

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินาเพื่อใช้ในปฏิกิริยารีดักชันก๊าซไนตริกออกไซด์

Synthesis of Cu/SiO₂-Al₂O₃ For Catalytic Reduction of Nitric Oxide

ธีรวัฒน์ ศรีทวีวัฒน์, อรรถพงษ์ ไชยคุณ

รศ.ดร.ไพศาล คงกาญจนฉาย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โทร. 02-9428555 ต่อ 1203 และ 1204 โทรสาร 02-5614621 E-mail: fengpsk@ku.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา (Cu/SiO₂-Al₂O₃) จากสารประกอบ Si(OC₂H₅)₄ และ Al(sec-OC₂H₅)₃ ด้วยเทคนิคโซล-เจล เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยารีดักชันก๊าซไนตริกออกไซด์ โดยได้ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของตัวรองรับและอุณหภูมิที่มีต่อสัดส่วนการแปลงผันก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO Conversion) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเจือปน ทำการสังเคราะห์ตัวรองรับ SiO₂-Al₂O₃ ในอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง Si:Al เท่ากับ 1:1, 1:3, 1:5, 1:7 และ 1:9 โดยใช้ C₂H₅OH เป็นสารเจือจาง ทำการเคลือบคอปเปอร์ในเตรตบนตัวรองรับ SiO₂-Al₂O₃ ให้ได้ปริมาณ 7% โดยน้ำหนักของตัวรองรับด้วยเทคนิคการจุ่มชุบแบบแห้ง หลังจากนั้นนำไปทดสอบประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยารีดักชันก๊าซไนตริกออกไซด์ โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวรีดิวซ์ภายใต้สภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบแพคเบด ทำการป้อนก๊าซผสมระหว่าง H₂-NO-O₂-He ที่สภาวะคงตัว ณ อุณหภูมิการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 280 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ อัตราการไหลรวมของก๊าซ 60 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา Cu/SiO₂-Al₂O₃ ที่อัตราส่วนโดยโมล Si:Al ในตัวรองรับเป็น 1:9 ให้สัดส่วนการแปลงผันเฉลี่ยสูงสุดที่ร้อยละ 52.34 ซึ่งมีค่าลดต่ำลงเป็นร้อยละ 17.56 และ 15.90 เมื่ออุณหภูมิการทำปฏิกิริยารีดักชันลดลงเป็น 240 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อไม่มีออกซิเจนของ O₂ ในก๊าซผสม ค่าสัดส่วนการแปลงผันเฉลี่ยของก๊าซไนตริกออกไซด์จะให้ค่าสูงกว่าเป็นร้อยละ 88.77, 89.83 และ 91.59 สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al ในตัวรองรับเป็น 1:1, 1:3 และ 1:5 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ไนตริกออกไซด์, โซลเจล, คอปเปอร์, จุ่มชุบ, ซิลิกา, อลูมินา

Abstract

This research aims to synthesize copper supported on silica and alumina (Cu/SiO₂-Al₂O₃) using Si(OC₂H₅)₄ and Al(sec-OC₂H₅)₃ as precursors via sol gel method for using as a catalyst in nitric oxide (NO)

reduction. The effect of molar ratio of Si:Al and NO reaction temperature on NO conversion under lean condition were studied. The molar ratio of Si:Al was varied as 1:1, 1:3, 1:5, 1:7, and 1:9 using C₂H₅OH as a diluent. The obtained SiO₂-Al₂O₃ was then impregnated with Cu(NO₃)₂ by an incipient wetness impregnation to achieve 7 wt% of Cu. Subsequently, the catalyst was used to catalyze the NO reduction in a packed-bed reactor under lean condition using H₂ as a reducing agent. The feed containing H₂-NO-O₂-He was fed with total flow rate 60 ml/min at 280 °C, atmospheric pressure. It was found that the maximum average conversion of 52.34 % was achieved when using the catalyst having 1:9 Si:Al. However, the average conversion was decreased to be 17.56 % and 15.90 % when NO reduction temperature was decreased to 240 and 200 °C, respectively. For reaction with O₂ presence, the average conversion of NO were 88.77 %, 89.83 %, 91.59 % for the catalyst with mole ratio of Si:Al in the supporter is 1:1, 1:3 and 1:5, respectively.

Keywords: Nitric Oxide, Sol Gel, Copper, Incipient wetness impregnation, silica, alumina

1. บทนำ

ระยะเวลาที่ล่วงเลยผ่านมา เทคโนโลยีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดและกำจัดสารประกอบอันเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ หรือ NO_x ได้รับความสนใจและถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนก๊าซพิษเหล่านี้ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และน้ำ ซึ่งปลอดภัยต่อบรรยากาศของโลก นับเป็นการลดปัจจัยเสี่ยงที่จะเกิดต่อโลกและชีวิตมนุษย์โดยตรง ตัวเร่งปฏิกิริยาหลากหลายรูปแบบถูกพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพในการลดไนโตรเจนออกไซด์ด้วยการสังเคราะห์โดยใช้โลหะ อาทิเช่น Pt,

Pd, Rh, Au, Ag, Cu, Co, Fe, In, Ga บนตัวรองรับชนิดต่างๆ ได้แก่ zeolites, Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , activated carbons เป็นต้น เป้าหมายของโครงการวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา ($Cu/SiO_2-Al_2O_3$) ด้วยเทคนิคโซลเจล เพื่อใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยารีดักชันก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ โดยการพิจารณาเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากสัดส่วนการแปลงผันก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO Conversion) ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนปริมาณเจือปน (lean condition)

2. การทดลอง

2.1 การสังเคราะห์ตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา

เติม $Al(sec-OC_4H_9)_3$ และ $Si(OC_2H_5)_4$ ตามอัตราส่วนที่ต้องการลงในบีกเกอร์ กวนผสมเป็นระยะเวลา 15 นาที ด้วยอัตราเร็ว 300 รอบ/นาที แล้วเติม C_2H_5OH ปริมาณ 4 เท่าของจำนวนโมลรวมระหว่าง $Al(sec-OC_4H_9)_3$ และ $Si(OC_2H_5)_4$ กวนผสมต่อไปอีก 15 นาที เติมน้ำกลั่น ปริมาณ 50 เท่าของจำนวนโมลรวมของน้ำที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา กวนผสมให้เกิดปฏิกิริยาอีก 1 ชั่วโมง ทำการปรับค่าความเป็นกรดด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 6 M ให้ได้ค่าเป็น 3 กวนต่อไปอีก 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าสารในบีกเกอร์กลายเป็นผงแห้ง บดของแข็งแห้งที่ได้ให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสาร (Ball mill) เมื่อคัลไซซ์ของแข็งที่บดแล้วในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผงของตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา ตามอัตราส่วนที่ต้องการ

2.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาคอปเปอร์บนตัวรองรับ

เริ่มด้วยการทดสอบหาปริมาณน้ำปราศจากไอออนที่สามารถอิมมิดิเอตในตัวรองรับปริมาณเท่ากับที่ต้องการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา แล้วคำนวณหาปริมาณคอปเปอร์ในเตรตให้ได้ 7 % โดยน้ำหนักของตัวรองรับที่ต้องการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นจึงละลายคอปเปอร์ในเตรตที่คำนวณได้ด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาณเท่ากับที่หาได้ในตอนแรก หยดสารละลายคอปเปอร์ในเตรตที่ได้ลงบนตัวรองรับ โดยใช้แท่งแก้วคนให้สารละลายกระจายอย่างทั่วถึง แล้วนำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะแห้ง บดตัวเร่งปฏิกิริยาที่แห้งแล้วให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสาร (Ball mill) เมื่อคัลไซซ์ของแข็งที่บดแล้วในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง จะได้ผงของตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินาตามต้องการ ซึ่งจะถูกนำเข้าเครื่องอัด และบดให้ละเอียดอีกครั้งด้วยโกร่งบดสาร ซึ่งผงของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีขนาดกระจายตัวอยู่ในช่วง 70-120 mesh จะถูกไปทดสอบการทำปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ในขั้นต่อไป

2.3 การทดสอบการทำปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา

เริ่มจากการนำไอแก้วบรรจุลงในท่อปฏิกรณ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว ให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร บรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้จากข้อ 2.2 จำนวน 0.15 กรัม ที่ผสมกับทรายจำนวน 0.5 กรัม ลงไป แล้วนำไอแก้วบรรจุอีกครั้งให้มีความหนา 1 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นนำไปต่อเข้ากับชุดอุปกรณ์ทดสอบปฏิกิริยาที่มีอุปกรณ์วัดและควบคุมอัตราการไหลเชิงมวลและเครื่องให้ความร้อน ทำการผ่านก๊าซไนโตรเจนและก๊าซฮีเลียมเข้าไปด้วยอัตราการไหล 12 และ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 320 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้ลดอุณหภูมิของท่อปฏิกรณ์จาก 320 องศาเซลเซียสลงมาที่อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิทำปฏิกิริยา ทำการผ่านก๊าซพิษจำลอง ซึ่งประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซฮีเลียม ด้วยอัตราการไหล 16, 2, 12 และ 30 มิลลิลิตรต่อนาที ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง โดยก๊าซขาออกจากท่อปฏิกรณ์จะถูกเก็บตัวอย่างจุดเก็บตัวอย่าง (sampling port) ด้วยเข็ม syringe เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ผลการทดลองทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟที่มีดีเทคเตอร์ชนิด TCD และคอลัมน์ชนิดโมลซีก

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

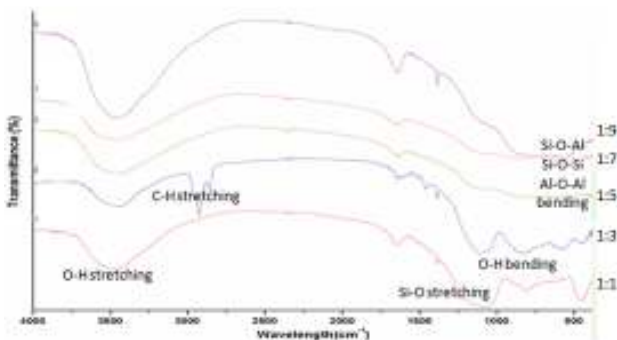
3.1 ผลการทดสอบการดูดซับและการคายซับของตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา

ตารางที่ 1 พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะของรูพรุน และรัศมีรูพรุนเฉลี่ยของตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา

อัตราส่วน Si:Al	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	ปริมาตรจำเพาะของรูพรุน (cc/g)	รัศมีรูพรุนเฉลี่ย (Å)
SiO_2	379	0.1997	17
Al_2O_3	259	0.2735	38
1:1	132	0.1592	38
1:3	44	0.0670	38
1:5	29	0.0685	38
1:7	43	0.0543	38
1:9	44	0.1012	37

ที่อัตราส่วน โดยโมล Si:Al ในตัวรองรับเป็น 1:0 (SiO₂) จะให้รัศมีรูพรุนเฉลี่ยอยู่ในช่วงต่ำกว่า 20 Å ซึ่งจัดว่าเป็นอนุภาคที่มีขนาดรูพรุนแบบ micropore และให้พื้นที่ผิวจำเพาะสูงที่สุดเทียบกับตัวรองรับในอัตราส่วนอื่น และในกรณีที่มีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 0:1 (Al₂O₃) จะให้พื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่า หากทำการวิเคราะห์โดยเบื้องต้น จะได้ว่าเมื่อเพิ่มองค์ประกอบของอลูมิเนียมในตัวรองรับมากขึ้นจะส่งผลทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับที่สังเคราะห์ได้มีค่าลดลง แต่ผลที่แสดงกลับไม่เป็นเช่นนั้น เพราะตัวรองรับที่มีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 1:3, 1:7, และ 1:9 ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะใกล้เคียงกันมาก อยู่ที่ประมาณ 43 – 44 m²/g นั้นแสดงว่าอาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับเป็นไปในแนวโน้มดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตเด่นชัดจากตารางแสดงผลที่ 1 อีกประการ คือ ที่อัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 1:5 ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำสุดเทียบกับตัวรองรับในอัตราส่วนอื่น ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่า อาจเป็นเหตุมาจากความผิดพลาดขณะทำการวิเคราะห์

3.2 ผลการทดสอบการมีอันตรกิริยาระหว่างกันของธาตุ-องค์ประกอบในตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา



รูปที่ 1 FT-IR spectra ของตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา

เลขคลื่นในช่วง 3440-3480 cm⁻¹ เป็นพีคของ O-H stretching vibration สันนิษฐานว่าน่าจะเป็นหมู่ฟังก์ชันของ Si-OH หรือ Al₂OH หรือ H₂O หรือ C₂H₅OH ที่อยู่ในโครงสร้างของตัวรองรับ เลขคลื่นในช่วง 1635-1655 cm⁻¹ เป็นพีคที่แสดงการปรากฏอยู่ของน้ำในโครงสร้าง เลขคลื่นในช่วง 800-875 cm⁻¹ เป็นพีคของ O-H bending vibration เลขคลื่นในช่วง 1090-1480 cm⁻¹ เป็นพีคของ Si-O stretching vibration และเลขคลื่นในช่วง 400-560 cm⁻¹ เป็นพีคของ Si-O-Si bending vibration หรือ Si-O-Al bending vibration หรือ Al-O-Al bending vibration แสดงให้เห็นว่าอะตอมของ Si และ Al อาจมีการสร้างพันธะเคมีระหว่างกัน (Aluminosilicate) หรืออาจจะมีการอยู่อย่างแยกจากกันของอะตอมทั้งสองชนิดก็เป็นได้ (SiO₂-Al₂O₃) ซึ่งเป็นเหตุผลสนับสนุนถึงสาเหตุของการมีแนวโน้มของข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

สำหรับตัวรองรับซิลิกา-อลูมินาที่มีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 1:3 เป็นอัตราส่วนเดียวที่แสดงพีคในเลขคลื่น 2921 cm⁻¹ ซึ่งเป็นพีคของ C-H stretching vibration สันนิษฐานว่าน่าจะมาจากการปนเปื้อนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนระหว่างการสังเคราะห์ตัวรองรับ

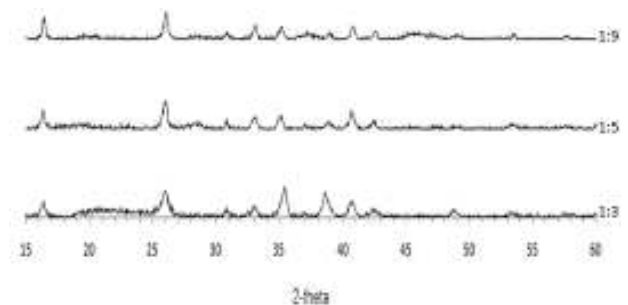
3.3 ผลการทดสอบการหาธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา

ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุองค์ประกอบของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา

ธาตุองค์ประกอบ	ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	โมล
Si	24.59	0.876
Al	19.1	0.708
Cu	7.83	0.123
P	0.32	0.010
Ca	0.16	0.004
Fe	0.04	0.001

จากข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณโลหะคอปเปอร์ที่เคลือบในตัวรองรับคิดเป็นร้อยละ 7.83 โดยน้ำหนัก และมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง Si:Al เป็น 1.24:1 ซึ่งถือว่าสอดคล้องตามที่ได้อ้างอิงไว้ก่อนการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้ตัวเลขดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนไปพอสมควร อันเนื่องมาจากปริมาณสารตัวอย่างที่ถูกสุ่มไปวิเคราะห์มีไม่เพียงพอต่อการเติมค่าใส่สารในเครื่อง XRF ให้เต็ม

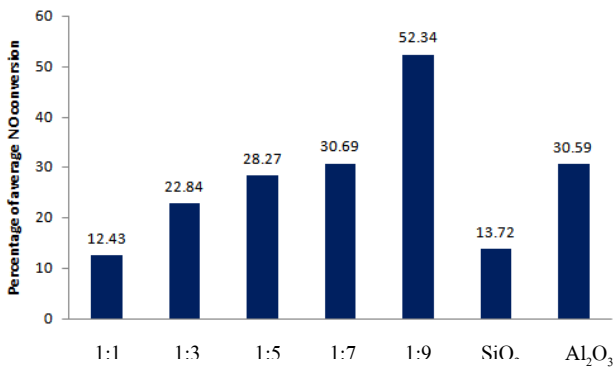
3.4 ผลการทดสอบความเป็นผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา



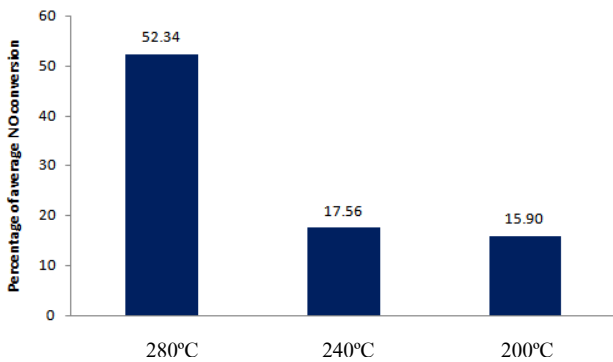
รูปที่ 2 XRD pattern ของตัวเร่งปฏิกิริยา คอปเปอร์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินาที่มีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al

จะเห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา ในทุกอัตราส่วนโดยโมล Si:Al แสดงพีคในช่วง 2-theta เดียวกัน ซึ่งแสดงโครงสร้างผลึกของอะลูมิเนียมออกไซด์ แต่ไม่มีพีคอื่นใดที่แสดงโครงสร้างผลึกของตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา นั่นคือ ตัวรองรับที่สังเคราะห์มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน (amorphous)

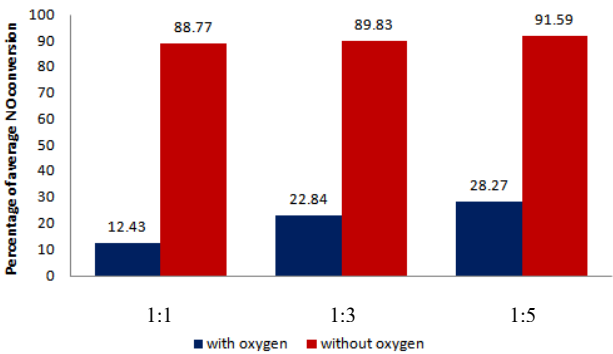
3.5 ผลการทดสอบการทำปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซไนตริกออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา



(a) สภาวะที่มีออกซิเจนเจือปน 280 °C



(b) สภาวะที่มีออกซิเจนเจือปนที่อัตราส่วน 1:9



(c) ภายใต้สภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจนเจือปน 280 °C

รูปที่ 3 ร้อยละของสัดส่วนการแปลงผันเฉลี่ยของก๊าซไนตริกออกไซด์

จากรูปที่ 3 (a) ร้อยละของสัดส่วนการแปลงผันเฉลี่ยของก๊าซไนตริกออกไซด์จากน้อยไปมากเป็นดังนี้

$$a) < f) < b) < c) < g) < d) < e)$$

นั่นคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนตัวรองรับ Al₂O₃ ให้ร้อยละของสัดส่วนการแปลงผันเฉลี่ยของก๊าซไนตริกออกไซด์สูงกว่ากรณีในตัวรองรับเป็น SiO₂ และเมื่อตัวรองรับมีทั้งองค์ประกอบของ Si และ Al ผลปรากฏว่า เมื่อองค์ประกอบของ Al เพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ร้อยละของสัดส่วนการแปลงผันเฉลี่ยเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งให้ค่าสูงสุดในกรณีที่ตัวรองรับมีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 1:9 อย่างไรก็ตามเมื่อตัวรองรับมีองค์ประกอบของ Si หรือ Al เพียงอย่างเดียว ร้อยละของสัดส่วนการแปลงผันเฉลี่ยจะให้ค่าสูงกว่าในกรณีที่ตัวรองรับมีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 1:1 และการมีองค์ประกอบของในตัวรองรับเป็น Al อย่างเดียว จะให้ค่าร้อยละของสัดส่วนการแปลงผันสูงกว่ากรณีที่ตัวรองรับมีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 1:3 และ 1:5 แต่ต่ำกว่ากรณีที่ตัวรองรับมีอัตราส่วนโดยโมล Si:Al เป็น 1:7 และ 1:9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนตัวรองรับที่มีทั้งองค์ประกอบของ Si และ Al ให้ประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ก๊าซไนตริกออกไซด์สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาบนตัวรองรับที่มีองค์ประกอบของ Si หรือ Al เพียงชนิดเดียว เมื่ออัตราส่วนผสมขององค์ประกอบทั้งสองชนิดอยู่ในค่าที่เหมาะสม โดยสัดส่วนการแปลงผันจะลดลงเมื่ออุณหภูมิการทำปฏิกิริยารีดักชันลดลงเพราะการมีค่าคงที่อัตราที่น้อยลง และเพิ่มขึ้นเมื่อปฏิกิริยาไม่มีออกซิเจนเจือปน เพราะโอกาสการถูกออกซิไดซ์ของโลหะอะลูมิเนียมที่ต่ำลง ซึ่งหากทำการวิเคราะห์ร่วมกับค่าแสดงผลในตารางที่ 5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา ส่งผลกระทบน้อยมากต่อประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ก๊าซไนตริกออกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา นั่นหมายถึง ปัจจัยด้านองค์ประกอบและลักษณะทางเคมีในตัวรองรับส่งผลต่อประสิทธิภาพการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยารีดิวซ์ก๊าซไนตริกออกไซด์มากกว่าปัจจัยทางกายภาพ ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะของรูพรุน ขนาดรูพรุน การกระจายตัวของขนาดรูพรุน และความเป็นผลึกของตัวรองรับ

4. สรุปผลการทดลอง

ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน อุณหภูมิ 280 องศาเซลเซียส ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินา ให้ประสิทธิภาพการรีดิวซ์ก๊าซไนตริกออกไซด์สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนตัวรองรับซิลิกา โดยตัวรองรับที่มีทั้งองค์ประกอบของซิลิกอนและอลูมิเนียมให้ประสิทธิภาพการรีดิวซ์ก๊าซไนตริกออกไซด์สูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียมออกไซด์บนตัวรองรับ SiO₂ และ Al₂O₃ เมื่ออัตราส่วนผสมขององค์ประกอบทั้งสองชนิดอยู่ในค่าที่เหมาะสม (อัตราส่วน Al:Si มากกว่า 5) โดยที่อัตราส่วน Si:Al เป็น 1:9 ให้ประสิทธิภาพการรีดิวซ์ก๊าซไนตริกออกไซด์สูงสุด (สัดส่วนการแปลงผันร้อยละ 52.34) ซึ่งประสิทธิภาพการรีดิวซ์

ก๊าซไนตริกออกไซด์จะขึ้นตรงอย่างมากกับอัตราส่วนผสมของซิลิกอนกับอลูมิเนียม

ประสิทธิภาพการรีดิวซ์ก๊าซไนตริกออกไซด์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาโคบอลต์บนตัวรองรับซิลิกา-อลูมินาจะลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิการทำปฏิกิริยาลดลงและเพิ่มขึ้นเมื่อไม่มีออกซิเจนปรากฏอยู่ในปฏิกิริยา

5.กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงได้ไปไม่ได้หากคณะผู้วิจัยไม่ได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่มอบเงินทุนสนับสนุนในการทำโครงการนี้ในปี 2553

ขอขอบคุณ นางสาวพรพรรณ น้ำค้าง, นางสาวบุษยา ชำนาญคิด, นายกฤตธี สถาพรเกษมสุข, นายพรไพบูรณ์ พุทธคุณ และ นายวีระปราชัย คงทอง ที่ให้ความรู้เพิ่มเติมและเป็นประโยชน์ทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ในโอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

Bennici, S., Gervasini A. and Ragaini, V. Preparation of highly dispersed CuO catalysts on oxidesupports for de-NO_x reactions. Ultrasonics Sonochemistry 10, 2003: 61–64.

Bennici, S., A. Gervasini, M. Lazzarin and V. Ragaini. CuO based catalysts on modified acidic silica supports tested in the de-NO_x reduction. Ultrasonics Sonochemistry 12, 2005: 307-312.

Carniti, P., A. Gervasini, V.H. Modica and N. Ravasio. Catalytic selective reduction of NO with ethylene over a series of copper catalysts on amorphous silicas. Applied Catalysis B: Environmental 28, 2000: 175-185.

Kongkachuichai, P. Technique for processing composites of SiO₂-Al₂O₃ and Si₃N₄-Al₂O₃. Doctor of philosophy, Texas A&M University, 1992.

Roy,S., Hegde,M.S. and Madras,G. Catalysis for NO_x abatement. Applied Energy, 2009: 2283 – 2297.

Sjovall H., Olsson L., Fridell E. and Blint R.J., Selective catalytic reduction of NO_x with NH₃ overCu-ZSM-5—The effect of changing the gas composition. Applied Catalysis B: Environmental 64, 2006: 180 – 188.

Volckmar,C., Bron,M., Bentrup,U., Martin,A. and Claus,P. Influence of the support composition on the hydrogenation of acrolein over Ag/SiO₂-Al₂O₃ catalyst. Journal of Catalysis, 2009: 1–8.