

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 บทนำ

การจำลองเชิงพลวัตของส่วนการนำกลับเฮกเซนสำหรับโรงงานพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงของหน่วยการผลิต 700 ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการผลิต คุณมวลและพลังงานโดยใช้แบบจำลองกระบวนการผลิตจากโปรแกรมแอสเพนพลัสในการศึกษากระบวนการผลิตที่สถานะคงตัว โดยใช้สมการสถานะของ SRK ในการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ ผลที่ได้จากแบบจำลองที่สถานะคงตัวจะถูกส่งไปเป็นค่าตั้งต้นในการคำนวณของโปรแกรม Aspen Dynamics เพื่อศึกษาพฤติกรรมเชิงพลวัตของกระบวนการผลิต

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์การจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัว

ข้อมูลการผลิตจากกระบวนการผลิตจริงทั้งอัตราการไหล อุณหภูมิและความดันของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตถูกใช้เป็นข้อมูลตั้งต้นในการดำเนินการสร้างแบบจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัว ดังนั้น การตรวจสอบความถูกต้องจึงตรวจสอบจากอุณหภูมิของหอกลั่นทั้งสองหอที่อยู่ในกระบวนการผลิต โดยทำการศึกษาสมการสถานะที่ใช้ในการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ 3 สมการ ได้แก่ SRK, SRKGD และ Peng-Robinson (PR) เพื่อหาสมการสถานะที่เหมาะสมในการนำมาใช้สร้างแบบจำลองกระบวนการ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของอุณหภูมิที่ได้จากการจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัวโดยใช้สมการสถานะที่แตกต่างกัน เปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยที่

เครื่องหมาย + แสดงถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากอุณหภูมิของกระบวนการผลิตจริง และ  
เครื่องหมาย - แสดงถึงอุณหภูมิที่ลดลงจากอุณหภูมิของกระบวนการผลิตจริง

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลั่น Stripper (T-703) โดยสมการสถานะต่างๆ

Stripper stage	Temperature (C)		
	SRK	SRKGD	PR
1	+0.95	+0.92	+1.33
5	+0.07	+0.04	+0.45
10	-0.065	-0.202	+0.307

ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิภายในหอกลั่น T-703 ในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงสมการสถานะของ PR ให้ความคลาดเคลื่อนสูงที่สุดในบรรดาสมการสถานะที่ถูกเลือกมาศึกษา โดยเฉพาะในชั้นที่ 10 ของหอกลั่นซึ่งอุณหภูมิของชั้นนี้มีความเกี่ยวเนื่องกับการใช้พลังงานในหม้อต้มซ้ำ (E-703) นั้นหมายความว่า หากอุณหภูมิชั้นที่ 10 มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงมาก ผลคือ การสะท้อนให้เห็นถึงปริมาณการใช้พลังงานที่หม้อต้มซ้ำของหอกลั่นที่มีความคลาดเคลื่อนมากด้วยเช่นกัน หากพิจารณาระหว่างสมการสถานะของ SRK และ SRKGD แล้วพบว่า ที่ชั้นที่ 1 และชั้นที่ 5 ของหอกลั่น เมื่อใช้สมการสถานะของ SRKGD ทำให้แบบจำลองกระบวนการมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของกระบวนการผลิตจริง แต่ที่ชั้นที่ 10 พบว่าสมการสถานะแบบ SRKGD ตอบโจทย์ข้อนี้ไม่ดีเท่าสมการสถานะของ SRK ที่มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงน้อยกว่า ดังนั้น เพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับการใช้พลังงานในหม้อต้มซ้ำสมการสถานะของ SRK จึงถูกเลือกขึ้นมาใช้ในการจำลองในงานวิจัยนี้ นอกจากการเปรียบเทียบทางด้านอุณหภูมิภายในหอกลั่นแล้ว ได้ทำการเปรียบเทียบอัตราการไหลของเหลวและของไอน้ำภายในหอกลั่น T-703 ที่ใช้สมการสถานะแตกต่างกัน พบว่า อัตราการไหลในแต่ละชั้นของหอกลั่นของสมการสถานะทั้งสามให้ผลที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เปรียบเทียบอุณหภูมิของหอกลั่นระเหยน้ำ (Dehydrator) กับอุณหภูมิที่ได้จากการออกแบบในกระบวนการผลิตจริง โดยใช้สมการสถานะทั้งสามในข้างต้น ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยเปรียบเทียบจากอุณหภูมิที่ก้นหอกลั่นระเหย

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในหอกลั่นระเหยน้ำ (T-704) โดยสมการสถานะต่างๆ

Dehydrator stage	Temperature (C)		
	SRK	SRKGD	PR
Bottom	+0.02	+0.02	+0.06

สมการสถานะทั้งสามให้ผลของอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ได้ออกแบบในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งสมการของ SRK ก็ยังให้ผลการจำลองกระบวนการได้ดี

นอกจากนี้ ผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการที่สถานะคงตัว สามารถตรวจสอบและพิจารณาจากเกณฑ์การได้ผลิตภัณฑ์แยกเซนที่ได้มาตรฐานตามความต้องการในการนำไปใช้ในหน่วยการผลิตอื่นๆ โดยผลิตภัณฑ์แยกเซนที่ได้ขึ้นอยู่กับส่วนการกลั่นแยกแยกเซนออกจากน้ำที่หอกลั่นระเหยน้ำ (T-704) ตามมาตรฐานการผลิตได้แบ่งภาวะดำเนินการออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1. การกลั่นแยกเฮกเซนออกจากน้ำ กรณี~~ไม่ใช้~~บิวทีน-1 ในการผลิต การดำเนินการจะทำการกลั่นโดยใช้ค่าสัดส่วนการป้อนกลับ (Reflux ratio) ไม่น้อยกว่า 0.1
  2. การกลั่นแยกเฮกเซนออกจากน้ำ กรณี~~ใช้~~บิวทีน-1 ในการผลิต การดำเนินการจะทำการกลั่นโดยใช้ค่าสัดส่วนการป้อนกลับ (Reflux ratio) ไม่น้อยกว่า 0.3
- สัดส่วนการป้อนกลับคำนวณได้จาก

$$R = \frac{(F - B)}{B} \quad (12)$$

โดยที่ R คือ สัดส่วนการป้อนกลับ

F คือ กระแสป้อนเข้าสู่หอกลั่น T-704 (กระแส 729)

และ B คือ กระแสผลิตภัณฑ์กันหอกลั่น T-704 (กระแส 735)

ผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่กลั่นได้จากหอกลั่นระเหยน้ำ (T-704) ได้ทำการศึกษาโดยผลที่ได้จากการจำลองกระบวนการโดยใช้ภาวะการผลิตจริงและการทดลองเปลี่ยนค่าสัดส่วนการป้อนกลับ แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองกระบวนการของหอกลั่นระเหยน้ำ T-704

	กรณีศึกษาที่ 1	กรณีศึกษาที่ 2
กระแสการกลั่นที่ยอดหอกลั่น T-704 (%)	-18.87	-46.46
อุณหภูมิยอดหอกลั่น T-704 (%)	-2.89	-12.57
กระแสผลิตภัณฑ์กันหอกลั่น T-704 (%)	+0.03	+0.03
อุณหภูมิกันหอกลั่น T-704 (%)	0	-0.012
สัดส่วนของน้ำที่ผลิตภัณฑ์กันหอกลั่น T-704 (พีพีเอ็ม)	0.023	<u>10.200</u>
สัดส่วนการป้อนกลับ (Reflux ratio)	<u>0.300</u>	0.198
พลังงานความร้อนที่ใช้ใน E-705 (%)	-11.33	-27.91

โดยที่ เครื่องหมาย + แสดงการเพิ่มขึ้นจากค่าจริง และเครื่องหมาย - แสดงการลดลงจากค่าจริง

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการจำลองกระบวนการของกรณีศึกษาที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์แตกต่างกัน เปรียบเทียบโดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากค่าของกระบวนการผลิตจริง โดยที่

กรณีศึกษาที่ 1 ปรับค่าสัดส่วนการป้อนกลับเป็น 0.3 และวัดค่าตัวแปรที่เหลือ

กรณีศึกษาที่ 2 ปรับค่าสัดส่วนของน้ำที่ผลิตภัณฑักันหอกลับ T-704 เท่ากับ 10 พีพีเอ็ม และวัดค่าตัวแปรที่เหลือ

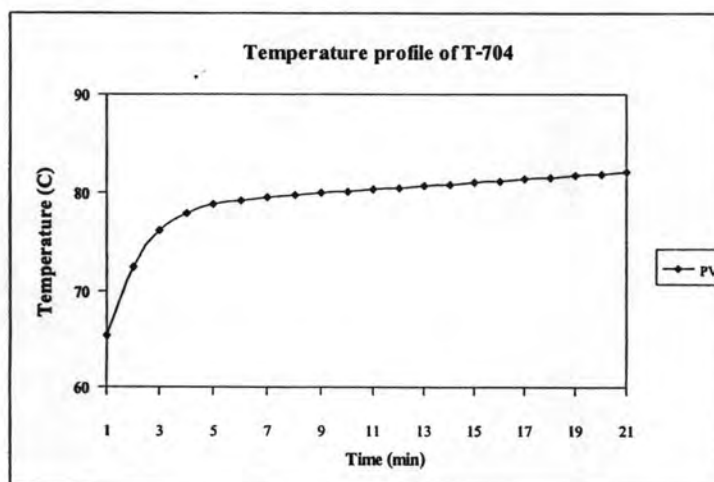
ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 การจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้ภาวะการผลิตจริงมี สัดส่วนการป้อนกลับ 0.378 ซึ่งในเกรดการผลิตที่มีบิวทีน-1 เป็นสารตั้งต้น ต้องดำเนินการผลิตที่ ค่าสัดส่วนการป้อนกลับไม่น้อยกว่า 0.3 ดังนั้น ในกรณีที่ทำกรจำลองกระบวนการดังกล่าวกรณีศึกษาที่ 1 โดยให้มีค่าสัดส่วนการป้อนกลับเป็น 0.3 พบว่า สามารถลดพลังงานที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน (E-705) ได้ 11.33% เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้อยู่เดิม

ผลิตภัณฑักันหอกลับที่ได้ต้องมีปริมาณน้ำปนเปื้อนไม่เกิน 10 พีพีเอ็มโดยมวล จึงได้ทำการ จำลองกระบวนการเมื่อมีปริมาณน้ำปนเปื้อนในกระแสผลิตภัณฑักันหอกลับปริมาณ 10 พีพีเอ็ม ดังกรณีศึกษาที่ 2

ผลที่ได้พบว่า ในกรณีที่ 2 หากทำการผลิตโดยให้ผลิตภัณฑักันหอกลับมีน้ำปนเปื้อนได้ไม่เกิน 10 พีพีเอ็ม พลังงานที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (E-705) ลดลงจากเดิมถึง 27.91% โดยที่ สัดส่วนการป้อนกลับมีค่าเท่ากับ 0.198

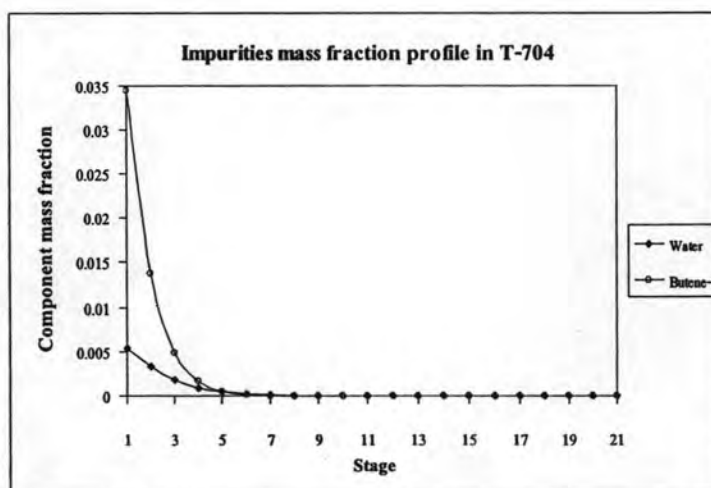
หากทำการผลิตโดยให้ผลิตภัณฑักันหอกลับมีน้ำปนเปื้อนได้ไม่เกิน 5 พีพีเอ็ม ผลการจำลอง กระบวนการพบว่า พลังงานที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-705 ลดลงจากภาวะการผลิต เดิมถึง 27.52%

จากข้อมูลการผลิตจริง เฮกเซนที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยมากกว่าปริมาณเฮกเซนที่ได้จาก แบบจำลองกระบวนการเมื่อใช้ภาวะการผลิตจริงถึง 9.11% โดยที่โพรไฟล์ของอุณหภูมิภายใน หอกลับ T-704 ที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โพรไฟล์ของอุณหภูมิที่ชั้นต่างๆภายในหอกลับ T-704

โพรไฟล์ของสารปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เฮกเซนภายในหอกลั่นแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โพรไฟล์ของสัดส่วนสารปนเปื้อนภายในหอกลั่น T-704

พิจารณารูปที่ 4.1 แสดงโพรไฟล์ของอุณหภูมิที่ชั้นต่างๆภายในหอกลั่น T-704 โดยชั้นที่ 1 คือ ยอดหอกลั่น และชั้นที่ 21 คือ ก้นหอกลั่น การที่อุณหภูมิที่ก้นหอกลั่นสูงเนื่องมาจากอิทธิพลของหม้อต้มซ้ำที่มีการให้ความร้อนโดยไอน้ำความดันต่ำอยู่ตลอดเวลา ไอลของสารที่ระเหยจากก้นหอจะระเหยขึ้นไปยังยอดหอกลั่นโดยอาศัยความแตกต่างของความดัน โดยที่ก้นหอจะมีความดันสูงกว่าที่ยอดหอ ระหว่างที่ไอลเหล่านี้เคลื่อนขึ้นไปยังชั้นต่างๆจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับของเหลวที่ไหลลงมา ไอลของสารที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับของเหลวจะมีพลังงานลดลง ทำให้อุณหภูมิลดลงด้วย จึงสังเกตได้ว่ายิ่งชั้นของหอกลั่นสูงขึ้นจากก้นหอเท่าไรอุณหภูมิจึงลดลงอย่างช้าๆ จนกระทั่งที่ชั้นที่ 6 ของหอกลั่น อุณหภูมิภายในแต่ละชั้นเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 6 มีปริมาณบิวทีน-1 อยู่มาก ซึ่งบิวทีน-1 อยู่ในสถานะแก๊สที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาเซลเซียส ดังนั้น ปริมาณสะสมของแก๊สบิวทีน-1 จึงส่งผลให้อุณหภูมิจึงลดลงอย่างช้าๆ ชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ 6 ของหอกลั่นมีอุณหภูมิต่ำลง ปริมาณการสะสมของบิวทีน-1 ในแต่ละชั้นของหอกลั่นพิจารณาจากรูปที่ 4.2 พบว่า สัดส่วนโดยมวลของบิวทีน-1 มีปริมาณสูงกว่าของน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากหอกลั่นระเหยน้ำนอกจากการกลั่นระเหยน้ำเป็นหน้าที่โดยตรงแล้ว ยังมีหน้าที่โดยอ้อมคือ การกลั่นแยกสารปนเปื้อนออกจากระบบโดยปลดปล่อยออกมาในรูปแก๊สเข้าถังดีแคนเตอร์ (D-702) ดังนั้น ปริมาณสารปนเปื้อนในเฮกเซนไม่ว่าจะเป็นน้ำหรือบิวทีน-1 จะถูกกำจัดออกโดยการระเหยเป็นไอตั้งแต่ชั้นที่ 7 ของหอกลั่นระเหยน้ำ

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์การจำลองกระบวนการเชิงพลวัต

การจำลองกระบวนการเชิงพลวัตโดยโปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์เป็นการนำข้อมูลที่จำลองได้จากโปรแกรมแอสเพนพลัสมาเป็นค่าตั้งต้นในการจำลองกระบวนการเชิงพลวัต โดยที่การจำลองกระบวนการเชิงพลวัตของกระบวนการนำกลับแยกเซนประกอบด้วยวงควบคุมทั้งสิ้น 17 วงควบคุม ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 วงควบคุมของกระบวนการนำกลับแยกเซน

วงควบคุม	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรปรับ
FRC3712	อัตราการไหลกระแส 703	อัตราการไหลกระแส 703
FIC3713	อัตราการไหลกระแสแยกเซน	อัตราการไหลกระแสแยกเซน กระแส 715
FIC3721	อัตราการไหลกระแสไอน้ำความดันปานกลาง	อัตราการไหลกระแสไอน้ำความดันปานกลาง
FIC3722	อัตราการไหลกระแส 713	อัตราการไหลกระแส 713
FIC3731	อัตราการไหลกระแส น้ำที่ใช้ในกระบวนการ	อัตราการไหลกระแส น้ำที่ใช้ในกระบวนการ
FIC3734	อัตราการไหลกระแสไอน้ำความดันต่ำ	อัตราการไหลกระแสไอน้ำความดันต่ำ
FRC3736	อัตราการไหลกระแสแยกเซน 715	อัตราการไหลกระแสแยกเซน 715
LICS3721	ระดับของเหลวที่ถังแยกพล็กซ์ T-703	อัตราการไหลกระแสไอน้ำความดันปานกลาง
LICA3722	ระดับของเหลวที่ถังแยกพล็กซ์ D-711	อัตราการไหลของกระแสที่ถังแยกพล็กซ์
LICA3731	ระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์ D-702 (เฟส 1)	อัตราการไหลของกระแสกลางถังดีแคนเตอร์
LICA3732	ระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์ D-702 (เฟส 2)	อัตราการไหลของกระแสที่ถังดีแคนเตอร์
LIC3733	ระดับของเหลวที่ถังแยกพล็กซ์ T-704	อัตราการไหลของกระแสที่ถังแยกพล็กซ์ T-704
PICS3721	ความดันของหอกถัน T-703	อัตราการไหลของกระแสยอดหอกถัน T-703
PIC3723	ความดันของกระแส 713	อัตราการไหลของกระแส 712
PICA3731	ความดันของถังดีแคนเตอร์ D-702	อัตราการไหลออกของแก๊สที่ถังดีแคนเตอร์ หรือ อัตราการป้อนเข้าของแก๊สไนโตรเจน
TIC3724	อุณหภูมิของกระแสก่อนเข้าถังแยกพล็กซ์ D-711	อัตราการไหลของไอน้ำความดันสูง
TIC3728	อุณหภูมิของกระแสก่อนเข้าถังแยกพล็กซ์ D-712	อัตราการไหลของไอน้ำความดันสูง

ผลการวิเคราะห์การศึกษาการจำลองกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนส่วนการนำกลับแยกเซนจำแนกออกเป็นกรณีศึกษาได้ดังนี้

#### 4.3.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของกระบวนการ

ลักษณะเฉพาะของกระบวนการประกอบด้วย 1. ค่าเกณฑ์หรือค่าความว่องไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรขาเข้า 2. ค่าเวลาที่ของกระบวนการ และ 3. ความล่าช้าในการตอบสนองต่อกระบวนการ การศึกษาดำเนินการโดยใช้แบบจำลองกระบวนการกับวงควบคุมทั้ง 14 วงควบคุมในตารางที่ 4.5 ซึ่งเป็นวงควบคุมจริงของกระบวนการผลิตส่วนการนำกลับเฮกเซนสำหรับโรงงานพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง หน่วยการผลิต 700

ตารางที่ 4.5 ผลการศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการของวงควบคุม

วงควบคุม	การทดสอบกระบวนการแบบวงเปิด		
	เกณฑ์ของกระบวนการ	เวลาที่กระบวนการ (นาที)	เวลาล่าช้า (นาที)
FRC3712	1.08	0.98	1.00
FRC3736	0.81	1.01	3.00
PICS3721	-0.60	8.42	1.00
FIC3731	0.13	1.00	2.00
FIC3713	0.01	1.00	2.00
PICA3731	-1.54	48.25	2.00
LICA3732	-0.38	11.11	1.00
FIC3734	0.97	1.00	1.00
FIC3721	0.28	1.00	1.00
PIC3723	-0.40	1.07	2.00
TIC3724	0.01	0.97	1.00
FIC3722	0.93	1.05	1.00
LICA3722	-0.02	66.19	2.00
TIC3728	0.01	5.52	1.00

จากตารางที่ 4.5 ผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงเปิดหรือออฟไลน์ โดยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคล

#### 4.3.2 การปรับแต่งค่าเครื่องควบคุม

การปรับแต่งค่าเครื่องควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การปรับแต่งแบบวงเปิดและการปรับแต่งแบบวงปิด ซึ่งทั้งสองวิธีใช้หลักวิธีการปรับแต่งที่แตกต่างกัน

##### 4.3.2.1 การปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงเปิดหรือแบบออฟไลน์

เป็นวิธีการปรับแต่งเครื่องควบคุมที่คิดค้นโดยซิกเลอร์-นิโคล ซึ่งใช้ค่าเกณฑ์ของกระบวนการ ค่าเวลาคงที่ของกระบวนการและความล่าช้าในการตอบสนอง ในการคำนวณเพื่อหาพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุม ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมโดยการทดสอบแบบวงเปิด

วงควบคุม	$K_c$	$\tau_i$
FRC3712	0.82	3.33
FRC3736	0.37	9.99
PICS3721	12.57	3.33
FIC3731	3.40	6.66
FIC3713	33.75	6.66
PICA3731	11.11	6.66
LICA3732	26.44	3.33
FIC3734	0.93	3.33
FIC3721	3.22	3.33
PIC3723	1.20	6.66
TIC3724	67.16	3.33
FIC3722	1.02	3.33
LICA3722	1484.62	6.66
TIC3728	720.67	3.33



#### 4.3.2.2 การปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงปิดหรือออนไลน์

การปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบออนไลน์เป็นการปรับแต่งโดยหาค่าเกินสูงสุดและคาบสูงสุด โดยการตั้งค่าเครื่องควบคุมให้อยู่ในโหมดการทำงานอัตโนมัติ จากนั้น

1. ตั้งค่าเครื่องควบคุมให้เป็นแบบพี
2. เพิ่มค่าเกินอย่างช้าๆ จนกระทั่งการตอบสนองเกิดการแกว่งที่แอมพลิจูดคงที่ ค่าเกินขณะนั้นคือ ค่าเกินสูงสุดและค่าคาบของการแกว่งขณะนั้นคือ ค่าคาบสูงสุด

ผลที่ได้จากการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงปิดสามารถนำไปคำนวณโดยสูตรของ ซิกเลอร์-นิโคลและไทเรียส-ลูเบน ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมโดยการทดสอบแบบวงปิด

วงควบคุม	ทดสอบแบบวงปิด		ไทเรียส-ลูเบน		ซิกเลอร์-นิโคล	
	เกินสูงสุด	คาบสูงสุด	Kc	$\tau_i$	Kc	$\tau_i$
FRC3712	3.73	3.00	1.16	6.60	1.69	2.50
FRC3736	4.87	3.00	1.52	6.60	2.21	2.50
PICS3721	1004.34	3.00	313.85	6.60	456.52	2.50
FIC3731	30.46	3.00	9.52	6.60	13.85	2.50
FIC3713	302.38	3.00	94.49	6.60	137.44	2.50
PICA3731	141.76	4.00	44.30	8.80	64.44	3.33
LICA3731	2750.75	6.00	859.61	13.20	1250.34	5.00
LICA3732	99.33	2.00	31.04	4.40	45.15	1.67
FIC3734	3.42	3.00	1.07	6.60	1.56	2.50
FIC3721	12.80	3.00	4.00	6.60	5.82	2.50
LICS3721	3.85	222.00	1.20	488.41	1.75	185.00
PIC3723	10.78	3.00	3.37	6.60	4.90	2.50
TIC3724	270.46	3.00	84.52	6.60	122.94	2.50
FIC3722	4.53	3.00	1.42	6.60	2.06	2.50
LIC3733	2178.35	5.00	680.74	11.00	990.16	4.17

#### 4.3.3 การศึกษาตัวแปรปรับ-ตัวแปรควบคุมที่เหมาะสม

การควบคุมกระบวนการอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทำการเลือกตัวแปรปรับที่ทำให้ผลการควบคุมตัวแปรควบคุมที่ดีที่สุด กล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ตัวแปรปรับต้องมีความสามารถในการควบคุมตัวแปรควบคุมนั้นๆ วิธีการอย่างหนึ่งในการเลือกตัวแปรปรับ-ตัวแปรควบคุม คือ วิธีการวิเคราะห์เกนสัมพัทธ์ (Relative Gain Array: RGA) ซึ่งมีความเป็นอิสระจากหน่วย ทำให้สามารถเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรต่างๆ ได้โดยไม่ขึ้นกับความแตกต่างของหน่วยของตัวแปรนั้นๆ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่า วงควบคุมที่มีอยู่เดิมนั้นมีตัวแปรปรับที่มีความเหมาะสมและมีความสามารถในการควบคุมตัวแปรควบคุมนั้นๆ ได้

หลักการวิเคราะห์ค่าเมทริกซ์เกนสัมพัทธ์

1. หาค่าเกนของกระบวนการของวงควบคุมแบบเปิดโดยการตั้งค่าเครื่องควบคุมให้อยู่ในโหมดปรับแต่งค่าเอง (Manual mode) จากนั้นทำการปรับวาล์วเพิ่มขึ้น 1% สำหรับตัวแปรที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบมาก เช่น วาล์วที่ควบคุมอัตราการไหลออกของของเหลวในถังแยกเฟสและหอกลับ เป็นต้น จากนั้นทำการวัดค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการของตัวแปรที่จะทำการควบคุมทั้งหมด ผลที่ได้นำมาแทนลงในสมการที่ 2 เพื่อคำนวณหาค่าเกน สำหรับบางตัวแปรของกระบวนการอาจมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อทำการปรับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วเพิ่มเพียง 1% ดังนั้น จึงทำการปรับเปอร์เซ็นต์การเปิดวาล์วเพิ่มเป็น 5% กรณีเช่นนี้มักพบในวาล์วปรับอัตราการไหลเข้าบางวาล์ว เช่น วาล์วการป้อนน้ำเข้าสู่กระบวนการ (V32) จากนั้นทำการวัดค่าขนาดการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการและคำนวณหาค่าเกน
2. หาค่าเมทริกซ์เกนสัมพัทธ์โดยใช้วิธีการคำนวณของเอด บรีสตอล (C.A. Smith, 2002) ซึ่งได้ให้ความสัมพันธ์ว่า

$$\mu = \frac{K}{K'} = K \cdot (K^{-1})' \quad (13)$$

โดยที่  $\mu$  คือ ค่าเกนสัมพัทธ์

$K$  คือ ค่าเกนของวงควบคุมแบบเปิด

เมทริกซ์เกนสัมพัทธ์ที่คำนวณได้จากสมการที่ (13) แสดงดังตารางที่ 4.8 โดยแสดงเป็นค่ารหัสดังนี้

CX โดยที่ C แทน ตัวแปรควบคุม และ X แทนลำดับที่ของตัวแปรควบคุม

MY โดยที่ M แทน ตัวแปรปรับ และ Y แทนลำดับที่ของตัวแปรปรับ

ตารางที่ 4.8k แสดงความหมายของตัวแปรควบคุม C และตัวแปรปรับ M

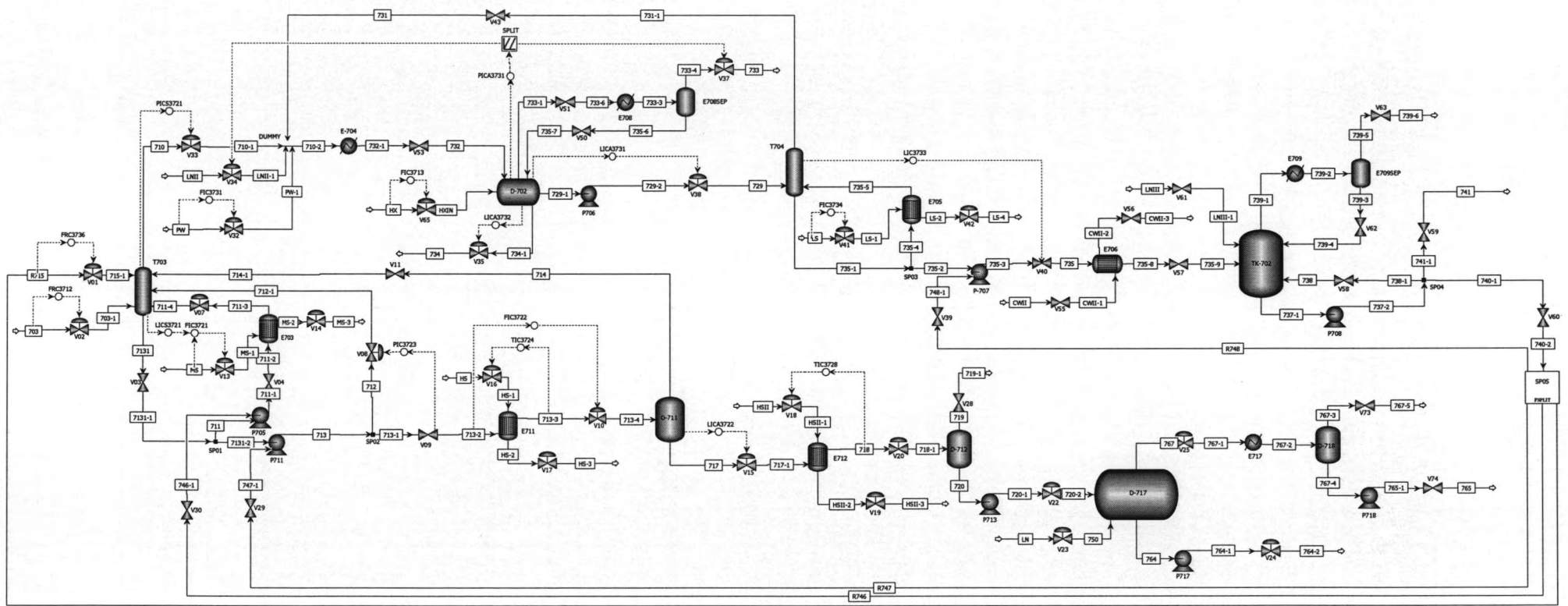
ตารางที่ 4.8 เกนสัมพัทธ์ของกระบวนการส่วนการนำกลับเฮกเซน

RGA	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
M1	1.18	0	-0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	1.08	-0.01	0	0	0	0	0	0	-0.08	0	0	0	0	0	0.01
M3	-0.20	-0.19	1.50	0	0	-0.02	0	-0.08	0	-0.04	0.04	0	0	0	0	-0.02
M4	0	0	0	0.97	0	0.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M5	0	0	0	0	0.96	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M6	-0.07	-0.09	2.06	0.03	0.04	1.59	0	0.12	0.01	-0.02	0.02	0	-0.93	0.07	0.01	0.02
M7	0	0	0	0	0	0	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M8	0	0	0	0	0	0	0	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0
M9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.80	0	0.20	0	0	0	0	0
M10	0	0.60	-0.93	0	0	0	0	0	0	1.20	-0.11	-0.01	0.01	0	0	-0.59
M11	0	0.08	-0.06	0	0	0	0	0	0.18	-0.08	0.87	0	0	0	0	-0.01
M12	0	-0.44	-0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	1.01	0	0	0	0.46
M13	0.10	0.10	-0.34	0	0	-0.64	0	-0.05	0	0.02	-0.03	-0.01	1.86	-0.01	0	0
M14	0	0.02	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0.05	0.94	0	-0.02
M15	0	0.60	0	0	0	-0.03	0	0	0	0	0	0	0.05	0.02	4.99	-4.63
M16	0.01	-0.76	0	0	0	0.02	0	0	0	-0.01	0	0	-0.04	-0.03	3.99	6.79

ตารางที่ 4.8ก ความหมายของรหัส C และ M ในตารางที่ 4.8

X&Y	ตัวแปรควบคุม C	ตัวแปรปรับ M (+%opening)
1	Flow stream 703	Valve V02 (+1%)
2	Flow stream R715	Valve V01 (+1%)
3	T-703 bottom pressure	Valve V33 (+1%)
4	Flow stream PW	Valve V32 (+5%)
5	Flow stream HX	Valve V65 (+5%)
6	D-702 pressure	Valve V34 (+1%)
7	Flow stream LS	Valve V41 (+1%)
8	Flow stream MS	Valve V13 (+1%)
9	Pressure stream 713-1	Valve V08 (+5%)
10	Temperature stream 713-3	Valve V16 (+1%)
11	Flow stream 713-1	Valve V10 (+5%)
12	Temperature stream 718	Valve V18 (+1%)
13	D-702 level phase 1	Valve V38 (+1%)
14	D-702 level phase 2	Valve V35 (+1%)
15	T-704 bottom level	Valve V40 (+1%)
16	D-711 level	Valve V15 (+1%)

ตารางที่ 4.8 ค่าของเกนสัมพัทธ์ที่มีค่าใกล้เคียงหนึ่งหรือเท่ากับหนึ่งของแต่ละแถวจะถูกเลือกเป็นตัวแปรปรับ จากนั้นเลื่อนค่าเกนสัมพัทธ์ในแถวนั้นขึ้นไปด้านบนพบตัวแปรใด ตัวแปรนั้นจะเป็นตัวแปรควบคุม กล่าวโดยตัวอย่างได้ว่า จากตาราง 4.8 พิจารณาควบคุมคู่กับแผนผังกระบวนการเมื่อทำการติดตั้งเครื่องควบคุม (รูปที่ 4.3) วาล์ว V02 มีความสามารถในการควบคุมอัตราการไหลของกระแส 703 ได้ดีที่สุด ในขณะที่ไม่สามารถควบคุมหรือมีความสามารถในการควบคุมตัวแปรอื่นๆ น้อยหรืออาจไม่มีเลย สังเกตได้จากค่าเกนสัมพัทธ์เป็นศูนย์ที่หมายความว่าค่าเกนของวงควบคุมแบบเปิดเป็นศูนย์ ผลที่ได้จากตารางที่ 4.8 พบว่า ตัวแปรปรับที่เลือกในกระบวนการผลิตจริงเพื่อควบคุมตัวแปรควบคุมต่างๆ เป็นคู่ที่เหมาะสมอยู่แล้ว แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ยังมีบางวงควบคุมที่มีผลของอันตรกิริยาระหว่างวงควบคุม เช่น การปรับวาล์ว V10 จะกระทบต่ออัตราการไหลของกระแส 712 และการปรับวาล์ว V08 จะกระทบต่อความดันของกระแส 713-1 เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.3 แผนผังกระบวนการเมื่อทำการติดตั้งเครื่องควบคุม

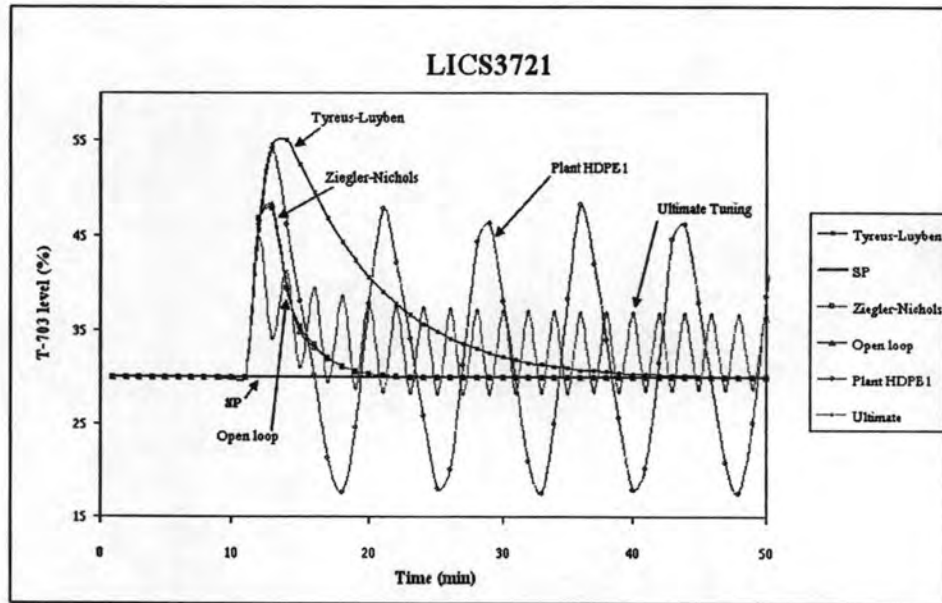
#### 4.3.4 การศึกษาผลของพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมต่อกระบวนการควบคุม

ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่ได้จากการปรับแต่งเครื่องควบคุมโดยแบบจำลองกระบวนการเชิงพลวัตถูกนำมาศึกษา โดยเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมในกระบวนการผลิตจริง ผลที่ได้ทำการวิเคราะห์โดยค่า IAE (Integral of Absolute value of Error) ของแต่ละวงควบคุม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ให้ผลการควบคุมกระบวนการที่ดีที่สุด โดยค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่ใช้ในการจำลองกระบวนการเชิงพลวัต

วงควบคุม	ทดสอบแบบวงเปิด		ไทเรย์ส-ลูเบน		ซิกเลอร์-นิโคล	
	Kc	$\tau_i$	Kc	$\tau_i$	Kc	$\tau_i$
FRC3712	0.82	3.33	1.16	6.6	1.69	2.5
FRC3736	0.37	9.99	1.52	6.6	2.21	2.5
PICS3721	12.57	3.33	313.85	6.6	456.52	2.5
FIC3731	3.4	6.66	9.52	6.6	13.85	2.5
FIC3713	33.75	6.66	94.49	6.6	137.44	2.5
PICA3731	11.11	6.66	44.3	8.8	64.44	3.33
LICA3731	-	-	859.61	13.2	1250.34	5
LICA3732	26.44	3.33	31.04	4.4	45.15	1.67
FIC3734	0.93	3.33	1.07	6.6	1.56	2.5
FIC3721	3.22	3.33	4	6.6	5.82	2.5
LICS3721	-	-	1.2	488.41	1.75	185
PIC3723	1.2	6.66	3.37	6.6	4.9	2.5
TIC3724	67.16	3.33	84.52	6.6	122.94	2.5
FIC3722	1.02	3.33	1.42	6.6	2.06	2.5
LICA3722	1484.62	6.66	-	-	-	-
TIC3728	720.67	3.33	-	-	-	-
LIC3733	-	-	680.74	11	990.16	4.17

ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่ต่างกันสะท้อนถึงความสามารถในการควบคุมที่แตกต่างกันด้วย โดยแสดงออกมาในลักษณะของพฤติกรรมตอบสนองของกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

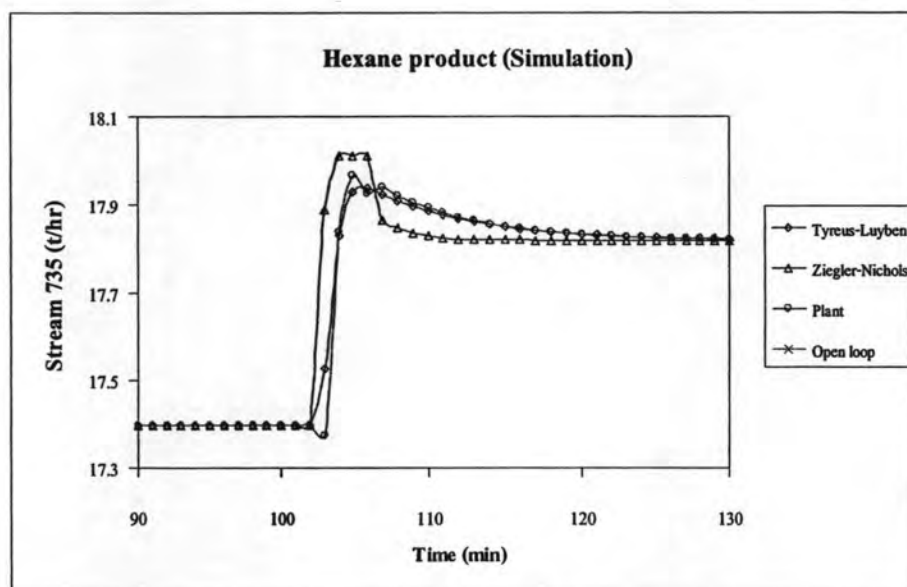


รูปที่ 4.4 พฤติกรรมตอบสนองของวงควบคุม LICS3721 ที่ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมต่างกัน

จากตารางที่ 4.9 ค่า  $K_c$  ของการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบซิกเลอร์-นิโคลสูงกว่าการปรับแต่งเครื่องควบคุมของไทเรียส-ลูเบน ในขณะที่  $\tau_i$  ของการปรับแต่งโดยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลสั้นกว่าทำให้พฤติกรรมตอบสนองต่อการควบคุมกระบวนการโดยวิธีนี้เร็วกว่าวิธีการปรับแต่งเครื่องควบคุมของไทเรียส-ลูเบน นอกจากนี้ การใช้ค่าพารามิเตอร์โดยการทดสอบแบบวงปิด ได้แก่ ค่าเกนสูงสุดและค่าคาบสูงสุดจะให้ผลการควบคุมกระบวนการที่เกิดการแกว่งอย่างต่อเนื่องด้วยแอมพลิจูดที่เท่ากัน หากว่าค่าเกนสูงกวานี้จะทำให้กระบวนการไม่มีเสถียรภาพและเกิดการตอบสนองของกระบวนการแบบลู่ออกได้

ผลสรุปที่ได้จากตารางที่ 4.9 พบว่า การปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงปิดด้วยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลให้ค่าเกนสูงกว่การปรับแต่งด้วยวิธีการของไทเรียส-ลูเบนและการปรับแต่งแบบวงเปิด ตามลำดับ ในขณะที่ค่า  $\tau_i$  ของการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงปิดด้วยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลมีค่าต่ำกว่าการปรับแต่งด้วยวิธีการของไทเรียส-ลูเบนและการปรับแต่งแบบวงเปิดตามลำดับ จึงเป็นผลให้การควบคุมด้วยวิธีการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงปิดของซิกเลอร์-นิโคลให้ผลการตอบสนองต่อกระบวนการได้เร็วที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ค่า IAE ของกระบวนการในหัวข้อ 4.3.5

ผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ได้จากกระบวนการผลิต เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่แตกต่างกัน เป็นผลให้พฤติกรรมตอบสนองของผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ได้จากกระบวนการผลิตแตกต่างกันในช่วงของการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต แต่กระนั้นปริมาณเฮกเซนสุดท้ายมีปริมาณที่เท่ากัน ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลิตภัณฑ์เฮกเซนจากกระบวนการผลิตที่ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมต่างกัน

4.3.5 การวิเคราะห์ค่าสัมบูรณ์ของค่าความคลาดเคลื่อน (IAE) ของวงควบคุมกระบวนการ การปรับแต่งค่าเครื่องควบคุมด้วยวิธีที่ต่างกันทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่แตกต่างกัน ดังนั้น ผลของการควบคุมกระบวนการจึงแตกต่างกันด้วย การเปรียบเทียบผลของค่าพารามิเตอร์ที่มีต่อกระบวนการสามารถเปรียบเทียบได้หลายทางเช่น เวลาในการตอบสนองต่อกระบวนการหรืออาจเปรียบเทียบในเชิงปริมาณ ซึ่งในที่นี้ได้ใช้การเปรียบเทียบจากค่า IAE ตารางที่ 4.10 แสดงค่า IAE เมื่อเครื่องควบคุมใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีการปรับแต่งที่ต่างกัน ดังนี้

IAE 1 ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมของภาวะการผลิตจริง

IAE 2 ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่ปรับแต่งโดยวิธีการของไทเรียส-ลูเบนแบบวงปิด

IAE 3 ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่ปรับแต่งโดยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลแบบวงปิด

IAE 4 ใช้ค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมที่ปรับแต่งโดยวิธีการของซิกเลอร์-นิโคลแบบวงเปิด



ตารางที่ 4.10 ค่าไอเออีของการปรับแต่งเครื่องควบคุมด้วยวิธีการต่างกัน

วงควบคุม	IAE 1	IAE 2	IAE 3	IAE 4
FRC3712	2.14E+01	3.02E+01	7.71E+00	2.72E+01
FRC3736	8.59E+00	6.72E+00	1.74E+00	5.36E+01
PICS3721	5.43E-03	4.60E-03	4.58E-03	2.13E-02
FIC3731	7.20E-02	1.31E-02	9.49E-03	5.45E-01
FIC3713	2.49E-02	5.98E-04	5.73E-04	3.75E-02
PICA3731	8.99E-03	6.95E-03	6.95E-03	1.14E-02
LICA3731	8.06E-03	1.82E-05	1.15E-05	2.29E-01
LICA3732	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03
LICA3733	1.00E-02	2.36E-04	2.05E-01	1.70E+01
LICS3721	4.34E+00	4.37E+00	1.15E+00	1.87E+01
PIC3723	2.89E-03	1.39E-03	3.49E-04	8.74E-02
FIC3722	3.44E+00	6.12E-01	1.53E-01	1.15E+01
TIC3724	2.41E-02	2.40E-02	2.22E-02	7.36E-02
LICA3722	4.66E+00	4.66E+00	4.56E+00	4.51E+00
TIC3728	1.02E+01	7.30E-03	7.28E-03	3.15E-02
<b>ผลรวม</b>	<b>5.28E+01</b>	<b>4.66E+01</b>	<b>1.56E+01</b>	<b>1.34E+02</b>

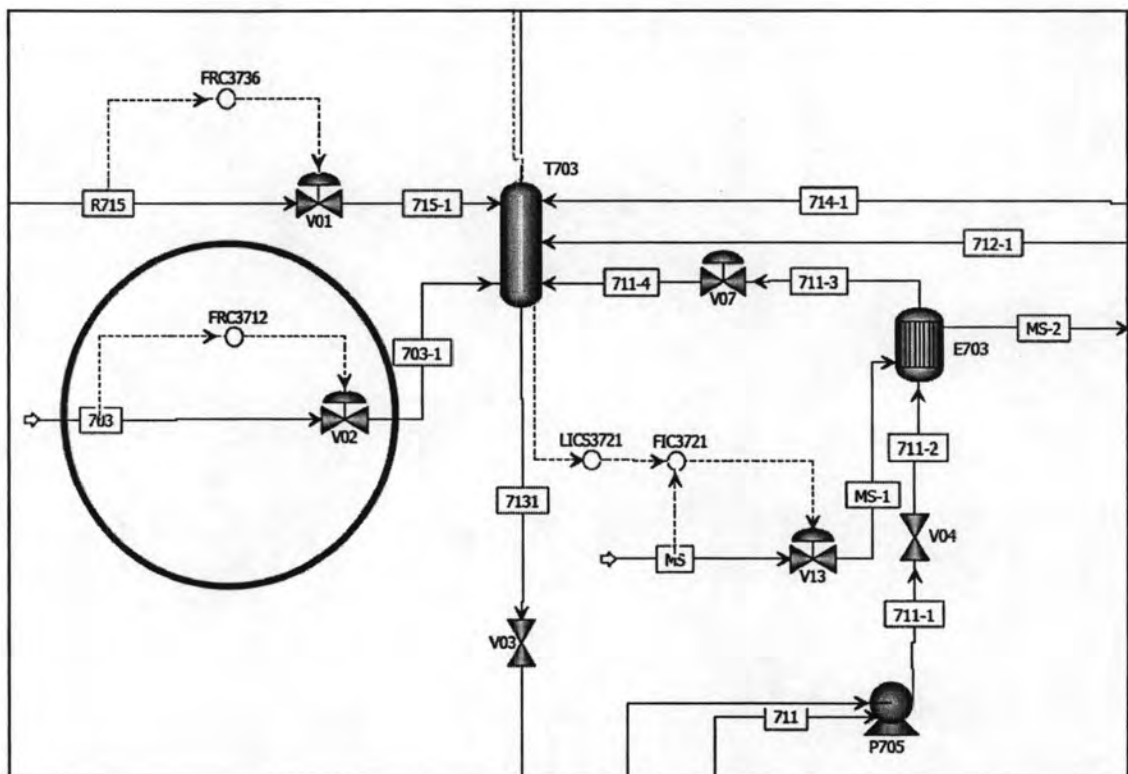
การปรับแต่งเครื่องควบคุมด้วยวิธีการต่างๆมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของกระบวนการ โดยวิธีการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงปิดของซิกเลอร์-นิโคลให้ผลการควบคุมโดยรวมที่ดีที่สุด สังเกตจากค่า IAE ที่น้อยที่สุด ทั้งนี้ ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ทำให้ค่า IAE รวมของการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงเปิดมีค่าสูง เนื่องมาจากวงควบคุม FRC3712 และ FRC3736 มีความล่าช้า พิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมจากตารางที่ 4.9 ค่าเกนมีค่าต่ำในขณะที่ค่า  $\tau$  มีค่าสูง จากการเปรียบเทียบค่า IAE ในตารางที่ 4.10 สามารถกล่าวได้ว่าการปรับแต่งเครื่องควบคุมแบบวงปิดโดยโปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์ให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าค่าพารามิเตอร์จากภาวะการผลิตจริง

#### 4.4 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองกระบวนการกับกระบวนการผลิตจริง

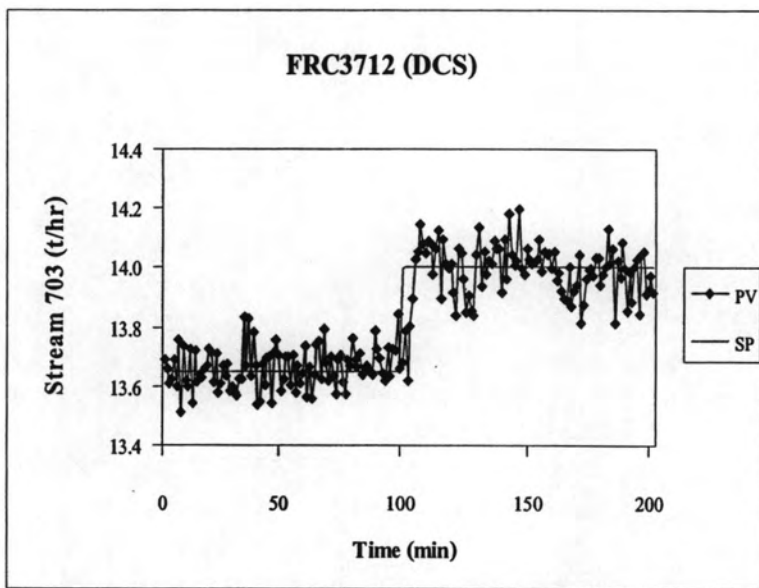
การวิเคราะห์ความถูกต้องของกระบวนการควบคุมที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการเชิงพลวัตกับกระบวนการผลิตจริง โดยการวิเคราะห์แนวโน้มความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกระบวนการเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสารป้อนเข้าสู่กระบวนการแบบขั้นบันไดตามกระบวนการผลิตจริง ผลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยวงควบคุมหลัก ดังนี้

##### 4.4.1 วงควบคุมสารป้อนหลักเข้าสู่หอกลั่น T-703

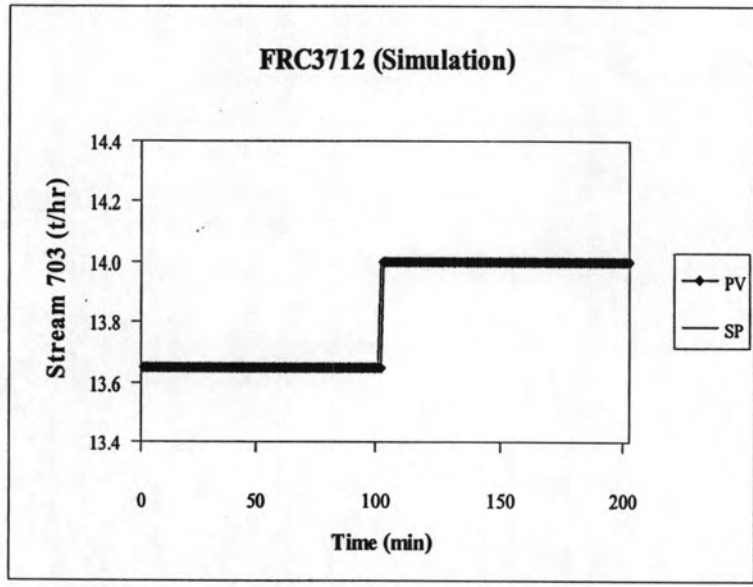
วงควบคุม FRC3712 เป็นวงควบคุมสารป้อนกระแส 703 เข้าสู่หอกลั่นแยกเฮกเซนออกจากพอลิเมออร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ตำแหน่งของวงควบคุม FRC3712 แสดงดังรูปที่ 4.6 จากช่วงเวลาในกระบวนการผลิตจริงที่เลือกไว้ก่อนหน้านี้ได้ทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมายของสารป้อนหลักจาก 13.65 ตันต่อชั่วโมง เป็น 14.0 ตันต่อชั่วโมงที่เวลา 101 นาที พฤติกรรมของกระบวนการควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งของวงควบคุม FRC3712



ก) กระบวนการผลิตจริง

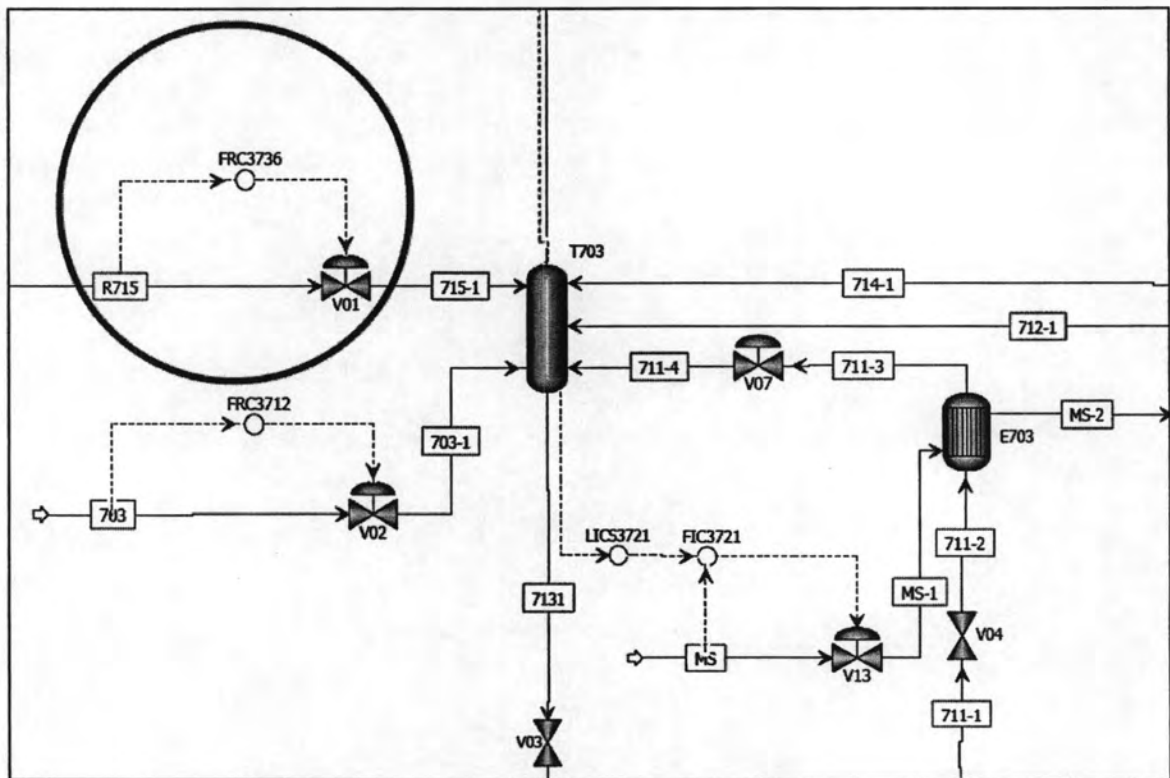


ข) แบบจำลองกระบวนการ

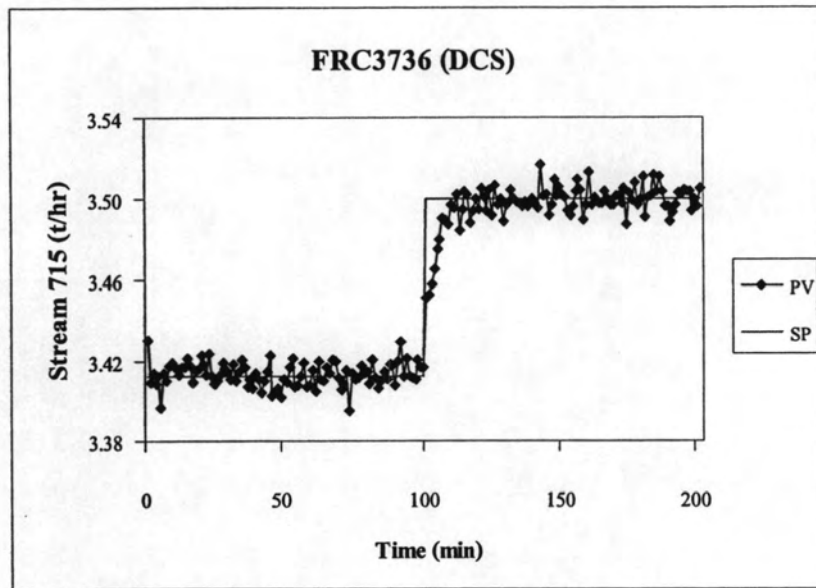
รูปที่ 4.7 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FRC3712

#### 4.4.2 วงควบคุมการป้อนเฮกเซนเข้าสู่หอกลั่น T-703

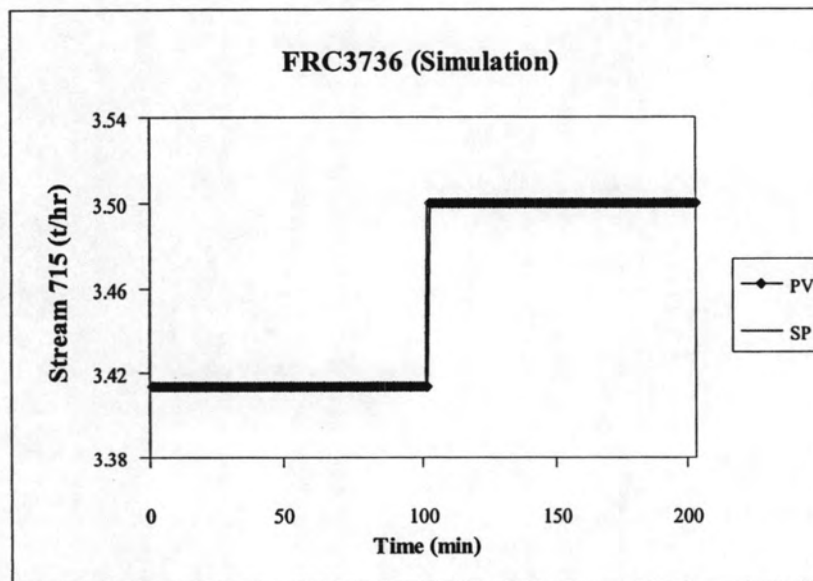
วงควบคุม FRC3736 เป็นวงควบคุมการป้อนเฮกเซนกระแส 715 เข้าสู่หอกลั่น T-703 เพื่อป้องกันการอุดตันภายในแต่ละชั้นของหอกลั่น ตำแหน่งของวงควบคุม FRC3736 แสดงดังรูปที่ 4.8 โดยปริมาณเฮกเซนที่ทำการป้อนจะมีค่าเท่ากับ 25% ของกระแส 703 เมื่อทำการเปลี่ยนสารป้อนกระแส 703 เป็น 14 ตันต่อชั่วโมง จึงต้องทำการปรับกระแส 715 เป็น 3.5 ตันต่อชั่วโมง พฤติกรรมของกระบวนการควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งของวงควบคุม FRC3736



ก) กระบวนการผลิตจริง

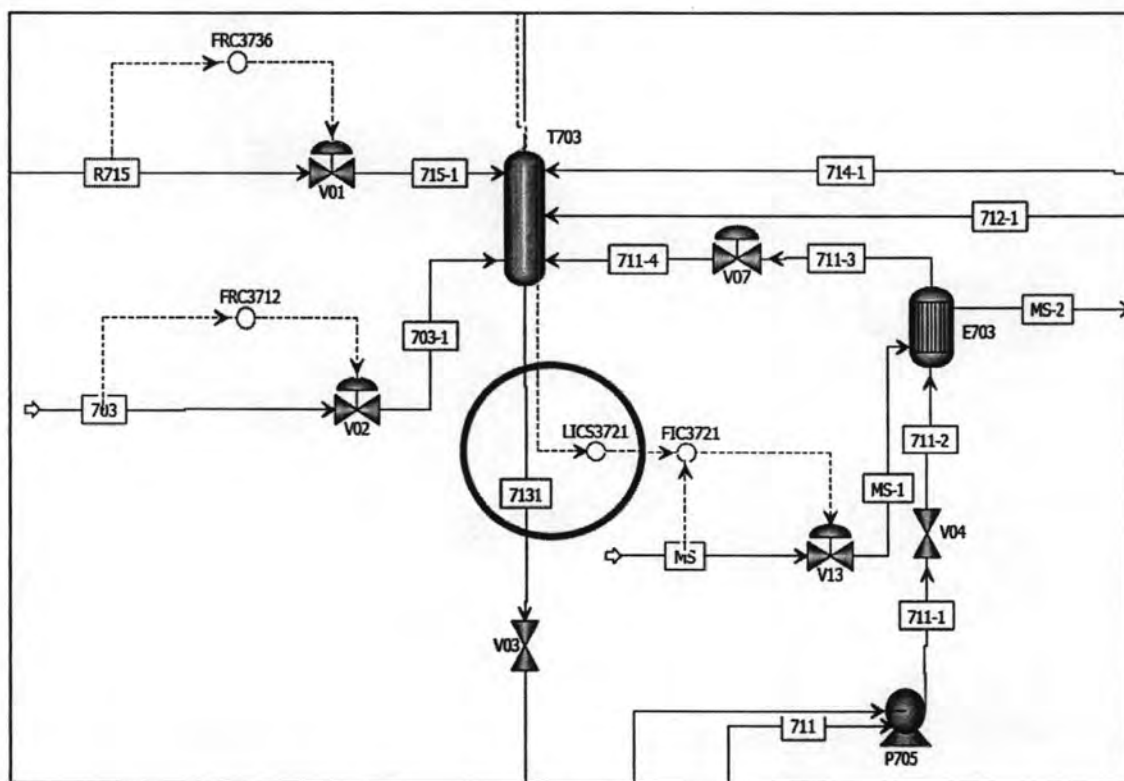


ข) แบบจำลองกระบวนการ

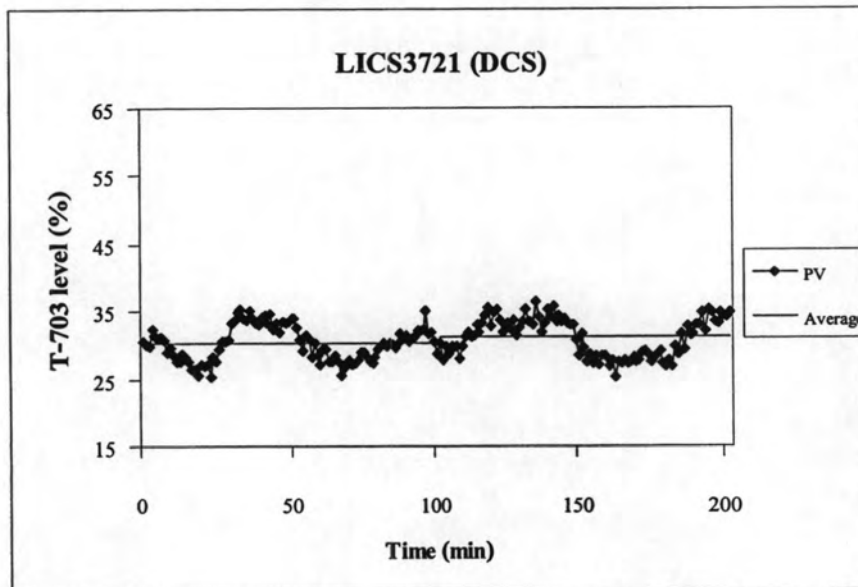
รูปที่ 4.9 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FRC3736

### 4.4.3 วงควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอกกลั่น T-703

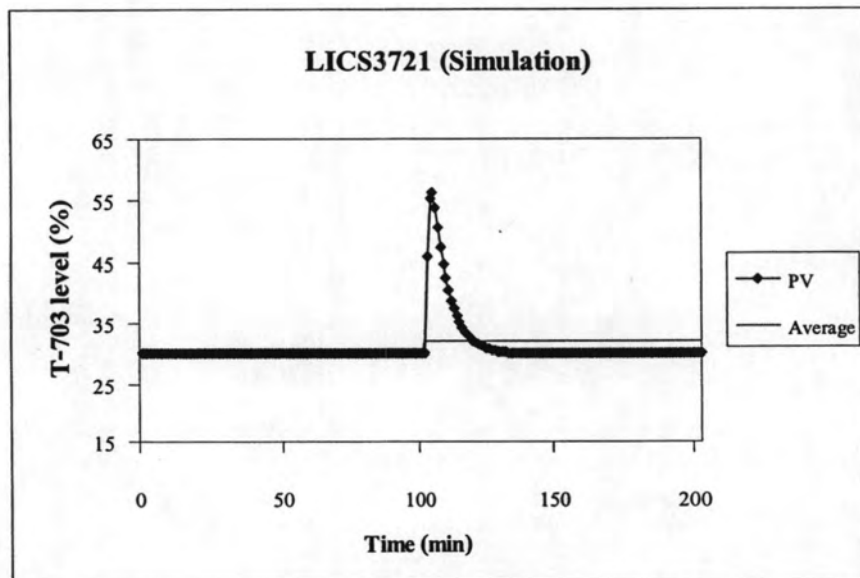
วงควบคุม LICS3721 เป็นวงควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอกกลั่น T-703 ให้คงที่ที่ 30% ซึ่งทำการควบคุมโดยการส่งสัญญาณขาออกของเครื่องควบคุมระดับของเหลวไปเป็นสัญญาณค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุมอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลาง ตำแหน่งของวงควบคุม LICS3721 แสดงดังรูปที่ 4.10 ผลที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการเมื่อทำการเปลี่ยนสารป้อนจาก 13.65 เป็น 14.0 ตันต่อชั่วโมง ระดับของเหลวที่ก้นหอกกลั่นเพิ่มสูงสุดถึง 56.4% และกลับสู่ค่าเป้าหมายในเวลา 34 นาที ในขณะที่กระบวนการผลิตจริงระดับของเหลวเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 36.3% นอกจากนี้ หลังจากเวลา 101 นาที แนวโน้มของระดับของเหลวโดยเฉลี่ยของทั้งสองกระบวนการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยกระบวนการผลิตจริงมีระดับของเหลวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 0.87% ในขณะที่แบบจำลองกระบวนการเชิงพลวัตมีระดับของเหลวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.17% พฤติกรรมของกระบวนการควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งของวงควบคุม LICS3721



ก) กระบวนการผลิตจริง



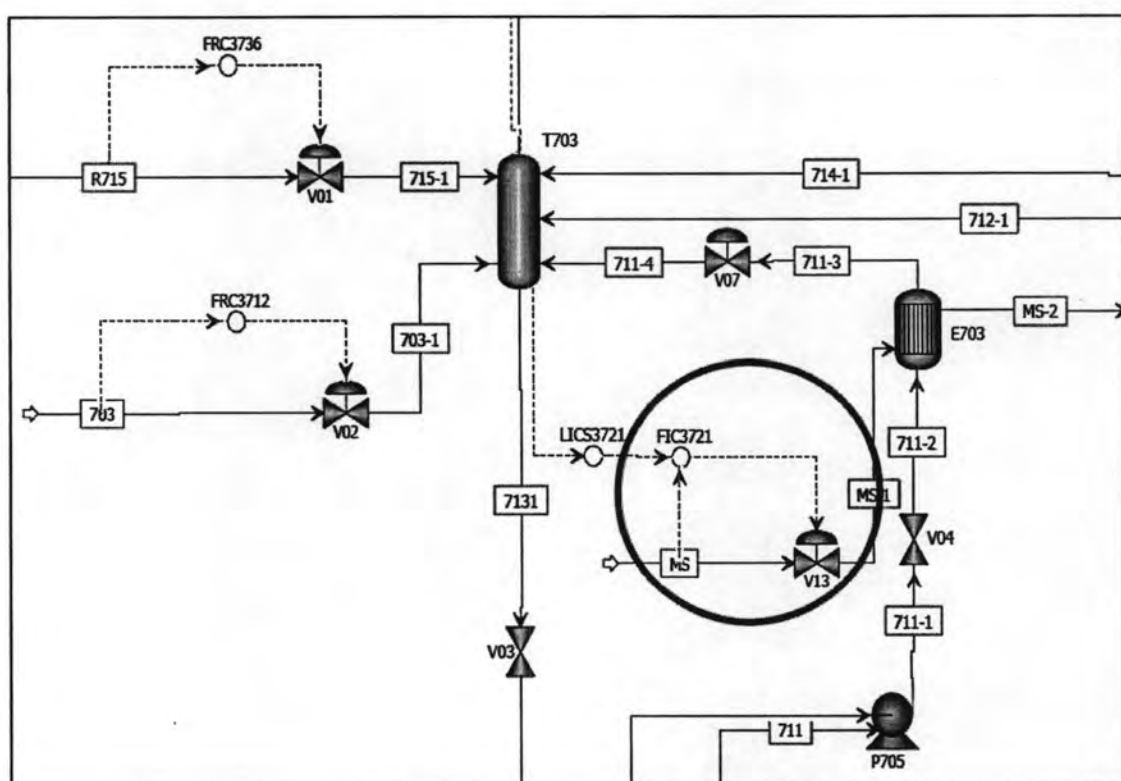
ข) แบบจำลองกระบวนการ

รูปที่ 4.11 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LICS3721

ระดับของเหลวที่กั้นหอกลับ T-703 ที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการสูงกว่ากระบวนการผลิตจริงในช่วงการเปลี่ยนแปลงค่าเป้าหมายที่เวลา 101 นาที เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของสารป้อนอย่างทันทีทันใดของแบบจำลองกระบวนการ ในขณะที่กระบวนการผลิตจริงมีการเพิ่มขึ้นของสารป้อนอย่างค่อยเป็นค่อยไป (รูปที่ 4.7 และ 4.9) ทำให้ระดับของเหลวที่กั้นหอกลับไม่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว (รูป 4.11ข)

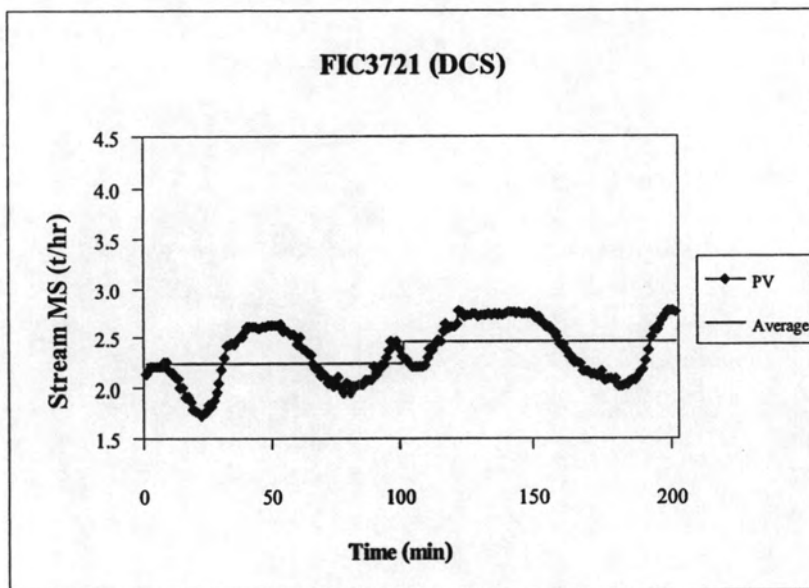
#### 4.4.4 วงควบคุมอัตราการป้อนไอน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-703

วงควบคุม FIC3721 เป็นวงควบคุมอัตราการป้อนไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-703 เพื่อรักษาระดับของเหลวของหอกลั่นให้คงที่ โดยวงควบคุมนี้รับคำสั่งสัญญาณเป้าหมายของระดับของเหลวจากวงควบคุม LIC3721 หากว่าระดับของเหลวในหอกลั่นเพิ่มขึ้นอัตราการใช้น้ำก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ตำแหน่งของวงควบคุม FIC3721 แสดงดังรูปที่ 4.12 จากแบบจำลองกระบวนการเมื่อทำการเพิ่มสารป้อนเข้าสู่กระบวนการโดยวงควบคุม FRC3712 และ FRC3736 จะต้องทำการเพิ่มปริมาณไอน้ำโดยเฉลี่ยสูงถึง 65.8% ซึ่งสูงกว่าปริมาณไอน้ำที่ใช้เพิ่มขึ้นของกระบวนการผลิตจริงถึง 85% พฤติกรรมของกระบวนการควบคุมแสดงได้ดังรูปที่ 4.13

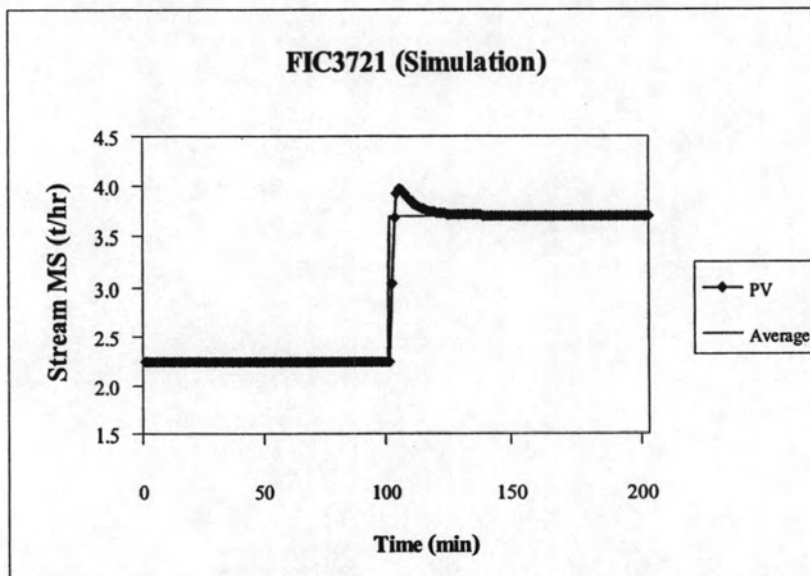


รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของวงควบคุม FIC3721





ก) กระบวนการผลิตจริง

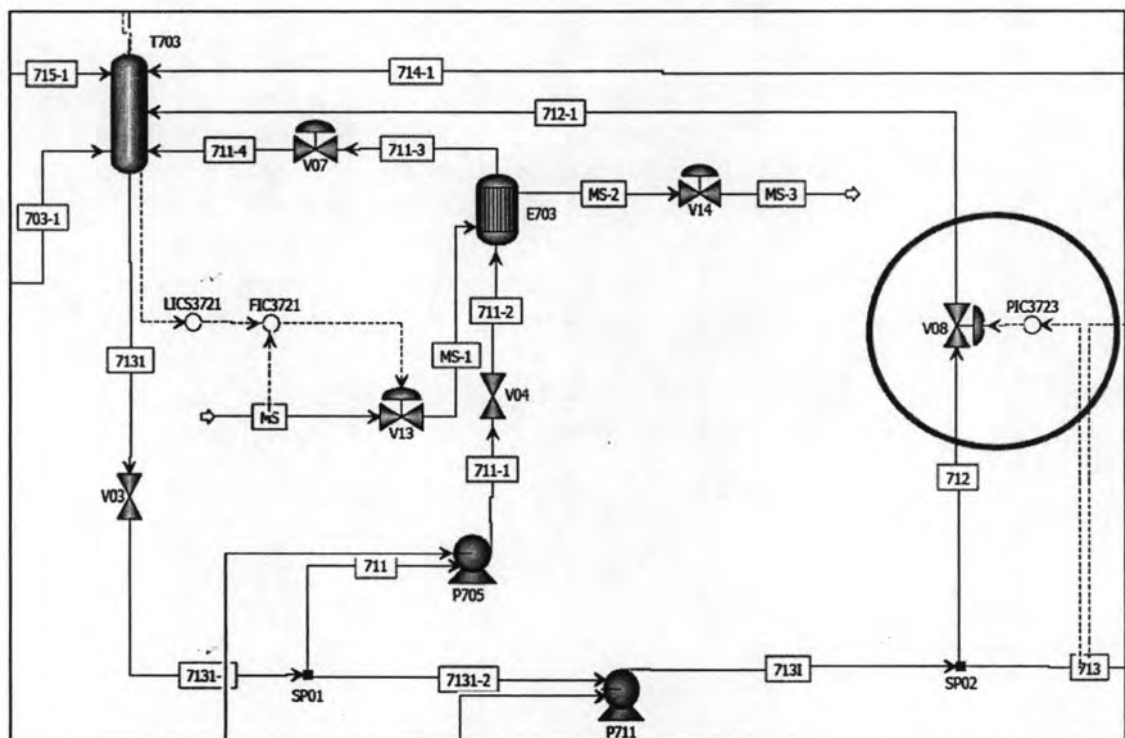


ข) แบบจำลองกระบวนการ

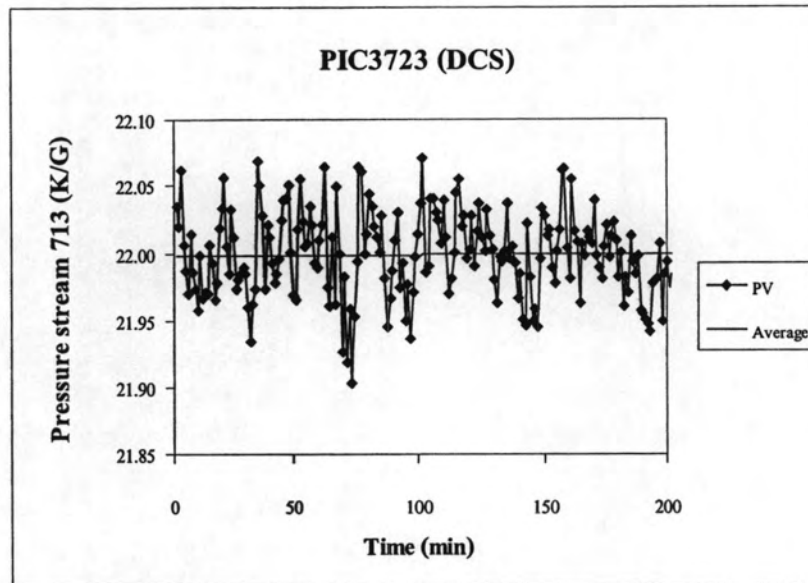
รูปที่ 4.13 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FIC3721

#### 4.4.5 วงควบคุมความดันกระแส 713

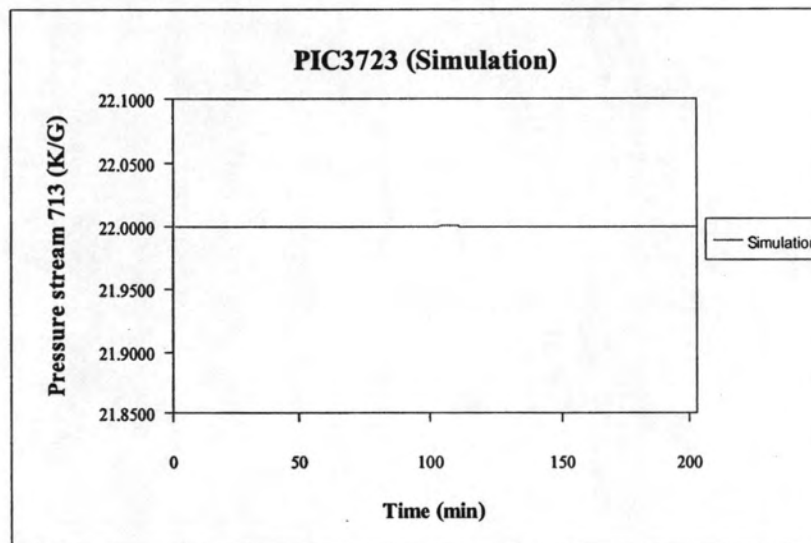
วงควบคุม PIC3723 เป็นการควบคุมความดันของกระแส 713 เพื่อส่งไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-711 ตำแหน่งของวงควบคุม PIC3723 แสดงดังรูปที่ 4.14 จากการพิจารณาพบว่า เมื่อทำการเพิ่มสารป้อนเข้าสู่กระบวนการแบบขั้นบันได ความดันของกระแส 713 สามารถรักษาระดับความดันไว้ตามค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงของความดันเพียงเล็กน้อยก่อนที่ความดันของกระแส 713 จะเข้าสู่สถานะคงตัวอีกครั้ง การเปลี่ยนแปลงของความดันจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอัตราการไหลของกระแส 713 ซึ่งสามารถพิจารณาพฤติกรรมของวงควบคุม FIC3722 ดังที่ได้กล่าวต่อไปโดยพร้อมกันได้ และพฤติกรรมของกระบวนการควบคุมความดันกระแส 713 แสดงได้ดังรูปที่ 4.15



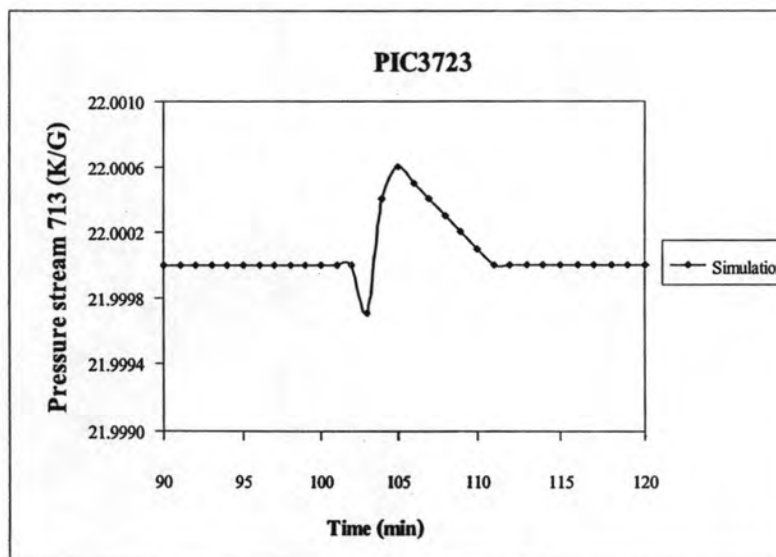
รูปที่ 4.14 ตำแหน่งของวงควบคุม PIC3723



ก) กระบวนการผลิตจริง



ข) แบบจำลองกระบวนการ



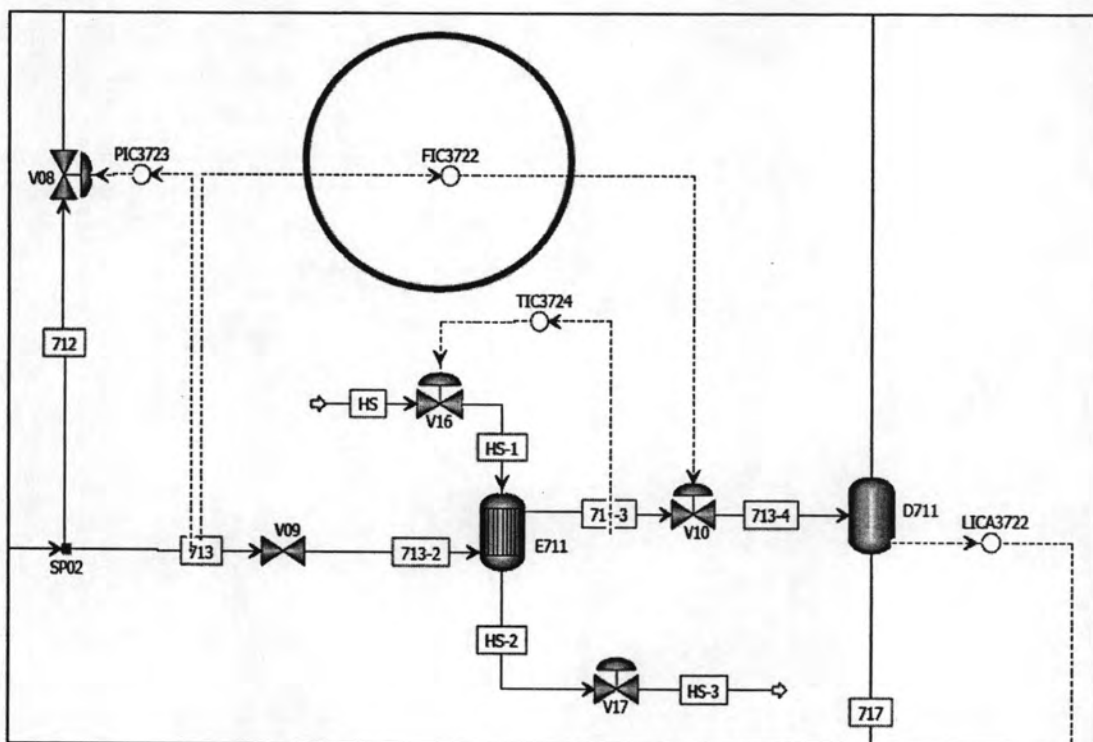
ค) แบบจำลองกระบวนการ (ขยายรูป ช่วงเวลา 90 – 120 นาที)

รูปที่ 4.15 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม PIC3723

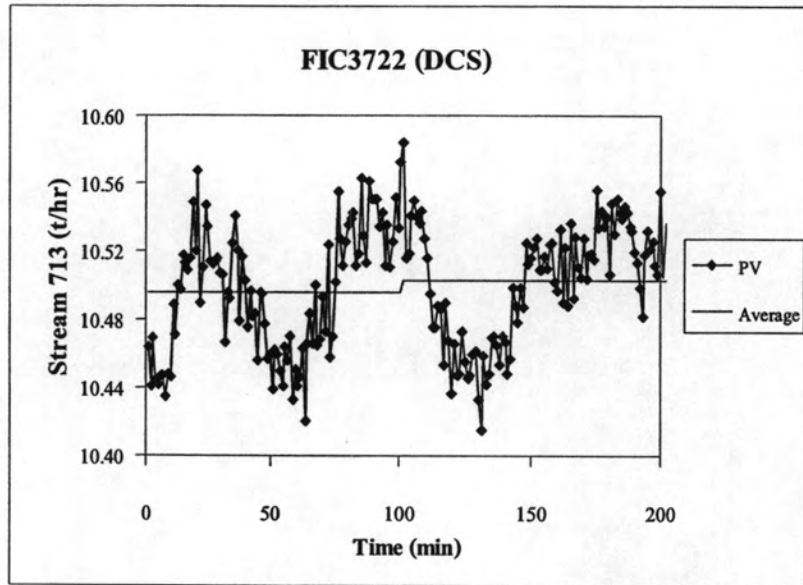
รูปที่ 4.15ก แสดงความดันของกระบวนการผลิตจริง ในขณะที่รูป 4.15ข แสดงความดันของกระบวนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการ แต่เนื่องจากในแบบจำลองกระบวนการไม่เกิดการแกว่งจึงมีขนาดของการเปลี่ยนแปลงของความดันที่น้อยมาก เมื่อทำการเพิ่มอัตราสารป้อนเข้าสู่กระบวนการที่เวลา 101 นาที จึงทำการขยายขนาดของรูปในช่วงเวลา 90 ถึง 120 นาที เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ความดันที่เปลี่ยนแปลงของกระแส 713 จะสัมพันธ์กับอัตราการไหลของกระแส 713 เช่นกัน นั่นคือ หากความดันของกระแส 713 ลดลง อัตราการไหลของกระแส 713 ก็ลดลงด้วย ในทำนองเดียวกัน หากว่าความดันของกระแส 713 เพิ่ม ทำให้อัตราการไหลของกระแส 713 เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอัตราการไหลของกระแส 713 จะถูกควบคุมโดยวงควบคุม FIC3722

#### 4.4.6 วงควบคุมอัตราการไหลกระแส 713

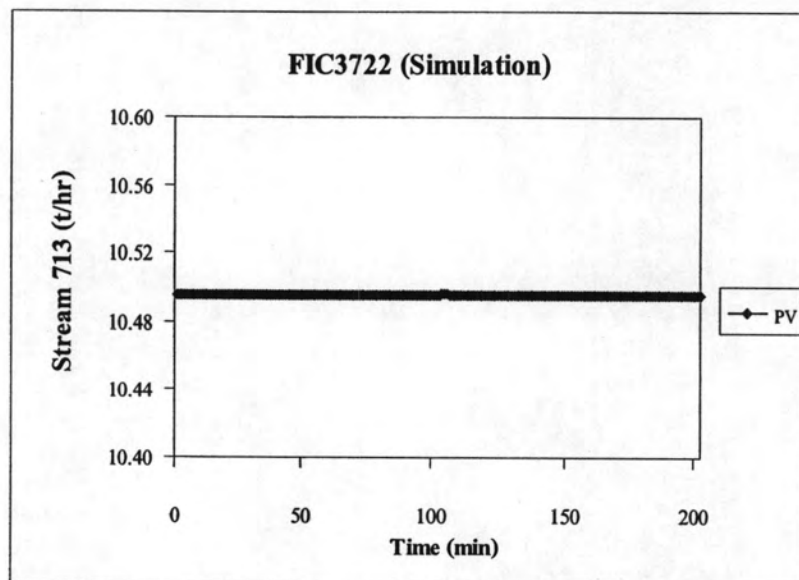
วงควบคุม FIC3722 ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของกระแส 713 โดยการปรับวาล์ว (V10) ด้านขาเข้าถึงแยกแฟลช 711 (D-711) ตำแหน่งของวงควบคุม FIC3722 แสดงดังรูปที่ 4.16 จากรูปที่ 4.7 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสารป้อนเข้าสู่หอกลั่น T-703 พบว่า เมื่อระดับของเหลวภายในก้นหอกลั่นเพิ่ม ปริมาณกระแส 713 ก็เพิ่มขึ้นด้วย ระบบควบคุมต้องทำการปรับวาล์วเพื่อตามให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4.17



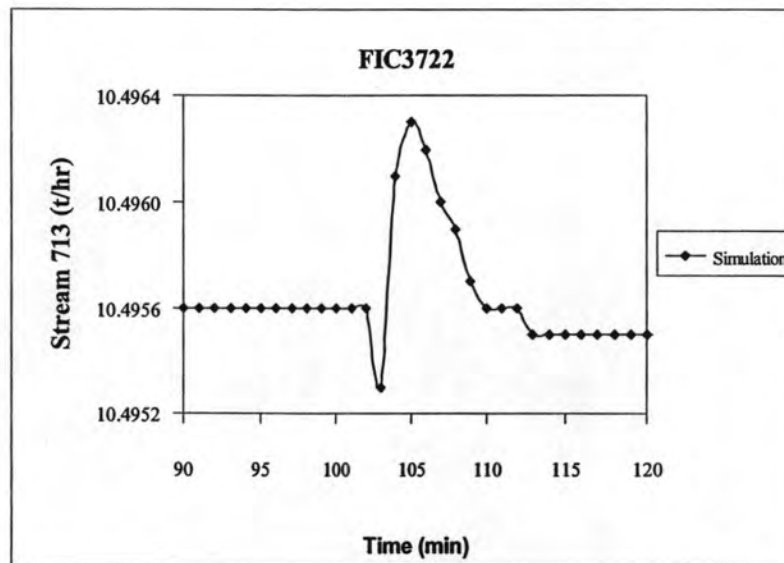
รูปที่ 4.16 ตำแหน่งของวงควบคุม FIC3722



ก) กระบวนการผลิตจริง



ข) แบบจำลองกระบวนการ



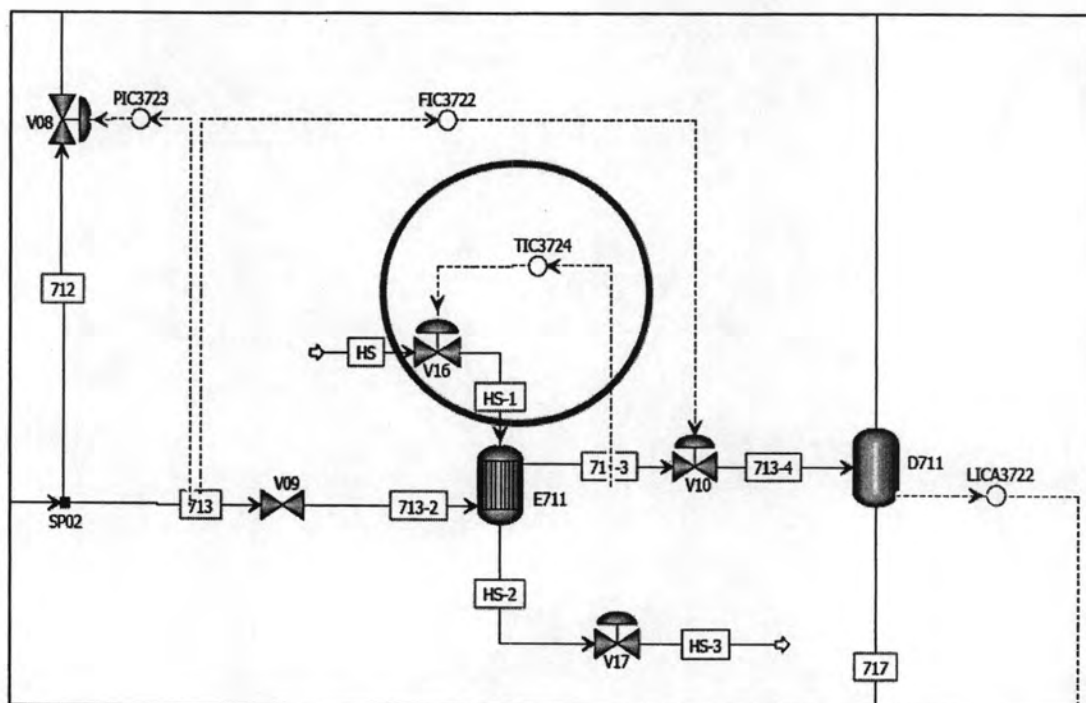
ค) แบบจำลองกระบวนการ (ขยายรูป ช่วงเวลา 90 – 120 นาที)

รูปที่ 4.17 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม FIC3722

รูปที่ 4.17ก แสดงความดันของกระบวนการผลิตจริง ในขณะที่รูป 4.17ข แสดงความดันของกระบวนการผลิตที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการ แต่เนื่องจากในแบบจำลองกระบวนการไม่เกิดการแกว่งอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนต่างๆขนาดของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงมีขนาดเล็กมาก เมื่อทำการเพิ่มอัตราสารป้อนเข้าสู่กระบวนการที่เวลา 101 นาที ทำการขยายขนาดของรูปในช่วงเวลา 90 ถึง 120 นาที เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 4.17ค การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของกระแส 713 ที่ควบคุมด้วยวงควบคุม FIC3722 สัมพันธ์กับรูปที่ 4.15 ซึ่งควบคุมความดันของกระแส 713 โดยวงควบคุม PIC3723

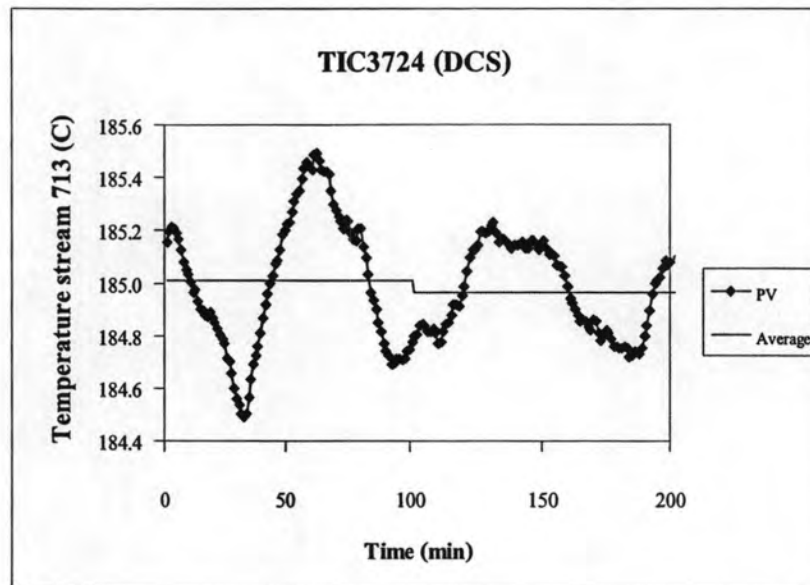
#### 4.4.7 วงควบคุมอุณหภูมิของกระแสขาออกจาก E-711

วงควบคุม TIC3724 ทำการควบคุมอุณหภูมิของกระแสขาออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้อยู่ที่ค่าเป้าหมาย 185 องศาเซลเซียสก่อนส่งกระแสที่ถูกควบคุมอุณหภูมิไปยังถังแยกเฟลซ (D-711) โดยการควบคุมอุณหภูมิทำโดยการปรับวาล์วไอน้ำความดันสูงที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-711 ตำแหน่งของวงควบคุม TIC3724 แสดงดังรูปที่ 4.18 และพฤติกรรมของวงควบคุม TIC3724 แสดงได้ดังรูปที่ 4.19

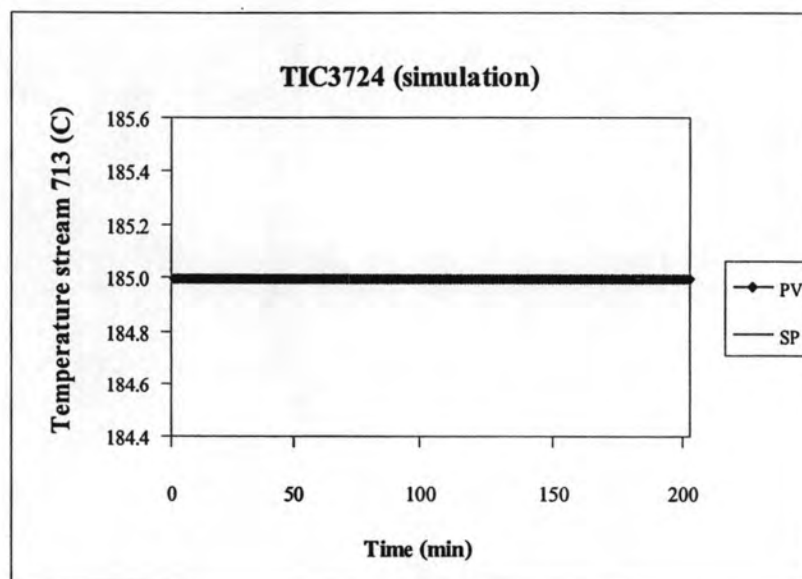


รูปที่ 4.18 ตำแหน่งของวงควบคุม TIC3724





ก) กระบวนการผลิตจริง



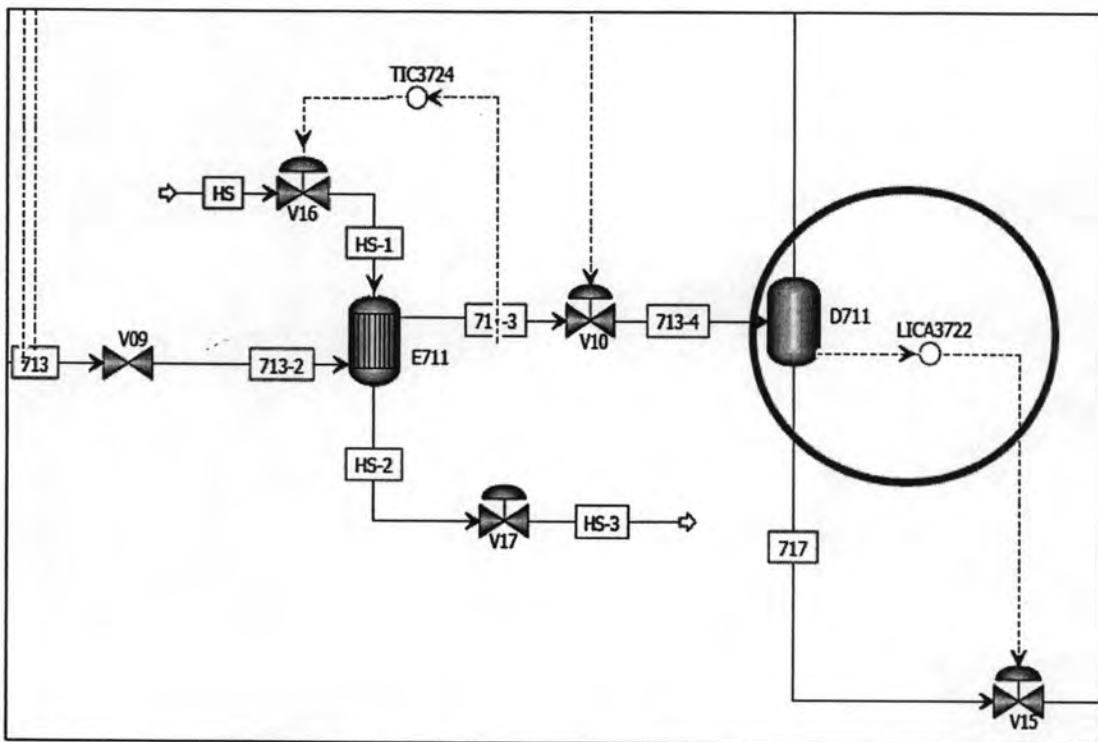
ข) แบบจำลองกระบวนการ

รูปที่ 4.19 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม TIC3724

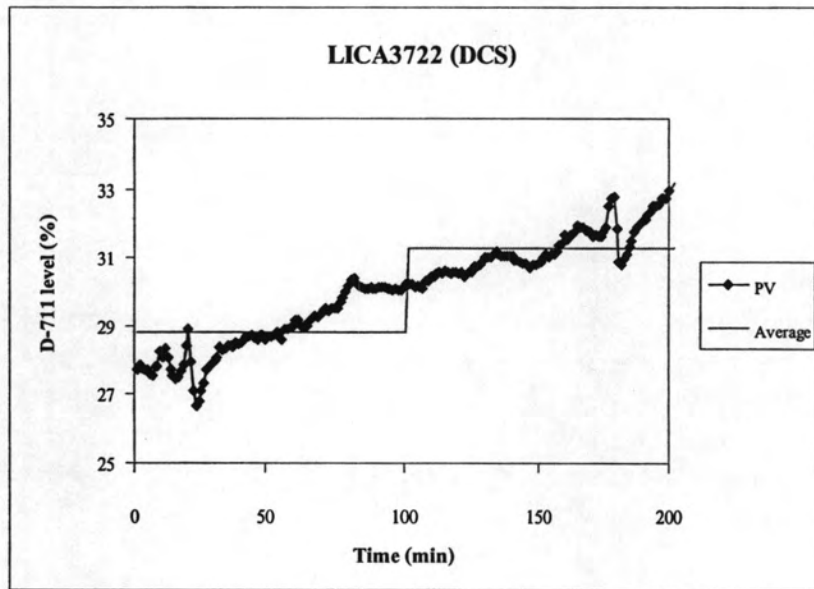
การเพิ่มอัตราสารป้อนเข้าสู่กระบวนการที่เวลา 101 นาที ส่งผลให้กระแส 713 รูปที่ 4.17ค เกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้น ผลที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการส่งผลให้อุณหภูมิกระแส 713 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ซึ่งอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิตจริงลดลงจากเดิมเพียง 0.033 องศาเซลเซียส เท่านั้น

#### 4.4.8 วงควบคุมระดับของเหลวที่ถังแยกแฟลช D-711

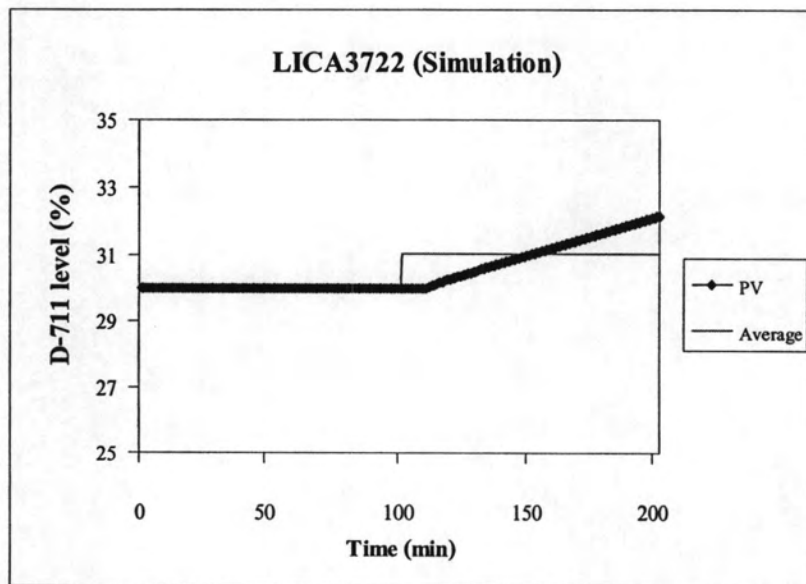
วงควบคุม LICA3722 ทำการควบคุมระดับของเหลวของถังแยกแฟลชลำดับที่ 1 (D-711) โดยการปรับวาล์วขาออกจากกันถังเพื่อส่งถ่ายพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำไปยังส่วนการผลิตอื่น ตำแหน่งของวงควบคุม LICA3722 แสดงดังรูปที่ 4.20 จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสารป้อนเข้าหอกลับ T-703 แบบขั้นบันไดพบว่า ปริมาณของเหลวที่ถังแยกแฟลชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยระดับของเหลวเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารป้อนเข้าสู่หอกลับของแบบจำลองกระบวนการอยู่ที่ 31.02 % ในขณะที่กระบวนการผลิตจริงมีระดับของเหลวเฉลี่ยที่ 31.27 % ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 ตำแหน่งของวงควบคุม LICA3722



ก) กระบวนการผลิตจริง

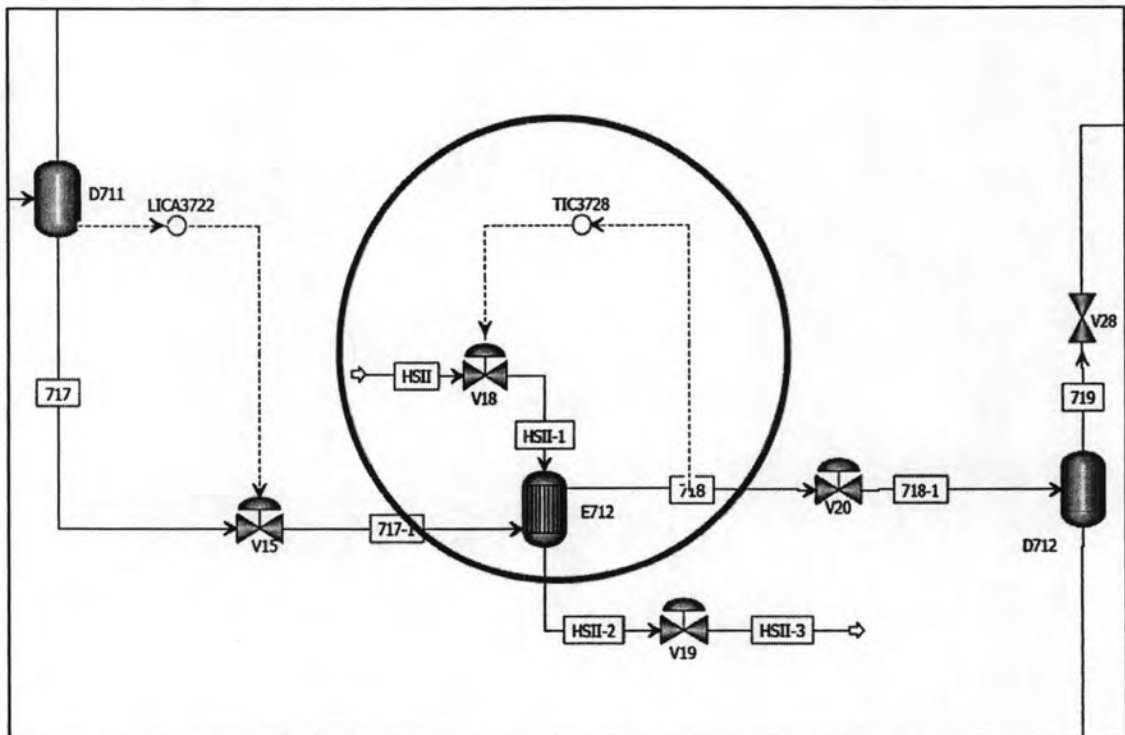


ข) แบบจำลองกระบวนการ

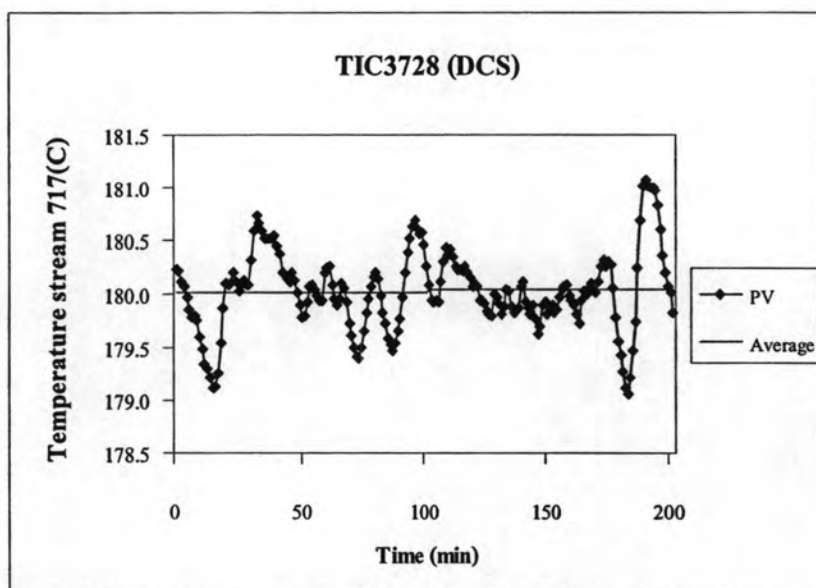
รูปที่ 4.21 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LICA3722

#### 4.4.9 วงควบคุมอุณหภูมิกระแสด 717

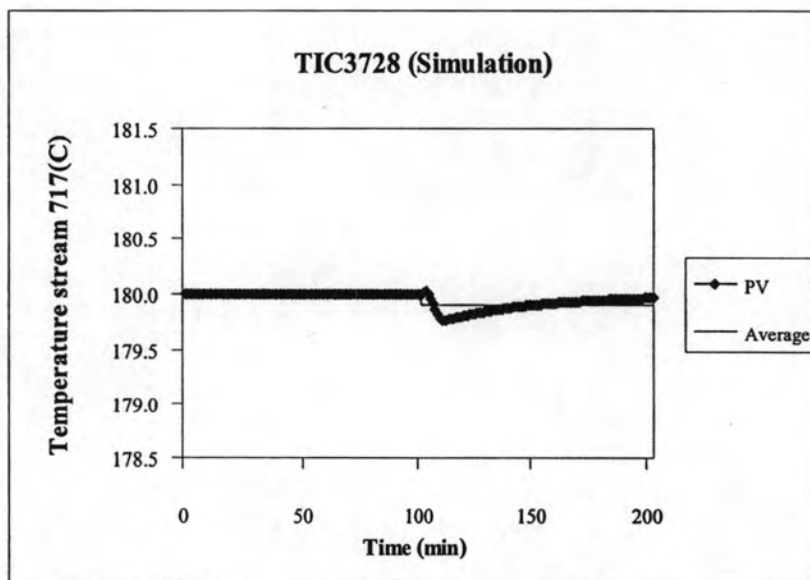
วงควบคุม TIC3728 ทำการควบคุมอุณหภูมิของกระแสด 718 ก่อนป้อนเข้าสู่ถังแยกแฟลชลำดับที่ 2 (D-712) โดยการปรับปริมาณไอน้ำความดันสูงที่ป้อนเข้าสู่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-712 ตำแหน่งของวงควบคุม TIC3728 แสดงดังรูปที่ 4.22 จากแบบจำลองกระบวนการ เมื่อสสารป้อนมีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระดับของเหลวในถังแยกแฟลช D-711 ที่ควบคุมโดยวงควบคุม LICA3722 เพิ่มขึ้น ทำให้สัญญาณขาออกของเครื่องควบคุมเพิ่มซึ่งไปสั่งการให้วาล์วเปิดกว้างขึ้น อัตราการไหลของกระแสด 718 จึงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ช่วงต้นของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกระแสด 718 จึงลดลงก่อนที่จะปรับเข้าสู่กระบวนการอีกครั้ง ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.22 ตำแหน่งของวงควบคุม TIC3728



ก) กระบวนการผลิตจริง



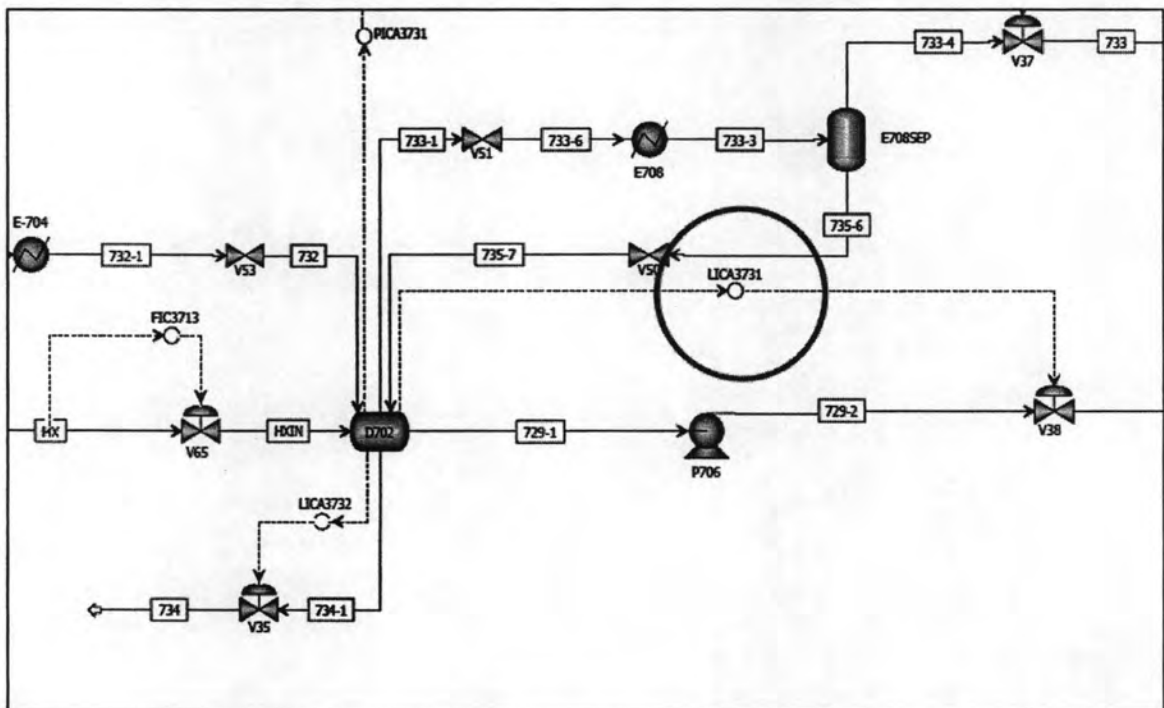
ข) แบบจำลองกระบวนการ

รูปที่ 4.23 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม TIC3728

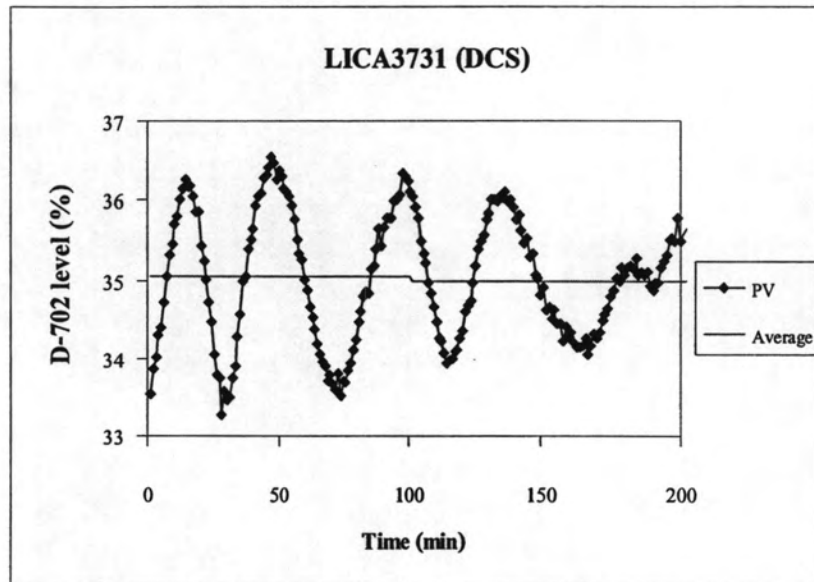
สังเกตรูปที่ 4.23ก ที่เวลาหลังจาก 101 นาที เมื่อทำการเพิ่มสารป้อนเข้าสู่กระบวนการในอัตราที่สูงขึ้น พบว่า อุณหภูมิมีแนวโน้มที่ลดลงต่ำกว่าค่าเป้าหมายในช่วงต้น จนกระทั่งที่เวลามากกว่า 170 นาที เป็นต้นไป อุณหภูมิของกระบวนการจึงเริ่มเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ได้จากแบบจำลองกระบวนการในรูปที่ 4.23ข

#### 4.4.10 วงควบคุมระดับของเหลวของถังดีแคนเตอร์ (D-702)

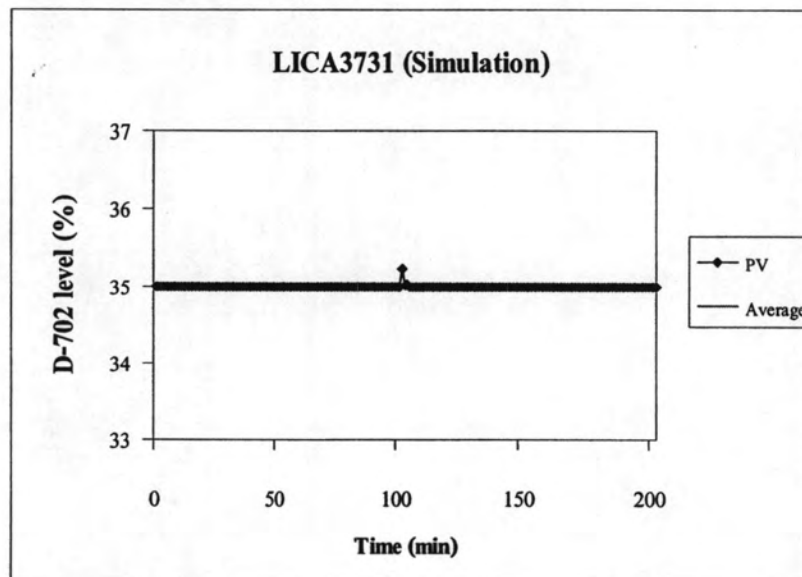
วงควบคุม LICA3731 ทำหน้าที่ควบคุมระดับของเหลวชั้นที่ 1 ภายในถังดีแคนเตอร์ โดยทำการปรับวาล์วออกจากบ่้ม เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองกระบวนการโดยการเพิ่มปริมาณสารป้อนเข้าสู่หอกลั่น T-703 ด้วยปริมาณเฮกเซนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของเหลวในถังดีแคนเตอร์ D-702 เพิ่มขึ้นด้วย แต่วงควบคุมก็จะทำการเปิดวาล์วให้กว้างขึ้นเพื่อส่งถ่ายของเหลวผ่านบ่้มไปยังหอกลั่น T-704 ทำให้ปริมาณของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์ลดลงมาสู่ค่าเป้าหมาย ตำแหน่งของวงควบคุม LICA3731 แสดงดังรูปที่ 4.24 และพฤติกรรมของกระบวนการแสดงดังรูปที่ 4.25



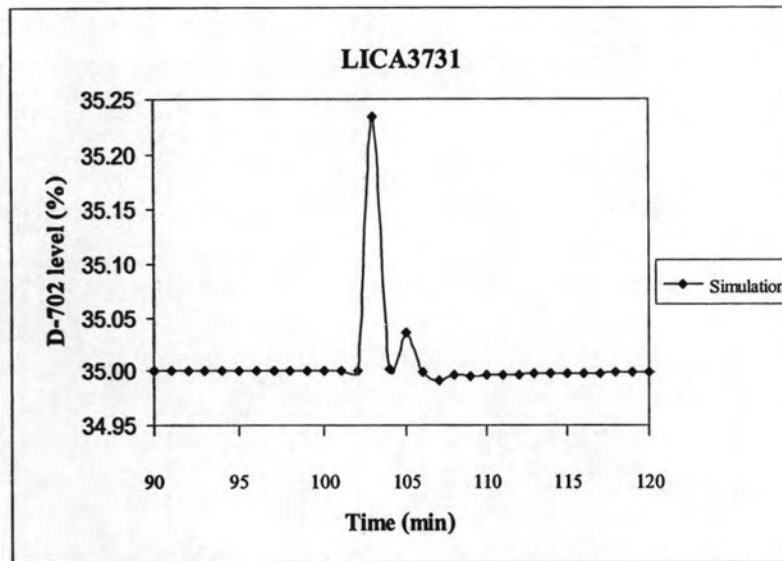
รูปที่ 4.24 ตำแหน่งของวงควบคุม LICA3731



ก) กระบวนการผลิตจริง



ข) แบบจำลองกระบวนการ



ค) แบบจำลองกระบวนการ (ขยายรูป ช่วงเวลา 90 – 120 นาที)

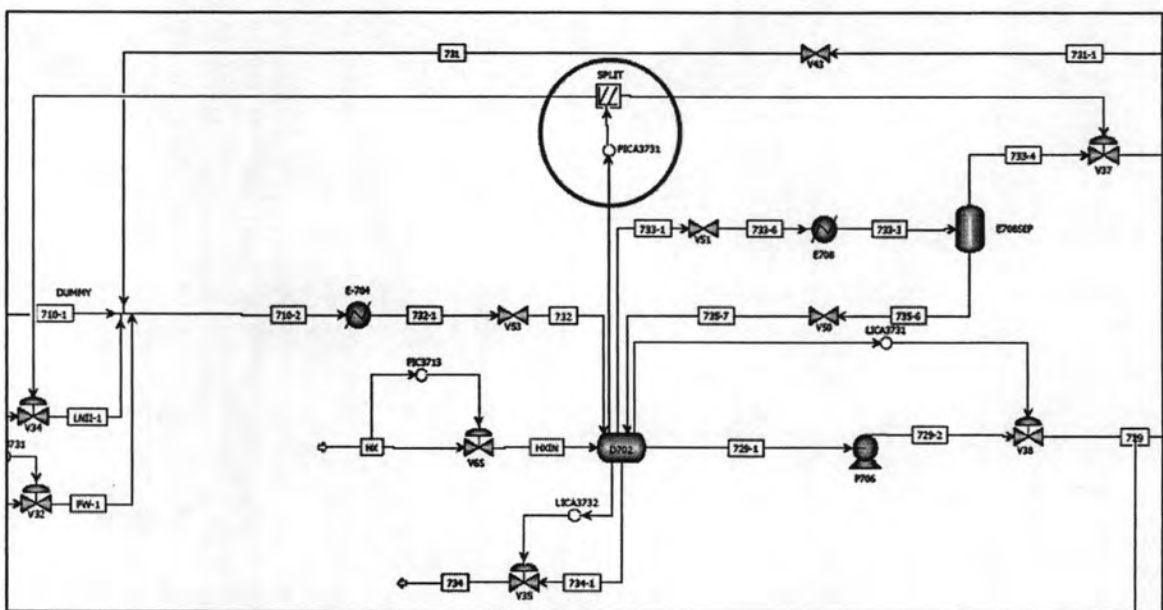
รูปที่ 4.25 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LICA3731

รูปที่ 4.25ค เป็นการขยายรูป 4.25ข เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยที่ช่วงเวลา 101 นาที เป็นช่วงที่มีการเพิ่มอัตราสารป้อนเข้าสู่กระบวนการ ปริมาณไอน้ำที่กลั่นได้จากหอกลั่น T-703 จึงมีปริมาณสูงขึ้น ก่อนถูกควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลกเข้ามาสะสมในถังดีแคนเตอร์ส่งผลให้ระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์ (D-702) ที่ถูกควบคุมโดยวงควบคุม LICA3731 มีระดับสูงขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อความดันในถัง D-702 ลดลง โดยผลของระดับของเหลวในถังดีแคนเตอร์จะส่งผลกระทบต่อความดันในถังดีแคนเตอร์ที่ทำการควบคุมด้วยวงควบคุม PICA3731 โดยตรง

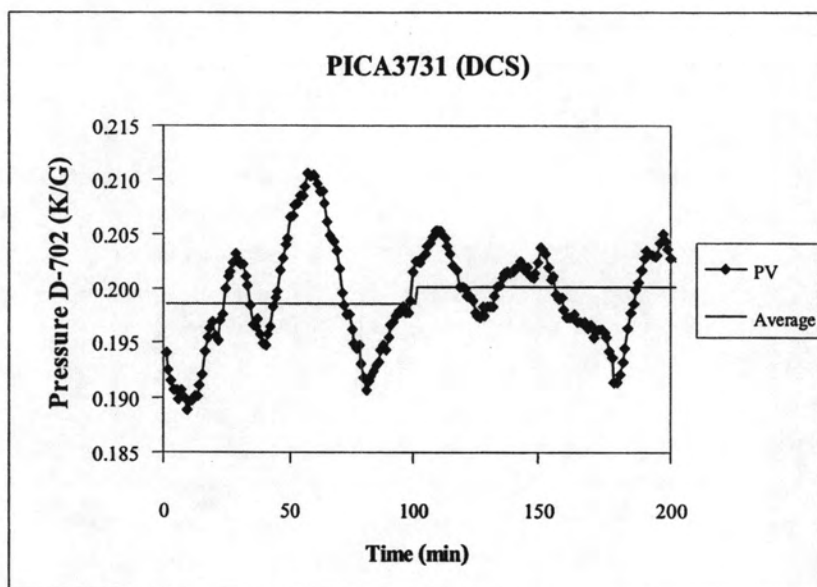


#### 4.4.11 วงควบคุมความดันของถังดีแคนเตอร์ (D-702)

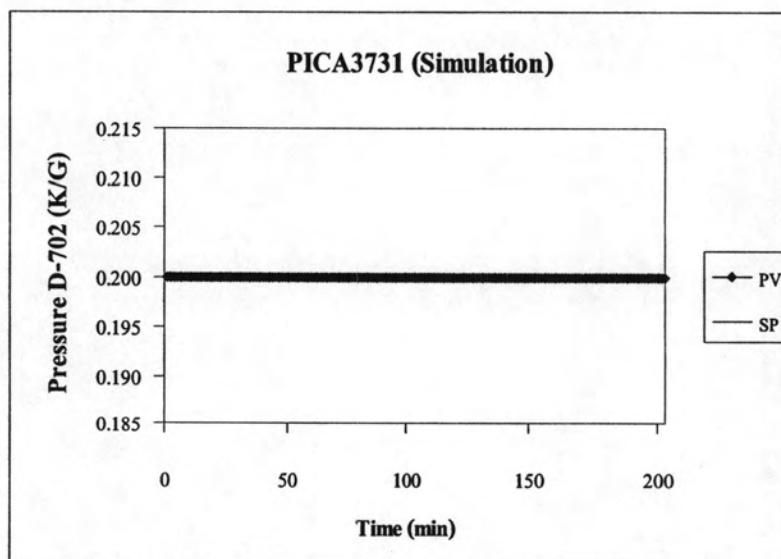
วงควบคุม PICA3731 ทำการควบคุมความดันภายในถังดีแคนเตอร์โดยการส่งสัญญาณจากเครื่องควบคุมเพื่อเลือกปรับวาล์วปล่อยแก๊สกรณีความดันในระบบสูงขึ้นหรือเปิดวาล์วเพิ่มแก๊สไนโตรเจนในระบบกรณีที่ความดันภายในระบบลดลง ตำแหน่งของวงควบคุม PICA3731 แสดงดังรูปที่ 4.26 โดยแบบจำลองกระบวนการเมื่อปริมาณสารป้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความดันภายในระบบเพิ่มขึ้น เครื่องควบคุมจะส่งสัญญาณไปยังวาล์วปล่อยแก๊สเพื่อลดความดันในระบบลงให้เหลือตามค่าเป้าหมาย ดังรูปที่ 4.27



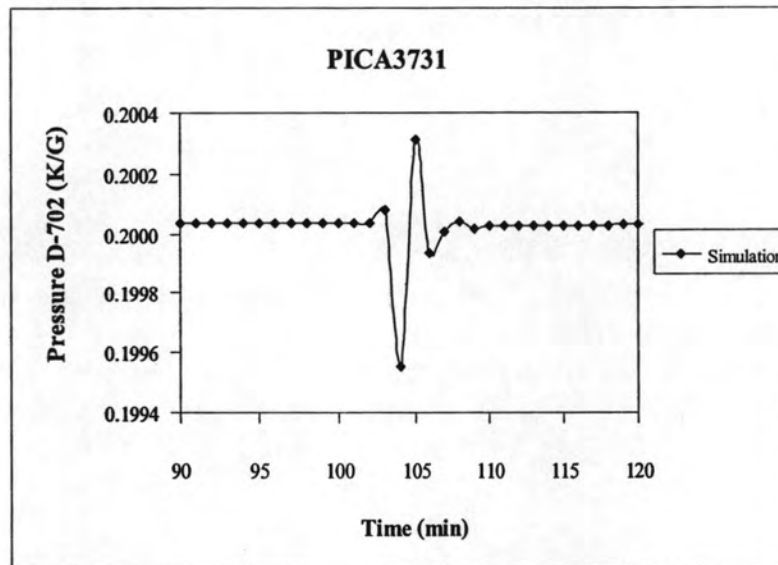
รูปที่ 4.26 ตำแหน่งของวงควบคุม PICA3731



ก) กระบวนการผลิตจริง



ข) แบบจำลองกระบวนการ



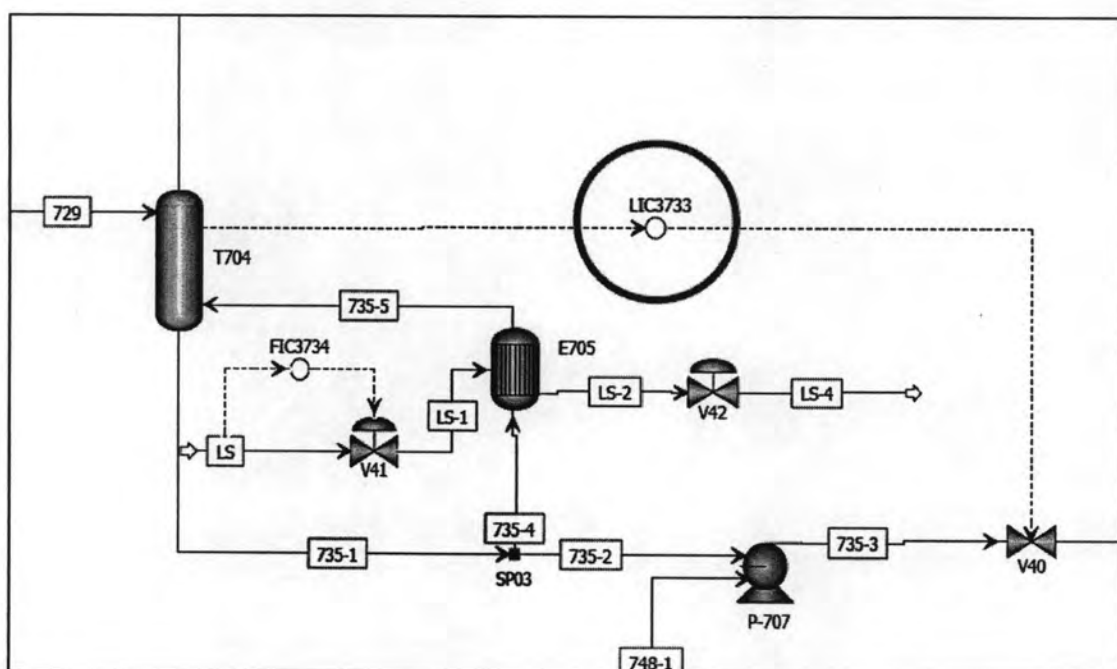
ค) แบบจำลองกระบวนการ (ขยายรูปช่วงเวลา 90 – 120 นาที)

รูปที่ 4.27 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม PICA3731

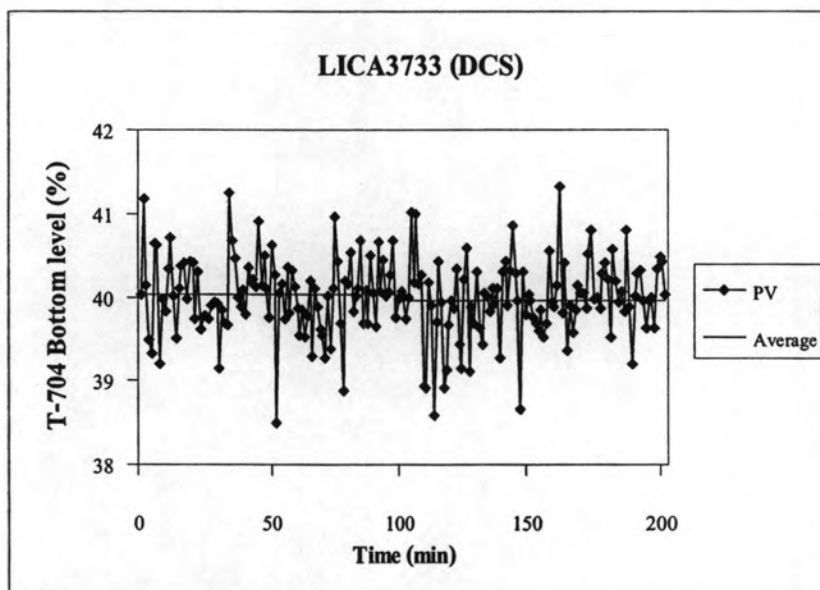
รูปที่ 4.27ค เป็นการขยายรูป 4.27ข ในช่วงเวลา 90 ถึง 120 นาที เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในถังดีแคนเตอร์ (D-702) เมื่อมีการเพิ่มอัตราสารป้อนเข้าสู่กระบวนการที่เวลา 101 นาที ความดันภายในถังดีแคนเตอร์สัมพันธ์กับระดับของเหลวที่ถูกรควบคุมด้วยวงควบคุม LICA3731

#### 4.4.12 วงควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอกกลั่น T-704

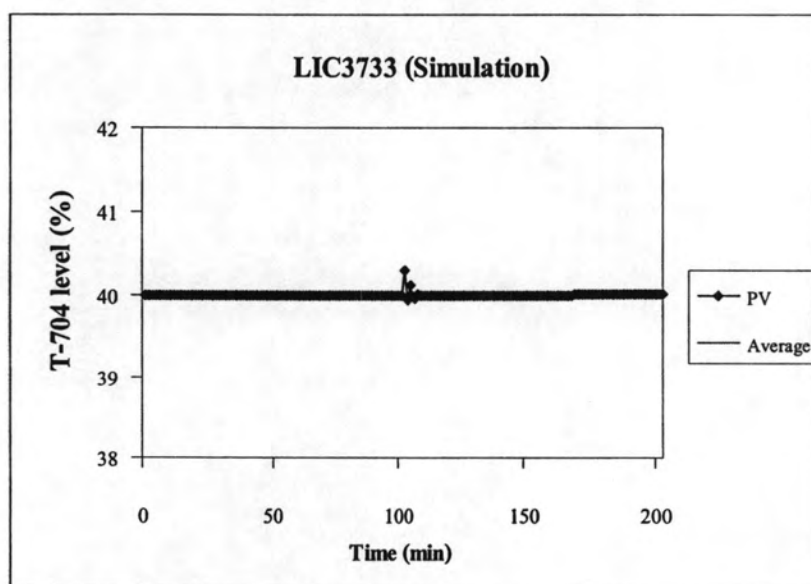
วงควบคุม LIC3733 ควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอกกลั่น T-704 โดยการปรับวาล์วขาออกจากบ่ยมที่ก้นหอกกลั่น เมื่อทำการปรับปริมาณสารป้อนเข้าหอกกลั่น T-703 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระดับของเหลวภายในถังดีแคนเตอร์ D-702 เพิ่มขึ้น ปริมาณของกระแส 729 จึงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับของเหลวในหอกกลั่นเพิ่มสูงขึ้น ก่อนที่วงควบคุม LIC3733 จะทำการสั่งเปิดวาล์วขาออกจากบ่ยมที่ก้นหอกกลั่นมากขึ้นเพื่อรักษาระดับของเหลวภายในหอกกลั่น T-704 ตำแหน่งของวงควบคุม LIC3733 แสดงดังรูปที่ 4.28 และพฤติกรรมของกระบวนการควบคุมดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 ตำแหน่งของวงควบคุม LIC3733



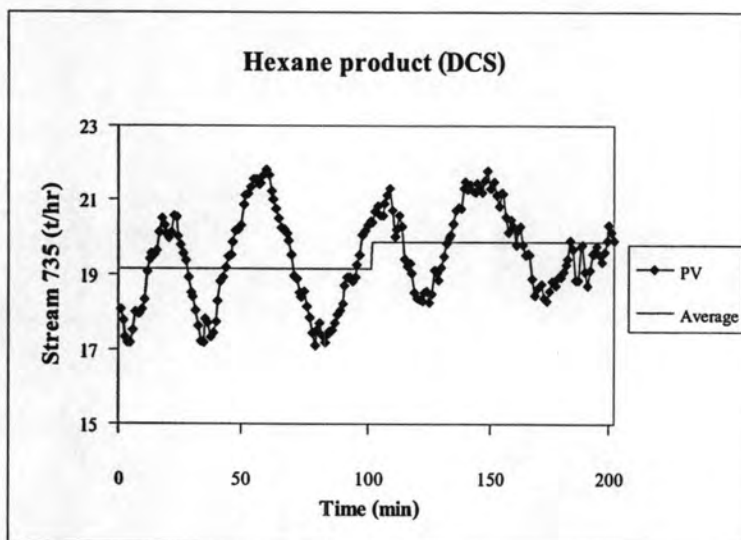
ก) กระบวนการผลิตจริง



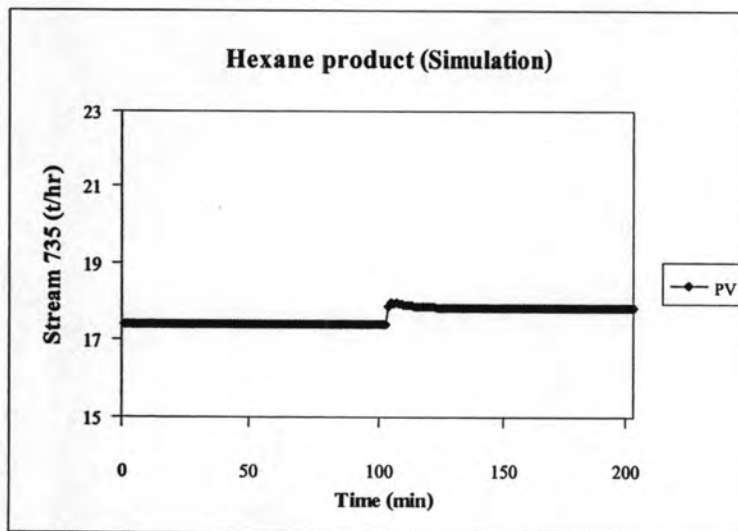
ข) แบบจำลองกระบวนการ

รูปที่ 4.29 พฤติกรรมกระบวนการของวงควบคุม LIC3733

ผลของการควบคุมกระบวนการเพื่อให้ได้ซึ่งผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ตรงตามคุณภาพที่ต้องการ โดยจากกระบวนการผลิตจริงที่เวลา 1-101 นาที เฮกเซนที่ผลิตได้โดยเฉลี่ยมีปริมาณ 19.14 ตันต่อชั่วโมง และเมื่อทำการเพิ่มสารป้อนเข้าสู่หอกลั่น T-703 แบบขั้นบันได ผลิตภัณฑ์เฮกเซนโดยเฉลี่ยมีปริมาณเท่ากับ 19.85 ตันต่อชั่วโมงซึ่งเพิ่มขึ้นมา 3.58% ในขณะที่แบบจำลองกระบวนการเมื่อทำการเพิ่มปริมาณสารป้อนด้วยอัตราที่เท่ากันพบว่า ปริมาณเฮกเซนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 2.17% ดังรูปที่ 4.30



ก) กระบวนการผลิตจริง



ข) แบบจำลองกระบวนการ

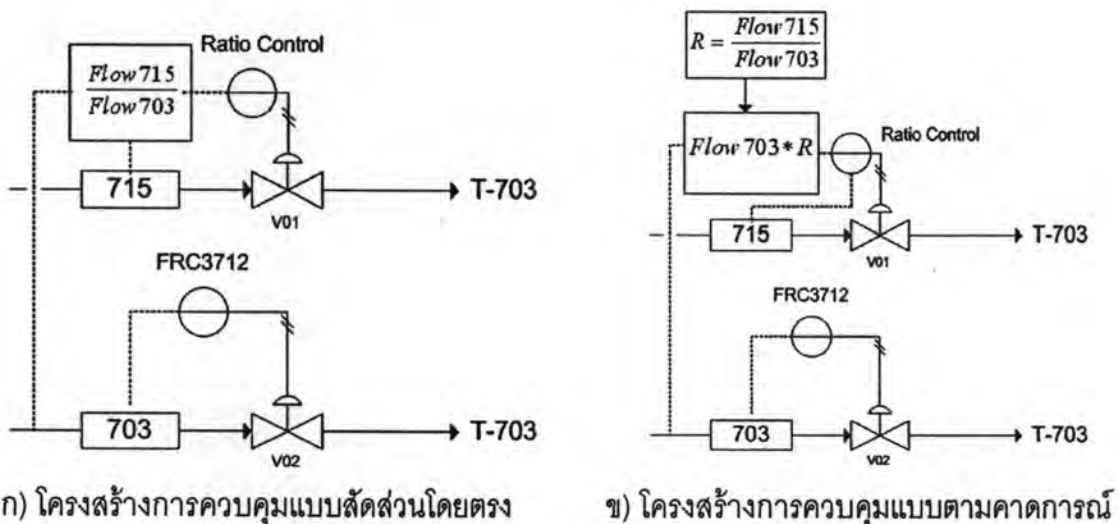
- รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์เฮกเซน

#### 4.5 การพัฒนาโครงสร้างการควบคุมกระบวนการ

การปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างการควบคุมกระบวนการผลิตส่วนการนำกลับแยกเซน สำหรับโรงงานโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง เพื่อให้ได้ซึ่งโครงสร้างการควบคุมที่มีความสามารถในการดำเนินงานที่สอดคล้องกับความต้องการของส่วนการผลิต อีกทั้งยังช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิตให้น้อยลงหรือทำให้ระบบมีสมรรถนะการดำเนินการที่ดีขึ้น โดยทำการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุม 3 โครงสร้างหลัก ได้แก่

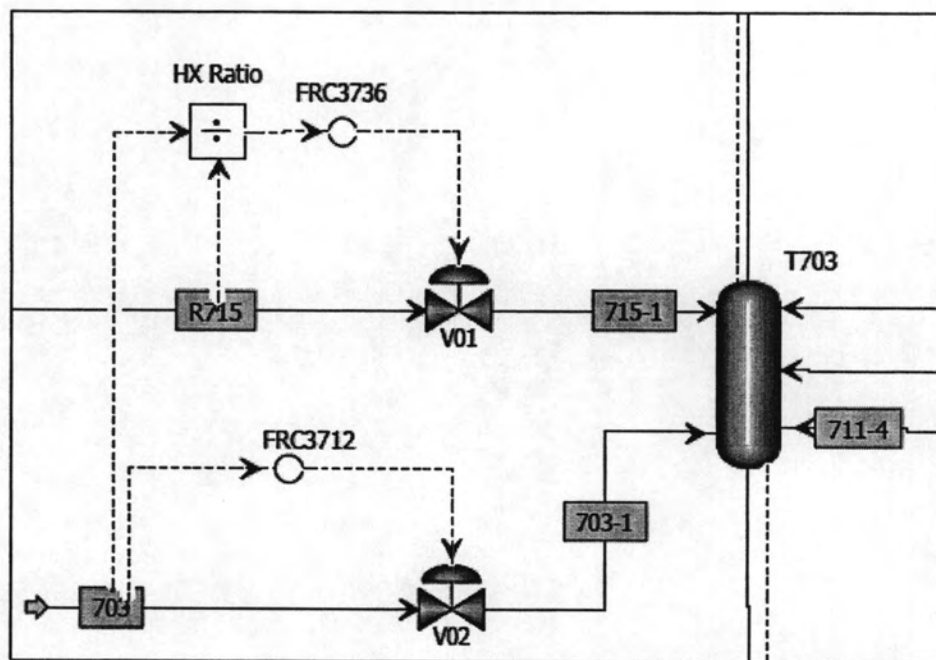
##### 4.5.1 โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนสารป้อนเข้าหอกถัน T-703

โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนสารป้อนระหว่างกระแส 715 ต่อกระแส 703 ให้มีค่าเท่ากับ 0.25 ตามค่าการออกแบบของกระบวนการผลิตส่วนการผลิต 700 โดยโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนนี้สามารถออกแบบได้ทั้ง 2 โครงสร้าง ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนสารป้อนเข้าหอกถัน T-703

โดยทั้งสองโครงสร้างให้สมรรถนะการควบคุมเท่ากัน นอกจากนี้ พฤติกรรมการตอบสนองต่อกระบวนการก็ยิ่งเหมือนกัน ในที่นี้ได้ทำการเลือกโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วนโดยตรงมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการให้มีความเป็นอัตโนมัติมากยิ่งขึ้น สมรรถนะของการควบคุมที่ได้โดยโครงสร้างแบบสัดส่วนโดยตรงถูกนำมาเปรียบเทียบกับสมรรถนะการควบคุมของโครงสร้างอ้างอิงโดยเปรียบเทียบจากค่า IAE เมื่อนำโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วนไปประยุกต์ในแบบจำลองกระบวนการโดยโปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.32 และตารางที่ 4.11 แสดงการประเมินค่า IAE ของโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วน



รูปที่ 4.32 แผนผังกระบวนการผลิตเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วนโดยตรง



ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์ค่า IAE ของโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วน

วงควบคุม	ค่า IAE ของวงควบคุมการผลิต				
	1	2	3	4	5
FRC3712	2.14E+01	2.14E+01	2.14E+01	2.14E+01	2.14E+01
FRC3736	8.59E+00	1.56E+01	1.34E+01	7.64E+00	1.01E+01
PICS3721	5.43E-03	5.41E-03	5.42E-03	5.44E-03	5.40E-03
FIC3731	7.20E-02	7.12E-02	7.13E-02	7.22E-02	6.99E-02
FIC3713	2.49E-02	2.41E-02	2.41E-02	2.51E-02	2.22E-02
PICA3731	8.99E-03	8.90E-03	8.90E-03	9.00E-03	8.72E-03
LICA3731	8.06E-03	7.97E-03	7.97E-03	8.07E-03	7.77E-03
LICA3732	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03
LICA3733	1.00E-02	9.73E-03	9.69E-03	1.01E-02	8.99E-03
LICS3721	4.34E+00	4.34E+00	4.34E+00	4.34E+00	4.34E+00
PIC3723	2.89E-03	2.87E-03	2.87E-03	2.89E-03	2.82E-03
FIC3722	3.44E+00	3.43E+00	3.43E+00	3.45E+00	3.39E+00
TIC3724	2.41E-02	2.41E-02	2.40E-02	2.41E-02	2.41E-02
LICA3722	4.66E+00	4.66E+00	4.66E+00	4.66E+00	4.66E+00
TIC3728	1.01E+01	1.01E+01	1.01E+01	1.01E+01	1.01E+01
<b>ผลรวมค่า IAE</b>	52.6357	59.6225	57.4747	51.6964	54.0250

ตารางที่ 4.11 ได้ทำการวิเคราะห์ค่า IAE ของการศึกษาโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วน ออกเป็น 5 กรณี ตามค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุม FRC3736 ที่แตกต่างกัน ดังนี้

กรณีที่ 1 ค่าพารามิเตอร์จริงของ โครงสร้างอ้างอิง

กรณีที่ 2 ค่าพารามิเตอร์จริงของโครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วน

กรณีที่ 3 ค่าพารามิเตอร์จากวิธีการปรับแต่งของไทเรียส-ลูเบน (วงปิด)

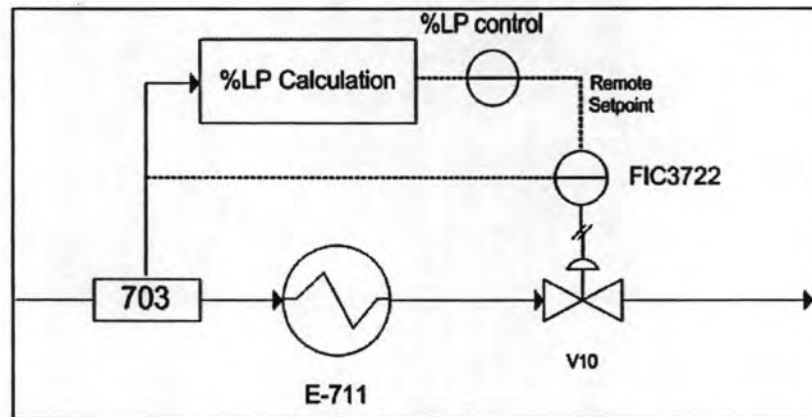
กรณีที่ 4 ค่าพารามิเตอร์จากวิธีการปรับแต่งของซิกเลอร์-นิโคล (วงปิด)

กรณีที่ 5 ค่าพารามิเตอร์จากวิธีการปรับแต่งของซิกเลอร์-นิโคล (วงเปิด)

จากการวิเคราะห์สมรรถนะของกระบวนการควบคุมด้วยค่า IAE พบว่า ค่า IAE หลังการประยุกต์โครงสร้างการควบคุมแบบสัดส่วนมีค่าสูงกว่าค่า IAE ของโครงสร้างอ้างอิง (กรณีที่ 2 มากกว่ากรณีที่ 1) แสดงว่ามีการสะสมค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนของวงควบคุมสูงกว่าของวงควบคุมในโครงสร้างแบบอ้างอิง (กรณีที่ 1) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโครงสร้างแบบสัดส่วนเป็นการลดองศาความเป็นอิสระ โดยการควบคุมกระแส 715 จะแปรตามอัตราไหลของกระแส 703 หากว่ากระแส 703 เปลี่ยนแปลง กระแส 715 ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้น ค่า IAE ของกระแส 715 หรือของวงควบคุม (FRC3736) จึงขึ้นอยู่กับวงควบคุม FRC3712 และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในเครื่องควบคุม FRC3736 แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น จะเห็นได้ว่าค่า IAE ของวงควบคุมอื่นๆ (กรณีที่ 2) มีแนวโน้มลดลงจากกรณีที่ 1 การที่ค่า IAE รวมของโครงสร้างแบบสัดส่วนมากกว่าค่า IAE ของโครงสร้างแบบอ้างอิงจึงมาจากความแตกต่างของค่าไอเออีของวงควบคุม FRC3736 เท่านั้น หากทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องควบคุมใหม่ด้วยวิธีการของโทเรียส-ลูเบน (ดังกรณีที่ 3) จะสามารถลดค่า IAE ของวงควบคุม FRC3736 ได้ แต่ขณะเดียวกันก็เพิ่มค่า IAE ให้กับบางวงควบคุมเมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์จริงของกรณีที่ 1 อย่างเช่น วงควบคุม PICS3721 และเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ของซิกเลอร์-นิโคลที่ได้จากการปรับแต่งแบบวงปิด พบว่า ค่า IAE ของวงควบคุม FRC3736 ของกรณีที่ 4 มีค่าลดลง แสดงว่า กระแส 715 เข้าสู่ค่าเป้าหมายเร็วขึ้นหรือกล่าวได้ว่ากระบวนการถูกปรับให้ตามทันต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส 703 มากยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของกระแส 715 สามารถส่งผลกระทบต่อให้วงควบคุมถัดไป เช่น เกิดผลกระทบกับวงควบคุม PICS3721, PICA3731, LICA3731, LIC3733, PIC3723 และ FIC3722 และนอกจากนี้ วงควบคุมแบบสัดส่วนหากใช้ค่าพารามิเตอร์ของการปรับแต่งแบบวงเปิด (กรณีที่ 5) ค่า IAE ของวงควบคุม FRC3736 จะน้อยกว่าการปรับแต่งด้วยวิธีการของโทเรียส-ลูเบน แต่มากกว่าการปรับแต่งด้วยวิธีของซิกเลอร์-นิโคล ทั้งนี้ ผลกระทบที่มีต่อวงควบคุม PICS3721, PICA3731, LICA3731, LIC3733, PIC3723 และ FIC3722 มีค่าน้อยกว่าการใช้ค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการปรับแต่งอื่นๆ

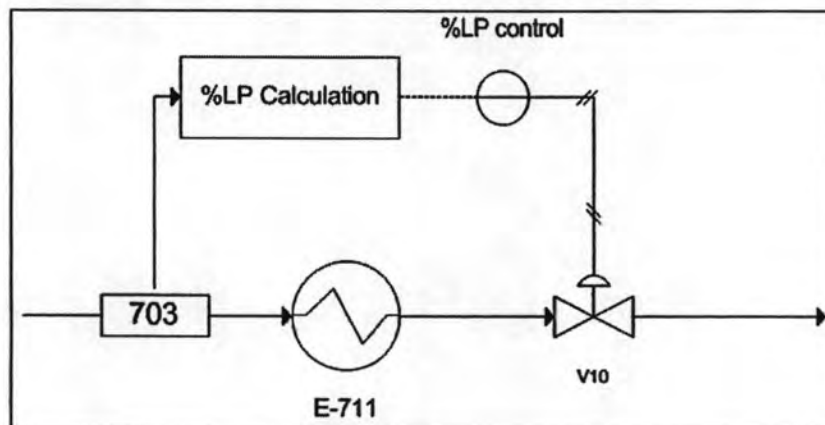
#### 4.5.2 โครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่กันหอกลับ T-703

การควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำทำได้โดยการปรับอัตราการไหลของของผสมซึ่งถูกส่งไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (E-711) ในหน่วยปฏิบัติการถัดไปโดยวงควบคุม FIC3722



รูปที่ 4.33 โครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำแบบลำดับขั้น

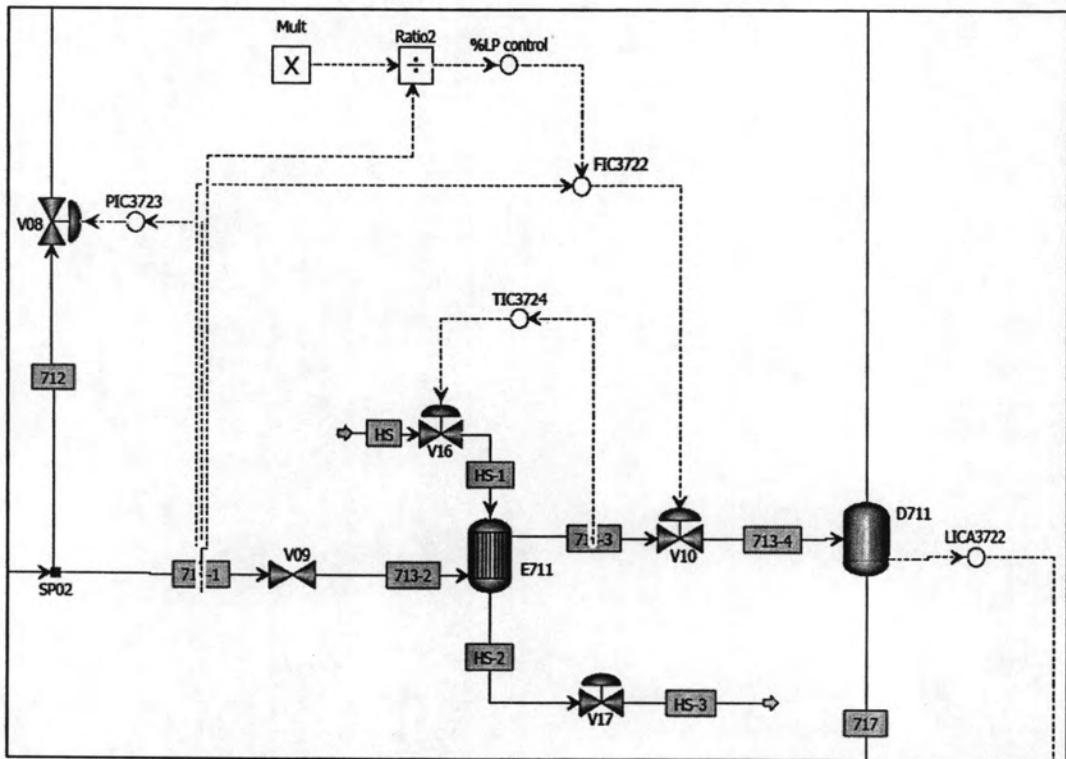
โครงสร้างการควบคุมแบบลำดับขั้น (รูปที่ 4.33) มีข้อดีในการเก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการไหลของกระแส 713 ในขณะเดียวกัน สามารถเปลี่ยนการควบคุมจากการกำหนดค่าเป้าหมายความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่กันหอกลับ T-703 มาเป็นการควบคุมอัตราการไหลของกระแส 713 โดยการเปลี่ยนโหมดควบคุมของเครื่องควบคุม แต่มีข้อเสีย คือ ต้องติดตั้งเครื่องควบคุมเพิ่มอีก 1 เครื่อง



รูปที่ 4.34 โครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยตรง

โครงสร้างการควบคุมโดยตรง (รูปที่ 4.34) เป็นการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยไม่มี การเก็บรวบรวมอัตราการไหลของกระแส 713 ข้อดี คือ ไม่มีการลงทุนเพิ่มเติม เนื่องจากใช้เครื่องควบคุมเพียงเครื่องเดียวและเขียนโปรแกรมสมการการคำนวณความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำให้แก่เครื่องควบคุม แต่ข้อเสีย คือ กรณีที่ต้องการเปลี่ยนแปลงการควบคุมมาเป็นการควบคุมอัตราการไหลของกระแส 713 ตามเดิมจะทำให้การปฏิบัติงานยุ่งยาก เนื่องจากต้องทำการยกเลิกสมการการคำนวณความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ได้โปรแกรมไว้ ซึ่งหากผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมจะมีความยุ่งยากเป็นอย่างมากในการดำเนินการภายในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

โครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำแบบลำดับขั้นถูกตรวจสอบสมรรถนะการควบคุมเทียบกับโครงสร้างการควบคุมอ้างอิงโดยการวิเคราะห์ค่า IAE ของวงควบคุมของกระบวนการผลิต ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.12 เมื่อนำโครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำไปประยุกต์ในแบบจำลองกระบวนการโดยโปรแกรม แอสเพนไดนามิกส์ แสดงได้ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 แผนผังกระบวนการผลิตเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของ  
 พอลิเมอร์ความหนาแน่นต่ำที่กันหอกลับ

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์ค่า IAE ของโครงสร้างการควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนัก  
โมเลกุลต่ำ

วงควบคุม	ค่า IAE ของวงควบคุมการผลิต		
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
FRC3712	2.14E+01	2.14E+01	2.14E+01
FRC3736	8.59E+00	8.59E+00	8.59E+00
PICS3721	5.43E-03	5.43E-03	5.43E-03
FIC3731	7.20E-02	7.20E-02	7.20E-02
FIC3713	2.49E-02	2.49E-02	2.49E-02
PICA3731	8.99E-03	8.98E-03	8.98E-03
LICA3731	8.06E-03	8.05E-03	8.05E-03
LICA3732	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03
LICA3733	1.00E-02	1.00E-02	9.99E-03
LICS3721	4.34E+00	4.34E+00	4.34E+00
PIC3723	2.89E-03	2.95E-03	2.95E-03
FIC3722	3.44E+00	3.22E-02	1.38E-02
TIC3724	2.41E-02	2.42E-02	2.42E-02
LICA3722	4.66E+00	4.66E+00	4.66E+00
TIC3728	1.01E+01	1.01E+01	1.01E+01
<b>ผลรวมค่า IAE</b>	52.6357	49.2233	49.2048

กรณีที่ 1 ค่า IAE ของโครงสร้างอ้างอิง

กรณีที่ 2 ค่า IAE เมื่อเครื่องควบคุมใช้ค่าพารามิเตอร์ของไทยเรียส-ลูเบน

กรณีที่ 3 ค่า IAE เมื่อเครื่องควบคุมใช้ค่าพารามิเตอร์ของซิกเลอร์-นิโคล (วงปิด)

#### 4.5.3 โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704

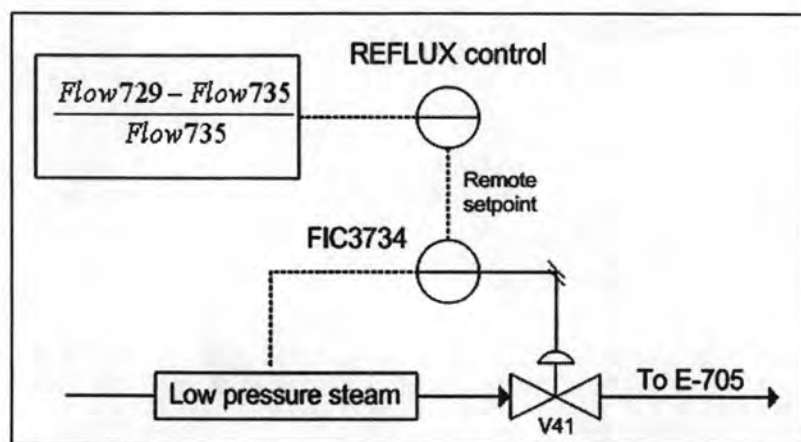
สัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานของหม้อต้มซ้ำ E-705 นอกจากนี้ สัดส่วนการป้อนกลับยังเป็นหนึ่งในตัวแปรควบคุมที่สามารถป้องกันการดำเนินการที่อาจก่อให้เกิดความปนเปื้อนของบิวทีน-1 ในผลิตภัณฑ์เฮกเซน ดังนั้น โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับจึงจำเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิตส่วนการนำกลับเฮกเซน

โดยโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับถูกออกแบบดังนี้

ตัวแปรปรับ – ปริมาณไอน้ำความดันต่ำที่หม้อต้มซ้ำ E-705 โดยส่งสัญญาณค่าเป้าหมายไปยังวงควบคุม FIC3734 ซึ่งเป็นวงควบคุมวงใน (Secondary loop)

ตัวแปรควบคุม – สัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704

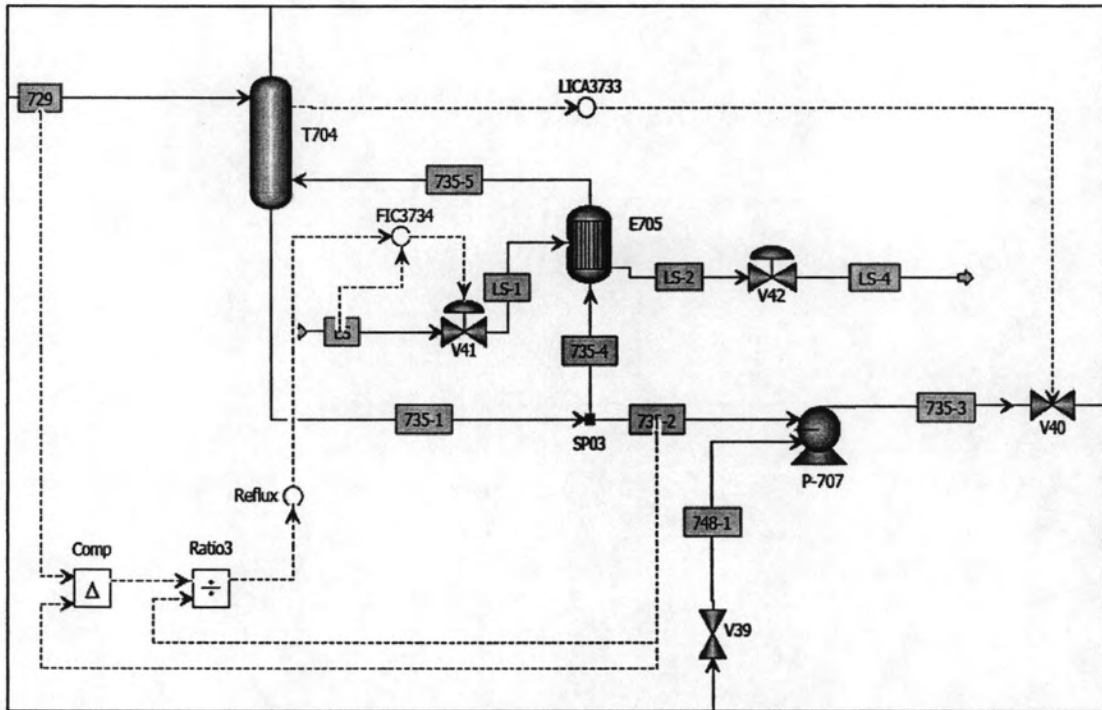
แบบจำลองของวงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับแสดงได้ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 แบบจำลองโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704

แผนผังการออกแบบการควบคุมค่าสัดส่วนการกลั่นไหลกลับทำได้โดยการเพิ่มสมการการคำนวณค่าสัดส่วนการป้อนกลับก่อนส่งค่าไปยังวงควบคุมไอน้ำความดันต่ำ โดยที่ค่าสัดส่วนการกลั่นไหลกลับคำนวณได้จากอัตราการไหลของกระแสป้อนเข้าหอกลับ T-704 (กระแส 729) ลบด้วยอัตราการไหลของกระแสผลิตภัณฑ์กันหอกลับ T-704 (กระแส 735) ค่าสัญญาณนี้ถูกนำมาหารด้วยกระแสการไหลของผลิตภัณฑ์กันหอกลับ T-704 อีกครั้ง ค่าที่ได้คือ ค่าสัดส่วนการป้อนกลับที่ใช้เป็นค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุม

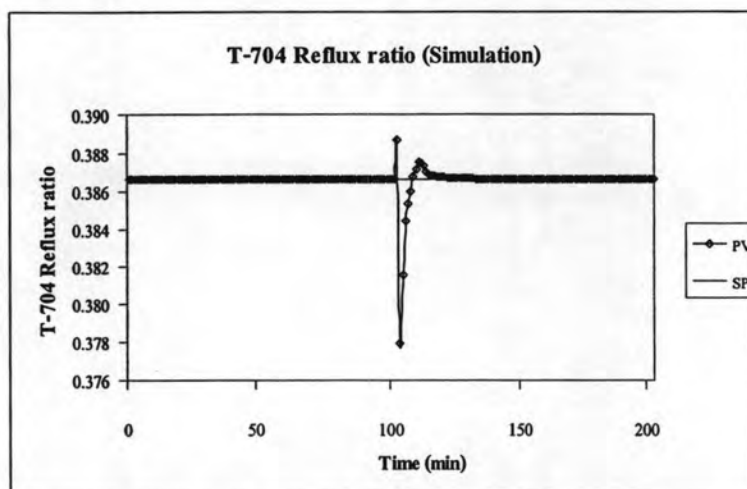
แบบจำลองการออกแบบโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับเมื่อนำไปประยุกต์กับแบบจำลองกระบวนการโดยโปรแกรมแอสเพนไดนามิกส์แสดงดังรูปที่ 4.37



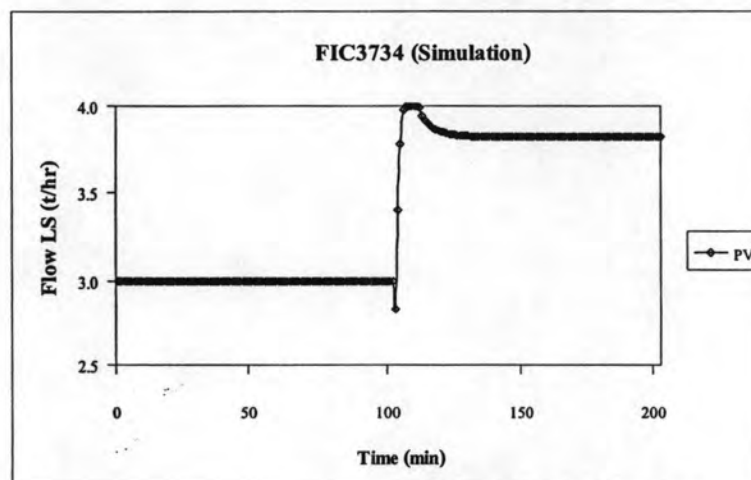
รูปที่ 4.37 แผนผังกระบวนการผลิตเมื่อทำการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับ  
ของหอกลั่น T-704



ทดสอบวงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับโดยทำการปรับสาร์ป้อนเข้าหอกลับ T-703 แบบ  
ขั้นบันไดโดยการเพิ่มอัตราสารป้อนหลัก 2.56% เพื่อศึกษาผลตอบของวงควบคุมที่ติดตั้งใหม่ต่อ  
การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิต ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.38



ก) วงควบคุมวงนอก (สัดส่วนการป้อนกลับ)



ข) วงควบคุมวงใน (ปริมาณการใช้ไอน้ำ)

รูปที่ 4.38 พฤติกรรมการตอบสนองของวงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704

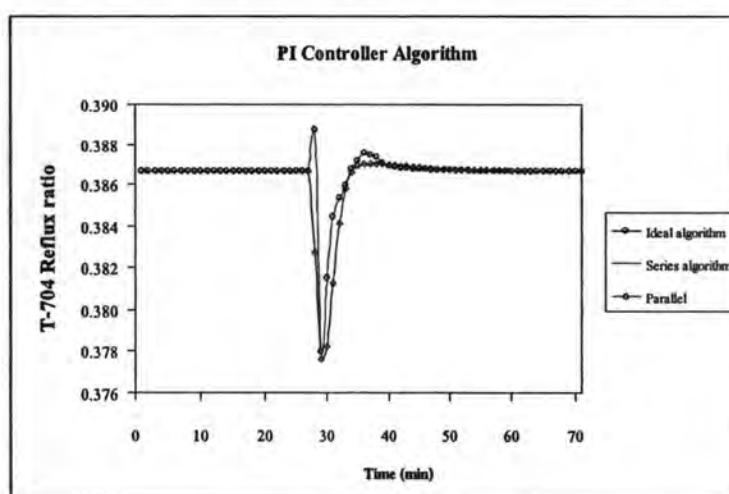
ดังแสดงในรูป 4.38 ก) เมื่ออัตราสารป้อนเข้าสู่กระบวนการเพิ่มขึ้น วงควบคุมสัดส่วนการ  
ป้อนกลับของหอกลับระเหยน้ำจึงต้องปรับปริมาณไอน้ำเพื่อควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับให้เท่า  
เดิม ในขณะที่ปริมาณสารในกระบวนการเพิ่มขึ้น ดังนั้น วงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับจึงต้อง  
เพิ่มปริมาณไอน้ำความดันต่ำให้สูงขึ้นด้วยจึงจะรักษาค่าสัดส่วนการป้อนกลับให้เท่าเดิมได้ ดังรูป  
4.38 ข)

การออกแบบการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับมีความยุ่งยาก เนื่องจากค่าสัดส่วนการป้อนกลับสัมพันธ์กับอัตราการไหลเข้าสู่หอกลับ และอัตราผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ได้จากการกลั่นที่หอกลับระเหย จึงจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเครื่องควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับ เพื่อให้การดำเนินงานมีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยทำการศึกษาระดับขั้นตอนวิธีการคำนวณของเครื่องควบคุม (Controller algorithm) และชนิดของเครื่องควบคุมที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.13 เปรียบเทียบค่า IAE หลังการพัฒนาโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 โดยเครื่องควบคุมชนิดพีไอที่มีขั้นตอนวิธีการต่างกัน

วงควบคุม	IAE โดยเครื่องควบคุมที่มีขั้นตอนวิธีต่างๆ		
	อุดมคติ	อนุกรม	ขนาน
FRC3712	2.14E+01	2.14E+01	2.52E+00
FRC3736	8.60E+00	8.60E+00	1.54E+00
PICS3721	5.44E-03	5.44E-03	5.91E-03
FIC3731	1.01E-01	1.01E-01	5.96E-02
FIC3713	1.92E-02	1.92E-02	1.68E-02
PICA3731	8.25E-03	8.25E-03	8.22E-03
LICA3731	1.15E-02	1.15E-02	4.94E-03
LICA3732	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03
LIC3733	7.15E-03	7.15E-03	3.83E-03
LICS3721	4.34E+00	4.34E+00	4.90E+00
PIC3723	2.90E-03	2.90E-03	1.55E-03
FIC3722	3.44E+00	3.44E+00	7.39E-01
TIC3724	2.41E-02	2.43E-02	2.28E-01
LICA3722	4.66E+00	4.66E+00	4.78E+00
TIC3728	1.01E+01	1.01E+01	2.46E+00
Reflux T-704	3.31E-02	3.31E-02	4.05E-02
<b>ผลรวม</b>	<b>52.6988</b>	<b>52.6991</b>	<b>17.3134</b>

การศึกษาผลจากการใช้ Algorithm ของสมการการควบคุมแบบ PI ที่แตกต่างกัน คือ แบบอุดมคติ แบบอนุกรม และแบบขนาน ตารางที่ 4.13 แสดงค่าผลรวม IAE ของขั้นตอนวิธีการแบบอนุกรมมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ขั้นตอนวิธีแบบอุดมคติและแบบขนาน ตามลำดับ ทั้งนี้ ขั้นตอนวิธีของเครื่องควบคุมแบบอุดมคติและแบบอนุกรมให้ผลใกล้เคียงกันหรืออาจกล่าวได้ว่า ผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อทำการสร้างความสัมพันธ์แสดงสัดส่วนการป้อนกลับของ หอกลับ T-704 กับเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 สัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 ของเครื่องควบคุมชนิดพีไอที่มีขั้นตอนวิธีการต่างกัน

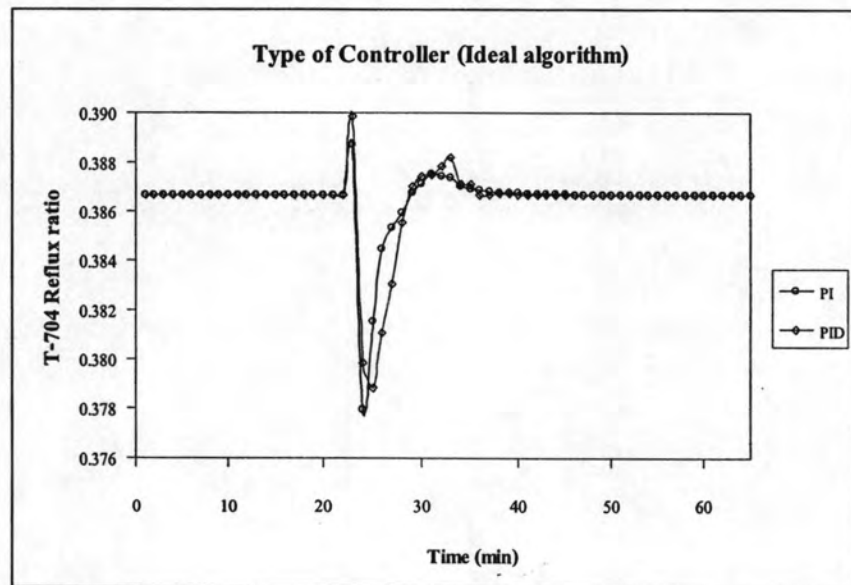
จากรูปที่ 4.39 พบว่า เครื่องควบคุมที่ใช้ขั้นตอนวิธีแบบอุดมคติและอนุกรมให้ผลที่เหมือนกัน โดยเมื่อสารป้อนเข้าหอกลับ T-703 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นแบบขั้นบันได สัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 ปรับค่าเพิ่มขึ้นถึง 0.389 ก่อนที่จะปรับลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 0.378 จากนั้นจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกันทำให้เลยค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยใช้เวลาประมาณ 13 นาที กระบวนการจึงเริ่มเข้าสู่ค่าเป้าหมาย ในขณะที่เครื่องควบคุมที่ใช้ขั้นตอนวิธีแบบขนาน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงสารป้อนเช่นเดียวกัน ค่าสัดส่วนการป้อนกลับลดลงอย่างรวดเร็วจนถึง 0.378 ก่อนที่จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนเริ่มเข้าสู่ค่าเป้าหมายภายในเวลา 8 นาที ซึ่งมีผลช่วยในการรักษาระดับของเหลวของถังแยกแฟลช (D-702) และระดับของเหลวที่กั้นหอกลับ (T-704) ให้เกิดการแกว่งน้อยลง สังเกตจากค่า IAE ของวงควบคุม LICA3731 และ LIC3733 ที่มีค่าน้อยกว่าเครื่องควบคุมที่ใช้ขั้นตอนวิธีอื่น

นอกจากนี้ ชนิดของเครื่องควบคุมที่แตกต่างกันมักให้ผลตอบสนองที่ต่างกัน โดยได้ทำการเปรียบเทียบชนิดของเครื่องควบคุมต่อผลของค่า IAE แสดงได้ดังตารางที่ 4.14

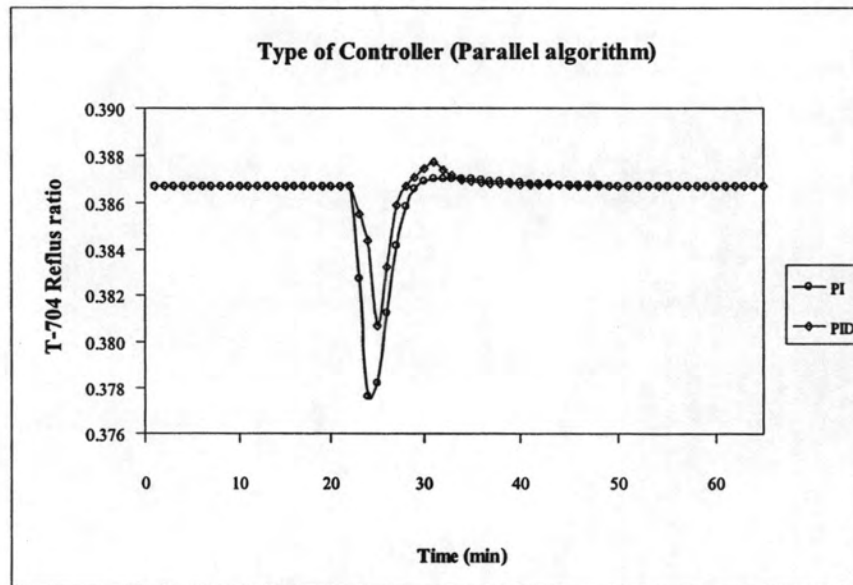
ตารางที่ 4.14 ชนิดของเครื่องควบคุมต่อผลของค่า IAE ของวงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับ

วงควบคุม	อุดมคติ		อนุกรม		ขนาน	
	พีไอ	พีไอดี	พีไอ	พีไอดี	พีไอ	พีไอดี
Reflux T-704	3.31E-02	3.72E-02	3.31E-02	4.45E-01	4.05E-02	3.47E-02

ตารางที่ 4.14 พบว่า กรณีที่เครื่องควบคุมใช้ขั้นตอนวิธีแบบอุดมคติและอนุกรม หากนำชนิดของเครื่องควบคุมแบบพีไอดีมาใช้จะทำให้การควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่น T-704 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากรณีของการนำเครื่องควบคุมชนิดพีไอมาทำการควบคุมในทางตรงกันข้ามกัน หากเครื่องควบคุมใช้ขั้นตอนวิธีแบบขนาน เครื่องควบคุมแบบพีไอดีจะช่วยให้การควบคุมดียิ่งขึ้น ค่า IAE ของความคลาดเคลื่อนน้อยลง พิจารณาจากรูปที่ 4.40



ก) เครื่องควบคุมแบบขั้นตอนวิธีอุดมคติ



ข) เครื่องควบคุมแบบขั้นตอนวิธีขนาน

รูปที่ 4.40 ผลตอบสนองของสัดส่วนการป้อนกลับหอกลับ T-704 ของชนิดเครื่องควบคุมต่างกัน

ผลของการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมที่มีผลในการลดผลกระทบของกระบวนการควบคุมเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างการควบคุมอ้างอิงแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบค่า IAE ของโครงสร้างการควบคุมแบบต่างๆ

วงควบคุม	โครงสร้างควบคุมอ้างอิง			โครงสร้างสัดส่วนการป้อนกลับ		
	IAE โดยเครื่องควบคุมที่ขั้นตอนวิธีแบบ			IAE โดยเครื่องควบคุมที่มีขั้นตอนวิธีแบบ		
	อุดมคติ	อนุกรม	ขนาน	อุดมคติ	อนุกรม	ขนาน
FRC3712	2.14E+01	2.14E+01	2.52E+00	2.14E+01	2.14E+01	2.52E+00
FRC3736	8.59E+00	8.59E+00	1.54E+00	8.60E+00	8.60E+00	1.54E+00
PICS3721	5.43E-03	5.43E-03	5.91E-03	5.44E-03	5.44E-03	5.91E-03
FIC3731	7.20E-02	7.20E-02	4.97E-02	1.01E-01	1.01E-01	5.96E-02
FIC3713	2.49E-02	2.49E-02	2.20E-02	1.92E-02	1.92E-02	1.68E-02
PICA3731	8.99E-03	8.99E-03	8.85E-03	8.25E-03	8.25E-03	8.22E-03
LICA3731	8.06E-03	8.06E-03	3.79E-03	1.15E-02	1.15E-02	4.94E-03
LICA3732	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03	4.16E-03
LIC3733	9.97E-03	9.97E-03	4.69E-03	7.15E-03	7.15E-03	3.83E-03
LICS3721	4.34E+00	4.34E+00	4.90E+00	4.34E+00	4.34E+00	4.90E+00
PIC3723	2.89E-03	2.89E-03	1.54E-03	2.90E-03	2.90E-03	1.55E-03
FIC3722	3.44E+00	3.44E+00	7.39E-01	3.44E+00	3.44E+00	7.39E-01
TIC3724	2.41E-02	2.41E-02	2.26E-01	2.41E-02	2.43E-02	2.28E-01
LICA3722	4.66E+00	4.66E+00	4.78E+00	4.66E+00	4.66E+00	4.78E+00
TIC3728	1.01E+01	1.01E+01	2.46E+00	1.01E+01	1.01E+01	2.46E+00
<b>ผลรวม</b>	<b>52.6356</b>	<b>52.6357</b>	<b>17.2682</b>	<b>52.6658</b>	<b>52.6661</b>	<b>17.2728</b>

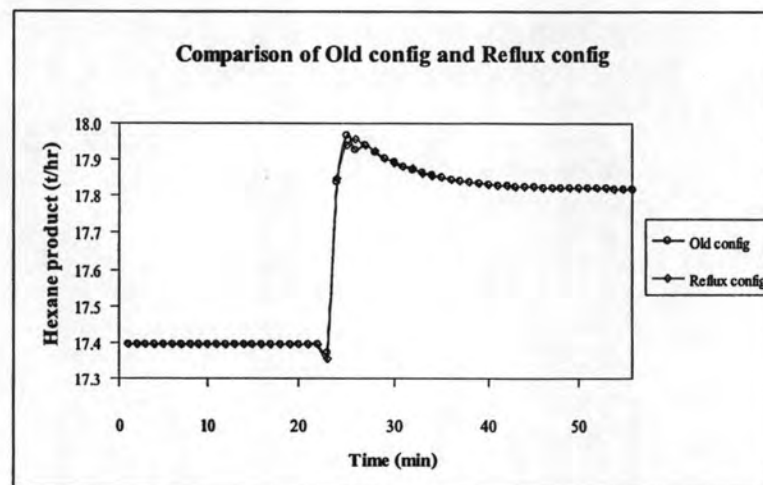
จากผลรวมค่า IAE ของตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างการควบคุมในภาพรวมของโครงสร้างการควบคุมอ้างอิงและโครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่า IAE ที่เพิ่มขึ้นเมื่อติดตั้งวงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับเมื่อเทียบกับค่าผลรวมค่า IAE ของโครงสร้างควบคุมอ้างอิง แสดงดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนของค่าผลรวม IAE เมื่อเทียบกับโครงสร้างการควบคุม  
อ้างอิง

ขั้นตอนวิธีแบบ	อุดมคติ	อนุกรม	ขนาน
% IAE error	+0.0574	+0.0577	+0.0270

พิจารณาตารางที่ 4.16 พบว่า โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 มีส่วนช่วยในการลดความคลาดเคลื่อนของวงควบคุม PICA3731 และ LIC3733 แต่ กระนั้นกลับเพิ่มความคลาดเคลื่อนในส่วนของวงควบคุม LICA3731

ความเบี่ยงเบนของสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 มีผลกระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์เฮกเซนกระแส 735 ก่อนส่งไปเก็บยังถังสะสม TK-702 รูปที่ 4.41 แสดงการเปรียบเทียบ ปริมาณผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่กลั่นได้จากหอกลับ T-704 ระหว่างโครงสร้างการควบคุมอ้างอิงและ โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับ



รูปที่ 4.41 ผลิตภัณฑ์เฮกเซนจากโครงสร้างการควบคุมทั้งสองโครงสร้าง

#### 4.6 การพัฒนาโครงสร้างการควบคุมกระบวนการ

การพัฒนาโครงสร้างการควบคุมกระบวนการทั้ง 3 โครงสร้างในหัวข้อ 4.5 ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แบบสมบูรณ์ซึ่งได้เรียก โครงสร้างแบบสมบูรณ์นี้ว่า โครงสร้างการควบคุมรูปแบบที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยวงควบคุมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ ดังนี้

- วงควบคุม FRC3736 เปลี่ยนจากการควบคุมอัตราการไหลของกระแส 715 แบบอิสระมาเป็นการควบคุมแบบสัดส่วนโดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของกระแส 703 กล่าวคือ หากกระแส 703 เปลี่ยนแปลง วงควบคุมใหม่ FRC3736 จะทำการปรับกระแส 715 ตาม กล่าวคือ ปรับให้กระแสเฮกเซนไหลในอัตราเท่ากับ 25% ของกระแส 703 ซึ่งเรียกการควบคุมเช่นนี้ว่า การควบคุมแบบสัดส่วน

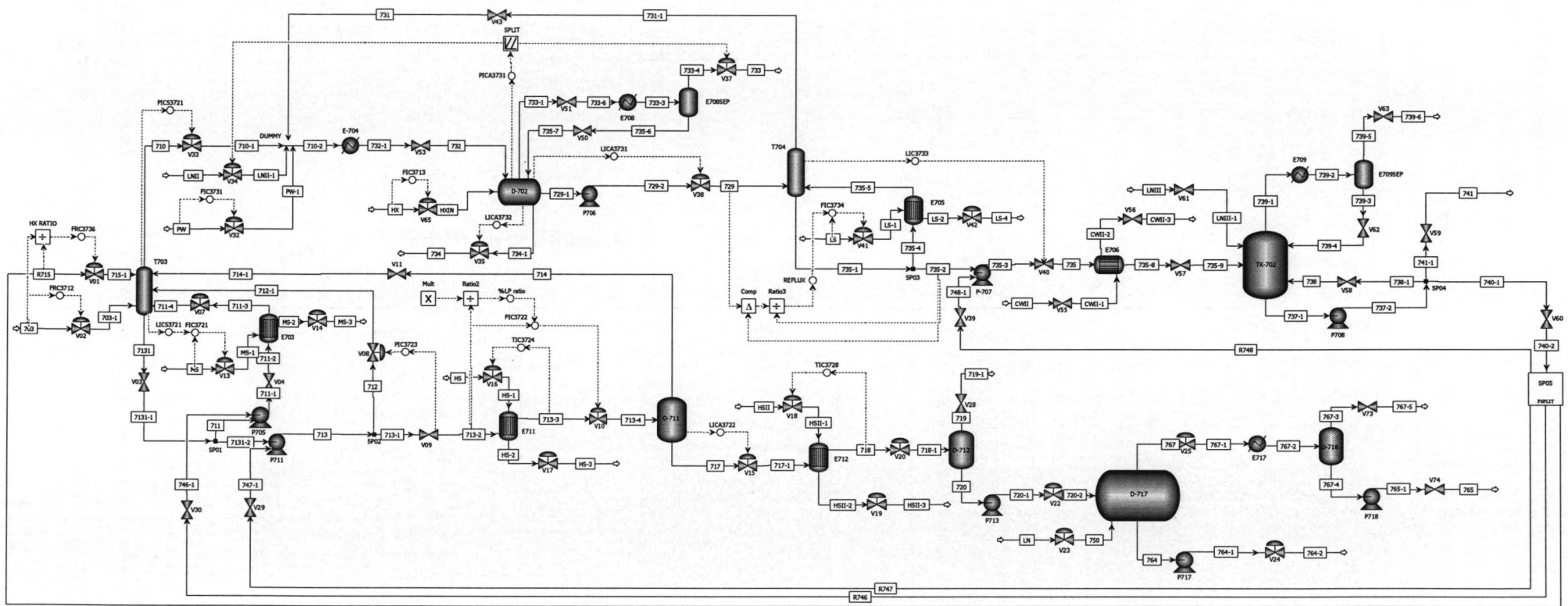
- วงควบคุม FIC3722 เปลี่ยนจากการควบคุมอัตราการไหลของกระแส 713 แบบอิสระมาเป็นการปรับกระแส 713 ให้ขึ้นกับความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่กันหอกลับ T-703 กล่าวคือ หากความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่กันหอกลับเพิ่มมากขึ้น วงควบคุม FIC3722 จะต้องทำการปรับอัตราการเปิดวาล์วให้เพิ่มขึ้นเพื่อเร่งให้กระแส 713 ส่งถ่ายไปยังเครื่องแยกแฟลช D-711 มากขึ้นเพื่อลดความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำภายในกันหอกลับให้น้อยลง วงควบคุมนี้ทำการควบคุมโดยสมการการออกแบบของส่วนการผลิต และ

- วงควบคุม FIC3734 เปลี่ยนจากการควบคุมไอน้ำความดันต่ำอย่างอิสระที่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่กันหอกลับ T-704 หรือหระเหยน้ำ มาเป็นการรับคำสั่งสัญญาณเป้าหมายการใช้ปริมาณไอน้ำโดยขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704

โครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 มีการเพิ่มเครื่องควบคุมจำนวน 2 เครื่อง เนื่องจากวงควบคุมแบบลำดับขั้นของการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลับ T-704 และเครื่องควบคุมความเข้มข้นของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ พารามิเตอร์เครื่องควบคุมที่เพิ่มมาทั้งสองทำการปรับแต่งด้วยวิธีการของไทเรียด-ลูเบน แบบวงปิด โดยแผนผังของการจำลองการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมกระบวนการแบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.30

การประเมินสมรรถนะการควบคุมการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมแบบที่ 2 ด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าไอเออีและเปรียบเทียบกับโครงสร้างการควบคุมอ้างอิง





รูปที่ 4.42 แผนผังกระบวนการผลิตของการปรับปรุงโครงสร้างการควบคุมรูปแบบที่ 2

ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบสมรรถนะของโครงสร้างควบคุมหลังการปรับปรุงโครงสร้างแบบเต็มรูปแบบแสดงได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่า IAE ระหว่างโครงสร้างอ้างอิงและโครงสร้างรูปแบบที่ 2

วงควบคุม	IAE 1	IAE 2
FRC3712	2.14E+01	2.14E+01
FRC3736	8.59E+00	1.54E+01
PICS3721	5.43E-03	5.42E-03
FIC3731	7.20E-02	7.08E-02
FIC3713	2.49E-02	2.15E-02
PICA3731	8.99E-03	8.61E-03
LICA3731	8.06E-03	8.27E-03
LICA3732	4.16E-03	4.16E-03
LICA3733	1.00E-02	7.77E-03
LICS3721	4.34E+00	4.34E+00
PIC3723	2.89E-03	2.93E-03
FIC3722	3.44E+00	3.25E-02
TIC3724	2.41E-02	2.42E-02
LICA3722	4.66E+00	4.66E+00
TIC3728	1.01E+01	1.01E+01
<b>ผลรวม</b>	52.6357	55.9844

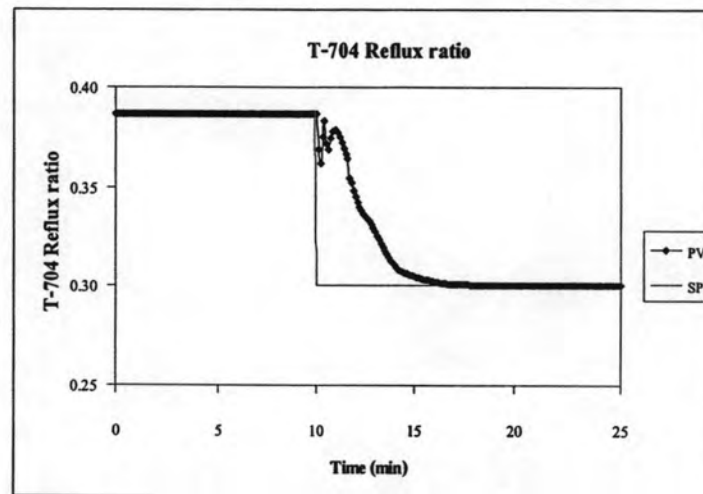
IAE 1 โครงสร้างการควบคุมอ้างอิง

IAE 2 โครงสร้างการควบคุมรูปแบบที่ 2

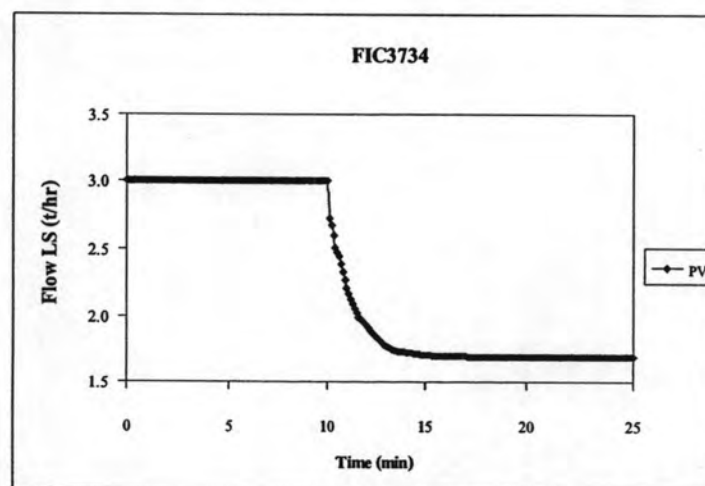
ผลจากตารางที่ 4.17 แสดงว่า ค่า IAE รวมของโครงสร้างอ้างอิงน้อยกว่าค่า IAE รวมของโครงสร้างใหม่ หากแต่เมื่อทำการพิจารณาในแต่ละวงควบคุมแล้วจะพบว่า วงควบคุม FRC3736 ของโครงสร้างการควบคุมรูปแบบที่ 2 ที่มีการควบคุมแบบสัดส่วนนั้นให้ผลของค่า IAE สูงอยู่แล้วดังเป็นผลสรุปจากการศึกษาในหัวข้อ 4.5.1 ในขณะเดียวกัน ค่า IAE ของวงควบคุมอื่นๆของโครงสร้างใหม่มีค่าน้อยกว่าค่า IAE ของวงควบคุมของโครงสร้างอ้างอิง

#### 4.7 การปรับลดค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่น T-704

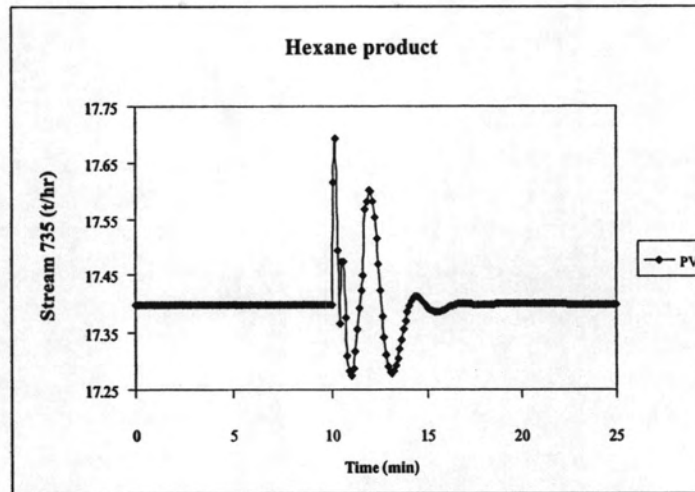
ส่วนการนำกลับแยกเซนของกระบวนการผลิตจริงมีการดำเนินการใช้ค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่น T-704 เท่ากับ 0.37 ซึ่งมากกว่าค่าการดำเนินการที่กำหนดไว้เมื่อตอนออกแบบ ซึ่งเท่ากับ 0.3 จากการทดลองทำการเปลี่ยนค่าเป้าหมายของเครื่องควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับจาก 0.37 เป็น 0.3 ที่เวลา 10 นาที พบว่า วงควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับจะส่งค่าเป้าหมายไปควบคุมการใช้ปริมาณไอน้ำความดันต่ำหรือวงควบคุม FIC3734 กล่าวได้ว่า สามารถลดการใช้ปริมาณไอน้ำได้ถึง 43.5% เมื่อเทียบกับปริมาณเดิมที่ใช้ โดยที่ผลิตภัณฑ์แยกเซนยังคงมีปริมาณไอน้ำปนเปื้อนน้อยกว่า 10 พีพีเอ็มและใช้เวลาประมาณ 6-7 นาทีสำหรับกระบวนการปรับเข้าสู่ค่าเป้าหมายใหม่ ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.31



ก) สัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่น T-704

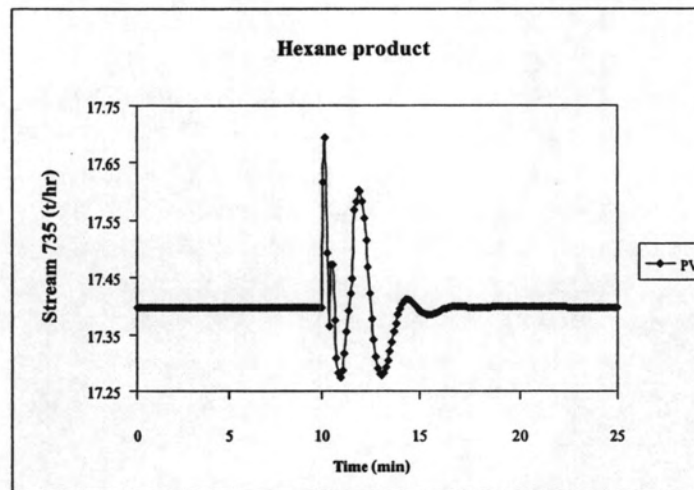


ข) ปริมาณไอน้ำความดันต่ำที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน E-705



ค) ผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ได้จากระบวนการ

รูปที่ 4.31 พฤติกรรมการตอบสนองของกระบวนการหลังการปรับลดค่าสัดส่วนการป้อนกลับ

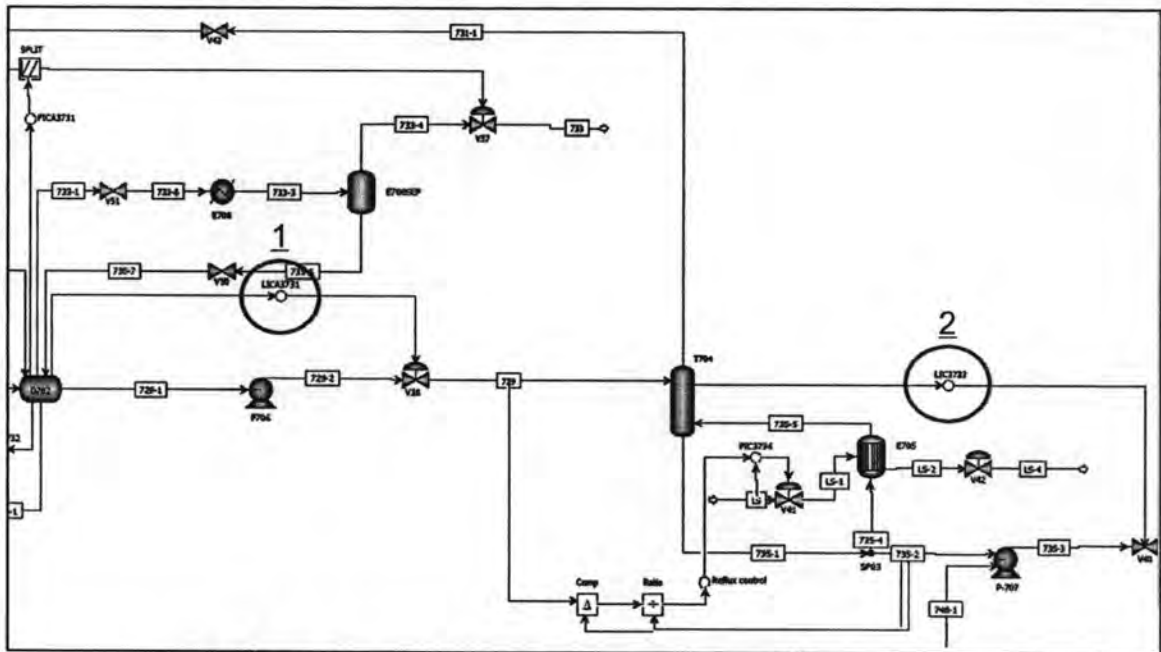


ค) ผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ได้จากกระบวนการ

รูปที่ 4.31 พฤติกรรมการตอบสนองของกระบวนการหลังการปรับลดค่าสัดส่วนการป้อนกลับ

#### 4.8 การประยุกต์การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ย

การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยเป็นการลดการควบคุมแบบกระชับให้เป็นการควบคุมแบบยืดหยุ่น เพื่อลดความยุ่งยากในการควบคุมอันเนื่องมาจากผลกระทบที่รบกวนระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับที่หอกลั่นระเหยน้ำ (T-704) พิจารณารูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 หน่วยปฏิบัติการผลิตส่วนการกลั่นระเหยน้ำ (T-704)

ค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำคำนวณจากกระแสป้อนเข้าสู่หอกลั่นระเหยและกระแสผลิตภัณฑ์กันหอกลั่นระเหย ซึ่งในกระบวนการผลิตหากว่ากระบวนการเกิดปัจจัยรบกวนระบบ หรือกระแสทั้งสองเกิดการแกว่งก็จะทำให้ค่าสัดส่วนการป้อนกลับเกิดการแกว่งทำให้เกิดภาวะการณ์ที่ควบคุมได้ยาก ทั้งนี้ ความยากลำบากในการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับโดยหลักแล้วเกิดจากการแกว่งของกระแสป้อนเข้าสู่หอกลั่นระเหย และกระแสผลิตภัณฑ์กันหอกลั่นระเหย พิจารณาแต่ละกรณีได้ดังนี้

1. การแกว่งของกระแสป้อนเข้าสู่หอกลั่นระเหยเกิดเนื่องมาจากผลกระทบของการแกว่งของระดับของเหลวภายในถังดีแคนเตอร์ (D-702) สังเกตได้ว่า วงควบคุมหมายเลข 1 รูปที่ 4.44 คือ วงควบคุมระดับของเหลวของถังดีแคนเตอร์ที่มีชื่อว่า วงควบคุม LICA3731 เครื่องควบคุมระดับของเหลวใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอซึ่งมีการควบคุมที่กระชับ เพื่อเฝ้าติดตามความคลาดเคลื่อนของระดับของเหลวไปจากค่าเป้าหมาย ดังนั้น โดยปกติระดับของเหลวในถังดีแคนเตอร์มักเกิดการแกว่งทำให้เครื่องควบคุมต้องประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปปรับวาล์วควบคุมอยู่ตลอดเวลา การปิดและเปิดของวาล์วจึงส่งผล

กระทบต่ออัตราการไหลของกระแสป้อนเข้าสู่หอกลั่น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ส่งผลกระทบต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับให้เกิดการแกว่งด้วยเช่นกัน

2. การแกว่งของกระแสผลิตภัณฑ์กันหอกลั่นระเหยเกิดเนื่องมาจากผลกระทบของการแกว่งของระดับของเหลวภายในหอกลั่น (T-704) และเกิดเนื่องมาจากผลกระทบอันเนื่องมาจากการแกว่งของกระแสป้อนเข้าสู่หอกลั่น สังเกตได้ว่า วงควบคุมหมายเลข 2 รูปที่ 4.44 คือ วงควบคุมระดับของเหลวที่กันหอกลั่นระเหยมีชื่อว่า วงควบคุม LIC3733 เครื่องควบคุมระดับของเหลวใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอซึ่งมีการควบคุมที่กระชับ ดังนั้น ไม่ว่าจะเกิดการแกว่งของระดับของเหลวที่กันหอกลั่นด้วยเหตุใด ผลของเครื่องควบคุมที่สั่งปรับวาล์วจึงส่งผลกระทบต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับ

จากปัญหาทั้ง 2 ข้อที่ได้กล่าวในข้างต้น หากต้องการลดผลกระทบอันเนื่องมาจากการปรับวาล์วของเครื่องควบคุมที่ควบคุมแบบกระชับ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนการควบคุมแบบกระชับเป็นการควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ย (Average level control) ซึ่งทำได้โดย

1. ปรับเครื่องควบคุมเป็นแบบพี
2. ปรับค่าเกนของเครื่องควบคุมเป็น 1

แต่ทั้งนี้ หากพิจารณาแล้วจะเกิดคำถามที่ว่า แล้ว ณ ตำแหน่งไหนหรือว่าเครื่องควบคุมเครื่องใด และวงควบคุมใดที่ควรทำการควบคุมแบบค่าเฉลี่ย ซึ่งปัญหาข้างต้นนี้ ทำให้เกิดกรณีศึกษาแบ่งเป็น 3 กรณี ดังนี้

1. การใช้การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยที่วงควบคุมระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์ (LICA3731) เท่านั้น
  2. การใช้การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยที่วงควบคุมระดับของเหลวที่กันหอกลั่นระเหย (LIC3733) เท่านั้น
  3. การใช้การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยพร้อมกันทั้งสองวงควบคุม
- การศึกษาทั้ง 3 กรณีแสดงในหัวข้อถัดไป

จากปัญหาและกรณีศึกษาที่ได้กล่าวมาในข้างต้นถูกนำมาศึกษาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดว่า การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยสามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะเชิงปริมาณในการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยได้หรือไม่

#### 4.8.1 การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่ถังดีแคนเตอร์ (D-702)

โครงสร้างการควบคุมสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรขาเข้าเป็นอย่างมาก ทั้งการเปลี่ยนแปลงของกระแสป้อนเข้าหอกลั่นระเหยน้ำ (กระแส 729) เนื่องมาจากการแกว่งของระดับของเหลวในถังดีแคนเตอร์ และผลกระทบในการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากกระแสผลิตภัณฑ์เฮกเซนที่ได้จากกันหอกลั่นระเหยน้ำ (กระแส 735) เนื่องมาจากการแกว่งของระดับของเหลวที่กันหอกลั่นระเหยน้ำ ซึ่งโครงสร้างการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำมีสมการที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของกระแสการไหลทั้งสอง ดังนั้น หากว่ากระแสการไหลทั้งสองเกิดการเบี่ยงเบนหรือเกิดการแกว่งก็จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของค่าสัดส่วนการป้อนกลับ ทำให้ยากต่อการควบคุมมากยิ่งขึ้น

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของกระแสป้อนที่เข้าสู่หอกลั่น T-703 มีผลอย่างมากที่ทำให้ระดับของเหลวในดีแคนเตอร์ (D-702) เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีการควบคุมระดับของเหลวด้วยเครื่องควบคุมแบบพีไอซึ่งเป็นการควบคุมที่ค่อนข้างกระชับ ระดับของเหลวที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อการปรับอัตราการเปิดของวาล์วเพื่อปรับอัตราการไหลของกระแส 729 ที่ป้อนไปยังหอกลั่นระเหยจึงทำให้ระดับของเหลวภายในหอกลั่นระเหยน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงตาม นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบเป็นลูกโซ่ต่อไปถึงการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับ ไม่เพียงแต่การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตหรืออัตราการป้อน สิ่งที่ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อระบบการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับอีกคือ ตัวแปรกระบวนการรวมทั้งจากภายนอกและภายใน รวมถึงสัญญาณรบกวนต่างๆ เช่น สัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัดซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วนกระทบต่อการควบคุมกระบวนการทั้งสิ้น

การประยุกต์การควบคุมระดับของเหลวของดีแคนเตอร์ (D-702) จากการควบคุมโดยเครื่องควบคุมแบบพีไอมาเป็นการควบคุมด้วยเครื่องควบคุมแบบพีไอโดยการควบคุมแบบค่าเฉลี่ยแทนจะสามารถทำให้การควบคุมระดับของเหลวภายในดีแคนเตอร์มีความราบรื่นมากยิ่งขึ้น

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยขั้นตอนต่อไปนี้

1. ปรับเครื่องควบคุม LICA3731 เป็นแบบพีเท้านั้น
2. ปรับค่าเกนของเครื่องควบคุม LICA3731 เป็น 1 เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นโดยที่ 50% ของสัญญาณจากเครื่องมือวัดจะเท่ากับ 50% ของสัญญาณขาออกจากเครื่องควบคุม
3. ติดตั้งบล็อกให้กำเนิดสัญญาณรบกวนให้มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.023 เมตร ตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับของเหลวในถังดีแคนเตอร์ของกระบวนการผลิตจริง ณ ช่วงเวลาที่ทำการศึกษ

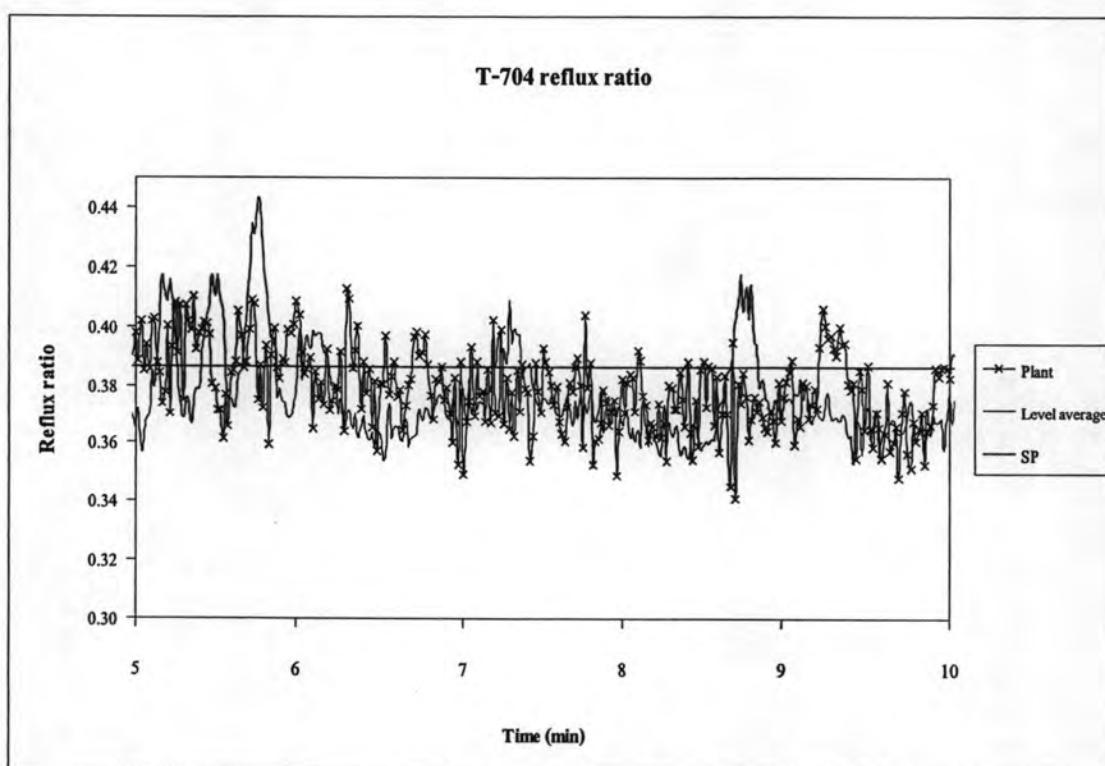


4. ทดสอบการควบคุมกระบวนการโดยการปรับอัตราสารป้อนแบบขั้นบันได โดยที่ปรับอัตราการไหลของกระแส 703 เพิ่ม 2.56% และปรับอัตราการไหลของกระแส 715 ให้ไหลเป็น 25% ของอัตราการไหลของกระแส 703 ที่เวลา 5 นาที
5. วัดสมรรถนะเชิงปริมาณด้วยค่า IAE ของวงควบคุมความดันในถังดีแคนเตอร์ (PICA3731) ระดับของเหลวในถังดีแคนเตอร์ (LICA3731) ระดับของเหลวที่ก้นหอกลั่นระเหย (LIC3733) และสัดส่วนการป้อนกลับ (Reflux ratio)

ผลการจำลองกระบวนการของการควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยที่ถังดีแคนเตอร์ วงควบคุม LICA3731 สามารถวิเคราะห์ค่าสัดส่วนการป้อนกลับโดยแบ่งเป็น 2 กรณี

1. เส้น Plant แสดงค่าสัดส่วนการป้อนกลับก่อนการควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ย
2. เส้น Level average แสดงค่าสัดส่วนการป้อนกลับหลังการควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ย

ค่าสัดส่วนการป้อนกลับหลังการทดสอบกระบวนการที่เวลา 5 นาที แสดงดังรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.45 พฤติกรรมการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำ

พิจารณาสมรรถนะการควบคุมกระบวนการด้วยค่า IAE ของวงควบคุมที่สำคัญที่มีผลต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหย แสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบค่า IAE ของวงควบคุมที่มีผลต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับ (4.8.1)

วงควบคุม	การควบคุมเดิม	การควบคุมแบบค่าเฉลี่ย
LICA3731	0.0472	0.7266
PICA3731	0.0238	0.0088
Reflux	0.2710	0.2981
LIC3733	0.3121	0.1430
<b>ผลรวมค่า IAE</b>	<b>0.6540</b>	<b>1.1764</b>

ค่า IAE ของวงควบคุมระดับของเหลวของถังดีแคนเตอร์ (LICA3731) เมื่อใช้การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าการควบคุมแบบเดิม ทั้งนี้เนื่องมาจากการควบคุมแบบเดิมนั้นใช้เครื่องควบคุมแบบพีไอซึ่งเป็นการควบคุมแบบกระชับ และสามารถกำจัดค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่ากระบวนการและค่าเป้าหมายได้ ในขณะที่การควบคุมระดับของเหลวของถังดีแคนเตอร์แบบเฉลี่ยเป็นการปรับเครื่องควบคุมให้เป็นแบบพี และใช้ค่าเกนของของเครื่องควบคุมเป็น 1 ผลของการควบคุมด้วยเครื่องควบคุมแบบพีคือ สามารถยอมรับและมีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่าเป้าหมายเป็นผลให้ค่า IAE ของวงควบคุมระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์เมื่อทำการควบคุมแบบค่าเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าการควบคุมแบบเดิม แต่หากพิจารณาวงควบคุมอื่นๆที่ได้รับผลกระทบจากการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับและการควบคุมแบบค่าระดับของเหลวเฉลี่ย พบว่า การรักษาระดับความดันภายในกระบวนการที่ถังดีแคนเตอร์ (PICA3731) ดีขึ้น และสามารถลดการแกว่งของระดับของเหลวที่ก้นหอ กลั่นระเหย (T-704) ได้ (วงควบคุม LIC3733) โดยภาพรวม การควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยมีค่าความคลาดเคลื่อนรวมของกระบวนการสูงกว่าการควบคุมเดิมเนื่องมาจากค่า IAE ของการควบคุมระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์เพิ่มสูงอย่างมาก แต่หากมองในมุมมองของการพัฒนาแล้ว การประยุกต์ใช้การควบคุมถังดีแคนเตอร์แบบค่าเฉลี่ยเป็นการยอมให้ระดับของเหลวเกิดค่าคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้น หากไม่พิจารณาค่า IAE ของวงควบคุม (LICA3731) และทำการหาค่าผลรวม IAE ใหม่พบว่า การควบคุมระดับของเหลวที่ถังดีแคนเตอร์แบบค่าเฉลี่ยให้ค่า IAE รวมเท่ากับ 0.4498 ในขณะที่การควบคุมเดิมให้ค่า IAE เท่ากับ 0.6068 ในมุมมองเช่นนี้การควบคุมโดยค่าเฉลี่ยให้ผลการควบคุมที่ดีกว่า

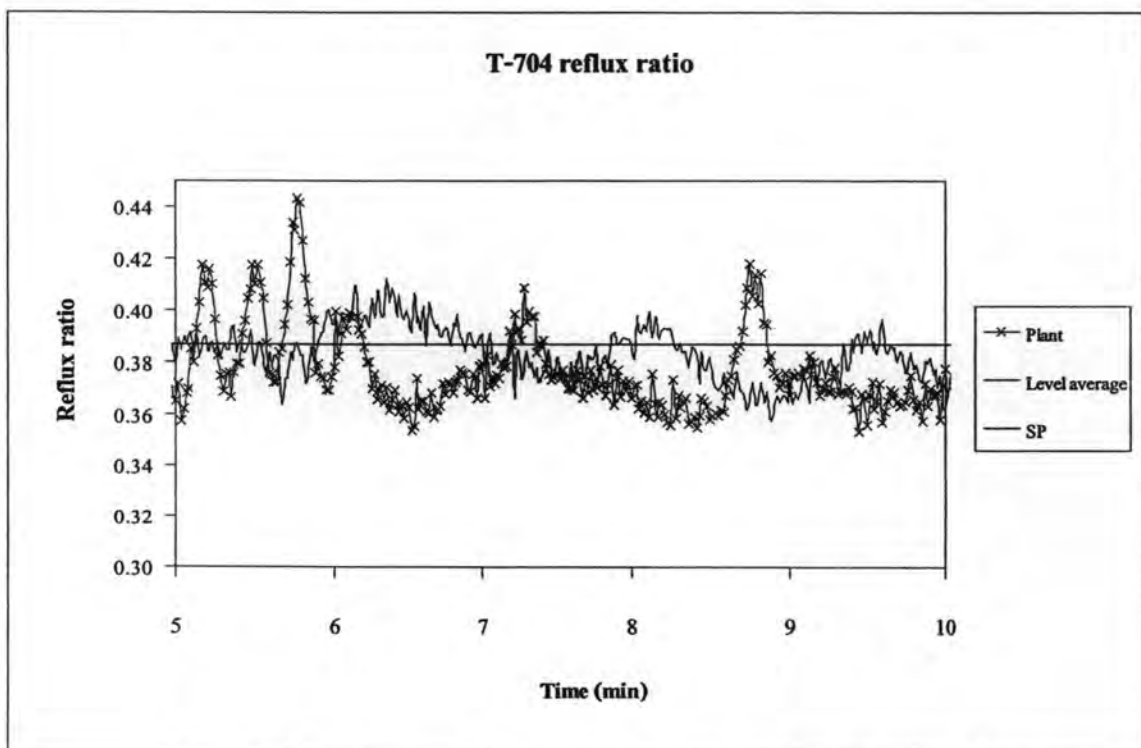
#### 4.8.2 การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่ก้นหอกลั่น T-704

การควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับให้เป็นอิสระจากการควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอกลั่น T-704 ทำให้การควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับทำได้ง่ายมากขึ้น เนื่องจาก การควบคุมระดับของเหลวที่ก้นหอกลั่น T-704 ด้วยวงควบคุม LIC3733 เป็นการควบคุมโดยทำการปรับอัตราการใช้ของกระแส 735 ซึ่งเป็นกระแสขาออกของหอกลั่น (กระแสผลิตภัณฑ์ เฮกเซน) ซึ่งการปรับระดับของเหลวอย่างอิสระนี้เองกระทบต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับตามสมการที่ 12 ดังนั้น การควบคุมระดับของเหลวแบบเฉลี่ยที่ก้นหอกลั่น T-704 จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาในการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับ โดยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการแบบฉับพลันหรือการควบคุมแบบกระชับของเครื่องควบคุมแบบพีไอของวงควบคุม LIC3733

วิธีการวิเคราะห์ทำโดยขั้นตอนต่อไปนี้

1. ปรับเครื่องควบคุม LIC3733 เป็นแบบพีเท่านั้น
2. ปรับค่าเกนของเครื่องควบคุม LIC3733 เป็น 1 เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นโดยที่ 50% ของสัญญาณจากเครื่องมือวัดจะเท่ากับ 50% ของสัญญาณขาออกจากเครื่องควบคุม
3. ขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 เหมือนหัวข้อ 4.8.1

ค่าสัดส่วนการป้อนกลับหลังการทดสอบกระบวนการที่เวลา 5 นาที แสดงดังรูปที่ 4.46



รูปที่ 4.46 พฤติกรรมการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหยน้ำ

พฤติกรรมค่าสัดส่วนการป้อนกลับดังรูปที่ 4.46 เมื่อทำการควบคุมระดับของเหลวที่กั้นหอกลั่นระเหยแบบค่าเฉลี่ยพบว่า พฤติกรรมของค่าสัดส่วนการป้อนกลับมีการแกว่งที่ราบรื่นกว่ากรณีที่ใช้การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยที่ถึงดีแคเตอร์ อีกทั้ง ค่าสัดส่วนการป้อนกลับในกรณีนี้ยังเกิดการแกว่งด้วยความถี่ที่ต่ำกว่าและขนาดของแอมพลิจูดที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมายต่ำกว่าเมื่อทำการควบคุมแบบกระชับ พิจารณาค่า IAE ของการควบคุมระดับของเหลวที่กั้นหอกลั่นระเหยดังตารางที่ 4.19

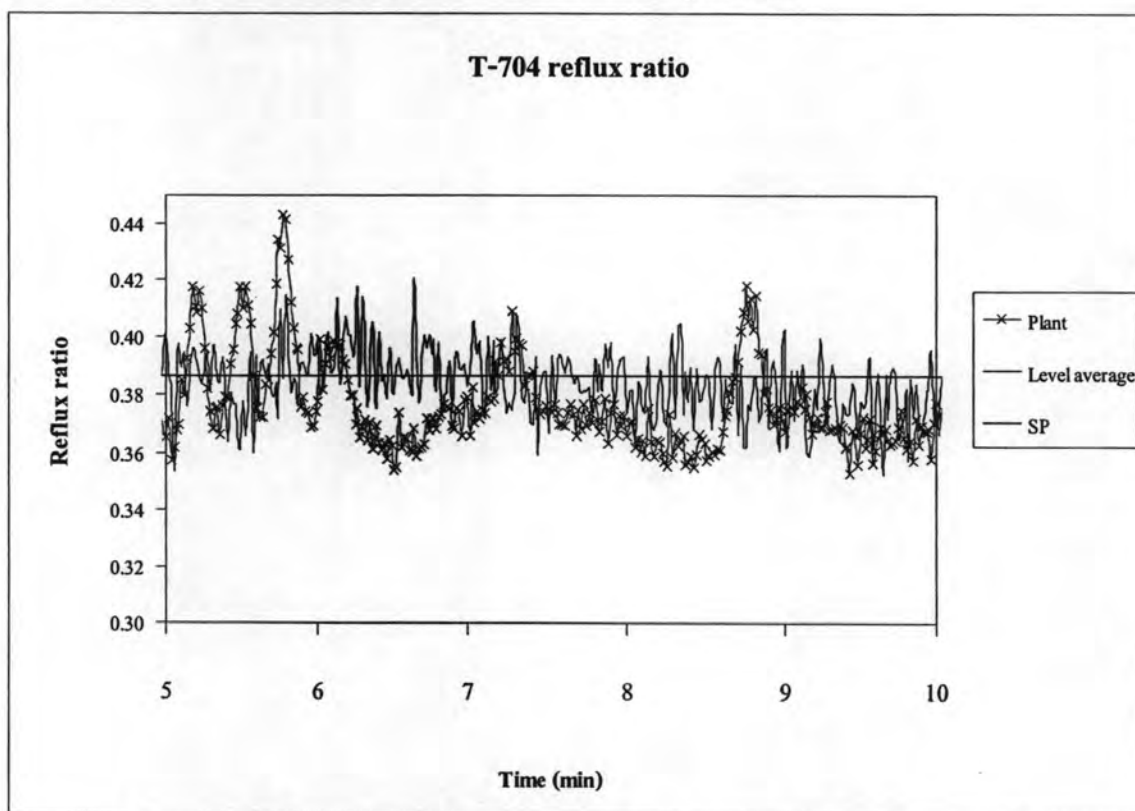
ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบค่า IAE ของวงควบคุมที่มีผลต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับ (4.8.2)

	การควบคุมเดิม	การควบคุมแบบค่าเฉลี่ย
LICA3731	0.0472	0.0593
PICA3731	0.0238	0.0284
Reflux	0.2710	0.1884
LIC3733	0.3121	7.5970
<b>ผลรวมค่า IAE</b>	<b>0.6540</b>	<b>7.8731</b>

การควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยเป็นการควบคุมที่ยอมรับให้มีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าเป้าหมายเกิดขึ้น จากตารางที่ 4.19 ค่า IAE ของวงควบคุม LIC3733 (วงควบคุมระดับของเหลวที่กั้นหอกลั่นระเหย) จึงเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมอย่างมาก แต่การควบคุมระดับของเหลวที่กั้นหอกลั่นระเหยแบบค่าเฉลี่ยให้ผลในการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับได้ดีกว่าการควบคุมระดับของเหลวที่ดีแคเตอร์แบบค่าเฉลี่ยโดยพิจารณาจากรูปที่ 4.46 และค่า IAE ที่น้อยกว่าในตารางที่ 4.19 ในมุมมองที่การควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับมีความสำคัญกว่าวงควบคุมอื่นๆ วิธีการควบคุมระดับของเหลวที่กั้นหอกลั่นระเหยแบบค่าเฉลี่ยจะให้ผลที่ดีกว่าการควบคุมเดิม

#### 4.8.3 การควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยโดยสมบูรณ

การปรับปรุงการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับของหอกลั่นระเหย โดยประยุกต์การควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยทั้งที่ถังดีแคนเตอร์ (วงควบคุม LICA3731) และที่กันหอกลั่นระเหย (วงควบคุม LIC3733) พร้อมกัน ซึ่งใช้วิธีการทดสอบกระบวนการเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.8.1 และ 4.8.2 ได้พฤติกรรมของค่าสัดส่วนการป้อนกลับแสดงดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 พฤติกรรมการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับแบบค่าเฉลี่ยโดยสมบูรณ

การควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยโดยสมบูรณ ค่าสัดส่วนการป้อนกลับมีการแกว่งด้วยความถี่สูง แต่แกว่งเกิดรอบค่าเป้าหมายและให้ค่าสัดส่วนการป้อนกลับใกล้เคียงกับค่าเป้าหมาย ดีกว่าการประยุกต์การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยในสองวิธีแรก ทั้งนี้ การแกว่งด้วยความถี่ที่สูงนี้เป็นผลมาจากการประยุกต์การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยที่ถังดีแคนเตอร์ พิจารณาจากรูป 4.45 และการแกว่งด้วยแอมพลิจูดที่ต่ำกว่าการควบคุมแบบกระชั้นเนื่องจากการควบคุมแบบค่าเฉลี่ยที่กันหอกลั่นระเหย พิจารณาควบคู่กับรูปที่ 4.46 ดังนั้น การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยทั้งสองจุดจึงมีทั้งข้อดีและข้อเสียปะปนกันไป พิจารณาได้จากค่า IAE ในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 เป็นตารางสรุปค่า IAE ของวงควบคุมต่างๆของทุกกรณีการควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ยเปรียบเทียบกับการควบคุมเดิม หากพิจารณาค่า IAE รวมการควบคุมแบบเดิมจะให้ผลการควบคุมที่ดีที่สุด แต่หากสามารถควบคุมระดับของเหลวแบบหลวมๆโดยใช้การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยแล้ว การควบคุมแบบค่าเฉลี่ยโดยการประยุกต์ที่วงควบคุม LIC3733 เท่านั้น ดังหัวข้อ 4.8.2 ให้ผลในการควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้เมื่อทำการเพิ่มวงควบคุมค่าสัดส่วนการป้อนกลับในกระบวนการ

ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบค่า IAE ของวงควบคุมที่มีผลต่อค่าสัดส่วนการป้อนกลับ (4.8.3)

	การควบคุมเดิม	การควบคุมระดับของเหลวแบบค่าเฉลี่ย		
		ถังตีแคนเตอร์	กั้นหอระเหย	สมบูรณ์
LICA3731	0.0472	0.7266	0.0593	0.6823
PICA3731	0.0238	0.0088	0.0284	0.0087
Reflux	0.2710	0.2981	0.1884	0.2699
LIC3733	0.3121	0.1430	7.5970	7.0610
<b>ผลรวมค่าไอเออี</b>	<b>0.6540</b>	<b>1.1764</b>	<b>7.8731</b>	<b>8.0220</b>