

## รายการอ้างอิง

- Adamson, A. W., Physical Chemistry of Surfaces. 2nd ed. Interscience Publishers, New York, (1988).
- Breck, D. W., Zeolite molecular sieves :Structure Chemistry and Use. Wiley and sons, London, (1974).
- Collins, J. E., Where to use molecular sieves. Chem. Eng. Prog. 64, (1968), pp. 66-71.
- Faust, S. D., Aly, O. M., Adsorption processes for waste treatment. Butterworth, Boston, (1987).
- Garg, D. R. and Ruthven, D. M., Theoretical prediction of breakthrough curves for molecular sieve adsorption column-1. Asymptotic solution. Chem. Eng. Sci. 28, (1973), pp. 791-798.
- Kim, D. H., Linear driving force formulas for diffusion and reaction in porous catalysts. AIChE J. 35, (1989), pp. 343-356.
- Levenspiel, O. and Bischoff, R. B., Advances in Chemical Engineering. Vol. 4 Academic Press, New York, (1963).
- Mark, E. D., Zeolite and molecular sieves :Not just ordinary catalysts. Ind. Eng. Chem. Res. 30, (1991), pp. 1675-1683.
- Noll, K. E., Gournaris, V. and Hou, W. S., Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control. Lewis Publisher, Chelsea, MI, (1992).

- Reynolds, T. D., Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. Wadsworth, Inc., Belmont, CA, (1982).
- Ruthven, D. M., Principle of adsorption and adsorption Processes. Wiley and sons, New York, (1984).
- Sherwood, T. K., Pigford, R. L. and Wilke, C. R., Mass Transfer. McGraw-Hill, New York, (1975).
- Sorial, G. A., Suidan, M. T. and Vidic, R. D., Effect of GAC Characteristics on Adsorption of Organic Pollutants., Environ. Prog. 13, (1994), pp.53-57.
- Sudhir, J. and Fair, J. R., Adsorptive drying of toluene. Ind. Eng. Chem. Res. 27, (1988), pp. 2078-2085.
- Sudhir, J. and Fair, J. R., Adsorptive drying of Hydrocarbon liquids. Ind. Eng. Chem. Res. 30, (1991), pp. 177-185.
- Suzuki, M., Adsorption Engineering. Kodansha/Elsevier., Tokyo/Amsterdam, (1990).
- Vermeulen, T., Klein, G. and Hiester, N. K., Adsorption and ion exchange, Chemical Engineers 's Handbook. McGraw-Hill, New York, (1973). pp. 16-1 - 16-35.
- Wah, K. T. and Ruthven, D. M., Adsorption of water from aqueous ethanol using 3A molecular sieves. Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev. 25, (1986), pp. 17-21.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก .  
ข้อมูลการทดลองและ  
ตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาตรของ<br>อะซิโตน<br>(มิลลิลิตร) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>ก่อนการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>ก่อนการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของสาร<br>อะซิโตน<br>(กรัม) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) |
|-------------|--|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|--|
| 1           | 5                                      | 500                                  | 0.7924   | 0.0042                                 | 396.20                             | 0.0166                                 |
| 2           | 5                                      | 500                                  | 0.7921   | 0.0120                                 | 396.05                             | 0.0477                                 |
| 3           | 5                                      | 500                                  | 0.7921   | 0.0232                                 | 396.05                             | 0.0918                                 |
| 4           | 5                                      | 500                                  | 0.7922   | 0.0381                                 | 396.10                             | 0.1509                                 |
| 5           | 5                                      | 500                                  | 0.7925   | 0.0481                                 | 396.25                             | 0.1905                                 |
| 6           | 5                                      | 500                                  | 0.7924   | 0.1485                                 | 396.20                             | 0.5885                                 |
| 7           | 5                                      | 500                                  | 0.7921   | 0.1841                                 | 396.05                             | 0.7292                                 |
| 8           | 5                                      | 500                                  | 0.7921   | 0.1922                                 | 396.05                             | 0.7612                                 |
| 9           | 5                                      | 500                                  | 0.7926   | 0.2522                                 | 396.30                             | 0.9995                                 |
| 10          | 5                                      | 500                                  | 0.7924   | 0.3302                                 | 396.20                             | 1.3083                                 |

ตารางที่ ก.1 แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่นของอะซิโตนก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาตรของ<br>อะซิโตน<br>(มิลลิลิตร) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>ก่อนการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>ก่อนการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของสาร<br>อะซิโตน<br>(กรัม) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) |
|-------------|--|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|--|
| 1           | 10                                     | 500                                  | 0.7921   | 0.0042                                 | 396.05                             | 0.0168                                 |
| 2           | 10                                     | 500                                  | 0.7922   | 0.0111                                 | 396.10                             | 0.0440                                 |
| 3           | 10                                     | 500                                  | 0.7922   | 0.0140                                 | 396.10                             | 0.0556                                 |
| 4           | 10                                     | 500                                  | 0.7924   | 0.0296                                 | 396.20                             | 0.1172                                 |
| 5           | 10                                     | 500                                  | 0.7921   | 0.0557                                 | 396.05                             | 0.2208                                 |
| 6           | 10                                     | 500                                  | 0.7922   | 0.1486                                 | 396.10                             | 0.5885                                 |
| 7           | 10                                     | 500                                  | 0.7921   | 0.1805                                 | 396.05                             | 0.7147                                 |
| 8           | 10                                     | 500                                  | 0.7923   | 0.2856                                 | 396.15                             | 1.1316                                 |
| 9           | 10                                     | 500                                  | 0.7922   | 0.3434                                 | 396.10                             | 1.3602                                 |
| 10          | 10                                     | 500                                  | 0.7924   | 0.3671                                 | 396.20                             | 1.4545                                 |

ตารางที่ ก.2 แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่นของอะซิโตนก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาตรของ<br>อะซิโตน<br>(มิลลิลิตร) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>ก่อนการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>ก่อนการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของสาร<br>อะซิโตน<br>(กรัม) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) |
|-------------|--|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|--|
| 1           | 20                                     | 500                                  | 0.7920   | 0.0053                                 | 396.00                             | 0.0211                                 |
| 2           | 20                                     | 500                                  | 0.7921   | 0.0122                                 | 396.05                             | 0.0481                                 |
| 3           | 20                                     | 500                                  | 0.7921   | 0.0158                                 | 396.05                             | 0.0626                                 |
| 4           | 20                                     | 500                                  | 0.7922   | 0.0337                                 | 396.10                             | 0.1334                                 |
| 5           | 20                                     | 500                                  | 0.7921   | 0.0433                                 | 396.05                             | 0.1717                                 |
| 6           | 20                                     | 500                                  | 0.7924   | 0.1523                                 | 396.20                             | 0.6034                                 |
| 7           | 20                                     | 500                                  | 0.7923   | 0.1838                                 | 396.15                             | 0.7281                                 |
| 8           | 20                                     | 500                                  | 0.7922   | 0.2315                                 | 396.10                             | 0.9170                                 |
| 9           | 20                                     | 500                                  | 0.7921   | 0.2846                                 | 396.05                             | 1.1272                                 |
| 10          | 20                                     | 500                                  | 0.7920   | 0.3416                                 | 396.00                             | 1.3527                                 |

ตารางที่ ก.3 แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่นของอะซิโตนก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาตรของ<br>อะซิโตน<br>(มิลลิลิตร) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>ก่อนการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>ก่อนการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของสาร<br>อะซิโตน<br>(กรัม) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) |
|-------------|--|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|--|
| 1           | 30                                     | 500                                  | 0.7785   | 0.0064                                 | 389.25                             | 0.0249                                 |
| 2           | 30                                     | 500                                  | 0.7785   | 0.0099                                 | 389.25                             | 0.0385                                 |
| 3           | 30                                     | 500                                  | 0.7782   | 0.0144                                 | 389.10                             | 0.0560                                 |
| 4           | 30                                     | 500                                  | 0.7783   | 0.0286                                 | 389.15                             | 0.1113                                 |
| 5           | 30                                     | 500                                  | 0.7785   | 0.0595                                 | 389.25                             | 0.2316                                 |
| 6           | 30                                     | 500                                  | 0.7785   | 0.1443                                 | 389.25                             | 0.5617                                 |
| 7           | 30                                     | 500                                  | 0.7785   | 0.2134                                 | 389.25                             | 0.8307                                 |
| 8           | 30                                     | 500                                  | 0.7781   | 0.2859                                 | 389.05                             | 1.1123                                 |
| 9           | 30                                     | 500                                  | 0.7785   | 0.3485                                 | 389.25                             | 1.3565                                 |
| 10          | 30                                     | 500                                  | 0.7782   | 0.3647                                 | 389.10                             | 1.4191                                 |

ตารางที่ ก.4 แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่นของอะซิโตนก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส



| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาตรของ<br>อะซิโตน<br>(มิลลิลิตร) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>ก่อนการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>ก่อนการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของสาร<br>อะซิโตน<br>(กรัม) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) |
|-------------|--|--------------------------------------|--|--|------------------------------------|--|
| 1           | 40                                     | 500                                  | 0.7612   | 0.0065                                 | 380.60                             | 0.0248                                 |
| 2           | 40                                     | 500                                  | 0.7618   | 0.0101                                 | 380.90                             | 0.0385                                 |
| 3           | 40                                     | 500                                  | 0.7615   | 0.1158                                 | 380.75                             | 0.4409                                 |
| 4           | 40                                     | 500                                  | 0.7617   | 0.1567                                 | 380.85                             | 0.5968                                 |
| 5           | 40                                     | 500                                  | 0.7615   | 0.2081                                 | 380.75                             | 0.7923                                 |
| 6           | 40                                     | 500                                  | 0.7611   | 0.2564                                 | 380.55                             | 0.9757                                 |
| 7           | 40                                     | 500                                  | 0.7615   | 0.3068                                 | 380.75                             | 1.1681                                 |
| 8           | 40                                     | 500                                  | 0.7615   | 0.3181                                 | 380.75                             | 1.2112                                 |
| 9           | 40                                     | 500                                  | 0.7612   | 0.3579                                 | 380.60                             | 1.3622                                 |
| 10          | 40                                     | 500                                  | 0.7613   | 0.3921                                 | 380.65                             | 1.4925                                 |

ตารางที่ ก.5 แสดงปริมาณความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่นของอะซิโตนก่อนการดูดซับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>หลังการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>หลังการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณ<br>ความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ<br>(กรัม) |
|-------------|--|--|--|--|--|
| 1           | 5                                      | 0.7925   | 0.0031                                 | 0.0123                                 | 0.0044   |
| 2           | 5                                      | 0.7921   | 0.0088                                 | 0.0349                                 | 0.0129   |
| 3           | 5                                      | 0.7920   | 0.0170                                 | 0.0673                                 | 0.0246   |
| 4           | 5                                      | 0.7921   | 0.0286                                 | 0.1131                                 | 0.0378   |
| 5           | 5                                      | 0.7922   | 0.0355                                 | 0.1406                                 | 0.0499   |
| 6           | 5                                      | 0.7922   | 0.1125                                 | 0.4456                                 | 0.1429   |
| 7           | 5                                      | 0.7920   | 0.1406                                 | 0.5568                                 | 0.1724   |
| 8           | 5                                      | 0.7922   | 0.1500                                 | 0.5942                                 | 0.1671   |
| 9           | 5                                      | 0.7925   | 0.2103                                 | 0.8333                                 | 0.1662   |
| 10          | 5                                      | 0.7923   | 0.2890                                 | 1.1449                                 | 0.1634   |

ตารางที่ ก.6 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่นของอะซิโตนหลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>หลังการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิเมตร) | ปริมาณความชื้น<br>หลังการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณ<br>ความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ<br>(กรัม) |
|-------------|--|--|--|--|--|
| 1           | 10                                     | 0.7923   | 0.0035                                 | 0.0139                                 | 0.0029   |
| 2           | 10                                     | 0.7922   | 0.0092                                 | 0.0364                                 | 0.0075   |
| 3           | 10                                     | 0.7921   | 0.0116                                 | 0.0460                                 | 0.0095   |
| 4           | 10                                     | 0.7923   | 0.0246                                 | 0.0974                                 | 0.0198   |
| 5           | 10                                     | 0.7922   | 0.0465                                 | 0.1842                                 | 0.0366   |
| 6           | 10                                     | 0.7921   | 0.1257                                 | 0.4977                                 | 0.0908   |
| 7           | 10                                     | 0.7921   | 0.1533                                 | 0.6070                                 | 0.1077   |
| 8           | 10                                     | 0.7921   | 0.2458                                 | 0.9735                                 | 0.1581   |
| 9           | 10                                     | 0.7922   | 0.3025                                 | 1.1980                                 | 0.1622   |
| 10          | 10                                     | 0.7921   | 0.3266                                 | 1.2934                                 | 0.1610   |

ตารางที่ ก.7 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่นของอะซิโตนหลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>หลังการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>หลังการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณ<br>ความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ<br>(กรัม) |
|-------------|--|--|--|--|--|
| 1           | 20                                     | 0.7921   | 0.0042                                 | 0.0166                                 | 0.0045   |
| 2           | 20                                     | 0.7922   | 0.0096                                 | 0.0380                                 | 0.0101   |
| 3           | 20                                     | 0.7921   | 0.0125                                 | 0.0495                                 | 0.0131   |
| 4           | 20                                     | 0.7923   | 0.0268                                 | 0.1062                                 | 0.0272   |
| 5           | 20                                     | 0.7920   | 0.0346                                 | 0.1370                                 | 0.0346   |
| 6           | 20                                     | 0.7922   | 0.1255                                 | 0.4972                                 | 0.1063   |
| 7           | 20                                     | 0.7923   | 0.1526                                 | 0.6045                                 | 0.1236   |
| 8           | 20                                     | 0.7922   | 0.2013                                 | 0.7972                                 | 0.1198   |
| 9           | 20                                     | 0.7922   | 0.2531                                 | 1.0026                                 | 0.1240   |
| 10          | 20                                     | 0.7921   | 0.3103                                 | 1.2287                                 | 0.1240   |

ตารางที่ ก.8 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่นของอะซิโตนหลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>หลังการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>หลังการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณ<br>ความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ<br>(กรัม) |
|-------------|--|--|--|--|--|
| 1           | 30                                     | 0.7784   | 0.0055                                 | 0.0214                                 | 0.0035   |
| 2           | 30                                     | 0.7785   | 0.0086                                 | 0.0335                                 | 0.0050   |
| 3           | 30                                     | 0.7785   | 0.0125                                 | 0.0487                                 | 0.0073   |
| 4           | 30                                     | 0.7784   | 0.0236                                 | 0.0919                                 | 0.0194   |
| 5           | 30                                     | 0.7785   | 0.0526                                 | 0.2048                                 | 0.0268   |
| 6           | 30                                     | 0.7785   | 0.1315                                 | 0.5119                                 | 0.0498   |
| 7           | 30                                     | 0.7784   | 0.1963                                 | 0.7639                                 | 0.0668   |
| 8           | 30                                     | 0.7782   | 0.2659                                 | 1.0346                                 | 0.0777   |
| 9           | 30                                     | 0.7784   | 0.3266                                 | 1.2711                                 | 0.0854   |
| 10          | 30                                     | 0.7783   | 0.3424                                 | 1.3325                                 | 0.0866   |

ตารางที่ ก.9 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่นของอะซิโตนหลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ความหนาแน่นของอะซิโตน<br>หลังการดูดซับ<br>(กรัมต่อมิลลิลิตร) | ปริมาณความชื้น<br>หลังการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของ<br>ปริมาณความชื้น<br>(กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณ<br>ความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ<br>(กรัม) |
|-------------|--|--|--|--|--|
| 1           | 40                                     | 0.7613   | 0.0062                                 | 0.0236                                 | 0.0012   |
| 2           | 40                                     | 0.7618   | 0.0096                                 | 0.0366                                 | 0.0019   |
| 3           | 40                                     | 0.7615   | 0.1125                                 | 0.4283                                 | 0.0126   |
| 4           | 40                                     | 0.7615   | 0.1527                                 | 0.5814                                 | 0.0154   |
| 5           | 40                                     | 0.7614   | 0.2033                                 | 0.7739                                 | 0.0184   |
| 6           | 40                                     | 0.7612   | 0.2513                                 | 0.9565                                 | 0.0192   |
| 7           | 40                                     | 0.7615   | 0.3013                                 | 1.1472                                 | 0.0209   |
| 8           | 40                                     | 0.7614   | 0.3125                                 | 1.1897                                 | 0.0215   |
| 9           | 40                                     | 0.7614   | 0.3524                                 | 1.3416                                 | 0.0206   |
| 10          | 40                                     | 0.7615   | 0.3865                                 | 1.4716                                 | 0.0209   |

ตารางที่ ก.10 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และความหนาแน่นของอะซิโตนหลังการดูดซับที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาณความชื้น<br>หลังการดูดซับ<br>(%) | น้ำหนักของ<br>สารดูดซับ<br>(กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณ<br>ความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ<br>(กรัม) | ปริมาณการดูดซับ<br>( กรัมต่อกรัมสารดูดซับ ) |
|-------------|--|--|-----------------------------------|--|---|
| 1           | 5                                      | 0.0031                                 | 5.0023                            | 0.0044   | 0.0009                                      |
| 2           | 5                                      | 0.0088                                 | 5.0016                            | 0.0129   | 0.0026                                      |
| 3           | 5                                      | 0.0170                                 | 5.0059                            | 0.0246   | 0.0049                                      |
| 4           | 5                                      | 0.0286                                 | 5.0041                            | 0.0378   | 0.0076                                      |
| 5           | 5                                      | 0.0355                                 | 5.0014                            | 0.0499   | 0.0100                                      |
| 6           | 5                                      | 0.1125                                 | 5.0059                            | 0.1429   | 0.0285                                      |
| 7           | 5                                      | 0.1406                                 | 5.0053                            | 0.1724   | 0.0344                                      |
| 8           | 5                                      | 0.1500                                 | 5.0055                            | 0.1671   | 0.0334                                      |
| 9           | 5                                      | 0.2130                                 | 5.0015                            | 0.1662   | 0.0332                                      |
| 10          | 5                                      | 0.2890                                 | 5.0022                            | 0.1634   | 0.0327                                      |

ตารางที่ ก.11 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาณความชื้นหลังการดูดซับ (%) | น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ (กรัม) | ปริมาณการดูดซับ ( กรัมต่อกรัมสารดูดซับ ) |
|-------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---|--|
| 1           | 10                                 | 0.0035                          | 5.0021                     | 0.0029  | 0.0006                                   |
| 2           | 10                                 | 0.0092                          | 5.0022                     | 0.0075  | 0.0015                                   |
| 3           | 10                                 | 0.0116                          | 5.0002                     | 0.0095  | 0.0019                                   |
| 4           | 10                                 | 0.0246                          | 5.0014                     | 0.0198  | 0.0040                                   |
| 5           | 10                                 | 0.0465                          | 5.0003                     | 0.0366  | 0.0073                                   |
| 6           | 10                                 | 0.1257                          | 5.0011                     | 0.0908  | 0.0182                                   |
| 7           | 10                                 | 0.1533                          | 5.0002                     | 0.1077  | 0.0215                                   |
| 8           | 10                                 | 0.2458                          | 5.0032                     | 0.1581  | 0.0316                                   |
| 9           | 10                                 | 0.3025                          | 5.0011                     | 0.1622  | 0.0324                                   |
| 10          | 10                                 | 0.3266                          | 5.0002                     | 0.1610  | 0.0322                                   |

ตารางที่ ก.12 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตนที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



| การทดลองที่ | อุณหภูมิการทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาณความชื้นหลังการดูดซับ (%) | น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ (กรัม) | ปริมาณการดูดซับ ( กรัมต่อกรัมสารดูดซับ ) |
|-------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---|--|
| 1           | 20                                 | 0.0042                          | 5.0020                     | 0.0045  | 0.0009                                   |
| 2           | 20                                 | 0.0096                          | 5.0014                     | 0.0101  | 0.0020                                   |
| 3           | 20                                 | 0.0125                          | 5.0001                     | 0.0131  | 0.0026                                   |
| 4           | 20                                 | 0.0268                          | 5.0006                     | 0.0272  | 0.0054                                   |
| 5           | 20                                 | 0.0346                          | 5.0024                     | 0.0346  | 0.0069                                   |
| 6           | 20                                 | 0.1255                          | 5.0003                     | 0.1063  | 0.0213                                   |
| 7           | 20                                 | 0.1526                          | 5.0014                     | 0.1236  | 0.0247                                   |
| 8           | 20                                 | 0.2013                          | 5.0024                     | 0.1198  | 0.0240                                   |
| 9           | 20                                 | 0.2531                          | 5.0002                     | 0.1245  | 0.0249                                   |
| 10          | 20                                 | 0.3103                          | 5.0011                     | 0.1240  | 0.0248                                   |

ตารางที่ ก.13 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตนที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการ<br>ทดลอง<br>( องศาเซลเซียส ) | ปริมาณความชื้น<br>หลังการดูดซับ<br>( % ) | น้ำหนักของ<br>สารดูดซับ<br>( กรัม ) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณ<br>ความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ<br>( กรัม ) | ปริมาณการดูดซับ<br>( กรัมต่อกรัมสารดูดซับ ) |
|-------------|--|--|-------------------------------------|--|---|
| 1           | 30                                       | 0.0055                                   | 5.0030                              | 0.0035   | 0.0007                                      |
| 2           | 30                                       | 0.0086                                   | 5.0004                              | 0.0050   | 0.0010                                      |
| 3           | 30                                       | 0.0125                                   | 5.0011                              | 0.0073   | 0.0015                                      |
| 4           | 30                                       | 0.0236                                   | 5.0004                              | 0.0194   | 0.0039                                      |
| 5           | 30                                       | 0.0526                                   | 5.0006                              | 0.0268   | 0.0054                                      |
| 6           | 30                                       | 0.1315                                   | 5.0001                              | 0.0498   | 0.0100                                      |
| 7           | 30                                       | 0.1963                                   | 5.0002                              | 0.0668   | 0.0134                                      |
| 8           | 30                                       | 0.2659                                   | 5.0004                              | 0.0777   | 0.0155                                      |
| 9           | 30                                       | 0.3266                                   | 5.0012                              | 0.0854   | 0.0171                                      |
| 10          | 30                                       | 0.3424                                   | 5.0009                              | 0.0866   | 0.0173                                      |

ตารางที่ ก.14 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| การทดลองที่ | อุณหภูมิการทดลอง<br>(องศาเซลเซียส) | ปริมาณความชื้นหลังการดูดซับ (%) | น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม) | ผลต่างน้ำหนักของปริมาณความชื้นก่อนและหลังการดูดซับ (กรัม) | ปริมาณการดูดซับ ( กรัมต่อกรัมสารดูดซับ ) |
|-------------|------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---|--|
| 1           | 40                                 | 0.0062                          | 5.0003                     | 0.0012  | 0.0002                                   |
| 2           | 40                                 | 0.0096                          | 5.0002                     | 0.0019  | 0.0004                                   |
| 3           | 40                                 | 0.1125                          | 5.0006                     | 0.0126  | 0.0025                                   |
| 4           | 40                                 | 0.1527                          | 5.0004                     | 0.0154  | 0.0031                                   |
| 5           | 40                                 | 0.2033                          | 5.0010                     | 0.0184  | 0.0037                                   |
| 6           | 40                                 | 0.2513                          | 5.0004                     | 0.0192  | 0.0038                                   |
| 7           | 40                                 | 0.3013                          | 5.0006                     | 0.0209  | 0.0042                                   |
| 8           | 40                                 | 0.3125                          | 5.0003                     | 0.0215  | 0.0043                                   |
| 9           | 40                                 | 0.3524                          | 5.0004                     | 0.0206  | 0.0041                                   |
| 10          | 40                                 | 0.3865                          | 5.0060                     | 0.0209  | 0.0042                                   |

ตารางที่ ก.15 แสดงปริมาณความชื้นที่คงที่และปริมาณการดูดซับความชื้นจากอะซิโตนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

| $C_s$  | $q$    | $C_s^2$ | $C_s^2/q$ | $C_s/q$ |
|--------|--------|---------|-----------|---------|
| 0.0031 | 0.0009 | 0.0000  | 0.0107    | 3.4444  |
| 0.0088 | 0.0026 | 0.0001  | 0.0298    | 3.3846  |
| 0.0170 | 0.0049 | 0.0003  | 0.0590    | 3.4694  |
| 0.0286 | 0.0076 | 0.0008  | 0.1076    | 3.7632  |
| 0.0355 | 0.0100 | 0.0013  | 0.1260    | 3.5500  |
| 0.1125 | 0.0285 | 0.0127  | 0.4441    | 3.9474  |
| 0.1406 | 0.0344 | 0.0198  | 0.5747    | 4.0872  |
| 0.1500 | 0.0334 | 0.0225  | 0.6737    | 4.4910  |
| 0.2130 | 0.0332 | 0.0454  | 1.3665    | 6.4157  |
| 0.2890 | 0.0327 | 0.0835  | 2.5542    | 8.8379  |
| 1.00   | 0.19   | 0.19    | 5.95      | 45.39   |

การคำนวณ Formula of least square Method เพื่อหา

ค่าคงที่  $q_e$  และ  $K$

$$1/q_e = [\text{sum}(C_s^2/q) - (1/n) \cdot \text{sum}(C_s) \cdot \text{sum}(C_s/q)] / [\text{sum}(C_s^2) - (1/n) \cdot (\text{sum}(C_s))^2]$$

$$1/q_e = 16.3387$$

$$q_e = 0.0612$$

$$1/Kq_e = (1/n) \cdot \text{sum}(C_s/q) - (1/nq_e) \cdot \text{sum}(C_s)$$

$$1/Kq_e = 2.9083$$

$$K = 5.6180$$

สมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน

ที่อุณหภูมิการทดลอง 5 องศาเซลเซียส

$$q = q_e KC / (1 + KC)$$

$$q = 0.34C / (1 + 5.62C)$$

ตารางที่ ก.16 แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่ และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

| $C_s$  | $q$    | $C_s^2$ | $C_s^2/q$ | $C_s/q$ |
|--------|--------|---------|-----------|---------|
| 0.0035 | 0.0006 | 0.0000  | 0.0204    | 5.8333  |
| 0.0092 | 0.0015 | 0.0001  | 0.0564    | 6.1333  |
| 0.0116 | 0.0019 | 0.0001  | 0.0708    | 6.1053  |
| 0.0246 | 0.0040 | 0.0006  | 0.1513    | 6.1500  |
| 0.0465 | 0.0073 | 0.0022  | 0.2962    | 6.3699  |
| 0.1257 | 0.0182 | 0.0158  | 0.8682    | 6.9066  |
| 0.1533 | 0.0215 | 0.0235  | 1.0931    | 7.1302  |
| 0.2458 | 0.0316 | 0.0604  | 1.9120    | 7.7785  |
| 0.3025 | 0.0324 | 0.0915  | 2.8243    | 9.3364  |
| 0.3266 | 0.0322 | 0.1067  | 3.3127    | 10.1429 |
| 1.25   | 0.15   | 0.30    | 10.61     | 71.89   |

การคำนวณ Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่  $q_e$  และ  $K$

$$1/q_e = [\text{sum}(C_s^2/q) - (1/n) \cdot \text{sum}(C_s) \cdot \text{sum}(C_s/q)] / [\text{sum}(C_s^2) - (1/n) \cdot (\text{sum}(C_s))^2]$$

$$1/q_e = 11.2175$$

$$q_e = 0.0891$$

$$1/Kq_e = (1/n) \cdot \text{sum}(C_s/q) - (1/nq_e) \cdot \text{sum}(C_s)$$

$$1/Kq_e = 5.7872$$

$$K = 1.9383$$

สมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน

ที่อุณหภูมิการทดลอง 10 องศาเซลเซียส

$$q = q_e KC / (1 + KC)$$

$$q = 0.17C / (1 + 1.94C)$$

ตารางที่ ก.17 แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่ และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

| $C_s$       | $q$         | $C_s^2$     | $C_s^2/q$    | $C_s/q$      |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 0.0042      | 0.0009      | 0.0000      | 0.0196       | 4.6667       |
| 0.0096      | 0.0020      | 0.0001      | 0.0461       | 4.8000       |
| 0.0125      | 0.0026      | 0.0002      | 0.0601       | 4.8077       |
| 0.0268      | 0.0054      | 0.0007      | 0.1330       | 4.9630       |
| 0.0346      | 0.0069      | 0.0012      | 0.1735       | 5.0145       |
| 0.1255      | 0.0213      | 0.0158      | 0.7394       | 5.8920       |
| 0.1526      | 0.0247      | 0.0233      | 0.9428       | 6.1781       |
| 0.2013      | 0.0240      | 0.0405      | 1.6884       | 8.3875       |
| 0.2531      | 0.0249      | 0.0641      | 2.5727       | 10.1647      |
| 0.3103      | 0.0248      | 0.0963      | 3.8825       | 12.5121      |
| <b>1.13</b> | <b>0.14</b> | <b>0.24</b> | <b>10.26</b> | <b>67.39</b> |

การคำนวณ Formula of least square Method เพื่อหา

ค่าคงที่  $q_e$  และ  $K$

$$1/q_e = [\text{sum}(C_s^2/q) - (1/n) \cdot \text{sum}(C_s) \cdot \text{sum}(C_s/q)] / [\text{sum}(C_s^2) - (1/n) \cdot (\text{sum}(C_s))^2]$$

$$1/q_e = 23.1013$$

$$q_e = 0.0433$$

$$1/Kq_e = (1/n) \cdot \text{sum}(C_s/q) - (1/nq_e) \cdot \text{sum}(C_s)$$

$$1/Kq_e = 4.1270$$

$$K = 5.5976$$

**สมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน**

ที่อุณหภูมิการทดลอง 20 องศาเซลเซียส

$$q = q_e KC / (1 + KC)$$

$$q = 0.24C / (1 + 5.60C)$$

ตารางที่ ก.18 แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่ และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

| $C_s$       | $q$         | $C_s^2$     | $C_s^2/q$    | $C_s/q$       |
|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| 0.0055      | 0.0007      | 0.0000      | 0.0432       | 7.8619        |
| 0.0086      | 0.0010      | 0.0001      | 0.0740       | 8.6007        |
| 0.0125      | 0.0015      | 0.0002      | 0.1070       | 8.5635        |
| 0.0236      | 0.0039      | 0.0006      | 0.1436       | 6.0830        |
| 0.0526      | 0.0054      | 0.0028      | 0.5162       | 9.8146        |
| 0.1315      | 0.0100      | 0.0173      | 1.7362       | 13.2031       |
| 0.1963      | 0.0134      | 0.0385      | 2.8844       | 14.6937       |
| 0.2659      | 0.0155      | 0.0707      | 4.5501       | 17.1121       |
| 0.3266      | 0.0171      | 0.1067      | 6.2467       | 19.1264       |
| 0.3424      | 0.0173      | 0.1172      | 6.7701       | 19.7726       |
| <b>1.37</b> | <b>0.09</b> | <b>0.35</b> | <b>23.07</b> | <b>124.83</b> |

การคำนวณ Formula of least square Method เพื่อหา

ค่าคงที่  $q_e$  และ  $K$

$$1/q_e = [\sum(C_s^2/q) - (1/n) \cdot \sum(C_s) \cdot \sum(C_s/q)] / [\sum(C_s^2) - (1/n) \cdot (\sum(C_s))^2]$$

$$1/q_e = 35.9623$$

$$q_e = 0.0278$$

$$1/Kq_e = (1/n) \cdot \sum(C_s/q) - (1/nq_e) \cdot \sum(C_s)$$

$$1/Kq_e = 7.5725$$

$$K = 4.7491$$

สมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน

ที่อุณหภูมิการทดลอง 30 องศาเซลเซียส

$$q = q_e KC / (1 + KC)$$

$$q = 0.13C / (1 + 4.75C)$$

ตารางที่ ก.19 แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่ และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

| $C_s$       | $q$         | $C_s^2$     | $C_s^2/q$     | $C_s/q$       |
|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| 0.0062      | 0.0002      | 0.0000      | 0.1602        | 25.8349       |
| 0.0096      | 0.0004      | 0.0001      | 0.2425        | 25.2642       |
| 0.1125      | 0.0025      | 0.0127      | 5.0229        | 44.6482       |
| 0.1527      | 0.0031      | 0.0233      | 7.5712        | 49.5819       |
| 0.2033      | 0.0037      | 0.0413      | 11.2335       | 55.2556       |
| 0.2513      | 0.0038      | 0.0632      | 16.4471       | 65.4479       |
| 0.3013      | 0.0042      | 0.0908      | 21.7207       | 72.0900       |
| 0.3125      | 0.0043      | 0.0977      | 22.7121       | 72.6788       |
| 0.3524      | 0.0041      | 0.1242      | 30.1446       | 85.5408       |
| 0.3865      | 0.0042      | 0.1494      | 35.7803       | 92.5751       |
| <b>2.09</b> | <b>0.03</b> | <b>0.60</b> | <b>151.04</b> | <b>588.92</b> |

การคำนวณ Formula of least square Method เพื่อหา

ค่าคงที่  $q_e$  และ  $K$

$$1/q_e = [\text{sum}(C_s^2/q) - (1/n) \cdot \text{sum}(C_s) \cdot \text{sum}(C_s/q)] / [\text{sum}(C_s^2) - (1/n) \cdot (\text{sum}(C_s))^2]$$

$$1/q_e = 168.4839$$

$$q_e = 0.0059$$

$$1/Kq_e = (1/n) \cdot \text{sum}(C_s/q) - (1/nq_e) \cdot \text{sum}(C_s)$$

$$1/Kq_e = 23.7072$$

$$K = 7.1069$$

สมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน

ที่อุณหภูมิการทดลอง 40 องศาเซลเซียส

$$q = q_eKC/(1+KC)$$

$$q = 0.04C/(1+7.11C)$$

ตารางที่ ก.20 แสดงการคำนวณด้วย Formula of least square Method เพื่อหาค่าคงที่ และสมการสมดุลการดูดซับความชื้นจากอะซิโตน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



| อัตราการป้อน | 5 ลิตรต่อนาที                  |                                    |  | 10 ลิตรต่อนาที                 |                                    |  | 15 ลิตรต่อนาที                 |                                    |  | 20 ลิตรต่อนาที                 |                                    |  |
|--------------|--------------------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|--|--------------------------------|------------------------------------|--|
|              | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับ<br>(กรัม) | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับสะสม<br>(กรัม) | ความหนาแน่น<br>ของเขบต<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับ<br>(กรัม) | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับสะสม<br>(กรัม) | ความหนาแน่น<br>ของเขบต<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับ<br>(กรัม) | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับสะสม<br>(กรัม) | ความหนาแน่น<br>ของเขบต<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับ<br>(กรัม) | น้ำหนักสาร<br>ดูดซับสะสม<br>(กรัม) | ความหนาแน่น<br>ของเขบต<br>(กรัม/ซม. <sup>3</sup> ) |
| 10           | 651.0326                       | 651.0326                           | 0.7963   | 651.1245                       | 651.1245                           | 0.7964   | 650.2406                       | 650.2406                           | 0.7953   | 650.3845                       | 650.3845                           | 0.7955   |
| 20           | 651.3258                       | 1302.3584                          | 0.7965   | 653.3258                       | 1304.4503                          | 0.7978   | 650.0289                       | 1300.2695                          | 0.7952   | 651.8945                       | 1302.2790                          | 0.7964   |
| 30           | 652.0032                       | 1954.3616                          | 0.7968   | 651.1478                       | 1955.5981                          | 0.7973   | 651.1116                       | 1951.3811                          | 0.7956   | 650.3388                       | 1952.6178                          | 0.7961   |
| 40           | 650.0248                       | 2604.3864                          | 0.7964   | 650.3854                       | 2605.9835                          | 0.7969   | 650.9504                       | 2602.3315                          | 0.7957   | 650.0414                       | 2602.6592                          | 0.7959   |
| 50           | 650.0148                       | 3254.4012                          | 0.7961   | 650.5200                       | 3256.5035                          | 0.7966   | 650.1967                       | 3252.5282                          | 0.7957   | 650.1284                       | 3252.7876                          | 0.7957   |
| 60           | 651.1212                       | 3905.5224                          | 0.7962   | 650.3254                       | 3906.8289                          | 0.7964   | 651.3279                       | 3903.8561                          | 0.7958   | 650.3700                       | 3903.1576                          | 0.7957   |

ตารางที่ ก.21 แสดงการเตรียมสารดูดซับโมเลกูลาร์ ซีฟ ชนิดสามเอ โดยบันทึกน้ำหนักในแต่ละระยะความสูงของหลอดดูดซับ เพื่อกำหนดค่าการทดลองที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5, 10, 15 และ 20 ลิตรต่อนาที

| เวลา<br>(นาที) | ปริมาณความชื้นที่เก็บได้จากกระยะต่างๆของหลอดจับ (%) |        |        |        |        |
|----------------|---|--------|--------|--------|--------|
|                | 10 ซม.  | 20 ซม. | 30 ซม. | 40 ซม. | 50 ซม. |
| 0              | 0.3025  | 0.3025 | 0.3025 | 0.3025 | 0.3025 |
| 5              | 0.2326  | 0.1254 | 0.0823 | 0.0522 | 0.0520 |
| 10             | 0.2442  | 0.1367 | 0.0952 | 0.0569 | 0.0564 |
| 15             | 0.2574  | 0.1500 | 0.1084 | 0.0695 | 0.0693 |
| 20             | 0.2900  | 0.2013 | 0.1297 | 0.0710 | 0.0709 |
| 25             | 0.3000  | 0.2134 | 0.1611 | 0.0865 | 0.0932 |
| 30             | 0.2993  | 0.2266 | 0.1743 | 0.1087 | 0.1025 |
| 35             | 0.3006  | 0.2394 | 0.1875 | 0.1213 | 0.1192 |
| 40             | 0.3015  | 0.2526 | 0.2008 | 0.1346 | 0.1326 |
| 45             | 0.3013  | 0.2656 | 0.2141 | 0.1478 | 0.1461 |
| 50             | 0.3021  | 0.2788 | 0.2235 | 0.1661 | 0.1596 |
| 55             | 0.3013  | 0.2934 | 0.2406 | 0.1744 | 0.1725 |
| 60             | 0.3013  | 0.2935 | 0.2538 | 0.1876 | 0.1854 |
| 65             | 0.3022  | 0.3013 | 0.2671 | 0.2141 | 0.1996 |
| 70             | 0.3020  | 0.3019 | 0.2802 | 0.2274 | 0.2256 |
| 75             | 0.3012  | 0.3007 | 0.3012 | 0.2854 | 0.2660 |
| 80             | 0.3012  | 0.3021 | 0.3012 | 0.2825 | 0.2755 |
| 85             | 0.3021  | 0.3017 | 0.3008 | 0.2957 | 0.2854 |
| 90             | 0.3019  | 0.3012 | 0.3010 | 0.2965 | 0.2762 |
| 95             | 0.3012  | 0.3014 | 0.3022 | 0.2956 | 0.2956 |
| 100            | 0.3021  | 0.3015 | 0.3021 | 0.3012 | 0.3014 |
| 105            | 0.3012  | 0.3016 | 0.3012 | 0.2922 | 0.3020 |
| 110            | 0.3015  | 0.3017 | 0.3021 | 0.3013 | 0.3012 |
| 115            | 0.3012  | 0.3021 | 0.3019 | 0.3015 | 0.3013 |
| 120            | 0.3012  | 0.3018 | 0.3022 | 0.3013 | 0.3015 |

ตารางที่ ก.22 แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากกระยะ

10,20,30,40 และ 50 เซนติเมตรของหลอดจับ

ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 5 ลิตรต่อนาที

| เวลา<br>(นาท.) | ปริมาณความชื้นที่เก็บได้จากกระยะต่างๆของหลอดขับ (%) |        |        |        |        |
|----------------|---|--------|--------|--------|--------|
|                | 10 ซม.  | 20 ซม. | 30 ซม. | 40 ซม. | 50 ซม. |
| 0              | 0.3025  | 0.3025 | 0.3025 | 0.3025 | 0.3025 |
| 5              | 0.2566  | 0.2356 | 0.2052 | 0.1587 | 0.1022 |
| 10             | 0.2597  | 0.2456 | 0.2106 | 0.1623 | 0.1103 |
| 15             | 0.2623  | 0.2527 | 0.2228 | 0.1671 | 0.1176 |
| 20             | 0.2766  | 0.2601 | 0.2260 | 0.1711 | 0.1206 |
| 25             | 0.2966  | 0.2901 | 0.2626 | 0.1966 | 0.1526 |
| 30             | 0.2865  | 0.2926 | 0.2826 | 0.2004 | 0.1555 |
| 35             | 0.3013  | 0.3011 | 0.2962 | 0.2044 | 0.1726 |
| 40             | 0.3012  | 0.3012 | 0.2956 | 0.2064 | 0.1766 |
| 45             | 0.3016  | 0.3012 | 0.3001 | 0.2653 | 0.1824 |
| 50             | 0.3016  | 0.3011 | 0.3003 | 0.2704 | 0.2110 |
| 55             | 0.3016  | 0.3016 | 0.3006 | 0.2755 | 0.2526 |
| 60             | 0.3019  | 0.3022 | 0.3015 | 0.2808 | 0.2798 |
| 65             | 0.3016  | 0.3011 | 0.3019 | 0.2969 | 0.2741 |
| 70             | 0.3011  | 0.3012 | 0.3012 | 0.3000 | 0.2761 |
| 75             | 0.3014  | 0.3012 | 0.3019 | 0.3003 | 0.2803 |
| 80             | 0.3016  | 0.3012 | 0.3012 | 0.3009 | 0.2911 |
| 85             | 0.3011  | 0.3015 | 0.3012 | 0.3016 | 0.3000 |
| 90             | 0.3016  | 0.3012 | 0.3010 | 0.3012 | 0.3006 |
| 95             | 0.3013  | 0.3014 | 0.3012 | 0.3016 | 0.3012 |
| 100            | 0.3022  | 0.3015 | 0.3016 | 0.3012 | 0.3010 |
| 105            | 0.3015  | 0.3016 | 0.3013 | 0.3013 | 0.3014 |
| 110            | 0.3022  | 0.3017 | 0.3021 | 0.3020 | 0.3014 |
| 115            | 0.3013  | 0.3024 | 0.3018 | 0.3015 | 0.3015 |
| 120            | 0.3022  | 0.3025 | 0.3011 | 0.3013 | 0.3016 |

ตารางที่ ก.23 แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากกระยะ

10,20,30,40 และ 50 เซนติเมตรของหลอดขับ

ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 10 ลิตรต่อนาที

| เวลา<br>(นาที) | ปริมาณความชื้นที่เก็บได้จากกระยะต่างๆของหลอดขับ (%) |        |        |        |        |
|----------------|---|--------|--------|--------|--------|
|                | 10 ซม.  | 20 ซม. | 30 ซม. | 40 ซม. | 50 ซม. |
| 0              | 0.3027  | 0.3027 | 0.3027 | 0.3027 | 0.3027 |
| 5              | 0.2753  | 0.2521 | 0.2151 | 0.1723 | 0.1566 |
| 10             | 0.2776  | 0.2548 | 0.2104 | 0.1806 | 0.1634 |
| 15             | 0.2854  | 0.2546 | 0.2223 | 0.1966 | 0.1768 |
| 20             | 0.2896  | 0.2546 | 0.2263 | 0.2042 | 0.1768 |
| 25             | 0.2901  | 0.2656 | 0.2524 | 0.2123 | 0.1806 |
| 30             | 0.2914  | 0.2695 | 0.2410 | 0.2204 | 0.1992 |
| 35             | 0.2966  | 0.2756 | 0.2556 | 0.2652 | 0.1986 |
| 40             | 0.3003  | 0.2845 | 0.2774 | 0.2747 | 0.2122 |
| 45             | 0.3006  | 0.2956 | 0.2834 | 0.2845 | 0.2368 |
| 50             | 0.3010  | 0.2956 | 0.2866 | 0.2945 | 0.2688 |
| 55             | 0.3015  | 0.2965 | 0.2914 | 0.2969 | 0.2855 |
| 60             | 0.3012  | 0.2995 | 0.2945 | 0.3001 | 0.2846 |
| 65             | 0.3012  | 0.3005 | 0.2996 | 0.3002 | 0.2966 |
| 70             | 0.3016  | 0.3006 | 0.3003 | 0.3009 | 0.2911 |
| 75             | 0.3019  | 0.3010 | 0.3008 | 0.3011 | 0.3000 |
| 80             | 0.3019  | 0.3012 | 0.3001 | 0.3010 | 0.3001 |
| 85             | 0.3021  | 0.3012 | 0.3012 | 0.3010 | 0.3012 |
| 90             | 0.3022  | 0.3016 | 0.3010 | 0.3012 | 0.3012 |
| 95             | 0.3025  | 0.3019 | 0.3011 | 0.3012 | 0.3010 |
| 100            | 0.3024  | 0.3020 | 0.3015 | 0.3011 | 0.3011 |
| 105            | 0.3024  | 0.3021 | 0.3020 | 0.3011 | 0.3011 |
| 110            | 0.3025  | 0.3021 | 0.3021 | 0.3022 | 0.3019 |
| 115            | 0.3021  | 0.3024 | 0.3021 | 0.3021 | 0.3015 |
| 120            | 0.3024  | 0.3024 | 0.3022 | 0.3013 | 0.3015 |

ตารางที่ ก.24 แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากกระยะ

10,20,30,40 และ 50 เซนติเมตรของหลอดขับ

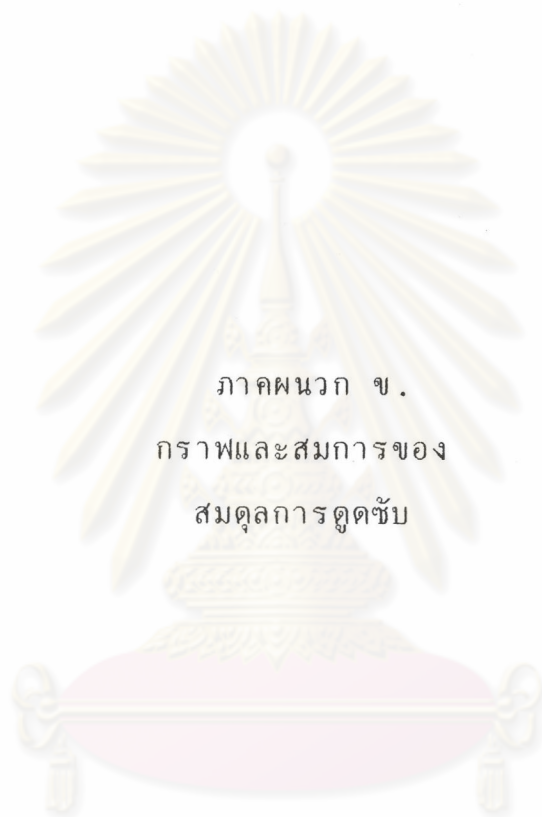
ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 15 ลิตรต่อนาที

| เวลา<br>(นาท.) | ปริมาณความชื้นที่เก็บได้จากกระชงต่างของหน่อกล้วย (%) |        |        |        |        |
|----------------|--|--------|--------|--------|--------|
|                | 10 ชม.   | 20 ชม. | 30 ชม. | 40 ชม. | 50 ชม. |
| 0              | 0.3027   | 0.3027 | 0.3027 | 0.3027 | 0.3027 |
| 5              | 0.2758   | 0.2755 | 0.2634 | 0.2203 | 0.2014 |
| 10             | 0.2801   | 0.2799 | 0.2665 | 0.2356 | 0.2011 |
| 15             | 0.2862   | 0.2833 | 0.2725 | 0.2546 | 0.2139 |
| 20             | 0.2922   | 0.2918 | 0.2805 | 0.2562 | 0.2216 |
| 25             | 0.3001   | 0.2985 | 0.2906 | 0.2635 | 0.2158 |
| 30             | 0.3006   | 0.2966 | 0.2913 | 0.2677 | 0.2236 |
| 35             | 0.3015   | 0.2956 | 0.2922 | 0.2802 | 0.2468 |
| 40             | 0.3016   | 0.2956 | 0.2918 | 0.2806 | 0.2508 |
| 45             | 0.3018   | 0.3015 | 0.2968 | 0.2885 | 0.2618 |
| 50             | 0.3019   | 0.3017 | 0.2977 | 0.2886 | 0.2697 |
| 55             | 0.3021   | 0.3018 | 0.2968 | 0.2902 | 0.2768 |
| 60             | 0.3024   | 0.3019 | 0.2969 | 0.2911 | 0.2700 |
| 65             | 0.3024   | 0.3020 | 0.2991 | 0.2922 | 0.2806 |
| 70             | 0.3024   | 0.3020 | 0.3011 | 0.2960 | 0.2911 |
| 75             | 0.3026   | 0.3021 | 0.3006 | 0.2985 | 0.2925 |
| 80             | 0.3026   | 0.3022 | 0.3016 | 0.3002 | 0.2967 |
| 85             | 0.3026   | 0.3023 | 0.3018 | 0.3009 | 0.3001 |
| 90             | 0.3026   | 0.3023 | 0.3016 | 0.3011 | 0.3009 |
| 95             | 0.3026   | 0.3025 | 0.3022 | 0.3016 | 0.3005 |
| 100            | 0.3025   | 0.3025 | 0.3015 | 0.3009 | 0.3001 |
| 105            | 0.3026   | 0.3025 | 0.3020 | 0.3011 | 0.3006 |
| 110            | 0.3026   | 0.3026 | 0.3021 | 0.3016 | 0.3005 |
| 115            | 0.3026   | 0.3026 | 0.3022 | 0.3018 | 0.3002 |
| 120            | 0.3026   | 0.3026 | 0.3025 | 0.3022 | 0.3001 |

ตารางที่ ก.25 แสดงปริมาณความชื้นในอะซิโตนที่เก็บตัวอย่างจากกระชง

10,20,30,40 และ 50 เซนติเมตรของหน่อกล้วย

ที่อัตราการป้อนอะซิโตน 20 ลิตรต่อนาที



ภาคผนวก ข .  
กราฟและสมการของ  
สมดุลการดูดซับ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข. สมการและกราฟของสมดุลการดูดซับ

การทดลองเพื่อหาสมดุลการดูดซับจะได้ข้อมูลของความเข้มข้นที่ใช้ทดลอง และปริมาณการดูดซับที่ความเข้มข้นนั้นๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาสร้างกราฟ ความสัมพันธ์จะได้กราฟความสัมพันธ์ลักษณะต่างๆกันไป 6 ลักษณะ ซึ่งจากกราฟเมื่อ สร้างสมการเพื่อให้สอดคล้องจากกราฟและข้อมูลการทดลอง สมการดังกล่าวเรียกว่า สมการของสมดุลการดูดซับ (Isotherm equations)

โดยทั่วไปแล้ว สมดุลการดูดซับจะให้กราฟความสัมพันธ์มี 6 ลักษณะ ดัง แสดงไว้ในรูปที่ ข.1

กราฟลักษณะที่ 1 เป็นกราฟเส้นตรง หมายถึงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นกราฟเส้นตรง การดูดซับที่เกิดขึ้นเป็น การดูดซับบนผิวสม่ำเสมอ (Uniform surface) ลักษณะของกราฟสอดคล้องกับ สมการสมดุลที่เรียกว่า กฎของเฮนรี (Henry's Law) ดังสมการที่ ข.1

$$q = K_H C \quad \dots \text{ข.1}$$

โดยที่  $q$  เป็นปริมาณการดูดซับ และ  $C$  เป็นความเข้มข้น ค่า  $K_H$  เป็นค่าคงที่ของ เฮนรี

กราฟลักษณะที่ 2 เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นและจะคงที่ที่ปริมาณการดูดซับค่าหนึ่ง ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นไปอีกจะไม่ทำให้ ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นตาม สมดุลการดูดซับแบบนี้ เรียกว่า Langmuir และสมการ สมดุลการดูดซับ เรียกว่า Langmuir equation ดังสมการที่ ข.2 สมมติฐานของ

$$q = q_e KC / (1 + KC) \quad \dots \text{ข.2}$$

โดยที่  $q$  เป็นปริมาณการดูดซับ และ  $C$  เป็นความเข้มข้น ค่า  $q_e$  เป็นปริมาณการดูดซับที่สมดุลแล้ว

แต่สมการการดูดซับอาจแทนด้วยสมการของ Freundlich ดังสมการที่ ข.3

$$q = K_p C^{1/n} \quad (n > 1) \quad \dots \text{ข.3}$$

โดยที่  $q$  เป็นปริมาณการดูดซับ และ  $C$  เป็นความเข้มข้น ค่า  $n$  เป็นค่าคงที่ของ Freundlich

สมมติฐานของสมดุลลักษณะนี้ คือ การดูดซับจะเกิดบนบริเวณจำเพาะที่มีจำนวนจำกัด แต่ละบริเวณดูดซับได้เพียงโมเลกุลเดียวเท่านั้น โดยไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน ระหว่างโมเลกุล และพลังงานการดูดซับเท่ากันทั้งหมด

กราฟลักษณะที่ 3 เป็นกราฟความสัมพันธ์ที่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเป็นกราฟเอกโบนเนเซียลแบบฟังก์ชันเพิ่ม ซึ่งสมการความสัมพันธ์อาจแทนด้วย สมการของ Freundlich โดยที่ค่าคงที่  $n$  มีค่าน้อยกว่า 1

กราฟลักษณะที่ 4 เป็นกราฟที่คล้ายคลึงกับกราฟลักษณะที่ 2 แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นดังกราฟ สมมติฐานของสมดุลแบบนี้คือ การดูดซับเกิดขึ้นได้มากกว่า 1 ชั้น โดยแต่ละโมเลกุลที่ถูกดูดซับไม่มีอิทธิพลระหว่างโมเลกุลข้างเคียง สมการสมดุล เรียกว่า สมการของ บีอีที (BET equation) ซึ่งย่อมาจาก Brunauer-Emmett-Teller สมการของ บีอีที ดังแสดงในสมการที่ ข.4

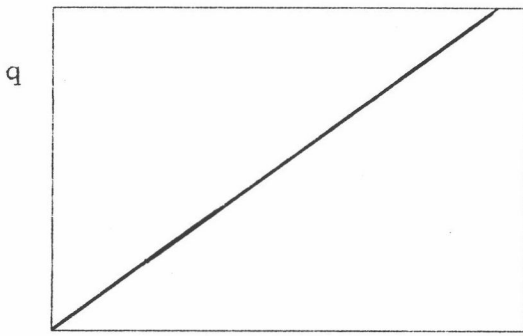
$$q = Kq_M C_T / (1 + (K-1)C_T)(1 - C_T) \quad \dots \text{ข.4}$$

โดยที่  $q$  แทนปริมาณการดูดซับ ,  $K$  แทนค่าคงที่สมดุลการดูดซับ ,  $q_M$  แทนปริมาณการดูดซับในชั้นแรก (Monolayer loading) และ  $C_T$  เป็นสัดส่วนของความเข้มข้นต่อความเข้มข้นที่อิ่มตัว ( $C/C_S$ )

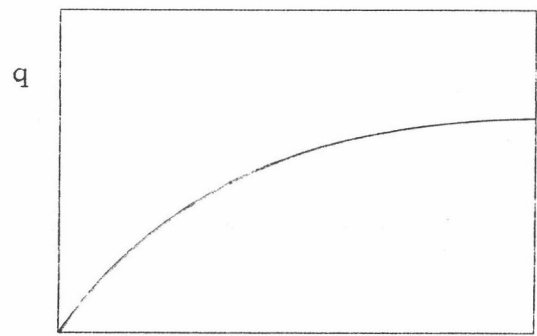
กราฟลักษณะที่ 5 เป็นกราฟที่คล้ายคลึงกับกราฟลักษณะที่ 4 แต่จะเกิดการคงที่ของปริมาณการดูดซับอีกครั้งเป็นครั้งที่สอง ระหว่างการคงที่ของปริมาณการดูดซับทั้งสองครั้ง อาจเกิดเส้นกราฟอีกเส้นซ้อนขึ้นมา เป็นผลของจลนพลศาสตร์ของการปลดปล่อยจากการดูดซับ (Desorption) เนื่องจากการดูดซับที่มากขึ้น อาจทำให้แรงที่ยึดเหนี่ยวเพื่อให้เกิดการดูดซับอ่อน จึงทำให้เกิดการปลดปล่อยโมเลกุลออกมา

กราฟลักษณะที่ 6 เป็นกราฟรูปร่างเอส โดยในช่วงแรกของกราฟจะเป็นลักษณะของกราฟรูปที่ 3 และส่วนปลายของกราฟจะเป็นลักษณะของกราฟรูปที่ 2 คือ ปริมาณการดูดซับจะคงที่ เมื่อความเข้มข้นเพิ่มถึงค่าหนึ่ง อาจเกิดการปลดปล่อยของโมเลกุลที่ถูกดูดซับไว้ก่อน จึงทำให้ได้เส้นกราฟเพิ่มซ้อนมาอีกเส้น เช่นเดียวกับกราฟลักษณะที่ 5

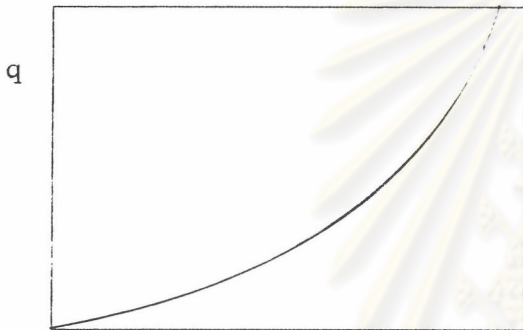




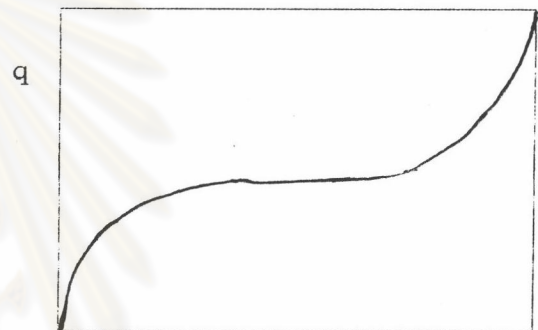
กราฟลักษณะที่ 1



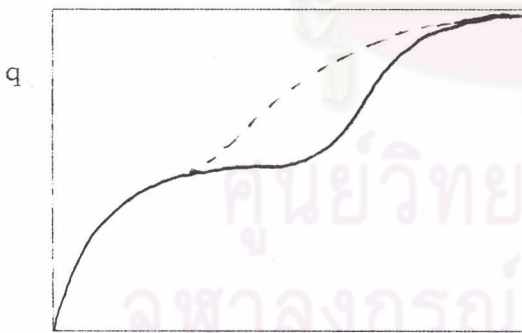
กราฟลักษณะที่ 2



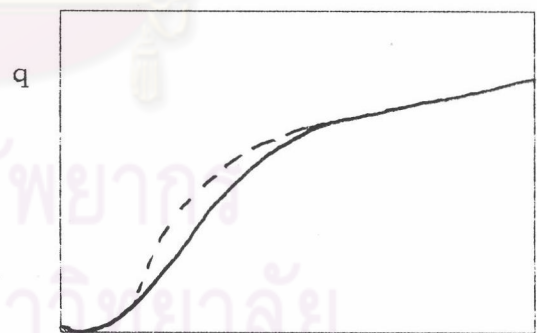
กราฟลักษณะที่ 3



กราฟลักษณะที่ 4



กราฟลักษณะที่ 5



กราฟลักษณะที่ 6

รูปที่ ข.1 แสดงกราฟของสมดุลการดูดซับลักษณะต่างๆ 6 ลักษณะ



ภาคผนวก ค.

การคำนวณหาค่า NTU

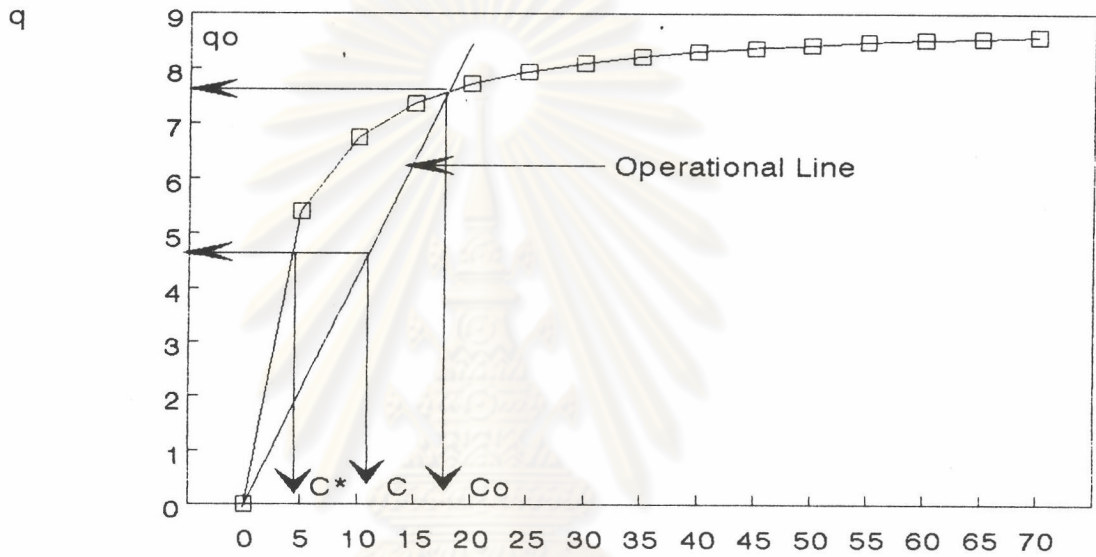
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การคำนวณ NTU จาก Langmuir Equation.

Isotherm :  $q = \frac{q_e KC^*}{1+KC^*}$  ... ค.1

NTU :  $NTU = \frac{dC}{C - C^*}$  ... ค.2

และจากกราฟ



จาก Operational Line :  $q = (q_0/C_0)C$  ... ค.3

และ  $q_0 = \frac{q_e KC_0}{1+KC_0}$  ... ค.4

จากสมการที่ ค.1, ค.2 และ ค.4

$$\frac{(q_0/C_0)C}{1+KC_0} = \frac{q_e KC^*}{1+KC^*}$$

... ค.5

กำหนดให้  $r = \frac{1}{1+KC_0}$

สมการที่ ค. 5 เขียนได้ใหม่เป็น

$$rC + KrC^*C = C^* \quad \dots \text{ค.6}$$

$$C^* = \frac{rC}{1-KCr} \quad \dots \text{ค.7}$$

แทนสมการที่ ค.7 ลงในสมการที่ ค.2

$$\frac{1}{C-C^*} = \frac{1}{\frac{1-Cr}{(1-KCr)}} = \frac{1-KCr-r+r}{C(1-KCr-r)}$$

$$\frac{1}{C-C^*} = \frac{1}{C} + \frac{A}{C} + \frac{B}{(1-KCr-r)} \quad \dots \text{ค.8}$$

$$A = \frac{1}{1-r}$$

$$B = AKr = \frac{Kr^2}{1-r}$$

แทนค่า A,B ลงในสมการที่ ค.8 และนำสมการที่ ค.8 แทนลงในสมการที่ ค. 2

ทำการอินทิเกรตสมการที่ ค. 2 จะได้สมการที่ ค. 9

$$NTU = \frac{1}{1-r} \ln(C_E/C_B) + \frac{1}{1-r} \ln[(1-r-KC_Br)/(1-r-KC_ER)]^{(r/(1-r))}$$

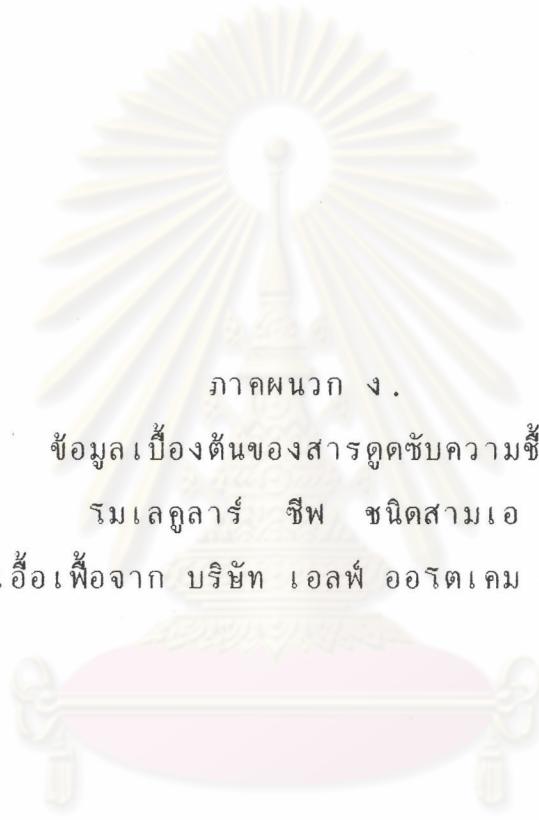
$$NTU = \frac{1}{1-r} \ln(C_E/C_B) + \frac{r}{1-r} \ln(C_E/C_B)$$

$$NTU = \frac{1+r \ln(C_E/C_B)}{1-r} \quad \dots \text{ค.9}$$

กำหนดให้  $C_E = 0.9 C_o$  และ  $C_B = 0.1 C_o$

ดังนั้น

$$NTU = \frac{1+r \ln(9)}{1-r} = 2.1972 \frac{1+r}{1-r}$$



ภาคผนวก ง .

ข้อมูลเบื้องต้นของสารคดีระดับความขึ้น  
โรมเลตุลาร์ ชิพ ชนิดสามเอ  
เอื้อเพื่อจาก บริษัท เอลฟ์ ออโตเคม จำกัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



# Adsorbents

PRODUCT INFORMATION



## MOLSIV® ADSORBENT Type 3A

### Description

MOLSIV® ADSORBENT Type 3A, the potassium form of the Type A Crystal structure, is an alkali metal alumino-silicate. Type 3A will adsorb molecules with critical diameters up to 3 angstroms.

### Applications

Type 3A is the preferred Molecular Sieve adsorbent for the commercial dehydration of unsaturated hydrocarbon streams such as cracked gas, propylene, butadiene, and acetylene. It is also used for drying polar liquids such as ethanol.

The small pore size of Type 3A prevents coadsorption of hydrocarbons by excluding all other molecules while adsorbing water.

### Chemical Formula



### Regeneration

MOLSIV® ADSORBENT Type 3A can be regenerated for re-use by heating with simultaneous purge, or by evacuation. The degree of regeneration (water removal) is dependent on the temperature and humidity of the purge gas.

### Shipping Information

MOLSIV® ADSORBENT Type 3A is available as powder, 1/16-in. and 1/8-in. pellets. It is shipped in non-returnable steel containers.

| Container Size | Net Weight in lbs. |        |
|----------------|--------------------|--------|
|                | Pellets            | Powder |
| 1 gal.         | 5                  | 2      |
| 10 gals.       | 50                 | —      |
| 22 gals.       | —                  | 50     |
| 55 gals.       | 300                | 200    |

| Typical Properties                      | 1/16" Pellets  | 1/8" Pellets                 | Powder                       |
|---|--|------------------------------|------------------------------|
| Nominal Pore Diameter                   | 3 Angstroms  | 3 Angstroms                  | 3 Angstroms                  |
| Bulk Density                            | 40 lb/cu ft  | 40 lb/cu ft                  | —                            |
| Hydrated Wet Density                    | —  | —                            | 2.03 g/cc                    |
| Activated Dry Density                   | —  | —                            | 1.57 g/cc                    |
| Particle Diameter                       | 0.0575 in.<br>to 0.0775 in.                                      | 0.115 in.<br>to 0.135 in.    | < 10 microns*                |
| Crush Strength                          | 5.0 lbs  | 12.0 lbs                     | —                            |
| Crystal Structure                       | —  | —                            | Cubic                        |
| Heat of Adsorption (max.)               | 1800 btu/lb H <sub>2</sub> O                                     | 1800 btu/lb H <sub>2</sub> O | 1800 btu/lb H <sub>2</sub> O |
| Equilibrium H <sub>2</sub> O Capacity** | 20% wt   | 20% wt                       | 23% wt                       |
| Water Content (as shipped)              | <1.5% wt   | <1.5% wt                     | <2.5% wt                     |
| Molecules Adsorbed                      | Molecules with an effective diameter < 3 angstroms, e.g., water  |                              |                              |
| Molecules Excluded                      | Molecules with an effective diameter > 3 angstroms, e.g., ethane |                              |                              |

\*Agglomerate particle size. Average crystal size is 1.0 to 4.0 microns.

\*\*Lbs H<sub>2</sub>O/100 lbs activated adsorbent at 17.5 mm Hg, 25°C.

## Practical advices on usage

Below we answer the most frequently-asked questions relating to use of molecular sieves in the insulating glass industry.

### 1. Which type of sieve to use?

In the table below we give an indication of the choices before the manufacturer, according to the type of mastic sealant used and the type of insulating glass manufactured.

**NB:** In countries with a cold climate (mountain regions, Northern Europe etc.) we strongly recommend SILIPORITE NK 30 (3 Å) with the exception of single seal insulating glass units with a high solvent level.

Our technical personnel is at your disposal to discuss your particular problem and guide your choice.

| Type of insulating glass                        | NK 30 (3 Å) | SILIPORITE<br>NK 10 (4 Å) | G 5 (10 Å) |
|---|-------------|---------------------------|------------|
| Single seal polysulphide with solvent           | O           | O                         | ++         |
| Hot melt  | ++          | +                         | O          |
| Dual seal: butyl/polysulphide or butyl/silicone | ++          | ++                        | +          |
| Single seal: epoxy/polysulphide                 | ++          | ++                        | +          |
| Gas filled insulating glass                     |             |                           |            |
| - automated production line                     | ++          | O                         | O          |
| - manual production line                        | ++          | +                         | O          |
| Dual seal insulating glass with low deflexion   |             |                           |            |
| - normal climates                               | ++          | +                         | O          |
| - cold climates                                 | ++          | O                         | O          |
| ++ sieve recommended                            |             |                           |            |
| + sieve acceptable                              |             |                           |            |
| O sieve not acceptable                          |             |                           |            |

## 2. What sieve quantity should be used?

The theoretical quantity of desiccant to use in manufacturing insulating glass depends on several factors:

- Dimensions of the insulating glass unit (length, width);
- Thickness of interior space (6, 8, 12 mm);
- Conditions of manufacture (temperature, relative humidity, etc.);
- Characteristics of the sieve used;
- Permeability of the mastic sealant used;
- Length of life desired.

In practice, additional factors to be taken into consideration are:

- Greatest permeability in corners;
- Special climatic conditions;
- Manufacturing risks;
- Safety margin; etc.

To have an adequate safety margin, therefore, it is necessary to use a larger sieve quantity than the theoretical amount.

As the cost of the sieve is very low in relation to the cost of the insulating glass manufactured, it is advisable to fill the **4 sides if possible**.

We can give the following indications for use:

### SILIPORITE G 5 (10 Å) or NK 10 (4 Å) molecular sieve

Precautions for use should be taken for small volumes brought to a very low temperature (nitrogen adsorption by 10 Å and 4 Å molecular sieves at low temperature). In this case, it is preferable only to fill 2 sides or rather to use the SILIPORITE NK 30 (3 Å). (See table below).

### SILIPORITE NK 30 (3 Å) molecular sieve

SILIPORITE NK 30 (3 Å) neither adsorbs nor desorbs nitrogen, so it causes no concave or convex deformation.

4 sides can therefore be filled without any problems, whatever the dimensions of insulating glass and type of spacers used.

This solution offers the maximum safety, especially for small units, even at very low temperatures.

| Surface of insulating glass           | 6 mm spacers | 12 mm spacers |
|---------------------------------------|--------------|---------------|
| Less than 0,3 m <sup>2</sup>          | 2 long sides | 2 long sides  |
| 0,3 m <sup>2</sup> – 3 m <sup>2</sup> | 3 or 4 sides | 2 long sides  |
| More than 3 m <sup>2</sup>            | 4 sides      | 2 or 4 sides  |

## 3. Which granulometry to choose?

The granulometry to use depends simply on the type and shape of spacer used.

For double or triple glazing with 5 or 6 mm spacers, use of the small granulometry SILIPORITE molecular sieve (1 or 1,3 mm) makes it possible to increase the weight of sieve per linear metre.

| Granulometry       | Spacer width in mm |   |   |   |    |    |    |    |    |    |          |
|--------------------|--------------------|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----------|
|                    | 2                  | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | and more |
| 1,0 mm (0,6 – 1,2) | █                  |   |   |   |    |    |    |    |    |    |          |
| 1,3 mm (1,0 – 1,6) |                    | █ |   |   |    |    |    |    |    |    |          |
| 1,6 mm (1,2 – 2,0) |                    |   | █ |   |    |    |    |    |    |    |          |
| 2,0 mm (1,8 – 2,8) |                    |   |   | █ |    |    |    |    |    |    |          |

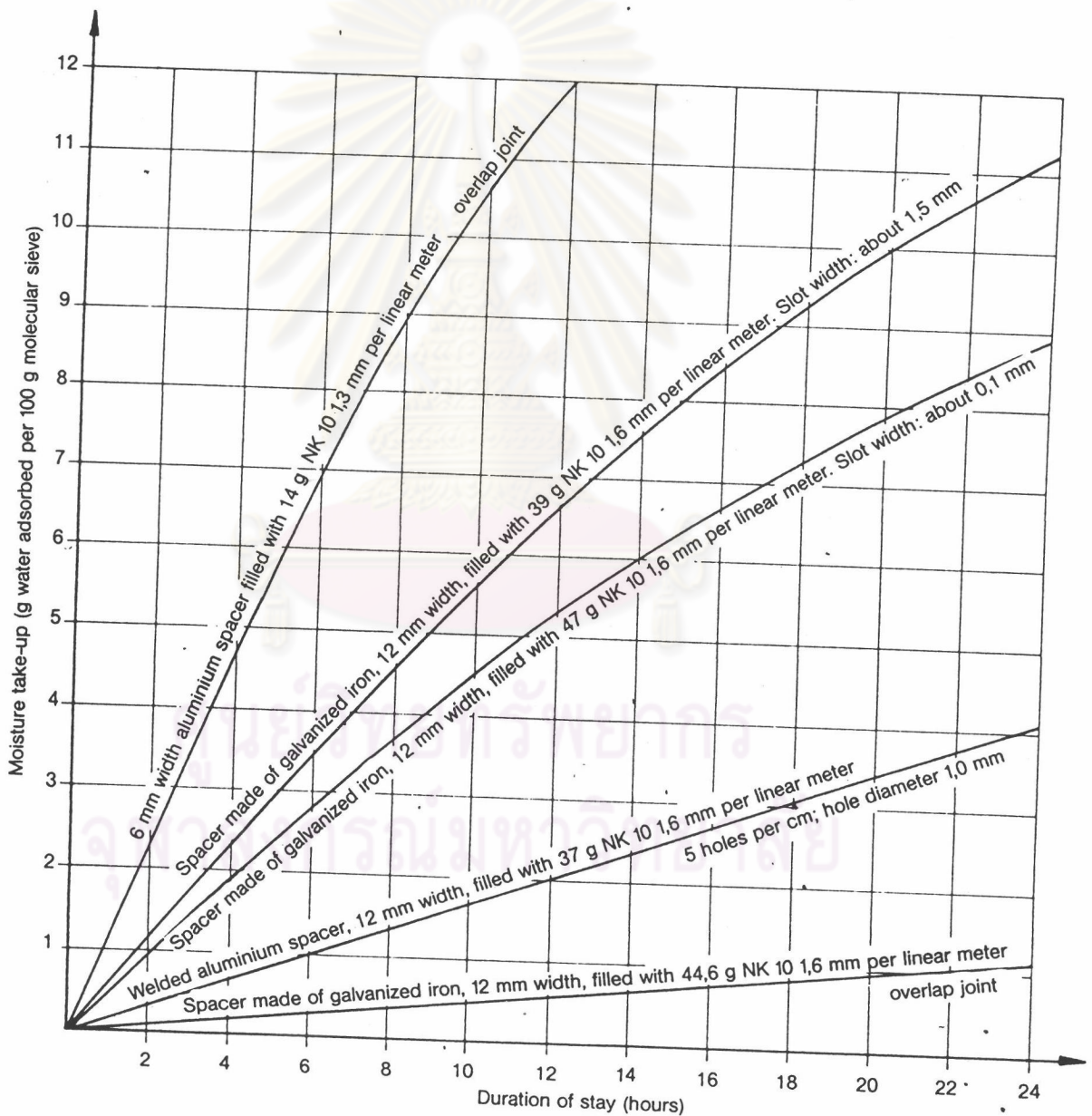


**4. What is the moisture take-up of molecular sieves in spacers during manufacture?**

Laboratory tests on assembled frames showed that, for a given temperature and relative humidity, the moisture take-up of the adsorbent depends simply on the surface of the perforations or the shape of the spacers and not on the type of adsorbent; with the same spacers, the moisture take-up is practically identical for silica gel or molecular sieves. The moisture take-up is practically linear.

In curve 8 we give some examples of moisture take-up for different types of spacers.

With well-formed spacers, the assembled frames may be stored for several hours without any problems.



Curve 8: Some examples of moisture take-up by SILIPORITE NK 10 beads (4 Å) for different types of spacers exposed at 25 °C to 50% relative humidity.

**5. What effect do molecular sieves have on deflexion of insulating glass? Nitrogen adsorption and desorption**

Deflexion is deformation of insulating glass due to pressure variations.

One can find:

underpressure: this causes concave wall deformation

overpressure: this causes convex wall deformation.

Deformation due to the action of molecular sieves adds to deformation caused by atmospheric factors. Variations of altitude, atmospheric pressure and temperature cause deformation by changing the pressure inside the insulating glass, independently of the presence or absence of the molecular sieve.

1. Type 10 Å and type 4 Å molecular sieves can cause additional underpressure or overpressure as these molecular sieves can adsorb or desorb nitrogen according to temperature. (See curve 9).

As far as oxygen is concerned, the phenomenon is the same but it has very little effect.

Inversely, if the temperature rises, the adsorption capacity of the 10 Å or 4 Å molecular sieve for nitrogen decreases, and some nitrogen is desorbed by the sieve. This nitrogen desorption increases pressure in the inner space. This additional overpressure adds to the "normal" overpressure caused by the temperature rise.

The experimental results show that the maximum deflexion is obtained:

With insulating glass with small dimensions;

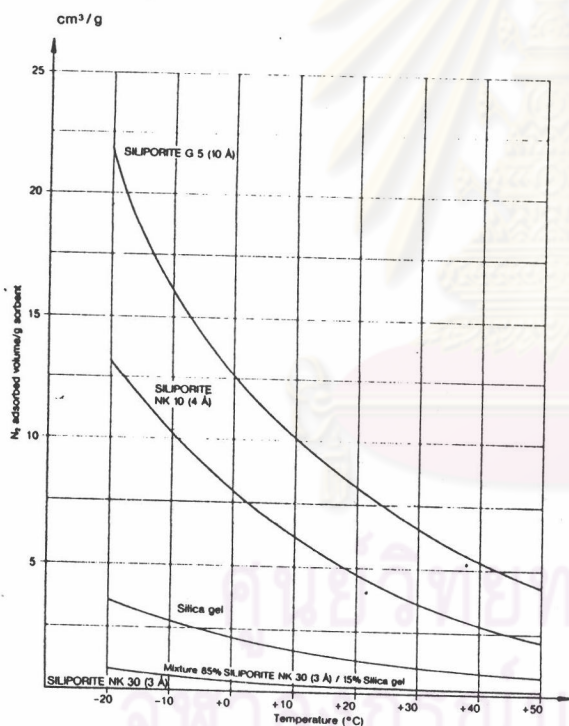
With low temperatures (underpressure);

With insulating glass using 10 Å molecular sieves.

2. Curve 9 shows that the SILIPORITE molecular sieve NK 30 (3 Å) does not adsorb (therefore does not desorb) nitrogen. This type of molecular sieve is therefore more often used to reduce the problems of deflexion, particularly in countries with a cold climate.

**6. How to make a rapid check of the activity of a molecular sieve?**

The exothermic method known as  $\Delta t$  is the quickest method of checking and gives quite a good indication. CECA supplies a complete test kit for this purpose.



Curve 9: Equilibrium nitrogen adsorption isobares at P = 760 mm Hg (Trial made on perfectly dried sorbent samples)

Curve 9 shows that if the temperature of insulating glass containing air and a type 10 Å or 4 Å molecular sieve decreases, the molecular sieve adsorbs more nitrogen because its nitrogen adsorption capacity increases when the temperature falls.

This causes additional underpressure, which adds to the "normal" underpressure caused by the fall in temperature.

(Mariotte and Gay Lussac Law  $P = \frac{nRT}{V}$ )



A more accurate method of control can be carried out using a Dewar flask.

## Characteristics of SILIPORITE molecular sieves with special beads for the insulating glass industry

### Description:

SILIPORITE molecular sieves are synthetic zeolites with a crystalline structure, type A for SILIPORITE NK 30 (3 Å) and NK 10 (4 Å) and type X for SILIPORITE G 5 (10 Å).

The sieves are completely stable over a period of time under the conditions of use for insulating glass.

### Physical properties (\*)

|   | SILIPORITE |        |      |
|---|------------|--------|------|
|   | NK 30      | NK 10  | G 5  |
| Pore diameter   | 3 Å        | 4 Å    | 10 Å |
| Adsorption capacity at equilibrium 25 °C (**)<br>and 10% relative humidity (% weight)                     | 19%        | 20%    | 20%  |
| 50% relative humidity (% weight)  | 21%        | 22%    | 23%  |
| Solvent adsorption capacity at a partial pressure of 50% saturation (% weight)<br>(toluene, MEK, benzene) | 1 - 2%     | 1 - 2% | 16%  |
| Apparent density  | 0,76       | 0,75   | 0,67 |
| Moisture content  | <1%        | <1%    | <1%  |

### Commercial granulometries

| Type                   | Quality | Granulometry |
|------------------------|---------|--------------|
| SILIPORITE NK 30 (3 Å) | 1,0     | 0,6 - 1,2 mm |
|                        | 1,3     | 1,0 - 1,6 mm |
|                        | 1,6     | 1,2 - 2,0 mm |
|                        | 2,0     | 1,6 - 2,5 mm |
| SILIPORITE NK 10 (4 Å) | 1,0     | 0,6 - 1,2 mm |
|                        | 1,3     | 1,0 - 1,6 mm |
|                        | 1,6     | 1,2 - 2,0 mm |
|                        | 2,0     | 1,6 - 2,5 mm |
| SILIPORITE G 5 (10 Å)  | 1,3     | 1,0 - 1,6 mm |
|                        | 1,6     | 1,2 - 2,0 mm |

(\*) Mean indicative values

(\*\*) Capacity measured on activated product (2 hours at 550 °C.)

### TECHNICAL APPLICATIONS of the CECA SILIPORITE

| Industry                                  | Use   | Siliporite | Comments  |
|---|---|------------|---|
| REFINERIES                                | Drying of the reforming gas   | 4 Å        | Residual water content less than 1 ppm after treatment.   |
|   | Drying of the hydrocracking gas   | 4 Å        | - d°  |
|   | LPG sweetening (removal of hydrogen sulphide and mercaptans)  | 10 Å       | Siliporite with large pore openings are necessary to ensure a good desorption of the mercaptans.  |
| CHEMICAL AND<br>PETROCHEMICAL<br>INDUSTRY | Cracked gas and olefins drying  | 3 Å        | The Siliporite 3 Å is used to prevent the coadsorption of olefins in the sieve's micropore network. A purge is carried out before heating step. A residual water content less than 1 ppm is obtained. |
|   | Drying a gas rich in hydrogen   | 4 Å        | After treatment, a water content of nearly 1 ppm is obtained.   |
|   | Drying of cuts ethane-ethylene  | 3 Å        |   |
|   | Liquid or gas propylene drying  | 3 Å        |   |
|   | Purification of commercial ethylene before polymerisation (removal of traces of CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O methanol, etc.). | 5 Å        | The liquids can be dried until 1 ppm residual water is obtained. If the liquid to be treated is methanol or olefin, the Siliporite 3 Å must be used.  |
|   | Drying of organic liquids (kerosene, hexane, benzene, cyclohexane, propylene, methanol, ethanol, isopropanol, etc.).                | 3 Å<br>4 Å |   |
|   | Separation of isomere hydrocarbons.   | 5 Å        |   |
|   |   |            |   |

| Industry       | Use  | Siliporite             | Comments  |
|----------------|--|------------------------|---|
| NATURAL GAS    | Treatment of liquified natural gas (elimination of H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S and mercaptans). | 4 Å<br>5 Å<br>10 Å     | The choice of Siliporite to be used depends on the required specifications and purification.  |
|                | CO <sub>2</sub> elimination from natural gas.  | 4 Å<br>5 Å             | The choice of Siliporite depends on the concentration in CO <sub>2</sub> and of the heavy hydrocarbons.   |
|                | Drying of natural gas  | 5 Å<br>4 Å             | A water content less than 1 ppm in the treated gas, is reached.   |
|                | Sweetening of natural gas  | 4 Å<br>5 Å<br>10 Å     | Removal of H <sub>2</sub> S, mercaptans and of other sulphides compounds.   |
| INDUSTRIAL GAS | Drying and purification of inert gas   | 3 Å, 4 Å,<br>5 Å, 10 Å | A water content less than 1 vpm after treatment can be achieved.  |
|                | Ammonia removal in the inert gases   | 4 Å                    | Ammonia content of about 1 vpm at the end of the process is obtained.   |
|                | Air drying at low pressure   | 4 Å                    | Very efficient, compared to other adsorbents, molecular sieves are not affected by the rise in temperature due to the adsorption heat which is especially sensitive in this case. |
|                | Drying and removal of CO <sub>2</sub> from air before the air liquefaction units   | 10 Å                   | Water and CO <sub>2</sub> content of about 1 vpm is reached.  |
|                | Oxygen air enrichment  | 5 Å                    | Possibility of having concentrations of O <sub>2</sub> up to 95%.   |
|                | Purification and enrichment of hydrogen  | 5 Å                    | Possibility of purifying a gas of 60% H <sub>2</sub> to obtain hydrogen at 98% minimum.   |

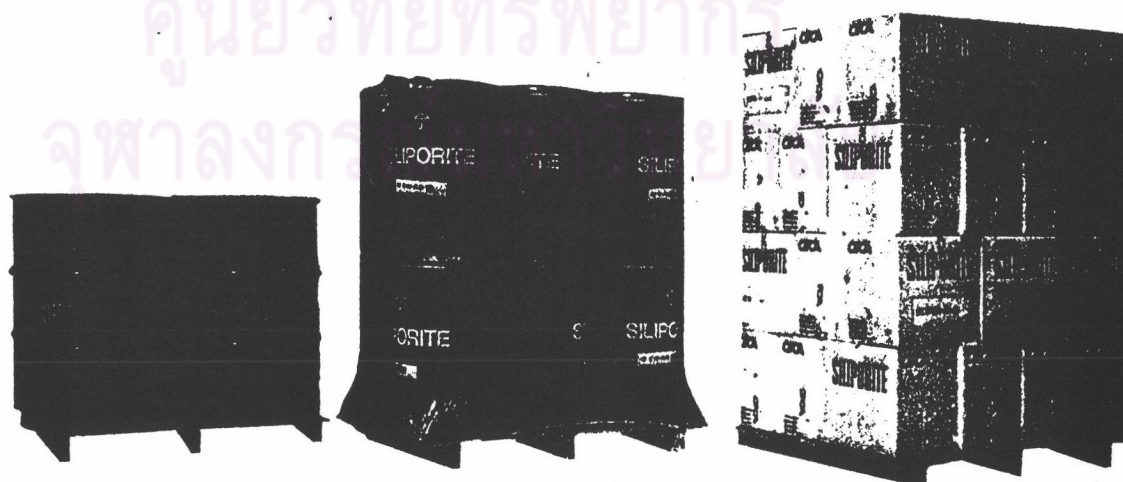
This guide is by no means no exhaustive do not hesitate to consult us for any other information you may require.

## Packaging

SILIPORITE molecular sieves in bead form „specially designed for the insulating glass industry” are delivered in completely air-tight drums.

For protection – during storage and use, the sieves are packed in a very thick polyethylene bag placed inside the air-tight drum (double protection).

| volume | net weight | remarks                        |
|--------|------------|--------------------------------|
| 217 l  | 150 kg     | NK 10 only                     |
| 87 l   | 60 kg      | NK 10/NK 30                    |
|        | 50 kg      | G 5                            |
| 40 l   | 25 kg      | on request:<br>NK 10/NK 30/G 5 |



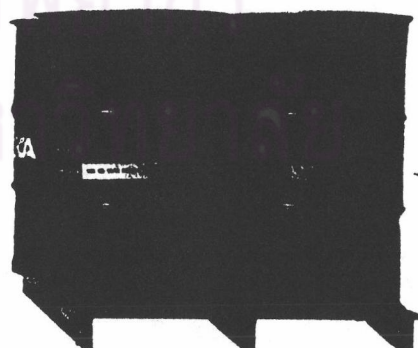
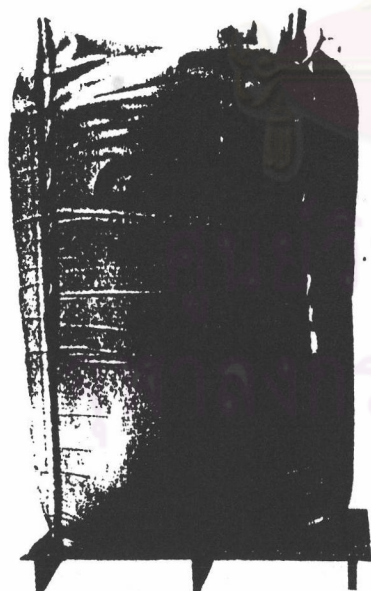
### The SILIPORITE range

| SILIPORITE      | Form                | Particle Size (mm)             | Relative Humidity (%) |
|-----------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|
| SILIPORITE 3 Å  | Extrudates<br>Beads | Ø 1,6 and 3 mm<br>2,0 and 4 mm | 19 % approx.          |
| SILIPORITE 4 Å  | Extrudates<br>Beads | Ø 1,6 and 3 mm<br>2,0 and 4 mm | 20 % approx.          |
| SILIPORITE 5 Å  | Extrudates<br>Beads | Ø 1,6 and 3 mm<br>2,0 and 4 mm | 19,5 % approx.        |
| SILIPORITE 10 Å | Extrudates<br>Beads | Ø 1,6 and 3 mm<br>2,0 and 4 mm | 20,5 % approx.        |

On special request SILIPORITE can be delivered in bead form in the average particule sizes of 1 - 1,3 - 1,6 mm or larger than 4 mm. Please do not hesitate to contact us with regard to any particular application.

### Packaging

| Packaging Type          | Weight (kg) | Dimensions (mm)                |
|-------------------------|-------------|--------------------------------|
| Big bag (polypropylene) | 1 400       | ← ----- 1 000 ----- →          |
| Metal drums             | 217         | 150      140      150      125 |



### ประวัติผู้เขียน

นายแดน อินทร์มา เกิดวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2511 ที่แขวง  
คลองถนน เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีจากภาควิชา  
เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2534  
และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2537

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกรกระบวนการผลิต ส่วนการผลิต ฝ่าย  
โรงงาน บริษัทยูไนเต็ดฟาร์มมาแอนดีไบรอดีคส์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด นิคมอุตสาหกรรม  
นวนคร ปทุมธานี



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย