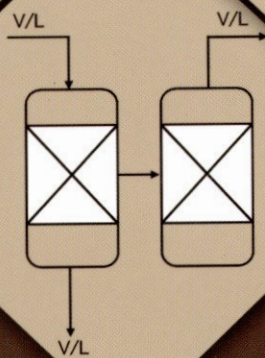
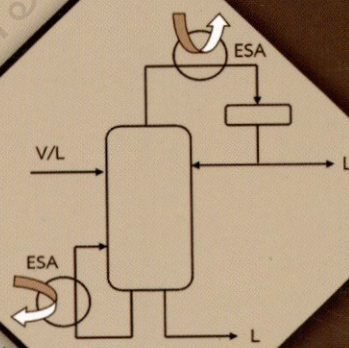
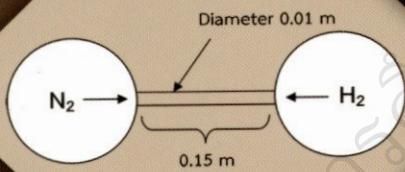
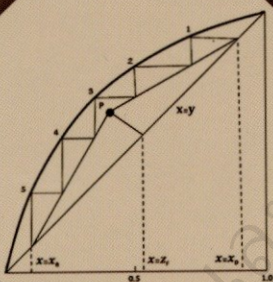




สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การถ่ายโอนมวล (Mass Transfer)



ไชยยันต์ ไชยยะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ห้องสมุดเทคโนโลยี



401016202

มวลเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาในกระบวนการทางอุตสาหกรรม
อันกระทั่งเหตุการณ์ทั่วไปในชีวิตประจำวัน”

คำนำ

ปรากฏการณ์ของการถ่ายโอนมวล (Mass Transfer) เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตลอดเวลาในทุก ๆ กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเรา แม้แต่เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในจักรวาลอันกว้างใหญ่ ก็ยังหนีไม่พ้นปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ เช่น การดูดซึมออกซิเจนเข้าสู่เซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิต การกรองแยกของเสียโดยหน่วยกรองไต การแพร่ของคาเฟอีนในน้ำร้อนขณะชงกาแฟ การดูดซับเกลือของผักในกระบวนการหมักดอง การระเหยของน้ำในนาเกลือ การเปลี่ยนแปลงทิศทางการแสน้ำร้อนของมหาสมุทร เนื่องจากปริมาณเกลือในน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลง หรือแม้กระทั่งการเกิดวงแหวนของดาวเสาร์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการถ่ายโอนอุณหภูมิจากกลุ่มดาวเคราะห์น้อยมายังบริเวณชั้นแรงดึงดูดของดาวเสาร์ ยิ่งหากตีกรอบการพิจารณาลงมาให้แคบกว่านั้นจะพบว่า การถ่ายโอนมวลล้วนแต่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางอุตสาหกรรมทางเคมีโดยทั้งสิ้น ดังนั้น ความเข้าใจในองค์ความรู้ของการถ่ายโอนมวลนี้ จึงถือเป็นส่วนที่มีความสำคัญยิ่งที่จะช่วยให้กระบวนการนั้น ๆ ดำเนินไปได้อย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานไม่ว่าจะเป็นนักวิจัย นักอุตสาหกรรมเคมี หรือวิศวกรเคมี สามารถหาคำอธิบายในปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนของการถ่ายโอนมวลได้

หนังสือเรื่องการถ่ายโอนมวลเล่มนี้ นอกจากจะใช้เป็นตำราสอนในรายวิชาการถ่ายโอนมวลสำหรับนักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมเคมี ระดับปริญญาตรีแล้ว ยังเป็นเอกสารที่ผู้เขียนมุ่งเน้นให้ความรู้ในเรื่องหลักการพื้นฐานและกลไกการถ่ายโอนมวลในลักษณะต่าง ๆ ทั้งในระดับจุลภาคและมหภาค รวมทั้งหลักการออกแบบเครื่องมือการถ่ายโอนมวลที่มักจะพบในอุตสาหกรรมเคมี ตลอดจนตัวอย่างเครื่องมือการถ่ายโอนความร้อนพร้อมกับการถ่ายโอนมวลแก่นักศึกษา วิศวกร หรือผู้ที่มีความสนใจให้สามารถนำข้อมูลและความรู้จากตำราเล่มนี้ไปใช้ในการศึกษา วิจัย หรือการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

คุณูปการใด ๆ ที่ผู้ศึกษาจะได้รับจากหนังสือเล่มนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณความดีทั้งหมดให้แก่บิดามารดา และครูอาจารย์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ผู้จัดทำตั้งแต่เกิดจนกระทั่งได้มีโอกาสทำงานได้ร่วมพระบรมโพธิสมภารในพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไชยยนต์ ไชยยะ

ตุลาคม 2560

สารบัญ

หน้า

| | |
|---|-----|
| คำนำ | |
| สารบัญ | |
| สารบัญรูป | |
| สารบัญตาราง | |
| บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานของการถ่ายโอนมวล | 1 |
| 1.1 กระบวนการถ่ายโอนมวลทางอุตสาหกรรมเคมี | 1 |
| 1.2 กลไกของการถ่ายโอนมวล | 6 |
| 1.3 การถ่ายโอนมวลในของผสมหลายองค์ประกอบ | 12 |
| 1.4 กำลังในการแยกสาร | 16 |
| 1.5 การพิจารณากระบวนการถ่ายโอนมวลที่เหมาะสม | 20 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 1 | 23 |
| บทที่ 2 สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนมวล | 25 |
| 2.1 พลังงานเอนทัลปี และการหาสมมูล | 25 |
| 2.2 สมดุลสถานะ | 34 |
| 2.3 แบบจำลองแก๊สอุดมคติและสารละลายอุดมคติ | 42 |
| 2.4 สหสัมพันธ์เชิงแผนภูมิของสมบัติทางอุณหพลศาสตร์ | 51 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 2 | 59 |
| บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานของการถ่ายโอนมวล | 63 |
| 3.1 การถ่ายโอนมวล | 63 |
| 3.2 การแพร่ระดับโมเลกุลที่สภาวะคงตัว | 65 |
| 3.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ | 78 |
| 3.4 การแพร่ของโมเลกุลผ่านตัวกลางที่หยุดนิ่งในระบบหนึ่งมิติ ทั้งแบบสภาวะคงตัว และไม่คงตัว | 95 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 3 | 112 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 4 ระบบสมดุลวิภาค | 115 |
| 4.1 กฎวิภาค | 116 |
| 4.2 สมดุลวิภาคที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายโอนมวล | 118 |
| 4.3 สมดุลระหว่างแก๊สและของเหลว | 123 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 4 | 147 |
| บทที่ 5 ทฤษฎีและการคำนวณหน่วยการดูดซึม | 151 |
| 5.1 ทฤษฎีพื้นฐาน | 151 |
| 5.2 ประเภทของอุปกรณ์ | 155 |
| 5.3 การคำนวณจำนวนชั้นสมดุลของหอดูดซึมแบบถาด | 161 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 5 | 170 |
| บทที่ 6 ทฤษฎีและการคำนวณหน่วยการกลั่น | 173 |
| 6.1 ตัวอย่างการกลั่นในงานอุตสาหกรรม | 174 |
| 6.2 พื้นฐานการกลั่น | 175 |
| 6.3 วิธีคำนวณชั้นสมดุลการกลั่นโดยวิธี McCabe-Thiele | 179 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 6 | 197 |
| บทที่ 7 ทฤษฎีและการคำนวณหน่วยการสกัดของเหลวด้วยของเหลว | 199 |
| 7.1 อุปกรณ์ของระบบการสกัดของเหลวด้วยของเหลว | 203 |
| 7.2 การคำนวณชั้นสมดุลโดยวิธีทางกราฟของ Hunter-Nash | 210 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 7 | 222 |
| บทที่ 8 ทฤษฎีและการคำนวณหน่วยการสกัดของแข็งด้วยของเหลว | 223 |
| 8.1 อุปกรณ์ของระบบการสกัดของแข็งด้วยของเหลว | 225 |
| 8.2 การคำนวณชั้นสมดุลสำหรับหน่วยการสกัดและการล้าง | 228 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 8 | 238 |
| บรรณานุกรม | 239 |
| เฉลยแบบฝึกหัด | 241 |
| ดัชนี | 245 |
| ประวัติผู้เขียน | 249 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 กระบวนการกลั่นแยกน้ำมันดิบ | 2 |
| 1.2 แผนภาพการไหลบล็อกของการผลิตแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ | 3 |
| 1.3 กระบวนการถ่ายโอนมวลของแก๊สธรรมชาติเหลว | 4 |
| 1.4 กระบวนการสังเคราะห์เอทานอล | 5 |
| 1.5 กระบวนการสังเคราะห์เอทานอลเชิงพาณิชย์ | 6 |
| 1.6 แผนภาพการไหลกระบวนการแยกมวล | 6 |
| 1.7 กระบวนการถ่ายโอนมวลประเภทต่าง ๆ (a) การสร้างวิฎภาค (b) การเติมวิฎภาค (c) การใช้อุปรสรค (d) การใช้ตัวกลางของแข็ง (e) การใช้สนามพลัง | 7 |
| 1.8 แผนภาพการไหลบล็อกของการกลั่น | 8 |
| 1.9 แผนภาพการไหลบล็อกของการระเหย | 8 |
| 1.10 แผนภาพการไหลบล็อกของการสกัด | 9 |
| 1.11 แผนภาพการไหลบล็อกของการดูดซึม | 9 |
| 1.12 แผนภาพการไหลบล็อกของการรีเวอร์สออสโมซิส | 10 |
| 1.13 แผนภาพการไหลบล็อกของการดูดซับ | 11 |
| 1.14 แผนภาพการไหลบล็อกของการแลกเปลี่ยนประจุ | 11 |
| 1.15 กระบวนการแยกสารไฮโดรคาร์บอน | 13 |
| 1.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารปนกับราคาในการดำเนินการ | 21 |
| 2.1 ระบบการแยกโดยทั่วไป | 26 |
| 2.2 วัฏจักรเครื่องยนต์ความร้อนคาร์โนต์สำหรับการแปลงความร้อนเป็นงานเพลลา | 29 |
| 2.3 หน่วยการแยกโพพิลีนออกจากโพรเพนโดยวิธีการกลั่น | 32 |
| 2.4 ความหนาแน่นของสารไฮโดรคาร์บอน | 52 |
| 2.5 ความดันไอของสารไฮโดรคาร์บอน | 52 |
| 2.6 เอนทัลปีในสถานะแก๊สอุดมคติขององค์ประกอบบริสุทธิ์ | 53 |
| 2.7 เอนโทรปีในสถานะแก๊สอุดมคติขององค์ประกอบบริสุทธิ์ | 54 |
| 2.8 ความร้อนการระเหยของโอเลฟินเบาและพาราฟินสายเบา | 54 |
| 2.9 สมดุลไอ-ของเหลว ที่ช่วงอุณหภูมิ 40 ถึง 800°F | 55 |
| 2.10 สมดุลไอ-ของเหลว ที่ช่วงอุณหภูมิ -260 ถึง 100°F | 56 |
| 2.11 เปรียบเทียบค่า K จากการทดลองและค่า K จากสมการ S-R-K | 57 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลและระยะทาง (a) EMD (b) UMD | 69 |
| 3.2 การถ่ายโอนมวลแบบ EMD | 70 |
| 3.3 การถ่ายโอนมวลแบบ UMD | 75 |
| 3.4 กราฟของ Takahashi | 84 |
| 3.5 การแพร่ในสถานะไม่คงตัวผ่านปริมาตรเชิงอนุพันธ์ Adz | 97 |
| 3.6 การแพร่หนึ่งมิติเข้าสู่ตัวกลางกึ่งอนันต์ | 99 |
| 3.7 การแพร่ในตัวกลางจำกัดที่สถานะไม่คงตัว | 104 |
| 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการแพร่ในตัวกลางที่มีความหนา ณ สถานะไม่คงตัว | 105 |
| 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับสัมประสิทธิ์การแพร่ของตัวกลางลักษณะต่าง ๆ ณ สถานะไม่คงตัว | 107 |
| 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการแพร่ในตัวกลางทรงกระบอก ณ สถานะไม่คงตัว | 107 |
| 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับการแพร่ในตัวกลางทรงกลม ณ สถานะไม่คงตัว | 108 |
| 4.1 เส้นโค้งสมดุลของเฮกเซน | 119 |
| 4.2 เส้นโค้งสมดุลของเมทานอลในรูปแบบต่าง ๆ | 120 |
| 4.3 เส้นโค้งสมดุลของการดูดซึมแอมโมเนียด้วยน้ำ | 121 |
| 4.4 เส้นสมดุลของการสกัดของเหลวในระบบน้ำ-ไกลคอล-เฟอร์ฟูรอล | 122 |
| 4.5 เส้นโค้งการละลายของสารชนิดต่าง ๆ | 123 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความเข้มข้นของระบบ | 125 |
| 4.7 เปรียบเทียบพฤติกรรมสารแต่ละสมมติฐาน | 127 |
| 4.8 เส้นสมดุลของระบบเฮกเซน-ออกเทน | 128 |
| 4.9 แผนภาพการกลั่นทั่วไป | 130 |
| 4.10 เส้นโค้งสมดุลวัฏภาคของเฮกเซน | 131 |
| 4.11 ความสัมพันธ์ของค่าการระเหยสัมพัทธ์ที่มีต่อเส้นโค้งสมดุลวัฏภาค | 132 |
| 4.12 การละลายของซิลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ | 134 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.13 สมดุลของอากาศ-แอมโมเนีย-น้ำที่อุณหภูมิ 20°C, 1 atm | 135 |
| 4.14 การละลายเข้าหากันของระบบของเหลว 3 ชนิด | 137 |
| 4.15 พิกัดรูปสามเหลี่ยม | 138 |
| 4.16 ระบบสมดุลสาร 3 ชนิดในพิกัดรูปสามเหลี่ยม | 139 |
| 4.17 ผังการไหลบล็อกของการสกัดเอทิลีนไกลคอลด้วยเฟอร์ฟูรอล | 141 |
| 4.18 กราฟสามเหลี่ยมการสกัดเอทิลีนไกลคอลด้วยเฟอร์ฟูรอล | 141 |
| 4.19 ระบบการสกัดของแข็งด้วยของเหลวหรือการชะ (Leaching) | 143 |
| 4.20 สมดุลการสกัดของแข็งในกรณีกระแสล่าง (Underflow) คงที่ | 144 |
| 4.21 สมดุลการสกัดของแข็งในกรณีกระแสล่าง (Underflow) ไม่คงที่ | 145 |
| 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมและการคาย | 151 |
| 5.2 ตัวอย่างกระบวนการดูดซึมในภาคอุตสาหกรรม | 153 |
| 5.3 ตัวอย่างกระบวนการดูดซึมในภาคอุตสาหกรรม (a) หอดูดซึมแบบถาด (b) หอดูดซึมแบบบรรจุ (c) หอดูดซึมแบบพ่นฝอย (d) หอดูดซึมแบบพองอากาศ (e) หอดูดซึมแบบใช้แรงเหวี่ยง | 156 |
| 5.4 ปรากฏการณ์บนถาดของหอดูดซึมแบบถาด | 157 |
| 5.5 พองในลักษณะต่าง ๆ บนถาดของหอดูดซึมแบบถาด (a) ละออง (b) ไร่ระเปียบ (c) กระจาย (d) คงที่ (e) หกเหลี่ยม | 158 |
| 5.6 ถาดลักษณะต่าง ๆ ของหอดูดซึมแบบถาด (a) Perforation (b) Valve cap (c) Bubble cap (d) Value caps ที่ประกอบบนถาด | 159 |
| 5.7 แผนภาพและกราฟ (a) การดูดซึม (b) การคาย | 161 |
| 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{L}{V}$ ต่อความชันเส้นปฏิบัติการ | 163 |
| 5.9 แนวทางการหาชั้นสมดุล (a) หอดูดซึม (b) หอคาย | 165 |
| 5.10 การคำนวณชั้นสมดุลของหอดูดซึม | 168 |
| 6.1 ระบบการกลั่นในภาคอุตสาหกรรม | 174 |
| 6.2 การกลั่นแบบฉับพลัน | 176 |
| 6.3 ส่วนประกอบระบบการกลั่นของหอกลั่นอุตสาหกรรม | 179 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า | |
|--------|---|-----|
| 6.4 | เส้นสมดุขของระบบ 2 องค์ประกอบ | 181 |
| 6.5 | ส่วนเพิ่มความเข้มข้นของหอกถัน | 182 |
| 6.6 | เส้นปฏิบัติการส่วนเพิ่มความเข้มข้น | 184 |
| 6.7 | ส่วนไล่สารระเหย | 185 |
| 6.8 | เส้นปฏิบัติการส่วนไล่สารระเหย | 186 |
| 6.9 | เส้นปฏิบัติการตามวิธีของ McCabe-Thiele | 187 |
| 6.10 | เส้นปฏิบัติการส่วนเพิ่มความเข้มข้น | 189 |
| 6.11 | ตัวอย่างการลากเส้นคิ้ว | 190 |
| 6.12 | การลากเส้นหาชั้นสมดุขตามวิธีของ McCabe-Thiele | 191 |
| 6.13 | เส้นปฏิบัติการในสภาวะการป้อนกลับหมด | 191 |
| 6.14 | เส้นปฏิบัติการตามวิธีของ McCabe-Thiele | 195 |
| 7.1 | ลักษณะการสกัดของเหลวด้วยของเหลวทั้ง 2 กรณี | 200 |
| 7.2 | กระบวนการสกัดของเหลวด้วยของเหลวในการผลิตกรดน้ำส้ม | 203 |
| 7.3 | มุมด้านข้างของปฏิกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบสกัดของเหลวด้วยของเหลว | 204 |
| 7.4 | ใบพัดลักษณะต่าง ๆ ในปฏิกรณ์ | 204 |
| 7.5 | หอพนฝอยทั้ง 2 ลักษณะ | 205 |
| 7.6 | ตัวอย่างการใช้ปฏิกรณ์แบบอนุกรม | 206 |
| 7.7 | แผนภาพการสกัดของเหลวด้วยของเหลว | 208 |
| 7.8 | สมดุขการสกัดโดยกราฟสามเหลี่ยม | 210 |
| 7.9 | แบบจำลองการสกัดของเหลวด้วยของเหลวแบบต่ออนุกรม | 211 |
| 7.10 | ระบบกราฟสามเหลี่ยมของการสกัดสารที่ภาวะสมดุข | 212 |
| 7.11 | แนวทางการลากเส้นปฏิบัติการ | 215 |
| 7.12 | การลากเส้นเพื่อหาจุด Plait | 216 |
| 7.13 | การลากเส้นเพื่อหาจำนวนชั้นสมดุขการสกัด | 217 |
| 7.14 | กระบวนการสำหรับตัวอย่างที่ 7.1 | 218 |
| 7.15 | กราฟสามเหลี่ยมสำหรับตัวอย่างที่ 7.1 | 219 |
| 7.16 | ตำแหน่งองค์ประกอบต่าง ๆ ในกราฟสามเหลี่ยม | 220 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 8.1 การสกัดของแข็งด้วยของเหลวในภาคอุตสาหกรรม | 224 |
| 8.2 ปฏิกรณ์สกัดแบบกะ | 225 |
| 8.3 ปฏิกรณ์สกัดแบบกะต่อเนื่อง | 226 |
| 8.4 ปฏิกรณ์สกัดแบบต่อเนื่อง | 227 |
| 8.5 ปฏิกรณ์สกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้สายพาน | 227 |
| 8.6 ปฏิกรณ์สกัดแบบไหลสวนทาง | 228 |
| 8.7 ระบบการสกัดแบบไหลสวนทางมาตรฐาน | 229 |
| 8.8 แผนภาพการสกัดสำหรับข้อ (a) | 230 |
| 8.9 แผนภาพการสกัดสำหรับข้อ (b) | 231 |
| 8.10 แผนภาพระบบการสกัดไขออกจากเยื่อกระดาษ | 234 |
| 8.11 การใช้กราฟเพื่อหาชั้นสมดุลของการสกัด | 236 |

สารบัญตาราง


| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 อัตราการไหลเชิงโมลขององค์ประกอบแต่ละตำแหน่ง | 14 |
| 1.2 ค่า SF และ SR ของแต่ละคอลัมน์ | 15 |
| 1.3 ค่า SP จากระบบการแยกสารในรูปที่ 1.15 | 17 |
| 1.4 ปัจจัยที่ใช้พิจารณาเพื่อความเหมาะสมในการเลือกใช้กระบวนการถ่ายโอนมวลสาร | 20 |
| 1.5 ลักษณะการนำไปใช้งานของระบบการถ่ายโอนมวลแบบต่าง ๆ | 22 |
| 2.1 กฎอุณหพลศาสตร์ทั่วไปสำหรับระบบไหลต่อเนื่องในสภาวะคงตัว | 27 |
| 2.2 สมบัติทางอุณหพลศาสตร์อ้างอิงตามรูปที่ 2.3 | 32 |
| 2.3 ปริมาณทางอุณหพลศาสตร์สำหรับการคำนวณสมดุลสถานะ | 38 |
| 2.4 สมการที่ใช้คำนวณค่า K สำหรับระบบสมดุลไอ-ของเหลว ($K_i = \frac{y_i}{x_i}$) | 41 |
| 2.5 สมบัติทางอุณหพลศาสตร์ของของผสมอุดมคติ | 43 |
| 3.1 ปริมาตรการแพร่เชิงโครงสร้างสำหรับระบบแก๊สผสม | 80 |
| 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในระบบแก๊สผสม 2 ชนิด | 81 |
| 3.3 ปริมาตรของอะตอมและโมเลกุลในสภาวะจุดเดือดปกติ | 85 |
| 3.4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในระบบของเหลว 2 ชนิดที่ได้จากการทดลอง | 86 |
| 3.5 ค่าพาราเซอร์ของสารประกอบทั่วไป | 88 |
| 3.6 ค่าการนำไอออนในน้ำที่อุณหภูมิ 25°C (A/cm ²) (V/cm) (g-equiv/cm ³) | 90 |
| 3.7 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในระบบของสารละลายนำไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง | 91 |
| 3.8 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในระบบของสารชีวภาพ | 92 |
| 3.9 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในระบบผลึกของแข็งและผลึกเกลือ | 93 |
| 3.10 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สในซิลิกาแบบอสัณฐาน | 94 |
| 3.11 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของแก๊สในพอลิเมอร์ | 94 |
| 4.1 สมดุลการละลายของระบบสาร 3 ชนิด | 140 |
| 5.1 ประเภทการดูดซึมในระบบต่าง ๆ | 155 |
| 5.2 เปรียบเทียบสมบัติของกรดแต่ละชนิด | 160 |
| 6.1 สมบัติการกลั่นของสารผสมชนิดต่าง ๆ | 178 |
| 6.2 ระบบตัวแปรของ McCabe-Thiele | 181 |
| 7.1 ระบบการสกัดของเหลวด้วยของเหลวในภาคอุตสาหกรรม | 201 |

สามารถยืมและติดตามหนังสือใหม่ได้ที่ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ Walai Autolib

<http://lib.rmutp.ac.th/catalog/BibItem.aspx?BibID=b00104520>



การถ่ายโอนมวล = Mass transfer / ไชยยันต์ ไชยยะ.

| | |
|------------------|--|
| Author | ไชยยันต์ ไชยยะ |
| Published | กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2560 |
| Edition | พิมพ์ครั้งที่ 1 |
| Detail | 248 หน้า ; ภาพประกอบ ; 26 ซม |
| Subject | การถ่ายเทมวล(+) |
| ISBN | 9789740336808 |
| ประเภทแหล่งที่มา |  Book |



" สำหรับเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโท "