

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบการพยากรณ์ แบบฟัซซี
FUZZY FORECASTING SYSTEM

โดย



T139320

อมรรัตน์ เพ็งบุบผา

AMORN RAT PANGBUBPHA

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อาริต ธรรมโน

กท.
๐๒๘๖
๒๕๕๖

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 139320
วันเดือนปี 30 ต.ค. 2558



b.12721141

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาการศึกษาระดับ 2
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUZZY FORECASTING SYSTEM



**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS OF THE COURSE
INDEPENDENT STUDY 2
MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY¹
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1/ 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2013

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	ระบบการพยากรณ์แบบฟัซซี
นักศึกษา	นางสาวอมรรัตน์ เฟิงบุบผา
รหัสนักศึกษา	52660547
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
แขนงวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อาริต ธรรม โน

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้นำเสนอแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยทฤษฎีฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) ซึ่งเป็นแบบจำลองการพยากรณ์ที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในการพยากรณ์ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นอนุกรมเวลา (Time series) โดยสามารถนำข้อมูลของราคาข้อมูลที่น่าสนใจในการพยากรณ์ และข้อมูลอนุกรมเวลาในลักษณะต่างๆ มาใช้ในการทดสอบแบบจำลอง เพื่อศึกษาถึงผลการพยากรณ์ในการสร้างแบบจำลองได้มีการพัฒนาฐานความรู้ (Knowledge base) ในการสร้างฐานกฎ (Rule base) แบบอัตโนมัติจากราคาข้อมูลที่น่าสนใจ เพื่อให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น และได้นำหลักการการปรับฟังก์ชันสมาชิกของทฤษฎีการจำแนกกลุ่มของตัวแปรแบบฟัซซีมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการพยากรณ์ให้ดียิ่งขึ้น

Title	Fuzzy Forecasting System
Student	Ms. Amornrat Pangbubpha
Student ID	52660547
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Major	Information Technology
Year	2013
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Arit Thammano

ABSTRACT

The Thesis proposes forecasting model with Fuzzy logic theory which is the popular forecasting model that used to forecast the time series data. This forecasting model can use any of data and other time series data for testing and getting result for evaluated performance. This project develops knowledge base to generate rule base automatic for more precise result of forecasting and apply concept of membership function adjusting of fuzzy classification theory to improve forecasting performance.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ไม่อาจบรรลุผลสำเร็จได้ด้วยดีหากขาดความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาฯ.ดร. อาริต ธรรมโน ที่ได้สละเวลาให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำที่ดี ในการพัฒนาโครงการ และการปรับปรุง แก้ไขปัญหาต่างๆมาโดยตลอด

ขอบขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ที่มีประโยชน์ ช่วยให้สามารถแก้ไขปัญหาต่างๆให้สำเร็จลุล่วงไปได้ และเป็นตัวอย่างที่ดีในการศึกษาเล่าเรียนและการทำงาน

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เอื้ออำนวยสภาพแวดล้อมต่างๆ ในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณหัวหน้าและพี่ๆที่ทำงานของข้าพเจ้าที่ธนาคารกสิกรไทยที่ให้ความสนับสนุนในเรื่องของการเวลาในการทำโครงการครั้งนี้

อมรรัตน์ เฟื่องบุบผา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.3 ขอบเขตของงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย	4
2.1 เทคนิคการพยากรณ์	4
2.1.1 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ	4
2.1.2 การพยากรณ์เชิงปริมาณ	5
2.2 ลักษณะของข้อมูลอนุกรมเวลา	6
2.2.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม (Trend Time Series)	6
2.2.2 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบฤดูกาล (Seasonal Time Series)	6
2.2.3 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบวัฏจักร (Cycle Time Series)	7
2.2.4 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบผิดปกติ (Irregular)	7
2.3 คลาสสิกอลเซต (Classical Set)	8
2.4 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic)	9
2.4.1 ระบบฟัซซี	9
2.4.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก	10
2.4.3 ฟัซซีเซต	11
2.4.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต	14
2.4.5 คุณสมบัติของเซตฟัซซี	15
2.4.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	16

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.4.7 ตัวแปรภาษา (linguistic variable)	18
2.4.8 กฎฟัซซี (fuzzy rules)	19
2.4.9 ความสัมพันธ์แบบฟัซซี	21
2.4.10 ความสัมพันธ์แบบฟัซซี	23
2.4.11 การจัดองค์ประกอบแบบฟัซซี (fuzzy composition).....	24
2.4.12 ทฤษฎีของการหาเหตุผลอย่างประมาณ	25
2.4.13 ตรรกศาสตร์เชิงประพจน์	25
2.4.13 การสื่อความวัตถุ (material implication).....	25
2.4.14 แคลคูลัสภาคแสดงอันดับที่หนึ่ง.....	26
2.4.15 ตรรกะแบบคลุมเครือ.....	28
2.4.16 การสื่อความแบบคลุมเครือ (fuzzy implication).....	28
2.4.17 การให้เหตุผลอย่างประมาณ (Approximate Reasoning).....	30
2.4.18 การสื่อความแบบต่าง ๆ	31
2.4.19 ฟังก์ชันการสื่อความแบบคลุมเครือ	31
2.4.20 ระบบกฎแบบฟัซซี	32
2.4.21 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก.....	33
2.4.22 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก.....	34
2.4.23 ชนิดของระบบกฎฟัซซี.....	36
2.4.24 ระบบกฎฟัซซีของแมมดानी (Mamdani).....	37
2.4.25 วิธีการอนุมานแบบ Mamdani.....	38
2.4.26 ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK (Takagi-Sugeno-Kang).....	40
2.4.27 ระบบฟัซซีแบบบวกมาตรฐาน (Standard Additive Model: SAM)	41
2.4.28 กระบวนการหาเหตุผลแบบฟัซซี.....	42
2.4.29 การหาเหตุผลแบบฟัซซีตามวิธี Mamdani.....	44
บทที่ 3วิธีการดำเนินการศึกษา	46
3.1 การเตรียมข้อมูล	46

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 ส่วนของการสร้างฐานความรู้	47
3.2.2 การสร้างฟังก์ชันสมาชิก	47
3.2.3 การสร้างฐานกฎ.....	47
3.3 ส่วนของการพยากรณ์โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือจากข้อมูลของอนุกรมเวลาเดียวกัน.....	49
3.3.1 แปลงอินพุททั่วไป (Crisp Input) ให้เป็นอินพุทแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzy Input)	49
3.3.2 อนุমানข้อสรุป	49
3.3.3 รวมข้อสรุป	50
3.4 ส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพยากรณ์ โดยการปรับปรุงฟังก์ชันสมาชิก.....	50
3.4.1 พยากรณ์ข้อมูล	50
3.5 ปรับฟังก์ชันสมาชิก	51
บทที่ 4 ผลการทดลอง	54
ผลจากการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ข้อมูลในส่วนของการสร้าง ฐานความรู้ (Training).....	55
ผลจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับ ฟังก์ชันสมาชิก.....	56
ผลการวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์โดยอาศัยตัวชี้วัดประสิทธิภาพ	78
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	80
สรุปผลการทดลอง.....	80
ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม.....	83

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1การเตรียมข้อมูลก่อนนำเข้ากระบวนการพยากรณ์.....	54
4.2ผลจากการวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้.....	79



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม	6
2.2 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบฤดูกาล	7
2.3 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบฤดูกาล	7
2.4 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบผิดปกติ	8
2.5 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบฟัซซี (ฟัซซีลอจิก)	10
2.6 ความไม่แน่นอน (uncertainty)	11
2.7 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี	12
2.8 ตัวอย่างตัวแปรทางภาษา	19
2.9 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี	33
2.10 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	34
2.11 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	35
2.12 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	35
2.13 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก	35
2.14 กลุ่มของระบบฟัซซี	37
2.15 วิธีการอนุมานแบบแมกคานี (Max-Min)	39
2.16 วิธีการอนุมานแบบแมกคานี (Max-Product)	40
2.17 Tsukamoto Fuzzy Model	42
2.18 การอนุมานผลระบบฟัซซีแบบแมกคานี	45
4.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 532 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 3	57
4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 532 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 5 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 5	58
4.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 532 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 6 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 6	60

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 266 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 5	62
4.5การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 266 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 6	64
4.6การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 266 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 7	66
4.7การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 133 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 3	68
4.8การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 133 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 5	70
4.9การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 133 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 7	72
4.10การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 65 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 5 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 6	74
4.11การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 65 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 5 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 7	76
4.12การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์จริงและผลสัมฤทธิ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 65 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 6 จำนวนพีชชีเซตเท่ากับ 6	78

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นราคาน้ำมัน หรือ ราคาทองคำ หรือราคาสินค้าของต่างๆ เป็นตัวที่สามารถบอกทิศทางของแนวโน้มเศรษฐกิจของแต่ละประเทศได้ แต่การประมาณการการเปลี่ยนแปลงของราคาข้อมูลเหล่านั้น อาจทำได้ยาก และการคาดการณ์ของผู้เชี่ยวชาญก็อาจจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน ซึ่ง นอกเหนือจากปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อราคาข้อมูลเหล่านั้น ก็คือ ปัจจัยทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสถิติของราคาน้ำมัน หรือ ราคาทองคำ หรือราคาสินค้าของต่างๆ ที่สนใจ รายงานค่าเฉลี่ยของราคาย้อนหลัง ข้อมูลเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อความตัดสินใจซื้อขาย ราคาสินค้าของต่างๆ ที่สนใจ โดยเฉพาะในตลาดซื้อขายที่สามารถซื้อขายได้ล่วงหน้า เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นการซื้อขายเพื่อเก็งกำไร การตัดสินใจที่จะทำการซื้อขายนั้นจึงเป็นการตัดสินใจที่มีความเสี่ยงค่อนข้างสูง

ดังนั้นเพื่อให้การตัดสินใจที่จะทำการซื้อขายสิ่งของต่างๆ ที่สนใจ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น คงจะเป็นการดีหากจะมีระบบที่สามารถเข้ามาช่วยในการคาดการณ์ได้ว่าในอนาคตอันใกล้แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงราคา จะมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งจะสามารถช่วยประกอบการตัดสินใจในการลงทุนของนักเก็งกำไร อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงที่อาจเกิดจากการตัดสินใจที่ผิดพลาดได้ โดยการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ในเรื่องของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) ซึ่งเป็นคณิตศาสตร์แขนงใหม่ที่มีความสำคัญด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์ การบริหาร ตลอดจนเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นอย่างมาก และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในงานด้านต่างๆ ที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล งานด้านวิศวกรรมต่างๆ ได้แก่ เครื่องทำความเย็น กล้องถ่ายภาพ ลิฟต์ ระบบรถยนต์ เป็นต้น รวมไปถึงช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจ การพยากรณ์และการคาดการณ์เหตุการณ์ ซึ่งระบบจะนำหลักการในด้าน การพยากรณ์และการคาดการณ์เหตุการณ์ของตรรกศาสตร์คลุมเครือเข้ามาช่วยในการพยากรณ์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงราคาเพื่อใช้ในการตัดสินใจนี้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาค้นคว้าและเพิ่มเติมทักษะในการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศให้สอดคล้องกับความต้องการทางด้านธุรกิจ
- 2) เพื่อศึกษาถึงหลักการและทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องได้แก่
 - 5.1) ทฤษฎีและหลักการในการพยากรณ์ข้อมูล (Forecasting)
 - 5.2) ทฤษฎีและหลักการของราคาส่งของต่างๆที่สนใจ ที่มีผลต่อข้อมูลที่นำมาใช้ในการพยากรณ์
 - 5.3) ทฤษฎีและหลักการด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence)
- 3) เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคต่างๆ ด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ที่สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลที่เป็นราคาส่งของต่างๆที่สนใจ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลการพยากรณ์ราคา ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการวางแผนตัดสินใจในการซื้อขาย
- 4) เพื่อศึกษาแนวทางและวิธีการในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์

1.3 ขอบเขตของงาน

- 1) ศึกษาหลักการและทฤษฎีในการสร้างแบบจำลองที่สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์เบื้องต้นได้
- 2) ศึกษาหลักการและทฤษฎีทางการเปลี่ยนแปลงของราคาส่งของต่างๆที่สนใจ
- 3) ศึกษาหลักการและทฤษฎีของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) ในส่วนของการพยากรณ์
- 4) วิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาแบบจำลองในการพยากรณ์แต่ละแบบที่สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลทำการวิเคราะห์เบื้องต้น ข้อดี – ข้อเสียของแบบจำลองแต่ละประเภท
- 5) ทำการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์
- 6) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลของข้อมูลราคาส่งที่สนใจ(ราคาน้ำมัน)เพื่อใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลเบื้องต้น
- 7) ทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อข้อมูลราคาส่งที่สนใจที่สนใจ
- 8) สรุปผลการศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับการพัฒนาทักษะในการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศให้สอดคล้องกับความต้องการทางในเชิงธุรกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) สามารถพยากรณ์ราคาทองคำได้ถูกต้องตาม Algorithm ที่ใช้ได้ถูกต้อง
- 3) มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการพัฒนาแบบจำลองในการพยากรณ์ และสามารถพัฒนาแบบจำลองได้อย่างถูกต้องตามหลักการ
- 4) มีความรู้ความเข้าใจและสามารถเปรียบเทียบ ข้อดี – ข้อเสีย ของแบบจำลองที่เลือกนำมาใช้ในการพยากรณ์
- 5) มีความรู้ความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลราคาสิ่งของต่างๆที่สนใจ
- 6) สามารถทำการพยากรณ์แนวโน้มของราคาสิ่งของต่างๆที่สนใจ ได้อย่างถูกต้องและสามารถนำผลที่ได้จากการพยากรณ์ไปใช้ในการวางแผนและตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้กำไรสูงสุด



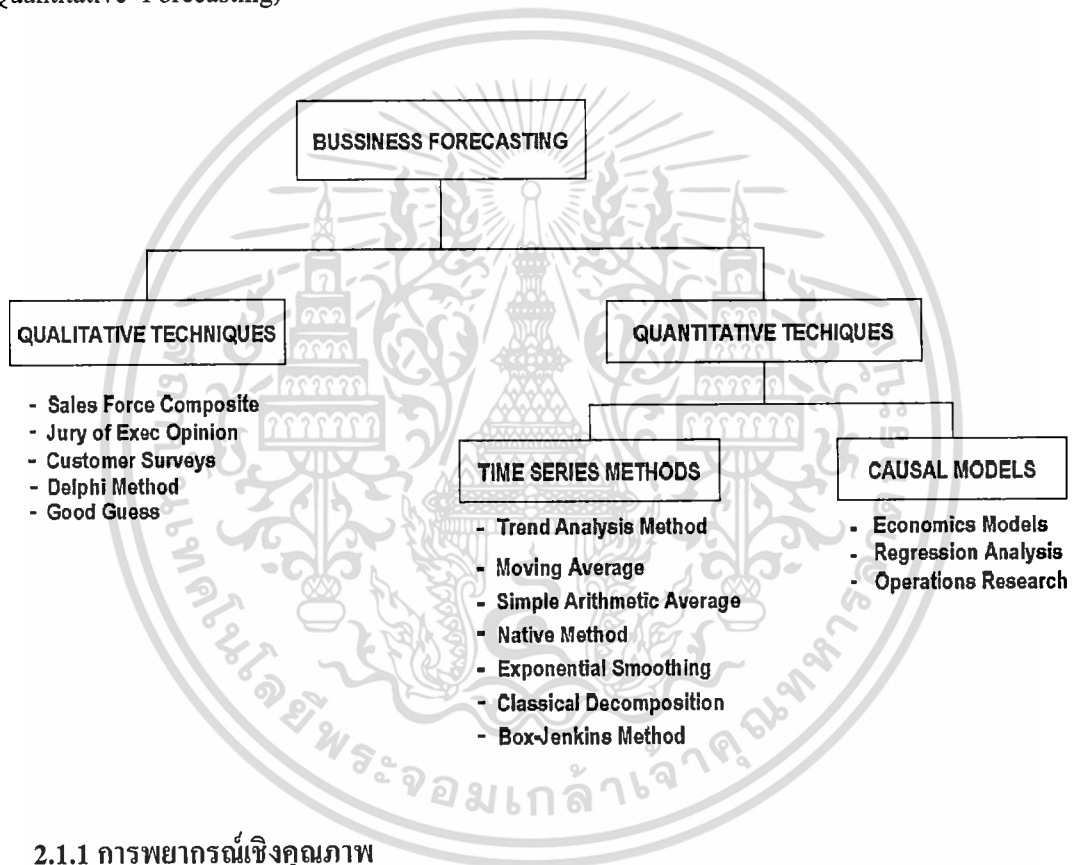
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

2.1 เทคนิคการพยากรณ์

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เทคนิคการพยากรณ์ได้รับความนิยมและได้รับการพัฒนาไปอย่างมากในเกือบทุกวงการ โดยเฉพาะในวงการธุรกิจและการเงิน โดยทั่วไปแล้วการพยากรณ์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative Forecasting) และการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative Forecasting)



2.1.1 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ

การพยากรณ์เชิงคุณภาพเป็นการพยากรณ์ที่อาศัยความรู้ ความสามารถ ประสบการณ์ ความชำนาญ รวมทั้งพิจารณาจากผู้ทำการพยากรณ์โดยตรงซึ่งในการเลือกใช้การพยากรณ์เชิงคุณภาพอาจเกิดจากผู้ทำการพยากรณ์ไม่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลไว้ ไม่ชำนาญในตัวแบบเชิงปริมาณ หรือไม่มีความเชื่อถือในแบบจำลองเชิงปริมาณ เป็นต้น การพยากรณ์เชิงคุณภาพจะมีหลายวิธี เช่น

- ความสามารถในการขาย (Sales Force Composite) เป็นแนวทางในการระดมความคิดเห็นจากระดับปฏิบัติการ โดยการประเมินความต้องการในแต่ละพื้นที่ เพื่อหาความต้องการโดยรวมของสินค้า แนวความคิดนี้จะมีศักยภาพสูงก็ต่อเมื่อระดับปฏิบัติการให้ความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมมืออย่างเต็มที่ เนื่องจากระดับปฏิบัติการมีความเข้าใจในความต้องการของแต่ละพื้นที่ จะทำให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น

- ความเห็นของนักบริหาร (Jury of Executive Opinion) เป็นการระดมความคิดของผู้บริหารระดับสูง ปกติจะมีการใช้แบบจำลองทางสถิติ (Statistic Model) และการพยากรณ์เข้ามาช่วยในการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหา
- การสำรวจลูกค้า (Customer Survey) ทำการสุ่มตัวอย่างความคิดเห็นของลูกค้ากลุ่มหนึ่งเท่านั้น แต่จะต้องมีการใช้ทักษะทางด้านวิชาการมาเกี่ยวข้องด้วย
- วิธีเดลไฟ (Delphi Method) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ โดยมีหลักคือ ค่าของการพยากรณ์จะไม่ได้มาจากผู้ทำการพยากรณ์เพียงคนเดียว แต่จะมาจากความคิดเห็นที่พ้องกันของบุคคลหลายๆฝ่าย ซึ่งจะไม่ใช้วิธีประชุมแสดงความคิดเห็น แต่จะมีการใช้แบบสอบถามอย่างต่อเนื่อง และความเป็นอิสระในการแสดงความคิดเห็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเอนเอียงเนื่องจากผู้เชี่ยวชาญคนใดคนหนึ่ง
- Good Guess (พยากรณ์แบบคาดการณ) เหมาะกับกิจการขนาดเล็ก คนตัดสินใจมี 1 คนเท่านั้น เช่น ร้านค้าปลีก เจ้าของร้านจะเป็นคนตัดสินใจเองว่าจะซื้ออะไรมาขายในร้าน (แต่ต้องมี Information Background ที่เขาทำอยู่ทุกวันมาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจ)
- วิธีวิจัยตลาด (Market Research) เป็นวิธีที่รวมเอาเทคนิคเชิงปริมาณอื่นๆเข้ามาใช้ประโยชน์ในด้านการพยากรณ์ เช่น ขนาดโครงสร้างและขอบเขตของตลาด เป็นต้น ข้อมูลการวิจัยตลาดได้มาจากการส่งแบบสอบถาม การสำรวจทางโทรศัพท์ การอภิปรายกลุ่ม และการสัมภาษณ์ หลังจากนั้น นำจำนวนข้อมูลที่ได้มาทดสอบทางสถิติ เพื่อพิสูจน์สมมติฐานทางการตลาด วิธีการวิจัยตลาดเป็นวิธีที่เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูงที่สุด แต่ผลลัพธ์ก็ค่อนข้างจะถูกต้องแม่นยำที่สุดด้วย

2.1.2 การพยากรณ์เชิงปริมาณ

การพยากรณ์เชิงปริมาณสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

ประเภทที่ 1 : เป็นลักษณะของการพยากรณ์ที่มีแนวคิด ว่า พฤติกรรมในอดีตของสิ่งที่พยากรณ์สามารถที่จะอธิบายหรือพยากรณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ นั่นคือการนำข้อมูลในอดีตของตัวแปรที่สนใจเพียงตัวเดียวมาใช้ในการพยากรณ์ โดยเทคนิคการพยากรณ์ที่สนับสนุนการพยากรณ์ในแนวคิดนี้ได้แก่ การพยากรณ์แบบปรับได้ (Adaptive Forecasting) เทคนิคการพยากรณ์แบบทำให้เรียบ (Smoothing techniques) การพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลในอดีตที่มีลักษณะเป็นอนุกรมเวลา (Time Series) เป็นต้น

ประเภทที่ 2 : เป็นการพยากรณ์ที่มีแนวคิดว่าการพยากรณ์อาจขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งอื่นๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์บางอย่างกับสิ่งที่ต้องการพยากรณ์นั้น ซึ่งยังคงอยู่บนพื้นฐานของการพยากรณ์ประเภทที่หนึ่ง นั่นคือมีการพิจารณาตัวแปรอื่นร่วมด้วย นอกเหนือจากตัวแปรที่จะทำการพยากรณ์ เช่น การพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงราคาน้ำมันดิบอาจมีการพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ปริมาณอุปสงค์และอุปทานของน้ำมันดิบ และเทคนิคการพยากรณ์ที่สนับสนุนการพยากรณ์ในแนวคิดนี้ได้แก่ การพยากรณ์ด้วยการวิเคราะห์การถดถอย (Regressive Forecasting) และการพยากรณ์เชิงเศรษฐมิติ (Econometric Forecasting) เป็นต้น

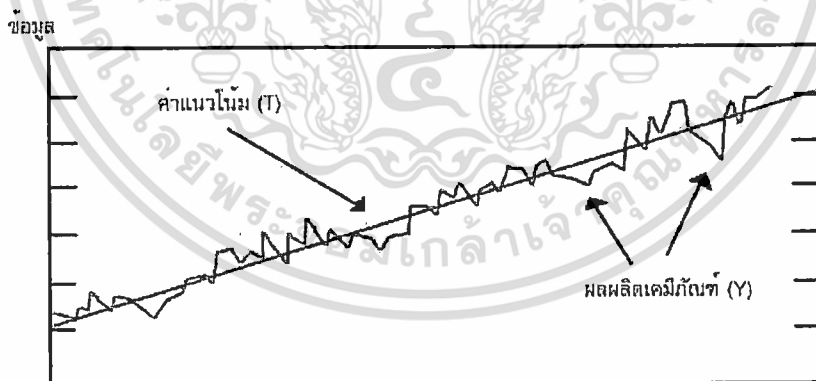
2.2 ลักษณะของข้อมูลอนุกรมเวลา

ข้อมูลอนุกรมเวลาคือ ข้อมูลที่มีลักษณะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกันและมีระยะห่างของช่วงเวลาที่เท่ากัน โดยหน่วยของช่วงเวลาอาจจะเป็น ปี เดือน สัปดาห์ หรือวัน เป็นต้น

ข้อมูลอนุกรมเวลาแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะย่อยๆดังนี้

2.2.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม (Trend Time Series)

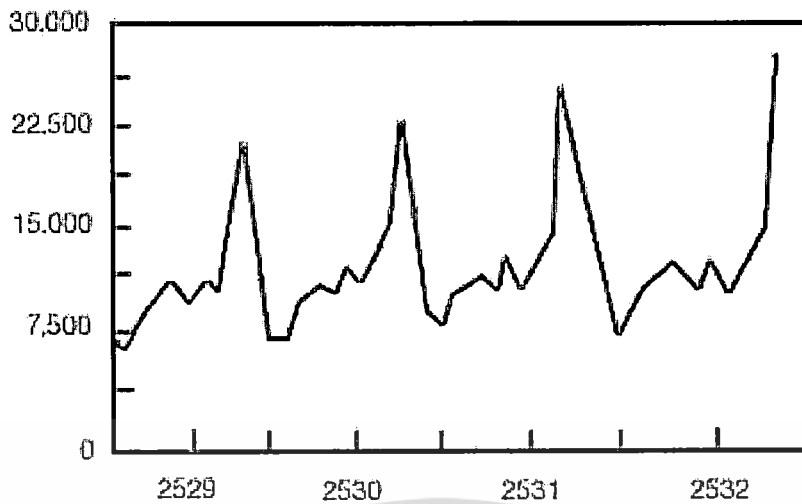
คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบแนวโน้ม

2.2.2 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบฤดูกาล (Seasonal Time Series)

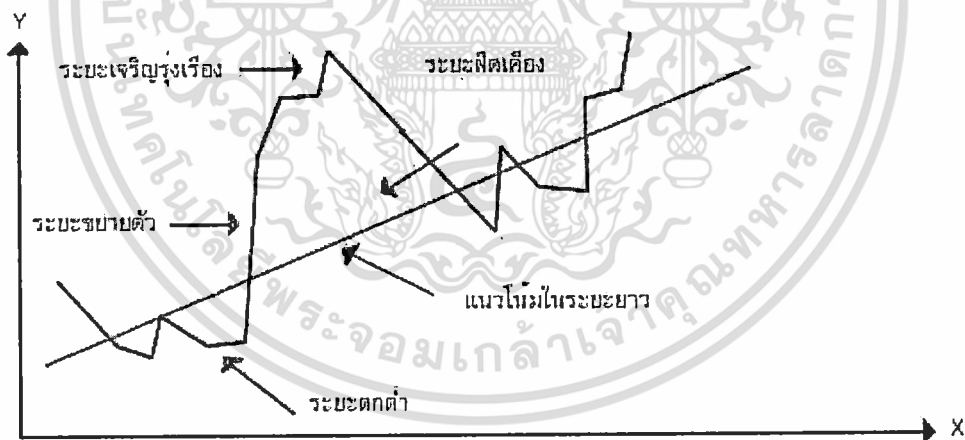
คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่มีรูปแบบซ้ำกันทุกปี



รูปที่ 2.2 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบฤดูกาล

2.2.3 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบวัฏจักร (Cycle Time Series)

คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดซ้ำๆกันมากกว่าหนึ่งปี เช่น วัฏจักรทางธุรกิจ (Business life cycle)



รูปที่ 2.3 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบฤดูกาล

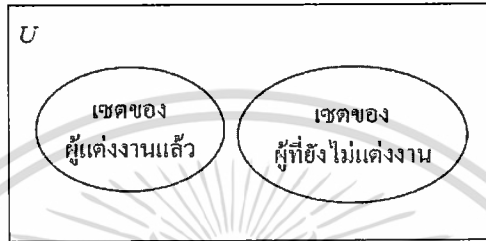
2.2.4 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบผิดปกติ (Irregular)

คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่เกิดไปจากเดิม โดยอาจได้รับผลกระทบมาจากเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดต่างๆ เช่น สงครามหรือน้ำท่วม เป็นต้น

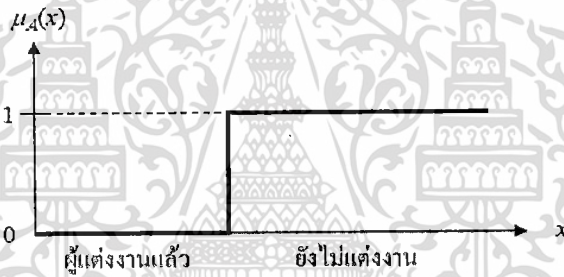
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 คลาสสิกอลเซต (Classical Set)

คลาสสิกอลเซตในเป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขต แบบแข็ง (sharp boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน



ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างเซตแบบฉบับ



ภาพที่ 2-4 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน

รูปที่ 2.4 ข้อมูลอนุกรมเวลาแบบผิดปกติ

ภาพที่ 2-3 แสดงตัวอย่างของเซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งานหรือไม่แต่งงาน ในภาพที่ 2-4 แสดงฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีรูปดังนี้

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

(2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.4 ฟัชซีลอจิก (Fuzzy Logic)

ฟัชซีลอจิก (fuzzy logic) ศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ฟัชซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมให้ลึกซึ้ง ทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆซึ่งนับวันจะยิ่งมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดเยี่ยงมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เก่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.1 ระบบฟัชซี

เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัชซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัชซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และ วัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัย เด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่าฟัชซีเซต (fuzzy set)

จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัชซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัชซีเซตจะนำเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้น ๆ แต่ประเทศญี่ปุ่นถึงเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัชซีเซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่น ๆ อีกมากมาย ในยุคปัจจุบัน ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสำคัญกับศาสตร์นี้มากขึ้น โดยได้มีการทุ่มงบประมาณให้การวิจัยมากขึ้น และพีชชีลอจิกถูกนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมาย ตัวอย่างเช่น ในโครงการอวกาศ NASA และโครงการด้านการทหาร

2.4.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับพีชชีลอจิก

ตรรกะแบบพีชชี(Fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ พีชชีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง (partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (completely true) กับเท็จ (completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบพีชชี (พีชชีลอจิก)

รูปที่ 2.5 ตรรกะแบบจริงเท็จ (บูลีนลอจิก) กับตรรกะแบบพีชชี (พีชชีลอจิก)

ความเป็นพีชชี (fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (bivalance) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า พีชชีเซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (uncertainty)” สามารถที่ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มิน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่มิน้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของพีชชีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (linguistic) มากกว่าปริมาณ (quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วน โดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็อาจจะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่า ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่ม จากการศึกษาปัญหาทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา

ภาพที่ 2-2 เป็นการแสดงให้เห็นว่าแนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก



ภาพที่ 2-2 ความไม่แน่นอน (uncertainty)

รูปที่ 2.6 ความไม่แน่นอน (uncertainty)

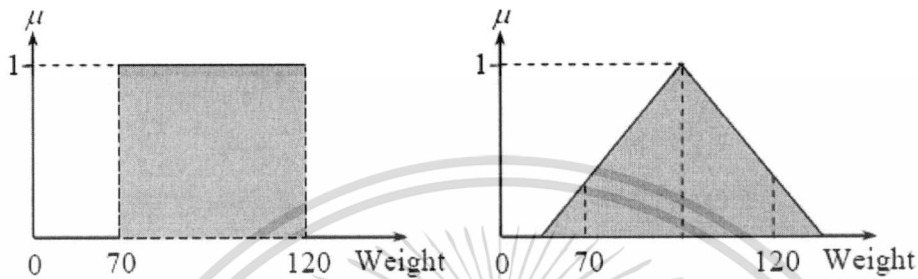
ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ (Decision making) โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set membership)

2.4.3 ฟัซซีเซต

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เป็นเซตที่มีขอบเขตที่ราบเรียบ ทฤษฎีฟัซซีเซตจะครอบคลุมทฤษฎีเซตแบบฉบับ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าความเป็นสมาชิกของเซตระหว่าง 0 และ 1 ในโลกแห่งความเป็นจริงเซตไม่ใช่มีเฉพาะเซตแบบฉบับเท่านั้น จะมีเซตแบบฟัซซีด้วย ฟัซซีเซตจะมีขอบเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟัซซีไม่ใช่เปลี่ยนแปลงทันทีทันใดจากขาวเป็นดำ ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงานที่มีความสุข จะเห็นได้ว่าสมาชิกในเซตนี้จะไม่มีความสุขระดับเดียวกันหมด บางคู่อจะมีความสุขมาก บางคู่อมีความสุขน้อย แตกต่างกันไป การใช้เซตแบบดั้งเดิมจึงไม่เหมาะสม ยกตัวอย่างเกี่ยวกับความอ้วน นิยามคำว่าคนอ้วนในเซตทวินัยอาจกำหนดเป็นคนที่น้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม โดยนิยามแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้นิยามที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน



ภาพที่ 2-5 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

รูปที่ 2.7 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตทวินัยและเซตแบบฟัซซี

นิยามของฟัซซีเซต กำหนดให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่าง ฟัซซีเซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1] \quad (2.3)$$

เมื่อ $\mu_A(x)$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ในฟัซซีเซต A สำหรับแต่ละ (อ่านว่า “ x เป็นสมาชิกของ X ”) ฟัซซีเซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่อลำดับ (tuples)

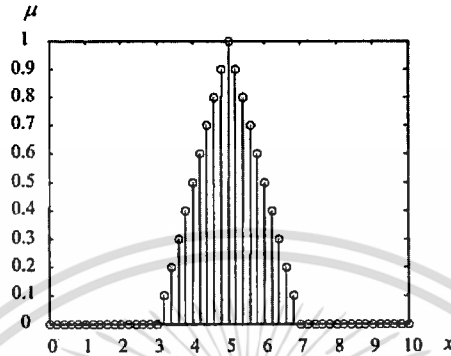
$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad (2.4)$$

เมื่อ A หมายถึงฟัซซีเซต A x หมายถึงสมาชิกของเซต (set membership) $\mu_A(x)$ หมายถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) $\mu(x)$ บางครั้งแทนด้วย $A(x)$ หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (universe) หรือประชากร

ถ้า $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ เป็นเซตจำกัด และ A เป็นฟัซซีเซตใน X ซึ่งเป็นชนิดวิฤต (discrete) และจำกัด สัญลักษณ์ (notation) ของฟัซซีเซต เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \right\}$$

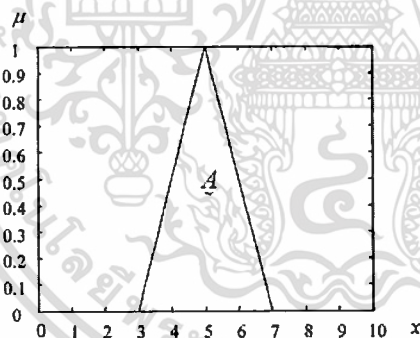
เมื่อพจน์ $\mu_A(x_i)/x_i$, $i=1,2,\dots,n$ หมายถึงค่าความเป็นสมาชิก $\mu_A(x_i)$ ของ x_i ในเซต A และ เครื่องหมายบวก “+” หมายถึงยูเนียน (union)



ภาพที่ 2-6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบวิยุต A

ถ้าเอกภพสัมพัทธ์ X เป็นต่อเนื่อง (continuous) สัญกรณ์ (notation) ของฟัซซีเซต A เขียนได้เป็น

$$A = \left\{ \int \frac{\mu_A(x)}{x} \right\}$$



ภาพที่ 2-7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตฟัซซีแบบต่อเนื่อง A

ทฤษฎีฟัซซีเซตสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดของเซตแบบดั้งเดิมได้ โดยฟัซซีเซตยอมให้มีค่าหรือ ดีกรีของความเป็นสมาชิก (degree of membership) ซึ่งแสดงด้วยค่าตัวเลขระหว่าง 0 และ 1 หรือ เขียนเป็นสัญลักษณ์ $[0, 1]$, โดย 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต และ ค่าระหว่าง 0 กับ 1 เป็นสมาชิกบางส่วนในเซต การทำเช่นนี้ ทำให้เกิดความราบเรียบในการ เปลี่ยนจากพื้นที่นอกเซต ไปอยู่ในเซตของสมาชิกต่าง ๆ โดยมีฟังก์ชันสมาชิก (membership function) เป็นฟังก์ชันจัดเทียบ (mapping function) วัตถุในโดเมนใด ๆ ให้เป็นค่าความเป็น สมาชิกในฟัซซีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเป็นสมาชิกสำหรับฟัซซีเซต มีจำนวนระดับความเป็นสมาชิกเป็นอนันต์ คือค่าต่อเนื่อง ในช่วงตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งครอบคลุมการกำหนดสมาชิกแบบฉบับ และเซตแบบฉบับหรือเซตทวินัย (crisp set) จะกำหนดตามดังสมการที่ (2-6)

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

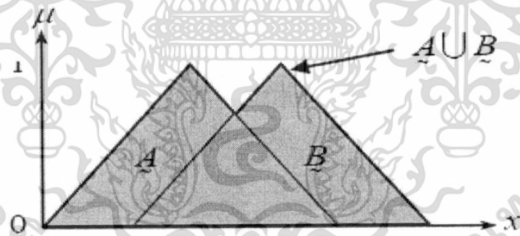
เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

2.4.4 การดำเนินการทางฟัซซีเซต

การดำเนินการของฟัซซีเซตมีคุณสมบัติเหมือนกับเซตโดยทั่วไป มีการดำเนินการ (operation) คือ Union Intersection และ Complement

1. ยูเนียน (Union) ของฟัซซีเซต จะเป็น OR operation ในสมการ และ ภาพที่ 2-8

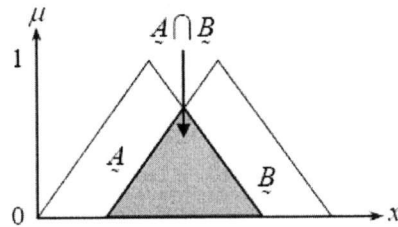
$$\begin{aligned} \mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \\ &= \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) \end{aligned}$$



ภาพที่ 2-8 ยูเนียนของฟัซซีเซต A และ B

2. อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ของฟัซซีเซต จะเป็น AND operation ในสมการ และภาพที่ 2-9

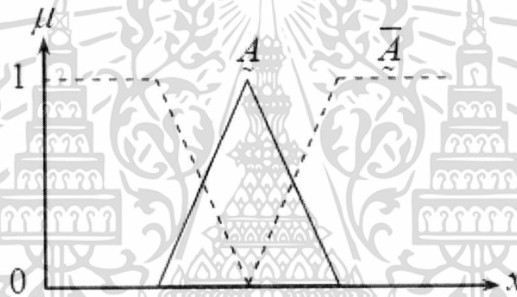
$$\begin{aligned}\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \\ &= \min(\mu_A(x), \mu_B(x))\end{aligned}$$



ภาพที่ 2-9 Intersection ของฟัซซีเซต A และ B

3. คอมพลิเมนต์ (Complement) ของฟัซซีเซต ในสมการและภาพที่ 2-10

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



ภาพที่ 2-10 Complement ของฟัซซีเซต A

2.4.5 คุณสมบัติของเซตฟัซซี

เซตฟัซซีมีคุณสมบัติตามเซตแบบฉบับ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Commutativity	$A \cup B = B \cup A$ $A \cap B = B \cap A$
Associativity	$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$ $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$
Distributivity	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$ $A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
Idempency	$A \cup A = A$ และ $A \cap A = A$

Identity $A \cup 0 = A$ และ $A \cap X = A$

$A \cap 0 = 0$ และ $A \cup X = X$

Transitivity ถ้า $A \subseteq B$, $B \subseteq C$ แล้ว $A \subseteq C$

Involution $\overline{\overline{A}} = A$

2.4.6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) เป็นฟังก์ชันที่มีการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรที่ต้องการใช้งาน โดยเริ่มจากการแทนที่กับตัวแทนที่มีความไม่ชัดเจน ไม่แน่นอน และคลุมเครือ ดังนั้นส่วนที่สำคัญต่อคุณสมบัติหรือการดำเนินการของฟัซซี เพราะรูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีความสำคัญต่อกระบวนการคิดและแก้ไขปัญหา โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกจะไม่สมมาตรกันหรือสมมาตรกันทุกประการก็ได้

2.4.6.1 ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้งานทั่วไปมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงบาง 6 ชนิดดังนี้

1. ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$

$$\text{triangular}(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$$

(2.5)

2. ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$

$$\text{trapezoidal}(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$$

(2.6)

3. ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

ฟังก์ชันเกาส์เซียนมีทั้งหมด 2 พารามิเตอร์คือ $\{m, \sigma\}$ ซึ่ง m หมายถึงค่าเฉลี่ย และ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$\text{gaussian}(x : m, \sigma) = \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right)$$

(2.7)

4. ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)

ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 3 ค่าคือ $\{a, b, c\}$

$$\text{bell-shaped}(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}}$$

(2.8)

5. ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth Membership Function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ $\{a, b\}$

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

(2.9)

6. ฟังก์ชันตัวเซต (Z-membership function)

ฟังก์ชันรูปตัวเอสมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ค่าคือ {a, b}

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

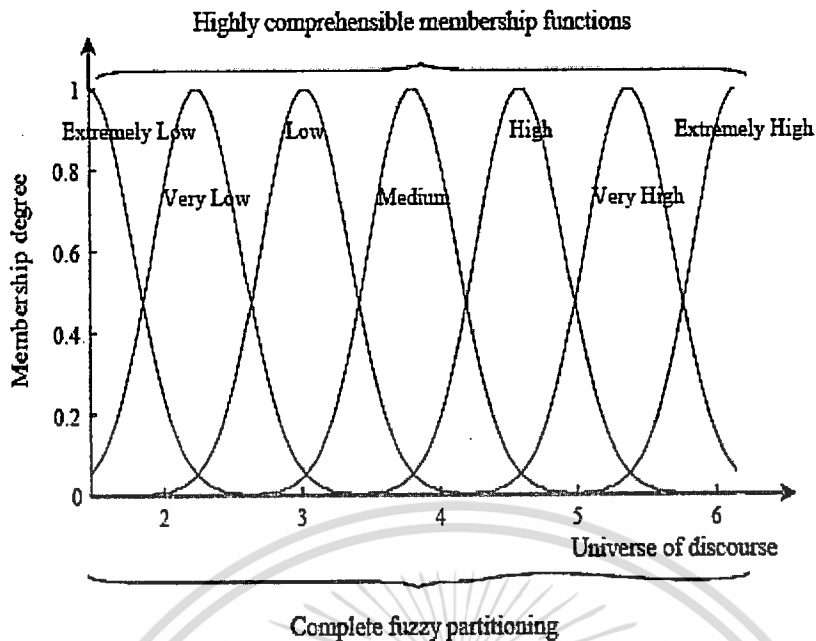
(2.10)

การเลือกฟังก์ชันของความเป็นสมาชิก จะต้องเลือกตามความเหมาะสมความครอบคลุมของข้อมูลที่จะรับเข้ามา โดยสามารถที่ทับซ้อนกันเพื่อให้การดำเนินงานราบเรียบ ซึ่งมีความเป็นสมาชิกหลายค่าได้ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเปลี่ยนแปลงแก้ไขให้เหมาะกับงานที่กำลังปฏิบัติงานหรือตามความต้องการ

2.4.7 ตัวแปรภาษา (linguistic variable)

เซตแบบฟuzzyสามารถประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเช่นเดียวกับเซตแบบดั้งเดิม เช่น ประโยค “อุณหภูมิในห้องเย็น” คำว่า “เย็น” เป็นคำที่ใช้แสดงปริมาณอุณหภูมิ ในทางรูปนัยสามารถเขียนได้เป็น ปริมาณอุณหภูมิ ในห้อง เย็น หรือ TemperatureQuantity is Cold ตัวแปร TemperatureQuantity เป็นตัวแปรภาษา (linguistic variable) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในตรรกะแบบฟuzzy ตัวแปรภาษาช่วยกำหนดค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพ โดยใช้พจน์ภาษา (linguistic term) และในรูปปริมาณ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ซึ่งแสดงความของของเซตแบบฟuzzy พจน์ภาษาใช้สำหรับการแสดงแนวคิดและองค์ความรู้ในการสื่อสารของมนุษย์ ส่วนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีประโยชน์ในการจัดการกับอินพุตที่เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-22 ตัวอย่างตัวแปรภาษา

(2.11)

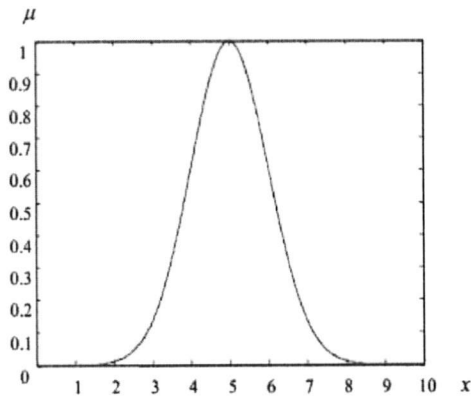
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างตัวแปรทางภาษา

ตัวแปรภาษาเป็นการประกอบกัน (composition) ของตัวแปรสัญลักษณ์ (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 2-22 แสดงตัวอย่างเซตตัวแปรภาษาของเซตฟัซซี ได้แก่ Extremely Low, Very Low, Low, Medium, High, Very High และ Extremely High

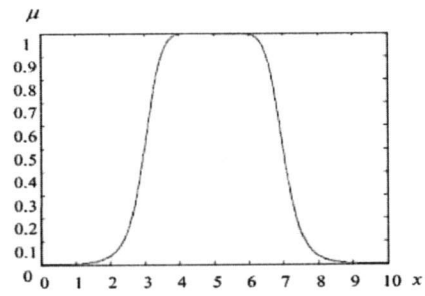
2.4.8 กฎฟัซซี (fuzzy rules)

วิทยาการเกี่ยวกับฟัซซีลอจิกมีจำนวนมาก แต่ที่นิยมและการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเห็นจะได้แก่ กฎฟัซซีแบบถ้า-แล้ว (fuzzy if-then rule) ตัวอย่างการใช้อีกในการแยกกลุ่มดังภาพที่ 2-18 ในภาพที่ 2-19 แสดงปริภูมิรูปแบบ (pattern space) การจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

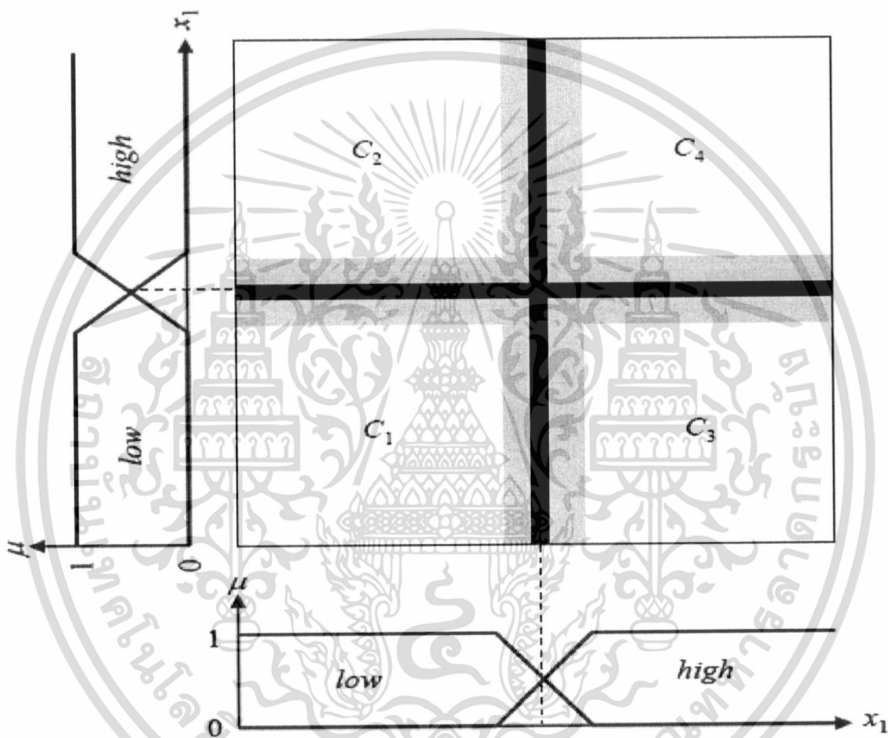
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2-18 ฟังก์ชันเกาส์เซียน



ภาพที่ 2-19 กราฟของฟังก์ชันระฆังคว่ำ



ภาพที่ 2-23 ตัวอย่างปริภูมิรูปแบบการจัดกลุ่มด้วยกฎฟัซซี

จากภาพที่ 2-23 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ x_1 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 1, x_2 เป็นตัวแปรภาษาในมิติที่ 2, low และ high เป็นพจน์ภาษา (linguistic terms), ข้อมูล (x_1, x_2) เป็นคู่ลำดับของวัตถุที่ต้องการจัดกลุ่ม และ C_1, C_2, C_3 และ C_4 เป็นกลุ่มข้อมูล 1, 2, 3 และ 4

สมมุติให้กฎข้อ $l, l = 1, 2, \dots, L$ เป็นลำดับของกฎ ให้ข้อมูลเป็น $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ เมื่อ n เป็นจำนวนมิติของข้อมูล ให้ A_{li} เป็นพจน์ภาษาในกฎข้อที่ l มิติที่ i และให้กลุ่มข้อมูลเป็น $C_k, k = 1, 2, \dots, K$ รูปแบบทั่วไปของกฎพีชชีสามารถเขียนได้ดังนี้

กฎข้อ 1: ถ้า x_1 มีค่า A_{11} และ x_2 มีค่า A_{12} และ $\square\square$ และ x_n มีค่า A_{1n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_1

กฎข้อ 2: ถ้า x_1 มีค่า A_{21} และ x_2 มีค่า A_{22} และ $\square\square$ และ x_n มีค่า A_{2n} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_2

กฎข้อ l : ถ้า x_1 มีค่า A_{l1} และ x_2 มีค่า A_{l2} และ $\square\square$ และ x_n มีค่า A_{ln} แล้ว ข้อมูล x เป็นกลุ่ม C_k

2.4.9 ความสัมพันธ์แบบพีชชี

2.4.9.1 ผลคูณคาร์ทีเซียน

เลขลำดับแบบจัดอันดับมีตัวประกอบ n ค่า ที่เขียนในรูป (a_1, a_2, \dots, a_n) เรียกว่า เอ็น-ทูเปิลแบบจัดอันดับ (an ordered n -tuple) ส่วนเอ็น-ทูเปิลแบบไม่จัดอันดับมีตัวประกอบ n ค่าที่ไม่จัดอันดับสำหรับเซตทวินัย (crisp set) A_1, A_2, \dots, A_n , เซตของ n -tuple ทั้งหมด (a_1, a_2, \dots, a_n) เมื่อ $a_1 \in A_1, \dots,$ และ $a_n \in A_n$ เราเรียก $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ ว่าผลคูณคาร์ทีเซียน (Cartesian product) ของ A_1, A_2, \dots, A_n ถ้า A_1, A_2, \dots, A_n เป็นตัวเดียวกันทั้งหมดผลคูณคาร์ทีเซียนจะเท่ากับ $A \times$ ผลคูณคาร์ทีเซียนจะแตกต่างจากการคูณทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่างที่ 3-1 กำหนดให้เซต $A = \{0, 1\}$ และ $B = \{a, b, c\}$ จงหาผลคูณคาร์ทีเซียนของเซตทั้งสองในรูปแบบต่าง ๆ

วิธีทำ

$$A \times B = \{(0, a), (0, b), (0, c), (1, a), (1, b), (1, c)\}$$

$$B \times A = \{(a, 0), (a, 1), (b, 0), (b, 1), (c, 0), (c, 1)\}$$

$$A \times A = A^2 = \{(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)\}$$

$$B \times B = B^2 = \{(a, a), (a, b), (a, c), (b, a), (b, b), (b, c), (c, a), (c, b), (c, c)\}$$

2.4.9.2 ความสัมพันธ์แบบฉบับ

เซตย่อย (subset) ของผลคูณคาร์ทีเซียน $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ เราเรียกว่าความสัมพันธ์ n -ary บน A_1, A_2, \dots, A_n ในกรณี $n = 2$ เราเรียกว่าความสัมพันธ์ทวิภาค (binary relation) จาก A_1 ไปยัง A_2 แต่ถ้า $n = 3$ จะเรียกว่าความสัมพันธ์ไตรภาค (ternary relation) $n = 4$ จะเรียกว่าความสัมพันธ์ฐานสี่ (quaternary relation) และ $n = 5$ จะเรียกว่าความสัมพันธ์ฐานห้า (quinary relation) ต่อไปนี้เมื่อ

กล่าวถึงความสัมพันธ์จะหมายถึงความสัมพันธ์ทวิภาคผลคูณคาร์ทีเซียนของสองเอกภพสัมพันธ์ X และ Y หาได้จาก

ผลคูณคาร์ทีเซียนของสองเอกภพสัมพันธ์ X และ Y หาได้จาก

$$X \times Y = \{(x,y) | x \in X, y \in Y\}$$

ซึ่งเกิดเป็นคู่จัดอันดับของทุก ๆ $x \in X$ และ $y \in Y$ ทุก ๆ ตัวประกอบในเอกภพสัมพันธ์ X ถูกทำให้สัมพันธ์กับทุกตัวประกอบของ Y ความแข็งแรงของความสัมพันธ์ระหว่างคู่อันดับของตัวประกอบในแต่ละเอกภพสัมพันธ์ถูกวัดด้วยฟังก์ชันลักษณะเฉพาะ χ

$$\chi_{X \times Y}(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in X \times Y \\ 0, & (x, y) \notin X \times Y \end{cases}$$

$$\chi_R(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in X \times Y \\ 0, & (x, y) \notin X \times Y \end{cases}$$

(2.12)

2.4.9.3 การดำเนินการบนความสัมพันธ์ทวิภาค

นิยามให้ R และ S เป็นความสัมพันธ์สองชุดบนเอกภพสัมพันธ์คาร์ทีเซียน $X \times Y$ และให้ $\square \circ$ เป็นเมทริกซ์ที่ไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ และ E เป็นเมทริกซ์ที่มีความสัมพันธ์เต็ม การดำเนินการบนความสัมพันธ์ทวิภาค มีดังนี้

ยูเนียน $R \cup S \rightarrow \chi_{R \cup S}(x, y) : \chi_{R \cup S}(x, y) = \max[\chi_R(x, y), \chi_S(x, y)]$

อินเตอร์เซกชัน $R \cap S \rightarrow \chi_{R \cap S}(x, y) : \chi_{R \cap S}(x, y) = \min[\chi_R(x, y), \chi_S(x, y)]$

ส่วนเติมเต็ม (complement) $\bar{R} \rightarrow \chi_{\bar{R}}(x, y) : \chi_{\bar{R}}(x, y) = 1 - \chi_R(x, y)$

(2.13)

คอนเทนเมนต์ $R \subset S \rightarrow \chi_R(x, y) : \chi_R(x, y) \leq \chi_S(x, y)$

เอกลักษณ์ $\phi \rightarrow 0$ และ $X \rightarrow E$

(2.14)

2.4.9.4 การจัดองค์ประกอบแบบทวิภาค (Composition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ R เป็นความสัมพันธ์ที่สัมพันธ์หรือจัดเทียบตัวประกอบจากเอกภพสัมพันธ์ X ไปยังเอกภพสัมพันธ์ Y และให้ S เป็นความสัมพันธ์ที่สัมพันธ์หรือจัดเทียบตัวประกอบจากเอกภพสัมพันธ์ Y ไปยังเอกภพสัมพันธ์ Z มีการจัดองค์ประกอบ 2 รูปแบบที่นิยมใช้ได้แก่ การจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุดและต่ำสุด (max-min composition) และ การจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุดและผลคูณ (maxproduct หรือ max-dot composition)

การจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุดและต่ำสุด

$$T = R \circ S$$

$$\chi_T(x, y) = \bigvee_{y \in Y} (\chi_R(x, y) \wedge \chi_S(x, y)) \quad (2.15)$$

เมื่อ T เป็นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบที่เหมือนกันในเอกภพสัมพันธ์ X ที่มีอยู่ใน R ไปยังองค์ประกอบที่เหมือนกันในเอกภพสัมพันธ์ Z ซึ่งมีอยู่ใน S

การจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุดและผลคูณ

$$T = R \circ S$$

$$\chi_T(x, y) = \bigvee_{y \in Y} (\chi_R(x, y) \bullet \chi_S(x, y)) \quad (2.16)$$

2.4.10 ความสัมพันธ์แบบพีชชี

ในทำนองเดียวกันกับความสัมพันธ์ทวิภาค ความสัมพันธ์แบบพีชชีเป็นการจัดเทียบตัวประกอบของเอกภพสัมพันธ์หนึ่ง เช่น X ยังเอกภพสัมพันธ์หนึ่ง เช่น Y ผ่านผลคูณคาร์ทีเซียนของสองเอกภพสัมพันธ์นั้น โดยความเข้มระหว่างคู่อันดับของทั้งสองเอกภพสัมพันธ์วัดได้โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแสดงในรูปดีกรีของความเข้มของความสัมพันธ์มีค่าระหว่าง $[0, 1]$ นั่นคือความสัมพันธ์พีชชีเป็นการจัดเทียบจากปริภูมิคาร์ทีเซียน (Cartesian space) $X \times Y$ เป็นค่าระหว่าง $[0, 1]$ เมื่อความเข้มของการจัดเทียบ ถูกแสดงโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกภาพของความสัมพันธ์สำหรับคู่อันดับจากสองเอกภพสัมพันธ์ หรือ $\mu_R(x, y)$

การดำเนินการของความสัมพันธ์พีชชี

$$\text{ยูเนียน} \quad \mu_{R \cup S}(x, y) = \max[\mu_R(x, y), \mu_S(x, y)]$$

$$\text{อินเตอร์เซกชัน} \quad \mu_{R \cap S}(x, y) = \min[\mu_R(x, y), \mu_S(x, y)]$$

$$\text{ส่วนเติมเต็ม (complement)} \quad \mu_{\bar{R}}(x, y) = 1 - \mu_R(x, y)$$

$$\text{คอนเทนเมนต์} \quad R \subset S \rightarrow \mu_R(x, y) \leq \mu_S(x, y) \quad (2.17)$$

2.4.11 การจัดองค์ประกอบแบบฟuzzy (fuzzy composition)

ความสัมพันธ์ฟuzzyเป็นเซตแบบฟuzzyอย่างหนึ่ง เราสามารถนิยามผลคูณคาร์ทีเซียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสองเซตขึ้นไป

สมมติให้ A เป็นเซตแบบฟuzzyบนเอกภพสัมพัทธ์ X และ B เป็นเซตแบบฟuzzyบนเอกภพสัมพัทธ์ Y ผลคูณคาร์ทีเซียนระหว่างเซตแบบฟuzzy A และ B จะได้ผลเป็นความสัมพันธ์ฟuzzy R ซึ่งถูกบรรจุภายในปริภูมิผลคูณคาร์ทีเซียนเต็ม นั่นคือ

$$A \times B = R \subset X \times Y \quad (2.18)$$

เมื่อความสัมพันธ์ฟuzzy R มีฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$\mu_R(x, y) = \mu_{A \times B}(x, y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (2.19)$$

ผลคูณคาร์ทีเซียนที่ได้นี้คำนวณคล้ายวิธีคูณไขว้ของสองเวกเตอร์ (cross product) แต่ผลคูณคาร์ทีเซียนจะแตกต่างจากการคูณทางคณิตศาสตร์

การจัดองค์ประกอบแบบฟuzzy สามารถทำได้ในตัวเองเดียวกันกับความสัมพันธ์แบบทวิภาค สมมติให้ R เป็นความสัมพันธ์แบบฟuzzyบนปริภูมิคาร์ทีเซียน $X \times Y \times S$ เป็นความสัมพันธ์แบบฟuzzyบนปริภูมิคาร์ทีเซียน $Y \times Z \times S$ และ T เป็นความสัมพันธ์แบบฟuzzyบนปริภูมิคาร์ทีเซียน $X \times Z$ การจัดองค์ประกอบฟuzzyแบบค่าสูงสุดและต่ำสุด (max-min composition) นิยามดังนี้

$$T = R \circ S$$

$$\mu_T(x, z) = \bigvee_{y \in Y} (\mu_R(x, y) \wedge \mu_S(y, z)) \quad (2.20)$$

และการจัดองค์ประกอบฟuzzyแบบค่าสูงสุดและผลคูณ สามารถนิยามเป็น

$$\mu_T(x, z) = \bigvee_{y \in \Gamma} (\mu_R(x, y) \bullet \mu_S(y, z)) \quad (2.21)$$

โปรดสังเกตว่า ทั้งการจัดองค์ประกอบแบบทวิภาคและแบบพีชชี ไม่สามารถสลับที่ของ R และ S ได้ นั่นคือ

$$\underline{R} \circ \underline{S} \neq \underline{S} \circ \underline{R} \quad (2.22)$$

2.4.12 ทฤษฎีของการหาเหตุผลอย่างประมาณ

ซึ่งทฤษฎีนี้ได้นำเสนอโดย Zadeh เมื่อปี ค.ศ. 1979 โดยทฤษฎีนี้เป็นรูปแบบที่สำคัญสำหรับการให้เหตุผลจากสภาพแวดล้อมที่เกิดจากความคลุมเครือและไม่แน่นอน หัวใจหลักของทฤษฎีนี้ได้แก่ การจัดองค์ประกอบของประโยคจากการใช้เซตแบบพีชชีเป็นตัวแปร

2.4.13 ตรรกศาสตร์เชิงประพจน์

ในตรรกศาสตร์เชิงประพจน์ (Propositional logic) (1) ข้อความทั่วไปสามารถสร้างโดยการแสดงเป็นประโยคง่าย ๆ เป็นหน่วยเบื้องต้นเรียกว่า ประพจน์ (proposition) และ (2) การเชื่อมประพจน์กับตัวเชื่อมประโยคที่ซับซ้อน ได้แก่ “ไม่” (not), \wedge “และ” (and), “หรือ” (or), \Rightarrow “สื่อความ” (imply) ตัวอย่างเช่น ประโยค

If today is a weekday and the current time is rush hour, then the traffic is congested.

ถ้าวันที่เป็นวันทำงานและเวลาปัจจุบันเป็นชั่วโมงเร่งด่วนแล้วทำให้การจราจรติดขัดสามารถแสดงด้วยกรนิยามประพจน์สามประพจน์เป็น

P : today is a weekday (วันนี้เป็นวันทำงาน)

Q : the current time is during rush hour (เวลาปัจจุบันเป็นชั่วโมงเร่งด่วน)

R : the traffic is congested (การจราจรติดขัด)

ทั้งสามประพจน์สามารถเชื่อมกันด้วย “and” (และ) การสื่อความ (implication) จะเป็น

$$P \wedge Q \Rightarrow R \quad (2.23)$$

2.4.13 การสื่อความวัตถุ (material implication)

กำหนดให้ $p = “x \text{ is in } A”$ and $q = “y \text{ is in } B”$ เป็นประพจน์ทวินัย (crisp propositions) เมื่อ A และ B เป็นเซตทวินัย

การสื่อความ $p \rightarrow q$ สามารถตีความเป็น $\neg(p \vee \neg q)$

p ขยายความ q (p entails q) หมายถึง จะไม่มีเหตุการณ์ที่ p เป็นจริง และ q ไม่เป็นจริง

ข้อความแบบตรรกะดั้งเดิมยอมให้มีค่าที่เป็นไปได้สองค่า คือ จริง (true) และ เท็จ (false)

เนื่องจากตัวเชื่อมตรรกะถูกใช้งานเป็นสูตรย่อยหรือคู่ของสูตรย่อยซึ่งหมายความว่า ข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถให้นิยามโดยการแสดงค่าจริงของสูตรผลลัพท์ที่ซับซ้อนสำหรับการจัดหมู่ (combination) ของค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของความจริงที่เป็นสูตรย่อย ตารางความจริง (truth table) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมตรรกะดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ตารางความจริงของตัวเชื่อมตรรกะ

α	β	$\neg\alpha$	$\alpha \wedge \beta$	$\alpha \vee \beta$	$\alpha \Rightarrow \beta$
เท็จ	เท็จ	จริง	เท็จ	เท็จ	จริง
เท็จ	จริง	จริง	เท็จ	จริง	จริง
จริง	เท็จ	เท็จ	เท็จ	จริง	เท็จ
จริง	จริง	เท็จ	จริง	จริง	จริง

ตัวเชื่อมการสื่อความนี้สำคัญมาก เนื่องจากเป็นพื้นฐานของกฎการสื่อความแบบฟัซซี (fuzzy implication rule) การสื่อความมี 2 ส่วน คือ ข้อตั้ง (premise) ซึ่งใช้คำว่า “ถ้า” (if) เป็นส่วนที่นำหน้า คำเชื่อมการสื่อความ และข้อยุติ หรือข้อสรุป (conclusion) ซึ่งใช้คำว่า “แล้ว” (then) ตามหลัง ตัวเชื่อมสื่อความ

สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากในการสรุปความหรือการอนุมานในตรรกะเชิงประพจน์ นั่นคือ โมดัส โปเนนส์ (modus ponens) กำหนดให้การสื่อความและข้อตั้งเป็นจริง โมดัส โปเนนส์สามารถทำให้เรา นิรมัยหรือชักเหตุได้ว่าข้อตามหรือพจน์หลัง (consequent) เป็นจริง

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta \quad \alpha}{\beta}$$

(2.24)

การสรุปความหรือการอนุมานในตรรกะเชิงประพจน์อีกอย่าง ได้แก่ โมดัส โทเลนส์ (modus tollens) จากการสื่อความและข้อสรุปเชิงลบ เราสามารถทำการนิรมัยหรือชักเหตุได้ข้อตาม (พจน์หลัง) เป็นเชิงลบได้ดังนี้

$$\frac{\alpha \Rightarrow \beta \quad \neg\beta}{\neg\alpha}$$

(2.25)

2.4.14 แคลคูลัสภาคแสดงอันดับที่หนึ่ง

แคลคูลัสภาคแสดงอันดับที่หนึ่ง (First-order predicate calculus: FOPC) ทำให้ประโยคเป็นเชิง

ภาษาทางการมากกว่าตรรกะเชิงประพจน์ โดยยินยอมให้มีการใช้ตัวแปรในข้อความตรรกะ ตัวแปร

เอกสารเป็นเชิงประพจน์หรือการเชิงประพจน์เพื่อการสื่อความเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประพจน์ตามการคำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน FOPC เป็นสิ่งสัมพันธ์กับตัวแบ่งปริมาณหนึ่งในสองตัว ได้แก่ ตัวแบ่งปริมาณสำหรับทุกตัว (universal quantifier, \forall) และตัวแบ่งปริมาณสำหรับตัวที่มีอยู่ (existential quantifier, \exists) ตัวแรกใช้สำหรับแสดงข้อความเกี่ยวกับวัตถุที่เป็นจริงทั้งหมด ส่วนตัวหลังใช้แสดงข้อความที่เป็นจริงสำหรับวัตถุอย่างน้อยหนึ่งอย่าง

แตกต่างจากตรรกะเชิงประพจน์ FOPC ใช้ภาคแสดง (predicate) เพื่ออธิบายประโยคง่าย ๆ ภาคแสดงใช้แสดงถึงเซตของวัตถุ (เช่น ภาคแสดง นักศึกษาไอที แสดงถึงเซตของนักศึกษาไอที) หรือความสัมพันธ์ (ภาคแสดง เพื่อน แสดงสัมพันธ์ภาพระหว่างบุคคลสองคน) ภาคแสดงมีจำนวนอาร์กิวเมนต์หลายตัวซึ่งอาจเป็นตัวแปรหรือค่าคงที่ก็ได้ ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของภาคแสดงพร้อมกับอาร์กิวเมนต์ที่เป็นค่าคงที่

นักศึกษาไอที(สมพงษ์): สมพงษ์เป็นนักศึกษาไอที

ITstudent(Sompong): Sompong is an IT student.

เวลาด่วน(5 โมงเย็น): ห้าโมงเย็นเป็นเวลาด่วน

RushHour(5 pm): Five o'clock in the afternoon is during rush hour.

เพื่อน(ญาดา, กิตติชัย): ญาดาและกิตติชัยเป็นเพื่อนกัน

Friend(Yada, Kittichai): Yada and Kittichai are friends.

เช่นเดียวกับตรรกะเชิงประพจน์ FOPC รวมนิพจน์เชิงตรรกะง่าย ๆ ให้เป็นนิพจน์ที่ซับซ้อน โดยการใช้ตัวเชื่อมตรรกะ ตัวอย่างเช่น ข้อความ “นักศึกษาไอทีทั้งหมดชอบศึกษาวิชาเกี่ยวกับระบบอัจฉริยะ” (All IT students like to study subjects involving intelligent systems) สามารถแสดงในระบบตรรกะแบบตรรกะภาคแสดงอันดับที่หนึ่ง ดังนี้

$$\forall(x,y) \text{ITstudent}(x) \wedge \text{IntelligentClass}(y) \text{Like}(x, y) \Rightarrow$$

เมื่อ x เป็นนักศึกษาไอที y เป็นวิชาเกี่ยวฐานข้อมูล Like เป็นภาคแสดง

กฎการอนุมานทั้งหมดในตรรกะเชิงประพจน์สามารถขยายเป็น FOPC โดยการหาตัวแทนที่เหมาะสมของตัวแปรโดยการใช้ขั้นตอนวิธีการสร้างเอกภาพ (unification algorithm) เช่น กำหนดให้ความจริงต่อไปนี้

ITstudent(Somsak)

IntelligentClass(Fuzzy)

โมดัสโปเนนส์สามารถประยุกต์ใช้โดยการแทนที่ตัวแปร x และ y ด้วย Somsak และ Fuzzy ตามลำดับ เป็น (Somsak, Fuzzy)

$$\forall(x, y) \text{ITstudent}(x) \wedge \text{IntelligentClass}(y) \Rightarrow \text{Like}(x, y)$$

$$\text{ITstudent}(\text{Somsak})$$

$$\text{IntelligentClass}(\text{Fuzzy})$$

$$\text{Like}(\text{Somsak}, \text{Fuzzy}) \quad \phi = \{\text{Somsak}/x, \text{Fuzzy}/y\}$$

(2.26)

เมื่อ f เป็นตัวแปรที่แทนขึ้นใหม่ ตัวแปรที่เป็นตัวแทนนี้เรียกว่าตัวสร้างเอกภาพ และขั้นตอนวิธีสำหรับการหาตัวแปรเหล่านี้เรียกว่าการสร้างเอกภาพ ข้อจำกัดของตรรกะแบบฉบับ (limitations of classical logic) ก็คือไม่สามารถแสดงและให้เหตุผลเกี่ยวกับองค์ความรู้แบบไม่แน่นอนได้ ตรรกะแบบคลุมเครือมีจุดมุ่งหมายในการสร้างตรรกะแบบฉบับในการแสดงความไม่แน่นอน

2.4.15 ตรรกะแบบคลุมเครือ

ข้อจำกัดของแคลคูลัสเชิงประพจน์แบบฉบับคือเป็นตรรกะ 2 ค่า การประพจน์แบบตรรกพีชชี่จะเกี่ยวกับแนวคิดตรรกะหลายค่าซึ่งมีขอบเขตแบบไม่ชัด (unclear defined boundary) ข้อความเชิงภาษาเป็นตัวแสดงแนวคิดเชิงจิตพิสัยซึ่งสามารถแปลความแบบแตกต่างกันไปเล็กน้อยจากบุคคลแต่ละคน ซึ่งเกี่ยวกับการประพจน์เชิงคลุมเครือ โดยธรรมชาติของภาษาทั่วไปเป็นแบบคลุมเครือ นั่นคือภาษาจะเกี่ยวข้องกับพจน์ที่ไม่ชัดเจน (vague) และไม่เที่ยงตรง (imprecise) ตัวอย่างเช่น ข้อความที่แสดงเกี่ยวกับความสูงหรือน้ำหนักของบุคคล หรือการแสดงเกี่ยวกับอายุของแต่ละบุคคล เป็นต้น

ข้อความในตรรกะแบบคลุมเครือจะตีความให้เป็นจริงบางส่วนหรือเป็นเท็จบางส่วน ไม่ใช่มีเฉพาะ “จริง” หรือ “เท็จ” อย่างในตรรกะแบบฉบับเท่านั้น ค่าความเป็นจริงเป็นค่าที่อยู่ในระหว่าง “0” ถึง “1”

จุดมุ่งหมายสำคัญของตรรกะแบบพีชชี่คือการที่สามารถให้อนุมานเชิงเหตุผล ถึงแม้ว่าเงื่อนไขของกฎการสื่อความจะสอดคล้องกันเพียงบางส่วน ความสามารถนี้เราเรียกว่าการให้เหตุผลอย่างประมาณ (Approximate reasoning) การให้เหตุผลอย่างประมาณสามารถทำได้สองทาง ได้แก่ 1. การแสดงความหมายของกฎการสื่อความแบบคลุมเครือด้วยความสัมพันธ์แบบคลุมเครือ (Fuzzy relation) และ 2. การรับข้อสรุปอนุมานด้วยการใช้กฎการจัดองค์ประกอบ (Compositional rule) ของการอนุมานไปยังความสัมพันธ์การสื่อความแบบคลุมเครือ (fuzzy implication relation)

2.4.16 การสื่อความแบบคลุมเครือ (fuzzy implication)

สมมุติให้ x และ y เป็นตัวแปรจำนวนเต็ม 2 ตัวแปร มีค่าระหว่าง $[0, 10]$ หากเราทราบค่า “ x เป็นค่าระหว่าง 1 และ 3” แล้ว “ y เป็นได้ทั้ง 7 หรือ 8” องค์ความรู้นี้สามารถแสดงในอย่างน้อยสองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ ได้แก่ 1. การสื่อความตรรกะ และ 2. การแสดงข้อความเงื่อนไขในภาษาคอมพิวเตอร์เชิงดำเนินการ ทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกัน สมมติว่าเราทราบว่า x มีค่าเท่ากับ 5 การแสดงสื่อความตรรกะและการแสดงข้อความเงื่อนไขเชิงดำเนินการ จะเป็นดังนี้

กฎการสื่อความ (การแสดงเชิงตรรกะ)

กำหนดให้: $x \in [1, 3] \square \square \square y \in [7, 8]$

$x \in 5$

ลงความเห็น: y ไม่ทราบค่า ($y \in [1, 10]$)

กฎการจัดเทียบ (การแสดงเชิงดำเนินการ)

ข้อความ: ถ้า $x \in [1, 3]$ แล้ว $y \in [7, 8]$ (If $x \in [1, 3]$ THEN $y \in [7, 8]$)

ค่าของตัวแปร: $x \in 5$

ผลการปฏิบัติ: ไม่มีปฏิกิริยา

การจัดองค์ประกอบแบบคลุมเครือ (fuzzy logic composition) $\square \square$ เป็นข้อความที่เกี่ยวข้องแนวคิดขอบเขตเชิงคลุมเครือ โดยใช้ข้อความภาษาเป็นตัวแสดงแนวคิดที่เป็นอัตวิสัยซึ่งสามารถตีความแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล และการสื่อความเชิงคลุมเครือสามารถสรุปความได้จากหลากหลายวิธีของการจัดองค์ประกอบแบบคลุมเครือ

ค่าความเป็นจริง (truth value) ที่กำหนดให้ $\square \square$ เป็นค่าใด ๆ ก็ได้ในช่วง $[0, 1]$ การกำหนดค่าให้ประพจน์ (proposition) เป็นการจัดเทียบจริงจากค่าในช่วง $[0, 1]$ เป็นค่าในเอกภพสัมพัทธ์ (universe) U ของค่าความเป็นจริง T ดังสมการ

$$T: u \in U \rightarrow (0, 1) \quad (2.27)$$

ในทำนองเดียวกันกับตรรกะแบบฉบับ เราสามารถกำหนดประพจน์เชิงตรรกะให้กับเซตในเอกภพของสรรพสาระ (Universe of discourse) ประพจน์แบบคลุมเครือเป็นการกำหนดให้เป็นเซตแบบคลุมเครือ (fuzzy set) สมมติให้ประพจน์ ถูกกำหนดเป็นเซตแบบคลุมเครือแล้ว ค่าความเป็นจริง หาได้จากสมการ

$$T(\underline{P}) = \mu_{\underline{P}}(x) \quad \text{เมื่อ } 0 \leq \mu_{\underline{P}} \leq 1 \quad (2.28)$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่าคิกริของความเป็นจริงสำหรับประพจน์ $\underline{P} : x \in A \square$ เท่ากับระดับค่าความเป็นสมาชิกภาพของ x ในเซตแบบฟัซซี A

ตัวเชื่อมเชิงตรรกะของการปฏิเสธหรือนิเสธ (Negation) การเลือก (disjunction) การเชื่อมหรือสันธาน (conjunction) และการสื่อความหรือความหมายโดยนัย (implication) จะเป็นนิยามของตรรกะเชิงคลุมเครือ สำหรับประพจน์อย่างง่ายสองประพจน์ ได้แก่ ประพจน์ \underline{P} นิยามบนเซตแบบ

คลุมเครือ A และประพจน์ Q นิยามบนเซตแบบคลุมเครือ B ตัวเชื่อมเหล่านี้แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

การปฏิเสธหรือนิเสธ (negation)

$$T(\bar{P}) = 1 - T(P)$$

การเลือก (disjunction)

$$P \vee Q: x \text{ is } A \text{ or } B \quad T(P \vee Q) = \max(T(P), T(Q))$$

การเชื่อมหรือสันธาน (conjunction)

$$P \wedge Q: x \text{ is } A \text{ and } B \quad T(P \wedge Q) = \min(T(P), T(Q))$$

การสื่อความหรือความหมายโดยนัย (implication)

$$P \rightarrow Q: \text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B$$

$$T(P \rightarrow Q) = T(\bar{P} \vee Q) = \max(T(\bar{P}), T(Q)) \quad (2.29)$$

ตัวเชื่อมการสื่อความสามารถจัดรูปแบบในรูปฐานของหลักเกณฑ์หรือฐานของกฎ (rule based form) $P \rightarrow Q: \text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B$ จะมีความหมายเทียบเคียงกับความสัมพันธ์แบบคลุมเครือ

$$R = (A \times B) \cup (\bar{A} \times Y) \quad (2.30)$$

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ R แสดงได้ด้วยสมการ

$$\mu_R(x, y) = \max \left[(\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)), (1 - \mu_A(x)) \right] \quad (2.31)$$

2.4.17 การให้เหตุผลอย่างประมาณ (Approximate Reasoning)

จุดมุ่งหมายสูงสุดของตรรกะแบบคลุมเครือ คือการจัดรูปแบบพื้นฐานทฤษฎีสำหรับการให้เหตุผลเกี่ยวกับประพจน์ที่ไม่แน่นอน การให้เหตุผลเช่นนี้เรียกว่าการให้เหตุผลอย่างประมาณ (Approximate reasoning) การให้เหตุผลอย่างประมาณจะคล้ายกับการให้เหตุผลในตรรกะแบบฉบับด้วยการประพจน์ชนิดเที่ยง (precise propositions) ดังนั้นการให้เหตุผลอย่างประมาณจึงเป็นตัวขยายของแคลคูลัสประพจน์แบบฉบับ (classical propositional calculus) ที่ยอมให้มีความจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนได้ สมมติเรามีรูปฐานของกฎเกณฑ์ที่จะแสดงข้อมูลแบบฟัซซี กฎเหล่านี้ถูกแสดงใน รูปแบบ ข้อนำ-ข้อตาม (antecedent-consequent form) หรือ รูปแบบถ้า-แล้ว (if-then form) ในรูป

ถ้า x เป็น A , แล้ว y เป็น B

เมื่อ A และ B เป็นเซตแบบคลุมเครือ

ถ้า x เป็น A' , แล้ว y เป็น B'

A' เป็นข้อนำอันใหม่ (new antecedent) และ B' เป็นข้อตาม (consequent) ที่สามารถหาได้จาก “ถ้า x เป็น A' , แล้ว y เป็น B' ” โดยใช้วิธีดำเนินการจัดองค์ประกอบ $B' = A' \circ R$ ซึ่งการจัดองค์ประกอบที่ นิยมมากที่สุด ได้แก่ การจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุดและต่ำสุด (max-min composition) และการ จัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุดและผลคูณ (max-product composition)

2.4.18 การสื่อความแบบต่าง ๆ

มีเทคนิคสำหรับการหาความสัมพันธ์ฟัซซี R บนฐานของ If A , Then B หรือ $R = A \rightarrow B$ มีการ ดำเนินการสื่อความแบบคลุมเครือ ซึ่งสมเหตุสมผลสำหรับค่าทั้งหมดของ x และ y ($\forall x \in X, y \in Y$) รูปแบบต่อไปนี้เป็นตัวดำเนินการสื่อความที่เป็นเทคนิคต่าง ๆ สำหรับใช้หาค่าฟังก์ชันความ เป็นสมาชิกของความสัมพันธ์ฟัซซี R ที่นิยามบนปริภูมิผลคูณคาร์ทีเซียน $X \times Y$

Zadeh's or Classical Implication

$$\mu_R(x, y) = \max \left[(1 - \mu_A(x)), \mu_B(y) \right]$$

Correlation-Minimum or Mamdani's Implication

$$\mu_R(x, y) = \min \left[\mu_A(x), \mu_B(y) \right]$$

Lukasiewicz's Implication

$$\mu_R(x, y) = \min \left[1, (1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)) \right]$$

Correlation-Product Implication

$$\mu_R(x, y) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(y)$$

Brouwerian Implication

$$\mu_R(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{for } \mu_A(x) < \mu_B(y) \\ \mu_B(y), & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2.32)

2.4.19 ฟังก์ชันการสื่อความแบบคลุมเครือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อความแบบคลุมเครือเลขคณิตศาสตร์ของ Zadeh

$$t(x \text{ is } A \rightarrow y \text{ is } B) = 1 \wedge (1 - (\mu_A(x) + \mu_B(y)))$$

การต่อความแบบคลุมเครือแบบค่าสูงสุดของ Zadeh

$$t(x \text{ is } A \rightarrow y \text{ is } B) = (1 - \mu_A(x)) \vee (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y))$$

การต่อความแบบคลุมเครือแบบลำดับมาตรฐาน

$$t(x \text{ is } A \rightarrow y \text{ is } B) = \begin{cases} 1, & \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ 0, & \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases}$$

การต่อความแบบคลุมเครือแบบลำดับของ Godelian

$$t(x \text{ is } A \rightarrow y \text{ is } B) = \begin{cases} 1, & \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ \mu_B(y), & \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases}$$

(2.33)

การต่อความแบบคลุมเครือของ Godelian

$$t(x \text{ is } A \rightarrow y \text{ is } B) = \begin{cases} 1, & \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ \frac{\mu_B(y)}{\mu_A(x)}, & \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{cases}$$

(2.34)

2.4.20 ระบบกฎแบบฟัซซี

ในระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence) หรือเครื่องจักรอัจฉริยะ (machine intelligence) มีวิธีการหลายวิธีในการที่จะแสดงองค์ความรู้ของมนุษย์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตรรกะ (logic) เฟรม (frames) โครงข่ายความหมาย (semantic nets) ภาววิทยา (ontology) และกฎ (rules) ซึ่งแบบหลังสุดเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในระบบฟัซซี

2.4.20.1 รูปแบบกฎฟัซซี

ในระบบฟัซซีองค์ความรู้สามารถแสดงในรูปแบบประโยค

ถ้า ข้อตั้ง (ข้อนำ) ดังนั้น ข้อยุติ (ข้อตาม)

IF premise (antecedent), THEN conclusion (consequent)

ข้อความข้างต้นเป็นที่รู้จักกันดีในนาม “รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น” (IF-THEN rule-based form)

หรือ รูปแบบนิรนัย (deductive form) ในรูปแบบการแสดงอนุมาน หากเราทราบความจริง (ข้อตั้ง

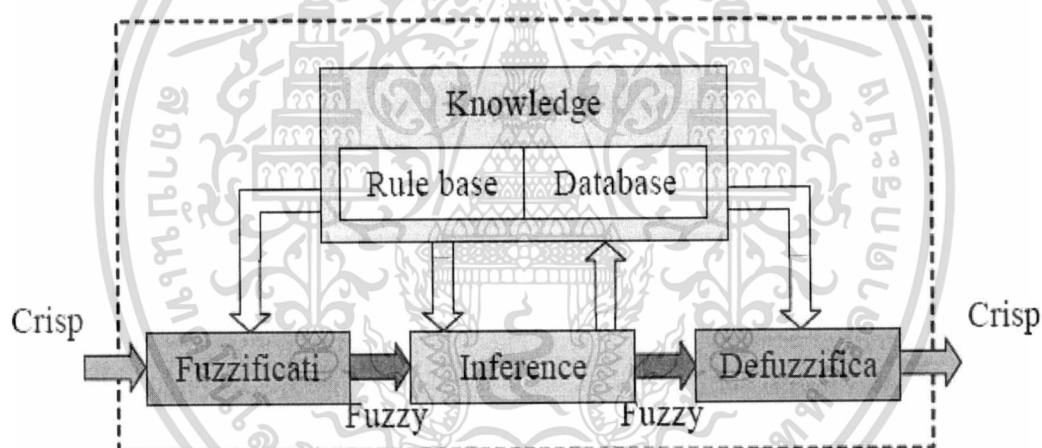
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสมมุติฐาน หรือข้อนำ) แล้วเราสามารถอนุมาน หรือหาข้อสรุปความจริงอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า ข้อยุติหรือข้อตาม การแสดงรูปแบบขององค์ความรู้นี้ เรียกว่า องค์ความรู้ตื้น (shallow knowledge) ซึ่งค่อนข้างมีความเหมาะสมในบริบทของภาษา เนื่องจากการแสดงประสบการณ์ของมนุษย์และ องค์ความรู้เชิงศึกษาสำนัก (heuristics) ในรูปแบบประโยคภาษามนุษย์ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป แต่ไม่เป็นรูปแบบขององค์ความรู้ที่ลึกล้ำ แบบที่เป็นการรู้เอง เป็น โครงสร้าง เป็น ฟังก์ชัน หรือเป็น พฤติกรรมของวัตถุรอบ ๆ ตัวเรา อย่างที่เรียกว่า อุปนัย (inductive)

ระบบกฎฟัซซีเป็นสิ่งที่มิประโยชน์ในการจัดรูปแบบของระบบที่ซับซ้อนที่สามารถสังเกตได้ โดยมนุษย์ เพราะระบบเหล่านี้สามารถแสดงด้วยตัวแปรภาษาในข้อนำและข้อตามของกฎได้ ตัวแปรภาษาสามารถนำเสนอแสดงเชิงธรรมชาติด้วยฟัซซีเซตและตัวเชื่อมตรรกะของเซตเหล่านั้น

2.4.21 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้ ดัง ภาพที่ 5-1



ภาพที่ 5-1 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

รูปที่ 2.9 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วน คือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)

ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

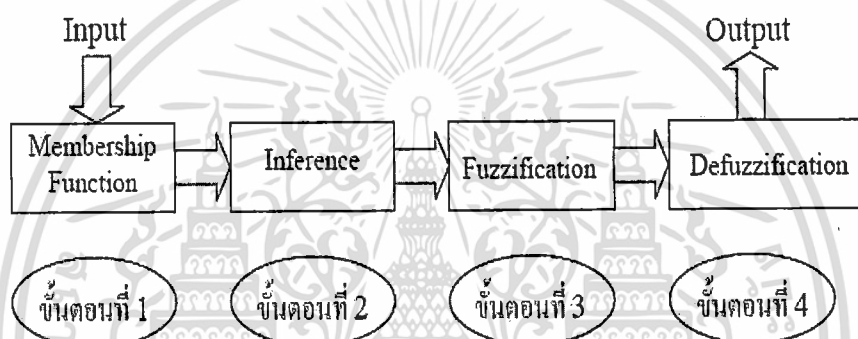
ฐานข้อมูล (Database) เป็นการจัดเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริง และกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูล ที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

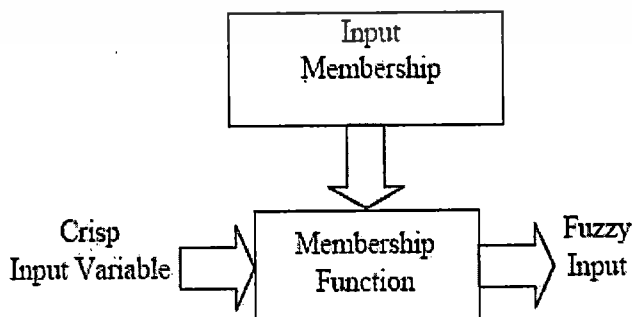
2.4.22 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดัง ภาพที่ 5-2



ภาพที่ 5-2 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังภาพที่ 5-3

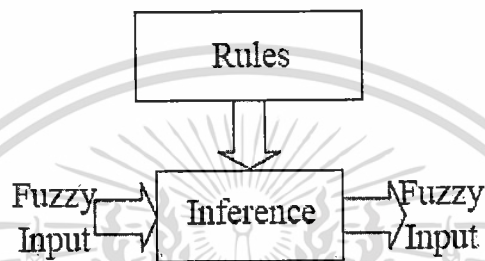


ภาพที่ 5-3 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

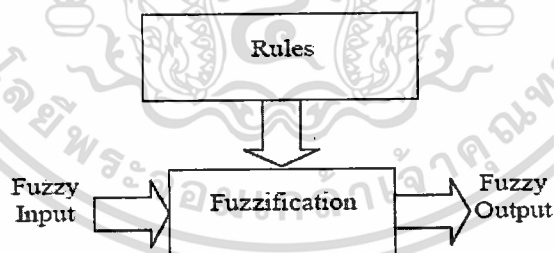
ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 5-4



ภาพที่ 5-4 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

รูปที่ 2.12 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผล ดังภาพที่ 5-5



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการทำเป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ Max-Min method และ Max-Dot method

วิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Center of Area: COA) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุผลที่นิยมใช้ในปัจจุบันค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y = \frac{\sum_i \mu_A(y_i) \times y_i}{\sum_i \mu_A(y_i)} \quad (2.35)$$

โดยสมการได้กำหนดค่าของสมการดังนี้

y	แทนค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Center of Area)
(y_i)	แทนค่าเอาต์พุตตำแหน่งที่ i
$\mu_A(y_i)$	แทนค่าระดับความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตตำแหน่งที่ i

วิธีการหาค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (Defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว

วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

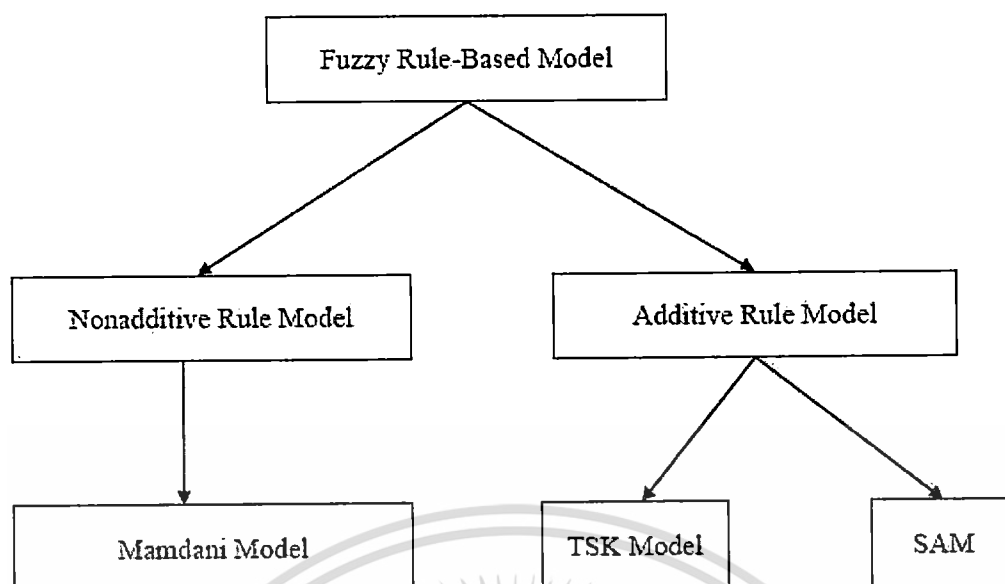
$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (2.36)$$

โดยสมการ ได้กำหนดค่าของสมการดังนี้

COG	แทน ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity)
N	แทน ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i
α_i	แทน ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i
w_i	แทน พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

2.4.23 ชนิดของระบบกฎฟัซซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5-10 กลุ่มของระบบกฎฟัซซี
รูปที่ 2.14 กลุ่มของระบบฟัซซี

ในการประมาณค่าฟังก์ชัน (function approximation) ระบบกฎฟัซซีที่ใช้มี 3 ชนิดใหญ่ ๆ ได้แก่ (1) รูปแบบ Mamdani (2) รูปแบบ Takagi-Sugeno-Kang (TSK) และ (3) รูปแบบ Standard Additive Model (SAM) รูปแบบ Mamdani รวมผลการอนุมาน (inference) ของกฎ โดยวิธีการซ้อนทับ (superimposition) จากกฎหลาย ๆ ข้อ ซึ่งไม่เป็นแบบบวกกัน จึงเรียกระบบแบบนี้ว่าเป็น nonadditive rule model แต่สำหรับ TSK และ SAM มีการอนุมานแบบรวมค่าน้ำหนัก (weighted sum) จากหลาย ๆ กฎ เพื่อรวมเป็นข้อสรุปสุดท้าย จึงเรียกระบบแบบนี้ว่า additive rule model การจัดกลุ่มของระบบกฎแบบฟัซซีแสดงในภาพที่ 5-10

2.4.24 ระบบกฎฟัซซีของแมมดานี (Mamdani)

ระบบกฎฟัซซีแบบ Mamdani เป็นระบบที่มีความนิยมใช้มากที่สุดระบบหนึ่งในทางปฏิบัติ เป็นระบบที่ใช้ตัวแปรภาษาทั้งในข้อตั้งและข้อตามเพื่อจัดเทียบฟังก์ชัน

กฎที่ 1: IF $(x_1 \text{ is } A_{11}) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_{12}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_{1n})$ THEN $y \text{ is } C_1$

กฎที่ 2: IF $(x_1 \text{ is } A_{21}) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_{22}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_{2n})$ THEN $y \text{ is } C_2$

...

กฎที่ L: IF $(x_1 \text{ is } A_{L1}) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_{L2}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_{Ln})$ THEN $y \text{ is } C_L$

เมื่อ $x_j, j = 1, \dots, n$, เป็นตัวประกอบที่ j ของตัวแปรอินพุต x , y เป็นตัวแปรเอาต์พุต, A_{ij} เป็นพจน์ภาษาของข้อตั้ง (consequence linguistic term) หรือเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(antecedent membership function) ในกฎที่ i , $i = 1, \dots, L$, C_i เป็นพจน์ภาษาของข้อตามหรือฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตาม (consequent membership function) ของกฎที่ i

กำหนดให้ A^i เป็นฟังก์ชันเซตใหม่ สำหรับกฎข้อที่ i , $i = 1, \dots, L$

$$A^i = A_{i1} \cap A_{i2} \cap \dots \cap A_{in}$$

แสดงในรูปฟังก์ชันความเป็นสมาชิกได้เป็น

$$\mu_{A^i}(x) = \min(\mu_{A_{i1}}(x_1), \mu_{A_{i2}}(x_2), \dots, \mu_{A_{in}}(x_n))$$

ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาในรูป

$$(x_1 = x'_1), (x_2 = x'_2), \dots, (x_n = x'_n)$$

โดยที่ x'_1, x'_2, \dots, x'_n เป็นค่าอินพุตใด ๆ จะได้ค่าฟังก์ชันในส่วนข้อตามเป็น

(2.37)

$$\alpha_i = \min(\mu_{A_{i1}}(x'_1), \mu_{A_{i2}}(x'_2), \dots, \mu_{A_{in}}(x'_n))$$

ค่าเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อของระบบฟัซซีแบบ Mamdani ที่เป็นค่าฟังก์ชันสามารถหาได้จากสมการ

$$\mu_{C_i}(y) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(y)$$

ค่าเอาต์พุตของระบบเป็นผลรวมจากเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อ โดยใช้สมการ

$$\mu_C(y) = \max(\mu_{C_1}(y), \mu_{C_2}(y), \dots, \mu_{C_L}(y))$$

ฟังก์ชันเอาต์พุต สามารถแปลงเป็นค่าปกติได้โดยวิธี defuzzification แบบเฉลี่ยน้ำหนัก

$$y^* = \frac{\sum \mu_C(\bar{y}) \times \bar{y}}{\sum \mu_C(\bar{y})}$$

เมื่อ \bar{y} เป็นค่า centroid ของ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่สมมาตร

(2.38)

2.4.25 วิธีการอนุมานแบบ Mamdani

กำหนดให้ ระบบฟัซซีแบบ Mamdani มี 2 อินพุต x_1 และ x_2 (antecedent) และ 1 เอาต์พุต y (consequent) ซึ่งมีกฎฟัซซีเป็น

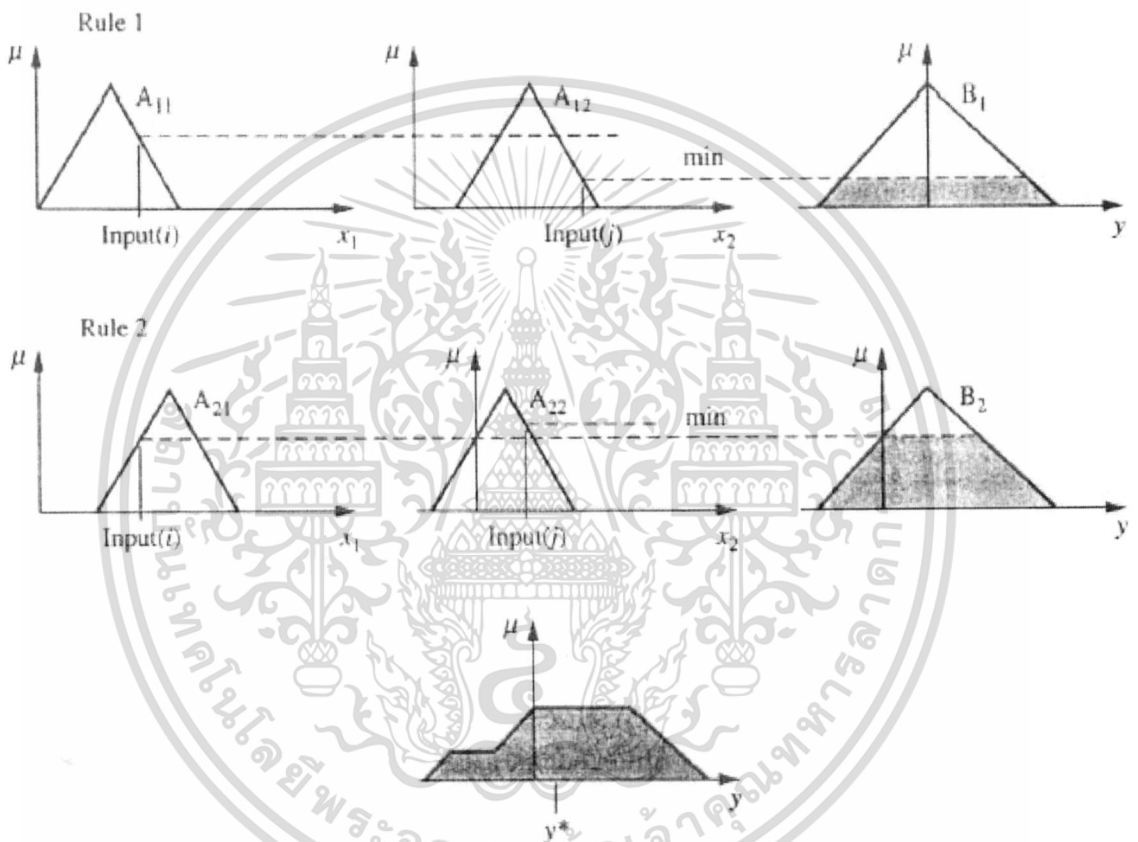
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IF x_1 is A_{k1} and x_2 is A_{k2} THEN y is B_k สำหรับ $k = 1, 2, \dots, r$

ผลรวมเอาต์พุตหาได้ โดยการใช้วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด (max-min composition) และวิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ผลคูณ (max-product composition)

วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ต่ำสุด

$$\mu_{B_k}(y) = \max \left[\min \left(\mu_{A_{k1}}(\text{Input}(i)), \mu_{A_{k2}}(\text{Input}(j)) \right) \right] \text{ สำหรับ } k = 1, 2, \dots, r$$



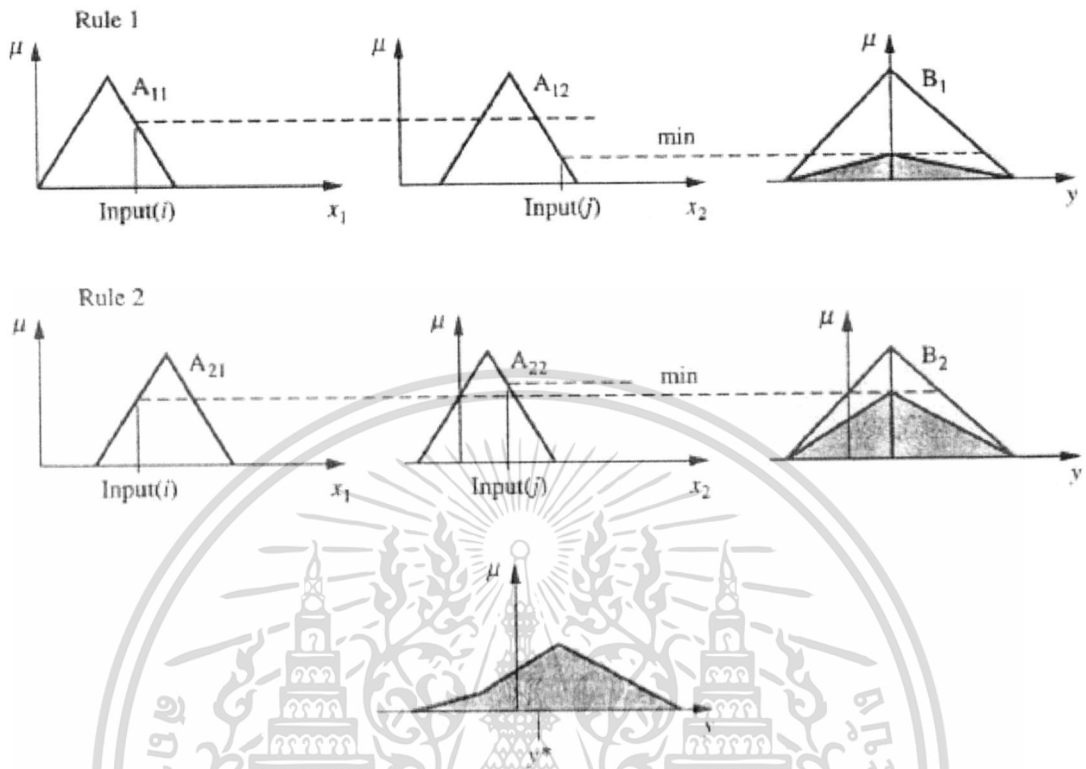
ภาพที่ 5-11 กราฟวิธีการอนุมานแบบ Mamdani (Max-Min)

รูปที่ 2.15 วิธีการอนุมานแบบแมมดानी (Max-Min)

วิธีการจัดองค์ประกอบแบบค่าสูงสุด-ผลคูณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_{B_k}(y) = \max(\mu_{A_{k1}}(\text{Input}(i)) \cdot \mu_{A_{k2}}(\text{Input}(j))) \quad \text{สำหรับ } k = 1, 2, \dots, r$$



ภาพที่ 5-12 กราฟวิธีการอนุมานแบบ Mamdani (Max-Product)

รูปที่ 2.16 วิธีการอนุมานแบบแมมดानी (Max-Product)

2.4.26 ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK (Takagi-Sugeno-Kang)

ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK ซึ่งนำเสนอโดย Takagi และ Sugeno ในปีค.ศ. 1984 และต่อมา Sugeno และ Kang ได้วิจัยต่อมา ระบบกฎฟัซซีแบบ TSK จะอยู่ในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎที่ 1: IF $(x_1 \text{ is } A_{11}) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_{12}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_{1n})$

THEN $y_1 = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{10} + b_{11}x_1 + \dots + b_{1n}x_n$

กฎที่ 2: IF $(x_1 \text{ is } A_{21}) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_{22}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_{2n})$

THEN $y_2 = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{20} + b_{21}x_1 + \dots + b_{2n}x_n$

...

กฎที่ L: IF $(x_1 \text{ is } A_{L1}) \text{ AND } (x_2 \text{ is } A_{L2}) \text{ AND } \dots \text{ AND } (x_n \text{ is } A_{Ln})$

THEN $y_L = f_L(x_1, x_2, \dots, x_n) = b_{L0} + b_{L1}x_1 + \dots + b_{Ln}x_n$

เมื่อ $x_j, j = 1, \dots, n$, เป็นตัวประกอบที่ j ของตัวแปรอินพุต x , y เป็นตัวแปรเอาต์พุต, A_{ij} เป็นพจน์ภาษาของข้อตั้ง (consequence linguistic term) หรือเป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของข้อตั้ง (antecedent membership function) ในกฎที่ $i, i = 1, \dots, L$, f_i เป็นสมการเชิงเส้นของข้อตาม (consequent linear function) ของกฎข้อที่ i

ถ้าหากมีอินพุตเข้ามาในรูปแบบ

$$(x_1 = x'_1), (x_2 = x'_2), \dots, (x_n = x'_n)$$

โดยที่ x'_1, x'_2, \dots, x'_n เป็นค่าอินพุตใดๆ จะได้ค่าฟัซซีในส่วนของข้อตั้งเป็น

$$\alpha_i = \min(\mu_{A_{i1}}(x'_1), \mu_{A_{i2}}(x'_2), \dots, \mu_{A_{in}}(x'_n))$$

ค่าเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อของระบบฟัซซีแบบ TSK สามารถหาได้จากสมการ

$$y_i = b_{i0} + b_{i1}x_1 + \dots + b_{in}x_n$$

ค่าเอาต์พุตของระบบเป็นผลรวมจากเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อโดยใช้สมการ

$$y = \frac{\sum_{i=1}^L \alpha_i \times y_i}{\sum_{i=1}^L \alpha_i}$$

(2.39)

2.4.27 ระบบฟัซซีแบบบวกมาตรฐาน (Standard Additive Model: SAM)

ระบบฟัซซีแบบบวกมาตรฐาน เช่น ระบบฟัซซีแบบซูกาโมโต หรือ Tsukamoto's Fuzzy System (Tsukamoto, 1979) ในระบบนี้ส่วนข้อตั้งและข้อตามจะเป็นพจน์ภาษาค้นคว้ากับระบบฟัซซี

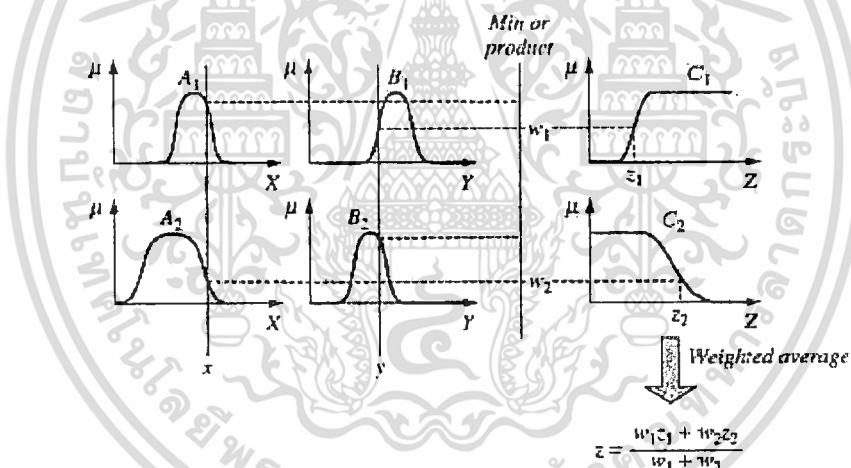
ของ Mamdani แต่ส่วนของข้อตาม (consequent) ของกฎฟัซซีจะถูกแสดงเป็นฟัซซีเซตซึ่งมีฟังก์ชันเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมาชิกแบบทางเดียว (monotonic membership function) ดังภาพที่ 5-17 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแบบทางเดียวบางครั้งเรียกว่า shoulder function เป็นค่าอนุমানเอาต์พุตของแต่ละกฎที่เป็นค่าธรรมดาทั่วไป (crisp value) ผลเอาต์พุตทั้งหมด (ดังภาพที่ 517) สามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยน้ำหนักของเอาต์พุตจากแต่ละกฎ ดังสมการ

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^I w_i \times z_i}{\sum_{i=1}^I w_i}$$

(2.40)

เนื่องจากกฎแต่ละข้อมีค่าเอาต์พุตเป็นค่าใช้งานทั่วไปแล้ว ระบบจะรวมเอาต์พุตทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วไม่ต้องอาศัยวิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าธรรมดา (defuzzification) ดังนั้นจึงประหยัดเวลามากขึ้น



ภาพที่ 5-17 Tsukamoto Fuzzy Model

รูปที่ 2.17 Tsukamoto Fuzzy Model

2.4.28 กระบวนการหาเหตุผลแบบฟัซซี

การหาเหตุผลแบบฟัซซีทั่วไป

กำหนดให้ระบบฟัซซีหนึ่งมี n อินพุต และ 1 เอาต์พุต ประกอบด้วยกฎดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Rule*₁: IF x_1 is A_{11} AND x_2 is A_{12} AND ... AND x_n is A_{1n} THEN y is B_1

*Rule*₂: IF x_1 is A_{21} AND x_2 is A_{22} AND ... AND x_n is A_{2n} THEN y is B_2

...

*Rule*_L: IF x_1 is A_{L1} AND x_2 is A_{L2} AND ... AND x_n is A_{Ln} THEN y is B_L

เมื่อ $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ เป็นตัวแปรอินพุต และ y เป็นตัวแปรเอาต์พุตของระบบ เป็นพจน์ภาษา (linguistic terms) ของข้อตั้ง (antecedent) เมื่อ i เป็นกฎที่ $i, i = 1, \dots, L$, และ j เป็นมิติที่ $j = 1, \dots, n$, และให้ เป็นพจน์ภาษา (linguistic terms) ของข้อตาม (antecedent) ijA_iB

จากรูปประโยค IF-THEN สามารถตีความโดยแยกเป็นส่วน ๆ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเชื่อมตรรกะ “and or” ตัวอนุমান “then” ตัวจัดองค์ประกอบ ° อินพุตใด ๆ สามารถสรุปผลได้จากระบบฟัซซีดังกล่าว ตัวอย่างเช่น ถ้ามีอินพุตที่ต้องการหาข้อสรุปผล

$$x_1 = x'_1, x_2 = x'_2, \dots, x_n = x'_n \quad (2.41)$$

จากกฎฟัซซีข้างต้น สามารถสรุปผลได้ว่า

$$y = B$$

กฎข้อที่ i จากระบบฟัซซีนี้

*Rule*_i: IF x_1 is A_{i1} AND x_2 is A_{i2} AND ... AND x_n is A_{in} THEN y is B_i

มีความสัมพันธ์ฟัซซี R_i ตามสมการ

$$\begin{aligned} R_i(x_1, x_2, \dots, x_n, y) &= (A_{i1} \times A_{i2} \times \dots \times A_{in} \rightarrow B_i)(x_1, x_2, \dots, x_n, y) \\ &= (A_{i1}(x_1) \wedge A_{i2}(x_2) \wedge \dots \wedge A_{in}(x_n)) \rightarrow B_i(y) \end{aligned} \quad (2.42)$$

จากอินพุต $x_1 = x'_1, x_2 = x'_2, \dots, x_n = x'_n$ สามารถสรุปหา $y = B$ โดย

หาเอาต์พุตของกฎแต่ละข้อ

$$B'_i = (\mu(x'_1) \times \mu(x'_2) \times \dots \times \mu(x'_n)) \circ R_i$$

$$B'_i(y) = (A_{i1}(x'_1) \wedge A_{i2}(x'_2) \wedge \dots \wedge A_{in}(x'_n)) \rightarrow B_i(y) \quad (2.43)$$

จากนั้นรวม B_i' จากกฎแต่ละข้อเข้าด้วยกัน ด้วยการยูเนียน ดังสมการ

$$B(y) = \bigcup_{i=1}^L B_i(y) = B'_1(y) \vee B'_2(y) \vee \dots \vee B'_L(y) \quad (2.44)$$

ดังนั้นฟัซซีเซตเอาต์พุต จะหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B(y) = \left[(A_{11}(x'_1) \wedge A_{12}(x'_2) \wedge \dots \wedge A_{1n}(x'_n)) \rightarrow B_1(y) \right] \vee \\ \left[(A_{21}(x'_1) \wedge A_{22}(x'_2) \wedge \dots \wedge A_{2n}(x'_n)) \rightarrow B_2(y) \right] \vee \\ \dots \vee \left[(A_{L1}(x'_1) \wedge A_{L2}(x'_2) \wedge \dots \wedge A_{Ln}(x'_n)) \rightarrow B_L(y) \right]$$

สรุปขั้นตอนการประมวลผลเพื่อหาเหตุแบบฟัซซี

1. รับข้อมูลอินพุต $x_1 = x'_1, x_2 = x'_2, \dots, x_n = x'_n$
2. ทำการแปลงค่าอินพุต เป็นค่าฟัซซี $\mu(x'_1), \mu(x'_2), \dots, \mu(x'_n)$
3. หาค่าฟัซซี (firing strength) จากข้อตั้ง ของกฎแต่ละข้อ $A_{11}(x'_1) \wedge A_{12}(x'_2) \wedge \dots \wedge A_{1n}(x'_n)$
4. คำนวณค่าฟัซซีเอาต์พุตจากกฎแต่ละข้อ

$$B'_i(y) = (A_{i1}(x'_1) \wedge A_{i2}(x'_2) \wedge \dots \wedge A_{in}(x'_n)) \rightarrow B_i(y)$$
5. คำนวณค่าฟัซซีเอาต์พุตรวมจากทุกกฎในระบบ

$$B(y) = B'_1(y) \vee B'_2(y) \vee \dots \vee B'_L(y)$$

2.4.29 การหาเหตุผลแบบฟัซซีตามวิธี Mamdani

เพื่อความเข้าใจง่าย จะยกตัวอย่างกฎฟัซซี IF-THEN สองกฎที่อยู่ในรูป

Rule1: if x is A1 and y is B1 then z is C1

Rule2: if x is A2 and y is B2 then z is C2

สำหรับอินพุตใด ๆ x is x_0 and y is y_0 ดังนั้นผลสรุป z is C

การหาผลสรุปฟัซซีในรูปแบบ Mamdani เป็นการใช้ตัวดำเนินการค่าต่ำสุด (minimum operator) สำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “and” และใช้ตัวดำเนินการค่าสูงสุดสำหรับการเชื่อมประโยคแบบ “or”

ระดับค่าฟัซซีของกฎแต่ละข้อในส่วนข้อตั้ง หาได้โดยการคำนวณจากสมการ

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

(2.45)

เอาต์พุตของกฎแต่ละข้อ สามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C'_1(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w)),$$

$$C'_2(w) = (\alpha_2 \wedge C_2(w))$$

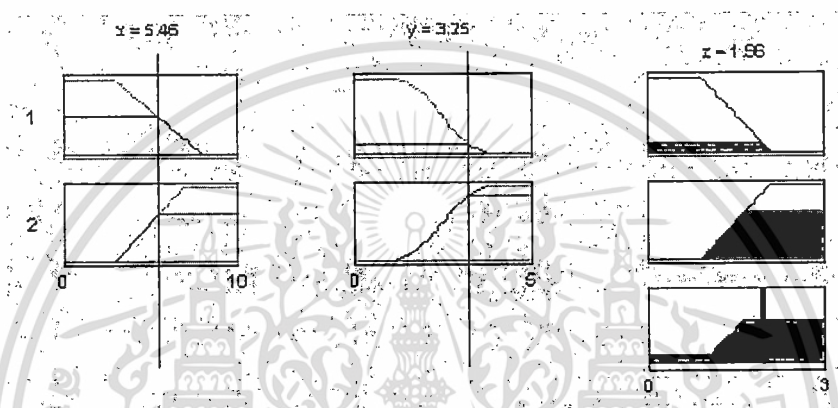
(2.46)

ผลรวมของเอาต์พุตฟัซซีทั้งหมดหาได้จากการยูเนียนผลลัพธ์จากแต่ละกฎ

$$C(w) = C'_1(w) \vee C'_2(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(w))$$

(2.47)

สุดท้าย หากต้องการผลเอาต์พุตที่เป็นค่าทั่วไป สามารถหาโดยวิธีการแปลงค่าฟัซซีเป็นค่าทั่วไป (defuzzification method)



ภาพที่ 6-1 การอนุมานผลระบบฟัซซีแบบ Mamdani
รูปที่ 2.18 การอนุมานผลระบบฟัซซีแบบแมมดานิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการศึกษา

ในโครงการนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 ส่วนของการสร้างฐานความรู้ (Knowledge base) จากข้อมูลอนุกรมเวลา เพื่อนำฐานความรู้ที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาเดียวกัน โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ ฐานความรู้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

- การสร้างฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function)
- การสร้างฐานกฎ (Rule base)

ส่วนที่ 2 ส่วนของการพยากรณ์โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือจากข้อมูลของอนุกรมเวลาเดียวกัน

ส่วนที่ 3 ส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพยากรณ์ โดยการปรับปรุงฟังก์ชันสมาชิก

3.1 การเตรียมข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลราคาน้ำมันดิบที่จะใช้ในขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ จากเท็กซ์ไฟล์ (Text file)

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลที่อ่านจากขั้นตอนที่ 1 มาแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามรูปแบบ n อินพุตหนึ่งเอาต์พุต (Multiple Input Single Output: MISO) ซึ่งจำนวนอินพุตจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้ เช่น ถ้าผู้ใช้กำหนดให้มีจำนวนอินพุตและเอาต์พุต คือ 4 อินพุต 1 เอาต์พุต จะได้ผลลัพธ์จากการแบ่งข้อมูล ดังนี้

$$(X_{11}, X_{21}, X_{31}, X_{41}, Y_1); (X_{12}, X_{22}, X_{32}, X_{42}, Y_2); \dots; (X_{1k}, X_{2k}, X_{3k}, X_{4k}, Y_k);$$

โดยที่ X คือ อินพุตข้อมูลราคาน้ำมันดิบ
Y คือ เอาต์พุตข้อมูลราคาน้ำมันดิบ
k คือ ลำดับของชุดข้อมูล

กำหนดให้มีจำนวนอินพุตและเอาต์พุต คือ 4 อินพุตและ 1 เอาต์พุต

ขั้นตอนที่ 3 นำข้อมูลที่แบ่งเป็นรูปแบบ n อินพุต 1 เอาต์พุตตามขั้นตอนที่ 2 ทั้งหมด มาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ (Training data) 80% และส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ (Testing data) 20% โดยข้อมูลในส่วนนี้ได้จากการสุ่มข้อมูลขึ้นมา 20% จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งออกเป็น ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ (Training data) 80%

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ (Testing data) 20%

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าต่ำสุดและสูงสุดของข้อมูลราคาน้ำมันดิบในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ที่ได้ทำการแบ่งไว้ในขั้นตอนที่ 3 โดยจะเรียกค่าต่ำสุดนั้นว่า X_{lo} และค่าสูงสุดว่า X_{hi}

3.2 ส่วนของการสร้างฐานความรู้

3.2.2 การสร้างฟังก์ชันสมาชิก

เตรียมข้อมูลตามขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่ได้กล่าวไปข้างต้นจากนั้นหาช่วงของข้อมูลที่ซ้อนทับกันของแต่ละฟัซซีเซต โดยการหาผลต่างของค่าสูงสุดและต่ำสุดที่หาได้จากการเตรียมข้อมูลในขั้นตอนที่ 4 แล้วนำมาแบ่งออกเป็น $N - 1$ ส่วน ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ช่วงที่ซ้อนทับกันของแต่ละฟัซซีเซต} = \frac{X_{hi} - X_{lo}}{N-1} \quad (3.1)$$

โดยที่ N คือ จำนวนฟัซซีเซตซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้

จะได้ช่วงที่ซ้อนทับกันของแต่ละฟัซซีเซต คือ

$$\text{ช่วงที่ซ้อนทับกันของแต่ละฟัซซีเซต} = \frac{X_{hi} - X_{lo}}{N-1}$$

กำหนดช่วงของข้อมูลที่ซ้อนทับกันให้กับแต่ละฟัซซีเซต โดยช่วงแรกที่ซ้อนทับกันจะเริ่มจาก X_{lo} ถึง X_{lo} บวกด้วยค่าที่ได้จากสูตรการหาช่วงที่ซ้อนทับกันของแต่ละฟัซซีเซต และช่วงต่อไปจะเริ่มต้นที่ค่าสุดท้ายของช่วงก่อนหน้าถึงค่าสุดท้ายของช่วงก่อนหน้าบวกด้วยค่าที่ได้จากสูตรการหาช่วงที่ซ้อนทับกันของแต่ละฟัซซีเซต จะเป็นอย่างไรไปเรื่อยๆจนกว่าค่าสุดท้ายจะสิ้นสุดที่ X_{hi}

3.2.3 การสร้างฐานกฎ

3.2.3.1 ฐานกฎ

กำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกของ $X_{1k}, X_{2k}, X_{3k}, X_{4k}, Y_k$ ในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ (Training data) ที่ถูกแบ่งในขั้นตอนที่ 2 ของการเตรียมข้อมูล โดยวิธีการคำนวณค่าระดับความเป็นสมาชิกจะขึ้นอยู่กับชนิดของฟังก์ชันสมาชิก และหาก $X_{1k}, X_{2k}, X_{3k}, X_{4k}$ หรือ Y_k อยู่ในฟังก์ชันสมาชิกมากกว่า 1 ฟังก์ชันสมาชิกเราจะเลือกใช้ค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกสูงกว่าชนิดของฟังก์ชันสมาชิกที่ใช้มี 2 ชนิดคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function)

ฟังก์ชันสามเหลี่ยมมีทั้งหมด 3 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c\}$

$$\text{Triangle}(x; a,b,c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ (x-a)/(b-a), & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (3.2)$$

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function)

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมูมีทั้งหมด 4 พารามิเตอร์คือ $\{a, b, c, d\}$

$$\text{Trapezoid}(x; a,b,c,d) = \begin{cases} 0, & x < a \\ (x-a)/(b-a), & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x < c \\ (d-x)/(d-c), & c \leq x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (3.3)$$

กำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิกของกฎ

ในกรณีที่กฎบางข้อมีความขัดแย้งกันคือ มีเงื่อนไขเหมือนกันแต่ได้ผลลัพธ์ต่างกัน จะทำการเลือกกฎที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกของกฎสูงกว่า โดยระดับความเป็นสมาชิกของกฎสามารถคำนวณได้จากการนำค่าระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลทุกตัวในชุดเดียวกันมาคูณกัน เช่น

- R1: IF X_{11} is Low2 AND X_{21} is Low1 AND X_{31} is Average AND X_{41} is High1
THEN Y1 is High1
- R2: IF X_{11} is Low2 AND X_{21} is Low1 AND X_{31} is Average AND X_{41} is High1
THEN Y1 is High2

ค่าระดับความเป็นสมาชิกของกฎ R2 มีค่าสูงกว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกของกฎ R1 ดังนั้นจะเลือกกฎ R2

3.2.3.2 รวมกฎ

นำกฎที่ได้ทั้งหมดไปเก็บไว้ในฐานกฎของระบบจากตัวอย่างจะได้ฐานกฎดังนี้

- R1: IF X_{11} is Low2 AND X_{21} is Low2 THEN Y1 is Low2
- R2: IF X_{12} is Low2 AND X_{22} is Low1 THEN Y2 is Low1
- R3: IF X_{13} is Low1 AND X_{23} is Low1 THEN Y3 is Low1
- R4: IF X_{14} is Low1 AND X_{24} is Low2 THEN Y4 is Low2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R5: IF X_{15} is Low1 AND X_{25} is Average THEN Y5 is Average

...

3.3 ส่วนของการพยากรณ์โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือจากข้อมูลของอนุกรมเวลาเดียวกัน

3.3.1 แปลงอินพุตทั่วไป (Crisp Input) ให้เป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzy Input)

หาค่าระดับความเป็นสมาชิกของข้อมูลที่เป็นอินพุตแต่ละตัว โดยคำนวณตามสมการที่ 3.2 หากชนิดของฟังก์ชันสมาชิกคือฟังก์ชันสามเหลี่ยม และคำนวณตามสมการที่ 3.3 หากชนิดของฟังก์ชันสมาชิกคือฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู

ในกรณีที่มีกฎมีหลายเงื่อนไข จะเชื่อมแต่ละเงื่อนไขด้วยแอนด์ (AND) หรือมิน โอเปอเรชัน (min operation)

การใช้แอนด์หรือมิน โอเปอเรชันในการเชื่อมแต่ละเงื่อนไขเข้าด้วยกัน จะได้แอนติซิเดนต์ (Antecedent) ดังนี้

IF X_1 is Low2 AND X_2 is Low2 THEN...

IF X_1 is Low2 AND X_2 is Low1 THEN...

IF X_1 is Low1 AND X_2 is Low2 THEN...

IF X_1 is Low1 AND X_2 is Low1 THEN...

หาค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละแอนติซิเดนต์ โดยใช้มิน โอเปอเรชัน คือ ค่าระดับสมาชิกรวมจะเท่ากับค่าระดับสมาชิกที่น้อยที่สุดของเงื่อนไขทั้งหมดในแอนติซิเดนต์เดียวกัน

3.3.2 อนุมานข้อสรุป

หาฟัซซีเอาต์พุตของแต่ละแอนติซิเดนต์ซึ่งหาได้จากขั้นตอนการเชื่อมแต่ละเงื่อนไขด้วยแอนด์ (AND) หรือมิน โอเปอเรชัน (min operation) โดยการนำแอนติซิเดนต์ไปเทียบกับฐานกฎที่สร้างขึ้นในขั้นตอน การหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละแอนติซิเดนต์ โดยใช้มิน โอเปอเรชัน

อนุমানข้อสรุปโดยใช้วิธีคลิปปีงเมธอด (Clipping Method) โดยการตัดส่วนบนของฟังก์ชันสมาชิกซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าระดับความเป็นสมาชิกของแอนติซีเดนทที่หาได้จากขั้นตอนการหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของแต่ละแอนติซีเดนท โดยใช้มิน โอเปอเรชั่น

3.3.3 รวมข้อสรุป

รวมข้อสรุปของทุกฟังก์ชันสมาชิกที่หาได้จากขั้นตอนที่ 3.3.2 โดยการบวกค่าระดับความเป็นสมาชิกของทุกฟังก์ชันสมาชิก ณ จุดเดียวกันเข้าด้วยกัน ทำขั้นตอนนี้จนครบทุกจุด

แปลงฟัซซีเอาท์พุทให้อยู่ในรูปของทวินัยเอาท์พุท

แปลงฟัซซีเอาท์พุทให้อยู่ในรูปของทวินัยเอาท์พุท โดยใช้เทคนิคค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (the Center of Area: COA) หรือเซนทรอยด์(The centroid method) ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.3

$$y = \frac{\sum_{i \in A} (y_i) \times \mu_i}{\sum_{i \in A} (\mu_i)} \quad (3.4)$$

3.4 ส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพยากรณ์ โดยการปรับปรุงฟังก์ชันสมาชิก

3.4.1 พยากรณ์ข้อมูล

จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล n อินพุท 1 เอาท์พุท ข้อมูลที่เป็นอินพุทในส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ จะถูกนำเข้าสู่กระบวนการสร้างฐานกฎทีละชุด เมื่อได้ฐานกฎมาแล้ว จะทำการพยากรณ์ชุดข้อมูลในส่วนของอินพุทของข้อมูลที่น่ามาใช้ในการสร้างฐานความรู้ที่ได้ทำการแบ่งไว้ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูล จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ (forecast value) มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเอาท์พุท ซึ่งเป็นเอาท์พุทเป้าหมาย (actual value) ของชุดข้อมูลนั้นๆ เพื่อดูว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์มีค่ามากหรือน้อยเกินไป โดยคำนวณตามสมการที่ 3.5

$$\text{Error} = \text{Forecast value} - \text{Actual value} \quad (3.5)$$

ถ้าค่า Error	เป็นลบ	แสดงว่าผลลัพธ์ที่พยากรณ์ได้นั้นมีค่าน้อยเกินไป
ถ้าค่า Error	เป็น 0	แสดงว่าผลลัพธ์ที่พยากรณ์ได้นั้นถูกต้อง
ถ้าค่า Error	เป็นบวก	แสดงว่าผลลัพธ์ที่พยากรณ์ได้นั้นมีค่ามากเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ปรับฟังก์ชันสมาชิก

ในกระบวนการพยากรณ์จะมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ ขั้นตอนการแปลงอินพุตทั่วไปให้เป็นอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) ซึ่งทำให้กฎในส่วนของแอนติซีเดนซ์ของอินพุตแต่ละชุดถูกสร้างขึ้นมา ขั้นตอนที่สองคือ ขั้นตอนการอนุมานข้อสรุป (Inference) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ทำให้กฎมีความสมบูรณ์ เนื่องจากมีการเพิ่มส่วนของคอนซิควেন্ট ซึ่งก็คือคำตอบของแต่ละกฎที่ระบบสร้างขึ้นจากขั้นตอนแรก โดยใช้วิธีคลิปปีงเมรอด (ศึกษาในหัวข้อที่ 3.3.2) จากนั้นจะนำกฎที่ได้ทั้งหมดมารวมกันในขั้นตอนที่สาม คือ ขั้นตอนของการรวมกฎ (Combine) และทำขั้นตอนสุดท้าย คือ ขั้นตอนการแปลงฟัซซีเอาต์พุตให้อยู่ในรูปของทวินัยเอาต์พุตซึ่งจะได้ผลการพยากรณ์ที่เป็นตัวเลขออกมา (Forecast value) โดยใช้เทคนิคค่าจุดศูนย์กลางพื้นที่ (the Center of Area : COA ส่วนกระบวนการพยากรณ์โดยละเอียดสามารถศึกษาได้ในหัวข้อที่ 3.3

ในส่วนของการปรับฟังก์ชันสมาชิก จะทำก็ต่อเมื่อ ค่า Error ที่หาได้จากสมการที่ 3.5 นั้นไม่เท่ากับ 0 กล่าวคือ ถ้าค่า Error เป็นลบ แสดงว่า Forecast value นั้นมีค่าน้อยเกินไป ส่วนถ้าค่า Error เป็นบวก แสดงว่า Forecast value นั้นมีค่ามากเกินไป การเพิ่มหรือลด Forecast value สามารถทำได้โดยการเพิ่มหรือลดค่าระดับความเป็นสมาชิก (degree) ของอินพุต (X_i) ซึ่งจะต้องมีการพิจารณาว่าจะเพิ่ม หรือลดค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุตตัวใด และ อินพุตดังกล่าวอยู่นั้นอยู่ในฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของ Forecast value การปรับฟังก์ชันสมาชิกจึงมีขั้นตอนดังนี้

เลือกอินพุตที่จะทำการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิก

การเลือกอินพุตที่จะทำการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิก (X_i) จะพิจารณาจากอินพุตตัวที่มีผลกระทบต่อฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวามากที่สุด โดยจะเริ่มพิจารณาจากกฎแต่ละฝั่ง ทีละกฎก่อน โดย 1 กฎ จะมีอินพุตเพียงตัวเดียวที่ถูกเลือกขึ้นมา และอินพุตตัวนั้นจะต้องเป็นอินพุตที่ส่งผลกระทบต่อกฎนั้นมากกว่าอินพุตตัวอื่นๆ

เนื่องจากกฎที่ระบบสร้างขึ้นนั้น ใช้ตัวเชื่อมอินพุตแบบมิน โอเปอร์เรชัน (AND) ดังนั้นอินพุตตัวที่จะมีผลกับกฎมากที่สุดก็คือ อินพุตที่มีค่าระดับความเป็นสมาชิกน้อยที่สุดของกฎนั้นๆ เมื่อได้อินพุตที่มีผลกระทบต่อกฎมากที่สุดจนครบทุกกฎของแต่ละฝั่งแล้ว จะพิจารณาทีละฝั่ง โดยทำการนับจำนวนของอินพุตที่ถูกเลือกขึ้นมาว่า อินพุตตัวใดถูกเลือกขึ้นมาบ่อยครั้งที่สุดในบรรดา กฎของฝั่งนั้น โดย 1 ฝั่ง จะมีอินพุตที่ถูกเลือกขึ้นมาเพียง 1 ตัวเท่านั้น (ในกรณีที่นับแล้วเท่ากัน จะเลือกอินพุตตัวใดตัวหนึ่ง) จากนั้นจะนำอินพุตทั้งสองที่ได้จากฝั่งซ้ายและฝั่งขวามาเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่ถูกเลือกขึ้นมา โดยจะเลือกอินพุตที่มีจำนวนครั้งที่ถูกเลือกมากกว่ามาใช้ในการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกต่อไป ตัวอย่างเช่น

ฝั่งซ้าย

- R1: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_2
 R2: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_2
 R3: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_1
 R4: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_3
 R5: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_2

นับจำนวนครั้งที่ถูกเลือก

- X_1 ถูกเลือก 1 ครั้ง
 X_2 ถูกเลือก 3 ครั้ง
 X_3 ถูกเลือก 1 ครั้ง

ฝั่งขวา

- R6: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_1
 R7: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_1
 R8: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_1
 R9: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_3
 R10: X ที่มีผลกระทบมากที่สุดคือ X_1

นับจำนวนครั้งที่ถูกเลือก

- X_1 ถูกเลือก 4 ครั้ง
 X_2 ถูกเลือก 0 ครั้ง
 X_3 ถูกเลือก 1 ครั้ง

Forecast value

อินพุทที่มีผลกระทบต่อฝั่งซ้ายมากที่สุด คือ X_2 และฝั่งขวา คือ X_1 แต่ X_1 มีจำนวนครั้งที่ถูกเลือกมากกว่า X_2 ดังนั้น อินพุทที่จะถูกนำมาปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกคือ X_1 ซึ่งอยู่ฝั่งขวาของ Forecast value

ปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิก

จากขั้นตอนที่แล้ว ทำให้ทราบอินพุทที่จะนำมาปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกแล้ว แต่การจะปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุทได้นั้น จะต้องทราบว่าอินพุทนั้นอยู่ในฟังก์ชันสมาชิกใดก่อนซึ่งเป็นสิ่งที่ได้จากขั้นตอนการแปลงอินพุททั่วไปให้เป็นอินพุทแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) ของกระบวนการพยากรณ์ เมื่อทราบแล้วก็จะทำการปรับขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกนั้น ค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุทที่เลือกมาจากขั้นตอนที่แล้วจึงจะเปลี่ยนไป

ในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิก จะต้องพิจารณาค่าของ Error ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.5 ก่อนว่าเป็นค่าบวก หรือค่าลบ ประกอบกับตำแหน่งของอินพุทที่จะปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกว่าอยู่ฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของ Forecast value ดังนี้

ถ้า Error เป็น บวก และตำแหน่งของอินพุทที่จะปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกอยู่ฝั่งขวาของ Forecast value จะต้องปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกที่ได้รับผลกระทบจากอินพุทนั้นให้น้อยลง เพื่อให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกโดยรวมของฝั่งขวาลดลง ทำให้ตำแหน่งของค่าที่พยากรณ์ได้ (Forecast value) ขยับไปทางซ้าย ค่าที่พยากรณ์ได้ก็จะมีค่าน้อยลง

ถ้า Error เป็น ลบ และตำแหน่งของอินพุทที่จะปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกอยู่ฝั่งซ้ายของ Forecast value จะต้องปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกที่ได้รับผลกระทบจากอินพุทนั้นให้น้อยลง เพื่อให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกโดยรวมของฝั่งซ้ายลดลง ทำให้ตำแหน่งของค่าที่พยากรณ์ได้ขยับไปทางขวา ค่าที่พยากรณ์ได้ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

ถ้า Error เป็น บวก และตำแหน่งของอินพุทที่จะปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกอยู่ฝั่งซ้ายของ Forecast value จะต้องปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกที่ได้รับผลกระทบจากอินพุทนั้นให้เพิ่มขึ้น เพื่อให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกโดยรวมของฝั่งซ้ายเพิ่มขึ้น ทำให้ตำแหน่งของค่าที่พยากรณ์ได้ขยับไปทางซ้าย ค่าที่พยากรณ์ได้ก็จะมีค่าลดลง

ถ้า Error เป็น ลบ และตำแหน่งของอินพุทที่จะปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกอยู่ฝั่งขวาของ Forecast value จะต้องปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันสมาชิกที่ได้รับผลกระทบจากอินพุทนั้นให้เพิ่มขึ้น เพื่อให้ค่าระดับความเป็นสมาชิกโดยรวมของฝั่งขวาเพิ่มขึ้น ทำให้ตำแหน่งของค่าที่พยากรณ์ได้ขยับไปทางขวา ค่าที่พยากรณ์ได้ก็จะมีค่ามากขึ้น

วิธีการปรับขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกเพื่อให้ได้ตามเงื่อนไขที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้นนั้น จะต้องพิจารณาตำแหน่งของอินพุทที่จะปรับค่าระดับความเป็นสมาชิก โดยกำหนดให้ค่า $d = 0.001$ ดังนี้

ถ้า $X_i < \text{mid}$ และต้องการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุทตัวนั้นให้น้อยลง จะทำการปรับขอบเขตดังนี้

$$\text{low} = \text{low} + d, \text{mid} = \text{mid} + d \quad (3.6)$$

ถ้า $X_i < \text{mid}$ และต้องการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุทตัวนั้นให้เพิ่มขึ้น จะทำการปรับขอบเขตดังนี้

$$\text{low} = \text{low} - d, \text{mid} = \text{mid} - d \quad (3.7)$$

ถ้า $X_i > \text{mid}$ และต้องการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุทตัวนั้นให้น้อยลง จะทำการปรับขอบเขตดังนี้

$$\text{mid} = \text{mid} - d, \text{high} = \text{high} - d \quad (3.8)$$

ถ้า $X_i > \text{mid}$ และต้องการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุทตัวนั้นให้เพิ่มขึ้น จะทำการปรับขอบเขตดังนี้

$$\text{mid} = \text{mid} + d, \text{high} = \text{high} + d \quad (3.9)$$

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในขั้นตอนของการเตรียมข้อมูลก่อนนำมาเข้ากระบวนการพยากรณ์นั้น จะต้องนำข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์จากเท็กซ์ไฟล์มาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูลแบบ N อินพุต 1 เอาท์พุท ก่อน ในที่นี้จะนำเสนอการแปลงข้อมูลให้เป็นชุดข้อมูลแบบ N อินพุต 1 เอาท์พุทโดยการแปลงข้อมูลดังกล่าวสามารถทำได้ดังนี้

อ่านข้อมูลจากเท็กซ์ไฟล์

04-Jan-10,	29.58	} Input Data ชุดที่ 1
09-Jan-10,	29.99	
23-Jan-10,	29.78	
27-Jan-10,	29.38	
05-Feb-10,	29.88	→ เอาท์พุทของข้อมูลชุดที่ 1
09-Feb-10,	29.38	→ เอาท์พุทของข้อมูลชุดที่ 2
20-Feb-10,	29.88	
24-Feb-10,	29.99	
10-Mar-10,	29.99	
16-Mar-10,	30.59	

ตัวอย่าง การแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของชุดข้อมูลแบบ 4 อินพุต 1 เอาท์พุทดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเตรียมข้อมูลก่อนนำเข้ากระบวนการพยากรณ์

ข้อมูลชุดที่	อินพุต				เอาท์พุท
1	29.58	29.99	29.78	29.38	29.88
2	29.99	29.78	29.38	29.88	29.38
3	29.78	29.38	29.88	29.38	29.88
4	29.38	29.88	29.38	29.88	29.99
5	29.88	29.38	29.88	29.99	29.99
6	29.38	29.88	29.99	29.99	30.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำทฤษฎีของพีชชีลอจิกมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลใดๆ โดยครั้งนี้จะแสดงผลของการพยากรณ์ราคาน้ำมันจากสถานีบริการเชลล์ นั้น ผลการดำเนินงานมีดังนี้

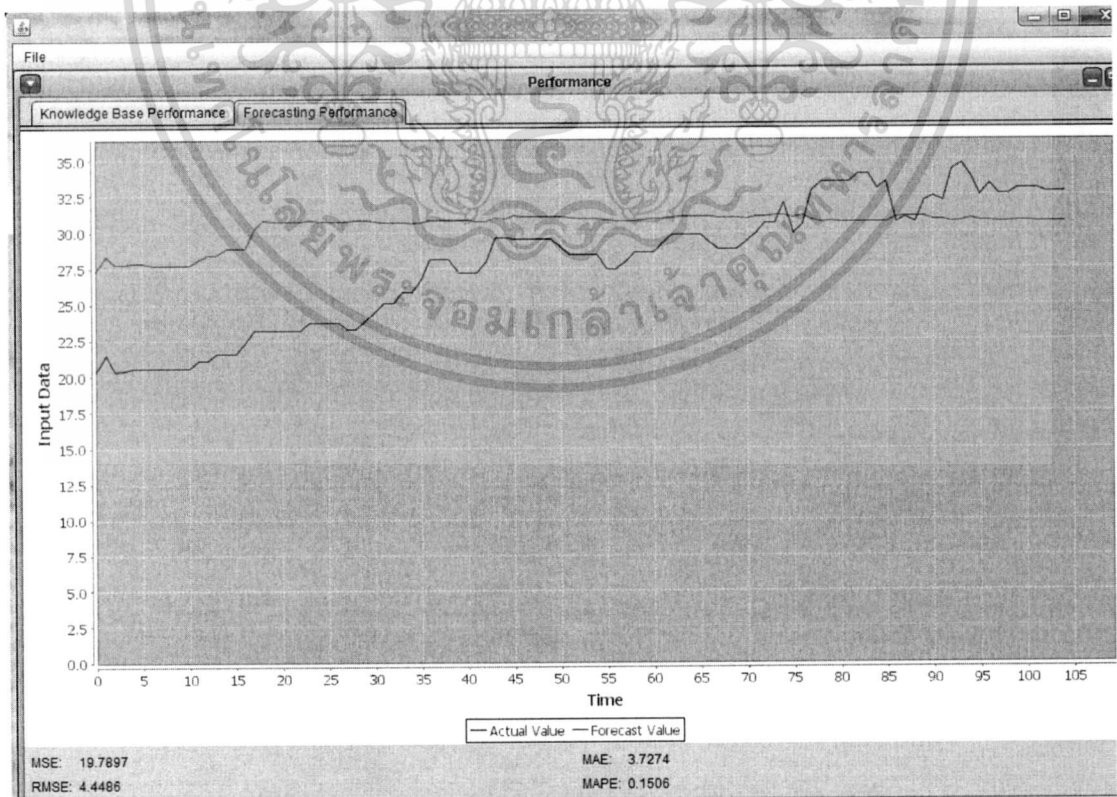
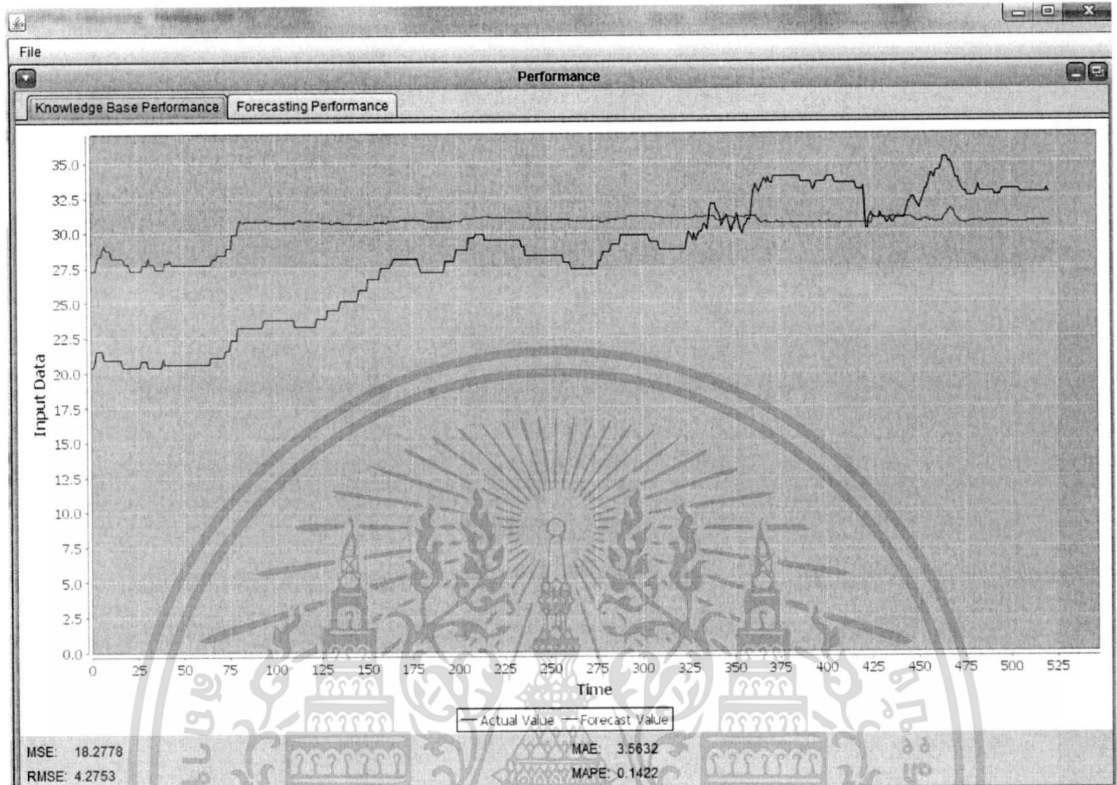
ผลจากการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ข้อมูลในส่วนของ การสร้างฐานความรู้ (Training)

จากตารางที่ 4.1 เอทพุทที่ได้คือ ค่าของผลลัพธ์จริง (Actual value) โดยชุดข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ และเมื่อได้ชุดข้อมูลที่เป็นรูปแบบ n อินพุท 1 เอทพุทออกมาแล้ว ข้อมูลแต่ละชุดจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการพยากรณ์ต่อไปเพื่อหาผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ (Forecast value) ออกมา

การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์สามารถทำได้โดยการนำค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ (Forecast value) มาเปรียบเทียบกับค่าของผลลัพธ์จริง (Actual value) เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดจากการพยากรณ์ว่ามีมากน้อยเพียงใด โดยใช้ข้อมูลในการทดสอบการปรับฟังก์ชันสมาชิก 4 ชุด ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบดังกล่าวได้ในรูปของกราฟเส้น โดยเส้นกราฟสีน้ำเงินแสดงค่าของผลลัพธ์จริง ซึ่งเกิดจากการนำค่าของผลลัพธ์จริงที่ได้จากการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบ รูปแบบ n อินพุท 1 เอทพุท มาทำการสร้างกราฟทีละค่าตามลำดับของชุดข้อมูล ส่วนเส้นกราฟสีแดงแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ซึ่งเกิดจากการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการนำชุดข้อมูลรูปแบบ N อินพุท 1 เอทพุท ไปเข้ากระบวนการพยากรณ์ มาทำการสร้างกราฟทีละค่าตามลำดับของชุดข้อมูลเช่นเดียวกัน

ผลจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิก

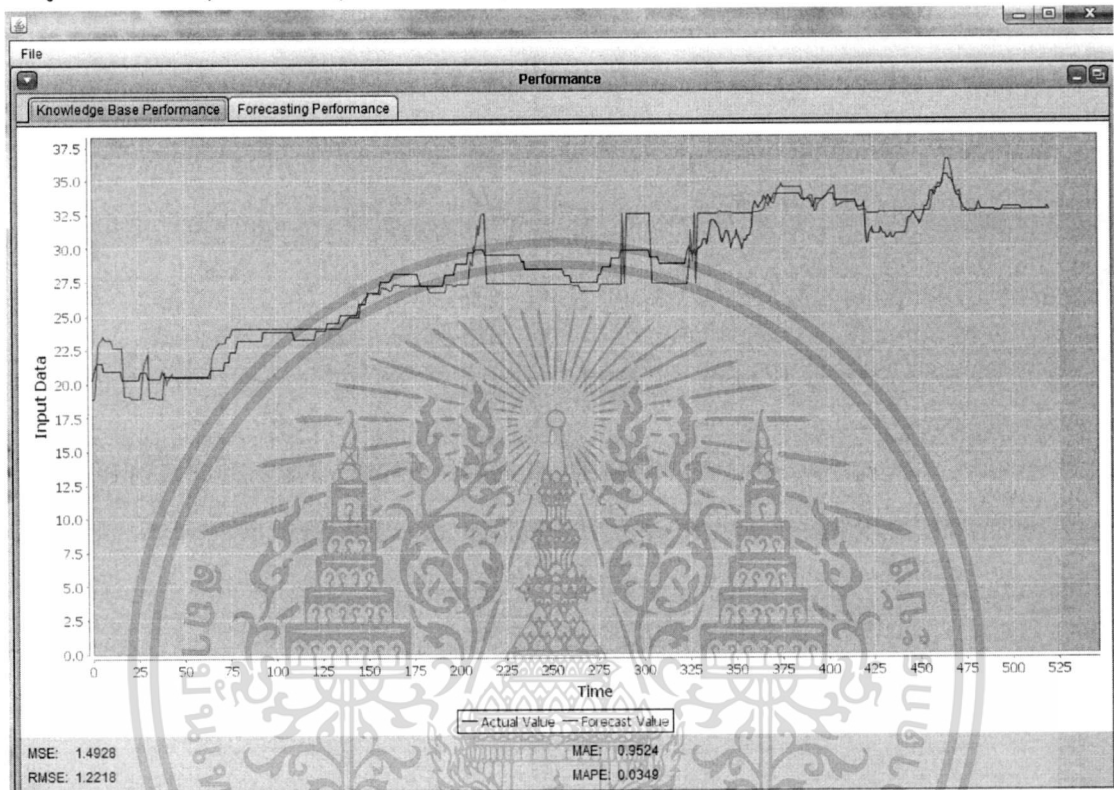
ข้อมูลราคาน้ำมันชุดที่ 1 532 ชุด จำนวนอินพุต = 4, จำนวนฟuzzyเซต = 3



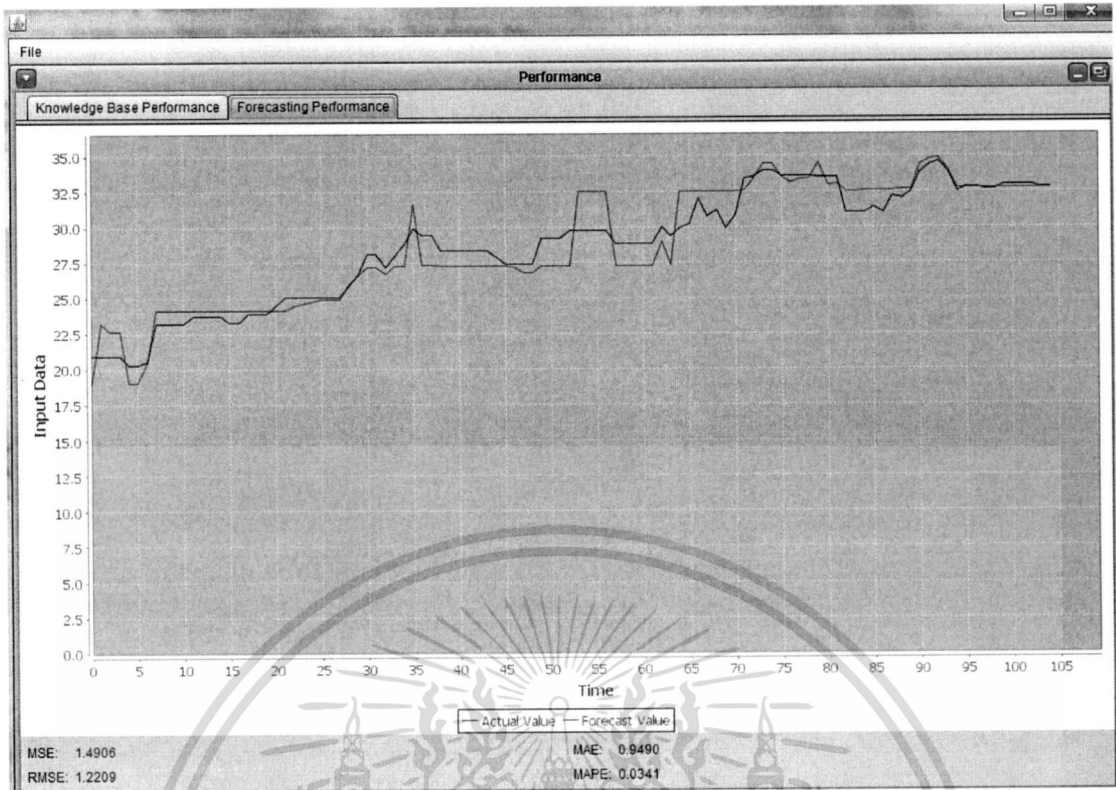
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 532 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 3

ข้อมูลราคาน้ำมันชุดที่ 1 532 ชุด จำนวนอินพุต = 5, จำนวนฟัซซีเซต = 5



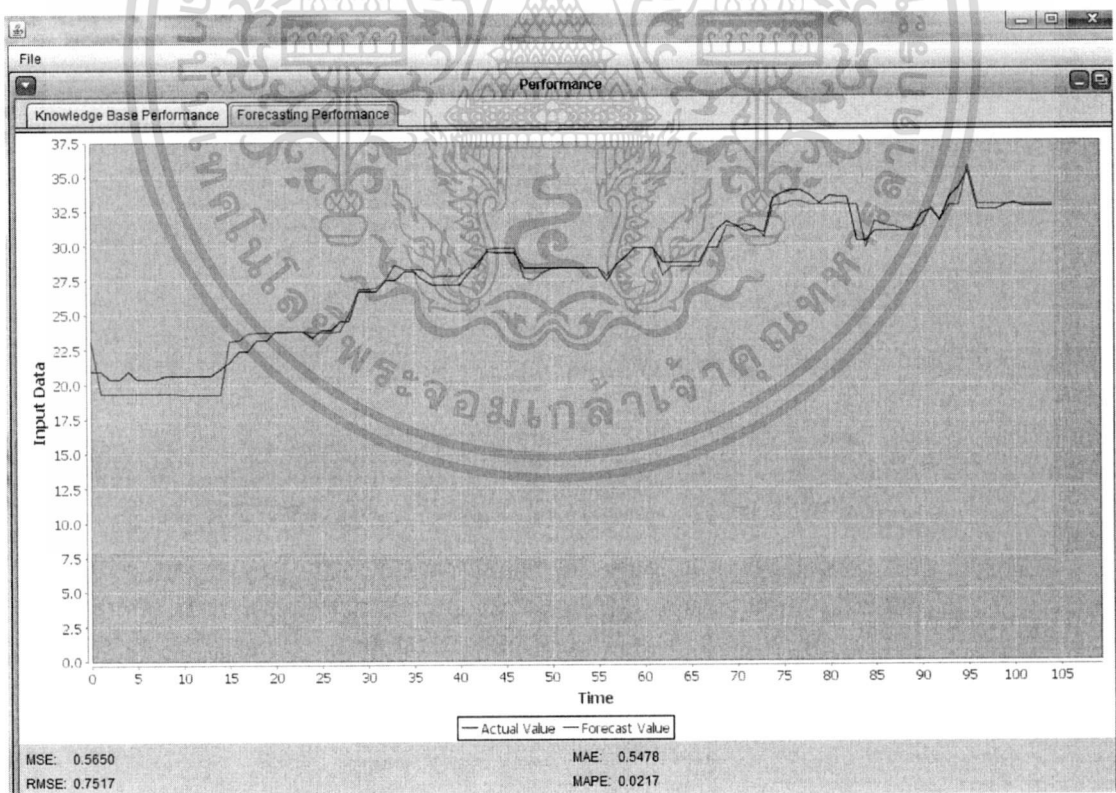
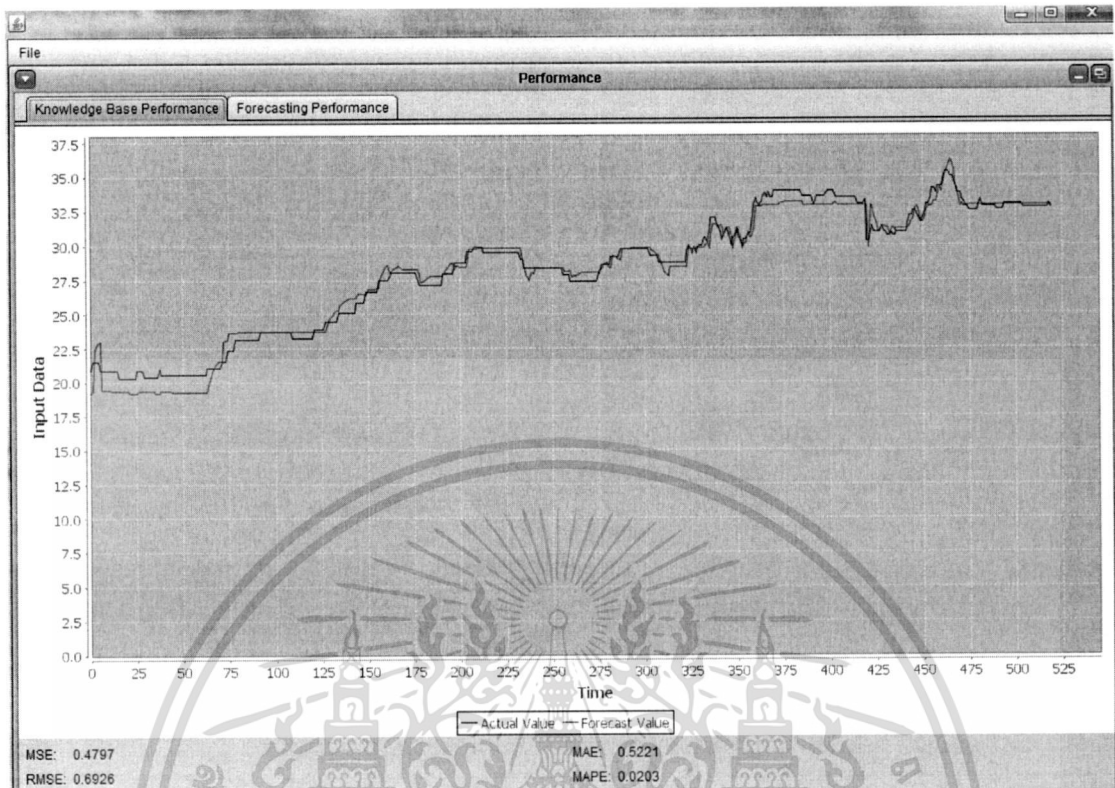
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 532 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 5 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลราคาน้ำมันชุดที่ 1 532 ชุด จำนวนอินพุต = 6, จำนวนพีชชีเซต = 6



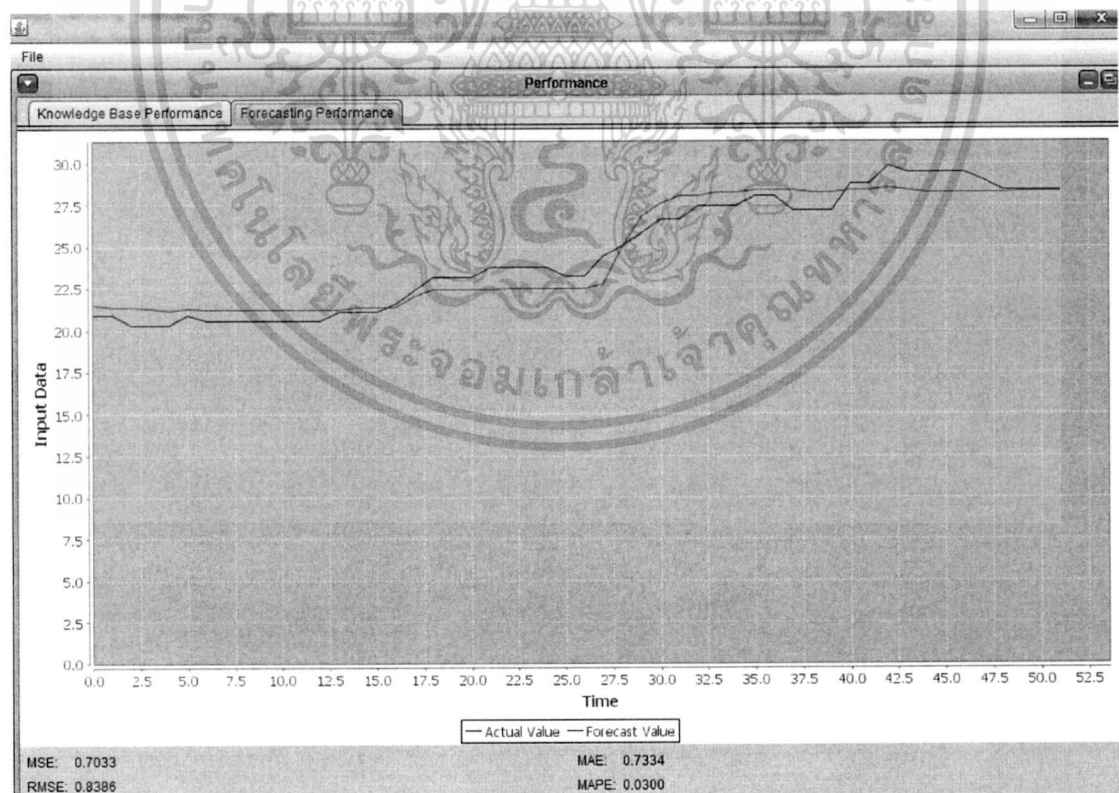
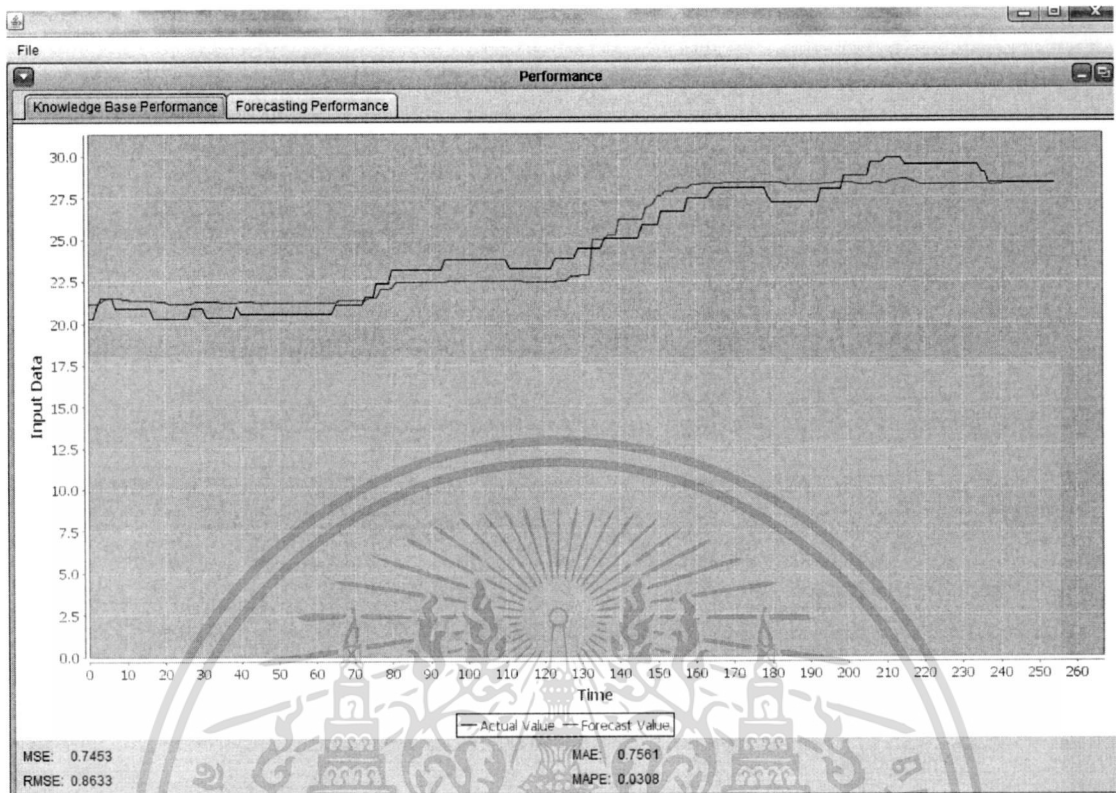
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้ โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 532 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 6 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 6 ผลจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอินพุต = 4, จำนวนพีชชีเซต = 5



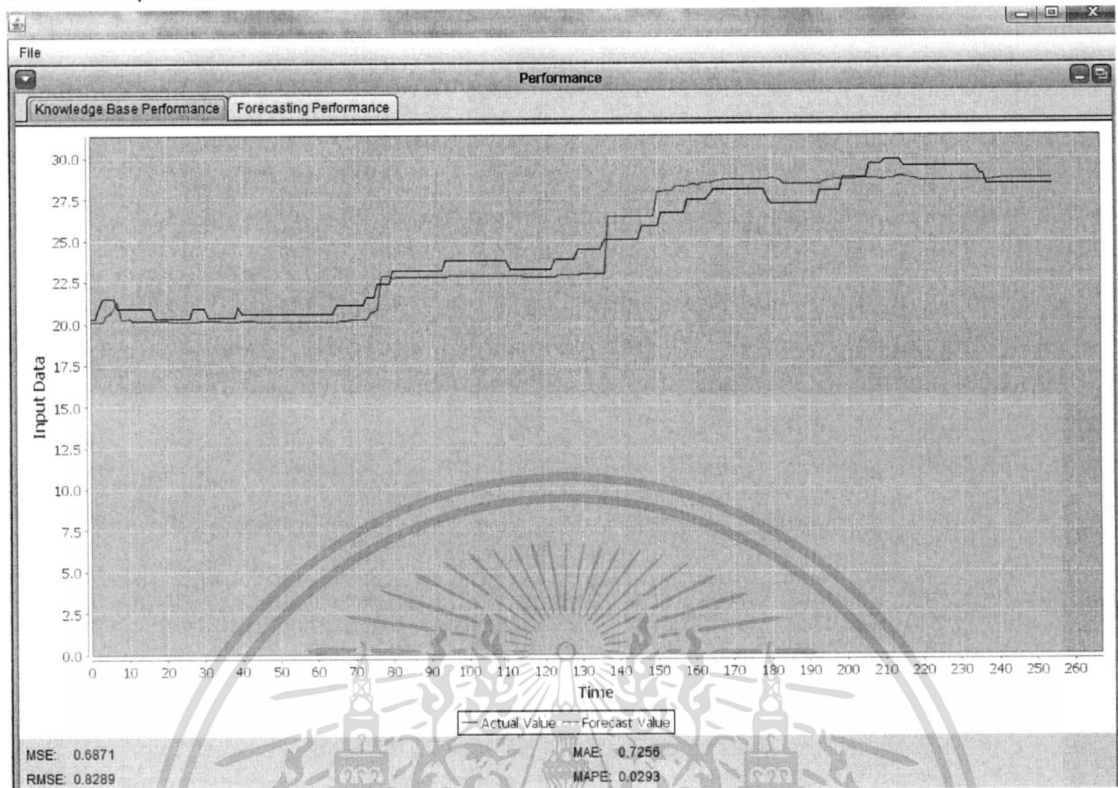
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของการสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 266 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอินพุต = 4, จำนวนพีชชีเซต = 6



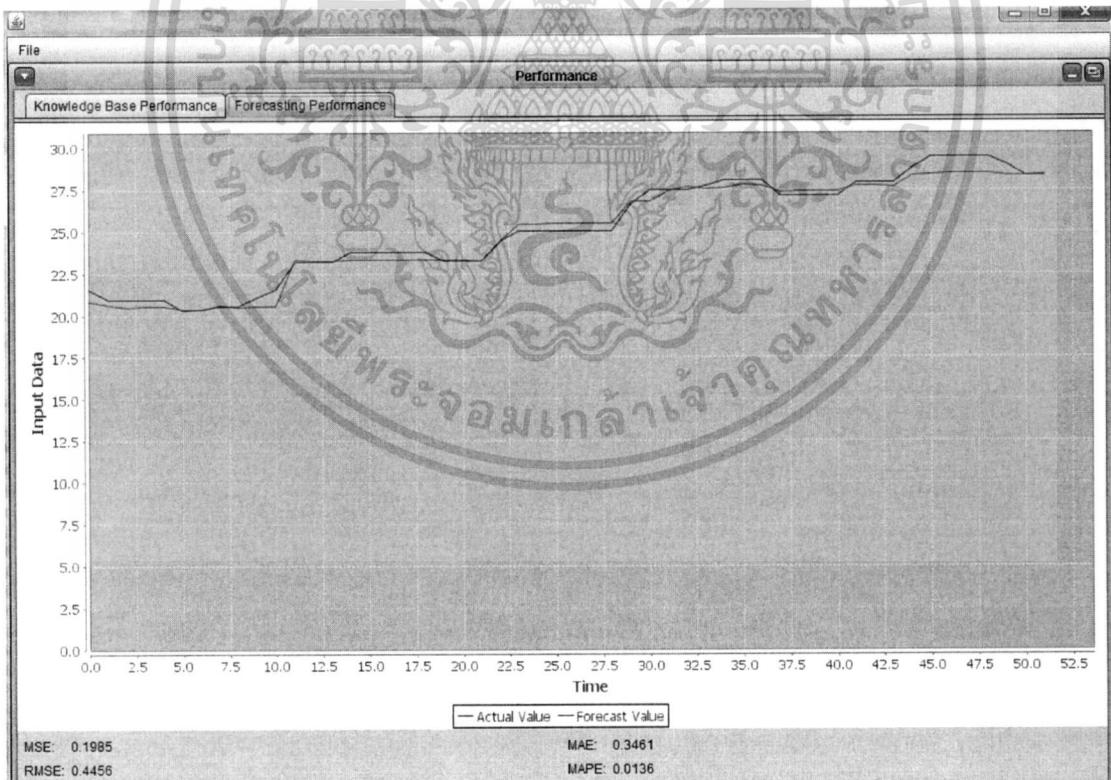
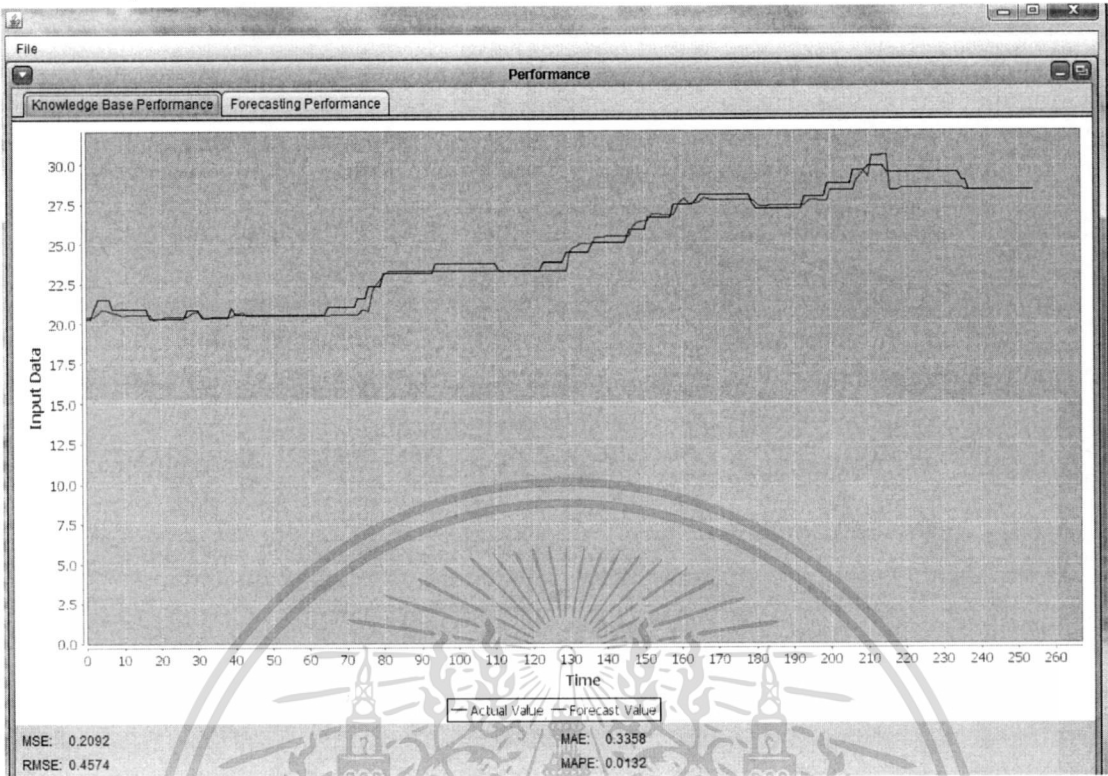
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 266 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอินพุต = 4, จำนวนพีชชีเซต = 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

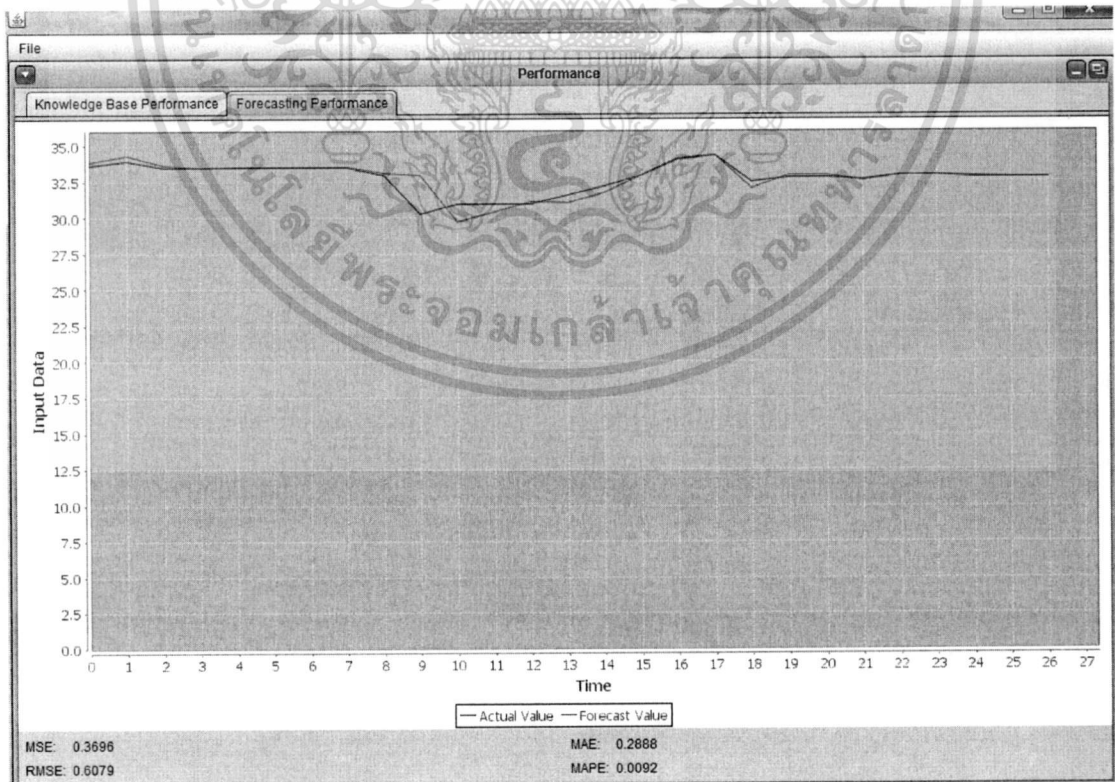
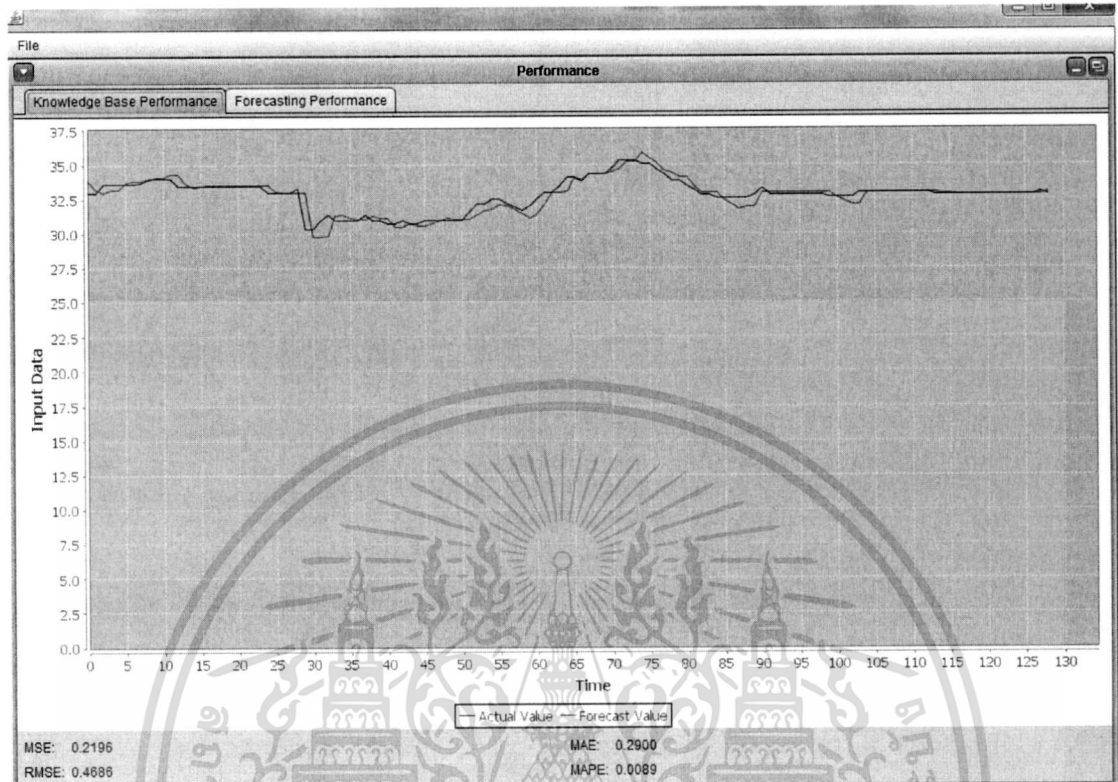
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 266 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 3

จำนวนอินพุต = 4, จำนวนพีชชีเซต = 3



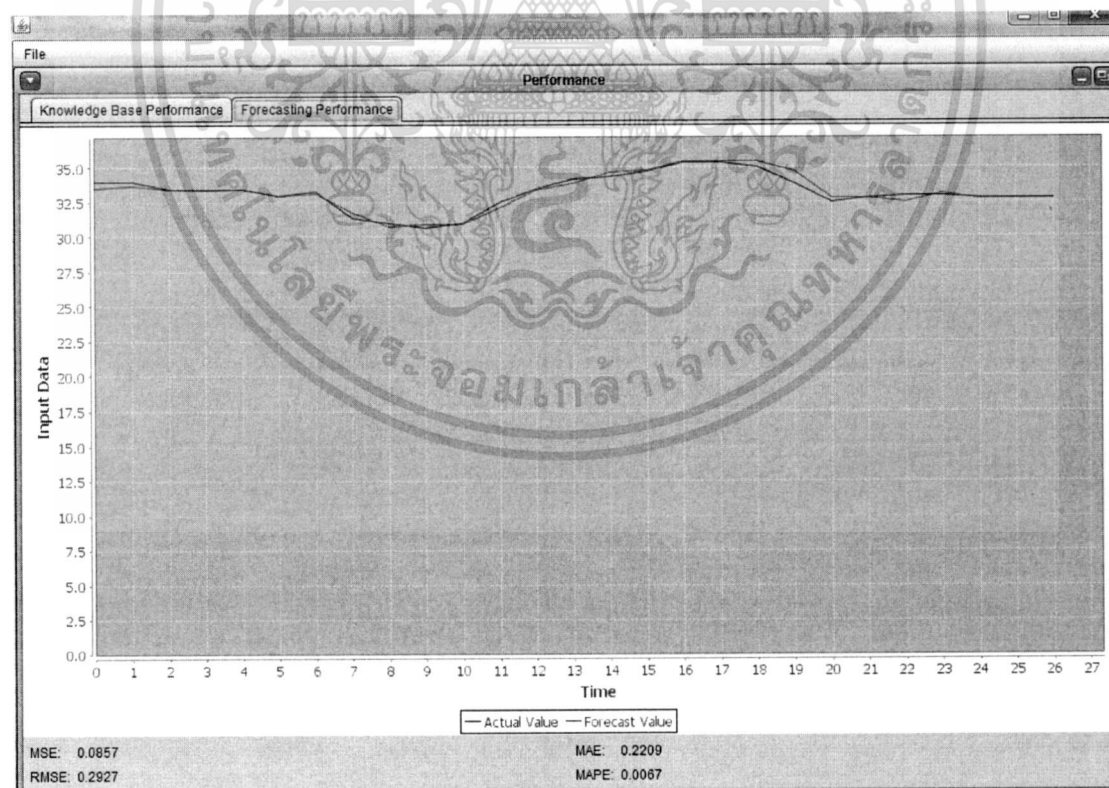
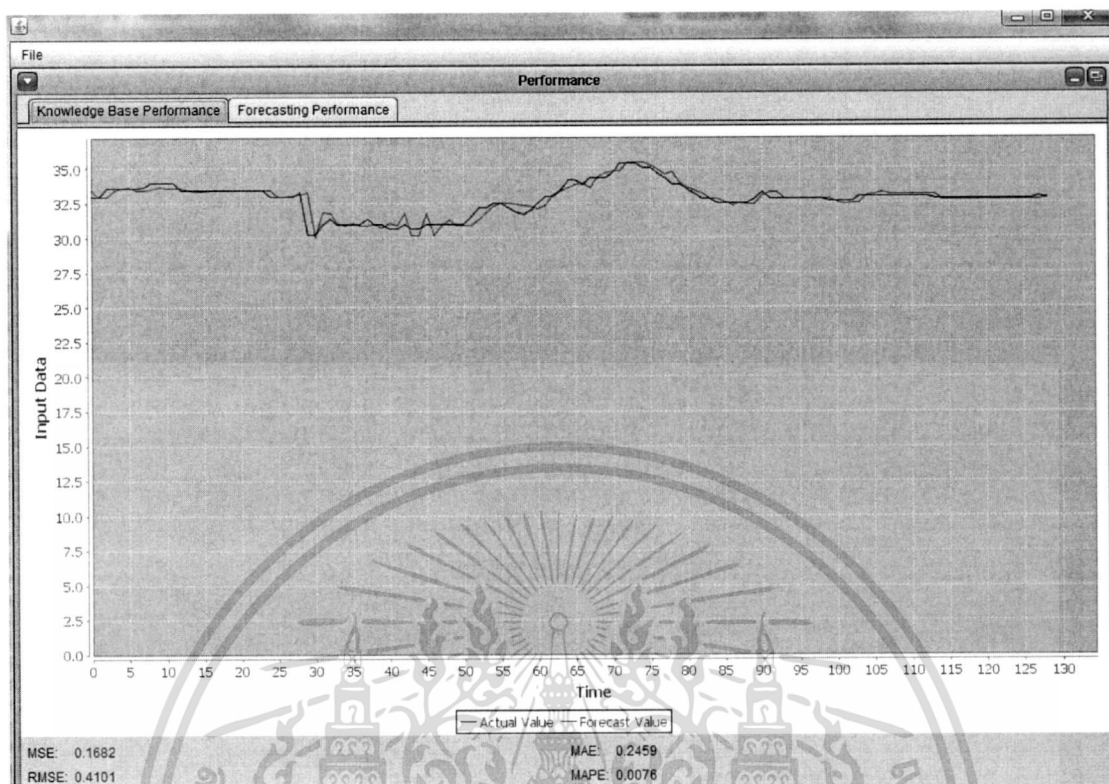
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 133 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอินพุต = 4, จำนวนพีชชีเซต = 5



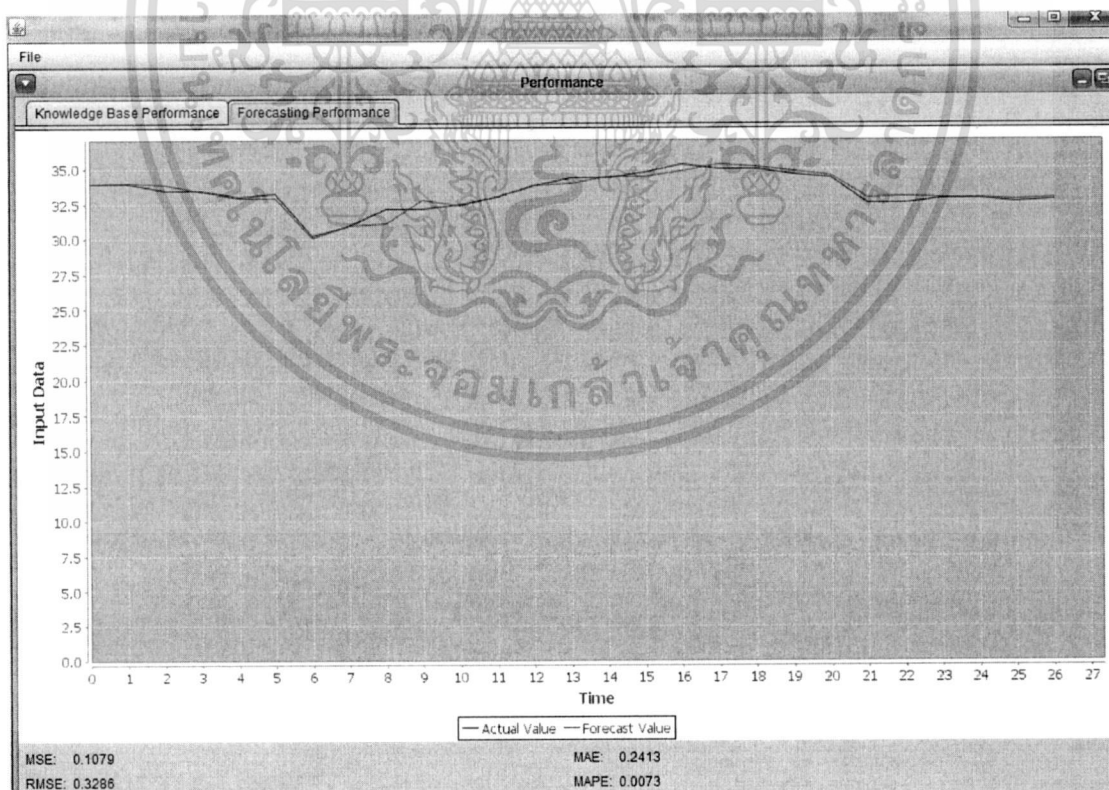
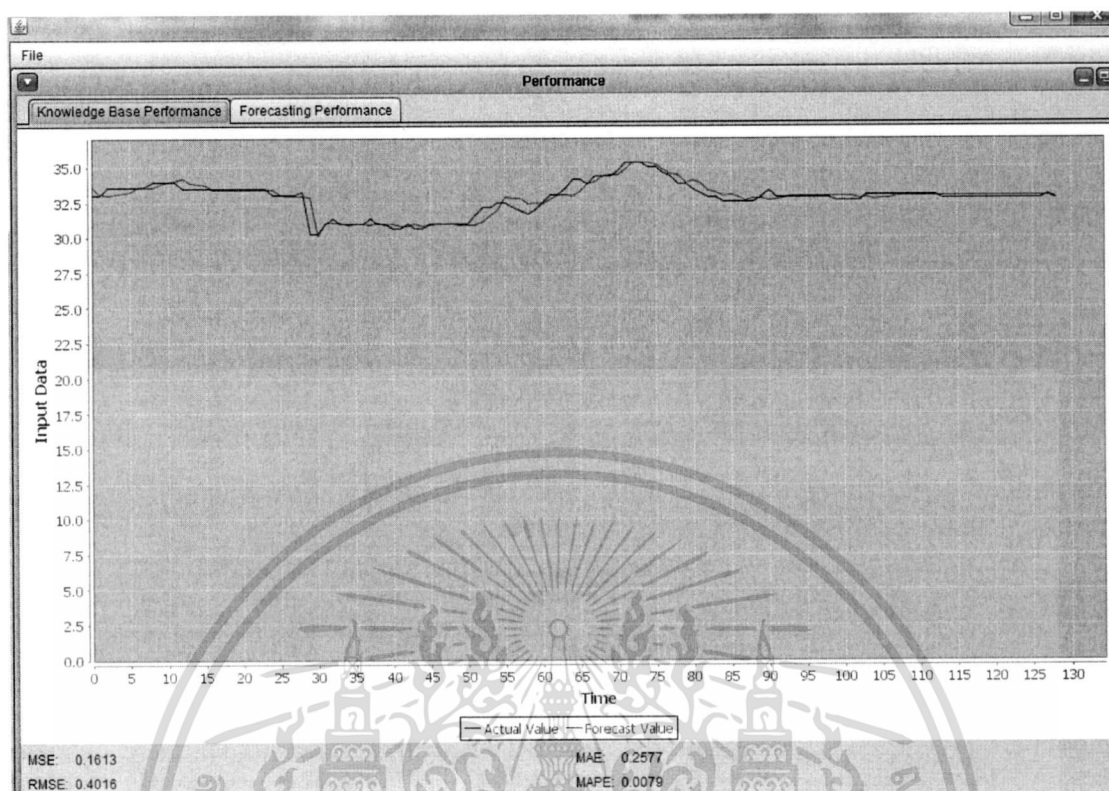
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 133 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอินพุต = 4, จำนวนพีชชีเซต = 7



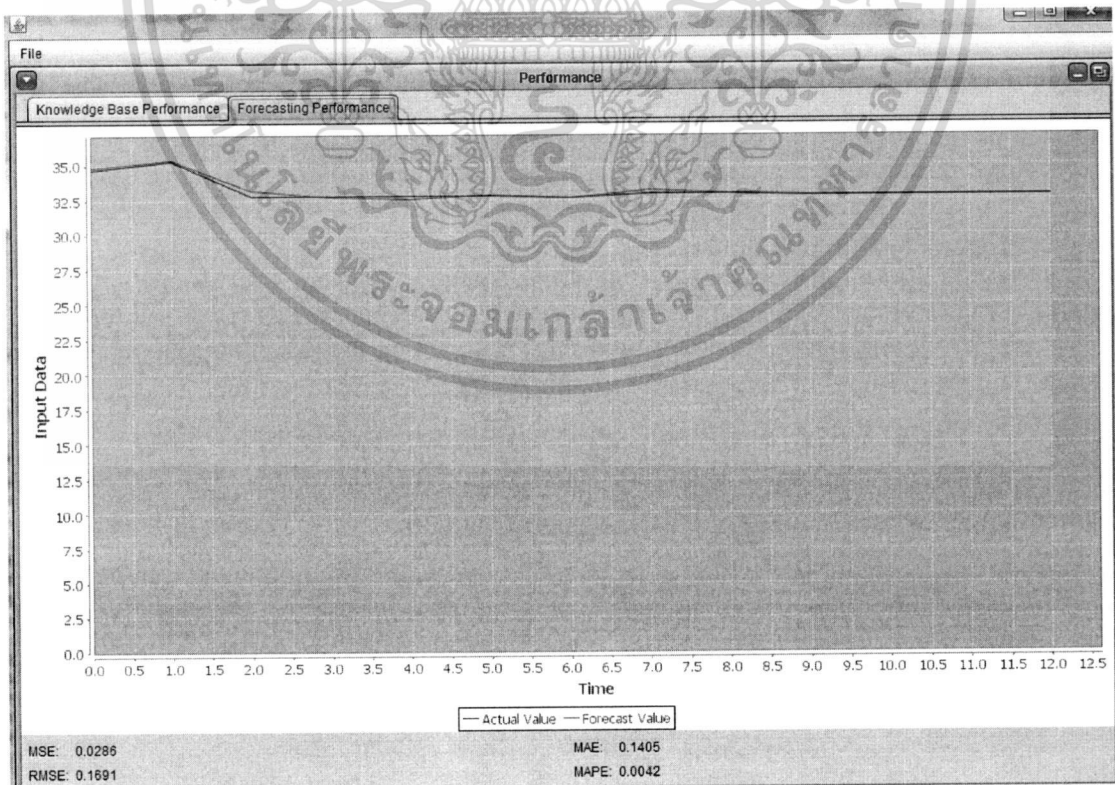
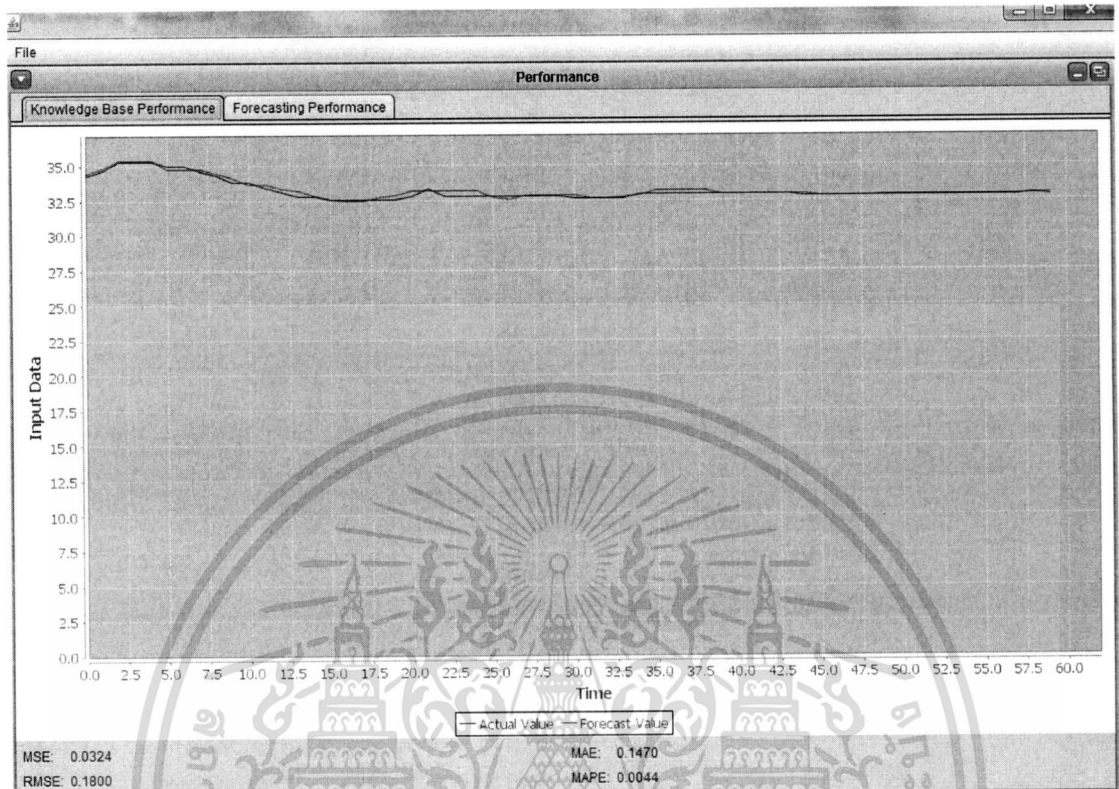
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 133 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 4 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์โดยใช้ข้อมูลชุดที่ 4
จำนวนอินพุต = 5, จำนวนพีชชีเซต = 6



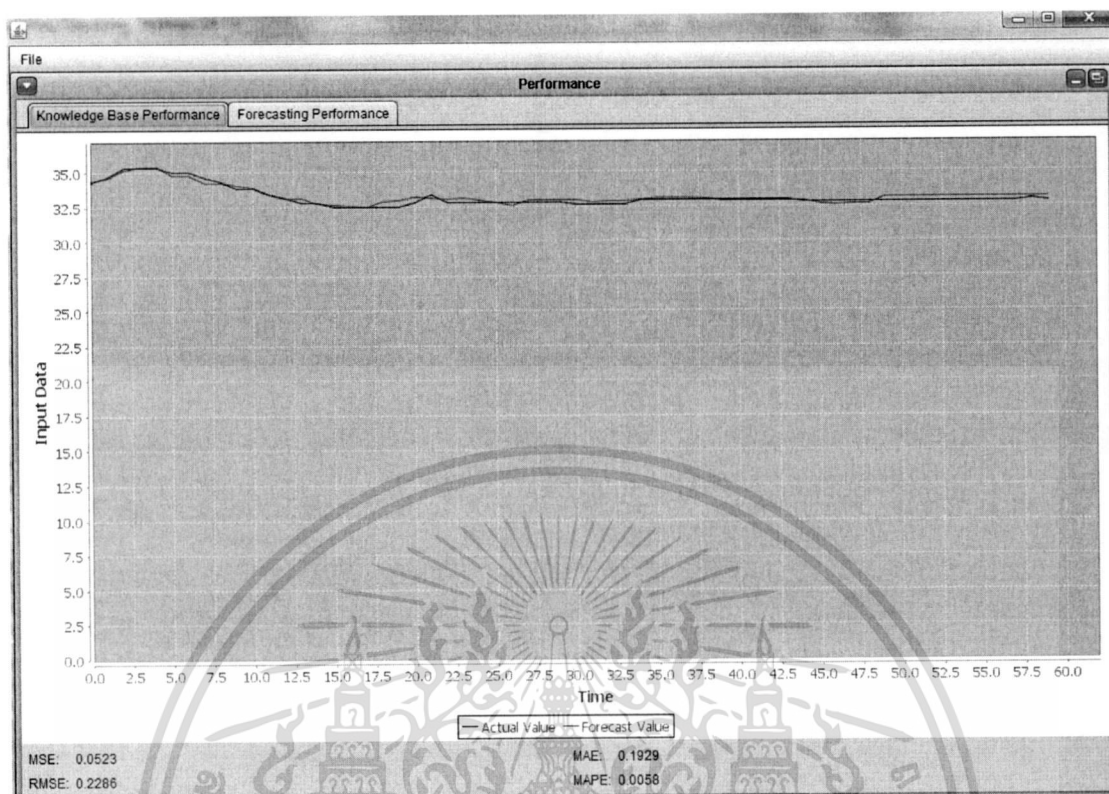
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 55 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 5 จำนวน ฟัซซีเซตเท่ากับ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอินพุต = 5, จำนวนพีชชีเซต = 7



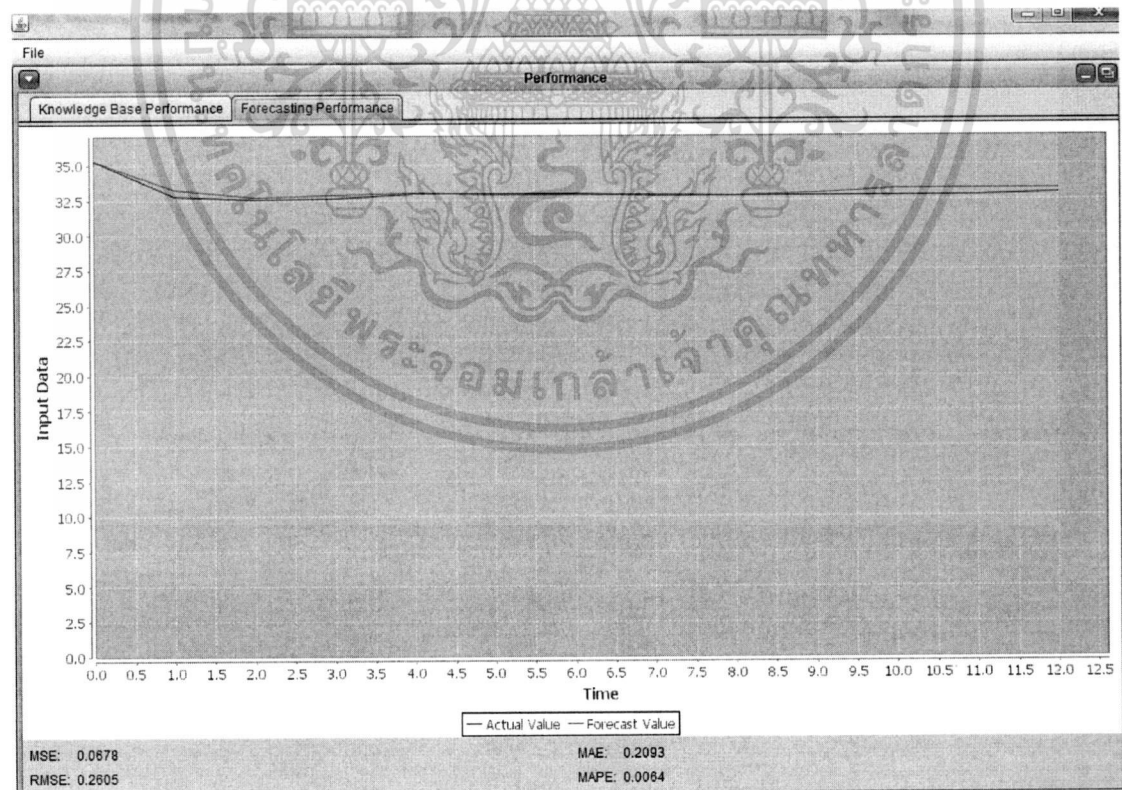
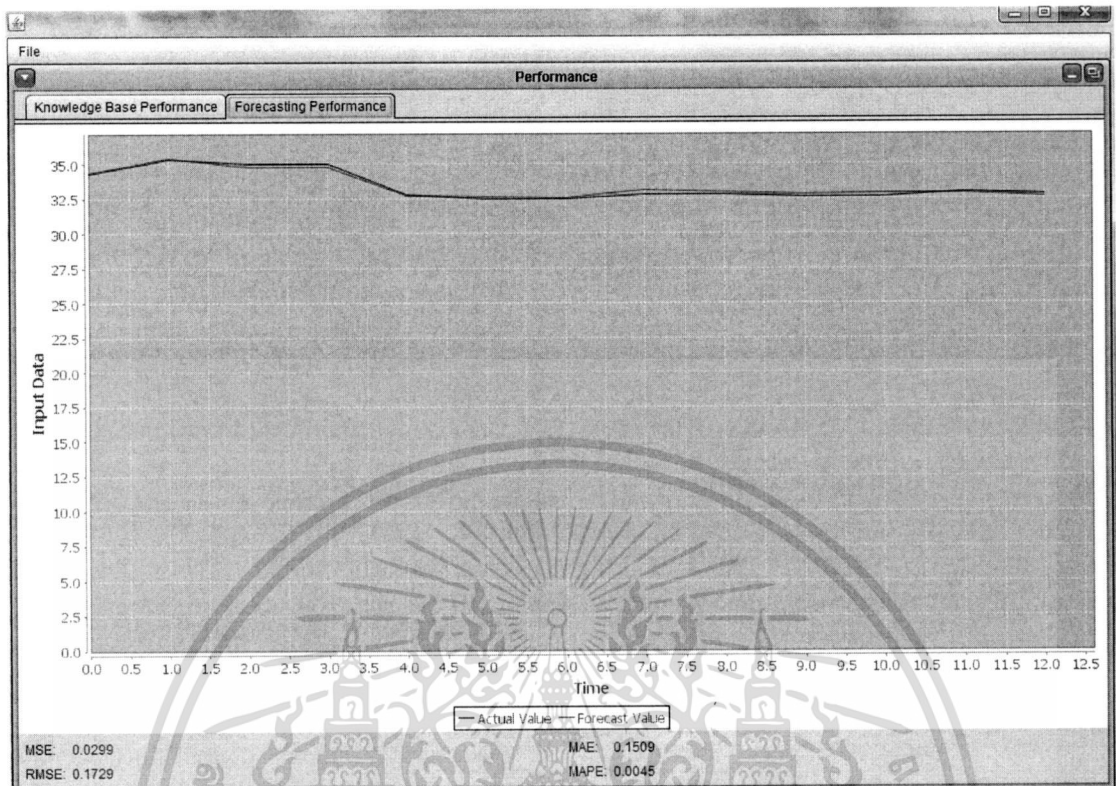
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้ โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 65 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 5 จำนวนฟัซซีเซตเท่ากับ 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนอินพุต = 6, จำนวนพีชชีเซต = 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จริงและผลลัพธ์จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้ โดยใช้ข้อมูลซึ่งมีจำนวนข้อมูล 55 ชุด และกำหนดจำนวนอินพุตเท่ากับ 6 จำนวน พิชชีเซตเท่ากับ 6

ผลการวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์โดยอาศัยตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพโดยอาศัยตัวชี้วัดประสิทธิภาพจะใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพทั้งหมด 4 ตัวด้วยกัน ดังนี้

- 1) **The mean of square error (MSE)** คือ ค่าเฉลี่ยของความคาดเคลื่อนกำลังสอง ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ทั้งหมดโดยรวมแล้ว มีค่าความคาดเคลื่อนไปเท่าไร ซึ่งถ้ายิ่งน้อย แสดงว่าผลลัพธ์จากการพยากรณ์ยิ่งมีความแม่นยำ การคำนวณหาค่า MSE แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{actual value} - \text{forecast value})^2}{n} \quad (4.1)$$

- 2) **The square root mean of square error (RMSE)** คือ ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคาดเคลื่อนกำลังสอง ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ค่าหนึ่งๆ ในการพยากรณ์นั้นๆ มีค่าความคาดเคลื่อนไปเท่าไร ถ้าค่ายิ่งน้อย แสดงว่าผลลัพธ์จากการพยากรณ์ยิ่งมีความแม่นยำ การคำนวณหาค่า RMSE แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (4.2)$$

- 3) **The mean of absolute error (MAE)** คือ ค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute Errors) โดยมีความถี่สัมพัทธ์ (relative frequencies) เป็นปัจจัยถ่วงน้ำหนัก ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ ถ้าค่ายิ่งน้อย แสดงว่าผลลัพธ์จากการพยากรณ์ยิ่งมีความแม่นยำ การคำนวณหาค่า MAE แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\text{actual value}_i - \text{forecast value}_i| \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) The mean of absolute percentage error (MAPE)คือ ค่าเฉลี่ยร้อยละของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ แสดงถึงค่าความผิดพลาดของการพยากรณ์ ซึ่งแสดงค่าอยู่ในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ ถ้าค่ายิ่งน้อย แสดงว่าผลลัพธ์จากการพยากรณ์ยิ่งมีความแม่นยำการคำนวณหาค่า MAPE แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\text{actual value}_i - \text{forecast value}_i}{\text{actual value}_i} \right| \quad (4.4)$$

ผลจากการวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์ก่อนการปรับฟังก์ชันสมาชิก

ตารางที่ 4.2 ผลจากการวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์เมื่อทดลองเพิ่มการปรับฟังก์ชันสมาชิกในส่วนของ การสร้างฐานความรู้

ชุดข้อมูล	จำนวนข้อมูล	Input Data	จำนวนพีชชีเซต	MSE	RMSE	MAE	MAPE
1	532	4	3	19.7897	4.4486	3.7274	0.1506
		5	5	1.5323	1.4906	0.9490	0.0341
		6	6	0.5650	0.7517	0.5478	0.0217
2	266	4	5	0.7033	0.8386	0.7334	0.0300
		4	6	0.6143	0.7837	0.6824	0.0276
		4	7	0.1985	0.4456	0.3451	0.0136
3	133	4	3	0.3696	0.6079	0.2888	0.0092
		4	5	0.0857	0.2927	0.2209	0.0067
		4	7	0.1079	0.3286	0.2413	0.0073
4	65	5	6	0.0286	0.1691	0.1405	0.0042
		5	7	0.0299	0.1729	0.1509	0.0045
		6	6	0.0678	0.2605	0.2093	0.0064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองใช้หลักการของฟิชเชิลอจิกเพื่อพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลสำหรับข้อมูลที่สนใจนั้น จากการดำเนินงานในส่วนหนึ่งของโครงการที่หนึ่งพบว่า หลักการของฟิชเชิลอจิกสามารถทำการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่สนใจได้ โดยผ่านการอ่านค่าข้อมูลจากไฟล์ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ แต่ก็มีข้อด้อยบางประการคือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์นั้นยังไม่แม่นยำมากเท่าที่ควร เนื่องจากในส่วนของการกำหนดขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกเป็นการกำหนดด้วยค่าใดค่าหนึ่งตายตัว ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกนั้นแล้ว ซึ่งค่าดังกล่าวอาจยังไม่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ ดังนั้นจึงได้มีการคิดวิธีการในการปรับปรุงขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกขึ้นมา เพื่อหาค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ และทำให้การพยากรณ์นั้นมีความแม่นยำมากขึ้นกว่าเดิม

การปรับปรุงขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกนั้น มีเป้าหมายเพื่อให้ค่าที่ได้จากการพยากรณ์มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกหลังจากได้ทำการพยากรณ์ไปแล้วหนึ่งรอบ และจะทำการพิจารณาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ (Forecast value) กับเอาท์พุทเป้าหมายของชุดข้อมูลนั้นๆ (Actual value) ว่าควรจะทำการปรับค่าฟังก์ชันสมาชิกหรือไม่ ซึ่งค่าความผิดพลาดตรงนี้จะทำให้สามารถทราบได้ว่าค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกที่กำหนดไว้นั้นมีเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้พยากรณ์หรือไม่ หากมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น แสดงว่าค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกที่ได้กำหนดไว้นั้นยังไม่เหมาะสม จึงทำการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิก และเมื่อทราบแล้วว่าต้องทำการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิก ต่อไปก็ต้องพิจารณาว่าจะทำการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกของอินพุทตัวใดเพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์เพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเหมาะสมได้ กล่าวคือถ้าการเปรียบเทียบระหว่างค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์กับเอาท์พุทเป้าหมายของชุดข้อมูลนั้นๆ ให้ค่าเป็นลบ แสดงว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์มีค่าน้อยเกินไป แต่ถ้าเป็นบวก แสดงว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์มีค่ามากเกินไป ซึ่งการเพิ่มหรือลดค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์นั้น สามารถทำได้โดยการเพิ่มหรือลดค่าระดับความเป็นสมาชิก (degree) ของอินพุท (X_i) โดยวิธีการในการพิจารณาเลือกอินพุทที่จะนำมาปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกนั้นจะพิจารณาจากอินพุทที่มีผลกระทบต่อฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์มากที่สุด และเมื่อได้อินพุทที่จะทำการปรับค่าระดับความเป็นสมาชิกแล้วก็จะต้องทราบด้วยว่าอินพุทนั้นอยู่ในฟังก์ชันสมาชิกใด จึงจะทำการปรับขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกนั้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการนำวิธีการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกดังกล่าวมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการพยากรณ์ พบว่าสามารถให้ผลการดำเนินงานที่ดีขึ้นได้ กล่าวคือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์เมื่อทำการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกแล้วนั้นลดน้อยลงและจากการวัดประสิทธิภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยการกำหนดจำนวนพีชชีเซตที่แตกต่างนั้น พบว่ายิ่งกำหนดจำนวนพีชชีเซตมาก ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าการกำหนดจำนวนพีชชีเซตน้อยๆ เนื่องจากการกำหนดจำนวนพีชชีเซตน้อยๆ ช่วงของพีชชีเซตหนึ่งๆ จะกว้าง ทำให้พีชชีเซตหนึ่งๆ นั้นต้องครอบคลุมค่าของข้อมูลจำนวนมาก เป็นผลให้ความละเอียดในการกำหนดพีชชีเซตให้กับค่าของข้อมูลลดน้อยลง ค่าความผิดพลาดจึงมีมากขึ้น แต่ในทางกลับกัน ถ้ากำหนดจำนวนพีชชีเซตมาก ช่วงของพีชชีเซตหนึ่งๆ จะแคบ ทำให้พีชชีเซตหนึ่งๆ นั้นครอบคลุมค่าของข้อมูลจำนวนหนึ่งที่เฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น เป็นผลให้ความละเอียดในการกำหนดพีชชีเซตให้กับค่าของข้อมูลเพิ่มขึ้น ค่าความผิดพลาดจึงลดลง และอีกส่วนหนึ่งที่ได้ทำการเปรียบเทียบคือ การเปรียบเทียบการกำหนดจำนวนพีชชีเซตกับเวลาที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ นั้นพบว่า ถ้ากำหนดจำนวนพีชชีเซตน้อยๆ จะใช้เวลาในการสร้างฐานความรู้มากกว่าการกำหนดจำนวนพีชชีเซตมาก เนื่องจากการกำหนดจำนวนพีชชีเซตน้อยๆ การปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกนั้น จะต้องทำการปรับหลายรอบ จึงจะได้ค่าขอบเขตที่เหมาะสมกับค่าของข้อมูล เวลาที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้จึงมากขึ้น แต่ถ้ากำหนดจำนวนพีชชีเซตมาก การปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิก จะมีจำนวนรอบในการปรับน้อยลง เวลาที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้จึงน้อยลงไปด้วย ซึ่งการกำหนดจำนวนพีชชีเซตมากก็อาจใช้เวลาในการสร้างฐานความรู้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อจำนวนพีชชีเซตมาก เวลาที่ใช้ในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกในหนึ่งรอบนั้นจะใช้เวลาาน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าจำนวนพีชชีเซตนั้นแปรผกผันกับจำนวนรอบในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิก และแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกในหนึ่งรอบ กล่าวคือ ถ้ากำหนดจำนวนพีชชีเซตมาก จำนวนรอบในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกจะน้อย แต่เวลาที่ใช้ในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกในหนึ่งรอบจะมาก ในทางกลับกัน ถ้ากำหนดจำนวนพีชชีเซตน้อยๆ จำนวนรอบในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกจะมาก แต่เวลาที่ใช้ในการปรับค่าขอบเขตของฟังก์ชันสมาชิกในหนึ่งรอบจะน้อย

ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของการพยากรณ์ (Testing) พบว่ายิ่งกำหนดจำนวนพีชชีเซตมาก ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าการกำหนดจำนวนพีชชีเซตน้อยๆ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าของตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่มีค่าน้อยกว่าการกำหนดจำนวนพีชชีเซตหลายๆ โดยการทดสอบในส่วนนี้นั้นให้ผลเช่นเดียวกันกับการทดสอบในส่วนของการสร้างฐานความรู้ (Training) แต่เนื่องจากข้อมูลชุดที่ 3 และ 4 ที่ใช้ในส่วนของการสร้างฐานความรู้นั้นมีจำนวนน้อย ทำให้ฐานกฎที่สร้างขึ้นไม่ครอบคลุมถึงข้อมูลที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์ทั้งหมด จึงทำให้ข้อมูลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางส่วนที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์นั้น ไม่สามารถพยากรณ์ได้ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังนี้ได้โดยการเพิ่มจำนวนข้อมูลย้อนหลังที่ใช้ในการพยากรณ์ให้มากขึ้น เพื่อให้ฐานข้อมูลที่สร้าง ได้มีความครอบคลุมถึงข้อมูลที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์ทั้งหมด

ข้อเสนอแนะ

จากขั้นตอนการดำเนินงานที่ผ่านมา เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์กับค่าผลลัพธ์จริงแล้ว พบว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์นั้นจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าตามค่าผลลัพธ์จริง กล่าวคือ ในขณะที่ค่าผลลัพธ์จริงได้มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นแล้ว แต่ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์จะยังไม่เพิ่มขึ้นพร้อมกัน และเมื่อค่าผลลัพธ์จริงได้มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่ลดลงแล้ว ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ก็ยังไม่ลดลงในทันทีเช่นกัน กราฟที่ได้จะเป็นในลักษณะที่ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ตามหลังค่าผลลัพธ์จริงตลอดเวลาและในส่วนของกำหนัดจำนวนพีชชีเซตที่ใช้ในการพยากรณ์ ผู้ใช้ยังต้องกำหนัดเองอยู่

เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์ดีขึ้น มีความแม่นยำมากขึ้น จึงอาจต้องมีการปรับปรุงอัลกอริทึมให้สามารถพยากรณ์แล้วให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์สามารถเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆ กับค่าผลลัพธ์จริงได้ และปรับปรุงให้ระบบสามารถกำหนัดจำนวนพีชชีเซตที่เหมาะสมให้กับลักษณะข้อมูลในการพยากรณ์ได้ เพื่อความสะดวกในการใช้งานและเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการพยากรณ์อีกด้วย

บรรณานุกรม

พยุง มีสัจ. 2553.แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<http://202.44.34.134/teacher/FileDL/phayung136255312205.pdf>.

Ajoy Kumar Palit * and D. Popovic. 1999. **Fuzzy logic based automatic rule generation and forecasting of time series.** [Online]. Available:

<http://vhdl.medan-sites.com/web/files/Download/palit-FUZZ-IEEE1999.pdf>

John Yen and Reza Langari. 1998. **Fuzzy logic intelligence, control and information.**

New Jersey: Prentice Hall.

Tomoharu Nakashima, Gaku Nakai and Hisao Ishibushi. 2000. **Improving the performance of fuzzy classification systems by membership function learning and feature selection.**

[Online]. Available:

http://62.49.17.3/~streetm/wcci_2002/FUZZ02/PDFFiles/Papers/4241.PDF

