

## บทที่ 5

### ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

ในบทนี้เป็นการนำตัวประมาณออนไลน์มาประยุกต์ใช้ตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องเป็นส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญในกระบวนการทางอุตสาหกรรมเคมีทั่วไป ในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องนอกจากจำเป็นต้องมีการควบคุมที่เหมาะสมแล้ว ยังจำเป็นต้องมีระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติเพื่อป้องกันหรือลดความเสียหายอันเนื่องมาจากการเกิดความผิดปกติ ได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบนี้เช่น การประยุกต์ใช้ข่ายงานในการจดจำรูปแบบความผิดปกติจากตัวแปรในสภาวะคงตัวของ V. Venkatasubramanian, R. Vaidyanathan และ Y. Yamamoto [25] หรือในงานของ Y. Maki และ K.A. Loparo [26] ซึ่งใช้ข่ายงานประสาทในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในภาวะชั่วคราว

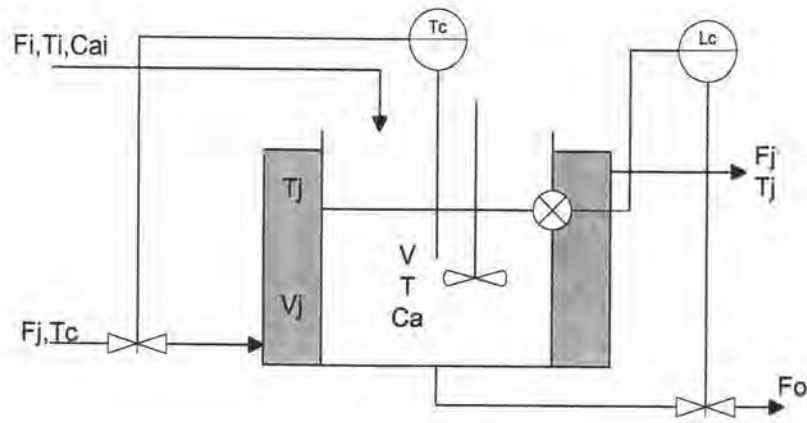
งานวิทยานิพนธ์ในบทนี้เป็นการศึกษาการนำตัวประมาณออนไลน์มาประยุกต์ใช้กับระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง โดยศึกษาครอบคลุมถึงวิธีการพัฒนาเพื่อให้ตัวประมาณออนไลน์สามารถตรวจพบและวินิจฉัยได้ในกรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังปฏิกรณ์

#### 5.1 ระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องที่พิจารณาในที่นี้ เป็นปฏิกิริยาเคมีของสารชนิดเดียวจากสาร  $A$  ไปเป็นสาร  $B$  ( $A \xrightarrow{k} B$ ) โดยที่ความร้อนในปฏิกิริยามีค่า  $\Delta H$  (btu/lb.mol ของสาร  $A$  ที่เกิดปฏิกิริยา) กระบวนการดังกล่าวมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (exothermic)
- เป็นกระบวนการที่ย้อนกลับไม่ได้ (irreversible)

รูปที่ 5.1 แสดงระบบปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยสารที่ไหลเข้าถึงด้วยอัตราการไหล  $F_i$  โดยมีการควบคุมระดับของเหลวในถังด้วยการควบคุมปริมาณของเหลวที่ไหลออก  $F_o$  สำหรับอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาควบคุมโดยน้ำเย็นที่ไหลเข้ายังถังหุ้ม (jacket)  $F_j$  เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 5.1 แผนภาพกระบวนการดังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

### 5.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบดังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง[24] สามารถหาได้จาก สมดุลของมวลสาร และสมดุลพลังงาน โดยมีสมมติฐานดังนี้คือ

- การสูญเสียความร้อนมีค่าน้อยมาก
- ความหนาแน่นของสารคงที่
- สารในถังปฏิกรณ์ผสมกันสมบูรณ์

และความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยน้ำเย็นที่ไหลผ่านในถังหุ้ม ดังในรูปที่ 5.1 โดยน้ำเย็นจะถูกฉีดเข้าไปในถังหุ้มด้วยอัตราการไหล  $F_j$  ที่อุณหภูมิ  $T_c$  โดยที่ปริมาตรของน้ำในถังหุ้ม  $V_j$  คงที่ ในที่นี้ไม่พิจารณาถึงความเฉื่อยทางความร้อน (thermal inertia) ของผนังโลหะ ทั้งนี้เพราะค่าความจุความร้อนของผนังโลหะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความจุความร้อนของน้ำ สำหรับในแบบจำลองที่ใช้นี้จะสมมติว่าน้ำในถังหุ้มผสมกันอย่างสมบูรณ์ นั่นคือ น้ำในถังหุ้มจะมีอุณหภูมิเท่ากันทุกจุด ดังนั้นปริมาณการถ่ายเทความร้อนของกระบวนการที่อุณหภูมิ  $T$  กับน้ำเย็นที่อุณหภูมิ  $T_j$  จะเป็น

$$Q = Ua_0(T - T_j) \quad (5.1)$$

- เมื่อ  $Q$  คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (heat transfer rate)  
 $U$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (overall heat transfer coefficient)  
 $a_0$  คือ พื้นที่ที่ถ่ายเทความร้อน (heat transfer area)

จากสมมติฐานที่กล่าวมาข้างต้น สมการระบบเขียนได้ดังนี้คือ

$$\frac{dV}{dt} = F_i - F_o \quad (5.2)$$

$$\frac{d(VCa)}{dt} = F_i Ca_i - F_o Ca - V \left( k_o \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \right) Ca \quad (5.3)$$

$$\rho c_p \frac{d(VT)}{dt} = \rho c_p (F_i T_i - F_o T) - \Delta H V \left( k_o \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \right) Ca - U a_o (T - T_j) \quad (5.4)$$

$$\rho_j V_j c_j \frac{dT_j}{dt} = \rho_j c_j F_j (T_c - T_j) + U a_o (T - T_j) \quad (5.5)$$

เมื่อ

$Ca_i, Ca$  คือ ความเข้มข้นของสาร A เข้าและออก ตามลำดับ ( $0.50, 0.245 \text{ lb} \cdot \text{mol A} / \text{ft}^3$ )

$F_i, F_o$  คือ อัตราการไหลของของเหลว เข้าและออก ตามลำดับ ( $40 \text{ ft}^3 / \text{h}$ )

$F_j$  คือ อัตราการไหลของน้ำเย็น ( $49.9 \text{ ft}^3 / \text{h}$ )

$V$  คือ ปริมาตรของของเหลวในแท็งก์ ( $48 \text{ ft}^3$ )

$T_i$  คือ อุณหภูมิของของเหลวที่ เข้า ( $530^\circ \text{R}$ )

$T$  คือ อุณหภูมิของของเหลวในถัง ( $600^\circ \text{R}$ )

$T_j$  คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออก ( $594.6^\circ \text{R}$ )

$T_c$  คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้า ( $530^\circ \text{R}$ )

$k_o$  คือ แฟกเตอร์ความถี่ (frequency factor) ( $7.08 \times 10^{10} \text{ h}^{-1}$ )

$E_a$  คือ พลังงานกระตุ้น ( $30,000 \text{ Btu} / \text{lb} \cdot \text{mol}$ )

$R$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซ ( $1.99 \text{ Btu} / \text{lb} \cdot \text{mol}^\circ \text{R}$ )

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของเหลวในถัง ( $50 \text{ lb}_m / \text{ft}^3$ )

$c_p$  คือ ความจุความร้อนของของเหลวในถัง ( $0.75 \text{ Btu} / \text{lb}_m^\circ \text{R}$ )

$\Delta H$  คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา ( $-30,000 \text{ Btu} / \text{lb} \cdot \text{mol}$ )

$a_o$  คือ พื้นที่ที่แลกเปลี่ยนความร้อน ( $250 \text{ ft}^2$ )

$U$  คือ สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อน ( $150 \text{ Btu} / \text{h ft}^2^\circ \text{R}$ )

$V_j$  คือ ปริมาตรของถังหุ้ม ( $3.85 \text{ ft}^3$ )

$c_j$  คือ ความจุความร้อนของน้ำเย็น ( $1 \text{ Btu} / \text{lb}_m^\circ \text{R}$ )

$\rho_j$  คือ ความหนาแน่นของน้ำเย็น ( $62.3 \text{ lb}_m / \text{ft}^3$ )

### 5.1.2 การควบคุมระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

การควบคุมระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง โดยปกติมักจะต้องการควบคุมให้อุณหภูมิของกระบวนการ ( $T$ ) คงที่ ซึ่งในที่นี้ทำการควบคุมโดยใช้วงรอบควบคุมสองวงคือ

1. ควบคุมปริมาตรของสารในถังโดยการปรับอัตราการไหลออกของสาร  $F_o$
2. ควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการ  $T$  โดยการปรับอัตราการไหลของน้ำเย็น  $F_j$

สำหรับตัวควบคุมที่ใช้ควบคุมแต่ละวงรอบใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดังสมการข้างล่าง

$$F_o = 40 - 10(48 - V) - 40 \int (48 - V) \quad (5.6)$$

$$F_j = 49.9 - 4(600 - T) - 10 \int (600 - T) \quad (5.7)$$

### 5.1.3 ความผิดพลาดที่พิจารณาในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

ในที่นี้พิจารณาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรภายนอก (exogeneous variable) สำหรับระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องดังแสดงในตาราง 5.1 ข้างล่างนี้

สัญลักษณ์	ลักษณะความผิดพลาด
f#1p	อัตราการไหลของสารเข้ามีค่ามากขึ้น
f#1n	อัตราการไหลของสารเข้ามีค่าน้อยลง
f#2p	ความเข้มข้นของสารเข้ามีค่ามากขึ้น
f#2n	ความเข้มข้นของสารเข้ามีค่าน้อยลง
f#3p	อุณหภูมิของสารเข้ามีค่ามากขึ้น
f#3n	อุณหภูมิของสารเข้ามีค่าน้อยลง
f#4p	อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าถังหุ้มมีค่ามากขึ้น
f#4n	อุณหภูมิของน้ำเย็นที่เข้าถังหุ้มมีค่าน้อยลง

ตารางที่ 5.1 ความผิดพลาดในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

## 5.2 ระบบตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

ในการนำตัวประมาณออนไลน์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในระบบถังปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง ต้องจัดรูปสมการใหม่ตามสมการ (3.17)

$$\dot{x} = \xi(x, u) + Ef(x, u)$$

ดังนั้นจากสมการ (5.2) - (5.4) จัดรูปสมการใหม่โดยคำนึงถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นจะได้

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} V \\ VCa \\ VT \\ T_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_i - F_o \\ F_i Ca_i - F_o Ca - V \left( k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \right) Ca \\ F_i T_i - F_o T - \frac{\Delta H V}{\rho c_p} \left( k_0 \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \right) Ca + \frac{U a_0}{\rho c_p} (T - T_j) \\ \frac{F_j}{V_j} (T_c - T_j) + \frac{U a_0}{\rho_j V_j c_j} (T - T_j) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ Ca_i & F_i & 0 & 0 \\ T_i & 0 & F_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{V_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_i \\ \Delta Ca_i \\ \Delta T_i \\ F_j \Delta T_c \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

เนื่องจากขนาดของตัวแปรมีความแตกต่างกันมาก เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงจำเป็นต้องเป็นเปลี่ยนตัวแปรให้อยู่ในรูปนอร์มอลไลซ์ของตัวแปรรอบจุดทำงาน

$$\begin{aligned} V_s &= 48 \text{ ft}^3 & T_{js} &= 594.6 \text{ R} \\ Ca_s &= 0.245 \text{ lb.mol/ft}^3 & F_{os} &= 40 \text{ ft}^3/\text{h} \\ T_s &= 600 \text{ R} & F_{js} &= 49.9 \text{ ft}^3/\text{h} \end{aligned}$$

ซึ่งจะได้ตัวแปรใหม่ดังนี้

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{V - V_s}{V_s}, & x_2 &= \frac{VCa - V_s Ca_s}{V_s Ca_s}, & x_3 &= \frac{VT - V_s T_s}{V_s T_s} \\ x_4 &= \frac{T_j - T_{js}}{T_{js}}, & u_1 &= \frac{F_o - F_{os}}{F_{os}}, & u_2 &= \frac{F_j - F_{js}}{F_{js}} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้สมการสถานะของระบบใหม่ดังนี้คือ

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{F_i}{V} - \frac{F_{os}}{V} (u_1 + 1) \\ \frac{F_i Ca_i}{V_s Ca_s} - \frac{F_{os}}{V_s} (u_1 + 1) \frac{(x_2 + 1)}{(x_1 + 1)} - k_0 (x_2 + 1) \exp\left(\frac{-E_a (x_1 + 1)}{RT_s (x_3 + 1)}\right) \\ \frac{F_i T_i}{V_s T_s} - \frac{F_{os}}{V_s} (u_1 + 1) \frac{(x_3 + 1)}{(x_1 + 1)} - \frac{\Delta H Ca_s k_0}{\rho c_p T_s} (x_2 + 1) \exp\left(\frac{-E_a (x_1 + 1)}{RT_s (x_3 + 1)}\right) - \frac{Ua_0 (x_3 + 1)}{\rho c_p V_s (x_1 + 1)} + \frac{Ua_0 T_{js}}{\rho c_p V_s T_s} (x_4 + 1) \\ \frac{T_c F_{js}}{V_j T_{js}} (u_2 + 1) - \frac{F_{js}}{V_j} (u_2 + 1) (x_4 + 1) + \frac{Ua_0 T_s (x_3 + 1)}{\rho_j V_j c_j T_{js} (x_1 + 1)} - \frac{Ua_0}{\rho_j V_j c_j} (x_4 + 1) \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \frac{1}{1 + \frac{Ca_i}{Ca_s} + \frac{T_i}{T_s}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{Ca_i}{Ca_s + Ca_i + \frac{Ca_s T_i}{T_s}} & 1 & 0 & 0 \\ \frac{T_i}{T_s + \frac{Ca_i T_s}{Ca_s} + T_i} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_i \left( \frac{1}{V_s} + \frac{Ca_i}{V_s Ca_s} + \frac{T_i}{V_s T_s} \right) \\ \Delta Ca_i \frac{F_i}{V_s Ca_s} \\ \Delta T_i \frac{F_i}{V_s T_s} \\ \Delta T_c \frac{F_{js} (u_2 + 1)}{V_j T_{js}} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

จากสมการ (5.9) เห็นว่าสมการดังกล่าวสอดคล้องกับเงื่อนไขในการวินิจฉัย ดังนั้นจึงสามารถสร้างตัวประมาณแบบจำลองตามสมการ (3.18) และใช้กฎการเรียนรู้ตามสมการ (3.19) ในปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวประมาณออนไลน์ สำหรับในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ในที่นี้เลือกใช้ข่ายงานเรเดียลเบซีสที่มีโคเมนครอบคลุมดังตารางที่ 5.2

ตัวแปร	โคเมน
$x_1$	-0.5 ถึง 0.5
$x_2$	-0.5 ถึง 0.5
$x_3$	-0.5 ถึง 0.5
$u_1$	-5 ถึง 5
$u_2$	-5 ถึง 5

ตารางที่ 5.2 โคเมนของข่ายงานเรเดียลเบซีส สำหรับระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

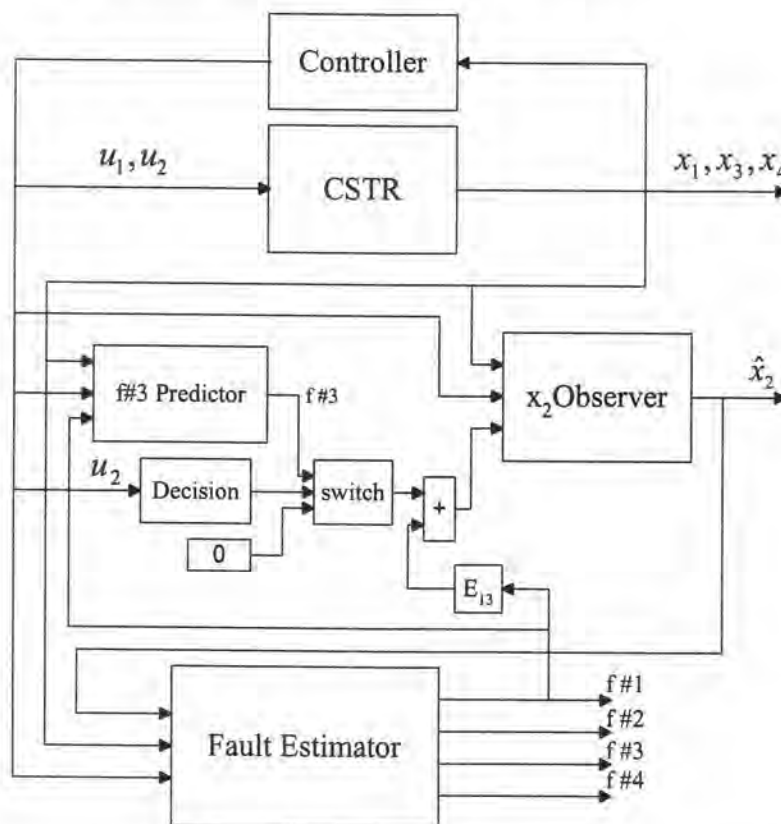
### 5.3 การพัฒนาปรับปรุงสำหรับกรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารเข้า

โดยทั่วไปแล้วในระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง ความเข้มข้นของสารในถังซึ่งเป็นตัวแปรสถานะตัวหนึ่งของระบบทำการวัดได้ยาก ดังนั้นเพื่อความสอดคล้องกับในทางปฏิบัติในส่วนนี้จึงนำเสนอวิธีการปรับปรุงโครงสร้างในการนำตัวประมาณออนไลน์มาประยุกต์ใช้กับระบบนี้

แนวความคิดของการปรับปรุงที่นำเสนอในที่นี้ อยู่บนพื้นฐานการพยายามที่จะสังเกตตัวแปรสถานะ  $x_2$  ในสมการ (5.9) ซึ่งแปรตามความเข้มข้นของสารในถัง ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดปกติ โดยอาศัยความรู้ที่มีเกี่ยวกับระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง

โครงสร้างการปรับปรุงที่นำเสนอซึ่งแสดงในรูปที่ 5.2 ประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ดังนี้

- ตัวประมาณความผิดปกติ (Fault Estimator)
- ตัวสังเกตตัวแปรสถานะ  $x_2$  ( $x_2$  Observer)
- ตัวทำนายความผิดปกติ f#3 ( f#3 Predictor)
- ตัวตัดสินใจและสวิตช์ (Decision and switch)



รูป 5.2 โครงสร้างที่ปรับปรุงสำหรับการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติเมื่อไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังได้

### 1. ตัวประมาณความผิดปกติ

ตัวประมาณความผิดปกติในโครงสร้างนี้คือ ตัวประมาณแบบจำลองใช้ตัวประมาณออนไลน์ที่เสนอในข้างต้น แต่เนื่องจากตัวแปร  $x_2$  ไม่สามารถวัดได้ดังนั้นในโครงสร้างนี้จึงใช้  $\hat{x}_2$  ที่ได้จากตัวสังเกตแทน

## 2. ตัวสังเกตตัวแปรสถานะ $x_2$

เนื่องจากตัวแปร  $x_2$  ไม่สามารถวัดได้ ดังนั้นในโครงสร้างที่นำเสนอนี้จึงพยายามสร้างตัวสังเกตที่สามารถประมาณ  $x_2$  ได้ทั้งในสภาวะปกติและสภาวะที่เกิดความผิดพลาด จากสมการ (5.9) ในสภาวะปกติจะได้

$$\begin{aligned} \frac{dx_3}{dt} = & \frac{F_i T_i}{V_s T_s} - \frac{F_{os}}{V_s} \frac{(u_1 + 1)(x_3 + 1)}{(x_1 + 1)} - \frac{\Delta H C a_s k_0}{\rho c_p T_s} (x_2 + 1) \exp\left(\frac{-E_a}{RT_s} \frac{(x_1 + 1)}{(x_3 + 1)}\right) \\ & - \frac{U a_0}{\rho c_p V_s} \frac{(x_3 + 1)}{(x_1 + 1)} + \frac{U a_0 T_{js}}{\rho c_p V_s T_s} (x_4 + 1) \end{aligned} \quad (5.10)$$

จากสมการ (5.10) เนื่องจากตัวแปร  $x_2$  อยู่ในรูปของพารามิเตอร์ที่เป็นเชิงเส้น ดังนั้นจึงสามารถนำหลักการของการประมาณพารามิเตอร์ [21] มาประยุกต์ใช้ ดังนั้นจากสมการ (5.10) จะได้ตัวสังเกตในรูปของ

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{x}_3}{dt} = & \frac{F_i T_i}{V_s T_s} - \frac{F_{os}}{V_s} \frac{(u_1 + 1)(x_3 + 1)}{(x_1 + 1)} - \frac{\Delta H C a_s k_0}{\rho c_p T_s} (\hat{x}_2 + 1) \exp\left(\frac{-E_a}{RT_s} \frac{(x_1 + 1)}{(x_3 + 1)}\right) \\ & - \frac{U a_0}{\rho c_p V_s} \frac{(x_3 + 1)}{(x_1 + 1)} + \frac{U a_0 T_{js}}{\rho c_p V_s T_s} (x_4 + 1) + g(\hat{x}_3 - x_3) \end{aligned} \quad (5.10)$$

เมื่อ  $\hat{x}_2$  คือ ตัวประมาณตัวแปร  $x_2$

$\hat{x}_3$  คือ ตัวประมาณตัวแปร  $x_3$

$g$  คือ ค่าคงที่ มีค่าเป็นลบ

จากสมการ (5.9) และ (5.10) เมื่อให้  $e := x_3 - \hat{x}_3$  จะได้

$$\frac{de}{dt} = -\frac{\Delta H C a_s k_0}{\rho c_p T_s} (x_2 - \hat{x}_2) + ge \quad (5.11)$$

เลือกฟังก์ชันเลียปูนอฟ

$$V = \frac{1}{2} e^2 + \frac{1}{2\alpha} (x_2 - \hat{x}_2)^2 \quad \text{โดย } \alpha > 0 \quad (5.12)$$

หาอนุพันธ์อันดับหนึ่งจะได้



$$\begin{aligned}
\dot{V} &= e\dot{e} + \frac{1}{\alpha}(x_2 - \hat{x}_2)\dot{\hat{x}}_2 \\
&= g|e|^2 + e\left(-\frac{\Delta HCa_s k_0}{\rho c_p T_s}\right)(x_2 - \hat{x}_2) - \frac{1}{\alpha}(x_2 - \hat{x}_2)\dot{\hat{x}}_2 \\
&= g|e|^2 + (x_2 - \hat{x}_2)\left[e\left(-\frac{\Delta HCa_s k_0}{\rho c_p T_s}\right) - \frac{1}{\alpha}\dot{\hat{x}}_2\right]
\end{aligned} \tag{5.13}$$

จากสมการ (5.13) เนื่องจาก  $g$  มีค่าเป็นลบ ดังนั้นจะได้กฎการปรับตัวประมาณ  $\hat{x}_2$  ที่ให้อनुพันธ์อันดับหนึ่งเป็นลบ ดังนี้

$$\frac{d\hat{x}_2}{dt} = \alpha\left(-\frac{\Delta HCa_s k_0}{\rho c_p T_s}\right)(x_2 - \hat{x}_2) \tag{5.14}$$

จากสมการ (5.10) และ (5.14) เป็นการประมาณตัวแปร  $x_2$  ในสภาวะปกติ ดังนั้นเพื่อให้ตัวสังเกตยังคงสามารถประมาณ  $x_2$  ได้ในช่วงที่เกิดความผิดพลาดจึงต้องเพิ่มส่วนของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเข้าไปในสมการ (5.10) ดังนี้คือ

$$\frac{d\hat{x}_3}{dt} = \xi(x_1, x_3, x_4, u_1, u_2, \hat{x}_2, \hat{x}_3) + g(x_3 - \hat{x}_3) + \frac{T_i}{T_s + \frac{Ca_i T_s}{Ca_s} + T_i} f_1 + f_3^P \tag{5.15}$$

เมื่อ

- $f_1$  คือ ค่าประมาณความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารเข้าจากตัวประมาณความผิดพลาด  $\left(\approx \Delta F_i\left(\frac{1}{V_s} + \frac{Ca_i}{V_s Ca_s} + \frac{T_i}{V_s T_s}\right)\right)$
- $f_3^P$  คือ ค่าประมาณความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารเข้าจากตัวทำนายความผิดพลาด #3
- $\xi(\cdot)$  คือ ฟังก์ชันของระบบในสภาวะปกติ

จากสมการ (5.15) จะเห็นว่าสมการดังกล่าวไม่ใช่ค่าประมาณจากตัวประมาณความผิดพลาดสำหรับความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารเข้า (#3) เพราะทั้งการประมาณความผิดพลาดและการประมาณตัวแปร  $x_2$  ต่างใช้สมการ (5.10) เป็นพื้นฐานในการประมาณเช่นเดียวกัน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในโครงสร้างนี้จึงใช้ค่าที่ได้จากการประมาณด้วยตัวทำนายความผิดพลาด #3 แทนซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

### 3. ตัวทำนายความผิดพลาด #3

ตัวทำนายความผิดพลาด #3 เป็นการประมาณความผิดพลาดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารเข้า ภายใต้สมมติฐานว่า พลวัตของตัวแปรสถานะเข้าสู่ภาวะคงตัวแล้ว ดังนั้นจะได้

$$x_2^{ss} = \left( \frac{F_i Ca_i}{V_s Ca_s} - \frac{F_{oz} (u_1 + 1)(x_2 + 1)}{V_s (x_1 + 1)} + \frac{Ca_i}{Ca_s + Ca_i + \frac{Ca_s T_i}{T_s}} f_1 \right) / \left( k_0 \exp\left(\frac{-E_a (x_1 + 1)}{RT_s (x_3 + 1)}\right) \right) - 1 \quad (5.16)$$

เมื่อ

$f_1$  คือ ค่าประมาณความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสารเข้าจากตัวประมาณความผิดพลาด  $\left( \approx \Delta F_i \left( \frac{1}{V_s} + \frac{Ca_i}{V_s Ca_s} + \frac{T_i}{V_s T_s} \right) \right)$

จากค่าประมาณ  $x_2^{ss}$  ในสมการ (5.16) สามารถทำนายความผิดพลาด #3 ได้โดยใช้ตัวประมาณออนไลน์ที่นำเสนอในบทที่ 2 ดังนั้นตัวทำนายความผิดพลาด #3 จะอยู่ในรูป

$$\frac{d\hat{x}_3}{dt} = \xi(x_1, x_3, x_4, u_1, u_2, x_2^{ss}, \hat{x}_3) + g(\hat{x}_3 - x_3) + \frac{T_i}{T_s + \frac{Ca_i T_s}{Ca_s} + T_i} f_1 + f_3^P(x, u; \hat{\theta}) \quad (5.17)$$

เมื่อ

$g$  เป็นค่าคงที่มีค่าเป็นลบ

$f_3^P$  เป็นตัวประมาณออนไลน์ที่มีพารามิเตอร์เป็น  $\hat{\theta}$

โดยมีกฎการปรับค่าพารามิเตอร์  $\hat{\theta}$  ตามสมการ (3.10) ในบทที่ 3

ค่าประมาณความผิดพลาด #3 จะถูกนำไปใช้ในการประมาณตัวแปร  $x_2$  ดังที่กล่าวมาข้างต้น

### 4. การตัดสินใจและสวิตซ์ซิ่ง

จากตัวสังเกตที่นำเสนอในข้างต้น ตัวสังเกตดังกล่าวจะสามารถประมาณได้ถูกต้องในกรณีที่เกิดความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารเข้า (#2) เมื่อให้ค่าประมาณความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารเข้า (#3) เป็นศูนย์ แต่ในกรณีที่เกิด

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารเข้า ตัวสังเกตจะประมาณได้ถูกต้องเมื่อใช้ค่าประมาณความผิดพลาดที่ได้จากตัวทำนายความผิดพลาด #3 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีตัวตัดสินใจในการที่จะเลือกสวิตซ์ สำหรับความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของสารเข้า และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเย็น การตัดสินใจไม่มีผลต่อการประมาณด้วยตัวสังเกตที่น่าเสนอ

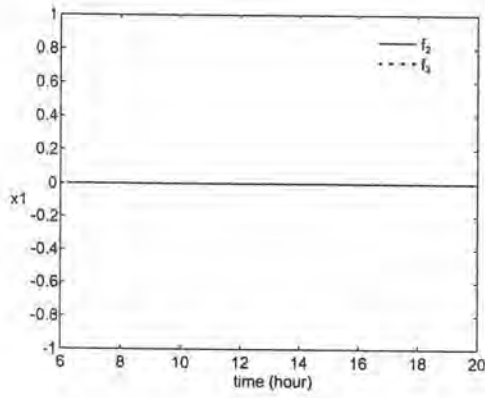
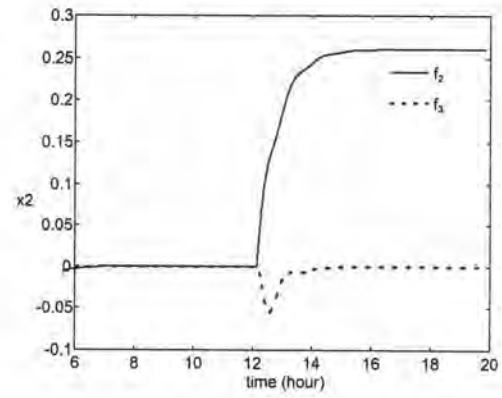
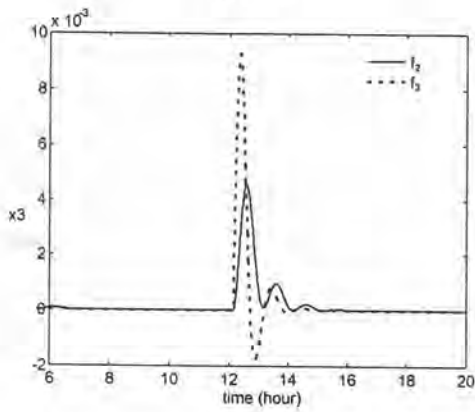
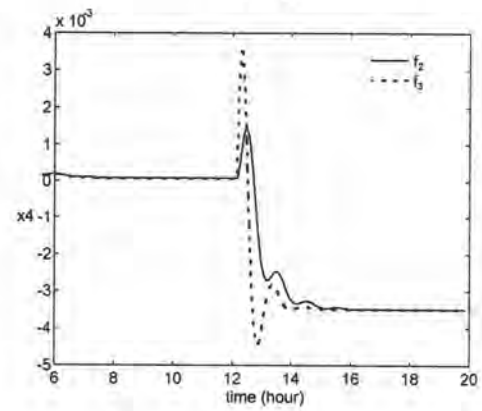
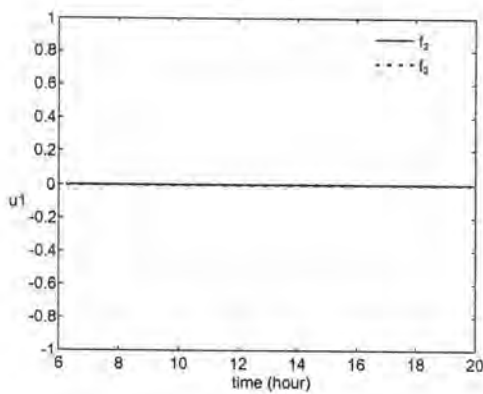
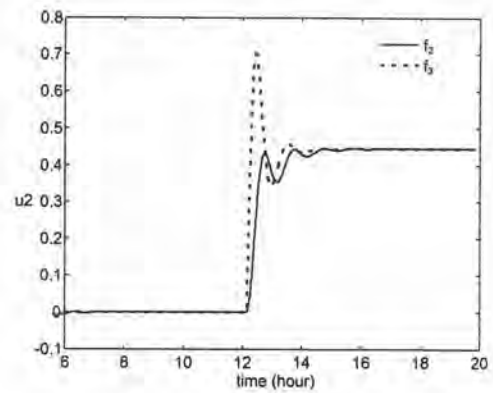
เนื่องจากความผิดพลาดจากการเปลี่ยนแปลงของสารเข้าและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีลักษณะของผลตอบและสัญญาณควบคุมที่สภาวะคงตัวคล้ายกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าตัวแปรที่แตกต่างกันของทั้ง 2 กรณีคือ  $x_2$  ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถวัดได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ยากในการตัดสินใจว่าเกิดความผิดพลาดชนิดใดขึ้น โดยอาศัยเพียงข้อมูลจากตัวแปรที่วัดได้ในสภาวะคงตัว ซึ่งนิยมใช้ในวิธีที่น่าเชื่อถืองานประสาทมามากจากรูปแบบ [15,25,26]

อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 5.3 ความผิดพลาดทั้งสองกรณีมีความแตกต่างกันในช่วงภาวะชั่วคราว และจากรูปที่ 5.4 จะเห็นว่าสัญญาณควบคุม  $u_2$  เมื่อเกิดความผิดพลาดทั้งสองกรณีแม้จะมีค่าที่สภาวะคงตัวใกล้เคียงกัน แต่มีสภาวะชั่วคราวแตกต่างกัน จากรูปที่ 5.8 จะเห็นว่าเมื่อเกิดความผิดพลาดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสารเข้า (#3) จะมีช่วงเวลาการเกิดค่าพุ่งเกิน (peak time) ประมาณ 0.5 ชั่วโมง ดังนั้นการตัดสินใจสวิตซ์ในที่นี้ ที่สภาวะปกติจะเลือกใช้ค่าประมาณความผิดพลาด #3 สำหรับตัวสังเกตเป็นศูนย์ และสวิตซ์เลือกใช้ค่าประมาณจากตัวทำนายความผิดพลาด #3 ก็ต่อเมื่อสัญญาณควบคุม  $u_2$  เป็นไปตามเงื่อนไข

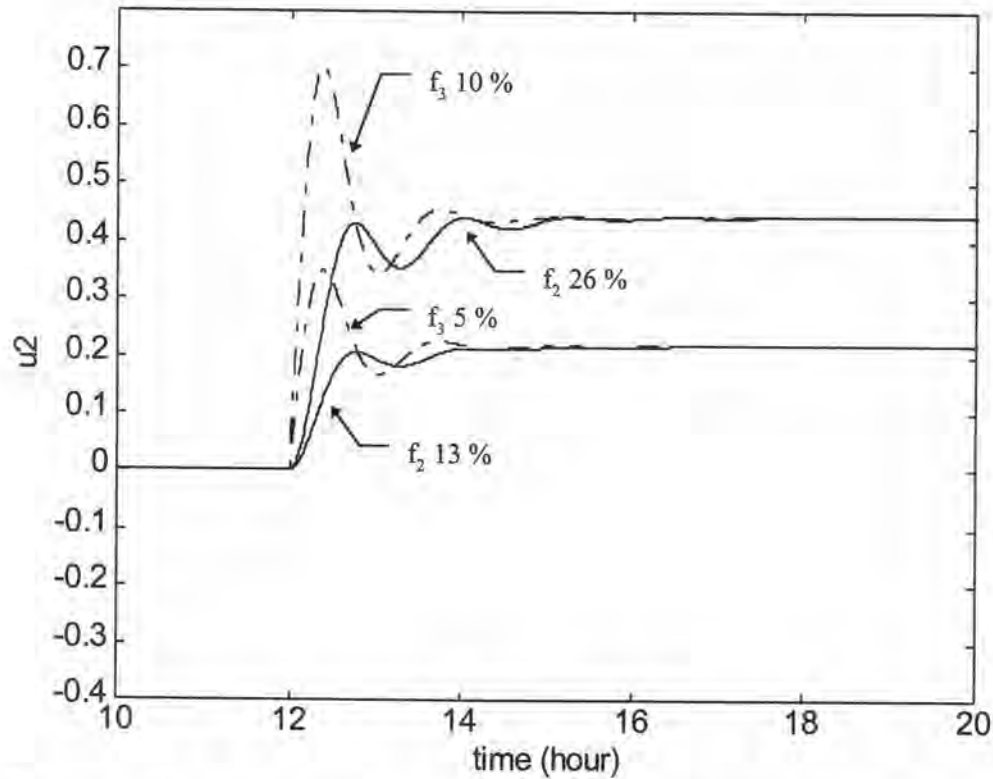
- $|u_2| > 0$
- $(|u_2(t - \tau)| > |u_2(t)|)$  และ  $(|u_2(t - \tau)| > |u_2(t - 2\tau)|)$
- $t - t_{fault} \leq 0.5$

เมื่อ

- $\tau$  คือ เวลาในการสุ่ม
- $t_{fault}$  คือ เวลาที่เริ่มเกิดความผิดพลาด

(ก)  $x_1$ (ข)  $x_2$ (ค)  $x_3$ (ง)  $x_4$ (จ)  $u_1$ (ฉ)  $u_2$ 

รูปที่ 5.3 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  และสัญญาณควบคุม  $u_1$ ,  $u_2$  กรณีที่เกิดความผิดพลาด #2p 26 % เปรียบเทียบกับกรณีที่เกิดความผิดพลาด #3 10 %



รูปที่ 5.4 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม  $n_2$  เมื่อเกิดความผิดปกติ #2p เปรียบเทียบกับเมื่อเกิดความผิดปกติ #3p

#### 5.4 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

ในการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ในที่นี้แยกพิจารณาเป็น 2 กรณี กรณีแรกเป็นการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติเมื่อตัวแปรสถานะสามารถวัดได้ทุกตัว โดยใช้ตัวประมาณออนไลน์ที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ 5.2 กรณีที่สองเป็นการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติเมื่อไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังปฏิกรณ์ได้ โดยใช้โครงสร้างที่ได้พัฒนาปรับปรุงขึ้นมาในหัวข้อ 5.3

##### 5.4.1 กรณีที่สามารถวัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว

###### ก) ความผิดปกติอย่างเดียว

ตัวประมาณออนไลน์สามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นอย่างเดี่ยวได้ทุกกรณี รูปที่ 5.5 แสดงการประมาณของตัวประมาณออนไลน์ในกรณีที่อุณหภูมิของสารเข้าลดลง 10 % ( $f_{\#3n}$ ) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะและสัญญาณควบคุมดังรูป

ที่ 5.6 จากรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าตัวประมาณออนไลน์สามารถมอนิเตอร์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของ  $\Delta T$ ; ทำให้สามารถตัดสินใจ ดำเนินการกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ต่อไป

#### ข) กรณีเกิดความผิดปกติพร้อมกัน

ในกรณีที่สามารถวัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว ตัวประมาณออนไลน์นอกจากจะสามารถตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติอย่างเดียว ยังคงสามารถวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นหลายอย่างพร้อมกันได้ทุกกรณี ตัวอย่างสำหรับกรณีที่เกิดความผิดปกติหลายอย่างพร้อมแสดงในรูปที่ 5.7-5.8 ซึ่งเกิดความผิดปกติ

- อัตราการไหลของสารเข้าเพิ่มขึ้น 10 % (f#1p)
- ความเข้มข้นของสารเข้าลดลง 5 % (f#2n)
- อุณหภูมิของสารเข้าเพิ่มขึ้น 5 % (f#3p)
- อุณหภูมิของน้ำเย็นเพิ่มขึ้น 5 % (f#4p)

โดยมีการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะและสัญญาณควบคุมดังรูปที่ 5.8 จากรูปที่ 5.7 จะเห็นว่าตัวประมาณออนไลน์สามารถมอนิเตอร์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นพร้อมกันหลายอย่างได้ถูกต้อง พร้อมทั้งแสดงระดับความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งระดับดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจดำเนินการต่อไป

จากรูปที่ 5.5-5.8 จะเห็นว่าตัวประมาณออนไลน์สามารถที่จะตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ทั้งความผิดปกติอย่างเดียว และความผิดปกติหลายอย่างพร้อมกัน และสามารถวินิจฉัยความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ในขณะที่ระบบยังไม่เข้าสู่ภาวะคงตัว จากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ในหลายกรณีพบว่า ในกรณีที่ตัวแปรทุกตัวสามารถวัดได้ ตัวประมาณออนไลน์สามารถวินิจฉัยความผิดปกติได้ภายใน 30-40 นาที ในขณะที่ระบบมีช่วงเวลาเข้าที่ (settling time) ประมาณ 3 ชั่วโมง

#### 5.4.1 กรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังปฏิกรณ์

##### ก) ความผิดปกติอย่างเดียว

ในความผิดปกติอย่างเดียว โครงสร้างที่นำเสนอสามารถที่จะตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติได้ทุกกรณี ตัวอย่างในรูปที่ 5.9 และ 5.10 แสดงผลการจำลองด้วย

คอมพิวเตอร์เมื่อเกิดความผิดพลาดเนื่องจากความเข้มข้นของสารเข้าลดลง ( $f\#2n$ ) 10% และรูปที่ 5.11 และ 5.12 แสดงผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เมื่อเกิดความผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิของสารเข้าลดลง ( $f\#3n$ ) 10% จากรูปที่ 5.9 และ 5.11 จะเห็นว่าโครงสร้างที่นำเสนอสามารถตัดสินใจได้ถูกต้อง และตัวประมาณออนไลน์สามารถประมาณความผิดพลาดได้ทั้งสองกรณี อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงสร้างที่นำเสนอทำการประมาณตัวแปร  $x_2$  ภายใต้สมมติฐานว่า  $x_2$  อยู่ในสภาวะคงตัว ดังนั้นตัวประมาณออนไลน์จึงใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวใกล้เคียงกับเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบ

ข) ความผิดพลาดสองอย่างพร้อมกัน

ความสามารถของโครงสร้างที่นำเสนอในการตรวจพบและวินิจฉัยเมื่อเกิดความผิดพลาดสองอย่างพร้อมกันแสดงในตารางที่ 5.3 จะเห็นโครงสร้างที่นำเสนอสามารถวินิจฉัยความผิดพลาดส่วนใหญ่ได้ถูกต้อง ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เมื่อเกิดความผิดพลาด  $f\#1n$  และ  $f\#3n$  พร้อมกันแสดงในรูปที่ 5.13 - 5.14 จากรูปจะเห็นว่าวิธีการพัฒนาปรับปรุงที่นำเสนอยังคงสามารถวินิจฉัยความผิดพลาดได้ถูกต้อง

ลักษณะความผิดพลาดที่เกิด	ผลการวินิจฉัย
$f\#1 + f\#2$	$f\#1 + f\#2$
$f\#1 + f\#3$	$f\#1 + f\#3$
$f\#1 + f\#4$	$f\#1 + f\#4$
$f\#2 + f\#3$	$f\#2$ หรือ $f\#3$
$f\#2 + f\#4$	$f\#2 + f\#4$ หรือ $f\#3 + f\#4$
$f\#3 + f\#4$	$f\#2 + f\#4$ หรือ $f\#3 + f\#4$

ตารางที่ 5.3 ความสามารถของโครงสร้างที่นำเสนอในกรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังปฏิกรณ์

ข้อจำกัดและกรณีที่ไม่สามารถวินิจฉัยได้

ในกรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง ได้มีการประมาณตัวแปร  $x_2$  ซึ่งโครงสร้างที่นำเสนอต้องมีการตัดสินใจโดยใช้ฐานความรู้ในระบบที่มีว่าเกิดความผิดพลาด  $f\#2$  หรือ  $f\#3$  เกิดขึ้น เพื่อให้ตัวสังเกตสามารถประมาณตัวแปร  $x_2$  ได้ถูกต้อง แต่ด้วยข้อจำกัดของเงื่อนไขใน

การตัดสินใจและลักษณะของผลตอบของตัวแปรที่สามารถวัดได้ทำให้ไม่สามารถวินิจฉัยความผิดพลาดสองอย่างพร้อมกันได้ถูกต้องในบางกรณี

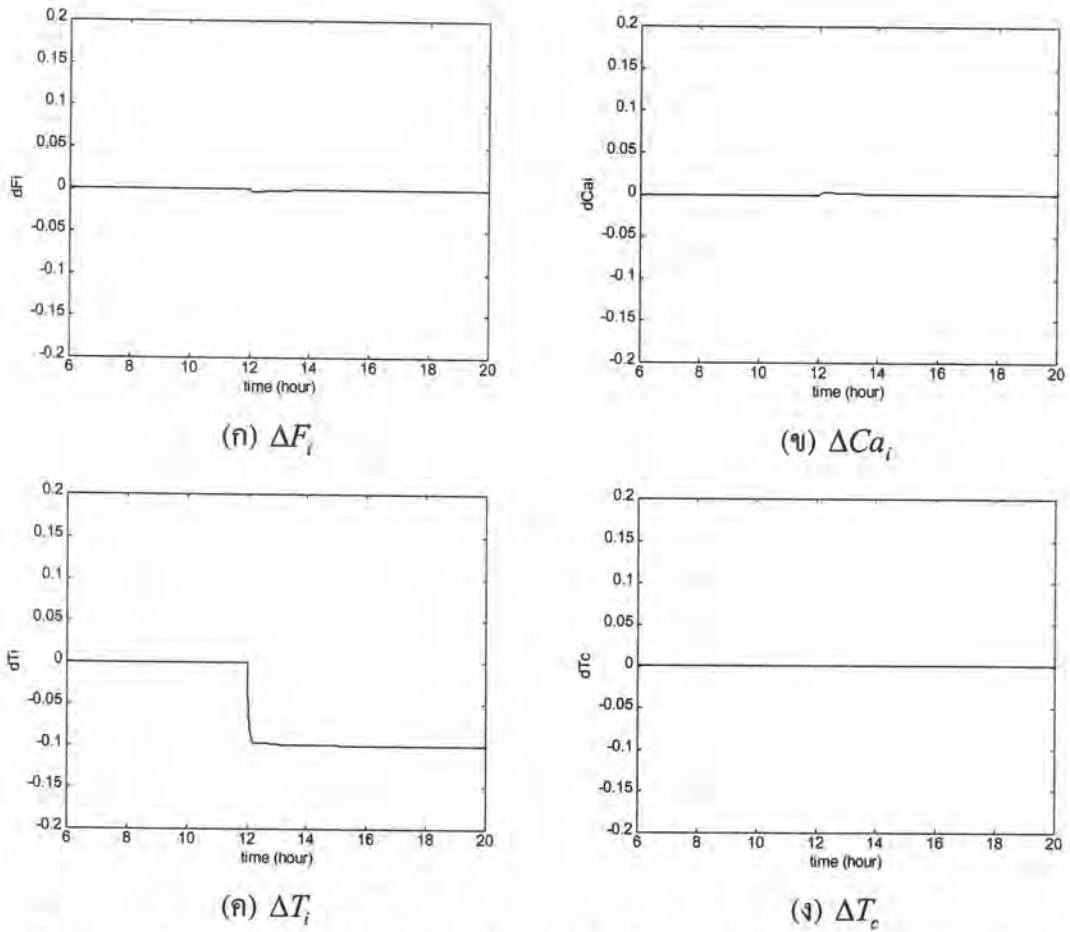
ในกรณีที่เกิดความผิดพลาด #2 และ #3 พร้อมกัน ด้วยข้อจำกัดของโครงสร้างเสนอที่ต้องตัดสินใจว่าเกิดความผิดพลาด #2 หรือ #3 ทำให้โครงสร้างที่เสนอไม่สามารถวินิจฉัยความผิดพลาดในกรณีนี้ได้ โดยสามารถบอกได้เพียงว่าเกิด #2 หรือ #3 อย่างไรก็ตามจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่าเมื่อเกิดความผิดพลาด #2 และ #3 พร้อมกัน ตัวประมาณออนไลน์จะวินิจฉัยว่าเกิดความผิดพลาด #2 เมื่อความผิดพลาด #2 ที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่มาก เมื่อเทียบกับ #3

กรณีเกิดความผิดพลาด #2 และ #4 พร้อมกัน เนื่องจากเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำเย็นที่ไหลเข้าถังหุ้ม (#4) สามารถทำให้สัญญาณควบคุม  $u_2$  เกิดค่าพุ่งเกิน ทำให้เกิดการตัดสินใจผิดพลาดได้ ในกรณีที่เกิดความผิดพลาด #2 และ #4 จากผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ กรณีที่เกิดความผิดพลาด #2p 13% และ #4p 5% ในรูปที่ 5.15 และกรณีเกิดความผิดพลาด #2p 13% และ #4p 10% ในรูปที่ 5.16 จะเห็นว่าในกรณีหลังมีการวินิจฉัยผิด เพราะ #4 ที่มีค่ามากทำให้สัญญาณควบคุม  $u_2$  เกิดค่าพุ่งเกิน จึงเกิดการตัดสินใจผิด

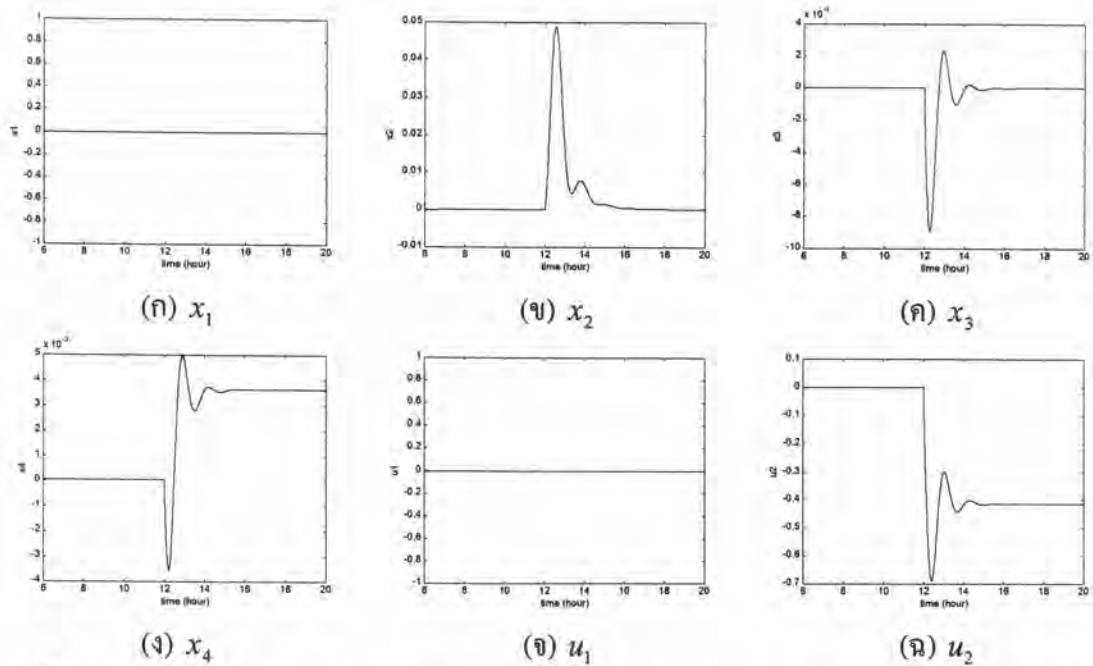
ในกรณีเกิดความผิดพลาด #3 และ #4 พร้อมกัน ตัวประมาณออนไลน์สามารถวินิจฉัยความผิดพลาดได้ถูกต้องเมื่อความผิดพลาด #3 และ #4 เพิ่มขึ้นหรือลดลงเหมือนกันดังที่แสดงในรูปที่ 5.17 ซึ่งเป็นกรณีที่เกิดความผิดพลาด #3p 5% และ #4p 5% แต่ในกรณีที่ความผิดพลาด #3 และ #4 เปลี่ยนแปลงตรงข้ามกัน เช่น เกิดความผิดพลาด #3n 5% และ #4p 5% ดังแสดงในรูปที่ 5.18 ตัวประมาณออนไลน์จะวินิจฉัยความผิดพลาดผิด ทั้งนี้เพราะผลของอุณหภูมิของสารเข้าลดลงและผลของอุณหภูมิของน้ำเย็นมากขึ้น มีผลต่อระบบในลักษณะที่หักล้างกัน ทำให้มีเวลาเกิดค่าพุ่งเกินของสัญญาณควบคุม  $u_2$  ซึ่งใช้ตัดสินใจช้าลง จึงทำให้ตัดสินใจผิดพลาด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติความผิดพลาดประเภทนี้เกิดขึ้นได้ยาก เพราะสารเข้าและน้ำเย็นอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน ดังนั้นโอกาสที่จะมีอุณหภูมิเปลี่ยนตรงข้ามกันเป็นไปได้ยาก

อนึ่งด้วยข้อจำกัดของตัวแปรที่สามารถวัดได้ในระบบ ทำให้ไม่สามารถวินิจฉัยความผิดพลาดสองอย่างพร้อมกันได้บางกรณี ทั้งนี้เพราะตัวแปรที่สามารถวัดได้มีลักษณะคล้ายกันทำให้ยากในการวินิจฉัยดังแสดงในรูปที่ 5.19 ซึ่งแสดงตัวแปรในระบบเมื่อเกิดความผิดพลาด #3n และ #4p พร้อมกันเทียบกับตัวแปรเมื่อเกิดความผิดพลาด #2n และ #4p พร้อมกัน

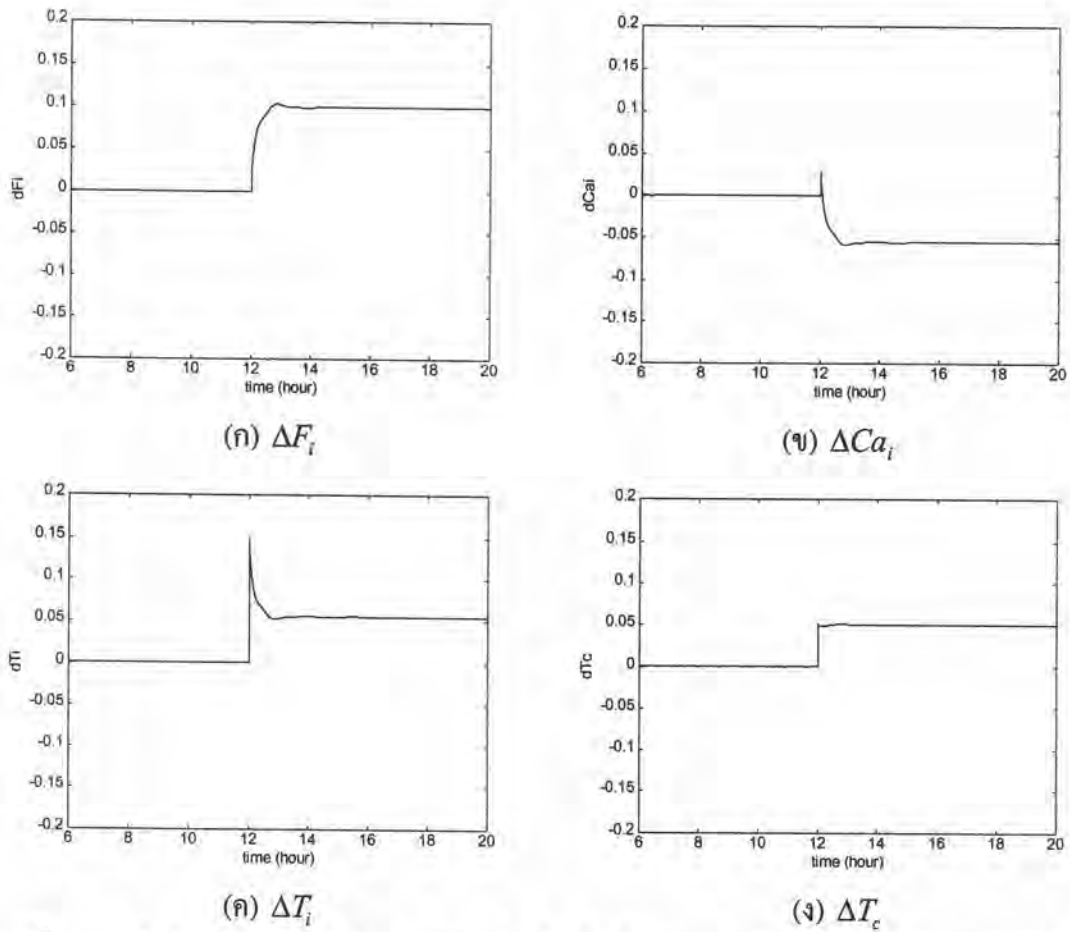




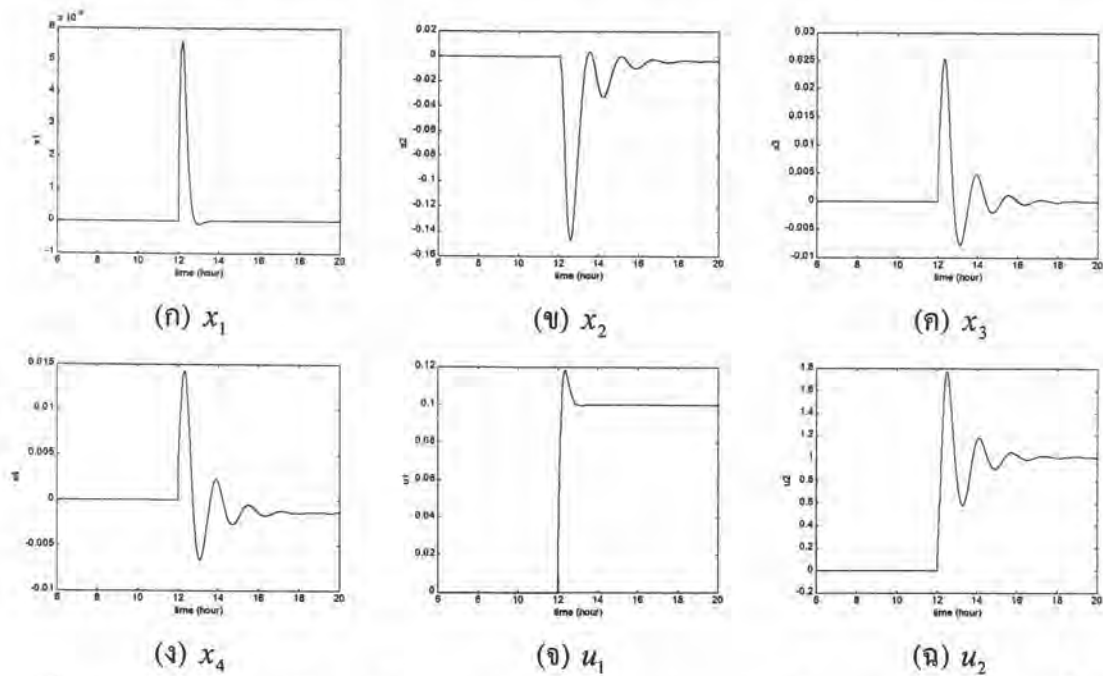
รูปที่ 5.5 ค่าประมาณของตัวแปรสถานะออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ #3n 10% กรณีที่วัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว



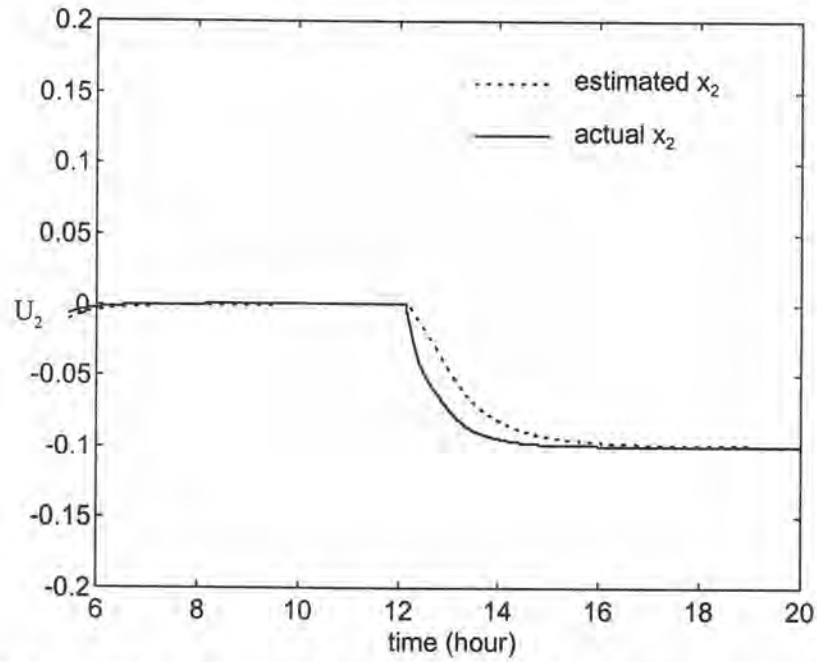
รูปที่ 5.6 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  และสัญญาณควบคุม  $u_1$ ,  $u_2$  เมื่อเกิดความผิดปกติ #3n 10% กรณีที่วัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว



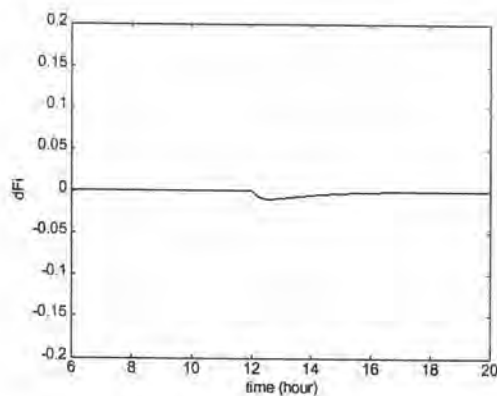
รูปที่ 5.7 ค่าประมาณของตัวแปรสถานะออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดปกติ  $f\#1p$  10%,  $f\#2n$  5%,  $f\#3p$  5% และ  $f\#4p$  5% กรณีวัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว



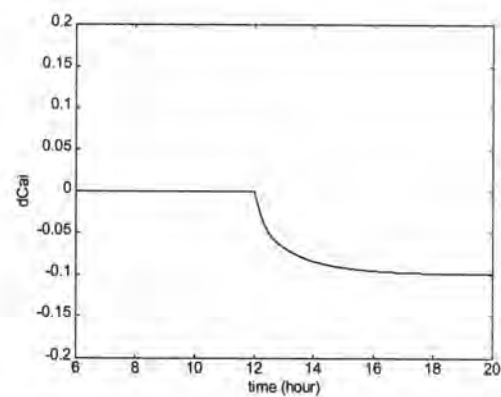
รูปที่ 5.8 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  และสัญญาณควบคุม  $u_1$ ,  $u_2$  เมื่อเกิดความผิดปกติ  $f\#1p$  10%,  $f\#2n$  5%,  $f\#3p$  5% และ  $f\#4p$  5% กรณีวัดตัวแปรสถานะได้ทุกตัว



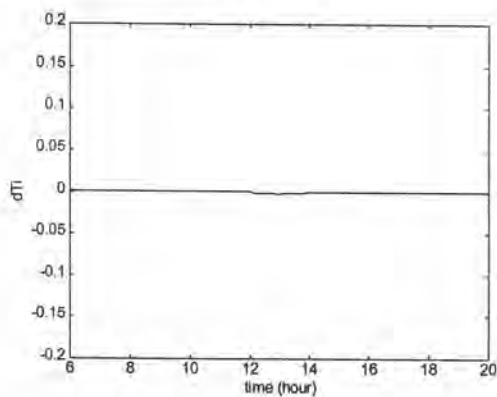
รูปที่ 5.9 ค่าประมาณตัวแปร  $x_2$  ของตัวสังเกตเมื่อเกิดความผิดพลาด #2n 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง



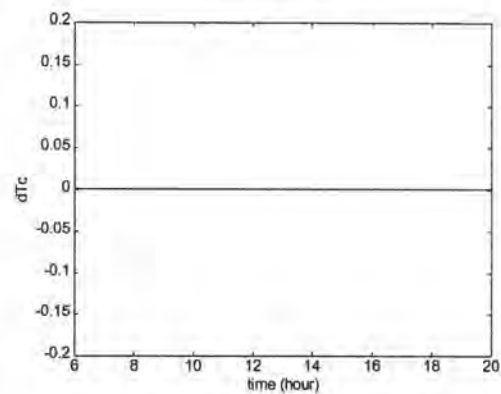
(ก)  $\Delta F_i$



(ข)  $\Delta Ca_1$

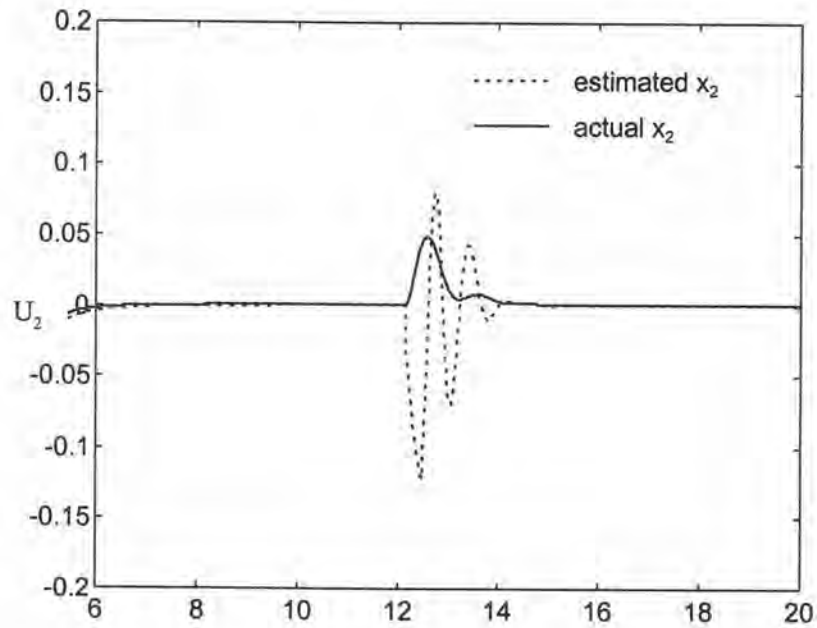


(ค)  $\Delta T_i$

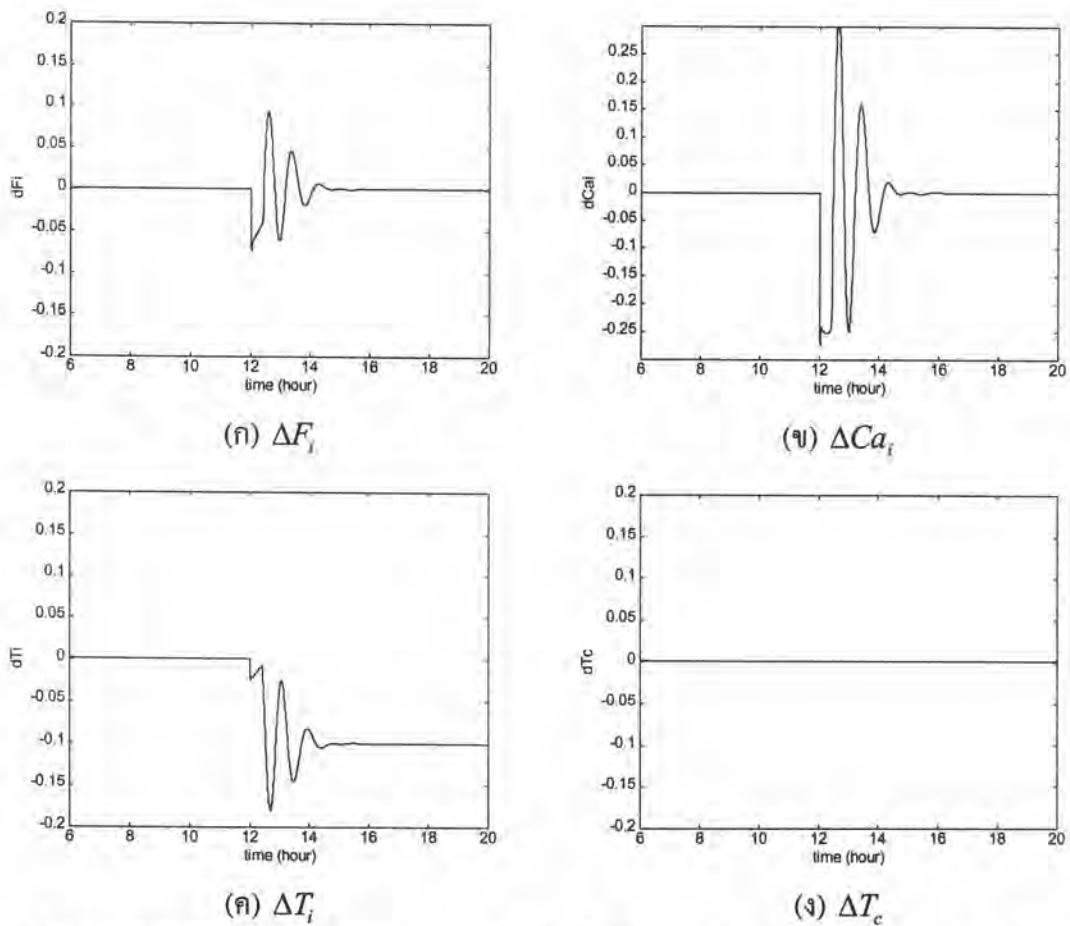


(ง)  $\Delta T_c$

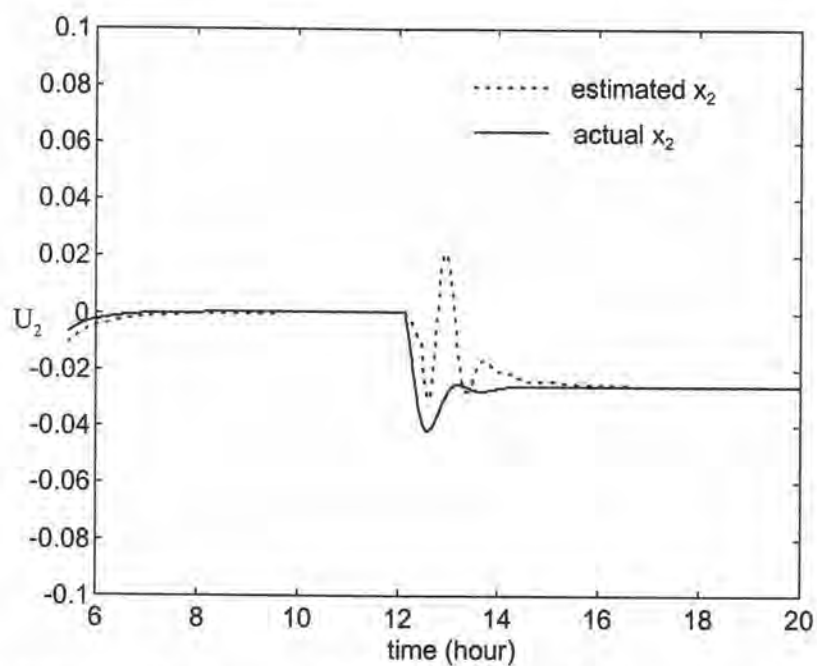
รูปที่ 5.10 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด #2n 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง



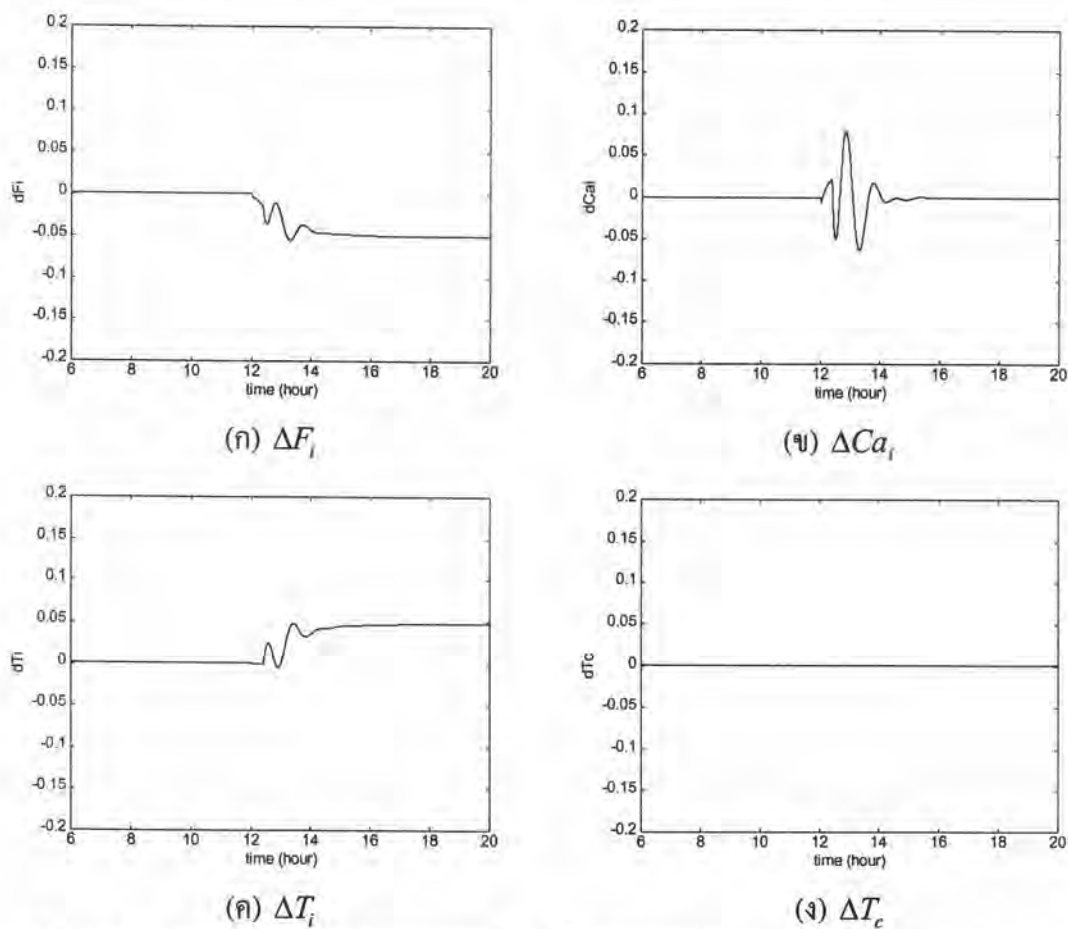
รูปที่ 5.11 ค่าประมาณตัวแปร  $x_2$  ของตัวสังเกตเมื่อเกิดความผิดพลาด #3n 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง



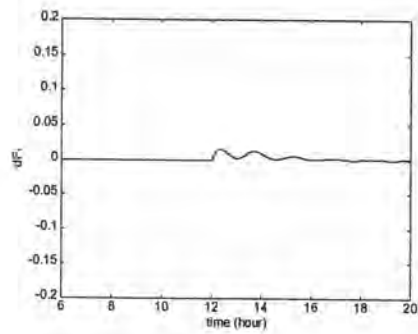
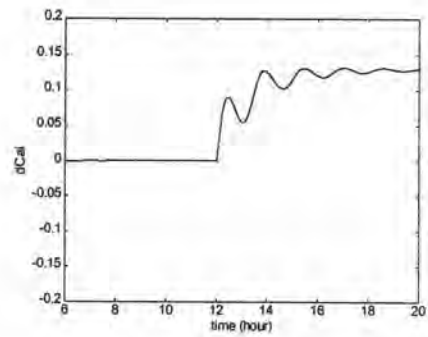
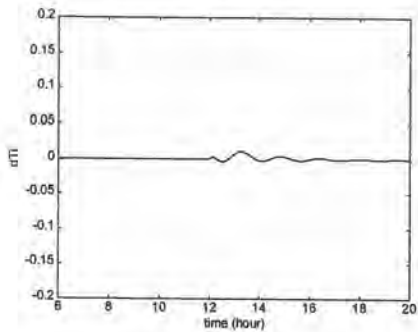
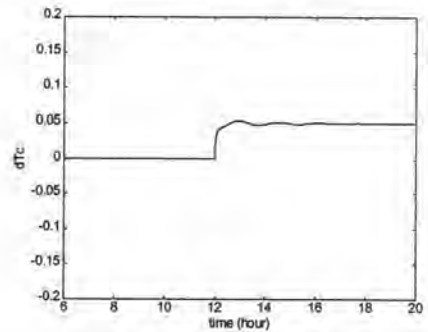
รูปที่ 5.12 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด #3n 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง



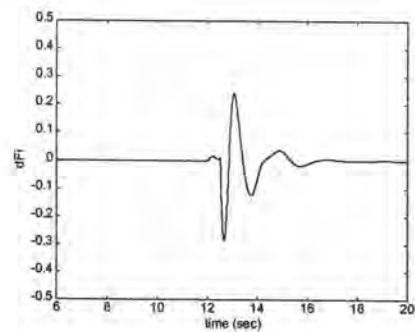
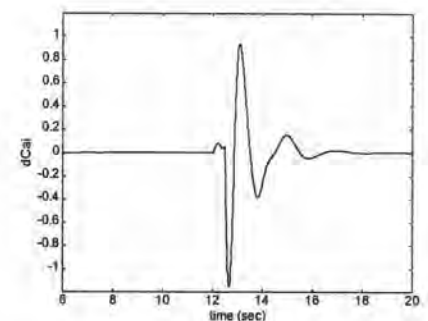
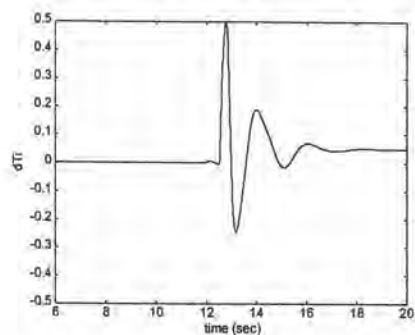
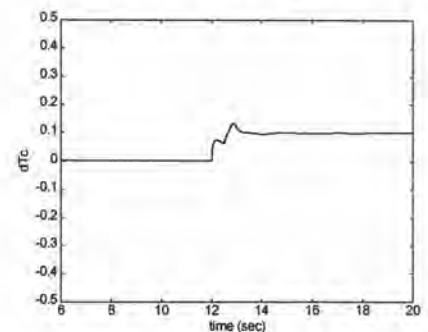
รูปที่ 5.13 ค่าประมาณตัวแปร  $x_2$  ของตัวสังเกตเมื่อเกิดความผิดพลาด  $\pm 5\%$  และ  $\pm 3\%$  กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง



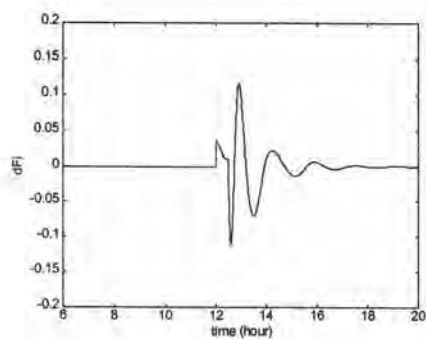
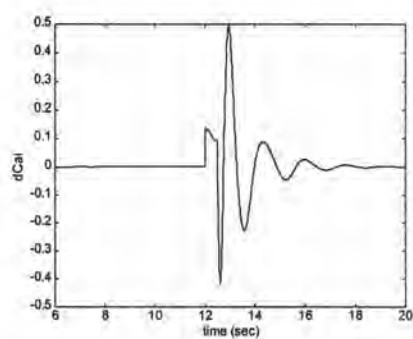
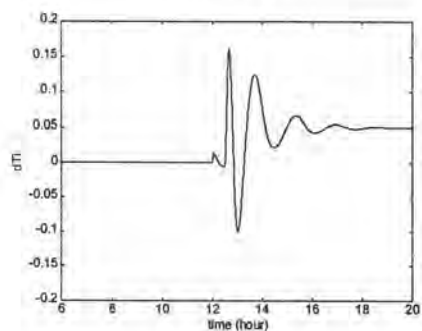
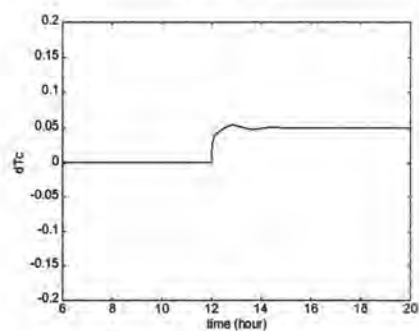
รูปที่ 5.14 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด  $\pm 5\%$  และ  $\pm 3\%$  กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง

(ก)  $\Delta F_i$ (ข)  $\Delta Ca_i$ (ค)  $\Delta T_i$ (ง)  $\Delta T_c$ 

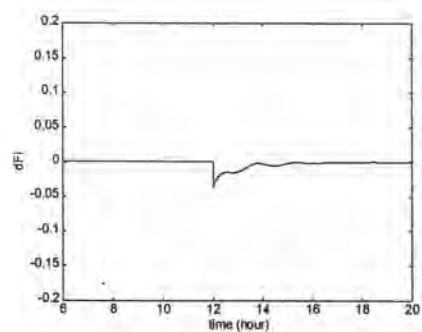
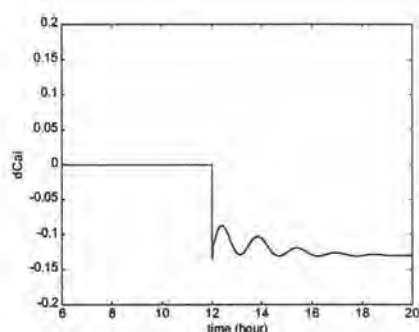
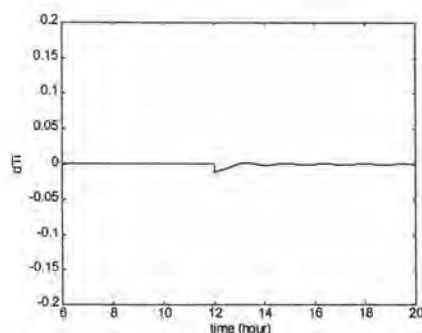
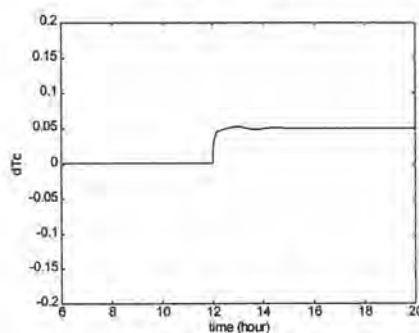
รูปที่ 5.15 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด #2p 13% และ #4p 5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง

(ก)  $\Delta F_i$ (ข)  $\Delta Ca_i$ (ค)  $\Delta T_i$ (ง)  $\Delta T_c$ 

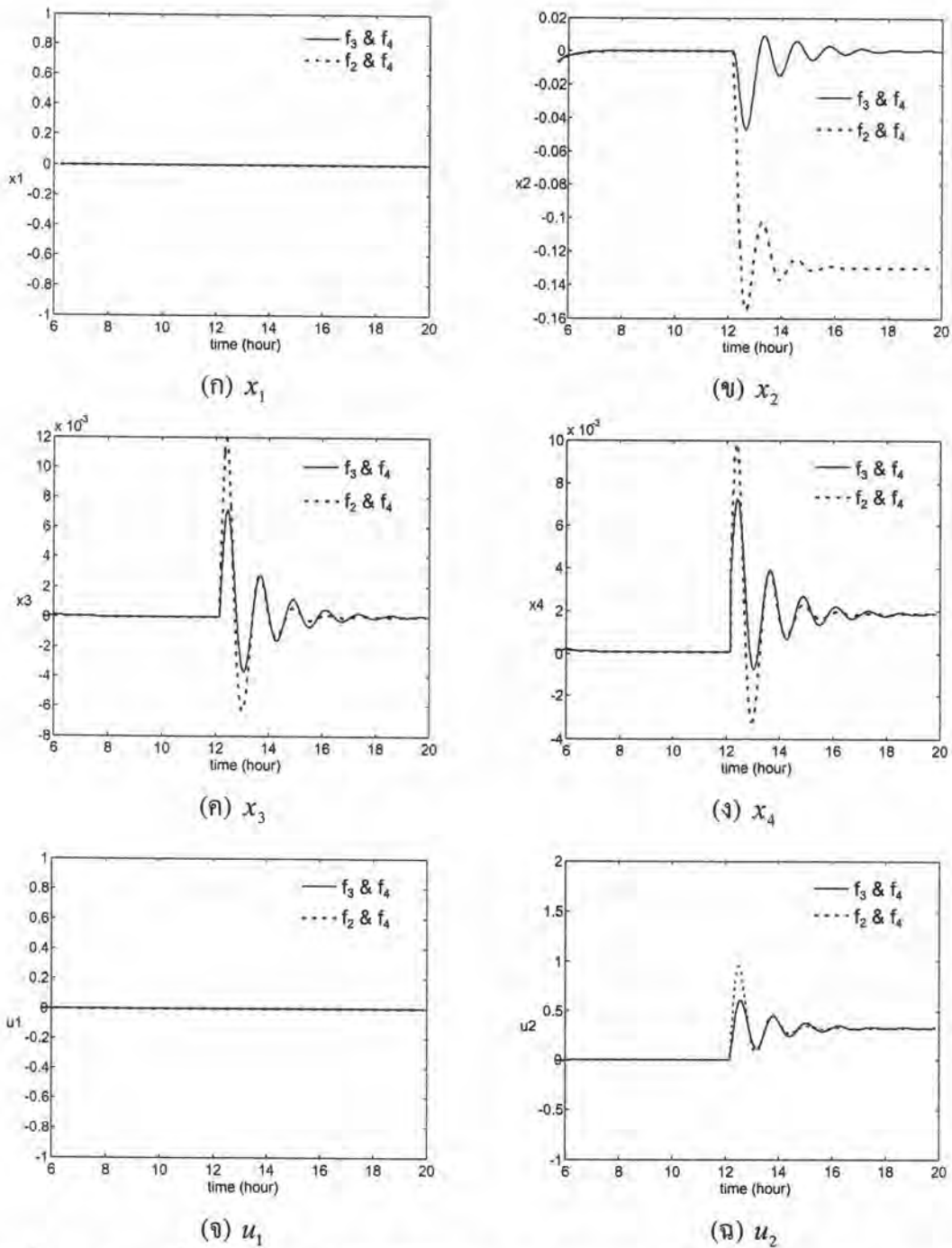
รูปที่ 5.16 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด #2p 13% และ #4p 10% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง

(ก)  $\Delta F_i$ (ข)  $\Delta Ca_i$ (ค)  $\Delta T_i$ (ง)  $\Delta T_c$ 

รูปที่ 5.17 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด  $f\#3p$  5% และ  $f\#4p$  5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง

(ก)  $\Delta F_i$ (ข)  $\Delta Ca_i$ (ค)  $\Delta T_i$ (ง)  $\Delta T_c$ 

รูปที่ 5.18 ค่าประมาณของตัวประมาณออนไลน์ เมื่อเกิดความผิดพลาด  $f\#3n$  5% และ  $f\#4p$  5% กรณีไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถัง



รูปที่ 5.19 การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรสถานะ  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  และสัญญาณควบคุม  $u_1$ ,  $u_2$  กรณีที่เกิดความผิดพลาด  $f_{\#2n}$  13% และ  $f_{\#4p}$  5% เปรียบเทียบกับกรณีที่เกิดความผิดพลาด  $f_{\#3n}$  5% และ  $f_{\#4p}$  5%



## 5.5 สรุปและวิจารณ์

จากการศึกษาการนำตัวประมาณออนไลน์มาประยุกต์ใช้กับระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่องซึ่งในที่นี้ศึกษาทั้งในกรณีที่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังปฏิกรณ์ และกรณีที่ไม่สามารถวัดได้ ในกรณีที่สามารถวัดความเข้มข้นได้ ตัวประมาณออนไลน์สามารถที่จะวินิจฉัยความผิดปกติได้ถูกต้องทั้งในกรณีที่เกิดความผิดปกติอย่างเฉียบพลันและกรณีที่เกิดความผิดปกติอย่างพร้อมกัน โดยตัวประมาณออนไลน์สามารถทำการวินิจฉัยความผิดปกติได้แม้ว่าระบบยังอยู่ในสภาวะชั่วคราว

ในกรณีที่ไม่สามารถวัดความเข้มข้นของสารในถังปฏิกรณ์ เนื่องจากในการประยุกต์ใช้ตัวประมาณออนไลน์ในการตรวจพบและวินิจฉัยความผิดปกติในบทที่ 3 จำเป็นต้องวัดตัวแปรสถานะได้ทั้งหมด แต่ในระบบถึงปฏิกรณ์เคมีชนิดต่อเนื่อง การวัดความเข้มข้นของสารในถังปฏิกรณ์เป็นไปได้ยาก ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอวิธีการประมาณความเข้มข้นขึ้นมาใช้ร่วมกับตัวประมาณออนไลน์ จากศึกษาโดยจำลองด้วยคอมพิวเตอร์พบว่า ตัวประมาณออนไลน์ยังคงสามารถวินิจฉัยความผิดปกติอย่างเฉียบพลันได้ถูกต้องทุกกรณี โดยใช้เวลาในการวินิจฉัยใกล้เคียงกับเวลาเข้าที่ของระบบ ทั้งนี้เพราะข้อจำกัดของวิธีการประมาณซึ่งทำการประมาณบนสมมติฐานที่ว่า พลวัตของความเข้มข้นเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว สำหรับในกรณีที่เกิดความผิดปกติสองอย่างพร้อมกัน จากการศึกษาพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถวินิจฉัยได้ถูกต้องในเป็นส่วนใหญ่ และเนื่องด้วยข้อจำกัดในเรื่องใจการสร้างตัวประมาณและลักษณะความผิดปกติที่เกิดทำให้ไม่สามารถวินิจฉัยความผิดปกติสองอย่างพร้อมกันได้ ในบางกรณี แต่อย่างไรก็ตาม โอกาสที่จะเกิดความผิดปกติสองอย่างเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ