การประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก : กรณีศึกษาลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา

Water Level Estimation Using Fuzzy Logic Technique : A Case Study of U-Tapao River, Songkhla Province.

สุชาวดี อัคคอิชยา

SUCHAWADEE AGGAITCHAYA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Management of Information Technology
Prince of Songkla University

2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก : กรณีศึกษาลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา

ผู้เขียน นางสาวสุชาวดี อัคคอิชยา

สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ดร.นพมาศ ปักเข็ม)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา เวทย์ประสิทธิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ

…….....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอแสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์)
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ลงชื่อ.....
(นางสาวสุชาวดี อัคคอิชยา)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นางสาวสุชาวดี อัคคอิชยา)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก : กรณีศึกษาลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา

ผู้เขียน นางสาวสุชาวดี อัคคอิชยา

สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินระดับน้ำบริเวณ สถานีโทรมาตร บ้านบางศาลา (X.90) คลองอู่ตะเภา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่สถานีโทรมาตร บ้านม่วงก็อง (X.173A) ปริมาณน้ำฝนบริเวณสถานีโทรมาตร บ้านบางศาลา (X.90) ปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลา สร้างรูปแบบระบบฟัซซี่ 2 รูปแบบ เพื่อทำนายระดับน้ำในเหตุการณ์อุทกภัยหาดใหญ่ ปี 2554 และประเมินค่าความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.34 MAPE เท่ากับ 12.44 และ รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.38 MAPE เท่ากับ 13.18

คำสำคัญ: อุทกภัย ฟัซซี่ลอจิก การประเมินระดับน้ำ

Thesis Title Water Level Estimation Using Fuzzy Logic Technique : A Case Study of U-Tapao River, Songkhla Province.

Author Miss Suchawadee Aggaitchaya

Major Program Management Information Technology

Academic Year 2013

ABSTRACT

This paper presents water level estimation using a fuzzy logic technique. Fuzzy logic modeling was used to estimate water levels at Ban Bang Sala telemetry station (X.90) U-Tapao canal, Songkhla province. By studying the relationship of water levels at Ban Maung Kong telemetry stations (X.173A), rainfall in Ban Bang Sala telemetry station (X.90) area, and water released from Khlong Cham Rai reservoir and Khlong La reservoir, the information obtained was used to create 2 fuzzy logic models which forecast the water levels of flood situation occurred in Hat Yai area in 2011. Moreover, root mean square error (RMSE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) were used to qualify the models. The results show that the first fuzzy logic model gives 0.34 RMSE and 12.44 MAPE while the second fuzzy logic model gives 0.38 RMSE and 13.18 MAPE.

Keywords: flood, fuzzy logic, water level estimation

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี ทั้งนี้เนื่องด้วยความเมตตาช่วยเหลือและให้การสนับสนุนอย่างดียิ่งจากบุคคลหลายท่านคือ

รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.ธนิต เฉลิมยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการดำเนินการวิทยานิพนธ์ สนับสนุนให้ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยครั้งนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ในที่สุด และเป็นกำลังใจให้แก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

คณะกรรมการสอบทุกท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา เวทย์ประสิทธิ์ และ ดร.นพมาศ ปักเข็ม ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบ

คุณพ่ออนุวัฒน์ คุณแม่เนาวรัตน์ พี่ศิรินทร์ น้องศศิประภา น้องสโรชา อัคคอิชยา และคุณประพันธ์ เพชรสงคราม ผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้า ตลอดมา

รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ท่านอื่นที่ดีต่อข้าพเจ้าอยู่เสมอ คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และแลกเปลี่ยนประสบการณ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า

ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอกราบขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ด้วย

สุชาวดี อัคคอิชยา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ .....(5)
ABSTRACT.....(6)
กิตติกรรมประกาศ.....(7)
สารบัญ .....(8)
รายการตาราง.....(11)
รายการภาพประกอบ.....(12)
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 การตรวจสอบเอกสาร.....2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....4
1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย 5
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....6
2.1 พื้นที่ศึกษา 6
2.1.1 ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา.....9
2.1.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดอุทกภัยในอำเภอหาดใหญ่ 10
2.2 ฟัซซี่ลอจิก 11
2.2.1. แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก 12
2.2.2. นิยามของฟัซซี่เซต.....13
2.2.3. การดำเนินการทางฟัซซี่เซต 13
2.2.4. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก 15
2.2.5. ลักษณะการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก.....18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย....21
3.1 ข้อมูลและอุปกรณ์....21
3.1.1. ข้อมูลน้ำ....21
3.1.2. โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา....21
3.2 ขั้นตอนการศึกษา....21
3.2.1. การศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง....22
3.2.2. การเก็บรวบรวมข้อมูล....24
3.2.3. การเลือกและการเตรียมข้อมูล....24
3.2.4. การออกแบบและสร้างระบบเพื่อประเมินระดับน้ำ....25
3.2.5. การประเมินความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ....26
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย....27
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ศึกษา....27
4.1.1. การเตือนภัยน้ำท่วม....27
4.1.2. ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา....31
4.1.3. ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูล....31
4.2 ผลการออกแบบและสร้างระบบประเมินระดับน้ำ....34
4.2.1. ผลการออกแบบระบบฟัซซี่....34
4.2.2. ผลการสร้างระบบฟัซซี่จากการวิเคราะห์ชุดข้อมูล....35
4.2.3. ผลการประเมินระดับน้ำ....36
4.2.4. ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ....39
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ....42
5.1 สรุปผลการวิจัย....42
5.2 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย....44
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย....45
5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป....46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง 47
ภาคผนวก 49
ภาคผนวก ก : แผนผังแสดงสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภา 50
ภาคผนวก ข : ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย 51
ภาคผนวก ค : การสร้างระบบฟัซซี่จากการวิเคราะห์ข้อมูล 71
ภาคผนวก ง : การสร้างระบบฟัซซี่ ด้วยโปรแกรม MATLAB 2008 78
ภาคผนวก จ : รายละเอียดของกฎการตัดสินใจ 95
ภาคผนวก ฉ : ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่ 103
ประวัติผู้เขียน 115

รายการตาราง

ตาราง หน้า

2-1 รายชื่อสถานีโทรมาตรในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา 9
4-1 ระยะห่างจากจุดเฝ้าระวังน้ำท่วมถึงอำเภอหาดใหญ่.....27
4-2 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำและเวลาของน้ำหลากที่โทรมาตร X.173A และโทรมาตร X.90.....30
4-3 ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลระดับน้ำจากสถานี X.173A ไปยัง สถานี X.90 31
4-4 ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลระดับน้ำที่ สถานี X.90 32
4-5 ค่าตัวแปรที่ใช้ในแต่ละการทดสอบและผลจากการทดสอบสร้างระบบฟัซซี่.....32
4-6 ตัวแปรที่ใช้ในระบบประเมินระดับน้ำ.....35
4-7 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร 36
4-8 ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ของระบบ 37
4-9 ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ของระบบ กรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร 39
4-10 ค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ของการ ตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ.....40

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

2-1 พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่....7
2-2 ลักษณะภูมิประเทศ อำเภอหาดใหญ่....8
2-3 สถานีสำรวจอุทกวิทยาลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา....10
2-4 ตรรกศาสตร์แบบเดิม (Boolean logic) กับฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic)....12
2-5 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตแบบฉบับและฟัซซี่เซต....13
2-6 ยูเนียนของฟัซซี่เซต A และB....14
2-7 อินเตอร์เซกชันของฟัซซี่เซต A และ B....14
2-8 คอมพลีเมนต์ ของฟัซซี่เซต A....15
2-9 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular membership function)....15
2-10 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function)....16
2-11 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)....16
2-12 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)....17
2-13 ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth membership function)....17
2-14 ฟังก์ชันตัวแซด (Z-membership function)....18
2-15 แผนภาพแสดงลักษณะการแก้ปัญหาแบบฟัซซี่ลอจิก....18
2-16 ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซี่อินพุต....19
2-17 ขั้นตอนที่ 2 การนำกฎมาประมวลผลร่วมกัน....19
2-18 ขั้นตอนที่ 3 ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาฟัซซี่เอาต์พุต....20
2-19 ขั้นตอนที่ 4 นำค่าที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบ....20
3-1 ขั้นตอนในการศึกษา....22
3-2 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา....23
3-3 โครงสร้างระบบ Fuzzy เพื่อทำนายระดับน้ำ....25
4-1 สถานีบ้านม่วงก็องX.173A....28
4-2 เสาวัดระดับน้ำสถานีบ้านม่วงก็องX.173A....28
4-3 สถานีบ้านบางศาลาX.90....29
4-4 เสาวัดระดับน้ำสถานีบ้านบางศาลาX.90....29
4-5 ประตูระบายน้ำอู่ตะเภา....30
4-6 ผลการทดสอบการสร้าระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 1....33

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

4-7 ผลการทดสอบการสร้าระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 2 33
4-8 ผลการทดสอบการสร้าระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 3 33
4-9 ผลการทดสอบการสร้าระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 4 34
4-10 ผลการทดสอบการสร้าระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 5 34
4-11 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 37
4-12 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 37
4-13 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 กรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 38
4-14 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 กรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 39
4-15 ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 40
4-16 ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภัยพิบัติ หรือสาธารณภัย คือ ภัยอันเนื่องมาจากธรรมชาติ หรือ การกระทำของมนุษย์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน หรือยังความเสียหายมาสู่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และรัฐ [1] จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยได้รับผลกระทบจากอุทกภัยอยู่บ่อยครั้ง และก็มีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี อีกทั้งยังสร้างความเสียหายแก่ประชาชนเป็นวงกว้าง ไม่ว่าจะเป็นชีวิตความเป็นอยู่ ทรัพย์สิน ขวัญและกำลังใจ อุทกภัยไม่เพียงแต่สร้างความเสียหายแก่ประชาชน แต่ยังส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศอีกด้วย อำเภอหาดใหญ่ เป็นอำเภอหนึ่งในจังหวัด สงขลา เป็นศูนย์กลางด้านการค้า ธุรกิจ การท่องเที่ยว การคมนาคมขนส่งของภาคใต้ตอนล่าง มีสถานศึกษาที่สำคัญในจังหวัดภาคใต้ตอนล่าง อีกทั้งยังเป็นประตูสู่ประเทศเพื่อนบ้าน ทั้งมาเลเซีย และสิงคโปร์ ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม มีแนวภูเขาทางด้านทิศตะวันตก ทิศใต้ และทิศตะวันออก หาดใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ซึ่งเป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 2,400 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 7 อำเภอ ได้แก่ อำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอหาดใหญ่ อำเภอรัตภูมิ อำเภอบางกล่ำ และอำเภอควนเนียง มีความยาวโดยประมาณ 130 กิโลเมตร ไหลผ่านตัวเมืองหาดใหญ่ลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่บ้านแหลมโพธิ์ ตำบลคูเต่า อำเภอหาดใหญ่ อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 26.6-29.6 โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ในเดือนเมษายน และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ ปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,916.4 มิลลิเมตร ปริมาณฝนมากที่สุดเดือนพฤศจิกายน ในพื้นที่มีอ่างเก็บน้ำ 3 แห่ง คืออ่างเก็บน้ำสะเดา ขนาดบรรจุ 56 ล้านลูกบาศก์เมตร อ่างเก็บน้ำคลองหลา ขนาดบรรจุ 25 ล้านลูกบาศก์เมตร และอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร ขนาดบรรจุ 6 ล้านลูกบาศก์เมตร [2, 3]

พื้นที่อำเภอหาดใหญ่มักจะเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมอยู่บ่อยครั้ง จากสถิติจะพบว่ามักเกิดน้ำท่วมช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม เช่น 22 พฤศจิกายน 2531 น้ำท่วมบริเวณอำเภอหาดใหญ่เป็นวงกว้างมีพื้นที่ได้รับความเสียหายประมาณ 250 ตารางกิโลเมตร ระดับน้ำท่วมสูงประมาณ 1-2 เมตร ประเมินเป็นมูลค่าความเสียหายกว่า 4 พันล้านบาท 22 พฤศจิกายน 2543 พื้นที่น้ำท่วมขยายขนาดขึ้นเป็น 320 ตารางกิโลเมตร ระดับน้ำท่วมสูงประมาณ 2-3 เมตร และมีมูลค่าความเสียหายกว่า 18,000 ล้านบาท [4] 1 พฤศจิกายน 2553 ระดับน้ำในตัวอำเภอหาดใหญ่ท่วมสูง

ประมาณ 2-3 เมตร พื้นที่ได้รับความเสียหายคิดเป็น 80% ซึ่งสาเหตุมักเกิดจากที่มีฝนตกปริมาณมากติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน [5] จากเหตุการณ์อุทกภัยที่ผ่านมาส่งผลกระทบต่อประชาชนโดยตรงและยังสร้างความเสียหายอีกเป็นมูลค่ามหาศาลให้แก่ประชาชน ภาครัฐ และเอกชน ทำให้เกิดการตื่นตัวในกลุ่มนักวิจัย และหน่วยงานต่างๆ มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้คาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลก ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จำเป็นจะต้องมีข้อมูลเชิงลึก เช่น พื้นที่หน้าตัดคลอง ความกว้าง ความยาวคลอง อัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อมูลเชิงลึกเหล่านี้เป็นข้อมูลซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องอยู่เสมอ ทำให้เสียเวลา และค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ส่วนข้อมูลเพื่อการติดตามสถานการณ์น้ำท่วมที่ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงได้นั้นมีอยู่อย่างจำกัด เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพัฒนาระบบประเมินระดับน้ำ โดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เนื่องจากเทคนิคฟัซซี่ลอจิกนี้ เป็นเครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาที่มีความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยใช้หลักการคิดแบบมนุษย์ในการแก้ปัญหาซึ่งมักจะอยู่ในรูปแบบฐานกฎ IF-THEN rule ในการสร้างระบบเพื่อประเมินระดับน้ำบริเวณสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) คลองอู่ตะเภา อำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A) ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ปริมาณน้ำฝนบริเวณสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) และเนื่องจากระหว่างสถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็องถึงสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา มีอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลาตั้งอยู่ จึงศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลาเพื่อคาดการณ์ระดับน้ำที่จะเพิ่มขึ้นจากการปล่อยน้ำ และประเมินค่าความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ

1.2 การตรวจสอบเอกสาร

ในการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น ได้มุ่งเน้นไปที่ 2 ประเด็นหลัก ได้แก่ บริเวณพื้นที่ศึกษาเดียวกัน และลักษณะการพยากรณ์น้ำในรูปแบบต่างๆ มีงานวิจัย ดังนี้

วินัย แซ่จิ้ว [6] ได้ศึกษาการจำลองสภาพธรรมชาติโดยทางคณิตศาสตร์ เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับอุทกภัยเขตเมืองหาดใหญ่ โดยได้แบ่งพื้นที่การศึกษาตลอดความยาวคลองอู่ตะเภาออกเป็น 3 ส่วน คือ บริเวณต้น กลาง และท้ายน้ำ โดยเน้นศึกษาบริเวณบ้านบางศาลา ผ่านอำเภอหาดใหญ่ ไปสู่บ้านคูเต่า และใช้แบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ในการคำนวณการขึ้น-ลงของน้ำที่สืบเนื่องมาจากปริมาณฝนที่ตก จากการทำงานของแบบจำลองได้ผลสรุปว่า น้ำจะไหลจากบ้านบางศาลาสู่ตัวเมืองหาดใหญ่ได้ในเวลา 6 ชั่วโมง หมายความว่า หากเกิดน้ำสูงล้นตลิ่งบริเวณบ้านบางศาลา ก่อให้เกิดสภาพน้ำท่วมในอำเภอหาดใหญ่หลังจากนั้น 6 ชั่วโมง ปริมาณน้ำฝนที่จำลองตกลงในบริเวณบ้านบางศาลาหากมากกว่า 150 มิลิเมตร/วัน และตกติดต่อเป็นเวลามากกว่า 3 วัน ก็จะทำให้เกิดสภาวะน้ำท่วมอำเภอหาดใหญ่ได้เช่นกัน

ยุพา ชิดทอง และ เสรี ศุภราทิตย์ [7] ได้ทำการศึกษาแบบจำลอง Hybrid เพื่อการพยากรณ์ยอดน้ำ โดยมีฟัซซี่ลอจิกเป็นพื้นฐานของระบบ ใช้เจเนติก อัลกอลิทึมในการเลือกกฎฟัซซี่มาใช้งาน และใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการส่งค่าย้อนกลับ เพื่อเป็นการปรับปรุงอินพุต และเอาท์พุตของฟัซซี่ ในการทดลองพยากรณ์ระดับน้ำสูงสุดที่สะพานนวรัฐ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ (EI) มากกว่า 95% และค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error, RMSE) เป็น 0.134 m. เมื่อเทียบกับแบบจำลอง Neuro – Genetic และแบบจำลอง ANFIS ทั้งยังสามารถพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าได้ถึง 12ชั่วโมง

P. C. Nayak และคณะ [8] ได้ศึกษาวิธีการพยากรณ์น้ำท่วมระยะสั้น โดยใช้แบบจำลองนิวโรฟัซซี่ ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน และการไหลของน้ำ โดยพื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณลุ่มแม่น้ำ Kolar ในประเทศอินเดีย มีการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่พารามิเตอร์ในแบบจำลองด้วยวิธีการส่งค้าย้อนกลับ (Back Propagation) และการหาค่าความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares error methods) และทำการประเมินความถูกต้องกับ แบบจำลองฟัซซี่ และแบบจำลองนิวโรฟัซซี (Neurofuzzy) ในบริเวณศึกษาเดียวกัน โดยประเมินค่าสามค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดยกกำลังสอง และ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยแบบจำลองนิวโรฟัซซี่ คาดการณ์ได้ 47.95% ล่วงหน้า 1 ชั่วโมง มีความผิดพลาดน้อยกว่า 1% ในขณะที่แบบจำลองฟัซซี่ และแบบจำลองนิวโรฟัซซี ได้ค่า 36.96% และ 18.89% ซึ่งแบบจำลองนิวโรฟัซซี่จำคาดการณ์ได้ดีกว่า แบบจำลองฟัซซี่ และแบบจำลองนิวโรฟัซซี อย่างเห็นได้ชัดเมื่อคาดการณ์ล่วงหน้านานกว่า 6 ชั่วโมง

S. Phuphong and C. Surussavadee. [9] ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์น้ำท่าด้วยเครือข่ายประสาทเทียม โดยพยากรณ์น้ำที่สถานีบ้านม่วงก็อง (X.173A) และ สถานีบ้านตะเคียนเภา (X.112) ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา โดยจะพิจารณากรณีที่ไม่มีข้อมูลฝนที่ละเอียด ใช้ข้อมูลระดับน้ำที่สถานีอุทกวิทยาที่อยู่ต้นน้ำเป็นตัวแปรนำเข้า ในการฝึกแบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมใช้ข้อมูลปี 2551 และทดสอบความถูกต้องด้วยการพยาการณ์ระดับน้ำท่าปี 2552 เนื่องจากปี 2551 และ 2552 น้ำยังไม่มาก และมีอัตราการไหลของน้ำน้อย สามารถทำนาย

ระดับน้ำล่วงหน้าได้ 12 ชั่วโมง มีสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.92 และ 0.86 และค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 1.92% และ 6.67% สำหรับสถานีบ้านม่วงก็อง (X.173A) และ สถานีบ้านตะเคียนเภา (X.112) ตามลำดับ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีประเมินระดับน้ำ โดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก
2. เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก ด้วยค่าทางสถิติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีแบบจำลองในการประเมินระดับน้ำที่มีประสิทธิภาพ
2. เป็นข้อมูลสำหรับบุคคลทั่วไปในการเฝ้าระวังเมื่อเกิดสถานการณ์น้ำท่วม
3. เป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจแจ้งเตือนสถานการณ์น้ำท่วมสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาความสัมพันธ์ของระดับน้ำ ต่อปริมาณน้ำฝนในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา อำเภอ คลองหอยโข่ง จังหวัด สงขลา ตั้งแต่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A) จนถึงสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)
2. ใช้ข้อมูลระดับน้ำในลำน้ำ จากสถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง-จุดที่ 1 (X.173A) และสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา-จุดที่ 2 (X.90) ตั่งแต่เดือนกันยายน 2554 ถึง เดือนมกราคม 2555 จำนวน 148 วัน
3. ใช้ข้อมูลน้ำฝน จากสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ตั่งแต่เดือนกันยายน 2554 ถึง เดือนมกราคม 2555 จำนวน 148 วัน
4. พัฒนาแบบจำลองเพื่อประเมินระดับน้ำ โดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก บริเวณสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา อำเภอ คลองหอยโข่ง จังหวัด สงขลา
5. ประเมินความถูกต้องของแบบจำลองประเมินระดับน้ำด้วยค่าทางสถิติ

1.6 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ มีระเบียบวิธีวิจัยและขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องได้แก่ สาเหตุปัจจัยที่ทำให้เกิดอุทกภัยใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระบบการเตือนภัย เทคนิคฟัซซี่ลอจิก และอื่นๆที่จำเป็นต่อการศึกษาวิจัย

2. รวบรวมเอกสารและข้อมูลการเกิดอุทกภัยใน อ.หาดใหญ่ ข้อมูลน้ำฝน น้ำท่า ข้อมูลปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

3. การเลือกและเตรียมข้อมูลโดยต้องนำข้อมูลที่รวบรวมได้ไปผ่านกระบวนการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้ข้อมูล

4. ออกแบบและสร้างระบบเพื่อทำนายระดับน้ำ ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา X.90 ด้วยโปรแกรม MATLAB 2008

5. ประเมินความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ ปรับปรุงข้อผิดพลาดในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายระดับน้ำให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

6. เขียนรายงานสรุปผลการศึกษาวิจัยและนำเสนอผลการศึกษาวิจัย

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สถานีโทรมาตร คือระบบสำหรับตรวจวัดระยะไกล และจะส่งข้อมูลจากแต่ละสถานีมายังสถานีหลักโดยอัตโนมัติ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้สถานีโทรมาตร จึงรวมถึงคำว่าสถานี โทรมาตร สถานีสำรวจอุทกวิทยา

2. สถานี X.90 ในงานวิจัยนี้หมายถึง สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา คลองอู่ตะเภา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา

3. สถานี X.173A ในงานวิจัยนี้หมายถึง สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง คลองหล้าปัง อ.สะเดา จ.สงขลา

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิจัย เพื่อพัฒนาระบบประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก ประกอบด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับ พื้นที่ศึกษา อุทกภัยและปัจจัยการเกิดอุทกภัย แบบจำลอง เทคนิคฟัซซี่ลอจิก โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 พื้นที่ศึกษา

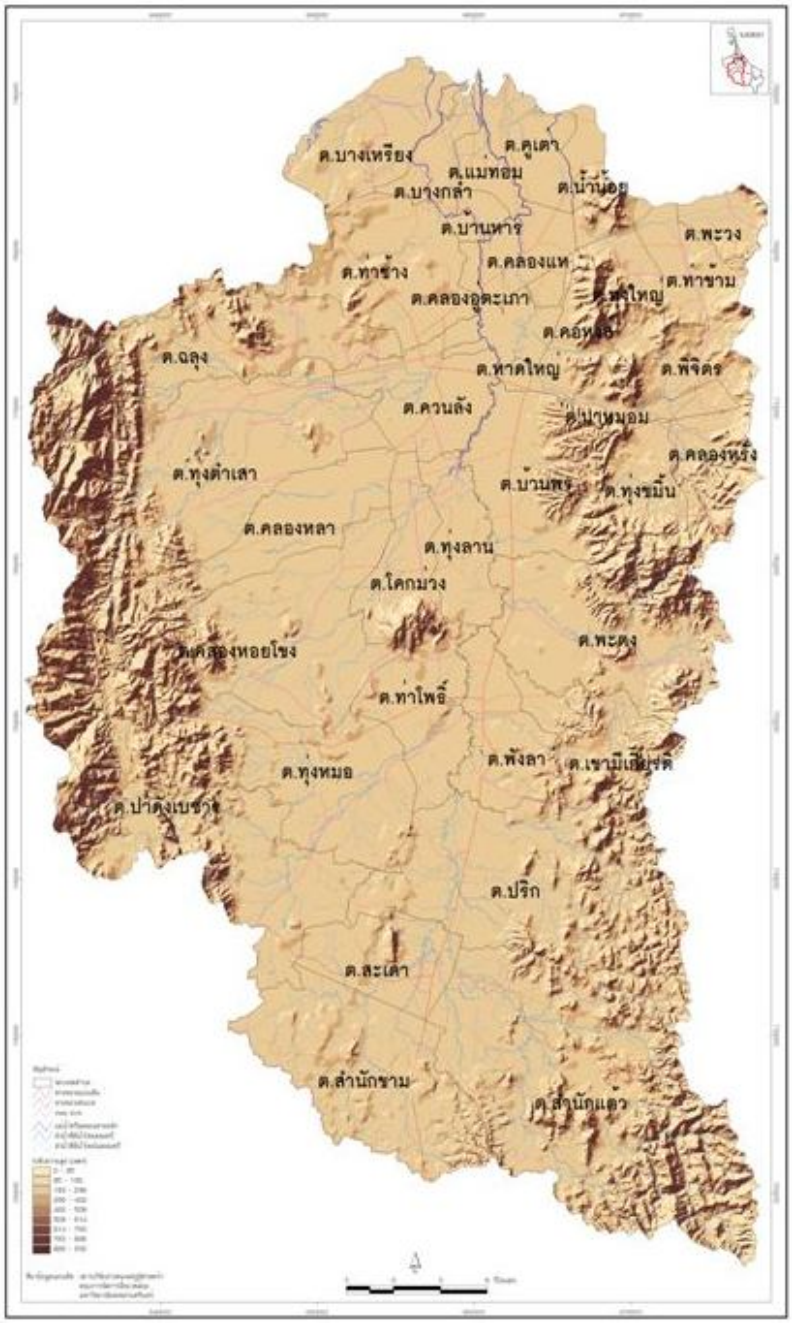
งานวิจัยนี้ ได้เลือกศึกษาในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา หาดใหญ่ถือได้ว่าเป็นเมืองที่สำคัญและใหญ่ที่สุดในภาคใต้ เนื่องจากเป็นแหล่งธุรกิจการค้า การคมนาคมขนส่ง การท่องเที่ยว การศึกษา และยังเป็นประตูสู่ประเทศเพื่อนบ้านทั้ง มาเลเซีย และสิงคโปร์ หาดใหญ่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดสงขลา ห่างจากตัวจังหวัด 30 กิโลเมตร มีเนื้อที่ประมาณ 764 ตารางกิโลเมตร หรือ 478,093.92 ไร่ มีประชากรประมาณ 368,077 คน อำเภอหาดใหญ่แบ่งพื้นที่การปกครองออกเป็น 13 ตำบล และ 98 หมู่บ้าน ได้แก่ ตำบลหาดใหญ่ ตำบลควนลัง 6-หมู่บ้าน ตำบลคูเต่า 10 หมู่บ้าน ตำบลคอหงส์ 8 หมู่บ้าน ตำบลคลองแห 11 หมู่บ้าน ตำบลคลองอู่ตะเภา 4 หมู่บ้าน ตำบลฉลุง 6 หมู่บ้าน ตำบลทุ่งใหญ่ 6 หมู่บ้าน ตำบลทุ่งตำเสา 10 หมู่บ้าน ตำบลท่าข้าม 8 หมู่บ้าน ตำบลน้ำน้อย 10 หมู่บ้าน ตำบลบ้านพรุ 11 หมู่บ้าน และ ตำบลพะตง 8 หมู่บ้าน ดังแสดงในภาพประกอบ 2-1

อาณาเขตติดต่อ

- ทิศเหนือ ติดต่อกับทะเลสาบสงขลา อำเภอเมืองสงขลา
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับอำเภอเมืองสงขลา และอำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา
- ทิศตะวันตก ติดต่อกับอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา อำเภอเมืองสตูล จังหวัดสตูล และ อำเภอรัตภูมิ จังหวัดสงขลา
- ทิศใต้ ติดต่อกับอำเภอสะเดา และอำเภอคลองหอยโข่ง จังหวัดสงขลา [10]

ภาพประกอบ 2-1 พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ [11]

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มกว้างใหญ่ ล้อมรอบด้วยแนวภูเขาทางด้านทิศตะวันตก ทิศใต้ และทิศตะวันออก โดยพื้นที่ลาดจากทิศใต้และทิศตะวันตกไปสู่ทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ติดกับทิวเขาบรรทัดทางทิศเหนือ และติดกับทิวเขาสันกาลาคีรีทางทิศตะวันตกและทิศใต้ ดังแสดงในภาพประกอบ 2-2 [12]



ภาพประกอบ 2-2 ลักษณะภูมิประเทศ อำเภอหาดใหญ่ [11]

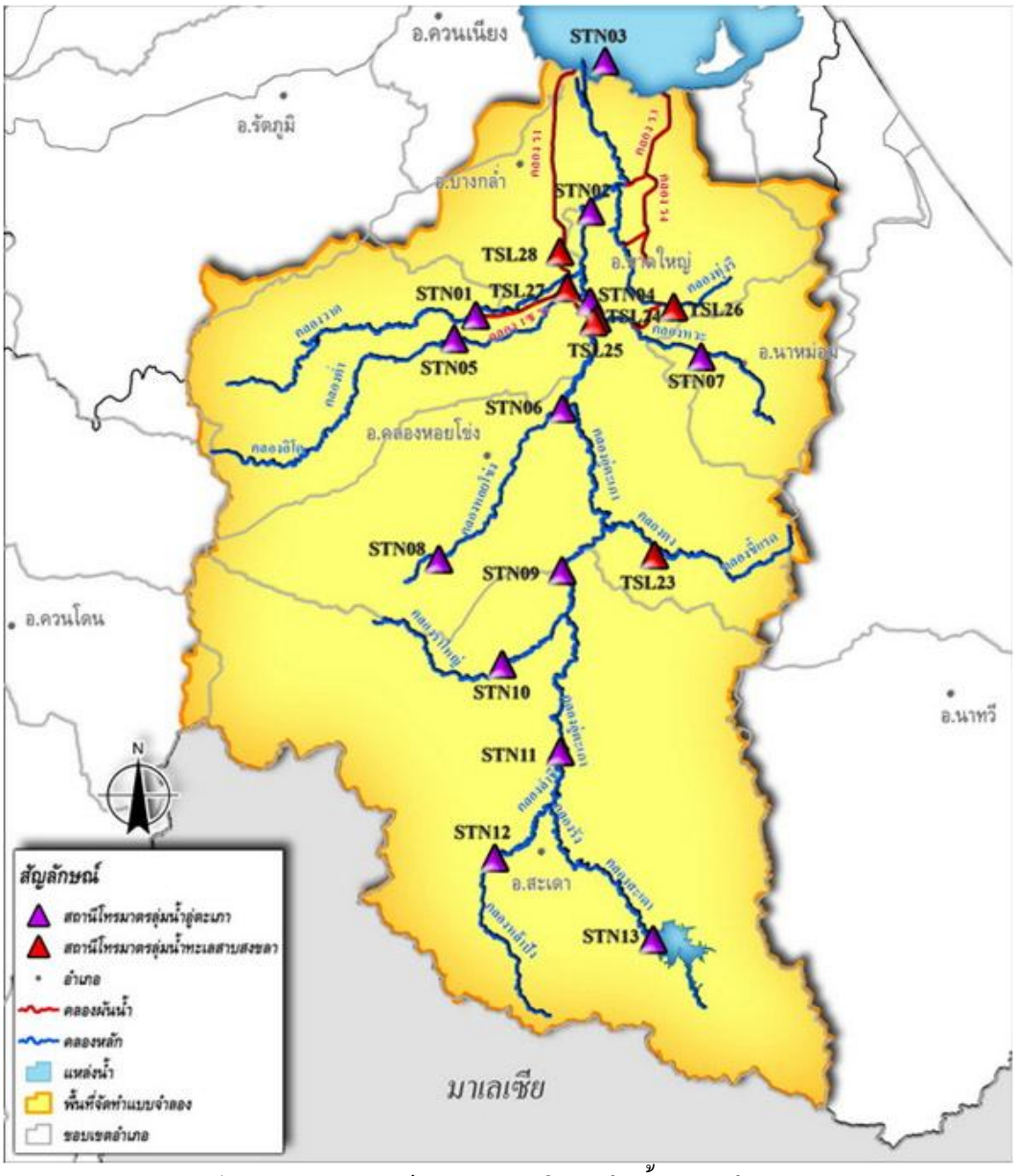
สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปมีความคล้ายคลึงกับสภาพอากาศทั่วไปของภาคใต้ที่อยู่ในเขตภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน ฤดูกาลแบ่งเป็น 2 ฤดู คือ ฤดูฝนและฤดูร้อน ฤดูฝนมี 2 ระยะ ตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน และ เดือนกันยายน ถึง ธันวาคม ปริมาณเฉลี่ยฝนในพื้นที่ 2,093.8 มม.ต่อปี อุณหภูมิโดยเฉลี่ยสูงสุด 31.4 องศาเซลเซียส ต่ำสุด 23.9 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 79.0% [12]

2.1.1. ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา เป็นลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา อยู่ที่พิกัดเส้นรุ้งที่ 7 องศา 14 ลิปดา เหนือ และเส้นแวง 100 องศา 28 ลิปดา ตะวันออก มีพื้นที่โดยประมาณ 2,400 ตารางกิโลเมตร คลอบคลุม 7 อำเภอ 35 ตำบล 252 หมู่บ้าน ได้แก่ อำเภอสะเดา อำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอหาดใหญ่ อำเภอรัตภูมิ อำเภอบางกล่ำ และอำเภอควนเนียง ในเชิงกายภาพลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภามีความกว้างของผิวน้ำในหน้าแล้งโดยเฉลี่ย บริเวณต้นน้ำ ๖-๑๕ เมตร กลางน้ำ 15-30 เมตร และปลายน้ำ 30-50 เมตร มีความลึก 2-5 เมตร พื้นที่รับน้ำ 1,600 ลูกบาศก์กิโลเมตร คลองอู่ตะเภาไหลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือ โดยมีจุดเริ่มจากชายแดนไทย-มาเลเซีย ไปสิ้นสุดที่ทะเลสาบสงขลาตอนล่าง บริเวณบ้านท่าเมรุ อำเภอบางกล่ำ และบ้านแหลมโพธิ์ อำเภอหาดใหญ่ รวมความยาวทั้งสิ้น (เฉพาะส่วนที่เรียกว่าคลองอู่ตะเภา) ประมาณ 130 กิโลเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน 2532 ระบุว่ายาวประมาณ 90 กม.) [13] ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาประกอบด้วยสถานีสำรวจอุทกวิทยา 12 สถานี ดังตารางที่ 2-1 และภาพประกอบ 2-3 [14]

ตารางที่ 2-1 รายชื่อสถานีโทรมาตรในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

		ที่ตั้ง		พิกัดตำแหน่งที่ตั้ง	
รหัสสถานี	ชื่อสถานี	อำเภอ	จังหวัด	ตะวันออก	เหนือ
STN01	ฝายคลองวาด (X.256)	หาดใหญ่	สงขลา	653,084	772,662
STN02	บ้านหาร (X.181)	หาดใหญ่	สงขลา	660,961	780,359
STN03	บ้านแหลมโพธิ์ (X.194)	หาดใหญ่	สงขลา	662,285	791,001
STN04	บ้านหาดใหญ่ใน (X.44)	หาดใหญ่	สงขลา	661,226	773,773
STN05	บ้านกลาง (X.253)	หาดใหญ่	สงขลา	651,428	770,932
STN06	บ้านบางศาลา (X.90)	คลองหอยโข่ง	สงขลา	659,383	766,053
STN07	บ้านคลองหวะ (X.174)	นาหม่อม	สงขลา	668,985	769,911
STN08	ฝายจำไหร (X.255)	คลองหอยโข่ง	สงขลา	650,308	754,967
STN09	บ้านม่วงก็อง (X.173A)	สะเดา	สงขลา	659,288	754,155
STN10	บ้านคลองทราย (X.151)	สะเดา	สงขลา	654,976	747,284
STN11	บ้านตะเคียนเภา (X.112)	สะเดา	สงขลา	658,771	741,107
STN12	บ้านทุ่งปราบ (X.113)	สะเดา	สงขลา	654,421	733,328



ภาพประกอบ 2-3 สถานีสำรวจอุทกวิทยาลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา[14]

2.1.2. ปัจจัยที่ทำให้เกิดอุทกภัยในอำเภอหาดใหญ่

การเกิดอุทกภัยในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่นั้นมีสาเหตุหลักมาจาก ปริมาณน้ำฝนมากผิดปกติ มักได้รับอิทธิพลจาก ร่องความกดอากาศต่ำ หย่อมความกดอากาศต่ำ พายุหมุนเขตร้อน มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จากปริมาณน้ำฝนที่มากผิดปกติทำให้เกิดการเอ่อท้นของน้ำจากลำคลองเนื่องจากระบายน้ำออกสู่ทะเลไม่ทัน โดยอำเภอหาดใหญ่จะได้รับน้ำจากคลองสาขาย่อยของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา 4 ทาง คือ สะเดา นาหม่อม คลองวาด-คลองต่ำ และ

จากเขาคอหงส์ และจะไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่บ้านแหลมโพธิ์ ตำบลคูเต่า [3] ส่วนสาเหตุรองเกิดจากการขยายตัวของชุมชน เนื่องจากอำเภอหาดใหญ่ตั้งอยู่บนที่ราบเชิงเขาลักษณะเป็นแอ่งท้องกระทะ ในการปลูกสร้างอาคารบ้านเรือนจึงนิยมถมที่ดินเพิ่มเติม ทำให้เกิดการทับถมกีดขวางการระบายน้ำของคลองธรรมชาติ ทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้ยาก และยังมี แนวทางรถไฟผ่านกลางเมืองตามแนวเหนือใต้ ถนนหลายสายเป็นคันยกสูงเกิดเป็นพนังกั้นน้ำ ทำให้การระบายน้ำเป็นไปได้อย่างลำบาก ก่อให้เกิดการท่วมขังของน้ำได้เช่นกัน [2, 15, 16]

สาเหตุการเกิดอุทกภัยในปี 2531 เกิดจากปริมาณฝนที่ตกมากผิดปกติในช่วงเวลา 2 วัน ซึ่งวัดได้ถึง 259.4 มิลลิเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 12.4 ของปริมาณฝนที่ตกตลอดทั้งปี จึงทำให้คลองอู่ตะเภาต้องรับน้ำฝนจำนวนมาก อีกทั้งยังมีมวลน้ำที่ไหลมาสมทบจากคลองสาขา ได้แก่ คลองหวะ คลองวาด และคลองต่ำ จึงเป็นเหตุให้เกิดน้ำท่วมเป็นบริเวณกว้าง[16, 17, 18]

สาเหตุการเกิดอุทกภัยในปี 2543 เกิดจากปริมาณฝนที่ตกมากผิดปกติในช่วงเวลา 4 วัน ซึ่งมากว่าในปี 2531 ถึง 3 เท่า คือวัดได้ถึง 713.7 มิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 33 ของปริมาณฝนที่ตกตลอดทั้งปี ทั้งยังมีมวลน้ำจากพื้นที่ข้างเคียงไหลมาสมทบ ทำให้มีปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่คลองอู่ตะเภามีมากถึง 2,100 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งขณะนั้นคลองอู่ตะเภามีขีดความสามารถในการระบายน้ำได้เพียง 420 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จึงทำให้เกิดน้ำท่วมสูงถึง 2 เมตรเป็นบริเวณกว้าง [16, 17, 18]

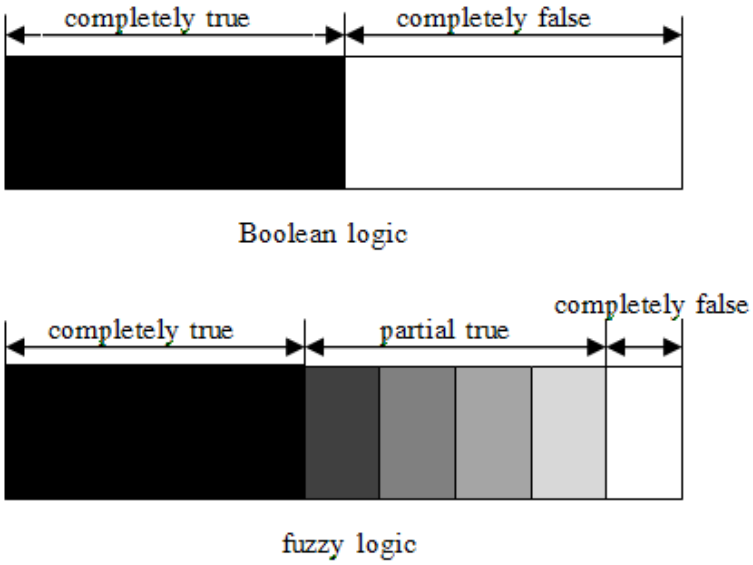
สาเหตุการเกิดอุทกภัยในปี 2553 เกิดจากปริมาณน้ำฝนที่ตกมากกว่า 300 มิลลิเมตรต่อวัน และมีการระบายน้ำลงสู่คลองอู่ตะเภาและคลอง ร.1 มากถึง 1,624 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งคลองอู่ตะเภาและคลอง ร.1 มีขีดความสามารถในการระบายน้ำได้เพียง 930 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที รวมถึงระบบการระบายน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากคูคลองตื้นเขิน อีกทั้งยังมีการขยายตัวของเมืองโดยไม่มีการวางแผนที่ดี จึงทำให้เป็นอุปสรรคกีดขวางการไหลของน้ำ และสภาพเมืองที่เป็นแอ่งกระทะทำให้เกิดน้ำท่วมฉับพลันเมื่อฝนตกในปริมาณมาก [5, 16]

2.2 ฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ.1965 ฟัซซี่ลอจิกเป็นตรรกะบนพื้นฐานที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกไม่ได้มีแต่ความแน่นอน มีหลายสิ่งที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน [19, 20]

2.2.1. แนวความคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ลอจิก เป็นเครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาที่มีความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้เกิดความยืดหยุ่นของข้อมูลได้ ใช้หลักการคิดแบบมนุษย์ในการแก้ปัญหา ฟัซซี่ลอจิกมีความพิเศษกว่าตรรกศาสตร์แบบเดิม (Boolean Logic) ซึ่งมีแค่ส่วนจริง (Completely True) กับเท็จ (Completely False) แต่ฟัซซี่ลอจิกเพิ่มส่วนที่อยู่ระหว่างจริง กับเท็จขึ้น (Partial True) ดังแสดงในภาพประกอบ 2-4



ภาพประกอบ 2-4 ตรรกศาสตร์แบบเดิม (Boolean Logic) กับฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) [19]

เซตแบบฉบับ (Classical Set) หรือ เซตทวินัย (Crisp Set) จะมีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น ค่าความเป็นสมาชิกของเซตทั้งสองจะตัดขาดจากกัน โดยมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้

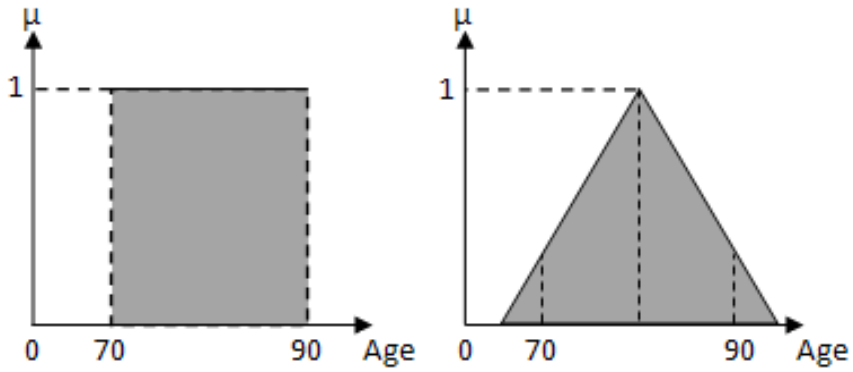
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

คำอธิบาย

A	คือ เซตแบบฉบับ หรือ เซตแบบทวินัย
x	คือ สมาชิกในเซต
μ_A	คือ ค่าความเป็นสมาชิกในเซต
$\mu_A(x)$	คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

ฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) จะมีค่าความเป็นสมาชิกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ขอบเขตของค่าความเป็นสมาชิกจะไม่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด

ตัวอย่างเช่น ในนิยามแบบเซตทวินัย คนแก่อาจกำหนดอายุ 70 ถึง 90 ปี ในนิยามแบบฟัซซี่เซตกำหนดเป็นคนแก่ประมาณ 80 ปี ซึ่งไม่ได้กำหนดขอบเขตที่ชัดเจน ดังแสดงในภาพประกอบ 2-5



ภาพประกอบ 2-5 การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกของเซตแบบฉบับและฟัซซี่เซต

2.2.2. นิยามของฟัซซี่เซต

$$A = \{(x\ ,\ \mu_A(x))|x\ \epsilon\ X\}$$

คำอธิบาย

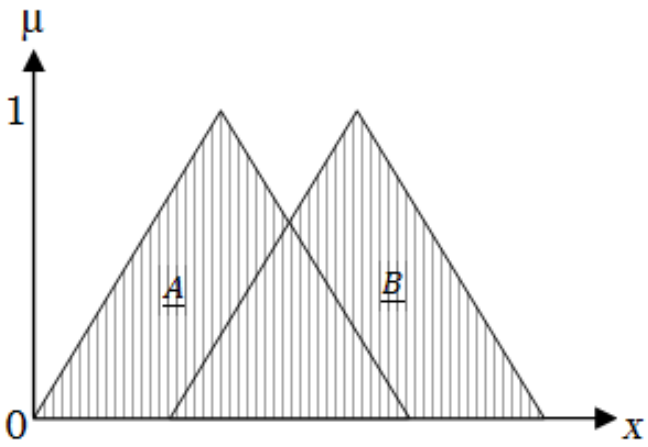
x	คือ สมาชิกของเซต (Set Membership)
$\mu_A(x)$	คือ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function)
X	คือ ประชากร

2.2.3. การดำเนินการทางฟัซซี่เซต

การดำเนินการมีเหมือนเซตโดยทั่วไป

1. ยูเนียน (Union) หรือ OR operation

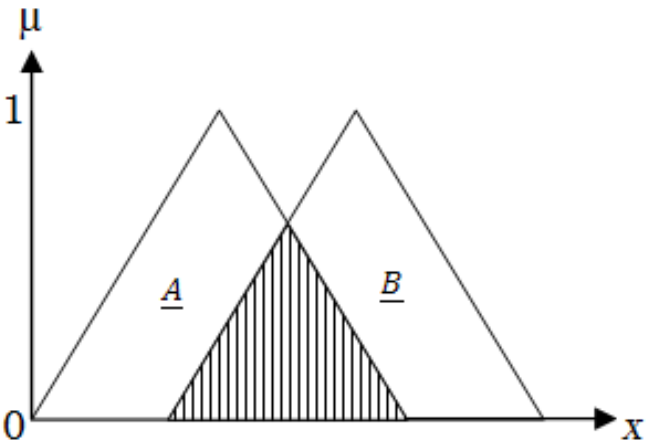
$$\mu_{\underline{A}\cup\underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \vee \mu_{\underline{B}}(x)$$
$$= \max\left(\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)\right)$$



ภาพประกอบ 2-6 ยูเนียนของฟัซซี่เซต A และ B

2. อินเตอร์เซกชัน (Intersection) หรือ AND operation

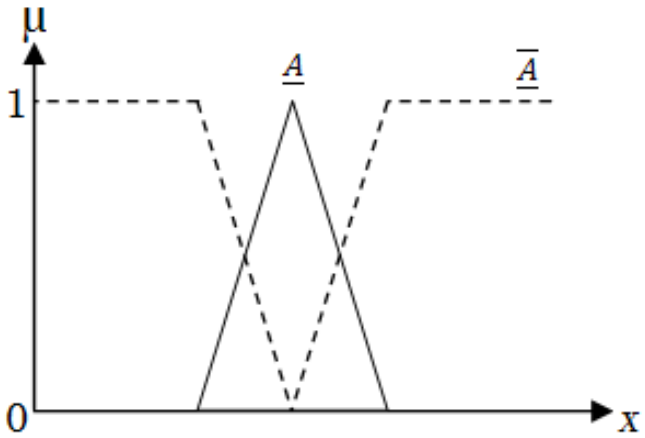
$$\mu_{\underline{A}\cup\underline{B}}(x) = \mu_{\underline{A}}(x) \wedge \mu_{\underline{B}}(x)$$
$$= \min\left(\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)\right)$$



ภาพประกอบ 2-7 อินเตอร์เซกชันของฟัซซี่เซต A และ B

3. คอมพลีเมนต์ (Complement)

$$\mu_{\overline{\underline{A}}}(x) = 1 - \mu_{\underline{A}}(x)$$



ภาพประกอบ 2-8 คอมพลีเมนต์ ของฟัซซี่เซต $\underline{A}$

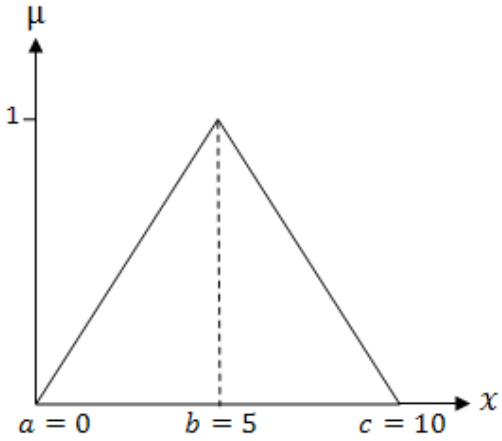
2.2.4. ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) เป็นการกำหนดระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปร เป็นตัวแทนความไม่ชัดเจนที่ปรากฏขึ้น รูปร่างของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกมีส่วนสำคัญในการแก้ปัญหา ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอาจจะสมมาตรกันหรือไม่ก็ได้

ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป 6 ชนิดดังนี้

1. ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular membership function)

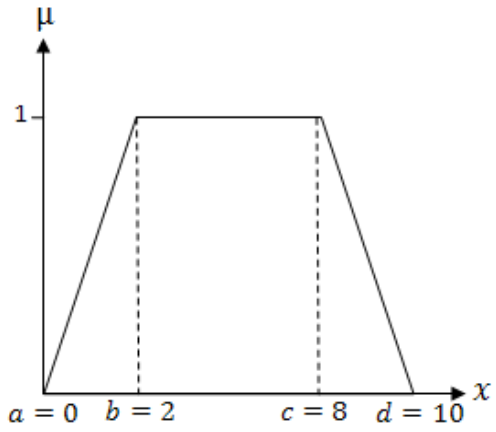
$$triangular\ (x:a,b,c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \le x \le b \\ (c-x)/(c-b) & b \le x \le c \\ 0 & x > c \end{cases}$$



ภาพประกอบ 2-9 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular membership function)

2. ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function)

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



ภาพประกอบ 2-10 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal membership function)

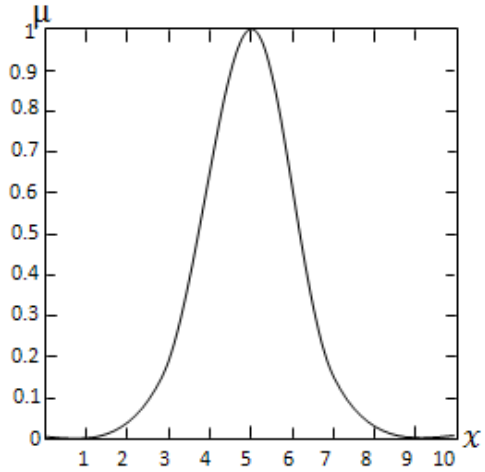
3. ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

คำอธิบาย

m คือ ค่าเฉลี่ย

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

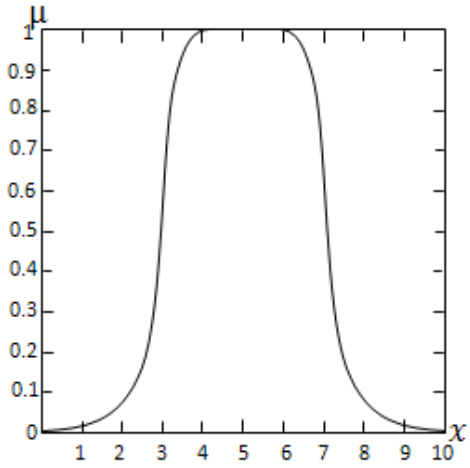
$$guassian(x:m,\sigma)=exp\left(-\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}\right)$$



ภาพประกอบ 2-11 ฟังก์ชันเกาส์เซียน (Gaussian membership function)

4. ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)

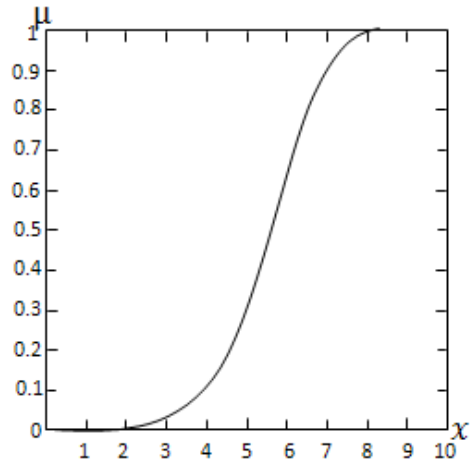
$$bell - shaped(x : a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x - c}{a}\right|^{2b}}$$



ภาพประกอบ 2-12 ฟังก์ชันระฆังคว่ำ (Bell-shaped membership function)

5. ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth membership function)

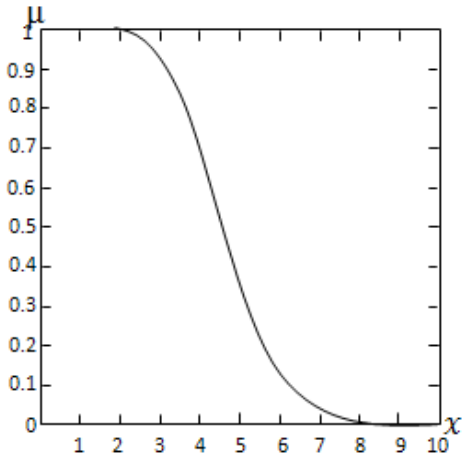
$$S(x : a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2\left(\frac{x - b}{b - a}\right)^2 & a \le x \le \frac{a + b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x - b}{b - a}\right)^2 & \frac{a + b}{2} \le x \le b \\ 1 & \mathrm{x} \ge \mathrm{b} \end{cases}$$



ภาพประกอบ 2-13 ฟังก์ชันตัวเอส (Smooth membership function)

6. ฟังก์ชันตัวแซด (Z-membership function)

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

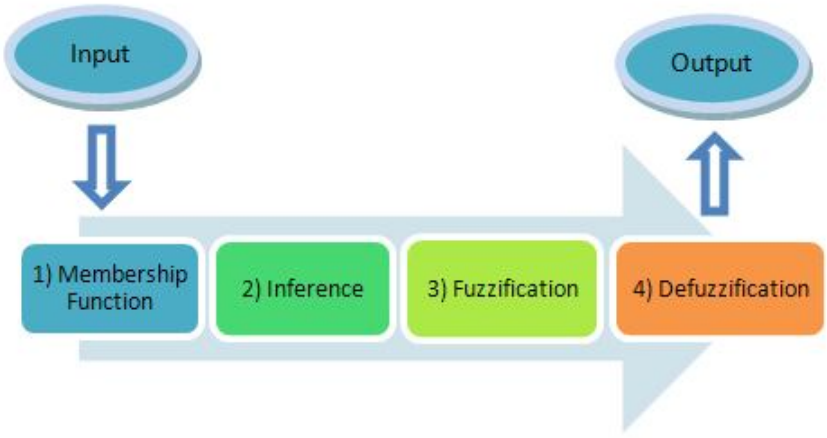


ภาพประกอบ 2-14 ฟังก์ชันตัวแซด (Z-membership function)

ในการเลือกฟังก์ชันความเป็นสมาชิกต้องเลือกตามความเหมาะสมของข้อมูลนำเข้า สามารถเลือกใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกหลายชนิดรวมกันได้ตามความเหมาะสมของงาน

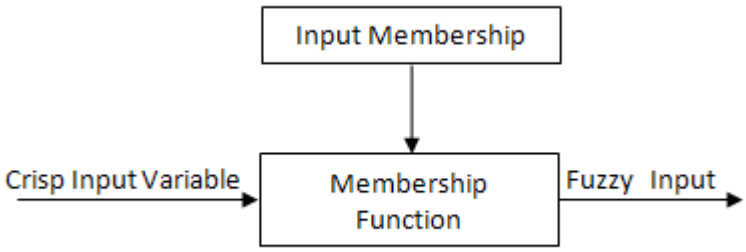
2.2.5. ลักษณะการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิก

ลักษณะการประมวลผลแบบฟัซซี่ลอจิกแบ่งเป็น 4 ส่วนดังภาพประกอบ 2-15



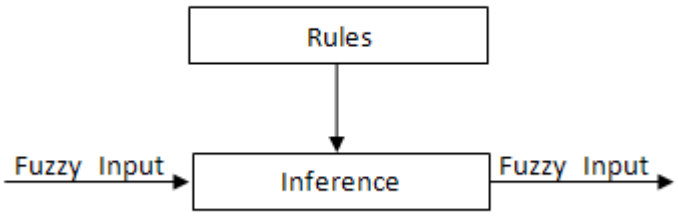
ภาพประกอบ 2-15 แผนภาพแสดงลักษณะการแก้ปัญหาแบบฟัซซี่ลอจิก

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงค่าตัวแปรนำเข้าให้เป็นตัวแปรแบบฟัซซี่ โดยการสร้างฟังก์ชันสมาชิกซึ่งแต่ละฟังก์ชันสมาชิกไม่จำเป็นจะต้องมีลักษณะเดียวกันขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอินพุตต่อเอาต์พุต โดยฟังก์ชันจะเป็นการกำหนดภาษาสามัญเพื่อให้เป็นอินพุตแบบฟัซซี่ ดังภาพประกอบ 2-16



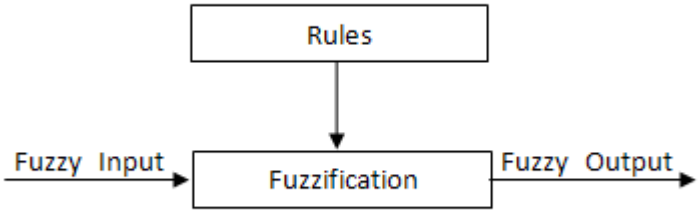
ภาพประกอบ 2-16 ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซี่อินพุต

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดของระบบกับเอาต์พุตโดยจะเขียนอยู่ในรูปแบบของกฎเพื่อใช้ควบคุมและประมวลผลระบบร่วมกันโดยกฎการควบคุมระบบที่เขียนอาจเกิดจากการทดลองประสบการณ์ของมนุษย์หรือการเก็บข้อมูล โดยจะอยู่ในรูปแบบซึ่งเป็นภาษาสามัญ คือ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ดังภาพประกอบ 2-17



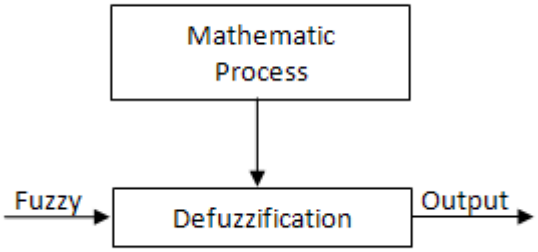
ภาพประกอบ 2-17 ขั้นตอนที่ 2 การนำกฎมาประมวลผลร่วมกัน

ขั้นตอนที่ 3 เป็นส่วนการประมวลเพื่อหาฟัซซี่เอาต์พุต โดยจะนำกฎการควบคุมระบบจากขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซี่อินพุตในขั้นตอนที่ 1 ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังภาพประกอบ 2-18 ในการทำให้เป็นค่าคลุมเครือ (Fuzzification) วิธีที่เป็นที่นิยมในการตีความหาเหตุผล คือ Max-Min Method และ Max-Dot Method



ภาพประกอบ 2-18 ขั้นตอนที่ 3 ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาฟัซซี่เอาต์พุต

ขั้นตอนที่ 4 เป็นส่วนการสรุปเหตุผลโดยจะเปลี่ยนฟัซซี่เอาต์พุตเป็นทวินัยเอาต์พุต หรือค่าปกติด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เช่น วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity) เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์ต่างๆ ดังภาพประกอบ 2-19 [19, 20]



ภาพประกอบ 2-19 ขั้นตอนที่ 4 นำค่าที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบ

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลน้ำฝนและข้อมูลปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำ จากสถานีโทรมาตรลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลร่วมกับการสร้างแบบจำลองในการประเมินระดับน้ำด้วยฟัซซี่ลอจิกเพื่อทำนายระดับน้ำที่สถานีโทรมาตร X.90 ซึ่งเป็นจุดเตือนภัยก่อนน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ 12 ชั่วโมง เนื่องจาก สถานีโทรมาตร X.90 มีลักษณะเป็นคลองธรรมชาติการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเป็นไปตามธรรมชาติ มีความสะดวกและเหมาะสมในการเก็บข้อมูล สำหรับผู้ที่อยู่ในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ซึ่งเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดอุทกภัยก็มีเวลามากพอที่จะเคลื่อนย้ายสิ่งของ

3.1 ข้อมูลและอุปกรณ์

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ข้อมูลในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1.1. ข้อมูล

1. ข้อมูลระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A)
2. ข้อมูลระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)
3. ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)
4. ข้อมูลปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร
5. ข้อมูลปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา

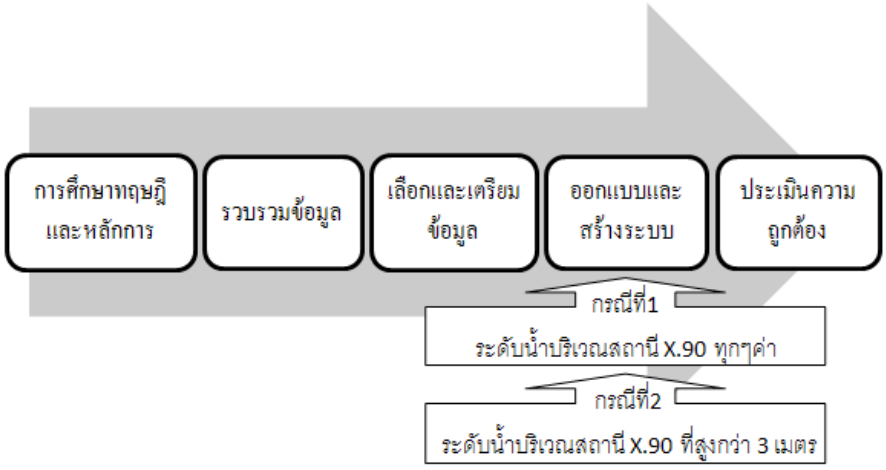
3.1.2. โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา

1. MATLAB 2008

3.2 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนในการศึกษาหลัก ๆ มีด้วยกัน 5 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพประกอบ 3-1 ได้แก่การศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง การเก็บรวบรวมข้อมูล การเลือกและการเตรียมข้อมูล การออกแบบและสร้างระบบเพื่อประเมินระดับน้ำ การประเมินความถูกต้องแม่นยำของ

ระบบด้วยค่าทางสถิติ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 3-1 แสดงขั้นตอนในการศึกษา

3.2.1. การศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องได้แก่สาเหตุปัจจัยที่ทำให้เกิดอุทกภัยใน อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา การเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ และอื่นๆที่จำเป็นต่อการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาเกี่ยวกับการเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ พบว่า ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน ได้กำหนดการเตือนภัยน้ำท่วม โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยอ้างอิงจากแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยา ภาคผนวก ก ดังนี้

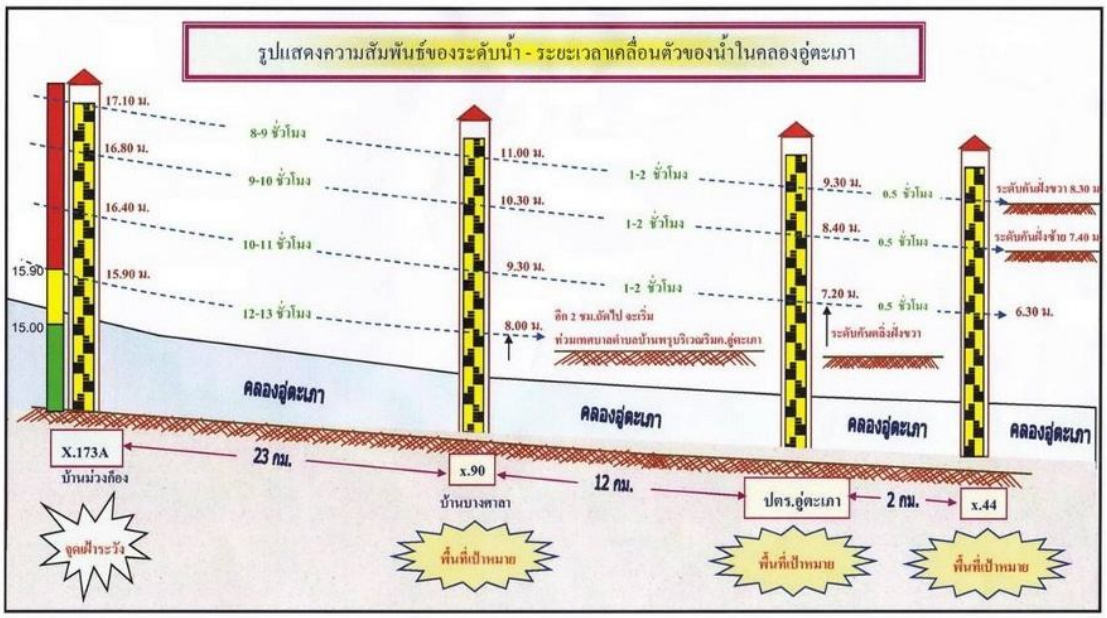
- การเตือนภัยลุ่มน้ำลองอู่ตะเภาตอนบน

ใช้ข้อมูลอุทกวิทยาจากสถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A) ซึ่งอยู่ห่างจากเมืองหาดใหญ่ไปทางเหนือน้ำประมาณ 36 กิโลเมตร ในการเฝ้าระวังเพื่อเตือนภัย

- การเตือนภัยลุ่มน้ำลองอู่ตะเภาตอนล่าง

ใช้ข้อมูลอุทกวิทยาจากสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ซึ่งอยู่ห่างจากเมืองหาดใหญ่ไปทางเหนือน้ำประมาณ 10 กิโลเมตร ในการเฝ้าระวังเพื่อเตือนภัย [20]

โดยระดับน้ำและระยะเวลาการเคลื่อนตัวของน้ำเป็นไปตาม ภาพประกอบ 3-2 ใช้สำหรับการคาดการสถานการณ์น้ำในกรณีต่างๆ ดังนี้



ภาพประกอบ 3-2 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำ-ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา [21]

- กรณีน้ำเริ่มล้นตลิ่งพื้นที่ลุ่มต่ำ ตำบลบ้านพรุ

เมื่อระดับน้ำบริเวณสถานีโทรมาตร X.173A สูงประมาณ 15.90 เมตร สามารถคาดการณ์ได้ว่า อีก 11-13 ชั่วโมง ระดับน้ำที่บริเวณสถานีโทรมาตร X.90 จะสูงประมาณ 8.00 เมตร และอีก 1-2 ชั่วโมง น้ำก็จะเริ่มล้นตลิ่งพื้นที่ลุ่มต่ำ ตำบลบ้านพรุ

- กรณีน้ำเริ่มล้นคันคลองหวะฝั่งขวาเมืองหาดใหญ่

เมื่อระดับน้ำบริเวณสถานีโทรมาตร X.173A สูงประมาณ 16.55 เมตร สามารถคาดการณ์ได้ว่า อีก 9-11 ชั่วโมง ระดับน้ำที่บริเวณสถานีโทรมาตร X.90 จะสูงประมาณ 9.30 เมตร และอีก 4-5 ชั่วโมง ระดับน้ำที่หน้าประตูระบายน้ำอู่ตะเภาจะสูงประมาณ 7.20 เมตร ทำให้น้ำเริ่มล้นคันคลองหวะฝั่งขวาของเมืองหาดใหญ่

- กรณีน้ำเริ่มล้นตลิ่งชุมชนบ้านหาดใหญ่ใน ที่ฝั่งซ้ายของสถานีโทรมาตร X.44

เมื่อระดับน้ำบริเวณสถานีโทรมาตร X.173A สูงประมาณ 17.00 เมตร สามารถคาดการณ์ได้ว่า อีก 7-9 ชั่วโมง ระดับน้ำที่บริเวณสถานีโทรมาตร X.90 จะสูงประมาณ 10.20 เมตร และอีก 3-4 ชั่วโมง ระดับน้ำที่หน้าประตูระบายน้ำอู่ตะเภาจะสูงประมาณ 8.40 เมตร และอีก 0.5-1 ชั่วโมง ระดับน้ำที่บริเวณสถานีโทรมาตร X.44 จะสูงประมาณ 7.40 เมตร ทำให้น้ำเริ่มล้นตลิ่งชุมชนบ้านหาดใหญ่ในที่ฝั่งซ้ายของสถานีโทรมาตร X.44

- กรณีน้ำเริ่มล้นตลิ่งอำเภอหาดใหญ่ ที่ฝั่งขวาของสถานีโทรมาตร X.44

เมื่อระดับน้ำบริเวณสถานีโทรมาตร X.173A สูงประมาณ 17.40 เมตร สามารถคาดการณ์ได้ว่า อีก

5-7 ชั่วโมง ระดับน้ำที่บริเวณสถานีโทรมาตร X.90 จะสูงประมาณ 11.00 เมตร และอีก 2-3 ชั่วโมง ระดับน้ำที่หน้าประตูระบายน้ำอู่ตะเภาจะสูงประมาณ 9.30 เมตร และอีก 0.5-1 ชั่วโมง ระดับน้ำที่บริเวณสถานีโทรมาตร X.44 จะสูงประมาณ 8.30 เมตร ทำให้น้ำเริ่มล้นตลิ่งอำเภอหาดใหญ่ ที่ฝั่งขวาของสถานีโทรมาตร X.44 [20]

3.2.2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับข้อมูลเพื่อการประเมินระดับน้ำได้รวบรวมข้อมูลระดับน้ำรายวันของสถานีโทรมาตร X.173A ข้อมูลระดับน้ำรายวันของสถานีโทรมาตร X.90 ข้อมูลน้ำฝนรายวันที่สถานีโทรมาตร X.90 ปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลา ได้รวบรวมข้อมูลเป็นรายวันระหว่างเดือน กรกฎาคม ปี พ.ศ. 2554 ถึง ธันวาคม 2555 ซึ่งลักษณะของข้อมูลระดับน้ำต่อเนื่องกัน ไม่พบว่ามีการขาดหาย ในส่วนของข้อมูลน้ำฝนรายวันพบว่ามีการขาดหายของข้อมูลเล็กน้อย ดังแสดงในภาคผนวก ข

3.2.3. การเลือกและการเตรียมข้อมูล

ข้อมูลระดับน้ำรายวันที่สถานีโทรมาตร X.173A และข้อมูลระดับน้ำรายวันของสถานีโทรมาตร X.90 ที่รวบรวมมาได้นั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เพื่อเป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการเลือกข้อมูลนำเข้าของระบบ โดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์จะพิจารณาจากสมการสหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ดังนี้

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2}}$$

คำอธิบาย

R_{xy} คือ ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล x และ y

x_i คือ ข้อมูล x ตำแหน่งที่ i

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล x

y_i คือ ข้อมูล y ตำแหน่งที่ i

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล y

N คือ จำนวนของข้อมูลแต่ละชุด

ทิศทางของความสัมพันธ์

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

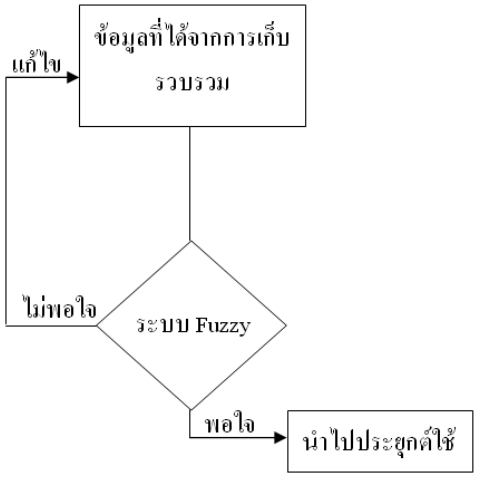
1. สหสัมพันธ์ทางบวก คือมีค่าเข้าใกล้ 1 ซึ่งหมายความว่าเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งเพิ่มหรือลดลงอีกตัวแปรหนึ่งก็จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปด้วย

2. สหสัมพันธ์ทางลบ คือมีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึงเมื่อตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงอีกตัวหนึ่งจะมีค่าเพิ่มหรือลดลงตรงข้ามเสมอ

3. สหสัมพันธ์เป็นศูนย์ คือมีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงตัวแปรสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

3.2.4. การออกแบบและสร้างระบบเพื่อประเมินระดับน้ำ

ในการออกแบบระบบเพื่อประเมินระดับน้ำนั้นได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วงหลักๆ คือ 1. ช่วงของการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของตัวแปร และ 2. ช่วงของการทำนายเพื่อประเมินระดับน้ำ เมื่อทำการทดสอบระบบและได้ผลไม่เป็นที่พอใจก็สามารถเปลี่ยนข้อมูลตัวแปรสำหรับการทำนายใหม่ แต่หากทำการทดสอบระบบและได้ผลเป็นที่น่าพอใจก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ต่อได้ ดังภาพประกอบ 3-3



ภาพประกอบ 3-3 โครงสร้างระบบ Fuzzy เพื่อทำนายระดับน้ำ

ในการสร้างระบบเพื่อประเมินระดับน้ำจะคำนึงถึงผลการประเมินระดับน้ำที่ถูกต้องแม่นยำเป็นหลัก โดยมีแนวทางดังนี้

แนวทางที่ 1 ใช้สมมุติฐานจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำ - ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา ที่ว่า ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตร X.90 จะขึ้นกับมวลน้ำที่มาจากสถานีโทรมาตร X.173A และปริมาณน้ำฝนที่สถานีโทรมาตร X.90

แนวทางที่ 2 ใช้สมมุติฐานจากแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภาที่จะมีมวลน้ำจากการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลามาสมทบด้วย

ในการประเมินระดับน้ำจะแบ่งการประเมินออกเป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ระดับน้ำบริเวณสถานีโทรมาตร X.90 ทุกๆค่า เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบประเมินระดับน้ำทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม

2. กรณีที่ระดับน้ำบริเวณสถานีโทรมาตร X.90 ที่สูงกว่า 3 เมตร เพื่อทดสอบความแม่นยำของระบบประเมินระดับน้ำในสภาวะที่เสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม

3.2.5. การประเมินความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ได้ประเมินความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ 2 ค่า คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) โดยมีสมการดังนี้

ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2}$$

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t}\right| \times 100$$

คำอธิบาย

Y_t คือ ค่าจริง

$\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์

n คือ จำนวนตัวแปร

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ ให้ผลการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ศึกษา ผลการออกแบบระบบฟัซซี่ ผลการสร้างระบบฟัซซี่จากการวิเคราะห์ชุดข้อมูล มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

4.1.1. การเตือนภัยน้ำท่วม

จากหลักการเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่นั้นมีจุดเฝ้าระวังหลัก 3 จุด คือสถานี X.173A สถานี X.90 และสถานีประตูระบายน้ำอู่ตะเภา ระยะห่างจากจุดเฝ้าระวังถึงอำเภอหาดใหญ่ แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ระยะห่างจากจุดเฝ้าระวังน้ำท่วมถึงอำเภอหาดใหญ่

ชื่อสถานี	ระยะห่าง - Km.
บ้านม่วงก็องX.173A	38
บ้านบางศาลาX.90	12
ปตร.อู่ตะเภา	2

จากการศึกษาพบว่า สถานีบ้านม่วงก็อง X.173A แสดงในภาพประกอบ 4-1 และ 4-2 จุดวัดอยู่ที่สะพานข้ามคลองอู่ตะเภาที่บ้านม่วงก็อง ลักษณะเป็นคลองธรรมชาติ

ภาพประกอบ 4-1 สถานีบ้านม่วงก็อง X.173A

ภาพประกอบ 4-2 เสาวัดระดับน้ำสถานีบ้านม่วงก็อง X.173A

สถานีบ้านบางศาลา X.90 แสดงในภาพประกอบ 4-3 และ 4-4 จุดวัดอยู่ที่สะพานข้ามคลองอู่ตะเภาที่บ้านบางศาลา ลักษณะเป็นคลองธรรมชาติ

ภาพประกอบ 4-3 สถานีบ้านบางศาลา X.90

ภาพประกอบ 4-4 เสาวัดระดับน้ำสถานีบ้านบางศาลา X.90

สถานี ปตร.อู่ตะเภา แสดงในภาพประกอบ 4-5 เป็นประตูน้ำควบคุมการเปิด-ปิดด้วยมนุษย์ ส่งผลให้ระดับน้ำไม่เป็นไปตามธรรมชาติ

ภาพประกอบ 4-5 ประตูระบายน้ำอู่ตะเภา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกจุดประเมินระดับน้ำที่สถานี X.90 เนื่องจากมีลักษณะเป็นคลองธรรมชาติ การไหลของน้ำและระดับน้ำขึ้นกับน้ำที่มาจากต้นน้ำ และน้ำฝนซึ่งคณะอนุกรรมการประเมินสถานการณ์น้ำจังหวัดสงขลา ได้ใช้ข้อมูลระดับน้ำทีสถานี X.90 เป็นข้อมูลหลักในการเฝ้าระวังและเตือนภัยน้ำท่วม โดยน้ำจากต้นน้ำและคลองสาขาย่อยจะมารวมกันที่สถานี X.173A ทำให้ง่ายต่อการรวบรวมข้อมูล โดยระดับน้ำที่สถานี X.90 จะสัมพันธ์กับระดับน้ำที่สถานี X.173A ดังตารางที่ 4-2 และระหว่าง สถานี X.173 ถึง สถานี X.90 มีเพียงอ่างเก็บน้ำ 2 แห่ง คืออ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลา ซึ่งในจุดนี้สามารถเก็บข้อมูลอัตราการปล่อยน้ำรายวันได้

ตารางที่ 4-2 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำและเวลาของน้ำหลากที่โทรมาตร X.173A และโทรมาตร X.90

ระดับน้ำ X.173A (เมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	ระดับน้ำ X.90 (เมตร)
15.90	12-13	8.00
16.40	10-11	16.80
16.80	9-10	10.30
17.10	8-9	11.00

4.1.2. ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบฟัซซี่เพื่อประเมินระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา โดยลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภานั้นครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของอำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่ และครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอคลองหอยโข่ง อำเภอนาหม่อม อำเภอบางกล่ำ อำเภอเมืองสงขลา อำเภอควนเนียงโดยมีลำน้ำสายหลักคือคลองอู่ตะเภา มีความยาวประมาณ 130 กิโลเมตร ลักษณะพื้นที่ทางทิศตะวันตกติดเทือกเขาบรรทัด ทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศใต้ติดเทือกเขาสันกาลาคีรี ซึ่งเทือกเขาทั้งสองเป็นแหล่งต้นน้ำของคลองอู่ตะเภา โดยน้ำจะไหลผ่านอำเภอสะเดา อำเภอหาดใหญ่ และไหลลงสู่ทะเลสาบสงขลาที่บ้านแหลมโพธิ์ พื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภามีข้อมูลที่รวบรวมเพื่อทำวิจัยในช่วงระหว่างเดือน กรกฎาคม ปีพ.ศ. 2554 ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2555 โดยทำการเก็บข้อมูลระดับน้ำจากสถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A) ข้อมูลระดับน้ำ และปริมาณน้ำฝนรายวันจากสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ข้อมูลอัตราการปล่อยน้ำรายวันจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลา

4.1.3. ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูล

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลน้ำฝน และข้อมูลการปล่อยน้ำเสร็จแล้ว จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์เบื้องต้นของข้อมูลกับข้อมูลระดับน้ำที่สถานี X.90 โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าสหสัมพันธ์ เพื่อเลือกข้อมูลนำเข้าของระบบ ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4-3 และ 4-4

ตารางที่ 4-3 ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลระดับน้ำจากสถานี X.173A ไปยัง สถานี X.90

สถานี X.173A /เวลา	ค่าสหสัมพันธ์
0 ช.ม.	0.88
- 24 ช.ม.	0.76
- 48 ช.ม.	0.53
- 72 ช.ม.	0.32
- 96 ช.ม.	0.15

(0 ช.ม. คือ ความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่เวลาเดียวกัน)

ตารางที่ 4-4 ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลระดับน้ำที่ สถานี X.90

สถานี X.90 /เวลา	ค่าสหสัมพันธ์
- 24 ช.ม.	0.86
- 48 ช.ม.	0.62
- 72 ช.ม.	0.40

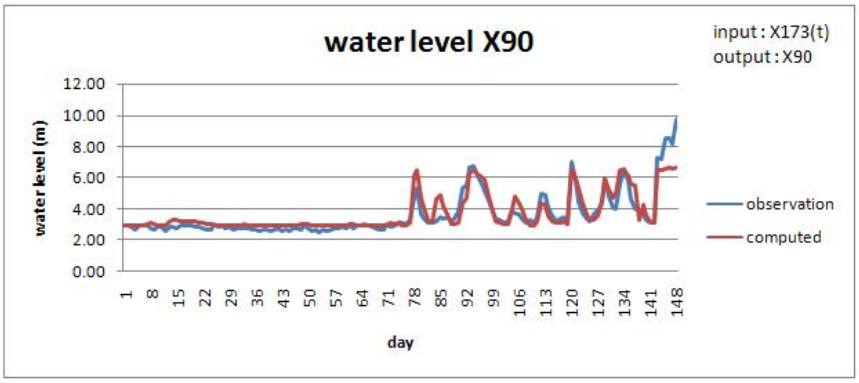
จากการคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูล ผู้วิจัยได้เลือกใช้ข้อมูลที่มีค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูล มากกว่า 0.5 ทดสอบสร้างระบบด้วยตัวแปรดังตารางที่ 4-5 ขั้นตอนการสร้างระบบฟัซซี่จากการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค ผลจากการทดสอบสร้างระบบฟัซซี่การทดสอบที่ 1-5 แสดดังภาพประกอบ 4-6 ถึง ภาพประกอบ 4-10

ตารางที่ 4-5 ค่าตัวแปรที่ใช้ในแต่ละการทดสอบและผลจากการทดสอบสร้างระบบฟัซซี่

การทดสอบ	ตัวแปรอินพุต	ตัวแปรเอาท์พุต	RMSE (m)
1	ระดับน้ำจากสถานี X.173A ณ วันปัจจุบัน	ระดับน้ำที่สถานี X.90	0.34
2	ระดับน้ำจากสถานี X.173A ณ วันปัจจุบัน ย้อนหลังไป 1 วัน	ระดับน้ำที่สถานี X.90	0.39
3	ระดับน้ำจากสถานี X.173A ณ วันปัจจุบัน ย้อนหลังไป 1 วัน ย้อนหลังไป 2 วัน	ระดับน้ำที่สถานี X.90	0.32
4	ระดับน้ำจากสถานี X.90 ย้อนหลังไป 1 วัน	ระดับน้ำที่สถานี X.90	0.66
5	ระดับน้ำจากสถานี X.90 ย้อนหลังไป 1 วัน ย้อนหลังไป 2 วัน	ระดับน้ำที่สถานี X.90	0.94

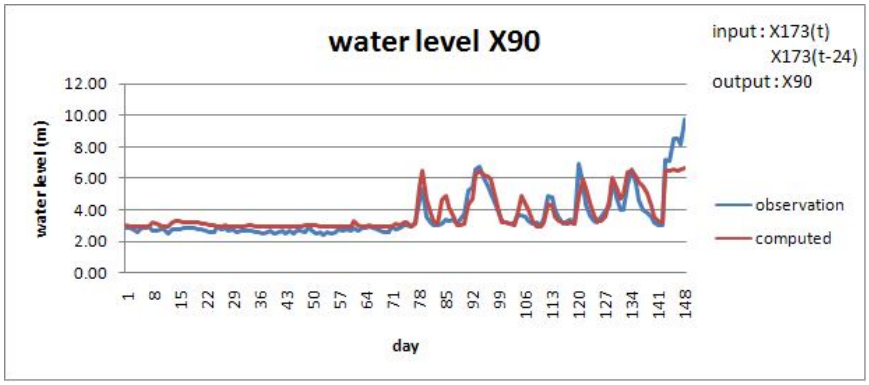
ค่า RMSE นั้นหากยิ่งมีค่าเข้าใกล้ 0 จะหมายถึง ระบบมีความแม่นยำมากขึ้น ดังนั้น จึงเลือกใช้ตัวแปร ระดับน้ำจากสถานี X.173A ณ วันปัจจุบัน ย้อนหลังไป 1 วัน และย้อนหลังไป 2 วัน เป็นตัวแปรหลัก

การทดสอบที่ 1 อินพุตเป็น ระดับน้ำจากสถานี X.173A ณ วันปัจจุบัน และเอาท์พุตเป็นระดับน้ำที่สถานี X.90



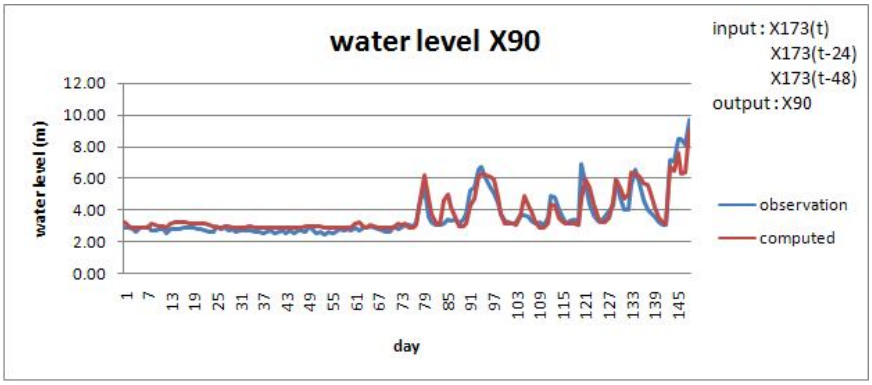
ภาพประกอบ 4-6 ผลการทดสอบการสร้างระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 1

การทดสอบที่ 2 อินพุตเป็น ระดับน้ำจากสถานี X.173A ณ วันปัจจุบัน , ย้อนหลังไป 1 วัน และเอาท์พุตเป็นระดับน้ำที่สถานี X.90



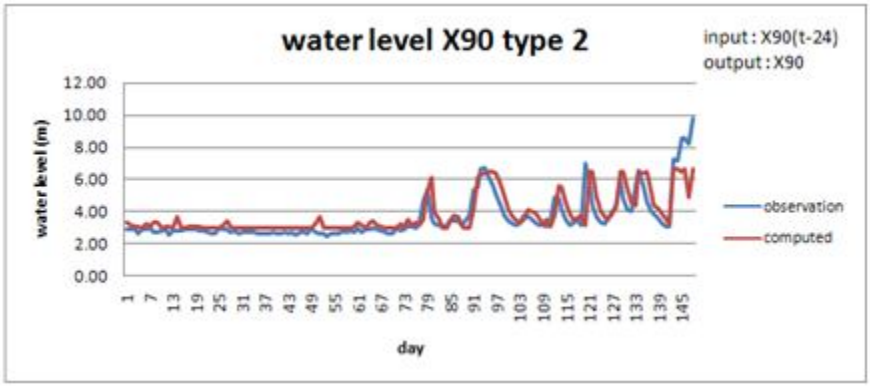
ภาพประกอบ 4-7 ผลการทดสอบการสร้างระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 2

การทดสอบที่ 3 อินพุตเป็น ระดับน้ำจากสถานี X.173A ณ วันปัจจุบัน , ย้อนหลังไป 1 วัน , ย้อนหลังไป 2 วัน และเอาท์พุตเป็นระดับน้ำที่สถานี X.90



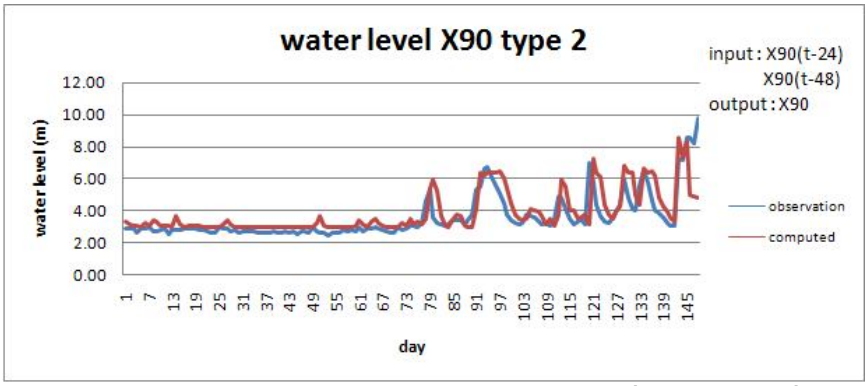
ภาพประกอบ 4-8 ผลการทดสอบการสร้างระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 3

การทดสอบที่ 4 อินพุตเป็น ระดับน้ำจากสถานี X.90 ย้อนหลังไป 1 วัน และเอาท์พุตเป็นระดับน้ำที่สถานี X.90



ภาพประกอบ 4-9 ผลการทดสอบการสร้างระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 4

การทดสอบที่ 5 อินพุตเป็น ระดับน้ำจากสถานี X.90 ย้อนหลังไป 1 วัน , ย้อนหลังไป 2 วัน และเอาท์พุตเป็นระดับน้ำที่สถานี X.90



ภาพประกอบ 4-10 ผลการทดสอบการสร้างระบบฟัซซี่ การทดสอบที่ 5

4.2 ผลการออกแบบและสร้างระบบประเมินระดับน้ำ

งานวิจัยนี้ ได้ออกแบบและสร้างระบบประเมินระดับน้ำ ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1. ผลการออกแบบระบบฟัซซี่

ได้ออกแบบระบบประเมินระดับน้ำด้วยฟัซซี่ลอจิกออกเป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 จะใช้สมมุติฐานจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลอง-

อู่ตะเภา ที่ว่า ระดับน้ำที่สถานี X.90 จะขึ้นกับมวลน้ำที่มาจากสถานี X.173A ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ไปทางต้นน้ำ และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ ส่วนรูปแบบที่ 2 ใช้สมมุติฐานจากแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภา คือ น้ำจากต้นน้ำที่อำเภอสะเดา และน้ำจากคลองสาขาจะไหลมารวมกันและผ่านสถานี X.173A ก่อนจะไหลไปที่สถานี X.90 โดยระหว่างสถานี X.173A กับ สถานี X.90 มีอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลาที่จะปล่อยน้ำมาสมทบ ดังนั้นตัวแปรที่ใช้ในการทำนายระดับน้ำเป็นดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ตัวแปรที่ใช้ในระบบประเมินระดับน้ำ

รูปแบบระบบฟัซซี่	Input	Output
1	RX90 , X173(t) , X173(t-24) , X173(t-48)	X90(t)
2	RX90 , X173(t) , X173(t-24) , X173(t-48) , RJ , RL	X90(t)

คำอธิบาย

RX90 = ค่าปริมาณน้ำฝนวัดที่สถานี X.90

X173(t) = ระดับน้ำที่สถานี X.173A ณ วันที่ปัจจุบัน

X173(t-24) = ระดับน้ำที่สถานี X.173A ย้อนหลังไป 24 ชม.

X173(t-48) = ระดับน้ำที่สถานี X.173A ย้อนหลังไป 48 ชม.

RJ = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร 24 ชม.

RL = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา 24 ชม.

X90(t) = ระดับน้ำที่สถานี X.90 ณ วันที่ปัจจุบัน

4.2.2. ผลการสร้างระบบฟัซซี่จากการวิเคราะห์ชุดข้อมูล

ในการสร้างระบบฟัซซี่ ได้เลือกใช้ข้อมูลช่วง เดือน กันยายน 2554 ถึง เดือน มกราคม 2555 จำนวน 148 วันในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นข้อมูลในช่วงที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วม การสร้างระบบฟัซซี่ ใช้โปรแกรม MATLAB 2008 ซึ่งแสดงในภาคผนวก ง

ตารางที่ 4-7 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปร

ตัวแปร	ช่วงของข้อมูล	จำนวน membership function	รูปแบบ membership function
X173(t)	10.15 - 16.31 ม.รทก.	3	{'trapmf' , 'trimf' , 'trapmf'}
X173(t-24)	10.15 - 16.31 ม.รทก.	3	{'trapmf' , 'trimf' , 'trapmf'}
X173(t-48)	10.15 - 16.31 ม.รทก.	3	{'trapmf' , 'trimf' , 'trapmf'}
RX90	0.00 - 146.90 มม.	3	{'trapmf' , 'trimf' , 'trapmf'}
RJ	0.000 - 0.122 ล้าน ลบ.ม.	3	{'trapmf' , 'trimf' , 'trapmf'}
RL	0.007 - 1.476 ล้าน ลบ.ม.	3	{'trapmf' , 'trimf' , 'trapmf'}
X90(t)	2.46 - 9.74 ม.รทก.	4	{'trapmf' , 'trimf' , 'trimf' ,'trapmf'}

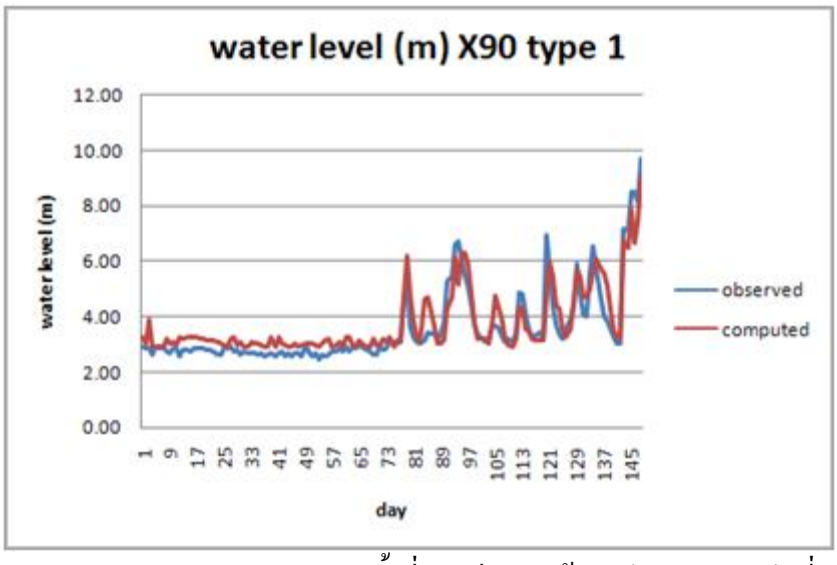
ในการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 ใช้กฎพื้นฐาน IF-THEN โดยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 มี 4 อินพุต 1 เอาต์พุต และกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 40 ข้อ รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 มี 6 อินพุต 1 เอาต์พุต และกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 59 ข้อ โดยรูปแบบของกฎการตัดสินใจเป็นดังนี้

If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Medium) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)

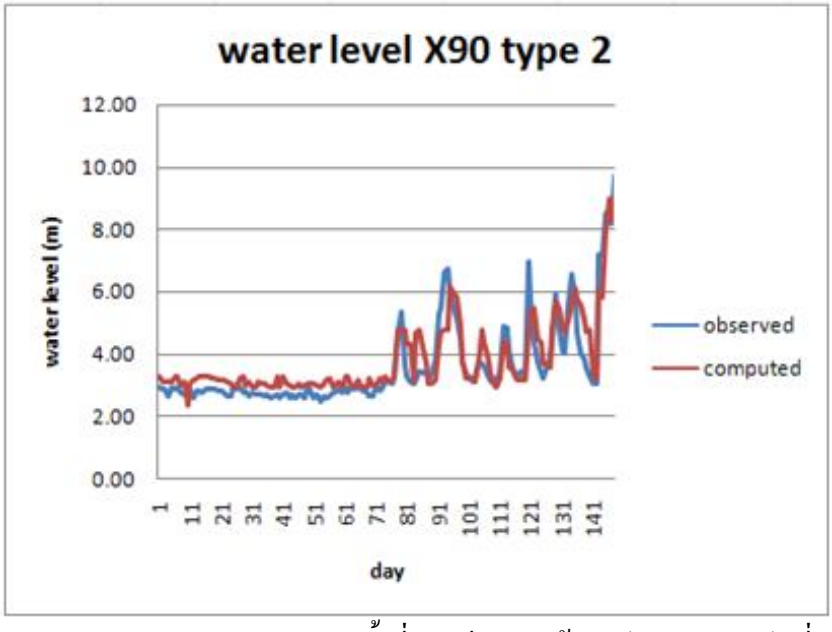
สามารถตีความได้ดังนี้ ถ้า (ระดับน้ำที่สถานี X.173A ย้อนหลังไป 48 ชม. อยู่ในระดับต่ำ) และ (ระดับน้ำที่สถานี X.173A ย้อนหลังไป 24 ชม. อยู่ในระดับต่ำ) และ (ระดับน้ำที่สถานี X.173A ณ วันที่ปัจจุบันอยู่ในระดับต่ำ) และ (ค่าปริมาณน้ำฝนวัดที่สถานี X.90 อยู่ในระดับต่ำ) และ (ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร 24 ชม. อยู่ในระดับกลาง) และ (ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา 24 ชม. อยู่ในระดับต่ำ) แล้วนั้น (ระดับน้ำที่สถานี X.90 ณ วันที่ปัจจุบันจะอยู่ในช่วงน้ำแล้ง) โดยรายละเอียดของกฎการตัดสินใจทั้งหมดแสดงในภาคผนวก จ

4.2.3. ผลการประเมินระดับน้ำ

ผลการประเมินระดับน้ำที่สถานี X.90 จะแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 แสดงในภาพประกอบ 4-11 และรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 แสดงในภาพประกอบ 4-12 ผลการวัดประสิทธิภาพการทำนายของรูปแบบฟัซซี่ทั้ง 2 รูปแบบแสดงดังตารางที่ 4-8



ภาพประกอบ 4-11 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1



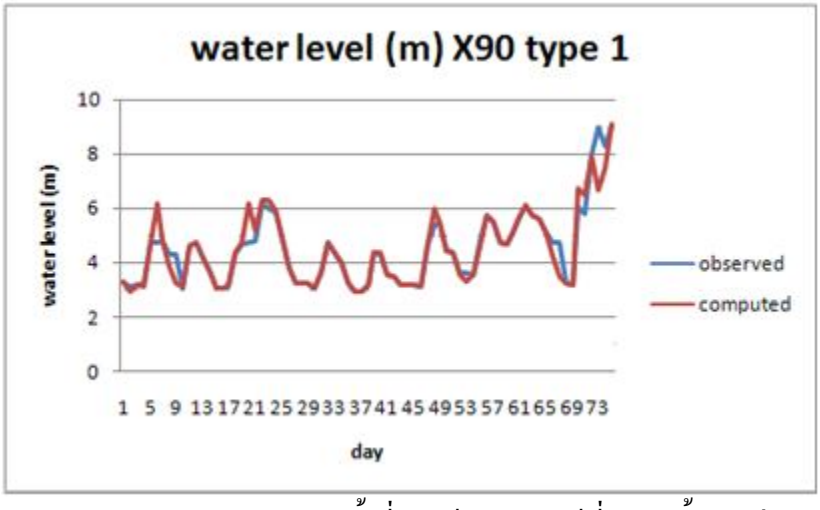
ภาพประกอบ 4-12 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2

ตารางที่ 4-8 ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ของระบบ

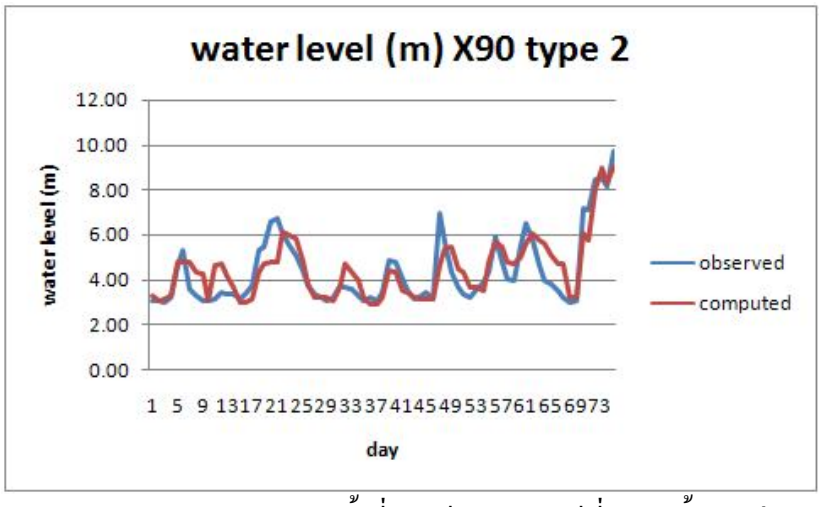
รูปแบบระบบฟัซซี่	RMSE (m)	MAPE (%)
1	0.34	12.44
2	0.38	13.18

ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.34 และค่า MAPE เท่ากับ 12.44 รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.38 และค่า MAPE เท่ากับ 13.18 จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และ อ่างเก็บน้ำคลองหลา เป็นปัจจัย ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) น้อย

ผลการประเมินระดับน้ำที่สถานี X.90 เฉพาะกรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร เพื่อสังเกตุความแม่นยำของระบบประเมินระดับน้ำในสภาวะที่อาจเกิดน้ำท่วม รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 แสดงในภาพประกอบ 4-13 และรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 แสดงในภาพประกอบ 4-14 ผลการวัดประสิทธิภาพการทำนายของรูปแบบฟัซซี่ทั้ง 2 รูปแบบแสดงดังตารางที่ 4-9



ภาพประกอบ 4-13 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 กรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1



ภาพประกอบ 4-14 ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานี X.90 กรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2

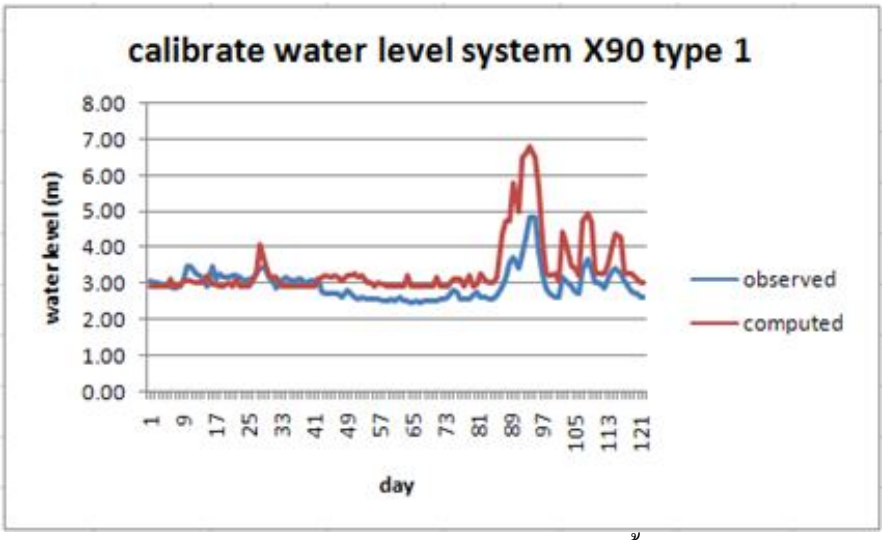
ตารางที่ 4-9 ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ของระบบ กรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร

รูปแบบระบบฟัซซี่	RMSE (m)	MAPE (%)
1	0.20	3.35
2	0.62	13.80

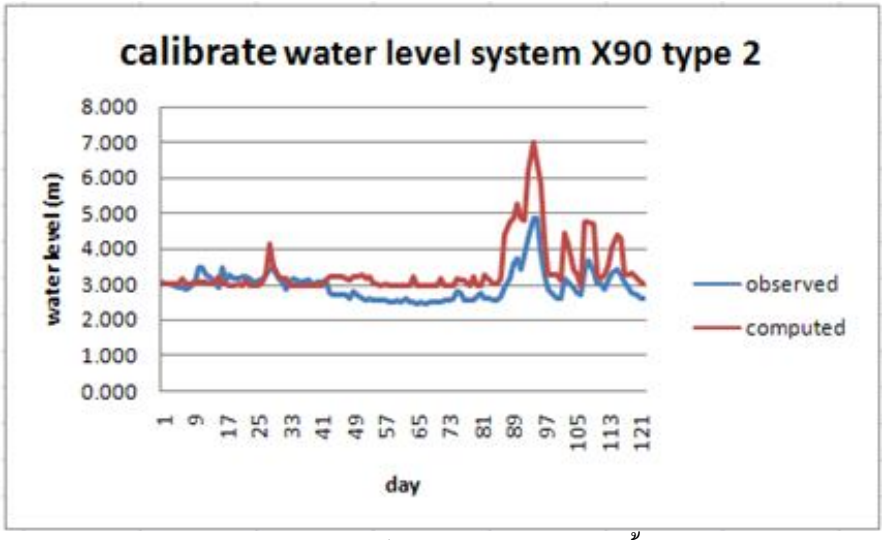
ผลการวิจัยกรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตรพบว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.20 และค่า MAPE เท่ากับ 3.35 รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.62 และค่า MAPE เท่ากับ 13.80 จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 มีความแม่นยำมากขึ้น และความผิดพลาดลดลงเมื่อระดับน้ำสูงขึ้น และปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่สถานี X.90 มาก

4.2.4. ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ

ในการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ เลือกใช้ข้อมูลช่วง เดือน กันยายน 2555 ถึง เดือนธันวาคม 2555 จำนวน 122 วันในการตรวจพิสูจน์ ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ แบ่งเป็น 2 กรณี คือ รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 แสดงในภาพประกอบ 4-15 และรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 แสดงในภาพประกอบ 4-16 ผลการวัดประสิทธิภาพการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ ของรูปแบบฟัซซี่ทั้ง 2 รูปแบบแสดงดังตารางที่ 4-10



ภาพประกอบ 4-15 ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่ แบบที่ 1



ภาพประกอบ 4-16 ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่ แบบที่ 2

ตารางที่ 4-10 ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) ของการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ

รูปแบบระบบฟัซซี่	RMSE (m)	MAPE (%)
1	0.53	17.35
2	0.44	16.66

ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ พบว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.53 และค่า MAPE เท่ากับ 17.35 รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.44 และค่า MAPE เท่ากับ 16.66 ซึ่งผลการระเมินระดับน้ำในช่วงที่ระดับน้ำต่ำนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือได้ แต่จะมีความผิดพลาดสูงในช่วงที่ระดับน้ำสูงขึ้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในส่วนของบทสรุปและข้อเสนอแนะ ได้สรุปผลจากการศึกษาวิจัย ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัจจุบันหาดใหญ่ประสบปัญหาภาวะน้ำท่วมบ่อยครั้ง มักเกิดน้ำท่วมในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง ธันวาคม ยังความเสียหายแก่ชีวิต และทรัพย์สินของประชาชนอย่างมากมาย หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน มีความตื่นตัวและให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก สังเกตได้จากมีการศึกษาวิจัยถึงสาเหตุปัจจัยที่ทำให้เกิดน้ำท่วม มีหลักการสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม มีการสร้างระบบเฝ้าระวังและเตือนภัยน้ำท่วม มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้คาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วมเกิดขึ้นมากมาย โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จำเป็นจะต้องมีข้อมูลเชิงลึก เช่น พื้นที่หน้าตัดคลอง ความกว้าง ความยาวคลอง อัตราการไหลของน้ำ เพื่อนำไปวิเคราะห์ แต่เนื่องจากคลองอู่ตะเภาซึ่งเป็นลำน้ำสายหลักที่ตัดผ่านหาดใหญ่นั้น มีลักษณะเป็นคลองธรรมชาติ เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพอยู่ตลอดเวลาทำให้ยากต่อการรวมรวมและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองในการประเมินระดับน้ำ โดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิก โดยจะทำการประเมินระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ซึ่งเป็นจุดเฝ้าระวังน้ำท่วมก่อนน้ำจะเข้าท่วมหาดใหญ่ ประมาณ 12 ชั่วโมง

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย เริ่มจากการศึกษาหลักการเตือนภัยน้ำท่วม และเก็บรวบรวมข้อมูลระดับน้ำ ปริมาณน้ำฝน ช่วงเดือน กรกฎาคม 2554 ถึง ธันวาคม 2555 จากเว็บไซต์ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อเลือกข้อมูลนำเข้าของระบบ จากนั้นออกแบบระบบประเมินระดับน้ำโดยอาศัยสมมุติฐานจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา และ สมมุติฐานจากแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภา สร้างระบบฟัซซี่

โดยใช้ข้อมูลช่วง เดือน กันยายน 2554 ถึง เดือนมกราคม 2555 แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ สร้างระบบประเมินระดับน้ำจากการวิเคราะห์และโปรแกรม MATLAB 2008 ประเมินความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ และตรวจพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของระบบประเมินระดับน้ำ ด้วยข้อมูลช่วง เดือน กันยายน 2555 ถึง เดือนธันวาคม 2555

จากการวิเคราะห์และเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าเมืองหาดใหญ่มีจุดเฝ้าระวังเพื่อการเตือนภัยน้ำท่วม 3 จุด คือ คือสถานี X.173A สถานี X.90 และสถานีประตูระบายน้ำอู่ตะเภา ลักษณะทั่วไปของสถานี X.173A และสถานี X.90 เป็นคลองธรรมชาติ ส่วน สถานีประตูระบายน้ำอู่ตะเภา นั้นมีลักษณะเป็นประตูน้ำควบคุมการเปิด-ปิด ด้วยมนุษย์ เพื่อกักเก็บ หรือระบายน้ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกจุดประเมินระดับน้ำที่สถานี X.90 โดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำจากสถานี X.173A ที่วันปัจจุบัน ย้อนหลังไป 1 วัน ย้อนหลังไป 2 วัน ปริมาณฝนที่สถานี X.90 อัตราการปล่อยน้ำรายวันจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และ อ่างเก็บน้ำคลองหลา โดยวิเคราะห์ความเหมาะสมจากค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูล

จากการออกแบบและสร้างระบบประเมินระดับน้ำ ในการออกแบบอาศัยสมมุติฐานจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา กับระบบประเมินระดับน้ำด้วยฟัซซี่ลอจิก รูปแบบที่ 1 โดยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 นี้ มีตัวแปรน้ำเข้า 4 ค่า คือ ระดับน้ำที่โทรมาตร X.173A ณ วันที่ปัจจุบัน ย้อนหลังไป 24 ชม. ย้อนหลังไป 48 ชม. และค่าปริมาณน้ำฝนวัดที่โทรมาตร X.90 ส่วนตัวแปรนำออก 1 ค่า คือ ระดับน้ำที่โทรมาตร X.90 ณ วันที่ปัจจุบัน ระบบประเมินระดับน้ำด้วยฟัซซี่ลอจิก รูปแบบที่ 2 อาศัยสมมุติฐานจากแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภา มีตัวแปรน้ำเข้า 6 ค่า คือ ระดับน้ำที่โทรมาตร X.173A ณ วันที่ปัจจุบัน ย้อนหลังไป 24 ชม. ย้อนหลังไป 48 ชม. ค่าปริมาณน้ำฝนวัดที่โทรมาตร X.90 ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และ อ่างเก็บน้ำคลองหลา ส่วนตัวแปรนำออก 1 ค่า คือ ระดับน้ำที่โทรมาตร X.90 ณ วันที่ปัจจุบัน ในการสร้างระบบฟัซซี่การวิเคราะห์ชุดข้อมูลนั้นได้ใช้ข้อมูลช่วง เดือน กันยายน 2554 ถึง เดือนมกราคม 2555 จำนวน 148 วัน สร้างระบบฟัซซี่ด้วยโปรแกรม MATLAB 2008 รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 มีกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 40 ข้อ และรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 มีกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 59 ข้อ

ผลการประเมินระดับน้ำที่สถานี X.90 ด้วยระบบประเมินระดับน้ำรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 ให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.34 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับ 12.44 ส่วนระบบประเมินระดับน้ำรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.38 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับ 13.18

ผลการประเมินระดับน้ำที่สถานี X.90 กรณีที่ระดับน้ำสูงกว่า 3 เมตร ด้วยระบบประเมินระดับน้ำรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 ให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.20 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับ 3.35 ส่วนระบบประเมินระดับน้ำรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.62 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับ 13.80

การตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ ใช้ข้อมูลช่วง เดือน กันยายน 2555 ถึง เดือนธันวาคม 2555 จำนวน 122 วัน ระบบประเมินระดับน้ำรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 ให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.53 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับ 17.35 ส่วนระบบประเมินระดับน้ำรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.44 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับ 16.66

จากผลการประเมินระดับน้ำที่สถานี X.90 ด้วยระบบประเมินระดับน้ำ และ ผลการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ พบว่าตัวแปรนำเข้าของระบบเป็นปัจจัยซึ่งมีผลต่อการทำนาย ซึ่งผลการทำนายระดับน้ำในช่วงที่ระดับน้ำต่ำนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือได้ แต่จะมีความผิดพลาดสูงในช่วงที่ระดับน้ำสูงขึ้น

5.2 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ใน 4 ด้านหลัก ๆ ได้แก่ ด้านการลดค่าใช้จ่าย ด้านการเฝ้าระวังภัยน้ำท่วม ด้านการวางแผนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ด้านการนำความรู้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับสถานที่อื่น ดังรายละเอียดต่อนี้

1. ด้านการลดค่าใช้จ่าย

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในปัจจุบันจำเป็นจะต้องมีข้อมูลเชิงลึก ซึ่งได้จากการสำรวจ และเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง ซึ่งคลองอู่ตะเภามีลักษณะเป็นคลองธรรมชาติ มีการเปลี่ยนแปลงของลำคลองตลอดเวลา การข้อมูลเชิงลึกที่ทำได้ยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง ระบบประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิกนี้ ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเชิงลึก ใช้เพียงแต่ข้อมูล ระดับน้ำและข้อมูลน้ำฝน ซึ่งมีสถานีตรวจวัดอยู่แล้ว ทำให้ช่วยลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายลงไปได้

2. ด้านการเฝ้าระวังภัยน้ำท่วม

ระบบประเมินระดับน้ำนี้สามารถทำนายระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ซึ่งเป็นจุดเฝ้าระวังน้ำท่วมก่อนน้ำจะเข้าท่วมหาดใหญ่ ประมาณ 12 ชั่วโมง ทำให้เมื่ออยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมสามารถคาดการณ์สถานการณ์ล่วงหน้าได้ เพื่อการเตรียมความพร้อมและลดการสูญเสีย

3. ด้านการวางแผนของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ระบบประเมินระดับน้ำนี้สามารถทำนายระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ซึ่งเป็นจุดเฝ้าระวังน้ำท่วมก่อนน้ำจะเข้าท่วมหาดใหญ่ ประมาณ 12 ชั่วโมง หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง สามารถวางแผนเพื่อรับมือกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น ทั้งการแจ้งเตือนภัย การควบคุมความเสียหาย และการบรรเทาภัยในภายหลัง

4. ด้านการนำความรู้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับสถานที่อื่น

ระบบประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิกนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อประเมินระดับน้ำกับสถานที่อื่นๆได้ ทั้งที่เป็นคลองธรรมชาติ และอาคารชลประทาน เช่น เขื่อน สามารถใช้ระบบประเมินระดับน้ำโดยเทคนิคฟัซซี่ลอจิกนี้ ในการคาดการณ์ระดับน้ำในเขื่อน เพื่อตัดสินใจปล่อยน้ำได้

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการวิจัย

1. ในการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับใช้ในงานวิจัยนั้น อาศัยการเก็บข้อมูลย้อนหลังจากเว็บไซต์ต่างๆที่มีการเผยแพร่ นำมาคัดเลือก และผนวกรวมกัน ทำให้ต้องใช้เวลาในการเก็บรวบรวม อีกทั้งผู้วิจัยมิได้อยู่ในหน่วยงานที่มีข้อมูลสำหรับใช้ในงานวิจัย ทำให้ข้อมูลเกิดการขาดหายในบางส่วน และความละเอียดของข้อมูลมีไม่มากนัก

2. ในการสร้างกฎการตัดสินใจเพื่อทำนายระดับน้ำ ผู้วิจัยมิได้เป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านอุทกศาสตร์ อาศัยเพียงการศึกษา สอบถามจากผู้รู้ และการวิเคราะห์จากข้อมูล อาจได้กฎการตัดสินใจที่ไม่ครบถ้วน

5.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการจัดเตรียมข้อมูลตัวแปรให้ครบถ้วน และมีความละเอียดขึ้น เช่น มีค่าตัวแปรทุกๆ ชั่วโมง

2. ควรมีการปรับปรุงกฎการตัดสินใจ และค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของลำคลองมาก เช่นการขุดลอกคลอง การเสริมคันคลอง การขยายลำคลอง เป็นต้น

3. ควรมีการศึกษาและเพิ่มตัวแปรซึ่งเป็นปัจจัยในการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้มีข้อมูลอยู่อย่างจำกัด ทำให้ตัวแปรซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงบางค่าถูกตัดไป เช่น การเปิด-ปิด ประตูระบายที่สถานีประตูระบายน้ำคลองอู่ตะเภา

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ. 2539. ภัยพิบัติทางธรรมชาติ. พิมพ์แจกครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : องค์การค้าของคุรุสภา.

[2] อัครวัฒน์ หิรัญพันธุ์. 2543. บันทึก...อุทกภัย...หาดใหญ่ ปี 2543 ข่าวสารสิ่งแวดล้อมภาคใต้. 11(12):2-6.

[3] ชาคริต โภชะเรือง. หาดใหญ่เตือนภัยน้ำท่วมด้วยตนเอง. โครงการเครือข่ายเมืองในเอเชียเพื่อรับมือกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. http://hatyaicityclimate.org/paper/88 (สืบค้นเมื่อ 24 ธันวาคม 2554).

[4] Thai PBS NEWS. 2553. ย้อนรอยเหตุการณ์น้ำท่วม "หาดใหญ่" ปี 2531 และ 2543. Thai PBS. http://www.http://news.thaipbs.or.th/content/ย้อนรอยเหตุการณ์น้ำท่วม-"หาดใหญ่"-ปี-2531-และ-2543 (สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2555)

[5] ASTVผู้จัดการออนไลน์. 2553. วิปโยคน้ำท่วมหาดใหญ่ ทุกข์ซ้ำกรรมซัด. ASTV. http://www.manager.co.th/Home/ViewNews.aspx?NewsID=9530000155891 (สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2555).

[6] วินัย แซ่จิ้ว. 2534. กระประยุกต์ใช้การจำลองสภาพธรรมชาติโดยทางคณิตศาสตร์ เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ของระบบเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับอุทกภัยเขตเมืองหาดใหญ่. – ว.สงขลานครินทร์. 14(2) : 163-173.

[7] ยุพา ชิดทอง และ เสรี ศุภราทิตย์. 2550. การพัฒนาแบบจำลอง Hybrid เพื่อการพยากรณ์ยอดน้ำ(กรณีศึกษา เหตุการณ์น้ำท่วมเชียงใหม่ ปี 2548). เอกสารรวมบทความวิชาการการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12, พฤษภาคม 2550, หน้า WRE 403-409.B.

[8] P.C. Nayak. 2005. Short-term flood forecasting with a neurofuzzy model. Water Resources Research 41 (4):1-16.

[9] S. Phuphong and C. Surussavadee. 2013. An Artificial Neural Network Based Runoff Forecasting Model in the Absence of Precipitation Data: A Case Study of Khlong U-Tapao River Basin, Songkhla Province, Thailand. Proceedings of International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation 2013. Bangkok, Thailand,

[10] ข้อมูลพื้นฐานหาดใหญ่. สำนักงานอำเภอหาดใหญ่. http://www.hatyai-sk.go.th/index.php?cmd=history (สืบค้นเมื่อ มกราคม 2556).

[11] ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. ศูนย์ศึกษาสิ่งแวดล้อมลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา. http://www.careutapao.com/gis/ (สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2556).

[12] อำเภอหาดใหญ่ :: ประวัติความเป็นมาของอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดสงขลา. สำนักงานอำเภอหาดใหญ่. http://www.songkhlahealth.org/paper/1182 (สืบค้นเมื่อ มกราคม 2556).

[13] ชาคริต โภชะเรือง และ เทพกิตต? กำเนิดไพรวัลย. 2553. รายงานโครงการสังเคราะห์องค์ความรู้ ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาวะบริเวณลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

[14] รายชื่อสถานีโทรมาตรในลุ่มน้ำอู่ตะเภา. กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. http://203.185.128.74/utapao/info-detail.php (สืบค้นเมื่อ มกราคม 2556).

[15] วิบูลย์ สงวนพงศ์. สถานการณ์อุทกภัย ปี 2553 กับการวางแผนป้องกันและแก้ปัญหา. วารสารดำรงราชานุภาพ. 10(37) : 1-6.

[16] ดร.ทองเปลว กองจันทร์,สุเทพ น้อยไพโรจน์. การวิเคราะห์การเกิดอุทกภัยในหาดใหญ่. ศูนย์เรียนรู้ สำนักชลประทานที่ 16 กรมชลประทาน. http://kmcenter.rid.go.th/kmc16/research/research_54.html (สืบค้นเมื่อ มกราคม 2556).

[17] วินัย แซ่จิ้ว. 2533. การศึกษาความเป็นไปได้ของระบบเตือนภัยล่วงหน้าเกี่ยวกับอุทกภัยสำหรับเขต สะเดา - หาดใหญ่. สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[18] สำนักงานคณะกรรมการการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2544. แผนป้องกันอุทกภัยพื้นที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.

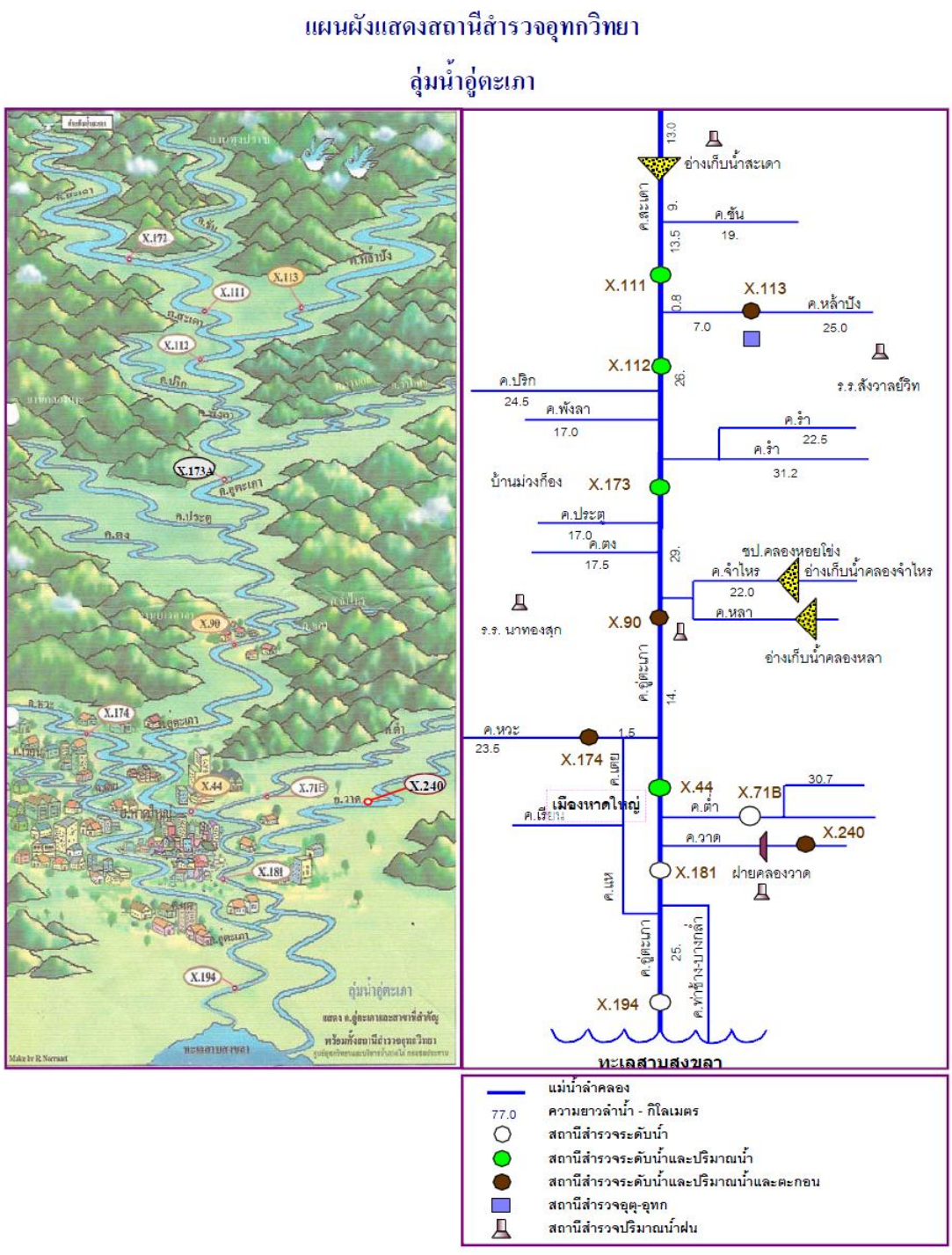
[19] พยุง มีสัจ. 2553. โครงข่ายประสาทเทียม และระบบฟัซซี่, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[20] การเตือนภัยน้ำท่วมเมือง หาดใหญ่. ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน. http://hydro-8.com/main/day/basinutapow.html (สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2556).

[21] รูปแสดงความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – ระยะ เวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา. โครงการเครือข่ายเมืองในเอเชียเพื่อรับมือกันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. http://hatyaicityclimate.org/upload/pics/water-level-chart-2.jpg (สืบค้นเมื่อ มีนาคม 2556).

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก : แผนผังแสดงสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภา



ภาพประกอบ ก-1 แผนผังแสดงสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภา

ภาคผนวก ข : ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ภาคผนวก ข1 : แสดงข้อมูลที่ใช้ในการสอบเทียบระบบประเมินระดับน้ำ

ตารางภาคผนวก ข1-1 แสดงข้อมูลระดับน้ำสถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.173A (ม.รทก.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
1	11.37	13.05	10.41	11.90	15.46
2	10.60	12.51	10.32	11.42	16.31
3	10.30	12.05	10.22	11.16	15.40
4	10.20	11.97	10.18	11.17	14.74
5	10.15	11.89	10.23	12.50	14.22
6	10.15	11.78	10.44	13.55	13.81
7	10.17	11.75	11.11	13.20	13.24
8	10.21	11.76	11.19	12.85	12.46
9	10.36	11.67	11.21	12.04	11.94
10	10.55	11.55	11.22	11.26	12.09
11	11.41	11.37	10.73	11.02	12.43
12	14.34	11.15	10.50	10.89	13.38
13	14.65	11.03	10.47	10.93	15.63
14	14.42	10.86	10.34	10.87	15.17
15	14.01	10.81	10.23	10.78	14.58
16	13.48	11.25	10.18	11.77	14.20
17	12.71	10.75	10.34	13.23	13.79
18	11.96	10.79	10.35	13.16	13.46
19	11.41	10.96	10.20	12.40	13.64
20	11.35	10.94	10.20	11.76	14.91
21	11.38	10.82	11.60	11.38	14.74
22	11.39	10.78	13.18	11.57	14.31
23	11.38	11.07	13.48	11.63	13.98

ตารางภาคผนวก ข1-1 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.173A (ม.รทก.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
25	10.80	10.67	14.63	10.98	13.66
26	10.40	10.68	14.37	10.80	13.11
27	10.60	10.61	14.24	10.68	12.36
28	11.83	10.70	14.14	10.57	11.82
29	13.40	10.44	13.53	10.49	11.56
30	13.59	10.23	12.67	10.43	11.37
31		10.29		10.96	11.29

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข1-2 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝนวัดที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำฝนสถานี X.90 (มม.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
1	6.00	1.70	2.30	0.00	46.70
2	0.00	0.00	1.10	0.00	88.00
3	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00
4	0.00	0.00	0.00	57.50	0.00
5	0.00	2.00	2.20	0.00	0.00
6	0.00	0.00	32.10	0.00	0.00
7	0.00	1.50	35.10	0.00	0.00
8	23.20	2.50	0.20	0.00	18.30
9	0.00	0.00	2.30	0.00	29.30
10	79.70	0.00	0.00	16.20	29.00
11	53.60	0.00	0.00	23.70	18.40
12	0.00	0.00	0.00	26.50	146.90
13	25.60	0.00	0.00	0.00	23.30
14	*	0.00	15.20	0.00	0.00
15	*	36.20	4.30	50.30	0.00
16	0.00	0.00	8.20	53.10	9.80
17	0.00	7.70	0.00	8.40	0.00
18	0.00	6.30	1.00	12.10	5.60
19	18.30	0.00	16.10	0.00	12.40
20	*	24.10	108.30	7.80	3.90
21	*	0.00	59.50	17.70	10.00
22	*	0.00	59.10	0.00	0.00
23	0.00	2.70	59.80	8.90	0.00
24	0.00	1.90	28.50	1.60	0.00
25	24.00	2.30	14.30	0.00	0.00

ตารางภาคผนวก ข1-2 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำฝนสถานี X.90 (มม.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
26	0.00	26.40	6.40	0.00	0.00
27	7.30	0.00	1.20	0.00	0.00
28	1.70	0.00	1.70	0.00	0.00
29	1.70	20.20	0.00	8.00	3.70
30	0.30	28.40	0.00	26.40	2.00
31		7.20		143.10	3.20

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข1-3 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร (ล้าน ลบ.ม.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
1	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.044	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.044	0.000	0.000	0.000	0.044
13	0.044	0.000	0.000	0.000	0.122
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.089
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.119
16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.118
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
21	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.054

ตารางภาคผนวก ข1-3 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร (ล้าน ลบ.ม.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
31		0.000			0.004

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข1-4 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา (ล้าน ลบ.ม.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
1	0.039	0.018	0.010	0.008	0.009
2	0.039	0.018	0.010	0.008	0.068
3	0.039	0.018	0.010	0.008	0.068
4	0.039	0.018	0.010	0.008	0.182
5	0.039	0.018	0.010	0.008	0.204
6	0.077	0.018	0.010	0.008	0.194
7	0.077	0.018	0.010	0.008	0.203
8	0.076	0.018	0.010	0.008	0.203
9	0.076	0.018	0.010	0.008	0.202
10	0.076	0.018	0.010	0.008	0.203
11	0.076	0.018	0.010	0.008	0.271
12	0.079	0.018	0.010	0.008	0.359
13	0.079	0.018	0.010	0.008	0.414
14	0.079	0.018	0.010	0.009	0.529
15	0.180	0.018	0.007	0.009	0.648
16	0.180	0.018	0.007	0.009	0.647
17	0.195	0.018	0.007	0.009	0.449
18	0.194	0.018	0.007	0.009	0.448
19	0.194	0.035	0.007	0.009	0.270
20	0.192	0.035	0.007	0.009	1.476
21	0.191	0.035	0.007	0.009	0.648
22	0.190	0.035	0.007	0.009	0.496
23	0.189	0.035	0.007	0.009	0.449
24	0.188	0.035	0.008	0.009	0.448
25	0.187	0.035	0.008	0.009	0.401

ตารางภาคผนวก ข1-4 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา (ล้าน ลบ.ม.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
26	0.187	0.010	0.008	0.009	0.399
27	0.184	0.010	0.008	0.009	0.226
28	0.018	0.010	0.008	0.009	0.035
29	0.018	0.010	0.008	0.009	0.035
30	0.018	0.010	0.008	0.009	0.035
31		0.010			0.035

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข1-5 แสดงข้อมูลระดับน้ำสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.90 (ม.รทก.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
1	3.08	3.37	2.72	3.38	6.96
2	2.93	3.42	2.59	3.22	9.74
3	2.87	2.80	2.68	3.12	8.50
4	2.85	2.77	2.55	3.21	7.22
5	2.64	2.88	2.70	3.73	5.73
6	2.92	2.87	2.69	3.69	4.38
7	3.07	2.87	2.60	3.61	3.71
8	3.01	2.88	2.99	3.34	3.36
9	2.86	2.82	2.69	3.12	3.21
10	2.95	2.81	3.39	2.94	3.58
11	3.26	2.72	2.59	2.76	3.92
12	4.66	2.62	2.67	2.92	4.34
13	5.32	2.65	2.46	3.23	8.54
14	5.02	2.95	2.63	3.09	8.17
15	4.17	2.85	2.59	2.86	7.13
16	3.60	3.16	2.65	3.47	5.90
17	3.28	2.90	2.77	4.91	4.80
18	3.11	2.73	2.72	4.82	4.08
19	2.73	2.82	2.84	4.08	4.00
20	2.77	2.66	2.76	3.53	5.58
21	2.89	2.76	3.77	3.19	6.55
22	2.76	2.69	5.31	3.33	5.74
23	3.06	2.69	5.45	3.46	4.63
24	2.68	2.70	6.60	3.19	4.01
25	2.84	2.63	6.74	2.96	3.86

ตารางภาคผนวก ข1-5 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.90 (ม.รทก.)				
	ก.ย. 2554	ต.ค. 2554	พ.ย. 2554	ธ.ค. 2554	ม.ค. 2555
26	2.85	2.67	6.08	2.87	3.57
27	2.58	2.59	5.55	2.79	3.24
28	2.82	2.65	5.09	2.76	3.04
29	3.18	2.68	4.46	2.65	3.05
30	3.44	2.59	3.75	2.64	2.83
31		2.67		2.97	2.86

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ภาคผนวก ข2 : แสดงข้อมูลที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์ระบบประเมินระดับน้ำ

ตารางภาคผนวก ข2-1 แสดงข้อมูลระดับน้ำสถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.173A (ม.รทก.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
1	9.90	11.05	10.20	14.68
2	9.85	10.49	10.22	14.69
3	9.82	10.25	10.20	15.10
4	9.81	10.20	10.19	14.58
5	9.80	10.18	10.24	13.96
6	9.77	10.17	10.14	13.11
7	9.88	10.23	10.12	12.01
8	9.95	10.15	10.00	11.25
9	10.38	10.09	9.96	10.95
10	11.35	10.13	9.99	11.42
11	11.00	10.51	10.05	13.28
12	10.61	11.45	10.04	12.82
13	10.22	11.73	10.47	12.36
14	10.19	11.83	11.58	11.81
15	10.86	11.45	10.89	11.72
16	11.00	11.49	10.29	13.61
17	10.96	11.35	10.01	13.91
18	10.52	11.35	10.00	13.02
19	10.27	11.92	10.17	12.07
20	10.06	11.71	10.74	11.99
21	10.10	11.39	11.00	11.68
22	10.14	11.18	10.94	12.40
23	10.05	11.25	10.40	12.92
24	10.08	10.86	10.48	13.22

ตารางภาคผนวก ข2-1 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.173A (ม.รทก.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
25	10.11	10.75	11.67	12.93
26	10.49	10.67	13.22	12.10
27	12.12	11.09	13.51	11.62
28	13.02	10.75	14.28	11.26
29	12.45	10.71	14.10	10.94
30	11.70	10.43	14.20	10.86
31		10.21		10.77

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข2-2 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝนวัดที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำฝนสถานี X.90 (มม.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
1	0.00	1.70	0.00	42.10
2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	8.10	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	17.10	0.00	0.00	0.00
7	0.00	13.30	0.00	0.00
8	31.90	0.00	0.00	0.00
9	2.30	0.00	0.00	0.00
10	2.70	0.00	4.30	1.90
11	0.00	0.00	0.00	9.70
12	1.20	0.00	0.00	0.00
13	1.40	0.00	0.00	7.10
14	14.80	3.60	0.00	39.50
15	5.30	10.50	0.00	23.80
16	0.00	8.60	0.00	4.50
17	0.00	8.50	0.00	0.00
18	0.00	2.80	18.70	26.10
19	0.00	4.60	0.00	1.70
20	1.60	10.50	13.70	27.90
21	0.00	6.30	6.10	22.80
22	3.40	4.00	3.00	9.30
23	0.00	7.60	1.70	8.20
24	0.00	13.80	14.60	0.00
25	13.30	0.00	3.30	19.20

ตารางภาคผนวก ข2-2 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำฝนสถานี X.90 (มม.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
26	10.70	0.00	1.60	0.00
27	1.90	0.00	0.00	0.00
28	8.60	0.00	11.40	0.00
29	0.00	0.00	2.10	26.60
30	0.00	0.00	13.80	11.00
31		33.20		11.40

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข2-3 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร (ล้าน ลบ.ม.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
1	0.006	0.005	0.005	0.005
2	0.006	0.005	0.005	0.005
3	0.006	0.005	0.005	0.005
4	0.006	0.005	0.005	0.000
5	0.006	0.005	0.005	0.000
6	0.006	0.005	0.005	0.000
7	0.006	0.005	0.005	0.000
8	0.006	0.005	0.005	0.000
9	0.006	0.005	0.005	0.000
10	0.005	0.005	0.005	0.000
11	0.005	0.005	0.005	0.000
12	0.005	0.005	0.005	0.000
13	0.005	0.005	0.005	0.000
14	0.005	0.005	0.005	0.000
15	0.005	0.005	0.005	0.000
16	0.005	0.005	0.005	0.000
17	0.005	0.005	0.005	0.000
18	0.005	0.005	0.005	0.000
19	0.005	0.005	0.005	0.000
20	0.005	0.005	0.005	0.000
21	0.005	0.005	0.005	0.000
22	0.005	0.005	0.005	0.000
23	0.005	0.005	0.005	0.000
24	0.005	0.005	0.005	0.000
25	0.005	0.005	0.005	0.000

ตารางภาคผนวก ข2-3 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร (ล้าน ลบ.ม.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
26	0.005	0.005	0.005	0.000
27	0.005	0.005	0.005	0.000
28	0.005	0.005	0.005	0.000
29	0.005	0.005	0.005	0.000
30	0.005	0.005	0.005	0.000
31		0.005		0.000

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข2-4 แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา (ล้าน ลบ.ม.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
1	0.056	0.008	0.007	0.008
2	0.056	0.008	0.007	0.008
3	0.056	0.008	0.035	0.008
4	0.056	0.008	0.035	0.008
5	0.056	0.008	0.035	0.008
6	0.055	0.008	0.035	0.008
7	0.055	0.008	0.035	0.008
8	0.055	0.008	0.035	0.008
9	0.055	0.008	0.035	0.008
10	0.055	0.007	0.035	0.008
11	0.055	0.007	0.035	0.008
12	0.055	0.007	0.035	0.056
13	0.055	0.007	0.035	0.056
14	0.055	0.007	0.035	0.056
15	0.055	0.007	0.035	0.057
16	0.055	0.007	0.035	0.057
17	0.054	0.007	0.035	0.057
18	0.007	0.007	0.035	0.057
19	0.007	0.007	0.035	0.057
20	0.007	0.007	0.035	0.058
21	0.007	0.007	0.035	0.058
22	0.007	0.007	0.035	0.058
23	0.007	0.007	0.035	0.058
24	0.007	0.007	0.035	0.060
25	0.007	0.007	0.035	0.060

ตารางภาคผนวก ข2-4 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา (ล้าน ลบ.ม.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
26	0.007	0.007	0.035	0.060
27	0.007	0.007	0.035	0.060
28	0.007	0.007	0.035	0.060
29	0.007	0.007	0.036	0.060
30	0.007	0.007	0.007	0.008
31		0.007		0.008

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ตารางภาคผนวก ข2-5 แสดงข้อมูลระดับน้ำสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.90 (ม.รทก.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
1	3.06	3.05	2.59	3.82
2	3.03	2.87	2.51	4.27
3	2.99	3.08	2.51	4.84
4	2.96	3.17	2.45	4.82
5	2.92	3.11	2.51	3.88
6	2.90	3.04	2.46	3.24
7	2.88	3.13	2.50	2.88
8	2.91	3.12	2.50	2.69
9	3.05	2.94	2.48	2.60
10	3.49	3.05	2.48	2.62
11	3.46	3.05	2.56	3.17
12	3.27	3.11	2.55	3.07
13	3.20	2.75	2.59	2.90
14	3.10	2.71	2.80	2.76
15	2.93	2.71	2.73	2.69
16	3.48	2.70	2.57	3.34
17	3.12	2.68	2.56	3.67
18	3.25	2.59	2.56	3.35
19	3.17	2.79	2.65	3.02
20	3.16	2.70	2.77	2.99
21	3.21	2.62	2.61	2.88
22	3.22	2.56	2.58	3.11
23	3.14	2.58	2.57	3.33
24	3.08	2.53	2.54	3.40
25	3.09	2.55	2.66	3.25

ตารางภาคผนวก ข2-5 (ต่อ)

วันที่/เดือน	ระดับน้ำสถานี X.90 (ม.รทก.)			
	ก.ย. 2555	ต.ค. 2555	พ.ย. 2555	ธ.ค. 2555
26	3.10	2.53	2.90	3.05
27	3.28	2.55	3.16	2.90
28	3.44	2.51	3.58	2.75
29	3.42	2.49	3.70	2.68
30	3.17	2.53	3.42	2.61
31		2.48		2.61

ที่มา : ส่วนราชการ โครงการชลประทานสงขลา ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

ภาคผนวก ค : การสร้างระบบฟัซซี่จากการวิเคราะห์ข้อมูล

Training Data ดังแสดงใน ภาพประกอบ ค-1 และ ดังแสดงใน ภาพประกอบ ค-2

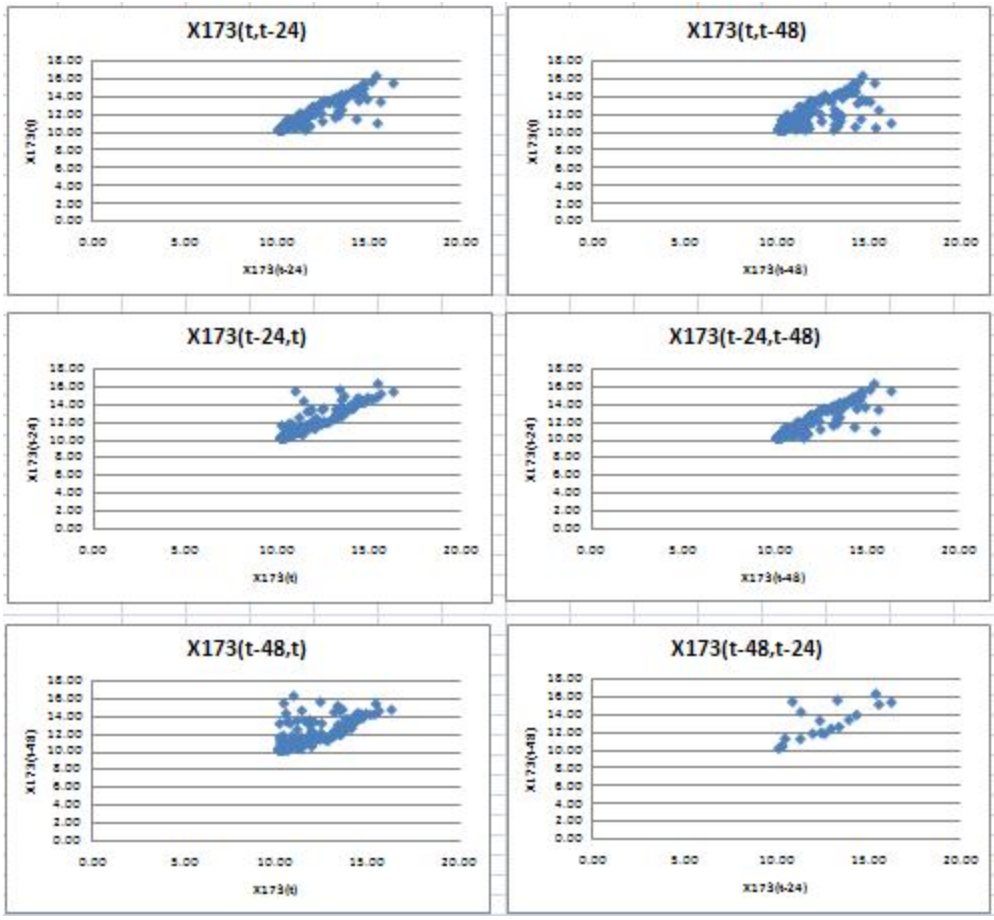
X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)		X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
11.37	11.94	11.82	3.08		11.03	11.15	11.37	2.65
10.60	11.37	11.94	2.93		10.86	11.03	11.15	2.95
10.30	10.60	11.37	2.87		10.81	10.86	11.03	2.85
10.20	10.30	10.60	2.85		11.25	10.81	10.86	3.16
10.15	10.20	10.30	2.64		10.75	11.25	10.81	2.90
10.15	10.15	10.20	2.92		10.79	10.75	11.25	2.73
10.17	10.15	10.15	3.07		10.96	10.79	10.75	2.82
10.21	10.17	10.15	3.01		10.94	10.96	10.79	2.66
10.36	10.21	10.17	2.86		10.82	10.94	10.96	2.76
10.55	10.36	10.21	2.95		10.78	10.82	10.94	2.69
11.41	10.55	10.36	3.26		11.07	10.78	10.82	2.69
14.34	11.41	10.55	4.66		10.84	11.07	10.78	2.70
14.65	14.34	11.41	5.32		10.67	10.84	11.07	2.63
13.48	14.01	14.42	3.60		10.68	10.67	10.84	2.67
12.71	13.48	14.01	3.28		10.61	10.68	10.67	2.59
11.96	12.71	13.48	3.11		10.70	10.61	10.68	2.65
11.41	11.96	12.71	2.73		10.44	10.70	10.61	2.68
11.38	11.39	11.38	3.06		10.23	10.44	10.70	2.59
11.20	11.38	11.39	2.68		10.29	10.23	10.44	2.67
10.80	11.20	11.38	2.84		10.41	10.29	10.23	2.72
10.40	10.80	11.20	2.85		10.32	10.41	10.29	2.59
10.60	10.40	10.80	2.58		10.22	10.32	10.41	2.68
11.83	10.60	10.40	2.82		10.18	10.22	10.32	2.55
13.40	11.83	10.60	3.18		10.23	10.18	10.22	2.70
13.59	13.40	11.83	3.44		10.44	10.23	10.18	2.69
13.05	13.59	13.40	3.37		11.11	10.44	10.23	2.60
12.51	13.05	13.59	3.42		11.19	11.11	10.44	2.99
12.05	12.51	13.05	2.80		11.21	11.19	11.11	2.69
11.97	12.05	12.51	2.77		11.22	11.21	11.19	3.39
11.89	11.97	12.05	2.88		10.73	11.22	11.21	2.59
11.78	11.89	11.97	2.87		10.50	10.73	11.22	2.67
11.75	11.78	11.89	2.87		10.47	10.50	10.73	2.46
11.76	11.75	11.78	2.88		10.34	10.47	10.50	2.63
11.67	11.76	11.75	2.82		10.23	10.34	10.47	2.59
11.55	11.67	11.76	2.81		10.18	10.23	10.34	2.65
11.37	11.55	11.67	2.72		10.34	10.18	10.23	2.77
11.15	11.37	11.55	2.62		10.35	10.34	10.18	2.72

ภาพประกอบ ค-1 **Training Data**

X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)		X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
10.20	10.35	10.34	2.84		10.80	10.98	11.25	2.87
10.20	10.20	10.35	2.76		10.68	10.80	10.98	2.79
11.60	10.20	10.20	3.77		10.57	10.68	10.80	2.76
13.18	11.60	10.20	5.31		10.49	10.57	10.68	2.65
13.48	13.18	11.60	5.45		10.43	10.49	10.57	2.64
14.46	13.48	13.18	6.60		10.96	10.43	10.49	2.97
14.63	14.46	13.48	6.74		15.46	10.96	10.43	6.96
14.37	14.63	14.46	6.08		16.31	15.46	10.96	9.74
14.24	14.37	14.63	5.55		15.40	16.31	15.46	8.50
14.14	14.24	14.37	5.09		14.74	15.40	16.31	7.22
13.53	14.14	14.24	4.46		14.22	14.74	15.40	5.73
12.67	13.53	14.14	3.75		13.81	14.22	14.74	4.38
11.90	12.67	13.53	3.38		13.24	13.81	14.22	3.71
11.42	11.90	12.67	3.22		12.46	13.24	13.81	3.36
11.16	11.42	11.90	3.12		11.94	12.46	13.24	3.21
11.17	11.16	11.42	3.21		12.09	11.94	12.46	3.58
12.50	11.17	11.16	3.73		12.43	12.09	11.94	3.92
13.55	12.50	11.17	3.69		13.38	12.43	12.09	4.34
13.20	13.55	12.50	3.61		15.63	13.38	12.43	8.54
12.85	13.20	13.55	3.34		15.17	15.63	13.38	8.17
12.04	12.85	13.20	3.12		14.58	15.17	15.63	7.13
11.26	12.04	12.85	2.94		14.20	14.58	15.17	5.90
11.02	11.26	12.04	2.76		13.79	14.20	14.58	4.80
10.89	11.02	11.26	2.92		13.46	13.79	14.20	4.08
10.93	10.89	11.02	3.23		13.64	13.46	13.79	4.00
10.87	10.93	10.89	3.09		14.91	13.64	13.46	5.58
10.78	10.87	10.93	2.86		14.74	14.91	13.64	6.55
11.77	10.78	10.87	3.47		14.31	14.74	14.91	5.74
13.23	11.77	10.78	4.91		13.98	14.31	14.74	4.63
13.16	13.23	11.77	4.82		13.91	13.98	14.31	4.01
12.40	13.16	13.23	4.08		13.66	13.91	13.98	3.86
11.76	12.40	13.16	3.53		13.11	13.66	13.91	3.57
11.38	11.76	12.40	3.19		12.36	13.11	13.66	3.24
11.57	11.38	11.76	3.33		11.82	12.36	13.11	3.04
11.63	11.57	11.38	3.46		11.56	11.82	12.36	3.05
11.25	11.63	11.57	3.19		11.37	11.56	11.82	2.83
10.98	11.25	11.63	2.96		11.29	11.37	11.56	2.86

ภาพประกอบ ค-2 **Training Data**

ในการออกแบบระบบฟัซซีอันดับแรก ควรนำ Training Data มาทำการพล็อตแบบกระจาย (Scatter Plot) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะของ Training Data ดังแสดงใน ภาพประกอบ ค-3



ภาพประกอบ ค-3 การพล็อตแบบกระจาย (Scatter Plot)

จากการพิจารณาพบว่า Attribute 1 (X173(t)) ควรแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต {Low1, Medium1, High1} Attribute 2 (X173(t-24)) ควรแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต {Low2, Medium2, High2} และ Attribute 3 (X173(t-48)) ควรแบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต {Low3, Medium3, High3}

ในการกำหนดฟัซซีเซตของแต่ละ Attribute เพื่อแบ่งส่วนข้อมูลนั้น สามารถทำได้โดยการคำนวณหาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละมิติ และคำนวณหาค่าต่ำสุดละค่าสูงสุดของข้อมูลในแต่ละกลุ่มเพื่อใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ของฟัซซีเซต

ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยยึดข้อมูล X.90 เป็นหลัก แบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 4 กลุ่ม มีการกำหนดช่วงสำหรับการแบ่งข้อมูลตามตารางภาคผนวก ค-1 ดังนี้

ตารางภาคผนวก ค-1 กำหนดช่วงสำหรับการแบ่งข้อมูล

ช่วงของข้อมูล	ชื่อกลุ่ม	ความหมายของกลุ่ม
0-3	0	น้ำน้อย
3-7	1	น้ำปกติ
7-8	2	เฝ้าระวัง
8-10	3	น้ำท่วม

เมื่อจัดกลุ่มข้อมูลแล้วก็หาค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละมิติ และค่าต่ำสุดละค่าสูงสุดของข้อมูลในแต่ละกลุ่มเพื่อใช้ในการกำหนดพารามิเตอร์ของฟัซซีเซต ดังแสดงใน ภาพประกอบ ค-4

ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละมิติ

	min	max	mean
X173(t-48)	10.15	16.31	11.91
X173(t-24)	10.15	16.31	11.91
X173(t)	10.15	16.31	11.91
X90(t)	2.46	9.74	3.59

ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละกลุ่ม กลุ่ม 0 น้ำน้อย

	min	max	mean
X173(t)	10.15	12.05	10.81
X173(t-24)	10.15	12.51	10.89
X173(t-48)	10.17	13.05	11.02
X90(t)	2.46	2.99	2.76

ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละกลุ่ม กลุ่ม 1 น้ำปกติ

	min	max	mean
X173(t)	10.17	15.46	12.77
X173(t-24)	10.15	14.91	12.70
X173(t-48)	10.15	15.40	12.66
X90(t)	3.01	6.96	4.06

ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละกลุ่ม กลุ่ม 2 เฝ้าระวัง

	min	max	mean
X173(t)	14.58	14.74	14.66
X173(t-24)	15.17	15.40	15.29
X173(t-48)	15.63	16.31	15.97
X90(t)	7.13	7.22	7.18

ค่าต่ำสุด สูงสุด และค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละกลุ่ม กลุ่ม 3 ท่วม

	min	max	mean
X173(t)	15.17	16.31	15.63
X173(t-24)	13.38	16.31	15.2
X173(t-48)	10.96	15.46	13.06
X90(t)	8.17	9.74	8.74

ภาพประกอบ ค-4 ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละมิติ และค่าต่ำสุดละค่าสูงสุดของข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

ชนิดของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ใช้มี 2 ชนิดดังนี้Triangular Membership Function และ Trapezoidal Membership Function

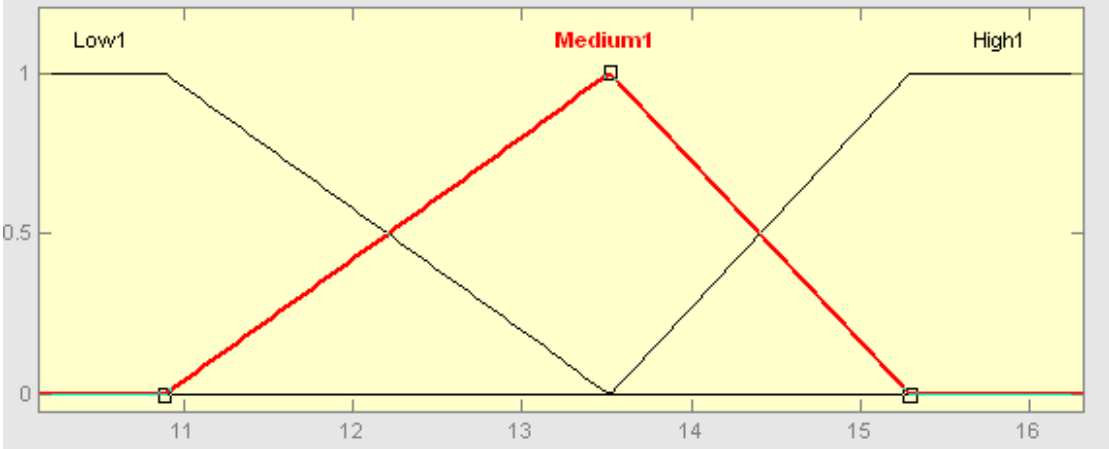
$$triangular\ (x:a,b,c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \le x \le b \\ (c-x)/(c-b) & b \le x \le c \\ 0 & x > c \end{cases}$$

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

การออกแบบฟัซซีเซต แต่ละ Attribute

Attribute 1 (X173(t)) แบ่งเป็น 3 ฟัซซีเซต {Low1, Medium1, High1}

```
A1names = {'Low1', 'Medium1', 'High1'};
A1mf = {'trapmf','trimf','trapmf'};
x =      10.15:16.31      % ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุดของข้อมูลในมิติที่ 1
aLow1 =          10.15    % ค่าต่ำสุดของข้อมูลในมิติที่ 1
bLow1 =          10.15    % ค่าต่ำสุดของข้อมูลในมิติที่ 1
cLow1 =          10.81    % ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในมิติที่ 1
dLow1 =          13.47    % ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในมิติที่ 12
Low1 = trapmf(x,[alow1,blow1,clow1,dlow1])
aMedium1 =       10.81    % ค่าต่ำสุดของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในมิติที่ 1
bMedium1 =       13.47    % ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในมิติที่1
cMedium1 =       15.63    % ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในมิติที่ 1
Medium2 = trimf(x,[aMedium2,bMedium2,cMedium2])
aHigh1 =         13.47    % ค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในมิติที่ 1
bHigh1 =         15.63    % ค่าสูงสุดของค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละกลุ่มในมิติที่ 1
cHigh1 =         16.31    % ค่า สูงสุดของข้อมูลในมิติที่ 1
dHigh1 =         16.31    % ค่า สูงสุดของข้อมูลในมิติที่ 1
High1 = trapmf(x,[aHigh1,bHigh1,cHigh1,dHigh1])
plot(x,[Low1' Medium1' High1'])
```



ภาพประกอบ ค-5 กราฟ Low, Medium และ High ในมิติที่ 1

สำหรับในมิติอื่นๆก็ทำในลักษณะเดียวกัน เมื่อทำการกำหนดฟัซซีเซตครบทุกมิติแล้ว ให้ทำการจัดเทียบข้อมูลเชิงตัวเลขให้เป็นข้อมูลเชิงฟัซซีเซตโดยใช้ตัวชี้ ดังนี้

ในมิติที่ 1 “l” หมายถึง “Low1” “m” หมายถึง “Medium1” และ “h” หมายถึง “High1”

ในมิติที่ 2 “l” หมายถึง “Low2” “m” หมายถึง “Medium2” และ “h” หมายถึง “High2”

ในมิติที่ 3 “l” หมายถึง “Low3” “m” หมายถึง “Medium3” และ “h” หมายถึง “High3”

ผลการจัดเทียบได้ข้อมูลในรูปฟัซซีเซต แสดงในภาพประกอบ ค-6

X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	m	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	m	m	0
l	l	m	0
l	l	m	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0
l	l	l	0

X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
l	l	l	1
l	l	l	1
l	l	l	1
l	l	l	1
m	l	l	1
h	m	l	1
m	m	m	1
m	m	m	1
l	m	m	1
l	l	l	1
m	l	l	1
m	m	l	1
m	m	m	1
m	m	m	1
l	l	l	1
l	l	l	1
l	l	l	1
m	l	l	1
m	m	l	1
m	m	m	1
h	h	m	1
m	h	m	1
m	m	h	1
m	m	m	1

X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
h	h	h	2
h	h	h	2

X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
h	h	h	3
h	m	m	3
h	h	m	3
h	h	l	3

ภาพประกอบ ค-6 ผลการเทียบข้อมูลเชิงตัวเลขให้เป็นข้อมูลเชิงฟัซซีเซต

เมื่อทำการเทียบข้อมูลเชิงตัวเลขให้เป็นข้อมูลเชิงฟัซซีเซตแล้วนั้นจะสังเกตว่ามีเรคคอร์ดที่ซ้ำกันอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อทำการขจัดเรคคอร์ดที่ซ้ำกันแล้วจะได้ได้ผลลัพธ์กฎฟัซซี

ออกมา ดังแสดงในภาพประกอบ ค-7

X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
l	l	l	0.00
l	l	m	0.00
l	m	m	0.00
X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
l	l	l	1.00
m	l	l	1.00
h	m	l	1.00
m	m	m	1.00
l	m	m	1.00
m	m	l	1.00
h	h	m	1.00
m	h	m	1.00
m	m	h	1.00
l	l	m	1.00
h	l	l	1.00
m	h	h	1.00
h	m	m	1.00
X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
h	h	h	2.00
X173(t)	X173(t-24)	X173(t-48)	X90(t)
h	h	h	3.00
h	m	m	3.00
h	h	m	3.00
h	h	l	3.00

ภาพประกอบ ค-7 ผลลัพธ์กฎฟัซซี

เมื่อได้กฎฟัซซี่ออกมาก็สามารถนำไปใช้งานกับโปรแกรม MATLAB 2008 เพื่อการทำนายระดับน้ำได้

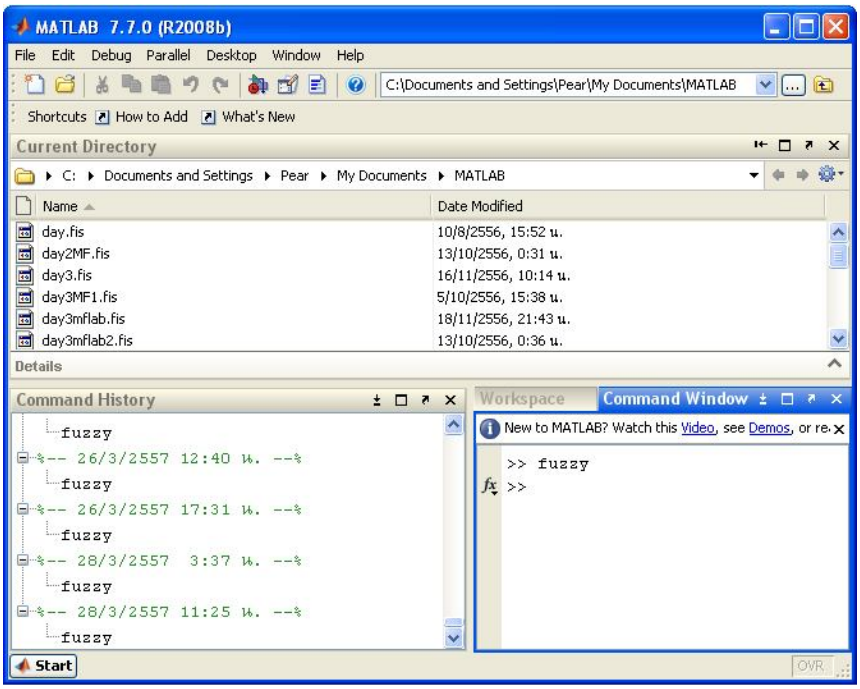
ดัดแปลงมาจาก : พยุง มีสัจ. 2553.

ภาคผนวก ง : การสร้างระบบฟัซซี่ ด้วยโปรแกรม MATLAB 2008

การเริ่มต้นใช้งานโทรแกรม MATLAB โดยการดับเบิ้ลคลิกที่ไอคอน ดังแสดงใน ภาพประกอบ ง-1

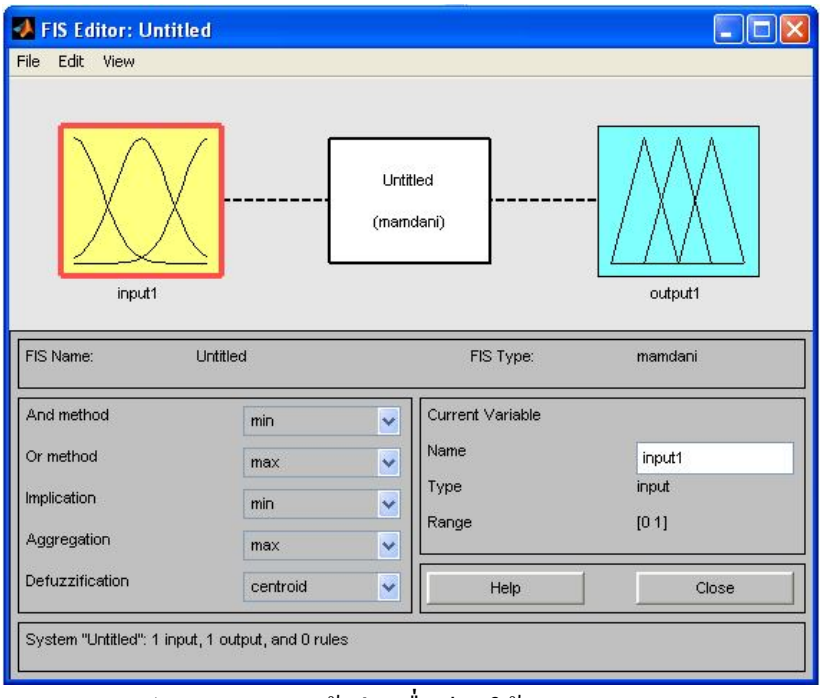
ภาพประกอบ ง-1 ไอคอนโปรแกรม MATLAB

การเรียนใช้ fuzzy toolbox ทำได้โดยการพิมพ์ fuzzy ในหน้าต่าง Command Window ดังแสดงใน ภาพประกอบ ง-2



ภาพประกอบ ง-2 การเรียนใช้ fuzzy toolbox

เมื่อเรียกใช้งาน fuzzy toolbox จะปรากฏหน้าต่าง ดังแสดงใน ภาพประกอบ ง-3



ภาพประกอบ ง-3 หน้าต่างเมื่อเรียกใช้งาน fuzzy toolbox

การเพิ่มตัวแปรนำเขา และตัวแปรนำออก

Edit > Add Variable > input หรือ output

การลบตัวตัวแปรนำเขา หรือตัวแปรนำออก

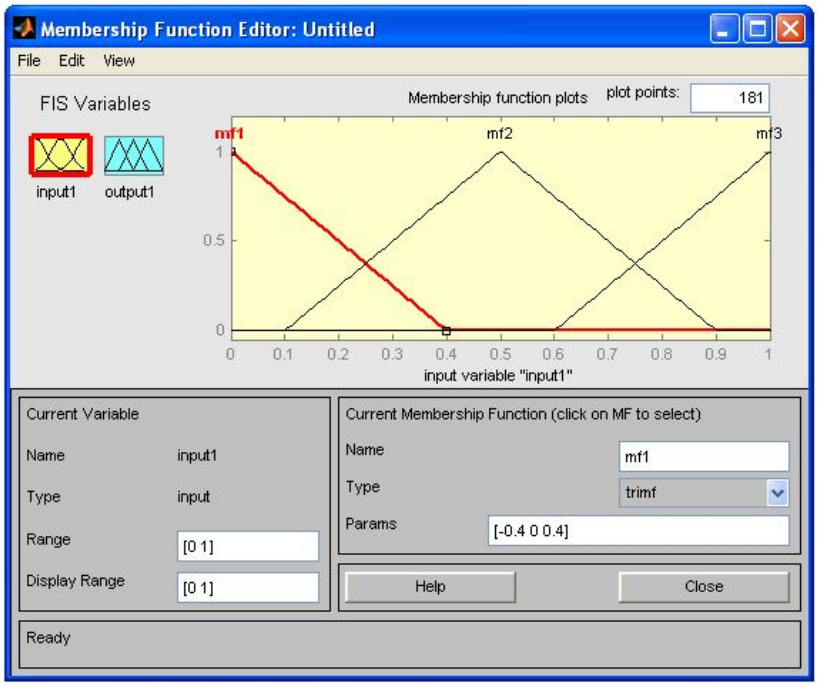
เลือกตัวแปที่ต้องการลบ > Edit > Remove Selected Variable หรือ Ctrl+X

การจัดการ Membership Function

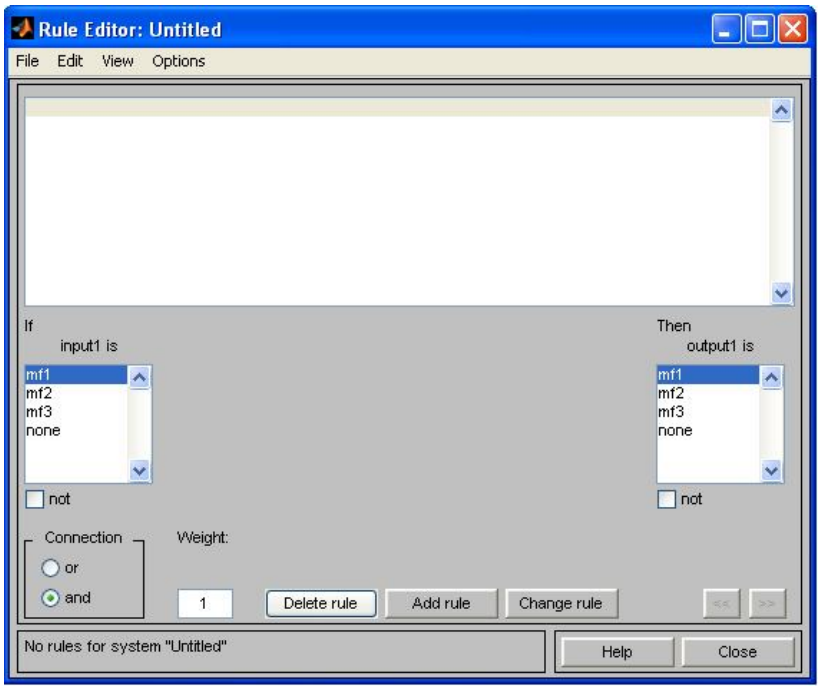
เลือกตัวแปที่ต้องการ > Edit > Membership Function หรือ Ctrl+2

การจัดการ Rules

Edit > Rules หรือ Ctrl+3

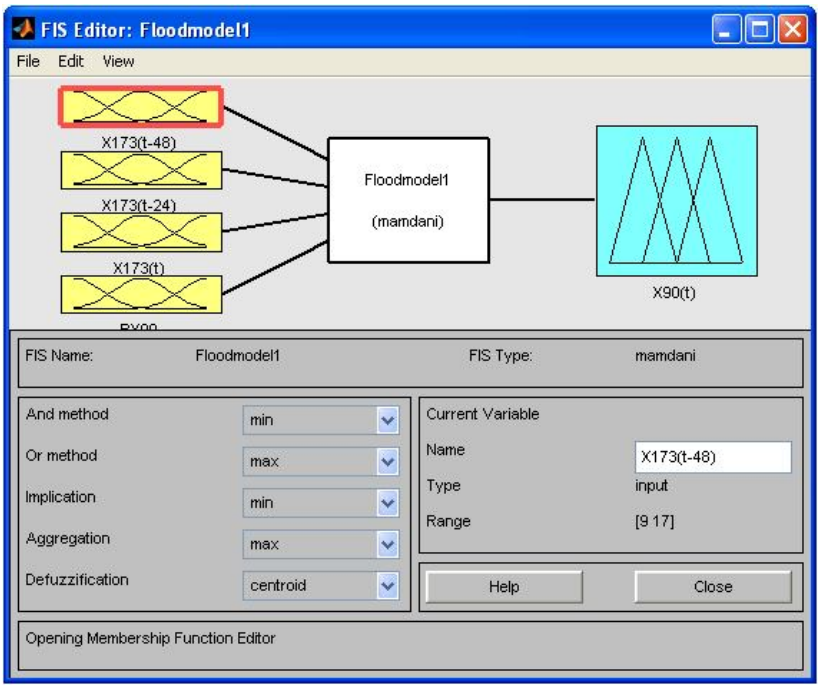


ภาพประกอบ ง-3 หน้าต่างสำหรับจัดการ Membership Function

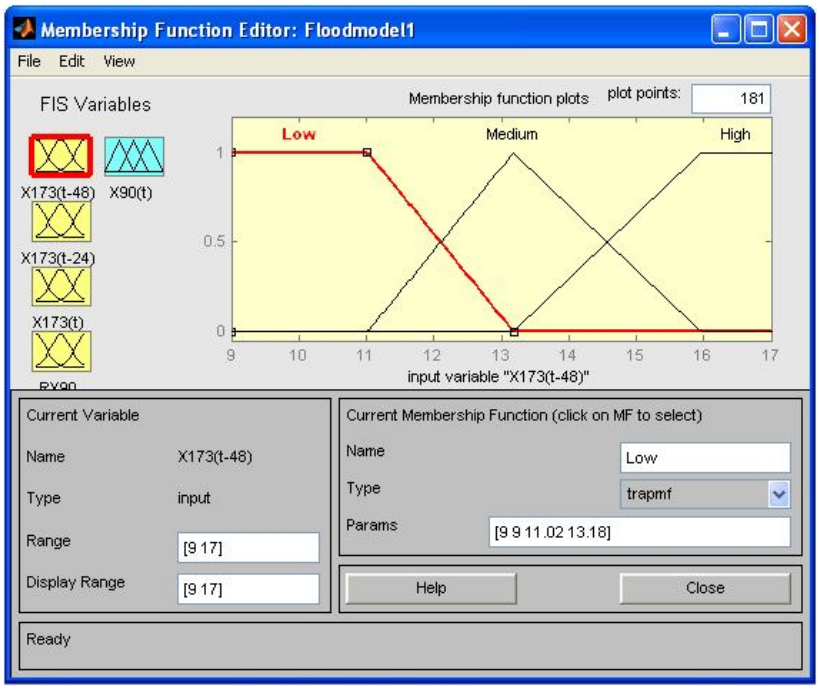


ภาพประกอบ ง-4 หน้าต่างสำหรับจัดการ Rules

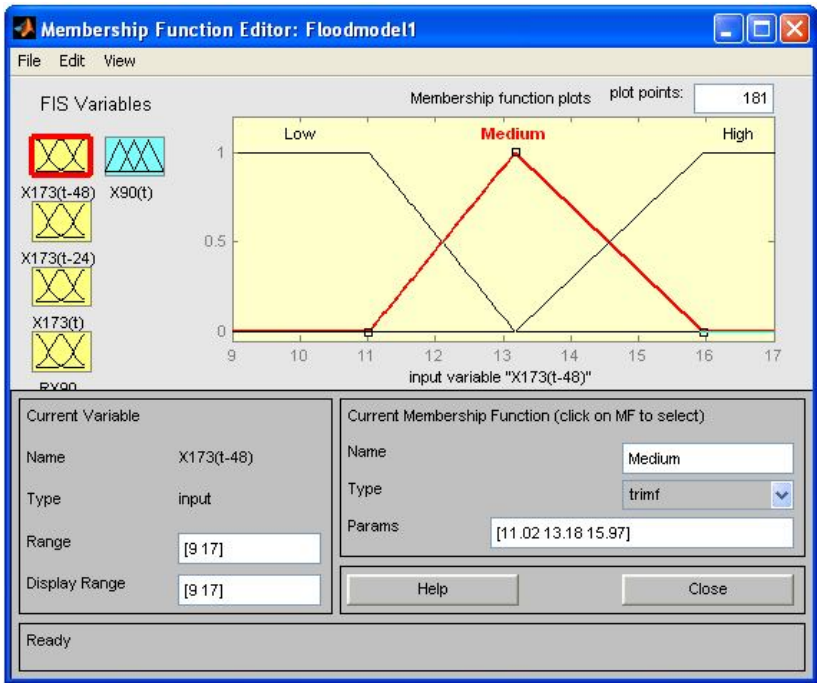
ระบบประเมินระดับน้ำด้วยฟัซซี่ลอจิกรูปแบบที่ 1 มี 4 ตัวแปรนำเข้า 1 ตัวแปรนำออก และกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 40 ข้อ



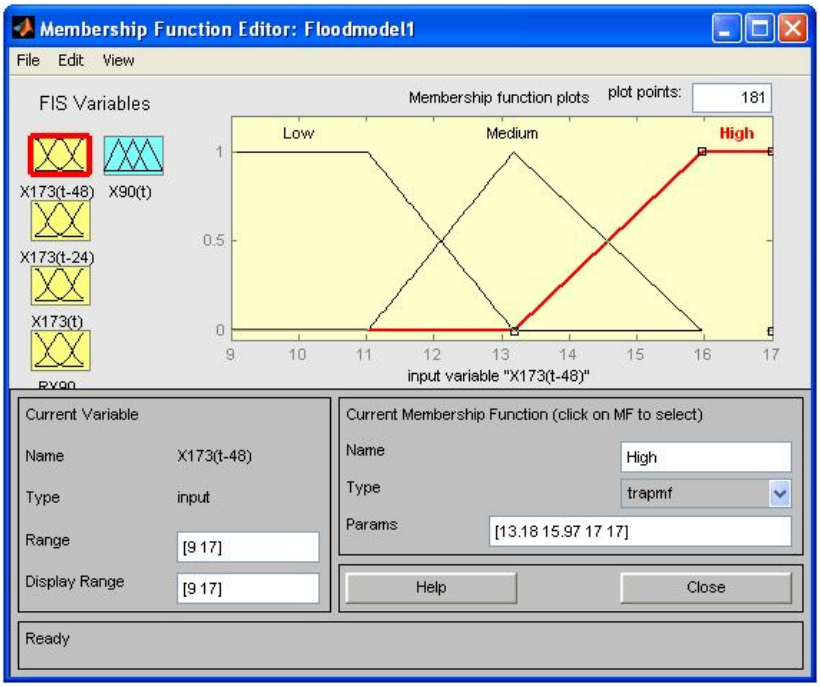
ภาพประกอบ ง-5 ตัวแปรนำเข้าและตัวแปรนำออกของระบบฟัซซี่รูปแบบที่ 1



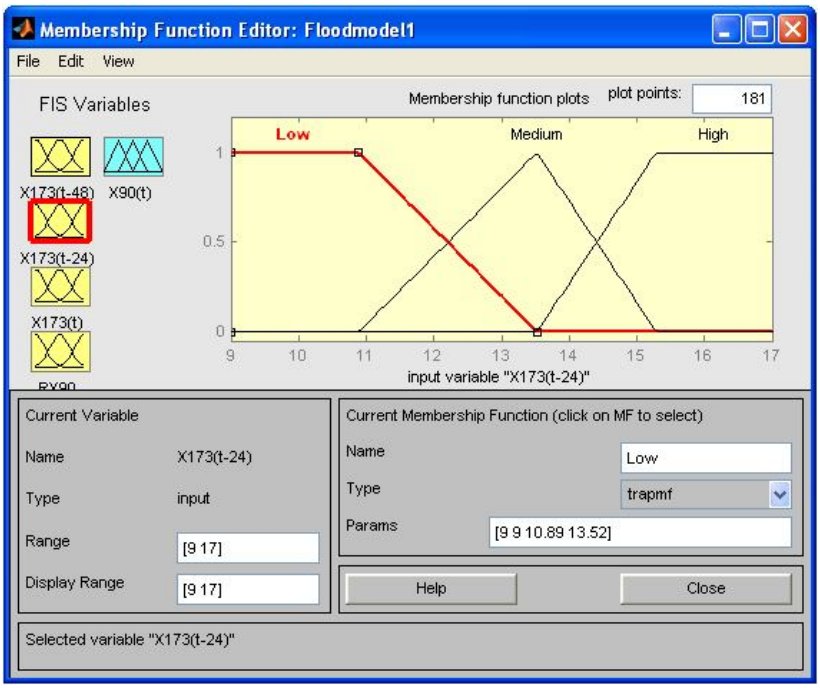
ภาพประกอบ ง-6 Membership Function Low ของตัวแปร X173(t-48)



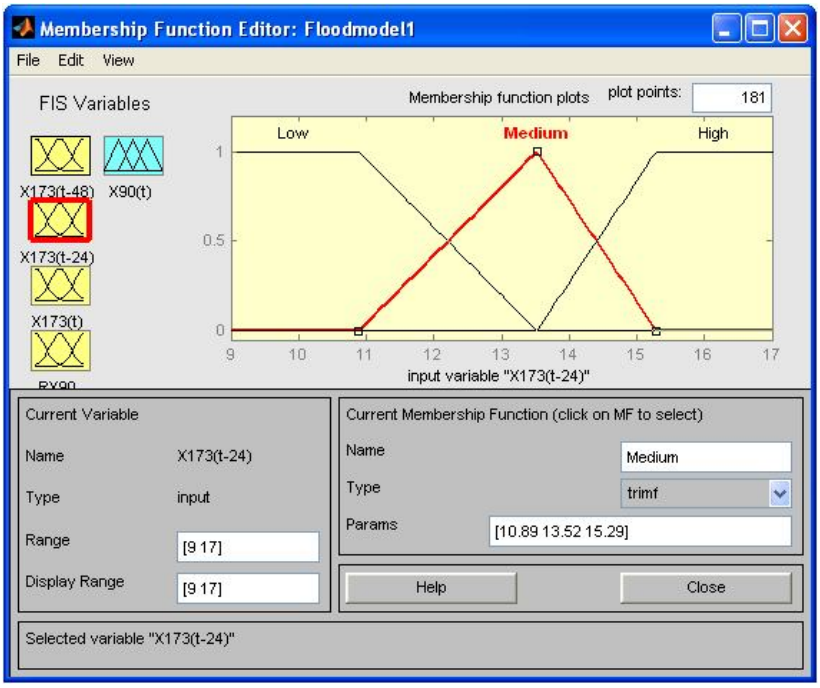
ภาพประกอบ ง-7 Membership Function Medium ของตัวแปร X173(t-48)



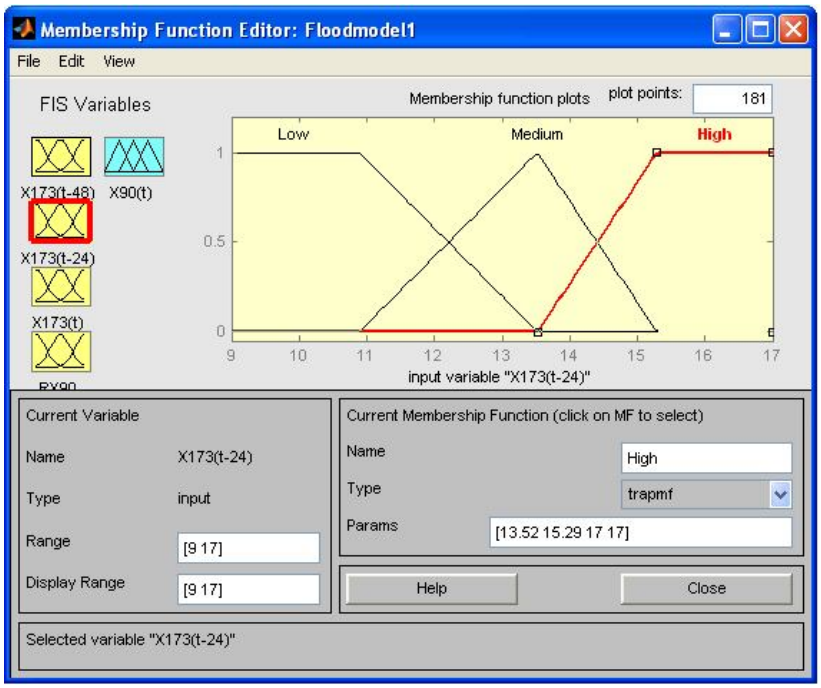
ภาพประกอบ ง-8 Membership Function High ของตัวแปร X173(t-48)



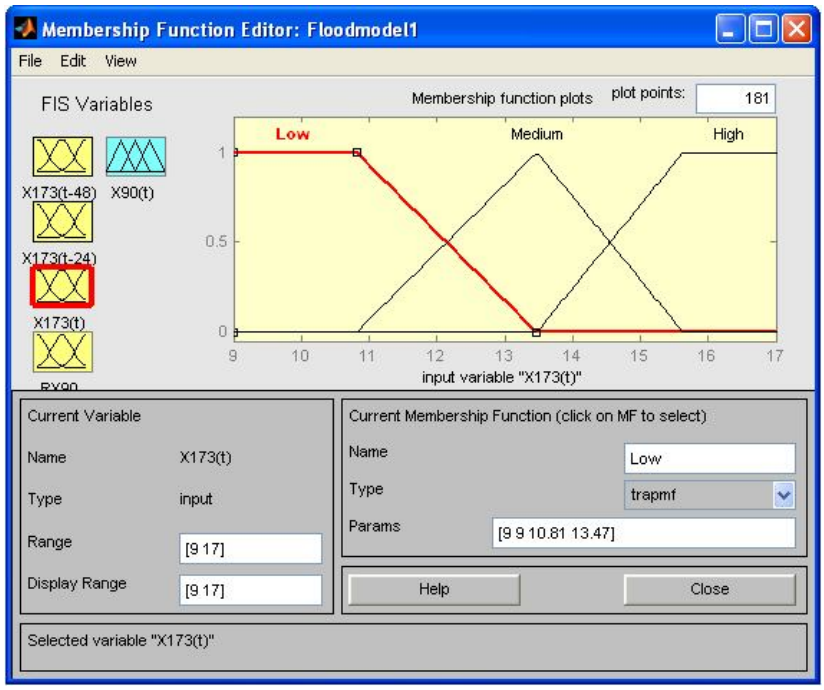
ภาพประกอบ ง-9 Membership Function Low ของตัวแปร X173(t-24)



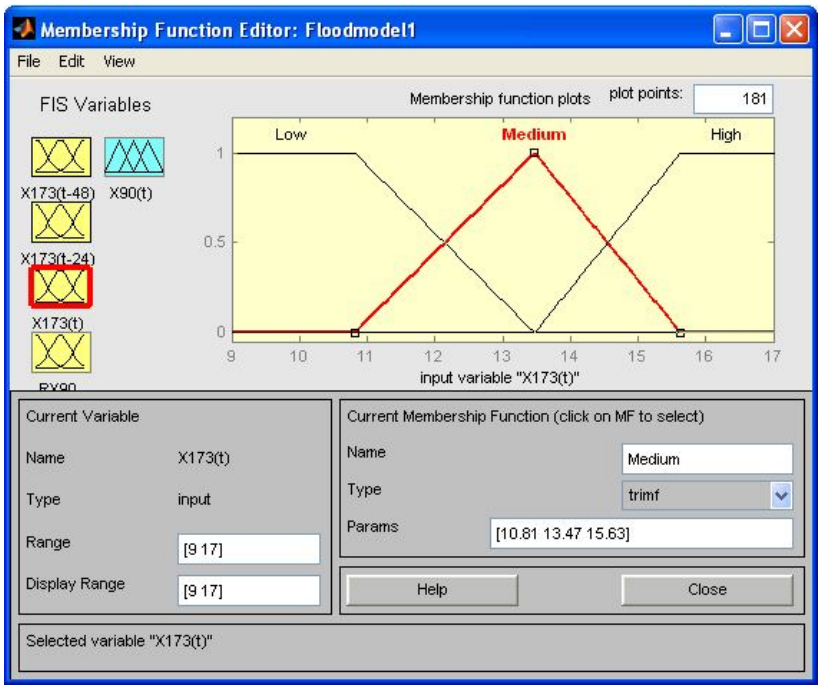
ภาพประกอบ ง-10 Membership Function Medium ของตัวแปร X173(t-24)



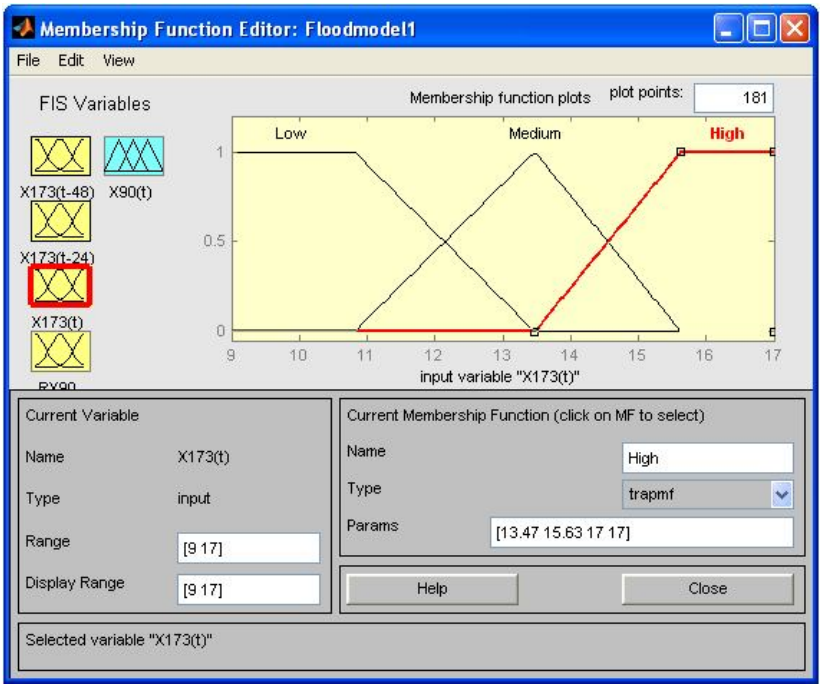
ภาพประกอบ ง-11 Membership Function High ของตัวแปร X173(t-24)



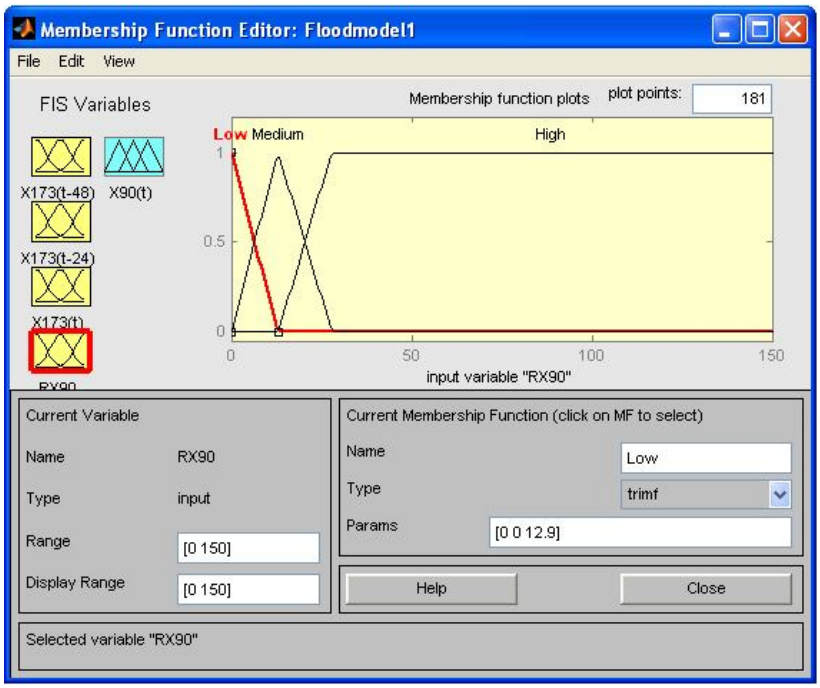
ภาพประกอบ ง-12 Membership Function Low ของตัวแปร X173(t)



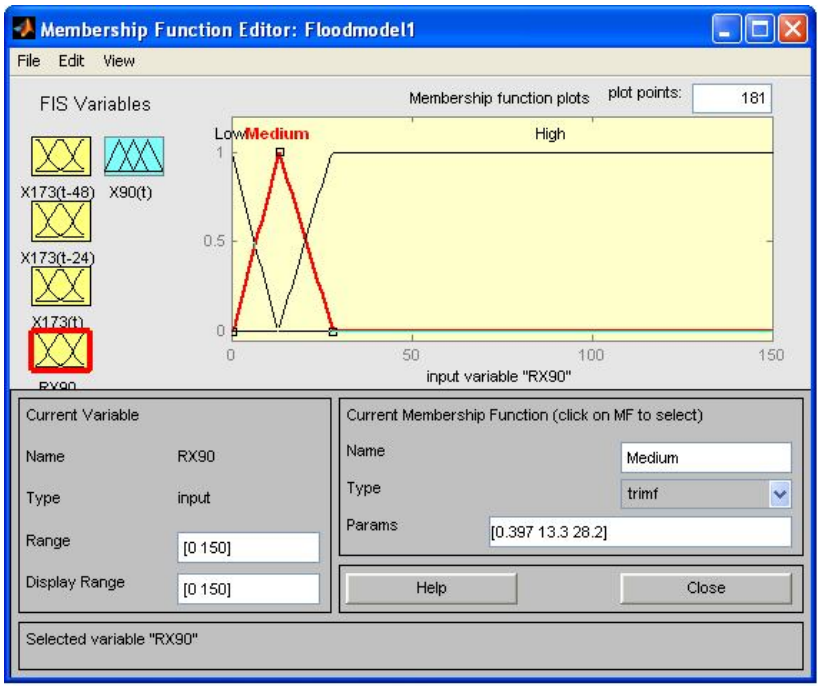
ภาพประกอบ ง-13 Membership Function Medium ของตัวแปร X173(t)



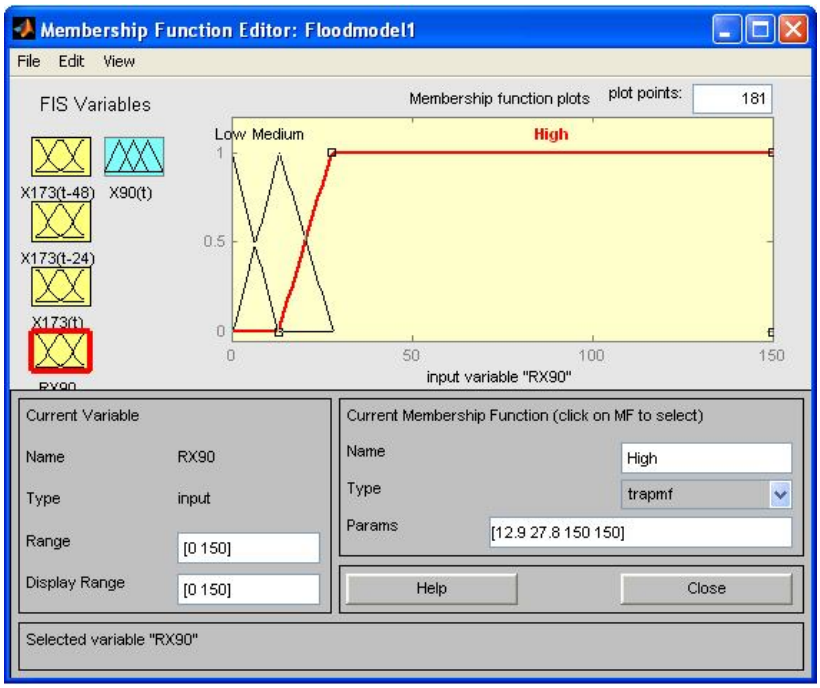
ภาพประกอบ ง-14 Membership Function High ของตัวแปร X173(t)



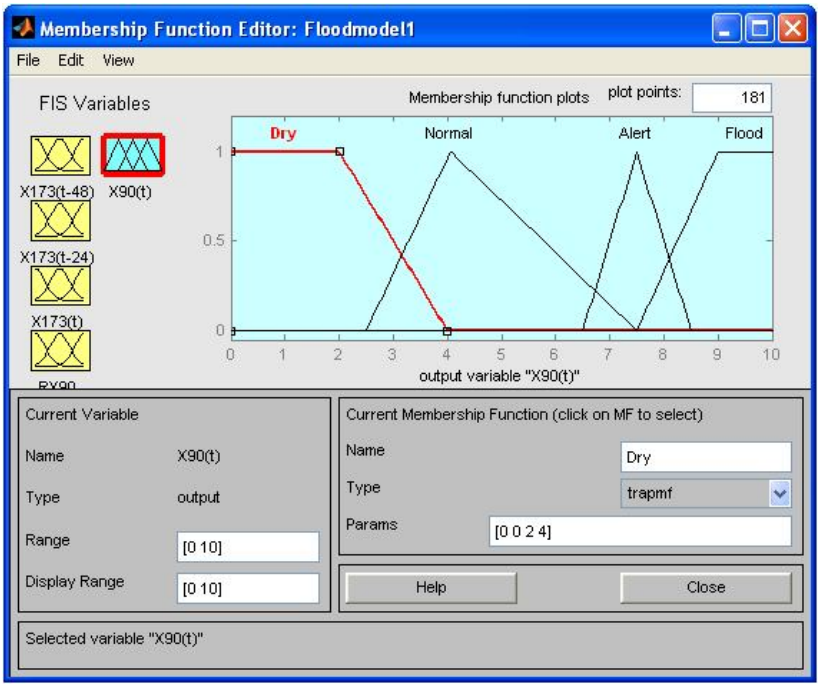
ภาพประกอบ ง-15 Membership Function Low ของตัวแปร RX90



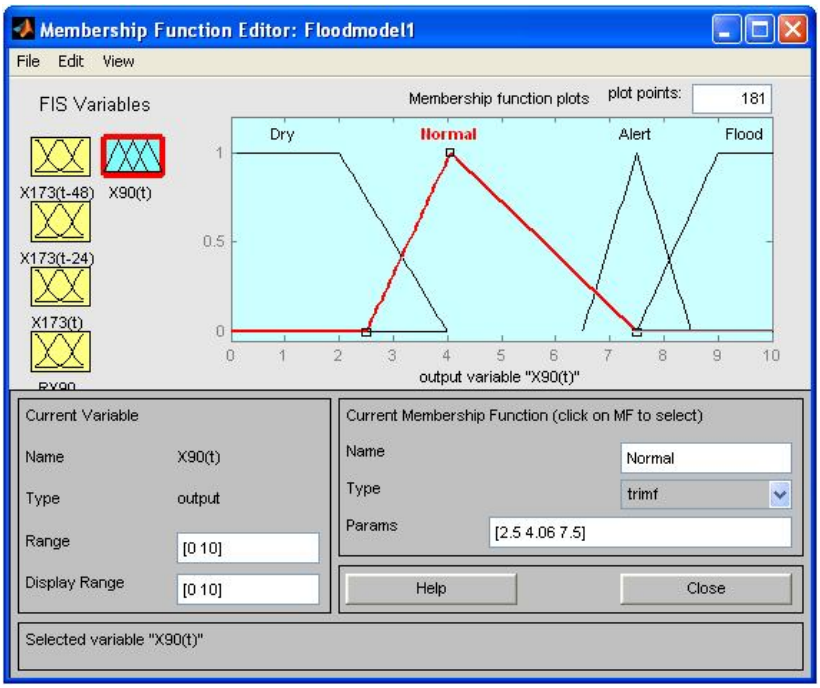
ภาพประกอบ ง-16 Membership Function Medium ของตัวแปร RX90



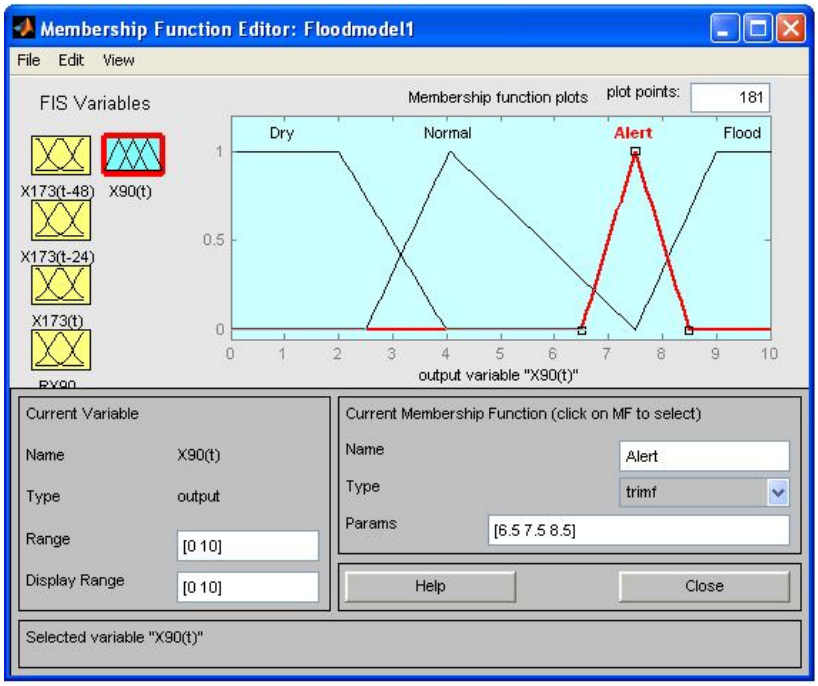
ภาพประกอบ ง-17 Membership Function High ของตัวแปร RX90



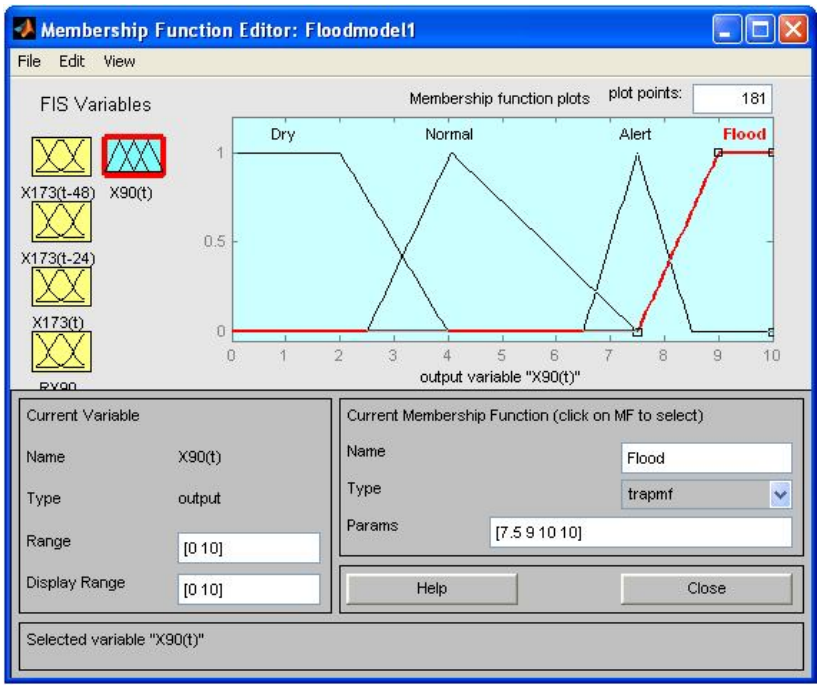
ภาพประกอบ ง-18 Membership Function Dry ของตัวแปร X90(t)



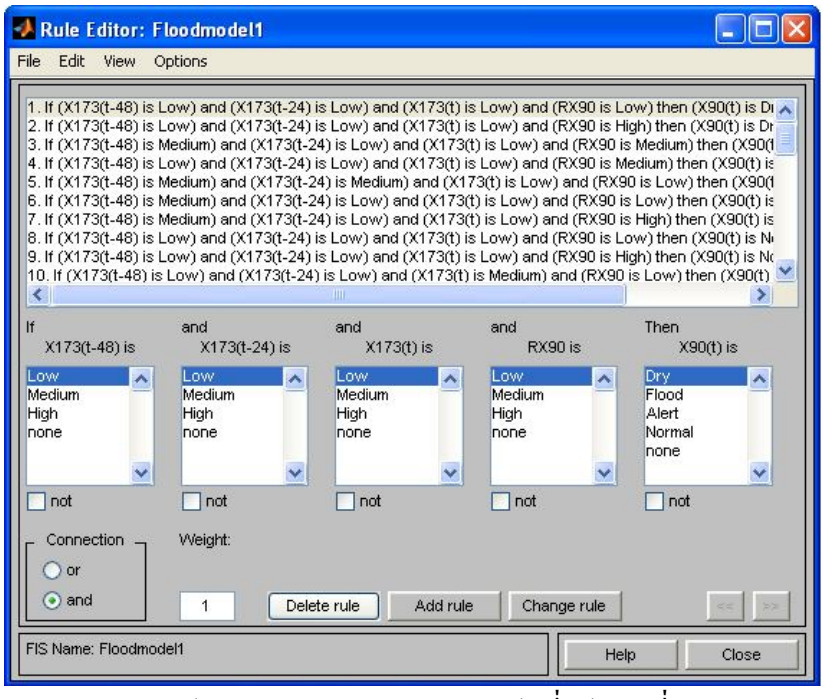
ภาพประกอบ ง-19 Membership Function Normal ของตัวแปร X90(t)



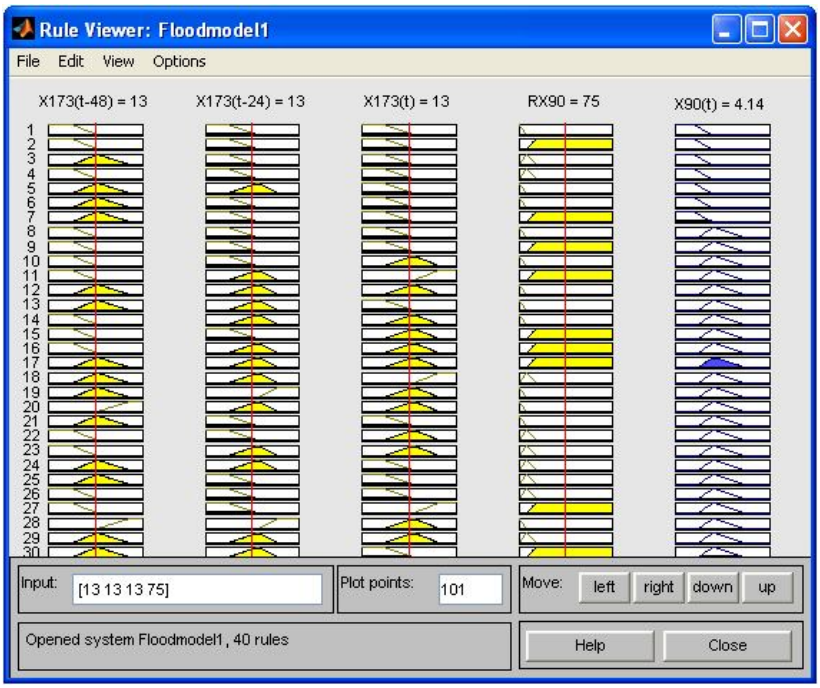
ภาพประกอบ ง-20 Membership Function Alert ของตัวแปร X90(t)



ภาพประกอบ ง-21 Membership Function Flood ของตัวแปร X90(t)

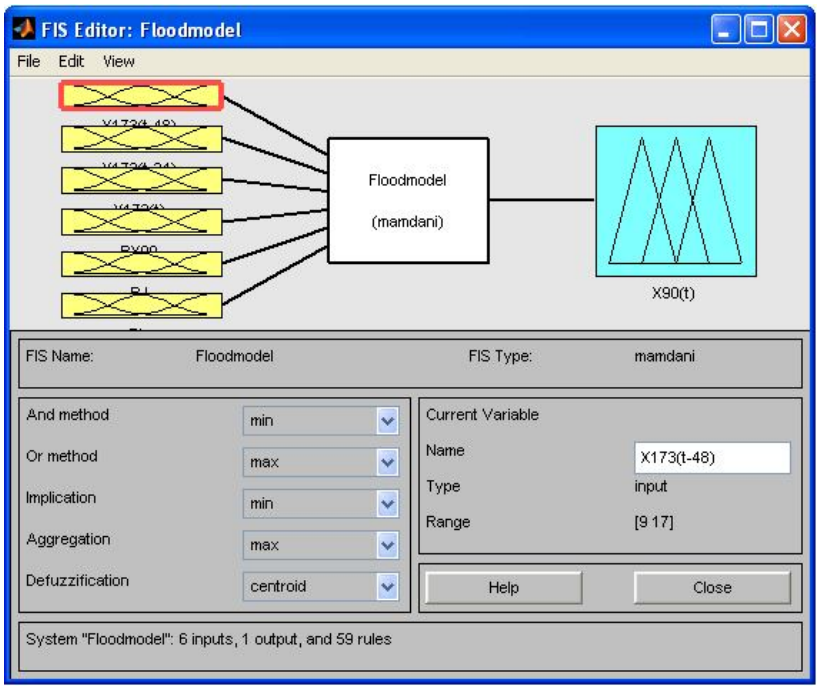


ภาพประกอบ ง-22 กฎของระบบฟัซซี่รูปแบบที่ 1

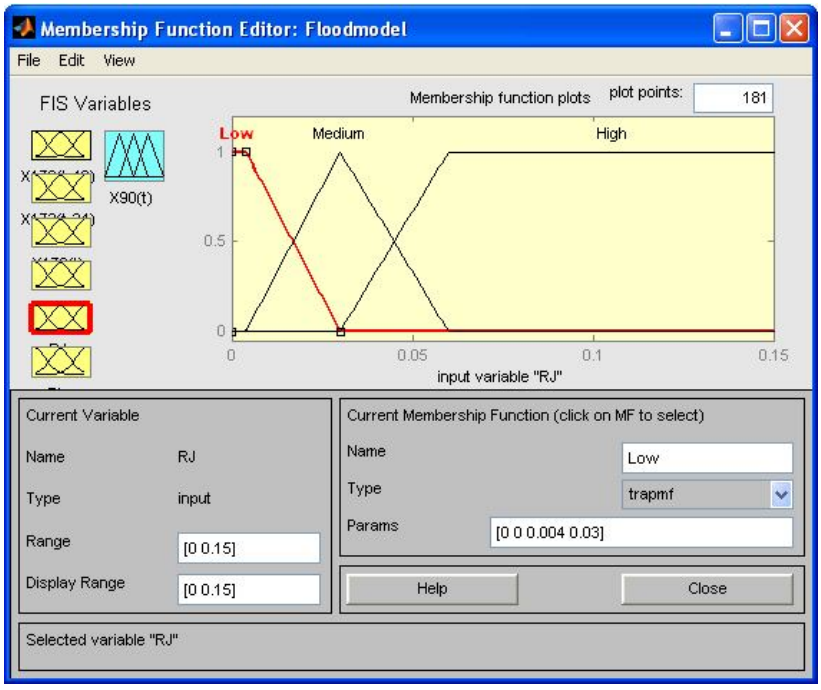


ภาพประกอบ ง-23 กฎของระบบฟัซซี่รูปแบบที่ 1 ในรูปแบบกราฟ

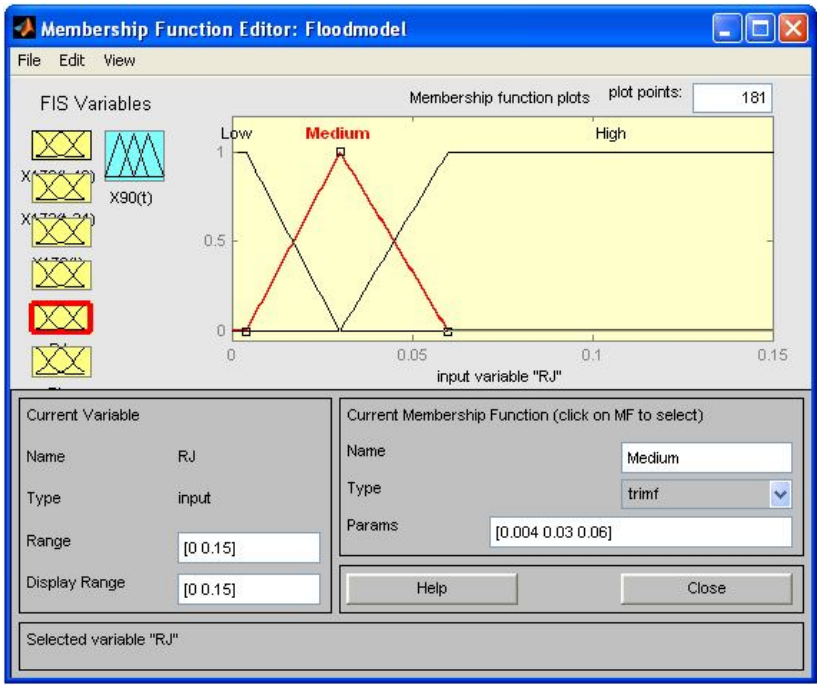
ระบบประเมินระดับน้ำด้วยฟัซซี่ลอจิกรูปแบบที่ 2 มี 6 ตัวแปรนำเข้า 1 ตัวแปรนำออก และกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 59 ข้อ โดย ตัวแปร X173(t-48) , X173(t-24) , X173(t) ,RX90 และ X90(t) มี Member Shipfunction เหมือนกับ รูปแบบที่ 1



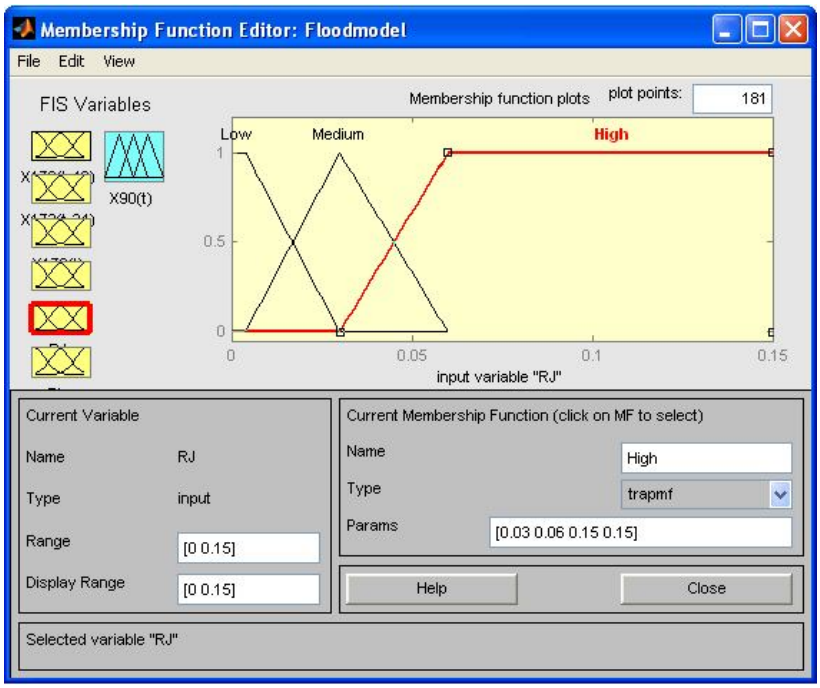
ภาพประกอบ ง-24 ตัวแปรนำเข้าและตัวแปรนำออกของระบบฟัซซี่รูปแบบที่ 2



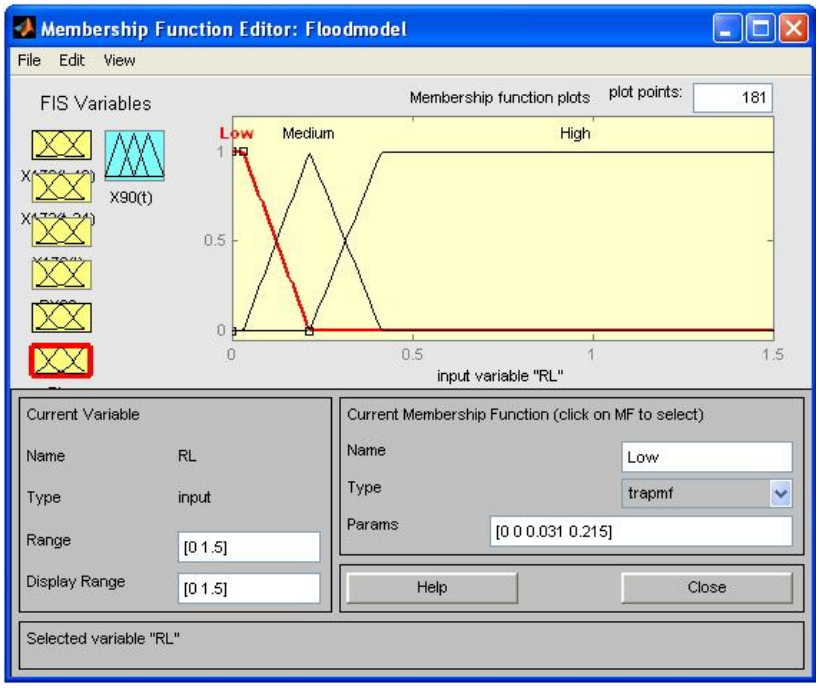
ภาพประกอบ ง-25 Membership Function Low ของตัวแปร RJ



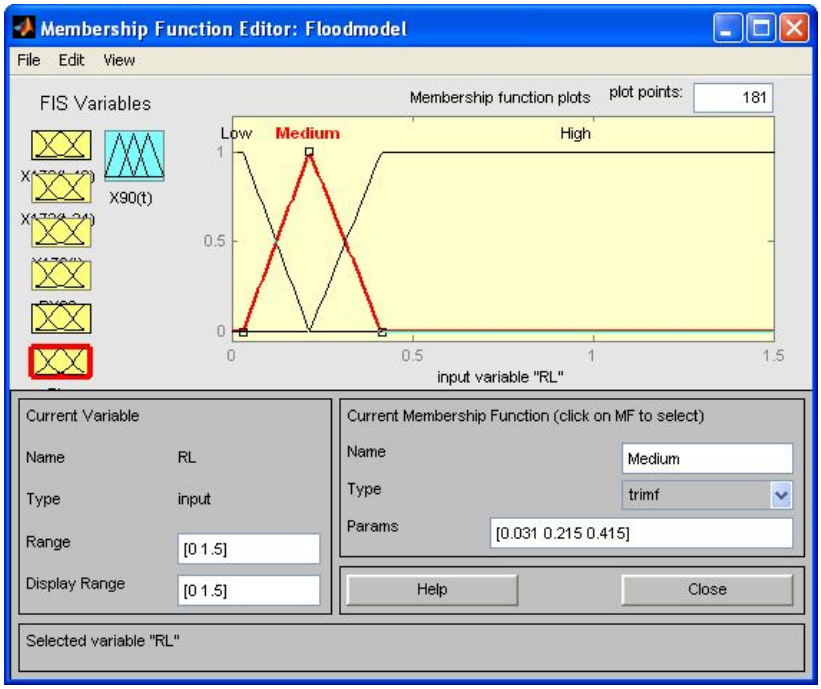
ภาพประกอบ ง-26 Membership Function Medium ของตัวแปร RJ



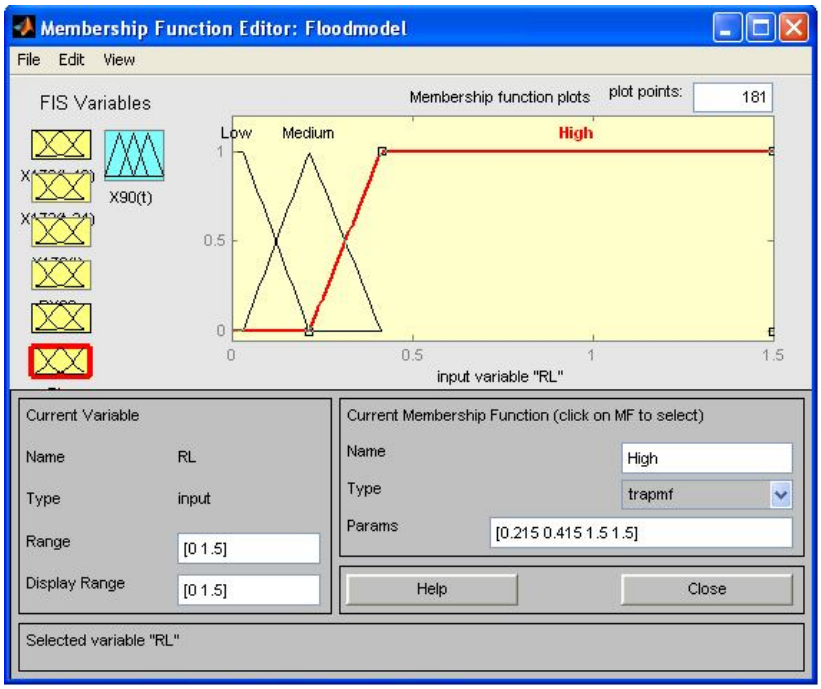
ภาพประกอบ ง-27 Membership Function High ของตัวแปร RJ



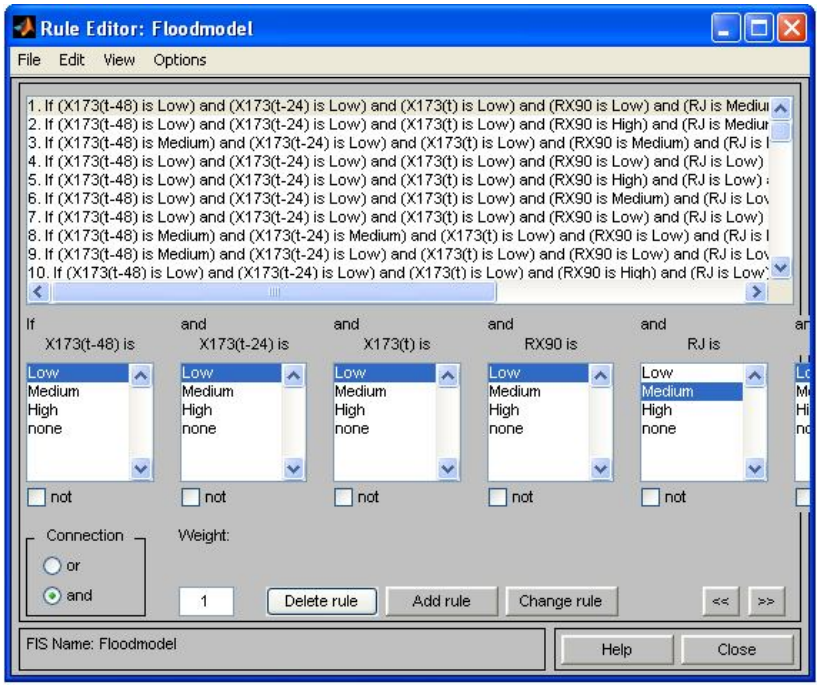
ภาพประกอบ ง-28 Membership Function Low ของตัวแปร RL



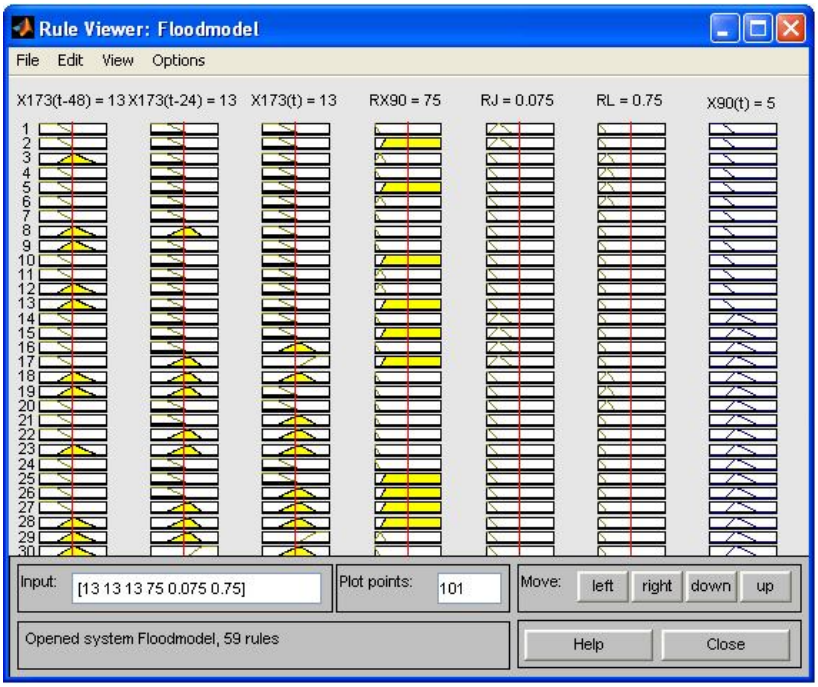
ภาพประกอบ ง-29 Membership Function Mediumของตัวแปร RL



ภาพประกอบ ง-30 Membership Function High ของตัวแปร RL



ภาพประกอบ ง-31 กฎของระบบฟัซซี่รูปแบบที่ 2



ภาพประกอบ ง-32 กฎของระบบฟัซซี่รูปแบบที่ 2 ในรูปแบบกราฟ

ภาคผนวก จ : รายละเอียดของกฎการตัดสินใจ

ภาคผนวก จ-1 : รายละเอียดของกฎการตัดสินใจของรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1

1. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Dry)
2. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) then (X90(t) is Dry)
3. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Dry)
4. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Dry)
5. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Dry)
6. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Dry)
7. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) then (X90(t) is Dry)
8. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
9. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
10. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
11. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
12. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
13. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
14. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)

ภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

15. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
16. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
17. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
18. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
19. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
20. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
21. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
22. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
23. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
24. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
25. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
26. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
27. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
28. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)

ภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

29. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
30. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
31. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
32. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) then (X90(t) is Normal)
33. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
34. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Normal)
35. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Medium) then (X90(t) is Normal)
36. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Alert)
37. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Flood)
38. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) then (X90(t) is Flood)
39. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Flood)
40. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) then (X90(t) is Flood)

ภาคผนวก จ-2 : รายละเอียดของกฎการตัดสินใจของรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2

1. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Medium) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
2. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Medium) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
3. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Dry)
4. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Dry)
5. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Dry)
6. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Dry)
7. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
8. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
9. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
10. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
11. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
12. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
13. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Dry)
14. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Medium) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)

ภาคผนวก จ-2 (ต่อ)

15. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Medium) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
16. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Medium) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
17. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) and (RJ is Medium) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
18. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
19. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
20. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
21. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
22. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
23. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
24. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
25. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
26. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
27. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
28. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)

ภาคผนวก จ-2 (ต่อ)

29. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
30. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
31. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
32. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
33. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
34. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
35. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
36. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
37. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
38. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
39. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
40. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
41. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
42. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)

ภาคผนวก จ-2 (ต่อ)

43. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is High) and (RJ is Medium) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
44. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
45. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
46. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Medium) and (RJ is High) and (RL is Medium) then (X90(t) is Normal)
47. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
48. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Medium) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
49. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
50. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
51. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Medium) and (RX90 is Low) and (RJ is Medium) and (RL is High) then (X90(t) is Normal)
52. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
53. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Normal)
54. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Medium) then (X90(t) is Alert)
55. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Alert)
56. If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Flood)

ภาคผนวก จ-2 (ต่อ)

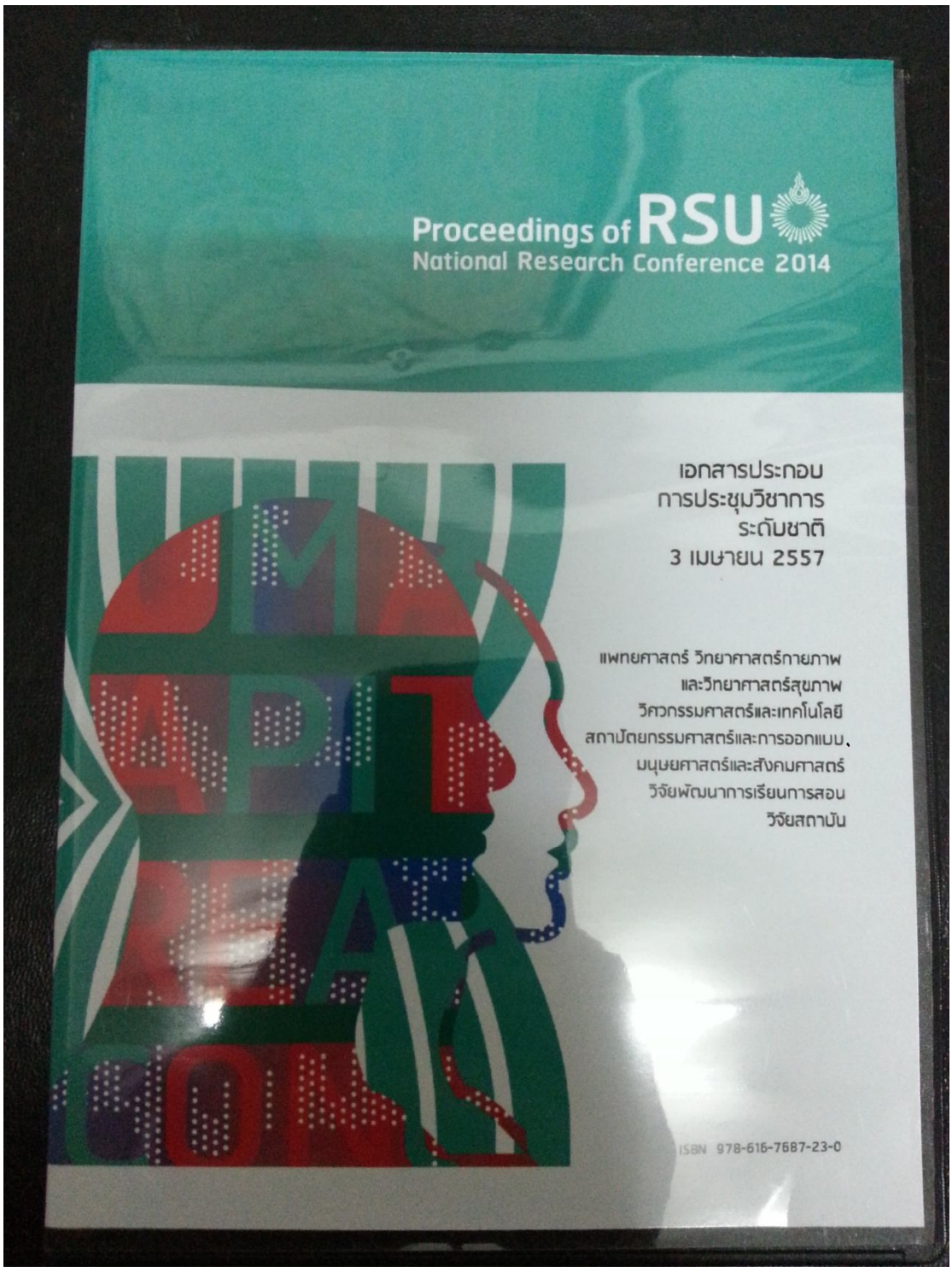
57. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Flood)
58. If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Flood)
59. If (X173(t-48) is High) and (X173(t-24) is High) and (X173(t) is High) and (RX90 is Low) and (RJ is Low) and (RL is Low) then (X90(t) is Flood)

ภาคผนวก ฉ : ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่

ผู้วิจัยได้ส่งผลงานในการตีพิมพ์และเผยแพร่จำนวน 1 รายการ ดังรายการแนบต่อไปนี้

1. สูจิบัตรรับรองการนำเสนอผลงาน (ภาพประกอบ ฉ-1)
2. หน้าปก CD เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ (ภาพประกอบ ฉ-2)
3. บทความของผู้วิจัยจำนวน 9 หน้า (ภาพประกอบ ฉ-3 ถึง ภาพประกอบ ฉ-3)

ภาพประกอบ ฉ-1 สูจิบัตรรับรองการนำเสนอผลงาน



ภาพประกอบ ฉ-2 หน้าปก CD เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ

การประเมินระดับน้ำโดยระเบียบวิธีการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก : กรณีศึกษา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

Water Level Estimation Using Heuristic Algorithm : A Case Study in Hat Yai District, Songkhla Province

สุชาวดี อัคคอิชยา[1*] เกริกชัย ทองหนู[2] และ ธนิต เฉลิมยานนท์[2]

Suchawadee Aggaitchaya[1*] Krerkchai Thongnoo[2] and Tanit Chalermyanont[2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท โครงการจัดการศึกษาแบบพิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ๙๐๑๑๐

[2]อาจารย์ที่ปรึกษา โครงการจัดการศึกษาแบบพิเศษ หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ๙๐๑๑๐

*Corresponding author, E-mail: suchawadee.pear@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประเมินระดับน้ำโดยระเบียบวิธีการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก (Heuristic Algorithm) ซึ่งเป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาโดยใช้ประสบการณ์ การเรียนรู้ ในแบบของมนุษย์ โดยใช้ฟัซซี่ ลอจิก (Fuzzy Logic) ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินระดับน้ำบริเวณ สถานีโทรมาตร บ้านบางศาลา (X.90) คลองคู่ คะเกา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก็อง (X.173A) ปริมาณน้ำฝนบริเวณสถานีโทรมาตร บ้านบางศาลา (X.90) ปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไทร และอ่างเก็บน้ำคลองหลา สร้างรูปแบบระบบฟัซซี่ 2 รูปแบบ เพื่อทำนายระดับน้ำในเหตุการณ์อุทกภัยหาดใหญ่ปี 2554 และประเมินค่าความถูกต้องแม่นยำของระบบด้วยค่าทางสถิติ คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) และ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.34 , MAPE เท่ากับ 12.44 , MAD เท่ากับ 0.45 และ รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.38 , MAPE เท่ากับ 13.18 , MAD เท่ากับ 0.47 และสามารถทำนายระดับน้ำล่วงหน้าได้ 12 ชั่วโมง

คำสำคัญ: น้ำท่วม ฟัซซี่ลอจิก การแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก

ภาพประกอบ ฉ-3 เนื้อหาบทความหน้าที่ 201

Abstract

The objective of this study is to present a water level estimation using a heuristic algorithm. Heuristic algorithm is a solving problem concept using common senses and human experiences. Fuzzy logic modeling was used to estimate water levels at Ban Bang Sala telemetry stations (X.90), U-Tapao canal, Songkhla province. The relationship of water levels at Ban Maung Kong telemetry stations (X.173A), rainfall in Ban Bang Sala telemetry station (X.90) area, and water released from Khlong Chun Rai reservoir and Khlong La reservoir were investigated. The information obtained was used to create 2fuzzy logic models which forecast the water levels of flood situation occurred in Hat Yai area in 2011. Moreover, Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), and Mean Absolute Deviation (MAD) were used to qualify the models. The results showed that the first fuzzy logic model gives 0.34 RMSE, 12.44 MAPE, and 0.45 MAD, while the second fuzzy logic model gives 0.38 RMSE, 13.18 MAPE, and 0.47 MAD. The fuzzy model can give good result up to lead time of 12 hours.

Keywords: *flood, fuzzy logic, heuristic algorithm*

1.บทนำ

หาดใหญ่เป็นอำเภอหนึ่งในจังหวัดสงขลา เป็นศูนย์กลางด้านการค้าธุรกิจการคมนาคมขนส่งของภาคใต้ตอนล่าง มีแหล่งท่องเที่ยวและสถาบันการศึกษาที่สำคัญในภาคใต้ตอนล่าง อีกทั้งยังเป็นประตูสู่ประเทศเพื่อนบ้านทั้งมาเลเซียและสิงคโปร์ จากอดีตจนถึงปัจจุบันหาดใหญ่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำท่วมบ่อยครั้ง อันเนื่องมาจากลักษณะภูมิประเทศของหาดใหญ่ซึ่งเป็นที่ราบท้องกระทะได้รับน้ำจากคลองสาขาย่อยของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาดังรูปที่ 1 จนคล้ายกับว่าหาดใหญ่เป็นพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ก่อนปล่อยออกสู่ทะเลสาบสงขลา โดยฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงพฤศจิกายน ในช่วงดังกล่าวมักมีพายุลมมรสุมร่องความกดอากาศต่ำหรือหย่อมความกดอากาศต่ำพัดผ่าน เป็นเหตุให้เกิดฝนตกติดต่อกันหลายวันทำให้มีปริมาณน้ำฝนมากผิดปกติเป็นสาเหตุให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน ปัจจุบันกรมชลประทานได้ติดตั้งระบบโทรมาตรและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเฝ้าระวังและคาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วม ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำเป็นจะต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากและมีความละเอียดสูงเพื่อให้ได้คำตอบในการพยากรณ์ที่ถูกต้องแม่นยำ ทำให้ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมข้อมูลสูง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาระบบประเมินระดับน้ำโดยระเบียบวิธีการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก โดยอาศัยหลักการเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่ ของกรมชลประทานเป็นพื้นฐานอาศัยข้อมูลระดับน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำและข้อมูลน้ำฝนในการวิเคราะห์

ภาพประกอบ ฉ-4 เนื้อหาบทความหน้าที่ 202

รูปที่ 1 แผนที่แสดงลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภาซึ่งประกอบไปด้วยหลายอำเภอ

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบเพื่อประเมินระดับน้ำที่สถานีโทรมาตร บ้านบางศาลา (X.90) คลองอู่ตะเภา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา ด้วยระเบียบวิธีการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 ระเบียบวิธีการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก (Heuristic algorithm)

เป็นแนวคิดสำหรับแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนหรือมีข้อมูลในการแก้ปัญหาน้อย โดยจะผนวกความคิดสามัญสำนึกและประสบการณ์ของมนุษย์ในการแก้ปัญหาเข้ากับหลักเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาและให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่เหมาะสมจะนำไปใช้แก้ปัญหามักใช้กฎที่อยู่ในรูปแบบของIF-THEN ในการแก้ปัญหา (Romanycia and Pelletie, 1985)

งานวิจัยที่ใช้การแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึกที่สนใจ ยุทา ชิดทอง และ เสวี ศุภราทิตย์ (2548) ได้สร้างแบบจำลอง Hybrid ซึ่งเป็นการรวมกันของ ฟัซซี่ ลอจิก โครงข่ายใยประสาทเทียม และ เจเนติก อัลกอริทึม เพื่อพยากรณ์ยอดน้ำที่สะพานนวรัฐ จ.เชียงใหม่ Piuphong and Surussavadee (2013) ได้ใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในการทำนายระดับน้ำที่บ้านตะเคียนเกา และบ้านม่วงก็อง ซึ่งอยู่ในพื้นที่สนใจเดียวกัน และ Corani and Guariso (1998) ใช้ฟัซซี่ลอจิก ซึ่งเป็นวิธีที่ผู้วิจัยสนใจในการทำนายระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ Lombardia ที่ อิตาลี

3.2 ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy logic)

เป็นเครื่องมือสำหรับแก้ปัญหาที่มีความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยใช้หลักการคิดแบบมนุษย์ในการแก้ปัญหาซึ่งมักจะอยู่ในรูปแบบฐานกฎ ถ้า-ดังนั้น (IF-THEN rule) กล่าวคือหากทราบข้อสมมติฐานเบื้องต้นก็จะสามารถหาข้อสรุปที่จะเกิดขึ้นได้ซึ่งเป็นลักษณะความคิดสามัญสำนึกหรือประสบการณ์ของมนุษย์ในการแก้ปัญหา

ลักษณะการแก้ปัญหาแบบฟัซซี่ลอจิกแบ่งเป็น 4 ส่วนดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 แผนภาพแสดงลักษณะการแก้ปัญหาแบบฟัซซี่ลอจิก

ภาพประกอบ ฉ-5 เนื้อหาบทความหน้าที่ 203

1. Membership function เป็นการแปลงค่าทวินัยอินพุตให้อยู่ในรูปแบบตัวแปรฟัซซี่โดยการสร้างฟังก์ชันสมาชิกซึ่งแต่ละฟังก์ชันสมาชิกไม่จำเป็นจะต้องมีลักษณะเดียวกันขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุต

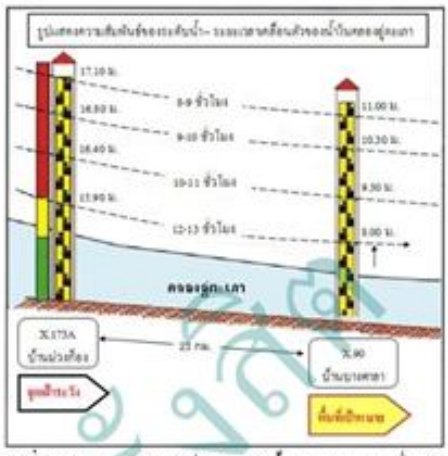
2. Inference เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตทั้งหมดของระบบกับเอาต์พุตโดยจะเขียนอยู่ในรูปแบบของกฎเพื่อใช้ควบคุมและประมวลผลระบบร่วมกันโดยกฎที่เขียนอาจเกิดจากการทดลองประสบการณ์ของมนุษย์หรือการเก็บข้อมูล

3. Fuzzification เป็นส่วนการประมวลผลโดยจะนำกฎจาก ข้อ2. มาประมวลผลกับฟัซซี่อินพุตใน ข้อ 1. ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์

4. Defuzzificaton เป็นส่วนการสรุปเหตุผลโดยเปลี่ยนฟัซซี่เอาต์พุตเป็นทวินัยเอาต์พุตด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ (พยุง มีสัจ, 2553)

3.3 กรณีศึกษา : อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา

จากการศึกษาพบว่าศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้สำนักอุทกวิทยากรมชลประทานได้กำหนดการเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่โดยจะใช้ข้อมูลจากสถานีโทรมาตร X.173A บ้านม่วงก็องในการเตือนภัยบริเวณลุ่มแม่น้ำคลองอู่ตะเภาตอนบนและข้อมูลจากสถานีโทรมาตร X.90 บ้านบางศาลาในการเตือนภัยบริเวณลุ่มแม่น้ำคลองอู่ตะเภาตอนล่าง ดังรูปที่ 3 (ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้, 2555)



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา

บริเวณที่สนใจคือสถานีโทรมาตร X.90 บ้านบางศาลาระดับน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับน้ำที่มาจากสถานีโทรมาตร X.173A บ้านม่วงก็องดังตารางที่1

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่โทรมาตรX.173A และโทรมาตรX.90

ระดับน้ำ X.173A (เมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	ระดับน้ำ X.90(เมตร)
15.90	12-13	8.00
16.40	10-11	16.80
16.80	9-10	10.30
17.10	8-9	11.00

3.4 การรวบรวมข้อมูล

จากแผนที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา และแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยาลุ่มน้ำอู่ตะเภารูปที่ 4 และรูปที่ 5 บริเวณที่จะทำการประเมินระดับน้ำคือสถานีโทรมาตร X.90 พบว่าบริเวณสถานีโทรมาตร X.90 จะได้รับน้ำจากสถานีโทรมาตร X.173A อ่างเก็บน้ำคลองจำไหรและอ่างเก็บน้ำคลองหลาดังนั้นจึงทำการเก็บข้อมูล

ภาพประกอบ ฉ-6 เนื้อหาบทความหน้าที่ 204

ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตร X.173A และข้อมูลการปล่อยน้ำรายวันจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหรและอ่างเก็บน้ำคลองหลาจากศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างระบบประเมินระดับน้ำ

รูปที่ 4 แสดงแผนที่ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

รูปที่ 5 แสดงแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภา จังหวัดสงขลา บริเวณสถานี X.90

3.5 การสร้างระบบฟัซซี่ด้วยโปรแกรม MATLAB

ทดลองสร้างกฎฟัซซี่เป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 จะใช้สมมุติฐานจากความสัมพันธ์ของระดับน้ำ – ระยะเวลาเคลื่อนตัวของน้ำในคลองอู่ตะเภา ที่ว่า ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตร X.90 จะขึ้นกับมวลน้ำที่มาจากสถานีโทรมาตร X.173A และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ ส่วนรูปแบบที่ 2 ใช้สมมุติฐานจากแผนผังสถานีสำรวจอุทกวิทยา ลุ่มน้ำอู่ตะเภาที่จะมีน้ำจากการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลามาสมทบด้วย ตัวแปรที่ใช้ในการทำนายระดับน้ำเป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรที่ใช้ในระบบ

รูปแบบระบบฟัซซี่	Input	Output
1	RX90 , X173(t) , X173(t-24) , X173(t-48)	X90(t)
2	RX90 , X173(t) , X173(t-24) , X173(t-48) , RJ , RL	X90(t)

คำอธิบาย

RX90 = ค่าปริมาณน้ำฝนวัดที่โทรมาตรX.90

X173(t) = ระดับน้ำที่โทรมาตรX.173A ณ วันที่ปัจจุบัน

X173(t-24) = ระดับน้ำที่โทรมาตรX.173A ย้อนหลังไป 24 ชม.

X173(t-48) = ระดับน้ำที่โทรมาตรX.173A ย้อนหลังไป 48 ชม.

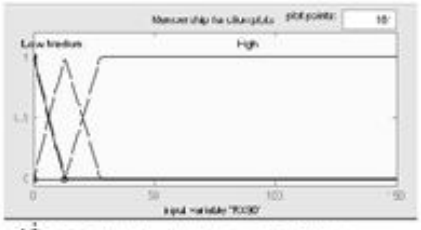
RJ = ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร 24 ชม.

RL =ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำคลองหลา 24 ชม.

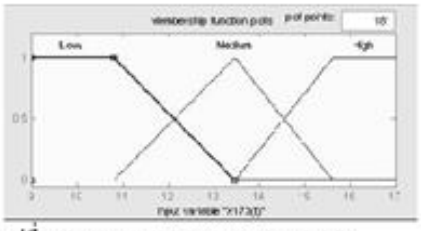
X90(t) = ระดับน้ำที่โทรมาตร X.90 ณ วันที่ปัจจุบัน

แทนค่าตัวแปรเหล่านี้ด้วยMembership function ดังรูปที่ 6-11 โดยอาศัยการวิเคราะห์ความเอียงของระดับน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำฝน

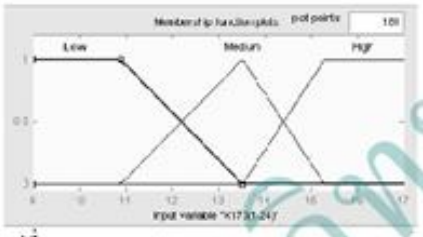
ภาพประกอบ ฉ-7 เนื้อหาบทความหน้าที่ 205



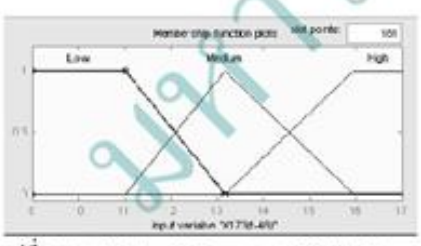
รูปที่ 6 แสดง Membership Function ของ RX90



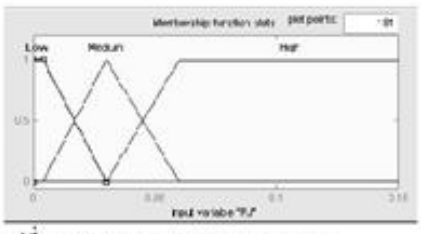
รูปที่ 7 แสดง Membership Function ของ X173(t)



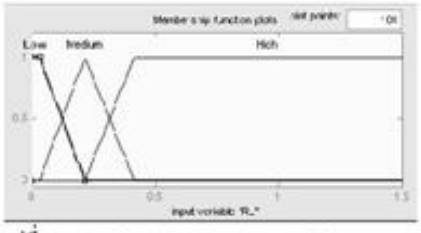
รูปที่ 8 แสดง Membership Function ของ X173(t-24)



รูปที่ 9 แสดง Membership Function ของ X173(t-48)

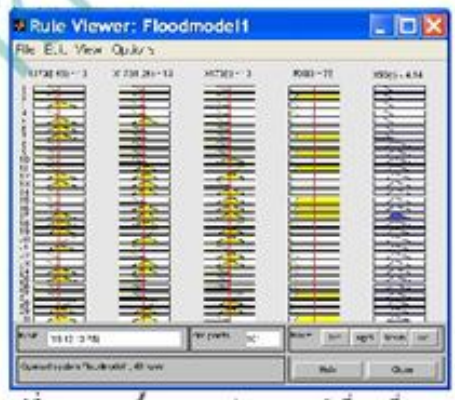


รูปที่ 10 แสดง Membership Function ของ RJ



รูปที่ 11 แสดง Membership Function ของ RL

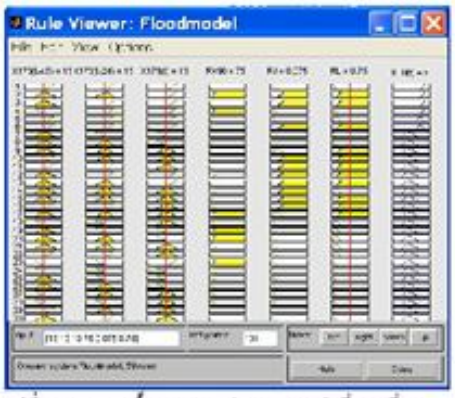
ในการทำนายระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรX.90 ใช้กฎพื้นฐาน IF-THEN โดยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 มี 4 อินพุต 1 เอาต์พุต และกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 40 ข้อเช่น If (X173(t-48) is Low) and (X173(t-24) is Low) and (X173(t) is Low) and (RX90 is Low) then (X90(t) is Dry) ดังรูปที่12



รูป 12 แสดงกฎพื้นฐานของรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1

รูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 มี 6 อินพุต 1 เอาต์พุต และกฎการตัดสินใจในการทำนายระดับน้ำ 59 ข้อเช่น If (X173(t-48) is Medium) and (X173(t-24) is Medium) and (X173(t) is High) and (RX90 is High) and (RJ is High) and (RL is High) then (X90(t) is Flood) ดังรูปที่13

ภาพประกอบ ฉ-8 เนื้อหาบทความหน้าที่ 206



รูปที่ 13 แสดงกฎพื้นฐานของรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2

3.6 การวัดประสิทธิภาพของการทำนาย

นำผลที่ได้จากการทำนายด้วยระบบฟัซซี่ ไปคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อตรวจสอบความแม่นยำ โดยใช้วิธีคำนวณดังนี้

1.ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2}$$

2.ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i}\right| \times 100$$

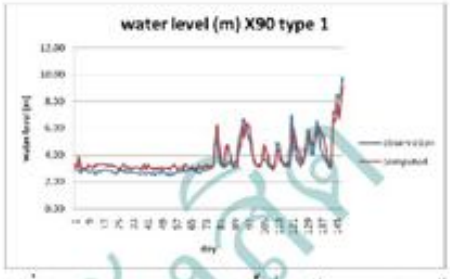
3.ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD)

$$MAD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Y_i - \hat{Y}_i\right|$$

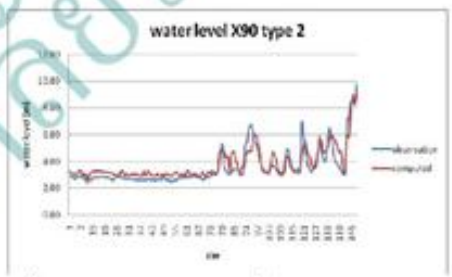
4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

ผลการทำนายระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรX.90 ช่วงน้ำท่วมเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 จำนวน 148 วันด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 14 และรูปที่ 15 ผลการวัดประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลองแสดงดังตาราง

ที่ 3 การเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่คล้ายคลึงกัน แสดงดังตารางที่ 4



รูปที่ 14 แสดงผลการทำนายระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรX.90 ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่1



รูปที่ 15 แสดงผลการทำนายระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรX.90 ด้วยรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่2

ตารางที่ 3 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD) ของระบบ

รูปแบบระบบฟัซซี่	RMSE	MAPE	MAD
1	0.34	12.44	0.45
2	0.38	13.18	0.47

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการศึกษาวิจัย

การพยากรณ์	วิธีที่ใช้	ผลที่ได้
ระดับน้ำสูงสุดที่สะพานนวรัฐ จ.เชียงใหม่ (ยุพา ชิดทอง และ เสรี ศุภราทิตย์, 2548)	Hybrid model	RMSE 0.134
ระดับน้ำที่	Neural	ปี2008 RMSE

ภาพประกอบ ฉ-9 เนื้อหาบทความหน้าที่ 207

บ้านคะเตียนเก่า และ บ้านม่วงก้อง จ.สงขลา (Phuphong and Suroussavadee, 2013)	Network	0.42 และ 0.74 ปี 2009 RMSE 0.41 และ 0.64
ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ Lombardia อิตาลี (Corani and Guariso, 1998)	fuzzy	RMSE 0.029

5. การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการทำนายระดับน้ำ ที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) คลองอู่ตะเภา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา ของวิธีการฟัซซี่ลอจิกด้วยการกำหนดอินพุตและกฎการทำนายที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลช่วงน้ำท่วมเดือนกันยายน พ.ศ. 2554 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2555 จำนวน 148 วัน โดยสร้างรูปแบบระบบฟัซซี่เป็นสองรูปแบบรูปแบบที่ 1 มีอินพุต คือ ปริมาณน้ำฝนบริเวณสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A) ณ วันที่ปัจจุบัน ย้อนหลัง24 ชม. และ 48 ชม. มีกฎการตัดสินใจในการทำนาย 40 กฎ รูปแบบที่ 2 มีอินพุต คือ ปริมาณน้ำฝนบริเวณสถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) ระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A) ณ วันที่ปัจจุบัน ย้อนหลัง24 ชม. 48 ชม. ปริมาณการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำคลองจำไหร และอ่างเก็บน้ำคลองหลา มีกฎการตัดสินใจในการทำนาย 59 กฎ ในการทดสอบประเมินค่าความถูกต้องแม่นยำในการทำนายใช้ค่าทางสถิติคือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAD)

ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่1 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.34 MAPE เท่ากับ12.44 และ MAD เท่ากับ 0.45 ส่วนรูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 2 ให้ค่า RMSE เท่ากับ 0.38 MAPE เท่ากับ13.18 และ MAD เท่ากับ 0.45 รูปแบบระบบฟัซซี่ทั้งสองแบบสามารถทำนายระดับน้ำล่วงหน้าได้ 12 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน พบว่า ค่าความถูกต้องแม่นยำเป็นที่น่าพอใจ และจากการวิเคราะห์ผลการวิจัยทำให้ทราบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านบางศาลา (X.90) คือมวลน้ำจากสถานีโทรมาตรบ้านม่วงก้อง (X.173A) และปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่บ้านบางศาลา

6. บทสรุป

จากการทดลองพบว่ารูปแบบระบบฟัซซี่แบบที่ 1 ให้ค่าความถูกต้องแม่นยำมากกว่ารูปแบบที่ 2 คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เท่ากับ 0.34 และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAPE) เท่ากับ 12.44 และ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดร้อยละสัมบูรณ์ (MAD) เท่ากับ 0.45 สามารถทำนายระดับน้ำล่วงหน้าได้ 12 ชั่วโมง ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลที่เป็นรายวันผู้วิจัยเห็นว่าหากมีข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้นจะทำให้การทำนายมีความแม่นยำมากขึ้นอีก

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ สำนักอุทกวิทยา กรมชลประทานที่เอื้อเฟื้อข้อมูล

8. เอกสารอ้างอิง

พยุง มีสัจ. (2553). โครงข่ายประสาทเทียม และระบบฟัซซี่, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภาพประกอบ ฉ-10 เนื้อหาบทความหน้าที่ 208

ยุทธา ชิดทอง และ เสรี ศุภราทิตย์. (2550). การพัฒนาแบบจำลอง Hybrid เพื่อการพยากรณ์ยอดน้ำ (กรณีศึกษา เหตุการณ์น้ำท่วมเชียงใหม่ ปี 2548). การประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12, โรงแรมอมรินทร์ลากูน พิษณุโลก ประเทศไทย. 2-4 พฤษภาคม 2550

ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคใต้ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน. (2555). การเตือนภัยน้ำท่วมเมืองหาดใหญ่. (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://hydro-8.com/main/day/basinutapow.html. (25 พฤศจิกายน 2555)

Corani, G., and G. Guariso. (1998). Fuzzy modelling of basin saturation state and neural networks for flood forecasting.

Marc H.J. Romanycia ,Francis Jeffry Pelletie. (1985). What is a heuristic ?.ComputIntell VOL.1(1985):47-58.

S. Phuphong and C. Surussavadee. (2013). An Artificial Neural Network Based Runoff Forecasting Model in the Absence of Precipitation Data: A Case Study of Khlong U-Tapao River Basin, Songkhla Province, Thailand.Proceedings of International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation 2013. Bangkok, Thailand,

ภาพประกอบ ฉ-11 เนื้อหาบทความหน้าที่ 209

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุชาวดี อัคคอิชยา

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5410121079

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2553

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุชาวดี อัคคอิชยา, เกริกชัย ทองหนู, ธนิต เฉลิมยานนท์. 2557. การประเมินระดับน้ำโดยระเบียบวิธีการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึก : กรณีศึกษา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2557, 201-209, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 3 เมษายน 2557.