

## บทที่ 6

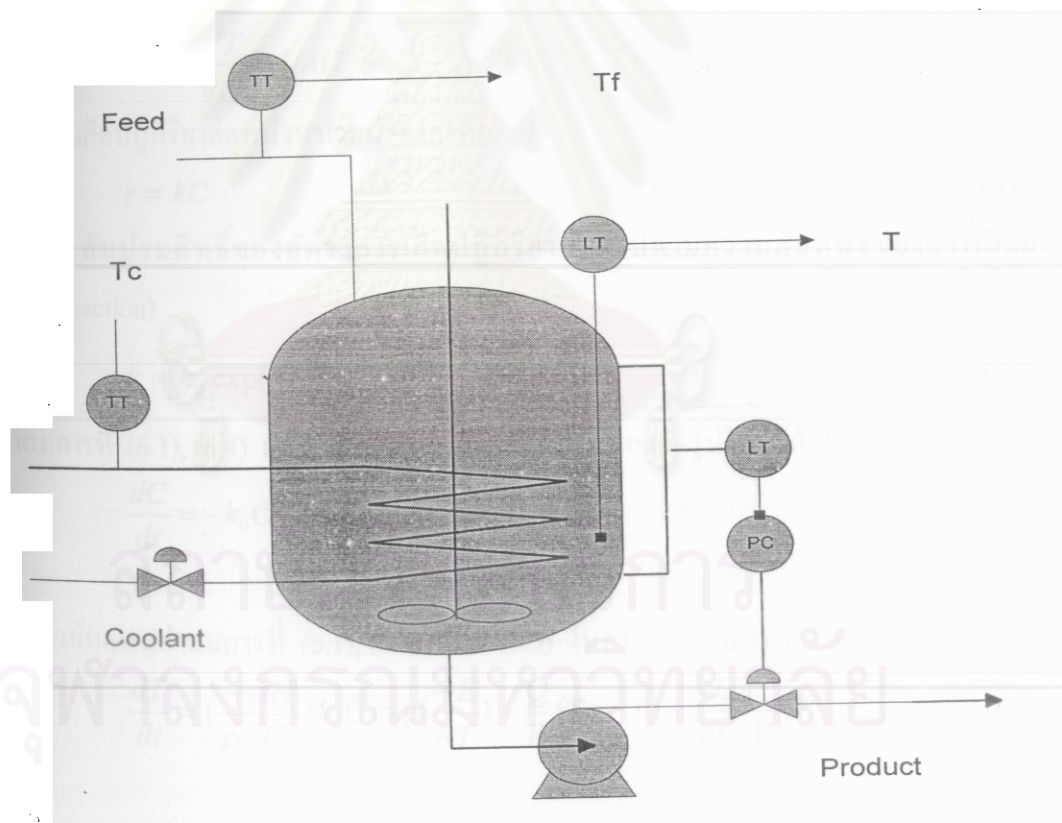
### การจำลอง, ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผลการจำลอง สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีปฏิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้

บทนี้กล่าวถึงผลการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับการประมาณค่าสแตตและพารามิเตอร์ในรูปแบบของคาลมานฟิลเตอร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถังกวนแบบต่อเนื่อง (CSTR) ที่มีปฏิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ ซึ่งแสดงพฤติกรรมของลูปเปิดที่ซับซ้อน (complex openloop behaviour) ในกรณีการควบคุม 3 กรณี คือ กรณีที่ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์อย่างมาก, กรณีที่ระบบมีหลายสภาวะคงตัว และมีสภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพและกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก โดยกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รวมถึงค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ใช้ในการทดลองสำหรับกรณีต่าง ๆ, การจำลอง, ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผลการจำลองการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟร่วมกับการประมาณค่าสแตตและพารามิเตอร์แบบคาลมานฟิลเตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์ ทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม โดยได้ทำการทดสอบสมรรถนะและความทนทานของการควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมและแบบจำลองของกระบวนการเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีไอดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 6.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการที่ใช้ในการจำลอง

กระบวนการที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นของสารตั้งต้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถึงกวนแบบค้อนเนื่อง ซึ่งเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ของ Uppal (1974) แสดงดังรูปที่ 6.1 ซึ่งเหตุผลในการเลือกกระบวนการนี้เนื่องจากเป็นกระบวนการแบบไม่เป็นเชิงเส้นสูง และมีปัญหาต่าง ๆ ในการดำเนินการควบคุมที่น่าสนใจจากพฤติกรรมที่ซับซ้อนของลูปเปิด เช่นการที่ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์อย่างมาก, ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีหลายสถานะคงตัวและมีสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียร-ภาพ และระบบแสดงพฤติกรรมที่มีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยากในการออกแบบการควบคุมและการทำการควบคุม จึงเหมาะแก่การทดสอบการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.1 เครื่องปฏิกรณ์เคมีถึงกวนแบบค้อนเนื่องซึ่งมีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้

ปฏิกิริยาเคมีในระบบเกิดจากการที่สารตั้งต้นเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งให้ค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยาออกมา โดยสมมติว่าความหนาแน่นและค่าความจุความร้อนของระบบมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา และให้มีการผสมกันอย่างสมบูรณ์แบบภายในถังกวน ในการระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีนั้นใช้น้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่านขดลวด (cooling coil) ที่ขดรอบถังกวน สามารถหาแบบจำลองของระบบจากสมการอนุรักษ์มวลและพลังงานได้ดังนี้

ก. สมการสมดุลมวลรวมของสารภายในถังกวน (total mass balance)

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho Q - \rho Q_0 \quad (6.1)$$

ข. สมการสมดุลมวลของสารตั้งต้น (reactant mass balance)

$$\rho \frac{dVC}{dt} = -\rho Vr + \rho Q(C_f - C) \quad (6.2)$$

ค. สมการสมดุลพลังงานของถังปฏิกรณ์ (reactor energy balance)

$$\rho C_p \frac{dVT}{dt} = UA(T_c - T) + \rho C_p Q(T_f - T) - V\Delta H \quad (6.3)$$

เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรคือ

$$r = kC \quad (6.4)$$

และสัมประสิทธิ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอาร์เรเนียส (Arrhenius reaction)

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (6.5)$$

แทนค่าสมการที่ (6.1), (6.4) และ (6.5) ในสมการที่ (6.2) และจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{dC}{dt} = -k_0 C \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) + \frac{Q}{V}(C_f - C) \quad (6.6)$$

ทำนองเดียวกันแทนค่าสมการที่ (6.1), (6.4) และ (6.5) ในสมการที่ (6.3) และจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{dT}{dt} = \left(\frac{-\Delta H}{\rho C_p}\right) k_0 C \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) + \frac{Q}{V}(T_f - T) + \frac{UA}{\rho C_p V}(T_c - T) \quad (6.7)$$

ดังนั้นสามารถเขียนแบบจำลองของกระบวนการนี้ได้ดังสมการที่ (6.6) และ (6.7)

เพื่อความสะดวกในการออกแบบการควบคุม แบบจำลองดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของพารามิเตอร์และตัวแปรไร้หน่วย (ภาคผนวก ง.) ได้ดังนี้

นิยามพารามิเตอร์ไร้หน่วย (dimensionless parameters)

$$\beta = \frac{-\Delta H C_f}{\rho C_p T_{f0}} \gamma \quad (6.8)$$

$$\delta = \frac{UA}{\rho C_p Q_0} \quad (6.9)$$

$$\gamma = \frac{E}{RT_{f0}} \quad (6.10)$$

$$\phi = \frac{V}{Q_0} k_0 e^{-\gamma} \quad (6.11)$$

$$q = \frac{Q}{Q_0} \quad (6.12)$$

นิยามตัวแปรไร้หน่วย (dimensionless variables)

$$\tau = \frac{Q_0}{V} t \quad (6.13)$$

$$U = \frac{\gamma \delta}{T_{f0}} (T_c - T_{f0}) \quad (6.14)$$

$$v = \frac{\gamma q}{T_{f0}} (T_f - T_{f0}) \quad (6.15)$$

$$x_1 = \frac{C}{C_f} \quad (6.16)$$

$$x_2 = \frac{T - T_f}{T_{f0}} \gamma \quad (6.17)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (6.6) และ (6.7) สามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเทอมของพารามิเตอร์และตัวแปรไร้หน่วยได้ดังนี้

$$\frac{dx_1}{d\tau} = -\phi x_1 K(x_2) + q(1 - x_1) \quad (6.18)$$

$$\frac{dx_2}{d\tau} = \beta \phi x_1 K(x_2) - (q + \delta)x_2 + u + v \quad (6.19)$$

เมื่อ 
$$K(x_2) = \exp\left(-\frac{x_2}{1 + \frac{x_2}{\gamma}}\right) \quad (6.20)$$

ดังนั้นสามารถเขียนแบบจำลองของกระบวนการนี้ได้ดังสมการที่ (6.18) (6.19) และ (6.20) โดยที่สภาวะในการปฏิบัติการของระบบแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 สภาวะในการปฏิบัติการของระบบที่สภาวะคงตัวในกรณีศึกษา 3 กรณี สำหรับเครื่องปฏิกรณ์เคมีถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้

พารามิเตอร์	กรณีศึกษาที่ 1 ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก	กรณีศึกษาที่ 2 ระบบมีหลายสภาวะคงตัวและมีสภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ	กรณีศึกษาที่ 3 ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก
$\phi$	0.11	0.072	0.135
$\beta$	7	8	11
$\delta$	0.5	0.3	1.5
$T$	300 K	330 K	300 K
$x_1$	1	1	1
$x_2$	0	2	0
$\Delta T_f$	10 K	10 K	10 K
$T_{f0}$	300 K	300 K	300 K
$T_f$	300 K	300 K	300 K
$q$	1	1	1
$\gamma$	20	20	20



สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 สัญลักษณ์ของพารามิเตอร์และตัวแปรของกระบวนการ

ตัวแปร	คำอธิบาย	หน่วย
$C$	ความเข้มข้นของสารภายในถังปฏิกรณ์	$\text{mol m}^{-3}$
$C_f$	ความเข้มข้นของสารขาเข้า	$\text{mol m}^{-3}$
$C_p$	ค่าความจุความร้อนของสาร	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
$\Delta H$	ค่าความร้อนของปฏิกิริยา	$\text{J mol}^{-1}$
$k(T)$	ค่าคงที่อัตราของ Arrhenius	$\text{s}^{-1}$
$k_0$	ค่าคงที่ของ Arrhenius	$\text{s}^{-1}$
$Q$	อัตราการไหลของสายป้อน	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
$Q_c$	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
$q$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอัตราการไหลของสายป้อน	-
$q_c$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	-
$R$	ค่าคงที่ของก๊าซ	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
$t$	เวลา	s
$T$	อุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์	K
$T_c$	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น	K
$T_f$	อุณหภูมิของสายป้อน	K
$u$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอินพุทของกระบวนการ	-
$U$	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	$\text{J s}^{-1} \text{K}^{-1} \text{m}^{-2}$
$V$	ปริมาตรของถังปฏิกรณ์	$\text{m}^3$
$x_1$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของความเข้มข้น	-
$x_2$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของอุณหภูมิ	-
$\phi$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา	-
$\beta$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าความร้อนของปฏิกิริยา	-
$\gamma$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา	-
$\delta$	เทอมตัวแปรไร้หน่วยของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	-

## 6.2 การตอบสนองของกระบวนการในกรณีที่ไม่มีการควบคุม (Openloop Respond)

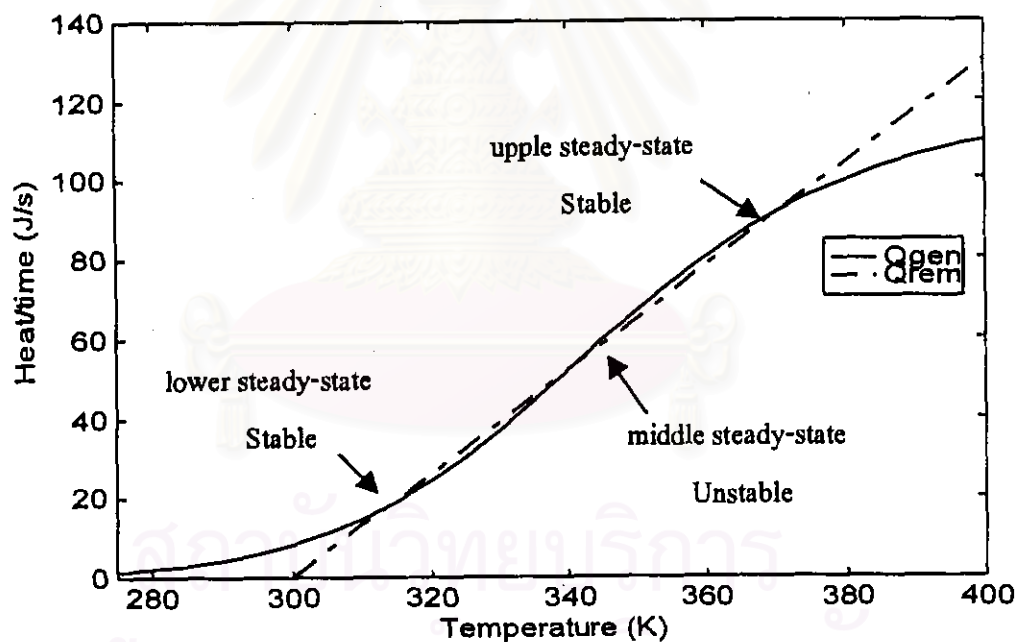
เครื่องปฏิกรณ์เคมีดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้แสดงในรูปที่ 6.1 ซึ่งไดนามิกส์ของกระบวนการอธิบายได้ด้วยสมการอนุพันธ์ 2 สมการคือสมการที่ (6.18) และ (6.19) ทำการแก้สมการอนุพันธ์ของระบบโดยวิธีเชิงตัวเลข โดยอาศัยสภาวะในการปฏิบัติการของระบบแสดงดังตารางที่ 6.1 จะได้คำตอบของค่าที่สภาวะคงตัวสำหรับกรณีศึกษา 3 กรณีคือ ในกรณีศึกษาที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีที่ระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก จะได้ค่าที่สภาวะคงตัว  $[x_1 = 0.7553 : x_2 = 1.1422]$  สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งเป็นกรณีที่ระบบมีหลายสภาวะคงตัวและมีสภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพพบว่ามีคำตอบของค่าที่สภาวะคงตัว 3 ค่าคือที่สภาวะคงตัวต่ำ (lower steady state)  $[x_1 = 0.8560, x_2 = 0.8859]$ , ค่าที่สภาวะคงตัวกลาง (middle steady state)  $[x_1 = 0.5528 : x_2 = 2.7517]$  และที่สภาวะคงตัวบน (upper steady state)  $[x_1 = 0.2354 : x_2 = 4.7050]$  และสำหรับกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก จะได้ค่าที่สภาวะคงตัว  $[x_1 = 1.9870 : x_2 = 0.5504]$

พิจารณาการตอบสนองของกระบวนการในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรรบกวนระบบแบบสลับโดยกำหนดให้อุณหภูมิขาเข้า,  $T_i$  เป็นตัวแปรรบกวนระบบโดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบสลับเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 300 K (27° C) เป็น 310 K (37° C) ที่เวลา  $\tau = 40$  หลังจาก que ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ส่วนค่าตัวแปรและพารามิเตอร์อื่น ๆ คงที่ที่สภาวะปฏิบัติการดังตารางที่ 6.1 บันทึกค่าของการตอบสนองของกระบวนการเมื่อไม่มีการควบคุมใด ๆ สำหรับตัวแปรควบคุมคือความเข้มข้น,  $x_1$  และ อุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์,  $x_2$  ในทุก ๆ ช่วงเวลา  $d\tau = 0.25$  เป็นเวลา  $\tau = 100$  จะได้กราฟของการตอบสนองของกระบวนการ (ในเทอมของตัวแปรไร้หน่วยของอุณหภูมิและความเข้มข้นสัมพันธ์กับเวลา) สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 แสดงดังรูปที่ 6.2 ในภาคผนวก จ. ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากจากค่าที่สภาวะคงตัวค่าแรกไปยังสภาวะคงตัวค่าใหม่ (ทั้งอุณหภูมิและความเข้มข้น) แสดงให้เห็นว่าระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก

สำหรับกรณีที่ 2 จากการแก้สมการพบว่าระบบมี 3 สภาวะคงตัว และจากการพิจารณากราฟการตอบสนองที่สภาวะคงตัวสำหรับค่าอัตราความร้อนของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (heat generation,  $Q_{rel}$ ) และค่าอัตราความร้อนของปฏิกิริยาที่ปล่อยออกมา (heat removal,  $Q_{rem}$ ) กับอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 6.2 พบว่ามีจุดตัดกันระหว่างเส้นกราฟทั้งสอง 3 จุด ซึ่งจุดตัดนี้ก็คือสภาวะ

คงตัวของอุณหภูมิ (steady state reactor temperature) เมื่อกำหนดค่าให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นคงที่ แสดงให้เห็นว่าระบบมี 3 สถานะคงตัวและมีสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ โดยค่าแกนของกระบวนการมีค่าเป็นบวกที่สถานะคงตัวที่มีเสถียรภาพ และมีค่าเป็นลบที่สถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ (ทั้งอุณหภูมิและความเข้มข้น) พิจารณากราฟของการตอบสนองของกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการที่สถานะคงตัวต่างแสดงดังรูปที่ 6.3 และสถานะคงตัวบนแสดงดังรูปที่ 6.4 ในภาคผนวก จ. ตามลำดับ

พิจารณากราฟของการตอบสนองของกระบวนการสำหรับกรณีศึกษาที่ 3 แสดงดังรูปที่ 6.5 ในภาคผนวก จ. จะเห็นได้ว่าเมื่อมีค่าตัวแปรกระบวนการระบบจะส่งผลให้ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมาก



รูปที่ 6.2 สถานะคงตัวของระบบในกรณีที่ระบบมีหลายสถานะคงตัว



### 6.3 การจำลอง, ผลการจำลอง และการวิเคราะห์ผลการจำลองการควบคุม

การจำลองการควบคุมสำหรับการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์เคมีดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ในกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี นั้นวัตถุประสงค์คือการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นซึ่งเป็นตัวแปรควบคุมให้อยู่ที่ค่าเซตพอยท์ที่กำหนดโดยการปรับอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น,  $u$  ซึ่งเป็นตัวแปรปรับกระบวนการโดยได้ทำการตรวจสอบแล้วว่าค่าตัวแปรปรับนี้สามารถทำให้ระบบสามารถควบคุมได้ นอกจากนี้ในการควบคุมกำหนดให้มีขอบเขตจำกัดบนตัวแปรปรับโดยให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น,  $u$  สามารถปรับเปลี่ยนได้ในช่วง  $-2 \leq u \leq 2$  และกำหนดให้ค่าอุณหภูมิของสายป้อน,  $T_f$  เป็นตัวแปรกระบวนการ

เนื่องจากกระบวนการที่ทำการควบคุมนี้เป็นกระบวนการแบบไม่เชิงเส้นซึ่งไดนามิกส์ของแบบจำลองของกระบวนการแสดงได้ดังสมการที่ (6.18) และ (6.19) การเขียนแบบกระบวนการอาศัยวิธีเชิงตัวเลขโดยใช้สภาวะในการปฏิบัติการเริ่มต้นของระบบแสดงดังตารางที่ 6.1 ให้พารามิเตอร์ทั้งหมดถูกกำหนดค่าไว้ยกเว้นอุณหภูมิสายป้อน,  $T_f$  โดยใช้ช่วงเวลาสุ่ม  $dt = 0.25$  สำหรับเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้แบบจำลองของเครื่องควบคุมในรูปแบบดังรายละเอียดที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.4 และการประมาณค่าสแตตและพารามิเตอร์ใช้อัลกอริทึมของกาลมานฟิลเตอร์ดังรายละเอียดที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3 สำหรับเครื่องควบคุมแบบพีไอดีใช้อัลกอริทึมในรูปแบบของเวโลซิตีเช่นเดียวกับการจำลองในบทที่ 5 โดยใช้ช่วงเวลาสุ่ม  $dt = 0.25$  เช่นเดียวกัน

การจำลองการควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือตอนที่ 1 เป็นการควบคุมอุณหภูมิและตอนที่ 2 เป็นการควบคุมความเข้มข้นของสารตั้งต้นทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์ โดยเปรียบเทียบผลการควบคุมในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

1. การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและการควบคุมแบบพีไอดี

ทำการจำลองการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับกาลมานฟิลเตอร์และการควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมอุณหภูมิ,  $x_2$  และความเข้มข้น,  $x_1$  ของเครื่องปฏิกรณ์ดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ในกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี โดยพิจารณาทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์ในการ

ควบคุมเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม โดยในการควบคุมได้พยายามปรับค่าของพารามิเตอร์ปรับจูนของเครื่องควบคุมให้ได้ผลการควบคุมที่ใกล้เคียงกันที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

## 2. การเปรียบเทียบความทนทานของการควบคุมระหว่างการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและการควบคุมแบบพีไอดี

ในการจำลองการควบคุมได้สมมติให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมและแบบจำลองของกระบวนการให้ผิดพลาดไปจากค่าที่สถานะคงตัวตามสถานะปฏิบัติการของระบบดังตารางที่ 6.1 โดยในการควบคุมยังคงใช้สถานะของเครื่องควบคุมเช่นเดียวกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ดังที่กล่าว โดยไม่มีการปรับค่าพารามิเตอร์ปรับจูนใด ๆ เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบความทนทานของการควบคุม ระหว่างการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและการควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้น,  $x_1$  และอุณหภูมิ,  $x_2$  ในกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี โดยพิจารณาทั้งในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ กำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ สำหรับกรณีความผิดพลาดทั้ง 2 กรณีดังนี้

### 2.1 การควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม (Model-Mismatch)

เพื่อทดสอบความทนทานของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ในการทดลองได้กำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในกรณีต่างๆดังนี้

- ก. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%
- ข. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30%
- ค. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30%
- ง. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และเทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30%

## 2.2 การควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (Plant-Mismatch)

เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบความทนทานของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและการควบคุมแบบพีไอดี ในการจำลองจึงกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุมในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

- ก. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%
- ข. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30%
- ค. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30%
- ง. เทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และเทอมตัวแปรไร้หน่วยของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30%

พิจารณาผลการควบคุมสำหรับกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 6.3.1 กรณีศึกษาที่ 1 ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก

ในการควบคุมใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและตัวประมาณค่าแบบคานมานฟิเตอร์ สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 6.3 และ 6.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก

Controller Parameters	Estimator Parameters
$P = 10$	$Q = \text{diag} [10 \ 1000 \ 1]$
$M = 10$	$R = [10]$
$Y_{wt} = 20$	
$U_{wt} = 1$	

ตารางที่ 6.4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก

Controller Parameters	Estimator Parameters
$P = 10$	$Q = \text{diag} [10 \ 1000 \ 1]$
$M = 10$	$R = [10]$
$Y_{wt} = 50$	
$U_{wt} = 1$	

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูน เครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 6.5 และ 6.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.5 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิ, ในกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก

PID Tunning Parameters		
$K_c = 1.05$	$\tau_i = 0.65$	$\tau_d = 0.15$

ตารางที่ 6.6 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นกรณีที่ระบบมีความว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างมาก

PID Tunning Parameters		
$K_c = -2.5$	$\tau_i = 3.2$	$\tau_d = 0.25$

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีการควบคุมต่างๆ ดังนี้

### ตอนที่ 1 การควบคุมอุณหภูมิ

#### 1. การควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

##### 1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

วัตถุประสงค์ในการควบคุมคือเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ที่ค่าเซตพอยท์ [ $x_2 = 1.978$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ การจำลองกระบวนการเริ่มจากกระบวนการแบบถูกเปิดที่ไม่มี การควบคุมใด ๆ ที่เวลาเริ่มต้น  $\tau = 0$  จากนั้นกำหนดให้ค่า  $T_r$  มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับเพิ่มขึ้น จากอุณหภูมิ 300 K (27° C) เป็น 310 K (37° C) ที่เวลา  $\tau = 40$  หลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วส่วนค่าตัวแปรและพารามิเตอร์อื่น ๆ คงที่ ที่สภาวะปฏิบัติการดังตารางที่ 6.1 จนกระทั่งตัวควบคุมเริ่มทำงานที่เวลา  $\tau = 60$  พิจารณาการตอบสนองของกระบวนการเป็นเวลา  $\tau = 100$  เปรียบเทียบผลการควบคุมในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตาราง



ที่ 6.3 แสดงดังรูปที่ 6.3 และการควบคุมแบบพีไอดีที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.5 แสดงดังรูปที่ 6.4 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระบบเปลี่ยนแปลงไป โดยเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าใหม่ที่แตกต่างจากค่าเดิมมาก จนกระทั่งเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $t = 60$  เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและเครื่องควบคุมแบบพีไอดีสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ค่าเดิมก่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบแบบสแต็ปได้ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในตารางที่ 6.7 พบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากการจำลองได้พยายามปรับค่าพารามิเตอร์ปรับจูนของเครื่องควบคุมทั้งสองให้ให้ผลใกล้เคียงกันเท่าที่เป็นไปได้เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบผลการควบคุมในกรณีที่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม/กระบวนการ ต่อไป

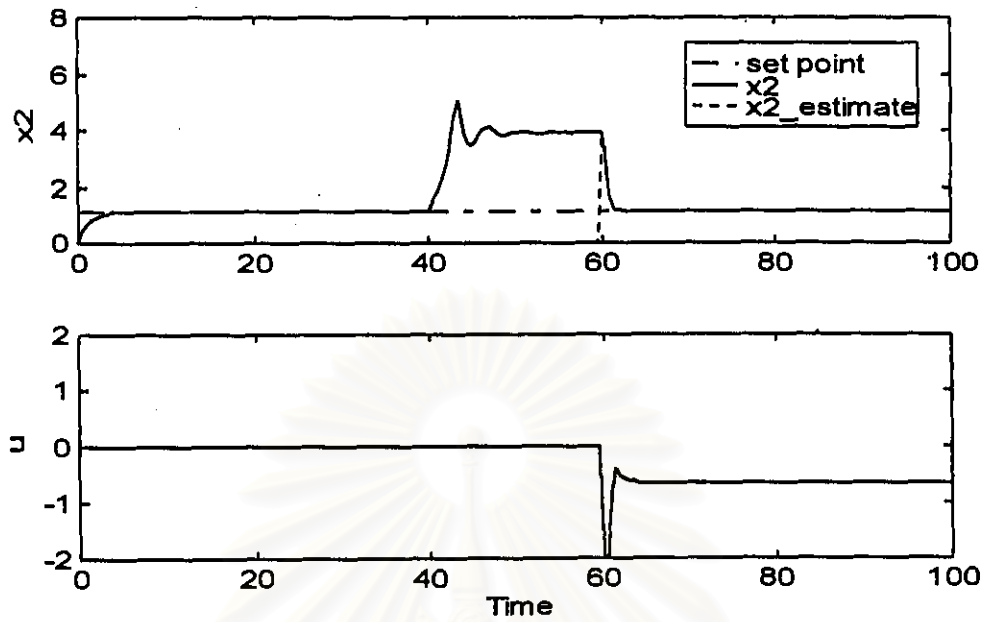
## 1.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

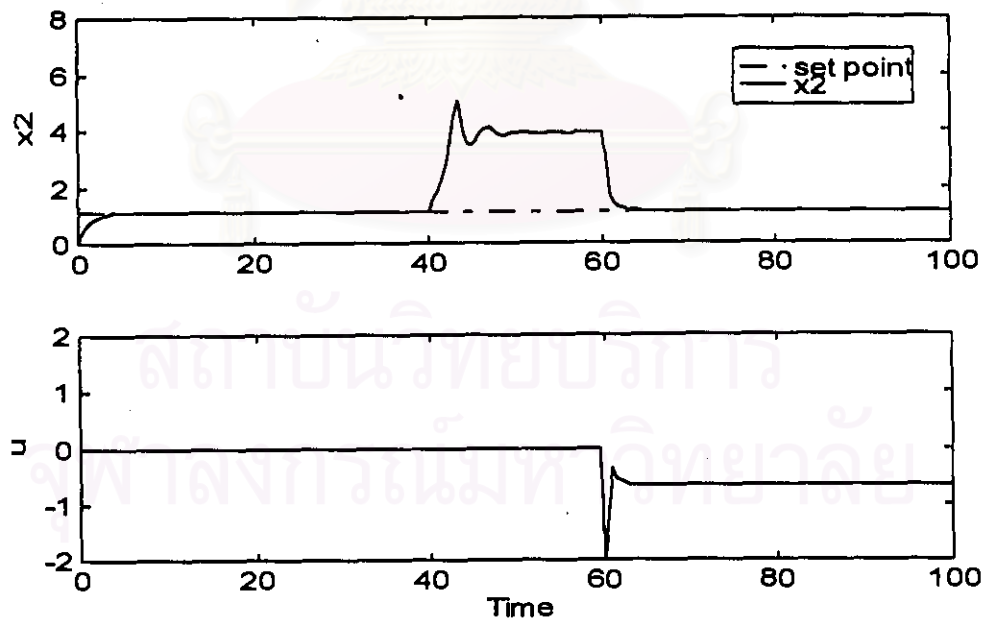
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.3 ในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ 14.14, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ 14.15, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ 14.16 และในกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ 14.17 ในภาคผนวก ข. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมจากตารางที่ 6.7 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมพบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่มีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

### 1.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

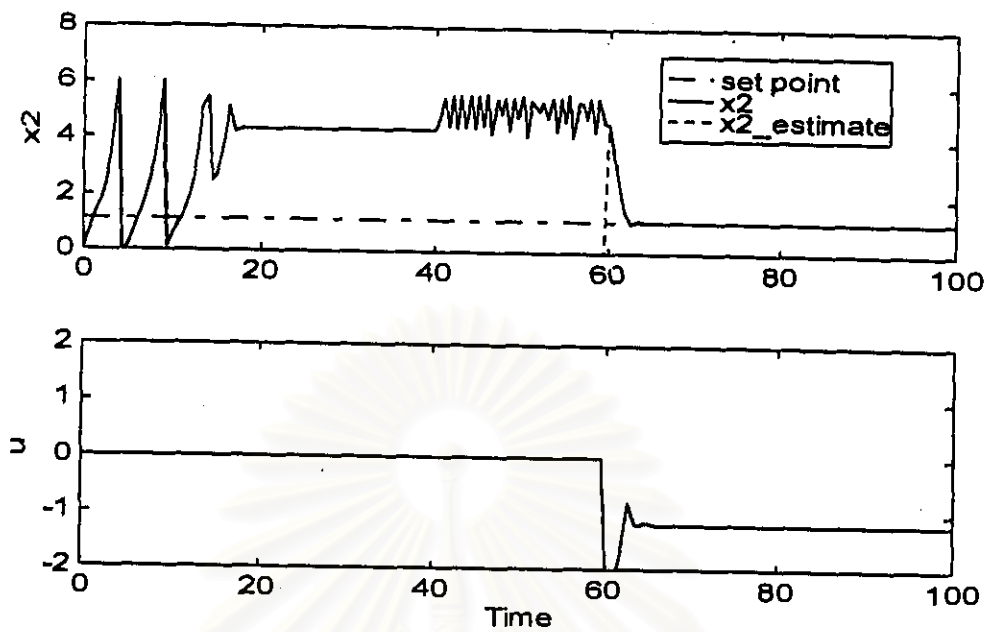
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ ๑.18 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ ๑.19, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ ๑.20 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ ๑.21, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ ๑.22 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ ๑.23 ในภาคผนวก ๑. ตามลำดับ และสำหรับกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.5 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.6 ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ควบคุมในกรณีต่าง ๆ ดังกล่าวจะส่งผลให้การตอบสนองของกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมาก โดยเฉพาะช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการดังจะเห็นได้จากช่วงเวลาที่ยังไม่มีกรควบคุม จนกระทั่งเริ่มทำการควบคุม เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้โดยให้ผลการควบคุมที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีผิดพลาด และถึงแม้ว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีจะสามารถปรับสภาพของกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้แต่ยังมีค่าออฟเซ็ทในการควบคุมในช่วงเวลาเริ่มต้นของการควบคุมอยู่ โดยเฉพาะการควบคุมในกรณีหลังพบว่าเครื่องควบคุมไม่สามารถปรับสภาพของกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ได้ทันที ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีกว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.7 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการดังกล่าว



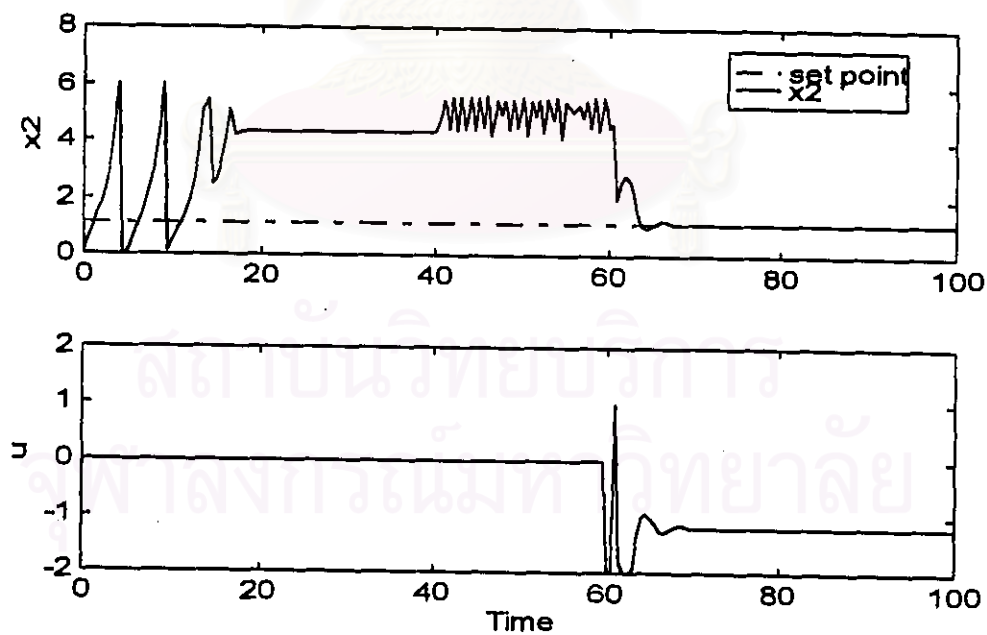
รูปที่ 6.3 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.4 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการโดยระบบควบคุมแบบทีไอซี



รูปที่ 6.5 ผลการควบคุมจุดหมุนในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.6 ผลการควบคุมจุดหมุนในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า  $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 6.7 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1. ควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวควบคุมระบบมีการเปลี่ยนแปลง		
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	54.9	55.4
1.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
1.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	55.1	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	54.9	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	54.9	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	55.1	-
1.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
1.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	251.7	253.8
1.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	148.2	149.6
1.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	164.4	165.6
1.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	183.6	186

## 2 การควบคุมอุณหภูมิเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

### 2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

ในการจำลองการควบคุมกำหนดให้ค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับเพิ่มขึ้น 30% ที่เวลา  $\tau = 40$  หลังจากควบคุมระบบให้เข้าสู่เซ็ทพอยท์ค่าแรก [ $x_2 = 1.1422$ ] แล้ว จากนั้นกำหนดให้ค่าเซ็ทพอยท์ลดลงต่ำกว่าเซ็ทพอยท์ค่าแรก 30% ที่เวลา  $\tau = 60$  พิจารณาเปรียบเทียบผลการควบคุมในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์ สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.3 แสดงดังรูปที่ 6.7 และการควบคุมแบบพีไอดีที่อาศัยค่าพารา



มีเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.5 แสดงดังรูปที่ 6.8 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว และสามารถปรับสภาพของกระบวนการในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์เมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสแต็ปคลงและเพิ่มขึ้นได้เป็นอย่างดี ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีใช้เวลาในการปรับสภาพของกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการช้ากว่า และยังมีค่าออฟเซ็ทในการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.8 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้สมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์

## 2.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

### 2.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

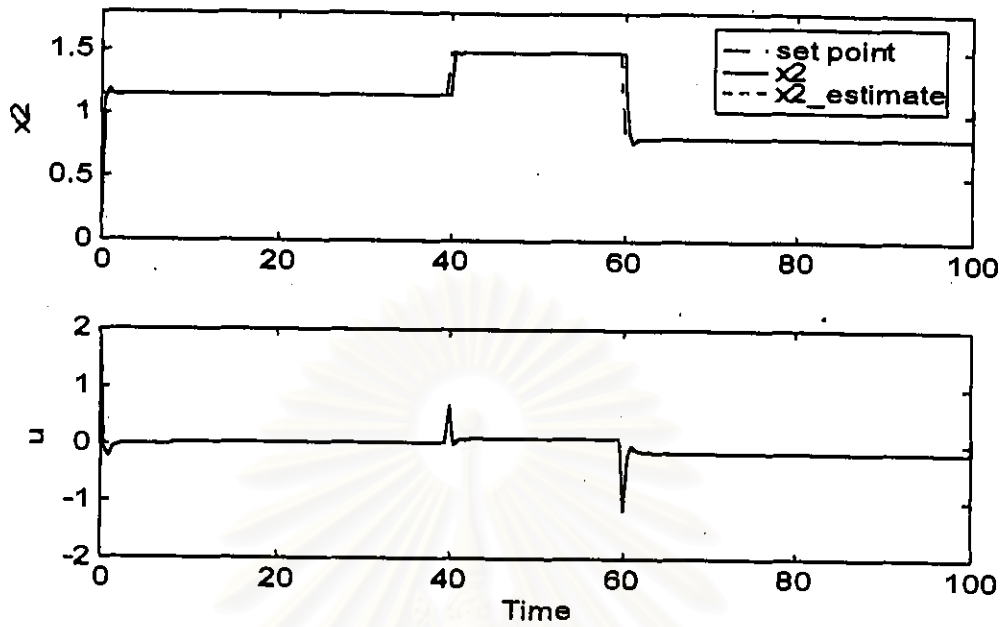
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุมและกำหนดให้มีความผิดพลาดของแบบจำลองของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.3 ในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ น.24, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ น.25 , กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ น.26 และในกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ น.27 ในภาคผนวก น. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมจากตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมพบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

## 2.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

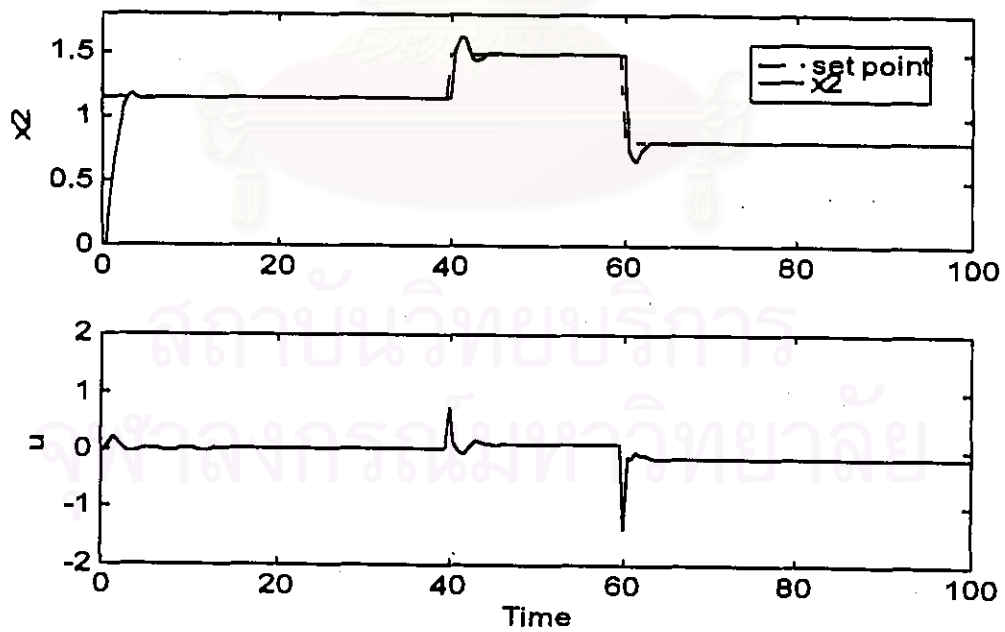
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม และกำหนดให้มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.9 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.10, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.28 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.29, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.30 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.31 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.11 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.12 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟยังให้ผลการควบคุมที่ดีในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์โดยมีค่าออฟเซ็ทเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาดดังกล่าว ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีค่าออฟเซ็ทในการควบคุมมากขึ้นและระบบมีการแกว่งก่อนเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการซึ่งจะเห็นได้ชัดในกรณีที่มีความผิดพลาดของค่าความร้อนของปฏิกิริยา และกรณีที่มีความผิดพลาดของทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.8 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาดและให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการดังกล่าวได้

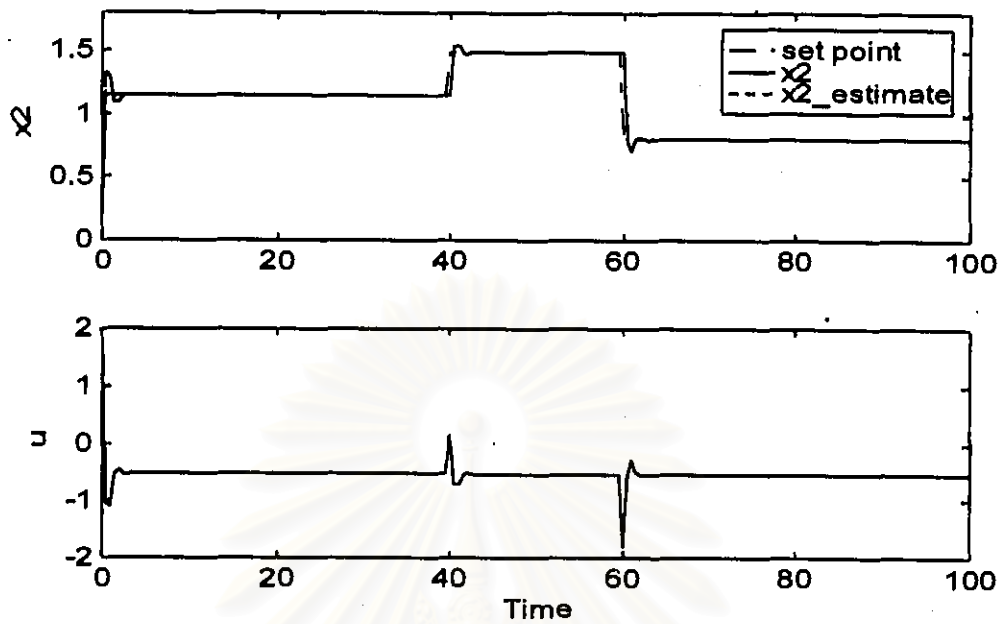
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



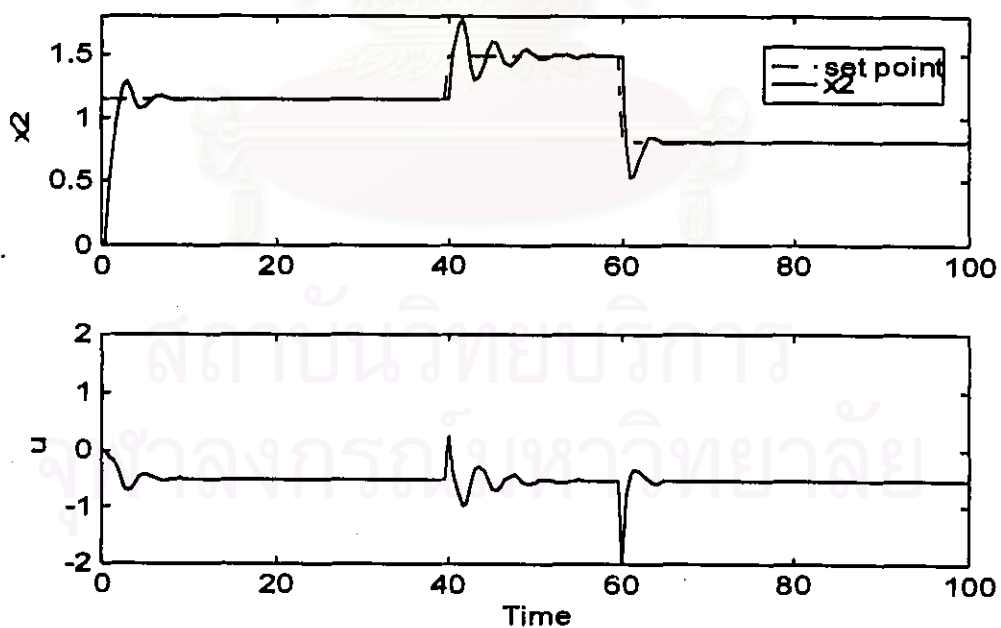
รูปที่ 6.7 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์โดยการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟ



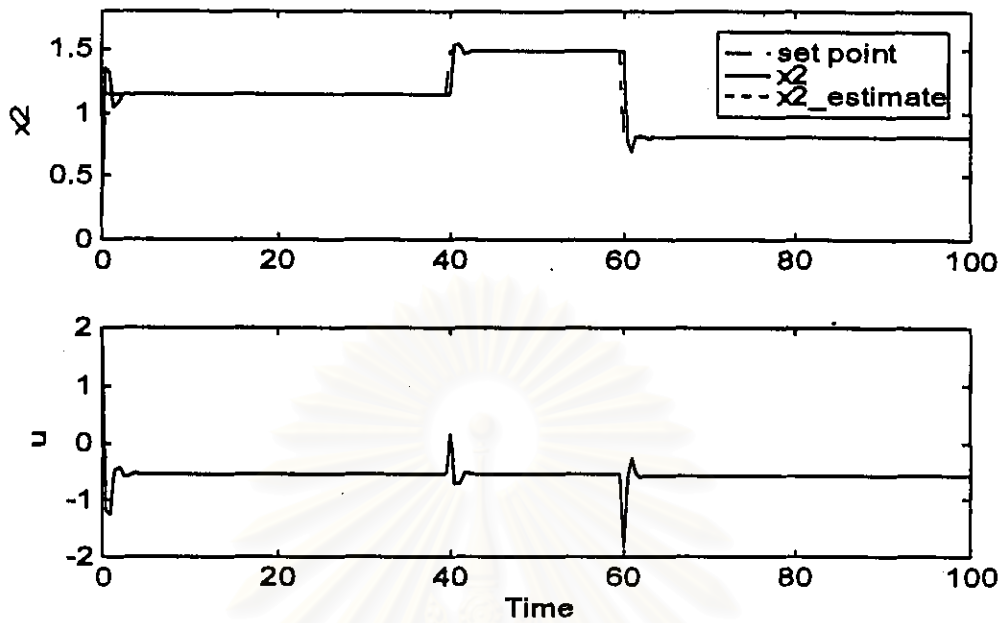
รูปที่ 6.8 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์โดยการควบคุมแบบ ทีไอดี



รูปที่ 6.9 ผลการควบคุมจุดหมุ่ในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.10 แสดงผลการควบคุมจุดหมุ่ในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.11 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.12 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



ตารางที่ 6.8 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมอุณหภูมิเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสเค็ปสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

กรณีการควบคุม	MPC	PID
2. ควบคุมอุณหภูมิเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลง		
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	1.2	2.9
2.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
2.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.3	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.3	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.2	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.2	-
2.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.4	3.9
2.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.4	3.2
2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.2	3.1
2.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.5	3.6

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตอนที่ 2 การควบคุมความเข้มข้น

### 1. การควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

#### 1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

วัตถุประสงค์ในการควบคุมคือเพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารตั้งต้นในเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_1 = 0.7553]$  ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิ พิจารณาการตอบสนองของกระบวนการที่ควบคุมโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.4 แสดงดังรูปที่ 6.13 และการควบคุมแบบพีไอดีที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.6 แสดงดังรูปที่ 6.14 พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบจะส่งผลให้ระบบเปลี่ยนแปลงไปเข้าสู่สภาวะคงตัวค่าใหม่ โดยค่าความเข้มข้นจะตกลงอย่างมากจนเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 60$  เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่เซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างราบเรียบกว่าและมีความคลาดเคลื่อนในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีซึ่งมีการแกว่งก่อนเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในตารางที่ 6.9 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้สมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ

#### 1.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

##### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.4 ในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดง

ดังรูปที่ ๖.32, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๖.33, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๖.34 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๖.35 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลสัมบูรณ์ของความผิดพลาดจากตารางที่ 6.9 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีผลของความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม พบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

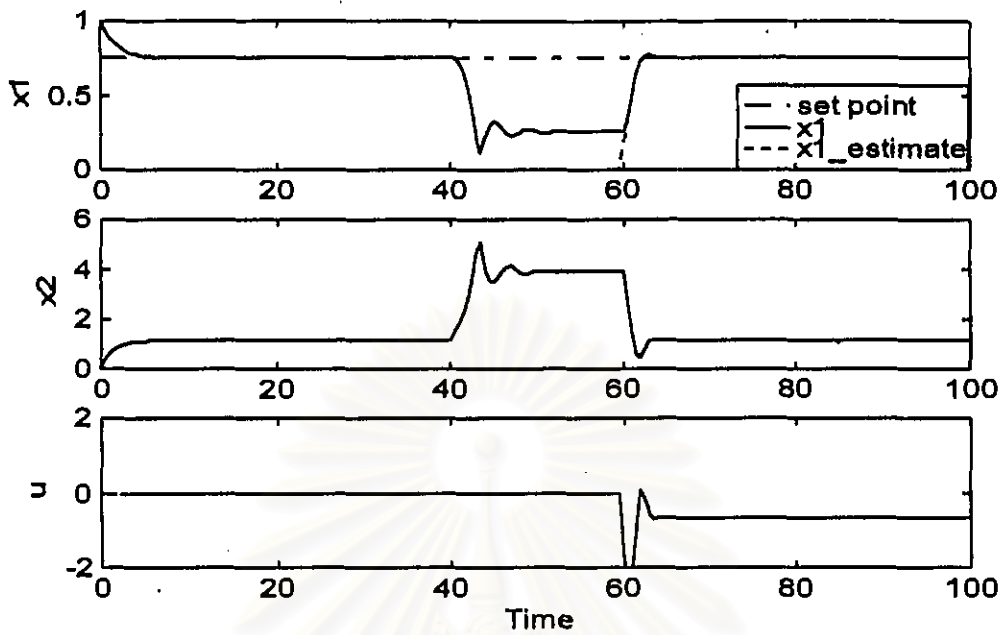
### 2.1.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.15 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.16, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.17 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.18, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.19 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.20 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.21 และพีไอดีแสดง ดังรูปที่ 6.22 ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุมในกรณีต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จะส่งผลให้การตอบสนองของกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมาก โดยเฉพาะกรณีสุดท้ายระบบจะมีการแกว่งอย่างมาก และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ระบบจะแสดงพฤติกรรมที่ไม่มีเสถียรภาพ ดังพิจารณาได้จากช่วงที่ยังไม่มีการควบคุมจนกระทั่งเริ่มทำการควบคุมพบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟยังให้ผลการควบคุมที่ดีใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีผลของความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งอย่างมากก่อนเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการและปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้ช้ากว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE)

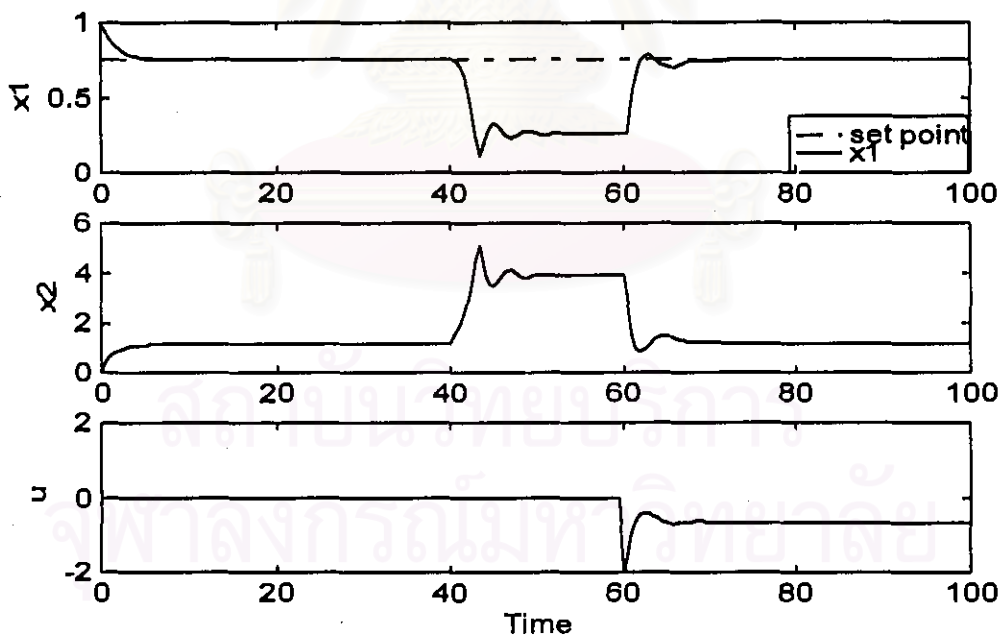
จากตารางที่ 6.9 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของกระบวนการที่ทำการควบคุมดังกล่าว

ตารางที่ 6.9 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1. ควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนระบบมีการเปลี่ยนแปลง		
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	10.1	10.3
1.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
1.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	10.0	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	10.1	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	10.0	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	10.0	-
1.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
1.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	36.9	39.2
1.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	30.1	31.1
1.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	28.6	29.4
1.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	31.9	33.3

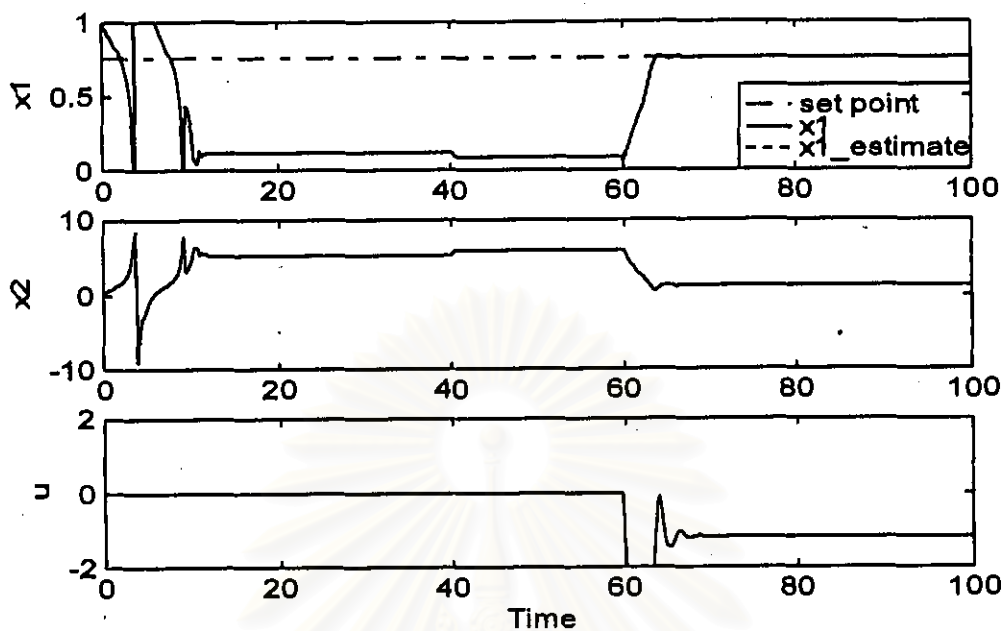


รูปที่ 6.13 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

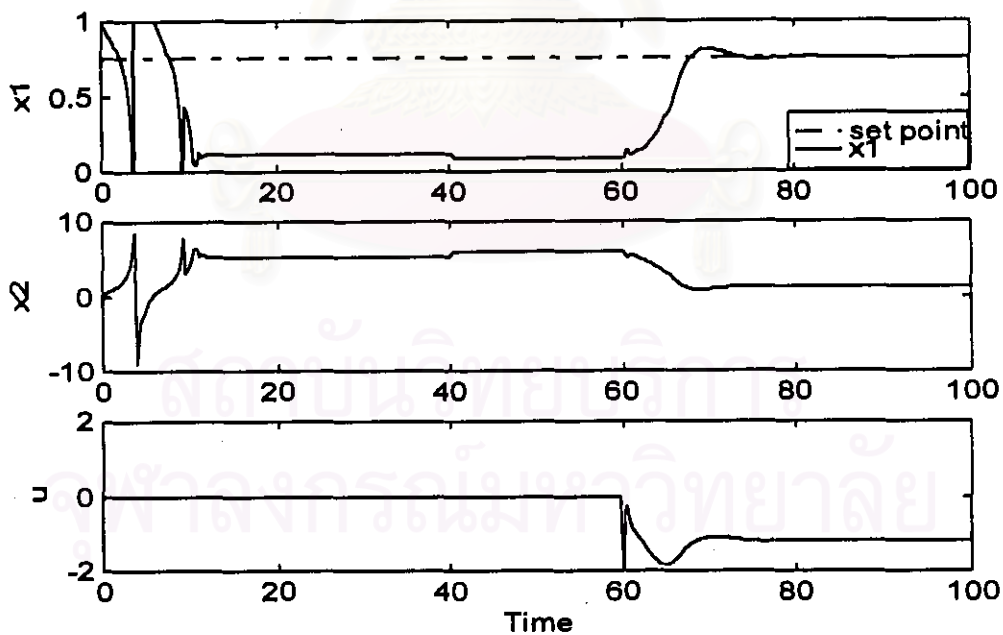


รูปที่ 6.14 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบโดยการควบคุมแบบฟัซซี่

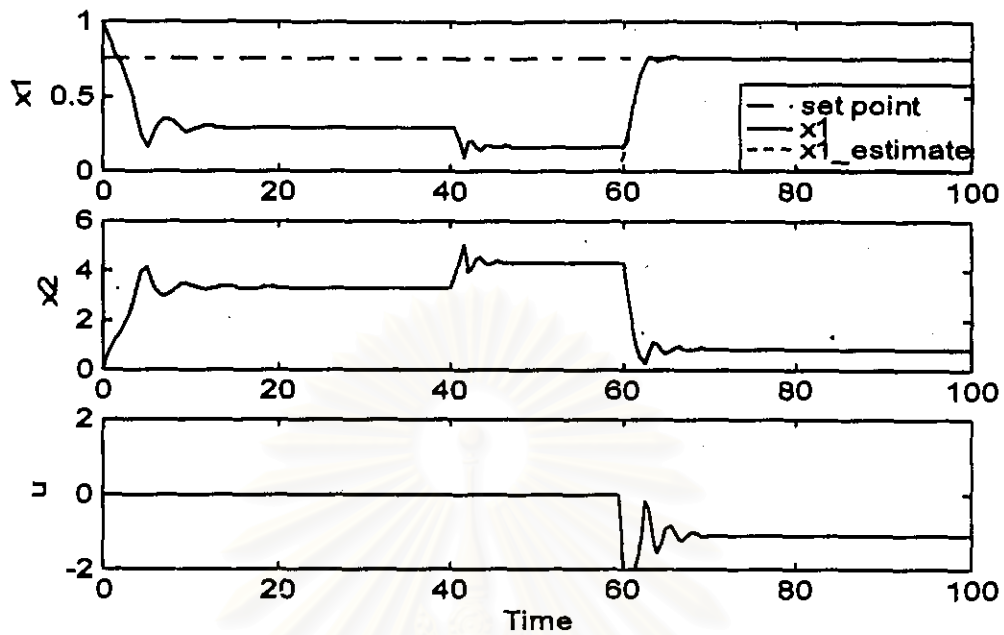




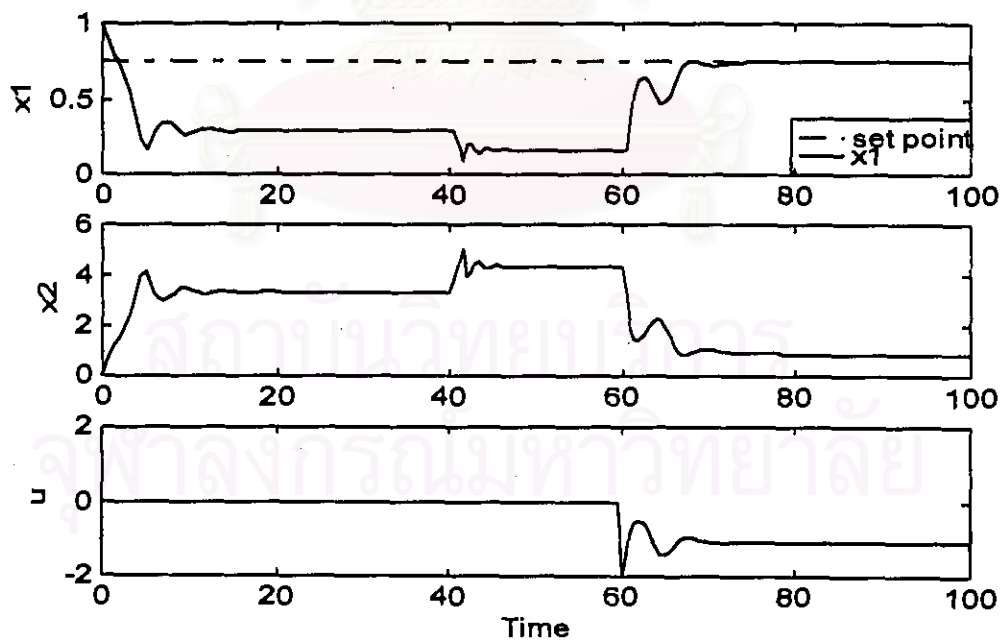
รูปที่ 6.15 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



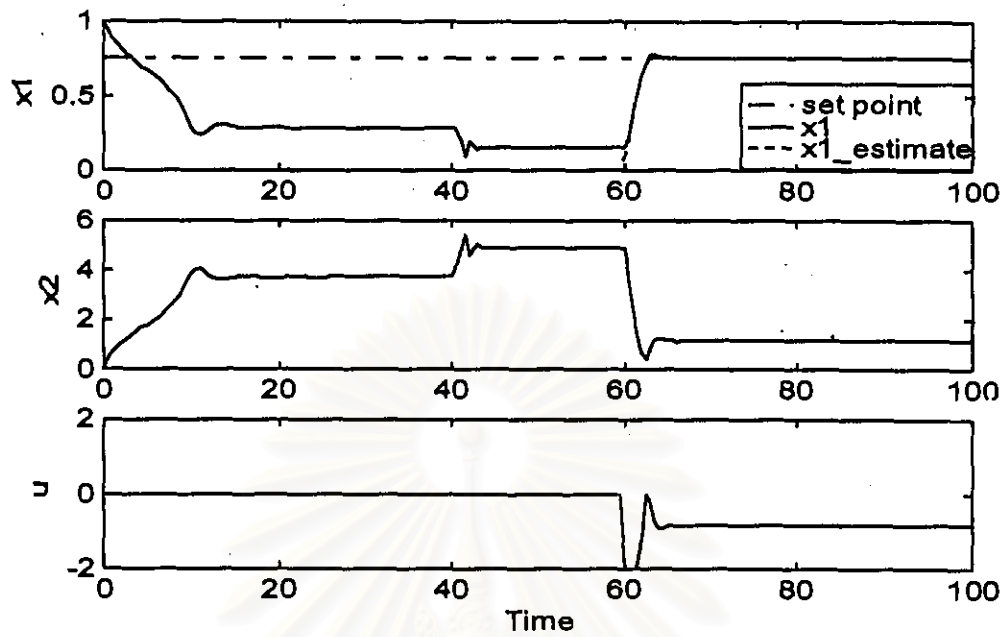
รูปที่ 6.16 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



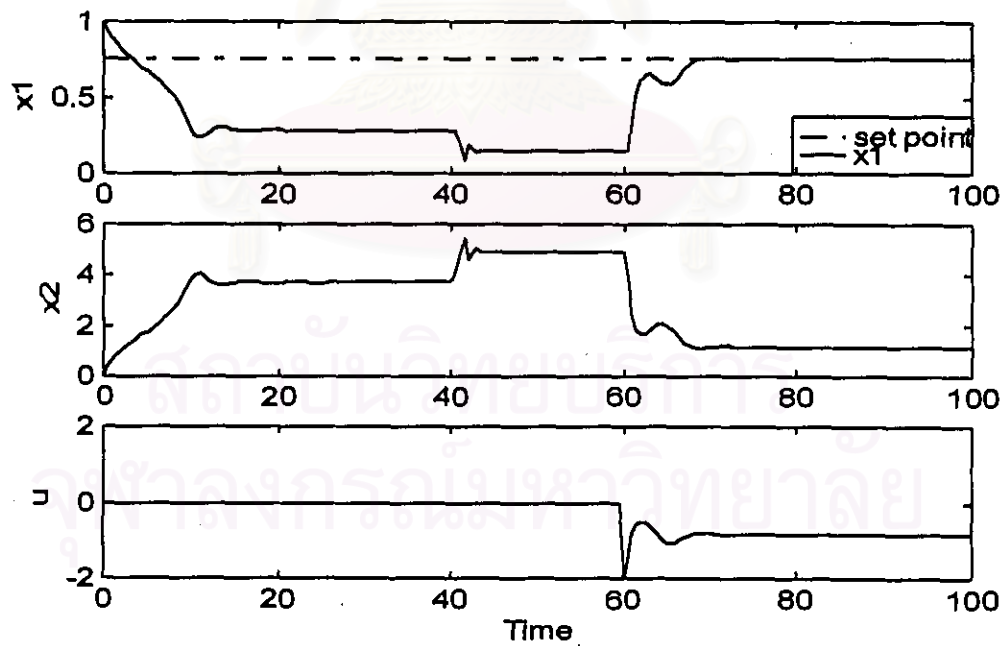
รูปที่ 6.17 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



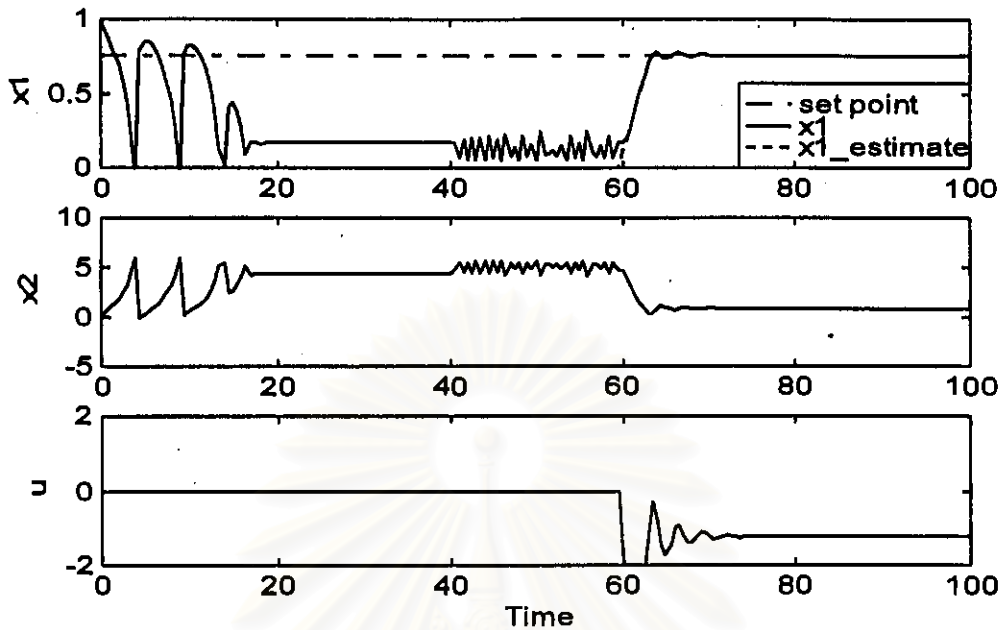
รูปที่ 6.18 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



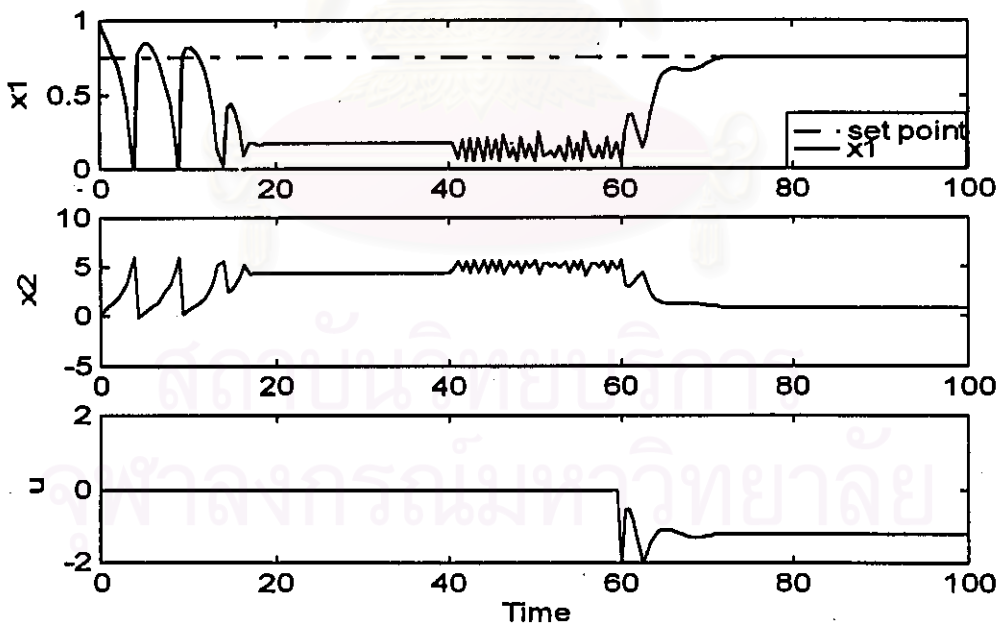
รูปที่ 6.19 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.20 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.21 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.22 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

## 2. การควบคุมความเข้มข้นเมื่อเชื้อทอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

### 2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

ในการจำลองการควบคุมกำหนดให้เชื้อทอยท์เปลี่ยนแปลงแบบสลับลดลง 30% ที่เวลา  $\tau = 40$  หลังจากทีระบบเข้าสู่เชื้อทอยท์ค่าแรก [ $x_1 = 0.7553$ ] แล้วจากนั้นกำหนดให้ค่าเชื้อทอยท์เพิ่มขึ้นสูงกว่าเชื้อทอยท์ค่าแรก 30% ที่เวลา  $\tau = 60$  พิจารณาการตอบสนองของกระบวนการเปรียบเทียบผลการควบคุมในการติดตามค่าเชื้อทอยท์ สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.4 แสดงดังรูปที่ 6.23 และการควบคุมแบบพีไอดีที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.6 แสดงดังรูปที่ 6.24 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีในการติดตามค่าเชื้อทอยท์ ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีให้ผลการควบคุมที่ไม่ดีคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อทอยท์ตกลงค่าตัวแปรควบคุมจะมีการแกว่งและไม่สามารถปรับตัวเข้าสู่เชื้อทอยท์ที่ต้องการได้ในเวลาที่กำหนด และเมื่อค่าเชื้อทอยท์เพิ่มขึ้นเครื่องควบคุมแบบพีไอดีต้องอาศัยเวลาในการควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเชื้อทอยท์ที่ต้องการ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.10 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อทอยท์ในการควบคุม

### 1.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

#### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อทอยท์ในการควบคุม และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.4 ในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ 6.36, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ 6.37,

กรณีที่กำลังค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๖.38 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการผลิตปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๖.39 ในภาคผนวก ข. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความคิดพลาดจากตารางที่ 6.10 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมพบว่าให้ผลใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟที่มีความทนทาน สามารถควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

## 2.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

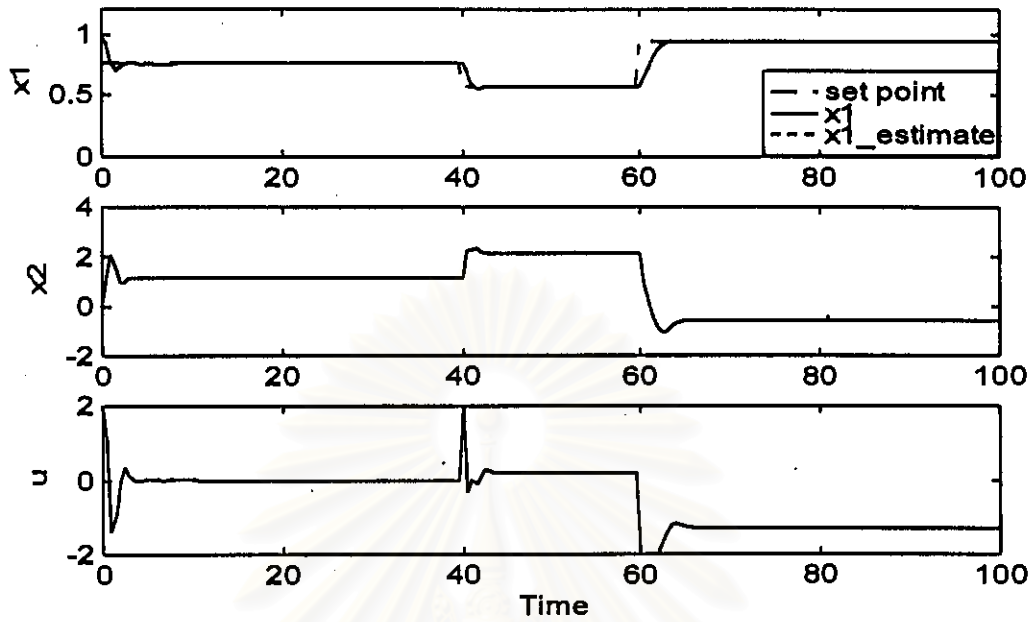
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟแสดงดังรูปที่ 6.25 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.26, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการผลิตปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟแสดงดังรูปที่ 6.27 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.28, กรณีที่กำลังค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟแสดงดังรูปที่ 6.29 และ พีไอดี ได้ดังรูปที่ 6.30 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการผลิตปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟแสดงดังรูปที่ 6.31 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.32 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟสามารถควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ได้โดยมีค่าออฟเซ็ทในการควบคุมเพียงเล็กน้อยในช่วงแรกของการควบคุม ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีออฟเซ็ทในการควบคุมในช่วงแรกมากกว่า และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ลดลงเครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถปรับสภาพของกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้ ทำให้ค่าความเข้มข้นมีการแกว่งอย่างมากโดยเฉพาะในกรณีที่ค่า  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% จนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์เพิ่มขึ้นเครื่องควบคุมยังต้องใช้เวลานานในการปรับค่าความเข้มข้นให้เข้าสู่เซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้ช้ากว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความคิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.10 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟมีความผิดพลาด



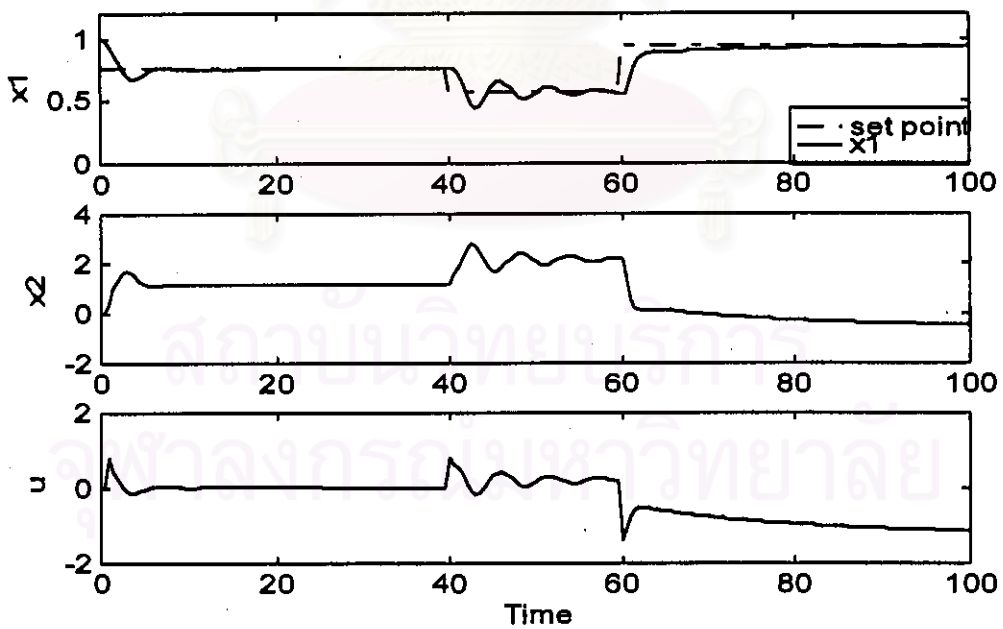
ในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมาก แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟมีความทนทานสูงกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของกระบวนการที่ทำการควบคุมดังกล่าว

ตารางที่ 6.10 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

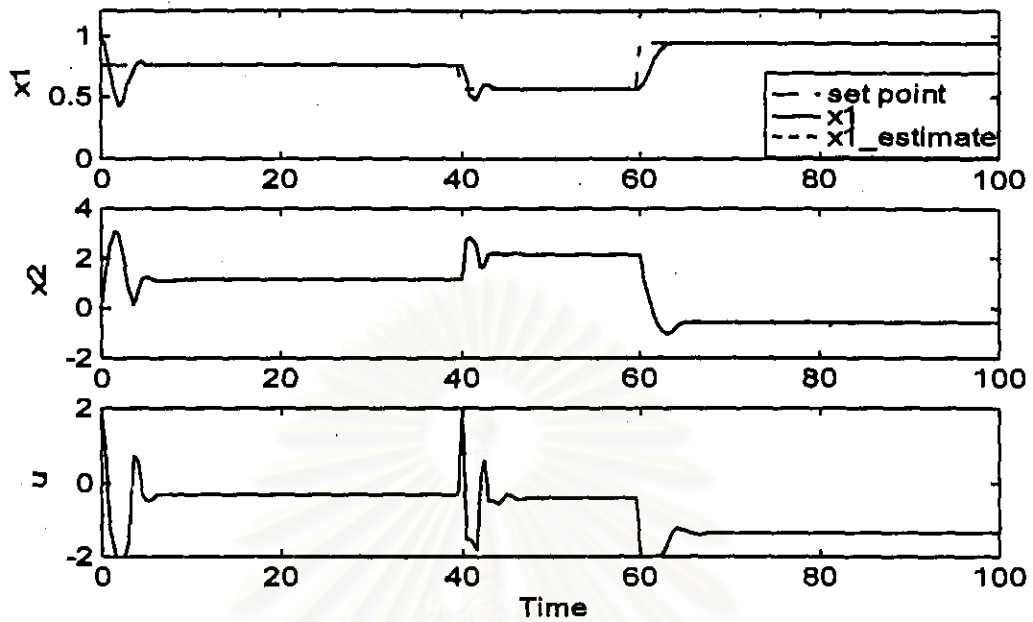
กรณีการควบคุม	MPC	PID
2. ควบคุมความเข้มข้นเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลง		
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	1.1	3.2
2.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
2.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.3	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.2	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.1	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.3	-
2.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.7	6.9
2.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.5	4.1
2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.1	3.9
2.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	2.3	4.9



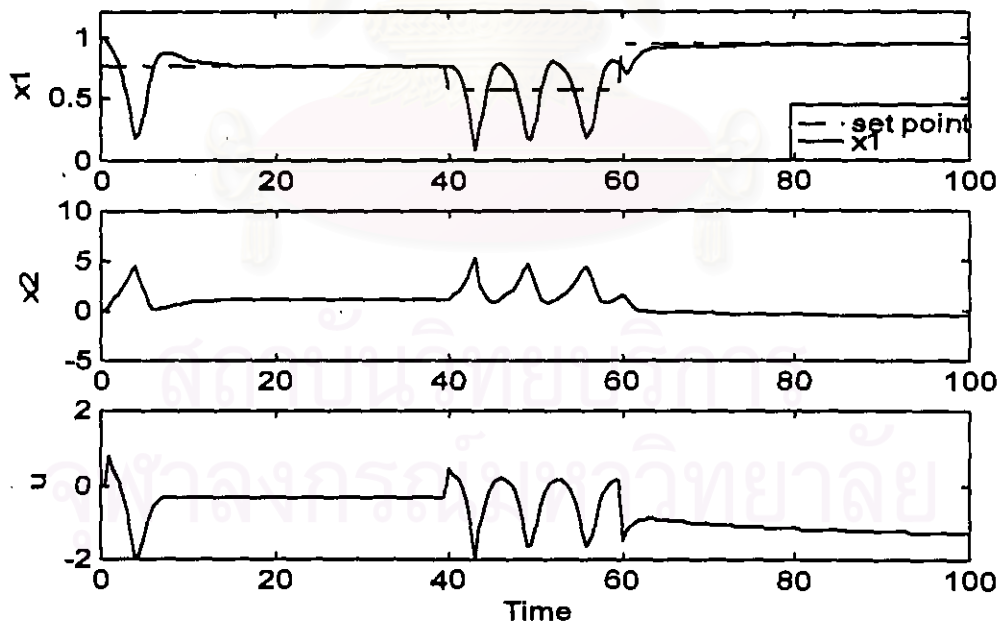
รูปที่ 6.23 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



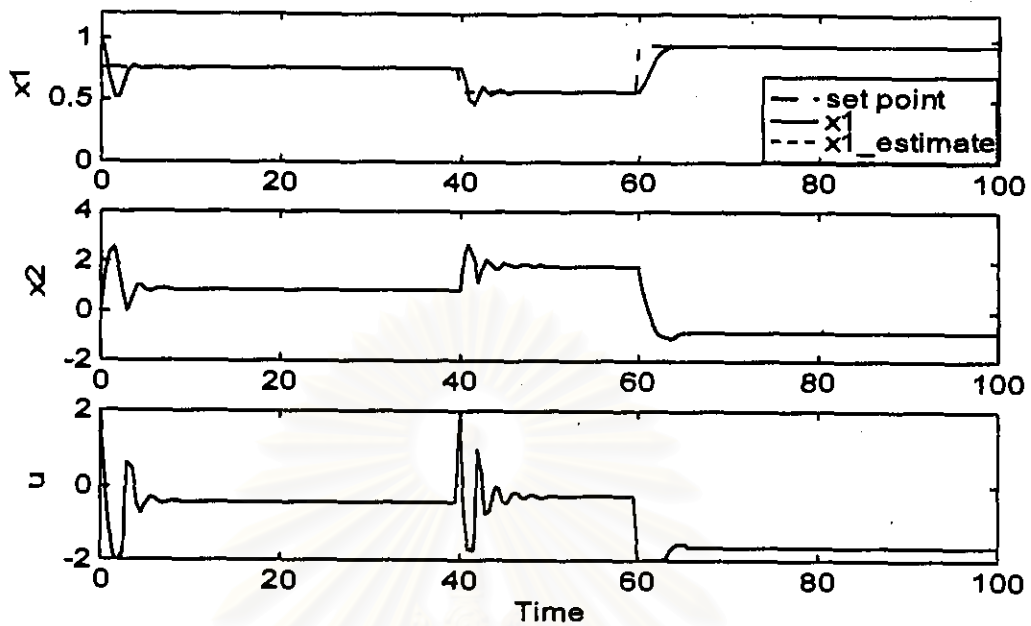
รูปที่ 6.24 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์โดยการควบคุมแบบ  $H_\infty$



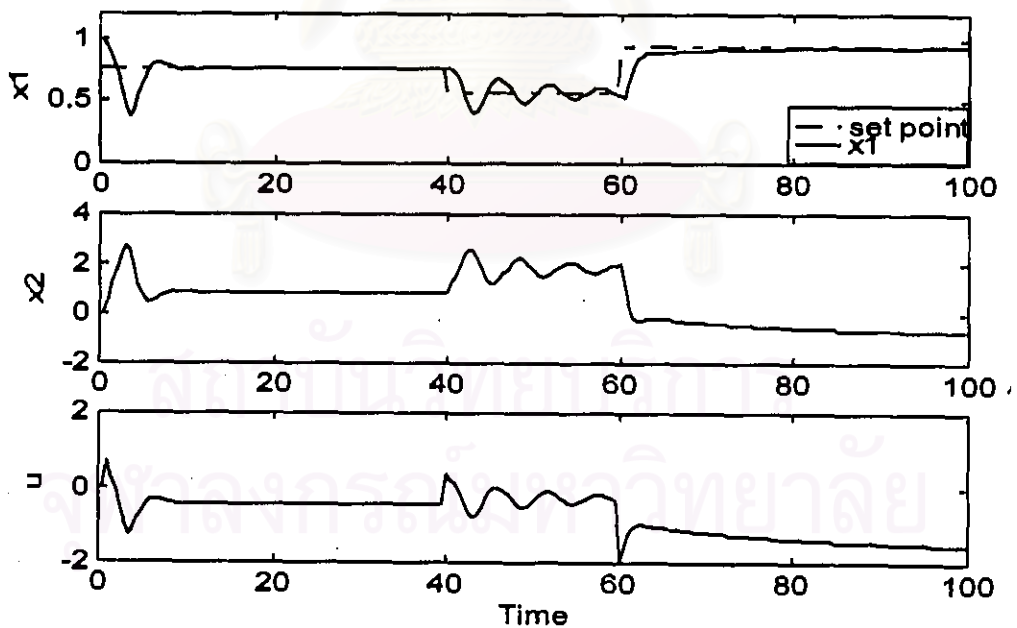
รูปที่ 6.25 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



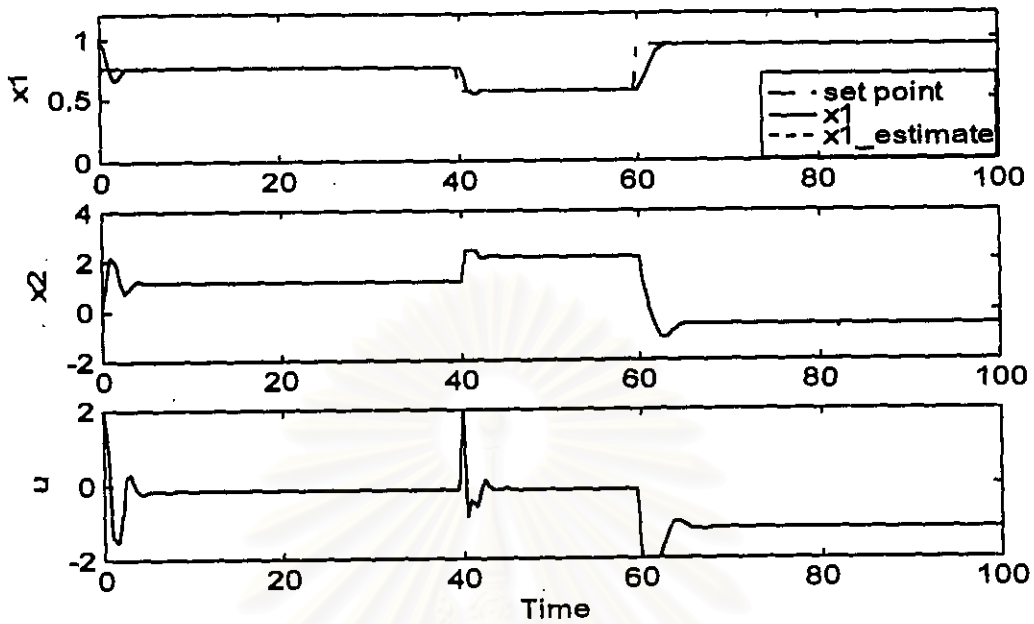
รูปที่ 6.26 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอซี



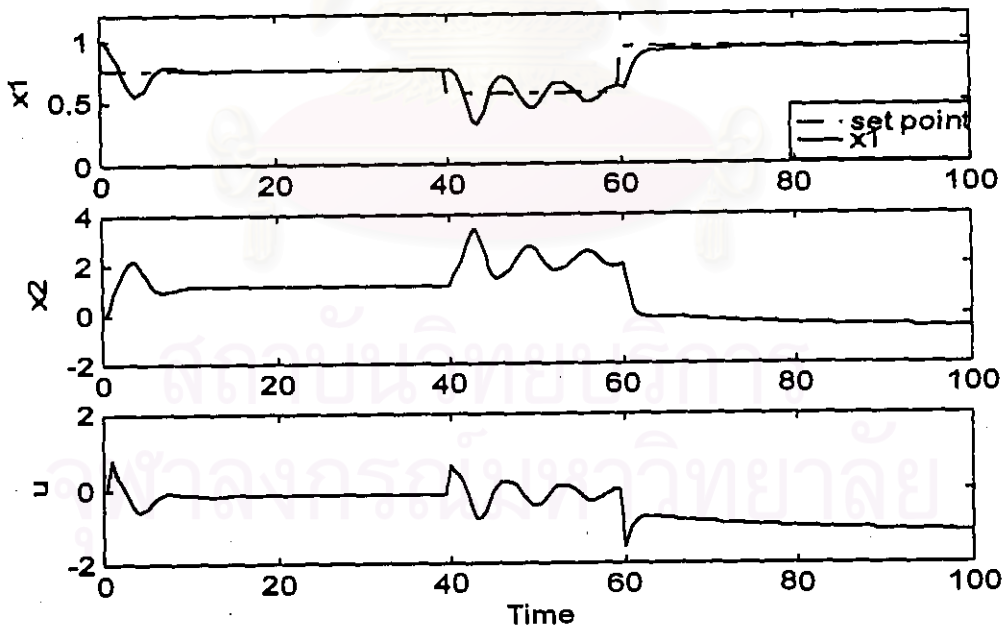
รูปที่ 6.27 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.28 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

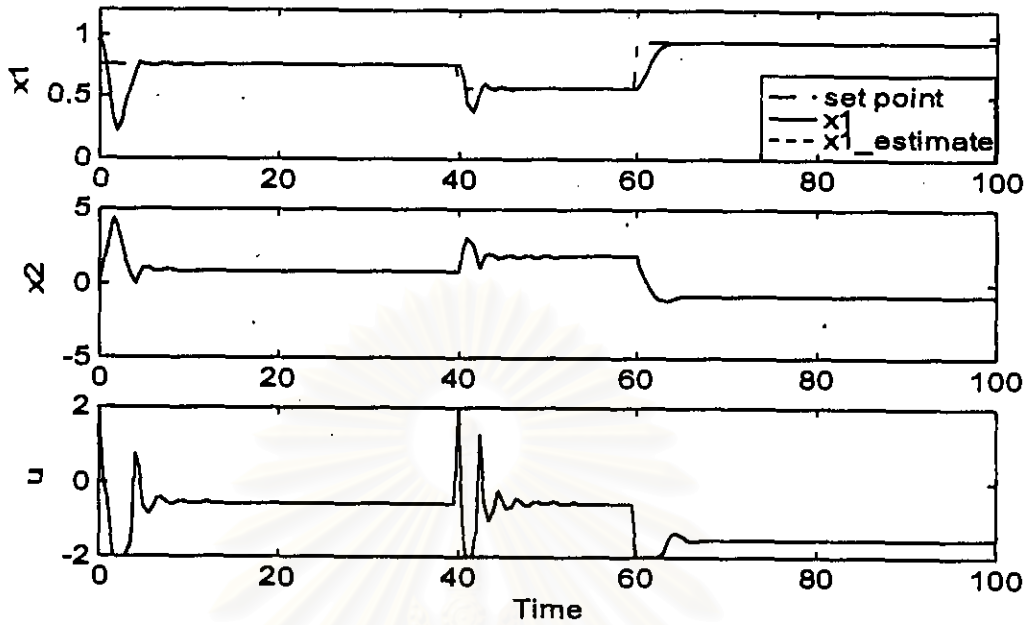


รูปที่ 6.29 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

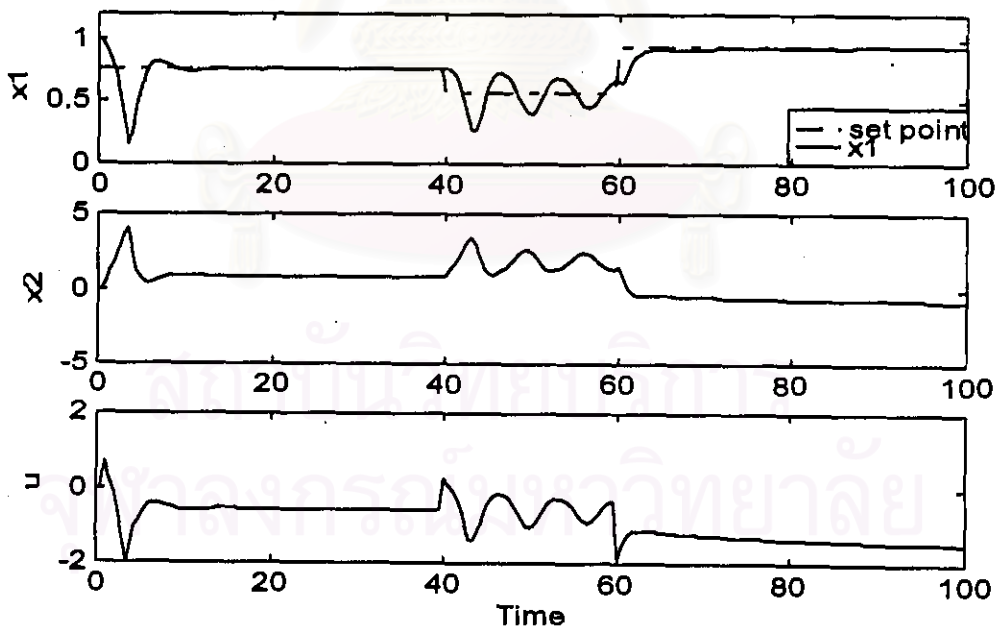


รูปที่ 6.30 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี





รูปที่ 6.31 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.32 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

### 6.3.2 กรณีศึกษาที่ 2 ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีหลายสถานะคงตัวและมีสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ

ในการควบคุมใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและกาลมานฟิลเตอร์สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 6.11 และ 6.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.11 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีหลายสถานะคงตัวและมีสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ

Controller Parameters	Estimator Parameters
$P = 10$	$Q = \text{diag}[10 \ 1000 \ 1]$
$M = 10$	$R = [10]$
$Y_{wt} = 3$	
$U_{wt} = 1$	

ตารางที่ 6.12 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีหลายสถานะคงตัวและมีสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ

Controller Parameters	Estimator Parameters
$P = 10$	$Q = \text{diag}[10 \ 1000 \ 1]$
$M = 10$	$R = [10]$
$Y_{wt} = 50$	
$U_{wt} = 1$	

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์แสดงดังตารางที่ 6.13 และ 6.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.13 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีระบบมีหลายสถานะคงตัวและมีสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ

PID Tuning Parameters		
$K_c = 0.06$	$\tau_i = 0.5$	$\tau_d = 0.15$

ตารางที่ 6.14 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีระบบมีหลายสถานะคงตัวและมีสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ

PID Tuning Parameters		
$K_c = -0.4$	$\tau_i = 0.7$	$\tau_d = 0.05$

## ตอนที่ 1 การควบคุมอุณหภูมิ

### 1. การควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสแต็บ

#### 1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 จากหัวข้อที่ 6.2 พบว่ามีคำตอบของค่าที่สถานะคงตัวของอุณหภูมิ 3 ค่าคือที่สถานะคงตัวล่าง (lower steady state) [ $x_2 = 0.8860$ ] ค่าที่สถานะคงตัวกลาง (middle steady state) [ $x_2 = 2.7517$ ] ซึ่งเป็นสถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพ และค่าที่สถานะคงตัวบน (upper steady state) [ $x_2 = 4.7050$ ] ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการควบคุมคือเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ค่าเซ็ทพอยท์ดังกล่าวในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ การจำลองกระบวนการอาศัยสถานะเริ่มต้นดังตารางที่ 6.1 พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.11 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.13 สำหรับกรณีการควบคุมต่างๆดังนี้

### 1.1.1 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ]

พิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 60$  สำหรับการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ ๘.40 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ ๘.41 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการจะส่งผลให้การตอบสนองของกระบวนการ เปลี่ยนแปลงไปดังพิจารณาได้จากช่วงที่ยังไม่มีการควบคุม จนเริ่มทำการควบคุมเครื่องควบคุม แบบ โมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งอย่างมากก่อนที่จะปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลาเริ่มต้น  $\tau = 0$  สำหรับการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.33 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.34 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุม แบบ โมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีโดยสามารถควบคุม อุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างราบเรียบกว่า ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมี โอเวอร์ชูท (overshoot) ในการควบคุมอย่างมากและมีการแกว่งในช่วงเวลาที่เริ่มทำการควบคุมและ ช่วงเวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการก่อนที่จะปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ ต้องการ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15 พบว่า เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีค่าความผิดพลาดในการควบคุม น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุม แบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ

### 1.1.2 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ]

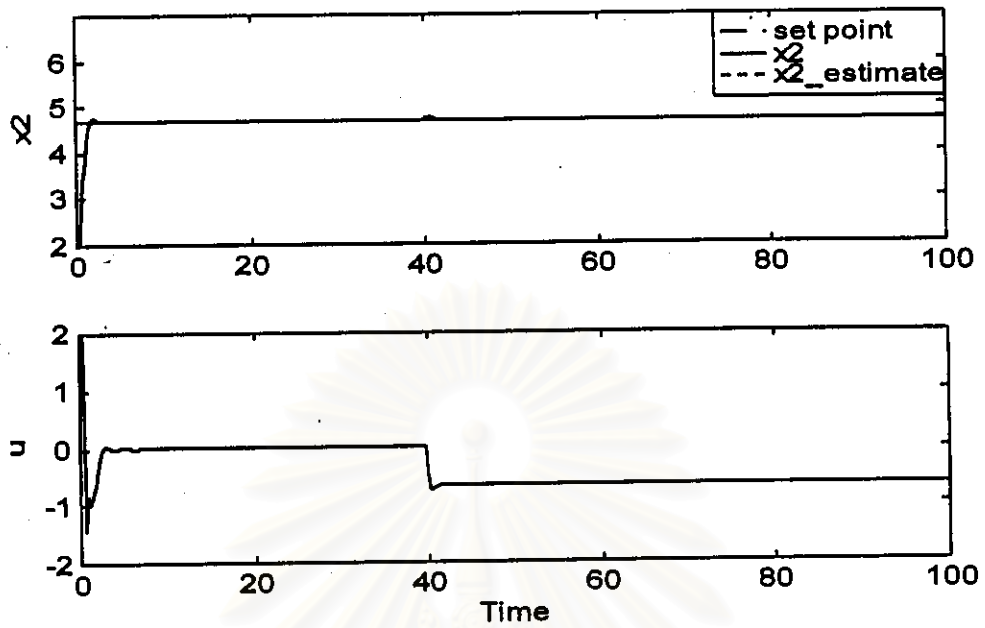
พิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 60$  สำหรับการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ ๘.42 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ ๘.43 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ ได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งอย่างมากและไม่สามารถควบคุม อุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้ เช่นเดียวกับผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา เริ่มต้น  $\tau = 0$  สำหรับการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.35 และ พีไอดีแสดงดัง

รูปที่ 6.36 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2=2.7517$ ] ซึ่งเป็นค่าที่สภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพของกระบวนการที่ทำการควบคุมได้

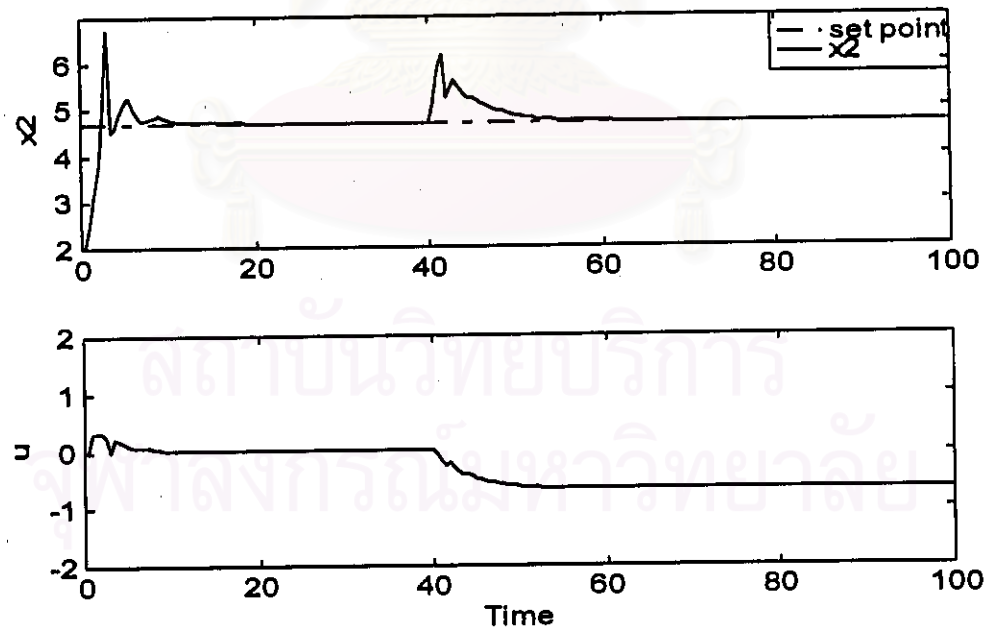
### 1.1.3 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ]

พิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 60$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.44 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.45 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีออฟเซ็ทในการควบคุมก่อนที่จะปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลาเริ่มต้น  $\tau = 0$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟซึ่งแสดงดังรูปที่ 6.37 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.38 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี โดยสามารถปรับค่าของอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างราบเรียบกว่า ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการตอบสนองต่อการควบคุมที่ช้ากว่ามาก และมีออฟเซ็ทในการควบคุมอย่างมากในช่วงเวลาที่เริ่มทำการควบคุม และช่วงเวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการก่อนที่จะปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15 พบว่า เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2=0.8860$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ

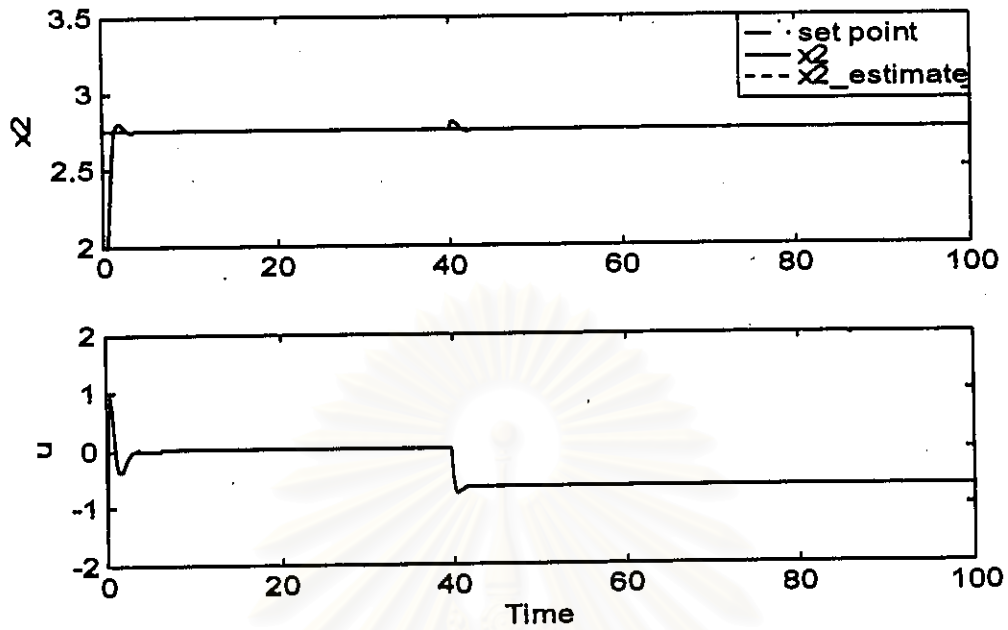




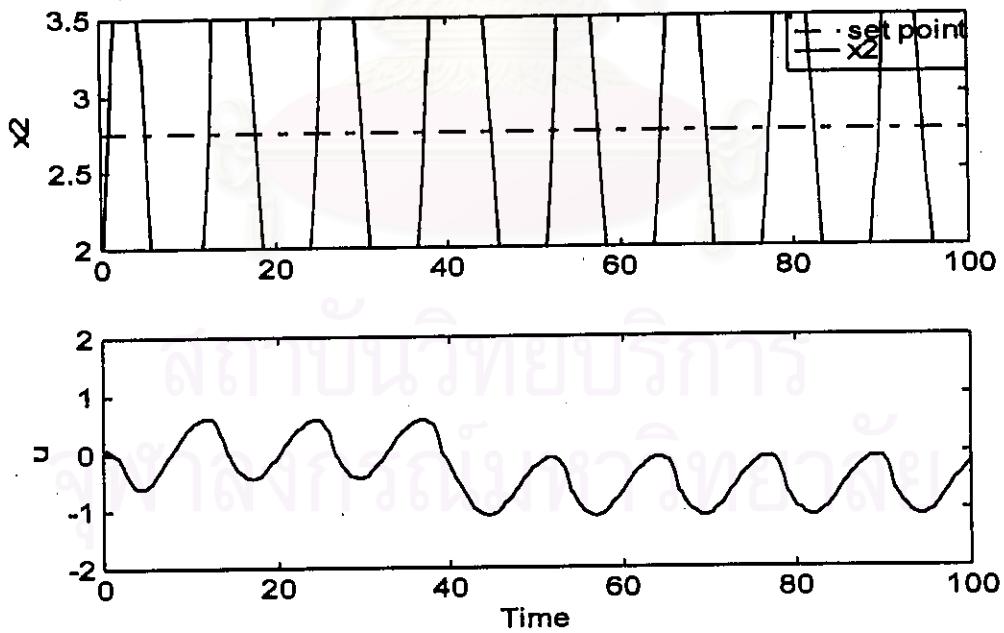
รูปที่ 6.33 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 4.7050]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร  
รบกวนระบบโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



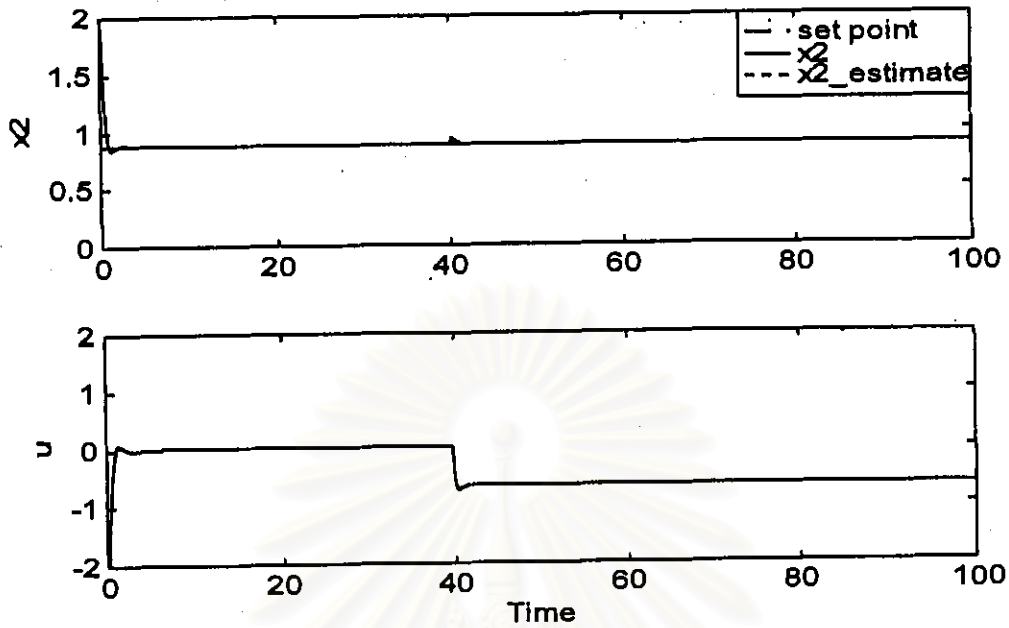
รูปที่ 6.34 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 4.7050]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร  
รบกวนระบบโดยการควบคุมแบบพีไอดี



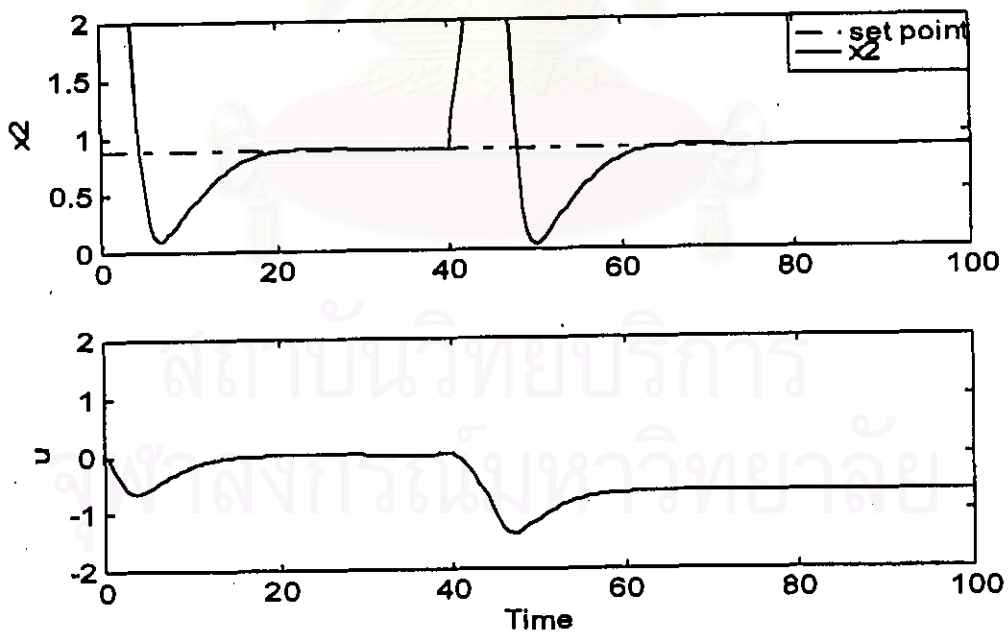
รูปที่ 6.35 ผลการควบคุมจุดมุ่งหมายในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร  
ระบบการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.36 ผลการควบคุมจุดมุ่งหมายในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร  
ระบบการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.37 ผลการควบคุมจุดหมุนิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร  
รบกวนระบบโดยการควบคุมแบบ โมเดลฟรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.38 ผลการควบคุมจุดหมุนิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร  
รบกวนระบบโดยการควบคุมแบบ พีไอดี

## 1.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและกำหนดค่าที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.11 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลาเริ่มต้น  $t = 0$  สำหรับกรณีการควบคุมต่าง ๆ ดังนี้

#### 1.2.1.1 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ น. 46, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ น.47, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ น.48 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูป ที่ น. 49 ในภาคผนวก น. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์เดียวกันพบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

#### 1.2.1.2 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ น. 50, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ น.51, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ น.52 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของ

อัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูป ที่ น. 53 ในภาคผนวก น. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์เดียวกัน พบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

### 1.2.1.3 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูป ที่ น. 54, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ น.55, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ น.56 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ น. 57 ในภาคผนวก น. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์เดียวกัน พบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

### 1.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

จากการศึกษาพฤติกรรมของถูกเปิดในกรณีศึกษาที่ 2 ในหัวข้อที่ 6.2 พบว่าเมื่อค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่สภาวะคงตัว จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงไปเป็นกระบวนการที่ไม่มีเสถียรภาพจนไม่สามารถทำการซิมูเลทโดยวิธีการจำลองการควบคุมที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวข้างต้นได้ ดังนั้นจึงต้องเริ่มทำการควบคุมที่เวลาเริ่มต้น

$\tau = 0$  เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ พิจารณาผลการควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ต่าง ๆ ดังนี้

### 1.2.2.1 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.39 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.40 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีค่าโอเวอร์ชูทเล็กน้อยในช่วงเวลาที่เริ่มต้นทำการควบคุมแต่ยังให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการดังกล่าวได้ เช่นเดียวกับกรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.41 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.42 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.45 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.46 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการที่ค่าเซ็ทพอยท์ดังกล่าวได้ และไม่สามารถคำนวณค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ในการควบคุมได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการดังกล่าว ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการในกรณีที่มีความผิดพลาดที่ค่าเซ็ทพอยท์ที่กำหนดได้

สำหรับกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.43 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.44 พบว่าเครื่องควบคุมทั้งสองแบบให้ผลใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในการควบคุมโดยที่เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15



### 1.2.2.2 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.47 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.48, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.49 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.50, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.51 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.52 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนการถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.53 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.54 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ดังกล่าวได้ โดยสามารถพิจารณาผลการควบคุมได้จากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.15 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการดังกล่าว ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการ ในกรณีที่มีความผิดพลาดที่ค่าเซ็ทพอยท์ที่กำหนดได้

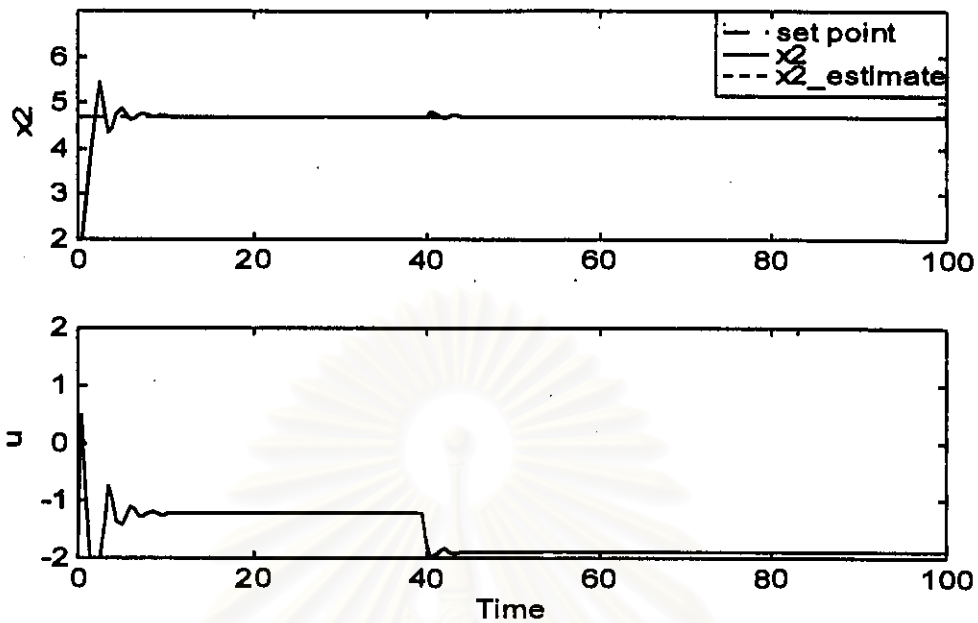
### 1.2.2.3 การควบคุมอุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.57 และ พีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.58, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.59 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.60 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.61 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.62 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด และให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีซึ่งมีความผิดพลาดในการควบคุมมากกว่ากรณีที่ไม่มีความผิดพลาดดังพิจารณาได้จากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จาก

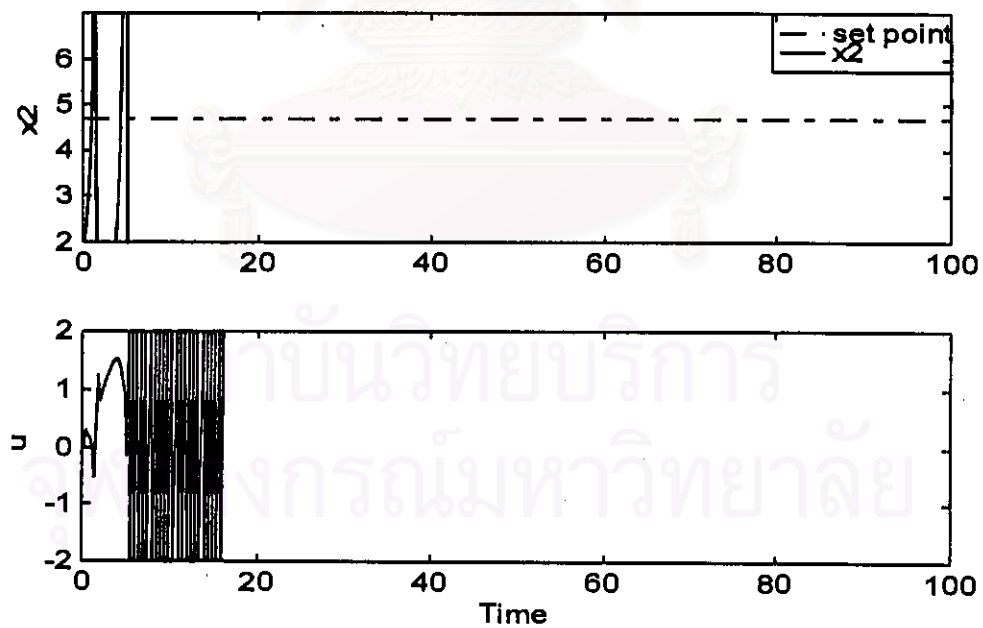
ตารางที่ 6.15 สำหรับกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟ แสดงดังรูปที่ 6.55 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.56, คามถ้ำดับพบว่าเครื่องควบคุม แบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการดังกล่าวได้ และไม่สามารรถคำนวณค่าอินทิกรัลของ ค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) ได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความ ทนทานต่อความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการดังกล่าวในขณะที่เครื่อง ควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการในกรณีที่มีความผิดพลาดที่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ กำหนดได้



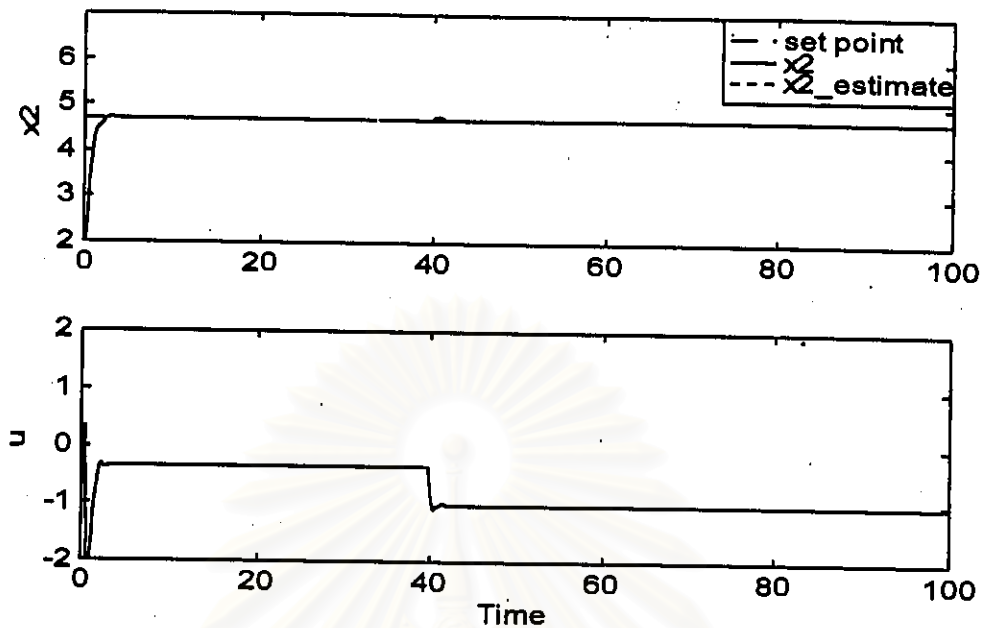
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



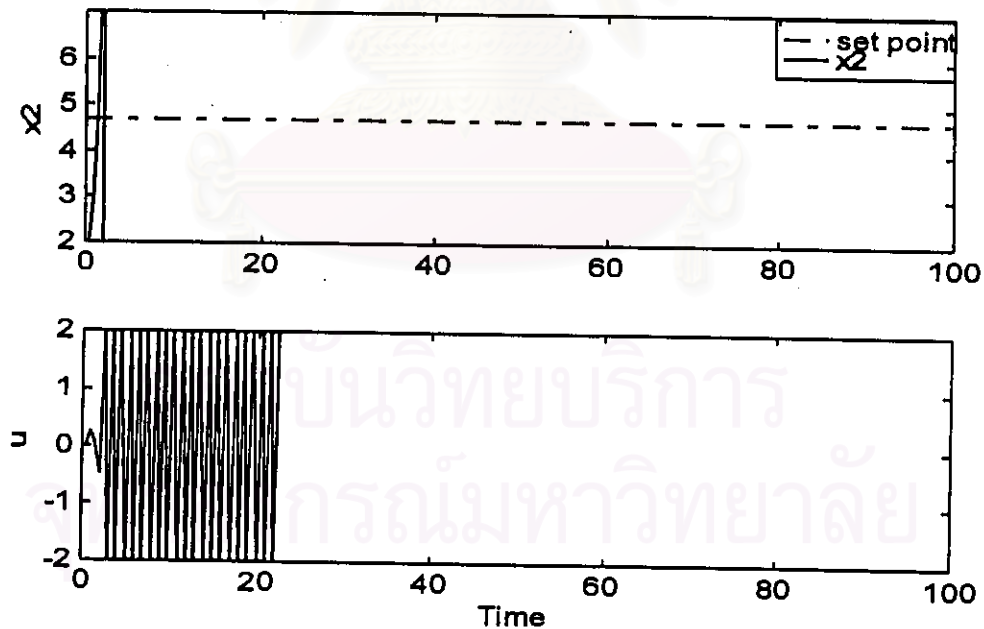
รูปที่ 6.39 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซตพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



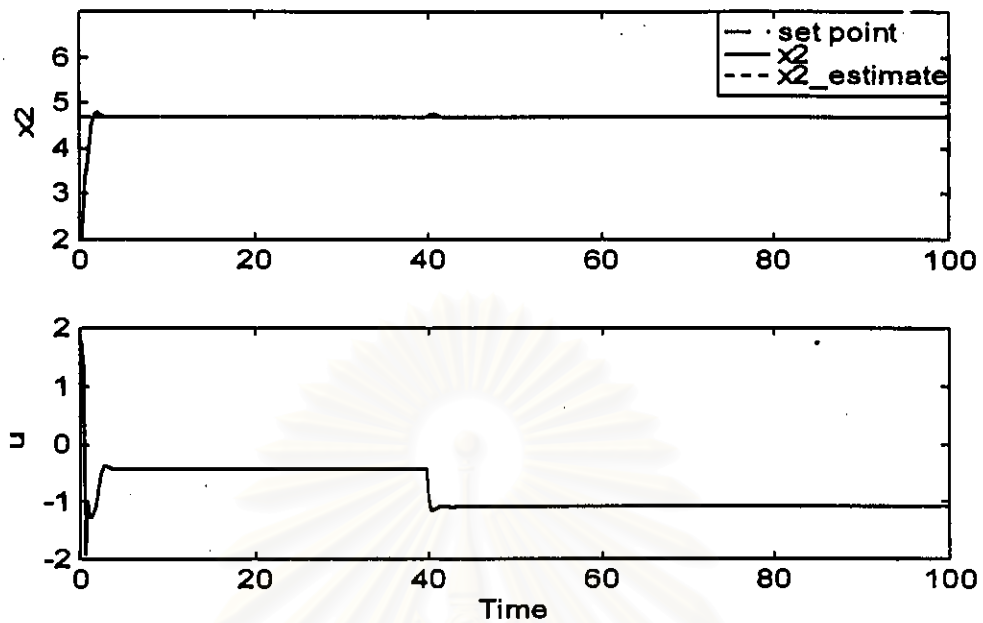
รูปที่ 6.40 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซตพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



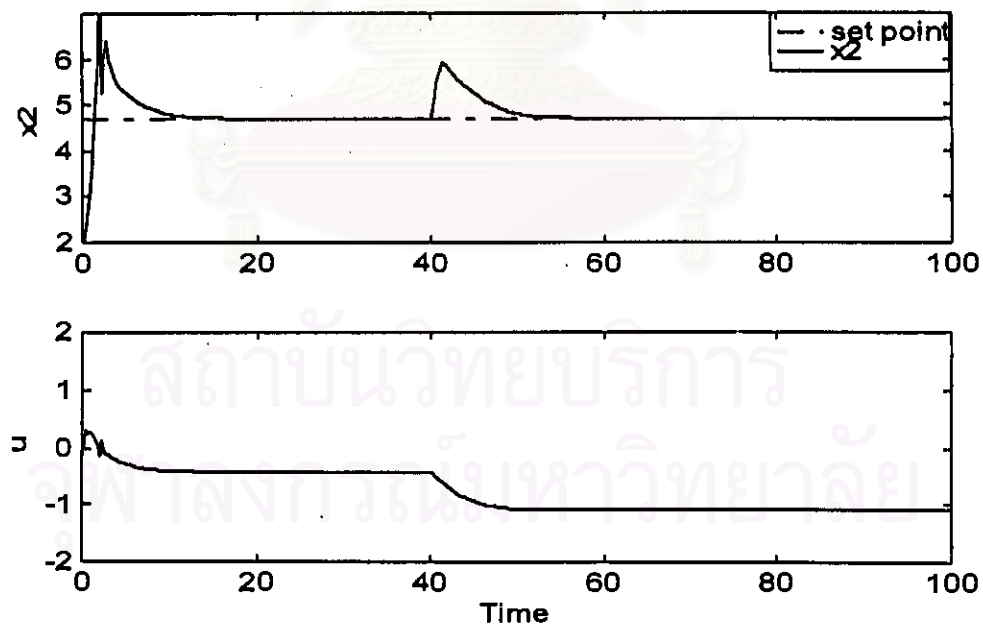
รูปที่ 6.41 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



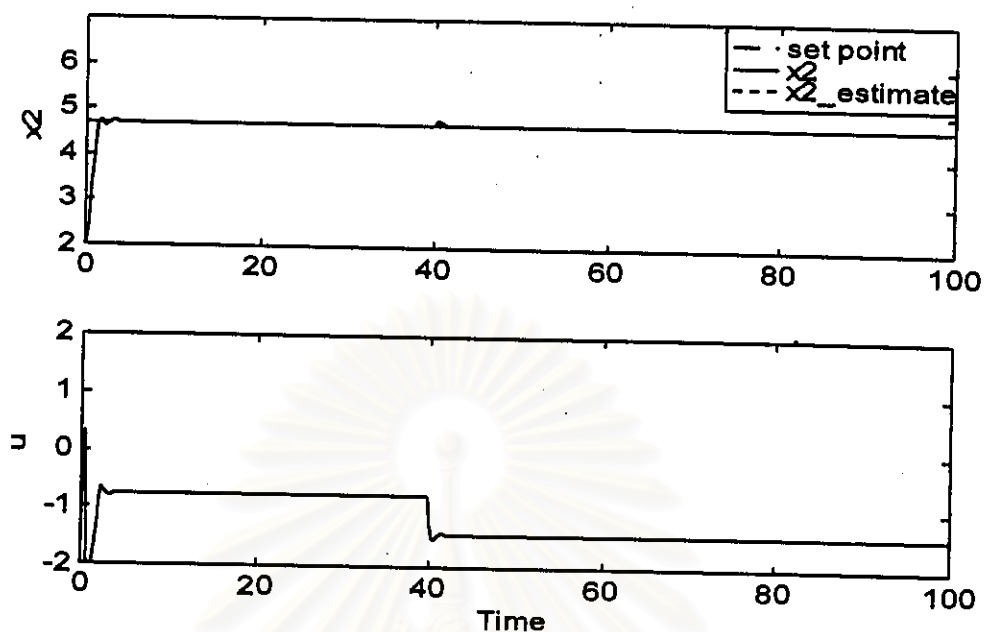
รูปที่ 6.42 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบฟัซซี



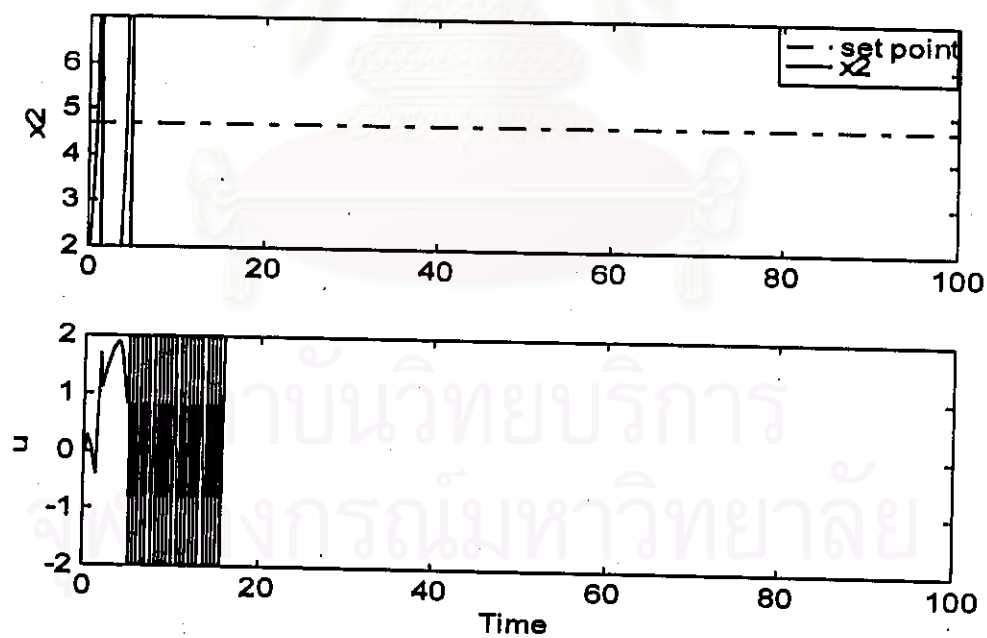
รูปที่ 6.43 ผลการควบคุมจุดหนีในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.44 ผลการควบคุมจุดหนีในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบที่ไอดี

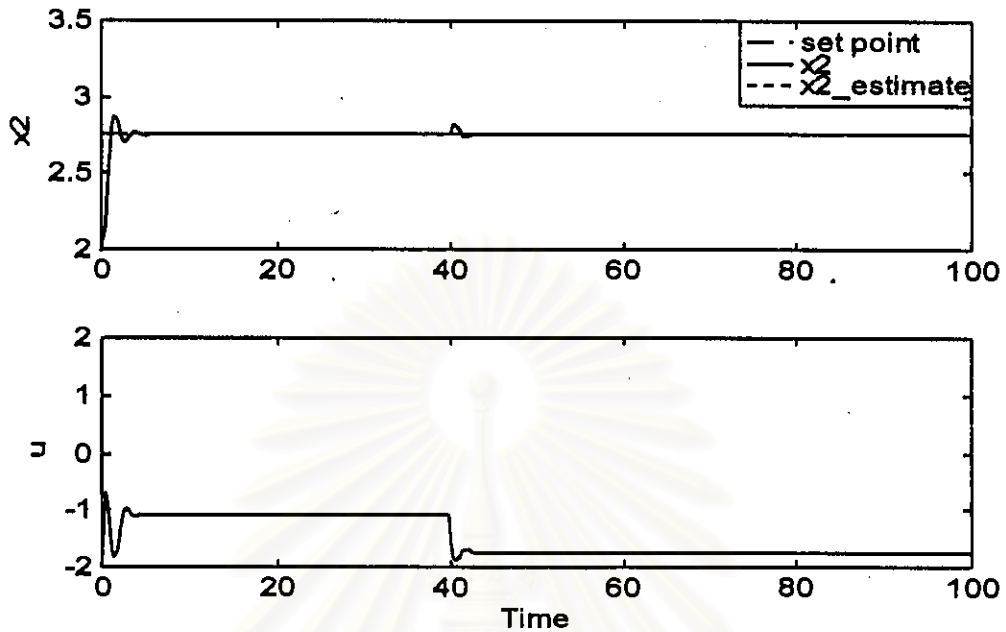


รูปที่ 6.45 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 4.7050]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

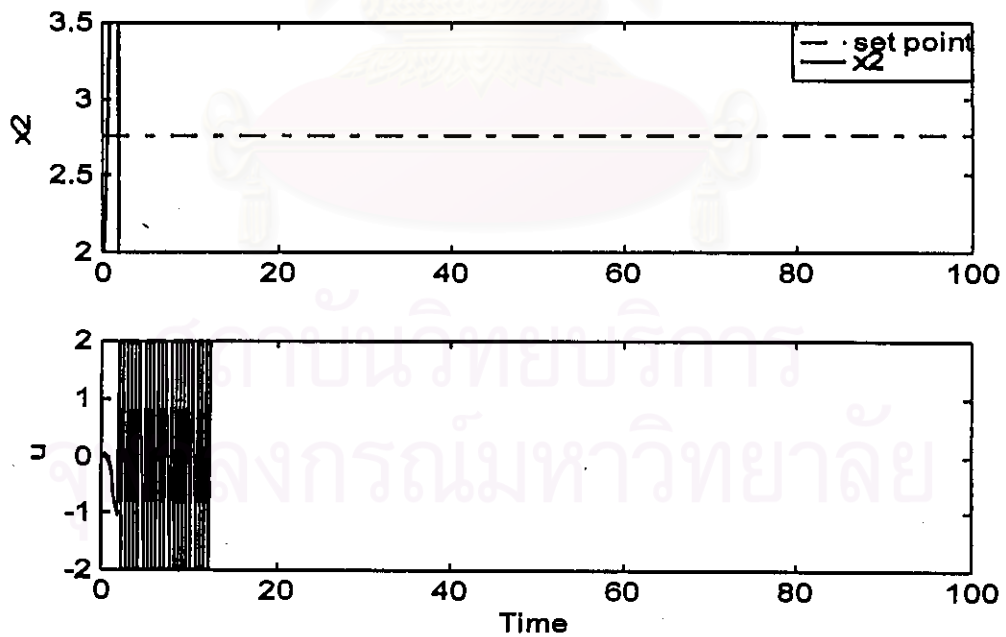


รูปที่ 6.46 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 4.7050]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบฟัซซี

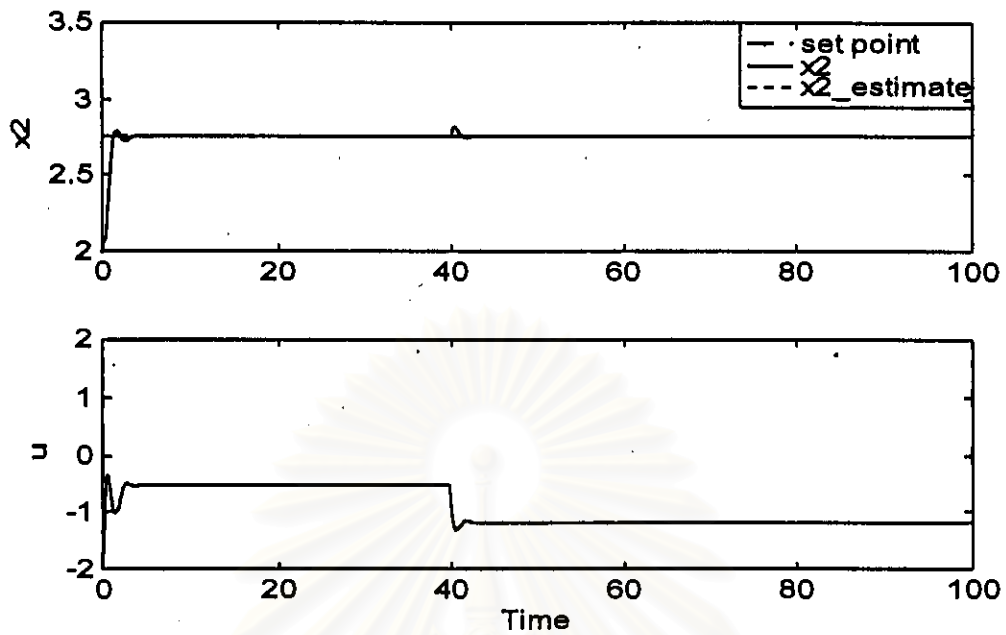




รูปที่ 6.47 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 2.7517]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

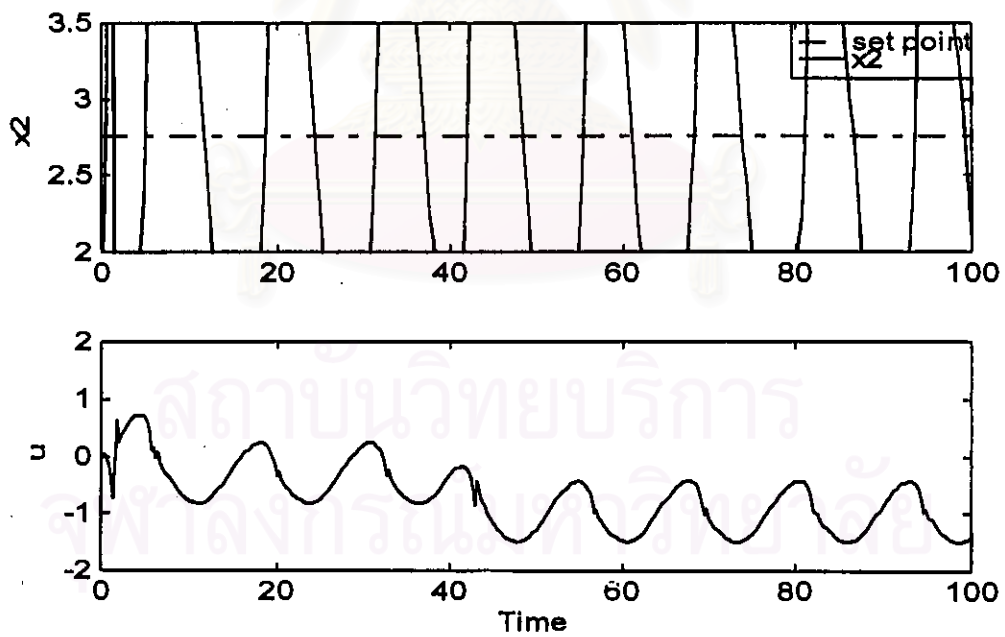


รูปที่ 6.48 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 2.7517]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



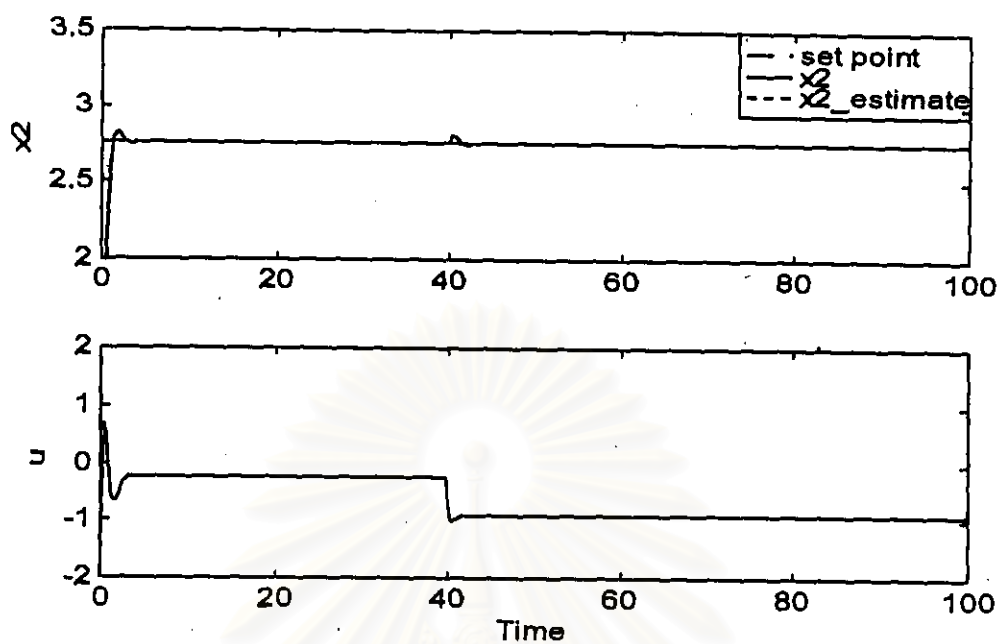
รูปที่ 6.49 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 2.7517]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%)

โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

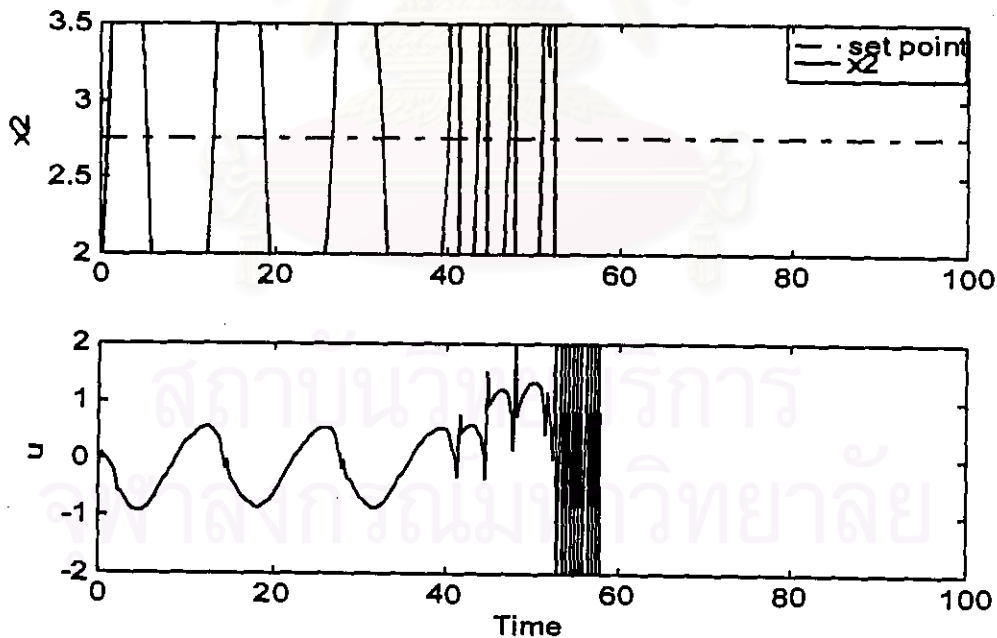


รูปที่ 6.50 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 2.7517]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%)

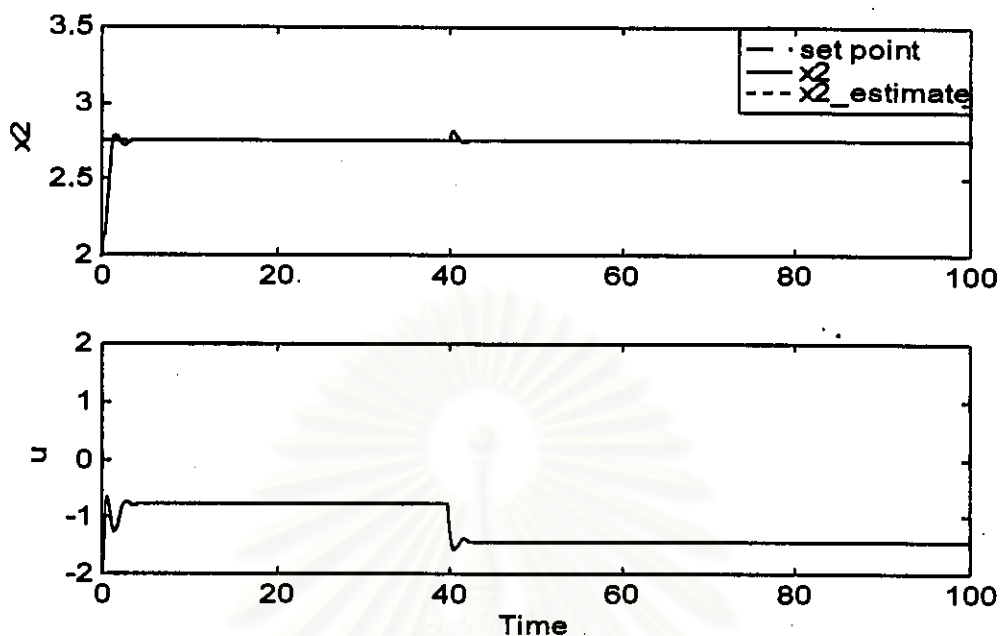
โดยการควบคุมแบบพีไอดี



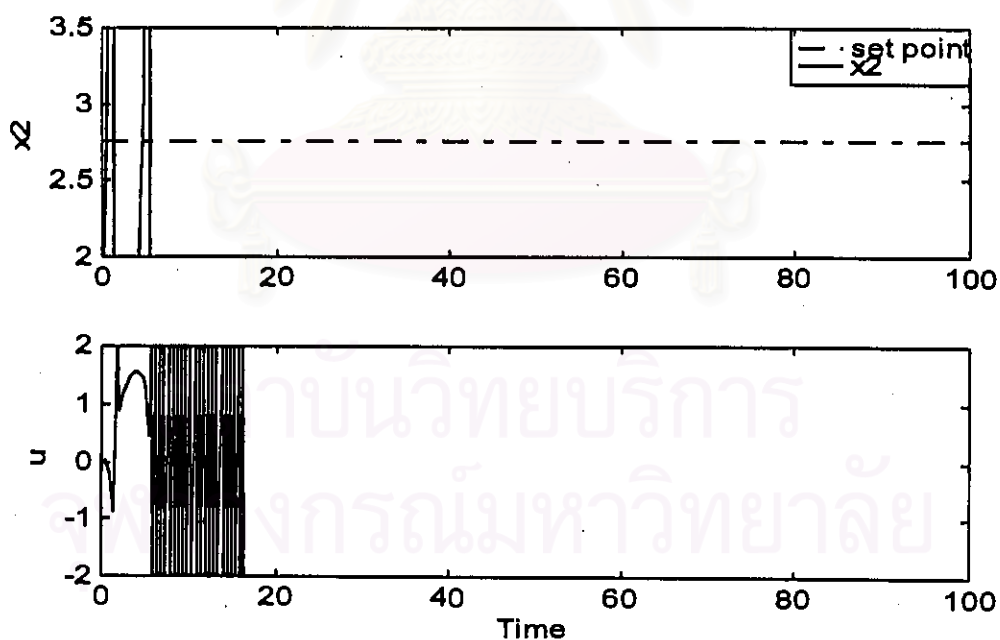
รูปที่ 6.51 ผลการควบคุมจุดศูนย์ในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟ



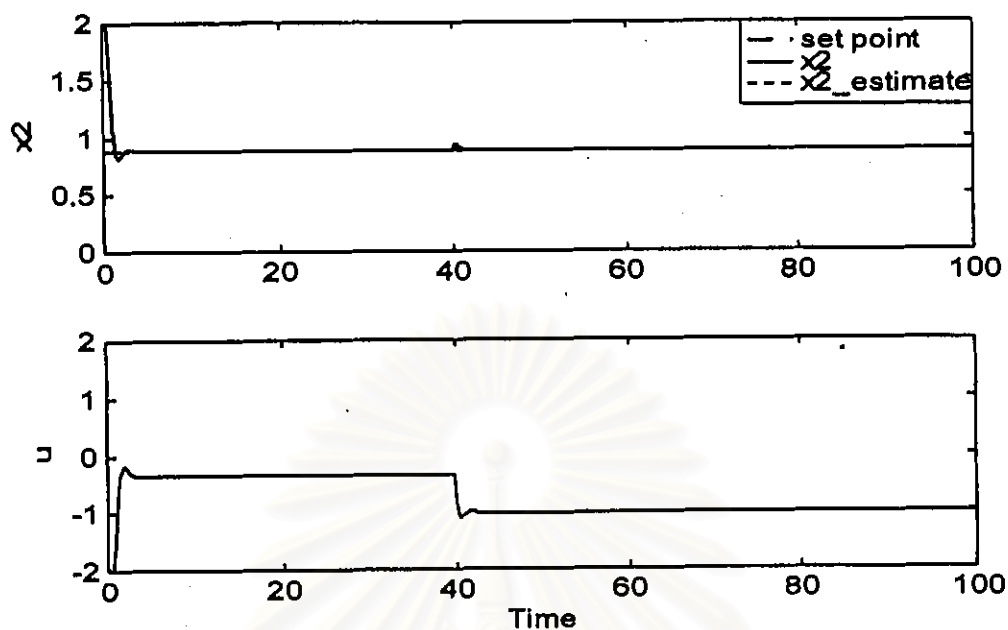
รูปที่ 6.52 ผลการควบคุมจุดศูนย์ในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบฟัซซี่



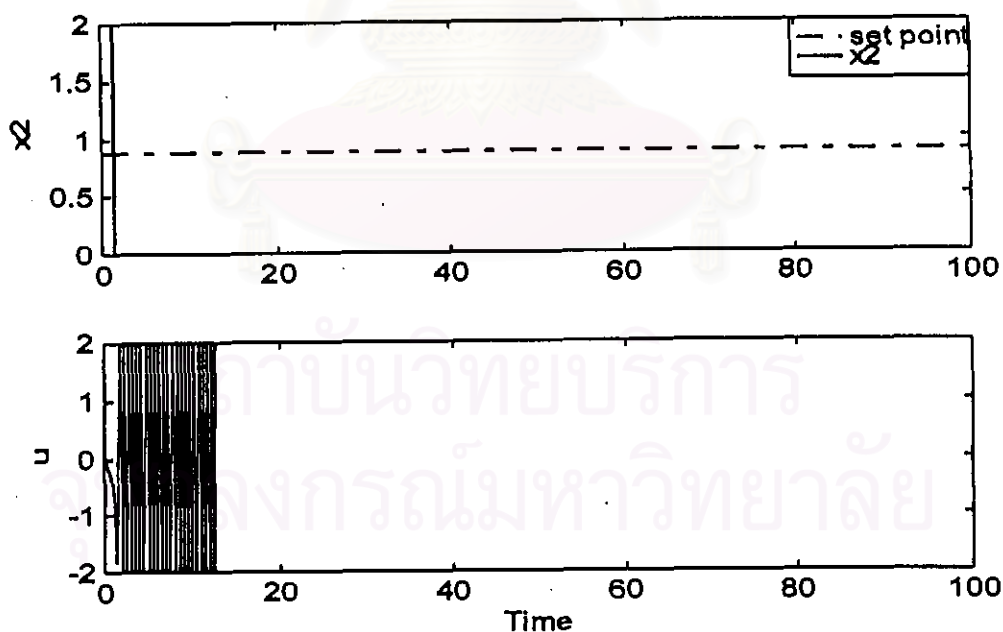
รูปที่ 6.53 ผลการควบคุมจุดหมุ่ในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



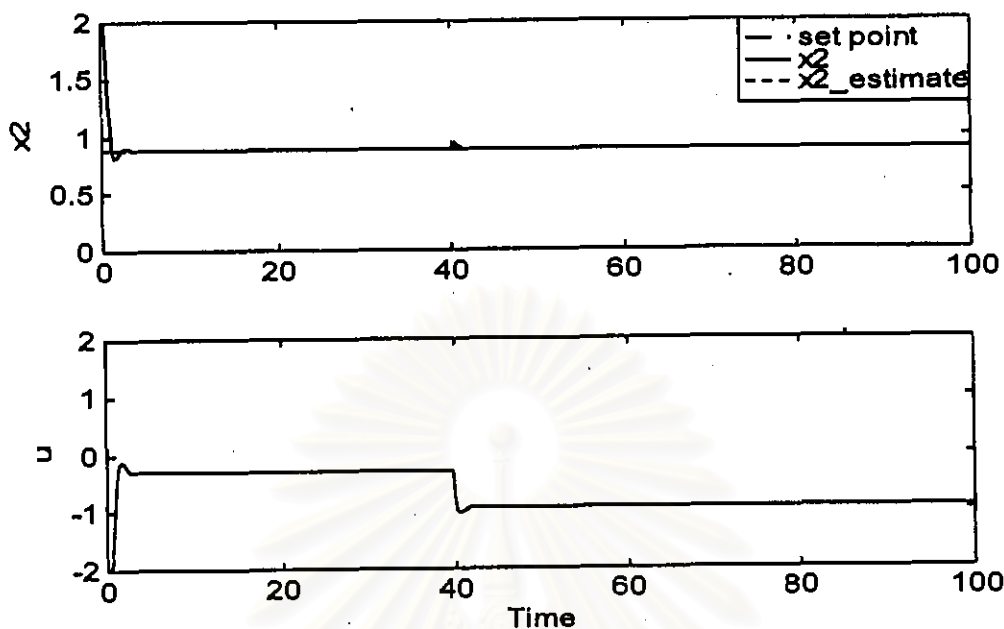
รูปที่ 6.54 ผลการควบคุมจุดหมุ่ในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



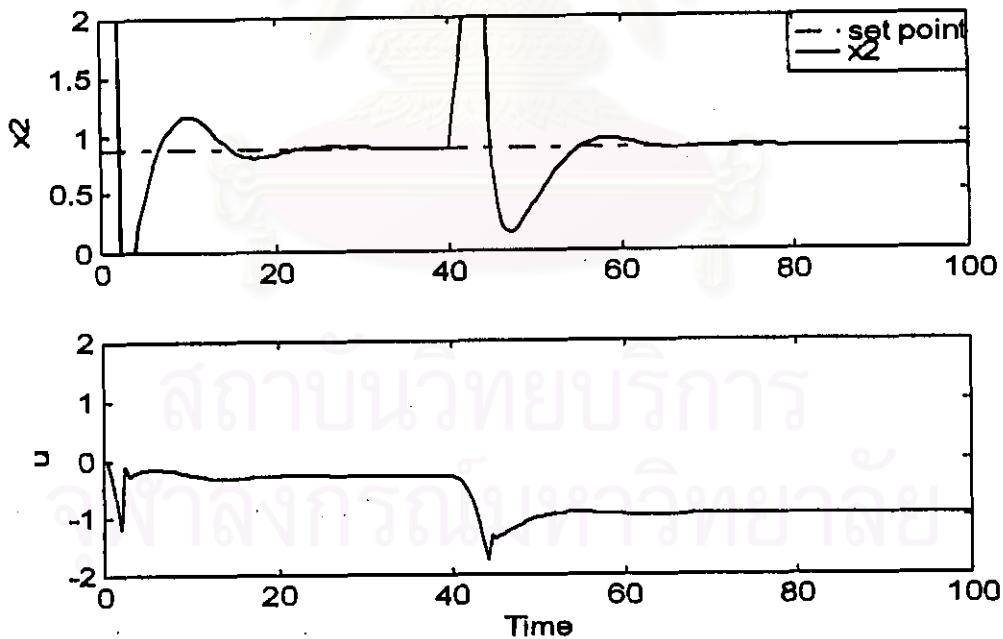
รูปที่ 6.55 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.56 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยพีไอดี

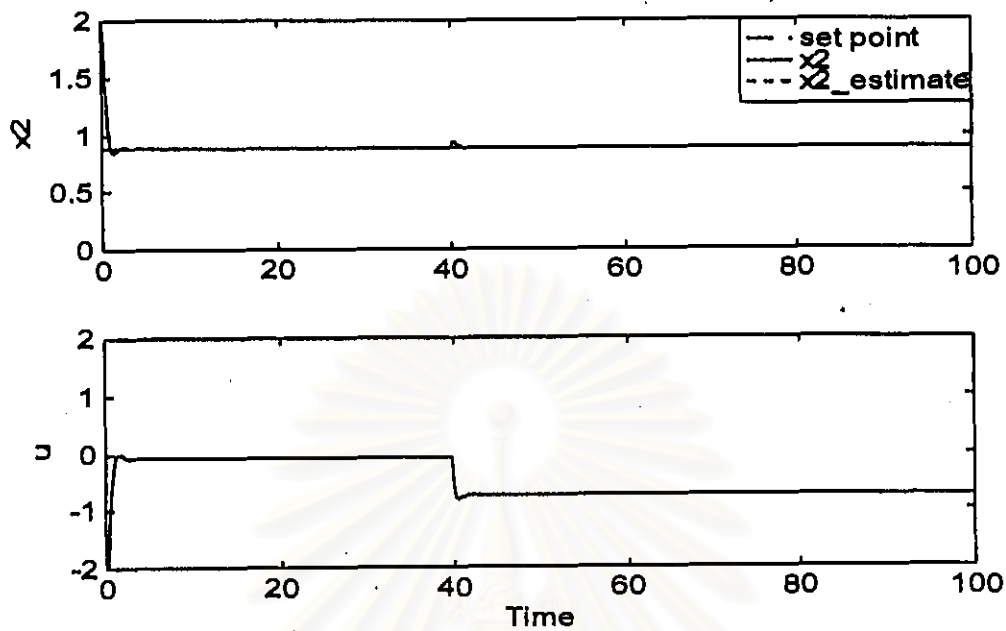


รูปที่ 6.57 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



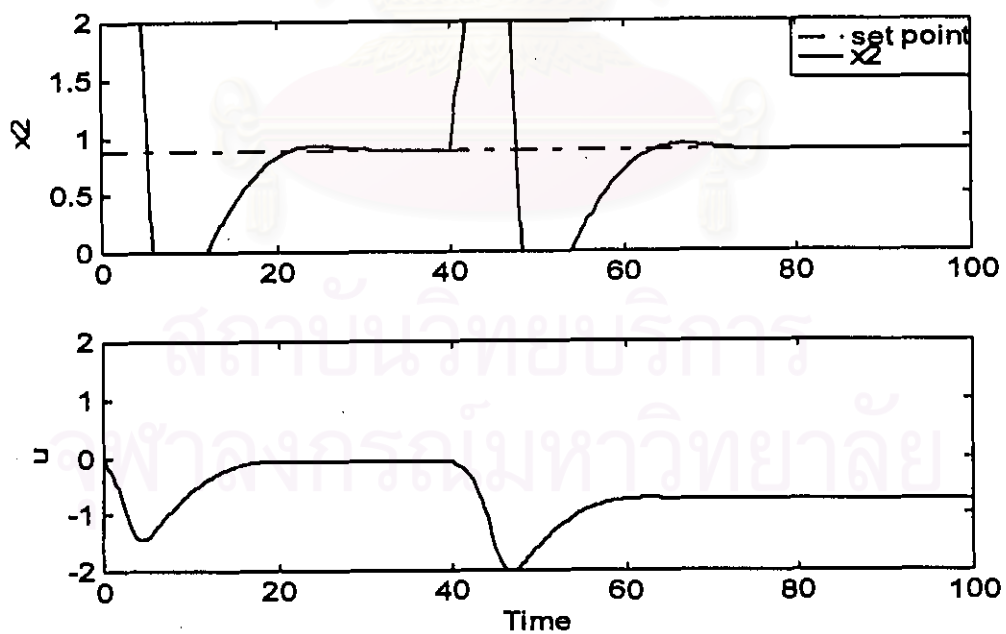
รูปที่ 6.58 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



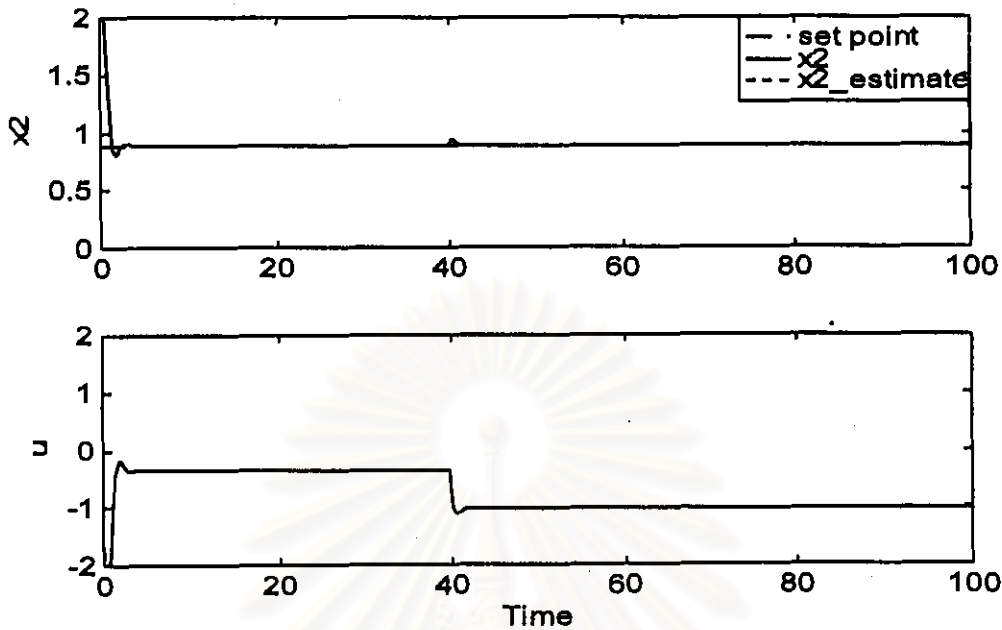


รูปที่ 6.59 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 0.8860]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%)

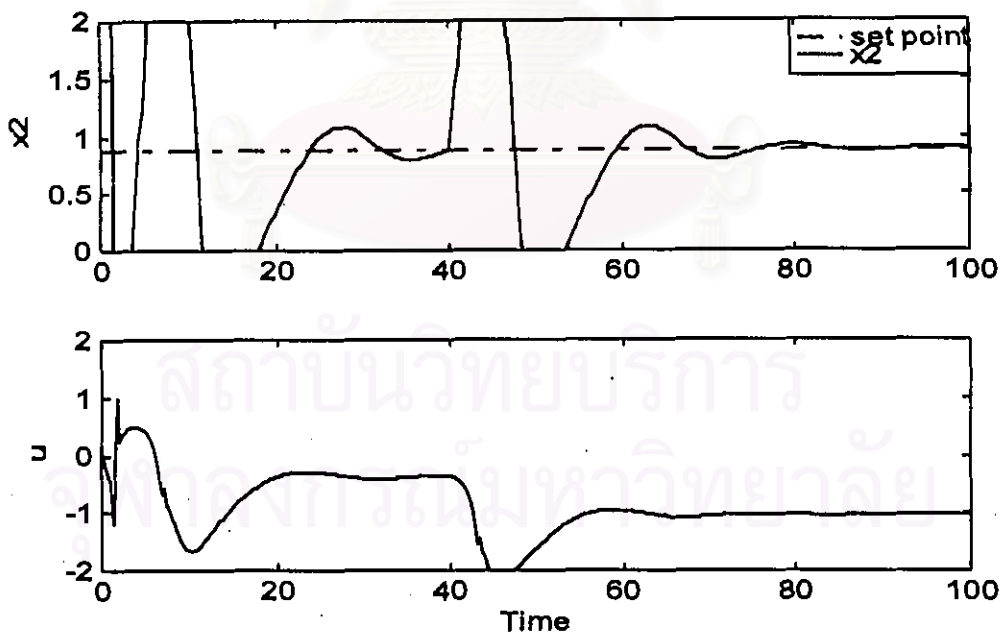
โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.60 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 0.8860]$  เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.61 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.62 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบฟัซซี

ตารางที่ 6.15 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมอุณหภูมิเมื่อค่าตัวแปรกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1. ควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวแปรกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง		
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม		
1.1.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] ที่เวลา $\tau = 60$	29.1	31.1
ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ] ที่เวลา $\tau = 0$	2.9	13.4
1.1.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] ที่เวลา $\tau = 60$	137.8	198.5
ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ] ที่เวลา $\tau = 0$	1.0	135.6
1.1.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] ที่เวลา $\tau = 60$	253.9	258.4
ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ] ที่เวลา $\tau = 0$	0.7	28.9
1.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
1.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ]		
1.2.1.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	3.7	-
1.2.1.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	3.3	-
1.2.1.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	2.9	-
1.2.1.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	3.3	-
1.2.1.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ]		
1.2.1.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.1	-
1.2.1.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.1	-
1.2.1.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.0	-
1.2.1.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.1	-
1.2.1.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ]		
1.2.1.3 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.7	-
1.2.1.3 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.7	-

ตารางที่ 6.15 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมอุณหภูมิเมื่อค่าตัวแปรกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1.2.1.3 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.7	-
1.2.1.3 ง. $\Phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	0.7	-
1.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
1.2.2.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 4.7050$ ]		
1.2.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	2.9	N.A.
1.2.2.1 ข. $\Phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	2.8	N.A.
1.2.1.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	2.9	14.0
1.2.1.1 ง. $\Phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	2.9	N.A.
1.2.2.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 2.7517$ ]		
1.2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.1	N.A.
1.2.2.2 ข. $\Phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.0	144.8
1.2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.0	N.A.
1.2.2.2 ง. $\Phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.0	N.A.
1.2.2.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8860$ ]		
1.2.2.3 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.3	N.A.
1.2.2.3 ข. $\Phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.1	45.4
1.2.2.3 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.8	50.5
1.2.2.3 ง. $\Phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.3	72.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

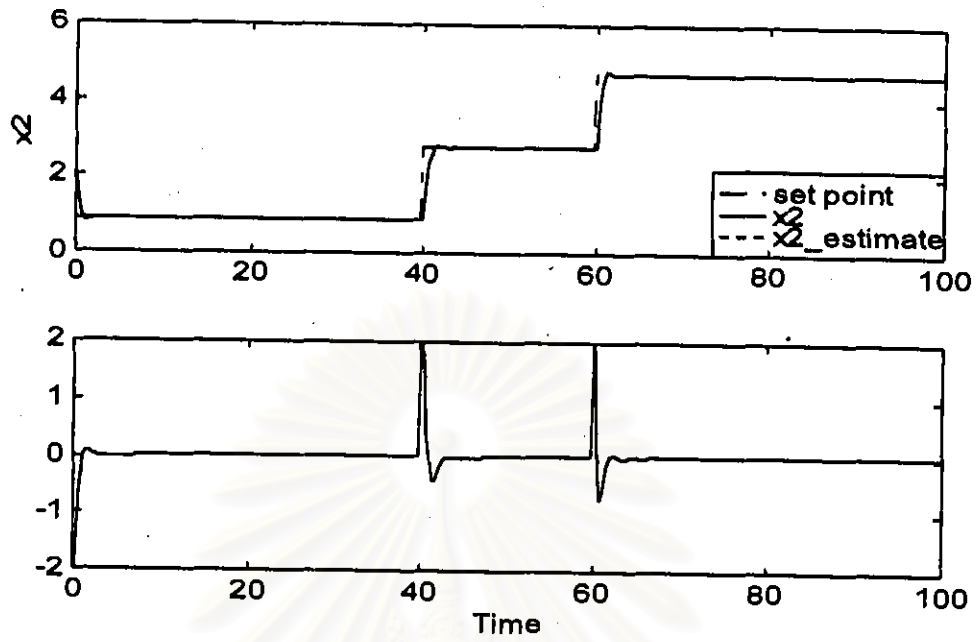
## 2. การควบคุมอุณหภูมิเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

### 2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

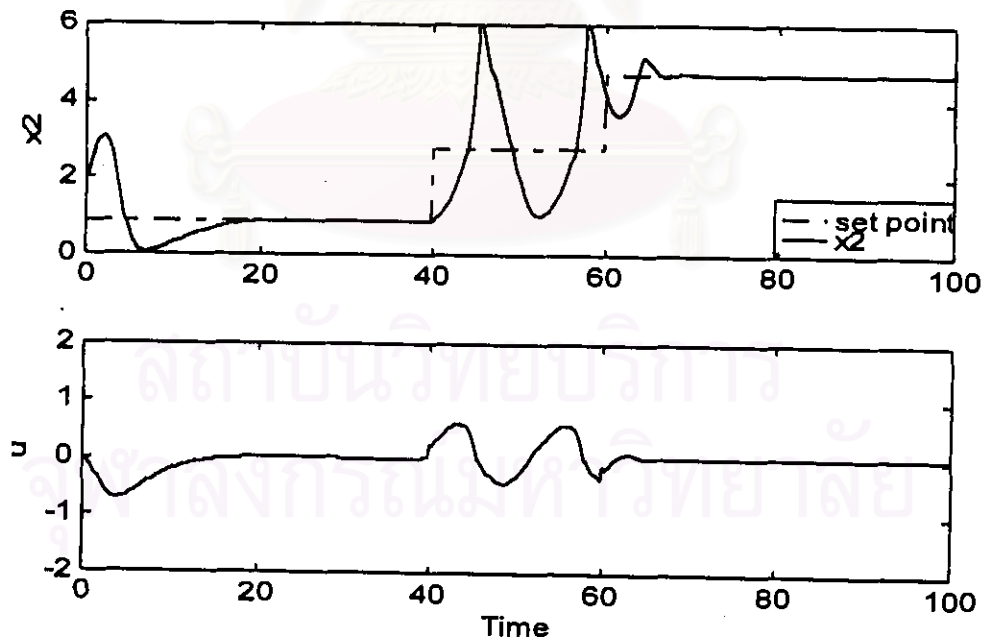
ในการทดลองเริ่มต้นควบคุมอุณหภูมิที่สภาวะคงตัวต่ำ (lower steady state) ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 0.8860]$  จากนั้นกำหนดให้ค่าเซ็ทพอยท์เปลี่ยนแปลงแบบสลับเข้าสู่ค่าสภาวะคงตัวกลาง (middle steady state) ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 2.7517]$  ที่เวลา  $\tau = 40$  และกำหนดให้ค่าเซ็ทพอยท์เปลี่ยนแปลงแบบสลับเข้าสู่ค่าสภาวะคงตัวบน (upper steady state) ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_2 = 4.7050]$  ที่เวลา  $\tau = 60$  พิจารณาผลการควบคุมเปรียบเทียบผลการควบคุมในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์ สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.11 แสดงดังรูปที่ 6.63 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.13 แสดงดังรูปที่ 6.64 โดยไม่มีการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ใหม่จากกรณีการควบคุมที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ค่าแรกได้อย่างรวดเร็วและสามารถปรับสภาพของกระบวนการในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์เข้าสู่สภาวะคงตัวค่าใหม่ได้เป็นอย่างดี ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีใช้เวลาในการปรับสภาพของกระบวนการให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ค่าแรกช้ากว่า และมีความผิดพลาดในการควบคุมอย่างมากอีกทั้งยังไม่สามารถควบคุมกระบวนการที่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ไม่มีเสถียรภาพได้ก่อนที่จะปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่สภาวะคงตัวบน

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.16 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความผิดพลาดในการควบคุม น้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมากแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้สมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม





รูปที่ 6.63 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.64 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์โดยการควบคุมแบบพีไอดี



## 2.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

### 2.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุมและกำหนดให้มีความผิดพลาดของแบบจำลองของการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.11 ในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ 6.58, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\omega$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ 6.59, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ 6.60 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\omega$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ 6.61 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.16 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีผิดพลาด พบว่าให้ผลใกล้เคียงกันแสดงว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่มีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

### 2.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

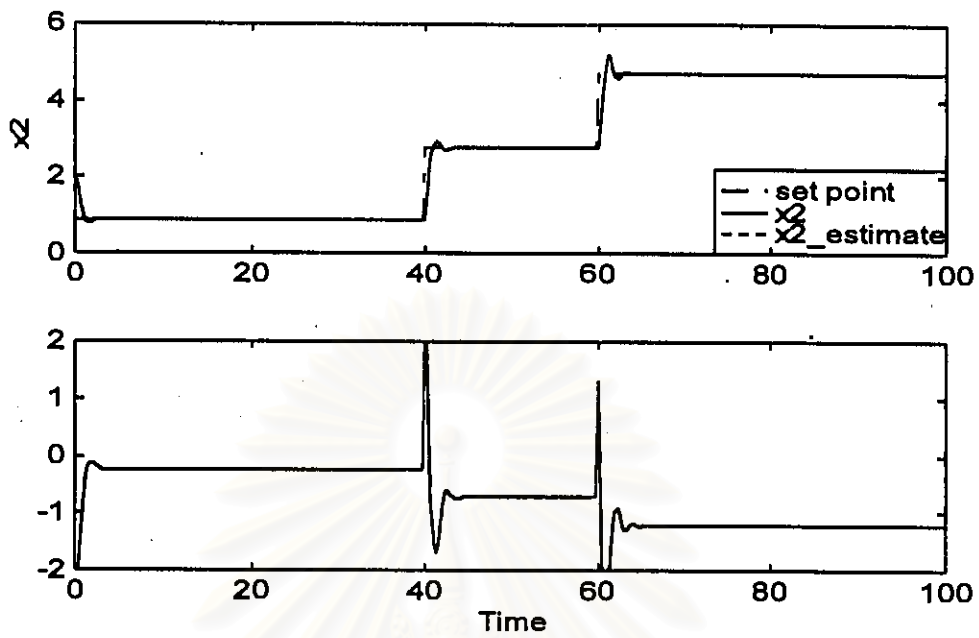
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม และกำหนดให้มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.65 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.66, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\omega$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.67 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.68, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.69 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.70 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\omega$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.71 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.72 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับ

กรณีที่ไม่มีความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีค่าโอเวอร์ชูทเพิ่มมากขึ้นในกรณีที่มีความผิดพลาดของค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา, กรณีที่มีความผิดพลาดของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและกรณีที่มีความผิดพลาดของทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและไม่สามารถควบคุมกระบวนการในกรณีที่มีความผิดพลาดของค่าความร้อนของปฏิกิริยาได้

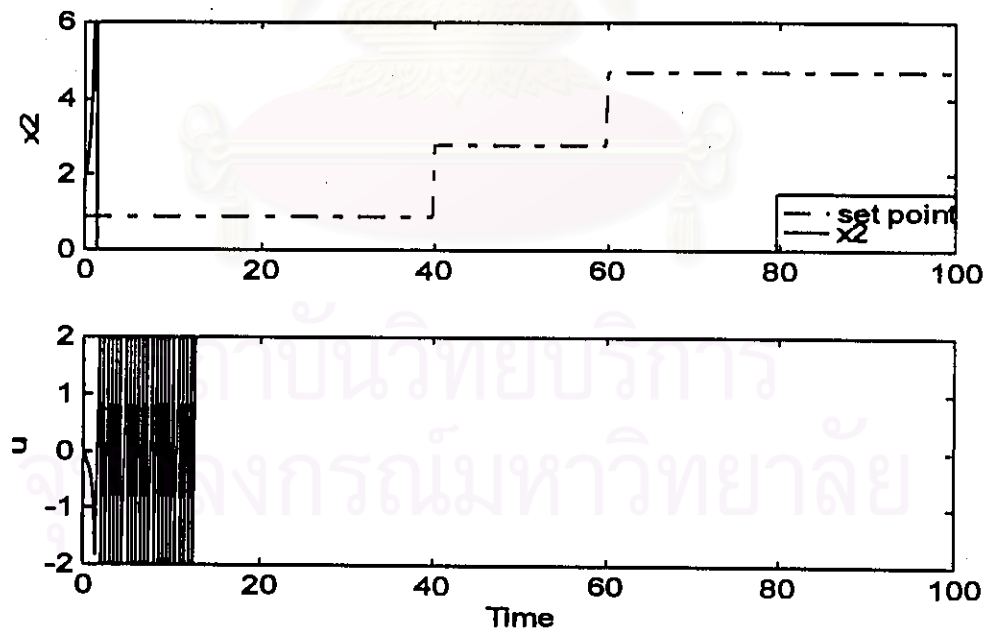
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.16 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีความผิดพลาดในการควบคุมมากขึ้น และไม่สามารถคำนวณค่าความผิดพลาดในกรณีที่เครื่องควบคุมไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ แสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสูงกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการดังกล่าว



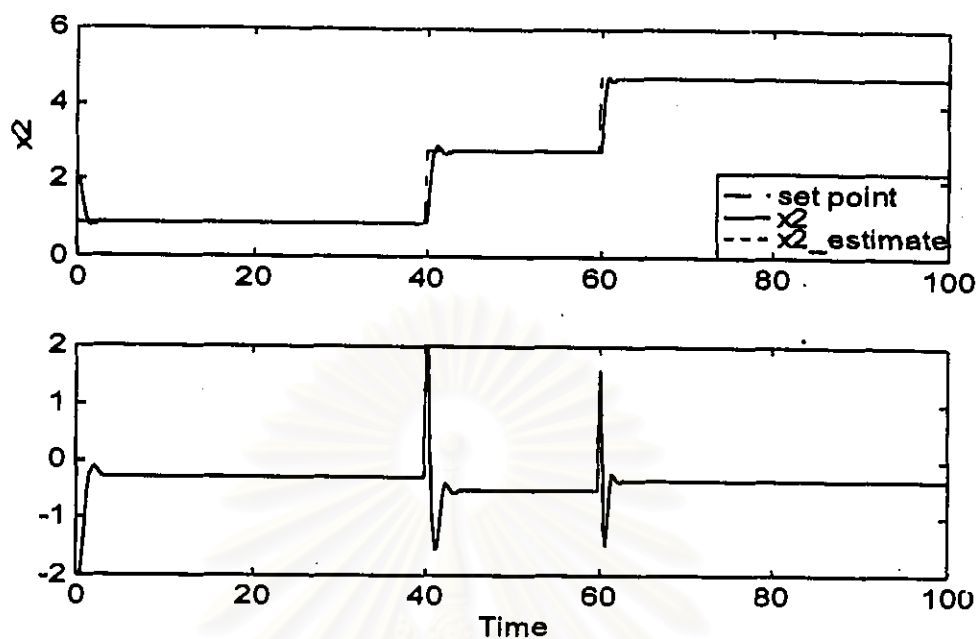
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



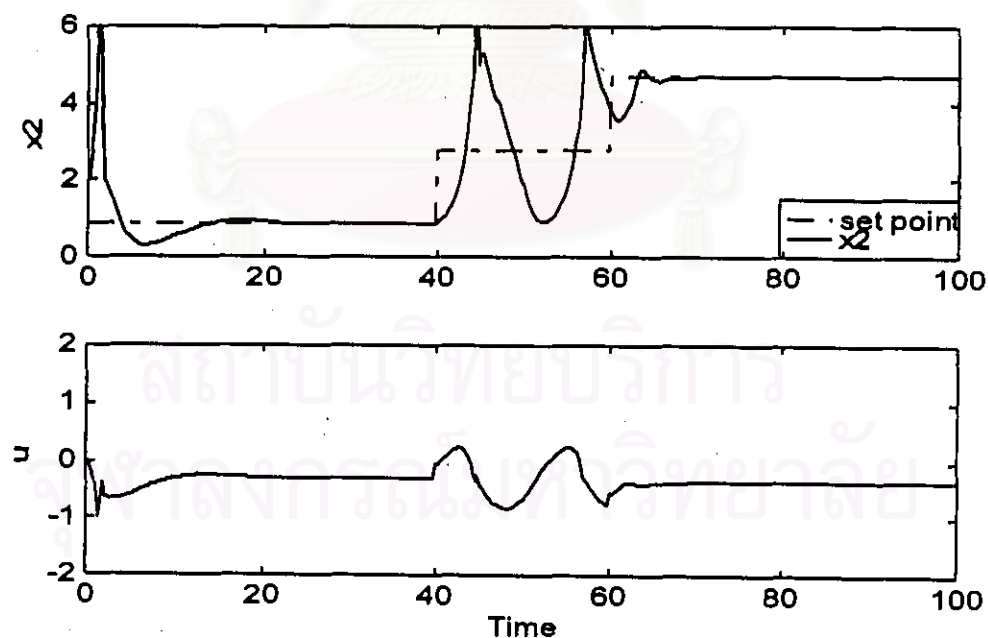
รูปที่ 6.65 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



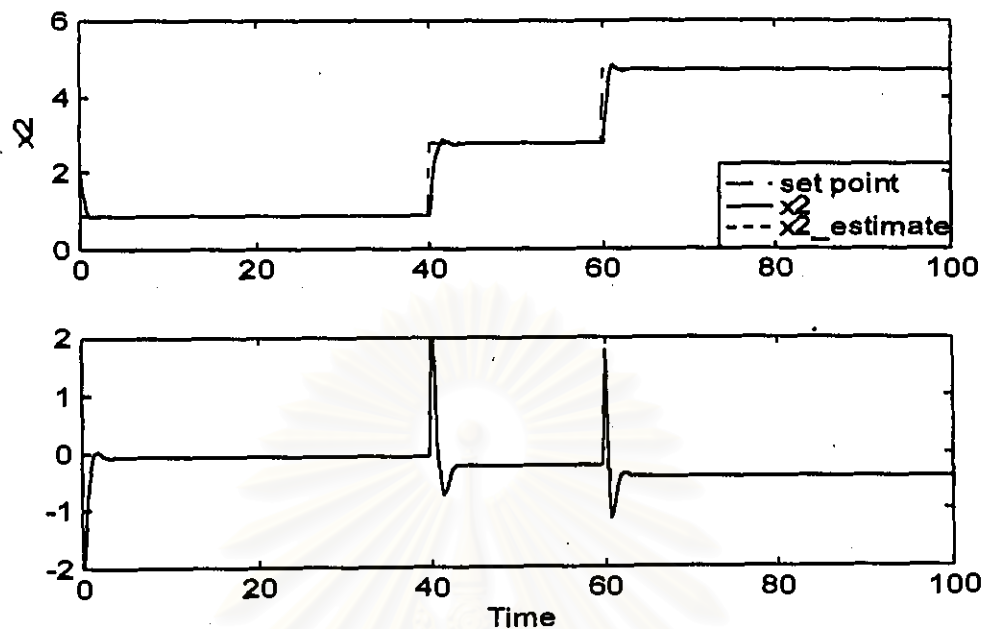
รูปที่ 6.66 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบทีโอดี



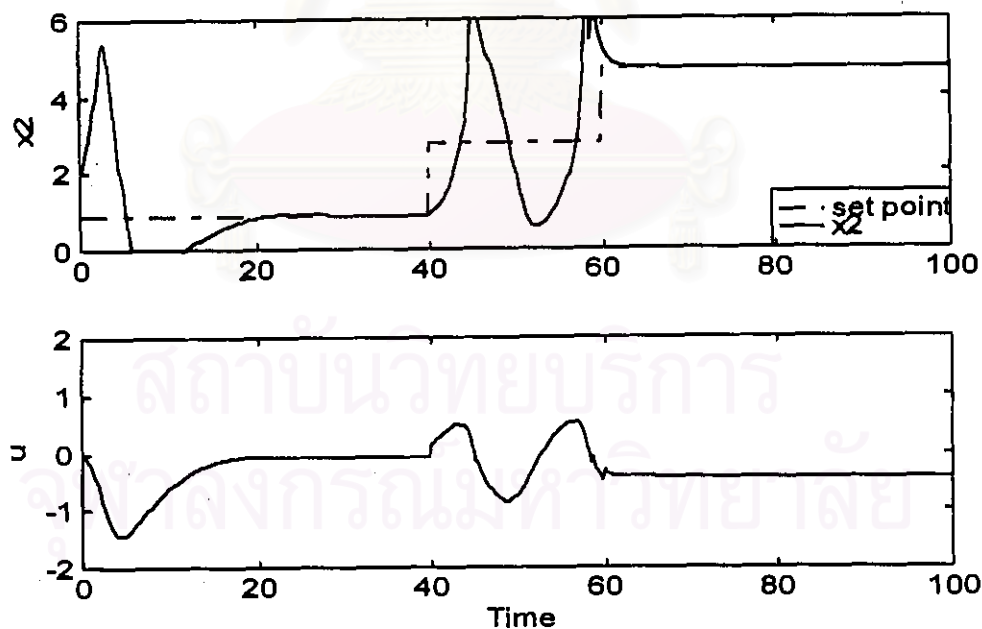
รูปที่ 6.67 ผลการควบคุมจุดศูนย์ในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



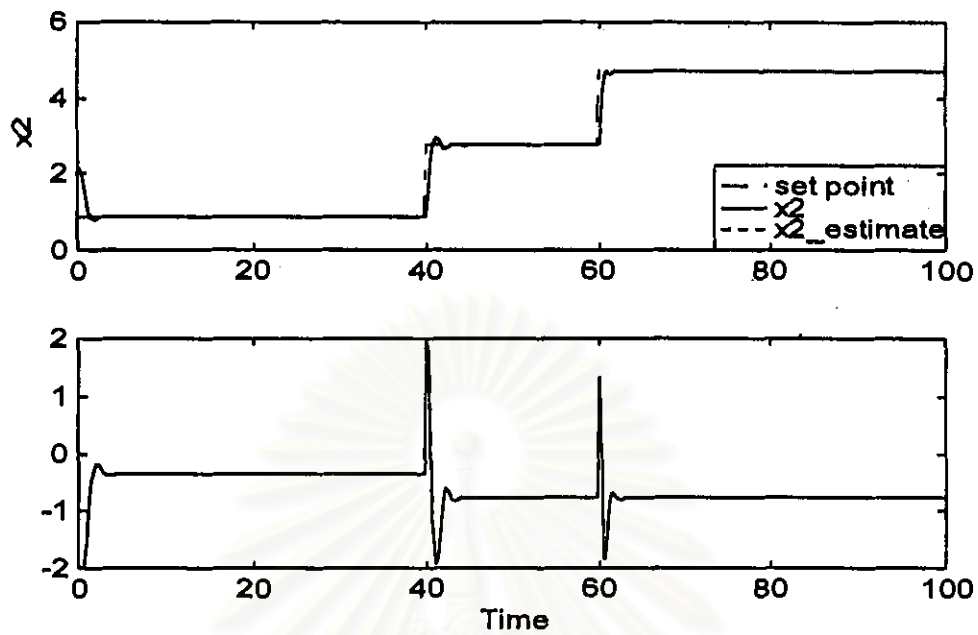
รูปที่ 6.68 ผลการควบคุมจุดศูนย์ในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบทีโอดี



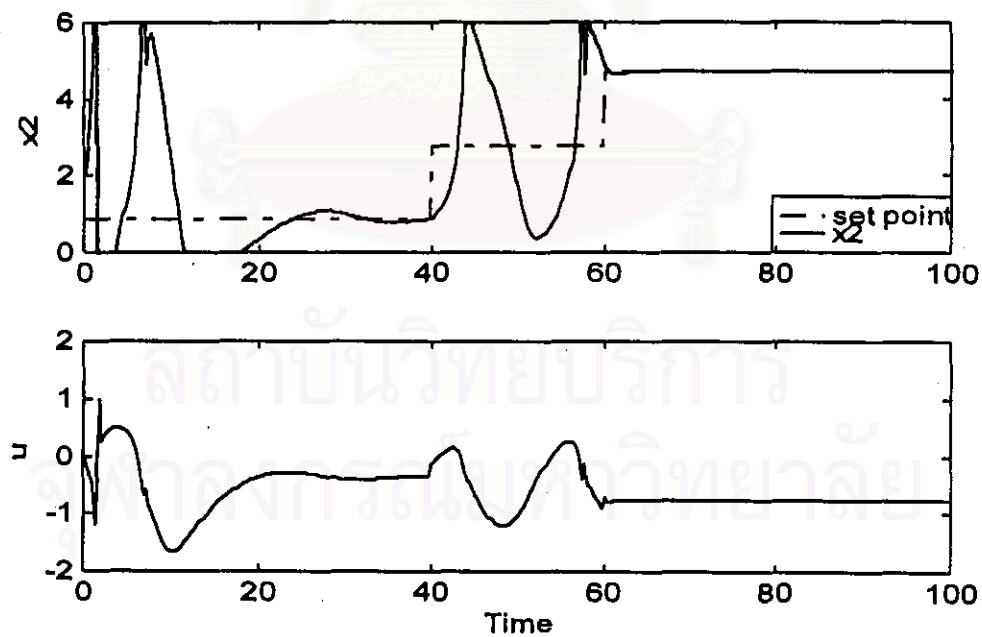
รูปที่ 6.69 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (30% ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.70 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอคี่



รูปที่ 6.71 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.72 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



ตารางที่ 6.16 ค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมอุณหภูมิเมื่อ เซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

กรณีการควบคุม	MPC	PID
2. ควบคุมอุณหภูมิเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลง		
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	3.0	43.1
2.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
2.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	3.7	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	3.3	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	3.0	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	3.3	-
2.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	3.6	N.A.
2.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	3.3	54.8
2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	3.1	59.1
2.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	3.5	88.8

## ตอนที่ 2 การควบคุมความเข้มข้น

### 1. การควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

#### 1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 พบว่ามีค่าตอบของค่าที่สภาวะคงตัวของความเข้มข้น 3 ค่าคือค่าความเข้มข้นที่สภาวะคงตัวบน [ $x_1 = 0.2354$ ] ค่าความเข้มข้นที่สภาวะคงตัวกลาง [ $x_1 = 0.5528$ ] ซึ่งเป็นสภาวะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพและค่าความเข้มข้นที่สภาวะคงตัวล่าง [ $x_1 = 0.8560$ ] โดยวัตถุประสงค์ในการควบคุมคือ เพื่อควบคุมความเข้มข้นให้อยู่ที่ค่าเซ็ทพอยท์ดังกล่าว โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบแบบสลับเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับกรณีการควบคุมอุณหภูมิ พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับปรุงในตารางที่ 6.12 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับปรุงในตารางที่ 6.14 สำหรับกรณีการควบคุมต่าง ๆ ดังนี้

##### 1.1.1 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ]

พิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 60$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.62 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.63 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบจะส่งผลให้การตอบสนองของความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไปดังพิจารณาได้จากช่วงที่ยังไม่มีการควบคุมจนเริ่มทำการควบคุม เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ช้ากว่า และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลาเริ่มต้น  $\tau = 0$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.73 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.74 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วโดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบไม่ส่งผลต่อการควบคุม ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่เซ็ทพอยท์ช้ากว่าและเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบจะทำให้ค่า

ความเข้มข้นเบี่ยงเบนจากค่าเซ็ทพอยท์ทำให้เครื่องควบคุมต้องใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ

### 1.1.2 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ]

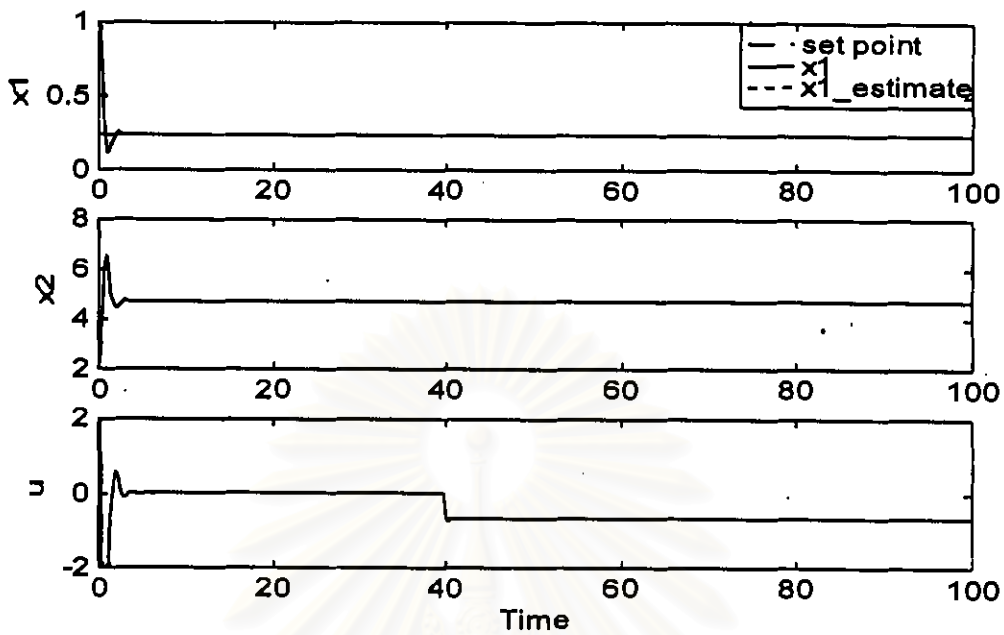
พิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 60$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.64 และ 6.65 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 0$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.75 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.76 ตามลำดับพบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วโดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการไม่ส่งผลกระทบต่อการควบคุม ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งของค่าความเข้มข้นอย่างมากและไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีซึ่งไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] ซึ่งเป็นค่าที่สถานะคงตัวที่ไม่มีเสถียรภาพของกระบวนการที่ทำการควบคุมได้

### 1.1.3 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ]

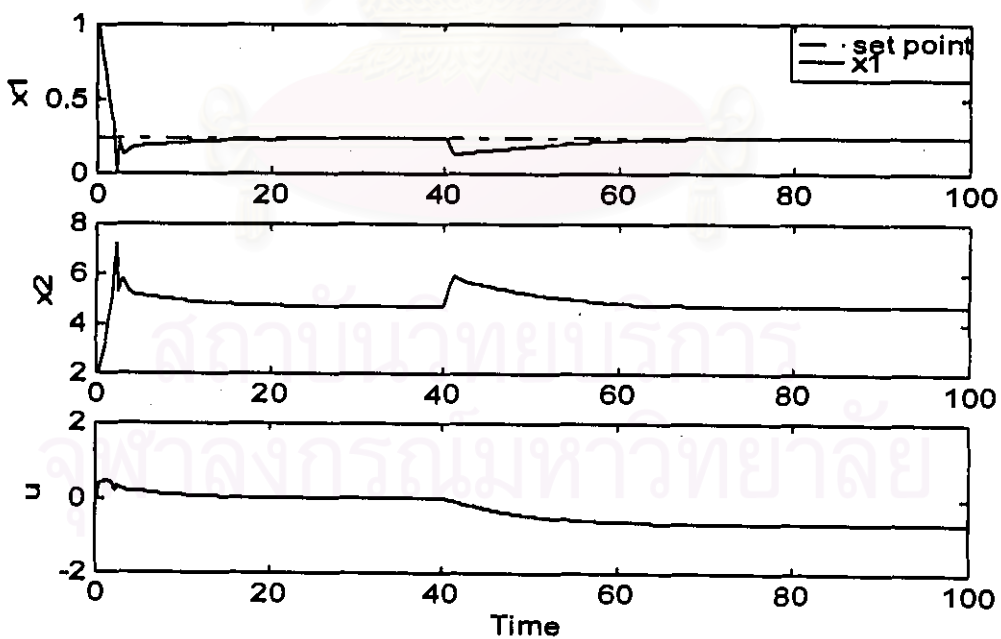
พิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $\tau = 60$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.66 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.67 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับพบว่า

เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการช้ากว่าและมีออฟเซ็ทในการควบคุม และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมเมื่อเริ่มทำการควบคุมที่เวลา  $t = 0$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.77 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.78 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วโดยมีออฟเซ็ทในการควบคุมเพียงเล็กน้อย ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการช้ากว่าและมีออฟเซ็ทในการควบคุมที่เวลาเริ่มต้นมากกว่า นอกจากนี้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบจะทำให้ค่าความเข้มข้นเบี่ยงเบนจากค่าเซ็ทพอยท์ ทำให้เครื่องควบคุมต้องใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการอีกครั้ง และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_1 = 0.8560]$  ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ

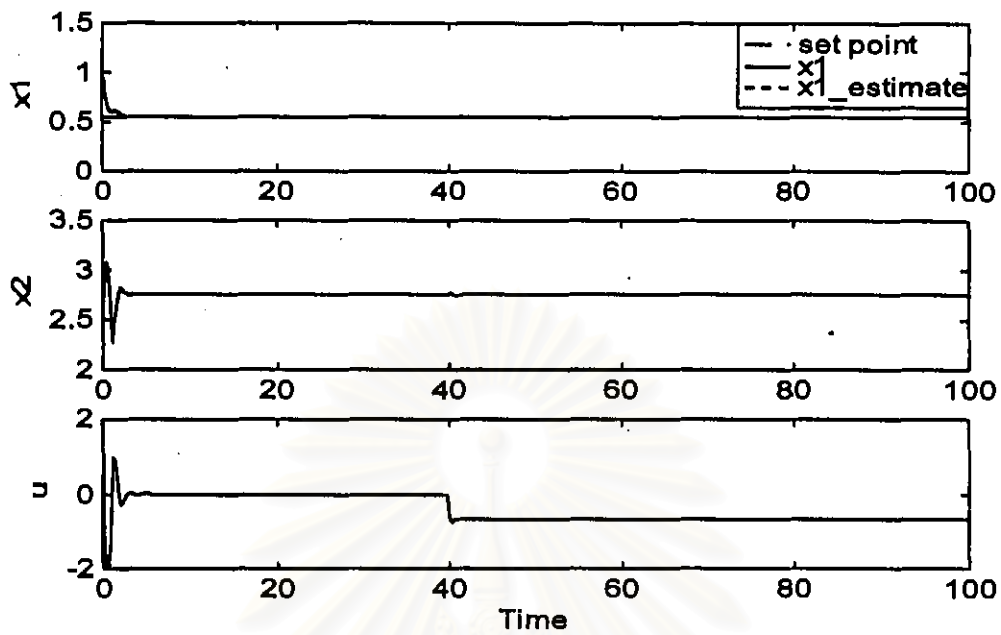
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



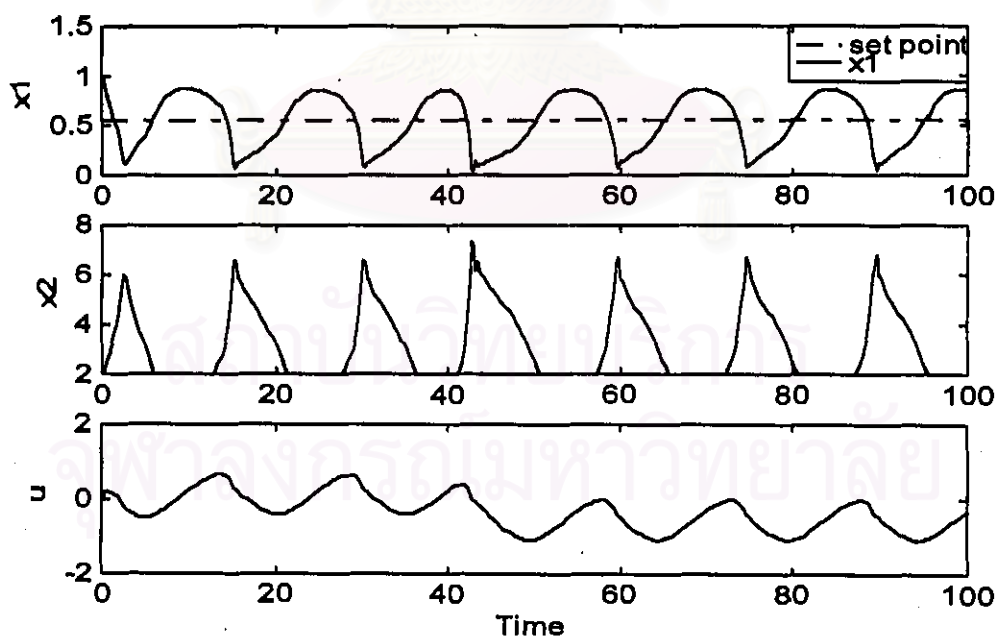
รูปที่ 6.73 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.74 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ โดยการควบคุมแบบพีไอดี

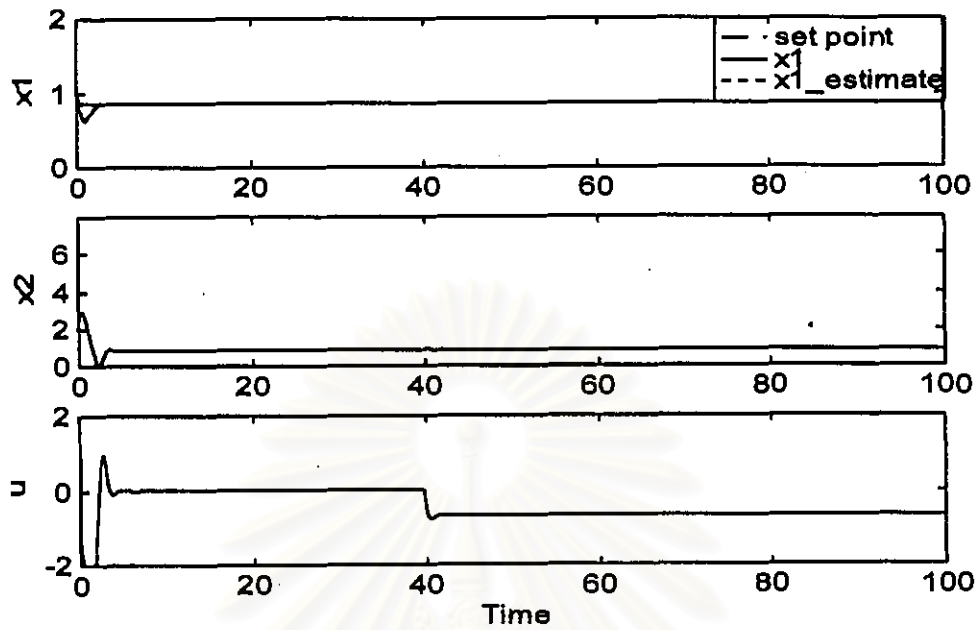


รูปที่ 6.75 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมระบบ โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

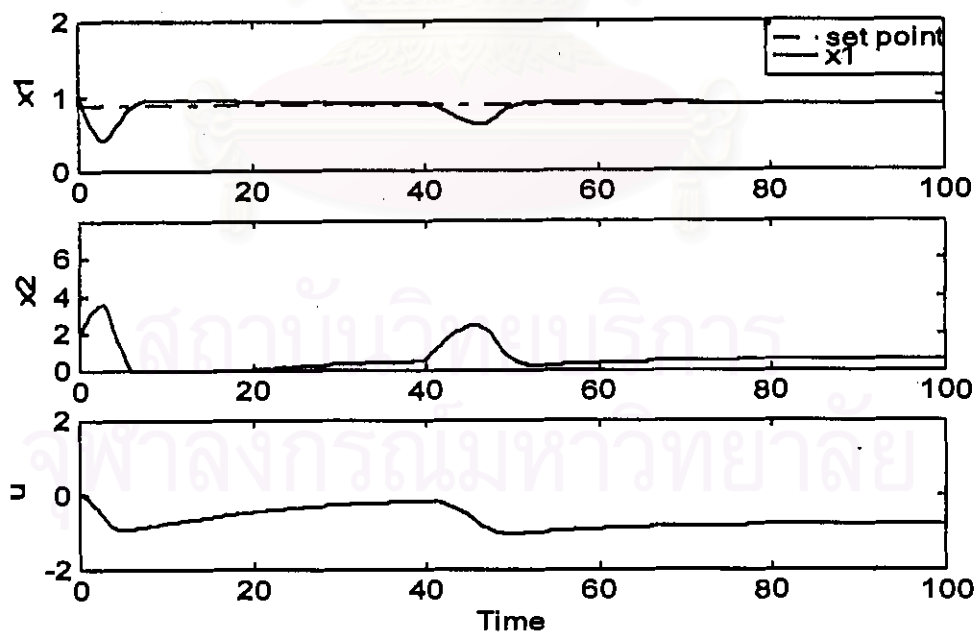


รูปที่ 6.76 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมระบบ โดยการควบคุมแบบพีไอดี





รูปที่ 6.77 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.78 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ โดยการควบคุมแบบพีไอดี

## 1.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.12 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.14 สำหรับกรณีการควบคุมต่าง ๆ ดังนี้

#### 1.2.1.1 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๖.68, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๖.69, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๖.70 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๖.71 ในภาคผนวก ข. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาดพบว่าให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสามารถควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมดังกล่าวได้

#### 1.2.1.2 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๖.72, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๖.73, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๖.74 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30%

แสดงดังรูปที่ ๑.75 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดพบว่าให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่มีความทนทานสามารถควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 2.7517$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมดังกล่าวได้

### 1.2.1.3 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๑.76, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๑.77, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๑.78 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๑.79 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดพบว่าให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่มีความทนทานสามารถควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมดังกล่าวได้

## 1.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.12 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.14 สำหรับกรณีการควบคุมต่าง ๆ ดังนี้

### 1.2.2.1 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30 % สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.79 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.80 และ กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.81 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.82 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด โดยมีค่าออฟเซ็ทเพียงเล็กน้อยก่อนปรับตัวเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการดังกล่าวได้

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.83 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.84 และ กรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.85 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.86 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งอย่างมากก่อนปรับตัวเข้าสู่เซ็ทพอยท์ที่ต้องการและมีออฟเซ็ทในการควบคุมเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ นอก จากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสูงกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุมดังกล่าว

### 1.2.2.2 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30 % สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.87 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.88, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.89 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.90, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.91 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.92 และ

กรณีทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูป 6.93 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.94 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซตพอยท์ที่ต้องการได้แต่ยังมีค่าออฟเซ็ทในการควบคุมในช่วงเวลาเริ่มต้นในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการดังกล่าวได้

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งไม่สามารถคำนวณค่าความผิดพลาดดังกล่าวได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซตพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุมดังกล่าว

### 1.2.2.3 การควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซตพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ]

พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.97 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.98 และกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.99 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.100 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซตพอยท์ที่ต้องการได้แต่ยังมีค่าออฟเซ็ทในช่วงเวลาเริ่มต้นมากกว่ากรณีที่ไม่มีผลผิดพลาด โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการไม่มีผลต่อการควบคุม ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีค่าออฟเซ็ทในการควบคุมมากกว่าและใช้เวลาในการปรับตัวเข้าสู่ค่าเซตพอยท์ที่ต้องการช้ากว่า นอกจากนี้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการส่งผลทำให้ค่าความเข้มข้นเบี่ยงเบนออกจากค่าเซตพอยท์อย่างมากก่อนที่จะปรับตัวเข้าสู่เซตพอยท์ที่ต้องการ

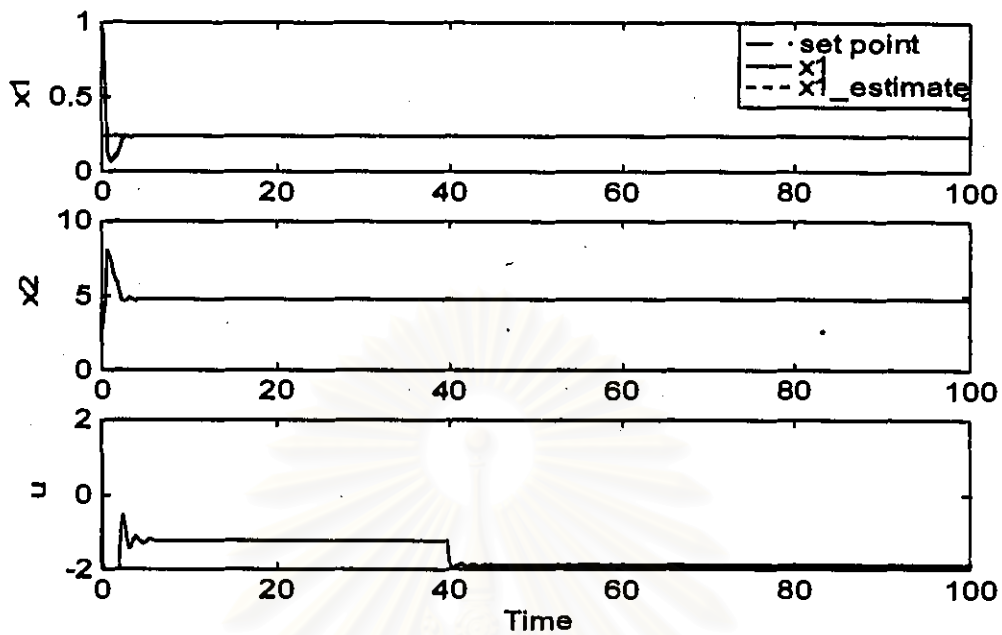
พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.95 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.96 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูป 6.101 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.102 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซต

พอยท์ที่ต้องการได้แต่ยังมีค่าออฟเซทในการควบคุมในช่วงเวลาเริ่มต้น ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการดังกล่าวได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.17 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ซึ่งไม่สามารถคำนวณค่าความผิดพลาดดังกล่าวในกรณีที่เครื่องควบคุมไม่สามารถทำการควบคุมได้ แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานมากกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซตพอยท์  $[x_1 = 0.5528]$  ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุมดังกล่าว

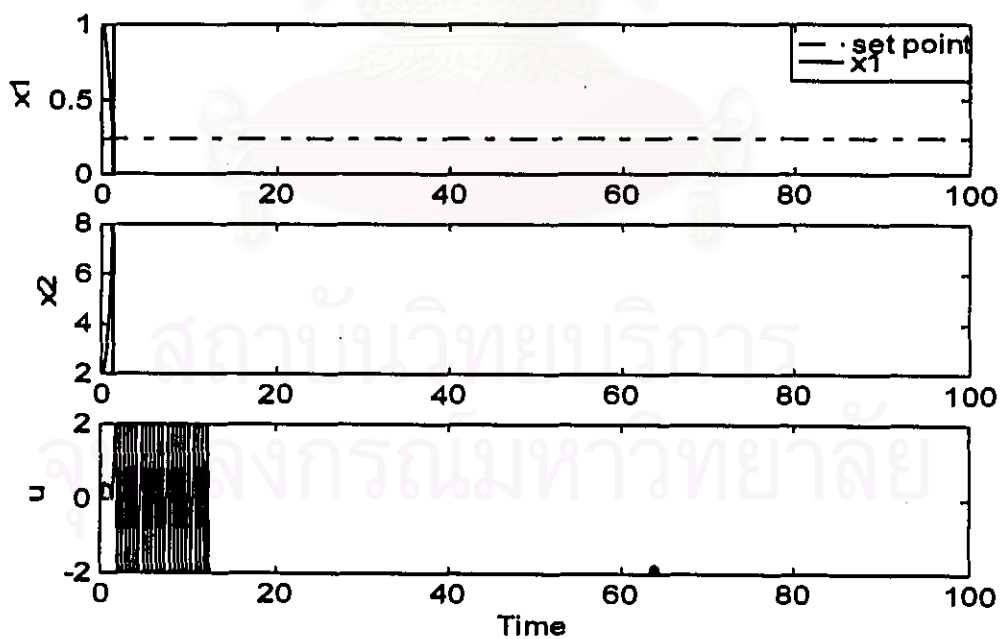


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

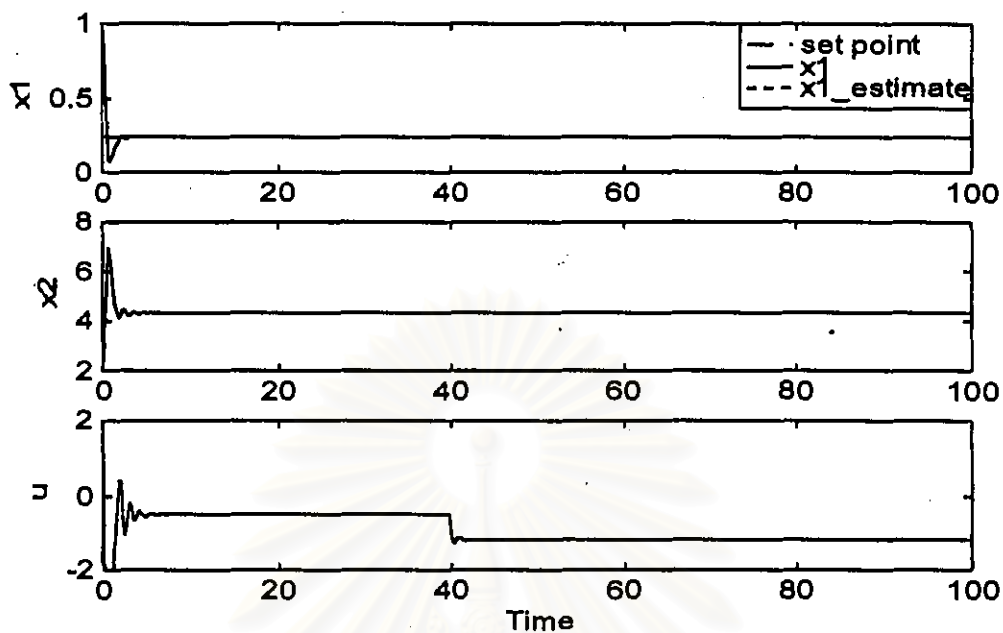




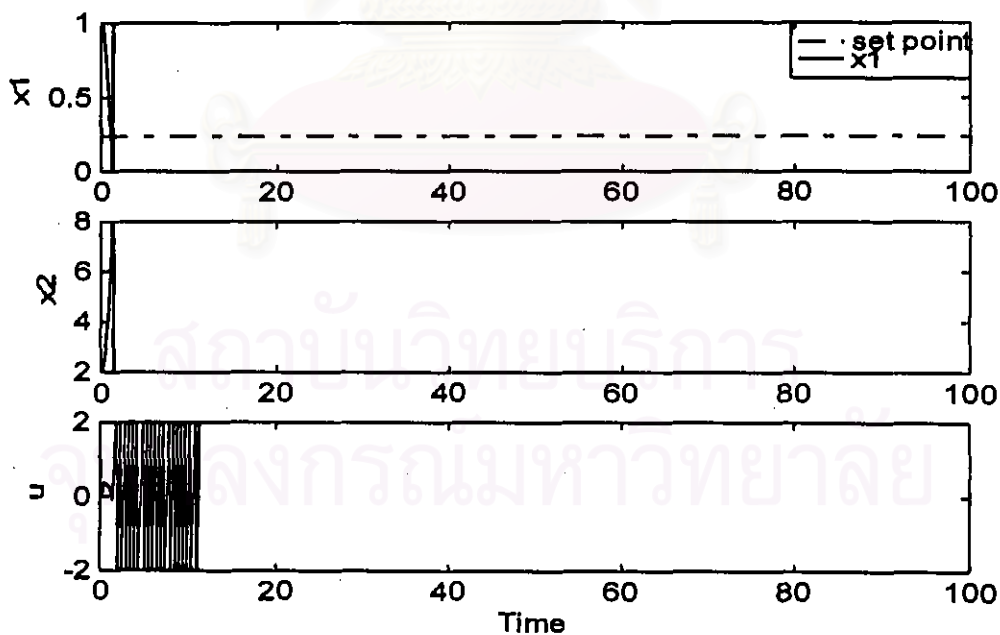
รูปที่ 6.79 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



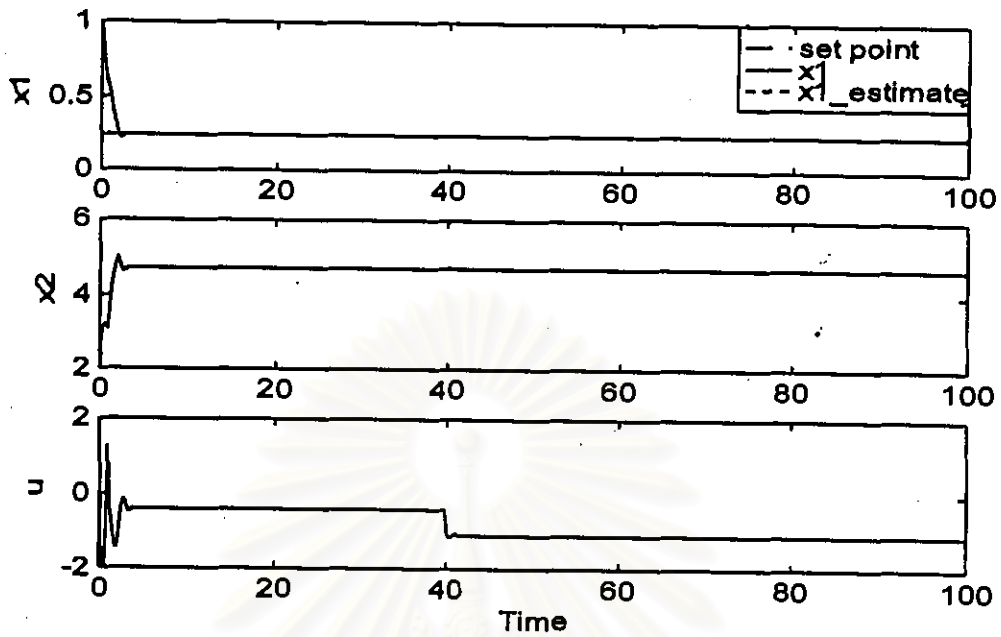
รูปที่ 6.80 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยทีไอดี



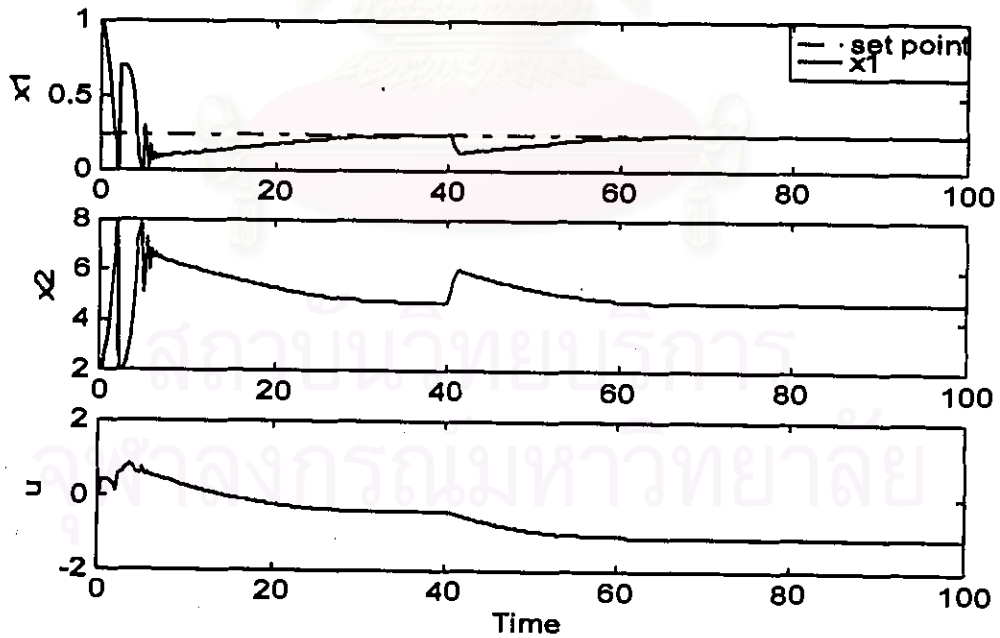
รูปที่ 6.81 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



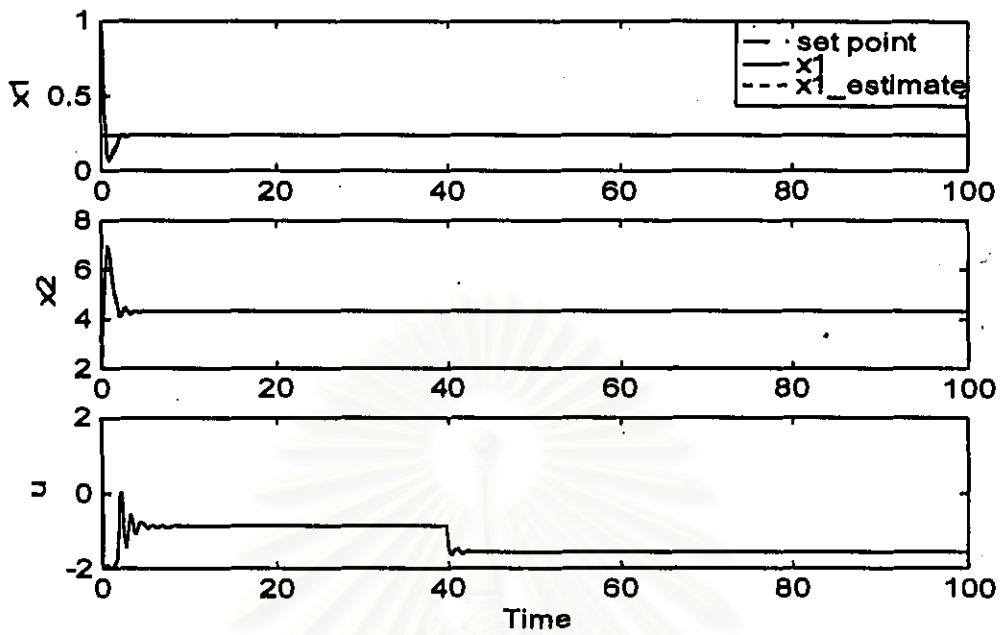
รูปที่ 6.82 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยที่ไอดี



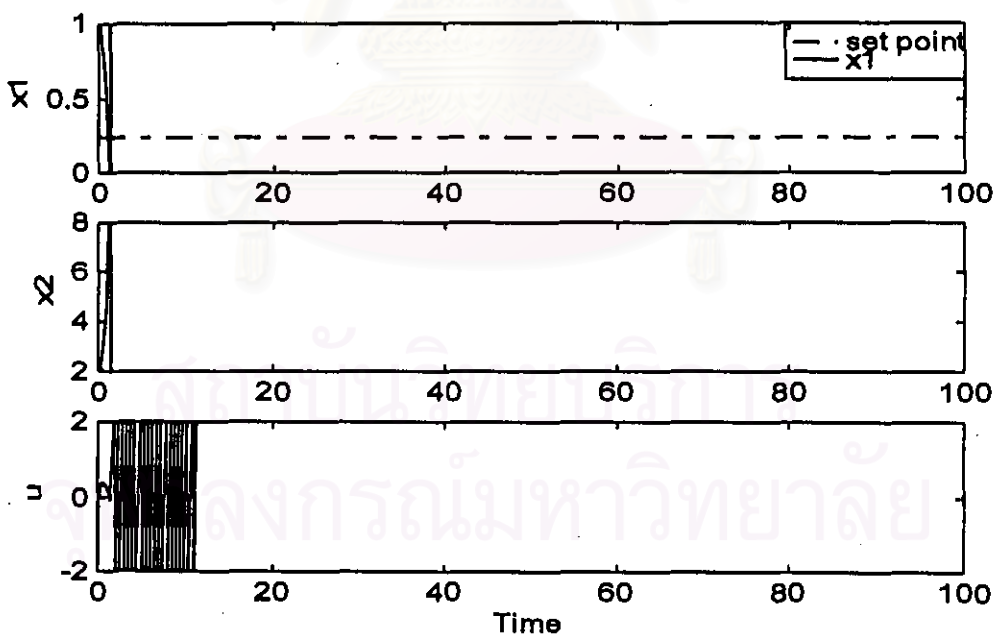
รูปที่ 6.83 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



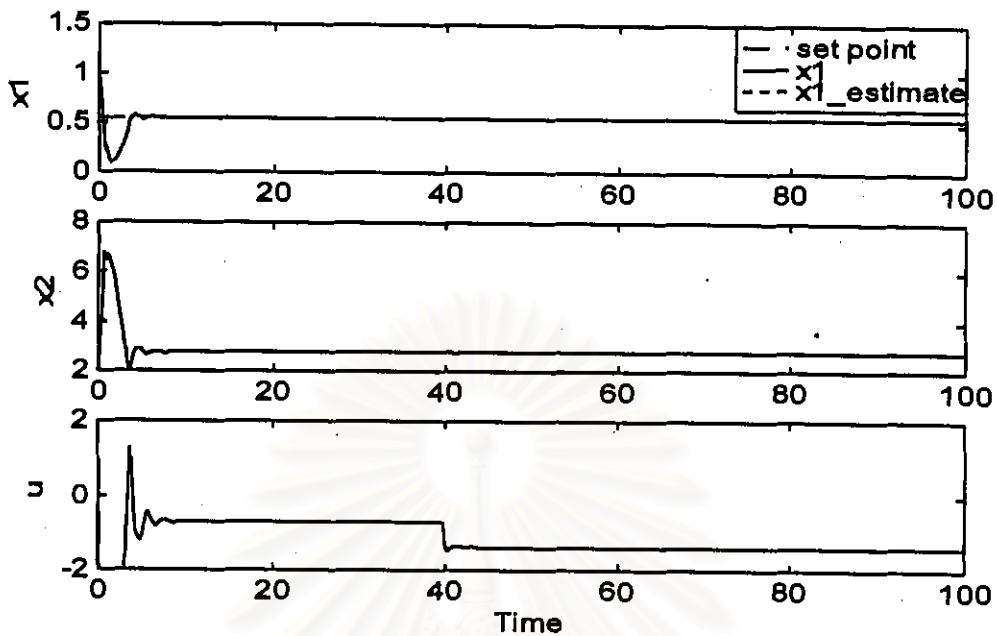
รูปที่ 6.84 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยพีไอซติ



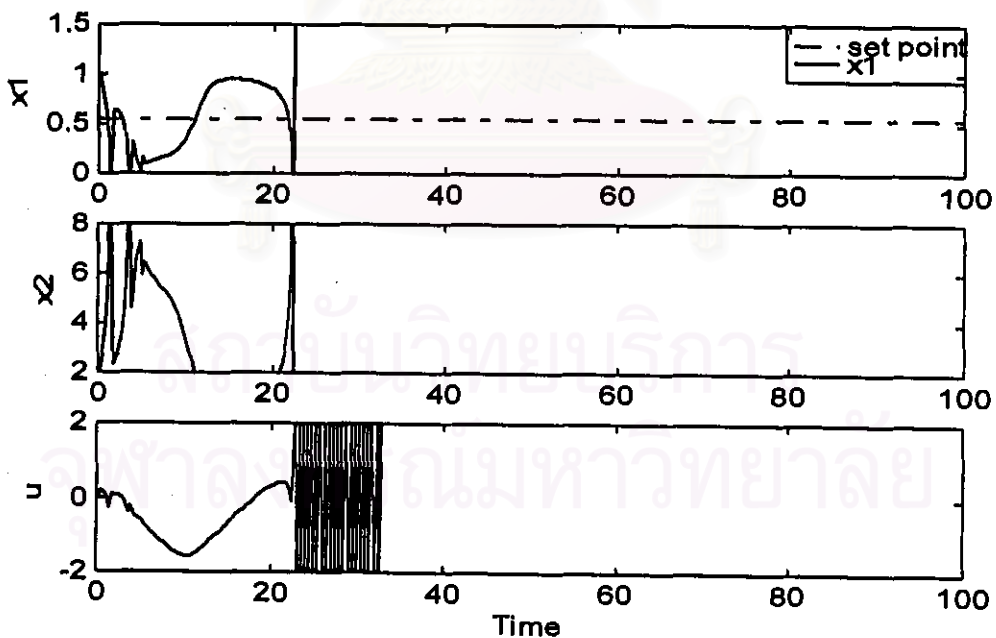
รูปที่ 6.85 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



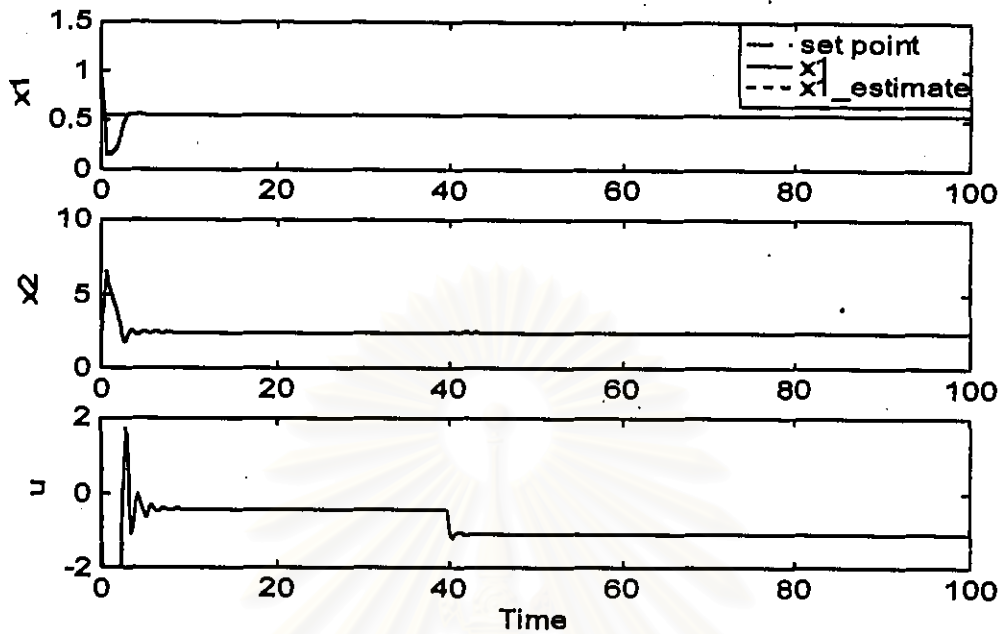
รูปที่ 6.86 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



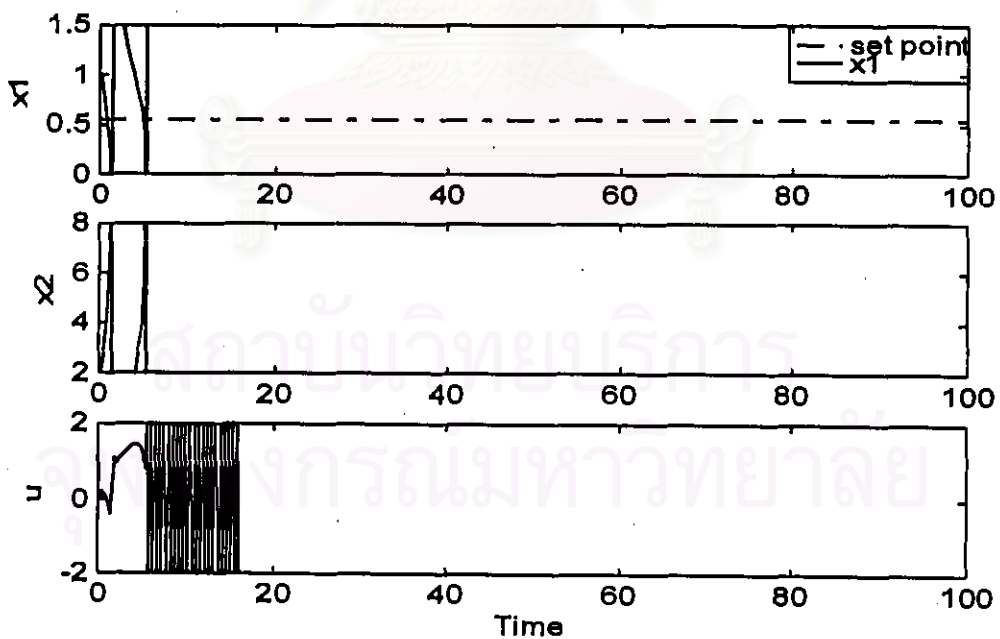
รูปที่ 6.87 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.88 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

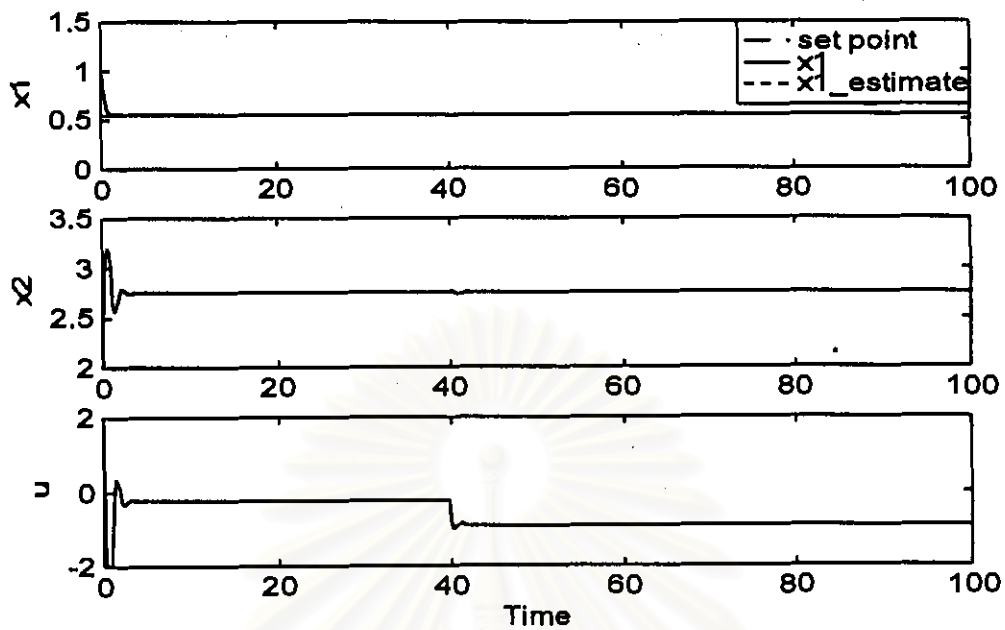


รูปที่ 6.89 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

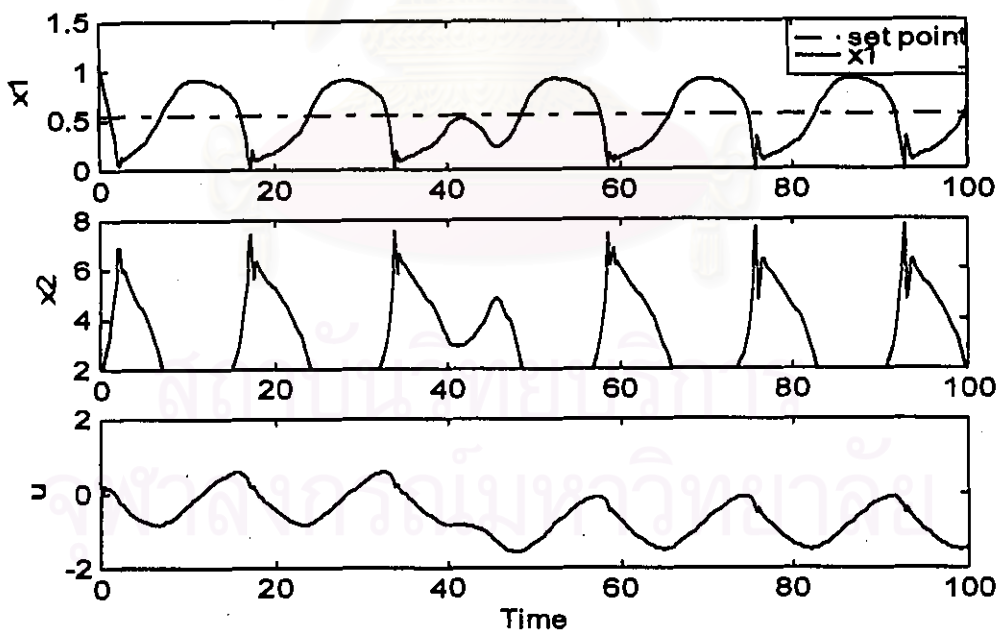


รูปที่ 6.90 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

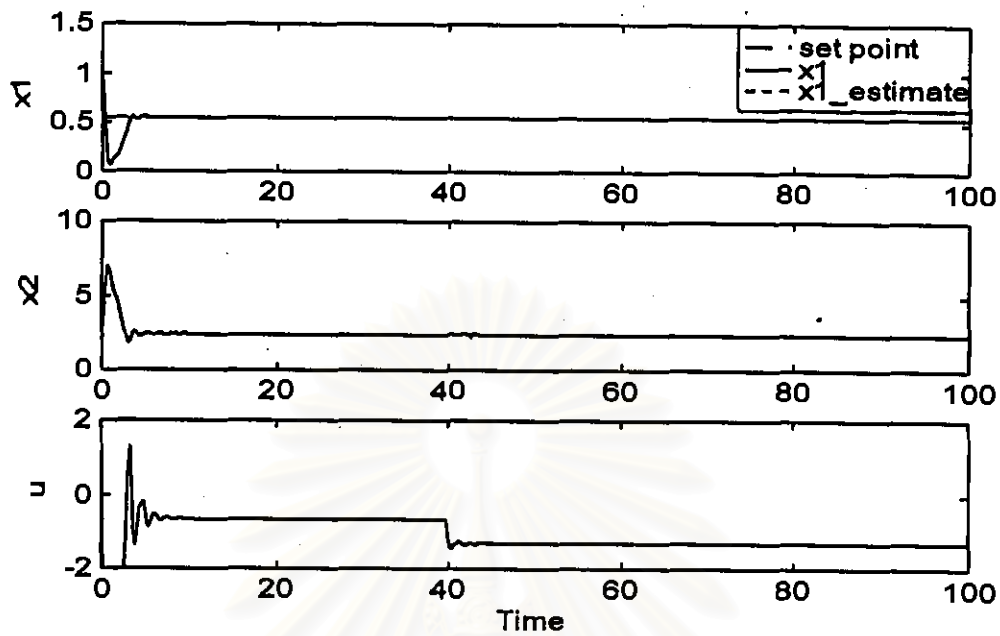




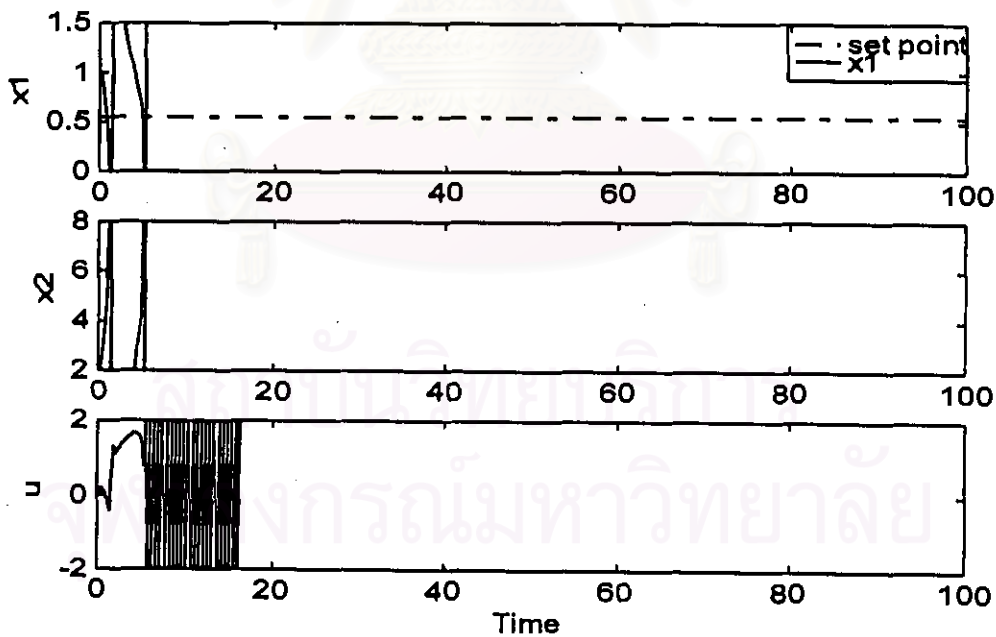
รูปที่ 6.91 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



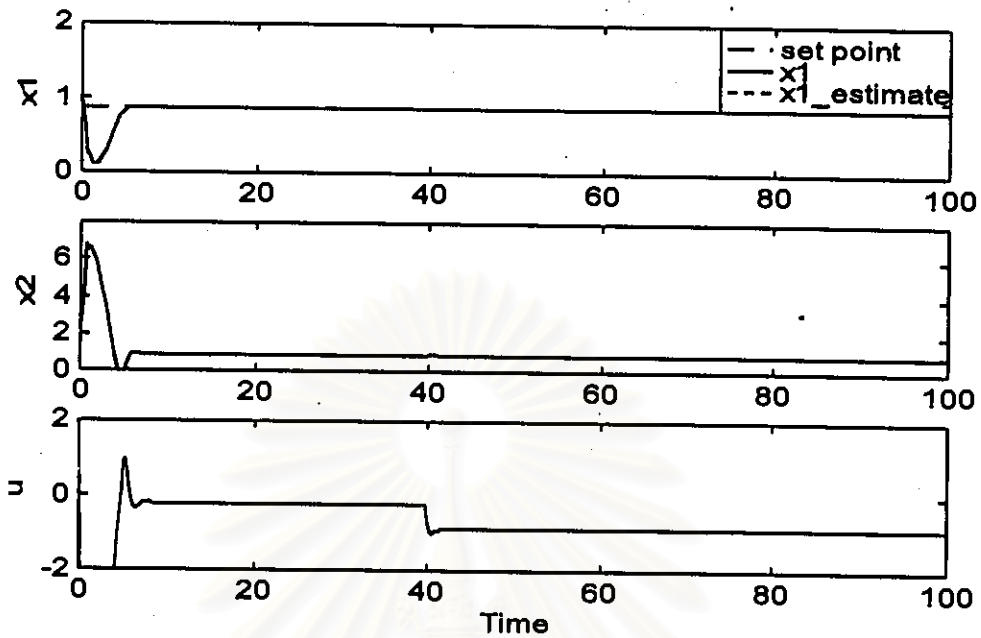
รูปที่ 6.92 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



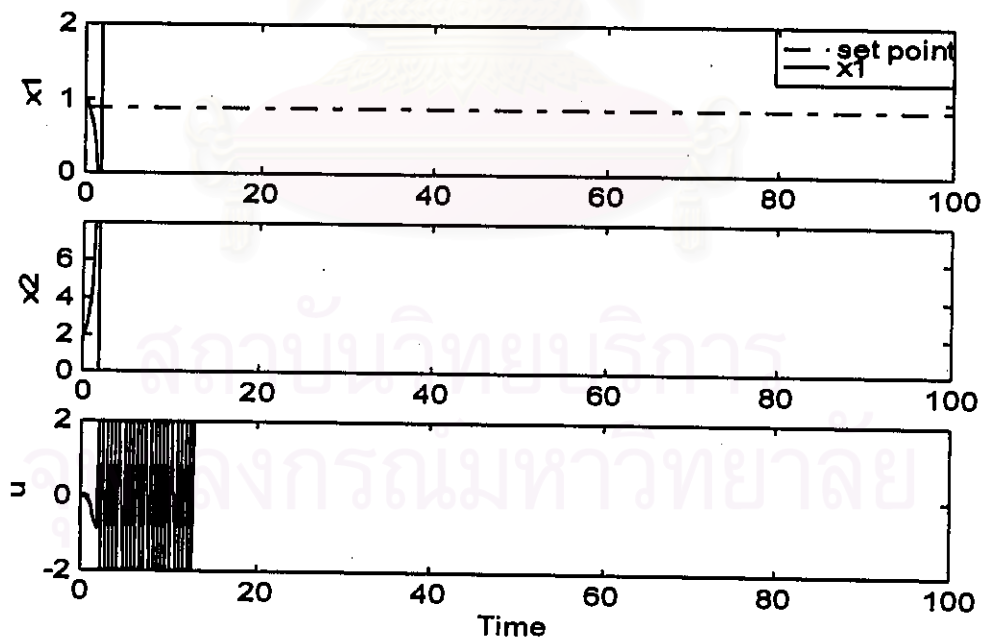
รูปที่ 6.93 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



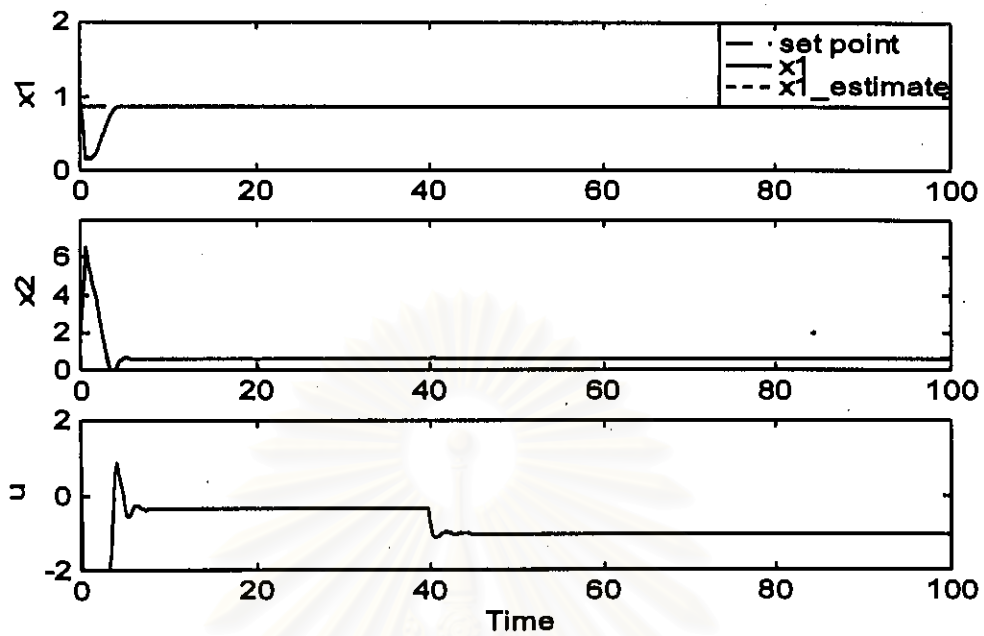
รูปที่ 6.94 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบฟีดแบ็ค



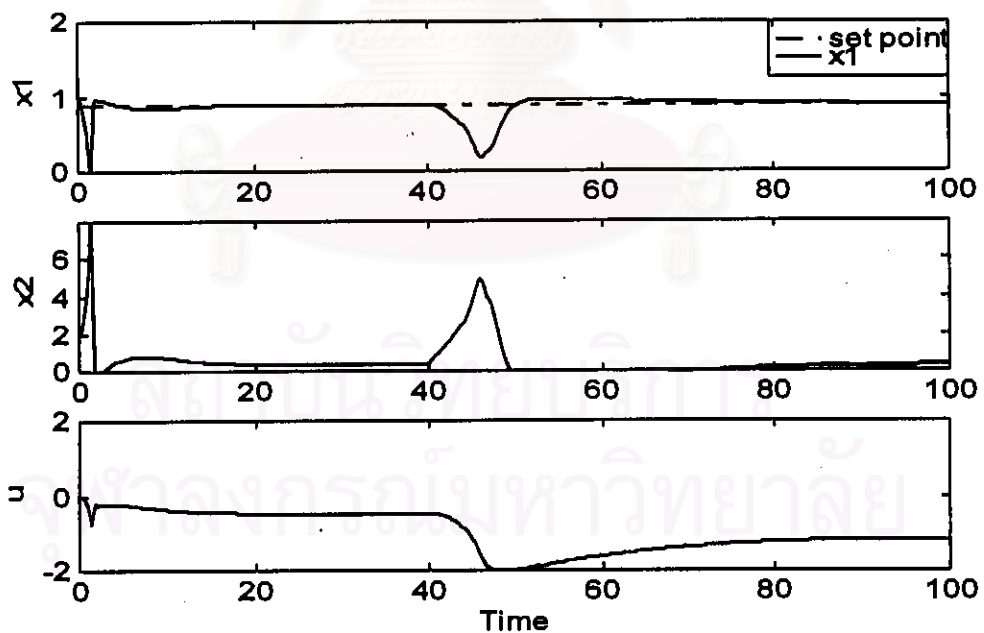
รูปที่ 6.95 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



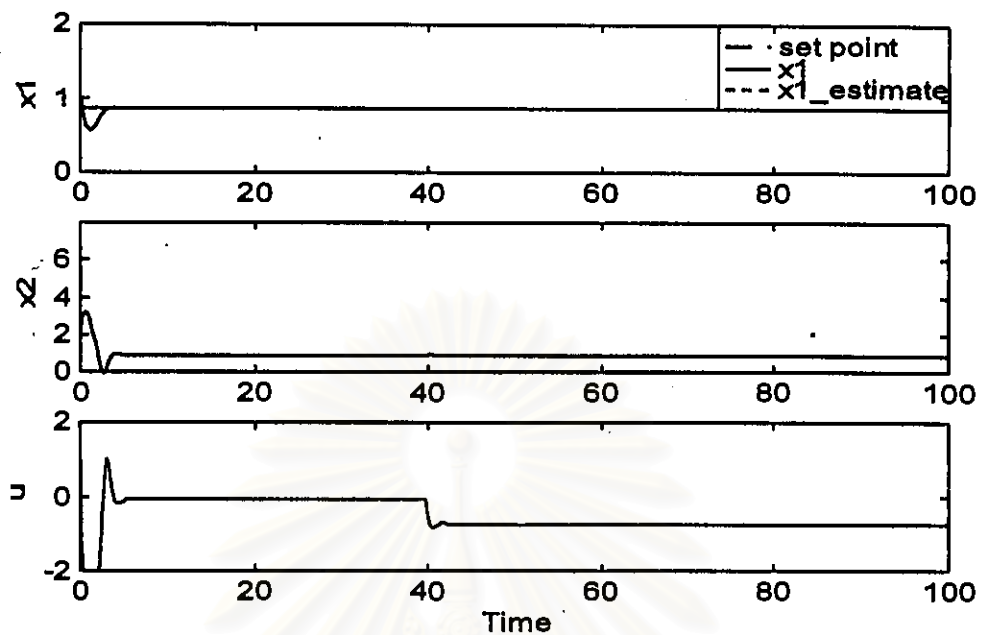
รูปที่ 6.96 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรควบคุมระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



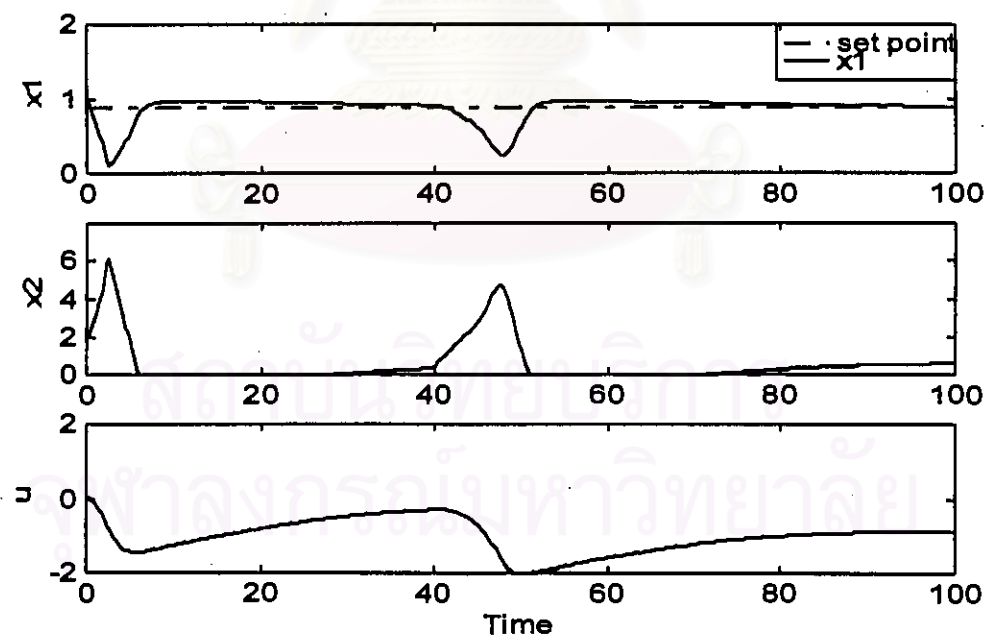
รูปที่ 6.97 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



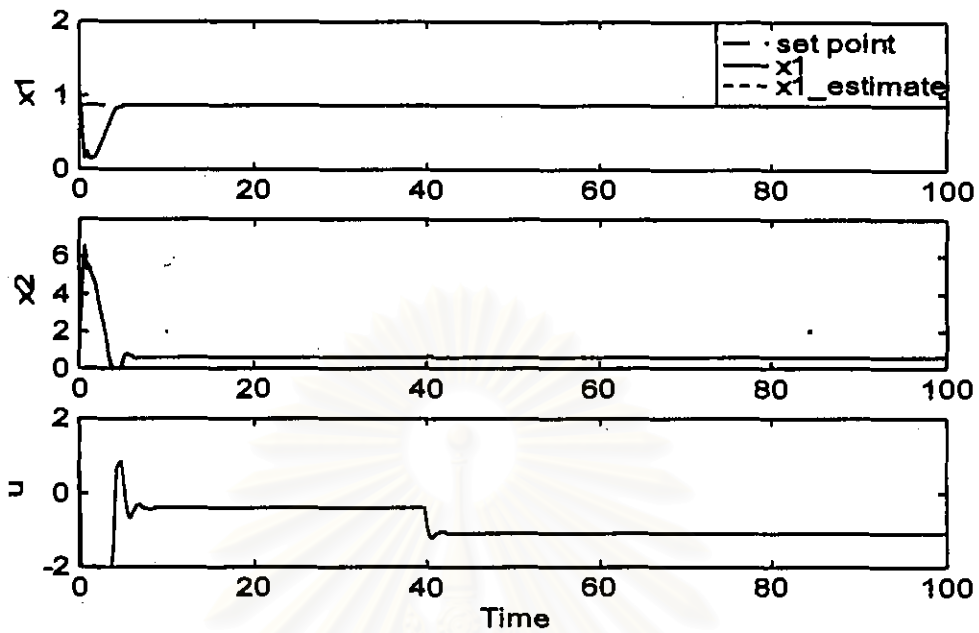
รูปที่ 6.98 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



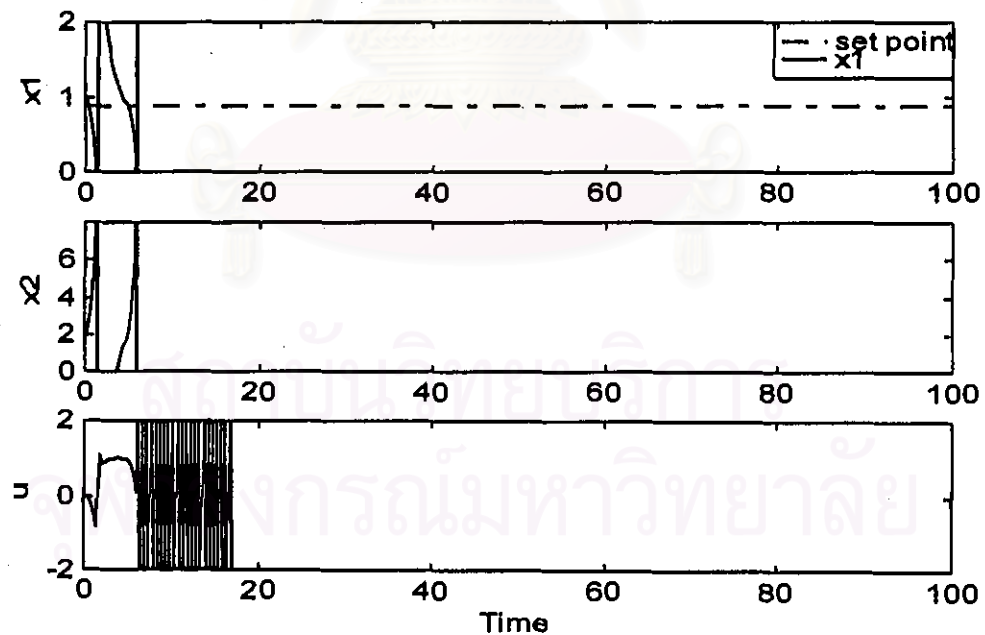
รูปที่ 6.99 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.100 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.101 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.102 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบฟีดแบ็ค



ตารางที่ 6.17 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1. ควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนระบบมีการเปลี่ยนแปลง		
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม		
1.1.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.2354$ ] ที่เวลา $\tau = 60$	3.3	3.7
ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.2354$ ] ที่เวลา $\tau = 0$	0.6	2.8
1.1.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.5528$ ] ที่เวลา $\tau = 60$	21.3	N.A.
ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.5528$ ] ที่เวลา $\tau = 0$	0.3	24.2
1.1.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8560$ ] ที่เวลา $\tau = 60$	39.7	42.2
ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8560$ ] ที่เวลา $\tau = 0$	0.4	4.8
1.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
1.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.2354$ ]		
1.2.1.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.2	-
1.2.1.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.1	-
1.2.1.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.6	-
1.2.1.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	0.6	-
1.2.1.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.5528$ ]		
1.2.1.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.5	-
1.2.1.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.5	-
1.2.1.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.5	-
1.2.1.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	0.8	-
1.2.1.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8560$ ]		
1.2.1.3 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.4	-
1.2.1.3 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.4	-

ตารางที่ 6.17 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1.2.1.3 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.4	-
1.2.1.3 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	-0.4	-
1.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
1.2.2.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.2354$ ]		
1.2.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.7	N.A.
1.2.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.5	N.A.
1.2.1.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.8	5.1
1.2.1.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	0.6	N.A.
1.2.2.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.5528$ ]		
1.2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.2	N.A.
1.2.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	0.8	N.A.
1.2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.3	27.1
1.2.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.1	N.A.
1.2.2.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_2 = 0.8560$ ]		
1.2.2.3 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	2.1	N.A.
1.2.2.3 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.6	5.6
1.2.2.3 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	0.5	9.6
1.2.2.3 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.9	N.A.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2. การควบคุมความเข้มข้นเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบตติย

### 2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

ในการทดลองเริ่มต้นควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_1 = 0.2354]$  จากนั้นกำหนดให้ค่าเซ็ทพอยท์เปลี่ยนแปลงแบบตติยเพิ่มขึ้น  $[x_1 = 0.5528]$  ที่เวลา  $\tau = 40$  และกำหนดให้ค่าเซ็ทพอยท์เปลี่ยนแปลงแบบตติยเพิ่มขึ้น  $[x_2 = 0.8560]$  ที่เวลา  $\tau = 60$  พิจารณาผลการสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.12 แสดงดังรูปที่ 6.103 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.14 แสดงดังรูปที่ 6.104 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ได้เป็นอย่างดี ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีใช้เวลาในการปรับค่าของความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการช้ากว่าและไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ไม่มีเสถียรภาพได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.18 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่มีความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้สมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์

### 2.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

#### 2.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม และกำหนดให้มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๘.80, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ ๘.81, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๘.82 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๘.83 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา

## 2. การควบคุมความเข้มข้นเมื่อเชื้อพืชน้ำมีการเปลี่ยนแปลงแบบสโตแคสติก

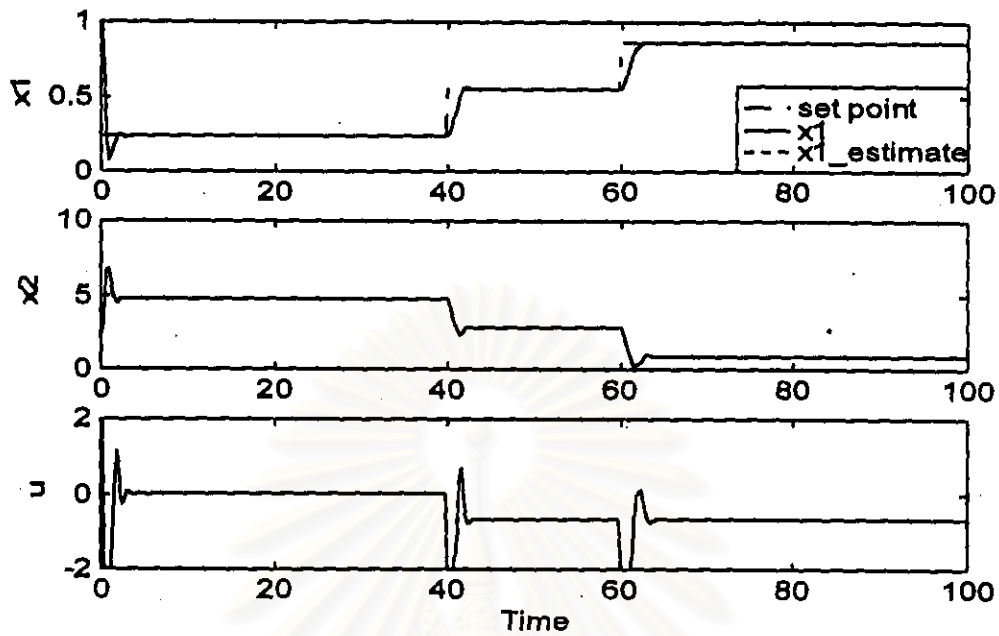
### 2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

ในการทดลองเริ่มต้นควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเชื้อพืชน้ำ  $[x_1 = 0.2354]$  จากนั้นกำหนดให้ค่าเชื้อพืชน้ำเปลี่ยนแปลงแบบสโตแคสติกเพิ่มขึ้น  $[x_1 = 0.5528]$  ที่เวลา  $t = 40$  และกำหนดให้ค่าเชื้อพืชน้ำเปลี่ยนแปลงแบบสโตแคสติกเพิ่มขึ้น  $[x_2 = 0.8560]$  ที่เวลา  $t = 60$  พิจารณาผลการสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.12 แสดงดังรูปที่ 6.103 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.14 แสดงดังรูปที่ 6.104 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อพืชน้ำได้เป็นอย่างดี ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีใช้เวลาในการปรับค่าของความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเชื้อพืชน้ำที่ต้องการช้ากว่าและไม่สามารถควบคุมความเข้มข้นที่ค่าเชื้อพืชน้ำที่ไม่มีเสถียรภาพได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.18 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้สมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อพืชน้ำ

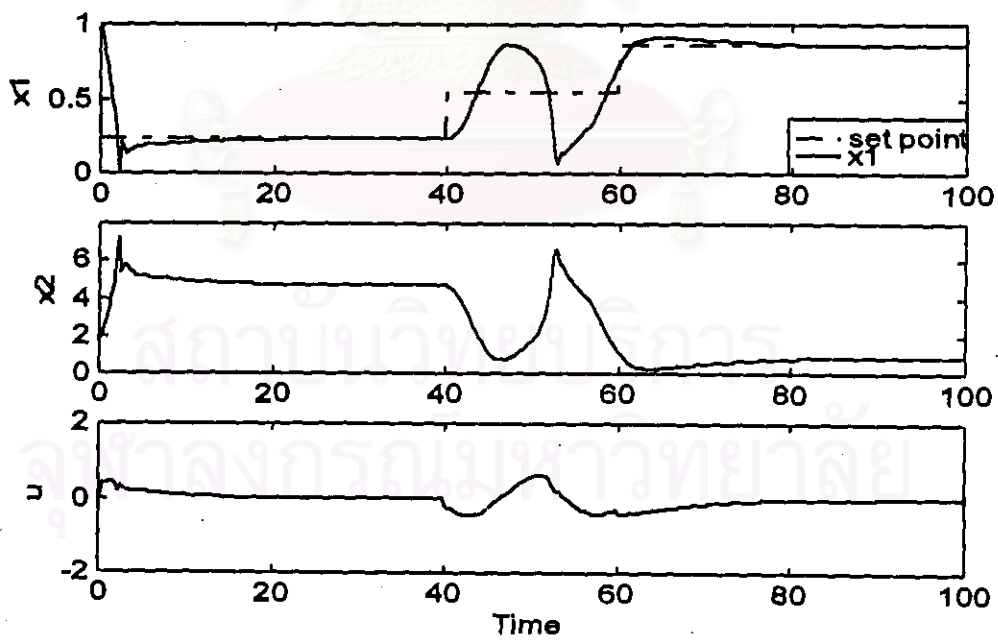
### 2.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

#### 2.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อพืชน้ำในการควบคุม และกำหนดให้มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๘.80, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ ๘.81, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๘.82 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 30% แสดงดังรูปที่ ๘.83 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา

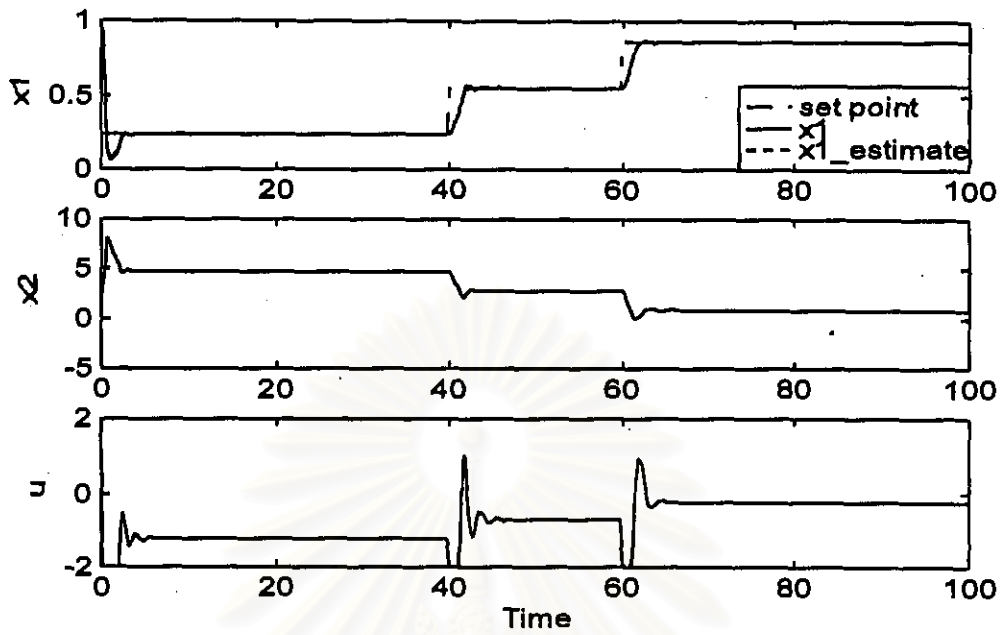


รูปที่ 6.103 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

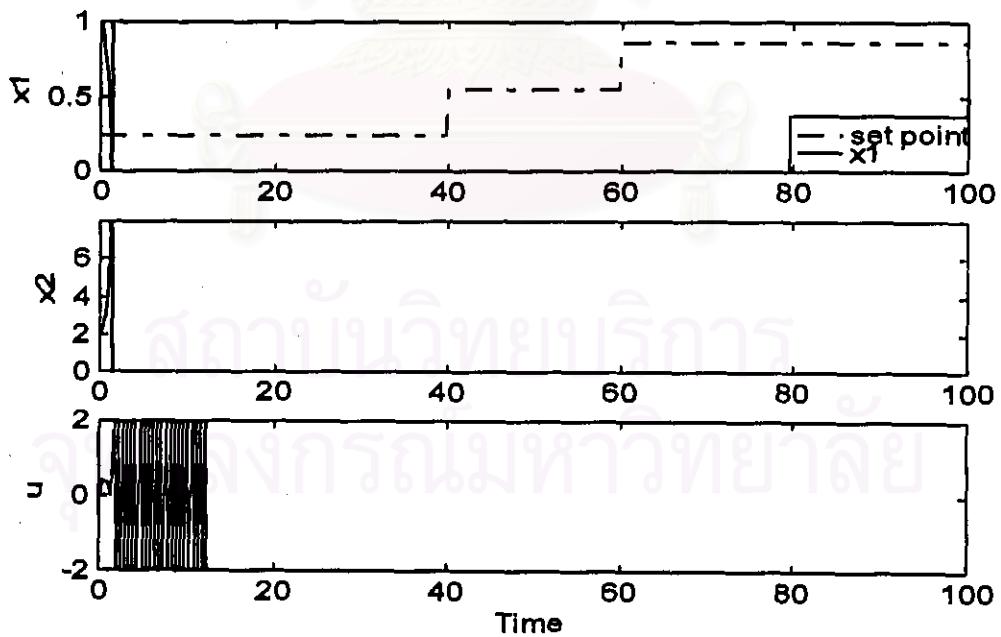


รูปที่ 6.104 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์โดยการควบคุมแบบพีไอดี



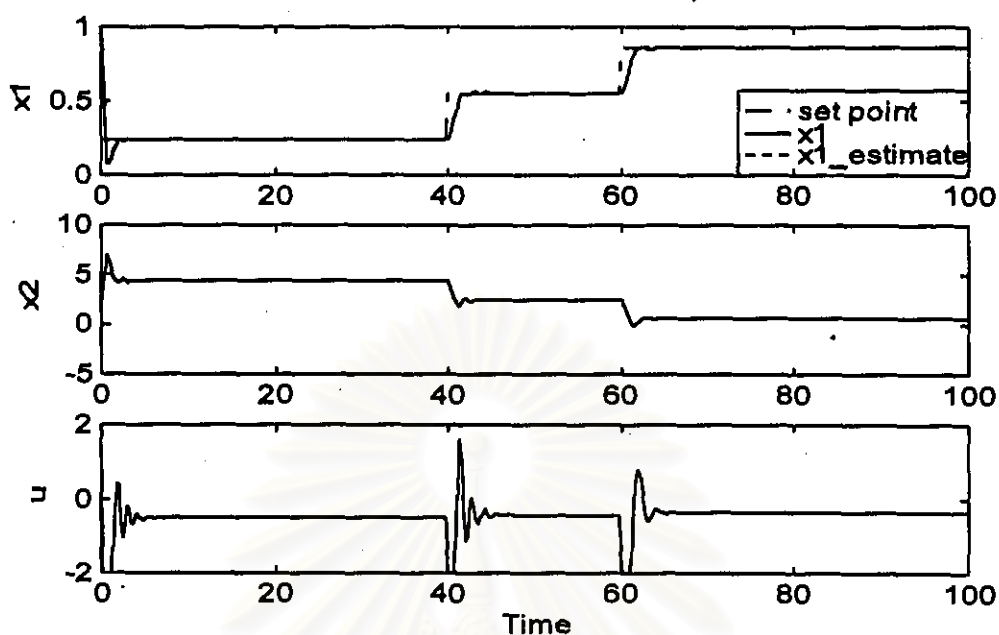


รูปที่ 6.105 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

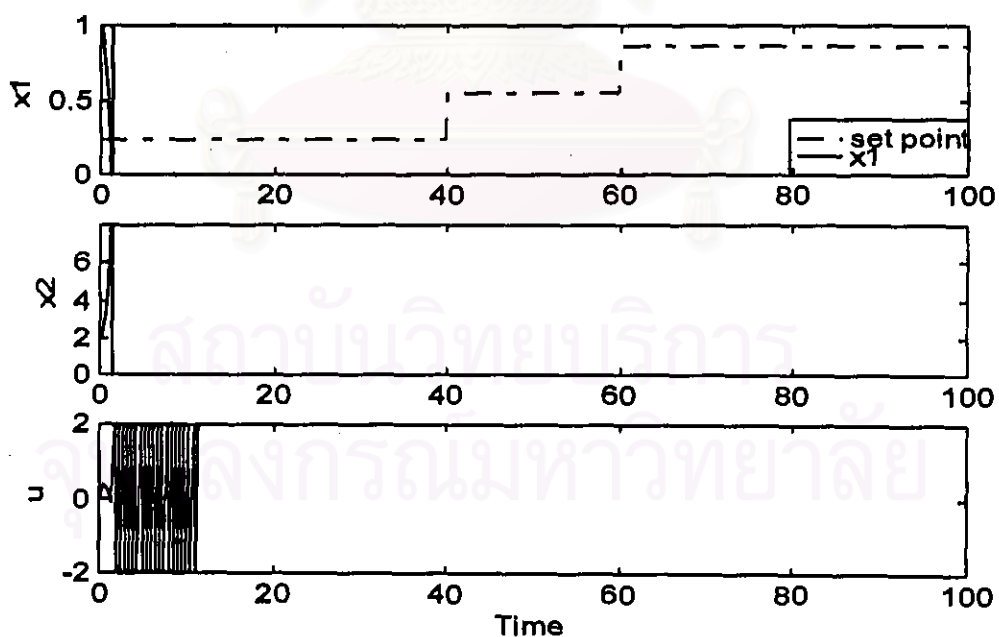


รูปที่ 6.106 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

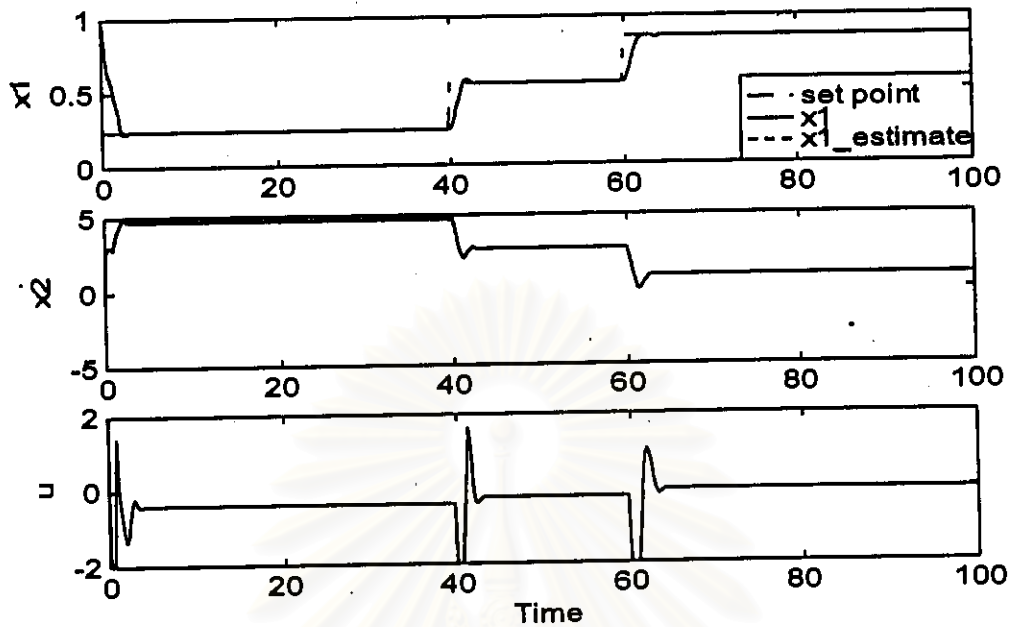




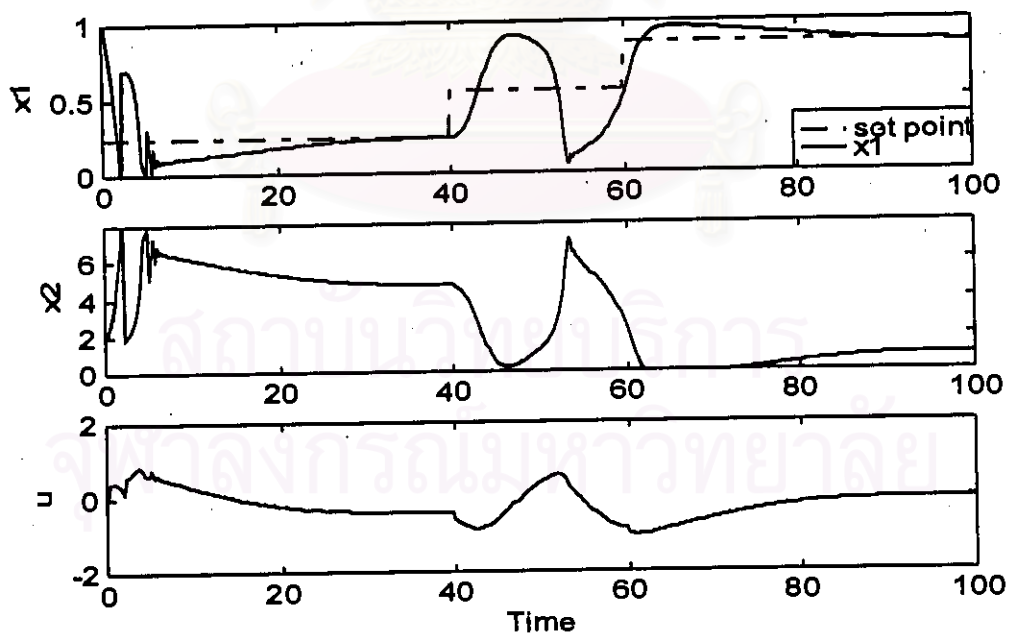
รูปที่ 6.107 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟ



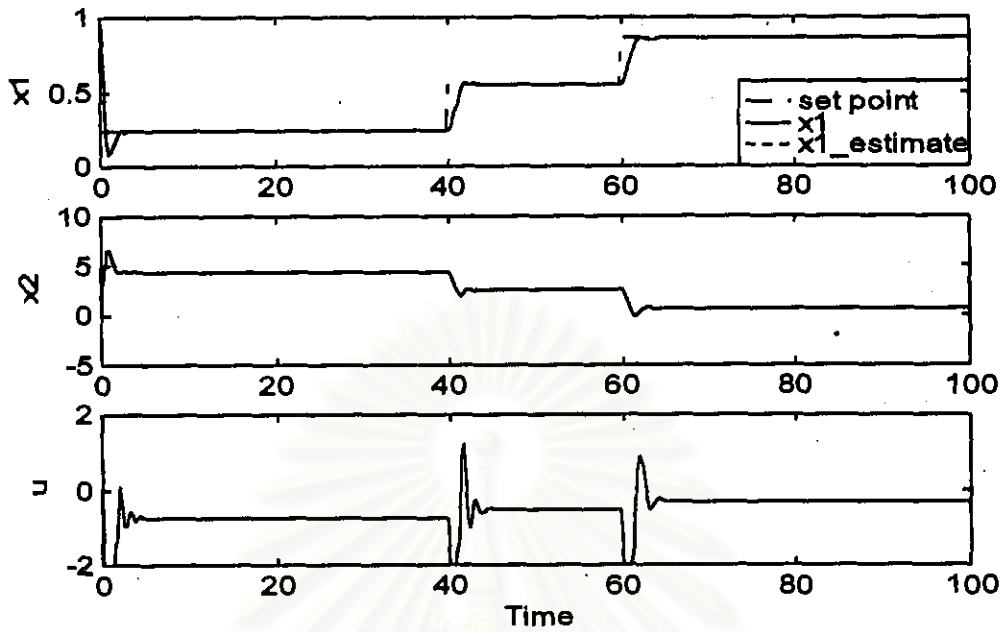
รูปที่ 6.108 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 30%) โดยการควบคุมแบบทีโอดี



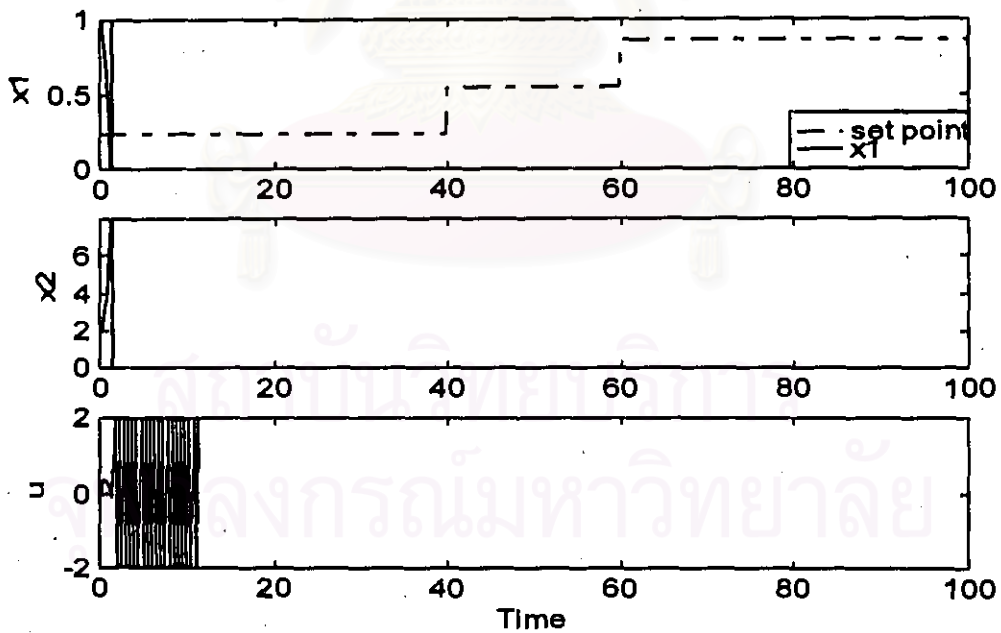
รูปที่ 6.109 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ตกลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.110 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ตกลง 30%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.111 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.112 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 30% และ  $\delta$  ลดลง 30%) โดยการควบคุมแบบ ทีไอที

ตารางที่ 6.18 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

กรณีการควบคุม	MPC	PID
2. ควบคุมความเข้มข้นเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลง		
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	1.2	6.9
2.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
2.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.5	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.4	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.3	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.4	-
2.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.4	N.A.
2.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	1.3	N.A.
2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 30 %	1.4	11.4
2.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 % และ $\delta$ ลดลง 30 %	1.3	N.A.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 6.3.3 กรณีศึกษาที่ 3 ระบบแสดงพฤติกรรมที่มีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น

ในการควบคุมใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟและตัวประมาณค่าแบบคาดหมายฟิลเตอร์สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นแสดงดังตารางที่ 6.19 และ 6.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.19 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น

Controller Parameters	Estimator Parameters
$P = 10$	$Q = \text{diag} [10 \ 1000 \ 1]$
$M = 10$	$R = [10]$
$Y_{wt} = 20$	
$U_{wt} = 1$	

ตารางที่ 6.20 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น

Controller Parameters	Estimator Parameters
$P = 10$	$Q = \text{diag} [10 \ 1000 \ 1]$
$M = 10$	$R = [10]$
$Y_{wt} = 50$	
$U_{wt} = 1$	

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิและความเข้มข้นภายในเครื่องปฏิกรณ์แสดงดังตารางที่ 6.21 และ 6.22 ตามลำดับ



ตารางที่ 6.21 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น

PID Tunning Parameters		
$K_c = 1$	$T_i = 0.8$	$T_d = 0.25$

ตารางที่ 6.22 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับจูนเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมความความเข้มข้นในกรณีที่ระบบมีการแกว่งเนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้น

PID Tunning Parameters		
$K_c = -4.5$	$T_i = 0.8$	$T_d = 1$

## ตอนที่ 1 การควบคุมอุณหภูมิ

### 1. การควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

#### 1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

วัตถุประสงค์ในการควบคุมคือเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_s = 1.978$ ] ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรรบกวนระบบ โดยทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.19 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.21 เมื่อตัวควบคุมเริ่มทำงานที่เวลา  $\tau = 60$  แสดงดังรูปที่ 6.84 และ 6.85 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ หลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์แบบสลับได้รวดเร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอดี และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมเมื่อตัวควบคุมเริ่มทำงานที่เวลา  $\tau = 0$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.113 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.114 ตามลำดับ พบว่า



เครื่องควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟสามารถควบคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซตพอยท์ที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ ไม่มีผลต่อการควบคุม ในขณะที่ผลการควบคุมของเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งอย่างมากในช่วงเวลาเริ่มต้นก่อนเข้าสู่ค่าเซตพอยท์และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.23 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี ในการควบคุมอุณหภูมิเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ

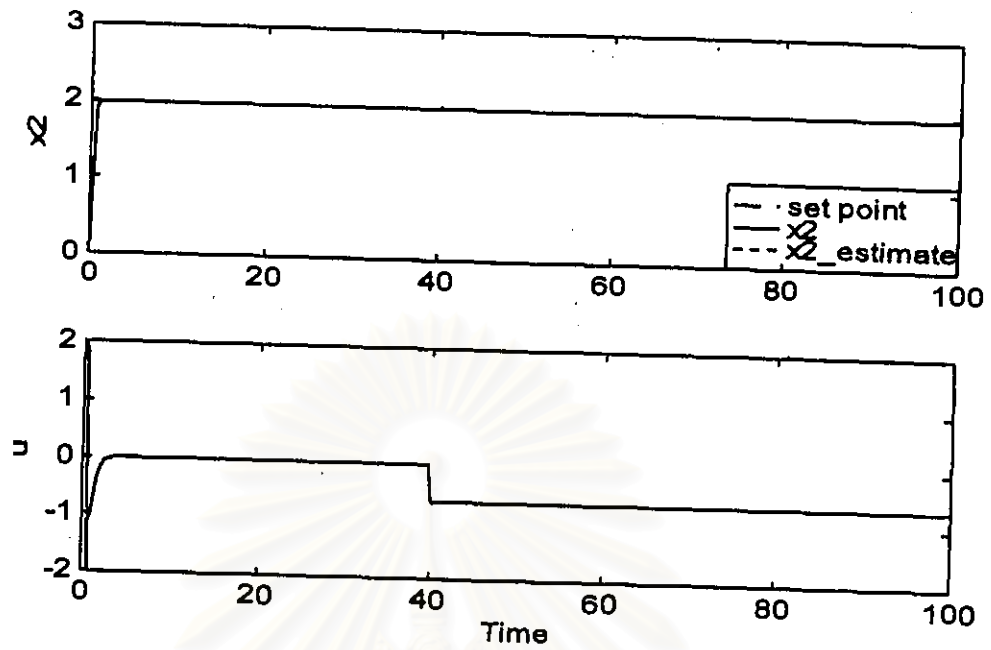
## 1.2 การเปรียบเทียบความทนทานของการควบคุม

### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

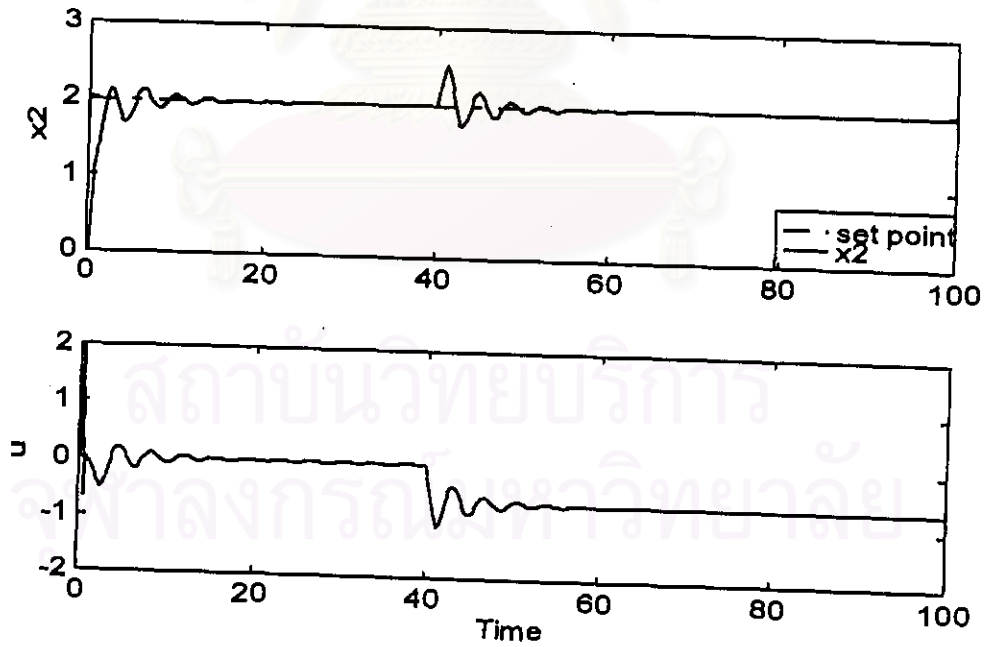
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.19 ในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 20% แสดงดังรูปที่ ๘.86, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% แสดงดังรูปที่ ๘.87, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ ๘.88 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ ๘. 89 ในภาคผนวก ๘. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.23 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาด พบว่าให้ผลใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

## 1.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

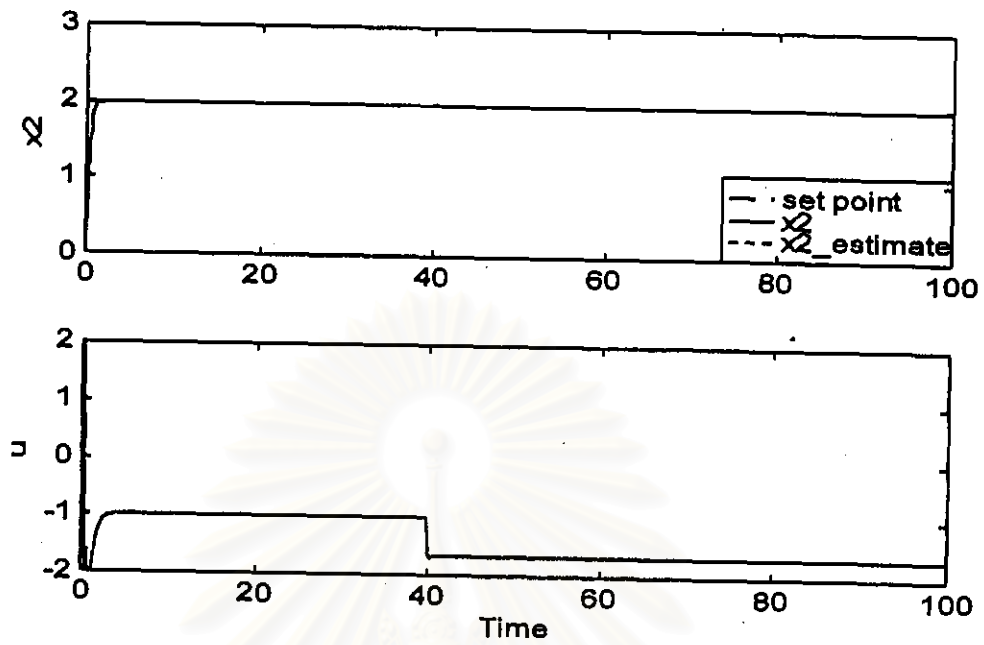
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และกำหนดค่าที่มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการ ที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.115 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.116 พบว่า เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาด ในขณะที่ เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งของสัญญาณควบคุมอย่างมากและไม่สามารถควบคุม อุณหภูมิที่ค่าเซ็ทพอยท์ดังกล่าวได้ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการ เกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.117 และพี ไอดีแสดงดังรูปที่ 6.118, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% สำหรับการ ควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.119 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.120 และกรณีที่ทั้งค่า คงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.121 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.122 ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งของสัญญาณควบคุมอย่างมากที่เวลาเริ่มต้น และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ก่อนเข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ โดยยังมีค่า ออฟเซ็ทในการควบคุม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของ ความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.23 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิด พลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมากแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการ เปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบ คุมดังกล่าว



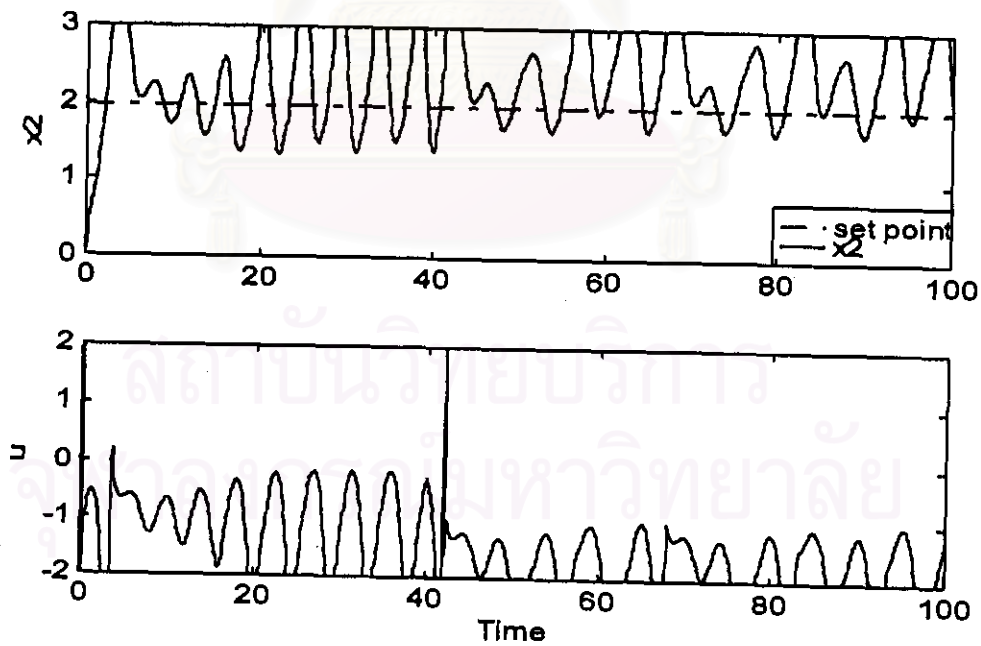
รูปที่ 6.113 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



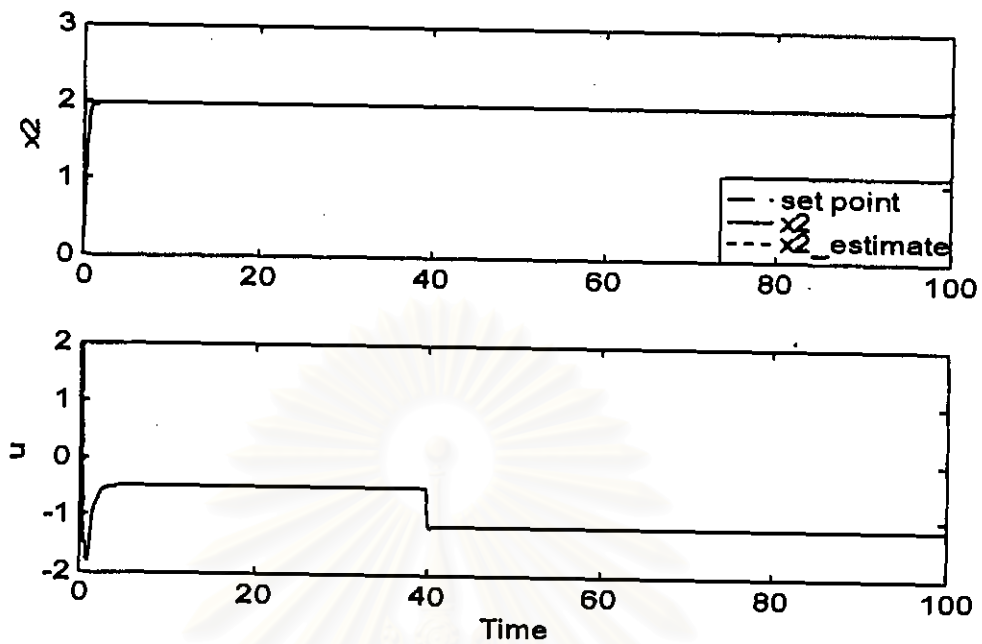
รูปที่ 6.114 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการโดยการควบคุมแบบพีไอดี



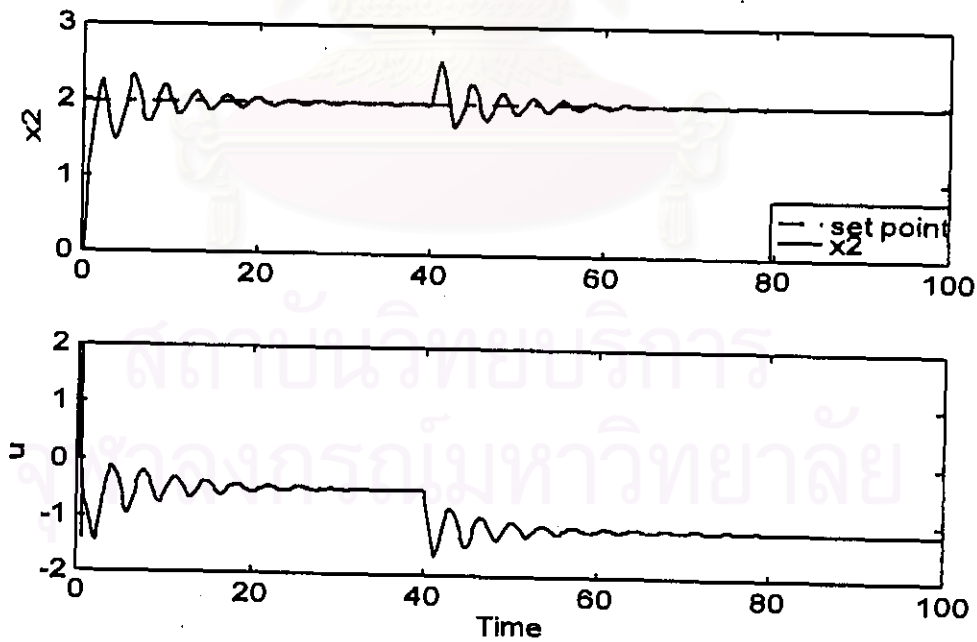
รูปที่ 6.115 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



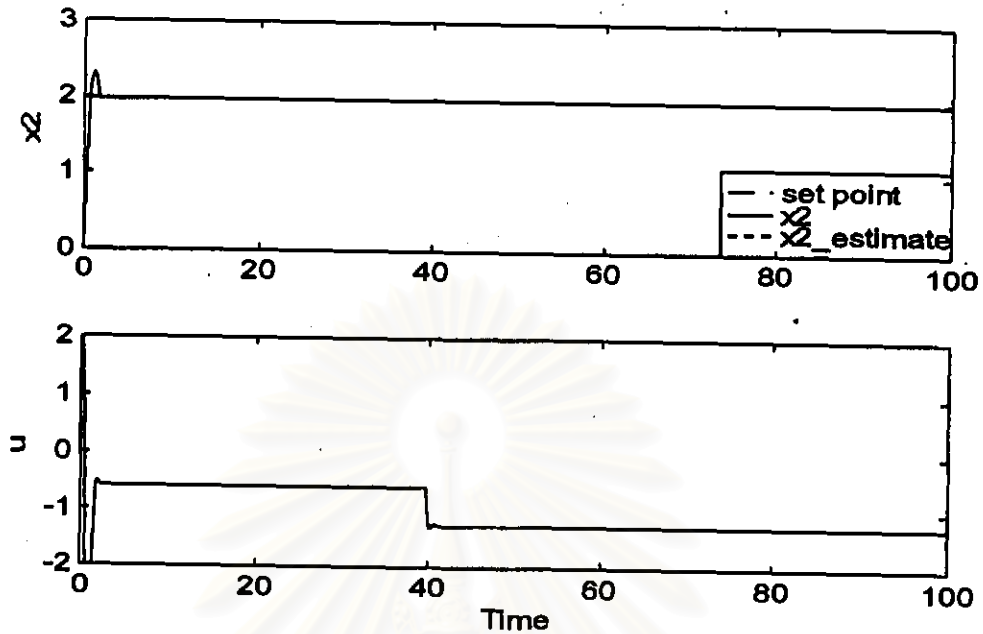
รูปที่ 6.116 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



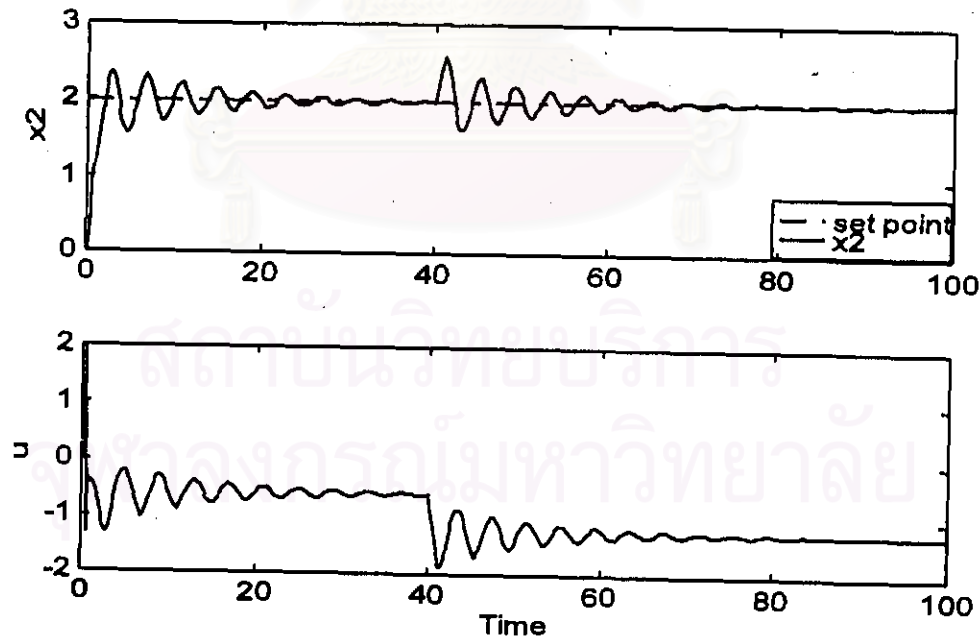
รูปที่ 6.117 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.118 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

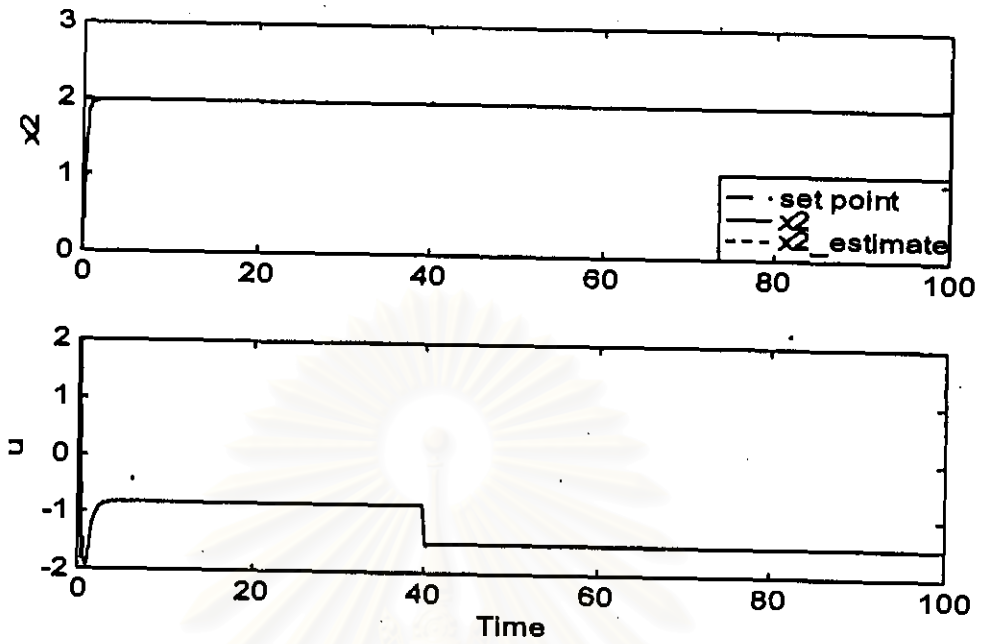


รูปที่ 6.119 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

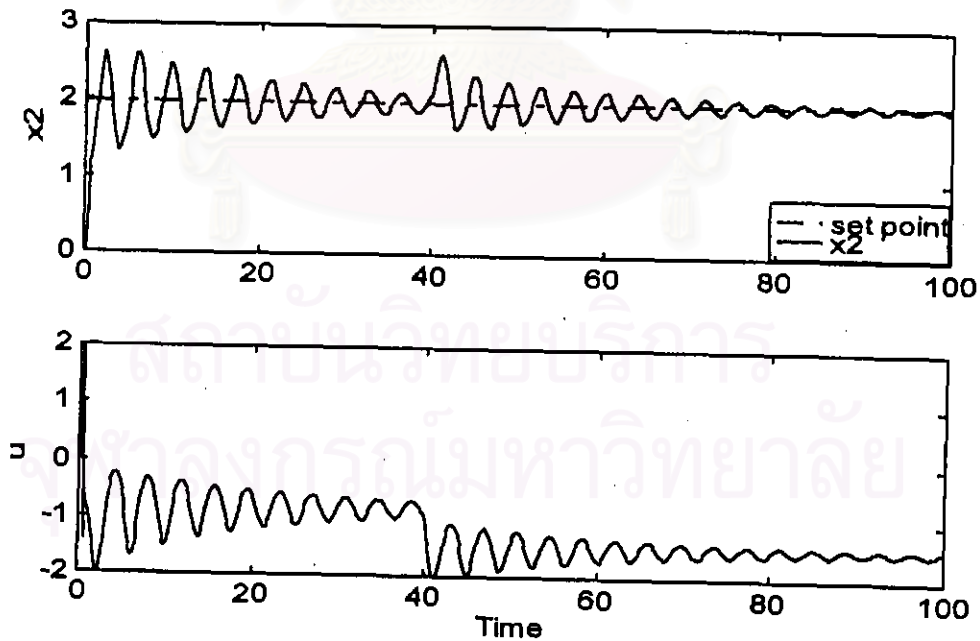


รูปที่ 6.120 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบและมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี





รูปที่ 6.121 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบไมเคลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.122 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 6.23 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมอุณหภูมิเมื่อค่าตัวแปรกระบวนการระบบ มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1. ควบคุมอุณหภูมิเมื่อตัวแปรกระบวนการมีการเปลี่ยนแปลง		
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม $\tau = 60$	38.8	40.1
$\tau = 0$	0.9	4.3
1.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
1.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.0	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.0	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	0.9	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	1.0	-
1.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
1.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.9	42.2
1.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.9	6.9
1.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	1.0	9.1
1.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	0.9	15.6

## 2. การควบคุมอุณหภูมิเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

### 2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

ในการจำลองการควบคุมกำหนดค่าให้เซ็ทพอยท์เปลี่ยนแปลงแบบสลับเพิ่มขึ้น 30% ที่เวลา  $\tau = 40$  หลังจากทีระบบเข้าสู่เซ็ทพอยท์ค่าแรก [ $x_2 = 1.9870$ ] จากนั้นกำหนดค่าให้ค่าเซ็ทพอยท์ลดลงต่ำกว่าเซ็ทพอยท์ค่าแรก 30% ที่เวลา  $\tau = 60$  ทิศทางการตอบสนองของกระบวนการเปรียบเทียบ

เทียบผลการควบคุมในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.19 แสดงดังรูปที่ 6.123 และการควบคุม แบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.21 แสดงดังรูปที่ 6.124 พบว่าเครื่องควบคุม แบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีในการติดตามค่าเซ็ทพอยท์เมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีไม่สามารถควบคุมกระบวนการเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์เพิ่มขึ้นได้ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.24 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้สมรรถนะที่ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ในการควบคุม

## 1.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

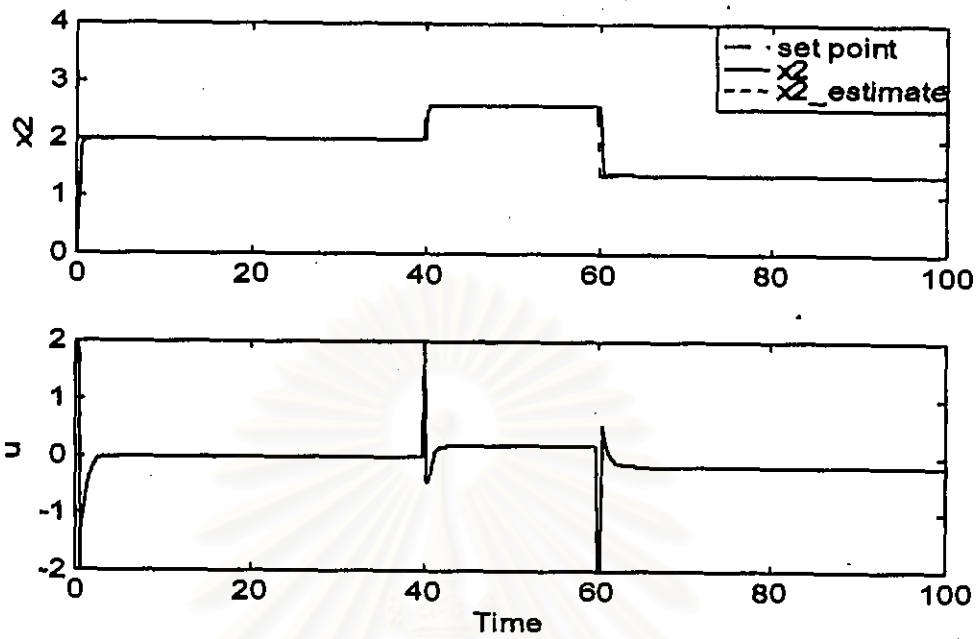
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.19 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 30% แสดงดังรูปที่ ๘.90, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% แสดงดังรูปที่ ๘.91, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ ๘.92 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ ๘.93 ในภาคผนวก ๘. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.24 พบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

### 1.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

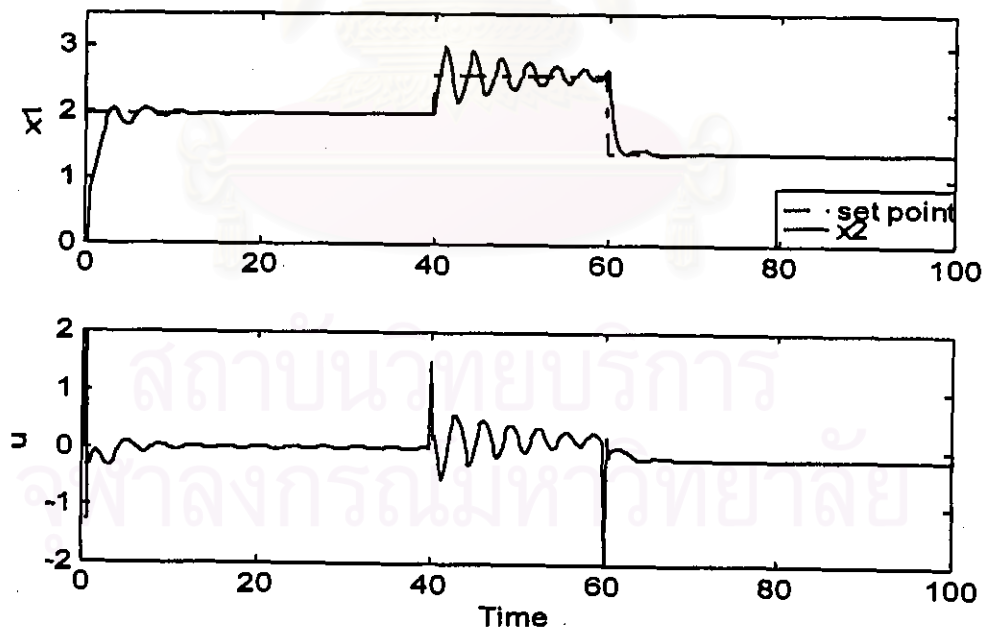
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และกำหนดค่าให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.125 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.126, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.127 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.128 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.131 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.132 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งของสัญญาณควบคุมอย่างมากและไม่สามารถควบคุมกระบวนการที่ค่าเซ็ทพอยท์ 2 ค่าแรกได้ และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.129 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.130 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งของสัญญาณควบคุมก่อนเข้าสู่เซ็ทพอยท์ค่าแรกและไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นได้

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.24 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมาก แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม

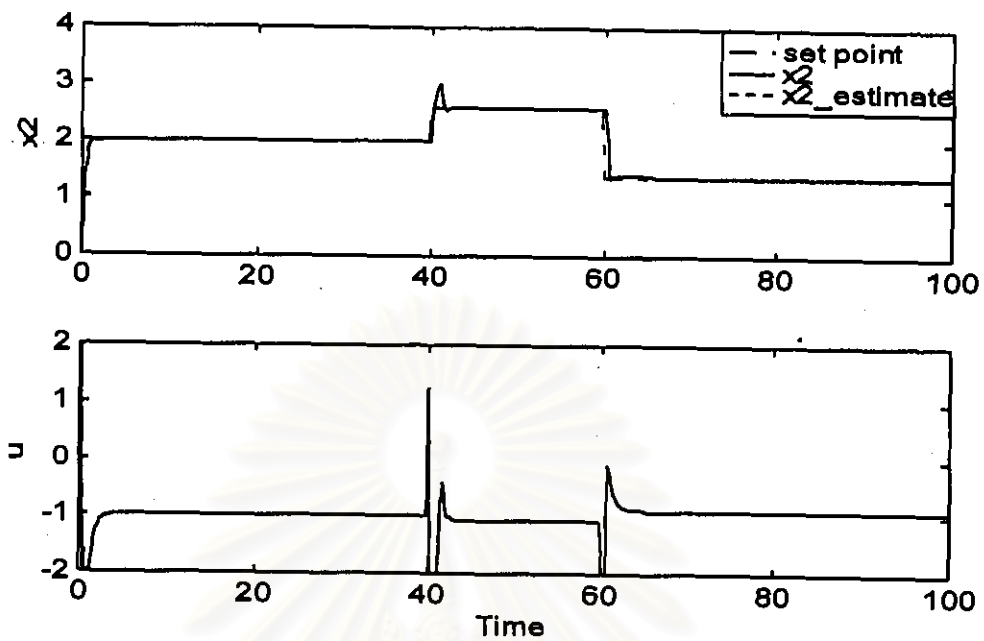
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



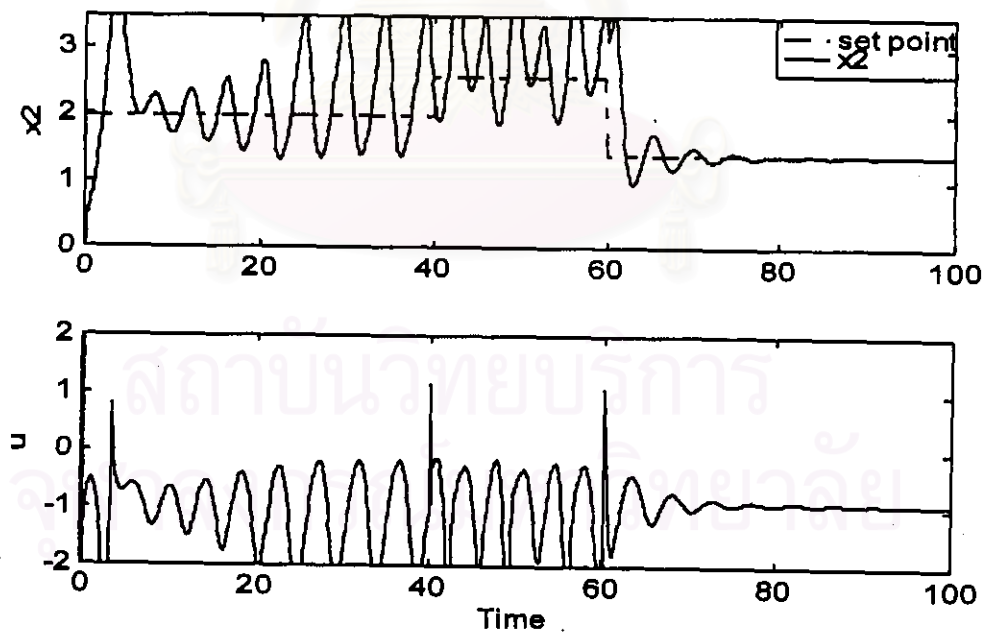
รูปที่ 6.123 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.124 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์โดยการควบคุมแบบพีไอดี

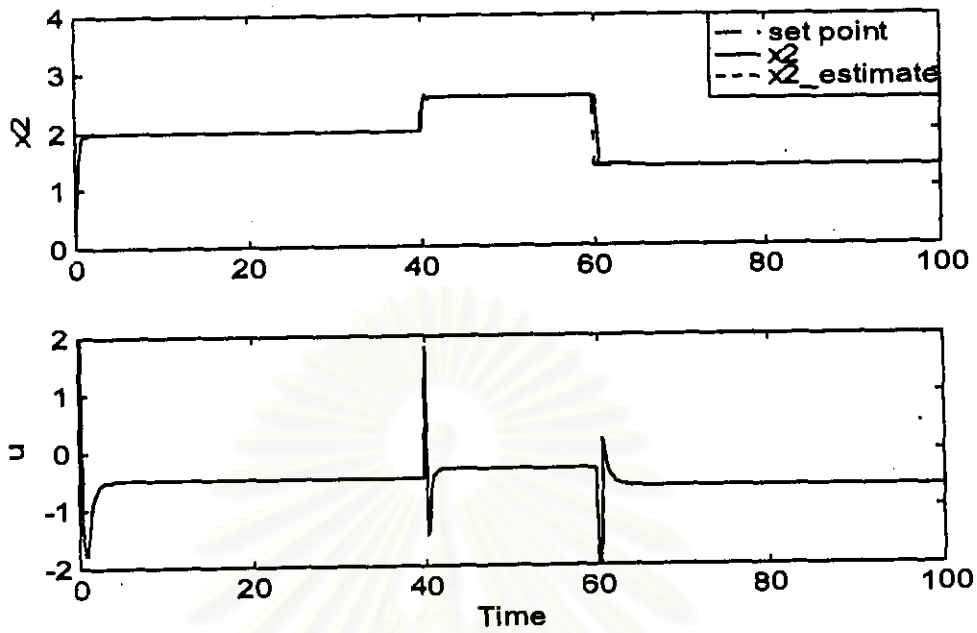


รูปที่ 6.125 ผลการควบคุมจุดหมุมในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

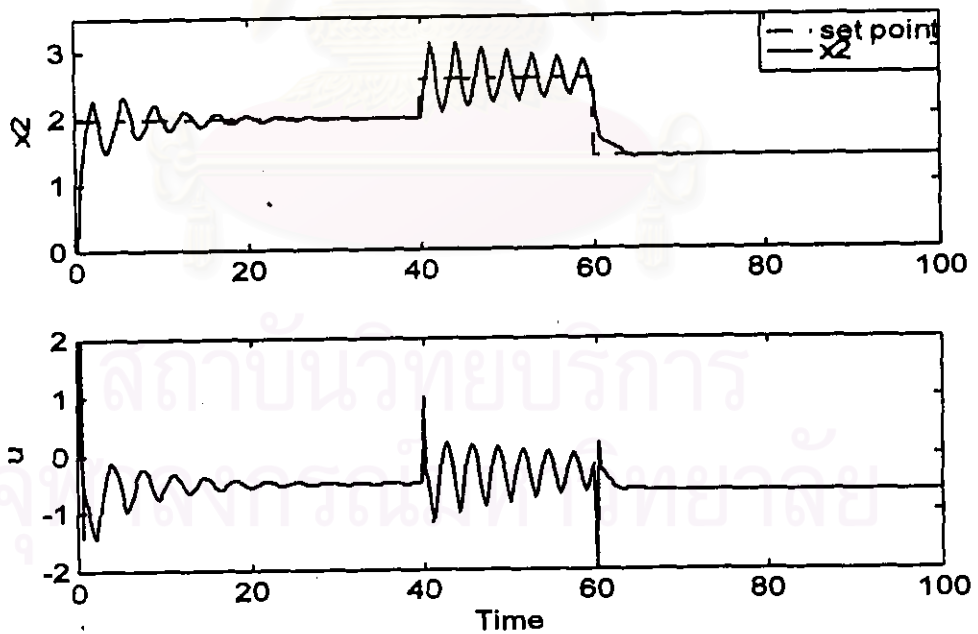


รูปที่ 6.126 ผลการควบคุมจุดหมุมในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบ  $H_\infty$

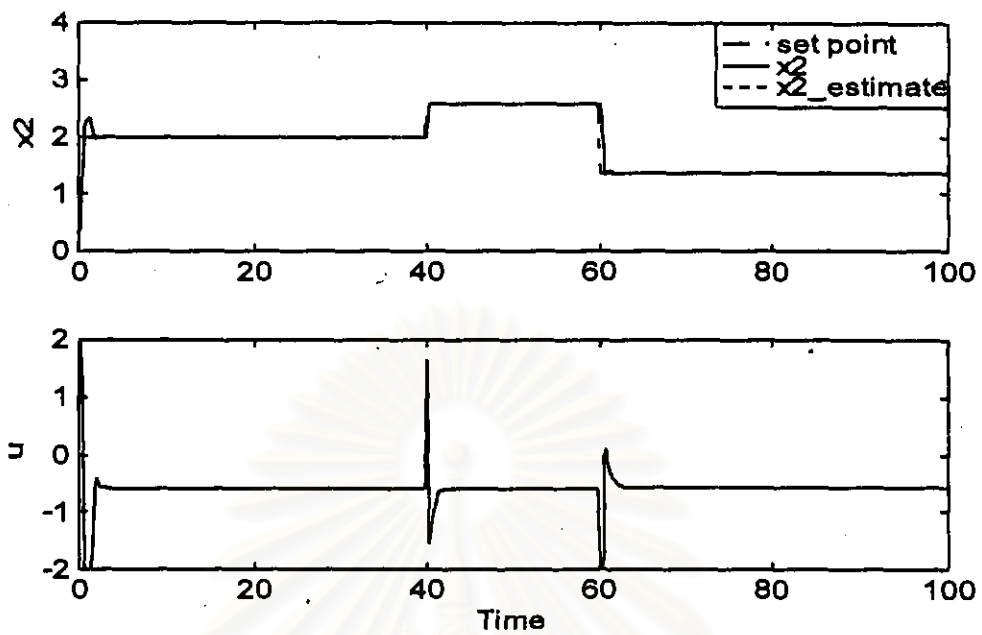




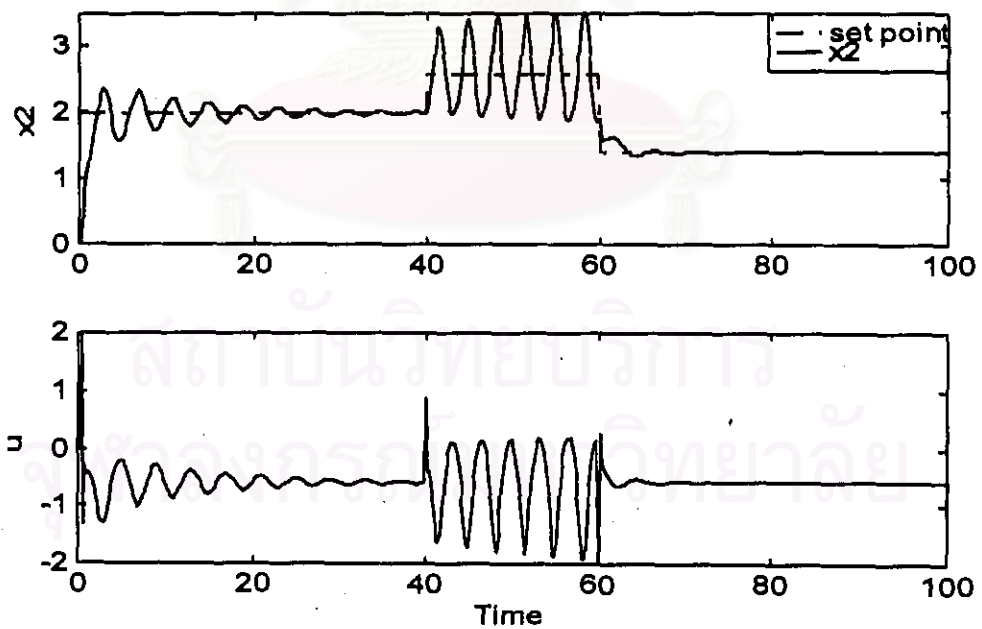
รูปที่ 6.127 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



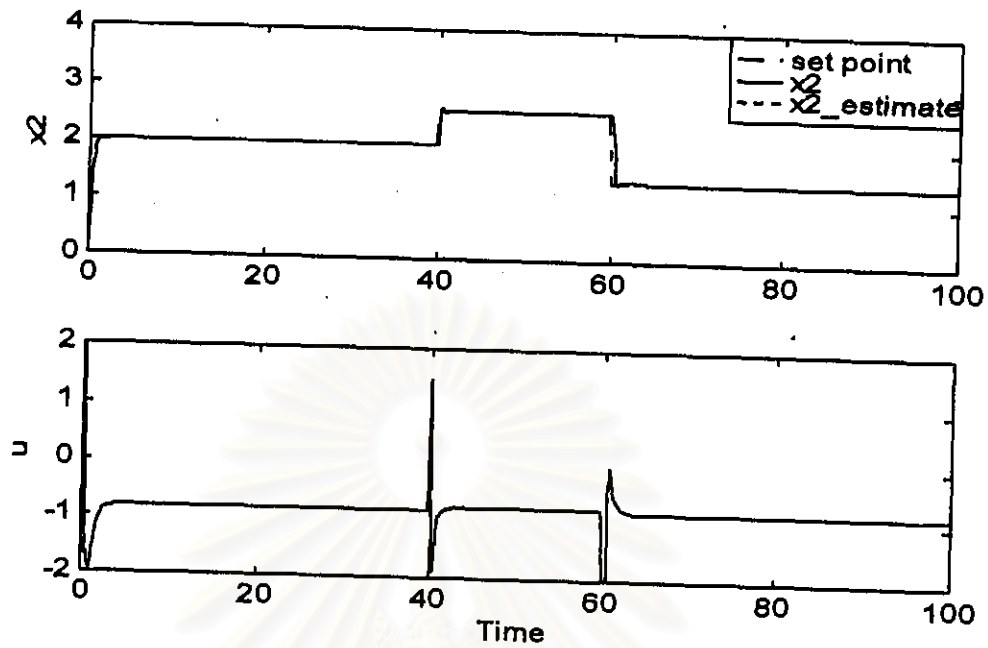
รูปที่ 6.128 ผลการควบคุมอุณหภูมิในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และ มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



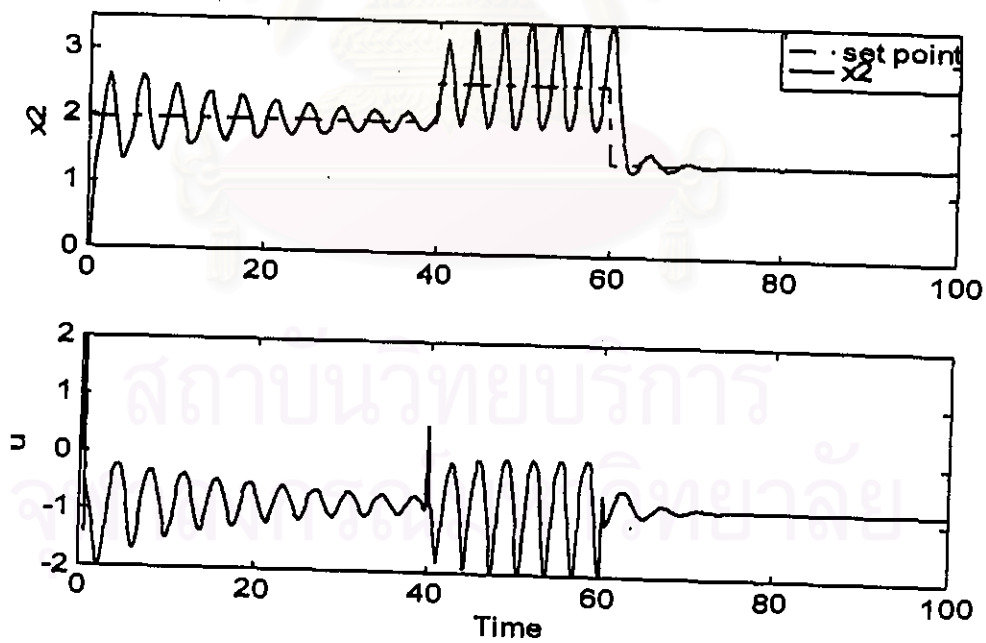
รูปที่ 6.129 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.130 ผลการควบคุมจุดหนึ่งในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.131 ผลการควบคุมขุมขุมในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\sigma$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.132 ผลการควบคุมขุมขุมในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\sigma$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 6.24 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมอุณหภูมิเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

กรณีการควบคุม	MPC	PID
2. ควบคุมอุณหภูมิเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลง		
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	1.4	7.0
2.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
2.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.6	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.6	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	1.5	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	1.7	-
2.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.8	38.2
2.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.5	10.5
2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	1.7	15.8
2.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	1.6	22.0

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตอนที่ 2 การควบคุมความเข้มข้น

### 1. การควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวระบบมีการเปลี่ยนแปลงแบบสแต็บ

#### 1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

วัตถุประสงค์ในการควบคุมคือ เพื่อควบคุมความเข้มข้นให้อยู่ที่ค่าเซ็ทพอยท์  $[x_1 = 0.5504]$  ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ เช่นเดียวกับกรณีการควบคุมอุณหภูมิในตอนต้น พิจารณาผลการควบคุมโดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.20 และการควบคุมแบบพีไอดีที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.22 เมื่อตัวควบคุมเริ่มทำงานที่เวลา  $\tau = 60$  แสดงดังรูปที่ 6.94 และ 6.95 ในภาคผนวก 6. ตามลำดับ พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการหลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์แบบสแต็บได้รวดเร็วและราบเรียบกว่าการควบคุมแบบพีไอดี และเมื่อพิจารณาผลการควบคุมเมื่อตัวควบคุมเริ่มทำงานที่เวลา  $\tau = 0$  สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูป 6.133 แสดงดังรูปที่ 6.134 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟสามารถคุมอุณหภูมิให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการได้รวดเร็ว และราบเรียบกว่าการควบคุมแบบพีไอดีโดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบไม่มีผลในการควบคุม นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.25 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีสมรรถนะสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ

## 1.2 การเปรียบเทียบความทนทานของการควบคุม

### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.20 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 20% แสดงดังรูปที่ 6.96, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% แสดงดังรูปที่ 6.97, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ 6.98 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ 6.99 ในภาคผนวก ฉ. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.25 พบว่าให้ผลใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทาน สามารถควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

### 1.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

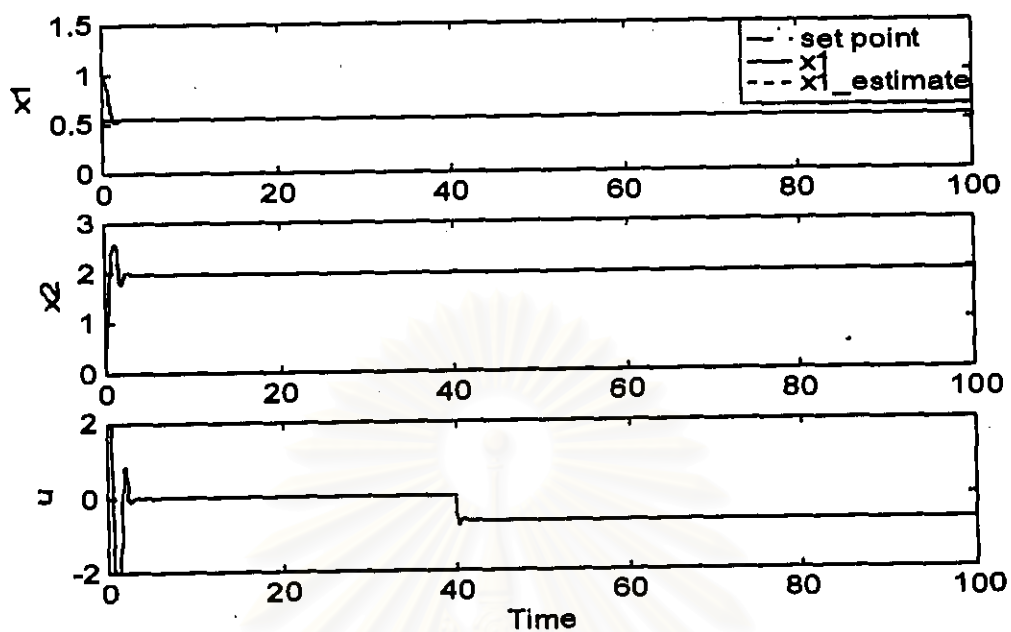
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.137 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.138 พบว่าให้ผลใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาด และพิจารณากรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.135 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.136, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.139 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.140 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20%



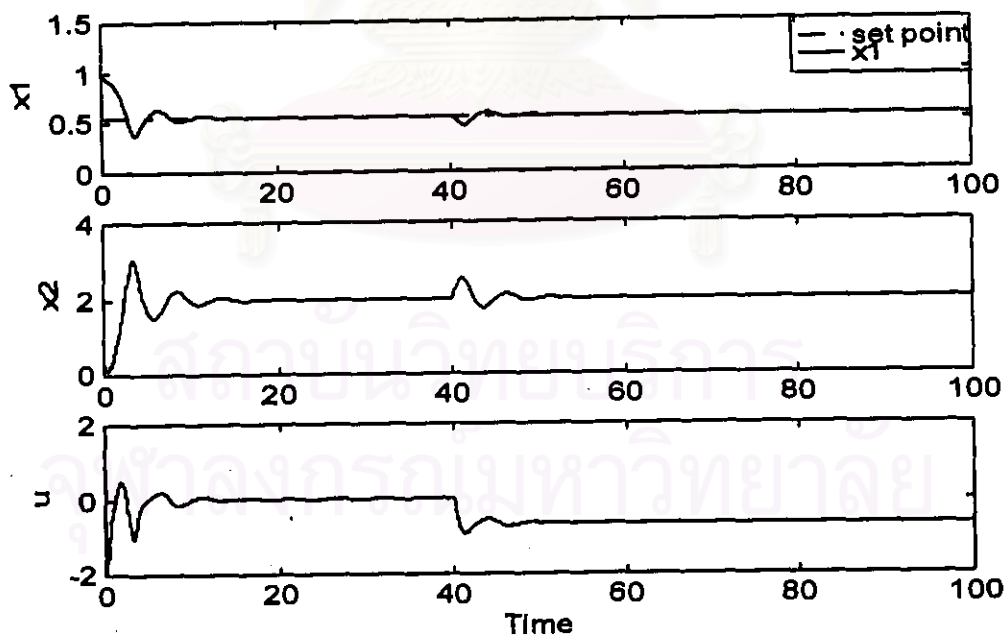
สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟแสดงดังรูปที่ 6.141 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.142 พบว่า เครื่องควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟมีค่าออฟเซ็ทในช่วงเริ่มต้นของการควบคุมแต่ยังสามารถควบคุมความเข้มข้นให้เข้าสู่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ต้องการ โดยที่การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ ไม่มี ผลต่อการควบคุม ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งของสัญญาณควบคุมอย่างมากและ ไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่า สัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.25 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิคทีฟให้ค่า ความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมาก แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุม แบบโมเดลพรีดิคทีฟมีความทนทานสูงกว่าการควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นใน กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ที่ทำการควบคุม



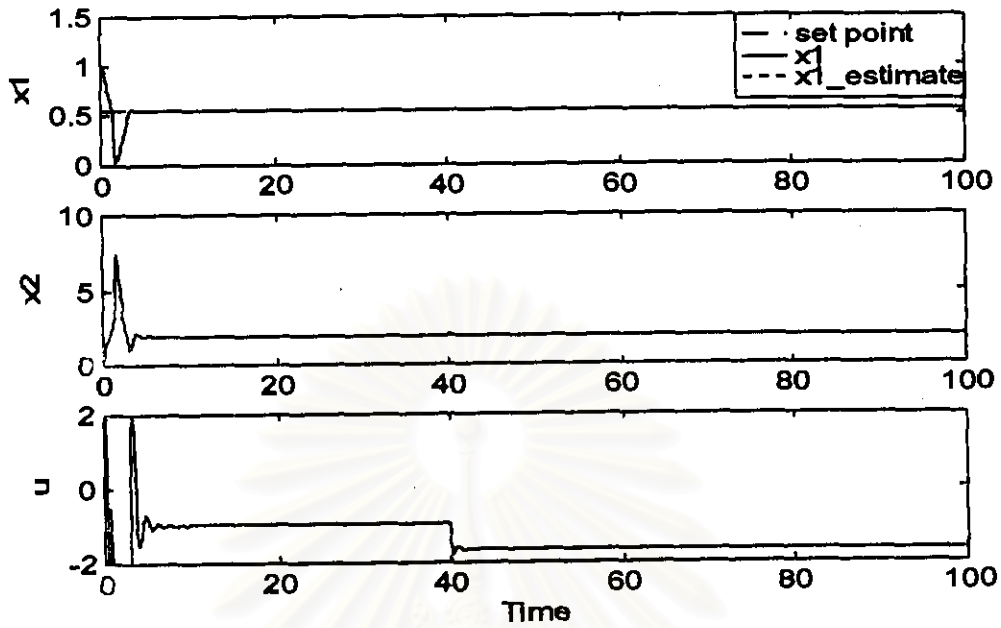
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



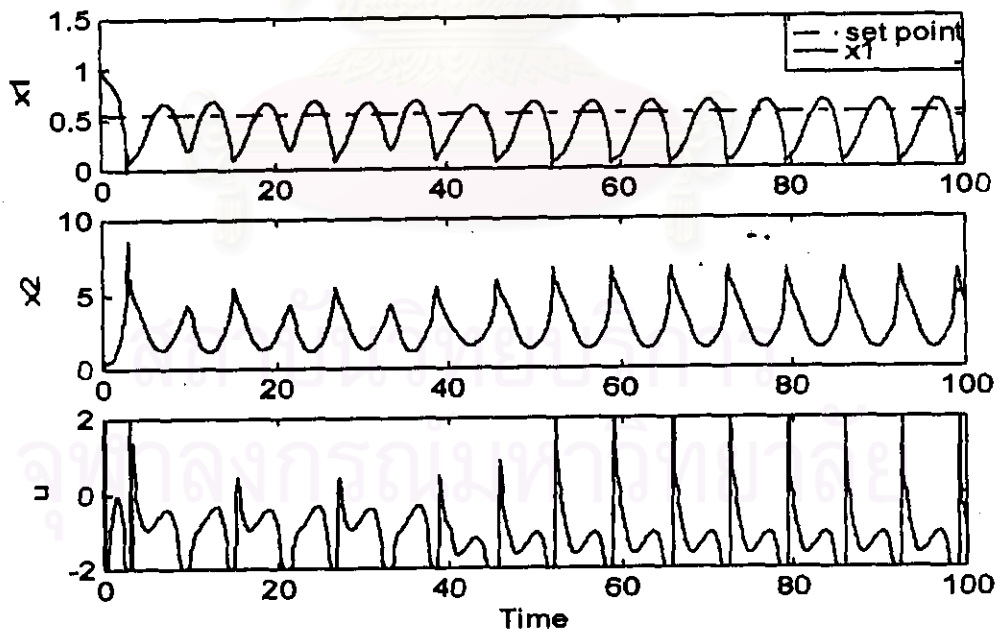
รูปที่ 6.133 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



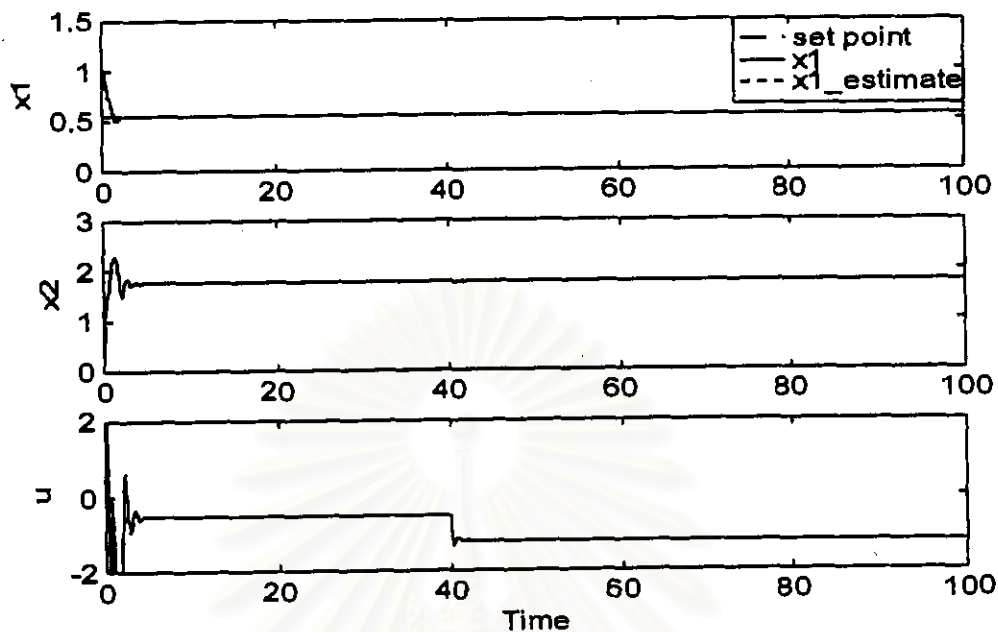
รูปที่ 6.134 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ โดยการควบคุมแบบพีไอดี



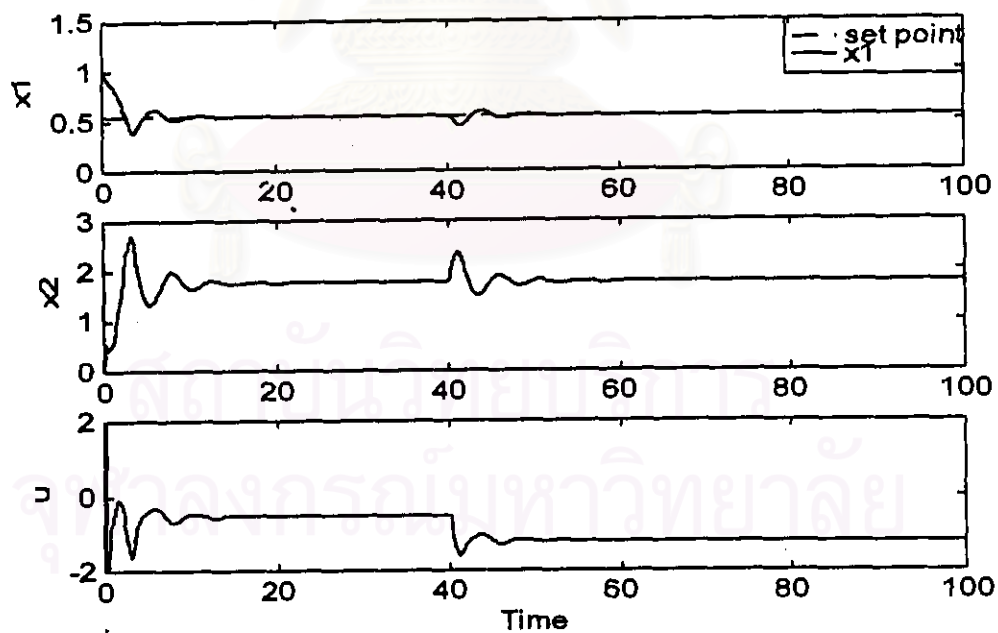
รูปที่ 6.135 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



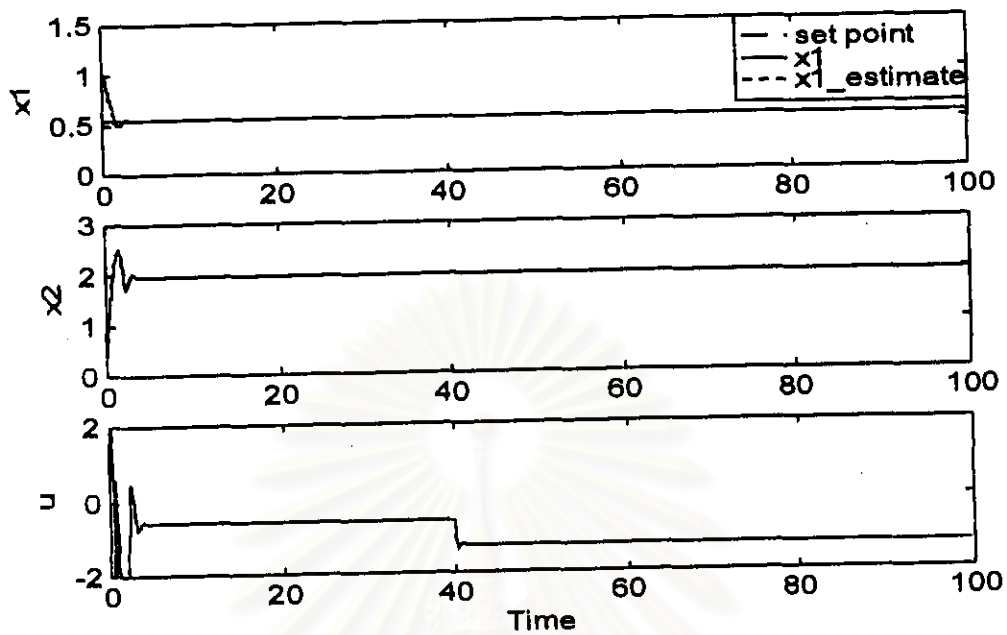
รูปที่ 6.136 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



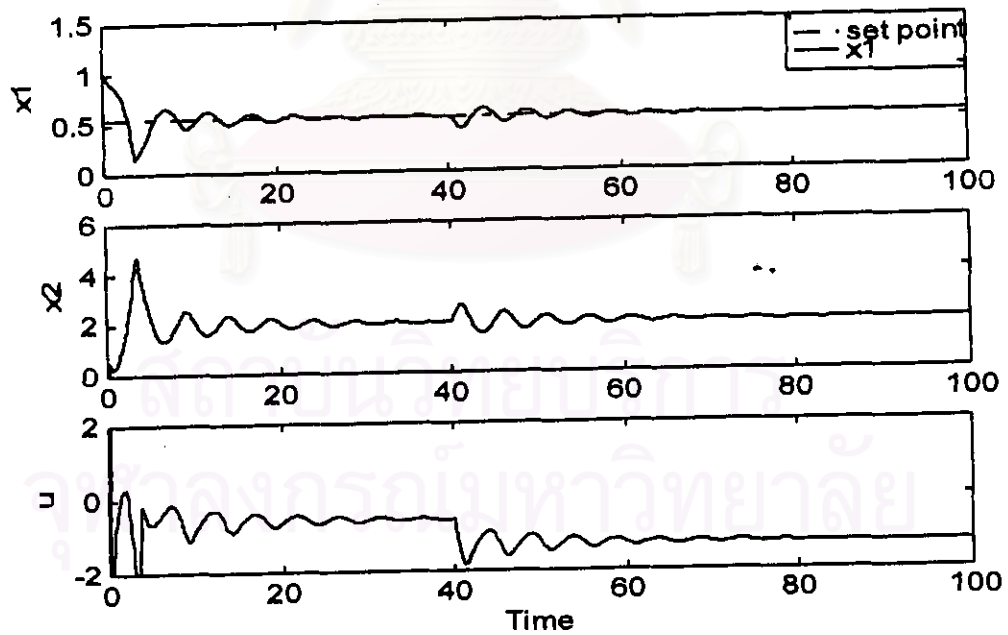
รูปที่ 6.137 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



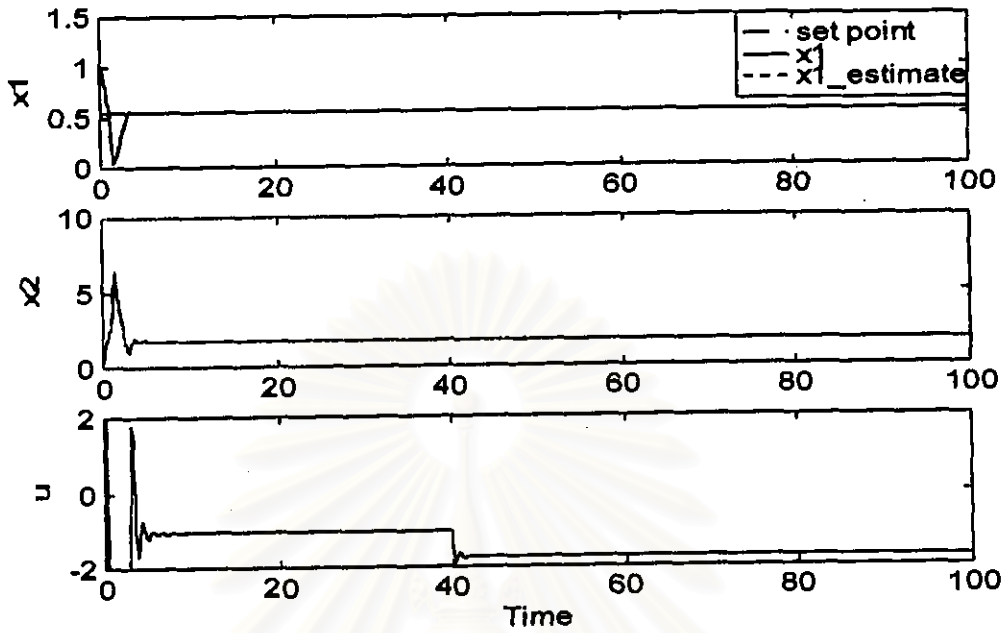
รูปที่ 6.138 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรระบบ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบทีโอดี



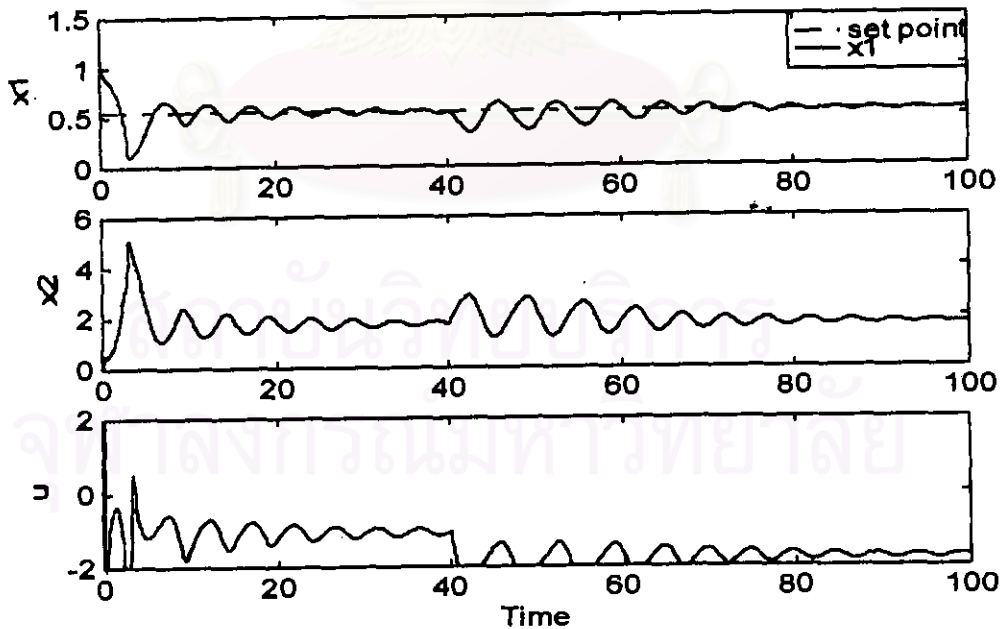
รูปที่ 6.139 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ (ค่า  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.140 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



รูปที่ 6.141 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.142 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรกระบวนการ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองกระบวนการ ( $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี



ตารางที่ 6.25 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

กรณีการควบคุม	MPC	PID
1. ควบคุมความเข้มข้นเมื่อตัวควบคุมระบบมีการเปลี่ยนแปลง		
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม $\tau = 60$	7.0	7.4
$\tau = 0$	0.4	1.6
1.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
1.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.5	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.6	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	0.4	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	0.5	-
1.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
1.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.9	19.1
1.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.4	1.5
1.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	0.4	3.2
1.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	0.9	5.5

## 2. การควบคุมความเข้มข้นเมื่อเซตพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับ

### 2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม

ในการทดลองกำหนดให้เซตพอยท์เปลี่ยนแปลงแบบสลับลดลง 30% ที่เวลา  $\tau = 40$  หลังจากจากระบบเข้าสู่เซตพอยท์ค่าแรก [ $x_1 = 0.5504$ ] จากนั้นกำหนดให้ค่าเซตพอยท์เพิ่มขึ้นสูงกว่า

เชื้อทอซท์ค่าแรก 30% ที่เวลา  $\tau = 60$  พิจารณาการตอบสนองของกระบวนการเปรียบเทียบที่ขมผลการควบคุมในการติดตามค่าเชื้อทอซท์ สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.20 แสดงดังรูปที่ 6.143 และการควบคุมแบบพีไอดี ที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.22 แสดงดังรูปที่ 6.144 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมที่ดีในการติดตามค่าเชื้อทอซท์เมื่อเชื้อทอซท์มีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีออฟเซตในการควบคุมในช่วงเวลาเริ่มต้นและช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อทอซท์ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.26 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้สมรรถนะที่ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อทอซท์ในการควบคุม

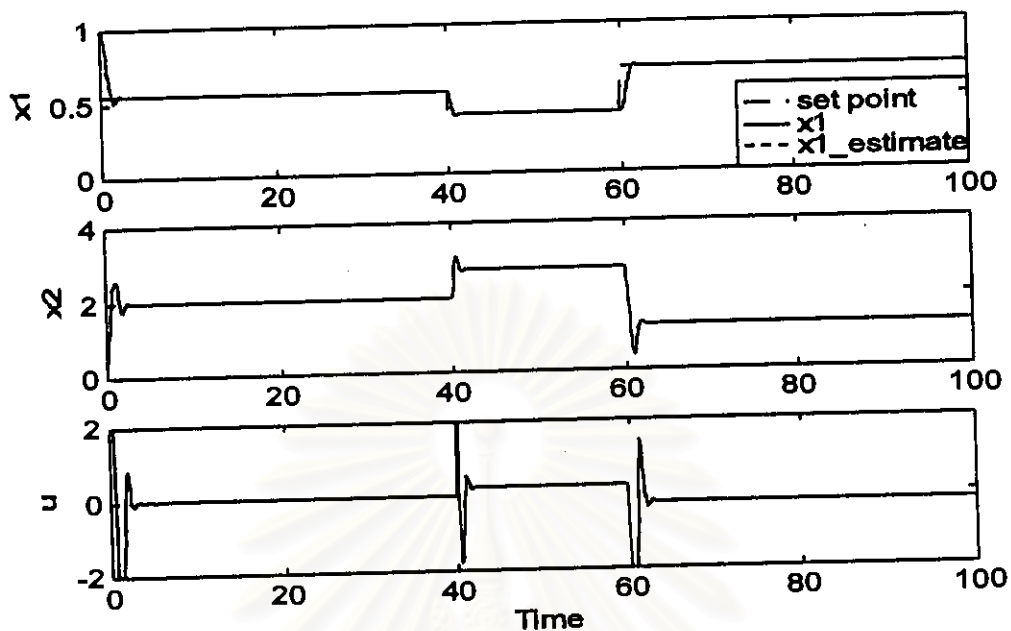
## 1.2 การทดสอบความทนทานของการควบคุม

### 1.2.1 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม

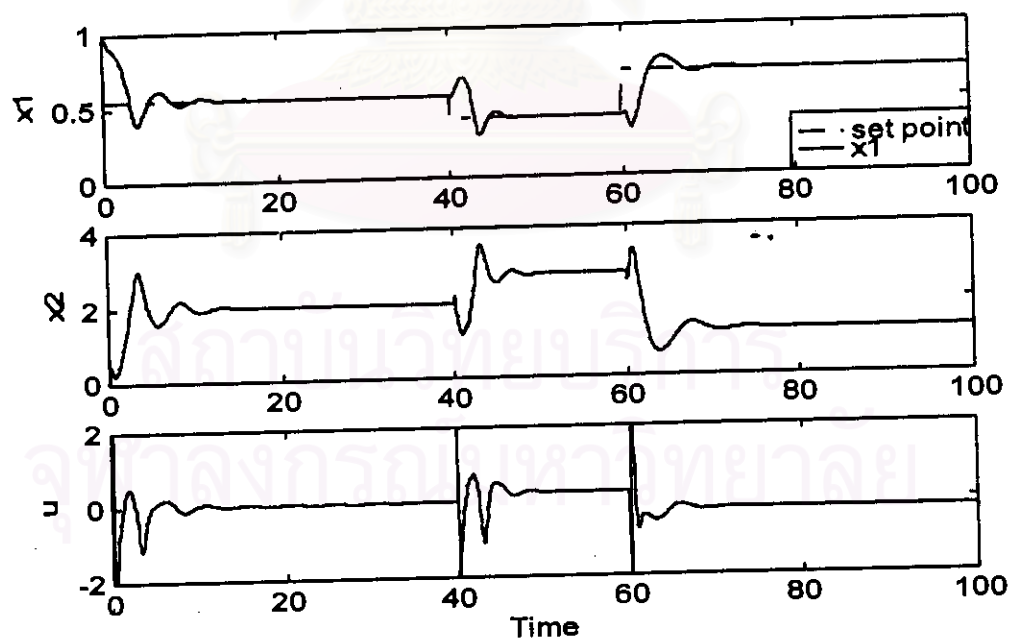
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมอุณหภูมิในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อทอซท์ และกำหนดให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ พิจารณาผลการควบคุมสำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ปรับจูนในตารางที่ 6.20 เปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความผิดพลาดในกรณีที่ ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 20% แสดงดังรูปที่ ๑.100, กรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% แสดงดังรูปที่ ๑.101, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ ๑.102 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% แสดงดังรูปที่ ๑.103 ในภาคผนวก ๑. ตามลำดับ และพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.26 พบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสามารถควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเชื้อทอซท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุมได้

## 1.2.2 การควบคุมเมื่อมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ

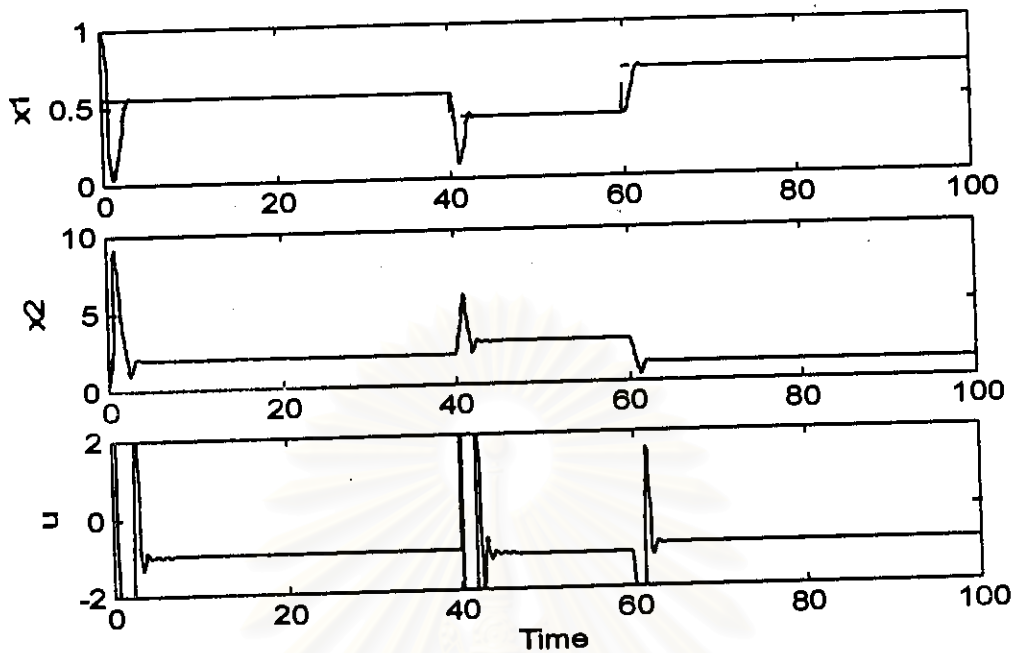
ทำการจำลองการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และกำหนดค่าให้มีความผิดพลาดของพารามิเตอร์ของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุม พิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.147 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.148 พบว่า เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีค่าออฟเซ็ทในช่วงเวลาเริ่มต้นของการควบคุมแต่ยังสามารถควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ได้ดีกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดี เมื่อพิจารณาผลการควบคุมในกรณีที่ค่าความร้อนของปฏิกิริยา,  $\beta$  เพิ่มขึ้น 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.145 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.146, กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.149 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.150 และกรณีที่ทั้งค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา,  $\phi$  เพิ่มขึ้น 20% และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน,  $\delta$  ลดลง 20% สำหรับการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟแสดงดังรูปที่ 6.151 และพีไอดีแสดงดังรูปที่ 6.152 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มี ความผิดพลาด ในขณะที่เครื่องควบคุมแบบพีไอดีมีการแกว่งของสัญญาณควบคุมอย่างมากและไม่สามารถควบคุมกระบวนการที่ค่าเซ็ทพอยท์ 2 ค่าแรกได้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการควบคุมจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากตารางที่ 6.26 พบว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟให้ค่าความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมาก แสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟมีความทนทานสูงกว่าเครื่องควบคุมแบบพีไอดีในการควบคุมความเข้มข้นในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์ และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการที่ทำการควบคุมดังกล่าว



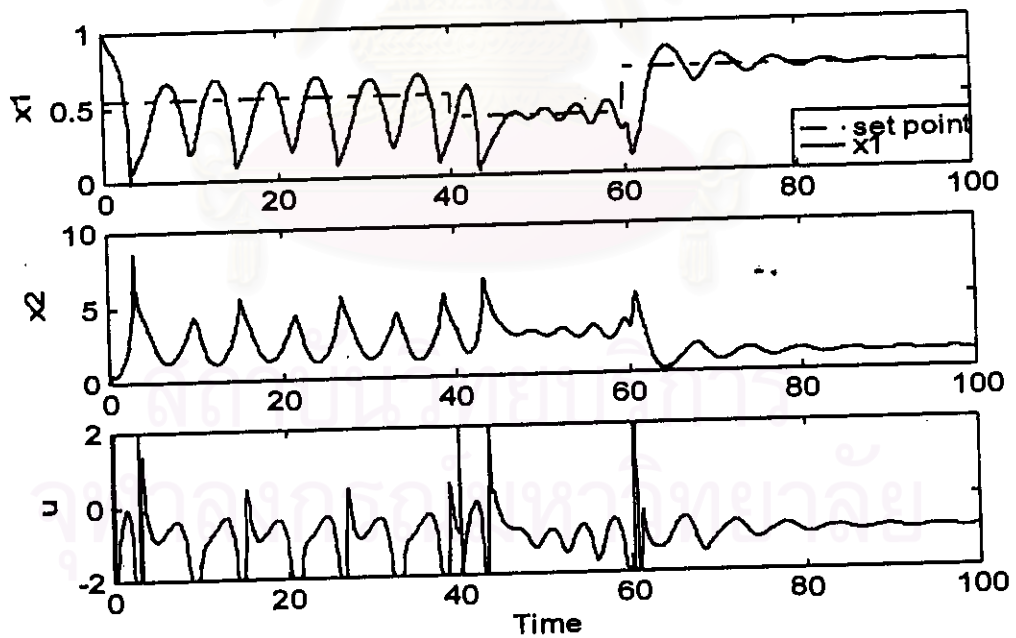
รูปที่ 6.143 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



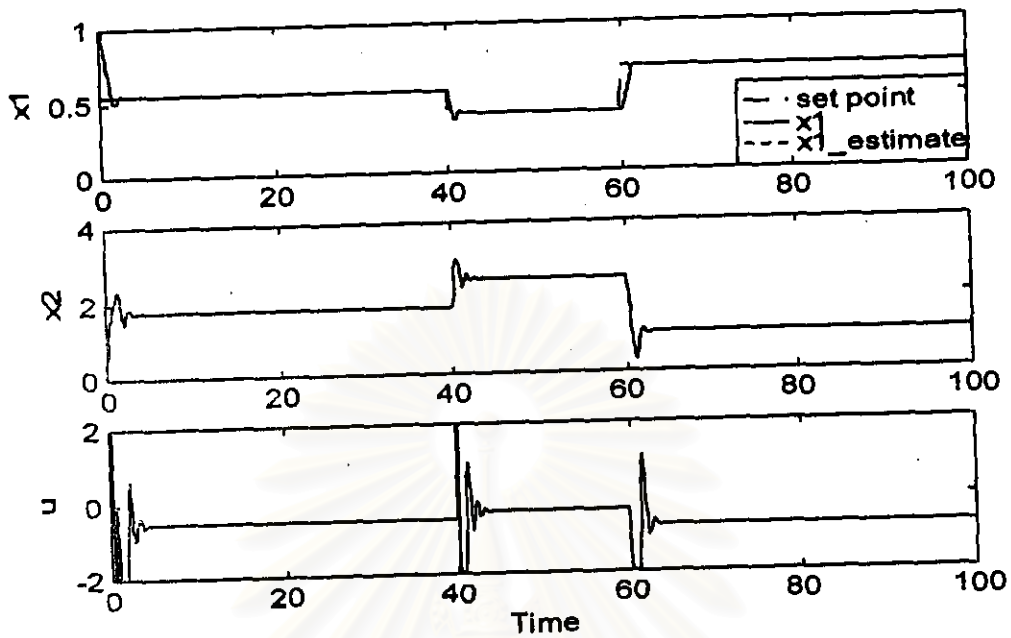
รูปที่ 6.144 ผลการควบคุมความเข้มข้นในกรณีศึกษาที่ 3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซตพอยท์โดยการควบคุมแบบพีไอดี



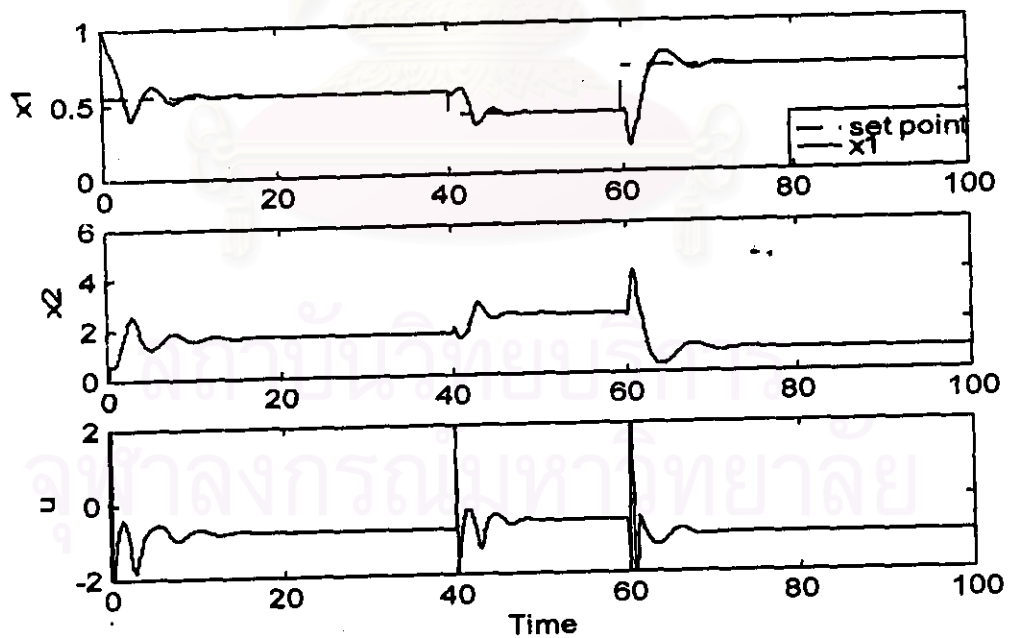
รูปที่ 6.145 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.146 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\beta$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

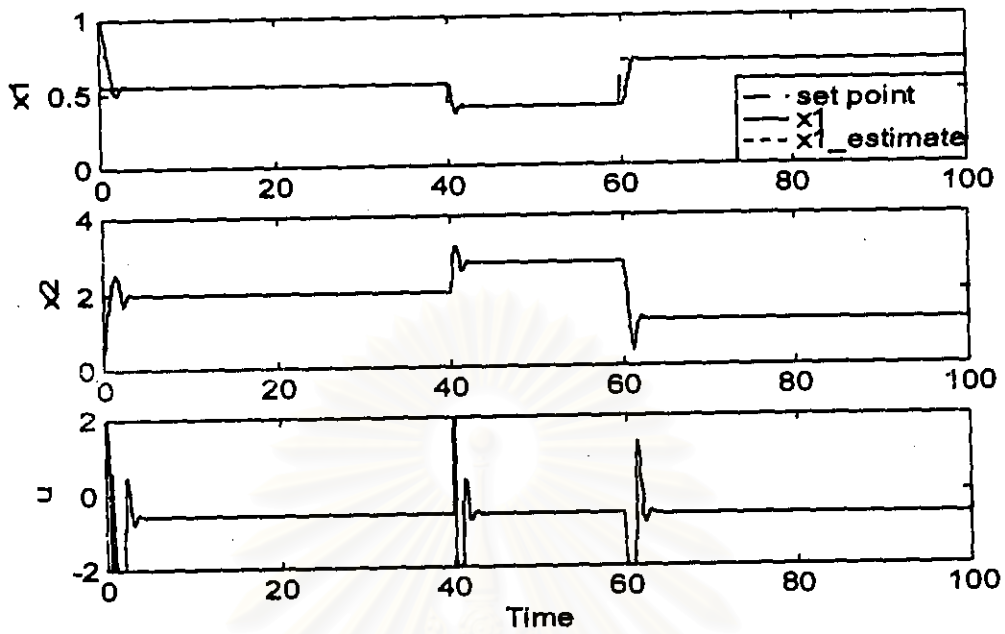


รูปที่ 6.147 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ

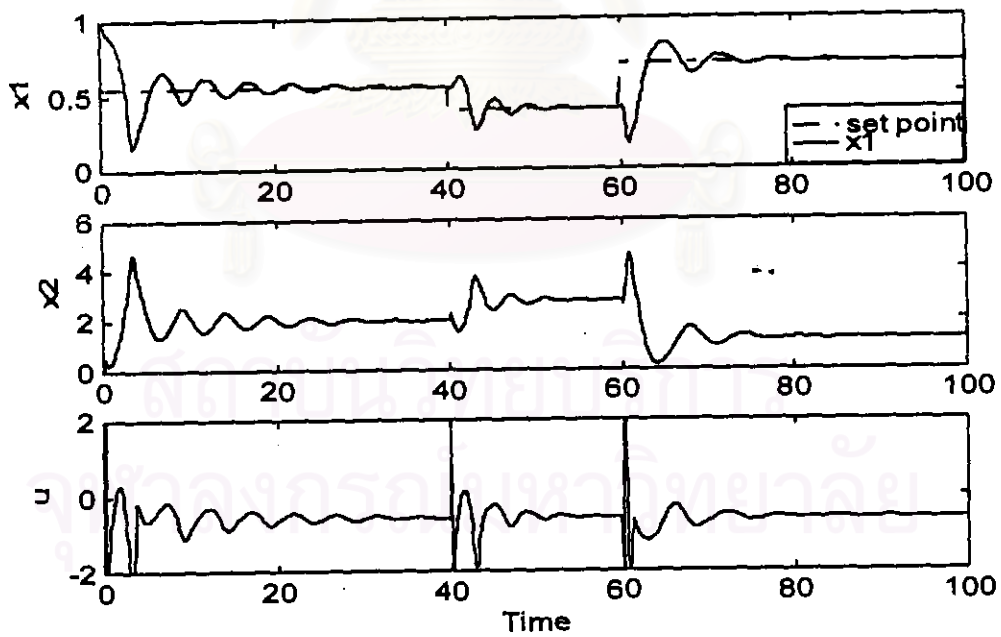


รูปที่ 6.148 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

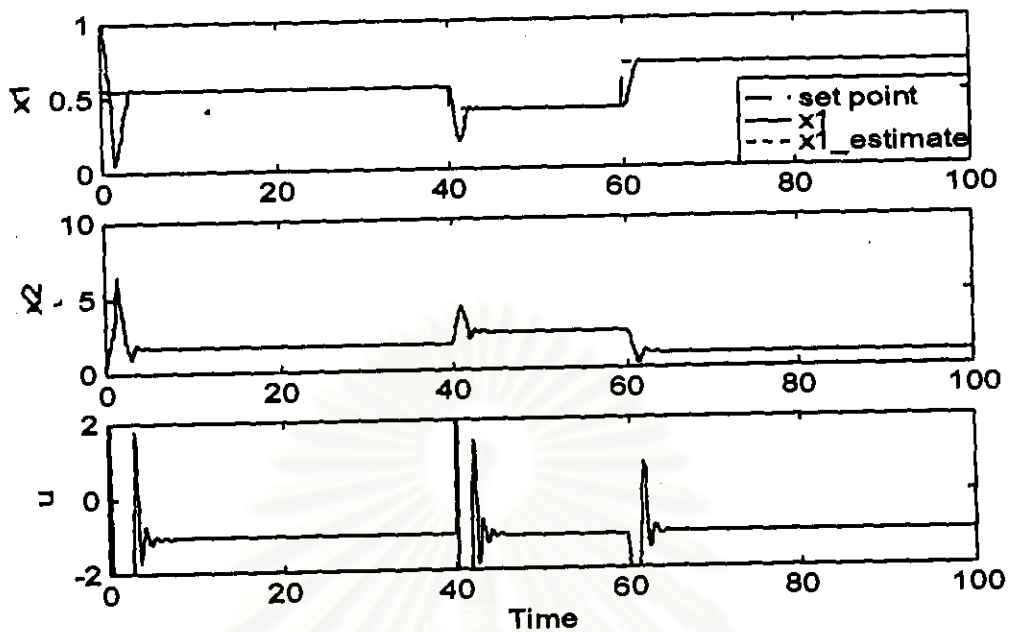




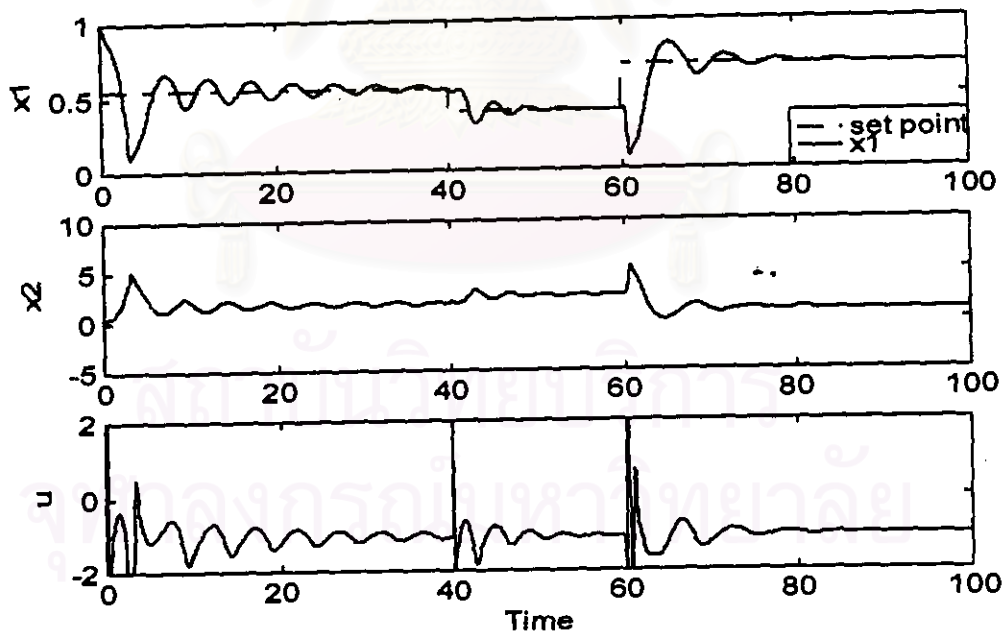
รูปที่ 6.149 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.150 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบฟัซซี



รูปที่ 6.151 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟ



รูปที่ 6.152 ผลการควบคุมความเข้มข้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์และมีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ ( $\Phi$  เพิ่มขึ้น 20% และ  $\delta$  ลดลง 20%) โดยการควบคุมแบบพีไอดี

ตารางที่ 6.26 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นเมื่อเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลงแบบสลับสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

กรณีการควบคุม	MPC	PID
2. ควบคุมความเข้มข้นเมื่อค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลง		
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะในการควบคุม	0.8	3.21
2.2 การเปรียบเทียบความทนทานในการควบคุม		
2.2.1 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของเครื่องควบคุม		
1.2.1 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.97	-
1.2.1 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	0.81	-
1.2.1 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	0.81	-
1.2.1 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	0.86	-
2.2.2 มีความผิดพลาดของแบบจำลองของกระบวนการ		
2.2.2 ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.6	21.9
2.2.2 ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.2	5.9
2.2.2 ค. $\delta$ ลดลง 20 %	1.4	9.7
2.2.2 ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 % และ $\delta$ ลดลง 20 %	2.0	11.0

พิจารณาผลการควบคุมเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมแบบพีไอดี การควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ไม่ได้ใช้ร่วมกับคาตมานฟิตเตอร์ และการควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับคาตมานฟิตเตอร์ โดยพิจารณาจากค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้ สำหรับกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี ดังตารางที่ 6.27

ตารางที่ 6.27 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีดังกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับ ไม่ได้

กรณีการควบคุม	PID	MPC	MPC with Kalman Filter
กรณีศึกษาที่ 1			
1. ค่าตัวแปรกระบวนการระบบเปลี่ยนแปลง			
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะ	10.3	10.1	10.1
1.2 การเปรียบเทียบความทนทาน			
1.2.1 แบบจำลองของเครื่องควบคุมผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	12.2	10.0
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	10.2	10.1
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	-	10.2	10.0
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	-	15.1	10.0
1.2.2 แบบจำลองของกระบวนการผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	39.2	37.0	36.9
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	31.1	30.1	30.0
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	29.4	28.7	28.5
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	33.3	32.6	31.9
2. ค่าเซ็ทพอยท์มีการเปลี่ยนแปลง			
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะ	3.2	1.8	1.1
2.2 การเปรียบเทียบความทนทาน			
2.2.1 แบบจำลองของเครื่องควบคุมผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	4.3	1.3
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	3.7	1.2
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	-	2.9	1.1
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	-	3.8	1.3



ตารางที่ 6.27 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับ ไม่ได้

กรณีการควบคุม	PID	MPC	MPC with Kalman Filter
2.2.2 แบบจำลองของกระบวนการผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	6.9	2.9	1.7
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	4.1	2.5	1.5
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	3.9	2.2	1.1
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	4.9	2.6	2.3
กรณีศึกษาที่ 2			
1. คำสั่งแปรปรวนระบบเปลี่ยนแปลง			
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะ			
1.1.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ]	2.8	1.1	0.6
1.1.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ]	24.2	18.4	0.3
1.1.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ]	4.8	0.4	0.4
1.2 การเปรียบเทียบความทนทาน			
1.2.1 แบบจำลองของเครื่องควบคุมผิดพลาด			
1.2.1.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ]			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	59.9	1.2
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	58.5	1.1
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	-	52.7	0.6
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	-	60.5	0.6
1.2.1.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ]			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	28.0	0.5
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	26.6	0.5
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	-	21.7	0.5
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	-	28.5	0.8

ตารางที่ 6.27 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีกึ่งกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิกิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้

กรณีการควบคุม	PID	MPC	MPC with Kalman Filter
1.2.1.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ]			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	0.5	0.4
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	0.4	0.4
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	-	0.5	0.4
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	-	0.5	0.4
1.2.2 แบบจำลองของกระบวนการผิดพลาด			
1.2.2.1 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.2354$ ]			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	N.A.	8.4	0.7
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	N.A.	6.7	0.5
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	5.1	3.9	0.8
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	N.A.	48.9	0.6
1.2.2.2 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.5528$ ]			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	N.A.	N.A.	1.2
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	N.A.	7.8	0.8
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	27.1	8.0	0.3
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	N.A.	18.9	1.1
1.2.2.3 ควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ [ $x_1 = 0.8560$ ]			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	N.A.	N.A.	2.1
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	5.6	1.7	1.6
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	9.6	2.0	0.5
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	N.A.	2.1	1.9



ตารางที่ 6.27 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีดังกล่าวแบบต่อเนื่องที่มีปฏิริยาความวุ่นแบบผันกลับไม่ได้

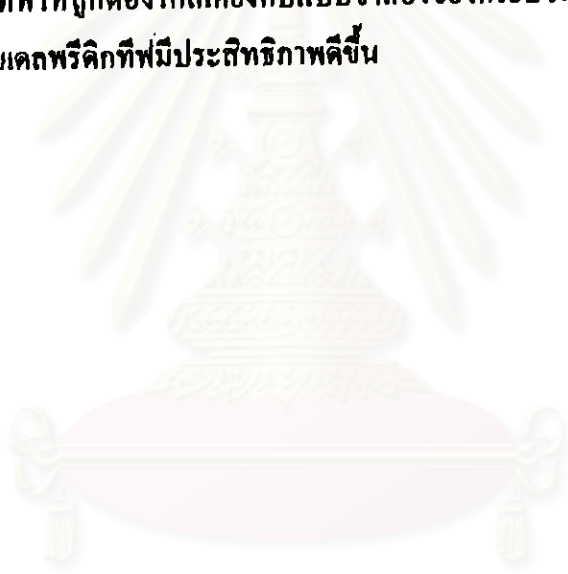
กรณีการควบคุม	PID	MPC	MPC with Kalman Filter
<b>2. ค่าเจ็ทพอยท์ที่มีการเปลี่ยนแปลง</b>			
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะ	1.2	3.3	6.9
2.2 การเปรียบเทียบความทนทาน			
2.2.1 แบบจำลองของเครื่องควบคุมผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	29.8	1.5
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	-	28.9	1.4
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	-	24.9	1.3
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	-	30.2	1.4
2.2.2 แบบจำลองของกระบวนการผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 30 %	N.A.	5.4	1.4
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 30 %	N.A.	2.9	1.3
ค. $\delta$ ลดลง 30 %	11.4	2.3	1.4
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 30 %	N.A.	5.2	1.3
<b>กรณีศึกษาที่ 3</b>			
<b>1. ค่าตัวแปรกระบวนการระบบเปลี่ยนแปลง</b>			
1.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะ	1.6	1.6	0.4
1.2 การเปรียบเทียบความทนทาน			
1.2.1 แบบจำลองของเครื่องควบคุมผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	-	13.1	0.5
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	-	5.9	0.6
ค. $\delta$ ลดลง 20 %	-	8.7	0.4
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 20 %	-	12.7	0.5

ตารางที่ 6.27 แสดงค่าอินทิกรัลของค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด (IAE) จากการควบคุมความเข้มข้นของเครื่องปฏิกรณ์เคมีถึงกวนแบบต่อเนื่องที่มีปฏิริยาคายความร้อนแบบผันกลับไม่ได้

กรณีการควบคุม	PID	MPC	MPC with Kalman Filter
1.2.2 แบบจำลองของกระบวนการผลิต			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	19.1	18.9	0.9
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	1.5	1.4	0.4
ค. $\delta$ ลดลง 20 %	3.2	2.0	0.4
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 20 %	5.5	3.1	0.9
2. ค่าเข้าหอยที่มีการเปลี่ยนแปลง			
2.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะ	3.21	3.2	0.8
2.2 การเปรียบเทียบความทนทาน			
2.2.1 แบบจำลองของเครื่องควบคุมผิดพลาด			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	-	22.8	0.97
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	-	13.9	0.81
ค. $\delta$ ลดลง 20 %	-	11.7	0.81
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 20 %	-	15.8	0.86
2.2.2 แบบจำลองของกระบวนการผลิต			
ก. $\beta$ เพิ่มขึ้น 20 %	21.9	19.4	1.6
ข. $\phi$ เพิ่มขึ้น 20 %	5.9	5.5	1.2
ค. $\delta$ ลดลง 20 %	9.7	9.8	1.4
ง. $\phi$ เพิ่มขึ้น และ $\delta$ ลดลง 20 %	11.0	10.8	2.0

จากผลการควบคุมแสดงให้เห็นว่าเครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ใช้ร่วมกับคาถมานพิตเตอร์มีความผิดพลาดในการควบคุมน้อยกว่า เครื่องควบคุมแบบโมเดลพรีดิกทีฟที่ไม่ได้ใช้ร่วมกับคาถมานพิตเตอร์และเครื่องควบคุมแบบพีไอดีตามลำดับในทุกกรณีที่ทำการศึกษาโดยพบว่า

เครื่องควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟที่ไม่ได้ใช้ร่วมกับคาถมานพิลเตอร์นั้นให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟที่ใช้ร่วมกับคาถมานพิลเตอร์ในกรณีการควบคุมปกติ แต่ให้ผลการควบคุมที่ไม่ดีในกรณีการควบคุมที่ค่าเซ็ทพอยท์ที่ไม่มีเสถียรภาพและกรณีที่ระบบมีความไม่เป็นเชิงเส้นอย่างมากและกรณีที่มีความผิดปกติของแบบจำลองของเครื่องควบคุมและแบบจำลองของกระบวนการ แสดงให้เห็นว่าคาถมานพิลเตอร์ช่วยส่งเสริมให้การควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟมีประสิทธิภาพการทำงานสูงยิ่งขึ้น เนื่องจากการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟเป็นการควบคุมที่ขึ้นกับแบบจำลอง ดังนั้นเมื่อแบบจำลองของการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟ แตกต่างจากแบบจำลองของกระบวนการจริงจะให้ผลการควบคุมที่ไม่ดี ดังนั้นจึงต้องอาศัยการประมาณค่าสเตรตและพารามิเตอร์เข้ามาช่วยในการประมาณค่าสเตรตและพารามิเตอร์ของแบบจำลองของการควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟให้ถูกต้องใกล้เคียงกับแบบจำลองของกระบวนการจริงมากที่สุดซึ่งจะทำให้การควบคุมแบบ โมเดลพรีดิคทีฟมีประสิทธิภาพดีขึ้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย