

การศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-นิกเกิล
บนตัวรองรับซิลิกาสำหรับปฏิกิริยาสตีมรีฟอร์มมิงของแนฟทาลีน
Study on Catalytic Performance of Fe-Ni Catalysts Supported on SiO₂
for Steam Reforming Reaction of Naphthalene

ปริญทร์ พึ่งประเสริฐ¹ ชินدانัย ยงยุทธวิชัย¹ นวadol เหล่าศิริทอน² และ อภิรัตน์ เล่าห์บุตรี¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail : puengprasert.p@gmail.com¹, chindanai.y@ku.th¹, navadol@jgsee.kmutt.ac.th² and fengapl@ku.ac.th¹

บทคัดย่อ

ตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-นิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกา (Fe_x-Ni_{1-x}/SiO₂; x = 1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2 และ 0) สามารถเตรียมได้จากวิธีการเอ็บซุ่มโดยอาศัยไมโครเวฟ เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เครื่องเอกซเรย์-ฟลูออเรสเซนซ์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวที่สามารถใช้ยืนยันผลสำเร็จ การเอ็บซุ่มตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กและนิกเกิลบนตัวรองรับชนิดซิลิกา สมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา เหล่านี้ถูกนำมาทดสอบในปฏิกิริยาสตีมรีฟอร์มมิงของแนฟทาลีนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากปฏิกิริยา ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจน แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน และแก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ ในกลุ่มตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมด Fe_{0.4}-Ni_{0.6}/SiO₂ แสดงร้อยละการแปรสภาพ ของแนฟทาลีนและร้อยละผลผลิตของแก๊สไฮโดรเจนที่สูงที่สุด รวมถึงยังมีความสามารถต้านทานการเกิดคาร์บอน บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดี นอกจากนี้ยังพบว่าอิทธิพลของการเพิ่มอัตราส่วนของเหล็กในตัวเร่งปฏิกิริยา มีแนวโน้มที่จะลดการเกิดคาร์บอนบนผิวของซิลิกา

คำสำคัญ:

การเอ็บซุ่ม สมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ร้อยละการแปรสภาพ

Abstract

Fe_x-Ni_{1-x}/SiO₂ catalysts (x = 1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2 and 0) were successfully prepared via microwave-assisted impregnation method. XRD, XRF, SEM and BET measurements ensured the success of the impregnation of Fe and Ni catalysts on SiO₂ support. The catalytic activities of these catalysts were performed toward the steam reforming of naphthalene (as a model compound) at 700°C for 18 h. The main products from the reactions were H₂, CO, CO₂, CH₄ and

other hydrocarbons. Among all catalysts, $\text{Fe}_{0.4}\text{-Ni}_{0.6}/\text{SiO}_2$ has shown the highest naphthalene conversion and H_2 yield with greater carbon resistance. Furthermore, it was found that the influence of increasing Fe content tended to reduce the amount of carbon deposition on SiO_2 surface.

Keyword:

impregnation, catalytic activity, conversion

1. บทนำ

สารชีวมวลได้รับความนิยมในการนำมาใช้ทดแทนแหล่งเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์อย่างแพร่หลาย เนื่องด้วยก่อให้เกิดปริมาณคาร์บอนที่ต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [1] ซึ่งสารชีวมวลสามารถถูกแปรสภาพเป็นแก๊สเชื้อเพลิงผสม (syngas) ได้ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยแก๊สเชื้อเพลิงผสมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงหรือเครื่องยนต์ได้ [2, 3] อย่างไรก็ตามกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ที่ไม่ต้องการได้แก่ น้ำมันดิน (tar) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องมือเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากการอุดตันและสึกกร่อนได้ ทำให้เป็นปัญหาในการซ่อมบำรุงเครื่องมือ [4] จากปัญหาของน้ำมันดินที่กล่าวไปในข้างต้น วิธีการที่นิยมใช้ในการสลายน้ำมันดิน คือ วิธีการทางความร้อนเคมี เช่น กระบวนการสตีมีรีฟอร์มมิง (steam reforming) [5]

ในปัจจุบันกลุ่มตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับความนิยมใช้ในปฏิกิริยาสตีมีรีฟอร์มมิงของน้ำมันดิน ได้แก่ กลุ่มโลหะมีตระกูล เช่น แพลเลเดียม โรเดียม และแพลทินัม ซึ่งมีสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน รวมถึงมีความสามารถต้านทานการเกิดคาร์บอนบนพื้นผิวได้ดี แต่ก็มีราคาที่สูง อีกกลุ่มคือ กลุ่มโลหะนิกเกิล ซึ่งมีสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีและมีราคาถูก แต่มีความสามารถต้านทานการเกิดคาร์บอนบนพื้นผิวที่ต่ำ [1, 6]

เนื่องด้วยต้นทุนการผลิตของกลุ่มโลหะนิกเกิลที่ต่ำกว่ากลุ่มโลหะมีตระกูล ทำให้กลุ่มโลหะนิกเกิลได้รับความสนใจอย่างมาก แต่ด้วยปัญหาความสามารถในการต้านทานการเกิดคาร์บอนที่ต่ำทำให้มีการศึกษาตัวส่งเสริม (promoter) เช่น เหล็ก แมงกานีส และแคลเซียม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของโลหะนิกเกิล รวมถึงอายุการใช้งานและความสามารถในการต้านทานการเกิดคาร์บอนบนพื้นผิว ซึ่งเหล็กจะได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นตัวส่งเสริมมากกว่าโลหะชนิดอื่น เนื่องจากอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างเหล็กกับนิกเกิลสามารถช่วยยับยั้งการเกิดคาร์บอนบนพื้นผิวได้ อีกทั้งยังมีราคาถูก [7, 8]

การฟื้นฟูตัวเร่งปฏิกิริยาภายหลังจากการเสื่อมสภาพ จะทำให้การกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะบนตัวรองรับตัวเร่งลดลง เนื่องจากการเกิดการซินเตอร์ (sintering) [9] โดยตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst support) ในกลุ่มโลหะออกไซด์ เช่น อะลูมินา และซิลิกา ได้รับความนิยมในการนำมาใช้เป็นตัวรองรับในกระบวนการสตีมีรีฟอร์มมิงของน้ำมันดิน [10] แต่ด้วยปัญหาการเกิดซินเตอร์ ตัวรองรับที่เป็นซิลิกาจึงมีความเหมาะสมมากกว่าเนื่องจากซิลิกามีขนาดพื้นที่ผิวและมีความต้านทานการเกิดซินเตอร์ที่ดีกว่าโลหะออกไซด์ชนิดอื่นๆ [11]

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีราคาถูก และมีสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี เพื่อให้สามารถนำมาใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-นิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกาในปฏิกิริยาสตีร์พอร์มมิงของน้ำมันดินในการศึกษาน้ำมันดินจะใช้นาฟทาลินในรูปแบบสารประกอบจำลอง (tar model compound) เนื่องจากแนพทาลินเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีความเสถียรสูงที่เกิดขึ้นจากการสลายน้ำมันดิน [12] เพื่อนำมาใช้ศึกษาหาตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการสลายน้ำมันดิน

2. การทดลอง

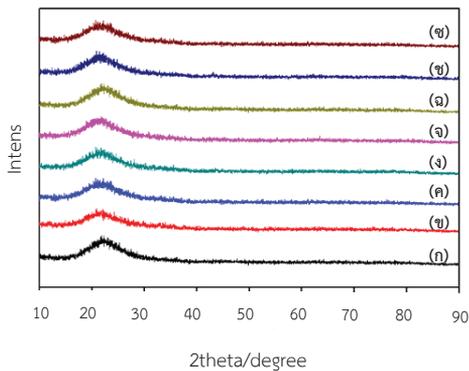
2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

เตรียมผงตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-นิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกาในอัตราส่วนต่างๆ ($\text{Fe}_x\text{-Ni}_{1-x}/\text{SiO}_2$; $x = 1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2$ และ 0) ด้วยวิธีการเอ็บซุ่มบนซิลิกาโดยอาศัยไมโครเวฟเข้าช่วย เริ่มจากการนำนิกเกิลไนเตรต (nickel (II) nitrate, $(\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$) ผสมกับเหล็กไนเตรต (iron (III) nitrate, $(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายแล้วนำไปเอ็บซุ่มในไมโครเวฟที่กำลังไฟ 800 วัตต์เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาทีภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ แล้วนำไปวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกและการเปลี่ยนแปลงของเฟส โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ซึ่งใช้ $\text{CuK}\alpha$ เป็นแหล่งกำเนิดของรังสีเอกซ์ บันทึกสเปกตรัมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในช่วงมุม 2θ ตั้งแต่ 10 ถึง 90 องศา และวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ รวมถึงการกระจายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ โดยใช้ Rh เป็นแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ และใช้ค่าละเอียดเชิงพื้นที่ 100 ไมโครเมตร

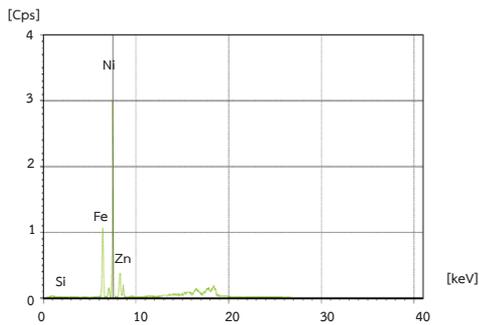
จากนั้นวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยนำผงตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ไปติดลงคาร์บอนเทป (carbon tape) บนที่ใส่ตัวอย่าง (stub) จากนั้นเคลือบผงตัวอย่างด้วยทองคำขาว (platinum sputtering) โดยทำในสภาวะที่เป็นสุญญากาศที่ความดัน 0.04 มิลลิบาร์ แล้วจึงตรวจวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 80,000 เท่า

จากนั้นวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ผิวของผงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET (brunauer emmett teller) โดยเตรียมผงตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยเตรียมปริมาณผงตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ให้มีน้ำหนักอยู่ในช่วงประมาณ 0.3 ถึง 0.4 กรัม แล้วบรรจุลงในหลอดใส่ตัวอย่าง วัดพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface area) ของผงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่อง 3flex 3500 micromeritics โดยก่อนนำเข้าเครื่องนำผงตัวเร่งปฏิกิริยาไปอบไล่แก๊สที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นใช้แก๊สไนโตรเจนสำหรับการดูดซับ โดยใช้พื้นที่ในการดูดซับ (adsorption) และการคาย (desorption) ของแก๊สไนโตรเจนทั้งหมด แล้วนำผลคำนวณหาพื้นที่ผิวด้วยเทคนิค BET จากนั้นวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ อีกทั้งสามารถแปลงเป็นค่าของขนาดอนุภาคเฉลี่ย (DBET) ด้วยสมการที่ (1) รวมถึงสามารถคำนวณขนาดและปริมาตรของรูพรุนด้วยเทคนิค BJH (barrett-joyner-halenda) ทั้งนี้ลักษณะของอนุภาคจะอยู่บนสมมติฐานที่ว่าทุกอนุภาคมีรูปร่างเป็นทรงกลมที่มีผิวเรียบ และมีขนาดเท่าๆ กัน

$$D_{\text{BET}} = 6 \times 10^3 / d_{\text{th}} \cdot S_{\text{BET}} \quad (1)$$

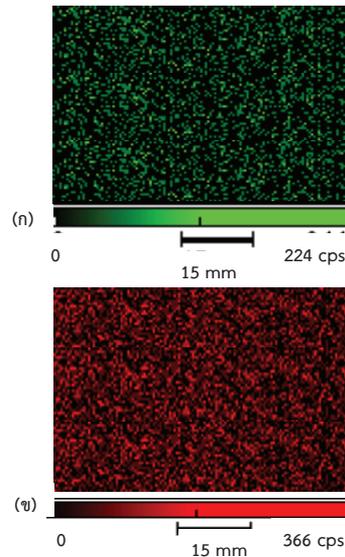


ภาพที่ 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ (ก) SiO_2 และ $\text{Fe}_x\text{Ni}_{1-x}/\text{SiO}_2$: (ข) $x = 1$ (ค) $x = 0.8$ (ง) $x = 0.6$ (จ) $x = 0.5$ (ฉ) $x = 0.4$ (ช) $x = 0.2$ และ (ซ) $x = 1$ ที่ได้จากการเผาภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 สเปกตรัมเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ของเหล็กและนิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกาของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Fe}_{0.4}\text{-Ni}_{0.6}/\text{SiO}_2$ ที่ได้จากการเผาภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

ผลวิเคราะห์ผงตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์พบพีกของเหล็กและนิกเกิลที่เจือลงบนซิลิกา โดยพีกของเหล็กปรากฏที่ตำแหน่ง 6.3 keV และพีกของนิกเกิลปรากฏที่ตำแหน่ง 7.5 keV ดังในภาพที่ 2 และลักษณะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของอนุภาคเหล็กนิกเกิลบนซิลิกาดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ mappings ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{Fe}_{0.4}\text{-Ni}_{0.6}/\text{SiO}_2$ (ก) การกระจายตัวของเหล็กบนซิลิกา (ข) การกระจายตัวของนิกเกิลบนซิลิกาที่ได้จากการเผาภายใต้บรรยากาศปกติเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

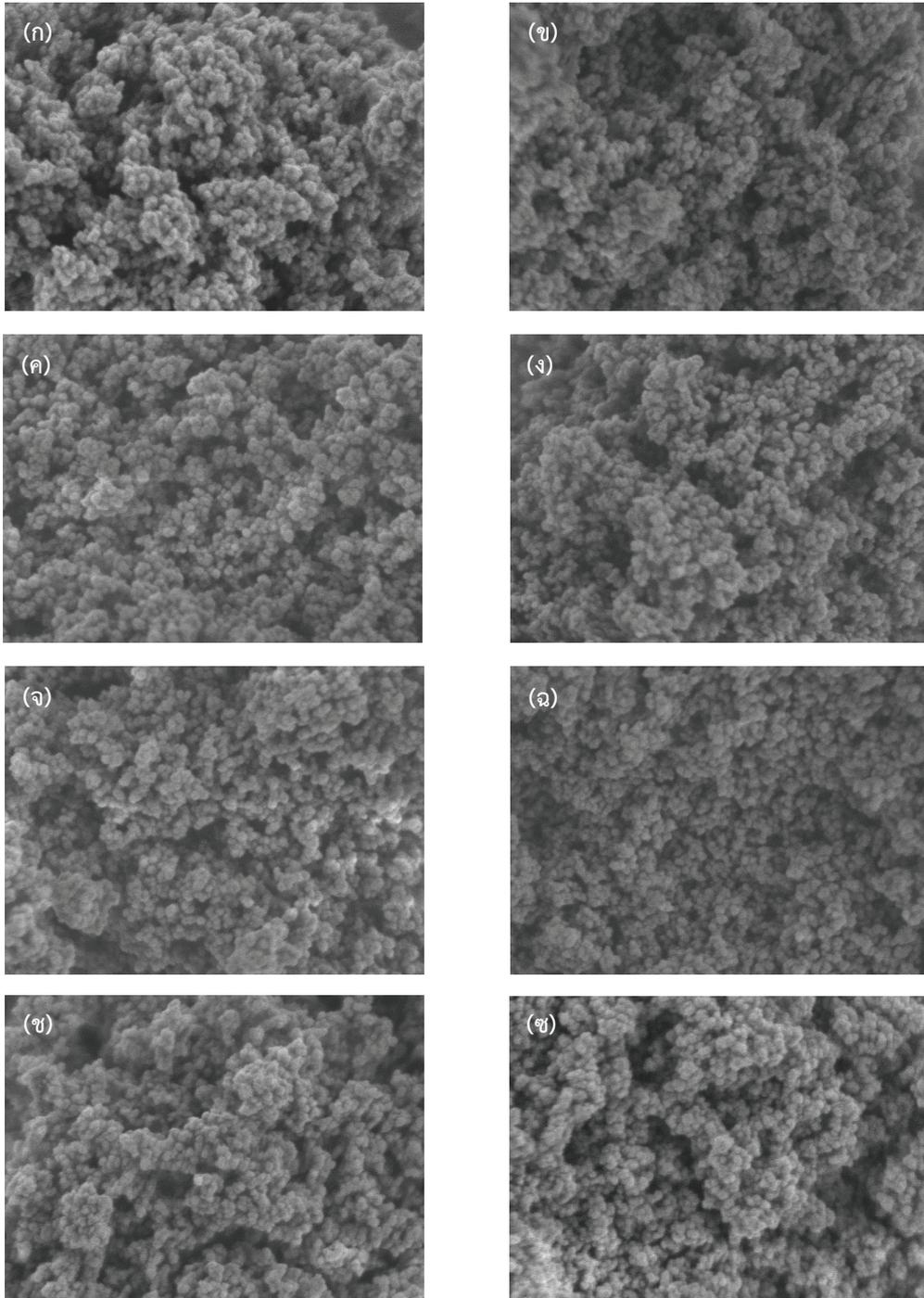
ขนาดของพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการเอิบชุ่มด้วยเหล็กและนิกเกิลลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาที่ไม่ผ่านการเจือ แต่ขนาดของอนุภาคนั้นมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับซิลิกาที่ไม่ผ่านการเจือ เนื่องจากการเอิบชุ่มโดยอาศัยไมโครเวฟส่งผลให้เกิดการเกาะรวมตัวของอนุภาคเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยขนาดและปริมาตรรูพรุนของตัวเร่งปฏิกิริยาในแต่ละอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งอยู่ในช่วง 21.7 ถึง 28.8 นาโนเมตร และ 0.55 ถึง 0.76 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ดังในตารางที่ 1 ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นซิลิกาที่ไม่ผ่านการเจือ และซิลิกาที่ผ่านการเจือมีลักษณะเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนกลม มีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอน และมีปริมาตรรูพรุนที่สูงดังในภาพที่ 4

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

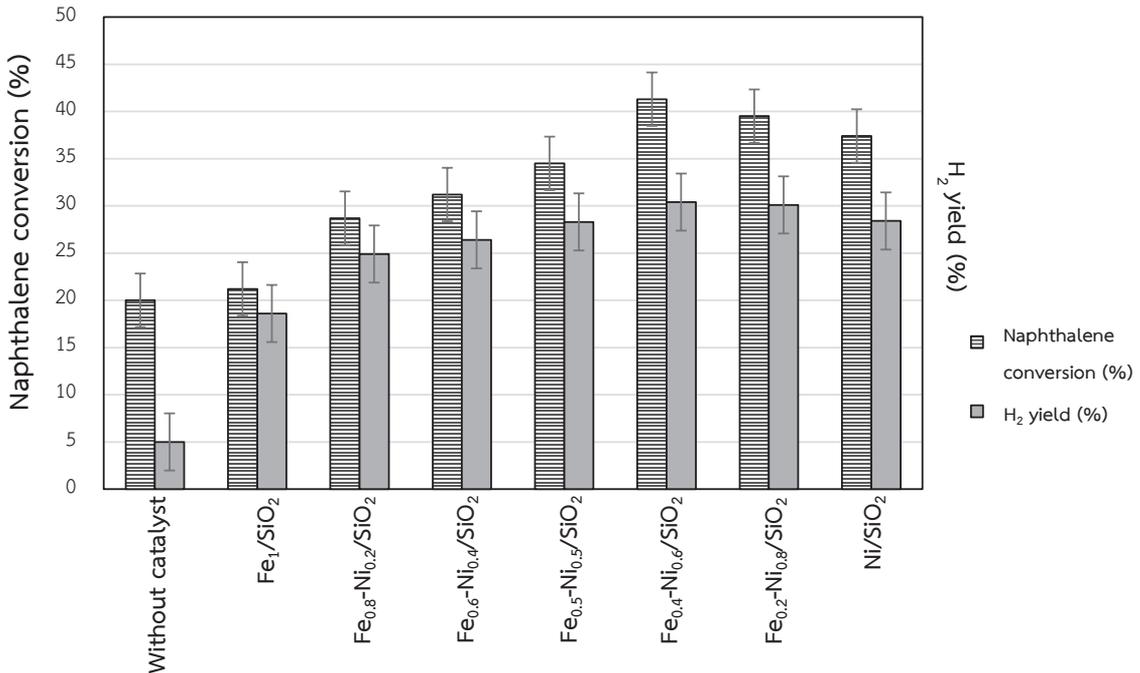
จากการวิเคราะห์สมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-นิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกาที่เตรียมด้วยวิธีการเอ็บซุ่มโดยอาศัยไมโครเวฟเข้าช่วยในปฏิกิริยาสตีร์ฟอร์หมิงของแนพทาลีนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวจำเพาะ (S_{BET}) ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{BET}) ขนาดของรูพรุน และปริมาตรของรูพรุนของผงซิลิกาที่ไม่เจือและเจือด้วยเหล็ก-นิกเกิลที่ได้จากการเผาภายใต้บรรยากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

ตัวอย่าง	พื้นที่ผิวจำเพาะ (S_{BET}) (m^2/g)	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (D_{BET}) (nm)	ขนาดของรูพรุน (nm)	ปริมาตรของรูพรุน (cm^3/g)
SiO_2	140.78	176.11	25.4	0.65
Fe_1/SiO_2	109.24	226.96	27.7	0.60
$\text{Fe}_{0.8}\text{-Ni}_{0.2}/\text{SiO}_2$	132.58	187.01	28.8	0.76
$\text{Fe}_{0.6}\text{-Ni}_{0.4}/\text{SiO}_2$	109.52	226.38	26.7	0.58
$\text{Fe}_{0.5}\text{-Ni}_{0.5}/\text{SiO}_2$	114.52	216.50	28.5	0.64
$\text{Fe}_{0.4}\text{-Ni}_{0.6}/\text{SiO}_2$	108.61	228.29	27.8	0.59
$\text{Fe}_{0.2}\text{-Ni}_{0.8}/\text{SiO}_2$	117.62	210.80	27.5	0.64
Ni_1/SiO_2	122.01	203.21	27.3	0.65



ภาพที่ 4 SEM micrographs ของ (ก) ซิลิกา และตัวเร่งปฏิกิริยา Fe_x-Ni_{1-x}/SiO_2 : (ข) $x = 1$ (ค) $x = 0.8$ (ง) $x = 0.6$, (จ) $x = 0.5$, (ฉ) $x = 0.4$, (ช) $x = 0.2$ และ (ช) $x = 0$ ที่ได้จากการเผาภายใต้บรรยากาศปกติ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 5 ร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลีน (naphthalene conversion (%)) และร้อยละผลผลิตแก๊สไฮโดรเจน (H₂ yield) จากปฏิกิริยาสตีร์พอร์มมิงของแนฟทาลีนที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ทั้งสภาวะที่มีและไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา

โดยวัดสมบัตการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปริมาณร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลีน (naphthalene conversion (%)) ดังในภาพที่ 5 พบว่า ปริมาณร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลีนในปฏิกิริยาที่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 21.2 ถึง ร้อยละ 41.3 ซึ่งสูงกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา อีกทั้งพบว่าการเพิ่มสัดส่วนของเหล็กในตัวเร่งปฏิกิริยามีแนวโน้มช่วยให้ปริมาณร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลีนเพิ่มมากขึ้นและสูงที่สุดในสัดส่วน Fe_{0.4}-Ni_{0.6}/SiO₂ ที่ร้อยละ 41.3 จากนั้นปริมาณร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลีนจะลดลงตามปริมาณการเจือเหล็กที่มากขึ้น

จากตารางที่ 2 พบว่า Fe_{0.4}-Ni_{0.6}/SiO₂ ให้ปริมาณร้อยละผลผลิตของแก๊สไฮโดรเจนที่สูงที่สุดที่ร้อยละ 30.4 อีกทั้งยังพบว่าแนวโน้มของปริมาณร้อยละผลผลิตของแก๊สไฮโดรเจนรวมถึงแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์มีแนวโน้มเดียวกับปริมาณร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลีนอีกด้วย แต่ปริมาณร้อยละผลผลิตของแก๊สมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเจือของเหล็ก (ร้อยละ 30.4 ถึง ร้อยละ 38.7)

นอกจากความว่องไวของปฏิกิริยาแล้วตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีต้องมีเสถียรภาพที่ดีควบคู่กันหรืออีกนัยหนึ่งคือต้องมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ซึ่งสมบัติที่สามารถ

การศึกษาประสิทธิภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็ก-นิกเกิลบนตัวรองรับซิลิกาสำหรับปฏิกิริยาสตีร์ฟอร์มมิงของแนฟทาลิน

บ่งชี้ถึงเสถียรภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาได้นั้น คือ ปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจากคาร์บอนเหล่านี้จะเข้าไปปกคลุมส่วนที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นหากมีคาร์บอนบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นจำนวนมาก จะส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดการเสื่อมประสิทธิภาพได้เร็วขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาลดน้อยลง [1] ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณ

คาร์บอนบนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากการเกิดปฏิกิริยาพบว่าปริมาณคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Fe_1/SiO_2 มีค่าต่ำที่สุด (10.4 มิลลิโมลต่อกรัม) และปริมาณการก่อตัวของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา Ni_1/SiO_2 มีค่าสูงที่สุด (14.3 มิลลิโมลต่อกรัม) อีกทั้งปริมาณของคาร์บอนบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยามีปริมาณลดลงตามสัดส่วนการเจือเหล็กที่เพิ่มมากขึ้นดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณร้อยละของผลิตภัณฑ์และปริมาณคาร์บอนที่เกิดขึ้นบนตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากปฏิกิริยาสตีร์ฟอร์มมิงของแนฟทาลินที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ร้อยละผลผลิตของไฮโดรเจน	ปริมาณการก่อตัวของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยา (มิลลิโมลต่อกรัม)	ร้อยละของผลผลิตอื่นๆ			
			CO	CO ₂	CH ₄	C ₂₊
Fe ₁ /SiO ₂	18.6	10.4	30.5	12.3	41.5	12.9
Fe _{0.8} -Ni _{0.2} /SiO ₂	24.9	11.6	32.9	13.9	38.7	10.7
Fe _{0.6} -Ni _{0.4} /SiO ₂	26.4	12.0	35.7	15.6	35.9	9.6
Fe _{0.5} -Ni _{0.5} /SiO ₂	28.3	12.9	37.8	17.2	32.3	8.7
Fe _{0.4} -Ni _{0.6} /SiO ₂	30.4	13.7	40.2	19.7	30.9	6.7
Fe _{0.2} -Ni _{0.8} /SiO ₂	30.1	13.9	39.4	19.0	30.4	7.3
Ni ₁ /SiO ₂	28.4	14.3	38.7	18.6	31.0	7.0

4. สรุปผลการทดลอง

การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยานิกเกิล-เหล็กบนตัวรองรับซิลิกาในอัตราส่วนต่างๆ ($Fe_x-Ni_{1-x}/SiO_2 : x = 1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2$ และ 0) ด้วยกระบวนการเอ็บซุ่ม โดยอาศัยไมโครเวฟช่วยในการกระจายตัวของสารเจือ พบว่าเป็นวิธีที่สามารถใช้เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาได้สะดวกรวดเร็ว และทำให้เกิดกระจายตัวของโลหะบนตัวรองรับได้ดี นอกจากนั้นการใช้วิธีนี้ยังมีจุดเด่นในด้านการใช้ค่าใช้ต้นทุนที่ต่ำ อีกทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้มีขนาดเล็ก และมีความเป็นเนื้อเดียวกันสูงซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาใน

กระบวนการสตีร์ฟอร์มมิงของแนฟทาลิน โดยพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ปริมาณร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลินและร้อยละผลผลิตของไฮโดรเจนที่สูงที่สุด (ร้อยละ 41.3 และร้อยละ 30.4 ตามลำดับ) คือ $Fe_{0.4}-Ni_{0.6}/SiO_2$ และสรุปได้ว่าโลหะนิกเกิลมีสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดี แต่มีความสามารถในการต้านทานการเกิดขึ้นของคาร์บอนที่ต่ำ โดยการเจือเหล็กในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วยทำหน้าที่เป็นตัวส่งเสริมตัวเร่งปฏิกิริยา ส่งผลให้มีแนวโน้มช่วยเพิ่มปริมาณร้อยละการแปรสภาพของแนฟทาลินและปริมาณร้อยละผลผลิตของไฮโดรเจน อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณการก่อตัวของคาร์บอนบนตัวเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมีนัยสำคัญ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Guoqing G, Malinee K, Xiaogang H and Abuliti A (2016). Catalytic steam reforming of biomass tar: prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58: 450-461.
- [2] Jun H and Heejoon K (2008). The reduction and control technology of tar during biomass gasification/pyrolysis: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12: 397-416.
- [3] Takeshi F and Atsushi T (2005). Comparison of Co/MgO and Ni/MgO catalysts for the steam gasification. *Applied Catalysts A: General*, 278: 207-212.
- [4] Ritwik M, Sudip G and Sudipta D (2013). Cracking of tar by steam reforming and hydrogen. *biomass conversion and biorefinery*, 3: 103-111.
- [5] Supawat V, Daranee R and Suttichi A (2014). Removal of tar from biomass gasification process by steam reforming over nickel catalysts. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 37: 205-210.
- [6] Gunung O, Seo Y P, Myung W S, Yong K K and Ho W R (2016). Ni/Ru-Mn/Al₂O₃ catalysts for steam reforming of toluene as model biomass tar. *Renewable Energy*, 86: 841-847.
- [7] Doon H H, Roose L, Jong H H and Jung M S (2016). The effect of addition of Ca, K and Mn over Ni-based catalyst on steam reforming of toluene as model tar compound. *Catalysis Today*, 265: 95-102.
- [8] Song H, Limo H, Yi W, Sheng S, Long J, Qindong C, Qicong L, Huanyong C, Jun X and Lushi S (2016). Effects of oxygen species from Fe addition on promoting steam reforming of toluene over Fe-Ni/Al₂O₃ catalysts. *Hydrogen Energy*, 58: 1-9.
- [9] Mario M, Jean B, Mymriam D S, Benjamin K H and Bernard D (1984). Influence of metal-support interactions on the stability of Ni/SiO₂ catalysts during cyclic oxidation-reduction treatments. *Chemical Society*, 80: 3209-3220.
- [10] Jumluck S, Kazuhiro S, Tharapong and Kaoru F (2005). A highly efficient catalyst for tar gasification with steam. *Catalysis Communication*, 6: 437-440.
- [11] Gil A, Diaz A and Montes M (1994). Influence of the preparation method and the nature of the support on the stability of nickel catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 109: 167-179.
- [12] Roberto C, Joan S, Xavier F and Daniel M (2001). Steam reforming model compounds of biomass gasification tars: conversion at different operating conditions and tendency towards coke formation. *Fuel Processing Technology*, 74: 19-31.