



เอกสารอ้างอิง

1. Coovattanachai, N., "The Potential of Producer Gas as an Alternative Source of Energy," Agricultural Wastes and Solar Technologies for Energy Needs in Farms, FAO, Bangkok, pp. 129-148, 1983.
2. Sett, A., "Mathematical Modelling of a Fluidized Bed Charcoal Gasifier", AIT Thesis, Bangkok, pp. 5-13, 1986.
3. จิระศักดิ์ แสงพุ่ม, "การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ในฟลูอิดไธด์เบด," วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.
4. Kirk R. E., "Producer Gas, Encyclopedia of Chemical Technology,
John Wiley & Sons, Inc. Vol.8, pp. 765-769, 1956.
5. Levenspiel O., Chemical Reaction Engineering, 2nd. ed. John Wiley
& Sons, Inc. pp. 360-68, 1978.
6. Hulber, J. and Janka, J. C., "Fuels Synthetic," Encyclopedia of
Technology, Vol. 11, pp. 410-425, 1966.
7. Larry L. Anderson & David A. Tillman, Synthetic Fuels from Coal,
John Wiley & Sons, 1929.
8. Elliot M. A., Chemistry of Coal Utilization , Wiley-Interscience,
pp. 1603-1614, pp. 1640-1642, pp. 1711-1712, pp. 1736.
9. Sitthipong, N., "Fluidized Bed Gasification of Agricultural Wastes
for Rural Communities in Thailand," A Research on Biomass
Gasification in Thailand Submitted to the National Energy
Administration, Ministry of Science, Technology and Energy
, Bangkok, pp. 229-257, 1984.
10. Breag, G. R. and Chittenden A. E., "Producer Gas; Its Potential
and Application in Developing Country," Publication of
Tropical Product Institute, pp. 3-15, 1979.
11. นกสิทธิ์ คุ้มนาชัย, "การวิจัย Gasification of charcoal," ภาควิชาวิศวกรรม
เครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2524.

12. สมศักดิ์ ตำรงค์เลิศ, ฟลูอิดเซชัน, ภาควิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 3-6, 2524.
13. Kunii, D. and Levenspiel, Fluidization Engineering, John Wiley, New York, 1968.
14. Fitzgerald, T. "Fundamentals of Fluidized Bed Hydrodynamics," Proceedings DOE/WVU Conference on Fluidized Bed Combustion System Design and Operation, 8-57, October 27-29, 1980.
15. Fane, A.G., and Wen, C.Y., Fluidized Bed Reactor, Cited in Handbook of Multiphase Systems, Editor Grace, R.J., Gad Hetroni, 8.109-8.113, 1982.
16. Wen, C.Y. and Dutta, S., Coal Conversion Technology, Addison Wesley Publishing, Co., 1979.
17. Campbell, E. K., "The Combustion of Coal in Fluidized Bed," Ph.D. dissertation, Chemical Engineering Department, University of Cambridge, 1975.
18. Foley, G. and Barnard, G. "Gasifier Types, Biomass Gasification in Developing Countries", Earthscan, London, 1983.
19. ASTM Standards, D3172, "Proximate Analysis of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
20. _____. D3173, "Test Method for Moisture in the Analysis Sample of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
21. _____. D3174, "Test Method for Ash in the Analysis of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
22. _____. D3175, "Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Coal and Coke," American Society for Testing and Materials, U.S.A., 1986.
23. _____. D2015, "Test Method for Gross Calorific Value of Solid Fuel by the Adiabatic Bomb Calorimeter," American

Society for Testing and Materials, U.S.A., 1987.

24. กัญจนา บุญเกียรติ, สมดุลงานสารและสมดุลงาน, ภาควิชาเคมีเทคนิค, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.
25. Hougen, O.A. and Watson, K.M., Chemical Process Principle, John Wiley & Sons, Inc., London, 1954.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของถ่านไม้

1) การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) : ASTM D3172

1.1 ความชื้น (moisture) : ASTM D3173

วิธีทดลอง

- อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 104 -110 °ซ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิเคเตอร์ (desiccator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างถ่านไม้ประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่างถ่านไม้
- นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104 -110 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักตัวอย่างถ่านไม้คงที่
- นำถาดอลูมิเนียมออกมาทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที จึ่งชั่งน้ำหนักถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ภายใน บันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = 100(W_1 - W_2) / W$$

เมื่อ M = ร้อยละของความชื้น

W_1 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างถ่านไม้เริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างถ่านไม้ที่อบแล้ว (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านไม้ (กรัม)

1.2 เถ้า (ash) : ASTM D3174

วิธีการทดลอง

- เเผาครุซีเบิลพอร์ซเลน (porcelain crucible) พร้อมฝาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง นำ

- ออกมาทำให้เย็นในแคลิเกตอร์ ซึ่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝา
- ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างถ่านไม้ใส่ครุชชีเบล ประมาณ 1 กรัม
 - นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซน จนควันระเหยหมด
 - ใส่ครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 750 °ซ เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักถ่านคงที่
 - นำครุชชีเบลออกจากเตาเผา วางทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำไปใส่ในแคลิเกตอร์ ซึ่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = 100(W_u - W_d) / W$$

เมื่อ A = ร้อยละของถ่าน

W_u = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาที่มีถ่าน (กรัม)

W_d = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างถ่านไม้ (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหยในตัวอย่งถ่านไม้ (Volatile Matter) : ASTM D3175

วิธีการทดลอง

- เผาครุชชีเบลพร้อมฝาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 °ซ ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในแคลิเกตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝา บันทึกผล
- ชั่งตัวอย่างถ่านไม้ใส่ในครุชชีเบลประมาณ 1 กรัม
- ปิดฝาครุชชีเบลให้เรียบร้อย นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (tubular furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 °ซ เป็นเวลา 3 นาที
- หย่อนครุชชีเบลให้อยู่บริเวณปากเตา อุณหภูมิประมาณ 600 °ซ เป็นเวลา 3 นาที
- หย่อนครุชชีเบลให้อยู่กึ่งกลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 °ซ เป็นเวลา 6 นาที
- นำครุชชีเบลออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ไว้ในแคลิเกตอร์ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = 100(W_u - W_d) / W - M$$

- เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย
 M = ร้อยละของความชื้น
 W_1 = น้ำหนักของครุฑีเบิลพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักถ่านไม้ก่อนเผา (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักของครุฑีเบิลพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักถ่านไม้หลังเผา (กรัม)
 W = น้ำหนักตัวอย่างถ่านไม้ (กรัม)

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัวในตัวอย่างถ่านไม้ (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = $100 - \text{ร้อยละของความชื้น} - \text{ร้อยละของเถ้า} - \text{ร้อยละของสารระเหย}$

2) การหาค่าความร้อนของถ่านไม้ (Gross heating value) : ASTM D2015

วิธีการทดลอง

- ปูเส้นใยแอสเบสตอส (asbestos) ลงในถ้วยเผาไหม้ จากนั้นใส่ตัวอย่างถ่านไม้ประมาณ 1 กรัม ซึ่งน้ำหนักให้ละเอียดถึง 0.0001 กรัม
- วางออกซิเจนบอมม์บนที่ตั้ง ถอดฝาปิดบอมม์ออกแล้ววางบนขาตั้งบอมม์ จากนั้นตัดและวัดลวดยาวประมาณ 10 ซม. นำมาผูกไว้ระหว่างปลายทั้งสองของแท่งเหล็กที่อยู่ด้านล่างของฝาบอมม์
- วางถ้วยที่บรรจุถ่านไม้ ลงบนหัวอิเล็กทรอนิกส์ที่รัดได้ฝาบอมม์ จัดให้ลวดที่ผูกไว้โค้งเป็นรูปตัวยูและอยู่บนผิวหน้าของถ่านไม้
- เติมน้ำกลั่นลงในออกซิเจนบอมม์ 1 มิลลิลิตร
- ประกอบฝาบอมม์กับตัวบอมม์เข้าด้วยกัน ชันเกลียวให้แน่น นำไปอัดก๊าซออกซิเจนอย่างช้า ๆ จนมีความดัน 20 -25 บรรยากาศ
- เติมน้ำลงในถังแช่บอมม์ 1 ลิตร โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 24-25 °C นำออกซิเจนบอมม์ที่อัดก๊าซไว้เรียบร้อยแล้ววางลงในถังบอมม์ เสียบสายอิเล็กทรอนิกส์ 2 เส้นเข้ากับบอมม์เติมน้ำลงไปถังอีก 1 ลิตร
- ตรวจสอบว่ามีฟองก๊าซผุดขึ้นมาจากส่วนต่าง ๆ ของฝาบอมม์หรือไม้ก่อน แล้วปิดฝาเครื่อง ลดระดับเทอร์โมมิเตอร์และเครื่องกวนลงมา
- เปิดสวิตช์ให้เครื่องกวนทำงาน ทุก ๆ 30 วินาที บันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ในถังหุ้มของระบบบอมม์ (jacket) และน้ำในถังแช่บอมม์ เมื่อได้ค่าใกล้เคียง

ต่างกันไม่เกิน 0.01 °ซ จึงเริ่มกดปุ่มจุดระเบิด

- หยุดการทดลอง เมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังแช่บอมบ์เพิ่มขึ้นจนคงที่จากการอ่านทุกนาที ไม่ต่ำกว่า 2 ค่าต่อเนื่องกัน

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$Hg = (t(W) - e1 - e2 - e3 - e4) / g$$

เมื่อ Hg = Gross heat of combustion, cal/g

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น, องศาเซลเซียส

w = ค่าน้ำสมมูลของเครื่องบอมบ์คาลอรีมิเตอร์ (Water Equivalent), แคลอรี/องศาเซลเซียส

e1 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด HNO_3

= มิลลิลิตรของ 0.0709 N. Na_2CO_3

e2 = การแก้ค่าความร้อนของการเกิด H_2SO_4

= $13.7 \times (\%S)$, cal

e3 = การแก้ค่าความร้อนของ fuse wire

= $2.3 \times$ ความยาวลวดที่ไหม้ไป, เซนติเมตร

e4 = การแก้ค่าความร้อนของ cotton thread = 0

g = น้ำหนักของตัวอย่าง, กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข.1 การหาอัตราการไหลของอากาศ

ทำโดยการหา Calibration curve ความเร็วลมวัดด้วย Anemometer เทียบกับ ความดันลด (Pressure drop) ผลการทดลองเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ} &= 5.08 \text{ ซม.} \\ \text{พื้นที่หน้าตัดท่อ} &= \frac{1}{4} \pi d^2 = 20.268 \text{ ซม.}^2 \\ &= 0.00203 \text{ ม.}^2 \end{aligned}$$

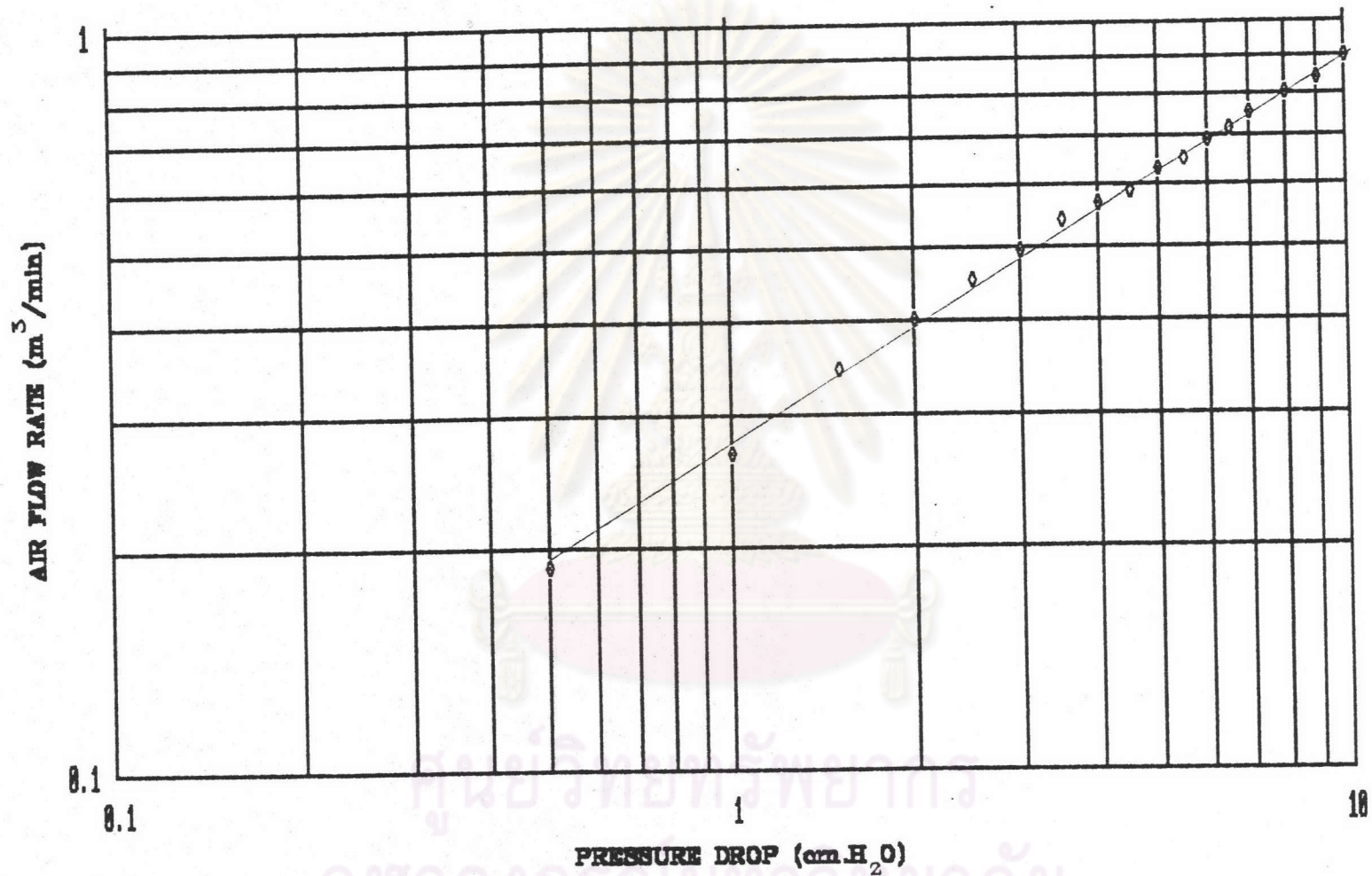
ตารางที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของอากาศกับความดันลด

ความดันลด (P) (ซม. น้ำ)	ความเร็วของอากาศ (เมตร/นาที)			อัตราการไหลของอากาศ (ม ³ /นาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
0.5	92.0	93.0	92.5	0.188
1.0	132.0	130.0	131.0	0.266
1.5	169.0	168.5	168.75	0.343
2.0	197.0	197.0	197.0	0.400
2.5	222.0	221.0	221.5	0.450
3.0	242.0	243.0	242.5	0.492
3.5	266.5	266.0	266.25	0.540
4.0	279.0	281.0	280.0	0.568
4.5	289.0	291.0	290.0	0.589
5.0	309.0	310.0	309.5	0.628
5.5	319.5	319.0	319.25	0.648
6.0	339.5	338.0	338.75	0.688
6.5	352.5	352.0	352.25	0.715
7.0	369.5	369.5	369.5	0.750

ความดันลด (P) (ชม.น้ำ)	ความเร็วของอากาศ (เมตร/นาทีก)			อัตราการไหลของอากาศ (ม ³ /นาทีก)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย	
8.0	393.5	394.5	394.0	0.800
9.0	411.0	412.0	411.5	0.835
10.0	439.0	441.0	440.0	0.893

หมายเหตุ ทำการทดลองที่ ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราเร็วของอากาศ กับ ความดันลด

ข.2 การหาความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไดเซชันของถ่านไม้

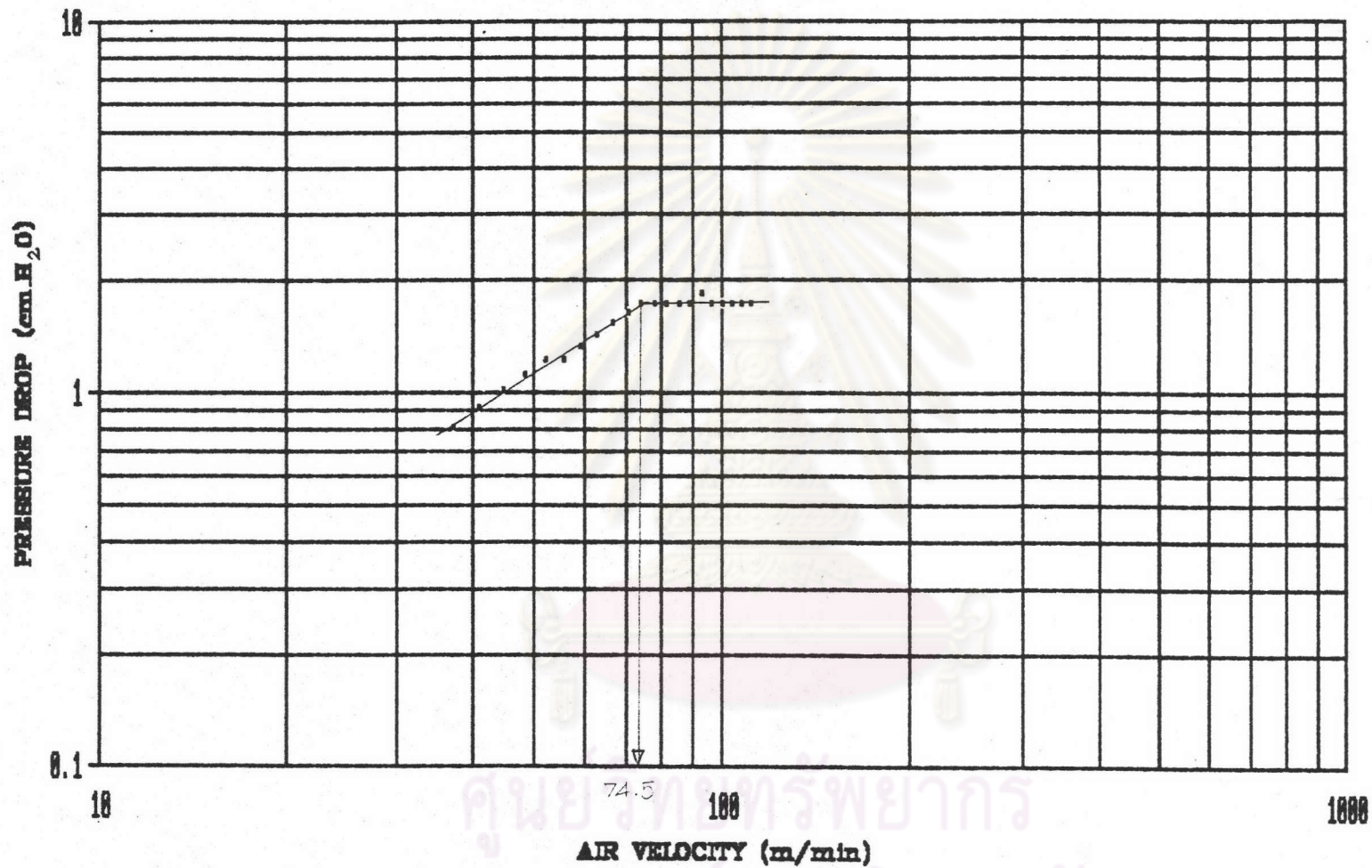
ถ่านไม้ขนาด 4-6 มม. ทำการทดลองในคอลัมน์เส้นผ่านศูนย์กลาง 10.7 ซม.
 ความสูงเบด 11 ซม. ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง
 พื้นที่หน้าตัดคอลัมน์ = 0.00899 ม²

ตารางที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศกับความดันลด

อัตราการไหลของอากาศ (เมตร ³ /ชั่วโมง)	ความเร็วของอากาศ (เมตร/นาที)	ความดันลด (P) (ซม.น้ำ)
20	37.1	0.8
22	40.8	0.9
24	44.5	1.0
26	48.2	1.1
28	51.9	1.2
30	55.6	1.2
32	59.1	1.3
34	62.8	1.4
36	66.5	1.5
38	70.2	1.6
40	73.9	1.7
42	77.7	1.7
44	81.4	1.7
46	85.1	1.7
48	88.8	1.7
50	92.5	1.8

อัตราการไหลของอากาศ (เมตร ³ /ชั่วโมง)	ความเร็วของอากาศ (เมตร/นาที)	ความดันลด (P) (ชม.น้ำ)
52	96.2	1.7
54	99.9	1.7
56	103.6	1.7
58	107.3	1.7
60	111.0	1.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วลม กับ ความดันลด



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดสอบ และ ตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลผลการก๊าซชีวภาพผ่านหน่วยบำบัด

Run No.	Feed Rate (g/min)	Air flow rate		T (°C)		T _{feed} (°C)	T _{bed} (°C)	Dry Flue Gas					Overflow		Fine Charcoal		
		m ³ /min	U/Umf	T _d	T _w			T (°C)	% CO	% CO ₂	% O ₂	% CH ₄	% N ₂	g/min	% ash	g/min	% ash
1	100	0.2776	0.89	31	24	700	900	110	22.30	6.31	3.68	1.68	66.03	4.39	14.07	5.46	22.01
2	100	0.2905	0.94	33	27	630	950	110	20.22	8.98	2.48	1.89	66.43	3.61	20.15	9.28	34.93
3	100	0.3034	0.98	34	28	710	900	120	19.66	9.90	3.11	1.94	65.39	3.84	12.81	6.52	21.01
4	100	0.3162	1.02	33	24	740	1050	120	18.42	8.18	2.96	0.97	69.47	4.77	11.59	13.66	26.18
5	180	0.3034	0.98	33	27	660	940	110	14.21	11.61	4.29	2.95	66.94	5.78	18.50	23.25	36.27
6	180	0.3162	1.02	32	27	640	870	110	18.14	10.68	2.72	3.36	65.10	14.31	14.93	16.67	17.12
7	180	0.3291	1.06	32	28	650	930	100	14.10	8.89	5.51	2.69	68.81	12.61	13.46	25.34	14.39
8	180	0.3420	1.10	32.5	27	650	970	90	15.45	9.23	5.15	2.98	67.19	17.49	16.74	33.36	17.73
9	260	0.3291	1.06	34	27	560	930	90	13.50	8.76	5.52	1.20	71.02	21.74	10.01	56.58	22.76
10	260	0.3420	1.10	30	26.5	600	920	100	17.12	8.69	5.73	2.81	65.65	20.93	7.23	49.74	15.61
11	260	0.3535	1.14	33	27	600	1000	100	14.61	9.46	6.06	2.85	67.02	29.58	8.85	38.02	17.07
12	260	0.3649	1.18	31	25	650	870	120	13.76	11.41	6.75	1.56	66.52	22.99	9.81	31.62	12.29

ค.1 ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลสาร และ สมดุลพลังงาน (ผลการทดลองที่ 1)(24)

สมดุลมวลสาร

- ข้อกำหนด 1. ก๊าซผลิตภัณฑ์มีองค์ประกอบคือ CO , CO_2 , O_2 , CH_4 และ N_2
2. N_2 ไม่ทำปฏิกิริยา
 3. H_2 ในถ่านทำปฏิกิริยากับคาร์บอนหมด
 4. อากาศระเหยตัวเป็นก๊าซอุดมคติ

หลักอ้างอิง การปฏิบัติงาน 1 นาที

มวลสารเข้า

1. น้ำหนักของอากาศแห้ง

$$\text{อุณหภูมิกระเปาะแห้ง } 31^\circ\text{C} = 87.8^\circ\text{F}$$

$$\text{อุณหภูมิกระเปาะเปียก } 24^\circ\text{C} = 75.2^\circ\text{F}$$

จากรูปที่ 20 หน้า 122 (25)

$$\text{ความชื้นโมแลล (Molal Humidity) ของอากาศ} = \frac{0.025 \text{ โมลของน้ำ}}{\text{โมลของอากาศแห้ง}}$$

$$\text{อัตราการไหลของอากาศ} = 0.2776 \text{ ลบ.ม./นาที}$$

กรัมโมลของอากาศแห้งที่ 31°C

$0.2776 \text{ ลบ.ม.} \times 1 \text{ โมลอากาศเปียก}$	1 โมลอากาศแห้ง	273 เคลวิน
$\text{นาที} \times 0.0224 \text{ ลบ.ม.}$	$1.025 \text{ โมลอากาศแห้ง}$	$273+31 \text{ เคลวิน}$

$$= 10.86 \text{ กรัมโมล/นาที}$$

$$\text{อากาศที่ป้อนเข้ามา} = \frac{10.86 \text{ กรัมโมล} \times 29 \text{ กรัม}}{1 \text{ กรัมโมล}} = 314.94 \text{ กรัม} <---$$

$$\text{ไนโตรเจนในอากาศ} = 10.86 \times 0.79 = 8.5794 \text{ กรัมโมล}$$

$$\text{ออกซิเจนในอากาศ} = 10.86 \times 0.21 = 2.2806 \text{ "}$$

2. น้ำหนักความชื้นในอากาศ

$$= \frac{0.025 \text{ โมลของน้ำ} \times 10.86 \text{ โมลของอากาศแห้ง}}{\text{โมลของอากาศแห้ง}} = 0.2715 \text{ กรัมโมล}$$

$$= \frac{0.2715 \text{ กรัมโมล} \times 18 \text{ กรัม}}{1 \text{ กรัมโมล}} = 4.89 \text{ กรัม} <----$$

มวลสารออก

1. น้ำหนักของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

สมมูลไนโตรเจน

หลักอ้างอิง 100 กรัมโมลของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

$$\text{ไนโตรเจนในอากาศ} = 8.5794 \text{ กรัมโมล}$$

$$\text{ไนโตรเจนจากถ่าน} = \frac{0.29}{100} \times \frac{100}{28} = 0.0104 \text{ "}$$

$$\text{ไนโตรเจนทั้งหมด} = 8.5794 + 0.0104 = 8.5898 \text{ "}$$

$$\text{ร้อยละไนโตรเจนในก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง} = 66.03$$

$$\text{ไนโตรเจน 66.03 กรัมโมล มีอยู่ในก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง} = 100 \text{ กรัมโมล}$$

$$\text{" 8.5898 " " " = } \frac{100 \times 8.5898}{66.03} \text{ "}$$

$$= 13.01 \text{ "}$$

$$\text{CO} = 13.01 \times 0.2230 = 2.901 \times 28 = 81.23 \text{ กรัม}$$

$$\text{CO}_2 = 13.01 \times 0.0631 = 0.821 \times 44 = 36.12 \text{ "}$$

$$\text{O}_2 = 13.01 \times 0.0368 = 0.479 \times 32 = 15.32 \text{ "}$$

$$\text{CH}_4 = 13.01 \times 0.0168 = 0.219 \times 16 = 3.50 \text{ "}$$

$$\text{N}_2 = 8.5898 \times 28 = 240.51 \text{ "}$$

$$\text{รวม} = 376.69 \text{ กรัม} \leftarrow$$

2. น้ำหนักความชื้นในก๊าซผลิตภัณฑ์

$$\text{ความชื้นในอากาศ} = 0.2715 \text{ กรัมโมล}$$

$$\text{ความชื้นในถ่านอิสระ} = \frac{4.97}{100} \times \frac{100}{18} = 0.2761 \text{ "}$$

$$\text{รวม} = 0.5476 \text{ กรัมโมล} \quad | \quad 18 \text{ กรัม} = 9.86 \text{ กรัม} \leftarrow$$

$$\text{1 กรัมโมล}$$

สมดุลมวลสารทั้งหมด

มวลสารเข้า (กรัม)		มวลสารออก (กรัม)	
ถ่านไม้	100	ถ่านล้น	4.39
อากาศแห้ง	314.94	ฝุ่นถ่าน	5.46
ความชื้นในอากาศ	4.89	ก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	376.69
รวม	419.83	ความชื้นในก๊าซผลิตภัณฑ์	9.86
		มวลสารสูญหาย	23.43
		รวม	419.83

สมดุลพลังงาน

- ข้อกำหนด 1. อุณหภูมิของฝุ่นถ่านเท่ากับอุณหภูมิของก๊าซผลิตภัณฑ์
 2. อุณหภูมิของถ่านล้นเท่ากับอุณหภูมิเบด
 3. ความจุความร้อนและค่าความร้อน ของถ่านล้นและฝุ่นถ่านเท่ากับถ่านไม้
 4. อุณหภูมิอ้างอิง เป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

อุณหภูมิอ้างอิง 31 °C

หลักอ้างอิง การปฏิบัติงาน 1 นาที

พลังงานเข้า

$$\begin{aligned}
 1. \text{ ค่าความร้อนของถ่านไม้} &= \frac{100 \text{ กรัม} \times 6.2255 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กรัม}} \\
 &= 622.55 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow
 \end{aligned}$$

2. เอนทาลปีของน้ำที่ป้อนเข้ามาพร้อมอากาศ
 จาก ตารางที่ 26 หน้า 274 (25)

$$\begin{aligned}
 \text{ความร้อนของการกลายเป็นไอ} &= \frac{9717 \text{ แคลอรี}}{\text{กรัมโมล}} = \frac{0.5398 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กรัม}} \\
 \text{เอนทาลปี} &= 0.5398 \times 4.89 = 2.64 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow
 \end{aligned}$$

พลังงานออก

1. ค่าความร้อนของถ่านลัน

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 - \text{ร้อยละของเถ้า} \times \text{น.น.ของถ่านลัน} \times \text{ค่าความร้อนของถ่านไม้}}{100 - \text{ร้อยละของเถ้าเดิม}} \\
 &= \frac{100 - 14.07 \times 4.39 \times 6.2255}{100 - 4.31} \\
 &= 24.54 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \text{----}
 \end{aligned}$$

2. ค่าความร้อนของฝุ่นถ่าน (เช่นเดียวกับกรณีถ่านลัน)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100 - 22.01 \times 5.46 \times 6.2255}{100 - 4.31} \\
 &= 27.70 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \text{----}
 \end{aligned}$$

3. ค่าความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์

$$\begin{aligned}
 &= (\text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้ CO} \times \text{กรัมโมลของ CO}) \\
 &\quad + (\text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้ CH}_4 \times \text{กรัมโมลของ CH}_4) \\
 &= \frac{(67.6361 \text{ กิโลแคลอรี} \times 2.901)}{\text{กรัมโมล}} + \frac{(212.798 \text{ กิโลแคลอรี} \times 0.219)}{\text{กรัมโมล}} \\
 &= 196.21 + 46.60 = 242.81 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \text{----}
 \end{aligned}$$

4. เอนทาลปีของถ่านลัน

$$\begin{aligned}
 &= \text{ความจุความร้อนของถ่าน} \times \text{น้ำหนักถ่านลัน} \times (\text{อุณหภูมิเบด} - \text{อุณหภูมิอ้างอิง}) \\
 &= 0.000242 \text{ กิโลแคลอรี} \times 4.39 \text{ กรัม} \times (900 - 31)^\circ\text{ซ} \\
 &\quad (\text{กรัม})(^\circ\text{ซ}) \\
 &= 0.92 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \text{----}
 \end{aligned}$$

5. เอนทาลปีของฝุ่นถ่าน (เช่นเดียวกับกรณีถ่านลัน)

$$\begin{aligned}
 &= 0.000242 \text{ กิโลแคลอรี} \times 5.46 \text{ กรัม} \times (110 - 31)^\circ\text{ซ} \\
 &\quad (\text{กรัม})(^\circ\text{ซ}) \\
 &= 0.10 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow \text{----}
 \end{aligned}$$

6. เอนทาลปีของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยของก๊าซหาได้จากตารางที่ 19 หน้า 258 (25)

$$= \text{ค่าความจุความร้อนที่ } 110^\circ\text{ซ} \times \text{กรัมโมลของก๊าซ} \times (\text{อุณหภูมิของก๊าซ} - \text{อุณหภูมิอ้างอิง})$$

$$\begin{aligned}
 \text{CO} &= 7.002 \times 10^{-3} \times 2.901 (110 - 31) = 1.60 \text{ กิโลแคลอรี} \\
 \text{CO}_2 &= 9.295 \times 10^{-3} \times 0.821 (110 - 31) = 0.61 \text{ กิโลแคลอรี} \\
 \text{CH}_4 &= 9.044 \times 10^{-3} \times 0.219 (110 - 31) = 0.16 \text{ กิโลแคลอรี} \\
 \text{O}_2 &= 7.081 \times 10^{-3} \times 0.479 (110 - 31) = 0.26 \text{ กิโลแคลอรี} \\
 \text{N}_2 &= 6.973 \times 10^{-3} \times 8.5898 (110 - 31) = 4.73 \text{ กิโลแคลอรี} \\
 \text{รวม} &= 7.36 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow
 \end{aligned}$$

7. เอนทาลปีของน้ำในก๊าซผลิตภัณฑ์

$$\begin{aligned}
 \text{ความร้อนของการกลายเป็นไอที่ } 31^\circ\text{C} &= 0.5398 \times 9.86 \\
 &= 5.32 \text{ กิโลแคลอรี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความร้อนยิ่งยวด} &= \text{โมลน้ำ} \times \text{ความจุความร้อนของน้ำ} \times (\text{อุณหภูมิของก๊าซ} - \text{อุณหภูมิอ้างอิง}) \\
 &= 0.5476 \times 8.177 \times 10^{-3} \text{ กิโลแคลอรี } (110 - 31)^\circ\text{C} \\
 &\quad (\text{โมล})(^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

$$= 0.35 \text{ กิโลแคลอรี}$$

$$\text{รวมทั้งหมด} = 5.67 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow$$

8. ค่าความร้อนของการเกิด (Heat of formation) จากตารางที่ 29 หน้า 297 (25)

$$\begin{array}{l}
 \text{CO} = \frac{26.4157 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กรัมโมล}} \quad 2.901 \text{ กรัมโมล} = 76.63 \text{ กิโลแคลอรี}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{CO}_2 = \frac{94.0518 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กรัมโมล}} \quad 0.821 \text{ กรัมโมล} = 77.22 \text{ กิโลแคลอรี}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{H}_2\text{O} = \frac{57.7979 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กรัมโมล}} \quad 0.548 \text{ กรัมโมล} = 31.67 \text{ กิโลแคลอรี}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{CH}_4 = \frac{17.8890 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กรัมโมล}} \quad 0.219 \text{ กรัมโมล} = 3.92 \text{ กิโลแคลอรี}
 \end{array}$$

$$\text{รวม} = 189.44 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow$$

9. ค่าความร้อนสุทธิ (หาจากค่าความแตกต่าง)

$$= 625.19 - 498.54 = 126.65 \text{ กิโลแคลอรี} \quad \leftarrow$$

สมดุลพลังงานทั้งหมด

พลังงานเข้า (กิโลแคลอรี)		พลังงานออก (กิโลแคลอรี)	
ค่าความร้อนของถ่านไม้	622.55	ค่าความร้อนของถ่านลัน	24.54
เอนทาลปีของความชื้นในอากาศ	2.64	ค่าความร้อนของฝุ่นถ่าน	27.70
รวม	625.19	ค่าความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์	242.81
		เอนทาลปีของถ่านลัน	0.92
		เอนทาลปีของฝุ่นถ่าน	0.10
		เอนทาลปีของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	7.36
		เอนทาลปีของความชื้นในก๊าซ	5.67
		ค่าความร้อนของการเกิด	189.44
		ค่าความร้อนสูญหาย	126.65
		รวม	625.19

ค.2 การคำนวณประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง

ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงคำนวณจากค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงทั้งหมด เป็นอัตราส่วนร้อยละต่อพลังงานความร้อนที่เข้าสู่ระบบ

$$\begin{aligned}
 \text{ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิง} &= \frac{\text{ค่าความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้} \times 100}{\text{ค่าความร้อนทั้งหมดที่ป้อนเข้าสู่ระบบ}} \\
 &= \frac{242.81 \times 100}{625.19} \\
 &= 38.84 \%
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ๘.๒ แสดงผลการคำนวณสมดุลมวลสาร

Run No.	มวลสารเข้า (กรัม)				มวลสารออก (กรัม)						
	กำมะถัน	อากาศแห้ง	ความชื้นในอากาศ	ทั้งหมด	กำมะถัน	ฝุ่นกำมะถัน	ก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	ความชื้นในก๊าซผลิตภัณฑ์	มวลสารสูญหาย		ทั้งหมด
									กรัม	%	
1	100	314.94	4.89	419.83	4.39	5.46	376.69	9.89	23.43	5.58	419.83
2	100	324.80	6.65	431.45	3.61	9.28	390.83	11.62	16.11	3.73	431.45
3	100	337.48	7.33	444.81	3.84	6.52	414.88	12.30	7.27	1.63	444.81
4	100	356.31	5.53	461.84	4.77	13.66	409.95	10.50	22.96	4.97	461.84
5	180	339.24	6.95	526.19	5.78	23.25	410.50	15.89	70.77	13.45	526.19
6	180	354.71	7.27	541.98	14.31	16.67	437.43	16.21	57.35	10.58	541.98
7	180	368.00	8.22	556.22	12.61	25.34	427.93	17.17	73.17	13.15	556.22
8	180	383.03	7.85	570.88	17.49	33.36	451.23	16.79	52.01	9.11	570.88
9	260	367.13	7.29	634.42	21.74	56.58	416.23	20.21	119.66	18.86	634.42
10	260	386.19	7.91	654.10	20.93	49.74	470.43	20.83	92.17	14.09	654.10
11	260	395.26	8.10	663.36	29.58	38.02	473.73	21.02	101.01	15.23	663.36
12	260	412.28	7.42	679.70	22.99	31.62	494.63	20.34	110.12	16.20	679.70

ตารางที่ ค.3 แสดงผลการคำนวณสมดุลพลังงาน

Run No.	พลังงานเข้า (กิโลแคลอรี)			พลังงานออก (กิโลแคลอรี)									ประสิทธิภาพของเตาผลิตก๊าซ (%)	
	ค่าความร้อนของก๊าซเข้า	เอนทาลปีของความร้อน	สูญหาย	ค่าความร้อน			เอนทาลปี			ค่าความร้อนของสารเกิด	ความร้อนสูญเสีย	สูญหาย		
				ถ่ายเท	ผ่าน	ก๊าซผลิตกับทิ้ง	ถ่ายเท	ผ่าน	ก๊าซผลิตกับทิ้ง					ความร้อนของอากาศ
1	622.55	2.64	625.19	24.54	27.70	242.81	0.92	0.10	7.36	5.67	189.44	126.65	625.19	38.84
2	622.55	3.59	626.14	18.75	39.29	235.97	0.80	0.15	7.42	6.68	225.62	91.46	626.14	37.69
3	622.55	3.96	626.51	21.78	33.51	245.24	0.80	0.14	8.78	7.12	248.49	60.65	626.51	39.14
4	622.55	2.99	625.54	27.44	65.60	203.17	1.17	0.29	8.75	6.08	211.79	101.25	625.54	32.48
5	1120.59	3.75	1124.34	30.65	96.40	219.79	1.27	0.43	7.79	9.13	261.31	497.57	1124.34	19.55
6	1120.59	3.92	1124.51	79.20	89.89	288.88	2.90	0.31	8.47	9.32	281.64	363.90	1124.51	25.69
7	1120.59	4.44	1125.03	71.00	141.14	222.82	2.74	0.42	7.19	9.80	238.52	431.40	1125.03	19.81
8	1120.59	4.24	1124.83	94.74	178.56	282.37	3.97	0.46	6.45	9.50	239.75	309.03	1124.83	25.10
9	1618.63	3.94	1622.57	121.28	284.32	164.88	4.71	0.77	5.69	11.42	234.62	794.88	1622.57	10.16
10	1618.63	4.27	1622.90	126.32	273.09	281.97	4.50	0.84	8.15	11.91	279.26	636.86	1622.90	17.37
11	1618.63	4.37	1623.00	175.41	205.13	256.82	6.92	0.62	7.84	11.99	281.19	677.08	1623.00	15.82
12	1618.63	4.01	1622.64	134.90	180.43	200.76	4.67	0.68	10.73	11.80	298.16	780.51	1622.64	12.37

ประวัติผู้เขียน



นางสาวพรทิพย์ แก้วรานนท์ชัย เกิดวันที่ 19 สิงหาคม 2507 ที่จังหวัดเพชรบุรี
ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค จากคณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2528



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย