

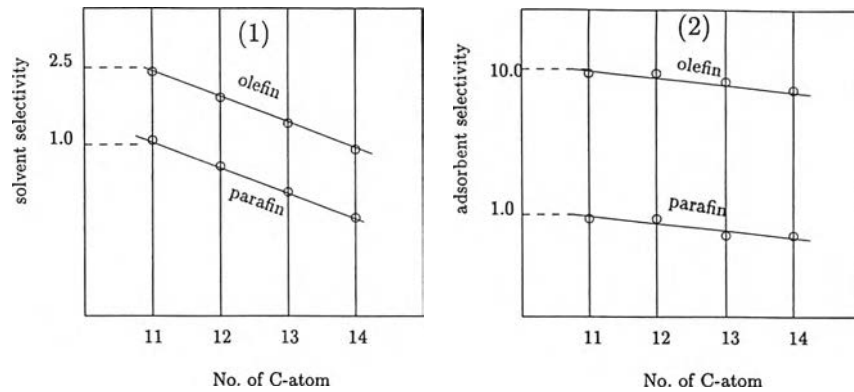
บทที่ 1

บทนำ



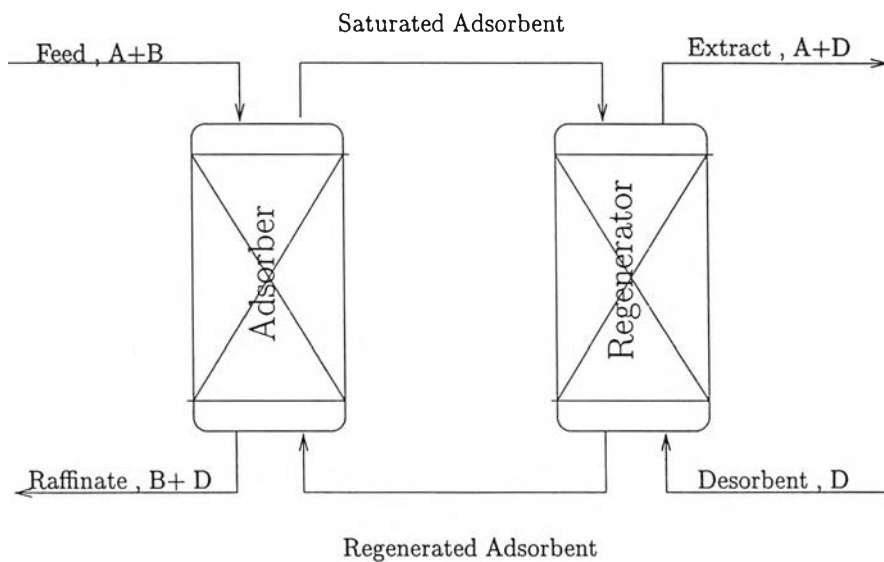
กระบวนการแยกสารในระดับอุตสาหกรรม สำหรับของผสมที่ทำให้เกิดสมดุระหว่างไอกับของเหลวได้ง่ายและที่มีค่าการระเหยสัมพัทธ์ (relative volatility) ระหว่างองค์ประกอบหลักที่ต้องการแยกมีค่าสูงมากพอ มักเป็นการกลั่นลำดับส่วนเพื่อแยกออกเป็นสารประกอบต่างๆ เนื่องจากเป็นวิธีการแยกของผสมเนื้อเดียวอย่างง่ายและได้ผลดี แต่ถ้าหากค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสารประกอบที่ต้องการแยกมีค่าไม่เกิน 1.25 (Broughton, 1984) ของผสมนี้จะแยกด้วยวิธีการกลั่นได้ยากขึ้น และทำให้หอกลั่นมีขนาดใหญ่มากขึ้น นั่นคือมีจำนวนชั้นทอนสมดุลมากขึ้น ซึ่งเป็นผลต่อค่าใช้จ่ายทั้งส่วนของการลงทุนและส่วนของการดำเนินการผลิต

สำหรับการแยกของเหลวผสมเนื้อเดียว อาจเลือกใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแทนการกลั่นแยกถ้าค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสารประกอบที่ต้องการแยกมีค่าไม่เกิน 1.25 แม้ว่าการเลือกใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมจะช่วยให้การแยกของเหลวผสมเนื้อเดียวทำได้ง่ายขึ้น แต่ตัวทำละลายที่เหมาะสมมีจำนวนจำกัดจึงทำให้การแยกของผสมดังกล่าวยังคงถูกจำกัด หรือดัชนีการแยก (separation factor) มีค่าไม่สูงดังรูป 1.1(1) โดยดัชนีการแยกจะลดลงเมื่อสารประกอบที่ต้องการแยกมีขนาดโมเลกุลใหญ่ขึ้น ในทางตรงกันข้ามการแยกของผสมเนื้อเดียวด้วยการดูดซับไม่เพียงแต่มีตัวดูดซับที่เหมาะสมให้เลือกได้มากแล้ว ดัชนีการแยกยังไม่ขึ้นกับขนาดของโมเลกุลของสารที่ต้องการแยกดังแสดงในรูป 1.1(2) (Broughton, 1983) ดังนั้นการแยกของผสมเนื้อเดียวด้วยตัวดูดซับที่เหมาะสมจึงเกิดขึ้นได้ดีและหอดูดซับมักมีขนาดเล็ก



รูปที่ 1.1: แสดงความจำเพาะในการแยกของผสมพาราฟิน-โอลีฟินเมื่อใช้การแยกโดย (1) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (2) การดูดซับ

เนื่องจากสารประกอบที่ถูกดูดซับจะเกาะติดบนพื้นผิวของตัวดูดซับ จึงจำเป็นต้องฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับในช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้กระบวนการแยกดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง การดูดซับแบบต่อเนื่องจะมีลักษณะการดำเนินการดังรูปที่ 1.2 ตัวหอดูดซับจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ทำหน้าที่ดูดซับสาร (adsorber) และส่วนที่ทำหน้าที่ฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับ (Regenerator) ส่วน

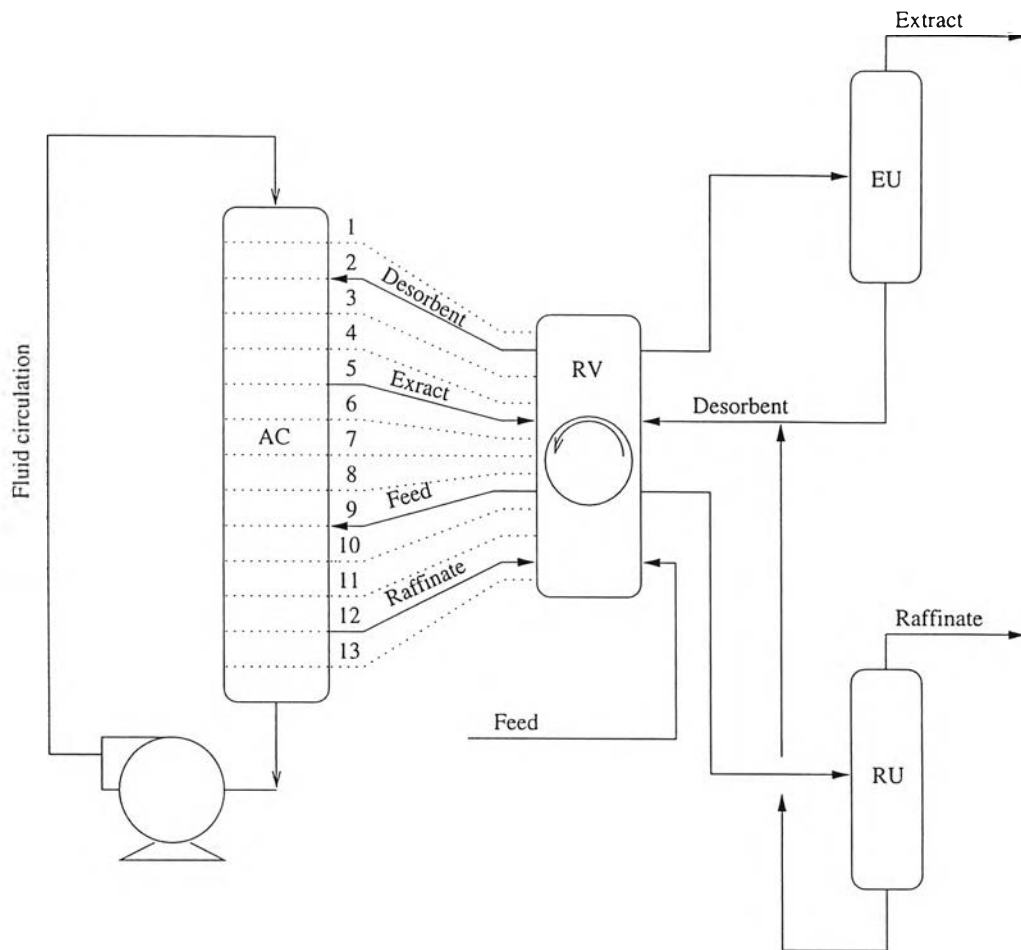


รูปที่ 1.2: แสดงลักษณะการดูดซับแบบต่อเนื่อง

ที่ทำหน้าที่ดูดซับสารจะมีการป้อนสารที่ต้องการจะแยกเข้าไป ณ ปลายด้านหนึ่งและป้อนตัวดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพแล้วเข้ามาที่ปลายตรงกันข้าม ในรูปที่ 1.2 นี้สารป้อนจะเป็นของผสมสององค์ประกอบซึ่งมีองค์ประกอบ A ถูกดูดซับได้ดีกว่าองค์ประกอบ B สารป้อนและตัวดูดซับ

จะไหลสวนทางกันด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสม ซึ่งทำให้องค์ประกอบ A ทั้งหมดสามารถเกิดการถ่ายโอนมวลสารเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของตัวดูดซับได้โดยที่องค์ประกอบ B ยังคงอยู่ในวัฏภาคของของไหล ตัวดูดซับที่อิ่มตัวด้วยองค์ประกอบ A จะถูกดึงออกจากส่วนที่ทำหน้าที่ดูดซับสาร ณ ปลายด้านที่มีการป้อนสารเข้า และถูกป้อนเข้าสู่ส่วนที่ทำหน้าที่ฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับเพื่อทำการคายการดูดซับองค์ประกอบ A ออกมา การฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับทำได้โดยการป้อนองค์ประกอบ D ซึ่งเป็นตัวคายการดูดซับเข้าไป ณ ปลายอีกด้านหนึ่งของส่วนที่ทำหน้าที่ฟื้นฟูสภาพให้เกิดการไหลสวนทางกับตัวดูดซับด้วยอัตราการไหลที่เหมาะสมเพื่อให้องค์ประกอบ A ที่ติดอยู่กับตัวดูดซับเกิดการคายการดูดซับออกมาได้ทั้งหมด ตัวดูดซับที่ผ่านการฟื้นฟูสภาพแล้วจะถูกดึงออกจากส่วนที่ทำหน้าที่ฟื้นฟูสภาพ ณ ปลายด้านที่มีการป้อนตัวคายการดูดซับเข้า และถูกป้อนกลับไปยังส่วนที่ทำหน้าที่ดูดซับสารเพื่อนำไปใช้งานต่อ ด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้สามารถใช้งานตัวดูดซับได้อย่างต่อเนื่องและสามารถแยกองค์ประกอบ A และ B ออกจากกันได้อย่างต่อเนื่องโดยองค์ประกอบ A จะถูกดึงออกจากปลายด้านที่มีการป้อนตัวดูดซับเข้าของส่วนที่ทำหน้าที่ฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับได้เป็นผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก ส่วนองค์ประกอบ B จะถูกดึงออกจากปลายด้านที่มีการป้อนตัวดูดซับเข้าของส่วนที่ทำหน้าที่ดูดซับสารได้เป็นผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของระบบที่มีการไหลสวนทางกันก็คือแรงขับของการถ่ายโอนมวลจะมีค่าสูงตลอดทั้งหอ ทำให้หอดูดซับที่ใช้มีขนาดเล็ก ลักษณะการดำเนินการของหอดูดซับในรูปที่ 1.2 นี้จะเรียกว่าเป็นการดูดซับแบบไหลสวนทางต่อเนื่องจริง หรือชื่อย่อ TMB ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมไม่มีการใช้งานจริงเนื่องจากความยากในการทำให้ตัวดูดซับซึ่งเป็นของแข็งเกิดการไหลสวนทางกับของไหลได้อย่างสม่ำเสมอ และตัวดูดซับที่เคลื่อนที่จะเกิดการชนกันหรือขัดสีกันทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย ทำให้วิธีนี้ไม่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์

การดูดซับแบบต่อเนื่องเพื่อใช้แยกของผสมในระดับอุตสาหกรรม เกิดขึ้นหลังจากที่บริษัท UOP มีการนำเทคนิคที่เรียกว่า ระบบเบดเคลื่อนที่จำลอง (simulated moving bed) หรือชื่อย่อ SMB ซึ่งรู้จักกันในชื่อทางการค้าในชื่อว่ากระบวนการ SORBEX (Rosset, 1981) มาใช้งาน กระบวนการ SORBEX นี้ตัวหอดูดซับจะใช้คอลัมน์ใหญ่เพียงคอลัมน์เดียวดังรูป 1.3 ซึ่งคอลัมน์ใหญ่จะถูก



รูปที่ 1.3: กระบวนการ SORBEX (AC = หอดูดซับ EU = หน่วยแยกผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก RU = หน่วยแยกผลิตภัณฑ์ราฟไฟเนท RV = โรตารีวาล์ว)

แบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆที่มีความสูงที่เท่ากันโดยใช้ตำแหน่งตั้งสารเข้าออกจากหอดูดซับเป็นตัวแบ่ง ตำแหน่งตั้งสารเข้าออกจากระบบนี้จะถูกเชื่อมเข้ากับโรตารีวาล์ว ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดทิศทางการไหลของของไหลในแต่ละตำแหน่ง เส้นประที่เชื่อมระหว่างตำแหน่งตั้งสารเข้าออกจากหอดูดซับกับโรตารีวาล์วแสดงว่าตำแหน่งนั้นถูกปิดไว้ไม่มีการไหลเข้าออกของของไหล ส่วนเส้นทึบแสดงว่ามีการไหลของของไหลเข้าออกจากระบบผ่านตำแหน่งนั้นตามทิศของลูกศร ส่วนของคอลัมน์ใหญ่ที่อยู่ระหว่างตำแหน่งสารเข้าออกสองตำแหน่งที่อยู่ติดกันจะเรียกว่าคอลัมน์ย่อย ซึ่งคอลัมน์ย่อยเหล่านี้จะถูกรวมเข้าด้วยกันเรียกว่าโซน ซึ่งมีทั้งหมดอยู่ 4 โซนแบ่งตามตำแหน่งที่มีการใช้งานจริงดังนี้

- กลุ่มของคอลัมน์ย่อยที่อยู่ระหว่างตำแหน่งป้อนตัวคายการดูดซับ (Desorbent) กับตำแหน่งตั้งผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก (Extract) จะเรียกเป็นโซนที่ 1

- กลุ่มของคอลัมน์ย่อยที่อยู่ระหว่างตำแหน่งดิงผลิตภัณฑ์เอ็กซ์แทรก กับ ตำแหน่งป้อนสารตั้งต้น (Feed) จะเรียกเป็นโซนที่ 2
- กลุ่มของคอลัมน์ย่อยที่อยู่ระหว่าง ตำแหน่งป้อนสารตั้งต้น กับ ตำแหน่งดิงผลิตภัณฑ์ราฟฟินาท์ (Raffinate) จะเรียกเป็นโซนที่ 3
- กลุ่มของคอลัมน์ย่อยที่อยู่ระหว่าง ตำแหน่งดิงผลิตภัณฑ์ราฟฟินาท์ กับ ตำแหน่งป้อนตัวคายการดูดซับ จะเรียกเป็นโซนที่ 4

ในระบบที่มีการไหลสวนทางจริงตำแหน่งของโซนทั้ง 4 อยู่กับที่ โดยมีการเคลื่อนที่สวนทางกันระหว่างของแข็งกับของไหล แต่ในระบบ SMB จะจำลองการไหลสวนทางของของแข็งกับของไหล โดยให้ของแข็งอยู่กับที่ในลักษณะของเบดนิ่ง แต่ใช้การเคลื่อนที่ของโซนทั้ง 4 แทน ซึ่งมีวิธีการทำดังนี้คือ ใช้เครื่องสูบเป็นตัวไหลเวียนของไหลในทิศทางดังรูป 1.3 อย่างต่อเนื่อง แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งดิงสารเข้าออกทั้งหมดไปในทิศทางเดียวกับทิศการไหลของของไหล ในระยะทาง 1 คอลัมน์ย่อย ในเวลาที่แน่นอนเป็นคาบๆ ด้วยวิธีการนี้เมื่อใช้ตำแหน่งดิงสารเข้าออกเป็นจุดสังเกต จะสังเกตเห็นเสมือนของแข็งมีการเคลื่อนที่ ในทิศทางตรงข้ามกับการไหลของของไหล ดังนั้นระบบที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับระบบ TMB และยังคงข้อดีของเบดนิ่งเอาไว้

หลังจากที่ UOP ประสบความสำเร็จในการนำเอาระบบ SMB มาใช้แยกสารในวัฏภาคของเหลวกับกระบวนการ Molex ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้แยกพาราฟินชนิดสายตรงออกจากพาราฟินชนิดวงหรือชนิดกิ่ง และกระบวนการ Parex ซึ่งใช้แยกพาราไซลีน (p-xylene) ออกจากของผสมไซลีนไอโซเมอร์แล้ว การประยุกต์ใช้งานระบบ SMB ก็ได้รับการยอมรับมากขึ้น การประยุกต์ใช้งานระบบ SMB สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือ การใช้งานในวัฏภาคของของเหลว และการใช้งานในวัฏภาคของแก๊ส การใช้งานในวัฏภาคของของเหลวในช่วงเริ่มต้นจะใช้สำหรับแยกของผสมกลูโคส-ฟรุคโตส (Barker, 1983 ; Ching, 1985) ซึ่งสมดุลการดูดซับของระบบมักจะเป็นเส้นตรงและซึ่งค่าดัชนีการแยกจะมีค่าค่อนข้างสูงซึ่งต้องการจำนวนชั้นตอนสมดุลทางทฤษฎีไม่สูงมาก ทำให้หอดูดซับมีขนาดเล็ก แต่ในปัจจุบันการใช้งานจะมุ่งเน้นไปทางการแยกสารประกอบอีแนนทิโอเมอร์ (enan-

tiomers) (Eric, 1997; Schulte, 1997; Strube, 1997) ซึ่งได้จากการผลิตเวกเมนต์ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้ทนอุณหภูมิได้ไม่สูงมากจึงเหมาะกับการแยกโดยวิธีการดูดซับ ค่าสมดุลการดูดซับของสารประกอบเหล่านี้มักไม่เป็นเส้นตรงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำๆและค่าดัชนีการแยกของสารประกอบเหล่านี้จะค่อนข้างใกล้เคียง 1.5 ดังนั้นการแยกจึงต้องใช้หอดูดซับที่มีจำนวนชั้นตอนสมดุลทางทฤษฎีที่ค่อนข้างสูง ทำให้หอดูดซับมีขนาดใหญ่ ส่วนในภูมิภาคแก๊สการศึกษาในเรื่องนี้ยังคงมีน้อยอยู่ การใช้งานในภูมิภาคแก๊สที่มีการศึกษาจะเป็นการแยกสารประกอบไอโซเมอร์ของไซลีน (Storti, 1988,1989)

จากความสำเร็จของ UOP ในการนำเอาระบบ SMB มาใช้กับกระบวนการ Molex ซึ่งเป็น การแยกสาร ในภูมิภาคของเหลว ในงานวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเอาระบบ SMB มาใช้ในการแยกของผสมอีเทน-เอทิลีนซึ่งเป็นของผสมระหว่างสารโอเลฟิน (เอทิลีน) และสารพาราฟิน (อีเทน) ในภูมิภาคแก๊ส ซึ่งของผสมทั้งสองเมื่อออกมาจากหน่วยผลิตของโรงงานผลิตเอทิลีน จะเป็นแก๊สที่มีอุณหภูมิประมาณ 1100 K ซึ่งการแยกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะใช้วิธีการกลั่นแยกที่สภาวะ อุณหภูมิต่ำ ซึ่งใช้อุณหภูมิของสารป้อนประมาณ 260 K และเอทิลีนบริสุทธิ์ที่แยกได้ซึ่งเป็นของเหลวเมื่อจะนำไปผลิตเป็นโพลีเอทิลีนจะต้องเปลี่ยนสถานะให้กลับมาเป็นแก๊สอีกครั้ง กรณีการผลิตโพลีเอทิลีนโดยไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจะต้องทำให้เป็นแก๊สที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 500 K การเปลี่ยนอุณหภูมิขึ้นลงในแต่ละส่วนของกระบวนการ จำเป็นต้องถ่ายโอนหรือแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนหลายครั้งและในปริมาณมากๆ ทำให้ต้องใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดใหญ่ และมีการสูญเสียพลังงานค่อนข้างมาก นอกจากนี้ของผสมอีเทน-เอทิลีนนี้จะมีค่าการระเหยสัมพัทธ์ประมาณ 1.5 ทำให้การแยกโดยการกลั่นจำเป็นต้องใช้จำนวนชั้นตอนสมดุลเป็นจำนวนมาก ทำให้หอกลิ้นที่ใช้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการแยกของผสมอีเทน-เอทิลีนซึ่งมีสัดส่วนอย่างละ 0.5 โดยโมลที่อุณหภูมิประมาณ 300 K ซึ่งของผสมทั้งสององค์ประกอบยังคงอยู่ในสถานะที่เป็นแก๊สอยู่ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะศึกษาถึง

1. ชนิดของตัวดูดซับ และตัวคายการดูดซับ ที่เหมาะสมสำหรับการแยกของผสมอีเทน-เอทิลีน

2. อิทธิพลของการแพร่ในแนวแกน และสมดุลการดูดซับแบบแลงเมียร์ ต่อลักษณะการกระจายความเข้มข้นในแต่ละโซน
3. จำนวนคอลัมน์ย่อยของทั้งหมดดูดซับที่ต้องใช้ และจำนวนคอลัมน์ย่อยในแต่ละโซนที่ต้องใช้ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความยาวของแต่ละโซน ซึ่งทำให้เกิดการแยกโดยสมบูรณ์ โดยที่อัตราการไหลในแต่ละโซนมีค่าที่เหมาะสมที่สุด