



วิทยานิพนธ์

การประเมินโมเดลพยากรณ์จำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้องภายใต้ปัจจัย
เฉพาะของสายจำหน่ายเหนือดินของ กฟภ.

**Evaluation of Forecasting Models for Forced Outages under Specific Factors of
PEA Overhead Distribution Feeders**

นางสาวรัชนิกร บุญเรือง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๐



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินโมเดลพยากรณ์จำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้องภายใต้ปัจจัยเฉพาะของสาย
จำหน่ายเหนือดินของ กฟภ.

Evaluation of Forecasting Models for Forced Outages under Specific Factors of PEA
Overhead Distribution Feeders

นามผู้วิจัย นางสาวรัชนิกร บุญเรือง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สันติ อัสวศรีพงศ์ธร, M.Eng. Sc.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูเกียรติ การะเกตุ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจจงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินโมเดลพยากรณ์จำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้องภายใต้ปัจจัยเฉพาะของ
สายจำหน่ายเหนือดินของ กฟภ.

Evaluation of Forecasting Models for Forced Outages under Specific Factors of PEA
Overhead Distribution Feeders

โดย

นางสาวรัชนิกร บุญเรือง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2550

รชนิกร บุญเรือง 2550: การประเมินโมเดลพยากรณ์จำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง
ภายใต้ปัจจัยเฉพาะของสายจำหน่ายเหนือดินของ กฟภ. ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ปรชชาน
กรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณชัยเชษฐ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D. 110 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้ทำการหาโมเดลเพื่อใช้พยากรณ์จำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้องภายใต้
ปัจจัยเฉพาะที่ส่งผลต่ออัตราความเสียหายของสายจำหน่ายเหนือดิน อันได้แก่ ความยาวสาย ชนิด
สาย และต้นไม้ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์นั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากพื้นที่การไฟฟ้าตัวอย่าง 3 แห่ง
ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้แก่ การไฟฟ้าจังหวัดสระบุรี การไฟฟ้าอำเภอบางปะกง และการ
ไฟฟ้ารังสิต ซึ่งเป็นระบบจำหน่าย 22 เควีในพื้นที่ภาคกลาง ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาสร้างโมเดล
พยากรณ์รวมทั้งสิ้น 3 โมเดล ได้แก่ โมเดลแรกสมการถดถอย โมเดลที่สองโครงข่ายประสาท
เทียม และโมเดลที่สามตรรกะแบบฟัซซี

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะและจำนวนครั้งการเกิด
ไฟฟ้าขัดข้อง ทั้งในกรณีภาพรวมของระบบจำหน่ายแบบกรณีฟีดเดอร์ และกรณีแบ่งระบบ
จำหน่ายย่อยลงเป็นช่วงระหว่างอุปกรณ์ป้องกัน/ตัดตอนหนึ่งถึงอุปกรณ์ป้องกันตัดตอนถัดไป
(section) แล้วทำการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน รวมถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละโมเดล เพื่อ
พิจารณาเลือกโมเดลที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้พบว่า โมเดลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย
โครงข่ายประสาทเทียมให้ค่าความสัมพันธ์ และค่าความคลาดเคลื่อน ระหว่างค่าที่ได้จากโมเดล
และค่าที่เกิดขึ้นจริงดีที่สุด แต่มีจุดด้อยคือไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะ
และจำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้องได้ โดยที่อีก 2 วิธีที่เหลือสามารถอธิบายได้

กฟภ. สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากโมเดล มาใช้คำนวณหาค่าอัตราความเสียหาย และค่า
ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย (SAIFI) เพื่อวางแผนในการ
ปรับปรุง และบำรุงรักษาระบบจำหน่ายให้อยู่ในระดับที่มีความน่าเชื่อถือต่อไป

Ratchanegorn Boonruang 2007: Evaluation of Forecasting Models for Forced Outages under Specific Factors of PEA Overhead Distribution Feeders. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Dulpichet Rerkpreedapong, Ph.D. 110 pages.

This thesis develops forecasting models for forced outages under specific factors including trees, length and type of lines of 22 kV overhead distribution systems. The historical outage data and information of specific factors are obtained from Saraburi, Bangpakong and Rangsit offices of the Provincial Electrical Electricity Authority (PEA), Thailand. The forecasting models are developed from three techniques: linear multivariable regression, artificial neural network (ANN), and fuzzy logic.

In this research, analyses between specific factors and forced outages of PEA overhead distribution feeders are studied. The resulting models can forecast the expected forced outages of line feeders and sections. Results of the three models are compared and the features of each model are discussed. The artificial neural network based model has the forecasting performance better than the other models. However, a weakness of the artificial neural network model is that it does not explicitly express relationship between specific factors and forced outages.

The result of the model can be used to calculate the failure rate and system average interruption frequency index (SAIFI), which are used for planning and maintenance improvement to maintain good reliability of power distribution systems.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คุณย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ ประธาน
กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สันติ อัสวศรีพงศ์ธร กรรมการสาขาวิชาเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร. ชูเกียรติ การะเกตุ กรรมการสาขาวิชารอง รองศาสตราจารย์ ดร. เกียรติยุทธ กวีญาณ ประธาน
การสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมทัศน์ จิระเดชะ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาช่วยแนะนำ
และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.
ชำนาญ ห่อเกียรติ ที่กรุณาให้โอกาสในการทำวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ในโครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลังที่สนับสนุน และให้
คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้

ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า สำหรับการสนับสนุน และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

รัชนิกร บุญเรือง

กุมภาพันธ์ 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
ดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าของระบบจำหน่าย	3
การวิเคราะห์ความถดถอย	4
โครงข่ายประสาทดัดเทียม	10
ตรรกะแบบฟัซซี่	20
การทดสอบความคลาดเคลื่อน	37
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	39
แหล่งที่มาและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	39
การวิเคราะห์ข้อมูล	56
ผลและวิจารณ์	61
ผลการวิเคราะห์ความถดถอย	61
ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทดัดเทียม	70
ผลการวิเคราะห์ตรรกะแบบฟัซซี่	78
วิจารณ์	102
สรุปและข้อเสนอแนะ	106
สรุป	106
ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	109

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สถานีไฟฟ้าที่ทำการสำรวจสภาพปัจจัยเฉพาะ	42
2	ข้อมูลจากแบบสำรวจปัจจัยเฉพาะกรณีฟีดเดอร์	42
3	ข้อมูลจากแบบสำรวจปัจจัยเฉพาะกรณี section	45
4	ข้อมูลจำนวนครั้งไฟดับกรณีฟีดเดอร์	50
5	ข้อมูลจำนวนครั้งไฟดับกรณี section	52
6	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลความถดถอยกรณีฟีดเดอร์	63
7	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลความถดถอยกรณี section	66
8	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลความถดถอยทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section	69
9	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์	72
10	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section	75
11	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดล ANN ทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section	77
12	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลตรรกะฟuzzyกรณีฟีดเดอร์	82
13	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลตรรกะแบบฟuzzyกรณี section	85
14	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลตรรกะแบบฟuzzyทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section	89
15	ผลจำนวนครั้งไฟดับ/ปี ที่ได้จากโมเดลกรณีพิจารณากรณีฟีดเดอร์	90
16	ผลจำนวนครั้งไฟดับ/ปี ที่ได้จากโมเดลกรณีพิจารณากรณี section	92
17	ผลจำนวนครั้งไฟดับ/ปี ที่ได้จากโมเดลกรณีพิจารณาทั้งกรณีฟีดเดอร์ และ section	96
18	ผลสรุปประสิทธิภาพของโมเดลจากชุดข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ (ปี 2547-2548)	102
19	สรุปค่าความคลาดเคลื่อนจากชุดข้อมูลที่น่ามาทดสอบ (ปี 2546-2549)	103
20	จำนวนครั้งไฟดับถาวรในระบบจำหน่ายแยกตามสาเหตุต่างๆ (ที่ทราบสาเหตุ) ตั้งแต่ปี 2544 - 2548	107

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วิธีกำลังสองน้อยที่สุด	6
2	ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่อยู่ในรูปเชิงเส้น	7
3	เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์	11
4	โมเดลของ Neural ในคอมพิวเตอร์	12
5	สถาปัตยกรรมแบบ Feed-forward Network	13
6	สถาปัตยกรรมแบบ Feedback Network	13
7	นิเวศน์เน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว	14
8	นิเวศน์เน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์	15
9	การเรียนรู้แบบมีการสอน	17
10	การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน	17
11	ตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) กับตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic)	21
12	ความไม่แน่นอน (Uncertainty)	21
13	ตัวอย่างเซตแบบฉบับ	23
14	ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน	23
15	การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี	24
16	ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B	25
17	อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B	25
18	Complement ของฟัซซีเซต A	26
19	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปสามเหลี่ยม	27
20	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	27
21	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Gaussian Curve	28
22	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Two-sided Gaussian Curve	28
23	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปประฆังคว่ำ	28
24	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Sigmoid Curve	29

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Difference of Two Sigmoidal	29
26	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Product of Two Sigmoidally-Shaped	29
27	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปตัวแซด	30
28	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปตัวพาย	30
29	กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปตัวเอส	31
30	ตัวอย่างตัวแปรภาษา	32
31	ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี	33
32	โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี	34
33	ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	35
34	ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	35
35	ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	35
36	ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	36
37	ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	37
38	กลุ่มของระบบกฎฟัซซี	37
39	แผนผังสวิตชิงไดอะแกรมแสดงการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าสระบุรี 5 ฟีดเดอร์ที่ 2	41
40	ฐานข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากโปรแกรม จฟ.3	49
41	ส่วนหนึ่งของโปรแกรม MINITAB	57
42	ส่วนหนึ่งของคำสั่งในหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB	58
43	โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม	58
44	หน้าต่าง FIS Editor ของ Fuzzy Logic Toolbox ในโปรแกรม MATLAB	60
45	หน้าต่าง Session ของโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์กรณีฟีดเดอร์	61
46	หน้าต่าง Residual Plots ของโปรแกรม MINITAB ผลความคลาดเคลื่อนกรณีฟีดเดอร์	63
47	หน้าต่าง Session ของโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์กรณี section	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
48	หน้าต่าง Residual Plots ของโปรแกรม MINITAB ผลความคลาดเคลื่อนกรณี section	66
49	หน้าต่าง Session ของโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์กรณีฟีดเดอร์ และ section	67
50	หน้าต่าง Residual Plots ของโปรแกรม MINITAB ผลความคลาดเคลื่อนกรณี ฟีดเดอร์ และ section	69
51	ค่า W1 และ W2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์	70
52	ค่า B1 และ B2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์	70
53	การ Train ข้อมูลของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์	71
54	การ Plot ระหว่างค่าเป้าหมาย กับค่าเอาต์พุตของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม กรณีฟีดเดอร์	71
55	ค่า W1 และ W2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section	73
56	ค่า B1 และ B2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section	73
57	การ Train ข้อมูลของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section	73
58	การ Plot ระหว่างค่าเป้าหมาย กับค่าเอาต์พุตของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม กรณี section	74
59	ค่า W1 และ W2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์ และ section	75
60	ค่า B1 และ B2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์ และ section	76
61	การ Train ข้อมูลของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์ และ section	76
62	การ Plot ระหว่างค่าเป้าหมาย กับค่าเอาต์พุตของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม กรณีฟีดเดอร์ และ section	76
63	โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณีฟีดเดอร์	78
64	Member function ของ A, P, S และ T ในโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณีฟีดเดอร์	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
65	Member function ของ N ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์	79
66	ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์	81
67	การ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A, T และ N ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์	81
68	โมเดลของตรรกะแบบพีชคณิต section	83
69	Member function ของ A, P, S และ T ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิต section	83
70	Member function ของ N ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิต section	84
71	ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิต section	84
72	การ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A, T และ N ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิต section	85
73	โมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์ และ section	86
74	Member function ของ A, P, S และ T ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์ และ section	86
75	Member function ของ N ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์ และ section	87
76	ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์ และ section	88
77	การ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A, T และ N ในโมเดลของตรรกะแบบพีชคณิตฟิลด์เคอร์ และ section	89

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

λ	=	อัตราความเสียหาย
SAIFI	=	ดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย (System Average Interruption Frequency Index)
r	=	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
S	=	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Derivative)
SSE	=	ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Sum of Square of Error)
MSE	=	ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Mean Sum of Square of Error)
RMSE	=	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Sum of Square of Error)
ANN	=	โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks)

การประเมินโมเดลพยากรณ์จำนวนครั้งการเกิดไฟฟ้าขัดข้องภายใต้ปัจจัยเฉพาะของ
สายจำหน่ายเหนือดินของ กฟภ.

Evaluation of Forecasting Models for Forced Outages under Specific Factors of
PEA Overhead Distribution Feeders

คำนำ

ในปัจจุบันความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้านับว่าเป็นดัชนีสำคัญที่ใช้ชี้วัดคุณภาพการบริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งอัตราความเสียหายในสายจำหน่ายเหนือดินก็เป็นดัชนีที่สำคัญดัชนีหนึ่ง โดยอัตราความเสียหายของสายเหนือดินในระบบจำหน่ายสามารถคำนวณได้จากจำนวนครั้งการเกิดไฟดับของสายจำหน่ายนั้นๆ วิทยานิพนธ์นี้จึงทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสภาพพื้นที่ติดตั้ง และชนิดของอุปกรณ์ จากการไฟฟ้าตัวอย่าง 3 แห่งในพื้นที่ภาคกลาง คือ การไฟฟ้าจังหวัดสระบุรี การไฟฟ้าอำเภอบางปะกง และการไฟฟ้ารังสิต แล้วนำข้อมูลที่ได้รับจากการอนุเคราะห์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทั้ง 3 แห่ง มาวิเคราะห์ร่วมกับสถิติจำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้องของพื้นที่ดังกล่าวที่ได้มาจากโปรแกรม จฟ.3 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะ อันได้แก่ ความยาวสาย ชนิดสาย และต้นไม้ กับจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้น โดยนำมาสร้างเป็นโมเดลเพื่อใช้ในการพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับ ซึ่งในที่นี้ได้ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยวิธีการทั้งสิ้น 3 วิธี ได้แก่ การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ด้วยโปรแกรม MINITAB การวิเคราะห์โดยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ด้วยโปรแกรม Matlab และการวิเคราะห์โดยตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) ด้วย Fuzzy Logic Toolbox ของโปรแกรม Matlab

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการดังกล่าว นอกจากนำโมเดลที่ได้มาใช้ในการพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับแล้ว วิธีการดังกล่าวยังเป็นประโยชน์สำหรับการพิจารณาว่าปัจจัยเฉพาะใด มีผลอย่างไรต่ออัตราความเสียหายของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าผลกระทบเนื่องจากปัจจัยเฉพาะแต่ละอย่าง ส่งผลกระทบต่อจำนวนครั้งไฟดับของระบบมากน้อยต่างกันไป นอกจากนี้เราสามารถนำวิธีการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการหาโมเดลเพื่อพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับของระบบจำหน่ายอื่นๆ นอกเหนือจากพื้นที่ตัวอย่างดังกล่าวได้

วัตถุประสงค์

1. วิเคราะห์ผลของปัจจัยเฉพาะที่มีต่ออัตราความเสียหายของสายจำหน่ายเหนือดิน
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัจจัยเฉพาะของสายจำหน่ายเหนือดิน กับจำนวนครั้งไฟดับ
3. หาโมเดลที่ใช้พยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับเมื่อทราบลักษณะของปัจจัยเฉพาะ
4. สามารถนำวิธีการที่ใช้ในการหาโมเดลสำหรับการพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับไปปรับใช้กับพื้นที่อื่นๆ ในประเทศได้
5. สามารถนำโมเดลสำหรับพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับไปใช้ ในการวางแผนการปรับปรุงระบบจำหน่ายเหนือดินทั้งในด้านการเปลี่ยนชนิดสาย และในด้านการบำรุงรักษาระบบได้

การตรวจเอกสาร

ดัชนีความเชื่อถือได้ทางไฟฟ้าของระบบจำหน่าย

หน้าที่หลักประการหนึ่งของการไฟฟ้าฯ แต่ละแห่งคือ การจัดหาและจัดส่งกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีคุณภาพตามปริมาณความต้องการในราคา และระดับความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม ซึ่งเครื่องมือที่นำมาใช้แสดงระดับความเชื่อถือได้อย่างหนึ่งก็คือ ดัชนีความเชื่อถือได้ (Reliability Index) โดยดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายมีมากมายหลายดัชนี ในที่นี้จะกล่าวถึงดัชนีที่สำคัญ และเกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้คือ อัตราความเสียหาย (Failure Rate) และค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย (SAIFI)

1. อัตราความเสียหาย

(ชำนาญ, 2549) การคำนวณอัตราความเสียหาย (Failure Rate: λ) หมายถึง จำนวนครั้งของความเสียหายของอุปกรณ์ที่คาดว่าจะเสียในช่วงเวลาที่กำหนด หน่วยเป็นครั้ง/อุปกรณ์/ปี โดยภายใต้สมมติฐานว่าการแจกแจงของระยะเวลาทำงานเฉลี่ยของอุปกรณ์เป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลนั้น มีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\lambda = \frac{N_{out}}{nT} \quad (1)$$

เมื่อ	N_{out}	คือ จำนวนครั้งที่อุปกรณ์เกิดความเสียหาย
	n	คือ จำนวนของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบ
	T	คือ ระยะเวลาที่พิจารณา

2. ค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับของระบบโดยเฉลี่ย

(ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2547) การคำนวณค่าดัชนี SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งไฟดับต่อผู้ใช้ไฟทั้งระบบ โดยทั่วไปใช้หน่วยเป็นครั้งต่อรายต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณได้ 2 วิธี ดังนี้

2.1 การคำนวณดัชนี SAIFI จากข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้อง

$$SAIFI = \frac{\sum N_C}{N_T} \quad (2)$$

เมื่อ $\sum N_C$ คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบจากไฟดับทั้งหมดทุกกรณี
 N_T คือ จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

2.2 การคำนวณดัชนี SAIFI จากสมรรถนะของระบบ

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T} \quad (3)$$

เมื่อ λ_i คือ อัตราความเสียหาย (ครั้งต่อปี)
 N_i คือ จำนวนผู้ใช้ไฟในจุดโหลดที่ i
 N_T คือ จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด

การวิเคราะห์ความถดถอย

(กัลยา, 2544; อัครพล และ อำนาจ, 2545) การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตัวหนึ่งจากตัวแปรตัวอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าตัวแปรอื่นๆ ล่วงหน้า โดยการวิเคราะห์ความถดถอยจะใช้หลักการกำลังสองน้อยที่สุด

รูปแบบเมทริกซ์ทั่วไปสำหรับ Least Squares คือ

$$Y = a_0 Z_0 + a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + \dots + a_n Z_n \quad (4)$$

เราสามารถแยกการถดถอยออกเป็น 2 ชนิด ได้ดังนี้

ก) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ซึ่งเป็นการถดถอยอย่างง่าย (Simple and Multiple Regressions)

$$Z_0 = 1, Z_1 = x_1, Z_2 = x_2, \dots, Z_n = x_n$$

ข) การวิเคราะห์ความถดถอยไม่เชิงเส้น (Nonlinear regression) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ อาทิเช่น การถดถอยแบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential regression), การถดถอยเชิงพหุ (Polynomial regression) เป็นต้น

$$Z_0 = x^0 = 1, Z_1 = x, Z_2 = x^2, \dots, Z_n = x^n$$

จากสมการทั่วไป สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

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

เมื่อ $\{Y\}$ คือ column vector ของตัวแปรตาม $\{Y\}^T = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_n]$

$\{A\}$ คือ column vector ของสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า $\{A\}^T = [a_0 \ a_1 \ \dots \ a_m]$

$\{E\}$ คือ column vector ของค่าความคลาดเคลื่อน $\{E\}^T = [e_1 \ e_2 \ \dots \ e_n]$

$[Z]$ คือ ฟังก์ชันตัวแปรอิสระที่สามารถวัดได้ โดยที่ $[Z]$ ไม่เป็นเมทริกซ์สมมาตร

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

เมื่อ m คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

n คือ จำนวนข้อมูล

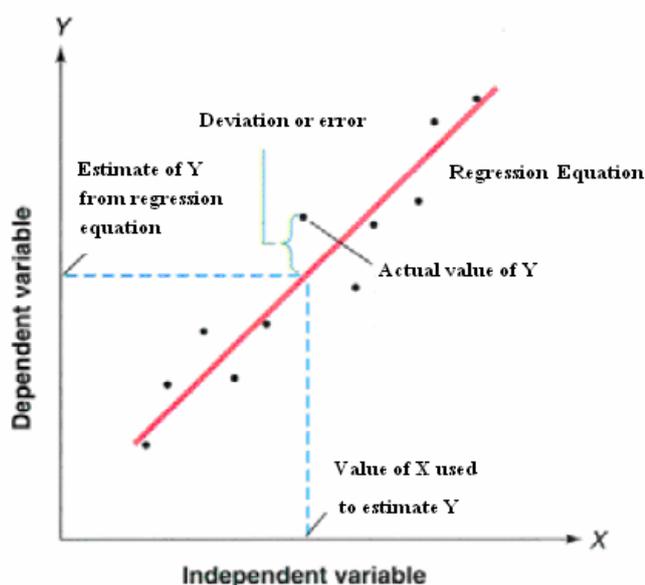
1. วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares) เป็นวิธีการหาตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่ทราบค่า (Coefficients) ของเส้นถดถอย โดยหาผลบวกของระยะจากจุดทั้งหลาย

ไปยังเส้นถดถอยโดยวัดขนานกับแกน 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} คือ ค่าที่ได้จากเส้นถดถอย



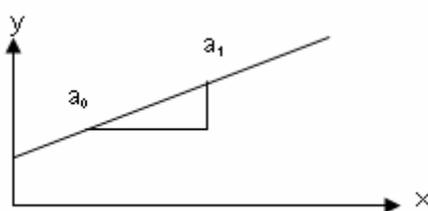
ภาพที่ 1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการหาความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นของตัวแปร x และ y โดยการวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) ซึ่งเป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นดังนี้

$$y_i = a_0 + a_1x_i + e_i \quad ; i = 1,2,\dots,n \quad (7)$$

เมื่อ y คือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable)

- x คือ ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
- a_0 คือ ส่วนตัดแกน y (ค่าของ y เมื่อ x มีค่าเป็น 0)
- e คือ ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (Random Error)
- a_1 คือ ความชัน (slope) ของเส้นตรง ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของ y เมื่อ x เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยเรียก a_1 ว่าเป็น สัมประสิทธิ์ความถดถอย (Regression Coefficient)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่อยู่ในรูปเชิงเส้น

ค่าที่ได้จากเส้นถดถอย (\hat{Y}_i) เป็นดังสมการ

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

เพราะฉะนั้นค่าความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จาก

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

นำวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมาใช้ในการหาค่า a_0 และ a_1 ก็คือทำให้ SSE มีค่าต่ำที่สุด โดยการอนุพันธ์เชิงส่วน (Partial Derivative) เทียบกับ a_0 และ a_1 แล้วให้เท่ากับศูนย์

ทำการอนุพันธ์เชิงส่วน SSE เทียบกับ a_0 ดังสมการ

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

จะได้

$$\sum_{i=1}^n y_i - a_0 n - a_1 \sum_{i=1}^n x_i = 0 \quad (11)$$

เพราะฉะนั้น

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (12)$$

ทำการอนุพันธ์เชิงส่วน SSE เทียบกับ a_1 ดังสมการ

$$\frac{\partial(SSE)}{\partial a_1} = (-x_i) \left[2 \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i) \right] = 0 \quad (13)$$

จะได้

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i - a_0 \sum_{i=1}^n x_i - a_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \quad (14)$$

เพราะฉะนั้น เมื่อแทนค่า a_0 ที่ได้จากสมการที่ 12 จะได้ค่า a_1 ดังสมการ

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (15)$$

ดังนั้นวิธีกำลังสองน้อยที่สุดคือการหาค่า Coefficients ที่ทำให้ SSE มีค่าต่ำสุดนั่นเอง ซึ่งการหาค่า Coefficients ที่ทำให้ SSE มีค่าต่ำสุดทำได้โดยการอนุพันธ์เชิงส่วน (Partial Derivative) เทียบกับ Coefficients แต่ละตัวแล้วให้เท่ากับศูนย์ ดังที่แสดงตัวอย่างด้านบนในการหา Coefficients ของสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

การคำนวณสมการถดถอยที่ผ่านมานั้น จะเป็นการสร้างสมการที่มีตัวแปรอิสระเพียงหนึ่งตัว และตัวแปรตามหนึ่งตัว แต่ในความเป็นจริงตัวแปรตามตัวหนึ่งอาจขึ้นอยู่กับตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว ในที่นี้จึงยกเอาสมการทั่วไปที่ใช้หาค่า Coefficients ของสมการถดถอยแบบอื่นๆ ซึ่งใช้หลักการเดียวกันกับที่กล่าวไว้ก่อนหน้านั้นคือ วิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ ได้ดังนี้

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

2. สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) แทนด้วย r เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ (x) และตัวแปรตาม (y) สามารถหาค่าได้ดังสมการ

$$r = \frac{SS_{xy}}{\sqrt{SS_{xx} SS_{yy}}} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } SS_{xx} &= \sum (x_i - \bar{x})^2 \\ SS_{xy} &= \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \\ SS_{yy} &= \sum (y_i - \bar{y})^2 \end{aligned}$$

(ธีรศักดิ์, 2546) ค่า r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งถ้า $|r|$ ใกล้ 1 มาก แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างดี ซึ่งสามารถพิจารณาถึงค่าบวก ค่าลบ และศูนย์ ได้ดังนี้

ถ้า r มีค่าเป็นบวก แสดงว่า ตัวแปรสุ่ม x และ y มีความสัมพันธ์แบบทางเดียวกัน นั่นคือ ถ้า x เพิ่มขึ้น y จะเพิ่มขึ้นด้วย หรือถ้า x มีค่าลดลง y จะมีค่าลดลงด้วย และ $r=1$ หมายความว่า x และ y มีความสัมพันธ์แบบทางเดียวกันอย่างสมบูรณ์

ถ้า r มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ตัวแปรสุ่ม x และ y มีความสัมพันธ์แบบผกผัน นั่นคือ ถ้า x เพิ่มขึ้น y จะมีค่าลดลง หรือถ้า x มีค่าลดลง y จะมีค่าเพิ่มขึ้น และ $r=-1$ หมายความว่า x และ y มีความสัมพันธ์แบบผกผันอย่างสมบูรณ์

ถ้า $r=0$ แสดงว่า ตัวแปรสุ่ม x และ y ไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่ x และ y อาจมีความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

โครงข่ายประสาทเทียม

(นาถชนก, 2547; นิรินาม, 2549ว; Laurene, 1994; Dan, 1996) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลข้อมูลด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (Connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์

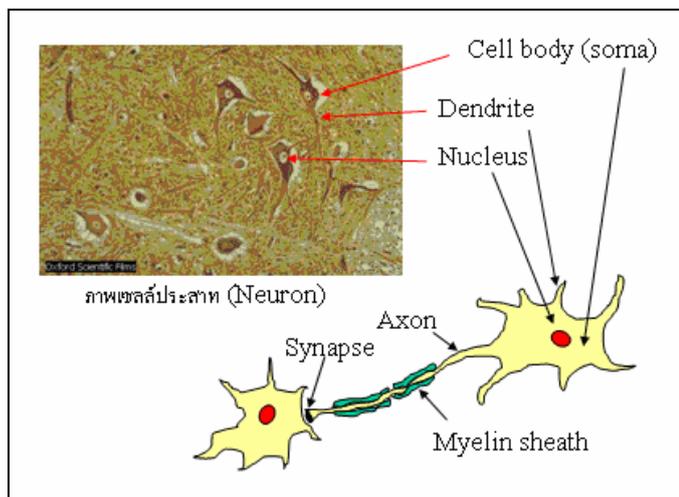
1. นิวรอลเน็ตเวิร์คทางชีววิทยา

แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิค โครงข่ายประสาทเทียมนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย

- เซลล์ประสาท (Neurons) ซึ่งเป็นจุดศูนย์รวมสัญญาณ (Central Neuron System)
- จุดประสานประสาท (Synapses) ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อ (Connection Point)
- ปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า "เดนไดรต์" (Dendrites) ซึ่งเป็นตัวรับสัญญาณอินพุต (Input)
- ปลายในการส่งกระแสประสาท (Axons) ซึ่งเป็นตัวส่งสัญญาณเอาต์พุต (Output)

โดยเซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน ดังแสดงในภาพที่ 3 ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน

กล่าวโดยสรุปว่า เซลล์ประสาทจะทำหน้าที่ 3 ประการคือ รับสัญญาณที่จุดเชื่อมต่อ (Receptors), ทำการประมวลผลภายในเน็ตเวิร์คของนิวรอล (Neural System) และ ส่งผลการประมวลผลผ่านปลายหนึ่งของเซลล์ไปให้เซลล์อื่น (Effectors)



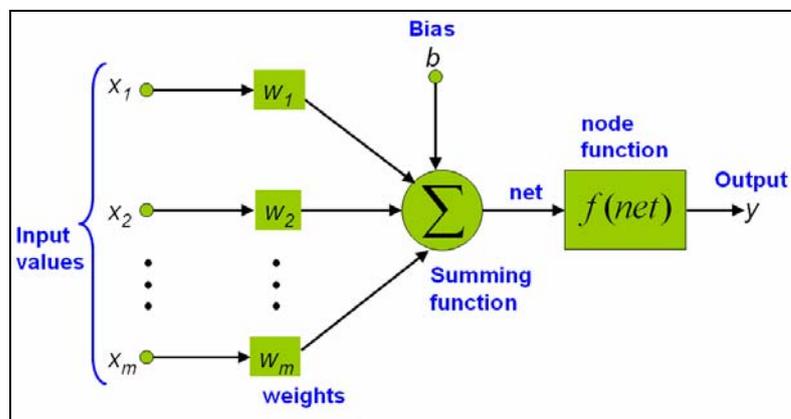
ภาพที่ 3 เซลล์ประสาทในสมองมนุษย์

2. นิวรอลเน็ตเวิร์คทางคอมพิวเตอร์

นิวรอลเน็ตเวิร์คทางคอมพิวเตอร์ (โครงข่ายประสาทเทียม) เป็นการจำลองการทำงานของนิวรอลเน็ตเวิร์คบนดิจิทัลคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประมวลผล (Processing Elements) เชื่อมโยงกับหลายๆ ตัวในลักษณะขนานคล้ายกับนิวรอลในสมองมนุษย์ มีลักษณะเป็นสถาปัตยกรรมแบบขนาน (Parallel Architecture) เพื่อแปลงข้อมูลจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง การใช้งานนิวรอลเน็ตเวิร์คจะเป็นไปในรูปแบบของการฝึกสอน

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถประมวลผลข้อมูล และองค์ความรู้ได้ในคราวละหลายๆ ด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (Connectionist) ทำให้สามารถเชื่อมโยงข้อเท็จจริงทั้งหลายเข้าด้วยกันเพื่อหาข้อสรุป และใช้ประสบการณ์ที่จัดเก็บไว้มาเรียนรู้และทำความเข้าใจว่า ข้อเท็จจริงใหม่ที่ได้รับเข้ามามีความเกี่ยวข้องกันอย่างไร เพื่อทำการปรับปรุงองค์ความรู้ให้มีความทันสมัยเพื่อประโยชน์ในอนาคต เสมือนกับการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ โดยใช้หน่วยประมวลผลต่างๆ จำนวนมากต่อกันเป็นโครงสร้างตัวประมวลผลคู่ขนานขนาดใหญ่ขึ้นมา

นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการอุปมา ความรู้ (Knowledge Deduction) อีกด้วย



ภาพที่ 4 โมเดลของ Neural ในคอมพิวเตอร์

3. สถาปัตยกรรมของเน็ตเวิร์ค

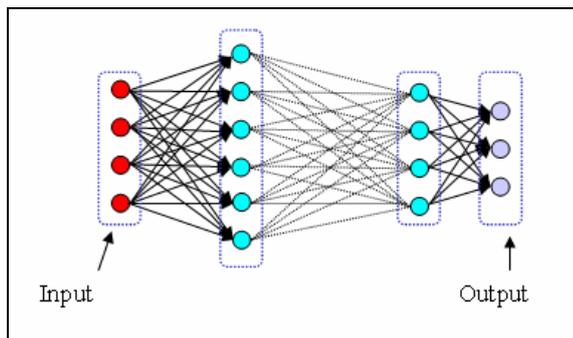
สถาปัตยกรรมของเน็ตเวิร์ค (Network Architecture) ประกอบไปด้วย

3.1 โครงข่ายแบบป้อนไปหน้า (Feed-forward Network)

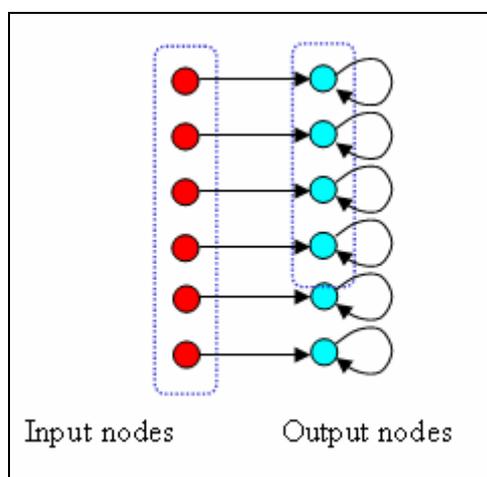
ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจาก Input nodes ส่งต่อมาเรื่อย ๆ จนถึง Output nodes โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่ Nodes ใน Layer เดียวกันก็ ไม่มีการเชื่อมต่อกัน ดังภาพที่ 5

3.2 โครงข่ายแบบป้อนกลับ (Feedback network)

ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่าย จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังวงจรข่ายหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบออกมา (บางที่เรียกว่า Recurrent Network) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 สถาปัตยกรรมแบบ Feed-forward Network



ภาพที่ 6 สถาปัตยกรรมแบบ Feedback Network

4. เลเยอร์ของเน็ตเวิร์ค

เลเยอร์ของเน็ตเวิร์ค (Network Layer) ในโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบไปด้วย 3 layer ได้แก่ ชั้นของ Input Units ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของ Hidden Units ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของ Output Units

- การทำงานของ Input Units จะทำหน้าที่แทนส่วนของข้อมูลดิบ ที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครือข่าย
- การทำงานของแต่ละ Hidden Units จะถูกกำหนด โดยการทำงานของ Input Units และ คำนวณน้ำหนักบนความสัมพันธ์ระหว่าง Input Units และ Hidden Units

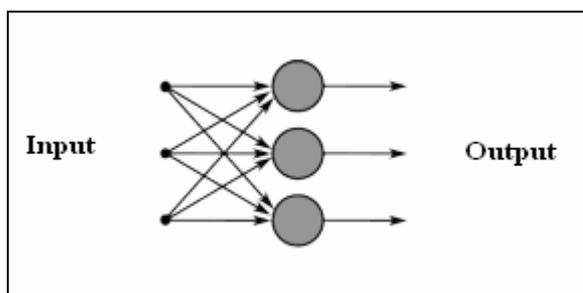
- พฤติกรรมการทำงานของ Output Units จะขึ้นอยู่กับการทำงานของ Hidden Units และค่าน้ำหนักระหว่าง Hidden Units และ Output Units

สามารถจำแนกประเภทของ Layer ออกได้เป็น 2 ประเภทคือ Single-layer และ Multi-layer

4.1 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว (Single-layer Perceptron)

เครือข่ายประสาทที่ประกอบด้วยชั้นเพียงชั้นเดียว โดยนิวรอลแต่ละตัวเชื่อมต่อถึงกันทำให้เกิดเป็นเน็ตเวิร์คที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ เรียกว่า เลเยอร์ (Layer) ในหนึ่งเลเยอร์สามารถมีจำนวนนิวรอลได้มากกว่า 1 นิวรอล และนิวรอลที่มีเลเยอร์สูงกว่าจะรับค่ามาจากเอาต์พุตของเลเยอร์ที่อยู่ต่ำกว่าเพื่อเป็นอินพุตของตัวเอง จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นว่า คุณสมบัติของนิวรอลทุกตัวที่อยู่ในเลเยอร์ที่ต่ำกว่าจะถูกถ่ายทอดไปยังนิวรอลในชั้นถัดไป

จากภาพที่ 7 จะแสดงลักษณะของนิวรอลที่ประกอบกันเป็นนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว โดยในเลเยอร์แรก หรืออินพุตเลเยอร์นั้นแท้จริงแล้วไม่ใช่นิวรอล เพราะไม่มีการคำนวณอยู่ภายใน แต่จะแสดงลักษณะการกระจายของค่าอินพุตให้กับนิวรอลในชั้นถัดไปเท่านั้น

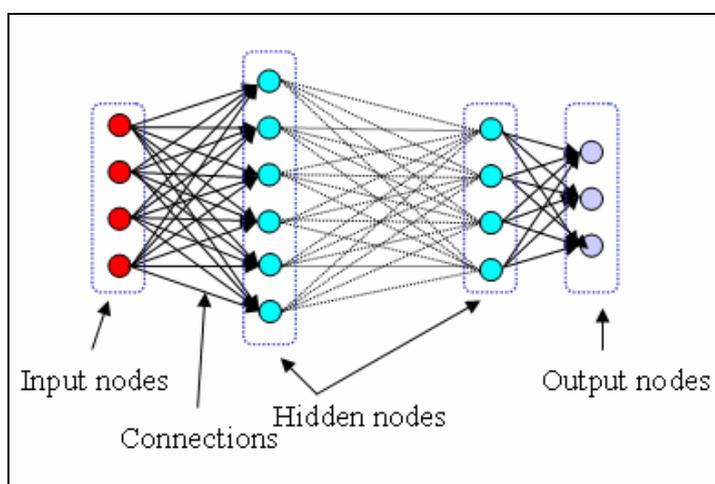


ภาพที่ 7 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียว

4.2 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ (Multi-layer Perceptron)

โครงสร้างของนิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ ประกอบไปด้วยเลเยอร์ตั้งแต่ 2 เลเยอร์ขึ้นไป ในลักษณะของเน็ตเวิร์คที่มีขนาดใหญ่ และซับซ้อนกว่าเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวมาก โดยอาจมองว่าเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ เกิดจากการรวมกันของเน็ตเวิร์คแบบเลเยอร์เดียวก็ได้

เอาต์พุตแพทเทิร์นในเลเยอร์หนึ่งจะเป็นอินพุตของเลเยอร์ถัดไป ซึ่งเลเยอร์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตถูกเรียกว่า ฮิดเดนเลเยอร์ (Hidden Layer) หรือเลเยอร์ภายใน (Internal Layer) โดยค่าเอาต์พุตในเลเยอร์สุดท้ายจะถูกเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการ (Desired Output) จากผู้สอน (Teacher) ผลลัพธ์ของค่าผิดพลาดในขณะที่ฝึกสอนสามารถนำไปใช้ปรับค่าตัวเลขน้ำหนักของเน็ตเวิร์คให้เปลี่ยนแปลงในทิศทางที่จะใช้แยกกลุ่มของแพทเทิร์น และโครงสร้างของเน็ตเวิร์คในลักษณะนี้ถูกเรียกว่า โครงข่ายแบบป้อนไปหน้า (Feed-Forward Network) เนื่องจากสามารถสร้างเป็นเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ได้ ซึ่งจะตรงข้ามกับโครงข่ายแบบป้อนกลับ (Feedback Network)



ภาพที่ 8 นิวรอลเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์

ภาพที่ 8 แสดงสถาปัตยกรรมพื้นฐานของเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ มีเลเยอร์ภายใน 2 เลเยอร์ วงกลมในรูปแสดงโหนดหรือนิวรอล และลูกศรจะแสดงทิศทางของการเชื่อมต่อของการเคลื่อนที่ของสัญญาณระหว่างนิวรอลในแต่ละเลเยอร์ ซึ่งจะถูกแทนด้วยค่าตัวเลขน้ำหนักระหว่างนิวรอล และโครงสร้างแบบหลายเลเยอร์นี้เอง จะถูกนำไปใช้กับอัลกอริทึมแบบแบ็คพร็อพพาเกชัน (Back Propagation Algorithm)

5. อัลกอริทึมแบบแบ็คพร็อพพาเกชัน

อัลกอริทึมแบบแบ็คพร็อพพาเกชัน (Back Propagation Algorithm) ใช้สำหรับโครงสร้าง

เน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ โดยอาศัยประสบการณ์ที่ได้จากความรู้ของการแปลงสัญญาณระหว่าง อินพุต และเอาต์พุตภายในเน็ตเวิร์คแบบหลายเลเยอร์ด้วยรูปแบบการเรียนรู้แบบมีครูสอน

ขั้นตอนการดำเนินการของแบ็คพร็อพกาเกชันประกอบด้วยสองส่วนหลัก ในส่วนการ ป้อนไปหน้า อินพุตแพทเทิร์นจะถูกคำนวณผ่านเน็ตเวิร์คและสร้างเอาต์พุตที่แน่นอน ในส่วนการ ป้อนกลับนั้นค่าความแตกต่างระหว่างค่าเอาต์พุตจริงที่ต้องการ กับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการคำนวณ ในเลเยอร์สุดท้าย จะสร้างสัญญาณค่าผิดพลาดของแพทเทิร์น และจะถูกแพร่ขยาย (Propagate) แบบ ข้อนกลับผ่านเน็ตเวิร์คเดิมเพื่อปรับค่าตัวเลขน้ำหนักของระบบ การทำงานจะเริ่มทำซ้ำในลักษณะ เดิมอีกครั้ง จนกระทั่งค่าผิดพลาดของระบบโดยรวมน้อยกว่าค่าผิดพลาดของระบบที่ยอมรับได้ การ เรียนรู้ของระบบจึงจะถือว่าสมบูรณ์

แบ็คพร็อพกาเกชัน เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทวิธีหนึ่ง ที่ นิยมใช้ใน Multilayer Perceptron เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาจขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

6. การเรียนรู้สำหรับนิเวศเน็ตเวิร์ค

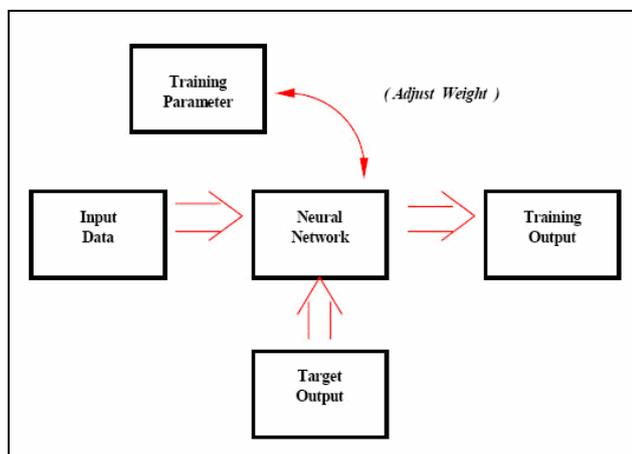
ทฤษฎีที่จะนำมาใช้กับเน็ตเวิร์ค เพื่อให้สามารถเรียนรู้ที่จะจดจำและแยกแยะแพทเทิร์นได้ นั้นมีอยู่ 2 วิธี ดังนี้

6.1 การเรียนแบบมีการสอน (Supervised Learning)

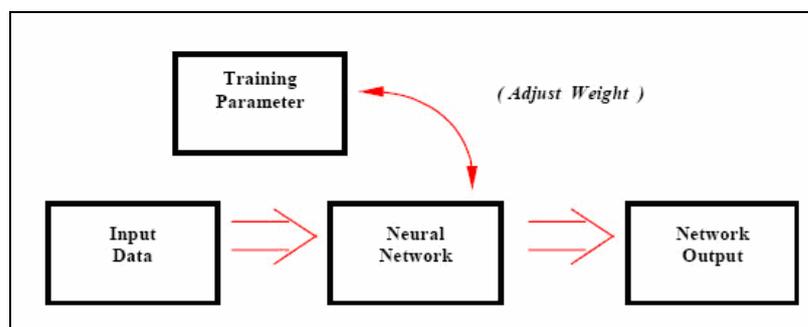
เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้วงจรช่วยปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนวงจร ข่ายจะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าวงจรช่วยให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก วงจรช่วยก็จะ ปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

6.2 การเรียนแบบไม่มีการสอน (Unsupervised Learning)

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด วงจรข่ายจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ วงจรข่ายจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้



ภาพที่ 9 การเรียนรู้แบบมีการสอน



ภาพที่ 10 การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน

7. องค์ประกอบและโครงสร้างการทำงาน

ซอฟต์แวร์ที่เลียนแบบโครงข่ายของเซลล์ประสาทนั้นจะมีขอบเขต (Boundary) กั้นระหว่างข้อมูลนำเข้ากับการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม โดยขั้นตอนหรือวิธีการทำงานนั้นจะต้องให้นิวรอลแต่ละตัวเชื่อมต่อกัน

โครงข่ายของเซลล์ที่ถูกจัดไว้เป็นเลขอร์ มีองค์ประกอบที่ทำหน้าที่แตกต่างกันดังนี้

7.1 ข้อมูลนำเข้า (Input)

ข้อมูลนำเข้าจะถูกจำแนกตามคุณลักษณะ (Attribute) เช่น ถ้าปัญหาที่ระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะต้องตัดสินใจคือ การอนุมัติเงินกู้ว่าจะให้ผ่านหรือไม่ ข้อมูลนำเข้าก็จะถูกจำแนกเป็นคุณลักษณะ กล่าวคือ ระดับรายได้ และอายุ เป็นต้น ข้อมูลนำเข้านอกจากจะเป็นข้อความแล้วยังสามารถเป็นรูปภาพ หรือเสียงก็ได้ แต่อาจจะต้องผ่านการแปลงให้เป็นสัญลักษณ์หรือตัวเลข เพื่อให้เครื่องสามารถทำความเข้าใจได้ก่อน จากนั้นก็จะเข้าสู่การทำงานที่แท้จริงของระบบโครงข่ายประสาทเทียมที่เริ่มต้นด้วยการนำข้อมูลเข้ามาให้น้ำหนัก (Weight) ของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้าเหล่านั้นในเลเยอร์แรกภายใต้ขอบเขตของระบบ

7.2 น้ำหนัก (Weight)

เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบโครงข่ายประสาท เนื่องจากเป็นส่วนที่ใช้หาน้ำหนักของความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า ว่าข้อมูลนำเข้าใดมีความสัมพันธ์กับข้อมูลนำเข้าอื่นในระดับใด ซึ่งจะช่วยให้สามารถเชื่อมโยงไปหาข้อสรุปได้ด้วยการลองผิดลองถูกในความสัมพันธ์แต่ละแบบ และเก็บไว้เป็นแบบแผนหรือรูปแบบ (Pattern) ของประสบการณ์เพื่อการเรียนรู้ของโครงข่าย

7.3 ฟังก์ชันการรวม (Summation Function)

เป็นโครงข่ายที่ทำหน้าที่ในการรวมค่าน้ำหนักที่ได้จากโครงข่ายในเลเยอร์อินพุต เพื่อสรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนำเข้า รอกการแปลงเป็นสารสนเทศที่มีความหมายในเลเยอร์ต่อไป

7.4 ฟังก์ชันการแปลง (Transformation Function)

เป็นโครงข่ายที่ทำหน้าที่ในการประสาน (Integrate) ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลจากโครงข่ายในเลเยอร์ต่างๆ แล้วทำการแปลง (Transform) ให้กลายเป็นสารสนเทศที่สื่อความหมายและเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ได้เพื่อส่งออกไปเป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายฟังก์ชัน

7.5 ผลลัพธ์ (Output)

ผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม จะหมายถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหา เช่น ปัญหาการอนุมัติเงินกู้ว่าผู้กู้จะผ่านการอนุมัติหรือไม่ “ผลลัพธ์” ที่ผู้ใช้จะได้รับคือ “อนุมัติ” หรือ “ไม่อนุมัติ” ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะใช้สัญลักษณ์แทนคำตอบทั้งหมด โดยผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายหนึ่งสามารถเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ของอีกโครงข่ายหนึ่งได้ ทั้งนี้ เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าของการตัดสินใจแก้ไขปัญหาอื่น เช่น ผลลัพธ์ที่ได้จากการอนุมัติเงินกู้ อาจจะไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการอนุมัติสินเชื่อที่อยู่อาศัยได้

สรุปการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม คือเมื่อมีอินพุต เข้ามายังโครงข่าย (Network) ก็จะนำอินพุตมาคูณกับค่าน้ำหนัก (Weight) ในแต่ละขา ผลที่ได้จากการคูณของทุก ๆ ขาของ Neuron จะนำมารวมกัน อาจมีการนำค่า Bias มาบวกเพิ่ม ก่อนที่จะนำมา Transfer Function แล้วนำผลรวมที่ได้มาเปรียบเทียบกับ Threshold ที่กำหนดไว้ ถ้ามีค่ามากกว่า Threshold แล้วนิวรอลจะส่งเอาท์พุตออกไป ซึ่งเอาท์พุตนี้จะถูกส่งไปยังอินพุตของนิวรอลอื่น ๆ ที่เชื่อมกันใน Network แต่ถ้าค่าน้อยกว่า Threshold ที่กำหนดก็จะไม่เกิดเอาท์พุต

8. ประโยชน์ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมวิธีหนึ่ง เนื่องจากมีประโยชน์หลายด้านดังนี้

8.1 เกิดข้อผิดพลาดได้ยาก (Fault Tolerance)

หากระบบโครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วยโครงข่ายที่ใช้ในการประมวลผลมากมายหลายโครงข่าย ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากเพียงหนึ่งหรือสองโครงข่ายจะไม่ทำให้ทั้งระบบเกิดข้อผิดพลาดได้

8.2 ความสามารถในการหาเหตุผล (Generalization)

เมื่อระบบโครงข่ายประสาทเทียมได้รับข้อมูลนำเข้าที่ไม่ครบถ้วนหรือไม่เพียงพอต่อการหาข้อสรุป หรือได้รับข้อเท็จจริงที่ไม่เคยได้รับมาก่อน ระบบจะสามารถลำดับการเชื่อมโยงข้อเท็จจริงจนสามารถให้ข้อสรุปและเหตุผลได้

8.3 ความสามารถในการปรับเปลี่ยน (Adaptability)

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้สภาพแวดล้อมใหม่ได้ ดังนั้นเมื่อมีเหตุการณ์ใหม่ๆ เข้าสู่ระบบก็จะสามารถปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงองค์ความรู้ให้ทันสมัยตามเหตุการณ์ใหม่นั้นได้

8.4 ความสามารถในการพยากรณ์ (Forecasting Capability)

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำข้อมูลทางสถิติเดิมที่มีอยู่ในระบบ มาใช้คาดการณ์หรือพยากรณ์ข้อมูลในอนาคตได้

ตรรกะแบบฟัซซี

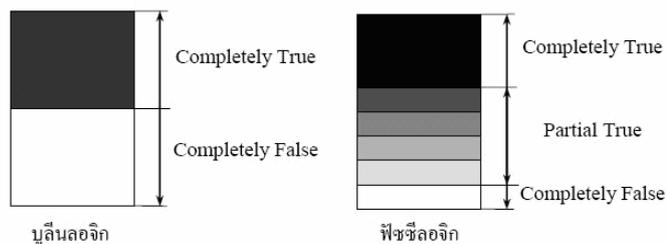
(อักรพล และ อำนาจ, 2545; พยุง, 2548) ตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ในปัจจุบันฟัซซีลอจิก เป็นศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น

ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (Uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (Fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (Exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัย เด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกันวัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรจะอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัย

เด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอนซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป

1. แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในได้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (Partial True) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean Logic) กับตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic)

ส่วนภาพที่ 12 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก



ภาพที่ 12 ความไม่แน่นอน (Uncertainty)

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยอาศัยเซตของความเป็นสมาชิก (Set Membership)

คำว่าฟัซซีมีความหมายในภาษาไทยว่า ความไม่ชัดเจน คลุมเครือการสื่อความหมาย การตีความ และตัดสินใจในชีวิตจริงของคนเรานั้นมักจะมีลักษณะเป็นฟัซซีดังตัวอย่างที่จะยกให้ดูต่อไปนี้เพื่อให้เห็นความแตกต่างของเซตแบบฉบับ (Classical Set) และฟัซซีเซต (Fuzzy Set)

1.1 เซตแบบฉบับ

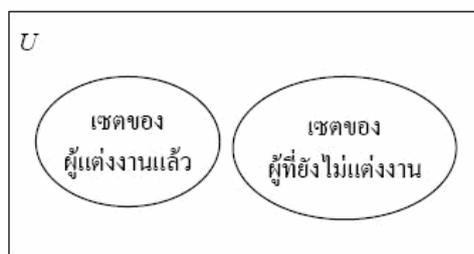
ในเซตแบบฉบับ (Classical Set) หรือเซตทวินัย (Crisp Set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (Sharp Boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงาน จะสามารถบอกได้ว่าอย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน

ภาพที่ 13 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งงานหรือไม่แต่งงาน ในภาพที่ 14 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับดังสมการที่ 18

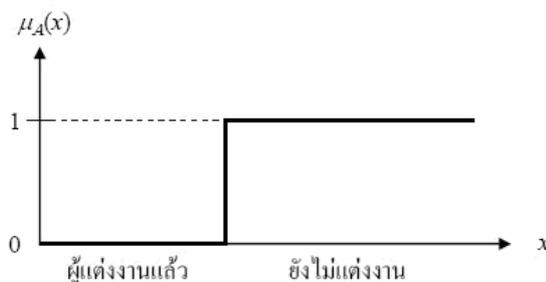
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (18)$$

เมื่อ	A	คือ เซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย
	x	คือ สมาชิกในเซต μ_A

$\mu_A(x)$ คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A



ภาพที่ 13 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ

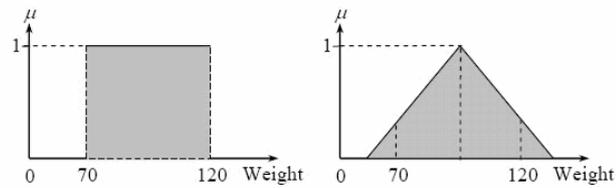


ภาพที่ 14 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่ทำงาน

1.2 ฟัชซีเซต

ฟัชซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัชซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัชซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัชซีด้วย ฟัชซีเซตจะมีขอบเขตแบบฟัชซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่มีเฉพาะคู่แต่งงานที่มีความสุขระดับเดียวกันทั้งหมด บางคู่อาจมีความสุขมาก บางคู่มีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม

ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัชซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



ภาพที่ 15 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

นิยามของฟัซซีเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

เมื่อ μ_A สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A สำหรับแต่ละฟัซซีเซต (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ X ”) สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (Tuples)

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in X\} \quad (19)$$

เมื่อ	A	คือ ฟัซซีเซต A
	x	คือ สมาชิกของเซต (Set Membership)
	$\mu_A(x)$	คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) $\mu(x)$
	X	คือ เอกภพสัมพัทธ์ (Universe) หรือประชากร

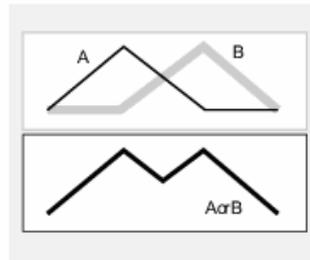
2. การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซต โดยทั่วไป คือ Union, Intersection และ Complement

2.1 ยูเนียน (Union)

ยูเนียนของฟัซซีเซต จะเป็น OR Operation ดังสมการที่ 20 และ ภาพที่ 16

$$\begin{aligned}\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (20)$$

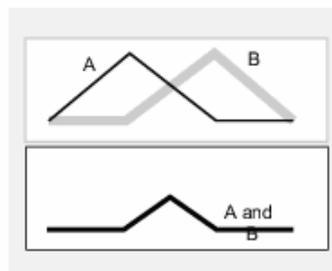


ภาพที่ 16 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

2.2 อินเตอร์เซกชัน (Intersection)

อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต จะเป็น AND Operation ดังสมการที่ 21 และภาพที่ 17

$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}\quad (21)$$

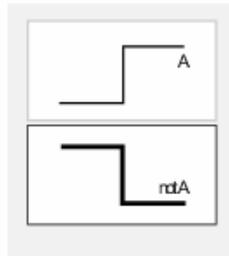


ภาพที่ 17 อินเตอร์เซกชันของฟัซซีเซต A และ B

2.3 คอมพลีเมนต์ (Complement)

คอมพลิเมนต์ของฟัซซีเซตเป็นดังสมการที่ 22 และภาพที่ 18

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (22)$$



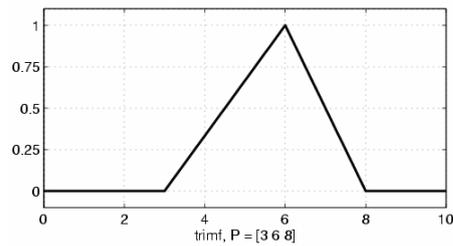
ภาพที่ 18 Complement ของฟัซซีเซต A

3. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ จะเป็นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิด และการแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกัน หรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียง 8 ชนิดดังนี้

3.1 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) มีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ a , b และ c ดังสมการที่ 23

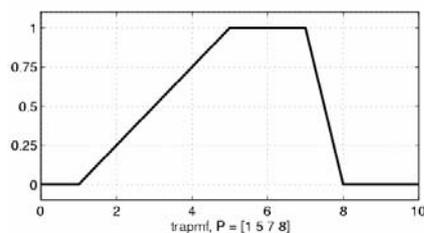
$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (23)$$



ภาพที่ 19 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปสามเหลี่ยม

3.2 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function) มีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ คือ a , b , c และ d ดังสมการที่ 24

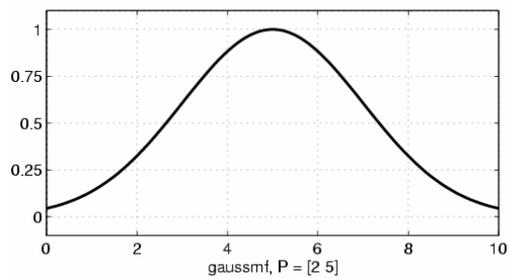
$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (24)$$



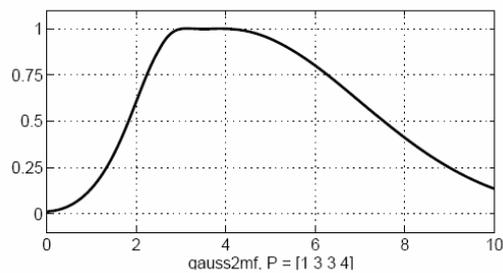
ภาพที่ 20 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

3.3 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian Membership Function) มีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ σ และ c ซึ่ง σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ c หมายถึงค่าเฉลี่ย ซึ่งสามารถแบ่งฟังก์ชันที่มาจากการกระจายแบบเกาส์เซียนอีกได้อีก 2 รูปกราฟความเป็นสมาชิกดังภาพที่ 21 และ 22

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (25)$$



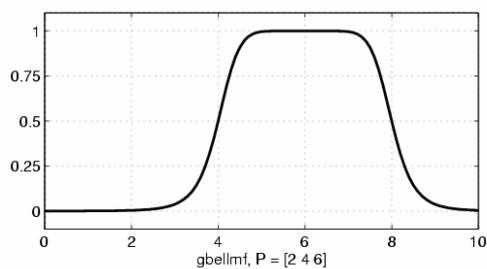
ภาพที่ 21 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Gaussian Curve



ภาพที่ 22 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Two-sided Gaussian Curve

3.4 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Generalized Bell Curve Membership Function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ a , b และ c

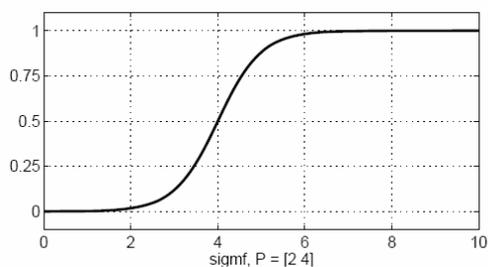
$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (26)$$



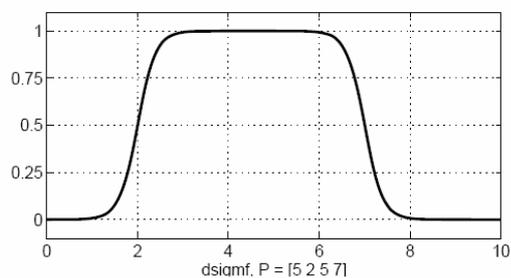
ภาพที่ 23 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูประฆังคว่ำ

3.5 ฟังก์ชันแบบรูปโค้ง (Sigmoid membership function) มีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ a และ c

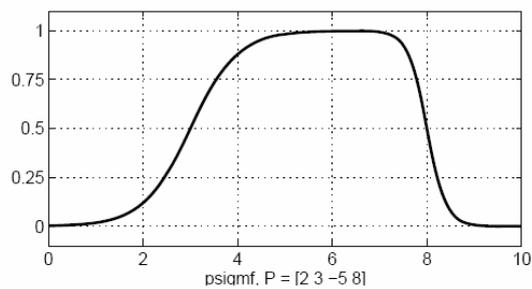
$$f(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}} \quad (27)$$



ภาพที่ 24 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Sigmoid Curve



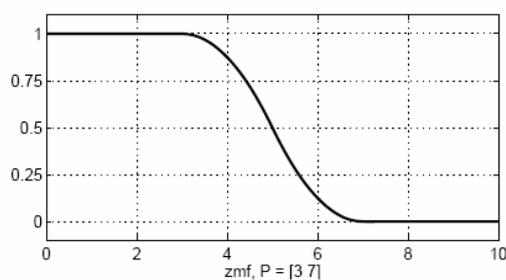
ภาพที่ 25 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Difference of Two Sigmoidal



ภาพที่ 26 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูป Product of Two Sigmoidally-Shaped

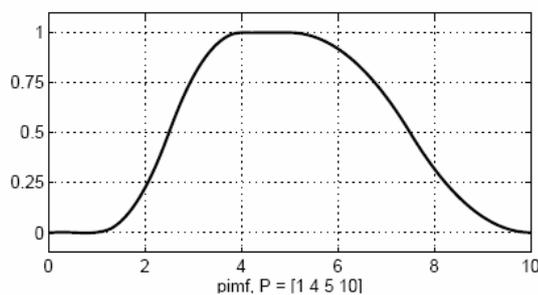
3.6 ฟังก์ชันตัวแซด (Z-shaped Curve Membership Function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่า คือ a และ b

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x < a \\ 1 - 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases} \quad (28)$$



ภาพที่ 27 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปตัวแซด

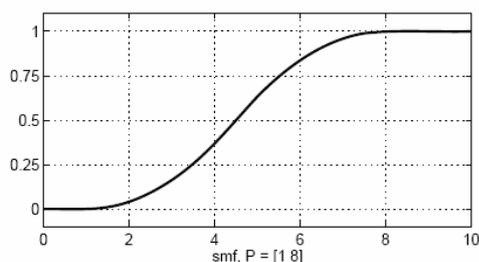
3.7 ฟังก์ชันตัวพาย (Pi-shaped Curve Membership Function)



ภาพที่ 28 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปตัวพาย

3.8 ฟังก์ชันตัวเอส (S-shaped curve membership function) มีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ a และ b

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1-2\left(\frac{x-b}{b-a}\right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (29)$$

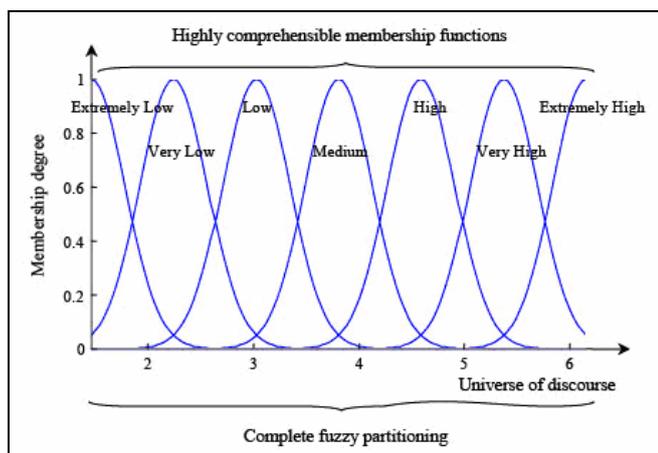


ภาพที่ 29 กราฟความเป็นสมาชิกแบบรูปตัวเอส

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

4. ตัวแปรภาษา

ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) เป็นการประกอบกันของตัวแปรสัญลักษณ์ (Symbolic Variable) และตัวแปรเชิงเลข (Numerical Variable) ตัวอย่างตัวแปรสัญลักษณ์ เช่น “รูปร่าง เป็นทรงกระบอก” (Shape = Cylinder) คำว่า “รูปร่าง” เป็นตัวแปรที่บอกถึงรูปร่างของวัตถุ ตัวอย่างตัวแปรเชิงเลข เช่น “ความสูงเท่ากับ 4 ฟุต” (Height = 4') ตัวแปรเชิงเลขจะมีใช้กันในสาขาทางด้านวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ การแพทย์ และอื่น ๆ ส่วนตัวแปรสัญลักษณ์มีความสำคัญในวิทยาการเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ การใช้ตัวแปรภาษาเป็นการรวมตัวแปรเชิงเลขกับตัวแปรสัญลักษณ์เข้าด้วยกัน ภาพที่ 30 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High



ภาพที่ 30 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

5. กฎฟัซซี

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและนำมาประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเห็นจะได้แก่ กฎฟัซซี (Fuzzy Rules) แบบถ้า-แล้ว (Fuzzy If-Then Rule) จากภาพที่ 31 สามารถเขียนเป็นกฎในรูปประโยคภาษาได้ดังนี้

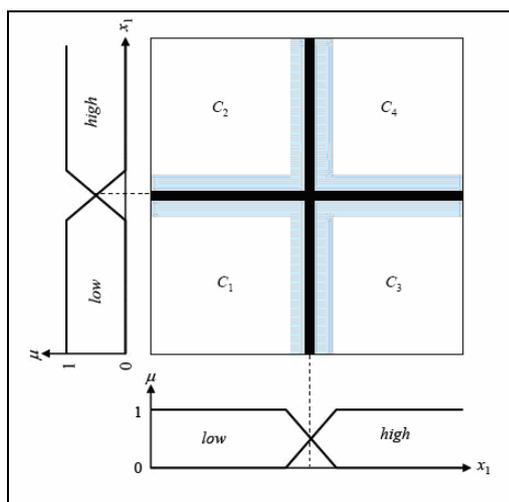
- กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_1
 กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า low และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_2
 กฎข้อ 3: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า low แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_3
 กฎข้อ 4: ถ้า x_1 มีค่า high และ x_2 มีค่า high แล้ว ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นกลุ่ม C_4

เมื่อ x_1 คือ ตัวแปรภาษาในมิติที่ 1
 x_2 คือ ตัวแปรภาษาในมิติที่ 2
 low และ high คือ พจน์ภาษา (Linguistic Terms)
 ข้อมูล (x_1, x_2) คือ คู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม
 C_1, C_2, C_3 และ C_4 คือ กลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4

รูปแบบกฎฟัซซี ในระบบฟัซซีองค์ความรู้สามารถแสดงในรูปประโยค “ถ้า ข้อตั้ง (ข้อนำ) ดังนั้น ข้อยุติ (ข้อตาม)” {IF premise (antecedent), THEN conclusion (consequent) }

ข้อความข้างต้นเป็นที่รู้จักกันในนาม “รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น” (IF-THEN Rule-based Form) หรือ รูปแบบนิรนัย (Deductive Form) ในรูปแบบการแสดงอนุมาน หากเราทราบความจริง (ข้อตั้ง ข้อสมมุติฐาน หรือข้อนำ) แล้วเราสามารถอนุมาน หรือหาข้อสรุปความจริงอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่าข้อยุติหรือข้อตาม ซึ่งค่อนข้างมีความเหมาะสมในบริบทของภาษา เนื่องจากการแสดงประสบการณ์ของมนุษย์และองค์ความรู้เชิงศึกษา ในรูปแบบประโยคภาษามนุษย์ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป แต่ไม่เป็นรูปแบบของความรู้ที่ลึกๆ แบบที่เป็นการรู้เอง เป็นโครงสร้าง เป็นฟังก์ชัน หรือเป็นพฤติกรรมของวัตถุรอบ ๆ ตัวเรา อย่างที่เรียกว่า อุปนัย (Inductive)

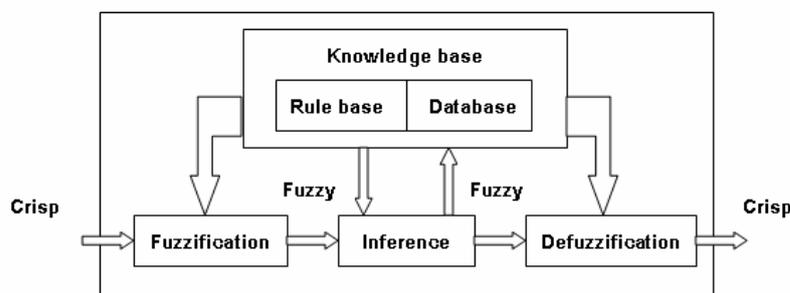
ระบบกฎฟuzzyเป็นสิ่งที่มีประโยชน์ในการจัดรูปแบบของระบบที่ซับซ้อนที่สามารถสังเกตได้โดยมนุษย์ เพราะระบบเหล่านี้สามารถแสดงด้วยตัวแปรภาษาในข้อนำและข้อตามของกฎได้ ตัวแปรภาษาสามารถนำเสนอเชิงธรรมชาติด้วยฟuzzyเซตและตัวเชื่อมตรรกะของเซตเหล่านั้น



ภาพที่ 31 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟuzzy

6. โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟuzzyลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟuzzy ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้
ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

Fuzzification คือ ส่วนที่แปลงอินพุตทั่วไป (Crisp) ให้เปลี่ยนเป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzy) หรือในรูปแบบเซตฟัซซี อาจเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ก็ได้

Knowledge Base คือ ฐานความรู้ เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการควบคุม ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

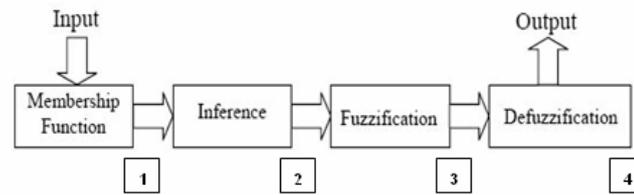
- ฐานกฎ (Rule Base) เป็นส่วนที่กำหนดวิธีการควบคุมซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic Rule)
- ฐานข้อมูล (Database) เป็นการเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี

Inference Engine คือ เครื่องอนุมานหรือการตีความ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผลเหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมไปถึงการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

Defuzzification คือ ส่วนที่แปลงเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งจะแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

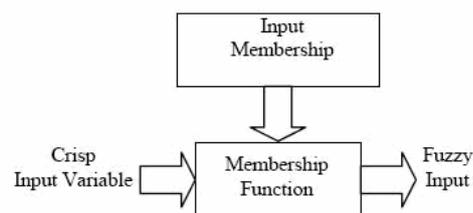
7. ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วน ดังแสดงในภาพที่



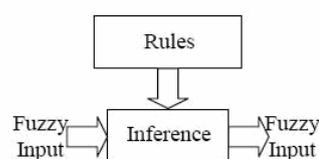
ภาพที่ 33 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงอินพุตแบบทวินัย (Crisp Input variable) ไปเป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzy input) โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกันก็ได้ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละอินพุต และความสำคัญที่มีต่อเอาต์พุต โดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อทำให้เป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี ดังภาพที่ 34



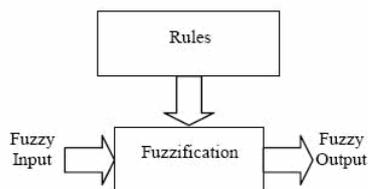
ภาพที่ 34 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุต โดยอาศัยหลักการของการหาเหตุและผล ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูล, การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าที่ได้จากการทดลอง นำมาเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ แล้วนำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกันเพื่อการหาการตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 35



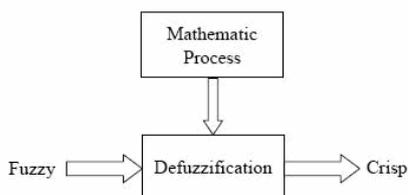
ภาพที่ 35 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้มาประมวลผล (Fuzzification เป็นวิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ ที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผล โดยเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method) ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุต (Defuzzification เป็นวิธีการทำค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ ซึ่งเป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เขตมาเพียงค่าเดียว โดยการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว) ดังภาพที่ 37 และด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ

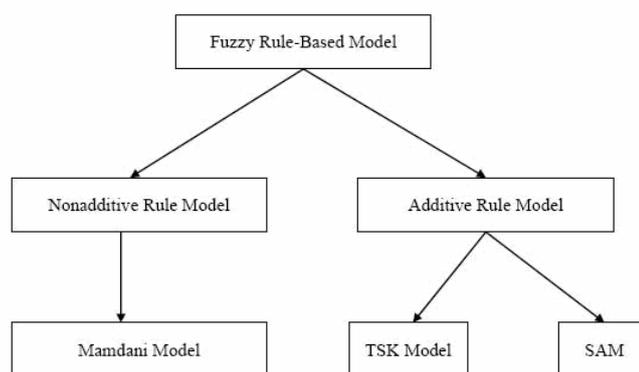


ภาพที่ 37 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

8. ชนิดของระบบกฎฟัซซี

ระบบกฎฟัซซีที่ใช้มี 3 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ (1) รูปแบบ Madani (2) รูปแบบ Takagi-Sugeno-Kang (TSK) และ (3) รูปแบบ Standard Additive Model (SAM) ซึ่งใช้ในการประมาณค่า

ฟังก์ชัน (Function Approximation) โดยรูปแบบ Madani จะรวมผลการอนุมาน (Inference) ของกฎ โดยวิธีการซ้อนทับ (Superimposition) จากกฎหลาย ๆ ข้อ ซึ่งไม่เป็นแบบบวกกัน จึงเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็น Nonadditive Rule Model แต่สำหรับ TSK และ SAM มีการอนุมานแบบรวมค่าน้ำหนัก (Weighted Sum) จากหลายๆ กฎ เพื่อรวมเป็นข้อสรุปสุดท้าย จึงเรียกระบบแบบนี้ว่า Additive Rule Model การจัดกลุ่มของระบบกฎแบบฟัซซีแสดงดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 กลุ่มของระบบกฎฟัซซี

การทดสอบความคลาดเคลื่อน

(Peter et al., 2000) Root Mean Square Error (RMSE) เป็นดัชนีหนึ่งที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงและค่าที่พยากรณ์ได้ ความสำคัญของการทดสอบความคลาดเคลื่อนก็เพื่อ พิจารณาหาโมเดลที่ให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงจากค่าจริงมากที่สุด หรือทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

โมเดลที่ให้ค่าพยากรณ์ใกล้เคียงจากค่าจริงมากที่สุด ย่อมเป็น โมเดลที่เหมาะสมกับการนำมาใช้พยากรณ์ให้ได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ โดยการวัดความคลาดเคลื่อนหาได้จากค่า RMSE ซึ่งมีสูตรดังสมการที่ 30

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ \sum_{i=1}^n (O - O_{\text{cal}})^2 \right\}} \quad (30)$$

เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด
 O คือ ค่าของข้อมูลจริง
 O_{cal} คือ ค่าที่ได้จากโมเดล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับทำวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
3. โปรแกรม Microsoft Office 2003 (Words, Excel, PowerPoint และ Access)
4. โปรแกรม MINI-Tab version 2.0 สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในวิทยานิพนธ์นำมาใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอย
5. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงวิศวกรรม คณิตศาสตร์ MATLAB version 7 ในวิทยานิพนธ์นำมาใช้หาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม และตรรกะแบบฟัซซี
6. เครื่อง Printer และอื่นๆ

วิธีการ

วิทยานิพนธ์นี้เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลปัจจัยเฉพาะอันได้แก่ ชนิดสาย ความยาวสาย และสภาพพื้นที่ติดตั้ง จากพื้นที่ตัวอย่าง และรวบรวมข้อมูลเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตั้งแต่ มกราคม พ.ศ.2546 ถึง กรกฎาคม พ.ศ. 2549 เมื่อได้ข้อมูลสำหรับใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะกับจำนวนครั้งการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องของระบบไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว ก็ดำเนินการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (โมเดล) จากการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis), โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) จากนั้นหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากโมเดลในแต่ละแบบมาเปรียบเทียบกับของจำนวนครั้งการเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แหล่งที่มาและข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

(โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง, 2548) วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และคณะทำงานของโครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลังคณะ

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในโครงการศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราความเสียหายและอัตราการซ่อมของอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย ในการสำรวจเก็บข้อมูลทั้งในกรณีสำรวจทั้งฟีดเดอร์ และแบ่งเป็นราย section (section คือระยะสายจำหน่ายจากอุปกรณ์ป้องกัน/ตัดตอนหนึ่งไปถึงอีกอุปกรณ์หนึ่ง โดยอุปกรณ์ป้องกัน/ตัดตอน อันได้แก่ เบรกเกอร์ รีโคสเซอร์ สวิตช์ และฟิวส์) ซึ่งเป็นการดำเนินงานสำรวจเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพพื้นที่ติดตั้ง ชนิดอุปกรณ์ และระยะทางระบบจำหน่าย โดยพื้นที่ตัวอย่างที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เป็นการไฟฟ้าในพื้นที่ภาคกลาง 3 แห่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อันได้แก่

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดสระบุรี
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะกง
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาครังสิต

แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมกับเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง โดยข้อมูลทั้งหมดผ่านการตรวจสอบ และแก้ไขข้อมูลที่ผิดปกติออกแล้ว อาทิเช่น ระยะทางของสายทั้งหมด ไม่เท่ากับระยะทางของชนิดสายแต่ละชนิดรวมกัน หรือ ไม่ลงข้อมูลระยะทางระบบจำหน่ายที่ผ่านบริเวณต้นไม้ หรือ จำนวนเหตุการณ์ไฟดับที่ลงไว้ในแหล่งข้อมูล 2 แห่ง ระบุไว้ไม่ตรงกัน เป็นต้น

ซึ่งมีข้อมูลที่น่าสนใจประกอบกรวิจัย ดังนี้

1. ข้อมูลปัจจัยเฉพาะจากพื้นที่ตัวอย่าง

ข้อมูลปัจจัยเฉพาะเพื่อใช้เป็นอินพุตในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ประกอบด้วย

1.1 แผนผังสวิตชิงไดอะแกรมแสดงการจ่ายไฟ

แผนผังสวิตชิงไดอะแกรมแสดงการจ่ายไฟ (Single Line Diagram) นำมาใช้เพื่อประกอบการพิจารณาการออกสำรวจปัจจัยแวดล้อมทั้งกรณีฟีดเดอร์ และกรณี section อีกทั้งใช้ประกอบการพิจารณาการตัด/จ่ายไฟของแต่ละสถานีไฟฟ้า ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 39

1.2 ข้อมูลจากแบบสำรวจปัจจัยเฉพาะ

ตารางที่ 1 สถานีไฟฟ้าที่ทำการสำรวจสภาพปัจจุบันเฉพาะ

การไฟฟ้า	สถานีไฟฟ้าที่ทำการไฟฟ้าทำการสำรวจ	รหัสสถานีไฟฟ้า
การไฟฟ้าอำเภอบางปะกง	สถานีไฟฟ้าบางปะกง3	BGR
	สถานีไฟฟ้าบางสมัคร5	BSM
	สถานีไฟฟ้าบางวัว	BWA
การไฟฟ้าจังหวัดสระบุรี	สถานีไฟฟ้าสระบุรี1	SRA
	สถานีไฟฟ้าสระบุรี5	SRE
	สถานีไฟฟ้าโคกเข้	KYE
	สถานีไฟฟ้าหนองปลิง	NPL
	สถานีไฟฟ้าพุกแค	PKE
การไฟฟ้ารังสิต	สถานีไฟฟ้านวนคร1	NVA
	สถานีไฟฟ้านวนคร2	NVB
	สถานีไฟฟ้านวนคร3	NVC
	สถานีไฟฟ้าธรรมศาสตร์	TMS
	สถานีไฟฟ้าบางขันธุ์	BKA
	สถานีไฟฟ้ารังสิต	RSA

ตารางที่ 2 ข้อมูลจากแบบสำรวจปัจจุบันเฉพาะกรณีฟีดเดอร์

ที่	รหัสฟีดเดอร์	ความยาวฟีดเดอร์ (กม.)	ระยะทาง (กม.)			บริเวณที่มีต้นไม้
			ชนิดสาย			
			เปลือย	PIC	SAC	
1	NVA01	2.20	0.00	0.00	2.20	2.20
2	NVA02	3.80	0.00	0.00	3.80	3.80
3	NVA04	0.90	0.00	0.00	0.90	0.90
4	NVA05	6.30	2.80	0.00	3.50	6.30
5	NVA06	1.70	0.00	0.00	1.70	1.70
6	NVA07	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00
7	NVA09	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00
8	NVA10	5.20	0.00	0.00	5.20	5.20
9	NVB01	1.60	0.00	0.00	1.60	1.50
10	NVB03	1.90	0.30	0.00	1.60	1.90

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ท.	รหัส พีดีเคอร์	ความยาว พีดีเคอร์ (กม.)	ระยะทาง (กม.)			บริเวณที่มี ต้นไม้
			ชนิดสาย			
			เปลือย	PIC	SAC	
11	NVB04	3.40	0.00	0.00	3.40	3.40
12	NVB05	2.50	0.00	0.00	2.50	2.50
13	NVB06	1.90	0.00	0.00	1.90	1.90
14	NVB07	5.30	0.00	3.50	1.80	0.30
15	NVB08	1.50	0.00	0.00	1.50	1.50
16	NVB09	2.50	0.00	0.00	2.50	2.50
17	NVB10	2.20	0.10	0.50	1.60	2.20
18	NVC01	1.20	0.00	0.00	1.20	1.10
19	NVC02	4.10	0.00	0.00	4.10	0.00
20	NVC03	1.30	0.00	0.00	1.30	1.20
21	NVC04	2.70	0.00	0.00	2.70	2.30
22	NVC05	4.60	0.00	0.00	4.60	4.10
23	NVC06	1.30	0.00	0.00	1.30	1.30
24	NVC08	1.20	0.00	0.00	1.20	0.80
25	NVC09	2.50	0.00	0.00	2.50	2.50
26	NVC10	1.70	0.00	0.00	1.70	0.00
27	TMS12	8.30	0.00	0.00	8.30	8.30
28	BKA02	2.00	0.20	0.00	1.80	2.00
29	BKA03	9.40	5.20	2.80	1.40	7.80
30	BKA04	15.50	10.80	3.60	1.10	10.00
31	BKA06	9.20	0.00	2.50	6.70	7.90
32	BKA07	6.00	0.80	0.00	5.20	6.00
33	BKA11	14.60	1.90	6.70	6.00	11.40
34	BKA13	13.90	3.30	1.90	8.70	12.50
35	BKA14	8.50	1.30	0.00	7.20	1.70
36	RSA01	3.90	2.00	0.40	1.50	0.00
37	RSA02	3.80	0.70	0.00	3.10	3.10
38	RSA03	1.70	0.00	0.00	1.70	1.40

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ท.	รหัส พีดีเคอร์	ความยาว พีดีเคอร์ (กม.)	ระยะทาง (กม.)			บริเวณที่มี ต้นไม้
			ชนิดสาย			
			เปลือย	PIC	SAC	
39	RSA05	2.70	2.70	0.00	0.00	2.70
40	SRE02	7.80	0.00	0.00	7.80	1.80
41	KYE06	9.50	9.00	0.00	0.50	2.50
42	KYE07	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00
43	KYE09	4.00	4.00	0.00	0.00	0.00
44	KYE10	3.60	3.60	0.00	0.00	0.00
45	NPL07	3.60	3.00	0.00	0.60	0.00
46	NPL08	3.00	3.00	0.00	0.00	0.00
47	NPL09	2.70	2.70	0.00	0.00	0.00
48	NPL10	3.40	3.40	0.00	0.00	0.00
49	BGR02	1.70	1.00	0.00	0.70	0.00
50	BGR04	7.60	6.50	0.40	0.70	0.00
51	BGR07	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00
52	BGR08	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00
53	BGR09	0.12	0.00	0.00	0.12	0.00
54	BGR10	0.12	0.00	0.00	0.12	0.00
55	BSM02	6.50	0.00	1.45	5.05	6.50
56	BSM03	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00
57	BSM05	1.25	0.00	0.00	1.25	1.25
58	BSM06	4.15	0.00	0.00	4.15	4.15
59	BSM10	1.40	0.00	0.10	1.30	1.30
60	BSM12	1.90	0.00	0.00	1.90	1.90
61	BSM13	5.60	0.00	0.00	5.60	5.60
62	BSM14	5.70	0.00	0.00	5.70	5.70

หมายเหตุ - สายเปลือย หมายถึง สายอลูมิเนียม และสายอลูมิเนียมแกนเหล็ก

- สาย PIC หมายถึง สายหุ้มฉนวนบางส่วน (Partial Insulated Cable)

- สาย SAC หมายถึง สายหุ้มฉนวน (Space Aerial Cable)

ตารางที่ 3 ข้อมูลจากแบบสำรวจปัจจัยเฉพาะกรณี section

ที่	รหัส อุปกรณ์ ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ ปลายทาง	ระยะทาง (กม.)			บริเวณที่มี ต้นไม้
			ชนิดสาย			
			เปลือย	PIC	SAC	
1	BGR03S-01	BGR05S-04	1.10	0.00	0.50	0.00
2	BGR05S-04	BGR03S-03	1.00	0.50	0.00	1.50
3	BGR03F-01	End	2.20	0.00	0.00	0.00
4	BGR03F-04	End	0.90	0.00	0.00	0.20
5	BGR03F-06	End	0.70	0.00	0.00	0.40
6	BGR03F-06/1	End	1.70	0.00	0.00	0.00
7	BGR03F-09	End	0.00	3.00	0.00	0.00
8	BGR03F-10	End	1.00	0.00	0.00	0.00
9	BGR03F-11	End	1.40	0.00	0.00	1.40
10	BWA06S-01	BWA06S-01/1	0.00	0.00	2.80	0.00
11	BWA06S-01/1	BWA06S-02	0.00	0.00	2.20	0.20
12	BWA06S-03/1	BWA06S-04	1.20	0.00	1.30	0.20
13	BWA06F-01	End	0.80	0.00	0.00	0.00
14	BWA06F-02	End	0.50	0.20	1.20	0.10
15	BWA06F-03	End	0.70	0.00	0.00	0.70
16	BWA06F-04	End	1.15	0.00	0.70	0.00
17	BWA06F-05	End	1.30	0.00	0.00	0.00
18	SRA08S-01	SRA08S-09	4.42	0.00	0.00	0.10
19	SRA08S-10	SRA08R-01	0.70	0.00	0.00	0.00
20	SRA08F-01	End	1.90	0.00	0.00	0.90
21	SRA08F-02	End	0.80	0.00	0.00	0.00
22	SRA08F-07	End	2.40	0.00	0.00	2.40
23	SRA08F-09	End	1.20	0.00	0.00	0.30
24	SRE05S-01	SRE05S-02	0.00	0.00	2.10	1.00
25	SRE06S-02/2	SRE06S-02	0.00	0.40	0.00	0.00
26	SRE02F-02	End	1.80	0.00	0.00	1.10
27	SRE02F-04/01	End	0.60	0.00	0.00	0.00
28	SRE02F-06	End	4.00	0.00	0.00	0.80

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ที่	รหัส อุปกรณ์ ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ ปลายทาง	ระยะทาง (กม.)			บริเวณที่มี ต้นไม้
			ชนิดสาย			
			เปลือย	PIC	SAC	
29	SRE02F-07	End	3.20	0.00	0.00	3.10
30	SRE06F-02	End	1.50	0.90	0.00	0.10
31	SRE06F-04	End	1.80	0.00	0.00	0.00
32	SRA05S-05	SRA05S-04	2.10	0.00	0.00	0.00
33	SRA05S-04	SRA05S-08	0.84	0.00	0.00	0.00
34	SRA05S-08	SRA10S-06	2.50	0.00	0.00	0.10
35	SRA10S-06/01	SRA10R-01	1.40	0.00	0.00	0.00
36	SRA10S-10/1	SRA10S-10	3.60	0.00	0.00	0.10
37	SRA10S-10	PKE05S-06	4.20	0.00	0.00	0.00
38	SRA10F-06	End	0.60	0.00	0.00	0.00
39	SRA10F-07	End	2.10	0.00	0.00	0.70
40	SRA10F-09	End	4.90	0.30	0.00	0.30
41	SRA10F-10	End	0.00	0.30	0.00	0.00
42	SRA10F-12	End	0.00	1.36	0.00	0.00
43	PKE05F-12	End	14.26	0.00	0.00	2.90
44	SRE07S-02	SRE07S-03/1	0.00	0.00	2.60	1.30
45	SRE07S-03/1	SRE07S-04	0.00	4.00	0.00	0.00
46	SRE07S-04	PKE10S-04	1.50	4.64	0.00	1.92
47	PKE10S-04	PKE10S-03	0.00	5.00	0.00	0.00
48	PKE10S-03	PKE10S-02	0.00	3.50	0.00	0.00
49	SRE09F-02	End	1.30	0.00	0.00	0.40
50	SRE09F-03	End	0.20	0.00	0.00	0.00
51	SRE07F-01	End	3.00	0.00	0.00	0.00
52	PKE10F-11	End	0.80	0.00	0.00	0.80
53	PKE10F-12	End	1.90	0.00	0.00	0.70
54	BWA07S-01	BWA07S-02	0.00	0.00	2.45	0.00
55	BWA07S-02	BWA07S-03	0.00	0.00	3.30	0.20
56	BWA07S-04/1	BWA07S-06	3.10	0.00	0.00	0.00

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ที่	รหัส อุปกรณ์ ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ ปลายทาง	ระยะทาง (กม.)			บริเวณที่มี ต้นไม้
			ชนิดสาย			
			เปลือย	PIC	SAC	
57	BWA07R-01	End	0.00	0.00	2.40	0.00
58	BWA07F-01	End	1.50	0.00	0.00	0.00
59	BWA07F-03	End	0.50	0.00	0.00	0.10
60	BWA07F-04	End	0.56	0.00	0.00	0.00
61	BWA07F-05	End	0.50	0.00	0.70	0.70
62	BKA04S-01	BKA04S-02	1.57	0.00	0.10	0.00
63	BKA04S-02	BKA04S-05	2.84	0.00	0.00	0.00
64	BKA04S-05	BKA04S-06	1.10	0.00	0.00	0.00
65	BKA04S-06	BKA04S-08	1.31	0.00	0.00	0.00
66	BKA04S-08	BKA04S-09	1.03	0.00	0.81	0.00
67	BKA04S-04	End	0.00	0.00	1.20	0.00
68	BKA04F-02	BKA04F-03	0.00	0.70	0.00	0.12
69	BKA04F-03	End	0.00	1.85	0.08	1.78
70	BKA04F-06	End	0.00	0.00	0.98	0.00
71	BKA04F-07	End	0.03	0.00	0.70	0.00
72	BKA04F-08	End	0.08	0.00	0.79	0.00
73	BKA04F-10	End	0.79	0.00	0.00	0.00
74	BKA04F-11	End	1.18	0.00	0.06	0.00
75	BKA04F-12	End	1.35	0.25	0.28	0.00
76	BKA06S-04	BKA06S-07	0.00	0.00	2.44	0.00
77	BKA06S-06	End	0.30	1.30	0.00	0.30
78	BKA07S-01	BKA07S-02	0.00	0.00	3.82	0.00
79	BKA07S-02	BKA07S-03	0.00	0.00	0.93	0.00
80	BKA07S-03	BKA07S-04	0.50	0.00	2.60	0.00
81	NVB01S-01	NVB01S-02	0.00	0.00	0.20	0.00
82	NVB01S-02	NVB01S-03	0.00	0.00	0.15	0.00
83	NVB01S-01	NVB01S-05	0.00	0.00	0.90	0.40
84	NVB02S-01	NVB02S-02	0.00	0.00	0.90	0.40

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ที่	รหัส อุปกรณ์ ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ ปลายทาง	ระยะทาง (กม.)			บริเวณที่มี ต้นไม้
			ชนิดสาย			
			เปลือย	PIC	SAC	
85	NVB07S-01	NVB07S-02	0.00	0.00	0.40	0.00
86	NVB07S-03	NVB05S-16	0.00	0.00	1.64	0.00
87	NVB08S-01	NVB08S-03	0.00	0.00	1.35	1.35
88	NVB09S-01	NVB09S-02	0.00	0.00	0.90	0.90

หมายเหตุ	- สายเปลือย	หมายถึง สายอลูมิเนียม และสายอลูมิเนียมแกนเหล็ก
	- สาย PIC	หมายถึง สายหุ้มฉนวนบางส่วน (Partial Insulated Cable)
	- สาย SAC	หมายถึง สายหุ้มฉนวน (Space Aerial Cable)

2. ข้อมูลเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่าย

จำนวนครั้งไฟดับสามารถหาได้จากข้อมูลเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่าย ที่ทำการบันทึกไว้จาก 2 แหล่งข้อมูล ดังนี้

2.1 ฐานข้อมูลโปรแกรม จฟ.3

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการบันทึกเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องโดยใช้โปรแกรม จฟ.3 (เป็นโปรแกรมที่พนักงาน กฟภ. ในแผนกควบคุมการจ่ายไฟใช้ลงบันทึกเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ (SAIFI, SAIDI) โดยข้อมูลเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากแผนกวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ กองควบคุมการจ่ายไฟ ฝ่ายควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำ การบันทึกไว้ตั้งแต่เดือนมกราคม 2546 ถึงเดือนกรกฎาคม 2549 ซึ่งสามารถหาจำนวนครั้งไฟดับแยกเป็นกรณีฟีดเดอร์ และกรณี section ได้ โดยได้รับข้อมูลมาในรูปแบบการจัดเก็บ Main database file (file.mdb) คัดเลือกเฉพาะ field ที่ต้องนำมาใช้ในการหาจำนวนครั้งไฟดับ ดังแสดงในภาพที่ 40 ซึ่งต้องนำข้อมูลดังกล่าว มา Query เพื่อนับจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้น

- รหัสเหตุการณ์ (EventID) เพื่อให้ทราบว่ามีการเกิดเหตุการณ์ไฟดับกี่ครั้ง

- เขตการรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Zone) เพื่อให้ทราบว่าเหตุการณ์ไฟดับดังกล่าวเกิดในพื้นที่ของเขตการรับผิดชอบไหน
- วันเวลาที่ไฟเริ่มดับ (Dout) เพื่อให้ทราบว่าเหตุการณ์ไฟดับเกิดใน วัน/เดือน/ปี และ เวลา ใด
- รหัสฟีดเดอร์ (FeederID) เพื่อให้ทราบว่าเหตุการณ์ไฟดับเกิดในฟีดเดอร์ใด
- รหัสอุปกรณ์ที่ทำงาน (ComID2) เพื่อให้ทราบอุปกรณ์รหัสใดเป็นตัวแทนตัวทำงานเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟดับ
- รหัสลักษณะเหตุการณ์ไฟดับ (M/S) เพื่อให้ทราบว่า เป็นแบบเหตุการณ์ไฟดับชั่วคราว (Momentary : M) หรือ ไฟดับถาวร (Sustain : S)

EventID	Zone	Dout	FeederID	ComID2	M/S
010120042200RSA06H008000	C1	1/1/2547 22:00:00	RSA06	RSA06F-008	S
010125470625ATA04B001000	C1	1/1/2547 6:25:00	ATA04	ATA04VB-01	S
010125470715PAA10H002000	C1	1/1/2547 7:15:00	PAA10	PAA10F-002	S
010125470830PAA05H012000	C1	1/1/2547 8:30:00	PAA05	PAA05F-012	S
010125470938OKA05B001000	C1	1/1/2547 9:38:00	OKA05	OKA05VB-01	M
010125471000PAA01H012000	C1	1/1/2547 10:00:00	PAB02	PAA07F-012/001	S
010125471020PQA01B001000	C1	1/1/2547 10:20:00	PQA01	PQA01VB-01	M
010125471050SRE09H004000	C1	1/1/2547 10:50:00	SRE09	SRE09F-004	S
010125471122ATB00W001000	C1	1/1/2547 11:22:00	ATB02	ATB00VB-01	S
010125471310ATB02H004000	C1	8/1/2547 15:10:00	ATB06	ATB06F-003	S
010125471343OKA01B001000	C1	1/1/2547 13:43:00	OKA01	OKA01VB-01	M
010125471630BPH08H012000	C1	1/1/2547 16:30:00	BPH08	BPH08F-012	S
010125471635BIA07H008000	C1	1/1/2547 16:35:00	BIA07	BIA07F-008	S
010125471650TDA07H007000	C1	1/1/2547 16:50:00	TDA07	TDA07F-007	S
010125471730WYA04H012000	C1	1/1/2547 17:30:00	WYA04	WYA04F-012	S
010125471800ATB07H002000	C1	1/1/2547 18:00:00	ATB07	ATB07F-002	S
010125471930WNA07H007000	C1	1/1/2547 19:30:00	WNA07	WNA07F-007	S
010125472040SRA08H005000	C1	1/1/2547 20:40:00	SRA08	SRA08F-005	S
010125472100NSI03H002000	C1	1/1/2547 21:00:00	NSI03	NSI03F-002	S
010125472100OKA04H002000	C1	1/1/2547 21:00:00	OKA04	OKA04F-002	S
010125472100WAA06H007000	C1	1/1/2547 21:00:00	WAA06	WAA06F-007	S
010125480134TYA03B001000	C1	1/1/2548 1:34:00	TYA03	TYA03VB-01	M
010125480200TYA03H002000	C1	1/1/2548 2:00:00	TYA03	TYA03F-002	S
010125480628BPH10B001000	C1	1/1/2548 6:28:00	BPH10	BPH10VB-01	M

ภาพที่ 40 ฐานข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากโปรแกรม จฟ.3

2.2 ข้อมูลจากสมุดจดแก้ไขไฟฟ้าขัดข้อง

เพื่อหาจำนวนครั้งไฟดับกรณี section ในบริเวณไลน์เมน เนื่องจากในโปรแกรม จฟ.3 กรณีเกิดไฟดับในไลน์เมน จะลงรหัสอุปกรณ์เฉพาะอุปกรณ์ป้องกัน (เบรกเกอร์, รีโกลเซอร์ และ ฟิวส์) แต่ไม่ระบุอุปกรณ์ตัดตอน (สวิตช์) จึงต้องใช้ข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากสมุดจดแก้ไขไฟฟ้าขัดข้องมาประกอบด้วย เนื่องจากแหล่งข้อมูลดังกล่าวจะระบุบริเวณที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้า

ชัดซึ้งละเอียดกว่าในโปรแกรม จฟ.3 โดยเป็นการจดบันทึกด้วยลายมือของพนักงานที่ประจำอยู่ที่สถานีไฟฟ้านั้นๆ

2.3 สรุปจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นในแต่ละปี (2546-2549)

สรุปจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นในแต่ละปีได้แก่ ปี 2546, ปี 2547, ปี 2548 และปี 2549 โดยแยกพิจารณาเป็น 2 กรณี ดังนี้

2.3.1 กรณีพิจารณาฟีดเดอร์

หาได้จากฐานข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากโปรแกรม จฟ.3 ตั้งแต่เดือนมกราคม 2546 ถึงเดือนกรกฎาคม 2549 ซึ่งสามารถสรุปผลการหาจำนวนครั้งไฟดับแยกตามแต่ละฟีดเดอร์ที่ได้สำรวจมา ดังแสดงในตารางที่ 4

2.3.2 กรณีพิจารณา section

หาได้จากฐานข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องจากโปรแกรม จฟ.3 และสมุดจดแก้ไฟฟ้าขัดข้องตั้งแต่เดือนมกราคม 2546 ถึงเดือนกรกฎาคม 2549 ซึ่งสามารถหาจำนวนครั้งไฟดับแยกตามแต่ละ section ที่ได้สำรวจมา ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ข้อมูลจำนวนครั้งไฟดับกรณีฟีดเดอร์

ที่	รหัสฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)				ที่	รหัสฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)			
		ที่เกิดขึ้นจริงในปี						ที่เกิดขึ้นจริงในปี			
		2546	2547	2548	2549			2546	2547	2548	2549
1	NVA01	7	0	5	3	7	NVA09	1	1	3	3
2	NVA02	5	5	1	3	8	NVA10	4	10	4	0
3	NVA04	0	2	1	2	9	NVB01	1	5	2	3
4	NVA05	6	4	7	3	10	NVB03	3	0	1	5
5	NVA06	2	2	3	2	11	NVB04	2	0	0	0
6	NVA07	0	0	0	3	12	NVB05	0	1	0	0

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่	รหัส ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)				ที่	รหัส ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)			
		ที่เกิดขึ้นจริงในปี						ที่เกิดขึ้นจริงในปี			
		2546	2547	2548	2549			2546	2547	2548	2549
13	NVB06	5	2	0	0	38	RSA03	1	0	0	2
14	NVB07	6	1	5	0	39	RSA05	7	2	3	2
15	NVB08	1	0	0	0	40	SRE02	21	2	2	2
16	NVB09	1	3	0	0	41	KYE06	2	9	12	3
17	NVB10	0	0	1	0	42	KYE07	8	7	4	3
18	NVC01	*	1	0	0	43	KYE09	1	1	1	0
19	NVC02	*	0	0	0	44	KYE10	0	0	0	0
20	NVC03	*	0	0	0	45	NPL07	1	7	1	0
21	NVC04	*	0	0	2	46	NPL08	1	3	0	2
22	NVC05	*	0	0	0	47	NPL09	1	1	1	0
23	NVC06	*	0	0	0	48	NPL10	1	0	1	0
24	NVC08	*	0	1	2	49	BGR02	4	0	0	0
25	NVC09	*	1	0	2	50	BGR04	0	2	0	3
26	NVC10	*	0	0	0	51	BGR07	2	1	4	2
27	TMS12	5	2	2	0	52	BGR08	4	0	2	0
28	BKA02	1	0	0	2	53	BGR09	1	0	0	2
29	BKA03	23	21	18	9	54	BGR10	1	1	3	0
30	BKA04	35	29	29	10	55	BSM02	1	1	1	0
31	BKA06	2	1	2	0	56	BSM03	1	0	0	2
32	BKA07	0	0	0	0	57	BSM05	3	0	1	0
33	BKA11	45	11	12	0	58	BSM06	1	2	1	0
34	BKA13	16	21	13	2	59	BSM10	2	2	1	0
35	BKA14	1	0	2	0	60	BSM12	0	2	1	0
36	RSA01	3	1	3	2	61	BSM13	0	0	0	0
37	RSA02	0	0	0	0	62	BSM14	3	1	3	0

หมายเหตุ -* เป็นฟีดเดอร์ที่ยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟในปีนั้น

-จำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นในปี 2549 ได้จากการเทียบบัญชีไตรยางค์ แล้วทำปดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมีเหตุการณ์ไฟดับบันทึกไว้ถึง ก.ค. 2549

ตารางที่ 5 ข้อมูลจำนวนครั้งไฟดับกรณี section

ที่	รหัส อุปกรณ์ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ปลายทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี) ที่เกิดขึ้นจริงในปี			
			2546	2547	2548	2549
1	BGR03S-01	BGR05S-04	*	1	1	0
2	BGR05S-04	BGR03S-03	*	0	0	0
3	BGR03F-01	End	0	0	0	0
4	BGR03F-04	End	1	1	1	0
5	BGR03F-06	End	1	0	2	0
6	BGR03F-06/1	End	3	1	0	0
7	BGR03F-09	End	7	1	0	0
8	BGR03F-10	End	5	1	0	0
9	BGR03F-11	End	1	3	0	2
10	BWA06S-01	BWA06S-01/1	*	0	1	0
11	BWA06S-01/1	BWA06S-02	*	0	0	0
12	BWA06S-03/1	BWA06S-04	*	0	0	0
13	BWA06F-01	End	1	1	0	2
14	BWA06F-02	End	*	3	0	2
15	BWA06F-03	End	2	1	0	0
16	BWA06F-04	End	0	0	0	0
17	BWA06F-05	End	*	1	0	2
18	SRA08S-01	SRA08S-09	0	0	0	*
19	SRA08S-10	SRA08R-01	0	0	0	*
20	SRA08F-01	End	9	0	0	0
21	SRA08F-02	End	2	0	1	3
22	SRA08F-07	End	2	5	3	0
23	SRA08F-09	End	4	2	0	2
24	SRE05S-01	SRE05S-02	*	3	0	2
25	SRE06S-02/2	SRE06S-02	*	0	0	0
26	SRE02F-02	End	7	3	5	0
27	SRE02F-04/01	End	0	0	0	0
28	SRE02F-06	End	1	3	0	0
29	SRE02F-07	End	1	2	6	0

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่	รหัส อุปกรณ์ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ปลายทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี) ที่เกิดขึ้นจริงในปี			
			2546	2547	2548	2549
30	SRE06F-02	End	2	0	1	7
31	SRE06F-04	End	1	1	3	0
32	SRA05S-05	SRA05S-04	*	0	1	0
33	SRA05S-04	SRA05S-08	*	0	0	0
34	SRA05S-08	SRA10S-06	*	0	1	0
35	SRA10S-06/01	SRA10R-01	*	0	0	0
36	SRA10S-10/1	SRA10S-10	*	0	0	0
37	SRA10S-10	PKE05S-06	*	0	0	0
38	SRA10F-06	End	1	1	1	0
39	SRA10F-07	End	1	3	4	7
40	SRA10F-09	End	0	2	2	3
41	SRA10F-10	End	1	0	4	0
42	SRA10F-12	End	0	4	1	0
43	PKE05F-12	End	0	5	7	3
44	SRE07S-02	SRE07S-03/1	*	0	0	3
45	SRE07S-03/1	SRE07S-04	*	0	0	0
46	SRE07S-04	PKE10S-04	*	0	1	0
47	PKE10S-04	PKE10S-03	*	0	0	0
48	PKE10S-03	PKE10S-02	*	0	0	0
49	SRE09F-02	End	4	3	1	5
50	SRE09F-03	End	1	3	0	0
51	SRE07F-01	End	0	2	1	2
52	PKE10F-11	End	1	4	1	0
53	PKE10F-12	End	*	2	1	0
54	BWA07S-01	BWA07S-02	0	0	0	*
55	BWA07S-02	BWA07S-03	0	0	0	*
56	BWA07S-04/1	BWA07S-06	0	0	0	*
57	BWA07R-01	End	1	0	0	0
58	BWA07F-01	End	1	0	1	2

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่	รหัส อุปกรณ์ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ปลายทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี) ที่เกิดขึ้นจริงในปี			
			2546	2547	2548	2549
59	BWA07F-03	End	0	0	2	10
60	BWA07F-04	End	0	0	0	5
61	BWA07F-05	End	0	0	0	2
62	BKA04S-01	BKA04S-02	*	0	2	*
63	BKA04S-02	BKA04S-05	*	3	1	*
64	BKA04S-05	BKA04S-06	*	0	3	*
65	BKA04S-06	BKA04S-08	*	0	0	*
66	BKA04S-08	BKA04S-09	*	0	0	*
67	BKA04S-04	End	*	0	1	*
68	BKA04F-02	BKA04F-03	1	4	3	2
69	BKA04F-03	End	4	1	3	2
70	BKA04F-06	End	3	0	0	0
71	BKA04F-07	End	1	1	1	2
72	BKA04F-08	End	1	1	1	3
73	BKA04F-10	End	2	1	1	2
74	BKA04F-11	End	2	2	3	2
75	BKA04F-12	End	0	0	0	0
76	BKA06S-04	BKA06S-07	0	1	0	0
77	BKA06S-06	End	0	0	0	0
78	BKA07S-01	BKA07S-02	*	0	0	0
79	BKA07S-02	BKA07S-03	*	0	0	0
80	BKA07S-03	BKA07S-04	*	0	0	0
81	NVB01S-01	NVB01S-02	*	0	0	*
82	NVB01S-02	NVB01S-03	*	0	0	*
83	NVB01S-01	NVB01S-05	*	0	0	*
84	NVB02S-01	NVB02S-02	0	0	0	2
85	NVB07S-01	NVB07S-02	0	0	0	0
86	NVB07S-03	NVB05S-16	2	1	0	0
87	NVB08S-01	NVB08S-03	*	0	0	0

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่	รหัส อุปกรณ์ต้นทาง	รหัส อุปกรณ์ปลายทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี) ที่เกิดขึ้นจริงในปี			
			2546	2547	2548	2549
88	NVB09S-01	NVB09S-02	1	2	0	0

หมายเหตุ

- * เป็น section ที่ยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟในปีนั้น หรือจำนวนไฟดับที่พบในโปรแกรม จฟ.3 ไม่ตรงกับที่ได้ในสมุดจดแก้ไขไฟฟ้าขัดข้อง
- จำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นในปี 2549 ได้จากการเทียบบัญชีไตรยางค์ แล้วทำพิเศษให้เป็นจำนวนเต็ม เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมีเหตุการณ์ไฟดับบันทึกไว้ถึง ก.ค. 2549

3. สรุปข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์

นำข้อมูลปัจจัยเฉพาะกรณีฟีดเดอร์ (62 ฟีดเดอร์) และกรณี section (88 section) มาใช้เป็นอินพุต และนำข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องที่ได้จากโปรแกรม จฟ.3 และสมุดจดแก้ไขไฟฟ้าขัดข้องตั้งแต่ วันที่ 1 มกราคม 2547 – 31 ธันวาคม 2548 ดังตารางที่ 4 และ 5 มาใช้เป็นเอาท์พุต ในการวิเคราะห์หาโมเดลสมการถดถอย (Regression), โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และ ตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) เนื่องจากเป็นข้อมูลที่มีครบทั้งปี และยังคงมีสภาพใกล้เคียงกับสภาพการจ่ายไฟปัจจุบันที่ได้ไปสำรวจ

4. สรุปข้อมูลที่ใช้ทดสอบ

นำข้อมูลปัจจัยเฉพาะกรณีฟีดเดอร์ (62 ฟีดเดอร์) และกรณี section (88 section) มาใช้เป็นอินพุต และนำข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องที่ได้จากโปรแกรม จฟ.3 และสมุดจดแก้ไขไฟฟ้าขัดข้องตั้งแต่ 1 มกราคม 2546 – 31 กรกฎาคม 2549 ดังตารางที่ 5 และ 6 มาใช้เป็นเอาท์พุต ในการทดสอบโมเดลสมการถดถอย (Regression), โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และ ตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) ที่ได้จากข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบโมเดลดังกล่าวว่าสามารถทำนายจำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้องในอดีต ปัจจุบัน หรืออนาคต ออกมาให้ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

การวิเคราะห์ข้อมูล

(Duane et al., 2002) การดำเนินการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (โมเดล) จากการวิเคราะห์ความถดถอย โครงข่ายประสาทเทียม และ ตรรกะแบบฟัซซี (Fuzzy Logic) วิเคราะห์ด้วยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ กับตัวแปรตาม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ตัวแปรอิสระ หรืออินพุต 4 ตัวแปร ได้แก่ ระยะทางสายเปลือย (A), ระยะทางสาย PIC (P), ระยะทางสาย SAC (S) และ ระยะทางบริเวณที่มีต้นไม้ (T)
- ตัวแปรตาม หรือเอาต์พุต 1 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนครั้งไฟดับ (N)

ซึ่งได้ทำการแบ่งการพิจารณาจากการวิเคราะห์แต่ละวิธี แบ่งย่อยเป็นอีกวิธีการละ 3 กรณี ดังนี้

กรณีฟีดเดอร์ ใช้ข้อมูลทั้งหมด 62 ฟีดเดอร์ ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะ (ตารางที่ 2) กับจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดในปี 2547 และ 2548 (ตารางที่ 4) เพราะฉะนั้นประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้ในการหาโมเดลจำนวน 124 ข้อมูล

กรณี section จะใช้ข้อมูลทั้งหมด 88 section ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะ (ตารางที่ 3) กับจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดในปี 2547 และ 2548 (ตารางที่ 5) ดังแสดงในตารางที่ 6 เพราะฉะนั้นประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้ในการหาโมเดลจำนวน 176 ข้อมูล

กรณีพิจารณาทั้งฟีดเดอร์ และ section ใช้ข้อมูลทั้งหมด 62 ฟีดเดอร์ รวมกับอีก 88 section (รวมทั้งหมด 150 ข้อมูล) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะ (ตารางที่ 2 และ 3) กับจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดในปี 2547 และ 2548 (ตารางที่ 4 และ 5) เพราะฉะนั้นข้อมูลที่ใช้ในการหาโมเดลจำนวน 300 ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ความถดถอย

นำข้อมูลตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม ไปหาโมเดลโดยใช้โปรแกรม MINITAB ดังภาพที่ 41 จะได้โมเดลที่อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหลายตัวแปร

$$N = k_1 + k_2 * A + k_3 * P + k_4 * S + k_5 * T \quad (30)$$

เมื่อ N คือ จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)

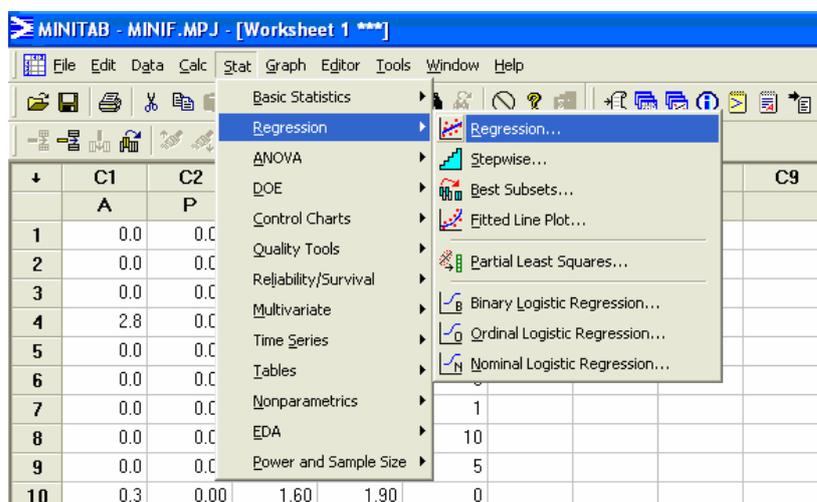
A คือ ระยะทางสายเปลือย (กม.)

P คือ ระยะทางสาย PIC (กม.)

S คือ ระยะทางสาย SAC (กม.)

T คือ ระยะทางที่ผ่านบริเวณต้นไม้ (กม.)

k_1, k_2, k_3, k_4 และ k_5 = ค่า Coefficient ของ intercept, N, A, P, S และ T ตามลำดับ



ภาพที่ 41 ส่วนหนึ่งของโปรแกรม MINITAB

ค่าของตัวแปร N มักออกมาเป็นตัวเลขทศนิยม ทำการแปลงค่าตัวแปร N ให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มบวก

2. การวิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

นำข้อมูลอินพุต และค่าเป้าหมาย (Target) ไปหาโมเดลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการเขียนโปรแกรม m file เพื่อฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม ดังภาพที่ 42

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้การฝึกโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed-forward Neural Network โดยใช้อัลกอริทึมแบบ Back-propagation (กระบวนการย้อนกลับของการรู้จำ) ที่มีลักษณะของโมเดล ดังภาพที่ 43 ในที่นี้จะใช้ 1 ชั้นซ่อน (Hidden layer) ซึ่งมี 5 นิวรอน โดยใช้อัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.05 วิธีการฝึกสอน (Train) แบบ Levenberg-Marquardt Backpropagation Training

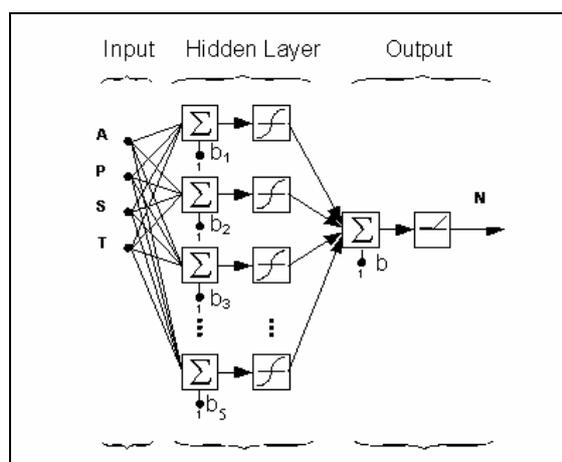
Function และใช้วิธีการเรียนรู้แบบ Gradient Descent Weight/Bias Learning Function ในการทำการฝึกสอนข้อมูลให้รู้จำแบบมีการสอน เพื่อให้โครงข่ายมีการตรวจคำตอบ และปรับตัวเองเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

```

Editor - E:\Thesis\ผลของโมเดล\model01.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack: Base
1 %Range of input data
2 PR=minmax(input);
3
4 %No. of nodes in each layer
5 S1=5; %layer1
6 S2=1; %layer2
7
8
9 %Activation function
10
11 TF1='tansig'; %layer1
12 TF2='poslin'; %layer2
13
14 %Levenberg-Marquardt backpropagation training function
15 BTF='trainlm';
16
17 %Gradient descent weight/bias learning function
18 BLF='learngd';
19
20 %Performance function
21 PF='mse';
22
23 %Create the feedforward network
24 net=newff(PR,[S1 S2],[TF1 TF2],BTF,BLF,PF);
25

```

ภาพที่ 42 ส่วนหนึ่งของคำสั่งในหน้าต่าง Editor ของโปรแกรม MATLAB



ภาพที่ 43 โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม

ผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์
ในรูปทั่วไป คือ

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

เมื่อ N คือ จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)

input คือ เมตริกซ์ 4 แถว 1 คอลัมน์ คือ $\text{input} = \begin{bmatrix} A \\ P \\ S \\ T \end{bmatrix}$

เมื่อ A คือ ระยะทางสายเปลือย (กม.)

P คือ ระยะทางสาย PIC (กม.)

S คือ ระยะทางสาย SAC (กม.)

T คือ ระยะทางที่ผ่านบริเวณต้นไม้ (กม.)

W1 คือ ค่า Weight ระหว่าง Input Layer และ Hidden Layer ซึ่งเป็น
เมตริกซ์ 5 แถว 4 คอลัมน์

W2 คือ ค่า Weight ระหว่าง Hidden Layer และ Output Layer ซึ่งเป็น
เมตริกซ์ 1 แถว 5 คอลัมน์

B1 คือ ค่า Bias ในชั้น Hidden Layer เป็นเมตริกซ์ 5 แถว 1 คอลัมน์

B2 คือ ค่า Bias ในชั้น Output Layer เป็นเมตริกซ์ 1 แถว 1 คอลัมน์

Tansig คือ Transfer Function รูปแบบหนึ่ง ย่อมาจาก Hyperbolic Tangent
Sigmoid โดยมีรูปแบบสมการคือ $a = \frac{e^n - e^{-n}}{e^n + e^{-n}}$; n คือ ค่า
element ในเมตริกซ์

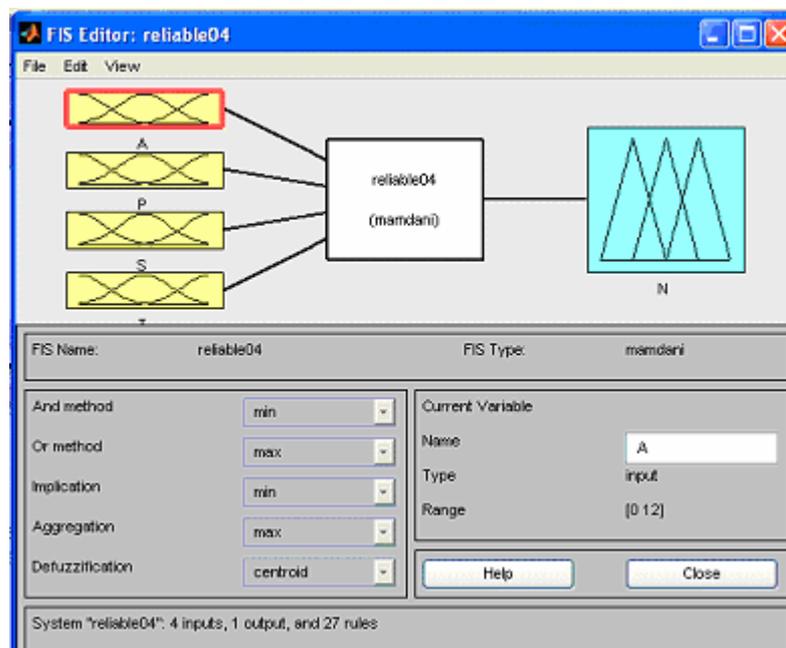
poslin คือ Transfer Function รูปแบบหนึ่ง ย่อมาจาก Positive Linear
โดยมีรูปแบบสมการคือ $a = 0$ เมื่อ $n < 0$ และ $a = n$ เมื่อ $0 \leq n$
; n คือ ค่า element ในเมตริกซ์

ค่าของตัวแปร N มักออกมาเป็นตัวเลขทศนิยม ทำการแปลงค่าตัวแปร N ให้เป็นตัวเลข
จำนวนเต็มบวก

3. การวิเคราะห์โดยใช้ตรรกะแบบฟัซซี

นำข้อมูลอินพุต และเอาท์พุต ไปหาโมเดลโดยใช้ Fuzzy Logic Toolbox ในโปรแกรม MATLAB ช่วยในการวิเคราะห์ผลดังภาพที่ 44

ในที่นี้ใช้ระบบกฎฟัซซี (Type) แบบแมมดานิ (Mamdani) ใช้ขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี (Defuzzification Method) แบบ Centroid โดยกฎฟัซซีถ้าแล้ว (If Then) โดยแต่ละตัวแปรจะมีการกำหนดช่วง และแต่ละช่วงจะกำหนด Membership Function แล้วแต่ลักษณะของข้อมูล ซึ่งโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีจะไม่อยู่ในรูปแบบของสมการ



ภาพที่ 44 หน้าต่าง FIS Editor ของ Fuzzy Logic Toolbox ในโปรแกรม MATLAB

ค่าของเอาท์พุต N มักออกมาเป็นตัวเลขทศนิยม ทำการแปลงค่าตัวแปร N ให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มบวก

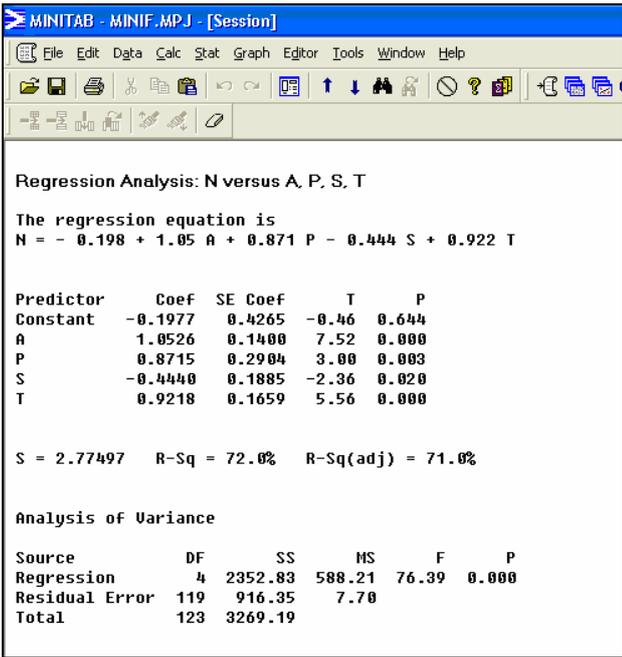
ผลและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ความถดถอย

1. กรณีพิจารณาไฟเตอร์

ผลจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะกับจำนวนครั้งไฟดับ ดังสมการที่ 32

$$N = -0.198 + 1.05*A + 0.871*P - 0.444*S + 0.922*T \quad (32)$$



The screenshot shows the MINITAB software interface with the following regression analysis results:

Regression Analysis: N versus A, P, S, T

The regression equation is
 $N = -0.198 + 1.05 A + 0.871 P - 0.444 S + 0.922 T$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.1977	0.4265	-0.46	0.644
A	1.0526	0.1400	7.52	0.000
P	0.8715	0.2904	3.00	0.003
S	-0.4440	0.1885	-2.36	0.020
T	0.9218	0.1659	5.56	0.000

S = 2.77497 R-Sq = 72.0% R-Sq(adj) = 71.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	2352.83	588.21	76.39	0.000
Residual Error	119	916.35	7.70		
Total	123	3269.19			

ภาพที่ 45 หน้าต่าง Session ของโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์กรณีไฟเตอร์

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ตามภาพที่ 45 พบว่า ความผันแปรของตัวแปรตาม (N) มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของตัวแปรอิสระ (A, P, S และ T) 72.0% โดยดูได้จากประสิทธิภาพการทำงาน หรือ ค่า R-sq พบว่าค่า R-sq ที่ได้ใกล้ 100% พอสมควร แสดงว่า ตัวแปร A, P, S และ T มี

ความสัมพันธ์กับ N ค่อนข้างมาก อีกทั้งค่า R-sq และค่า R-sq(adj) ไม่ต่างกันมาก แสดงว่าสมการความถดถอยที่ได้เป็นโมเดลที่น่ามาใช้พยากรณ์ได้ดี

ผลการวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือค่า S เป็นดัชนีที่นิยมใช้วัดการกระจายของข้อมูลซึ่งได้ค่าเท่ากับ 2.7750 หมายความว่าในการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้นี้จะให้ค่าคลาดเคลื่อนของตัวแปรตาม ซึ่งในที่นี้คือจำนวนครั้งไฟดับโดยประมาณ 2.7750 ครั้ง/ปี

จากสมการความถดถอยเชิงเส้นในสมการที่ 32 จะได้ว่า

ค่า Coefficient ของ A คือ 1.05 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสายเปลือยเพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 1.05 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ P คือ 0.871 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสาย PIC เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.871 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ S คือ -0.444 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสาย SAC เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับลดลงประมาณ 0.444 ครั้ง/ปี

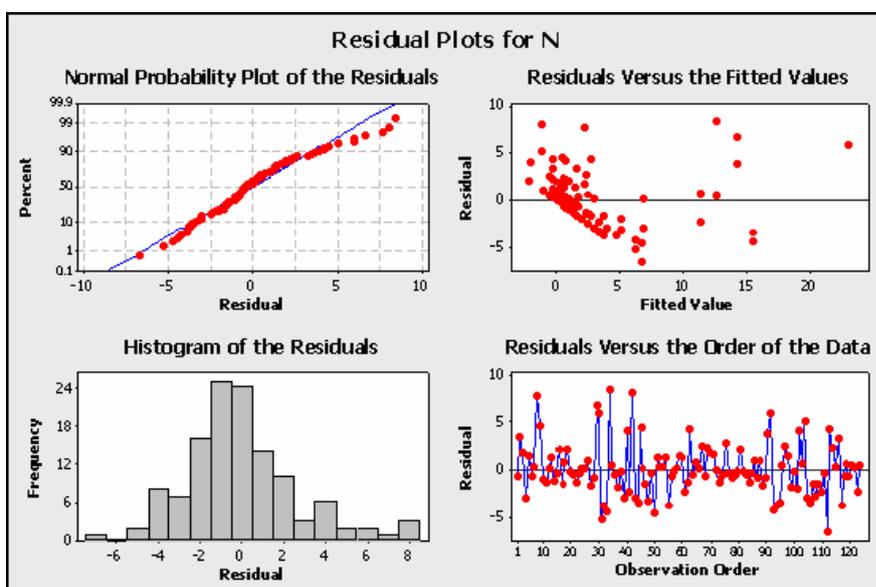
ค่า Coefficient ของ T คือ 0.922 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งผ่านบริเวณที่มีต้นไม้เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.922 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ Interception คือ 0.198 หมายความว่ามิตัวแปรตัวอื่นที่ไม่ใช่ A, P, S และ T จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.198 ครั้ง/ปี

ต่อจากนั้นทำการทดสอบว่าตัวแปรอิสระ A, P, S และ T ตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม N โดยใช้สถิติทดสอบ t ซึ่งมีหลักเกณฑ์ว่า ถ้าค่า Sig. t (ค่า P จากภาพที่ 46) ของตัวแปรน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากภาพที่ 46 พบว่าทุกตัวแปร A, P, S และ T มีความสัมพันธ์กับตัวแปร N แต่ค่า Constant ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร N เราสามารถตัดค่า Constant หรือ ค่า Coefficient ของ Interception ออกจากสมการได้

ผลของค่า Residuals (ค่าความคลาดเคลื่อน : Error) ที่เกิดขึ้นจากการนำโมเดลมาพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับ เมื่อแทนค่าตัวแปรอิสระ (ข้อมูลปัจจัยเฉพาะของชุดข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์) ตามสมการที่ 32 แสดงดังภาพที่ 46 ซึ่งสามารถพิจารณาผลได้จาก 4 กราฟ ดังนี้

- Normal Probability Plot of the Residuals การเรียงตัวของจุดเป็นแนวเส้นตรงพอสมควร ถือได้ว่าข้อมูลที่ได้มาตรงตามเงื่อนไข Normal distribution การันตีได้ว่าผลสรุปที่ได้มาทั้งหมดสามารถนำไปใช้พยากรณ์ หรือ คาดการณ์ประชากรได้
- Histogram of the Residuals ค่า Residuals ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ± 2 ครั้ง/ปี
- Residuals Versus the Fitted Values และ Residuals Versus the Order of the Data แสดงค่า Residuals ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงไม่เกิน 10 ครั้ง/ปี



ภาพที่ 46 หน้าต่าง Residual Plots ของโปรแกรม MINITAB ผลความคลาดเคลื่อนกรณีไฟเตอร์

สรุปผลของโมเดลความถดถอย เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มบวก แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลกรณีไฟเตอร์ปี 2547-2548 จะให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.8595 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 2.6351 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลมาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 62 ไฟเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 15 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 6

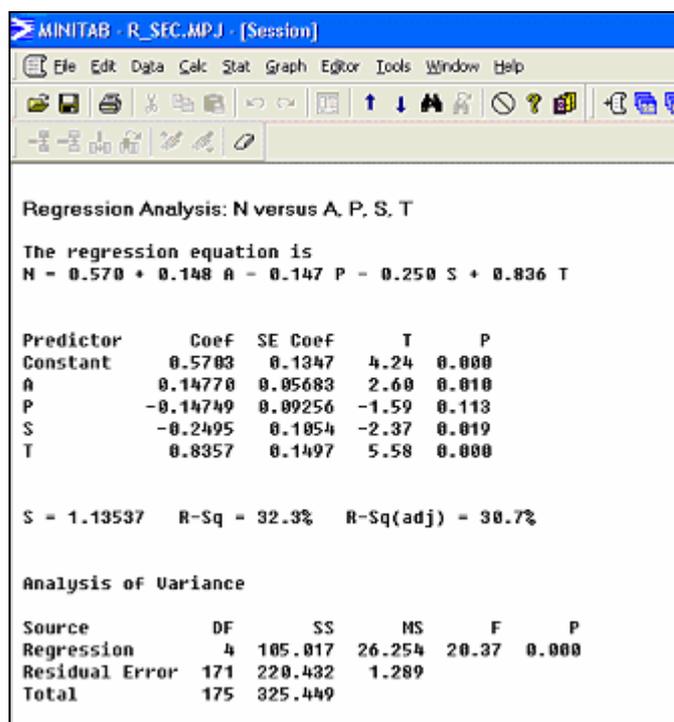
ตารางที่ 6 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลความถดถอยกรณีไฟเตอร์

ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	6.1614	2.9072	2.3314	3.8500	3.8125

2. กรณีพิจารณา section

ผลจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะกับจำนวนครั้งไฟดับ ดังสมการที่ 33

$$N = 0.570 + 0.148*A - 0.147*P - 0.250*S + 0.836*T \quad (33)$$



MINITAB - R_SEC.MPJ - [Session]

File Edit Data Calc Stat Graph Editor Tools Window Help

Regression Analysis: N versus A, P, S, T

The regression equation is
 $N = 0.570 + 0.148 A - 0.147 P - 0.250 S + 0.836 T$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.5703	0.1347	4.24	0.000
A	0.14778	0.05683	2.60	0.010
P	-0.14749	0.09256	-1.59	0.113
S	-0.2495	0.1054	-2.37	0.019
T	0.8357	0.1497	5.58	0.000

S = 1.13537 R-Sq = 32.3% R-Sq(adj) = 30.7%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	105.017	26.254	20.37	0.000
Residual Error	171	220.432	1.289		
Total	175	325.449			

ภาพที่ 47 หน้าต่าง Session ของโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์กรณี section

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ตามภาพที่ 47 พบว่า ความผันแปรของตัวแปรตาม (N) มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของตัวแปรอิสระ (A, P, S และ T) 32.3% โดยดูได้จากประสิทธิภาพการทำงาน หรือ ค่า R-sq พบว่าค่า R-sq ที่ได้ค่อนข้างไกลจาก 100% พอสมควร แสดงว่า ตัวแปร A, P, S และ T มีความสัมพันธ์กับ N ค่อนข้างน้อย แต่ค่า R-sq และค่า R-sq(adj) ไม่ต่างกันมาก แสดงว่า สมการความถดถอยที่ได้เป็นโมเดลที่น่ามาใช้พยากรณ์ได้

ผลการวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือค่า S เป็นดัชนีที่นิยมใช้วัดการกระจายของข้อมูลซึ่งได้ค่าเท่ากับ 1.1354 หมายความว่าในการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้นี้จะให้ค่าคลาดเคลื่อนของตัวแปรตาม ซึ่งในที่นี้คือจำนวนครั้งไฟดับโดยประมาณ 1.1354 ครั้ง/ปี

จากสมการความถดถอยเชิงเส้นในสมการที่ 33 จะได้ว่า

ค่า Coefficient ของ A คือ 0.148 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสายเปลือยเพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.148 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ P คือ -0.147 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสาย PIC เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับลดลงประมาณ 0.147 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ S คือ -0.250 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสาย SAC เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับลดลงประมาณ 0.250 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ T คือ 0.836 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งผ่านบริเวณที่มีต้นไม้เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.836 ครั้ง/ปี

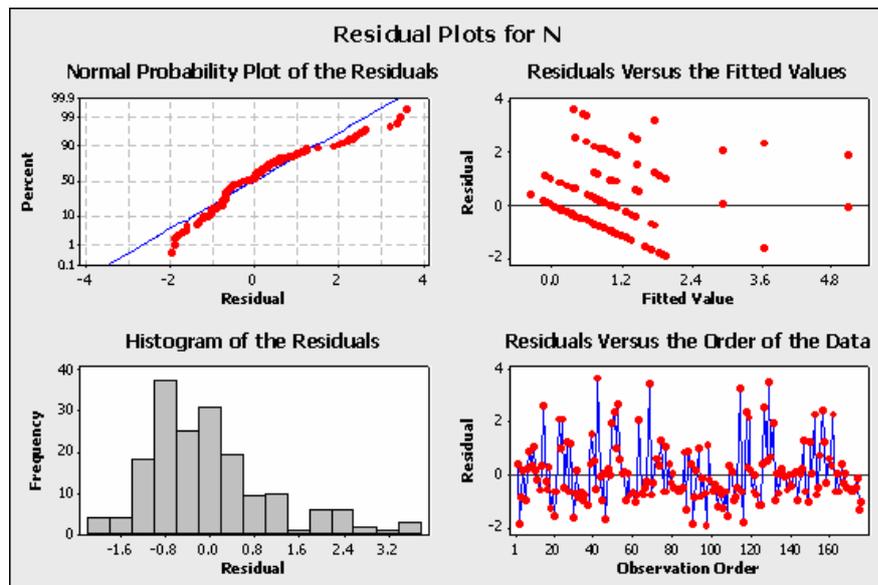
ค่า Coefficient ของ Interception คือ 0.570 หมายความว่าเมื่อตัวแปรตัวอื่นที่ไม่ใช่ A, P, S และ T จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.570 ครั้ง/ปี

ต่อจากนั้นทำการทดสอบว่าตัวแปรอิสระ A, P, S และ T ตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม N โดยใช้สถิติทดสอบ t ซึ่งมีหลักเกณฑ์ว่า ถ้าค่า Sig t (ค่า P จากภาพที่ 47) ของตัวแปรน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากภาพที่ 47 พบว่าตัวแปร A, S, T และค่า Constant มีความสัมพันธ์กับตัวแปร N แต่ตัวแปร P ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร N เราสามารถตัดตัวแปร P ออกจากสมการได้ เนื่องจากระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสาย PIC ไม่มีผลต่อการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของจำนวนครั้งไฟดับ

ผลของค่า Residuals (ค่าความคลาดเคลื่อน : Error) ที่เกิดขึ้นจากการนำโมเดลมาพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับ เมื่อแทนค่าตัวแปรอิสระ (ข้อมูลปัจจัยเฉพาะของชุดข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์) ตามสมการที่ 33 แสดงดังภาพที่ 48 ซึ่งสามารถพิจารณาผลได้จาก 4 กราฟ ดังนี้

- Normal Probability Plot of the Residuals การเรียงตัวของจุดเป็นแนวเส้นตรงพอสมควร ถือได้ว่าข้อมูลที่ได้มาตรงตามเงื่อนไข Normal distribution การันตีได้ว่าผลสรุปที่ได้มาทั้งหมดสามารถนำไปใช้พยากรณ์ หรือ คาดการณ์ประชากรได้

- Histogram of the Residuals ค่า Residuals ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ± 1 ครั้ง/ปี
- Residuals Versus the Fitted Values และ Residuals Versus the Order of the Data แสดงค่า Residuals ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงไม่เกิน 4 ครั้ง/ปี



ภาพที่ 48 หน้าต่าง Residual Plots ของโปรแกรม MINITAB ผลความคลาดเคลื่อนกรณี section

สรุปผลของโมเดลความถดถอย เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็มบวก แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูลกรณี section ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.5199 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 1.1702 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลมาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 88 section ดังแสดงในตารางที่ 16 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 7

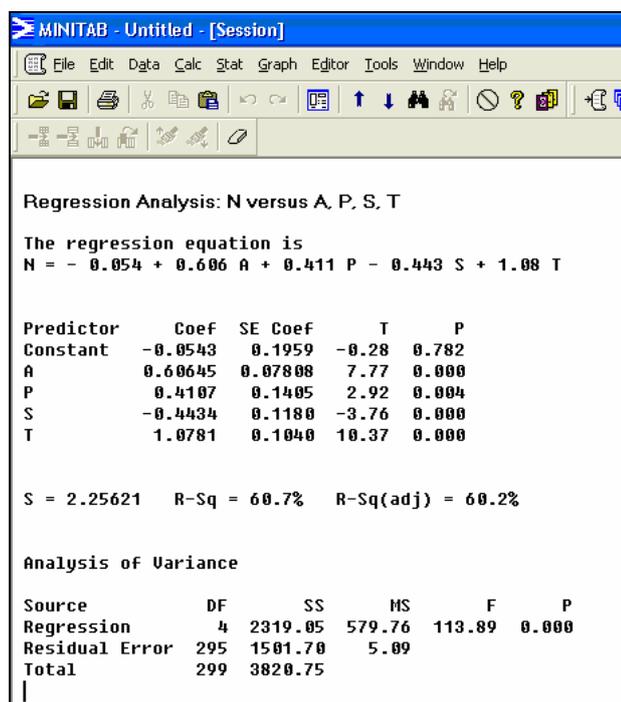
ตารางที่ 7 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลความถดถอยกรณี section

ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	2.1082	1.2201	1.1180	2.0067	1.6133

3. กรณีพิจารณาทั้งฟีดเดอร์และ section

ผลจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นหลายตัวแปร แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเฉพาะกับจำนวนครั้งไฟดับ ดังสมการที่ 34

$$N = -0.054 + 0.606*A + 0.411*P - 0.443*S + 1.08*T \quad (34)$$



Regression Analysis: N versus A, P, S, T

The regression equation is
 $N = -0.054 + 0.606 A + 0.411 P - 0.443 S + 1.08 T$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.0543	0.1959	-0.28	0.782
A	0.60645	0.07808	7.77	0.000
P	0.4107	0.1405	2.92	0.004
S	-0.4434	0.1180	-3.76	0.000
T	1.0781	0.1040	10.37	0.000

S = 2.25621 R-Sq = 60.7% R-Sq(adj) = 60.2%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	2319.05	579.76	113.89	0.000
Residual Error	295	1501.70	5.09		
Total	299	3820.75			

ภาพที่ 49 หน้าต่าง Session ของโปรแกรม MINITAB แสดงผลการวิเคราะห์กรณีฟีดเดอร์ และ section

ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ตามภาพที่ 49 พบว่า ความผันแปรของตัวแปรตาม (N) มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของตัวแปรอิสระ (A, P, S และ T) 60.7% โดยดูได้จากประสิทธิภาพการทำงาน หรือ ค่า R-sq พบว่าค่า R-sq ที่ได้ใกล้เคียง 100% พอสมควร แสดงว่า ตัวแปร A, P, S และ T มีความสัมพันธ์กับ N ปานกลาง อีกทั้งค่า R-sq และค่า R-sq(adj) ไม่ต่างกันมาก แสดงว่าสมการความถดถอยที่ได้เป็น โมเดลที่นำมาใช้พยากรณ์ ได้ดีพอสมควร

ผลการวิเคราะห์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือค่า S เป็นดัชนีที่นิยมใช้วัดการกระจายของข้อมูลซึ่งได้ค่าเท่ากับ 2.2562 หมายความว่าในการใช้สมการถดถอยเชิงเส้นที่ได้นี้จะให้ค่าคลาดเคลื่อนของตัวแปรตาม ซึ่งในที่นี้คือจำนวนครั้งไฟดับโดยประมาณ 2.2562 ครั้ง/ปี

จากสมการความถดถอยเชิงเส้นในสมการที่ 34 จะได้ว่า

ค่า Coefficient ของ A คือ 0.606 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสายเปลือยเพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.606 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ P คือ 0.411 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสาย PIC เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 0.411 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ S คือ -0.443 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งด้วยสาย SAC เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับลดลงประมาณ 0.443 ครั้ง/ปี

ค่า Coefficient ของ T คือ 1.08 หมายความว่าถ้าระบบจำหน่ายติดตั้งผ่านบริเวณที่มีต้นไม้เพิ่มขึ้น 1 กม. จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับเพิ่มขึ้นประมาณ 1.08 ครั้ง/ปี

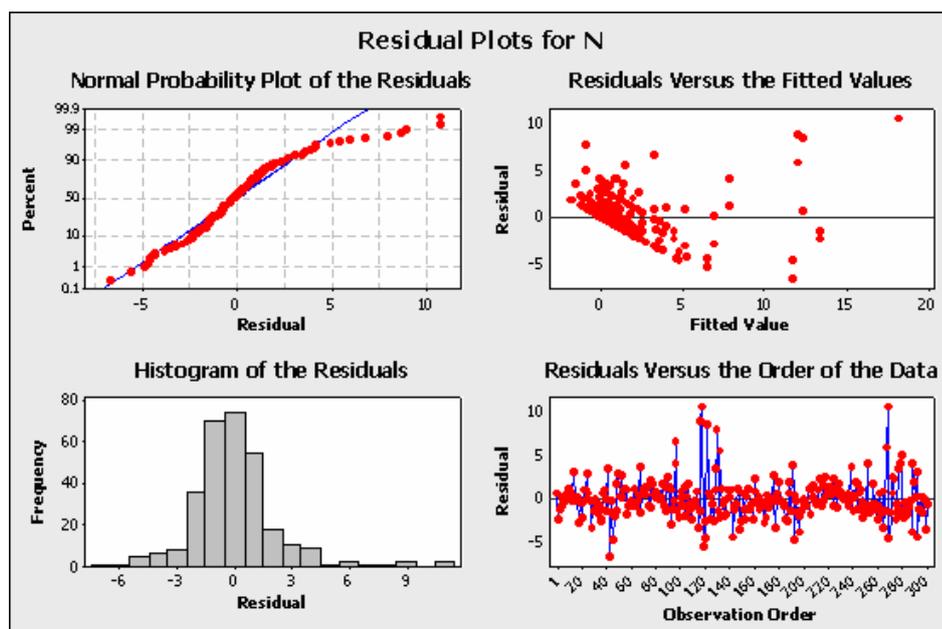
ค่า Coefficient ของ Interception คือ -0.054 หมายความว่าเมื่อตัวแปรตัวอื่นที่ไม่ใช่ A, P, S และ T จะทำให้เกิดจำนวนครั้งไฟดับลดลงประมาณ 0.054 ครั้ง/ปี

ต่อจากนั้นทำการทดสอบว่าตัวแปรอิสระ A, P, S และ T ตัวใดมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม N โดยใช้สถิติทดสอบ t ซึ่งมีหลักเกณฑ์ว่า ถ้าค่า Sig. t (ค่า P จากภาพที่ 49) ของตัวแปรน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามในรูปเชิงเส้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากภาพที่ 49 พบว่าทุกตัวแปร A, P, S และ T มีความสัมพันธ์กับตัวแปร N แต่ค่า Constant ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปร N เราสามารถตัดค่า Constant หรือ ค่า Coefficient ของ Interception ออกจากสมการได้

ผลของค่า Residuals (ค่าความคลาดเคลื่อน : Error) ที่เกิดขึ้นจากการนำโมเดลมาพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับ เมื่อแทนค่าตัวแปรอิสระ (ข้อมูลปัจจัยเฉพาะของชุดข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์) ตามสมการที่ 34 แสดงดังภาพที่ 50 ซึ่งสามารถพิจารณาผลได้จาก 4 กราฟ ดังนี้

- Normal Probability Plot of the Residuals การเรียงตัวของจุดเป็นแนวเส้นตรงพอสมควร ถือได้ว่าข้อมูลที่ได้มาตรงตามเงื่อนไข Normal distribution การันตีได้ว่าผลสรุปที่ได้มาทั้งหมดสามารถนำไปใช้พยากรณ์ หรือ คาดการณ์ประชากรได้

- Histogram of the Residuals ค่า Residuals ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ± 2 ครั้ง/ปี
- Residuals Versus the Fitted Values และ Residuals Versus the Order of the Data แสดงค่า Residuals ที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงไม่เกิน 10 ครั้ง/ปี



ภาพที่ 50 หน้าต่าง Residual Plots ของโปรแกรม MINITAB ผลความคลาดเคลื่อนกรณีฟีดเดอร์ และ section

สรุปผลของโมเดลความถดถอย เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็มบวก แล้วนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งกรณีฟีดเดอร์ และ section ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.7870 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 2.2091 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลมาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 150 ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 17 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 8

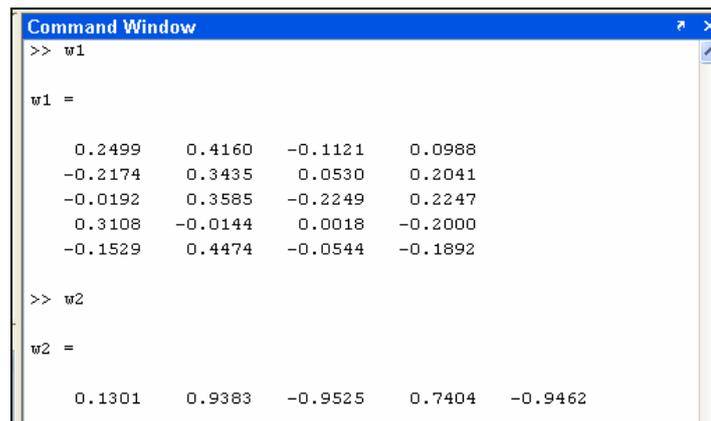
ตารางที่ 8 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลความถดถอยทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section

ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	4.9766	2.3833	2.0199	2.9066	3.0716

ผลการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียม

1. กรณีพิจารณาฟิดเดอร์

ANN ทำการ generate ค่า Weight และ Bias เริ่มต้นด้วยค่ามีเป็นเมตริกซ์ ดังแสดงในภาพที่ 51 และ 52 โดยทำการ train ทั้งหมด 36 รอบ จึงดูเข้าสู่ค่า Performance ที่ตั้งไว้ ในที่นี้ตั้งค่า Mean Square Error (MSE) ไว้ที่ 3.5 (โมเดลนี้ได้ค่า MSE เท่ากับ 3.48311) ดังภาพที่ 53 และผลจากการ train นำค่าเป้าหมาย และค่าเอาต์พุตที่แปลงเป็นจำนวนเต็มจากโมเดลแล้ว มา plot แสดงดังภาพที่ 54 โดยสัญลักษณ์วงกลม (O) หมายถึง ค่าเป้าหมาย และสัญลักษณ์ดอกจัน (*) หมายถึงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการ train ANN



```

Command Window
>> w1

w1 =

    0.2499    0.4160   -0.1121    0.0988
   -0.2174    0.3435    0.0530    0.2041
   -0.0192    0.3585   -0.2249    0.2247
    0.3108   -0.0144    0.0018   -0.2000
   -0.1529    0.4474   -0.0544   -0.1892

>> w2

w2 =

    0.1301    0.9383   -0.9525    0.7404   -0.9462
  
```

ภาพที่ 51 ค่า W1 และ W2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟิดเดอร์



```

Command Window
>> b1

b1 =

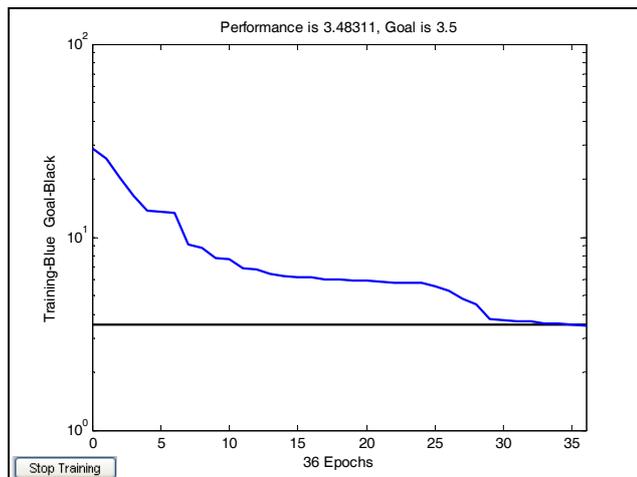
   -4.9666
   -0.4362
   -1.5229
    0.6584
   -1.3471

>> b2

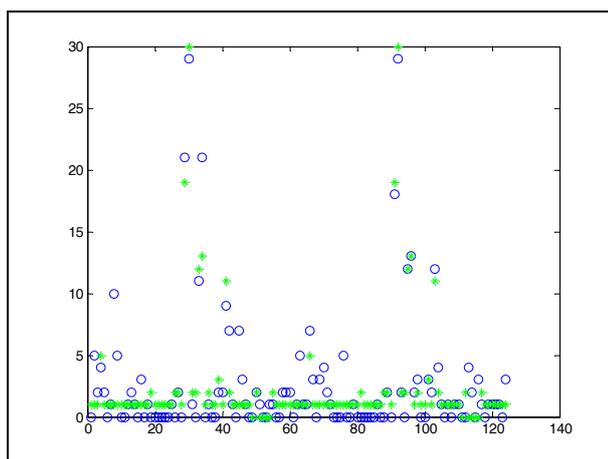
b2 =

    0.0391
  
```

ภาพที่ 52 ค่า B1 และ B2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟิดเดอร์



ภาพที่ 53 การ Train ข้อมูลของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟิดเดอร์



ภาพที่ 54 การ Plot ระหว่างค่าเป้าหมาย กับค่าเอาต์พุตของโมเดล ANN กรณีฟิดเดอร์

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า $W1$, $W2$, $B1$ และ $B2$ ซึ่งก็คือ ค่า Weight และ Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} 0.2409 & 0.2942 & -0.3066 & 0.4710 \\ 1.1791 & 2.3227 & -0.1975 & -1.4374 \\ -2.9349 & 0.6705 & 1.3247 & 0.4621 \\ 1.0006 & -1.1696 & 1.1319 & -1.0533 \\ 0.9157 & 2.0668 & -1.0893 & -2.6811 \end{bmatrix}$$

$$W2 = [6.1014 \quad 8.4280 \quad 0.0086 \quad 2.7427 \quad -8.4715]$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 1.2038 \\ 0.4334 \\ 3.5185 \\ 3.0618 \\ -4.5970 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [4.3136]$$

สรุปผลของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม แล้วนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลกรณีฟีดเดอร์ ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.9317 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 1.8730 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลมาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 62 ฟีดเดอร์ ดังแสดงในตารางที่ 15 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณีฟีดเดอร์

ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	5.9161	2.2070	1.4646	3.8917	3.3699

2. กรณีพิจารณา section

ANN ทำการ generate ค่า Weight และ Bias เริ่มต้นด้วยค่ามีเป็นเมตริกซ์ ดังแสดงในภาพที่ 55 และ 56 โดยทำการ train ทั้งสิ้น 23 รอบ จึงดูเข้าสู่ค่า Performance ที่ตั้งไว้ ในที่นี้ตั้งค่า Mean Square Error (MSE) ไว้ที่ 1 (โมเดลนี้ได้ค่า MSE เท่ากับ 0.9836) ดังภาพที่ 57 และผลจากการ train นำค่าเป้าหมาย และค่าเอาต์พุตที่แปลงเป็นจำนวนเต็มจากโมเดลแล้ว มา plot แสดงดังภาพที่ 58 โดยสัญลักษณ์วงกลม (O) หมายถึง ค่าเป้าหมาย และสัญลักษณ์ดอกจัน (*) หมายถึงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการ train ANN

```

Command Window
>> w1

w1 =

    -0.0792    0.1694   -0.0507    1.2701
    -0.0849   -0.4585    0.7121   -0.5957
     0.0823   -0.4503   -0.4773    0.8987
     0.1986   -0.2858   -0.0361    0.8802
    -0.0894    0.0923    0.0564   -1.2760

>> w2

w2 =

    0.5351    0.8947    0.6266    0.8477   -0.6020

```

ภาพที่ 55 ค่า W1 และ W2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section

```

Command Window
b1 =

    0.3629
    2.3614
    0.0579
   -0.9504
    0.1830

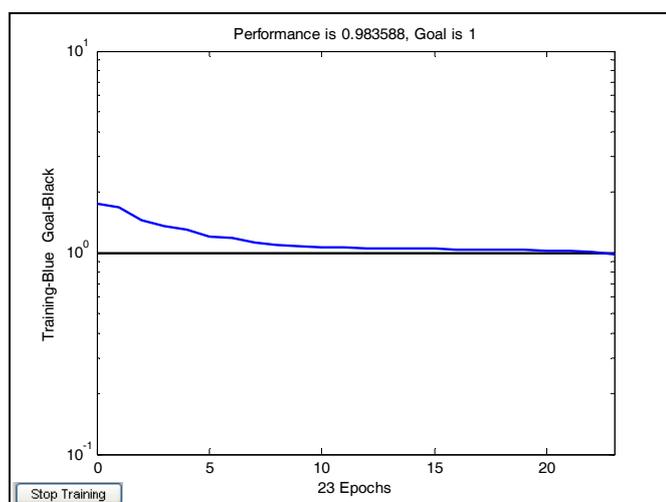
>> b2

b2 =

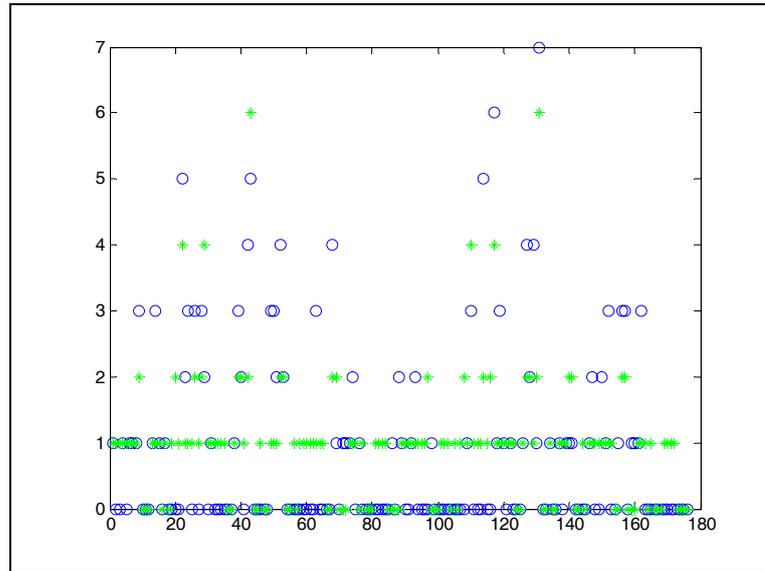
    0.3485

```

ภาพที่ 56 ค่า B1 และ B2 เริ่มต้นของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section



ภาพที่ 57 การ Train ข้อมูลของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section



ภาพที่ 58 การ Plot ระหว่างค่าเป้าหมาย กับค่าเอาต์พุตของโมเดล ANN กรณี section

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W_1 , W_2 , B_1 และ B_2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight และ Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W_1 = \begin{bmatrix} -0.0250 & 2.8620 & -0.2728 & 2.8863 \\ -0.0504 & -0.7347 & 0.7559 & 0.6242 \\ -0.0527 & 0.4237 & -1.4678 & 1.0976 \\ 0.2783 & -2.1206 & -0.6676 & -0.1884 \\ -0.1594 & -0.2271 & 0.4574 & -1.5982 \end{bmatrix}$$

$$W_2 = [2.4187 \ 1.7751 \ 1.6692 \ 2.1021 \ 3.1311]$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} -0.9474 \\ 2.4711 \\ -1.7347 \\ -0.1407 \\ 0.4140 \end{bmatrix}$$

$$B_2 = [1.3692]$$

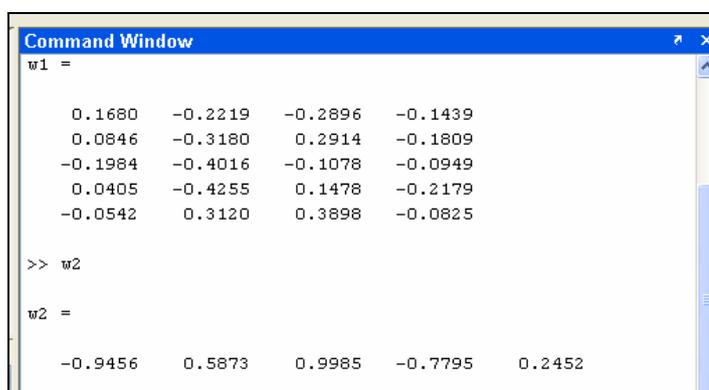
สรุปผลของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม แล้วนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลกรณี section ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.6788 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 1.0028 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลมาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 88 section ดังแสดงในตารางที่ 16 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมกรณี section

ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	2.1387	0.9886	1.0169	2.0101	1.5386

3. กรณีพิจารณาทั้งฟีดเดอร์และ section

ANN ทำการ generate ค่า Weight และ Bias เริ่มต้นด้วยค่ามีเป็นเมตริกซ์ ดังแสดงในภาพที่ 59 และ 60 โดยทำการ train ทั้งสิ้น 15 รอบ จึงดูเข้าสู่ค่า Performance ที่ตั้งไว้ ในที่นี้ตั้งค่า Mean Square Error (MSE) ไว้ที่ 2.5 (โมเดลนี้ได้ค่า MSE เท่ากับ 2.4785) ดังภาพที่ 61 และผลจากการ train นำค่าเป้าหมาย และค่าเอาต์พุตที่แปลงเป็นจำนวนเต็มจากโมเดลแล้ว มา plot แสดงดังภาพที่ 62 โดยสัญลักษณ์วงกลม (O) หมายถึง ค่าเป้าหมาย และสัญลักษณ์ดอกจันทน์ (*) หมายถึงค่าเอาต์พุตที่ได้จากการ train ANN



```

Command Window
w1 =

    0.1680    -0.2219    -0.2896    -0.1439
    0.0846    -0.3180     0.2914    -0.1809
   -0.1984    -0.4016    -0.1078    -0.0949
    0.0405    -0.4255     0.1478    -0.2179
   -0.0542     0.3120     0.3898    -0.0825

>> w2

w2 =

   -0.9456     0.5873     0.9985    -0.7795     0.2452
  
```

ภาพที่ 59 ค่า $W1$ และ $W2$ เริ่มต้นของโมเดล ANN ทั้งกรณีฟีดเดอร์ และ section

```

Command Window
>> b1

b1 =

-0.3887
-0.7220
 3.8219
 2.9022
-3.9322

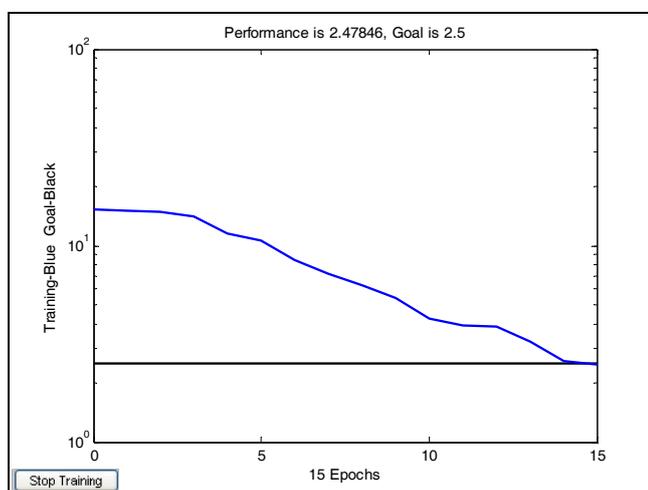
>> b2

b2 =

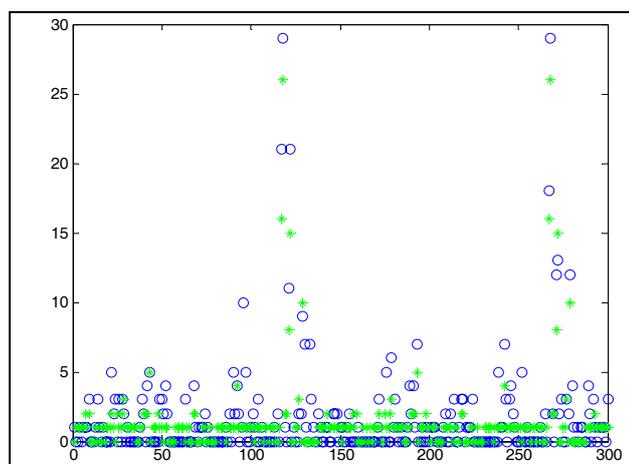
-0.7349

```

ภาพที่ 60 ค่า B1 และ B2 เริ่มต้นของโมเดล ANN ทั้งกรณีฟีดเดอร์ และ section



ภาพที่ 61 การ Train ข้อมูลของโมเดล ANN ทั้งกรณีฟีดเดอร์ และ section



ภาพที่ 62 การ Plot ระหว่างค่าเป้าหมาย กับค่าเอาต์พุตของโมเดล ANN ทั้งกรณีฟีดเดอร์ และ section

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะได้สมการความสัมพันธ์ของโมเดลนี้ ดังสมการที่ 31 โดยแทนค่า W1, W2, B1 และ B2 ซึ่งก็คือ ค่า Weight และ Bias หลังจากผ่านกระบวนการฝึกสอนของโครงข่ายประสาทเทียมแล้ว มีค่าดังนี้

$$W1 = \begin{bmatrix} -0.0070 & 0.1195 & 0.1800 & -0.2255 \\ -5.6163 & 0.3632 & -3.4669 & 0.7330 \\ -0.7395 & 0.5089 & -1.8184 & 1.5270 \\ 0.4579 & 0.5520 & -0.0263 & 0.2430 \\ 0.8251 & 0.2777 & 0.3136 & -0.0970 \end{bmatrix}$$

$$W2 = [-5.9993 \quad 0.6473 \quad 7.6347 \quad 3.8571 \quad 8.6444]$$

$$B1 = \begin{bmatrix} 1.2038 \\ 0.4334 \\ 3.5185 \\ 3.0618 \\ -4.5970 \end{bmatrix}$$

$$B2 = [3.6115]$$

สรุปผลของโมเดลความถดถอย เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม แล้วนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งกรณีฟีดเดอร์ และ section ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.8997 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 1.6104 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลที่ได้ตามสมการที่ 34 มาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 150 ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 17 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 11

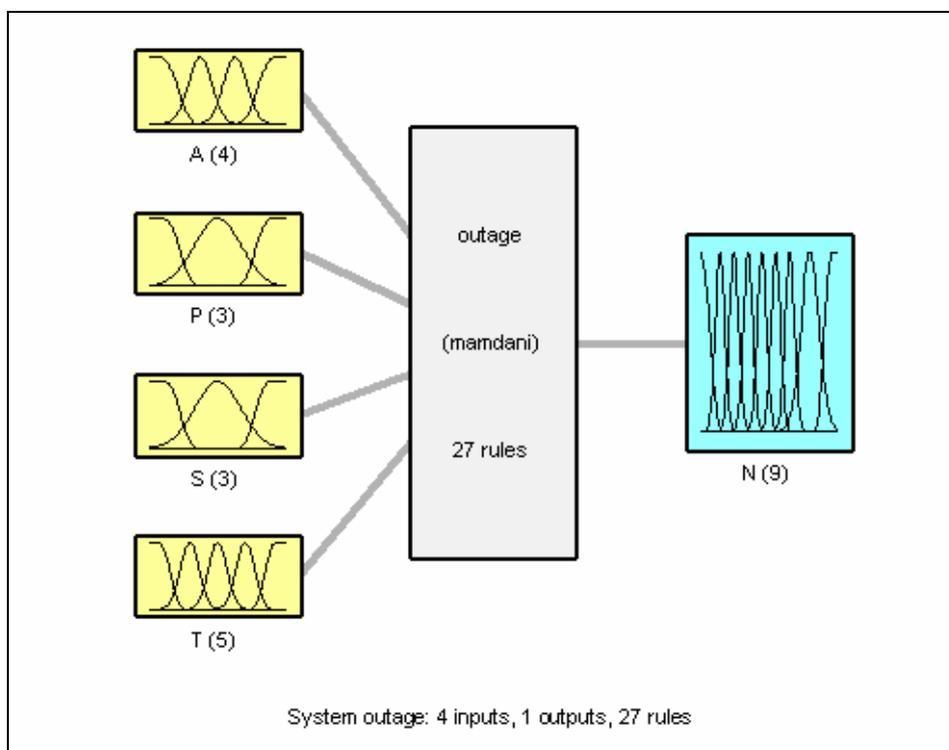
ตารางที่ 11 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดล ANN ทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section

ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	4.6804	1.8239	1.3784	2.8466	2.6823

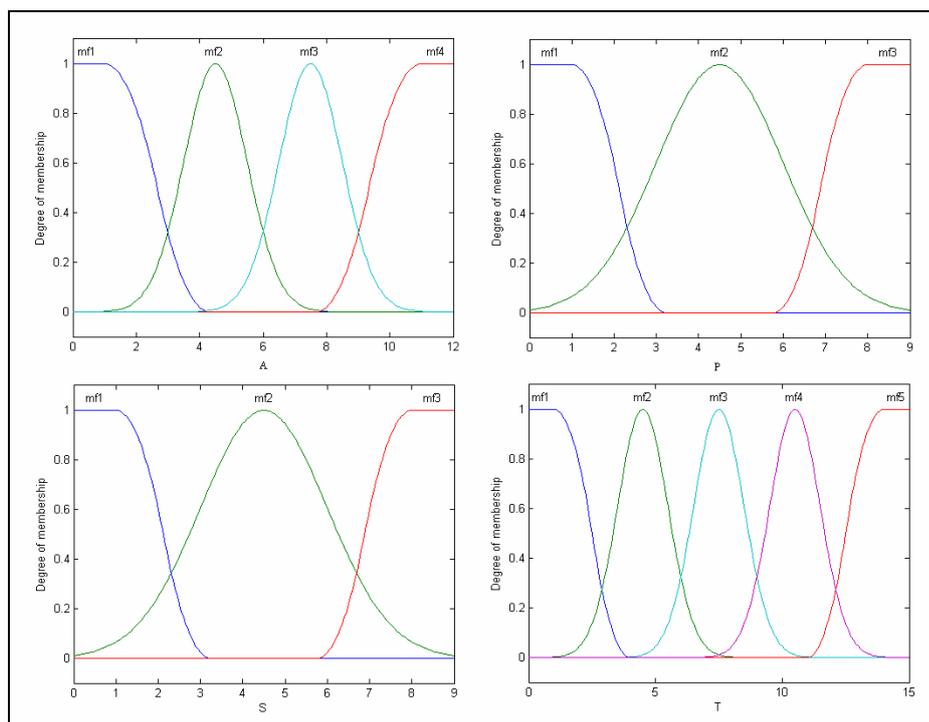
ผลการวิเคราะห์ตรรกะแบบฟัซซี

1. กรณีพิจารณาไฟเดอเตอร์

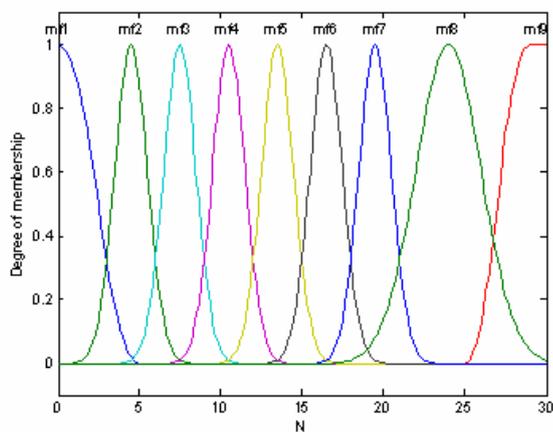
โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีแสดงดังภาพที่ 63 ซึ่งใช้ระบบกฎฟัซซีแบบแมมดานิ (Mamdani) วิเคราะห์จาก Membership Function ของอินพุต 4 ตัวแปร และเอาต์พุต 1 ตัวแปร ดังแสดงในภาพที่ 64 และ 65 ตามลำดับ ค่าเอาต์พุตที่ได้ผ่านกระบวนการพิจารณาจากกฎฟัซซี ถ้า-ดังนั้น (If-Then) ทั้งหมด 27 กฎ โดยขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซีแบบ Centriod



ภาพที่ 63 โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณีไฟเดอเตอร์



ภาพที่ 64 Membership function ของ A, P, S และ T ในโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณีฟีดเดอร์



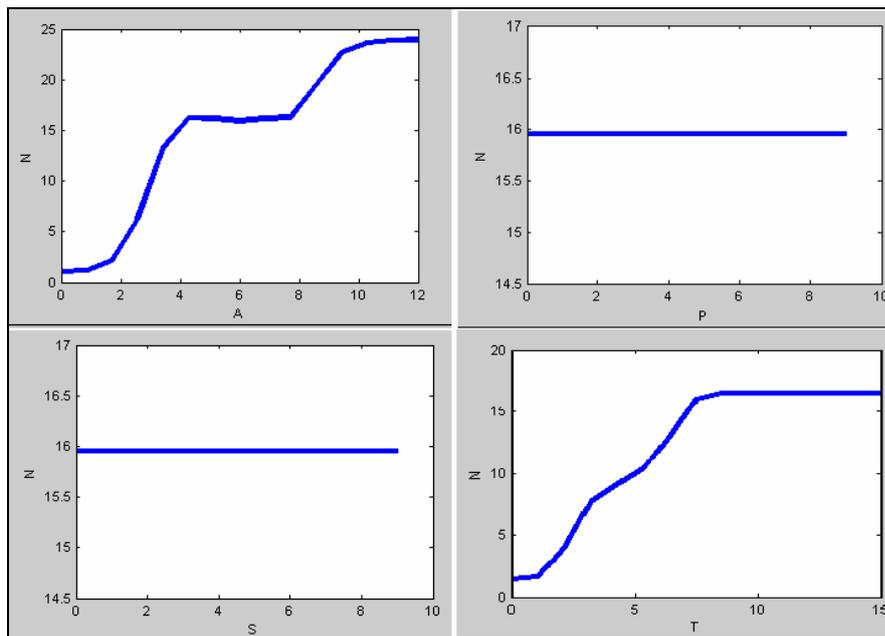
ภาพที่ 65 Membership function ของ N ในโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณีฟีดเดอร์

กฎทั้ง 27 กฎของตรรกะฟัซซี ในที่นี้ใช้รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

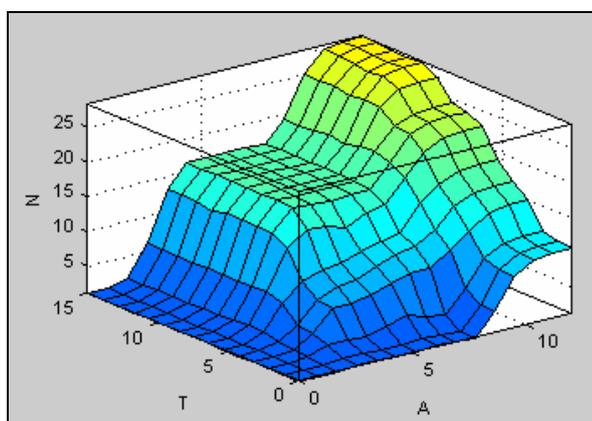
1. If (A is mf1) and (P is mf1) then (N is mf1)
2. If (A is mf1) and (P is mf2) then (N is mf1)
3. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is mf1) then (N is mf2)

4. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf1) then (N is mf2)
5. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf2) then (N is mf2)
6. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf3) then (N is mf3)
7. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf4) then (N is mf4)
8. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf5) then (N is mf5)
9. If (A is mf2) and (T is mf1) then (N is mf1)
10. If (A is mf2) and (T is mf2) then (N is mf3)
11. If (A is mf2) and (T is mf3) then (N is mf6)
12. If (A is mf2) and (T is mf4) then (N is mf6)
13. If (A is mf2) and (T is mf5) then (N is mf6)
14. If (A is mf3) and (T is mf1) then (N is mf1)
15. If (A is mf3) and (T is mf2) then (N is mf4)
16. If (A is mf3) and (T is mf3) then (N is mf6)
17. If (A is mf3) and (T is mf4) then (N is mf6)
18. If (A is mf3) and (T is mf5) then (N is mf6)
19. If (A is mf4) and (T is mf1) then (N is mf4)
20. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf2) then (N is mf6)
21. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf3) then (N is mf8)
22. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf4) then (N is mf9)
23. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf5) then (N is mf9)
24. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf2) then (N is mf5)
25. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf3) then (N is mf6)
26. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf4) then (N is mf7)
27. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf5) then (N is mf8)

จากการประมวลผลทั้งหมดของโมเดล ทำให้ทราบว่าแต่ละอินพุตมีความสัมพันธ์กับเอาต์พุตในลักษณะใด ดังภาพที่ 66 ซึ่งพบว่าอินพุต A และ T ส่งผลต่อเอาต์พุตในลักษณะเดียวกัน คือ ถ้ากำหนดให้อินพุตอื่นคงที่ที่อยู่ในค่ากลาง แล้วเพิ่มค่า A หรือ T จะส่งผลให้ค่า N เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนอินพุต P และ S นั้น การเปลี่ยนแปลงค่า P หรือ S แทบจะไม่ส่งผลต่อค่า N เลย ถ้ากำหนดให้อินพุตอื่นคงที่ในค่ากลาง จึงพิจารณาทำการ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A, T และ N ดังภาพที่ 67



ภาพที่ 66 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตในโมเดลของตรรกะแบบฟuzzy กรณีฟิดเดอร์



ภาพที่ 67 การ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A , T และ N ในโมเดลของตรรกะแบบฟuzzy กรณีฟิดเดอร์

สรุปผลของโมเดลตรรกะแบบฟuzzy เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม แล้วนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลกรณีฟิดเดอร์ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.9254 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 2.0340 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลที่ได้ มาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 62 ฟิดเดอร์ ดังแสดงในตารางที่ 15 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลตรรกะฟัซซีกรณีฟีดเดอร์

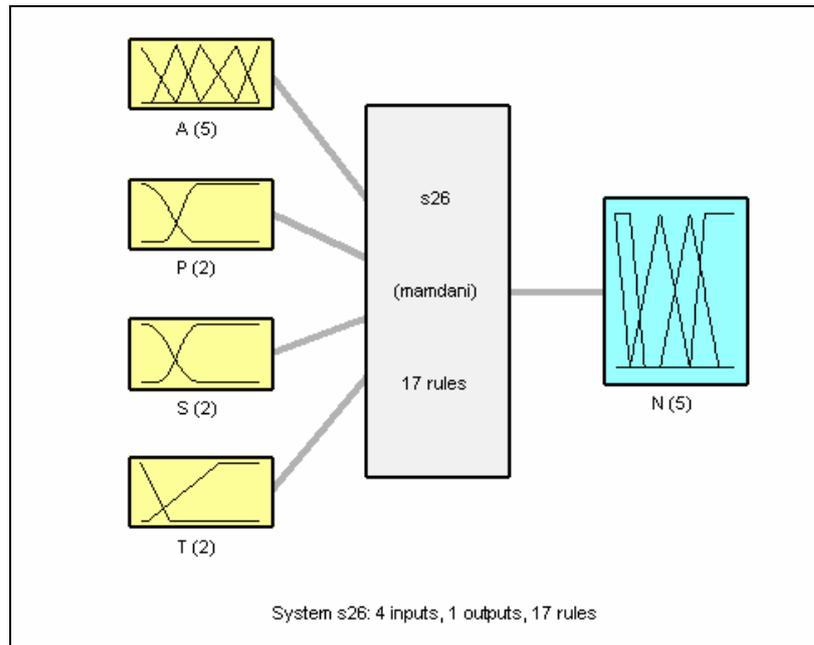
ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	6.4662	2.3929	1.5964	3.3312	3.4466

2. กรณีพิจารณา section

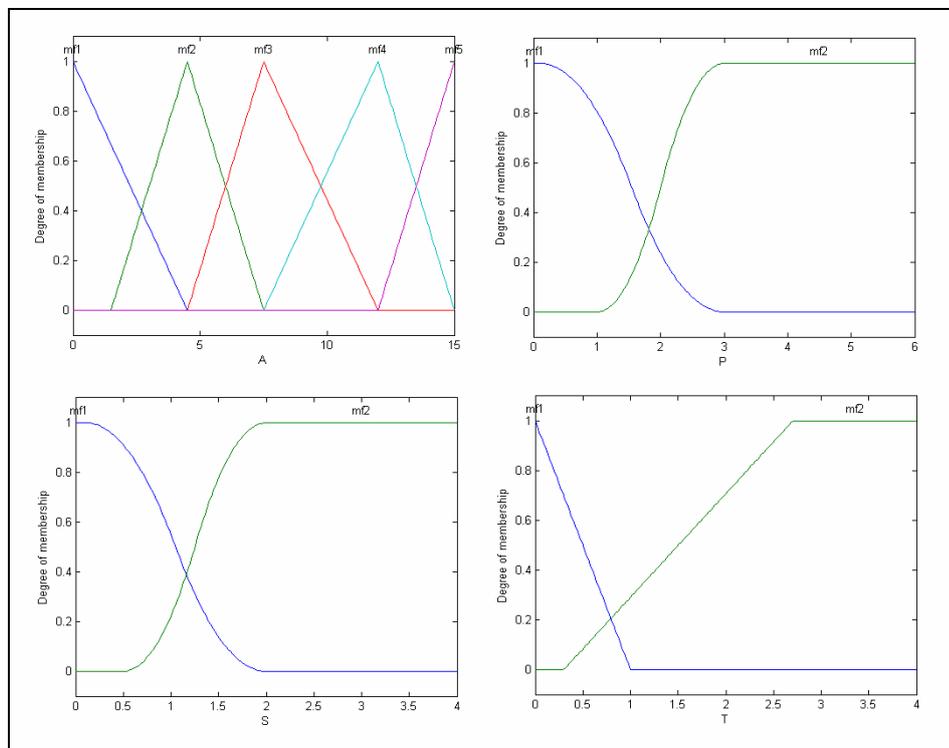
โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีแสดงดังภาพที่ 68 ซึ่งใช้ระบบกฎฟัซซีแบบแมมดานิ (Mamdani) วิเคราะห์จาก Membership Function ของอินพุต 4 ตัวแปร และเอาต์พุต 1 ตัวแปร ดังแสดงในภาพที่ 69 และ 70 ตามลำดับ ค่าเอาต์พุตที่ได้ผ่านกระบวนการพิจารณาจากกฎฟัซซี ถ้า-ดังนั้น (If-Then) ทั้งหมด 17 กฎ โดยขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซีแบบ Centriod

กฎทั้ง 17 กฎของตรรกะฟัซซี ในที่นี้ใช้รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

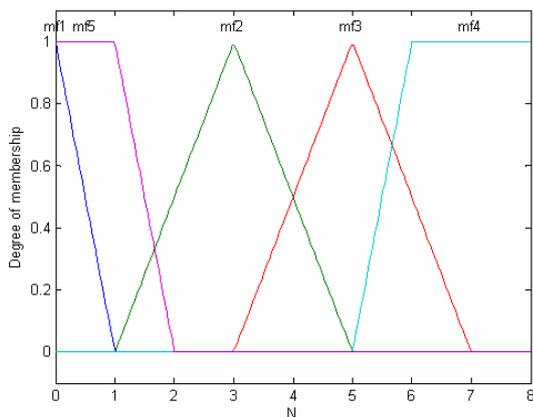
1. If (A is mf2) and (T is mf1) then (N is mf1) (1)
2. If (A is mf3) and (T is mf1) then (N is mf2) (1)
3. If (A is mf4) and (T is mf1) then (N is mf3) (1)
4. If (A is mf5) and (T is mf1) then (N is mf4) (1)
5. If (A is mf1) and (T is mf2) then (N is mf1) (1)
6. If (A is mf2) and (T is mf2) then (N is mf2) (1)
7. If (A is mf3) and (T is mf2) then (N is mf3) (1)
8. If (A is mf4) and (T is mf2) then (N is mf3) (1)
9. If (A is mf5) and (T is mf2) then (N is mf4) (1)
10. If (A is mf3) and (T is mf1) then (N is mf1) (1)
11. If (A is mf4) and (T is mf2) then (N is mf2) (1)
12. If (A is mf3) and (T is mf2) then (N is mf2) (1)
13. If (A is mf4) and (T is mf1) then (N is mf2) (1)
14. If (A is mf1) and (P is mf1) and (S is mf2) and (T is mf1) then (N is mf1) (1)
15. If (A is mf1) and (P is mf2) and (S is mf2) and (T is mf1) then (N is mf1) (1)
16. If (A is mf1) and (P is mf2) and (S is mf1) and (T is mf1) then (N is mf1) (1)
17. If (A is mf1) and (P is mf1) and (S is mf1) and (T is mf1) then (N is mf5) (1)



ภาพที่ 68 โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณี section

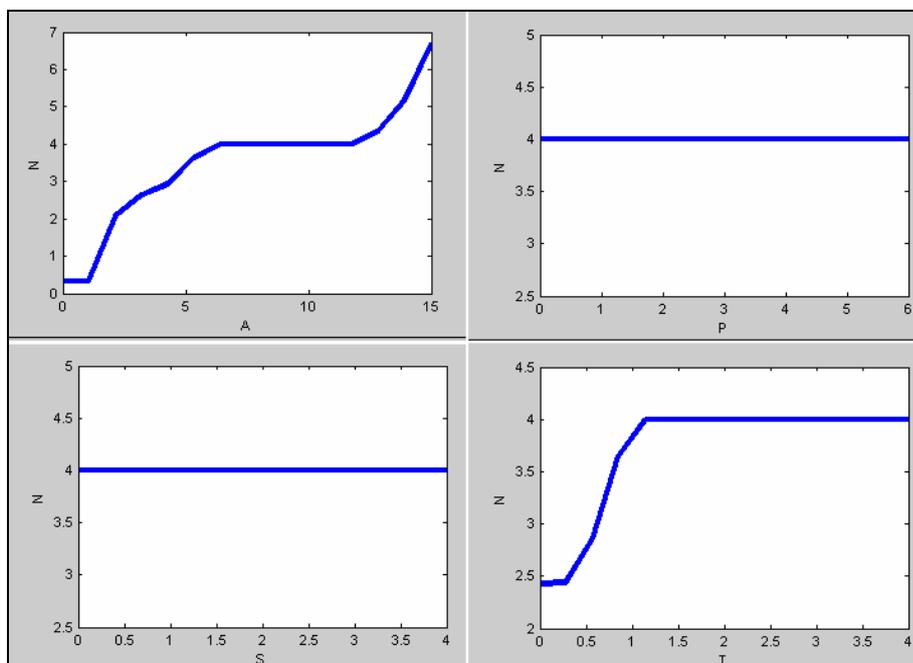


ภาพที่ 69 Membership function ของ A, P, S และ T ใน โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณี section

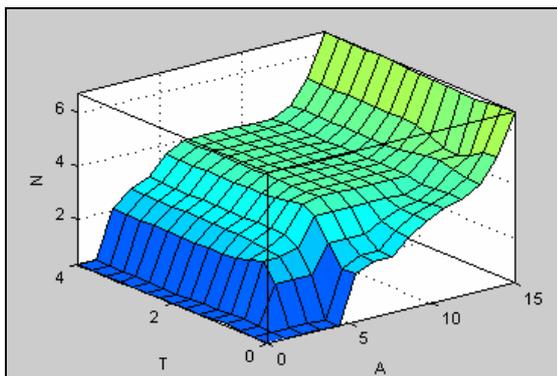


ภาพที่ 70 Membership function ของ N ในโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณี section

จากการประมวลผลทั้งหมดของโมเดล ทำให้ทราบว่าแต่ละอินพุตมีความสัมพันธ์กับเอาต์พุตในลักษณะใด ดังภาพที่ 71 ซึ่งพบว่าอินพุต A และ T ส่งผลต่อเอาต์พุตในลักษณะเดียวกัน คือ ถ้ากำหนดให้อินพุตอื่นคงที่อยู่ในค่ากลาง แล้วเพิ่มค่า A หรือ T จะส่งผลให้ค่า N เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนอินพุต P และ S นั้น การเปลี่ยนแปลงค่า A หรือ T แทบจะไม่ส่งผลต่อค่า N เลย ถ้ากำหนดให้อินพุตอื่นคงที่ในค่ากลาง จึงพิจารณาทำการ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A , T และ N ดังภาพที่ 72



ภาพที่ 71 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตในโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณี section



ภาพที่ 72 การ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A, T และ N ในโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณี section

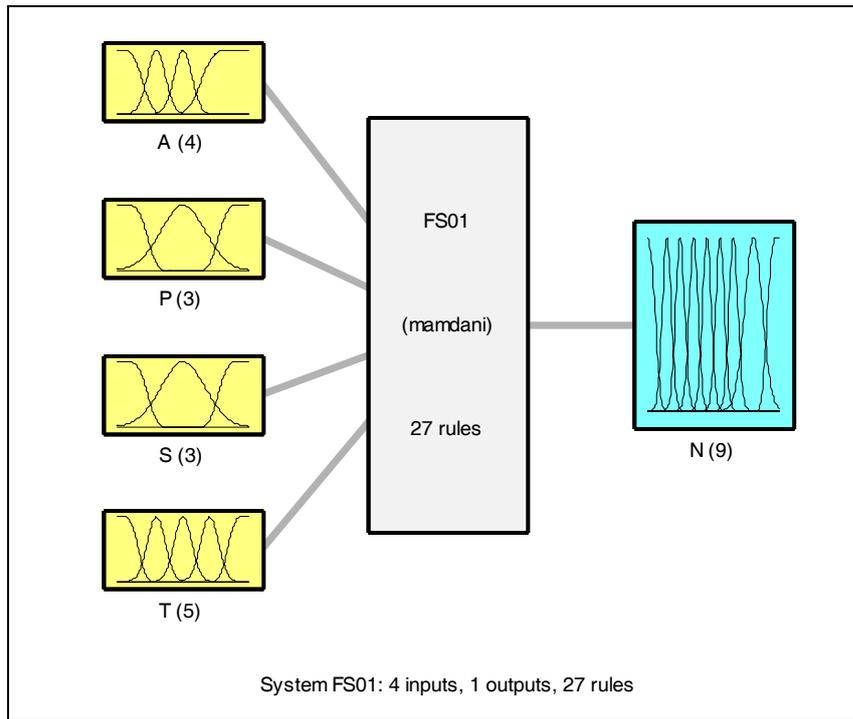
สรุปผลของโมเดลตรรกะแบบฟัซซี เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม แล้วนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลกรณี section ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.5580 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 1.5930 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลที่ได้ มาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 88 section ดังแสดงในตารางที่ 16 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลตรรกะแบบฟัซซีกรณี section

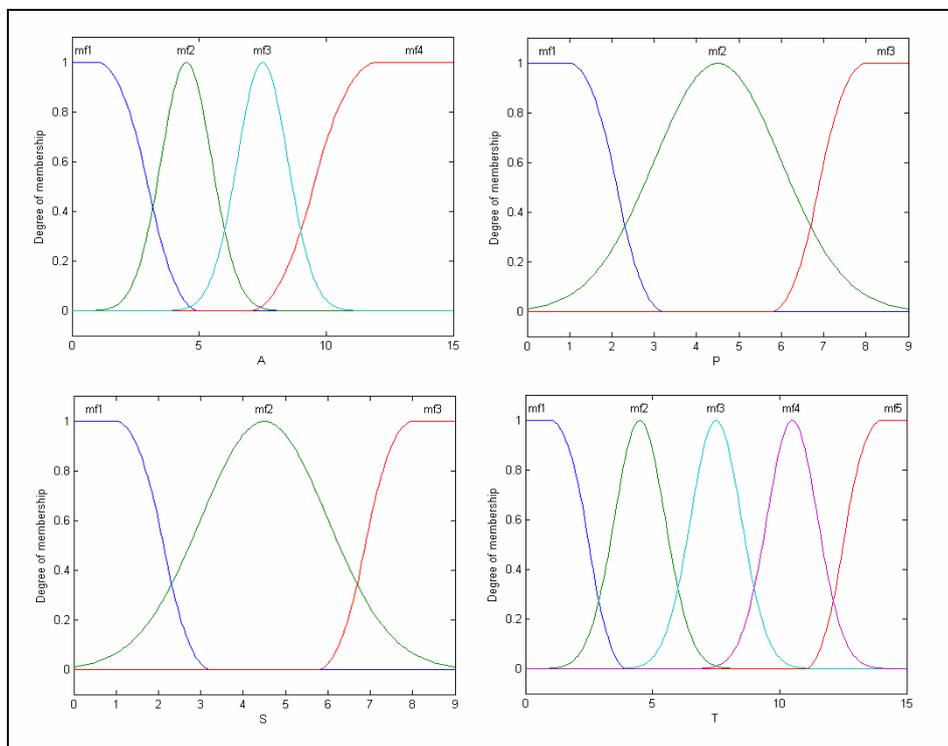
ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	2.1602	1.1726	1.0871	1.9521	1.5930

3. กรณีพิจารณาทั้งไฟเดออร์และ section

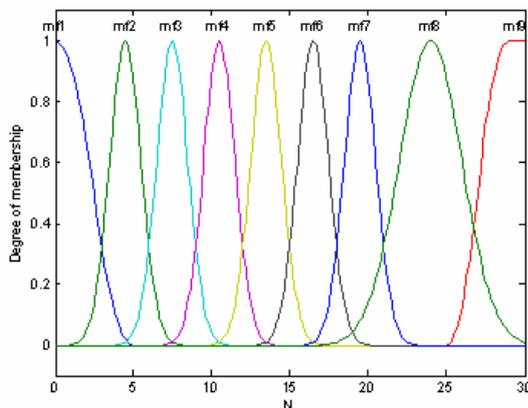
โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีแสดงดังภาพที่ 73 ซึ่งใช้ระบบกฎฟัซซีแบบแมมดานิ (Mamdani) วิเคราะห์จาก Membership Function ของอินพุต 4 ตัวแปร และเอาท์พุต 1 ตัวแปร ดังแสดงในภาพที่ 74 และ 75 ค่าเอาท์พุตที่ได้ผ่านกระบวนการพิจารณาจากกฎฟัซซี ถ้า-ดังนั้น (If-Then) ทั้งสิ้น 27 กฎ โดยขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซีแบบ Centriod



ภาพที่ 73 โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section



ภาพที่ 74 Membership function ของ A โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section



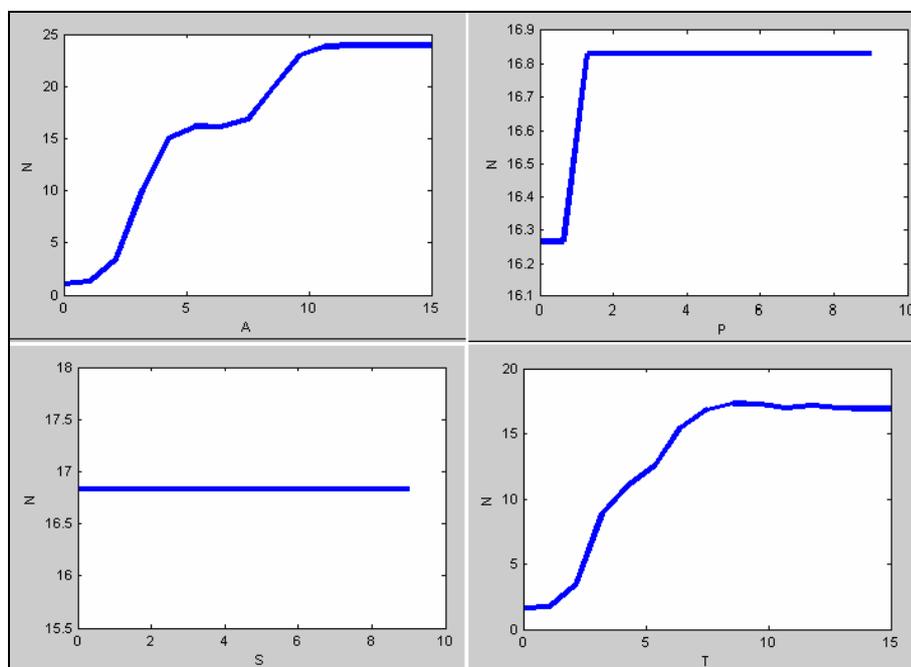
ภาพที่ 75 Membership function ของ N โมเดลของตรรกะแบบฟัซซีทั้งกรณีฟีดเดอร์และ section

กฎทั้ง 27 กฎของตรรกะฟัซซี ในที่นี้ใช้รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

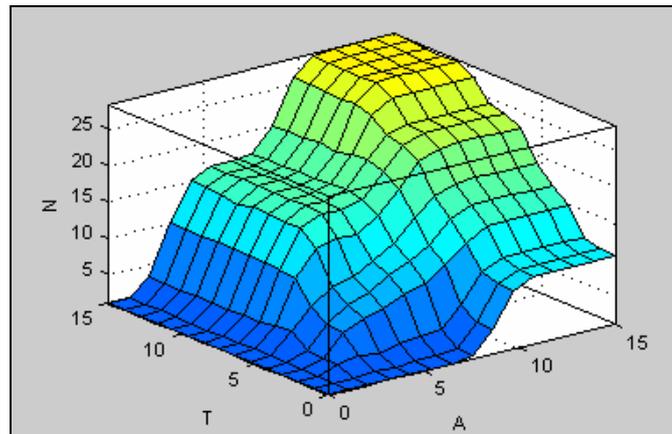
1. If (A is mf1) and (P is mf1) then (N is mf1)
2. If (A is mf1) and (P is mf2) then (N is mf1)
3. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is mf1) then (N is mf2)
4. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf1) then (N is mf2)
5. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf2) then (N is mf2)
6. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf3) then (N is mf3)
7. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf4) then (N is mf4)
8. If (A is mf1) and (P is mf3) and (S is not mf1) and (T is mf5) then (N is mf5)
9. If (A is mf2) and (T is mf1) then (N is mf1)
10. If (A is mf2) and (T is mf2) then (N is mf3)
11. If (A is mf2) and (T is mf3) then (N is mf6)
12. If (A is mf2) and (T is mf4) then (N is mf6)
13. If (A is mf2) and (T is mf5) then (N is mf6)
14. If (A is mf3) and (T is mf1) then (N is mf1)
15. If (A is mf3) and (T is mf2) then (N is mf4)
16. If (A is mf3) and (T is mf3) then (N is mf6)
17. If (A is mf3) and (T is mf4) then (N is mf6)
18. If (A is mf3) and (T is mf5) then (N is mf6)
19. If (A is mf4) and (T is mf1) then (N is mf4)

20. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf2) then (N is mf6)
 21. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf3) then (N is mf8)
 22. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf4) then (N is mf9)
 23. If (A is mf4) and (P is not mf1) and (T is mf5) then (N is mf9)
 24. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf2) then (N is mf5)
 25. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf3) then (N is mf6)
 26. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf4) then (N is mf7)
 27. If (A is mf4) and (P is mf1) and (T is mf5) then (N is mf8)

จากการประมวลผลทั้งหมดของโมเดล ทำให้ทราบว่าแต่ละอินพุตมีความสัมพันธ์กับเอาต์พุตในลักษณะใด ดังภาพที่ 76 ซึ่งพบว่าอินพุต A, P และ T ส่งผลต่อเอาต์พุตในลักษณะเดียวกันคือ ถ้ากำหนดให้อินพุตอื่นคงที่อยู่ในค่ากลาง แล้วเพิ่มค่า A หรือ T จะส่งผลให้ค่า N เพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มค่า P จะส่งผลให้ค่า N เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และอินพุต S นั้น การเปลี่ยนแปลงค่า S แทบจะไม่ส่งผลต่อค่า N เลย ถ้ากำหนดให้อินพุตอื่นคงที่ในค่ากลาง จึงพิจารณาทำการ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A, T และ N ดังภาพที่ 77



ภาพที่ 76 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตในโมเดลของตรรกะแบบฟัซซีกรณีฟีดเดอร์ และ section



ภาพที่ 77 การ Plot 3 มิติ ระหว่างค่า A, T และ N ในโมเดลของตรรกะแบบพีชชีกรณิพีคเตอร์ และ section

สรุปผลของโมเดลตรรกะแบบพีชชี เมื่อทำการแปลงค่าของตัวแปร N ให้เป็นเลขจำนวนเต็ม แล้วนำมาวิเคราะห์จากข้อมูลทั่วกรณิพีคเตอร์และ section ปี 2547-2548 ให้ค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล (r) 0.8862 และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) 1.6653 ครั้ง/ปี เมื่อนำโมเดลที่ได้ มาทดสอบข้อมูลตั้งแต่ปี 2546 – 2549 ได้ค่าพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับทั้ง 150 ข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 17 และได้ผลสรุปความคลาดเคลื่อนดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนของโมเดลตรรกะแบบพีชชีทั้งกรณิพีคเตอร์และ section

ปี	2546	2547	2548	2549	ค่าเฉลี่ย 4 ปี
RMSE (ครั้ง/ปี)	4.9190	1.8921	1.4024	2.7997	2.7533

ตารางที่ 15 ผลจำนวนครั้งไฟดับ/ปี ที่ได้จากโมเดลกรณีพิจารณากรณีไฟเคอร์

ที่	ชื่อ ไฟเคอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
1	NVA01	7	0	5	3	1	1	1
2	NVA02	5	5	1	3	2	1	1
3	NVA04	0	2	1	2	0	1	1
4	NVA05	6	4	7	3	7	5	8
5	NVA06	2	2	3	2	1	1	1
6	NVA07	0	0	0	3	1	1	1
7	NVA09	1	1	3	3	1	1	1
8	NVA10	4	10	4	0	2	1	1
9	NVB01	1	5	2	3	0	1	1
10	NVB03	3	0	1	5	1	1	1
11	NVB04	2	0	0	0	1	1	1
12	NVB05	0	1	0	0	1	1	1
13	NVB06	5	2	0	0	1	1	1
14	NVB07	6	1	5	0	2	1	1
15	NVB08	1	0	0	0	1	1	1
16	NVB09	1	3	0	0	1	1	1
17	NVB10	0	0	1	0	2	1	1
18	NVC01	*	1	0	0	0	1	1
19	NVC02	*	0	0	0	0	2	1
20	NVC03	*	0	0	0	0	1	1
21	NVC04	*	0	0	2	1	1	1
22	NVC05	*	0	0	0	2	1	1
23	NVC06	*	0	0	0	0	1	1
24	NVC08	*	0	1	2	0	1	1
25	NVC09	*	1	0	2	1	1	1
26	NVC10	*	0	0	0	0	2	1
27	TMS12	5	2	2	0	4	2	1
28	BKA02	1	0	0	2	1	1	1

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่	ชื่อพีค เดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
29	BKA03	23	21	18	9	14	19	16
30	BKA04	35	29	29	10	23	30	28
31	BKA06	2	1	2	0	6	2	2
32	BKA07	0	0	0	0	4	2	1
33	BKA11	45	11	12	0	15	12	7
34	BKA13	16	21	13	2	13	13	12
35	BKA14	1	0	2	0	0	1	1
36	RSA01	3	1	3	2	2	2	1
37	RSA02	0	0	0	0	2	1	1
38	RSA03	1	0	0	2	0	1	1
39	RSA05	7	2	3	2	5	3	4
40	SRE02	21	2	2	2	0	1	1
41	KYE06	2	9	12	3	11	11	7
42	KYE07	8	7	4	3	0	2	1
43	KYE09	1	1	1	0	4	1	1
44	KYE10	0	0	0	0	4	1	2
45	NPL07	1	7	1	0	3	1	2
46	NPL08	1	3	0	2	3	1	2
47	NPL09	1	1	1	0	3	1	2
48	NPL10	1	0	1	0	3	1	2
49	BGR02	4	0	0	0	1	0	1
50	BGR04	0	2	0	3	7	2	2
51	BGR07	2	1	4	2	0	0	1
52	BGR08	4	0	2	0	0	0	1
53	BGR09	1	0	0	2	0	0	1
54	BGR10	1	1	3	0	0	0	1
55	BSM02	1	1	1	0	5	2	1
56	BSM03	1	0	0	2	1	1	1

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ที่	ชื่อฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
57	BSM05	3	0	1	0	0	1	1
58	BSM06	1	2	1	0	2	1	1
59	BSM10	2	2	1	0	1	1	1
60	BSM12	0	2	1	0	1	1	1
61	BSM13	0	0	0	0	2	1	1
62	BSM14	3	1	3	0	3	1	1

หมายเหตุ -* เป็นฟีดเดอร์ที่ยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟในปีนั้น

-จำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นในปี 2549 ได้จากการเทียบบัญชีดีไตรยางค์ แล้วทำปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมีเหตุการณ์ไฟดับบันทึกไว้ถึง ก.ค. 2549

ตารางที่ 16 ผลจำนวนครั้งไฟดับ/ปี ที่ได้จากโมเดลกรณีพิจารณากรณี section

ที่	รหัสอุปกรณ์ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
1	BGR03S-01	*	1	1	0	1	1	1
2	BGR05S-04	*	0	0	0	2	1	0
3	BGR03F-01	0	0	0	0	1	1	1
4	BGR03F-04	1	1	1	0	1	1	1
5	BGR03F-06	1	0	2	0	1	1	1
6	BGR03F-06/1	3	1	0	0	1	1	1
7	BGR03F-09	7	1	0	0	0	1	0
8	BGR03F-10	5	1	0	0	1	1	1
9	BGR03F-11	1	3	0	2	2	2	0
10	BWA06S-01	*	0	1	0	0	0	0
11	BWA06S-01/1	*	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ที่	รหัสอุปกรณ์ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
12	BWA06S-03/1	*	0	0	0	1	0	1
13	BWA06F-01	1	1	0	2	1	1	1
14	BWA06F-02	*	3	0	2	0	1	1
15	BWA06F-03	2	1	0	0	1	1	1
16	BWA06F-04	0	0	0	0	1	0	1
17	BWA06F-05	*	1	0	2	1	1	1
18	SRA08S-01	0	0	0	*	1	0	0
19	SRA08S-10	0	0	0	*	1	1	1
20	SRA08F-01	9	0	0	0	2	2	2
21	SRA08F-02	2	0	1	3	1	1	1
22	SRA08F-07	2	5	3	0	3	4	2
23	SRA08F-09	4	2	0	2	1	1	1
24	SRE05S-01	*	3	0	2	1	1	0
25	SRE06S-02/2	*	0	0	0	1	1	1
26	SRE02F-02	7	3	5	0	2	2	2
27	SRE02F-04/01	0	0	0	0	1	1	1
28	SRE02F-06	1	3	0	0	2	2	2
29	SRE02F-07	1	2	6	0	4	4	3
30	SRE06F-02	2	0	1	7	1	1	1
31	SRE06F-04	1	1	3	0	1	1	1
32	SRA05S-05	*	0	1	0	1	1	1
33	SRA05S-04	*	0	0	0	1	1	1
34	SRA05S-08	*	0	1	0	1	1	1
35	SRA10S-06/01	*	0	0	0	1	1	1
36	SRA10S-10/1	*	0	0	0	1	0	1
37	SRA10S-10	*	0	0	0	1	0	0
38	SRA10F-06	1	1	1	0	1	1	1
39	SRA10F-07	1	3	4	7	1	2	2

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ที่	รหัสอุปกรณ์ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
40	SRA10F-09	0	2	2	3	2	2	2
41	SRA10F-10	1	0	4	0	1	1	1
42	SRA10F-12	0	4	1	0	0	2	1
43	PKE05F-12	0	5	7	3	5	6	6
44	SRE07S-02	*	0	0	3	1	0	0
45	SRE07S-03/1	*	0	0	0	0	0	0
46	SRE07S-04	*	0	1	0	2	1	0
47	PKE10S-04	*	0	0	0	0	0	0
48	PKE10S-03	*	0	0	0	0	0	0
49	SRE09F-02	4	3	1	5	1	1	1
50	SRE09F-03	1	3	0	0	1	1	1
51	SRE07F-01	0	2	1	2	1	1	1
52	PKE10F-11	1	4	1	0	1	2	1
53	PKE10F-12	*	2	1	0	1	2	2
54	BWA07S-01	0	0	0	*	0	0	0
55	BWA07S-02	0	0	0	*	0	0	0
56	BWA07S-04/1	0	0	0	*	1	1	1
57	BWA07R-01	1	0	0	0	0	0	0
58	BWA07F-01	1	0	1	2	1	1	1
59	BWA07F-03	0	0	2	10	1	1	1
60	BWA07F-04	0	0	0	5	1	1	1
61	BWA07F-05	0	0	0	2	1	1	1
62	BKA04S-01	*	0	2	*	1	1	1
63	BKA04S-02	*	3	1	*	1	1	1
64	BKA04S-05	*	0	3	*	1	1	1
65	BKA04S-06	*	0	0	*	1	1	1
66	BKA04S-08	*	0	0	*	1	0	1
67	BKA04S-04	*	0	1	*	0	0	1

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ที่	รหัสอุปกรณ์ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
68	BKA04F-02	1	4	3	2	1	2	1
69	BKA04F-03	4	1	3	2	2	2	0
70	BKA04F-06	3	0	0	0	0	0	1
71	BKA04F-07	1	1	1	2	0	0	1
72	BKA04F-08	1	1	1	3	0	0	1
73	BKA04F-10	2	1	1	2	1	1	1
74	BKA04F-11	2	2	3	2	1	1	1
75	BKA04F-12	0	0	0	0	1	1	1
76	BKA06S-04	0	1	0	0	0	0	0
77	BKA06S-06	0	0	0	0	1	1	1
78	BKA07S-01	*	0	0	0	0	0	0
79	BKA07S-02	*	0	0	0	0	0	1
80	BKA07S-03	*	0	0	0	0	0	0
81	NVB01S-01	*	0	0	*	1	1	1
82	NVB01S-02	*	0	0	*	1	1	1
83	NVB01S-01	*	0	0	*	1	1	1
84	NVB02S-01	0	0	0	2	1	1	1
85	NVB07S-01	0	0	0	0	0	0	1
86	NVB07S-03	2	1	0	0	0	0	0
87	NVB08S-01	*	0	0	0	1	0	0
88	NVB09S-01	1	2	0	0	1	0	1

หมายเหตุ -* เป็น section ที่ยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟในปีนั้น หรือจำนวนไฟดับที่พบในโปรแกรม จฟ.3 ไม่ตรงกับที่ได้ในสมุดจดแก้ไขไฟฟ้าขัดข้อง

-จำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นในปี 2549 ได้จากการเทียบบัญชีไตรยางค์ แล้วทำปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมีเหตุการณ์ไฟดับบันทึกไว้ถึง ก.ค. 2549

ตารางที่ 17 ผลจำนวนครั้งไฟดับ/ปี ที่ได้จากโมเดลกรณีพิจารณาทั้งกรณีไฟเคอร์ และ section

ที่	รหัสไฟเคอร์/อุปกรณ์ ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
1	BGR03S-01	*	1	1	0	0	0	1
2	BGR05S-04	*	0	0	0	2	1	1
3	BGR03F-01	0	0	0	0	1	1	1
4	BGR03F-04	1	1	1	0	1	1	1
5	BGR03F-06	1	0	2	0	1	1	1
6	BGR03F-06/1	3	1	0	0	1	1	1
7	BGR03F-09	7	1	0	0	1	2	1
8	BGR03F-10	5	1	0	0	1	1	1
9	BGR03F-11	1	3	0	2	2	2	1
10	BWA06S-01	*	0	1	0	0	0	1
11	BWA06S-01/1	*	0	0	0	0	0	1
12	BWA06S-03/1	*	0	0	0	0	0	1
13	BWA06F-01	1	1	0	2	0	1	1
14	BWA06F-02	*	3	0	2	0	0	1
15	BWA06F-03	2	1	0	0	1	1	1
16	BWA06F-04	0	0	0	0	0	0	1
17	BWA06F-05	*	1	0	2	1	1	1
18	SRA08S-01	0	0	0	*	3	0	1
19	SRA08S-10	0	0	0	*	0	1	1
20	SRA08F-01	9	0	0	0	2	1	1
21	SRA08F-02	2	0	1	3	0	1	1
22	SRA08F-07	2	5	3	0	4	2	3
23	SRA08F-09	4	2	0	2	1	1	1
24	SRE05S-01	*	3	0	2	0	0	1
25	SRE06S-02/2	*	0	0	0	0	2	1
26	SRE02F-02	7	3	5	0	2	1	1
27	SRE02F-04/01	0	0	0	0	0	1	1
28	SRE02F-06	1	3	0	0	3	2	1

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่	รหัสพีดีเคอร์/อุปกรณ์ ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
29	SRE02F-07	1	2	6	0	5	3	5
30	SRE06F-02	2	0	1	7	1	1	1
31	SRE06F-04	1	1	3	0	1	1	1
32	SRA05S-05	*	0	1	0	1	1	1
33	SRA05S-04	*	0	0	0	0	1	1
34	SRA05S-08	*	0	1	0	2	1	1
35	SRA10S-06/01	*	0	0	0	1	1	1
36	SRA10S-10/1	*	0	0	0	2	0	1
37	SRA10S-10	*	0	0	0	2	0	1
38	SRA10F-06	1	1	1	0	0	1	1
39	SRA10F-07	1	3	4	7	2	1	1
40	SRA10F-09	0	2	2	3	3	2	1
41	SRA10F-10	1	0	4	0	0	2	1
42	SRA10F-12	0	4	1	0	1	2	1
43	PKE05F-12	0	5	7	3	12	5	12
44	SRE07S-02	*	0	0	3	0	0	1
45	SRE07S-03/1	*	0	0	0	2	1	1
46	SRE07S-04	*	0	1	0	5	1	1
47	PKE10S-04	*	0	0	0	2	1	1
48	PKE10S-03	*	0	0	0	1	2	1
49	SRE09F-02	4	3	1	5	1	1	1
50	SRE09F-03	1	3	0	0	0	1	1
51	SRE07F-01	0	2	1	2	2	0	1
52	PKE10F-11	1	4	1	0	1	1	1
53	PKE10F-12	*	2	1	0	2	1	1
54	BWA07S-01	0	0	0	*	0	0	1
55	BWA07S-02	0	0	0	*	0	0	1

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่	รหัสพีดีเคอร์/อุปกรณ์ ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
56	BWA07S-04/1	0	0	0	*	2	0	1
57	BWA07R-01	1	0	0	0	0	0	1
58	BWA07F-01	1	0	1	2	1	1	1
59	BWA07F-03	0	0	2	10	0	1	1
60	BWA07F-04	0	0	0	5	0	1	1
61	BWA07F-05	0	0	0	2	1	1	1
62	BKA04S-01	*	0	2	*	1	1	1
63	BKA04S-02	*	3	1	*	2	0	1
64	BKA04S-05	*	0	3	*	1	1	1
65	BKA04S-06	*	0	0	*	1	1	1
66	BKA04S-08	*	0	0	*	0	0	1
67	BKA04S-04	*	0	1	*	0	0	1
68	BKA04F-02	1	4	3	2	0	2	1
69	BKA04F-03	4	1	3	2	3	2	1
70	BKA04F-06	3	0	0	0	0	0	1
71	BKA04F-07	1	1	1	2	0	0	1
72	BKA04F-08	1	1	1	3	0	0	1
73	BKA04F-10	2	1	1	2	0	1	1
74	BKA04F-11	2	2	3	2	1	1	1
75	BKA04F-12	0	0	0	0	1	0	1
76	BKA06S-04	0	1	0	0	0	0	1
77	BKA06S-06	0	0	0	0	1	1	1
78	BKA07S-01	*	0	0	0	0	0	1
79	BKA07S-02	*	0	0	0	0	0	1
80	BKA07S-03	*	0	0	0	0	0	1
81	NVB01S-01	*	0	0	*	0	1	1
82	NVB01S-02	*	0	0	*	0	1	1

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่	รหัสพีดีเคอร์/อุปกรณ์ ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
83	NVB01S-01	*	0	0	*	0	1	1
84	NVB02S-01	0	0	0	2	0	1	1
85	NVB07S-01	0	0	0	0	0	1	1
86	NVB07S-03	2	1	0	0	0	0	1
87	NVB08S-01	*	0	0	0	1	1	1
88	NVB09S-01	1	2	0	0	1	1	1
89	NVA01	7	0	5	3	1	1	1
90	NVA02	5	5	1	3	2	1	1
91	NVA04	0	2	1	2	1	1	1
92	NVA05	6	4	7	3	7	4	8
93	NVA06	2	2	3	2	1	1	1
94	NVA07	0	0	0	3	1	1	1
95	NVA09	1	1	3	3	1	1	1
96	NVA10	4	10	4	0	3	1	1
97	NVB01	1	5	2	3	1	1	1
98	NVB03	3	0	1	5	1	1	1
99	NVB04	2	0	0	0	2	1	1
100	NVB05	0	1	0	0	2	1	1
101	NVB06	5	2	0	0	1	1	1
102	NVB07	6	1	5	0	1	0	1
103	NVB08	1	0	0	0	1	1	1
104	NVB09	1	3	0	0	2	1	1
105	NVB10	0	0	1	0	2	1	1
106	NVC01	*	1	0	0	1	1	1
107	NVC02	*	0	0	0	0	0	1
108	NVC03	*	0	0	0	1	1	1
109	NVC04	*	0	0	2	1	1	1

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่	รหัสพีดีเคอร์/อุปกรณ์ ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
110	NVC05	*	0	0	0	2	0	1
111	NVC06	*	0	0	0	1	1	1
112	NVC08	*	0	1	2	0	1	1
113	NVC09	*	1	0	2	2	1	1
114	NVC10	*	0	0	0	0	0	1
115	TMS12	5	2	2	0	5	0	1
116	BKA02	1	0	0	2	1	1	1
117	BKA03	23	21	18	9	12	16	16
118	BKA04	35	29	29	10	18	26	28
119	BKA06	2	1	2	0	7	2	1
120	BKA07	0	0	0	0	5	2	1
121	BKA11	45	11	12	0	13	8	7
122	BKA13	16	21	13	2	12	15	13
123	BKA14	1	0	2	0	0	0	1
124	RSA01	3	1	3	2	1	0	1
125	RSA02	0	0	0	0	2	1	1
126	RSA03	1	0	0	2	1	1	1
127	RSA05	7	2	3	2	4	3	4
128	SRE02	21	2	2	2	0	0	1
129	KYE06	2	9	12	3	8	10	8
130	KYE07	8	7	4	3	0	0	1
131	KYE09	1	1	1	0	2	0	1
132	KYE10	0	0	0	0	2	0	1
133	NPL07	1	7	1	0	1	0	1
134	NPL08	1	3	0	2	2	0	1
135	NPL09	1	1	1	0	2	0	1
136	NPL10	1	0	1	0	2	0	1

ตารางที่ 17 (ต่อ)

ที่	รหัสฟีดเดอร์/อุปกรณ์ ต้นทาง	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง/ปี)						
		ค่าที่เกิดขึ้นจริงในปี				ค่าที่ได้จากการใช้โมเดล		
		2546	2547	2548	2549	Regression	ANN	Fuzzy
137	BGR02	4	0	0	0	0	0	1
138	BGR04	0	2	0	3	4	1	1
139	BGR07	2	1	4	2	0	1	1
140	BGR08	4	0	2	0	0	1	1
141	BGR09	1	0	0	2	0	1	1
142	BGR10	1	1	3	0	0	1	1
143	BSM02	1	1	1	0	5	2	1
144	BSM03	1	0	0	2	1	1	1
145	BSM05	3	0	1	0	1	1	1
146	BSM06	1	2	1	0	3	1	1
147	BSM10	2	2	1	0	1	1	1
148	BSM12	0	2	1	0	1	1	1
149	BSM13	0	0	0	0	4	1	1
150	BSM14	3	1	3	0	4	1	1

หมายเหตุ

- * เป็นฟีดเดอร์ หรือ section ที่ยังไม่ได้ทำการจ่ายไฟในปีนั้น หรือจำนวนไฟดับที่พบในโปรแกรม จฟ.3 ไม่ตรงกับที่ได้ในสมุดจดแก้ไขไฟฟ้าขัดข้อง
- จำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นในปี 2549 ได้จากการเทียบบัญชีไตรยางค์ แล้วทำปดเศษให้เป็นจำนวนเต็ม เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับมีเหตุการณ์ไฟดับบันทึกไว้ถึง ก.ค. 2549

วิจารณ์

จากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลปัจจัยเฉพาะทั้ง 4 ตัวแปร (A, P, S และ T) กับข้อมูลจำนวนครั้งไฟดับ/ปี (N) โดยวิธีวิเคราะห์ความถดถอย โครงข่ายประสาทเทียม และ ตรรกะแบบฟัซซี โดยแบ่งการพิจารณาระบบจำหน่ายออกเป็นกรณีฟีดเดอร์ กรณี section และกรณีพิจารณาทั้งฟีดเดอร์และ section ทำให้ได้โมเดลทั้งหมด 9 โมเดล

ในพิจารณาเลือกหาโมเดลเพื่อนำมาใช้พยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับนั้น สามารถพิจารณาได้จากดัชนีความสัมพันธ์ (r , R-sq) และค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ที่เกิดขึ้นระหว่างค่าที่ได้จากการพยากรณ์เทียบกับค่าจริง ในแต่ละโมเดลจากชุดที่นำมาวิเคราะห์ (ปี 2547-2548) ดังแสดงในตารางที่ 18 อีกทั้งยังต้องพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ที่เกิดขึ้นระหว่างค่าที่ได้จากการพยากรณ์เทียบกับค่าจริง ในแต่ละโมเดลจากชุดที่นำมาทดสอบ (ปี 2546-2549) ดังแสดงในตารางที่ 19

จากผลที่ได้จากชุดข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ (ตารางที่ 18) จะเห็นว่า ไม่ว่าจะพิจารณาเป็นกรณีฟีดเดอร์ กรณี section หรือกรณีพิจารณาทั้งฟีดเดอร์และ section วิธีที่ให้ค่า R-sq สูงที่สุด และให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด คือวิธีที่วิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN)

ตารางที่ 18 สรุปประสิทธิภาพของโมเดลจากชุดข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ (ปี 2547-2548)

โมเดลที่	กรณีพิจารณา	วิธีวิเคราะห์	r	R-sq (%)	RMSE (ครั้ง/ปี)
1		สมการความถดถอย	0.8595	73.8816	2.6351
2	ฟีดเดอร์	โครงข่ายประสาทเทียม	0.9317	86.8050	1.8730
3		ตรรกะแบบฟัซซี	0.9254	85.6326	2.0340
4		สมการความถดถอย	0.5199	27.0329	1.1702
5	section	โครงข่ายประสาทเทียม	0.6788	46.0716	1.0028
6		ตรรกะแบบฟัซซี	0.5580	31.1308	1.5930
7	ทั้งฟีดเดอร์	สมการความถดถอย	0.7870	61.9340	2.2091
8		โครงข่ายประสาทเทียม	0.8997	80.9412	1.6104
9	และ section	ตรรกะแบบฟัซซี	0.8862	78.5277	1.6653

จากผลที่ได้จากชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบ (ตารางที่ 19) เห็นว่า ไม่ว่าจะพิจารณาเป็นกรณี ฟีดเดอร์ กรณี section หรือกรณีพิจารณาทั้งฟีดเดอร์และ section วิธีที่ให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด คือวิธีที่วิเคราะห์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ที่น่าสังเกตอีกอย่างคือ โมเดลจากทุกวิธีที่นำมาทดสอบใช้ได้ดีกับข้อมูลปี 2547 และ 2548 เนื่องจากเป็นข้อมูลชุดเดียวกันกับที่นำมาวิเคราะห์หา โมเดล ส่วนข้อมูลปี 2546 เมื่อนำมาทดสอบในทุกๆ โมเดลกลับให้ค่า RMSE มากที่สุด อาจเนื่องมาจากสภาพการตัดจ่ายของระบบจำหน่ายเปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไปมาก (รหัสอุปกรณ์ หรือระยะทางจ่ายไฟในแต่ละฟีดเดอร์ อาจไม่ตรงกับข้อมูลปัจจุบัน)

ตารางที่ 19 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนจากชุดข้อมูลที่นำมาทดสอบ (ปี 2546-2549)

โมเดลที่	กรณีพิจารณา	วิธีวิเคราะห์	RMSE (ครั้ง/ปี)				
			2546	2547	2548	2549	เฉลี่ย 4 ปี
1		สมการความถดถอย	6.1614	2.9072	2.3314	3.8500	3.8125
2	ฟีดเดอร์	โครงข่ายประสาทเทียม	5.9161	2.2070	1.4646	3.8917	3.3699
3		ตรรกะแบบฟิชชี	6.4662	2.3929	1.5964	3.3312	3.4466
4		สมการความถดถอย	2.1082	1.2201	1.1180	2.0067	1.6133
5	section	โครงข่ายประสาทเทียม	2.1387	0.9886	1.0169	2.0101	1.5386
6		ตรรกะแบบฟิชชี	2.1602	1.1726	1.0871	1.9521	1.5930
7	ทั้งฟีดเดอร์ และ section	สมการความถดถอย	4.9766	2.3833	2.0199	2.9066	3.0716
8		โครงข่ายประสาทเทียม	4.6804	1.8239	1.3784	2.8466	2.6823
9		ตรรกะแบบฟิชชี	4.9190	1.8921	1.4024	2.7997	2.7533

ดังนั้น ไม่ว่าจะพิจารณาค่าดัชนีความสัมพันธ์ของข้อมูล และค่าความคลาดเคลื่อนจากชุดที่นำมาวิเคราะห์ (ปี 2547-2548) หรือ พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนจากชุดที่นำมาทดสอบ (ปี 2546-2549) ต่างชี้ให้เห็นว่า โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เป็นโมเดลที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้พยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับ รองลงมาคือ โมเดลตรรกะแบบฟิชชี และสุดท้ายคือ โมเดลความถดถอย

แต่กระนั้นก็ตามวิธีการวิเคราะห์โดยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นวิธีที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามได้ไม่ชัดเจนเท่ากับอีก 2 วิธี จะเห็นได้จากโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม ดังสมการที่ 30 ซึ่งเป็นสมการที่คำนวณโดยการคูณกันของเมตริกซ์อีกทั้งต้องผ่าน

ฟังก์ชันที่ค่อนข้างซับซ้อน และไม่ถือว่าปัจจัยเฉพาะแต่ละตัวที่นำมาพิจารณาส่งผลกระทบต่อจำนวนครั้งการเกิดไฟดับ ส่วนโมเดลความถดถอยนั้นจะออกมาในรูปแบบของสมการที่นำไปใช้งานได้ง่าย และวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยเฉพาะที่มีต่อจำนวนครั้งไฟดับได้ค่อนข้างชัดเจน เพราะสามารถพิจารณาได้จากค่า Coefficient ของแต่ละตัวแปร ส่วนโมเดลตรรกะแบบฟัซซีนั้น ผู้วิเคราะห์ต้องอาศัยความเข้าใจในความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุตอย่างมาก จึงจะสามารถออกแบบโมเดลได้ เนื่องจากการกำหนดช่วง, การกำหนด Membership Function และการกำหนดกฎ ต้องผ่านการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในระดัหนึ่งก่อน และจากการประมวลผลของตรรกะแบบฟัซซี เราสามารถพิจารณาผลกระทบของปัจจัยสภาพแวดล้อมได้จากการกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาต์พุต

โมเดลที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้พยากรณ์ 2 อันดับแรก คือ โมเดลโครงข่ายประสาทเทียม และโมเดลตรรกะแบบฟัซซี เมื่อนำมาพิจารณาถึงข้อดี และข้อเสีย ของทั้ง 2 โมเดล พบว่า

ฟัซซีลอจิกมีข้อดีในเรื่องการมีเหตุผลเชิงตรรกะ โครงสร้างของระบบฟัซซีสามารถเข้าใจได้เนื่องจากสามารถตีความได้ในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ และนอกจากนั้นฟัซซีลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้ว

ฟัซซีลอจิกมีข้อเสียในเรื่องไม่มีกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเองในการปรับแต่งโครงสร้างของกฎและตัวแปรต่าง ๆ ในตัวระบบ ซึ่งบ่อยครั้งในการสร้างระบบฟัซซีอาจไม่มีผู้เชี่ยวชาญในโดเมนดังกล่าว ทำให้การสร้างระบบไม่สัมฤทธิ์ผล

โครงข่ายประสาทเทียมมีข้อดีในเรื่องการเรียนรู้จากข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมมีการปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนาน การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว

โครงข่ายประสาทเทียมมีข้อเสียในเรื่องการตีความหาเหตุผล ซึ่งไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่า เพราะเหตุใดจึงมีข้อสรุปออกมาดังที่ปรากฏที่เอาต์พุตของโครงข่าย จุดด้อยข้อนี้เป็นที่รู้จักกันในนาม “black box” หรือกล่องดำ

ดังนั้นถ้าจะพิจารณานำโมเดลไปใช้ในพื้นที่อื่นๆ นอกเหนือจากพื้นที่ตัวอย่าง ควรนำโมเดลประเภทแบบฟิชซีไปใช้ในการพยากรณ์ เนื่องจากมีเหตุผลเชิงตรรกะที่เป็นที่ยอมรับในทุกๆ พื้นที่ ส่วนโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมเหมาะสมกับการนำมาใช้ในพื้นที่ย่อยๆ หรือพื้นที่ที่มีข้อมูลปัจจัยเฉพาะที่ได้จากการสำรวจแล้วเท่านั้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลที่ได้จากโมเดลในการพยากรณ์จำนวนหรือตัวเลขในอนาคตนั้น หาได้จากข้อมูลในอดีตและปัจจุบันโดยอ่านค่าจากแนวโน้มของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ จะเห็นได้ว่าเกิดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริง กับค่าที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้โมเดลต่างๆ แต่ถึงอย่างไรค่าพยากรณ์ก็มีประโยชน์อย่างมาก เพราะทำให้ทราบค่าคร่าวๆ ล่วงหน้าได้ และสามารถนำผลที่ได้มาใช้วางแผนในอนาคต

วิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาโมเดล เพื่อใช้พยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับภายใต้ปัจจัยเฉพาะที่ส่งผลกระทบต่ออัตราความเสียหายของสายจำหน่ายเหนือดิน อันได้แก่ ความยาวสาย ชนิดสาย และต้นไม้ โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นข้อมูลที่ได้จากการไฟฟ้าตัวอย่าง 3 แห่ง ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้แก่ การไฟฟ้าจังหวัดสระบุรี การไฟฟ้าอำเภอบางปะกง และการไฟฟ้ารังสิต ซึ่งอยู่ในพื้นที่ภาคกลาง โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอย โครงข่ายประสาทเทียม และตรรกะแบบฟัซซี่ ซึ่งพบว่าโมเดลที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีความสัมพันธ์ (r , R-sq) และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างค่าที่ได้จากการพยากรณ์จำนวนครั้งไฟดับเทียบกับค่าจำนวนครั้งไฟดับที่เกิดขึ้นจริงคือ โมเดล โครงข่ายประสาทเทียม

เราสามารถนำค่าพยากรณ์ที่หาได้จากโมเดลโครงข่ายประสาทเทียม มาใช้คำนวณหาอัตราความเสียหายและค่าดัชนีความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้ดับของระบบโดยเฉลี่ย (SAIFI) เพื่อวางแผนในการปรับปรุง และบำรุงรักษาระบบจำหน่ายให้อยู่ในระดับที่มีความน่าเชื่อถือต่อไป

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการสำรวจข้อมูล เพื่อนำมาทำการวิเคราะห์หาผลกระทบเนื่องจากปัจจัยเฉพาะที่มีต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ตัวอย่างนั้น คณะสำรวจได้พบปัญหาและอุปสรรคในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับรหัสอุปกรณ์ป้องกัน/ตัดตอน ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคควรมีการปรับปรุงวิธีการจัดเก็บข้อมูล เนื่องจากรายละเอียดของรหัสอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนของแต่ละ section ในแต่

ละพีคเตอร์ของแผนผังการจ่ายไฟ (Switching Diagram) ยังไม่ได้รับการแก้ไขให้สอดคล้องกันกับรหัสอุปกรณ์ที่ทำงานจริงในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการจ่ายไฟ ทำให้การนำผลจำนวนครั้งเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง และความยาวสายของแต่ละ section มาพิจารณาประกอบกับสภาพแวดล้อมหน่วยงานที่สำรวจมาได้นั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากกรณีดังกล่าวได้

โมเดลที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอย โมเดลโดยโครงข่ายประสาทเทียม และโมเดลโดยตรรกะแบบฟัซซี่ ของวิทยานิพนธ์นี้อาจจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่านี้ถ้านำไปใช้ นอกเหนือจากพื้นที่ตัวอย่างของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 3 แห่งในภาคกลางดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นถ้านำโมเดลไปใช้พื้นที่อื่นๆ ควรต้องใช้ข้อมูลในการสำรวจสภาพปัจจัยเฉพาะจากพื้นที่นั้น จะทำให้ได้โมเดลที่เหมาะสมต่อการใช้พยากรณ์มากกว่า ซึ่งแนวทางในการหาโมเดลทำได้ตั้งขั้นตอนที่เสนอไว้ในวิทยานิพนธ์

ตารางที่ 20 จำนวนครั้งไฟดับถาวรในระบบจำหน่ายแยกตามสาเหตุต่างๆ ตั้งแต่ปี 2544 – 2548

สาเหตุ	จำนวนครั้งไฟดับถาวร ที่ทราบสาเหตุ (ครั้ง)	คิดเป็น (%)
สัตว์	88,456	30.03
ต้นไม้	82,690	28.08
อุปกรณ์	62,314	21.16
ภัยธรรมชาติ	23,180	7.87
สภาพสิ่งแวดล้อม	17,603	5.98
วัสดุแปลกปลอม	6,683	2.27
อื่นๆ	4,540	1.54
บุคคลภายนอก	3,816	1.30
ยานพาหนะ	3,743	1.27
พนักงานกฟภ.	1,256	0.43
จ่ายเกินพิกัด	242	0.08
สงคราม/จลาจล	4	0.00
บุคคลภายนอก	3	0.00
รวม	294,530	100

ที่มา: โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง (2548)

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ตัวแปรความยาวสาย, ชนิดสาย และต้นไม้ โดยพิจารณาจากสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟดับ 3 อันดับแรก คิดเป็น 79.54% ของสาเหตุทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 20 แต่เนื่องจากสัตว์ เป็นตัวแปรที่ค่อนข้างเก็บข้อมูลได้ยาก ต้องอาศัยระยะเวลาในการเฝ้าสังเกตการณ์ แม้คณะสำรวจได้ใช้วิธีสอบถามจากพนักงานในพื้นที่ แต่คำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับความรู้สึกของแต่ละบุคคลซึ่งยากต่อการเชื่อถือ และมักพบว่าไม่สอดคล้องกับสถิติเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่บันทึกไว้จึงไม่นำตัวแปรสัตว์มาพิจารณา ถึงกระนั้นก็ยังมิตัวแปรปัจจัยเฉพาะอื่น ที่ส่งผลต่อจำนวนครั้งการเกิดไฟดับ ดังนั้นถ้ามีการเก็บข้อมูลปัจจัยเฉพาะอื่นๆ เพิ่มเติมก็จะทำให้ได้โมเดลในการพยากรณ์ที่ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยลง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กัลยา วานิชย์บัญชา, ดร. 2544. การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Windows.

คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชำนาญ ห่อเกียรติ, รศ.ดร. 2549. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า. โครงการ

พัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธีรศักดิ์ อัจฉานนท์, ร.ศ. 2546. ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์ เล่ม 2

นาถชนก พัฒนภิรมย์. 2547. นวัตกรรมเน็ตเวิร์คพื้นฐาน (Introduction to Neural Network) ประกอบ

การสอบ Comprehensive Test ระดับปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2547

นิรนาม. 2549. Artificial Neural Network. แหล่งที่มา:

http://202.28.94.55/web/320417/2548/work1/g26/Files/Report_Neural%20Network.doc

พยุ่ง มีสัจ. 2548. Fuzzy Logic. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ. แหล่งที่มา:

202.28.94.55/web/320417/2548/work1/g17/Document/FUZZY%20LOGIC.doc

อัครพล สง่าสูงส่ง และอำนาจ ขวัญไสวธรรม. 2545. แบบจำลองการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ

สำหรับระบบสื่อสารภายในอาคารย่านความถี่ 1.8 GHz โดยใช้ การถดถอยแบบพีชชีและ

โครงข่ายเซลล์ประสาท. โครงการงานวิศวกรรมตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง. 2548. รายงานสรุปการคำนวณอัตราความเสียหาย
และอัตราการซ่อมของอุปกรณ์ในระบบจ่ายไฟฟ้าจากข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง. 2548. รายงานสรุปการวิเคราะห์ผลจากปัจจัยเฉพาะ
เพื่อคำนวณหาอัตราความเสียหายของระบบจำหน่ายในพื้นที่ตัวอย่าง. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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

Duane T. Radmer, Paul A. Kuntz, Member, IEEE, Richard D. Christie, Member,
IEEE, Subrahmanyam S. Venkata, Fellow, IEEE, and Robert H. Fletcher, Member, IEEE
Predicting. 2002. **Vegetation-Related Failure Rates for Overhead Distribution
Feeders**. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 17, NO. 4

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

Peter C. Chu, Qianqian Wang, and Robert H. Bourke. 2000. **A Geometric Model for the
Beaufort/Chukchi Sea Thermohaline Structure**. Department of
Oceanography, Naval Postgraduate School. Available Source:
[http://www.oc.nps.navy.mil/~chu/web_paper/jtech/Geomet/node25.html#SECTION0007
2000000000000000](http://www.oc.nps.navy.mil/~chu/web_paper/jtech/Geomet/node25.html#SECTION00072000000000000000)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวรัชนิกร บุญเรือง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 4 พฤษภาคม 2522
สถานที่เกิด	จ.สิงห์บุรี
ประวัติการศึกษา	ปี 2544 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร ระดับ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค