



ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เกี่ยวกับโมเดลอ้างอิงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำ  
ระยะสั้น

**Fuzzy Model Reference Learning Forecaster for Short-Term  
Water Demand Forecasting**

ศิริวัฒน์ ชูวานิชย์  
**Sirawat Chuwanit**

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Electrical Engineering  
Prince of Songkla University**

**2559**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำ  
ระยะสั้น

**Fuzzy Model Reference Learning Forecaster for Short-Term  
Water Demand Forecasting**

ศิริวัฒน์ ชูวานิชย์  
**Sirawat Chuwanit**

วิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of  
Master of Engineering in Electrical Engineering  
Prince of Songkla University**

**2559**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์      ตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น

ผู้เขียน                นาย ศิริวัฒน์ ชูวานิชย์

สาขาวิชา             วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิษฐิศา เอลซ์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู)

.....กรรมการ  
(ดร. วฤทธิ์ วิชกุล)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิทักษ์ บุญนุ่น)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจาก ศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มี  
ส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นายศิริวัฒน์ ชูวานิชย์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ  
ไม่ได้ถูกใช้ในการขอขึ้นอนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายศิริวัฒน์ ชูพาณิชย์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	ตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น
ผู้เขียน	นาย ศิรวัดน์ ชูวานิชย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2558

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอสมรรถนะของตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง สำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น กลไกการเรียนรู้แบบปรับตัวทำหน้าที่ปรับฐานความรู้ของตัวควบคุมพีชซีพื้นฐานเทียบกับ โมเดลอ้างอิง โดยใช้จำนวนผู้ใช้น้ำ กิจกรรมและข้อมูลการใช้น้ำในอดีตเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลถึงการพยากรณ์ ตัวพยากรณ์นี้ถูกนำไปทดสอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่าย โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของตัวพยากรณ์ที่สามารถปรับตัวสอดคล้องกับอินพุตของเหตุการณ์ สมรรถนะของตัวพยากรณ์ถูกตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ข้อมูลการใช้น้ำจริง โดยเปรียบเทียบกับวิธีการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งผลการตรวจสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมพัทธ์แบบสมบูรณ์ (AARE) ของตัวพยากรณ์ มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ใช้วิธีการการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและวิธีการ โครงข่ายประสาทเทียม

คำสำคัญ: การพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น, พีชซีลอจิก, ตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

<b>Thesis Title</b>	Fuzzy Model Reference Learning Forecaster for Short-Term Water Demand Forecasting
<b>Author</b>	Mr. Sirawat Chuwanit
<b>Major Program</b>	Electrical Engineering
<b>Academic</b>	2015

### **ABSTRACT**

This research presents the performance of a Fuzzy Model Reference Learning Forecaster for short-term water demand forecasting. The adaptive fuzzy logic learning mechanism adjusts knowledge base depending on reference model values and measured values. The forecaster uses number of consumption, type of activities, and previous-day water usage data as the inputs to the forecaster. The forecaster was verified by using a simple mathematic model and the results show that the forecaster can adapt its behavior according to the input events. The performance of the forecaster was then validated by using actual water usage data and compared with Linear Regression Analysis and Artificial Neural Network. It is found that the Average Absolute Relative Error (AARE) of the forecaster is less than the Average Absolute Relative Errors of both Linear Regression Analysis and Artificial Neural Network.

Keywords: Short-term Water Demand Forecasting, Fuzzy Logic, Fuzzy Model Reference Learning Forecaster

## กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิษฐิดา เอลซ์ ดร.วฤทธิ วิชกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิทักษ์ บุญนุ่นที่กรุณาอุทิศเวลาให้คำปรึกษา ให้ความอนุเคราะห์ในการแนะนำความรู้ในด้านการทำวิจัย เอกสาร ข้อมูลต่างๆ รวมทั้งมีส่วนร่วมแสดงความคิดเห็นในด้านแนวคิดและเป็นที่กำลังใจ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้มีความเรียบร้อยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ดร.เกียรติศักดิ์ วงษ์โสพนากุล หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้ความกรุณา และการสนับสนุนเพื่อให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฐา จินดาเพ็ชร ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร ป.โท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ และติดตามผลความคืบหน้าในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุสุมาลย์ เฉลิมยานนท์ ดร.รักรัตน์ ดวงสร้อยทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาวิตร์ ตันตานุช ที่ให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนช่วยเหลือแก้ไขปัญหาในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณนิวัตร ทองอุปการ และบุคลากร งานสาธารณูปการและการซ่อมบำรุงรักษา หน่วยประปา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สำหรับข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยและคำปรึกษาตลอดการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆมาโดยตลอดจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่กรุณามอบทุนสนับสนุนการวิจัย

ขอขอบคุณ นายเกียรติศักดิ์ เส็งช่วย และนายพิเชฐ เกศมี รวมถึงพี่ๆ เพื่อน น้องๆ ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจอันดีเสมอมา

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว สำหรับการส่งเสริม สนับสนุนและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอดจนงานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศิริวัฒน์ ชูวานิชย์



## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	7
2. ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม	10
2.1 การผลิตน้ำประปา	10
2.1.1 ระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป	10
2.1.2 ระบบการผลิตน้ำประปาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	12
2.2 การพยากรณ์	14
2.2.1 ระยะเวลาในการพยากรณ์	14
2.2.1.1 การพยากรณ์ระยะสั้น	14
2.2.1.2 การพยากรณ์ระยะปานกลาง	14
2.2.1.3 การพยากรณ์ระยะยาว	14
2.3 เทคนิคในการทำแบบจำลอง	15
2.3.1 วิธีการทางสถิติ	15
2.3.1.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย	15
2.3.1.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ	15
2.3.2 วิธีการทางคณิตศาสตร์	16
2.3.2.1 วิธีเคลื่อนที่	16

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
2.3.2.2 วิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล	16
2.3.3 วิธีการปัญญาประดิษฐ์	16
2.3.3.1 วิธีการฟัซซีลอจิก	16
2.3.3.2 วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม	18
2.3.3.3 วิธีการนิวโรฟัซซี	19
2.4 การทำแบบจำลอง	20
2.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	23
3. ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	30
3.1 ทฤษฎีตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	30
3.1.1 โมเดลอ้างอิง (Reference model)	32
3.1.2 กลไกการเรียนรู้ (Learning mechanism)	32
3.1.3 การควบคุมฟัซซี (Fuzzy controller)	32
3.1.4 การพยากรณ์จากการเรียนรู้ (Learning forecaster)	33
3.2 การออกแบบตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	33
3.3 การทดสอบตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	38
3.3.1 ฐานข้อมูล	38
3.3.1.1 สถิติข้อมูลประชากร	38
3.3.1.2 สถิติอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยรายบุคคล	39
3.3.1.3 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	39
3.3.2 เครื่องมือที่ใช้การประมวลผล	40
3.3.3 ขั้นตอนการวิจัย	41
3.3.3.1 การพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น	41
3.3.3.2 การพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	42
3.3.3.3 การพยากรณ์โดยใช้ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	42
3.3.3.4 การจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมไหล	43
3.3.3.5 การทดสอบแบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดล	44
อ้างอิง	

สารบัญ (ต่อ)	หน้า
4. ผลการวิจัย	45
4.1 ผลการทดสอบปัจจัย	45
4.2 ผลการทดสอบแบบจำลองตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง	46
4.3 ผลการวิจัย	48
4.3.1 ผลการวิจัยแบบจำลอง	48
4.3.2 ปัจจัยทางด้านกิจกรรม	54
4.3.3 การเรียนรู้จากการพยากรณ์	56
4.3.4 การปรับค่าอัตราส่วนย่อยขยาย	57
4.3.5 ผลการวิจัยแบบจำลองที่ทำการปรับค่าอัตราส่วนย่อยขยาย	59
5. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลงานวิจัย	66
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข	77
ภาคผนวก ค	84
ประวัติผู้เขียน	92

รายการตาราง	หน้า
2-1 การทบทวนวรรณกรรมของแบบจำลองการพยากรณ์การใช้น้ำ	28
3-1 กฎการควบคุมตัวแปรภาษาของตัวควบคุมพีชชีผกผัน	35
3-2 กฎการควบคุมตัวแปรภาษาของตัวควบคุมพีชชี	36
3-3 ข้อมูลสถิตินักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	38
3-4 สถิติอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยรายบุคคลของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	39
4-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	45
4-2 สมรรถนะของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ, $g_p = 0.28$ )	49
4-3 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.28$ )	50
4-4 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.28$ )	50
4-5 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.28$ )	51
4-6 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.28$ )	52
4-7 สมรรถนะของแบบจำลอง ( $g_p = 0.28$ )	54
4-8 ค่าตัวแปรอินพุตของกิจกรรม	54
4-9 สมรรถนะของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	56
4-10 สมรรถนะการปรับกลไกการเรียนรู้ของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	58
4-11 สมรรถนะของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ, $g_p = 0.13$ )	59
4-12 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.13$ )	60
4-13 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.13$ )	61
4-14 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.13$ )	62
4-15 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.13$ )	63
4-16 สมรรถนะของแบบจำลอง ( $g_p = 0.13$ )	65

รายการภาพประกอบ		หน้า
1-1	บล็อกไดอะแกรมระบบน้ำประปาของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2
1-2	สถิติการใช้น้ำและการผลิตน้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	3
1-3	สถิติการใช้น้ำและการผลิตน้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (รายปี)	5
1-4	แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย	9
2-1	ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค	11
2-2	กระบวนการผลิตน้ำประปาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่	12
2-3	อ่างเก็บน้ำศรีตรัง	13
2-4	ปั้มน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง	13
2-5	ถังตกตะกอน	13
2-6	จุดจ่ายสารเคมีไปยังถังตกตะกอน	13
2-7	ถังกรองทราย	13
2-8	แท็งก์น้ำขนาดกลาง	13
2-9	มอเตอร์สูบน้ำขึ้นแท็งก์ขนาดใหญ่	14
2-10	แท็งก์น้ำขนาดใหญ่	14
2-11	ฟังก์ชันสมาชิกสามเหลี่ยม	17
2-12	ลำดับขั้นตอนการทำแบบจำลอง	22
2-13	แนวโน้มค่าความต้องการน้ำแบบรายเดือนของเมืองเตหาราน ประเทศอิหร่าน (2547-2552)	23
2-14	ผลการพยากรณ์ความต้องการน้ำรายชั่วโมงโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (วันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2551)	24
2-15	ผลการวิเคราะห์ความไวในความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อข้อมูลนำออกประมาณการใช้น้ำประปา	25
2-16	การพยากรณ์แบบจำลองนิเวรอน-ฟัซซี (NF1)	27
3-1	วิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง	30
3-2	แผนภาพวิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	31
3-3	ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำและกิจกรรม	35
3-4	กระบวนการแปลงค่าฟัซซี	35

รายการภาพประกอบ (ต่อ)		หน้า
3-5	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของค่าตัวแปรภาษาที่ปรับเปลี่ยนกฎของระบบพีชชี	37
3-6	ข้อมูลปัจจัยทางด้านอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน	39
3-7	ข้อมูลปัจจัยทางด้านความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน	40
4-1	กราฟผลการทดสอบการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงแบบทดลองที่ 1	46
4-2	กราฟผลการทดสอบการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงแบบทดลองที่ 2	47
4-3	กราฟผลการทดสอบการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงแบบทดลองที่ 3	47
4-4	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ, $g_p = 0.28$ )	48
4-5	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.28$ )	49
4-6	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.28$ )	50
4-7	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.28$ )	51
4-8	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.28$ )	52
4-9	กราฟการเปรียบเทียบโมเดลอ้างอิงและตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ( $g_p = 0.28$ )	53
4-10	กราฟการเปรียบเทียบค่ากิจกรรม 0.49 กับ ค่ากิจกรรม 0.50 ของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	55
4-11	กราฟการเปรียบเทียบค่ากิจกรรม 0.44 กับ ค่ากิจกรรม 0.49 ของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	55
4-12	กราฟระดับสมรรถนะของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง	57
4-13	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ, $g_p = 0.13$ )	59
4-14	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.13$ )	60
4-15	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์, $g_p = 0.13$ )	61
4-16	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.13$ )	62
4-17	กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 % (1 สัปดาห์, $g_p = 0.13$ )	63

รายการภาพประกอบ (ต่อ)		หน้า
4-18	กราฟการเปรียบเทียบโมเดลอ้างอิงและตัวพยากรณ์พืชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ( $g_p = 0.13$ )	64
ก-1	ข้อมูลรายชั่วโมงของระดับน้ำแข็งน้ำขนาดใหญ่	74
ก-2	การคำนวณการใช้รายวันของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	74
ข-1	โครงสร้างตัวควบคุมพืชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง	79

## บทที่ 1

### บทนำ

การขยายตัวทางเศรษฐกิจที่รวดเร็วและการเพิ่มขึ้นของประชากร ส่งผลให้เมืองมีการขยายตัว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้การอุปโภคบริโภคน้ำประปามีปริมาณที่สูงขึ้น ส่งผลต่อการผลิตน้ำประปาไม่เพียงพอต่อความต้องการ การวิจัยการพยากรณ์การใช้น้ำ เพื่อนำผลการพยากรณ์ที่ได้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการน้ำให้มีความเพียงพอต่อความต้องการ และเพื่อให้การจัดสรรทรัพยากรและระบบการผลิตน้ำประปาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น

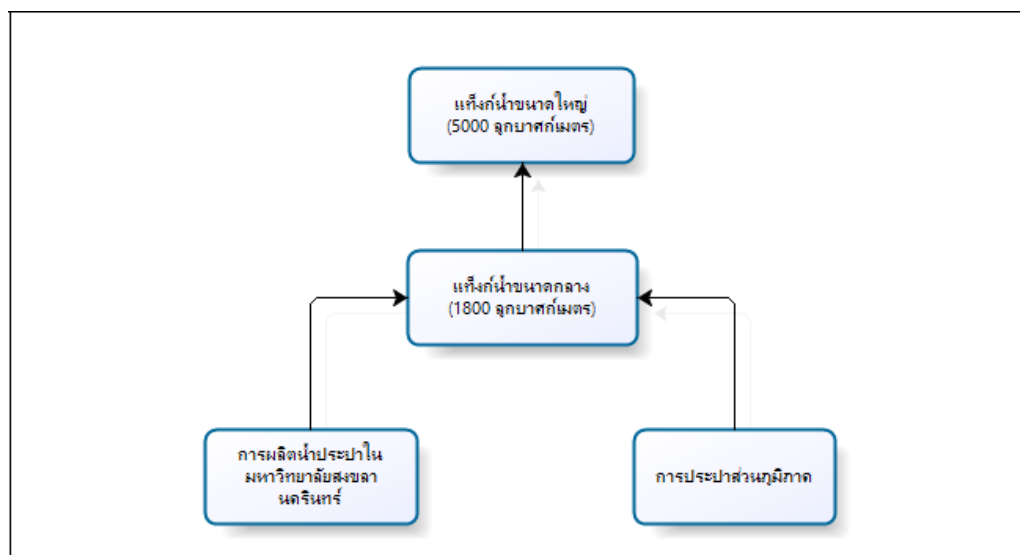
#### 1.1 ความสำคัญและที่มาโครงการวิจัย

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่ามหาศาล เป็นจุดกำเนิดของสิ่งมีชีวิตมากมาย ไม่ว่าจะเป็น พืช สัตว์หรือมนุษย์ ล้วนแล้วแต่มีปัจจัยพื้นฐานในการดำรงชีวิตที่เกี่ยวข้องกับน้ำ หากขาดน้ำจะทำให้สิ่งมีชีวิตคงอยู่กันได้อย่างยากลำบาก พระเจ้าอยู่หัวทรงตรัสไว้ว่า “น้ำคือชีวิต” [1] โครงการน้ำพระราชดำริจึงปรากฏขึ้นครอบคลุมปัญหาในทุกๆด้าน เริ่มต้นจากการสงวนรักษาแหล่งต้นน้ำต่างๆ การแก้ปัญหาภัยแล้ง ภัยน้ำท่วม ภัยจากน้ำทะเลท่วมล้นแผ่นดิน การจัดการทรัพยากรน้ำที่มีอยู่แล้ว ตลอดจนการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำน้ำมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ น้ำยังถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศในด้านอุตสาหกรรม ธุรกิจ การเกษตร สาธารณะ และการอุปโภคบริโภคภายในประเทศ หากประเทศเกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและฤดูกาลที่รุนแรงของโลกจะก่อให้เกิดเหตุการณ์วิกฤตไม่ว่าจะเป็นน้ำท่วมหรือความแห้งแล้ง ปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่ออย่างมากกับพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยโดยอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของการประปาส่วนภูมิภาคและการประปานครหลวง ซึ่งทำหน้าที่ในการจัดการทรัพยากรน้ำ สำรวจแหล่งน้ำดิบ ผลิต จัดส่ง รวมไปถึงจำหน่ายน้ำประปาทั่วประเทศไทย และให้ความสำคัญในกระบวนการผลิตน้ำที่สะอาด มีคุณภาพ และเพียงพอต่อความต้องการของประชาชน

การผลิตน้ำประปาที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง (เริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556) เนื่องด้วยปริมาณน้ำฝนที่ลดลงและความต้องการการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้น การประปาส่วนภูมิภาคจึงประสบปัญหาอย่างหนักในด้านการขาดแคลนน้ำในการนำมาผลิตน้ำประปาเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ



มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นส่วนหนึ่งที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากการประปาส่วนภูมิภาคเขต 5 (ซึ่งรับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 7 จังหวัด คือ สงขลา พัทลุง ตรัง สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส) จ่ายน้ำให้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของมหาวิทยาลัยในบางช่วงเวลา มหาวิทยาลัยมีระบบผลิตน้ำประปาสำรองเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำ โดยระบบการผลิตน้ำจะเริ่มต้นจากสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้ามาไว้ที่ถังตกตะกอน จากนั้นระบบอัตโนมัติเดิมสารเคมีจะทำการจ่ายปูนขาว สารส้ม และคลอรีน ไปยังถังตกตะกอน เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการตกตะกอนแล้วจะดำเนินการต่อโดยการจ่ายน้ำเข้าไปที่ถังกรองทรายซึ่งมีมอเตอร์ดูดน้ำสะอาดนำไปใช้ในระบบ น้ำจากการประปาและน้ำที่ผลิตโดยมหาวิทยาลัยจะถูกจ่ายเข้าสู่แท็งก์น้ำขนาดกลาง (1,800 ลูกบาศก์เมตร) เพื่อเตรียมส่งต่อไปยังแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ (5,000 ลูกบาศก์เมตร) แสดงดังภาพประกอบ 1-1

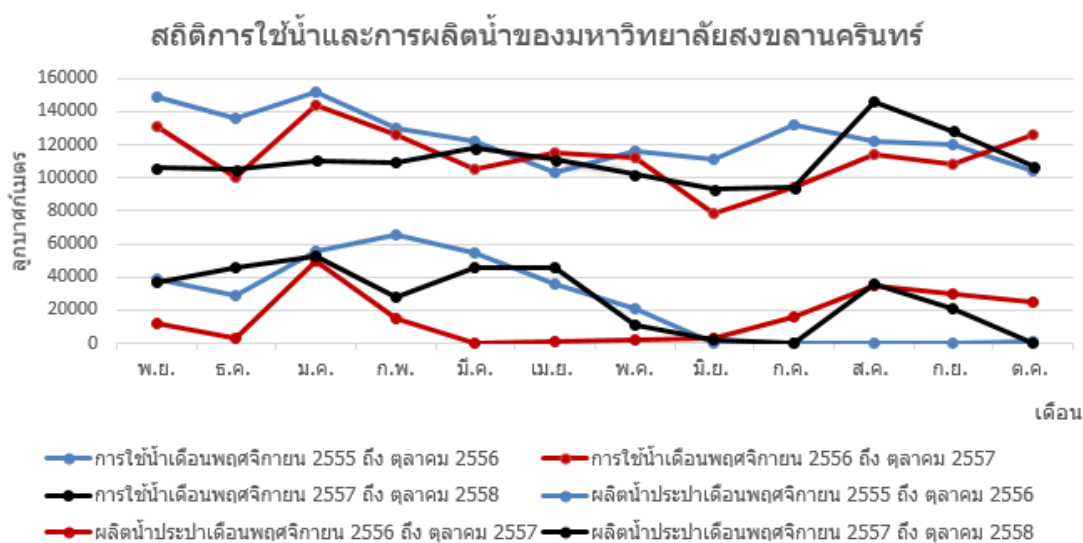


ภาพประกอบ 1-1 บล็อกไดอะแกรมระบบน้ำประปาของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กระบวนการจ่ายน้ำจะมีบุคลากรควบคุมการสูบน้ำเพื่อตรวจสอบระดับน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม หากส่งน้ำไม่เพียงพอในแท็งก์น้ำขนาดใหญ่จะส่งผลให้ระดับน้ำต่ำเกินไป ทำให้แรงดันของน้ำไม่มากพอที่จะส่งน้ำทั่วทั้งมหาวิทยาลัย ปัญหาดังกล่าวทำให้บุคลากร นักศึกษา และบุคลากรในมหาวิทยาลัยได้รับผลกระทบในการใช้น้ำอุปโภคบริโภค จึงมีความจำเป็นที่ต้องแก้ปัญหา โดยการเล็งเห็นถึงความสำคัญในการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นที่มีความแม่นยำ จะทำให้สามารถวางแผนการผลิตน้ำจากอ่างเก็บน้ำและการสูบน้ำจากการประปาของมหาวิทยาลัย

เพื่อให้แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีน้ำใช้อย่างเพียงพอ และยังส่งผลถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำที่ไม่เป็นระบบขึ้นแท็งก์น้ำขนาดใหญ่อีกด้วย

จากการรวบรวมข้อมูลกองอาคารสถานที่ หน่วยประปา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2555 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 ได้ข้อมูลสถิติการใช้น้ำและการผลิตน้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แสดงดังภาพประกอบ 1-2



ภาพประกอบ 1-2 สถิติการใช้น้ำและการผลิตน้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

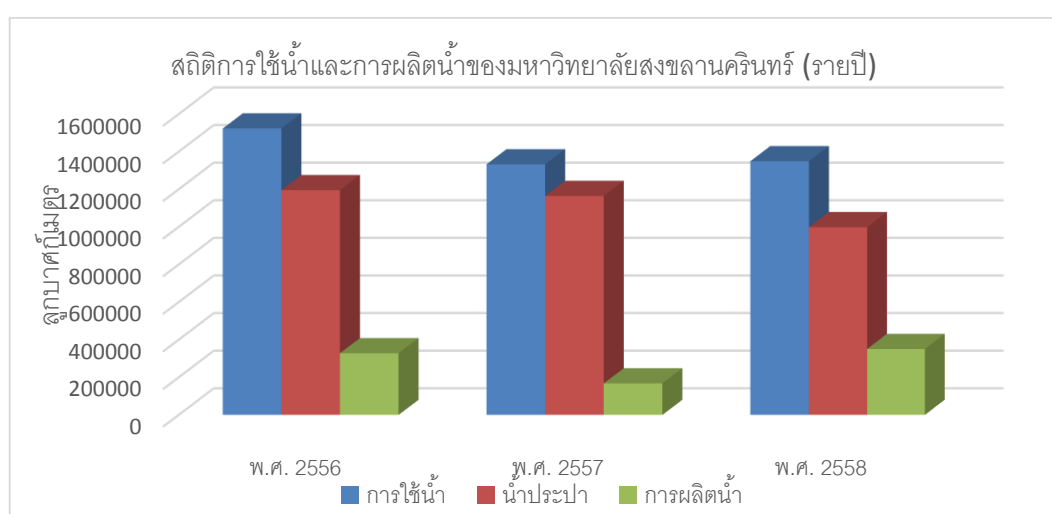
ในช่วงระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์มีการเปิดปิด ภาคการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2 ภาคฤดูร้อน ดังต่อไปนี้

- ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษาที่ 2555 เปิดเทอม 29 ตุลาคม 55 ถึง 2 มีนาคม 56
- ภาคฤดูร้อน ปีการศึกษาที่ 2555 เปิดเทอม 25 มีนาคม 56 ถึง 18 พฤษภาคม 56
- ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษาที่ 2556 เปิดเทอม 3 มิถุนายน 56 ถึง 15 ตุลาคม 56
- ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษาที่ 2556 เปิดเทอม 28 ตุลาคม 56 ถึง 3 มีนาคม 57
- ภาคฤดูร้อน ปีการศึกษาที่ 2556 เปิดเทอม 24 มีนาคม 57 ถึง 18 พฤษภาคม 57
- ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษาที่ 2557 เปิดเทอม 11 สิงหาคม 57 ถึง 22 ธันวาคม 57
- ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษาที่ 2557 เปิดเทอม 12 มกราคม 58 ถึง 21 พฤษภาคม 58
- ภาคฤดูร้อน ปีการศึกษาที่ 2557 เปิดเทอม 2 มิถุนายน 58 ถึง 26 กรกฎาคม 58
- ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษาที่ 2558 เปิดเทอม 10 สิงหาคม 58 ถึง 20 ธันวาคม 58

จากภาพประกอบ 1-2 แสดงให้เห็นถึงการใช้ น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในช่วงเปิดเทอม ซึ่งเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2555 (ภาคการศึกษาที่ 2) จะมีอัตราการใช้น้ำสูง ในช่วงต้นภาคการศึกษา และหลังจากนั้นในเดือนธันวาคม พ.ศ.2555 อัตราการใช้น้ำจะลดลง เนื่องจากเป็นเดือนที่มีวันหยุดหลายวัน ได้แก่ วันพ่อแห่งชาติ วันรัฐธรรมนูญ และเทศกาลปีใหม่ หลังจากเดือนธันวาคมเป็นต้นไป อัตราการใช้น้ำมีการเพิ่มขึ้นในเดือนมกราคม และค่อยๆลดลง ตามลำดับตามจำนวนผู้บริโภคนักศึกษาและบุคลากร) เป็นผลมาจากการที่นักศึกษามีการทำ กิจกรรมและมีตารางเรียนที่ลดลงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ส่วนในภาคฤดูร้อน (เดือนมีนาคมถึง เดือนพฤษภาคม) อัตราการใช้น้ำจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด เพราะเป็นช่วงปิดภาคการศึกษา จึงทำให้มี ปริมาณผู้บริโภคลดลง หลังจากนั้นอัตราการใช้น้ำจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเดือนมิถุนายนจนถึง เดือนตุลาคม (ช่วงเปิดภาคการศึกษา) ดังที่แสดงในกราฟ (เส้นสีน้ำเงิน ปี พ.ศ.2556) และในช่วง วันที่ 18 พฤษภาคม 57 ไปจนถึง 11 สิงหาคม 57 อัตราการใช้น้ำจะลดลงอย่างเห็นชัด เนื่องจาก มหาวิทยาลัยมีการปิดภาคการศึกษา เพื่อเตรียมความพร้อมเพื่อเข้าสู่ AEC (Asean Economics Community : ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน) ดังที่แสดงในกราฟ (เส้นสีแดง ปี พ.ศ.2557) เปิดเทอม เดือนสิงหาคม 57 อัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นกว่าในการเตรียมความพร้อม AEC ช่วงปลายเทอม เดือน พฤศจิกายน ไปถึง ธันวาคม 58 (ภาคการศึกษาที่ 1) และ มีนาคม ไปจนถึง พฤษภาคม 58 (ภาค การศึกษาที่ 2) อัตราการใช้น้ำลดลงอย่างมากในช่วงใกล้สอบก่อนภาคฤดูร้อน ดังที่แสดงในกราฟ (เส้นสีดำ ปี พ.ศ.2558)

ในส่วนของการผลิตน้ำประปา ดังที่แสดงในกราฟเส้นสีน้ำเงิน แสดงการผลิตน้ำ ใน ปี พ.ศ.2556 และ เส้นสีแดงแสดงการผลิตน้ำใน ปี พ.ศ.2557 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของอัตรา การผลิตน้ำใน ปี พ.ศ.2556 จะสูงกว่าใน ปี พ.ศ.2557 อย่างมาก เนื่องมาจาก ปี พ.ศ.2556 เป็นช่วงที่ ประสบปัญหาภัยแล้งในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคม ประกอบกับปริมาณน้ำ ในอ่างศรีตรังมีการลดลงอย่างมากจนไม่มีน้ำที่เพียงพอ จึงส่งผลให้การผลิตน้ำประปาภายใน มหาวิทยาลัยลดลงจนถึงขั้นวิกฤต นอกจากนี้ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือ การประปาจ่ายน้ำมายัง มหาวิทยาลัยไม่เพียงพอต่อความต้องการ ด้วยเหตุนี้การศึกษาเพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหานี้จึงเป็น สิ่งสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ส่วนการผลิตน้ำในปี พ.ศ.2558 ดังแสดงในกราฟ (เส้นสีดำ ปี พ.ศ.2558) มีการผลิตน้ำเข้าสู่ระบบประปาภายในมหาวิทยาลัย และหยุดผลิตในเดือนมิถุนายน ถึง กรกฎาคม 58 เนื่องจากอยู่ในช่วงฤดูร้อนมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำน้อย

จากสถิติการใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์แบบรายปีพบว่าปี พ.ศ.2556 มีการใช้น้ำมากกว่าปี พ.ศ.2557 และ พ.ศ.2558 ในส่วนการผลิตน้ำในปี พ.ศ.2556 จะมีการผลิตสูงกว่าปี พ.ศ.2557 เนื่องจากการประปาส่วนภูมิภาคจ่ายน้ำไม่เพียงพอต่อความต้องการของทางมหาวิทยาลัยจึงทำให้หน่วยประปาของทางมหาวิทยาลัยต้องผลิตน้ำประปาเสริมเข้ามาในระบบ ส่วนในปี พ.ศ.2557 มีการเตรียมน้ำเพื่อไว้ผลิตในช่วงฤดูร้อน จึงทำให้ผลิตน้ำเข้าสู่ระบบในปริมาณน้อยกว่าปี พ.ศ.2556 และ พ.ศ.2558 แสดงดังภาพประกอบ 1-3



ภาพประกอบ 1-3 สถิติการใช้น้ำและการผลิตน้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (รายปี)

จากการศึกษาปัจจัยและปัญหาการวิจัยข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการสร้างแบบจำลองที่มีปัจจัยเกี่ยวกับกิจกรรมช่วงเปิดเทอมกับช่วงใกล้สอบ ในการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นจะทำให้ทราบถึงปริมาณความต้องการน้ำรายวันเปรียบเทียบกับการพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ถูกนำจ่ายโดยการประปาเพื่อใช้ในการวางแผนในการจัดการน้ำในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความต้องการน้ำระยะสั้นของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างตัวแบบจำลองโดยใช้เทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ในการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำ

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและออกแบบแบบจำลองพีชชีลอจิก แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองการวิเคราะห์หรีเกรสชันในการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นแบบรายวัน โดยใช้ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิตemperatur ความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนประชากร รูปแบบของวัน และรูปแบบของกิจกรรมของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

1.3.2 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองพีชชีลอจิก โครงข่ายประสาทเทียม และแบบจำลองการวิเคราะห์หรีเกรสชันในการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นแบบรายวันในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

1.3.3 วิเคราะห์ผลการพยากรณ์ เพื่อนำเสนอแนวทางในการวางแผนการผลิตน้ำภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ให้มีปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อความต้องการน้ำของผู้อุปโภคบริโภค

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้น้ำในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

1.4.2 ตัวแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์สามารถพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในอนาคตได้

1.4.3 สามารถวางแผนการผลิตน้ำจากอ่างเก็บน้ำเสริมเข้ามาในแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ให้มีความเพียงพอต่อการอุปโภคบริโภค

1.4.4 สามารถวางแผนการบำรุงรักษาระบบประปาโดยให้มีผลกระทบต่อผู้ใช้น้อยที่สุด

1.4.5 สามารถนำวิธีการที่ได้จากการวิจัยมาประยุกต์ใช้ในเขตพื้นที่หรือหน่วยงานอื่นๆ

## 1.5 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนของการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สามารถอธิบายสรุปได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้และมีแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวิจัยแสดงดังภาพประกอบ 1-4

### ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการพยากรณ์

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น ในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ เริ่มจากการศึกษาถึงแหล่งที่มาของน้ำที่จะนำมาใช้อุปโภคบริโภคภายในมหาวิทยาลัย ทั้งนี้แหล่งที่มาของน้ำมาจาก 2 แหล่งด้วยกัน คือ การประปาส่วนภูมิภาค และระบบการผลิตน้ำในมหาวิทยาลัย ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและดำเนินการงานวิจัย

### ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น ทำให้ทราบถึงวิธีการ รูปแบบจำลอง ตัวแปร และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีความสอดคล้องกับงานวิจัยทางด้านนี้ เพื่อที่จะสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### ขั้นตอนที่ 3 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลสามารถดำเนินการโดยการติดตามเก็บข้อมูลของปัจจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องการพยากรณ์ ทั้งข้อมูลในด้านปริมาณการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ข้อมูลการผลิตน้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ข้อมูลการนำจ่ายน้ำจากการประปาส่วนภูมิภาค และปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์การพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น

### ขั้นตอนที่ 4 การสร้างแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์

จากการรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนที่ 3 จะสามารถนำมาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น โดยใช้วิธีการปัญญาประดิษฐ์

### **ขั้นตอนที่ 5 การทวนสอบและเปรียบเทียบแบบจำลองปัญหาประดิษฐ์**

การทวนสอบแบบจำลองปัญหาประดิษฐ์ทำได้โดยใช้ข้อมูลเก่ามาเปรียบเทียบ เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพ และความแม่นยำของการพยากรณ์ หากการพยากรณ์มีประสิทธิภาพต่ำ จะทำการทวนสอบใหม่โดยดำเนินการปรับปรุงขั้นตอนที่ 4 จนกว่าแบบจำลองจะมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเป้าหมาย

### **ขั้นตอนที่ 6 การพยากรณ์ความต้องการน้ำในอนาคต**

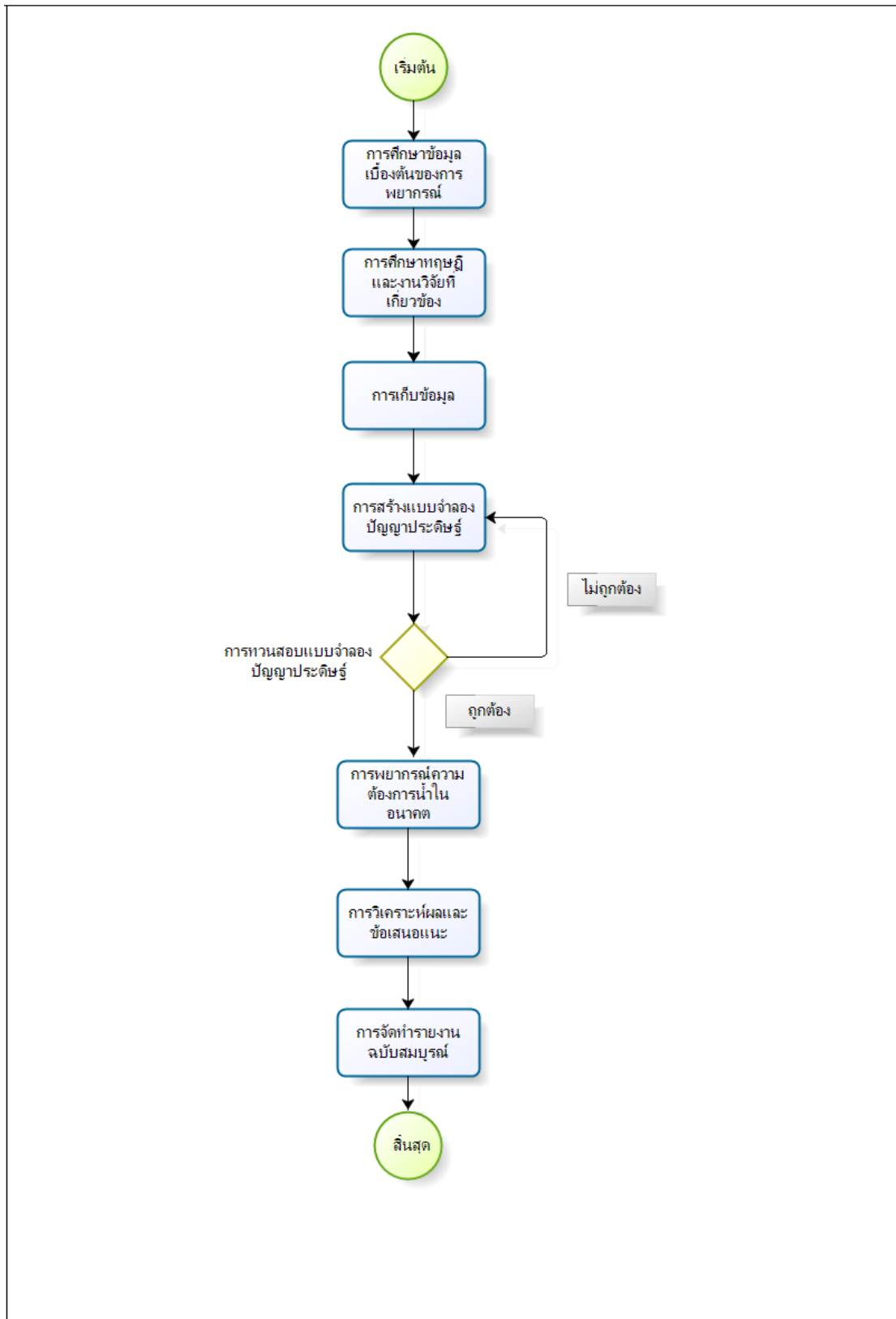
เตรียมข้อมูลสำหรับการพยากรณ์ให้ครบถ้วนเพื่อจะนำไปใช้กับแบบจำลองปัญหาประดิษฐ์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จัดเตรียมไว้ไปทำการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อชี้ให้เห็นถึงปริมาณความต้องการใช้น้ำในวันถัดไป

### **ขั้นตอนที่ 7 การวิเคราะห์ผลและข้อเสนอแนะ**

จากผลการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในอนาคตที่ได้ดำเนินการโดยใช้แบบจำลองปัญหาประดิษฐ์ ทำให้ทราบถึงปริมาณความต้องการน้ำในอนาคต และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงในปัจจุบัน จะชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ไปทำการวางแผนและคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องผลิต เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### **ขั้นตอนที่ 8 การจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์**

ผลการศึกษาถูกจัดทำเป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ของการพยากรณ์น้ำระยะสั้นของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา



ภาพประกอบ 1-4 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวิจัย



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

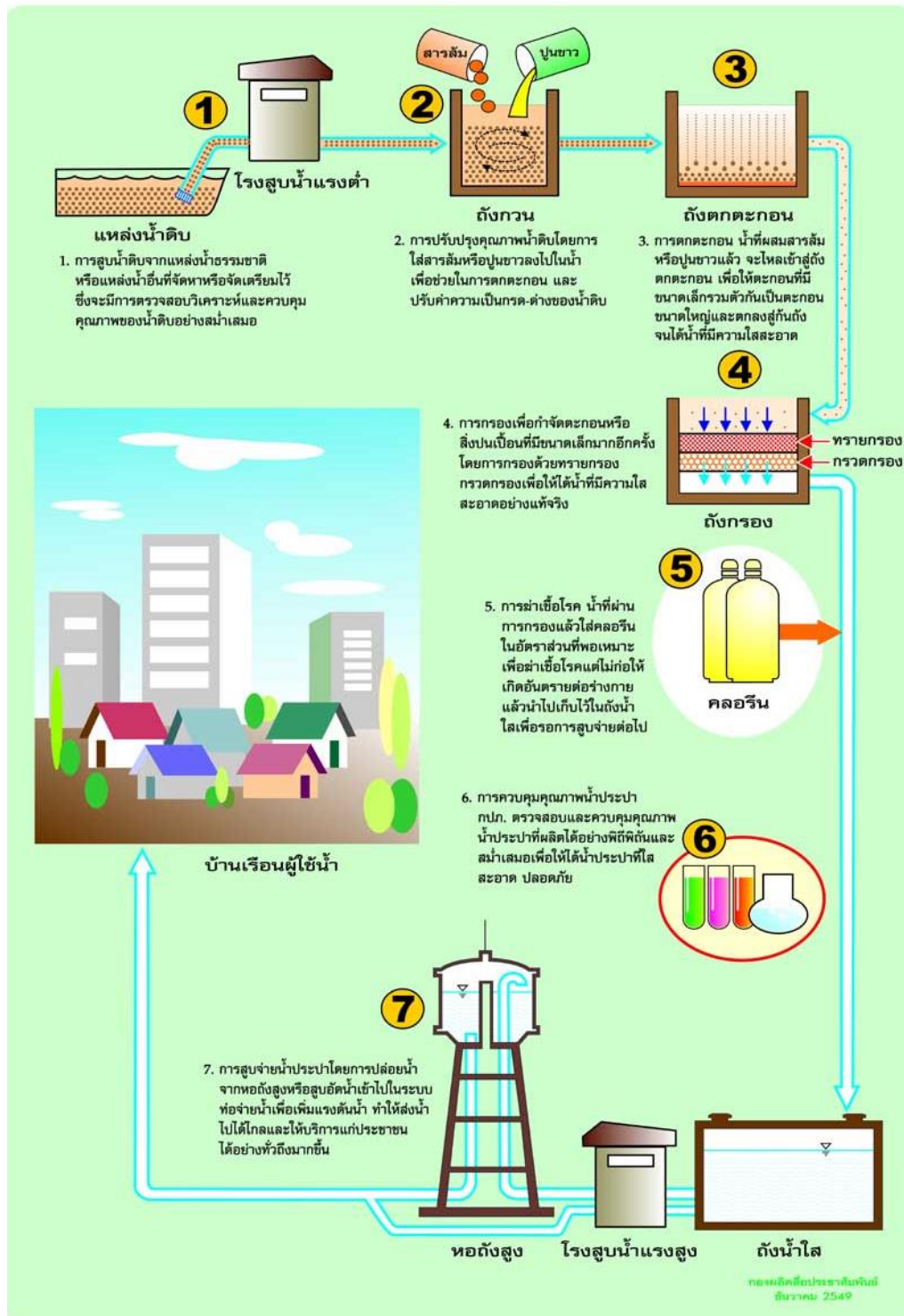
เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเนื้อหาโดยรวมจะกล่าวถึงการผลิตน้ำประปา และการพยากรณ์ ในส่วนของการพยากรณ์จะมีการจำแนกระยะเวลาของการพยากรณ์ นอกจากนี้ยังมีเนื้อหาเกี่ยวกับเทคนิคในการทำแบบจำลอง โดยส่วนประกอบของเนื้อหาทั้งหมดนี้จะทำให้เข้าใจในรายละเอียดและเห็นความสำคัญของการพยากรณ์มากขึ้น ดังนั้นการพยากรณ์การใช้น้ำประปาจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการวางแผนการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ

#### 2.1 การผลิตน้ำประปา

การผลิตน้ำประปา หมายถึง กระบวนการผลิตน้ำจากแหล่งน้ำดิบ โดยทำให้น้ำที่ผ่านกระบวนการมีสภาพที่เหมาะสมกับการอุปโภค และนำไปแจกจ่ายให้กับผู้บริโภค

##### 2.1.1 ระบบผลิตน้ำประปาแบบทั่วไป [2]

ระบบการผลิตน้ำประปาจากน้ำผิวดิน เป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่ไม่สูงมาก โดยกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากสูบน้ำจากแหล่งน้ำดิบไปยังถังกวน ซึ่งในกระบวนการนี้มีการใช้สารส้มและปูนขาวเพื่อเร่งการตกตะกอน หลังจากนั้นน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวจะมีการส่งต่อไปยังถังตกตะกอน (ขั้นตอนนี้ใช้เวลา 2-4 ชั่วโมงเพื่อรอการตกตะกอน) เมื่อน้ำมีการตกตะกอนลงสู่ก้นถังแล้วจะได้น้ำที่ใสสะอาด ขั้นตอนต่อไปจะเข้าสู่กระบวนการกรองน้ำด้วยทรายกรอง เพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่มีขนาดเล็กมากอีกครั้ง จากนั้นจะมีการใส่คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้เราก็จะได้น้ำที่มีคุณภาพซึ่งจะถูกนำไปเก็บไว้ที่หอถังสูงเพื่อเพิ่มแรงดันน้ำและพร้อมกับการนำไปแจกจ่ายให้แก่ผู้บริโภค โดยขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค แสดงดังภาพประกอบ 2-1



ภาพประกอบ 2-1 ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค [2]

### 2.1.2 ระบบการผลิตน้ำประปาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระบบการผลิตน้ำภายในมหาวิทยาลัยเป็นระบบที่ใช้ถังตกตะกอน Pulsator Clarifier เริ่มต้นจากการสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง (520,000 ลูกบาศก์เมตร) นำมากำจัดสิ่งเจือปน โดยมีการผสมสารส้ม ปูนขาว และคลอรีน เพื่อช่วยเร่งการตกตะกอนในถังตกตะกอนและฆ่าเชื้อ โดยบริเวณกลางถังจะเป็นการสร้างสุญญากาศ [3] (Vacuum chamber) โดยมีปั๊มลมดูดอากาศออก ทำให้ปริมาณน้ำสูงขึ้น เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่เหมาะสมจะทำการเปิดวาล์วเพื่อให้อากาศจากภายนอกเข้ามาเพื่อสร้างระดับน้ำขึ้นลง น้ำที่เข้ามาใหม่จะมีการรวมตัวของตะกอนกับตะกอนที่มีอยู่เดิมที่ก้นถัง ทำให้น้ำใสลอยขึ้นสู่ด้านบน หลังจากนั้นน้ำจะถูกนำส่งไปสู่ระบบกรองทราย เพื่อกรองตะกอนที่มีขนาดเล็กมาก เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้ว น้ำจะถูกนำส่งไปสู่แท็งก์น้ำขนาดกลาง (1,800 ลูกบาศก์เมตร) และถูกสูบไปเก็บไว้ในแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ (5,000 ลูกบาศก์เมตร) เพื่อรอการนำจ่ายไปสู่มหาวิทยาลัย โดยกระบวนการทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาจะใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง ดังที่แสดงในภาพประกอบ 2-2 ถึง 2-10



ภาพประกอบ 2-2 กระบวนการผลิตน้ำประปาในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่



ภาพประกอบ 2-3 อ่างเก็บน้ำศรีตรัง



ภาพประกอบ 2-4 ปั๊มดูดน้ำจากอ่างเก็บน้ำศรีตรัง



ภาพประกอบ 2-5 ถังตกตะกอน



ภาพประกอบ 2-6 จุดจ่ายสารเคมีไปยังถังตกตะกอน



ภาพประกอบ 2-7 ถังกรองทราย



ภาพประกอบ 2-8 แท็งค์น้ำขนาดกลาง





ภาพประกอบ 2-9 มอเตอร์สูบน้ำขึ้นแท็งก์ขนาดใหญ่ ภาพประกอบ 2-10 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่

## 2.2 การพยากรณ์

พัชรภรณ์ เลขยันต์ [4] ได้ให้ความหมายของการพยากรณ์ (Forecasting) เป็นการคาดคะเนลักษณะต่างๆ หรือ การคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคตโดยกำหนดเงื่อนไขหรือสภาวะที่จะพยากรณ์เหตุการณ์ในอนาคตโดยใช้ประวัติหรือข้อมูลที่ผ่านมามานำมาช่วยใช้ในการตัดสินใจ โดยสามารถสรุปแบ่งระยะเวลาในการพยากรณ์ได้ 3 ประเภทใหญ่ๆ

### 2.2.1 ระยะเวลาในการพยากรณ์ (Forecasting Time Horizons) [5][6]

2.2.1.1) การพยากรณ์ระยะสั้น (Short-Range Forecast) การพยากรณ์ชนิดนี้มีช่วงเวลาตั้งแต่ รายชั่วโมง รายวัน 1 สัปดาห์หรือหลายสัปดาห์ 1 เดือนหรือหลายเดือน มักจะใช้ประโยชน์ในการวางแผนการทำงานของเครื่องจักร (Machine Action Planning) การจัดการตารางการทำงาน (Job Scheduling) การวางแผนการซื้อ (Planning Purchasing) และระดับการผลิต (Production Levels)

2.2.1.2) การพยากรณ์ระยะปานกลาง (Medium-Range Forecast) ส่วนใหญ่การพยากรณ์ระยะกลางจะมีช่วงเวลาตั้งแต่ 3 เดือนจนถึง 3 ปี มักจะใช้ประโยชน์ในการวางแผนการซ่อมบำรุงเครื่องจักร (Machine Maintenance Planning) การวางแผนการบริหารเชื้อเพลิงการผลิต (Fuel Management) และการวางแผนด้านงบประมาณเงินสด (Cash Budgeting)

2.2.1.3) การพยากรณ์ระยะยาว (Long-Range Forecast) โดยทั่วไปการพยากรณ์ระยะยาวมักจะมีช่วงเวลาตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไปจนถึงหลายสิบปี ใช้ประโยชน์ด้านการวางแผนการขยาย

หน่วยการผลิตในอนาคต (Capacity Expansion Planning) การวางแผนสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ (New Products) และการใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Expenditures)

### 2.3 เทคนิคในการทำแบบจำลอง

การเลือกเทคนิคการทำแบบจำลองถือว่าเป็นหัวใจของการทำแบบจำลอง หากเลือกวิธีการที่ไม่สอดคล้อง จะทำให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีความคลาดเคลื่อนหรือไม่ตรงวัตถุประสงค์ โดยการสร้างแบบจำลองก็มีด้วยกันหลายวิธีการ เช่น วิธีการทางสถิติ วิธีการทางคณิตศาสตร์ วิธีการปัญญาประดิษฐ์

**2.3.1 วิธีการทางสถิติ** การวิเคราะห์สถิติจัดเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่สำคัญในการหาผลลัพธ์หรือข้อมูลเชิงตัวเลขที่ใช้ประกอบการตัดสินใจได้อย่างแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น เช่น การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น สหพันธ์เชิงเส้น เป็นต้น

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น [7] เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อตัวแปรตาม) และตัวแปรตาม (สิ่งที่ต้องการพยากรณ์) ซึ่งตัวแปรตามจะมีการเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรอิสระ โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย (Simple Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ตัวแปรอิสระ 1 ตัวเทียบกับตัวแปรตาม 1 ตัว แสดงดังสมการที่ 2-1

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (2-1)$$

โดย  $x$  = ตัวแปรอิสระ ,  $y$  = ตัวแปรตาม

$\beta_0, \beta_1$  = สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย

$\varepsilon$  = ค่าความผิดพลาด

2.3.1.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวขึ้นไปเทียบกับตัวแปรตาม 1 ตัว แสดงดังสมการที่ 2-2

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 \dots \beta_n x_n + \varepsilon \quad (2-2)$$

โดย  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  = ตัวแปรอิสระ ,  $y$  = ตัวแปรตาม

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  = สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย

$\varepsilon$  = ค่าความผิดพลาด

**2.3.2 วิธีการทางคณิตศาสตร์** เป็นวิธีการที่มีความซับซ้อนไม่มากนักโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์มาคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ ซึ่งการพยากรณ์ที่ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยโดยจะนำข้อมูลในอดีตมาใช้ในการพยากรณ์ เช่น ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Arithmetic Mean) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Smoothing Method)

2.3.2.1 วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่ [8] เป็นวิธีการที่นำข้อมูลมาเฉลี่ยแล้วเลื่อนกลุ่มของข้อมูลเพื่อหาที่ค่าต่อไป โดยวิธีการนี้จะช่วยลดอิทธิพลของเหตุการณ์ที่ผิดปกติให้มีค่าน้อยลงและทำให้ข้อมูลนั้นราบเรียบยิ่งขึ้น แสดงดังสมการที่ 2-3 ปกตินิยมใช้ข้อมูลที่เป็นเลขคู่ เพราะหาค่าเฉลี่ยที่ได้ตกลงตรงกลางพอดี ตัวอย่างเช่น การพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น

$$X_{t+1} = \frac{1}{n}(X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-n+1}) \quad (2-3)$$

โดย  $X_{t+1}$  = ข้อมูลที่ทำนาย,  $X_t$  = เป็นข้อมูลก่อนทำนาย,  $n$  = จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.3.2.2 วิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล เป็นวิธีการในการพยากรณ์ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแนวโน้มและมีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีการปรับค่าตัวแปรให้เรียบ 3 ค่า คือ ค่าคงที่ปรับระดับ ( $\alpha$ ) ค่าคงที่ปรับแนวโน้ม ( $\beta$ ) และค่าคงที่ปรับฤดูกาล ( $\gamma$ ) แต่ละตัวแปรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ใช้ในการปรับสมการให้มีความเรียบมากขึ้น

**2.3.3 วิธีการปัญญาประดิษฐ์** เป็นวิธีการที่สร้างความฉลาดเทียมให้กับสิ่งที่ไม่มีชีวิต โดยปัญญาประดิษฐ์จะมีความสามารถในการเรียนรู้ การให้เหตุผลและการปรับตัว เป็นต้น โดยวิธีการปัญญาประดิษฐ์มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย วิธีการฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Method) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network Method) และวิธีการนิวรอน-ฟัซซี (Neuro-Fuzzy Method) เป็นต้น

2.3.3.1 วิธีการฟัซซีลอจิก [9] [10] เป็นวิธีที่ช่วยการตัดสินใจภายในได้ความไม่แน่นอนของข้อมูล ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกจะประกอบไปด้วย ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) กฎของฟัซซี (Fuzzy Rule) และการประมวลผลของระบบฟัซซี

ฟัซซีเซต (Fuzzy Set) จะบอกถึงจำนวนทั้งหมดที่อยู่ในเซต ถ้าจำนวนนั้นอยู่ในเซตฟัซซีทั้งหมดจะมีค่าเป็น 1 แต่ถ้าไม่อยู่เลยจะมีค่าเป็น 0 ถ้าอยู่บ้างบางส่วนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อสื่อถึงความไม่แน่นอนมีค่าความเป็นสมาชิกในเซต

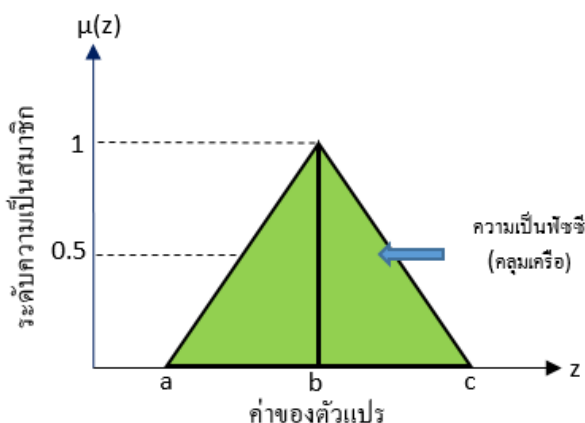
ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) เป็นการบอกถึงระดับความเป็นสมาชิก โดยเส้นที่มีความชันจะบอกถึงค่าความเป็นสมาชิกมีเหลือมกันระหว่างเซต การเหลือมนี้อาจมีสอง

เซตหรือมากกว่าก็ได้ ในการออกแบบระบบฟัซซีเราถือว่าฟังก์ชันสมาชิกเป็นส่วนที่สำคัญเพราะว่าเราต้องนำความรู้เข้ามากำหนดค่าความเป็นสมาชิก การเชื่อมของฟังก์ชันสมาชิกของแต่ละเซตจะบ่งบอกถึงความรู้ความชำนาญที่เราระบุลงในระบบโดยฟังก์ชันสมาชิกก็มีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ฟังก์ชันสามเหลี่ยม ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู ฟังก์ชันซิกมอยด์ ฟังก์ชันเกาส์เซียน เป็นต้น

ฟังก์ชันสมาชิกสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) นิยามได้ดังนี้

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

ฟังก์ชันสมาชิกสามเหลี่ยม เราสามารถเลือกตัวแปรพารามิเตอร์ ได้สามตัวแปร คือ  $a, b, c$  ดังแสดงได้ดังภาพประกอบ 2-11



ภาพประกอบ 2-11 ฟังก์ชันสมาชิกสามเหลี่ยม

กฎของฟัซซี (Fuzzy Rule) การสร้างกฎของฟัซซี จะนำความรู้หรือการวิเคราะห์ของมนุษย์มากำหนด ตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) โดยใช้หลักเหตุผลที่คล้ายแบบความคิดของมนุษย์ ซึ่งแสดงถึงค่าที่เป็นคำพูด เช่น น้อย ปานกลางหรือมาก เป็นต้น

กฎของฟัซซีประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือส่วน IF และส่วน THEN ค่าเงื่อนไขใน IF อินพุตหนึ่งและอินพุตสอง จะมีค่าระดับความเป็นฟัซซี และในส่วนของ THEN จะถูกประเมินค่าด้วยค่าระดับความเป็นสมาชิก ทุกเงื่อนไขในส่วน IF จะถูกประเมินพร้อมๆ กันและรวมกันด้วยปฏิบัติการทางเซต (เช่น AND หรือ OR)



การกำหนดให้ระบบฟัซซี่ มี 2 อินพุต และ 1 เอาต์พุต

IF Input1 (Low) AND input2 (Low) THEN output (Low)

IF Input1 (Low) AND input2 (Medium) THEN output (Medium)

IF Input1 (Medium) AND input2 (High) THEN output (High)

การประมวลผลของระบบฟัซซี่ [11] จะมีรูปแบบขั้นตอนโดยทั่วไปอยู่ 5 ส่วน

1) การแปลงอินพุตให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์ (Normalization) ข้อมูลที่เก็บมาหรือ วัตถุประสงค์ของตัวแปรอินพุตทำการแปลงให้อยู่ในเอกภพสัมพัทธ์

2) การแปลงค่าฟัซซี่ (Fuzzification) การแปลงเอกภพสัมพัทธ์ที่ต้องการ เปลี่ยนเป็นอินพุตในระบบฟัซซี่ หรือ เรียกว่า ตัวแปรเชิงภาษา

3) การอนุมานกฎ (Inference engine) เป็นการรวมค่าฟัซซี่จากอินพุต เริ่มจากการ ประเมินค่าของตัวแปรอินพุตที่ได้ในกฎของฟัซซี่ ในส่วน IF เพื่อทำการประเมินว่าค่าเงื่อนไขจาก อินพุตนั้น จะทำให้กฎใดต้องกระทำในส่วน THEN ต่อไป ซึ่งอาจจะมีกฎในเงื่อนไขดังกล่าว มากกว่าหนึ่งกฎพร้อมๆ กันก็ได้ และทำการรวมค่าฟัซซี่เอาต์พุตจากกฎทุกข้อเพื่อให้ได้ค่าฟัซซี่ เอาต์พุตของระบบ

4) การแปลงค่าฟัซซี่กลับ (Defuzzification) ทำการแปลงค่าเอาต์พุตฟัซซี่ให้อยู่ใน เอกภพสัมพัทธ์ของเอาต์พุต

5) การแปลงเอกภพสัมพัทธ์เป็นเอาต์พุต (Denormalization) การแปลงค่าเอกภพ สัมพัทธ์ให้อยู่ในรูปที่สามารถใช้งานได้จริง เช่น ค่าสัญญาณแรงดัน ค่าปริมาณการใช้น้ำ ระดับน้ำ ฯลฯ

2.3.3.2 วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม [12] เป็นการจำลองการทำงานของสมอง มนุษย์ มนุษย์นั้นมีความสามารถในการเรียนรู้สิ่งต่างๆ ทั้งจากการเรียนรู้จากประสบการณ์ด้วย ตนเองและการเรียนรู้โดยมีผู้สอน เป็นต้น มนุษย์ได้มีแนวความคิดความต้องการที่จะให้ คอมพิวเตอร์มีความชาญฉลาดในการเรียนรู้เหมือนมนุษย์ที่มนุษย์ได้มีการเรียนรู้ความสามารถใน การฝึกฝนเพื่อนำความรู้และทักษะนำไปแก้ปัญหาคือ

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบไปด้วย จำนวนชั้นของโครงสร้าง ของข่ายงานระบบประสาทได้แก่ 1) ชั้นอินพุต (Input layer) จะมีจำนวน 1 ชั้น โดยมีจำนวน โหนด ของชั้นอินพุต จะเท่ากับจำนวนตัวแปรอินพุต (Input variable) 2) ชั้นซ่อน (Hidden layer) ต้องมี อย่างน้อย 1 ชั้นซ่อน โดย Guo และ Dooley (1992) [13] กล่าวว่า การกำหนดจำนวนชั้นซ่อนที่ เหมาะสมสำหรับโครงสร้างของข่ายงานระบบประสาท นั้นไม่มีกฎเกณฑ์แน่นอน และในชั้นนี้ยังมี

ฟังก์ชันการกระตุ้น โดยค่าของเอาต์พุตที่ออกมาขึ้นอยู่กับการใช้ฟังก์ชันการกระตุ้น เช่น ฟังก์ชัน Hyperbolic tangent ฟังก์ชันกระตุ้น Sigmoid เป็นต้น 3 ชั้นเอาต์พุต (Output layer) จะมีจำนวน 1 ชั้น โดยมีจำนวนโหนดชั้นเอาต์พุต ขึ้นอยู่กับรูปแบบ (Pattern) ของตัวแปรเอาต์พุต (Output variable) ที่ต้องการ โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมถูกจำลองโดยมีนำข้อมูลอินพุต เข้าไปยังแบบจำลองค่าที่เข้ามาจะคูณจะค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแสดงความสำคัญของอินพุต แต่ละตัว ผลคูณระหว่างอินพุตกับค่าน้ำหนักจะถูกนำไปวิเคราะห์ในฟังก์ชันกระตุ้นและตีความเกิดเป็นค่าเอาต์พุต

2.3.3.3 วิธีการนิวโรฟัซซี [14] เป็นวิธีการที่นำข้อดีของฟัซซีลอจิกที่มีการใช้เหตุผลเชิงตรรกะเหมือนความคิดมนุษย์แต่ไม่สามารถเรียนรู้และปรับแต่งกฎได้ด้วยตัวเองผสมกับข้อดีของโครงข่ายประสาทเทียมในการจดจำรูปแบบการเรียนรู้แต่ไม่สามารถที่จะอธิบายหรือให้เหตุผลในการตัดสินใจได้ การผสมจะเป็นการนำข้อดีของแต่ละวิธีมารวมกันเพื่อที่จะกำจัดข้อด้อย โดยโครงสร้างหลักสามารถแบ่งได้เป็น 5 ชั้น

ชั้นที่ 1 จะเป็นการแปลงข้อมูลอินพุตเป็นค่าความเป็นฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซี เช่น ฟังก์ชันรูประฆังคว่ำ (Bell-shaped function) ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian function) เป็นต้น ไปส่งต่อไปยังชั้นถัดไป

ชั้นที่ 2 จะเป็นการเชื่อมโยงฟัซซีแต่ละมิติรวมกัน โดยการคูณสัญญาณเข้าด้วยกัน และส่งค่าฟัซซีผลคูณเป็นสัญญาณออกไปยังชั้นถัดไป

ชั้นที่ 3 จะเป็นการรวมค่าของกฎของฟัซซีให้มีค่าเท่ากับหนึ่ง โดยนำกฎแต่ละข้อของฟัซซีหารด้วยผลรวมของกฎฟัซซีทั้งหมด

ชั้นที่ 4 จะเป็นการคำนวณผลลัพธ์จากกฎของฟัซซี

ชั้นที่ 5 จะเป็นชั้นแสดงค่าเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมทำหน้าที่รวมสัญญาณเข้า

## 2.4 การทำแบบจำลอง

ในการทำแบบจำลองต้องทราบถึงวัตถุประสงค์ในการสร้างเพื่อให้ได้แบบจำลองที่ตรงตามความต้องการ โดยใช้ความเข้าใจ ความรู้ ความชำนาญเพื่อสร้างแบบจำลองที่เลียนแบบระบบจริง โดยจะเน้นความคิดของผู้สร้างและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งต้องอาศัยการเก็บข้อมูลจากพื้นที่จริงเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองตามวัตถุประสงค์ หากแบบจำลองที่สร้างไม่สามารถหาคำตอบได้ตามความต้องการ กระบวนการก็จะมีการย้อนกลับไปสู่การทำแบบจำลองใหม่อีกครั้ง เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถหาคำตอบได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของผู้สร้าง และจะถือเป็นการสิ้นสุดกระบวนการในการสร้างแบบจำลอง โดยจะมีขั้นตอนการทำแบบจำลองได้ดังนี้

### ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของแบบจำลอง

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของแบบจำลองเพื่อใช้กำหนดรูปแบบและเลือกใช้ข้อมูลที่เหมาะสมของแบบจำลอง

### ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองเพื่อให้ทราบถึงวิธีการ รูปแบบจำลอง ตัวแปร และปัจจัยอื่นๆเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลอง

### ขั้นตอนที่ 3 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลสามารถดำเนินการได้โดยการติดตามเก็บข้อมูลของปัจจัยต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องกับแบบจำลอง เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ในการสร้างแบบจำลอง

### ขั้นตอนที่ 4 การสร้างแบบจำลองปัญหาประดิษฐ์

การรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนที่ 3 จะสามารถนำมาสร้างแบบจำลองปัญหาประดิษฐ์โดยกำหนดตัวแปรที่จะเป็นข้อมูลอินพุตและข้อมูลเอาต์พุตให้มีความเหมาะสมกับแบบจำลอง

### ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบการทำงานของแบบจำลอง

การทดสอบการทำงานของแบบจำลองเป็นการนำข้อมูลเก่าที่ใช้สร้างแบบจำลองมาทำการทดสอบแบบจำลองว่าแบบจำลองมีการคำนวณได้ตามความต้องการหรือไม่ หากคำตอบไม่ตรงความต้องการต้องกลับไปสร้างแบบจำลองใหม่ (ขั้นตอนที่ 4)

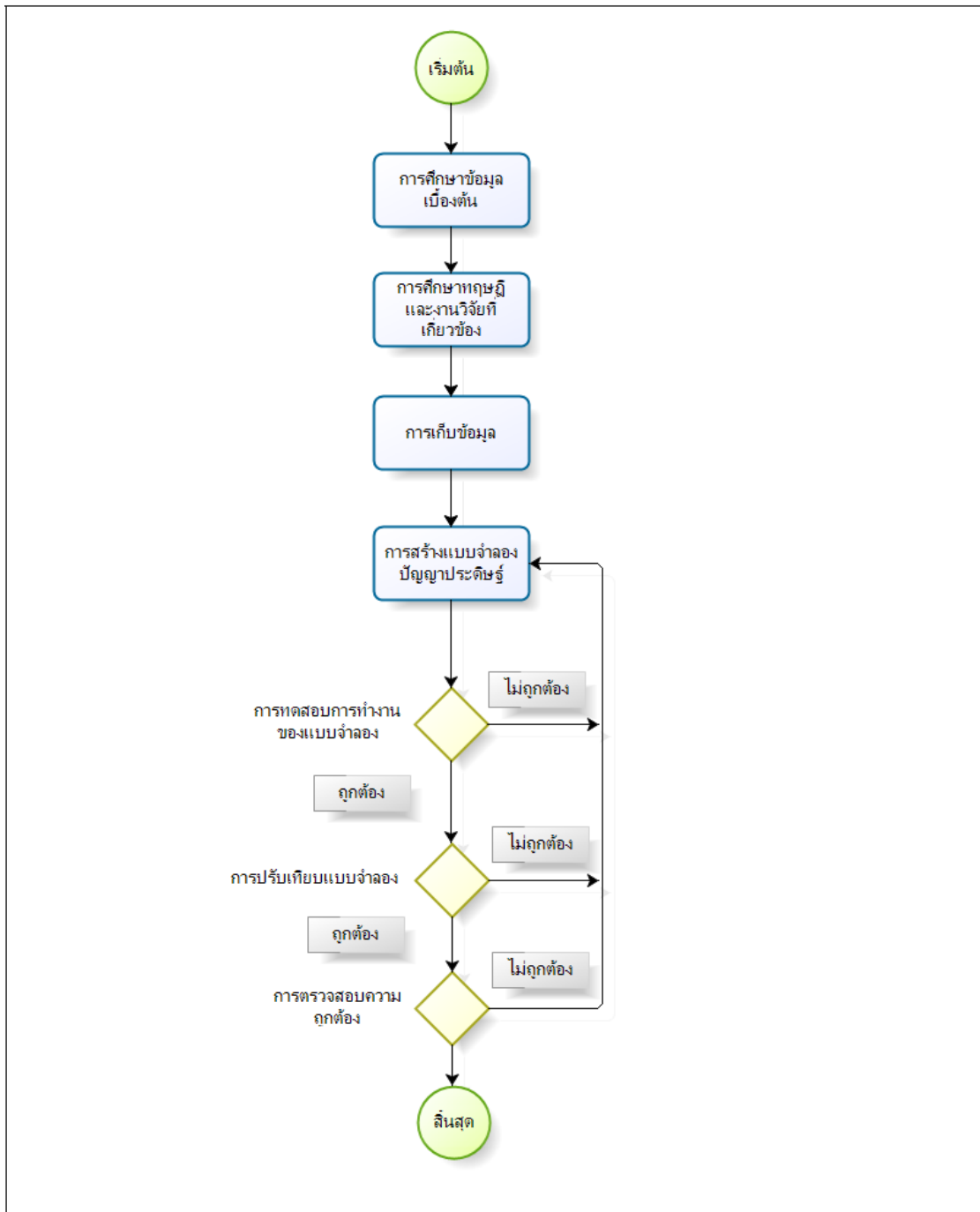
### **ขั้นตอนที่ 6 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)**

แบบจำลองปัญหาประดิษฐ์ไม่สามารถเลียนแบบสถานการณ์จริงหรือเหตุการณ์จริงได้ 100 % จึงมักจะมีคลาดเคลื่อนจากค่าความเป็นจริง จึงจำเป็นต้องมีการปรับเทียบตัวแปรในแบบจำลอง โดยมีการทดสอบการตอบสนองของตัวแปรภายในที่มีการเปลี่ยนแปลงตามแบบจำลอง (Sensitivity Analysis) โดยปรับตัวแปรที่มีความไวในการผันแปรให้มีความเหมาะสมตามค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรนั้น

### **ขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบความถูกต้อง (Validation)**

เป็นการพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง โดยทำการทดสอบการทำงานของแบบจำลองว่าสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานะต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป หากแบบจำลองสามารถให้ค่าที่ออกมาถูกต้องและมีความสมเหตุสมผล สามารถนำแบบจำลองนั้นไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆได้

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นถึงขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 7 เราสามารถแสดงลำดับขั้นตอนทั้งหมดของการทำแบบจำลอง ดังที่แสดงในภาพประกอบ 2-12

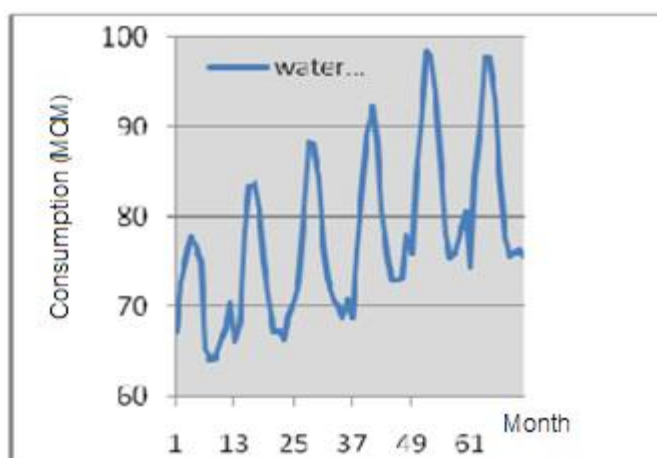


ภาพประกอบ 2-12 ลำดับขั้นตอนการทำแบบจำลอง

## 2.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

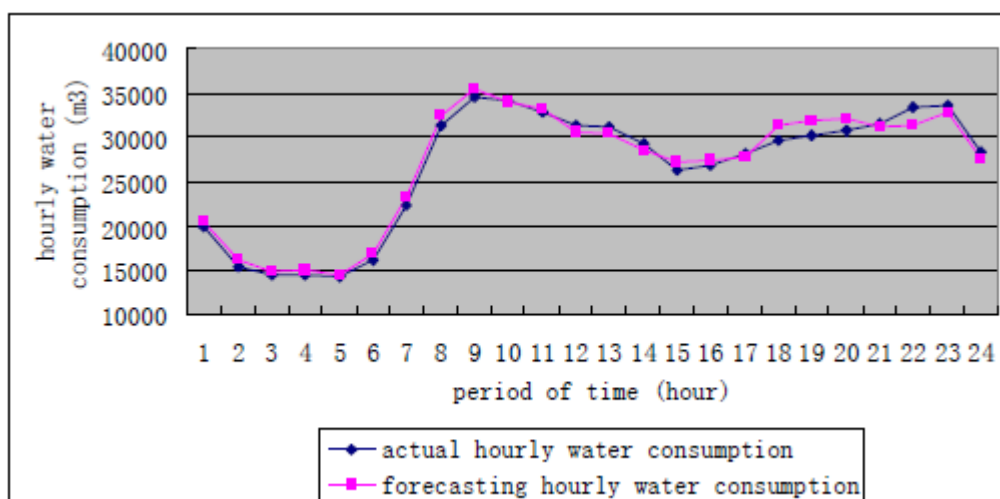
ในหัวข้อนี้จะอธิบายการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น โดยแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นมีด้วยกันหลายวิธี จากการทบทวนวรรณกรรมวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ การใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) และการวิเคราะห์หรีเกรสชัน (Regression Analysis) ทั้งนี้ยังมีวิธีการอื่นอีก เช่น การใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Arithmetic Mean) วิธีการปรับให้เรียบเอกโพเนนเชียล (Smoothing Method) ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) ฯลฯ

Vida Varahrami นำเสนอการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นแบบรายเดือนของเมืองเตหะราน ประเทศอิหร่าน [15] ซึ่งมีประชากรที่เพิ่มและมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ในการพยากรณ์ได้มีการเก็บข้อมูลจากการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียของบริษัทในเมืองเตหะราน โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 72 เดือน (2547 ถึง 2552) ได้มีการใช้แบบจำลองที่ 1 ของโครงข่ายประสาทเทียมเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ 2 ของโครงข่ายประสาทเทียม Group Method of Data Handling (GMDH) โดยมีการเรียนรู้แบบ Genetic Algorithm (GA) ลักษณะข้อมูลที่น่ามาใช้เป็นรูปแบบของฤดูกาลซึ่งมีความเหมาะสมกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จึงทำให้การพยากรณ์ความต้องการน้ำที่เป็นแนวโน้มตามฤดูกาลมีความแม่นยำมาก ทั้งนี้สามารถนำไปปรับใช้เพื่อวางแผนออกแบบและสร้างระบบการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพ โดยภาพประกอบ 2-13 จะเป็นภาพแสดงลักษณะข้อมูลรายเดือนที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่มีลักษณะเป็นแนวโน้มตามฤดูกาล



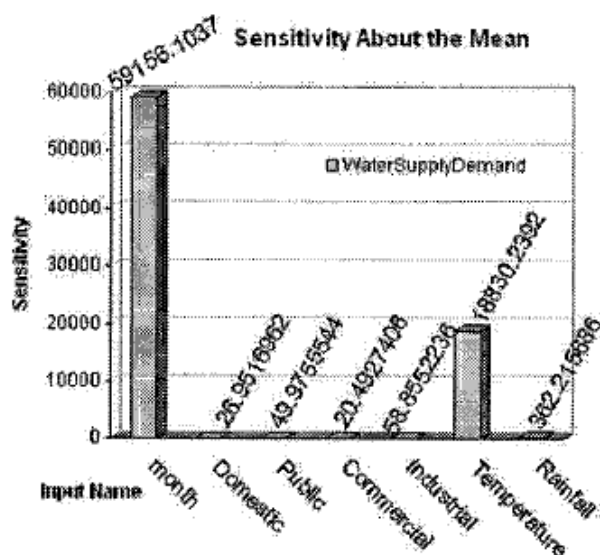
ภาพประกอบ 2-13 แนวโน้มค่าความต้องการน้ำแบบรายเดือนของเมืองเตหะราน ประเทศอิหร่าน (2547 ถึง 2552) [15]

Jianhua liu นำเสนอการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นแบบรายชั่วโมงและทุก 15 นาที ของเมืองเจิ้งโจว ประเทศจีน [8] จะเห็นได้ว่ามีการใช้ข้อมูลในระยะเวลาที่ไม่มากนักโดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ 1 มกราคม 2551 ถึง 15 มิถุนายน 2551 นอกจากนี้ยังมีข้อมูลเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยผู้ใช้น้ำ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดในวันพยากรณ์, การใช้น้ำตามช่วงเวลา และรูปแบบของวัน การพยากรณ์มีแบบจำลองด้วยกัน 3 แบบ คือ วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบจำลองการวิเคราะห์หรีเกรสชัน และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม การพยากรณ์นี้เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้น้ำในช่วงเวลานั้นๆ เพื่อที่จะสามารถนำผลจากการพยากรณ์ไปในการวางแผนและจัดตารางเวลาในการผลิตน้ำให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่ต้องการ จากภาพประกอบ 2-14 จะแสดงให้เห็นลักษณะการใช้น้ำตามช่วงเวลา จาก 7 นาฬิกาเป็นต้นไปจะมีการใช้น้ำมากขึ้นสลับกับลดลงเล็กน้อยตามช่วงเวลาจนถึง 23 นาฬิกาหลังจากนั้นการใช้น้ำจะลดลง



ภาพประกอบ 2-14 ผลการพยากรณ์ความต้องการน้ำรายชั่วโมงโดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (วันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2551) [8]

คู่มือ ควมมาตย์พล นำเสนอความต้องการน้ำระยะยาวของการประปาส่วนภูมิภาค เขต 7 (อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู เลย สกลนคร และนครพนม) ประเทศไทย [5] โดยอาศัย ข้อมูลในอดีตนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐาน ได้แก่ ข้อมูลการใช้รายเดือน ข้อมูลจำนวนผู้ใช้น้ำ ข้อมูล อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยและข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลการใช้ร่างกายในท้องถิ่น ข้อมูลการใช้ร่างกายใน สาธารณะ ข้อมูลการใช้ร่างกายเพื่อการเศรษฐกิจ ข้อมูลการใช้ร่างกายเพื่อการอุตสาหกรรม ซึ่งใช้ข้อมูลการ เรียนรู้จำนวน 60 เดือน ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 – 2547 ซึ่งได้มีการใช้ตัวแบบพยากรณ์ความต้องการใช้ น้ำประปาด้วยกันสองวิธี คือ ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น และตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม และ ใช้ข้อมูล 12 เดือนของปี พ.ศ.2548 เป็นข้อมูลในการทดสอบ ทั้งนี้การศึกษาและการเก็บข้อมูล ดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถทราบถึงปริมาณการใช้ร่างกายในพื้นที่ของการประปาส่วน ภูมิภาคเขต 7 เพื่อนำผลของการพยากรณ์ไปต่อยอดในการช่วยแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำซึ่งมีผล มาจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและการเติบโตทางเศรษฐกิจ อีกทั้งเพื่อวิเคราะห์ ปรับปรุงและ วางแผนเกี่ยวกับระบบการผลิตน้ำในระยะยาว นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ความไว (Sensitivity) โดยมี ค่าสูงสุด 3 ลำดับ คือ การใช้ร่างกายรายเดือน อุณหภูมิ และปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระบบ มากที่สุดดังที่แสดงในภาพประกอบ 2-15



ภาพประกอบ 2-15 ผลการวิเคราะห์ความไวในความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อ ข้อมูลนำออกประมาณการใช้ร่างกายประปา [5]



Alaa H. Aly นำเสนอการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นสองวิธีการในรัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา [16] โดยการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นว่ามีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อพยากรณ์ เช่น ฤดูกาลและสภาพภูมิศาสตร์ (ฤดูกาลที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการใช้น้ำ เช่น ฤดูร้อนจะมีการใช้น้ำอุปโภคบริโภคมากกว่าฤดูหนาว) ปัจจัยสภาพอากาศรายวัน (ปริมาณน้ำฝน, อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์), กิจกรรมแต่ละวัน (วันทำงานตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันศุกร์, วันหยุดประจำสัปดาห์ (วันเสาร์-วันอาทิตย์) และวันหยุดประจำปี เช่น วันปีใหม่ เป็นต้น โดยได้ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ 1 มกราคม 2534 ถึง 1 มกราคม 2540 โดยใช้วิธีการดังนี้

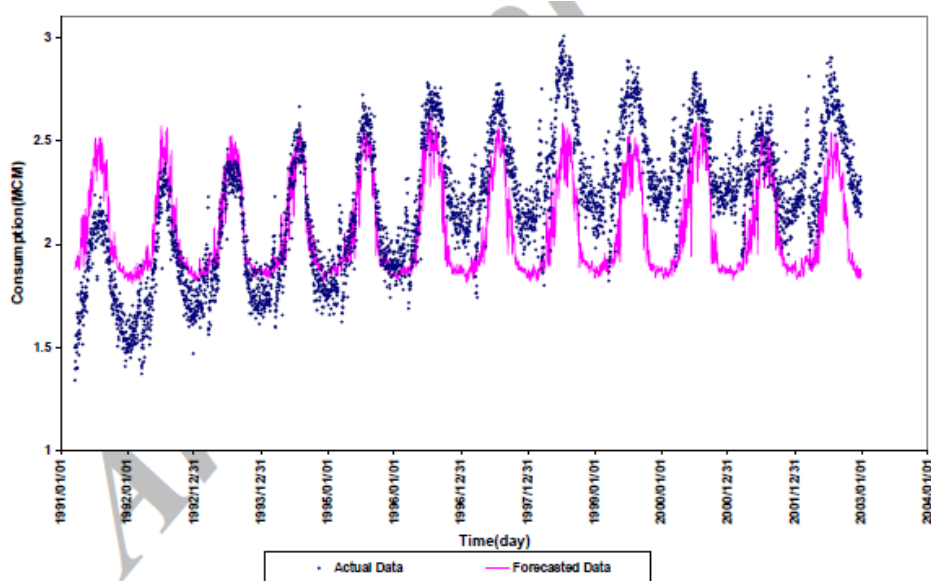
วิธีการที่ 1 การพยากรณ์ความต้องการน้ำรายเดือนใช้ซึ่งวิธีการปรับให้เรียบเอกโพเนนเชียล (Smoothing Method) จัดเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) โดยการนำข้อมูลในอดีตมาทำการวิเคราะห์หาค่าประกอบ โดยมีพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ 3 ค่า คือ ค่าคงที่ปรับระดับ ค่าคงที่ปรับแนวโน้มและค่าคงที่ปรับฤดูกาล เพื่อกำหนดตัวแบบจำลองใช้ในการพยากรณ์ค่าในอนาคต

วิธีการที่ 2 การวิเคราะห์รีเกรสชัน (Regression Analysis) จัดเป็นเทคนิคทางสถิติ โดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง ค่าเบี่ยงเบนก่อนวันทำนายหนึ่งวันและเจ็ดวัน ค่าปริมาณน้ำฝนรายเดือน ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์รายเดือน ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าเบี่ยงเบนรายวันบวกกับค่าเฉลี่ยรายเดือนเพื่อพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นแบบรายวัน

รูปแบบการพยากรณ์ทำให้สามารถทราบถึงปริมาณการใช้น้ำระยะสั้น โดยวิธีการนี้ได้มีการนำไปปรับใช้กับ Tampa Bay Water ซึ่งเป็นผู้นำจ่ายน้ำรายใหญ่ของฟลอริดา ผลของการพยากรณ์ให้ผลที่แม่นยำ สามารถทราบได้ถึงปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในระยะเวลาที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นรายวันหรือรายสัปดาห์ เพื่อให้สามารถวางแผนการผลิตน้ำให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับความต้องการ

Tabesh นำเสนอแบบจำลองการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะแบบรายวัน ของเมืองเดहरาน ประเทศอิหร่าน [17] ซึ่งเป็นประเทศที่พบกับวิกฤตการขาดแคลนน้ำ โดยมีเก็บข้อมูลจากการใช้น้ำและปริมาณน้ำเสียของบริษัทของเมืองเดहरาน ได้นำเสนอวิธีการ 2 วิธีในการพยากรณ์ คือ วิธีการที่ 1 ฟัชชีลอจิก เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หลักการเหตุผลเชิงตรรกะในการตัดสินใจภายใต้ความคลุมเครือที่ไม่ชัดเจน มีฟังก์ชันสมาชิกที่เป็นอินพุต ได้แก่ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิรายวัน ความชื้นสัมพัทธ์ และการใช้น้ำรายวันของปีที่ผ่านมา วิธีการที่ 2 นิรอน-ฟัชชี เป็นการนำข้อดีของนิรอนที่มีความสามารถในการเรียนรู้จากข้อมูลในอดีตผสมกับข้อดีของฟัชชีที่มีการให้เหตุผลเชิงตรรกะซึ่งมีความสอดคล้องกับความคลุมเครือ ช่วยในการตัดสินใจสิ่งที่ไม่ชัดเจน

ได้ทำการออกแบบจำลองนิวรอน-พีชชีจะมีด้วยกันหลายแบบจำลองเพื่อแสดงให้เห็นถึงแบบจำลองที่มีตัวแปรที่แตกต่างกันมีผลต่อความแม่นยำในการพยากรณ์ ดังนั้นการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูงจะสามารถปรับแผนการใช้น้ำให้เพียงพอกับปริมาณน้ำที่มีอยู่ และส่งผลให้สามารถใช้น้ำได้อย่างคุ้มค่าที่สุด จากภาพประกอบ 2-16 จะแสดงถึงการใช้งานน้ำของเมืองเตหารานที่ผ่านมาในช่วงกลางปีจะมีการใช้น้ำปริมาณมากเมื่อเปรียบกับต้นปีและปลายปี



ภาพประกอบ 2-16 การพยากรณ์แบบจำลองนิวรอน-พีชชี (NF1) [17]

จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งหมด กล่าวถึงกรณีศึกษาและการพยากรณ์การใช้น้ำ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 การทบทวนวรรณกรรมของแบบจำลองการพยากรณ์การใช้น้ำ

ผู้วิจัย	พื้นที่	ระยะเวลาของข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง	ปัจจัยทางด้านอินพุต	ค่าที่พยากรณ์	วิธีการ/แบบจำลอง	เกณฑ์ในการเปรียบเทียบความแม่นยำ	ผลการวิจัย
Vida Varahrami [15](2556)	เมืองเดहरาน ประเทศอิหร่าน	พ.ศ. 2547 - พ.ศ. 2551	ปริมาณน้ำและน้ำเสียจากบริษัทต่างๆในเมืองเดहरาน	ค่าความต้องการน้ำรายเดือน	แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และ โครงข่ายประสาทเทียมแบบ GMDH	RMSE, MAE, MAPE	1)แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำสูง 2)แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ GMDH มีความแม่นยำระดับสูงมาก
ดุสิต ดวงมาตย์พล [5](2549)	การประปาส่วนภูมิภาคเขต 7 ประเทศไทย	พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2547	การใช้น้ำรายเดือน,การใช้น้ำภายในท้องถิ่น,การใช้น้ำในด้านสาธารณะ,การใช้น้ำในด้านเศรษฐกิจ,การใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรม,อุณหภูมิต่ำ, ปริมาณน้ำฝน	ค่าความต้องการน้ำรายเดือน	1)แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 2)แบบจำลองการวิเคราะห์รีเกรสชัน	MSE, % Error	1)แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำปานกลาง 2)แบบจำลองการวิเคราะห์รีเกรสชันมีความแม่นยำระดับต่ำ
Jianhua liu [8](2553)	เมืองเจิ้งโจว ประเทศจีน	7-9 กรกฎาคม 2551 (วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่)	ค่าการใช้น้ำรายชั่วโมงและค่าการใช้น้ำราย 15 นาที	ค่าความต้องการน้ำรายชั่วโมงและทุก 15 นาที	1)วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 2)แบบจำลองการวิเคราะห์รีเกรสชัน 3)แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	MAE, MAPE	1)แบบจำลองใช้วิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มี ความแม่นยำระดับปานกลาง 2)แบบจำลองการวิเคราะห์รีเกรสชันมีความแม่นยำระดับสูง 3)แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำระดับสูง
		1 มกราคม – 15 มิถุนายน 2551 (การวิเคราะห์รีเกรสชัน,โครงข่ายประสาทเทียม)	ค่าการใช้น้ำรายชั่วโมง, ค่าการใช้น้ำรายราย 15 นาที, ค่าอุณหภูมิสูงสุด,ค่าอุณหภูมิต่ำสุด และค่ารูปแบบวัน				

Alaa H. Aly and Nisai Wanakule [16](2547)	รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา	พ.ศ. 2534 – พ.ศ. 2540	ค่าระดับน้ำเฉลี่ยรายเดือน, ค่าแนวโน้มเฉลี่ยรายเดือน, ค่าฤดูกาลของเดือน (วิธีการปรับให้เรียบ)	ค่าความต้องการน้ำรายเดือน	1)วิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล	Correlation, Autocorrelation, U	1)แบบจำลองวิธีการปรับให้เรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลให้ความแม่นยำที่สูง 2)แบบจำลองการวิเคราะห์รีเกรสชันให้ความแม่นยำที่สูง
			ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำรายเดือน, ค่าการเบี่ยงเบนค่าเฉลี่ยรายวัน (ค่าเบี่ยงเบนหลัง 1 วันและ 1 อาทิตย์, ค่าอุณหภูมิ, ค่าปริมาณน้ำฝนของเดือน, ค่าความชื้นสัมพัทธ์)	ค่าความต้องการน้ำรายวัน	2)แบบจำลองการวิเคราะห์รีเกรสชัน		
M.TABESH [17](2552)	เมืองเตหะราน ประเทศอิหร่าน	1 ปี (พีชชีลจิก)	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน, ค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าการใช้น้ำรายวันของปีที่ผ่านมา	ค่าความต้องการน้ำรายวัน	1)แบบจำลองพีชชีลจิก	MSE, NMSE, $R^2$ , MAPE	1)แบบจำลองพีชชีลจิกมีความแม่นยำระดับปานกลาง 2)แบบจำลองนิวรอน-พีชชีมีความแม่นยำระดับสูง
		พ.ศ. 2534 – พ.ศ. 2541	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ, ค่าความชื้นสัมพัทธ์, ค่าการใช้น้ำหลัง 1 วัน, 2 วัน, 3 วัน, 4 วัน, 5 วัน, 6 วัน, ค่าการใช้น้ำหลัง 1 อาทิตย์, ค่าการใช้น้ำหลัง 1 ปี, ตัวแปรอื่น		2)แบบจำลองนิวรอน-พีชชี		

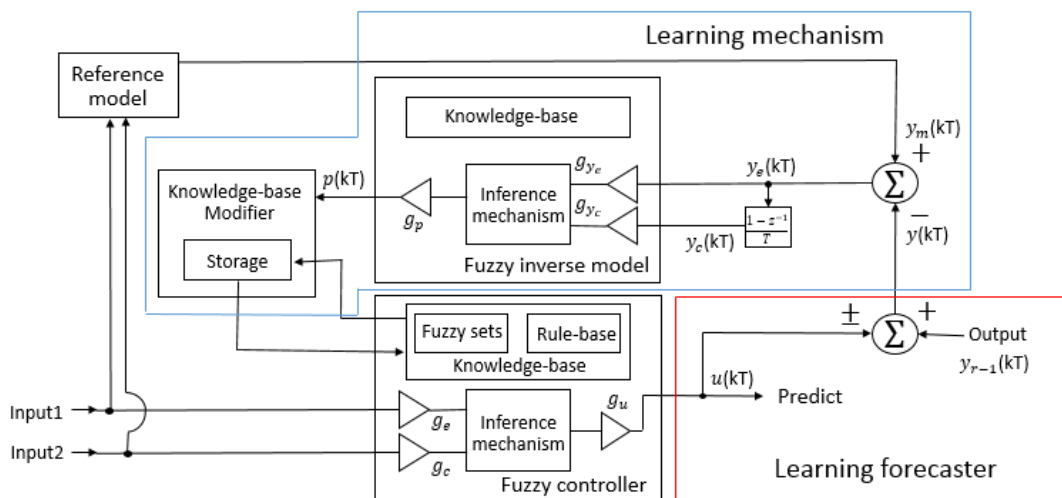
### บทที่ 3

#### ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ทฤษฎี การออกแบบ และการทดสอบตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงเพื่อใช้พยากรณ์การใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของปัจจัยของข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำและข้อมูลกิจกรรมในการพยากรณ์การใช้น้ำรายวันเปรียบเทียบกับพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นและโครงข่ายประสาทเทียม

#### 3.1 ทฤษฎีตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

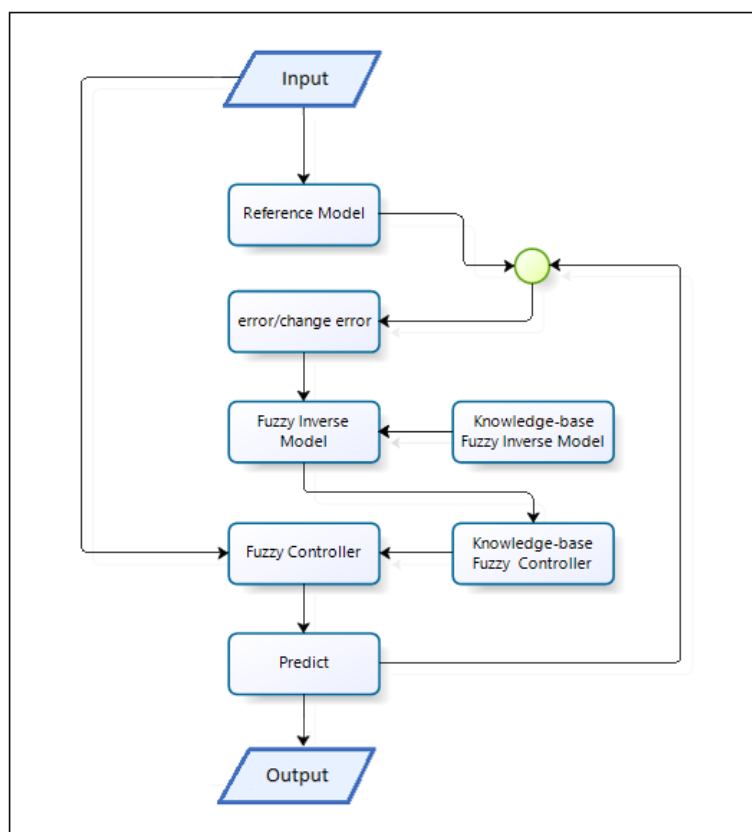
ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง (Fuzzy Model Reference Learning Forecaster, FMRLF) เป็นการใช้พื้นฐานทฤษฎีฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic) และวิธีการที่พัฒนาขึ้นจากตัวควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง (FMRLC) [18] โดยเพิ่มในส่วนของ การเรียนรู้จากผลการพยากรณ์และเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้จากการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนในอดีต โครงสร้างวิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิงแสดงดังภาพประกอบ 3-1 มีส่วนประกอบสำคัญทั้งหมด 4 ส่วน คือ การควบคุมฟัซซี (Fuzzy controller) โมเดลอ้างอิง (Reference model) กลไกการเรียนรู้ (Learning mechanism) และมีการเพิ่มในส่วนของ การพยากรณ์จากการเรียนรู้ (Learning forecaster)



ภาพประกอบ 3-1 วิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

### กระบวนการทำงานของตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

วิธีการทำงานของตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงจะเริ่มต้นจากกลไกการเรียนรู้จากโมเดลอ้างอิงที่รับค่าข้อมูลมาจากอินพุต 1 (*Input1*) และ อินพุต 2 (*Input2*) นำไปใช้ในการสร้างโมเดลอ้างอิง  $y_m(kT)$  ลบกับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $y(kT)$  ที่ได้ทำการพยากรณ์ในครั้งก่อน  $u(kT)$  เปรียบเทียบกับการค่าจริงในครั้งก่อน  $y_{r-1}(kT)$  ถ้าค่าพยากรณ์การใช้น้ำครั้งก่อนสูงกว่าค่าการใช้น้ำจริงในครั้งก่อน จะทำการปรับลดการเรียนรู้พยากรณ์ให้น้อยลง แต่ถ้าค่าพยากรณ์การใช้น้ำครั้งก่อนต่ำกว่าค่าการใช้น้ำจริงในครั้งก่อน จะทำการปรับเพิ่มการเรียนรู้การพยากรณ์ให้มากขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อน  $y_e(kT)$  และค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $y_c(kT)$  ที่เกิดในกลไกการเรียนรู้ จะถูกการประมวลผลจาก Fuzzy inverse model เพื่อปรับฟังก์ชันสมาชิกใน Fuzzy controller ให้ใกล้เคียงกับค่าจริงเพื่อที่จะพยากรณ์ครั้งต่อไป กระบวนการทำงานของตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง แสดงดังภาพประกอบ 3-2



ภาพประกอบ 3-2 แผนภาพวิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

### 3.1.1 โมเดลอ้างอิง (Reference model)

โมเดลอ้างอิง เป็นการสร้างแบบจำลองอย่างง่ายของระบบ เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการกลไกการเรียนรู้เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบกระบวนการเรียนรู้เพื่อปรับตัวควบคุมฟัซซีที่เกิดขึ้นให้เข้าใกล้ระบบจริง

### 3.1.2 กลไกการเรียนรู้ (Learning mechanism)

กลไกการเรียนรู้อาศัยโมเดลอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตของระบบ ซึ่งจะได้ค่าความคลาดเคลื่อน  $y_e(kT)$  และเรียนรู้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นครั้งก่อนหน้าเรียกว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $y_c(kT)$  ดังที่แสดงในสมการที่ 3-1 และสมการที่ 3-2

$$y_e(kT) = y_m(kT) - y(kT) \quad (3-1)$$

$$y_c(kT) = \frac{y_e(kT) - y_e(kT - T)}{T} \quad (3-2)$$

โดยที่

$y_e(kT)$  = ค่าความคลาดเคลื่อน

$y_c(kT)$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน

$y_m(kT)$  = ค่าโมเดลอ้างอิง

$y(kT)$  = ค่ากระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์

$k$  = ลำดับของข้อมูล ณ วันที่  $k$

$T$  = ความถี่ของการเก็บข้อมูลมาใช้ในการพยากรณ์ ในงานวิจัยได้เก็บข้อมูลมาเพื่อใช้ในการพยากรณ์ทุกๆ 1 วัน

ค่าอินพุตความคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อนจะถูกนำไปใช้ในกลไกการเรียนรู้สำหรับใช้เป็นอินพุตของการอนุมานกฎในฟัซซีผกผัน (Fuzzy inverse model) เพื่อการปรับรูปร่างของค่าตัวแปรภาษาของตัวควบคุมฟัซซีให้เข้าใกล้ระบบจริงมากยิ่งขึ้น

### 3.1.3 การควบคุมฟัซซี (Fuzzy controller)

ตัวควบคุมฟัซซี เป็นกระบวนการสร้างระบบควบคุมเพื่อใช้ในการพยากรณ์ โดยอาศัยการทำงานของกลไกการเรียนรู้เพื่อการปรับรูปร่างของค่าตัวแปรภาษาภายในตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี ได้แก่  $Input1$  และ  $Input2$  ที่ใช้เป็นอินพุตของการพยากรณ์

ตัวควบคุมฟัซซีจะมีย่านเอกภพสัมพัทธ์ของอินพุตอยู่ระหว่าง  $[-1, 1]$  สามารถที่จะออกแบบให้มีค่าอัตราการขยาย (Gain)  $g_e, g_c, g_u$  จะถูกนำมาใช้เพื่อขยายย่านเอกภพสัมพัทธ์ของ

$Input1, Input2$  และค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม  $u(kT)$  โดยฐานความรู้ของตัวควบคุมฟัซซีมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการอินพุตที่อยู่ในกฎของการควบคุม If-Then แสดงดังนี้

If  $Input1_n$  and  $Input2_n$  Then  $u_n$

โดยที่

$Input1_n$  = ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ

$Input2_n$  = ข้อมูลกิจกรรม

$u_n$  = ค่าการพยากรณ์การใช้น้ำ

$n$  = ลำดับของข้อมูล ณ วันที่  $n$

### 3.1.4 การพยากรณ์จากการเรียนรู้ (Learning forecaster)

จะถูกนำมาใช้เมื่อจะมีการพยากรณ์ครั้งต่อไป โดยจะทำการเปรียบเทียบว่า ในการพยากรณ์ในอดีตมีการพยากรณ์ที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง ถ้าการพยากรณ์มีค่าสูงกว่าค่าการใช้น้ำจริงจะแทนด้วย สมการที่ 3-3 ในทางกลับกันถ้าการพยากรณ์มีค่าต่ำกว่าการใช้น้ำจริงจะแทนด้วยสมการที่ 3-4

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) - 0.30u(kT) \quad (3-3)$$

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) + 0.30u(kT) \quad (3-4)$$

โดยที่

$y(kT)$  = ค่ากระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์

$y_{r-1}(kT)$  = ค่าการใช้น้ำจริง

$u(kT)$  = ค่าการพยากรณ์การใช้น้ำ

### 3.2 การออกแบบตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

การออกแบบตัวพยากรณ์ฟัซซีเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลที่จะนำมาใช้ในตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิงเพื่อสร้างแบบจำลองโมเดลอ้างอิงให้เสมือนระบบจริง โดยใช้ข้อมูลจำนวนผู้ใช้น้ำ 22,000 คน (หาค่าเฉลี่ยของภาคการเรียน 1 และภาคการเรียน 2 ปีการศึกษา 2558) เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปเอกภพสัมพัทธ์โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 แสดงตัวอย่าง เช่น ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำมีค่าเท่ากับ 0.5 และ 0.8 แสดงถึง จำนวนผู้ใช้น้ำ 11,000 คน และ 17,600 คน ตามลำดับ อัตราการใช้น้ำในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยเฉลี่ยหนึ่งคนใช้น้ำ 200



ลิตรต่อวัน และค่าข้อมูลกิจกรรม (*Input2*) มีค่าเท่ากับ 1 บอกลถึง 1 คนมีการใช้น้ำ 200 ลิตรต่อวัน ทำการปรับหน่วยของคนที่ใช้น้ำเป็น 0.200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โมเดลอ้างอิงที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ แสดงดังสมการที่ 3-5

$$R = Input1 * Input2 * 0.200 * 22000 \quad (3-5)$$

ได้ทำการกำหนดค่าข้อมูลกิจกรรม (*Input2*) เป็นค่าคงที่ 0.5 ทำให้ค่าการใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงเป็น 0.4 และจำนวนผู้ใช้น้ำ 22,000 คน ถูกปรับให้เป็น 22 เพื่อเปลี่ยนแปลงหน่วยของการใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัย ให้มีค่าจากลูกบาศก์เมตรเป็นกิโลลูกบาศก์เมตร แสดงดังสมการที่ 3-6

$$R = Input1 * Input2 * 0.4 * 22 \quad (3-6)$$

โดยที่

*Input1* = ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ

*Input2* = ข้อมูลกิจกรรม

*R* = โมเดลอ้างอิง

อัตราการใช้น้ำส่วนบุคคลเฉลี่ยเท่ากับ 200 ลิตรต่อวัน ตัวแปรด้านความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิและรูปแบบของวัน มีผลเพียงเล็กน้อยต่ออัตราการใช้น้ำภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งแตกต่างจากการใช้น้ำในพื้นที่อุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในส่วนของแบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงมีข้อจำกัดในการใช้ตัวแปรอินพุตไม่มากกว่า 2 ตัว

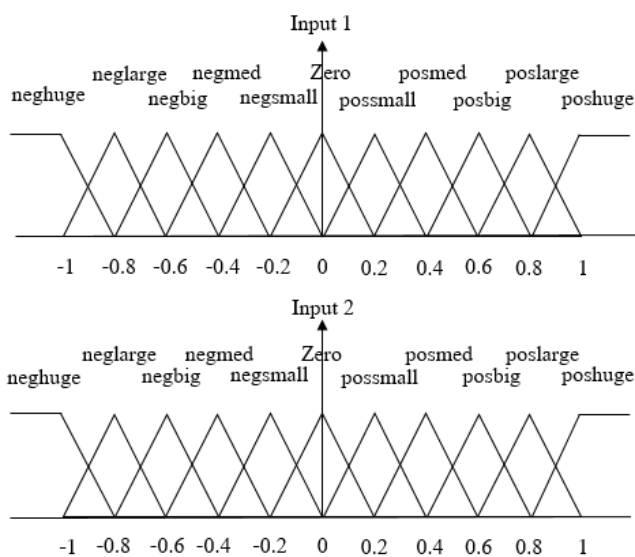
การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีผกผัน เป็นการกำหนดรูปแบบตัวแปรอินพุตและเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีผกผันแบ่งระดับสมาชิกของฟัซซีเซตที่นำไปใช้ในตัวควบคุมผกผัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 11 ระดับ คือ Negative Huge (NH) , Negative Large (NL) , Negative Big (NB) , Negative Medium (NM) , Negative Small (NS) , Zero (ZO) , Positive Small (PS) , Positive Medium (PM) , Positive Big (PB) , Positive Large (PL) , Positive Huge (PH)

การออกแบบกฎฟัซซีผกผันในรูปแบบของความสัมพันธ์ If Error and Change of Error Then Output การกระทำของถ้า...แล้ว...ได้ทำในส่วนของสมาชิกของฟัซซีเซตที่ได้ทำการแบ่งระดับสมาชิกแล้ว โดยมีกฎพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมทั้ง 121 กฎ แสดงดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 กฎการควบคุมตัวแปรภาษาของตัวควบคุมฟuzzyผกผัน

		Change of Error											
Error		NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	
	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO
	NL	NH	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
	NB	NH	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	NM	NH	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL
	NS	NH	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH
	ZO	NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH
	PS	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH
	PM	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH
	PB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH	PH
	PL	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH	PH	PH
	PH	ZO	PS	PM	PB	PL	PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH

การออกแบบตัวควบคุมฟuzzy จะทำการกำหนดรูปแบบตัวแปรอินพุต (ตัวแปรอินพุตหนึ่ง คือ ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ และตัวแปรอินพุตสอง คือ ข้อมูลกิจกรรม) และเอาต์พุต (การพยากรณ์การใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์) ของตัวควบคุมฟuzzyจะคล้ายกับตัวควบคุมฟuzzyผกผัน โดยแบ่งระดับสมาชิกของฟuzzyเซตที่นำไปใช้ในตัวควบคุมผกผันซึ่งสามารถแบ่งได้ 11 ระดับ คือ Negative Huge (NH) , Negative Large (NL) , Negative Big (NB) , Negative Medium (NM) , Negative Small (NS) , Zero (ZO) , Positive Small (PS) , Positive Medium (PM) , Positive Big (PB) , Positive Large (PL) , Positive Huge (PH) แสดงดังรูปที่ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำและกิจกรรม

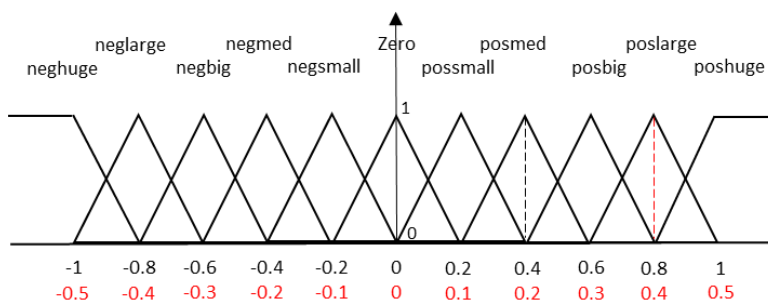
การออกแบบกฎฟuzzyในรูปแบบของความสัมพันธ์ If Input1 and Input2 Then Output การกระทำของถ้า...แล้ว... ได้ทำในส่วนของสมาชิกของฟuzzyเซตที่ได้ทำการแบ่งระดับสมาชิกแล้ว โดยมีกฎพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมทั้ง 121 กฎ แสดงค่า ดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 กฎการควบคุมตัวแปรภาษาของตัวควบคุมฟuzzy

		Input2										
		NH	NL	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PL	PH
Input1	NH	-1.5	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5
	NL	-1.2	-0.9	-0.6	-0.3	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
	NB	-0.9	-0.6	-0.3	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
	NM	-0.6	-0.3	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
	NS	-0.3	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7
	ZO	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3
	PS	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	3
	PM	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	3	3
	PB	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	3	3	3
	PL	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	3	3	3	3
	PH	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	3	3	3	3	3

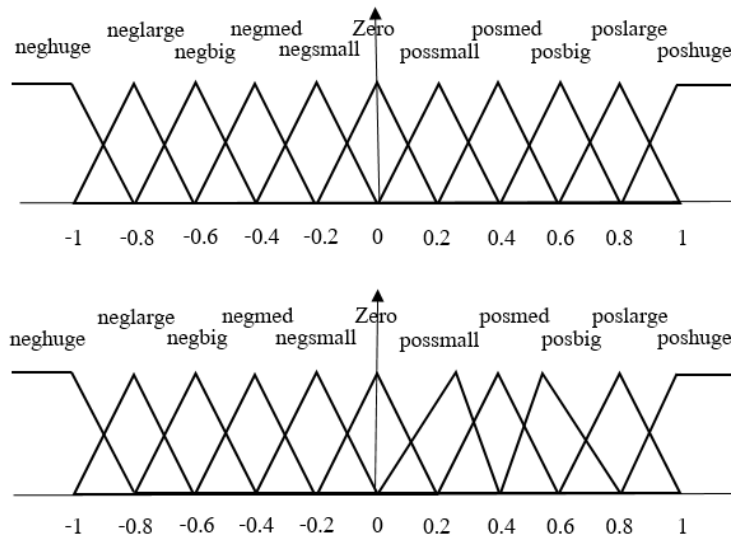
การปรับอัตราการขยาย จะอยู่ในส่วนของฟuzzyเซต สามารถแปลงเอกภพสัมพันธ์ของตัวแปรอินพุตฟuzzyให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม จากภาพประกอบ 3-4 เป็นกระบวนการแปลงค่าฟuzzyที่มีย่านเอกภพสัมพันธ์อยู่ระหว่าง [-1,1] จากค่าตัวแปรอินพุตที่เข้ามามีค่าเท่ากับ 0.4 จะมีค่าทางตัวแปรภาษา posmed (PM) เมื่อตัวประกอบการปรับอัตราการขยายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง [-0.5,0.5] ค่าตัวแปรอินพุตที่เข้ามามีค่าเท่ากับ 0.4 เป็นค่าเดียวกัน แต่ตัวแปรภาษาที่ถูกเปลี่ยนเป็น poslarge (PL) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อตัวพารามิเตอร์ทั้งระบบ

การกำหนดค่าการปรับค่าอัตราการขยาย (gain) ในส่วนของการปรับค่าอัตราการขยาย จะอยู่ในส่วนของฟuzzyฟังก์ชัน ประกอบด้วยค่า  $g_{ye}$ ,  $g_{yc}$ ,  $g_p$  และตัวควบคุมฟuzzy ประกอบด้วยค่า  $g_e$ ,  $g_c$ ,  $g_u$  ซึ่งการปรับค่าอัตราการขยายเหล่านี้จะมีส่วนสำคัญในการปรับรูปร่างของตัวแปรเชิงภาษา



ภาพประกอบ 3-4 กระบวนการแปลงค่าฟัซซี

การปรับปรุงร่างของค่าตัวแปรภาษา โดยปกติแล้วฟังก์ชันสมาชิกหนึ่งตัวจะแทนที่ด้วยค่าตัวแปร ภาษาหนึ่งตัว เมื่อมีการปรับปรุงร่างของค่าตัวแปรภาษา ฟังก์ชันสมาชิกของค่าตัวแปรภาษาก็จะเปลี่ยนแปลง แสดงดังรูปที่ 3-5 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเหลื่อมกันระหว่างฟังก์ชันสมาชิก จะส่งผลถึงระบบควบคุมฟัซซีที่เปลี่ยนแปลงไป



ภาพประกอบ 3-5 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของค่าตัวแปรภาษาที่ปรับเปลี่ยนกฎของระบบฟัซซี

### 3.3 การทดสอบตัวพยากรณ์พีซีซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

#### 3.3.1 ฐานข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ ได้แก่ ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ ข้อมูลกิจกรรม (ลักษณะการใช้น้ำในช่วงการศึกษา เช่น ช่วงเปิดเทอม ช่วงใกล้สอบ) และการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยนำข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ ตั้งแต่ วันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึง วันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 จำนวน 24 วัน และใช้ข้อมูล วันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 วันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 15 วัน สำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยการละเอียดการเตรียมข้อมูล แสดงในภาคผนวก ก

##### 3.3.1.1 สถิติข้อมูลประชากร

ข้อมูลสถิตินักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตามภาคการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2 และภาคฤดูร้อน ตั้งแต่ปีการศึกษา 2555 ถึง ปีการศึกษา 2558 (ไม่ได้รวมข้อมูลบุคลากรของโรงพยาบาลมาใช้ในการคำนวณสถิติ) แสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลสถิตินักศึกษาและบุคลากรของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ภาคการเรียน	ปีการศึกษา	จำนวนนักศึกษา	บุคลากร	รวม
1	2555	19504	3871	23375
2	2555	17339	3871	21210
3	2555	6507	3871	10378
1	2556	19294	3922	23016
2	2556	17349	3922	21271
3	2556	6921	3922	10843
1	2557	19102	3893	22995
2	2557	17086	3893	20979
3	2557	5668	3893	9561
1	2558	19470	3981	23451
2	2558	16675	3981	20656
3	2558	5774	3981	9755

แหล่งที่มาของข้อมูล กองทะเบียนและประมวลผล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

### 3.3.1.2 สถิติอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยรายบุคคล

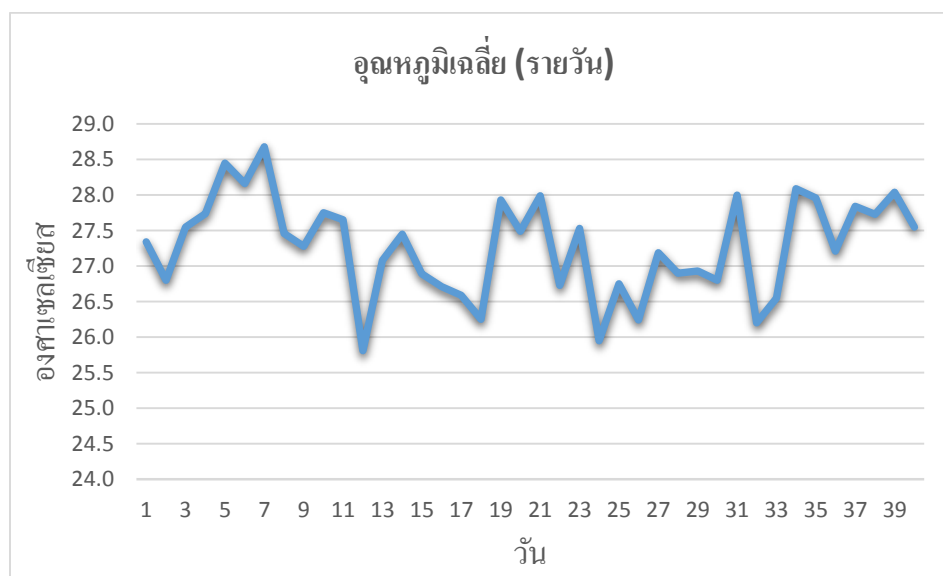
อัตราการใช้น้ำเฉลี่ยรายบุคคลต่อ 1 วันภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ แบบรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2558 (ไม่ได้รวมข้อมูลช่วงเตรียมความพร้อมเพื่อเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน) แสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 สถิติอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยรายบุคคลของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

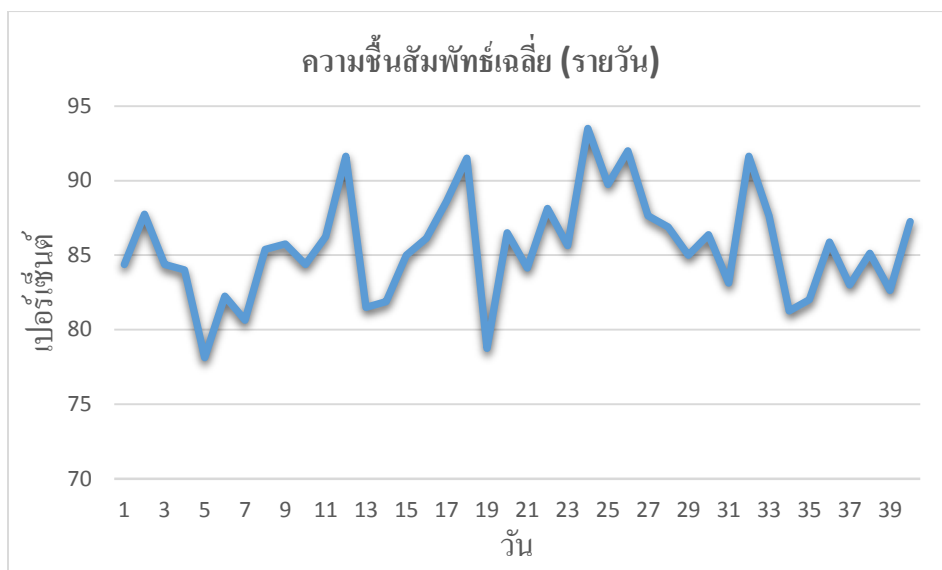
	พ.ศ.2556	พ.ศ.2557	พ.ศ.2558
อัตราการใช้น้ำรายบุคคล (ลิตรต่อคน)	197.1	208.8	197.2

### 3.3.1.3 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย

ข้อมูลปัจจัยทางด้านอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันไม่มีผลต่อการใช้น้ำ เพราะน้ำที่ใช้ในการรดน้ำต้นไม้มาจากบ่อบาดาล โดยได้นำข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยแบบรายวัน ตั้งแต่วันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2558 แสดงดังภาพประกอบที่ 3-6 และภาพประกอบที่ 3-7



ภาพประกอบ 3-6 ข้อมูลปัจจัยทางด้านอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน



ภาพประกอบ 3-7 ข้อมูลปัจจัยทางด้านความชื้นสัมพัทธ์รายวัน  
แหล่งที่มาของข้อมูล ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก สถานีตรวจอากาศเกษตรคองหงส์

### 3.3.2 เครื่องมือที่ใช้การประมวลผล

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทดสอบการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมพัทธ์แบบสมบูรณ์ (Average Absolute Relative Error) ได้แก่

1) โปรแกรม **Matlab 2008** ผู้วิจัยได้ใช้ฟังก์ชัน nntool ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการพยากรณ์การใช้น้ำ

2) โปรแกรม **FMRLF** ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้น เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการพยากรณ์การใช้น้ำ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาต่อยอดมาจากตัวควบคุมพีซีซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง แสดงดังภาคผนวก ข

3) โปรแกรม **Microsoft Excel 2013** ผู้วิจัยได้ใช้ฟังก์ชัน Regression และใช้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวแบบจำลอง ทั้ง 3 รูปแบบโดยใช้ ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมพัทธ์แบบสมบูรณ์ Average Absolute Relative Error (AARE) ซึ่งเป็นวิธีที่การได้รับความนิยมนในการเปรียบเทียบการพยากรณ์ เพื่อใช้วัดประสิทธิภาพความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์ ยิ่งค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมพัทธ์แบบสมบูรณ์มีค่าน้อยแสดงถึงการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง ดังสมการที่ 3-7

$$AARE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \times 100 \quad (3-7)$$

โดยที่

$F_t$  = ค่าการพยากรณ์ ณ วันที่ t

$Y_t$  = ค่าการใช้น้ำจริง ณ วันที่ t

$N$  = จำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ทั้งหมด

### 3.3.3 ขั้นตอนการวิจัย

#### 3.3.3.1 การพยากรณ์โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression

Analysis: LRA)

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ได้แก่ ข้อมูลการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (u) กับ ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ (Input1) และข้อมูลกิจกรรม (Input2) จำนวน 24 ข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel เลือกฟังก์ชัน Data analysis เลือกโหมด Regression ทำการวิเคราะห์ที่ได้ดังสมการที่ 3-8 และ สมการที่ 3-9

แบบจำลองที่ 1 (Input2 = ข้อมูลกิจกรรม เป็นค่าคงที่)

$$u = 4.2526 * Input1 + 0.2113 \quad (3-8)$$

โดยที่

$u$  = การใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Input1 = เอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ

$\beta_1$  = สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย (4.2526)

$\varepsilon$  = ค่าความผิดพลาด (0.2113)

แบบจำลองที่ 2 (Input2 = ข้อมูลกิจกรรมมีการเปลี่ยนแปลงค่า)

$$u = 4.0468 * Input1 + 15.7272 * Input2 - 7.4322 \quad (3-9)$$

โดยที่

$u$  = การใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Input1 = เอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ



$Input2$  = ข้อมูลกิจกรรม

$\beta_1$  = สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย (4.0468)

$\beta_2$  = สัมประสิทธิ์ของสมการการถดถอย (15.7272)

$\varepsilon$  = ค่าความผิดพลาด (-7.4322)

### 3.3.3.2 การพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

ผู้วิจัยได้ใช้ตัวแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมซึ่ง ประกอบด้วย ชั้นอินพุตที่มีตัวแปรอินพุต 2 ตัวแปร ชั้นซ่อน 1 ชั้น มี 10 โหนด ชั้นซ่อนใช้ฟังก์ชันกระตุ้น Log-sigmoid โดยชั้นเอาต์พุตได้ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น Linear ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็น ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ ข้อมูลกิจกรรม และข้อมูลการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ โครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่มีการแพร่ย้อนกลับ Network Type : Feed forward backprop ใช้อัลกอริธึมในการเรียนรู้ Training Function : TRAINLM (Levenberg- Marquardt) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การเรียนรู้ Performance function : MSE จำนวนรอบในการเรียนรู้ 1000 รอบ โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ระดับน้ำแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชั้นตอน คือ

1. ชั้นตอนการเรียนรู้ โดยข้อมูลที่ใช้ 24 ข้อมูล ทำการป้อนข้อมูลอินพุตและข้อมูลเป้าหมายเข้าในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการปรับค่าน้ำหนักเพื่อลดความผิดพลาดในการพยากรณ์ให้ได้ตามที่ระบุ
2. ชั้นตอนการทดสอบ ข้อมูลในการทดสอบในการพยากรณ์ 15 ข้อมูล สำหรับการเพื่อพยากรณ์การใช้น้ำ

### 3.3.3.3 การพยากรณ์โดยใช้ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง (Fuzzy Model Reference Learning Forecaster: FMRLF)

ข้อมูลที่ผู้วิจัยนำมาใช้ได้แก่ ข้อมูลการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ ( $Input1$ ) และ ข้อมูลกิจกรรม ( $Input2$ ) ตัวแบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิงมีการกำหนดค่า Gain ดังนี้  $g_e = 1, g_c = 1, g_u = 3, g_{y_e} = 1, g_{y_c} = 1, g_p = 0.28$

ตัวแบบจำลอง ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง ทำการจำลอง โมเดลอ้างอิง ดังสมการที่ 3-10

$$R = Input1 * Input2 * 0.40 * 22 \quad (3-10)$$

โดยที่

$Input1$  = ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ

$Input2$  = ข้อมูลกิจกรรม

$R$  = โมเดลอ้างอิง

ค่าการพยากรณ์  $u(kT)$  ในครั้งก่อนจะถูกเปรียบเทียบกับ ค่าการใช้น้ำจริง  $y_{r-1}$  เพื่อทำการปรับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์ดังสมการที่ 3-11 และ สมการที่ 3-12 จากนั้นจะทำการหาค่าความคลาดเคลื่อน  $y_e(kT)$  และการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $y_c(kT)$  ดังสมการที่ 3-1 และสมการที่ 3-2 จะถูกคำนวณผ่านกระบวนการ Fuzzy inverse model เพื่อให้ได้ค่า  $p(kT)$  ที่ใช้ในการปรับฟังก์ชันสมาชิกใน Fuzzy controller ข้อมูล  $Input1$  และ  $Input2$  จะถูกคำนวณผ่านกระบวนการ Fuzzy controller เพื่อการพยากรณ์การใช้น้ำในครั้งถัดไป

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) - 0.15u(kT) \quad (3-11)$$

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) + 0.15u(kT) \quad (3-12)$$

โดยที่

$y(kT)$  = ค่ากระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์

$y_{r-1}(kT)$  = ค่าการใช้น้ำจริง

$u(kT)$  = ค่าการพยากรณ์การใช้น้ำ

#### 3.3.3.4 การจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหล

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหลทั้งหมด 4 แบบ ดังนี้  
 แบบที่ 1 วันเสาร์และวันอาทิตย์ในข้อมูลที่ 5 และข้อมูลที่ 6 น้ำรั่วเพิ่มขึ้นจากปกติ 5%  
 แบบที่ 2 วันเสาร์และวันอาทิตย์ในข้อมูลที่ 5 และข้อมูลที่ 6 น้ำรั่วเพิ่มขึ้นจากปกติ 10%  
 แบบที่ 3 หนึ่งสัปดาห์ ในข้อมูล 3 ถึง ข้อมูล 9 น้ำรั่วเพิ่มขึ้นจากปกติ 5%  
 แบบที่ 4 หนึ่งสัปดาห์ ในข้อมูล 3 ถึง ข้อมูล 9 น้ำรั่วเพิ่มขึ้นจากปกติ 10%

### 3.3.3.5 การทดสอบแบบจำลองตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

ผู้วิจัยได้ทำการจำลองเหตุการณ์ตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง จากโมเดลอ้างอิงแสดงดังสมการที่ 3-13 โดยผลลัพธ์จะมีความแตกต่างจากโมเดลอ้างอิงเพื่อใช้ ทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทำการปรับเปลี่ยนค่า  $g_p = 0.3, 0.5$  และปรับกระบวนการ เรียนรู้จากการพยากรณ์  $u(kT) = 0.3u(kT), 0.5u(kT)$

$$R = Input1 * Input2 \quad (3-13)$$

โดยทำการทดสอบแบบจำลองทั้ง 3 แบบ ดังนี้

**แบบจำลองที่ 1** ทำการปรับค่า  $g_p = 0.3$  และปรับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $u(kT) = 0.3u(kT)$  แสดงดังสมการที่ 3-14 และสมการที่ 3-15

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) - 0.30u(kT) \quad (3-14)$$

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) + 0.30u(kT) \quad (3-15)$$

**แบบจำลองที่ 2** ทำการปรับค่า  $g_p = 0.3$  และปรับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $u(kT) = 0.5u(kT)$  แสดงดังสมการที่ 3-16 และสมการที่ 3-17

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) - 0.50u(kT) \quad (3-16)$$

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) + 0.50u(kT) \quad (3-17)$$

**แบบจำลองที่ 3** ทำการปรับค่า  $g_p = 0.5$  และปรับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $u(kT) = 0.3u(kT)$  แสดงดังสมการที่ 3-18 และสมการที่ 3-19

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) - 0.30u(kT) \quad (3-18)$$

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) + 0.30u(kT) \quad (3-19)$$

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

เนื้อหาของนี้จะกล่าวถึง ผลการทดสอบแบบจำลองตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ผลการวิจัยการพยากรณ์การใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์โดยใช้แบบจำลองตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงในเหตุการณ์ปกติและจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่

#### 4.1 ผลการทดสอบปัจจัย

จากการศึกษาปัจจัยการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่า จำนวนคน กิจกรรมที่ทำและรูปแบบวัน เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานน้ำในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งปัจจัยอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้น้ำอย่างมีนัยสำคัญ

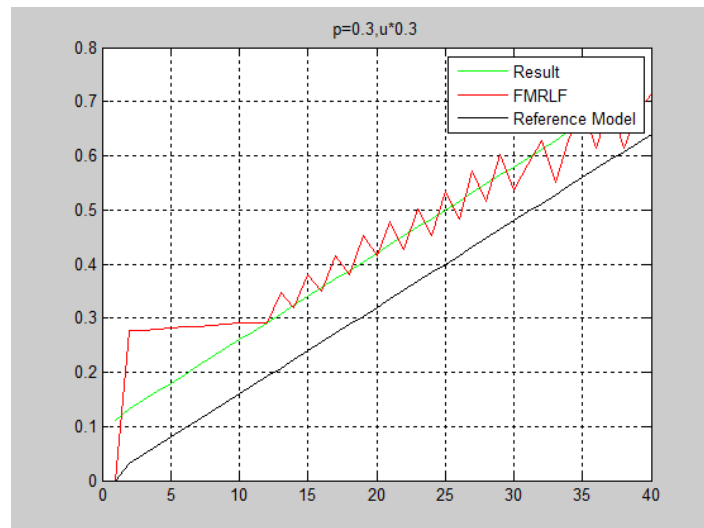
ผู้วิจัยได้ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งเป็นการหาค่าทางสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์ต่อกันมากหรือน้อย โดยทำการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการใช้น้ำในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์กับอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน ซึ่งการใช้น้ำในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์มีความสัมพันธ์เชิงเส้นน้อยเมื่อเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

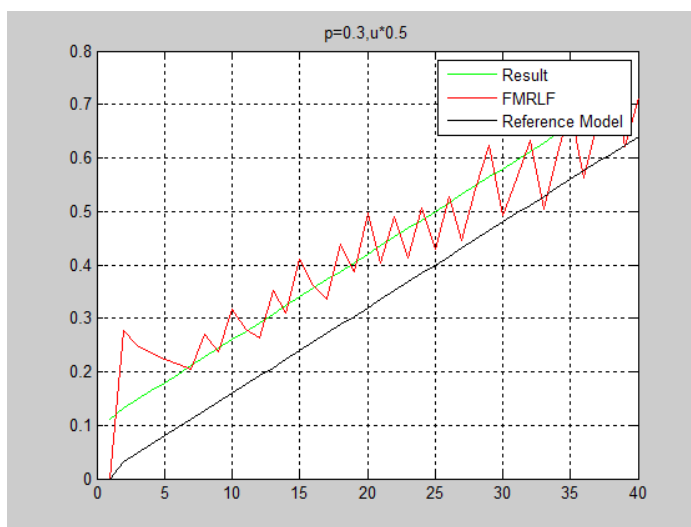
	การใช้น้ำใน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	อุณหภูมิเฉลี่ย	ความชื้น สัมพัทธ์เฉลี่ย
การใช้น้ำใน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	1		
อุณหภูมิเฉลี่ย	0.091	1	
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	-0.139	-0.873	1

#### 4.2 ผลการทดสอบแบบจำลองตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

ผลการทดสอบ จากแบบทดลองที่ 1 แสดงดังภาพประกอบ 4-1 เปรียบเทียบกับแบบทดลองที่ 2 แสดงดังภาพประกอบ 4-2 ซึ่งมีค่า  $g_p = 0.3$  และมีการปรับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $u(kT) = 0.3u(kT)$  เพิ่มขึ้นเป็น  $u(kT) = 0.5u(kT)$  ผลแสดงให้เห็นว่าการปรับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์ให้สูงขึ้นจะทำให้การพยากรณ์มีการเรียนรู้ที่เร็วกว่ากระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์ที่ต่ำ ซึ่งเห็นได้ในภาพประกอบ 4-2 ที่มีการใกล้เคียงกับค่าจริงในลำดับที่ 7 แต่ในกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์ในครั้งถัดไปช่วงการพยากรณ์จะกว้างกว่ากระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์ที่ต่ำ

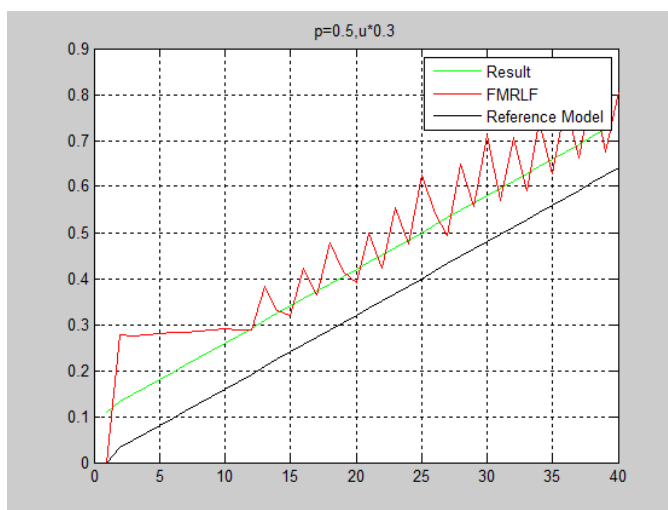


ภาพประกอบ 4-1 กราฟผลการทดสอบการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง แบบทดลองที่ 1



ภาพประกอบ 4-2 กราฟผลการทดสอบการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้  
เทียบกับโมเดลอ้างอิง แบบทดลองที่ 2

ผลการทดสอบ จากแบบทดลองที่ 1 แสดงดังภาพประกอบ 4-1 เปรียบเทียบกับแบบทดลองที่ 3 แสดงดังภาพประกอบ 4-3 จากกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $u(kT) = 0.3$  ที่เท่ากัน แต่แตกต่างกัน คือ แบบทดลองที่ 1 ใช้ค่า  $g_p = 0.3$  ส่วนแบบทดลองที่ 3 ใช้ค่า  $g_p = 0.5$  โดยกระบวนการปรับค่า  $g_p$  ที่สูงเกินไปจะทำให้การพยากรณ์ปรับตัวสูงกว่าค่า  $g_p$  ที่ต่ำกว่า

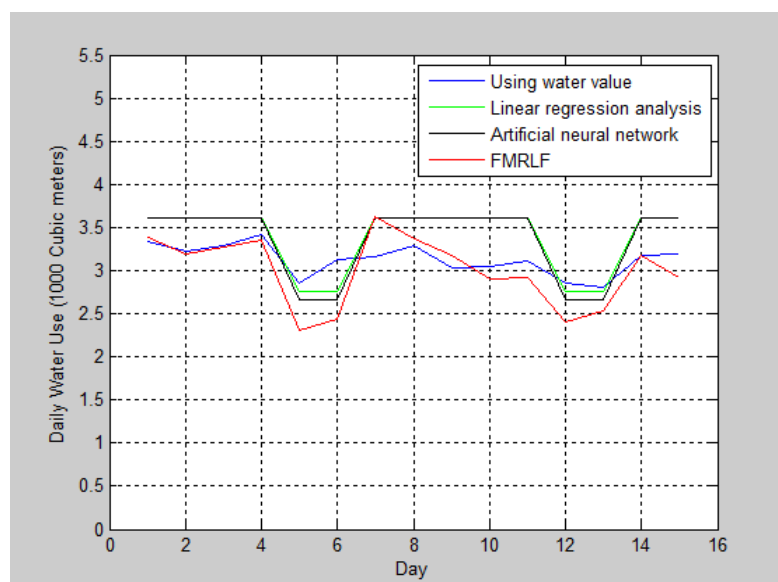


ภาพประกอบ 4-3 กราฟผลการทดสอบการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้  
เทียบกับโมเดลอ้างอิง แบบทดลองที่ 3

### 4.3 ผลการวิจัย

#### 4.3.1 ผลการวิจัยแบบจำลอง

การทดลองและวิเคราะห์ผลการพยากรณ์ความต้องการของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา โดยใช้ตัวแบบจำลองวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และวิธีการตัวพยากรณ์ฟuzzy ที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง (FMRLF) จะคำนึงถึงการปรับค่าความคลาดเคลื่อนและค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์และโมเดลอ้างอิงโดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมที่เป็นที่นิยมในการใช้พยากรณ์การใช้น้ำ ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสาม (เหตุการณ์ปกติ) แสดงดังภาพประกอบ 4-4 และตารางที่ 4-2 โดยมีกรณีศึกษา 4 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 และแบบที่ 2 วันเสาร์และวันอาทิตย์ในข้อมูลที่ 5 ถึง ข้อมูลที่ 6 น้ำรั่วเพิ่มขึ้นจากปกติ 5% , 10% แสดงดังภาพประกอบ 4-5 ถึง 4-6 และตารางที่ 4-3 ถึง 4-4 แบบที่ 3 และแบบที่ 4 น้ำรั่ว เวลา 1 สัปดาห์ ในข้อมูล 3 ถึง ข้อมูล 9 น้ำรั่วเพิ่มขึ้นจากปกติ 5% และ 10% แสดงดังภาพประกอบ 4-7 ถึง 4-8 และตารางที่ 4-5 ถึง 4-6

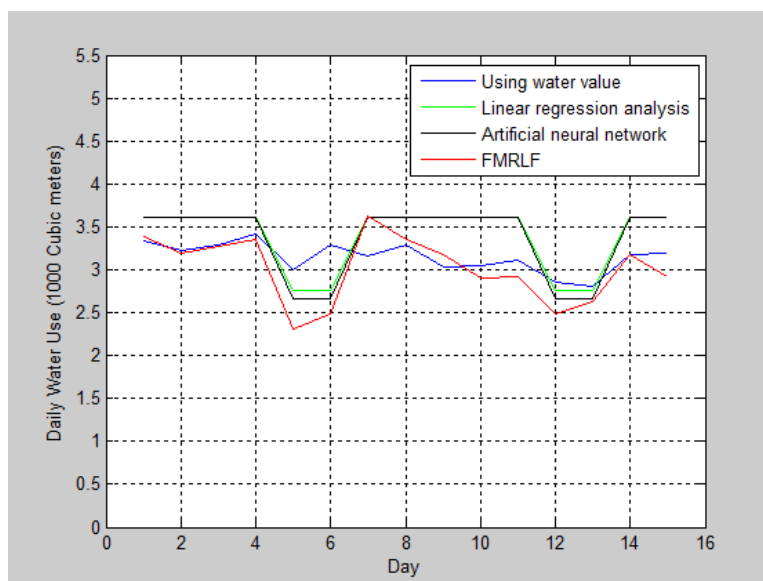


ภาพประกอบ 4-4 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ,  $g_p = 0.28$ )

ตารางที่ 4-2 สมรรถนะของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ,  $g_p = 0.28$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	10.77
Artificial Neural Network	11.70
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	7.60

ในกรณีศึกษา แบบที่ 1 น้ำรั่วเพิ่ม 5 % ในวันเสาร์และวันอาทิตย์ (ข้อมูลที่ 5-6) แสดงดังภาพประกอบ 4-5 และเปรียบเทียบสมรรถนะดังตารางที่ 4-3 ซึ่งแบบจำลอง FMRLF เรียนรู้การพยากรณ์ที่ผิดพลาดเพื่อปรับการพยากรณ์ให้มีค่าต่ำลงในการพยากรณ์ในครั้งถัดไป และภาพประกอบ 4-6 แสดงถึงการปรับน้ำรั่วเพิ่มเป็น 10 % แบบจำลอง FMRLF ปรับการพยากรณ์ให้ต่ำลง

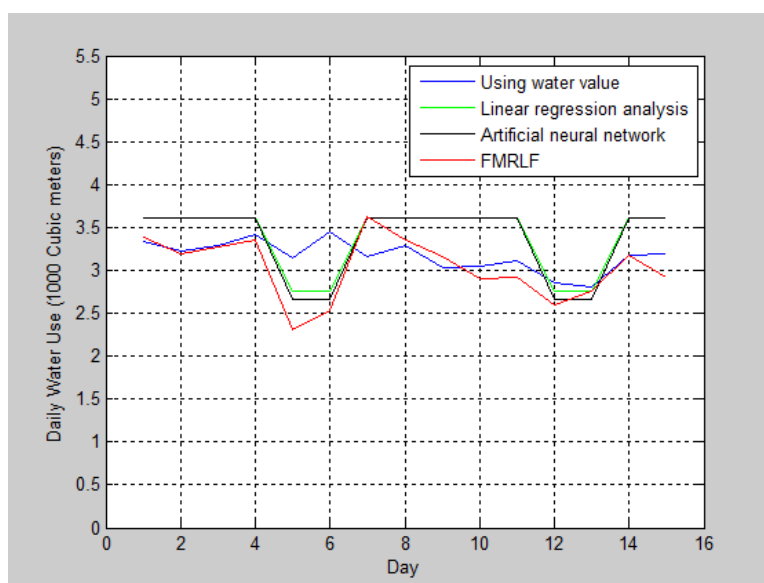


ภาพประกอบ 4-5 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 %  
(วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.28$ )



ตารางที่ 4-3 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.28$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	11.36
Artificial Neural Network	12.27
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	7.54

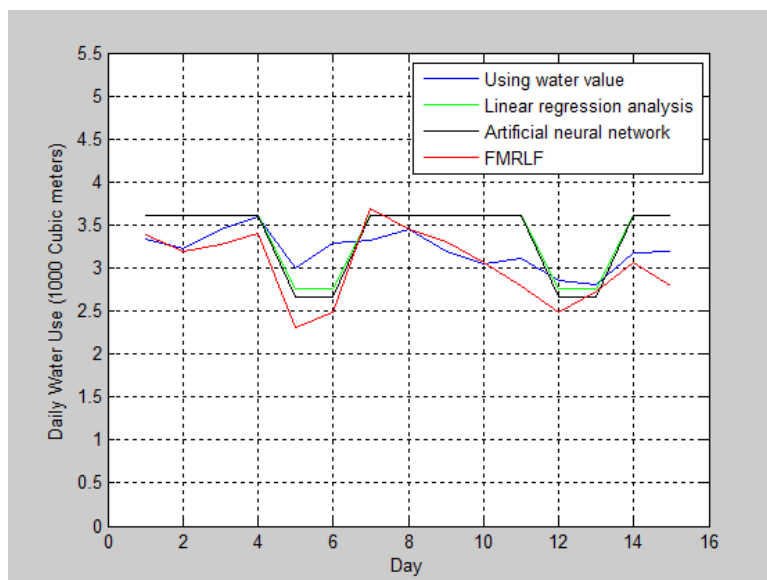


ภาพประกอบ 4-6 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 %  
(วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.28$ )

ตารางที่ 4-4 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.28$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	11.89
Artificial Neural Network	12.78
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	7.40

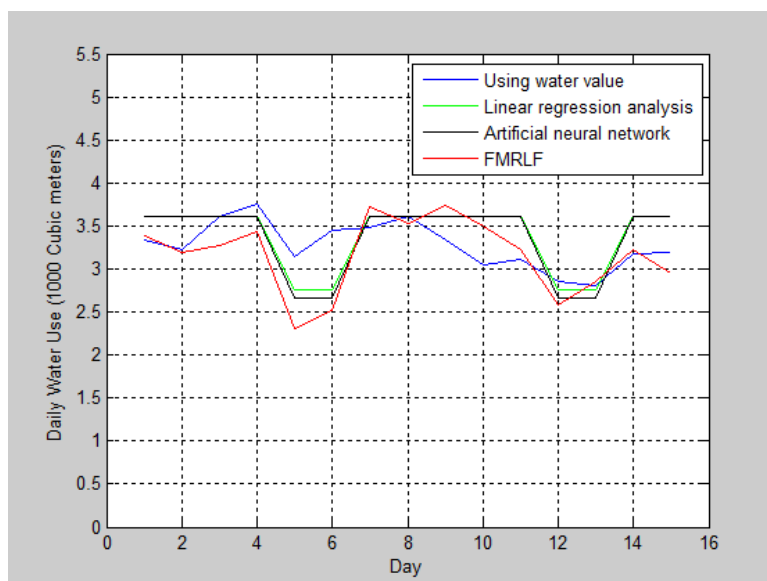
ในกรณีศึกษาแบบที่ 2 น้ำรั่วเวลา 1 สัปดาห์ ในข้อมูล 3 ถึงข้อมูล 9 น้ำรั่ว 5% และ 10% แสดงดังภาพประกอบ 4-7 ถึง 4-8 แบบจำลอง FMRLF สามารถเรียนรู้การปรับตัวของการพยากรณ์ให้มีค่าใกล้เคียงเหตุการณ์ปัจจุบัน แสดงผลดังตารางที่ 4-5 ถึง 4-6



ภาพประกอบ 4-7 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 %  
(1 สัปดาห์,  $g_p = 0.28$ )

ตารางที่ 4-5 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (1 สัปดาห์,  $g_p = 0.28$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	9.58
Artificial Neural Network	10.49
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	7.83



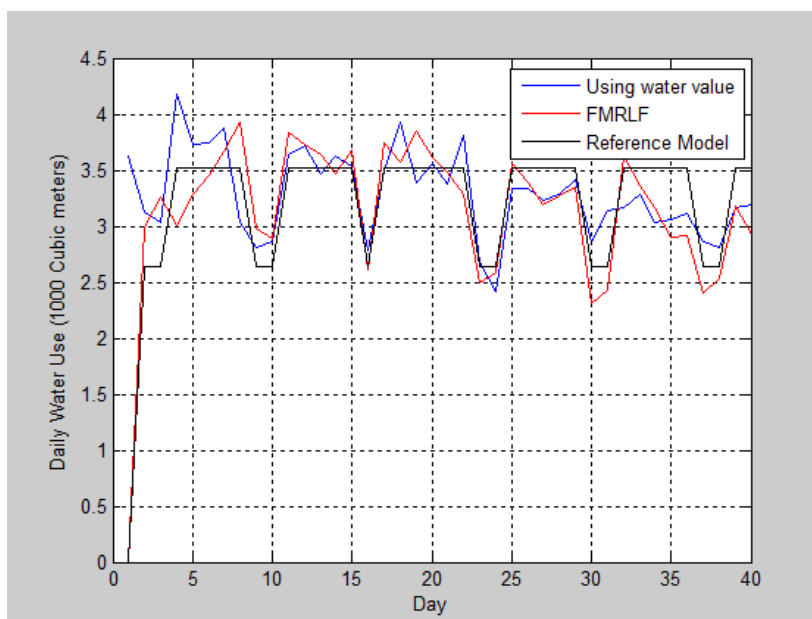
ภาพประกอบ 4-8 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 %  
(1 สัปดาห์,  $g_p = 0.28$ )

ตารางที่ 4-6 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (1 สัปดาห์,  $g_p = 0.28$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	9.03
Artificial Neural Network	9.92
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	8.98

การทดลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง ที่รับค่า Gain  $g_p = 0.28$  และมีการเรียนรู้จากการพยากรณ์อยู่ที่ 15 % ของผลการพยากรณ์ แสดงดังภาพประกอบ 4-9 การพยากรณ์การใช้น้ำตั้งแต่เริ่มต้นพยากรณ์ โดยแสดงเส้นสีดังนี้

- 1) เส้นสีน้ำเงิน คือ ค่าการใช้น้ำจริงของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 2) เส้นสีดำ คือ ค่าการคำนวณแบบจำลองอ้างอิงของตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง
- 3) เส้นสีแดง คือ ค่าการพยากรณ์ของตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง



ภาพประกอบ 4-9 กราฟการเปรียบเทียบโมเดลอ้างอิงและตัวพยากรณ์พีชซีซีที่เรียนรู้เทียบกับ  
โมเดลอ้างอิง ( $g_p = 0.28$ )

จากตารางที่ 4-7 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และวิธีการตัวพยากรณ์พีชซีซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง (FMRLF) จะเห็นได้ว่าแบบจำลองโดยวิธีการตัวพยากรณ์พีชซีซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงโดยอาศัยการเรียนรู้จากการพยากรณ์ในวันก่อนหน้าเพื่อให้แบบจำลองมีการปรับค่าการพยากรณ์ครั้งต่อไปให้ดียิ่งขึ้น จากเหตุการณ์ปกติ ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีการ FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 7.6% วิธีการ LRA มีค่า AARE เท่ากับ 10.77% วิธีการ ANN มีค่า AARE เท่ากับ 11.70% และเหตุการณ์น้ำรั่วไหลวันเสาร์-อาทิตย์ 5% ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีการ FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 7.54% วิธีการ LRA มีค่า AARE เท่ากับ 11.36% วิธีการ ANN มีค่า AARE เท่ากับ 12.27% แสดงถึงวิธีการ FMRLF มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองของวิธีการ LRA และวิธีการ ANN

ตารางที่ 4-7 สมรรถนะของแบบจำลอง ( $g_p = 0.28$ )

เหตุการณ์	Average absolute relative error (AARE)		
	LRA	ANN	FMRLF
ปกติ	10.77	11.70	7.60
น้ำรั่ววันเสาร์-อาทิตย์ 5%	11.36	12.27	7.54
น้ำรั่ววันเสาร์-อาทิตย์ 10%	11.89	12.78	7.40
น้ำรั่วหนึ่งสัปดาห์ 5%	9.58	10.49	7.83
น้ำรั่วหนึ่งสัปดาห์ 10%	9.03	9.92	8.98

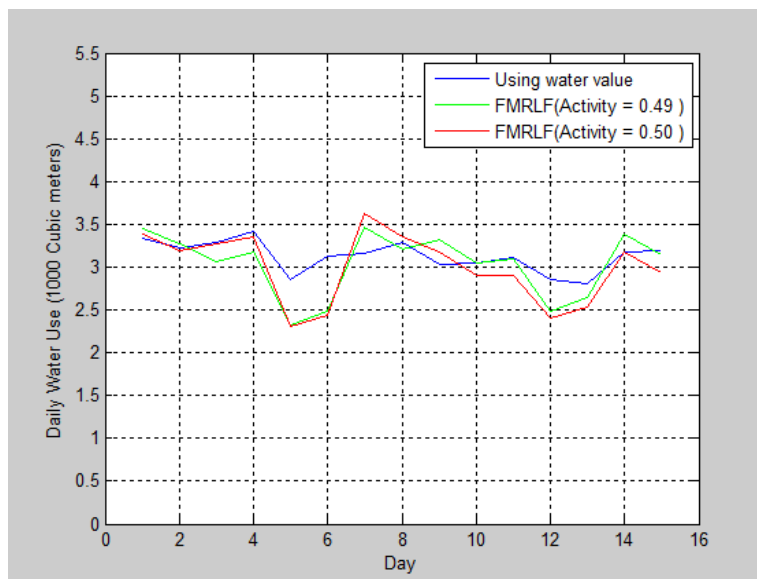
#### 4.3.2 ปัจจัยทางด้านกิจกรรม

การศึกษาอินพุตทางด้านกิจกรรมในช่วงระหว่างเปิดเทอมกับช่วงใกล้สอบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแบบจำลอง FMRLF อินพุตทางด้านกิจกรรมเท่ากับ 0.49 (ในช่วงใกล้สอบ) ให้ค่า AARE มีค่าต่ำที่สุดในการพยากรณ์การใช้น้ำในช่วง 15 วัน แสดงดังตารางที่ 4-8 จากภาพประกอบ 4-10 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของตัวแบบจำลอง FMRLF มีค่าเพิ่มขึ้นและให้ค่า AARE เท่ากับ 7.10

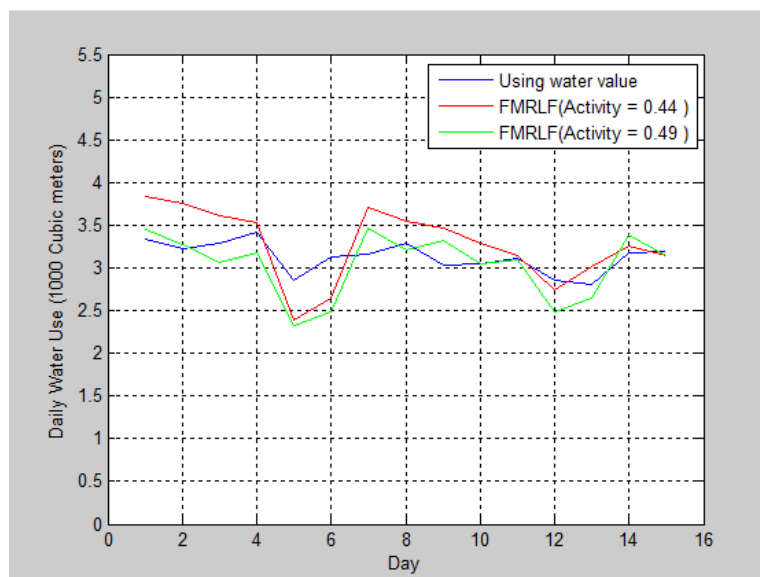
ตารางที่ 4-8 ค่าตัวแปรอินพุตของกิจกรรม

ข้อ	อินพุต2 (กิจกรรม)	การพยากรณ์ทั้งหมด	การพยากรณ์ 15 วัน
1	0.50	8.14	7.59
2	0.49	8.02	7.10
3	0.48	8.17	7.24
4	0.45	8.84	8.43

จากภาพประกอบ 4-11 แสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์การใช้น้ำ ที่ปรับค่าอินพุตทางด้านกิจกรรมมีค่า เท่ากับ 0.44 และ 0.49 การปรับค่าอินพุตกิจกรรมที่น้อยแสดงในเส้นสีแดงจะส่งผลถึงการพยากรณ์การใช้น้ำที่คลาดเคลื่อน ค่าอินพุตทางด้านกิจกรรมจะถูกนำไปใช้ในการปรับการเรียนรู้จากการพยากรณ์ระดับต่ำจนถึงระดับสูงต่อไป



ภาพประกอบ 4-10 กราฟการเปรียบเทียบค่ากิจกรรม 0.49 กับ ค่ากิจกรรม 0.50 ของตัวพยากรณ์  
พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง



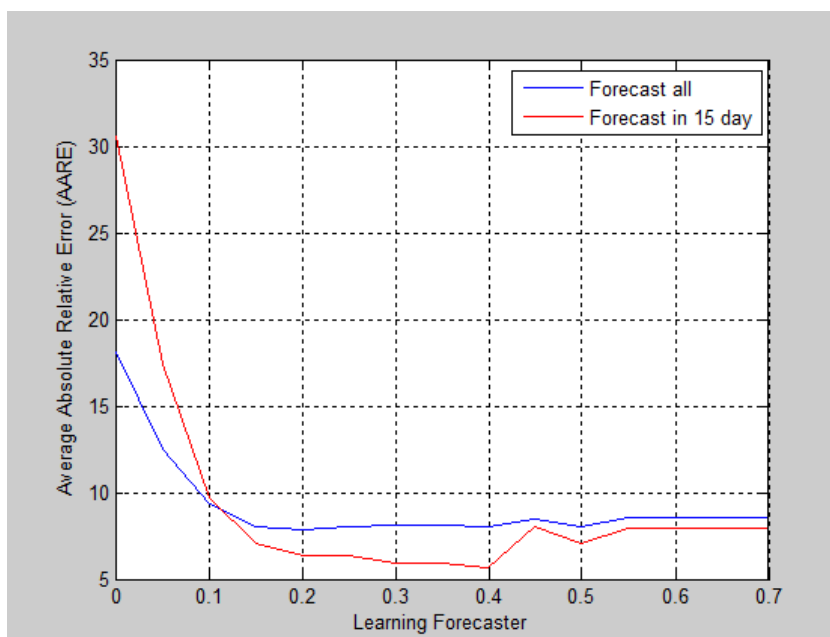
ภาพประกอบ 4-11 กราฟการเปรียบเทียบค่ากิจกรรม 0.44 กับ ค่ากิจกรรม 0.49 ของตัวพยากรณ์พีชซี  
ที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

### 4.3.3 การเรียนรู้จากการพยากรณ์

จากการศึกษาตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิงทำการหาประสิทธิภาพการพยากรณ์ที่ดียิ่งขึ้น โดยทำการปรับการเรียนรู้จากการพยากรณ์ระดับต่ำจนไปถึงระดับสูง เพื่อดูประสิทธิภาพของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ได้ทำการปรับตั้งแต่ตอนไม่มีการเรียนรู้แล้วค่อยปรับการเรียนรู้จากการพยากรณ์ทีละ 5% จนถึงระดับการเรียนรู้ที่ 70% แสดงดังภาพประกอบ 4-12 จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับการเรียนรู้ที่ต่ำจะส่งผลถึงค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมพัทธ์แบบสมบูรณ์มีค่าที่สูง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการเรียนรู้จากการพยากรณ์ เส้นสีน้ำเงินเป็นค่า AARE ตั้งแต่เริ่มต้นการพยากรณ์ของ FMRLF และเส้นสีแดงเป็นการพยากรณ์หลังจากที่มีการเรียนรู้จากการพยากรณ์แล้ว 24 วัน และทำการพยากรณ์ 15 วันถัดมา เส้นตัดกันระหว่างเส้นสีแดงและเส้นสีน้ำเงินแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของตัวแบบจำลอง FMRLF ประสิทธิภาพของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิงที่ดีที่สุด ซึ่งอยู่ที่การเรียนรู้ที่ 40% ซึ่งให้ค่า AARE มีค่าต่ำที่สุดในการทดสอบตัวแบบจำลอง ผลการพยากรณ์ของตัวพยากรณ์แสดงในตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 สมรรถนะของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

ข้อมูล (ชุด)	การเรียนรู้จากการพยากรณ์	การพยากรณ์ทั้งหมด	การพยากรณ์ 15 วัน
1	0	18.14	30.61
2	0.05	12.47	17.37
3	0.10	9.30	9.72
4	0.15	8.02	7.10
5	0.20	7.86	6.36
6	0.25	8.00	6.32
7	0.30	8.12	5.89
8	0.35	8.12	5.91
9	0.40	8.02	5.70
10	0.45	8.50	8.04
11	0.50	8.02	7.10
12	0.55	8.53	7.93
13	0.60	8.53	7.92
14	0.65	8.53	7.91
15	0.70	8.53	7.90



ภาพประกอบ 4-12 กราฟระดับสมรรถนะของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

#### 4.3.4 การปรับค่าอัตราขยาย ( $g_p$ )

จากการศึกษาตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง สามารถปรับค่า  $g_p$  เพื่อเพิ่มกลไกการเรียนรู้ของตัวแบบจำลอง FMRLF ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แสดงดังตารางที่ 4-10 โดยค่า  $g_p$  มีค่าเท่ากับ 0.13 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทดสอบตัวแบบจำลอง FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 4.27

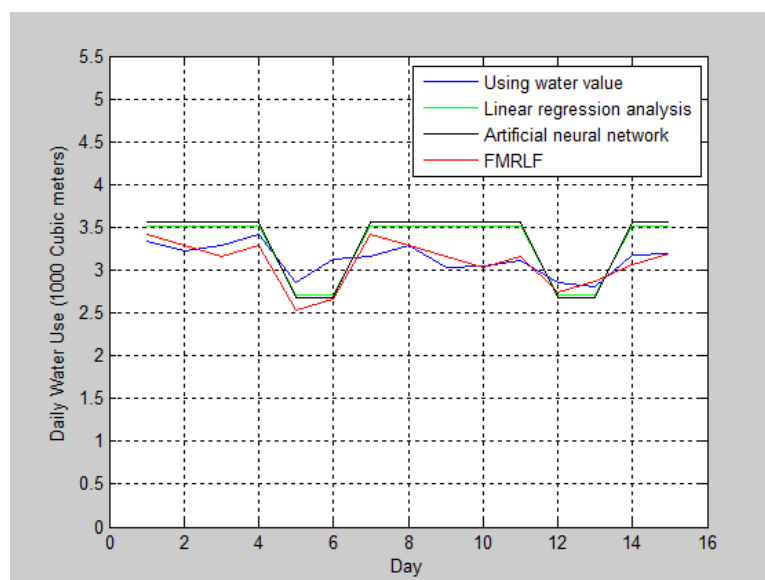


ตารางที่ 4-10 สมรรถนะการปรับกลไกการเรียนรู้ของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

ลำดับการปรับ	$g_p$	การพยากรณ์ทั้งหมด	การพยากรณ์ 15 วัน
1	0.30	7.91	6.17
2	0.29	8.19	5.9
3	0.28	8.02	5.7
4	0.27	8.03	5.95
5	0.26	7.86	5.75
6	0.25	7.7	5.56
7	0.24	7.55	5.42
8	0.23	7.75	7.38
9	0.22	7.42	6.65
10	0.21	7.15	6.37
11	0.20	6.99	6.09
12	0.19	6.83	5.81
13	0.18	7.11	6.08
14	0.17	7.14	5.54
15	0.16	6.97	5.17
16	0.15	7.01	4.9
17	0.14	6.86	4.57
18	0.13	6.56	4.27
19	0.12	6.79	4.9
20	0.11	6.57	4.54

### 4.3.5 ผลการวิจัยแบบจำลองที่ทำการปรับค่าอัตราการขยาย

การเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และวิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง (FMRLF) โดยทำการปรับค่า  $g_p$  มีค่าเท่ากับ 0.13 ทำการปรับค่าอินพุตทางด้านกิจกรรมเท่ากับ 0.49 (ในช่วงใกล้สอบ) ตัวแบบจำลอง FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 4.27 ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในทั้งสามแบบจำลองในสถานการณ์ปกติ ส่วนการศึกษาในกรณีน้ำท่วมแบบจำลอง FMRLF ยังมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA) และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) แสดงดังภาพประกอบ 4-13 และตาราง 4-11

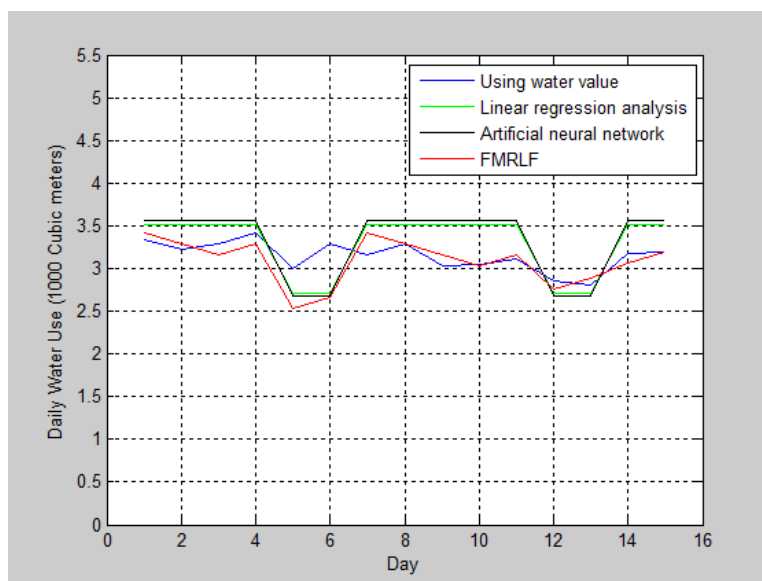


ภาพประกอบ 4-13 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ,  $g_p = 0.13$ )

ตารางที่ 4-11 สมรรถนะของแบบจำลอง (เหตุการณ์ปกติ,  $g_p = 0.13$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	8.99
Artificial Neural Network	10.34
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	4.27

ผลการจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหลแบบที่ 1 วันเสาร์และวันอาทิตย์ในข้อมูลที่ 5 และข้อมูลที่ 6 มีน้ำรั่วไหลเพิ่มขึ้นจากปกติ 5% โดยแบบจำลอง FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 4.82 มีค่าน้อยที่สุดในทั้งสามแบบจำลอง แสดงดังภาพประกอบ 4-14 และตาราง 4-12

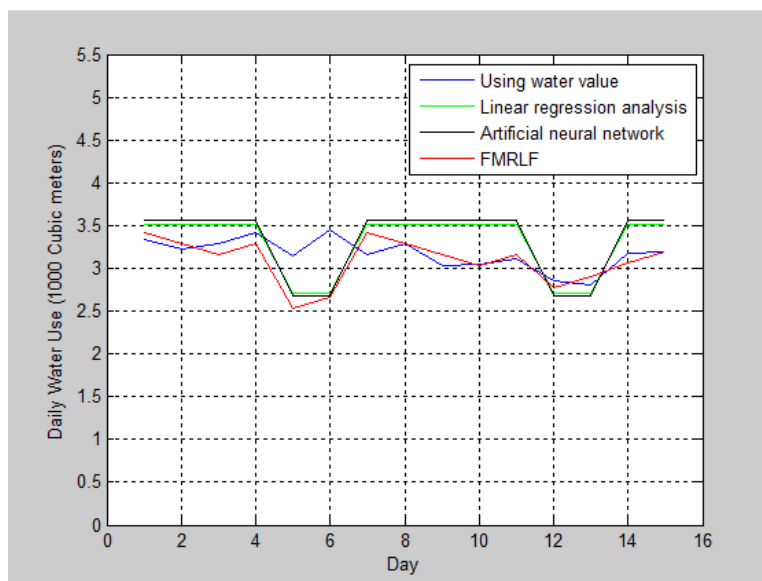


ภาพประกอบ 4-14 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 %  
(วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.13$ )

ตารางที่ 4-12 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.13$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	9.56
Artificial Neural Network	10.91
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	4.82

ผลการจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหลแบบที่ 2 วันเสาร์และวันอาทิตย์ในข้อมูลที่ 5 และข้อมูลที่ 6 มีน้ำรั่วไหลเพิ่มขึ้นจากปกติ 10% โดยแบบจำลอง FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 4.82 ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA) มีค่า AARE เท่ากับ 10.08 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) มีค่า AARE เท่ากับ 11.42 แสดงดังภาพประกอบ 4-15 และตาราง 4-13

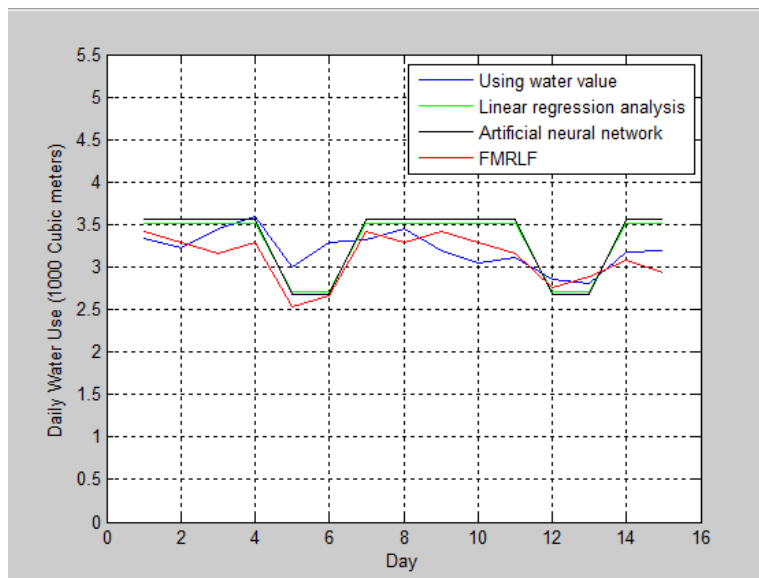


ภาพประกอบ 4-15 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 %  
(วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.13$ )

ตารางที่ 4-13 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (วันเสาร์-วันอาทิตย์,  $g_p = 0.13$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	10.08
Artificial Neural Network	11.42
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	5.32

ผลการจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหลแบบที่ 3 หนึ่งสัปดาห์ ในข้อมูล 3 ถึง ข้อมูล 9 น้ำรั่วไหลเพิ่มขึ้นจากปกติ 5% โดยแบบจำลอง FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 6.54 มีค่าน้อยที่สุดในทั้งสามแบบจำลอง แสดงดังภาพประกอบ 4-16 และตาราง 4-14

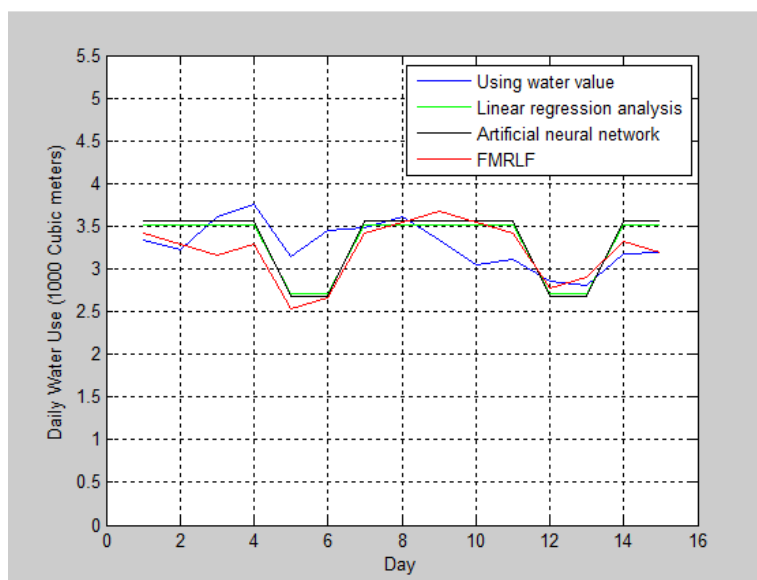


ภาพประกอบ 4-16 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5 % (1 สัปดาห์,  $g_p = 0.13$ )

ตารางที่ 4-14 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 5 % (1 สัปดาห์,  $g_p = 0.13$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	8.13
Artificial Neural Network	9.27
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	6.54

ผลการจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหลแบบที่ 4 หนึ่งสัปดาห์ ในข้อมูล 3 ถึง ข้อมูล 9 น้ำรั่วไหลเพิ่มขึ้นจากปกติ 10% โดยแบบจำลอง FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 8.22 ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบจำลองวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA) มีค่า AARE เท่ากับ 9.19 และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม(ANN)มีค่า AARE เท่ากับ 8.43 แสดงดังภาพประกอบ 4-17 และตาราง 4-15



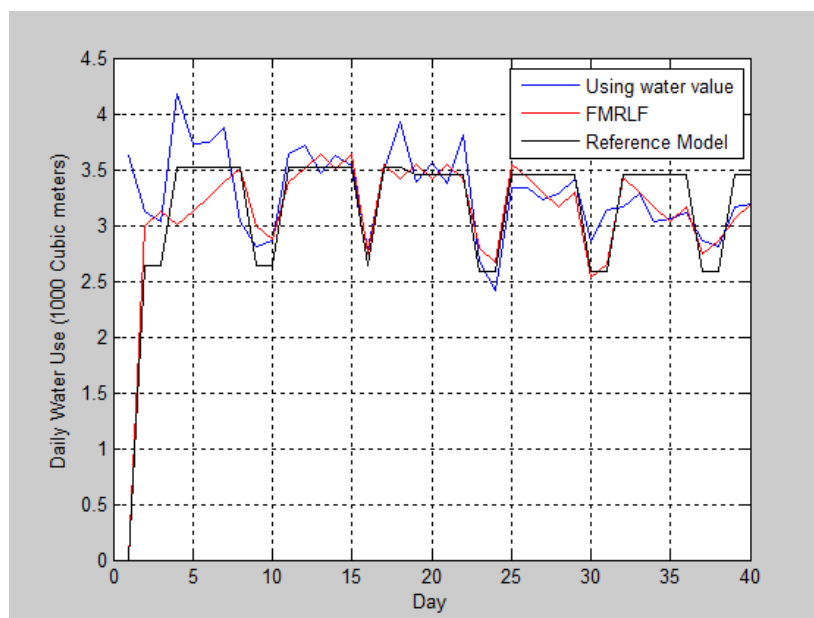
ภาพประกอบ 4-17 กราฟการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 10 % (1 สัปดาห์,  $g_p = 0.13$ )

ตารางที่ 4-15 สมรรถนะของแบบจำลองน้ำรั่ว 10 % (1 สัปดาห์,  $g_p = 0.13$ )

Model	AARE
Linear Regression Analysis	8.43
Artificial Neural Network	9.19
Fuzzy Model Reference Learning Forecaster	8.22

การทดลองตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ที่ปรับค่า Gain  $g_p = 0.13$  และมีการเรียนรู้จากการพยากรณ์อยู่ที่ 40 % ของผลการพยากรณ์ แสดงดังภาพประกอบ 4-18 การพยากรณ์การใช้น้ำตั้งแต่เริ่มต้นพยากรณ์ โดยแสดงเส้นสีดังนี้

- 1) เส้นสีน้ำเงิน คือ ค่าการใช้น้ำจริงของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 2) เส้นสีแดง คือ ค่าการคำนวณแบบจำลองอ้างอิงของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง
- 3) เส้นสีดำ คือ ค่าการพยากรณ์ของตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง



ภาพประกอบ 4-18 กราฟการเปรียบเทียบโมเดลอ้างอิงและตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ( $g_p = 0.13$ )

จากตารางที่ 4-16 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และวิธีการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง (FMRLF) จะเห็นว่าแบบจำลอง โดยใช้วิธีการตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงโดยอาศัยการเรียนรู้จากการพยากรณ์ในวันก่อนหน้าเพื่อให้แบบจำลองมีการปรับค่าการพยากรณ์ครั้งต่อไปให้ดียิ่งขึ้น จากเหตุการณ์ปกติ ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีการ FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 4.27% วิธีการ LRA มีค่า AARE เท่ากับ 8.99% วิธีการ ANN มีค่า AARE เท่ากับ 10.34% และเหตุการณ์น้ำรั่วไหลวันเสาร์-อาทิตย์ 5% ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีการ FMRLF มีค่า

AARE เท่ากับ 4.82% วิธีการ LRA มีค่า AARE เท่ากับ 9.56% วิธีการ ANN มีค่า AARE เท่ากับ 10.91% แสดงถึงวิธีการ FMRLF มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองของวิธีการ LRA และวิธีการ ANN

ตารางที่ 4-16 สมรรถนะของแบบจำลอง ( $g_p = 0.13$ )

เหตุการณ์	Average absolute relative error (AARE)		
	LRA	ANN	FMRLF
ปกติ	8.99	10.34	4.27
น้ำท่วมวันเสาร์-อาทิตย์ 5%	9.56	10.91	4.82
น้ำท่วมวันเสาร์-อาทิตย์ 10%	10.08	11.42	5.32
น้ำท่วมหนึ่งสัปดาห์ 5%	8.13	9.27	6.54
น้ำท่วมหนึ่งสัปดาห์ 10%	8.43	9.19	8.22



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลงานวิจัย ปัญหา อุปสรรค และข้อเสนอแนะของการพยากรณ์การใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยใช้แบบจำลองตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงเปรียบเทียบกับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิง โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพ เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาและวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัจจัยการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พบว่ารูปแบบการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ขึ้นอยู่กับปัจจัย จำนวนคน กิจกรรมที่ทำและรูปแบบวัน ซึ่งปัจจัยอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้น้ำอย่างมีนัยสำคัญ

จากการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาใหม่โดยวิธีการตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง โดยอาศัยการเรียนรู้จากการพยากรณ์ในวันก่อนหน้าเพื่อให้แบบจำลองมีการปรับค่าการพยากรณ์ครั้งต่อไปให้ดียิ่งขึ้น ในช่วงเริ่มต้นพยากรณ์ แบบจำลองตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงจะทำการเรียนรู้จากโมเดลอ้างอิงก่อน หลังจากนั้นทำการปรับกลไกการเรียนรู้ในส่วนของค่า Gain  $g_p = 0.28$  และมีการเรียนรู้จากการพยากรณ์อยู่ที่ 15 % ซึ่งในช่วงเริ่มต้นจะพยากรณ์ตามโมเดลอ้างอิง เมื่อเกิดค่าความคลาดเคลื่อน และ ค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อนจะถูกประมวลผลในกระบวนการกลไกการเรียนรู้เพื่อใช้ในการปรับแบบจำลองตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ในช่วงสัปดาห์แรกแบบจำลองจะค่อยๆปรับค่าการพยากรณ์ให้สูงขึ้นตามการใช้จริงที่อยู่ในระดับสูงกว่า หลังจากนั้นแบบจำลองตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงปรับค่าการพยากรณ์ให้เข้าใกล้ค่าการใช้จริงของทางน้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งแบบจำลองตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงที่ปรับค่ากลไกการเรียนรู้ ค่า Gain  $g_p = 0.13$  และการเรียนรู้จากการพยากรณ์ 40% ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุด จะเห็นได้ว่าในส่วนของพยากรณ์จะใกล้เคียงกับค่าการใช้จริงในช่วงนั้น

จากการศึกษาพบว่า ค่า  $g_p$  และ กระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์ มีความสำคัญมากในการพยากรณ์การใช้น้ำซึ่งจะให้ค่าใกล้เคียงกับค่าการใช้น้ำจริง โดยค่าองค์ประกอบ Gain เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญบอกรอบเขตของค่าตัวแปร การปรับค่า Gain ที่ผิดพลาดจะทำให้แบบจำลอง FMRLF ไม่มีความเสถียรในการพยากรณ์การใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หลังจากที่ทำการศึกษาแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง ในการพยากรณ์การใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงค่า AARE จากการพยากรณ์ เท่ากับ 10.34 ซึ่งมีค่า AARE มากที่สุดในทั้งสามแบบจำลองแสดงถึงแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด แบบจำลองวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น แสดงค่า AARE จากการพยากรณ์ เท่ากับ 8.99 ดีกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ส่วนแบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง แสดงค่า AARE จากการพยากรณ์เท่ากับ 4.27 ซึ่งมีค่า AARE ต่ำที่สุด จากทั้งสามแบบจำลอง ในส่วนกรณีศึกษา น้ำรั่ววันเสาร์ - อาทิตย์ 5% และ 10 % พบว่าแบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง สามารถพยากรณ์การใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ได้ดีกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น รวมถึงกรณีที่ศึกษาการพยากรณ์ น้ำรั่วหนึ่งสัปดาห์ 5% และ 10% ก็ยังมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมและแบบจำลองวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 แบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงมีขีดจำกัดในการพยากรณ์การใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เนื่องจากถ้าข้อมูลการใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยเป็นข้อมูลที่ซ้ำ จะทำให้เกิดความผิดพลาดของค่าความคลาดเคลื่อนและค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ซึ่งจะทำให้แบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ไม่สามารถพยากรณ์ค่าการใช้น้ำใกล้เคียงความเป็นจริง

5.2.2 แบบจำลองตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ใช้เวลาค่อนข้างมากในการปรับค่า Gain ต่างๆ เพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.3 ความผิดพลาดทางข้อมูล มีข้อมูลดิบบางส่วนเกิดการสูญหาย และมีค่าไม่ถูกต้องจึงไม่สามารถนำมาใช้ได้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมยังมีข้อมูลที่น้อยเกินไปทำให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมลดน้อยลง ดังนั้นควรใช้ข้อมูลสำหรับการทดสอบมากกว่านี้

5.3.2 งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำหรือใช้เป็นข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้นรูปแบบอื่นๆ

5.3.3 การมีระบบจัดเก็บข้อมูลการใช้น้ำแบบอัตโนมัติ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนการจัดการน้ำและซ่อมบำรุงเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ

## บรรณานุกรม

- [1] นายยั้งคิด, “พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและพระราชกรณียกิจด้านทรัพยากรน้ำ”: <http://www.oknation.net/blog/print.php?id=887285>, ตุลาคม, 2556.
- [2] การประปาส่วนภูมิภาค, “ขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค”: <http://www.kanzuksa.com/Radio.asp?data=312>, ธันวาคม, 2549.
- [3] พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ, “หลักการถังตกตะกอน Pulsator Clarifier ประเภท Vacuum Type”: <http://www.scribd.com/doc/28244367/Pulsator-Clarifier-Vacuum-Type>
- [4] พัชรภรณ์ เลขยันต์, “บทที่ 4 การพยากรณ์”: [http://www.teacher.ssru.ac.th/pacharaporn\\_le/file.php/1/BUA3122/PowerPoint/lesson4.pdf](http://www.teacher.ssru.ac.th/pacharaporn_le/file.php/1/BUA3122/PowerPoint/lesson4.pdf)
- [5] คุณิต ดวงมาตย์พล และ สิริภัทร เขียวชาญวัฒน์นาม, “A simple neural network model for long term water supply/ demand forecasting in regional office 7 PWA of Thailand. The International Conference on Science and technology for sustainable Development of the Greater Mekong subregion, khon kaen” หน้า. 90-98, 2549.
- [6] นฤมล ซึ่งเถียรตระกูล และ สมชาติ จีรวีภากร, “การพยากรณ์ไหลในระยะสั้นโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม”: วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่16. หน้า. 37-42, 2549.
- [7] นันทชัย กานตานันทะ, “การพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์เชิงสาเหตุ”วารสารวิศวกรรมศาสตร์”: ISSN 1906-36361 ฉบับที่ 1, ปีที่ 4, ธันวาคม, 2555.
- [8] J.Lie, R.Zhang, and L.Wang, “Prediction of urban short-term water consumption in zhengzhou city” in 2010 Int. Conf. on Intelligent Computation Technology and Automation., pp. 922-926, 2010.
- [9] มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี “บทที่18 ฟัซซีลอจิก Fuzzy logic”: [http://www.st.kmutt.ac.th/~s8530007/student\\_files/Computation%20AI/Chapter18FuzzyLogic.pdf](http://www.st.kmutt.ac.th/~s8530007/student_files/Computation%20AI/Chapter18FuzzyLogic.pdf)
- [10] T. J. ROSS, “Fuzzy logic with engineering applications” in John Wiley & Sons Ltd, 2nd ed. Chichester, England, pp. 13-177, 2004.

- [11] ทศนะ ถมทอง, “การออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรถองกำลังแอคทีฟโดยใช้ทฤษฎีฟัซซีลอจิกปรับตัวได้และจินตคณิต” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, พฤษภาคม, 2545.
- [12] พยุง มีสัจ, “โครงข่ายประสาทเทียมและระบบฟัซซี”, บทที่ 9 โครงข่ายประสาทเทียม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- [13] จตุภัทร เมฆพ่ายัพ และ กิดาการ สายธนู, “สมรรถนะของข่ายงานระบบประสาทแบบ Multi-Layer Perceptron และ Radial Basis Function สำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพหลายตัวแปร”, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ฉบับที่2, ปีที่16, หน้า 97-106, 2554.
- [14] พยุง มีสัจ, “โครงข่ายประสาทเทียมและระบบฟัซซี”, บทที่ 12 ระบบผสมโครงข่ายประสาทเทียมฟัซซี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- [15] Vida Varahrami, “Short -Term Water Demand Forecasting by Neural Network”, International Journal of Management and Innovation, vol.5, pp. 1-10, 2013.
- [16] Alaa H. Aly and Nisai Wanakule, “Short-Term Forecasting for Urban Water Consumption”, Journal of Water Resources Planning and Management, pp. 405-410, 2010.
- [17] M. Tabesh and M. Dini, “Fuzzy and Neuro-Fuzzy Models for Short-Term Water Demand Forecasting in Tehran”, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, pp. 61-77, 2009.
- [18] J. R. Layne and K.M. Passino, “Fuzzy model reference learning control,” in 1st IEEE Conf. on Control Applications., pp. 686-691, 1992.

ภาคผนวก

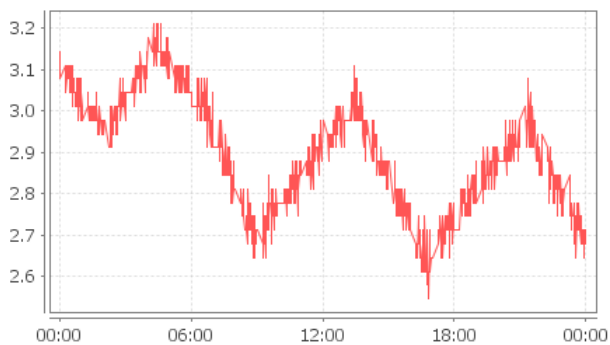
**ภาคผนวก ก**

ข้อมูลการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

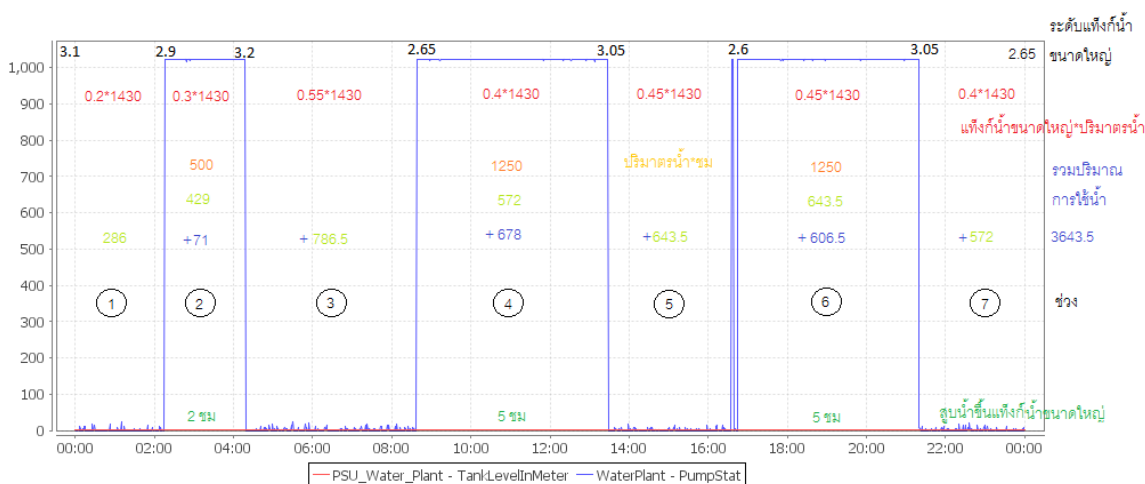


### ข้อมูลการใช้้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ระบบน้ำจากการประปาและน้ำที่ผลิตโดยมหาวิทยาลัยจะถูกจ่ายเข้าสู่แท็งก์น้ำขนาดกลาง (1,800 ลูกบาศก์เมตร) เพื่อเตรียมส่งต่อไปยังแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ (5,000 ลูกบาศก์เมตร) โดยระดับแท็งก์น้ำขนาดใหญ่สูง 3.5 เมตร แสดงดังภาพประกอบ ก-1 การคิดระดับน้ำแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ลดลง 1 เมตร ปริมาณน้ำที่ลดลงประมาณ 1,430 ลูกบาศก์เมตร แสดงการคำนวณการใช้้ำรายวันของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังดังภาพประกอบ ก-2 การลดลงของระดับน้ำคือการใช้น้ำจริง ส่วนการเพิ่มขึ้นของระดับเนื่องจากการสูบน้ำขึ้นแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ 250 ลูกบาศก์เมตรต่อ ชั่วโมง การเพิ่มขึ้นนี้คือค่าการสูบน้ำขึ้นแท็งก์น้ำลบการใช้้ำ แสดงค่าการใช้้ำรวมของวันที่ 26 ตุลาคม 2558 เวลา 00.00 น ถึง 27 ตุลาคม 2558 เวลา 00.00 น เท่ากับ 3,643.5 ลูกบาศก์เมตร



ภาพประกอบ ก-1 ข้อมูลรายชั่วโมงของระดับน้ำแท็งก์น้ำขนาดใหญ่



ภาพประกอบ ก-2 การคำนวณการใช้้ำรายวันของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### วิธีการคิดการใช้น้ำของทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การคิดการใช้น้ำของวันที่ 26 ตุลาคม 2558 เวลา 00.00 น ถึง 27 ตุลาคม 2558 เวลา 00.00 น โดยทำการแบ่งข้อมูลการใช้น้ำเป็น 7 ช่วง (การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ 1 เมตร จะมีการใช้น้ำ 1,430 ลูกบาศก์เมตร, การสูบน้ำไปยังแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำเท่ากับ 250 ลูกบาศก์เมตร)

ช่วงที่ 1 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 3.1 เมตร ลดลงเหลือ 2.9 เมตร แสดงการคิดดังนี้

วิธีการคำนวณ  $(3.1-2.9) \times 1,430 = 286$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 1 มีการใช้น้ำอยู่ที่ 286 ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 2 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 2.9 เมตร เพิ่มขึ้นเหลือ 3.2 เมตร แสดงการคิดดังนี้

วิธีการคำนวณ การสูบน้ำไปยังแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ในระยะเวลา 2 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำเท่ากับ

$2 \times 250 = 500$  ลูกบาศก์เมตร

วิธีการคำนวณ  $(3.2-2.9) \times 1,430 = 429$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 2 มีการใช้น้ำอยู่ที่  $500 - 429 = 71$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 3 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 3.2 เมตร ลดลงเหลือ 2.65 เมตร แสดงการคิดดังนี้

วิธีการคำนวณ  $(3.2-2.65) \times 1,430 = 786.5$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 3 มีการใช้น้ำอยู่ที่ 786.5 ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 4 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 2.65 เมตร เพิ่มขึ้นเหลือ 3.05 เมตร แสดงการคิดดังนี้

วิธีการคำนวณ การสูบน้ำไปยังแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำเท่ากับ

$5 \times 250 = 1,250$  ลูกบาศก์เมตร

วิธีการคำนวณ  $(3.05-2.65) \times 1,430 = 572$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 4 มีการใช้น้ำอยู่ที่  $1,250 - 572 = 678$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 5 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 3.05 เมตร ลดลงเหลือ 2.6 เมตร แสดงการคิดดังนี้

วิธีการคำนวณ  $(3.05-2.6) \times 1,430 = 643.5$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 5 มีการใช้น้ำอยู่ที่ 643.5 ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 6 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 2.6 เมตร เพิ่มขึ้นเหลือ 3.05 เมตร แสดงการคิดดังนี้

วิธีการคำนวณ การสูบน้ำไปยังแท็งก์น้ำขนาดใหญ่ในระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำเท่ากับ

$5 \times 250 = 1,250$  ลูกบาศก์เมตร

วิธีการคำนวณ  $(3.05-2.6) \times 1,430 = 643.5$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 6 มีการใช้น้ำอยู่ที่  $1,250 - 643.5 = 606.5$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 7 แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 3.05 เมตร ลดลงเหลือ 2.65 เมตร แสดงการคิดดังนี้

วิธีการคำนวณ  $(3.05-2.65) \times 1,430 = 572$  ลูกบาศก์เมตร

ช่วงที่ 7 มีการใช้น้ำอยู่ที่ 572 ลูกบาศก์เมตร

ค่าการใช้น้ำรวมของวันที่ 26 ตุลาคม 2558 เวลา 00.00 น ถึง 27 ตุลาคม 2558 เวลา 00.00 น

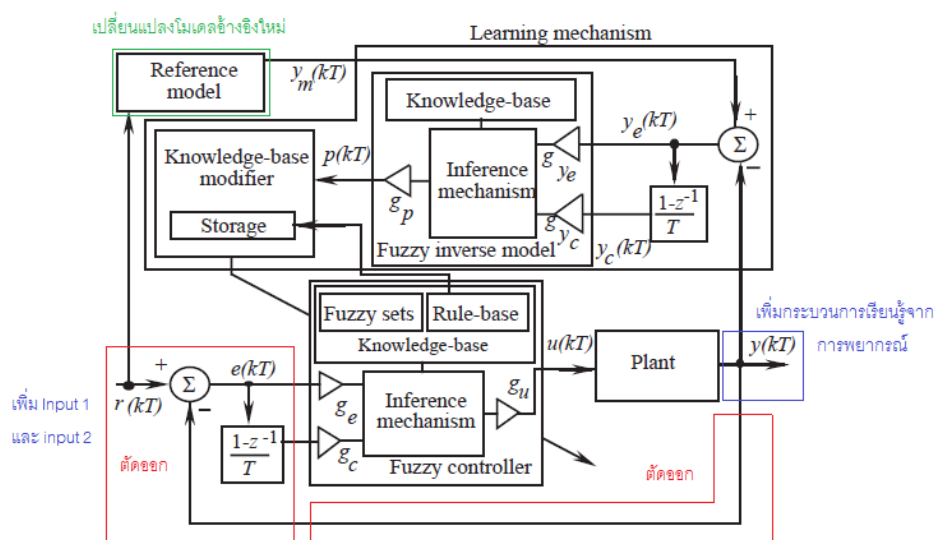
รวมค่าการใช้น้ำทั้ง 7 ช่วง  $286 + 71 + 786.5 + 678 + 643.5 + 606.5 + 572 = 3,643.5$  ลูกบาศก์เมตร

ผลลัพธ์สามารถตรวจสอบโดยใช้กับวิธีการดังต่อไปนี้ วันที่ 26 ตุลาคม 2558 เวลา 00.00 น แท็งก์น้ำขนาดใหญ่มีระดับน้ำอยู่ที่ 3.1 เมตร และมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ในวันที่ 27 ตุลาคม 2558 ตอน 00.00 น อยู่ที่ 2.65 เมตร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับ  $3.1 - 2.65 = 0.45$  เมตร มีปริมาณการใช้น้ำ  $0.45 \times 1,430 = 643.5$  ลูกบาศก์เมตร และมีการสูบน้ำขึ้น แท็งก์น้ำขนาดใหญ่ 12 ชั่วโมง มีปริมาณการใช้น้ำ  $250 \times 12 = 3,000$  ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเมื่อรวม การใช้น้ำทั้งหมด จะมีค่าเท่ากับ  $3,000 + 643.5 = 3,643.5$  ลูกบาศก์เมตร

ภาคผนวก ข

**โปรแกรมภาษา MATLAB สำหรับ ตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง**

ตัวควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง [19] (Fuzzy Model Reference Learning Controller, FMRLC) มีส่วนประกอบสำคัญทั้งหมด 3 ส่วน คือ ตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy controller) โมเดลอ้างอิง (Reference model) และ กลไกการเรียนรู้ (Learning mechanism) แสดงดังภาพประกอบ ข-1



ภาพประกอบ ข-1 โครงสร้างตัวควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

ตัวควบคุมฟัซซี เป็นกระบวนการสร้างระบบควบคุมโดยอาศัยการทำงานของกลไกการเรียนรู้เพื่อปรับปรุงค่าตัวแปรภายในตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี ได้แก่ ความคลาดเคลื่อน  $e(kT)$  และการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $c(kT)$  แสดงดังสมการที่ ข-1 และสมการที่ ข-2

$$e(kT) = y_r(kT) - y(kT) \quad (\text{ข-1})$$

$$c(kT) = \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \quad (\text{ข-2})$$

โมเดลอ้างอิง เป็นการสร้างแบบจำลองของระบบให้เสมือนระบบจริง เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการกลไกการเรียนรู้เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบกระบวนการเรียนรู้เพื่อปรับตัวควบคุมฟัซซีที่เกิดขึ้นให้เข้าใกล้ระบบจริง โดยอาศัยโมเดลอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตของระบบ

แหล่งที่มาของ ตัวควบคุมฟuzzyที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง (FMRLC)

[http://www2.ece.ohio-state.edu/~passino/ICbook/Code/fmrlc\\_tanker.m](http://www2.ece.ohio-state.edu/~passino/ICbook/Code/fmrlc_tanker.m)

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นต่อออกจากตัวควบคุมฟuzzyที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง โดยทำการเพิ่ม และตัด Code ในโปรแกรม MATLAB โดยแสดง Code ที่เปลี่ยนแปลงของตัวพยากรณ์ฟuzzyที่เรียนรู้ เทียบกับ โมเดลอ้างอิง (FMRLF)

ทำการปรับค่าอัตราการขยาย (gain) ในส่วนของ Fuzzy controller

```
ge=1 ;,gc= 1 ;,gu=3;
```

ทำการปรับ กฎการควบคุมตัวแปรภาษาของ Fuzzy controller

```
fuzzyrules=[-0.5 -0.4 -0.3 -0.2 -0.1 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5;
             -0.4 -0.3 -0.2 -0.1 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6;
             -0.3 -0.2 -0.1 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7;
             -0.2 -0.1 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8;
             -0.1 0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9;
             0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1;
             0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1;
             0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1 1;
             0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1 1 1;
             0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1 1 1 1;
             0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1 1 1 1 1 1]*gu;
```

ทำการปรับค่าอัตราการขยาย (gain) ในส่วนของ Fuzzy controller

```
gye=1 ; , gyc=1; , gp=0.13;
```

ทำการปรับจำนวนข้อมูลที่ใช้ในตัวพยากรณ์ฟuzzyที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิงจะหยุดที่ข้อมูลที่ 39

```
tstop=39;
```

เพิ่มค่าโมเดลอ้างอิง แต่ละวัน( เพื่อสร้างกราฟ)

Re = [0.00 2.85 2.85 3.453 3.453 3.453 3.453 3.453 2.85 2.85 3.453 3.453 3.453  
3.453 3.453 2.85 3.453 3.453 3.453 3.453 3.453 3.453 2.85 2.85 3.453 3.453  
3.453 3.453 3.453 2.85 2.85 3.453 3.453 3.453 3.453 3.453 2.85 2.85 3.453  
3.453 ];

แสดงค่า  $p(kT)$  แต่ละวันเมื่อมีการปรับ

p=[0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0];

แสดงค่าการใช้ น้ำครั้งก่อน

yr = [ 3.625 3.125 3.035 4.178 3.732 3.74 3.875 3.036 2.804 2.865 3.643 3.721  
3.464 3.625 3.527 2.785 3.5 3.929 3.384 3.555 3.375 3.804 2.678 2.41 3.339 3.33  
3.224 3.285 3.419 2.856 3.134 3.16 3.286 3.036 3.054 3.106 2.857 2.804 3.169  
3.187];

แสดงค่ากระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $y(kT)$  แต่ละวัน

y=[0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ,0,0,0,0,0 ];

เพิ่ม ข้อมูล อินพุต1 และอินพุต2

i1 = [0.6 0.6 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.6 0.6 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.6 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.6 0.6 0.8  
0.8 0.8 0.8 0.8 0.6 0.6 0.8 0.8 0.8 0.8 0.6 0.6 0.8 0.8];

i2 = [0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49  
0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49 0.49];

แบบจำลอง โมเดลอ้างอิง

r(index)=(i1(index)\*i2(index)\*0.40\*22);



การปรับการพยากรณ์จากการเรียนรู้

```
if uold(index)>yr(index)
    y(index)= yr(index)- (uold(index)*0.4) ;
else uold(index)<yr(index)
    y(index)= yr(index)+ (uold(index)*0.4) ;
end
```

ประกาศตัวแปร อินพุต1 และ อินพุต2

```
e=i1(index);
```

```
c=i2(index);
```

สร้างกราฟจากการพยากรณ์ตัวพยากรณ์พีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ โมเดลอ้างอิง

```
title ('FMRLF');
```

```
plot(yr,'blue ');hold on;
```

```
plot(uold,'red'); hold on;
```

```
plot(rr,'black');hold on;
```

```
grid on;
```

```
xlabel('Day');
```

```
ylabel('Daily Water Use (1000 Cubic meters)');
```

```
legend ('Using water value','FMRLF','Reference Model');
```

ได้ทำการตัด Code ในโปรแกรม MATLAB ส่วนของตัวควบคุมพีชชีที่เรียนรู้เทียบกับ  
โมเดลอ้างอิง (FMRLC)

ตัดส่วนของ Output of the plant

```
A=[0 1;-w_p^2 -2*zeta_p*w_p];
```

```
B=[0; 1];
```

```
C=[k_p 0];
```

```
while t <= tstop
```

```
    y(index)=C*x;
```

ตัดตัวแปรอินพุต

```
r(index)=sin(.6*t);
```

ตัดแบบจำลอง โมเดลอ้างอิง

```
ym(index)=(1/(2+a_r*step))*((2-a_r*step)*ymold+.... k_r*step*(r(index)+roid));
```

ตัดส่วนของ Calculated next state

```
time(index)=t;
```

```
F=A*x+B*u(index);
```

```
k1=step*F;
```

```
xnew=x+k1/2;
```

```
F=A*xnew+B*u(index);
```

```
k2=step*F;
```

```
xnew=x+k2/2;
```

```
F=A*xnew+B*u(index);
```

```
k3=step*F;
```

```
xnew=x+k3;
```

```
F=A*xnew+B*u(index);
```

```
k4=step*F;
```

```
x=x+(1/6)*(k1+2*k2+2*k3+k4);
```

ตัดส่วนการสร้างกราฟ

```
subplot(211)
```

```
plot(time,y,'-',time,ym,'--')
```

```
xlabel('Time (sec)')
```

```
title('Output of plant (solid) and reference model (dashed)')
```

```
subplot(212)
```

```
plot(time,u)
```

```
xlabel('Time (sec)')
```

```
title('Output of fuzzy controller (input to the plant)')
```

**ภาคผนวก ค**

**การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน**



# EENET2016

**Innovation for Sustainability Entrepreneur**  
25-27 May 2016, Duangjitt Resort & Spa,  
Patong Beach, Phuket



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8  
**The 8th Conference of Electrical Engineering Network  
of Rajamangala University of Technology**



**Conference Topics**

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- พลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน (ES)
- นวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ (IN)
- งานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)












# การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8

The 8<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET2016)

จอมพลเกียรติคุณนี้มีให้เพื่อแสดงว่า

“สมรรถนะของตัวพหุภาคีที่เรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเชิงสหสาขาการพหุภาคีความต้องการการบูรณะสัน”

ได้

ศิริวัฒน์ ชูพาณิชย์ และ เกียรติชัย ทองหนู

ได้เข้าร่วมนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8  
ระหว่างวันที่ 25-27 พฤษภาคม พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมอภิมหาจักรี โฮเทล แอนด์ สปา จังหวัดภูเก็ต

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประธานภาคดำเนินการประชุมวิชาการ EENET2016

## สมรรถนะของตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น

### Performance of a Fuzzy Model Reference Learning Forecaster for Short-Term Water Demand Forecasting

ศิริวัฒน์ ชูวณิชย์ และ เกริกชัย ทองหนู

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลักษณ์สงขลานครินทร์

15 ถ.กาญจนาภิเษก อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา โทรศัพท์ 074-287045 E-mail: [sirawatchuz@gmail.com](mailto:sirawatchuz@gmail.com) , E-mail: [krekchait@psu.ac.th](mailto:krekchait@psu.ac.th)

#### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอสมรรถนะของตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น กลไกการเรียนรู้แบบปรับตัวทำหน้าที่ปรับฐานความรู้ของตัวควบคุมฟัซซีพื้นฐานเทียบกับโมเดลอ้างอิง โดยใช้จำนวนผู้ใช้ น้ำ กิจกรรมและการใช้น้ำในอดีตเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะส่งผลการพยากรณ์ ตัวพยากรณ์การใช้น้ำนี้ถูกทดสอบโดยใช้ข้อมูลการใช้น้ำจริง ซึ่งผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมพัทธ์แบบสมบูรณ์ (AARE) มีค่าต่ำกว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีใช้อยู่

คำสำคัญ: การพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น, ฟัซซีลอจิก, ตัวควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง, ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

#### Abstract

This research paper presents the performance of a Fuzzy Model Reference Learning Forecaster for short-term water demand forecasting. The adaptive fuzzy logic learning mechanism adjusts knowledge base depending on reference model values and measured values. The forecaster uses number of consumption, type of activities, and previous-day water usage values as the inputs to the forecaster. The forecaster was tested using actual water data. It is found that Average Absolute Relative Error (AARE) is less than existing forecasters.

Keywords: Short-term Water Demand Forecasting, Fuzzy Logic, Fuzzy Model Reference Learning Controller, Fuzzy Model Reference Learning Forecaster

#### 1. บทนำ

ปัญหาเรื่องการจัดการน้ำนับวันยังมีความสำคัญมากขึ้น มีการนำเสนองานพยากรณ์ระยะสั้น ดังเช่น กรณีศึกษาในเมืองเจิ้งโจว ประเทศจีน [1] ความต้องการในการใช้น้ำแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีค่าแตกต่างกันอย่างมาก ทำให้ต้องวางแผนการจัดการล่วงหน้าเพื่อให้มีการใช้น้ำที่เพียงพอต่อความต้องการ และในศึกษาที่เมืองเดहरาน ประเทศ

อิหร่าน [2] ซึ่งเป็นประเทศที่พบวิกฤตการขาดแคลนน้ำจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจ พบว่าการวางแผนและการจัดการน้ำที่ช่วยให้อุปทานน้ำได้อย่างยั่งยืน

มีการนำเอาวิธีการปัญญาประดิษฐ์มาใช้อย่างหลากหลาย เนื่องจากวิธีการปัญญาประดิษฐ์มีความสามารถในการเรียนรู้ การให้เหตุผลและการปรับตัว เป็นต้น โดยวิธีการปัญญาประดิษฐ์มีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ วิธีการฟัซซีลอจิก (Fuzzy logic method) วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network method) และวิธีการนิวโร-ฟัซซี (Neuro-fuzzy method)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์การใช้น้ำในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ซึ่งประสบปัญหาภัยแล้งใน พ.ศ. 2556 ดังนั้นการศึกษากิจการจัดการด้านน้ำจึงมีความสำคัญที่จะช่วยวางแผนการผลิตน้ำจากอ่างเก็บน้ำเสริมเข้ามาในระบบให้มีความเพียงพอต่อการอุปโภคบริโภค ในส่วนถัดไปจะนำเสนอวิธีการฟัซซีลอจิก วิธีการระบบควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปรับตัว วิธีการควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง รวมไปถึงวิธีการใหม่ ซึ่งเป็นวิธีการพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง ขั้นตอนการวิจัย ผลการวิจัยและสรุป

#### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

**2.1 ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) [3]** เป็นวิธีที่ช่วยการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูล ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกจะประกอบไปด้วย

**ฟัซซีเซต (Fuzzy Set)** จะบอกถึงจำนวนสมาชิกทั้งหมดที่อยู่ในเซต ถ้าจำนวนนั้นอยู่ในเซตฟัซซีทั้งหมดจะมีค่าเป็น 1 แต่ถ้าไม่อยู่ในเซตจะมีค่าเป็น 0 ถ้าอยู่บ้างบางส่วนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

**ฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function)** เป็นการบอกถึงระดับความเป็นสมาชิก โดยเส้นที่มีความชันจะบอกถึงค่าความเป็นสมาชิกมีความเหลื่อมล้ำกันระหว่างเซต โดยฟังก์ชันสมาชิกจะมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ฟังก์ชันสามเหลี่ยม ฟังก์ชันซิกมอยด์ ฟังก์ชันเกาส์เซียน เป็นต้น

**กฎของฟัซซี (Fuzzy Rule)** การสร้างกฎของฟัซซี จะนำความรู้หรือการวิเคราะห์ของมนุษย์มากำหนด ตัวแปรภาษา (Linguistic variable) โดยใช้หลักเหตุผลที่คล้ายแบบความคิดของมนุษย์ ซึ่งแสดงถึงค่าที่เป็นคำพูด เช่น น้อย ปานกลางหรือมาก เป็นต้น

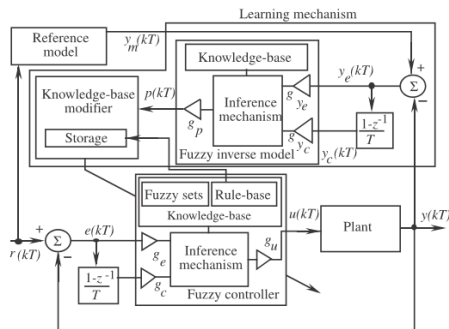


2.2 วิธีการระบบควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปรับตัว [4] จะเป็นการนำทฤษฎีจากฟัซซีลอจิกมาใช้ร่วมกับกลไกการเรียนรู้เพื่อปรับฐานความรู้ของฟัซซีลอจิกพื้นฐานในส่วนของ การปรับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเอาต์พุตเพื่อปรับตัวให้เข้าใกล้ผลตอบสนองของระบบควบคุม และสามารถสร้างระบบการควบคุมตัวเอง (Self-organizing controller) สำหรับรายละเอียดของการใช้พารามิเตอร์ที่จะส่งผลให้ระบบปรับตัวได้ มีดังต่อไปนี้

การปรับอัตราส่วนย่อยขยาย (Gain) จะอยู่ในส่วนของฟัซซีเซต สามารถแปลงเอกภพสัมพัทธ์ของตัวแปรฟัซซีให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม

การปรับรูปร่างของค่าตัวแปรภาษา โดยปกติแล้วฟังก์ชันสมาชิกหนึ่งตัวจะแทนที่ด้วยค่าตัวแปรภาษาหนึ่งตัว เมื่อมีการปรับรูปร่างของค่าตัวแปรภาษา ฟังก์ชันสมาชิกของค่าตัวแปรภาษาก็จะเปลี่ยนแปลง

2.3 ตัวควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง [5] (Fuzzy Model Reference Learning Controller, FMRLC) มีส่วนประกอบสำคัญทั้งหมด 3 ส่วน คือ ตัวควบคุมฟัซซี (Fuzzy controller) โมเดลอ้างอิง (Reference model) และ กลไกการเรียนรู้ (Learning mechanism) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างตัวควบคุมฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง [5]

ตัวควบคุมฟัซซี เป็นกระบวนการสร้างระบบควบคุม โดยอาศัยการทำงานของกลไกการเรียนรู้เพื่อการปรับรูปร่างของค่าตัวแปรภาษาภายในตัวควบคุมฟัซซี ซึ่งอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี ได้แก่ ความคลาดเคลื่อน  $e(kT)$  และการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $c(kT)$  แสดงดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2

$$e(kT) = y_r(kT) - y(kT) \tag{1}$$

$$c(kT) = \frac{e(kT) - e(kT - T)}{T} \tag{2}$$

ตัวควบคุมฟัซซีจะมีย่านเอกภพสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง [-1,1] สามารถที่จะออกแบบให้มีค่าอัตราขยาย (Gain)  $g_e, g_c, g_u$  จะถูกนำมาใช้เพื่อขยายย่านเอกภพสัมพัทธ์ของ  $e(kT), c(kT)$  และค่าเอาต์พุตของตัวควบคุม  $u(kT)$  โดยฐานความรู้ของตัวควบคุมฟัซซีมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการอินพุตที่อยู่ในกฎของการควบคุม If-Then แสดงดังนี้

If  $e_n$  (Error) and  $c_n$  (Change error) Then  $u_n$  (Controller error)

โมเดลอ้างอิง เป็นการสร้างแบบจำลองของระบบให้เสมือนระบบจริง เพื่อนำมาใช้ในกระบวนการกลไกการเรียนรู้เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบกระบวนการเรียนรู้เพื่อปรับตัวควบคุมฟัซซีที่เกิดขึ้นให้เข้าใกล้ระบบจริง โดยอาศัยโมเดลอ้างอิงเปรียบเทียบกับเอาต์พุตของระบบ ซึ่งจะได้ค่าความคลาดเคลื่อน  $y_e(kT)$  และเรียนรู้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นครั้งหน้าก่อน เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $y_e(kT)$  ดังที่แสดงในสมการที่ 3 และสมการที่ 4

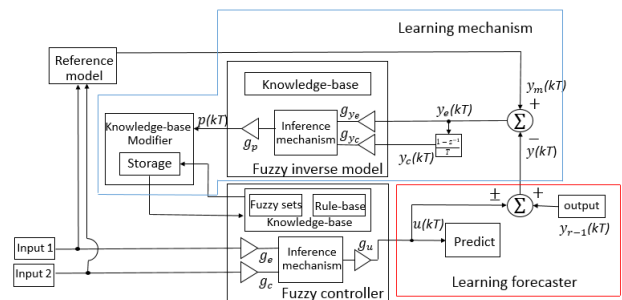
$$y_e(kT) = y_m(kT) - y(kT) \tag{3}$$

$$y_c(kT) = y_e(kT) - y_{eold}(kT) \tag{4}$$

ค่าอินพุตความคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อนจะถูกนำไปใช้ในกลไกการเรียนรู้สำหรับใช้เป็นอินพุตของการอนุมานกฎในฟัซซีผกผัน (Fuzzy inverse model) เพื่อการปรับรูปร่างของค่าตัวแปรภาษาของตัวควบคุมฟัซซีให้เข้าใกล้ระบบจริงยิ่งขึ้น

### 3. Fuzzy Model Reference Learning Forecaster (FMRLF)

ตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง (FMRLF) เป็นวิธีการที่พัฒนาจาก FMRLC โดยเพิ่มในส่วนของการเรียนรู้จากผลการพยากรณ์และเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้จากการพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนในอดีต โครงสร้างวิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง แสดงดังรูปที่ 2 มีส่วนประกอบสำคัญทั้งหมด 4 ส่วน คือ การควบคุมฟัซซี (Fuzzy controller) โมเดลอ้างอิง (Reference model) กลไกการเรียนรู้ (Learning mechanism) และมีการเพิ่มในส่วนของการเรียนรู้จากการพยากรณ์ (Learning forecaster)



รูปที่ 2 วิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง

#### 3.1 กระบวนการทำงานของ FMRLF

วิธีการนี้จะเริ่มต้นจากกลไกการเรียนรู้จากโมเดลอ้างอิงที่รับค่าข้อมูลมาจากอินพุต 1 (Input 1) และ อินพุต 2 (Input 2) นำไปใช้ในการสร้างโมเดลอ้างอิง  $y_m(kT)$  ลงกับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์  $y(kT)$  (Learning forecaster) ที่ได้ทำการพยากรณ์ในครั้งก่อน  $u(kT)$  เปรียบเทียบกับการค่าจริงในครั้งก่อน  $y_{r-1}(kT)$  ถ้าค่าพยากรณ์การใช้น้ำครั้งก่อน สูงกว่า ค่าการใช้น้ำจริงในครั้งก่อน จะทำการปรับลดการเรียนรู้พยากรณ์ให้น้อยลง แต่ถ้าค่าพยากรณ์การใช้น้ำครั้งก่อน ต่ำกว่า ค่า



การใช้น้ำจริงในครั้งก่อน จะทำการปรับเพิ่มการเรียนรู้การพยากรณ์ให้มากขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อน  $y_e(kT)$  และค่าการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $y_c(kT)$  ที่เกิดในกลไกการเรียนรู้ จะถูกการประมวลผลจาก Fuzzy inverse model เพื่อปรับฟังก์ชันสมาชิกใน Fuzzy controller ให้ใกล้เคียงกับค่าจริง เพื่อที่จะพยากรณ์ครั้งต่อไป

**3.2 กระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์** จะถูกนำมาใช้เมื่อจะมีการพยากรณ์ครั้งต่อไป โดยจะทำการเปรียบเทียบว่า ในการพยากรณ์ในอดีตมีการพยากรณ์ที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความเป็นจริง ถ้าการพยากรณ์มีค่าสูงกว่าค่าการใช้น้ำจริงจะแทนด้วย สมการที่ 5 ในทางกลับกัน ถ้าการพยากรณ์มีค่าต่ำกว่าการใช้น้ำจริงจะแทนด้วย สมการที่ 6

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) - 0.15u(kT) \quad (5)$$

$$y(kT) = y_{r-1}(kT) + 0.15u(kT) \quad (6)$$

#### 4 ขั้นตอนการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้

**4.1 ฐานข้อมูล** ข้อมูลที่นำมาใช้ ได้แก่ ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ ข้อมูลกิจกรรม และการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยทำการรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2558 ถึง วันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2558

#### 4.2 เครื่องมือที่ใช้การประมวลผล

**โปรแกรม Matlab 2008** ใช้ฟังก์ชัน mntool โครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้สำหรับการพยากรณ์การใช้น้ำ

**โปรแกรม FMRLF** ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้สำหรับการพยากรณ์การใช้น้ำ

**โปรแกรม Microsoft Excel 2013** ใช้ฟังก์ชัน Regression และใช้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวแบบจำลอง ทั้ง 3 รูปแบบโดยใช้ Average Absolute Relative Error (AARE) ซึ่งเป็นวิธีที่การได้รับความนิยมในการเปรียบเทียบการพยากรณ์ เพื่อใช้วัดประสิทธิภาพความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์ ซึ่ง AARE มีค่าน้อยแสดงถึง การพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูง ดังสมการที่ 7

$$AARE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \times 100 \quad (7)$$

$F_t$  = ค่าการพยากรณ์ ณ วันที่ t  $Y_t$  = ค่าการใช้น้ำจริง ณ วันที่ t

$N$  = จำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการพยากรณ์ทั้งหมด

#### 4.3 ขั้นตอนการวิจัย

##### 4.3.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ข้อมูลการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ( $u$ ) กับ ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ ( $Input1$ ) และข้อมูลกิจกรรม ( $Input2$ ) จำนวน 24 ข้อมูล ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ฟังก์ชัน Data analysis เลือกโหมด Regression ทำการวิเคราะห์ให้ได้สมการที่ 8

$$u = 4.2526 * Input1 + 0.2113 \quad (8)$$

$u$  = การใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์,  $Input1$  = เอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ,  $Input2$  = ข้อมูลกิจกรรม เป็นค่าคงที่

##### 4.3.2 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

ตัวแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ (ANN) ประกอบด้วย ชั้นอินพุตที่มีตัวแปรอินพุต 2 ตัวแปร ชั้นซ่อน 1 ชั้น มี 10 โหนด ชั้นซ่อนใช้ฟังก์ชันกระตุ้น Log-sigmoid โดยชั้นเอาท์พุตได้ใช้ฟังก์ชันกระตุ้น Linear

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ ข้อมูลกิจกรรม และข้อมูลการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ โครงข่ายประสาทเทียมชนิดที่มีการแพร่ย้อนกลับ Network Type : Feed forward backprop ใช้อัลกอริทึมในการเรียนรู้ Training Function : TRAINLM (Levenberg-Marquardt) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การเรียนรู้ Performance function : MSE จำนวนรอบในการเรียนรู้ 1000 รอบ โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ระดับน้ำแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการเรียนรู้ โดยข้อมูลที่ใช้ 24 ข้อมูล ทำการป้อนข้อมูล

อินพุตและข้อมูลเป้าหมายเข้าในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการปรับค่าน้ำหนักเพื่อลดความผิดพลาดในการพยากรณ์ให้อยู่ตามทีระบ

2. ขั้นตอนการทดสอบ ข้อมูลในการทดสอบในการพยากรณ์ 15 ข้อมูล เพื่อพยากรณ์การใช้น้ำ

##### 4.3.3 ตัวพยากรณ์พีชคณิตที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง (FMRLF)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็น ข้อมูลการใช้น้ำของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ ( $Input1$ ) และ ข้อมูลกิจกรรม ( $Input2$ )

ตัวแบบจำลอง FMRLF มีการกำหนดค่า Gain ดังนี้  $g_e = 1,$

$$g_c = 1, g_u = 3, g_{ye} = 1, g_{yc} = 1, g_p = 0.28$$

ตัวแบบจำลอง FMRLF ทำการจำลองโมเดลอ้างอิง ดังสมการที่ 9

$$R = Input1 * Input2 * 0.40 * 22 \quad (9)$$

$Input1$  = ข้อมูลเอกภพสัมพัทธ์ของจำนวนผู้ใช้น้ำ

$Input2$  = ข้อมูลกิจกรรม,  $R$  = โมเดลอ้างอิง

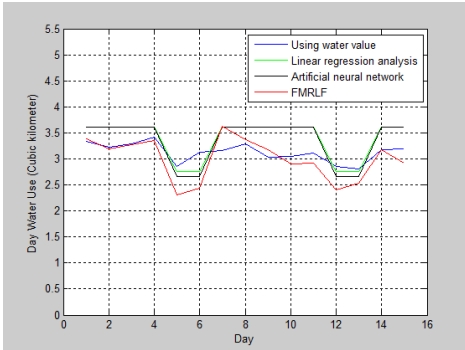
ค่าการพยากรณ์  $u(kT)$  ในครั้งก่อนจะถูกเปรียบเทียบกับ ค่าการใช้น้ำจริง  $y_{r-1}$  เพื่อทำการปรับกระบวนการเรียนรู้จากการพยากรณ์ดังสมการที่ 5 และ สมการที่ 6 จากนั้นจะทำการหาค่าความคลาดเคลื่อน  $y_e(kT)$  และการเปลี่ยนแปลงความคลาดเคลื่อน  $y_c(kT)$  ดังสมการที่ 3 และสมการที่ 4 จะถูกคำนวณผ่านกระบวนการ Fuzzy inverse model เพื่อให้ได้ค่า  $p(kT)$  ที่ใช้ในการปรับฟังก์ชันสมาชิกใน Fuzzy controller ข้อมูล Input 1 และ Input 2 จะถูกคำนวณผ่านกระบวนการ Fuzzy controller เพื่อการพยากรณ์การใช้น้ำในครั้งถัดไป

##### 4.3.4 การจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหล

ในการวิจัยได้ทำการจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหลทั้งหมด 4 แบบ คือ

วันเสาร์และวันอาทิตย์ในข้อมูลที่ 5 และข้อมูลที่ 6 น้ำรั่วไหล 5% และ 10% เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ในข้อมูล 3 ถึง ข้อมูล 9 น้ำรั่วไหล 5% และ 10%

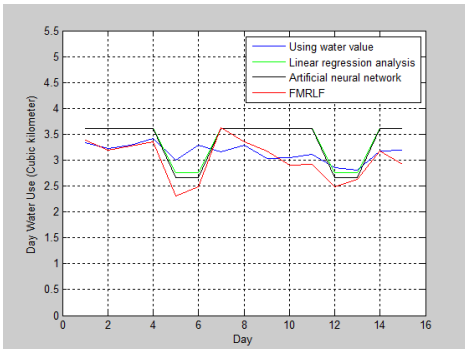
5. ผลการวิจัย



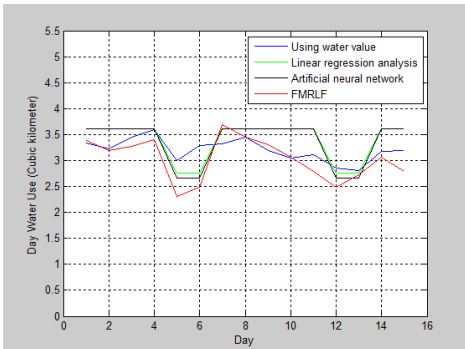
รูปที่ 3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของแบบจำลอง

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นแบบจำลอง FMRLF มีการเรียนรู้ในการปรับค่าตามสภาพเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ดีในการพยากรณ์ แต่เราจะเห็นว่าแบบจำลอง FMRLF ยังมีความคลาดเคลื่อนในส่วนของ การพยากรณ์มากกว่าความเป็นจริง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำที่เกิดขึ้นจากวันก่อนหน้าโดยแบบจำลอง FMRLF จะทำการเรียนรู้การพยากรณ์ที่คลาดเคลื่อนใช้ปรับการพยากรณ์ในครั้งถัดไป

จากการจำลองเหตุการณ์น้ำรั่วไหล วันเสาร์และวันอาทิตย์ (ข้อมูล 5-6) ทั้งหมดสองแบบ คือ น้ำรั่วเพิ่มการใช้น้ำจริง 5%, 10% และน้ำรั่วไหล 1 สัปดาห์ (ข้อมูล 3-9) น้ำรั่วไหลการใช้น้ำจริง 5%, 10% แสดงดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5% (เสาร์-อาทิตย์)



รูปที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำรั่ว 5% (1สัปดาห์) ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมรรถนะของแบบจำลอง

เหตุการณ์	Average absolute relative error (AARE)		
	LRA	ANN	FMRLF
ปกติ	10.77	11.70	7.60
น้ำรั่ววันเสาร์-อาทิตย์ 5%	11.36	12.27	7.54
น้ำรั่ววันเสาร์-อาทิตย์ 10%	11.89	12.78	7.40
น้ำรั่วหนึ่งสัปดาห์ 5%	9.58	10.49	7.83
น้ำรั่วหนึ่งสัปดาห์ 10%	9.03	9.92	8.98

จากตารางที่ 1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะภาพของวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (LRA)วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) และวิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิง (FMRLF) จะเห็นได้ว่าวิธีการ FMRLF มีค่า AARE ต่ำสุดในทุกเหตุการณ์

6. สรุป

บทความนี้เป็นการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้นในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งพัฒนาแบบจำลองขึ้นมาใหม่โดยวิธีการตัวพยากรณ์ฟัซซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงโดยอาศัยการเรียนรู้จากการพยากรณ์ในวันก่อนหน้าเพื่อให้แบบจำลองมีการปรับค่าการพยากรณ์ครั้งต่อไปให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีการ FMRLF มีค่า AARE เท่ากับ 7.6% แสดงถึงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบบจำลองของวิธีการ LRA และวิธีการ ANN

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.Lie, R.Zhang, and L.Wang, "Prediction of urban short-term water consumption in zhengzhou city," in 2010 Int. Conf. on Intelligent Computation Technology and Automation., 2010, pp. 922-926.
- [2] M. Tabesh and M. Dini, "Fuzzy and neuro-fuzzy models for short-term water demand forecasting in tehran," Iranian J. of Sci & Technology, vol. 33, no. b1, pp. 61-77, 2009.
- [3] T. J. ROSS, "Fuzzy logic with engineering applications" in John Wiley & Sons Ltd, 2nd ed. Chichester, England, 2004, pp. 13-177
- [4] นวพรรณ ชนสุด, "การควบคุมกำลังสูงสุดของระบบเซลล์เชื้อเพลิงชนิดโซลิดออกไซด์ต่อกับกริดโดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแบบปรับตัวได้," ปริญาโท, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2550
- [5] J. R. Layne and K.M. Passino, "Fuzzy model reference learning control," in 1st IEEE Conf. on Control Applications., 1992, pp. 686-691.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายศิริวัฒน์ ชูวานิชย์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5610120072

## วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2554

## ทุนการศึกษา

ทุนผู้ช่วยสอนสำหรับนักศึกษาบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ศิริวัฒน์ ชูวานิชย์, “สมรรถนะของตัวพยากรณ์พีชซีที่เรียนรู้เทียบกับโมเดลอ้างอิงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำระยะสั้น”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 8, pp. 517-520, 2559.