

บทที่ 5

การทดลอง ผลการทดลอง

บทนี้กล่าวถึง การนำข้อมูลจากสภาวะการปฏิบัติการเริ่มต้นของระบบ ในบทที่ 4 มาเลียนแบบจำลองการควบคุม โดยใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต. ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับ การประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์ เพื่อทำการควบคุมค่าพีเอชและความสูงของระดับน้ำในถัง รวมทั้งทดสอบสมรรถนะและความทนทานของตัวควบคุมป้อนกลับสเตต ที่ใช้ร่วมกับและไม่ ร่วมกับการประมาณค่าสเตตและพารามิเตอร์เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี ที่สภาวะต่าง ๆ อาทิเช่น เมื่อมีตัวรบกวน และมีความผิดพลาดของแบบจำลองและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนั้นจึง แบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณีคือ

- กรณีที่ 1. ควบคุม ณ สภาวะคงที่
- กรณีที่ 2. เมื่อมีตัวรบกวน
- กรณีที่ 3. เมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลอง
- กรณีที่ 4. เมื่อมีสัญญาณรบกวนต่อตัวแปรวัด

5.1 การควบคุม ณ สภาวะคงที่

นำข้อมูลจากตาราง บทที่ 4. มาซิมมูลเลขโดยเริ่มทำการควบคุมตั้งแต่เวลา $t = 0$ นาที จนถึง $t = 60$ นาที เลือกพารามิเตอร์ในการจูนตัวควบคุมแต่ละชนิดให้เหมาะสม โดยให้กราฟการตอบสนองของกระบวนการที่ได้จากตัวควบคุมแต่ละชนิดใกล้เคียงกันมากที่สุด และสามารถให้ได้ครอบคลุมทุกกรณีศึกษา แล้วเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมโดยใช้หลักของการอินทิกรัลของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE)

(สำหรับรายละเอียดการจูนค่าเกณฑ์ของตัวควบคุมแต่ละชนิดแสดงไว้ใน ภาคผนวก ง.2-ง.4)

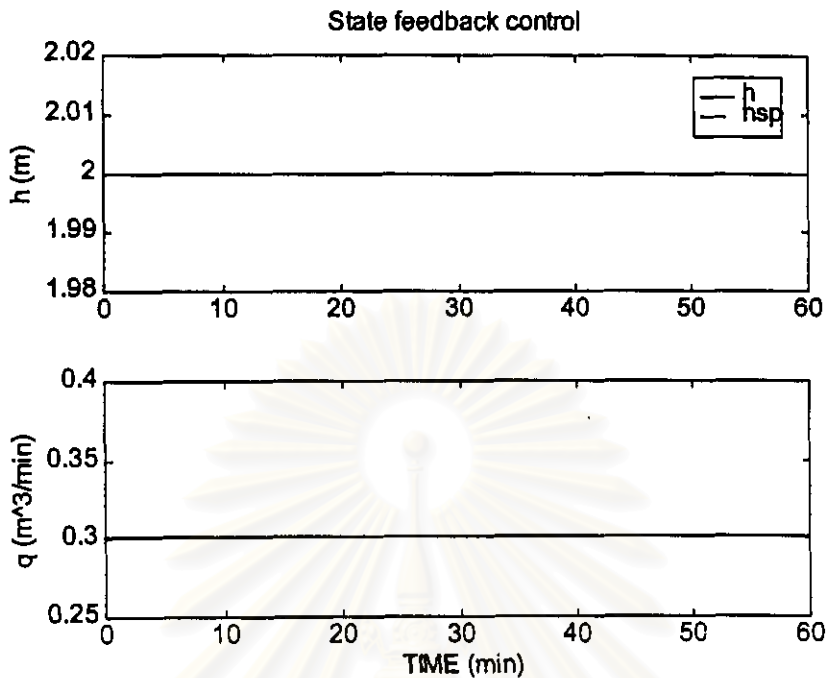
ผลการทดลอง

จะได้กราฟการตอบสนองของกระบวนการดังนี้คือ

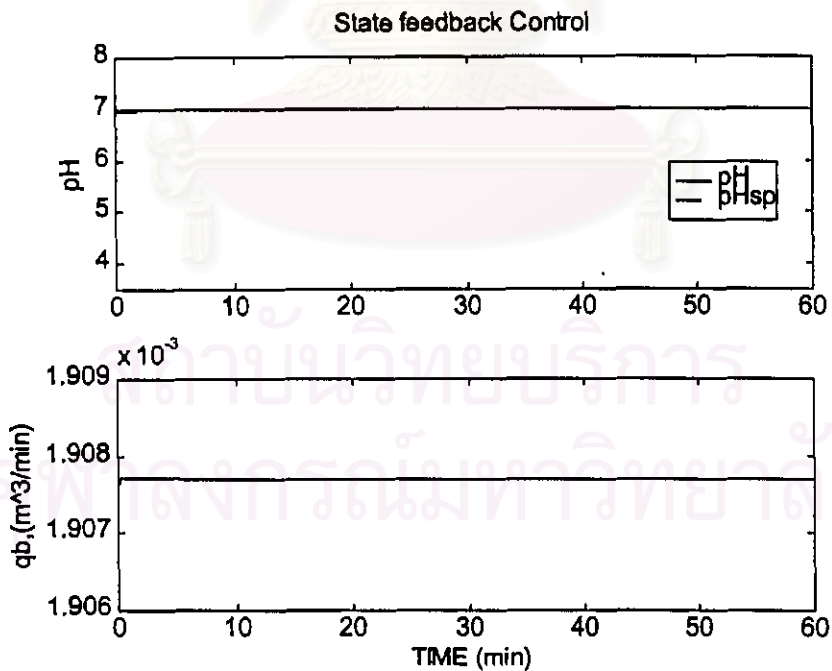
เนื่องจากต้องการให้ผลการควบคุมความสูงของระดับน้ำในถังเข้าสู่เซ็ทพอยท์ และมีออฟเซ็ทน้อยที่สุด จึงใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ-ป้อนกลับสเตตที่มีค่า closed-loop poles เท่ากับ -1.5 และ -24 และ $K_i = K_p / 3$ กราฟการตอบสนองของกระบวนการที่ได้มีลักษณะโอเวอร์ชูทขึ้นก่อนเล็กน้อยแล้วจึงเข้าสู่เซ็ทพอยท์ โดยไม่มีการแกว่ง กราฟการตอบสนองของการควบคุมระดับสารละลายในถังของตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต แสดงดังรูปที่ 5.1.1 a) โดยมี IAE เท่ากับ $5.6923e-06$ ส่วนการควบคุมค่าพีเอชในถัง ต้องการให้ค่าพีเอชสามารถควบคุมเข้าสู่เซ็ทพอยท์เร็วและไม่มีการแกว่ง ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตจึงใช้ closed-loop poles เท่ากับ -1.5 และ -24 และ $K_i = K_p / 3$ กราฟการตอบสนองของกระบวนการแสดงดังรูปที่ 5.1.1 b) โดยมีตัวแปรปรับ คือ อัตราการไหลของด่างโซดาไฟ (q_b) และมี IAE เท่ากับ 0.1248

ส่วนรูปที่ 5.1.2 a) เป็นกราฟการตอบสนองของกระบวนการ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง ที่มีค่าเกนในการจูนดังนี้คือ $K_{c1} = 20 \text{ m}^2/\text{min}$, $\tau_{i1} = 3.07 \text{ min}$ โดยมีอัตราการไหลขาออก (q) เป็นตัวแปรปรับ มีค่า IAE เท่ากับ $5.5708e-6$ ส่วน รูปที่ 5.1.2 b) เป็นกราฟการตอบสนองของกระบวนการ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีควบคุมค่าพีเอช ค่าเกนในการจูนหาจากวิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์ แล้วปรับละเอียดอีกครั้ง ให้สามารถใช้ได้ทุกกรณีศึกษามีค่า ดังนี้คือ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีควบคุมค่าพีเอช $K_{c2} = 0.18 \text{ m}^3/\text{g}\cdot\text{min}$, $\tau_{i2} = 7.36 \text{ min}$, $\tau_{d2} = 0.0052 \text{ min}$ โดยมีอัตราการไหลของด่าง (q_b) เป็นตัวแปรปรับ ค่า IAE เท่ากับ 0.1245 เนื่องจากใช้เกนซ์ การพิจารณาการตอบสนองของกระบวนการเช่นเดียวกันกับการควบคุมแบบป้อนกลับสเตต กราฟที่ได้จึงมีลักษณะใกล้เคียงกัน และมีค่า IAE ใกล้เคียงกัน

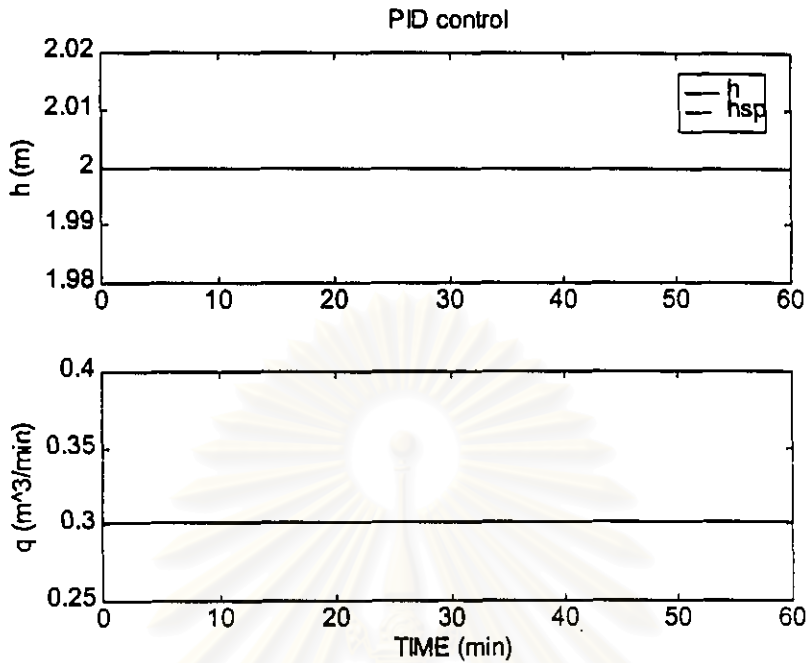
รูปที่ 5.1.3.1a) เป็นกราฟการตอบสนองของกระบวนการ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ที่มี $P_0 = [100 \ 0 \ ; \ 0 \ 10 \]$, $Q = [1e+06 \ 0 \ ; \ 0 \ 1e+08 \]$ และ $R = [1.2 \ 0 \ ; \ 0 \ 100 \]$ ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง (h) โดยมีอัตราการไหลขาออกเป็นตัวแปรปรับ (q) มีค่า IAE เท่ากับ $5.69e-6$ รูปที่ 5.1.3.1 b) เป็นกราฟการตอบสนองของกระบวนการ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ควบคุมค่าพีเอช โดยมีอัตราการไหลของด่างโซดาไฟเป็นตัวแปรปรับ (q_b) มีค่า IAE เท่ากับ 0.1248



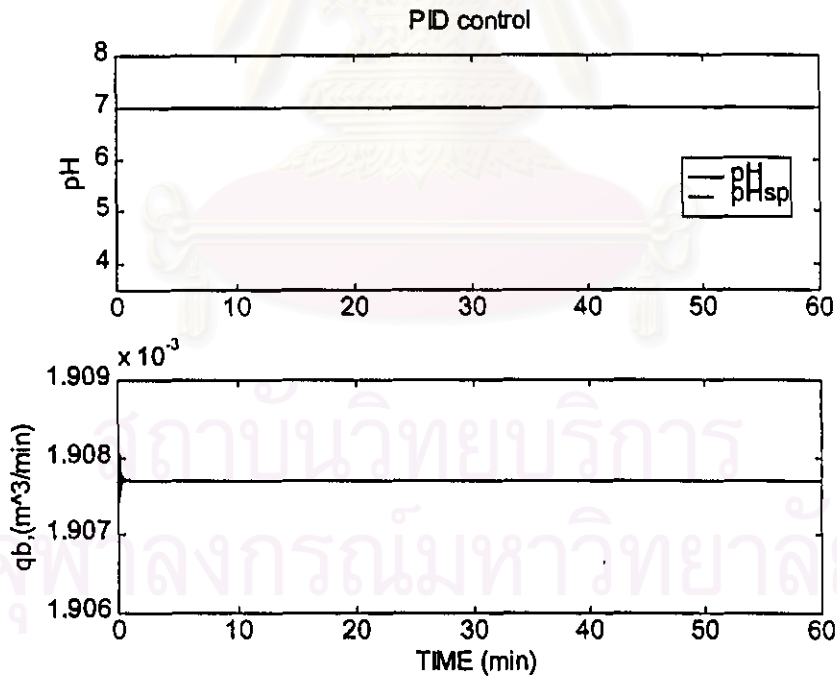
รูปที่ 5.1.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง (h) โดยมี closed-loop poles = $[-1.5, -24]$ และ $K_r = K_p / 3$ (บน: ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



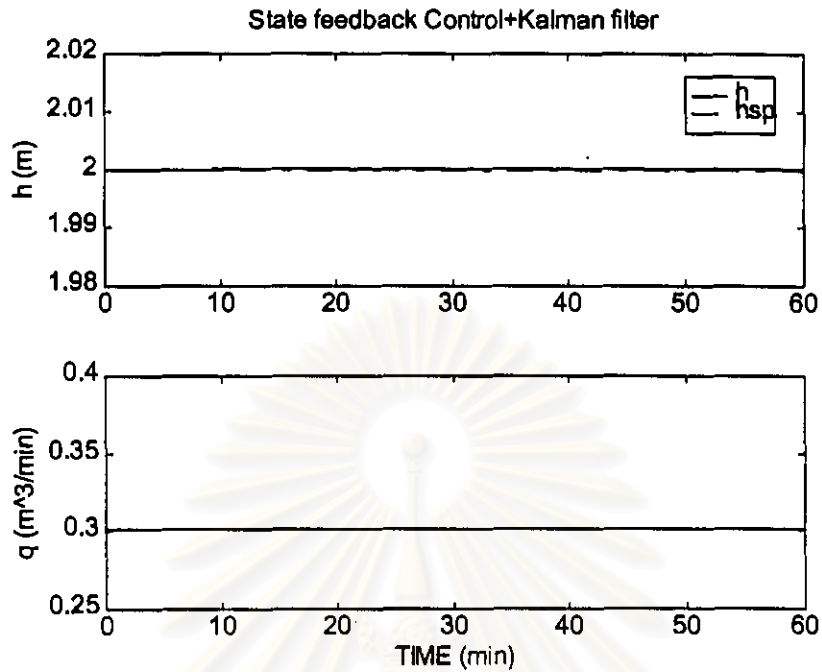
รูปที่ 5.1.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต การควบคุมค่าพีเอชในถัง โดยมี closed-loop poles = $[-1.5, -24]$ และ $K_r = K_p / 3$ (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



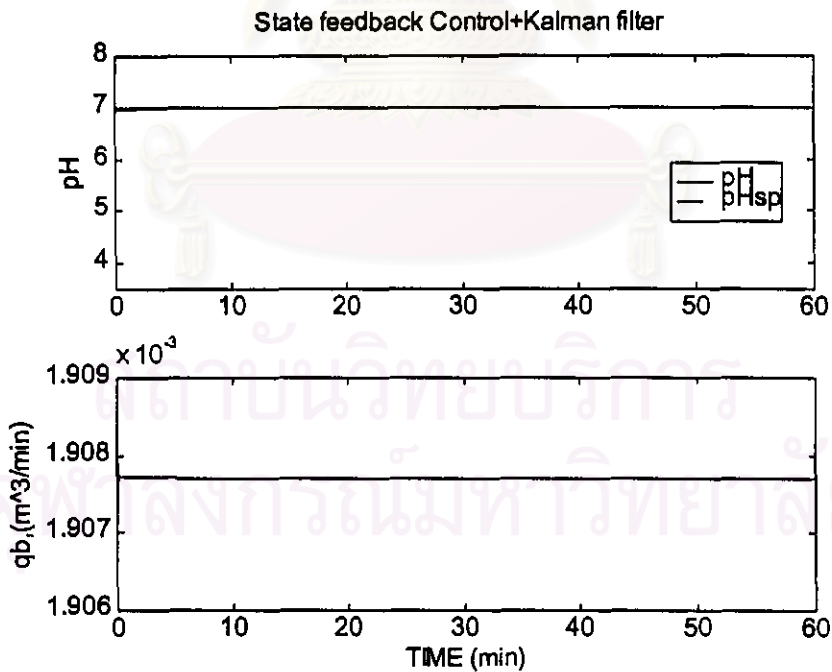
รูปที่ 5.1.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง $K_{c1} = 20 \text{ m}^2/\text{min}$, $\tau_{i1} = 3.07 \text{ min}$ (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.1.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ควบคุมค่าพีเอช $K_{c2} = 0.18 \text{ m}^6/\text{g}.\text{min}$. , $\tau_{i2} = 7.36 \text{ min}$ $\tau_{d2} = 0.0052 \text{ min}$ (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.1.3.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์ ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง ซึ่งมีค่า $P_0 = [100 \ 0; 0 \ 10]$, $Q = [1e+06 \ 0; 0 \ 1e+08]$ และ $R = [1.2 \ 0; 0 \ 100]$



รูปที่ 5.1.3.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์ควบคุมค่าพีเอชซึ่งมีค่า $P_0 = [100 \ 0; 0 \ 10]$, $Q = [1e+6 \ 0; 0 \ 1e+8;]$ และ $R = [1.2 \ 0; 0 \ 100]$

ตารางที่ 5.1 ค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) ของการควบคุมระดับน้ำในถัง และค่าพีเอชของน้ำในถัง เมื่อใช้ตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ ณ สภาวะปฏิบัติการคงที่

ชนิดที่	ตัวควบคุม	IAE	
		Level ($\times 10^{-6}$)	pH
1	ป้อนกลับสเตต	5.6923	0.1248
2	พีไอดี	5.5708	0.1245
3	ป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์	5.6900	0.1248

5.2 เมื่อมีตัวรบกวน (Disturbance)

พิจารณาระบบที่ศึกษานี้จะมีตัวรบกวนที่ส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชและความสูงของระดับน้ำในถังอยู่ 4 ตัวคือ อัตราการไหลของกรดเสีย, อัตราการไหลของน้ำเสีย, ความเข้มข้นของกรดเสียและ ความเข้มข้นของน้ำเสีย จึงแบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณีดังนี้ คือ เมื่ออัตราการไหลของกรดเสียเพิ่มขึ้น, เมื่ออัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้น, เมื่อความเข้มข้นของกรดเสียเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของน้ำเสียเพิ่มขึ้น

5.2.1 เมื่ออัตราการไหลของกรดเสียเพิ่มขึ้น

ที่ เวลา $t = 15$ นาที ให้อัตราการไหลของกรดเสีย (q_a) เพิ่มขึ้น 20 % ของอัตราการไหลเดิม ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ในกระบวนการและตัวควบคุมยังมีค่าคงเดิม

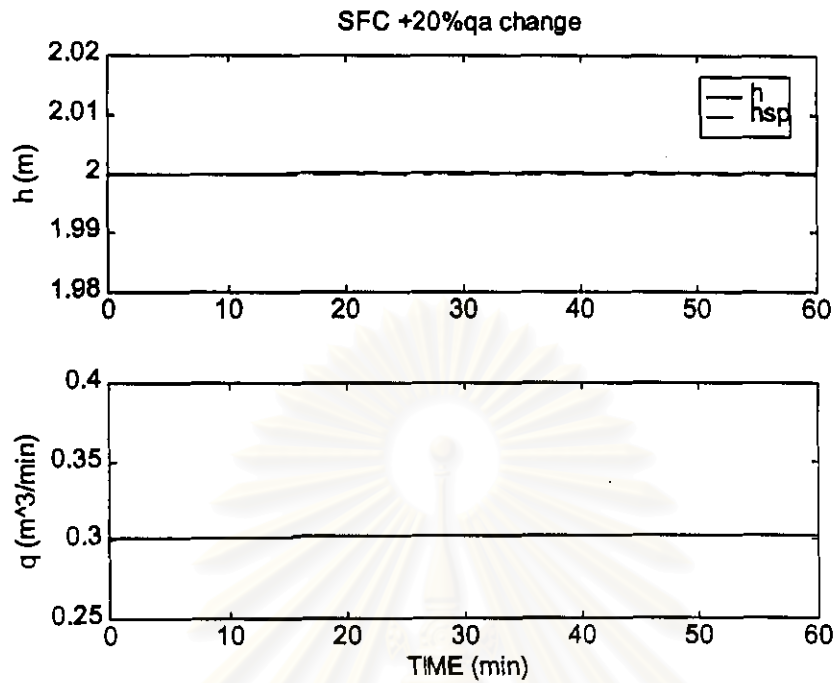
ผลการทดลอง

พิจารณา รูปที่ 5.2.1 a) เป็นการควบคุมระดับน้ำในถังและรูปที่ 5.2.1 b) เป็นการควบคุมค่าพีเอช ด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ค่าเกนยังคงค่าเดิมเหมือน ณ สภาวะคงที่ จากกราฟการตอบสนองของกระบวนการควบคุมระดับน้ำ ที่เวลา 15 นาทีจะเห็นได้ว่าจะมีโอเวอร์ชูท เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลเข้าของกรดเสียทำให้ระดับความสูงในถังเพิ่มขึ้นด้วย แต่ต่อ

มาตัวแปรปรับก็สามารถปรับระดับน้ำในถังไว้ที่เซ็ทพอยท์ไว้ได้ และมีค่า IAE เท่ากับ $102.79e-06$ ส่วนการควบคุมค่าพีเอช พิจารณารูปที่ 5.2.1 b) ตัวแปรปรับก็สามารถที่รักษาค่าพีเอชไว้ที่เซ็ทพอยท์ได้เช่นกัน แต่จะใช้เวลาปรับค่าพีเอช จนถึง เวลาที่ 35 นาที จึงมีค่าพีเอชคงที่และมีค่า IAE เท่ากับ 10.78 ส่วนกราฟการตอบสนองของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี แสดงดังรูปที่ 5.2.2 a) เป็นการควบคุมระดับน้ำในถัง ซึ่งมีผลการควบคุมใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบป้อนกลับ สแตต โดยมีค่า IAE เท่ากับ $144.16e-06$ และพิจารณา รูปที่ 5.2.2 b) เป็นการควบคุมค่าพีเอช เมื่อ อัตราการไหลของกรดเสียเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง เนื่องจากระบบพีเอชนี้ จะมีความไม่เชิงเส้นสูง ตัวควบคุมแบบพีไอดีธรรมดาจึงใช้เวลาลดผลกระทบจากตัวรบกวนนาน ทำให้เวลาเข้าสู่สมดุลงามีค่ามากกว่า 45 นาที และมีค่า IAE เท่ากับ 16.83

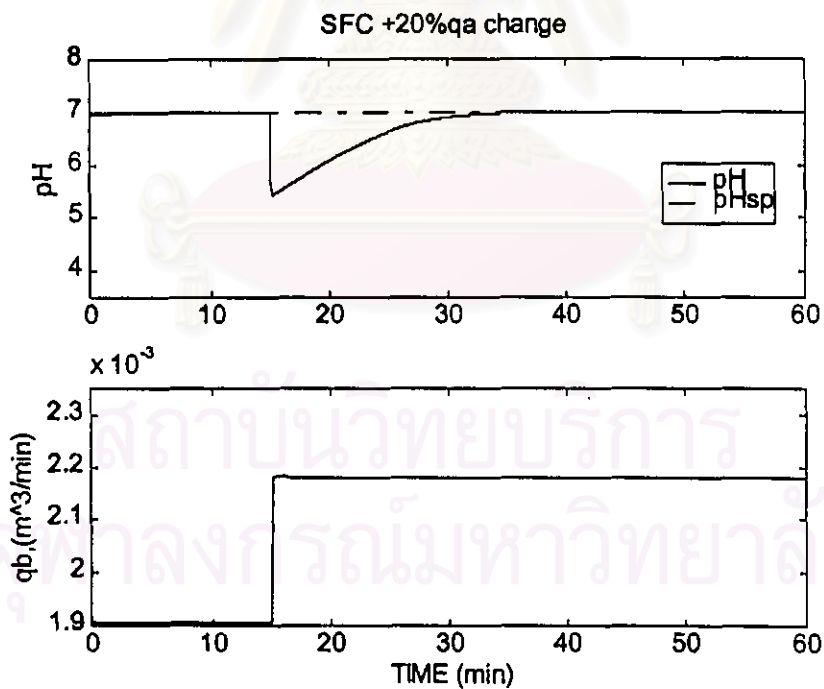


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



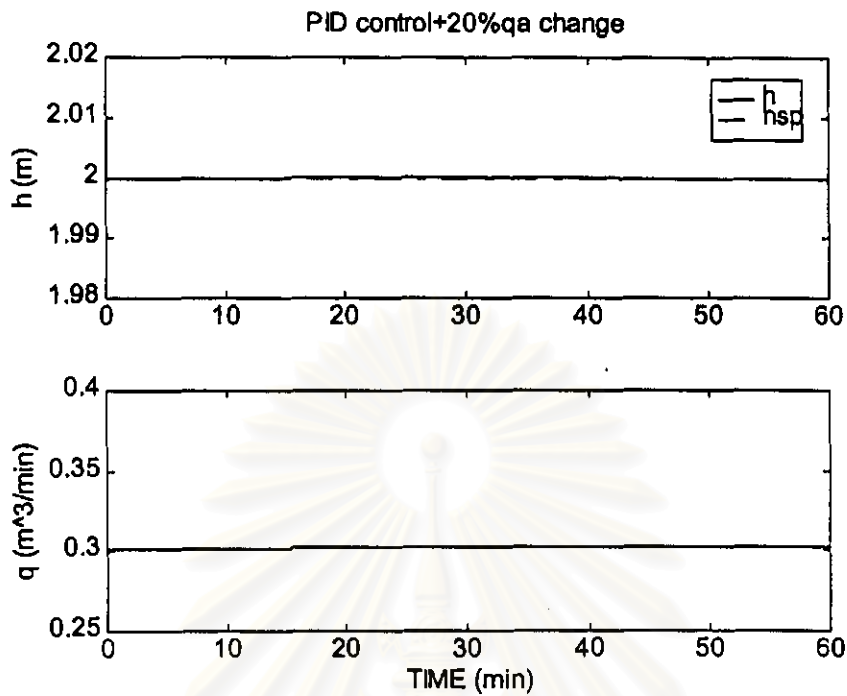
รูปที่ 5.2.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง

กรณีมีตัวรบกวน + q_a 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

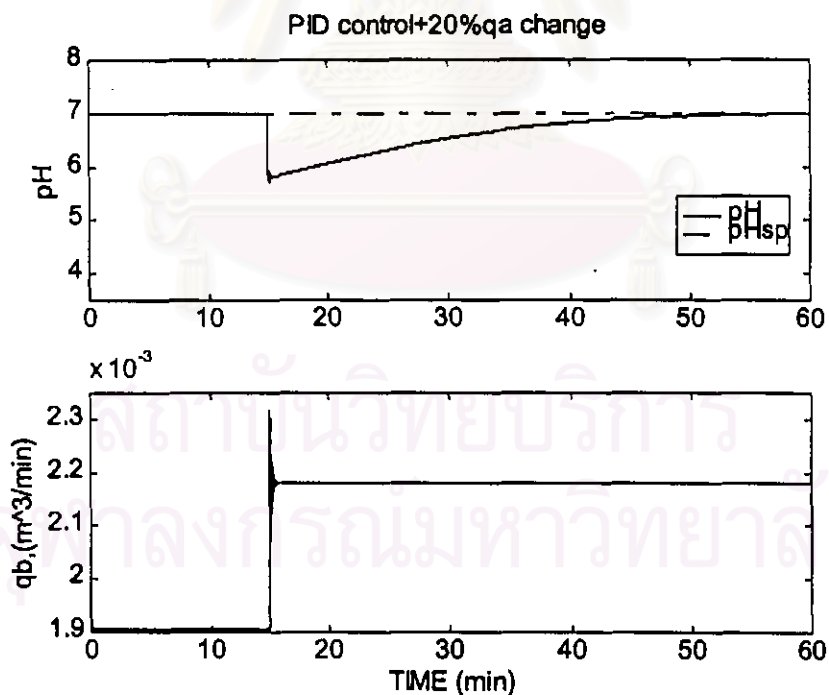


รูปที่ 5.2.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช

กรณีมีตัวรบกวน + q_a 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.2.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมระดับความสูงของน้ำในถัง กรณีมีตัวรบกวน + qa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



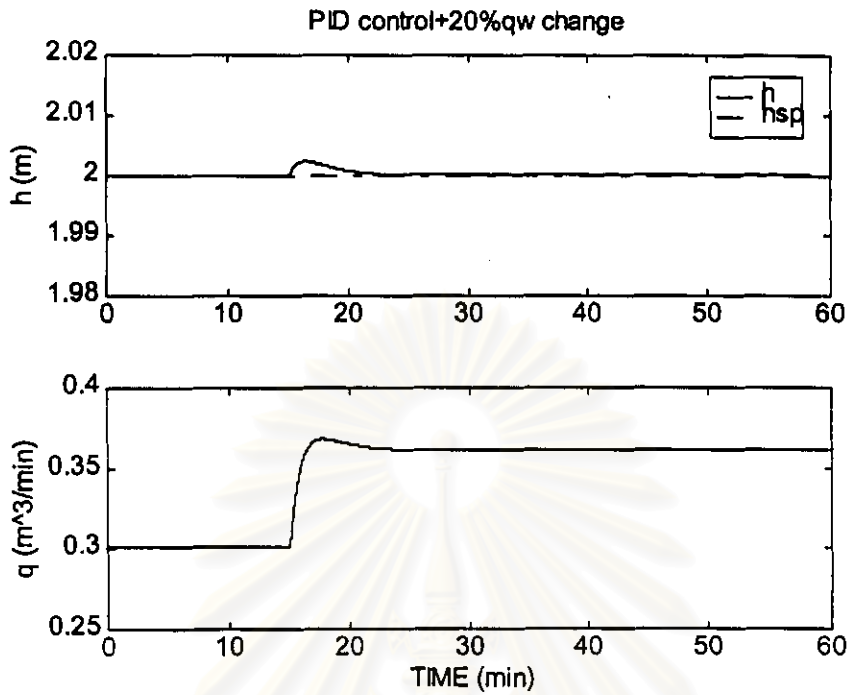
รูปที่ 5.2.2 b) เป็นกราฟการตอบสนองของกระบวนการ เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี กรณีมีตัวรบกวน + qa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

5.2.2 อัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้น

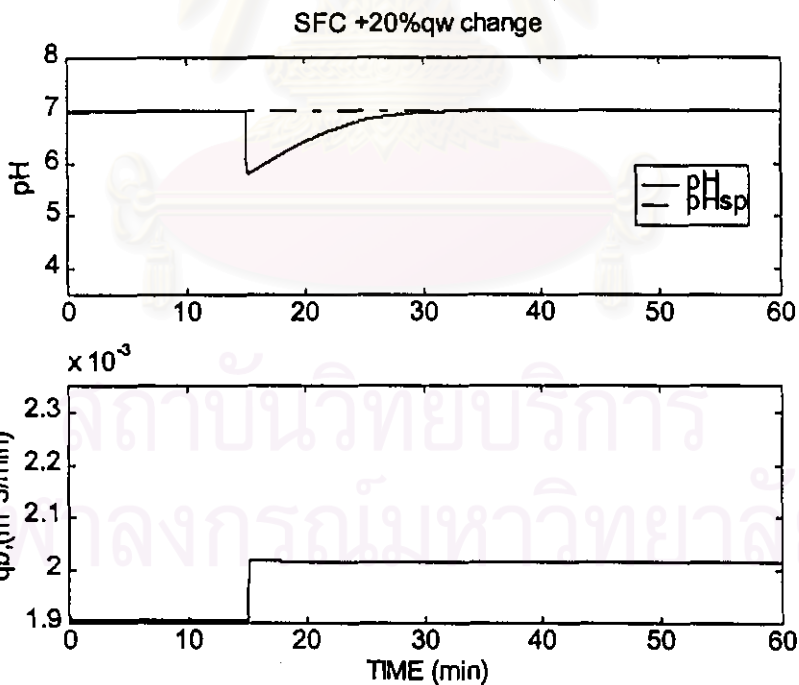
ที่ เวลา $t = 15$ นาทีให้อัตราการไหลของน้ำเสียเพิ่มขึ้น 20 % ของอัตราการไหลเดิม ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ในกระบวนการและตัวควบคุมยังมีค่าคงเดิม

ผลการทดลอง

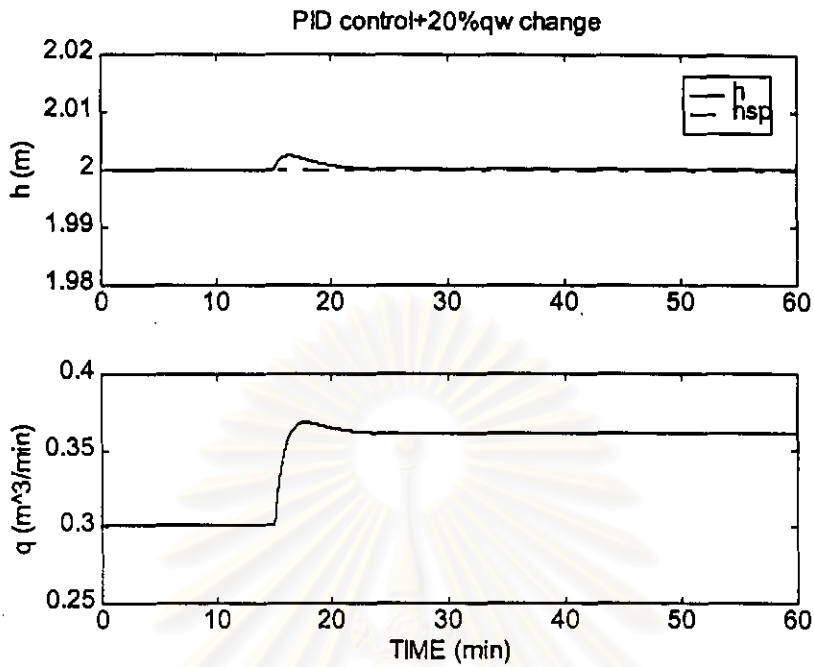
กราฟการตอบสนองของการควบคุมระดับน้ำทั้งตัวควบคุมแบบพีไอดี และตัวควบคุมแบบป้อนกลับสแตต มีโอเวอร์ชูตเล็กน้อยเมื่อเวลาที่ 15 นาที เนื่องจากมีตัวรบกวนคืออัตราการไหลของกรดเสียที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง กราฟการตอบสนองของการควบคุมค่าพีเอช ก็ได้รับผลกระทบจากตัวรบกวนนี้เช่นเดียวกัน เนื่องจากความสูงของระดับน้ำในถังมีผลต่อความเข้มข้น แต่ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสแตตสามารถควบคุมพีเอชได้หลังจากเวลาผ่านไป 40 นาที ซึ่งจะได้กราฟการตอบสนองของกระบวนการแสดงดังรูป ที่ 5.3.1 a,b) โดยค่า IAE ของการควบคุมความสูงของระดับน้ำในถังมีค่าเท่ากับ 6.99 ส่วนค่า IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ $9,121e-06$ เช่นเดียวกันกราฟการตอบสนองของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี แสดงดังรูปที่ 5.3.2 a,b) แต่จะใช้เวลาในการควบคุมค่าพีเอชไว้ที่เซ็ทพอยท์เมื่อเวลาผ่านไป 50 นาที และมีค่า IAE ของการควบคุมความสูงของระดับน้ำในถังมีค่าเท่ากับ 9,125e-06 ส่วนค่า IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 10.05



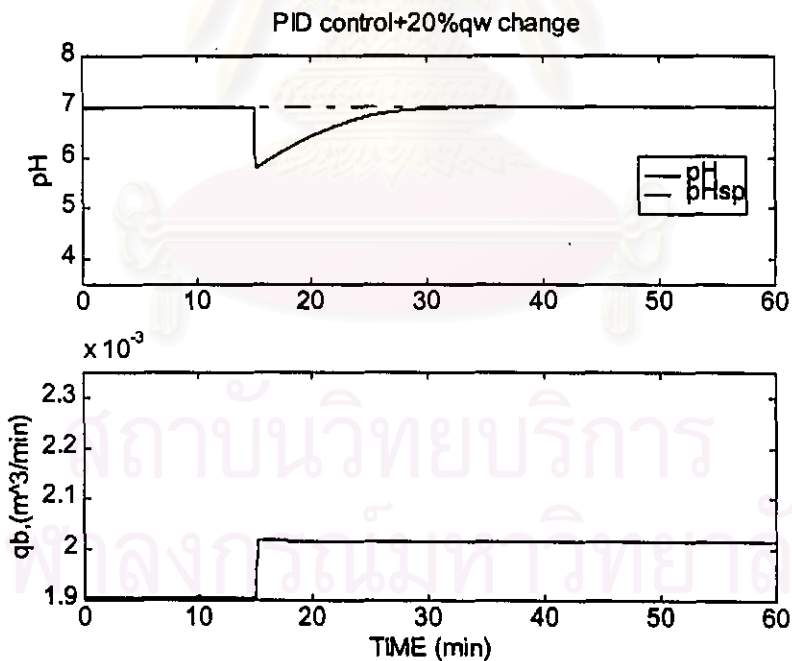
รูปที่ 5.3.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณีมีตัวรบกวน + qw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช
กรณีมีตัวรบกวน +qw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง กรณีมีตัวรบกวน + q_w 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



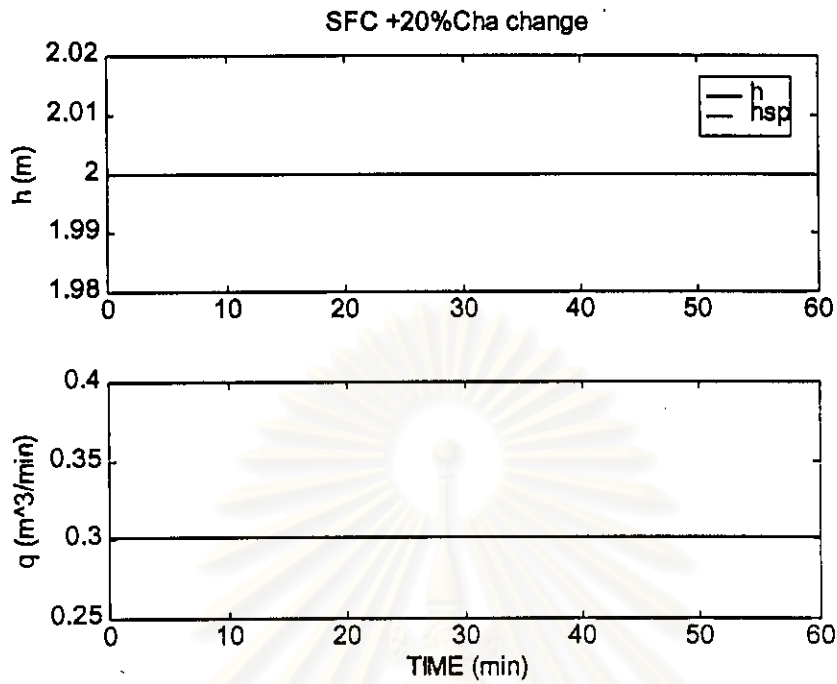
รูปที่ 5.3.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมค่าพีเอช กรณีมีตัวรบกวน + q_w 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

5.2.3 ความเข้มข้นของกรดเสียเพิ่มขึ้น

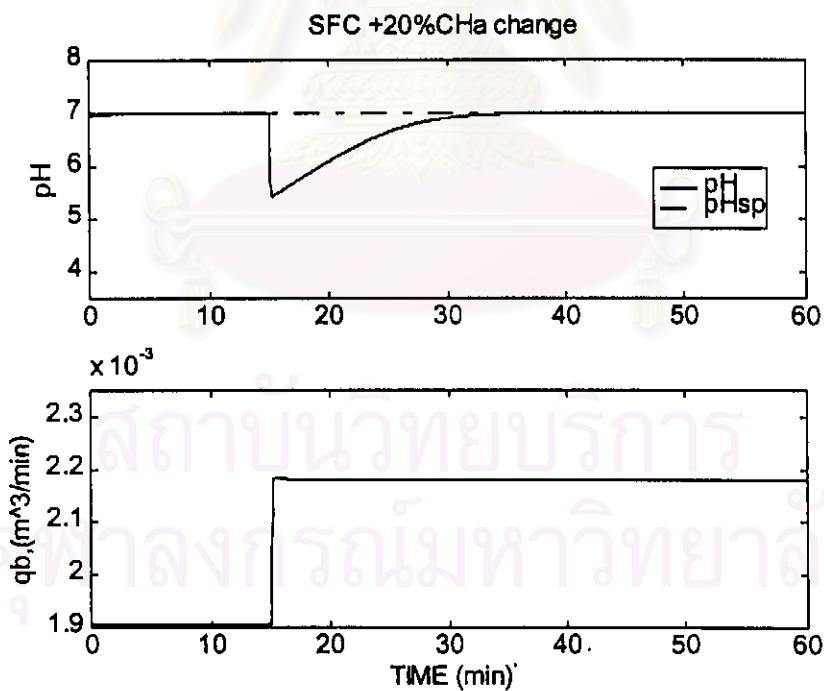
ให้ความเข้มข้นของกรดเสียเพิ่มขึ้นจากค่าเดิม 20 % ที่เวลา 15 นาที

ผลการทดลอง

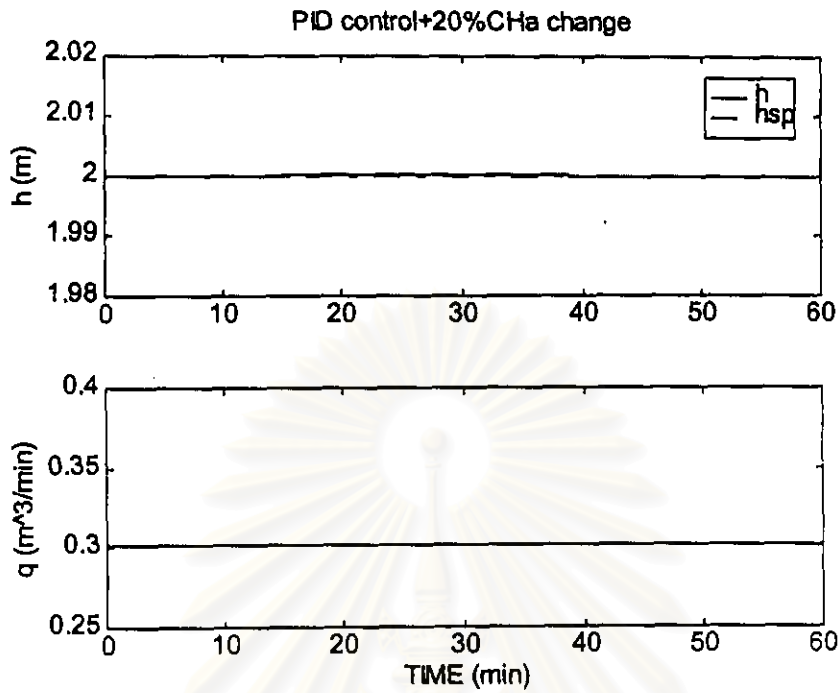
กราฟการตอบสนองของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูป 5.4.1 a,b) ซึ่งเป็นการควบคุมแบบป้อนกลับสเตต รูปที่ 5.4.2 a,b) เป็นการควบคุมแบบพีไอดี จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับการควบคุมค่าพีเอช ทำให้มีอัตราการไหลเข้าของต่างเพิ่มมากขึ้น เพื่อทำการควบคุมให้ค่าพีเอชมีค่าอยู่ที่เซ็ทพอยท์ แต่เนื่องจากอัตราการไหลของต่างที่เพิ่มขึ้นนี้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย หรืออัตราการไหลขาออก จึงไม่ส่งผลกระทบต่อความสูงของระดับน้ำมากนัก ทำให้กราฟการตอบสนองของกระบวนการควบคุมความสูงของระดับน้ำ ของทุกตัวควบคุมไม่เปลี่ยนแปลง แต่กราฟการตอบสนองของกระบวนการควบคุมค่าพีเอชของการควบคุมแบบป้อนกลับสเตตจะมีเวลาเข้าสู่สมดุลเร็วกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี และมีโอเวอร์ชูทน้อยกว่า ค่า IAE ของตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตเมื่อมีความเข้มข้นของกรดเสียเพิ่มขึ้น สำหรับการควบคุมระดับความสูงเท่ากับ $5.69e-06$ สำหรับการควบคุมค่าพีเอชมี IAE เท่ากับ 10.78 ส่วนค่า IAE ของตัวควบคุมแบบพีไอดี สำหรับการควบคุมระดับความสูงเท่ากับ $47.27e-06$ และการควบคุมค่าพีเอช จะมีค่า IAE เท่ากับ 16.83



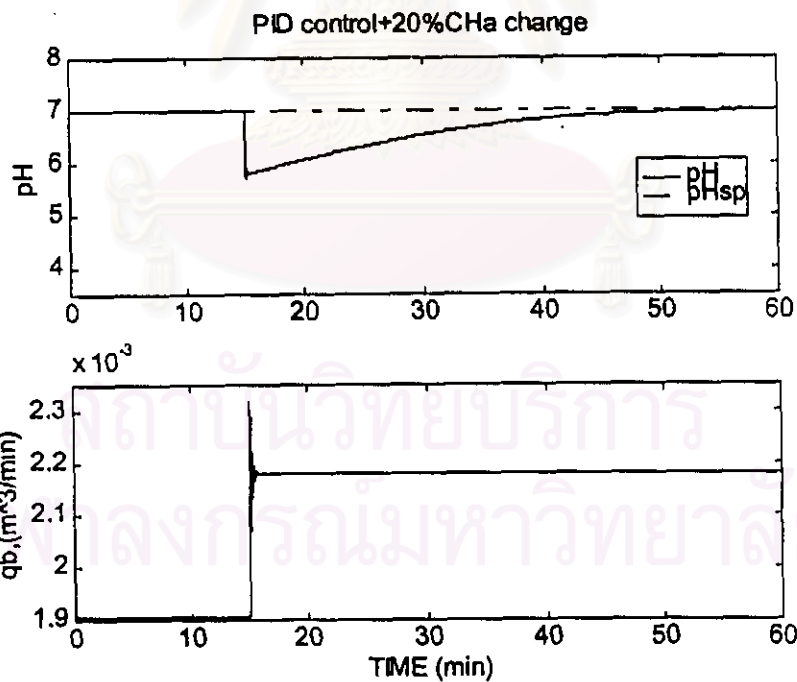
รูปที่ 5.4.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณีมีตัวรบกวน + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.4.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช
กรณีมีตัวรบกวน + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.4.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถังกรณีมีตัวรบกวน +CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.4.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมค่าพีเอชกรณีมีตัวรบกวน + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

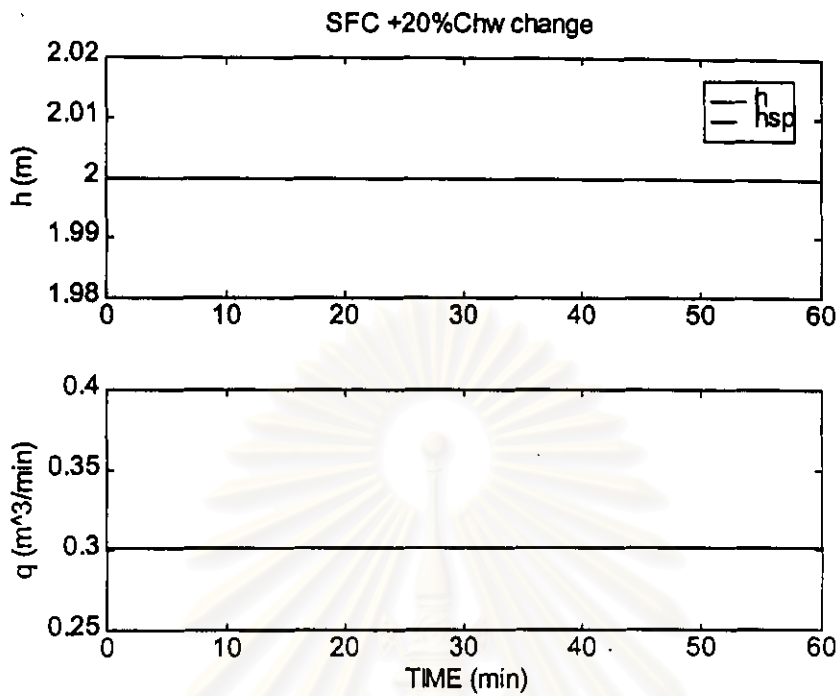
5.2.4 ความเข้มข้นของน้ำเสียเพิ่มขึ้น

เช่นเดียวกันกับกรณีการควบคุมค่าพีเอชและระดับน้ำในถังเมื่อมีตัวรบกวนอื่น ๆ ให้ความเข้มข้นของกรดเสียเพิ่มขึ้นจากค่าเดิม 20% เริ่มที่เวลา 15 นาที

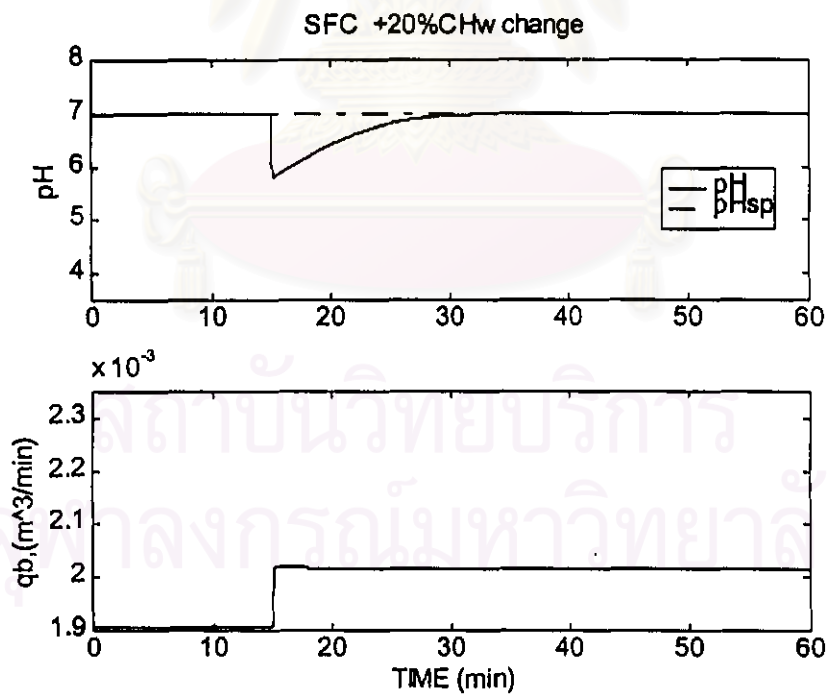
ผลการทดลอง

กราฟการตอบสนองของกระบวนการของตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตแสดงดัง รูปที่ 5.5.1 a,b) ค่า IAE ของการควบคุมความสูงของระดับน้ำเท่ากับ $5.69e-06$ และค่า IAE ของการควบคุมพีเอชเท่ากับ 6.99 กราฟการตอบสนองของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี แสดงดังรูปที่ 5.5.2 a,b) ค่า IAE ของการควบคุมความสูงของระดับน้ำเท่ากับ $22.41e-06$ และค่า IAE ของการควบคุมพีเอชเท่ากับ 10.05 ลักษณะกราฟการตอบสนองของกระบวนการ จะให้ผลการควบคุมที่มีลักษณะเดียวกับกรณีเมื่อมีตัวรบกวนเป็นความเข้มข้นของกรดเสียที่เพิ่มขึ้น นั่นคือความเข้มข้นไม่ส่งผลต่อการควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง แต่จะมีผลต่อการควบคุมค่าพีเอชมากกว่า ทำให้กราฟการตอบสนองของกระบวนการควบคุมค่าพีเอชสำหรับตัวควบคุมแบบพีไอดี จะมีเวลาเข้าสู่สมดุลมากกว่าเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต เนื่องจากระบบควบคุมพีเอชมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูงนั่นเอง

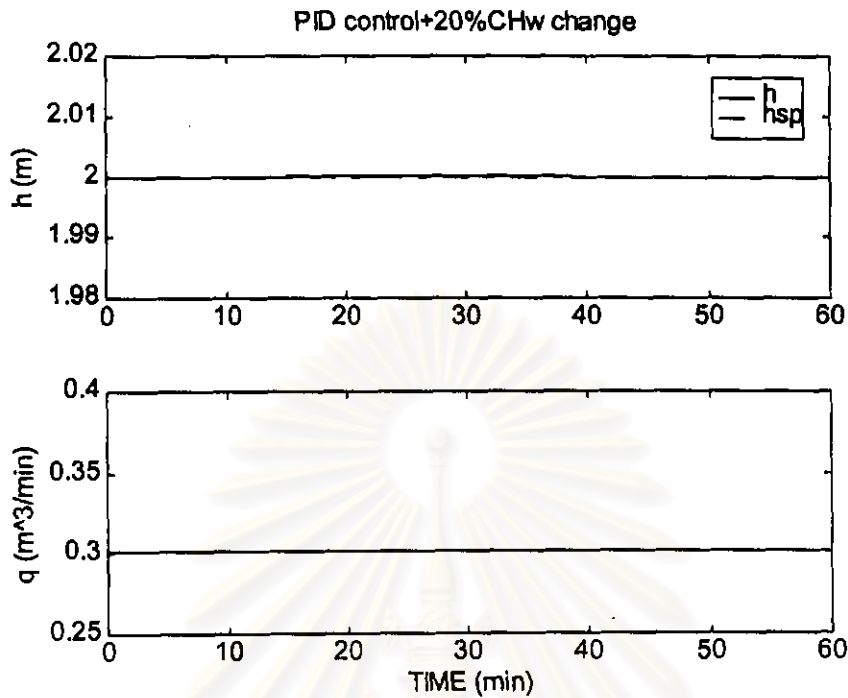
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



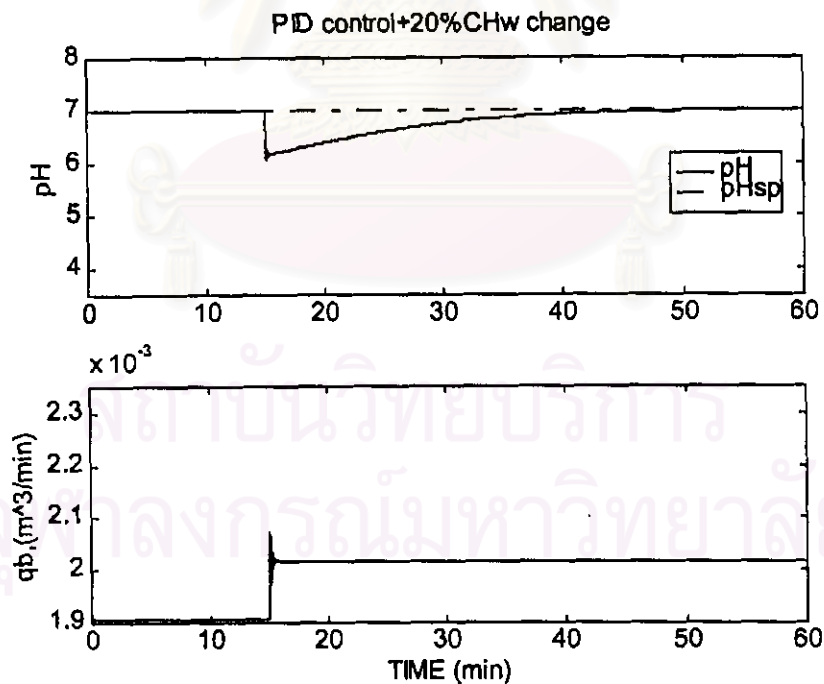
รูปที่ 5.5.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณีมีตัวรบกวน + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.5.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช
กรณีมีตัวรบกวน + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.5.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณีมีตัวรบกวน + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.5.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมค่าพีเอช
กรณีมีตัวรบกวน + CHw 20%(บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

ตารางที่ 5.2 ค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) ของการควบคุมระดับน้ำในถัง และค่าพีเอชของน้ำเสียในถัง เมื่อตัวรบกวนต่าง ๆ เพิ่มขึ้น 20% ของของเดิม

ชนิดตัวรบกวน	ตัวควบคุม	IAE	
		Level x(10 ⁻⁶)	pH
qa	บ่อนกลับสเตต	102.79	10.78
	พีไอดี	144.16	16.83
qw	บ่อนกลับสเตต	9,125.70	6.99
	พีไอดี	9,121.90	10.05
CHa	บ่อนกลับสเตต	5.69	10.78
	พีไอดี	47.27	16.83
CHw	บ่อนกลับสเตต	5.69	6.99
	พีไอดี	22.41	10.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 เมื่อมีแบบจำลองของกระบวนการผิดพลาด

ในการควบคุมโดยใช้ตัวควบคุมที่อาศัยแบบจำลองนั้น ต้องมีการทดสอบสมรรถนะของตัวควบคุมที่ได้ออกแบบมา คุณสมบัติของตัวควบคุมที่ดีนั้นควรมีความทนทานในระดับหนึ่ง ๆ ความทนทาน (robustness) คือความสามารถของตัวควบคุม ที่ทำการควบคุมกระบวนการให้มีการตอบสนองอยู่ในช่วงที่ต้องการได้ แม้แบบจำลองและพารามิเตอร์ของกระบวนการมีความผิดพลาดไป จึงแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี คือ

1. มีความผิดพลาดของแบบจำลอง ในกระบวนการ (แบบจำลองในตัวควบคุมคงเดิม)
2. มีความผิดพลาดของแบบจำลอง ในตัวควบคุม (แบบจำลองในกระบวนการคงเดิม)

5.3.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลอง ในกระบวนการ

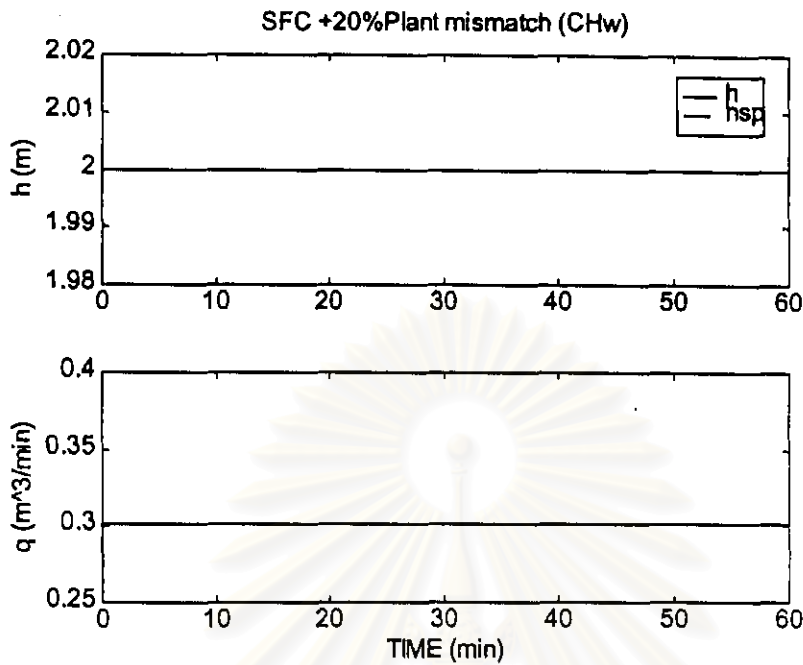
เมื่อแบบจำลองของกระบวนการผิดพลาดหรือมีตัวรบกวนที่ไม่ทราบค่า (unmeasurement disturbances) เข้ามารบกวนระบบ แต่แบบจำลองในตัวควบคุมคงเดิม และค่าเกนของตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ มีค่าคงเดิม แบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 กรณีคือ เมื่อมีความเข้มข้นของน้ำเสียผิดพลาดไป +20 % และ ความเข้มข้นของกรดเสีย ผิดพลาด +20 %

สำหรับกรณีความเข้มข้นของน้ำเสียผิดพลาดไป +20% เมื่อเวลาที่ $t = 15$ นาทีให้ตัวแปร C_{H^+w} ในแบบจำลองของกระบวนการเท่ากับ 0.0048 g.L^{-1} แต่ในตัวควบคุมเท่ากับ 0.004 g.L^{-1} กราฟการตอบสนองของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตสามารถควบคุมค่าพีเอชและความสูงของระดับน้ำในถังอยู่ที่เซ็ทพอยท์ได้โดยไม่มีออฟเซ็ทหลังจากเวลาผ่านไป 50 นาทีในการควบคุมระดับน้ำจะไม่ส่งผลกระทบต่อมากนัก แต่การควบคุมค่าพีเอชจะใช้เวลาประมาณ 15 นาทีในการกำจัดออฟเซ็ทที่เกิดขึ้นเนื่องจากแบบจำลองที่ใช้ในตัวควบคุมมีความแตกต่างไปจากเดิม ลักษณะของการควบคุมที่ได้จะคล้ายกับกรณีเมื่อมีตัวรบกวนที่ทราบค่าที่เข้ามารบกวนระบบ คือสามารถกำจัดผลการรบกวนที่เกิดขึ้นได้ แสดงดังรูปที่ 5.3.1.1.1 a,b) ค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $5.69e-06$ และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6.99 ส่วนตัวควบคุมแบบพีไอดีได้ผลการควบคุมเช่นเดียวกันกับเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตแต่ในการควบคุมค่าพีเอชจะใช้เวลาในการกำจัดออฟเซ็ทมากกว่า 20 นาที และตัวแปรปรับมีการแกว่งสูง แสดงดังรูปที่ 5.3.1.1.2 a,b) และมีค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ

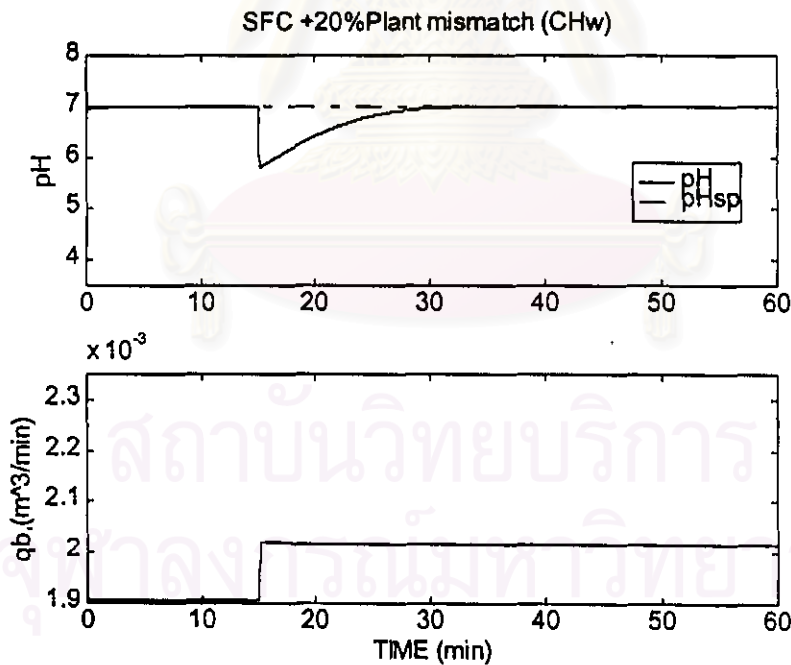
22.40 และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 110.04 ส่วนตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับ คาลมานฟิลเตอร์ ได้ผลเช่นเดียวกันกับเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ซึ่งแสดงดังรูป 5.3.1.1.3 a,b) มีค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $5.70e-06$ และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 6.87 ตามลำดับ และรูปที่ 5.3.1.1.3 c,d) เป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง และค่าประมาณของตัวแปรสเตต h และ pH ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เส้นกราฟจะทับกัน นั่นคือ ค่าประมาณและค่าจริงมีใกล้เคียงกันมาก

ส่วนกรณีความเข้มข้นของกรดเสียในแบบจำลองผิดพลาดก็ทำการทดลองเช่นเดียวกับกรณีของอัตราการใช้ของกรดเสีย โดยให้ตัวแปร C_{H^+} ในแบบจำลองของกระบวนการเท่ากับ 1.116 g.L^{-1} แต่ในตัวควบคุมเท่ากับ 0.93 g.L^{-1} กราฟการตอบสนองของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต แสดงดังรูปที่ 5.3.1.2.1 a,b) ค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $5.69e-06$ และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 10.78 ส่วน ตัวควบคุมแบบพีไอดี ได้ผลการควบคุมแสดงดังรูปที่ 5.3.1.2.2 a,b) และมีค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $47.38e-06$ และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 16.83 และตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ได้ผลแสดงดังรูป 5.3.1.2.3 a,b) มีค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $5.70e-06$ และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 10.75 ตามลำดับ

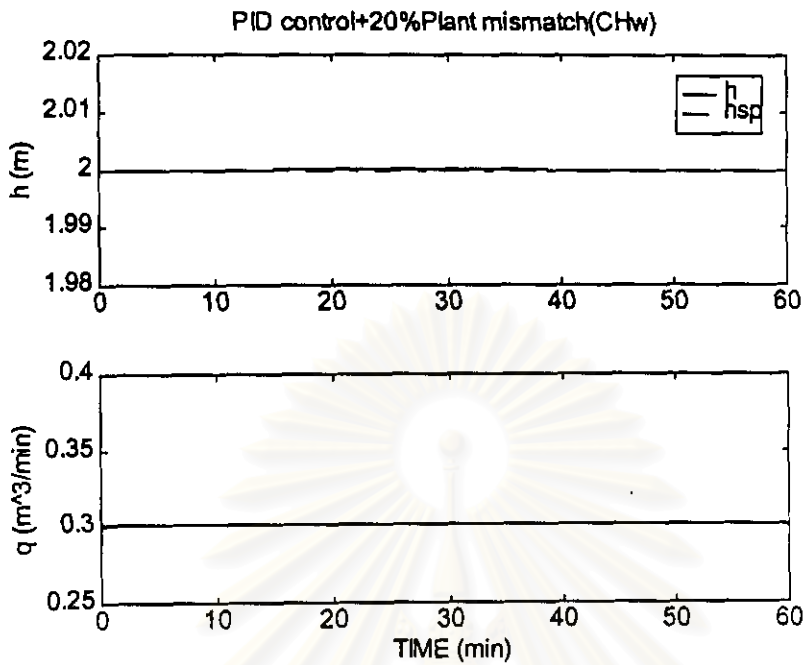
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



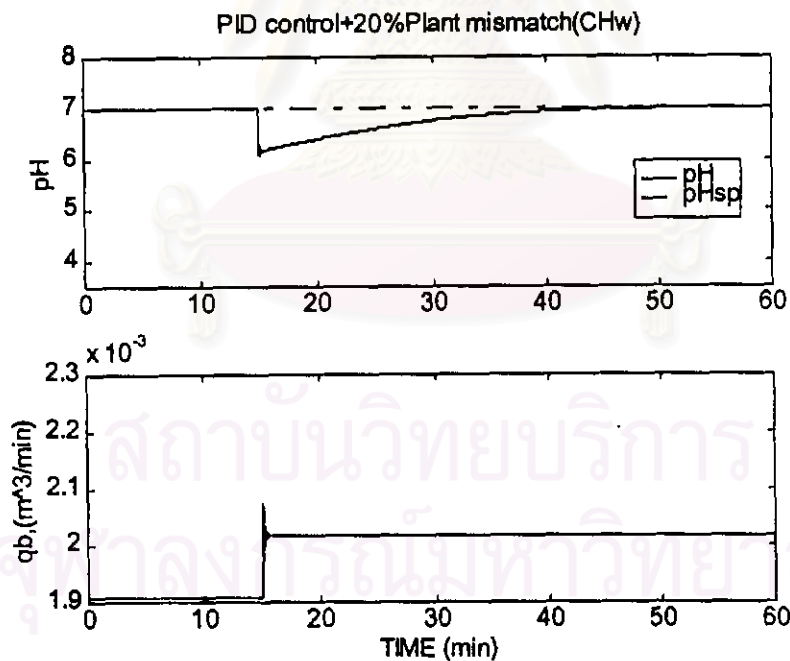
รูปที่ 5.3.1.1.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุม ความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณี Plant mismatch +CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



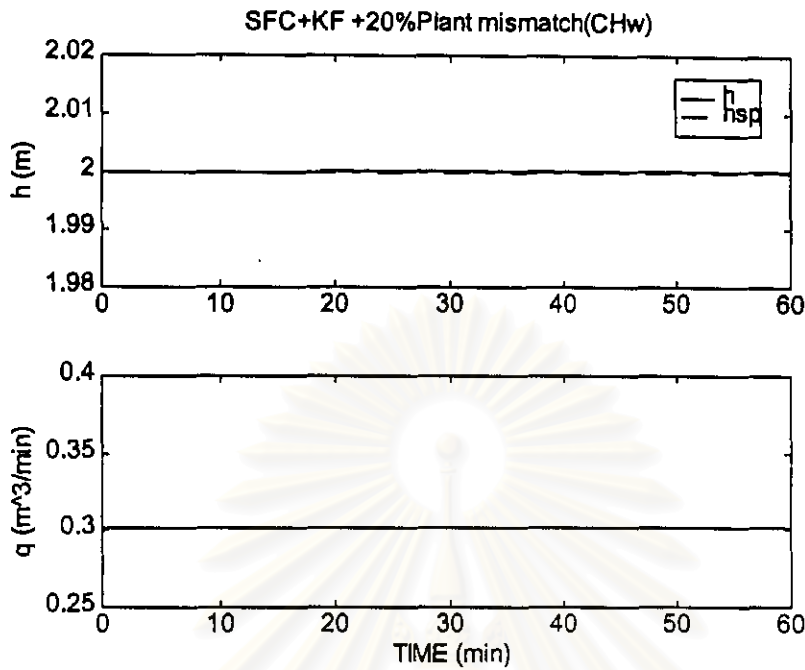
รูปที่ 5.3.1.1.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช
กรณี Plant mismatch + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



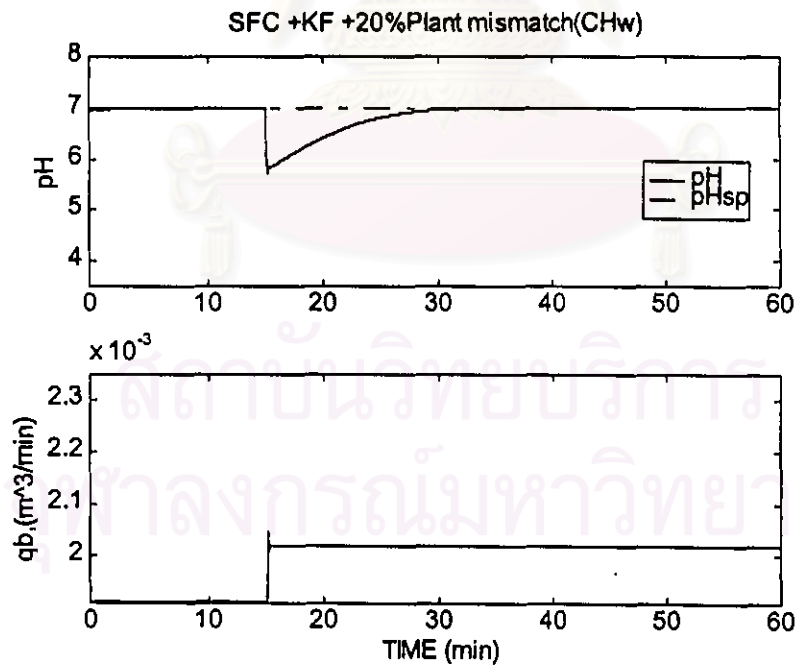
รูปที่ 5.3.1.1.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุม ความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณี Plant mismatch +CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



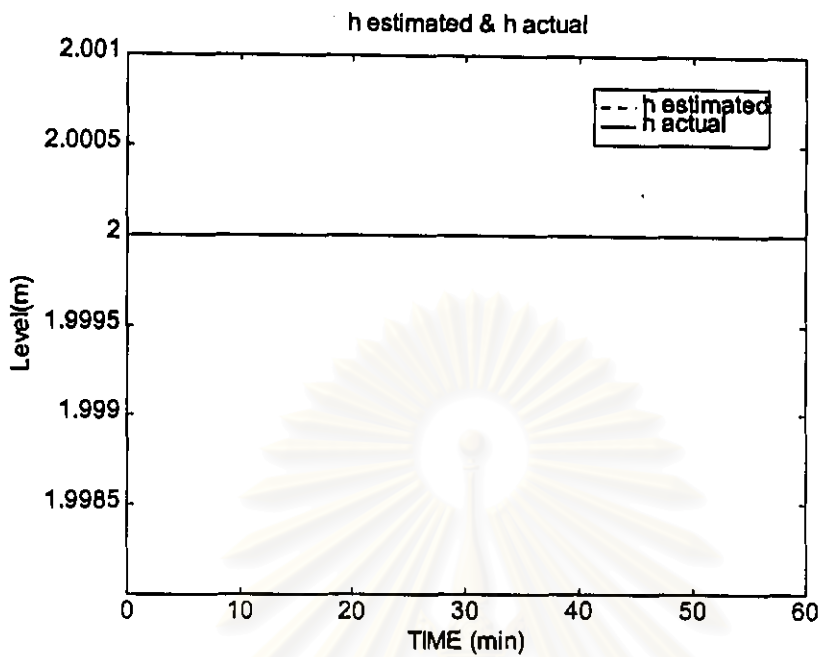
รูปที่ 5.3.1.1.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมค่าพีเอช
กรณี Plant mismatch +CHW 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.1.1.3 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง กรณี Plant mismatch + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

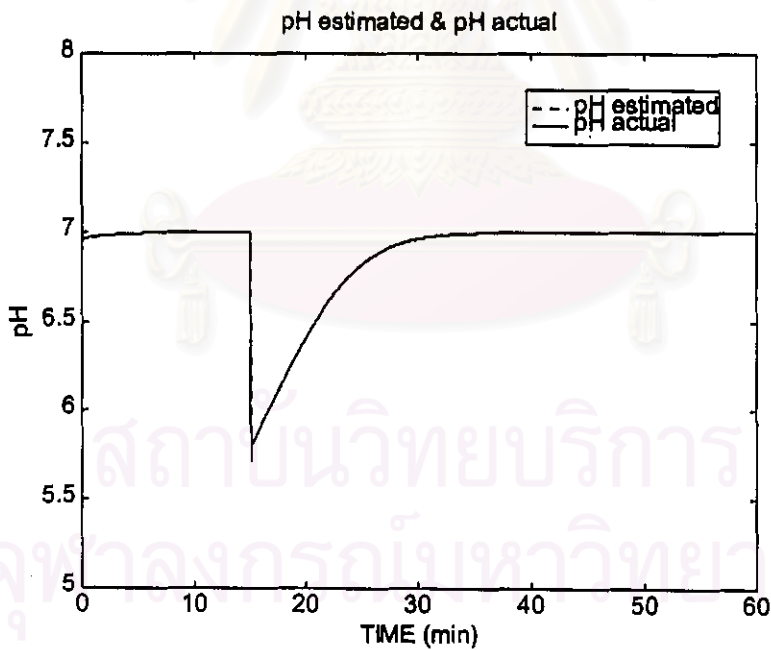


รูปที่ 5.3.1.1.3 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ควบคุมค่าพีเอช กรณี Plant mismatch + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



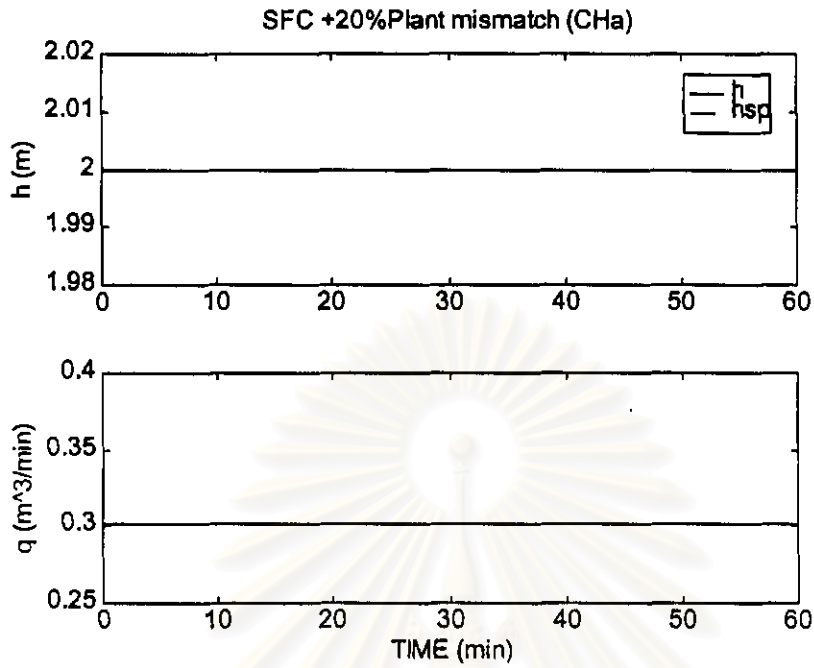
รูปที่ 5.1.1.3 c) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสถานะ h

เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์ กรณี Plant mismatch +CHW20%

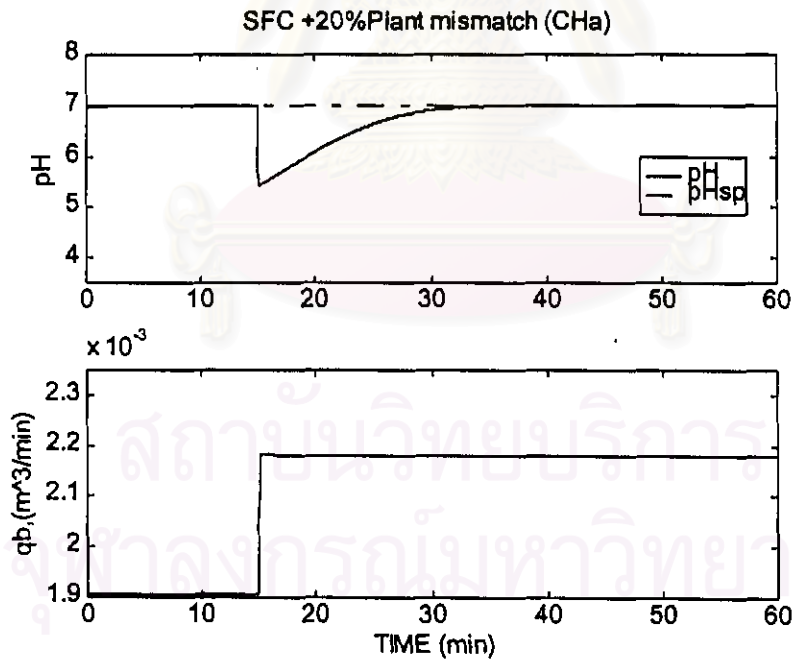


รูปที่ 5.1.1.3 d) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปร pH

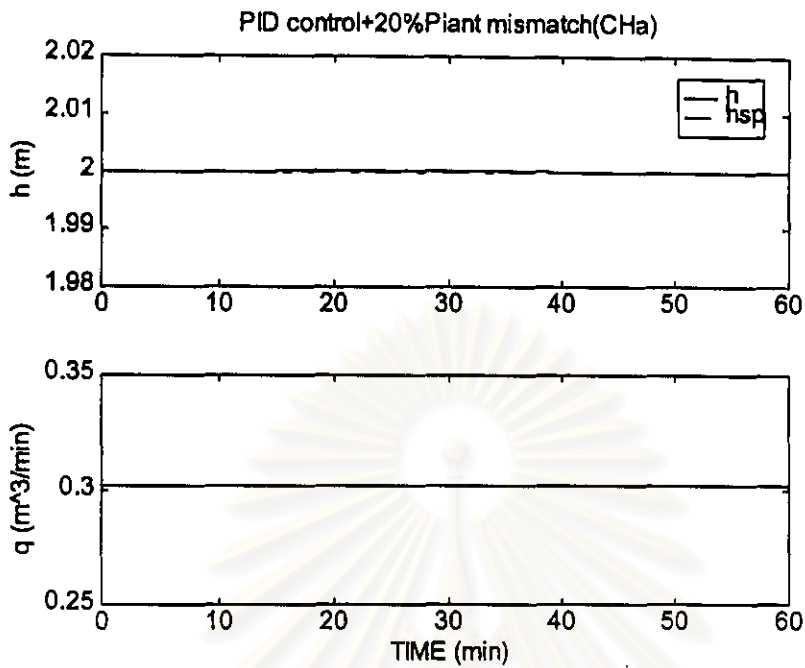
เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์ กรณี Plant mismatch +CHW20%



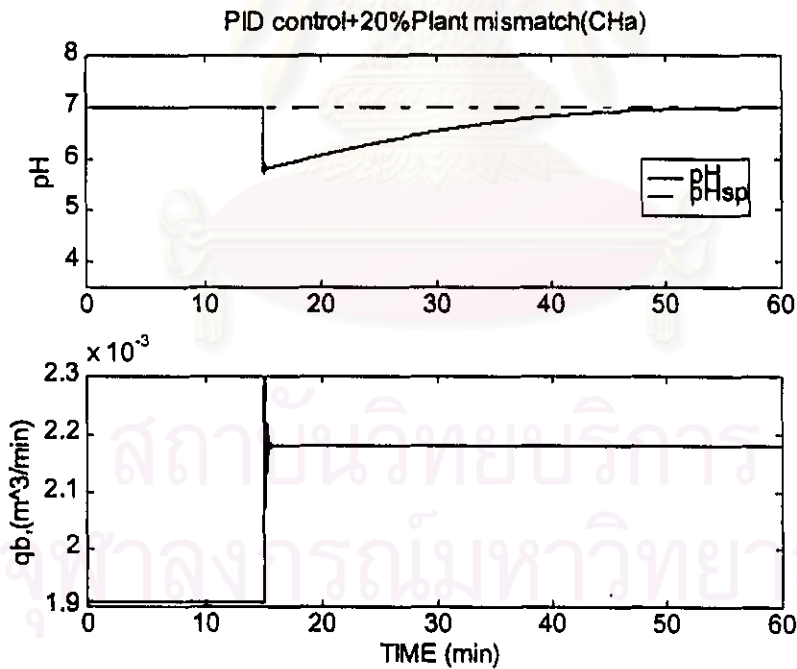
รูปที่ 5.3.1.1.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณี Plant mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



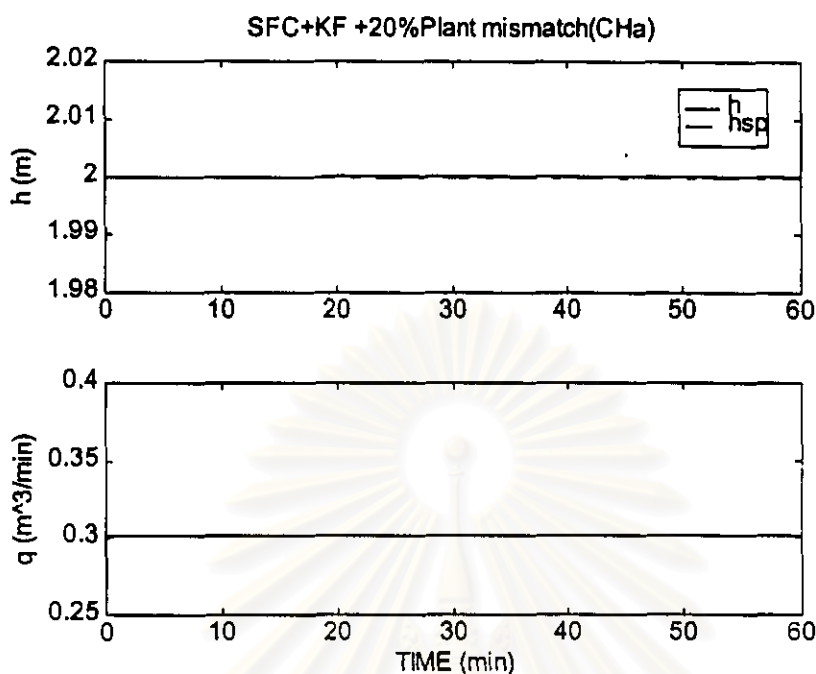
รูปที่ 5.3.1.1.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช
กรณี Plant mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



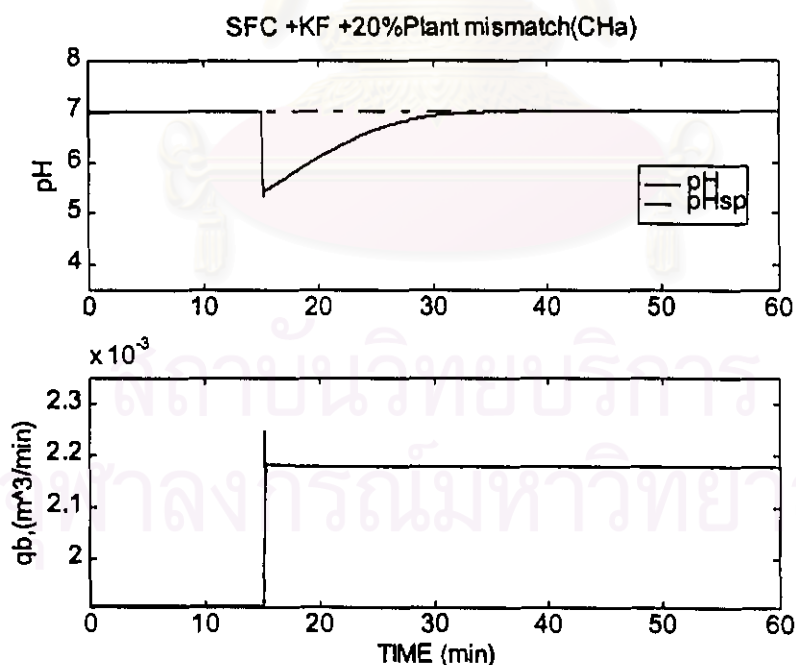
รูปที่ 5.3.1.1.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณี Plant mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



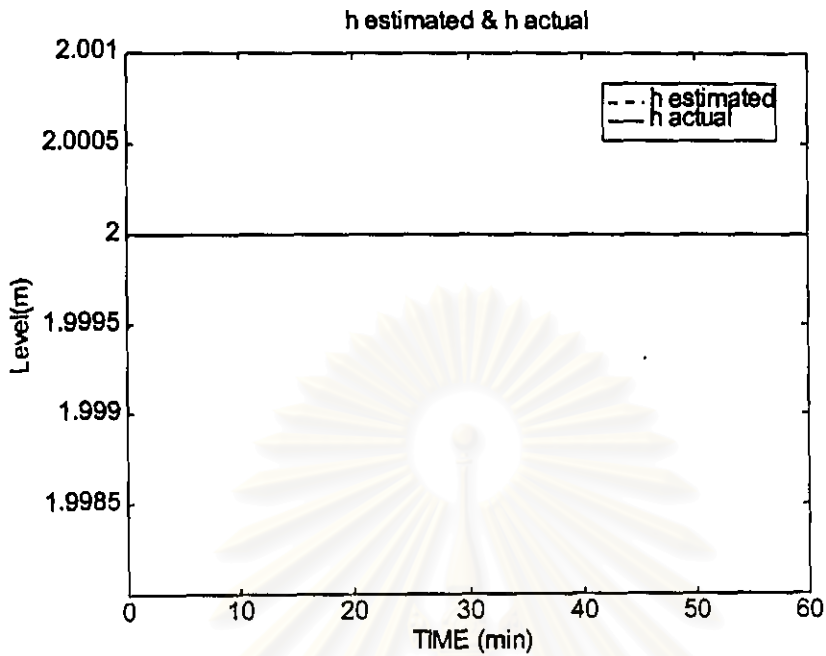
รูปที่ 5.3.1.1.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมความสูงค่าพีเอช
กรณี Plant mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



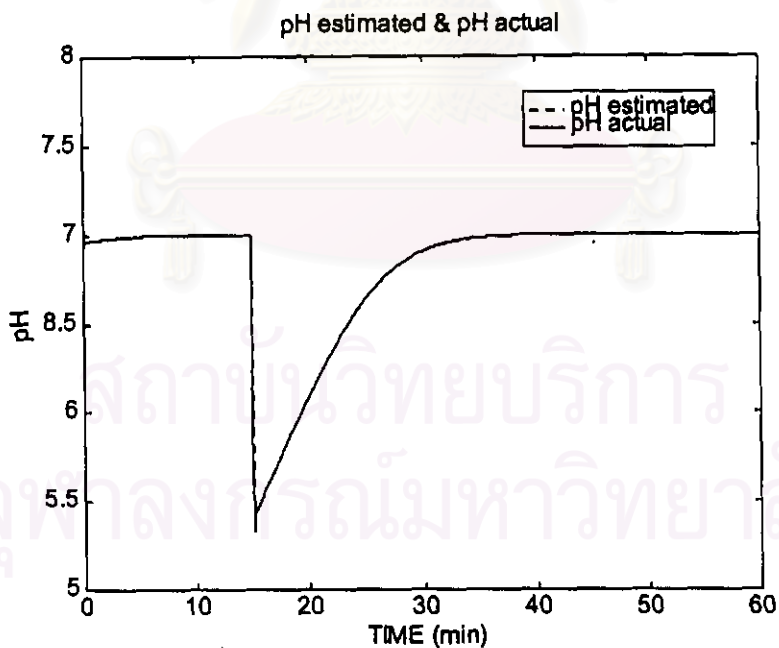
รูปที่ 5.3.1.1.3 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ควบคุม ความสูงของระดับน้ำในถัง กรณี Plant mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.1.1.3 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ควบคุม ค่าพีเอช กรณี Plant mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.1.1.3 c) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสแตต h เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ
สแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ กรณี Plant mismatch+CHa 20%

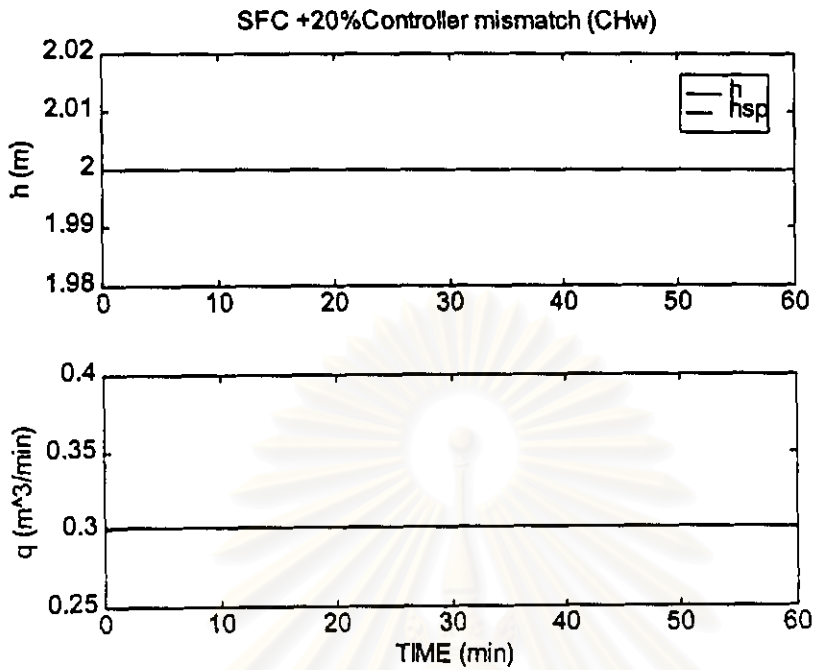


รูปที่ 5.3.1.1.3 d) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสแตต pH เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ
สแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ กรณี Plant mismatch + CHa 20%

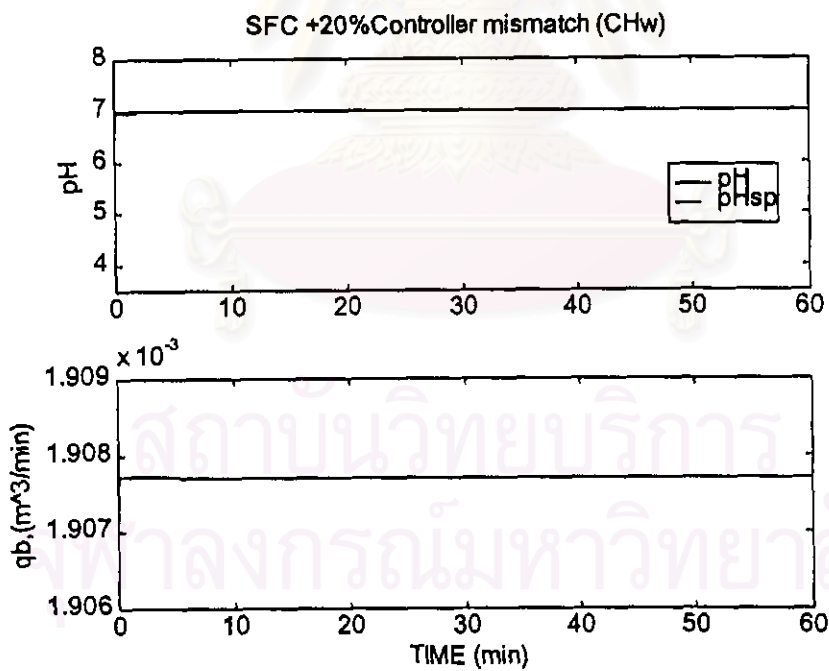
5.3.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองและพารามิเตอร์ในตัวควบคุม

กำหนดให้ตัวแปรในแบบจำลองของตัวควบคุมมีค่าผิดพลาดไป เมื่อเวลา $t = 15$ นาที แต่ค่าของตัวแปรในแบบจำลองของกระบวนการคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงไม่มีการทดสอบกับตัวควบคุมแบบพีไอดี เนื่องจากตัวควบคุมแบบพีไอดีไม่มีแบบจำลองของตัวควบคุม จึงพิจารณาเฉพาะการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต และการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์เท่านั้น จึงแบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 กรณีคือ ความเข้มข้นของน้ำเสียเปลี่ยนแปลงไป $+20\%$ และ ความเข้มข้นของกรดเสียเปลี่ยนแปลงไป $+20\%$

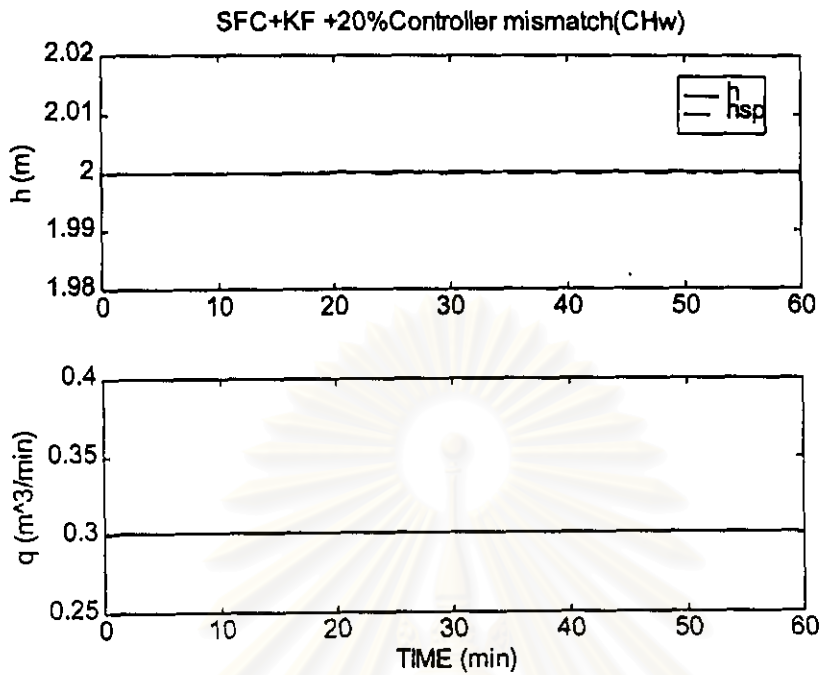
ให้ตัวจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมชนิดต่าง ๆ มีค่าคงเดิม จนกระทั่งถึงเวลา $t = 15$ นาที จึงให้ตัวแปร C_{H^+w} ในแบบจำลองของกระบวนการเท่ากับ 0.004 g.L^{-1} แต่ในตัวควบคุมเท่ากับ 0.0048 g.L^{-1} กราฟการตอบสนองของกระบวนการเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต แทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปมากกว่ากรณีที่สภาวะคงที่แต่อย่างใด ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตสามารถควบคุม h และ pH อยู่ที่ยี่สิบพอที่ได้ แสดงดังรูปที่ 5.3.2.1.1 a,b) ค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $5.69e-06$ และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 0.1248 ส่วนตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ได้กราฟการตอบสนองของกระบวนการได้ผลเช่นเดียวกันกับตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต แสดงดังรูปที่ 5.3.2.1.2 a,b) และมีค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $5.70e-06$ และ IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 0.1249 ส่วนรูปที่ 5.3.2.1.2 c,d) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสเตต h และ pH ส่วนกรณีเมื่อความเข้มข้นของกรดเสียในตัวควบคุมเปลี่ยนแปลงไป $+20\%$ แต่ความเข้มข้นของกรดเสียในกระบวนการคงเดิม ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับกรณี C_{H^+w} โดยให้ตัวแปร C_{H^+a} ในแบบจำลองของกระบวนการเท่ากับ 0.93 g.L^{-1} แต่ในตัวควบคุมเท่ากับ 1.116 g.L^{-1} ได้กราฟการตอบสนองของกระบวนการแสดงดังรูปที่ 5.3.2.2.1 a,b) ค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังและค่าพีเอชเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต มีค่าเท่ากับ $5.69e-06$ และ 0.1248 ตามลำดับ ส่วนตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ได้กราฟการตอบสนองของกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 5.3.2.2.2 a,b) ค่า IAE ของการควบคุมระดับน้ำในถังเท่ากับ $5.70e-06$ และค่า IAE ของการควบคุมค่าพีเอชเท่ากับ 0.1249 ส่วนรูปที่ 5.3.2.2.2 c,d) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสเตต h และ pH เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก เส้นกราฟที่ได้จึงทับกันเป็นเส้นเดียว



รูปที่ 5.3.2.1.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณี Controller mismatch +CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



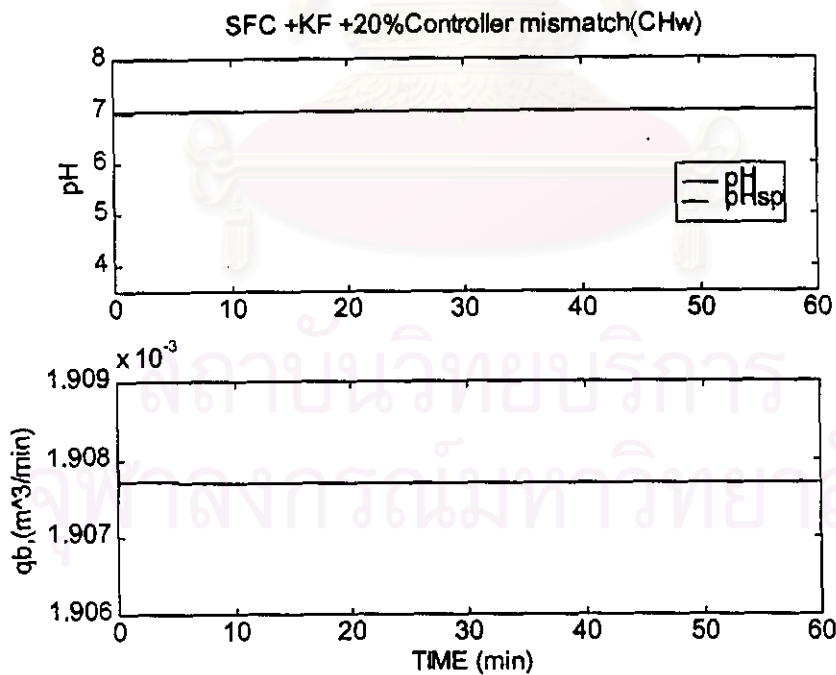
รูปที่ 5.3.2.1.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช
กรณี Controller mismatch + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.2.1.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์

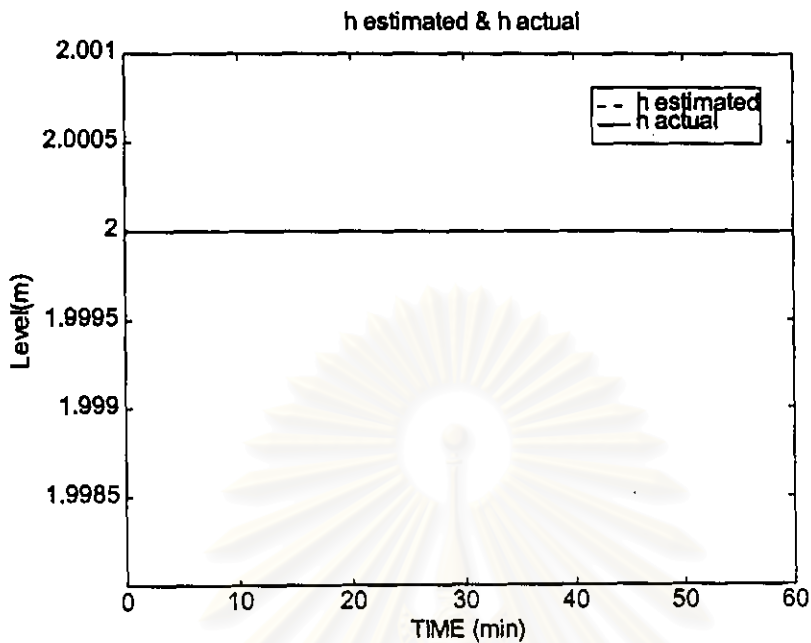
ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง กรณี Controller mismatch + CHw 20%

(บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

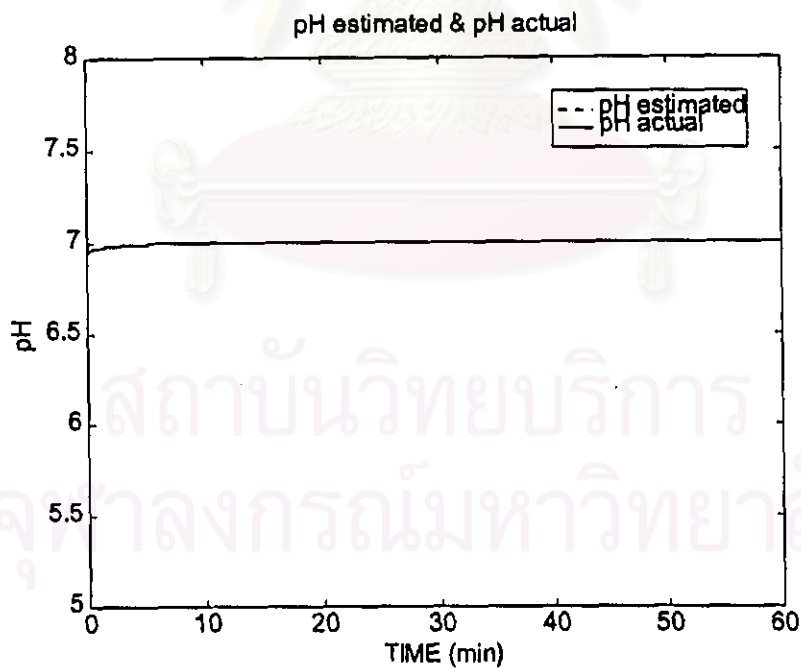


รูปที่ 5.3.2.1.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์ควบคุม

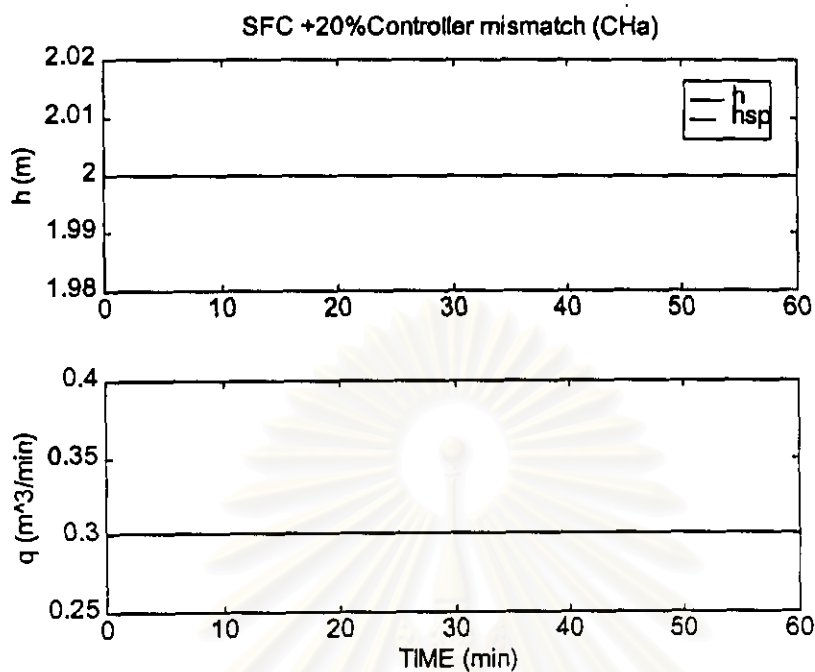
ค่าพีเอช กรณี Controller mismatch + CHw 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



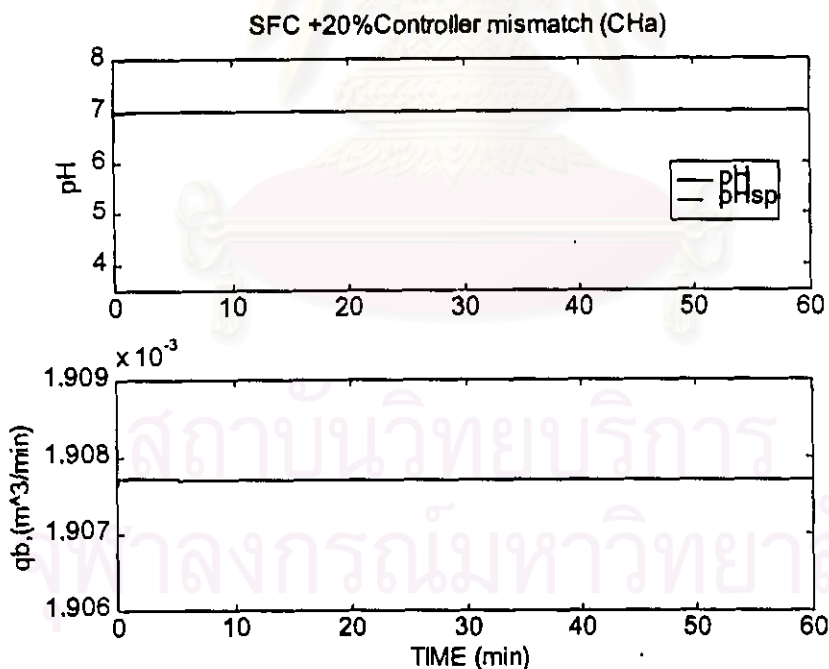
รูปที่ 5.3.2.1.2 c) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสแตต h เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ
สแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์กรณี Controller mismatch + CHw 20%



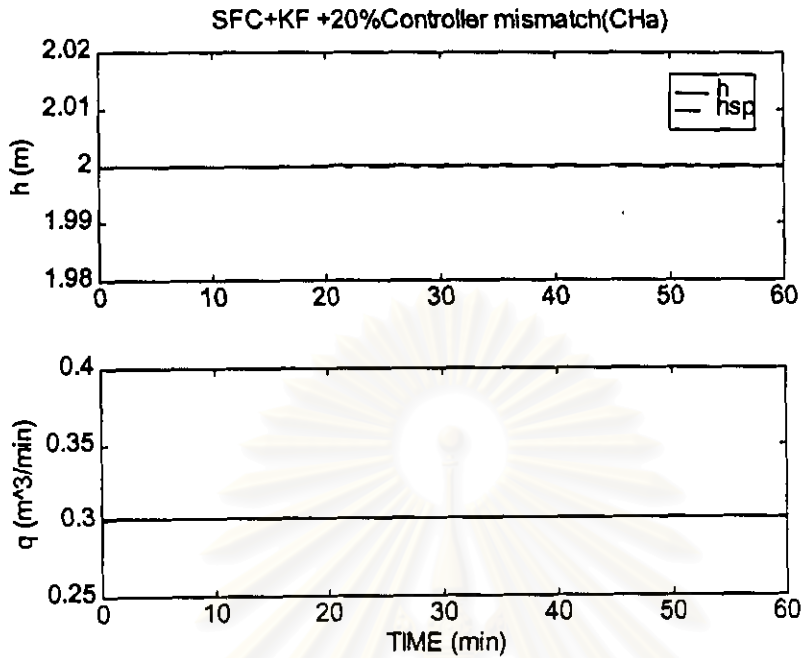
รูปที่ 5.3.2.1.2 d) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสแตต pH เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ
สแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์กรณี Controller mismatch+CHw 20%



รูปที่ 5.3.2.2.1 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตควบคุม ความสูงของระดับน้ำในถัง
กรณี Controller mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

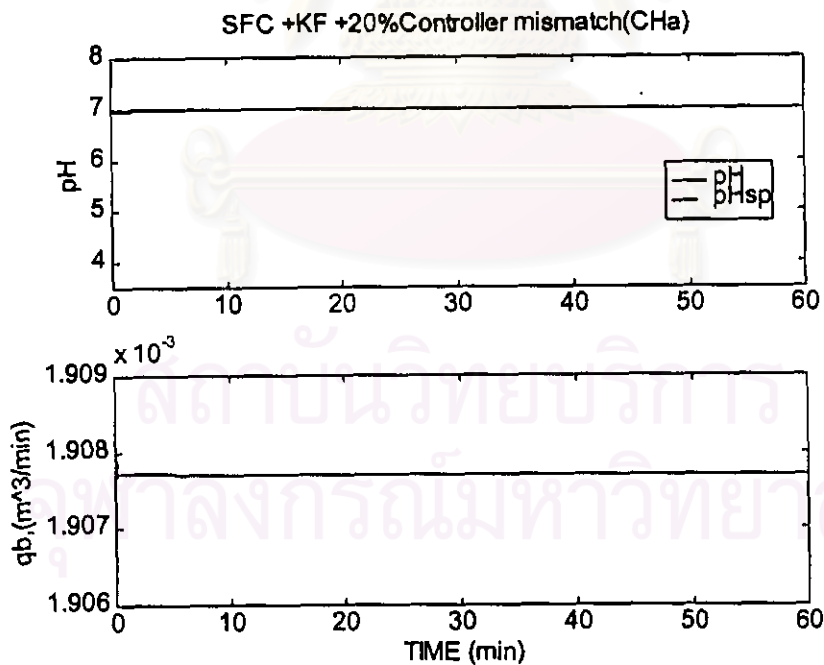


รูปที่ 5.3.2.2.1 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช
กรณี Controller mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

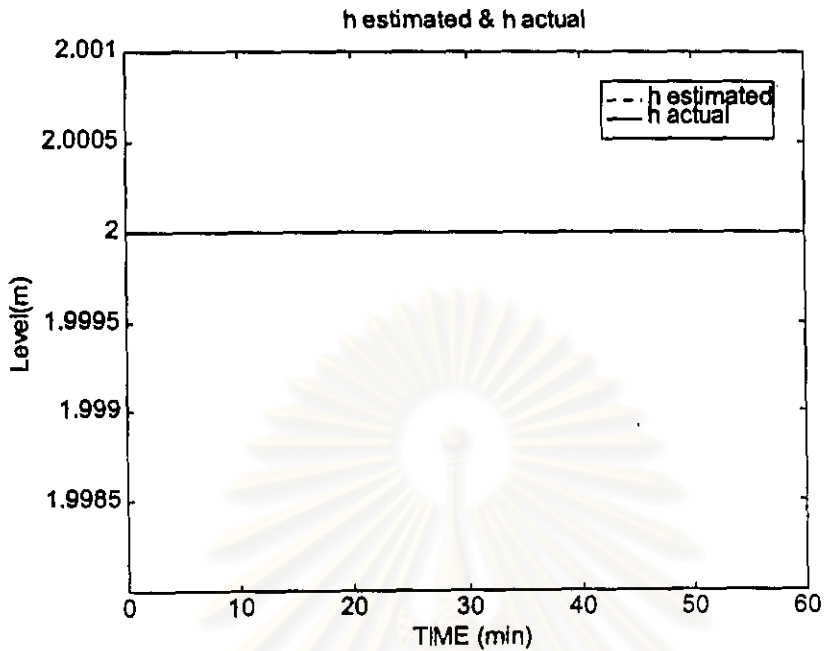


รูปที่ 5.3.2.2.2 a) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง กรณี Controller mismatch+CHa20%

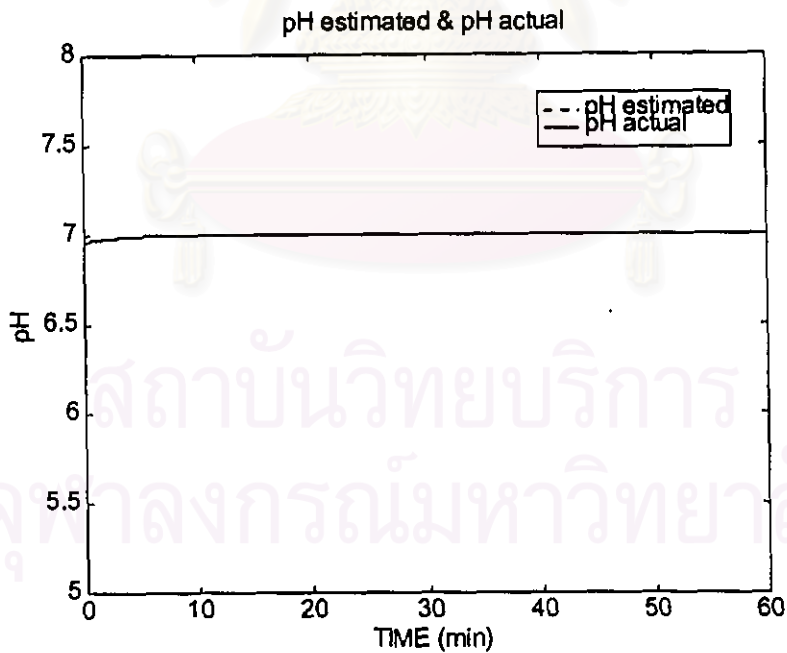
(บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.2.2.2 b) เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตตพร้อมกับคาลมานฟิลเตอร์ควบคุมค่าพีเอช กรณี Controller mismatch + CHa 20% (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.3.2.2.2 c) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสแตต h เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ สแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์กรณี Controller mismatch+CHa 20%



รูปที่ 5.3.2.2.2 d) แสดงค่าประมาณและค่าจริงของตัวแปรสแตต pH เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบป้อนกลับ สแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์กรณี Controller mismatch+CHa 20%

ตารางที่ 5.3 ค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) ของการควบคุมระดับน้ำในถัง และค่าพีเอชของน้ำเสียในถัง เมื่อแบบจำลองของกระบวนการผิดพลาด

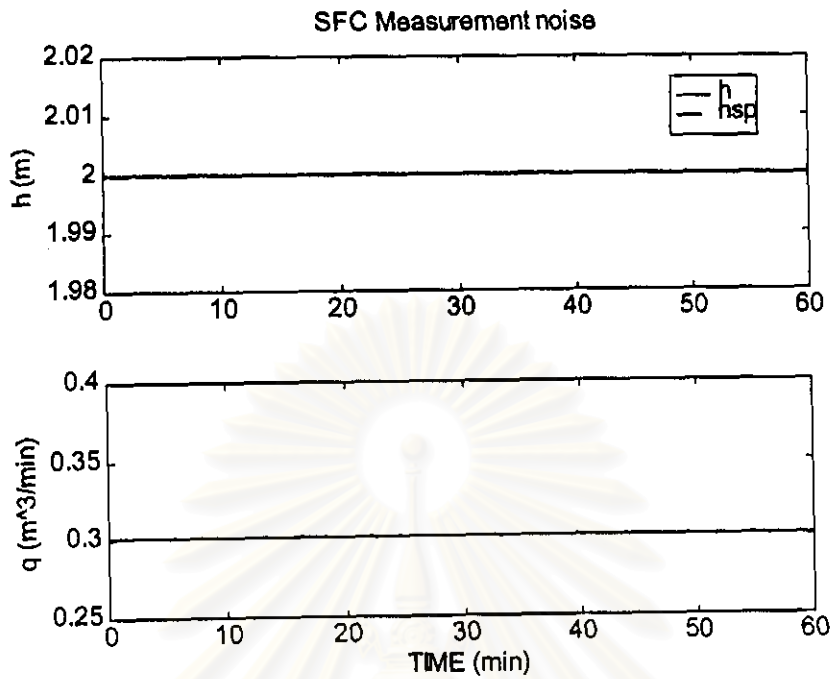
ชนิดกรณีศึกษา	ตัวควบคุม	IAE	
		Level ($\times 10^{-6}$)	pH
<u>Plant mismatch +20%</u>			
CHw	ป้อนกลับสเตต	5.69	6.99
	พีไอดี	22.40	10.04
	ป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์	5.70	6.87
CHa	ป้อนกลับสเตต	5.69	10.78
	พีไอดี	47.38	16.83
	ป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์	5.70	10.65
<u>Controllermismatch +20%</u>			
CHw	ป้อนกลับสเตต	5.69	0.1248
	ป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์	5.70	0.1249
CHa	ป้อนกลับสเตต	5.69	0.1248
	ป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์	5.70	0.1249

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

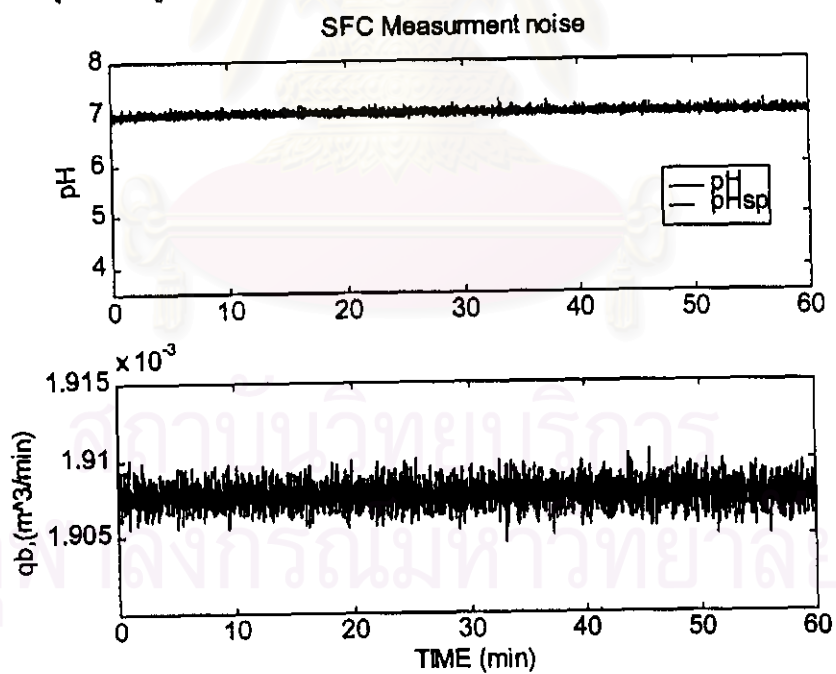
กรณีศึกษาที่ 4 เมื่อตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน

สำหรับในกระบวนการจริง หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะประสบปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลหรือค่าที่วัดได้ที่ได้จากเครื่องมือวัด มีความคลาดเคลื่อน ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณลักษณะทางกายภาพของขณะที่ใช้เครื่องมือวัด ณ เวลานั้น มีการสั่นหรือถูกรบกวน อาจเป็นเวลาขณะใดขณะหนึ่ง หรือเกิดขึ้นสม่ำเสมอตลอดเวลา หรือเกิดจากคุณสมบัติของเครื่องมือมีการเสื่อมประสิทธิภาพลง ในการทดลองนี้จะพิจารณาเฉพาะสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากปัญหาทางลักษณะภายนอกเท่านั้น

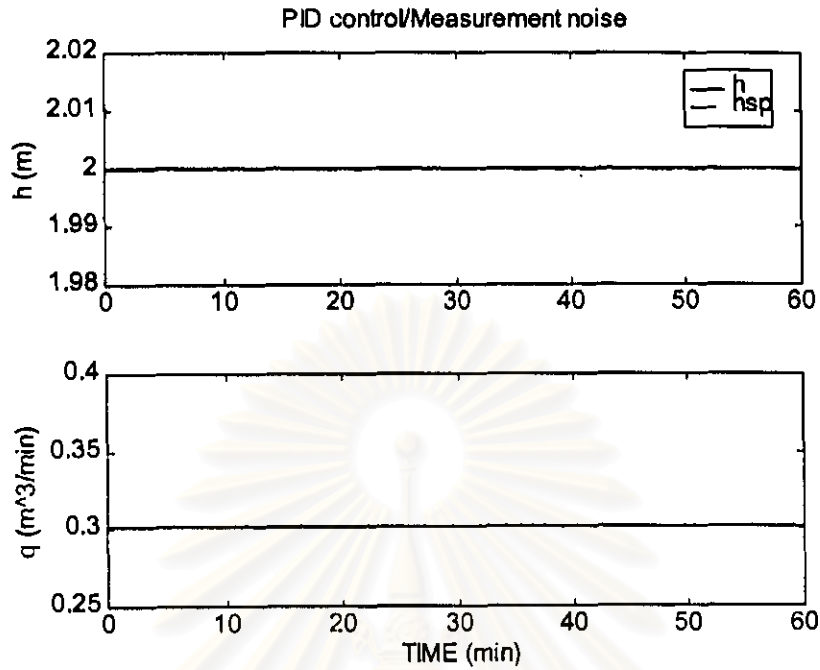
ดังนั้นจึงทำการทดลองทดสอบสมรรถนะตัวควบคุมทั้ง 3 ชนิดเมื่อตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน โดยการเพิ่มสัญญาณรบกวน แบบเกาส์เซียน (gaussian noise) โดยมี $\mu = 0, \sigma = 0.1$ ที่ตัวแปรวัด ได้การตอบสนองของกระบวนการเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตดแสดงดังรูปที่ 5.4.1 a,b) และการตอบสนองของกระบวนการ สำหรับตัวควบคุมแบบพีไอดี แสดงดังรูปที่ 5.4.2 a,b) ส่วนตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตดร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์ ได้กราฟการตอบสนองของกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 5.4.3 a,b) ส่วนรูปที่ 5.4.3 c) เป็นรูปแสดงตัวแปรวัด h ที่ได้จากกระบวนการจริง และที่ได้จากการประมาณค่า รูปที่ 5.4.3 d) เป็นรูปแสดงตัวแปรวัด pH ที่ได้จากกระบวนการจริงและที่ได้จากการประมาณค่า และค่า IAE ของตัวควบคุมทั้ง 3 ชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบป้อนกลับสเตดและการควบคุมแบบพีไอดีจะให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกันเมื่อตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน ซึ่งตัวแปรวัดคือค่าพีเอช จะมีผลกระทบมากกว่าความสูงของระดับน้ำ ทำให้ตัวแปรปรับคืออัตราการไหลของน้ำมีการแกว่งสูง แต่สำหรับผลการควบคุมเมื่อใช้คาลมานฟิลเตอร์ร่วมกับตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตด จะสามารถกรองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นที่ตัวแปรวัดได้ดี ทำให้ลดการแกว่งของตัวแปรปรับ ผลการควบคุมค่าพีเอชจึงมีค่า IAE ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีและตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตด



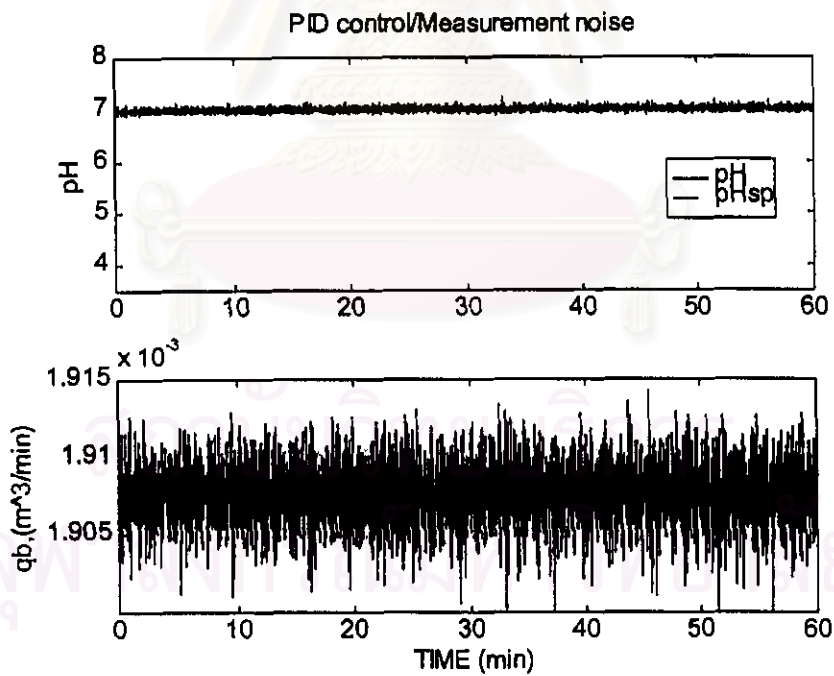
รูปที่ 5.4.1 a) เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง กรณีตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน



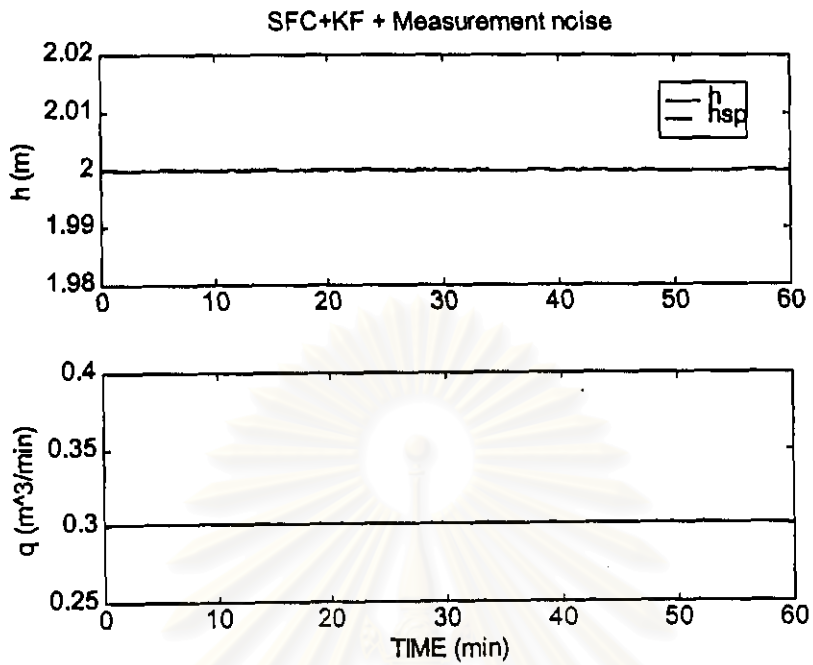
รูปที่ 5.4.1 b) เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสเตต ควบคุมค่าพีเอช กรณีตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.4.2 a) เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมความสูงของระดับน้ำใน
ถัง กรณีตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



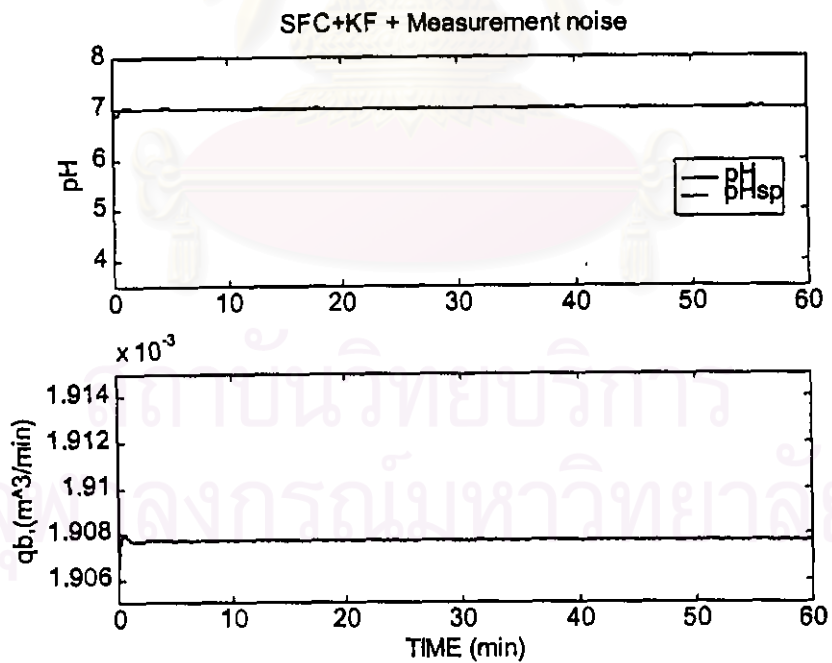
รูปที่ 5.4.2 b) เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดี ควบคุมค่าพีเอช
กรณีตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน (บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)



รูปที่ 5.4.3 a) เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์

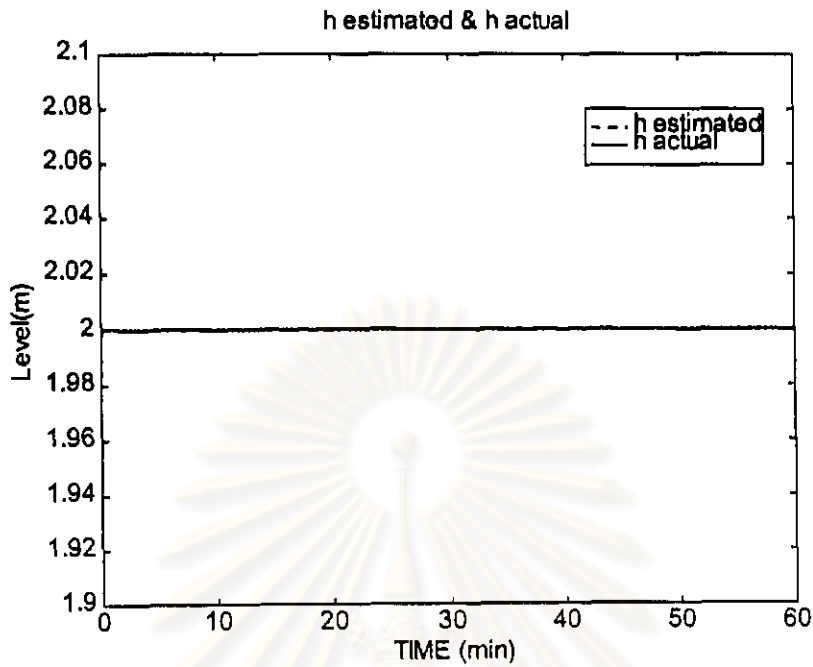
ควบคุมความสูงของระดับน้ำในถัง กรณีตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน

(บน : ตัวแปรควบคุม ล่าง : ตัวแปรปรับ)

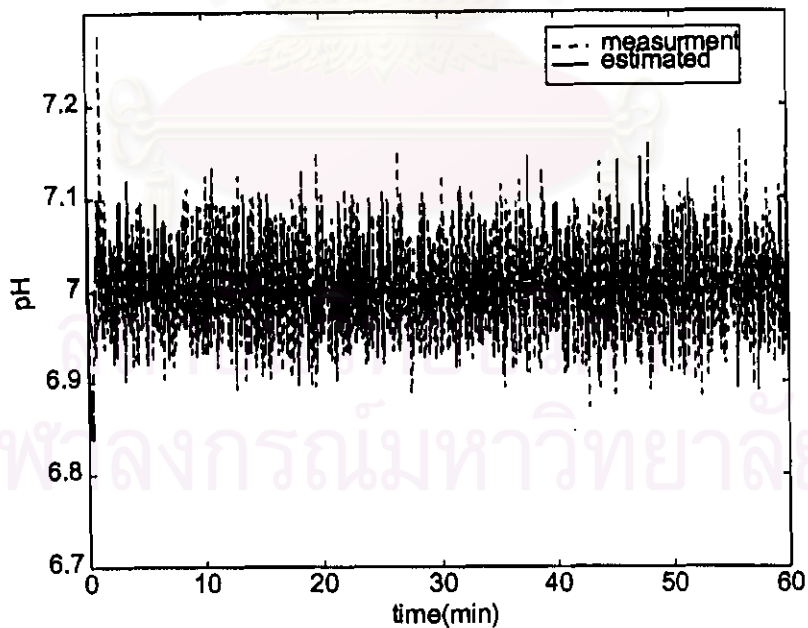


รูปที่ 5.4.3 b) เมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบป้อนกลับสแตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์

ควบคุมค่าพีเอช กรณีตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน



รูปที่ 5.4.3 c) รูปแสดงค่าตัวแปรวัด Level ที่มีสัญญาณรบกวนแบบ เกาส์เซียน (เส้นประ) ตัวแปรเอาต์พุตที่ได้จากการประมาณ (เส้นทึบ)



รูปที่ 5.4.3 d) รูปแสดงค่าตัวแปรวัด pH ที่มีสัญญาณรบกวนแบบ เกาส์เซียน (เส้นประ) ตัวแปรเอาต์พุตที่ได้จากการประมาณ (เส้นทึบ)

ตารางที่ 5.4 ค่าอินทิกรัลของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) ของการควบคุมระดับน้ำในถัง และค่าพีเอชของน้ำเสียในถัง เมื่อตัวแปรวัดมีสัญญาณรบกวน

ชนิดที่	ตัวควบคุม	IAE	
		Level ($\times 10^{-6}$)	pH
1	ป้อนกลับสเตต	480.60	2.4524
2	พีไอดี	561.10	2.2690
3	ป้อนกลับสเตตร่วมกับคาลมานฟิลเตอร์	67.04	0.3153

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย