



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม โดยวิธีการวิเคราะห์
ความถดถอย และโครงข่ายประสาทเทียม

Power Outage Cost Assessment of Industrial Customers Using Regression Analysis and
Artificial Neural Networks

نامผู้วิจัย นางสาวจรรย์ สวงคำ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์นันทยา คล้ายเรือง, วศ.ด.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงค์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม
โดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย และโครงข่ายประสาทเทียม

Power Outage Cost Assessment of Industrial Customers Using Regression Analysis and
Artificial Neural Networks

โดย

นางสาวจรรยา สวงนคำ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2552

ชวกรรย์ สงวนคำ 2552: การประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท
อุตสาหกรรมโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียม
ปริญาวิทยาศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 115 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอขั้นตอนประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท
อุตสาหกรรมโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลความเสียหายที่
นำมาวิเคราะห์เป็นของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมตามรหัส TSIC ในวิทยานิพนธ์นี้ได้พิจารณา
รหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) และรหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารแช่
แข็ง) ในเขตพื้นที่ภาคกลางเป็นกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้เริ่มจากการสำรวจข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ต่อมาคำนวณ
มูลค่าความเสียหายจริงของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมแต่ละราย จากนั้นหาความสัมพันธ์
ระหว่างมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้ากับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการ
ผลิต ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง รายได้ของผู้ไฟฟ้าต่อวัน และระยะเวลาทำงานต่อวัน ในรูปแบบของ
โมเดลทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยและวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้น
เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของทั้งสองวิธีเพื่อพิจารณาเลือกโมเดลที่เหมาะสมที่สุด
ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่าโมเดลที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำ
กว่า

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมสามารถนำขั้นตอนที่พัฒนาใน
วิทยานิพนธ์นี้ไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆทั่วประเทศ และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการปรับปรุง
และบำรุงรักษาระบบจำหน่ายให้มีระดับความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นต่อไป

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

____ / ____ / ____

Chawajun Sanguankom 2009: Power Outage Cost Assessment of Industrial Customers Using Regression Analysis and Artificial Neural Networks. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpreedapong, Ph.D. 115 pages.

This thesis develops a procedure to assess power outage costs of industrial customers using regression analysis and artificial neural networks. Outage data to be used in this study are collected from groups of industrial customers classified by the TSIC code. In this thesis, two TSIC groups of industrial customers including TSIC 35609 (plastic injection processing) and TSIC 31149 (frozen seafood processing) in the central area of Thailand are considered as case studies.

This research begins with surveying basic information related to production process of individual industrial customers, and then computing their actual outage costs. Next, the relationship between the customer outage costs and contributing factors, which are average power demand, outage duration, per-day incomes and number of working hours, are determined. Two mathematical models are obtained as the results by using regression analysis and artificial neural networks. Lastly, the estimation errors of both models are compared to point out the most suitable model for outage cost assessment. It is found that the neural networks based model gives a lower percentage error.

The procedure of outage cost assessment proposed in this thesis can be used by the Provincial Electricity Authority of Thailand (PEA) and other industrial customers. Minor adjustment may be required for use with customers in other locations and TSIC codes. The assessment results can be utilized in maintenance planning and distribution system improvement in order to achieve better reliability in the future.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัยพิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาวิตยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ ดร. นาดยา คล้ายเรือง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร. ณัฐฐา หอมทรัพย์ ประธานการสอบ และ ดร. ประมุข อุณหเลขกะ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาช่วยแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนมาโดยตลอด และขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ในโครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลังที่สนับสนุน และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆ กองเศรษฐกิจพลังงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ให้ข้อมูลที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

ชวกรรย์ สงวนคำ

พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	21
ผลและวิจารณ์	35
ผล	35
วิจารณ์	106
สรุปและข้อเสนอแนะ	109
สรุป	109
ข้อเสนอแนะ	110
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	111
ภาคผนวก	113
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	117

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแบ่งประเภทอุตสาหกรรมในประเทศไทยตามตัวเลข 2 ตัวแรกของรหัส TSIC	22
2	รหัส TSIC อุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูงสุด 10 อันดับแรกในเขตภาคกลาง	25
3	จำนวนแบบสอบถามเพื่อรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า	26
4	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล	36
5	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล	37
6	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล	39
7	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล	41
8	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล	45
9	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล	46
10	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล	48
11	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล	51
12	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล	54
13	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล	55
14	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล	60
16	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล	64
17	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล	65
18	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล	67
19	ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 โดย ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล	70
20	สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จาก โมเดลการ วิเคราะห์ความถดถอยของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609	74
21	สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จาก โมเดลการวิเคราะห์ความถดถอยของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149	74
22	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 โดย ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล	76
23	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 โดย ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล	78
24	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 โดย ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล	81
25	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 โดย ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล	85
26	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล	90
27	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
28	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล	95
29	ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล	99
30	สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์วิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609	103
31	สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์วิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149	103
32	สรุปค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวิธีวิเคราะห์ความถดถอย และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609	104
33	สรุปค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวิธีวิเคราะห์ความถดถอย และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149	105

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด	7
2 เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์	11
3 สถาปัตยกรรมของ Feed-forward network	13
4 สถาปัตยกรรมของ Feedback network	13
5 ส่วนประกอบของของนิวรอน โครงข่าย	14
6 สัญลัษณ์ฟังก์ชันโอนย้ายฮาร์ดลิมิต	14
7 สัญลัษณ์ฟังก์ชันโอนย้ายเชิงเส้น	15
8 สัญลัษณ์ฟังก์ชันโอนย้ายลอจิสติกโหมค	15
9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	16
10 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	17
11 การเรียนรู้แบบมีการสอน	18
12 การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน	18
13 ขั้นตอนการคำนวณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากเหตุการณ์ กระแสไฟฟ้าขัดข้อง	22
14 รายได้ค่าไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจากผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2549 และ 2550 โดยแสดงเป็นรายภาค	24
15 แผนภาพกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 ซึ่งผลิตภัณฑ์ขึ้นรูป โดยการฉีด	28
16 แผนภาพกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 ซึ่งผลิตอาหารทะเลแช่ แข็ง	28
17 ส่วนหนึ่งของโปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ความถดถอย	31
18 ส่วนหนึ่งของคำสั่งในหน้าต่าง Editor ในโปรแกรม MATLAB	32
19 การวิเคราะห์นี้จะใช้ 1 ชั้นซ่อน (Hidden layer) ซึ่งมี 10 นิวรอน	34

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

TSIC	=	มาตรฐานอุตสาหกรรมประเทศไทย (Thailand Standard of Industrial Classification)
MW	=	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต
kWh	=	พลังงานไฟฟ้ากิโลวัตต์-ชั่วโมง
CDF	=	ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Damage Function)
IC	=	มูลค่าความเสียหายที่เกิดทุกครั้งเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง (Initial Outage Cost)
DC	=	มูลค่าความเสียหายเนื่องจากระยะเวลาไฟดับ (Duration Outage cost)
t	=	ระยะเวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง (Power outage duration)
X	=	ตัวแปรอิสระ
Y	=	ตัวแปรตาม
SSE	=	ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Square of Error)
r	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)
LMS	=	ค่าผลรวมของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง (Least Mean Square error)

การประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม
โดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย และโครงข่ายประสาทเทียม

Power Outage Cost Assessment of Industrial Customers Using Regression
Analysis and Artificial Neural Networks

คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการขยายตัวของเศรษฐกิจมากขึ้น ดังนั้นกำลังสำคัญที่ผลักดันเศรษฐกิจของประเทศคงไม่พ้นกลุ่มประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการพลังงานไฟฟ้าคุณภาพดี หากเกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง หรือไฟดับขึ้นในระบบย่อมส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มนี้มาก ดังนั้นจึงมีการศึกษามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมในเขตภาคกลางตามรหัส TSIC โดยนำปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า คือ เวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต รายได้ต่อวัน และระยะเวลาทำงาน มาพิจารณา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอขั้นตอนประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมตามรหัส TSIC โดยเริ่มจากการคำนวณมูลค่าความเสียหายจริงของผู้ใช้ไฟฟ้าจากฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Damage Function) เพื่อนำไปสร้างโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอย และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยนี้โมเดลดังกล่าวได้จากข้อมูล มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) และรหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) วิทยานิพนธ์นี้พบว่า โมเดลที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ระหว่างค่าที่ได้จากโมเดลและค่าที่เกิดขึ้นจริงต่ำกว่าโมเดลที่ได้จากวิธีวิเคราะห์ความถดถอย ซึ่งสามารถนำขั้นตอนที่ได้นี้ไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ทั่วประเทศ และสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการปรับปรุงระบบ และวางแผนในด้านการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้าต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม
2. หาโมเดลที่ใช้ประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย และ
โครงข่ายประสาทเทียม
3. พัฒนาระบบการประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรมที่สามารถ
นำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การตรวจเอกสาร

ความเสียหายเนื่องจากเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีหน้าที่หลัก คือการให้บริการทางด้านการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทย โดยแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็น 4 ภาค คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และภาคกลาง (ยกเว้น กรุงเทพฯ นนทบุรี และสมุทรปราการ) ในปัจจุบันการให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้ามีทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (Residential) ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทธุรกิจ (Commercial) และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม (Industrial) ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าคุณภาพดี และมีความเชื่อถือได้ของระบบ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงศึกษาผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม (Industrial) เป็นหลัก

ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องมีประโยชน์สำหรับการออกแบบระบบและการวางแผนบำรุงรักษา เพื่อเรียงลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษา หรือพิจารณาเปลี่ยนแปลงแก้ไขกิจกรรมเพื่อให้มีความเชื่อถือได้สูงขึ้น

ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้อง คือ ความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดไฟฟ้ากะพริบ หรือ ไฟฟ้าดับ ไม่ว่าจะเป็นการเสียโอกาสที่จะขายไฟฟ้าให้กับลูกค้า การเสียโอกาสที่จะผลิตสินค้า หรือ ความเสียหายของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น จากความเสียหายดังกล่าวนี้ผู้ที่ได้รับผลกระทบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้า

1. ความเสียหายของการไฟฟ้า

ชำนาญ, (2549) ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้า คือ หน่วยไฟฟ้าที่การไฟฟ้าขายไม่ได้ในช่วงไฟขัดข้อง (kWh) ซึ่งเมื่อคิดออกมาเป็นเงินค่าไฟฟ้าและเทียบกับความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องของผู้ใช้ไฟแล้วถือว่าน้อยมาก

2. ความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องของผู้ใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วย ความเสียหายเริ่มต้น และความเสียหายเนื่องจากระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง

2.1 ความเสียหายเริ่มต้น (Initial outage cost) หมายถึง ความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องโดยไม่ขึ้นกับระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง ผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทอาจมีค่าความเสียหายเริ่มต้นแตกต่างกัน

2.1.1 ความเสียหายของวัตถุดิบ คือ ความเสียหายของวัตถุดิบไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือต้องนำไปผ่านกระบวนการอื่นซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

2.1.2 ความเสียหายของสินค้าที่อยู่ในกระบวนการผลิต คือ ความเสียหายของสินค้าที่ไม่สามารถขายได้ในราคาปกติ หรือไม่สามารถขายได้เลย

2.1.3 ความเสียหายของเครื่องจักร คือ ความเสียหายเมื่อเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีชิ้นส่วนเสียหายและต้องทำการซ่อมหรือเปลี่ยนใหม่ ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

2.1.4 ความเสียหายของการเริ่มต้นการผลิตใหม่ คือ ความเสียหายที่เกิดจากการไม่สามารถผลิตสินค้าได้เนื่องจากต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นกระบวนการผลิต นั่นคือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการผลิตจนกระทั่งสามารถดำเนินการผลิตได้ตามปกติ

2.2 ความเสียหายเนื่องจากระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (Duration outage cost) หมายถึง ความเสียหายที่เกิดจากการไม่สามารถผลิตสินค้าได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง โดยเริ่มต้นตั้งแต่การเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจนกระทั่งมีไฟฟ้าใช้ตามปกติ

3. การหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

เจลิยว, (2546) มูลค่าความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าขัดข้องสามารถคำนวณได้จากการแทนค่าระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องในฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Damage Function;

CDF) ดังแสดงในสมการที่ 1 เมื่อทราบค่าความเสียหายเริ่มต้น และค่าความเสียหายเนื่องจากระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง

$$CDF(t) = (DC \times t) + IC \quad (1)$$

เมื่อ	CDF	ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Damage Function) หน่วย บาท
	IC	มูลค่าความเสียหายเริ่มต้น (Initial Outage Cost) หน่วย บาทต่อครั้ง
	DC	มูลค่าความเสียหายเนื่องจากระยะเวลาไฟดับ (Duration Outage Cost) หน่วย บาทต่อนาทีหรือชั่วโมง
	t	ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (Power outage duration) หน่วย นาทีหรือชั่วโมง

การวิเคราะห์ความถดถอย

1. วิธีการวิเคราะห์ความถดถอย

การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งเรียกว่า ตัวแปรตาม (dependent or outcome variables) อีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า ตัวแปรอิสระ ถ้าตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์เชิงสาเหตุกันจริง ตัวแปรนั้นจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่เราต้องการศึกษา ในทางปฏิบัติมักกำหนดสัญลักษณ์ X แทนตัวแปรอิสระ ซึ่งหมายถึงตัวแปรที่เกิดขึ้นก่อน เป็นตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าได้หรือควบคุมได้ และกำหนดสัญลักษณ์ Y แทนตัวแปรตาม หมายถึงตัวแปรที่ต้องการศึกษาหรือพยากรณ์ จะขึ้นกับค่าของตัวแปรอิสระ โดยการวิเคราะห์ความถดถอยจะใช้หลักการกำลังน้อยที่สุด (Least Squares) ซึ่งแสดงในรูปแบบเมทริกซ์ ดังแสดงในสมการที่ 2

รูปแบบเมทริกซ์ทั่วไปสำหรับ Least Squares คือ

$$Y = a_0Z_0 + a_1Z_1 + a_2Z_2 + \dots + a_nZ_n \quad (2)$$

การวิเคราะห์ความถดถอย สามารถแบ่งได้ 2 แบบ ดังนี้

- ก) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ซึ่งเป็นการถดถอยอย่างง่าย (Simple and Multiple Regression) ซึ่งสามารถแสดงค่าตัวแปรอิสระดังสมการที่ 3

$$Z_0 = 1, Z_1 = x_1, Z_2 = x_2, \dots, Z_n = x_n \quad (3)$$

- ข) การวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear Regression) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ อาทิเช่น การถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential regression), การถดถอยเชิงพหุ (Polynomial regression) เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงค่าตัวแปรอิสระดังสมการที่ 4

$$Z_0 = x_0 = 1, Z_1 = x_1, Z_2 = x_2, \dots, Z_n = x_n \quad (4)$$

จากสมการทั่วไป สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ดังในสมการที่ 5

$$\{Y\} = [Z]\{A\} + \{E\} \quad (5)$$

- เมื่อ $\{Y\}$ column vector ของตัวแปรตาม $\{Y\}^T = [y_1 \ y_2 \dots y_n]$
 $\{A\}$ column vector ของสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า $\{A\}^T = [a_0 \ a_1 \dots a_m]$
 $\{E\}$ column vector ของค่าความคลาดเคลื่อน $\{E\}^T = [e_1 \ e_2 \dots e_n]$
 $[Z]$ ฟังก์ชันตัวแปรอิสระที่สามารถวัดได้ โดยที่ $[Z]$ ไม่เป็นเมตริกซ์สมมาตร

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{01} & Z_{11} & \dots & Z_{m1} \\ Z_{02} & Z_{12} & \dots & Z_{m2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_{0n} & Z_{1n} & \dots & Z_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{เนื่องจาก } n \geq m+1 \text{ เสมอ}$$

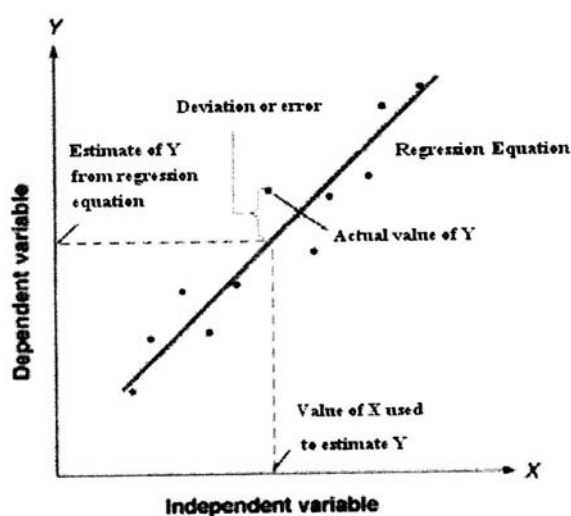
- เมื่อ m จำนวนตัวแปรอิสระ
 n จำนวนข้อมูล

หลักการกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares) เป็นวิธีการหาตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ของเส้นถดถอย โดยหาผลบวกของระยะจากจุดทั้งหลายไปยังเส้นถดถอยโดยวัดขนานกันกับแกน Y หรือเรียกว่าผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of

Square of Error) เขียนย่อว่า SSE ดังแสดงในภาพที่ 1 และมีสูตรดังสมการที่ 6 โดยทำให้ค่า SSE มีค่าต่ำสุด โดยการอนุพันธ์เชิงส่วน (Partial Derivative) เทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แต่ละตัว

$$SSE = \sum_{i=1}^n e^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (6)$$

เมื่อ $\hat{y}$ ค่าที่ได้จากเส้นถดถอย



ภาพที่ 1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นของตัวแปร x และ y โดยวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ซึ่งเป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 1 ตัว ที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นดังสมการที่ 7

$$y_i = a_0 + a_1 x_i + e_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

เมื่อ y ตัวแปรตาม (Dependent Variable)
 x ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 a_0 ส่วนตัดแกน y (ค่าของ y เมื่อ x มีค่าเป็น 0)
 e ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random Error)

a_1 ความชัน (slope) ของเส้นตรง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึง อัตราการเปลี่ยนของ y เมื่อ x เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยเรียก a_1 ว่าเป็นสัมประสิทธิ์ความถดถอย (Regression Coefficient)

ค่าที่ได้จากเส้นถดถอย ($\hat{y}_i$) เป็นดังสมการที่ 8

$$\hat{y}_i = a_0 + a_1 x_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

เพราะฉะนั้นค่าความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จากสมการที่ 9

$$e = y_i - \hat{y}_i \quad (9)$$

นำวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมาใช้ในการหาค่า a_0 และ a_1 ก็คือทำให้ SSE มีค่าต่ำที่สุด โดยการใช้อนุพันธ์เชิงส่วน (partial Derivative) เทียบกับ a_0 และ a_1 แล้วให้เท่ากับศูนย์ ดังแสดงในสมการที่ 10 - 13

$$\frac{\partial}{\partial a_0} \left[\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \right] = \frac{\partial}{\partial a_0} \left[\sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 \right] = 0 \quad (10)$$

หรือ

$$-2 \sum (y_i - a - b x_i) = 0 \quad (11)$$

จะได้

$$a_0 n + b \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i \quad (12)$$

หรือ

$$a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (13)$$

และเมื่อนำสมการที่ 14 และ 15 สมการปกติมาแก้เพื่อหาค่า a_0 และ a_1 จะได้

$$a_1 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} \quad (14)$$

และ

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (15)$$

วิธีกำลังสองน้อยที่สุดคือการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ทำให้ SSE มีค่าต่ำสุดนั่นเอง ซึ่งทำได้โดยการอนุพันธ์เชิงส่วนเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แต่ละตัวแล้วให้เท่ากับศูนย์ ดังที่แสดงตัวอย่างข้างต้นในการหาสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

การคำนวณสมการถดถอยที่ผ่านมานั้น จะเป็นการสร้างสมการที่มีตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัว และตัวแปรตามหนึ่งตัว แต่ในความเป็นจริงตัวแปรตามตัวหนึ่งอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ในที่นี้จึงยกเอาสมการทั่วไปที่ใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยแบบอื่นๆ ซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับที่กล่าวไว้ก่อนล่วงหน้า นั่นคือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยสามารถเขียนรูปเมทริกซ์ ได้ดังสมการที่ 16

$$\{A\} = [Z]T[Z] - 1\{[Z]T\{Y\}\} \quad (16)$$

2. การคำนวณความคลาดเคลื่อน

ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยสมการถดถอยจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าตัวแปรตามซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้ดังสมการที่ 17

$$e = y_i - \hat{y}_i \quad (17)$$

ซึ่งค่าประมาณแปรปรวนของ y ที่เกิดเนื่องจากอิทธิพลของ x โดยจะใช้สัญลักษณ์ S_{yx}^2 หรือ S^2 โดยที่แสดงในสมการที่ 18

$$S^2 = \frac{\left[\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \right]}{n-2} = \frac{SSE}{n-2} \quad (18)$$

3. การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) แทนด้วย r เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (x) และตัวแปรตาม (y) สามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 19

$$r = \frac{SS_{XY}}{\sqrt{SS_{XX} SS_{YY}}} \quad (19)$$

$$\text{เมื่อ} \quad SS_{XX} = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

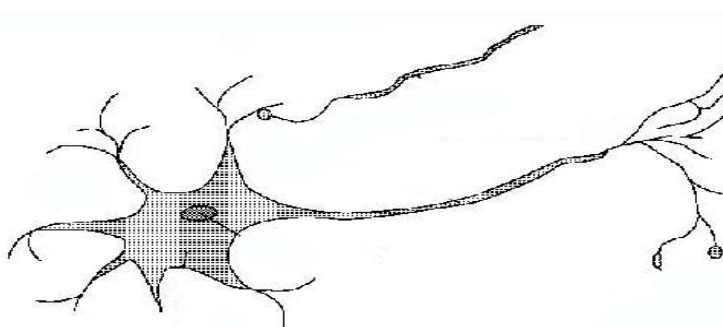
ค่า r จะมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 โดยที่ถ้าค่า r มีค่าเป็นบวก หมายถึง ความสัมพันธ์ของตัวแปร x และ y ตามจะแปรผันตามกัน นั่นคือ ถ้า x มีค่าเพิ่มขึ้น y จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกัน ถ้า x มีค่าลดลง y จะมีค่าลดลงด้วย และ $r=1$ คือ ตัวแปร x และ y มีความสัมพันธ์แบบทางเดียวกันอย่างสมบูรณ์

ถ้า r มีค่าเป็นลบ หมายความว่าความสัมพันธ์ของ x และ y จะสวนทางกัน กล่าวคือ ถ้า x มีค่าเพิ่มขึ้น y จะมีค่าลดลง และ x มีค่าลดลง y จะมีค่าเพิ่มขึ้น และ $r=-1$ หมายความว่า x และ y มีความสัมพันธ์แบบผกผันอย่างสมบูรณ์ ถ้า $r=0$ แสดงว่าตัวแปรสุ่ม x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่ x และ y อาจมีความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

โครงข่ายประสาทเทียม

(นาถชนก, 2547; นิรนาม, 2549; ธวัช, 2549; Laurene, 1994; Dan, 1996) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) หรือที่มักเรียกสั้นๆว่า ข่ายงานประสาท (neural network) คือโมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำแบบรูป (Pattern Recognition) และการอุปมานความรู้ (Knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์

แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” (Neurons) และ จุดประสานประสาท (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า “เดนไดรต์” (Dendrite) ซึ่งเป็นอินพุตและปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า “แอกซอน” (Axon) ซึ่งเป็นเหมือนเอาต์พุตของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่ นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่นๆต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่นๆต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน ดังแสดงในภาพที่ 2 ตามโมเดลนี้ ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน



ภาพที่ 2 เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์

สำหรับนิวรอนโครงข่ายทางคอมพิวเตอร์ (โครงข่ายประสาทเทียม) เป็นการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทจริง บนดิจิทัลคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายกับนิวรอนในสมองมนุษย์ คือ หน่วยประมวลผล (Processing Elements) ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหลายๆ

ตัว และมีการเชื่อมโยงในลักษณะเป็นสถาปัตยกรรมแบบขนาน (Parallel Architecture) เพื่อแปลงข้อมูลจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมวลผลข้อมูลได้คราวละมาก ๆ ด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (Connectionist) ซึ่งสามารถเชื่อมโยงข้อเท็จจริงทั้งหลายเข้าด้วยกันเพื่อหาข้อสรุป และใช้ประสบการณ์ที่จัดเก็บไว้มาเรียนรู้และทำความเข้าใจว่า ข้อเท็จจริงใหม่ที่ได้รับมีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร เพื่อปรับปรุงองค์ความรู้ให้มีความทันสมัยอยู่เสมอเพื่อนำมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพ โครงข่ายประสาทเทียมยังสามารถเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการอุปमानความรู้ (Knowledge Deduction) อีกด้วย

1. สถาปัตยกรรมของโครงข่าย (Network Architecture)

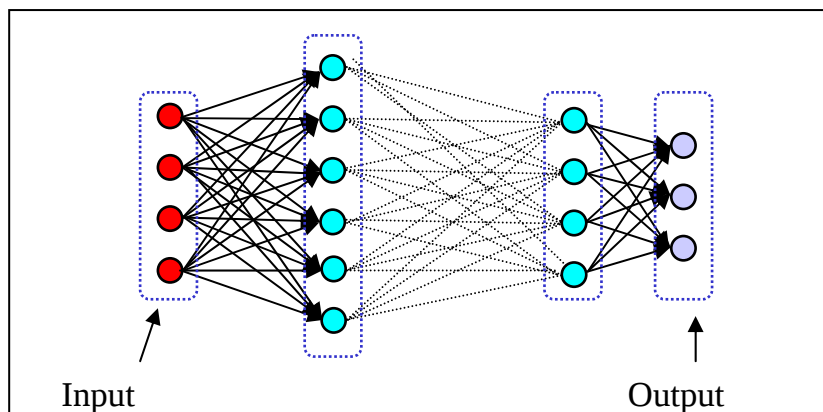
สถาปัตยกรรมของโครงข่าย ประกอบด้วยโครงข่าย 2 แบบ ดังนี้

1.1 โครงข่ายแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward Network)

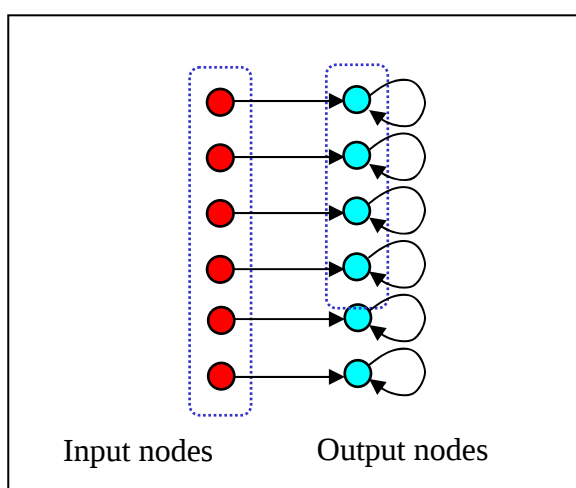
ข้อมูลที่ประมวลผลในโครงข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางจาก Input nodes ส่งต่อมาเรื่อยๆ จนถึง Output nodes โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่ Nodes ใน layer เดียวกันก็ ไม่มีการเชื่อมต่อกัน ดังแสดงในภาพที่ 3

1.2 โครงข่ายแบบป้อนกลับ (Feedback network)

ข้อมูลที่ประมวลผลในโครงข่าย จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังโครงข่ายหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบออกมา บางครั้งเรียกว่า Recurrent network ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมของ Feed-forward network

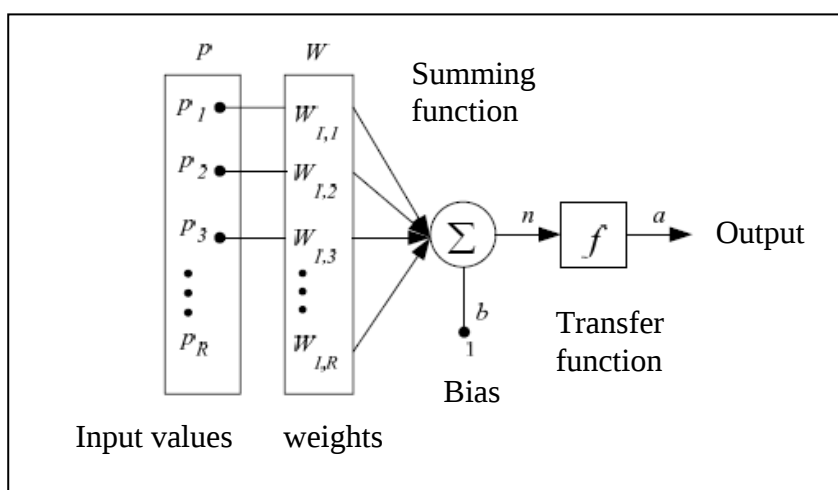


ภาพที่ 4 สถาปัตยกรรมของ Feedback network

2. รูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม

ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนอินพุต (Input) ของโครงข่าย แทนด้วยสัญลักษณ์ตัวอักษร P ซึ่งอยู่ในรูปของเวกเตอร์ โดยอินพุตแต่ละตัวมีค่าของน้ำหนัก (Weight) ประจำอินพุต แทนด้วยอักษรตัว W ผลคูณที่เกิดจากการคูณค่าน้ำหนักกับค่าอินพุตแต่ละค่าจะนำมารวมกัน (Summing) ณ จุดรวมสัญญาณ จากนั้นจะนำผลคูณที่ได้ทั้งหมดมารวมกับค่าของไบอัส (Bias) ซึ่งแทนด้วยตัวอักษร b แล้วส่ง ผลรวมที่ได้ผ่านไปยังฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Function) แทนด้วยสัญลักษณ์ f และออกไปส่วนเอาต์พุตของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถเขียนในรูปสมการที่ 20

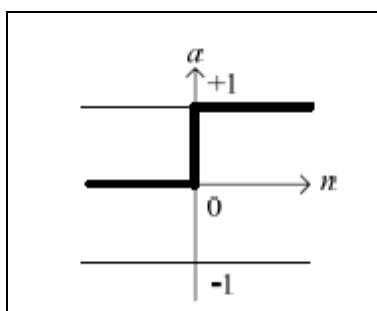
$$a = f(Wp + b) \quad (20)$$



ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของของโครงข่ายประสาทเทียม

2.1 ฟังก์ชันโอนย้าย (Transfer Functions) ฟังก์ชันโอนย้ายที่ใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมนิยมใช้อยู่สามรูปแบบ ได้แก่ ฟังก์ชันโอนย้ายฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) ฟังก์ชันโอนย้ายเชิงเส้น (Linear Transfer Function) และฟังก์ชันโอนย้ายล็อกซิกโมйд (Log sigmoid Transfer Function)

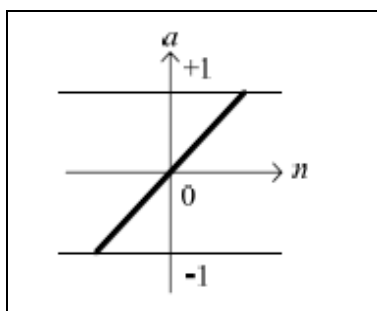
- ฟังก์ชันโอนย้ายฮาร์ดลิมิต (Hard Limit Transfer Function) แสดงในภาพที่ 6 จะกำหนด ค่าเอาต์พุตของโครงข่ายเป็นดังนี้ ถ้าอินพุต n ของฟังก์ชันโอนย้ายมีค่าน้อยกว่า 0 ค่าเอาต์พุต a ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 และถ้า n มีค่าเท่ากับ 0 หรือมากกว่า 0 ค่าเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 1 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 21



ภาพที่ 6 สัญลักษณ์ฟังก์ชันโอนย้ายฮาร์ดลิมิต

$$a = \begin{cases} 1 & , \text{if } n \geq 0 \\ 0 & , \text{Otherwise} \end{cases} \quad (21)$$

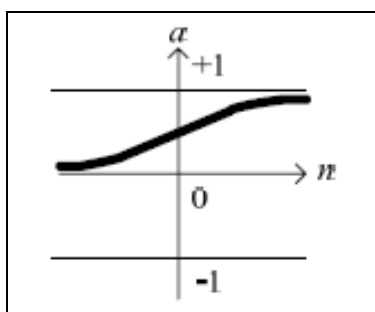
- ฟังก์ชันโอนย้ายเชิงเส้น (Linear Transfer Function) ใช้งานเพื่อการประมาณค่าที่เป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถแสดงในสมการที่ 22



ภาพที่ 7 สัญลักษณ์ฟังก์ชันโอนย้ายเชิงเส้น

$$a = \begin{cases} n & , \text{if } n \geq 0 \\ 0 & , \text{if } n = 0 \\ -n & , \text{if } n < 0 \end{cases} \quad (22)$$

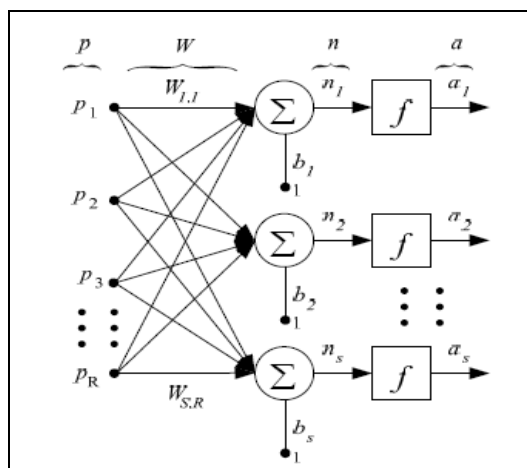
- ฟังก์ชันโอนย้ายลอจิสติก (Log Sigmoid Transfer Function) สามารถรับอินพุตค่าต่างๆ ได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและค่าที่เป็นลบ และให้อาต์พุตในย่าน 0 ถึง 1 ฟังก์ชันโอนย้ายแบบ Log Sigmoid ใช้ในโครงข่ายแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ซึ่งสามารถแสดงในสมการที่ 23



ภาพที่ 8 สัญลักษณ์ฟังก์ชันโอนย้ายลอจิสติก

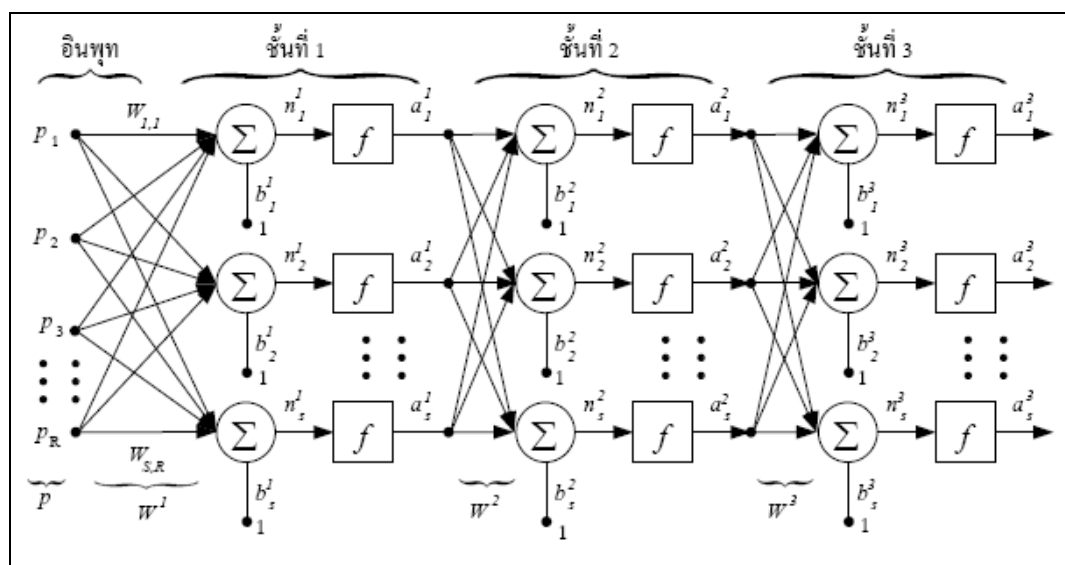
$$a = \frac{1}{1 + \exp(-n)} \quad (23)$$

2.2 ชั้นของนิวรอน (Layer) ประกอบด้วยชั้นมากกว่าหนึ่งชั้น ในแต่ละชั้นของนิวรอนจะประกอบด้วยนิวรอนหลายๆ ตัวได้ และมีอินพุต คำนวณหนัก และค่าไบอัส ผลที่ได้จากการคูณระหว่างคำนวณหนักกับอินพุตแต่ละคู่จะนำมาบวกกับค่าไบอัสในชั้น หลังจากนั้นจะส่งสัญญาณที่รวมแล้วเข้าฟังก์ชัน โอนย้ายและส่งไปสู่ชั้นถัดไป ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว ประกอบด้วยจำนวนนิวรอนหลายๆ ตัว แสดงในภาพที่ 9 ในที่นี้นิวรอนจะมีอินพุตจำนวน R ตัว และมีจำนวนของนิวรอนจำนวน S ตัว ในชั้นเดียวกัน



ภาพที่ 9 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ในแต่ละชั้นจะมีน้ำหนักเมตริกซ์ W มีไบอัสเวกเตอร์ b และมีเอาต์พุตเวกเตอร์ a ตัวอย่างของโครงข่าย แบบสามชั้นแสดงตามภาพที่ 10 ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 2 รวมกันเรียกว่า ฮิดเดนเลเยอร์ (Hidden Layer) ส่วนชั้นที่ 3 เรียกว่าเอาต์พุตเลเยอร์ (Output Layer)

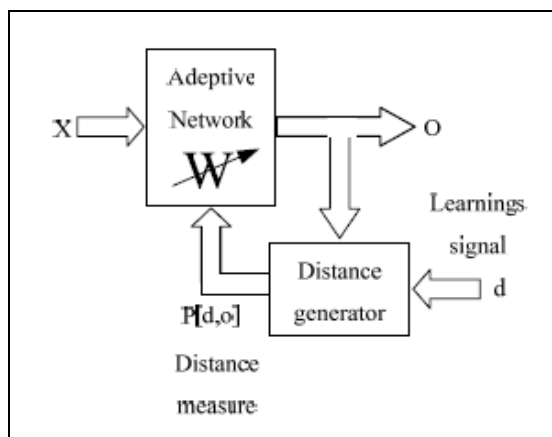


ภาพที่ 10 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

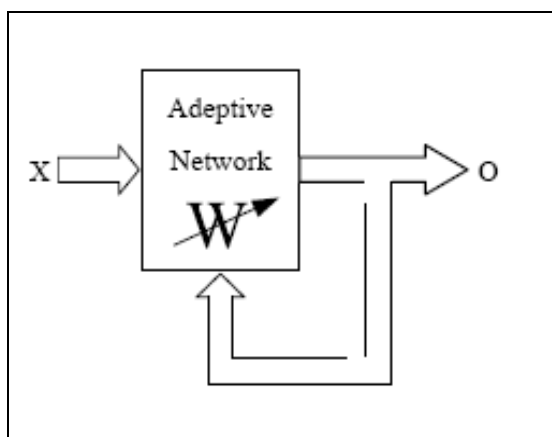
3. การเรียนรู้ และการปรับปรุงค่า (Learning and Adaptation)

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการ Mapping ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตของโครงข่าย ทั้งนี้การออกแบบส่วนที่สัมพันธ์กัน หรือตัวจำแนกของโครงข่าย จะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของการถ่ายโอนค่าจากอินพุตไปสู่ค่าเอาต์พุตตามกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ในลักษณะของคู่ลำดับ ขอบเขตของการจำแนกแต่ละปัญหาจะเป็นไปตามหลักทฤษฎีการประมาณค่า การเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning) และแบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)

การเรียนรู้แบบมีการสอน เป็นการเรียนรู้เสมือนว่ามีครูผู้สอน (Teacher) คอยกำกับ ดูแล สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 11 ค่าของเอาต์พุตจะขึ้นอยู่กับการนำค่า t ของระบบที่เกิดจากการเตรียมโดยครูมาเป็นตัวกำหนดการตัดสินใจ จากนั้นระบบจะปรับปรุงค่าของน้ำหนักเพื่อลดค่าผิดพลาดระบบให้น้อยลง การเรียนรู้อีกแบบหนึ่งเรียกว่าการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน หรือเป็นการเรียนรู้แบบที่ไม่มีครูผู้สอนคอยกำกับดูแล แสดงตามภาพที่ 12 ดังนั้นเอาต์พุต ได้จากการตัดสินใจซึ่งจะเป็นไปโดยไม่ทราบค่าที่ได้นั้นถูกหรือผิดไปจากค่าเป้าหมาย ค่าที่ได้ จึงไม่สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมของระบบได้ การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน ตัวอย่างการนำไปใช้งาน เช่น นำไปใช้เพื่อการจำแนกขอบเขต หรือการกระจายของข้อมูล เป็นต้น



ภาพที่ 11 การเรียนรู้แบบมีการสอน



ภาพที่ 12 การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน

4. อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm) เป็นขั้นตอนวิธีของการเรียนรู้ของโครงข่ายวิธีหนึ่ง ซึ่งโครงข่ายจะทำการปรับค่าของน้ำหนักหลังจากใส่รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกสอนให้แก่โครงข่าย ในแต่ละครั้งแล้วเสร็จ ค่าเอาต์พุตของโครงข่าย จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้ จะถูกส่งกลับเข้าสู่โครงข่าย เพื่อใช้ปรับปรุงค่าน้ำหนักต่อไป

ขั้นตอนการฝึกสอนเชิงระบบ ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ โดยแบบที่ง่ายที่สุดเพื่อการปรับค่าของการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ ค่าของน้ำหนักและค่าไบอัสจะถูกลดค่าลงอย่างรวดเร็วและให้มากที่สุด ค่า Gradient จะมีค่าเป็นลบ และในแต่ละรอบของการคำนวณ การปรับปรุงค่า Gradient มีอยู่ 2 วิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่แบบ Incremental mode และแบบ Batch mode ในโหมด

Incremental mode นั้น ค่าของ Gradient จะมีการคำนวณค่าและจะปรับค่าของน้ำหนักหลังจากที่มีการป้อนอินพุตแต่ละค่าแล้วเสร็จ ส่วนในโหมด Batch mode นั้นจะต้องป้อนอินพุตทั้งหมดให้กับโครงข่าย ก่อนถึงจะมีการปรับค่าของน้ำหนักและค่าของไบอัส

5. ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด (Mean Square Error)

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของโครงข่าย เป็นค่าผลรวมของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง หรือเรียกว่า Least Mean Square error (LMS) ที่เกิดจากการฝึกสอนโครงข่าย แบบมีการสอน การเรียนรู้ต้องมีการเตรียมชุดของข้อมูลให้กับโครงข่าย เพื่อใช้ในการปรับพฤติกรรมระบบ ค่าอินพุตและค่าเป้าหมายที่ต้องการของเอาต์พุตโครงข่าย จะรับค่าอินพุต แล้วให้ค่าเอาต์พุตออกมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่าของค่าเป้าหมายที่กำหนดให้เดิม ค่าผิดพลาดที่ได้คำนวณจากค่าเอาต์พุตของโครงข่าย ลบด้วยค่าเป้าหมาย แต่เราต้องการลดผลรวมค่าเฉลี่ยของค่า ความผิดพลาดให้น้อยที่สุด

6. การประยุกต์ใช้งาน

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) มีความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุม ซึ่งมีผู้นามาประยุกต์ใช้งานหลายประเภท ได้แก่

- งานการจัดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน เช่น ลายมือ ลายเซ็น ตัวอักษร รูปหน้า
- งานการประมาณค่าฟังก์ชัน หรือการประมาณความสัมพันธ์ (มี inputs และ outputs แต่ไม่ทราบ ว่า inputs กับ outputs มีความสัมพันธ์กันอย่างไร)
- งานที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (โครงข่ายประสาทเทียมสามารถปรับตัวเองได้)
- งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ
- งานทำนาย เช่น พยากรณ์อากาศพยากรณ์หุ้น
- การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมควบคุมกระบวนการทางเคมี โดยวิธีพยากรณ์โมเดล (Model Predictive Control)
- การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับในการทำนายพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในตัวอาคาร
- การใช้โครงข่ายประสาทในการหาไซโครเมตริกชาร์ต การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมควบคุมระบบ HVAC

การทดสอบความคลาดเคลื่อน

(ปัทมศรีกรรณ์, 2549) MAPE (Mean Absolute Percent Error) เป็นดัชนีหนึ่งที่ใช้ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริง และค่าที่พยากรณ์ได้ ความสำคัญของการทดสอบความคลาดเคลื่อนเพื่อพิจารณาหาโมเดลที่ให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าจริงที่สุด หรือทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยโมเดลที่ให้พยากรณ์ใกล้เคียงจากค่าจริงมากที่สุด ย่อมเป็นโมเดลที่เหมาะสมกับการนำมาใช้พยากรณ์ให้ได้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำ โดยการวัดความคลาดเคลื่อนหาได้จากค่า MAPE ซึ่งมีสูตรดังสมการที่ 24

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \frac{|A_i - P_i|}{A_i} \times 100 \quad (24)$$

เมื่อ	<i>MAPE</i> ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ที่เทียบกับค่าจริง (Mean Absolute Percent Error)
<i>N</i>	จำนวนข้อมูลทั้งหมด
<i>P_i</i>	ค่าที่ได้จากโมเดล
<i>A_i</i>	ค่าของข้อมูลจริง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window XP
3. โปรแกรม Microsoft Office
4. โปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 7.0

วิธีการ

ขั้นตอนการคำนวณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟเนื่องจากกระแสไฟฟ้าขัดข้องแสดงไว้ในภาพที่ 13 โดยเริ่มต้นจากรวบรวมข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าตามรหัส TSIC จากนั้นจึงกรองและคัดแยกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าตามกระบวนการผลิต ข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณมูลค่าความเสียหายเนื่องจากเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องโดยใช้ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าแล้วนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง รายได้ต่อวัน และระยะเวลาทำงาน จากนั้นจึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความถดถอย และโครงข่ายประสาทเทียม แล้วนำผลที่ได้ไปทำการทดสอบความคลาดเคลื่อนโดยเปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายที่ได้จากฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้ากับมูลค่าความเสียหายที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการคำนวณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง

1. การรวบรวมข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า

อุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการแบ่งเป็นหมวดหมู่ เรียกว่า รหัส TSIC ย่อมาจาก Thailand Standard of Industrial Classification ซึ่งแทนด้วยรหัสตัวเลข 5 ตัว โดยตัวเลขแต่ละตัวจะแสดงหมวดหมู่ของอุตสาหกรรมนั้นๆ ตัวอย่างตัวเลข 2 ตัวแรกของรหัส TSIC และความหมายแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการแบ่งประเภทอุตสาหกรรมในประเทศไทยตามตัวเลข 2 ตัวแรกของรหัส TSIC

รหัส TSIC (2 ตัวแรก)	ความหมาย
11	เกษตรกรรมและการล่าสัตว์
12	การป่าไม้และการทำไม้
13	การประมง
21	การทำเหมืองถ่านหิน
22	การผลิตน้ำมันปิโตรเลียมดิบและก๊าซธรรมชาติ

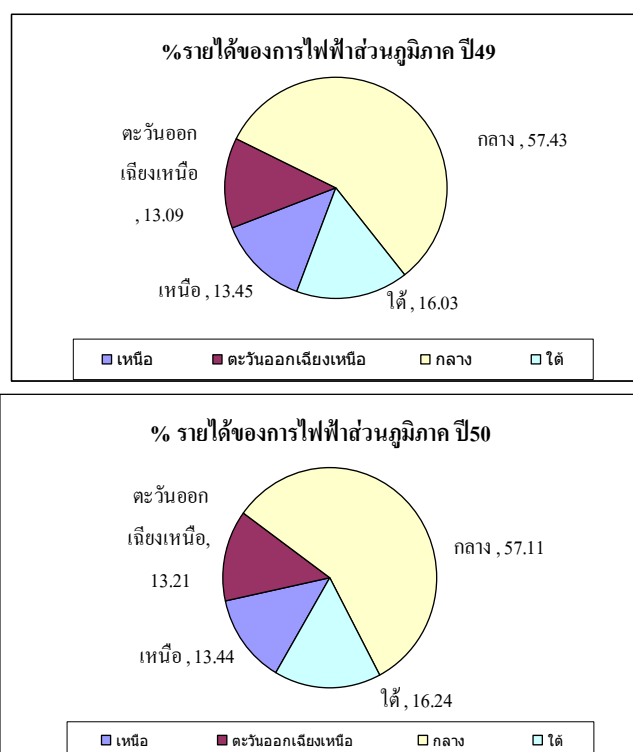
ตารางที่ 1 (ต่อ)

รหัส TSIC (2 ตัวแรก)	ความหมาย
23	การทำเหมืองแร่โลหะ
29	การทำเหมืองแร่อื่นๆ
31	การผลิตอาหาร เครื่องดื่มและยาสูบ
32	การผลิตสิ่งทอสิ่งถัก เครื่องแต่งกาย หนังสือพิมพ์และผลิตภัณฑ์หนังสือพิมพ์
33	การผลิตไม้และผลิตภัณฑ์จากไม้ รวมทั้งเครื่องเรือน
34	การผลิตกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ การพิมพ์และการพิมพ์โฆษณา
35	การผลิตเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ยางและพลาสติก
36	การผลิตผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ ยกเว้นผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียม และถ่านหิน
37	อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน
38	การผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์
39	อุตสาหกรรมการผลิตอื่นๆ
41	การไฟฟ้าและก๊าซ
42	การประปา
50	การก่อสร้าง
61	การขายส่ง
62	การขายปลีก
63	ภัตตาคารและโรงแรม
71	การขนส่งและสถานที่เก็บสินค้า
72	การคมนาคม
81	สถาบันการเงิน
82	การประกันภัย
83	บริการด้านอสังหาริมทรัพย์และธุรกิจ
91	การบริหารราชการและการป้องกันประเทศ
92	บริการสุขภาพและบริการที่คล้ายคลึงกัน
93	บริการทางสังคมและบริการชุมชนที่เกี่ยวข้องกัน

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รหัส TSIC (2 ตัวแรก)	ความหมาย
94	บริการนันทนาการและวัฒนธรรม
95	บริการส่วนบุคคลและบริการในครัวเรือน
96	องค์การระหว่างประเทศและองค์การต่างประเทศอื่นๆ

รายได้ค่าไฟในปี พ.ศ.2549 และ ปี พ.ศ.2550 จากผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแบ่งเป็นรายภาค แสดงไว้ในภาพที่ 14 ซึ่งจะเห็นว่าผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมในเขตภาคกลางมีเปอร์เซ็นต์ค่าไฟฟ้าสูงกว่าภาคอื่นๆ ดังนั้นในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะรหัส TSIC อุตสาหกรรมการผลิตในเขตภาคกลางที่มีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุด 10 อันดับแรก ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 เพื่อสร้างแบบจำลองมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าเนื่องจากเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง



ภาพที่ 14 รายได้ค่าไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจากผู้ใช้ไฟประเภทอุตสาหกรรมในปี พ.ศ.2549 และ 2550 โดยแสดงเป็นรายภาค

ตารางที่ 2 รหัส TSIC อุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูงสุด 10 อันดับแรกในเขตภาคกลาง

รหัส TSIC	การผลิต
37110	โรงงานผลิตเหล็กและเหล็กกล้า และ โรงรีดเหล็ก
38320	การผลิตอุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยุ โทรทัศน์ และการคมนาคม
36921	การผลิตซีเมนต์
32115	การทอผ้าด้วยเส้นใยฝ้ายและเส้นใยประดิษฐ์
35130	การผลิตยางสนสังเคราะห์ วัสดุพลาสติกและเส้นใยประดิษฐ์ ยกเว้นแก้ว
35609	การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ
38439	อุตสาหกรรมยานยนต์
35510	อุตสาหกรรมยางนอกและยางใน
31149	การทำอาหารกระป๋อง การเก็บถนอม และการปรุงแต่ง (แปรรูป) อาหารจำพวก ปลา กุ้ง และอาหารทะเลอื่นๆ
32113	การปั่นฝ้าย และเส้นใยประดิษฐ์

1.1 ข้อมูลจากการไฟฟ้า

ข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าที่รวบรวมได้จาก กองเศรษฐกิจพลังงานไฟฟ้า กฟผ. เป็นข้อมูลทั่วไป ได้แก่ กำลังการผลิต โหลดแฟกเตอร์ และพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้สิ่งที่ต้องพิจารณาคือ การนิยามระยะเวลาที่เกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของ กฟผ. ซึ่งมีการนิยามไว้ดังนี้

ก. ไฟกะพริบ (Momentary interruption) คือ ไฟดับที่มีระยษะเวลาน้อยกว่า 1 นาที

ข. ไฟดับ (Sustained interruption) คือ ไฟดับที่มีระยะเวลาตั้งแต่ 1 นาทีขึ้นไป

1.2 ข้อมูลจากผู้ใช้ไฟฟ้า

โดยทั่วไป การรวมรวมข้อมูลจากผู้ใช้ไฟฟ้ามียหลายวิธีการ ได้แก่ การสอบถามจากผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง การสอบถามโดยใช้โทรศัพท์ และการสอบถามโดยใช้แบบสอบถาม ในที่นี้เลือกใช้วิธีการสอบถามโดยใช้แบบสอบถาม และส่งไปรษณีย์ให้ผู้ใช้ไฟฟ้ากรอกและตอบกลับ ซึ่งได้รับการตอบกลับเฉลี่ยประมาณ 8.6 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนแบบสอบถามเพื่อรวบรวมข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า

รหัส TSIC	จำนวนแบบสอบถาม (ฉบับ)		จำนวนแบบสอบถาม (เปอร์เซ็นต์)	
	ส่ง	ตอบกลับ	ส่ง	ตอบกลับ
37110	187	20	7.13	8.85
38320	409	33	15.59	14.60
36921	35	8	1.33	3.54
32115	323	14	12.31	6.19
35130	314	22	11.97	9.73
35609	606	46	23.10	20.35
38439	261	13	9.95	5.75
35510	100	10	3.81	4.42
31149	293	53	11.17	23.45
32113	95	7	3.62	3.10
รวม	2,623	226	100.00	100.00

ข้อมูลที่สอบถามจากผู้ใช้ไฟฟ้าจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ข้อมูลทั่วไป แผนภาพกระบวนการผลิต และมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง

1.2.1 ข้อมูลทั่วไป

เป็นข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้ไฟ เช่น เวลาทำงาน จำนวนพนักงาน
ข้อมูลการผลิต เป็นต้น

1.2.2 แผนภาพกระบวนการผลิต

เริ่มตั้งแต่การนำวัตถุดิบเข้ามาในกระบวนการผลิตจนถึงขั้นสุดท้ายการผลิต เพื่อพิจารณาส่วนที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง และเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าเองได้ง่ายขึ้น

1.2.3 การประเมินมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง

เมื่อเกิดเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องอาจทำให้กระบวนการผลิตได้รับผลกระทบ เช่น เกิดความเสียหายของวัตถุดิบ สินค้า หรือเสียโอกาสการผลิต เป็นต้น ซึ่งมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าแยกเป็นกรณีไฟกะพริบ และไฟดับ ที่สอดคล้องตามนิยามของ กฟผ.

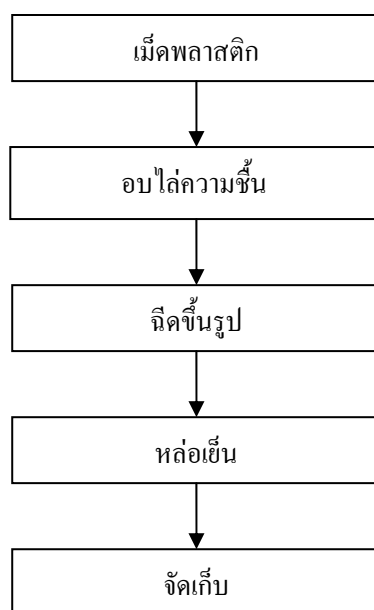
2. การคัดกรองและแยกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า

ผู้ใช้ไฟฟ้าอาจเข้าใจแบบสอบถามคลาดเคลื่อนซึ่งส่งผลต่อการประเมินมูลค่าความเสียหายของต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้น การกรองข้อมูลจึงมีความสำคัญมาก โดยการกรองข้อมูลจะพิจารณาจากความครบถ้วนของการตอบแบบสอบถาม ลักษณะของสินค้าที่ผลิต และกระบวนการผลิต

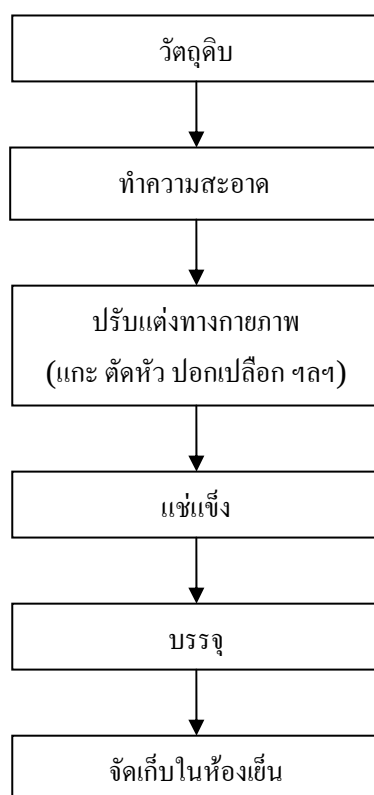
เมื่อทำการคัดกรองข้อมูลที่ได้รับการตอบกลับมาจากแบบสอบถาม พบว่า จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าตามรหัส TSIC ที่ตอบกลับมากที่สุด 2 อันดับแรกได้แก่ ผู้ใช้ไฟฟ้าในรหัส TSIC 35609 (การผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ) และรหัส TSIC 31149 (การทำอาหารกระป๋อง การเก็บถนอม และการแปรรูปอาหารจำพวกปลา กุ้ง และอาหารทะเลอื่นๆ) และเมื่อแยกกระบวนการผลิตของทั้งสองรหัส TSIC พบว่า ในแต่ละกระบวนการผลิตมีจำนวนข้อมูลมากเพียงพอที่จะนำมาศึกษาเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมูลค่าความเสียหายได้ ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงศึกษามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าในรหัส TSIC 35609 และรหัส TSIC 31149

ผู้ใช้ไฟฟ้าในรหัส TSIC 35609 ซึ่งผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกอื่นๆ จะมีกระบวนการผลิตในขั้นตอนการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน เช่น การขึ้นรูปโดยการฉีด รีด หรือใช้แบบพิมพ์ เป็นต้น ในที่นี้จึงศึกษาผู้ใช้ไฟฟ้าในรหัส TSIC 35609 ที่ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีด กระบวนการผลิตแสดงไว้ในภาพที่ 15 ซึ่งกระบวนการหลักที่ใช้ไฟฟ้าได้แก่ อบไล่ความชื้น ฉีดขึ้นรูป และหล่อเย็น

ในทำนองเดียวกัน ผู้ใช้ไฟฟ้าในรหัส TSIC 31149 ซึ่งประกอบด้วย ผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋อง อาหารสดแช่แข็ง อาหารแปรรูปแช่แข็ง โดยแต่ละผลิตภัณฑ์มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันในขั้นตอนของการแปรรูป เช่น การทำให้สุกด้วยการทอด ลวก เป็นต้น ในที่นี้จึงศึกษาผู้ใช้ไฟฟ้าในรหัส TSIC 31149 ที่ผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง โดยกระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็งแสดงไว้ในภาพที่ 16 ซึ่งมีกระบวนการหลักที่ใช้ไฟฟ้าได้แก่ การทำความสะอาด การแช่แข็ง และการจัดเก็บในห้องเย็น



ภาพที่ 15 แผนภาพกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC35609 ซึ่งผลิตก้อนขึ้นรูปโดยการ นิด



ภาพที่ 16 แผนภาพกระบวนการผลิตของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 ซึ่งผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง

3. การคำนวณมูลค่าความเสียหายด้วยฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายในรหัส TSIC 35609 และรหัส TSIC 31149 คือ มูลค่าความเสียหายเริ่มต้นและมูลค่าความเสียหายตามระยะเวลา จะนำไปใช้ในการคำนวณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง 0 ถึง 60 นาที โดยคำนวณจากฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้างดสมการที่ 25 ความละเอียดของฟังก์ชันขึ้นอยู่กับข้อมูลจริงของผู้ใช้ไฟฟ้า

$$CDF(t) = (DC \times t) + IC \quad (25)$$

เมื่อ	CDF	ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (บาท)
	IC	มูลค่าความเสียหายเริ่มต้น (บาทต่อครั้ง)
	DC	มูลค่าความเสียหายตามระยะเวลา (บาทต่อนาทีหรือชั่วโมง)
	t	ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (นาทีหรือชั่วโมง)

ในกรณีเกิดเหตุการณ์ไฟกะพริบ ค่าฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าจะไม่ขึ้นกับระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องแต่จะขึ้นอยู่กับมูลค่าความเสียหายเริ่มต้นเท่านั้น

4. การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Duane *et al.*, (2002) นำเสนอการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยและโครงข่ายประสาทเทียม เป็นการวิเคราะห์โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ซึ่งตัวแปรอิสระหรืออินพุตมี 4 ตัวแปร ได้แก่

- ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t)
- กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW)
- รายได้ต่อวัน (income)
- ระยะเวลาทำงานต่อวัน (timework)

สำหรับตัวแปรตามหรือเอาต์พุต 1 ตัวแปร คือ มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (Customer Outage Cost, COC) ซึ่งคำนวณได้จากฟังก์ชันความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าในสมการที่ 24 โดยแทนค่าระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องตั้งแต่ 0 ถึง 60 นาที

4.1 การวิเคราะห์ความถดถอย

นำข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตามไปหาแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังภาพที่ 17 ในโมเดลของการวิเคราะห์ถดถอยจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ สมการเชิงเส้น สมการพหุนาม และสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล ซึ่งแสดงในสมการที่ 26 -28 โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

4.1.1 ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW)

- การวิเคราะห์ถดถอยแบบสมการเชิงเส้น

$$COC = k_1 + k_2 \times (MW) \quad (26)$$

- การวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุนาม

$$COC = k_1 + k_2 \times (MW) + k_3 \times (MW)^2 \quad (27)$$

- การวิเคราะห์ถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

$$COC = k_1 + k_2 \times (MW) + k_3 \times (MW)^2 \quad (28)$$

เมื่อ COC มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

MW กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตของผู้ใช้ไฟฟ้า

k_1, k_2, k_3 ค่าสัมประสิทธิ์ของ intercept และ MW

4.1.2 ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ คือ ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW), รายได้ต่อวัน (income) และเวลาทำงานต่อวัน (timework) สามารถเขียนเป็นสมการดังสมการที่ 29

- การวิเคราะห์ถดถอยแบบสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร

$$COC = k_1 + k_2 \times (MW) + k_3 \times (t) + k_4 \times (income) + k_5 \times (timework) \quad (29)$$

เมื่อ	<i>income</i>	รายได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อวัน
	<i>timework</i>	ระยะเวลาทำงาน
	<i>t</i>	ระยะเวลาไฟฟ้าชดช้อง
	k_1, k_2, k_3, k_4	ค่าสัมประสิทธิ์ของ intercept

```

1 clc
2
3 tin = 0
4 mwin = 1.026541096
5
6 %Equation of each customer
7 disp('-----');
8 coc = mom + tin*(sus/60);
9 plot(MW,coc,'ko')
10 hold on
11 xall = (0:max(MW));
12 % Linear equation
13 [b,se,pval,inmodel,stats,nextstep,history] = stepwisefit(MW,coc);
14 oc_lin = stats.intercept + stats.B*mwin;
15 ylin = stats.intercept + stats.B*xall;
16 plot(xall,ylin,'b')
17 %polynomial equation
18 [pol,st_pol] = polyfit(MW,coc,2)
19 oc_pol = pol(1)*mwin^2 + pol(2)*mwin + pol(3);
20 ypol = pol(1)*xall.^2 + pol(2)*xall + pol(3);
21 plot(xall,ypol,'g')
22 %Exponential equation
23 [expo_par]=fitcurvedemo(MW,coc)
24 A=expo_par(1);
25 Lam=expo_par(2);
26 oc_expo = A .* exp(-Lam.*mwin);
27 yexpo=A.*exp(-Lam.*xall);
28 plot(xall,yexpo,'r')

```

ภาพที่ 17 ส่วนหนึ่งของโปรแกรม MATLAB ในการวิเคราะห์ความถดถอย

4.2 การวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

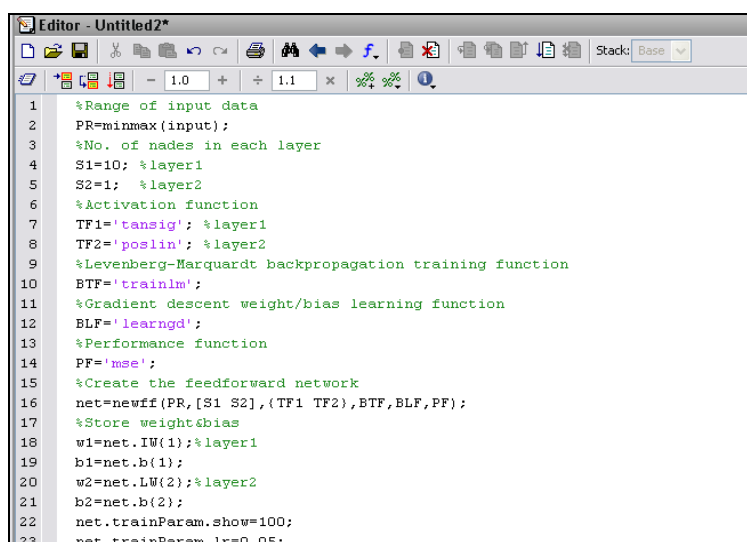
นำข้อมูลอินพุต และค่าเป้าหมาย (Target) ไปหาโมเดลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนโปรแกรม m file เพื่อฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังภาพที่ 18 ซึ่งข้อมูลอินพุตคือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี

จากข้อมูลดิบที่ได้จากการกรองข้อมูลอาจมีความแตกต่างของข้อมูลมากอาจทำให้เกิดปัญหาการเรียนรู้ ดังนั้นข้อมูลจริงหรือข้อมูลดิบจึงต้องถูกแปลงค่าโดยการแปลงข้อมูลแบบเชิงเส้น (Linear Transformation) เพื่อที่จะทำให้ข้อมูลทั้งหมดมีค่าในช่วงที่โครงข่ายสามารถเรียนรู้ได้ ซึ่งแสดงในสมการที่ 30

$$(x')_i = \frac{2(x_i - \min)}{(\max - \min)} \quad (30)$$

เมื่อ	x_i	ค่าข้อมูลจริง
	$\min$	ค่าที่มีค่าน้อยที่สุดของข้อมูล
	$\max$	ค่าที่มีค่ามากที่สุดของข้อมูล
	(x'_i)	ค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้ว

ในที่นี้ได้เลือกใช้การฝึกสอนแบบ Feed-forward Neural Network โดยการใช้อัลกอริทึมแบบแพร่กระจายย้อนกลับของการรู้จำ (Backpropagation) จากการวิเคราะห์นี้จะใช้ 1 ชั้นซ่อน (Hidden layer) ซึ่งมี 10 นิวรอน ดังแสดงในภาพที่ 19 เนื่องจากทำการทดสอบเปลี่ยนจำนวนชั้นซ่อน และจำนวนนิวรอนในหลายรูปแบบแล้ว พบว่าทั้งจำนวนชั้นซ่อนและจำนวนนิวรอนที่นำมาใช้วิเคราะห์นี้ให้ผลคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.05 และมีวิธีการฝึกสอน (Train) แบบ Levenberg-Marquardt Backpropagation Training Function และใช้วิธีการเรียนรู้แบบ Gradient Descent Weight/Bias Learning Function ในการฝึกสอนข้อมูลให้รู้จำแบบการสอนเพื่อให้โครงข่ายมีการตรวจสอบคำตอบ และปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด



```

1 %Range of input data
2 PR=minmax(input);
3 %No. of nodes in each layer
4 S1=10; %layer1
5 S2=1; %layer2
6 %Activation function
7 TF1='tansig'; %layer1
8 TF2='poslin'; %layer2
9 %Levenberg-Marquardt backpropagation training function
10 BTF='trainlm';
11 %Gradient descent weight/bias learning function
12 BLF='learngd';
13 %Performance function
14 PF='mse';
15 %Create the feedforward network
16 net=newff(PR,[S1 S2],[TF1 TF2],BTF,BLF,PF);
17 %Store weights and bias
18 w1=net.IW(1);%layer1
19 b1=net.b(1);
20 w2=net.LW(2);%layer2
21 b2=net.b(2);
22 net.trainParam.show=100;
23 net.trainParam.lr=0.05;

```

ภาพที่ 18 ส่วนหนึ่งของคำสั่งในหน้าต่าง Editor ในโปรแกรม MATLAB

4.2.1 ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW) และ ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t)

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมได้ผลการในรูปแบบทั่วไปดังต่อไปนี้

$$COC = \text{poslin}(W2 \times (\text{tansig}(W1 \times \text{input} + B1)) + B2 \quad (31)$$

เมื่อ COC มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

input เมตริกซ์ 2 แถว 1 คอลัมน์ นั่นคือ $\text{input} = \begin{bmatrix} \text{time} \\ MW \end{bmatrix}$

time เวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง (นาทีก)

MW กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต

$W1$ ค่า Weight ระหว่าง Input Layer และ Hidden Layer ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 10×2

$W2$ ค่า Weight ระหว่าง Hidden Layer และ Output Layer ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 10×1

$B1$ ค่า Bias ในชั้น Hidden Layer เป็นเมตริกซ์ขนาด 10×1

$B2$ ค่า Bias ในชั้น Output Layer เป็นเมตริกซ์ขนาด 1×1

tansig Transfer Function รูปแบบหนึ่ง ซึ่งย่อมาจาก Hyperbolic Tangent Sigmoid โดยมี

รูปแบบสมการ คือ $a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$ โดยที่ n คือ ค่า element ในเมตริกซ์

poslin Transfer Function รูปแบบหนึ่ง ซึ่งย่อมาจาก Positive Linear โดยมีรูปแบบสมการ

คือ $a = 0$ เมื่อ $n < 0$ และ $a = n$ เมื่อ $0 \leq n$; n คือ ค่า element ในเมตริกซ์

4.2.2 ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW),
ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t), รายได้ต่อวัน (income) และเวลาทำงานต่อวัน (timework)

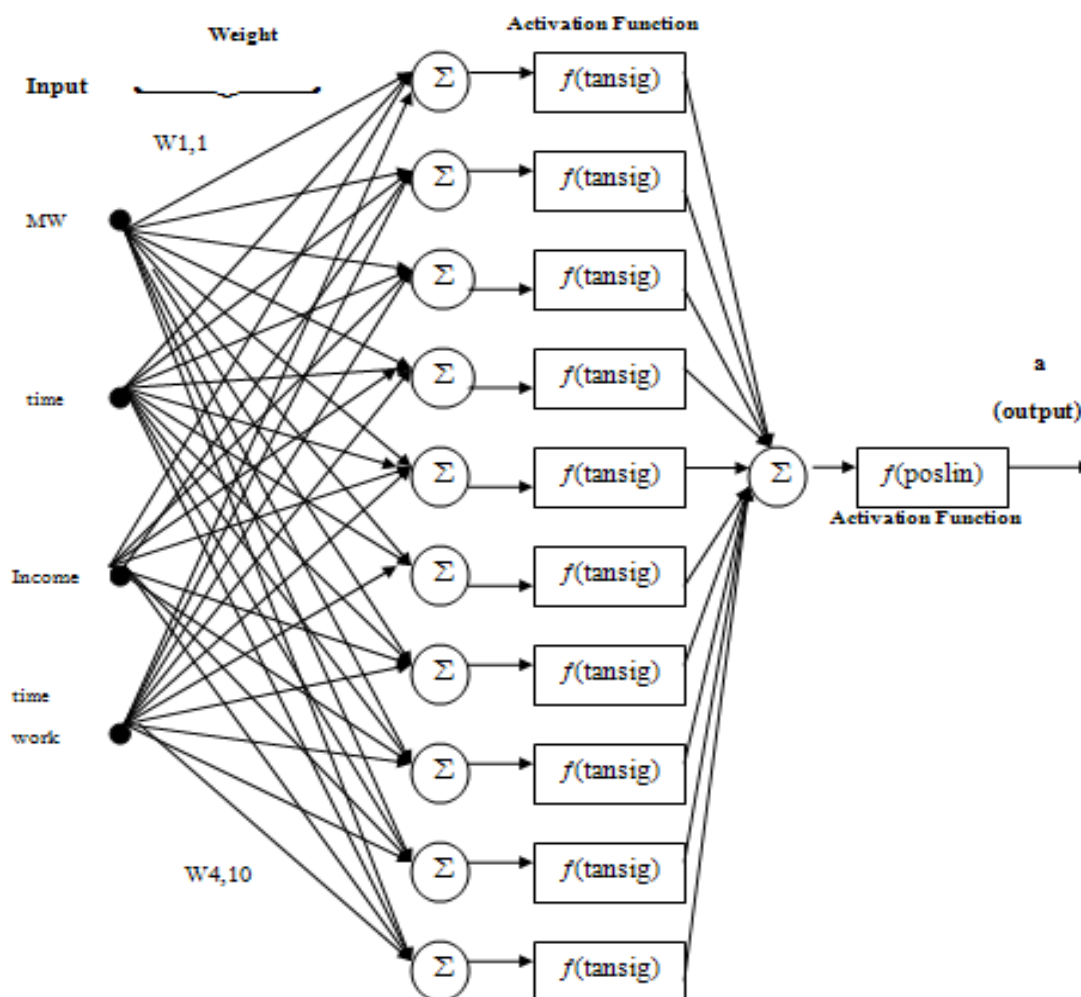
ผลจากการวิเคราะห์ของปัจจัยนี้ได้ผลการรูปแบบทั่วไปเช่นเดียวสมการที่ 31 แต่แตกต่างที่ตัวแปร input และตัวแปร $W1$ ดังนี้

input เมตริกซ์ 4 แถว 1 คอลัมน์ นั่นคือ $\text{input} = \begin{bmatrix} \text{time} \\ MW \\ \text{income} \\ \text{timework} \end{bmatrix}$

โดยที่ income คือ รายได้ของผู้ใช้ไฟฟ้าต่อวัน

timework คือ ระยะเวลาทำงาน

$W1$ ค่า Weight ระหว่าง Input Layer และ Hidden Layer ซึ่งเป็นเมตริกซ์ขนาด 10×4



ภาพที่ 19 การวิเคราะห์นี้จะใช้ 1 ชั้นซ่อน (Hidden layer) ซึ่งมี 10 นิวรอน

5. การทดสอบความคลาดเคลื่อน

เพื่อทดสอบความแม่นยำของโมเดลที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี โดยนำข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแทนค่าลงในโมเดลแต่ละแบบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนตามสมการที่ 24 ดังนั้นจากค่าความคลาดเคลื่อนจึงทำให้ทราบถึงวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้า และขั้นตอนของการคำนวณหามูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

ผลและวิจารณ์

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างมูลค่าความเสียหายกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาที่ปัจจัยเวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้องตั้งแต่เวลาที่ 0 นาที ถึง 60 นาที ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) ซึ่งข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 11 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล และผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) ข้อมูลที่นำมาใช้การสร้างโมเดลมีอยู่ 23 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมี 15 ข้อมูล นอกจากนี้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของข้อมูล ดังนั้นจึงสลับชุดข้อมูลที่ใช้สร้างโมเดลกับชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบด้วย ผลการวิเคราะห์แยกเป็น ผลการวิเคราะห์ความถดถอย และผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม

ผล

ผลการวิเคราะห์ความถดถอย

1. ผลจากการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW) และระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t)

1.1 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น

การวิเคราะห์รหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

ตารางที่ 4 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 11 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 และ k_2 ลงในสมการที่ 26 จะได้โมเดลดังสมการที่ 32

$$k_1 = (184.95 \times t + 4954.7) \text{ และ } k_2 = (9.1575 \times t + 493.6)$$

$$COC = (184.95 \times t + 4954.7) + (9.1575 \times t + 493.6) \times MW \quad (32)$$

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาท)	COC (บาท)				
	MW=1.03	MW=6.96	MW=9.81	MW=30.50	MW=76.0
0	5,461	8,388	9,796	20,007	42,492
5	6,433	9,631	11,169	22,328	46,898
10	7,405	10,874	12,543	24,649	51,305
15	8,377	12,117	13,917	26,970	55,712
20	9,348	13,361	15,291	29,291	60,119
25	10,320	14,604	16,665	31,613	64,525
30	11,292	15,847	18,038	33,934	68,932
35	12,264	17,090	19,412	36,255	73,339
40	13,236	18,333	20,786	38,576	77,746
45	14,207	19,577	22,160	40,897	82,152
50	15,179	20,820	23,533	43,218	86,559
55	16,151	22,063	24,907	45,539	90,966
60	17,123	23,306	26,281	47,860	95,372

ตารางที่ 5 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 5 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 และ k_2 ลงในสมการที่ 26 จะได้โมเดลดังสมการที่ 33

$$k_1 = (252.16 \times t + 7499.6) \text{ และ } k_2 = (6.3182 \times t + 341.15)$$

$$COC = (252.16 \times t + 7499.6) + (6.3182 \times t + 341.15) \times MW \quad (33)$$

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการ
ฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)				
	MW= 0.33	MW= 1.12	MW=2.09	MW=4.60	MW=5.90
0	7,613	7,881	8,211	9,068	9,514
5	8,885	9,177	9,538	10,474	10,961
10	10,156	10,473	10,864	11,880	12,408
15	11,427	11,769	12,191	13,286	13,856
20	12,698	13,065	13,518	14,692	15,303
25	13,970	14,362	14,844	16,098	16,750
30	15,241	15,658	16,171	17,504	18,198
35	16,512	16,954	17,497	18,910	19,645
40	17,784	18,250	18,824	20,316	21,092
45	19,055	19,546	20,151	21,722	22,539
50	20,326	20,842	21,477	23,128	23,987
55	21,598	22,138	22,804	24,534	25,434
60	22,869	23,434	24,131	25,940	26,881

ตารางที่ 5 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)					
	MW=6.68	MW=9.12	MW=12.35	MW=46.36	MW=73.27	MW=82.64
0	9,778	27,439	11,714	23,314	32,495	35,692
5	11,250	10,635	13,365	26,039	36,070	39,563
10	12,722	12,187	15,016	28,764	39,645	43,435
15	14,193	13,738	16,667	31,489	43,221	47,306
20	15,665	15,289	18,318	34,215	46,796	51,177
25	17,137	16,840	19,969	36,940	50,371	55,049
30	18,609	18,391	21,620	39,665	53,947	58,920
35	20,081	19,942	23,271	42,390	57,522	62,792
40	21,552	21,494	24,922	45,115	61,097	66,663
45	23,024	23,045	26,573	47,841	64,673	70,534
50	24,496	24,596	28,224	50,566	68,248	74,406
55	25,968	26,147	29,876	53,291	71,823	78,277
60	27,439	27,698	31,527	56,016	75,399	82,149

- การวิเคราะห์รหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

ตารางที่ 6 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 23 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 และ k_2 ลงในสมการที่ 26 จะได้โมเดลดังสมการที่ 34

$$k_1 = (184.95 \times t + 4954.7) \text{ และ } k_2 = (9.1575 \times t + 493.6)$$

$$COC = (184.95 \times t + 4954.7) + (9.1575 \times t + 493.6) \times MW \quad (34)$$

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาท)	COC (บาท)				
	MW=5.47	MW=6.55	MW=7.50	MW=12.64	MW=14.04
0	5,497	6,014	6,467	8,915	9,581
5	9,431	10,023	10,542	13,347	14,109
10	13,366	14,033	14,618	17,778	18,637
15	17,300	18,042	18,693	22,209	23,165
20	21,234	22,051	22,768	26,640	27,693
25	25,169	26,061	26,843	31,071	32,221
30	29,103	30,070	30,919	35,503	36,749
35	33,037	34,079	34,994	39,934	41,277
40	36,971	38,089	39,069	44,365	45,805
45	40,906	42,098	43,144	48,796	50,333
50	44,840	46,107	47,220	53,227	54,861
55	48,774	50,117	51,295	57,659	59,389
60	52,708	54,126	55,370	62,090	63,917

ตารางที่ 6 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาฬิกา)	COC (บาท)				
	MW=18.47	MW=25.07	MW=26.91	MW=41.60	MW=46.56
0	11,692	14,839	15,716	22,715	25,080
5	16,527	20,131	21,135	29,153	31,860
10	21,362	25,423	26,555	35,590	38,640
15	26,197	30,716	31,975	42,028	45,420
20	31,032	36,008	37,395	48,465	52,200
25	35,867	41,300	42,814	54,902	58,980
30	40,702	46,592	48,234	61,340	65,770
35	45,537	51,885	53,654	67,777	72,550
40	50,372	57,177	59,074	74,215	79,330
45	55,207	62,469	64,494	80,652	86,110
50	60,042	67,762	69,913	87,090	92,890
55	64,876	73,054	75,333	93,527	99,670
60	69,711	78,346	80,753	99,964	106,450

ตารางที่ 6 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาทีก)	COC (บาท)				
	MW=53.83	MW=78.00	MW= 96.75	MW= 138.42	MW=190.93
0	28,540	40,060	49,000	68,850	93,870
5	35,830	49,020	59,250	82,000	110,660
10	43,110	57,980	69,510	95,140	127,440
15	50,400	66,930	79,770	108,290	144,220
20	57,680	75,890	90,030	121,430	161,000
30	72,250	93,810	110,540	147,720	194,570
35	79,540	102,770	120,800	160,870	211,350
40	86,820	111,730	131,060	174,010	228,130
45	94,110	120,690	141,320	187,150	244,920
50	101,390	129,650	151,580	200,300	261,700
55	108,680	138,600	161,830	213,440	278,480
60	115,960	147,560	172,090	226,590	295,260

ตารางที่ 7 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลมีอยู่ 15 ข้อมูล และข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 และ k_2 ลงในสมการที่ 26 จะได้โมเดลดังสมการที่ 35

$$k_1 = (319.52 \times t + 4527.4) \text{ และ } k_2 = (26.802 \times t + 386.31)$$

$$COC = (319.52 \times t + 4527.4) + (26.802 \times t + 386.31) \times MW \quad (35)$$

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ใช้ (นาท)	COC (บาท)					
	MW= 0.38	MW= 1.54	MW= 2.48	MW= 3.98	MW= 5.84	MW=8.49
0	4,673	5,122	5,122	6,066	6,783	7,809
5	6,321	6,926	6,926	8,198	9,163	10,545
15	9,616	10,533	10,533	12,460	13,923	16,016
20	11,264	12,337	12,337	14,592	16,303	18,752
25	12,912	14,141	14,141	16,723	18,682	21,488
30	14,560	15,945	15,945	18,854	21,062	24,224
35	16,208	17,749	17,749	20,986	23,442	26,960
40	17,856	19,552	19,552	23,117	25,822	29,696
45	19,504	21,356	21,356	25,249	28,202	32,431
50	21,152	23,160	23,160	27,380	30,582	35,167
55	22,800	24,964	24,964	29,511	32,962	37,903
60	24,448	26,768	26,768	31,643	35,342	40,639

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)					
	MW= 9.55	MW= 21.18	MW= 31.56	MW= 39.54	MW=39.80	MW=43.1
0	8,216	12,710	16,721	19,800	19,900	19,900
5	11,093	17,146	22,549	26,700	26,830	26,830
10	13,971	21,582	28,376	33,600	33,760	33,760
15	16,848	26,018	34,204	40,490	40,690	40,690
20	19,725	30,454	40,031	47,390	47,620	47,620
25	22,602	34,890	45,859	54,280	54,560	54,560
30	25,480	39,327	51,686	61,180	61,490	61,490
35	28,357	43,763	57,514	68,080	68,420	68,420
45	34,111	52,635	69,169	81,870	82,280	82,280
50	36,989	57,071	74,997	88,770	89,210	89,210
55	39,866	61,507	80,824	95,660	96,140	96,140
60	42,743	65,943	86,652	102,560	103,070	103,070

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)					
	MW=43.11	MW= 54.8	MW= 83.9	MW=105.7	MW=10	MW=111.38
					6.3	
0	21,180	25,690	36,940	45,350	45,590	47,560
5	28,560	34,630	49,790	61,100	61,430	64,080
10	35,930	43,570	62,630	76,860	77,280	80,600
15	43,300	52,510	75,470	92,620	93,120	97,130
20	50,680	61,450	88,310	108,370	108,960	113,650
25	58,050	70,390	101,160	124,130	124,810	130,170
30	65,430	79,330	114,000	139,890	140,650	146,700
35	72,800	88,270	126,840	155,650	156,490	163,220
40	80,180	97,210	139,680	171,400	172,330	179,750
45	87,550	106,150	152,530	187,160	188,180	196,270
50	94,930	115,090	165,370	202,920	204,020	212,790
55	102,300	124,030	178,210	218,680	219,860	229,320
60	109,680	132,970	191,050	234,430	235,710	245,840

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาที)	COC (บาท)				
	MW= 123.59	MW= 124.14	MW= 125.54	MW= 157.01	MW= 207.13
0	52,270	52,480	53,020	65,180	84,540
5	70,430	70,720	71,440	87,820	113,900
10	88,590	88,950	89,860	110,460	143,250
15	106,750	107,190	108,290	133,100	172,610
20	124,910	125,420	126,710	155,740	201,970
25	143,070	143,070	145,130	178,370	231,320
30	161,230	161,230	163,550	201,010	260,680
35	179,380	179,380	181,970	223,650	290,030
40	197,540	197,540	200,390	246,290	319,390
45	215,700	215,700	218,810	268,930	348,740
50	233,860	233,860	237,230	291,570	378,100
55	252,020	252,020	255,650	314,210	407,450
60	270,180	270,180	274,070	336,840	436,810

1.2 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียล

การวิเคราะห์หรัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

ตารางที่ 8 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 11 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 , k_2 และ k_3 ลงในสมการที่ 27 จะได้โมเดลดังสมการที่ 36

$$k_1 = (169.76 \times t + 6134.3) \quad k_2 = (11.973 \times t + 274.9) \quad \text{และ} \quad k_3 = (-0.0355 \times t + 2.757)$$

$$COC = (169.76 \times t + 6134.3) + (11.973 \times t + 274.9) \times (MW) + (-0.0355 \times t + 2.757) \times (MW)^2 \quad (36)$$

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609
(กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาท)	COC (บาท)				
	MW=1.03	MW=6.96	MW=9.81	MW=30.50	MW=76.0
0	6,419	8,180	9,095	17,082	42,985
5	7,329	9,436	10,514	19,591	47,360
10	8,240	10,693	11,933	22,100	51,735
15	9,150	11,949	13,352	24,610	56,110
20	10,060	13,206	14,771	27,119	60,485
25	10,970	14,463	16,190	29,629	64,860
30	11,880	15,719	17,609	32,138	69,235
35	12,790	16,976	19,027	34,647	73,610
40	13,700	18,232	20,446	37,157	77,985
45	14,610	19,489	21,865	39,666	82,360
50	15,520	20,746	23,284	42,176	86,735
55	16,430	22,002	24,703	44,685	91,110
60	17,340	23,259	26,122	47,194	95,485

ตารางที่ 9 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 5 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 , k_2 และ k_3 ในสมการที่ 27 จะได้โมเดลดังสมการที่ 37

$$k_1 = (180.26 \times t + 5437.2) \quad k_2 = (15.807 \times t + 613.35) \quad \text{และ} \quad k_3 = (-0.1196 \times t - 3.43)$$

$$COC = (180.26 \times t + 5437.2) + (15.807 \times t + 613.35) \times (MW) + (-0.1196 \times t - 3.43) \times (MW)^2 \quad (37)$$

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609
(กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาท)	COC (บาท)				
	MW= 0.33	MW= 1.12	MW= 2.09	MW= 4.60	MW= 5.90
0	5,639	6,120	6,704	8,184	8,939
5	6,567	7,109	7,768	9,436	10,286
10	7,494	8,098	8,832	10,688	11,633
15	8,421	9,087	9,896	11,940	12,980
20	9,348	10,076	10,960	13,192	14,327
25	10,276	11,065	12,023	14,444	15,674
30	11,203	12,054	13,087	15,696	17,021
35	12,130	13,043	14,151	16,948	18,368
40	13,058	14,032	15,215	18,200	19,716
45	13,985	15,021	16,279	19,452	21,063
50	14,912	16,011	17,343	20,704	22,410
55	15,840	17,000	18,407	21,956	23,757
60	16,767	17,989	19,471	23,208	25,104

ตารางที่ 9 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)					
	MW=6.68	MW=9.12	MW=12.35	MW=46.36	MW=73.27	MW=82.64
0	9,381	26,497	12,491	26,497	31,959	32,694
5	10,783	29,777	14,277	29,777	35,441	36,043
10	12,186	33,057	16,064	33,057	38,923	39,392
15	13,588	36,337	17,850	36,337	42,405	42,740
20	14,991	39,617	19,636	39,617	45,886	46,089
25	16,393	42,898	21,423	42,898	49,368	49,438
30	17,796	46,178	23,209	46,178	52,850	52,787
35	19,198	49,458	24,996	49,458	56,332	56,136
40	20,601	52,738	26,782	52,738	59,814	59,485
45	22,003	56,018	28,568	56,018	63,296	62,834
50	23,406	59,298	30,355	59,298	66,778	66,182
55	24,808	62,578	32,141	62,578	70,260	69,531
60	26,211	65,858	33,928	65,858	73,742	72,880

- การวิเคราะห์รหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

ตารางที่ 10 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 23 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 , k_2 และ k_3 ลงในสมการที่ 27 จะได้โมเดลดังสมการที่ 38

$$k_1 = (950.19 \times t + 10794) \quad k_2 = (0.8022 \times t + 45.09) \quad \text{และ} \quad k_3 = (0.077 \times t + 2.5477)$$

$$COC = (950.19 \times t + 10794) + (0.8022 \times t + 45.09) \times (MW) + (0.077 \times t + 2.5477) \times (MW)^2 \quad (38)$$

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลิโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149
(กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ่)	COC (บาท)				
	MW=5.47	MW=6.55	MW=7.50	MW=12.64	MW=14.04
0	11,117	11,464	11,539	12,018	12,172
5	15,901	16,191	16,288	18,904	17,098
10	20,686	20,917	21,038	21,790	22,024
15	25,470	25,643	25,788	26,676	26,950
20	30,254	30,370	30,537	31,562	31,875
25	35,039	35,096	35,287	36,448	36,801
30	39,823	39,822	40,037	41,334	41,727
35	44,608	44,548	44,786	46,220	46,653
40	49,392	49,275	49,536	51,106	51,579
45	54,176	54,001	54,286	55,991	56,505
50	58,961	58,727	59,035	60,877	61,430
55	63,745	63,454	63,785	65,763	66,356
60	68,529	68,180	68,535	70,649	71,282

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาที)	COC (บาท)				
	MW=18.47	MW=25.07	MW=26.91	MW=41.60	MW=46.56
0	12,724	12,734	14,054	17,230	18,412
5	17,785	13,402	19,406	23,196	24,185
10	22,846	15,303	24,758	29,163	29,957
15	27,906	19,587	30,110	35,129	35,730
20	32,967	24,872	35,462	41,096	41,502
25	38,027	30,157	40,814	47,062	47,275
30	43,088	35,441	46,166	53,029	53,047
35	48,148	40,726	51,518	58,995	58,820
40	53,209	46,010	56,870	64,961	64,592
45	58,269	61,295	62,222	70,928	70,365
50	61,330	66,580	67,574	76,894	76,137
55	68,390	71,864	72,926	82,861	81,910
60	73,451	77,149	78,278	88,827	87,682

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาท)	COC (บาท)				
	MW=53.83	MW=78.00	MW= 96.75	MW= 138.42	MW= 190.93
0	20,598	30,550	38,930	65,570	65,570
5	26,681	37,900	48,420	89,010	89,010
10	32,763	45,970	57,920	90,440	90,440
15	38,846	54,050	69,410	105,880	105,880
20	44,929	62,130	77,910	119,310	119,310
30	57,094	78,280	105,890	146,190	146,190
35	63,177	86,360	115,390	159,620	159,620
40	69,260	94,440	124,880	173,060	173,060
45	75,342	102,520	134,370	186,500	186,500
50	81,425	110,600	143,870	199,930	199,930
55	87,508	118,670	143,360	213,370	213,370
60	93,590	126,750	152,850	226,810	226,810

ตารางที่ 11 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 15 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 , k_2 และ k_3 ลงในสมการที่ 27 จะได้โมเดลดังสมการที่ 39

$$k_1=(962.24 \times t + 8237.8) \quad k_2=(-4.255288 \times t + 207.02) \quad \text{และ} \quad k_3=(0.17558 \times t + 1.013)$$

$$COC = (962.24 \times t + 8237.8) + (-4.255288 \times t + 207.02) \times (MW) + (0.17558 \times t + 1.013) \times (MW)^2 \quad (39)$$

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบโพลีโนเมียลของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149
(กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)					
	MW= 0.38	MW= 1.54	MW= 2.48	MW= 3.98	MW= 5.84	MW=8.49
0	8,316	8,559	8,758	9,078	9,481	10,069
5	13,119	13,3390	13,522	13,819	14,198	14,763
10	17,922	18,120	18,286	18,559	18,915	19,457
15	22,726	22,900	23,049	23,300	23,632	24,151
20	27,529	27,681	27,813	28,040	28,349	28,845
25	32,332	32,462	32,577	32,780	33,066	33,538
30	37,136	37,242	37,341	37,521	37,782	38,232
35	41,939	42,023	42,105	42,261	42,499	42,926
40	46,742	46,803	46,868	47,002	47,216	47,620
45	51,546	51,584	51,632	51,742	51,933	52,314
50	56,349	56,364	56,396	56,482	56,650	57,007
55	61,153	61,145	61,160	61,223	61,367	61,701
60	65,956	65,925	65,924	65,963	66,084	66,395

ตารางที่ 11 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาที)	COC (บาท)					
	MW=	MW=	MW= 31.56	MW=	MW=39.80	MW=43.1
	9.55	21.18		39.54		0
0	10,307	13,077	15,782	18,008	18,081	19,042
5	14,995	17,832	20,796	23,350	23,436	24,566
10	19,683	22,586	25,810	28,692	28,790	30,091
15	24,371	27,340	30,824	34,034	34,145	35,615
20	29,059	32,095	35,838	39,376	39,499	41,140
25	33,747	36,849	40,852	44,718	44,854	46,664
30	38,435	41,603	45,866	50,060	50,208	52,188
35	43,124	46,357	50,880	55,402	55,563	57,713
40	47,812	51,112	55,894	60,744	60,917	63,237
45	52,500	55,866	60,908	66,086	66,272	68,762
50	57,188	60,620	65,922	71,428	71,6260	74,286
55	61,876	65,375	70,936	76,770	76,980	79,810
60	66,564	70,129	75,950	82,112	82,335	85,335

ตารางที่ 11 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)					
	MW=43.11	MW=54.79	MW= 83.91	MW=105.66	MW=106.3	MW=111
0	19,045	22,621	32,740	41,420	41,690	43,870
5	24,570	28,901	41,950	53,790	54,160	57,200
10	30,095	35,181	51,150	66,150	66,630	70,520
15	35,620	41,461	60,360	78,510	79,090	83,850
20	41,145	47,741	69,560	90,870	91,560	97,180
25	46,670	54,020	78,770	103,230	104,020	110,510
30	52,195	60,300	87,970	115,590	116,490	123,840
35	57,720	66,580	97,180	127,950	128,960	137,170
40	63,245	72,860	106,3800	140,310	141,420	150,500
45	68,770	79,140	115,590	152,670	153,890	163,830
50	74,295	85,420	124,800	165,030	166,360	177,150
55	79,820	91,699	134,000	177,400	178,820	190,480
60	85,345	97,979	143,210	189,760	191,290	203,810

ตารางที่ 11 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ่)	COC (บาท)				
	MW= 123.59	MW= 124.14	MW= 125.54	MW= 157.01	MW= 207.13
0	49,300	49,550	50,190	65,720	94,590
5	64,880	65,250	66,170	88,830	132,650
10	80,470	80,940	82,140	111,930	170,700
15	96,060	96,640	98,110	135,040	208,760
20	111,640	112,330	114,080	158,140	246,820
25	127,230	128,030	130,050	181,250	284,870
30	142,810	143,720	146,020	204,350	322,930
35	158,400	159,420	161,990	227,460	360,990
40	173,980	175,110	177,960	250,560	399,040
45	189,570	190,810	193,930	273,670	437,100
50	205,160	206,500	209,900	296,780	475,150
55	220,740	222,200	225,870	319,880	513,210
60	236,330	237,900	241,840	342,990	551,270

1.3 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล

การวิเคราะห์หรัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

ตารางที่ 12 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 11 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูลโดยแทนค่า k_1 และ k_2 ในสมการที่ 28 จะได้โมเดลดังสมการที่ 40

$$k_1 = (225.998 \times t + 7282.6) \text{ และ } k_2 = -0.02$$

$$\text{COC} = (225.998 \times t + 7282.6) \times \exp(-0.02 \times (\text{MW})) \quad (40)$$

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาท)	COC (บาท)				
	MW=1.03	MW=6.96	MW=9.81	MW=30.50	MW=76.0
0	7,463	8,563	9,149	14,781	42,508
5	8,612	9,845	10,500	16,753	46,864
10	9,761	11,127	11,851	18,719	51,217
15	10,911	12,653	13,201	20,682	55,573
20	12,062	13,691	14,551	22,641	59,927
25	13,213	14,973	15,901	24,598	64,282
30	14,364	16,254	17,252	26,553	68,636
35	15,522	17,535	18,599	28,506	72,990
40	16,667	18,817	19,947	30,458	77,344
45	17,819	20,098	21,296	32,409	81,698
50	18,971	21,379	22,645	34,359	86,051
55	20,123	22,660	23,992	36,308	90,405
60	21,275	23,941	25,340	38,257	94,759

ตารางที่ 13 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 5 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 และ k_2 ลงในสมการที่ 28 จะได้โมเดลดังสมการที่ 41

$$k_1 = (285.44 \times t + 9557.5) \text{ และ } k_2 = -0.02$$

$$\text{COC} = (285.44 \times t + 9557.5) \times \exp(-0.02 \times (\text{MW})) \quad (41)$$

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อง (นาท)	COC (บาท)				
	MW= 0.33	MW= 1.12	MW=2.09	MW=4.60	MW=5.90
0	9,639	9,762	9,920	11,006	10,557
5	11,065	11,213	11,379	11,841	12,089
10	12,494	13,340	11,041	12,032	13,621
15	13,924	14,176	14,301	14,858	15,155
20	15,351	15,536	15,072	16,365	16,689
25	16,786	16,983	17,227	17,901	17,810
30	18,220	18,428	20,130	19,384	19,756
35	19,807	19,874	20,154	21,215	20,227
40	21,038	21,321	21,618	22,389	22,821
45	22,328	22,493	23,084	23,915	23,390
50	23,949	24,215	24,547	25,425	23,977
55	25,240	25,731	26,012	26,936	27,336
60	26,816	28,129	27,476	27,002	12,551

ตารางที่ 13 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)					
	MW=6.68	MW=9.12	MW=12.35	MW=46.36	MW=73.27	MW=82.64
0	10,692	11,139	11,730	20,438	31,719	54,789
5	12,013	12,736	14,146	22,970	35,203	36,960
10	13,786	14,318	15,009	25,497	38,691	40,850
15	15,302	16,306	16,694	28,022	42,178	67,380
20	16,452	17,487	19,433	29,456	45,629	48,630
25	18,024	19,090	20,038	31,509	49,150	52,530
30	19,980	21,197	21,700	35,360	52,629	56,420
35	21,530	22,322	23,020	36,609	56,593	60,320
40	23,110	23,931	25,019	40,622	59,608	63,440
45	24,587	25,023	27,121	41,069	49,694	68,510
50	26,178	27,188	28,346	45,238	66,580	72,030
55	27,742	28,714	30,360	47,325	56,088	76,180
60	29,277	30,298	31,764	49,121	54,789	102,440

การวิเคราะห์ห้รหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

ตารางที่ 14 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 23 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 และ k_2 ลงในสมการที่ 28 จะได้โมเดลดังสมการที่ 42

$$k_1 = (841.24 \times t + 11988) \text{ และ } k_2 = -0.01$$

$$COC = (841.24 \times t + 11988) \times \exp(-0.01 \times (MW)) \quad (42)$$

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาท)	COC (บาท)				
	MW=5.47	MW=6.55	MW=7.50	MW=12.64	MW=14.04
0	12,324	13,239	13,386	14,206	14,438
5	16,642	17,740	17,924	18,953	19,243
10	20,588	22,323	22,544	23,779	24,126
15	24,527	26,954	27,212	28,649	29,053
20	28,464	31,616	31,911	33,548	34,010
25	32,432	36,299	36,630	38,467	38,982
30	36,330	40,996	41,362	43,398	43,969
35	40,262	45,703	46,105	48,339	48,964
40	44,193	50,419	50,856	53,286	53,967
45	48,123	55,140	55,613	58,240	58,975
50	52,053	59,866	60,375	63,197	63,988
55	55,984	64,596	65,140	68,158	69,003
60	59,912	69,329	69,908	73,122	74,022

ตารางที่ 14 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)				
	MW=18.47	MW=25.07	MW=26.91	MW=41.60	MW=46.56
0	14,529	16,404	16,758	18,500	21,038
5	19,123	21,695	22,133	24,488	27,402
10	23,703	27,052	27,574	30,682	33,810
15	28,276	32,448	33,052	36,422	40,241
20	32,845	37,867	38,552	42,379	46,686
25	37,413	43,301	44,067	48,333	53,138
30	41,897	48,746	49,592	54,285	59,595
35	46,541	54,199	55,125	60,248	66,056
40	51,103	59,657	60,662	66,185	72,519
45	55,666	65,120	66,204	72,134	78,984
50	60,227	70,584	71,749	78,089	85,450
55	64,789	76,052	77,296	83,752	91,917
60	69,350	81,522	82,845	89,976	98,385

ตารางที่ 14 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)				
	MW=53.83	MW=78.00	MW= 96.75	MW= 138.42	MW=190.93
0	22,890	30,270	32,910	70,930	111,900
5	29,660	38,560	44,160	74,360	131,570
10	36,460	46,850	55,380	87,700	151,220
15	43,280	55,130	66,600	100,990	170,880
20	50,110	63,410	77,860	114,240	190,530
25	56,950	71,690	89,010	127,470	210,190
30	63,790	79,960	100,210	140,680	229,850
35	70,630	88,220	111,400	153,880	249,520
40	77,470	96,490	122,600	167,060	269,190
45	84,310	104,750	133,800	180,250	288,860
50	91,160	113,010	144,990	193,420	308,540
55	98,000	121,270	156,180	206,590	328,220
60	104,850	129,530	167,380	219,760	347,900

ตารางที่ 15 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 15 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล โดยแทนค่า k_1 และ k_2 ลงในสมการที่ 28 จะได้โมเดลดังสมการที่ 43

$$k_1 = (738.36 \times t + 12026) \text{ และ } k_2 = -0.01$$

$$COC = (738.36 \times t + 12026) \times \exp(-0.01 \times (MW)) \quad (43)$$

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149
(กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)					
	MW= 0.38	MW= 1.54	MW= 2.48	MW= 3.98	MW= 5.84	MW= 8.49
0	12,027	12,174	12,295	12,489	12,733	13,092
5	15,760	15,957	16,119	16,380	16,708	17,189
10	19,482	19,770	19,932	20,259	20,670	21,274
15	23,198	23,495	23,739	24,132	24,626	25,357
20	26,911	27,257	27,542	28,001	28,579	29,428
25	30,659	31,018	31,344	31,869	32,415	33,501
30	34,331	34,775	35,145	35,735	36,479	38,475
35	38,039	38,536	38,943	39,600	40,428	41,643
40	41,757	42,293	42,742	43,465	44,375	45,713
45	45,454	46,049	46,539	47,324	48,323	49,782
50	49,162	49,886	50,337	51,192	52,273	54,004
55	52,867	53,559	54,134	55,055	56,215	57,919
60	56,559	57,319	57,931	58,637	60,161	61,932

ตารางที่ 15 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาท)	COC (บาท)					
	MW= 9.55	MW= 21.18	MW= 31.56	MW= 39.54	MW=39.80	MW=43.10
0	13,241	14,947	16,659	18,106	18,155	18,792
5	17,384	19,686	21,997	23,954	24,020	24,883
10	21,521	24,411	27,319	29,786	29,869	30,958
15	25,647	29,130	32,633	35,610	35,710	37,023
20	30,205	34,031	37,943	41,431	40,611	43,084
25	33,895	38,553	43,250	47,243	47,377	49,141
30	38,016	43,263	48,555	53,056	53,208	55,196
35	42,136	47,971	53,858	58,868	59,036	61,249
40	46,264	52,678	59,161	64,678	64,864	67,296
45	50,044	55,282	64,419	70,484	70,647	73,354
50	54,487	62,090	69,764	76,270	76,517	79,405
55	58,608	66,796	75,065	83,267	83,554	85,455
60	62,727	71,435	80,365	87,976	88,168	91,505

ตารางที่ 15 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)					
	MW=43.11	MW= 54.79	MW= 83.91	MW=105.66	MW=106.3	MW=111.38
0	18,794	21,230	28,780	36,120	36,360	38,350
5	24,886	28,200	38,490	48,570	48,900	51,630
10	30,961	35,140	48,190	61,000	61,420	64,900
15	37,027	42,070	57,870	73,420	73,930	78,160
20	43,089	49,000	67,540	85,830	86,430	91,410
25	49,147	55,930	77,210	98,230	98,930	104,660
30	55,203	62,850	86,880	110,640	111,430	117,900
35	61,257	69,780	96,540	123,480	123,920	131,140
40	67,310	76,700	106,210	135,440	136,380	144,380
45	73,365	83,620	115,650	147,840	148,900	157,610
50	79,414	90,540	125,530	160,210	161,230	170,860
55	85,465	97,450	135,200	172,630	173,890	184,100
60	91,516	104,370	144,860	185,040	186,320	197,350

ตารางที่ 15 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทีก)	MW= 123.59	MW= 124.14	MW= 125.54	MW= 157.01	MW= 207.13
0	43,560	44,030	44,460	61,760	104,250
5	58,830	59,180	60,070	84,100	143,710
10	74,080	74,530	75,660	106,430	183,250
15	89,320	89,870	91,250	128,770	222,850
20	104,560	105,210	106,830	151,190	262,460
25	119,800	120,540	122,410	173,440	302,100
30	135,030	135,870	134,310	195,780	341,750
35	44,140	151,200	153,560	218,120	381,400
40	165,370	166,520	169,140	240,450	421,070
45	180,720	181,850	184,710	262,790	460,730
50	195,940	197,090	200,280	286,580	500,400
55	211,170	212,500	215,850	307,450	539,150
60	65,060	227,820	231,450	329,820	579,750

2. ผลจากการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW) เวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t) รายได้ต่อวัน (income) และ เวลาทำงานต่อวัน (timework)

การวิเคราะห์รหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

ตารางที่ 16 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลมีอยู่ 11 ข้อมูล และข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร ดังสมการที่ 44 ของสมการเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร

$$COC = 1766.61 + 345.74 \times (MW) + 388.52 \times (t) + 0.03 \times (income) - 8.33 \times (timework) \quad (44)$$

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609
(กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=1.03	MW=6.96	MW=9.81	MW=30.50	MW=76.0
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาที)	=40000	=325000	=550000	=750000	=1000000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=1080	=1440	=1440	=1440
0	671	5,798	11,140	24,833	48,754
5	871	7,741	13,083	26,776	50,697
10	2,814	9,684	15,025	28,718	52,640
15	4,757	11,626	16,968	30,661	54,582
20	6,699	13,569	18,911	32,603	56,525
25	8,642	15,511	20,853	34,546	58,467
30	10,584	17,454	22,796	36,489	60,410
35	12,527	19,397	24,738	38,431	62,353
40	14,470	21,339	26,681	40,374	64,295
45	16,412	23,282	28,624	42,316	66,238
50	18,355	25,224	30,566	44,259	68,181
55	20,297	27,167	32,509	46,202	70,123
60	22,240	29,110	34,451	48,144	72,066

ตารางที่ 17 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 5 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร ดังสมการที่ 45 ของสมการเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร

$$COC = 3345.09 + 246.54 \times (MW) + 409.26 \times (t) + 0.03 \times (income) - 1.15 \times (timework) \quad (45)$$

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609
(กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW= 0.33	MW= 1.12	MW=2.09	MW=4.60	MW=5.90
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาที่)	=20000	=416667	=157500	=71700	=206000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=1440	=570	=540	=1440
0	3,351	7,074	1,860	9,080	3,118
5	5,397	9,120	1,861	1,138	5,164
10	753	11,166	3,907	3,184	7,211
15	2,800	13,213	5,953	5,231	9,257
20	4,846	15,259	7,999	7,277	11,303
25	6,892	17,305	10,046	9,323	13,350
30	8,939	19,351	12,092	11,370	15,396
35	10,985	21,398	14,138	13,416	17,442
40	13,031	23,444	16,185	15,462	19,489
45	15,078	25,490	18,231	17,509	21,535
50	17,124	27,537	20,277	19,555	23,581
55	19,170	29,583	22,324	21,601	25,627
60	21,217	31,629	24,370	23,648	27,674

ตารางที่ 17 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)					
	MW=6.68	MW=9.12	MW=12.35	MW=46.36	MW=73.27	MW=82.64
ไฟฟ้า	Income	Income	Income	Income	Income	Income
จัดซื้อ	=186504	=416667	=267840	=885408	=1249992	=1320750
(นาฬิกา)	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=1080	=840	=1440	=1440	=1440	=1440
0	1,739	9,064	6,052	30,621	47,219	51,463
5	3,786	11,110	8,099	32,667	49,265	53,510
10	5,832	13,156	10,145	34,714	51,312	55,556
15	7,878	15,203	12,191	36,760	53,358	57,602
20	9,925	17,249	14,238	38,806	55,404	59,649
25	11,971	19,295	16,284	40,853	57,451	61,695
30	14,017	21,342	18,330	42,899	59,497	63,741
35	16,064	23,388	20,377	44,945	61,543	65,788
40	18,110	25,434	22,423	46,992	63,590	67,834
45	20,156	27,480	24,469	49,038	65,636	69,880
50	22,203	29,527	26,516	51,084	67,682	71,926
55	24,249	31,573	28,562	53,131	69,729	73,973
60	26,295	33,619	30,608	55,177	71,775	76,019

การวิเคราะห์รหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

ตารางที่ 18 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 23 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร ดังสมการที่ 46 ของสมการเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร

$$COC = 7402.05 + 382.15 \times (MW) + 1631.20 \times (t) + 0.03 \times (income) - 42.12 \times (timework) \quad (46)$$

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=5.47	MW=6.55	MW=7.50	MW=12.64	MW=14.04
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาท)	=700000	=400000	=530000	=500000	=1275000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=540	=600	=720	=1440
0	4,463	4,161	1,099	6,045	4,912
5	3,693	6,005	1,914	7,889	3,244
10	11,849	8,151	2,730	8,267	11,400
15	20,005	10,307	3,545	8,422	19,556
20	28,161	18,463	4,361	16,578	27,712
25	36,317	26,619	5,177	24,734	35,868
30	44,473	34,775	5,992	32,890	44,024
35	52,629	42,931	6,808	41,046	52,179
40	60,785	51,087	7,623	49,202	60,335
45	68,941	59,243	8,439	57,358	68,491
50	77,097	67,399	9,255	65,514	76,647
55	85,253	75,555	10,070	73,670	84,803
60	93,409	83,711	10,886	81,826	92,959

ตารางที่ 18 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=18.47	MW=25.07	MW=26.91	MW=41.60	MW=46.56
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาฬิกา)	=833333	=805000	=425000	=678571	=612500
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=780	=840	=540	=540	=540
0	9,690	8,730	9,270	23,430	23,100
5	17,850	16,890	17,420	31,580	31,250
10	26,000	25,050	25,580	39,740	39,410
15	34,160	33,200	33,730	47,890	47,560
20	42,320	41,360	41,890	56,050	55,720
25	50,470	49,510	50,050	64,210	63,880
30	58,630	57,670	58,200	72,360	72,030
35	66,780	65,830	66,360	80,520	80,190
40	74,940	73,980	74,510	88,670	88,340
45	83,100	82,140	82,670	96,830	96,500
50	91,250	90,290	90,830	104,990	104,650
55	99,410	98,450	98,980	113,140	112,810
60	107,560	106,610	107,140	121,300	120,970

ตารางที่ 18 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=53.83	MW=78.00	MW= 96.75	MW= 138.42	MW= 190.93
ค้ำชั่ง	Income	Income	Income	Income	Income
(นาท)	=2000000	=1041667	=3000000	=1870000	=6000000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=1440	=720	=1440	=540	=900
0	19,930	34,770	60,040	100,590	244,700
5	28,080	42,930	78,190	108,740	252,860
10	36,240	51,080	86,350	116,900	261,010
15	44,400	59,240	94,500	125,050	269,170
20	52,550	67,390	102,660	133,210	277,320
25	60,710	75,550	110,820	141,360	285,480
30	68,860	83,710	118,970	149,520	293,640
35	77,020	91,860	127,130	157,680	301,790
40	85,180	100,020	135,280	165,830	309,950
45	93,330	108,170	143,440	173,990	318,100
50	101,490	116,330	151,600	182,140	326,260
55	109,640	124,490	159,750	190,300	334,420
60	117,800	132,640	167,910	198,460	342,570

ตารางที่ 19 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลมีอยู่ 15 ข้อมูล และข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ของสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร ดังสมการที่ 47 ของสมการเชิงเส้นแบบหลายตัวแปร

$$COC = 1207.08 + 700.96 \times (MW) + 1436.20 \times (t) + 0.01 \times (income) - 31.94 \times (timework) \quad (47)$$

ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW= 0.38	MW= 1.54	MW= 2.48	MW= 3.98	MW= 5.84	MW=8.49
ดัชนี	Income	Income	Income	Income	Income	Income
(นาที)	=25000	=1050000	=850000	=800000	=850000	=425000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=900	=600	=540	=600	=600
0	5,452	2,757	5,124	2,808	2,772	6,457
5	8,271	5,576	2,057	4,373	4,409	7,724
10	9,090	1,605	9,238	11,554	11,590	7,905
15	10,910	8,786	16,419	18,735	18,771	15,086
20	13,272	15,967	23,600	25,916	25,952	22,267
25	20,453	23,148	30,781	33,097	33,133	29,448
30	27,634	30,329	37,962	40,278	40,314	36,629
35	34,815	37,510	45,143	47,459	47,495	43,810
40	41,996	44,691	52,324	54,640	54,676	50,991
45	49,177	51,872	59,505	61,821	61,857	58,172
50	56,358	59,053	66,686	69,002	69,038	65,353
55	63,539	66,234	73,867	76,183	76,219	72,534
60	70,720	73,415	81,048	83,364	83,400	79,715

ตารางที่ 19 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW= 9.55	MW= 21.18	MW= 31.56	MW=39.54	MW=39.80	MW=43.10
ติดตั้ง	Income	Income	Income	Income	Income	Income
(นาฬิกา)	=416667	=2000000	=1050000	=340000	=335000	=350000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=600	=1440	=1440	=540	=540	=540
0	5,826	3,838	8,959	16,110	16,230	18,740
5	7,355	3,343	9,778	23,290	23,410	25,920
10	8,536	10,524	10,403	30,470	30,590	33,100
15	15,717	17,705	12,584	37,660	37,770	40,280
20	22,898	24,886	19,765	44,840	44,950	47,460
25	30,079	32,067	26,946	52,020	52,130	54,640
30	37,260	39,248	34,127	59,200	59,310	61,820
35	44,441	46,429	41,308	66,380	66,490	69,000
40	51,622	53,610	48,489	73,560	73,680	76,180
45	58,803	60,791	55,670	80,740	80,860	83,370
50	65,984	67,972	62,851	87,920	88,040	90,550
55	73,165	75,153	70,032	95,100	95,220	97,730
60	80,346	82,334	77,213	102,280	102,400	104,910

ตารางที่ 19 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW=43.11	MW=54.79	MW=83.91	MW=105.66	MW=106.3	MW=111.38
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income	Income
(นาฬิกา)	=1650000	=687500	=1400000	=2550000	=850000	=2200000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=840	=540	=1440	=1440	=600	=840
0	26,130	31,340	32,300	62,560	67,650	81,160
5	33,310	38,520	39,480	69,740	74,830	88,350
10	40,490	45,700	46,660	76,920	82,010	95,530
15	47,670	52,880	53,840	84,100	89,190	102,710
20	54,850	60,060	61,030	91,280	96,370	109,890
25	62,030	67,240	68,210	98,460	103,550	117,070
30	69,220	74,420	75,390	105,640	110,730	124,250
35	76,400	81,600	82,570	112,820	117,910	131,430
40	83,580	88,780	89,750	120,010	125,100	138,610
45	90,760	95,960	96,930	127,190	132,280	145,790
50	97,940	103,150	104,110	134,370	139,460	152,970
55	105,120	110,330	111,290	141,550	146,640	160,160
60	112,300	117,510	118,470	148,730	153,820	167,340

ตารางที่ 19 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW= 123.59	MW= 124.14	MW= 125.54	MW=157.01	MW=207.13
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาที่)	=1806500	=3750000	=4000000	=2482500	=5400000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=1080	=1080	=1200	=1260
0	94,170	102,670	106,910	105,340	176,630
5	101,350	109,860	114,090	112,520	183,810
10	108,530	117,040	121,280	119,700	190,990
15	115,710	124,220	128,460	126,880	198,170
20	122,890	131,400	135,640	134,060	205,360
25	130,070	138,580	142,820	141,240	212,540
30	137,250	145,760	150,000	148,420	219,720
35	144,430	152,940	157,180	155,600	226,900
40	151,610	160,120	164,360	162,780	234,080
45	158,790	167,300	171,540	169,970	241,260
50	165,970	174,480	178,720	177,150	248,440
55	173,160	181,670	185,900	184,330	255,620
60	180,340	188,850	193,090	191,510	262,800

สรุปผลของโมเดลการวิเคราะห์วิธีวิเคราะห์ความถดถอยของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) และรหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) เมื่อนำข้อมูลมาทดสอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (MAPE) ดังแสดงในตารางที่ 20 และ 21

ตารางที่ 20 สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์ความถดถอยของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

จำนวน ข้อมูลที่ นำมาสร้าง โมเดล	พิจารณา 2 ปีจ้ย			พิจารณา 4ปีจ้ย
	แบบเชิงเส้น	แบบพอลิโนเมียล	แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล	แบบเชิงเส้น แบบหลายตัวแปร
11 ข้อมูล	19.88%	23.46%	31.24%	18.58%
5 ข้อมูล	27.31%	31.78%	32.83%	25.68%

ตารางที่ 21 สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์ความถดถอยของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

จำนวนข้อมูล ที่นำมาสร้าง โมเดล	พิจารณา 2 ปีจ้ย			พิจารณา 4 ปีจ้ย
	แบบเชิงเส้น	แบบพอลิโนเมียล	แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล	แบบเชิงเส้น แบบหลายตัวแปร
23 ข้อมูล	24.07%	17.52%	20.25%	16.46%
15 ข้อมูล	39.28%	30.80%	32.70%	24.61%

ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม

ANN ทำการ generate ค่า Weight และ Bias เริ่มด้วยค่าที่เป็นเมตริกซ์ ในที่นี้ตั้งค่า Mean Square Error (MSE) ไว้ที่ 0.01

1. ผลจากการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW) และระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t)

- การวิเคราะห์รหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

ตารางที่ 22 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 11 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} 0.7599 & -4.3615 \\ -0.0382 & 4.4270 \\ -4.4193 & 0.2646 \\ 4.2122 & -1.3628 \\ 1.2761 & 4.2393 \\ -2.8628 & 3.3770 \\ 3.7404 & 2.3685 \\ -4.4161 & 0.3129 \\ -3.8033 & 2.2660 \\ 3.9803 & 1.9384 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} -0.9852 & 0.5776 & -0.9644 & 0.7559 & -0.2949 \\ 0.4443 & 0.9369 & -0.6887 & -0.6741 & -0.3732 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} -10.368 \\ 9.6687 \\ -8.7205 \\ 3.0297 \\ 0.9352 \\ -5.7566 \\ 4.0807 \\ 3.6222 \\ 2.6951 \\ 4.0929 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [-0.9412]$$

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทย่อยของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)				
	MW=1.03	MW=6.96	MW=9.81	MW=30.50	MW=76.0
0	4,902	9,168	11,585	23,375	45,171
5	5,611	10,497	13,059	23,714	48,127
10	6,416	11,760	14,369	24,039	50,559
15	7,313	13,020	15,560	24,469	53,140
20	8,184	14,356	16,808	25,302	56,486
25	9,020	15,897	18,369	27,225	61,112
30	9,933	17,685	20,342	31,050	67,019
35	10,490	18,980	21,922	36,247	72,774
40	10,799	19,702	22,937	41,315	76,982
45	12,193	21,407	25,136	46,028	80,131
50	13,368	23,004	27,639	49,778	83,775
55	14,056	23,733	29,003	50,583	87,343
60	15,862	24,900	29,771	49,696	88,535

ตารางที่ 23 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลมีอยู่ 5 ข้อมูล และข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} 2.1463 & -3.9715 \\ 4.1891 & 2.2407 \\ 3.5159 & 3.0545 \\ -4.4586 & -1.7563 \\ -4.8331 & 0.4406 \\ 2.2354 & -3.9304 \\ 4.8566 & -0.0679 \\ -4.7117 & -1.0754 \\ -4.4217 & -1.8322 \\ -0.4789 & -4.4056 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} 0.5077 & -0.8064 & -0.8462 & 0.4418 & 0.5298 \\ 0.3159 & 0.6208 & -0.2515 & -0.3875 & -0.2586 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} -10.368 \\ 9.6687 \\ -8.7205 \\ 3.0297 \\ 0.9352 \\ -5.7566 \\ 4.0807 \\ 3.6222 \\ 2.6951 \\ 4.0929 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [-0.9412]$$

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)				
	MW= 0.33	MW= 1.12	MW=2.09	MW=4.60	MW=5.90
0	2,852	3,419	4,640	7,500	8,814
5	2,852	3,847	5,129	8,135	9,519
10	3,305	4,457	5,812	8,997	10,466
15	4,251	5,465	6,896	10,266	11,821
20	5,385	6,657	8,160	11,708	13,348
25	6,422	7,742	9,305	13,010	14,727
30	7,065	8,425	10,041	13,895	15,690
35	7,291	8,694	10,366	14,381	16,265
40	7,257	8,702	10,431	14,614	16,593
45	7,076	8,564	10,350	14,710	16,795
50	6,866	8,406	10,263	14,840	17,055
55	6,844	8,452	10,400	15,241	17,607
60	7,222	8,904	10,948	16,054	18,562

ตารางที่ 23 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ)	COC (บาท)					
	MW=6.68	MW=9.12	MW=12.35	MW=46.36	MW=73.27	MW=82.64
0	9,539	11,628	13,748	22,131	30,073	35,338
5	10,284	12,496	14,764	24,739	33,505	39,429
10	11,278	13,634	16,066	27,911	36,966	43,715
15	12,681	15,172	17,738	30,765	40,254	48,428
20	14,254	16,873	19,553	32,970	43,203	53,457
25	15,677	18,416	21,194	34,705	45,949	58,590
30	16,685	19,559	22,467	36,335	48,693	63,787
35	17,313	20,355	23,444	38,121	51,555	68,770
40	17,700	20,934	24,253	40,095	54,600	73,116
45	17,967	21,428	25,047	42,127	57,810	76,656
50	18,308	22,051	26,047	44,035	61,071	79,609
55	18,953	23,005	27,393	45,705	64,280	82,256
60	19,994	24,323	29,043	47,121	67,521	84,652

- การวิเคราะห์รหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

ตารางที่ 24 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 23 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} 0.7599 & -4.3615 \\ -0.0382 & 4.4270 \\ -4.4193 & 0.2646 \\ 4.2122 & -1.3628 \\ 1.2761 & 4.2393 \\ -2.8628 & 3.3770 \\ 3.7404 & 2.3685 \\ -4.4161 & 0.3129 \\ -3.8033 & 2.2660 \\ 3.9803 & 1.9384 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} 0.5077 & -0.8064 & -0.8462 & 0.4418 & 0.5298 \\ 0.3159 & 0.6208 & -0.2515 & -0.3875 & -0.2586 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} -10.368 \\ 9.6687 \\ -8.7205 \\ 3.0297 \\ 0.9352 \\ -5.7566 \\ 4.0807 \\ 3.6222 \\ 2.6951 \\ 4.0929 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [-0.9412]$$

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาทึ)	COC (บาท)				
	MW=5.47	MW=6.55	MW=7.50	MW=12.64	MW=14.04
0	10,950	10,980	11,000	13,210	10,290
5	16,720	14,790	13,850	17,270	17,420
10	20,140	20,230	20,310	20,850	21,040
15	23,950	24,030	24,110	24,670	24,870
20	28,760	28,840	28,920	29,470	29,660
25	33,420	33,510	33,600	34,190	34,400
30	38,260	38,340	38,420	38,970	39,160
35	44,240	44,300	44,360	44,810	44,980
40	51,630	46,690	51,740	52,140	52,280
45	58,910	53,050	59,180	59,920	60,150
50	60,360	60,750	61,100	63,020	63,560
55	60,480	60,700	60,900	62,240	62,680
60	73,340	62,280	63,240	73,190	73,240

ตารางที่ 24 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาท)	COC (บาท)				
	MW=18.47	MW=25.07	MW=26.91	MW=41.60	MW=46.56
0	13,670	14,680	15,080	21,340	14,920
5	18,010	19,390	19,910	27,050	20,870
10	21,770	23,370	23,960	31,640	35,590
15	25,630	27,300	27,910	35,730	39,660
20	30,420	32,090	32,690	40,340	44,120
25	35,200	36,920	37,530	45,150	48,810
30	39,930	41,590	42,190	49,530	53,000
35	45,650	47,180	47,730	54,570	57,770
40	52,890	54,280	54,790	61,080	63,980
45	60,960	62,540	63,080	69,270	71,950
50	65,340	68,230	67,100	77,210	80,240
55	74,320	67,500	68,540	79,110	83,180
60	73,610	74,830	75,340	82,100	85,210

ตารางที่ 24 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ตัดข้อ (นาทีก)	COC (บาท)				
	MW=53.83	MW=78.00	MW= 96.75	MW= 138.42	MW= 190.93
0	11,320	38,090	31,330	65,050	100,880
5	27,470	42,430	39,040	87,110	118,380
10	32,250	46,500	39,540	102,650	138,000
15	36,160	49,240	46,330	113,410	159,370
20	50,240	55,350	52,310	130,240	240,700
25	54,580	63,610	58,250	150,250	257,000
30	56,330	65,120	63,520	169,390	268,230
35	62,520	72,660	68,410	185,500	284,730
40	68,110	81,490	74,170	199,400	303,320
45	75,590	85,420	81,450	212,350	399,610
50	84,060	89,550	90,380	225,410	432,040
55	88,430	98,280	99,650	239,320	440,170
60	89,400	178,390	125,880	263,380	444,360

ตารางที่ 25 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่น่ามาสร้างโมเดลมีอยู่ 15 ข้อมูล และข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} -3.4681 & 3.1501 \\ -4.8129 & -0.9812 \\ -4.6040 & 1.5956 \\ -3.5104 & -3.1121 \\ -0.4104 & 4.4119 \\ -4.1272 & -2.4279 \\ 2.7276 & -3.6897 \\ -1.1418 & -4.3071 \\ 3.0551 & 3.4771 \\ 2.6445 & 3.7381 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} -0.2528 & 0.3403 & -0.1117 & -0.2170 & 0.5082 \\ 0.7678 & -0.3855 & -0.1521 & 0.6830 & 0.0085 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 4.5588 \\ 8.9788 \\ 5.2205 \\ 7.9096 \\ -3.5316 \\ 5.8414 \\ 2.5844 \\ 2.928 \\ -2.9247 \\ -1.8133 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [0.2733]$$

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล

เวลา ไฟฟ้า จัดซื้อ (นาทื)	COC (บาท)					
	MW= 0.38	MW= 1.54	MW= 2.48	MW= 3.98	MW= 5.84	MW= 8.49
0	5,540	5,830	6,070	6,450	6,930	7,620
5	10,870	11,240	11,540	12,020	12,620	13,490
10	15,480	16,030	16,470	17,160	18,020	19,240
15	16,310	17,060	17,680	18,660	19,870	21,620
20	19,650	20,440	21,080	22,090	23,320	25,070
25	26,370	27,620	28,610	30,120	31,890	34,280
30	29,460	31,370	32,910	35,320	38,230	42,200
35	34,110	35,430	36,530	38,330	40,630	44,070
40	43,200	43,730	44,160	44,840	45,690	46,910
45	49,830	49,920	49,970	50,050	50,110	50,160
50	53,150	53,070	53,010	52,920	52,820	52,710
55	56,670	56,750	56,840	57,000	57,250	57,700
60	63,450	63,800	64,090	64,580	65,210	66,160

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทีก)	COC (บาท)					
	MW= 9.55	MW= 21.18	MW= 31.56	MW= 39.54	MW=39.80	MW=43.10
0	7,900	11,070	14,070	16,550	16,630	17,710
5	13,840	17,760	21,420	24,390	24,490	25,770
10	19,720	24,970	29,610	33,220	33,340	34,860
15	22,310	29,950	36,560	41,440	41,590	43,560
20	25,770	33,520	40,710	46,400	46,590	48,950
25	35,190	44,000	50,740	55,440	55,590	57,400
30	43,700	56,920	64,180	67,710	67,800	68,840
35	45,480	60,810	70,260	73,740	73,810	74,510
40	47,410	54,050	62,470	69,100	69,300	71,600
45	50,180	50,670	53,610	59,310	59,550	62,970
50	52,680	53,320	56,180	60,530	60,710	63,240
55	57,910	61,390	66,020	70,260	70,400	72,300
60	66,550	71,130	75,520	79,500	79,640	81,590

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW	MW	MW	MW	MW	MW
ตัดข้อ	=43.11	= 54.79	= 83.91	=105.66	=106.3	=111.38
(นาทึ)						
0	17,720	21,880	34,100	43,720	44,000	46,170
5	25,780	30,620	43,850	52,730	52,960	54,720
10	34,860	40,400	53,840	60,750	60,890	62,050
15	43,570	50,280	63,520	68,110	68,210	69,130
20	48,960	57,100	71,210	75,190	75,330	76,910
25	57,410	63,150	72,160	79,320	79,700	83,460
30	68,840	70,970	72,660	83,010	83,620	89,730
35	74,510	75,270	79,850	96,110	96,930	104,900
40	71,610	77,620	92,820	114,450	115,440	124,940
45	62,980	77,750	107,810	130,380	131,480	142,280
50	63,250	76,230	116,990	146,880	148,410	162,730
55	72,300	80,000	120,370	168,530	170,530	187,730
60	81,590	90,140	125,630	186,760	189,290	209,360

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เวลา ไฟฟ้า ขัดข้อง (นาทึ่)	COC (บาท)				
	MW= 123.59	MW= 124.14	MW= 125.54	MW= 157.01	MW= 207.13
0	51,990	52,320	53,220	104,980	118,240
5	59,760	60,090	61,020	110,260	140,010
10	66,770	67,180	68,340	120,010	166,510
15	75,810	76,440	78,210	135,860	193,580
20	88,450	89,440	92,120	154,910	219,430
25	103,380	104,810	108,600	175,250	240,260
30	118,200	120,020	124,670	192,510	261,170
35	138,070	139,930	144,550	199,950	285,410
40	159,560	161,210	165,190	210,760	304,820
45	178,140	179,650	183,270	230,390	323,560
50	200,800	202,200	205,490	252,090	343,080
55	224,130	225,320	228,140	273,710	360,010
60	244,390	245,470	248,040	295,010	373,760

2. ผลจากการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW) เวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t) รายได้ต่อวัน (income) และ เวลาทำงานต่อวัน (timework)

- การวิเคราะห์รหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

ตารางที่ 26 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 11 ข้อมูล และ ข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} -1.0571 & -0.0661 & 1.2677 & -1.8626 \\ 0.1595 & 0.5479 & 1.8393 & -1.5778 \\ 1.6675 & 0.2206 & 1.5617 & -0.9644 \\ 1.2040 & 0.3383 & 1.6725 & 1.3553 \\ 1.4571 & -0.6450 & -1.9096 & -0.1109 \\ -0.8103 & -1.0709 & 0.1600 & -2.0902 \\ -1.9901 & -1.1693 & 0.7830 & 0.5071 \\ 0.6273 & 0.9900 & -2.0474 & -0.7953 \\ 1.0786 & 1.1883 & 0.7710 & -1.7401 \\ -1.5108 & 0.8386 & 0.0795 & -1.7906 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} 0.2831 & -0.5617 & 0.0472 & 0.0564 & 0.5868 \\ 0.3414 & -0.3190 & -0.3805 & -0.9714 & -0.2266 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 4.2076 \\ -2.9052 \\ -3.8685 \\ -5.3999 \\ 0.9318 \\ 3.5349 \\ 1.0394 \\ 2.6085 \\ 0.6386 \\ -0.1063 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [-0.0291]$$

ตารางที่ 26 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609
(กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 5 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=1.03	MW=6.96	MW=9.81	MW=30.50	MW=76.0
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาที่)	=40000	=325000	=550000	=750000	=1000000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=1080	=1440	=1440	=1440
0	5,786	9,536	11,301	18,217	34,037
5	5,648	10,961	12,478	20,798	38,525
10	6,434	12,486	13,876	23,601	43,505
15	6,530	14,095	15,524	26,557	48,912
20	6,764	15,748	17,438	29,586	54,615
25	6,956	17,358	19,604	32,601	55,415
30	7,381	18,839	21,977	35,530	56,067
35	7,629	20,463	24,614	38,344	67,326
40	8,515	22,912	27,815	41,222	72,000
45	8,691	25,597	31,136	44,383	75,061
50	10,279	27,729	33,947	47,212	79,794
55	11,910	29,535	36,400	49,658	81,063
60	13,636	31,176	38,541	52,081	83,352

ตารางที่ 27 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 5 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} -1.5557 & -1.5248 & -0.6477 & 1.6276 \\ 1.3882 & -1.3266 & 1.4442 & -1.1748 \\ -1.6174 & 0.3032 & 1.9427 & -0.5402 \\ 1.1076 & 0.2408 & -1.7509 & 1.9424 \\ -0.0089 & 0.1460 & -1.2568 & 2.9051 \\ 1.3881 & -1.5885 & -1.2609 & -0.9427 \\ 0.8954 & -1.6666 & -0.2684 & 2.2191 \\ 1.6448 & 1.5083 & -0.0489 & -1.7526 \\ 1.6562 & 1.4670 & 1.0225 & -1.1509 \\ 0.9991 & 2.0695 & -0.3480 & 1.3309 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} 0.6089 & -0.4968 & -0.6722 & -0.5792 & 0.0746 \\ -0.7384 & -0.5378 & -0.9340 & -0.3112 & 0.9828 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 4.855 \\ -2.4394 \\ 1.054 \\ -1.8412 \\ -0.8377 \\ 2.5622 \\ 0.2276 \\ -0.2558 \\ -1.2059 \\ -1.1826 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [-0.5494]$$

ตารางที่ 27 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC
35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) โดยข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 11 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW= 0.33	MW= 1.12	MW=2.09	MW=4.60	MW=5.90
ตัดช่อง	Income	Income	Income	Income	Income
(นาท)	=20000	=416667	=157500	=71700	=206000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=1440	=570	=540	=1440
0	2,852	3,450	3,307	5,142	10,934
5	2,852	6,314	4,725	6,286	13,021
10	3,535	9,131	5,922	7,405	14,932
15	4,205	11,859	7,040	8,373	16,524
20	4,567	14,417	8,481	9,020	17,679
25	4,541	16,655	8,599	9,182	18,352
30	4,173	18,348	8,994	8,839	18,571
35	3,757	19,324	9,215	8,285	18,378
40	3,760	19,726	9,438	8,060	19,894
45	4,414	19,998	9,998	8,490	21,484
50	5,598	20,493	10,269	9,505	23,590
55	7,083	21,308	15,152	10,895	28,384
60	8,718	22,404	16,608	12,519	29,838

ตารางที่ 27 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW=6.68	MW=9.12	MW=12.35	MW=46.36	MW=73.27	MW=82.64
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income	Income
(นาฬิกา)	=186504	=416667	=267840	=885408	=1249992	=1320750
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=1080	=840	=1440	=1440	=1440	=1440
0	6,410	9,808	10,388	23,274	43,222	6,410
5	7,014	11,864	12,612	26,769	44,734	7,014
10	7,313	13,905	14,850	30,250	46,268	7,313
15	8,146	15,868	16,987	33,697	47,927	8,146
20	9,606	19,647	18,844	37,016	51,827	9,606
25	10,629	21,070	20,171	40,019	58,096	10,629
30	11,097	22,935	20,765	42,470	60,852	11,097
35	13,766	23,197	20,727	44,284	65,171	13,766
40	14,937	24,111	23,533	45,743	69,073	14,937
45	15,073	24,972	25,648	47,299	70,613	15,073
50	15,766	25,872	26,283	49,164	76,977	15,766
55	17,213	26,848	28,463	51,326	78,211	17,213
60	18,241	27,985	29,144	53,768	86,885	18,241

การวิเคราะห์รหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

ตารางที่ 28 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 23 ข้อมูล และข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} -0.0369 & -1.6208 & 0.9235 & 1.8323 \\ -1.3106 & 0.9615 & 0.7719 & -1.9126 \\ 1.1151 & -1.7107 & 1.3218 & -0.5893 \\ -1.7213 & -1.7533 & 0.2702 & -0.3298 \\ -0.1212 & -1.3231 & -1.9576 & -0.8616 \\ 1.1467 & 1.5956 & -1.2702 & -0.9457 \\ 1.3333 & 1.5160 & -1.0422 & 1.1315 \\ 0.4793 & 1.2439 & -1.2051 & -1.9154 \\ -1.0245 & 0.7160 & 1.7806 & -1.3457 \\ -1.2503 & 0.9030 & 1.0376 & -1.8410 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} -0.1855 & 0.5183 & -0.6086 & -0.4069 & 0.5484 \\ -0.0488 & 0.2293 & 0.5062 & 0.0428 & -0.5281 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 1.5755 \\ 3.234 \\ -1.5793 \\ 4.3309 \\ 4.4536 \\ -0.3448 \\ -1.9951 \\ 2.588 \\ -2.1979 \\ 0.2823 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [-0.2013]$$

ตารางที่ 28 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายตัวแปรของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC
31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 15 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=5.47	MW=6.55	MW=7.50	MW=12.64	MW=14.04
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาที)	=700000	=400000	=530000	=500000	=1275000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=540	=600	=720	=1440
0	10,350	3,500	9,160	14,340	10,740
5	13,350	10,210	15,990	16,270	13,660
10	21,820	15,880	20,750	16,880	18,280
15	29,000	19,740	24,120	16,700	20,910
20	35,260	22,440	26,540	26,190	31,620
25	40,820	24,450	28,370	25,800	36,340
30	45,880	26,180	30,020	25,950	39,190
35	50,720	28,060	31,870	26,920	42,210
40	55,630	30,520	34,290	31,800	45,350
45	60,890	33,960	37,530	38,520	48,490
50	66,680	38,640	41,680	44,930	51,490
55	73,110	44,660	49,750	48,990	54,190
60	80,290	52,040	52,780	53,780	56,440

ตารางที่ 28 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=18.47	MW=25.07	MW=26.91	MW=41.60	MW=46.56
ค้ดข้อง	Income	Income	Income	Income	Income
(นาทึ)	=833333	=805000	=425000	=678571	=612500
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=780	=840	=540	=540	=540
0	15,990	15,280	11,180	23,530	14,580
5	23,590	22,070	19,780	34,030	24,420
10	26,370	23,410	24,780	41,020	30,430
15	28,710	24,690	27,700	45,920	44,200
20	30,940	26,240	29,410	49,500	46,650
25	33,360	28,250	30,490	52,290	48,380
30	36,120	30,730	31,440	54,740	49,910
35	39,210	33,480	32,750	57,320	51,760
40	42,450	36,300	34,900	60,460	54,380
45	45,700	39,050	38,270	64,490	58,120
50	48,900	41,760	43,080	69,620	63,200
55	52,210	44,620	49,430	75,980	69,720
60	55,870	53,840	57,340	83,740	77,820

ตารางที่ 28 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW=53.83	MW=78.00	MW= 96.75	MW= 138.42	MW=
ตัดข้อ	Income	Income	Income	Income	190.93
(นาท)	=2000000	=1041667	=3000000	=1870000	Income
	Timework	Timework	Timework	Timework	=6000000
	=1440	=720	=1440	=540	Timework
					=900
0	17,070	44,860	35,360	78,370	79,170
5	21,450	56,590	51,260	86,620	91,130
10	35,470	64,150	56,970	101,580	135,060
15	39,420	69,340	62,780	125,090	181,540
20	43,620	73,160	68,940	148,170	241,080
25	48,280	76,310	75,640	161,460	264,080
30	53,590	79,320	83,010	175,310	290,750
35	59,600	82,700	91,130	189,830	321,100
40	66,300	86,810	100,030	205,000	354,850
45	73,550	91,920	119,690	220,790	391,500
50	81,160	98,180	120,050	237,280	430,290
55	88,840	115,760	131,000	254,610	470,260
60	96,290	134,970	142,430	272,920	510,400

ตารางที่ 29 สรุปผลที่ได้จากข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดลมีอยู่ 15 ข้อมูล และข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} -1.8718 & -1.6619 & 0.7696 & 0.1685 \\ 0.1579 & 0.4957 & -1.6202 & 1.9404 \\ -0.0016 & -1.5899 & -0.8775 & 1.8171 \\ -1.2417 & -1.5949 & -0.3056 & 1.6253 \\ 1.7023 & -1.5774 & -1.0855 & 0.4770 \\ -1.6743 & -0.9314 & 1.0353 & 1.5102 \\ 1.6002 & -0.6634 & -1.1229 & -1.6655 \\ -0.5332 & 1.4627 & 1.8241 & 0.7562 \\ 1.7209 & -1.5267 & 1.2169 & 0.0631 \\ -1.7147 & -1.4012 & -0.1803 & 1.4459 \end{bmatrix}$$

$$W2 = \begin{bmatrix} 0.5169 & -0.4665 & 0.5343 & -0.7985 & 0.9106 \\ -0.2623 & 0.7489 & -0.8671 & 0.4258 & -0.2235 \end{bmatrix}$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 4.974 \\ -3.0235 \\ 1.9209 \\ 2.1781 \\ 0.2685 \\ -0.4012 \\ 2.872 \\ -4.9691 \\ 0.5507 \\ -0.8222 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [-0.5659]$$

ตารางที่ 29 ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) โดยข้อมูลที่นำมาทดสอบมีอยู่ 23 ข้อมูล

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW= 0.38	MW= 1.54	MW= 2.48	MW= 3.98	MW= 5.84	MW=8.49
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income	Income
(นาที)	=25000	=1050000	=850000	=800000	=850000	=425000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=900	=600	=540	=600	=600
0	3,500	3,500	17,790	21,320	20,160	4,140
5	3,500	5,750	26,760	30,180	28,700	11,410
10	3,500	15,340	34,240	37,510	35,830	17,800
15	6,750	24,660	40,940	44,090	42,260	23,750
20	11,430	32,910	47,240	50,150	48,380	29,260
25	14,940	39,830	53,160	55,540	54,170	34,110
30	17,320	45,640	58,440	60,040	59,360	38,020
35	18,770	50,780	62,870	63,600	63,730	40,930
40	19,580	55,720	66,450	66,450	67,300	43,000
45	20,070	60,690	69,510	69,060	70,400	44,570
50	20,610	65,760	72,600	72,100	73,630	46,150
55	21,620	70,870	76,520	76,400	77,810	48,340
60	23,620	76,160	82,190	82,900	83,840	51,910

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW= 9.55	MW= 21.18	MW= 31.56	MW=	MW=39.80	MW=43.10
ขัดข้อง	Income	Income	Income	39.54	Income	Income
(นาทีก)	=416667	=2000000	=1050000	Income	=335000	=350000
	Timework	Timework	Timework	=340000	Timework	Timework
	=600	=1440	=1440	Timework	=540	=540
				=540		
0	4,360	9,490	3,500	16,500	16,340	18,100
5	11,510	10,340	3,500	22,290	22,120	23,800
10	17,820	11,950	3,500	27,690	27,520	29,140
15	23,700	14,660	3,500	32,710	32,520	34,100
20	29,170	18,880	6,350	37,040	36,840	38,390
25	33,970	24,960	15,970	40,470	40,250	41,790
30	37,840	32,960	25,350	42,990	42,760	44,330
35	40,700	42,400	33,270	44,870	44,620	46,250
40	42,730	52,220	39,010	46,510	46,250	48,000
45	44,290	61,200	42,500	48,480	48,210	50,170
50	45,870	68,580	44,140	51,470	51,200	53,470
55	48,090	74,370	44,640	56,290	56,020	58,740
60	51,700	79,350	44,860	63,700	63,420	66,650

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)					
ไฟฟ้า	MW=43.11	MW=54.79	MW=83.91	MW=105.66	MW=106.3	MW=111.38
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income	Income
(นาท)	=1650000	=687500	=1400000	=2550000	=850000	=2200000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=840	=540	=1440	=1440	=600	=840
0	48,020	37,620	19,470	36,890	55,170	85,380
5	56,340	43,290	27,880	44,070	59,800	88,350
10	62,910	48,500	36,890	52,060	64,470	90,820
15	68,030	53,520	45,290	59,890	69,350	93,660
20	72,310	58,210	52,080	66,820	74,380	97,720
25	76,410	62,380	56,840	72,630	79,590	103,960
30	81,010	66,020	59,740	77,760	85,290	113,230
35	86,640	69,420	61,300	83,050	92,060	125,910
40	93,690	73,120	62,200	89,530	100,550	141,340
45	102,370	77,890	63,150	98,110	111,020	158,040
50	112,810	84,580	64,890	109,210	123,020	174,680
55	125,020	93,820	68,210	122,330	135,650	191,000
60	138,680	105,530	73,940	136,170	148,420	207,880

ตารางที่ 29 (ต่อ)

เวลา	COC (บาท)				
ไฟฟ้า	MW= 123.59	MW= 124.14	MW= 125.54	MW=157.01	MW=207.13
จัดซื้อ	Income	Income	Income	Income	Income
(นาฬิกา)	=1806500	=3750000	=4000000	=2482500	=5400000
	Timework	Timework	Timework	Timework	Timework
	=540	=1080	=1080	=1200	=1260
0	81,250	73,310	71,790	83,030	139,000
5	92,150	83,340	83,510	84,730	155,680
10	101,350	92,760	95,060	86,260	169,080
15	110,770	102,600	107,260	88,500	180,620
20	121,470	113,770	120,510	92,380	191,880
25	133,920	126,380	134,340	98,720	204,420
30	147,990	139,620	147,820	107,960	219,720
35	162,920	152,530	160,480	119,760	239,120
40	177,930	164,910	172,830	132,980	263,520
45	193,040	177,600	186,170	146,370	293,060
50	209,340	192,060	202,150	159,510	326,680
55	228,480	209,990	222,430	172,890	362,120
60	251,910	232,920	248,330	187,530	396,580

สรุปผลของโมเดลการวิเคราะห์วิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) และรหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) เมื่อนำข้อมูลมาทดสอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (MAPE) ดังแสดงในตารางที่ 30 และ 31

ตารางที่ 30 สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์วิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

จำนวนข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดล	พิจารณา 2 ปีจจัย	พิจารณา 4 ปีจจัย
11 ข้อมูล	13.40%	9.06%
5 ข้อมูล	22.56%	15.44%

ตารางที่ 31 สรุปเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมูลค่าความเสียหายผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโมเดลการวิเคราะห์วิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัสTSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

จำนวนข้อมูลที่นำมาสร้างโมเดล	พิจารณา 2 ปีจจัย	พิจารณา 4 ปีจจัย
23 ข้อมูล	14.58%	12.73%
15 ข้อมูล	25.33%	20.98%

วิจารณ์

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า (COC) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอย และโครงข่ายประสาทเทียม พิจารณาผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) และ รหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง) เป็นผลให้ได้รับโมเดลหลายรูปแบบเพื่อประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า

ในการพิจารณาเลือกหาโมเดลเพื่อนำมาใช้ในการประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (MAPE) ที่เกิดขึ้นระหว่างค่าที่ได้จากการประเมินเทียบกับค่าจริง ดังแสดงในตารางที่ 32 และ ตารางที่ 33

ผลที่ได้จากชุดข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ ในตารางที่ 34 และ 35 เห็นได้ว่า วิธีที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (MAPE) ต่ำที่สุดคือวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

ตารางที่ 32 สรุปค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวิธีวิเคราะห์ความถดถอย และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก)

MAPE ของ TSIC 35609				
โมเดล ที่	กรณี ที่ พิจารณา	วิธีวิเคราะห์	ข้อมูลนำมา สร้างโมเดล 11 ข้อมูล	ข้อมูลนำมา สร้างโมเดล 5 ข้อมูล
1	2 ปัจจัย	สมการถดถอยแบบเชิงเส้น	19.88%	27.31%
2		สมการถดถอยแบบพหุนาม	23.46%	31.78%
3		สมการถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล	31.24%	32.83%
4		โครงข่ายประสาทเทียม	13.40%	22.56%
5	4 ปัจจัย	สมการถดถอยแบบเชิงเส้น	18.58%	25.68%
		แบบหลายตัวแปร		
6		โครงข่ายประสาทเทียม	9.06%	15.44%

ตารางที่ 33 สรุปค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของวิธีวิเคราะห์ความถดถอย และวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของผู้ใช้ไฟฟ้ารหัส TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง)

MAPE ของ TSIC31149				
โมเดล ที่	กรณีที่พิจารณา	วิธีวิเคราะห์	ข้อมูลนำมา สร้างโมเดล 23 ข้อมูล	ข้อมูลนำมา สร้างโมเดล 15 ข้อมูล
1	ปัจจัย 2 ตัวแปร	สมการถดถอยแบบเชิงเส้น	24.07%	39.28%
2		สมการถดถอยแบบพหุนาม	17.52%	30.80%
3		สมการถดถอยแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล	20.25%	32.70%
4		โครงข่ายประสาทเทียม	14.58%	25.33%
5	ปัจจัย 4 ตัวแปร	สมการถดถอยแบบเชิงเส้น	16.46%	24.61%
		แบบหลายตัวแปร		
6		โครงข่ายประสาทเทียม	12.73%	20.98%

จากวิธีที่นำมาวิเคราะห์มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นวิธีวิเคราะห์ความถดถอยแบบเชิงเส้น แบบพหุนาม แบบเอ็กซ์โพเนนเชียล แบบเชิงเส้นแบบหลายตัวแปรและโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าวิธีวิเคราะห์ความถดถอยทั้ง 4 ประเภทนี้ออกมาในรูปของสมการที่นำไปใช้งานได้ง่าย และการวิเคราะห์ที่สามารถเห็นได้ค่อนข้างอย่างชัดเจน เนื่องจากสามารถพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ของตัวแปรได้ ส่วนโมเดลของโครงข่ายประสาทเทียม ไม่สามารถอธิบายถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับวิธีวิเคราะห์ความถดถอย แต่สำหรับข้อเสียของวิธีวิเคราะห์ความถดถอย คือ ให้ความถูกต้องในการประเมินมูลค่าความเสียหายต่ำกว่าเนื่องจากข้อจำกัดของโมเดลซึ่งมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า

เมื่อเราพิจารณาถึงความเหมาะสมของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ข้อมูลและมีการปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ในเครือข่ายที่มีการเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น โดยมีการส่งผ่านข้อมูลที่มีการประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนาน การประมวลผลจึงมีความรวดเร็ว

จากผลเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด โมเดลที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า คือ โมเดลของโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากมีความแม่นยำมากกว่าโมเดลของวิธีวิเคราะห์ความถดถอยทั้ง 4 ประเภท

ดังนั้นถ้าจะนำขั้นตอนการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ไปใช้งานกับกระบวนการผลิต หรือรหัส TSIC อื่นๆ ควรเลือกโมเดลแบบโครงข่ายประสาทเทียมไปใช้ในการประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า เนื่องจากให้ผลประเมินใกล้เคียงกับค่าจริง

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอขั้นตอนเพื่อประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอุตสาหกรรม โดยพิจารณาห้TSIC 35609 (กระบวนการฉีดพลาสติก) และห้TSIC 31149 (กระบวนการผลิตอาหารแช่แข็ง) ในเขตพื้นที่ภาคกลางของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เนื่องจากความเหมาะสมของข้อมูลได้แก่ ความสมบูรณ์ของข้อมูล และจำนวนตอบกลับของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยคำนวณมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยใช้ฟังก์ชันความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า และนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอย และโครงข่ายประสาทเทียมโดยพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ

1. พิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW) และระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง (t)
2. พิจารณาจาก 4 ปัจจัย คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิต (MW) เวลาที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง (t) รายได้ต่อวันของผู้ใช้ไฟฟ้า (income) และระยะเวลาทำงาน (timework)

ซึ่งพบว่าโมเดลที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการประเมิน คือ โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมมีการเรียนรู้ข้อมูล และมีการปรับแต่งความรู้ ซึ่งค่าของโมเดลมีความยืดหยุ่นมากกว่า

ขั้นตอนการประเมินมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผู้ไฟฟ้าในห้TSICอื่น หรือกระบวนการผลิตอื่นได้ รวมถึงสามารถนำไปวางแผนปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบจำหน่ายให้อยู่ในระดับที่มีความเชื่อถือได้ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการสำรวจข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้า เนื่องจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่ผู้สำรวจได้พบปัญหาและอุปสรรคในการตอบกลับของผู้ใช้ไฟฟ้า คือผลตอบกลับที่น้อย มูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้กลับมายังไม่ครบถ้วน และเมื่อนำมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้ามาพิจารณาทั้งรหัส TSIC พบว่าข้อมูลของมูลค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟฟ้ากับกำลังการผลิตเฉลี่ยไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองได้ ดังนั้นหากนำกระบวนการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ไปใช้กับผู้ไฟฟ้าในรหัส TSIC อื่น ควรพิจารณาจากผู้ไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเดียวกัน เนื่องจากผู้ไฟฟ้าในรหัส TSIC เดียวกันอาจมีกระบวนการผลิตสินค้าที่แตกต่างกัน และเพื่อความถูกต้อง ความแม่นยำของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผู้วิจัยควรสัมภาษณ์ด้วยตัวเอง ไม่ว่าจะสัมภาษณ์ด้วยการโทรศัพท์ หรือการสัมภาษณ์กับผู้ไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในการเพิ่มระดับความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กัลยา วาณิชยบัญชา. 2544. การวิเคราะห์ด้วยตัวแปรหลายตัวด้วยSPSS for Windows.

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. รายงานสถิติการใช้ไฟฟ้า ปี 2549 และ2550. แผนกข้อมูลสถิติ, กองเศรษฐกิจพลังงานไฟฟ้า.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2549. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า. ธนภาคพรีนตี, กรุงเทพฯ.

ธวัช เกษสถิต. 2549. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความเข้มการแผ่รังสีพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นาถชนก พัฒนภิรมย์. 2547. นิวรัลเน็ตเวิร์คพื้นฐาน (Introduction to Neural Network) ประกอบการสอบ Comprehensive Test ระดับปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิรนาม. 2549. Artificial Neural Network. แหล่งที่มา:

http://202.28.94.55/web/320417/2548/work/g26/Files/Report_Neural%20Network.doc

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. รายงานสถิติการใช้ไฟฟ้า ปี 2549 และ2550. แผนกข้อมูลสถิติ, กองเศรษฐกิจพลังงานไฟฟ้า.

เจลิยว เกตุแก้ว. 2546. ค่าความเสียหายของผู้ใช้ไฟเนื่องจากไฟดับประเภทอุตสาหกรรมและธุรกิจสำหรับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปัทศรีษกรณ์ อารีย์กุล. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเพื่อการพยากรณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าระยะสั้น. สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.

A. A. Chowdhury., T. C. Mielnik., L. E. Lawton., M. J. Sullivan and A. Katz .**System Reliability Worth Assessment at a Midwest Utility – Survey Results for Industrial, Commercial and institutional Customers.** Proceeding of 8th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, Iowa State University, Ames, Iowa, September 12-16, 2004.

Dan W. Peterson. 1996. **Artificial Neural Networks:Theory and Application.** Prentice Hall International, Inc.

Laurene Fausett. 1994. **Fundamentals of Neural Network: Architectures, Algorithms and Application.** Prentice Hall International, Inc.

M. J. Sullivan., T. Vardell., M. Johnson.,**Power Interruption Costs to Industrial and Commercial Customers of Electricity.** IEEE, 1996.

Sadeka A. Ali G. Wacker R. Billinton. 1999. **Determination and Use of Sector and Composite Customer Damage Functions.** Proceedings of the 1999 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering Shaw Conference Center, Edmonton, Alberta, Canada.

ภาคผนวก

คำชี้แจง

โปรดกรอกข้อมูลหรือทำเครื่องหมายลงในช่องสี่เหลี่ยมด้านหน้าข้อความที่เป็นคำตอบของท่าน กรุณาให้ข้อมูลตามความเป็นจริง เพราะจะมีผลต่อความคลาดเคลื่อนทางการวิจัย

วัน/เดือน/ปี ที่กรอกข้อมูลนี้

ส่วนที่ 1 ผู้ให้ข้อมูล (ท่านสามารถแนบนามบัตรมาได้โดยไม่ต้องกรอกส่วนที่ 1)

ชื่อ ตำแหน่ง

โทรศัพท์ โทรสาร E-mail

ส่วนที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้ไฟ

2.1 ชื่อบริษัท รหัส TSIC*

* TSIC คือ ประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรม (ประเทศไทย)

2.2 สินค้าที่ผลิต คือ

2.3 จำนวนพนักงานทั้งหมดในบริษัท ประมาณ คน แบ่งเป็นพนักงานเฉพาะส่วนโรงงาน คน

2.4 วันที่เปิดดำเนินการในส่วนโรงงาน

☐ วันจันทร์ถึงวันอาทิตย์ (ทุกวัน) ☐ วันจันทร์ถึงวันเสาร์ ☐ วันจันทร์

ถึงวันศุกร์

☐ วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และวันเสาร์เว้นเสาร์ ☐ อื่นๆ (ระบุ)

2.5 การแบ่งกะของการทำงานใน 1 วัน แบ่งเป็น

☐ 1 กะ ☐ 2 กะ ☐ 3 กะ ☐ อื่นๆ (ระบุ)

โดย กะที่ 1 ตั้งแต่ เวลา น. ถึง เวลา น.

กะที่ 2 ตั้งแต่ เวลา น. ถึง เวลา น.

กะที่ 3 ตั้งแต่ เวลา น. ถึง เวลา น.

2.6 รายละเอียดเกี่ยวกับการผลิตสินค้า

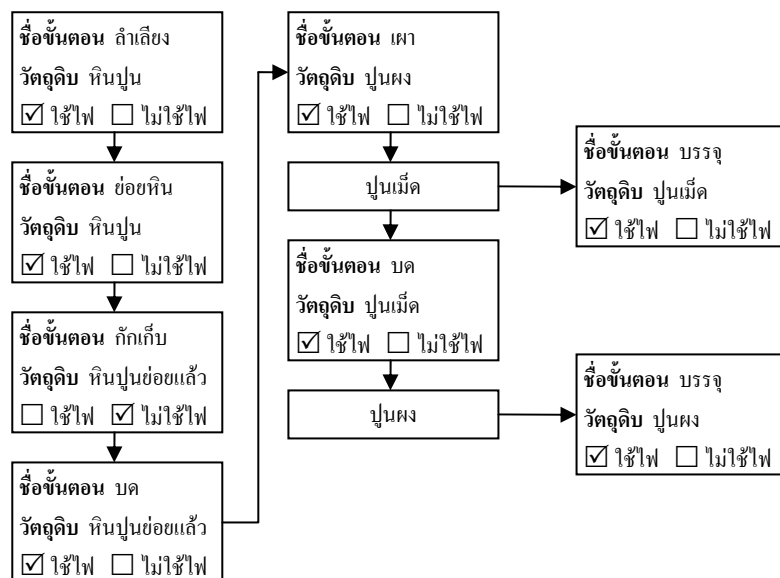
ที่	ชนิดสินค้า (ระบุ)	อัตราการผลิตต่อเวลา (เช่น 500 ชิ้นต่อวัน หรือ 20 ตันต่อวัน เป็นต้น)	ราคาขายต่อหน่วย (เช่น 1,000 บาทต่อชิ้น หรือ 20,000 บาทต่อตัน เป็นต้น)	เปอร์เซ็นต์ระยะเวลาการ ผลิตสินค้าแต่ละชนิดใน รอบปี (%) (กรณีมีสินค้ามากกว่า 1 ชนิด)
1				
2				
3				
4				

ตั้งแต่นี้ จะเรียกผลิตภัณฑ์ที่มีสัดส่วนระยะเวลาในรอบปีสูงสุดจากข้อ 2.6 ว่า “สินค้าหลัก”

2.7 แผนภาพกระบวนการผลิตของ “สินค้าหลัก” พอสังเขป เพื่อพิจารณาส่วนที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้อง

ข้อแนะนำ แต่ละขั้นการผลิตควรประกอบด้วย ชื่อขั้นตอน วัตถุดิบ และการใช้ไฟฟ้า ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแผนภาพ
กระบวนการผลิต



หมายเหตุ กรณีที่มีแผนภาพกระบวนการผลิตอยู่แล้ว กรุณาแนบแผนภาพการผลิตมาด้วย ไม่จำเป็นต้องเขียนแผนภาพใหม่อีกครั้ง

2.8 ท่านมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองหรือไม่ ☐ มี ☐ ไม่มี (ข้ามไปตอบในส่วนที่ 3)

กรณีที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง

มีจำนวน _____ เครื่อง รวมขนาด _____ kVA ใช้จ่ายไฟสำรองได้ระยะเวลาประมาณ _____ นาที่
เพื่อสำรองไฟสำหรับ ☐ ไม่ได้ใช้งาน ☐ โรงงานทั้งหมด ☐ โรงงานบางส่วน(ระบุ) _____

ส่วนที่ 3 เมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟกะพริบและไฟดับ

3.1 ในแบบสอบถามนี้แบ่งเหตุการณ์ผิดปกติเป็น 2 แบบ คือ

1. ไฟกะพริบ หมายถึง ไฟดับที่มีระยะเวลาน้อยกว่า 1 นาที
2. ไฟดับ หมายถึง ไฟดับที่มีระยะเวลาดั้งแต่ 1 นาทีขึ้นไป

กรณารอกข้อมูลทั้งเหตุการณ์ ไฟกะพริบ ในข้อ 3.1.1 และ ไฟดับ ในข้อ 3.1.2

3.1.1 ไฟกะพริบ (น้อยกว่า 1 นาที)

- ☐ ได้รับผลกระทบ ☐ ไม่ได้รับผลกระทบ (ข้ามไปตอบข้อ 3.1.2 ไฟดับ)

ก. วัตถุดิบ (เลือกตอบ 1 ข้อ)

- ☐ นำกลับมาใช้ได้ทั้งหมด
- ☐ นำกลับมาใช้ไม่ได้ คิดเป็นเงินประมาณ บาท
- ☐ นำกลับมาใช้ได้ แต่ต้องนำไปผ่านกระบวนการอื่นซึ่งเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมอีกประมาณ บาท

ข. สินค้าที่อยู่ในกระบวนการผลิต (เลือกตอบ 1 ข้อ)

- ☐ ขายได้ทั้งหมดในราคาดปกติ
- ☐ ขายได้แต่ลดจากราคาปกติเหลือ บาทต่อหน่วย
- ☐ ไม่สามารถขายได้ คิดเป็นเงินประมาณ บาท

ค. เครื่องจักรที่เดินเครื่องผลิต (เลือกตอบ 1 ข้อ)

- ☐ ทำงานได้ตามปกติ ไม่มีชิ้นส่วนเสียหาย
- ☐ มีชิ้นส่วนเสียหาย แต่ไม่มีข้อมูลจึงประเมินมูลค่าไม่ได้
- ☐ มีชิ้นส่วนเสียหาย ต้องทำการเปลี่ยนใหม่ คิดเป็นเงินประมาณ บาท

ง. เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจ่ายจากการไฟฟ้าตามปกติหลังจากเกิด ไฟกะพริบ ท่านต้องใช้เวลานาน้อย

..... นาที

เพื่อให้ดำเนินการผลิตได้ตามปกติ

3.1.2 ไฟดับ (ตั้งแต่ 1 นาทีขึ้นไป)

- ☐ ได้รับผลกระทบ ☐ ไม่ได้รับผลกระทบ

3.2 เนื่องจากการไฟฟ้ามีงบประมาณจำกัดในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีจำนวนครั้งไฟดับ และ ระยะเวลาไฟดับน้อยลง ท่านคิดว่า จำนวนครั้งไฟดับ และระยะเวลาไฟดับแต่ละครั้งที่เกิดขึ้นกับท่านในปัจจุบัน อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้หรือไม่

- ☐ ยอมรับได้ ☐ ยอมรับไม่ได้ (ตอบข้อ 3.3)

3.3 ข้อนี้เป็นเพียงสมมติฐานในการวิเคราะห์งานวิจัยเท่านั้น กรณีที่ยอมรับไม่ได้ ถ้าการไฟฟ้าลดจำนวนครั้งไฟดับ 1 ครั้ง

เพื่อท่านซึ่งเป็นผู้ใช้ไฟเพียงรายเดียวที่ประสบปัญหา การไฟฟ้าต้องลงทุนคิดเป็น 100% ท่านยินดีที่จะมีส่วนร่วมในการลงทุนกับการไฟฟ้า หรือไม่

- ☐ ยินดี เหตุผล
- โดยท่านยินดีจ่ายเพิ่มประมาณ %
- ☐ ไม่ยินดี เหตุผล

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวจรรยา สวงนคำ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 28 พฤศจิกายน 2526
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
ประวัติการศึกษา	ปี 2549 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์