บทที่ 3

สรุปชนิดระบบการควบคุมหอกลั่น

3.1 กล่าวนำ

บทนี้กล่าวถึงระบบการควบคุมหอกลั่นแต่ละวิธี ตามความเหมาะสมของคุณสมบัติหรือสถานการณ์ที่ผู้ใช้ต้องการ โดยจะกล่าวถึงคุณสมบัติที่สำคัญของแต่ละวิธี และความเกี่ยวข้องของคุณสมบัติต่างๆ ในการเลือกชนิดการควบคุม ชนิดอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน และจุดวัด ตัวอย่างองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปสู่การสร้างฐานความรู้ในบทที่ 5 ต่อไป

3.2 วิธีควบคุมองค์ประกอบ

การควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ถือเป็นตัวแปรควบคุมหลักของการกลั่น เพื่อให้ได้ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์เป็นไปได้ตามความต้องการทางตลาด ซึ่งถือเป็นจุดประสงค์หลักในกระบวนการกลั่น กล่าวคือการกลั่นจะเป็นการแยกองค์ประกอบเบาในสารป้อนให้ออกไปที่ผลิตภัณฑ์ยอดหอให้มากที่สุด และแยกองค์ประกอบหนักในสารป้อนให้ออกไปที่ผลิตภัณฑ์ยอดหอให้ออกไปมากที่สุด ซึ่งคุณค่าของผลิตภัณฑ์ทั้งยอดหอและล่างหอนั้นตัวใดตัวหนึ่งอาจจะมีคุณค่ามากกว่า ก็จะต้องปฏิบัติงานที่สภาวะให้ได้ตามสเปคของผลิตภัณฑ์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าน้อยก็ไม่จำเป็นต้องปฏิบัติงานให้ได้ตามสเปค เพียงแต่รักษาการ

ทำงานให้สามารถปฏิบัติงานได้ตามสภาวะที่ต้องการ ซึ่งจะเป็นกรณีการควบคุมองค์ประกอบแบบเดี่ยว ส่วนกรณีที่ผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีคุณค่าพอๆ กันก็จำเป็นที่ต้องรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งสองให้ได้ตามสเปค ซึ่งจะเป็นกรณีการควบคุมองค์ประกอบแบบคู่ ส่วนกรณีที่การกลั่นนั้นมีความต้องการผลิตภัณฑ์มากกว่า 2 ตัว โดยมีการดึงผลิตภัณฑ์ออกด้านข้างคอลัมน์เพิ่มอีกสตรีม ซึ่งเป็นกรณีการควบคุมองค์ประกอบแบบดึงผลิตภัณฑ์ออกด้านข้างคอลัมน์ โดยจะกล่าวถึงแต่ละกรณีดังต่อไปนี้

3.3 วิธีการควบคุมองค์ประกอบแบบเดี่ยว

วิธีการควบคุมองค์ประกอบแบบเดี่ยวมีทั้งหมด 8 วิธี แบ่งเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 2 วิธี ตามลักษณะการควบคุมองค์ประกอบยอดหอหรือล่างหอหรือแบ่งเป็นการควบคุมยอดหอได้ 4 วิธี และเป็นการควบคุมล่างหอ 4 วิธี

3.3.1 วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยตรง

วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยตรง คือใช้กระแส B หรือ D เป็นตัวแปรเพื่อควบคุมองค์ประกอบ ได้แก่ วิธี DV และ BL

ก. วิธี DV

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย D และปล่อย V เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย L ควบคุม L_b ด้วย B

ข้อดี: การตอบสนองต่อตัวรบกวนจากระบบทำความเย็นดีเยี่ยม, การตอบสนองต่อตัวรบกวนในคอลัมน์ขนาดเล็กดีกว่าวิธีอื่นๆ , ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานจากการตอบสนองแบบผกผัน และเป็นวิธีที่ยังคงสามารถควบคุมลูพองค์ประกอบอย่างหลวมได้ในกรณีใช้ L/D สูง

ข้อเสีย: ไม่เหมาะกับคอลัมน์ขนาดใหญ่ เนื่องจากให้การตอบสนองช้าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ (เป็นวิธีที่เปลี่ยนแปลงการไหลของของเหลวในเทรย์ด้านบน ต้องใช้เวลาหลายนาทีกว่าจะมาถึงล่างหอ), ไม่เหมาะกับกรณีที่มีตัวรบกวนจากระบบให้ความร้อน, ให้ผลการควบคุมไม่ดีเมื่อใช้ L/D ต่ำ และไม่สามารถใช้กับกรณีที่ผลิตภัณฑ์ยอดหอเป็นเฟสไออย่างเดียว (เนื่องจากขัดกับวิธีควบคุมความดันที่ต้องใช้ D เป็นตัวแปรปรับ)

นิยมใช้: เหมาะกับคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล D เล็ก และ/หรือความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ยอดหอมีความสำคัญมากกว่า

ข. วิธี BL

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย B และปล่อย L เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย D ควบคุม L_b ด้วย V

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

ข้อเสีย: ไม่เหมาะกับกรณีที่มีการรบกวนจากระบบทำความเย็น และจากระบบให้ความร้อน, มีผลกระทบจากการตอบสนองแบบผกผันทำให้ระบบไม่เสถียร และไม่สามารถใช้กับคอลัมน์ที่มี L/D สูง (ทำให้ไม่สามารถควบคุมระดับของเหลวในดรัม เนื่องจากสูญเสียสมดุลมวล)

นิยมใช้: เหมาะกับคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล B เล็ก และ/หรือความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ล่างหอมีความสำคัญมากกว่า

3.3.2 วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยอ้อม

วิธีควบคุมสมดุลมวลสารโดยอ้อม คือใช้กระแส L หรือ V เป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมองค์ประกอบ ได้แก่ วิธี LV และ VL

ก. วิธี LV

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย L และปล่อย V เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย D ควบคุม L_b ด้วย B

ข้อดี: ใช้กับกรณีผลิตภัณฑ์ยอดหอเป็นไออย่างเดียวได้, การตอบสนองต่อตัวรบกวนจากระบบทำความเย็นพอใช้, ไม่มีผลกระทบจากการตอบสนองแบบผกผัน และให้การควบคุมที่ดีเมื่อใช้ L/D ต่ำ

ข้อเสีย: การตอบสนองในคอลัมน์ขนาดใหญ่ช้า ส่วนในคอลัมน์ขนาดเล็กใช้ได้ แต่ไม่ดีเท่าวิธี DV , การตอบสนองต่อตัวรบกวนจากระบบให้ความร้อนไม่ดี และไม่สามารถใช้กับคอลัมน์ที่มี L/D สูง

นิยมใช้: เหมาะกับคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล D เล็ก และ/หรือความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ยอดหอมีความสำคัญมากกว่า

ข. วิธี VL

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย V และปล่อย L เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย D ควบคุม L_b ด้วย B

ข้อดี: ใช้กับกรณีผลิตภัณฑ์ยอดหอเป็นไออย่างเดียวได้, การตอบสนองต่อตัวรบกวนจากระบบให้ความร้อนพอใช้, มีผลกระทบจากการตอบสนองแบบผกผัน แต่ยังให้การควบคุมที่เสถียร การตอบสนองเร็วในคอลัมน์ขนาดใหญ่ และให้การควบคุมที่ดีเยี่ยมเมื่อใช้ L/D ต่ำ

ข้อเสีย: การตอบสนองต่อตัวรบกวนจากระบบทำความเย็นไม่ดี, การตอบสนองต่อตัวรบกวนในคอลัมน์ขนาดเล็กไม่ดี และไม่สามารถใช้คอลัมน์ที่มี L/D สูง

นิยมใช้: เหมาะกับคอลัมน์ที่มีอัตราการไหล B เล็ก และ/หรือความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ล่างหอมีความสำคัญมากกว่า

3.3.3 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

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย L และปล่อย B เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย D ควบคุม L_b ด้วย V

ข้อดี: เหมาะกับกรณีที่มีการรบกวน เนื่องจากตัวกลางให้ความเย็น

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

นิยมใช้: คอลัมน์ที่มีการแยกยากๆ (ได้แก่ คอลัมน์ที่มีอัตราส่วนรีฟลักซ์ (L/D) มากกว่า 10, มีจำนวนเทรย์มากกว่า 100 และมีค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสารที่แยกน้อยกว่า 1.2) และเหมาะกับคอลัมน์ที่ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ยอดหอสำคัญกว่า

ข. วิธี VD

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย V และปล่อย D เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย L ควบคุม L_b ด้วย B

ข้อดี: เช่นเดียวกับวิธี LB

ข้อเสีย: เช่นเดียวกับวิธี LB

นิยมใช้: คอลัมน์ที่มีการแยกยากๆ และเหมาะกับคอลัมน์ที่ความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ล่างหอสำคัญกว่า

3.3.4 วิธีควบคุมแบบไม่ทั่วไป

วิธีควบคุมแบบไม่ทั่วไป คือ เป็นวิธีที่เกิดแล็กในการควบคุมมาก แต่นำมาใช้ในกรณีที่กลุ่มที่ 1 (DV และ BL) ซึ่งถือเป็นแบบทั่วไปนั้นเกิดปัญหาในการควบคุมเฉพาะอย่าง ได้แก่ วิธี DL และ BV

ก. วิธี DL

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย D และปล่อย L เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย B ควบคุม L_b ด้วย V

ข้อดี: นำมาใช้แทนวิธี DV เมื่อมีการรบกวน เนื่องจากตัวกลางให้ความร้อน

ข้อเสีย: เป็นวิธีที่เกิดแล็กในการควบคุมระดับของเหลวในดรัมมาก และไม่เหมาะกับกรณีอัตราการไหลของ F >> V

นิยมใช้: เหมาะกับกรณีที่อัตราการไหลของดิสทิเลตมีขนาดเล็กๆ

ข. วิธี BV

ลักษณะ: เป็นการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ด้วย B และปล่อย V เป็นตัวแปรอิสระ ควบคุม L_r ด้วย D ควบคุม L_b ด้วย L

ข้อดี: นำมาใช้แทนวิธี BL เมื่อเกิดปัญหาการตอบสนองแบบผกผัน (เกิดจากการใช้วาล์วเทรย์ที่ทุก ๆ อัตราการเดือดของไอ หรือใช้เทรย์แบบเจาะรูที่อัตราการเดือดของไอสูง หรือใช้รีบอยเลอร์แบบเทอร์โมไซฟอน) และถือปัญหาความราบเรียบของการไหลของผลิตภัณฑ์ให้คงที่เป็นสิ่งสำคัญ

ข้อเสีย: เป็นวิธีที่เกิดแล็กในการควบคุมระดับของเหลวล่างหอมาก และมักเกิดปัญหาเมื่อสารป้อนมีแต่ของเหลวเป็นส่วนใหญ่ และอัตราการไหล F >> L

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 วิธีการควบคุมองค์ประกอบแบบคู่

วิธีการควบคุมองค์ประกอบแบบคู่มีทั้งหมด 30 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 2.3 โดยแบ่งเป็น *วิธีการควบคุมสมดุลมวลสาร* เป็นวิธีที่ใช้สตรีมสมดุลมวลสาร D หรือ B ในการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

วิธีการควบคุมสมดุลพลังงาน เป็นวิธีที่ใช้สตรีมสมดุลพลังงาน L หรือ V ในการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

วิธีการควบคุมแบบอัตราส่วน เป็นการนำเอาอัตราการไหลของคอลัมน์มาทำเป็นสัดส่วน เพื่อประโยชน์ในการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามที่ต้องการ และลดผลกระทบระหว่างลูพควบคุม ได้แก่ การใช้อัตราส่วน L/B, V/B, L/D, D/V (หรือ D/L+D) หรือ L/V

ดัชนีที่นำมาพิจารณาในการเลือกวิธีการควบคุมที่เหมาะสม ได้แก่

ดัชนีความยืดหยุ่นของ Morari (MRI) เป็นค่าที่แสดงถึงความง่ายในการควบคุม ดังนั้นวิธีการควบคุมที่ให้ค่าดัชนี MRI มาก แสดงถึงวิธีนั้นมีความง่ายในการควบคุม โดยหาจากค่าเกนในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน

ค่าแลมดาใน RGA เป็นค่าที่แสดงถึงผลกระทบระหว่างลูพควบคุมของคู่การควบคุมในกรณีที่คำนวณจากค่าแลมดาที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ที่ใกล้มากที่สุด แต่ถ้าไม่ทราบค่าทรานส์-เฟอร์ฟังก์ชันจะคำนวณค่าแลมดาจากความสัมพันธ์สมดุลมวลสารโดยรวม สมดุลองค์ประ-กอบ และสมดุลไอ-ของเหลวขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์ โดยเลือกคู่ควบคุมที่ให้ค่าแลมดาที่เป็นบวก (หมายถึงลูพควบคุมทั้งสองสามารถทำงานได้) ในช่วงน้อยกว่า 1 และช่วงที่มากกว่า 1 โดยทั้งสองช่วงนั้นเลือกคู่ควบคุมที่ให้ค่าใกล้ 1 มากที่สุด ได้เป็นอันดับที่ดีที่สุดของแต่ละช่วง นั่นคือจะได้คู่ควบคุมที่เหมาะสมเรียงตามลำดับในช่วงน้อยกว่า 1 จากค่าที่มากไปหาน้อย และได้คู่ควบคุมที่เหมาะสมในช่วงมากกว่า 1 เรียงจากค่าน้อยไปหาค่ามาก จากคู่ควบคุมที่ได้อันดับ 1 ถึง 5 ของทั้งสองช่วงนั้น นำมาพิจารณาความสามารถในการขับสิ่งรบกวนจากค่า μ และประเมินเป็น*ค่าความผิดพลาดรวมสัมพัทธ์ (RIE)* ของการขับสิ่งรบกวนของตัวแปรปรับแต่ละตัวรบกวนที่ผู้ใช้ให้ความสำคัญของตัวรบกวนระหว่างตัวรบกวนจากการไหลของสาร

ป้อน, การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารป้อน, ตัวรบกวนของความร้อนออกหรือระบบทำความเย็นที่ตัวเครื่องควบแน่น, ตัวรบกวนของความร้อนเข้าหรือระบบให้ความร้อนจากรีบอยเลอร์ หรือพิจารณาเป็นตัวรบกวนแบบความร้อนสมดุล (เป็นการพิจารณาการขับสิ่งรบกวนความร้อนออกของลูพยอดหอ และการขับสิ่งรบกวนความร้อนเข้าของลูพล่างหอ) โดยเรียงลำดับคู่ควบคุมที่ดีที่สุดจากค่า RIE ที่น้อยไปค่ามากของค่าแลมดาอันดับ 1 ถึง 5 นั้น

ดัชนีของ Niederlinski (NI) เป็นดัชนีที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของระบบ โดยหาจากค่าเกนในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน พิจารณาคู่ควบคุมที่ให้ค่า NI เป็นลบ แสดงว่าลูพควบคุมแบบปิดที่ใช้คู่การควบคุมนั้นจะไม่มีความเสถียร

การวิเคราะห์ค่าซิงกูลาร์ โดยหาจากค่าเกนในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน โดยการคำนวณเป็นค่าเงื่อนไข (CN) ที่แสดงถึงความรอบัสต์ของระบบ ตัดคู่ควบคุมที่มีความรอบัสต์ต่ำจากค่า CN โดยคู่ควบคุมที่มีค่า CN มาก แสดงถึงสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการควบคุม และทำให้เกิดความว่องไวต่อสิ่งรบกวนได้มาก

ค่าความว่องไวต่อตัวรบกวน (DS) โดยหาจากค่าเกนรบกวนและค่าเวลาโฮลด์ดิ้งในทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของการรบกวนต่อการควบคุมทั้งลูพบน และลูพล่าง โดยตัดคู่ควบคุมที่มีความว่องไวต่อตัวรบกวนต่างๆ มากจากค่า DS

3.5 วิธีการควบคุมองค์ประกอบแบบดึงผลิตภัณฑ์ออกด้านข้างคอลัมน์

การพิจารณาออกเป็น 3 กลุ่มตามอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ที่เล็กที่สุดระหว่างยอดหอ (D), ล่างหอ(B) หรือสตรีมข้างคอลัมน์ เป็น

ใช้เมื่อ: เหมาะกับคอลัมน์กลั่นแยกน้ำมันดิบที่ความดันบรรยากาศ และ คอลัมน์กลั่นแยกที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากคอลัมน์เหล่านี้มีการทำงานที่ความดันต่ำ และส่งผลิตภัณฑ์ไอออกไปยังอุปกรณ์ที่มีความดันสูงกว่า

รูปแบบโครงสร้าง: เหมือนวิธี A-1

ค. วิธี A-3

ตำแหน่งของวาล์วควบคุม: อยู่ในสายสปิลแบ็คของอีเจ็กเตอร์

การทำงาน: ตัวควบคุมความดันจะส่งผลต่อการไหลของไอที่เข้าตัวดูดอีเจ็กเตอร์กับความดันของคอลัมน์ ตัวอีเจ็กเตอร์จะดึงเอาอากาศเข้าไปในระบบการกลั่น โดยดึงออกพร้อมกับไอที่อิ่มตัวด้วยอากาศ

ใช้เมื่อ: เหมาะกับระบบการกลั่นแบบสูญญากาศซึ่งเป็นระบบที่คล้ายๆ กับระบบวิธี A-2

รูปแบบโครงสร้าง: อีเจ็กเตอร์ที่ใช้ควรเลือกแบบง่าย และน่าเชื่อถือภายใต้สภาวะการทำงานของไอน้ำที่ใช้จะต้องมีความดันคงที่, ตัวดูดอีเจ็กเตอร์ต้องไม่อุด, จุก (throtted) เพราะจะทำให้อีเจ็กเตอร์ทำงานได้ไม่คงที่, ถ้าความดันสมบูรณ์ของคอลัมน์มีช่วงการยอมรับการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงของความดันบรรยากาศแล้ว ควรจะใช้อุปกรณ์วัดความดันสมบูรณ์ด้วย

ง. วิธี A-4

ตำแหน่งของวาล์วควบคุม: อยู่ในสายผลิตภัณฑ์ไอ

การทำงาน: ตัวควบคุมความดันจะส่งผลต่อการไหลของไอกับความดันของคอลัมน์

ใช้เมื่อ: เหมาะกับระบบการกลั่นที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบภายใน

รูปแบบโครงสร้าง: อัตราการควบแน่นควบคุมได้ยาก อาจจะต้องใช้การควบคุมแบบ BTU เพิ่มในการควบคุม

3.6.2 เมื่อผลิตภัณฑ์ยอดหอมีเฟสของเหลวอย่างเดียว

วิธีการควบคุมความดันของกรณีนี้ใช้วิธีการปรับเปลี่ยนเป็น 3 กลุ่มวิธี คือ กลุ่มที่ 1 เป็นวิธีการปรับเปลี่ยนพื้นที่ในการควบแน่น โดยใช้เครื่องควบแน่นแบบท่วมมี 7 วิธี (กลุ่ม B ยกเว้น B-5) กลุ่มที่ 2 เป็นวิธีการปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นมี 6 วิธี (กลุ่ม C) และกลุ่มที่ 3 เป็นวิธีอื่นๆ ที่ช่วยเสริมเมื่อวิธี B หรือ C ไม่เหมาะสมกับบางสถานการณ์มี 8 วิธี (กลุ่ม D ยกเว้น D-7) โดยแต่ละกลุ่มแต่ละวิธีก็มีคุณสมบัติที่นำมาพิจารณาเลือกแตกต่างกันไปดังนี้

ก. วิธีการปรับพื้นที่ในการควบแน่น

ก.1 วิธี B-1

ตำแหน่งของวาล์วควบคุม: อยู่ที่คอนเดนเสดขาออกของเครื่องควบแน่น

การทำงาน: ตัวควบคุมความดันจะปรับเปลี่ยนพื้นที่ในควบแน่น โดยการปรับอัตราการไหลคอนเดนเสดที่ออกมาจากเครื่องควบแน่น

ข้อดี: เหมือน B-7

ข้อเสีย: ท่อคอนเดนเสดขาออกต้องออกแบบให้ไหลตามแรงโน้มถ่วง และต้องพิจารณาถึงการยกสูงเครื่องควบแน่น, ตำแหน่งวาล์วควบคุม, ขนาดและ รูปแบบโครงสร้างของท่อด้วย

คำแนะนำ: เหมือน B-7 และ B-8 แต่ง่ายต่อการเข้าใจ และต้องการวาล์วควบคุมขนาดเล็กกว่า

ข้อสังเกตุ: (1) วาล์วควบคุมต้องอยู่ตำแหน่งขาออกของเครื่องควบแน่นมากกว่าขาเข้า ซึ่งเป็นการปรับของเหลวง่ายกว่าปรับที่ไอ

(2) ท่อขาออกเครื่องควบแน่นมาเข้ารีฟลักซ์ดรัม ต้องไม่ต่ำกว่าระดับของเหลวในดรัม เพราะถ้าเข้าสูงกว่าระดับของเหลวในดรัม จะไม่ส่งผลกระทบต่อระดับของเหลวในเครื่อควบแน่น

นักออกแบบควรจะวางวาล์วควบคุมใกล้รีฟลักซ์ดรัมเท่าที่จะทำได้เพื่อให้ได้การไหลเครื่องควบแน่น และให้ได้ผลกระทบน้อยที่สุดของของเหลวที่อยู่ในท่อแนวตั้งของวาล์วควบคุม

ทางเลือก: ไม่มีเส้นรักษาความดันเท่ากันไม่ได้ เพราะถ้าไม่มีแล้วความดันของรีฟลักซ์ดรัมจะไม่คงตัวซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความดัน จะทำให้เป็นการรบกวนการไหลของการคอนเดนเสด ที่เข้าและออกจากรีฟลักซ์ดรัม

ก.2 วิธี B-2

ตำแหน่งของวาล์วควบคุม: อยู่ในสายของเหลวดิสทิลเลต

การทำงาน: คล้ายกับวิธีอื่นที่เป็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่ในการควบแน่น ยกเว้นรีฟลักซ์ดรัมมักเป็นแบบท่วม

ข้อดี: การควบคุมระดับของเหลวในดรัมไม่ต้องใช้

ข้อเสีย: ถ้าอัตราการไหลของดิสทิลเลตมีการเปลี่ยนแปลงอาจจะทำให้ตัวควบคุมความดันไม่สามารถทำงานได้ เว้นแต่จะนำดิสทิลเลตไปเก็บโดยตรง

ใช้เมื่อ: ระบบนี้มักใช้ในโรงกลั่นแยกแกสธรรมชาติ

ทางเลือก: ตัวควบคุมความดันควรจะปรับเปลี่ยนที่รีฟลักซ์หรือคอนเดนเสดมากกว่า ดิสทิลเลต (D) ยกเว้นถ้า D มีอัตราการไหลสูงและไปเก็บโดยตรง

ก.3 วิธี B-3

ตำแหน่งของวาล์วควบคุม: อยู่ในสายของเหลวดิสทิลเลต

การทำงาน: แสดงรีฟลักซ์ดรัมแบบท่วม ที่มีการปล่อยแบบอัตโนมัติที่สามารถใช้งานได้ดี ซึ่งมีการเพิ่มตัวควบคุมความดันตัวที่ 2 (PC No.2), ตัวควบคุมระดับ และวาล์วควบคุมที่สายปล่อย

ข้อดี: เมื่อวิธีการควบคุม B-2 มีการสะสมบ่อยๆ ของสารที่ไม่ควบแน่นในดรัม หรือคอลัมน์ไม่ได้ทำงานตลอด ก็ควรใช้การปล่อยแบบอัตโนมัติ (วิธี B-3) นี้

ข้อแนะนำ: ถ้าผลิตภัณฑ์ไม่ได้ถูกทำให้เย็นต่ำ และมีความดันมากกว่าที่เก็บผลิตภัณฑ์ ควรเก็บผลิตภัณฑ์จากส่วนดาวน์สตรีมของรีฟลักซ์ดรัม และถ้าผลิตภัณฑ์เก็บถัดจากดรัมโดยตรง (วิธี B-3) อาจจะเกิดการแฟลช (flashing) ที่ส่วนดาวน์สตรีมของวาล์วควบคุม หรืออาจจะทำให้การเก็บผลิตภัณฑ์ทำได้ยากเมื่อความดันในที่เก็บสูง ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้ไม่มีความเสถียร หรือมีของเหลวที่มากเกินพอไหลย้อนกลับเข้าเครื่องควบแน่น เป็นการลดประสิทธิภาพของการควบแน่น

ก.4 วิธี B-4

ตำแหน่งของวาล์วควบคุม: อยู่ในท่อบายพาสของไอร้อน

การทำงาน: โดยปกติแล้วจะเรียกเป็นวิธีการปรับเปลี่ยนพื้นที่นี้ว่า "hot vapor bypass" หรือ "เครื่องควบแน่นแบบจุ่ม" ซึ่งตัวเครื่องควบแน่นจะต้องวางอยู่ใกล้กับพื้น เพื่อให้มีระดับของ

คอนเดนเสด ส่วนตัวรีฟลักซ์ดรัมจะต้องอยู่สูงกว่าเครื่องควบแน่นสูงพอที่จะให้ปั๊มดูดขึ้นไปได้, คอนเดนเสดจะต้องเป็นแบบเย็นต่ำ, ไอจะแบ่งเป็น 2 ทาง คือ เข้าคอนเดนเสด และอีกทางไปเข้าดรัม เหนือระดับของเหลวในดรัม ในส่วนของไอที่นำไปเครื่องควบแน่น จะทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของของเหลวในเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้น

ของเหลวในดรัมจะเย็นกว่าในเครื่องควบแน่น, ผลต่างอุณหภูมิตรงนี้ส่งผลให้เกิดผลต่างความดันที่พอจะทำให้คอนเดนเสดขึ้นไปไว้ที่ดรัม ซึ่งผลต่างความดันนั้นควรจะน้อยกว่า 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

การทำงาน: ถ้าความดันของคอลัมน์ตก, ตัวควบคุมความดันจะเพิ่มอัตราการไหลของไอในเส้นบายพาส จะทำให้อุณหภูมิของของเหลวในดรัมเพิ่มขึ้น และเมื่อมีความดันไอมากในดรัม ของเหลวจากเครื่องควบแน่นไหลขึ้นมาที่ดรัมไม่ได้ ทำให้ระดับในเครื่องควบแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ในการควบแน่นลดลง เป็นการลดอัตราการควบแน่นและมีแนวโน้มที่ต้องควบคุมความดันของคอลัมน์ใหม่

ข้อดี: เครื่องควบแน่นแบบนี้ง่ายต่อการตรวจสอบ และซ่อมแซม, โครงสร้างของเครื่องควบแน่นถูกกว่าเครื่องควบแน่นแบบยกสูง และวาล์วควบคุมที่ใช้ก็มีขนาดเล็กกว่าวิธีอื่น ๆ

ข้อเสีย: ต้องการใช้พื้นที่ในการทำให้คอนเดนเสดเย็นต่ำในเครื่องควบแน่นแบบจุ่มนี้ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายมากกว่าเครื่องควบแน่นแบบยกสูง เมื่อเทียบที่กำลังในการควบแน่นเท่ากัน

ใช้ในกรณีที่ ดิสทิลเลตมีช่วงจุดเดือดแคบ เมื่อพื้นผิวในดรัมมีการปั่นกวนจะทำให้ระดับและความดันในดรัมถูกรบกวน การออกแบบเบื้องต้นจะออกแบบอย่างง่าย และไม่ได้ใช้การคำนวณมากนัก, การทำงานจึงมักจะยุ่งยาก

การแปรปรวน: บางครั้งความดันในดรัมมากกว่าความดันในคอลัมน์ ซึ่งจะทำให้เป็นการควบคุมที่ไม่ดี เกิดความผกผันในส่วนการทำงานของวาล์วควบคุม เว้นแต่ความดันที่แตกต่างระหว่าง ดรัมกับคอลัมน์จะน้อยจึงจะทำให้การควบคุมความดันในดรัมสามารถทำได้

ก.5 วิธี B-6

การทำงาน: มีลูพควบคุม 2 ลูพ โดยการทำงานคล้ายกับ B-1 การควบคุมความดันของคอลัมน์จะปรับเปลี่ยนพื้นที่ในการควบแน่น โดยการปรับอัตราการไหลคอนเดนเสดที่ออกจาก เครื่องควบแน่น

ใช้เมื่อ: บางครั้งวิธี B-1 (ที่วาล์วควบคุมอยู่ที่ขาออกของเครื่องควบแน่น) ไม่สามารถใช้ได้ เพราะว่าเครื่องควบแน่นแบบยกที่ใช้ไม่แน่นอนที่จะให้การไหลของคอนเดนเสดเข้าดรัมตามแรงโน้มถ่วง (ตัวอย่างการกลั่นแยกแบบใช้อากาศเป็นสารหล่อเย็น เครื่องควบแน่นถูกติดตั้งให้สูงถึงประมาณ 15 ฟุต และส่วนบนของดรัมอยู่ห่างจากตัวเครื่องควบแน่นเล็กน้อย) ซึ่งวิธี B-6 นี้ จะเหมาะกว่า โดยประสบการณ์แล้ววิธีนี้จะใช้ได้ดีเมื่อเครื่องควบแน่นเป็นพาสเดี่ยวและวางเอียง

การแปรปรวน: เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการทำงานของวาล์ว 2 ตัว โดยใช้ตัวควบคุม ตัวเดียวแต่แบ่งช่วงการทำงานให้กับวาล์วควบคุม 2 ตัว

ก.6 วิธี B-7

ตำแหน่งของวาล์วควบคุม: อยู่ที่สายไอขาเข้าของเครื่องควบแน่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำงาน: เป็นเครื่องควบแน่นแบบใช้ของเหลวเป็นสารหล่อเย็น ตัวควบคุมจะปรับเปลี่ยนพื้นที่ในการควบแน่น โดยการปรับอัตราการไหลของไอเมื่อวาล์วควบคุมปิด ความดันใน เครื่องควบแน่นจะลดลง และระดับของเหลวในเครื่องควบแน่นจะเพิ่มขึ้น

ข้อดี: รูปแบบอย่างง่าย, ความดันในดรัมกับในคอลัมน์เท่ากัน, เหมาะกับกรณีที่ดิสทิลเลตไม่มีแกสอื่นปนเปื้อน

ข้อเสีย: การทำงานเข้าใจยากกว่าวิธีอื่น, ท่อคอนเดนเสดจะต้องออกแบบสำหรับการไหลตามแรงโน้มถ่วง และต้องพิจารณาถึงการยกสูงของเครื่องควบแน่น, ตำแหน่งวาล์วควบคุม, ขนาดและระบบท่อของวาล์วควบคุมจะต้องใหญ่กว่าของวิธี B-2

คำแนะนำ: เหมือนวิธี B-1

ข้อสังเกตุ: คอนเดนเสดจะต้องเข้ารีฟลักซ์ดรัมที่ระดับต่ำกว่าของเหลวในดรัม เพื่อไม่ให้การเปลี่ยนแปลงความดันในเครื่องควบแน่นส่งผลต่อระดับของเหลวในเครื่องควบแน่น ถึงแม้ว่ารูปแบบโครงสร้างของระบบท่อของ B-7 และ B-8 จะคล้ายกับ D-5 แต่หลักการการทำงานต่างกัน

ก.7 วิธี B-8

หลักการ: คล้ายกับ B-7 แต่เป็นเครื่องควบแน่นแบบใช้อากาศเป็นสารหล่อเย็น โดยเพิ่ม 2

คำแนะนำ 1. พาสของท่อในเครื่องควบแน่น จะต้องมีการจัดวางที่เหมาะสมกว่าวิธีอื่น และถ้าใช้พาสเดี่ยวจะเหมาะสมกว่า 2. นักออกแบบบางคนใช้เครื่องควบแน่นเป็นท่อพาสเดี่ยว และเอียงเครื่องควบแน่นด้วยจะดีกว่าการวางแนวนอน เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการควบแน่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. วิธีการปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็น

ข.1 วิธี C-1

การทำงาน: เป็นการปรับเปลี่ยนฟลักซ์ความร้อนโดยการปรับวาล์วควบคุมของอัตรการไหลสารหล่อเย็น ตัวควบคุมความดันจะลดความดันโดยการเพิ่มอัตราการไหลของสารหล่อเย็น และในทางกลับกัน จะเพิ่มความดันโดยลดอัตราการไหลของสารหล่อเย็น

ข้อเสีย: วิธีนี้จะให้การตอบสนองช้า เพราะลูพควบคุมในการควบแน่นมีแล็กเกิดขึ้น ถ้าใช้น้ำเป็นสารหล่อเย็นมีโอกาสเกิดตะกอนได้ ทำให้ความเร็วลดลง และเครื่องควบแน่นร้อนขึ้น

ใช้เมื่อ: ขีดจำกัดการใช้งานอยู่ที่สารหล่อเย็นขาออกจะต้องไม่ร้อนเกินกว่า 120 องศาฟาเรนไฮต์

ข.2 วิธี C-2

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ที่สตรีมสารหล่อเย็น

คำแนะนำ: มักไม่นิยมใช้ในการกลั่นปิโตรเลียม ปกติวิธีนี้ที่เหมาะสมในการปรับเปลี่ยนพื้นที่ คือ B-1 ส่วนวิธีนี้มักใช้เมื่อมีไอถูกทำให้เย็นต่ำมาก ๆ จนส่งผลให้เกิดการแข็งตัวของผลิตภัณฑ์ได้

ข.3 วิธี C-3

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: เป็นทางเลือกของการจัดรูปแบบอื่นของการใช้สารหล่อเย็นคือ ให้ระดับของสารหล่อเย็นอยู่เหนือท่อควบแน่น และควบคุมความดันคอลัมน์ โดยการปรับวาล์วควบคุมในเส้นไอของสารหล่อเย็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำแนะนำ: การจัดรูปแบบนี้มีแนวโน้มที่จะให้เกิดสภาวะ การนำพาของเหลวออกจากเครื่องควบแน่น โดยเฉพาะในกรณีที่ความดันของสารหล่อเย็นมีการตกลงอย่างทันทีทันใด จะต้องมีวาล์วควบคุมเพิ่มอีก 1 ตัว วาล์วควบคุมที่เพิ่มเข้ามาเพื่อทำให้เพิ่มความแตกต่างของความดันที่จะทำให้ไอของสารหล่อเย็นปล่อยออกจนต่ำกว่าระดับความดันพื้นฐาน แต่ว่าจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน หรืออีกทางหนึ่ง คือ ปล่อยไอสารหล่อเย็นที่ความดันเดียวกับคอมเพรซเซอร์ ถึงแม้การเพิ่มความแตกต่างความดันนี้จะลดประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่น แต่ผลตอบสนองการควบคุมด้วยวิธีนี้จะดีเยี่ยม

ข.4 วิธี C-4

การทำงาน: ตัวควบคุมความดันจะควบคุมความดันโดยปรับเปลี่ยนระยะพิทช์ของใบพัด

ข้อเสีย: พัดลมมักจะปิด เมื่อมีการปรับระยะพิทช์ของใบพัด

คำแนะนำ: กำลังงานมักจะตกในกรณีที่มีตะกอนเกิดขึ้น และจะตกในเครื่องควบแน่นแบบใช้การเหนี่ยวนำ มากกว่าใช้แรงบังคับ ดังนั้นในการเลือกชนิดของเครื่องควบแน่นต้องดูที่ราคา, การบำรุงรักษา, กำลังงานที่ตก, วงจรของอากาศ เป็นต้น การปรับระยะพิทช์ของใบพัดนั้นควรจะปรับอย่างค่อยเป็นค่อยไป และเป็นระยะที่แน่นอน และควรปรับให้พอกับระยะเนกาทีฟที่จะพอชดเชยการนำพาทางธรรมชาติได้ โดยที่ใช้กำลังเครื่องควบแน่นต่ำๆ ถ้ากรณีที่เครื่องควบแน่นที่ใช้มีพัดลมมากกว่า 1 ตัว พัดลมทุกตัวต้องมีระยะพิทช์ไม่ต่างกัน วิธีนี้คล้ายกับการปรับจากบานเกล็ด (วิธี C-5) และสอดคล้องกับวิธี C-1

ข.5 วิธี C-5

การทำงาน: ตัวควบคุมจะควบคุมความดันโดยการปรับเปลี่ยนมุมของบานเกล็ด

คำแนะนำ: ถ้าบานเกล็ดถูกวางไว้เหนือเครื่องควบแน่นจะช่วยป้องกันฝนได้ ถึงแม้ว่าบานเกล็ดจะสัมพันธ์กับวาล์วควบคุม แต่ดูเหมือนว่าบานเกล็ดจะสามารถใช้ปรับคุณภาพได้มากกว่าตัววาล์วควบคุม วิธีนี้คล้ายกับ C-4 และสอดคล้องกับวิธี C-1

ข.6 วิธี C-6

การทำงาน: ควบคุมความดัน โดยการปรับราง (guide) ของเวนส์ (vanes) ที่อยู่ภายในของเทอร์โบเอ็กซ์แพนเดอร์

ข้อดี: การปรับรางของเวนส์จะเป็นการเปลี่ยนแปลงความเร็ว และกำลังของตัวเอ็กซ์แพนเดอร์ รวมถึงปริมาณการควบแน่นในตัวเอ็กซ์แพนเดอร์ด้วยระบบควบคุมนี้จะให้ผลตอบสนองที่เร็ว และผลการควบคุมที่ดี

ใช้เมื่อ: โดยปกติแล้วมักจะใช้วิธีนี้ควบคุมความดันของแกสในหอกลั่นเย็นแยกมีเธนออกยอดหอ (plant crycgenic demethanizers)

ค. วิธีอื่นๆ

ค.1 วิธี D-1

การทำงาน: เป็นการปรับเปลี่ยนผลต่างอุณหภูมิ ที่เครื่องควบแน่นเป็นแบบใช้ของเหลวเป็นสารหล่อเย็น โดยที่ตัวควบคุมอุณหภูมิจะปรับเปลี่ยนตามอัตราการไหลของสารหล่อเย็นใหม่ที่เข้ามา โดยรักษาระดับความแตกต่างของอุณหภูมิของสารหล่อเย็นใหม่กับสารหล่อเย็นที่ย้อนกลับมาเข้าเครื่องควบแน่น ซึ่งตัวควบคุมความดันจะเป็นเซ็ทพอยท์ให้กับตัวควบคุมอุณหภูมิ

ข้อดี: ความยืดหยุ่น และความเป็นลิเนียร์ดีกว่าวิธี B-4 (ที่ใช้การบายพาสของไอร้อน) ความร้อนมีการนำกลับที่ระดับอุณหภูมิสูง เพราะว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และพื้นที่อยู่ที่อัตราสูงสุด (ข้อดีอีกข้อ คือสามารถใช้สารหล่อเย็นที่ร้อนในการระบบให้ความร้อนได้ด้วย)

ข้อเสีย: ระบบนี้ให้การตอบสนองที่ช้ากว่าระบบที่ปรับเปลี่ยนพื้นที่ในการควบแน่น

คำแนะนำ: คล้ายกับวิธี D-2

ค.2 วิธี D-2

การทำงาน: เครื่องควบแน่นเป็นแบบใช้อากาศเป็นสารหล่อเย็น ตัวควบคุมอุณหภูมิปรับเปลี่ยนตามสัดส่วนของอากาศที่ไหลเวียนของอากาศใหม่กับอากาศผสมที่เข้าเครื่องควบแน่น โดยตัวควบคุมความดันจะเป็นเซ็ทพอยท์ให้กับตัวควบคุมอุณหภูมิ

ข้อเสีย: อากาศที่ไหลเวียนจะต้องผสมกันอย่างดี เพื่อให้อากาศที่ใช้ในเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิเดียวกัน การควบคุมความดันจะทำได้ไม่ดีถ้ามีฝุ่น, ตะกอน การทำงานจะต้องระมัดระวังเอาใจใส่ที่ภาระเครื่องควบแน่น, อุณหภูมิข้างนอก, ลม

ใช้เมื่อ: ตัวอากาศที่ไหลเวียนช่วยป้องกันการเกิดตะกอนของเครื่องควบแน่น ดังนั้นปกติจะใช้กับสภาวะเยือกเย็นเมื่อไอของกระบวนการมีไอน้ำอยู่ด้วย นั่นคือวิธีนี้จะหลีกเลี่ยงการเกิดไฮเดรต

คำแนะนำ: วิธีนี้คล้ายกับ D-1

ค.3 วิธี D-3

การทำงาน: ใช้เครื่องควบแน่นแบบระเหย โดยไอจะถูกควบแน่นด้วยน้ำที่ฉีด ซึ่งเป็นน้ำที่

ถูกทำให้เย็นโดยการระเหย และอุณหภูมิของน้ำที่หล่อเย็นจะปรับเปลี่ยนตามการปรับอากาศที่ไหลเวียน

คำแนะนำ: เป็นหอหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่นอยู่ภายในมากกว่าภายนอก มีหอหล่อเย็นอีกชนิดหนึ่งที่ภายในมีคูลเลอร์และเครื่องควบแน่นประกอบกันหลายๆ ตัวที่ใช้ในการกลั่นน้ำมัน แต่มักไม่ค่อยนิยมใช้กับงานทั่วไป เพราะว่าแบบนี้มักจะต้องมีระบบท่อน้ำจากหอหล่อเย็นไปยังอุปกรณ์ในกระบวนการมากกว่าเดินท่อของเหลวจากกระบวนการไปยังหอหล่อเย็น

ค.4 วิธี D-4

การทำงาน: ดรัมมีการปล่อย ใช้วิธีปรับจุดลิ้นปิด-เปิด ที่สายไอยอดหอ

ข้อสังเกตุ: เครื่องควบแน่นปฏิบัติงานที่ความดันคงที่เป็นแบบอัตโนมัติ คือ มีการควบแน่นไอทุกตัว โดยขณะที่อัตราเข้าของไอลดลง ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะลดลงเพราะว่าความเข้มข้นของสารที่ไม่สามารถควบแน่นในเครื่องควบแน่นจะมีเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของตัวที่ไม่ควบแน่นเข้า และออกจากเครื่องควบแน่นโดยผ่านทางปล่อยรีฟลักซ์ดรัม

ข้อดี: ง่าย, การตอบสนองเร็ว, ดรัมและเครื่องควบแน่นมีการออกแบบการใช้งานที่ความดันบรรยากาศก็สามารถใช้งานได้

ข้อเสีย: ใช้วาล์วควบคุมใหญ่กว่าวิธีอื่น ตัวเครื่องควบแน่นก็ต้องใหญ่เพราะว่าการทำงานที่ความดันบรรยากาศ ตัวปั๊มของรีฟลักซ์ก็ต้องมีความร้อนมาก

ใช้เมื่อ: เหมาะสมกับสายไอยอดหอมีขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 3 ฟุต

ค.5 วิธี D-5

การทำงาน: คล้ายกับ D-4 คือ ควบคุมความดันโดยการปรับลิ้นปิด-เปิดที่สายไอยอดหอ แต่

ดรัมไม่มีการปล่อย ไอทุกตัวที่เข้าเครื่องควบแน่นจะถูกควบแน่นทันที ในขณะที่อัตราการควบแน่นลดลง จะทำให้ความดันที่เครื่องควบแน่นและที่ดรัมลดลงด้วย ส่งผลให้อุณหภูมิในการควบแน่นลดลง (ทำให้ $\overline{\Delta T}$ ลดลง)

ข้อดี: ง่าย และการตอบสนองเร็ว

ข้อเสีย: ใช้วาล์วควบคุมขนาดใหญ่กว่าวิธีอื่น ความดันในเครื่องควบแน่นและในดรัมเป็นตัวแปรในการหาเฮดของปั๊ม และอาจจะใช้ในการออกแบบเครื่องควบแน่นและดรัม สำหรับการใช้งานในสุญญากาศ ซึ่งเป็นระบบที่ต้องการความปลอดภัยในวาล์วที่ปรับความดันในคอลัมน์ และในความดันในดรัม

ใช้เมื่อ: เหมือนวิธี D-4

คำแนะนำ: วิธีนี้ความดันในเครื่องควบแน่นมากกว่าความดันในคอลัมน์ แต่ไม่ได้หมายความว่าจะต้องการพื้นที่ของเครื่องควบแน่นมากขึ้น เมื่อต้องการใช้กำลังของเครื่องควบแน่นสูงสุด ตัววาล์วควบคุมจะเปิดกว้างแล้วทำให้ความดันในเครื่องควบแน่นเข้าใกล้ความดันในคอลัมน์

ข้อสังเกตุ: วิธี D-5 ใช้ควบคุมความดันในคอลัมน์เหมือนกับวิธีควบคุมปริมาณความร้อนที่เข้าโดยการใช้ไอน้ำ หรือรีบอยเลอร์ ตัวดรัมและระดับของตัวควบคุมในวิธี D-5 นี้จะมีฟังก์ชันเดียวกับแท็ปไอน้ำในระบบไอน้ำ ซึ่งความดันในการควบแน่นจะเป็นตัวแปรปรับในระบบทั้งสอง

ค.6 วิธี D-6

การทำงาน: เมื่อความดันลดลงจะเปิดวาล์วควบคุมของแกสที่เติมเข้าไปเพื่อรักษาความดัน ส่วนวาล์วที่ใช้ปล่อยออก (bleed off) ยังคงปิด และเมื่อความดันสูงขึ้นจะเปิดวาล์วควบคุมของวาล์วที่ใช้ปล่อยออกเพื่อรักษาความดัน ส่วนวาล์วของแกสที่เติมเข้าไปยังปิด

ข้อดี: ให้ผลการตอบสนองที่เร็ว และระบบง่ายต่อการเข้าใจ

ข้อเสีย: ระบบจะต้องมีสายแกสปล่อยเพิ่มขึ้น และยังต้องการแกสที่ไม่สามารถควบแน่นได้ที่สามารถเข้ากันได้กับระบบ และสามารถใช้ได้ที่ความดันมากกว่าความดันของคอลัมน์ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของแกสที่ไม่สามารถควบแน่นที่ละลายอยู่ในดิสทิเลทจะน้อยกว่าที่สมดุลย์ ซึ่งอาจจะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นได้ โดยที่ปัญหานี้จะไม่พบในการกลั่นปิโตรเลียม ซึ่งในระบบที่ใช้วาล์วควบคุม 2 ตัวนั้นยากในการจูน และต้องการคาลิเบตของตำแหน่งของวาล์วทั้ง 2 ตัวอย่างระมัดระวัง ซึ่งอาจจะทำให้การควบคุมได้ผลไม่ดี เท่ากับการใช้วาล์วที่ดีเพียงตัวเดียว

ทางเลือก: วิธีอาจจะสูญเสียแกส และทำให้อัตราการปล่อยแกสเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ซึ่งเป็นผลมาจากการจูนตัวควบคุมไม่เหมาะสม หรือเกิดการเหลื่อมล้ำในตำแหน่งของวาล์ว ระบบที่ง่ายกว่านี้ในการปฏิบัติงานทำได้โดยการให้อัตราการไหลของแกสที่เติมเข้าไปคงที่

คำแนะนำ: จะพบว่าวิธีนี้ไม่ต้องการทางต่อเนื่องของไอระหว่างขาออกของเครื่องควบแน่นและรีฟลักซ์ดรัม

ค.7 วิธี D-8

การทำงาน: ควบคุมความดันโดยใช้การปรับที่อัตราการเดือดของคอลัมน์ วิธีนี้มีความซับซ้อนมาก สามารถใช้งานกับรีฟลักซ์ดรัมแบบท่วมหรือแบบไม่ท่วมก็ได้ ในกรณีแบบไม่ท่วม

ระดับของรีฟลักซ์ดรัมแสดงถึงอัตราการควบแน่น การไหลของผลิตภัณฑ์ล่างหอก็แสดงจากระดับของเหลวล่างหอ

ข้อเสีย: วาล์วควบคุมดิสทิเลตอาจจะปล่อยของเหลวออกจากรีฟลักซ์ดรัมเร็วกว่าที่รีบอยเลอร์ผลิตไอขึ้นมา จึงควรใช้โอเวอร์ไรด์แบบระดับต่ำที่รีฟลักซ์ดรัมเพื่อเป็นตัวดักการไหลของดิสทิเลต หรือรีฟลักซ์ เพื่อป้องกันการไหลถ่ายเทของรีฟลักซ์ดรัม อุปสรรคอื่น ๆ ก็คือมีผลกระทบต่อกันระหว่างตัวควบคุมความดัน และอุณหภูมิ ซึ่งโดยปกติมักจะใช้การควบคุมความดันแบบแบ่งช่วงการทำงาน (Split range control)

ใช้เมื่อ: วิธีนี้เหมาะกับคอลัมน์แบบส่วนไล่สาร บางคอลัมน์ที่มีการรับสารป้อนเย็นต่ำ ที่ความผันแปรอุณหภูมิของสารป้อนส่งผลต่อความดันคอลัมน์มากกว่า ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องควบแน่น

ค.8 วิธี D-9

การทำงาน: ลักษณะของระบบจะมีตัวควบคุมตำแหน่งวาล์ว (VPC) ที่ใช้ปรับตัวควบคุมความดันให้เข้าเซ็ทพอยท์อย่างช้า ๆ

ข้อดี: ลดปริมาณการใช้พลังงาน โดยทั่วไปที่ความดันต่ำจะทำให้การแยกสารง่ายขึ้น และต้องการรีฟลักซ์ และ การเดือดน้อยกว่าที่ความดันสูง อีกทั้งยังลดการปล่อยความดันของคอลัมน์ เพราะความดันจะถูกรักษาไว้ที่ขอบเขตสูงสุดที่ต่ำกว่าความดันที่ปล่อยออก สำหรับวิธีนี้ไม่ได้มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเสมอไป แต่จะเป็นการประหยัดภายในขอบเขต (marginal)

สำหรับวิธีควบคุมความดันที่ได้โดยมีการปรับเปลี่ยนที่อัตราการไหลของดิสทิลเลต จะต้องเซ็ทให้การควบคุมระดับของเหลวในรีฟลักซ์ดรัมจากอัตราการไหลของสารทำความเย็น (Buckley, 1985 และ Shinskey, 1988) ซึ่งได้แก่วิธี A-1 ถึง A-4 (กรณีเฟสไออย่างเดียว) และวิธี B-2 ถึง B-3 (กรณีเฟสของเหลวอย่างเดียว)

วิธีการควบคุมความดันที่ใช้กับคอนเดนเสด (หรือรีฟลักซ์) ที่ถูกทำให้เย็นต่ำ ได้แก่ กลุ่มวิธีที่ใช้เครื่องควบแน่นแบบท่วม (กลุ่มวิธี B) และวิธีใช้บายพาสไอร้อน จะเป็นคุณสมบัติที่นำไปใช้เลือกจุดวัดวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

วิธีการควบคุมความดันที่มีการปล่อยไอทิ้งที่รีฟลักซ์ดรัม คือวิธี B-3, D-4, D-5 และ D-6 จะเป็นคุณสมบัติที่นำไปใช้เลือกจุดวัดวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

3.6.3 เมื่อผลิตภัณฑ์ยอดหอมีทั้งเฟสไอและเฟสของเหลว

วิธีการควบคุมความดันของกรณีนี้ได้แก่กลุ่ม E มี 5 วิธี ข้อแตกต่างของแต่ละวิธีแสดงดังนี้

ก. วิธี E-1

การทำงาน: ควบคุมความดันโดยการปรับวาล์วที่สายไอที่ไม่สามารถควบแน่นได้ในดรัม โดยที่ตัวควบคุมอุณหภูมิของคอนเดนเสดจะปรับที่สตรีมสารหล่อเย็นขาออก

ข้อดี: สามารถควบคุมแบบแน่นอนได้

ข้อเสีย: ให้การตอบสนองที่ช้าต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิคอนเดนเสดจากการเปลี่ยนแปลงการไหลของสารทำความเย็น

ใช้เมื่อ: คอลัมน์ปฏิบัติงานที่ความดันบรรยากาศ

ข. วิธี *E-2*

การทำงาน: ควบคุมความดันโดยการปรับวาล์วที่สายแกสเฉื่อยที่เติมเข้าไปในดรัมโดยผ่านตัวอีเจ็กเตอร์ โดยที่ตัวควบคุมอุณหภูมิของคอนเดนเสดจะปรับที่สตรีมสารหล่อเย็นขาออก

ข้อดี: สามารถควบคุมแบบแน่นอนได้

ข้อเสีย: ให้การตอบสนองที่ช้าต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิคอนเดนเสดจากการเปลี่ยนแปลงการไหลของสารทำความเย็น

ใช้เมื่อ: คอลัมน์ปฏิบัติงานที่สูญญากาศ

ค. วิธี *E-3*

การทำงาน: ควบคุมความดันโดยการปรับวาล์วที่สตรีมสารหล่อเย็นขาออก โดยที่ตัวควบคุมอุณหภูมิของคอนเดนเสดจะปรับสายไอที่ไม่สามารถควบแน่นได้ในดรัม

ข้อดี: ให้การตอบสนองที่เร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิคอนเดนเสดจากการเปลี่ยนแปลงการไหลของสารทำความเย็น

ข้อเสีย: ไม่สามารถควบคุมแบบแน่นอนได้

ใช้เมื่อ: คอลัมน์ปฏิบัติงานที่ความดันบรรยากาศ

ง. วิธี *E-4*

การทำงาน: ควบคุมความดันโดยการปรับวาล์วที่สตรีมสารหล่อเย็นขาออก โดยที่ตัวควบคุมอุณหภูมิของคอนเดนเสดจะปรับสตรีมแกสเฉื่อยที่เติมเข้าไปในดรัมโดยผ่านตัวอีเจ็กเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อดี: ให้การตอบสนองที่เร็วต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิคอนเดนเสดจากการเปลี่ยนแปลงการไหลของสารทำความเย็น

ข้อเสีย: ไม่สามารถควบคุมแบบแน่นอนได้

ใช้เมื่อ: คอลัมน์ปฏิบัติงานที่ความดันสูญญากาศ

จ. *วิธี E-5*

การทำงาน: ใช้เครื่องควบแน่นแบบท่วมบางส่วน ควบคุมความดันโดยการปรับวาล์วคอนเดนเสด ส่วนตัวควบคุมอุณหภูมิของคอนเดนเสดปรับที่วาล์วของไอที่ไม่สามารถควบแน่นได้ในส่วนบนของเครื่องควบแน่น

ข้อดี: สามารถใช้กับกรณีที่ใช้อัตราการไหลของสารทำความเย็นต่ำได้

ข้อเสีย: ไอที่ออกจากเครื่องควบแน่นอาจจะไม่มีการผสมกับของเหลว ทำให้ไม่ถึงสมดุล เป็นผลให้มีการสูญเสียผลิตภัณฑ์ในสายแกสเฉื่อย

ข้อแนะนำ: ถ้ารีฟลักซ์ดรัมไม่ท่วมจะต้องมีเส้นรักษาความดันเท่ากันเพิ่มเข้าไป หรืออีกนัยหนึ่งคือยากที่จะรักษาความดันในรีฟลักซ์ดรัมให้คงที่ได้ จึงควรจะมีการโอเวอร์โฟลว์ด้วย สำหรับรูปแบบวิธีการควบคุมนี้

3.7 วิธีการควบคุมรีบอยเลอร์

วิธีการควบคุมรีบอยเลอร์เป็นการควบคุมที่ลดการรบกวนจากความร้อนเข้าระบบที่มาจากรีบอยเลอร์ โดยเป็นการปรับบอยล์อัพให้มีอัตราคงที่ โดยในกรณีที่ใช้บอยล์อัพเป็นตัวแปรปรับเพื่อควบคุมความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์หรือใช้ควบคุมระดับ แล้วก็จะต้องควบคุม

แบบคาสเคด ได้วิธีควบคุมรีบอยเลอร์ 14 วิธี แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มวิธีตามชนิดของสารตัวกลางให้ความร้อนแก่รีบอยเลอร์ ดังนี้

3.7.1 วิธีที่ใช้ของไหลที่ควบแน่น (ในที่นี้ คือ ไอน้ำหรือไอของสารหล่อเย็น) เป็นสารตัวกลางให้ความร้อน

วิธีการควบคุมมี 8 วิธี แบ่งย่อยเป็นวิธีการควบคุมไอของสารตัวกลางขาเข้ารีบอยเลอร์ 5 วิธี (F-1, F-5, F-6, F-7 และ F-8) และเป็นวิธีการควบคุมความดันคอนเดนเสดของสารตัวกลางที่ออกจากรีบอยเลอร์ 3 วิธี (F-2, F-3 และ F-4) วิธีการควบคุมคอนเดนเสดขาออกนั้นเหมาะกับการใช้งานในกรณีที่ความดันสูงๆ ได้ เนื่องจากเป็นวิธีที่กำจัดความดันลดของรีบอยเลอร์ที่มักเกิดขึ้นกับวิธีควบคุมไอขาเข้า แต่วิธีควบคุมคอนเดนเสดขาออกนั่นไม่เหมาะกับรีบอยเลอร์ชนิดเทอร์โมไซฟอน ความแตกต่างของแต่ละวิธีแสดง ดังนี้

ก. วิธีควบคุมไอขาเข้า

ก.1 วิธี F-1

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาเข้ารีบอยเลอร์

การทำงาน: โดยปรับที่อัตราการไหลของตัวกลางให้ความร้อนขาเข้ารีบอยเลอร์ อัตราการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นกับความดัน และอุณหภูมิในการควบแน่นของรีบอยเลอร์ เมื่อต้องการบอยล์อัพเพิ่มขึ้นควรเปิดวาล์ว จะทำให้ความดันของรีบอยเลอร์เพิ่มขึ้น ทำให้ผลต่างอุณหภูมิในรีบอยเลอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้อัตราการบอยล์อัพเพิ่มขึ้น

ข้อดี: ค่าใช้จ่ายถูก

ข้อเสีย: การใช้ตัวดักไอน้ำมีแนวโน้มที่จะเกิดการอุดตัน

ทางเลือก: ใช้ความดันที่รีบอยเลอร์เป็นพารามิเตอร์ในการควบคุม แต่การควบคุมความดันของรีบอยเลอร์นั้นไม่เป็นวิธีที่แพร่หลายเท่าไรนัก เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิในการควบแน่น และระหว่างบอยล์อัพกับความดัน มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างบอยล์อัพกับความดันจะเปลี่ยนแปลงเมื่อรีบอยเลอร์มีตะกอน และเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนไป

ก.2 วิธี F-5

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาเข้ารีบอยเลอร์ และใช้ถังรองรับคอบเดนเสดแบบจุ่ม

การทำงาน: โดยปรับที่อัตราการไหลของตัวกลางให้ความร้อนขาเข้ารีบอยเลอร์ และมีถังรองรับคอนเดนเสดมาช่วยชดเชยปัญหาการท่วมของท่อคอนเดนเสด ที่ทำให้เกิดการแปรปรวนในการไหลของไอน้ำที่เข้ารีบอยเลอร์

ข้อเสีย: มีค่าใช้จ่ายของปั๊ม

ใช้เมื่อ: เมื่อมีปัญหาในเรื่องการใช้ผิวสัมผัสในรีบอยเลอร์มากเกินไป

ก.3 วิธี F-6

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาเข้ารีบอยเลอร์ และใช้ถังรองรับคอบเดนเสดแบบระดับ

การทำงาน: เป็นการปรับเปลี่ยนเซ็ทพอยท์ของตัวควบคุมระดับ โดยที่ผิวสัมผัสในรีบอยเลอร์จะต้องสามารถปรับได้ เพื่อให้รีบอยเลอร์สามารถปฏิบัติงานได้ที่ความดันสูง เพื่อให้แน่ใจว่ามีการไหลออกของคอนเดนเสดตลอดเวลาได้โดยไม่ต้องใช้ปั๊ม นั่นคือส่วนล่างของดรัมจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่า ส่วนล่างของตำแหน่งที่เกิดการควบแน่นในรีบอยเลอร์ หรืออีก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นัยหนึ่ง คือ รีบอยเลอร์ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ที่อัตราสูงๆ ที่จะทำให้รีบอยเลอร์เกิดสภาวะแห้งได้ ซึ่งส่งผลท่าให้ประสิทธิภาพการทำงานของรีบอยเลอร์ลดลง

ข้อดี: ลดการกัดเซาะวาล์วควบคุมการไหลที่สภาวะความดันคร่อมวาล์วสูง

ข้อเสีย: มีค่าใช้จ่ายในการเพิ่มความสูงของถังรองรับ

ใช้เมื่อ: เมื่อมีปัญหาในเรื่องการใช้ผิวสัมผัสในรีบอยเลอร์มากเกินไป และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการไหลเข้าสู่ช่วงวิกฤต

ก.4 วิธี F-7

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาเข้ารีบอยเลอร์ และใช้เครื่องปรับความดันให้คงที่

การทำงาน: เครื่องปรับความดันให้คงที่จะรักษาความดันขาเข้าของสารตัวกลางให้ความร้อนนั้นให้ต่ำลงได้

ข้อดี: ลดการกัดเซาะวาล์วควบคุมการไหลที่สภาวะความดันคร่อมวาล์วสูง

ใช้เมื่อ: เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการไหลเข้าสู่ช่วงวิกฤต

ก.5 วิธี F-8

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาเข้ารีบอยเลอร์ และใช้ลูพซีล

การทำงาน: การเพิ่มการไหลเข้ารีบอยเลอร์จะเป็นการเพิ่มความดันในเชลของรีบอยเลอร์ เป็นการลดระดับของเหลวในรีบอยเลอร์เป็นการขยาย (expose) ผิวสัมผัสของท่อมากขึ้น

ข้อแนะนำ: ควรจะตั้งความสูงของของเหลวในลูพประมาณ 5 - 10 ฟุต เนื่องจากในระบบเมื่อปัญหาเมื่อภาวะรบกวนของความร้อนของรีบอยเลอร์ หรือความดันของไอน้ำเกิดการปั่นป่วน ซึ่งควรจะตั้งความสูงดังกล่าวไว้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้

ใช้เมื่อ: ใช้ในสภาวะความดันต่ำ

ข. วิธีควบคุมคอนเดนเสดขาออก

ข.1 วิธี F-2

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งคอนเดนเสดขาออกจากรีบอยเลอร์

การทำงาน: ไอจะควบแน่นโดยความดันที่เพียงพอจากส่วนบน อัตราการถ่ายเทความร้อนจะแปรเปลี่ยนตามที่คอนเดนเสดมีการท่วมที่ตัวแลกเปลี่ยน ซึ่งเป็นการแปรเปลี่ยนพื้นที่สัมผัสในการควบแน่นนั่นเอง

ข้อดี: ค่าใช้จ่ายถูก

ข้อเสีย: ไม่สามารถใช้เมื่อมีปัญหาจากวาล์วคอนเดนเสดไม่สามารถรักษาปริมาณคอนเดนเสดไว้ได้ สาเหตุของปัญหามาจากผลต่างความดันระหว่างรีบอยเลอร์กับสตรีมคอนเดนเสดหลังวาล์วไม่มากพอ

ข.2 วิธี F-3

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งคอนเดนเสดขาออกจากรีบอยเลอร์ แบบมีถังรองรับคอนเดนเสด

การทำงาน: เช่นเดียวกับวิธี F-2

ใช้เมื่อ: เมื่อมีปัญหาจากวาล์วคอนเดนเสดไม่สามารถรักษาปริมาณคอนเดนเสดไว้ได้ และผลต่างความดันระหว่างรีบอยเลอร์กับสตรีมคอนเดนเสดหลังวาล์วไม่น้อยจนเกินไป แต่ถ้าผลต่างความดันมีน้อยมากควรใช้วิธี F-4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.3 วิธี F-4

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งคอนเดนเสตขาออกจากรีบอยเลอร์ แบบมีการโอเวอร์ไรด์กับระดับคอนเดนเสต

การทำงาน: เช่นเดียวกับวิธี F-2

ใช้เมื่อ: เมื่อมีปัญหาจากวาล์วคอนเดนเสตไม่สามารถรักษาปริมาณคอนเดนเสตไว้ได้ และผลต่างความดันระหว่างรีบอยเลอร์กับสตรีมคอนเดนเสตหลังวาล์วน้อยมาก

3.7.2 วิธีที่ใช้น้ำมันร้อนเป็นสารตัวกลางให้ความร้อน

วิธีการควบคุมมี 5 วิธีซึ่งแต่ละวิธีมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ดังนี้

ก. วิธี G-1

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งบายพาสของตัวกลางให้ความร้อน

ลักษณะ: ใช้วาล์ว 2 ทาง 1 ตัว และมีการใช้บายพาสสารตัวกลางที่เย็นกับที่ร้อน

ข้อดี: เป็นวิธีเสียค่าใช้จ่ายน้อยและสามารถอิมพลีเมนต์ได้ด้วย

ข้อเสีย: เป็นระบบการควบคุมที่เฉื่อยช้า การทำงานที่ต้องการเพิ่มการทำงานของรีบอยเลอร์โดยการปิดวาล์วบายพาสซึ่งเป็นการเพิ่มการไหลของรีบอยเลอร์ ส่งผลให้ความดันคร่อมรีบอยเลอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีเส้นทางบายพาสคร่อมรีบอยเลอร์นั่นเอง

ข. วิธี G-2

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาออกของตัวกลางให้ความร้อน

ลักษณะ: เป็นการบายพาสเช่นเดียวกับวิธี G-1 โดยการใช้วาล์ว 3 ทาง 1 ตัว เป็นวาล์วชนิดผสานกัน (interlinked valve) โดยวาล์วตัวหนึ่งใช้เป็นทางผ่านแลกเปลี่ยน ส่วนอีกตัวหนึ่งใช้เป็นบายพาส ซึ่งวาล์วทั้ง 2 ตัวนั้นขณะที่ตัวหนึ่งปิด ตัวหนึ่งจะเปิด

ข้อดี: เป็นวิธีหนึ่งที่ป้องกันการเฉื่อยของการไหล

ค. วิธี G-3

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาออกของตัวกลางให้ความร้อน

ลักษณะ: เป็นการบายพาสเช่นเดียวกับวิธี G-1 ใช้วาล์ว 2 ทาง 2 ตัว โดยใช้การควบคุมการไหลของรีบอยเลอร์ด้วยตัวควบคุมการไหล และการไหลบายพาสด้วยตัวควบคุมผลต่างความดัน (PDC)

ข้อดี: เป็นวิธีหนึ่งที่ป้องกันการเฉื่อยของการไหล

ง. วิธี G-4

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาออกของตัวกลางให้ความร้อน

ลักษณะ: เป็นการควบคุมการไหลของสารตัวกลางให้ความร้อนโดยตรง ไม่มีการบายพาสเช่นในวิธี G-1 ถึง G-3

ข้อดี: เป็นวิธีที่เหมาะกับกรณีผลต่างอุณหภูมิคร่อมรีบอยเลอร์ไม่น้อยจนเกินไป เช่นเดียวกับวิธีบายพาส และสูญเสียพลังงานน้อยกว่าวิธีบายพาสด้วย แต่จะนำมาใช้ได้เมื่ออัตราการไหลของสารตัวกลางไม่ได้เป็นเงื่อนไขสำคัญของระบบการให้ความร้อนนี้ ซึ่งถ้าเป็นเงื่อนไขสำคัญแล้วควรใช้วิธีบายพาส

จ. *วิธี G-5*

ตำแหน่งวาล์วควบคุม: อยู่ในตำแหน่งขาออกของตัวกลางให้ความร้อน

ลักษณะ: เป็นการควบคุมการไหลของสารตัวกลางให้ความร้อนโดยตรง โดยผ่านตัวควบคุมแบบ BTU ที่นำเอาผลต่างอุณหภูมิคร่อมรีบอยเลอร์ของสารตัวกลางมาเป็นเซ็ทพอยท์ต่อตัวควบคุมการไหล

ข้อดี: เป็นวิธีที่เหมาะกับกรณีผลต่างอุณหภูมิคร่อมรีบอยเลอร์น้อยจนเกินไป

3.7.3 วิธีที่ใช้การเผาไหม้จากแกสเชื้อเพลิงโดยตรง

วิธีควบคุมการรบกวนรีบอยเลอร์โดยใช้ระบบให้ความร้อนนี้ ควรใช้การวัดปริมาณความร้อนจากองค์ประกอบของแกสไปปรับอัตราการไหลของแกสนั้น ดังวิธี H หรือใช้การปรับสัดส่วนการไหลของอากาศต่อเชื้อเพลิง ซึ่งรายละเอียดแสดงใน Shinskey (1977)

ชนิดของสารตัวกลางให้ความร้อนที่นำมาพิจารณาเลือกกลุ่มวิธีควบคุมรีบอยเลอร์นี้สามารถแบ่งตามลักษณะความต้องการในการใช้งาน คือ *ไอน้ำหรือใช้ไอสารหล่อเย็นนั้น* นิยมใช้เป็นตัวกลางในอุตสาหกรรมเคมีที่มักมีสารกัดกร่อนเกิดขึ้น ส่วน*น้ำมันร้อน*หรือ*การเผาไหม้แกสเชื้อเพลิง* มักใช้กับอุตสาหกรรมการกลั่นปิโตรเลียมหรือไม่มีสารกัดกร่อน โดยที่ถ้าต้องการใช้กับงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงมากนัก ก็ใช้ไอของสารหล่อเย็น (ในกลุ่มที่มีสารกัดกร่อน) หรือใช้น้ำมันร้อน (ในกลุ่มที่ไม่มีสารกัดกร่อน) แต่ถ้าต้องการใช้กับงานที่ต้องการอุณหภูมิสูง ก็ใช้ไอน้ำ (ในกลุ่มที่มีสารกัดกร่อน) หรือใช้การเผาไหม้แกสโดยตรง (ในกลุ่มที่ไม่มีสารกัดกร่อน)

3.8 วิธีการควบคุมระดับของเหลว

การควบคุมระดับของเหลวนั้นนำมาพิจารณาใช้เมื่อต้องการรักษาปริมาณการไหลของสารให้คงที่ เป็นการเพิ่มตัวแปรควบคุมอีก 1 ตัว จากตัวแปรปรับจำนวนเท่าเดิม ดังนั้นจึงต้องมีการใช้การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้าที่เป็นการควบคุมแบบอัตราส่วนมาช่วยในการควบคุมนี้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยแบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีต้องการให้อัตราการไหลของสารป้อนคงที่ สำหรับการควบคุมแบบคู่จะตั้งค่ากระแสตัวแปรปรับเพื่อการควบคุมองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์เป็นอัตราส่วนกับอัตราการไหลของสารป้อน เช่น ในการควบคุมองค์ประกอบวิธี *D_V* นั้นกระแสการควบคุมองค์ประกอบยอดหอคือ *D* จะต้องเซ็ทเป็น *D/F* และกระแสการควบคุมองค์ประกอบล่างหอคือ *V* จะต้องเซ็ทเป็น *V/F* เพื่อชดเชยกับการรบกวนของการไหลของสารป้อน

กรณีต้องการให้อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์คงที่ (เนื่องจากมีการส่งต่อไปยังหน่วยอุปกรณ์อื่นที่ต้องการอัตราการไหลของสารป้อนคงที่ หรือไม่ได้นำผลิตภัณฑ์ไปเก็บโดยตรง) สามารถแบ่งย่อยได้เป็นอีก 2 กลุ่มย่อยตามความต้องการให้*อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอ หรือล่างหอคงที่* จะต้องเซ็ทให้กระแสตัวแปรปรับที่ควบคุมระดับของเหลวล่างหอเป็นอัตราการไหลของสารป้อน และถ้าเป็นกรณีที่แรกเซ็ทให้กระแสตัวแปรปรับที่ควบคุมองค์ประ-กอบเป็นอัตราส่วนกับอัตราการไหลของล่างหอ (*B*) และตัดวิธีการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ด้วยอัตราการไหลล่างหอออก จึงจะเหลือเป็นวิธีควบคุมที่เป็นไปได้ เช่น วิธี *D_L* จะต้องเซ็ทกระแสการปรับ *D* เป็น *D/B* และเซ็ทค่ากระแสการปรับ *L* เป็น *L/B* เพื่อควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ยอดหอและล่างหอตามลำดับ และถ้าเป็นกรณีที่สองเซ็ทให้กระแสตัว

แปรปรับที่ควบคุมองค์ประกอบเป็นอัตราส่วนกับอัตราการไหลของดิสทิลเลต (*D*) และตัดวิธีการควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ด้วยอัตราการไหลดิสทิลเลตออก จึงจะเหลือเป็นวิธีควบคุมที่เป็นไปได้ เช่น วิธีควบคุมแบบ *L_B* จะต้องเซ็ทกระแสการปรับ *L* เป็น *L/D* และเซ็ทค่ากระแสการปรับ *B* เป็น *B/D* เพื่อควบคุมองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ยอดหอและล่างหอตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แสดงวิธีควบคุมระดับของเหลวเมื่อต้องการให้อัตราไหลคงที่

	L_b	L_r	X_D	X_B
เมื่อต้องการให้อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ล่างหอคงที่	*F*	*D*	*L/B or L*	*V/B*
		L	*D/B*	*V/B*
		$V (\tau_H \geq 5 min)$	*D/B*	*L/B*
เมื่อต้องการให้อัตราการไหลของผลิตภัณฑ์ยอดหอคงที่	*F*	*L*	*V/D*	*B/D*
		V	*L/D*	*B/D*
เมื่อต้องการให้อัตราการไหลสารป้อนคงที่	*B*	*D*	*L/F*	*V/F*
		L	*D/F*	*V/F*
	V	$D (\tau_H \geq 5 min)$	*L/F*	*B/F*
		D (small τ_H *but interaction* X_D*-loop and* L_b*-loop)*	*L/D*	*B/F*

สำหรับความต้องการอัตราการไหลของผลิตภัณฑ์คงที่ ในกรณีการควบคุมแบบเดี่ยวจะตั้งค่ากระแสตัวแปรปรับระดับของเหลวล่างหอเป็นการปรับจากกระแสป้อน โดยตัวแปรปรับเดิมเปลี่ยนเป็นการควบคุมการไหลที่มีเซ็ทพอยท์มาจากหน่วยดาวน์สตรีม และตัวแปรอิสระเดิมจะเซ็ทให้เป็นอัตราส่วนกับสารป้อน เพื่อควบคุมการไหล

3.9 วิธีเลือกชนิดรีบอยเลอร์

ชนิดของรีบอยเลอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมีทั้งหมด 5 ชนิด

ก. รีบอยเลอร์แบบเทอร์โมไซฟอนแนวตั้ง

ข้อดี : ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง, มีแนวโน้มการเกิดตะกอนที่ต่ำ และมีค่าเวลาเรซิเด็นท์ต่ำของการเดือดของสารในช่วงขณะที่ให้ความร้อน อีกทั้งยังเป็นชนิดที่กระทัดรัด, ต้องการพื้นที่ใช้งานน้อย และมีโครงสร้างของระบบท่อที่ง่าย มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เทียบกับชนิดอื่นแล้วต่ำกว่า และไม่มีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน(ได้แก่ การใช้ปั๊ม)

ข้อเสีย : ไม่สามารถใช้งานได้ เมื่อสารตัวกลางให้ความร้อน เกิดตะกอนและมีการสะสมภายใน, เมื่อความสูงของของเหลวหรือเฮดไม่เพียงพอ, เมื่อต้องการพื้นผิวสัมผัสมาก และไม่ได้ให้ความเชื่อถือสูง

ข. รีบอยเลอร์แบบเทอร์โมไซฟอนแนวนอน

ข้อดี: เหมาะที่ใช้งานเมื่อของไหลที่ถูกทำให้ร้อนมีการเกิดตะกอน และมักจะสะสมในท่อ, เมื่อต้องการใช้กับงานที่การเพิ่มเฮดในรีบอย, เมื่อใช้กับงานที่ต้องการพื้นที่ผิวสัมผัสมาก และเป็นการยากที่จะใช้กับรีบอยเลอร์เทอร์โมไซฟอนแนวตั้ง ทำให้รีบอยเลอร์ชนิดนี้เหมาะอย่างยิ่งกับการแยกสารที่แยกยากๆ ที่ต้องการพื้นผิวสัมผัสมาก และต้องการใช้เฮดมาก, เมื่อใช้กับงานที่ต้องการอัตราการไหลเวียนสูงสุด หรือต้องการลดการเพิ่มขึ้นของจุดเดือดที่สัมพันธ์กับเฮดของเหลว (ได้แก่ การกลั่นแยกสารที่ว่องไวต่อความร้อน ภายใต้ระบบสูญญากาศ)

ข้อเสีย: เมื่อเทียบกับปแบบแนวตั้งแล้ว แบบแนวนอนจะต้องการโครงสร้างของระบบท่อและพื้นที่ในการติดตั้งมากกว่า มีแนวโน้มการเกิดตะกอนมากกว่า และมีความน่าเชื่อถือต่ำกว่า อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า

ค. รีบอยเลอร์แบบการหมุนเวียนบังคับ

ข้อดี: เมื่อระบบมีการเกิดตะกอนหรือประกอบไปด้วยของแข็งค่อนข้างสูง และสามารถปฏิบัติงานได้ที่อัตราการระเหยต่อพาสต่ำกว่าชนิดอื่น ๆ , ในระบบที่มีความหนืดสูง ๆ , เมื่อรีบอยเลอร์วางห่างจากคอลัมน์ ณ ตำแหน่งที่พอเพียง, ในระบบสูญญากาศ รีบอยเลอร์แบบเทอร์โมไซฟอนมักเกิดปัญหาในการใช้งาน และเป็นชนิดที่ให้ระบบควบคุมที่ดี

ข้อเสีย: ไม่นิยมใช้เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายของปั๊ม และมีความเป็นไปได้ที่จะมีการรั่วของปั๊ม

ง. รีบอยเลอร์แบบเค็ทเทิล

ข้อดี: เป็นชนิดที่นำมาใช้บ้างในกรณีที่คอลัมน์มีเฮด หรือความสูงแนวตั้งไม่เพียงพอ, เมื่อต้องการพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมาก, เมื่อสามารถคาดเดาความไม่เสถียรที่จะเกิดขึ้นได้, เมื่อต้องมีการทำความสะอาดบ่อยๆ เช่นในคอลัมน์แบบสูญญากาศ, เมื่อต้องการลดของเหลวควบแน่นขาออกจากรีบอยเลอร์ให้น้อยที่สุด, เมื่อมีการปฏิบัติงานที่ใกล้จุดความดันวิกฤตที่ต้องการความน่าเชื่อถือเป็นสิ่งสำคัญ

ข้อเสีย: เป็นชนิดที่ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนต่ำ, มีแนวโน้มการเกิดตะกอนสูง, มีการใช้พื้นที่ในการติดตั้งสูง และเป็นชนิดที่มีราคาแพง โดยทั่วไปจึงไม่นิยมใช้งานกับการกลั่น

จ. *รีบอยเลอร์แบบภายในคอลัมน์*

ข้อดี: เหมาะกับการกลั่นแบบแบทช์ที่สามารถประกอบเข้ากับแบทช์ดรัมได้ง่าย และสามารถทำความสะอาดได้ง่าย และเหมาะกับการทำความสะอาดคอลัมน์ที่มีการทำความสะอาดที่ภาระความร้อนต่ำ ๆ

ข้อเสีย: เป็นชนิดรีบอยเลอร์ที่ไม่ควรนำมาใช้เนื่องจากการประกอบต่อ (fitting) ตัวรีบอยเลอร์เข้ากับคอลัมน์ต้องมีการเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความสูงของคอลัมน์ และอาจจะต้องการการทำความสะอาดคอลัมน์ในขณะที่มีการปฏิบัติงานอยู่ด้วย และไม่เหมาะกับการใช้งานในสภาวะการเกิดฟอง และสภาวะสูญญากาศ

3.10 วิธีเลือกชนิดเครื่องควบแน่น

ชนิดเครื่องควบแน่นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมี 6 ชนิด

ก. *เครื่องควบแน่นแบบไอควบแน่นอยู่ในเชลที่วางเครื่องในแนวนอน*

ข้อดี: มักนิยมใช้กับเครื่องควบแน่นแบบใช้น้ำเป็นสารทำความเย็น และเหมาะกับการใช้งานในช่วงเวลาเริ่มเดินเครื่อง และเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดที่วางในแนวตั้งแล้ว พบว่าเครื่องควบแน่นที่วางในแนวนอนนี้สามารถใช้กับการปฏิบัติงานแบบท่วมบางส่วน

ข้อเสีย : ไม่มี

ข. *เครื่องควบแน่นแบบไอควบแน่นอยู่ในเชลที่วางเครื่องในแนวตั้ง*

ข้อดี: เหมาะกับการใช้เป็นอุปกรณ์ควบแน่นในรีบอยเลอร์มากกว่าที่จะใช้ในเครื่องควบแน่นของกระแสยอดหอ ไอจะมีลักษณะไหลลงอีกทั้งเชลสามารถมีแผ่นกั้นได้

ข้อเสีย: มักจะไม่นำมาใช้ในการควบแน่นไอที่มีองค์ประกอบเดียว

ค. เครื่องควบแน่นแบบไอควบแน่นอยู่ในท่อที่วางเครื่องในแนวตั้ง

ค.1 ชนิดไอไหลขึ้นบน

การนำไปใช้งาน: การใช้เครื่องควบแน่นแบบภายในคอลัมน์ หรือเป็นเครื่องควบแน่นแบบทุติยภูมิ การประยุกต์อย่างหลังนั้นมักจะใช้ในการนำกลับองค์ประกอบหนักจากกระแสที่มีแกสเฉื่อยที่ออกมาจากรีฟลักซ์ดรัม

ข้อเสีย: ปัญหาหลักของชนิดการไหลของไอขึ้นบน คือ มักจะเกิดการท่วม หรือการติดไปกับของเหลวที่มากเกินไป เนื่องจากความเร็วของไอสูงพอที่จะทำให้ของเหลวไหลขึ้น

ค.2 ชนิดไอไหลลงล่าง

ข้อดี: เหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรมเคมี ที่มักจะมีการใช้สารกัดกร่อนด้วย และสามารถใช้งานกับของผสมที่มีหลายองค์ประกอบได้

ข้อเสีย: ไม่มี

ง. เครื่องควบแน่นแบบภายในคอลัมน์

ข้อดี: เป็นการลดการใช้รีฟลักซ์ดรัม ปั๊มรีฟลักซ์ และระบบท่อบางส่วน ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน และในการปฏิบัติงาน และยังเป็นการปฏิบัติงานของคอลัมน์อย่างง่าย ๆ

ข้อเสีย: ในทางตรงกันข้ามเครื่องควบแน่นแบบนี้ จะทำให้ความสูงของคอลัมน์เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการทำให้การประหยัดลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันการท่วมและลดความสูงของคอลัมน์จึงมักมีการออกแบบเครื่องควบแน่นให้ท่อมีแนวตั้งที่สั้น แต่ก็จะเป็นการลดความเร็วไอส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง และค่าใช้จ่ายของเครื่องแลกเปลี่ยนความ

ร้อนสูงขึ้น และเป็นวิธีที่ไม่ต้องมีการควบคุมอัตราการไหลรีฟลักซ์ ดังนั้นที่สภาวะเริ่มเดิน เครื่องการสร้างซีลของเหลวในซีลพาสของเครื่องควบแน่น (รูปที่ 2.15ง) จะทำได้ยาก

จ. *เครื่องควบแน่นแบบสัมผัสโดยตรง*

ข้อดี: มักจะนำมาใช้เพื่อลดความดันตกในการควบแน่นที่สภาวะสูญญากาศ บริเวณที่มีการสัมผัสโดยตรงนั้นจะมีลักษณะที่ภายในมีความดันตกต่ำ เช่น ในคอลัมน์แบบแพค

ข้อเสีย: ปัญหาหลักในการปฏิบัติงานคือสมรรถนะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บของเหลว และอุปกรณ์ภายใน (เช่น packing และ distributors) การใช้งานในคอลัมน์แบบสูญญากาศนั้นแกสที่ไม่สามารถควบแน่นได้จะต้องกำจัดออกตลอดเวลา เพื่อรักษาความดันสมบูรณ์ให้ได้ตามต้องการ

3.11 วิธีเลือกจุดวัดตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์

ก. จุดวัดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ยอดหอ

ก.1 ที่ทางออกของถังรองรับ

ข้อดี: เป็นจุดวัดที่ทำให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุดจากการกลายเป็นไอ, การควบแน่น, การการไหลถ่ายเทของฟองไอ หรือการไหลถ่ายเทของหยดของเหลวในสายตัวอย่าง (เมื่อรีฟลักซ์หรือผลิตภัณฑ์มักจะถูกทำให้เย็นต่ำ) และเป็นวิธีที่ให้สายตัวอย่างสั้นที่สุด ง่ายต่อการปฏิบัติงาน และการซ่อมบำรุง และเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

ข้อเสีย: การมีแล็กมากในถังรองรับ และยังมีข้อเสียในการมีแนวโน้มทำให้เกิดการผสมอย่างไม่สม่ำเสมอในรีฟลักซ์ดรัม และมีเดดไทม์ในสายตัวอย่าง (เนื่องจากตัวอย่างจะเป็นของ

เหลวมากกว่าไอ) การเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งนี้ มักจะให้การควบคุมที่ช้าเนื่องจากการเกิดแล็กดังกล่าว

ก.2 ที่สายไอยอดหอ

ข้อดี: ให้ผลการตอบสนองทางไดนามิคดีที่สุด

ข้อเสีย: มักจะเกิดสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิด (nonreproducibility) เนื่องจากหยดของเหลวที่เกิดจากการไหลถ่ายเท หรือการควบแน่นที่บรรยากาศ สายตัวอย่างยาว, ต้องเก็บตัวอย่างในเฟสไอ (เช่น การใช้ heat tracing) และเป็นวิธีที่ยากต่อการใช้งาน และบำรุงรักษาอีกทั้งยังมีราคาแพง

ก.3 ที่สายของเหลวที่ออกจากเครื่องควบแน่นไปเข้าถังรองรับ

ข้อดี: ให้ผลตอบสนองทางไดนามิคดี (ไม่มีแล็กในถังรองรับ) และแสดงถึงตัวอย่างแท้จริง (อาจจะเนื่องจากฟองไอที่มีอยู่ แต่ความหนาแน่นไอน้อยกว่าของเหลว ผลกระทบจากฟองไอจึงมีน้อยต่อการวิเคราะห์)

ข้อเสีย: ความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ไม่ถูกต้อง เมื่อมีการปล่อยที่รีฟลักซ์ดรัม, สายตัวอย่างค่อนข้างยาว มีเดดไทม์เพิ่มขึ้นในสายตัวอย่าง

ก.4 ที่เทรย์ยอดหอ

ข้อดี: เหมาะกับตัววิเคราะห์แบบที่มีความว่องไวน้อย ให้ผลตอบสนองไดนามิคดี

ข้อเสีย: ความสัมพันธ์กับองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ไม่ดี และมักจะขึ้นกับรีฟลักซ์, สายตัวอย่างยาว, มีเดดไทม์เพิ่มขึ้นในสายตัวอย่าง

ข. จุดวัดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ยอดหอ

ข.1 ที่กระแสก้นหอ

ข้อดี: เป็นตำแหน่งที่สะดวกที่สุด คล้ายกับการวัดที่ตำแหน่งทางออกของถังรองรับยอดหอ และมีข้อดีและข้อเสียคล้าย ๆ กัน

ข.2 ที่ขาออกจากก้นหอ

ข้อดี: ให้ผลการตอบสนองทางไดนามิคดีที่สุด

ข้อเสีย: ของเหลวที่ออกจากก้นหอจะมีปริมาณมาก และมีไอปะปนด้วย และในกรณีที่มีความดันสูง, อัตราการไหลของของเหลวสูง ๆ จะส่งผลต่อองค์ประกอบ

ข.3 ที่กระแสผลิตภัณฑ์ยอดหอที่คอลัมน์ถัดไป

ข้อดี: เป็นวิธีที่ต้องการให้น้ำมัน, น้ำมันดิน, สิ่งปนเปื้อน หรือองค์ประกอบหนักอื่นๆ ออกจากตัวอย่าง ตัววิเคราะห์ และระบบการเก็บตัวอย่าง

ข้อเสีย: มีแล็กเกิดขึ้นมาก ควรจะใช้เทคนิคการเก็บตัวอย่างแบบแฟลชพ็อทมาช่วย

ข.4 ที่เทรย์ล่างหอ

วิธีนี้คล้ายคลึงกับการเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งยอดหอของการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยอดหอ ข้อพิจารณาต่างๆ ใช้แบบเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย