ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บรรณานุกรม

1. พล ล่าเกทอง. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟลูอิไดเซชัน. ตำราประกอบการสอน, ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

2. รัตนา ค่านตียานนท์. "การทำข้าวนึ่งให้แห้งในฟลูอิไดซ์เบด." วิทยานิพนธ์ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522.

3. Kunii, D. and Levenspiel, O. Fluidization Engineering. John Wiley and Sons, New York, 1969.

4. Ergun, S. "Fluid Flow Through Packed Columns." Chem. Eng. Progr. 48 (1952): 89-94.

5. Wen, C.Y. and Yu, Y.H. AIChE Journal. 12 (1966): 610-615.

6. Shirai, T. Fluidized Bed. Kagaku-gijutsu-sha, Kanazawa, 1958.

7. Sivetz, M. Coffee Processing Technology. The Avi Publishing Co., Connecticut, 1963.

8. Hoepfner, W.Z. "Chlorogenic Acid in Roasted Coffee." Z. Untersuch Lebensm 66 (1933): 238-243.

9. Elder, L.W. Coffee In Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. IV. Edited by R.F. Kirk and D.F. Othmer. John Wiley and Sons, New York, 1949.

10. Lockhart, E.E. "Chemistry of Coffee." Coffee and Tea Inds. 80 (1957), No. 9, Part I, 71, 73, 90, 97; No. 10, Part III, 21, 23, 25; No. 10, Part III, 16, 30.

11. Mabrouk, A.F. and Deatherage, F.E. "Organic Acids in Brewed Coffee." Food Technol. 10 (1956): 194-197.

12. Merritt, C., Sullivan, J.H. and Robertson, J.H. Volatile Components of Coffee Aroma. Analytical Report No. 12, U.S. Army Qm. Corp., Natick. Mass.

13. Winton, A.L. and Winton, K.B. Analysis of Foods. John Wiley and Sons, New York, 1945.

14. Polin, H.S. and Aims, J.F. "Roasting Volatile Acid Index (A & P)." U.S. Pat 2,270,768. Jan. 20, 1942.

15. Navellier, P., Brunin, R., Chassevent, F., and Issac, A. Ann. Fals. Fraudes. 53, 326-336 (1960).

16. Jakober, P., and Staub, M. Gordian Kaffee und Tee Markt. 13 (6), (1963).

17. The Association of Official Analytical Chemists. "Official Methods of Analysis." 13th. ed., pp. 233-234. George Banta Company Inc., Wisconsin, 1980.

18. Arjona, J.L. "Torrefaction du Café en couche Fluidisée Gazeuse." Café Cocao Thé 21 (1977): 263-272.

19. Mickley, H.S., Sherwood, T.S., and Reed, C.E. Applied Mathematics in Chemical Engineering. 2nd. ed. Tata McGraw-Hill Publishing Co., Ltd., New Delhi, 1975.

20. Brown, G.G. et al. Unit Operation. John Wiley and Sons, New York, 1950.

21. Welty, J.R. et al. Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer. 2nd. ed. John Wiley and Sons, New York, 1976.

22. Kettenring, K.N., Manderfield, E.L. and Smith, J.M. Chem. Eng. Progr. 46, 139 (1950).

23. Donnadieu, G. Rev. Inst. Franc. du Petrole. 16, 1330 (1961).

24. Walton, J.S., Olson, R.L. and Levenspiel, O. Ind. Eng. Chem. 44, 1474 (1952).

25. Heertjes, P.M., H.G.J. de Boer and A.H. de Haas van Dorsser. Chem. Eng. Sci. 2, 97 (1953) and Heertjes, P.M., and Mckibbins, S.W. Chem. Eng. Sci. 5, 161 (1956).

26. Richardson, J.F. and Ayers, P. Trans. Inst. Chem. Engrs. 37, 314 (1959).

27. Kothari, A.K., M.S. thesis, Illinois Institute of Technology, Chicago, 1967.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 1

การหาคุณสมบัติทางกายภาพของเบด

1. การหาสัดส่วนของช่องว่าง (void fraction, $\varepsilon_m$) และความเป็นทรงกลม (sphericity, $\phi_s$) ของเมล็ดกาแฟ

ปริมาตรของ เฮกเซน ก่อนผสม = 60 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกาแฟและช่องว่าง = 100 มิลลิลิตร

ปริมาตรหลังผสม = 113 มิลลิลิตร

ดังนั้น สัดส่วนของช่องว่างของเบด $= \frac{60 + 100 - 113}{100}$

$= 0.47$

เมื่อ $\varepsilon_m = 0.47$

จะได้ความเป็นทรงกลม[20] = 0.71

2. การหาเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่ากับเมล็ดกาแฟ

ปริมาตรของกาแฟและช่องว่าง = 100 มิลลิลิตร

จำนวนอนุภาคของกาแฟ = 398 อนุภาค

ปริมาตรของกาแฟ = จำนวนอนุภาค $\times \frac{\pi d_p^3}{6}$

= ปริมาตรของกาแฟและช่องว่าง $\times (1-\varepsilon_m)$

$398 \times \frac{\pi d_p^3}{6}$ = $100 \times (1-0.47)$

$d_p^3 = \frac{6 \times 100 \times 0.53}{398 \times 3.14}$

$= 0.2543$

$d_p = 0.63$ เซนติเมตร

$= 6.3 \times 10^{-3}$ เมตร

3. การหาความหนาแน่นของกาแฟ

น้ำหนักของกาแฟ = 59 กรัม

ปริมาตรของกาแฟและช่องว่าง = 100 มิลลิลิตร

ปริมาตรของกาแฟ = 100 x (1-0.47) มิลลิลิตร

= 53 มิลลิลิตร

ความหนาแน่นของกาแฟ = $\frac{59}{53}$

= 1.11 กรัม/มิลลิลิตร

4. การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ (โดยประมาณ)

ที่อุณหภูมิของอากาศ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ

ความหนาแน่นของอากาศ[21] = $1.1769 \times 10^{-3}$ กรัม/ซม.$^3$

สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ เมื่อกำหนด $\varepsilon_m \simeq \varepsilon_{mf}$

$$U_{mf} = \left[\frac{(\rho_s-\rho_g)\phi_s d_p g \varepsilon_{mf}^3}{1.75\ \rho_g}\right]^{\frac{1}{2}}$$

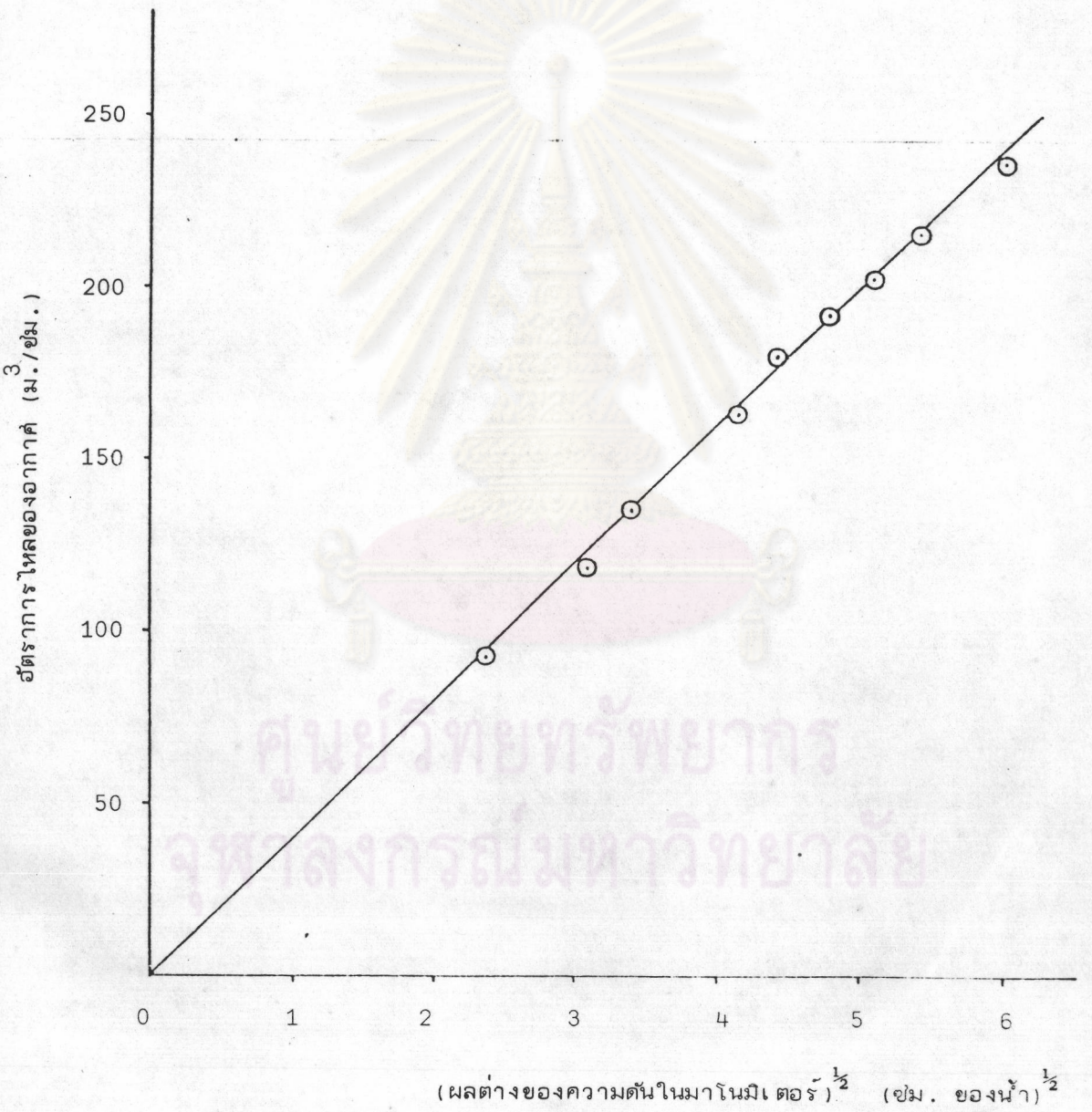
$$= \left[\frac{(1.11-1.1769 \times 10^{-3})(0.71 \times 0.63 \times 9.8)(0.47)^3}{1.75 \times 1.1769 \times 10^{-3} \times 100}\right]^{\frac{1}{2}}$$

= 1.57 เมตร/วินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 2

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับผลต่างของความดันในมาโนมิเตอร์ (ความดัน 1 บรรยากาศ, อุณหภูมิของอากาศ 25 $^{o}$ซ.)




ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวกที่ 3

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ของกาแฟพันธุ์โรบัสตา

| ความเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที) | ผลต่างของความดัน (มม. ของน้ำ) 500 (กรัม) | 700 (กรัม) |
|---|---|---|
| 0.61 | 7.5 | 9.5 |
| 0.76 | 10.0 | 12.7 |
| 0.91 | 12.8 | 19.0 |
| 1.06 | 16.3 | 25.0 |
| 1.21 | 22.4 | 32.2 |
| 1.36 | 29.8 | 41.3 |
| 1.52 | 34.4 | 48.7 |
| 1.67 | 41.8 | 57.3 |
| 1.82 | 42.8 | 63.8 |
| 1.97 | 46.0 | 70.0 |
| 2.12 | 46.5 | 66.5 |
| 2.27 | 46.5 | 69.5 |
| 2.43 | 46.0 | 70.0 |
| 2.58 | 48.0 | 70.0 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ของกาแฟพันธุ์อราบิกา

น้ำหนักของกาแฟในเบด 300 กรัม

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที) | 0.63 | 0.85 | 1.14 | 1.41 | 1.61 | 2.11 | 3.28 | 3.56 | 4.59 | 5.51 |
| ผลต่างของความดัน (มม. ของน้ำ) | 3.3 | 5.7 | 10.1 | 14.3 | 16.1 | 16.1 | 16.0 | 16.1 | 15.8 | 15.6 |

น้ำหนักของกาแฟในเบด 400 กรัม

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที) | 0.91 | 1.03 | 1.15 | 1.38 | 1.65 | 2.28 | 2.89 | 3.43 | 3.89 | 4.77 | 5.12 |
| ผลต่างของความดัน (มม. ของน้ำ) | 11.2 | 13.1 | 17.5 | 20.4 | 21.3 | 21.3 | 21.3 | 21.2 | 21.2 | 20.4 | 20.2 |

น้ำหนักของกาแฟในเบด 500 กรัม

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ความเร็วของอากาศ (เมตร/วินาที) | 0.81 | 0.98 | 1.21 | 1.47 | 1.81 | 2.56 | 2.80 | 3.28 | 3.83 | 4.24 | 4.99 |
| ผลต่างของความดัน (มม. ของน้ำ) | 11.8 | 16.5 | 21.5 | 26.3 | 26.5 | 26.5 | 26.5 | 26.5 | 26.7 | 26.3 | 26.5 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 4

การวิเคราะห์หาร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ของกาแฟ

น้ำหนักของกาแฟคั่วที่บดละเอียด = 10 กรัม

ปริมาตรของสารละลายกาแฟ = 200 มิลลิลิตร

น้ำหนักของของแข็งที่อบแห้งแล้ว
จากตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร = 0.3218 กรัม

ร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ $= \frac{0.3218 \times 200 \times 100}{25 \times 10}$

$= 25.70$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 5

ตารางที่ 1 ผลการทดลองคั่วกาแฟพันธุ์โรบัสตา (หนัก 200 กรัม, ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟดิบเฉลี่ย 714.28 กก./ม.$^3$ )

| อัตราการไหลของอากาศที่ 25°ซ. (ม.$^3$/ชม.) | อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเบด (°ซ.) | เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟ (วินาที) | ร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป | ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟคั่ว (กก./ม.$^3$) | ร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำของกาแฟเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| 186 | 230 | 779 | 16.10 | 399.52 | 25.76 |
| 186 | 240 | 570 | 16.55 | 379.31 | 26.18 |
| 186 | 250 | 395 | 17.55 | 366.44 | 27.23 |
| 186 | 260 | 234 | 18.05 | 348.87 | 28.60 |
| 206 | 230 | 601 | 15.20 | 403.80 | 26.47 |
| 206 | 240 | 450 | 18.10 | 356.08 | 27.22 |
| 206 | 250 | 340 | 18.70 | 338.75 | 28.09 |
| 206 | 260 | 200 | 15.60 | 375.11 | 28.98 |
| 218 | 230 | 505 | 15.25 | 408.43 | 26.64 |
| 218 | 240 | 350 | 15.45 | 402.61 | 27.82 |
| 218 | 250 | 302 | 15.40 | 384.54 | 28.01 |
| 218 | 260 | 169 | 15.30 | 368.26 | 29.10 |
| 225 | 230 | 400 | 15.50 | 384.09 | 28.02 |
| 225 | 240 | 300 | 15.75 | 382.95 | 28.53 |
| 225 | 250 | 210 | 15.80 | 374.22 | 29.55 |
| 225 | 260 | 160 | 16.60 | 370.66 | 29.15 |

ตารางที่ 2 ผลการทดลองคั่วกาแฟพันธุ์โรบัสต้า (หนัก 300 กรัม, ความหนาแน่นปรากฏของการแฟติบ เฉลี่ย 714.28 กก./ม.$^3$)

| อัตราการไหลของอากาศที่ 25°ซ. (ม.$^3$/ชม.) | อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเบด (°ซ.) | เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟ (วินาที) | ร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป | ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟคั่ว (กก./ม.$^3$) | ร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำของกาแฟเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| 186 | 230 | 894 | 15.83 | 413.93 | 26.47 |
| 186 | 240 | 640 | 15.60 | 395.62 | 26.68 |
| 186 | 250 | 410 | 19.56 | 339.85 | 28.09 |
| 186 | 260 | 280 | 15.66 | 389.23 | 28.88 |
| 206 | 230 | 689 | 16.33 | 395.27 | 26.75 |
| 206 | 240 | 585 | 16.46 | 385.54 | 27.13 |
| 206 | 250 | 380 | 16.20 | 386.77 | 27.26 |
| 206 | 260 | 270 | 15.67 | 389.23 | 28.97 |
| 218 | 230 | 590 | 16.23 | 402.03 | 27.46 |
| 218 | 240 | 484 | 17.16 | 376.50 | 27.93 |
| 218 | 250 | 350 | 16.80 | 372.53 | 29.07 |
| 218 | 260 | 250 | 16.76 | 367.20 | 29.36 |
| 225 | 230 | 484 | 14.70 | 426.50 | 27.45 |
| 225 | 240 | 456 | 15.46 | 402.50 | 27.85 |
| 225 | 250 | 300 | 16.53 | 370.96 | 29.01 |
| 225 | 260 | 240 | 15.96 | 379.09 | 29.48 |

ตารางที่ 3 ผลการทดลองคั่วกาแฟพันธุ์โรบัสต้า (หนัก 400 กรัม, ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟดิบเฉลี่ย 714.28 กก./ม.$^3$)

| อัตราการไหลของอากาศที่ 250ซ. (ม.$^3$/ช.ม.) | อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเบด (°ซ.) | เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟ (วินาที) | ร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป | ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟคั่ว (กก./ม.$^3$) | ร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำของกาแฟเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| 186 | 230 | 910 | 18.05 | 376.78 | 26.46 |
| 186 | 240 | 660 | 19.25 | 356.90 | 26.94 |
| 186 | 250 | 440 | 17.35 | 367.33 | 28.48 |
| 186 | 260 | 340 | 17.55 | 370.56 | 29.84 |
| 206 | 230 | 740 | 17.52 | 383.60 | 27.19 |
| 206 | 240 | 630 | 18.43 | 370.79 | 27.30 |
| 206 | 250 | 420 | 19.58 | 349.67 | 29.04 |
| 206 | 260 | 320 | 19.00 | 348.38 | 30.50 |
| 218 | 230 | 640 | 16.53 | 392.82 | 27.22 |
| 218 | 240 | 540 | 17.95 | 364.66 | 28.02 |
| 218 | 250 | 400 | 18.15 | 363.77 | 28.53 |
| 218 | 260 | 304 | 18.13 | 355.97 | 29.78 |
| 225 | 230 | 600 | 16.75 | 396.42 | 28.39 |
| 225 | 240 | 500 | 17.52 | 374.88 | 28.54 |
| 225 | 250 | 380 | 18.13 | 363.88 | 29.12 |
| 225 | 260 | 290 | 18.92 | 352.50 | 30.19 |

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ผลการทดลองคั่วกาแฟพันธุ์โรบัสตา (หนัก 500 กรัม, ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟดิบ เฉลี่ย 714.28 กก./ม.$^3$)

| อัตราการไหลของอากาศที่ 25°ซ. (ม.$^3$/ชม.) | อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเบด (°ซ.) | เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟ (วินาที) | ร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป | ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟคั่ว (กก./ม.$^3$) | ร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำของกาแฟเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| 186 | 230 | 950 | 19.40 | 335.83 | 25.92 |
| 186 | 240 | 680 | 19.36 | 353.68 | 27.39 |
| 186 | 250 | 450 | 18.28 | 352.24 | 28.66 |
| 186 | 260 | 400 | 19.34 | 347.67 | 29.22 |
| 206 | 230 | 820 | 17.92 | 380.00 | 27.22 |
| 206 | 240 | 650 | 17.78 | 373.73 | 28.26 |
| 206 | 250 | 430 | 18.98 | 355.35 | 28.87 |
| 206 | 260 | 370 | 18.70 | 362.94 | 29.73 |
| 218 | 230 | 740 | 17.32 | 382.77 | 26.51 |
| 218 | 240 | 620 | 17.44 | 389.43 | 27.07 |
| 218 | 250 | 410 | 18.10 | 365.62 | 28.56 |
| 218 | 260 | 350 | 17.34 | 369.01 | 28.70 |
| 225 | 230 | 700 | 16.92 | 391.88 | 27.05 |
| 225 | 240 | 580 | 17.06 | 391.22 | 27.71 |
| 225 | 250 | 390 | 17.00 | 377.27 | 29.06 |
| 225 | 260 | 320 | 17.40 | 368.75 | 30.32 |

ตารางที่ 5 ผลการทดลองคั่วกาแฟพันธุ์อราบิกา (หนัก 200 กรัม, ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟดิบ เฉลี่ย 606.06 กก./ม.$^3$)

| อัตราการไหลของอากาศที่ 25°ซ. (ม$^3$/ชม.) | อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเบด (°ซ.) | เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟ (วินาที) | ร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป | ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟคั่ว (กก./ม$^3$) | ร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำของกาแฟเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| 186 | 240 | 500 | 18.15 | 327.40 | 24.44 |
| 206 | 240 | 440 | 18.75 | 318.62 | 25.89 |
| 218 | 240 | 420 | 18.00 | 328.00 | 25.98 |
| 225 | 240 | 560 | 18.30 | 333.46 | 24.52 |
| 186 | 260 | 180 | 17.95 | 321.76 | 29.46 |
| 206 | 260 | 180 | 18.80 | 318.43 | 26.44 |
| 218 | 260 | 170 | 18.25 | 320.58 | 28.66 |
| 225 | 260 | 200 | 18.70 | 318.82 | 28.24 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ผลการทดลองคั่วกาแฟพันธุ์อราบิกา (หนัก 300 กรัม, ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟดิบ เฉลี่ย 606.06 กก./ม.$^3$)

| อัตราการไหลของอากาศที่ 25°ซ. (ม$^3$/ชม.) | อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเบด (°ซ.) | เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟ (วินาที) | ร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป | ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟคั่ว (กก./ม3) | ร้อยละของปริมาณสารที่ละลายน้ำของกาแฟเฉลี่ย |
|---|---|---|---|---|---|
| 186 | 240 | 540 | 19.76 | 316.71 | 24.76 |
| 206 | 240 | 500 | 18.87 | 328.91 | 25.32 |
| 218 | 240 | 480 | 18.57 | 330.14 | 24.94 |
| 225 | 240 | 760 | 19.13 | 325.64 | 24.35 |
| 186 | 260 | 220 | 19.46 | 313.76 | 28.48 |
| 206 | 260 | 200 | 17.27 | 330.93 | 28.43 |
| 218 | 260 | 190 | 18.53 | 317.40 | 28.74 |
| 225 | 260 | 340 | 19.07 | 315.32 | 26.42 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 6

1. การคำนวณร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป

น้ำหนักของกาแฟดิบ = 200.0 กรัม

น้ำหนักของกาแฟคั่ว = 167.8 กรัม

ร้อยละของน้ำหนักกาแฟที่หายไป $= \frac{200 - 167.8}{200} \times 100$

$= 16.10$

2. ความหนาแน่นปรากฏของกาแฟดิบ

น้ำหนักของกาแฟดิบ = 200 กรัม

ปริมาตรของกาแฟดิบ = 280 ซม.$^3$

ความหนาแน่นปรากฏ $= \frac{200 \times 100^3}{1000 \times 280}$

$= 714.28$ กก./ม.$^3$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 7

1. คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ[21]

| อุณหภูมิ ($^{o}$ซ.) | ความหนาแน่น (กก./ม.$^{3}$) | ความจุความร้อน (กก.แคลอรี/กก.เคลวิน) |
|---|---|---|
| 230 | 0.7026 | 0.2462 |
| 240 | 0.6885 | 0.2467 |
| 250 | 0.6751 | 0.2471 |
| 260 | 0.6634 | 0.2477 |

2. การคำนวณอัตราการไหลของอากาศที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากสมการของ Ergun

$$Q_{T1} = Q_{T2}\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$Q_{250^{o}C} = Q_{25^{o}C}\sqrt{\frac{250 + 273}{25 + 273}}$$

$$= 1.324\ Q_{25^{o}C}$$

3. การคำนวณพลังงานความร้อนที่ได้จากอากาศ

$M$ = 400 กรัม $\quad Q(25^{o}C)$ = 218 ม.$^{3}$/ชม.

$T_2$ = 250 $^{o}$ซ. $\quad t_R$ = 400 วินาที

พลังงานความร้อนที่ได้จากอากาศ $= Q\,\rho_g\,c_{pg}\int_{t=0}^{t_R}(T_2 - T_3(t))\,dt$

$$= (218 \times 1.324 \times 0.6751 \times 0.2471)\int_0^{400}(250 - T_3(t))\,dt$$

$$= (218 \times 1.324 \times 0.6751 \times 0.2471)\,\frac{13174}{3600}$$

$= 176.20$ กิโลแคลอรี

$E_L = Q\ \rho_g\ C_{pg}\ (T_2-T_{3(0)})\ t_R$

$= (218x1.324x0.6751x0.2471)(250-230.4)\ \frac{400}{3600}$

$= 104.86$ กิโลแคลอรี

$E_{TR} = 176.20 - 104.86$

$= 71.34$ กิโลแคลอรี

4. การคำนวณค่าพลังงานกลที่สูญเสียไปในการคั่วกาแฟ

น้ำหนักของกาแฟในเบดเริ่มต้น = 500 กรัม

อัตราการไหลของอากาศ = 225 $ม.^3$/ชม.

อุณหภูมิของอากาศ = 230 $^oซ.$

เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟ = 700 วินาที

พื้นที่ภาคตัดขวางของคอลัมน์ = 0.0188 เมตร$^2$

$$E_M = \frac{QMg}{A}$$

$$= \frac{225 \times 1.299 \times 500 \times 9.8}{3600 \times 1000 \times 0.0188}$$

$= 21.16$ จูล/วินาที

$= 5.05 \times 10^{-3}$ กิโลแคลอรี/วินาที

พลังงานกลที่สูญเสียไปทั้งหมด $= 5.05 \times 10^{-3} \times 700$

$= 3.54$ กิโลแคลอรี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การคำนวณพลังงานความร้อนที่สูญเสียภายในท่อของเครื่องคั่วกาแฟ ($E_L'$)

$T_1$ = 152 $^{o}$ซ.

$T_3(t_R)$ = 230.4 $^{o}$ซ.

$$T_{average} = \frac{152 + 230.4}{2}$$

= 191.2 $^{o}$ซ.

$Q_{25^oC}$ = 218 ม.$^3$/ชม.

$$Q_{191.2^oC} = 218\sqrt{\frac{191.2 + 273}{25 + 273}}$$

= 272.08 ม.$^3$/ชม.

$C_{pm}$ (130-240$^{o}$C) = 0.2474 กิโลแคลอรี/กก.-$^{o}$ซ.

$\rho_{gm}$ (130-240$^{o}$C) = 0.7897 กิโลกรัม/ม.$^3$

$t_R$ = 400 วินาที

= 0.111 ชม.

$E_L'$ = $Q\ C_{pm}\ \rho_{gm}\ (T_3(t_R) - T_1)\ t_R$

= 272.08 x 0.2474 x 0.7897 (230.4-152) (0.111)

= 463.06 กิโลแคลอรี

6. การคำนวณประสิทธิภาพทางความร้อน

$$\eta = \frac{E_{TR}}{E_{TR} + E_L + E_L'} \times 100$$

$$= \frac{71.34}{71.34 + 104.86 + 463.06} \times 100$$

= 11.16%

## ภาคผนวกที่ 8

แสดงข้อมูลจากการทดลองของรูปที่ 6-3

น้ำหนักของกาแฟ (ในเบด) เริ่มต้น 400.0 กรัม

น้ำหนักของกาแฟที่คั่วแล้ว 327.4 กรัม

อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเบด 250 $^{o}$ซ.

อัตราการไหลของอากาศ 218 $ม.^{3}$/ช่ม. (วัดที่ 25$^{o}$ซ.)

| เวลาในการคั่วกาแฟ (วินาที) | อุณหภูมิของอากาศออกจากเบด ($^{o}$ซ.) | เวลาในการคั่วกาแฟ (วินาที) | อุณหภูมิของอากาศออกจากเบด ($^{o}$ซ.) |
|---|---|---|---|
| 0 | 230.4 | 260 | 225.7 |
| 10 | 201.5 | 280 | 226.7 |
| 20 | 194.2 | 300 | 227.7 |
| 30 | 191.7 | 320 | 228.6 |
| 40 | 191.9 | 340 | 229.2 |
| 60 | 196.2 | 360 | 229.7 |
| 80 | 201.9 | 380 | 230.1 |
| 100 | 206.7 | 400 | 230.4 |
| 120 | 210.6 | | |
| 140 | 214.1 | | |
| 160 | 217.0 | | |
| 180 | 219.4 | | |
| 200 | 221.5 | | |
| 220 | 223.1 | | |
| 240 | 224.5 | | |

ภาคผนวกที่ 9

1. การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($h_p$) จากสมการ

$$\ln \frac{\Delta T_g}{\Delta T_{g,initial}} = \frac{C_{pg}\, G_o\, A_c}{WC_{ps}} \left[ 1 - \exp \frac{-h_p\, aL_f}{C_{pg}\, G_o} \right] t$$

ข้อมูลจากการทดลอง

$W$ = 0.2 กก.

$A_c$ = 0.0188 ม.$^2$

$C_{pg}$ = 0.2462 กิโลแคลอรี/กก.-$^o$ซ.

$C_{ps}$ [7] = 0.4 กิโลแคลอรี/กก.-$^o$ซ.

$\rho_g$ = 0.7026 กก./ม.$^3$

$a$ = 591.84 ม.$^{-1}$

$L_f$ = 0.013 ม.

$\Delta T_g = T_{g,in} - T_{g,out}$

= 230 - 203.6

= 26.4 $^o$ซ.

$\Delta T_{g,initial} = (T_{g,in} - T_{g,out})_{initial}$

= 230 - 187.1

= 42.9 $^o$ซ.

$t = t_R$ = 759 วินาที

$Q_{230^oC}$ = 241.65 ม.$^3$/ชม.

$G_o = Q_{230^oC}\, \rho_g / A_c$

$$= \frac{241.65 \times 0.7026}{0.0188}$$

= 9031.03 กก./ม.$^2$-ชม.

$$\ln \frac{26.4}{42.9} = \frac{0.2462 \times 9031.03 \times 0.0188}{0.2 \times 0.4}\left[1-\exp \frac{-hp \times 591.84 \times 0.013}{0.2462 \times 9031.03}\right] \times \frac{759}{3600}$$

$h_p$ = 1.8235 กิโลแคลอรี/ชม.-ม.$^2$-$^o$ซ.

2. การคำนวณพื้นที่ผิวทั้งหมดของกาแฟในเบดต่อปริมาตรของเบด

ความหนาแน่นของกาแฟ = $2.46 \times 10^3$ กก./ม.$^3$

น้ำหนักของกาแฟในเบดเริ่มต้น = 0.4 กก.

สัดส่วนช่องว่าง, $\varepsilon$ = 0.39

เส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ดกาแฟ = $6.4 \times 10^{-3}$ ม.

ปริมาตรของเบด (กาแฟ + ช่องว่าง) $2 \times 10^{-4}$ ม.$^3$ มีอนุภาคของกาแฟเฉลี่ย 920 อนุภาค

ปริมาตรของกาแฟในเบด $= \frac{0.4}{2.46 \times 10^3}$

$= 1.626 \times 10^{-4}$ ม.$^3$

$1-\varepsilon = 1-0.39$

$= 0.61$

ปริมาตรของกาแฟในเบดรวมช่องว่าง $= \frac{1.626 \times 10^{-4}}{0.61}$

$= 2.6656 \times 10^{-4}$ ม.$^3$

จำนวนอนุภาคทั้งหมด $= \frac{920 \times 2.6656 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-4}}$

= 1226 อนุภาค

พื้นที่ผิวทั้งหมดของกาแฟในเบด $= \pi(6.4 \times 10^{-3})^2 \times 1226$

= 0.1578 ม.$^2$

$a = \frac{0.1578}{2.6656 \times 10^{-4}}$

591.84 ม.$^{-1}$

# ประวัติผู้เขียน

นายสมหมาย ตรัยไชยาพร เกิดวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2503 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบปริญญาตรีเคมีวิศวกรรม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2525 สอบได้เป็นอันดับหนึ่งของสาขาวิชาเคมีวิศวกรรม และได้รับเข็มเชิดชูเกียรติของมูลนิธิศาสตราจารย์ ดร. แถบ นีละนิธิ ปัจจุบันทำงานอยู่ที่วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ทุ่งมหาเมฆ ยานนาวา กรุงเทพมหานคร

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย