

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัญญา บุญญเกียรติ เชื้อเพลิงและการเผาไหม้ , สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2544.
- พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน , กรม. การศึกษาพฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2535.
- พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. รายงานผลการสำรวจวัสดุเหลือใช้จากปาล์มน้ำมัน. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2538.
- พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. รายงานผลการสำรวจวัสดุเหลือใช้จากมะพร้าว. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2537.
- พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. รายงานพลังงานของประเทศไทย. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2544.
- ชูศักดิ์ โภกษานุกรานนท์. การคาร์บอนไนซ์แก๊สในฟลูอิดไคด์เบด วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- สุภาภรณ์ เศวตภรณ์, จลนพลศาสตร์และความว่องไวต่อปฏิกิริยาของถ่านชาร์จากถ่านหินในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2547.
- สมพร บรรลือศรีเรือง, แก๊สฟิเคชันของถ่านชาร์ที่ล้างสารอินทรีย์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแอลคาไลคาร์บอนเนต, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2537.
- สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชัน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

ภาษาอังกฤษ

- 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.
- Akyurtlu J.F., Akyurtlu A. Catalytic gasification of Pittsburgh coal char by potassium sulphate and ferrous sulphate mixtures. Fuel Processing Technology 43 (1995): 71-86.
- Andre R.N., Pinto F., Franco C., Dias M., Gulyurtlu I., Matos M.A.A.and Cabrita I., Fluidised bed co-gasification of coal and olive oil industry wastes, Fuel 84 (2005) 1635–1644.
- Bayarsaikhana B., Hayashia J., Shimadaa T., Sathea C., Lib C.Z., Tsutsumic A.and Chibaa T., Kinetics of steam gasification of nascent char from rapid pyrolysis of a Victorian brown coal, Fuel 84 (2005) 1612–1621.
- Caballero J.A., Marcilla A., Conesa J.A., Thermogravimetric analysis of olive stones with sulphuric acid treatment, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 44 (1997) 75–88.
- Cao Q., Xie K.C. , Bao W.R.and Shen S.G., Pyrolytic behavior of waste corn cob, Bioresource Technology 94 (2004) 83–89.
- Chen G., Andries J., Luo Z. and Spliethoff H. Biomass pyrolysis/gasification for product gas production: the overall investigation of parametric effects. Energy Conversion and Management 44(2003) : 1875-1884.
- Chen G., Andries J. and Spliethoff H. Catalytic pyrolysis of biomass for hydrogen rich fuel gas production. Energy Conversion and Management 44(2003) : 2289-2296.
- Dasa P., Ganesh A.and Wangikarb P., Influence of pretreatment for deashing of sugarcane bagasse on pyrolysis products Biomass and Bioenergy 27 (2004) 445–457.
- Demirbas A., Yields of hydrogen-rich gaseous products via pyrolysis from selected biomass samples. Fuel 80 (2001): 1885-1891.

- Devi L., Ptasinia K.J., Janssen F.J.J.G., van Paasenb S.V.B., Bergmanb P.C.A. and Kiel J.H.A., Catalytic decomposition of biomass tars: use of dolomite and untreated olivine, Renewable Energy 30 (2005) 565–587.
- Domazetisa G., Liesegangb J. and Jamesa B.D., Studies of inorganics added to low-rank coals for catalytic gasification, Fuel Processing Technology 86 (2005) 463–486.
- Faure P., Schlepp L., Mansuy-Huault L., Elie M., Jarde E. and Pelletier M., Aromatization of organic matter induced by the presence of clays during flash pyrolysis-gas chromatography–mass spectrometry (PyGC–MS) A major analytical artifact, J. Anal. Appl. Pyrolysis 75 (2006) 1–10.
- Fisher T., Hajaligol M., Waymack B. and Kellogg D., Pyrolysis behavior and kinetics of biomass derived materials, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 62 (2002) 331–349.
- Franco C., Pinto F., Gulyurtlu I. and Cabrita I. The study of reactions influencing the biomass steam gasification process. Fuel 82 (2003): 835-842.
- Gonzfilez-Vila F.J., Del Rio J.C., Martin F. and Verdejo T., Pyrolytic alkylation-gas chromatography-mass spectrometry of model polymers Further insights into the mechanism and scope of the technique, Journal of Chromatography A, 750 (1996) 155-160.
- Haykiri-Acma H., Yaman S. and Kucukbayrak S., Gasification of biomass chars in steam–nitrogen mixture, Energy Conversion and Management 47 (2006) 1004–1013.
- Ivarez P. A., Santamaría R., Blanco C. and Granda M., Thermal degradation of lignocellulosic materials treated with several acids, J. Anal. Appl. Pyrolysis 74 (2005) 337–343.
- Linares-Solanoa A., Martí'n-Gullonb I., Salinas-Martí'nez de Leceaa C. and Serrano-Talaveraa B., Activated carbons from bituminous coal: effect of mineral matter content, Fuel 79 (2000) 635–643.
- Li C.-Z., Sathe C., Kershaw J.R. and Pang Y., Fates and roles of alkali and alkaline earth metals during the pyrolysis of a Victorian brown coal, Fuel 79 (2000) 427–438.
- Li X., Hayashi J. and Li C.Z., Volatilisation and catalytic effects of alkali and alkaline earth metallic species during the pyrolysis and gasification of Victorian brown

- coal. Part VII. Raman spectroscopic study on the changes in char structure during the catalytic gasification in air, Fuel 85 (2006) 1509–1517.
- Liu Q., Hua H., Zhou Q., Zhu S., Chen G., Effect of inorganic matter on reactivity and kinetics of coal pyrolysis, Fuel 83 (2004) 713–718.
- Lu X.Q., Vassallo A.M. and Johnson W.D., Thermal stability of humic substances and their metal forms: an investigation using FTIR emission spectroscopy, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 43 (1997) 103-114.
- Martin A.E., Pyrolysis in inert gas, Chemistry of Coal Utilization, 2nd Supp. Vol., 688-784, John Wiley & Son, New York, 1980.
- Murakami K., Shirato H., Ozaki J. and Nishiyama Y., Effects of metal ions on the thermal decomposition of brown coal, Fuel Processing Technology 46 (1996) 183-194.
- Nishiyama Y., Catalytic gasification of coals - Features and possibilities, Fuel Processing Technology, 29 (1991) 31-42.
- Otake Y. and Walker P.L.Jr, Pyrolysis of demineralized and metal cation loaded lignites, Fuel 72 (1993) 139-149.
- Peuravuori J., Simpson A.J. and Lam, et. al B., Structural features of lignite humic acid in light of NMR and thermal degradation experiments, Journal of Molecular Structure (2006)
- Probstein and Hicks, Synthetic Fuel, McGraw Hill Inc., 1982.
- Querini C.A. and Roa E., Deactivation of solid acid catalysts during isobutene alkylation with C4 olefins., Applied Catalysis A: General 163 (1997) 199-215.
- Radko T. and Mianowski A., The influence of mineral material upon the coking characteristics of coal, Fuel 77 (1998) 503-507.
- Skodras G. and Sakellariopoulos, Mineral matter effects in lignite gasification, Fuel Processing Technology 77-78 (2002) 151-158.
- Soares S., Camino G. and Levchik S., Effect of metal carboxylates on the thermal decomposition of cellulose, Polymer Degradation and Stability 62 (1998) 25-31.
- Speight J.G., Chemistry and Technology of Coal, Marcel Dekker Inc., 1994.
- Sutton D. and Kelleher B. Review of literature on catalysts for biomass gasification. Fuel Processing Technology 73 (2001) 155-173.

- Vamvukaa D., Kakaras E., Kastanakia E. and Grammelis P., Pyrolysis characteristics and kinetics of biomass residuals mixtures with lignite, Fuel 82 (2003) 1949–1960.
- Vamvuka D., Troulinos S., Kastanaki E., The effect of mineral matter on the physical and chemical activation of low rank coal and biomass materials, Fuel 85 (2006) 1763–1771.
- Yang R., Zhang C., Feng H. and Yang W., A Kinetic Study of Xylan Solubility and Degradation during Corn cob Steaming, Biosystems Engineering (2006) 93 (4), 375–382.
- Ye D. P., Agnew J. B. and Zhang D. K., Gasification of a South Australian low-rank coal with carbon dioxide and steam: kinetics and reactivity studies, Fuel 77 (1998) 1209-1219.
- Yu J., Tian F.J., Chow M. C., McKenzie L. J. and Li C.Z., Effect of iron on the gasification of Victorian brown coal with steam: enhancement of hydrogen production, Fuel 85 (2006) 127–133.
- Zevenhoven-Onderwater M., Backman R., Skrifvars B.J. and Hupa M., The ash chemistry in fluidized bed gasification of biomass fuels. Part I: Predicting the chemistry of melting ashes and ash-bed material interaction, Fuel 80 (2001) 1489-1502.
- Zevenhoven-Onderwater M., Backman R., Skrifvars B.J. and Hupa M., The ash chemistry in fluidized bed gasification of biomass fuels. Part II: Ash behaviour prediction versus bench scale agglomeration tests, Fuel 80 (2001) 1503-1512.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิง

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis): ASTM D3172

1.1 เถ้า (Ash): ASTM D3174

วิธีการทดลอง

- 1) เผาครุชชีเบลพร้อมฝานในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝาน
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้งใส่ครุชชีเบล ประมาณ 1 กรัม
- 3) นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซนจนควันระเหยหมด
- 4) ใส่ครุชชีเบลพร้อมฝานในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา ประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
- 5) นำครุชชีเบลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

- เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า
 W_3 = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝานที่มีเถ้า (กรัม)
 W_4 = น้ำหนักของครุชชีเบลพร้อมฝาน (กรัม)
W = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (กรัม)

1.2 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter): ASTM D3175

วิธีการทดลอง

- 1) เผาครุชชีเบลพร้อมฝานในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครุชชีเบลพร้อมฝาน 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 แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ประมาณ 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

วิธีการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟียี่ห้อ Agilent 3000A Gas chromatograph (GC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่ระเหยง่าย โดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (Column) ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับที่เรียกว่า Stationary phase และมีแก๊สพา (Carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์เข้าสู่เครื่องวัด (Detector) สัญญาณที่เครื่องตรวจวัดได้รับนั้นจะถูกส่งไปบันทึกเป็นโครมาโตแกรม (Chromatogram) โดยเครื่องบันทึก (Recorder)

โดยแก๊สโครมาโตกราฟีมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. แก๊สพา (Carrier gas)
2. ตัวควบคุมการไหล (Flow controller)
3. ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (Injector port)
4. คอลัมน์ (Column)
5. ดีเทคเตอร์ (Detector)
6. เครื่องบันทึก (Recorder)

รายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้

1. แก๊สพา

แก๊สพาเป็นแก๊สที่ใช้สำหรับพาสารตัวอย่างที่ถูกทำให้เป็นไอหรือแก๊สเฟสแล้วที่ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่างให้เข้าสู่คอลัมน์ต่อไป แก๊สพานี้ต้องมีการควบคุมอัตราการไหล (Flow rate) ให้คงที่เสมอ โดยสามารถเลือกใช้อัตราการไหลให้เหมาะสมได้ตามต้องการ อัตราการไหลของแก๊สพามีส่วนสำคัญต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้คงที่

แก๊สพาโดยทั่วไปควรมีคุณสมบัติคือ มีสมบัติเฉื่อย ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง มีมวลโมเลกุลต่ำและมีการแพร่กระจายดี มีความบริสุทธิ์สูงและราคาไม่แพง แก๊สพาที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน ฮีเลียม และแก๊สไฮโดรเจน

2. คอลัมน์

คอลัมน์เป็นส่วนสำคัญของการแยกสารด้วยเทคนิคทาง GC เมื่อแก๊สหรือไอของสารผสมในสารตัวอย่างผ่านคอลัมน์ สารที่บรรจุในคอลัมน์เปล่านั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกแก๊สหรือไอของสารผสมเหล่านั้นออกจากกันเป็นส่วน ๆ ดังนั้นโครมาโทแกรมที่ได้จะดีหรือไม่จึงขึ้นอยู่กับชนิดของคอลัมน์มาก

3. ดีเทคเตอร์

ดีเทคเตอร์คือเครื่องที่สามารถบ่งบอกว่ามีสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือมีสารอื่นที่แตกต่างไปจากแก๊สพาออกมาจากคอลัมน์หรือไม่ ถ้ามีก็จะสามารถวัดได้ว่ามีปริมาณเท่าใดได้ด้วย ดังนั้นเครื่องตรวจวัดจึงต้องเป็นเครื่องที่มีลักษณะเฉพาะ สามารถให้สัญญาณกับสารต่าง ๆ ได้ ให้สภาพไวที่สูงพอ มีการตอบสนองที่ดีในช่วงความเข้มข้นของสารที่กว้างพอ และมีหลากหลายชนิด ตามความเหมาะสมของงานก็ได้

ลักษณะเฉพาะที่ต้องการของดีเทคเตอร์นั้น ควรจะมีลักษณะเฉพาะในการตอบสนองต่อสารเคมีที่ต้องการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ให้สภาพความไวสูง (High sensitivity)
- มีความเฉพาะต่อการตรวจหาสาร (Selectivity)
- ให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณในช่วงความเข้มข้นที่กว้างพอที่จะวัดได้อย่างถูกต้อง
- มีเสถียรภาพ (Stability) และความเที่ยง (Reproducibility)

ดีเทคเตอร์ที่นิยมใช้มี 2 ชนิดคือ ทอร์มอลคอนดักติวิตีดีเทคเตอร์ (TCD) และเฟลมไอออนไนเซชันดีเทคเตอร์ (FID) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ดีเทคเตอร์แบบ TCD

ดีเทคเตอร์แบบ TCD

วิเคราะห์สารที่ออกมาจากแก๊สพา โดยใช้หลักการทำงานดังนี้ แก๊สพาบริสุทธิ์ (Reference gas) กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างอยู่ด้วยจะมีคุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่ต่างกัน เมื่อสารตัวอย่างที่ถูกแยกจากคอลัมน์พร้อมด้วยแก๊สพาผ่านเข้าไปในเครื่องตรวจวัดและผ่านขดลวด (Filament) ซึ่งทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งขดลวดจะเสียความร้อนให้กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างที่เข้ามาในดีเทคเตอร์แล้ว ดีเทคเตอร์ก็จะทำการปรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ขดลวดมีความร้อนเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับความร้อนนี้จะเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกออกมาเป็นโครมาโทแกรม

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

ค1. การคำนวณปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

การคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องเทียบพื้นที่กราฟของสารตัวอย่างกับกราฟที่ได้จากการฉีดแก๊สมาตรฐานที่รู้ความเข้มข้นขององค์ประกอบแน่นอน จากการฉีดแก๊สมาตรฐาน 2 ครั้ง ได้โครมาโทแกรมดังแสดงในรูปที่ ค1.1 และค1.2 ซึ่งมี retention time และพื้นที่เฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ ค1.1

ตารางที่ ค1.1 เวลา retention time และพื้นที่ขององค์ประกอบจากการฉีดแก๊สมาตรฐาน 2 ครั้ง

Retention time	component	% mole	area
0.34	H ₂	0.993	2802.0
2.2	CO ₂	1.01	15537.5
0.4	CO	1.02	1881.7
0.45	CH ₄	1.01	4869.7

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของแก๊สที่ได้จากการแก๊ซีพีเคชัน

จากการแก๊ซีพีเคชันถ่านหินแม่ทะขนาด 150 -250 ไมโครเมตร อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนไอน้ำ 0.075 มิลลิลิตรต่อนาที เก็บแก๊สผลิตภัณฑ์ 3 ถัง ถังละ 20 นาที ใช้ถังเก็บแก๊สขนาด 2 ลิตร ค่าพื้นที่ได้พีคแก๊สดังตารางที่ ค1.2

ตารางที่ ค1.2 พื้นที่ได้พีคของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ

component	Area 1-20 min	Area 20-40 min	Area 40-60 min
H ₂	5495.3	5190	2657
CO ₂	12386.5	12664.2	8804.8
CO	250.1	-	-
CH ₄	955.5	-	-

ตัวอย่างการคำนวณปริมาณแก๊สไฮโดรเจน

$$\begin{aligned}
 \text{จากพื้นที่แก๊สไฮโดรเจนช่วงเวลา 1-20 นาที มีพื้นที่} &= 5495.3 \\
 \text{เมื่อเทียบกับพื้นที่แก๊สไฮโดรเจนมาตรฐาน 0.993 \%mol} &= 2802 \\
 \text{พื้นที่แก๊สไฮโดรเจนช่วงเวลา 1-20 นาที มีความเข้มข้น} &= \left(\frac{5495.3}{2802}\right) \times 0.993 \\
 &= 1.95 \quad \%mol
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากอัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที ดังนั้นปริมาตรแก๊สที่เก็บได้เป็น} &= 80 \times 20 \\
 &= 1600 \quad \text{ml} \\
 \text{ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ได้ในช่วงเวลา 1-20 นาที} &= \left(\frac{1.95 \times 1600}{100}\right) \\
 &= 31.2 \quad \text{ml} \\
 &= \left(\frac{31.2}{22.4}\right) \times \left(\frac{298}{273}\right) \\
 &= 1.52 \quad \text{mmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากพื้นที่แก๊สไฮโดรเจนช่วงเวลา 20-40 นาที มีพื้นที่} &= 5190 \\
 \text{เมื่อเทียบกับพื้นที่แก๊สไฮโดรเจนมาตรฐาน 0.993 \%mol} &= 2802 \\
 \text{พื้นที่แก๊สไฮโดรเจนช่วงเวลา 20-40 นาที มีความเข้มข้น} &= \left(\frac{5190}{2802}\right) \times 0.993 \\
 &= 1.84 \quad \%mol
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากอัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที ดังนั้นปริมาตรแก๊สที่เก็บได้เป็น} &= 80 \times 20 \\
 &= 1600 \quad \text{ml} \\
 \text{ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ได้ในช่วงเวลา 20-40 นาที} &= \left(\frac{1.84 \times 1600}{100}\right) \\
 &= 29.43 \quad \text{ml} \\
 &= \left(\frac{29.43}{22.4}\right) \times \left(\frac{298}{273}\right) \\
 &= 1.43 \quad \text{mmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากพื้นที่แก๊สไฮโดรเจนช่วงเวลา 40-60 นาที มีพื้นที่} &= 2657 \\
 \text{เมื่อเทียบกับพื้นที่แก๊สไฮโดรเจนมาตรฐาน 0.993 \%mol} &= 2802 \\
 \text{พื้นที่แก๊สไฮโดรเจนช่วงเวลา 40-60 นาที มีความเข้มข้น} &= \left(\frac{2657}{2802}\right) \times 0.993 \\
 &= 0.94 \%mol
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากอัตราการไหล 80 มิลลิลิตรต่อนาที ดังนั้นปริมาตรแก๊สที่เก็บได้เป็น} &= 80 \times 20 \\
 &= 1600 \text{ ml} \\
 \text{ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ได้ในช่วงเวลา 40-60 นาที} &= \left(\frac{0.94 \times 1600}{100}\right) \\
 &= 15.04 \text{ ml} \\
 &= \left(\frac{15.04}{22.4}\right) \times \left(\frac{298}{273}\right) \\
 &= 0.73 \text{ mmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้นแก๊สไฮโดรเจนรวม 60 นาที} &= 1.52 + 1.43 + 0.73 \\
 &= 3.68 \text{ mmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{จากปริมาณถ่านหินที่ใช้} &= 118.4 \text{ mg} \\
 \text{ถ่านหินมีปริมาณถั่ว} &= 18.42 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้นถ่านหินมีปริมาณ} &= \frac{(118.4 \times (100 - 18.42))}{100} \text{ mg-daf} \\
 &= 96.59 \text{ mg-daf}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนรวม 60 นาที} &= \frac{3.68}{96.59} \\
 &= 0.038 \text{ mmol/mg-daf}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{การคำนวณปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ของการแก๊สซิฟิเคชันถ่านหิน} & \\
 \text{จากการคำนวณปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์} &= 0.0178 \text{ mmol/mg-daf} \\
 \text{ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์} &= 0.0011 \text{ mmol/mg-daf} \\
 \text{ปริมาณแก๊สมีเทน} &= 0.0016 \text{ mmol/mg-daf} \\
 \text{รวมปริมาณแก๊สที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ} &= 0.0178 + 0.0011 + 0.0016 \\
 &= 0.0205 \text{ mmol/mg-daf} \\
 \text{ดังนั้นจะมีปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในแก๊สผลิตภัณฑ์} &= 0.0205 \times 96.59 \times 12 \\
 &= 23.72 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

จากการนำของแข็งที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาแกซีฟิเคชันมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่ในองค์ประกอบพบว่าถ่านชาร์ของถ่านหินที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาแกซีฟิเคชันมีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 59.6 % และมีน้ำหนักเท่ากับ 38 มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นถ่านชาร์มีปริมาณคาร์บอน} &= \left(\frac{38 \times 59.6}{100} \right) \\ &= 22.65 \quad \text{mg} \end{aligned}$$

จากถ่านหินเริ่มต้นมีปริมาณคาร์บอนอยู่เท่ากับ 50.72 % as receive น้ำหนักถ่านหินเริ่มต้นเท่ากับ 118.4 mg

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นถ่านหินเริ่มต้นมีปริมาณคาร์บอน} &= \left(\frac{118.4 \times 50.72}{100} \right) \\ &= 60.05 \quad \text{mg} \end{aligned}$$

จากปริมาณคาร์บอนในน้ำมันทาร์ = คาร์บอนเริ่มต้น - (คาร์บอนในแก๊ส + คาร์บอนในถ่านชาร์)

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นจะได้ว่าปริมาณคาร์บอนในน้ำมันทาร์} &= 60.05 - (23.72 + 22.65) \\ &= 13.68 \quad \text{mg} \end{aligned}$$

ปรับค่าปริมาณคาร์บอนเริ่มต้นเป็น 1 โดยหารด้วย 60.05 ได้ปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ดังตาราง

ตัวอย่าง	คาร์บอนเริ่มต้น	คาร์บอนในแก๊ส	คาร์บอนในถ่านชาร์	คาร์บอนในทาร์
ถ่านหิน	60.05	23.72	22.65	13.68
ถ่านหิน (ปรับค่าแล้ว)	1	0.395	0.377	0.228

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเอกสิทธิ์ สกฤตการคำ เกิดวันที่ 4 สิงหาคม พ.ศ. 2524 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2547