

## บทที่ 5

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการควบคุมอุณหภูมิของการโพลิเมอร์แบบอิมัลชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ โดยใช้ตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีซึ่งเป็นการควบคุมที่ขึ้นกับแบบจำลองของกระบวนการเป็นหลัก เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control) โดยการสังเกตการโอเวอร์ชูตของอุณหภูมิ และวัดค่าอินทิกรัลของค่าสมบูรณ์ของค่าความผิดพลาดหรือค่าไอเออี (Integral of the Absolute Value of the Error, IAE), ค่าอินทิกรัลของกำลังสองของค่าความผิดพลาดหรือค่าไอเอสอี (Integral of the Square of the Error, ISE) โดยได้จากสมการ 5-1 และ 5-2 ตามลำดับ

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (5-1)$$

$$ISE = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (5-2)$$

โดยค่าไอเออีและค่าไอเอสอีแสดงถึงประสิทธิภาพและสมรรถนะของตัวควบคุมทั้งในกรณีที่ดำเนินการปกติและในกรณีที่มีความผิดพลาดต่าง ๆ เกิดขึ้น อาทิเช่น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, อัตราการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

จากงานวิจัยได้ทำการจำลองแบบจำลองของกระบวนการการเกิดโพลิเมอร์แบบอิมัลชันในคอมพิวเตอร์บนโปรแกรมแมทแลป (Matlab) โดยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการแสดงไว้แล้วในบทที่ 4

### 5.1 กระบวนการควบคุมแบบพีไอดีจากการผลิต

กระบวนการผลิตโพลีเมอร์แบบอิมัลชันในกลุ่มของอะคริลิคอิมัลชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบเคมี-แบตช์ ปัจจุบันผลิตภายใต้การควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้แจ็คเก็ตในการให้ความร้อนหรือทำความเย็น โดยผลการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์แสดงดังรูป 5.1 ซึ่งสามารถสรุปปัญหาในกระบวนการผลิตจริงเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ไม่มีการวัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในแจ็คเก็ต โดยเพียงแต่ใช้วาล์วควบคุมเพื่อควบคุมการเปิด-ปิดระบบน้ำหล่อเย็น-น้ำร้อนเท่านั้น

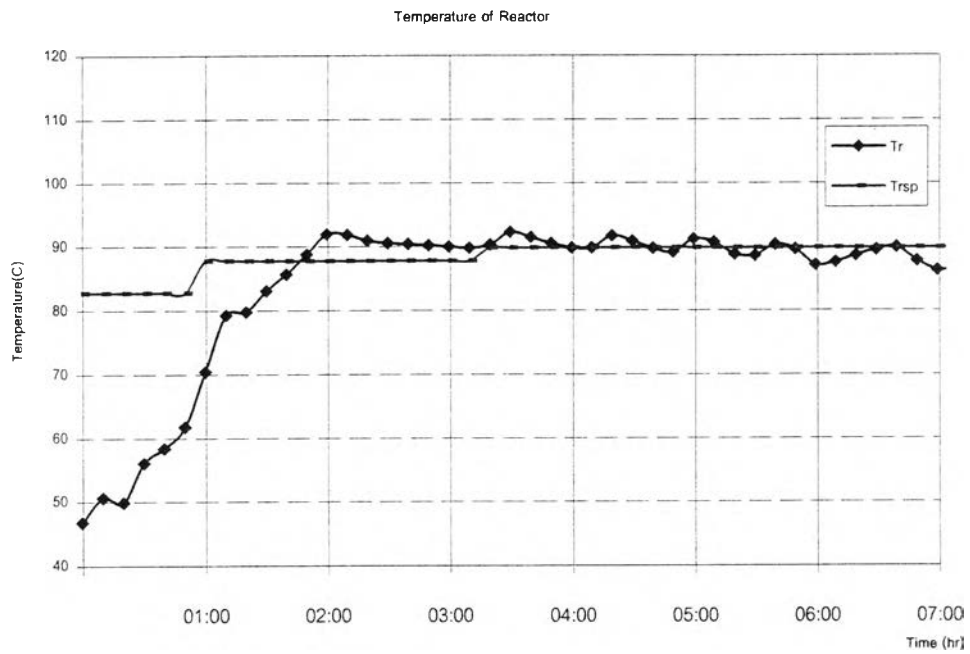
2. ผลการตอบสนองของการควบคุมอุณหภูมิพบว่าในช่วงแรกที่มีการให้ความร้อนจะไม่มี การควบคุมเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจะใช้เวลานานมาก (ประมาณ 3-4 ชั่วโมง)

3. อุณหภูมิเซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ช่วงเริ่มต้นไม่สามารถตั้งที่อุณหภูมิเซตพอยต์ ( $90^{\circ}\text{C}$ ) ตั้งแต่แรก เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ จึงได้เพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็นขั้น ๆ จาก  $85^{\circ}\text{C}$ ,  $88^{\circ}\text{C}$  และ  $90^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ

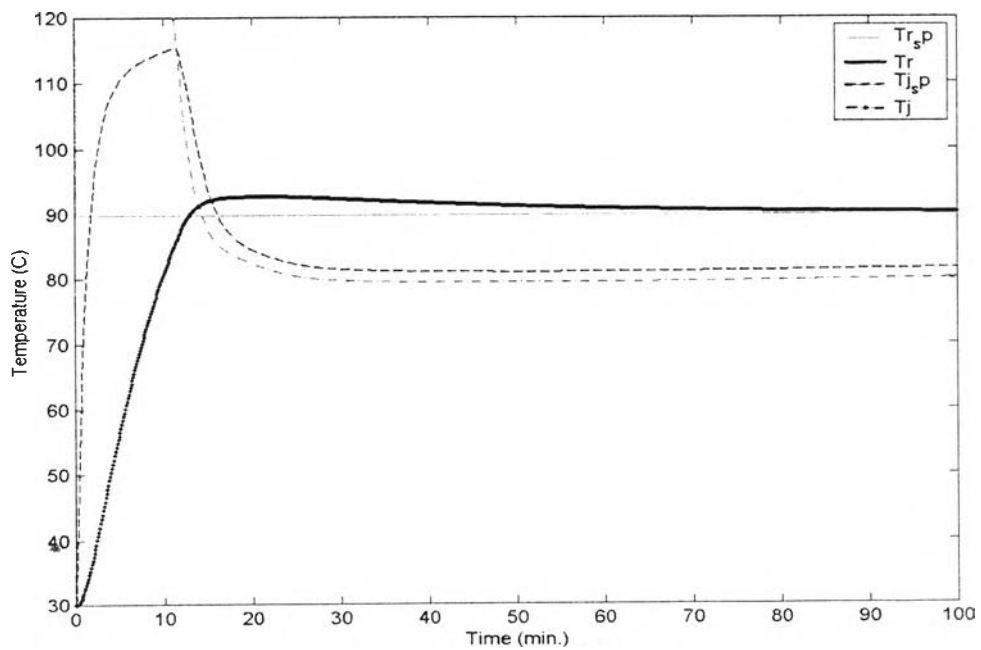
4. อุณหภูมิโอเวอร์ชูตสูง โดยในช่วงที่อุณหภูมิเซตพอยต์อยู่ที่  $88^{\circ}\text{C}$  จะพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้นถึง  $93^{\circ}\text{C}$  คือพุ่งสูงเกินอุณหภูมิเซตพอยต์ประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$  โดยปกติในการผลิตจะยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนในช่วง  $+3^{\circ}\text{C}$

5. ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน จะทำการผลิตอย่างต่อเนื่องประมาณ 7-10 แบตช์ จึงมีการทำความสะอาด โดยระหว่างแบตช์ใช้น้ำฉีดล้างเท่านั้น จึงทำให้เกิดคราบสกปรกสะสมที่บริเวณผิวของเครื่องปฏิกรณ์ ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์ในเครื่องปฏิกรณ์และน้ำในแจ็คเก็ตลดต่ำลง คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง

การเปรียบเทียบผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีจากการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 5.1 กับผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการจำลองกระบวนการผลิตโพลีเมอร์แบบอิมัลชันในกลุ่มของอะคริลิคอิมัลชันดังรูปที่ 5.2 พบว่าผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่จำลองได้ใกล้เคียงกับผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีจากการผลิตจริง นั้นแสดงว่าแบบจำลองที่ใช้มีความถูกต้อง โดยจากผลการตอบสนองจากการผลิตจริงพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในค่าเซตพอยต์ที่ต้องการ กล่าวคือค่าอุณหภูมิไม่มีการแกว่งตลอดเวลา



รูปที่ 5.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีจากระบบการผลิต



รูปที่ 5.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่ได้จากการจำลอง

## 5.2 การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ

### 5.2.1 กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ $80^{\circ}\text{C}$

การควบคุมอุณหภูมิของการโพลิเมอร์แบบอิมัลชันในเครื่องปฏิกรณ์แบบเซมิ-แบตช์ ในกรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$  โดยได้ทำศึกษาควบคุมแบบจีเอ็มซีเปรียบเทียบกับควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิดซึ่งไม่มีระบบการควบคุมภายใต้แบบจำลองเดียวกัน ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้จะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแสดงดังตารางที่ 4-2 ถึงตารางที่ 4-5 การศึกษาจะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุมหรืออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ และตัวแปรปรับหรืออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในแจ๊คเกิด ได้ทำการจำลองแบบจำลองของกระบวนการในคอมพิวเตอร์บนโปรแกรมแมทแลป โดยให้ความร้อนโดยแจ๊คเกิด และเริ่มป้อนโมโนเมอร์เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_r$ ) อยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_{sp}$ )

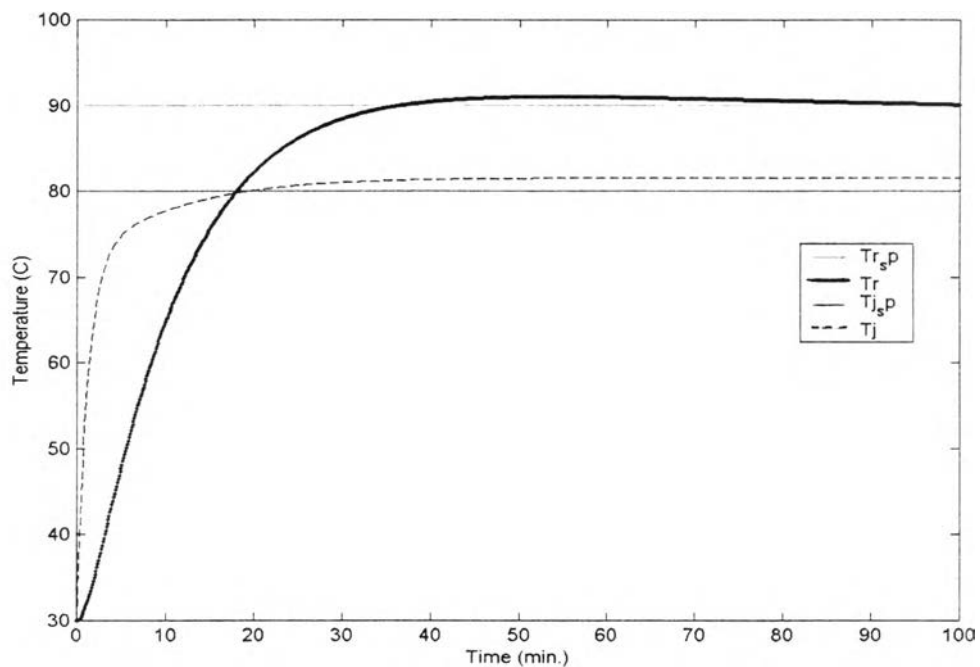
ผลการตอบสนองของลูฟเปิดดังรูปที่ 5.3, ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีดังรูปที่ 5.4 และผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งจากค่าไอเออีและค่าไอเอสอีแสดงดังตารางที่ 5.1 และสามารถเปรียบเทียบการควบคุมแบบจีเอ็มซีกับการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด โดยการเปรียบเทียบค่าไอเออีและค่าไอเอสอีจะรายงานเป็นเปอร์เซ็นต์ในรูปของ %Dif (IAE) และ %Dif (ISE) เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบจีเอ็มซี ดังสมการ 5-3 และสมการ 5-4

การคำนวณ %Dif (IAE) ดังสมการ 5-3 และสมการ 5-4

$$\%Dif \text{ (IAE)} = \frac{\text{IAE of GMC} - \text{IAE of PID (Open loop)}}{\text{IAE of GMC}} \times 100 \quad (5-3)$$

$$\%Dif \text{ (ISE)} = \frac{\text{ISE of GMC} - \text{ISE of PID (Open loop)}}{\text{ISE of GMC}} \times 100 \quad (5-4)$$

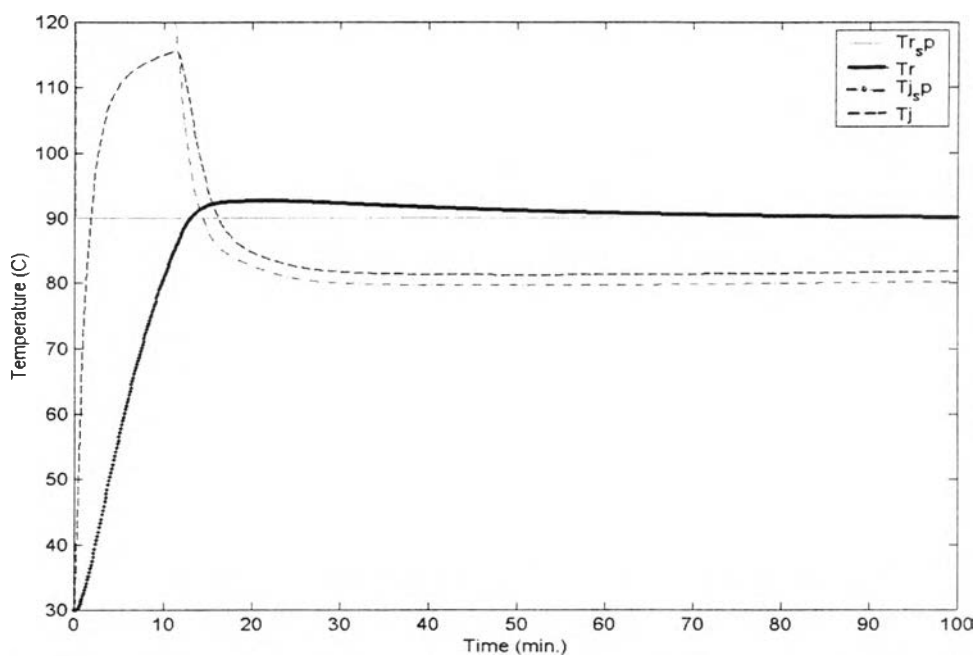
จากการตอบสนองของลูฟเปิดคือไม่มีระบบการควบคุม แสดงดังรูปที่ 5.3 พบว่าเมื่อเริ่มการควบคุมจะมีการเริ่มป้อนโมโนเมอร์พร้อมกับการถ่ายเทความร้อนจากแจ๊คเกิดทันที ทำให้ไม่ตรงกับที่ต้องการคือให้เริ่มป้อนโมโนเมอร์เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_r$ ) เท่ากับอุณหภูมิ



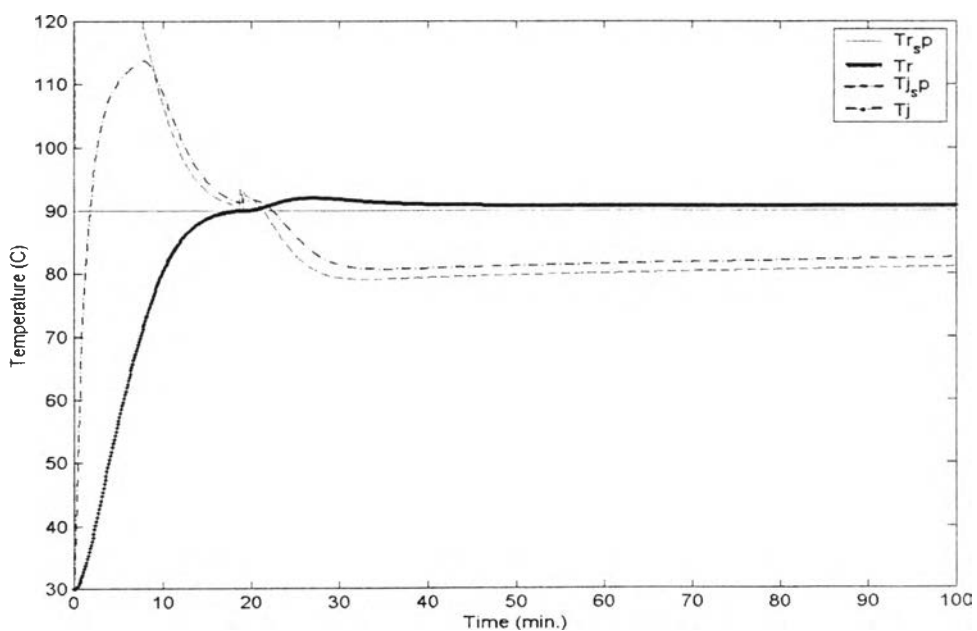
รูปที่ 5.3 ผลการตอบสนองของลูฟเปิดที่สภาวะการดำเนินการปกติ อุณหภูมิเริ่มต้นของแฉักเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$

เซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_{rsp}$ ) และอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้นไปจนถึงอุณหภูมิเซตพอยต์ ( $T_{rsp}$ ) ต้องใช้เวลาประมาณ 30 นาที ซึ่งเป็นเวลานานกว่าทั้งการควบคุมแบบพีไอดี และการควบคุมแบบจีเอ็มซี

ส่วนการควบคุมแบบพีไอดีจะให้การตอบสนองที่เร็วกว่าในกรณีลูฟเปิดและการควบคุมแบบจีเอ็มซี กล่าวคืออุณหภูมิจะเข้าสู่อุณหภูมิเซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_{rsp}$ ) เร็วกว่า แต่พบว่าการควบคุมแบบพีไอดีจะเกิดการโอเวอร์ชูตมากกว่า และอุณหภูมิเข้าสู่เซตพอยต์ช้ากว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซี และยังพบว่าค่าคลาดเคลื่อนสูงว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีด้วย แสดงดังรูปที่ 5.3 และตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.4 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่สภาวะการดำเนินการปกติ  
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5.5 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ  
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$

ตารางที่ 5.1 ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลองที่สภาวะการดำเนินการปกติ  
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$

	IAE	%Dif(IAE)	ISE	%Dif(ISE)
Open loop	668.7386	47.69	$2.2492 \times 10^4$	51.68
PID Controller	460.2863	1.65	$1.4851 \times 10^4$	0.148
GMC Controller	452.7955		$1.4829 \times 10^4$	

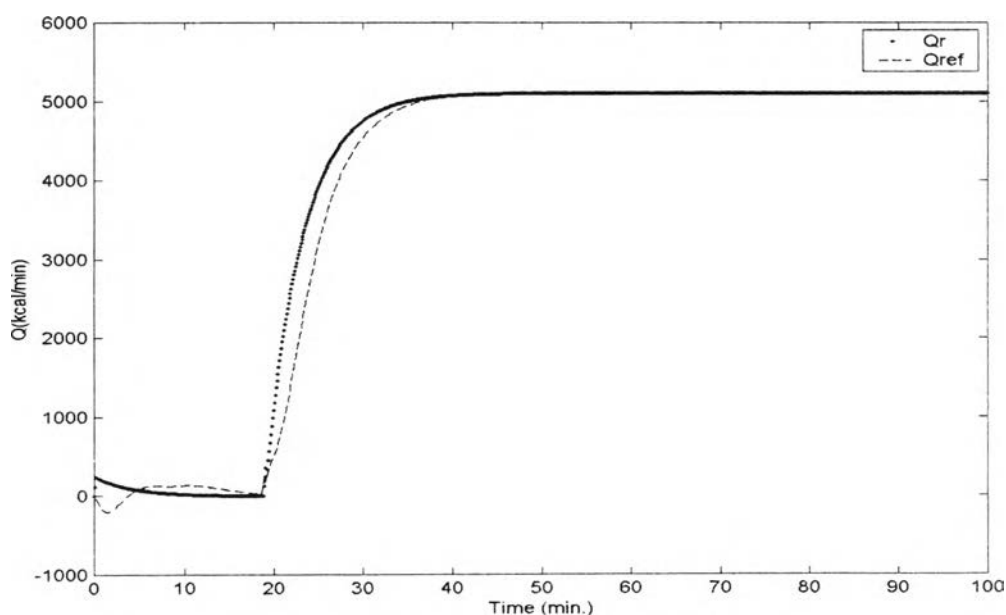
จากผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์จะเข้าสู่อุณหภูมิเซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_{sp}$ ) ตามที่กำหนด กล่าวคือในการออกแบบกำหนดให้ใช้เวลาช่วงให้ความร้อน 20 นาที โดยจากผลการควบคุมแบบจีเอ็มซีพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์  $T_r$  (18.3 นาที) เท่ากับ  $89.9505^{\circ}\text{C}$  และ  $T_r$  (18.4 นาที) เท่ากับ  $90.0394^{\circ}\text{C}$  นั้นแสดงว่าเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิถึงเซตพอยต์ประมาณ 18.3-18.4 นาที และอุณหภูมิสูงสุดที่  $T_r$  (25.0 นาที) เท่ากับ  $93.4171^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 5.3 โดยจากผลการตอบสนองสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิของแจ๊คเกิดและแจ๊คเกิดเซตพอยต์จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อย ที่เวลาประมาณ 18 นาที ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อเริ่มมีการป้อนโมโนเมอร์ลงในเครื่องปฏิกรณ์ พบว่าโมโนเมอร์ที่ป้อนลงในช่วงแรกมีอุณหภูมิต่ำคือเท่ากับอุณหภูมิโดยรอบคือประมาณ  $30^{\circ}\text{C}$  ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างรวดเร็ว โดยแจ๊คเกิดมีการชดเชยความร้อนที่ถูกดึงไป โดยการเพิ่มอุณหภูมิทั้งของแจ๊คเกิดและแจ๊คเกิดเซตพอยต์ และพบว่า การควบคุมแบบจีเอ็มซี จะสามารถควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์ได้ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีมาก แสดงดังรูปที่ 5.5

ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนที่ประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยค่าความร้อนที่ประมาณได้มีค่าน้อยกว่าค่าจริงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลทำให้การควบคุมแบบจีเอ็มซีไม่สามารถกำจัด การเกิดโอเวอร์ชูตให้หายหมด แสดงดังรูปที่ 5.6 โดยในช่วงแรกค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา

และค่าความร้อนที่ได้จากการประมาณค่าความร้อนยังไม่เกิด เนื่องจากในการควบคุมกำหนดให้เริ่มป้อนโมโนเมอร์เมื่ออุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์

ผลการตอบสนองของการควบคุมโดยใช้แบบจำลองของกระบวนการในกรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ (อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$ ) พบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด ซึ่งสังเกตจากผลการตอบสนองที่ได้จากการควบคุมแบบพีไอดีจะเกิดโอเวอร์ชูตมากกว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซี ค่าไอเออีและค่าไอเอสเออีที่วัดได้จากผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีต่ำกว่าการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด ดังนั้นผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะเบี่ยงเบนออกจากค่าอุณหภูมิเซตพอยต์น้อยกว่าการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด

ดังนั้นในกรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ (อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$ ) การควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีและลูฟเปิด



รูปที่ 5.6 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$



### 5.2.2 กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ $60^{\circ}\text{C}$

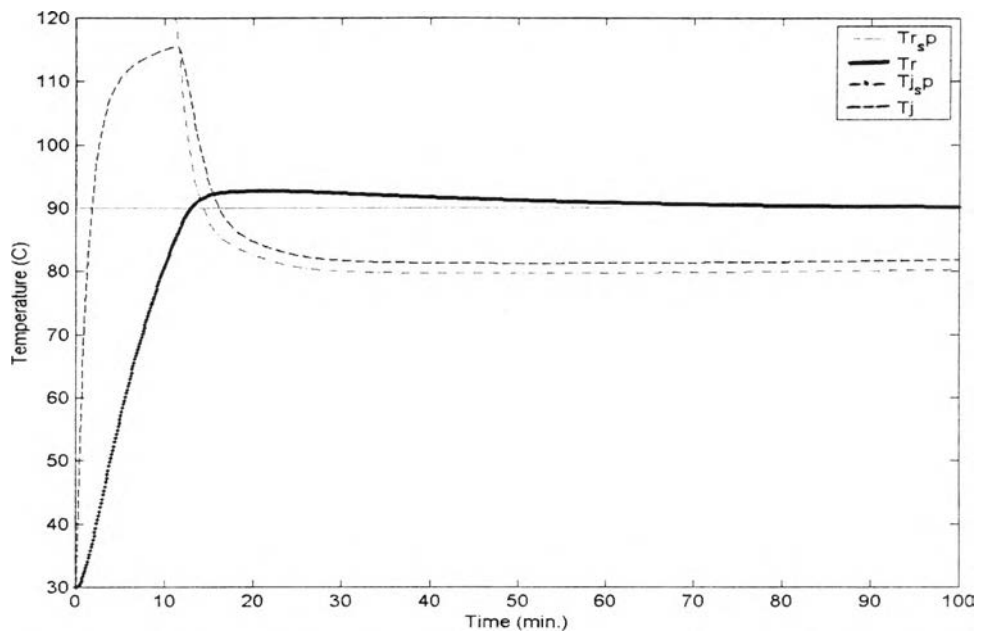
กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ โดยอุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$  จะได้ การควบคุมแบบพีไอดี ดังรูปที่ 5.7 และการควบคุมแบบจีเอ็มซี ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งค่าไอเออีและ ค่าไอเอสไอแสดงดังตารางที่ 5.2

โดยที่การควบคุมแบบจีเอ็มซีให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี กล่าว คือการควบคุมแบบพีไอดีจะเกิดการโอเวอร์ชูตมากกว่า และอุณหภูมิเข้าสู่เซตพอยต์ช้ากว่าการ ควบคุมแบบจีเอ็มซี และยังพบว่าค่าคลาดเคลื่อนสูงกว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีด้วย แสดงดังรูป ที่ 5.7 และตารางที่ 5.2

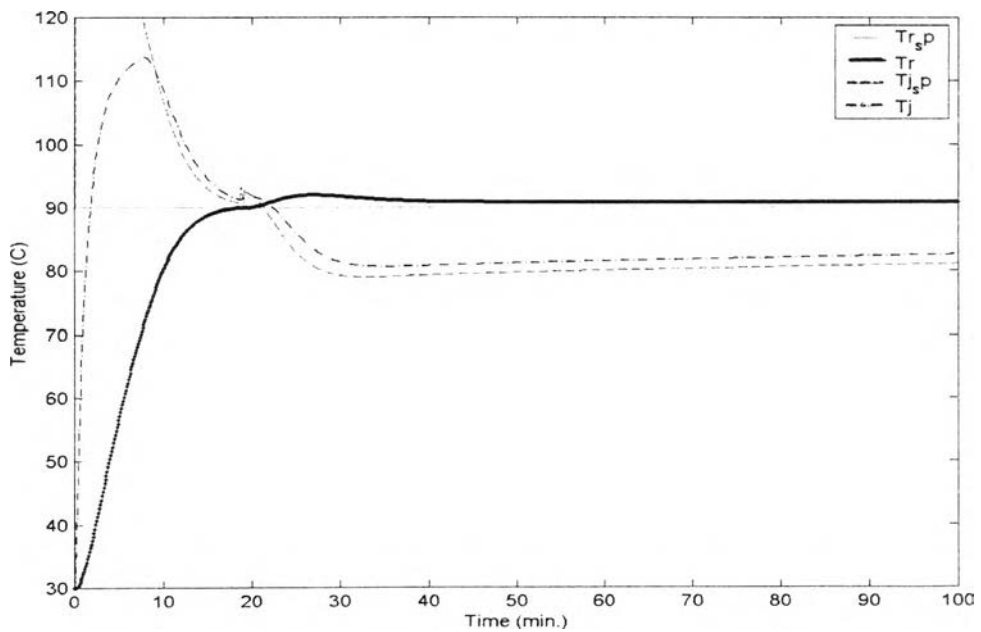
ตารางที่ 5.2 ค่าไอเออีและค่าไอเอสไอที่วัดได้จากการทดลองที่สภาวะการดำเนินการปกติ อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$

	IAE	%Dif(IAE)	ISE	%Dif(ISE)
PID Controller	462.8331	1.906	$1.4935 \times 10^4$	0.174
GMC Controller	454.1785		$1.4909 \times 10^4$	

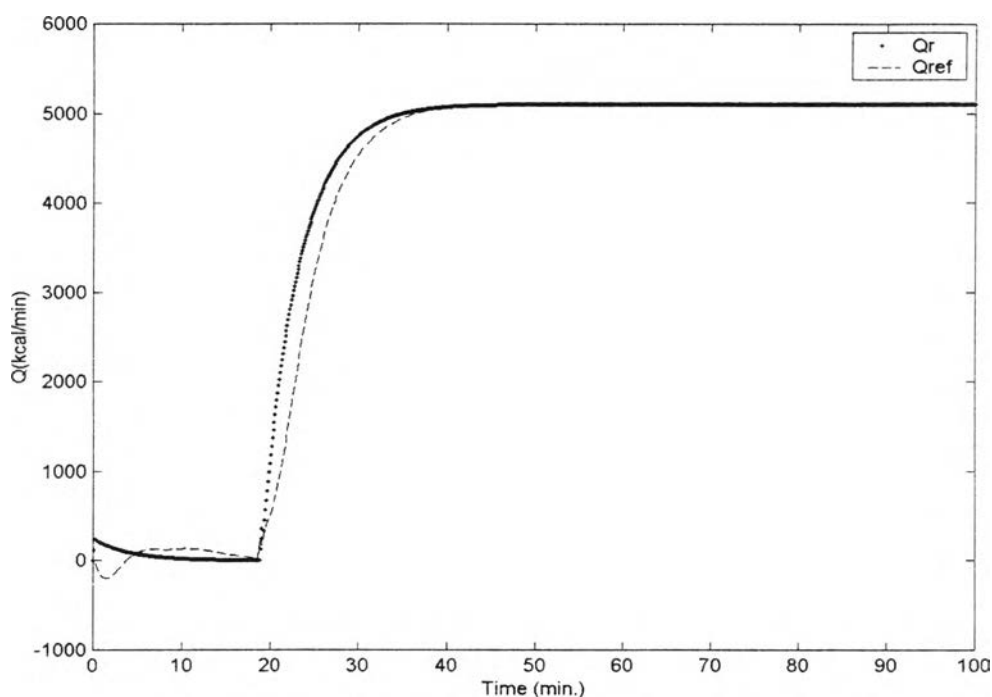
จากผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีในสภาวะการดำเนินการปกติ (อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$ ) พบว่าให้ผลการตอบสนองในทำนองเดียวกับ ใน สภาวะการดำเนินการปกติ (อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$ ) อุณหภูมิของเครื่อง ปฏิกรณ์ (T) จะเข้าสู่อุณหภูมิเซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_{sp}$ ) ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดคือ เวลาช่วงให้ความร้อน 20 นาที โดยพบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะสามารถควบคุมให้อุณหภูมิ อยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์ได้ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีมาก แสดงดังรูปที่ 5.8 โดยจากผลการ ตอบสนองสังเกตเห็นว่าเมื่อเริ่มป้อนโมโนเมอร์ลงในเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของแจ๊คเกิดและ แจ๊คเกิดเซตพอยต์จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับ เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้น ของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5.7 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีที่สภาวะการดำเนินการปกติ  
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5.8 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ  
อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ๊คเกิดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5.9 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีที่สภาวะการดำเนินการปกติ อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$

ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา จะเห็นได้ว่าค่าความร้อนที่ประมาณได้ใกล้เคียงกับค่าจริง โดยค่าความร้อนที่ประมาณได้มีค่าน้อยกว่าค่าจริงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลทำให้ตัวควบคุมแบบจีเอ็มซีไม่สามารถกำจัด การเกิดโอเวอร์ชูตให้หายหมดได้ โดยผลการตอบสนองแสดงดังรูปที่ 5.9 เช่นเดียวกับการเมื่อ อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$  ในการควบคุมกำหนดให้เริ่มป้อนโมโนเมอร์เมื่อ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์ ทำให้ในช่วงแรกค่าความร้อนที่เกิดจาก ปฏิกิริยาและค่าความร้อนที่ได้จากการประมาณค่าความร้อนยังไม่เกิด

เพราะฉะนั้นจากผลการตอบสนองของการควบคุมโดยใช้แบบจำลองของกระบวนการใน กรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ (อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $60^{\circ}\text{C}$ ) และค่าไอเออี หรือค่าไอเอสอี พบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี เช่นเดียวกันกับเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$  แต่ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีของ ทั้งการควบคุมแบบจีเอ็มซีและแบบพีไอดีมากกว่าเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็คเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$  เล็กน้อย

### 5.3 การควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ กรณีที่สภาวะการดำเนินการผิดพลาด

ผลการตอบสนองของการควบคุมทั้งสองแบบ ในกรณีที่สภาวะการดำเนินการเกิดความผิดพลาดในส่วนหนึ่งให้สภาวะการดำเนินการและ/หรือพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงไปจากสถานะการดำเนินการปกติ โดยให้ความผิดพลาดต่าง ๆ ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา
2. การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
3. การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกัน
4. การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์

#### 5.3.1 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา

การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้ เมื่อสภาวะในการผลิตคลาดเคลื่อนจากสมการจลนศาสตร์ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ดังนั้นได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งในกรณีที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือลดลง ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็กเกิดเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$  โดยเปรียบเทียบการควบคุมแบบจีเอ็มซีกับการควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งใช้ค่าการจูนของทั้งการควบคุมแบบจีเอ็มซีและการควบคุมแบบพีไอดี เช่นเดียวกับในการดำเนินการปกติ และการศึกษาภายใต้คอมพิวเตอร์ในแบบจำลองนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงเฉพาะอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่านั้น

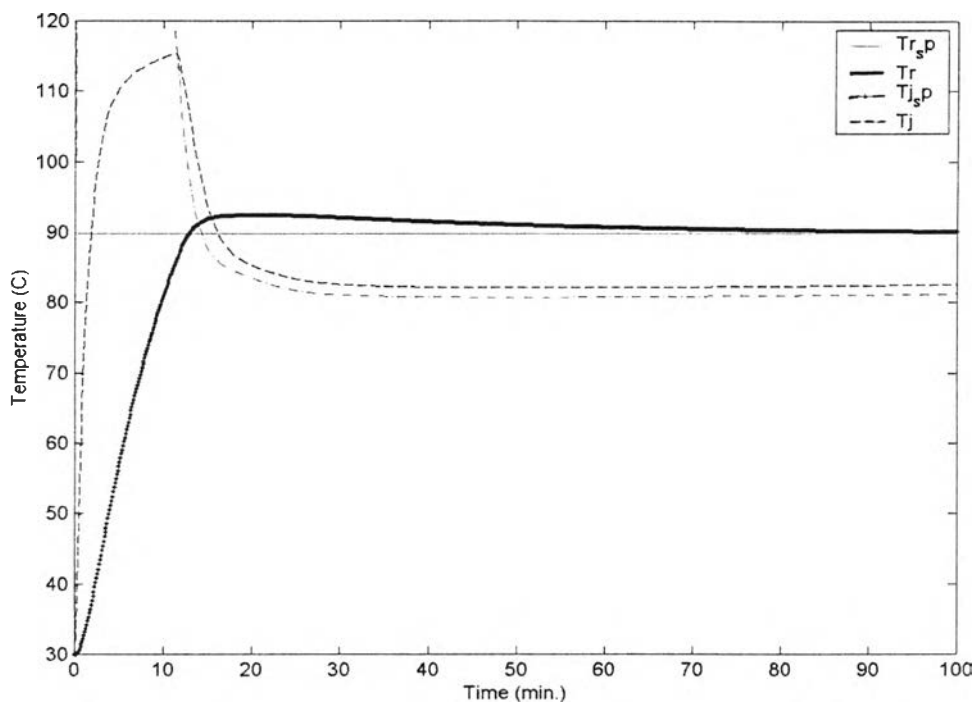
ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 5.10 ถึง 5.13 ซึ่งค่าไอเออีที่คำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 และเปรียบเทียบการควบคุมแบบพีไอดีกับการควบคุมแบบจีเอ็มซีโดยรายงานผลในรูปของเปอร์เซ็นต์ %Dif (IAE)

โดยพบว่า การควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งสังเกตจากผลการตอบสนองที่ได้จากการควบคุมแบบพีไอดีจะเกิดโอเวอร์ชูตมากกว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซี

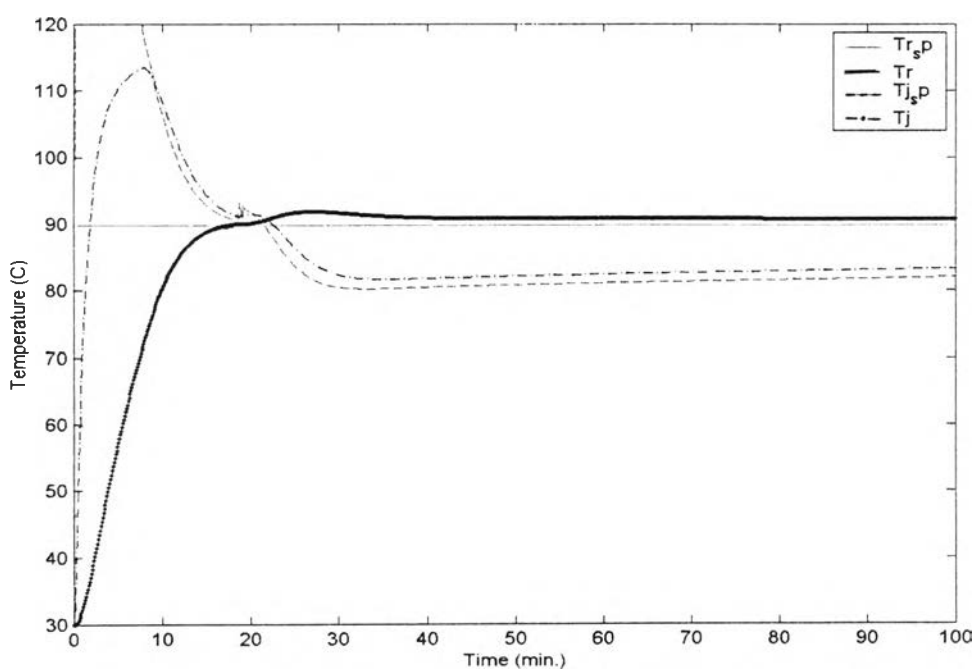
ตารางที่ 5.3 ค่าไอเออีที่วัดได้จากการทดลองในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี

การเปลี่ยนแปลงอัตรา การเกิดปฏิกิริยา	PID Controller	GMC Controller	%Dif (IAE)
-30 %	439.7706	430.4051	2.176
-20 %	446.6091	437.8685	1.996
-10 %	453.4477	445.3320	1.822
0 %	460.2863	451.4955	1.947
10 %	467.1253	460.2590	1.492
20 %	473.9650	467.7225	1.334
30 %	480.8046	475.1860	1.182

ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีและการควบคุมแบบพีไอดี ในสภาวะการดำเนินการผิดพลาด ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10 % ถึง 30 % พบว่าการตอบสนองทางด้านการควบคุมอุณหภูมิของการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี โดยผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10% แสดงดังรูปที่ 5.10.1 และ 5.10.2 ตามลำดับ จากการควบคุมแบบจีเอ็มซีพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_r$ ) จะเข้าสู่อุณหภูมิเซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_{sp}$ ) ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด และการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะสามารถควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิเซตพอยต์ได้ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีมาก โดยจากผลการตอบสนองสังเกตเห็นว่าเมื่อเริ่มป้อนโมโนเมอร์ลงในเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิของแจ็กเก็ตและแจ็กเก็ตเซตพอยต์จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับในกรณีที่สภาวะการดำเนินการปกติ เมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็กเก็ตเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 5.10.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



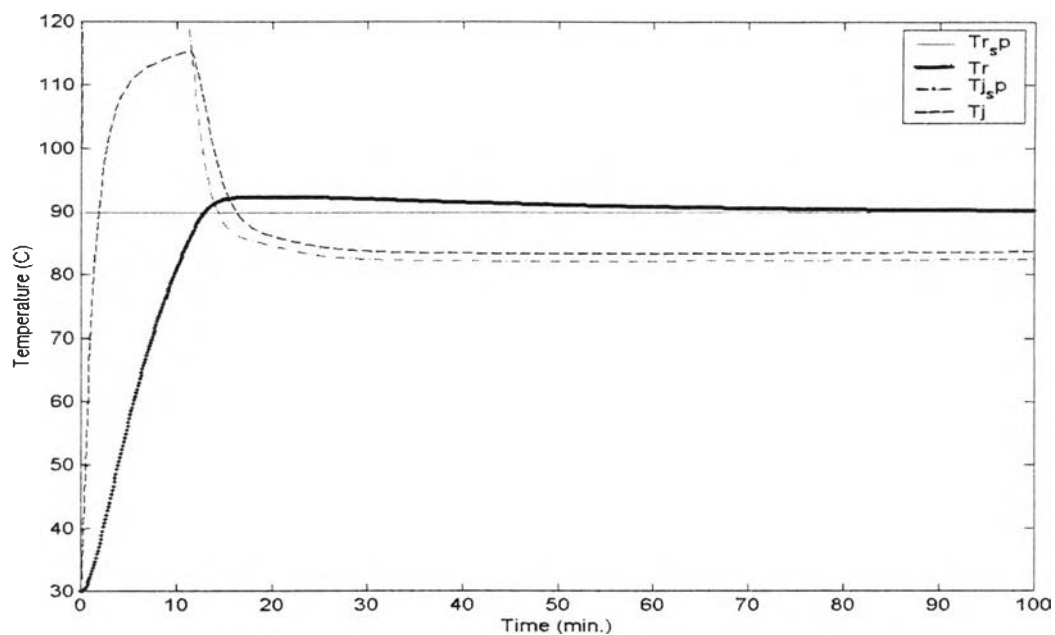
รูปที่ 5.10.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี

รูปที่ 5.10 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี  
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10%

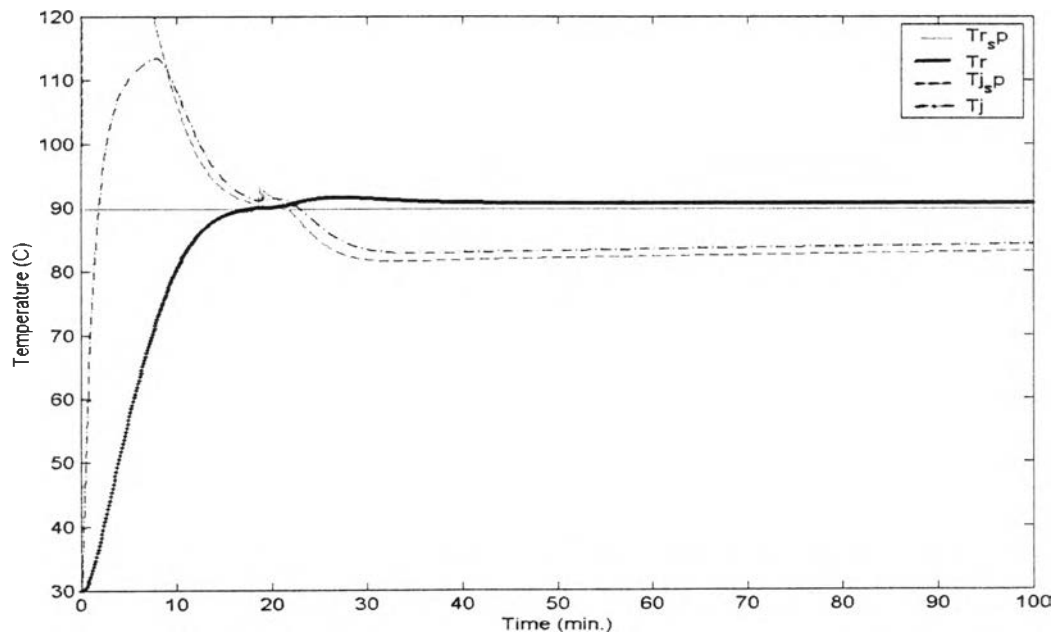
ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 20% แสดงดังรูปที่ 5.11.1 และ 5.11.2 ตามลำดับ การควบคุมแบบจีเอ็มซี ให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี โดยสังเกตจากการตอบสนองของการควบคุม อุณหภูมิและค่าไอเอชทีที่คำนวณได้ และเห็นว่ามิจุดที่อุณหภูมิของแจ๊คเก็ตและแจ๊คเก็ตเซ็ทพอยต์ จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อยเช่นเดิม ซึ่งที่มาของจุดนี้อธิบายได้เช่นเดิม โดยผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 30% ให้ผลการตอบสนองเช่นเดียวกับเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10% และ 20%

นั่นคือจากผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10%, 20% และ 30% ตามลำดับ พบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีเช่นเดิม เพียงแต่อุณหภูมิของการเกิดโอเวอร์ชูตจะต่างกันเล็กน้อย และค่าคลาดเคลื่อนในรูปของค่าไอเอชทีก็ต่างกันเล็กน้อยเช่นเดียวกัน

ส่วนในทางตรงกันข้าม ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10% ถึง 30% พบว่าการตอบสนองทางด้านการควบคุมอุณหภูมิของการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี เช่นเดียวกับในกรณีที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง ซึ่งผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10% แสดงดังรูปที่ 5.12.1 และ 5.12.2 ตามลำดับ โดยพบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี และในผลการตอบสนองสังเกตเห็นว่ามิจุดที่อุณหภูมิของแจ๊คเก็ตและแจ๊คเก็ตเซ็ทพอยต์จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อยเช่นเดิม ซึ่งที่มาของจุดนี้อธิบายได้เช่นเดิม



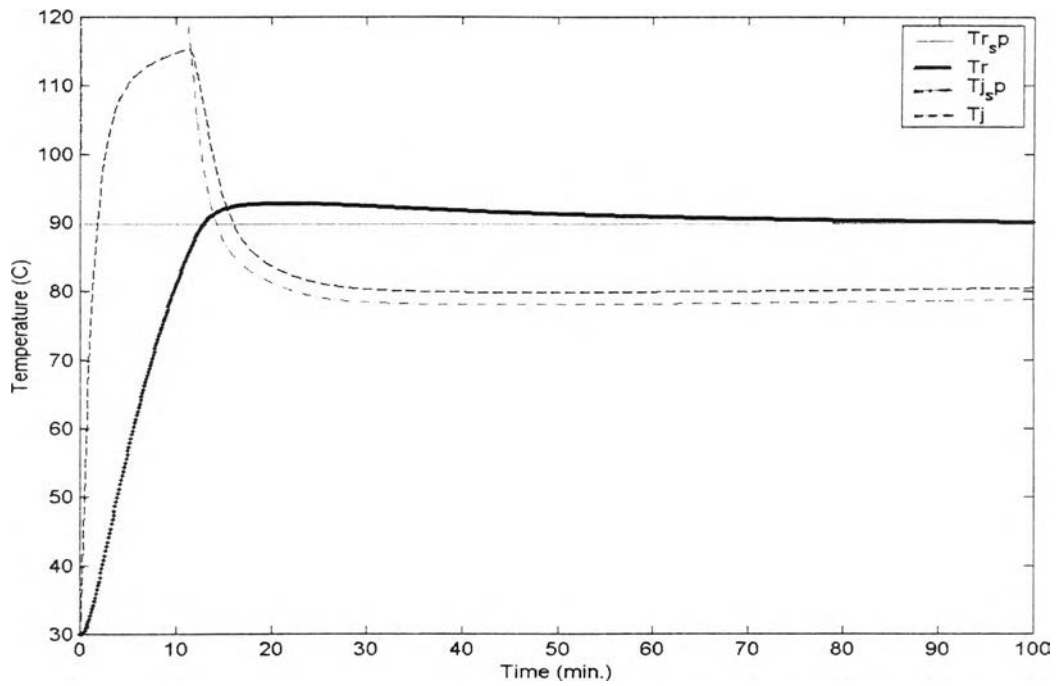
รูปที่ 5.11.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



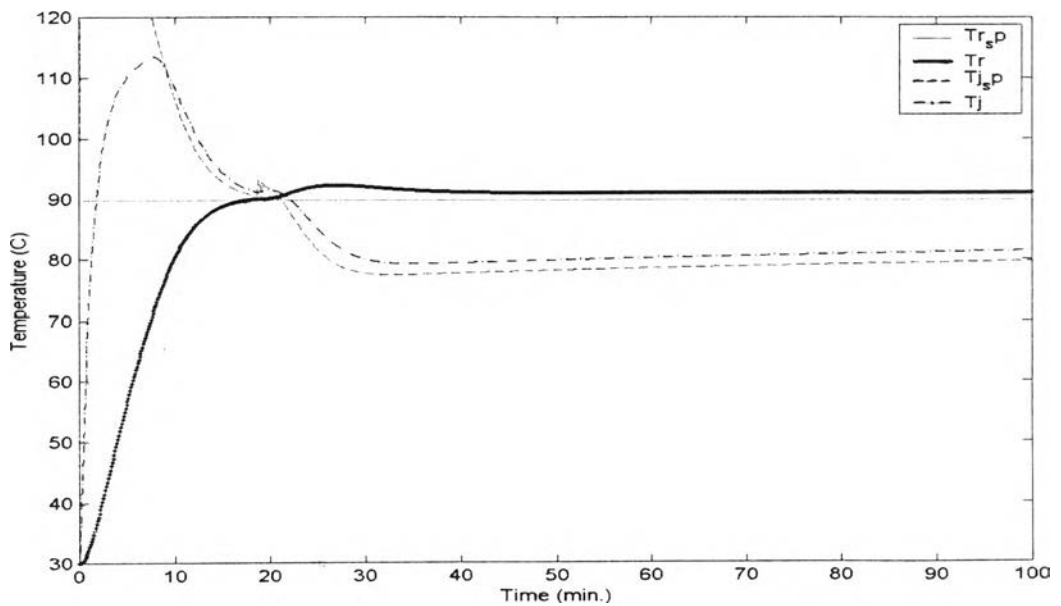
รูปที่ 5.11.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี

รูปที่ 5.11 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี  
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 20%



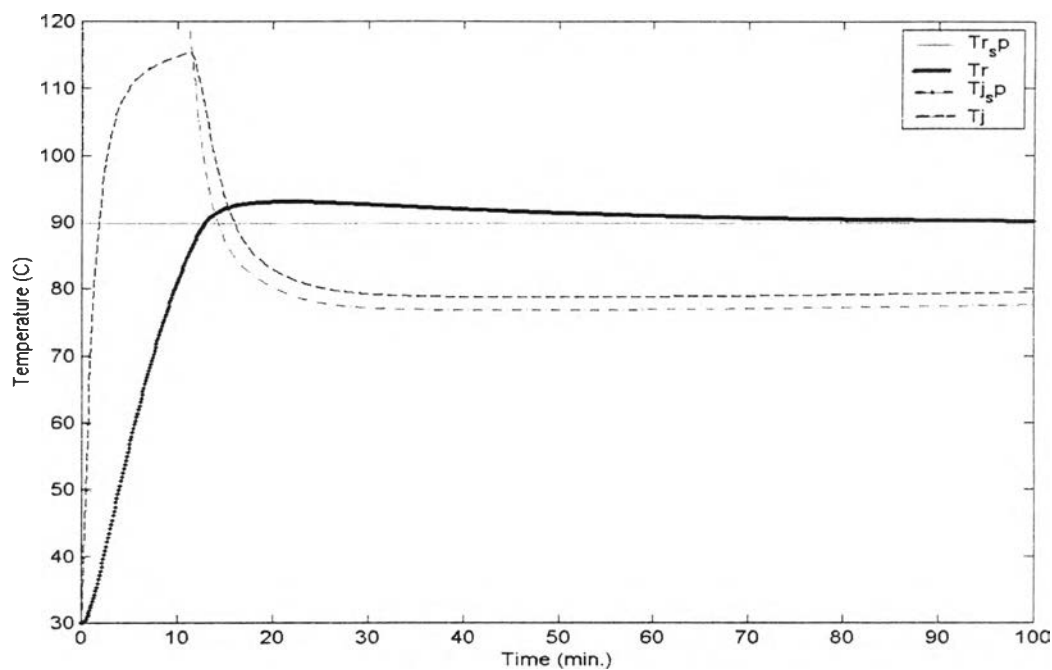


รูปที่ 5.12.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

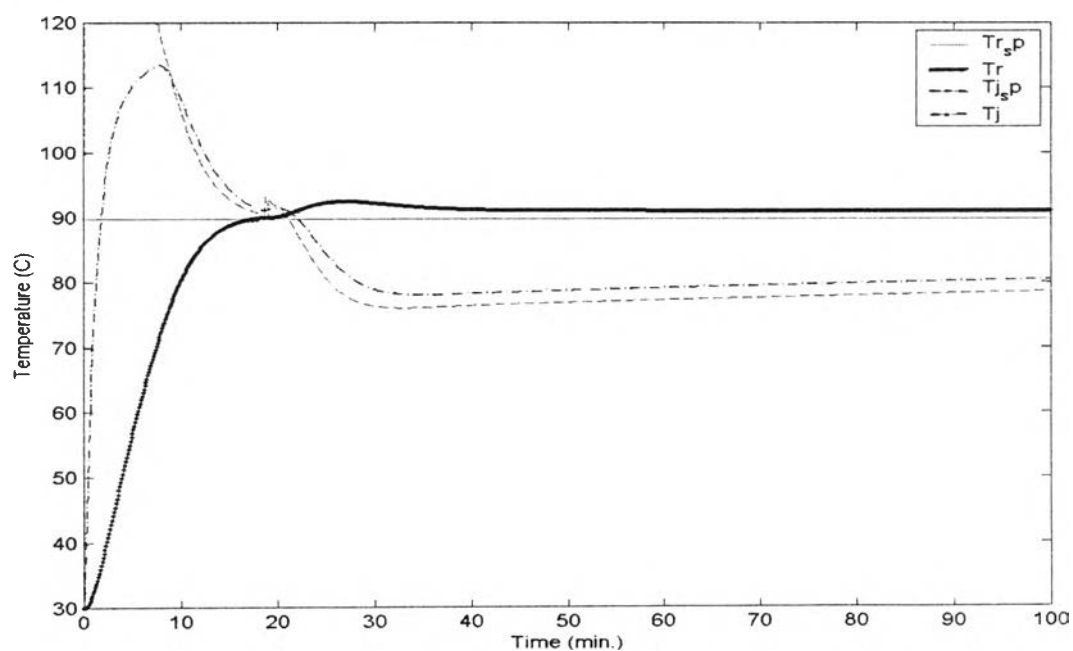


รูปที่ 5.12.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

รูปที่ 5.12 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบพีไอดี  
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10%



รูปที่ 5.13. ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



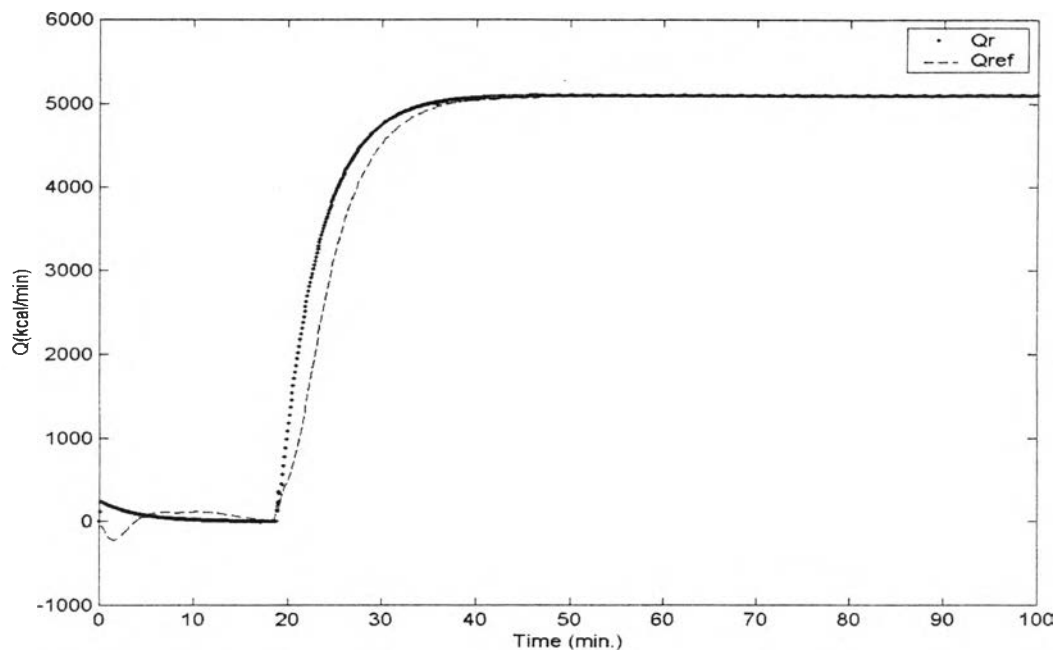
รูปที่ 5.13.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

รูปที่ 5.13 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบพีไอเอ็มซี  
เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 20%

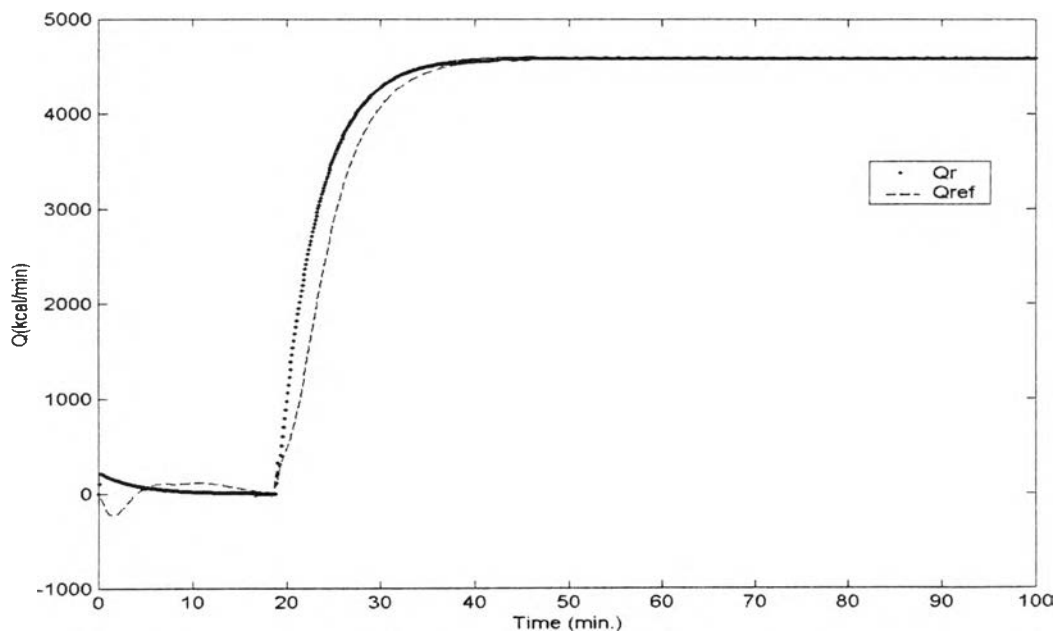
ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา จะเห็นว่าเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาก็เปลี่ยนแปลงตามด้วย กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนทั้งในกรณีความร้อนที่เกิดขึ้นจริงและค่าความร้อนที่เกิดจากการประมาณ พบว่าเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.14 โดยแสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกรณีที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10%, 20% และ 30 %

จากที่กล่าวว่าเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงด้วย และจากผลการตอบสนองดังรูปที่ 5.14 พบว่าเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นประมาณ 5000 kcal/min และเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10%, 20% และ 30% พบว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลง โดยมีค่าความร้อนประมาณ 4700, 4000 และ 3600 kcal/min ตามลำดับ

ในทางตรงกันข้ามเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.15 โดยแสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกรณีที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10%, 20% และ 30 % ตามลำดับ โดยจากผลการตอบสนองตามรูป พบว่าเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10%, 20% และ 30% ค่าความร้อนที่เกิดจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีค่าความร้อนประมาณ 5500, 6000 และ 6800 kcal/min ตามลำดับ

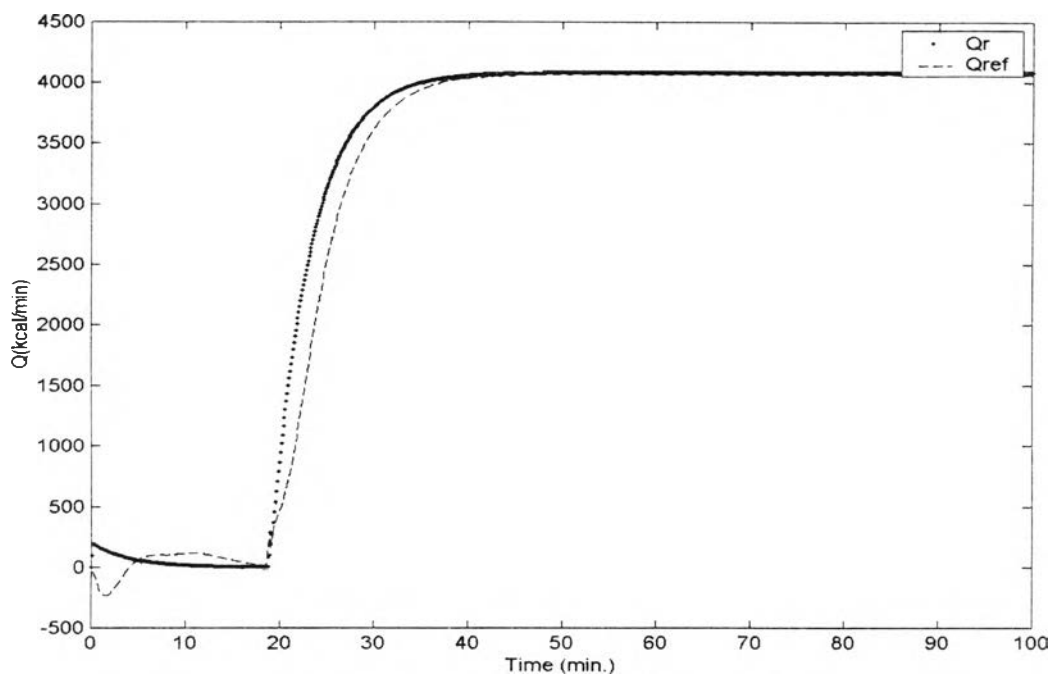


รูปที่ 5.14.1 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ

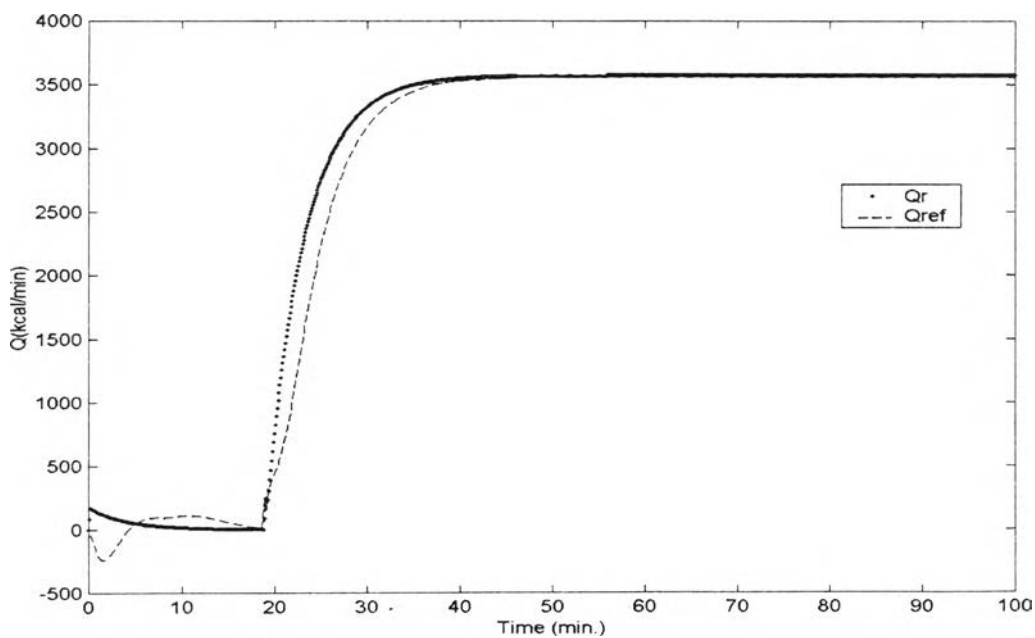


รูปที่ 5.14.2 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10%

รูปที่ 5.14 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10, 20, 30% ตามลำดับ

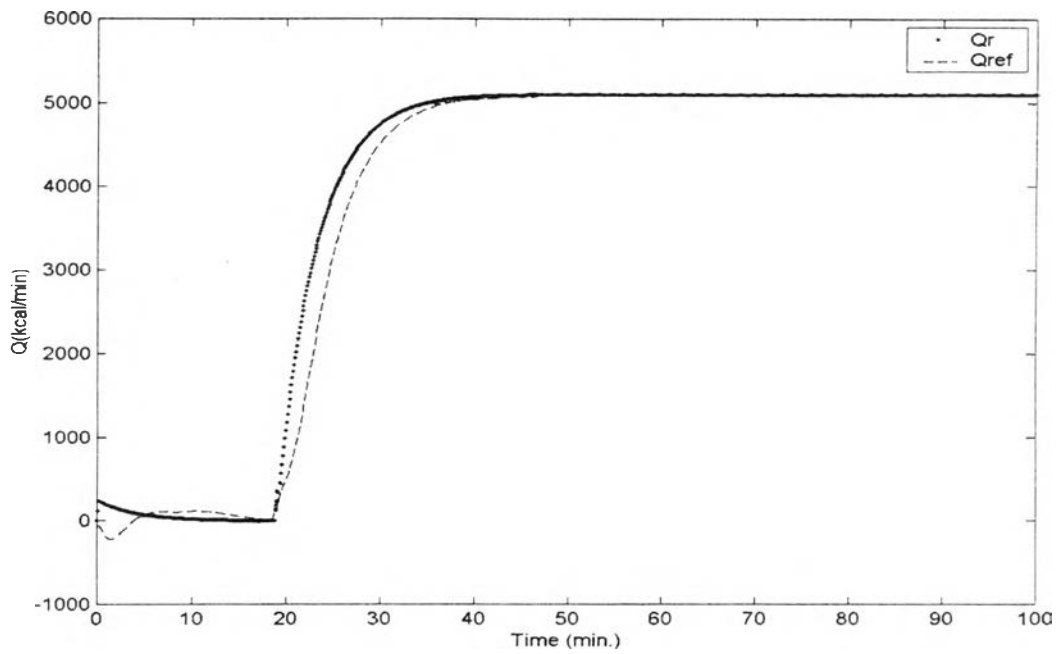


รูปที่ 5.14.3 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 20%

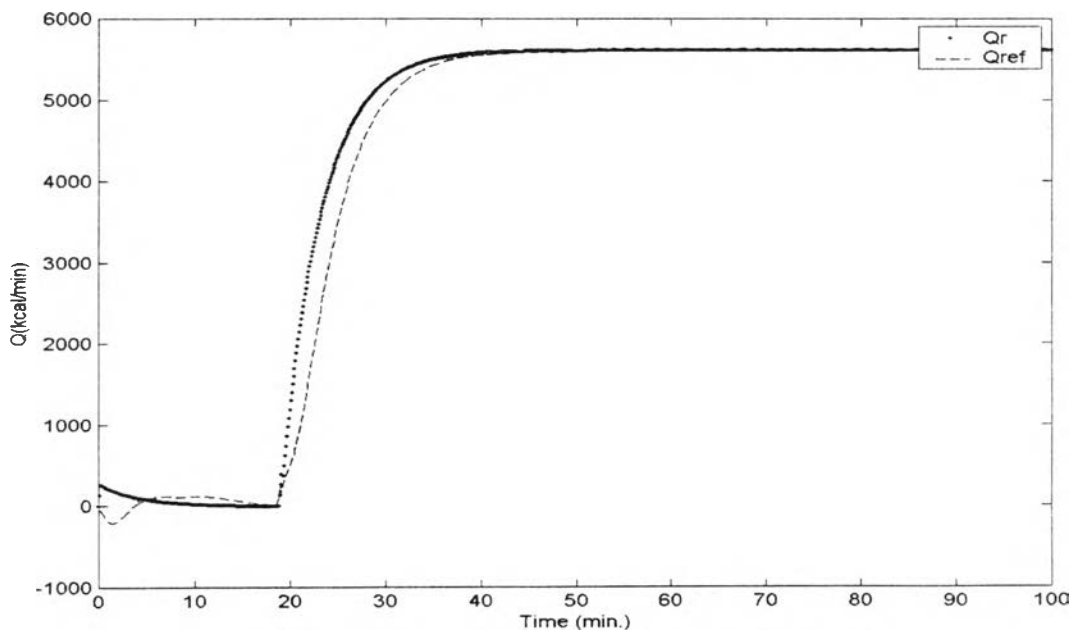


รูปที่ 5.14.4 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 30%

รูปที่ 5.14 (ต่อ) ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10, 20, 30% ตามลำดับ

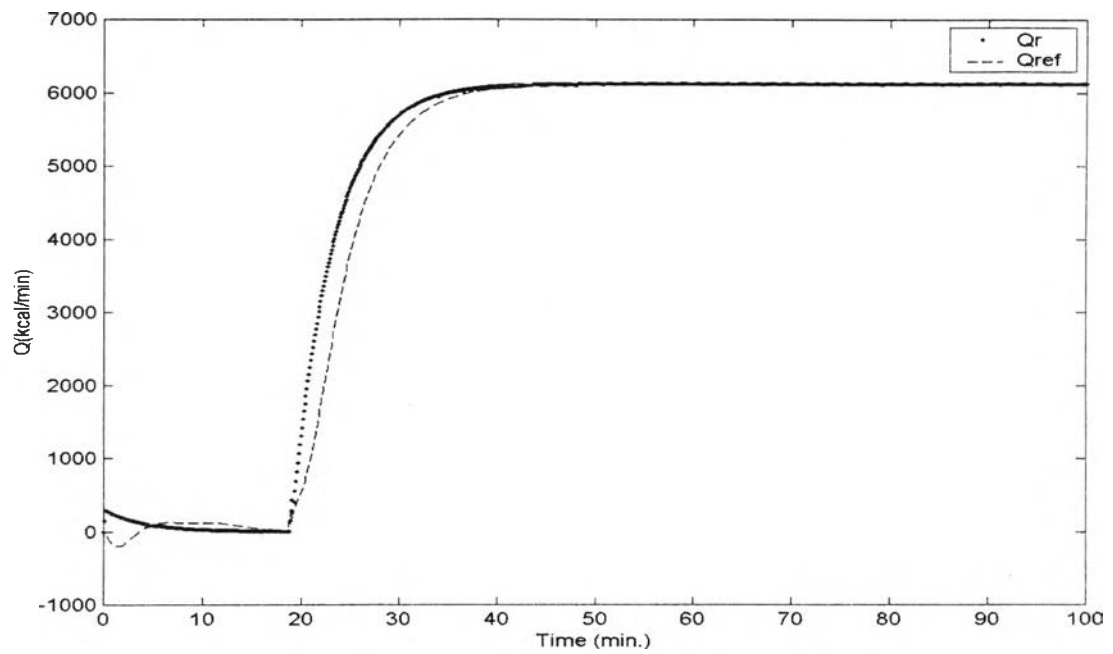


รูปที่ 5.15.1 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ

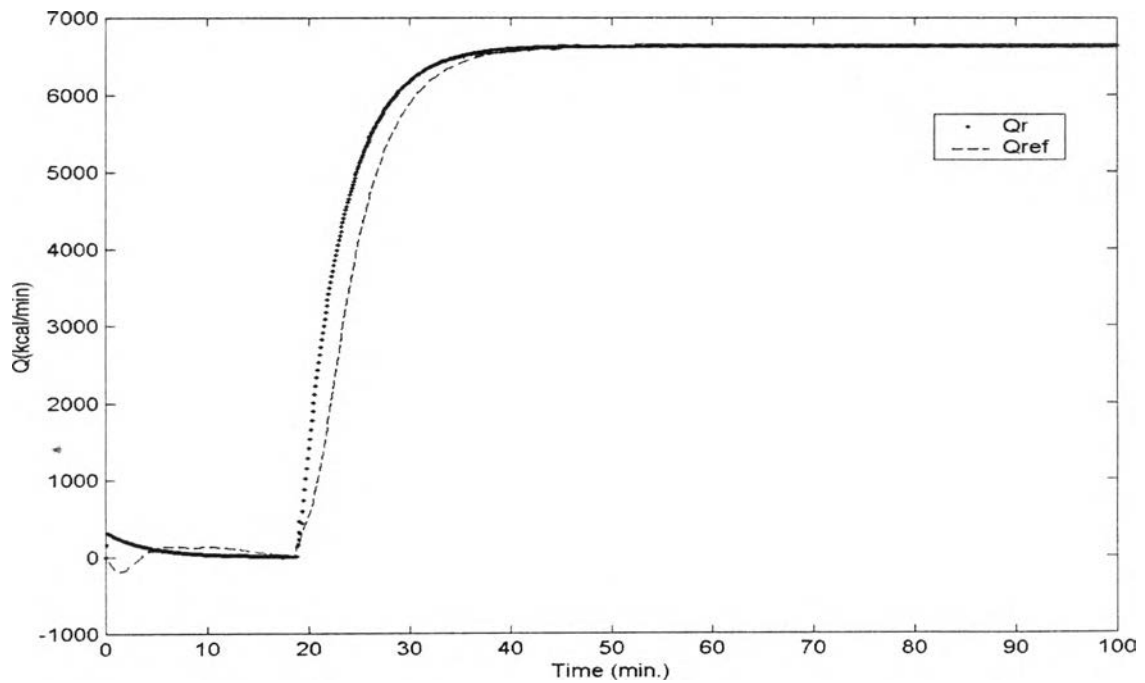


รูปที่ 5.15.2 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10%

รูปที่ 5.15 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจี้เอ็มซีเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10, 20, 30% ตามลำดับ



รูปที่ 5.15.3 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 20%



รูปที่ 5.15.4 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 30%

รูปที่ 5.15 (ต่อ) ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10, 20, 30% ตามลำดับ

### 5.3.2 การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์เกิดการเปลี่ยนแปลง อาจเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น ผนังของเครื่องปฏิกรณ์ไม่สะอาดมีคราบสิ่งสกปรกเกาะติด โดยในการผลิตอิมัลชันโพลีเมอร์ไรเซชันในเครื่องปฏิกรณ์เคมี-แบตช์ จะนิยมผลิตต่อเนื่องจำนวนหลาย ๆ แบตช์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำความสะอาด โดยระหว่างแบตช์ใช้น้ำฉีดล้างเท่านั้น ทำให้เกิดคราบสกปรกสะสมบริเวณผิวของเครื่องปฏิกรณ์ ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง เมื่อเทียบกับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในขณะที่เครื่องปฏิกรณ์สะอาด ทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างสารในเครื่องปฏิกรณ์และน้ำในแจ็กเก็ตลดลง ในงานวิจัยนี้พบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ดังนั้นส่งผลให้อุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์จะมีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงขึ้น โดยได้ทำการศึกษาในกรณีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10% ถึง 30% เปรียบเทียบกับกรณีที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนปกติ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของแจ็กเก็ตเท่ากับ  $80^{\circ}\text{C}$  โดยเปรียบเทียบการควบคุมแบบพีไอเอ็มซีกับการควบคุมแบบพีไอดี เช่นเดียวกับกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา

ตารางที่ 5.4 ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลอง ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบพีไอเอ็มซี

ค่าคลาดเคลื่อน	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง	PID Controller	GMC Controller	%Dif
IAE	0 %	460.2863	452.7955	1.654
	10 %	518.7729	482.0887	7.609
	20 %	591.4399	520.5727	13.613
	30 %	684.1713	570.7615	18.870
ISE	0 %	$1.4851 \times 10^4$	$1.4829 \times 10^4$	0.148
	10 %	$1.6032 \times 10^4$	$1.5874 \times 10^4$	0.995
	20 %	$1.7541 \times 10^4$	$1.7191 \times 10^4$	2.036
	30 %	$1.9536 \times 10^4$	$1.8885 \times 10^4$	3.447

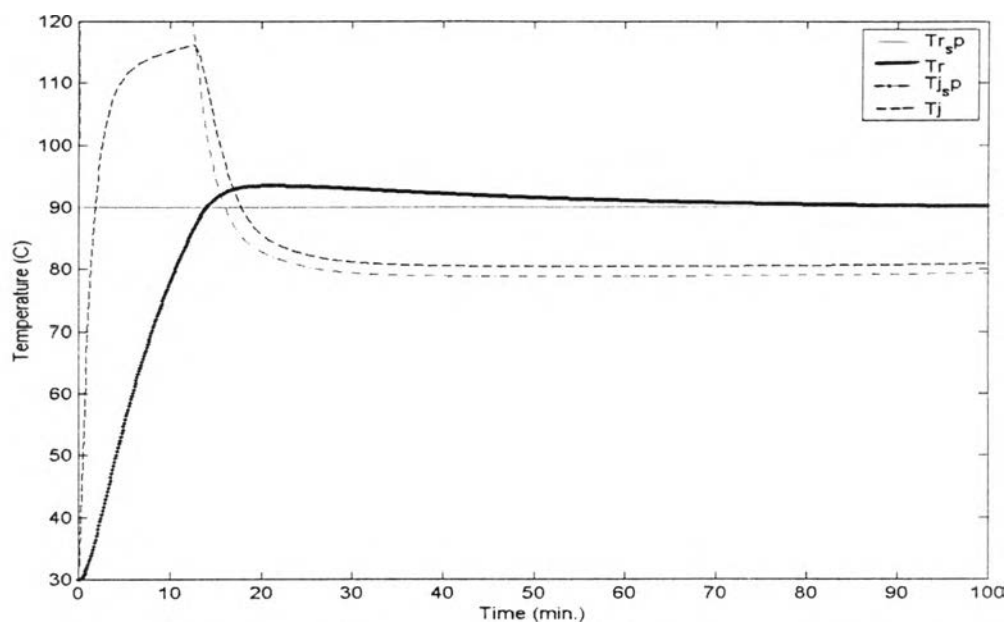


ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงดังรูปที่ 5.16 ถึง 5.18 ซึ่งจากค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่แสดงในตารางที่ 5.4 และสามารถเปรียบเทียบผลการควบคุมแบบจีเอ็มซีกับการควบคุมแบบพีไอดี โดยการคำนวณ %Different (%Dif)

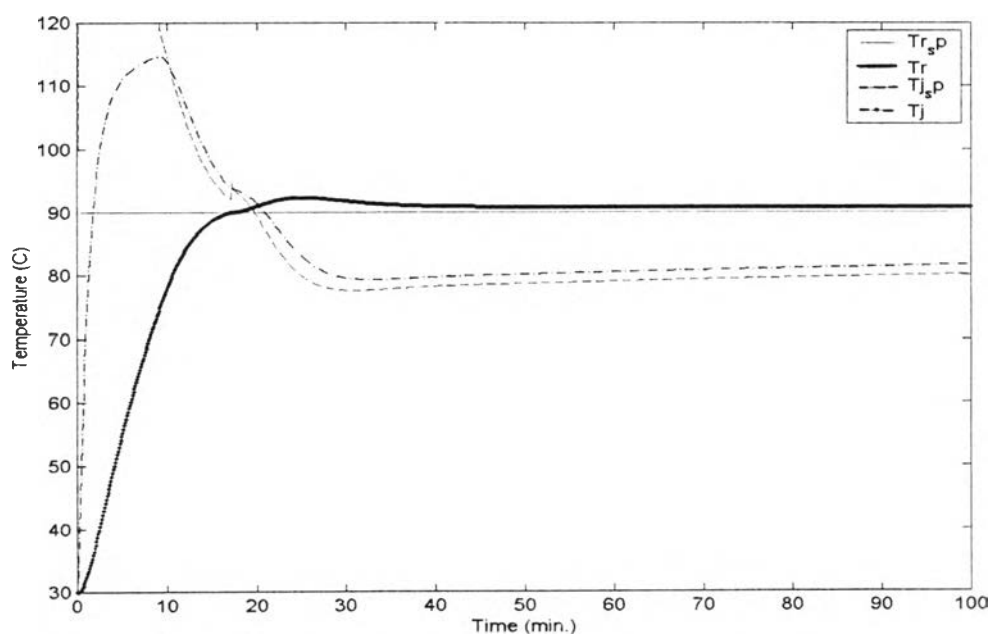
จากผลการตอบสนองพบว่า การควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง ซึ่งสังเกตจากการตอบสนองที่ได้จากการควบคุมแบบพีไอดีจะเกิดโอเวอร์ชูตมากกว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซี และพบว่าเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่ได้จากการคำนวณจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่ได้เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง จะเพิ่มมากขึ้น

นั่นคือสมรรถนะความทนทานของการควบคุมแบบจีเอ็มซีสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดี ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีและการควบคุมแบบพีไอดี ในสภาวะการดำเนินการผิดพลาด ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10 % ถึง 30 % พบว่าการตอบสนองในการควบคุมอุณหภูมิของการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี โดยผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 10% แสดงดังรูปที่ 5.16.1 และ 5.16.2 ตามลำดับ จากการควบคุมแบบจีเอ็มซีพบว่าอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_r$ ) จะเข้าสู่อุณหภูมิเซตพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ ( $T_{rsp}$ ) ใกล้เดียวกับค่าที่กำหนด และจากผลการตอบสนองสังเกตเห็นว่ามีจุดที่อุณหภูมิของแจ็กเก็ตและแจ็กเก็ตเซตพอยต์จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อยเช่นเดิม ซึ่งที่มาของจุดนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

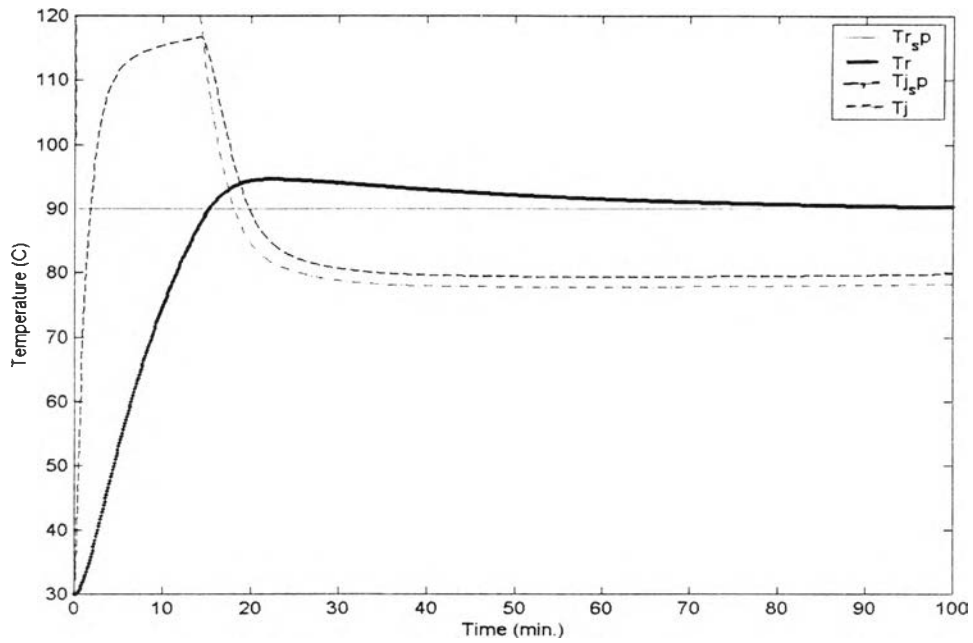


รูปที่ 5.16.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

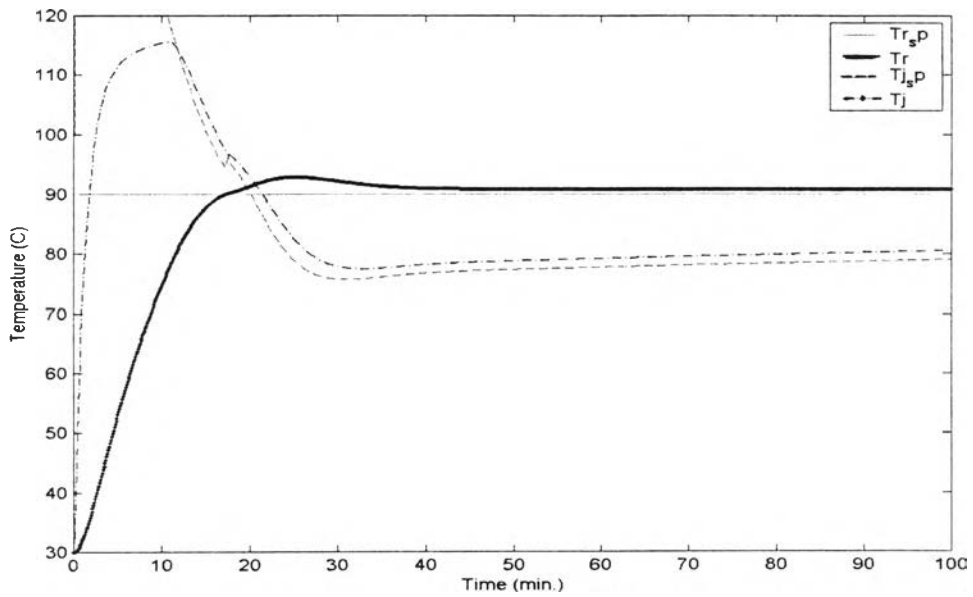


รูปที่ 5.16.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี

รูปที่ 5.16 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี  
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10%



รูปที่ 5.17.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



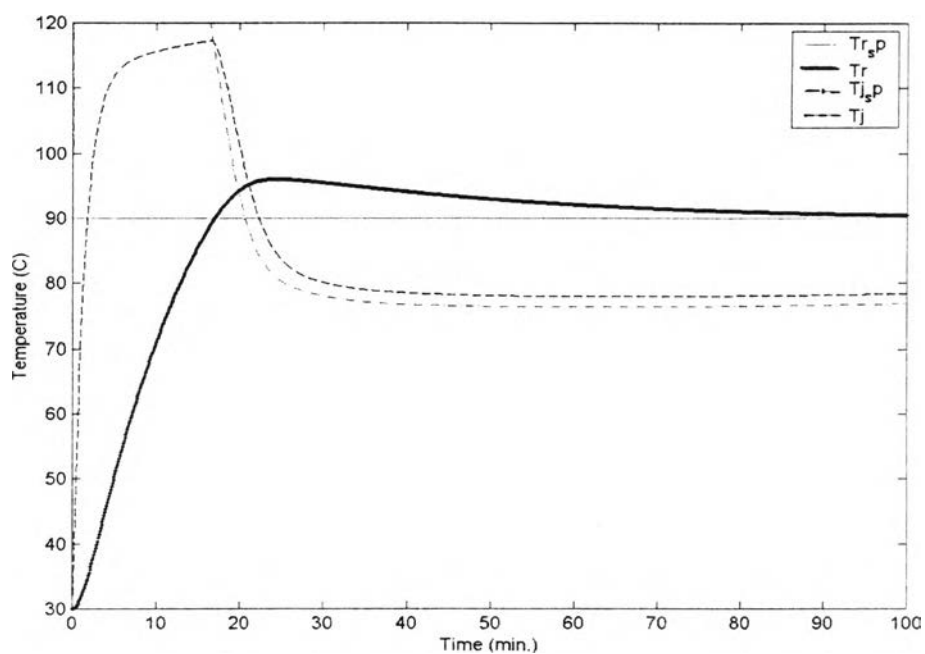
รูปที่ 5.17.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอเอ็มซี

รูปที่ 5.17 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบพีไอเอ็มซี  
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20%

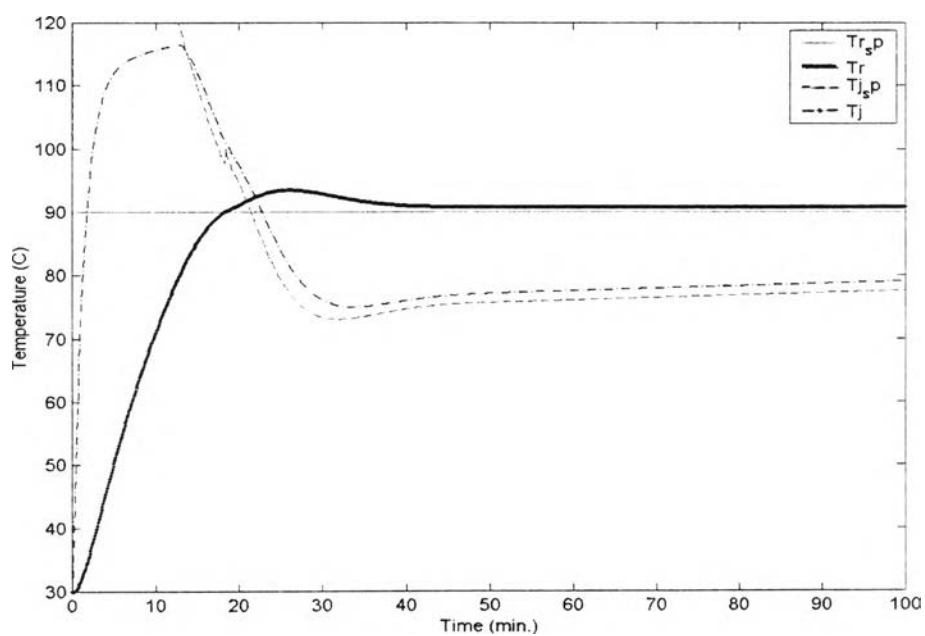
ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20% และ 30% แสดงดังรูปที่ 5.17.1, 5.17.2 , 5.18.1 และ 5.18.2 ตามลำดับ การควบคุมแบบจีเอ็มซีให้ผลการตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี โดยสังเกตจากผลการตอบสนองของการควบคุมอุณหภูมิและค่าไอเออีที่คำนวณได้ และจากผลการตอบสนองสังเกตเห็นว่ามีจุดที่อุณหภูมิของแจ๊คเกิดและแจ๊คเกิดเซ็ดพอยต์จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อยเช่นเดิม ซึ่งที่มาของจุดนี้อธิบายได้เช่นเดิม

ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา จะเห็นว่าเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10% ถึง 30% ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาก็เปลี่ยนแปลงตามด้วย กล่าวคือเมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนทั้งในกรณีความร้อนที่เกิดขึ้นจริงและค่าความร้อนที่เกิดจากการประมาณ พบว่าเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงมากขึ้น ค่าความร้อนที่ประมาณได้จะเบี่ยงเบนออกจากค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.19 โดยแสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นและค่าความร้อนที่เกิดจากการประมาณ ในกรณีที่เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนปกติและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10%, 20% และ 30 % ตามลำดับ

เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนแปลงพบว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจริงใกล้เคียงกับในกรณีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนปกติ แต่ค่าความร้อนที่ประมาณได้จะเบี่ยงเบนจากค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจริงมากขึ้น โดยพบว่าการประมาณค่าความร้อนออนไลน์ไม่สามารถประมาณค่าความร้อนได้อย่างถูกต้อง แต่การควบคุมแบบจีเอ็มซียังสามารถควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ที่อุณหภูมิเซ็ดพอยต์ของเครื่องปฏิกรณ์ได้ เนื่องจากสมการของการควบคุมแบบจีเอ็มซีมีการชดเชยค่าตัวแปรสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแล้ว

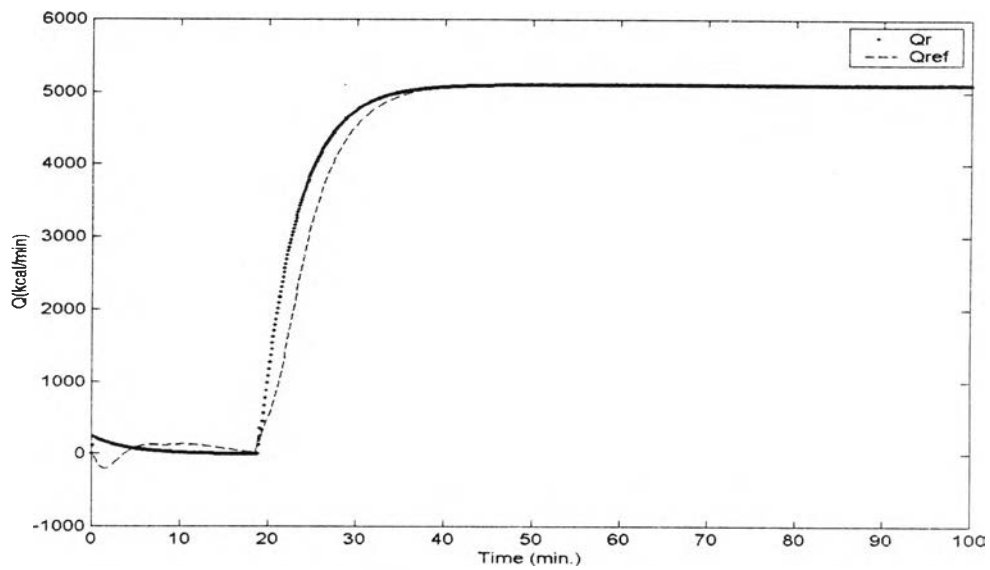


รูปที่ 5.18.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

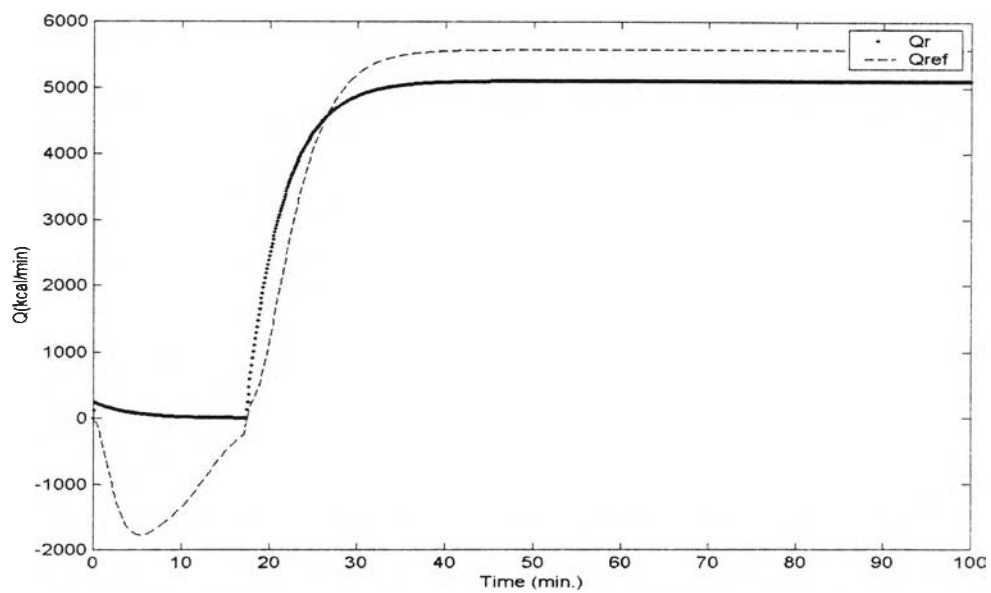


รูปที่ 5.18.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี

รูปที่ 5.18 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี  
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30%

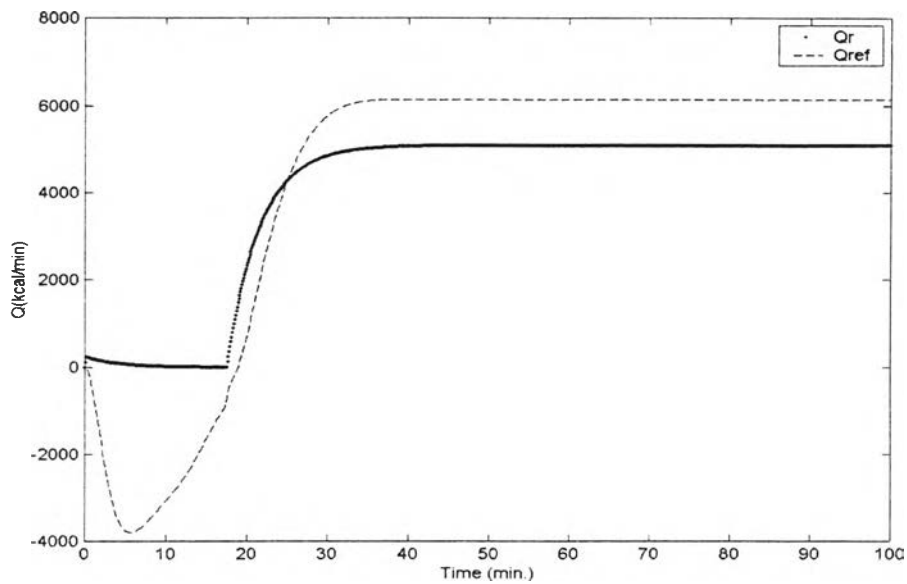


รูปที่ 5.19.1 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนปกติ

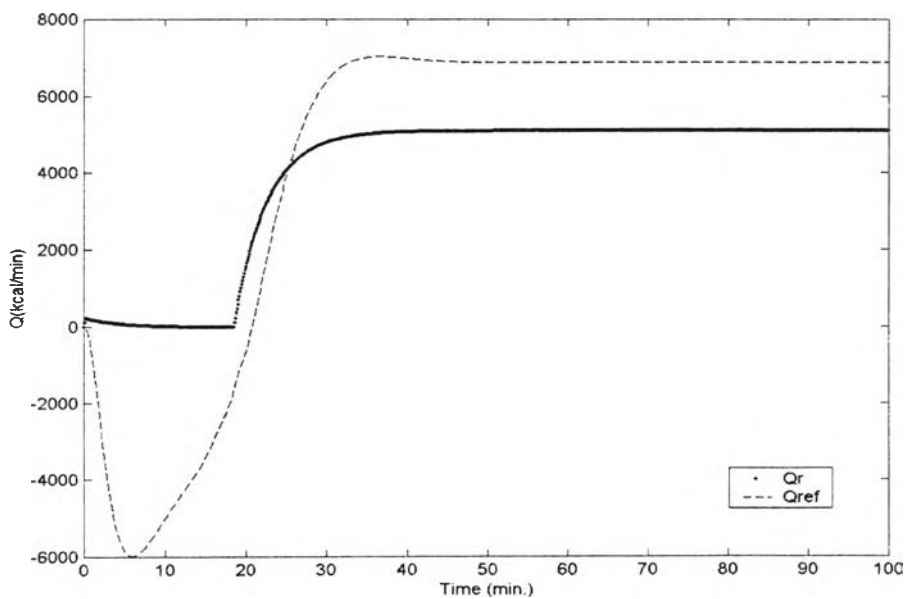


รูปที่ 5.19.2 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 10%

รูปที่ 5.19 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนปกติและลดลง 10, 20, 30% ตามลำดับ



รูปที่ 5.19.3 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 20%



รูปที่ 5.19.4 เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30%

รูปที่ 5.19(ต่อ) ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนปกติและลดลง 10, 20, 30% ตามลำดับ

### 5.3.3 การเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกัน

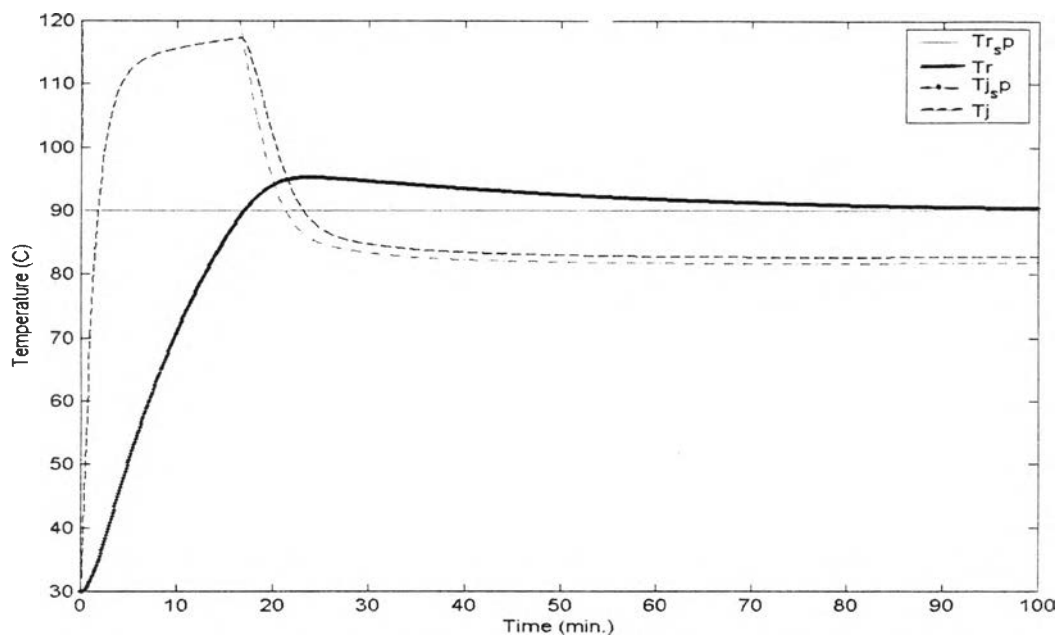
กระบวนการผลิตโพลีเมอร์แบบอิมัลชัน อาจมีโอกาสดังกล่าวการดำเนินการผิดพลาดพร้อมกันทั้งในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการกำหนดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลงคงที่ 30% และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือลดลง 30% ซึ่งเป็นสภาวะเลวร้ายที่สุดที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับการที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิเริ่มต้นของเจ็คเกิดเท่ากับ 80°C ภายใต้การควบคุมแบบพีไอดีเปรียบเทียบกับควบคุมแบบพีไอดี เช่นเดียวกับในกรณีต่าง ๆ ที่ผ่านมา

ตารางที่ 5.5 ค่าไอเออีและค่าไอเอสอีที่วัดได้จากการทดลอง ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและอัตราการเกิดปฏิกิริยาพร้อมกันของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี

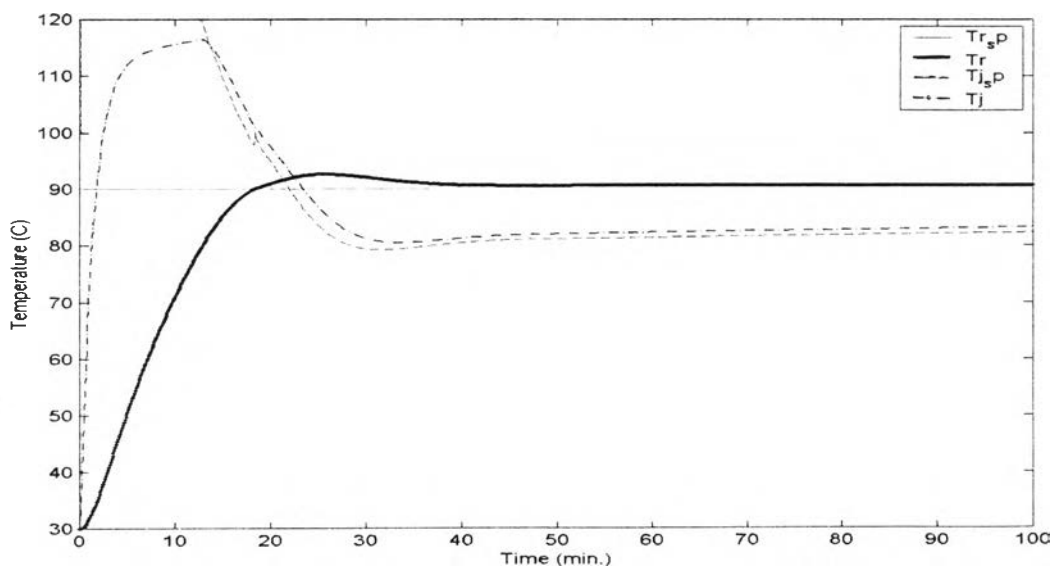
ค่าคลาดเคลื่อน	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	อัตราเกิดการปฏิกิริยา	PID Controller	GMC Controller	%Dif
IAE	0 %	0 %	460.2863	452.7955	1.654
	-30 %	-30 %	656.5600	545.7955	20.294
	-30 %	0 %	684.1713	570.7615	19.870
	-30 %	30 %	717.7823	595.0101	20.634
ISE	0 %	0 %	$1.4851 \times 10^4$	$1.4829 \times 10^4$	0.148
	-30 %	-30 %	$1.9340 \times 10^4$	$1.8851 \times 10^4$	2.5943
	-30 %	0 %	$1.9536 \times 10^4$	$1.8885 \times 10^4$	3.447
	-30 %	30 %	$1.9734 \times 10^4$	$1.8939 \times 10^4$	4.198

ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30% และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและลดลง 30 % แสดงดังรูปที่ 5.20 และ 5.21 ซึ่งค่าไอเออีและค่าไอเอสอีของการควบคุมทั้งสองวิธีแสดงในตารางที่ 5.5



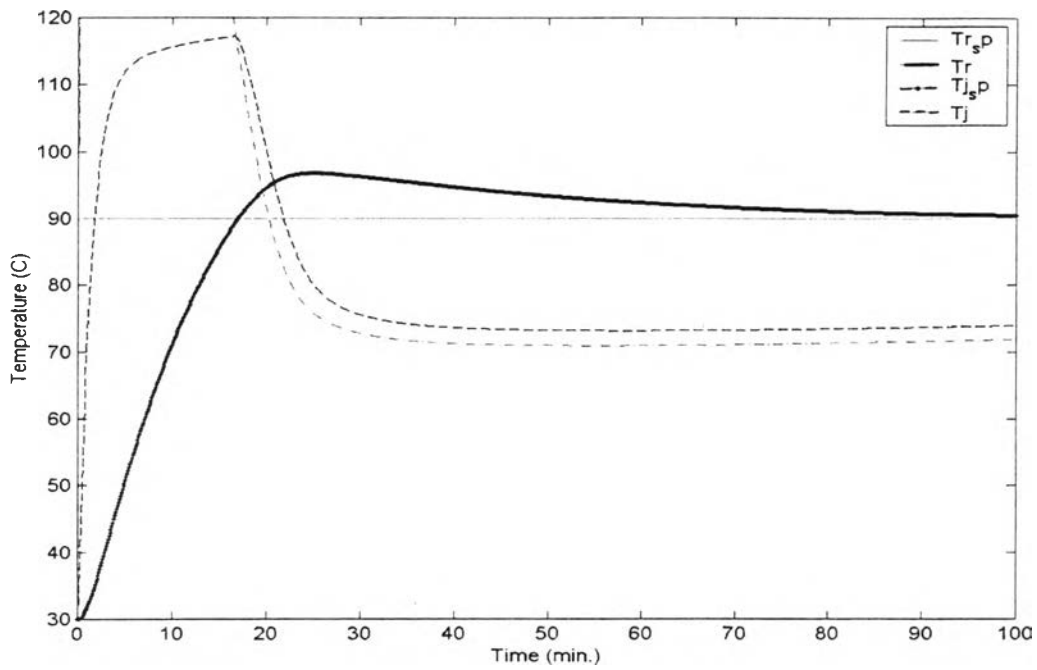


รูปที่ 5.20.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

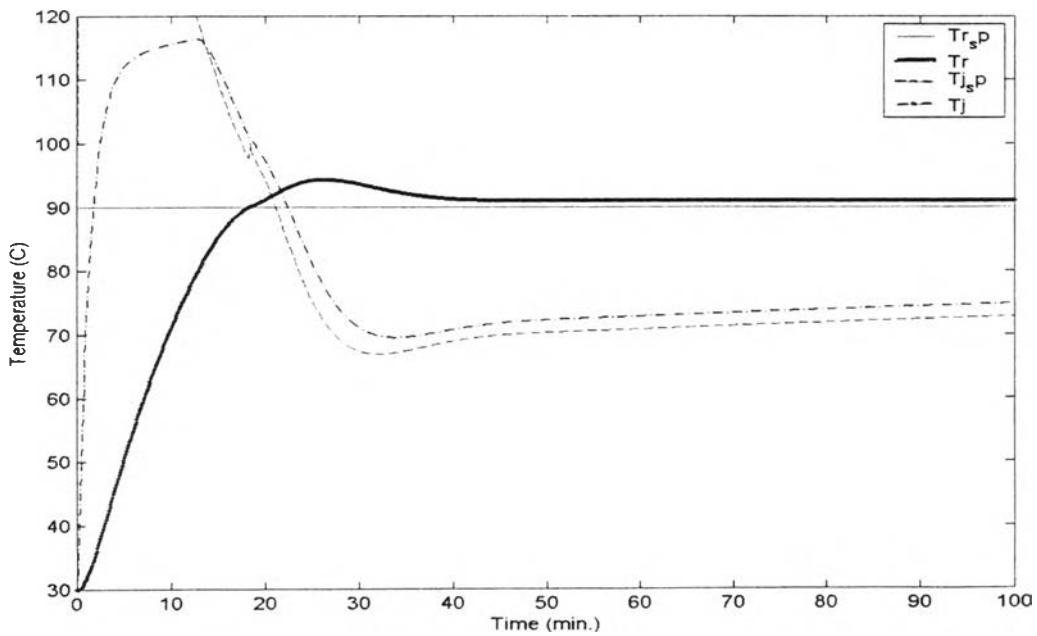


รูปที่ 5.20.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

รูปที่ 5.20 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบพีไอดี  
เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30% และอัตราการเกิด  
ปฏิกิริยาลดลง 30%



รูปที่ 5.21.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



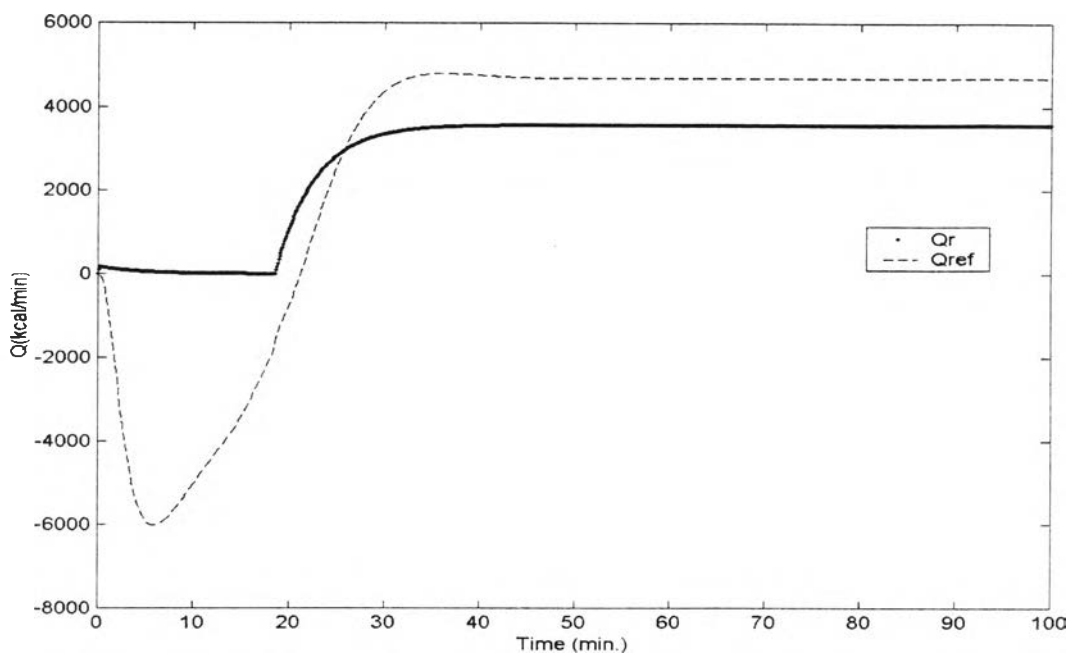
รูปที่ 5.21.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี

รูปที่ 5.21 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30% และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 30%

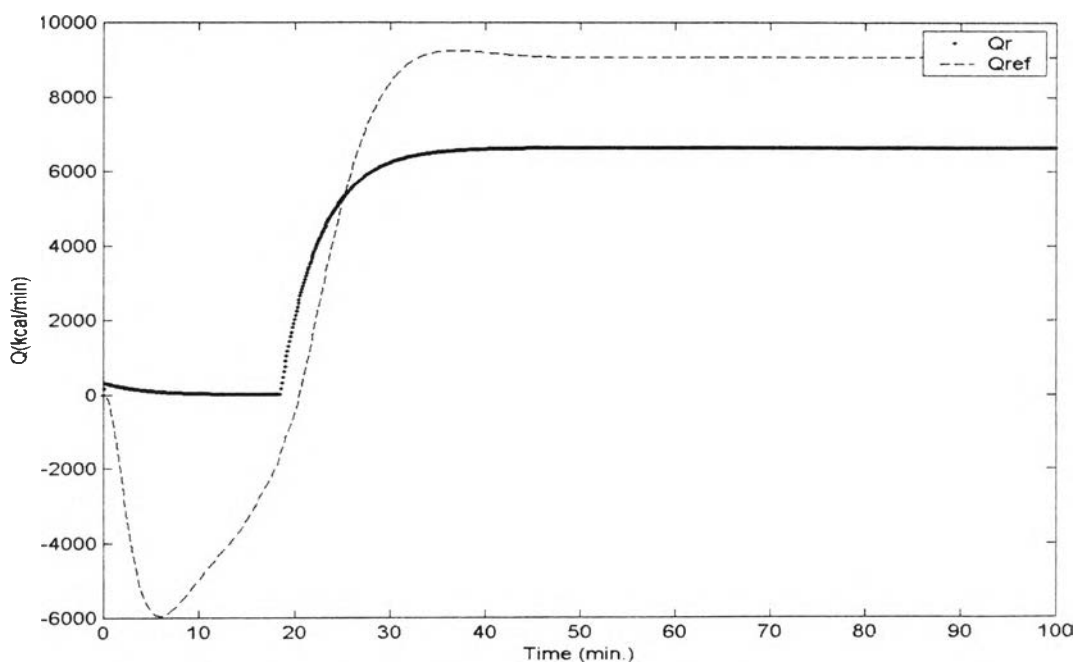
ผลการตอบสนองพบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30% และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและลดลง 30% ซึ่งสังเกตจากผลการตอบสนองที่ได้จากการควบคุมแบบพีไอดีจะเกิดโอเวอร์ชูตมากกว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซี และค่า %Different ของค่าไอเออีและค่าไอเอสอีใกล้เคียงกับในกรณีที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาปกติ

นั่นคือสมรรถนะความทนทานของการควบคุมแบบจีเอ็มซีสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดี ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30% และการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งในกรณีที่เพิ่มขึ้นและลดลง 30%

ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา จะเห็นว่าเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30% และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นหรือลดลง 30% พบว่าค่าความร้อนที่ประมาณได้จะเบี่ยงเบนจากค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจริงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง โดยเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง ความร้อนที่ประมาณได้จะเบี่ยงเบนจากค่าความร้อนจริงน้อยกว่าเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 5.22



รูปที่ 5.22.1 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง 30%



รูปที่ 5.22.2 เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 30%

รูปที่ 5.22 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดจากการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบบีเอ็มซี เมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง 30% และอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงหรือเพิ่มขึ้น 30%

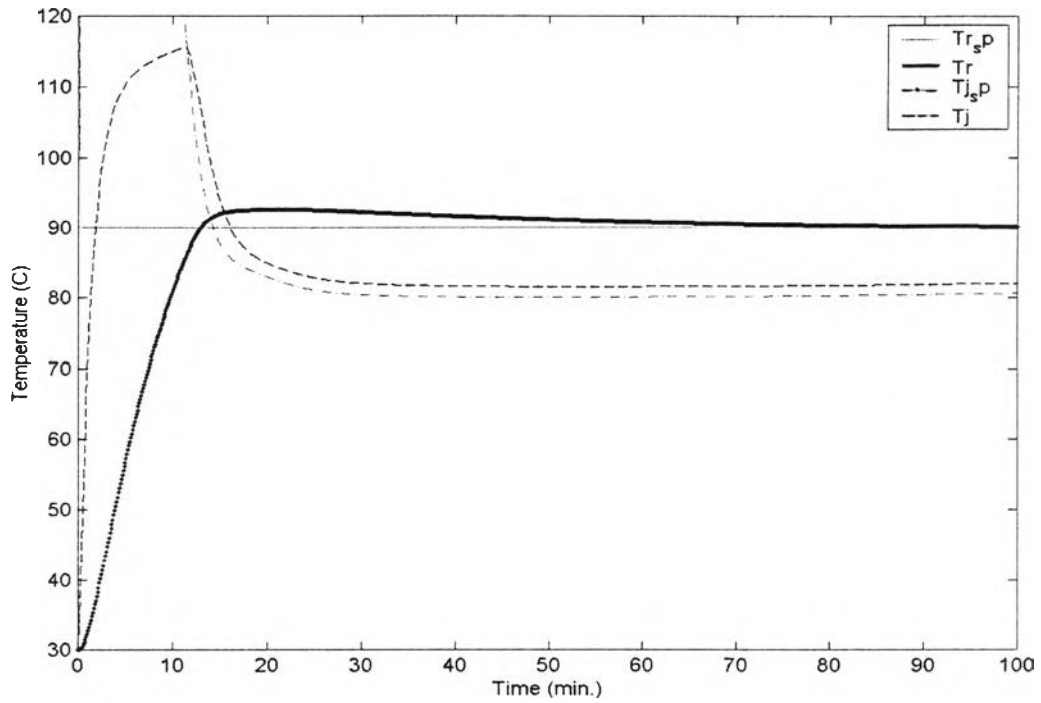
### 5.3.4 การเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์

อัตราการป้อนโมโนเมอร์ที่ป้อนลงในเครื่องปฏิกรณ์สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นทั้งในกรณีที่อัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลงหรือเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากเกิดความผิดพลาดของอุปกรณ์ที่ใช้ หรือความผิดพลาดที่เกิดจากการปรับเทียบไม่ถูกต้อง โดยการผลิตรสามารถยอมรับได้ที่ค่าความคลาดเคลื่อนไม่สูงมากนัก ซึ่งทำให้ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลงและเพิ่มขึ้น 5% และ 10% เท่านั้น โดยการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่า 5% ในความเป็นจริงไม่มีโอกาสเกิดได้ เนื่องจากปริมาณของโมโนเมอร์ที่ผิดพลาดในระดับนี้ก็สูงมากแล้ว ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาที่ป้อนโมโนเมอร์นานกว่าที่กำหนดมาก โดยทำการศึกษาภายใต้สภาวะเดิม และศึกษาผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเปรียบเทียบกับ การควบคุมแบบพีไอดี

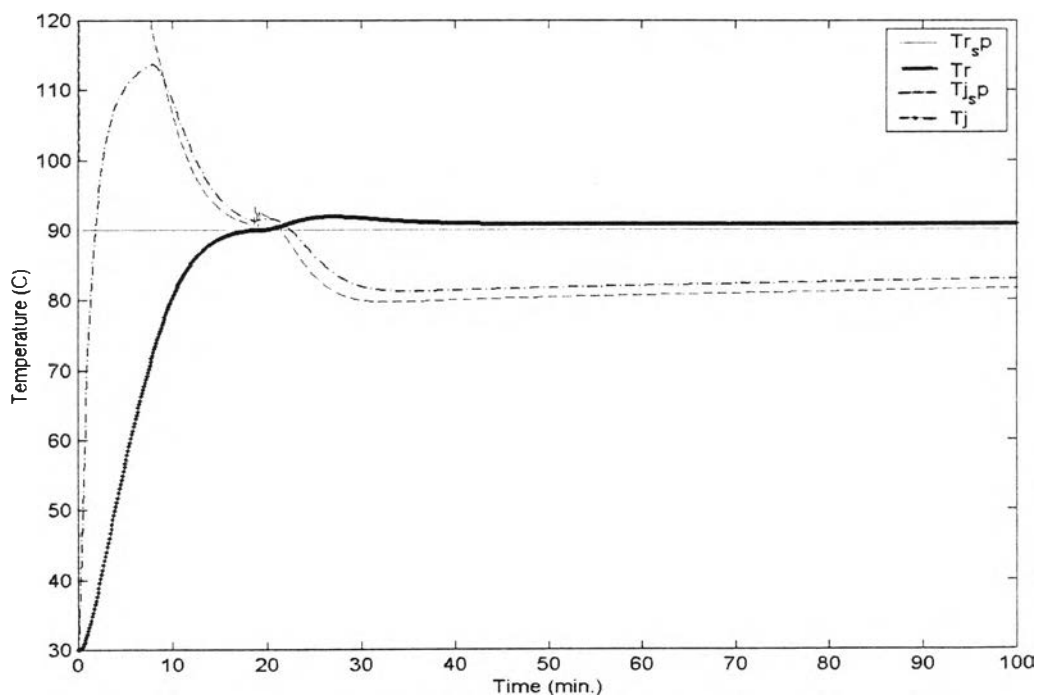
ตารางที่ 5.6 ค่าไอเออีที่วัดได้จากการทดลองในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์ของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี

ค่าคลาดเคลื่อน	การเปลี่ยนแปลงอัตรา การป้อนโมโนเมอร์	PID Controller	GMC Controller	%Dif
IAE	- 10 %	456.0999	445.0627	2.480
	- 5 %	458.2175	448.9264	2.070
	0 %	460.2863	451.4955	1.947
	5 %	462.3082	456.6702	1.235
	10 %	464.2856	460.5503	0.811

ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์แสดงดังรูปที่ 5.23 ถึง 5.26 ซึ่งจากค่าไอเออีที่แสดงในตารางที่ 5.6 และสามารถเปรียบเทียบการควบคุมแบบจีเอ็มซีกับการควบคุมแบบพีไอดี โดยการคำนวณ %Different (%Dif) เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบจีเอ็มซีของแต่ละกรณี



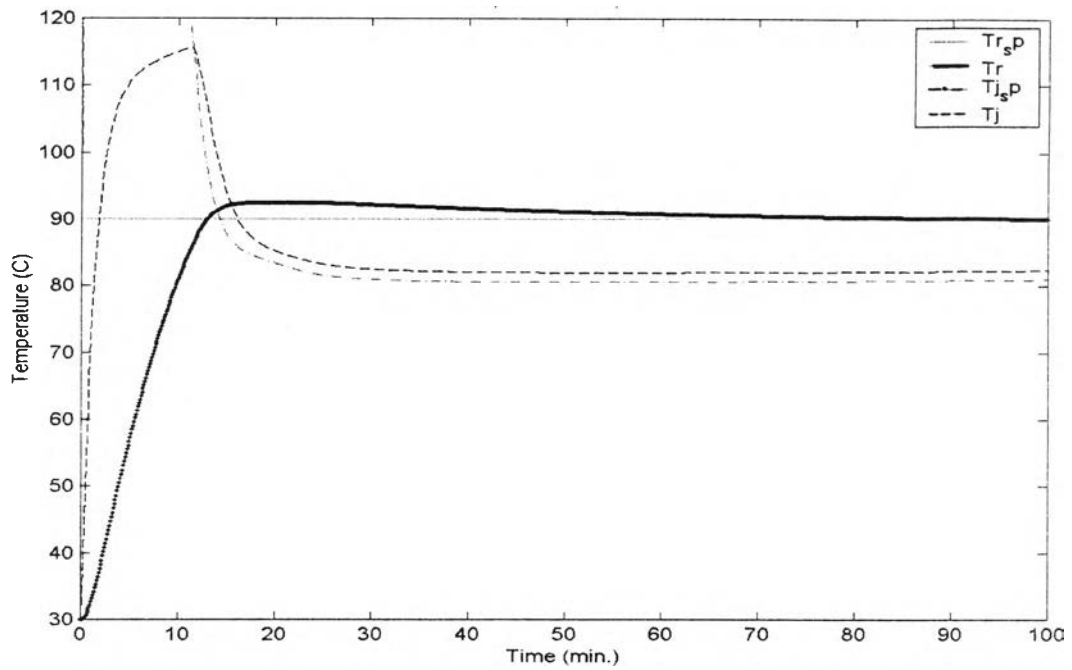
รูปที่ 5.23.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



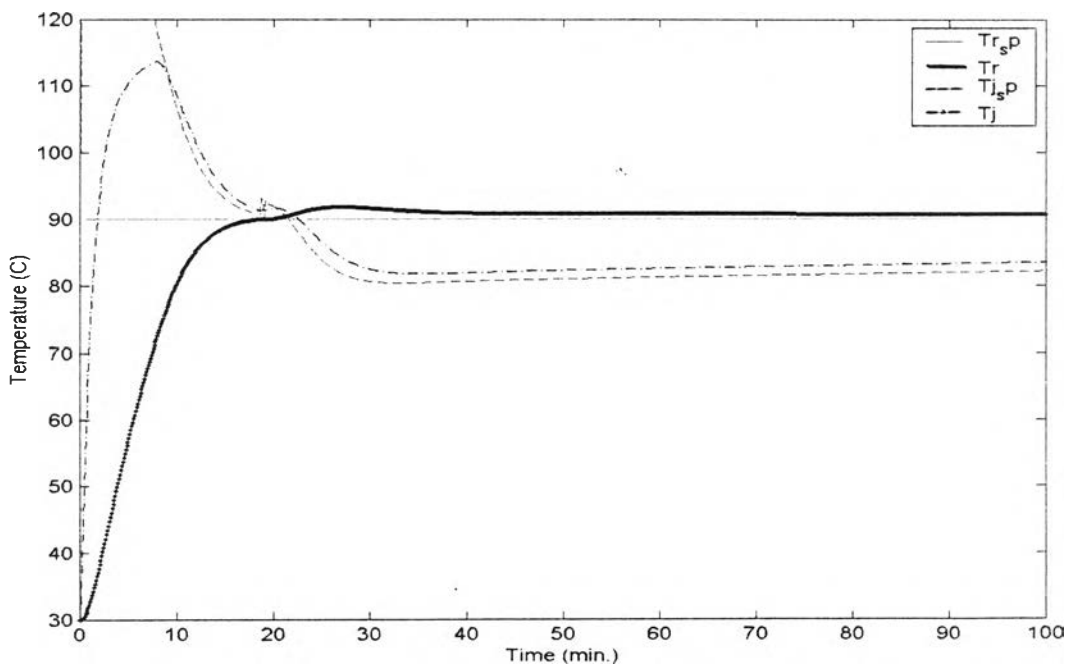
รูปที่ 5.23.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี

รูปที่ 5.23 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี

เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5%

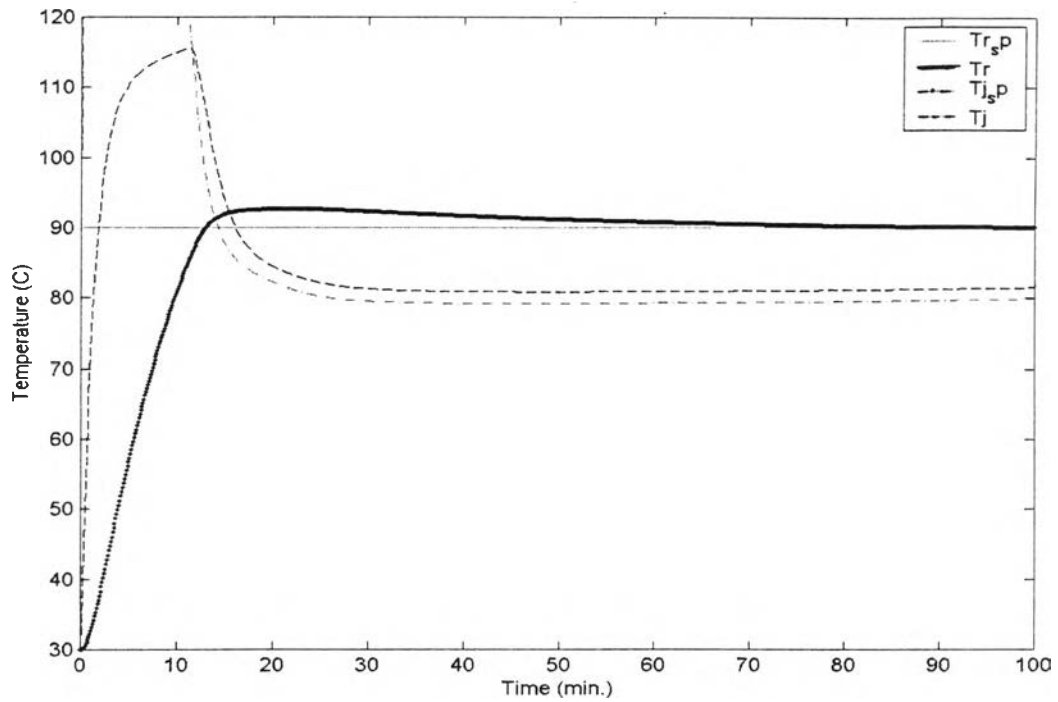


รูปที่ 5.24.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

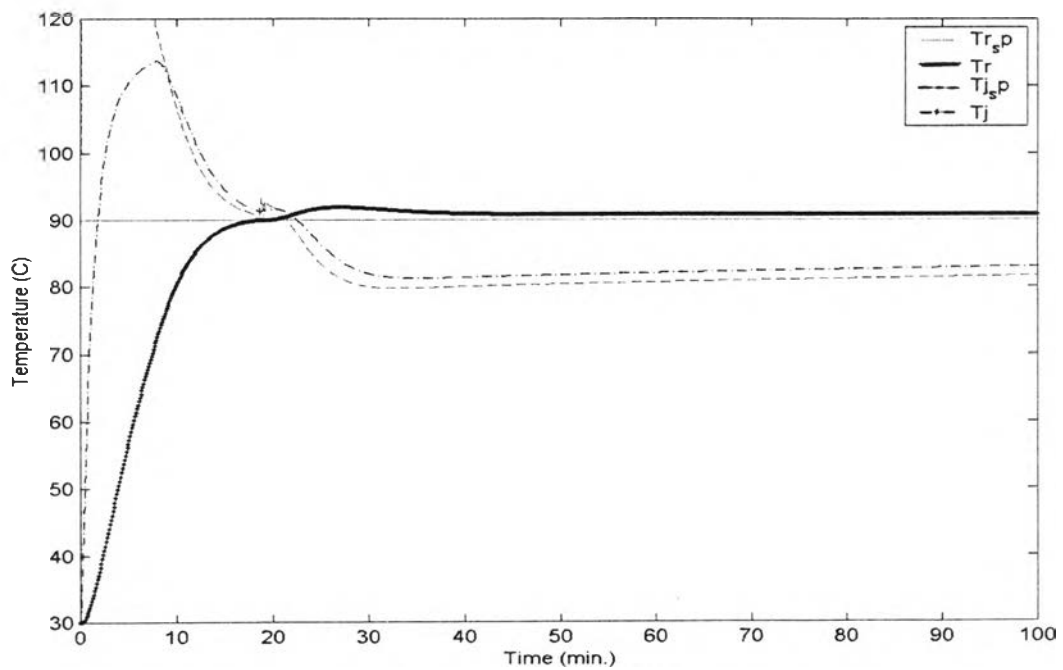


รูปที่ 5.24.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบจีเอ็มซี

รูปที่ 5.24 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบจีเอ็มซี  
เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 10%



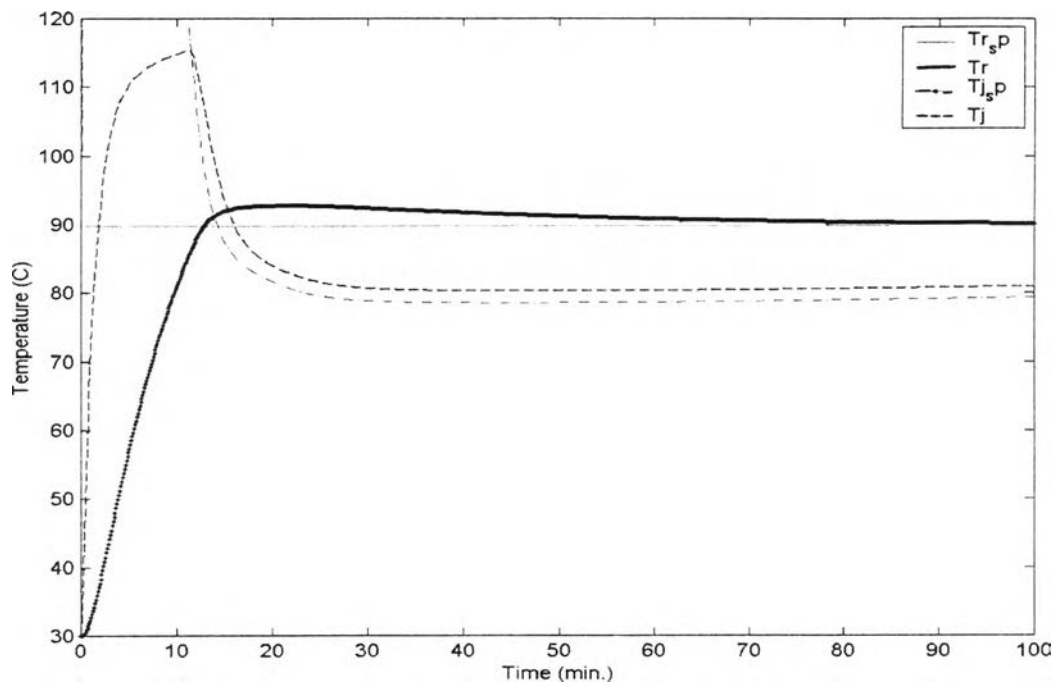
รูปที่ 5.25.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



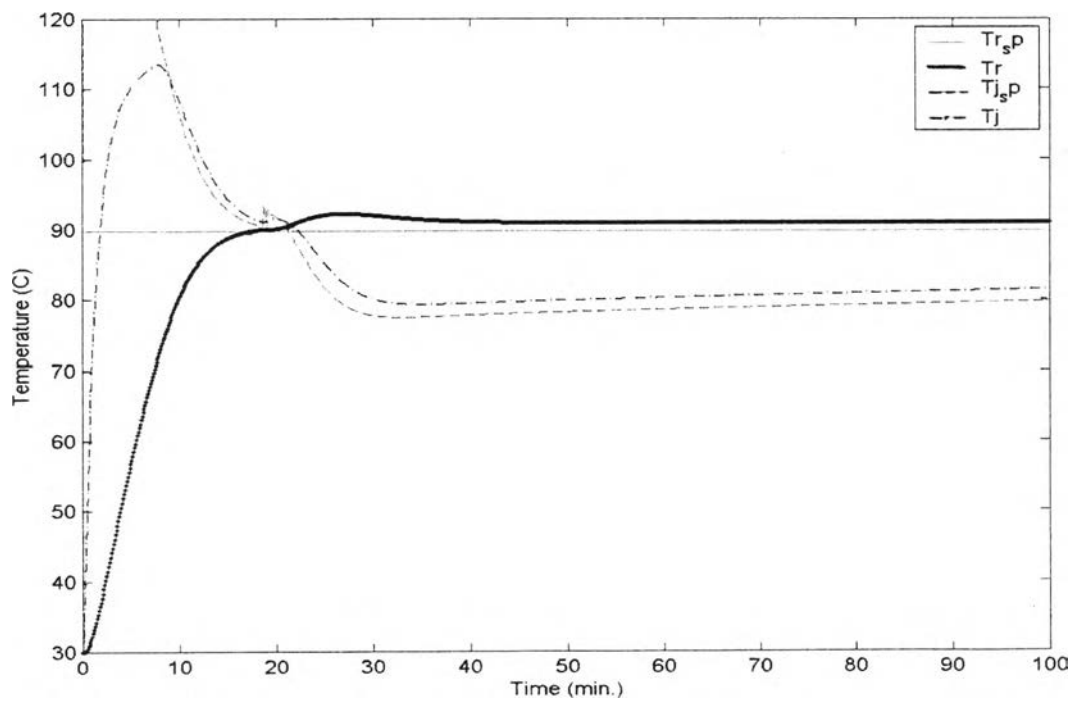
รูปที่ 5.25.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

รูปที่ 5.25 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบพีไอเอ็มซี  
เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 5%





รูปที่ 5.26.1 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี



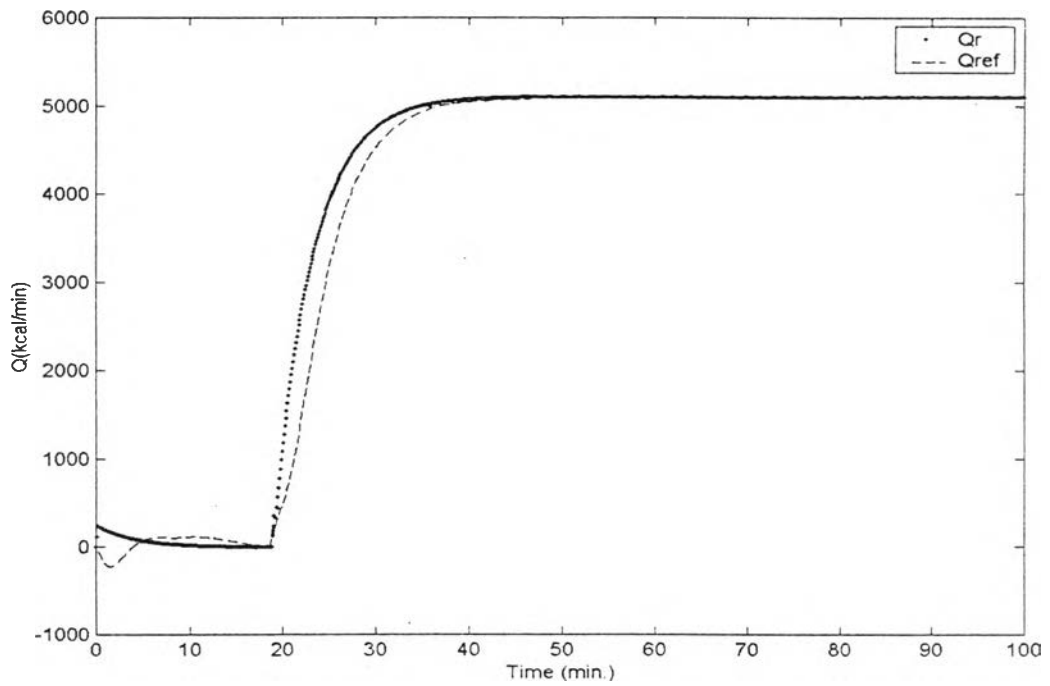
รูปที่ 5.26.2 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดี

รูปที่ 5.26 ผลการตอบสนองของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบพีไอดี  
เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 10%

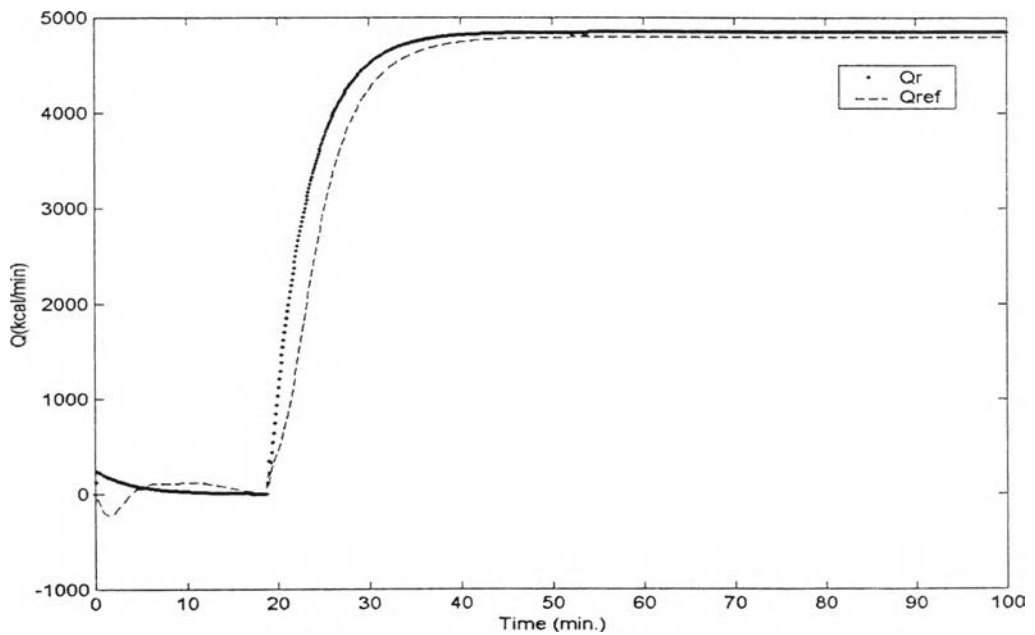
โดยพบว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้นหรือลดลง 5% และ 10% ซึ่งสังเกตจากผลการตอบสนองที่ได้จากการควบคุมแบบพีไอดีจะเกิดโอเวอร์ชูตมากกว่าการควบคุมแบบจีเอ็มซี พบว่าการตอบสนองของการควบคุมอุณหภูมิของการควบคุมแบบจีเอ็มซีจะให้การตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี เช่นเดียวกับกรณีเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเกิดปฏิกิริยา และยังพบอีกว่ามีจุดที่อุณหภูมิของแจ็กเก็ตและแจ็กเก็ตเซตพอยต์จะพุ่งสูงขึ้นเล็กน้อยเช่นเดิม ซึ่งที่มาของจุดนี้อธิบายได้เช่นเดียวกับทุกกรณีที่ผ่านมา

ส่วนสมรรถนะของตัวประมาณค่าความร้อนออนไลน์ที่ใช้ในการประมาณค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา จะเห็นว่าเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาก็เปลี่ยนแปลงตามด้วย โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนทั้งกรณีความร้อนที่เกิดขึ้นจริงและค่าความร้อนที่เกิดจากการประมาณ พบว่าเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.27 โดยแสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกรณีที่อัตราการป้อนโมโนเมอร์ปกติและอัตราการเกิดป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5% และ 10%

จากที่กล่าวว่าเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงพบว่าเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ปกติ ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นประมาณ 5000 kcal/min และอัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5% และ 10% ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะลดลงโดยมีค่าประมาณ 4900 และ 4600 kcal/min ตามลำดับ

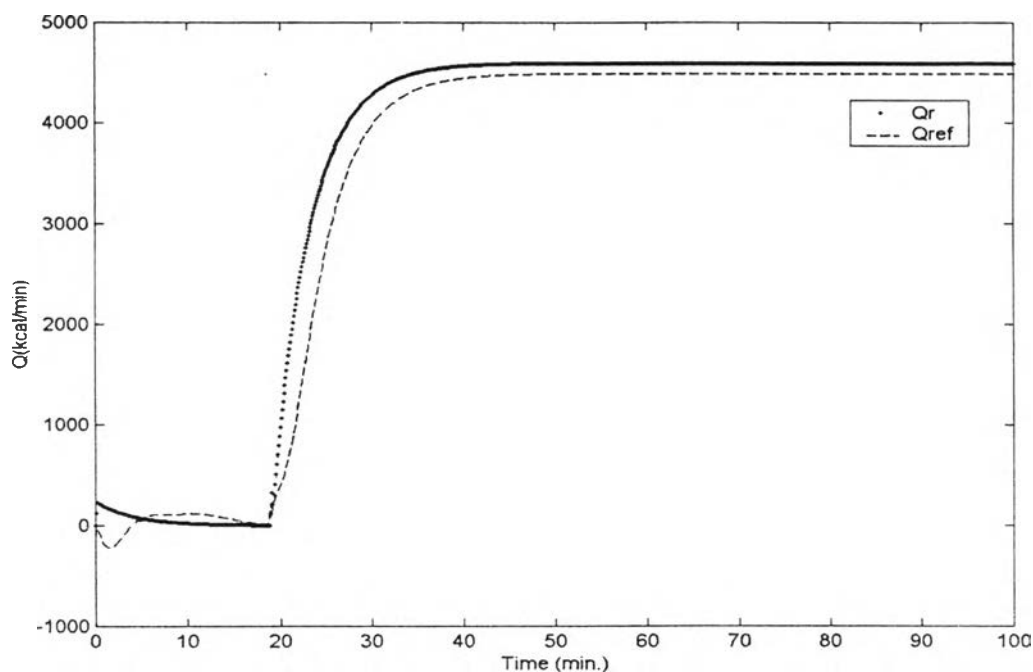


รูปที่ 5.27.1 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ปกติ



รูปที่ 5.27.2 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5%

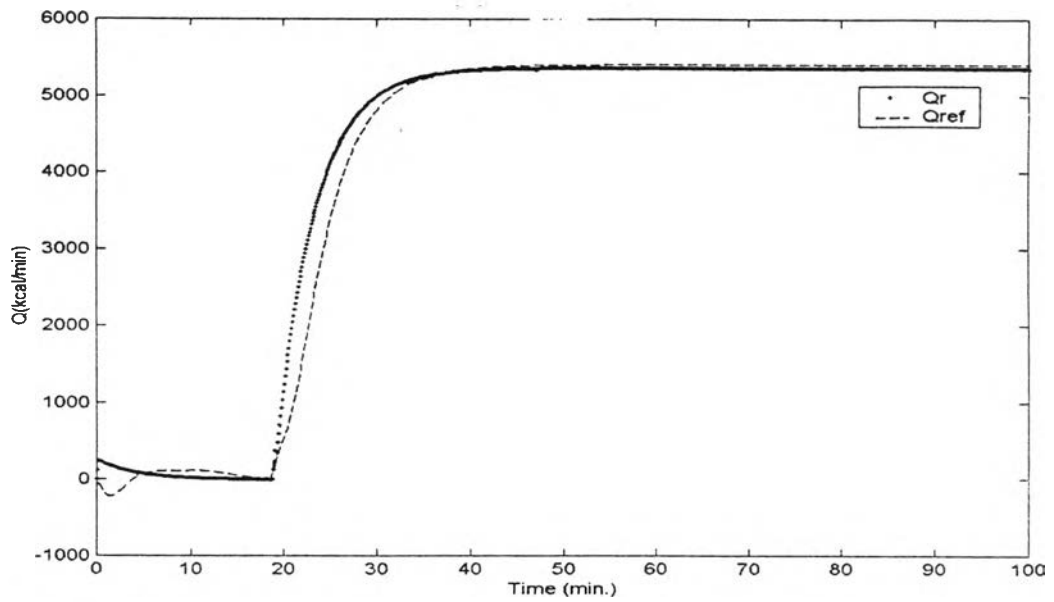
รูปที่ 5.27 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบพีเอชเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ปกติและอัตราการเกิดป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5% และ 10%



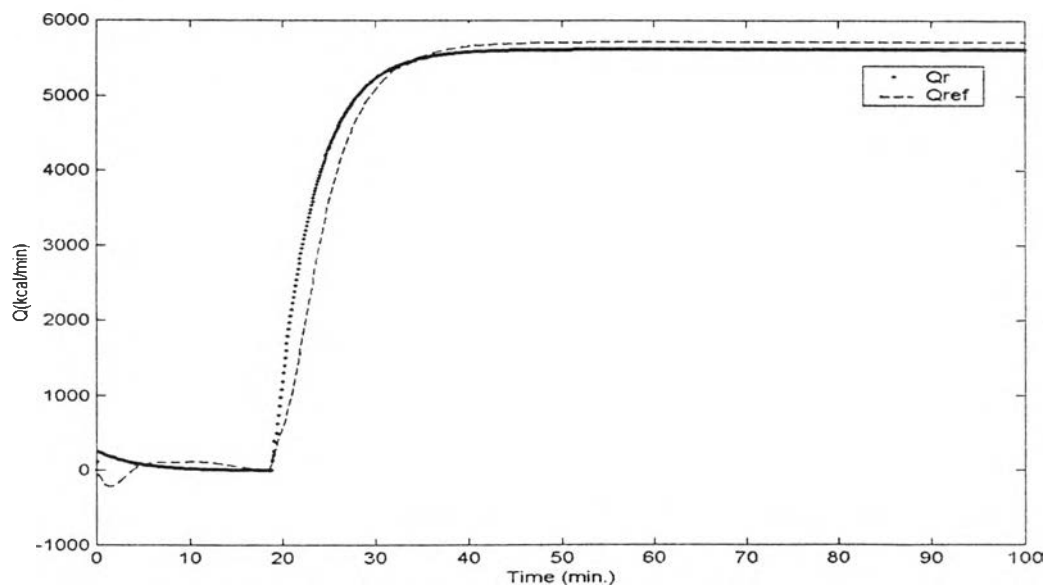
รูปที่ 5.27.3 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ลดลง 10%

รูปที่ 5.27(ต่อ) ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์ปกติและอัตราการเกิดป้อนโมโนเมอร์ลดลง 5% และ 10%

ในทางตรงกันข้ามเมื่ออัตราการเกิดการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 5.28 โดยแสดงถึงค่าความร้อนที่เกิดขึ้นในกรณีที่อัตราการเกิดการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 5% และ 10% จะพบว่าค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นโดยมีค่าประมาณ 5300 และ 5800 kcal/min ตามลำดับ



รูปที่ 5.28.1 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 5%



รูปที่ 5.28.2 เมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 10%

รูปที่ 5.28 ค่าความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจริง ( $Q_r$ ) และค่าความร้อนที่เกิดการประมาณ ( $Q_{ref}$ ) ของการควบคุมแบบจีเอ็มซีเมื่ออัตราการป้อนโมโนเมอร์เพิ่มขึ้น 5% และ 10%