รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธราธร มงคลศรี. หลักมูลทางวิศวกรรมปฏิกิริยาตัวเร่ง. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การผลิตพลังงานจากขยะชุมชน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน, 2549.

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การจัดการของเสีย. มูลนิธิเพื่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อมและพลังงาน, 2546

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548

วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ. ฟลูอิดไดเซชั่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.

อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากแกลบในเบดนิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Asadullah M., Miyazawa T., Ito S., Kunimori K., Yamada M. and Tomishige K. Gasification of different biomass in a dual-bed gasifier system combined with novel catalysts with high energy efficiency. Applied Catalysis A: General 267 (2004): 95-102.

Asadullah M., Miyazawa T., Ito S., Kunimori K., Yamada M. and Tomishige K. Demonstration of real biomass gasification drastically promoted by effective catalyst. Applied Catalysis A: General 246 (2004): 103-116.

Asadullah M., Miyazawa T., Ito S., Kunimori K., Koyama S. and Tomishige K. A comparison of $Rh/CeO_2/SiO_2$ catalysts with steam reforming catalysts, dolomite

and inert materials as bed materials in low throughput fluidized bed gasification systems. Biomass and Bioenergy 26 (2004): 269-279.

Asadullah M., Tomishige K. and Fujimoto K. A novel catalytic process for cellulose gasification to synthesis gas. Catalysis Communications 2 (2001): 63-68.

Chaudhari S. T., Dalai A. K. and Bakhshi N. N. Production of Hydrogen and/or Syngas (H_2 + CO) via Steam Gasification of Biomass-Derived Chars. Energy & Fuels 17 (2003): 1062-1067.

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.

Chen S. G. and Yang R. T. Unified Mechanism of Alkali and Alkaline Earth Catalyzed Gasification Reactions of Carbon by CO_2 and H_2O. Energy & Fuels 11 (1997): 421-427.

Demirbas A. Yields of hydrogen-rich gaseous products via pyrolysis from selected biomass samples. Fuel 80 (2001): 1885-1891.

Encinar J.M., Beltran F.J., Ramiro A. and Gonzalez J.F. Fuel Process Technology 55 (1998): 219.

Franco C., Pinto F., Gulyurtlu I. and Cabrita I. The study of reactions influencing the biomass steam gasification process. Fuel 82 (2003): 835-842.

Garcia L., Benedicto A., Romeo E., Salvador M.L., Arauzo J. and Bilbao R. Hydrogen production by steam gasification of biomass using Ni-Al coprecipitated catalysts promoted with magnesium. Energy &Fuels 16 (2002): 1222-1230.

Hallen R.T., Sealock L.T., Cuello R. and Bridgwater A.V. Research in Thermochemical Biomass Conversion. Elsevier Applied Science (1988): 157.

Hanaoka T., Inoue S., Uno S., Ogi T. and Minowa T. Effect of woody biomass components on air-steam gasification. Biomass and Bioenergy 28 (2005): 69-76.

Lv P.M., Chang J., Wang T., Fu Y. and Chen Y. An experimental study on biomass air-steam gasification in a fluidized bed. Bioresource Technology 95 (2004): 95-101.

Mudge L.K., Baker E.G., Mitchell D.H. and Brown M.D. Solar Energy Eng. 107 (1985): 89.

Osaki T. and Mori T. Role of Potassium in Carbon-Free CO_2 Reforming of Methane on K-Promoted Ni/Al_2O_3 Catalysts. Journal of Catalysis 204 (2001): 89-97.

Paul T. Williams and Elizabeth A. Williams. Interaction of plastics in mixed-plastics pyrolysis. Energy & Fuels 13 (1999): 188-196.

Sutton D. and Kelleher B. Review of literature on catalysts for biomass gasification. Fuel Processing Technology 73 (2001): 155-173.

Yaman S. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. Energy Conversion and Management 45 (2004): 651-671.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติก

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis): ASTM D3172

1.1 ความชื้น (Moisture): ASTM D3173

วิธีการทดลอง

1) อบถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (drying oven) 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิเคเตอร์ (desicator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งแล้วบันทึกน้ำหนัก

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแกลบ

3) นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักตัวอย่างคงที่

4) นำถาดอลูมิเนียมออกมาทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที แล้วชั่งถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ภายในบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ M = ร้อยละของความชื้น

W_1 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นก่อนอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของถาดอลูมิเนียมพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้นหลังอบ (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.2 **เถ้า** (Ash): ASTM D3174

วิธีการทดลอง

1) เผาครูซิเบิลพร้อมฝาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝา

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ครูซิเบิล ประมาณ 1 กรัม

3) นำไปเผาบนตะเกียงบุนเซนจนควันระเหยหมด

4) ใส่ครูซิเบิลพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

5) นำครูซิเบิลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า

W_3 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝาที่มีเถ้า (กรัม)

W_4 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.3 **ปริมาณสารระเหย** (Volatile Matter): ASTM D3175

วิธีการทดลอง

1) เผาครูซิเบิลพร้อมฝาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครูซิเบิลพร้อมฝา บันทึกผล

2) ชั่งตัวอย่างใส่ในครูซิเบิลประมาณ 1 กรัม แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย

3) นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (Tubular Furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3นาที

4) หย่อนครูซิเบิลให้อยู่บริเวณปากเตา ที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

5) หย่อนครูซิเบิลให้อยู่กึ่งกลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที

6) นำครูซิเบิลออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย

W_5 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)

W_6 = น้ำหนักของครูซิเบิลพร้อมฝารวมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

M = ร้อยละของความชื้น

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ร้อยละของคาร์บอนคงตัว = 100 – M – A – V

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ

ในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ ยี่ห้อ Agilent 3000A gas chromatograph (GC) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสารผสมที่ระเหยง่าย โดยสารผสมจะถูกฉีดเข้าไปในคอลัมน์ (column) ที่บรรจุด้วยสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวยึดจับที่เรียกว่า stationary phase และมีแก๊สพา (carrier gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เคลื่อนที่ไปตามคอลัมน์เข้าสู่เครื่องวัด (detector) สัญญาณที่เครื่องตรวจวัดได้รับนั้นจะถูกส่งไปบันทึกเป็นโครมาโทแกรม (chromatogram) โดยเครื่องบันทึก (recorder)

โดยแก๊สโครมาโทกราฟมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. แก๊สพา (carrier gas)
2. ตัวควบคุมการไหล (flow controller)
3. ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่าง (injector port)
4. คอลัมน์ (column)
5. ดีเทคเตอร์ (detector)
6. เครื่องบันทึก (recorder)

รายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้

1. แก๊สพา

แก๊สพาเป็นแก๊สที่ใช้สำหรับพาสารตัวอย่าง ที่ถูกทำให้เป็นไอหรือแก๊สเฟสแล้วที่ส่วนที่ฉีดสารตัวอย่างให้เข้าสู่คอลัมน์ต่อไป แก๊สพานี้ต้องมีการควบคุมอัตราการไหล (flow rate) ให้คงที่เสมอ โดยสามารถเลือกใช้อัตราการไหลให้เหมาะสมได้ตามต้องการ อัตราการไหลของแก๊สพามีส่วนสำคัญต่อการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้คงที่

แก๊สพาโดยทั่วไปควรมีคุณสมบัติคือ มีสมบัติเฉื่อย ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง มีมวลโมเลกุลต่ำและมีการแพร่น้อย มีความบริสุทธิ์สูงและราคาไม่แพง แก๊สพาที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน ฮีเลียม และแก๊สไฮโดรเจน

2. คอลัมน์

คอลัมน์เป็นส่วนสำคัญของการแยกสารด้วยเทคนิคทาง GC เมื่อแก๊สหรือไอของสารผสมในสารตัวอย่างผ่านคอลัมน์ สารที่บรรจุในคอลัมน์เปล่าจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกแก๊สหรือไอของสารผสมเหล่านั้นออกจากกันเป็นส่วน ๆ ดังนั้นโครมาโทแกรมที่ได้จะดีหรือไม่จึงขึ้นอยู่กับชนิดของคอลัมน์มาก

3. ดีเทคเตอร์

ดีเทคเตอร์คือเครื่องที่สามารถบ่งบอกว่ามีสารที่ต้องการวิเคราะห์หรือมีสารอื่นที่แตกต่างไปจากแก๊สพาออกมาจากคอลัมน์หรือไม่ ถ้ามีก็จะสามารถวัดได้ว่ามีปริมาณเท่าใดได้ด้วย ดังนั้นเครื่องตรวจวัดจึงต้องเป็นเครื่องที่มีลักษณะเฉพาะ สามารถให้สัญญาณกับสารต่าง ๆ ได้ ให้สภาพไวที่สูงพอ มีการตอบสนองที่ดีในช่วงความเข้มข้นของสารที่กว้างพอ และมีหลากหลายชนิด ตามความเหมาะสมของงานก็ได้

ลักษณะเฉพาะที่ต้องการของดีเทคเตอร์นั้น ควรจะมีลักษณะเฉพาะในการตอบสนองต่อสารเคมีที่ต้องการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ให้สภาพความไวสูง (high sensitivity)
- มีความเฉพาะต่อการตรวจหาสาร (selectivity)
- ให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณมีช่วงความเข้มข้นที่กว้างพอที่จะวัดได้อย่างถูกต้อง
- มีเสถียรภาพ (stability) และความเที่ยง (reproducibility)

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

<u>ดีเทคเตอร์แบบ TCD</u>

วิเคราะห์สารที่ออกมากับแก๊สพา โดยใช้หลักการทำงานดังนี้ แก๊สพาบริสุทธิ์ (reference gas) กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างอยู่ด้วยจะมีคุณสมบัติในการนำความร้อน (thermal conductivity) ที่ต่างกัน เมื่อสารตัวอย่างที่ถูกแยกจากคอลัมน์พร้อมด้วยแก๊สพาผ่านเข้าไปในเครื่องตรวจวัดและผ่านขดลวด (filament) ซึ่งทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งขดลวดจะเสียความร้อนให้กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างที่เข้ามาในดีเทคเตอร์แล้ว ดีเทคเตอร์ก็จะทำการปรับกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ขดลวดมีความร้อนเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการปรับความร้อนนี้จะเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกออกมาเป็นโครมาโทแกรม

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

1. หาอัตราการป้อนไอน้ำ

น้ำหนักพลาสติก 0.10 กรัม

ร้อยละคาร์บอนในพลาสติก (พอลิโพรพิลีน) 85.19

จากปฏิกิริยา $C + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2$

$C = 0.10 * (85.19/100) = 0.08519$ กรัม $= 0.08519/12 = 0.0071$ โมล

$H_2O = 0.0071 * 2 = 0.0142$ โมล $= 0.0142 * 18 = 0.2556$ กรัม $= 0.2556$ มิลลิลิตร

จะได้ อัตราการป้อนไอน้ำ 0.2556 มิลลิลิตร/นาที

2. หาร้อยละโดยปริมาตรของไอน้ำ

เปิดตารางไอน้ำ (steam table) ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ได้ specific volume 4.952 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

อัตราการไหลของไอน้ำ 0.10 มิลลิลิตร/นาที = 0.10 กรัม/นาที

เพราะฉะนั้น specific volume = 4.952 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม * 0.10 กรัม/นาที * (1 กิโลกรัม/1000 กรัม) * (1000 ลิตร/1 ลูกบาศก์เมตร) * (1000 มิลลิลิตร/1 ลิตร)

= 495.2 มิลลิลิตร/นาที

อัตราการไหลของไนโตรเจน 120 มิลลิลิตร/นาที

จาก $V_1/V_2 = T_1/T_2$

$120/V_2 = 298/1123$

จะได้ $V_2 = 452.2148$ มิลลิลิตร/นาที

เพราะฉะนั้น ร้อยละโดยปริมาตรของไอน้ำ(%vol) = 495.2/(452.2148+495.2) * 100

= 52

3. หาระยะเวลาที่ตัวเร่งปฏิกิริยาสัมผัสกับสารระเหยง่าย (contact time)

<u>กรณีตัวเร่งปฏิกิริยาสูง 1.4 เซนติเมตร</u>

สัดส่วนช่องว่าง 0.68

จากสูตร $Vg = \frac{\pi D^2}{4} h * \varepsilon_s$

$Vg = [((3.14*2^2)/4)*1.4*0.68]$

Vg = 2.992 ลูกบาศก์มิลลิลิตร

จาก $V_{25}/T_{25} = V_{850}/T_{850}$

$240/298 = V_{850}/1123$

V_{850} = 8160 ลูกบาศก์มิลลิลิตร/นาที

เพราะฉะนั้น Vg/V_{850} = 2.992/8160 = 0.00037 นาที

= 0.00037*60 = 0.0222 วินาที

4. หาระยะเวลาที่สารตั้งต้นอยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ (resident time)

<u>กรณีตัวเร่งปฏิกิริยาสูง 1.4 เซนติเมตร</u>

สัดส่วนช่องว่าง 0.68

จากสูตร $Vg = \frac{\pi D^2}{4} h * \varepsilon_s$

$Vg = [((3.14*2^2)/4)*1.4*0.68] + [((22/7*2^2)/4)*0.6*1]$

Vg = 4.88 ลูกบาศก์มิลลิลิตร

จาก $V_{25}/T_{25} = V_{850}/T_{850}$

$240/298 = V_{850}/1123$

V_{850} = 4080 ลูกบาศก์มิลลิลิตร/นาที

เพราะฉะนั้น Vg/V_{850} = 4.88/8160 = 0.0.0006 นาที

= 0.0006*60 = 0.036 วินาที

5. carbon balance ในกระบวนการแกซิฟิเคชัน

<u>กรณี พลาสติก (พอลิโพรพิลีน) + ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับโดโลไมต์</u>
(ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที)

น้ำหนักพลาสติก 0.133 กรัม
คาร์บอนในพลาสติก (พอลิโพรพิลีน) เท่ากับ 85.19 %wt
เพราะฉะนั้นน้ำหนักคาร์บอนในพลาสติก (พอลิโพรพิลีน) = 0.133*85.19/100 = 0.1133 กรัม

คาร์บอนในแก๊สที่ได้จากการทดลอง ($CO + CH_4 + CO_2$) เท่ากับ 0.0848 กรัม

ดังนั้น น้ำหนักคาร์บอนในน้ำมันทาร์ = น้ำหนักคาร์บอนในพลาสติก – น้ำหนักคาร์บอนในแก๊ส
= 0.1133 – 0.0848
= 0.0285 กรัม

เพราะฉะนั้น คิดเป็นร้อยละ จะได้
คาร์บอนในน้ำมันทาร์ = 0.0285/0.1133*100 = 25.15 %wt
คาร์บอนในแก๊ส = 0.0848/0.1133*100 = 74.85 %wt

ภาคผนวก ง

การหาความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด

ตาราง ง1 ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดของตัวมาตรฐาน (standard)

std	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	% balance in N_2
H_2	4940.243	6102.710	5521.476	0.99
CO	5330.426	5459.672	5395.049	1.02
CH_4	7137.101	6892.673	7014.887	1.01
CO_2	15236.727	14658.336	14947.532	1.01

อัตราการไหลแก๊สรวม 120 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลาที่เก็บแก๊สทุกๆ 10 นาที

ปริมาตรที่เก็บ 1200 มิลลิลิตร

ตัวอย่างเช่น พลาสติก + 5%NiO/dolomite ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน 15 มิลลิลิตรต่อนาที น้ำหนักพลาสติก 133 มิลลิกรัม

ตาราง ง2 ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดของตัวอย่าง

1) 10 นาทีแรก

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmol/g-sample
H_2	107672.2	112208.3	109940.25	8.859	27.243
CO	47155.330	46697.476	46926.403	8.872	32.738
CH_4	11622.621	12462.595	12042.608	1.734	6.398
CO_2	19482.753	19374.659	19428.706	1.313	4.844

2) 10 นาทีที่สอง

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmol/g-sample
H_2	9563.864	9513.180	9538.522	1.7154	6.329
CO	6837.304	6853.294	6845.299	1.294	4.775
CH_4	2226.363	2338.717	2282.541	0.328	1.212
CO_2	10593.510	10424.496	10509.003	0.710	2.620

3) 10 นาทีที่สาม

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmol/g-sample
H_2	726.698	700.426	713.562	0.128	0.474
CO	0	0	0	0	0
CH_4	0	0	0	0	0
CO_2	1195.461	1173.317	1184.389	0.080	0.295

ดังนั้นผลิตภัณฑ์แก๊สที่เก็บได้ = 10 นาทีแรก + 10 นาทีที่สอง + 10 นาทีที่สาม

	mmol/g-sample
H_2	34.046
CO	37.513
CH_4	7.611
CO_2	7.760

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลอง

ตาราง จ1 ข้อมูลการทดลองในกระบวนการแกซิฟิเคชัน

	องค์ประกอบแก๊ส	ครั้งที่ 1 (area)	ครั้งที่ 2 (area)	เฉลี่ย (area)	%	mmol/g-sample	%Error
PS (850°C) Steam 0.1 ml/min No catalyst	H_2	882.21	928.04	905.12	0.21	0.001	±2.53
	CO	0	0	0	0	0	±0
	CH_4	709.59	1018.10	863.84	0.15	0.001	±17.86
	CO_2	3057.24	2957.09	3007.17	0.20	0.001	±1.67
LDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min No catalyst	H_2	2213.68	2180.64	2197.16	0.50	0.002	±0.75
	CO	0	0	0	0	0	±0
	CH_4	7505.23	7362.04	7433.64	1.34	0.006	±0.96
	CO_2	2602.45	2642.43	2622.44	0.17	0.0008	±0.76
HDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min No catalyst	H_2	2590.76	2731.45	2661.10	0.61	0.003	±2.64
	CO	0	0	0	0	0	±0
	CH_4	7501.41	7366.09	7433.75	1.34	0.007	±0.91
	CO_2	2685.30	2685.19	2685.24	0.17	0.0008	±2.03
PP (850°C) Steam 0.1 ml/min No catalyst	H_2	3657.2	3642.12	3649.66	0.70	0.003	±0.21
	CO	0	0	0	0	0	±0
	CH_4	11100.49	11172.14	11136.32	1.99	0.009	±0.32
	CO_2	4103.12	4049.05	4076.09	0.24	0.001	±0.66
PS (850°C) Steam 0.1 ml/min Calcined dolomite	H_2	14500.34	14671.3	14585.82	2.93	0.014	±0.58
	CO	4684.71	4600.16	4642.43	0.71	0.003	±0.91
	CH_4	4061.36	4059.05	4060.21	0.57	0.003	±0.03
	CO_2	23682.63	22138.43	22910.53	1.62	0.008	±3.37

	องค์ประกอบแก๊ส	ครั้งที่ 1 (area)	ครั้งที่ 2 (area)	เฉลี่ย (area)	%	mmol/g-sample	%Error
HDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min Oxygen 15 ml/min	H_2	21376.04	21135.29	21255.67	4.044	0.016	±0.57
	CO	7631.57	7589.95	7610.76	0.95	0.004	±0.27
	CH_4	14299.98	13580.01	13939.99	1.88	0.008	±2.58
	CO_2	25849.31	25979.55	25914.48	1.73	0.007	±0.25
PP (850°C) Steam 0.1 ml/min Oxygen 15 ml/min	H_2	13104.56	13103.16	13103.86	2.30	0.01	±0.01
	CO	11134.97	11167.39	11151.18	1.63	0.007	±0.15
	CH_4	16897.84	16851.94	16874.89	2.35	0.01	±0.14
	CO_2	17105.64	17006.34	17055.99	1.05	0.005	±0.29
PS (850°C) Steam 0.1 ml/min Oxygen 34 ml/min	H_2	13104.56	13103.16	13103.86	2.30	0.01	±0.01
	CO	11134.97	11167.39	11151.18	1.63	0.007	±0.15
	CH_4	16897.84	16851.94	16874.89	2.348	0.01	±0.14
	CO_2	17105.64	17006.34	17055.99	1.045	0.005	±0.29
LDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min Oxygen 34 ml/min	H_2	13104.56	13103.16	13103.86	2.30	0.01	±0.01
	CO	11134.97	11167.39	11151.18	1.63	0.007	±0.15
	CH_4	16897.84	16851.94	16874.89	2.35	0.01	±0.14
	CO_2	17105.64	17006.34	17055.99	1.045	0.005	±0.29
HDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min Oxygen 34 ml/min	H_2	27879.1	29373.1	28626.1	2.31	0.008	±2.61
	CO	9242.57	9002.75	9122.66	1.96	0.008	±1.31
	CH_4	1781.80	1806.24	1794.02	0.23	0.009	±0.68
	CO_2	55776.88	55863.5	55820.19	3.57	0.016	±2.42
PP (850°C) Steam 0.1 ml/min Oxygen 34 ml/min	H_2	36709.8	36629.5	36669.65	2.95	0.011	±0.11
	CO	10416.87	10641.5	10529.19	1.87	0.01	±1.07
	CH_4	12841.42	1312.6	12981.51	1.67	0.01	±1.08
	CO_2	40683.02	40799.2	40741.11	2.76	0.012	±0.14

	องค์ประกอบแก๊ส	ครั้งที่ 1 (area)	ครั้งที่ 2 (area)	เฉลี่ย (area)	%	mmol/g-sample	%Error
PS (850°C) Steam 0.1 ml/min 5% NiO/dolomite	H_2	35475.4	34689.9	35082.65	2.827108	0.01	±0.021
	CO	11601.45	11606.39	11603.92	2.49	0.010	±0.021
	CH_4	14162.04	13893.42	14027.73	1.77	0.007	±0.96
	CO_2	45285.2	44279.5	44782.38	2.86	0.012	±1.12
LDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min 5% NiO/dolomite	H_2	41149.4	41355	41252.2	3.32	0.011	±0.25
	CO	10170.8	9983.434	10077.12	1.49	0.006	±0.93
	CH_4	19097.04	18480.15	18788.59	2.31	0.008	±1.64
	CO_2	44647.22	44768.87	44708.04	2.91	0.011	±0.14
HDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min 5% NiO/dolomite	H_2	31802.9	32001.28	31902.09	2.57	0.01	±0.31
	CO	29689.53	29768.67	29729.1	5.62	0.02	±0.13
	CH_4	1478.604	1707.041	1592.82	0.23	0.001	±7.17
	CO_2	33401.17	32968.17	33184.67	2.24	0.01	±0.65
PP (850°C) Steam 0.1 ml/min 5% NiO/dolomite	H_2	63192.4	63392.4	63292.4	5.10	0.018	±0.16
	CO	39243.48	39592.83	39418.15	7.45	0.03	±0.44
	CH_4	11304.34	10452.57	10878.45	1.57	0.007	±3.91
	CO_2	25584.55	25476.75	25530.65	1.73	0.007	±0.21
PS (850°C) Steam 0.1 ml/min 1% NiO/dolomite	H_2	76602.25	76802.25	76702.25	6.18	0.024	±0.13
	CO	43108.5	43407.58	43258.04	8.18	0.039	±0.35
	CH_4	10695.31	10488.01	10591.66	1.52	0.007	±0.98
	CO_2	20439.39	20586.38	20512.89	1.39	0.007	±0.36
LDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min 1% NiO/dolomite	H_2	108940.3	110940.3	109940.3	8.86	0.03	±0.91
	CO	47155.33	46697.48	46926.4	8.87	0.03	±0.49
	CH_4	11622.62	12462.6	12042.61	1.73	0.006	±3.49
	CO_2	19482.75	19374.66	19428.71	0.005	0.005	±0.28

	องค์ประกอบแก๊ส	ครั้งที่ 1 (area)	ครั้งที่ 2 (area)	เฉลี่ย (area)	%	mmol/g-sample	%Error
HDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min 1% NiO/dolomite	H_2	61475.15	61673.15	61574.15	4.96	0.02	±0.16
	CO	50846.32	51043.21	50944.76	10.74	0.05	±0.19
	CH_4	1814.244	1715.47	1764.86	0.267	0.001	±2.80
	CO_2	26863.81	26734.32	26799.06	1.87	0.009	±0.24
PP (850°C) Steam 0.1 ml/min 1% NiO/dolomite	H_2	67050.55	69050.55	68050.55	5.483	0.022	±1.47
	CO	39982.95	39293.14	39638.05	6.421	0.03	±0.87
	CH_4	8153.47	7632.46	7892.97	1.066	0.005	±3.30
	CO_2	39204.64	38975.57	39090.1	2.78	0.013	±0.29
PS (850°C) Steam 0.1 ml/min 9% NiO/dolomite	H_2	80154.98	79959.92	80057.45	6.46	0.02	±0.12
	CO	18476.3	18382.45	18429.38	3.36	0.01	±0.25
	CH_4	10696.48	10995.97	10846.22	1.56	0.006	±1.38
	CO_2	39985.24	39775.64	39880.44	2.87	0.011	±0.26
LDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min 9% NiO/dolomite	H_2	118488.4	120515.6	119502	9.63	0.031	±0.84
	CO	45635.82	46126.62	45881.22	8.67	0.034	±0.53
	CH_4	11872.05	11284.23	11578.14	1.66	0.006	±2.54
	CO_2	24425.76	24551.4	24488.58	1.65	0.006	±0.26
HDPE (850°C) Steam 0.1 ml/min 9% NiO/dolomite	H_2	27880.5	27689.4	27784.95	2.23	0.01	±0.34
	CO	8541.295	8522.784	8532.039	1.68	0.01	±0.11
	CH_4	3076.121	3099.829	3087.975	0.39	0.002	±0.383
	CO_2	11853.23	11890.49	11871.86	0.78	0.004	±0.16
PP (850°C) Steam 0.1 ml/min 9% NiO/dolomite	H_2	30074.4	28163.6	29119	2.34	0.01	±3.28
	CO	5010.851	5033.73	5022.29	0.95	0.004	±0.23
	CH_4	6590.836	6690.672	6640.754	0.85	0.004	±0.75
	CO_2	18009.65	18171.42	18090.5	1.22	0.005	±0.45

	องค์ประกอบแก๊ส	ครั้งที่ 1 (area)	ครั้งที่ 2 (area)	เฉลี่ย (area)	%	mmol/g-sample	%Error
PS Steam 0.1 ml/min Temp. 650°C	H_2	35745.2	36806.7	36275.95	2.92	0.01	±1.46
	CO	6263.329	6143.711	6203.52	0.955	0.005	±0.97
	CH_4	7085.464	6704.456	6894.96	0.884	0.004	±2.76
	CO_2	18477.31	18582.07	18529.69	1.192	0.005	±0.28
LDPE Steam 0.1 ml/min Temp. 650°C	H_2	38592.2	39085.7	38838.95	3.129	0.015	±0.64
	CO	8542.944	8388.566	8465.755	1.669	0.008	±0.91
	CH_4	10038.45	10204.24	10121.34	1.300	0.006	±0.82
	CO_2	17733.2	17662.51	17697.86	1.164	0.005	±0.20
HDPE Steam 0.1 ml/min Temp. 650°C	H_2	28582.4	28409.7	28496.05	2.296	0.01	±0.30
	CO	28476.32	28238.86	28357.59	3.956	0.018	±0.41
	CH_4	2051.377	1908.662	1980.02	0.247	0.001	±3.60
	CO_2	21652.51	21750.75	21701.63	1.432	0.006	±0.22
PP Steam 0.1 ml/min Temp. 650°C	H_2	61263.9	57258.4	59261.15	4.77	0.17	±3.38
	CO	32017.17	32490.16	32253.67	4.50	0.02	±0.73
	CH_4	8522.343	7922.612	8222.478	1.027	0.004	±3.65
	CO_2	48114.9	48209.51	48162.21	3.179	0.014	±0.98
PS Steam 0.1 ml/min Temp. 750°C	H_2	73460.7	73453.7	73457.2	5.919	0.024	±0.004
	CO	38266.49	38734.83	38500.66	5.27	0.026	±0.61
	CH_4	70706.45	6619.877	6848.167	0.856	0.004	±3.33
	CO_2	46297.87	45478.74	45888.31	3.028	0.014	±0.89
LDPE Steam 0.1 ml/min Temp. 750°C	H_2	90784.5	90678.5	90731.5	7.312	0.023	±0.06
	CO	23484.62	23302.45	23393.53	3.264	0.012	±0.39
	CH_4	9439.959	8860.771	9150.365	1.209	0.005	±3.16
	CO_2	58916.84	58958.27	58937.55	3.78	0.014	±0.04

	องค์ประกอบแก๊ส	ครั้งที่ 1 (area)	ครั้งที่ 2 (area)	เฉลี่ย (area)	%	mmol/g-sample	%Error
HDPE Steam 0.1 ml/min Temp. 750°C	H_2	27898.3	26954.6	27426.45	2.21	0.008	±1.72
	CO	27526.94	27518.35	27522.65	4.46	0.020	±0.02
	CH_4	1834.349	1865.66	1850.00	0.23	0.001	±0.85
	CO_2	26587.91	27985.36	27286.64	1.80	0.008	±2.56
PP Steam 0.1 ml/min Temp. 750°C	H_2	46759.1	47345.6	47052.35	3.79	0.014	±0.62
	CO	33789.42	33832.33	33810.87	5.48	0.024	±0.06
	CH_4	12941.61	12958.7	12950.16	1.62	0.007	±0.07
	CO_2	16245.39	16161.95	16203.67	1.07	0.005	±0.26
PS Steam 0 ml/min Temp. 850°C	H_2	53234	53287.7	53260.85	4.291	0.015	±0.05
	CO	37025.51	37092.15	37058.83	6.016	0.026	±0.90
	CH_4	12549.27	12585.24	12567.25	1.577	0.01	±0.14
	CO_2	9892.128	9546.281	9719.205	0.641	0.002	±1.78
LDPE Steam 0 ml/min Temp. 850°C	H_2	60533.3	60297.5	60415.4	4.868	0.02	±0.20
	CO	49550.66	49521.12	49535.89	7.838	0.03	±0.03
	CH_4	13424.47	13425.16	13424.81	1.636	0.006	±0.002
	CO_2	15962.36	15918.68	15940.52	1.098	0.004	±0.14
HDPE Steam 0 ml/min Temp. 850°C	H_2	29564.2	29648.3	29606.25	2.385	0.008	±0.14
	CO	25689.53	25768.67	25729.1	4.864	0.021	±0.15
	CH_4	1678.604	1707.041	1692.82	0.243	0.001	±0.84
	CO_2	35401.17	35968.17	35684.67	2.411	0.011	±0.79
PP Steam 0 ml/min Temp. 850°C	H_2	54432.5	54515.8	54474.15	4.389	0.016	±0.08
	CO	31205.65	31405.07	31305.36	5.082	0.023	±0.32
	CH_4	12450.62	12482.02	12466.32	1.564	0.007	±0.13
	CO_2	26485.16	26315.62	26400.39	1.743	0.0078	±0.32

	องค์ประกอบแก๊ส	ครั้งที่ 1 (area)	ครั้งที่ 2 (area)	เฉลี่ย (area)	%	mmol/g-sample	%Error
PS Steam 0.15 ml/min Temp. 850°C	H_2	61245.6	61433.48	61339.54	4.942	0.0179	±0.15
	CO	39716.5	39579.61	39648.05	6.436	0.028	±0.17
	CH_4	12975.16	12997.65	12986.4	1.629	0.007	±0.08
	CO_2	28116.25	28038.06	28077.15	1.855	0.008	±0.13
LDPE Steam 0.15 ml/min Temp. 850°C	H_2	88796.26	86726.17	87761.22	7.072	0.024	±1.17
	CO	45126.23	45402.95	42564.59	7.348	0.030	±0.30
	CH_4	14622.62	14462.6	14542.61	1.825	0.007	±0.55
	CO_2	34162.24	34069.77	34116	2.253	0.009	±0.14
HDPE Steam 0.15 ml/min Temp. 850°C	H_2	66262.4	65891.8	66077.1	5.324	0.020	±0.28
	CO	16162.48	16554.36	16358.42	5.473	0.025	±1.20
	CH_4	5786.637	5758.10	5772.37	0.800	0.004	±0.25
	CO_2	22836.17	22769.61	22802.89	1.508	0.007	±0.15

หมายเหตุ การหา %Error คำนวณดังตัวอย่างที่ จ1

<u>ตัวอย่าง จ1</u> พลาสติก ทำที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 52 โดยปริมาตร ในกระบวนการแกซิฟิเคชันด้วยไอน้ำและออกซิเจน

%error H_2 = (882.20638 – 905.12358)/ 905.12358*100 = $\pm$ 2.532

%error CO = 0

%error CH_4 = (709.58814 – 863.84171)/ 863.84171*100 = $\pm$ 17.857

%error CO_2 = (3057.2395 – 3007.1669)/ 3007.1669*100 = $\pm$ 1.665

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปรางค์เนตร เฟื่องฟุ้ง เกิดวันที่ 12 มีนาคม พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2548