคำนวณโดยใช้เฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก และการคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมโดยใช้อัตราส่วนการใช้พลังงาน



รูปที่ 3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นโดยคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์รวมจาก 4 วิธี

4.3.2 การวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลกับการใช้พลังงาน

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าอ้างอิง จากสมการที่มาจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายจากข้อ (1) แล้วหาค่า DIFF ที่ได้มาจากการนำผลต่างจากค่าไฟจริง (actual) ลบด้วยค่าพลังงานไฟฟ้าอ้างอิง แล้วนำไปหาค่าสถิติผลรวมสะสมหรือค่าสถิติ CUSUM ซึ่งพบว่ากราฟที่ได้แต่ละวิธีไม่ว่าจะเป็นวิธีอัตราส่วนเทียบ วิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวมผลิตภัณฑ์หลัก (audio) และวิธีอัตราส่วนการใช้พลังงานนั้น มีลักษณะคล้ายกัน คือมีเส้นกราฟของค่าสถิติ CUSUM มีการเปลี่ยนความชันจากบวกเป็นลบ และจากลบเป็นบวก ซึ่งผลการวิเคราะห์ของแต่ละวิธีที่ถูกเลือกจากขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอย แสดงข้อมูลดังรูปที่ 4

โดยผลการวิเคราะห์ช่วงที่ผิดปกติ หรือช่วงที่มีความชันของกราฟผลรวมสะสม (CUSUM) เป็นบวก จะพบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยด์ ประกอบด้วยผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกโรงงาน จำนวนวันทำงานล่วงเวลา จำนวนพนักงาน วันทำงานในส่วนของสำนักงาน วันทำงานในส่วนของการกระบวนการผลิต และปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้จะถูกนำไปประมวลผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อสร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานต่อไป

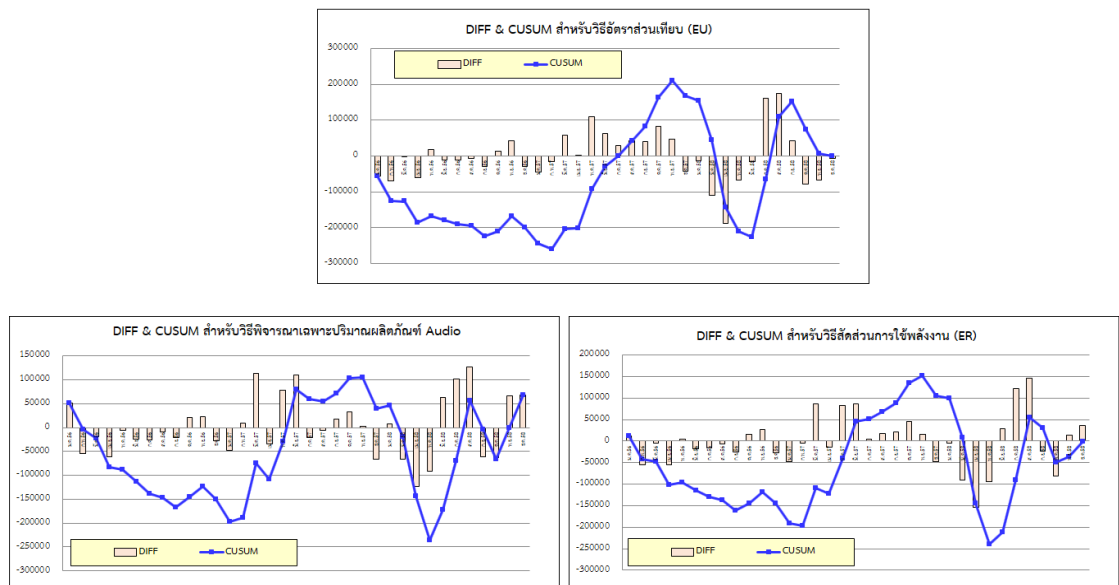
4.4 การวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลกับการใช้พลังงาน

จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยด์ พบว่ามีตัวแปรต่าง ๆ

ที่ส่งผลกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานหลายตัวแปร โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (controllable factor) และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (uncontrollable factor) [9] ซึ่งตัวแปรที่ควบคุมได้ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis) เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปัจจัยที่มีผลกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับโรงงานต่อไป ซึ่งตัวแปรที่ควบคุมได้ประกอบด้วย ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์

(X1) จำนวนวันทำงานส่วนสำนักงาน (X2) จำนวนวันทำงานส่วนการผลิต (X3) จำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา (X4) ผลต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกโรงงาน (X5) และจำนวนพนักงาน (X6) โดยจะวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุ ซึ่งจะได้สมการพยากรณ์เป็นรายเดือนหรือการถดถอยพหุคูณ (Y) และค่าคงที่ (a) และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัว (b) ดังสมการ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 \quad (1)$$



รูปที่ 4 กราฟ DIFF และ CUSUM ของวิธีพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีอัตราส่วนเทียบ วิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก และวิธีอัตราส่วนการใช้พลังงาน

4.5 สร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานด้วยโปรแกรม SPSS

จากการประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SPSS ได้วิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีทีละขั้นตอน (stepwise regression) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นการคัดเลือกตัวแปรเข้าสู่สมการพยากรณ์ โดยตัวแปรอิสระบางตัวที่ไม่มีนัยสำคัญกับการพยากรณ์จะถูกคัดออกจากสมการ [8]

ในการประมวลผลสมการพยากรณ์การใช้พลังงานของแต่ละสมการมีรายละเอียดดังตารางที่ 2 จากตารางดังกล่าวได้แสดงค่า R^2 , B, Std. error, beta, t และ Sig. ซึ่งค่าต่าง ๆ มีความหมาย ดังต่อไปนี้

R^2 หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด ซึ่งจะแสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระ (X) ที่มีต่อตัวแปรตาม (Y)

B แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัว พร้อมทั้งค่าคงที่เพื่อนำมาใช้ในการสร้างสมการพยากรณ์

Std. error เป็นค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

beta แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัวในภาพคะแนนมาตรฐาน สำหรับสร้างสมการพยากรณ์ในภาพของคะแนนมาตรฐาน ค่า beta สามารถบอกได้ว่าตัวแปรอิสระตัวใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมากหรือน้อยกว่ากัน ถ้า beta ของตัวแปร

อิสระใดมีค่ามากกว่า (โดยไม่คิดเครื่องหมาย) แสดงว่า ตัวแปรอิสระตัวนั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามมาก

t และ Sig. เป็นค่าสถิติและค่าความน่าจะเป็น (Sig.) ของการทดสอบที (t-test) สำหรับทดสอบว่าตัวแปรอิสระตัวใดควรนำไปใช้ในสมการพยากรณ์ได้บ้าง ถ้าค่า t มีค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญ (หรือค่า Sig. มีค่าน้อยหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญที่กำหนด) แสดงว่าสามารถนำไปใช้ในสมการพยากรณ์ได้ ในงานวิจัยนี้กำหนดระดับความมีนัยสำคัญ (level of significant) ไว้ที่ 0.05 ซึ่งหมายถึง ยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อน 5 % หรือมีระดับความเชื่อมั่น (confidence level) 95 % [10]

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ของสมการพยากรณ์การใช้พลังงานจากการประมวลด้วยโปรแกรม SPSS

Method	R ²	Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
			B	Std. Error	Beta		
General	0.73	(Constant)	70460.721	228849.175		.308	.760
		X1 : ปริมาณผลิตภัณฑ์ แบบ Audio (set)	.455	.056	.745	8.121	.000
		X2 : จำนวนวันทำงาน (สำนักงาน) (วัน)	36256.569	10884.423	.306	3.331	.002
EU	0.82	(Constant)	4703.457	188247.459		.025	.980
		X1 : ปริมาณผลิตภัณฑ์ แบบ Audio (set)	.660	.062	.813	10.691	.000
		X2 : จำนวนวันทำงาน (สำนักงาน) (วัน)	29912.438	9019.451	.252	3.316	.002
Audio	0.84	(Constant)	14736.899	172397.600		.085	.932
		X1 : ปริมาณผลิตภัณฑ์ แบบ Audio (set)	1.684	.141	.851	11.920	.000
		X2 : จำนวนวันทำงาน (สำนักงาน) (วัน)	20868.630	8467.440	.176	2.465	.019
ER	0.85	(Constant)	11726.822	171415.874		.068	.946
		X1 : ปริมาณผลิตภัณฑ์ แบบ Audio (set)	1.552	.129	.845	12.007	.000
		X2 : จำนวนวันทำงาน (สำนักงาน) (วัน)	23618.452	8348.087	.199	2.829	.008

จากผลการศึกษาข้อมูลในตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์แบบอัตราส่วนการใช้พลังงาน (ER) มีค่า R² มากที่สุดเท่ากับ 0.85 และพบว่าค่า B ซึ่งเป็นการนำปริมาณผลิตภัณฑ์แบบอัตราส่วนการใช้พลังงานมาพิจารณา และได้ค่าคงที่เพื่อนำมาใช้ในการสร้าง

สมการพยากรณ์ โดยที่ Y คือ ค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้า; X_1 = ปริมาณรวมผลิตภัณฑ์แบบต่าง ๆ; และ X_2 = จำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน (วัน) โดยแต่ละวิธีสามารถสร้างสมการเพื่อใช้ในการพยากรณ์การใช้พลังงานได้แตกต่างกัน ดังนี้

วิธีทั่วไป : $Y = 70,460.721 + 0.455 (X_1) + 36,256.569 (X_2)$

วิธีอัตราส่วนเทียบ : $Y = 4,703.457 + 0.660 (X_1) + 29,912.438 (X_2)$

วิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก : $Y = 14,736.899 + 1.684 (X_1) + 20,868.63 (X_2)$

วิธีอัตราส่วนการใช้พลังงาน : $Y = 11,726.822 + 1.552 (X_1) + 23,618.452 (X_2)$

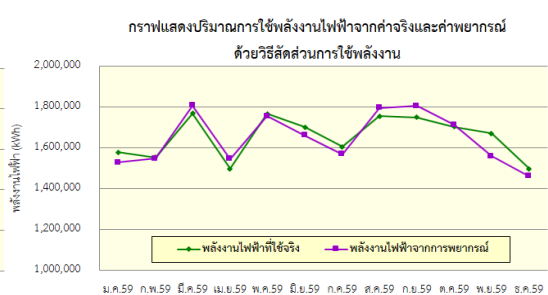
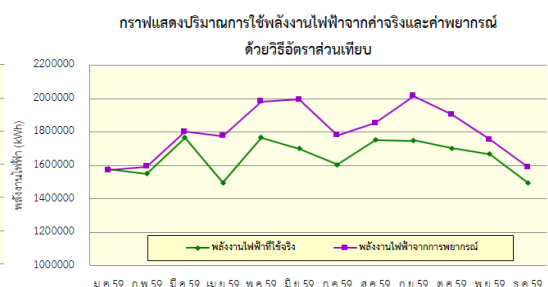
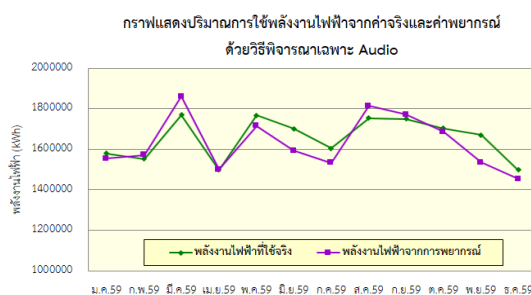
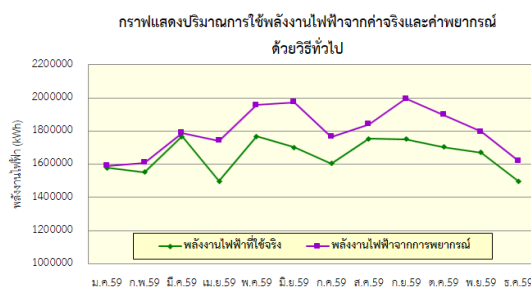
จากผลการศึกษสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของโรงงานแห่งนี้ คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิต และจำนวนวันทำงานของส่วนสำนักงาน

4.6 การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของสมการพยากรณ์การใช้พลังงาน

หลังจากได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปัจจัยที่มีผลกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์แล้วนั้น ได้นำสมการดังกล่าวมาใช้ในการ

การพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงในปี พ.ศ. 2559 โดยวิเคราะห์ข้อมูลรายเดือน ตัวอย่าง การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับปัจจัยที่มีผลกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตเครื่องเสียงดีทรอยนต์ ได้มาจากการประมวลผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS โดยใช้สมการถดถอยพหุคูณที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนในรูปที่ 5 พบว่าผลต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงในปี พ.ศ. 2559 กับค่าพยากรณ์จากสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของวิธีทั่วไป วิธีอัตราส่วนเทียบ วิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก (audio) และวิธีอัตราส่วนการใช้พลังงานเท่ากับ 8.73, 9.04, 3.22 และ 2.45 % ตามลำดับ โดยคำนวณจากการนำผลต่างของค่าจริงกับค่าพยากรณ์คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าจริง แล้วนำค่าดังกล่าวมาเฉลี่ย ซึ่งวิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวม



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบผลของปริมาณการใช้พลังงานจริงและค่าพยากรณ์ด้วยวิธีต่าง ๆ

ของผลิตภัณฑ์หลัก และวิธีอัตราส่วนการใช้พลังงานมีค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 5 % จึงเป็นค่าที่ยอมรับได้ [10]

5. สรุป

จากการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปัจจัยที่มีผลกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้การถดถอยพหุคูณประมวลผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญของโรงงานแห่งนี้ คือ ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม และจำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน ซึ่งได้สมการพยากรณ์การใช้พลังงาน (แยกตามวิธีการหาค่าปริมาณผลิตภัณฑ์รวม) ดังนี้

วิธีทั่วไป : ปริมาณการใช้พลังงาน = $70,460.721 + (0.455 \times \text{ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม}) + (36,256.569 \times \text{จำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน})$

วิธีอัตราส่วนเทียบ : ปริมาณการใช้พลังงาน = $4,703.457 + (0.660 \times \text{ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม}) + (29,912.438 \times \text{จำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน})$

วิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก : ปริมาณการใช้พลังงาน = $14,736.899 + (1.684 \times \text{ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม}) + (20,868.630 \times \text{จำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน})$

วิธีอัตราส่วนการใช้พลังงาน : ปริมาณการใช้พลังงาน = $11,726.822 + (1.552 \times \text{ปริมาณผลิตภัณฑ์รวม}) + (23,618.452 \times \text{จำนวนวันทำงานในส่วนสำนักงาน})$

จากผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนพบว่าผลต่างของปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงในปี พ.ศ. 2559 กับค่าที่ได้จากสมการพยากรณ์ด้วยแต่ละวิธีของการพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์รวมจะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย เป็นดังนี้ วิธีพิจารณาปริมาณ

ผลิตภัณฑ์รวมด้วยวิธีทั่วไปเท่ากับ 8.73 % วิธีอัตราส่วนเทียบเท่ากับ 9.04 % วิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลักเท่ากับ 3.22 % และวิธีอัตราส่วนการใช้พลังงานเท่ากับ 2.45 % โดยวิธีที่สามารถใช้พยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานของโรงงานผลิตเครื่องเสียงติตรถยนต์แห่งนี้ได้อย่างเหมาะสมนั้น ได้แก่ วิธีพิจารณาเฉพาะปริมาณรวมของผลิตภัณฑ์หลัก และวิธีอัตราส่วนการใช้พลังงาน เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ นอกจากนี้วิธีพิจารณาปริมาณผลิตภัณฑ์รวมด้วยอัตราส่วนการใช้พลังงานจะมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด เนื่องจากในการคำนวณจะต้องมีการสำรวจปริมาณการใช้พลังงานจริง โดยการใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลระยะเวลาของการผลิตชิ้นงานที่ต้องผ่านแต่ละเครื่องจักรตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางของโมเดลที่ต้องการศึกษา จึงทำให้ทราบข้อมูลการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และขอขอบคุณโรงงานผลิตเครื่องเสียงติตรถยนต์ ที่ได้ให้ข้อมูลในการศึกษาวิจัย

7. รายการอ้างอิง

- [1] บทวิเคราะห์สำหรับประเทศไทย, การประเมินความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศไทย ประจำปี 2559, แหล่งที่มา : <http://www.iea.org>, 2 กันยายน 2559.
- [2] กระทรวงพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558, ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบ ด้านพลังงาน กฎหมาย และการจัดการด้านการ

- อนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพฯ.
- [3] กลุ่มสถิติข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-ธันวาคม 2558, แหล่งที่มา : <http://www.dede.go.th>, 31 มีนาคม 2559.
- [4] กลุ่มสถิติข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม-มิถุนายน 2559, แหล่งที่มา : <http://www.dede.go.th>, 2 กันยายน 2559.
- [5] กระทรวงพลังงาน, แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ. 2554-2573), แหล่งที่มา : <http://www2.eppo.go.th>, 2 กันยายน 2559.
- [6] ไชยะ แซ่มซ้อย, 2554, การใช้เทคนิค SPC กับงานการจัดการพลังงาน, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [7] สำราญ มีแจ้ง, 2554, การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ, กรุงเทพฯ,
- [8] วาโร เฟิงส์วส์ดี, 2550, การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณและสมการถดถอยพหุคูณ, แหล่งที่มา : <https://rci2010.files.wordpress.com>, 31 มีนาคม 2559.
- [9] เจษฎา เรืองแสง, 2555, การพัฒนาสมการพลังงานในอุตสาหกรรมผลิตยาง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, นครนายก, 128 น.
- [10] เบญจวรรณ นิรมิตวสุ, จันทนา จัทร และไชยะ แซ่มซ้อย, 2554, การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน, ว.วิจัยพลังงาน 8: 35-44.