

## ผลกระทบของสารผสมขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล บนตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ

### Effects of Binders on Shaped Nickel Catalyst Supported on Zeolite 5a

สุวัฒน์ แพงไธสง<sup>1</sup>, สร้อยพัชรา สร้อยสุวรรณ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>วิศวกรรมเคมี/วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, 64910150@go.buu.ac.th

<sup>2</sup>วิศวกรรมเคมี/วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, soipatta@eng.buu.ac.th

#### บทคัดย่อ

สารผสม 2 แบบที่เลือกนำมาขึ้นรูปทรงของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ แบบที่ I เมทิลเซลลูโลส (MC) ร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) อัตราส่วน 7:3 โดยน้ำหนัก และแบบที่ II แป้งข้าวเหนียว (GF) โดยนำมาทดสอบการเปรียบเทียบผลการสลายตัวของสารผสมที่ส่งผลหรือเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนชัน (CO<sub>2</sub> Methanation) ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ

สำหรับการทดลองได้ขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นทรงกระบอก มีอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อสารผสมเท่ากับ 9:1 โดยน้ำหนัก ดำเนินการทดสอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug flow reactor: PFR) ในช่วงอุณหภูมิ 200 - 500 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปจำนวน 1 กรัม หรือสารผสมบริสุทธิ์จำนวน 0.1 กรัม ภายใต้สภาวะการป้อนแก๊สไนโตรเจนหรือไฮโดรเจนบริสุทธิ์ และคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไฮโดรเจนที่ 1:4 ที่อัตราการไหล 60 มิลลิลิตรต่อนาที

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis :TGA) พบว่าสารผสมทั้ง 2 แบบ สามารถสลายตัวเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) มีค่าอยู่ในช่วง 10<sup>-7</sup> - 10<sup>-6</sup> โมลต่อนาที, แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ช่วง 10<sup>-6</sup> - 10<sup>-5</sup> โมลต่อนาที และแก๊สมีเทน (CH<sub>4</sub>), อีเทน (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), โพรเพน (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) มีค่าอยู่ที่ 10<sup>-6</sup>, 10<sup>-7</sup> โมลต่อนาที และ 10<sup>-7</sup> โมลต่อนาที ตามลำดับ จากการเกิดปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจน และปฏิกิริยาไพโรไลซิส ซึ่งเกิดผลิตภัณฑ์รวมได้ดีที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมเทนชันของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิล สำหรับการทดสอบภายใต้สภาวะแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับไฮโดรเจน พบว่าสารผสมแบบ I ช่วยส่งเสริมการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่า 10<sup>-4</sup> โมลต่อนาที เมื่อเทียบแบบ II ที่ 10<sup>-5</sup> โมลต่อนาที ผ่านปฏิกิริยารีดิวซ์ออกไซด์แก๊สซิฟต์ในช่วงอุณหภูมิสูง ซึ่งเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลร่วมด้วย จะสามารถเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์เมเทนชัน (CO Methanation) ต่อเนื่องได้จนเกิดเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สมีเทนเพิ่มสูงขึ้นได้ ดังนั้นสารผสมขึ้นรูปแบบ I มีประสิทธิภาพมากกว่า แต่ในด้านของความแข็งแรงของการขึ้นรูปยังคงมีค่าต่ำกว่าสารผสมขึ้นรูปแบบ II

**คำหลัก:** ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิล, ซีโอไลต์ 5เอ, ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูป, สารผสมขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา

## Abstract

Two types of binders were selected for shaping the catalyst: Type I, consisting of methylcellulose (MC) and polyvinyl alcohol (PVA) at a 7:3 ratio by weight, and Type II, glutinous rice flour (GF). These were tested to compare the effects of binder decomposition on, or its benefits to, the carbon dioxide methanation (CO<sub>2</sub> Methanation) process, which utilized a nickel metal catalyst on a Zeolite 5A support.

In the experiment, the catalyst was shaped into cylinders with a catalyst-to-binder ratio of 9:1 by weight. The tests were conducted using a plug flow reactor (PFR) in the temperature range of 200 - 500 °C at atmospheric pressure. Either 1 gram of the shaped catalyst or 0.1 grams of the pure binder was used under the feed conditions of pure nitrogen or hydrogen, and a carbon dioxide to hydrogen ratio of 1:4 at a flow rate of 60 milliliters per minute.

From the Thermogravimetric Analysis (TGA), it was found that both types of binders could decompose into carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the range of 10<sup>-7</sup> – 10<sup>-6</sup> mol/min, carbon monoxide (CO) in the range of 10<sup>-6</sup> – 10<sup>-5</sup> mol/min, and methane (CH<sub>4</sub>), ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), and propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) at 10<sup>-6</sup> mol/min, 10<sup>-7</sup> mol/min and 10<sup>-7</sup> mol/min, respectively, through hydrogenolysis and pyrolysis reactions. However, the amount of gas produced was extremely small compared to the products generated from the methanation reaction of the nickel catalyst. For the tests conducted under a mixed gas of carbon dioxide and hydrogen, it was found that the Type I binder promoted carbon monoxide formation at a level of 10<sup>-4</sup> mol/min, compared to 10<sup>-5</sup> mol/min for Type II, via the reverse water-gas shift (RWGS) reaction at high temperatures. When combined with the nickel metal catalyst, it could continuously catalyze carbon monoxide methanation (CO Methanation), resulting in an increased methane yield. Therefore, the Type I shaping binder is more effective catalytically; however, in terms of mechanical shaping strength, it is not comparable to Type II.

**Keywords:** Nickel Catalyst, Zeolite 5a, Fabrication Catalyst, Binder

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการรณรงค์และความตระหนักในการแก้ปัญหาสภาวะโลกร้อนที่เป็นประเด็นไปทั่วโลก ในช่วงเวลานี้ การนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มาผ่านกระบวนการปรับเปลี่ยนเป็นแก๊สที่มีประโยชน์ และมูลค่า คือทางเลือกหนึ่งเพื่อลดการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงตามเป้าหมายสากลที่

ต้องการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นมีเทน (Asri Mohd. Esa & Sapawe, 2020) จัดว่าเป็นทางเลือกที่มีความนิยมสูงมาก เพราะเป็นแก๊สที่มีความสำคัญตัวหนึ่งในด้านพลังงาน การเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สมีเทนนั้นเกิดได้จากกระบวนการคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนชัน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำจากการจำลองทางอุณหพลศาสตร์ (Chalachew Mebrahtu, 2019)

อย่างไรก็ตามจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาต้องมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Younas et al., 2016) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะหลายแบบถูกนำมาศึกษา อย่างเช่น นิกเกิล, ทองแดง (Comas-Vives & Coperet, 2026; Le et al., 2017) ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาส่วนมากสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ในช่วงอุณหภูมิ 200 – 500 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยมมากที่สุดสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนชันนั้นคือ นิกเกิล ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีทั้งยังหาได้ง่ายและมีราคาถูก โดยจากงานวิจัยก่อนหน้าการทดสอบคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนชันด้วยตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ 4เอ และ 5เอ ให้ผลแก๊สมีเทนได้อย่างมีนัยสำคัญ (Upasen et al., 2022) ซึ่งเป็นการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ การนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้งานในระดับอุตสาหกรรม ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบผงมักทำให้เกิดปัญหาในการใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์ขนาดใหญ่ เนื่องจากการลดลงของความดันของสารตั้งต้น ทำให้เกิดการอุดตันในเครื่องปฏิกรณ์ อัตราการไหลของสารตั้งต้นผ่านเครื่องปฏิกรณ์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องทำให้การควบคุมการทำงานของกระบวนการเป็นไปได้ยาก และมีอันตรายจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นตัวเร่งปฏิกิริยา

การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาจึงเป็นทางเลือก ซึ่งมีกรรมวิธีการหลากหลาย เช่น การเคลือบบนวัสดุ, การบีบอัดก้อน, การใช้สารผสม เพื่อแก้ปัญหาและสะดวกในการใช้ในเชิงพาณิชย์ การขึ้นรูปด้วยสารผสมอย่างเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ สามารถใช้ปริมาณเพียงร้อยละ 10 ทำให้ซีโอไลต์ที่ขึ้นรูปยังคงประสิทธิภาพการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เดิมได้ (Thakkar et al., 2016) งานวิจัยนี้นำสารประกอบอินทรีย์ตามธรรมชาติ ได้แก่ แป้งข้าวเหนียว มาใช้เป็นสารผสมตัวเร่งปฏิกิริยาเปรียบเทียบกับสารผสมอย่างเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และตรวจสอบการสลายตัวของสารผสมภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สผสมระหว่างไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทำนายพฤติกรรมเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปต่อปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนชัน

## วัตถุประสงค์

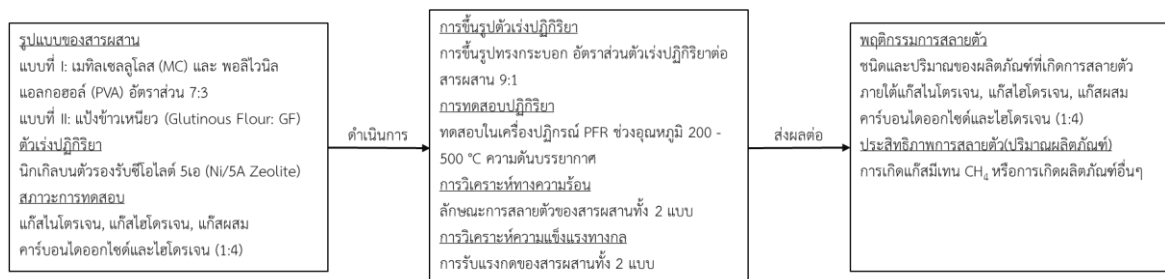
1. เพื่อศึกษาผลกระทบจากสารผสมขึ้นรูปของตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนชันของโลหะนิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ ภายใต้การป้อนสารตั้งต้นไฮโดรเจนหรือไนโตรเจน

2. เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสารผสมออร์แกนิกแบบผ่านกระบวนการสังเคราะห์และแบบธรรมชาติที่ภายใต้สภาวะการบ้อนสารตั้งต้นที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไฮโดรเจนที่ 1:4 รวมไปถึงการบ้อนสารตั้งต้นเพียงไนโตรเจน

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถเข้าใจผลของสารผสมทั้ง 2 แบบที่มีต่อตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลสำหรับการผลิตมีเทนและเลือกสภาวะของอุณหภูมิสำหรับการดำเนินการได้อย่างเหมาะสมสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีการขึ้นรูปด้วยสารผสมทั้ง 2 แบบ

### กรอบแนวคิด



ภาพ 1 แผนภาพกรอบแนวคิดการศึกษาวิจัย

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### สารเคมีสำหรับวิจัย

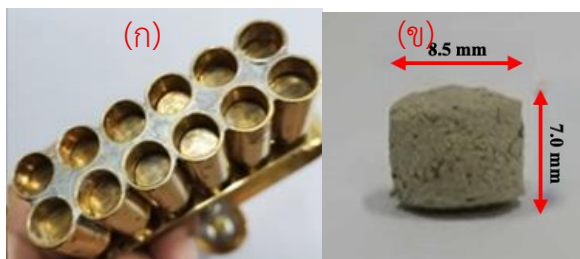
ตาราง 1 แสดงสารเคมีสำหรับแต่ละขั้นตอนของการเตรียมการและทดสอบ

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา	การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา	สารเคมีสำหรับการทดสอบ
นิกเกิลไนเตรตเฮกซาไฮเดรต /ซีโอไลต์ชนิด 5เอ/ น้ำกลั่น	โพลี ไวนิล แอลกอฮอล์ (PVA) / เมทิล เซลลูโลส (MC) / ผงแป้งข้าวเหนียว (GF) / น้ำกลั่น	แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์/แก๊สไนโตรเจน /แก๊สไฮโดรเจน/ตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล ร้อยละ 20 บนตัวรองรับซีโอไลต์ชนิด 5เอ

#### การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลร้อยละ 20 บนตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ ด้วยวิธีการเคลือบฝังแบบเปียก (Wet impregnation) เตรียมสารนิกเกิลไนเตรตเฮกซาไฮเดรตตามสัดส่วนน้ำหนักที่อัตราส่วน 1.239 กรัม ต่อตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ 1 กรัม เติมน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตรและกวนผสมจนกว่านิกเกิลไนเตรตเฮกซาไฮเดรตจะละลายน้ำ สังเกตได้จากสารละลายสีเขียว เติมน้ำซีโอไลต์ 5เอ และนำไปตั้งบนเครื่องให้ความร้อนแบบแม่เหล็กกวน (Hot plate magnetic stirrer) ปรับอุณหภูมิ 90

องศาเซลเซียส รอบการกวนผสม 250 รอบต่อนาทีใช้เวลาประมาณ 15 นาที หรือจนกว่าจะเกิดตะกอน  
แห้งหรือความหนืดสูง อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ  
650 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง



ภาพ 2 เครื่องมือขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาแบบทรงกระบอก(ก) ลักษณะตัวเร่งปฏิกิริยาที่ถูกขึ้นรูป(ข)

### การเตรียมขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยา

การขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ จะใช้สารผสม (Binder) 2 แบบ ได้แก่  
แบบ I เมทิลเซลลูโลสร่วมกับโพลีไวนิล แอลกอฮอล์และแบบ II แป้งข้าวเหนียวโดยจะมีวิธีการเตรียมที่  
แตกต่างกัน ซึ่งแบบ II จะมีการให้ความร้อน แต่ในขณะที่แบบ I เตรียมที่อุณหภูมิห้อง

#### **การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยสารผสม เมทิลเซลลูโลสผสมร่วมกับโพลีไวนิล แอลกอฮอล์**

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาร้อยละ 20% นิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ 0.9 กรัม และสารผสม  
เมทิลเซลลูโลส 0.07 กรัม ร่วมกับสารผสมโพลีไวนิล แอลกอฮอล์ 0.03 กรัม (อัตราส่วนเท่ากับ 7:3) ทำ  
การคลุกผสมแบบแห้งให้รวมเข้ากันดี เติมน้ำปราศจากไอออนประมาณ 2 มิลลิลิตรหรือจนกว่าสารจะมี  
ความหนืด โดยเติมทีละน้อยจนมีลักษณะความหนืดเหมือนดินเหนียว ทำการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผสม  
แล้วใส่แม่พิมพ์รูปร่างทรงกระบอกจากนั้นกดอันแท่งใส่ถาด และอบแห้งตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ  
105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

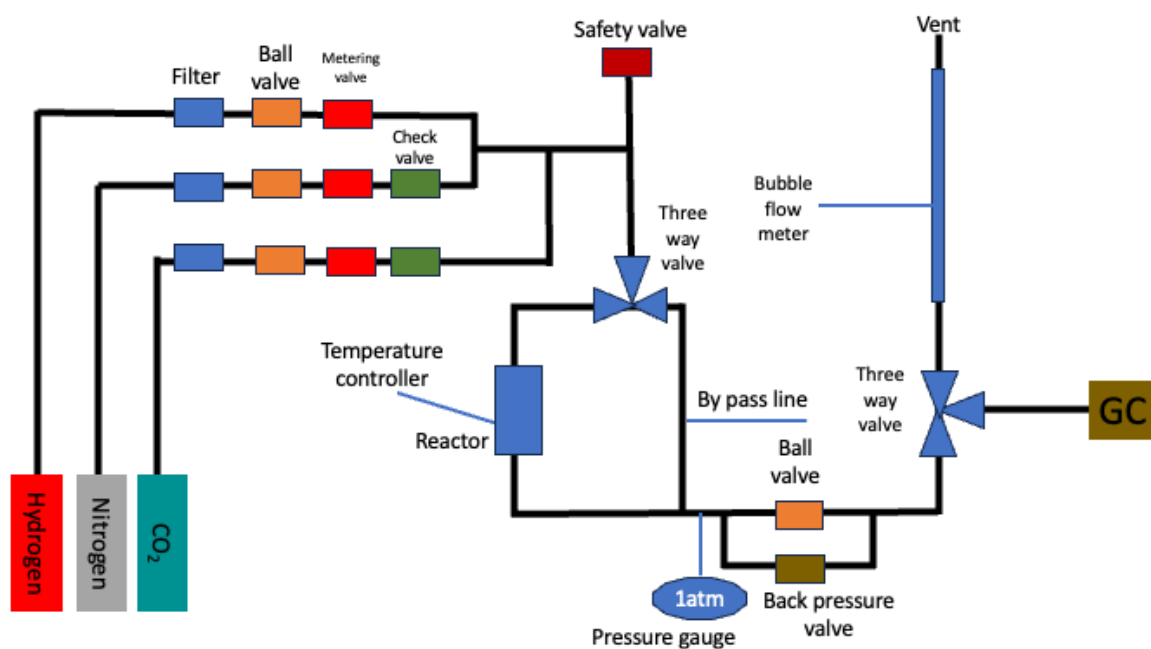
#### **การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยสารผสมแป้งข้าวเหนียว**

เตรียมสารผสมแป้งข้าวเหนียว 0.1 กรัมละลายในน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตรจากนั้นนำไป  
ให้ความร้อนพร้อมกวนผสมบน Hotplate Stirrers ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 200 รอบต่อนาที จนมี  
ลักษณะใส เติมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ 0.9 กรัม ลงไปผสมและให้ความร้อนต่อ  
จนกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีความเข้ากันดี มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวมีความหนืด นำออกจาก Hotplate ตั้ง  
ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องให้เย็นตัวลงประมาณ 10 นาที หรือจนกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะเริ่มมีความหนืดมากขึ้น  
จนมีลักษณะความหนืดคล้ายดินเหนียว ทำการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผสมแล้วใส่แม่พิมพ์รูปร่าง

ทรงกระบอกจากนั้นกดอันแท่งใส่ถาดและอบแห้งตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ตาราง 2 แสดงปริมาณสารผสมและตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการขึ้นรูปทั้ง 2 แบบที่น้ำหนักรวม 1 กรัม

การขึ้นรูปทรง	ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ (กรัม)	เมทิลเซลลูโลส (กรัม)	โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม)	แป้งข้าวเหนียว (กรัม)
แบบ I	0.9	0.07	0.03	-
แบบ II	0.9	-	-	0.1



ภาพ 3 แผนภาพทางวิศวกรรมจำลองระบบการทดสอบโดยเครื่องปฏิกรณ์แบบ Plug flow reactor

### การทดสอบ

ทดสอบสารผสม 2 แบบ ได้แก่ แบบเมทิลเซลลูโลสร่วมกับโพลีไวนิล แอลกอฮอล์ และแบบแป้งข้าวเหนียว โดยทั้งมีตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์และปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา ดำเนินการกับเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหล PFR โดยมีขั้นตอน เตรียมสารตัวอย่างที่ต้องการ ทดสอบนำไปชั่งน้ำหนัก โดยหากมีตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ 5เอ ให้มีน้ำหนัก 1 กรัมหรือใกล้เคียง (ต้องบรรจุแบบเต็มเม็ด) ส่วนสำหรับปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยามีเพียงสารผสมให้มี น้ำหนัก 0.1 กรัม ทำการบรรจุตัวอย่างลงไปเครื่องปฏิกรณ์แบบท่อไหลโดยใส่กลาสวูดเป็นตัวป้องกันการเคลื่อนหลุดหายที่ด้านบนและล่างของตัวอย่าง ทำการรีตักชั้นตัวอย่างถึงแม้จะมีเพียงสารผสม โดยใช้ แก๊สไนโตรเจนและแก๊สไฮโดรเจน ที่อัตราส่วน 1 : 1 และอัตราการไหลทั้งหมด 48 มิลลิตรต่อนาที

อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความดัน 1 ATM หรือ 1.01 bar เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และปล่อยให้กลับสู่อุณหภูมิห้อง ทดสอบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 200, 300, 400, 500 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันบรรยากาศ โดยให้อัตราการไหลของแก๊สเป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละเงื่อนไขทดสอบ โดยอัตราการไหลรวมที่ 60 มิลลิลิตรต่อนาที ทำการตรวจวัดค่าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟทำซ้ำเป็นจำนวน 6 ครั้งต่อสภาวะและรวมไปถึงทดสอบที่สภาวะเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง

การทดสอบคุณสมบัติ

วิเคราะห์กระบวนการสลายตัวต่อมวลที่สูญเสียของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis: TGA) โดยทำการชั่งตัวเร่งปฏิกิริยาบนเครื่องชั่งความไวสูงและให้ความร้อนกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 30 - 1000 องศาเซลเซียส อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 องศาเซลเซียส ต่อนาที ด้วยแก๊สไนโตรเจน วิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปแบบอัด (Compressive Strength) โดยทำการใช้แรงกดลงบนตัวเร่งปฏิกิริยาในแนวตั้งด้วยความเร็วการกด 12 มิลลิเมตรต่อนาที

การคำนวณผลการทดลอง

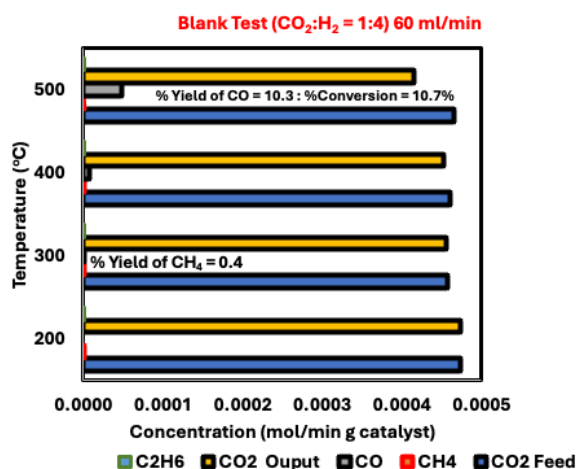
$$\%CO_2 \text{ Conversion} = (\text{Mole of } CO_2 \text{ input} - \text{Mole of } CO_2 \text{ output} / \text{Mole of } CO_2 \text{ input}) \times 100$$

$$\%Yield = (\text{Mole of } CO_2 \text{ Convert to produced } (CH_4, CO) / \text{Total mole of } CO_2 \text{ input}) \times 100$$

**ผลการวิจัย**

การทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนสชันที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา และตรวจสอบการสลายตัวของสารผสมในตัวเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะแตกต่างกัน

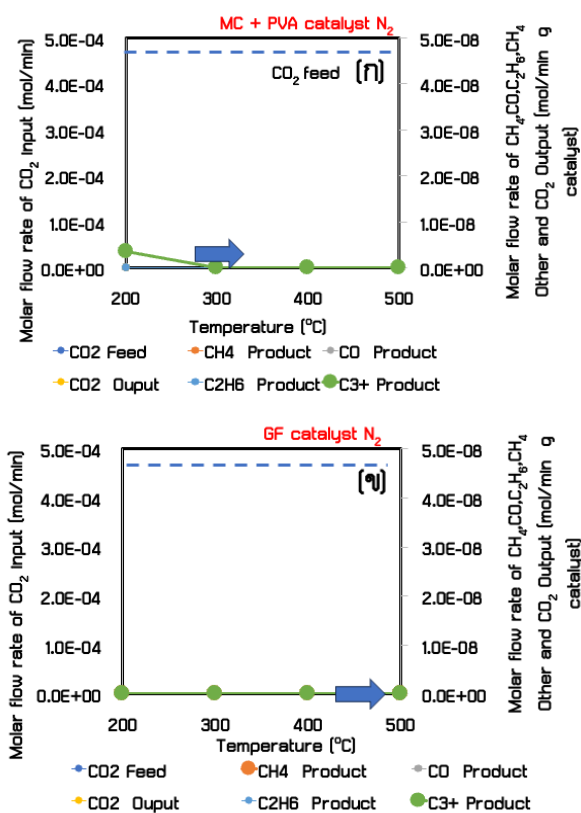
ก.) การทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนสชันโดยใช้ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยาหรือสารผสมตัวเร่งปฏิกิริยา



ภาพ 4 ผลการทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเนสชันที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเซนที่อุณหภูมิ 200 - 500 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ โดยปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา พบการเกิดแก๊สมีเทนที่อุณหภูมิ 400, 500 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นของแก๊สมีเทนต่ำกว่า  $10^{-5}$  mol/(min. g catalyst) แต่กลับเกิดปฏิกิริยารีเวิร์สวอเตอร์แก๊สชิฟต์ได้ดี ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่  $5 \times 10^{-5}$  mol/(min g catalyst)

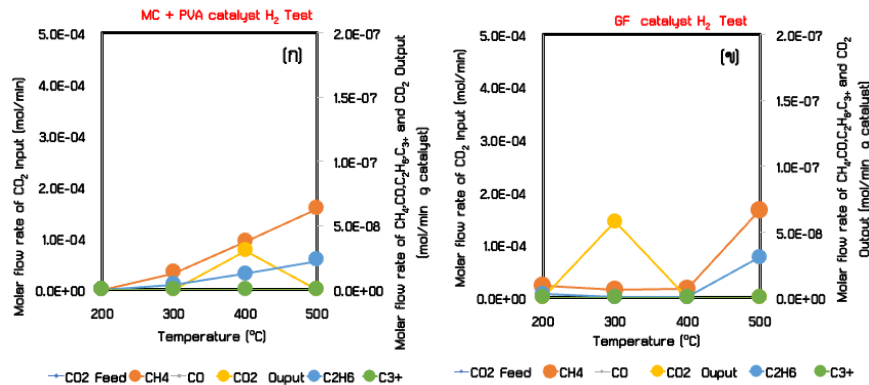
ข.) การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปแบบ I และแบบ II ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ หรือ แก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์



ภาพ 5 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ I(ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ II(ข) ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์

เมื่อทดสอบการเกิดผลิตภัณฑ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ I เกิดการสลายตัวของสารผสม MC ร่วมกับ PVA เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> (Pentane) อัตราการสลายตัวเท่ากับ  $3.67 \times 10^{-9}$  mol/(min.g catalyst) พบ ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เท่านั้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิไม่พบการสลายตัวให้สารประกอบเพนเทน เมื่ออุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 300 องศาเซลเซียส เมื่อทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ II (GF) อะมิโลสและอะมิโลเพคตินในแป้งข้าวเหนียวสามารถสลายตัวให้ผลิตภัณฑ์แก๊สมีเทน CH<sub>4</sub> (Methane) อัตราการสลายตัวเป็นแก๊สมีเทนมีค่าต่ำ  $1.05 \times 10^{-10}$  และ  $1.04 \times 10^{-10}$  mol/(min.g catalyst) ณ อุณหภูมิ 200 และ 300 องศาเซลเซียส สารผสมจากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 แบบ ไม่ให้

ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ สันนิษฐานว่า ผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของสารผสมภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไพโรไลซิส ดังภาพที่ 5



ภาพ 6 ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ I (MC ร่วมกับ PVA)

(ก) ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ II (GF) (ข) การทดสอบภายใต้สภาวะแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์

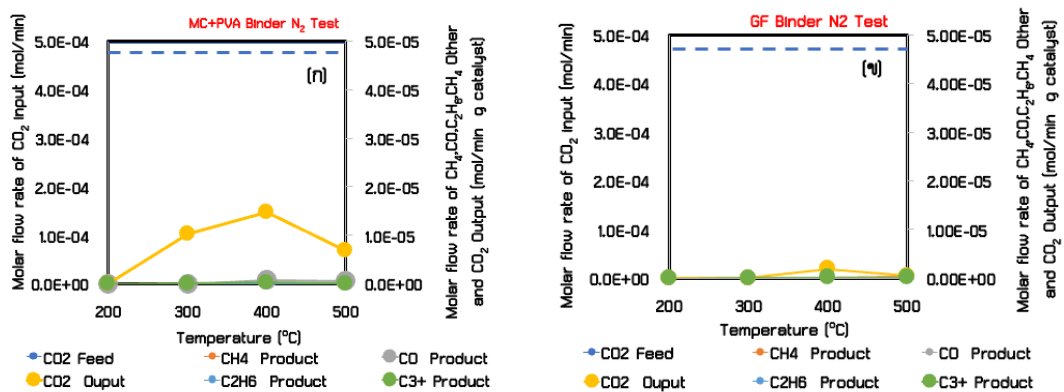
การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปภายใต้สภาวะแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสารผสม MC และ PVA หรือ GF พบว่าผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นในช่วง  $10^{-8} - 10^{-7}$  mol/(min g catalyst) ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สอีเทน โดยผลิตภัณฑ์แก๊สมีเทนและแก๊สอีเทน มีความเข้มข้นสูงสุด ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เท่ากับ  $6.28 \times 10^{-8}$  mol/(min. g catalyst) และ  $2.21 \times 10^{-8}$  mol/(min.g catalyst) ตามลำดับ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีความเข้มข้นสูงสุด ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เท่ากับ  $2.99 \times 10^{-8}$  mol/(min. g catalyst) สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ I ซึ่งสังเกตว่าผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวหรืออาจเกิดจากปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจน มีค่าสูงกว่า ผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน ซึ่งอยู่ในช่วง  $10^{-10} - 10^{-9}$  mol/(min.g catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ II ผลการทดสอบมีความคล้ายคลึงกับตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ I พบผลิตภัณฑ์แก๊สมีเทนและแก๊สอีเทน มีค่าสูงสุด ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เท่ากับ  $6.68 \times 10^{-8}$  และ  $3.07 \times 10^{-8}$  mol/(min.g catalyst) ตามลำดับ การทดสอบตรวจพบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์  $5.78 \times 10^{-8}$  mol/(min. g catalyst) ณ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส สันนิษฐานว่าแก๊สไฮโดรเจนสามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในสารผสมเกิดผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สอีเทน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สอีเทน มีค่าในช่วง  $10^{-8}$  mol/(min g catalyst) มีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์  $4.83 \times 10^{-4}$  mol/(min g catalyst) (หากเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ป้อนเข้าสำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนชันและนำข้อมูลไปคำนวณหา %

การเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์  $(6.68 \times 10^{-8}) / (4.83 \times 10^{-4}) \times 100 = 0.013\%$  (มีค่าต่ำกว่า 1%) ตามภาพที่ 6

ค.) การทดสอบจำเพาะสารผสม MC ร่วมกับ PVA และ GF ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะแก๊สผสม 3 ชนิด ได้แก่ 1) แก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์ แก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมแก๊สไฮโดรเจน

ค.1) ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์เพื่อทดสอบการสลายตัวของสารผสม MC ร่วมกับ PVA หรือ GF



ภาพ 7 ผลการทดสอบ สารผสม MC ร่วมกับ PVA(ก) สารผสม GF(ข) ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์

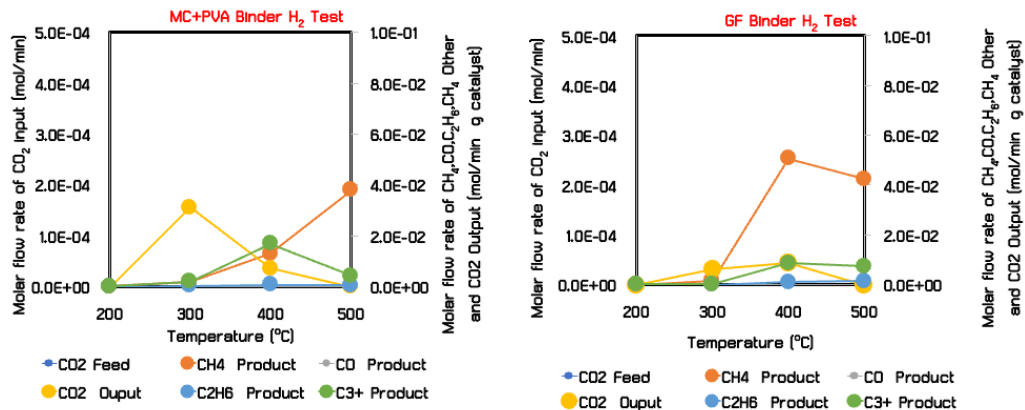
ผลทดสอบภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนบริสุทธิ์พบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการสลายตัวของสารผสม MC ร่วมกับ PVA ณ อุณหภูมิ 300, 400, 500 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ  $1.48 \times 10^{-5}$  mol/min เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์มีปริมาณต่ำ  $8.79 \times 10^{-7}$  mol/min และ  $6.63 \times 10^{-7}$  mol/min ตามลำดับ และพบแก๊สมีเทน ตั้งแต่อุณหภูมิ 200 - 500 องศาเซลเซียส ปริมาณต่ำ อยู่ในช่วง  $4.87 \times 10^{-8} - 1.35 \times 10^{-7}$  mol/min ดังภาพที่ 7

การทดสอบสารผสมแบบ II (GF) พบว่าสามารถสลายตัวผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนมีปริมาณต่ำกว่าสารผสม MC ร่วมกับ PVA และพบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ณ อุณหภูมิ 400 - 500 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ  $1.92 \times 10^{-6}$  และ  $4.99 \times 10^{-7}$  mol/min นอกจากนี้ยังตรวจพบแก๊สมีเทนปริมาณต่ำ อยู่ในช่วง  $10^{-8} - 10^{-7}$  mol/min

ผลการทดลองข้างต้น แสดงการสลายตัวของสารผสม MC ร่วมกับ PVA ให้ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุด ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ปริมาณ  $1.48 \times 10^{-5}$  mol/min เมื่อนำข้อมูลไปคำนวณหา%การเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เทียบการป้อนเข้าตามอัตราส่วนการทดสอบคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนเช่น  $(1.48 \times 10^{-5}) / (4.83 \times 10^{-4}) \times 100 = 3.0\%$  จากข้อมูลดังกล่าว สามารถยืนยันความเป็นไปได้ที่ว่าหากนำตัวเร่งปฏิกิริยาขั้นรูปไปใช้ในการทำปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เทเน

ชั้นแล้วจะทำให้ %การเปลี่ยนแปลงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าการคำนวณความเป็นไปได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์

ค.2) ภายใต้สภาวะแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์เพื่อทดสอบการสลายตัวหรือการเกิดปฏิกิริยาของสารผสม MC ร่วมกับ PVA หรือ GF



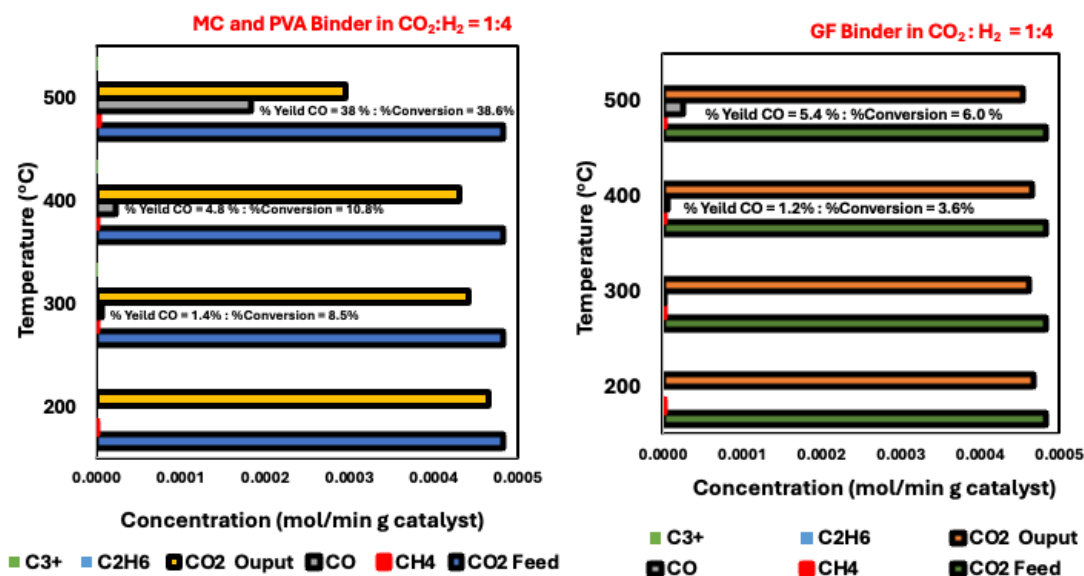
ภาพ 8 ผลการทดสอบสารผสม MC ร่วมกับ PVA (ก) สารผสม GF (ข) ภายใต้สภาวะแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์

สำหรับการทดสอบสารผสมภายใต้บรรยากาศแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ สารผสมทั้ง 2 แบบ ให้ผลิตภัณฑ์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรคาร์บอน รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> เป็นต้นไป ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 200 - 500 องศาเซลเซียส และปริมาณของผลิตภัณฑ์รวมมีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์จากการสลายตัวของสารผสมภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน แต่กลับให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ อย่างแก๊สมีเทนและไฮโดรคาร์บอนที่มากกว่า มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 10<sup>-6</sup> ในขณะที่การสลายตัวภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนมีค่าสูงสุดเพียง 10<sup>-7</sup> เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยาร่วมกับแก๊สไฮโดรเจนเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนชันให้ผลิตภัณฑ์ แก๊สมีเทน และไฮโดรคาร์บอนปริมาณของผลิตภัณฑ์ อยู่ในช่วง 10<sup>-6</sup> - 10<sup>-8</sup> mol/min ดังภาพที่ 7 ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีปริมาณสูงสุด 1.25x10<sup>-6</sup> mol/min จากสารผสม MC ร่วมกับ PVA ณ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส (มีค่าเทียบกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ป้อนเข้า เท่ากับ 1.25 x 10<sup>-6</sup> (mol/min)/4.83 x 10<sup>-4</sup> (mol/min) = 0.26%) และ มีปริมาณสูงสุด 3.46 x 10<sup>-7</sup> mol/min จากสารผสม GF ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส (มีค่าเทียบกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ป้อนเข้า เท่ากับ 3.46 x 10<sup>-7</sup> (mol/min)/4.83 x 10<sup>-4</sup> (mol/min) = 0.07%)

เมื่อพิจารณาปริมาณแก๊สมีเทน และ แก๊สไฮโดรคาร์บอนจากการสลายตัวของสารผสมทั้งสองแบบ มีการเกิดอย่างชัดเจน ณ อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส การสลายตัวของสารผสมทั้ง 2 แบบ ภายใต้บรรยากาศแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์ ไม่พบผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ สันนิษฐานว่าการสัมผัสโดยตรงระหว่างแก๊สไฮโดรเจนและสารผสม สามารถเกิดปฏิกิริยาการตัดโครงสร้างโมเลกุล

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ณ อุณหภูมิ 400 - 500 องศาเซลเซียส (Hydrocracking) ได้ผลิตภัณฑ์สารประกอบไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็ก ได้แก่ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนมากกว่า 3 อะตอม

ค.3) ภายใต้สภาวะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ผสมแก๊สไฮโดรเจนเพื่อทดสอบการสลายตัวหรือการเกิดปฏิกิริยาของสารผสม MC ร่วมกับ PVA และ GF



ภาพ 9 ผลการเกิดปฏิกิริยาของสารผสม MC ร่วมกับ PVA (ก) และการเกิดปฏิกิริยาของสารผสม GF(ข) กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์/ แก๊สไฮโดรเจน

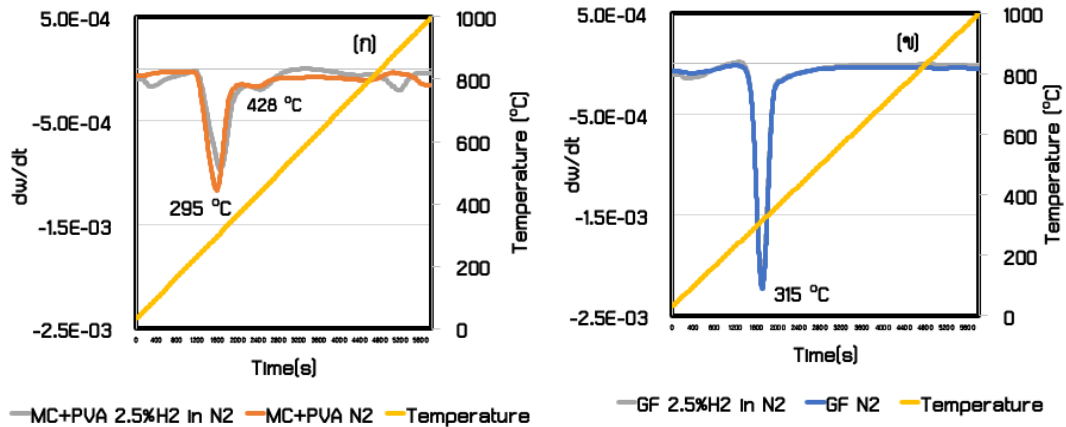
สำหรับการทดสอบสารผสม MC ร่วมกับ PVA พบว่ามีการลดลงของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ป้อนเข้าและเกิดเป็นผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ณ อุณหภูมิ 300 - 500 องศาเซลเซียส ตั้งแต่  $6.19 \times 10^6$  -  $1.83 \times 10^{-4}$  mol/min มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง คิดเป็น %การเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 8.5 - 36.8% และ%ผลได้ของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 1.4 - 38.0%

สำหรับการทดสอบสารผสม GF พบพฤติกรรมแบบเดียวกับสารผสม MC ร่วมกับ PVA พบการลดลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ป้อนเข้าแต่ปริมาณน้อยกว่า มีผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์อย่างเดียวกัน ณ อุณหภูมิ 300 - 500 องศาเซลเซียส ตั้งแต่  $1.78 \times 10^{-6}$  -  $2.61 \times 10^{-5}$  mol/min มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลง คิดเป็น % การเปลี่ยนแปลงของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 3.3 - 6.0% และ%ผลได้ของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 1.2 - 5.4%

การทดสอบสารผสมทั้ง 2 แบบภายใต้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน มีพฤติกรรม การเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกัน คือ เกิดปฏิกิริยารีดิวซ์ออกไซด์แก๊สซีพีทีเท่านั้น ดังภาพที่ 9 พบแก๊สมีเทน มี ปริมาณต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (มีค่า  $10^{-8}$  -  $10^{-7}$  mol/min)

### การศึกษาคุณลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทางความร้อนของตัวเร่งปฏิกิริยา (Thermogravimetric Analysis)



ภาพที่ 10 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักทางความร้อนของสารผสมที่ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสารผสมแบบที่ I (ก) และ II (ข)

จากภาพที่ 10 แสดงพฤติกรรมการสลายตัวของสารผสมภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน และสภาวะแก๊ส ไฮโดรเจนผสมกับแก๊สไนโตรเจน โดยการแสดงออกของสารผสมเมทิลเซลลูโลสผสมร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ก) เกิดการสลายตัวใน 2 ช่วงอุณหภูมิ มีการสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 295 องศาเซลเซียส และการสลายตัวเพียงเล็กน้อย ที่อุณหภูมิ 428 องศาเซลเซียส ในขณะที่การสลายตัวของสารผสมแป้งข้าวเหนียวนั้นมีการสลายได้ดีมากเพียงช่วง เดียวที่อุณหภูมิ 315 องศาเซลเซียส (ข) สารผสมเมทิลเซลลูโลสผสมร่วมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เกิดการสลายตัว 50% ในขณะที่การสลายตัวของสารผสมสลายตัว 80% ภายใต้ทั้งสองสภาวะ อย่างไรก็ตามการสลายตัวในสภาวะที่ แตกต่างกันจะให้ผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน

การทดสอบความแข็งแรงแบบอัด (Compressive Strength) ของตัวเร่งปฏิกิริยา

ตาราง 3 แสดงผลการทดสอบความแข็งแรงของตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปทั้ง 2 แบบ

ตัวเร่งปฏิกิริยา	ความเค้น (MPa)	ความเครียด (mm/mm)	ความแข็งแรงของยัง (MPa)
ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปแบบ I	1.546	0.2	7.732
ตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปแบบ II	2.823	0.1	28.231

ผลการทดสอบแสดงถึงความแข็งแรงของตัวเร่งปฏิกิริยาดังตารางร่างที่ 3 โดยตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปแบบ II (GF) มีความแข็งแรงสูงและแตกหักได้ยากกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาขึ้นรูปแบบ I (MC ร่วมกับ PVA) เนื่องจากคุณลักษณะของ MC ร่วมกับ PVA ขณะขึ้นรูปมีลักษณะเป็นเจลเหลวไม่สามารถอัดตัวแน่นหนาจึงมีช่องว่างภายในและรูขนาดใหญ่มาก โครงสร้างภายในกลวง ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ II มีลักษณะเป็นเจลเหนียวคล้ายกับปูนจึงมีความแน่นในการอัดและเนื้อเนียนละเอียดหลังจากผ่านกระบวนการอบโครงสร้างภายในจึงมีรูขนาดเล็กไม่กลวง ส่งผลให้ทนต่อการเปลี่ยนรูปมากกว่าแบบที่ I

### สรุปผลการวิจัย

การทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาแบบ I และแบบ II ผ่านกระบวนการรีดักชัน ภายใต้บรรยากาศแก๊สไฮโดรเจน พบผลิตภัณฑ์แก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากการสลายตัวของสารผสมจากปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยแก๊สไฮโดรเจน (Hydrocracking) และปฏิกิริยาไพโรไลซิส ผลิตภัณฑ์มีค่า  $10^{-8}$  mg/s

การทดสอบสารผสม MC ร่วมกับ PVA และ GF ภายใต้บรรยากาศแก๊สไฮโดรเจน จะเกิดการสลายตัวให้ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นผลิตภัณฑ์หลัก จากปฏิกิริยาไพโรไลซิส ผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง  $10^{-5}$  mg/s คือคาร์บอนไดออกไซด์ การทดสอบสารผสม MC ร่วมกับ PVA และ GF ภายใต้บรรยากาศแก๊สไฮโดรเจน จะเกิดการสลายตัวให้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ แก๊สมีเทนและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จากปฏิกิริยาการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยแก๊สไฮโดรเจน (Hydrocracking) ผลิตภัณฑ์มีค่าอยู่ในช่วง  $10^{-6}$  mg/s

การทดสอบสารผสม MC ร่วมกับ PVA และ GF ภายใต้บรรยากาศแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน อัตราส่วนสารตั้งต้นที่ 1: 4 พบผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากปฏิกิริยารีดิวซ์ออกเทอร์แก๊สซิฟต์ มีค่า%การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนไดออกไซด์ 38% สำหรับสารผสม MC ร่วมกับ PVA และ 10% สำหรับสารผสม GF

### อภิปรายผล

การทดสอบตัวอย่างสารผสม MC ผสมร่วมกับ PVA และ GF ที่ปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา การทดสอบที่สภาวะของการป้อนแก๊สชนิดเดียวกัน ให้ผลิตภัณฑ์ไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบอินทรีย์จากปฏิกิริยาการสลายตัวภายใต้บรรยากาศแก๊สไฮโดรเจนหรือแก๊สไฮโดรเจนเช่นเดียวกัน ได้แก่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สมีเทน พบว่าปริมาณของแก๊สที่มีความแตกต่างในแต่ละช่วงของอุณหภูมิการทดสอบ โดยสารผสมแบบที่ I MC ร่วมกับ PVA จะให้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากกว่าสารผสมแบบที่ II GF เมื่อเกิดการสลายตัว เนื่องจากโครงสร้างของสารผสมทั้ง 2 แบบมีความแตกต่างกันโดย MC และ PVA เป็นสารพอลิเมอร์ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้น (El-Sayed

et al., 2011; Hashmi et al., 2020; Ibrahim et al., 2013) ขณะที่ GF มีองค์ประกอบของแป้งหลากหลายชนิด ได้แก่ พอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดอย่าง อะมิโลส (amylose) และ อะมิโลเพคติน (amylopectin) (Lemos et al., 2019; Stawski, 2008) แต่เมื่อทดสอบภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนนั้นทำให้เกิดการแตกของพันธะให้มีค่าปริมาณผลิตภัณฑ์รวมลดลงและได้ผลิตภัณฑ์แก๊สไฮโดรคาร์บอนปริมาณสูงขึ้น

เมื่อทำการผสมตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลบนตัวรองรับซีโอไลต์ เอ กับสารผสม พบว่าปฏิกิริยาการแตกตัวของสารผสมให้แก๊สไฮโดรคาร์บอน ณ อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สันนิษฐานว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะเข้าไปเปลี่ยนกลไกการสลายตัวของสารผสมภายใต้ปฏิกิริยาการสลายตัวโดยให้ผลิตภัณฑ์แตกต่างออกไปจากเดิม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ ณ อุณหภูมิสูง และแก๊สมีเทน ณ อุณหภูมิต่ำ และสำหรับการทดสอบสารผสมภายใต้สภาวะแก๊สผสมคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนที่อัตราส่วน 1 ต่อ 4 เกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยารีดิวซ์ออกซิเจนแก๊สซิฟต์ให้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ปริมาณมากให้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่สูงใกล้เคียงกับตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิลบนซีโอไลต์ 5เอ (Upasen et al., 2022) สำหรับสารผสมแบบที่ I ในขณะที่สารผสมแบบ II นั้นไม่สามารถแสดงความสามารถได้ในแบบเดียวกัน เมื่อทดสอบเสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งแบบ I และ แบบ II ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปแบบ I มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการผลิตมีเทนลดลง ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปแบบ II มีเสถียรภาพดีกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองสูญเสียรูปร่างและความแข็งแรงจึงไม่สามารถวัดความแข็งแรงแบบอัดหลังจากทดสอบเสถียรภาพ อย่างไรก็ตาม เมื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึกของโลหะนิกเกิลบนตัวรองรับ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปแบบ I มีขนาดของผลึกใหญ่ขึ้น ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขึ้นรูปแบบ II โลหะนิกเกิลมีขนาดผลึกเท่าเดิม สันนิษฐานว่าสารผสมเมทิลเซลลูโลสและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการรีดักชัน สามารถสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยาเป็นอนุภาคของคาร์บอนขนาดเล็ก อนุภาคนี้ไม่สามารถป้องกันการเกิดปรากฏการณ์รวมตัวของโลหะนิกเกิล สำหรับแป้งข้าวเหนียวสลายตัวผ่านกระบวนการรีดักชันเป็นอนุภาคของคาร์บอนขนาดใหญ่กว่า สามารถป้องกันการเกิดปรากฏการณ์รวมตัวของโลหะนิกเกิลได้ดีกว่า

### ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยสารผสมสามารถเป็นแนวทางในการทดสอบการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์เมเทนชันที่สภาวะอื่นหรือตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะและตัวรองรับชนิดอื่นได้

## เอกสารอ้างอิง

- Asri Mohd. Esa, Y., & Sapawe, N. (2020). A short review on carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) methanation process. *Materials Today: Proceedings*, 31, 394-397.
- Chalachew Mebrahtu, F. K., Salvatore Abate, Siglinda Perathoner, Gabriele Centi, Regina Palkovits. (2019). CO<sub>2</sub> Methanation: Principles and Challenges. In *Horizons in Sustainable Industrial Chemistry and Catalysis* (pp. 85-103).
- Comas-Vives, A., & Coperet, C. (2026, Jan 6). Nature and Dynamics of Active Sites in Cu-Based Catalysts for the CO<sub>2</sub> Hydrogenation to Methanol. *Acc Chem Res*, 59(1), 27-39.
- El-Sayed, S., Mahmoud, K. H., Fatah, A. A., & Hassen, A. (2011). DSC, TGA and dielectric properties of carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol blends. *Physica B: Condensed Matter*, 406(21), 4068-4076.
- Hashmi, M., Ullah, S., & Kim, I. S. (2020). Electrospun Momordica charantia incorporated polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers for antibacterial applications. *Materials Today Communications*, 24
- Ibrahim, M. M., Koschella, A., Kadry, G., & Heinze, T. (2013, Jun 5). Evaluation of cellulose and carboxymethyl cellulose/poly(vinyl alcohol) membranes. *Carbohydr Polym*, 95(1), 414-420.
- Le, T. A., Kim, M. S., Lee, S. H., Kim, T. W., & Park, E. D. (2017). CO and CO<sub>2</sub> methanation over supported Ni catalysts. *Catalysis Today*, 293-294, 89-96.
- Lemos, P. V. F., Barbosa, L. S., Ramos, I. G., Coelho, R. E., & Druzian, J. I. (2019, Jul 1). Characterization of amylose and amylopectin fractions separated from potato, banana, corn, and cassava starches. *Int J Biol Macromol*, 132, 32-42.
- Stawski, D. (2008). New determination method of amylose content in potato starch. *Food Chemistry*, 110(3), 777-781.
- Thakkar, H., Eastman, S., Hajari, A., Rownaghi, A. A., Knox, J. C., & Rezaei, F. (2016, Oct 19). 3D-Printed Zeolite Monoliths for CO<sub>2</sub> Removal from Enclosed Environments. *ACS Appl Mater Interfaces*, 8(41), 27753-27761.
- Upasen, S., Sarunchot, G., Srira-ngam, N., Poo-arporn, Y., Wattanachai, P., Praserttham, P., Ngaotrakanwivat, P., Panpranot, J., & Soisuwan, S. (2022). What if zeolite LTA4A

and zeolite LTA5A used as Nickel catalyst supports for recycling carbon dioxide to green fuel methane. *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*, 55

Younas, M., Loong Kong, L., Bashir, M. J. K., Nadeem, H., Shehzad, A., & Sethupathi, S. (2016). Recent Advancements, Fundamental Challenges, and Opportunities in Catalytic Methanation of CO<sub>2</sub>. *Energy & Fuels*, 30(11), 8815-8831.