



บรรณานุกรม

เอกสารอ้างอิง

1. เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง, ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.  
สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีเพาะปลูก 2526/27. หน้า 30-31  
กรุงเทพมหานคร : ศูนย์สถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร  
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2527.
2. นารา พัทธกษณ์อรุณพ. "พลังงานจากแกลบ." สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (ฮัดสำเนา)
3. พล ลำเทือง. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟลูอิดเซชัน. ตำราประกอบการสอน.  
ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
4. มหาดไทย, กระทรวง. กรมโยธาธิการ. เตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงประสิทธิภาพสูง.  
กรุงเทพมหานคร : กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย, 2522.
5. วรเดช เพรศพรายวงศ์. "การเผาไหม้ถ่านหินในฟลูอิดไธเบด" วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2528.
6. ศศิวิมล ลุ่งสว่าง. "การเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไธเบด." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต  
ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
7. สัมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดเซชัน. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.
8. Asia Institute of Thailand. "Fluidized Bed Biomass Gasification."  
Proceeding of the FAO Second Expert Consultant on  
Producer Gas Development in Asia and the Pacific Region,  
August 9-11, 1983.

9. Coovattanachai, N. "Milling Performance of Small Rice Milling Unit Fulled by Producer Gas" Proceeding of the FAO Second Expert Consultant on Producer Gas Development in Asia and the Pacific Region, August 9-11, 1983.
10. Cruz, I.E. "Development of Rice Husk Producer Gas System in the Philippines." Proceeding of the FAO Second Expert Consultant on Producer Gas Development in Asia and the Pacific Region, August 9-11, 1983.
11. Producer Gas Technology for Rural Applications. Philippine National Oil Company Energy Research and Development Center, Philippine, 1983.
12. Gumz, W. Gas Producers and Blast Furnaces. pp. 1-30, John Wiley & Sons, New York, 1950.
13. Jenkins, B.M. and Ebeling, J.M. "Correlation of Physical and Chemical Properties of Terrestrial Biomass with Conversion." Agricultural Engineering Department University of California, Undated (Typewritten)
14. Kaupp, A. Gasification of Rice Hull Theory and Praxis. German Appropriate Technology Exchange, Germany, 1983.
15. Kunii, D. and Levenspiel, O. Fluidization Engineering. pp. 65-77, Robert E. Krieger Publishing, New York, 1977.
16. "Energy Requirements for Gasification and an Optimum System for Coal Conversion to Clean Fuels." The University of Tokyo, Tokyo, Undated (Typewritten)
17. Pitakarnnop, N. "Fuel from Rice Husks in Thailand." Proceeding on the National Conference on Energy. Energy Institute of Thailand, Bangkok, 1983.

18. \_\_\_\_\_ and Boonrowd, C. "Conversion of Rice Husks to Pyrolytic Gas for Rice Mill Application in Thailand." Proceeding of the FAO Second Expert Consultant on Producer Gas Development in Asia and the Pacific Region, August 9-11, 1983.
19. Probst, R.F. and Hicks, R.E. Synthetic Fuels. pp.111-115, McGraw-Hill, Auckland, 1982.
20. Reed, T.B. Biomass Gasification Principles and Technology. Noyes Data Corporation, New Jersey, 1981.
21. \_\_\_\_\_, Levie, B. and Das, A. "Understanding, Operating, and Testing Fixed Bed Gasifiers." Undated (Typewritten)
22. Sakoda, A., Sadakata, M., Koya, T., Furusawa, T. and Kunii, D. "Gasification of Biomass in a Fluidized Bed." The Chemical Engineering Journal. 22 (1981) : 221-227.
23. Sitthiphong, N. "Fluidized Bed Gasification of Rice Husk for Electricity Generation." Proceeding of the Biomass Gasification Workshop, May 30-June 1, 1984.
24. Xu, B.Y., Huang, W.E., Flanigan, V.J., and Sitton, O.C. "Design and Operation of a 6.0 inch Fluidized Bed Gasifier for Rice Hulls." Department of Mechanical and Chemical Engineering University of Missouri, 1983.



ภาคผนวกที่ 1

ข้อมูลจากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 1

ข้อมูลจากการทดลองการนำใช้ครั้งแรก จากกลุ่มโรงเรียนที่ดำเนินการนำใช้ตามแบบหลักสูตรใหม่

ตารางที่ 1-1 ผลการเรียนรู้จากการทดลองการนำใช้ครั้งแรก จากกลุ่มโรงเรียนที่ดำเนินการนำใช้ตามแบบหลักสูตรใหม่ (การทดลองที่ 1-20)

|  | การทดลองที่ 1 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 1             | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |
| ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนของคอมพิวเตอร์ (เนื้อหาเพิ่มเติม)       | 700.0         | 780.0  | 850.0  | 800.0  | 850.0  | 850.0  | 900.0  | 850.0  | 850.0  | 750.0  | 800.0  | 800.0  | 800.0  | 900.0  | 850.0  | 750.0  | 800.0  | 850.0  | 900.0  | 900.0  |
| ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนของคอมพิวเตอร์ (เนื้อหาเพิ่มเติม)       | 700.0         | 750.0  | 800.0  | 850.0  | 700.0  | 750.0  | 800.0  | 850.0  | 900.0  | 650.0  | 700.0  | 750.0  | 800.0  | 850.0  | 900.0  | 700.0  | 750.0  | 800.0  | 850.0  | 900.0  |
| วิธีการนำขั้นตอนของคอมพิวเตอร์มาใช้ (รูปแบบที่ 1 และ 2)        | 0.533         | 0.533  | 0.533  | 0.567  | 0.567  | 0.567  | 0.567  | 0.567  | 0.567  | 0.633  | 0.633  | 0.633  | 0.633  | 0.633  | 0.633  | 0.683  | 0.683  | 0.683  | 0.683  | 0.683  |
| ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนของคอมพิวเตอร์ (เนื้อหาเพิ่มเติม)       |               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอน  | 33.0          | 34.0   | 34.5   | 33.0   | 41.0   | 45.0   | 44.0   | 33.0   | 38.0   | 35.0   | 35.0   | 35.0   | 35.5   | 39.0   | 35.0   | 41.0   | 40.0   | 42.0   | 41.5   | 42.0   |
| ความรู้เกี่ยวกับเนื้อหา  | 96.0          | 108.0  | 114.0  | 104.0  | 106.0  | 111.0  | 112.0  | 91.0   | 95.0   | 87.0   | 92.0   | 96.0   | 91.0   | 97.0   | 99.0   | 134.0  | 135.0  | 135.0  | 135.0  | 135.0  |
| ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนของคอมพิวเตอร์ (เนื้อหาเพิ่มเติม)    | 0.01          | 0.005  | 0.003  | 0.006  | 0.037  | 0.058  | 0.052  | 0.013  | 0.038  | 0.025  | 0.023  | 0.019  | 0.024  | 0.03   | 0.018  | 0.01   | 0.009  | 0.013  | 0.015  | 0.015  |
| ความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนของคอมพิวเตอร์ (เนื้อหาเพิ่มเติม)    | 1.55          | 1.55   | 1.55   | 1.64   | 1.64   | 1.64   | 1.64   | 1.64   | 1.64   | 1.84   | 1.84   | 1.84   | 1.84   | 1.84   | 1.84   | 1.98   | 1.98   | 1.98   | 1.98   | 1.98   |
| วิธีการนำขั้นตอนของคอมพิวเตอร์มาใช้ (เนื้อหาเพิ่มเติม)         | 82.0          | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   | 82.0   |
| เวลาที่ใช้ในการนำขั้นตอนของคอมพิวเตอร์มาใช้ (เนื้อหาเพิ่มเติม) | 30.0          | 25.0   | 23.0   | 25.0   | 25.0   | 20.0   | 20.0   | 18.0   | 20.0   | 20.0   | 22.0   | 20.0   | 20.0   | 20.0   | 22.0   | 20.0   | 20.0   | 15.0   | 20.0   | 30.0   |
| วิธีการนำขั้นตอนของคอมพิวเตอร์มาใช้ (เนื้อหาเพิ่มเติม)         | 198.0         | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  | 198.0  |
| เวลาที่ใช้ในการนำขั้นตอนของคอมพิวเตอร์มาใช้ (เนื้อหาเพิ่มเติม) | 15.0          | 17.0   | 20.0   | 18.0   | 20.0   | 22.0   | 23.0   | 26.0   | 24.0   | 18.0   | 20.0   | 25.0   | 24.0   | 25.0   | 27.0   | 18.0   | 20.0   | 21.0   | 25.0   | 30.0   |
| ปริมาณข้อมูลที่บันทึก (กบ)                                     | 4830.0        | 4916.0 | 5386.0 | 5114.0 | 5510.0 | 5596.0 | 5794.0 | 6264.0 | 5992.0 | 4804.0 | 5324.0 | 6190.0 | 5992.0 | 6190.0 | 6710.0 | 4804.0 | 5200.0 | 5088.0 | 6190.0 | 7800.0 |
| ปริมาณงานที่ทำ (กบ)  | 1200.0        | 1370.0 | 1250.0 | 1180.0 | 1225.0 | 1350.0 | 1400.0 | 1590.0 | 1450.0 | 1250.0 | 1350.0 | 1530.0 | 1400.0 | 1380.0 | 1580.0 | 1200.0 | 1170.0 | 1260.0 | 1420.0 | 1830.0 |
| ค่าที่หาจากความถี่ของงาน (กิโลเฮิรตซ์/วินาที)                  | 1627.5        | 2253.5 | 929.5  | 1118.0 | 865.0  | 947.5  | 1294.5 | 1696.5 | 1360.0 | 2180.0 | 1884.0 | 1861.0 | 1311.5 | 1097.0 | 1408.0 | 1498.0 | 867.0  | 1558.0 | 1015.5 | 1214.0 |
| องค์ประกอบของงาน (เนื้อหาเพิ่มเติม)                            |               |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| ทักษะการเขียนโปรแกรม   | 3.505         | 2.357  | 7.212  | 2.451  | 6.838  | 4.609  | 6.284  | 8.113  | 4.912  | 0.957  | 0.53   | 5.232  | 3.95   | 11.651 | 11.244 | 0.402  | 0.106  | 1.016  | 0.463  | 0.306  |
| ทักษะการวิเคราะห์  | 10.280        | 12.121 | 6.854  | 14.299 | 11.396 | 14.378 | 11.490 | 11.975 | 10.650 | 11.221 | 4.950  | 13.914 | 11.056 | 7.146  | 8.356  | 16.064 | 15.905 | 15.544 | 13.896 | 17.174 |
| ทักษะการแก้ปัญหา   | 4.089         | 2.694  | 10.333 | 2.247  | 2.878  | 2.468  | 0.718  | 2.294  | 2.490  | 8.823  | 15.828 | 2.854  | 2.950  | 0.536  | 1.148  | 6.426  | 5.917  | 3.193  | 11.837 | 11.963 |
| ทักษะการสื่อสาร  | 79.206        | 80.696 | 72.227 | 80.788 | 74.940 | 77.794 | 77.558 | 75.460 | 80.622 | 78.857 | 78.680 | 77.167 | 81.162 | 78.433 | 75.507 | 77.008 | 78.062 | 79.521 | 73.701 | 70.543 |
| ทักษะการคิด  | 2.570         | 1.908  | 3.058  | 0.204  | 3.338  | 0.644  | 3.411  | 1.906  | 1.158  | 0.142  | 0.012  | 0.714  | 0.882  | 1.927  | 3.446  | 0.100  | 0.011  | 0.726  | 0.103  | 0.015  |
| ทักษะการเขียน  | 0.351         | 0.225  | 0.216  | 0.010  | 0.610  | 0.107  | 0.539  | 0.252  | 0.172  | -      | -      | 0.119  | -      | 0.306  | 0.299  | -      | -      | -      | -      | -      |
| ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนของคอมพิวเตอร์ (เนื้อหาเพิ่มเติม)       | 457.0         | 557.0  | 645.0  | 486.0  | 549.0  | 574.0  | 598.0  | 659.0  | 673.0  | 462.0  | 523.0  | 620.0  | 663.0  | 663.0  | 642.0  | 400.0  | 450.0  | 480.0  | 532.0  | 550.0  |
| ปริมาณงานที่ทำในขั้นต้น (เนื้อหาเพิ่มเติม)                     | 20.76         | 28.75  | 11.86  | 14.21  | 11.04  | 12.09  | 16.52  | 21.65  | 17.35  | 23.75  | 20.27  | 18.99  | 14.27  | 10.90  | 15.21  | 19.11  | 11.06  | 19.88  | 12.96  | 52.91  |
| เวลาที่ใช้ในการนำขั้นตอนของคอมพิวเตอร์มาใช้ (เนื้อหาเพิ่มเติม) | 30.0          | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   | 30.0   |

หมายเหตุ : \* ข้อมูลวิเคราะห์โดยผู้วิจัยหรือผู้วิจัยมหาวิทยาลัย และภาคินโนติยี่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวกที่ 2

### การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

- การหาปริมาณความชื้น
- การหาปริมาณสารระเหย
- การหาปริมาณเถ้า
- การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว
- การหาสัดส่วนช่องว่าง ( $E_m$ ) และความเป็นทรงกลมเทียบเท่า ( $\phi_s$ ) ของแกลบ
- การหาเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่าแกลบ ( $d_p$ )
- การหาความหนาแน่นของแกลบ
- การคำนวณขอบเขตความเร็วฟลูอิดไรซ์

## ภาคผนวกที่ 2



## การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

## 1) การหาปริมาณความชื้น

| น้ำหนัก (กรัม) |   | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 2 |
|----------------|---|---------------|---------------|
| ก่อนอบ         | น้ำหนักแกลบ + จานอลูมิเนียม (A)         | 22.8553       | 22.8555       |
|                | น้ำหนักจานอลูมิเนียม (B)                | 21.6679       | 21.6680       |
|                | น้ำหนักแกลบ (C) = (A) - (B)             | 1.1874        | 1.1875        |
| หลังอบ         | น้ำหนักแกลบ + จานอลูมิเนียม (D)         | 22.7361       | 22.7360       |
|                | น้ำหนักแกลบ (E) = (D) - (B)             | 1.0782        | 1.0680        |
|                | น้ำหนักของน้ำที่หายไป (F) = (C) - (E)   | 0.1192        | 0.1195        |
| %              | ความชื้น = $\frac{(F)}{(C)} \times 100$ | 10.04         | 10.06         |

ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น = 10.05 %

## 2) การหาปริมาณสารระเหย

| น้ำหนัก (กรัม) |                                     | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 2 |
|----------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| ก่อนเผา        | น้ำหนักถ้วยนิเกิล (A)               | 22.6217       | 22.6557       |
|                | น้ำหนักถ้วยนิเกิล + น้ำหนักแกลบ (B) | 23.5306       | 23.6146       |
|                | น้ำหนักของแกลบ (C) = (B) - (A)      | 0.9089        | 0.9589        |
| หลังเผา        | น้ำหนักของถ้ำ + ถ้วยนิเกิล (D)      | 22.9942       | 23.0465       |
|                | น้ำหนักของถ้ำ (E) = (D) - (A)       | 0.3724        | 0.3908        |

## 2) การหาปริมาณสารระเหย (ต่อ)

| น้ำหนัก (กรัม)  | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 2 |
|---|---------------|---------------|
| น้ำหนักที่สูญหาย (F) = (C) - (E)                        | 0.5365        | 0.5681        |
| % น้ำหนักที่สูญหาย = $\frac{(F)}{(C)} \times 100 = (G)$ | 59.03         | 59.24         |
| % สารระเหยได้ = (G) - % ความชื้น                        | 48.99         | 49.18         |

ค่าเฉลี่ยปริมาณสารระเหย = 49.08 %

## 3) การหาปริมาณเถ้า

| น้ำหนัก (กรัม)                                 | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 2 |
|--|---------------|---------------|
| ก่อนเผา น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (A)               | 44.9819       | 44.8987       |
| น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง + น้ำหนักแกลบ (B)         | 45.9866       | 45.8856       |
| น้ำหนักแกลบ (C) = (B) - (A)                    | 1.0047        | 0.9869        |
| หลังเผา น้ำหนักเถ้า + น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง (D) | 45.1773       | 45.0971       |
| น้ำหนักเถ้า (E) = (D) - (A)                    | 0.1954        | 0.1984        |
| % เถ้า = $\frac{(E)}{(C)} \times 100$          | 19.45         | 20.10         |

ค่าเฉลี่ยปริมาณเถ้า = 19.78 %

## 4) การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

% คาร์บอนคงตัว (นน.แห้ง) = 100-% สารระเหยได้ -% เถ้า -% ความชื้น  
 = 100- 49.08 - 19.78 - 10.05  
 = 21.09 %



5) การหาสัดส่วนช่องว่าง ( $E_m$ ) และความเป็นทรงกลมเทียบเท่า ( $\sigma_s$ ) ของ

แกลส

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของ } n\text{-kexane ก่อนผสม} &= 60.0 && \text{ลบ.ซม.} \\ \text{ปริมาตรของแกลสและช่องว่าง} &= 30.0 && \text{ลบ.ซม.} \\ \text{ปริมาตรของ } n\text{-kexane หลังผสม} &= 64.7 && \text{ลบ.ซม.} \\ \text{สัดส่วนของช่องว่างของเบด} &= \frac{60.0 + 30.0 - 64.7}{30.0} \\ &= 0.84 \end{aligned}$$

จากหนังสืออ้างอิง (15) รูปที่ 1 หน้า 66

$$\text{จาก } E_m = 0.84$$

$$\text{จะได้ค่าความเป็นทรงกลมเทียบเท่า} = 0.26$$

6) การหาเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่าแกลส ( $d_p$ )

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของแกลสและช่องว่าง} &= 30 && \text{ลบ.ซม.} \\ \text{จำนวนอนุภาคของแกลส} &= 885 && \text{อนุภาค} \\ \text{ปริมาตรของแกลส} &= \text{จำนวนอนุภาค} \times \frac{d_p^3}{6} \\ &= \text{ปริมาตรของแกลสและช่องว่าง} \times (1 - E_m) \\ 885 \times \frac{d_p^3}{6} &= 30 \times (1 - 0.84) \\ \frac{d_p^3}{6} &= \frac{30 \times 0.16 \times 6}{\pi \times 885} \\ d_p &= 0.01036 \\ &= 0.218 \text{ เซนติเมตร} \\ &= 2.18 \times 10^{-3} \text{ เมตร} \end{aligned}$$

7) การหาความหนาแน่นของแกลส

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักของแกลส} &= 11.5870 && \text{กรัม} \\ \text{ปริมาตรของแกลส} &= 90.00 && \text{ลบ.ซม.} \\ \text{ความหนาแน่นของแกลส} &= \frac{11.5870}{90.00 (1 - 0.84)} \\ &= 0.805 && \text{กรัม/ลบ.ซม.} \\ &= 805.0 && \text{กิโลกรัม/ลบ.เมตร} \end{aligned}$$

## 8) การคำนวณขอบเขตความเร็วฟลูอิดไอซ์

## 8.1 ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน

สภาวะอ้างอิง อุณหภูมิ 25°C ความดัน 1 บรรยากาศ  
 ความหนาแน่นของอากาศ ( $\rho_g$ ) = 0.001204 กรัม/ลบ.ซม.  
 ความหนาแน่นของแก๊ส ( $\rho_s$ ) = 0.847 กรัม/ลบ.ซม.  
 ความหนืดของอากาศ ( $\mu$ ) = 0.000178 กรัม/ซม.-วินาที  
 ขนาดอนุภาคของแก๊ส ( $d_p$ ) = 0.218 ซม.  
 ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า ( $\phi_s$ ) = 0.26  
 สัดส่วนช่องว่าง ( $E_{mf}$ ) = 0.84



$$U_{mf}^2 = \frac{\phi_s d_p (\rho_s - \rho_g) \cdot g E_{mf}^3}{1.75 \rho_g}, \quad \text{Rep} > 1000$$

$$= \frac{0.26 \times 0.218 \times (0.847 - 0.001204) \cdot 981 (0.84)^3}{1.75 \times 0.001204}$$

$$U_{mf} = 115.02 \quad \text{ซม./วินาที}$$

$$\text{Rep} = \frac{d_p U_{mf} \rho_g}{\mu}$$

$$= \frac{0.218 \times 115.02 \times 0.001204}{0.000178}$$

$$= 169.6$$

$$\text{จาก } \frac{1.75}{\phi_s E_{mf}^3} \frac{(d_p U_{mf} \rho_g)^2}{\mu} + \frac{150(1 - E_{mf})}{\phi_s^2 E_{mf}^3} \frac{(d_p U_{mf} \rho_g)}{\mu} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2}$$

$$\frac{1.75}{0.26 (0.84)^3} \times \frac{(0.218 \times U_{mf} \times 0.001204)^2}{0.000178} + \frac{150(1 - 0.84)}{(0.26)^2 (0.84)^3} \times \frac{(0.218 \times U_{mf} \times 0.001204)}{0.000178}$$

$$= \frac{(0.218)^3 \times 0.001204 \times (0.847 - 0.001204)}{(0.000178)^2}$$

$$U_{mf} = 98.50 \quad \text{ซม./วินาที}$$

$$\text{Rep} = 145.24$$

8.2 ความเร็วสุดท้ายที่จะเกิดฟลูอิดเซชัน

$$U_t = \left[ \frac{3.1g(\rho_s - \rho_g)d_p}{\rho_g} \right]^{1/2} = \left[ \frac{3.1 \times 981(0.847 - 0.001204)0.218}{0.001204} \right]^{1/2}$$

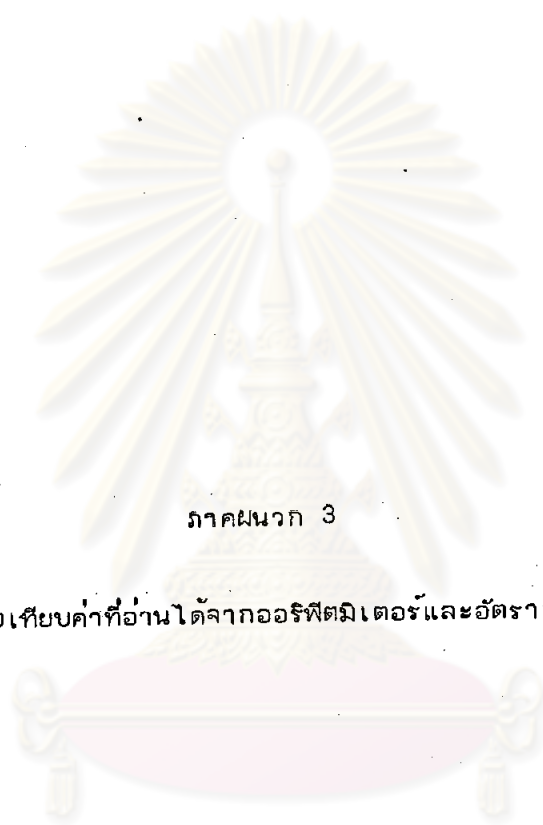
$$= 682.44 \quad \text{ซม./วินาที}$$

$$\text{Rep} = \frac{0.218 \times 682.44 \times 0.001204}{0.000178}$$

$$= 1006.30$$

$$500 < \text{Rep} < 200,000$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก 3

การปรับเทียบค่าที่อ่านได้จากออร์ฟิโตมิเตอร์และอัตราการใช้ของอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



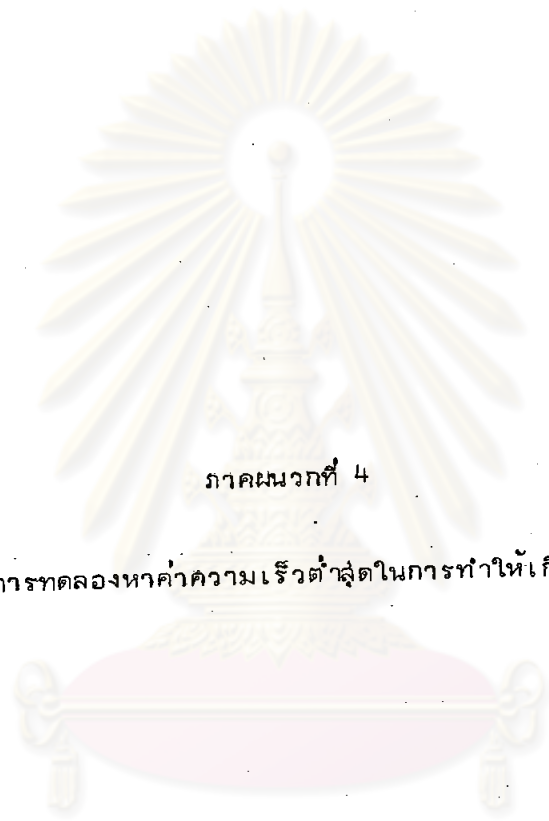
## ภาคผนวกที่ 3

การเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากออร์ทิติมิเตอร์และอัตราการไหลของอากาศ

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าที่อ่านได้จากออร์ทิติมิเตอร์เทียบกับอัตราการไหลของอากาศ

| ความแตกต่างของระดับน้ำ<br>ในมาโนมิเตอร์ (ซม.) | อัตราการไหลของอากาศ<br>(ลบ.ม./นาที) |
|---|-------------------------------------|
| 1.5   | 18                                  |
| 1.8   | 20                                  |
| 2.1   | 22                                  |
| 2.6   | 24                                  |
| 3.2   | 28                                  |
| 4.0   | 31                                  |
| 4.2   | 34                                  |
| 4.7   | 36                                  |
| 5.1   | 37                                  |
| 6.9   | 43                                  |
| 8.2   | 46                                  |
| 10.8  | 53                                  |
| 15.0  | 64                                  |
| 18.4  | 70                                  |
| 22.3  | 79                                  |
| 24.7  | 85                                  |

ปรับเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ



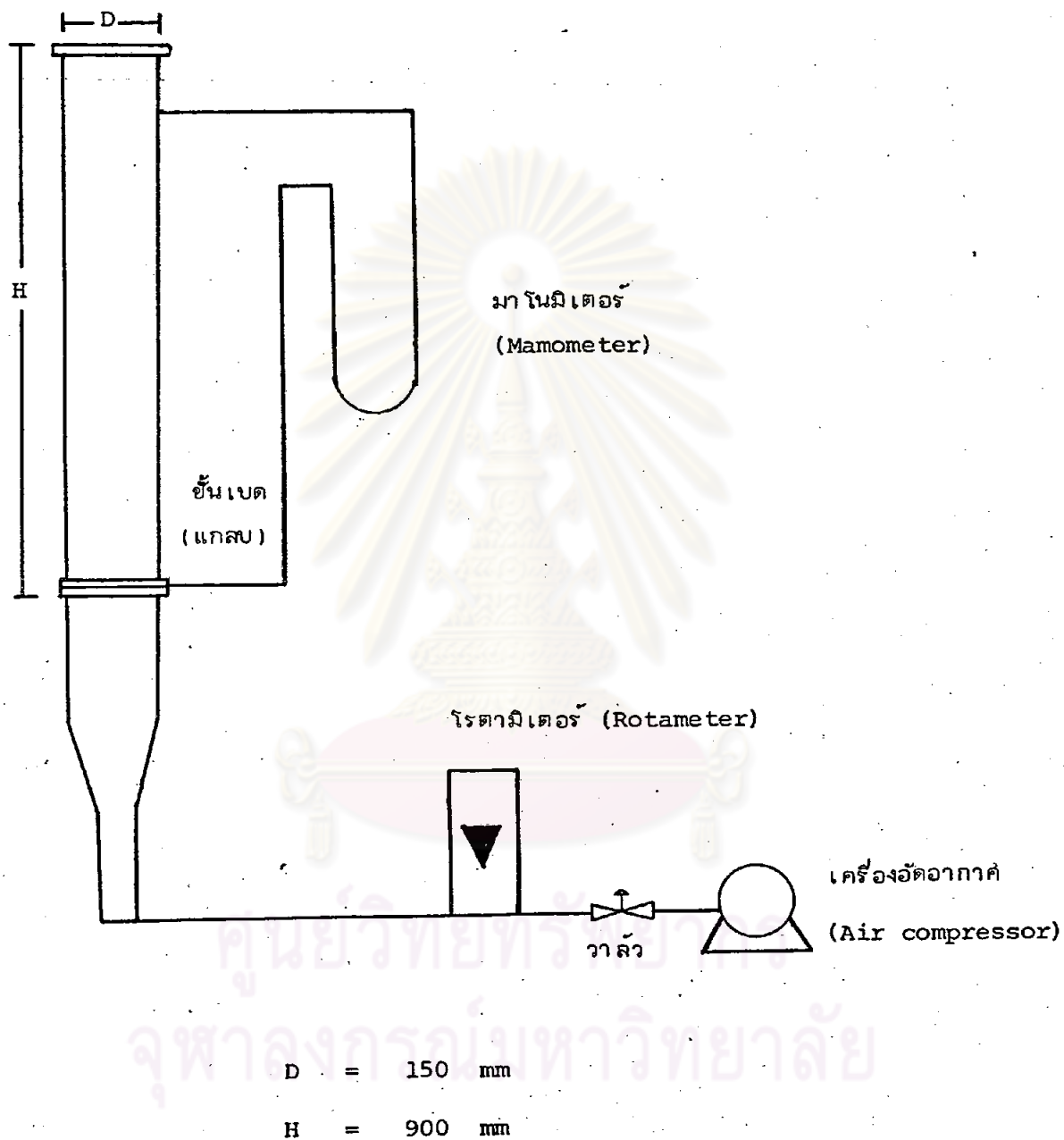
ภาคผนวกที่ 4

การทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิโดเซชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวกที่ 4

ลักษณะของ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน



รูปที่ 4-1 แสดง ลักษณะของ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน

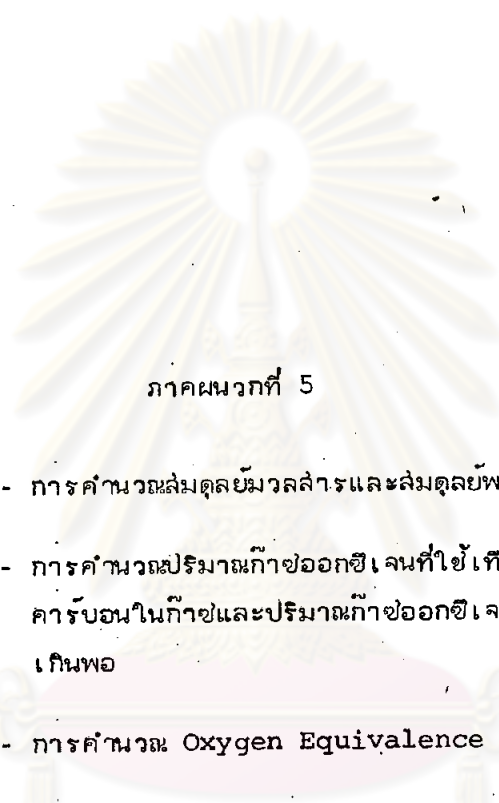
ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน

| ความเร็วของอากาศ<br>(ซม./วินาที) | ความดันเปลี่ยนแปลง (มม.น้ำ) |                   |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------------|
|                                  | ความสูงเบต 10 ซม.           | ความสูงเบต 15 ซม. |
| 4.00                             | 1.4                         | 2.0               |
| 7.80                             | 2.0                         | 3.5               |
| 15.40                            | 3.2                         | 6.2               |
| 28.20                            | 5.4                         | 8.0               |
| 40.00                            | 6.8                         | 9.0               |
| 52.20                            | 6.8                         | 10.0              |
| 54.20                            | 6.6                         | 8.6               |
| 58.40                            | 6.6                         | 9.0               |
| 64.40                            | 7.0                         | 8.8               |
| 70.40                            | 6.8                         | 8.8               |
| 80.40                            | 6.6                         | 9.0               |

การทดลองกระทำที่อุณหภูมิห้อง และความดันบรรยากาศ (28 องศาเซลเซียส และ 1 บรรยากาศ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวกที่ 5

- การคำนวณสัมมูลย์มวลสารและสัมมูลย์พลังงาน
- การคำนวณปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เทียบกับคาร์บอนในก๊าซและปริมาณก๊าซออกซิเจนที่มากเกินพอ
- การคำนวณ Oxygen Equivalence Ratio
- การคำนวณประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซิฟิเคชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวกที่ 5

## การคำนวณ

1. การคำนวณสัมมูลย์มวลสารและสัมมูลย์พลังงาน

การคำนวณอาศัยข้อมูลการทดลองจากตารางที่ 1-1 ในภาคผนวกที่ 1 และค่าต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบในการคำนวณเปิดอ้างอิงจากหนังสืออ้างอิงท้ายบทภาคผนวกนี้

ตัวอย่างการคำนวณสัมมูลย์มวลสาร

จากการทดลองที่ 1 ในตารางที่ 1-1 ของภาคผนวกที่ 1

อุณหภูมิกระบวนการก๊าซซีพีเคเอ็น 700 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลของอากาศ 0.533 ลบ.ม/นาที

ฐานการคำนวณ การทดลองกระบวนการก๊าซซีพีเคเอ็น 1 นาที

มวลสารเข้า

## 1. น้ำหนักของแก๊สทั้งหมดที่ป้อนเข้าคอลัมน์

แก๊สมีความชื้นร้อยละ 10.05

ก. น้ำหนักน้ำในแก๊ส =  $0.1005 \times 161.0$  กรัม

= 16.18 กรัม

ข. น้ำหนักแก๊สแห้ง =  $161.0 - 16.18$  กรัม

= 144.82 กรัม

## 2. น้ำหนักของอากาศและน้ำที่เข้าไปในคอลัมน์

อัตราการไหลของอากาศ = 0.533 ลบ.ม.

= 533 ลิตร

อุณหภูมิของอากาศเข้า = 96 °ซ



ปริมาตรของอากาศที่สภาวะสมบูรณ์

$$V_2 = \frac{V_1 P_1 \cdot T_2}{P_2 T_1} = \frac{533 \times 1 \cdot 273}{1 \cdot 369} = 394.33 \text{ ลิตร}$$

จำนวนกรัม-โมลของอากาศที่เข้าทั้งหมด =  $\frac{394.33}{22.40}$   
= 17.60 กรัม-โมล

จากอุณหภูมิกะเปาะแห้ง 96 °C และอุณหภูมิกะเปาะเปียก 33 °C เปิดแผ่น-  
ภาพความชื้นได้

อากาศที่เข้าคอสัมพันธ์ความชื้น = 0.01 โมลน้ำ/โมลอากาศแห้ง (2)

น้ำในอากาศ =  $\frac{0.01 \times 17.60}{1.01}$  กรัม-โมล  
= 0.17 กรัม-โมล  
= 3.06 กรัม

จำนวนกรัม-โมลของอากาศแห้ง = 17.60 - 0.17 กรัม-โมล  
= 17.43 กรัม-โมล

ในอากาศเข้ามีก๊าซไนโตรเจน = 17.43 × 0.79 กรัม-โมล  
= 13.77 กรัม-โมล  
= 385.56 กรัม

ในอากาศเข้ามีก๊าซออกซิเจน = 17.43 × 0.21 กรัม-โมล  
= 3.66 กรัม-โมล  
= 117.13 กรัม

น้ำหนักของอากาศแห้งที่เข้าคอสัมพันธ์ = 385.56 + 117.13 กรัม  
= 502.69 กรัม

#### มวลสารออก

1. น้ำหนักของก๊าซชีวมวลที่ออกจากคอสัมพันธ์

สมมุติฐาน : ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยไม่เข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซอื่น

สัมมูลย์ไนโตรเจน

ก๊าซไนโตรเจนจากอากาศแห้งที่เข้าคอลัมน์ = 13.77      กรัม-โมล

จากตารางที่ 5-2 แกลบมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.48 (น้ำหนักแห้ง)

ก๊าซไนโตรเจนจากแกลบ =  $\frac{0.0048 \times 144.82}{28}$  กรัม-โมล

= 0.03      กรัม-โมล

ก๊าซไนโตรเจนทั้งหมด = 13.77 + 0.03      กรัม-โมล

= 13.80      กรัม-โมล

ก๊าซไนโตรเจนในก๊าซชีววมวล ร้อยละ 79.21

จำนวนก๊าซชีววมวลแห้ง =  $\frac{13.80 \times 100}{79.21}$       กรัม-โมล

= 17.42      กรัม-โมล

| ก๊าซ            | ร้อยละโดยปริมาตร | จำนวนกรัม-โมล |
|-----------------|------------------|---------------|
| N <sub>2</sub>  | 79.21            | 13.80         |
| CO              | 3.51             | 0.61          |
| CO <sub>2</sub> | 10.28            | 1.79          |
| O <sub>2</sub>  | 4.09             | 0.71          |
| H <sub>2</sub>  | 2.57             | 0.45          |
| CH <sub>4</sub> | 0.35             | 0.06          |
| รวม             | 100.00           | 17.42         |

น้ำหนักก๊าซชีววมวลแห้ง = 506.89      กรัม

2. น้ำหนักน้ำในก๊าซชีววมวล

น้ำหนักน้ำจากแกลบ =  $\frac{16.18}{18}$       กรัม-โมล

= 0.90      กรัม-โมล

น้ำหนักน้ำจากอากาศที่เข้า = 0.17      กรัม-โมล

จากตารางที่ 5-2 แกลบมีปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 4.04 (น้ำหนักแห้ง)

|   |  |          |
|---|--|----------|
| ปริมาณไฮโดรเจนที่เข้า                         | $= \frac{0.0404 \times 144.82}{2}$           |          |
|   | $= 2.92$                                     | กรัม-โมล |
| กรัม-โมลของก๊าซไฮโดรเจนในก๊าซชีววมวล          | $= 0.45$                                     | กรัม-โมล |
| ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เข้าทำปฏิกิริยา          | $= 2.92 - 0.45$                              | กรัม-โมล |
|   | $= 2.47$                                     | กรัม-โมล |
| ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับก๊าซไฮโดรเจนได้แก่   | $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow H_2O$ | (1)      |
|   | $C + 2H_2 \rightleftharpoons CH_4$           | (2)      |
| จาก (2) กรัม-โมลของก๊าซมีเทนในก๊าซชีววมวล     | $= 0.06$                                     | กรัม-โมล |
| กรัม-โมลของก๊าซไฮโดรเจนที่เข้าทำปฏิกิริยา     | $= 0.12$                                     | กรัม-โมล |
| ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนที่เข้าทำปฏิกิริยาเกิดไอน้ำ | $= 2.47 - 0.12$                              | กรัม-โมล |
| ปริมาณไอน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา            | $= 2.35$                                     | กรัม-โมล |
| ปริมาณไอน้ำในก๊าซชีววมวลทั้งหมด               | $= 2.35 + 0.9 + 0.17$                        | กรัม-โมล |
|   | $= 3.42$                                     | กรัม-โมล |
|   | $= 61.56$                                    | กรัม     |
| 3. น้ำหนักถ่านลู่ที่ออกจากไซโคลน              | $= 40$                                       | กรัม     |
| จากตารางที่ 1-1 ในภาคผนวกที่ 1                |  |          |
| ปริมาณร้อยละของคาร์บอนในถ่านลู่               | $= 20.76$                                    |          |
| คาร์บอนในถ่านลู่                              | $= 0.2076 \times 40$                         | กรัม     |
|   | $= 8.30$                                     | กรัม     |
|   | $= 0.69$                                     | กรัม-โมล |

| มวลสารเข้า                   | มวลสารออก                                |
|------------------------------|--|
| น้ำหนักแกลบแห้ง 144.82 กรัม  | น้ำหนักก๊าซที่ออกจากคอกสัมน์ 506.89 กรัม |
| น้ำหนักน้ำในแกลบ 16.18 กรัม  | น้ำหนักน้ำในก๊าซชีววมวล 61.56 กรัม       |
| น้ำหนักอากาศแห้ง 502.69 กรัม | น้ำหนักถ่านลู่ 40.00 กรัม                |
| น้ำหนักน้ำในอากาศ 37.06 กรัม | น้ำหนักที่สูญหาย 58.30 กรัม              |
| รวม 666.75 กรัม              | รวม 666.75 กรัม                          |

ตารางที่ 5-1 สุ่มสุบลีมวลสารของการทดลองการผลิตก๊าซชีววมวลจากแกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไอส์เบค

| การทดลองที่ | มวลเข้า (กรัม)  |                  |                  |                   | มวลออก (กรัม)  |                    |                         | น้ำหนักที่สูญหาย (กรัม) |
|-------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|----------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
|             | น้ำหนักแกลบแห้ง | น้ำหนักน้ำในแกลบ | น้ำหนักอากาศแห้ง | น้ำหนักน้ำในอากาศ | น้ำหนักถ่านสุก | น้ำหนักก๊าซชีววมวล | น้ำหนักน้ำในก๊าซชีววมวล |                         |
| 1           | 144.82          | 16.18            | 502.69           | 3.06              | 40.00          | 506.79             | 61.64                   | 58.32                   |
| 2           | 147.40          | 16.47            | 489.12           | 1.53              | 45.67          | 491.19             | 64.53                   | 53.13                   |
| 3           | 161.49          | 18.04            | 482.48           | 0.90              | 41.67          | 525.99             | 65.48                   | 29.78                   |
| 4           | 153.34          | 17.13            | 525.16           | 1.98              | 39.33          | 541.11             | 74.15                   | 43.03                   |
| 5           | 165.21          | 18.46            | 507.00           | 11.70             | 40.83          | 538.56             | 74.00                   | 47.99                   |
| 6           | 167.78          | 18.75            | 490.56           | 17.76             | 45.00          | 523.19             | 94.90                   | 31.82                   |
| 7           | 173.72          | 19.41            | 492.91           | 15.48             | 46.67          | 504.42             | 83.96                   | 66.47                   |
| 8           | 187.82          | 20.98            | 540.76           | 4.32              | 53.00          | 579.88             | 85.05                   | 35.94                   |
| 9           | 179.66          | 20.07            | 520.53           | 12.35             | 48.33          | 522.11             | 92.95                   | 68.72                   |
| 10          | 144.04          | 16.09            | 603.04           | 9.36              | 41.67          | 631.76             | 77.29                   | 21.82                   |
| 11          | 159.63          | 17.84            | 595.99           | 8.55              | 45.00          | 611.49             | 84.38                   | 41.14                   |
| 12          | 185.59          | 20.74            | 591.79           | 7.02              | 51.00          | 634.39             | 91.63                   | 28.12                   |
| 13          | 179.66          | 20.07            | 596.70           | 9.00              | 46.67          | 598.39             | 91.19                   | 69.17                   |
| 14          | 185.59          | 20.74            | 583.80           | 10.93             | 46.00          | 584.88             | 89.81                   | 80.37                   |
| 15          | 201.19          | 22.48            | 587.51           | 6.61              | 52.67          | 607.67             | 86.69                   | 70.76                   |
| 16          | 144.04          | 16.09            | 584.08           | 3.64              | 40.00          | 640.95             | 71.73                   | -4.83*                  |
| 17          | 155.91          | 17.42            | 583.14           | 3.28              | 39.00          | 630.89             | 77.34                   | 12.51                   |
| 18          | 152.56          | 17.04            | 582.28           | 4.72              | 42.00          | 611.27             | 74.60                   | 28.72                   |
| 19          | 185.59          | 20.74            | 579.68           | 5.44              | 47.33          | 662.12             | 93.25                   | -11.25*                 |
| 20          | 233.87          | 26.13            | 576.80           | 5.40              | 61.00          | 701.09             | 116.50                  | -36.40*                 |



ตัวอย่าง การคำนวณผลผลิตพลังงาน

อุณหภูมิอ้างอิง 25 องศาเซลเซียส (น้ำอยู่ในสภาวะที่เป็นของเหลว)

ฐานการคำนวณ การทดลองนาน 1 นาที

การทดลองที่ 1 อุณหภูมิกระบวนการกาซอีพีเคชั่น 700 องศาเซลเซียส

อัตราการไหลของอากาศ 0.533 ลบ.ม./นาที

พลังงานเข้า

1. ค่าทางความร้อนของแก๊สที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์

|                                       |          |              |
|---------------------------------------|----------|--------------|
| จากตารางที่ 5-1 ค่าทางความร้อนของแก๊ส | = 3.3702 | กิโลแคลอรี   |
| น้ำหนักของแก๊สแห้ง                    | = 144.82 | กรัมแก๊สแห้ง |

ค่าทางความร้อนของแก๊ส =  $3.3702 \times 144.82$  กิโลแคลอรี

= 488.07 กิโลแคลอรี

2. เอนทาลปีของแก๊ส = 0 กิโลแคลอรี

3. เอนทาลปีของน้ำในแก๊ส = 0 กิโลแคลอรี

4. เอนทาลปีของอากาศแห้ง

อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์เท่ากับ 96 องศาเซลเซียส

$C_{p,m}$  ของอากาศที่ 96 องศาเซลเซียสเท่ากับ 6.995 แคลอรี/กรัม-โมล<sup>°ซ</sup> (1)

น้ำหนักของอากาศแห้งเท่ากับ =  $\frac{502.69}{29}$  กรัม-โมล

เอนทาลปีของอากาศแห้ง =  $\frac{6.995 \times 502.69}{29} \times (96-25) \times 10^{-3}$  กิโลแคลอรี

= 8.61 กิโลแคลอรี

5. เอนทาลปีของไอน้ำในอากาศ

ปริมาณความร้อนของการระเหยที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 10467 แคลอรี/กรัม-โมล

$C_{p,m}$  ของไอน้ำที่ 96 องศาเซลเซียสเท่ากับ 8.081 แคลอรี/กรัม-โมล<sup>°ซ</sup> (1)

น้ำหนักของน้ำในอากาศเท่ากับ 0.17 กรัม-โมล

เอนทาลปีรวมของไอน้ำในอากาศ =  $0.17 \times [10467 + 8.081 \times (96-25)] \times 10^{-3}$

= 1.88 กิโลแคลอรี

$$\begin{aligned} \text{รวมพลังงานความร้อนที่เข้าทั้งหมด} &= 488.07+8.61+1.88 && \text{กิโลแคลอรี} \\ &= 498.56 && \text{กิโลแคลอรี} \end{aligned}$$

### พลังงานออก

#### 1. ค่าทางความร้อนของถ่านลู่ที่ออกจากไซโคลน

$$\begin{aligned} \text{จากภาคผนวกที่ 1 ค่าทางความร้อนของถ่านลู่} &= 1.6275 && \text{กิโลแคลอรี/กรัม} \\ \text{น้ำหนักของถ่านลู่} &= 40 && \text{กรัม} \\ \text{ค่าทางความร้อนของถ่านลู่ที่ออกจากไซโคลน} &= 1.6275 \times 40 && \text{กิโลแคลอรี} \\ &= 65.10 && \text{กิโลแคลอรี} \end{aligned}$$

#### 2. เอนทาลปีของถ่านลู่ที่ออกจากไซโคลน

จากภาคผนวกที่ 1 อุณหภูมิของถ่านลู่เท่ากับ 700 องศาเซลเซียส

Specific heat ของถ่านลู่ (25-700 °ซ) เท่ากับ 3.933 แคลอรี/กรัม-โมล °ซ (1)

$$\begin{aligned} \text{เอนทาลปีของถ่านลู่} &= \frac{3.933 \times 40 (700-25)}{12 \times 1000} && \text{กิโลแคลอรี} \\ &= 8.85 && \text{กิโลแคลอรี} \end{aligned}$$

#### 3. ค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวล

$$\begin{aligned} \text{CO ในก๊าซชีวมวล} &= 0.61 && \text{กรัม-โมล} \\ \text{ค่าทางความร้อนของ CO} &= 67.6361 && \text{กิโลแคลอรี/กรัม-โมล} \\ \text{H}_2 \text{ ในก๊าซชีวมวล} &= 0.45 && \text{กรัม-โมล} \\ \text{ค่าทางความร้อนของ H}_2 &= 68.3174 && \text{กิโลแคลอรี/กรัม-โมล} \\ \text{CH}_4 \text{ ในก๊าซชีวมวล} &= 0.06 && \text{กรัม-โมล} \\ \text{ค่าทางความร้อนของ CH}_4 &= 212.798 && \text{กิโลแคลอรี/กรัม-โมล} \\ \text{รวมค่าทางความร้อนของก๊าซชีวมวล} &= (0.61 \times 67.6361) + && \\ &= (0.45 \times 68.3174) + && \\ &= (0.06 \times 212.798) && \text{กิโลแคลอรี} \\ &= 84.77 && \text{กิโลแคลอรี} \end{aligned}$$



## 4. เอนทาลปีของก๊าซชีวมวล

$$\text{จาก } \Delta H = nC_{Pm} \Delta T$$

$$\text{อุณหภูมิของกระบวนการ} = 700^\circ\text{ซ}$$

| ก๊าซ            | $C_{Pm}$ (แคลอรี/กรัม-โมล <sup>°ซ</sup> ) |
|-----------------|---|
| N <sub>2</sub>  | 7.298                                     |
| CO              | 7.365                                     |
| CO <sub>2</sub> | 11.303                                    |
| O <sub>2</sub>  | 7.706                                     |
| H <sub>2</sub>  | 7.032                                     |
| CH <sub>4</sub> | 12.9                                      |

เอนทาลปีของแต่ละก๊าซเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} N_2 &= 13.8 \times 7.298 \times (700 - 25) \times 10^{-3} = 67.98 \text{ กิโลแคลอรี} \\ CO &= 0.61 \times 7.365 \times (700 - 25) \times 10^{-3} = 3.03 \text{ กิโลแคลอรี} \\ CO_2 &= 1.79 \times 11.303 \times (700 - 25) \times 10^{-3} = 13.66 \text{ กิโลแคลอรี} \\ O_2 &= 0.71 \times 7.706 \times (700 - 25) \times 10^{-3} = 3.69 \text{ กิโลแคลอรี} \\ H_2 &= 0.45 \times 7.032 \times (700 - 25) \times 10^{-3} = 2.14 \text{ กิโลแคลอรี} \\ CH_4 &= 0.06 \times 12.9 \times (700 - 25) \times 10^{-3} = 0.52 \text{ กิโลแคลอรี} \\ \text{รวม} &= 91.02 \text{ กิโลแคลอรี} \end{aligned}$$

## 5. เอนทาลปีของไอน้ำในก๊าซชีวมวล

ปริมาณความร้อนของการระเหยที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 10467 แคลอรี/กรัม-โมล

$$C_{Pm} \text{ ของไอน้ำ (25-700 }^\circ\text{ซ) เท่ากับ 8.816 แคลอรี/กรัม-โมล}^\circ\text{ซ} \quad (1)$$

$$\text{น้ำหนักของไอน้ำเท่ากับ} = 3.42 \text{ กรัม-โมล}$$

$$\text{เอนทาลปีของไอน้ำทั้งหมด} = 3.42 \times [10467 + 8.816(700 - 25)] \times 10^{-3}$$

$$= 56.15 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{รวมพลังงานความร้อนที่ออกทั้งหมด} = 65.10 + 8.85 + 84.77 + 91.02 + 56.15$$

$$= 305.89 \text{ กิโลแคลอรี}$$

สมุดบัญชีพลังงาน

| ทางเข้า                  |        |            | ทางออก                          |        |            |
|--------------------------|--------|------------|---------------------------------|--------|------------|
| คุณค่าทางความร้อนของแกลบ | 488.07 | กิโลแคลอรี | คุณค่าทางความร้อนของ ถ่านลู่ก   | 65.10  | กิโลแคลอรี |
| เอนทาลปีของอากาศแห้ง     | 8.61   | กิโลแคลอรี | เอนทาลปีของ ถ่านลู่ก            | 8.85   | กิโลแคลอรี |
| เอนทาลปีของไอน้ำในอากาศ  | 1.88   | กิโลแคลอรี | คุณค่าทางความร้อนของ ก๊าซชีวมวล | 84.77  | กิโลแคลอรี |
|                          |        |            | เอนทาลปีของ ก๊าซชีวมวล          | 91.02  | กิโลแคลอรี |
|                          |        |            | เอนทาลปีของ ไอน้ำในก๊าซ         | 56.15  | กิโลแคลอรี |
|                          |        |            | ความร้อนที่สูญหาย               | 192.67 | กิโลแคลอรี |
| รวม                      | 498.56 | กิโลแคลอรี | รวม                             | 498.84 | กิโลแคลอรี |



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-2 แสดงสมดุลพลังงานของการทดลองการเมล็ดข้าวขาว จากกลบในเครื่องกำเนิดก๊าซแบบฟลูอิดไรเซชัน

| การทดลองที่ | พลังงานเข้า                    |                               |                               |                  | พลังงานออก                     |                             |                                 |                              |                               |                                 |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
|             | ค่าความร้อนของกลบ (กิโลแคลอรี) | เอนทาลปีของอากาศ (กิโลแคลอรี) | เอนทาลปีของไอน้ำ (กิโลแคลอรี) | รวม (กิโลแคลอรี) | ค่าความร้อนของเตา (กิโลแคลอรี) | เอนทาลปีของเตา (กิโลแคลอรี) | ค่าความร้อนของก๊าซ (กิโลแคลอรี) | เอนทาลปีของก๊าซ (กิโลแคลอรี) | เอนทาลปีของไอน้ำ (กิโลแคลอรี) | ความร้อนสูญเสียหาย (กิโลแคลอรี) |
| 1           | 488.07                         | 8.61                          | 1.88                          | 498.56           | 65.10                          | 8.85                        | 84.77                           | 90.97                        | 56.15                         | 192.72                          |
| 2           | 496.77                         | 9.80                          | 0.95                          | 507.51           | 102.92                         | 11.69                       | 56.75                           | 94.77                        | 60.71                         | 108.67                          |
| 3           | 544.24                         | 10.37                         | 0.56                          | 555.17           | 38.73                          | 11.98                       | 140.31                          | 113.78                       | 63.38                         | 186.99                          |
| 4           | 516.78                         | 10.01                         | 1.22                          | 528.01           | 43.81                          | 10.42                       | 32.49                           | 87.39                        | 65.65                         | 288.25                          |
| 5           | 556.79                         | 9.91                          | 7.23                          | 573.93           | 35.32                          | 11.74                       | 151.66                          | 97.72                        | 68.46                         | 209.03                          |
| 6           | 565.46                         | 10.18                         | 11.05                         | 586.70           | 42.64                          | 12.94                       | 65.88                           | 99.69                        | 89.13                         | 276.42                          |
| 7           | 585.47                         | 10.35                         | 9.61                          | 605.43           | 60.41                          | 14.51                       | 134.54                          | 109.80                       | 81.15                         | 205.02                          |
| 8           | 632.98                         | 8.61                          | 2.64                          | 644.22           | 89.91                          | 15.24                       | 144.14                          | 128.83                       | 84.77                         | 181.33                          |
| 9           | 605.48                         | 8.91                          | 7.57                          | 621.97           | 65.73                          | 13.90                       | 79.57                           | 122.91                       | 95.14                         | 244.72                          |
| 10          | 485.43                         | 9.01                          | 5.70                          | 500.15           | 90.84                          | 10.12                       | 15.58                           | 101.41                       | 68.36                         | 213.85                          |
| 11          | 538.00                         | 9.63                          | 5.23                          | 552.86           | 84.78                          | 11.92                       | 7.44                            | 106.06                       | 77.00                         | 265.66                          |
| 12          | 625.49                         | 10.13                         | 4.31                          | 639.93           | 84.71                          | 13.51                       | 91.03                           | 120.93                       | 86.08                         | 243.67                          |
| 13          | 605.48                         | 9.50                          | 5.50                          | 620.48           | 61.21                          | 12.36                       | 66.41                           | 125.03                       | 88.29                         | 267.18                          |
| 14          | 625.49                         | 10.14                         | 6.71                          | 642.33           | 50.46                          | 14.30                       | 200.39                          | 130.25                       | 89.43                         | 157.51                          |
| 15          | 678.05                         | 10.49                         | 4.06                          | 692.60           | 74.16                          | 15.15                       | 225.65                          | 146.10                       | 88.87                         | 142.68                          |
| 16          | 485.43                         | 15.38                         | 2.29                          | 503.10           | 59.92                          | 9.71                        | 6.78                            | 111.86                       | 65.34                         | 249.49                          |
| 17          | 525.45                         | 15.49                         | 2.07                          | 543.01           | 33.81                          | 10.33                       | 1.35                            | 118.96                       | 72.72                         | 305.83                          |
| 18          | 514.14                         | 15.47                         | 2.98                          | 532.59           | 65.44                          | 12.08                       | 23.77                           | 125.34                       | 72.09                         | 233.87                          |
| 19          | 625.49                         | 15.40                         | 3.43                          | 644.32           | 48.06                          | 14.71                       | 8.13                            | 143.28                       | 92.83                         | 337.30                          |
| 20          | 788.19                         | 15.33                         | 3.41                          | 806.92           | 74.05                          | 18.96                       | 4.73                            | 161.81                       | 119.29                        | 428.08                          |

2. การคำนวณปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เทียบกับคาร์บอนในก๊าซ  
และปริมาณก๊าซออกซิเจนมากเกินพอ

2.1 การคำนวณปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้เทียบกับคาร์บอนในก๊าซ

จากหัวข้อสัมมูลย์มวลสาร (การทดลองที่ 1)

|  |             |          |
|--|-------------|----------|
| ก๊าซออกซิเจนที่เข้าสู่ระบบ             | = 3.66      | กรัม-โมล |
| จากก๊าซชีวมวล ปริมาณก๊าซ CO            | = 0.61      | กรัม-โมล |
| ปริมาณก๊าซ CO <sub>2</sub>             | = 1.79      | กรัม-โมล |
| ปริมาณก๊าซ CH <sub>4</sub>             | = 0.06      | กรัม-โมล |
| ปริมาณก๊าซ O <sub>2</sub>              | = 0.71      | กรัม-โมล |
| ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ถูกใช้ในกระบวนการ | = 3.66-0.71 | กรัม-โมล |
|  | = 2.95      | กรัม-โมล |

อัตราส่วนของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้

$$\begin{aligned} \text{เทียบกับคาร์บอนในก๊าซ} &= \frac{2.95}{(0.61+1.79+0.06)} \\ &= 1.20 \quad \text{กรัม-โมล} \\ &\quad \text{กรัม-โมล} \end{aligned}$$

2.2 การคำนวณปริมาณร้อยละของก๊าซออกซิเจนที่มากเกินพอ

$$\text{ปริมาณร้อยละของคาร์บอนในแกลบ} = 33.72 \quad (\text{น้ำหนักแห้ง})$$

$$\text{ปริมาณร้อยละของไฮโดรเจนในแกลบ} = 4.04 \quad (\text{น้ำหนักแห้ง})$$

$$\text{น้ำหนักแกลบแห้ง (จากการทดลองที่ 1)} = 144.82 \quad \text{กรัม}$$

ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ต้องใช้ทาง

$$\text{ทฤษฎีเพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์} = \frac{(0.3372 \times 144.82)}{12} + \frac{(0.0404 \times 144.82)}{2 \times 2}$$

$$= 5.53 \quad \text{กรัม-โมล}$$

$$\text{จากหัวข้อ 2.1 ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้} = 2.95 \quad \text{กรัม-โมล}$$

$$\text{ปริมาณร้อยละก๊าซออกซิเจนมากเกินพอ} = \frac{5.53-2.95}{5.53} \times 100$$

$$= 44.66$$

### 3. การคำนวณ Oxygen equivalence ratio (ER)

$$ER = \frac{\text{ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการ}}{\text{ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ควรใช้ทางทฤษฎีเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์}}$$

ตัวอย่างการทดลองที่ 1

จากหัวข้อ 2. ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการ = 2.95 กรัม-โมล

ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ควรใช้ทางทฤษฎี = 5.53 กรัม-โมล

$$ER = \frac{2.95}{5.53} = 0.53$$

### 4. การคำนวณประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซิฟเคชัน

$$\text{ประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซิฟเคชัน} = \frac{\text{คุณค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล}}{\text{พลังงานความร้อนที่เข้าสู่กระบวนการ}} \times 100$$

จากการทดลองที่ 1

คุณค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล = 84.77 กิโลแคลอรี

พลังงานความร้อนที่เข้าสู่กระบวนการ = 498.56 กิโลแคลอรี

$$= \frac{84.77}{498.56} \times 100$$

$$= 17.00 \%$$

### 5. คุณค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล

การทดลองที่ 1 คุณค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล = 84.77 กิโลแคลอรี

ปริมาณก๊าซชีวมวลแห้ง = 506.89 กรัม

$$\text{คุณค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล} = \frac{84.77 \times 1000}{506.89} \quad \frac{\text{แคลอรี}}{\text{กรัมแห้ง}}$$

$$= 167.24 \quad \frac{\text{แคลอรี}}{\text{กรัมก๊าซแห้ง}}$$

ที่สภาวะมาตรฐาน (25 °C, 1 บรรยากาศ)

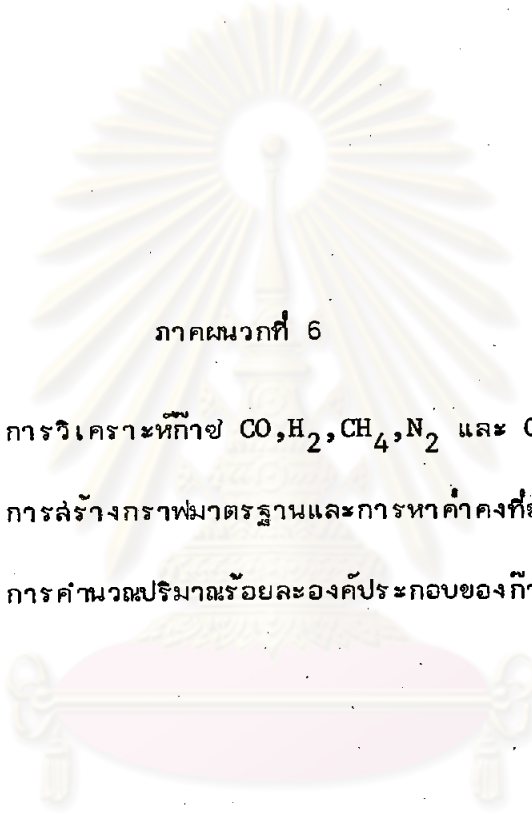
$$\text{คุณค่าความร้อนของก๊าซชีวมวล} = 199.02 \quad \frac{\text{กิโลแคลอรี}}{\text{ลบ.ม.}}$$

## หนังสืออ้างอิง

1. Hougen, O.A. , Watson, K.M. and Ragatz, R.A. Chemical Process Principles. pp.253-265, John Wiley & Sons, New York, 1954.
2. Perry, R.H. and Chilton, C.H. Chemical Engineers' Handbook. 5th ed., pp.3-119-3-136, McGraw-Hill, Tokyo, 1973.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวกที่ 6

- การวิเคราะห์ก๊าซ  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$  และ  $\text{O}_2$
- การสร้างกราฟมาตรฐานและการหาค่าคงที่ของก๊าซ
- การคำนวณปริมาณร้อยละประกอบของก๊าซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวกที่ 6

## การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซโดยใช้แก๊สโครมาโตกราฟี

1. การวิเคราะห์ก๊าซ CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> และ O<sub>2</sub>

|  |                            |
|--|----------------------------|
| เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟี           | : Variant 3400             |
| ชนิดคอลัมน์                                | : molecular sieve 5A       |
| ก๊าซนำพา (Carrier gas)                     | : อาร์กอน                  |
| ปริมาณก๊าซนำพา                             | : 0.5 ลบ.ซม./วินาที        |
| อุณหภูมิของคอลัมน์ (Column temperature)    | : 60 °ซ                    |
| อุณหภูมิการฉีดก๊าซ (Injector temperature)  | : 60 °ซ                    |
| อุณหภูมิระบบตรวจวัด (Detector temperature) | : 60 °ซ                    |
| ระบบตรวจวัด (Detector)                     | : ระบบวัดสภาพการนำความร้อน |
| อุณหภูมิของเส้นลวด (Filament temperature)  | : 90 °ซ                    |
| กระแส (Current)                            | : 104 มิลลิแอมแปร์         |
| โพลาริตี (Polarity)                        | : ลบ (Negative)            |

## ลำดับการทดลองวิเคราะห์ก๊าซ

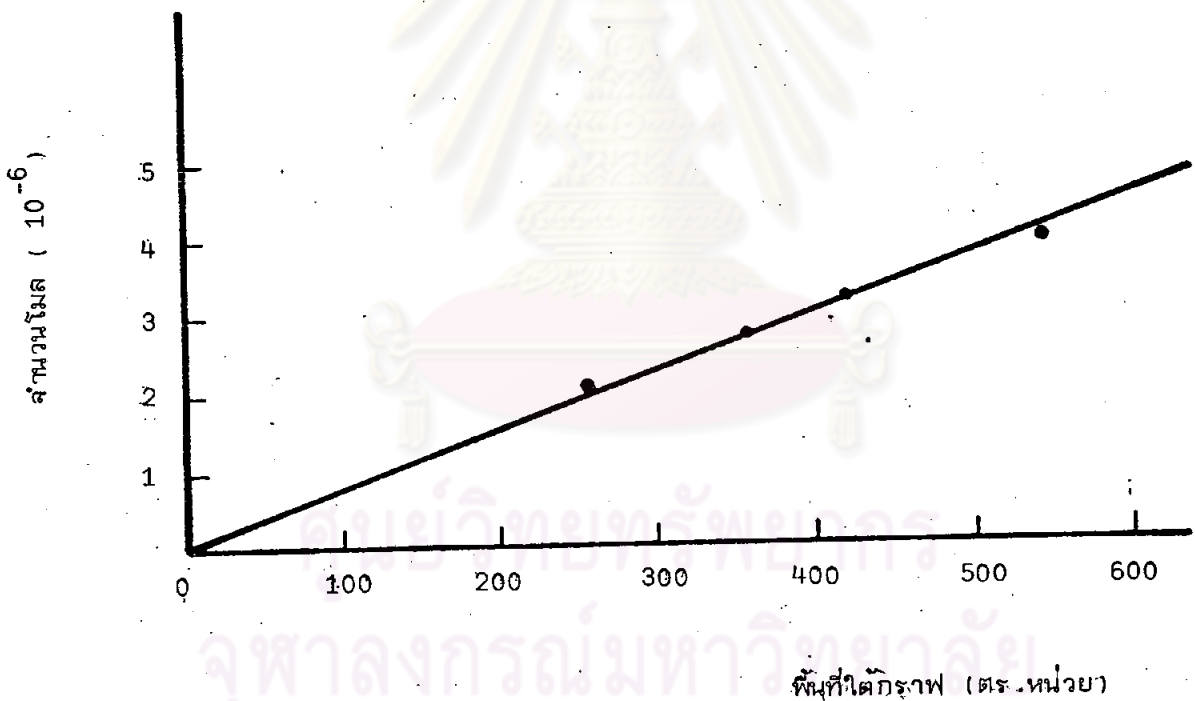
- 1) เปิดเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ จากนั้นเปิดวาล์วให้ก๊าซนำพาผ่านเข้าสู่เครื่องด้วยอัตราเร็ว 0.5 ลบ.ซม./วินาที
- 2) ตรวจสอบเซปตัม (Septum) ของท่อฉีดก๊าซผล์มที่จะฉีดเข้าเครื่อง
- 3) ตั้งโปรแกรมการวิเคราะห์ก๊าซ
- 4) ทิ้งให้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซเกิดสภาพผล์มตุล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 5) ใช้ฮีเอ็มฉีดดูดก๊าซผล์มมาตรฐาน (Standard gas) ปริมาณ 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 ลบ.ซม. ตามลำดับ ฉีดเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน และจากกราฟนี้จะสามารถหาค่าคงที่ของแต่ละก๊าซได้
- 6) ใช้ฮีเอ็มฉีดดูดก๊าซผล์มจำนวน 1.0 ลบ.ซม. ฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์จะได้แผ่นโครมาโตแกรม
- 7) นำแผ่นโครมาโตแกรมไปวัดพื้นที่ใต้กราฟ แล้วคำนวณหาองค์ประกอบของก๊าซผล์มได้จากกราฟมาตรฐานของกราฟผล์มนั้น





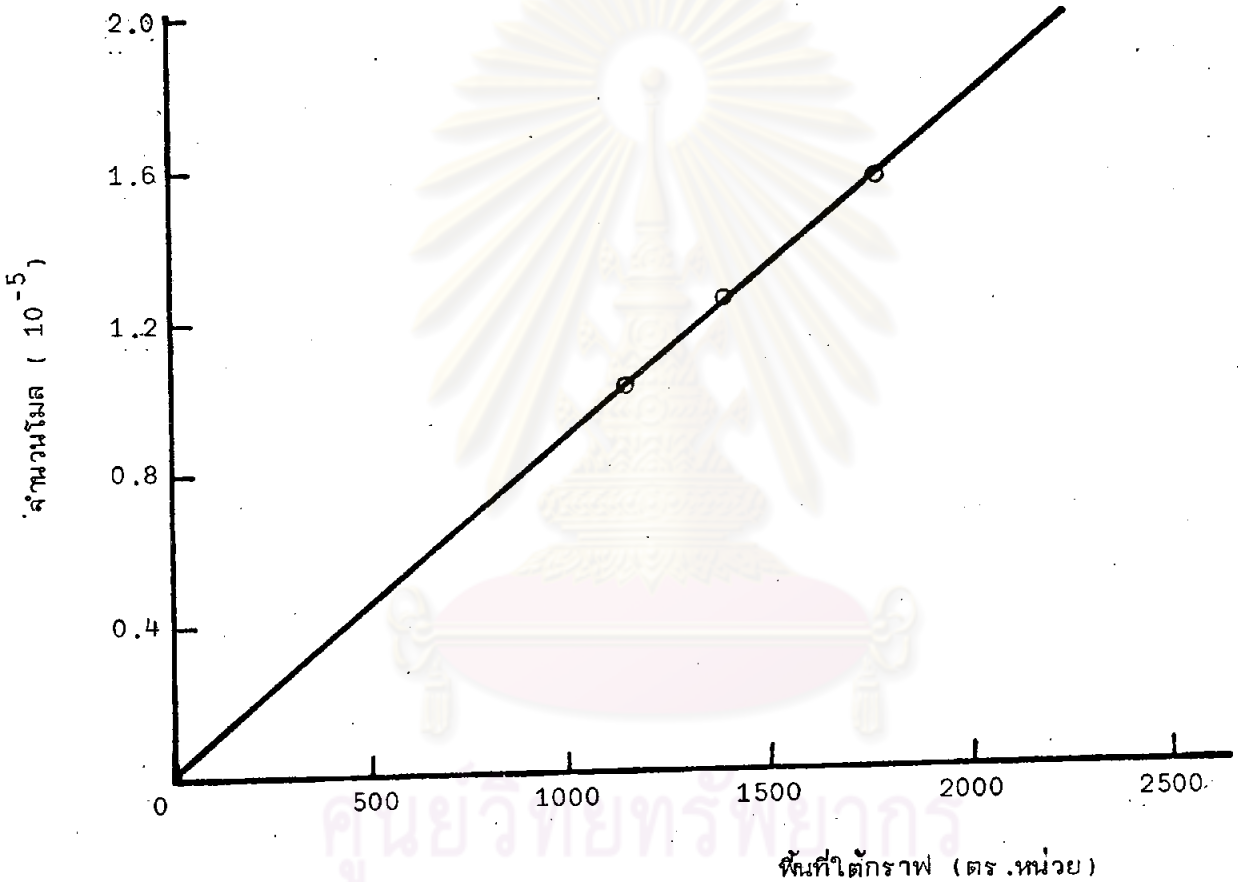
## 2. การสร้างกราฟมาตรฐาน และการหาค่าคงที่ของก๊าซ

นำก๊าซมาตรฐานที่ทราบปริมาณร้อยละของก๊าซจำนวน 0.3, 0.5, 0.7 และ 1.0 ลบ.ซม. ตามลำดับ ติดเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟที่จะได้โครมาโตแกรมของก๊าซมาตรฐาน วัดพื้นที่ของโครมาโตแกรม และคำนวณหาจำนวนโมลของก๊าซจากปริมาณร้อยละของก๊าซที่ทราบค่า จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้โครมาโตแกรมกับจำนวนโมล หาค่าคงที่ของก๊าซได้จากค่าความชัน (Slope) รูปที่ 2-1 ถึง 2-5 แสดงกราฟมาตรฐานของก๊าซต่าง ๆ



รูปที่ 2-1 กราฟมาตรฐานของก๊าซไนโตรเจน

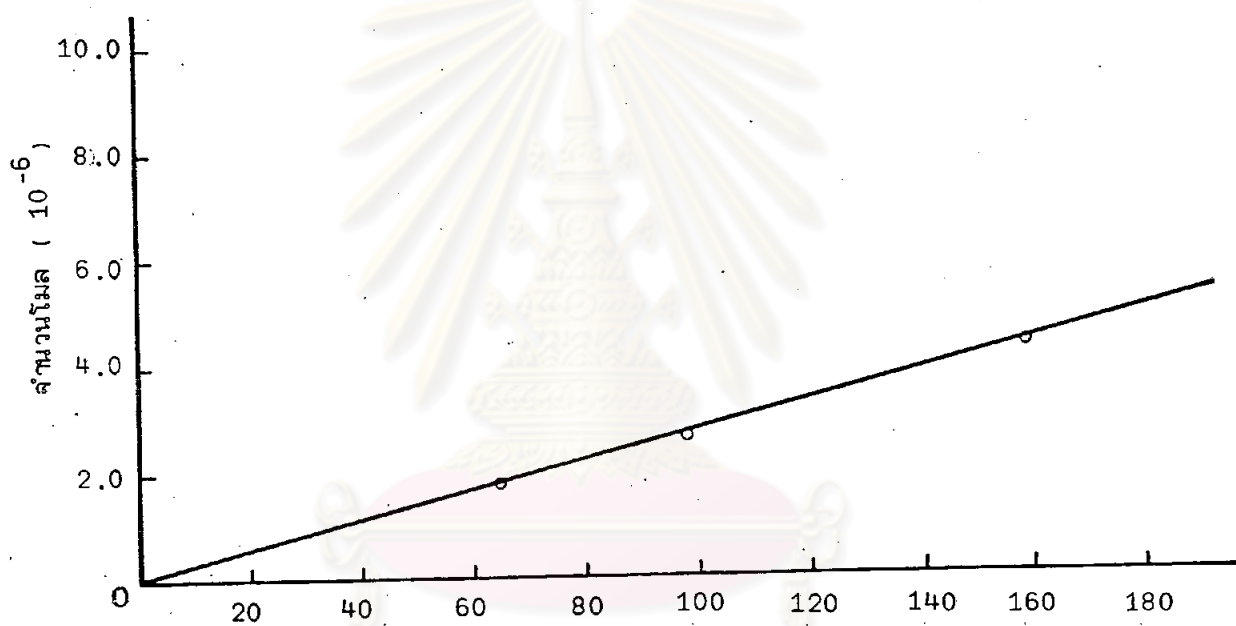
$$\begin{aligned} \text{ค่าคงที่ของก๊าซไนโตรเจน} &= 0.778 \times 10^{-8} \text{ จำนวนโมล/พื้นที่} \\ \text{Attenuation} &= 16 \end{aligned}$$



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-2 กราฟมาตรฐานของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

ค่าคงที่ของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ =  $0.879 \times 10^{-8}$  จำนวนโมล/พื้นที่  
 Attenuation = 16



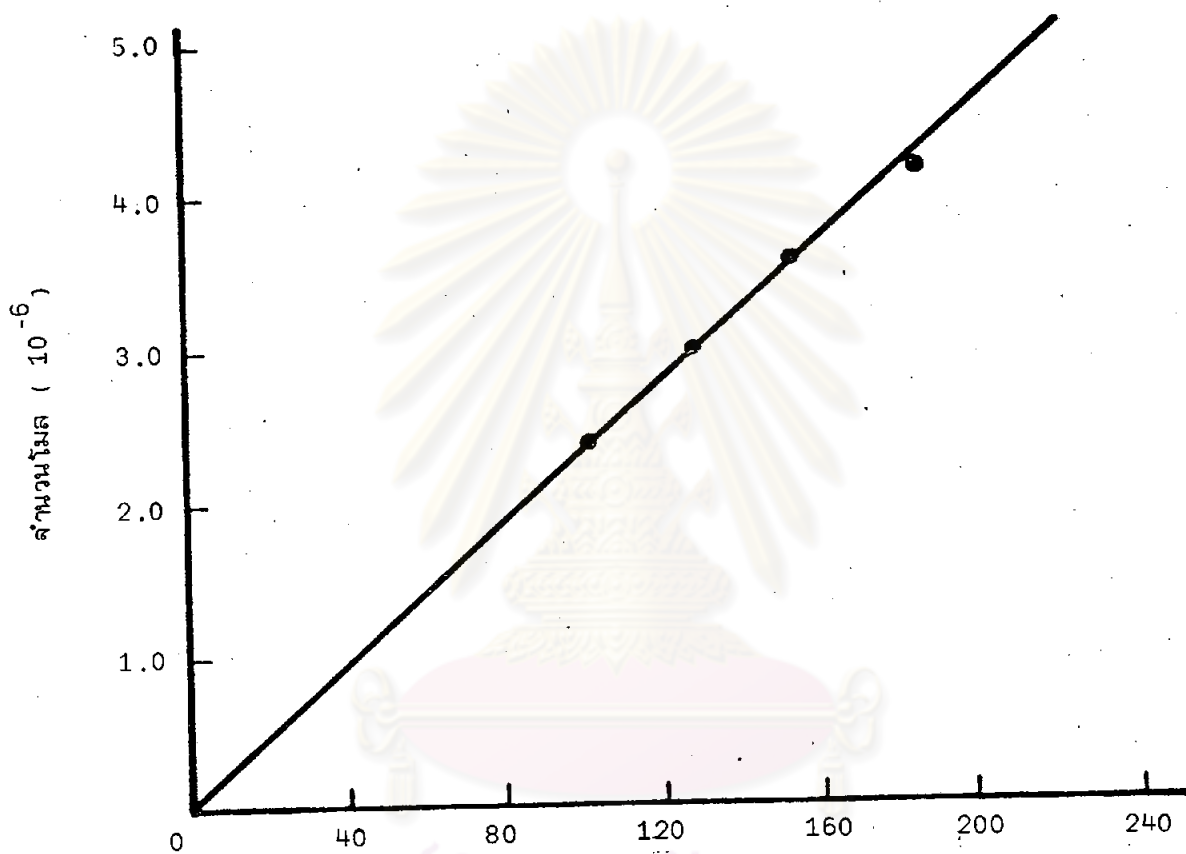
พื้นที่ใต้กราฟ (ตรงหน่วย)

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-3 กราฟมาตรฐานของก๊าซออกซิเจน

$$\text{ค่าคงที่ของก๊าซออกซิเจน} = 2.857 \times 10^{-8} \text{ จำนวนโมล/พื้นที่}$$

$$\text{Attenuation} = 64$$



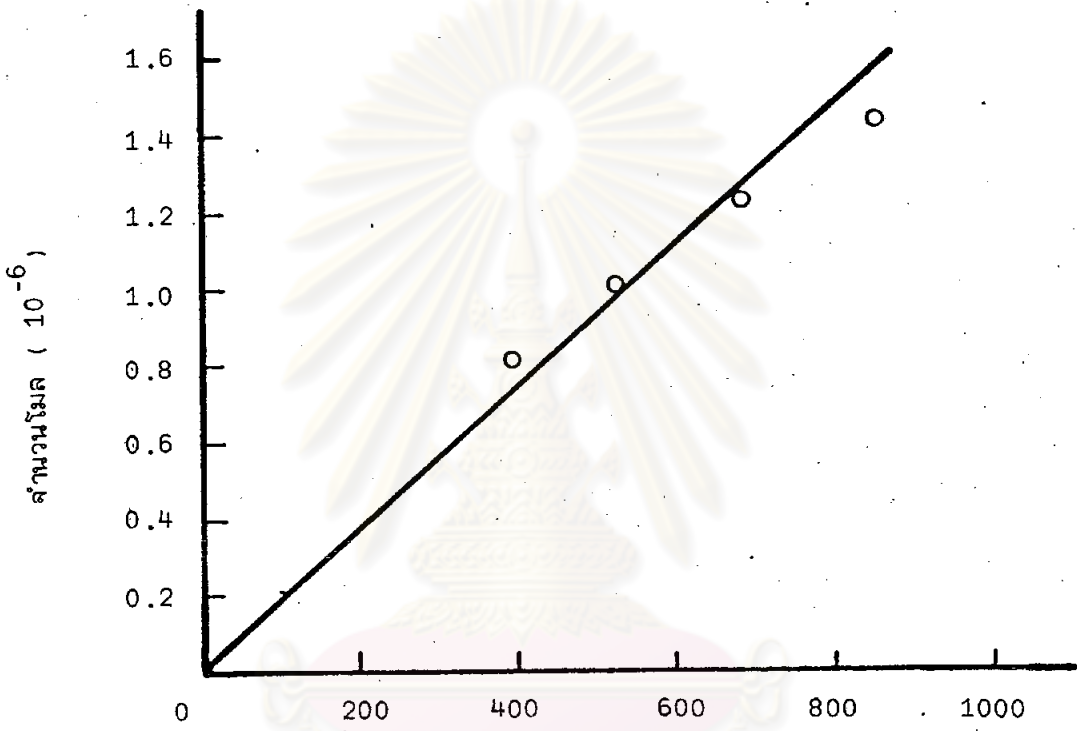
พื้นที่ใต้กราฟ (ตร.หน่วย)

ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-4 กราฟมาตรฐานของก๊าซไฮโดรเจน

ค่าคงที่ของก๊าซไฮโดรเจน =  $2.38 \times 10^{-8}$  จำนวนโมล/พื้นที่

Attenuation = 512



พื้นที่ใต้กราฟ (ตร.หน่วย)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2-5 กราฟมาตรฐานของก๊าซมีเทน

ค่าคงที่ของก๊าซมีเทน =  $0.185 \times 10^{-8}$  จำนวนโมล/พื้นที่

Attenuation = 8



3. การคำนวณปริมาณร้อยละประกอบของก๊าซ

ตัวอย่างการคำนวณ      การทดลองที่อุณหภูมิ      850 °ซ  
 อัตราการไหลของอากาศ      0.633 ลบ.ม./นาท

จากรูปที่ 3-1 แสดงโครมาโตแกรมของก๊าซชีวมวลที่อุณหภูมิ 850 °ซ และอัตราการไหลของอากาศ 0.633 ลบ.ม./นาท หาพื้นที่ของพีกจากสูตรการหาพื้นที่ของสามเหลี่ยมคือ 1/2 คูณความสูงคูณความกว้างของพีก ดังนั้นพื้นที่ของพีกเท่ากับความสูงของพีกคูณความกว้างของพีกที่ระยะครึ่งหนึ่งของความสูง

ตารางที่ 3-1 พื้นที่ของพีกของก๊าซ

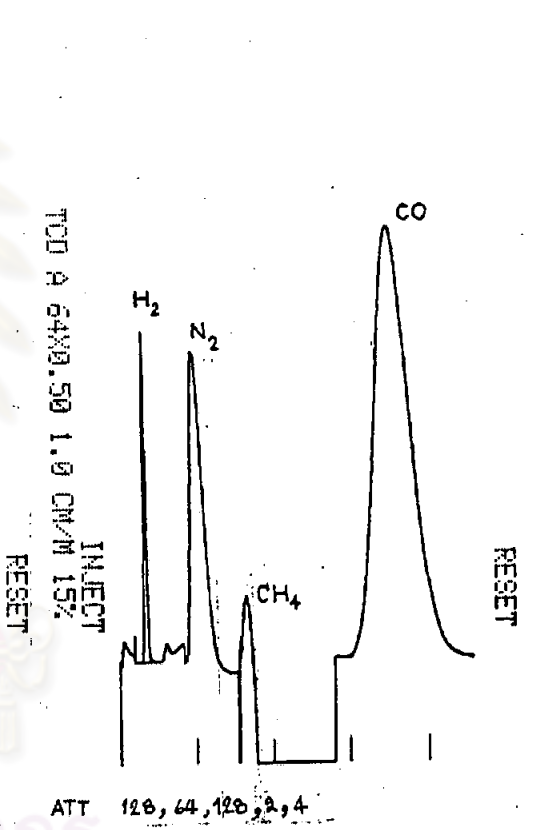
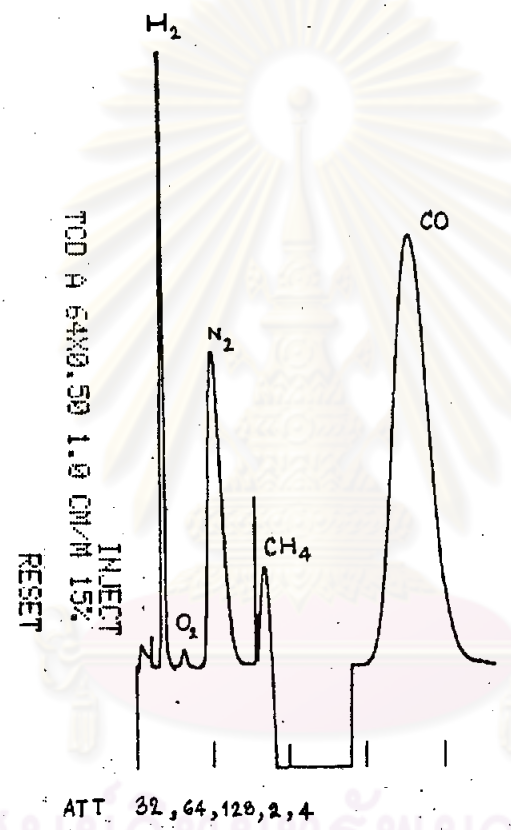
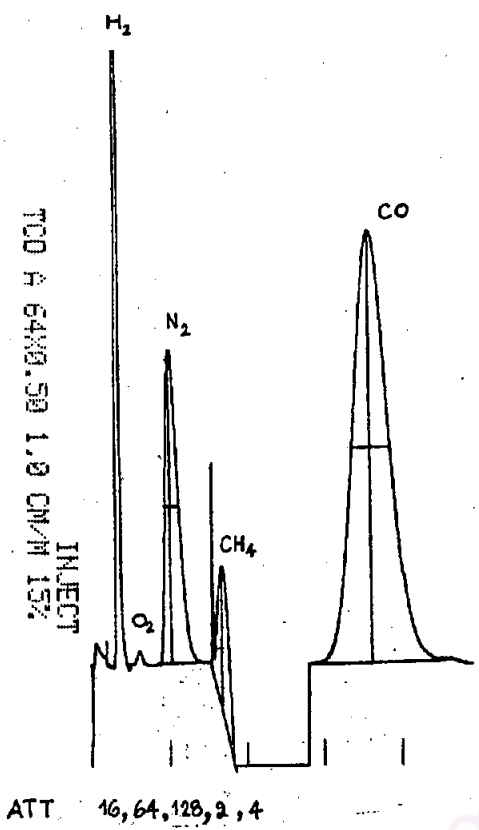
| ก๊าซ            | ATTENUATION | พื้นที่ของพีก (ตารางหน่วย) |
|-----------------|-------------|----------------------------|
| N <sub>2</sub>  | 128         | 403.85                     |
| CO              | 4           | 1700                       |
| O <sub>2</sub>  | 64          | 6                          |
| H <sub>2</sub>  | 128         | 104                        |
| CH <sub>4</sub> | 2           | 208                        |

จากหัวข้อ 2. ค่าคงที่ของก๊าซต่าง ๆ จะได้ดังนี้

ตารางที่ 3-2 ค่าคงที่ของก๊าซ

| ก๊าซ            | ค่าคงที่ของก๊าซ        | ATTENUATION |
|-----------------|------------------------|-------------|
| N <sub>2</sub>  | $0.778 \times 10^{-8}$ | 16          |
| CO              | $0.879 \times 10^{-8}$ | 16          |
| O <sub>2</sub>  | $2.857 \times 10^{-8}$ | 64          |
| H <sub>2</sub>  | $2.38 \times 10^{-8}$  | 512         |
| CH <sub>4</sub> | $0.185 \times 10^{-8}$ | 8           |

คำนวณหาจำนวนโมลของก๊าซ : จากผลคูณของค่าคงที่ของก๊าซกับพื้นที่ของพีก โดยที่ Attenuation จะต้องแปลงให้เท่ากัน สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์วัดโดยเครื่องวิเคราะห์ ออกแลก ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 3-3 ดังนี้



รูปที่ 3-1 โครมาโตแกรมของก๊าซชีววมวล (อุณหภูมิเบต 850 °, อัตราการไหลของอากาศ 0.633 ลบ.ม./นาที)

ตารางที่ 3-3 การคำนวณจำนวนโมล และปริมาณร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซต่าง ๆ

| ก๊าซ            | จำนวนโมล ( $10^{-8}$ ) | สัดส่วนโดยปริมาตร | ปริมาณร้อยละ<br>โดยปริมาตร (ก๊าซแห้ง) |
|-----------------|------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| N <sub>2</sub>  | 2513.562               | 0.6146            | 78.433                                |
| CO              | 373.575                | 0.0913            | 11.651                                |
| O <sub>2</sub>  | 17.100                 | 0.0042            | 0.536                                 |
| H <sub>2</sub>  | 61.880                 | 0.0151            | 1.927                                 |
| CH <sub>4</sub> | 9.620                  | 0.0024            | 0.306                                 |
| CO <sub>2</sub> | -                      | 0.056             | 7.146                                 |
|                 |                        | 0.7836            | 100.00                                |

จำนวนโมลของก๊าซ = ค่าคงที่ของก๊าซ x พื้นที่ของพิท (Attenuation เท่ากัน)\*

$$\begin{aligned} \text{สำหรับ N}_2 : \text{จำนวนโมล} &= 0.778 \times 10^{-8} \times (403.85 \times 8) \quad \text{โมล} \\ &= 2513.562 \times 10^{-8} \quad \text{โมล} \end{aligned}$$

ที่สภาวะสมบูรณ์ (NTP)  
(0°C, 1 บรรยากาศ) ก๊าซ 1 โมลมีปริมาตร = 22400 ลบ.ซม.

สภาวะมาตรฐาน  
(25°C, 1 บรรยากาศ) ก๊าซ 1 โมล =  $\frac{22400 \times 298}{273}$  ลบ.ซม.

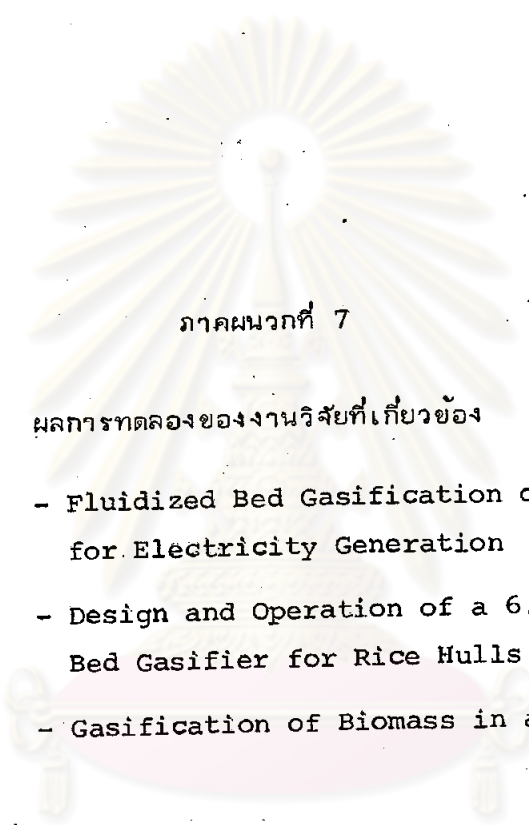
$$= 24451.28 \quad \text{ลบ.ซม.}$$

สำหรับ N<sub>2</sub> : สัดส่วนโดยปริมาตร =  $24451.28 \times 2513.562 \times 10^{-8}$

$$= 0.6146$$

\* เปร็คคิษฐ์ คณาธรรณา, ทฤษฎีแก๊สโครมาโตกราฟี (กรุงเทพมหานคร





ภาคผนวกที่ 7

ผลการทดลองของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Fluidized Bed Gasification of Rice Husk for Electricity Generation
- Design and Operation of a 6.0 inch Fluidized Bed Gasifier for Rice Hulls
- Gasification of Biomass in a Fluidized Bed

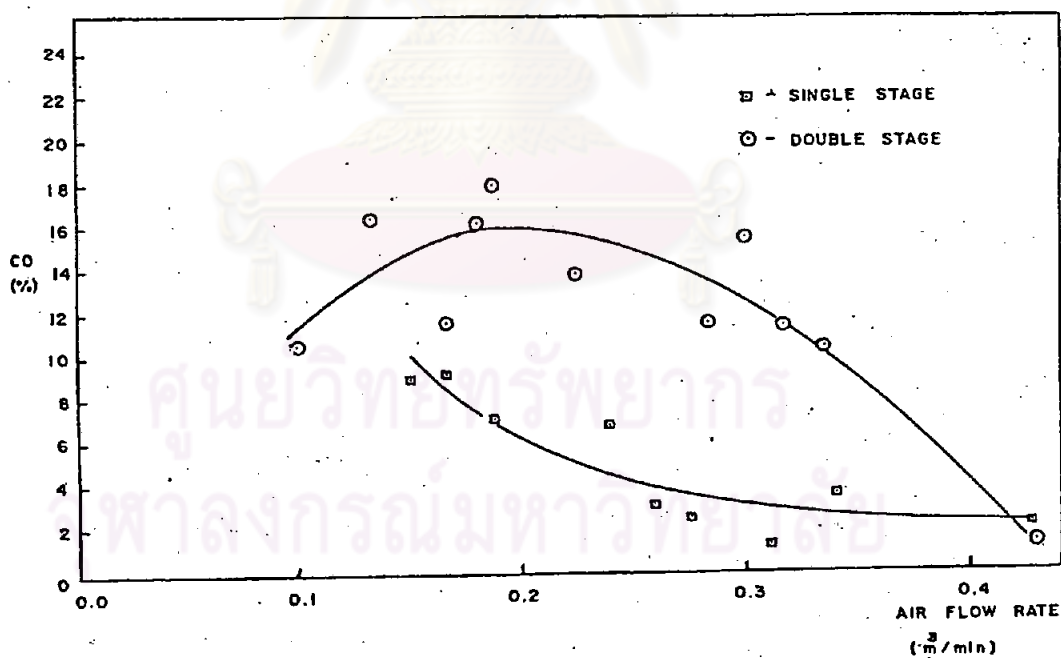
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



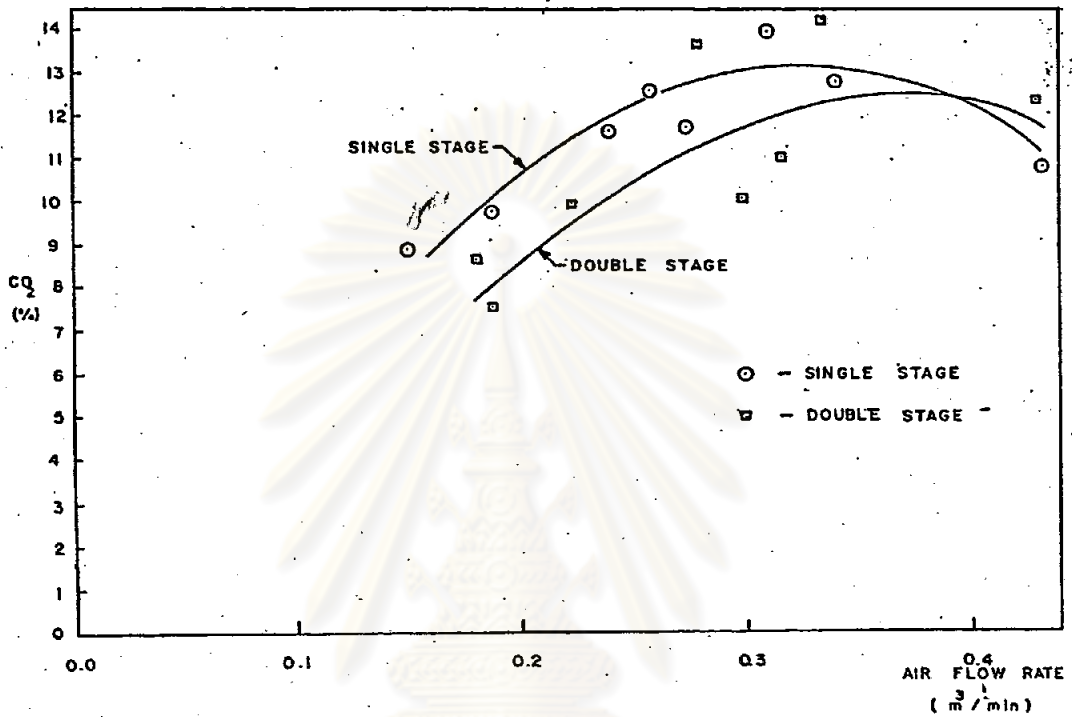
## ภาคผนวกที่ 7

## ผลการทดลองของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยเรื่อง Fluidized Bed Gasification of Rice Husk for Electricity Generation (23)
- โดย Dr. Norkun Sitthiphong
- ระบบ Double-Stage Fluidized Bed Gasifier 20 cm. Diameter, Refractory-Lined, Cylindrical Vessel.



รูปที่ 7-1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ

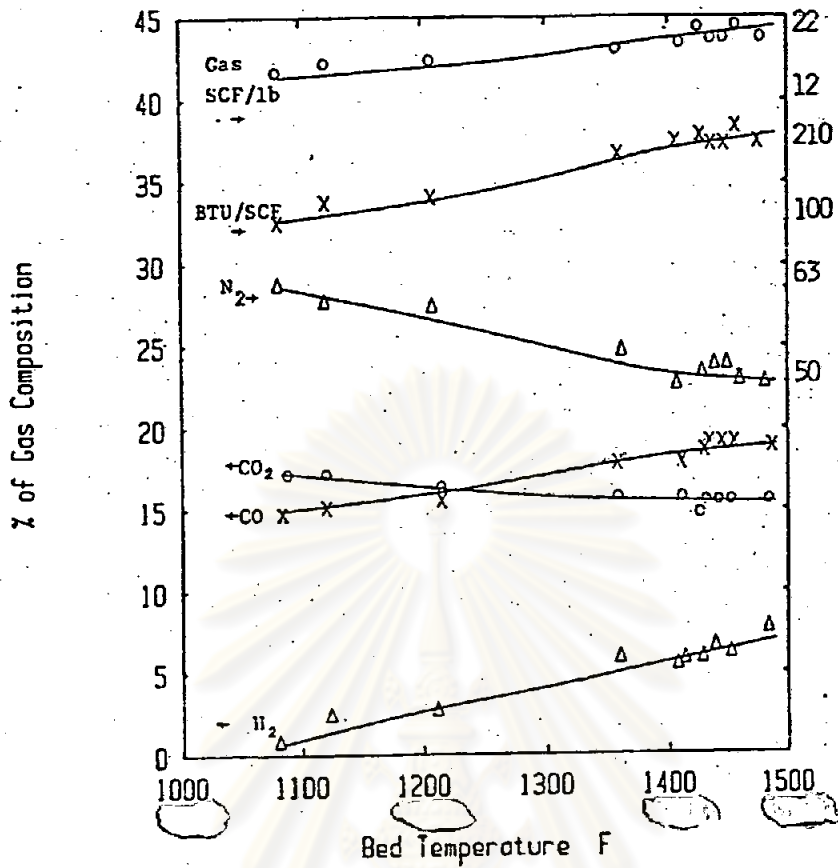


รูปที่ 7-2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อัตราการไหลของอากาศต่าง ๆ

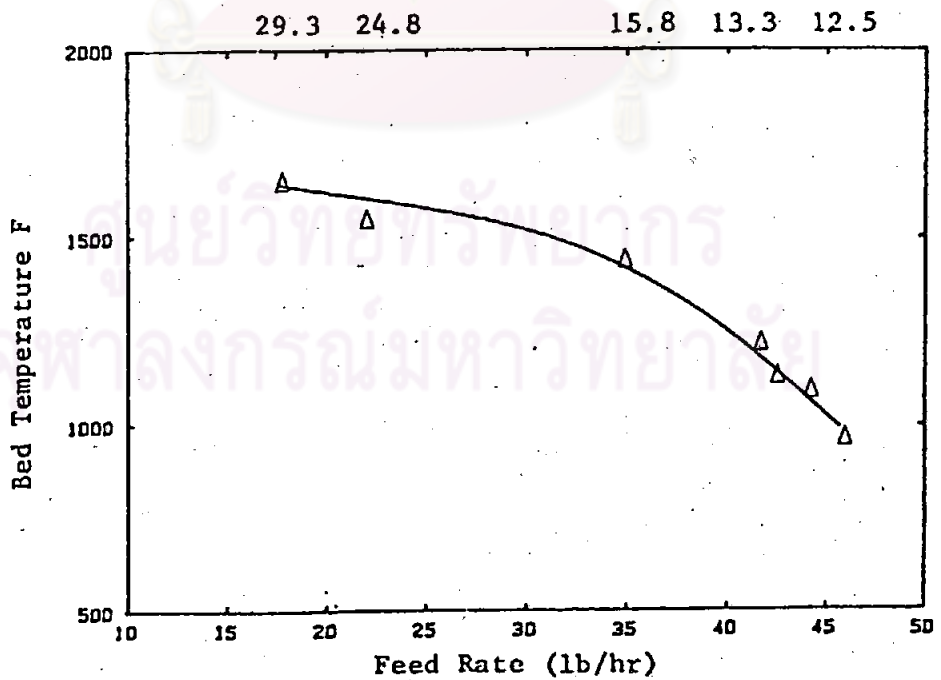
2. งานวิจัยเรื่อง Design and Operation of a 6.0 inch Fluidized Bed Gasifier for Rice Hulls (24)

โดย Bing Yan Xu, W. Eric Huang, Virgil J. Flanigan and O.C. Sitton

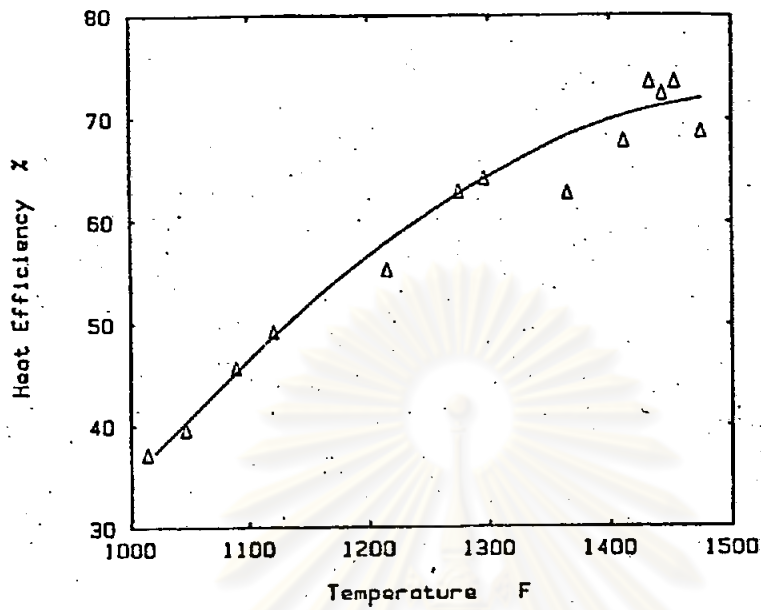
ระบบ 6.0 inch diameter gasifier



รูปที่ 7-3 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณ ร้อยละองค์ประกอบของก๊าซ  
Air ratio ( SCF/lb.)



รูปที่ 7-4 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิภายในเบดกับอัตราส่วนของอากาศต่อวัตถุดิบ

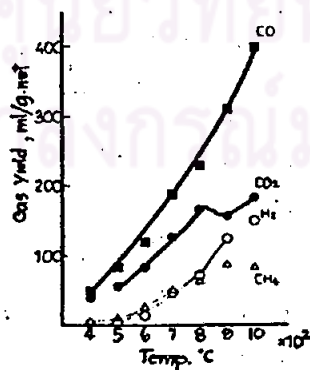


รูปที่ 7-5 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพความร้อนของก๊าซ

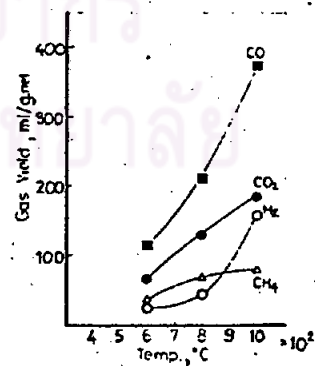
3. งานวิจัยเรื่อง Gasification of Biomass in a Fluidized Bed (22)

โดย A. Sakoda, M. Sadakata, T. Koya, T. Furusawa and Kunii

ระบบ 37 mm. fluidized bed column with electric furnace around the bed



ก. ไม้ชิ้นเล็ก



ข. เปส็อกข้าว

รูปที่ 7-6 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณก๊าซชีวมวล

ประวัติผู้เขียน

นายสัทธิ แล่นลู่ภา เกิดเมื่อวันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2501 ที่จังหวัดลำปาง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาวิชา เคมี) จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ พ.ศ. 2523 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2524 ที่อยู่ปัจจุบัน 483 ถนนอโศก- ดินแดง พญาไท กรุงเทพฯ.



ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย