บทที่ 3

การออกแบบข้อมูล และ แบบจำลองกระบวนการของข่ายงานนิวรัล

3.1 การกำหนดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของข่ายงานนิวรัล

ข่ายงานนิวรัลมีความสามารถในการเรียนรู้ระบบที่มีความไม่เชิงเส้นได้ดี ตัวอย่างระบบไม่เชิงเส้นที่นิยมใช้กันทั่วๆไป เพื่อทดสอบนิวรัลให้เรียนรู้ คือ โอปะเรเตอร์ XOR (Exclusive-or) ในทางวิศวกรรมเคมี ข่ายงานนิวรัลใช้ข้อมูลจากการตอบสนองของการเปลี่ยนแปลงทางไดนามิกของกระบวนการในระบบถังกวนต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ (nonisothermal CSTR) และระบบ pH neutralization ดังการศึกษาของ E. P. Nahas, M. A. Henson และ D. E. Seborg ในปี 1992 เกี่ยวกับ nonlinear internal model control strategy โดยใช้ข่ายงานนิวรัลที่มีการเรียนรู้โดยใช้ อัลกอริธึมแบบ คอนจูเกตเกรเดียนต์ (conjugate gradient) ในขณะที่ N. Baht กับ T. J. McAvoy ใช้ข่ายงานนิวรัลในการหาแบบจำลองไดนามิกของระบบ และ การควบคุม pH ในระบบถังกวนต่อเนื่อง ในปี 1989 โดยใช้อัลกอริธึมการกระจายความแตกต่างย้อนกลับ เปรียบเทียบกับ แบบจำลอง ARMA แบบดั้งเดิม

3.1.1 การโอปะเรเตอร์ XOR สำหรับ 2 ตัวแปร

โอปะเรเตอร์ XOR 2 ตัวแปร เป็นพื้นฐานในการศึกษาระบบ ที่ไม่เชิงเส้น ประกอบด้วย

รูปแบบ ในการเรียนรู้ 4 รูปแบบ ข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.1 ใช้ฝึกข่ายงานนิวรัล ที่มีนิวรอนในชั้นอินพุต 2 นิวรอน

ตารางที่ 3.1 รูปแบบข้อมูลของ โอปะเรเตอร์ XOR ชนิด 2 ตัวแปร

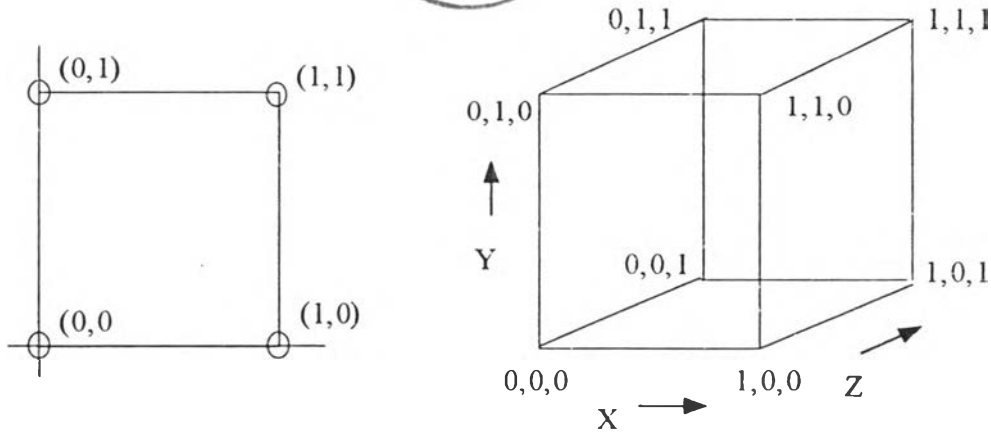
ชุดข้อมูล	X_1	X_2	X_1 XOR X_2
1	1	1	0
2	1	0	1
3	0	1	1
4	0	0	0

3.1.2 การโอปะเรเตอร์ XOR สำหรับ 3 ตัวแปร

โอปะเรเตอร์ XOR สำหรับ 3 ตัวแปร ประกอบด้วยชุดข้อมูล 8 รูปแบบ แสดงดังในตารางที่ 3.2 ใช้สำหรับฝึกข่ายงานนิวรัลที่มีจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน

ตารางที่ 3.2 รูปแบบข้อมูลของ โอปะเรเตอร์ XOR ชนิด 3 ตัวแปร

ชุดข้อมูล	X_1	X_2	X_3	$(X_1$ XOR $X_2)$XOR (X_3)
1	1	1	1	1
2	1	1	0	0
3	1	0	1	0
4	1	0	0	1
5	0	1	1	0
6	0	1	0	1
7	0	0	1	1
8	0	0	0	0



รูปที่ 3.1 เวคเตอร์ของเลขฐานสอง สำหรับระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ

3.1.3 ระบบถังกวนต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิไม่คงที่

ถังปฏิกรณ์เคมีในรูปที่ 3.2 แสดง การเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนแบบไม่ย้อนกลับ (irreversible exothermic reaction) ทำให้อุณหภูมิของระบบ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ปฏิกิริยาเคมีในระบบเกิดจากสารตั้งต้น A (reactant A) เปลี่ยนไปเป็น ผลิตภัณฑ์ B ซึ่งให้ค่าความร้อนของการเกิดปฏิกิริยา (heat of reaction, $-\Delta H$) ออกมา โดยสมมุติว่า ความหนาแน่นของสารในระบบคงที่ และถือว่า การสูญเสียความร้อนออกจากระบบ มีค่าน้อยมาก ในการระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีนั้น ใช้น้ำหล่อเย็นไหลผ่านขดลวด (cooling coil) ที่ขดรอบถังกวนโดยมี อัตราการไหลเชิงปริมาตรเป็น F_{CO} และมีอุณหภูมิขาเข้าเป็น T_{CO} ซึ่งปริมาตรของน้ำที่ไหลเวียนในขดลวดถือว่ามีปริมาตรคงที่ V_C ข้อสมมุติที่สำคัญคือ มีการเกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์แบบ (perfectly mixed) ภายในถังกวน และภายในขดลวด นั่นคือ อุณหภูมิภายในถังกวน T และ อุณหภูมิภายในขดลวด T_C ในทุกๆจุดมีค่าเท่ากัน และถือว่า ค่าความเฉื่อยเชิงความร้อน (thermal inertia) สำหรับมวลของผนังโลหะมีค่าน้อยมาก สมการที่ใช้อธิบายแบบจำลอง

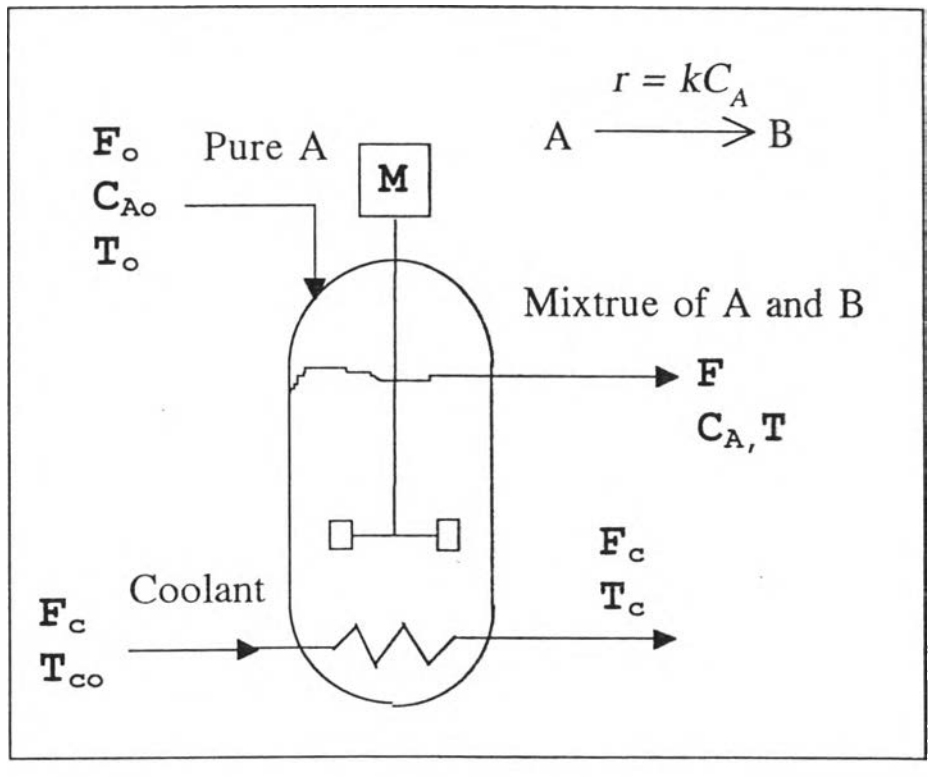
I16759473.

ของระบบ ประกอบด้วย

ก. สมการความต่อเนื่องรวมภายในถังกวน (Reactor total continuity)

$$\frac{dV}{dt} = F_o - F \tag{3.1}$$

ถ้าอัตราการไหลในสายป้อนกับผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากันแล้วมวลในถังกวนจะอยู่ในระดับคงที่



รูปที่ 3.2 ถังกวนต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ (Nonisothermal CSTR)

ข. สมการความต่อเนื่องขององค์ประกอบ A ในถังกวน (Reactor component A continuity)

$$\frac{d(VC_A)}{dt} = F_o C_{Ao} - FC_A - Vk(C_A) \tag{3.2}$$

โดยที่ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร คือ $r = k C_A$ และ สัมประสิทธิ์อัตราการเกิดปฏิกิริยา, $k = \alpha e^{-E/RT}$ เป็นไปตามความสัมพันธ์ของ อารีเนียส (Arrhenius relation) ที่มี a = แฟคเตอร์การชน (frequency factor)

ค. สมการสมดุลย์พลังงานในถังกวน (Reactor energy equation)

โดยไม่นำพลังงานความร้อนที่เกิดจากการกวน มาพิจารณา

$$\frac{d(VT)}{dt} = F_O T_O - FT - \frac{\Delta H V k C_A}{\rho C_p} - \frac{U A_H}{\rho C_p}(T - T_C) \qquad (3.3)$$

ΔH = ความร้อนของปฏิกิริยา (heat of reaction)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (overall heat transfer coefficient)

ง. สมการสมดุลย์พลังงานในขดลวด (coil energy equation)

$$\frac{dT_C}{dt} = \frac{F_C (T_{CO} - T_C)}{V_C} + \frac{U A_H (T - T_C)}{\rho_C V_C C_C} \qquad (3.4)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนของกระบวนการในถังกวน ที่อุณหภูมิ T กับน้ำหล่อเย็นที่อุณหภูมิ T_c แสดงด้วยสมการ $Q = U A_H (T - Tc)$

เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน และ A_H คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน

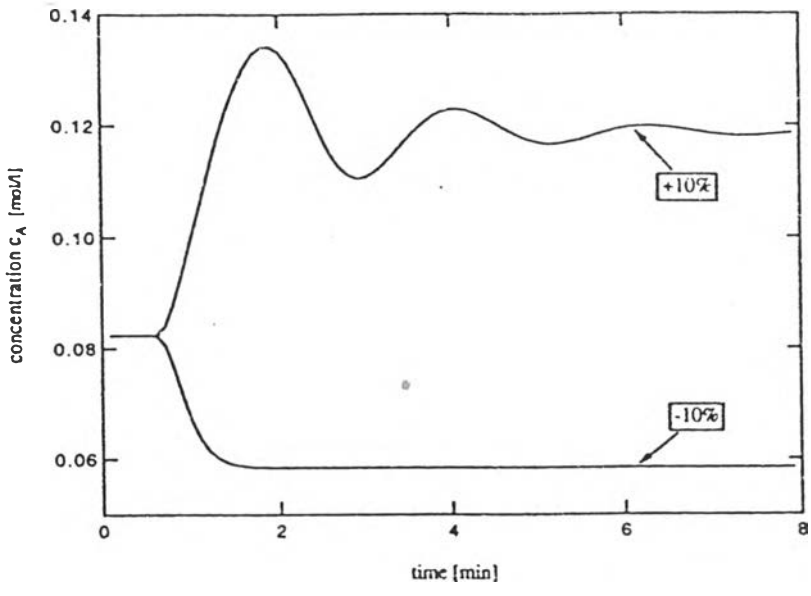
แก้สมการอนุพันธ์ของระบบถังกวนต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ โดยใช้วิธี ออยเลอร์ (Euler) สภาวะในการปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 3.3 การตอบสนองแบบไม่มีตัวควบคุม (open-loop) ของความเข้นข้นของสารตั้งต้น A ในระบบเมื่อเพิ่มอัตราการไหลแบบสเต็พของน้ำหล่อเย็นในขดลวดความเย็น 10% จากสภาวะคงตัว ดังแสดงรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการปฏิบัติการของระบบ nonisothermal CSTR ที่สภาวะคงตัว

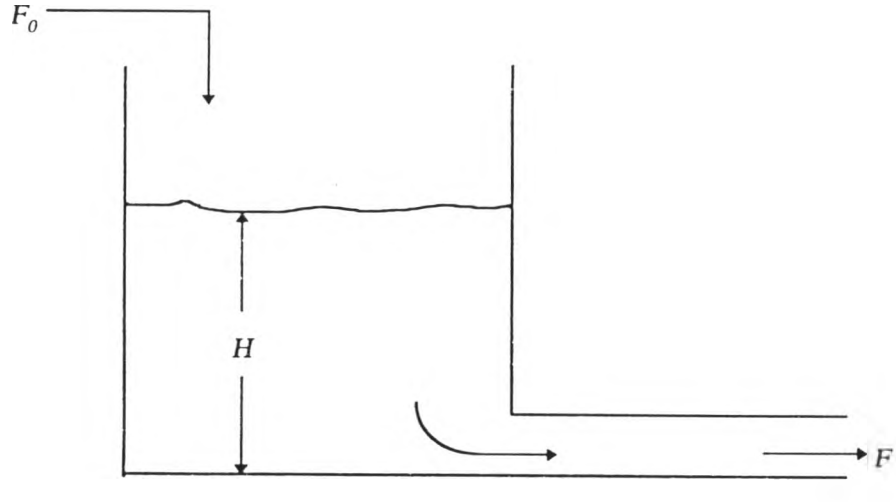
NO.	ตัวแปร	คำอธิบาย	สภาวะ	หน่วย
1	F_C	อัตราการไหลของสายป้อน	100	l/min.
2	C_{AO}	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร A	1	mol/l
3	T_O	อุณหภูมิของสายป้อน	350	K
4	F	อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์	100	l/min.
5	C_A	ความเข้นข้นของผลิตภัณฑ์	0.0836	mol/l
6	T	อุณหภูมิของระบบ	440.2	K
7	F_C	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	103.41	l/min.
8	T_{CO}	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า	350	K
9	T_C	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออก	แปรผัน	K
10	V	ปริมาตรถังกวน	100	l
11	r	ความหนาแน่นของสารในถังกวน	1000	g/l
12	r_C	ความหนาแน่นของน้ำหล่อเย็น	1000	g/l
13	U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	700000	cal/min. K
14	k_O	สัมประสิทธิ์อัตราการเกิดปฏิกิริยา	7.2	min^{-1}
15	E/R	พลังงานกระตุ้น / ค่าคงที่ของก๊าซ	9950	K
16	$-\Delta H$	ความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยา	200000	cal/min.

3.1.4 การไหลของของเหลวจากถังตามแรงโน้มถ่วง (Gravity flow tank)

ในรูปที่ 3.4 แสดงถังที่บรรจุของเหลวที่มีค่าความหนาแน่นคงที่ โดยมีของเหลวไหลเข้าสู่ถังด้วยอัตราการไหล F_0 (ft^3/s) ซึ่งมีค่าอัตราการไหลที่สามารถแปรเปลี่ยนไปตามเวลา ระดับของเหลวในถังทรงกระบอกเป็น h (ft) ขณะที่ของเหลวไหลออกจากถังด้วยอัตราการไหล F (ft^3/s) การแก้สมการของระบบดังกล่าว เป็นการประยุกต์ของสมการการเคลื่อนที่ (Equation of motion) มาใช้กับระบบมาโครสโคปิค (macro scopic) กำหนดให้ความยาวท่อขาออกเป็น L (ft) มีพื้นที่หน้าตัดเป็น A_P (ft^2) พื้นที่หน้าตัดของถังเป็น A_T (ft^2) สมมติให้ การไหลของของเหลว



รูปที่ 3.3 การตอบสนองของระบบถังกวนต่อเนื่องที่มีอุณหภูมิไม่คงที่ (open loop)



รูปที่ 3.4 การไหลของของเหลวจากถังตามแรงโน้มถ่วง (gravity flow tank)

เป็นแบบปลั๊ก (plug flow) นั่นคือ ของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน สมการของแรงที่เกี่ยวข้องแสดงดังนี้

$$\text{Hydraulic force} = A_p \rho h \frac{g}{g_c} \tag{3.5}$$

$$\text{Friction force} = K_F L v^2 \tag{3.6}$$

จากการทำสมดุลย์ของแรงของของเหลวทางขาออกสามารถจัดให้อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ไม่เชิงเส้นได้ดังนี้

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g}{L} h - \frac{K_F g_c v^2}{\rho A_p} \tag{3.7}$$

สมการการต่อเนื่องรวม (total continuity equation) ของของเหลวในถังแทนด้วยสมการ

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A_T}(F_0 - F) \tag{3.8}$$

จากข้อมูลการไหลแสดงดังตาราง 3.4 ซึ่งกำหนดค่าคงที่และพารามิเตอร์ของระบบ สามารถแปลงสมการอนุพันธ์ให้อยู่ในรูปเชิงตัวเลข ดังนี้

$$\frac{dv}{dt} = 0.0107h - 0.00205v^2 \tag{3.9}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{F_0}{113} - 0.0624v \tag{3.10}$$

ค่าการตอบสนองของระบบ แสดงได้ดังรูปที่ 3.5 โดยการใส่อินพุตแบบสเต็พ แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงในถัง ในการหาข้อมูลเพื่อนำมาใช้สำหรับฝึกให้ข่ายงานนิวรัล นั้นทำได้โดยการ เปลี่ยนค่าอัตราการไหลของของเหลวขาเข้า แล้วแก้สมการ (3.9) และ (3.10) เพื่อหาค่า h ที่สอดคล้องกับค่า F_O

ตาราง 3.4 ข้อมูลสำหรับ Gravity-flow tank

Pipe:

ID = 3 ft Area = 7.06 ft^2 Length = 3000 ft

Tank:

ID = 12 ft Area = 113 ft^2 Height = 7 ft

Steadystate values:

$\bar{F}$ = 35.1 ft^3/s (15,700 gpm)

$\bar{h}$ = 4.72 ft

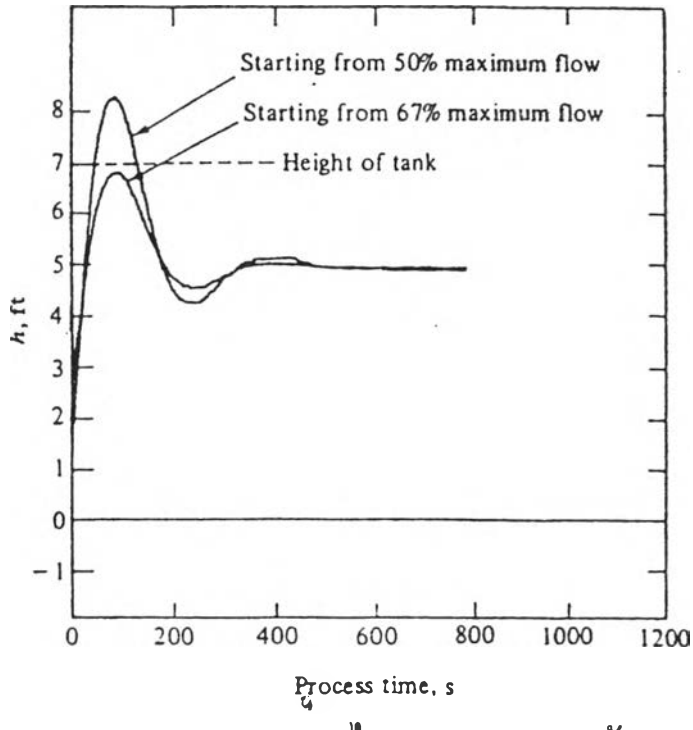
$\bar{v}$ = 4.97 ft/s

Paramrters:

Reynolds number = 1,380,000

Friction factor = 0.0123

$K_F = 2.81 \times 10^{-2}$ $lb_f/(ft/s)^2 ft$



รูปที่ 3.5 การตอบสนองของระบบการไหลของของเหลวจากถังตามแรงโน้มถ่วง

3.2 แบบจำลองกระบวนการของข่ายงานนิวรัล

แบบจำลองที่ใช้ในการหา แบบจำลองกระบวนการของข่ายงานนิวรัล ประกอบด้วย แบบจำลอง 2 แบบ ที่มีความแตกต่างกันของการจัดการ ข้อมูลอินพุท กับ เอาท์พุท ที่สัมพันธ์สอดคล้องกับการหน่วงเวลา ก่อนที่จะป้อนให้ข่ายงานนิวรัลได้เรียนรู้

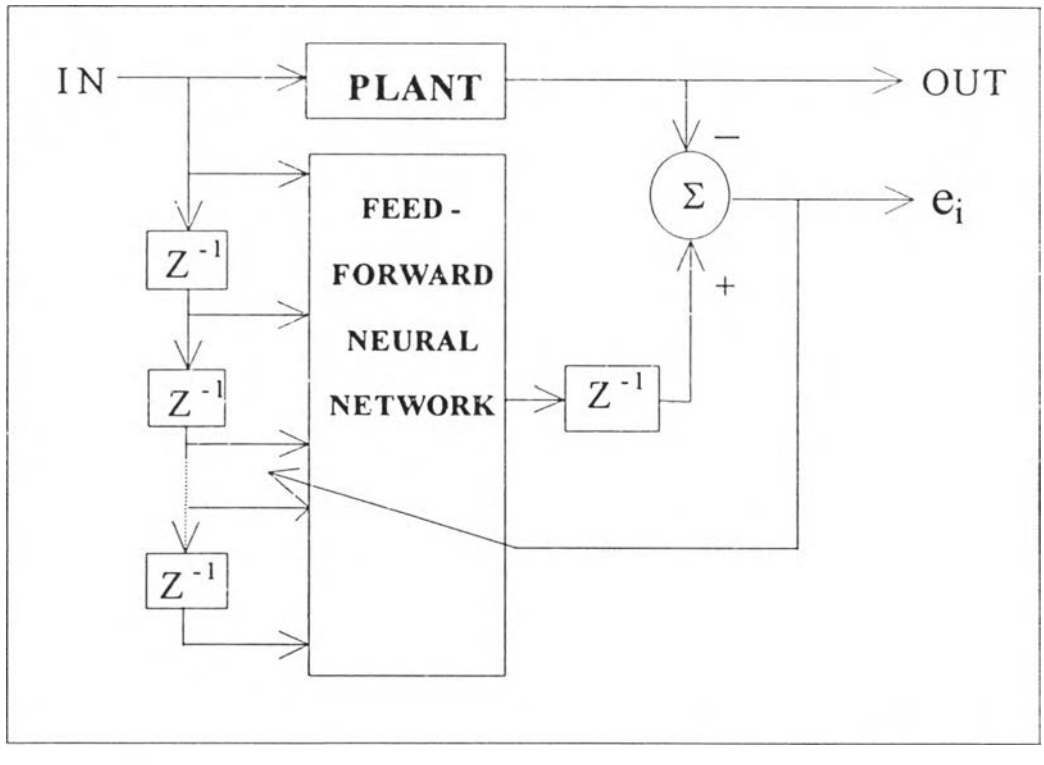
3.2.1 แบบจำลองการระบุหาเชิงขนานแบบไม่วกกลับ (nonrecurrent parallel identification model)

การหาแบบจำลองของระบบด้วยเทคนิคการป้อนข้อมูลแบบขนานไม่วกกลับ (nonrecurrent parallel) เป็นการนำข้อมูลที่ใช้ป้อนเข้าสู่โรงงาน (plant) มาหน่วงเวลาตามช่วงระยะเวลาที่ต้องการ จำนวนของการหน่วงเวลา เท่ากับ จำนวนของนิวรอนในชั้นอินพุท โดยที่จะไม่มีข้อมูลในส่วนของ การตอบสนองที่ออกจากระบบ มาใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการป้อนให้กับนิวรอนในชั้นอินพุท ทั้งนี้เนื่องจากในการเรียนรู้ระบบของข่ายงานนิวรัลสามารถเชื่อมโยงเข้ากับระบบแบบออนไลน์ (on line)ได้และเรียนรู้ระบบไปพร้อมกัน เนื่องจากต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในระบบ ก่อนที่จะมีการตอบสนองออกมา จึงต้องมีการหน่วงเวลาในส่วนของข่ายงานนิวรัล เพื่อชดเชยกับเวลาที่ต้องใช้ ในการจัดการของระบบ แสดงดังในรูปที่ 3.6

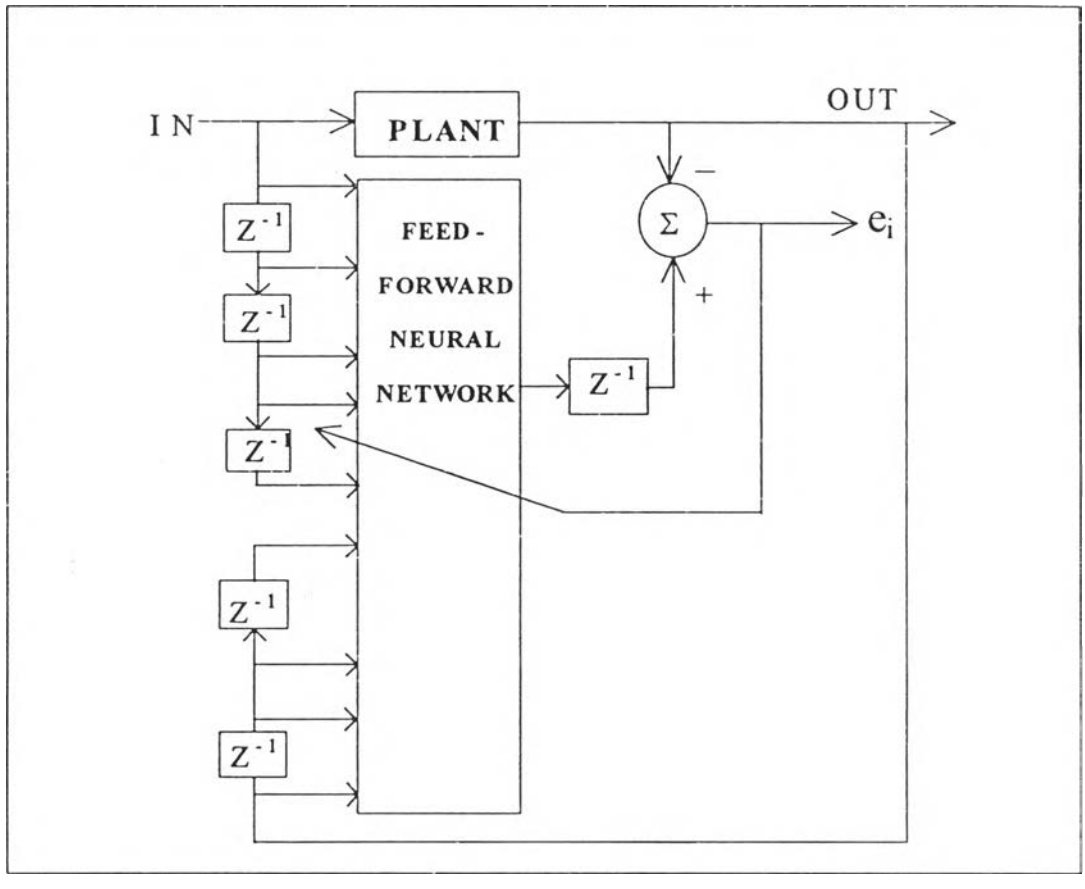
3.2.2 การหาแบบจำลองการระบุหาเชิงอนุกรม - ขนานแบบทั่วไป (general series-parallel identification model)

การหาแบบจำลองของระบบด้วยเทคนิค เชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป โดยการนำข้อมูลที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบ กับข้อมูลที่ตอบสนองออกมาจากระบบมาหน่วงเวลา ก่อนป้อน

เข้าสู่นิวรอนในชั้นอินพุทของข่ายงานนิวรัลพร้อมกัน วิธีการนี้เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากค่าเป้าหมายในอดีตของระบบจะเป็น ตัวช่วยกำหนดแนวทางในการเรียนรู้ โดยทำให้มีทิศทางในการหาคำตอบได้รวดเร็ว แบบจำลองเชิงอนุกรม-ขนาน แบบทั่วไป แสดงดังในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 การหาแบบจำลองข่ายงานนิวรัลโดยวิธี เชิงขนานแบบไม่วกกลับ



รูปที่ 3.7 แบบจำลองข่ายงานนิวรัลโดยวิธี เชิงอนุกรม-ขนานแบบทั่วไป