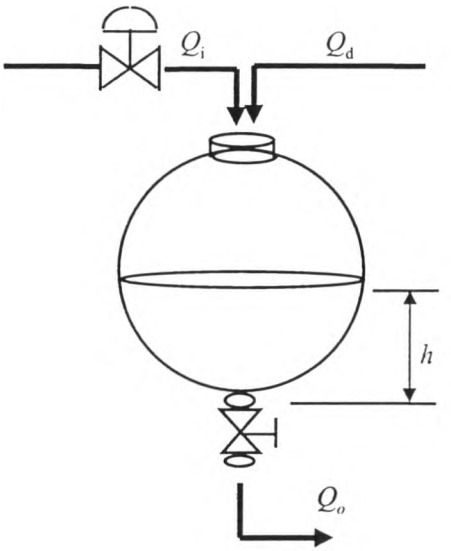
บทที่ 4

การระบุหาและการทดสอบแบบจำลองฟัซซี ของกระบวนการที่ศึกษา

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการระบุหาและการทดสอบแบบจำลองฟัซซี เริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองฟัซซีของกระบวนการที่ศึกษาซึ่งเป็นระบบถังทรงกลม โดยใช้ข้อมูลอินพุท-เอาท์พุทของกระบวนการ ในงานวิจัยนี้ทำการระบุหาโครงสร้างของแบบจำลองโดยใช้วิธีฟัซซีคลัสเตอริงและระบุหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด จากนั้นทำการทดสอบแบบจำลองฟัซซีที่ระบุได้ในแต่ละกรณีศึกษา แล้วเลือกแบบจำลองฟัซซีที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการสร้างตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดลดังจะกล่าวในบทถัดไป

4.1 กระบวนการที่ศึกษา

กระบวนการที่ใช้ในการศึกษาเป็นกระบวนการแบบไม่เชิงเส้น มีลักษณะเป็นถังทรงกลมซึ่งมีค่าเกนของกระบวนการไม่คงที่ จะเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงอ้างอิงใด ๆ ลักษณะของกระบวนการแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ถังทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ทำการควบคุมระดับของน้ำภายในถัง (h) โดยการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วควบคุม (Q_i) และน้ำไหลออกโดยผ่านวาล์วด้านล่างของถัง (Q_o) โดยกำหนดให้อัตราการไหลของน้ำในสาย Q_d มีค่าเท่ากับศูนย์นั้นคือไม่มีอิทธิพลของตัวรบกวนและอัตราการไหลสูงสุดที่ผ่านวาล์วควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.012 m^3/min



รูปที่ 4.1 ลักษณะของกระบวนการที่ศึกษา

ไดนามิกของกระบวนการที่ศึกษาสามารถจำลองได้โดยใช้ระบบไดนามิกอันดับหนึ่งแบบไม่เชิงเส้น ดังสมการที่ (4.1)

$$h(k+1) = f(h(k),\ Q_i(k)) \qquad (4.1)$$

โดยที่ k เป็นเวลาดีสครีต (Discrete time)

$h(k+1)$ เป็นระดับน้ำภายในถังที่ทำนายได้จากแบบจำลองที่เวลา $k+1$

$h(k)$ เป็นระดับน้ำภายในถังที่เวลา k

$Q_i(k)$ เป็นอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วควบคุมที่เวลา k

พิจารณาสมการที่ (4.1) สามารถประมาณกระบวนการนี้ได้โดยใช้แบบจำลองฟัซซีเชิงเส้นแบบ Takagi-Sugeno โดยที่ในส่วนเงื่อนไขของกฎแสดงโดยใช้ฟัซซีเซตของตัวแปรสเตทที่เวลาปัจจุบัน ($h(k)$) ส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีเป็นการแสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของตัวแปรอินพุท-เอาท์พุท แบบจำลองฟัซซีดังกล่าวประกอบด้วยกฎจำนวน m กฎ กฎแต่ละข้อเปรียบเสมือนเป็นแบบจำลองเฉพาะถิ่น (Local model) ของแบบจำลองฟัซซีแสดงได้ดังนี้

Rule 1: If $h(k)$ is A_1 Then $h(k+1) = p_0^1 + p_1^1 Q_i(k) + p_2^1 h(k)$

Rule 2: If $h(k)$ is A_2 Then $h(k+1) = p_0^2 + p_1^2 Q_i(k) + p_2^2 h(k)$

$\vdots$

Rule *m*: If $h(k)$ is A_m Then $h(k+1) = p_0^m + p_1^m Q_i(k) + p_2^m h(k)$ (4.2)

ฟัซซีเซตในส่วนเงื่อนไข $(A_1, A_2, \ldots, A_m)$ ค่าพารามิเตอร์ในส่วนผลสรุปของแต่ละกฎ และจำนวนกฎฟัซซีจำเป็นต้องทำการระบุหาโดยใช้ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุทและเทคนิคการระบุหาที่เหมาะสม ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการระบุหาแบบจำลองฟัซซี

ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการระบุหาแบบจำลองฟัซซีโดยใช้อัลกอริธึมของฟัซซีคลัสเตอริงประกอบด้วยอัตราการไหลของน้ำผ่านวาล์วควบคุม ระดับน้ำภายในถังที่เวลา k และระดับน้ำภายในถังที่เวลา k+1 ในงานวิจัยนี้ทำการเก็บข้อมูลจากการซิมมูเลทแบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของน้ำที่เข้าวาล์วควบคุมแบบสุ่ม โดยให้อยู่ในช่วงของโดเมนที่ไม่ทำให้ระดับน้ำในถังเกิดการล้น แล้วบันทึกค่าระดับน้ำภายในถังทุกๆ 0.05 นาที จะได้ข้อมูลชุดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอินพุทและตัวแปรเอาท์พุทในรูปเซตของข้อมูล $\{h^j(k), Q_i^j(k)\}$ โดยที่ $j = 1, 2, \ldots, N$ และ N เป็นจำนวนของข้อมูล ทำการจัดเรียงให้อยู่ในรูปแบบของเวคเตอร์ข้อมูล d =[$Q_i^j(k)$ $h^j(k)$ $h^j(k+1)$]

4.3 การกำหนดจำนวนกฎฟัซซีในแบบจำลองฟัซซี

วิธีการกำหนดจำนวนกฎฟัซซีที่เหมาะสมของแบบจำลองกระทำได้โดยใช้อัลกอริธึมของฟัซซีคลัสเตอริงรวมกับการหาเกณฑ์ S(c) ดังคำอธิบายในหัวข้อ 3.7.1 อัลกอริธึมของฟัซซีคลัสเตอริง

เป็นการจัดกลุ่มข้อมูลในปริภูมิของผลคูณ (Product space, R^3) กลุ่มของข้อมูลที่คลัสเตอริงแล้วเปรียบเสมือนกฎฟัซซีในแต่ละข้อของแบบจำลองฟัซซี ดังนั้นจะได้จำนวนกฎฟัซซีเท่ากับจำนวนกลุ่ม ค่าเกณฑ์ S(c) ที่ต่ำสุดจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงจำนวนกฎที่เหมาะสมของแบบจำลองฟัซซี ผลลัพธ์ที่ได้จากฟัซซีคลัสเตอริงแมทริกซ์ข้อมูล คือแมทริกซ์ที่บ่งบอกถึงค่าความเป็นสมาชิกของข้อมูลในแต่ละกฎ เรียกว่า ฟัซซีพาร์ทิชันแมทริกซ์ (U) ที่นิยามไว้ในหัวข้อ 3.6

4.4 การกำหนดฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรในส่วนเงื่อนไขของกฎฟัซซี

การกำหนดฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซีเซตในส่วนเงื่อนไขของกฎฟัซซี กระทำได้โดยพล็อทความสูงของระดับน้ำภายในถังกับฟัซซีพาร์ทิชันแมทริกซ์ในแต่ละกลุ่ม ดังเช่นแสดงในรูปที่ 4.4 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 จากนั้นทำการประมาณกราฟโดยใช้ฟังก์ชันรูปเอ็กซ์โพเนนเชียล จะได้ฟัซซีเซตในส่วนเงื่อนไขของกฎแต่ละข้อ ดังนั้นปริภูมิของตัวแปรในส่วนเงื่อนไขหรือระดับน้ำภายในถังจะถูกพาร์ทิชันออกไปเท่ากับจำนวนกฎที่ระบุได้ ดังเช่นแสดงในรูปที่ 4.5 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

4.5 การระบุหาพารามิเตอร์ในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซี

การระบุหาค่าพารามิเตอร์ในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซี สามารถหาได้จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด โดยใช้อัลกอริธึมที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.7.2 ค่าพารามิเตอร์เชิงเส้นในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซี ของแต่ละกรณีศึกษาแสดงได้ดังในตารางที่ 4.1-4.4

4.6 การทดสอบแบบจำลองฟัซซี

การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเพื่อดูถึงค่าความสามารถในการทำนายค่าหรือสมรรถนะของแบบจำลอง สามารถพิจารณาโดยใช้ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean-Squared error, RMS)

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{N}(y(k) - \hat{y}(k))^2}{N}} \qquad (4.3)$$

โดยที่ $y(k)$ เป็นเอาท์พุทของกระบวนการ

$\hat{y}(k)$ เป็นค่าเอาท์พุทที่ทำนายได้จากแบบจำลองฟัซซี

N เป็นจำนวนครั้งของการทดสอบ

การทดสอบแบ่งเป็นสองกรณีดังนี้

1) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น
2) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง
3) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม

4.7 ผลการระบุหาแบบจำลองฟัซซีในแต่ละกรณีศึกษา

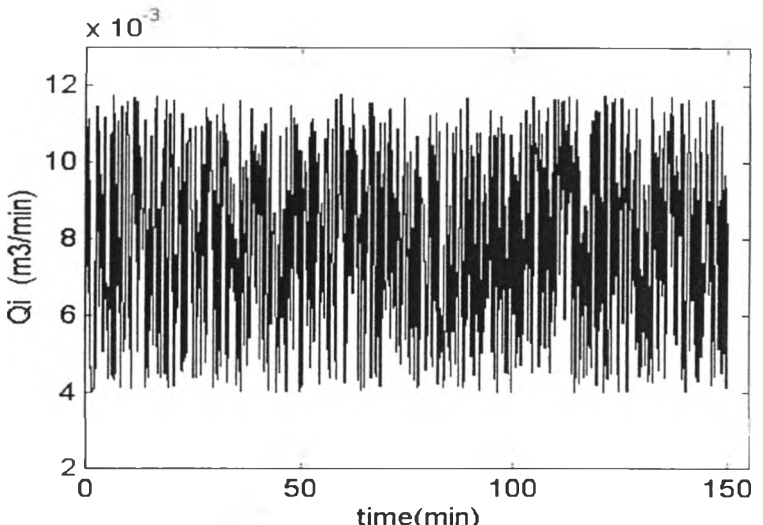
กรณีศึกษาของการระบุหาแบบจำลองในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 4 กรณีดังนี้

4.7.1 กรณีศึกษาที่1

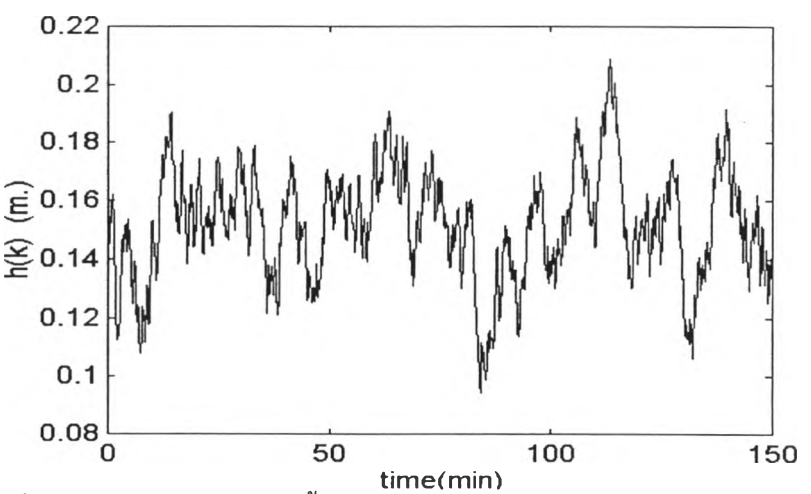
กรณีศึกษาที่ 1 เป็นการระบุหาแบบจำลองฟัซซีโดยใช้ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุทดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วควบคุมแบบสุ่ม แล้วทำการบันทึกค่าระดับน้ำภายในถังทุกๆ 0.05 นาที

ผลจากการหาค่าเกณฑ์ S(c) พบว่าเมื่อจำนวนกลุ่มเท่ากับ 9 กลุ่ม จะให้ค่าเกณฑ์ S(c) มีค่าต่ำสุด ดังนั้นจำนวนกฎที่เหมาะสมของแบบจำลองฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 เท่ากับ 9 กฎ จากนั้นพล็อทค่าระดับความสูงของน้ำภายในถังกับฟัซซีพาร์ทิชันแมทริกซ์ที่ระบุได้โดยใช้อัลกอริธึมของฟัซซีคลัสเตอริงในแต่ละกลุ่มแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 จากรูปที่ 4.4 ทำการประมาณกราฟโดยใช้ฟังก์ชัน

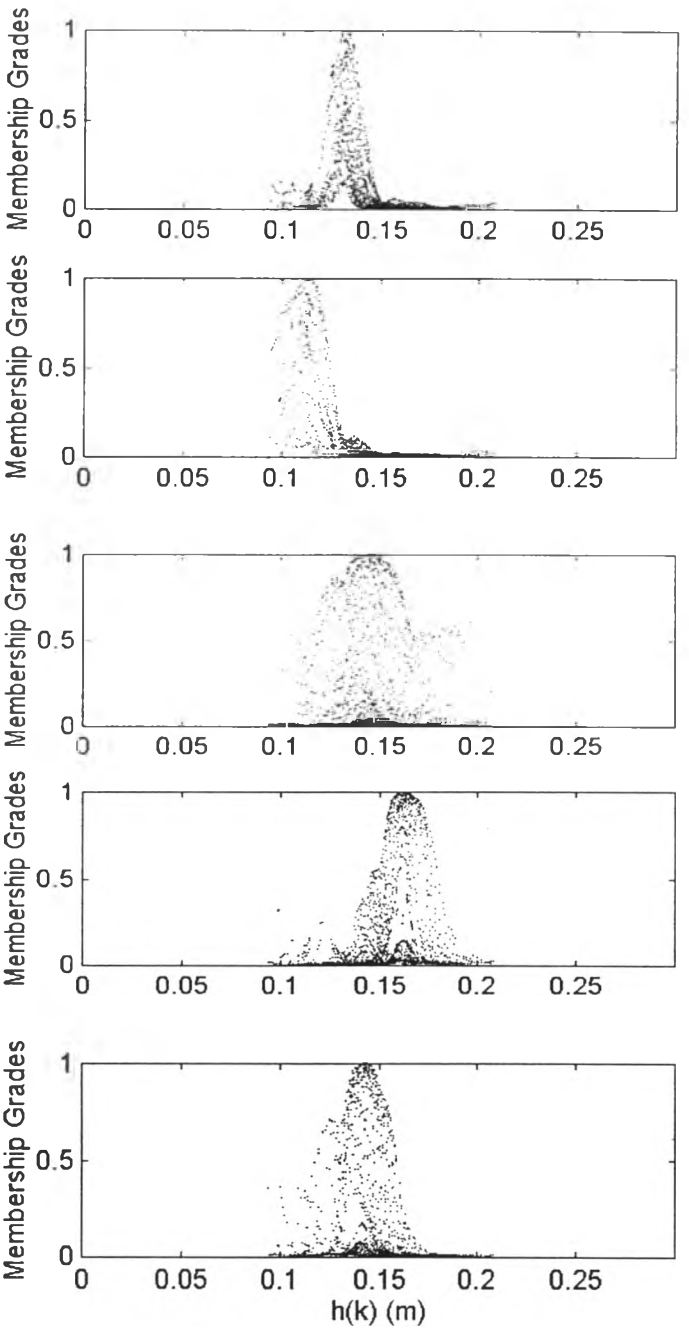
รูปเอ็กซ์โพเนนเชียล จะได้ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรในส่วนเงื่อนไขหรือระดับความสูงของน้ำภายในถัง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์เชิงเส้นในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีที่ระบุหาได้จากวิธีกำลังน้อยที่สุดแสดงได้ดังตารางที่ 4.1



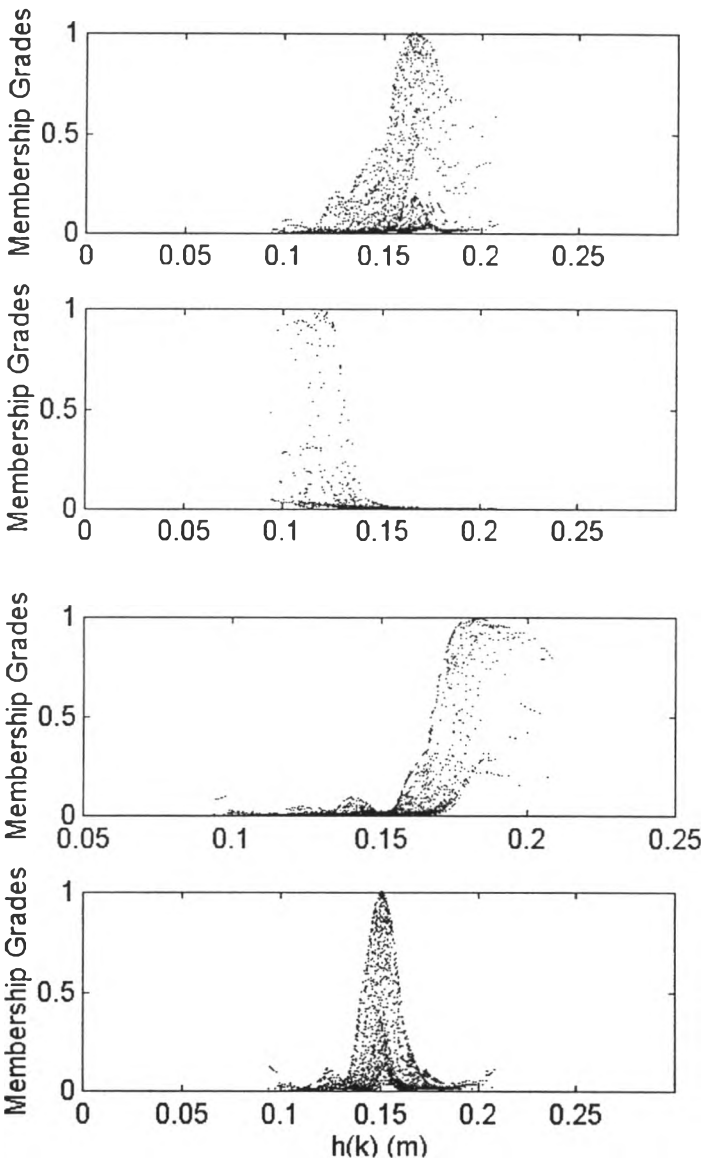
รูปที่ 4.2 อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วควบคุม (อินพุท) สำหรับใช้ในกรณีศึกษาที่ 1



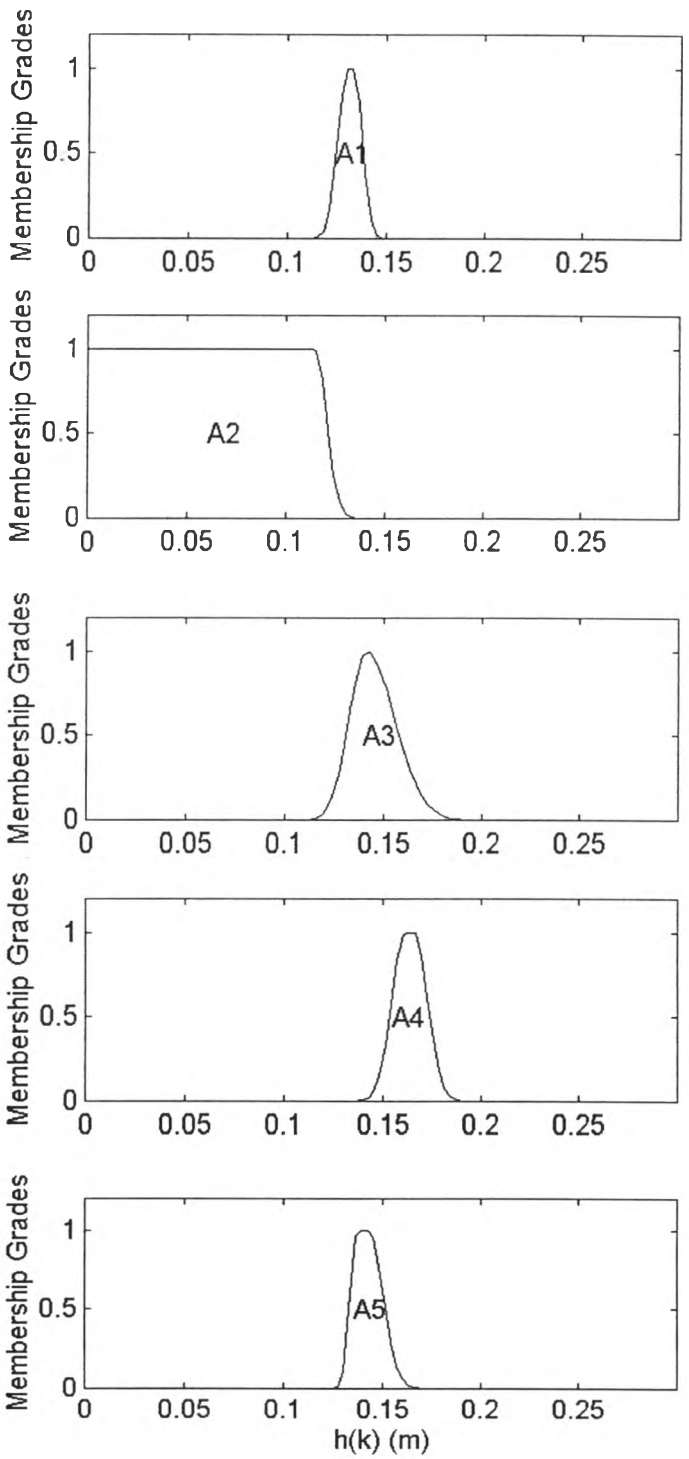
รูปที่ 4.3 ระดับความสูงของน้ำภายในถัง (เอาท์พุท) สำหรับใช้ในกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.4 พล็อทระหว่างระดับความสูงน้ำภายในถังกับฟัซซีพาร์ทิชันแมทริกซ์ของ กลุ่ม 1 ถึงกลุ่ม 5 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

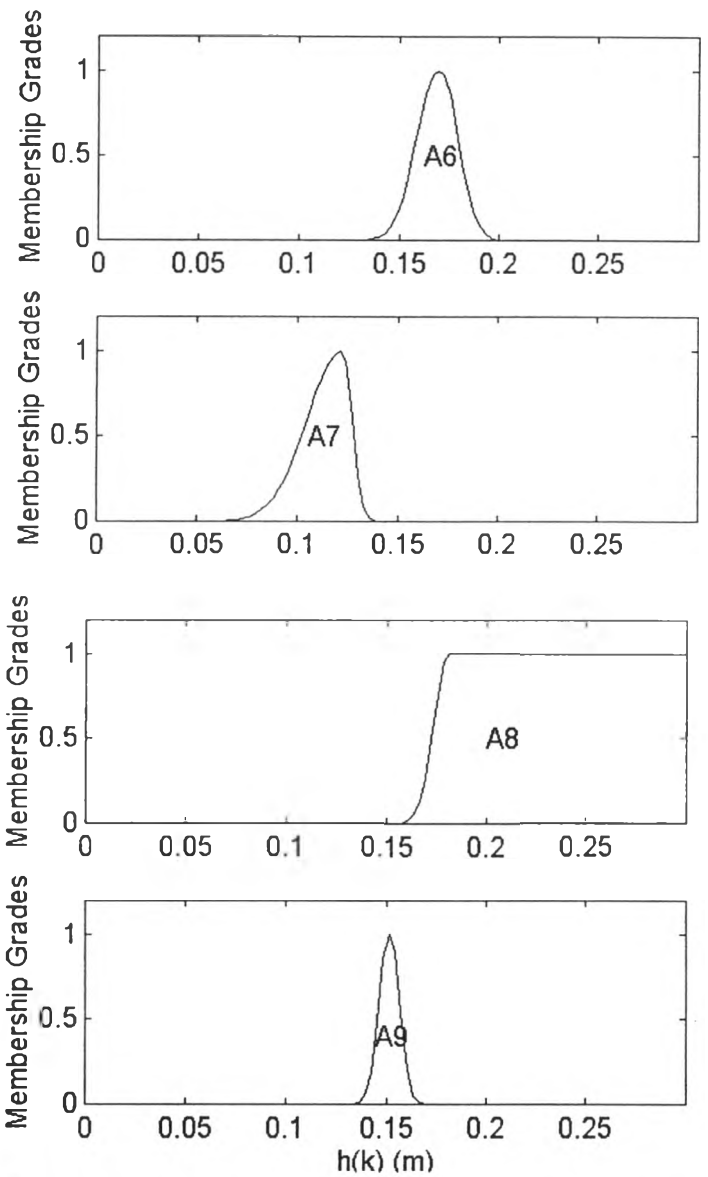


รูปที่ 4.4 (ต่อ) พล็อทระหว่างระดับความสูงของน้ำภายในถังกับฟังชันแมทริกซ์ของกลุ่ม 6 ถึงกลุ่ม 9 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.5 ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎข้อที่ 1 ถึง 5

สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.5 (ต่อ) ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎ

ข้อที่ 6 ถึง 9 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

Rule	P_0	P_1	P_2
1	-0.0218	0.4871	1.0585
2	-0.0029	0.4645	0.9937
3	-0.0033	1.5592	0.9214
4	-0.0051	1.7845	0.9468
5	0.0007	-0.3123	1.0093
6	0.0024	-0.8258	1.0230
7	-0.0083	0.7871	0.9997
8	-0.0025	0.8158	0.9750
9	0.0166	2.0580	0.8624

โครงสร้างของกฎฟัซซีที่ระบุได้สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 แสดงได้ดังนี้

$\mathbf{R}^1$: If $h(k)$ is $A1$ Then $h(k+1) = -0.0218 + 0.4871Q_i(k) + 1.0585\ h(k)$

$\mathbf{R}^2$: If $h(k)$ is $A2$ Then $h(k+1) = -0.0029 + 0.4645Q_i(k) + 0.9937\ h(k)$

$\mathbf{R}^3$: If $h(k)$ is $A3$ Then $h(k+1) = -0.0033 + 1.5592Q_i(k) + 0.9214\ h(k)$

$\mathbf{R}^4$: If $h(k)$ is $A4$ Then $h(k+1) = -0.0051 + 1.7845Q_i(k) + 0.9468\ h(k)$

$\mathbf{R}^5$: If $h(k)$ is $A5$ Then $h(k+1) = 0.0007 - 0.3123Q_i(k) + 1.0093h(k)$

$\mathbf{R}^6$: If $h(k)$ is $A6$ Then $h(k+1) = 0.0024 - 0.8258Q_i(k) + 1.0230\ h(k)$

$\mathbf{R}^7$: If $h(k)$ is $A7$ Then $h(k+1) = -0.0083 + 0.7871Q_i(k) + 0.9997h(k)$

$\mathbf{R}^8$: If $h(k)$ is $A8$ Then $h(k+1) = -0.0025 + 0.8158Q_i(k) + 0.9750\ h(k)$

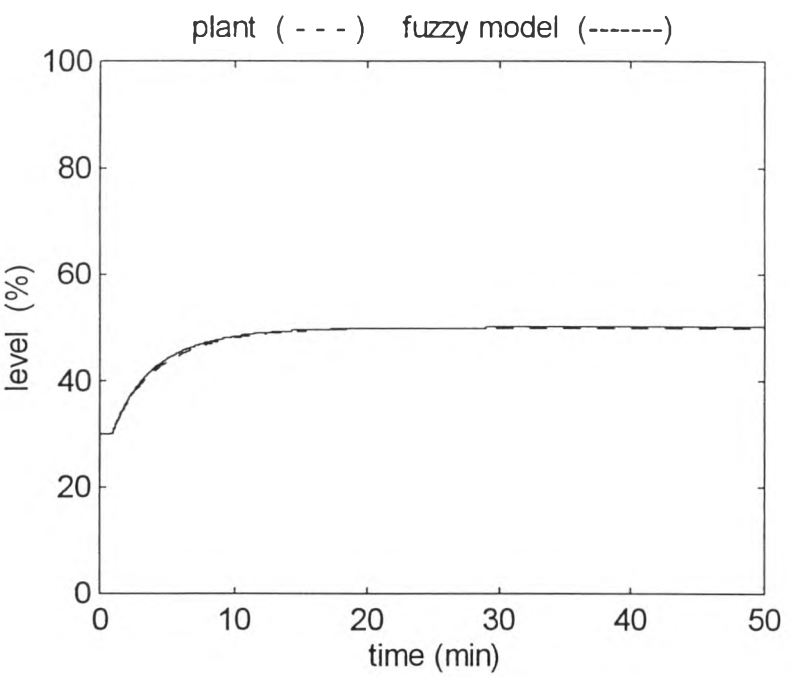
$\mathbf{R}^9$: If $h(k)$ is $A9$ Then $h(k+1) = 0.0166 + 2.0580Q_i(k) + 0.8624\ h(k)$

ผลการทดสอบแบบจำลองแสดงได้ดังนี้

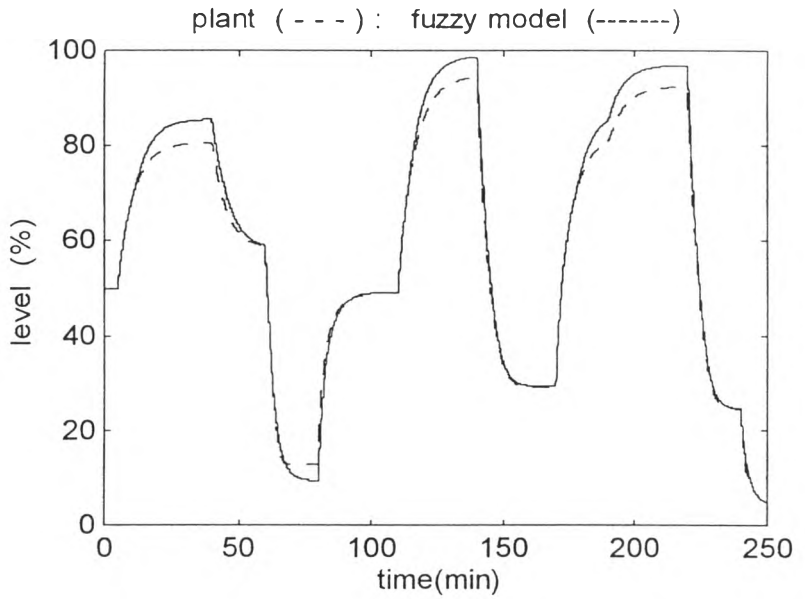
(ก) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งมีค่า RMS = 0.6148×10^{-3}

(ข) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งให้ค่า RMS = 9.000×10^{-3}

(ค) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม แสดงได้ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งให้ค่าของ RMS = 0.9856×10^{-3}

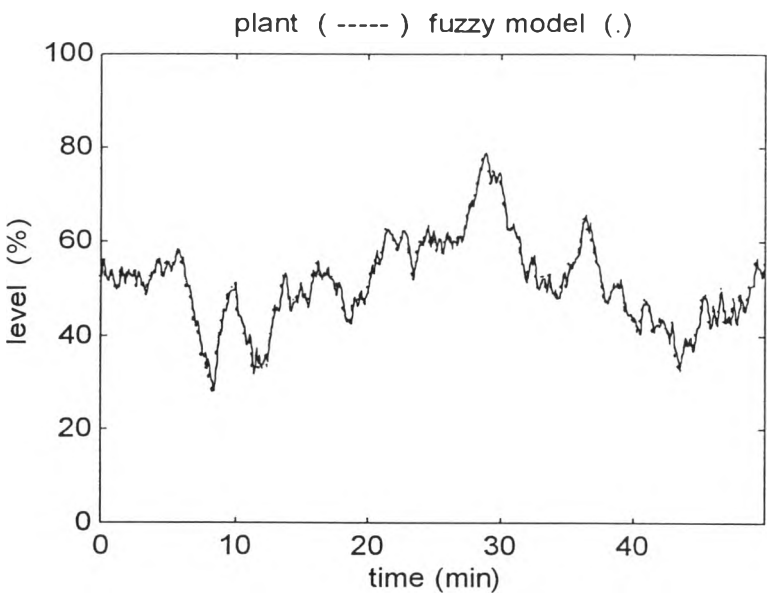


รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง

สำหรับกรณีศึกษาที่ 1



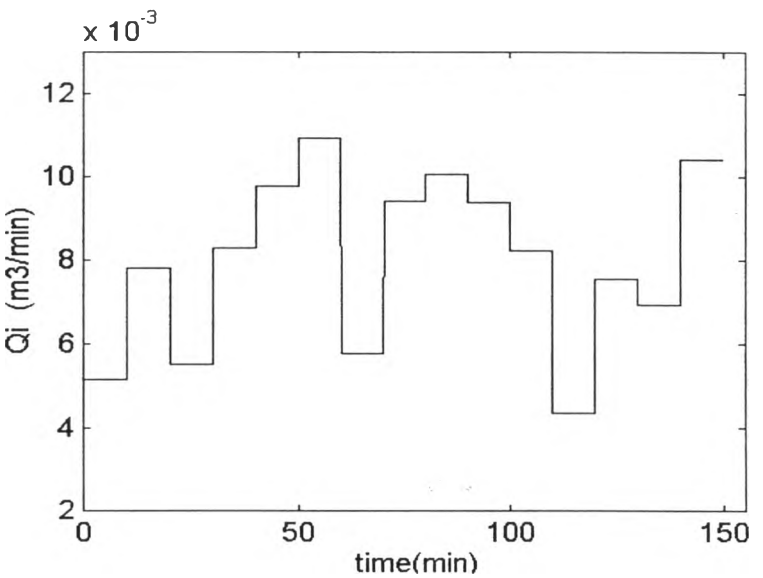
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม

สำหรับกรณีศึกษาที่ 1

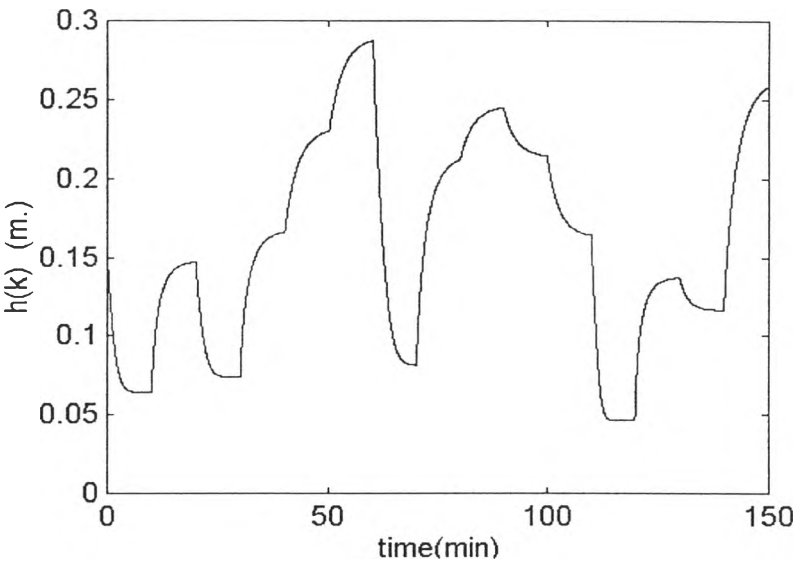
4.7.2 กรณีศึกษาที่ 2

สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 เป็นการระบุหาแบบจำลองฟัซซีโดยใช้ข้อมูลอินพุทและเอาท์พุท ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ ซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วควบคุมแบบขั้นอย่างสุ่มทุกๆ 25 นาที แล้วทำการบันทึกค่าระดับความสูงของน้ำภายในถังทุก ๆ 0.05 นาที

ผลการระบุหาแบบจำลองฟัซซีโดยใช้ค่าเกณฑ์ S(c) พบว่าเมื่อจำนวนกลุ่มเท่ากับ 10 กลุ่ม จะทำให้ค่า S(c) มีค่าต่ำสุด ดังนั้นจำนวนกฎที่เหมาะสมของแบบจำลองฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 เท่ากับ 10 กฎ จากการประมาณกราฟที่พล็อทระหว่างตัวแปรในส่วนเงื่อนไข (ระดับความสูงของน้ำ) ของกฎฟัซซีกับฟัซซีพาร์ทิชันแมทริกซ์ (U) โดยใช้ฟังก์ชันรูปเอ็กซ์โพเนนเชียล จะได้ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถัง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ค่าพารามิเตอร์เชิงเส้นในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีที่หาได้จากวิธีการกำลังสองน้อยที่สุดแสดงได้ดังตารางที่ 4.2



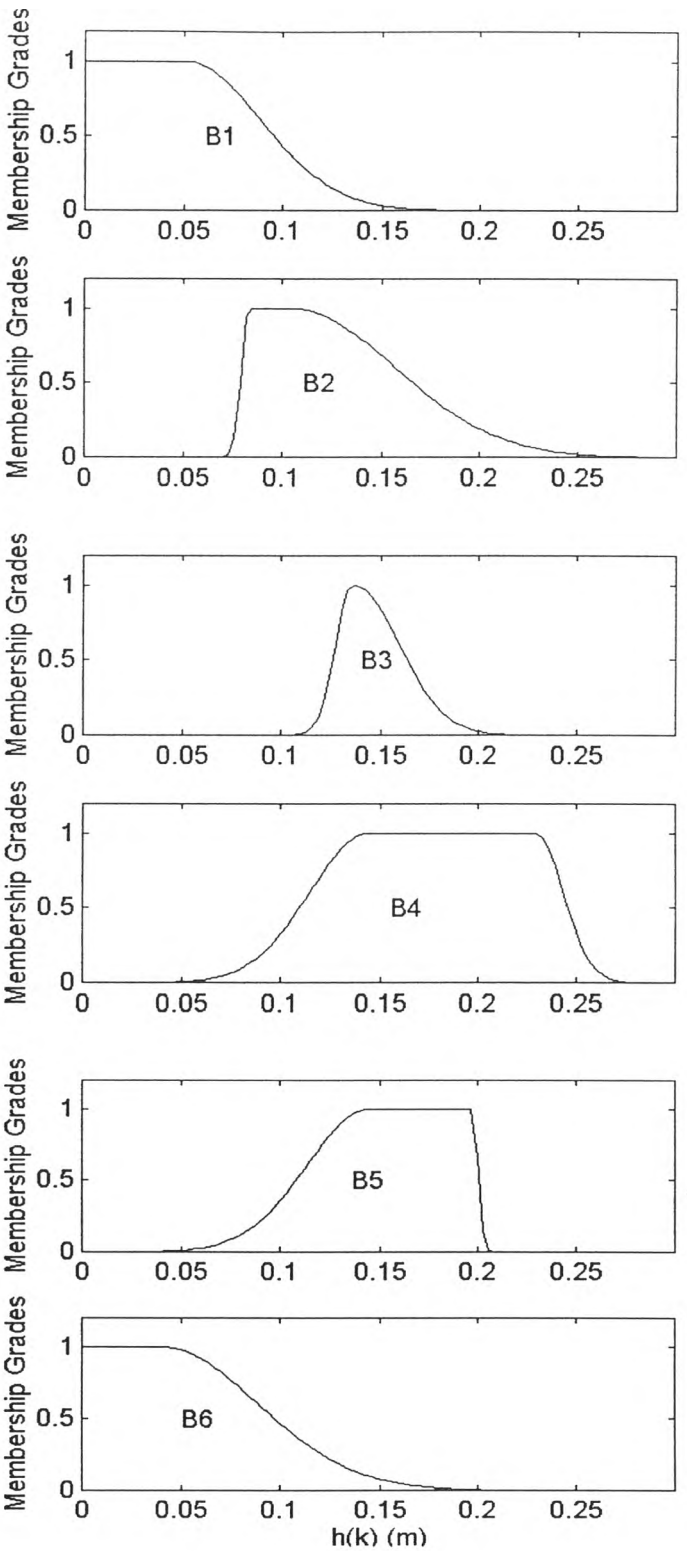
รูปที่ 4.9 อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านวาล์วควบคุม (อินพุท) สำหรับใช้ในกรณีศึกษาที่ 2



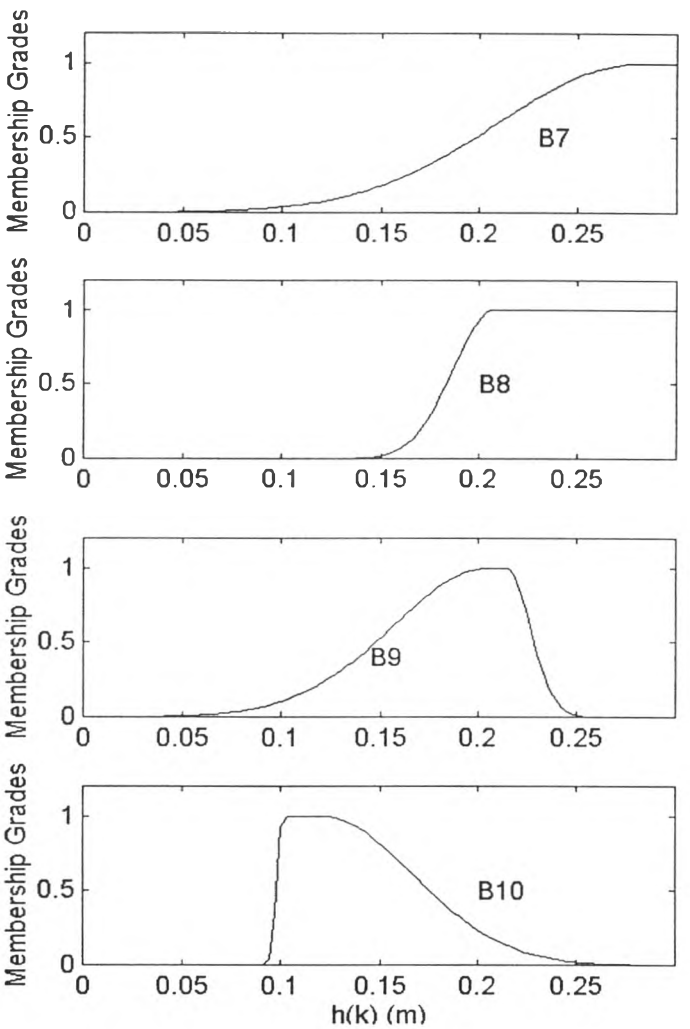
รูปที่ 4.10 ระดับความสูงของน้ำภายในถัง (เอาท์พุท) สำหรับใช้ในกรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

Rule	P_0	P_1	P_2
1	-0.0015	0.4406	0.9869
2	-0.0026	0.4833	0.9911
3	-0.0022	0.9971	0.9550
4	-0.0019	0.4192	0.9906
5	-0.0021	0.5534	0.9849
6	-0.0017	0.6420	0.9747
7	-0.0021	0.4085	0.9919
8	-0.0019	0.6082	0.9801
9	-0.0019	0.4450	0.9890
10	-0.0016	0.3872	0.9905



รูปที่ 4.11 ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎข้อที่ 1 ถึง 6 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.11 (ต่อ) ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎ

ข้อที่ 7 ถึง 10 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

แบบจำลองฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 แสดงได้ดังนี้

$\mathbf{R}^1$: If $h(k)$ is $B1$ Then $h(k+1) = -0.0015 + 0.4406\, Q_i(k) + 0.9869\, h(k)$

$\mathbf{R}^2$: If $h(k)$ is $B2$ Then $h(k+1) = -0.0026 + 0.4833\, Q_i(k) + 0.9911\, h(k)$

$\mathbf{R}^3$: If $h(k)$ is $B3$ Then $h(k+1) = -0.0022 + 0.9971\, Q_i(k) + 0.9550\, h(k)$

$\mathbf{R}^4$: If $h(k)$ is $B4$ Then $h(k+1) = -0.0019 + 0.4192\, Q_i(k) + 0.9906\, h(k)$

$\mathbf{R}^5$: If $h(k)$ is $B5$ Then $h(k+1) = -0.0021 + 0.5534\, Q_i(k) + 0.9849\, h(k)$

$\mathbf{R}^6$: If $h(k)$ is $B6$ Then $h(k+1) = -0.0017 + 0.6420\, Q_i(k) + 0.9747\, h(k)$

$\mathbf{R}^7$: If $h(k)$ is $B7$ Then $h(k+1) = -0.0021 + 0.4085\, Q_i(k) + 0.9919\, h(k)$

$\mathbf{R}^8$: If $h(k)$ is $B8$ Then $h(k+1) = -0.0019 + 0.6082\, Q_i(k) + 0.9801\, h(k)$

$\mathbf{R}^9$: If $h(k)$ is $B9$ Then $h(k+1) = -0.0019 + 0.4450\, Q_i(k) + 0.9890\, h(k)$

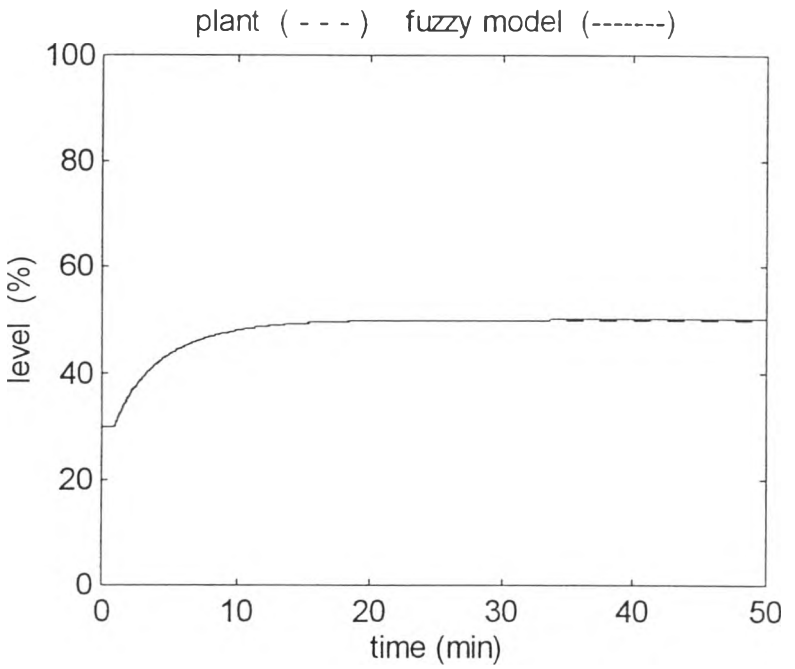
$\mathbf{R}^{10}$: If $h(k)$ is $B10$ Then $h(k+1) = -0.0016 + 0.3872\, Q_i(k) + 0.9905\, h(k)$

ผลการทดสอบแบบจำลองแสดงได้ดังนี้

(ก) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งมีค่า RMS = 0.0420×10^{-3}

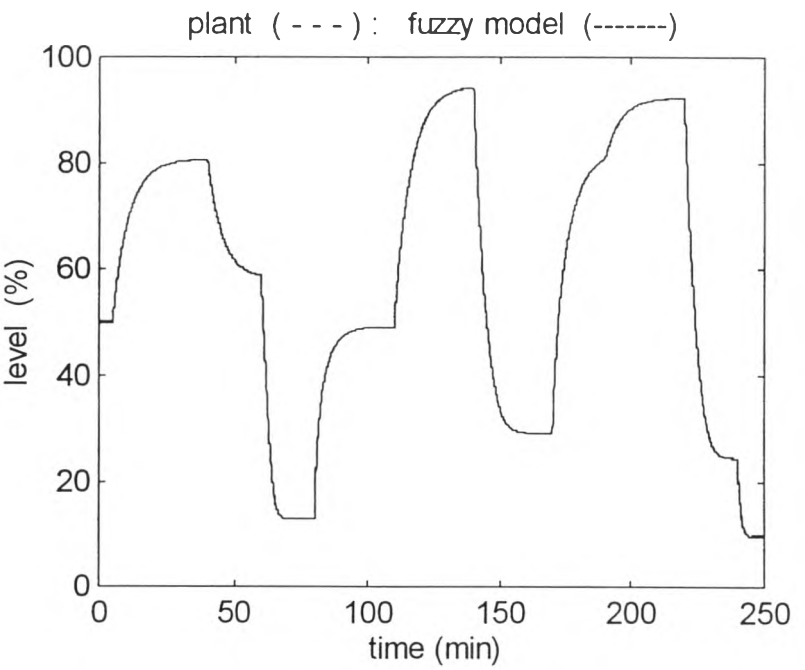
(ข) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งให้ค่า RMS = 0.2030×10^{-3}

(ค) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม แสดงได้ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งให้ค่าของ RMS = 0.0662×10^{-3}



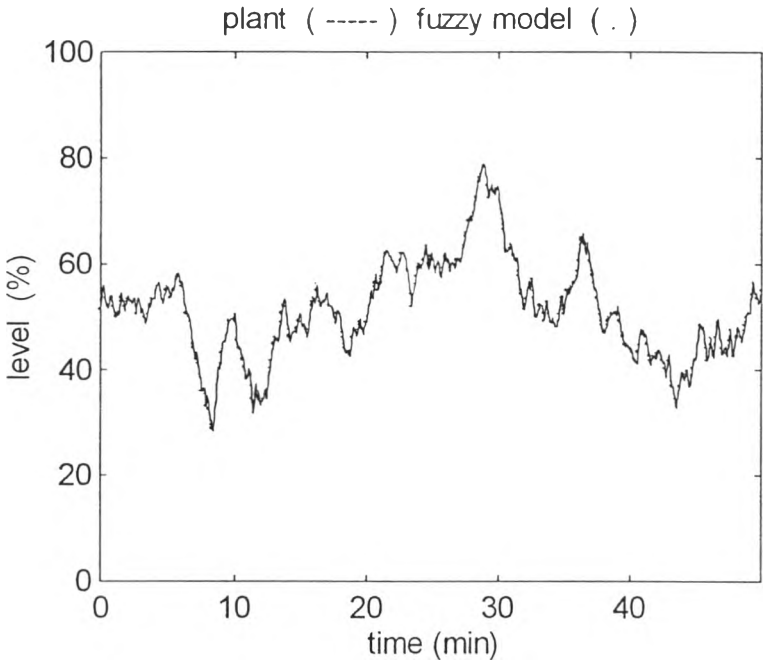
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น

สำหรับกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง

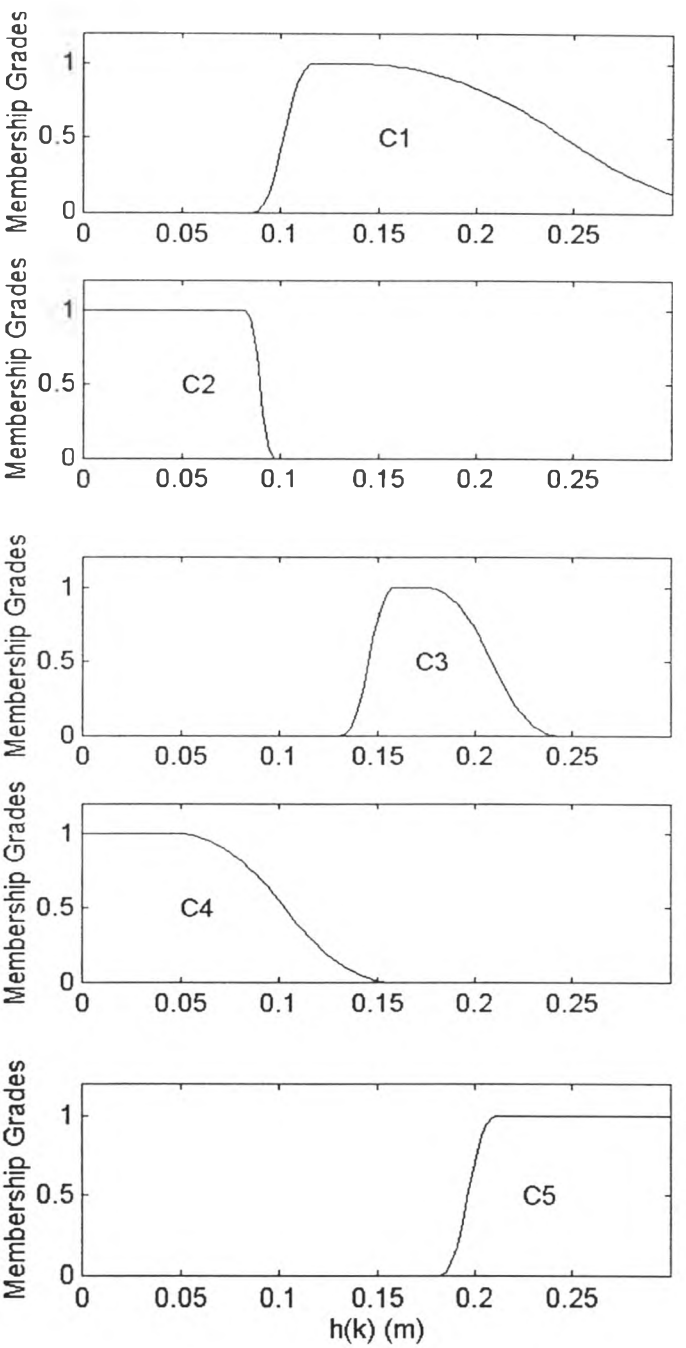
สำหรับกรณีศึกษาที่ 2



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม สำหรับกรณีศึกษาที่ 2

4.7.3 กรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3 เป็นการระบุหาแบบจำลองฟัซซีโดยใช้ข้อมูลอินพุท-เอาท์พุทเหมือนในกรณีศึกษาที่ 2 แต่กำหนดกลุ่มหรือจำนวนกฎเท่ากับ 5 กฎ จากการประมาณกราฟที่พล็อทระหว่างความสูงของระดับน้ำภายในถังกับฟัซซีพาร์ทิชันแมทริกซ์ในแต่ละกลุ่มโดยใช้ฟังก์ชันรูปเอ็กซ์โพเนนเชียลจะได้ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถัง ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ค่าพารามิเตอร์เชิงเส้นในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีแสดงได้ดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.15 ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎข้อที่ 1 ถึง 5 สำหรับกรณีศึกษาที่ 3

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

Rule	P_0	P_1	P_2
1	-0.0016	0.4962	0.9854
2	-0.0033	1.2262	0.9572
3	0.0002	-0.2501	1.0105
4	-00.0011	0.3760	0.9883
5	-0.0021	0.4438	0.9903

แบบจำลองฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 3 แสดงได้ดังนี้

$\mathbf{R}^1$: If $h(k)$ is $C1$ Then $h(k+1) = -0.0016 + 0.4962Q_i(k) + 0.9854\ h(k)$

$\mathbf{R}^2$: If $h(k)$ is $C2$ Then $h(k+1) = -0.0033 + 1.2262Q_i(k) + 0.9572\ h(k)$

$\mathbf{R}^3$: If $h(k)$ is $C3$ Then $h(k+1) = 0.0002 - 0.2501Q_i(k) + 1.0105\ h(k)$

$\mathbf{R}^4$: If $h(k)$ is $C4$ Then $h(k+1) = -0.0011 + 0.3760Q_i(k) + 0.9883\ h(k)$

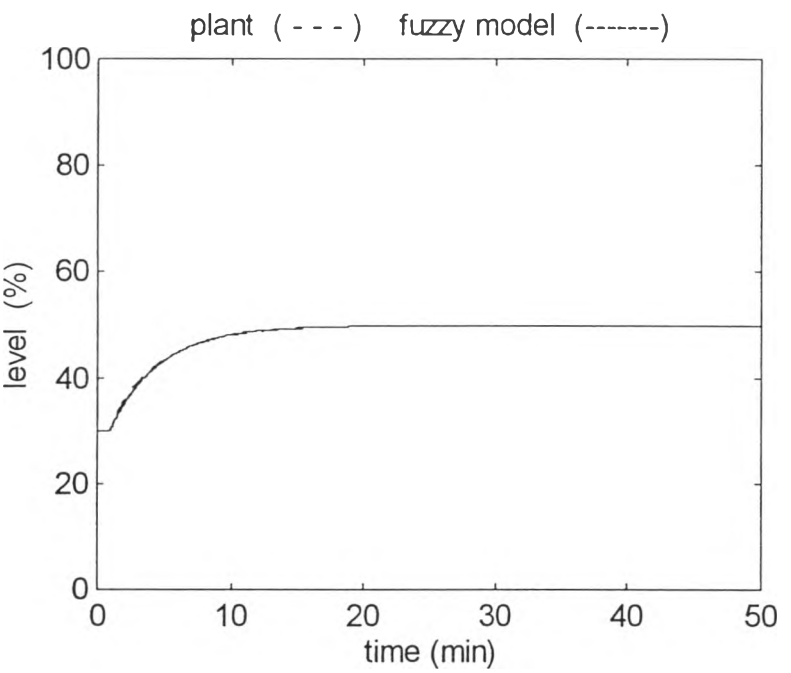
$\mathbf{R}^5$: If $h(k)$ is $C5$ Then $h(k+1) = -0.0021 + 0.4438Q_i(k) + 0.9903\ h(k)$

ผลการทดสอบแบบจำลองแสดงได้ดังนี้

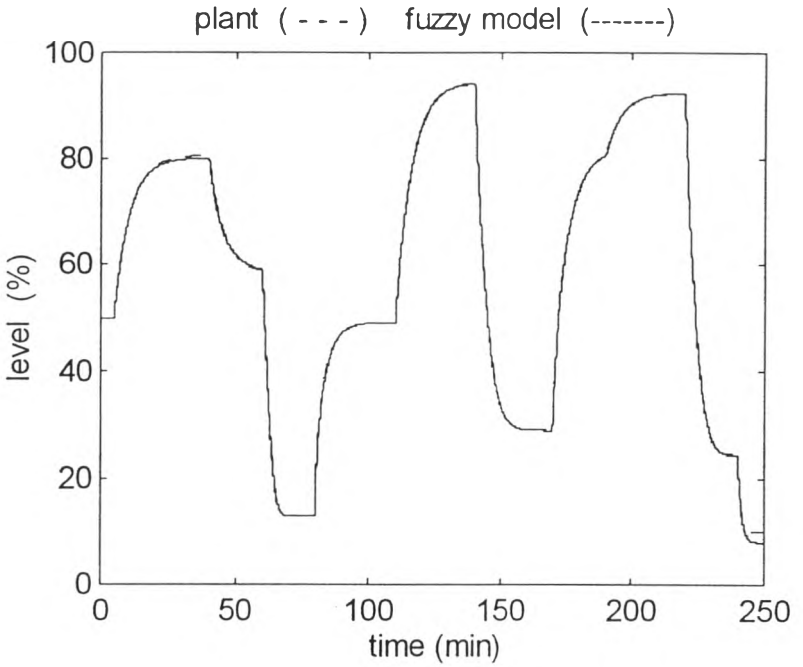
(ก) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งมีค่า RMS = 0.4873×10^{-3}

(ข) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.17 ซึ่งให้ค่า RMS = 1.200×10^{-3}

(ค) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม แสดงได้ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งให้ค่า RMS = 0.9307×10^{-3}

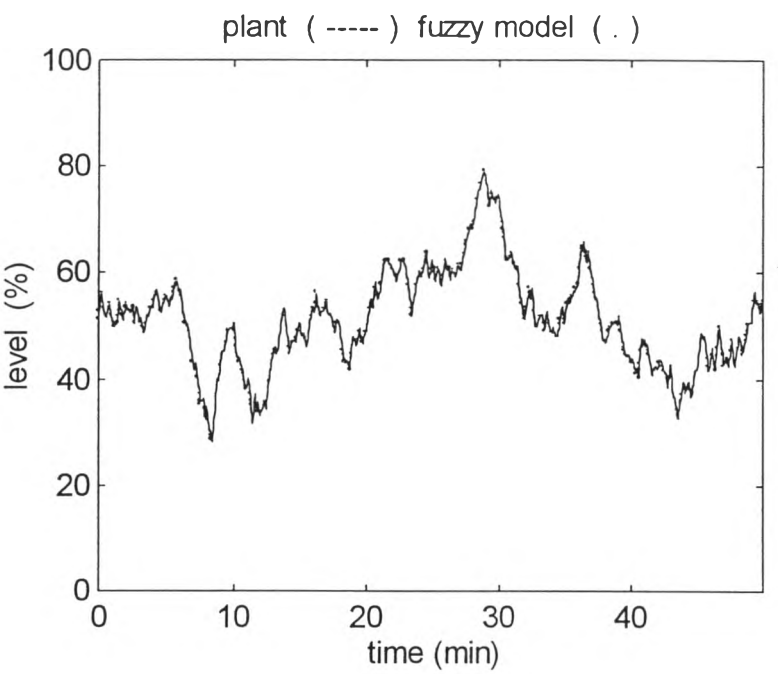


รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น สำหรับกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง

สำหรับกรณีศึกษาที่ 3



รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม

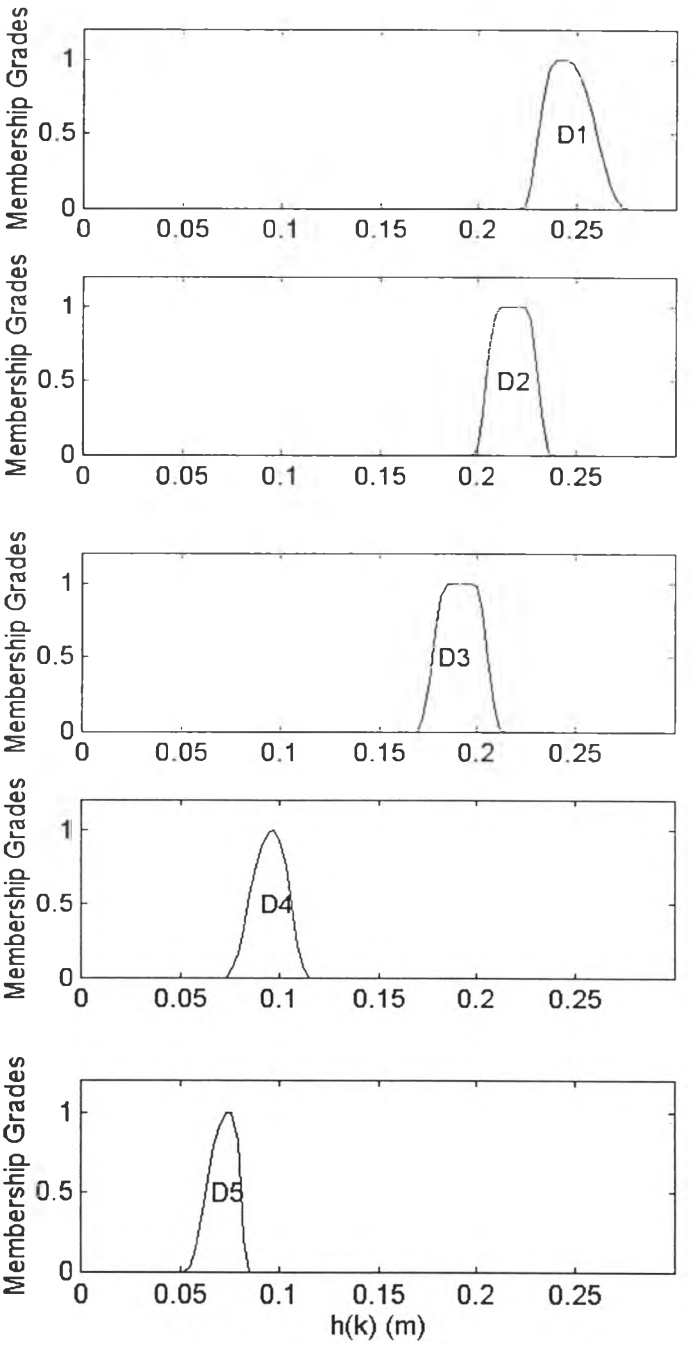
สำหรับกรณีศึกษา 3

4.7.4 กรณีศึกษาที่ 4

กรณีศึกษาที่ 4 เป็นการระบุหาแบบจำลองฟัซซีโดยใช้ข้อมูลอินพุท-เอาท์พุทเหมือนในกรณีศึกษาที่ 2 แต่กำหนดจำนวนกลุ่มหรือจำนวนกฎเท่ากับ 15 กฎ จากการประมาณกราฟพล็อทระหว่างระดับความสูงของน้ำในถังกับฟัซซีพาร์ทิชันแมทริกซ์โดยใช้ฟังก์ชันรูปเอ็กซ์โพเนนเชียล จะได้ฟังก์ชันสมาชิกของค่าระดับความสูงของน้ำภายในถัง ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ค่าพารามิเตอร์เชิงเส้นในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

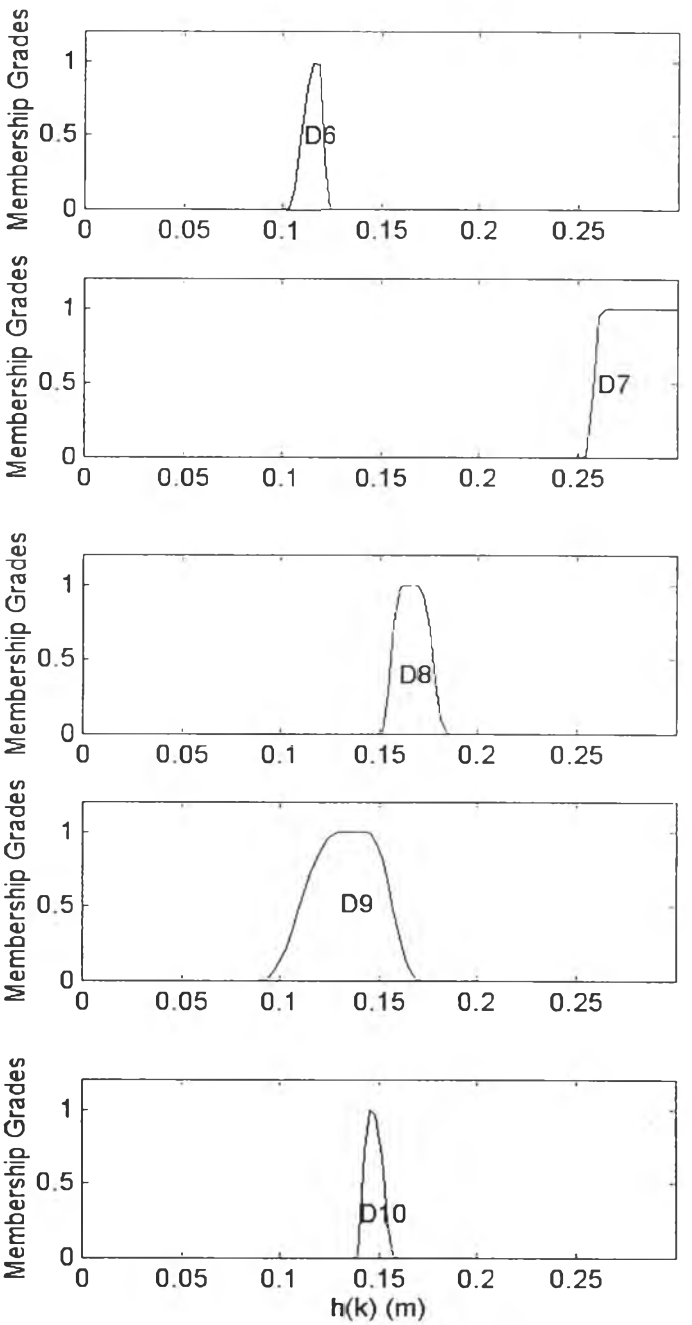
ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ในส่วนผลสรุปของกฎฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 4

Rule	P_0	P_1	P_2
1	-0.0022	0.5087	0.9925
2	-0.0024	0.4401	0.9917
3	-0.0015	0.3518	0.9919
4	-0.0030	0.4141	0.9962
5	-0.00008	0.3070	0.9892
6	-0.0008	0.3804	0.9871
7	-0.0011	0.5051	0.9791
8	-0.0027	0.4647	0.9965
9	-0.0028	0.5806	0.9918
10	-0.0006	0.6244	0.9311
11	-0.0024	1.0931	0.9492
12	-0.0026	0.5715	0.9875
13	-0.0013	0.3958	0.9887
14	-0.0016	0.3603	0.9916
15	-0.0043	0.6319	1.0280



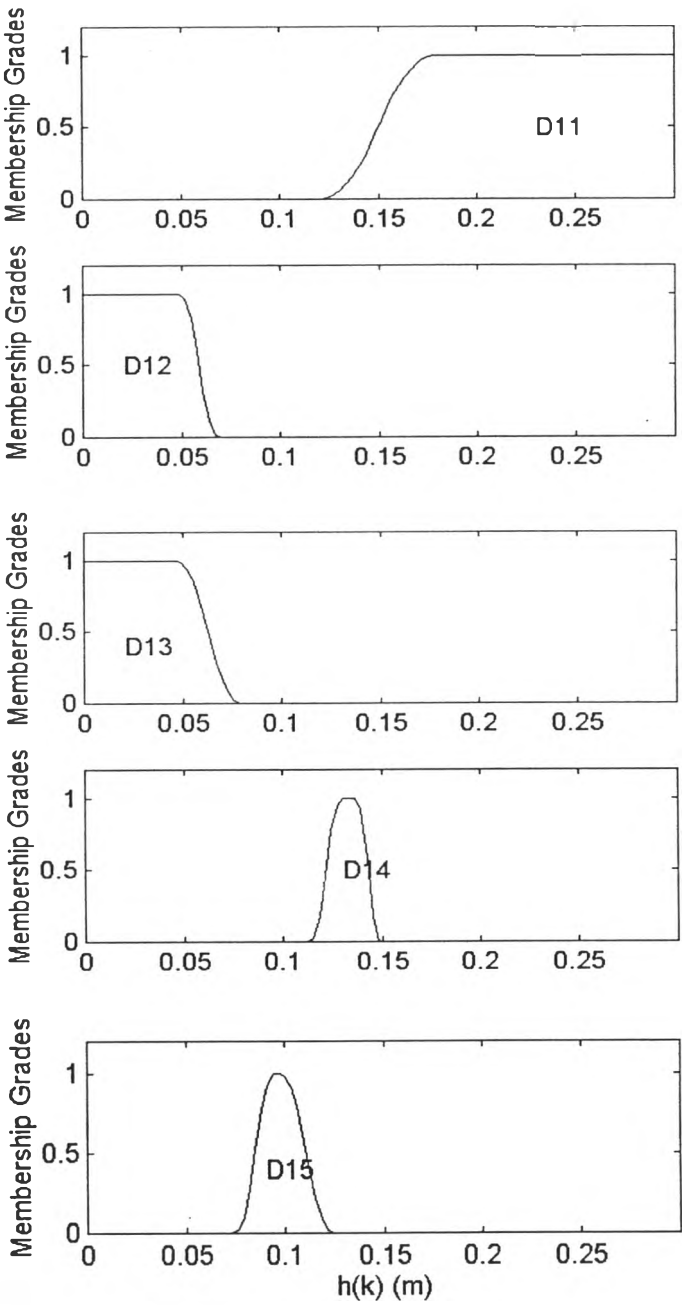
รูปที่ 4.19 ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎ

ข้อที่ 1 ถึง 5 สำหรับกรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 4.19 (ต่อ) ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎ

ข้อที่ 6 ถึง 10 สำหรับกรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 4.19 (ต่อ) ฟังก์ชันสมาชิกของระดับความสูงของน้ำภายในถังของกฎ

ข้อที่ 11 ถึง 15 สำหรับกรณีศึกษาที่ 4

แบบจำลองฟัซซีสำหรับกรณีศึกษาที่ 4 แสดงได้ดังนี้

$\mathbf{R}^{1}$: If $h(k)$ is $D1$ Then $h(k+1) = -0.0022 + 0.5087Q_i(k) + 0.9925h(k)$

$\mathbf{R}^{2}$: If $h(k)$ is $D2$ Then $h(k+1) = -0.0024 + 0.4401Q_i(k) + 0.9917h(k)$

$\mathbf{R}^{3}$: If $h(k)$ is $D3$ Then $h(k+1) = -0.0015 + 0.3518Q_i(k) + 0.9919h(k)$

$\mathbf{R}^{4}$: If $h(k)$ is $D4$ Then $h(k+1) = -0.0030 + 0.4141Q_i(k) + 0.9962h(k)$

$\mathbf{R}^{5}$: If $h(k)$ is $D5$ Then $h(k+1) = -0.0008 + 0.3070Q_i(k) + 0.9892h(k)$

$\mathbf{R}^{6}$: If $h(k)$ is $D6$ Then $h(k+1) = -0.0008 + 0.3804Q_i(k) + 0.9871h(k)$

$\mathbf{R}^{7}$: If $h(k)$ is $D7$ Then $h(k+1) = -0.0011 + 0.5051Q_i(k) + 0.9791h(k)$

$\mathbf{R}^{8}$: If $h(k)$ is $D8$ Then $h(k+1) = -0.0027 + 0.4647Q_i(k) + 0.9965h(k)$

$\mathbf{R}^{9}$: If $h(k)$ is $D9$ Then $h(k+1) = -0.0028 + 0.5806Q_i(k) + 0.9918h(k)$

$\mathbf{R}^{10}$: If $h(k)$ is $D10$ Then $h(k+1) = -0.0006 + 0.6244Q_i(k) + 0.9311h(k)$

$\mathbf{R}^{11}$: If $h(k)$ is $D11$ Then $h(k+1) = 0.0024 + 1.0931Q_i(k) + 0.9492h(k)$

$\mathbf{R}^{12}$: If $h(k)$ is $D12$ Then $h(k+1) = -0.0026 + 0.5715Q_i(k) + 0.9875h(k)$

$\mathbf{R}^{13}$: If $h(k)$ is $D13$ Then $h(k+1) = -0.0013 + 0.3958Q_i(k) + 0.9887h(k)$

$\mathbf{R}^{14}$: If $h(k)$ is $D14$ Then $h(k+1) = -0.0016 + 0.3603Q_i(k) + 0.9916h(k)$

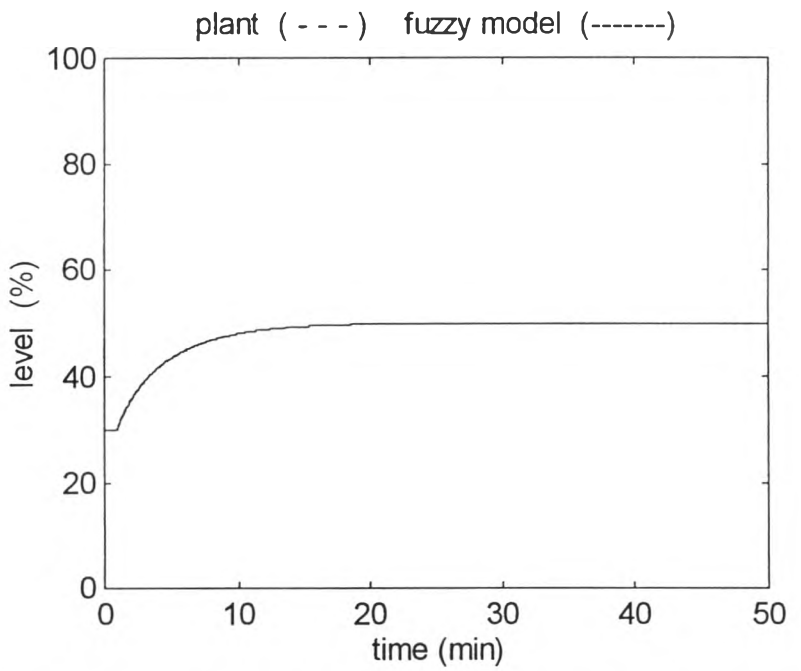
$\mathbf{R}^{15}$: If $h(k)$ is $D15$ Then $h(k+1) = -0.0043 + 0.6319Q_i(k) + 1.0280h(k)$

ผลการทดสอบแบบจำลองแสดงได้ดังนี้

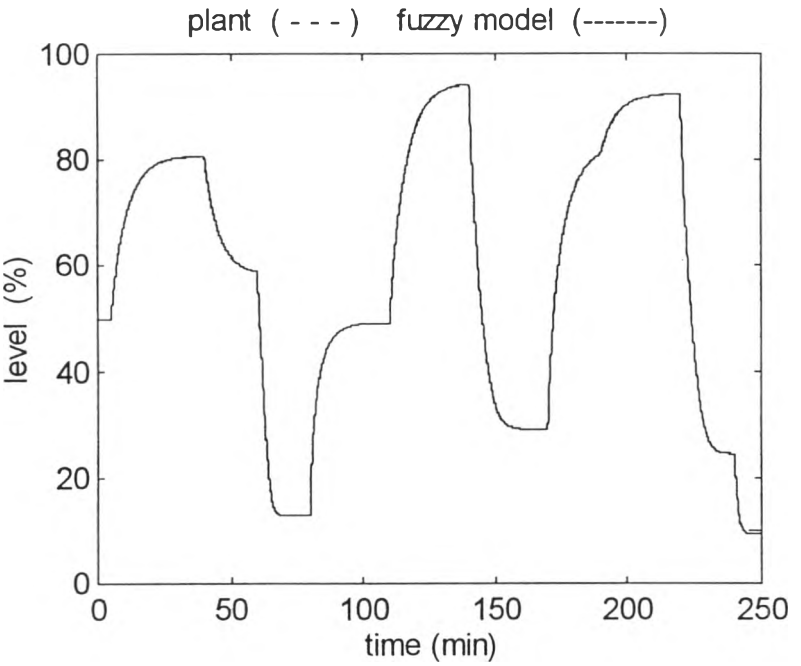
(ก) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.20 ซึ่งมีค่า RMS = 0.0278×10^{-3}

(ข) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลง แสดงได้ดังรูปที่ 4.21 ซึ่งให้ค่า RMS = 0.3032×10^{-3}

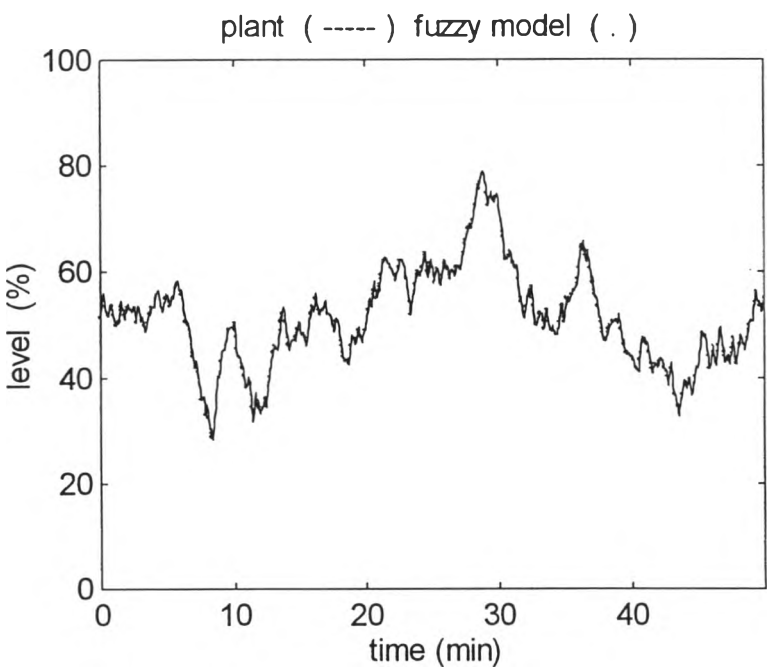
(ค) การทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่ม แสดงได้ดังรูปที่ 4.22 ซึ่งให้ค่า RMS = 0.0939×10^{-3}



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้น สำหรับกรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 4.21 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นขึ้นลงสำหรับกรณีศึกษาที่ 4



รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบแบบจำลองฟัซซีเมื่ออินพุทมีการเปลี่ยนแปลงแบบสุ่มสำหรับกรณีศึกษาที่ 4

4.7.4 บทสรุป

บทนี้เป็นการทดสอบอัลกอริธึมที่ได้เสนอในงานวิจัย เพื่อทำการระบุหาแบบจำลองฟัซซีของกระบวนการระบบถังทรงกลม โดยใช้ข้อมูลอินพุท-เอาท์พุท กรณีที่ใช้ในการศึกษาแบ่งเป็น 4 กรณีคือ กรณีศึกษาที่ 1 และ 2 เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของข้อมูลที่มีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองฟัซซี พบว่าแบบจำลองฟัซซีของกรณีศึกษาที่ 1 สามารถทำนายพฤติกรรมของกระบวนการได้ดีกว่าแบบจำลองของกรณีศึกษาที่ 2 โดยพิจารณาจากค่า RMS ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลอินพุทแบบขั้นขึ้นลง เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองของกรณีศึกษาที่ 3 และ 4 โครงสร้างของแบบจำลองฟัซซีที่ระบุได้ประกอบด้วยจำนวนกฎฟัซซีเท่ากับ 9 กฎ และ 10 กฎ สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 3 และ 4 เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของจำนวนกลุ่มที่มีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองฟัซซี โดยทำการเพิ่มและลดจำนวนกลุ่มเป็น 5 10 และ15 กลุ่ม สำหรับกรณีศึกษาที่ 3 2 และ 4 ตามลำดับ พบว่าค่า RMS มีค่าลดลงเมื่อจำนวนกลุ่มมากขึ้นเกือบทุกกรณียกเว้นการทดสอบแบบที่ 2 ของกรณีศึกษาที่ 2 และ 4 พบว่าค่า RMS มีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนกลุ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเลือกแบบจำลองที่สองสำหรับใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีแบบใช้โมเดล ซึ่งจำกล่าวในบทถัดไป