

## เอกสารอ้างอิง

1. ยงบุตร อุดคคกิมพันธ์, ส้มช่าย สุปุทธิพานิชย์, วลัย ตะเวทิงค์, จิตวิวัฒน์ มีคู่ย.  
"ความก้าวหน้าในการสำรวจ และการผลิตภายในประเทศ." ถ่านหิน. คณะ  
กรรมการถ่านหิน กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ กรมทรัพยากรธรณี, 2527
2. \_\_\_\_\_, ส้มช่าย สุปุทธิพานิชย์, วลัย ตะเวทิงค์, จิตวิวัฒน์ มีคู่ย. "ความ  
ก้าวหน้าในการสำรวจ และการผลิตภายในประเทศ." การประชุมทางวิทยา  
การ, ครั้งที่ 2, กรมทรัพยากรธรณี, 1-11, 2526
3. วสันต์ แสงจันทร์, "การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนท์ในเตาเผาแบบฟลูอิดไธซ์เบด." วิทยา-  
นิพนธ์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2527.
4. ศศิวิมล อู่สว่าง. "การเผาไหม้แก๊สในฟลูอิดไธซ์เบด." วิทยานิพนธ์. ภาควิชาเคมี  
เทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
5. สัมพร เลือดกาญจนะ, วิรัช คำกรวิมล, ฐชาติ บารมี, สัมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ.  
"การเผาไหม้ถ่านหินแบบฟลูอิดไธซ์เบด." วารสารเคมีวิศวกรรม เทคโนโลยี-  
ทางอาหารและเชื้อเพลิง, ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม, 87-97,  
2524.
6. สัมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไธซ์เบด. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลง-  
กรณ์มหาวิทยาลัย, 2524.
7. Alfredo, L.G. and Neal R.A. "Modelling of Fluidized Bed Reactors."  
Chemical Engineering Science, 31, 1163-1178, 1976.
8. Aredesian, M.M. and Davidson J.F.. "Combustion of Carbon Particle  
in A Fluidized Bed." Trans Instn Chem Engrs, 51, 121-131,  
1973.
9. Bao Yi Lin, Yand Min Xin, Yang Lidan and Chin Yu Kun, "Burning  
Lignite in Fluidized Bed Boilers." The First International  
Fluidized Bed Combustion and Applied Technology Symposium  
in The People Republic of China, August 22-26, 1983.

10. Boroclulya, V.A., Gangha, V.L., Zheltov, A.I. "Heat Transfer Between Gas-Solid Fluidized Bed and Horizontal Tube Bundles." Letters in Heat and Mass Transfer, 7, 83-95, 1980.
11. Campbell, E.K. and Davidson, J.F. "The Combustion of Coal in Fluidized Bed." Inst of Fuel Sym. Ser. No 1, 1975.
12. Ergun, S. Chemical Engineering Progress, 48, 89, 1952.
13. Highley, J. "The Development of Fluidized Bed Combustion for Industry." The First International Fluidized Bed Combustion and Applied Technology Symposium in The People Republic of China, August 22-26, 1983.
14. Hougen, O.A. Chemical Process Principle. Parti 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, Inc., New York 1954.
15. Jodra, L.G., Aragon, J.M. and Corella, J. "Fluidized Beds with Internal Screen I. Study of a Two-Dimensional Bed." International Chemical Engineering, 19, 4, 654-664, 1979.
16. \_\_\_\_\_, J.M. and Corella, J. "Fluidized Beds with Internal Screen II. Study in a Cylindrical Reactor." International Chemical Engineering, 19, 664-671, 1979.
17. Khitrin, L.N. "Physics of Combustion and Explosion Translated from Russian". Published by the National Science Foundation, Washington, D.C. by the Israel Programmer for Science Translations, Jurusalem, 135-147, 1962.
18. Kiorboe, L.G. "Design and Operation of an AFBC for Low Grade Fuel." The First International Fluidized Bed Combustion and Applied Technology Symposium in The People Republic of China, August 22-26, 1983.

19. Kunii, D. and Levenspiel O., Fluidization Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1969.
20. Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1962.
21. Perry, J.H. Chemical Engineer's Handbook, 3<sup>rd</sup> edition, McGraw-Hill Book Company, 1950.
22. Prafulla Kumar Sinha, Ahi Bhushan Datta, Shib Shankar Nandi and Debdas Bhaduri." Prediction of Burning Rate of Coal in Fluidized Bed Combustion." Fuel, 59, 527-531, 1980.
23. Roc e, J.C., Witkowski, A.R. and Davidson, D. "The Temperature of Coke Particles in A Fluidized Bed Combustor." Trans IChemE, 58, 69-73, 1982.
24. Toshimasa Hirama, Minoru Tomita and Tomio Adachi." An Experimental Study for Low NO<sub>x</sub> Fluidized Bed Coal Combustor Development." Environmental Science & Technology, 14, 960-965, 1980.
25. \_\_\_\_\_, Mino Tomita and Tomio Adachi," Two Stage Fluidized Bed Combustion of Coal." Proc. Int. Conf. Fluid Bed Combust., 2, 623-631, 1980.
26. Wright, S.J. "The Design of Fluidized Combustor Systems Burning Solid Fuel" I. Chem. E., 161-165, 1968.
27. Yoshida Kuno, "Fluidized Bed Combustion Technology in Japan." Proceedings, 2<sup>nd</sup> World Congress of Chemical Engineering, 2, 29-32, 1981.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ภาคผนวกที่ 1

คุณสมบัติทางกายภาพของเบต

1. การหาสัดส่วนช่องว่าง (void fraction,  $\epsilon_m$ ) และความเป็นทรงกลมเทียบเท่า (sphericity,  $\phi_s$ ) ของถ่านลิกไนท์

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของถ่านลิกไนท์และช่องว่าง} &= 21.0 \quad \text{มิลลิลิตร} \\ \text{ปริมาณของน้ำที่เติมลงไปในช่วงว่าง} &= 10.0 \quad \text{มิลลิลิตร} \\ \text{สัดส่วนช่องว่างของเบต } (\epsilon_m) &= \frac{10}{21} \\ &= 0.4762 \end{aligned}$$

ทำการทดลองซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งผลของการทดลองจะได้ค่าสัดส่วนช่องว่างเฉลี่ย 0.4535 จากหนังสืออ้างอิง Fluidization Engineering หน้า 66 รูปที่ 1

$$\text{เมื่อ } \epsilon_m = 0.4535$$

$$\text{ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า } (\phi_s) = 0.77$$

2. การหาเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่าถ่านลิกไนท์ (diameter of sphere having the volume,  $\phi_p$ )

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณของถ่านลิกไนท์และช่องว่าง} &= 15.0 \quad \text{มิลลิลิตร} \\ \text{จำนวนอนุภาคของถ่านลิกไนท์} &= 6381 \quad \text{อนุภาค} \\ \text{ปริมาตรของถ่านลิกไนท์} &= \text{จำนวนอนุภาค} \times \frac{\pi d_p^3}{6} \\ &= \text{ปริมาตรของถ่านลิกไนท์และช่องว่าง} \\ &\quad \times (1 - \epsilon_m) \\ 6381 \cdot \frac{\pi d_p^3}{6} &= 15 (1 - 0.4535) \\ d_p &= 0.1349 \quad \text{ซม.} \\ &= 1.349 \quad \text{มม.} \end{aligned}$$

## 3. การหาความหนาแน่นของถ่านลิกไนท์

น้ำหนักของถ่านลิกไนท์	= 13.6545	กรัม
ปริมาตรของถ่านลิกไนท์	= 21.0	มิลลิลิตร
ความหนาแน่นของถ่านลิกไนท์	= $\frac{13.6545}{21(1-0.4535)}$	
	= 1.1898	กรัม

ทำการทดลองซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการทดลองได้ค่าความหนาแน่น 1.1985 กรัม/มิลลิลิตร

## 4. การหาปริมาณความชื้น (ใช้วิธีการทดลองตาม ASTM D 3173)

น้ำหนักของถ่านลิกไนท์ก่อนอบ	= 0.8050	กรัม
น้ำหนักของถ่านลิกไนท์หลังอบ	= 0.6204	กรัม
น้ำหนักของน้ำในถ่านลิกไนท์	= 0.1846	กรัม
ปริมาณร้อยละความชื้นของถ่านลิกไนท์	= $\frac{0.1846}{0.8050} \times 100$	
	= 22.93	

ทำการทดลองซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการทดลองได้ค่าปริมาณร้อยละความชื้นของถ่านลิกไนท์ 23.00

## 5. การหาปริมาณสารระเหย (ใช้วิธีการทดลองตาม ASTM D:3175)

น้ำหนักของถ่านลิกไนท์ก่อนอบ	= 0.9185	กรัม
น้ำหนักของถ่านลิกไนท์หลังอบ	= 0.4202	กรัม
น้ำหนักที่หายไป	= 0.4983	กรัม
ปริมาณร้อยละของสารระเหย	= $\frac{0.4983}{0.9185} \times 100 - 23.00$	
	= 31.25	

ทำการทดลองซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการทดลองได้ค่าปริมาณร้อยละของสารระเหย

32.61

## 6. การหาปริมาณเถ้า (ใช้วิธีการทดลองตาม ASTM D 3174)

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักของถ่านลิกไนท์ก่อนอบ} &= 0.9974 && \text{กรัม} \\
 \text{น้ำหนักของถ่านลิกไนท์หลังอบ} &= 0.1047 && \text{กรัม} \\
 \text{ปริมาณร้อยละของเถ้า} &= \frac{0.1047}{0.9974} \times 100 \\
 &= 10.50
 \end{aligned}$$

ทำการทดลองซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย ซึ่งผลการทดลองได้ค่าปริมาณร้อยละของเถ้า 10.38

## 7. การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณร้อยละของคาร์บอนคงตัว} &= 100 - \text{ปริมาณร้อยละของความชื้น} \\
 &\quad - \text{ปริมาณร้อยละของสารระเหย} \\
 &\quad - \text{ปริมาณร้อยละของเถ้า} \\
 &= 100 - 23.0 - 32.61 - 10.38 \\
 &= 34.01
 \end{aligned}$$

## 8. การคำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิโดเซชันตามสมการ (2-7)

$$\begin{aligned}
 U_{mf}^2 &= \frac{\rho_s d_p \cdot \rho_s - \rho_g \cdot g \cdot \epsilon_{mf}^3}{1.75 \rho_g} \\
 &= \frac{0.77 (0.1349)}{1.75} \left( \frac{1.1985 - 0.0029}{0.0069} \right) \cdot \\
 &\quad (985) (0.4535)^3 \\
 U_{mf} &= 47.29 \quad \text{cm. / วินาที}
 \end{aligned}$$

## 9. การคำนวณหาระยะเวลาที่ถ่านลิกไนท์อยู่ภายในคอลัมน์

$$\begin{aligned}
 &\text{ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศาเซลเซียส} \\
 \text{ปริมาณเถ้าที่อยู่ในคอลัมน์} &= 1600.0 \quad \text{กรัม} \\
 \text{อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์} &= 125.0 \quad \text{กรัม/นาที} \\
 \text{ระยะเวลาที่ถ่านลิกไนท์อยู่ภายในคอลัมน์} &= \frac{1600.0}{125.0} = 12.8 \quad \text{นาที}
 \end{aligned}$$

## ภาคผนวกที่ 2

## คุณค่าทางความร้อน (Heating value)

## ตัวอย่างของวิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาปริมาณความร้อนเทียบเท่า (energy equivalent) ของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ จากปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion) ของกรดเบนโซอิก (benzoic acid)

$$w = \frac{Hm + e_1 + e_3}{t}$$

โดยที่

w = ปริมาณความร้อนเทียบเท่าของบอมบ์แคลอรีมิเตอร์  
(แคลอรี/องศาเซลเซียส)

H = ปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ของกรดเบนโซอิก  
(6,318 แคลอรี/กรัม)

m = น้ำหนักของกรดเบนโซอิก (1.1030 กรัม)

t = อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิล่าสุดท้าย  
= 2.8 องศาเซลเซียส

$e_1$  = ความถูกต้อง (correction) ของปริมาณความร้อนของการรวมตัว (formation) ของกรดไนตริก (nitric acid)

= 0 แคลอรี

$e_3$  = ความถูกต้องของปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ของขดลวด (ignition wire)

= 2.3 แคลอรี/ซม.



$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น} \quad w &= \frac{6318 \times 1.1030 + 0 + 2.3 \times 7.8}{2.8} \\ &= 2,495.25 \quad \text{แคลอรี/องศาเซลเซียส} \end{aligned}$$

2. การคำนวณหาอุณหภูมิทางความร้อนของถ่านหิน

$$H_g = \frac{tw - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

$$H_g = \text{ปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (แคลอรี/กรัม)}$$

โดยที่  $t = 1.8$  องศาเซลเซียส

$$w = 2495.25 \quad \text{แคลอรี/องศาเซลเซียส}$$

$$e_1 = 0$$

$$e_2 = \text{ค่าความถูกต้องสำหรับการรวมตัวของกรดซัลฟูริก (sulphuric acid)}$$

$$= 14 \text{ (ร้อยละของปริมาณซิลเฟอร์) (น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน)}$$

$$= 14 (0.7263) (0.9500)$$

$$= 9.66 \quad \text{แคลอรี}$$

$$e_3 = 2.3 (9.8)$$

$$= 22.54 \quad \text{แคลอรี}$$

$$m = \text{น้ำหนักของตัวอย่างถ่านหิน (0.9500 กรัม)}$$

$$H_g = \frac{1.8(2495.25) - 9.66 - 22.54}{0.9500}$$

$$= 4693.95 \quad \text{แคลอรี/กรัม}$$

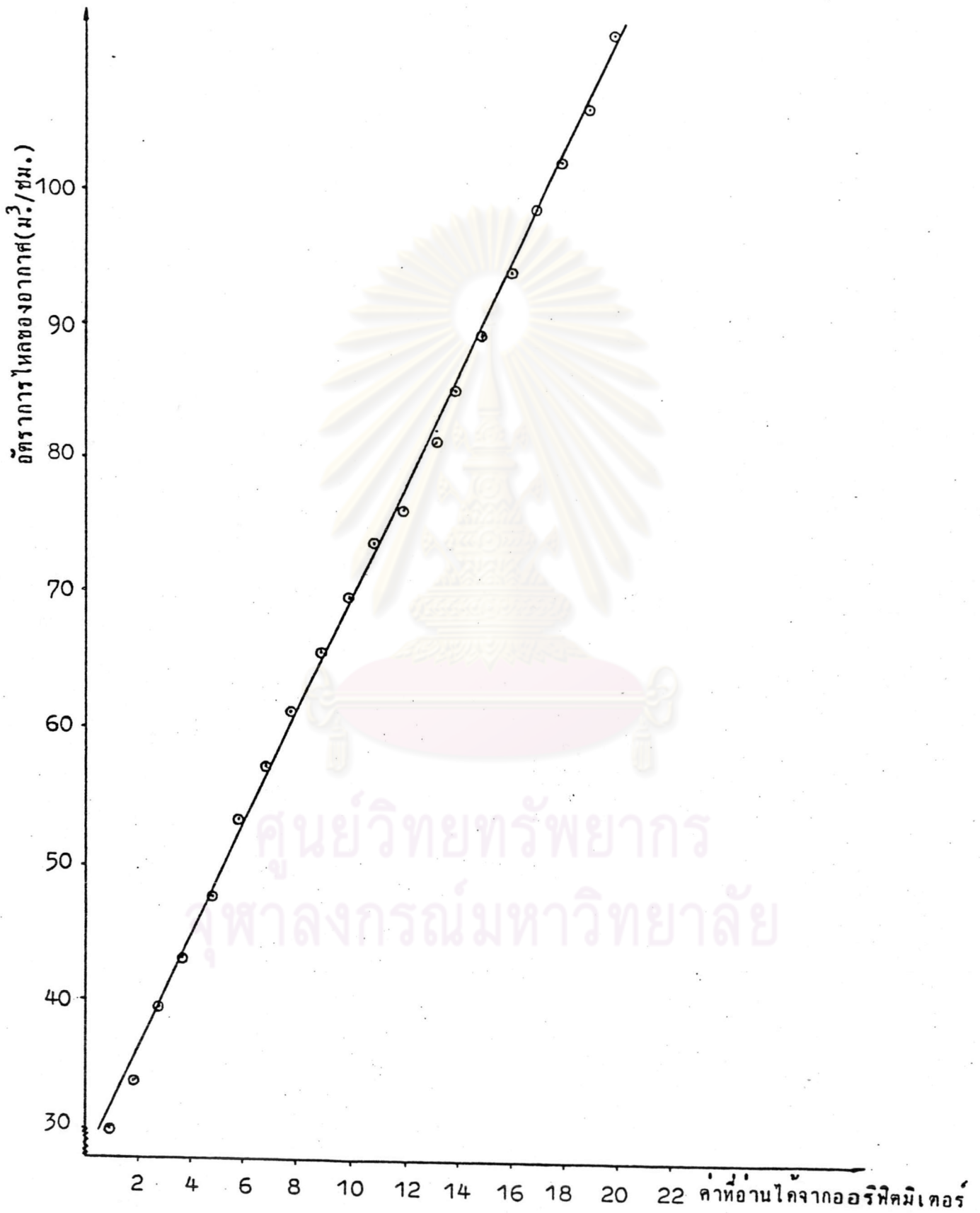
$$= 4,693.95 \quad \text{กิโลแคลอรี/กิโลกรัม}$$

## ภาคผนวกที่ 3

การปรับเทียบค่าที่อ่านได้จากออร์พิโตมิเตอร์และอัตราการไหลของอากาศ

ค่าที่อ่านได้จากออร์พิโตมิเตอร์ (ซม.ของน้ำ)	อัตราการไหลของอากาศ (ม. <sup>3</sup> /ซม.)	อัตราการไหลของอากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาที)	ความเร็วของอากาศ (ซม./วินาที)
0	0	0	0
1	30	0.5	26.54
2	34	0.5667	30.08
3	40	0.6667	35.39
4	44	0.7333	38.92
5	49	0.8167	43.35
6	54	0.9000	47.77
7	58	0.9667	51.31
8	62	1.0333	54.85
9	66	1.1000	58.39
10	70	1.1667	61.93
11	74	1.2333	65.46
12	76	1.2667	67.23
13	80	1.3333	70.77
14	86	1.4333	76.08
15	90	1.5000	79.62
16	94	1.5667	83.16
17	99	1.6500	87.58
18	103	1.7167	91.12
19	107	1.7833	94.66
20	112	1.8667	99.68

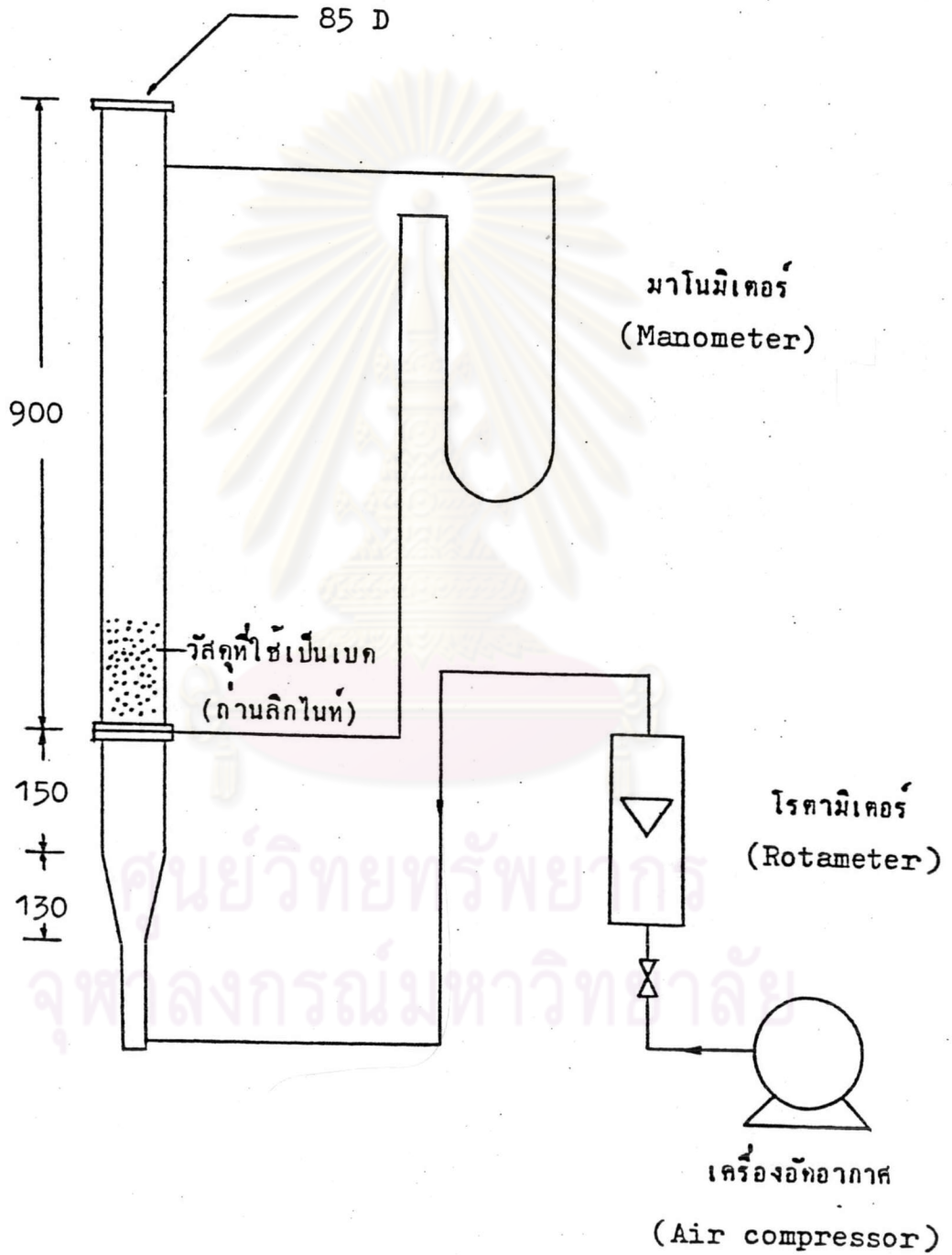
ปรับเทียบที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ของอากาศและค่าที่อ่านได้จากออร์พิคมิเตอร์ (ชม. ของน้ำ)

ภาคผนวกที่ 4

ลักษณะของคอลัมน์ที่ใช้ในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน



รูปที่ 2 แสดงถึงลักษณะของคอลัมน์ที่ใช้ทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน



แสดงข้อมูลการทดลองการหาความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน โดย  
อาศัยการวัดความดันลดที่เกิดขึ้นขณะที่อากาศไหลผ่านเบดที่มีความสูงต่าง ๆ กัน

อัตราการไหลของ อากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาที)	ความเร็วของอากาศ (ซม./วินาที)	ความดันลด (ซม.ของน้ำ)		
		Lm=10 ซม.	Lm=13 ซม.	Lm=16 ซม.
0.06	17.62	2.75	3.45	3.80
0.08	23.97	3.45	4.40	5.40
0.10	29.37	4.70	5.85	6.55
0.12	35.24	5.90	7.40	8.45
0.14	41.12	6.75	8.75	9.80
0.16	46.99	7.35	9.45	10.65
0.18	52.87	7.5	9.70	10.90
0.20	58.74	7.75	9.85	11.10
0.22	64.62	7.75	9.90	11.20
0.24	70.49	7.80	10.0	11.25
0.26	76.37	7.75	10.0	11.25
0.28	82.24	7.75	10.0	11.25
0.30	88.11	7.80	10.0	11.25
0.32	93.99	7.80	10.0	11.25
0.34	99.86	7.80	10.0	11.25
0.36	105.74	7.80	10.0	11.25

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ

## ภาคผนวกที่ 5

ข้อมูลที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ในฟลูอิดซ์เบด

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของการทดลองเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลของอากาศ 1.4333, 1.5733, 1.7167 และ 1.8500  $\text{m}^3/\text{นาท}$  ตามลำดับ

อัตราการไหลของอากาศ ( $\text{m}^3/\text{นาท}$ )	1.4333	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง				
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาท)	24	16	18	15
อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ (กรัม/นาท)	125.00	149.66	165.02	174.70
ปริมาณการนำแก๊สออกจากคอสันน์ (กรัม)	725.0	486.08	503.46	430.05
อัตราการนำแก๊สออกจากคอสันน์ (กรัม/นาท)	30.21	30.38	27.97	28.67
ปริมาณแก๊สที่อยู่ภายในคอสันน์ (กรัม)	1600.0	1700.0	1888.0	1500.0
ระยะเวลาที่ถ่านลิกไนท์อยู่ภายในคอสันน์ (นาท)	12.8	11.36	11.40	8.59
ความเร็วของอากาศ (ชม./วินาที)	76.08	83.16	91.12	98.20
ความเร็วของอากาศ/ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน	1.55	1.70	1.86	2.00
อัตราการไหลของน้ำ (กรัม/นาท)	90.0	90.0	90.00	90.0
อุณหภูมิของน้ำขณะเข้าสู่คอสันน์ (องศาเซลเซียส)	26.0	25.0	25.0	25.0
อุณหภูมิของไอน้ำขณะออกจากคอสันน์ (องศาเซลเซียส)	322.0	330.0	346.0	362.0
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอสันน์ (องศาเซลเซียส)				
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	23.0	23.0	22.0	22.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	27.0	26.0	26.0	26.0
ความชื้นของอากาศที่เข้าสู่คอสันน์ (โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง)	0.026	0.026	0.022	0.022

ตารางที่ 1 (ต่อ)

อัตราการไหลของอากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาท.)	1.433	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง				
อุณหภูมิของก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ ณ จุดวัด (องศาเซลเซียส)	485.0	492.0	538.0	582.0
อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากคอสัมน์ ณ จุดวัด (องศาเซลเซียส)				
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	39.0	39.0	39.0	40.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	43.0	41.0	49.0	60.0
ความชื้นของก๊าซร้อนที่ออกจากคอสัมน์ (โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง)	0.07	0.072	0.065	0.065
ส่วนประกอบของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้				
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	8.0	8.4	8.6	8.6
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซออกซิเจน (O <sub>2</sub> )	11.2	11.4	11.6	11.4
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	0.8	0.5	0.4	0.2
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )	80.0	79.7	79.4	79.8
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของแก๊สที่ออกจากคอสัมน์	71.50	65.40	63.45	65.67
คุณค่าทางความร้อนของแก๊สที่ออกจากคอสัมน์ (กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม)	5205.69	4360.11	4022.36	3870.09
ปริมาณแก๊สที่ออกจากไฮโดรเจน (กรัม)	95.0	70.22	98.21	112.46
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของแก๊สที่ออกจากไฮโดรเจน	39.93	38.69	32.39	30.08
คุณค่าทางความร้อนของแก๊สที่ออกจากไฮโดรเจน (กิโลแคลลอรี่/กิโลกรัม)	2765.49	2492.20	2193.49	1747.11



ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลของการทดลองเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ที่จุดหลุม 850 องศาเซลเซียส  
และมีอัตราการไหลของอากาศ 1.4333, 1.5733, 1.7167 และ 1.8500  
(ม<sup>3</sup>/นาท) ตามลำดับ

อัตราการไหลของอากาศ (ม <sup>3</sup> /นาท)	1.4333	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง				
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาท)	18	16	18	22
อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ (กรัม/นาท)	150.50	156.63	174.49	180.80
ปริมาณการนำเข้าออกจากคอสันน์ (กรัม)	525.0	420.0	520.02	676.06
อัตราการนำเข้าออกจากคอสันน์ (กรัม/นาท)	29.17	26.25	28.59	30.73
ปริมาณเถ้าที่อยู่ภายในคอสันน์ (กรัม)	1512.75	1600.0	1632.77	1596.12
ระยะเวลาที่ถ่านลิกไนท์อยู่ภายในคอสันน์ (นาท)	10.05	10.22	9.36	8.83
ความเร็วของอากาศ (ซม./วินาที)	76.08	83.16	91.12	98.20
ความเร็วของอากาศ/ความเร็วต่ำสุดในการทำ ให้เกิดฟลูอิโดเซชัน	1.55	1.70	1.86	2.00
อัตราการไหลของน้ำ (กรัม/นาท)	90.0	90.0	90.0	90.0
จุดหลุมของน้ำขณะเข้าสู่คอสันน์ (องศาเซลเซียส)	25.0	27.0	27.0	21.0
จุดหลุมของไอน้ำขณะออกจากคอสันน์ (องศาเซลเซียส)	330.0	345.0	376.0	418.0
จุดหลุมของอากาศที่เข้าสู่คอสันน์ (องศาเซลเซียส)				
จุดหลุมกระเปาะเปียก	21.0	24.0	22.0	22.0
จุดหลุมกระเปาะแห้ง	26.0	28.0	28.0	28.0
ความชื้นของอากาศที่เข้าสู่คอสันน์ (โมลของน้ำ/ โมลของอากาศแห้ง)	0.022	0.028	0.023	0.023



ตารางที่ 2 (ต่อ)

อัตราการไหลของอากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาท.)	1.4333	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง				
อุณหภูมิของก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ ณ จุดวัด (องศาเซลเซียส)	520.0	525.0	548.0	608.0
อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากคอกสันน์ (องศาเซลเซียส)				
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	40.0	38.0	38.0	40.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	61.0	40.0	46.0	57.0
ความชื้นของก๊าซร้อนที่ออกจากคอกสันน์ (โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง)	0.065	0.07	0.064	0.062
ส่วนประกอบของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้				
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	9.0	8.8	8.8	9.0
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซออกซิเจน (O <sub>2</sub> )	10.0	10.4	11.6	11.8
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	0.7	0.6	0.2	0.2
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )	80.3	80.2	79.4	79.0
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของ เถ้าที่ออกจากคอกสันน์	68.10	64.57	61.30	57.87
คุณค่าทางความร้อนของ เถ้าที่ออกจากคอกสันน์ (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4973.56	4370.80	3867.32	3430.05
ปริมาณ เถ้าที่ออกจากไซโคลน (กรัม)	42.0	72.38	150.39	262.60
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของ เถ้าที่ออกจากไซโคลน	42.50	38.20	35.04	29.25
คุณค่าทางความร้อนของ เถ้าที่ออกจากไซโคลน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	2900.50	2321.65	2177.38	1711.16

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของการทดลองเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส  
และมีอัตราการไหลของอากาศ 1.4333, 1.5733, 1.7167 และ 1.8500  
(ม.<sup>3</sup>/นาท) ตามลำดับ

อัตราการไหลของอากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาท)	1.4333	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลการทดลอง				
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาท)	16	18	18	19
อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ (กรัม/นาท)	179.00	185.97	193.26	212.02
ปริมาณการนำแก๊สออกจากคอลัมน์ (กรัม)	450.00	500.04	559.98	580.07
อัตราการนำแก๊สออกจากคอลัมน์ (กรัม/นาท)	28.13	27.78	31.14	30.53
ปริมาณแก๊สที่อยู่ภายในคอลัมน์ (กรัม)	1901.59	1627.91	1701.49	1600.01
ระยะเวลาที่ถ่านลิกไนท์อยู่ภายในคอลัมน์ (นาท)	10.62	8.75	8.80	7.55
ความเร็วของอากาศ (ชม./วินาที)	76.08	83.16	91.12	98.20
ความเร็วของอากาศ/ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดไอเซชัน	1.55	1.70	1.86	2.00
อัตราการไหลของน้ำ (กรัม/นาท)	90.0	90.0	90.0	90.0
อุณหภูมิของน้ำขณะเข้าสู่คอลัมน์ (องศาเซลเซียส)	26.0	27.0	25.0	25.0
อุณหภูมิของไอน้ำขณะออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)	370.0	397.0	424.0	457.0
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ (องศาเซลเซียส)				
อุณหภูมิกระแสเป่า	24.0	25.0	22.0	22.0
อุณหภูมิกระแสเป่าแห้ง	27.0	28.0	26.0	26.0
ความชื้นของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ (โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง)	0.028	0.03	0.02	0.02

ตารางที่ 3 (ต่อ)

อัตราการไหลของอากาศ ( $\text{m}^3/\text{นาที}$ )	1.4333	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง				
อุณหภูมิของก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ ณ จุดวัด (องศาเซลเซียส)	572.0	585.0	616.0	668.0
อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากคอกสันน์ ณ จุดวัด (องศาเซลเซียส)				
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	41.0	41.0	39.0	39.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	55.0	44.0	48.0	41.0
ความชื้นของก๊าซร้อนที่ออกจากคอกสันน์ (โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง)	0.076	0.082	0.068	0.065
ส่วนประกอบของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้				
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )	8.2	8.6	8.8	9.0
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซออกซิเจน ( $\text{O}_2$ )	12.0	12.0	12.2	12.2
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}$ )	0.8	0.6	0.2	0.2
อัตราส่วนของก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ )	79.0	78.8	78.8	78.6
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากคอกสันน์	62.35	53.09	50.37	47.33
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอกสันน์ (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4909.61	3510.07	2931.93	2685.68
ปริมาณเถ้าที่ออกจากไซโคลน (กรัม)	43.0	72.09	157.38	172.23
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากไซโคลน	41.90	32.70	33.62	31.47
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากไซโคลน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	2861.63	2212.50	1962.49	1811.60



ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลของการทดลองเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลของอากาศ 1.4333, 1.5733, 1.7167 และ 1.8500 (ม.<sup>3</sup>/นาท) ตามลำดับ)

อัตราการไหลของอากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาท)	1.4333	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง				
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาท)	15	16	16	17
อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ (กรัม/นาท)	204.00	216.74	221.65	237.70
ปริมาณการนำแก๊สออกจากคอลัมน์ (กรัม)	625.00	524.96	530.24	619.99
อัตราการนำแก๊สออกจากคอลัมน์ (กรัม/นาท)	8.17	7.84	7.04	7.24
ปริมาณแก๊สที่อยู่ภายในคอลัมน์ (กรัม)	1666.8	1699.89	1559.90	1720.1
ระยะเวลาที่ถ่านลิกไนท์อยู่ภายในคอลัมน์ (นาท)	8.17	7.84	7.04	7.24
ความเร็วของอากาศ (ชม./วินาที)	76.08	83.16	91.12	98.20
ความเร็วของอากาศ/ความเร็วต่ำสุดในการทำ ให้เกิดฟลูอิโดเซชัน	1.55	1.70	1.86	2.00
อัตราการไหลของน้ำ (กรัม/นาท)	90.0	90.0	90.0	90.0
อุณหภูมิของน้ำขณะเข้าสู่คอลัมน์ (องศาเซลเซียส)	26.0	25.0	25.0	25.0
อุณหภูมิของไอน้ำขณะออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)	434.0	442.0	467.0	499.0
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ (องศาเซลเซียส)				
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	24.0	24.0	22.0	22.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	27.0	26.0	26.0	26.0
ความชื้นของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ (โมลของน้ำ/ โมลของอากาศแห้ง)	0.028	0.029	0.024	0.024



ตารางที่ 4 (ต่อ)

อัตราการใช้พลังงานของอากาศ (ม. <sup>3</sup> /นาถ)	1.4333	1.5733	1.7167	1.8500
รายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง				
อุณหภูมิของก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ ณ จุดวัด (องศาเซลเซียส)	646.0	652.0	684.0	712.0
อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากคอกสันน์ ณ จุดวัด (องศาเซลเซียส)				
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	44.0	44.0	44.0	40.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	61.0	58.0	60.0	44.0
ความชื้นของก๊าซร้อนที่ออกจากคอกสันน์ (โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง)	0.081	0.087	0.08	0.075
ส่วนประกอบของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้				
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	8.8	8.8	8.8	9.0
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซออกซิเจน (O <sub>2</sub> )	10.2	11.8	12.2	12.2
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	0.8	0.5	0.2	0.2
อัตราส่วนร้อยละของก๊าซไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )	80.2	78.9	78.8	78.6
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของ แก๊สที่ออกจากคอกสันน์	57.01	55.74	51.65	47.84
คุณค่าทางความร้อนของ แก๊สที่ออกจากคอกสันน์ (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	4050.02	3762.75	3163.27	2810.83
ปริมาณแก๊สที่ออกจากไซโคลน (กรัม)	30.0	64.82	98.07	145.64
อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของ แก๊สที่ออกจากไซโคลน	40.50	35.72	31.10	28.18
คุณค่าทางความร้อนของ แก๊สที่ออกจากไซโคลน (กิโลแคลอรี/กิโลกรัม)	2810.01	2184.46	1953.42	1657.02

## ภาคผนวกที่ 6

## การคำนวณ

วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของการเผาไหม้ และปริมาณความร้อนที่สูญหาย โดยอาศัยหลักการของสมดุลมวลสารและพลังงาน (Material and Energy Balance) แสดงการคำนวณหาค่าต่าง ๆ จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 1 ภาคผนวกที่ 5

อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศาเซลเซียส

ฐานการคำนวณ การเผาไหม้นาน 1 นาที

สมดุลมวลสาร

ทางเข้า

1. น้ำหนักของถ่านลิกไนท์ที่ใช้ในการเผาไหม้ 125.0 กรัม

2. น้ำหนักน้ำในถ่านลิกไนท์

ถ่านลิกไนท์มีความชื้น 23.00 %

$$\text{น้ำหนักน้ำในถ่านลิกไนท์} = \frac{23.0 \times 125.0}{100} \text{ กรัม}$$

$$= 1.5972 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักถ่านลิกไนท์แห้ง} = 125.0 - 28.75 \text{ กรัม}$$

$$= 96.25$$

3. น้ำหนักของอากาศและน้ำที่ให้ออกเข้าไปในคอลัมน์

$$\text{อัตราการไหลของอากาศ} = 1.43333 \times 10^3 \text{ ลิตร}$$

$$= 1433.3 \text{ ลิตร}$$

ปริมาตรของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

$$V_2 = \frac{V_1 P_1}{P_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

$$= \left( \frac{1433.3 \times 29}{29.92} \right) \left( \frac{273.1}{273.1 + 27} \right)$$

$$= 1264.24 \text{ ลิตร}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนกรัม-โมลของอากาศที่เข้าไปทั้งหมด} &= \frac{1264.24}{22.4} && \text{กรัม-โมล} \\
 &= 56.4393 && \text{กรัม-โมล} \\
 \text{อากาศที่เข้าคอสัมผัสมีความชื้น 0.026 โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง} &&& \\
 \text{มีน้ำอยู่ในอากาศ} &= \frac{0.026 \times 56.4393}{1.026} && \text{กรัม-โมล} \\
 &= 1.4302 && \text{กรัม-โมล} \\
 \text{น้ำหนักของน้ำในอากาศ} &= 25.74 && \text{กรัม} \\
 \text{จำนวนกรัม-โมลของอากาศแห้ง} &= 56.4393 - 1.4302 && \text{กรัม-โมล} \\
 &= 55.0091 && \text{กรัม-โมล} \\
 \text{ในอากาศมีก๊าซไนโตรเจน} &= 55.0091 \times 0.79 && \text{กรัม-โมล} \\
 &= 43.4572 && \text{กรัม-โมล} \\
 &= 1216.80 && \text{กรัม} \\
 \text{ในอากาศมีก๊าซออกซิเจน} &= 55.0091 \times 0.21 && \text{กรัม-โมล} \\
 &= 11.5519 && \text{กรัม-โมล} \\
 &= 369.66 && \text{กรัม} \\
 \text{น้ำหนักของอากาศที่เข้าไปทั้งหมด} &= 1216.80 + 369.66 && \text{กรัม} \\
 &= 1586.64 && \text{กรัม}
 \end{aligned}$$

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทางออก

1. น้ำหนักของก๊าซที่ออกจากคอสมัน

เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย และกัสมันคิดว่าในถ่านลิกไนท์มีปริมาณไนโตรเจนน้อยมาก จึงไม่น่ามาพิจารณา ดังนั้นจำนวนกรัม-โมลของก๊าซไนโตรเจนหลังจากออกจากคอสมันจึงเท่ากับ 43.4572 กรัม-โมล และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ในอากาศที่เข้ามีค่า 0.03 % ซึ่งมีค่าน้อยมากจึงไม่น่ามาคำนวณ

ก๊าซ	ร้อยละโดยปริมาตร	จำนวนกรัม-โมล	น้ำหนัก (กรัม)
ไนโตรเจน	80.0	43.4572	1216.80
คาร์บอนไดออกไซด์	8.0	4.3457	191.21
ออกซิเจน	11.2	6.0840	194.69
คาร์บอนมอนนอกไซด์	0.8	0.4346	12.17
รวม	100.0	54.3215	1614.87

ความชื้นของก๊าซที่ออกจากคอสมัน 0.07 โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง  
จำนวนกรัม-โมลของน้ำที่ออกจากคอสมัน =  $0.07 \times 55.0091$  กรัม-โมล

$$= 3.8506 \quad \text{กรัม-โมล}$$

$$= 69.31 \quad \text{กรัม}$$

น้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ =  $3.8506 - 1.5972$

$$= 2.2534 \quad \text{กรัม-โมล}$$

$$= 0.8232 \quad \text{กรัม-โมล}$$

2. น้ำหนักเถ้าที่ออกจากคอสมัน

$$= 30.21 \quad \text{กรัม}$$

มีคาร์บอนคงตัวอยู่ในเถ้าที่ออกจากคอสมัน =  $\frac{30.21 \times 71.50}{100}$  กรัม

$$= 21.60 \quad \text{กรัม}$$



$$\begin{aligned}
 &= 1.80 \quad \text{กรัม-โมล} \\
 3. \text{ น้ำหนักแก๊สที่ออกจากไฮโดรเจน} &= \frac{95}{24} \quad \text{กรัม} \\
 &= 3.96 \quad \text{กรัม} \\
 \text{มีการบ่อนคงตัวอยู่ในแก๊สที่ออกจากไฮโดรเจน} &= \frac{3.96 \times 39.93}{100} \quad \text{กรัม} \\
 &= 1.5812 \quad \text{กรัม} \\
 &= 0.1318 \quad \text{กรัม-โมล}
 \end{aligned}$$

สมดุลมวลสาร

ทางเข้า	ทางออก
น้ำหนักถ่านลิกไนท์แห้ง 96.25 กรัม	น้ำหนักก๊าซที่ออกจากคอสมันน์ 1614.87 กรัม
น้ำหนักน้ำในถ่านลิกไนท์ 28.75 กรัม	น้ำหนักน้ำในก๊าซ 69.31 กรัม
น้ำหนักอากาศ 1586.46 กรัม	น้ำหนักแก๊สที่ออกจากคอสมันน์ 30.21 กรัม
น้ำหนักน้ำในอากาศ 25.74 กรัม	น้ำหนักแก๊สที่ออกจากไฮโดรเจน 3.96 กรัม
	น้ำหนักที่สูญหาย 18.85 กรัม
รวม 1737.20 กรัม	รวม 1737.20 กรัม

ปริมาณร้อยละของอากาศที่มากเกินพอ

ฐานการคำนวณ 100 กรัม-โมล ของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้

$$\text{ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่อยู่ในก๊าซจากการเผาไหม้} = 80.0 \quad \text{กรัม-โมล}$$

$$\text{ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่อยู่ในก๊าซจากการเผาไหม้} = 11.2 \quad \text{กรัม-โมล}$$

สมมุติว่าก๊าซไนโตรเจนไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซใด ๆ ดังนั้นจำนวนกรัมโมลของก๊าซไนโตรเจนที่เข้าสู่คอสมันน์และที่ออกจากคอสมันน์จึงเท่ากัน นั่นคือก๊าซไนโตรเจนที่เข้าสู่คอสมันน์มีปริมาณ 80.0 กรัม-โมล

$$\text{ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เข้าสู่คอสมันน์} = \frac{21.0}{79.0} \times 800$$

$$= 21.2658 \quad \text{กรัม-โมล}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่อยู่ใน ถ้ำที่ออกจากคอสมัน} &= 1.80 \text{ กรัม-โมล} \\ \text{ปริมาณคาร์บอนคงตัวที่อยู่ใน ถ้ำที่ออกจากไซโคลน} &= 0.1318 \text{ กรัม-โมล} \end{aligned}$$



ในการเผาไหม้คาร์บอนคงตัวที่อยู่ใน ถ้ำที่ออกจากคอสมันและไซโคลนให้สมบูรณ์

$$\begin{aligned} \text{ต้องใช้ก๊าซออกซิเจน} &= 1.80 + 0.1318 \\ &= 1.9318 \text{ กรัม-โมล} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้หลังอากาศเผาไหม้} = 0.8 \text{ กรัม-โมล}$$

$$\begin{aligned} \text{ในการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ให้สมบูรณ์ต้องใช้ก๊าซออกซิเจน} &= \frac{0.8}{2} \\ &= 0.4 \text{ กรัม-โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ในการเผาไหม้ถ่านหินที่ให้สมบูรณ์ต้องใช้ก๊าซออกซิเจนเพิ่มอีก} &= 1.9318 + 0.4 \\ &= 2.2318 \text{ กรัม-โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่มากเกินพอในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์} &= 11.2 - 2.2318 \\ &= 8.8682 \text{ กรัม-โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ควรจะใช้ในการเผาไหม้ให้สมบูรณ์} &= 21.2658 - 8.8682 \\ &= 12.3976 \text{ กรัม-โมล} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณร้อยละของก๊าซออกซิเจนที่มากเกินพอ} &= \frac{8.8682}{12.3976} \times 100 \\ &= 71.53 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณร้อยละของอากาศที่มากเกินพอ} = 71.53$$

ลิมิตลยพ์ลังงาน

ใช้จุดหมุมอ้างอิง 26 องศาเซลเซียส (น้ำอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว)

ทางเข้า

1. คุณค่าทางความร้อนของถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอสัมน์ =  $4614.85 \times 12.5 \times 10^{-3}$   
= 576.86 กิโลแคลอรี
2. เอนทาลปีของถ่านลิกไนท์ = 0 กิโลแคลอรี
3. เอนทาลปีของน้ำในถ่านลิกไนท์ = 0 กิโลแคลอรี
4. เอนทาลปีของอากาศ

$C_{pm}$  ของอากาศที่ 27 องศาเซลเซียส 6.973 แคลอรี/กรัม-โมล. องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} \text{เอนทาลปีของอากาศ} &= 6.973 \times 55.0091 \times 1 \\ &\times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$= 0.38 \quad \text{กิโลแคลอรี}$$

5. เอนทาลปีของไอน้ำในอากาศ

ปริมาณความร้อนของการระเหยที่ 26 องศาเซลเซียส 10491.44 แคลอรี/กรัม-โมล

$$\text{เอนทาลปีของไอน้ำในอากาศ} = 10491.44 \times 1.4302 \times 10^{-3}$$

กิโลแคลอรี

$$= 15.0 \quad \text{กิโลแคลอรี}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนที่ให้เข้าไปทั้งหมด} = 576.86 + 0.38 + 15.0$$

กิโลแคลอรี

$$= 592.24 \quad \text{กิโลแคลอรี}$$

ทางออก

1. คุณค่าทางความร้อนของไถ่ที่ออกจากคอสัมน์ =  $5205.69 \times 30.21 \times 10^{-3}$   
กิโลแคลอรี  
= 157.26 กิโลแคลอรี

$$2. \text{ ค่าทางความร้อนของแก๊สที่ออกจากไฮโดรเจน} = 2765.49 \times 3.96 \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$= 10.95 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$3. \text{ ค่าทางความร้อนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์} = 67636 \text{ แคลอรี/กรัม-โมล}$$

$$\text{ค่าทางความร้อนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์} = 67636 \times 0.4346 \times 10^{-3}$$

$$= 29.39 \text{ กิโลแคลอรี}$$

4. เอนทาลปีของก๊าซร้อนที่ออกจากคอกสัน

$$\Delta H = n C_p \Delta T$$

$$\Delta H_{N_2} = 43.4572 \times 7.1485(485 - 26) \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$= 142.59 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\Delta H_{O_2} = 6.0840 \times 7.4987(485 - 26) \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$= 20.94 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\Delta H_{CO} = 0.4346 \times 7.1989(485 - 26) \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$= 1.44 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\Delta H_{CO_2} = 4.3457 \times 10.7289(485 - 26) \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$= 21.40 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\Delta H = 142.59 + 20.94 + 1.44 + 21.40 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$= 186.37 \text{ กิโลแคลอรี}$$

5. เอนทาลปีของไอน้ำในก๊าซที่ได

$$\text{ปริมาณความร้อนของการระเหยที่ 26 องศาเซลเซียส} = 10491.44 \text{ แคลอรี/กรัม-โมล}$$

$$C_{pm} \text{ ของน้ำช่วงอุณหภูมิ 26 - 485 องศาเซลเซียส} = 8.5195 \text{ แคลอรี/กรัม-โมล.}$$

องศาเซลเซียส

$$\text{เอนทาลปีของไอน้ำ} = 3.8506 [10491.44 + 8.5195(485-26)] \times 10^{-3}$$

$$= 55.46 \text{ กิโลแคลอรี}$$



## 6. ความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่น้ำ

ปริมาณความร้อนของน้ำ (ของเหลว) ที่ 26 องศาเซลเซียส = 26.02 แคลอรี/กรัม

ปริมาณความร้อนของไอน้ำที่ 322 องศาเซลเซียส = 743.73 แคลอรี/กรัม

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่น้ำ  
=  $(743.73 - 26.02) \times 90 \times 10^{-3}$   
= 64.59 กิโลแคลอรี

รวมปริมาณความร้อนทั้งหมด  
= 157.26 + 10.95 + 29.39  
+ 186.37 + 55.46 + 64.59  
= 504.02 กิโลแคลอรี

สมดุลพลังงาน

ทางเข้า	ทางออก
คุณค่าของความร้อนของถ่านลิกไนท์ 576.86 กิโลแคลอรี	คุณค่าทางความร้อนของ เถ้าที่ออกจาก คอสมัน 157.26 กิโลแคลอรี
เอนทาลปีของถ่านลิกไนท์ 0 กิโลแคลอรี	คุณค่าทางความร้อนของ เถ้าที่ออก จากไซโคลน 10.95 กิโลแคลอรี
เอนทาลปีของน้ำในถ่านลิกไนท์ 0 กิโลแคลอรี	คุณค่าทางความร้อนของ ก๊าซ คาร์บอนมอนนอกไซด์ 29.39 กิโลแคลอรี
เอนทาลปีของอากาศ 0.38 กิโลแคลอรี	เอนทาลปีของ ก๊าซร้อนที่ออกจากคอสมัน 186.37 กิโลแคลอรี
เอนทาลปีของไอน้ำในอากาศ 15.0 กิโลแคลอรี	เอนทาลปีของ ไอน้ำในก๊าซที่ได้ 55.46 กิโลแคลอรี
	ความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่น้ำ 64.59 กิโลแคลอรี
	ความร้อนที่สูญหาย 88.22 กิโลแคลอรี
รวม 592.24 กิโลแคลอรี	รวม 592.24 กิโลแคลอรี

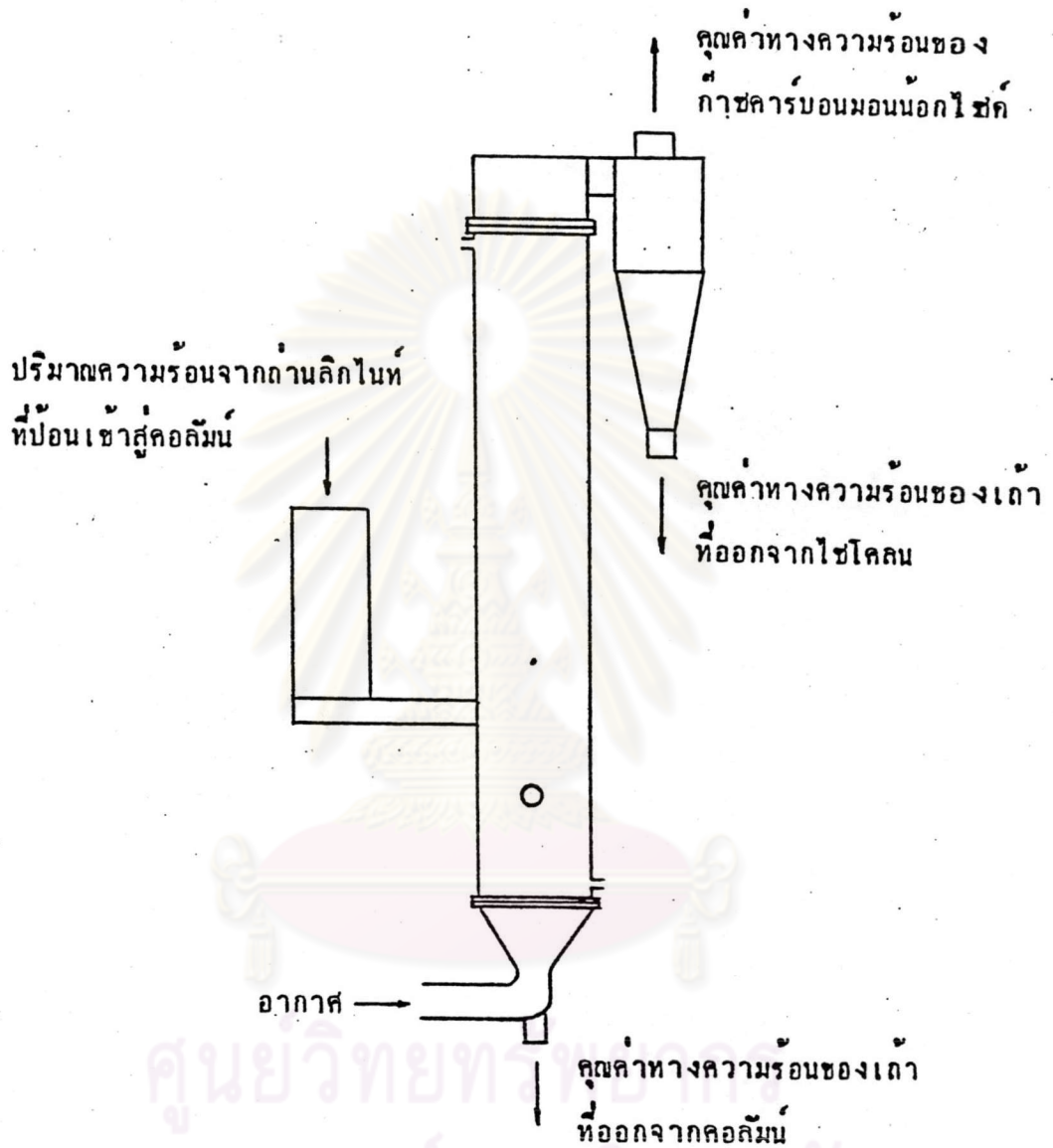
$$\text{ความร้อนที่สูญเสียคิดเป็นร้อยละ} = \frac{88.22 \times 100}{592.24}$$

$$= 14.90$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เมื่อพิจารณาารวมทั้งระบบ :



รูปที่ 1 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของการเผาไหม้

ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ = ปริมาณความร้อนที่ไล่เข้าไปในระบบ -  
 คุณค่าทางความร้อนของแก๊สที่ออกจาก  
 คอสมัน - คุณค่าทางความร้อนของ  
 แก๊สที่ออกจากไซโคลน - คุณค่าทาง  
 ความร้อนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์  
 ต่อปริมาณความร้อนที่ไล่เข้าไปในระบบ

$$\begin{aligned} \text{คิดเป็นร้อยละ} &= \frac{(592.24 - 157.26 - 10.95 - 29.39)}{592.24} \times 100 \\ &= 66.64 \end{aligned}$$

ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เมื่อพิจารณาเฉพาะไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ได้รับ

ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้แก่น้ำ = 64.59 กิโลแคลอรี

คุณค่าทางความร้อนของถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอสมัน = 576.86 กิโลแคลอรี

ประสิทธิภาพของการเผาไหม้หรือความร้อนที่นำไป

$$\text{ใช้ประโยชน์} = \frac{64.59}{576.86} \times 100 \%$$

คิดเป็นร้อยละ = 11.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นาย วรเตช เพ็รค์พรายวงศ์  
การศึกษา 2524 วทบ. เคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
2528 วทม. เคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ที่อยู่ปัจจุบัน 110 เทเวศร์ ซอย 1 ถนนกรุงเกษม กทม.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย