

บทที่ 5

การทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง ตัวอย่างที่ใช้ทดลองเป็นแบบจำลองไดนามิกของ หอกลั่นที่ได้จากเอกสารตีพิมพ์รายงานการทดลองของที่ผ่านมา ลักษณะของแบบจำลองหรือ ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันมีรูปแบบอันดับหนึ่งมีเดดไทม์ (First-order plus deadtime) ตัวอย่างทั้งหมดมี 5 ตัวอย่าง อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองมี 2 อย่าง คือ MATLAB และระบบควบคุมแบบกระจาย ส่วน (DCS) ขั้นตอนการทดลองจะเริ่ม โดยสร้างแบบจำลองด้วยอุปกรณ์ทดลองทั้ง 2 อย่าง แล้วทำการทดสอบการกระทบระหว่างลูทและการปิดการรบกวนแล้วบันทึกการตอบสนอง นอกจากนี้ก็ได้เปรียบเทียบวิธีการจูนตัวควบคุมอีกด้วย

5.1 ตัวอย่างการทดลอง

ตัวอย่างที่นำมาทดลองเป็นแบบจำลองไดนามิกทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันอันดับหนึ่งมีเดดไทม์จากเอกสารที่ตีพิมพ์ ดังต่อไปนี้

5.1.1 ตัวอย่างที่ 1 : แบบจำลองของ W.L. Luyben and C.D. Vinante

ในปี ค.ศ.1972 W.L. Luyben and C.D. Vinante ได้ทำกลั่นแยกเมธิลอัลกอฮอล์และน้ำด้วยหอกลั่นแบบไพล็อตขนาด 24 ชั้น ด้วยโครงสร้างระบบควบคุม LV โดยควบคุมอุณหภูมิของเทรย์ที่ 4 (ส่วน Stripping) และเทรย์ที่ 17 (ส่วน Rectifying) แล้วหาแบบจำลองของโครงสร้าง LV จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.1 และพารามิเตอร์ตัวควบคุมในตารางที่ 5.4

5.1.2 ตัวอย่างที่ 2 : แบบจำลองของ R.K. Wood and M.W. Berry

ในปี ค.ศ.1973 R.K. Wood and M.W. Berry ได้ทดลองกลั่นแยกเมธิลอัลกอฮอล์และน้ำด้วยหอกลั่นแบบไพล็อตขนาด 8 ชั้น เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราการไหลของสายป้อนด้วยโครงสร้างระบบควบคุมแบบ LV โดยควบคุมส่วนผสมของสารในคิสติลเลตและกระแสผลิตภัณฑ์กันห่อ แบบจำลองของโครงสร้างควบคุม LV ดังแสดงในตารางที่ 5.1

5.1.3 ตัวอย่างที่ 3 : แบบจำลองของ J.L. Marchetti และคณะ

ค.ศ.1985 J.L. Marchetti และคณะได้ทดลอง Open-loop tests จาก Dynamic Simulator ของหอกลั่นแบบไพล็อตขนาด 12 ชั้น ที่กลั่นแยก n-butanol, s-butanol และ s-butanol ด้วยโครงสร้างควบคุม LV แบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.1

5.1.4 ตัวอย่างที่ 4 : แบบจำลองกระบวนการกลั่นของ H. Lau, J. Alvarez และ K.F. Jensen

ในปี ค.ศ. 1985 H. Lau, J. Alvarez และ K.F. Jensen ได้หาแบบจำลองการกลั่นของโครงสร้าง LV จาก The scale linear state space model แล้วได้เขียนแบบการกลั่นเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งแบบจำลองที่ได้พัฒนา แสดงในตารางที่ 5.1

5.1.5 ตัวอย่างที่ 5 : แบบจำลองของ K.V. Waller, K.E. Haggblom, P.M. Sandelin and

P.M. Finnerman

ในปี ค.ศ.1988 K.V. Waller, K.E. Haggblom, P.M. Sandelin and P.M. Finnerman ได้ทำการกลั่นแยกเอธิลอัลกอฮอล์กับน้ำด้วยหอกลั่นแบบไฟลิตขนาด 15 ชั้น ควบคุมอุณหภูมิชั้นที่ 4 และ 14 และเปรียบเทียบการควบคุมของโครงสร้างระบบควบคุม 4 แบบ คือ LV , DV , $D/(L+D)$, V และ $D/(L+D)$, V/B ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรรบกวนคือ อัตราไหลและส่วนผสมในสายป้อน จากนั้นได้ทำการพัฒนาแบบจำลองการกลั่นของโครงสร้างทั้ง 4 แบบ เขียนแบบการกลั่นเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง แบบจำลองการกลั่นที่ได้พัฒนา ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แบบจำลองการกลั่นของตัวอย่างที่ 1-5

ตัวอย่าง	โครงสร้าง	G_{yL}^{LV}	G_{yV}^{LV}	G_{yF}^{uv}	G_{yz}^{uv}
		G_{xL}^{LV}	G_{xV}^{LV}	G_{xF}^{uv}	G_{xz}^{uv}
ตัวอย่างที่ 1		$\frac{-2.16e^{-1.0s}}{8.5s+1}$	$\frac{-1.26e^{-0.3s}}{7.05s+1}$		
W.Luyben et al.	LV	$\frac{-2.75e^{-1.8s}}{8.2s+1}$	$\frac{4.28e^{-0.35s}}{9.0s+1}$		
ตัวอย่างที่ 2		$\frac{12.8e^{-1.0s}}{16.7s+1}$	$\frac{-18.9e^{-3.0s}}{21.0s+1}$	$\frac{3.7e^{-8.1s}}{14.9s+1}$	
R.K.Wood et al.	LV	$\frac{6.6e^{-7.0s}}{10.9s+1}$	$\frac{-19.4e^{-3.0s}}{14.4s+1}$	$\frac{4.9e^{-3.4s}}{13.2s+1}$	

ตัวอย่าง	โครงสร้าง	G_{yL}^{LV}	G_{yV}^{LV}	G_{yF}^{uv}	G_{yz}^{uv}
		G_{xL}^{LV}	G_{xV}^{LV}	G_{xF}^{uv}	G_{xz}^{uv}
ตัวอย่างที่ 3		$\frac{-3.58e^{-2.1s}}{19.2s+1}$	$\frac{3.38e^{-2.2s}}{19.8s+1}$	$\frac{-0.515e^{-3.7s}}{27.6s+1}$	$\frac{3.05e^{-4.9s}}{22.8s+1}$
J.L.Machetti et al.	<i>LV</i>	$\frac{13.9e^{-1.2s}}{13.2s+1}$	$\frac{-18.9e^{-0.6s}}{12.6s+1}$	$\frac{9.97e^{-0.4s}}{10.8s+1}$	$\frac{-28.1e^{-1.5s}}{14.5s+1}$
ตัวอย่างที่ 4		$\frac{-2.454e^{-1.0s}}{20.0s+1}$	$\frac{-3.493e^{-1.0s}}{22.0s+1}$		
H.Lau และคณะ	<i>LV</i>	$\frac{3.27e^{-1.0s}}{22.0s+1}$	$\frac{-5.519e^{-1.0s}}{20.0s+1}$		
ตัวอย่างที่ 5	<i>LV</i>	$\frac{-0.0435e^{-0.5s}}{8.1s+1}$	$\frac{0.0458e^{-0.5s}}{11.0s+1}$	$\frac{-0.0010e^{-1.0s}}{10.0s+1}$	$\frac{0.0042e^{-1.0s}}{8.5s+1}$
		$\frac{-0.2260e^{-1.5s}}{8.1s+1}$	$\frac{0.5432e^{-0.5s}}{10.0s+1}$	$\frac{-0.1606e^{-1.0s}}{5.5s+1}$	$\frac{-0.6228e^{-1.0s}}{9.2s+1}$
	<i>DV</i>	$\frac{0.0707e^{-0.5s}}{14.0s+1}$	$\frac{-0.0499e^{-1.5s}}{15.0s+1}$	$\frac{-0.0052e^{-1.0s}}{23.0s+1}$	$\frac{-0.0624e^{-3.0s}}{20.0s+1}$
		$\frac{0.3673e^{-1.5s}}{15.0s+1}$	$\frac{0.0465e^{-0.5s}}{10.0s+1}$	$\frac{-0.1823e^{-1.0s}}{7.5s+1}$	$\frac{-0.9687e^{-1.0s}}{15.0s+1}$
	$\frac{D}{L+D}, V$	$\frac{6.4670e^{-0.5s}}{11.0s+1}$	$\frac{0.0093e^{-0.5s}}{13.0s+1}$	$\frac{-0.0026e^{-1.0s}}{28.0s+1}$	$\frac{-0.0212e^{-2.5s}}{23.0s+1}$
		$\frac{33.5828e^{-1.3s}}{12.0s+1}$	$\frac{0.3540e^{-0.5s}}{10.0s+1}$	$\frac{-0.1683e^{-1.0s}}{4.5s+1}$	$\frac{-0.7545e^{-1.0s}}{13.0s+1}$
	$\frac{D}{L+D}, B$	$\frac{6.1607e^{-0.5s}}{15.0s+1}$	$\frac{0.9121e^{-0.5s}}{25.0s+1}$	$\frac{-0.0006e^{-1.0s}}{6.0s+1}$	$\frac{-0.0231e^{-7.5s}}{18.0s+1}$
		$\frac{21.9485e^{-1.3s}}{26.0s+1}$	$\frac{34.6410e^{-0.5s}}{15.0s+1}$	$\frac{-0.0463e^{-1.0s}}{7.5s+1}$	$\frac{-0.8287e^{-1.0s}}{7.5s+1}$

5.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองด้วย MATLAB และการทดลองด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน โดยขั้นตอนการทดลองทั้ง 2 ส่วนเป็นดังนี้

5.2.1 การทดลองด้วย MATLAB

นำแบบจำลองการก่อกวนของทุกโครงสร้างของแต่ละตัวอย่างตามตารางที่ 5.1 มาสร้างแบบจำลองด้วย MATLAB (โปรแกรมเสริม SIMULINK) ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ก. เข้าสู่ MATLAB ด้วยการเลือกไอคอน MATLAB บนวินโดว

ข. เข้าสู่ SIMULINK โดยพิมพ์ `c:>> simulink`

ง. เปิดวินโดวใหม่เพื่อเป็นแฟ้มข้อมูลของแบบจำลองแต่ละโครงสร้าง คัดลอกทูลบ็อกซ์จากไลบรารีจากตารางที่ 4.1 ตามรูปที่ 4.1 แล้วเชื่อมโยงระหว่างทูลบ็อกซ์ตามเงื่อนไข

จ. กำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละทูลบ็อกซ์ แล้วเริ่มทดลองการเลียนแบบด้วยเมนูย่อย Simulation ตามรูปที่ 4.1

ฉ. เปลี่ยนค่าเซตพอยท์แบบสแต็ป (Step) ของตัวแปรควบคุมและค่าของตัวแปรสถานะแบบสแต็ปที่ทูลบ็อกซ์สแต็ป

ช. เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุมที่หาได้จากวิธีต่างๆ ตามภาคผนวก ข จากตารางที่

5.2 แล้วทดลองเหมือนในข้อ ค.

ซ. บันทึกกราฟการตอบสนอง และกราฟค่า IAE ที่ปรากฏบนกราฟระนาบ x-y

5.2.2 การทดลองด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS)

นำแบบจำลองการกั้นแต่ละโครงสร้างในตัวอย่างข้างต้น มาสร้างแบบจำลองด้วยระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (DCS) ดังขั้นตอนต่อไปนี้ และในภาคผนวก ก

ก. กำหนดฟังก์ชันอุปกรณ์ เช่น DLAY, PID, CALCU จากไลบรารีลงในพาเนล Feedback Control Inst Spec (ภาคผนวก ก.) พร้อมกับกำหนดพารามิเตอร์และเงื่อนไขทั้งหมดของแต่ฟังก์ชันอุปกรณ์

ข. เชื่อมโยงระหว่างฟังก์ชันอุปกรณ์ (Loop connection) ในพาเนล Loop connection Definition (ภาคผนวก ก.) โดยกำหนดชื่อสัญญาณเข้าออกของแต่ละฟังก์ชันอุปกรณ์ให้ถูกต้อง การสร้างแบบจำลอง

ค. กำหนด Trend configuration definition, Pen assignment, Overview assignment และ Control group assignment ตามพาเนลในภาคผนวก ก.

ง. สร้างภาพกราฟิกแสดงโครงสร้างการควบคุมแต่ละแบบ พร้อมกำหนดข้อมูลที่จะแสดงบนวินโดว์กราฟิก เช่น ค่าของตัวแปรควบคุม เป็นต้น

จ. ทดสอบเปลี่ยนค่าเซตพอยท์ของตัวควบคุมแบบสแต็บ และทดสอบเปลี่ยนค่าตัวแปรรบกวนแบบสแต็บ แล้วบันทึกการตอบสนองของตัวแปรควบคุม

ฉ. ทำการทดลองเหมือนในข้อ จ. แต่เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวควบคุม

ค. บันทึกผลการตอบสนองที่ได้จากข้อ จ. และ ฉ.

รายละเอียดเพิ่มเติมของระบบควบคุมแบบกระจายส่วน μ XL อยู่ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ตัวควบคุมของตัวอย่างทดลอง

ตัวอย่าง	ชื่อแบบจำลอง	โครงสร้าง การควบคุม	วิธีการจูน	ดูพควบคุมยอคหอ		ดูพควบคุมฐานหอ	
				K_{C1}	τ_{11}	K_{C2}	τ_{12}
1	C.Vinante and W.L. Luyben	<i>LV</i>	เอกสาร	-2.38	3.16	4.39	1.15
			Single ZN	-2.92	3.18	4.31	1.15
			Multiloop	-2.59	2.58	4.39	2.58
			ZN	-2.95	3.19	4.36	1.15
			BLT	-1.17	8.02	1.73	2.89
			ISE (sp.)	-3.52	1.60	4.49	1.55
			ISE (load)	-4.57	0.35	6.46	0.09
2	R.K.Wood and M.W.Berry	<i>LV</i>	เอกสาร	0.20	4.44	-0.04	2.67
			Single ZN	0.95	3.26	-0.20	9.00
			Multiloop	0.65	10.20	-0.13	10.20
			ZN	0.96	3.25	-0.19	9.28
			BLT [1]	0.44	7.02	-0.09	20.01
			BLT [2]	0.44	7.02	-0.09	33.33
			ISE (sp.)	1.05	2.94	-0.24	3.01
ISE (load)	1.45	0.29	-0.30	1.21			
3	J.L. Marchette และคณะ	<i>LV</i>	เอกสาร	-1.30	126	0.98	93.5
			ZN	-1.90	6.72	-0.81	1.96
			BLT	-0.85	15.01	-0.36	4.38
			ISE (sp.)	-2.26	3.57	-0.86	2.19
			ISE (load)	-2.95	0.72	-1.21	0.17
4	H. Lau และคณะ	<i>LV</i>	เอกสาร	2.50	20.00	-1.10	20.00
			ZN	5.94	3.27	-2.64	3.27
			BLT	1.97	9.85	-0.88	9.85
			ISE (sp.)	6.36	3.49	-2.82	3.49
			ISE (load)	8.94	0.28	-3.97	0.28
5	K.V. Waller และคณะ	<i>LV</i>	เอกสาร	-130	1.60	13.00	1.60
			ZN	-272.54	1.63	26.84	1.63
			BLT	-94.28	4.70	9.29	4.72
			ISE (sp.)	-300.09	1.43	28.68	1.74
			ISE (load)	-413.59	0.15	40.30	0.14

ตัวอย่าง	ชื่อแบบจำลอง	โครงสร้าง การควบคุม	วิธีการจน	ลูปควบคุมยอดหอ		ลูปควบคุมฐานหอ	
				K_{C1}	τ_{11}	K_{C2}	τ_{12}
5	K.V. Waller และคณะ	DV	เอกสาร	130.00	3.40	9.00	4.50
			ZN	289.98	1.64	313.57	1.63
			BLT	89.59	5.26	97.89	5.23
			ISE (sp.)	292.18	2.40	335.00	1.74
			ISE (load)	423.48	0.13	470.74	0.14
		$D/(L+D), V$	เอกสาร	0.76	1.60	13.00	1.60
			ZN	2.47	1.64	41.19	1.63
			BLT	0.81	5.01	13.45	5.00
			ISE (sp.)	2.61	1.91	44.00	1.74
			ISE (load)	3.70	0.14	61.84	0.14
		$D/(L+D), V/B$	เอกสาร	1.00	2.40	0.19	5.88
			ZN	3.52	1.64	0.63	1.64
			BLT	1.00	5.81	0.18	5.81
			ISE (sp.)	3.55	2.57	0.63	2.57
			ISE (load)	5.18	0.13	0.92	0.13