

ผลของเซลลูโลสที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลต่อความว่องไวและค่าการเลือกเกิดของ ปฏิกิริยาการบอนด์ไดออกไซด์ไฮโดรจิเนชัน

Effect of Cellulose-supported Nickel Catalysts for Activity and Selectivity in CO₂ Hydrogenation

ณัฐกานต์ จุงจิตตเมตต์¹ บรรเจิด จงสมจิตร¹ เอกราชนันท์ ไชยชนะ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

²โปรแกรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ถนนมาลัยแมน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

E-mail: cherrygirly@hotmail.com

บทคัดย่อ

Avicel PH-101 เป็น Microcrystalline cellulose ชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำใช้ในอุตสาหกรรมยา มักใช้เป็นตัวประสานในการอัดเม็ดยา แต่ยังไม่ค่อยมีการนำสารที่ได้จากธรรมชาติหรือเซลลูโลสไปใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงนำเซลลูโลสมาใช้เพื่อเป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลสำหรับปฏิกิริยาการบอนด์ไดออกไซด์ไฮโดรจิเนชัน โดยศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล 20% โดยมวลบนตัวรองรับ Avicel PH-101 ที่เตรียมจากวิธีเคลือบผงสำหรับปฏิกิริยาการบอนด์ไดออกไซด์ไฮโดรจิเนชันที่อุณหภูมิ 220 °C ความดัน 1 บรรยากาศเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ไปทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธี BET, SEM, FTIR, XRD, TGA และ CO chemisorptions พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มีความสามารถในการดูดซับ CO มากกว่าการใช้ซิลิกาเป็นตัวรองรับ และเมื่อใช้ก๊าซโครมาโทกราฟีในการวิเคราะห์พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้มีค่าคอนเวอร์ชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะคงตัวเท่ากับ 32.4% ค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 0.241 mol CO₂/g cat.h และค่าอัตราการเลือกเกิดของมีเทนมีค่าเท่ากับ 100% อีกทั้งยังพบว่าค่าคอนเวอร์ชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่าการใช้ซิลิกาเป็นตัวรองรับอีกด้วย

คำสำคัญ: เซลลูโลสตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาการบอนด์ไดออกไซด์ไฮโดรจิเนชัน

Abstract

Avicel PH-101 is a type of microcrystalline cellulose used in pharmaceutical manufacturing, especially to improve the quality of pellets in extrusion-spheronization process. Nevertheless, cellulose is not used prevalently as catalyst for reactions, such as CO₂ hydrogenation. In this research, the production of methane from CO₂ hydrogenation is studied using 20 wt% Ni on Avicel PH-101 prepared by impregnation method. CO₂ hydrogenation was carried out at 220°C and 1 atm for 5 hr. The catalysts were characterized by BET, SEM, FTIR, XRD, TGA and CO chemisorptions. The results showed that the catalyst exhibited higher CO chemisorptions

compared to silica support. From the reaction test and GC analysis, conversion of CO_2 was 32.4% at the reaction rate of 0.241 mol $\text{CO}_2/\text{g cat.h}$ which were higher than the silica support. Furthermore, the selectivity of CH_4 had also reached 100%.

Keywords: Cellulose, catalysts, CO_2 hydrogenation

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสาเหตุสำคัญของสภาวะโลกร้อนและปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมากถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนั้นการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับมาใช้ใหม่จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อลดจำนวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

ปฏิกิริยาการบอนด์ออกไซด์ไฮโดรจิเนชันเป็นอีกหนึ่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนเพื่อสังเคราะห์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในทางการค้าขึ้นมาใหม่ (Di Li, 1998) แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาที่คายความร้อนออกมาปริมาณมาก (Exothermic reaction) และต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดสูงทำให้มีการนำตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีมาใช้ในปฏิกิริยานี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในปฏิกิริยาการบอนด์ออกไซด์ไฮโดรจิเนชันเนื่องจากทำให้เกิดค่าคอนเวอร์ชันสูง Conversion ค่าการเลือกเกิดสูง Selectivity และอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง (Feg-Wen Chang, 2003).

Avicel PH101 เป็น Microcrystalline cellulose ชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำไม่ละลายในกรด

และไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ใดๆ มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไร้ก้อน ไร้น้ำมัน ใช้ในอุตสาหกรรมยา และอาหาร (Podczek, 2008) เนื่องจากคุณสมบัติเด่นดังกล่าว และยังไม่ค่อยพบงานวิจัยที่นำเซลลูโลสมาใช้เป็นตัวรองรับสำหรับปฏิกิริยาการบอนด์ออกไซด์ไฮโดรจิเนชันทั้งๆ ที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของเซลลูโลสที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลสำหรับปฏิกิริยาการบอนด์ออกไซด์ไฮโดรจิเนชัน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของเซลลูโลสที่ใช้เป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลสำหรับปฏิกิริยาการบอนด์ออกไซด์ไฮโดรจิเนชัน และศึกษาเพื่อเป็นทางเลือกในการใช้เซลลูโลสที่เป็นสารจากธรรมชาติมาใช้เป็นตัวรองรับโลหะนิกเกิลโดยศึกษาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกา (จักรพันธ์จันละมูล, 2552)

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 สารเคมีที่ใช้

Avicel PH-101, นิกเกิล(II)ไนเตรดเฮกซะไฮเดรต $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ จาก Aldrich และน้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

การเตรียม Ni/Avicel PH-101 โดยวิธีการเคลือบฝังแบบเปียก (Incipient wetness impregnation) โดยใช้ นิกเกิล (II) ไนเตรต เฮกซะ ไฮเดรต $[\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ ที่อัตราส่วนนิกเกิลต่อ Avicel PH-101 เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ตามด้วยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเผา (Calcine) ในก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 200 °C นาน 4 ชั่วโมง

3.3 การตรวจสอบสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

N_2 Physisorption (BET surface area) เป็นการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของของแข็งโดยวัดปริมาณก๊าซผสมระหว่างก๊าซฮีเลียมและก๊าซไนโตรเจนที่พื้นที่ผิวดูดซับเอาไว้ ในการวิจัยนี้ใช้เครื่อง Micrometric chemisorb ASAP2620 ในการปฏิบัติงานโดยใช้ปริมาณสารตัวอย่างในการวิเคราะห์ครั้งละ 0.1 กรัม

SEM (Scanning electron microscope) เป็นเทคนิคที่ใช้การถ่ายภาพเพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างรูปร่างลักษณะผิว และความเป็นผลึกของอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับการสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจในงานวิจัยฉบับนี้ใช้เครื่องรุ่น JSM-5800VL จากบริษัท JEOL ในการปฏิบัติงาน

FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันอย่างคร่าวๆ แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารชนิดใดแต่ถ้าต้องการจะระบุว่าเป็นสารชนิดใด สามารถทำได้โดยนำผลสเปกตรัมของสารนั้นไปเทียบกับสเปกตรัมของสารที่ทราบอยู่แล้ว โดยสารที่มีสเปกตรัมเหมือนกันจะเป็นสารชนิดเดียวกัน หลักการของเทคนิคนี้คือ การวัดการดูดซับพลังงานแสงช่วงอินฟราเรดที่

ความยาวคลื่นต่างๆ ในการวิจัยนี้ใช้เครื่อง NICOLET 6700 ในการปฏิบัติงาน

XRD (Phase analysis by X-ray diffraction) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาหาสารประกอบหรือธาตุที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง อย่างละเอียด โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสี X เนื่องจากสารประกอบหรือธาตุที่มีโครงสร้างต่างกันจะทำให้มุมที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสี X แตกต่างกัน ในการวิจัยนี้ใช้เครื่องมือรุ่น D-500 ของบริษัท SIEMENS ต่อกับ Diffract ZT เวอร์ชัน 3.3 ควบคุมเครื่อง XRD แหล่งกำเนิดเป็น $\text{Cu K}\alpha$ ในช่วงมุม 20 มีค่า 20-80 องศา

TGA (Thermal gravimetric analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารตัวอย่างโดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่าง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การทดลองจะทำในระบบปิด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักโดยใช้ความร้อน (Thermogravimetric analyzer) วิธีนี้สามารถนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารที่นำมาทดสอบได้หลากหลายเช่น การสูญเสียองค์ประกอบ (Decomposition) และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นสารใหม่ (Formation) ในการทดสอบนี้ได้ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25-200 °C ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อน 10 °C ต่อ นาที ภายใต้อากาศไนโตรเจน

CO Chemisorptions เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์หาจำนวนพื้นที่ผิวของอะตอมของโลหะที่กระจายตัวในสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการดูดซับทางเคมี (Chemisorption) และการคาย (Desorption) ระหว่างโมเลกุลของคาร์บอนมอนอกไซด์ และพื้นที่ผิวของบริเวณเร่ง (Active site) หรือในรูปพูนของสารตัวอย่างที่อุณหภูมิหนึ่งๆ ซึ่งปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ถูกดูดซับจะแสดงปริมาณอะตอมโลหะที่มีในสารตัวอย่างในการวิจัยฉบับนี้ใช้เครื่อง Micromeritics Pulsh

Chemisorb 2750 ในการศึกษาโดยใช้ปริมาณสารตัวอย่างในการวิเคราะห์ครั้งละ 0.1 กรัม

3.4 การทดสอบปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ทำการชั่งตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 กรัมแล้วนำไปใส่ในเครื่องปฏิกรณ์สแตนเลสสตีลรูปทรงกระบอก ซึ่งอยู่ภายในเตาเผา จากนั้นฉีดก๊าซไฮโดรเจนเพื่อรีดตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 220 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงหลังจากรีดตัวเร่งเสร็จจึงทำการฉีดสารตั้งต้นที่มีอัตราส่วนของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 ต่อ 1 ด้วยอัตราการไหล 21.2 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นจึงฉีดก๊าซอาร์กอนที่ใช้เป็นก๊าซพาหะ (Carrier gas) ที่อัตราการไหล 8.84 มิลลิลิตรต่อนาทีเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา คือ 220 °C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจนถึงสภาวะคงตัว 5 ชั่วโมง ซึ่งจะมีการเก็บตัวอย่างทุก 1 ชั่วโมงเพื่อนำมาวิเคราะห์โดยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี โดยตัวอย่างที่ได้จากสายสารตั้งต้นและสายผลิตภัณฑ์จะถูกฉีดเข้าเครื่อง GC-TCD เพื่อวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลืออยู่และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะถูกฉีดเข้าเครื่อง GC-FID เพื่อวัดปริมาณก๊าซมีเทนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

4. ผลการวิจัยและข้อวิจารณ์

4.1 N₂ Physisorption (BET surface area)

พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงดังตารางที่ 1

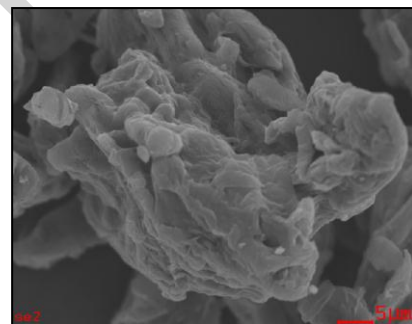
ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยา

สารตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ	
	Adsorption(m ² /g)	Desorption(m ² /g)
Avicel	7.6	8.1
Ni/Avicel PH-101	48.9	48.7
SiO ₂	927	2.04
Ni/SiO ₂ ^a	620	2.20

^a(จักรพันธ์จันละมูล, 2552)

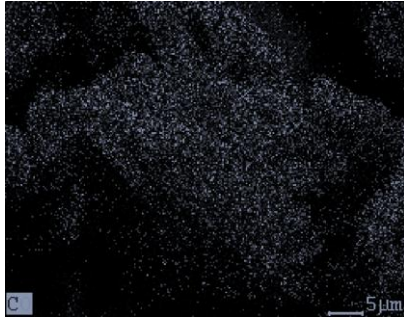
4.2 SEM (Scanning electron microscope)

รูปร่างของตัวรองรับ Avicel PH-101 สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่อง SEM ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 1 พบว่า ตัวอย่างที่นำมาทดสอบ มีลักษณะคล้ายผลึกซ้อนทับกัน มีรูปร่างหลากหลาย และมีพื้นผิวขรุขระเหมาะแก่การให้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นเกาะ



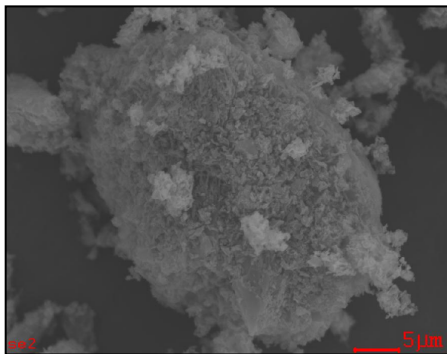
รูปที่ 1 ตัวอย่าง Avicel PH-101 ที่ได้จากเครื่อง SEM

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX พบว่า Avicel PH-101 มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 56.25 และ ออกซิเจนร้อยละ 43.75 โดยแสดงผลได้ดังรูปที่ 2



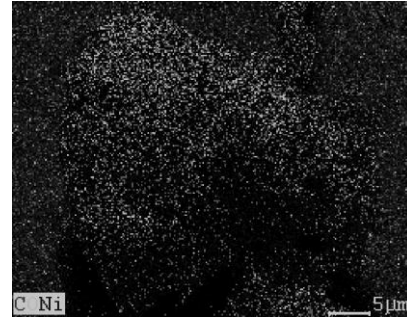
รูปที่ 2 EDX mapping ของ Avicel PH-101

รูปร่างของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลที่เกาะบนตัวรองรับ Avicel PH-101 สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่อง SEM ซึ่งได้ผลตามรูปที่ 3 พบว่า ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนทับกันที่มีผลึกมาเกาะบริเวณรอบๆ โดยกระจายตัวอย่างหนาแน่นและมากกว่า 1 ชั้น



รูปที่ 3 ตัวอย่าง Ni/Avicel PH-101 ที่ได้จากเครื่อง SEM

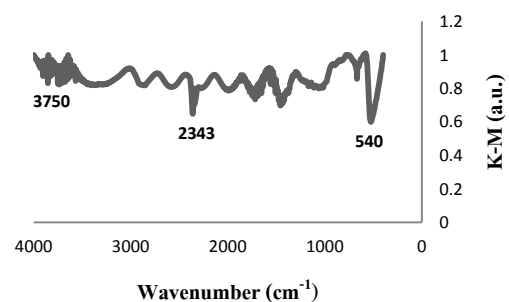
ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX พบว่า Ni/Avicel PH-101 มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 53.46 ออกซิเจนร้อยละ 14.33 และนิกเกิลร้อยละ 32.21 โดยแสดงผลได้ดังรูปที่ 4



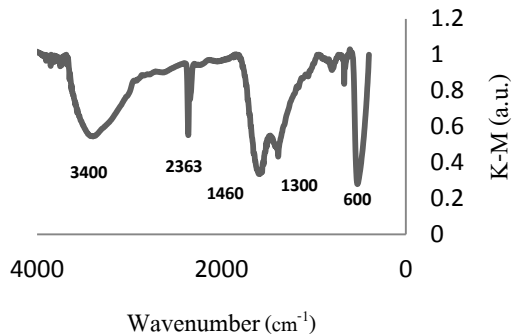
รูปที่ 4 EDX mapping ของ Ni/Avicel PH-101

4.3 FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)

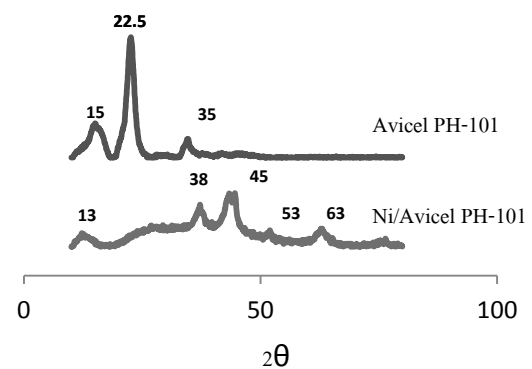
ปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดของตัวรองรับและตัวเร่งปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 5-6 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยามีแนวโน้มที่คล้ายกัน โดยจุดยอดของกราฟที่ประมาณ 540, 2343 และ 3750 cm^{-1} แสดงถึงตัวรองรับ Avicel PH-101 ซึ่งสามารถพบได้ตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนจุดยอดของกราฟที่ 600, 1300, 1460 และ 3400 แสดงถึงสารประกอบ NiO ที่ได้จากการขั้นตอนการแคลซิเนชันโลหะ Ni ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel PH-101



รูปที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ FTIR ของตัวเร่งตัวรองรับ Avicel PH-101



รูปที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ FTIR ของตัวเร่งปฏิกิริยา
Ni/Avicel PH-101



รูปที่ 7 ผลการทดสอบสมบัติตัวรองรับ Avicel PH-101 และ
ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธี XRD

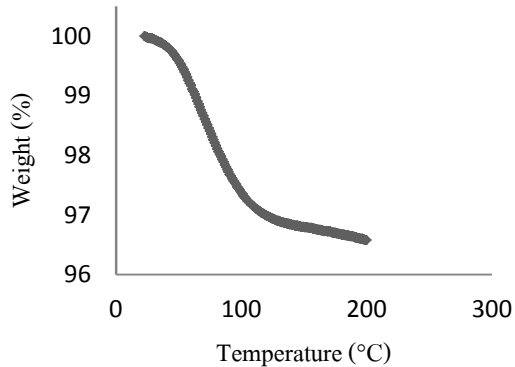
4.4 XRD (Phase analysis by X-ray diffraction)

ผลจากการวิเคราะห์สารตัวอย่างด้วยวิธี XRD แสดงดังรูปที่ 7 ได้แก่ ตัวรองรับ Avicel PH-101 และ Ni/Avicel PH-101 จะสังเกตได้ว่าตัวรองรับ Avicel จะมีจุดยอดของกราฟอยู่ที่ค่า 2θ เท่ากับ 15, 22.5 และ 35 ตามลำดับ และพบว่า จุดยอดของ Avicel จะปรากฏที่ค่า 2θ เท่ากับ 13 ในกราฟของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยจุดยอดอื่นๆ ของ Avicel จะถูกบดบังด้วยจุดยอดของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ไม่สามารถเห็นจุดยอดของ Avicel ที่เหลือได้ ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel จุดยอดของกราฟที่ค่า 2θ = 38 และ 63 ซึ่งแสดงถึงสารประกอบ NiO และจุดยอดของกราฟที่ค่า 2θ = 45 และ 53 แสดงถึง Ni

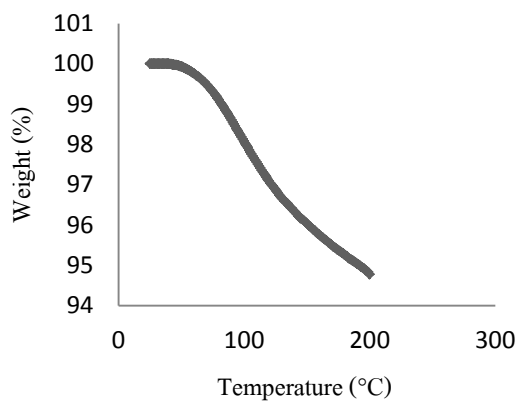
4.5 TGA (Thermal gravimetric analysis)

วิธี Thermogravimetric analysis (TGA) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวอย่าง โดยการวัดน้ำหนักของสารตัวอย่างในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง ๆ สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ตัวรองรับ Avicel PH-101 ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel PH-101 ทั้งนี้ เนื่องจากตัวรองรับมีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 260-270 °C ดังนั้น การวิเคราะห์ด้วยวิธี TGA นั้นจึงต้องทดสอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 200 °C เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวรองรับหลอมเหลวและส่งผลต่อสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี TGA แสดงได้ดังรูปที่ 8-9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณากราฟของน้ำหนักพบว่า สารตัวอย่างจะมีน้ำหนักลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ลดลงในปริมาณที่น้อยมาก (ไม่ถึง 8% ของน้ำหนักทั้งหมด) เช่นเดียวกับกราฟอัตราของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิ พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่ออุณหภูมิมิค่าไม่ถึง 0.1%/°C ดังนั้น จึงไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของสารตัวอย่างด้วยวิธี TGA ในช่วงอุณหภูมิ 0-200 °C ได้ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอย่างชัดเจน



รูปที่ 8 ผลการทดสอบสมบัติของตัวรองรับ Avicel ด้วยวิธี Thermogravimetric analysis



รูปที่ 9 ผลการทดสอบสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel ด้วยวิธี Thermogravimetric analysis

4.6 CO Chemisorptions

การวิเคราะห์โดยใช้วิธีนี้จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาหลัก $2\text{CO} \rightarrow \text{C}_{\text{surface}} + \text{CO}_2$ ซึ่งใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่ง โดยจากตารางที่ 2 พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel PH-101 มีความสามารถในการดูดซับ CO ได้มากกว่าตัวรองรับซิลิกา เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมาก

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธี CO Chemisorption

Catalyst	CO Chemisorp ($\mu\text{molCO/g. cat}$)	Active site (molecules/mol CO/m^2)	Dispersion (%)
Ni/Avicel PH-101	39.96	4.94×10^{17}	0.172
Ni/SiO ₂ ^a	38.06	22.91×10^{18}	1.12

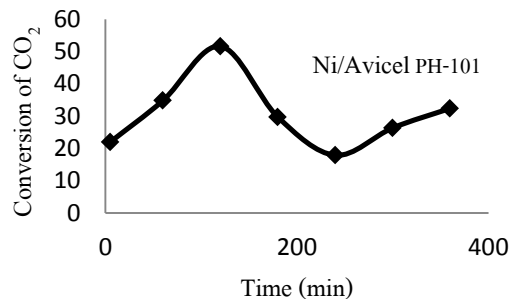
^a(จักรพันธ์จันละมูล, 2552)

จากการตรวจสอบสมบัติของ Ni/Avicel PH-101 พบว่า ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่นที่มีผลึกมาเกาะซ้อนทับกัน โดยกระจายตัวอย่างหนาแน่นและมากกว่า 1 ชั้นซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี เมื่อพิจารณาความสามารถในการดูดซับ CO พบว่า Ni/Avicel PH-101 มีความสามารถในการดูดซับ CO ได้มากกว่าตัวรองรับซิลิกา

4.7 ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน

4.7.1 ค่า Conversion ของคาร์บอนไดออกไซด์

เมื่อทำปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์ไฮโดรจิเนชันในสภาวะที่กำหนด และวิเคราะห์ผลโดยใช้ GC พบว่า เกิดคอนเวอร์ชันตามรูปที่ 10 โดยพบว่า ค่าคอนเวอร์ชันในช่วงแรกมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่เวลาประมาณ 100 นาที หลังจากนั้นค่าคอนเวอร์ชันมีค่าลดลงเนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการเสื่อมสภาพ หลังจากเวลาผ่านไป 200 นาทีปฏิกิริยาจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว

รูปที่ 10 แสดงค่า conversion ของ CO₂ เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา

4.7.2 ค่า Selectivity ของมีเทน

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณ C ในสายป้อนและสายผลิตภัณฑ์ที่สภาวะคงตัวในหน่วยไมโครโมล (ชั่วโมงที่ 6)

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณ C ในสายป้อนและสายผลิตภัณฑ์ที่สภาวะคงตัวในหน่วยไมโครโมล (ชั่วโมงที่ 6)

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ปริมาณ C ในสายป้อน	ปริมาณ C ในสายผลิตภัณฑ์		
		CO ₂	CH ₄	รวม
Ni/Avicel PH-101	1.43	0.97	0.0002	0.967

จากตารางที่ 3 พบว่า ผลการวิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโทกราฟีไม่พบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เลย จึงสามารถสรุปได้ว่า ไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงขึ้น ดังนั้นค่า Selectivity ของมีเทนในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้ตัวรองรับเป็น Avicel PH-101 มีค่าเท่ากับ 100% ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (catalyst activity)

ตัวเร่งปฏิกิริยา	conversion ของ CO ₂ (%)		อัตราการผลิตปฏิกิริยา (mol CO ₂ /g cat.h)	Selectivity ของ CH ₄ (%)
	ตอนเริ่มต้น	สภาวะคงตัว		
Ni/Avicel PH-101	22.00	32.40	0.241	100
Ni/SiO ₂ ^a	9.68	5.83	2.86 x 10 ⁻³	100

^a(จักรพันธ์จันละมูล, 2552)

5. การอภิปรายผล

การเร่งปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 220 °C ความดัน 1 บรรยากาศ พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ส่งผลให้ค่า Selectivity ของมีเทนเท่ากับ 100% โดยตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel PH-101 ทำให้เกิด Conversion ของ CO₂ ที่สภาวะคงตัว 32.40% และอัตราการเกิดปฏิกิริยา 0.241 mol CO₂/g cat.h จึงสรุปได้ว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel PH-101 เหมาะสมที่จะใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

6. บทสรุป

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับเซลลูโลสหรือ Avicel PH-101 สรุปได้ว่าตัวรองรับ Avicel PH-101 มีความสามารถในการดูดซับ CO มากกว่าการใช้ซิลิกาเป็นตัวรองรับ และเมื่อนำไปทดสอบในปฏิกิริยาการคาร์บอนไดออกไซด์ไฮโดรจิเนชันที่อุณหภูมิ 220 °C ความดัน 1 บรรยากาศ พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ส่งผลให้ค่า Selectivity ของมีเทนมีค่าเท่ากับ 100% และเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกา(จักรพันธ์จันละมูล, 2552) พบว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Avicel PH-101 ค่าคอนเวอร์ชันของ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาของมีเทน มีค่ามากกว่า จึงถือได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับเซลลูโลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหนึ่งที่น่าสนใจและศึกษาต่อไปในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) สำหรับทุนวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

จักรพันธ์ จันละมูล. (2552). ไฮโดรจิเนชันของคาร์บอนไดออกไซด์โดยตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์ และนิกเกิล บนวัสดุเชิงประกอบไทเทเนียมกับซิลิกา.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Di Li, N. (1998). Catalytic properties of sprayedRu/Al₂O₃ and promoter effects of alkali metals in CO₂ hydrogenation. Applied Catalysis A: General. 18(12): 351-358.

Podczek, P. (2008). The evaluation of modified microcrystalline cellulose for the preparation of pellets with high drug loading by extrusion/spheronization. Science Direct. 350(1-2): 145-154.

Feg-Wen Chang, M. (2003). Hydrogenation of CO₂ over nickel catalysts on rice husk ash alumina prepared by incipient wetness impregnation. Applied Catalysis A: General. 247: 309-320.