



การประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรปกครอง
ส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ด้วยแบบจำลองมอนติคาร์โล

โดย

นายสาโรจน์ บำรุงเสนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรปกครอง
ส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ด้วยแบบจำลองมอนติคาร์โล

โดย

นายสาโรจน์ บำรุงเสนา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



ESTIMATION OF TARGET ELECTRIC POWER CONSUMPTION IN
CHUMPHON LOCAL GOVERNMENT USING MONTE CARLO
SIMULATION

BY

MR. SAROAT BUMRUNGSENA



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER DEGREE OF ENGINEERING
(ENERGY AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY MANAGEMENT)
DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายสาโรจน์ บำรุงเสนา

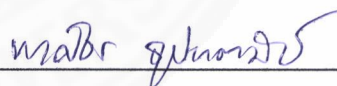
เรื่อง

การประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร
ด้วยแบบจำลองมอนติคาร์โล

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศธร ชูปะเตมีย์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



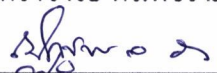
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ด่านวานิชกุล)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



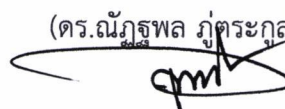
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชราภรณ์ จิตวิวงศ์เศวต)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร.ณัฐพล ภูตระกูลโชติ)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร.ประภัสสร วังศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้า ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ด้วยแบบจำลองมอนติคาร์โล
ชื่อผู้เขียน	นายสาโรตม์ บำรุงเสนา
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	เทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ตำนวานิชกุล
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าถือเป็นสิ่งสำคัญในปัจจุบัน การทราบค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับขนาดหน่วยงานจะสามารถช่วยกำหนดแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้โดยง่าย งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล วิเคราะห์ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อพยากรณ์ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์โดยการจำลองสุ่มตัวเลขตามลักษณะเงื่อนไขที่กำหนด จากกลุ่มตัวอย่างที่ได้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งได้ดำเนินการโดยสำนักงานพลังงานจังหวัดชุมพร จำนวน 8 หน่วยงาน ในปีงบประมาณ 2558

ผลจากงานวิจัยพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมอยู่ในรูปแบบการวิเคราะห์เชิงถดถอยแบบพหุ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนบุคลากร พื้นที่ เวลาทำการ และจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ โดยแบ่งสมการจำลองออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า 5,000 หน่วย/เดือน ตั้งแต่ 5,000 ถึง 15,000 หน่วย/เดือน และมากกว่า 15,000 หน่วย/เดือน สมการจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงเฉลี่ยร้อยละ 14.30 8.14 และ 1.79 ตามลำดับ แบบจำลองที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพรซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยการระบุตัวแปรที่กำหนดลงในสมการก็จะทราบถึงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมสามารถนำไปกำหนดมาตรการการอนุรักษ์พลังงานให้สอดคล้องกับค่าเป้าหมายการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงานได้

คำสำคัญ: แบบจำลองมอนติคาร์โล, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม



Thesis Title	ESTIMATION OF TARGET ELECTRIC POWER CONSUMPTION IN CHUMPHON LOCAL GOVERNMENT USING MONTE CARLO SIMULATION
Author	Mr. Saroat Bumrungsena
Degree	Master of Engineering
Major Field/Faculty/University	Energy and Environmental Technology Management Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Associate Professor Panu Danwanichakul, Ph.D.
Academic Years	2015

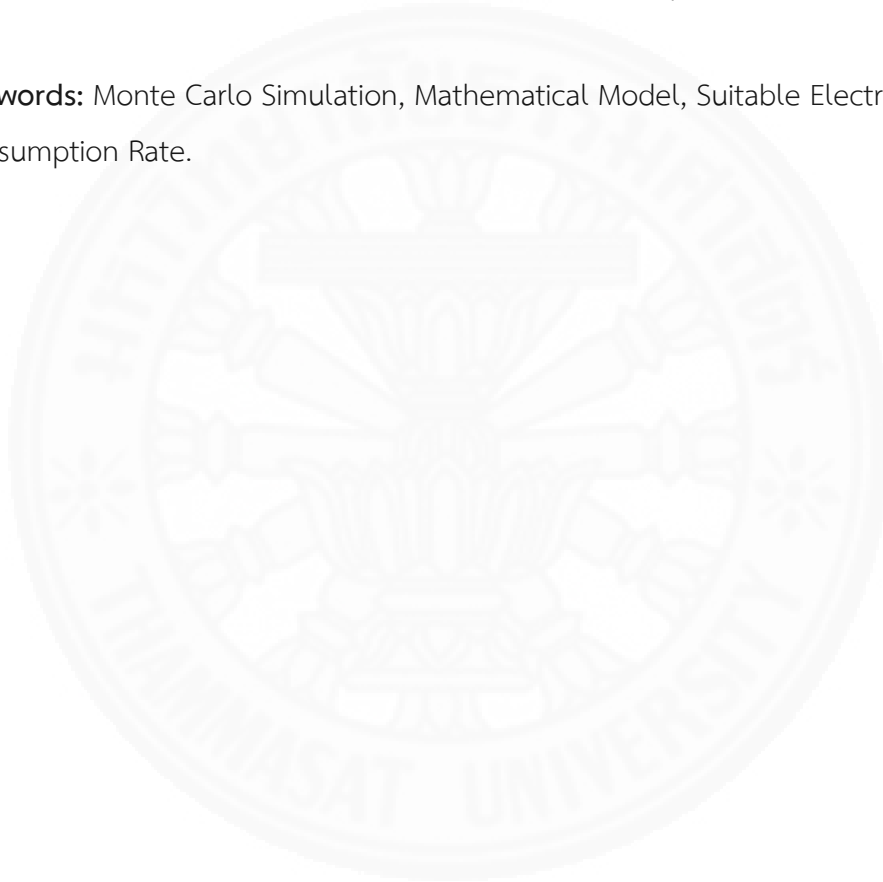
ABSTRACT

Electrical power conservation is an important matter nowadays. Knowing a target of electrical power consumption suitable for the size of an agency can easily help determining an approach to electrical power conservation. This research studied a target rate of electrical power consumption of local government units in Chumphon province, using a mathematical model with Monte Carlo simulation technique to analyze uncertainty and sensitivity of variables which influence electrical power consumption, in order to predict the probability of an event by simulating random numbers based on given conditions. From samples which were conducted by Chumphon's Department of Energy in the financial year 2015, eight of them have demonstrated the efficiency of power consumption.

It was found that a suitable mathematical model was a multivariate linear regression, illustrating a relationship between electrical power consumption value and other influencing factors including the number of personnel, working area, working hours and the number of people using the service, by organizing simulating equations for three groups; electrical power consumption which is less than 5,000 units per month, that from 5,000 to 15,000 units per month and that more than 15,000

units per month. Simulating equations had an average deviation from actual values of 14.30%, 8.14% and 1.79% respectively. The obtained mathematical model will be applied to determine a target rate of suitable electrical power consumption of departments of Chumphon's local government agencies who have a similar physical proximity by identifying variables into an equation, resulting in a suitable electrical power consumption rate and can also be applied to determine measures to conserve energy, in order to meet a target rate of energy consumption of each department.

Keywords: Monte Carlo Simulation, Mathematical Model, Suitable Electrical Power Consumption Rate.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ด่านวานิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ธร ฐปะเตมีย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ ฐิตินวงศ์เสวต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ณัฐพล ภูตระกูลโชติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นในการปรับปรุงแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณสำนักงานพลังงานจังหวัดชุมพร เจ้าหน้าที่โครงการประหยัดพลังงาน ในภาครัฐ เพื่อนร่วมงานและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่สนับสนุนข้อมูลในงานวิจัยนี้ และทำยื่น ขอรบอบพระคุณบิดา มารดา ที่มีโอกาสและอบรมสั่งสอนด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นแรงผลักดันและเป็นกำลังใจให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นายสาโรตม์ บำรุงเสนา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(11)
สารบัญภาพ	(14)
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	(15)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา	5
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 หลักการที่เกี่ยวข้อง	11

2.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา	11
2.2.1.1 การแจกแจงความถี่โดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรม	11
2.2.1.2 การวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง	14
(1) การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)	14
(2) การหาค่ามัธยฐาน (Median)	15
(3) การหาค่าฐานนิยม (Mode)	15
2.2.1.3 การวัดค่าการกระจาย	16
(1) พิสัย (Range)	16
(2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)	16
2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	16
2.2.2.1 การสร้างแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot)	17
2.2.2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	17
2.2.2.3 การสร้างสมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ	18
2.2.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ	19
(1) ตาราง SUMMARY OUTPUT	20
(2) ตาราง ANOVA	21
(3) การทดสอบสมมติฐานตัวแปรอิสระโดยใช้ค่าพี	22
2.2.3 การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล	22
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	24
3.1 รวบรวมข้อมูลและจัดหมวดหมู่	24
3.1.1 รวบรวมข้อมูล	24
3.1.2 การจัดหมวดหมู่	24
3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา	25
3.2.1 วิเคราะห์รูปแบบการแจกแจงความถี่โดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรม	25
3.2.1.1 รูปแบบการแจกแจงความถี่	25
(1) ลักษณะการแจกแจงความถี่แบบสมมาตร	25
(2) ลักษณะการแจกแจงความถี่แบบเบ้	25

3.2.1.2	วัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของข้อมูล	26
3.2.1.3	วัดค่าการกระจายของข้อมูล	26
3.3	การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	26
3.3.1	สร้างแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot)	26
3.3.2	หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	27
3.3.3	สร้างสมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ	27
3.3.4	วิเคราะห์ผลการทดสอบ	27
3.3.4.1	การวิเคราะห์ผลจากตาราง SUMMARY OUTPUT	27
3.3.4.2	การวิเคราะห์ผลจากตาราง ANOVA	27
3.3.4.3	การทดสอบสมมติฐานตัวแปรอิสระโดยใช้ค่าพี	28
3.4	จำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล	28
3.4.1	นิยามปัญหาและสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบ	28
3.4.2	จำลอง (Simulating)	28
3.5	วิเคราะห์ผลและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	29
3.5.1	วิเคราะห์ผลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา	29
3.5.2	การทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)	29
3.5.3	เปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าจริงจากการเก็บข้อมูล	30
3.5.4	แสดงแผนผังการดำเนินงานวิจัย	31
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	32
4.1	ผลการรวบรวมข้อมูลและการจัดหมวดหมู่	32
4.2	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา	33
4.2.1	ผลการแจกแจงความถี่โดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรม	33
4.2.2	ผลการวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง	34
4.2.3	ผลการวัดการกระจาย	35
4.3	ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)	35

4.3.1	แผนภาพการกระจาย (Scatter Plot)	35
4.3.2	ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	37
4.3.3	สมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ	38
4.3.4	วิเคราะห์ผลการทดสอบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ	39
4.3.4.1	ผลจากตาราง SUMMARY OUTPUT	39
4.3.4.2	ผลจากตาราง ANOVA	40
4.3.4.3	ผลการทดสอบสมมติฐานตัวแปรอิสระโดยใช้ค่าพี	40
4.4	ผลการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล	42
4.4.1	ปัญหาและการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบ	42
4.4.2	ผลการจำลอง (Simulating)	44
4.5	การวิเคราะห์ผลและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง	48
4.5.1	ผลการวิเคราะห์ผลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา	48
4.5.2	การทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)	49
4.5.3	ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าจริงจากการเก็บข้อมูล	49
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
5.1	สรุปผลการวิจัย	51
5.1.1	ตัวแปรที่เหมาะสม	51
5.1.2	สมการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม	51
5.2	ข้อเสนอแนะ	53
รายการอ้างอิง		54
ภาคผนวก		
ภาคผนวก ก	ข้อมูลพื้นฐานจากหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ในจังหวัดชุมพร ที่ได้ดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 จำนวน 8 หน่วยงาน	57
ภาคผนวก ข	รูปแบบลักษณะการแจกแจงตัวแปรอิสระ	63
ภาคผนวก ค	แสดงชุดข้อมูลที่ได้รับการปรับปรุง	66

ภาคผนวก ง	แสดงค่าความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ	70
ภาคผนวก จ	แสดงการแจกแจงตัวเลขตัวแปรอิสระตามฟังก์ชันความน่าจะเป็น กับตัวแปรตามที่ได้จากข้อมูลจริง จากจำนวนการทดลองสุ่ม ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด	75
ภาคผนวก ฉ	แสดงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับค่าจริงจากจำนวนการทดลองสุ่มที่ให้ค่า ความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด	78
ภาคผนวก ช	แสดงผลต่างของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง	81
ภาคผนวก ซ	แสดงการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูล ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ที่ทำการตรวจวัดจริง และข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองโดยการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)	83
ประวัติผู้เขียน		84

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนอนุรักษ์พลังงานแบ่งตามภาคเศรษฐกิจ (ล้านหน่วย: GWh)	1
2.1 ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	18
2.2 ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน	19
2.3 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลการทดสอบ จากตาราง SUMMARY OUTPUT	20
2.4 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลการทดสอบ จากตาราง ANOVA	21
2.5 ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลโดยใช้ค่าพี	22
4.1 ตัวอย่างข้อมูลพื้นฐานขององค์การบริหารส่วนตำบลเขาทะเล ปิงปประมาณ 2558	32
4.2 ข้อมูลการแยกหมวดหมู่และกำหนดสัญลักษณ์ของตัวแปรอิสระ	33
4.3 ข้อมูลลักษณะการแจกแจงตัวแปรอิสระ	34
4.4 แสดงค่าพื้นฐานทางสถิติ	34
4.5 แสดงข้อมูลการวัดการกระจาย	35
4.6 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	38
4.7 ข้อมูลจากตาราง SUMMARY OUTPUT	39
4.8 แสดงข้อมูลจากตาราง ANOVA	40
4.9 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลโดยใช้ค่าพี	40
4.10 ฟังก์ชันตัวแปรอิสระจากการจำลองแบบมอนติคาร์โล ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y < 5,000$	45
4.11 ฟังก์ชันตัวแปรอิสระจากการจำลองแบบมอนติคาร์โล ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $5,000 < Y < 15,000$	45
4.12 ฟังก์ชันตัวแปรอิสระจากการจำลองแบบมอนติคาร์โล ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y > 15,000$	46
4.13 ตารางแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y < 5,000$	46
4.14 ตารางแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $5,000 < Y < 15,000$	47
4.15 ตารางแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y > 15,000$	47

4.16 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนทั้ง 3 ช่วง	48
4.17 ตารางแสดงค่าผลต่างร้อยละโดยเฉลี่ยระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนทั้ง 3 ช่วง	50
ก-1 ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลเขาทะเล อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	57
ก-2 ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลท่าแซะ อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	58
ก-3 ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลปากทรง อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	59
ก-4 ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลช่องไม้แก้ว อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	60
ก-5 ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลครน อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	60
ก-6 ข้อมูลจากเทศบาลตำบลหลังสวน อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	61
ก-7 ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านควน อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	61
ก-8 ข้อมูลจากเทศบาลตำบลวังตะกอก อำเภอนาทม จังหวัดอุดรธานี	62
ค-1 ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y < 5,000$	66
ค-2 ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $5,000 < Y < 15,000$	68
ค-3 ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y > 15,000$	69
ง-1 ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากจำนวนบุคลากร (X_1) ที่ $Y < 5,000$	70
ง-2 ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นที่ใช้สอย (X_2) ที่ $Y < 5,000$	70
ง-3 ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากเวลาทำการ (X_3) ที่ $Y < 5,000$	71
ง-4 ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากผู้เข้ามาใช้บริการ (X_4) ที่ $Y < 5,000$	71
ง-5 ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากจำนวนบุคลากร (X_1) ที่ $5,000 < Y < 15,000$	72
ง-6 ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นที่ใช้สอย (X_2) ที่ $5,000 < Y < 15,000$	72
ง-7 ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากเวลาทำการ (X_3) ที่ $5,000 < Y < 15,000$	72

ง-8	ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากผู้เข้ามาใช้บริการ (X_4) ที่ $5,000 < Y < 1,5000$	73
ง-9	ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากจำนวนบุคลากร (X_1) ที่ $Y > 15,000$	73
ง-10	ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นที่ใช้สอย (X_2) ที่ $Y > 15,000$	73
ง-11	ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากเวลาทำการ (X_3) ที่ $Y > 15,000$	74
ง-12	ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากผู้เข้ามาใช้บริการ (X_4) ที่ $Y > 15,000$	74
จ-1	ตัวเลขตัวแปรอิสระ ช่วง $Y < 5,000$ ที่การจำลองสุ่ม 15,000 ครั้ง	75
จ-2	ตัวเลขตัวแปรอิสระ ช่วง $5,000 < Y < 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 20,000 ครั้ง	76
จ-3	ตัวเลขตัวแปรอิสระ ช่วง $Y > 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 5,000 ครั้ง	77
ฉ-1	ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลอง ช่วง $Y < 5,000$ ที่การจำลองสุ่ม 15,000 ครั้ง	78
ฉ-2	ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลอง ช่วง $5,000 < Y < 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 20,000 ครั้ง	79
ฉ-3	ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลอง ช่วง $Y > 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 5,000 ครั้ง	80
ช-1	ผลต่างค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลองและค่าจริง ที่การจำลองสุ่มจำนวนต่าง ๆ ในช่วงข้อมูลที่ 1	81
ช-2	ผลต่างค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลองและค่าจริง ที่การจำลองสุ่มจำนวนต่าง ๆ ในช่วงข้อมูลที่ 2	81
ช-3	ผลต่างค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลองและค่าจริง ที่การจำลองสุ่มจำนวนต่าง ๆ ในช่วงข้อมูลที่ 3	82
ช-1	ตารางแสดงค่า T-Test ระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง กับค่าที่ได้จากแบบจำลองช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเนื่องทั้ง 3 ช่วง	83

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ปริมาณการใช้พลังงานส่วนราชการ ปีงบประมาณ 2554 – 2557	2
1.2 จำนวนหน่วยงานที่บันทึกข้อมูลผ่านระบบ e-report	3
1.3 ร้อยละของค่าการใช้พลังงานจริงที่เกินมาตรฐาน ตัวอย่างจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร	4
2.1 ตัวอย่างแผนภูมิฮีโตนแกรม	12
2.2 ตัวอย่างลักษณะการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ	13
2.3 ตัวอย่างลักษณะการแจกแจงข้อมูลแบบเบ้ซ้าย	13
2.4 ตัวอย่างลักษณะการแจกแจงข้อมูลแบบเบ้ขวา	14
2.5 ตัวอย่างลักษณะแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม	17
2.6 แสดงกระบวนการของ Monte Carlo Simulation Process	23
4.1 แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_1 และตัวแปรตาม Y	36
4.2 แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_2 และตัวแปรตาม Y	36
4.3 แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_3 และตัวแปรตาม Y	37
4.4 แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_4 และตัวแปรตาม Y	37
4.5 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_1	42
4.6 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_2	42
4.7 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_3	43
4.8 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_4	43
4.9 แผนภาพการกระจายของตัวแปรตาม Y	44
ข-1 ลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ในตัวแปร (X_1) จำนวนบุคลากร (คน/เดือน)	63
ข-2 ลักษณะการแจกแจงแบบสมมาตร ในตัวแปร (X_2) พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)	63
ข-3 ลักษณะการแจกแจงแบบสมมาตร ในตัวแปร (X_3) เวลาทำการ (ชั่วโมง/เดือน)	64
ข-4 ลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ในตัวแปร (X_4) จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ (คน/เดือน)	64
ข-5 ลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา ในตัวแปร (Y) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน)	65

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์/คำย่อ	คำเต็ม/คำจำกัดความ
EEDP	Energy Efficiency Development Plan
GWh	Gigawatt Hour
EUI	Energy Utilization Index
CBECS	Commercial Building Energy Consumption Surveys
kWh	Kilowatt Hour
Btu	British Thermal Unit
CO	Carbon Monoxide
NO ₂	Nitrogen Dioxide
O ₃	Ozone
SO ₂	Sulfur Dioxide
PM-10	Particulate Matter
R ²	The Coefficient of Determination
LCG	Linear Congruential Method
H ₀	Null Hypothesis
H ₁	Alternative Hypothesis
β	Power of Statistical Test

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นับตั้งแต่ปี 2554 รัฐเริ่มตระหนักถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกภาคส่วนของประเทศ ผลจากความต้องการพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชาชน การสร้างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การส่งเสริมให้ประเทศเป็นแหล่งอุตสาหกรรม ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญ ปัญหาจากความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ประเทศต้องเพิ่มกำลังการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความต้องการ ในขณะที่โรงไฟฟ้าที่มีอยู่กำลังจะเริ่มปลดระวางและการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่เป็นไปได้ยากด้วยเหตุผลด้านสิ่งแวดล้อมที่ประชาชนต่อต้าน นำมาสู่การจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน โดยภาครัฐเล็งเห็นถึงการแย่งชิงทรัพยากรพลังงาน ปัญหาสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นผลพวงของการผลิตและการใช้พลังงาน จะเป็นปัญหาที่รุนแรงยิ่งขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนและความสามารถในการแข่งขันเชิงเศรษฐกิจอย่างหลีกเลี่ยงมิได้

ตารางที่ 1.1

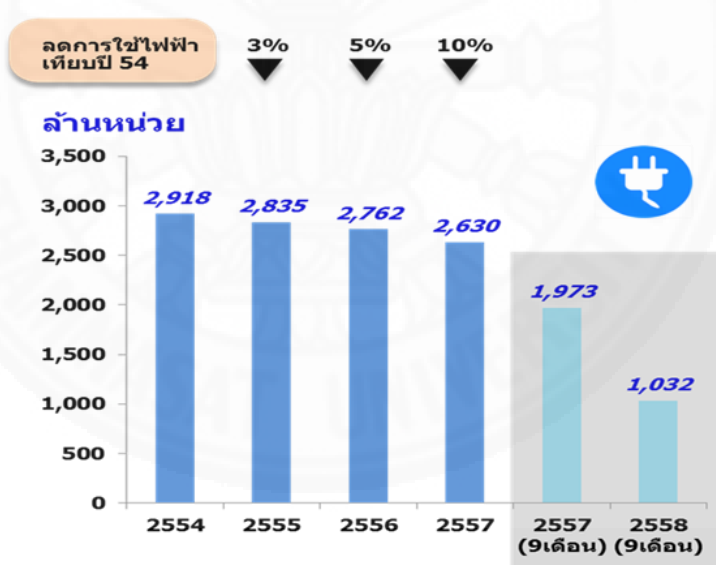
แผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP พ.ศ. 2558 - 2579) แบ่งตามภาคเศรษฐกิจ (ล้านหน่วย : GWh)

ภาคเศรษฐกิจ	เป้าหมายผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า				
	2559	2564	2569	2574	2579
ภาคอุตสาหกรรม	2,174	9,420	17,497	22,845	31,843
ภาคธุรกิจ	853	5,156	12,687	22,406	37,052
ภาคบ้านอยู่อาศัยและเกษตรกรรม	395	1,914	4,877	8,760	13,633
ภาครัฐ	302	1,713	2,960	4,683	7,144
รวม	3,724	18,203	38,021	58,694	89,672

หมายเหตุ. จาก แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (น. 3-5), โดย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558, กรุงเทพฯ:

ในส่วนภาครัฐ คณะรัฐมนตรีในการประชุมเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2555 ได้มีมติให้หน่วยงานราชการดำเนินมาตรการลดใช้พลังงานลงให้ได้อย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นตัวอย่างให้กับภาคเอกชน ภาคประชาชน ในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ หากสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ตามเป้าหมาย คาดว่าจะลดปริมาณการใช้พลังงานของ 9,344 หน่วยงาน คิดเป็นมูลค่า 6,209 ล้านบาทต่อปี ลดการปลดปล่อย CO₂ ประมาณ 900 ktCO₂e ต่อปี (โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ ปีงบประมาณ 2559, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2559)

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน จึงได้กำหนดดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Utilization Index – EUI) และค่าระดับของดัชนีการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับหน่วยงานราชการประเภทต่าง ๆ สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดเป้าหมายการลดใช้พลังงานของหน่วยงานราชการ โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ นำมาประเมินผลเพื่อหาค่าดัชนีการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงานในลักษณะของผลต่างจากค่าที่ได้จากการประเมิน นำมากำหนดระดับตัวชี้วัดความสำเร็จของการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน 5 ระดับ กำหนดเป็นหนึ่งในเกณฑ์ความสำเร็จการปฏิบัติราชการอย่างมีประสิทธิภาพในหน่วยงานภาครัฐ



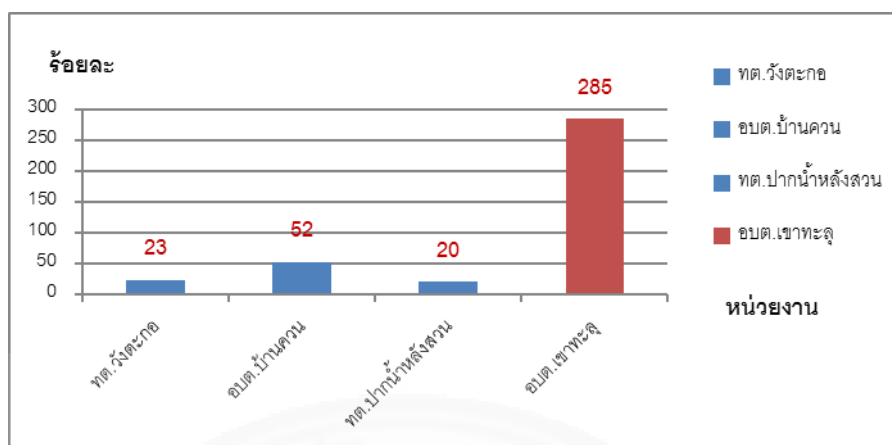
ภาพที่ 1.1 ปริมาณการใช้พลังงานส่วนราชการ ปีงบประมาณ 2554 – 2557 จาก โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ ปีงบประมาณ 2558 (น.5), โดย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558, กรุงเทพฯ:

ผลการประหยัดพลังงานของหน่วยงานราชการปีงบประมาณ 2554 - 2557 ตามตัวชี้วัดระดับความสำเร็จของการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานในรอบปีงบประมาณ (เดือนตุลาคม - เดือนกันยายน) สามารถลดได้ถึงร้อยละ 10 ในปี 2557 เมื่อเทียบกับปี 2554



ภาพที่ 1.2 จำนวนหน่วยงานที่บันทึกข้อมูลผ่านระบบ e-report จาก โครงการลดใช้พลังงานในภาครัฐ ปีงบประมาณ 2558 (น.4), โดย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558, กรุงเทพฯ:

อย่างไรก็ตามพบว่าหน่วยงานอิสระอีกกว่าร้อยละ 85 หรือ 7,104 หน่วยงาน ยังไม่เข้าร่วมกิจกรรมนี้ ทำให้เป้าหมายการลดใช้พลังงานในภาครัฐได้ค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็นและไม่สามารถดำเนินการได้ครอบคลุมทั้งหมด ส่งผลต่อค่าเป้าหมายในกลุ่มหน่วยงานอิสระยังห่างจากความเป็นจริง การเข้าร่วมเพียงร้อยละ 15 ส่งผลให้จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีปริมาณน้อย ทำให้เกิดความผิดพลาดสูง ไม่สามารถสะท้อนค่าเป้าหมายที่แท้จริงซึ่งเข้าใกล้ค่าการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ ดังจะเห็นได้จากตัวอย่าง ภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 ร้อยละของค่าการใช้พลังงานจริงที่เกินมาตรฐาน ตัวอย่างจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร

ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและหาวิธีการในการประมาณการลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ซึ่งมีข้อมูลอยู่อย่างจำกัด ด้วยวิธีแบบจำลองมอนติคาร์โล เพื่อสร้างชุดข้อมูลซึ่งมีความเป็นไปได้ตามหลักของสถิติ นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในลักษณะการวิเคราะห์เชิงถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ เพื่อหาค่าดัชนีการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับหน่วยงาน จะทำให้หน่วยงานสามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานในหน่วยงานของตนเองได้ นำไปสู่การกำหนดมาตรการต่าง ๆ ในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพื้นฐานและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน ในหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร เพื่อนำมาวิเคราะห์หารูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สามารถใช้ประมาณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนได้

1.2.2 เพื่อศึกษาการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อลดความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรที่นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมในหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นภายในจังหวัดชุมพร ซึ่งจะทำให้ค่าที่ได้จากสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ใกล้เคียงกับค่าจริงมากขึ้น

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 วิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่ตั้งอยู่ใน
ภายในจังหวัดชุมพร

1.3.2 ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ เดือนตุลาคม 2557
ถึง เดือนกันยายน 2558

1.3.3 ใช้ข้อมูลจากรายงานผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในหน่วยงานภาครัฐ
ส่วนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร (Energy Audit) จัดทำโดย สำนักงานพลังงาน
จังหวัดชุมพรและรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าใน www.e-report.energy.go.th

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.4.1 เพื่อได้ทราบถึงหลักการและวิธีการจำลองเหตุการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า
ในหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นภายในจังหวัดชุมพร

1.4.2 ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้สามารถทำนายถึงลักษณะและปริมาณ
การใช้พลังงานภายในหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นภายในจังหวัดชุมพรได้

1.4.3 เพื่อทราบถึงค่าพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมของหน่วยงานองค์กรปกครอง
ส่วนท้องถิ่นภายในจังหวัดชุมพร เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการที่เหมาะสมในการอนุรักษ์
พลังงานไฟฟ้าภายในหน่วยงานได้

บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เพื่อดำเนินงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าและรวบรวมได้ดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานมหาวิทาลัยเชียงใหม่ (2007) ได้ทำการศึกษาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (EUI) โดยรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานราชการเพื่อประกอบการกำหนดค่าดัชนี เช่น การให้บริการ กิจกรรม จำนวนบุคลากร ขนาดพื้นที่ปฏิบัติงาน งบประมาณที่ได้รับ เป็นต้น เพื่อกำหนดเป็นเกณฑ์จำแนกกลุ่มตามลักษณะการทำงาน ขนาดของหน่วยงานและกิจกรรมที่ทำ โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression Analysis) ผลจากการวิจัยสามารถจำแนกลักษณะของกลุ่มหน่วยงานออกได้เป็น 9 ลักษณะ 93 กลุ่ม และสามารถนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้วิธีวิเคราะห์เชิงถดถอย (Regression Analysis) ในแต่ละกลุ่มเพื่อนำไปหาค่าเป้าหมายในการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น

กลุ่มหน่วยงานย่อย 1-01 สำนักงานทั่วไป แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้ามาตรฐาน} = & [1.501 \times \text{จำนวนบุคลากร} + 0.002 \times \text{พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร} + 0.439 \\ & \times \text{เวลาทำการ} + 0.002 \times \text{จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ}] \times \text{อุณหภูมิ} \quad (2.1) \end{aligned}$$

เมื่อแต่ละหน่วยงานใส่ข้อมูลของตนเองลงในสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ก็จะสามารถหาค่าไฟฟ้ามาตรฐานของหน่วยงานเพื่อกำหนดเป็นเป้าหมายในการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในหน่วยงานต่อไป

อนุวรรณ ทองหมู่ (2013) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองมอนติคาร์โลของการใช้พลังงานไฟฟ้าภาคครัวเรือนในประเทศไทย โดยอาศัยข้อมูลทุติยภูมิจากผลการสำรวจของหน่วยงานราชการต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลชนิดของครัวเรือน จำนวนสมาชิกในครัวเรือน ข้อมูลการครอบครองทรัพย์สิน ข้อมูลการประมาณกำลังของเครื่องใช้ไฟฟ้าและข้อมูลการใช้เวลาของประชากร นำมาสร้างสมมติฐาน

เกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในครัวเรือนทั้งหมด เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2543 2548 และ 2553

จากการศึกษาพบว่าจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน คือ 50,000 ครัวเรือน ที่ความคลาดเคลื่อนร้อยละ 0.17 โดยพบว่าข้อมูลจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าข้อมูลจริงร้อยละ 19.26 – 92.74 ผู้วิจัยยังนำข้อมูลมาทดสอบค่าความสัมพันธ์พบว่ามีความสัมพันธ์กัน และใช้สมการถดถอยเพื่อสร้างแบบจำลองมาพยากรณ์การใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นในปี 2558 ดังสมการ

$$PR = (1.138 \times 10^{-8}) PL^2 - 0.191 PL + 344,800,000 \quad (2.2)$$

โดยที่

PR	=	จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่คาดว่าจะใช้จริง
PL	=	จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่พยากรณ์ได้ต่ำสุด

นิรันดร์ เล้าสกุล (2002) ศึกษาถึงการประมาณราคาค่าก่อสร้างงานอุโมงค์และงานท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดินด้วยวิธีแบบจำลองมอนติคาร์โล ศึกษาค่าใช้จ่ายแยกตามหมวดหมู่งานในรูปแบบการแจกแจงซึ่งมีหลายลักษณะ คือ การแจกแจงแบบลอกนอรัมอล การแจกแจงแบบเอกซ์โพเนนเชียล และการแจกแจงแบบยูนิฟอรั่ม นำไปสู่การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของราคาและการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับราคางานก่อสร้างจริง

ผลการสร้างแบบจำลองราคางานอุโมงค์ พบรูปแบบการแจกแจงซึ่งมีค่าใกล้เคียงการแจกแจงปกติ แบบจำลองการประมาณราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จากค่าเฉลี่ยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$Y = (47,999.80 \times A \times K1) + (90,091.92 \times A \times K2) \quad (2.3)$$

โดยที่

Y	=	ราคาค่าก่อสร้างรวมของโครงการ (บาทต่อเมตร)
A	=	ระยะทาง (เมตร)
K1	=	ดัชนีราคาวัสดุ
K2	=	ดัชนีราคาค่าแรง

ผลการสร้างแบบจำลองราคางานท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน แบบจำลองการประมาณราคาค่าก่อสร้างอุโมงค์จากค่ามัธยฐาน สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$Y = (34,827.18 \times A \times K1) + (26,541.93 \times A \times K2) \quad (2.4)$$

โดยที่	Y	=	ราคาค่าก่อสร้างรวมของโครงการ (บาทต่อเมตร)
	A	=	ระยะทาง (เมตร)
	K1	=	ดัชนีราคาวัสดุ
	K2	=	ดัชนีราคาค่าแรง

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบราคางานก่อสร้างที่ได้จากแบบจำลองกับราคาค่าก่อสร้างจริง ได้ผลดังนี้ โครงการก่อสร้างอุโมงค์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.6 เมตร ระยะทาง 7,723 เมตร ราคา 1,178,756,743.00 บาท ปี พ.ศ. 2542 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลอง 1,279,037,419.40 บาท คลาดเคลื่อนจากราคาจริงเท่ากับร้อยละ +8.51

โครงการก่อสร้างท่อร้อยสายไฟใต้ดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 เมตร ระยะทาง 614.50 เมตร ราคา 42,905,847.00 บาท ปี พ.ศ. 2545 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลอง 46,404,663.30 บาท คลาดเคลื่อนจากราคาจริงเท่ากับร้อยละ +8.15

Terry Sharp (1996) ได้ทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานของอาคารพาณิชย์ โดยใช้ข้อมูลของ CBECS (Commercial Building Energy Consumption Survey) โดยทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักทางสถิติเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่บ่งบอกถึงค่าการใช้พลังงานที่เหมาะสมและเป็นที่น่าเชื่อถือ จากการวิเคราะห์ทางสถิติจะสามารถบ่งบอกถึงลักษณะการกระจายตัวของการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอยได้ โดยผลที่ได้จะสามารถทำให้เจ้าของอาคารสามารถกำหนดเป้าหมายของตนเองได้

ข้อมูลของ CBECS ที่ Terry Sharp ได้นำมาใช้เป็นข้อมูลที่ได้ทำไว้เมื่อปี 1992 มีข้อมูลของอาคารทั้งสิ้น 6,571 อาคาร ใน 50 มลรัฐ และ ใน District of Columbia ในที่นี้มีอาคารที่เป็นของสหรัฐอเมริกาเพียง 1,443 อาคาร โดยที่ Terry Sharp ได้ทำการเลือกหน่วยงานที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยได้ทำการวิเคราะห์กับหน่วยงาน จำนวนทั้งสิ้น 1,358 หน่วยงาน จากจำนวนหน่วยงานทั้งสิ้น 1,443 แห่ง

จากการศึกษาการกระจายตัวของค่าดัชนีการใช้พลังงานที่เป็นค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ใช้สอย ซึ่งพบว่ามี การกระจายตัวของค่าดัชนีนี้สูงมาก โดยที่ค่ากลางของดัชนี (median) ของทุกหน่วยงานเท่ากับ 13.8 kWh ต่อตารางฟุต โดยที่มีค่าอยู่ระหว่างค่า 11 kWh ต่อตารางฟุต จนถึง 18.3 kWh ต่อตารางฟุต และจากจำนวนหน่วยงานทั้งสิ้น 1,358 แห่ง มีจำนวนหน่วยงานประมาณ

75% ที่มีค่าดัชนีน้อยกว่า 22.2 kWh ต่อตารางฟุต มีจำนวนหน่วยงานประมาณ 50% มีค่าดัชนีน้อยกว่า 13.8 kWh ต่อตารางฟุต และ 25% ที่มีดัชนีน้อยกว่า 7.0 kWh ต่อตารางฟุต

จากค่าดัชนีที่ได้แสดงนั้นจะเห็นว่าจำนวนของการใช้พลังงานไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชันกับขนาดของพื้นที่ใช้สอย ซึ่งจะมีแนวโน้มที่การใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดพื้นที่ใช้สอยมากขึ้น

ในงานที่ Terry Sharp ได้ทำการวิเคราะห์ต่อไปคือการนำเอาตัวแปรที่ CBECs ได้ทำการเก็บรวบรวมไว้จำนวน 75 ตัวแปร มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าการใช้พลังงานในอาคาร โดยที่เกณฑ์การเลือกตัวแปรนั้นมีเกณฑ์อยู่ 2 เกณฑ์ คือ ตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานและตัวแปรที่มีการรายงานจากหน่วยงานมากที่สุด จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ทางวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) จากการวิเคราะห์ได้สมการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการใช้พลังงานของอาคารดังนี้

$$\log(\text{kwhsf}) = a + b \cdot \log(\text{NWKERSF}) + c \cdot \text{PCTRMC} + d \cdot \text{OCCTYP1} + e \cdot \text{WKHRS} + f \cdot \text{ECN} + g \cdot \text{CHILLER} \quad (2.5)$$

โดยที่	kwhsf	=	การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อตารางฟุต
	NWKERSF	=	จำนวนบุคลากรต่อตารางฟุต
	PCTRMC	=	จำนวนคอมพิวเตอร์
	OCCTYP1	=	สถานการณ์ใช้งาน
	WKHRS	=	เวลาทำงานต่อสัปดาห์
	ECN	=	มีอุปกรณ์ economizer
	CHILLER	=	มีการใช้ Chiller

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการกระจายของ EUIs สามารถพัฒนาจากข้อมูลของ CBECs ได้ และค่าที่ได้จากการประมาณค่านั้นจะถูกใช้ให้เป็นค่าเป้าหมาย (Benchmark) ได้

Terry Sharp (1998) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหน่วยงานโดยไม่ต้องทำการตรวจสอบที่ยุ่งยาก ก็คือการใช้การเปรียบเทียบระหว่างหน่วยงานในลักษณะเดียวกันซึ่ง Terry Sharp ได้พูดถึงวิธีการสำหรับหาค่าการใช้พลังงานเป้าหมาย (Benchmarking) สำหรับแต่ละโรงเรียน โดยที่ค่า EUI ที่เป็นค่าที่แสดงถึงค่าการใช้พลังงานซึ่งโดยทั่วไปก็จะเป็นค่าความเข้มข้นของการใช้พลังงานเป็น kWh ต่อตารางฟุต หรือ Btu ต่อ ตารางฟุต ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สามารถเป็นตัวชี้วัดที่ดี

ได้ ดังนั้น Terry Sharp จึงได้หาค่าพลังงานเป้าหมายสำหรับโรงเรียนของรัฐ โดยที่มีขั้นตอนในการพิจารณาดังนี้

1. ใช้ข้อมูลของ CBECS (Commercial Building Energy Consumption Surveys) ในการวิเคราะห์

2. ใช้ข้อมูลของอาคารในรัฐมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

3. วิธีการปรับปรุงค่าความถูกต้อง โดยพิจารณาถึงปัจจัยที่เป็นตัวใช้พลังงาน

ข้อมูลของ CBECS ที่ได้ทำการสำรวจไว้เมื่อปี 1992 ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์นี้ จากข้อมูลดังกล่าวจะมีข้อมูลของอาคารที่เป็นโรงเรียนอยู่ที่ประมาณ 719 แห่ง แต่โรงเรียนที่จะนำมาพิจารณาในการศึกษานี้ใช้เพียงแค่ 449 โรงเรียน เท่านั้น

ตามที่ได้กล่าวไปแล้วว่าการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างหน่วยงานในกลุ่มเดียวกัน เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แต่เมื่อพิจารณาจากค่าที่ได้ จะเห็นถึงการกระจายของค่าดัชนี (หน่วยต่อพื้นที่ใช้สอย) ซึ่งค่าการกระจายตัวนั้นมีความเอนเอียงอยู่ จากค่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 6.8 kWh ต่อตารางฟุต ในขณะที่ค่ากลางอยู่ที่ 4.7 kWh ต่อตารางฟุต ในงานนี้ Terry Sharp ได้เสนอวิธีในการกำหนดค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบใหม่ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยพิจารณาว่า การใช้พลังงานของแต่ละโรงเรียนนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่าง ๆ เช่น จำนวนบุคลากรต่อพื้นที่ใช้สอย เวลาทำงาน และอื่น ๆ ในการวิเคราะห์นั้นได้ใช้การวิเคราะห์การถดถอย โดยนำข้อมูลที่มีมาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกมาดังนี้

$$\ln \text{kwhsf} = a + b \cdot \text{YRCON} + c \cdot \text{RFGWI} + d \cdot \text{ELCOOL} + e \cdot \text{NGBTUSF} + f \cdot \text{OPHVAC1} + g \cdot \text{RFCNS3} \quad (2.6)$$

โดยที่	kwhsf	=	ค่าการใช้พลังงานต่อพื้นที่ใช้สอย
	YRCON	=	ปีที่สร้างเสร็จ
	RFGWI	=	ตู้เย็นหรือห้องเย็นแบบเดินเข้าไปได้
	ELCOOL	=	พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็น
	NGBTUSF	=	ปริมาณแก๊สที่ใช้
	OPHVAC	=	มีบุคลากรดูแล HVAC

นิรันดร์ คงฤทธิ์ (2005) ศึกษาการทำนายมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษ ในกรุงเทพมหานคร ด้วยแบบจำลองทางสถิติและการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ซึ่งมีความสำคัญต่อการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศในเมือง การศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ

มลพิษทางอากาศ ได้แก่ CO NO₂ O₃ SO₂ และ PM-10 กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงสถิติสำหรับทำนายค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศโดยวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ จากนั้นจึงวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและค่าความอ่อนไหวโดยใช้การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

ผลการศึกษาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ พบว่า มลพิษทางอากาศมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับตัวแปรปริมาณการจราจรในแต่ละประเภทของพาหนะเป็นส่วนใหญ่ และเป็นความสัมพันธ์กันแบบไม่เชิงเส้น พบว่าสมการที่ดีที่สุดในการทำนายระดับความเข้มข้นของ CO NO₂ และ O₃ ที่ได้ มีค่า R² ในช่วง 0.444 – 0.797 นอกจากนี้ผลวิเคราะห์ความไม่แน่นอนและความอ่อนไหว พบว่าสมการการทำนายมลพิษ NO₂ มีความไม่แน่นอนสูงกว่าการทำนาย O₃ และ CO ส่วนการวิเคราะห์ความอ่อนไหวพบว่าปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลในการทำนายค่าของ 3 มลพิษ คือ ความเร็วรถ จำนวนรถยนต์นั่ง 4 ล้อ ระดับความเข้มข้นของ NO₂ จากสถานีตรวจวัดใกล้เคียง ระยะห่างจากทางพิเศษ และอุณหภูมิ

กระบวนการการพัฒนาแบบจำลองและการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการศึกษามลพิษทางอากาศในโครงการทางพิเศษสายอื่น ๆ หรือการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการลักษณะใกล้เคียงกันด้วย

2.2 หลักการที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยอาศัยหลักการทางสถิติในการวิเคราะห์และประมวลผลซึ่งประกอบด้วย คำสำคัญ ดังนี้

2.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา

สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) คือสถิติที่ใช้อธิบาย บรรยาย หรือสรุปลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่เป็นตัวเลขที่ได้รวบรวมมา ทำการเรียบเรียงและนำเสนอข้อมูลให้ดูง่ายขึ้น เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวแปรเพื่อบรรยายลักษณะของข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ

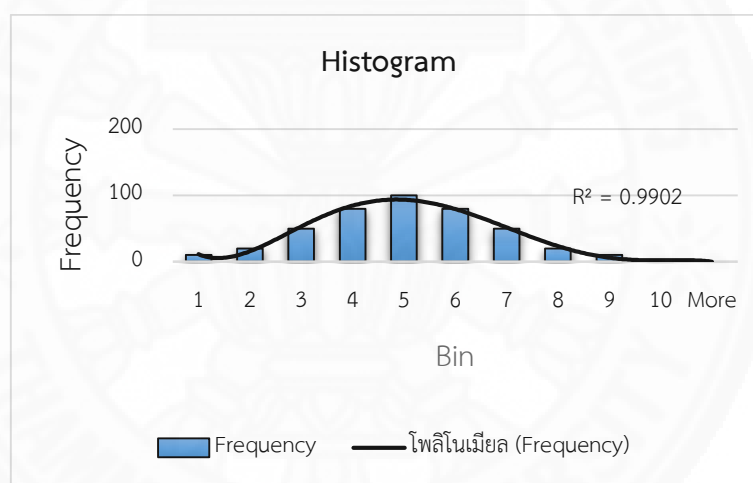
2.2.1.1 การแจกแจงความถี่โดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรม

การแจกแจงความถี่เป็นการจัดเรียงข้อมูลเป็นกลุ่มเพื่อหาความถี่โดยแยกตามค่าของตัวแปรที่ต้องการโดยทำการแสดงข้อมูลอยู่ในรูปแผนภูมิฮิสโตแกรมเป็นภาพโดยใช้แท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้างของแท่งสี่เหลี่ยมในแกนนอนแสดงถึงความกว้างของชั้นในแต่ละชั้น ความสูงของแท่งสี่เหลี่ยมแต่ละแท่งแสดงถึงความถี่ของแต่ละชั้น

เพื่อพิจารณาถึงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเปรียบเทียบกับลักษณะการแจกแจงทางทฤษฎีเพื่อหาค่ากลางของข้อมูลที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยการลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างค่ากึ่งกลางชั้นของฮิสโตแกรมแล้วปรับเส้นของรูปหลายเหลี่ยมของความถี่ให้เรียบขึ้น สามารถทำได้โดย

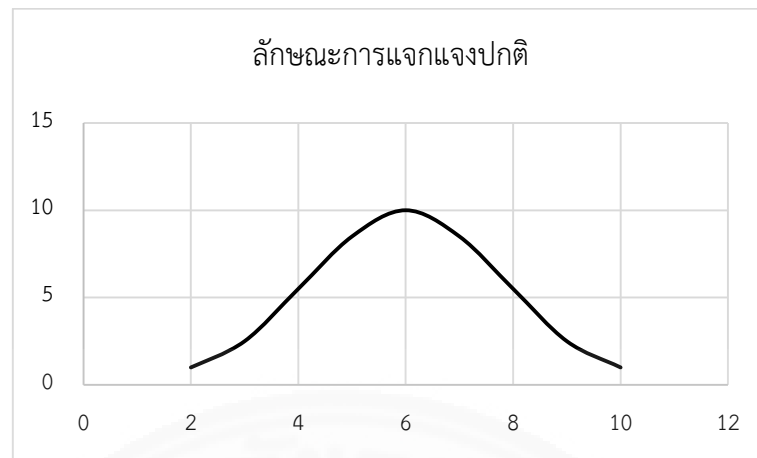
1. กำหนดจำนวนชั้นของข้อมูล โดย กัลยา (2544) จำนวนชั้น = $1 + 3.3 \log(n)$ เมื่อ n = จำนวนข้อมูล หรือ \sqrt{n}
2. ความกว้างของชั้น = (ค่าสูงสุด - ค่าต่ำสุด) / จำนวนชั้น
3. ขีดจำกัดล่างของชั้นต่ำสุด = ค่าต่ำสุด

เมื่อสามารถเปรียบเทียบการแจกแจงของข้อมูลกับลักษณะการแจกแจงทางทฤษฎี จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากลาง ฐานนิยม มัธยฐาน และค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมของชุดข้อมูลที่ต้องการทราบลักษณะเบื้องต้นทางสถิติได้



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างแผนภูมิฮิสโตแกรม

เมื่อทราบถึงลักษณะเส้นโค้งความถี่ของชุดข้อมูลตัวแปร นำมาหาความสัมพันธ์ของค่ากลาง คือ ค่าฐานนิยม มัธยฐาน และค่าเฉลี่ย ดังนี้



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างลักษณะการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ

กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) แสดงถึง ค่าฐานนิยม มัธยฐาน และค่าเฉลี่ย มีจำนวนเท่ากันสามารถใช้ค่าใด ๆ จากค่าทั้งสามค่าเป็นตัวแทนของค่ากลางของชุดข้อมูล



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างลักษณะการแจกแจงข้อมูลแบบเบ้ซ้าย

กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย (Negative Skewed Distribution) แสดงถึง ค่าฐานนิยม มีค่าน้อยกว่าค่ามัธยฐาน แต่มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ตัวแทนค่ากลางที่ดีที่สุด คือ ค่าฐานนิยม



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างลักษณะการแจกแจงข้อมูลแบบเบ้ขวา

กรณีข้อมูลมีการแจกแจงแบบเบ้ขวา (Positive Skewed Distribution) แสดงถึงค่าฐานนิยม มีค่ามากกว่าค่ามัธยฐาน แต่มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ตัวแทนค่ากลางที่ดีที่สุดคือ ค่าฐานนิยม

2.2.1.2 การวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

การวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นวิธีการหาตัวแทนของข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่รวบรวมมีจำนวนมาก จำเป็นต้องหาตัวเลขที่เป็นตัวแทนของข้อมูลนั้น แนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออธิบายลักษณะของข้อมูล ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต มัธยฐาน และฐานนิยม

(1) การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยข้อมูล เป็นการวัดค่ากลางที่นิยมใช้ เหมาะสมกับข้อมูลเชิงปริมาณที่มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ข้อมูลแต่ละตัวมีความแตกต่างกันไม่มาก จะสามารถใช้เป็นค่ากลางที่ดีที่สุดเมื่อการแจกแจงมีลักษณะสมมาตร สูตรในการคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ไม่มีการแจกแจงความถี่ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าเฉลี่ยเลขคณิตคือ \bar{X}

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (2.7)$$

เมื่อ \bar{X} แทนค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง
 n แทนขนาดของตัวอย่าง
 X_i คือ X_1 ถึง X_n แทนค่าของข้อมูลตัวที่ i ใด ๆ

(2) การหาค่ามัธยฐาน (Median)

ค่ามัธยฐาน หมายถึง ค่าที่แบ่งครึ่งข้อมูลทั้งหมดเมื่อมีการจัดเรียงข้อมูลจากน้อยไปหามาก โดยที่ครึ่งหนึ่งของข้อมูลมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่ามัธยฐานและอีกครึ่งหนึ่งของข้อมูลมีค่าน้อยกว่าค่ามัธยฐาน สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่ามัธยฐาน คือ Md

$$Md = L + \frac{\left(\frac{N}{2} - F_c\right)i}{f_{Md}} \quad (2.8)$$

เมื่อ	Md	คือค่ามัธยฐาน
	L	คือขอบล่างของอันตรภาคชั้นที่มีมัธยฐานตกอยู่
	N	คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด
	F_c	คือความถี่สะสมของอันตรภาคชั้นที่มีคะแนนต่ำกว่าอันตรภาคชั้นที่มีมัธยฐาน
	i	คือความกว้างอันตรภาคชั้น
	f_{Md}	คือความถี่ของอันตรภาคชั้นที่มีมัธยฐาน

(3) การหาค่าฐานนิยม (Mode)

ฐานนิยม หมายถึง จำนวนข้อมูลที่มีความถี่มากที่สุด หรือ จำนวนข้อมูลที่มีการซ้ำกันมากที่สุด ข้อมูลที่เหมาะสมที่จะใช้ค่าฐานนิยมเป็นค่ากลางเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่มีลักษณะการแจกแจงที่ไม่อยู่ในรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าฐานนิยม คือ Mo

$$Mo = L + \left(\frac{d_1}{d_1 + d_2}\right) i \quad (2.9)$$

เมื่อ	L	คือขอบเขตล่างของอันตรภาคชั้นที่มีฐานนิยมตกอยู่
	d_1	คือผลต่างระหว่างความถี่ของอันตรภาคชั้นที่มีฐานนิยมกับความถี่ของอันตรภาคชั้นที่มีคะแนนน้อยและติดอยู่กับชั้นที่มีฐานนิยม
	d_2	คือผลต่างระหว่างความถี่ของอันตรภาคชั้นที่มีฐานนิยมกับความถี่ของอันตรภาคชั้นที่มีคะแนนมากติดอยู่กับชั้นที่มีฐานนิยม
	i	คือความกว้างของอันตรภาคชั้นที่มีฐานนิยม

2.2.1.3 การวัดค่าการกระจาย

การวัดการกระจาย หมายถึง ค่าของข้อมูลที่กระจายออกจากกัน ใช้เพื่อศึกษาข้อมูลการกระจายไปจากค่ากลางของข้อมูลว่ามากน้อยเพียงใดหรือเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลชุดอื่น

(1) พิสัย (Range)

เป็นวิธีวัดการกระจายที่ง่ายที่สุดที่ทำให้ทราบถึงลักษณะความแปรปรวนของข้อมูลในเบื้องต้นได้อย่างรวดเร็วที่สุดและสามารถนำไปใช้เปรียบเทียบการกระจายข้อมูลสองชุดที่มีจำนวนข้อมูลเท่ากัน ค่าพิสัยสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{พิสัย (Range)} = \text{ค่าสูงสุด} - \text{ค่าต่ำสุด} \quad (2.10)$$

(2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นการวัดการกระจายวิธีหนึ่งเพื่อศึกษาการกระจายของข้อมูลไปจากตัวกลางของข้อมูลชุดนั้นโดยไม่คิดทิศทางของการกระจาย สัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ S

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.11)$$

สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) สามารถอธิบาย บรรยาย หรือสรุปลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่เป็นตัวเลขที่ได้รวบรวมมา โดยสามารถพิจารณาได้ถึงคุณภาพของข้อมูลในทางสถิติในเบื้องต้นได้

หากข้อมูลค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางให้ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยมที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นถึงภาพการแจกแจงข้อมูลในรูปแบบสมมาตรและรูปแบบปกติ หมายถึงข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีคุณภาพที่ดีทางสถิติ

หากข้อมูลมีการกระจายตัวที่เหมาะสม สามารถพิจารณาจาก ค่าพิสัย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะมีค่าน้อยเช่นเดียวกัน

2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นวิธีศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรสองกลุ่มเพื่อนำรูปแบบฟังก์ชันของความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระมาประมาณการหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม

โดยตัวแปรที่เราสนใจเรียกว่าตัวแปรตามซึ่งจะมีตัวแปรเดียวเท่านั้นและตัวแปรอีกกลุ่มเรียกว่าตัวแปรอิสระซึ่งอาจจะมีตัวเดียวหรือหลายตัวก็ได้ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองกลุ่มอาจเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ แต่งานวิจัยนี้สนใจศึกษาในแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเท่านั้น วิธีการวิเคราะห์การถดถอยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 การสร้างแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot)

การสร้างแผนภาพการกระจายเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระในแต่ละตัวที่กำหนดกับตัวแปรตามที่น่าสนใจศึกษาว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงหรือไม่มากนักเพียงใด



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างลักษณะแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นสิ่งสำคัญที่จะทำให้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นให้ผลลัพธ์ของค่าตัวแปรตามหรือค่าประมาณการค่าเป้าหมายที่แม่นยำและถูกต้องที่สุด คือความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามต้องอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นตรง กล่าวคือเมื่อสร้างแผนภาพการกระจายของทุกตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามแล้วให้ค่าทุกค่าอยู่บนเส้นตรงก็จะได้สมการการถดถอยเชิงเส้นที่ประมาณค่าตัวแปรตามได้แม่นยำที่สุด

ถึงอย่างไรก็ตามการสร้างแผนภาพการกระจายเป็นเพียงการทดสอบลักษณะเบื้องต้นเท่านั้น จำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ที่แน่นอนในรูปแบบเชิงตัวเลข ระหว่างตัวแปรอิสระทุกตัวที่ได้กำหนด กับตัวแปรตามซึ่งสามารถทำได้ด้วยวิธีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

2.2.2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ มากน้อยเพียงใดและทิศทางของความสัมพันธ์เป็นอย่างไร ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Excel โดยใช้คำสั่ง Data Analysis ในแท็บ Data สัญลักษณ์ที่แทนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ คือ r

ตารางที่ 2.1

ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จากคำสั่ง *Data Analysis* ในโปรแกรม *Excel*

	X1	X2	X3	X4	Y
X1	1				
X2	0.85	1			
X3	0.30	0.11	1		
X4	0.29	0.30	0.50	1	
Y	0.85	0.83	0.30	0.12	1

ระดับความสัมพันธ์ที่ได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

เครื่องหมายของ r บอกทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ถ้า r เครื่องหมายเป็นลบ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีทิศทางตรงกันข้าม ถ้าตัวแปร x มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร y จะมีค่าลดลง หากตัวแปร x มีค่าลดลงค่าของตัวแปร y จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ถ้า r เครื่องหมายเป็นบวก แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ถ้าตัวแปร x มีค่าเพิ่มขึ้นตัวแปร y จะมีค่าเพิ่มขึ้น หากตัวแปร x มีค่าลดลง ค่าของตัวแปร y จะมีค่าลดลงเช่นกัน

ขนาดของ r บอกถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีขนาดมากน้อยแค่ไหน โดยไม่สนใจเครื่องหมาย

ถ้า r เข้าใกล้ 1 หมายถึง ตัวแปร x และ y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมาก

ถ้า r เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวแปร x และ y มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงน้อย

ถ้า r เท่ากับ 0 หมายถึง ตัวแปร x และ y ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

2.2.2.3 การสร้างสมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันกับตัวแปรตาม 1 ตัว ตัวแปรอิสระทั้งหมดสามารถทำนายหรืออธิบายค่าของตัวแปรตามที่น่าสนใจได้ โดยมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (2.12)$$

เมื่อ Y คือค่าตัวแปรตาม
 $X_1 - X_k$ คือค่าตัวแปรอิสระตัวที่ 1 ถึงตัวที่ k
 a คือจุดตัดแกน y
 $b_1 - b_k$ คือค่าความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเมื่อตัวแปรอิสระ X เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย ในขณะที่ตัวแปรอิสระตัวอื่น ๆ คงที่ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ถดถอยบางส่วน (Partial Regression Coefficients)

สามารถวิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Excel โดยใช้คำสั่ง Data Analysis ในแท็บ Data

ตารางที่ 2.2

ตัวอย่างผลลัพธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วน (Partial Regression Coefficients) ที่ได้จากคำสั่ง Data Analysis ในโปรแกรม Excel

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Intercept	-4541.239024	5797.665254	-0.783287552	0.435958033
X1	130.6584784	99.35134219	1.315115382	0.192531838
X2	12.24368552	4.277068809	2.862634684	0.005461213
X3	27.9501138	39.26076516	0.711909554	0.478759219
X4	-16.59822623	9.954928704	-1.667337529	0.099674322

สมการที่ได้จากตัวอย่าง คือ

$$Y = -4541.24 + 130.66 (X_1) + 12.24 (X_2) + 27.95 (X_3) - 16.60 (X_4) \quad (2.13)$$

2.2.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ จากคำสั่ง Data Analysis ในแถบเครื่องมือ Data โปรแกรม Excel สามารถอธิบายได้ดังนี้

(1) ตาราง SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ 2.3

ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลการทดสอบ จากตาราง SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.853254109
R Square	0.728042575
Adjusted R Square	0.713342173
Standard Error	4051.075409
Observations	79

Multiple R หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพหุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ มีความสัมพันธ์ในระดับมากที่สุด เมื่อค่าเข้าใกล้ 1

R Square หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุแสดงถึงค่าตัวแปรอิสระทั้งหมดสามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามในระดับมากที่สุด ในระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าเข้าใกล้ 1

Adjusted R Square หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุที่ปรับค่าแล้วแสดงถึงค่าตัวแปรอิสระทั้งหมดสามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามในระดับมากที่สุด ในระดับ 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าเข้าใกล้ 1

Standard Error หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า ค่ามากที่สุดของชุดข้อมูลที่มีความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลในชุดเดียวกัน

Observations หมายถึง ขนาดของตัวอย่าง

(2) ตาราง ANOVA

ตารางที่ 2.4

ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลการทดสอบ จากตาราง ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	3251084299	812771074.7	49.52535352	3.33214E-20
Residual	74	1214429686	16411211.97		
Total	78	4465513985			

ตาราง ANOVA เป็นผลการทดสอบว่าตัวแปรอิสระทั้งหมดมีผลต่อตัวแปรตามหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานการทดสอบได้ดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = 0$$

$$H_1 : \beta_4 \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่า}$$

สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความได้ดังนี้

H_0 = ค่าตัวแปรอิสระทั้งหมดไม่มีผลต่อค่าตัวแปรตาม

H_1 = ค่าตัวแปรอิสระทั้งหมดมีผลต่อค่าตัวแปรตาม อย่างน้อย 1 ค่า

การสรุปผลจากตาราง ANOVA จะพิจารณาจากค่า Significance F และค่าจากระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

เมื่อค่า *Significance F* < ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก

เมื่อค่า *Significance F* \geq ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก

(3) การทดสอบสมมติฐานตัวแปรอิสระโดยใช้ค่าพี

ตารางที่ 2.5

ตัวอย่างผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลโดยใช้ค่าพี

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	-4541.239024	5797.665254	-0.783287552	0.435958033
X1	130.6584784	99.35134219	1.315115382	0.192531838
X2	12.24368552	4.277068809	2.862634684	0.005461213
X3	27.9501138	39.26076516	0.711909554	0.478759219
X4	-16.59822623	9.954928704	-1.667337529	0.099674322

เป็นการทดสอบตัวแปรอิสระแยกแต่ละตัวว่ามีผลต่อค่าตัวแปรตามหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0 : \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 = 0$$

$$H_1 : \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 \neq 0$$

สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความได้ดังนี้

H_0 = ค่าตัวแปรอิสระตัวใด ๆ ที่พิจารณาไม่มีผลต่อตัวแปรตาม

H_1 = ค่าตัวแปรอิสระตัวใด ๆ ที่พิจารณา มีผลต่อตัวแปรตาม

การสรุปผลพิจารณาจากค่า P-Value และค่าจากระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

เมื่อค่า P-Value < ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก

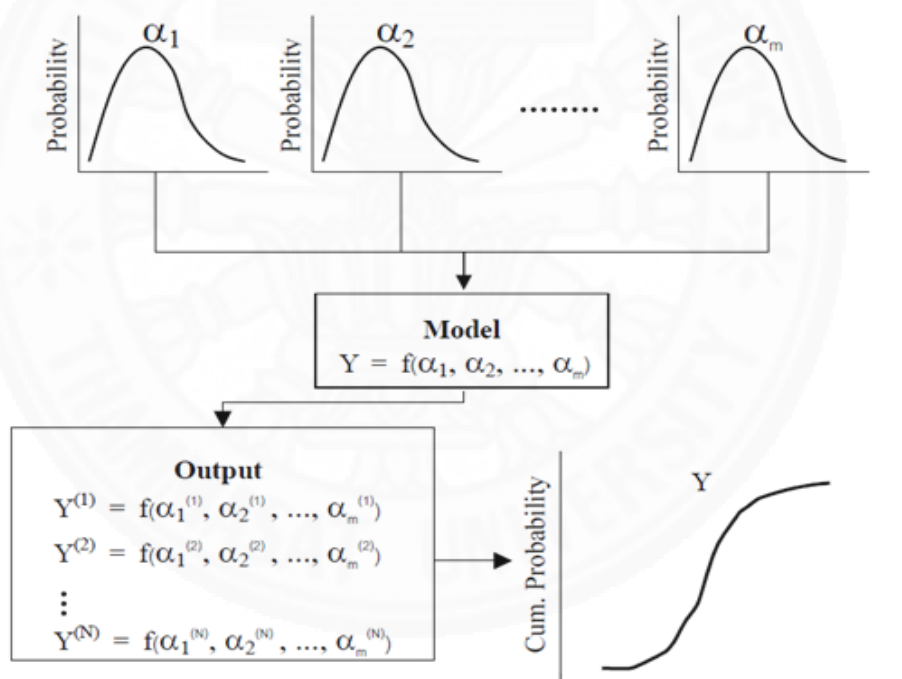
เมื่อค่า P-Value \geq ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่ายอมรับสมมติฐานหลัก

2.2.3 การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

การจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนของเหตุการณ์โดยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองของตัวแปรอิสระในแต่ละตัว โดยใช้หลักความน่าจะเป็นเข้ามาช่วยในการกำหนดค่าให้กับตัวแปรอิสระตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปร วิธีมอนติคาร์โลจะทำการจำลองเหตุการณ์หรือ

สุ่มตัวอย่างซ้ำ ๆ เพื่อให้เกิดค่าตัวแปรตามที่แตกต่างกันไป โดยการกำหนดจำนวนครั้งที่แน่นอนและใช้หลักวิเคราะห์ทางสถิติในการคำนวณผล

กระบวนการมอนติคาร์โลแสดงดังภาพที่ 2.6 ได้แบ่งกระบวนการความไม่แน่นอนออกเป็น 2 ชั้น คือชั้นกำหนดการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ชั้นที่สองทำการเลือกสุ่มตัวอย่างจากตัวแปรที่มีการแจกแจงตามที่กำหนดซึ่งชั้นตอนนี้จะทำซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้ง โดยความน่าเชื่อถือของการสุ่มตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนการทำซ้ำ ผลที่ได้คือ ชุดของค่า $N(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ เมื่อ $i = 1$ ถึง N ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างจำลอง และ $Y^{(i)}$ เมื่อ $i = 1$ ถึง N ซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลอง โดยที่การกระจายของ Y ที่ได้จะแสดงให้เห็นรูปการแจกแจงความน่าจะเป็น โดยความไม่แน่นอนสามารถตรวจสอบด้วยวิธีทางสถิติ คือการตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 2.6 แสดงกระบวนการของ Monte Carlo Simulation Process (Sudjit Karuchit, 2001)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลจากรายงานผลการดำเนินงานตามมาตรการประหยัดพลังงานในภาครัฐในส่วนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น จัดทำโดยสำนักงานพลังงานจังหวัดชุมพร นำมากำหนดเงื่อนไขเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 รวบรวมข้อมูลและจัดหมวดหมู่

3.1.1 รวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลเพื่อดำเนินงานวิจัยนี้ เพื่อต้องการความถูกต้องและแม่นยำของการประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นผลลัพธ์ของงานวิจัย จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผ่านการดำเนินการตามมาตรการการอนุรักษ์พลังงานในหน่วยงานแล้ว เพื่อให้ได้สมการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลมาจากรายงานการตรวจและประเมินตามมาตรการประหยัดพลังงานในภาครัฐ จัดทำโดยสำนักงานพลังงานจังหวัดชุมพร และข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงานจากเว็บไซต์ www.e-report.energy.go.th ปี พ.ศ. 2558 ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลจาก องค์กรบริหารส่วนตำบล เขาทะลุ เทศบาลตำบลท่าแซะ องค์กรบริหารส่วนตำบลปากทรง องค์กรบริหารส่วนตำบลช่องไม้แก้ว องค์กรบริหารส่วนตำบลครน องค์กรบริหารส่วนตำบลบ้านควน เทศบาลตำบลหลังสวน และเทศบาลตำบลวังตะกอก รวมทั้งสิ้น จำนวน 8 หน่วยงาน

3.1.2 จัดหมวดหมู่

จุดประสงค์หลักเพื่อต้องการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้ประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้โดยง่ายไม่ซับซ้อนยุ่งยากแก่ผู้ใช้งาน ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้จึงเป็นข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน โดยการจัดเป็นหมวดหมู่ตามปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา

หลังจากทำการจัดหมวดหมู่ของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ เพื่ออธิบายถึงลักษณะข้อมูลในเบื้องต้นตามหลักสถิติถึงคุณภาพของข้อมูลโดยใช้หลักการทางสถิติเชิงพรรณนา ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและการกระจายตัวของข้อมูลแสดงถึงความเหมาะสมในการใช้ข้อมูลในเบื้องต้น

3.2.1 วิเคราะห์รูปแบบการแจกแจงความถี่โดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรม

การแจกแจงความถี่โดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรมเป็นวิธีทางสถิติเชิงพรรณนาเบื้องต้น โดยการจัดเรียงข้อมูลหรือแจกแจงข้อมูลในรูปความถี่ แสดงข้อมูลโดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรม เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการกระจายของข้อมูลกับลักษณะการกระจายในรูปแบบทางทฤษฎี ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษารูปแบบลักษณะการแจกแจง ผลต่างค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ค่าการกระจาย เพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ในเบื้องต้น

3.2.1.1 รูปแบบการแจกแจงความถี่

เพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะและรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับลักษณะการแจกแจงข้อมูลทางทฤษฎี

(1) ลักษณะการแจกแจงความถี่แบบสมมาตร

ลักษณะการแจกแจงความถี่แบบสมมาตรแสดงถึงลักษณะของข้อมูลที่มีการกระจายความถี่ที่สมมาตรใกล้เคียงกันของข้อมูลหรือลักษณะของข้อมูลมีความแตกต่างกันน้อย ค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม มีค่าใกล้เคียงกัน บอกลักษณะของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีคุณภาพที่ดี

(2) ลักษณะการแจกแจงความถี่แบบเบ้

ลักษณะการแจกแจงความถี่แบบเบ้ซ้ายหรือเบ้ขวาแสดงถึงลักษณะของข้อมูลที่มีการกระจายความถี่ที่มีความเอนเอียงไปจากค่ากลางด้านใดด้านหนึ่งของข้อมูลหรือบอกลักษณะของข้อมูลมีความแตกต่างจากค่ากลางสูง ค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม มีค่าแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับความเอนเอียงของข้อมูล บอกลักษณะของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควร

3.2.1.2 วัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของข้อมูล

เมื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบลักษณะการแจกแจงเปรียบเทียบกับลักษณะการแจกแจงทางทฤษฎีแสดงให้เห็นการแจกแจงข้อมูลในรูปแบบแผนภาพฮิสโตแกรม สามารถบอกถึงคุณภาพของข้อมูลในเบื้องต้น จำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบเชิงตัวเลขโดยการเปรียบเทียบค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ซึ่งสามารถสรุปถึงคุณภาพของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ได้ดังนี้

เมื่อข้อมูลมีค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ซึ่งประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม มีจำนวนที่ใกล้เคียงกัน แสดงถึงข้อมูลมีการแจกแจงที่ดีข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จากกลุ่มตัวอย่างมีคุณภาพที่ดี

เมื่อข้อมูลมีค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง ซึ่งประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม มีความแตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีการแจกแจงแบบเอนเอียงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของข้อมูล แสดงถึงข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์จากกลุ่มตัวอย่างมีคุณภาพน้อย หากข้อมูลมีความเอนเอียงมากอาจส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนในแบบจำลองได้

3.2.1.3 วัดค่าการกระจายของข้อมูล

การวัดการกระจายของข้อมูลสามารถบอกถึงลักษณะของข้อมูลเบื้องต้นได้ว่าข้อมูลมีการกระจายไปจากค่ากลางมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถบอกถึงคุณภาพเบื้องต้นของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ได้ง่ายและรวดเร็วที่สุด นอกจากนี้ค่าการกระจายของข้อมูลยังสามารถใช้เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลสองชุดที่มีความเกี่ยวข้องกัน ทำการวัดการกระจายของข้อมูลโดยใช้ค่า พิสัย (Range) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.3 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการศึกษาค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานที่ทำการศึกษา ด้วยลักษณะการเปรียบเทียบข้อมูลจากหน่วยงานที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน การวิเคราะห์โดยใช้รูปแบบสมการการถดถอยเชิงเส้นสามารถอธิบายหรือพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงานได้เป็นอย่างดี โดยทำการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบสมการและทดสอบความเหมาะสมของสมการดังกล่าวตามขั้นตอนดังนี้

3.3.1 สร้างแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot)

ทำการสร้างแผนภาพการกระจายของข้อมูลระหว่างข้อมูลตัวแปรอิสระในแต่ละตัวที่กำหนดกับตัวแปรตาม เพื่อดูถึงระดับความสัมพันธ์ว่าอยู่ในระดับเชิงเส้นตรงหรือไม่ มากน้อยเพียงใด โดยที่สมการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณจะสามารถประมาณค่าหรือ

พยากรณ์ตัวแปรตามจากตัวแปรอิสระ จะให้ค่าที่แม่นยำที่สุดเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้นอย่างสมบูรณ์

3.3.2 หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

การสร้างแผนภาพการกระจายสามารถบอกถึงลักษณะความสัมพันธ์ได้ในเบื้องต้น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงตัวเลขเพื่อบอกถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้อย่างชัดเจน โดยทำการประเมินความเหมาะสมของตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หากพบว่าตัวแปรอิสระตัวใดไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามเลยแสดงถึงตัวแปรอิสระตัวนั้นไม่มีความเกี่ยวข้องกับตัวแปรตามที่ต้องการประมาณค่า หรือไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในแบบจำลอง

3.3.3 สร้างสมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

เมื่อทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อแสดงถึงความเหมาะสมของตัวแปรในแต่ละตัวแล้ว จึงทำการสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุในรูปแบบสมการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อทำนายหรือพยากรณ์ปริมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าจากตัวแปรอิสระที่ได้กำหนด

3.3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ทำการวิเคราะห์ผลการสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง สามารถบอกได้ถึงความเหมาะสมของข้อมูลและลักษณะของสมการจำลองว่ามีความเหมาะสมหรือไม่

3.3.4.1 การวิเคราะห์ผลจากตาราง SUMMARY OUTPUT

ตาราง SUMMARY OUTPUT แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากค่า Multiple R หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพหุ ค่า R Square หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุ ค่า Adjusted R Square หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุที่ปรับค่าแล้ว และค่า Standard Error หรือความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่า

3.3.4.2 การวิเคราะห์ผลจากตาราง ANOVA

ตาราง ANOVA แสดงผลการทดสอบสมมติฐานจากค่า Significance F ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถบอกได้ถึงค่าของตัวแปรอิสระมีผลต่อค่าของตัวแปรตาม หรือค่าประมาณการค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือไม่

3.3.4.3 การทดสอบสมมติฐานตัวแปรอิสระโดยใช้ค่าพี

แสดงผลการทดสอบสมมติฐานจากค่า P-value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถบอกได้ถึงค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัวมีผลต่อค่าของตัวแปรตามหรือค่าประมาณการค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าหรือไม่

3.4 จำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

เพื่อใช้แก้ปัญหาความอ่อนไหวและไม่แน่นอนของตัวแปรอิสระ โดยการจำลองสุ่ม (stochastic simulation) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเทคนิคมอนติคาร์โล (Monte Carlo Technique)

3.4.1 นิยามปัญหาและสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบ

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวและความไม่แน่นอนของตัวแปรอิสระโดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม และการจัดเรียงข้อมูลหรือแจกแจงข้อมูลของตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม ตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระ

3.4.2 จำลอง (Simulating)

นำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบมาทำการสร้างตัวเลขสุ่มเพื่อการจำลองปัญหาของระบบโดยการสร้างเลขสุ่มแบบซ้ำ ๆ ของตัวแปรอิสระเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตามที่แตกต่างกันออกไปตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระ

1. สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบในตัวแปรอิสระในแต่ละตัว โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตาม
2. จัดเรียงข้อมูลของตัวแปรอิสระวิเคราะห์ค่าของตัวแปรตามที่แสดงถึงความอ่อนไหวและไม่แน่นอน
3. กำหนดค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของตัวแปรตามตามฟังก์ชันตัวแปรอิสระในแต่ละตัวเพื่อทำการสร้างเลขสุ่ม
4. สร้างเลขสุ่มด้วยวิธีสมภาคเชิงเส้น (Linear Congruential Method) หรือ LCG โดยสร้างลงบนโปรแกรม Excel ด้วยคำสั่ง RAND()
5. หาค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางหรือค่ากลางของตัวแปรตามที่เหมาะสมจากการสุ่มในแต่ละช่วงของค่าตัวแปรอิสระ เพื่อนำมาสร้างสมการเส้นตรงของตัวแปรอิสระในแต่ละตัว

เมื่อทำการจำลองและสร้างสมการแบบจำลองมอนติคาร์โล จะทำการจำลองซ้ำ ตั้งแต่ 1,000 5,000 10,000 15,000 20,000 และ 30,000 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้จากสมการเส้นตรงของตัวแปรอิสระจากการจำลองเหตุการณ์มาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ แล้วใช้สถิติทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

3.5 วิเคราะห์ผลและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เมื่อทำการสร้างตัวแปรอิสระตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรด้วยแบบจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โลโดยการทดลองซ้ำตามจำนวนที่กำหนดแล้ว นำตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวมาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุและทำการวิเคราะห์ผลที่ได้

3.5.1 วิเคราะห์ผลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา

สถิติเชิงพรรณนาจะสามารถบอกถึงลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลที่ได้เพื่อเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลในแต่ละชุดที่ได้ทำการทดลองสุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ที่จำนวนการทดลองสุ่ม 1,000 5,000 10,000 15,000 20,000 และ 30,000 ครั้ง ด้วยเทคนิคการวัดการกระจายของข้อมูล โดยการวิเคราะห์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.5.2 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)

เพื่อทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ทำกรตรวจวัดจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองว่าข้อมูลทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังสมการ

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (u_1 - u_2)}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} \quad (3.1)$$

- t = ตัวสถิติเพื่อการทดสอบ
 \bar{x} = ค่าเฉลี่ยของลักษณะที่สนใจศึกษาจากตัวอย่างที่เลือก
s = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากตัวอย่างลักษณะที่สนใจ
u = ค่าเฉลี่ยของลักษณะที่สนใจศึกษาของประชากร

- สมมติฐานเพื่อการทดสอบ คือ H_0 และ H_1
- ระดับนัยสำคัญการทดสอบ $\alpha = 0.05$
- $H_0: u=c$ และ $H_1: u < c$
- c แทนค่าความเชื่อที่ตั้งเป็นสมมติฐาน

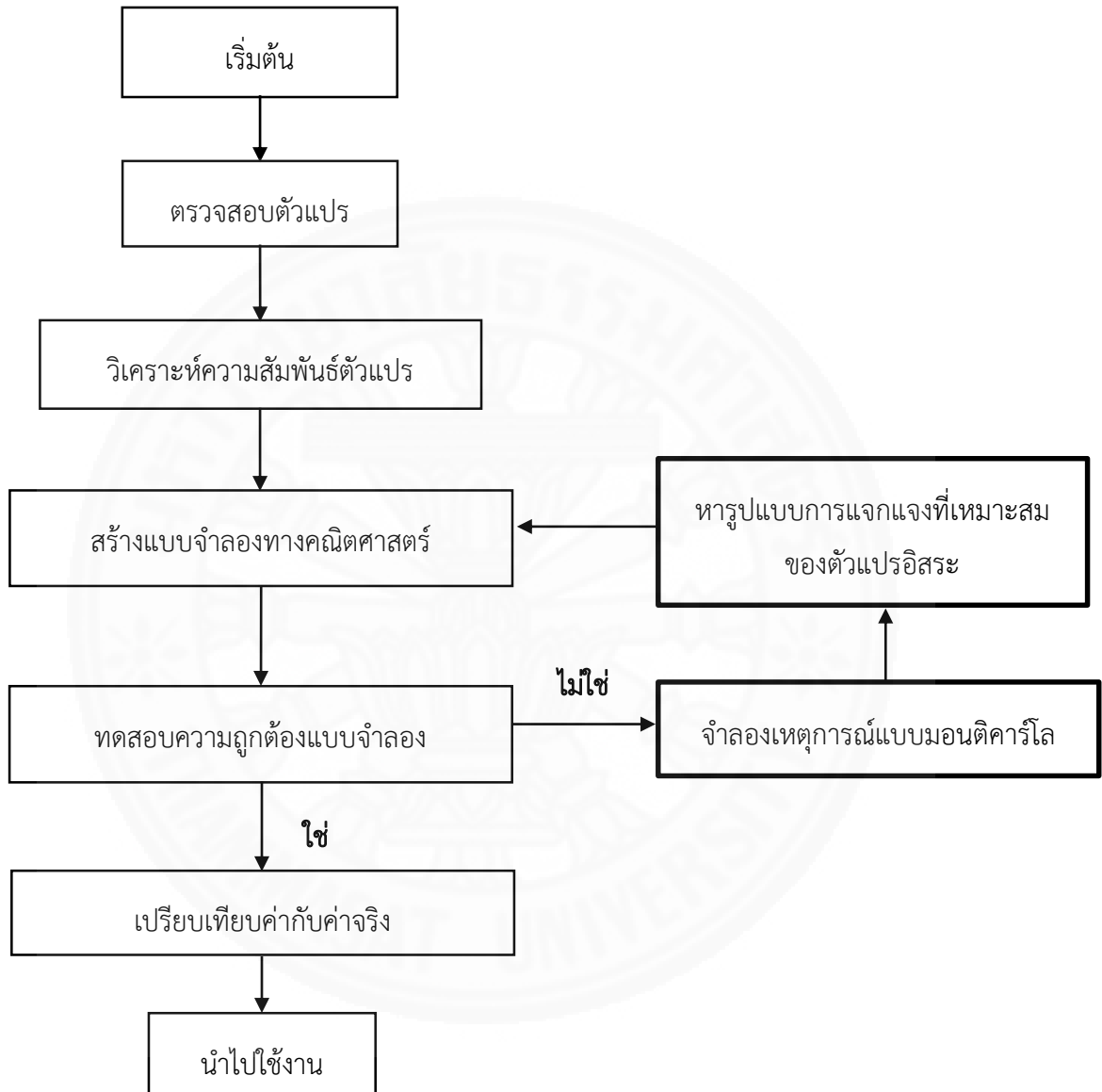
3.5.3 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าจริงจากการเก็บข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ที่ได้จากการจำลองจากสมการทางคณิตศาสตร์และค่าจริงเปรียบเทียบอยู่ในรูปผลต่างร้อยละ ดังสมการ

$$\text{Error (\%)} = \left(\frac{Y - y_i}{Y} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่	Error (%)	คือ ค่าผลต่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) จากสมการจำลองและค่าจริง เปรียบเทียบอยู่ในรูปผลต่างร้อยละ
	Y	คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง (หน่วย/เดือน)
	y_i	คือ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบบจำลอง (หน่วย/เดือน)

3.5.4 แสดงแผนผังการดำเนินงานวิจัย



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลจากงานวิจัย การประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพรด้วยแบบจำลองมอนติคาร์โล ตามขั้นตอนที่ได้กำหนดในบทที่ 3 โดยการใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่ได้ดำเนินการมาตรการประหยัดพลังงานซึ่งเป็นตัวแทนของข้อมูลที่มีค่าการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงผลการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้

4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลและการจัดหมวดหมู่

ข้อมูลที่ได้รวบรวมเป็นข้อมูลพื้นฐานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ซึ่งได้ดำเนินการมาตรการประหยัดพลังงาน โดยสำนักงานพลังงานจังหวัดชุมพร ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 รวมทั้งสิ้น จำนวน 8 หน่วยงาน และทำการแยกหมวดหมู่เพื่อกำหนดตัวแปรให้ง่ายต่อการนำแบบจำลองไปใช้งาน ได้ดังนี้

ตัวอย่างข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลเขาทะเล อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ

ตารางที่ 4.1

ตัวอย่างข้อมูลพื้นฐานขององค์การบริหารส่วนตำบลเขาทะเล ปีงบประมาณ 2558

เดือน	บุคลากร (คน)	พท.ใช้สอย (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้เข้ามาใช้ บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้า (หน่วย)
ตุลาคม	34	240.00	176	80	9,402.40
พฤศจิกายน	34	240.00	160	85	9,324.24
ธันวาคม	34	240.00	168	60	8,793.40
มกราคม	38	240.00	160	80	9,132.46
กุมภาพันธ์	38	240.00	160	85	10,687.27

สามารถจัดหมวดหมู่ซึ่งกำหนดเป็นตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยงาน (หน่วย/เดือน) ในแต่ละเดือน ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2

ข้อมูลการแยกหมวดหมู่และกำหนดสัญลักษณ์ของตัวแปรอิสระ

ข้อมูลการแยกหมวดหมู่	ชนิดตัวแปร	สัญลักษณ์ของตัวแปร
1. ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน)	ตัวแปรตาม	Y
2. จำนวนบุคลากรเฉลี่ยต่อเดือน (คน)	ตัวแปรอิสระ 1	X_1
3. จำนวนพื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)	ตัวแปรอิสระ 2	X_2
4. เวลาทำการเฉลี่ยต่อเดือน (ชั่วโมง)	ตัวแปรอิสระ 3	X_3
5. จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ (คน/เดือน)	ตัวแปรอิสระ 4	X_4

จากข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดของ 8 หน่วยงาน นำมาแยกหมวดหมู่และกำหนดตัวแปรดังตารางที่ 4.2 นำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา

ผลการจัดเรียงข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนาของตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้กำหนด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการแจกแจงความถี่โดยใช้แผนภูมิฮิสโตแกรม

เพื่อพิจารณาถึงลักษณะการแจกแจงของข้อมูลเปรียบเทียบกับลักษณะการแจกแจงทางทฤษฎี ทำให้ทราบถึงรูปแบบการแจกแจงของข้อมูลในเบื้องต้น สามารถประเมินถึงคุณภาพของข้อมูลโดยพิจารณาจากลักษณะการแจกแจง

ตารางที่ 4.3

ข้อมูลลักษณะการแจกแจงตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระ	สัญลักษณ์	ลักษณะการแจกแจง
1. จำนวนบุคลากร	X_1	ปกติ
2. จำนวนพื้นที่ใช้สอย	X_2	สมมาตร
3. เวลาทำการ	X_3	สมมาตร
4. จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ	X_4	ปกติ
5. ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า	Y	เบ้ขวา

ผลจากการแจกแจงความถี่ที่แสดงในรูปแบบแผนภาพฮิสโตแกรมพบว่าตัวแปร X_1 X_2 X_3 และ X_4 มีการแจกแจงในรูปแบบปกติและสมมาตรบอกถึงคุณภาพข้อมูลที่ดีในทางสถิติ ตัวแปร Y มีรูปแบบการแจกแจงแบบเบ้ หมายถึง ข้อมูลมีความเอนเอียงมาก ลักษณะการแจกแจงของตัวแปรอิสระ แสดงในภาคผนวก ข

4.2.2 ผลการวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง

ข้อมูลที่รวบรวมนำมาวิเคราะห์ค่าพื้นฐานทางสถิติเพื่อพิจารณาถึงลักษณะของข้อมูล แสดงตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4

แสดงค่าพื้นฐานทางสถิติ

	X_1	X_2	X_3	X_4	Y
ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	38	347	159	106	7,371
ค่ามัธยฐาน	35	240	160	90	4,034
ค่าฐานนิยม	34	240	160	200	2,256

ผลการวัดค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางของชุดข้อมูลพบว่ามีความแตกต่างระหว่างข้อมูล จากค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม ค่อนข้างสูง

4.2.3 ผลการวัดการกระจาย

ผลการวัดการกระจายแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

แสดงข้อมูลการวัดการกระจาย

	X1	X2	X3	X4	Y
Range	90	1550	74	195	37,687
Standard Deviation	17	360	17	64	7,521

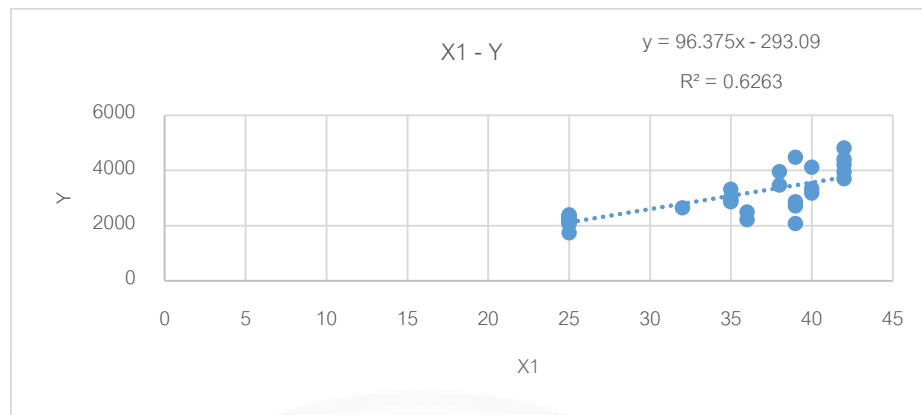
ข้อมูลการวัดค่าการกระจายของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม พบว่าข้อมูล X_2 และ Y มีการกระจายของข้อมูลสูง

4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

แสดงผลการวิเคราะห์การถดถอยของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่ยังไม่มีการจำลอง เหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

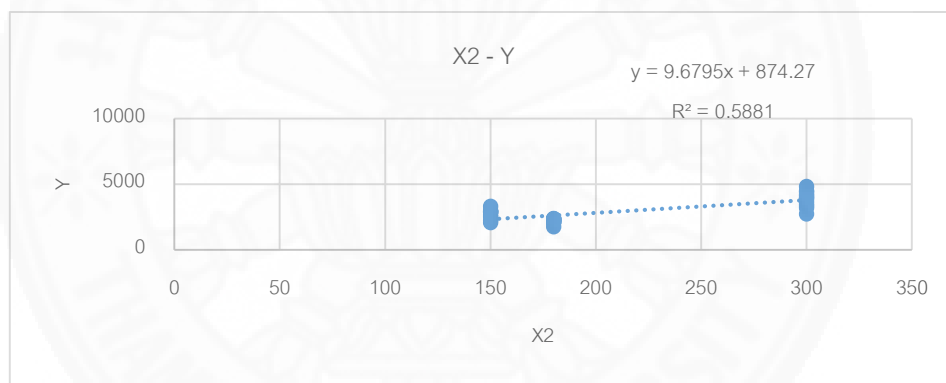
4.3.1 แผนภาพการกระจาย (Scatter Plot)

1. แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบุคลากร (X_1) และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (Y)



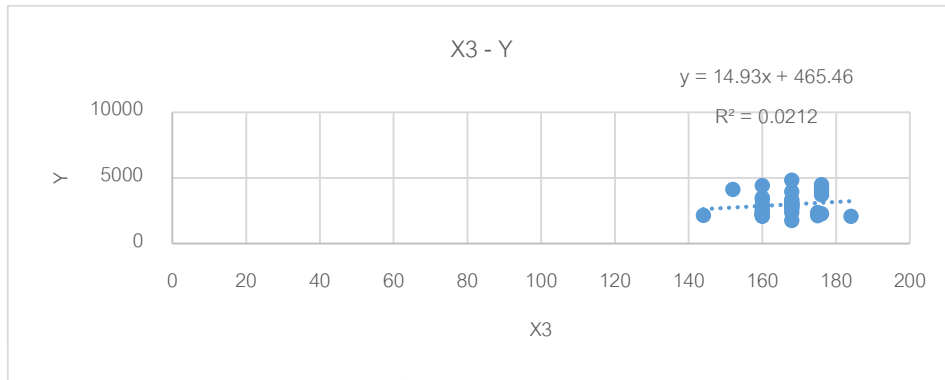
ภาพที่ 4.1 แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_1 และตัวแปรตาม Y

2. แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบุคลากร (X_2) และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (Y)



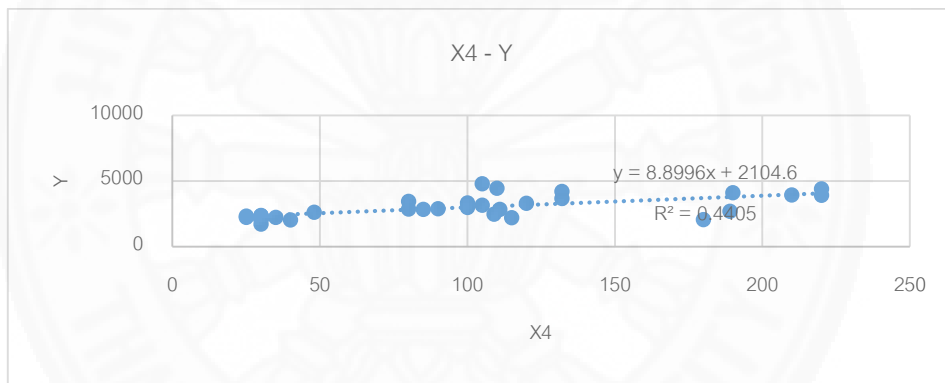
ภาพที่ 4.2 แสดงแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_2 และตัวแปรตาม Y

3. แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบุคลากร (X_3) และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (Y)



ภาพที่ 4.3 แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_3 และตัวแปรตาม Y

4. แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบุคลากร (X_4) และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า (Y)



ภาพที่ 4.4 แผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระ X_4 และตัวแปรตาม Y

ผลการสร้างแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระทั้ง 4 เปรียบเทียบกับตัวแปรตาม พบว่ารูปแบบการกระจายของข้อมูลทั้ง 4 อยู่ในแบบฟังก์ชันสมการเชิงเส้นตรงซึ่งผลจากรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถใช้รูปแบบสมการการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ พยากรณ์หรือทำนายค่าเป้าหมายของตัวแปรตามได้

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรทั้งหมด โดยไม่แยกชนิดของตัวแปร

ตารางที่ 4.6

แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

	X1	X2	X3	X4	Y
X1	1				
X2	0.9434	1			
X3	0.248447	0.111832	1		
X4	0.314787	0.313456	-0.50032	1	
Y	0.816794	0.824388	0.279204	0.099712	1

ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พบว่า ตัวแปรจำนวนบุคลากรและพื้นที่ใช้สอย มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระดับมาก เวลาทำการและจำนวนผู้ให้บริการ มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในระดับน้อย

4.3.3 สมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

สมการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ ข้อมูลจากตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ยังไม่มีการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล สามารถทำนายหรืออธิบายค่าของตัวแปรตาม คือปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) จากตัวแปรอิสระ โดยมีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$Y = 15557.53 + 238.68 (X_1) + 48.15 (X_2) - 153.64 (X_3) - 40.38 (X_4) \quad (4.1)$$

เมื่อ	Y	คือค่าพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน)
	X ₁	คือจำนวนบุคลากรที่ปฏิบัติงานเฉลี่ย (คน/เดือน)
	X ₂	คือพื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)
	X ₃	คือเวลาทำการรวม (ชั่วโมง/เดือน)
	X ₄	คือจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ (คน/เดือน)

4.3.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ

ผลการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง บอกได้ถึงความเหมาะสมของข้อมูลและความเหมาะสมของสมการจำลอง

4.3.4.1 ผลจากตาราง SUMMARY OUTPUT

ตารางที่ 4.7

ข้อมูลจากตาราง SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.703583891
R Square	0.495030292
Adjusted R Square	0.459593821
Standard Error	3432.933024

Multiple R หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบพหุมีค่าเท่ากับ 0.70358 หมายถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับบุคลากร พื้นที่ใช้งาน เวลาทำการ และผู้เข้ามาใช้บริการในระดับความสัมพันธ์ระดับมาก

R Square หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุมีค่าเท่ากับ 0.49503 หมายความว่าบุคลากร พื้นที่ใช้งาน เวลาทำการ และผู้เข้ามาใช้บริการ สามารถอธิบายความเปลี่ยนแปลงของปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ 49.5%

Adjusted R Square หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบพหุที่ปรับค่าแล้ว มีค่าเท่ากับ 0.45959

Standard Error ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการประมาณค่าเท่ากับ 3432.93

4.3.4.2 ผลจากตาราง ANOVA

ตารางที่ 4.8

แสดงข้อมูลจากตาราง ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	4	658524542.6	164631135.6	13.96951451	5.28E-08
Residual	57	671746661.5	11785029.15		
Total	61	1330271204			

พบว่า Significance F = $5.2756E-08 < \text{ระดับนัยสำคัญ } 0.05$ แสดงว่าปฏิเสศสมมติฐานหลัก นั่นคือ บุคลากร พื้นที่ใช้งาน เวลาทำการ และผู้เข้ามาใช้บริการ มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าอย่างน้อย 1 ค่า

4.3.4.3 ผลการทดสอบสมมติฐานตัวแปรอิสระโดยใช้ค่าพี

ตารางที่ 4.9

ผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลโดยใช้ค่าพี

	P-value
Intercept	0.13418971
X1	0.048391444
X2	4.85E-08
X3	0.012152506
X4	0.002322668

ทดสอบตัวแปรอิสระจำนวนบุคลากร เป็นการทดสอบว่าจำนวนบุคลากรมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

$H_0: B > \text{ระดับนัยสำคัญ } 0.05$ สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

จำนวนบุคลากรไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

H1: $B <$ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

จำนวนบุคลากรมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

การสรุปผลพบว่า P-value = 0.048391 < ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ จำนวนบุคลากรมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ทดสอบตัวแปรอิสระจำนวนพื้นที่ เป็นการทดสอบว่าพื้นที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H0: $B >$ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

พื้นที่ไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

H1: $B <$ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

พื้นที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

การสรุปผลพบว่า P-value = 4.84673E-08 < ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ จำนวนพื้นที่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ทดสอบตัวแปรอิสระเวลาทำการ เป็นการทดสอบว่าเวลาทำการมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H0: $B >$ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

เวลาทำการไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

H1: $B <$ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

เวลาทำการมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

การสรุปผลพบว่า P-value = 0.01215 < ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ เวลาทำการมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

ทดสอบตัวแปรอิสระผู้เข้ามาใช้บริการ เป็นการทดสอบว่าผู้เข้ามาใช้บริการมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าหรือไม่สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H0: $B >$ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

ผู้เข้ามาใช้บริการไม่มีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

H1: $B <$ ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

ผู้เข้ามาใช้บริการมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

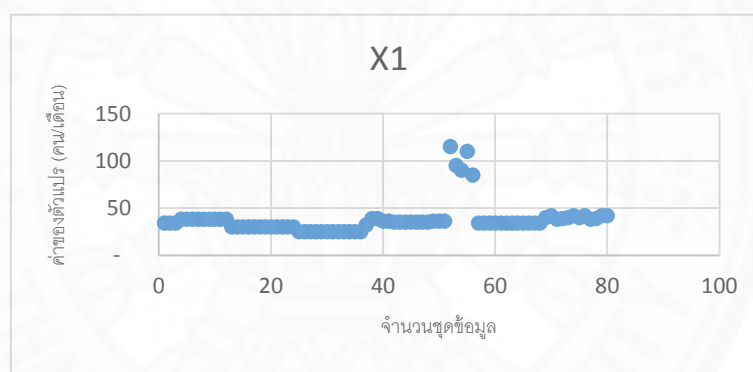
การสรุปผลพบว่า P-value = 0.002322 < ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ ผู้เข้ามาใช้บริการมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้า

4.4 ผลการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุพบว่าข้อมูลพื้นฐานทางสถิติมีความแตกต่างระหว่างค่าแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางและค่าการกระจายค่อนข้างสูง ซึ่งเกิดจากความอ่อนไหวและไม่แน่นอนของข้อมูลในตัวแปรอิสระ สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล

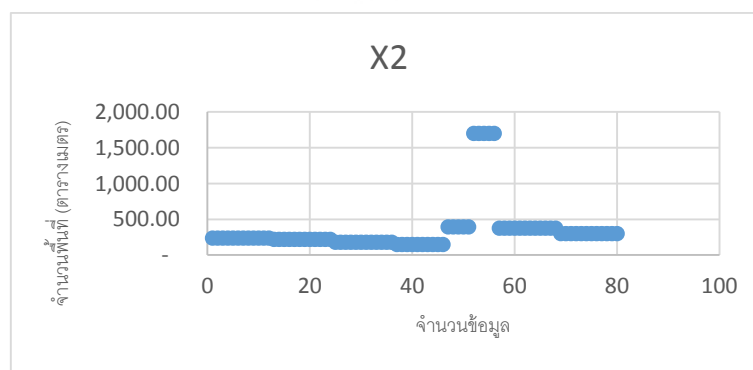
4.4.1 ปัญหาและการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของระบบ

ผลจากการสร้างแผนภาพการกระจายของข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ทำให้ทราบถึงลักษณะของข้อมูล พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวออกนอกกลุ่มส่วนหนึ่ง เพื่อลดความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากตัวข้อมูลเองจึงทำการตัดข้อมูลบางชุดที่อยู่นอกกลุ่มออก ดังนี้



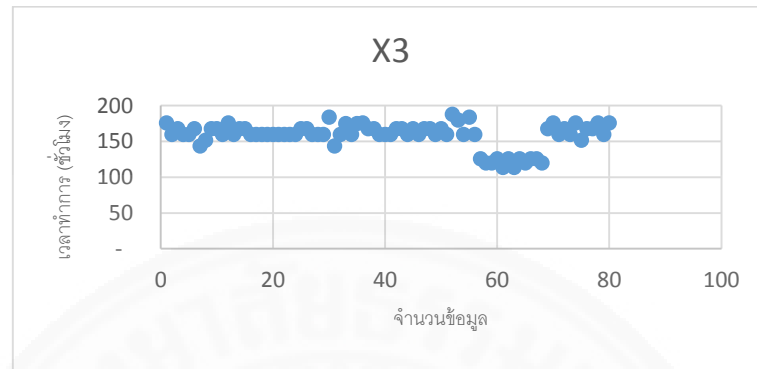
ภาพที่ 4.5 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_1

ชุดข้อมูล X_1 ข้อมูล 80 - 120 กระจายตัวออกนอกกลุ่มมาก ตัดชุดข้อมูลนั้นออก



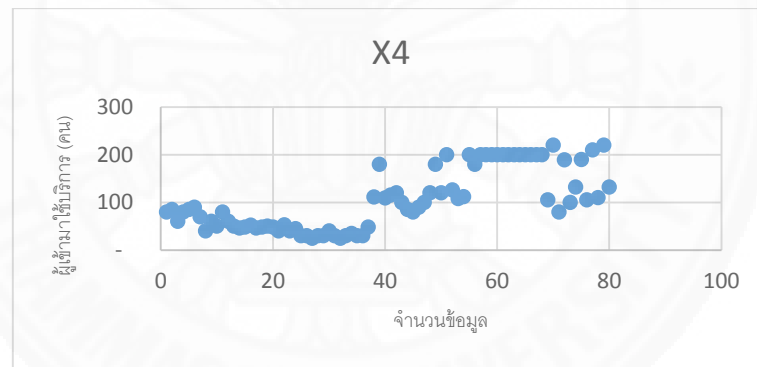
ภาพที่ 4.6 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_2

ชุดข้อมูล X_2 ข้อมูล 1600 - 1800 กระจายตัวออกนอกกลุ่ม ตัดชุดข้อมูลนั้นออก



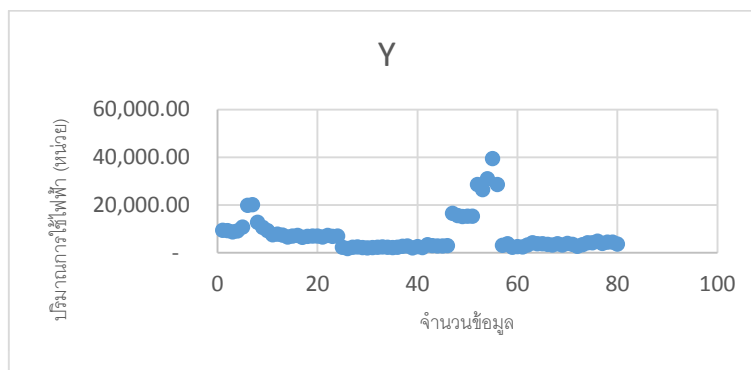
ภาพที่ 4.7 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_3

ชุดข้อมูล X_3 ข้อมูล 100 - 140 กระจายตัวออกนอกกลุ่ม ตัดชุดข้อมูลนั้นออก



ภาพที่ 4.8 แผนภาพการกระจายของตัวแปรอิสระ X_4

ชุดข้อมูล X_4 ไม่สามารถตัดข้อมูลได้



ภาพที่ 4.9 แผนภาพการกระจายของตัวแปรตาม Y

ชุดข้อมูล Y ข้อมูล 25000 - 40000 มีการกระจายตัวออกนอกกลุ่มตัดชุดข้อมูลนั้นออก และพบว่ามีการกระจายแยกออกเป็น 3 กลุ่ม จึงได้ทำการแยกชุดข้อมูลในการทำแบบจำลองออกเป็น 3 กลุ่มตามลักษณะการกระจายของข้อมูลได้ดังนี้

1. ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y < 5,000$
2. ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $5,000 < Y < 15,000$
3. ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y > 15,000$

รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค.

จากการพิจารณาแผนภาพการกระจายระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวกับตัวแปรตามตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระ และข้อมูลความสัมพันธ์ในการวิเคราะห์การกระจายพบว่าอยู่ในรูปแบบฟังก์ชันเชิงเส้นตรงและพบว่าข้อมูลของตัวแปรอิสระค่าหนึ่งให้ค่าตัวแปรตามได้หลายค่า ข้อมูลในภาคผนวก ง. เกิดความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ อาจเกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอื่น ๆ รวมถึงตัวแปรที่ไม่ได้นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล

4.4.2 ผลการจำลอง (Simulating)

ผลจากการจำลองค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของตัวแปรอิสระตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรได้ผลลัพธ์สมการเส้นตรงตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นตามจำนวนการทดลองสุ่มและนำค่าตัวแทนของข้อมูลที่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์โดยใช้ค่านิยามของข้อมูลที่มีการทดลองสุ่มตามจำนวนที่กำหนด คือ 1000 5000 10000 15000 20000 และ 30000 ครั้ง นำมาสร้างแผนภาพการกระจายและสร้างสมการเส้นตรงได้ ได้ดังตารางที่ 4.10 – 4.12

ตารางที่ 4.10

ฟังก์ชันตัวแปรอิสระจากการจำลองแบบมอนติคาร์โล ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y < 5,000$

	X_1	X_2	X_3	X_4
1000	$Y = 141.7(X_1) - 1791.7$	$Y = 4.3071(X_2) + 1445.2$	$Y = 65.24(X_3) - 8047.2$	$Y = 29.983(X_4) - 2354.9$
5000	$Y = 151.15(X_1) - 2201.5$	$Y = 9.9429(X_2) + 673.33$	$Y = 15.759(X_3) + 219.21$	$Y = 30.461(X_4) - 2422.3$
10000	$Y = 138.87(X_1) - 1920.8$	$Y = 11.643(X_2) + 193.33$	$Y = -42.006(X_3) - 9598$	$Y = 37.442(X_4) - 3571.2$
15000	$Y = 127.45(X_1) - 1560.5$	$Y = 15.779(X_2) + 329.17$	$Y = 35.548(X_3) - 3156.7$	$Y = 16.401(X_4) - 81.003$
20000	$Y = 131.1(X_1) - 1498.8$	$Y = 7.6667(X_2) + 1062.3$	$Y = 70.023(X_3) - 8826.1$	$Y = 37.648(X_4) - 3624.2$
30000	$Y = 143.87(X_1) - 1957.8$	$Y = 16.802(X_2) + 591.17$	$Y = -84.772(X_3) + 17120$	$Y = 36.853(X_4) - 3406.3$

ตารางที่ 4.11

ฟังก์ชันตัวแปรอิสระจากการจำลองแบบมอนติคาร์โล ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน

 $5,000 < Y < 15,000$

	X_1	X_2	X_3	X_4
1000	$Y = 531.63(X_1) - 8953.6$	$Y = 273.65(X_2) + 53489$	$Y = -114.99(X_3) + 29696$	$Y = 30.307(X_4) + 6625.6$
5000	$Y = 627.38(X_1) - 12182$	$Y = 109.05(X_2) - 17408$	$Y = -117.98(X_3) + 30073$	$Y = 60.454(X_4) + 4814.6$
10000	$Y = 395.63(X_1) - 4681.9$	$Y = 175.9(X_2) - 31880$	$Y = -113.35(X_3) + 293.47$	$Y = 51.409(X_4) + 5619.8$
15000	$Y = 577.63(X_1) - 10629$	$Y = 113.85(X_2) - 22238$	$Y = -123.44(X_3) + 307.04$	$Y = 40.787(X_4) + 6002.6$
20000	$Y = 394.63(X_1) - 4785.3$	$Y = 254.9(X_2) - 49191$	$Y = -183.62(X_3) + 40319$	$Y = 43.943(X_4) + 5824.6$
30000	$Y = 626.75(X_1) - 12342$	$Y = 221.9(X_2) - 41542$	$Y = -148.21(X_3) + 34732$	$Y = 55.922(X_4) - 4996.3$

ตารางที่ 4.12

ฟังก์ชันตัวแปรอิสระจากการจำลองแบบมอนติคาร์โล ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y > 15,000$

	X_1	X_2	X_3	X_4
1000	$Y = 1631.4 (X_1) - 42329$	$Y = -30.662 (X_2) + 27348$	$Y = -216.43 (X_3) + 50923$	$Y = -35.388(X_4) + 21566$
5000	$Y = 149.1 (X_1) - 37223$	$Y = -29.176 (X_2) + 26951$	$Y = -219.13 (X_3) + 51314$	$Y = -35.359(X_4) + 21553$
10000	$Y = 1551(X_1) - 39427$	$Y = -25.873(X_2) + 26085$	$Y = -219.04(X_3) + 51320$	$Y = -35.341(X_4) + 21544$
15000	$Y = 1510.1(X_1) - 37888$	$Y = -25.605(X_2) + 26042$	$Y = -216.53(X_3) + 50903$	$Y = -35.249(X_4) + 21501$
20000	$Y = 1460.4(X_1) - 36096$	$Y = -26.216(X_2) + 26315$	$Y = -219.34(X_3) + 51354$	$Y = -35.273(X_4) + 21513$
30000	$Y = 1399.3(X_1) - 33790$	$Y = -28.701(X_2) + 26887$	$Y = -220.88(X_3) + 51571$	$Y = -35.230(X_4) + 21493$

ผลจากการแจกแจงตัวแปรอิสระตามฟังก์ชันความน่าจะเป็นกับตัวแปรตาม นำไปสร้างชุดข้อมูลจากค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง ข้อมูลในภาคผนวก จ. และนำไปสร้างสมการการถดถอยเชิงพหุที่การจำลองแบบมอนติคาร์โลตามจำนวนตัวแปรสุ่มต่าง ๆ ได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบพหุ ตามตารางที่ 4.13 – 4.15

ตารางที่ 4.13

ตารางแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y < 5,000$

จำนวนตัวเลขสุ่ม	สมการจำลอง
1000	$Y = 1479.22 + 1.825599(X_1) + 4.235537(X_2) - 1.01537(X_3) + 0.586266(X_4)$
5000	$Y = 258.90 + 0.672865(X_1) + 7.35632 (X_2) - 2.297559 (X_3) + 3.355285 (X_4)$
10000	$Y = 623.7151 - 0.18867 (X_1) + 10.44435 (X_2) - 2.60548 (X_3) + 1.589368 (X_4)$
15000	$Y = -121.206 + 5.643002 (X_1) + 7.979519 (X_2) + 2.25485 (X_3) + 6.334892 (X_4)$
20000	$Y = 648.3876 + 1.803517 (X_1) + 7.226156 (X_2) + 2.39251 (X_3) + 0.375216 (X_4)$
30000	$Y = 81.06457 + 2.543023 (X_1) + 13.55775 (X_2) - 0.9785 (X_3) + 6.099881 (X_4)$

ตารางที่ 4.14

ตารางแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน

$$5,000 < Y < 15,000$$

จำนวนตัวเลขสู่ม	สมการจำลอง
1000	$Y = 29696 + 5.63409E-13(X_2) - 114.99 (X_3) - 1.91611E-15 (X_4)$
5000	$Y = -12182 + 627.38 (X_1) + 3.53733E-13 (X_2) + 5.60E-13 (X_3) + -1.06E-12 (X_4)$
10000	$Y = -4681.9 + 395.63 (X_1) + 3.03E-13 (X_2) - 1.10E-13 (X_3) + 6.45904E-13 (X_4)$
15000	$Y = -10629 + 577.63 (X_1) -2.34475E-13 (X_2) + 4.08E-13 (X_3) + 2.5496E-13 (X_4)$
20000	$Y = -4785.3 + 394.63 (X_1) -1.23021E-12 (X_2) -7.71E-13 (X_3) + 1.4857E-13 (X_4)$
30000	$Y = -12342 + 626.75 (X_1) + 2.899E-12 (X_2) -1.180E-13 (X_3) -2.027E-14 (X_4)$

ตารางที่ 4.15

ตารางแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y > 15,000$

จำนวนตัวเลขสู่ม	สมการจำลอง
1000	$Y = 27348 - 30.662 (X_2)$
5000	$Y = 26951 - 29.178 (X_2)$
10000	$Y = 26085 - 25.873 (X_2)$
15000	$Y = 26042 - 25.605 (X_2)$
20000	$Y = 26315 - 26.216 (X_2)$
30000	$Y = 26887 - 28.701 (X_2)$

นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่การจำลองสู่มจำนวนการสู่มต่าง ๆ แทนค่าตัวแปรอิสระจากข้อมูลจริงเพื่อทำนายค่าตัวแปรตามหรือทำนายค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง ข้อมูลในภาคผนวก ฉ. จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเพื่อเลือกสมการที่ดีที่สุด

4.5 การวิเคราะห์ผลและทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

สมการการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุที่ได้จากแบบจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล โดยแบ่งข้อมูลการพยากรณ์หรือการทำนายค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ออกเป็น 3 ช่วง ตามลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลในตัวแปรตามเพื่อให้ค่าพยากรณ์ที่ได้จากสมการจำลองทางคณิตศาสตร์ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติเพื่อหาสมการที่ดีที่สุดจากการทดลองสุ่มซ้ำของฟังก์ชันความน่าจะเป็นในตัวแปรอิสระเพื่อลดความอ่อนไหวและไม่แน่นอนของเหตุการณ์ ระหว่างค่าการสุ่มเพื่อหาฟังก์ชันความน่าจะเป็น ที่ 1000 5000 10000 15000 20000 และ 30000 ครั้ง แสดงข้อมูลได้ดังนี้

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ผลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนา

ผลการเปรียบเทียบลักษณะข้อมูลเบื้องต้นของค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองด้วยสถิติเชิงพรรณนา จากผลการทดลองสุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล ที่จำนวนการทดลองสุ่ม 1,000 5,000 10,000 15,000 20,000 และ 30,000 ครั้ง ด้วยวิธีการวัดการกระจายของข้อมูล จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ผลการศึกษาการกระจายของข้อมูลไปจากตัวกลางของข้อมูลชุดนั้นโดยไม่คิดทิศทางกระจาย เปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองที่จำนวนการทำลองสุ่ม 1,000 5,000 10,000 15,000 20,000 และ 30,000 ครั้ง แสดงตามตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16

ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนทั้ง 3 ช่วง

	1000	5000	10000	15000	20000	30000
$Y < 5,000$	87	199	87	18	322	332
$5,000 < Y < 15,000$	984	642	213	459	217	640
$Y > 5,000$	157	44	149	230	183	8

ผลต่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างค่าจริงและค่าจำลองจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองสุ่ม สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ที่ช่วง $Y < 5,000$ การทดลองสุ่ม จำนวน 15,000 ครั้ง ให้ค่าใกล้เคียงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงมากที่สุด
2. ที่ช่วง $5,000 < Y < 15,000$ การทดลองสุ่ม จำนวน 10,000 และ 20,000 ครั้ง ให้ค่าใกล้เคียงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงมากที่สุด
3. ที่ช่วง $Y > 15,000$ การทดลองสุ่ม จำนวน 5,000 และ 30,000 ครั้ง ให้ค่าใกล้เคียงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงมากที่สุด รายละเอียดดังภาคผนวก ข.

4.5.2 การทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ที่ทำการตรวจวัดจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองว่าข้อมูลทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ที่ทำการตรวจวัดจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลองสุ่ม สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ที่ช่วง $Y < 5,000$ การทดลองสุ่มทั้งหมดมีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและค่าจากการจำลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
2. ที่ช่วง $5,000 < Y < 15,000$ การทดลองสุ่ม จำนวน 5,000 10,000 15,000 20,000 30,000 ครั้ง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและค่าจากการจำลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. ที่ช่วง $Y > 15,000$ การทดลองสุ่มทั้งหมดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและค่าจากการจำลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ รายละเอียดดังภาคผนวก ข.

4.5.3 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าจริงจากการเก็บข้อมูล

ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ที่ได้จากการจำลองจากสมการทางคณิตศาสตร์และค่าจริงเปรียบเทียบอยู่ในรูปผลต่างร้อยละโดยเฉลี่ย แสดงตามตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17

ตารางแสดงค่าผลต่างร้อยละโดยเฉลี่ยระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนทั้ง 3 ช่วง

	1000	5000	10000	15000	20000	30000
$Y < 5,000$	18.92	15.48	15.61	14.43	14.63	23.26
$5,000 < Y < 15,000$	40.80	11.36	8.62	10.29	8.14	11.86
$Y > 5,000$	2.06	1.79	2.67	2.85	2.94	1.92

ผลการทดสอบความแตกต่างของข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ที่ทำการตรวจวัดจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการทดลอง สุ่ม สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ที่ช่วง $Y < 5,000$ การทดลองสุ่ม จำนวน 15,000 ครั้ง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง และค่าจากการจำลองมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด
2. ที่ช่วง $5,000 < Y < 15,000$ การทดลองสุ่ม จำนวน 20,000 ครั้ง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและค่าจากการจำลองมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด
3. ที่ช่วง $Y > 15,000$ การทดลองสุ่ม จำนวน 5,000 ครั้ง ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริง และค่าจากการจำลองมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด รายละเอียดดังภาคผนวก ฉ.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยทั้งหมดตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้กำหนดในบทที่ 3 และผลจากการดำเนินการวิจัยในบทที่ 4 สามารถสรุปผลและมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในงานวิจัยนี้นำข้อมูลมาจากผลการดำเนินงานตามมาตรการประหยัดพลังงานในภาครัฐส่วนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ผ่านการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงานแล้ว ถือเป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างที่ดี นำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อลดความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ เพื่อหาค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม และสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ไปประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่น ๆ ในจังหวัดชุมพรได้อย่างเหมาะสม

5.1.1 ตัวแปรที่เหมาะสม

ผลจากการนำข้อมูลพื้นฐานมาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมากำหนดตัวแปรที่ง่ายต่อการนำไปใช้แทนค่าในสมการจำลองเพื่อวิเคราะห์ถึงค่าประมาณการปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละหน่วยงานในจังหวัดชุมพร คือ

1. จำนวนบุคลากรที่ปฏิบัติงานเฉลี่ยทั้งเดือน (คน/เดือน)
2. จำนวนพื้นที่ที่มีการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดภายในหน่วยงาน (ตารางเมตร)
3. จำนวนเวลาทำการรวมทั้งเดือน (ชั่วโมง/เดือน)
4. จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการรวม (คน/เดือน)

5.1.2 สมการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม

สรุปผลจากข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ที่มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในเชิงเส้นตรงกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นตัวแปรตาม สามารถแยกชุดข้อมูลออกเป็น 3 ช่วง ตามลักษณะการกระจายของตัวแปรตาม ซึ่งให้สมการจำลองที่ดีที่สุด ดังนี้

1. ช่วงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 5,000 หน่วยต่อเดือน สมการที่ดีที่สุดเกิดจากการทดลองสุ่มซ้ำฟังก์ชันตัวแปรอิสระด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 15,000 ครั้ง ให้ค่าผลต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลอง ร้อยละ 14.43 คือ

$$Y = -121.206 + 5.643002 (X_1) + 7.979519 (X_2) + 2.25485 (X_3) + 6.334892 (X_4) \quad (5.1)$$

2. ช่วงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า 5,000 และไม่เกิน 15,000 หน่วยต่อเดือน สมการที่ดีที่สุดเกิดจากการทดลองสุ่มซ้ำฟังก์ชันตัวแปรอิสระด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 20,000 ครั้ง ให้ค่าผลต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลอง ร้อยละ 8.14 คือ

$$Y = -4785.3 + 394.63 (X_1) - 1.23021E-12 (X_2) - 7.71E-13 (X_3) + 1.4857E-13 (X_4) \quad (5.2)$$

3. ช่วงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า 15,000 หน่วยต่อเดือน สมการที่ดีที่สุดเกิดจากการทดลองสุ่มซ้ำฟังก์ชันตัวแปรอิสระด้วยเทคนิคมอนติคาร์โล จำนวน 5,000 ครั้ง ให้ค่าผลต่างโดยเฉลี่ยระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากแบบจำลอง ร้อยละ 1.79 คือ

$$Y = 26951 - 29.178 (X_2) \quad (5.3)$$

สมการที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ โดยใช้เทคนิคการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล เพื่อแก้ปัญหาความอ่อนไหวและไม่แน่นอนของเหตุการณ์ในตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัวแปร สามารถนำไปใช้ประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมในหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่น ๆ ในพื้นที่จังหวัดชุมพร ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่ใกล้เคียงกัน เมื่อหน่วยงานทราบถึงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม จะสามารถกำหนดแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในหน่วยงานของตนเองได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมในหน่วยงานที่มีความแตกต่างกันของขนาดหน่วยงานนั้น จำเป็นต้องมีข้อมูลที่ครอบคลุมทุกขนาดพื้นที่ และจำนวนข้อมูลต้องมากพอ

- ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นแม้ว่าผ่านการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้ามาแล้วแต่ก็ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนทำให้ค่าที่ได้จากการจำลองมีความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย

- ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นด้วยสถิติเชิงพรรณนาพบว่าข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ยังมีการกระจายและความแตกต่างของค่ากลางสูง หากมีจำนวนข้อมูลมากขึ้นจะทำให้ตัวแทนของข้อมูลมีคุณภาพที่ดีขึ้นในทางสถิติ

- งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ จะเห็นได้ว่าช่วงของข้อมูลมีความแตกต่างกันมีผลต่อความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นตรง จึงต้องทำการแยกข้อมูลออกเป็น 3 ช่วง ตามลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้น หากใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยในรูปแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ลักษณะเชิงเส้นอาจให้ค่าที่แม่นยำโดยไม่ต้องแยกช่วงข้อมูลในการสร้างสมการการถดถอย

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- ศักดิ์สิทธิ์ สุขสุเมฆ. (2557). *สร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ (Optimization Modeling) ด้วย Excel (Solver)*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ประกายรัตน์ สุวรรณ. (2555). *การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 20*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ปรีดาภรณ์ กาญจนสำราญวงศ์. (2556). *Excel Statistic Analysis*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์. (2557). *สถิติศาสตร์*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- เสกสรร เกียรติสุไพบูลย์. (2555). *การจำลอง SIMULATION*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. (2556). *ภาพอนาคตพลังงานไทย 2556*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บทความวารสาร

- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (สิงหาคม 2557). *ไฟฟ้าเพื่อประชาชน รู้จักกับโรงไฟฟ้า*. วารสารพลังงาน.
- สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (เมษายน-มิถุนายน 2558). *Energy Plus*. วารสารพลังงาน.

วิทยานิพนธ์

- นิรันดร์ คงฤทธิ. (2548). *การทำนายมลพิษทางอากาศจากทางพิเศษในกรุงเทพมหานครด้วยแบบจำลองเชิงสถิติและการจำลองเหตุการณ์แบบมอนติคาร์โล*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

นิรันดร์ เล้าสกุล. (2545). *การประมาณราคาค่าก่อสร้างงานอุโมงค์และงานท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน ด้วยวิธีแบบจำลองมอนติคาร์โล*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

อนุวรรณ ทองหมู่. (2556). *แบบจำลองมอนติคาร์โลของการใช้พลังงานไฟฟ้าภาคครัวเรือนในประเทศไทย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

Terry Sharp. (1998). *Energy Benchmarking In Commercial Office Buildings*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.

Terry Sharp. (1996). *Benchmarking Energy Use in Schools*. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tenn.

Samik Raychaudhuri. (2008). *Introduction to Monte Carlo Simulation*. Oracle Crystal Ball Global Business, Unit 390 Interlocken Crescent, C.O.80021, U.S.A.

D.P. Kroese, T. Taimre, Z.I. Botev. (2011). *Handbook of Monte Carlo Methods*. Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons, New York,

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

กระทรวงพลังงาน. (2558). *รายงานผลการดำเนินการประหยัดพลังงานในภาครัฐ พ.ศ. 2558*. สืบค้นจาก <http://www.e-report.energy.go.th>

กระทรวงพลังงาน. (2559). *รายงานผลการดำเนินการประหยัดพลังงานในภาครัฐ พ.ศ. 2559*. สืบค้นจาก <http://www.e-report.energy.go.th>

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลพื้นฐานจากหน่วยงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ที่ได้ดำเนิน
มาตรการประหยัดพลังงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 จำนวน 8 หน่วยงาน

ตารางที่ ก-1

ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลเขาทะลุ อำเภอทุ่งตะโก จังหวัดชุมพร

อบต.เขาทะลุ					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยใน อาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	34	240.00	176	80	9,402.40
พฤศจิกายน	34	240.00	160	85	9,324.24
ธันวาคม	34	240.00	168	60	8,793.40
มกราคม	38	240.00	160	80	9,132.46
กุมภาพันธ์	38	240.00	160	85	10,687.27
มีนาคม	38	240.00	168	90	19,809.80
เมษายน	38	240.00	144	70	20,096.73
พฤษภาคม	38	240.00	152	40	12,695.24
มิถุนายน	38	240.00	168	60	10,655.10
กรกฎาคม	38	240.00	168	50	9,246.32
สิงหาคม	38	240.00	160	80	7,572.16
กันยายน	38	240.00	176	60	7,729.52

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,

<http://www.e-report.energy.go.th>

ตารางที่ ก-2

ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลท่าแซะ อำเภอท่าแซะ จังหวัดชุมพร

อบต.ท่าแซะ					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	30	220.00	160	50	7,326.38
พฤศจิกายน	30	220.00	168	46	6,523.59
ธันวาคม	30	220.00	168	48	6,966.89
มกราคม	30	220.00	160	52	7,215.26
กุมภาพันธ์	30	220.00	160	46	6,500.00
มีนาคม	30	220.00	160	48	6,842.52
เมษายน	30	220.00	160	50	6,935.23
พฤษภาคม	30	220.00	160	48	7,025.63
มิถุนายน	30	220.00	160	40	6,532.14
กรกฎาคม	30	220.00	160	53	7,236.54
สิงหาคม	30	220.00	160	40	6,854.32
กันยายน	30	220.00	160	45	6,935.21

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,

<http://www.e-report.energy.go.th>

ตารางที่ ก-3

ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลปากทรง อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

อบต.ปากทรง					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	25	180.00	168	30	2,349.00
พฤศจิกายน	25	180.00	168	30	1,737.00
ธันวาคม	25	180.00	160	25	2,342.00
มกราคม	25	180.00	160	30	2,394.00
กุมภาพันธ์	25	180.00	160	30	2,109.00
มีนาคม	25	180.00	184	40	2,061.00
เมษายน	25	180.00	144	30	2,135.32
พฤษภาคม	25	180.00	160	25	2,256.32
มิถุนายน	25	180.00	175	30	2,365.35
กรกฎาคม	25	180.00	160	35	2,256.32
สิงหาคม	25	180.00	175	30	2,121.56
กันยายน	25	180.00	176	30	2,256.36

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,

<http://www.e-report.energy.go.th>

ตารางที่ ก-4

ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลช่องไม้แก้ว อำเภอทุ่งตะโก จังหวัดชุมพร

อบต.ช่องไม้แก้ว					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	32	150.00	168	48	2,644.45
พฤศจิกายน	39	150.00	168	111	2,863.34
ธันวาคม	39	150.00	160	180	2,076.21
มกราคม	36	150.00	160	109	2,495.47
กุมภาพันธ์	36	150.00	160	115	2,221.56

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,

<http://www.e-report.energy.go.th>

ตารางที่ ก-5

ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลครน อำเภอสวี จังหวัดชุมพร

อบต.ครน					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	35	150.00	168	120	3,321.02
พฤศจิกายน	35	150.00	168	100	3,002.17
ธันวาคม	35	150.00	160	85	2,867.22
มกราคม	35	150.00	168	80	2,886.81
กุมภาพันธ์	35	150.00	160	90	2,896.32

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,

<http://www.e-report.energy.go.th>

ตารางที่ ก-6

ข้อมูลจากเทศบาลตำบลหลังสวน อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

ทต.หลังสวน					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	115	1,700.00	188	126	28,614.18
พฤศจิกายน	95	1,700.00	180	108	26,474.90
ธันวาคม	90	1,700.00	160	112	30,974.01
มกราคม	110	1,700.00	184	200	39,424.54
กุมภาพันธ์	85	1,700.00	160	180	28,637.23

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,

<http://www.e-report.energy.go.th>

ตารางที่ ก-7

ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลบ้านควน อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

อบต.บ้านควน					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	34	376.00	126	200	3,103.00
พฤศจิกายน	34	376.00	120	200	3,739.00
ธันวาคม	34	376.00	120	200	2,331.00
มกราคม	34	376.00	126	200	2,508.00
กุมภาพันธ์	34	376.00	114	200	2,482.00
มีนาคม	34	376.00	126	200	3,297.00
เมษายน	34	376.00	114	200	4,216.00
พฤษภาคม	34	376.00	126	200	3,760.00
มิถุนายน	34	376.00	120	200	3,774.00

อบต.บ้านควน					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
กรกฎาคม	34	376.00	126	200	3,446.00
สิงหาคม	34	376.00	126	200	3,253.00
กันยายน	34	376.00	120	200	3,789.00

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,
<http://www.e-report.energy.go.th>

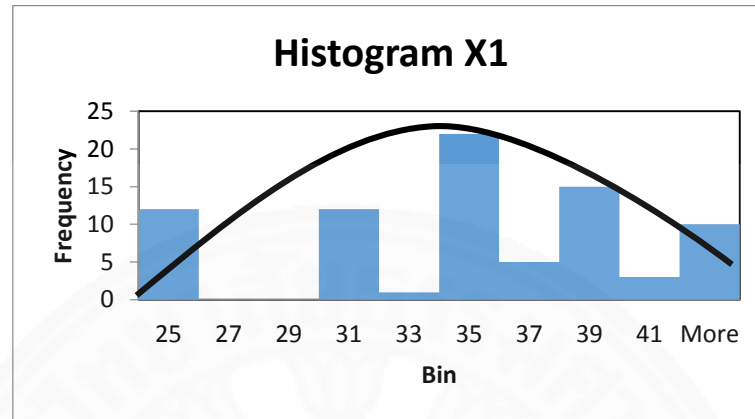
ตารางที่ ก-8

ข้อมูลจากเทศบาลตำบลวังตะกอก อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร

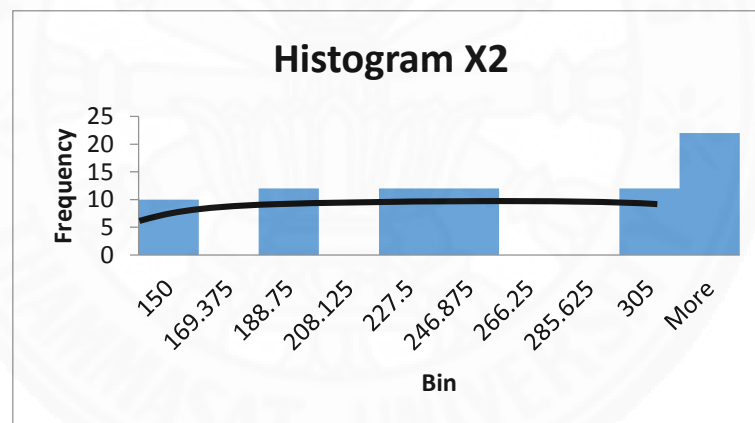
ทต.วังตะกอก					
เดือน	บุคลากร (คน)	พื้นที่ใช้สอยในอาคาร (ตร.ม.)	เวลาทำการ (ชม.)	ผู้ที่เข้ามาใช้บริการ (คน)	ค่าการใช้ไฟฟ้าจริง (หน่วย)
ตุลาคม	40	300.00	168	105	3,184.03
พฤศจิกายน	42	300.00	176	220	3,938.83
ธันวาคม	38	300.00	160	80	3,472.07
มกราคม	39	300.00	168	189	2,718.09
กุมภาพันธ์	40	300.00	160	100	3,343.15
มีนาคม	42	300.00	176	132	4,219.54
เมษายน	40	300.00	152	190	4,117.53
พฤษภาคม	42	300.00	168	105	4,811.14
มิถุนายน	38	300.00	168	210	3,950.25
กรกฎาคม	39	300.00	176	110	4,476.58
สิงหาคม	42	300.00	160	220	4,410.48
กันยายน	42	300.00	176	132	3,698.92

หมายเหตุ. จาก ข้อมูลรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้า, สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2559,
<http://www.e-report.energy.go.th>

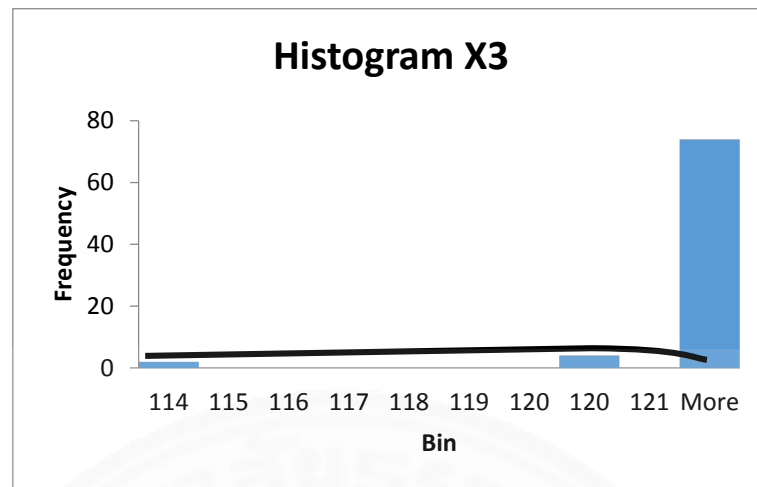
ภาคผนวก ข
รูปแบบลักษณะการแจกแจงตัวแปรอิสระ



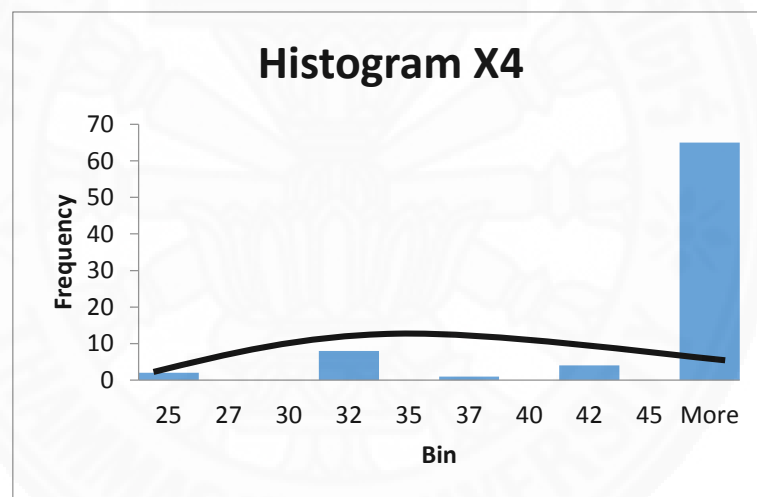
ภาพที่ ข-1 แสดงลักษณะการแจกแจงแบบปกติ ในตัวแปร (X_1) จำนวนบุคลากร (คน/เดือน)



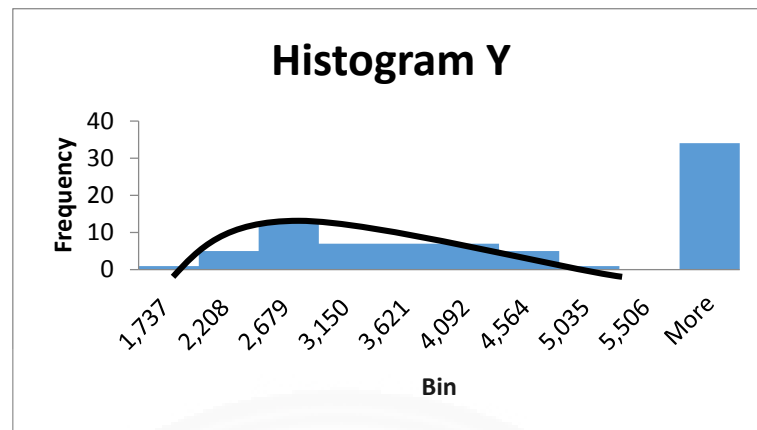
ภาพที่ ข-2 แสดงลักษณะการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ ในตัวแปร (X_2) พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)



ภาพที่ ข-3 แสดงลักษณะการแจกแจงแบบสมมาตรในตัวแปร (X_3) เวลาทำการ (ชั่วโมง/เดือน)



ภาพที่ ข-4 แสดงลักษณะการแจกแจงแบบปกติในตัวแปร (X_4) จำนวนผู้เข้ามาใช้บริการ (คน/เดือน)



ภาพที่ ข-5 แสดงลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา ในตัวแปร (Y) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน)

ภาคผนวก ค
แสดงชุดข้อมูลที่ผ่านการปรับปรุง

ตารางที่ ค-1

ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y < 5,000$

Y < 5,000				
X1	X2	X3	X4	Y
25	180.00	168	30	2,349.00
25	180.00	168	30	1,737.00
25	180.00	160	25	2,342.00
25	180.00	160	30	2,394.00
25	180.00	160	30	2,109.00
25	180.00	184	40	2,061.00
25	180.00	144	30	2,135.32
25	180.00	160	25	2,256.32
25	180.00	175	30	2,365.35
25	180.00	160	35	2,256.32
25	180.00	175	30	2,121.56
25	180.00	176	30	2,256.36
32	150.00	168	48	2,644.45
39	150.00	168	111	2,863.34
39	150.00	160	180	2,076.21
36	150.00	160	109	2,495.47
36	150.00	160	115	2,221.56
35	150.00	168	120	3,321.02
35	150.00	168	100	3,002.17

Y < 5,000				
X1	X2	X3	X4	Y
35	150.00	160	85	2,867.22
35	150.00	168	80	2,886.81
35	150.00	160	90	2,896.32
40	300.00	168	105	3,184.03
42	300.00	176	220	3,938.83
38	300.00	160	80	3,472.07
39	300.00	168	189	2,718.09
40	300.00	160	100	3,343.15
42	300.00	176	132	4,219.54
40	300.00	152	190	4,117.53
42	300.00	168	105	4,811.14
38	300.00	168	210	3,950.25
39	300.00	176	110	4,476.58
42	300.00	160	220	4,410.48
42	300.00	176	132	3,698.92

ตารางที่ ค-2

ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $5,000 < Y < 15,000$

5,000 < Y < 15,000				
X1	X2	X3	X4	Y
34	240.00	176	80	9,402.40
34	240.00	160	85	9,324.24
34	240.00	68	60	8,793.40
38	240.00	60	80	9,132.46
38	240.00	60	85	10,687.27
38	240.00	52	40	12,695.24
38	240.00	68	60	10,655.10
38	240.00	68	50	9,246.32
38	240.00	60	80	7,572.16
38	240.00	76	60	7,729.52
30	220.00	60	50	7,326.38
30	220.00	68	46	6,523.59
30	220.00	68	48	6,966.89
30	220.00	60	52	7,215.26
30	220.00	60	46	6,500.00
30	220.00	60	48	6,842.52
30	220.00	60	50	6,935.23
30	220.00	60	48	7,025.63
30	220.00	60	40	6,532.14
30	220.00	60	53	7,236.54
30	220.00	60	40	6,854.32
30	220.00	60	45	6,935.21

ตารางที่ ค-3

ข้อมูลที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือน $Y > 15,000$

Y > 15,000				
X1	X2	X3	X4	Y
38	40.00	168	90	19,809.80
8	40.00	144	70	20,096.73
35	97.00	168	100	16,554.00
35	97.00	168	120	15,585.00
36	97.00	160	180	15,116.00
36	97.00	168	120	15,254.00
36	97.00	160	200	15,346.00

ภาคผนวก ง
แสดงค่าความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ ง-1

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากจำนวนบุคลากร (X_1) ที่ $Y < 5,000$

	Y Min	Y Max
$X_1 = 25$	1,737.00	2,394.00
$X_1 = 35$	2,867.22	3,321.02
$X_1 = 36$	2,221.56	2,495.47
$X_1 = 38$	3,472.07	3,950.25
$X_1 = 39$	2,076.21	4,476.58
$X_1 = 40$	3,184.03	4,117.53
$X_1 = 42$	3,698.92	4,811.14

ตารางที่ ง-2

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นที่ใช้สอย (X_2) ที่ $Y < 5,000$

	Y Min	Y Max
$X_2 = 150$	2,076.21	3,321.02
$X_2 = 180$	1,737.00	2,394.00
$X_2 = 300$	2,718.09	4,811.14

ตารางที่ ง-3

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากเวลาทำการ (X_3) ที่ $Y < 5,000$

	Y Min	Y Max
$X_3 = 160$	2,076.21	4,410.48
$X_3 = 168$	1,737.00	4,811.14
$X_3 = 175$	2,121.56	2,365.35
$X_3 = 176$	2,256.36	4,476.58

ตารางที่ ง-4

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากผู้เข้ามาใช้บริการ (X_4) ที่ $Y < 5,000$

	Y Min	Y Max
$X_4 = 25$	2,256.32	2,342.00
$X_4 = 30$	1,737.00	2,394.00
$X_4 = 80$	2,886.81	3,472.07
$X_4 = 100$	3,002.17	3,343.15

ตารางที่ ง-5

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากจำนวนบุคลากร (X_1) ที่ $5,000 < Y < 1,5000$

	Y Min	Y Max
$X_1 = 30$	6,500.00	7,326.38
$X_1 = 34$	8,793.40	9,402.40
$X_1 = 38$	7,572.16	12,695.24

ตารางที่ ง-6

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นที่ใช้สอย (X_2) ที่ $5,000 < Y < 1,5000$

	Y Min	Y Max
$X_2 = 220$	6,500.00	7,326.38
$X_2 = 240$	7,572.16	12,695.24

ตารางที่ ง-7

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากเวลาทำการ (X_3) ที่ $5,000 < Y < 1,5000$

	Y Min	Y Max
$X_3 = 160$	6,500.00	10,687.27
$X_3 = 168$	6,523.59	10,655.10

ตารางที่ ง-8

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากผู้เข้ามาใช้บริการ (X_4) ที่ $5,000 < Y < 1,5000$

	Y Min	Y Max
$X_4 = 40$	6,532.14	12,695.24
$X_4 = 50$	6,935.23	9,246.32
$X_4 = 60$	7,729.52	10,655.10
$X_4 = 80$	7,572.16	9,402.40
$X_4 = 85$	9,324.24	10,687.27

ตารางที่ ง-9

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากจำนวนบุคลากร (X_1) ที่ $Y > 15,000$

	Y Min	Y Max
$X_1 = 35$	15,585.00	16,554.00
$X_1 = 36$	15,116.00	15,254.00
$X_1 = 38$	19,809.80	20,096.73

ตารางที่ ง-10

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากพื้นที่ใช้สอย (X_2) ที่ $Y > 15,000$

	Y Min	Y Max
$X_2 = 397$	15,116.00	16,554.00

ตารางที่ ง-11

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากเวลาทำการ (X_3) ที่ $Y > 15,000$

	Y Min	Y Max
$X_3 = 160$	15,116.00	15,346.00
$X_3 = 168$	15,585.00	19,809.80

ตารางที่ ง-12

ความอ่อนไหวและไม่แน่นอนในตัวแปรอิสระ

ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นจากผู้เข้ามาใช้บริการ (X_4) ที่ $Y > 15,000$

	Y Min	Y Max
$X_4 = 120$	15,254.00	15,585.00

ภาคผนวก จ

แสดงการแจกแจงตัวเลขตัวแปรอิสระตามฟังก์ชันความน่าจะเป็น
กับตัวแปรตามที่ได้จากข้อมูลจริง จากจำนวนการทดลองสุ่ม
ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ตารางที่ จ-1

ตัวเลขตัวแปรอิสระ ช่วง $Y < 5,000$ ที่การจำลองสุ่ม 15,000 ครั้ง

X1	X2	X3	X4	Y
30	128	154	148	2,349.00
25	89	137	110	1,737.00
30	127	154	147	2,342.00
31	130	156	150	2,394.00
28	112	148	133	2,109.00
28	109	146	130	2,061.00
28	114	148	135	2,135.32
29	122	152	142	2,256.32
30	129	155	149	2,365.35
29	122	152	142	2,256.32
28	113	148	134	2,121.56
29	122	152	142	2,256.36
32	146	163	166	2,644.45
34	160	169	179	2,863.34
28	110	147	131	2,076.21
31	137	159	157	2,495.47
29	119	151	140	2,221.56
38	189	182	207	3,321.02

ตารางที่ จ-2

ตัวเลขตัวแปรอิสระ ช่วง $5,000 < Y < 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 20,000 ครั้ง

X1	X2	X3	X4	Y
36	229.00	168	81	9,402.40
36	229.00	168	79	9,324.24
34	227.00	171	67	8,793.40
35	228.00	169	75	9,132.46
39	234.00	161	110	10,687.27
44	242.00	150	156	12,695.24
39	234.00	161	109	10,655.10
36	229.00	169	77	9,246.32
31	222.00	178	39	7,572.16
32	223.00	177	43	7,729.52
31	221.00	179	34	7,326.38
29	218.00	184	15	6,523.59
30	220.00	181	25	6,966.89
30	221.00	180	31	7,215.26
29	218.00	184	15	6,500.00
29	219.00	182	23	6,842.52
30	220.00	181	25	6,935.23
30	220.00	181	27	7,025.63
29	218.00	184	16	6,532.14
30	221.00	180	32	7,236.54
29	219.00	182	23	6,854.32
30	220.00	181	25	6,935.21

ตารางที่ จ-3

ตัวเลขตัวแปรอิสระ ช่วง $Y > 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 5,000 ครั้ง

X1	X2	X3	X4	Y
38	244.75	144	49	19,809.80
38	234.91	142	41	20,096.73
36	356.33	159	141	16,554.00
35	389.54	163	169	15,585.00
35	405.61	165	182	15,116.00
35	400.88	165	178	15,254.00
35	397.73	164	176	15,346.00

ภาคผนวก ฉ

แสดงค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับค่าจริง
จากจำนวนการทดลองสุ่มที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ตารางที่ ฉ-1

ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลอง ช่วง $Y < 5,000$ ที่การจำลองสุ่ม 15,000 ครั้ง

X1	X2	X3	X4	Y	Y Re	[Y-Y Re]	Error (%)
25	180.00	160	30	2,109.00	2,007.01	101.99	4.84
25	180.00	184	40	2,061.00	2,124.47	- 63.47	3.08
25	180.00	144	30	2,135.32	1,970.93	164.39	7.70
25	180.00	160	25	2,256.32	1,975.33	280.99	12.45
25	180.00	160	35	2,256.32	2,038.68	217.64	9.65
25	180.00	175	30	2,121.56	2,040.83	80.73	3.81
25	180.00	176	30	2,256.36	2,043.08	213.28	9.45
36	150.00	160	109	2,495.47	2,330.15	165.32	6.62
36	150.00	160	115	2,221.56	2,368.16	- 146.60	6.60
40	300.00	168	105	3,184.03	3,542.35	- 358.32	11.25
42	300.00	176	220	3,938.83	4,300.19	- 361.36	9.17
38	300.00	160	80	3,472.07	3,354.65	117.42	3.38
40	300.00	160	100	3,343.15	3,492.63	- 149.48	4.47
40	300.00	152	190	4,117.53	4,044.74	72.79	1.77
38	300.00	168	210	3,950.25	4,196.23	- 245.98	6.23
42	300.00	160	220	4,410.48	4,264.11	146.37	3.32
42	300.00	176	132	3,698.92	3,742.71	- 43.79	1.18

เมื่อ Y = ค่าการใช้พลังงานจริง และ $Y Re$ = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

$$\text{Error (\%)} = \left(\frac{Y - Y Re}{Y} \right) \times 100\%$$

ตารางที่ ฉ-2

ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลอง ช่วง $5,000 < Y < 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 20,000 ครั้ง

X1	X2	X3	X4	Y	Y Re	[Y-Y Re]	Error (%)
34	240.00	176	80	9,402.40	8,632.12	770.28	8.19
34	240.00	160	85	9,324.24	8,632.12	692.12	7.42
34	240.00	168	60	8,793.40	8,632.12	161.28	1.83
38	240.00	160	80	9,132.46	10,210.64	-1,078.18	11.81
38	240.00	160	85	10,687.27	10,210.64	476.63	4.46
38	240.00	152	40	12,695.24	10,210.64	2,484.60	19.57
38	240.00	168	60	10,655.10	10,210.64	444.46	4.17
38	240.00	168	50	9,246.32	10,210.64	- 964.32	10.43
38	240.00	160	80	7,572.16	10,210.64	-2,638.48	34.84
38	240.00	176	60	7,729.52	10,210.64	-2,481.12	32.10
30	220.00	160	50	7,326.38	7,053.60	272.78	3.72
30	220.00	168	46	6,523.59	7,053.60	- 530.01	8.12
30	220.00	168	48	6,966.89	7,053.60	- 86.71	1.24
30	220.00	160	52	7,215.26	7,053.60	161.66	2.24
30	220.00	160	46	6,500.00	7,053.60	- 553.60	8.52
30	220.00	160	48	6,842.52	7,053.60	- 211.08	3.08
30	220.00	160	50	6,935.23	7,053.60	- 118.37	1.71
30	220.00	160	48	7,025.63	7,053.60	- 27.97	0.40
30	220.00	160	40	6,532.14	7,053.60	- 521.46	7.98
30	220.00	160	53	7,236.54	7,053.60	182.94	2.53
30	220.00	160	40	6,854.32	7,053.60	- 199.28	2.91

เมื่อ Y = ค่าการใช้พลังงานจริง และ Y Re = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

$$\text{Error (\%)} = \left(\frac{Y - Y \text{ Re}}{Y} \right) \times 100\%$$

ตารางที่ ฉ-3

ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลอง ช่วง $Y > 15,000$ ที่การจำลองสุ่ม 5,000 ครั้ง

X1	X2	X3	X4	Y	Y Re	[Y-Y Re]	Error (%)
38	240.00	168	90	19,809.80	19,948.28	- 138.48	0.70
38	240.00	144	70	20,096.73	19,948.28	148.45	0.74
35	397.00	168	100	16,554.00	15,367.33	1,186.67	7.17
35	397.00	168	120	15,585.00	15,367.33	217.67	1.40
36	397.00	160	180	15,116.00	15,367.33	- 251.33	1.66
36	397.00	168	120	15,254.00	15,367.33	- 113.33	0.74
36	397.00	160	200	15,346.00	15,367.33	- 21.33	0.14

เมื่อ Y = ค่าการใช้พลังงานจริง และ Y Re = ค่าที่ได้จากแบบจำลอง

$$\text{Error (\%)} = \left(\frac{Y - Y \text{ Re}}{Y} \right) \times 100\%$$

ภาคผนวก ข

แสดงผลต่างของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ระหว่างค่า
การใช้พลังงานไฟฟ้าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง

ตารางที่ ข-1

ผลต่างค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลองและค่าจริง ที่การจำลองสุ่มจำนวนต่าง ๆ
ในช่วงข้อมูลที่ 1

จำนวนสุ่ม (ครั้ง)	ช่วงข้อมูล 1		
	ค่าจริง	$Y < 5,000$	ผลต่าง
1000	832	745	87
5000	832	633	199
10000	832	745	87
15000	832	850	18
20000	832	510	322
30000	832	1164	332

ตารางที่ ข-2

ผลต่างค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลองและค่าจริง ที่การจำลองสุ่มจำนวนต่าง ๆ
ในช่วงข้อมูลที่ 2

จำนวนสุ่ม (ครั้ง)	ช่วงข้อมูล 2		
	ค่าจริง	$5,000 < Y < 15,000$	ผลต่าง
1000	1672	688	984
5000	1672	2314	642
10000	1672	1459	213
15000	1672	2131	459
20000	1672	1455	217
30000	1672	2312	640

ตารางที่ ช-3

ผลต่างค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการจำลองและค่าจริง ที่การจำลองสุ่มจำนวนต่าง ๆ ในช่วงข้อมูลที่ 3

จำนวนสุ่ม (ครั้ง)	ช่วงข้อมูล 3		
	ค่าจริง	$Y > 15,000$	ผลต่าง
1000	2191	2348	157
5000	2191	2235	44
10000	2191	1982	149
15000	2191	1961	230
20000	2191	2008	183
30000	2191	2199	8

ภาคผนวก ซ

แสดงการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย/เดือน) ที่ทำการตรวจวัดจริงและข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง โดยการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธี T-test (Paired Sample Test)

ตารางที่ ซ-1

ตารางแสดงค่า T-Test ระหว่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนทั้ง 3 ช่วง

	1000	5000	10000	15000	20000	30000
$Y < 5,000$	1.81E-6	4.09E-5	1.7E-4	0.027	0.008	7.37E-5
$5,000 < Y < 15,000$	1.97E-7	0.134	0.178	0.185	0.441	0.341
$Y > 5,000$	0.220	0.460	0.460	0.330	0.210	0.820

H0: B > ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและค่าจากการจำลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

H1: B < ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถตั้งสมมติฐานเป็นข้อความดังนี้

ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงและค่าจากการจำลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสาโรตม์ บำรุงเสนา
วันเดือนปีเกิด	25 ตุลาคม 2523
วุฒิการศึกษา	ปีการศึกษา 2549: วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ตำแหน่ง	วิศวกรปฏิบัติการ สำนักงานพลังงานจังหวัดชุมพร กระทรวงพลังงาน
ทุนการศึกษา	ปีงบประมาณ 2555: กองทุนเงินอุดหนุนจากสัญญา โรงกลั่นปิโตรเลียม กระทรวงพลังงาน
ผลงานทางวิชาการ	<p>สาโรตม์ บำรุงเสนา, และ ภาณุ ตำนานิชกุล. (มิถุนายน 2559). <i>การประมาณค่าเป้าหมายการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดชุมพร ด้วยแบบจำลองมอนติคาร์โล</i>. งานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12 ประจำปี 2559 (ENETT12), มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.</p>
ประสบการณ์ทำงาน	2556 – ปัจจุบัน: วิศวกรปฏิบัติการ สำนักงานพลังงานจังหวัดชุมพร กระทรวงพลังงาน 2552 – 2556: วิศวกรปฏิบัติการ สำนักงานพลังงานภาค 3 กระทรวงพลังงาน