

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- บุปผา พุทธสวัสดิ์. การผลิตแก๊สไฮโดรเจนเข้มข้นจากแก๊ซฟิเคชันของชีวมวลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา $Ni/K_2CO_3/\gamma-Al_2O_3$. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- วิทยา เรื่องพรวิสุทธิวิโรจน์. ปฏิกิริยาเร่ง เคมีเกี่ยวกับผิวและปิโตรเคมี. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
- วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา. จลนพลศาสตร์และการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์เคมี. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศุภย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล. ชีวมวล. มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2549.
- อนวรรตน์ เกตุคง. แก๊ซฟิเคชันของไม้ยูคาลิปตัสบนตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล/ไดโลไมต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- อาภาณี เหลืองนฤมิตรชัย. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากแกลบในเบตนิง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

- Abu El-Rub Z., Bramer E. and Brem G. Review of catalysts for tar elimination in biomass gasification process. Ind. Eng. Chem. Res. 43 (2004): 6911-6919.
- Akyurtlu J.F. and Akyurtlu A. Catalytic gasification of Pittsburgh coal char by potassium sulphate and ferrous sulphate mixtures. Fuel Processing Technology 43 (1995): 71-86.
- Chin G., Liu G. and Dong Q. New approach for gasification of coal char. Fuel 66 (1987): 859-863.
- Franco C., Pinto F., Gulyurtlu I. and Cabrita I. The study of reactions influencing the biomass steam gasification process. Fuel 82 (2003): 835-842.
- Hallen R.T., Sealock L.T., Cuello R. and Bridgwater A.V. Research in Thermochemical Biomass Conversion. Elsevier Applied Science (1988): 157.

- Hu G., Xu S., Li S., Xiao C. and Liu S. Steam gasification of apricot stones with olivine and dolomite as downstream catalysts. Fuel Processing Technology 87 (2006): 375-382.
- Juan-Juan J., Roman-Martinez M.C. and Illan-Gomez M.J. Effect of potassium content in the activity of K-promoted Ni/Al₂O₃ catalysts for the dry reforming of methane. Fuel 68 (1989): 1343-1346.
- Kim K.T., Kim K.H. and Choi J.O. K₂CO₃-catalysed steam gasification of a coal char. Applied Catalysis B: Environmental 68 (2006): 160-170.
- Kimura T., Miyazawa T., Ito S., Kunimori K., Nishikawa J., Kado S., Okumura K., Miyao T., Naito S., Kunimori K. and Tomishige K. Development of Ni catalysts for tar removal by steam gasification of biomass. Applied Catalysis B: Environmental 68 (2006): 160-170.
- Mudge L.K., Baker E.G., Mitchell D.H. and Brown M.D. Solar Energy Eng. 107 (1985): 89.
- Probstein and Hicks, Synthetic Fuels. McGraw Hill : 1982.
- Srinakruang J., Sato K., Vitidsant T. and Kaoru K. A highly efficient catalyst for tar gasification with steam. Catalysis Communications 6 (2005): 437-440.
- Sutton R., Kelleher B. and Ross J. Review of literature on catalysts for biomass gasification. Fuel Processing Technology 73 (2001): 155-173.
- Wang T.J., Chang J., Wu C.Z., Fu Y. and Chen Y. The steam reforming of naphthalene over a nickel-dolomite cracking catalyst. Biomass and Bioenergy 28 (2005): 508-514.
- Veraa M.J. and Bell A.T. effect of alkali metal catalysts on gasification of coal char. Fuel 57 (1978): 194-200.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis): ASTM D3172

1.1 ความชื้น (Moisture): ASTM D3173

วิธีการทดลอง

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

2) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแกลบ

3) นำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักตัวอย่างคงที่

4) นำถาดอลูมิเนียมออกมาทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำเข้าเดสิเคเตอร์ประมาณ 15 นาที แล้วชั่งถาดอลูมิเนียมพร้อมฝาที่มีตัวอย่างอบแล้วอยู่ในบันทึกผล

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) เผาครุชิลเบลพร้อมฝาในเตาเผา (Muffle Furnace) ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ ซึ่งนำหนักครุชิลเบลพร้อมฝา
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างใส่ครุชิลเบล ประมาณ 1 กรัม
- 3) นำไปเผาบนตะเกียงเบนเซนจนควันระเหยหมด
- 4) ใส่ครุชิลเบลพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750 องศาเซลเซียส เป็นเวลา ประมาณ 2 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
- 5) นำครุชิลเบลออกจากเตาเผาวางทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในเดสิเคเตอร์ ซึ่งนำหนัก พร้อมบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

- เมื่อ A = ร้อยละของเถ้า
- W_3 = น้ำหนักของครุชิลเบลพร้อมฝาที่มีเถ้า (กรัม)
- W_4 = น้ำหนักของครุชิลเบลพร้อมฝา (กรัม)
- W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

1.3 ปริมาณสารระเหย (Volatile Matter): ASTM D3175

วิธีการทดลอง

- 1) เผาครุชิลเบลพร้อมฝาในเตาเผาอุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที นำออกจากเตาเผา ทำให้เย็นในเดสิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครุชิลเบลพร้อมฝา บันทึกผล
- 2) ชั่งตัวอย่างใส่ในครุชิลเบลประมาณ 1 กรัม แล้วปิดฝาให้เรียบร้อย
- 3) นำไปให้ความร้อนโดยอยู่เหนือปากเตาเผา (Tubular Furnace) อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที
- 4) หย่อนครุชิลเบลให้อยู่บริเวณปากเตา ที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

- 5) หย่อนครุฑิบิลให้อยู่กึ่งกลางเตา อุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที
- 6) นำครุฑิบิลออกมาทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 15 นาที นำไปชั่งและบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

- เมื่อ V = ร้อยละของสารระเหย
- W_5 = น้ำหนักของครุฑิบิลพร้อมฝาพร้อมกับน้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)
- W_6 = น้ำหนักของครุฑิบิลพร้อมฝาพร้อมกับน้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)
- W = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)
- M = ร้อยละของความชื้น

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed Carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

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

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

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

โดยแก๊สโครมาโทกราฟีมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

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 มีมวลโมเลกุลต่ำและมีการแพร่กระจาย มีความบริสุทธิ์สูงและราคาไม่แพง แก๊สพาที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน ฮีเลียม และแก๊สไฮโดรเจน

2. คอลัมน์

คอลัมน์เป็นส่วนสำคัญของการแยกสารด้วยเทคนิคทาง GC เมื่อแก๊สหรือไอของสารผสมในสารตัวอย่างผ่านคอลัมน์ สารที่บรรจุในคอลัมน์เปลาจะทำหน้าที่เป็นตัวแยกแก๊สหรือไอของสารผสมเหล่านั้นออกจากกันเป็นส่วน 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

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

ภาคผนวก ค

การคำนวณ

1. หาอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเข้าท่อชั้นในและชั้นนอก

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อชั้นใน 9 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อชั้นใน 11 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อชั้นนอก 20 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อชั้นนอก 22 มิลลิเมตร

$$\text{ความเร็ว/พื้นที่หน้าตัด} = \text{flow}_{\text{ท่อชั้นใน}}/A_{\text{ท่อชั้นใน}} = \text{flow}_{\text{ท่อชั้นนอก}}/A_{\text{ท่อชั้นนอก}}$$

เพราะฉะนั้น

$$\text{flow}_{\text{ท่อชั้นใน}}/\text{flow}_{\text{ท่อชั้นนอก}} = A_{\text{ท่อชั้นใน}}/A_{\text{ท่อชั้นนอก}}$$

$$\text{flow}_{\text{ท่อชั้นใน}}/\text{flow}_{\text{ท่อชั้นนอก}} = \pi r_{\text{ท่อชั้นใน}}^2/\pi r_{\text{ท่อชั้นนอก}}^2$$

$$\text{flow}_{\text{ท่อชั้นใน}}/\text{flow}_{\text{ท่อชั้นนอก}} = \pi (4.5)^2/\pi [(10)^2 - (5.5)^2]$$

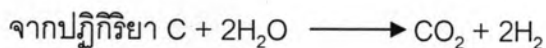
จะได้

$$\text{flow}_{\text{ท่อชั้นใน}} = 0.29\text{flow}_{\text{ท่อชั้นนอก}}$$

2. หาอัตราการป้อนไอน้ำ

น้ำหนักแคลบ 0.12 กรัม

ร้อยละคาร์บอนในแคลบ 41.66



$$C = 0.12 * (41.66/100) = 0.0499 \text{ กรัม} = 0.0499/12 = 0.0042 \text{ โมล}$$

$$H_2O = 0.0042 * 2 = 0.0084 \text{ โมล} = 0.0084 * 18 = 0.1512 \text{ กรัม} = 0.1512 \text{ มิลลิลิตร}$$

จะได้ อัตราการป้อนไอน้ำ 0.1512 มิลลิลิตร/นาที

3. หาร้อยละโดยปริมาตรของไอน้ำ

เปิดตารางไอน้ำ (Steam Table) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ได้ specific volume 4.952 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

อัตราการไหลของไอน้ำ 0.15 มิลลิลิตร/นาที = 0.15 กรัม/นาที

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น Specific Volume} &= 4.952 \text{ ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม} * 0.15 \text{ กรัม/นาที} * \\ & (1 \text{ กิโลกรัม}/1000 \text{ กรัม}) * (1000 \text{ ลิตร}/1 \text{ ลูกบาศก์เมตร}) * \\ & (1000 \text{ มิลลิลิตร}/1 \text{ ลิตร}) \\ & = 742.8 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \end{aligned}$$

อัตราการไหลของไนโตรเจน 150 มิลลิลิตร/นาที

$$\text{จาก } V_1/V_2 = T_1/T_2$$

$$150/V_2 = 298/1073$$

$$\text{จะได้ } V_2 = 540.1006 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น ร้อยละโดยปริมาตรของไอน้ำ} (\% \text{Vol}) &= 742.8 / (540.1006 + 742.8) * 100 \\ & = 58 \end{aligned}$$

4. หาระยะเวลาที่ตัวเร่งปฏิกิริยาสัมผัสกับสารระเหยง่าย (contact time)

กรณีตัวเร่งปฏิกิริยาสูง 1.0 เซนติเมตร

สัดส่วนช่องว่าง 0.35

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

$$Vg = [((3.14 * 1.7^2) / 4) * 1.0 * 0.35]$$

$$Vg = 0.82 \text{ มิลลิลิตร}$$

อัตราการไหลของไนโตรเจน 150 มิลลิลิตร/นาที

$$\text{จาก } V_{25}/T_{25} = V_{800}/T_{800}$$

$$150/298 = V_{800}/1073$$

$$V_{800} = 540.1006 \text{ มิลลิลิตร/นาที}$$

เปิดตารางไอน้ำ (Steam Table) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ได้ specific volume 4.952 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม

อัตราการไหลของไอน้ำ 0.15 มิลลิลิตร/นาที = 0.15 กรัม/นาที

$$\begin{aligned} \text{เพราะฉะนั้น Specific Volume} &= 4.952 \text{ ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม} * 0.15 \text{ กรัม/นาที} * \\ & (1 \text{ กิโลกรัม}/1000 \text{ กรัม}) * (1000 \text{ ลิตร}/1 \text{ ลูกบาศก์เมตร}) * \\ & (1000 \text{ มิลลิลิตร}/1 \text{ ลิตร}) \\ & = 742.8 \text{ มิลลิลิตร/นาที} \end{aligned}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } Vg/(V_{N_2,800} + V_{H_2O,800}) * 60 = (0.82/540.10 + 742.80) * 60 = 0.037 \text{ วินาที}$$

5. Carbon Balance ในกระบวนการแกซีฟิเคชัน

กรณี แกลบ + ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมคาร์บอเนต-นิกเกิลออกไซด์บนตัวรองรับโดโลไมต์
(ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนไอน้ำ 0.15 มิลลิลิตรต่อนาที)

น้ำหนักแกลบ 0.12 กรัม

คาร์บอนในแกลบ เท่ากับ 36.08 %wt

$$\text{เพราะฉะนั้น น้ำหนักคาร์บอนในแกลบ} = 0.12 * 36.08 / 100 = 0.043296 \text{ กรัม}$$

น้ำหนักชาร์ที่ได้จากการทดลอง เท่ากับ 0.0321 กรัม

คาร์บอนในชาร์ (C, Char) เท่ากับ 26.01 %wt

$$\text{เพราะฉะนั้น น้ำหนักคาร์บอนในชาร์} = 0.0321 * 26.01 / 100 = 0.008349 \text{ กรัม}$$

คาร์บอนในแก๊สที่ได้จากการทดลอง ($CO + CH_4 + CO_2$) เท่ากับ 0.023373 กรัม

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น น้ำหนักคาร์บอนในน้ำมันทาร์} &= \text{น้ำหนักคาร์บอนในแกลบ} - (\text{น้ำหนักคาร์บอนในชาร์} + \\ & \text{น้ำหนักคาร์บอนในแก๊ส}) \\ &= 0.043296 - (0.008349 + 0.023373) \\ &= 0.011574 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น คิดเป็นร้อยละ จะได้

$$\text{คาร์บอนในชาร์} = 0.008349 / 0.043296 * 100 = 19.2835 \%wt$$

$$\text{คาร์บอนในน้ำมันทาร์} = 0.011574 / 0.043296 * 100 = 26.7230 \%wt$$

$$\text{คาร์บอนในแก๊ส} = 0.023373 / 0.043296 * 100 = 53.9842 \%wt$$

ภาคผนวก ง

การหาความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิด

ตาราง ง1 ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดของตัวมาตรฐาน (Standard)

std	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	% balance in N ₂
H ₂	4259.523	4238.019	4248.771	1.00
CO	6613.457	6513.251	6563.354	1.00
CH ₄	5083.729	5011.577	5047.653	1.00
CO ₂	11044.466	10920.593	10982.530	1.00

อัตราการไหลแก๊สรวม 150 มิลลิลิตรต่อนาที

เวลาที่เก็บแก๊สทุกๆ 10 นาที

ปริมาตรที่เก็บ 1500 มิลลิลิตร

ตัวอย่างเช่น แกลบ + %K₂CO₃-NiO/dolomite ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ร้อยละของไอน้ำ 58 โดยปริมาตร น้ำหนักแกลบ 119.7 มิลลิกรัม

ตาราง ง2 ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์แก๊สแต่ละชนิดของตัวอย่าง

1) 10 นาทีแรก

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmole/g-sample
H ₂	14738.373	15322.542	15030.457	3.538	18.130
CO	5081.673	5295.285	5188.479	0.791	4.051
CH ₄	1388.970	1125.542	1257.256	0.252	1.289
CO ₂	4970.717	5086.841	5028.779	0.458	2.347

2) 10 นาทีที่สอง

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmole/g-sample
H ₂	1783.211	1793.926	1788.569	0.421	2.157
CO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH ₄	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO ₂	5900.588	5914.079	5907.334	0.538	2.757

3) 10 นาทีที่สาม

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmole/g-sample
H ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH ₄	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO ₂	5380.021	5417.169	5398.595	0.492	2.519

4) 10 นาทีที่สี่

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmole/g-sample
H ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH ₄	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO ₂	4566.115	4698.115	4632.115	0.422	2.162

5) 10 นาทีที่ห้า

	ครั้งที่ 1 area	ครั้งที่ 2 area	เฉลี่ย area	%	mmole/g-sample
H ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH ₄	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO ₂	3783.843	3768.371	3776.107	0.344	1.762

ดังนั้นผลิตภัณฑ์แก๊สที่เก็บได้ = 10 นาทีแรก + 10 นาทีที่สอง + 10 นาทีที่สาม + 10 นาทีที่สี่ + 10 นาทีที่ห้า

	mmole/g-sample
H ₂	20.288
CO	4.051
CH ₄	1.289
CO ₂	11.546

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดลอง

ตาราง จ1 ข้อมูลการทดลองในกระบวนการแกซีฟิเคชัน

	องค์ประกอบ แก๊ส	ครั้งที่ 1 mmol/g- sample	ครั้งที่ 2 mmol/g- sample	ครั้งที่ 3 mmol/g- sample	ครั้งที่ 4 mmol/g- sample	ครั้งที่ 5 mmol/g- sample	เฉลี่ย mmol/g- sample	%Error
RH+Calcined dolomite (800°C)	H ₂	9.744	10.565	—	—	—	10.154	±0.580
	CO	3.623	3.859	—	—	—	3.741	±0.167
	CH ₄	1.616	2.055	—	—	—	1.835	±0.310
	CO ₂	8.025	7.939	—	—	—	7.982	±0.061
RH+9%NiO/ dolomite (800°C)	H ₂	12.895	12.695	—	—	—	12.795	±0.141
	CO	4.017	4.645	—	—	—	4.331	±0.444
	CH ₄	1.267	1.249	—	—	—	1.258	±0.012
	CO ₂	9.553	9.616	—	—	—	9.585	±0.045
RH+9%K ₂ CO ₃ / dolomite (800°C)	H ₂	17.250	19.752	20.520	—	—	19.174	±1.710
	CO	2.551	2.512	3.188	—	—	2.750	±0.380
	CH ₄	1.640	1.614	1.681	—	—	1.645	±0.034
	CO ₂	10.720	13.016	11.863	—	—	11.867	±1.148
RH+9%K ₂ CO ₃ - 9%NiO/dolomite (800°C)	H ₂	18.677	20.288	21.047	21.682	24.471	21.233	±2.130
	CO	3.270	4.051	3.723	3.347	3.602	3.599	±0.313
	CH ₄	1.358	1.289	1.397	1.038	1.471	1.311	±0.166
	CO ₂	10.033	11.546	9.329	10.187	11.131	10.445	±0.890
RH+5%K ₂ CO ₃ - 9%NiO/dolomite (800°C)	H ₂	17.665	22.665	17.956	—	—	17.811	±0.205
	CO	4.498	3.754	4.170	—	—	4.334	±0.232
	CH ₄	1.248	1.340	1.380	—	—	1.314	±0.093
	CO ₂	11.215	11.726	10.183	—	—	10.699	±0.730
RH+9%K ₂ CO ₃ - 9%NiO/dolomite (700°C)	H ₂	23.462	14.023	11.599	—	—	16.361	±6.268
	CO	2.031	1.602	1.468	—	—	1.701	±0.294
	CH ₄	1.002	1.050	1.184	—	—	1.079	±0.095
	CO ₂	3.595	2.689	2.254	—	—	2.846	±0.684
RH+9%K ₂ CO ₃ - 9%NiO/dolomite (900°C)	H ₂	17.679	16.926	—	—	—	17.302	±0.532
	CO	5.705	6.178	—	—	—	5.942	±0.334
	CH ₄	1.946	1.918	—	—	—	1.932	±0.020
	CO ₂	12.756	12.404	—	—	—	12.580	±0.248
RH+Al ₂ O ₃ -ball 1.4 cm. (800°C)	H ₂	2.052	2.334	—	—	—	2.193	±0.199
	CO	5.396	5.820	—	—	—	5.608	±0.300
	CH ₄	1.217	1.343	—	—	—	1.280	±0.089
	CO ₂	4.565	4.898	—	—	—	4.731	±0.236

	องค์ประกอบ แก๊ส	ครั้งที่ 1 mmol/g- sample	ครั้งที่ 2 mmol/g- sample	ครั้งที่ 3 mmol/g- sample	ครั้งที่ 4 mmol/g- sample	ครั้งที่ 5 mmol/g- sample	เฉลี่ย mmol/g- sample	%Error
RH+9%K ₂ CO ₃ 9%NiO/dolomite Al ₂ O ₃ -ball 1.3 cm.(800°C)	H ₂	17.085	19.851	—	—	—	18.468	±1.955
	CO	3.811	4.265	—	—	—	4.038	±0.321
	CH ₄	1.294	1.472	—	—	—	1.383	±0.126
	CO ₂	11.958	11.646	—	—	—	11.802	±0.221
RH+9%K ₂ CO ₃ 9%NiO/dolomite Al ₂ O ₃ -ball 2.0 cm.(800°C)	H ₂	20.904	21.763	21.696	—	—	21.454	±0.478
	CO	2.793	2.666	3.900	—	—	3.120	±0.679
	CH ₄	1.394	1.360	1.319	—	—	1.357	±0.038
	CO ₂	12.164	12.854	11.420	—	—	12.146	±0.718
RH+9%K ₂ CO ₃ 9%NiO/dolomite Al ₂ O ₃ -ball 3.0 cm.(800°C)	H ₂	21.586	23.552	23.674	—	—	23.196	±1.172
	CO	3.040	3.118	3.431	—	—	1.471	±0.207
	CH ₄	1.479	1.626	1.310	—	—	1.645	±0.158
	CO ₂	10.165	15.846	12.390	—	—	12.800	±2.862
RH+9%NiO/ dolomite used no.1 (800°C)	H ₂	12.895	10.640	10.576	—	—	12.533	±2.676
	CO	4.017	3.736	3.873	—	—	4.403	±0.944
	CH ₄	1.267	1.238	1.281	—	—	3.179	±2.746
	CO ₂	9.553	9.348	9.234	—	—	9.877	±0.748
RH+9%NiO/ dolomite used no.2 (800°C)	H ₂	12.695	14.425	9.426	—	—	10.001	±0.813
	CO	4.645	5.070	3.827	—	—	3.850	±0.033
	CH ₄	1.249	5.121	1.139	—	—	1.210	±0.101
	CO ₂	9.616	10.406	8.205	—	—	8.719	±0.728
RH+9%K ₂ CO ₃ / dolomite used no.1 (800°C)	H ₂	19.752	15.970	14.414	—	—	17.707	±2.456
	CO	2.512	2.953	2.738	—	—	3.076	±0.174
	CH ₄	1.614	1.598	1.304	—	—	1.640	±0.060
	CO ₂	13.016	10.436	9.348	—	—	11.458	±1.445
RH+9%K ₂ CO ₃ / dolomite used no.2 (800°C)	H ₂	20.520	19.443	17.731	—	—	16.073	±2.346
	CO	3.188	3.199	3.046	—	—	2.892	±0.218
	CH ₄	1.681	1.682	1.717	—	—	1.510	±0.292
	CO ₂	11.863	12.480	9.130	—	—	9.239	±0.154
RH+9%K ₂ CO ₃ 9%NiO/dolomite used no.1 (800°C)	H ₂	17.541	13.812	15.233	—	—	17.107	±5.034
	CO	4.784	4.308	4.298	—	—	3.673	±0.698
	CH ₄	1.145	1.238	1.271	—	—	1.271	±0.173
	CO ₂	11.259	7.901	8.394	—	—	8.387	±1.261
RH+9%K ₂ CO ₃ 9%NiO/dolomite used no.2 (800°C)	H ₂	28.289	22.901	17.016	—	—	16.533	±1.138
	CO	2.941	3.784	3.451	—	—	3.395	±0.932
	CH ₄	1.556	1.458	1.369	—	—	1.150	±0.298
	CO ₂	14.370	9.819	8.828	—	—	8.524	±1.254

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกนกกรส คงเดือน เกิดวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2548