

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ K/SUZ-4 และ Fe/SUZ-4

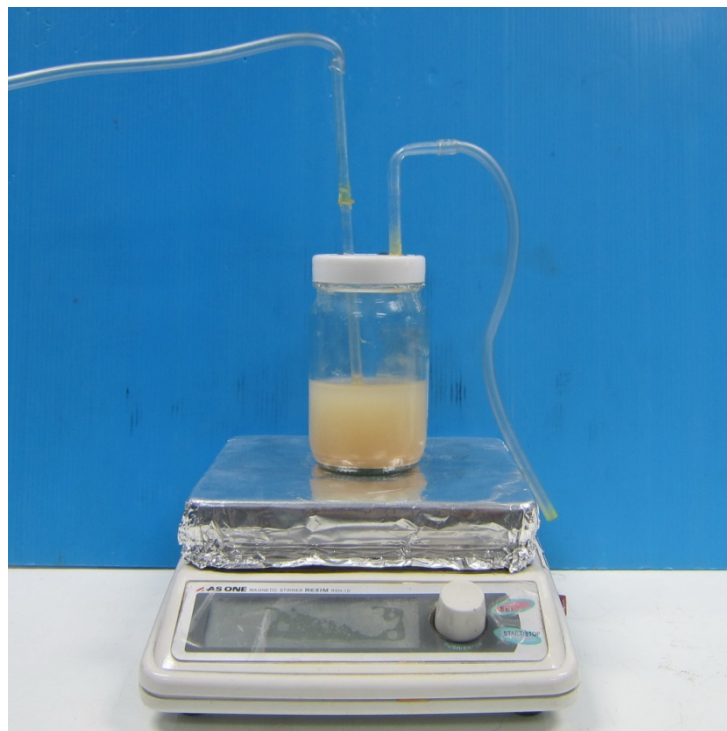
1. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (85 wt.% KOH, Merck)
2. ผงอลูมินัม (93 wt.% Al, Himedia)
3. ซิลิกาโซล (40 wt.% SiO₂ Ludox AS-40, Dupont)
4. เตตระเอทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (35 wt.% TEAOH, Sigma-Aldrich)
5. ไอรอน(II)คลอไรด์เตตระไฮไดรด์ (99 wt.% FeCl₂·4H₂O, Merck)
6. น้ำกลั่น (Distilled water)
7. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)
8. ก๊าซอาร์กอน (Argon : HP Grade, SCE)

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ K/SUZ-4 และ Fe/SUZ-4

1. ตู้อบ (Hot air oven) รุ่น DK.42 ผลิตโดยบริษัท MEMMERT ประเทศเยอรมนี
2. เครื่องให้ความร้อนและกวนแบบแท่งแม่เหล็ก (Heater and stirrer) รุ่น C-MAX ผลิตโดยบริษัท IKA ประเทศจีน
3. เครื่องชั่งละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AT 400 ผลิตโดยบริษัท METTLER TOLEDO ประเทศสหรัฐอเมริกา
4. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง รุ่น Waterproof pH Testr 30 บริษัท Eutech Instruments ประเทศสิงคโปร์
5. เครื่องเตาเผาอุณหภูมิสูง รุ่น 27L/P ผลิตโดยบริษัท PTEC ประเทศไทย
6. เครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล (Autoclave) รุ่น 4841 ผลิตโดยบริษัท Parr ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. ชุดกวนระบบปิด พร้อมระบบป้อนก๊าซ



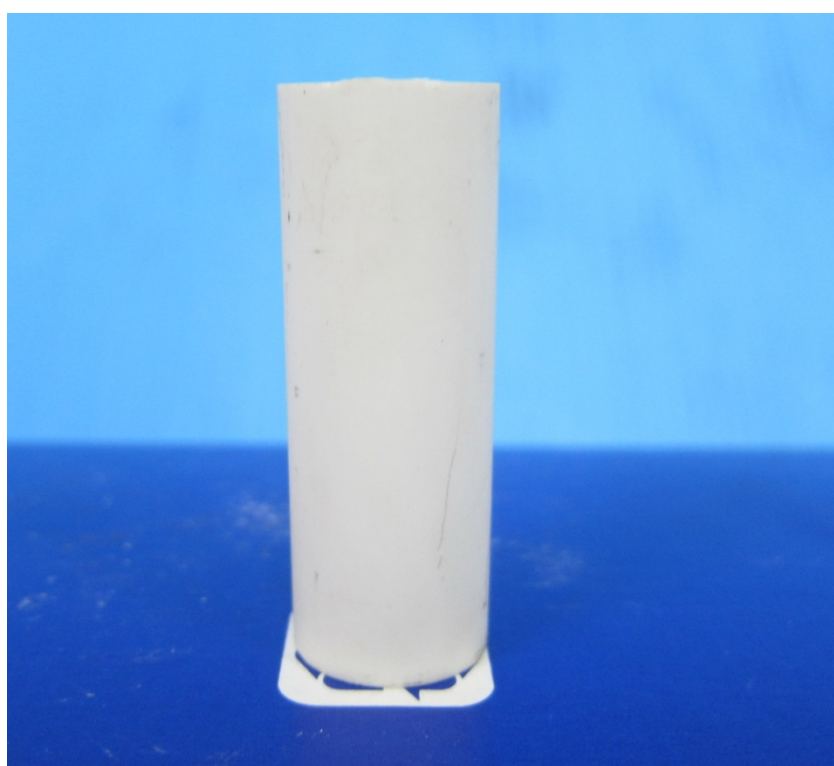
ภาพที่ 3-1 เครื่องปฏิกรณ์ไฮโดรเทอร์มัล พร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความเร็วรอบ



ภาพที่ 3-2 ชุดกวนระบบปิด พร้อมระบบป้อนก๊าซที่ใช้ในการทดลอง

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์เมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4

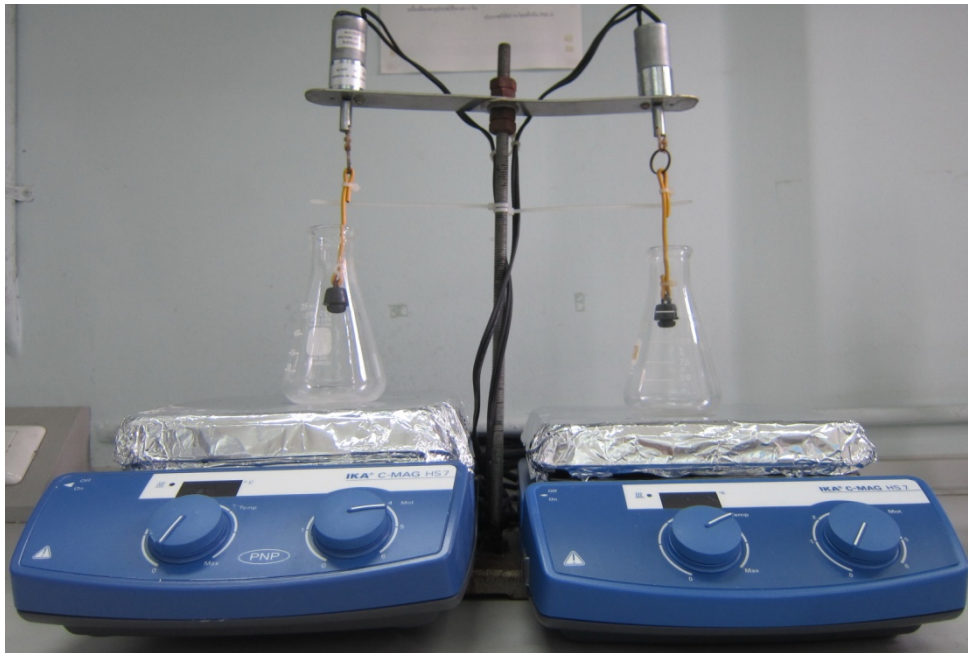
1. พอลิเอมีน (50 wt.% ATC4150, Eka Chemicals)
2. เมทิลเอสเทอร์ซัลโฟเนต (88 wt.% MES, Dallefpra SpA)
3. ท่อมัลไลต์ ($3\text{Al}_2\text{O}_3/2\text{SiO}_2$) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายนอก 15 mm. หนา 2 mm. ยาว 40 mm. มีความพรุน (porosity) 30% (Techno Asset CO.Ltd.) ดังภาพที่ 3-3
4. ซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 ที่สังเคราะห์ได้
5. จุกยางปิดท่อมัลไลต์



ภาพที่ 3-3 ท่อมัลไลต์ที่ใช้ในการทดลองขนาดความยาว 40 mm.

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์เมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4

1. เครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic bath) รุ่น RK 100H ผลิตโดยบริษัท BANDELIN SONOREX ประเทศเยอรมัน
2. เครื่องตัดรอบต่ำแบบจานหมุน (Low speed diamond saw) ผลิตโดยบริษัท BUEHLER ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. ชุดอุปกรณ์ปั่นเคลือบ (Spin dip coating) สำหรับเตรียมเมมเบรนซีโอไลต์ (ภาพที่ 3-4)



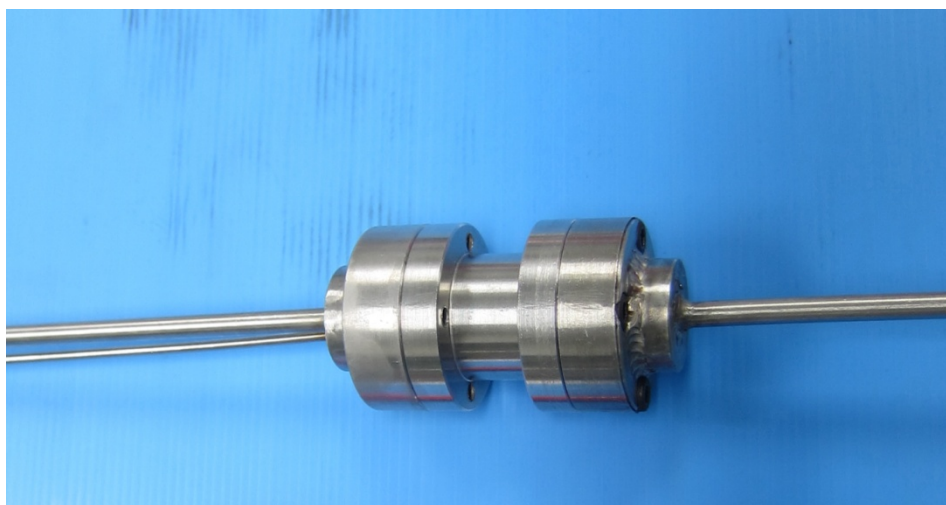
ภาพที่ 3-4 ชุดอุปกรณ์ปั่นเคลือบ (Spin dip coating) ที่สร้างขึ้นเพื่อสังเคราะห์
เมมเบรนซีโอไลต์

3.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด NO

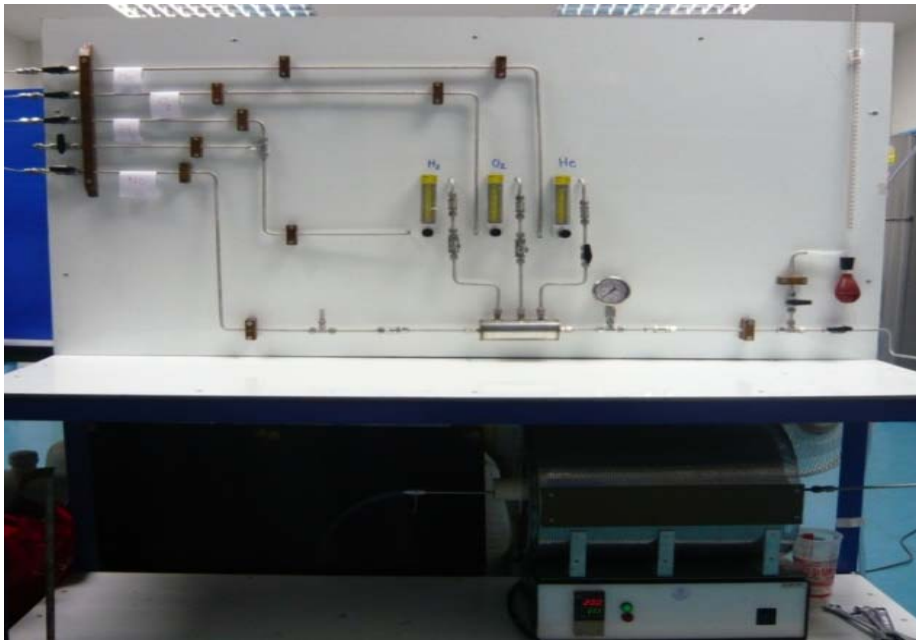
1. ซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 ที่สังเคราะห์ขึ้น
2. เมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 ที่สังเคราะห์ขึ้น
3. ใยแก้ว (Glass wool, Alltech)
4. ก๊าซไนตริกออกไซด์ (Nitricoxide : NO 1000 ppm in Helium balance, SCE)
5. ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen : HP Grade, SCE)
6. ก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen : HP Grade, SCE)
7. ก๊าซฮีเลียม (Helium : HP Grade, SCE)
8. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor) ท่อสแตนเลส เกรด 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.752 mm. (ภาพที่ 3-5)
9. เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน (Catalytic Membrane Reactor) สแตนเลส เกรด 304 L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 21 mm. (ภาพที่ 3-6)
10. ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสำหรับทดสอบปฏิกิริยากำจัด NO (ภาพที่ 3-7)



ภาพที่ 3-5 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3-6 เครื่องปฏิกรณ์เมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 3-7 ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสำหรับทดสอบปฏิกิริยากำจัด NO มีส่วนประกอบสำคัญคือ ท่อป้อนก๊าซ (Tube line) ในการทำปฏิกิริยา เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter) และเครื่องเตาเผาสำหรับให้ความร้อนในปฏิกิริยา

3.6 เครื่องมือวิเคราะห์

1. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารละลาย (Atomic Absorption Spectrometer, AAS) รุ่น AA 280 F ผลิตโดยบริษัท Varian ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 3-8)

เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่อยู่ในสารละลายทั้งก่อน-หลังการแลกเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์ SUZ-4 กับโลหะ Fe โดยอาศัยหลักการดูดกลืนแสงของอะตอม (Atomic adsorption spectroscopy)



ภาพที่ 3-8 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณธาตุในสารละลาย (AAS)

2. เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน thermogravimetric analysis (TGA) รุ่น SDT 2960 ผลิตโดยบริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 3-9)

เป็นเครื่องวิเคราะห์ที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางความร้อนของซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 โดยศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนภายใต้สภาวะการป้อนอากาศ (Zero air) ที่อุณหภูมิ 25-800 °C อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที



ภาพที่ 3-9 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (TGA)

3. เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction, XRD) รุ่น PW 1830/40 ผลิตโดยบริษัท Philips ประเทศเนเธอร์แลนด์ (ภาพที่ 3-10)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกและเฟสของซีโอไลต์ SUZ-4 และ Fe/SUZ-4 โดยใช้รังสี $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) เติมนำด้วยแรงดันไฟฟ้า 40 kV อยู่ในช่วงมุม 2θ ตั้งแต่ 5-70 ที่อัตรา 0.02 องศาต่อวินาที



ภาพที่ 3-10 เครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

4. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (X-Ray Fluorescence Spectroscopy, XRF) รุ่น MESA-500 W ผลิตโดยบริษัท HORIBA ประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 3-11)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในซีโอไลต์ SUZ-4 และ Fe/SUZ-4 โดยการวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray fluorescence) ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง



ภาพที่ 3-11 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF)

5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, SEM/EDS) รุ่น JSM-6301F ผลิตโดยบริษัท Jeol ประเทศญี่ปุ่น (ภาพที่ 3-12)

ใช้ศึกษาขนาด และรูปร่างอนุภาคผงซีโอไลต์ SUZ-4 และ Fe/SUZ-4 ตลอดจนลักษณะพื้นผิว การกระจายตัวของผลึกซีโอไลต์ และชั้นความหนาของเมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 และสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิคจุลวิเคราะห์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เชื่อมต่อกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ภาพที่ 3-12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (SEM/EDS)

6. เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและปริมาตรรูพรุน (Brunauer-Emmett-Teller, BET) รุ่น Autosorb[®]-1-C ผลิตโดยบริษัท Quantachrome ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 3-13)

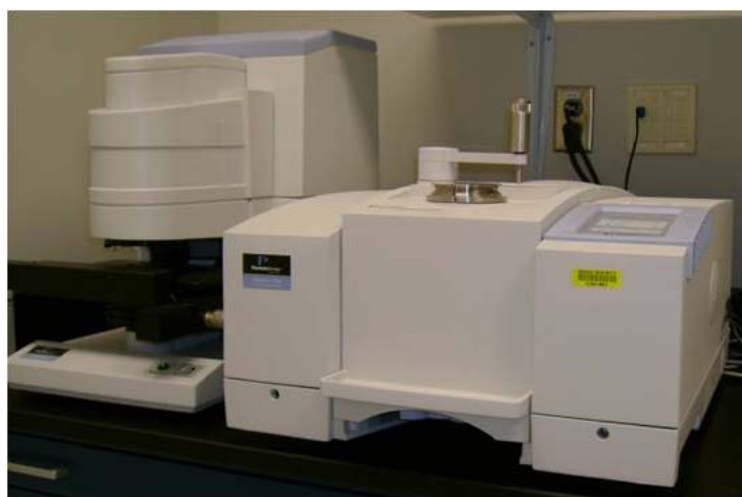
ใช้ในการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และขนาดรูพรุน ของทั้งซีโอไลต์ SUZ-4 และ Fe/SUZ-4 ด้วยเทคนิคการดูดซับไนโตรเจน (BET-N₂ adsorption) วิเคราะห์ในช่วงรูพรุนระดับไมโคร (Micropore, 74 points N₂ adsorption/desorption)



ภาพที่ 3-13 เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและปริมาตรรูพรุน (BET)

7. เครื่องวิเคราะห์หมุ่ฟังก์ชัน (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) รุ่น Spectrum One ผลิตโดยบริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 3-14)

ใช้ในการวิเคราะห์หาหมุ่ฟังก์ชันนัลต่างๆ ในซีโอไลต์ SUZ-4 และ Fe/SUZ-4 ทั้งก่อนและหลังทดสอบปฏิกิริยาในการกำจัด NO



ภาพที่ 3-14 เครื่องวิเคราะห์หมุ่ฟังก์ชัน (FTIR)

8. เครื่องวัดความเข้มข้นของก๊าซ (Portable combustion analyzer) รุ่น PCA2 ผลิตโดยบริษัท Bacharach ประเทศสหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 3-15)

เป็นเครื่องวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเผาไหม้และความเข้มข้นก๊าซพิษ โดยสามารถวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน (O_2) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) รวมถึงก๊าซ NO_x ($NO+NO_2$)



ภาพที่ 3-15 เครื่องวัดความเข้มข้นของก๊าซ NO ที่ใช้ในการทดลอง

3.7 ขั้นตอนการทดลอง

3.7.1 การสังเคราะห์ซีโอไลต์ K/SUZ-4

ซีโอไลต์ K/SUZ-4 สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล โดยมีอัตราส่วนเชิงโมลที่ $21.2SiO_2 : Al_2O_3 : 7.9KOH : 2.6TEAOH : 498.6H_2O$ มีขั้นตอนดังนี้

1.) เตรียมสารละลายโพแทสเซียมอะลูมินेट โดยนำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มาละลายในน้ำกลั่น แล้วค่อยๆ เติมหงอะลูมินัมลงไป กวนสารต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนอะลูมินัมละลายหมด

2.) นำสารกำหนดโครงสร้างเตตระเอทิลแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (TEAOH) มาละลายในน้ำกลั่น แล้วเติมซิลิกาโซล กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายเติมลงใน

สารละลายโพแทสเซียมอะลูมิเนียมที่ได้จากขั้นตอนแรกอย่างช้าๆ กวนสารละลายต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมงจนมีลักษณะเป็นเจล

3.) นำสารประกอบเจลที่ได้เข้าเครื่อง Autoclave ที่อุณหภูมิ 150 °C ความเร็วรอบ 250 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลา 4 วัน

4.) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มากรองและล้างด้วยน้ำกลั่นจนมี pH ประมาณ 9 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.7.2 การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง Fe(II) กับ K/SUZ-4

การแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างซีโอไลต์ K/SUZ-4 กับโลหะ Fe กระทำด้วยวิธี conventional ion-exchange ที่ปริมาณเหล็ก 1, 3, 5, 8 และ 10 wt.% มีขั้นตอนดังนี้

1.) เตรียมสารละลายเหล็กที่ปริมาณเหล็กต่างๆ กันปริมาณ 100 มิลลิลิตร กวนจนเข้ากัน จากนั้นเติม K/SUZ-4 ปริมาณ 1 กรัม กวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยป้อนก๊าซ Ar อัตราการไหลที่ 20 ml/min เพื่อไล่ O_2 ออกจากระบบ ป้องกันการออกซิไดซ์ของ Fe^{2+} เป็น Fe^{3+}

2.) ทำการกรองและล้างด้วยน้ำ de-ionized จนปราศจากคลอไรด์ไอออน (ทำการทดสอบด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต) และอบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.) นำไปเผาที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ในอากาศ

3.7.3 การเตรียมเมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4

1.) การเตรียมตัวรองรับมัลติไลต์

1.1 ตัดท่อมัลติไลต์ขนาดยาว 40 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดรอบต่ำ (Low speed diamond saw) และขัดรอยตัดให้เรียบด้วยกระดาษทราย

1.2 นำท่อมัลติไลต์ล้างในเครื่องล้างความถี่สูง (Ultrasonic bath) เป็นเวลา 30 นาที อบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.3 นำท่อมัลติไลต์เผาที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.) การเตรียมเมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 บนตัวรองรับมัลติไลต์

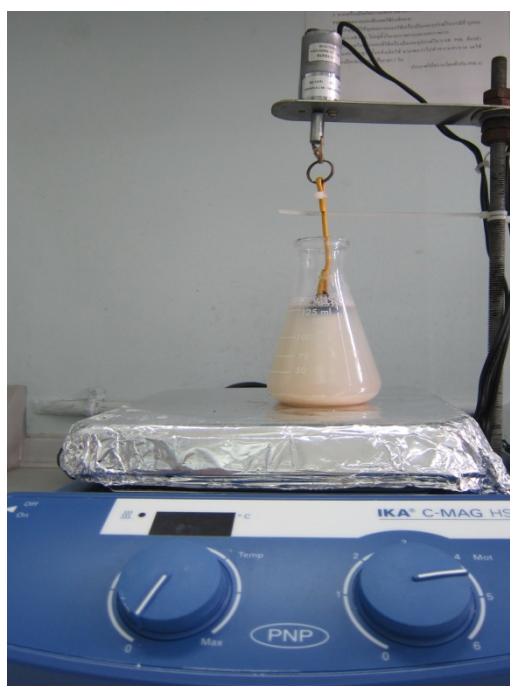
2.1 นำท่อมัลติไลต์ที่ผ่านการทำความสะอาดป้อนเคลือบด้วย 4 %wt. ของสารละลายพอลิเอมีน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และอบที่อุณหภูมิ 104 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.2 เตรียมซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 ที่สังเคราะห์ได้ให้อยู่ในรูปของสารคอลลอยด์ ซึ่งประกอบด้วย ซิลิกาโซล 1%wt. เพื่อใช้เป็นตัวประสานระหว่างท่อนัลไลต์กับผงซีโอไลต์ เมทิลเอสเทอร์ซัลโฟเนต 0.4 %wt. เป็นสารลดแรงตึงผิว ช่วยให้ผงซีโอไลต์แขวนลอยในน้ำได้ดี ซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 5 %wt. และน้ำ DI กวนจนเข้ากัน

2.3 นำท่อนัลไลต์ที่ได้จากขั้นตอนแรก มาปั่นเคลือบในสารคอลลอยด์ ด้วยความเร็ว 50 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที (ภาพที่ 3-16) จากนั้นนำออกจากสาร แล้วปั่นต่ออีกเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ได้ชั้นของเมมเบรนที่สม่ำเสมอ

2.4 อบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 350 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง อัตราการให้ความร้อน 2 °C ต่อนาที

2.5 ทำการปั่นเคลือบซีโอไลต์จนครบ 3 ชั้น โดยเริ่มจากการปั่นเคลือบสารละลายพอลิเอมีน แล้วอบแห้ง จากนั้นนำไปปั่นเคลือบในสารคอลลอยด์ อบและเผาตามลำดับ



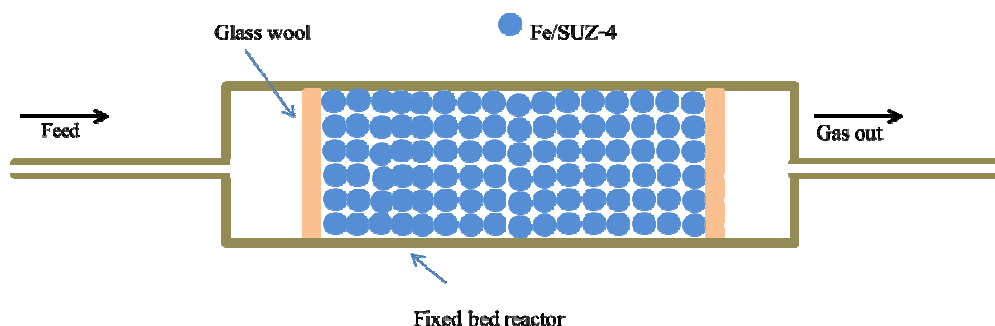
ภาพที่ 3-16 การปั่นเคลือบท่อนัลไลต์ในสารคอลลอยด์ของซีโอไลต์ 5 %wt. Fe/SUZ-4

3.7.4 การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด NO ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด NO ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ของปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์แบบเลือกเกิดด้วยก๊าซไฮโดรเจน (H_2 -SCR) ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 100-400 °C ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้คือซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1.) นำเครื่องปฏิกรณ์อบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
- 2.) ใส่ใยแก้วลงในเครื่องปฏิกรณ์ แล้วนำซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 0.3 กรัม บรรจุตาม จากนั้นทำการใส่ใยแก้วตามอีกครั้งหนึ่ง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของซีโอไลต์ แสดงดังภาพที่ 3-17
- 3.) ทำการ pretreat ซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 ที่อุณหภูมิตามที่ทำการศึกษา โดยป้อนก๊าซ H_2 ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 4.) ทำการปรับอุณหภูมิตามที่ทำการศึกษา ทำการป้อนก๊าซ He ด้วยอัตราการไหล 120 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อไล่ก๊าซ H_2 ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ เป็นเวลา 30 นาที
- 5.) ป้อนก๊าซพิษจำลองซึ่งประกอบด้วย 250 ppm NO , 10 % Vol. O_2 , 1 % Vol. H_2 และใช้ก๊าซ He ปรับอัตราการไหลรวมของก๊าซพิษจำลองเท่ากับ 200 มิลลิลิตรต่อนาที โดยศึกษาการทดสอบปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ตามสถานะที่แสดงในตารางที่ 3-1
- 6.) ทำการเก็บค่าความเข้มข้นของก๊าซ NO หลังทำปฏิกิริยาแล้ว 10 นาที โดยเก็บค่าทุกๆ 2 นาที ด้วยเครื่อง Combustion Analyzer เป็นเวลา 1 ชั่วโมง การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (% NO conversion) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3-1

$$\% \text{ NO conversion} = \frac{[NO]_{in} - [NO]_{out}}{[NO]_{in}} \times 100 \quad (3-1)$$



ภาพที่ 3-17 แผนภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed bed reactor)

ตารางที่ 3-1 สภาวะที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด NO ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

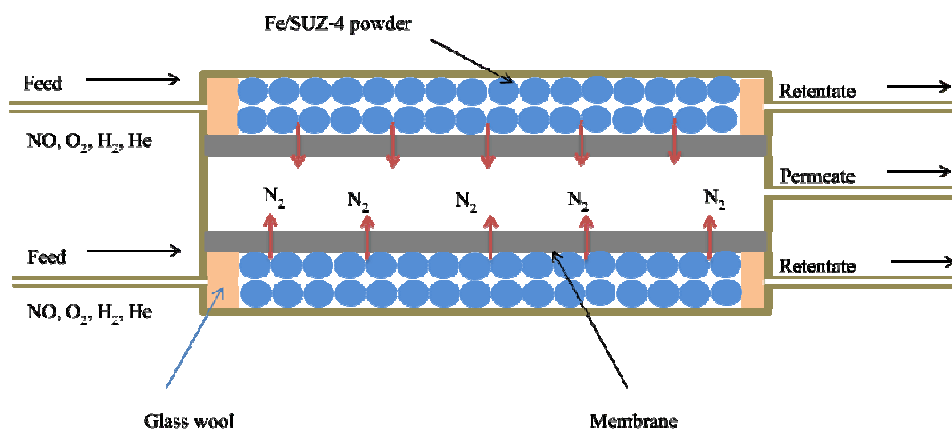
Catalyst	1, 3, 5, 8, 10 wt.% Fe/SUZ-4
Sample weight	0.2 - 1 g
Reactor	0.7752 cm.id. stainless steel tube
Catalyst bed length	2.7 - 13.3 cm
Space velocity	9,417 – 1,912 h ⁻¹
Feed concentration	NO: 250 ppm (1.64×10^{-6} mol)
	O ₂ : 10% Vol. (8.18×10^{-4} mol)
	H ₂ : 1% Vol. (8.18×10^{-5} mol)
	He: balance
Gas flow rate	200 cm ³ /min
Pretreat temperature	300, 400, 500 °C
Reaction temperature	100, 200, 300, 400 °C
Pressure	1 atm

3.7.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด NO ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

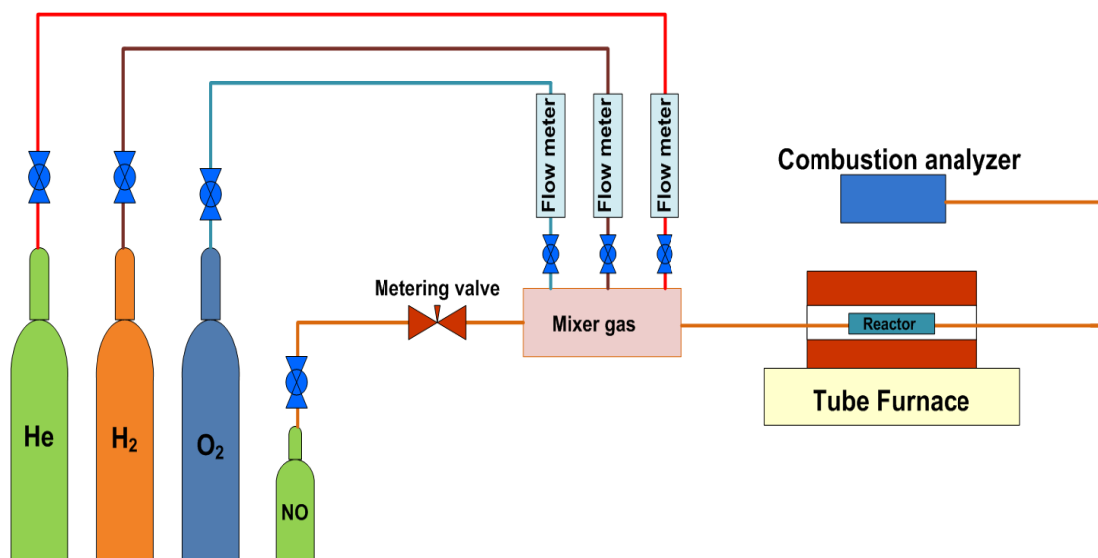
การทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด NO ด้วยเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยใช้เมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 ที่สังเคราะห์ขึ้น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและคัดแยกก๊าซ มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

- 1.) นำเครื่องปฏิกรณ์อบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้น
- 2.) บรรจุเมมเบรนซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 ลงในเครื่องปฏิกรณ์ แล้วใส่ใยแก้วลงในเครื่องปฏิกรณ์ จากนั้นบรรจุผงซีโอไลต์ Fe/SUZ-4 0.8 กรัม โดยรอบเมมเบรน ใส่ใยแก้วตามอีกครั้งหนึ่ง เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของซีโอไลต์ แสดงการทำงานดังภาพที่ 3-18
- 3.) pretreat ที่อุณหภูมิ 300 °C โดยป้อนก๊าซ H₂ ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการปรับอุณหภูมิตามที่ทำการศึกษา ด้วยการป้อนก๊าซ He ที่อัตราการไหล 120 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อไล่ก๊าซ H₂ ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ เป็นเวลา 30 นาที โดยศึกษาการทดสอบปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ตามสภาวะที่แสดงในตารางที่ 3-2

4.) ป้อนก๊าซพิษจำลองซึ่งประกอบด้วยก๊าซ 250 ppm NO , 10 % Vol. O₂, 1 % Vol. H₂ และใช้ก๊าซ He ปรับอัตราการไหลรวมของก๊าซพิษ ทำการเก็บค่าความเข้มข้นของก๊าซ NO ขาออก ด้านก๊าซเพอมีเอททุกๆ 2 นาที ด้วยเครื่อง Combustion Analyzer เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงอุปกรณ์ ชุดทดสอบ NO ดังภาพที่ 3-19



ภาพที่ 3-18 แผนภาพการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน (Catalytic Membrane Reactor)



ภาพที่ 3-19 แผนภาพอุปกรณ์ทดสอบปฏิกิริยาในการกำจัด NO

ตารางที่ 3-2 สภาวะที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัด NO ด้วยเครื่องปฏิกรณ์เมมเบรน

Catalyst	5 wt.% Fe/SUZ-4 zeolite membrane 5 wt.% Fe/SUZ-4 powder
Sample weight	0.8 g of 5 wt.% Fe/SUZ-4 powder
Reactor	2.3 cm.id. membrane reactor
Catalyst bed length	4 cm
Feed concentration ^a	NO: 250 ppm (1.64×10^{-6} mol) O ₂ : 10% Vol. (8.18×10^{-4} mol) H ₂ : 1% Vol. (8.18×10^{-5} mol) He: balance
Gas flow rate	200 - 300 cm ³ /min
Space velocity (SV)	1,256.49 - 1,884.81 h ⁻¹
Pretreat temperature	300 °C
Reaction temperature	300 °C
Pressure	1 atm

^aGas flow rate 200 cm³/min