

# สารบัญ

หน้า

|         |  |    |
|---------|--|----|
| บทที่ 1 | อุณหศาสตร์ในอุตสาหกรรม (Chemical Stoichiometry)        | 1  |
| 1.1     | การแปลงหน่วย   | 1  |
| 1.2     | เศษส่วนเชิงโมล   | 3  |
| 1.3     | กฎของก๊าซสมบูรณ์                                       | 4  |
| 1.4     | กฎของก๊าซทั่วไป (สัมประสิทธิ์อัดตัว)                   | 4  |
| 1.5     | สมการของ Clausius-Clapeyron                            | 7  |
| 1.6     | ดุลของมวล และดุลของความร้อน                            | 7  |
| 1.7     | กฎของ Raoult   | 10 |
| 1.8     | กฎของเฮนรี   | 13 |
| 1.9     | ความร้อนจำเพาะ   | 14 |
| บทที่ 2 | การส่งถ่ายของไหล (Transportation of Fluid)             | 17 |
| 2.1     | กำลัง (Power) ในการส่งถ่ายของไหล                       | 17 |
| 2.2     | เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่ปริมาณการไหล                  | 24 |
| 2.3     | อัตราการไหลภายในท่อที่ต่ออนุกรม และต่อขนาน             | 27 |
| 2.4     | การไหลภายในระบบสุญญากาศ                                | 31 |
| บทที่ 3 | เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow Metering)                  | 35 |
| 3.1     | เครื่องวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส                        | 35 |
| 3.2     | เครื่องวัดอัตราการไหลแบบพวย                            | 41 |
| 3.3     | เครื่องวัดอัตราการไหลแบบเวนทูรี                        | 42 |
| 3.4     | โรตاميเตอร์  | 43 |
| 3.5     | แผ่นทำนบ   | 45 |
| 3.6     | ท่อปีโตต์  | 47 |
| บทที่ 4 | การส่งถ่ายมวลสาย (Transportation of Slurry)            | 49 |
| 4.1     | หัวข้อพื้นฐานต่างๆ                                     | 49 |
| 4.2     | ความดันลดในการไหล                                      | 52 |
| 4.3     | อุปกรณ์ประกอบของระบบท่อส่ง                             | 63 |
| บทที่ 5 | การส่งถ่ายวัสดุผง (Transportation of Powder)           | 66 |
| 5.1     | อุปกรณ์แบบพาหะลม                                       | 66 |
| 5.2     | การลื่นไถลด้วยอากาศ                                    | 71 |
| บทที่ 6 | การคำนวณกำลังขับเคลื่อนของหม้อกวน (Power in Agitation) | 73 |
| 6.1     | รูปร่างของใบกวน  | 74 |
| 6.2     | กำลังงานในการกวนของเหลว                                | 75 |
| 6.3     | กำลังขับเคลื่อนของการกวนในระบบก๊าซ-ของเหลว             | 79 |
| 6.4     | กำลังขับเคลื่อนของการกวนกับผลของการกวน                 | 81 |

|                 |   |            |
|-----------------|---|------------|
| <b>บทที่ 7</b>  | <b>ฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidization Apparatus)</b> .....   | <b>86</b>  |
| 7.1             | หลักการทำให้ฟลูอิดไดซ์เซชันของอนุภาคของแข็ง.....  | 86         |
| 7.2             | ข้อดีและข้อเสียของการทำให้ฟลูอิดไดซ์เซชัน.....  | 87         |
| 7.3             | อัตราการเร็วของก๊าซซึ่งไหลผ่านฟลูอิดไดซ์เบด.....  | 88         |
| 7.4             | การถ่ายเทความร้อนในเครื่องมือฟลูอิดไดซ์เบด.....   | 95         |
| 7.5             | อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในเครื่องมือฟลูอิดไดซ์เบด.....   | 97         |
| 7.6             | เวลาที่เฉลี่ยที่อนุภาคของแข็งอยู่ในฟลูอิดไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง.....   | 98         |
| <b>บทที่ 8</b>  | <b>เครื่องปฏิกรณ์เคมี (Chemical Reactor)</b> .....  | <b>99</b>  |
| 8.1             | การแสดงค่าของอัตราเร็วของปฏิกิริยา.....   | 99         |
| 8.2             | เครื่องปฏิกรณ์เคมี.....   | 111        |
| <b>บทที่ 9</b>  | <b>เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (เครื่องให้ความร้อน, เครื่องระบายความร้อน, เครื่องควบแน่น) (Heat Exchangers)</b> ..... | <b>124</b> |
| 9.1             | กลไกของการถ่ายเทความร้อน และการประยุกต์.....  | 124        |
| 9.2             | เครื่องถ่ายเทความร้อน.....  | 127        |
| 9.3             | ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิของฟิล์ม.....  | 132        |
| 9.4             | เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น.....   | 135        |
| 9.5             | เครื่องให้ความร้อนแบบขดท่อ (coil type).....<br>และแบบปลอกหุ้ม (jacket type)   | 138        |
| 9.6             | เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเซลล์และท่อ.....  | 142        |
| 9.7             | เครื่องควบแน่น.....   | 146        |
| 9.8             | เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแพคเกจ.....   | 150        |
| 9.9             | เงื่อนไขปฏิบัติการที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน.....   | 152        |
| 9.10            | ความร้อนที่หนีจากท่อหุ้มฉนวน.....   | 155        |
| 9.11            | ความหนาของฉนวนที่ถูกหลักเศรษฐศาสตร์ที่สุด.....  | 157        |
| <b>บทที่ 10</b> | <b>เครื่องระเหย (Evaporator)</b> .....  | <b>159</b> |
| 10.1            | การระเหย.....   | 159        |
| 10.2            | โครงสร้างของหม้อระเหย/และการเลือกประเภทเพื่อใช้งาน.....   | 160        |
| 10.3            | การถ่ายเทความร้อนในหม้อระเหย.....   | 162        |
| 10.4            | ดุลของความร้อนและดุลของมวลสำหรับระเหย.....  | 167        |
| 10.5            | หม้อระเหยแบบ Multiple-effect.....   | 170        |
| 10.6            | การคำนวณการระเหยแบบ Multi-effect.....   | 173        |
| 10.7            | วิธีอัดไอใหม่.....  | 175        |
| 10.8            | การเดินเครื่องอุปกรณ์ระเหยและอุปกรณ์ประกอบ.....   | 178        |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| บทที่ 11 | อุปกรณ์ตกผลึก.....  | 189 |
| 11.1     | การอิมคิวย้งวด.....                                       | 189 |
| 11.2     | ผลได้ (yield) ของการตกผลึก.....                           | 190 |
| 11.3     | กฎของ $\Delta L$ .....                                    | 191 |
| 11.4     | อัตราเร็วในการเติบโตของก้อนผลึก.....                      | 191 |
| 11.5     | ตัวประกอบที่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ตกผลึก.....                | 193 |
| 11.6     | ประเภท และการเลือกใช้ อุปกรณ์ตกผลึก.....                  | 193 |
| 11.7     | การออกแบบอุปกรณ์ตกผลึก.....                               | 198 |
| บทที่ 12 | เครื่องอบแห้ง (Dryers).....                               | 200 |
| 12.1     | การเลือกประเภท.....                                       | 200 |
| 12.2     | ความชื้น (น้ำ) ในวัสดุ.....                               | 202 |
| 12.3     | อัตราการอบแห้ง.....                                       | 204 |
| 12.4     | เวลาที่ใช้ออบแห้ง.....                                    | 212 |
| 12.5     | การออกแบบเครื่องอบแห้ง.....                               | 214 |
| บทที่ 13 | หอทำน้ำเย็น (Water Cooling Tower).....                    | 229 |
| 13.1     | กราฟ อุณหภูมิ-เอ็นทัลปี.....                              | 229 |
| 13.2     | คุณสมบัติที่จำเป็นของอากาศที่ป้อนเข้า.....                | 230 |
| 13.3     | อุณหภูมิต่ำสุดที่ทำน้ำเย็นได้.....                        | 232 |
| 13.4     | อัตราการไหลต่ำสุดของอากาศ และอัตราการไหลสูงสุดของน้ำ..... | 232 |
|          | (ค่าสูงสุดของ L/G)  |     |
| 13.5     | เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของหอทำน้ำเย็น.....                 | 233 |
| 13.6     | ความสูงของชั้นบรรจุวัสดุ.....                             | 233 |
| บทที่ 14 | เครื่องปรับความชื้น ((De) Humidifier).....                | 237 |
| 14.1     | เครื่องเพิ่มความชื้น.....                                 | 237 |
| 14.2     | เครื่องลดความชื้น.....                                    | 242 |
| 14.3     | ค่าสัมประสิทธิ์เชิงปริมาตร และของ H.T.U.....              | 244 |
| บทที่ 15 | หอกั่น (Distillation Tower).....                          | 251 |
| 15.1     | การกั่นด้วยไอน้ำ.....                                     | 251 |
| 15.2     | การกั่นแบบต่อเนื่องของระบบ 2 องค์ประกอบ.....              | 253 |
| 15.3     | สหสัมพันธ์ (correlation) ของ GILLILAND.....               | 259 |
| 15.4     | การกั่นระบบหลายองค์ประกอบ.....                            | 260 |
| 15.5     | ประสิทธิภาพของชั้น.....                                   | 263 |
| 15.6     | เส้นผ่านศูนย์กลางของหอกั่นแบบ bubble-cap column.....      | 264 |
| 15.7     | การกั่นแบบเฮซีโอโทรฟ และการกั่นแบบสก็ด.....               | 266 |
| 15.8     | สมดุลไอ-ของเหลว.....                                      | 272 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| บทที่ 16 | หอดูดซึม (Absorber)   | 277 |
| 16.1     | ประเภทของหอดูดซึม   | 277 |
| 16.2     | หอบแบบไส้วัสดุ  | 278 |
| 16.3     | หอบแบบแผ่นหรือถาด   | 296 |
| บทที่ 17 | เครื่องสกัด (Extractors)                                      | 300 |
| 17.1     | ดุลของมวล   | 300 |
| 17.2     | การคำนวณการสกัดแบบไหลขนานโดยใช้กราฟ                           | 305 |
| 17.3     | การคำนวณการสกัดแบบไหลสวนทางโดยใช้กราฟ                         | 307 |
| 17.4     | การสกัดโดยใช้ตัวสกัดที่ไม่ละลายในตัวทำละลายของสารป้อน         | 311 |
| บทที่ 18 | เครื่องกรอง (Filters)   | 315 |
| 18.1     | ความสัมพันธ์เชิงมวลระหว่างของเหลวป้อน เค้กกรอง และของเหลวกรอง | 315 |
| 18.2     | ทฤษฎีของการกรอง   | 316 |
| 18.3     | การกรองที่ความดันคงที่  | 318 |
| 18.4     | การกรองทั่วไป (การกรองที่ความดันไม่คงที่)                     | 322 |
| 18.5     | การล้างเค้กกรองด้วยน้ำ  | 323 |
| 18.6     | ปฏิบัติการกรองที่เหมาะสมที่สุด                                | 325 |
| 18.7     | เค้กกรองที่อัดตัวได้  | 327 |
| บทที่ 19 | เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifuge)                                | 330 |
| 19.1     | เครื่องเหวี่ยงตกตะกอน   | 330 |
| 19.2     | เครื่องเหวี่ยงกรอง หรือ เครื่องเหวี่ยงสลัดน้ำ                 | 338 |
| บทที่ 20 | เครื่องเก็บฝุ่น (Dust Collector)                              | 342 |
| 20.1     | สมรรถนะ และ มิติมาตรฐานของไซโคลอน                             | 343 |
| 20.2     | ความดันสูญเสียของไซโคลอน                                      | 347 |
| 20.3     | ถุงกรอง   | 351 |
| 20.4     | เวนทูลรี สกริปเบอร์   | 355 |
| บทที่ 21 | เครื่องตกตะกอนทำชั้น (Thickener)                              | 357 |
| 21.1     | เครื่องตกตะกอนทำชั้นโดยแรงโน้มถ่วง                            | 358 |
| 21.2     | วิธีออกแบบถังตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง                           | 363 |
|          | สารบัญของภาคผนวก  | 376 |

# คู่มือ

## อุปกรณ์การผลิตในอุตสาหกรรมเคมี (ฉบับแก้ไข-ปรับปรุง)

### คณะผู้แปลและเรียบเรียง

- บทที่ 1, 2, 3, 4, 5, 9, 12, 14, 17, 18,  
20, 21, สารบัญของภาคผนวก : ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล
- บทที่ 6, 7 : ดร.ไพรินทร์ ชูโชติถาวร
- บทที่ 8 : ดร. ธงชัย เมธนาวิณ
- บทที่ 10, 13, 16, 19 : คุณประเวศ อัสวดากร
- บทที่ 11, 15 : ดร.วีรพจน์ ลือประสิทธิ์สกุล

### บรรณาธิการ

ดร.วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล

**อภินันทนาการ**  
จาก  
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

จัดทำโดย



660.283

เลขหมู่ 7412  
2539

เลขทะเบียน 8258

วันที่ ก 124.139

โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม  
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

**180.-**