

รายการอ้างอิง



ภาษาไทย

กัญจนา บุญยเกียรติ. การคำนวณขั้นต้นในวิชาวิศวกรรมเคมี. กรุงเทพมหานคร :

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

ชูศักดิ์ โภคะนุทรานนท์. การคาร์บอนไนท์แกลบในฟลูอิดไธเซน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทมหาบัณฑิต

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

พงษ์ศักดิ์ ฟองเพชร. การผลิตซิลิกาจากแกลบด้วยเทคนิคฟลูอิดไธเซน. วิทยานิพนธ์ ปริญญา

มหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ศุลกากร, กรม. สถิติการนำเข้าและส่งออกของกรมศุลกากร ปี 2517-2535. กรุงเทพมหานคร :

กรมศุลกากร, 2517-2535.

สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไธเซน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

2528.

ภาษาอังกฤษ

Amick, J.A., Milewski, J.V. and Wright, F.J. Method for Production Solar Cell-Grade Silicon From Rice Hulls. U.S. Patent 4,214,920. July29, 1980.

_____ Purification of Rice Hulls as Source of Solar Grade Silicon for Solar Cells.

J. Electrochem. Soc. 129 (April 1982) : 864-866.

Antal, M.J. Jr. Biomass Pyrolysis : A Review of the literature Part 1-Carbohydrate Pyrolysis,

Advances in Solar Energy. American Solar Energy Society Inc., New York, 1982.

_____ M.J. Jr. Biomass Pyrolysis : A Review of the literature Part 2-Lignocellulose Pyrolysis,

Advances in Solar Energy. American Solar Energy Society Inc., New York, 1982.

Borthakur, P.C., Saika, P.C. and Dutta, S.N. Physico Chemical Characteristics of Silica

from Puddy Husk, its reactivity and Probable Field of Application. Ind. Ceramics

23 (May 1980) : 25-29.

- Chakraverty, A., Mishra, P. and Banerjee, H.D. Investigation of Combustion of raw and acid-leached rice husk for production of pure amorphous white silica. J. of Mat. Sci. 23 (1988) : 21-24.
- Conradt, R., Pinkhaokham, P., and Leela-Adisorn, U. Nano-structured Silica from rice husk. J. of Non-crystalline Solids. 145 (1992) : 75-79.
- Cutler, I.B. Production of SiC from rice hulls. U.S. Patent 3,754,076 August 21, 1973.
- Hamad, M.A. Thermal Characteristics of Rice Hulls. J. Chem. Tech. Biotechol. 31 (1981) : 624-626.
- Hunt, L.P., Dismukes, J.P., Amick, J.A. Rice Hulls as a Raw Material for Producing Silicon. J. Electrochem. Soc. 131 (1984) : 1683-1686.
- Iler, R.V. The Chemistry of Silica. New York : John Wiley & Sons, 1979.
- James, J. and Rao, M.S. Silica from rice husk through thermal decomposition. Thermochim. Acta. 197 (1986) : 329-336.
- _____ and Rao, M.S. Characterization of Silica in Rice-husk ashes. Am. Ceram. Soc. Bull. 65 (August 1986) : 1177-1180.
- John, B. Edwards. Combustion, the Formation and Emission of Trace Species. 2nd ed. New York : Ann Arbor Science Publishers, 1974. pp.1-53.
- Jones, J. L. Converting Solid Wastes and Residues to Fuel. Chemical Engineering. 2 (January 1978).
- Kapur, P.C. TiB : Tube-in-basket rice-husk burner for producing energy and reactive rice husk ash, In R. Khane (ed.), Proceeding ESCAP/RCTT Third Workshop on Rice Husk cement. pp.12-24. India, 1981.
- Kohan, S.M. and Barkhordor, P.M. Mission Analysis for Federal fuels form Biomass program. Vol. IV Thermochemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry. Chapter VI, Production of Oil and Char Pyrolysis of Wood, January 1979.
- Lanning, F.C., Pannaiya, B.W.X. and Crumpton, C.F. The Chemical nature of Silica in plants. Plant Physiology 14 (1958) : 339-344.
- _____ Silicon in Rice. Agricultural and Food Chemistry 11 (September- October 1963) : 435-437.

- Lin, S.C. Wiley, A.T. and Soltes, E.D. J. Biomass Pyrolysis towards an Understanding its Versatility and Potentials. Biotechnol. Bioeng. Symp. 11, (1981) : 125-136.
- Luan, T.C. and Chou, T.C. Recovery of Silica from the Gasification of Rice Husk/Coal in the Presence of Pilot Flame in a Modified Fluidized Bed. Ind. Eng. Chem. 29 (1990) : 1922-1927.
- Mansour, N.A.L. Hanna, S.B. Silicon carbide and nitride from rice hulls. II. Effect of iron on the formation of Silicon carbide. BR. Ceram. Tran. J. 63 11 (1984) : 1408-1411.
- Matthes, W.E. Keramische Glazuren (Ceramic glazes). 2nd ed. Augustus Verlag Augsburg (Germany) 1990.
- Mc Ketta, J.J., and Cuning, W.A. Encyclopedia of Chemical Processing and Design. Combustion. 10 (1979) : 89-156.
- Nakata, Y., Suzuki, M., Okutani, T., Kikuchi, M. and Akiyama, T. Preparation and Properties of SiO₂ from Rice Hulls. Nihon Seramikkū Kyokai Gakujutsu Ronbunshi 97 (1989) : 842-849.
- Probstien, R.F. and Hicks, R.E. Synthetic Fuels. Singapore : McGraw-Hill Book Co., 1985.
- Ramsey, Jr., David, E. Production of SiC from rice hulls and silica. U.S. Patent 4,248,844 February 3, 1981.
- Sacher, I. Contributions to the Use of Rice Husks and Rice Husk Ash in Ceramics. Sprechsaal. 121 (1988) : 1081-1084.
- SERI. A Survey of Biomass Gasification. Vol. 1 and 2, Solar Energy Research Institute, Colorado, July 1979, SERI/TR-33-239 (1979).
- Sharma, H.K., Williams, W.S., Zangvil, A. Formation and Structure of Silicon carbide Whiskers from Rice-hulls. J. Am. Ceram. Soc. 67 (1984) : 715-720.
- Xu, B.Y., Haung, W., Flanigan, J. and Sitton, C. Design and operation of 6.0 inch fluidized bed gasifier for rice hulls. M.Sc. Thesis, University of Missouri, n.d.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะฟลูอิดไอเซน

องค์ประกอบสำคัญของระบบฟลูอิดไอเซน คือ ความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านคอล้มน์ เพื่อให้เบดมีการเคลื่อนที่ การหาความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไอเซนสามารถหาได้จากการทดลอง โดยการป้อนอากาศเข้าสู่เบดจากค่าความเร็วต่ำ ๆ พร้อมทั้งวัดค่าความดันลด (Pressure drop) ของระบบ จากนั้นเพิ่มค่าความเร็วอากาศต่อไป เมื่อค่าความเร็วอากาศสูงขึ้นค่าความดันลดจะเพิ่มขึ้น จนถึงจุดหนึ่งที่ค่าความดันลดมีค่าคงที่แม้จะเพิ่มความเร็วอากาศให้สูงขึ้นก็ตาม ซึ่งข้อมูลที่ได้ แสดงดังตารางที่ ก.1 และ ก.2 เมื่อนำค่าความเร็วอากาศกับค่าความดันลดมาเขียนกราฟความสัมพันธ์จะทำให้ทราบค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะฟลูอิดไอเซน

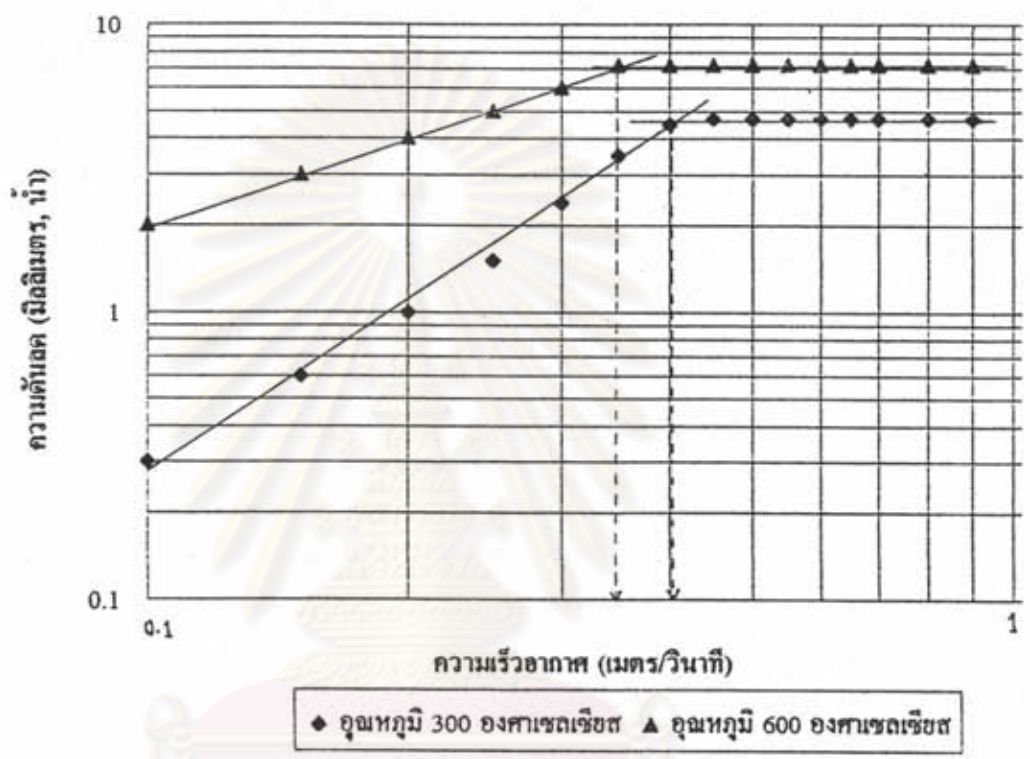
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไอเซนของแกลบที่ผ่านการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

ความดันที่เปลี่ยนไป (มิลลิเมตร, น้ำ)	ความเร็วอากาศ (เมตร/วินาที)
1.0	0.20
1.5	0.25
2.0	0.28
2.5	0.31
3.0	0.33
3.5	0.35
4.0	0.38
4.5	0.40
4.7	0.42
4.7	0.45
4.7	0.47
4.7	0.50
4.7	0.51

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไอเซชันของแกลบ
ที่ผ่านการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

ความดันที่เปลี่ยนไป (มิลลิเมตร, น้ำ)	ความเร็วอากาศ (เมตร/วินาที)
2.0	0.10
3.0	0.15
4.0	0.21
5.0	0.25
6.0	0.30
6.5	0.35
7.0	0.38
7.2	0.40
7.2	0.44
7.2	0.48
7.2	0.52
7.2	0.56
7.2	0.60

ในงานวิจัยนี้ พบว่าจะเกิดสภาวะฟลูอิดไอเซชันเมื่อทำการเผาไหม้แกลบที่ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส แต่การเผาไหม้แกลบในช่วงอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จำเป็นต้องเลือกใช้อัตราการป้อนอากาศที่ 0.42 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเบดได้ จากนั้นจึงทำการปรับอัตราการป้อนอากาศตามต้องการ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการหาค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไอเซชันที่อุณหภูมิ 300 และ 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วอากาศกับความตื้นเขต เพื่อหาค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดเซชันของแก๊ส ที่ผ่านการเผาไหม้ที่อุณหภูมิ 300 และ 600 องศาเซลเซียส

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

การปรับเทียบค่าที่อ่านได้จาก flow meter และอัตราการป้อนอากาศ

ใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม วัดความเร็วลมที่ปากเตาด้านบน ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 176.73

ตารางเซนติเมตร

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการทดลองระหว่างค่าความดันที่อ่านได้จาก flow meter กับความเร็วของอากาศ ปรับเทียบเป็นอัตราการป้อนอากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ค่าที่อ่านได้จาก flow meter (มิลลิเมตร)	ความเร็วอากาศ (เมตร/วินาที)	อัตราการป้อนอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/นาที)
0.5	0.09	0.10
1.0	0.11	0.12
1.5	0.14	0.15
2.0	0.17	0.18
2.5	0.19	0.20
3.0	0.20	0.21
3.5	0.21	0.22
4.0	0.22	0.23
4.5	0.24	0.25
5.0	0.25	0.27
5.5	0.26	0.28
6.0	0.27	0.29
6.5	0.28	0.30
7.0	0.29	0.31
7.5	0.30	0.32
8.0	0.31	0.33
8.5	0.33	0.35
9.0	0.34	0.36
9.5	0.35	0.37

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ข้อมูลการทดลองระหว่างค่าความดันที่อ่านได้จาก flow meter กับความเร็ว
ของอากาศ ปรับเทียบเป็นอัตราการป้อนอากาศ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ค่าที่อ่านได้จาก flow meter (มิลลิเมตร)	ความเร็วอากาศ (เมตร/วินาที)	อัตราการป้อนอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/นาที)
10.0	0.36	0.38
10.5	0.37	0.39
11.0	0.38	0.40
11.5	0.39	0.41
12.0	0.40	0.42
12.5	0.41	0.43
13.0	0.42	0.44
14.0	0.43	0.45
15.0	0.44	0.46
20.0	0.80	0.85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

คุณสมบัติของแกลบที่ผ่านการปรับสภาพที่สภาวะต่าง ๆ

การวิเคราะห์คุณสมบัติของแกลบ

เนื่องจากไม่มีวิธีวิเคราะห์คุณสมบัติของแกลบโดยตรง แต่คุณสมบัติของแกลบใกล้เคียงกับไม้ จึงนำเอาวิธีวิเคราะห์หาคุณสมบัติของไม้ (ASTM D 1762-84) มาใช้แทน

1. ปริมาณความชื้น (Moisture)

วิธีการทดลอง

- นำครุชชีเบลพร้อมฝาามาเผาในเตาเผา (muffle furnace) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิคเคเตอร์ (desiccator) ทิ้งให้เย็นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ชั่งน้ำหนักครุชชีเบล และเติมตัวอย่างแกลบประมาณ 1 กรัม ชั่งน้ำหนักให้มีความผิดพลาดได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม
- นำครุชชีเบลและตัวอย่างเข้าในตู้อบ (drying oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- จากนั้นนำเข้าเดสิคเคเตอร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = [(A-B)/A] \times 100$$

เมื่อ M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

A = น้ำหนักของตัวอย่างแกลบที่ใช้ (กรัม)

B = น้ำหนักของตัวอย่างแกลบหลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส (กรัม)

เมื่อ A = ร้อยละของปริมาณเถ้า

B = น้ำหนักของตัวอย่างแกลบหลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
(กรัม)

D = น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลืออยู่ (กรัม)

4. การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$F.C. = 100 - M - V - A$$

เมื่อ F.C. = ร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัว

M = ร้อยละของปริมาณความชื้น

V = ร้อยละของปริมาณสารระเหย

A = ร้อยละของปริมาณเถ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$s = C - 1 / W_m C \quad (2)$$

$$i = 1 / W_m C \quad (3)$$

ดังนั้นน้ำหนักของ monolayer W_m สามารถหาได้จากสมการ (2) และ (3)

$$W_m = 1/s + i \quad (4)$$

ขั้นที่สอง ในการคำนวณหาพื้นที่ผิวจำเพาะ ต้องทราบพื้นที่ผิวน้ำตัด โมเลกุล A_{CB} ของตัวถูกดูด พื้นที่ผิวทั้งหมด S_t ของตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังนี้

$$S_t = W_m N A_{CB} / M \quad (5)$$

เมื่อ N เป็นเลขอาโวกาโดร (6.023×10^{23} โมเลกุล)

M เป็นน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกดูด

ไนโตรเจนใช้ในการหาพื้นที่ผิวอย่างกว้างขวางมากที่สุด สำหรับค่า C (50-250) ในผิวของแข็งส่วนมากค่า C มีอิทธิพลต่อพื้นที่หน้าตัดของตัวถูกดูด

สำหรับ Hexagonal close-packed nitrogen monolayer ที่ 77 เคลวิน พื้นที่หน้าตัด A_{CB} ของไนโตรเจนคือ 16.2 \AA

พื้นที่ผิวจำเพาะ S ของของแข็ง สามารถคำนวณจากพื้นที่ผิวทั้งหมด S_t และน้ำหนักตัวอย่าง W ดังสมการที่ (6)

$$S = S_t / W \quad (6)$$

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ.

การวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของซิลิกา

การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของซิลิกา

วิธีการทดลอง

1. ล้างครุชชีเบลให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำเข้าเตลิกเคเตอร์ประมาณ 10 นาที
2. นำครุชชีเบลเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเตลิกเคเตอร์ รอจนเย็นประมาณ 5 นาที นำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 15 นาที
3. ใส่ตัวอย่างประมาณ 0.2 - 0.3 กรัม ลงในครุชชีเบล
4. นำครุชชีเบลและตัวอย่างเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเตลิกเคเตอร์ รอจนเย็นประมาณ 5 นาที นำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 15 นาที
5. นำตัวอย่างที่เหลือและครุชชีเบลมาวางในกระบอกทราย
6. เติมน้ำกลั่น 5 - 8 หยด ให้ทั่วตัวอย่าง
7. หยดกรดซัลฟูริก อัตราส่วน 1 : 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
8. ใส่กรดไฮโดรฟลูออริก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
9. ปรับอุณหภูมิของกระบอกทราย ให้มีอุณหภูมิ 95-50 องศาเซลเซียส อย่างช้า ๆ ทำการไล่ควันของกรดไฮโดรฟลูออริกจนหมด
10. นำครุชชีเบลและตัวอย่างที่เหลือเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเตลิกเคเตอร์ รอจนเย็นประมาณ 5 นาที
11. นำครุชชีเบลและตัวอย่างที่เหลือเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเตลิกเคเตอร์ รอจนเย็นประมาณ 5 นาที นำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 15 นาที

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$m_6 = (m_4 - m_5) / m_4 \times 100$$

เมื่อ m_1 = น้ำหนักของครุฑิเบิล (กรัม)

m_2 = น้ำหนักของครุฑิเบิลรวมกับน้ำหนักของแก้วที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 1

m_3 = น้ำหนักของครุฑิเบิลรวมกับน้ำหนักของแก้วที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ครั้งที่ 2

m_4 = น้ำหนักของซิลิกา

$$= m_2 - m_1$$

m_5 = น้ำหนักของสิ่งเจือปน

$$= m_3 - m_1$$

m_6 = ร้อยละของซิลิกา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ข1 แสดงสภาวะที่ทำการทดลอง

การทดลอง ที่	สภาวะการทดลอง			
	อุณหภูมิเตา (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณแก๊ส (กรัม)	อัตราการป้อนอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/นาที่)
1	700	3	100	0.15
2	700	3	150	0.15
3	700	3	200	0.15
4	700	3	300	0.15
5	600	3	100	0.15
6	650	3	100	0.15
7	750	3	100	0.15
8	700	3	100	0.10
9	700	3	100	0.27
10	700	3	100	0.32
11	700	1	100	0.15
12	700	2	100	0.15
13	700	4	100	0.15
14	600	3	100	0.32
15	650	3	100	0.32
16	750	3	100	0.32
17	700	1	100	0.27
18	700	2	100	0.27
19	700	4	100	0.27

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ

การทดลอง ที่	อากาศเข้า			ปริมาณ แก๊ส (กิโลกรัม)	ก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง				เข้ารีดิก		
	อัตราการไหล (น./นาท)	Td (°ซ)	Tw (°ซ)		% CO	%CO2	%O2	%N2 และ ก๊าซอื่นๆ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	% คาร์บอน คงตัว	% เข้าต่อ แก๊ส
1	0.15	28	25	0.10	0.8	3.4	14.2	81.6	0.020	0.000	20.00
2	0.15	28	25	0.15	0.7	3.8	14.1	81.4	0.032	0.000	21.33
3	0.15	28.5	25	0.20	0.5	4.2	13.8	81.5	0.045	0.006	22.50
4	0.15	28	24.5	0.30	0.6	3.9	13.9	81.6	0.059	0.008	19.67
5	0.15	29	24.5	0.10	0.5	4.1	14.2	81.2	0.021	0.004	21.00
6	0.15	29	24	0.10	0.7	3.8	14.5	81.0	0.022	0.000	22.00
7	0.15	28	24	0.10	0.4	4.2	14.6	80.8	0.020	0.000	20.00
8	0.10	28.5	24	0.10	0.4	4.4	14.8	80.4	0.021	0.000	21.00
9	0.27	29	25	0.10	0.5	4	15.2	80.3	0.020	0.000	20.00
10	0.32	29	25	0.10	0.4	4.5	13.6	81.5	0.020	0.000	20.00
11	0.15	28	25	0.10	0.6	4	14.2	81.2	0.021	0.000	21.00
12	0.15	27	24	0.10	0.7	3.7	13.7	81.9	0.022	0.000	22.00
13	0.15	27.5	24	0.10	0.7	3.5	14.0	81.8	0.021	0.000	21.00
14	0.32	28	25	0.10	0.6	4.2	14.6	80.6	0.021	0.000	21.00
15	0.32	27.5	25	0.10	0.5	4.3	14.8	80.4	0.024	0.000	24.00
16	0.32	28	24.5	0.10	0.5	4.2	14.5	80.8	0.022	0.000	22.00
17	0.27	29	25	0.10	0.4	4.6	14.1	80.9	0.022	0.000	22.00
18	0.27	28	25	0.10	0.6	3.9	14.1	81.4	0.023	0.000	23.00
19	0.27	28	25	0.10	0.6	4.2	14.3	80.9	0.020	0.000	20.00

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) และการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ของแกลบที่ผ่านการไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 6.6 ลิตร/นาที เป็นเวลา 15 นาที

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ		การวิเคราะห์แบบประมาณ	
รายการวิเคราะห์	ร้อยละ	รายการวิเคราะห์	ร้อยละ
คาร์บอน	42.26	ความชื้น	0.27
ไฮโดรเจน	1.08	เถ้า	51.84
ไนโตรเจน	0.62	สารระเหย	18.54
ออกซิเจน	3.93	คาร์บอนคงตัว	29.35
ความชื้น	0.27		
เถ้า	51.84	ค่าความร้อนของแกลบ	
		= 3253.55	
		กิโลแคลอรี/กิโลกรัม	
รวมทั้งหมด	100.00	รวมทั้งหมด	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของการเผาไหม้ และปริมาณอากาศมากเกินพอ โดยอาศัยหลักการของสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงาน ส่วนการคำนวณค่าใช้จ่ายจะคิดค่าใช้จ่ายของไฟฟ้าที่ใช้

ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลสารและสมดุลพลังงาน จากข้อมูลการทดลองที่ 1 ในตารางที่ ข.2 และตารางที่ ข.3 ภาคผนวก ข

สมดุลมวลสาร

- ข้อกำหนด 1. องค์ประกอบของก๊าซผลิตภัณฑ์มีเพียง 4 ชนิดคือ CO_2 , CO , O_2 และ N_2
1. N_2 ไม่ทำปฏิกิริยา
 2. H_2 ในแก๊สทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนหมด
 3. อากาศระเหิดตัวเป็นก๊าซอุดมคติ

หลักอ้างอิง การปฏิบัติงาน 1 ชั่วโมง

1. หาน้ำหนักของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

สมดุลคาร์บอน

มวลสารขาเข้า

1.1 คาร์บอนในแก๊ส

$$= \frac{\text{สัดส่วนคาร์บอนในแก๊ส} \times \text{น้ำหนักของแก๊สที่ป้อนเข้าเตาเผา}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอน}}$$

ภาคผนวก ง.

การหาพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกา

เครื่องมือ

- เต้าอบ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส
- เครื่องมือวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของของแข็ง Autosorb-1 ของ Quantachrome Corporation

หลักการวิเคราะห์

Autosorb-1 วัดปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับหรือถูกปล่อยออกจากผิวของของแข็ง ที่ความดันไอสมดุลโดยวิธี static volumetric ทำโดยวัดปริมาณก๊าซที่เข้ามาหรือออกจาก sample cell ที่บรรจุของแข็งที่เป็นตัวดูดซับ รักษาอุณหภูมิให้คงที่ต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของตัวดูดซับ เมื่อการดูดซับหรือการปล่อยออกเกิดขึ้นความดันไอใน sample cell จะเปลี่ยนจนกระทั่งสมดุล ปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับหรือปล่อยออกที่ความดันสมดุล ได้จากปริมาณที่แตกต่างกันระหว่าง ก๊าซที่เข้ากับก๊าซที่ออกและปริมาณที่ต้องการเพื่อเติมลงในที่ว่างรอบตัวดูดซับ

วิธีของ Brunauer - Emmett - Teller (BET) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$1/[W((P/P_0) - 1)] = 1/(W_m C) + (C - 1)/[W_m C (P/P_0)] \quad (1)$$

เมื่อ W = น้ำหนักของก๊าซที่ถูกดูดที่ความดันสัมพัทธ์ P_0

W_m = น้ำหนักของตัวดูดซับประกอบด้วย monolayer ที่ปกคลุมผิว

C = ค่าคงที่ของ BET ซึ่งสัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับในการดูดซับชั้นแรก

วิธี Multipoint BET Method

สมการของ BET (1) จะได้เส้นตรงจากการเขียนกราฟระหว่าง $1/[W(P/P_0)]$ กับ P/P_0 ซึ่งสำหรับของแข็งเกือบทุกชนิดใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวดูดซับ ขอบเขตของการดูดซับมักมีช่วง P/P_0 เป็น 0.05 - 0.35

Standard Multipoint BET ต้องการอย่างน้อย 3 จุด ในการประมาณช่วงความดันสัมพัทธ์ น้ำหนักของ monolayer ของตัวดูดซับ W_m สามารถหาได้จากความชัน s และจุดตัด l ของ BET plot จากสมการ (1)

จากตารางที่ ข.3 องค์ประกอบร้อยละโดยน้ำหนักของคาร์บอนในแกลบ = 42.26

น้ำหนักของแกลบที่ป้อนเข้าเตาเผา = 0.1 กิโลกรัม

$$\text{คาร์บอนในแกลบ} = \frac{42.26 \times 0.1}{100 \times 12} = 3.52 \times 10^{-3} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

มวลสารขาออก

1.2 คาร์บอนในเถ้าที่ออกจากคอลัมน์

$$= \frac{\text{ปริมาณคาร์บอนคงตัวในเถ้า} \times \text{น้ำหนักเถ้า}}{\text{น้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอน}}$$

จากตารางที่ ข.3 อัตราส่วนร้อยละของปริมาณคาร์บอนคงตัวในเถ้า = 0.000

น้ำหนักของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์ = 0.020 กิโลกรัม

$$\text{คาร์บอนในเถ้า} = 0 \text{ กิโลกรัมโมล}$$

1.3 คาร์บอนในก๊าซผลิตภัณฑ์

$$= \text{คาร์บอนในแกลบ} - \text{คาร์บอนในเถ้า}$$

$$= 3.52 \times 10^{-3} - 0$$

$$= 3.52 \times 10^{-3} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

จากปริมาณคาร์บอนในก๊าซผลิตภัณฑ์ หาน้ำหนักของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้งได้ดังนี้

จำนวนโมลของ CO หรือ CO₂ 1 โมล มีค่าเทียบเท่า C 1 โมล

จากตารางที่ ข.2 อัตราส่วนร้อยละของ CO และ CO₂ = 0.8 และ 3.4 ตามลำดับ

จำนวนโมลของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

$$= \text{คาร์บอนในก๊าซผลิตภัณฑ์} \times \frac{1 \text{ กิโลกรัมโมล}(\text{CO} + \text{CO}_2)}{1 \text{ กิโลกรัมโมล C}} \times \frac{100 \text{ กิโลกรัมโมลของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง}}{\text{กิโลกรัมโมลของ} (\text{CO} + \text{CO}_2)}$$

$$= 3.52 \times 10^{-3} \times \frac{1}{1} \times \frac{100}{(0.8 + 3.4)} = 8.38 \times 10^{-2} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

น้ำหนักของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

$$\text{CO}_2 = 8.38 \times 10^{-2} \times 0.034 = 2.85 \times 10^{-3} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

$$\text{หรือคูณด้วย 44} = 0.125 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{CO} = 8.38 \times 10^{-2} \times 0.008 = 6.704 \times 10^{-4} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

$$\text{หรือคูณด้วย 28} = 0.0188 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{O}_2 = 8.38 \times 10^{-2} \times 0.142 = 1.19 \times 10^{-2} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

$$\text{หรือคูณด้วย 32} = 0.3808 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{N}_2 = 8.38 \times 10^{-2} \times 0.816 = 6.84 \times 10^{-2} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

$$\text{หรือคูณด้วย 28.2} = 1.928 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง} = 2.4526 \text{ กิโลกรัม}$$

2. หาน้ำหนักของอากาศแห้ง

สมดุลไนโตรเจน

2.1 ไนโตรเจนในอากาศแห้งที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

$$= \text{ไนโตรเจนในก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง} - \text{ไนโตรเจนในแกลบ}$$

$$= 6.84 \times 10^{-2} - \frac{0.62 \times 0.1}{100 \times 28.2}$$

$$= 6.84 \times 10^{-2} - 2.198 \times 10^{-5}$$

$$= 6.838 \times 10^{-2} \text{ กิโลกรัมโมล หรือคูณด้วย 28.2} = 1.93 \text{ กิโลกรัม}$$

2.2 ออกซิเจนในอากาศแห้งที่ป้อนเข้าสู่ระบบ

จากอัตราส่วนร้อยละของอากาศโดยน้ำหนักมี N_2 และ $\text{O}_2 = 79$ และ 21 ตามลำดับ

$$= \frac{1.93 \times 21}{79 \times 32}$$

$$= 1.603 \times 10^{-2} \text{ กิโลกรัมโมล หรือคูณด้วย 32} = 0.513 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{น้ำหนักอากาศแห้ง} = 6.838 \times 10^{-2} + 1.603 \times 10^{-2} = 8.441 \times 10^{-2} \text{ กิโลกรัมโมล}$$

$$\text{หรือคูณด้วย 29} = 2.448 \text{ กิโลกรัม}$$

สมดุลมวลสารทั้งหมด

มวลสารเข้า (กิโลกรัม)		มวลสารออก (กิโลกรัม)	
แกลบที่ป้อน	0.10	เถ้า	0.02
อากาศแห้ง	2.45	ก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	2.45
ความชื้นในอากาศ	0.05	ความชื้นในก๊าซผลิตภัณฑ์	0.06
		มวลสารสูญหาย	0.06
รวม	2.59	รวม	2.59

สมดุลพลังงาน

- ข้อกำหนด 1. อุณหภูมิข้างอิงเป็นอุณหภูมิอากาศที่ไม่มีไอน้ำ
2. ความดันในขณะปฏิบัติการคงที่

อุณหภูมิข้างอิง 25.0 องศาเซลเซียส

หลักข้างอิง การปฏิบัติงาน 1 ชั่วโมง

พลังงานเข้า

1. ค่าความร้อนของแกลบ

$$= \frac{0.1 \text{ กิโลกรัม} \quad 3253.55 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กิโลกรัม}} \quad \frac{4.184 \text{ กิโลจูล}}{1 \text{ กิโลแคลอรี}}$$

$$= 1361.29 \text{ กิโลจูล}$$

2. เอนทาลปีของอากาศแห้ง

คำนวณโดยใช้ $C_{p, \text{mean}}$ จากรูปที่ 8.14 หน้า 290 (กัญจน, 2531)

$$\begin{aligned}
 C_{p, \text{mean}} \text{ ของอากาศแห้ง} &= 7.03 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัมโมล เคลวิน} \\
 \text{เอนทาลปี} &= \frac{7.03 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กิโลกรัมโมล.เคลวิน}} \left| \frac{8.441 \times 10^2 \text{ กิโลกรัมโมล}}{1 \text{ กิโลแคลอรี}} \right| \frac{(301 - 298) \text{ เคลวิน}}{1 \text{ กิโลแคลอรี}} \\
 &= 1.78 \text{ กิโลแคลอรี} \left| \frac{4.184 \text{ กิโลจูล}}{1 \text{ กิโลแคลอรี}} \right| \\
 &= 7.45 \text{ กิโลจูล}
 \end{aligned}$$

3. เอนทาลปีของน้ำที่ป้อนเข้ามาพร้อมกับอากาศ

ใช้ตารางไอน้ำ หน้า 510 (กัญจนนา, 2531)

$$\begin{aligned}
 \text{ที่อุณหภูมิ } 28.0^\circ \text{ ซ (82.4}^\circ \text{ ฟ) เอนทาลปีของไอน้ำอิ่มตัว} &= 1096.78 \text{ บีทียู/ปอนด์} \\
 \text{ที่อุณหภูมิ } 25.0^\circ \text{ ซ (77.0}^\circ \text{ ฟ) เอนทาลปีของน้ำอิ่มตัว} &= 45.03 \text{ บีทียู/ปอนด์} \\
 \text{ความร้อนของการกลายเป็นไอ} &= 1096.78 - 45.03 = 1051.75 \text{ บีทียู/ปอนด์} \\
 &= 10517.50 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัมโมล}
 \end{aligned}$$

จากสมมูลมวลสารน้ำหนักของอากาศขึ้นในอากาศ = 2.56×10^3 กิโลกรัมโมล

$$\text{เอนทาลปี} = 2.56 \times 10^3 \times 10517.50 \times 4.184 = 112.65 \text{ กิโลจูล}$$

พลังงานออก

1. ค่าความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์

$$\begin{aligned}
 &= \text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของ CO} \times \text{กิโลกรัมโมลของ CO} \\
 \text{ค่าความร้อนของการเผาไหม้ของ CO} &= 67636.1 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัมโมล} \\
 &= \frac{67636.1 \text{ กิโลแคลอรี}}{\text{กิโลกรัมโมล}} \left| \frac{4.184 \text{ กิโลจูล}}{1 \text{ กิโลแคลอรี}} \right| \frac{6.704 \times 10^4 \text{ กิโลกรัมโมล}}{1 \text{ กิโลแคลอรี}} \\
 &= 189.72 \text{ กิโลจูล}
 \end{aligned}$$

2. เอนทาลปีของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง

อุณหภูมิของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง = 300 องศาเซลเซียส

ค่าความจุความร้อนเฉลี่ยของก๊าซหาได้จาก รูปที่ 8.4 หน้า 290 (กัญจนนา, 2531)

$$= \text{ค่าความจุความร้อนที่อุณหภูมิของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง} \times \text{กิโลกรัมโมลของก๊าซ} \\ \times (\text{อุณหภูมิของก๊าซ} - \text{อุณหภูมิอ้างอิง})$$

องค์ประกอบของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง	กิโลกรัมโมล	$C_{p \text{ mean}}$	$nC_{p \text{ mean}}$
CO ₂	2.85×10^3	10.11	0.0288
CO	6.704×10^4	7.07	0.0047
O ₂	1.19×10^2	7.29	0.0868
N ₂	6.84×10^2	7.04	<u>0.4815</u>
	รวม		<u>0.6018</u>

$$\text{เอนทาลปีของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง} = 0.6018 \times (573 - 298) \times 4.184 \\ = 692.43 \text{ กิโลจูล}$$

3. เอนทาลปีของน้ำในก๊าซผลิตภัณฑ์

ความร้อนของการกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ 25 °ซ

$$= 10495 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัมโมล}$$

ความจุความร้อนเฉลี่ยของน้ำที่อุณหภูมิ 300 °ซ

$$= 8.22 \text{ กิโลแคลอรี/กิโลกรัมโมล.เคลวิน}$$

$$\text{เอนทาลปี} = \text{กิโลกรัมโมลของน้ำ} \times (\text{ความร้อนของการกลายเป็นไอ} + \text{ความจุความร้อนเฉลี่ย} \\ \text{ของน้ำ} \times (\text{อุณหภูมิของก๊าซ} - \text{อุณหภูมิอ้างอิง})) \times 4.184 \\ = 3.11 \times 10^3 \times (10495 + 8.22(573-298)) \times 4.184 \\ = 165.98 \text{ กิโลจูล}$$

4. ค่าความร้อนของถ่าน

$$= \text{ค่าความร้อนของถ่าน} \times \text{น้ำหนักของถ่าน}$$

$$= 0 \times 0.02$$

$$= 0 \text{ กิโลจูล}$$

5. ความร้อนที่ใช้ประโยชน์และสูญเสีย = 432.85 กิโลจูล

สมดุลพลังงาน

พลังงานเข้า (กิโลจูล)	%	พลังงานออก (กิโลจูล)	%
ค่าความร้อนของแกลบ 1361.29	91.90	ค่าความร้อนของก๊าซผลิตภัณฑ์ 189.72	12.81
เอนทาลปีของอากาศแห้ง 7.45	0.50	เอนทาลปีของก๊าซผลิตภัณฑ์แห้ง 692.43	46.74
เอนทาลปีของน้ำที่ป้อน 112.65	7.60	เอนทาลปีของน้ำในก๊าซผลิตภัณฑ์ 165.98	11.20
		ค่าความร้อนของเถ้า	0
		ความร้อนที่ใช้ประโยชน์	
		และสูญหาย	433.26
รวม 1481.39	100	รวม 1481.39	100

การคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (คิดจากสมดุลคาร์บอน)

$$= \frac{\text{จำนวนโมลคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (CO}_2\text{)} \times 100}{\text{จำนวนโมลคาร์บอนทั้งหมดที่เข้าระบบ}}$$

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลคาร์บอนทั้งหมดที่เข้าระบบ} &= \text{คาร์บอนในแกลบ} \\ &= 3.52 \times 10^3 \end{aligned}$$

$$\text{จำนวนโมลคาร์บอนที่ถูกเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (CO}_2\text{)} = 2.85 \times 10^3$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการเผาไหม้} &= \frac{100 \times 2.85 \times 10^3}{3.52 \times 10^3} \\ &= 80.97 \% \end{aligned}$$

การคำนวณหาปริมาณร้อยละของอากาศมากเกินไป

ออกซิเจนที่ใช้เพื่อทำการเผาไหม้สมบูรณ์

$$\begin{aligned} &= \text{ออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้ CO} + \text{ออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้คาร์บอนจากเถ้า} \\ &= 6.704 \times 10^4 + \frac{(0 \times 0.02)}{100 \times 12} \\ &= 6.704 \times 10^4 \text{ กิโลกรัมโมล} \end{aligned}$$

ปริมาณออกซิเจนที่มากเกินไป

$$\begin{aligned}
 &= \text{ออกซิเจนที่ออกจากคอลัมน์} - \text{ออกซิเจนที่ใช้เพื่อการเผาไหม้สมบูรณ์} \\
 &= 1.19 \times 10^{-2} - 6.704 \times 10^{-4} \\
 &= 1.12 \times 10^{-2} \text{ กิโลกรัมโมล}
 \end{aligned}$$

ออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้กลับให้สมบูรณ์

$$\begin{aligned}
 &= \text{ออกซิเจนจากอากาศ} - \text{ออกซิเจนที่มากเกินไป} \\
 &= 1.603 \times 10^{-2} - 1.12 \times 10^{-2} \\
 &= 4.83 \times 10^{-3} \text{ กิโลกรัมโมล}
 \end{aligned}$$

ร้อยละของอากาศมากเกินไป

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{ปริมาณออกซิเจนที่มากเกินไป} \times 100}{\text{ออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้กลับให้สมบูรณ์}} \\
 &= \frac{1.12 \times 10^{-2} \times 100}{4.83 \times 10^{-3}} \\
 &= 231.88
 \end{aligned}$$

การคำนวณค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายของไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าของเครื่องเป่าอากาศ	6.65 แอมแปร์
กระแสไฟฟ้าของขดลวดความร้อนหลัก	10.5 แอมแปร์
กระแสไฟฟ้าของขดลวดความร้อนที่ส่วนกระจายอากาศ	7.3 แอมแปร์
กระแสไฟฟ้าของขดลวดความร้อนที่ส่วนเพิ่มความร้อนอากาศ	5.6 แอมแปร์

แต่เครื่องเป่าอากาศใช้มอเตอร์ 3 เฟส 380 โวลต์ มีค่า power factor = 0.87

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้} &= VIT \times \text{power factor} \\
 V &= \text{ความต่างศักย์, โวลต์ (จูล/วินาที, แอมแปร์)} \\
 I &= \text{ปริมาณกระแสไฟฟ้า, แอมแปร์} \\
 T &= \text{เวลา, ชั่วโมง}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ ข.1 สมดุลมวลสารของการทดลอง

การทดลอง ที่	มวลสารขาเข้า (กิโลกรัม/ชั่วโมง)				มวลสารขาออก (กิโลกรัม/ชั่วโมง)				
	ปริมาณ แกลบ	อากาศ แห้ง	ความชื้น ในอากาศ	รวม	เถ้าชิลิกา	ก๊าซผลิตภัณฑ์ แห้ง	ความชื้นใน ก๊าซผลิตภัณฑ์	สูญหาย	รวม
1	0.10	2.45	0.05	2.59	0.02	2.45	0.06	0.06	2.59
2	0.15	3.42	0.06	3.63	0.032	3.44	0.08	0.08	3.63
3	0.20	4.37	0.08	4.65	0.045	4.40	0.10	0.10	4.65
4	0.30	6.86	0.12	7.28	0.059	6.89	0.15	0.18	7.28
5	0.10	2.22	0.04	2.36	0.021	2.25	0.05	0.04	2.36
6	0.10	2.27	0.04	2.41	0.022	2.30	0.05	0.04	2.41
7	0.10	2.21	0.04	2.35	0.02	2.25	0.05	0.03	2.35
8	0.10	2.11	0.04	2.25	0.021	2.16	0.05	0.02	2.25
9	0.10	2.25	0.04	2.39	0.02	2.30	0.05	0.02	2.39
10	0.10	2.10	0.04	2.23	0.02	2.11	0.05	0.05	2.23
11	0.10	2.22	0.04	2.37	0.021	2.25	0.05	0.05	2.37
12	0.10	2.35	0.04	2.49	0.022	2.35	0.05	0.07	2.49
13	0.10	2.45	0.04	2.60	0.021	2.46	0.05	0.07	2.60
14	0.10	2.12	0.04	2.26	0.021	2.16	0.05	0.03	2.26
15	0.10	2.11	0.04	2.25	0.024	2.16	0.05	0.02	2.25
16	0.10	2.17	0.04	2.31	0.022	2.20	0.05	0.03	2.31
17	0.10	2.04	0.04	2.18	0.022	2.08	0.05	0.03	2.18
18	0.10	2.28	0.04	2.42	0.023	2.30	0.05	0.05	2.42
19	0.10	2.12	0.04	2.26	0.02	2.16	0.05	0.04	2.26

ตารางที่ ข.2 สมดุลพลังงานของการทดลอง

การทดลอง ที่	พลังงานเข้า (กิโลจูล/ชั่วโมง)				พลังงานออก (กิโลจูล/ชั่วโมง)					
	ค่าความร้อน ของแถบ	เอนทาลปี		รวม	ค่าความร้อน		เอนทาลปี		ความร้อน ที่ใช้ ประโชชน์ และสูญหาย	รวม
		อากาศ แห้ง	ความชื้น		น้ำฉีกา	ก๊าซ ผลิตภัณฑ์ แห้ง	ก๊าซ ผลิตภัณฑ์ แห้ง	ความชื้น		
1	1361.29	7.45	112.57	1481.31	0.00	189.83	692.72	165.92	432.85	1481.31
2	2041.93	10.41	157.21	2209.55	0.00	232.54	1010.75	236.47	729.79	2209.55
3	2722.57	15.52	197.69	2935.78	0.00	212.03	1267.27	299.54	1156.93	2935.78
4	4083.86	20.86	301.92	4406.64	0.00	398.62	1982.91	455.88	1569.23	4406.64
5	1361.29	9.02	96.35	1466.66	0.00	108.32	610.24	145.15	602.94	1466.66
6	1361.29	9.20	93.51	1463.99	0.00	155.03	642.68	142.44	523.84	1463.99
7	1361.29	6.74	93.20	1461.22	0.00	86.66	634.72	142.34	597.49	1461.22
8	1361.29	7.49	87.94	1456.72	0.00	83.05	597.18	135.48	641.01	1456.72
9	1361.29	9.12	101.08	1471.48	0.00	110.73	623.76	150.87	586.11	1471.48
10	1361.29	8.50	94.21	1464.00	0.00	81.35	585.01	143.08	654.55	1464.00
11	1361.29	6.77	102.28	1470.33	0.00	129.99	634.10	153.43	552.81	1470.33
12	1361.29	4.76	101.54	1467.59	0.00	158.55	661.96	152.54	494.54	1467.59
13	1361.29	6.21	104.06	1471.56	0.00	166.10	653.51	153.99	497.96	1471.56
14	1361.29	6.43	97.29	1465.01	0.00	124.57	585.15	146.40	608.88	1465.01
15	1361.29	5.35	97.98	1464.61	0.00	103.81	589.86	147.46	623.48	1464.61
16	1361.29	6.59	95.41	1463.29	0.00	106.02	621.20	145.07	591.00	1463.29
17	1361.29	8.27	91.65	1461.21	0.00	79.73	584.84	140.46	656.19	1461.21
18	1361.29	6.94	104.81	1473.03	0.00	132.88	674.12	157.65	508.39	1473.03
19	1361.29	6.47	97.65	1465.40	0.00	124.57	632.84	148.91	559.08	1465.40

ประวัติผู้เขียน

นางสาวนริศรา อัจฉริยาเพชร เกิดวันที่ 18 มิถุนายน พ.ศ. 2512 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมี
เทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2534 และเข้าศึกษาต่อใน
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2535



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย