เอกสารอ้างอิง

1. Skinner, D.G., "The Fluidised Combustion of Coal." Monograph, Mills & Boon Limited, London, 1971.
2. Roberts, A.G., and Hoy, H.R."Combustion of Coal in Fluidised Bed." Proceedings of Symposium held at C.R.E., paper 7, p. 40 May, 1968.
3. Williams, D.F. "Combustion of Coal in Fluidised Beds." Proceedings of Symposium held at C.R.E.,paper 2, p. 10-20 May, 1968.
4. Locke, H.B., and Lunn, H.G. "Pro. Int. Conf. Fluid-Bed Combust." p. 69-91, 1976.
5. Wright, S.J. "Chem. Eng. Symposium Series." 27, p.141-165, 1968.
6. ฉอคุณ สิทธิพงศ์. "การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำในเตาฟลูอิไดซ์เบด." วิศวกรรมสาร 34(6),(ธันวาคม 2524):65.
7. นารา พิทักษ์อรรณพ และคณะ. "การผลิตเชื้อเพลิงแข็งจากแกลบ." วิศวกรรมสาร 35(1),(กุมภาพันธ์ 2525):45.
8. Beagle E.C. Rice Husk Conversion to Energy. Rome, Italy, December, 1976.
9. Houston, D.F. Rice Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota, p. 301-340, 1972.
10. McKetta, J.J., and Cunning, W.A. Combustion. Encyclopedia of Chemical Processing and Design, 10, p. 89-156, 1979.

11. Smith, M.L., and Stinson, K.W. Fuels and Combustion. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, p.114-136, 1952.

12. Ubhayakar, Shivader, K. Combustion and Flame. 27(1976): 23.

13. Annamalai, K., and Purbetaki P. Combustion and Flame. 27(1976): 253.

14. Edwards, J.B. Combustion Formation and Emission of Trace Species. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, p. 149-162, 174-179, 1977.

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

16. พล สาเกทอง ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฟลูอิไดเซชัน ตำราประกอบการสอน, ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

17. รัตนา ศานติยานนท์ การทำข้าวนึ่งให้แห้งในฟลูอิไดซ์เบด วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522.

18. 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, Jerusalem, p. 135-147, 1962.

19. Kreisinger, H., Ovitz, F.K., and Augustine, G.E. "U.S. Bureau of Mines." Technical paper No. 137, 1916.

20. Gordon, A.L., and Amundson, N.R. "Modelling of Fluidised Bed Reactors-IV Combustion of Carbon Particles." Chemical Engineering Science. (31), (1976): 1163-1178.

21. Sinha, P.K., Datta, A.B., Nandi, S.S., and Bhaduri, D. "Prediction of Burning Rate of Coal in Fluidized-Bed Combustion." Fuel. (59), (July, 1980) : 527-531.

22. Hougen, O.A. Chemical Process Principle. Part 1 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1954.

ภาคผนวก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวกที่ 1

การหาคุณสมบัติทางกายภาพของเบด

1. การหาสัดส่วนของช่องว่าง (void fraction, ϵm) และความเป็นทรงกลมเทียบเท่า (Sphericity, ϕ_s) ของแกลบ

ปริมาตรของ n-hexane ก่อนผสม = 55 มิลลิลิตร

ปริมาตรของแกลบและช่องว่าง = 20.5 มิลลิลิตร

ปริมาตรหลังผสม = 58 มิลลิลิตร

ดังนั้น สัดส่วนของช่องว่างของเบด

$$= \frac{55 + 20.5 - 58}{20.5}$$

$$= 0.85$$

จากหนังสืออ้างอิง Fluidization Engineering[15] หน้า 66 รูปที่ 1

เมื่อ $\epsilon m = 0.85$

จะได้ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า = 0.24

2. การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่ากับแกลบ (diameter of sphere having the volume, d_p) ของแกลบ

ปริมาตรของแกลบและช่องว่าง = 20.5 มิลลิลิตร

จำนวนอนุภาคของแกลบ = 600 อนุภาค

ปริมาตรของแกลบ = จำนวนอนุภาค x $\frac{\pi dp^3}{6}$

= ปริมาตรของแกลบและช่องว่าง x $(1-\epsilon_m)$

$600 \times \frac{\pi dp^3}{6 dp^3}$ = 20.5 x (1-0.85)

= $\frac{6 \times 20.5 \times 0.15 \times 7}{22 \times 600}$

= 9.784×10^{-3}

dp = 0.214 เซนติเมตร

= 2.14×10^{-3} เมตร

3. การหาความหนาแน่นของแกลบ

น้ำหนักของแกลบ = 10.5881 กรัม

ปริมาตรของแกลบ = 83.3 มิลลิลิตร

ความหนาแน่นของแกลบ = $\frac{10.5881}{83.3 (1-0.85)}$

= 0.8473 กรัม/มิลลิลิตร

4. การหาปริมาณความชื้น

น้ำหนักของแกลบก่อนอบ = 3.0625 กรัม

น้ำหนักของแกลบหลังอบ = 2.7545 กรัม

น้ำหนักของน้ำในแกลบ = 0.308 กรัม

ปริมาณร้อยละของความชื้นของแกลบ = $\frac{0.308 \times 100}{3.0625}$

= 10.06

5. การหาปริมาณเถ้า

น้ำหนักของแกลบก่อนเผา = 1.0018 กรัม

น้ำหนักของเถ้าหลังการเผา = 0.1660 กรัม

ปริมาณร้อยละของเถ้าในแกลบ = $\frac{0.1660}{1.0018} \times 100$

= 16.57

ภาคผนวกที่ 2

การหาคุณค่าทางความร้อน (Heating value or Calorific value)

ตัวอย่างของวิธีการคำนวณ

1. การคำนวณหาปริมาณความร้อนเทียบเท่า (energy equivalent) ของบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (bomb calorimeter) จากปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion) ของกรดเบนโซอิค (benzoic acid)

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

โดยที่ w = ปริมาณความร้อนเทียบเท่าของบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (แคลอรี/องศาเซลเซียส)

H = ปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ของกรดเบนโซอิค (6318 แคลอรี/กรัม)

m = น้ำหนักของกรดเบนโซอิค (0.7667 กรัม)

t = อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้าย

= 3.5 องศาเซลเซียส

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

= 0 แคลอรี

e_3 = ความถูกต้องของปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ของขดลวด (ignition wire)

= 2.3 x 4 = 9.2 แคลอรี

ดังนั้น $w = \frac{6318 \times 0.7667 + 0 + 9.2}{3.5}$

$= 1386.63$ แคลอรี/องศาเซลเซียส

2. การคำนวณหาค่าคุณค่าทางความร้อนของแกลบ

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

โดยที่ $t = 0.79$ องศาเซลเซียส

$m = 0.3626$ กรัม

$w = 1386.63$ แคลอรี/องศาเซลเซียส

$e_1 = 0$

e_2 = ความถูกต้องสำหรับการรวมตัวของกรดซัลฟุริค (sulphuric acid)

$= 14 \times C \times m_2$ โดยที่ m_2 เป็นปริมาณ sulphur (S) ในตัวอย่าง

$= 0$

$e_3 = 2.3 \times 6.2$

$= 14.26$ แคลอรี

$H_g = \frac{0.79 \times 1386.63 - 14.26}{0.3626}$

$= 2981.74$ แคลอรี/กรัม

ดังนั้นคุณค่าทางความร้อน $= \frac{2981.74}{100-10.06} \times 100$ แคลอรี/กรัมของแกลบแห้ง

$= 3115.25$ แคลอรี/กรัมของแกลบแห้ง

3. การคำนวณค่าคุณค่าทางความร้อนของเถ้า

โดยที่เถ้านั้นจะมี 2 ส่วน คือส่วนหนึ่งได้จากคอลัมน์ อีกส่วนหนึ่งได้จากไซโคลน กรณีของเถ้านี้จะมีการผสมกรดเบนโซอิค เข้าไปด้วยเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้น

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

m = น้ำหนักของกรดเบนโซอิค + น้ำหนักเถ้า

= 0.3135 +0.0997

t = 1.47 องศาเซลเซียส

e_1 = 0

e_2 = 0

e_3 = 2.3 x 8.4

= 19.32

H_g = 1.47 x 1386.63 − 19.32

= 2019.03 แคลอรี

คุณค่าทางความร้อนของกรดเบนโซอิค = 6318 x 0.3135

= 1980.69 แคลอรี

คุณค่าทางความร้อนของเถ้า = 2019.03 − 1980.69

= 38.33 แคลอรี

$= \frac{38.33}{0.0997}$

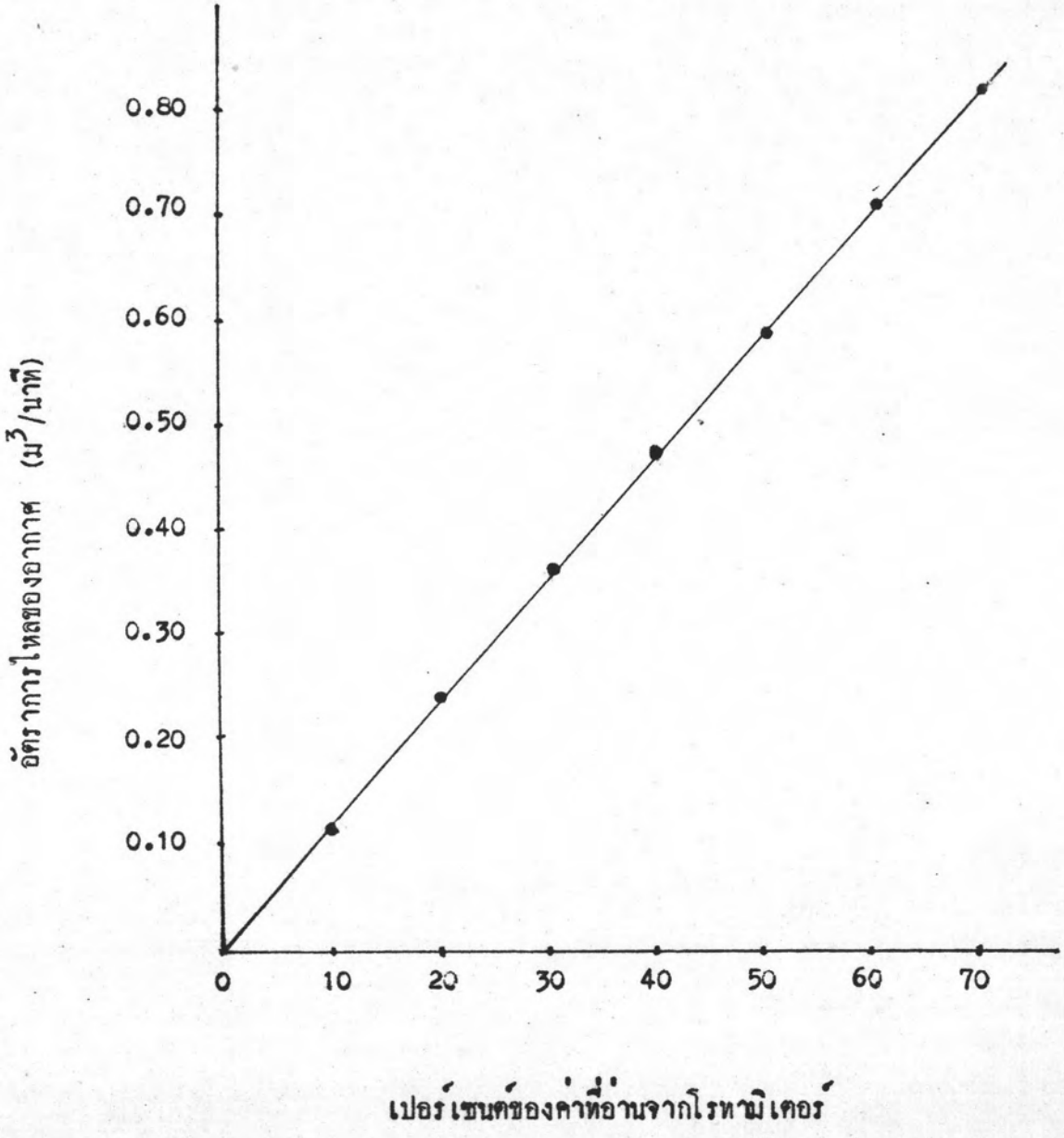
= 384.48 แคลอรี/กรัม

ภาคผนวกที่ 3

การปรับเทียบค่าที่อ่านได้จากโรทามิเตอร์ และอัตราการไหลของอากาศ

ค่าที่อ่านได้จากโรทามิเตอร์ (เปอร์เซนต์)	อัตราการไหลของอากาศ ($ม^3$/นาที) (Q)
0	0
10	0.115
20	0.240
30	0.365
40	0.470
50	0.580
60	0.700
70	0.810

ปรับเทียบที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสความดันบรรยากาศ



รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของค่าที่อ่านจากโรทามิเตอร์กับอัตราการไหลของอากาศ

ภาคผนวกที่ 4

การหาความเร็วต่ำสุดของขบวนการฟลูอิไดซ์เซชัน

แสดงข้อมูลการทดลองของความแตกต่างระหว่างความแตกต่างความดันกับอัตราการไหลของอากาศและความเร็วของอากาศที่มีเบดสูงต่าง ๆ กัน

อัตราการไหลของอากาศ ($ม^3$/นาที) Q	ความเร็วของอากาศ (ม/นาที) U	ความแตกต่างระหว่างความดัน(ซม.ของน้ำ)			
		Lm=15 ซม.	Lm=20 ซม.	Lm= 25 ซม.	Lm=30 ซม.
0.10	5.65	0.11	0.15	0.17	0.21
0.12	6.78	0.12	0.17	0.20	0.25
0.14	7.91	0.13	0.20	0.25	0.32
0.16	9.04	0.14	0.23	0.27	0.37
0.18	10.17	0.15	0.25	0.30	0.42
0.20	11.30	0.16	0.27	0.35	0.46
0.22	12.43	0.17	0.29	0.37	0.50
0.24	13.56	0.18	0.30	0.38	0.53
0.26	14.69	0.18	0.30	0.38	0.53
0.28	15.82	0.175	0.30	0.38	0.54
0.30	16.95	0.18	0.30	0.37	0.54

ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ

ภาคผนวกที่ 5

ข้อมูลที่ได้จากการเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบด

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของการทดลองการเผาไหม้ที่มีอุณหภูมิคงที่ที่ 500 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลของอากาศ 0.365 $ม^3$/นาที และ 0.470 $ม^3$/นาที, 0.580 $ม^3$/นาที 0.700 $ม^3$/นาที ตามลำดับ

อุณหภูมิของการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	500	500	500	500
อัตราการไหลของอากาศ ($ม^3$/นาที)	0.365	0.470	0.580	0.700
น้ำหนักแกลบที่ใช้ในการเผาไหม้ (กรัม)	500	500	500	500
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาที, วินาที)	16.50	14.16	12.9	10.12
อัตราการป้อนแกลบ (กรัม/นาที)	29.67	35.04	41.15	49.02
อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านท่อเหล็กไร้สนิม (กรัม/นาที)	800	750	800	800
อุณหภูมิของน้ำที่เข้าท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	28.0	31.0	29.0	29.0
อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	51.0	58.5	55.0	58.0
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์(องศาเซลเซียส)				
- อุณหภูมิกระเปาะเปียก	21.0	22.5	22.0	22.0
- อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	29.0	30.0	26.0	26.0
อุณหภูมิของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	305	320	345	365
อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากคอลัมน์(องศาเซลเซียส)				

ตารางที่ 1 (ต่อ)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก	35.0	38.0	33.0	33.5
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	36.6	39.0	35.0	35.0
ส่วนประกอบของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้				
อัตราส่วนร้อยละของ CO_2	4.0	4.0	4.2	4.2
อัตราส่วนร้อยละของ CO	0.8	0.6	0.4	0.4
อัตราส่วนร้อยละของ O_2	16.2	16.4	16.4	16.4
อัตราส่วนร้อยละของ N_2	79.0	79.0	79.0	79.0
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (กรัม)	87.4	55.9	58.2	50.9
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากไซโคลน (กรัม/นาที)	1.78	3.36	4.52	6.08
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากไซโคลน (แคลอรี/กรัม)	384.48	269.02	246.84	244.96
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (แคลอรี/กรัม)	1415.67	1962.80	1770.42	1841.56

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลของการทดลองการเผาไหม้ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 600 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลของอากาศ 0.365 $ม^3$/นาที, 0.470 $ม^3$/นาที, 0.580 $ม^3$/นาที, 0.700 $ม^3$/นาที และ 0.810 $ม^3$/นาที ตามลำดับ

อุณหภูมิของการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	600	600	600	600	600
อัตราการไหลของอากาศ ($ม^3$/นาที)	0.365	0.470	0.580	0.700	0.810
น้ำหนักแกลบที่ใช้ในการเผาไหม้ (กรัม)	500	500	500	500	500
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาที, วินาที)	14,26	12,22	11,42	9,5	7,52
อัตราการป้อนแกลบ (กรัม/นาที)	34.67	40.5	42.67	55.07	63.53
อัตราการไหลของน้ำที่ผ่านท่อเหล็กไร้สนิม (กรัม/นาที)	650	740	800	800	800
อุณหภูมิของน้ำที่เข้าท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	31.0	31.0	27.3	27.0	27.0
อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	60.5	61.0	58.0	60.0	63.0
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ (องศาเซลเซียส)					
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	21.0	21.0	24.0	23.0	22.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	26.0	26.0	25.0	24.0	25.0
อุณหภูมิของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	325	365	410	425	440

ตารางที่ 2 (ต่อ)

อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)					
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	37.0	34.0	36.0	35.5	35.5
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	38.0	35.0	37.0	36.0	38.0
ส่วนประกอบของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้					
อัตราส่วนร้อยละของ CO_2	5.8	6.0	6.1	6.0	6.0
อัตราส่วนร้อยละของ CO	0.8	0.5	0.4	0.4	0.4
อัตราส่วนร้อยละของ O_2	14.4	14.5	14.5	14.6	14.6
อัตราส่วนร้อยละของ N_2	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (กรัม)	105.5	96.6	70.4	66.3	52.9
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากไซโคลน(กรัม/นาที)	1.87	3.25	4.64	6.28	8.46
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากไซโคลน (แคลอรี/กรัม)	597.67	408.15	398.04	302.49	255.29
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (แคลอรี/กรัม)	1639.84	1991.56	2507.46	2041.05	1920.72

พอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลของการทดลองการเผาไหม้ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 700 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลของอากาศ 0.365 $ม^3$/นาที, 0.470 $ม^3$/นาที, 0.570 $ม^3$/นาที, 0.700 $ม^3$/นาที, และ 0.810 $ม^3$/นาที

อุณหภูมิของการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	700	700	700	700	700
อัตราการไหลของอากาศ ($ม^3$/นาที)	0.365	0.470	0.580	0.700	0.810
น้ำหนักแกลบที่ใช้ในการเผาไหม้ (กรัม)	500	500	500	500	500
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาที, วินาที)	11.20	11	9.50	8.47	7.41
อัตราการป้อนแกลบ (กรัม/นาที)	44.17	45.5	50.83	56.95	65.10
อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อเหล็กไร้สนิม (กรัม/นาที)	840	990	950	900	900
อุณหภูมิของน้ำที่เข้าท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	33.0	31.5	31.5	29.0	29.0
อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	70.0	62.0	63.0	65.0	69.0
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ (องศาเซลเซียส)					
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	21.5	25.0	27.8	25.0	25.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	23.0	26.2	28.3	28.0	28.0
อุณหภูมิของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	405	440	450	465	470
อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)					

ตารางที่ 3 (ต่อ)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก	39.0	39.5	40.0	38.0	36.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	40.0	40.0	41.0	39.0	39.0
ส่วนประกอบของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้					
อัตราส่วนร้อยละของ CO_2	5.2	5.6	5.4	5.6	5.8
อัตราส่วนร้อยละของ CO	0.6	0.4	0.2	0.2	0.2
อัตราส่วนร้อยละของ O_2	15.2	15.0	15.4	15.2	15.0
อัตราส่วนร้อยละของ N_2	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (กรัม)	110.5	80.0	79.8	72.5	63.4
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากไซโคลน (กรัม/นาที)	2.38	3.64	5.51	6.84	10.05
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากไซโคลน (แคลอรี/กรัม)	542.59	394.68	366.36	314.56	145.40
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (แคลอรี/กรัม)	2648.37	1561.37	1287.13	1482.02	1601.87

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลของการทดลองการเผาไหม้ที่อุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส และมีอัตราการไหลของอากาศ 0.375 $ม^3$/นาที, 0.470 $ม^3$/นาที และ 0.570 $ม^3$/นาที ตามลำดับ

อุณหภูมิของการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	800	800	800
อัตราการไหลของอากาศ ($ม^3$/นาที)	0.365	0.470	0.580
น้ำหนักแกลบที่ใช้ในการเผาไหม้ (กรัม)	500	500	500
เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ (นาที, วินาที)	11.8	10,52	9,12
อัตราการป้อนแกลบ (กรัม/นาที)	44.91	46.0	54.34
อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านท่อเหล็กไร้สนิม (กรัม/นาที)	980	720	850
อุณหภูมิของน้ำที่เข้าท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	31.8	31.2	31.0
อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากท่อเหล็กไร้สนิม (องศาเซลเซียส)	68.0	84.0	75.0
อุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่คอลัมน์ (องศาเซลเซียส)			
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	20.0	20.5	20.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	28.7	21.0	21.0
อุณหภูมิของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	420	440	460

ตารางที่ 4 (ต่อ)

อุณหภูมิของก๊าซที่ออกจากคอลัมน์ (องศาเซลเซียส)			
อุณหภูมิกระเปาะเปียก	42.0	36.0	37.0
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง	43.0	36.5	38.0
ส่วนประกอบของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้			
อัตราส่วนร้อยละของ CO_2	5.5	6.2	6.0
อัตราส่วนร้อยละของ CO	1.0	0.6	0.4
อัตราส่วนร้อยละของ O_2	14.5	14.2	14.6
อัตราส่วนร้อยละของ N_2	79.0	79.0	79.0
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (กรัม)	92.2	84.5	83.1
น้ำหนักของเถ้าที่ได้จากไซโคลน (กรัม/นาที)	2.47	3.40	5.93
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากไซโคลน (แคลอรี/กรัม)	182.44	108.39	92.43
คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากคอลัมน์ (แคลอรี/กรัม)	1394.59	1447.32	1914.96

ภาคผนวกที่ 6

วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของการเผาไหม้ และปริมาณความร้อนที่สูญหายไป โดยอาศัยหลักการของสมดุลย์มวลสารและพลังงาน (Material and Energy Balance) แสดงการคำนวณหาค่าต่าง ๆ จากผลที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 1 ภาคผนวกที่ 5

1. อุณหภูมิของการเผาไหม้ = 500 องศาเซลเซียส

   อัตราการไหลของอากาศ = 0.365 m^3/นาที

   อุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) = 28 องศาเซลเซียส

   (ใช้อุณหภูมิของน้ำเป็นอุณหภูมิอ้างอิง)

สมดุลย์มวลสาร

รากการคำนวณ : ให้มีการเผาไหม้ 1 นาที

1. น้ำหนักของแกลบที่ใช้ในการเผาไหม้ = 29.67 กรัม

   แกลบมีความชื้นร้อยละ 10.06

   ฉะนั้นน้ำหนักของน้ำในแกลบ = $\frac{29.67 \times 10.06}{100}$ = 2.98 กรัม

   $\therefore$ จำนวนกรัม-โมล = 0.1659

2. น้ำหนักของอากาศที่ให้เข้าไปในคอมัน

   โดยที่อัตราการไหลของอากาศ = 0.365 m^3

   = 365 ลิตร

   ปริมาตรของอากาศที่เข้าที่ standard condition คือ

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

โดยที่ P_1 = 29.0 นิ้วของปรอท (วัดในห้องทดลอง)

T_1 = 28 + 273.1

= 301.1 องศาเคลวิล

ในสภาวะมาตรฐาน; P_2 = 29.92 นิ้วของปรอท

T_2 = 273.1 องศาเคลวิล

ดังนั้น $V_2 = 365 \times \frac{29.0}{29.92} \times \frac{273.1}{301.1}$ ลิตร

= 328.78 ลิตร

เนื่องจากอากาศที่สภาวะมาตรฐาน 1 กรัม-โมล มีปริมาตร 22.4 ลิตร

จำนวนกรัม-โมลของอากาศที่เข้าทั้งหมด = $\frac{328.78}{22.4}$ กรัม-โมล

= 14.68 กรัม-โมล

อากาศที่เข้าคอลัมน์มี molal humidity = 0.0207 โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง

ดังนั้นอากาศที่เข้าคอลัมน์มีน้ำอยู่ = $\frac{0.0207 \times 14.68}{1.0207}$ กรัม-โมล

= 0.2977 กรัม-โมล

น้ำหนักของน้ำในอากาศที่เข้า = 5.36 กรัม

ฉะนั้นมีอากาศแห้งเข้าไปในคอลัมน์ = 14.68-0.2977 กรัม-โมล

= 14.38 กรัม-โมล

โดยที่อากาศประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 79 และออกซิเจนร้อยละ 21 ฉะนั้น อากาศที่เข้าไปในคอลัมน์ประกอบด้วย

ไนโตรเจน = $\frac{79}{100}$ x 14.38 กรัม-โมล

= 11.36 กรัม-โมล

= 318.08 กรัม

ออกซิเจน = $\frac{21}{100}$ x 14.38 กรัม-โมล

= 3.02 กรัม-โมล

= 96.64 กรัม

น้ำหนักของอากาศที่เข้าทั้งหมด = 414.72 กรัม

3. น้ำหนักของก๊าซที่ได้ออกมา

เนื่องจากว่าไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อย ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ฉะนั้น จึงถือว่ากรัม-โมลของก๊าซไนโตรเจนที่ได้จากการเผาไหม้เท่ากับกรัม-โมลของก๊าซไนโตรเจนที่เข้าคือ 11.36 กรัม-โมล

ดังนั้นปริมาณและน้ำหนักของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

ก๊าซที่ได้	ร้อยละโดยปริมาตร	จำนวนกรัม-โมล	น้ำหนักเป็นกรัม
ไนโตรเจน	79.0	11.36	318.08
ออกซิเจน	16.2	2.32	74.24
คาร์บอนมอนน็อกไซด์	0.8	0.12	3.36
คาร์บอนไดออกไซด์	4.0	0.58	25.52
ผลรวม	100.0	14.38	421.20

4. น้ำหนักของน้ำในก๊าซที่ได้ออกมา

molal humidity = 0.058 โมลของน้ำ/โมลของอากาศแห้ง

ดังนั้นจำนวนกรัม-โมลของน้ำในก๊าซที่ได้ออกมา = 0.058 x 14.38 กรัม-โมล

= 0.8340 กรัม-โมล

น้ำหนักของน้ำในก๊าซที่ได้ออกมา = 15.01 กรัม

เนื่องจากปริมาณน้ำในก๊าซที่ได้ออกมาประกอบด้วย น้ำจากอากาศที่เข้า น้ำจากความชื้นของแกลบที่ใช้และน้ำที่เกิดจากการรวมตัวของไฮโดรเจนและออกซิเจน

ดังนั้นปริมาณของน้ำที่ได้จากการเผาไหม้ = 0.8340-0.2977-0.1656 กรัม-โมล

= 0.3707 กรัม-โมล

5. น้ำหนักของเถ้าในไซโคลน = 1.78 กรัม

6. รวมสมดุลย์ของมวลสารทั้งหมด

ทางเข้า

น้ำหนักอากาศ	414.72 กรัม
น้ำหนักของน้ำในอากาศ	5.36 กรัม
น้ำหนักแกลบแห้ง	26.69 กรัม
น้ำหนักของน้ำในแกลบ	2.98 กรัม
รวมทั้งหมด	449.75 กรัม

ทางออก

น้ำหนักก๊าซที่ได้	421.20	กรัม
น้ำหนักน้ำในก๊าซ	15.01	กรัม
น้ำหนักเถ้าในไซโคลน	1.78	กรัม
รวมทั้งหมด	437.99	กรัม

7. ปริมาณของอากาศที่มากเกินพอ

จากสมการปฏิกิริยาการเผาไหม้ของ C และ H เป็นดังนี้;

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

$$C + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow CO$$

$$2H + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O$$

และจากการทดลองในการเผาไหม้เกิด CO_2 0.58 กรัม-โมล

CO 0.12 กรัม-โมล

น้ำที่เกิดจาก H 0.3707 กรัม-โมล

นอกจากนั้นเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้มีคุณค่าทางความร้อน 384.48 แคลอรี/กรัมของเถ้า

โดยที่คาร์บอนมีคุณค่าทางความร้อน 7837.65 แคลอรี/กรัมของคาร์บอน

ดังนั้นจะมีปริมาณของธาตุคาร์บอนในเถ้าแกลบ $= \frac{384.48}{7837.65}$ $\frac{\text{กรัมของคาร์บอน}}{\text{กรัมของเถา}}$

$= 0.0491$ $\frac{\text{กรัมของคาร์บอน}}{\text{กรัมของเถ้า}}$

เถ้า 1.78 กรัม จะมีธาตุคาร์บอน $= 0.0491 \times 1.78$ กรัม

$= 0.0874$ กรัม

จำนวนกรัม-โมลของคาร์บอนในเถ้า $= \frac{0.0874}{12}$ กรัม-โมล

$= 0.0073$ กรัม-โมล

ดังนั้นปริมาณอ็อกซิเจนที่ต้องการใช้ทั้งหมด $= 0.58 + 0.12 + 0.1854 + 0.0073$

$= 0.8927$ กรัม-โมล

แต่ในการทดลองจะใช้อากาศแทนที่จะใช้ออกซิเจนโดยตรง โดยที่ในอากาศประกอบด้วยออกซิเจนร้อยละ 21

ดังนั้นปริมาณอากาศที่ต้องการตามทฤษฎี $= \frac{0.8927}{0.21}$ กรัม-โมล

$= 4.25$ กรัม-โมล

แต่ในการทดลองให้ปริมาณอากาศเข้าไป 14.68 กรัม-โมล

ปริมาณอากาศที่มากเกินพอ $= \frac{14.68 - 4.25}{4.25}$ กรัม-โมล

ปริมาณร้อยละของอากาศที่มากเกินพอ $= \frac{14.68 - 4.25}{4.25} \times 100$

$= 245.41$

สมดุลย์พลังงาน

อุณหภูมิอ้างอิง: 28 องศาเซลเซียส (ใช้อุณหภูมิของน้ำในสถานะที่เป็นของเหลว)

เข้า

1. คุณค่าทางความร้อนของแกลบที่ให้เข้าไป = 2981.74 x 29.67 แคลอรี
   = 88468.22 แคลอรี
2. เอนทาลปีของแกลบ = 0
3. เอนทาลปีของน้ำในแกลบ = 0
4. เอนทาลปีของไอน้ำในอากาศ

   ปริมาณความร้อนของการระเหยที่ 28°ซ = 10488.89 แคลอรี/กรัม-โมล
   ดังนั้นเอนทาลปี = 10488.89x0.2977 แคลอรี
   = 3122.5426 แคลอรี

   ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ให้เข้าไปทั้งหมด = 91590.7684 แคลอรี

ออก

1. คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากไซโคลน = 1.78 x 384.48 แคลอรี
   = 684.37 แคลอรี

2. เอนทาลปีของเถ้าที่ได้จากไซโคลน

   Molal heat capacity เฉลี่ย = 0.2575 แคลอรี/กรัม°ซ
   ดังนั้นเอนทาลปี = 1.78 x 0.2575 x (305-28) แคลอรี
   = 126.96 แคลอรี

3. คุณค่าทางความร้อนของก๊าซ

CO ในก๊าซ = 0.12 กรัม-โมล

คุณค่าทางความร้อน = 67636 แคลอรี/กรัม-โมล

ฉะนั้นเอนทาลปี = 0.12 x 67636 แคลอรี

= 8116.32 แคลอรี

4. เอนทาลปีของก๊าซที่ได้

จาก $\Delta H = nC_p \Delta T$

ฉะนั้นเอนทาลปีของก๊าซมีดังนี้:

N_2	= 11.36 x 7.02x (305-28)	=	22089.97	แคลอรี
O_2	= 2.32x 7.215x (305-28)	=	4636.65	แคลอรี
CO	= 0.12x 7.025 x (305-28)	=	233.51	แคลอรี
CO_2	= 0.58 x 9.525x (305-28)	=	1530.29	แคลอรี
	รวม		28490.42	แคลอรี

5. เอนทาลปีของไอน้ำในก๊าซที่ได้

ปริมาณความร้อนของการระเหยที่ 28° ซ = 10488.89 แคลอรี/กรัม-โมล

molal heat capacity เฉลี่ยของน้ำ = 8.16 แคลอรี/กรัม °ซ

ดังนั้นเอนทาลปีของไอน้ำ = 0.8340 [10488.89 + 8.16x(305-28)] แคลอรี

10632.841 แคลอรี

6. ปริมาณความร้อนที่ถูกใช้ไปโดยน้ำ

ปริมาณความร้อนที่ถูกถ่ายเทให้แก่น้ำในท่อ = 800 x 1 x (51-28) แคลอรี

= 18400 แคลอรี

รวมปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้ = 66450.91 แคลอรี

ดังนั้นปริมาณความร้อนที่สูญหายไป = 91590.7684 - 66450.91 แคลอรี.

= 25139.8574 แคลอรี

คิดเป็นร้อยละ = $\frac{25139.8574}{91590.7684} \times 100$

= 27.45

ประสิทธิภาพทั้งหมด = ปริมาณความร้อนที่ให้เข้าไป - คุณค่าทางความร้อนของเถ้า - คุณค่าทางความร้อนของ CO ต่อ ปริมาณความร้อนที่ให้เข้าไป

$$= \frac{91590.7684 - 684.37 - 8116.32}{91590.7684} \times 100$$

คิดเป็นร้อยละ = 90.39

ประวัติ

ชื่อ นางสาวศศิวิมล สูงสว่าง

การศึกษา 2520 วท.บ. เคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2525 วท.ม. เคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่ทำงาน กองควบคุมมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 3