บทที่ 4

ทฤษฎีการควบคุมหอกลั่น

ในบทนี้ เป็นทฤษฎีในการควบคุมหอกลั่น โดยเป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่ง (One-point control)

4.1 การควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่ง

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาการควบคุมองค์ประกอบและการควบคุมระดับ จะมีตัวแปรควบคุม 4 ตัว คือ ความเข้มข้นขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ยอดหอ (X_D) ความเข้มข้นขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ก้นหอ (X_B) ระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์ (L_D) และระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ (L_R) และมีตัวแปรปรับ 4 ตัว คือ อัตราการไหลของดิสทิลเลต (D) อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ก้นหอ (B) อัตราการไหลของรีฟลักซ์ (L) และอัตราการให้ความร้อนแก่หม้อต้มซ้ำ (V) ดังนั้นจึงมีวิธีการจับคู่ของตัวแปรปรับได้ 4! หรือ 24 วิธี

สำหรับการควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง จะมีตัวแปรควบคุมเพียง 3 ตัว ที่จับคู่กับตัวแปรปรับ 3 ตัว ส่วนตัวแปรปรับที่เหลือจะไม่นำมาใช้ปรับ การจับคู่ทั้ง 24 วิธี แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 การควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง ยังได้แบ่งเป็นแบบการปรับโดยใช้กระแสสมดุลมวลสาร คือ D และ B เป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมลูพองค์ประกอบได้ 8 คู่ จัด

เป็นประเภทการควบคุมแบบสมดุลมวลสาร ส่วนการใช้กระแสสมดุลพลังงาน คือ L และ V เป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมลูพองค์ประกอบได้ 8 คู่ จัดเป็นประเภทการควบคุมแบบสมดุลพลังงาน และได้อีก 4 คู่ที่เป็นประเภทการควบคุมแบบสมดุลมวลสารโดยอ้อม (Indirect material balance control) ซึ่งเป็นการใช้กระแสสมดุลมวล D และ B เป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมระดับของเหลว L_D และ L_R และจะได้อีก 4 คู่ที่เป็นประเภทการควบคุมแบบผสม ที่ควบคุมองค์ประกอบด้วยการปรับจากกระแสสมดุลมวลตัวหนึ่ง ส่วนกระแสสมดุลมวลอีกตัวหนึ่งจะเป็นการปล่อยให้อิสระ

เมื่อพิจารณาจากผลตอบสนองเชิงพลวัตของเอาท์พุทต่อการเปลี่ยนแปลงของอินพุทที่เข้าไป จะพบวิธีการควบคุมที่ไม่เหมาะสม ดังนี้ (Deshpande, 1985)

ตัดวิธีการควบคุม 1, 2, 5, 7, 9, 10, 13, 15, 19, 20, 23 และ 24 ซึ่งเป็นการควบคุมระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ ด้วยรีฟลักซ์ หรือดิสทิเลต

ตัดวิธีการควบคุม 6 และ 5 เนื่องจากเป็นการใช้ B เพื่อควบคุมระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์

ตัดวิธีการควบคุม 8 และ 16 เนื่องจาก เป็นการใช้ V (ความร้อนจากหม้อต้มซ้ำ) เพื่อควบคุมระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์

ตัดวิธีการควบคุม 21 และ 22 เนื่องจาก เป็นวิธีที่ไม่สัมพันธ์กับสมดุลมวลสาร

ดังนั้นจะเหลือเพียง 6 วิธีการควบคุม คือ วิธีที่ 3,4,17,18,11 และ 12 วิธีการควบคุม 4 วิธีแรกเป็นประเภทการควบคุมสมดุลมวลสาร (เป็นวิธีโดยตรง 2 วิธี และเป็นวิธีโดยอ้อม 2 วิธี) และ 2 วิธีหลังเป็นประเภทการควบคุมสมดุลพลังงาน ซึ่งเป็นวิธีควบคุมที่ต่างจากวิธีการ

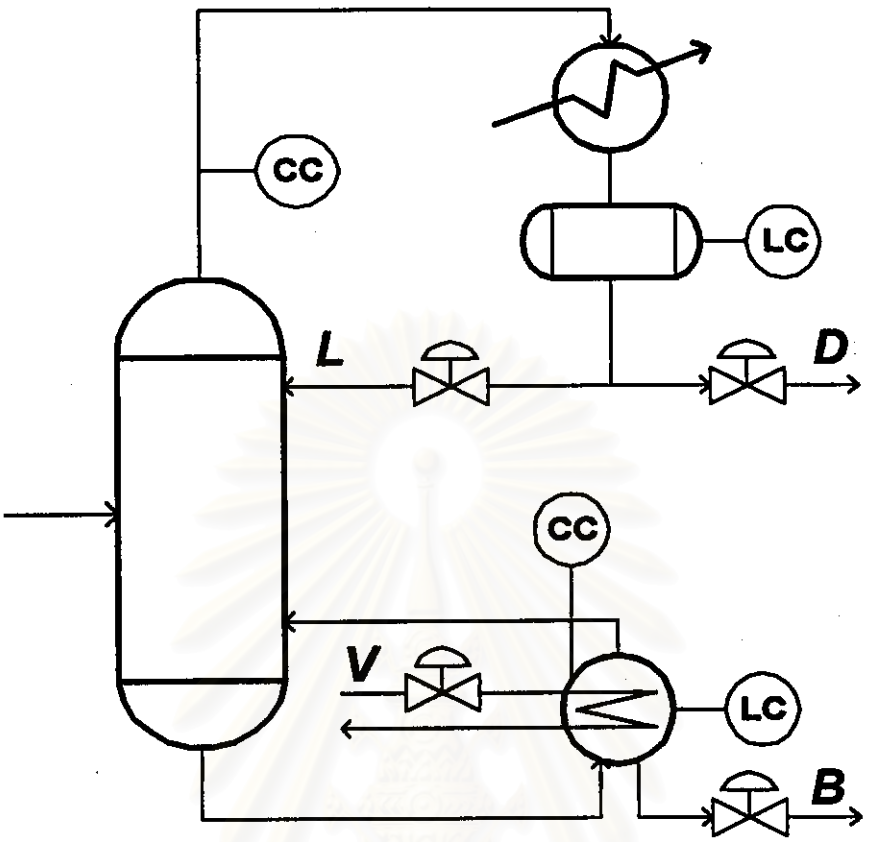
ควบคุม 2 กรณีแรก กล่าวคือจะมีสตรีมผลิตภัณฑ์ตัวใดตัวหนึ่ง ตั้งค่าให้เป็นตัวแปรอิสระ ส่วนสตรีมผลิตภัณฑ์ที่เหลือจะถูกใช้เป็นการควบคุมระดับเพื่อรักษาสมดุลมวลสารของทั้งคอลัมน์ การควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะทำได้โดยการปรับอัตราการไหลภายในของคอลัมน์ (L หรือ V) หรือเรียกว่าเป็นการควบคุมโดยการปรับสตรีมสมดุลพลังงาน เนื่องจาก L หรือ V ส่งผลต่อความร้อนเข้า-ออก หรือการเดือดของคอลัมน์โดยตรง ซึ่งขณะที่อัตราการไหลดังกล่าวเพิ่มขึ้น การแยกจะดีขึ้น เช่น วิธีควบคุมแบบ *VD* ในรูปที่ 4.6 เมื่อองค์ประกอบสารเบาในสารป้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิในส่วนล่างหอจะตกลง และตัวควบคุมอุณหภูมิจะทำการเพิ่มการเดือด ทำให้ความดันของคอลัมน์เพิ่มขึ้น ตัวควบคุมความดันก็จะไปเพิ่มอัตราการควบแน่น ส่งผลให้ระดับของเหลวในถังรองรับรีฟลักซ์เพิ่มขึ้น ตัวควบคุมระดับก็จะเทรีฟลักซ์เข้าคอลัมน์มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิเทรย์ลดลง และตัวควบคุมอุณหภูมิจะเพิ่มการเดือดอีกครั้ง ลักษณะเช่นนี้จะเกิดไปเรื่อย ๆ จนกว่ารีฟลักซ์ และการเดือดที่เพิ่มขึ้นจะรักษาอุณหภูมิของส่วนล่างหอได้ หรืออีกนัยหนึ่ง การสะสมขององค์ประกอบเบาในคอลัมน์จะทำให้รีฟลักซ์ และการเดือดเพิ่มขึ้น และถ้าอัตราการไหลรีฟลักซ์ และเดือดมากเกินอัตราที่ต้องการ ทำให้ต้องปล่อยผลิตภัณฑ์มากขึ้น เพื่อหยุดการเพิ่มรีฟลักซ์ และการเดือด (ผุสดี, 2539)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรปรับที่ใช้ควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์หนึ่งตำแหน่ง

วิธีที่	โครงสร้าง	ตัวแปรปรับเพื่อควบคุมระดับของเหลวในถังรีฟลักซ์	ตัวแปรปรับเพื่อควบคุมระดับของเหลวในหม้อต้มซ้ำ	ตัวแปรปรับเพื่อควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์	ตัวแปรที่ไม่ได้ใช้ในการปรับ	ประเภทของวิธีการควบคุม
1	BV	D	L	B	V	สมดุลมวลสาร
2	BV	L	D	B	V	สมดุลมวลสาร
3	BL	D	V	B	L	สมดุลมวลสาร
4	DV	L	B	D	V	สมดุลมวลสาร
5	DV	B	L	D	V	สมดุลมวลสาร
6	DL	B	V	D	L	สมดุลมวลสาร
7	BL	V	D	B	L	สมดุลมวลสาร
8	DL	V	B	D	L	สมดุลมวลสาร
9	VB	D	L	V	B	สมดุลพลังงาน
10	VB	L	D	V	B	สมดุลพลังงาน
11	LB	D	V	L	B	สมดุลพลังงาน
12	VD	L	B	V	D	สมดุลพลังงาน
13	VD	B	L	V	D	สมดุลพลังงาน
14	LD	B	V	L	D	สมดุลพลังงาน
15	LB	V	D	L	B	สมดุลพลังงาน
16	LD	V	B	L	D	สมดุลพลังงาน
17	VL	D	B	V	L	สมดุลมวลสารทางอ้อม
18	LV	D	B	L	V	สมดุลมวลสารทางอ้อม
19	LV	B	D	L	V	สมดุลมวลสารทางอ้อม
20	VL	B	D	V	L	สมดุลมวลสารทางอ้อม
21	DB	L	V	D	B	แบบผสม
22	BD	L	V	B	D	แบบผสม
23	BD	V	L	B	D	แบบผสม
24	DB	V	L	D	B	แบบผสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงหอกลั่นที่มีการควบคุมองค์ประกอบและควบคุมระดับของเหลว

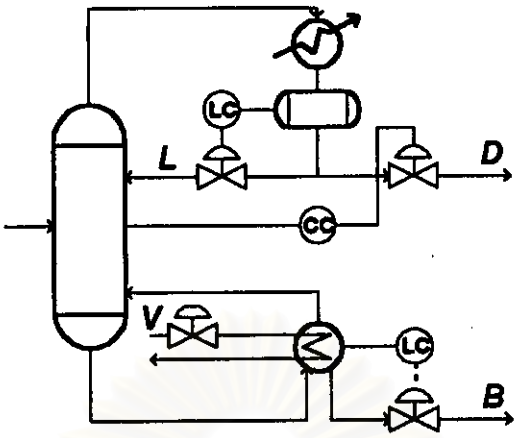
4.1.1 วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยตรง

วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยตรง คือใช้กระแส B หรือ D เป็นตัวแปรเพื่อควบคุมองค์ประกอบ ได้แก่ วิธี DV และ BL

ก. วิธี DV

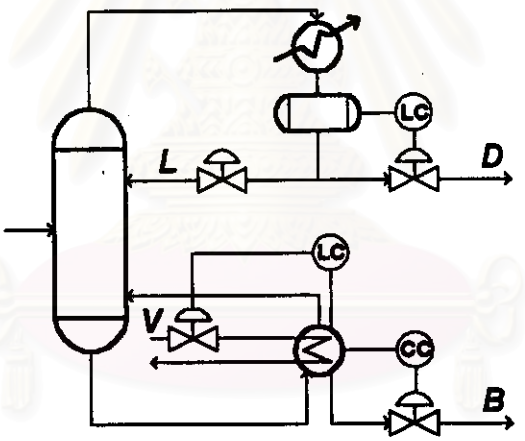
ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย D และปล่อย V เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_D ด้วย L ควบคุม L_B ด้วย B

ข้อดี: การตอบสนองต่อตัวรบกวนในคอลัมน์ขนาดเล็กดีกว่าวิธีอื่นๆ และเป็นวิธีที่สามารถควบคุมลูพองค์ประกอบได้ในกรณีใช้ L/D สูง



รูปที่ 4.2 การควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โดยวิธี *DV*

ข. วิธี *BL*



รูปที่ 4.3 การควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โดยวิธี *BL*

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย B และปล่อย L เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_D ด้วย D ควบคุม L_R ด้วย V

ข้อดี: ใช้กับกรณีผลิตภัณฑ์ยอดหอเป็นไอย่างเดียวได้, การตอบสนองเร็วในคอลัมน์ขนาดใหญ่ (เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงที่การเดือดในการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ) และในกรณีที่ใช้ L/D ต่ำ จะให้การควบคุมที่ดีเยี่ยม

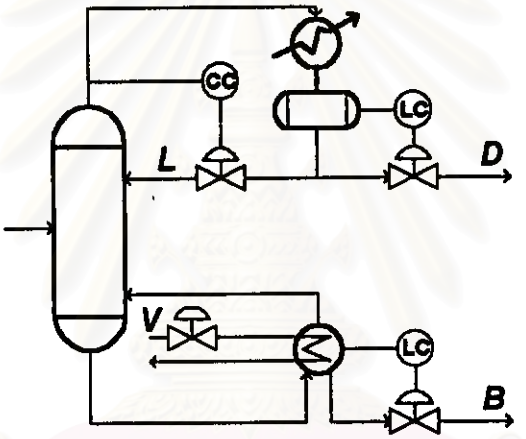
118045285

ข้อเสีย: ไม่สามารถใช้กับคอลัมน์ที่มี *L/D* สูง (ทำให้ไม่สามารถควบคุมระดับของเหลวในถังรองรับรีฟลักซ์ เนื่องจากสูญเสียสมดุลมวล)

4.1.2 วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยอ้อม

วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยอ้อม คือใช้กระแส *L* หรือ *V* เป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมองค์ประกอบ ได้แก่ วิธี *LV* และ *VL*

ก. วิธี LV



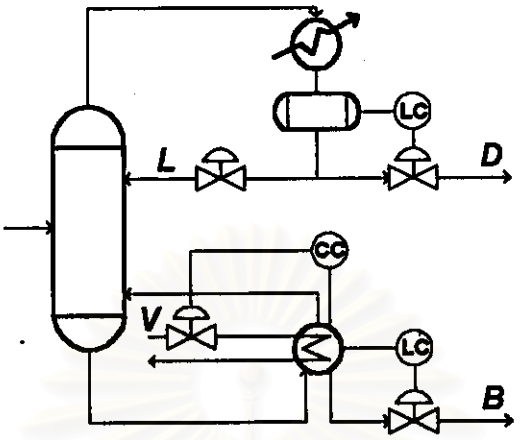
รูปที่ 4.4 การควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โดยวิธี *LV*

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย *L* และปล่อย *V* เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_D ด้วย *D* ควบคุม L_B ด้วย *B*

ข้อดี: ใช้กับกรณีผลิตภัณฑ์ยอดหอเป็นไอย่างเดียวได้ ให้การควบคุมที่ดีเมื่อใช้ L/D ต่ำ

ข้อเสีย: การตอบสนองในคอลัมน์ขนาดใหญ่ช้า ส่วนในคอลัมน์ขนาดเล็กใช้, การตอบสนองต่อตัวรบกวนจากระบบให้ความร้อนไม่ดี และไม่สามารถใช้กับคอลัมน์ที่มี *L/D* สูง

ข. วิธี *VL*



รูปที่ 4.5 การควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โดยวิธี *VL*

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย V และปล่อย L เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_D ด้วย D ควบคุม L_R ด้วย B

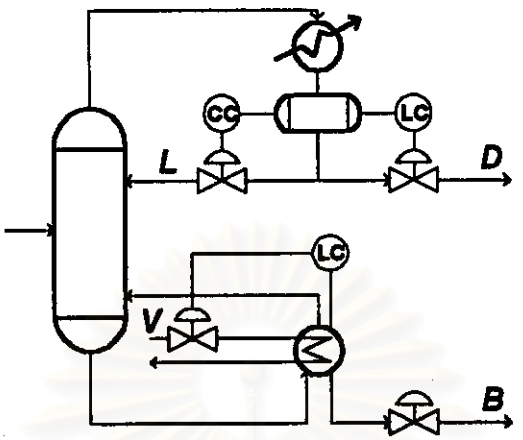
ข้อดี: ใช้กับกรณีผลิตภัณฑ์ยอดหอเป็นไอย่างเดียวได้, ให้การควบคุมที่เสถียร การตอบสนองเร็วในคอลัมน์ขนาดใหญ่ และให้การควบคุมที่ดีเยี่ยมเมื่อใช้ L/D ต่ำ

ข้อเสีย: การตอบสนองต่อตัวรบกวนในคอลัมน์ขนาดเล็กไม่ดี และไม่สามารถใช้คอลัมน์ที่มี L/D สูง

4.1.3 วิธีควบคุมสมดุลพลังงาน

วิธีควบคุมสมดุลพลังงาน คือใช้กระแส L หรือ V เป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมองค์ประกอบ โดยที่กระแส D หรือ B ใช้เป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมระดับ(หรือปริมาณอินเวนทอรี) และใช้กระแส D หรือ B ตัวที่เหลือเป็นตัวแปรปรับอิสระ ได้แก่ วิธี *LB* และ *VD*

ก. วิธี LB



รูปที่ 4.6 การควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โดยวิธี *LB*

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย L และปล่อย B เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_D ด้วย D ควบคุม L_R ด้วย V

ข้อดี: เหมาะกับกรณีที่มีการรบกวน

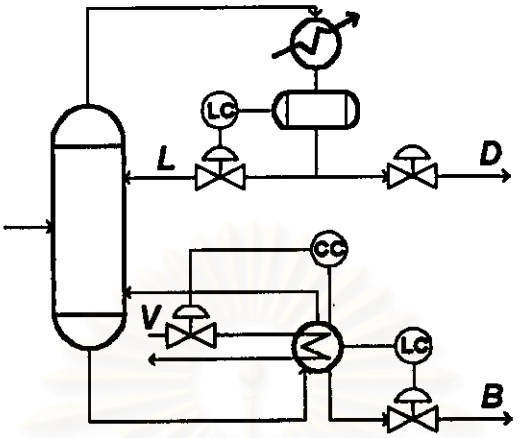
ข้อเสีย: ถ้าต้องการให้มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จะต้องทำการปรับ L หรือ V ซึ่งเป็นสตรีมสมดุลพลังงานมากกว่าการปรับ D หรือ B ซึ่งเป็นสตรีมสมดุลมวล จะเป็นโอกาสทำให้เกิดสภาวะท่วมได้ง่าย

ข. วิธี VD

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย V และปล่อย D เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_D ด้วย L ควบคุม L_R ด้วย B

ข้อดี: เช่นเดียวกับวิธี *LB*

ข้อเสีย: เช่นเดียวกับวิธี *LB*



รูปที่ 4.7 การควบคุมองค์ประกอบหนึ่งตำแหน่ง โดยวิธี *VD*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย