

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จักรชัย ธนศรีสุข. การกำจัดกำมะถันจากถ่านหินโดยไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่ำ วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์. การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิดไอดีส์เบดแบบหมุน
เวียน วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลง
กรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- ชูศักดิ์ โภกะนุทรานนท์. การคาร์บอนไนซ์แก๊สในฟลูอิดไอดีส์เบด วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- ปราณี สติรพิพัฒน์กุล. การผลิตอะซิโตน-บิวทานอลจากผักตบชวาที่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.
- ระวีวรรณ แก้วกล้า. การผลิตเอทานอลจากฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชา
เคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- วงกต วงศ์อภัย. ชีวมวล: อีกทางเลือกหนึ่งของพลังงานไทย. มติชนสุดสัปดาห์ 24 (2547): 31.
- สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชัน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2528.
- อุสาร์ บุญบำรุง. พลังงานชีวมวล : แหล่งพลังงาน. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2546

ภาษาอังกฤษ

Available from : Biomass. <http://www.thaienv.com>

Available from : <http://www.eppo.go.th/admin/pr/mtc-2546-04-21.html>

Available from : <http://www.sciencecollege.co.uk/SC/biochemicals/cellulose.jpg>

- Alder, E. 1977. Lignin chemistry. Past, present and future. In *Wood Science. Technology*. 11: 169-218.
- Antal, Jr. M.J. Biomass Pyrolysis: A Review of the Literature Part 1-Carbohydrate Pyrolysis. Part 2-Lignocellulose Pyrolysis. *Advances in Solar Energy*. New York, American Solar Energy Society : 1982.
- Boominathan, K., and Reddy, C.A. 1991. Fungal degradation of lignin: Biotechnological applications. *Handbook of Applied Mycology: Fungal Biotechnology*. 4.
- Davin, L.B., and Lewis, N.G. 2000. Dirigent proteins and dirigent sites explain the mystery of specificity of radical precursor coupling in lignan and lignin biosynthesis. *Plant Physiology*. 123: 453-461.
- Elliott M. A., *Chemistry of Coal Utilization*. Second supplement volume: John Wiley & Sons Inc, 1981, p.727-753.
- Gani A. and Naruse I. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. *Renewable Energy* 32(2007): 649-661
- Goering H.K. and Van Soest P.J. Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagent, Producers and Some Applications). *Agriculture Handbook no. 379*. United States Department of Agriculture. Washington, D.C., 1970
- Heikkinen J.M., Hordijk J.C., Jong W. and Spliethoff H. Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation. *Analytical applied pyrolysis* 71 (2004) 883-900
- Jones J.L. Converting Solid Wastes and Residues to Fuel. *Chemical Engineering*. 2 (January 1978)
- Kawser Md. Kawser Jamil. Preparation and Characterization of solid waste for pyrolysis. *Engineering Transaction (Group A)*. 3 (2000): 156-162.
- Kirk. T.K., and Farrel, R.L. 1987. Enzymatic "combustion": The Microbial Degradation of Lignin. *Annual Review of Microbiology*. 41: 465-505.
- Knabner I K. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 34(2002): 139-162

- Kohan S.M. and Barkhordor P.M. Mission Analysis for Federal fuels from Biomass program. Vol.4 Thermochemical Conversion of Biomass to Fuels and Chemistry. Production of Oil and Char Pyrolysis of Wood, January 1979.
- Maniatis K. and A. Buekens. Fast pyrolysis of biomass. A.V. Bridgwater and J.L.Kuester. Research in thermochemical biomass conversion. Great Britain: Elsevier Science Publisher, LTD. 1998, pp. 179-189.
- Martin A. Elliott. Chemistry of Coal Utilization. Second supplement volume: John Wiley & Sons Inc, 1981, p. 727-753
- Miura K. A new and simple method to estimate $f(E)$ and $k_0(E)$ in the distributed activation energy model from three sets of experimental data. Energy and Fuel 9 (1995): 302-307
- Orfao J.J.M., Antunes F.J.A. and Figueiredo J.L. Pyrolysis kinetics of lignocellulosic materials-three independent reaction model. Fuel 78 (1999): 349-358
- Othmer, D.F. Encyclopedia of Chemical Technology. 2th ed. Vol 2. New York: John Wiley & Son, 1968, pp. 361-381.
- Probstein and Hicks, Synthetic Fuels. McGraw Hill : 1982.
- Ross Aiken Gortner. Outlines of biochemistry. USA : John Wiley & sons, 1950.
- Shafizadeh and Sekiguchi, Oxidation of Chars During Smoldering Combustion of Cellulosic Materials. Combustion and flame 55 (1984): 171-179
- Shiguang Li et al. Fast pyrolysis of biomass in free-fall reactor for hydrogen-rich gas. Fuel Processing Technology 85(2004) : 1201-1211.
- Tanaka H. Putalun W. Tsuzaki C. Shoyama Y. Seebauer V. Petek J. and Staudinger G. Effects of particle size, heating rate and pressure on measurement of pyrolysis kinetics by thermogravimetric analysis. Fuel 76 (1997): 1277-1282
- TAPPI. Method for determination of alpha-, beta-, gamma-cellulose in pulp. Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2000-2001.
- Vamvuka D. et al. Pyrolysis characteristics and kinetics of biomass residuals mixtures with lignite. Fuel. 82(2003) : 1949-1960.
- Wang G., Wen Li, Baoqing Li and Haokan C. TG study on pyrolysis of biomass and its three components under syngas. Fuel 87 (2008): 552-558

- Winkelmenn, G. Microbial Degradation of Natural Product. New York: VCH Publisher, 1992.
- Worasuwannarak N., Sonobe T. and Tanthapanichakoon W. Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. Analytical and Applied Pyrolysis 78 (2007): 265-271
- Xianwen D., Chuangzhi W., Haibin Li, and Yong C.. The Fast Pyrolysis of Biomass in CFB Reactor. Energy Fuels 14 (2000): 552 -557
- Yang H., Rong Y. , Hanping C. , Dong H. L. and Chuguang Z. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. Fuel 86 (2007): 1781-1788
- Yang H., Yan R., Chen H., Zheng C., Dong Ho Lee and David Tee Liang. In-Depth Investigation of Biomass Pyrolysis Based on Three Major Components: Hemicellulose, Cellulose and Lignin. Energy and Fuels 20 (2006): 388-393
- Zanzi R., Sjoström K. and Bjornbom E. Rapid high-temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor. Fuel 75 (1996): 545-550
- Zeebaver V., Petek J. and Staudinger G. Effects of particle size, heating rate and pressure on measurement of pyrolysis kinetics by thermogravimetric analysis. Fuel 76 (1997): 1277-1282

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis): ASTM D3172

1.1 เถ้า (Ash): ASTM D3174

วิธีการทดลอง

- 1) เผาครุชิลพร้อมฝานในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครุชิลพร้อมฝาน
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้งใส่ครุชิล ประมาณ 1 กรัม
- 3) นำไปเผาบนตะเกียงบนเซนจนควันระเหยหมด
- 4) ใส่ครุชิลพร้อมฝานในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา ประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
- 5) นำครุชิลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนัก พร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = 100(W_3 - W_4) / W$$

- เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า
 W_3 = น้ำหนักของครุชิลพร้อมฝานที่มีเถ้า (กรัม)
 W_4 = น้ำหนักของครุชิลพร้อมฝาน (กรัม)
W = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter): ASTM D3175

วิธีการทดลอง

- 1) เผาครุชิลพร้อมฝานในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครุชิลพร้อมฝาน บันทึกผล

- 2) ชั่งตัวอย่างแห้งใส่ในครุชชีเบลประมาณ 1 กรัม แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย
- 3) นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (Tubular Furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
- 4) หย่อนครุชชีเบลให้อยู่บริเวณปากเตา ที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
- 5) หย่อนครุชชีเบลให้อยู่กึ่งกลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที
- 6) นำครุชชีเบลออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเคสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = [100(W_5 - W_6) / W] - M$$

- เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย
- W_3 = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
- W_4 = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
- W = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)
- M = ร้อยละของความชื้น

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของคาร์บอนคงตัว} = 100 - A - V$$

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวล

1. สารละลาย Neutral Detergent

1.1 ชั่ง Disodium ethylene diamine tetraacetate (EDTA) 16.18 กรัม และ Sodiumborate decahydrate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 6.81 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ นำไปต้มจนละลายหมด

1.2 ละลาย Sodium lauryl sulphate 30 กรัม ในน้ำ แล้วเติม 2-Ethoxyethanol (Ethylene glycol monoethyl ether) 10 มิลลิลิตร

1.3 นำสารละลายในข้อ 1.1 มาผสมกับสารละลายในข้อ 1.2

1.4 ชั่ง Disodium hydrogen phosphate anhydrous (Na_2HPO_4) 4.56 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปพอประมาณ แล้วนำไปต้มจนละลายหมด นำไปต้มกับสารละลายผสมที่ได้ในข้อ 1.3 จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น และปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.9 - 7.1

2. สารละลาย Acid Detergent

ละลาย Cetyl trimethylammonium bromide (CTAB) 20 กรัม ในกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1 N แล้วปรับปริมาตรด้วยกรดนี้ให้ได้ 1 ลิตร

3. สารละลาย Saturated potassium permanganate

ละลาย Potassium permanganate (KMnO_4) 50 กรัม และ Silver sulphate (Ag_2SO_4) 0.05 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายนี้ในขวดแก้วสีชา อย่าให้โดนแสงแดด

4. สารละลาย Lignin buffer

ละลาย Ferric nitrate nonohydrate [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] 6 กรัม และ Silver nitrate (AgNO_3) 0.15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติม Acetic acid glacial 500 มิลลิลิตร เติม Potassium acetate 5 กรัม และเติม Tertiary butyl alcohol 400 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

5. สารละลาย Combined permanganate

ผสมสารละลาย Saturated potassium permanganate กับ สารละลาย Lignin buffer ในอัตราส่วน 2:1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) เก็บสารละลายนี้ในขวดสีชา แช่ในตู้เย็นไม่ให้ถูกแสงแดด ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีแดงแล้วจะไม่สามารถนำมาใช้ได้อีก

6. สารละลาย Demineralizing

ละลาย Oxalic acid dihydrate 50 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 700 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร และ Hydrochloric acid (HCl) 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

7. สารละลาย 80 % Ethanol

ผสม 95 % Ethanol 843 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 157 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน

ภาคผนวก ค

การหาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช

1. การวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบของชีวมวลพืช (Goering and Van Soest, 1970)

1.1 การสกัดด้วยสารละลาย Neutral detergent

(1) นำ Sintered glass crucible เบอร์ 1 ขนาด 50 มิลลิลิตร ไปอบในตู้อบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในหม้อดูดความชื้น (desiccator) ทิ้งให้เย็นแล้วชั่ง น้ำหนัก

(2) ชั่งตัวอย่างที่แห้งและบดละเอียดขนาด 20-30 mesh หรือ 1 มิลลิลิตร ประมาณ 1 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

(3) เติมสารละลาย Neutral detergent 100 มิลลิลิตร Sodium sulfite 0.5 กรัม และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร นำไป reflux เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยนับตั้งแต่เริ่มเดือด

(4) ถ่ายส่วนผสมที่ reflux เสร็จแล้วลงใน Sintered glass crucible ที่วางอยู่บนชุดกรอง ล้างตัวอย่างใน crucible ด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วย Acetone 2 ครั้ง ดูดสารละลายออกด้วยเครื่อง vacuum pump จนแห้ง จากนั้นนำ crucible ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

(5) นำ crucible ออกมาทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือปริมาณ Neutral detergent fiber (NDF)

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ NDF} = \frac{[(\text{น้ำหนัก crucible} + \text{น้ำหนัก NDF}) - \text{น้ำหนัก crucible}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช}}$$

1.2 การสกัดด้วยสารละลาย Acid detergent

(1) นำตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดด้วย Neutral detergent มาถ่ายใส่ในบีกเกอร์ เพื่อทำการ Reflux ด้วย acid detergent โดยเติม Acid detergent 10 มิลลิลิตร และ Decahydronaphthalene 2 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด

(2) กรองตัวอย่างพืชใน crucible โบริเดียม เพื่อลดการสูญเสียตัวอย่างให้น้อยที่สุด แล้วล้างด้วยน้ำร้อน (90-100 องศาเซลเซียส) 3-4 ครั้ง แล้วล้างด้วย 80% Ethanol 2 ครั้ง

(3) นำ crucible ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปล่อยให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้คือ น้ำหนักของ Acid detergent fiber (ADF) น้ำหนักที่แตกต่างระหว่าง NDF และ ADF คือ น้ำหนักของเฮมิเซลลูโลส

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ ADF} = \frac{[(\text{น้ำหนัก crucible} + \text{น้ำหนัก ADF}) - \text{น้ำหนัก crucible}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างพืช}}$$

$$\% \text{ Hemicellulose} = \% \text{ NDF} - \% \text{ ADF}$$

1.3 การวิเคราะห์หา Permanganate lignin (PML)

(1) เติมสารละลาย Combined permanganate 25 มิลลิลิตร ลงใน crucible ที่มีตัวอย่างซึ่งผ่านการสกัดด้วย Acid detergent แล้ว แช่ crucible ลงในภาชนะที่มีน้ำเย็นสูง ประมาณ 2 เซนติเมตร คนด้วยแท่งแก้วเพื่อไม่ให้ตัวอย่างจับเป็นก้อน ทิ้งไว้ 45 นาที โดยคนเป็นบางครั้ง จากนั้นดูดสารละลายออกให้หมดโดยใช้ vacuum pump

(2) เติมสารละลาย Combined permanganate 25 มิลลิลิตร ลงใน crucible อีกครั้ง ทิ้งไว้ 45 นาที แล้วดูดสารละลายออกให้หมดโดยใช้ vacuum pump

(3) เติมสารละลาย Demineralizing ลงใน crucible แต่ละถ้วย แช่ไว้ 5 นาที แล้วดูดสารละลายออกโดยใช้ vacuum pump ทำซ้ำจนตัวอย่างพืชเป็นสีขาวภายในเวลา 20 นาที จากนั้นล้างด้วย 80 % Ethanol และ acetone แล้วดูดให้แห้งโดยใช้ vacuum pump

(4) นำ crucible ไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปล่อยให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง Acid detergent fiber (ADF) และน้ำหนักตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก คือ น้ำหนักของลิกนิน

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ Lignin} = \frac{(A - B) \times 100}{C}$$

โดยที่ A = น้ำหนัก crucible + น้ำหนัก ADF

B = น้ำหนัก crucible + น้ำหนักตัวอย่างพืชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก

C = น้ำหนักตัวอย่างพืช

1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสด้วยการเผาเถ้า

นำ crucible ที่มีตัวอย่างพืชซึ่งผ่านการสกัดลิกนินออกแล้วในข้อ 1.3 ไปเผาในเครื่องเผาเถ้า ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาปล่อยให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง น้ำหนักพืชหลังการสกัดลิกนินออก และ น้ำหนักหลังการเผาเถ้า คือ น้ำหนักเซลลูโลส ส่วนน้ำหนักเถ้าก็คือ ผลต่างระหว่างน้ำหนักหลังการเผาเถ้าและน้ำหนัก crucible

วิธีคำนวณ

$$\% \text{ Cellulose} = \frac{(B - D) \times 100}{C}$$

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดลอง

ตาราง ง1 ปริมาณของNDF เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในชีวมวล 7 ชนิด

ชนิดชีวมวล	องค์ประกอบในชีวมวล	ครั้งที่ 1 (%)	ครั้งที่ 2 (%)	ครั้งที่ 3 (%)	เฉลี่ย	%Error
แกลบ	NDF	0.43	3.10	2.59	2.04	±1.16
	cellulose	71.91	68.62	68.75	69.76	±1.52
	hemicellulose	11.77	13.21	12.67	12.55	±0.59
	lignin	14.40	13.00	14.30	13.90	±0.64
ขี้ข้าวโพด	NDF	13.45	12.32	14.46	13.41	±0.87
	cellulose	44.55	50.18	48.25	47.66	±2.34
	hemicellulose	31.65	25.72	32.87	30.08	±3.12
	lignin	7.95	7.74	8.01	7.90	±0.12
ไม้ยูคาริปปัต	NDF	7.18	9.24	10.85	9.09	±1.50
	cellulose	59.11	58.11	58.16	58.46	±0.46
	hemicellulose	14.57	14.50	15.54	14.87	±0.47
	lignin	15.82	15.70	15.82	15.78	±0.06
รีเสื่อย	NDF	9.31	9.00	8.96	9.09	±0.15
	cellulose	45.43	46.03	46.66	46.04	±0.50
	hemicellulose	30.97	29.42	30.18	30.19	±0.63
	lignin	13.79	13.22	14.33	13.78	±0.45
ชานอ้อย	NDF	25.19	20.84	22.97	23	±1.78
	cellulose	36.58	41.07	40.32	39.32	±1.96
	hemicellulose	19.14	20.87	20.80	20.27	±0.80
	lignin	17.58	16.07	17.53	17.06	±0.70
กะลาปาล์ม	NDF	10.71	9.03	8.01	9.25	±1.11
	cellulose	40.34	35.10	38.56	38.00	±2.17
	hemicellulose	12.64	17.12	18.24	16.00	±2.42
	lignin	26.56	29.23	30.49	28.76	±1.64
กะลามะพร้าว	NDF	7.64	7.50	8.02	7.72	±0.22
	cellulose	39.48	39.89	40.78	40.05	±0.54
	hemicellulose	21.44	22.98	22.48	22.30	±0.64
	lignin	30.33	28.54	27.44	28.77	±1.19

หมายเหตุ การหา %Error คำนวณดังตัวอย่างที่ ง1

ตัวอย่าง ง1 ปริมาณ NDF เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ของแกลบ

$$\%error \text{ NDF} = \sqrt{(0.43 - 2.04) + (3.10 - 2.04) + (2.59 - 2.04)} / 3 = \pm 1.16$$

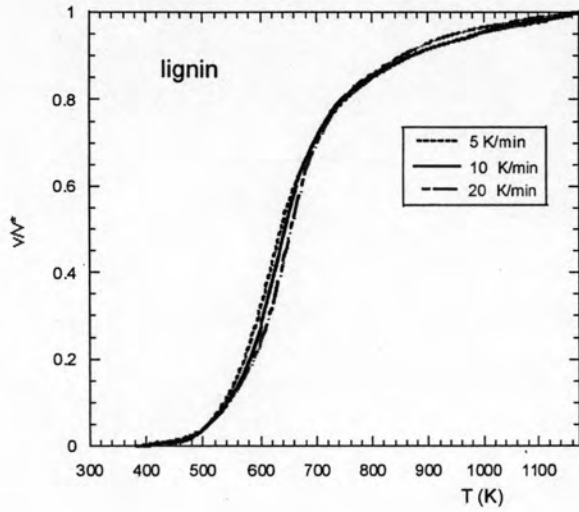
$$\%error \text{ เซลลูโลส} = \sqrt{(71.91 - 69.76) + (68.62 - 68.75) + (68.75 - 69.76)} / 3 = \pm 1.52$$

$$\%error \text{ เฮมิเซลลูโลส} = \sqrt{(11.77 - 12.55) + (13.21 - 12.55) + (12.67 - 12.55)} / 3 = \pm 0.59$$

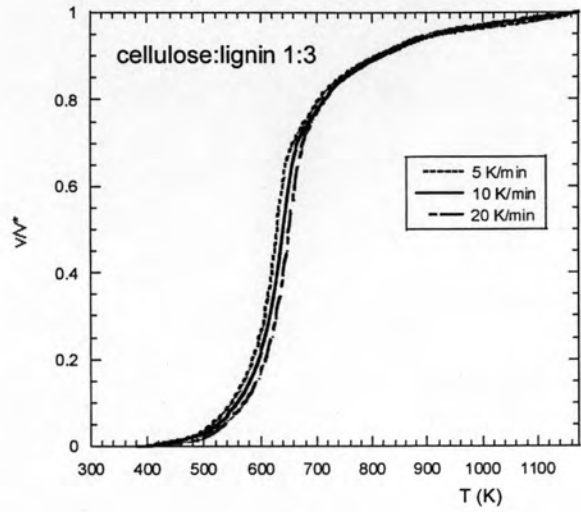
$$\%error \text{ ลิกนิน} = \sqrt{(14.40 - 13.90) + (13.00 - 13.90) + (14.30 - 13.90)} / 3 = \pm 0.64$$

ภาคผนวก จ

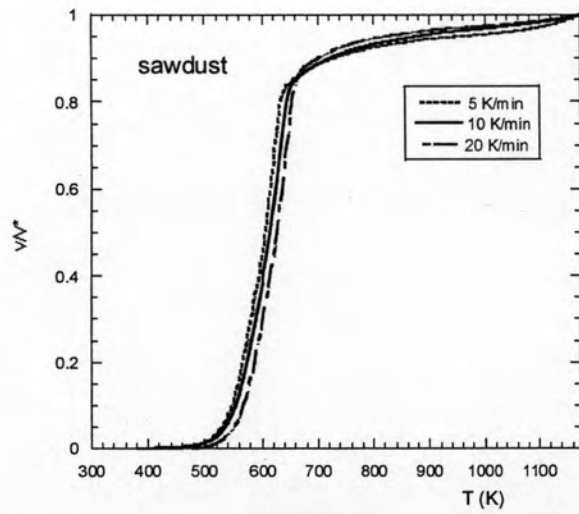
ข้อมูลการทดลอง



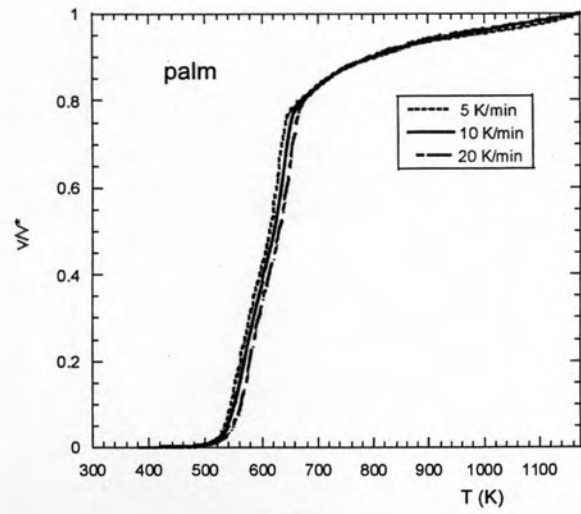
(ก)



(ข)

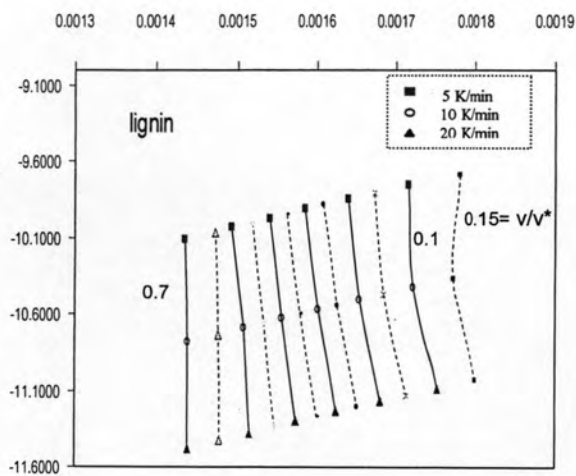


(ค)

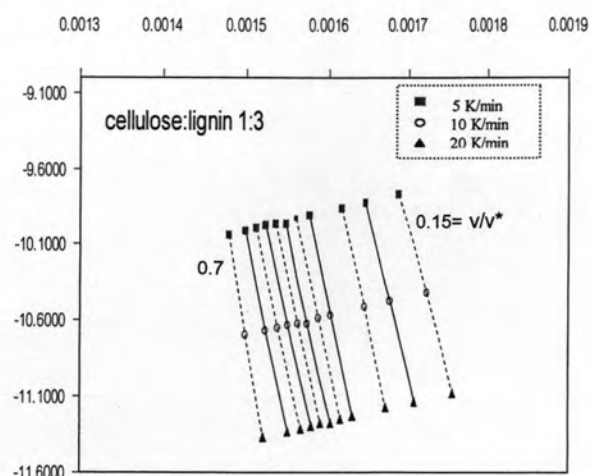


(ง)

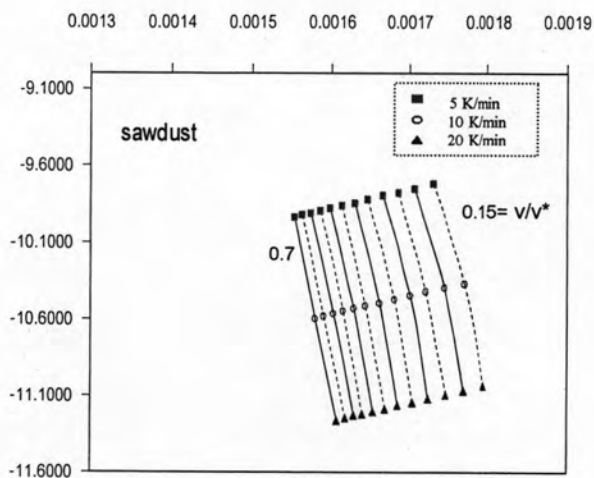
รูป ๑1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ v/v^* กับอุณหภูมิที่อัตราการให้ความร้อน 5 10 และ 20 เคลวินต่อวินาทีของ (ก) ลิกนิน (ข) เซลลูโลสต่อลิกนิน 1:3 (ค) ชี้เลื่อย (ง) กะลาปาล์ม



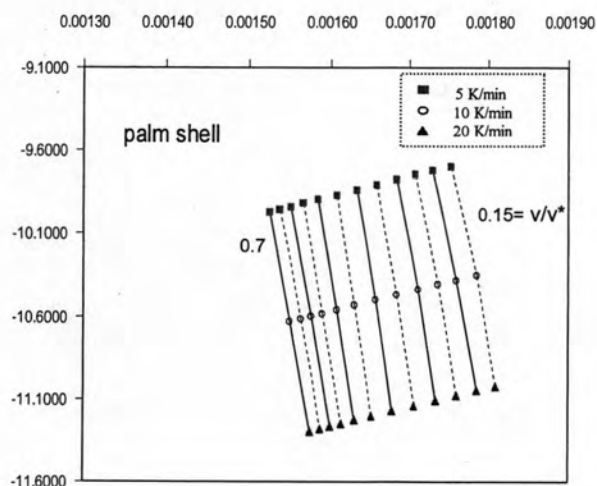
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูป ๑๒ ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(a/T^2)$ กับ $1/T$ ที่ v/v^* ต่างๆ ของ (ก) ลิกนิน (ข) เซลลูโลสต่อลิกนิน 1:3 (ค) ไม้เลื่อย (ง) กะลาปาล์ม

ตาราง จ1 ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของเซลลูโลส

v/v*	เซลลูโลส				อัตราการเกิดปฏิกิริยา $k=k_0e^{-E/RT}$		
	slope	E	intercept	K_0	20 K/min ($\times 10^{-7}$)	10 K/min ($\times 10^{-7}$)	5 K/min ($\times 10^{-7}$)
0.15	-23527	196	28.79	4.08×10^{10}	6.67	3.8	1.80
0.2	-22963	191	27.62	1.23×10^{10}	6.43	3.66	1.74
0.25	-22603	188	26.83	5.53×10^9	6.22	3.56	1.68
0.3	-22361	186	26.28	3.16×10^9	6.13	3.52	1.66
0.35	-22166	184	25.83	1.99×10^9	6.03	3.47	1.64
0.4	-21993	183	25.42	1.31×10^9	5.94	3.42	1.61
0.45	-21886	182	25.13	9.78×10^8	5.87	3.38	1.60
0.5	-21818	181	24.91	7.82×10^8	5.81	3.35	1.58
0.55	-21762	181	24.72	6.42×10^8	5.76	3.33	1.57
0.6	-21750	181	24.59	5.68×10^8	5.72	3.32	1.56
0.65	-21774	181	24.53	5.33×10^8	5.69	3.31	1.55
0.7	-21811	181	24.48	5.07×10^8	5.66	3.29	1.54

ตาราง จ2 ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของลิกนิน

v/v*	ลิกนิน				อัตราการเกิดปฏิกิริยา $k=k_0e^{-E/RT}$		
	slope	E	intercept	K_0	20 K/min ($\times 10^{-7}$)	10 K/min ($\times 10^{-7}$)	5 K/min ($\times 10^{-7}$)
0.15	-33979	283	50.43	1.48×10^{20}	0.39	0.68	0.30
0.2	-32532	270	46.11	1.87×10^{18}	1.36	1.37	0.53
0.25	-30896	257	41.98	2.87×10^{16}	2.11	1.81	0.72
0.3	-30620	255	40.49	6.43×10^{15}	2.88	2.09	0.85
0.35	-29029	241	36.97	1.79×10^{14}	3.06	2.12	0.93
0.4	-31201	259	39.73	3.05×10^{15}	3.93	2.24	0.97
0.45	-33351	277	42.39	4.67×10^{16}	4.04	2.29	1.00
0.5	-35401	294	44.83	5.67×10^{17}	4.16	2.27	1.03
0.55	-38837	323	49.32	5.53×10^{19}	4.31	2.16	1.01
0.6	-47775	397	61.96	2.12×10^{25}	4.47	1.90	0.87
0.65	-86820	722	119.00	2.27×10^{50}	3.74	0.94	0.34
0.7	-110967	923	151.25	2.94×10^{64}	0.73	0.26	0.14

ตาราง ๑3 ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของเซลลูโลสต่อลิกนิน 1:3

v/v*	เซลลูโลส : ลิกนิน 1:3				อัตราการเกิดปฏิกิริยา $k=k_0e^{-E/RT}$		
	slope	E	intercept	K_0	20 K/min ($\times 10^{-7}$)	10 K/min ($\times 10^{-7}$)	5 K/min ($\times 10^{-7}$)
0.15	-19059	158	22.40	5.53×10^7	5.96	3.04	1.61
0.2	-21232	177	25.13	9.45×10^8	6.30	3.22	1.69
0.25	-23148	192	27.55	1.17×10^{10}	6.59	3.41	1.76
0.3	-24238	202	28.75	4.03×10^{10}	6.70	3.48	1.79
0.35	-24506	204	28.71	3.93×10^{10}	6.62	3.45	1.77
0.4	-24489	204	28.30	2.60×10^{10}	6.48	3.39	1.73
0.45	-24380	203	27.77	1.53×10^{10}	6.23	3.27	1.67
0.5	-24212	201	27.22	8.73×10^9	6.20	3.25	1.66
0.55	-24097	200	26.74	5.41×10^9	6.08	3.18	1.63
0.6	-24211	201	26.61	4.75×10^9	6.00	3.15	1.61
0.65	-25152	209	27.67	1.4×10^{10}	6.10	3.23	1.63
0.7	-32082	267	37.42	3.1×10^{14}	7.55	4.04	2.00

ตาราง ๑4 ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของซีลี้อย

v/v*	ซีลี้อย				อัตราการเกิดปฏิกิริยา $k=k_0e^{-E/RT}$		
	slope	E	intercept	K_0	20 K/min ($\times 10^{-7}$)	10 K/min ($\times 10^{-7}$)	5 K/min ($\times 10^{-7}$)
0.15	-20188	168	25.26	1.03×10^9	6.86	3.09	1.89
0.2	-20973	174	26.08	2.42×10^9	6.91	3.15	1.89
0.25	-21752	181	26.93	5.85×10^9	6.98	3.21	1.90
0.3	-22502	187	27.72	1.34×10^{10}	7.04	3.25	1.92
0.35	-23209	193	28.45	2.85×10^{10}	7.09	3.30	1.92
0.4	-23747	197	28.91	4.64×10^{10}	7.19	3.39	1.94
0.45	-24123	201	29.09	5.67×10^{10}	7.02	3.35	1.89
0.5	-24311	202	29.02	5.33×10^{10}	6.92	3.37	1.86
0.55	-24436	203	28.89	4.68×10^{10}	6.81	3.37	1.82
0.6	-24526	204	28.73	4.00×10^{10}	6.70	3.36	1.79
0.65	-24644	205	28.63	3.65×10^{10}	6.60	3.36	1.76
0.7	-24861	207	28.70	3.93×10^{10}	6.54	3.38	1.75

ตาราง จ5 ข้อมูลค่าจลนพลศาสตร์ของกะลาปาล์ม

v/v*	กะลาปาล์ม				อัตราการเกิดปฏิกิริยา $k=k_0e^{-E/RT}$		
	slope	E	intercept	K_0	20 K/min ($\times 10^{-7}$)	10 K/min ($\times 10^{-7}$)	5 K/min ($\times 10^{-7}$)
0.15	-22731	189	30.09	1.44×10^{11}	7.80	3.68	2.10
0.2	-23225	193	30.37	1.95×10^{11}	7.73	3.67	2.08
0.25	-24290	202	31.61	7.07×10^{11}	7.86	3.75	2.11
0.3	-25841	215	33.59	5.44×10^{12}	8.12	3.86	2.17
0.35	-27155	226	35.06	2.48×10^{13}	8.26	3.96	2.20
0.4	-27959	232	35.59	4.36×10^{13}	8.19	3.98	2.18
0.45	-28031	233	34.95	2.29×10^{13}	7.92	3.90	2.1
0.5	-27549	229	33.55	5.55×10^{12}	7.56	3.74	2.01
0.55	-26890	224	32.02	1.18×10^{12}	7.22	3.59	1.92
0.6	-26144	217	30.46	2.42×10^{11}	6.89	3.42	1.84
0.65	-25563	213	29.20	6.71×10^{10}	6.62	3.29	1.77
0.7	-25423	211	28.60	3.65×10^{10}	6.46	3.21	1.73

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนฤมล ชูบัวทอง เกิดวันที่ 10 มิถุนายน พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2548