



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

รหัสโครงการ ENG 49093

การศึกษาเปรียบเทียบปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ HPW บน SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite

A Comparative Study of the Catalytic Oxidation of VOCs by
12 – Tungstophosphoric acid (HPW) supported on SiO_2 , Al_2O_3 and Zeolite

คณะผู้วิจัย

ผศ. ดร. สุกฤทธิรา รัตนวิไล และ คณะ

หน่วยงานที่สังกัด

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

สนับสนุนทุนวิจัยโดย

งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2549

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมขยายตัวมากขึ้น ทำให้มีการปล่อยสารพิษออกสู่บรรยากาศมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ มีการปล่อยสารพิษที่ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมการปล่อยสาร VOCs สู่บรรยากาศให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงการลดปริมาณสาร VOCs ด้วยวิธี Catalytic oxidation โดยแคตตาลิสต์ที่ใช้คือ 12-Tungstophosphoric acid (HPW) ที่มีตัว supporter 3 ชนิดที่แตกต่างกันคือ SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite โดยเตรียมที่ 0, 4%, 8%, 12% HPW โดยน้ำหนัก สาร VOCs ที่ใช้ในการศึกษาคือ โทลูอิน โดยควบคุมความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศให้อยู่ในช่วง 300-1000 ppm. ที่อุณหภูมิดำเนินการ 200, 300 และ 400°C จากการศึกษาด้วยวิธีปฏิบัติโดยใช้ XRD, SEM และ FT-IR เพื่อยืนยันชนิดของสาร การกระจายตัวของ HPW/ SiO_2 , HPW/ Al_2O_3 และ HPW/Zeoilite และหมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ HPW บน Supporter คือ SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite สามารถยืนยันได้จากลักษณะทางกายภาพ โดยพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ การโหลด (% Loading) HPW บน Supporter ทุกชนิดสูงขึ้นจะพบปริมาณสาร HPW มากขึ้น

ในการทดลองด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา HPW/ SiO_2 , HPW/ Al_2O_3 และ HPW/Zeoilite ในปฏิกิริยา Catalytic Oxidation พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของ reactor สูงขึ้นในช่วง 200 – 400 °C ความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศของตัวเร่งปฏิกิริยาก็สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Arrhenius โดยเรียงลำดับการกำจัดโทลูอินในอากาศโดยดูจาก %Conversion ของโทลูอินได้ ดังนี้คือ 12%HPW/ SiO_2 ที่อุณหภูมิ 400°C สามารถกำจัดโทลูอินในอากาศได้สูงที่สุดมี คือ 89% ตามด้วย 8% HPW/ Al_2O_3 ให้ค่า %conversion เท่ากับ 85% สุดท้ายคือ 12% HPW/Zeoilite ให้ค่า %conversion ประมาณ 72% ซึ่งหากดูจากความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณของ HPW พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวสูงสุดและมีปริมาณของ HPW มากสุดให้ค่า %Conversion ของโทลูอินสูงสุด ซึ่งพื้นที่ผิวและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงคาดว่าจะมีผลโดยตรงต่อการเกิด Oxidation Reaction โดยคำนึงถึงการปลดปล่อยออกซิเจนเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่งสำคัญที่สุด

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	- 4 -
รายการภาพประกอบ	- 6 -
รายการสัญลักษณ์และอักษรย่อ	- 9 -
บทที่	
1. บทนำ	1
ความสำคัญและที่มา	1
ตรวจสอบเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	4
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
ขอบเขตการศึกษา	5
2. ทฤษฎี	6
สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	6
วิธีการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย	7
Catalytic Oxidation Reaction	8
Catalyst HPW และ Supporters	10
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	14
อุปกรณ์ และการเตรียม Catalyst	14
การวิเคราะห์ Catalyst	15
อุปกรณ์และการติดตั้งอุปกรณ์	16
วิธีการทดลอง	22
4. ผลการทดลองและวิจารณ์	25
ลักษณะและสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์	25
ผลวิเคราะห์ SEM	25
ผลวิเคราะห์ XRD	29
ผลวิเคราะห์ FTIR	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลวิเคราะห์ BET Surface Area	38
ผลการทดลอง Catalytic Oxidation Reaction	41
ผลการทดลอง HPW/SiO ₂	41
ผลการทดลอง HPW/Al ₂ O ₃	51
ผลการทดลอง HPW/Zeolite	60
ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาหลังการทำปฏิกิริยา	69
วิจารณ์ผลการทดลอง	70
5. สรุปผลการทดลอง	74
ข้อเสนอแนะ	75
6. บรรณานุกรม	76
7. ภาคผนวก	77
ก. การทำ Calibration Curve ของ Toluene	77
ข. การหา Wettness Point และ ตัวอย่างการคำนวณ	80

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเชื่อมต่อกันของออกซิเจนทั้งสี่ชนิดใน Keggin Unit	11
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ Primary structure ของ $H_3O_{40}PW_{12}$ (HPW)	11
รูปที่ 2.3 แสดง Secondary structure ของ $H_3O_{40}PW_{12}$ (HPW)	12
รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทดลอง	17
รูปที่ 3.2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง	17
รูปที่ 3.3 แสดงสามทางในการผสมไอโทลูอีนกับอากาศ	18
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรระเหยสำหรับการระเหยไอโทลูอีน	18
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของ Furnace และ Microreactor ที่ใช้ในการทดลอง	19
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของ Furnace และ Microreactor ที่ใช้ในการทดลอง	20
รูปที่ 3.7 แสดงแผ่นตะแกรงรองรับใยแก้วและ catalyst	20
รูปที่ 3.8 แสดงใยแก้วและการบรรจุใยแก้วใน reactor	21
รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้ง reactor ในเตาเผา	21
รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองทั้งหมด	22
รูปที่ 3.11 แสดงการเก็บตัวอย่าง	24
รูปที่ 3.12 แสดงการเตรียมตัวอย่างก่อนวิเคราะห์	24
รูปที่ 4.1 a-d แสดง SEM ของ 0% - 12% HPW บน SiO_2	25
รูปที่ 4.2 a-d แสดง SEM ของ 0% - 12% HPW บน Al_2O_3	27
รูปที่ 4.3 แสดง SEM ของ Pure HPW	28
รูปที่ 4.4 a-d แสดง SEM ของ 0% - 12% HPW บน Zeolite	28
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity กับองศาที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ ที่ Pure SiO_2 , Pure HPW 0% - 12% HPW บน SiO_2 ด้วยเครื่อง X - ray Diffractometer (PHILLIPs X' Pert MPD)	30
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity กับองศาที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ ที่ Pure Al_2O_3 , Pure HPW, 0% - 12% HPW บน Al_2O_3 ด้วยเครื่อง X - ray Diffractometer (PHILLIPs X' Pert MPD)	31
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity กับองศาที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ ที่ Zeolite, Pure HPW, 0% - 12% HPW บน Zeolite ด้วยเครื่อง X - ray Diffractometer (PHILLIPs X' Pert MPD)	32

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์ Pure HPW ด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer , model EQUINOX 55 Bruker	33
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์ 0%HPW บน SiO ₂ ด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer , model EQUINOX 55 Bruker	33
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์ 4%HPW บน SiO ₂ ด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer , model EQUINOX55 Bruker	34
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์ 8%HPW บน SiO ₂ ด้วย Fourier Transform Infrared Spectrometer , model EQUINOX55 Bruker	34
รูปที่ 4.12 แสดงหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR Spectroscopy Pure Al ₂ O ₃ (a), 2% HPW/Al ₂ O ₃ (b), 4% HPW/Al ₂ O ₃ (c), 8% HPW/Al ₂ O (d), 12% HPW/Al ₂ O ₃ (e), 20% HPW/Al ₂ O ₃ (f) และ Pure HPW (g)	36
รูปที่ 4.13 แสดงหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR Spectroscopy (1200-600 cm ⁻²) Pure Al ₂ O ₃ (a), 2% HPW/Al ₂ O ₃ (b), 4% HPW/Al ₂ O ₃ (c), 8% HPW/Al ₂ O (d), 12% HPW/Al ₂ O ₃ (e), 20% HPW/Al ₂ O ₃ (f) และ Pure HPW (g)	36
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ Wavenumber (cm ⁻¹) HPW บน Zeolite ที่ %HPW ต่างๆกันด้วยวิธี FTIR โดยเส้นที่ 1 แสดง Pure HPW เส้นที่ 2 Pure Zeolite เส้นที่ 3 4%HPW/Zeolite เส้นที่ 4 8%HPW/Zeolite เส้นที่ 5 12%HPW/Zeolite	38
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 0% HPW บน SiO ₂ ที่อุณหภูมิ เต่าเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ	44
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 4% HPW บน SiO ₂ ที่อุณหภูมิเต่าเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ	45
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 8% HPW บน SiO ₂ ที่อุณหภูมิเต่าเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ	46
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 12% HPWบน SiO ₂ ที่อุณหภูมิเต่าเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ	47
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบ%Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW บน SiO ₂ ที่อุณหภูมิเต่า 200°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	48
รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบ%Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW บน SiO ₂ ที่อุณหภูมิเต่า 300°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	49

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบ %Conversion ของโทลูอินในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW บน SiO ₂ ที่อุณหภูมิเตา 400°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	50
รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะของ Catalyst ก่อนและหลังการทดลอง	69
รูปที่ 4.23 แสดงลักษณะของ Catalyst ที่ 4%-8% HPW บน SiO ₂ หลังการทดลอง	69
รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะของ Catalyst ที่ 12% HPW บน SiO ₂ หลังการทดลอง	69

รายการสัญลักษณ์และอักษรย่อ

VOCs	Volatile Organic Compounds
HPW	12 - Tungstophosphoric acid
SiO ₂	Silicon Dioxide
SEM	Scanning Electron Microscopy
XRD	X - ray Diffractrometer
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectrometer
BET	Brunauer Emmett Teller Surface Area
cm	เซนติเมตร
g	กรัม
GC	Gas Chromatography
h	ชั่วโมง
mg	มิลลิกรัม
ml	มิลลิลิตร
°C	องศาเซลเซียส

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOC) คือกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ที่อุณหภูมิและความดันปรกติ โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีความดันไอมากกว่า 0.14 mmHg ที่ 25°C และประกอบไปด้วยอะตอมของคาร์บอนระหว่าง 2 ถึง 12 อะตอม เช่น เมทานอล อะซีโตน คลอโรฟอร์ม เบนซีน และทูลอีน เป็นต้น ปัจจุบันสารอินทรีย์ระเหยง่ายสังเคราะห์เพื่อใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมพ่นสี อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมเคลือบผิวขัดเงา เป็นต้น นอกจากนี้แล้วในชีวิตประจำวัน เราได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทั่วไปหลายอย่างเช่น สีทาบ้าน หมึกพิมพ์ ควันบุหรี่ น้ำยาซักแห้ง น้ำยาขัดผมและตัดผม สารฆ่าแมลง สารที่เกิดจากการเผาไหม้ และปะปนในอากาศ อาหาร เครื่องดื่ม สารอินทรีย์ระเหยง่ายเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทั้งทางการหายใจ การกิน และทางการสัมผัส จากการสำรวจโดยสำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม กรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี 2546 พบว่ามีการใช้ตัวทำละลายซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆในประเทศมากกว่า 14,500 ต้นต่อปี โดยเฉพาะทูลอีน มีปริมาณการใช้สูงสุดถึง 5,772 ต้นต่อปี ความเข้มข้นเฉลี่ยของทูลอีนในพื้นที่ทำงานในโรงงานผลิตทินเนอร์มีปริมาณสูงถึง 200 ppm ซึ่ง ณ ความเข้มข้นที่กล่าวนี้หากร่างกายมนุษย์สัมผัสเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะเกิดอาการเหนื่อยล้า อ่อนเพลีย ความคิดสับสน เกิดอาการชาที่ผิวหนังและนอนไม่หลับ และหากทูลอีนมีความเข้มข้นถึง 600 ppm ระยะเวลาสัมผัส 8 ชั่วโมง อาจทำให้หมดสติได้ นอกจากนี้แล้วหากสารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกสะสมไว้ในร่างกายปริมาณมากพอและเป็นเวลานานย่อมมีผลกระทบและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ อันเนื่องมาจากสารเหล่านี้มีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง นอกจากนี้แล้วในปัจจุบันปัญหามลภาวะทางอากาศเนื่องจากการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายออกสู่บรรยากาศก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยตรง ดังนั้นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องทำการกำจัดหรือลดปริมาณความเข้มข้นของสารเหล่านี้ให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ ตัวอย่างเช่น กฎหมายควบคุมภายในประเทศไทยกำหนดค่ามาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ยของทูลอีนในสถานประกอบการตลอดระยะเวลาการทำงานปรกติไม่ควรเกิน 200 ppm และความเข้มข้นสูงสุดของทูลอีนที่ยอมให้มีได้คือ 300 ppm ซึ่งยังคงมีค่าสูงเมื่อเทียบกับมาตรฐานอื่นๆ เช่น ความเข้มข้นของทูลอีนที่ยอมรับได้ในการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมงของมาตรฐาน NIOSH / OSHA (1990) TWA มีค่า 100 ppm มาตรฐาน ACGIH (1992) มีค่าประมาณ 50 ppm

จากที่กล่าวข้างต้นปริมาณการใช้สารอินทรีย์ระเหยง่ายในประเทศโดยเฉพาะทุโลอินมีปริมาณสูงถึง 5772 ตันต่อปีซึ่งหมายถึงปริมาณที่มนุษย์ได้ปล่อย VOC สู่อากาศย่อมมีมากขึ้นตามปริมาณที่ใช้ ดังนั้น การศึกษาหาแนวทางในการกำจัดหรือลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้ให้ได้ตามมาตรฐานก่อนปล่อยสู่อากาศ รวมทั้งการพัฒนาการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้มีคุณภาพสูงที่สุด เพื่อลดปัญหาผลกระทบต่อสุขภาพที่จะเกิดขึ้นจึงเป็นหัวข้อที่ต้องให้ความสนใจศึกษาเพื่อจะได้หาทาง ป้องกันและควบคุมการปลดปล่อยของ VOC จากโรงงานอุตสาหกรรมสู่อากาศต่อไป

Catalytic Oxidation เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายใน อุตสาหกรรมก่อนปล่อยอากาศออกสู่อากาศ ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ ระเหยง่ายและออกซิเจน โดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกทำลายในช่วงอุณหภูมิ $150^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$ ผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากกระบวนการคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและ สิ่งแวดล้อม การใช้ Catalytic Oxidation ถึงแม้ต้องใช้พลังงานในการทำปฏิกิริยา ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่าย เพิ่มในส่วนนี้แต่เป็นการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้หมดไปเปลี่ยนสภาพเป็นสารที่ไม่อันตราย ไม่ ซับซ้อนเหมือนกับการใช้ม่านน้ำ (Water Scrubber) หรือ กระบวนการดูดซับ (Adsorption) ถึงแม้จะใช้ ต้นทุนที่ต่ำกว่าแต่สารอินทรีย์ระเหยง่ายยังคงสภาพเดิมซึ่งเป็นอันตรายอยู่เพียงแต่สารอินทรีย์ระเหยง่าย ถูกรวบรวมไว้ในกระแสน้ำ หรือตัวดูดซับเพื่อรอการกำจัดต่อไปเท่านั้น ซึ่งต้องเพิ่มกระบวนการและ ความซับซ้อนของการกำจัดอีกเช่นกัน

ดังนั้นเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอุตสาหกรรมก่อนปล่อย อากาศออกสู่อากาศ Catalytic Oxidation จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจศึกษาเนื่องจากการกำจัดสารอินทรีย์ ระเหยง่ายให้หมดไปโดยเปลี่ยนสภาพเป็นสารที่ไม่อันตรายภายใต้กระบวนการเดียว โดยงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาและเปรียบเทียบผลจากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ 12 - Tungstophosphoric acid (HPW) บน supporter ที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite เพื่อเปรียบเทียบผลในการกำจัดเพื่อลดปัญหา ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และเพื่อให้สามารถนำผลการศึกษาไปขยายส่วน ในระดับอุตสาหกรรม (Pilot Plant) ได้ต่อไป

1.2 ตรวจสอบเอกสาร

การเผาไหม้ของแก๊สธรรมชาติโดยปฏิกิริยาของคะตาลิสต์ เป็นเทคโนโลยีที่มีอนาคต ในเรื่อง กระบวนการเปลี่ยนพลังงาน เพราะสามารถช่วยลดการแพร่กระจายของ NO_x , CO และไฮโดรคาร์บอน ถึงแม้ว่ามันจะถูกเสนอให้มีการประยุกต์ใช้ในหลายๆอุตสาหกรรม เช่น กังหันแก๊ส หม้อไอน้ำ และ เครื่องยนต์เจ็ท แต่ความยุ่งยากส่วนใหญ่ก็คือการพัฒนาการใช้คะตาลิสต์และ ตัว support ที่มีทั้งในเรื่อง ความเสถียรภาพที่อุณหภูมิสูงและแอกติวิตีที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ

ความต้านทานความร้อนของออกไซด์ของโลหะต่างชนิดกันก็ถูกทำการศึกษา เช่นเดียวกันกับคะตาไลสต์และตัว support ตัวอย่างเช่น ในการเผาไหม้มีเทนโดยใช้ปฏิกิริยาของคะตาไลสต์ ด้วยออกไซด์โลหะบางชนิด เช่น perovskites, Co_3O_4 หรือ spinels เป็นต้น เมื่อไม่นานมานี้มีการรายงานโดย Groppi et al. พบว่า hexaaluminate catalyst มีแอคติวิตีที่สูงในการเผาไหม้มีเทนและมีความเสถียรภาพในเรื่องของอุณหภูมิเป็นอย่างดี ในบรรดาคะตาไลสต์ทั้งหมด Ba-Mn และ Sr-La-Mn hexaaluminate จะมีความคงตัวต่ออุณหภูมิและการแอคทีฟในหลายๆเรื่องมากที่สุด ได้มีการนำทฤษฎี alkoxide hydrolysis มาใช้เพื่อการสังเคราะห์ของ hexaaluminate ที่มีพื้นที่ผิวมาก วิธีการเตรียมการจะทดลองที่สถานะมีออกซิเจนและปราศจากความชื้น ซึ่งเป็นเหมือนการจำลองแบบอุตสาหกรรมจริง ความสำเร็จในการพัฒนานี้คือ เทคนิค aqueous coprecipitation กับ $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ซึ่งถูกใช้เพื่อเตรียมคะตาไลสต์ Groppi et al. ได้ใช้สารละลายใน $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ที่เพียงพอเพื่อการสังเคราะห์ Ba-Mn hexaaluminates และแสดงให้เห็นว่าคะตาไลสต์เหล่านี้มีพื้นที่ผิวมากและมีแอคติวิตีในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับมีเทน

Arial และผู้ร่วมงานได้กล่าวว่า ความหลากหลายของกลุ่มอะตอมที่มีประจุบวกจะสามารถเข้าไปแทนที่ในโครงสร้างของ hexaaluminate ได้ อย่างไรก็ตามการแทนที่หนึ่งอะตอมของอะลูมิเนียมด้วย โครเมียม นิกเกิล หรือ โคบอลต์ ใน $\text{BaAl}_{12}\text{O}_{19}$ ไซว่าจะทำให้แอคติวิตีของปฏิกิริยาออกซิเดชันของมีเทนดีขึ้นแม้ว่าพื้นที่ผิวจะสูงก็ตามในทางกลับกันการแทนที่หนึ่งอะตอมของอะลูมิเนียมด้วยเหล็กและแมงกานีสจะเป็นการเพิ่มแอคติวิตีปฏิกิริยาออกซิเดชันของมีเทนได้เป็นอย่างดี

ถึงแม้ว่าการทำปฏิกิริยาโดยใช้คะตาไลสต์ Pd-based จะเป็นที่ยอมรับว่าเป็นตัวแอคทีฟปฏิกิริยาออกซิเดชันของมีเทนได้ดี แต่คะตาไลสต์ตัวนี้จะสูญเสียแอคติวิตีที่สถานะอุณหภูมิสูงเมื่อ PdO แยกตัวเป็น Pd ประเด็นสำคัญของการศึกษานี้คือ การตรวจสอบการสังเคราะห์และแอคติวิตีปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้คะตาไลสต์ของ hexaaluminate ต่างชนิดที่เตรียมในสารละลาย $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ในน้ำ และวิธี precipitation ของ NH_4OH เพราะ NH_4OH เป็นทางเลือกโดยพื้นฐานทั่วไปสำหรับ precipitation รวมทั้งตรวจสอบแอคติวิตีและความเสถียรภาพของ Sr-La-Mn hexaaluminate ในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของมีเทนและตัว support Pd

จากการศึกษาปฏิกิริยา Catalytic Oxidation of methane over hexaaluminates and hexaaluminate – supported Pd catalyst ผลของการได้ศึกษาพบว่า Catalytic oxidation ของ hexaaluminates และ hexaaluminate – supported Pd catalyst สามารถที่จะเปลี่ยน methane ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้ และเมื่อทำการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของ Pd บน $\text{LaMnAl}_{11}\text{O}_{19}$ - ∞ เป็น 2 % การเปลี่ยนของ methane เป็น CO_2 นั้นสามารถเกิดที่อุณหภูมิต่ำลงในช่วง $350 - 550^\circ\text{C}$

นอกจากนี้แล้วในปี 2004 Pakomphant et al. ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยา Catalytic Oxidation of methanol บน Pt-Sn/ Al_2O_3 ในช่วงอุณหภูมิ $35 - 300^\circ\text{C}$ ที่ความเข้มข้นระหว่าง 500 - 1200 ppm พบว่าปฏิกิริยา Catalytic Oxidation เกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยได้ CO_2 เป็นผลิตภัณฑ์แต่การใช้ Pt บน

Al_2O_3 เพียงชนิดเดียว Catalyst มีความ active กว่า การใช้ Pt ร่วมกับ Sn บน Al_2O_3 โดยได้ลำดับของการทำปฏิกิริยาประมาณ 1.15 และค่า activation energy 14.4 kJ/mol ที่อุณหภูมิ 300°C โดย Pt/ Al_2O_3

นอกจากนี้แล้วมีนักวิจัยหลายท่านดังนี้ Arai et al., Busby et al., Cullis et al. เป็นต้น ได้มีการนำ Catalyst จำพวกโลหะ หรือ โลหะออกไซด์ เช่น Pt, Pd, Rh มาใช้ร่วมกับ supporter เช่น SiO_2 , TiO_2 and Al_2O_3 เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา ผลออกมาเป็นที่น่าพอใจแต่ไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจาก Catalyst จำพวกโลหะ หรือ โลหะออกไซด์มีราคาสูง

จากที่กล่าวมาพบว่าได้มีการนำ Catalyst หลายชนิดมาใช้ในปฏิกิริยา Catalytic Oxidation ของการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายซึ่งได้ผลที่ดีแต่ไม่เป็นที่นิยมใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจาก Catalyst ที่มีราคาสูงเท่านั้นที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ หากเลือกใช้ Catalyst ที่มีราคาต่ำ อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาก็สูงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานมากจึงไม่เป็นที่นิยมแต่หากสามารถหา Catalyst ที่มีราคาไม่แพงและทำปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในโรงงานอุตสาหกรรม โครงการนี้จึงเสนอการนำ 12 – Tungstophosphoric acid (HPW) บน SiO_2 , Al_2O_3 and Zeolite มาใช้ร่วมกับตัว supporters ต่างๆที่มีผู้นำมาใช้ในปฏิกิริยา Catalytic Oxidation ของการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดย HPW เพราะสารพวกนี้เป็นสารที่มีความเป็นกรดแก่ที่มีพันธะระหว่างกันที่มีความแข็งแรง มีคุณสมบัติของปฏิกิริยา Redox ที่เป็นตัว Reduce และ Oxidize ที่ดีและลักษณะของโครงสร้างที่มีความน่าสนใจคือมีโครงสร้างเด่นสองรูปแบบคือ 1 โครงสร้างหลัก (Primary Structure) หรือเรียกว่า Keggin anion และเมื่อ Keggin anion ซึ่งอยู่ในสถานะของแข็งเชื่อมโยงกันแบบระบบเครือข่ายสามมิติโดยมี $(\text{H}_2\text{O})\text{H}^+$ เป็นตัวเชื่อม โยงเรียกว่า Pseudoliquid phase หรือ โครงสร้างส่วนที่ 2 (Secondary Structure) เนื่องจาก H_2O หรือ น้ำที่เชื่อมอยู่ช่วยต่อการแทนที่ด้วย สารที่มีขั้วเช่น alcohols, ethers, or ammonia ซึ่งเป็นจุดเด่นของ HPA

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ HPW ที่ความเข้มข้นต่างๆบน SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite และหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยปฏิกิริยา Catalytic Oxidation เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เป็นแนวทางในการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายให้หมดไปโดยเปลี่ยนสภาพเป็นสารที่ไม่อันตรายภายใต้กระบวนการเดียวเพื่อลดปัญหาของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีต่อสุขภาพและ โดยหน่วยงานที่จะสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์โดยตรงคือ โรงงานอุตสาหกรรม
2. ผลกระทบความวิจัยด้านตัวเร่งปฏิกิริยาในการศึกษาเปรียบเทียบปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ HPW บน SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. Catalyst ที่ใช้ในการทดลองคือ 12 - Tungstophosphoric acid ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) เตรียมบน SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite โดยเตรียมที่ 0, 4%, 8%, 12% HPW โดยน้ำหนัก
2. สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ใช้ในการทดลองคือ Toluene ความเข้มข้น 300 - 1000 ppm
3. สภาพแวดล้อมของ Column บรรจุ Pack bed catalyst คือ 200°C - 400°C

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds, VOCs)

สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds , VOCs) คือ กลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศ ได้ในที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมีออกซิเจนหรือ คลอรีนร่วมด้วย สามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้อง ในชีวิตประจำวันเราได้รับ VOCs จากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้าน, กวนบูหรี, น้ำยาฟอกสี, สารตัวทำละลายในพิมพ์, จากตู้ฟ้นสีรถยนต์, โรงงานอุตสาหกรรม, น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับย้อมผมและน้ำยาดัดผม, สารฆ่าแมลง, สารที่เกิดจากการเผาไหม้และปะปนในอากาศ น้ำดื่ม เครื่องดื่ม อาหาร สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สะสมไว้มากนาน ๆ จะมีผลกระทบทางชีวภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

สามารถแบ่ง VOCs ออกตามลักษณะของโมเลกุล เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. Non-chlorinated VOCs หรือ Non-halogenated hydrocarbons

ได้แก่ , กลุ่มไฮโดรคาร์บอนระเหยที่ไม่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุล ประกอบด้วย aliphatic hydrocarbons (เช่น fuel oils, gasoline, hexane, industrial solvents, alcohols, aldehydes, ketone) และกลุ่มสาร aromatic hydrocarbons (เช่นสารตัวทำละลาย - toluene, benzene, ethylbenzene, xylenes, styrene, phenol) สาร VOCs กลุ่มนี้มาจากสิ่งแวดล้อม การเผาไหม้ของขยะ พลาสติกวัสดุสารตัวทำละลาย สีทาสถู เป็นต้น มีผลเสียต่อสุขภาพ ดังนี้ พนักงานดับเพลิง คนงานเผาขยะ คนเผาถ่านมักป่วยด้วยโรคทางเดินลมหายใจบ่อยเพราะได้รับ VOCs ประมาณ 144 ชนิด เป็นประจำจากควันไฟและเชื้อเพลิง ในรูปของ benzene, toluene, naphthalene propene, และ 1,3-butadiene, styene และ alkyl-substituted benzene compounds อื่น ๆ xylenes, 1-butene/2-methylpropene, propane, 2-methylbutane, ethylbenzene, naphthalene, isopropylbenzene รวมกันในปริมาณสูงถึง 76.8% ของ VOCs ทั้งหมดที่วัดได้

2. Chlorinated VOCs หรือ Halogenated hydrocarbons

ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนระเหยที่มีธาตุคลอรีนในโมเลกุลเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม สาร Chlorinated VOCs นี้มีความเป็นพิษมากกว่าและเสถียรตัวในสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารกลุ่มแรก (Non - chlorinated VOCs) เพราะมีโครงสร้างที่มีพันธะระหว่างคาร์บอนและธาตุกลุ่ม

ฮาโลเจนที่ทนทานมาก ยากต่อการสลายตัวในธรรมชาติ ทางชีวภาพ ทางกายภาพ หรือโดยทางวิธีเคมีทั่วไป มีความคงตัวสูงและสะสมได้นาน สลายตัวทางชีวภาพได้ยากและได้รับกวนการทำงานของสารพันธุกรรม หรือ ยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ และมีฤทธิ์ในการก่อมะเร็ง หรือกระตุ้นการเกิดมะเร็งได้ การวิเคราะห์น้ำประปา พบว่าในน้ำประปามีการปนเปื้อนของสารกลุ่ม Chlorinated VOCs ได้บ่อย น้ำประปายังใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อแม้ว่าน้ำจะยังมีสาร halogenated hydrocarbons มากขึ้น เช่น พบ Trihalomethanes ได้บ่อยในน้ำดื่มจากท่อประปา แต่พบน้อยมากในน้ำบ่อธรรมชาติกรองมาจากใต้ดิน ในบรรดาสารกลุ่ม halogenated VOCs นี้ trichloroethylene (TCE) ซึ่งเป็นสารตัวทำลายใน

น้ำยาซักแห้ง น้ำยาละลายคราบไขมัน หรือคราบไขมัน และเรซินต่าง ๆ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม พบการปนเปื้อนได้บ่อยและได้รับการศึกษาค้นคว้าวิจัยมานานมากกว่า 30 ปี ในด้านผลกระทบต่อสุขภาพ

สาร VOCs เข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ (1) การหายใจ ได้รับทางปอด (2) การกิน- ดื่มทางปาก และ (3) การสัมผัสทางผิวหนัง หลังจากการเข้าสู่ร่างกายแล้วจะผ่านเข้าสู่ตับและเกิดการสะสมถ้าได้รับเป็นประจำจะเกิดอันตรายต่อสุขภาพ

2.2 วิธีการทั่วไปที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

ในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อจำกัดแตกต่างกันซึ่งขอยกตัวอย่างวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

1. Adsorption

กระบวนการดูดซับที่ใช้ในการกำจัดสาร VOCs จะใช้ตัวดูดซับคือ Activated carbon ซึ่งองค์ประกอบของสารจะถูกดูดติดกับพื้นผิว ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสมสำหรับใช้ในการดูดซับของแก๊สที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 45 โดยวิธีการนี้สารจะถูกดูดซับไว้จนตัวดูดซับเกิดการอิ่มตัวแล้วจึงนำไป Regenerate แล้วนำกลับมาใช้ใหม่

2. กระบวนการ Bio-filtration

เป็นวิธีในการกำจัดไอระเหยของสารอินทรีย์โดยวิธีการกรองทางชีวภาพ โดยมีวัสดุในการรองรับเชื้อซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรีย ประเภทที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งการย่อยสลายไม่ก่อให้เกิดของเสียเพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่ใช้ออกซิเจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ส่วนมากตัวกลางกรองที่ใช้จะเป็นถ่านกัมมันต์หรือกะลา โดยแบคทีเรียถูกนำมาเคลือบเป็นฟิล์มบาง ๆ บนผิวตัวกลางและจะมีกลไกการดูดซับ และการย่อยสลายขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ต้องมีอาหารไว้สำหรับเลี้ยงเชื้อ มีต้นทุนในการลงทุนต่ำ และไม่ก่อให้เกิดมลพิษ

3. การใช้ม่านน้ำ (Water Scrubber)

เป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพ่นสีและอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งวิธีการนี้จะมีการสร้างม่านน้ำไว้สำหรับดักจับสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ลอยอยู่ในอากาศขณะที่ดำเนินงาน สารเหล่านั้นก็จะถูกจับเข้ามาในกระแสน้ำ หลังจากนั้นก็จะนำไปทำการบำบัดอีกครั้ง ซึ่งวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่และการกำจัดสารหลังจากรวมกับน้ำแล้ว

4. Catalytic Oxidation

เป็นวิธีการที่ใช้ Catalyst และความร้อนในการกำจัดซึ่งตัว Catalyst จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา Oxidation เปลี่ยนสารระเหยเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และ น้ำ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.3 Catalytic Oxidation

Catalytic Oxidation เป็นทางเลือกสำหรับการบำบัดสาร Volatile Organic Compounds (VOCs) ในกระแสของอากาศ ซึ่งเป็นการเพิ่มอัตราเร็วของการ Oxidation โดยจะมีการดูดซับออกซิเจน และเกิดปฏิกิริยาพื้นผิว ซึ่งหลังจากเกิดขึ้นแล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการคือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) และอาจจะมีก๊าซไฮโดรคลอไรด์ในกรณีที่ VOCs เป็น Chlorinated VOCs โดยความสามารถของ Catalyst ในปฏิกิริยา Oxidation นั้นจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิในช่วงที่ต่ำ โดย VOCs จะถูกทำลายในช่วง $250^\circ\text{C} - 540^\circ\text{C}$ และ Catalyst ที่ใช้ในปฏิกิริยานี้จะใช้ Solid Catalyst ในตอนแรกอากาศที่เข้าสู่กระบวนการจะถูกทำให้ร้อนแล้วจะผ่านเข้าสู่ bed ของ Solid Catalyst เมื่อผ่านเข้าไปแล้ว VOCs ก็จะถูก Oxidize อย่างรวดเร็วและเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) โดยในวิธีการนี้สามารถลดความเข้มข้นของ VOCs ได้ลงมาก

การใช้ Catalyst ในการ Oxidize สาร VOCs ใช้ Catalyst จำพวก Metal Oxide เช่น Nickel Oxide Copper Oxide , Manganese dioxide , หรือ Chromium Oxide หรือการใช้จำพวก Nobel metals เช่น Platinum และ Palladium นอกจากนี้ยังสามารถใช้ชนิดอื่น ๆ ได้ ขึ้นอยู่กับความสามารถและคุณสมบัติของ Catalyst นอกจากนี้การใช้ Solid catalyst จะเป็นการลดปัญหาด้านสถานะทางสิ่งแวดล้อม

การศึกษา Solid catalyst นั้นจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดสาร VOCs ซึ่งในการศึกษาในโรงงานนี้จะใช้ 12 - Tungstophosphoric acid (HPW) บน SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite ซึ่งจากการศึกษา 12 - Tungstophosphoric acid (HPW) เป็น Solid catalyst ในพวก Solid Heteropolyacids (HPAs) ซึ่งเป็น Heterogeneous Catalyst ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาพื้นที่ผิว เพราะสารพวกนี้เป็นสารที่มีความเป็นกรดแก่ที่มีพันธะระหว่างกันที่มีความแข็งแรง มีคุณสมบัติของปฏิกิริยา Redox ที่เป็นตัว Reduce ที่ดีและลักษณะของโครงสร้างที่มีความน่าสนใจ ในการใช้ HPAs นั้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะนำมาแทนการใช้ของกรดที่เป็นเหลวที่สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ใน

กระบวนการที่ใช้ Acid Catalyst ยกตัวอย่างเช่นในปฏิกิริยาของการ Alkylation สรุปได้ว่าการนำ HPA มาใช้จะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาก ซึ่งเป็นการแทน Acid liquid catalyst ที่มีความคล้ายคลึงกันกับ Solid acid ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานในการแยกออกในขั้นต่อไป การเลือกใช้ตัว Catalyst ที่นำมาใช้ในการศึกษา คือ 12 - Tungstophosphoric acid (HPW) บน SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite

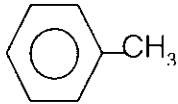
2.4 สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ใช้ในการศึกษา

คุณสมบัติทางกายภาพ

ชื่อสารเคมี Toluene

สูตรโมเลกุล C_7H_8

สูตรโครงสร้าง



น้ำหนักโมเลกุล 92.15

จุดหลอมเหลว -95.0 ถึง -94.5 °C

จุดเดือด 110.4 °C

จุดวาบไฟ 4.44 °C

ช่วงการติดไฟ LEL = 1.27 %

UEL = 7.0 %

ความหนาแน่น 0.866 ที่ 20 °C

ความดันไอ 36.7 mm ที่ 30 °C

ความหนาแน่นไอ 3.16

สภาพการละลาย ละลายได้ใน Acetone, Alcohol, Ether, Chloroform ไม่สามารถละลายในน้ำ

ลักษณะที่ปรากฏ เป็นของเหลวใส, ไม่มีสี

อันตรายต่อสุขภาพ

- ในการทดลองพบว่าทำให้ทารกในครรภ์พิการทำให้เกิดการกลายพันธุ์และมีผลต่อระบบสืบพันธุ์

- เข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง เช่น การสูดดม เข้าตา ผิวหนัง ซึ่งจะมีอาการแสดงดังนี้

: เกิดอาการมึนงง ระคายเคืองต่อเยื่อเมือก หลอดลม เกิดอาการเวียนศีรษะ เดินโซเซ คลื่นไส้

ถ้าสูดดมในความเข้มข้นสูง ๆ จะมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดการสูญเสียการทรงตัวและการตัดสินใจ ถ้าได้รับเป็นเวลานานจะทำให้ไม่รู้สึกร่างกายและมีการรบกวนการทำงานของตับและไตด้วย

: สูดดมในปริมาณ 200 ppm/8 ชั่วโมง จะทำให้หมดแรง เหนื่อย สับสน และมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร

: สูดดมในปริมาณ 600 ppm/8 ชั่วโมง มีอาการเวียนศีรษะ เดินโซเซ คลื่นไส้ ถ้าได้รับติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ จะเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวมีการเปลี่ยนแปลงของไขกระดูก

: Toluene จะละลายไขมันที่ผิวหนัง หากสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการระคายเคืองและเกิดผิวหนังอักเสบได้

: ระคายเคืองตาและเปลือกตาอย่างรุนแรงทำให้เปลือกตาอักเสบและน้ำตาไหล

ค่าที่ยอมรับได้ในการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง

มาตรฐาน NIOSH / OSHA (1990) TWA = 100 ppm

มาตรฐาน ACGIH (1992) = 50 ppm

2.5 Catalyst ที่ใช้ในการทดลองคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพ

12 - Tungstophosphoric acid (HPW)

Synonyms : tungsten hydroxide oxide , tungstophosphoric acid ,
phosphotungstic acid n-hydrate

Molecular formula : $H_3O_{40}PW_{12}$ (aq)

Appearance : off-white crystalline powder

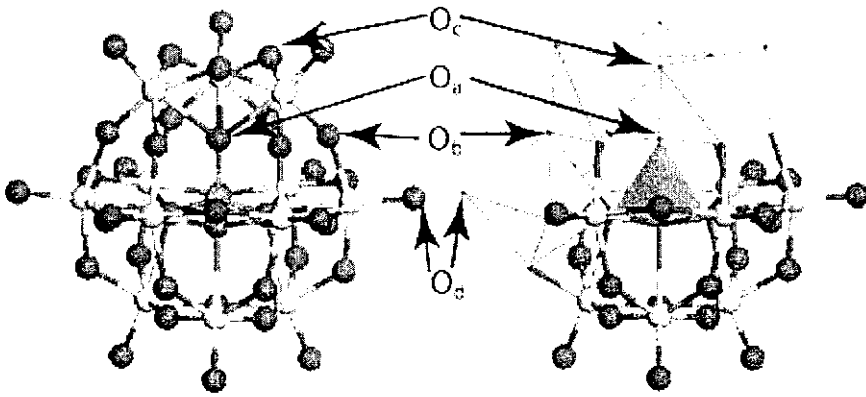
Solubility : 200 g/100 g wate

จากคุณสมบัติทางกายภาพของ 12 - Tungstophosphoric acid (HPW) นั้นในการใช้เป็นตัว Oxidize นั้นนับว่า 12 - Tungstophosphoric acid (HPW) เป็นตัว Oxidize ที่ดี และ โครงสร้างที่มีความพิเศษมีทั้ง Primary Structure และ Secondary Structure

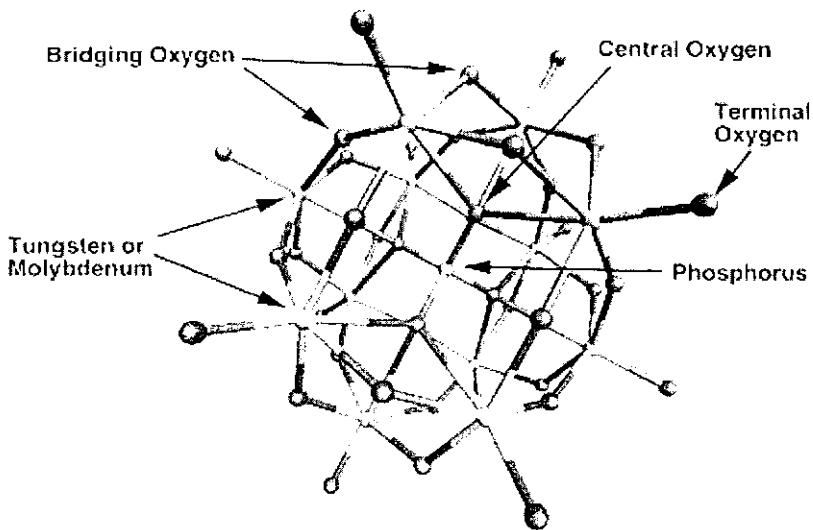
1. Primary Structure

Primary Structure มีการประกอบขึ้นโดยการจับตัวกันของแอนไอออน ซึ่งมีโครงสร้างแบบ Keggin หรือมีลักษณะแบบลูกบาศก์ต่อเชื่อมกัน มีสูตรโมเลกุล $X M_{12}O_{40}^{-}$ การศึกษาส่วนใหญ่ที่นักรมีความเสถียรและเป็นกรดแก่ โดย Keggin Unit นั้นประกอบด้วยอะตอมกลางของ XO_4 เป็นรูปทรงสี่หน้าและล้อมรอบด้วย 12 ของ MO_6 เป็นรูปทรงแปดหน้าโดยอะตอมกลางของ X เป็นฟอสฟอรัส และ

มีออกซิเจน 4 ชนิดในโครงสร้าง คือ Central tetrahedron (O_c) และมีส่วนของออกซิเจน 12 อะตอม เชื่อมต่อกันกับ Addenda atoms โดยไม่มีการร่วมกับอะตอมกลางของออกซิเจนซึ่งเรียกว่าเป็น Corner-Sharing (O_p) และมีอีก 12 อะตอมเชื่อมต่อกันกับ Addenda atoms 2 อะตอม เหมือนกับอะตอมกลางของออกซิเจนเรียกว่า Endeg-Sharing (O_e) และ 12 อะตอมออกซิเจนที่ปลายสุดคือ Terminal (O_t) ซึ่งการศึกษา Primary structure ของ $PW_{12}O_{40}^{3-}$ หรือเขียนได้เป็น $H_3O_{40}PW_{12}$ (HPW) โดยมีอะตอมกลางเป็นฟอสฟอรัสและตัวของ Addenda atom เป็นทั้งสแตน ซึ่งแสดงได้ดังรูป



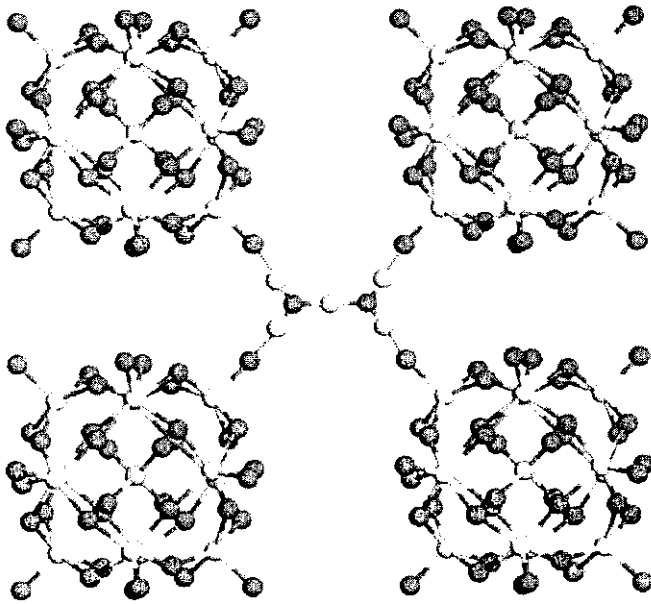
รูปที่ 2.1 แสดงการเชื่อมต่อกันของออกซิเจนทั้งสี่ชนิดใน Keggin Unit



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะ Primary structure ของ $H_3O_{40}PW_{12}$ (HPW)

2. Secondary structure

Secondary structure เกิดมาจากการรวมกันของ Keggin Unit ด้วยการเชื่อมต่อกันด้วย Proton หรือขั้วลบของน้ำ โดยโมเลกุลของน้ำต่อกับ Keggin Unit ที่จุดแลตทิซ โดยการเชื่อมต่อโดย H_3O_2^+ โดย Terminal Oxygen จะมีการเกิดพันธะต่อกันกับไฮโดรเจนอะตอมของ H_3O_2^+ ดังรูป



รูปที่ 2.3 แสดง Secondary structure ของ $\text{H}_3\text{O}_{40}\text{PW}_{12}$ (HPW)

Silicon Dioxide

ใช้เป็นตัว Support Catalyst เพื่อทำการเพิ่มพื้นที่ผิวของการเกิดปฏิกิริยาของ Catalyst ในการ Oxidation VOCs ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

Formular : SiO_2

Boiling point : 2230°C

Melting point : 1650°C (+/- 75°C)

Solubility in H_2O : insoluble

Solubility in Hydrofluoric Acid : dissolves to form the gas silicon tetrafluoride

Vapor Density : 1.41-1.55 (air=1)

Appearance : clear, white powder crystals

Alumina (Al_2O_3)

ใช้เป็นตัว Support Catalyst เพื่อทำการเพิ่มพื้นที่ผิวของการเกิดปฏิกิริยาของ Catalyst ในการ Oxidation VOCs ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพดังนี้

Formular : Al_2O_3

Boiling point : 2977°C

Melting point : $20300^\circ\text{C} (+/- 75^\circ\text{C})$

Solubility in H_2O : insoluble

Solubility in Hydrofluoric Acid : small dissolves

Appearance : white powder crystals

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และวิธีการเตรียม Catalyst

อุปกรณ์และสารเคมี

1. 12 - Tungstophosphoric acid (HPW)
2. Silicon dioxide
3. จานเพาะเชื้อ
4. บิวเรตขนาด 50 ml
5. บีกเกอร์
6. กระจกตวงขนาด 10 ml
7. น้ำกลั่น

วิธีการหา Wettness Point ของ SiO_2

1. นำ SiO_2 อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 คืน
2. เตรียม SiO_2 จำนวน 1 กรัม 3 ชุดการทดลอง โดยนำตัวอย่างแต่ละชุดการทดลองมาใส่จานเพาะเชื้อและทำการกระจายให้มีความหนาเท่ากันทั่วจาน
3. นำบิวเรตขนาด 50 ml บรรจุน้ำกลั่นให้ถึงระดับ
4. หยดน้ำกลั่นที่เตรียมไว้บน SiO_2 สังเกตจนกว่า SiO_2 จะชุ่มด้วยน้ำและทำการบันทึกค่าปริมาตรน้ำที่ใช้ที่ทำให้ SiO_2 ไม่สามารถดูดซับน้ำไว้ได้
5. ทำการทดลองซ้ำจนครบ 3 ตัวอย่าง
6. นำค่าที่ได้มาคำนวณจุด Wettness ต่อกรัมของ SiO_2

วิธีการเตรียม Catalyst ในการวิเคราะห์และการทดลอง

1. นำ HPW และ SiO_2 อบที่อุณหภูมิ $60 - 70^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 1 คืนจากนั้นนำออกมาใส่โถดูดความชื้น 1/2 ชั่วโมง
2. หาจุด Wettness ของ SiO_2
3. เตรียม HPW บน SiO_2
 - กำหนดหาสัดส่วน HPW และ SiO_2 ตาม % ความเข้มข้น คือ 0%, 4%, 8%, 12 % HPW โดยน้ำหนัก ปริมาณ 5 g

- ชั่ง SiO_2 และ HPW ตามจำนวนที่คำนวณได้ จากนั้นละลาย HPW ด้วยน้ำกลั่นตามปริมาตรของ wetness point
 - หยดสารละลายที่เตรียมได้บน SiO_2 ให้ทั่ว
4. นำ Catalyst ที่เตรียมได้อบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 คืน มาดูความชื้น
 5. นำ Catalyst ที่เตรียมได้หลังจากการอบมาทำการอัดเข้าด้วยกันเพื่อทำให้เกิดการจับตัวกัน จากนั้นนำไปตัดขนาดโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 50
 6. เก็บรักษาในสถานะที่ไม่มี ความชื้น
 7. นำไปวิเคราะห์ลักษณะตามที่ต้องการ

การศึกษา Catalyst ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์

การหาคุณสมบัติและลักษณะของ Catalyst ที่ใช้ในการทดลองมีความจำเป็นอย่างยิ่งซึ่งนำมาเป็นข้อมูลในการศึกษาทดลองต่อไป โดยในการวิเคราะห์ลักษณะด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ดังนี้

1. SEM (Scanning Electron Microscopy)

เครื่องมือวิเคราะห์ Scanning Electron Microscope (SEM) JEOL JSM-5800LV, Highvacuum mode เป็นกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ใช้ในการศึกษาลักษณะ โครงสร้าง หรือองค์ประกอบของพื้นผิว โดยอาศัยการกวาดของลำอิเล็กตรอนไปบนผิววัสดุแทนการใช้แสงธรรมดา ซึ่งจะทำให้มีกำลังขยายสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ธรรมดา โดยสามารถขยายภาพได้มากกว่า 1,000 เท่า จนถึงระดับ 100,000 เท่าขึ้นไป โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ SEM ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เป็นการวัดเพื่อคุณลักษณะพื้นผิวและการไปเกาะตัวของ HPW บน SiO_2

2. XRD (X - ray Diffractometer)

เครื่องมือวิเคราะห์ X-Ray Diffraction (XRD) PW 3710 mpd control wide angle goniometer, Ni-filtered Cu K radiation at 30 kV and 25 MA, Philips, Amello, Netherland. เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้รังสีเอกซ์ที่ทราบความยาวคลื่น ไปกระทบอนุภาค หรือวัตถุที่มุมต่าง ๆ กัน โดยมี Detector เป็นตัวรับข้อมูล ซึ่งสารที่ต่างชนิดกันทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีต่างกันที่มุมองศาต่างกัน ทำให้ทราบรูปแบบโครงสร้างของผลึก อีกทั้งยังสามารถหาขนาดอนุภาคอย่างคร่าว ๆ ได้ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ XRD ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer)

เครื่องมือวิเคราะห์ Fourier-transformed infrared spectrophotometer (FT-IR) Pellet (KBr), EQUINOX55, Bruker, Germany. เป็นเครื่องมือวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ FT-IR ที่ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เพื่อใช้วิเคราะห์ดูลักษณะพันธะเคมีในองค์ประกอบของ Catalyst

4. BET (Brunauer Emmett Teller Surface Area)

เป็นการหาพื้นที่ผิว และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

3.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

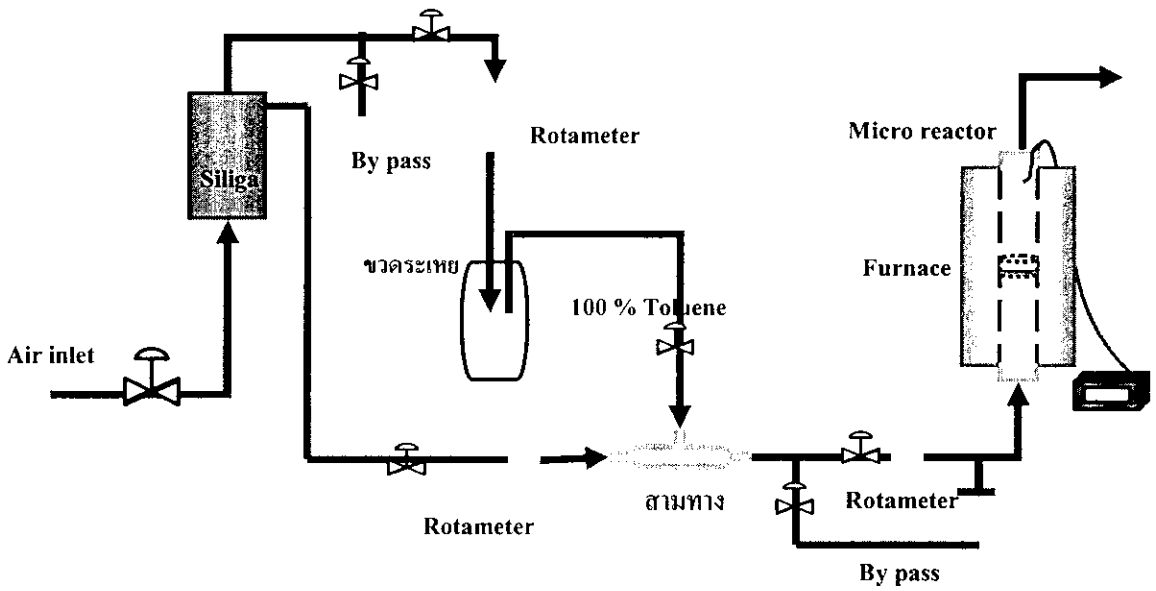
ในการทดลองเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยการใช้ Catalyst ในการศึกษานี้ ได้มีการออกแบบการทดลองซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนด้วยกัน ดังนี้

1. การเตรียมความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ

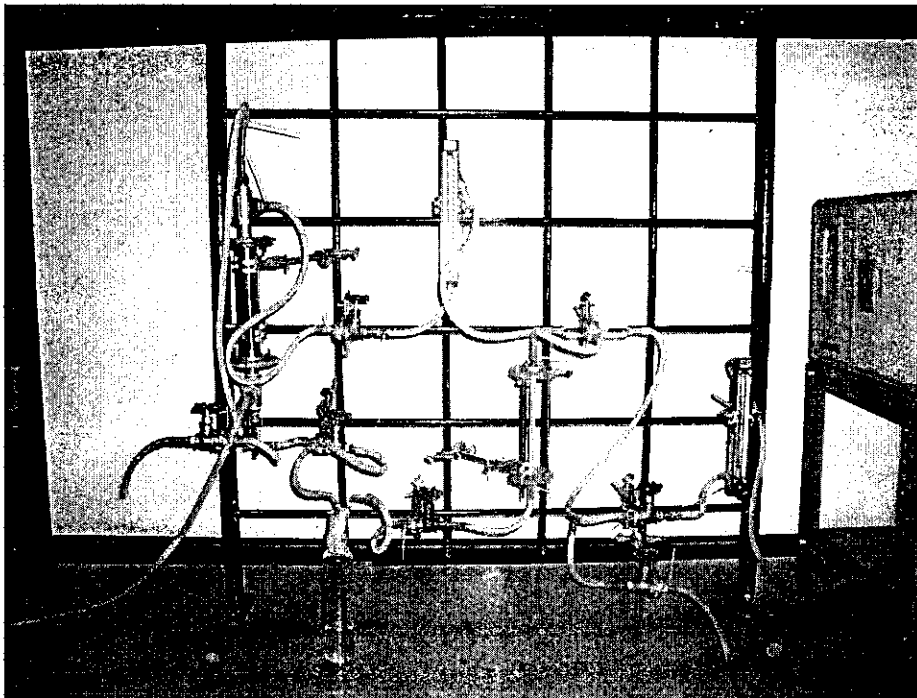
ส่วนการเตรียมสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ใช้ในการทดลองคือ Toluene ซึ่ง จะทำการเตรียมไอของ Toluene ที่ความเข้มข้นในช่วง 300 – 1000 ppm โดยในส่วนนี้ อุปกรณ์จะ ประกอบไปด้วย

- แหล่งจ่ายอากาศ
- Regulator ควบคุมอัตราการไหลเข้าของอากาศ
- Column บรรจุซิลิกาเจล
- ขวดเก็บอากาศ (ขวดระเหย)
- Rotameter
- Gate valve
- ข้อต่อ
- ตัวจับยึดอุปกรณ์
- ข้อต่อสามทาง
- สามทางที่ใช้ในการผสมกระแสของไอ Toluene กับกระแสอากาศ
- สายยาง
- แผงเหล็กสำหรับติดตั้งอุปกรณ์

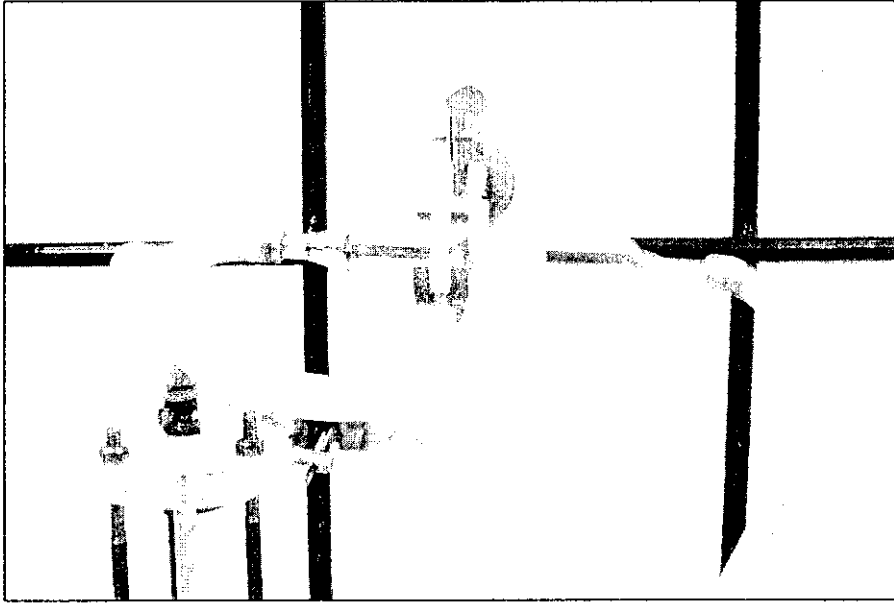
ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบแสดงได้ดังรูป



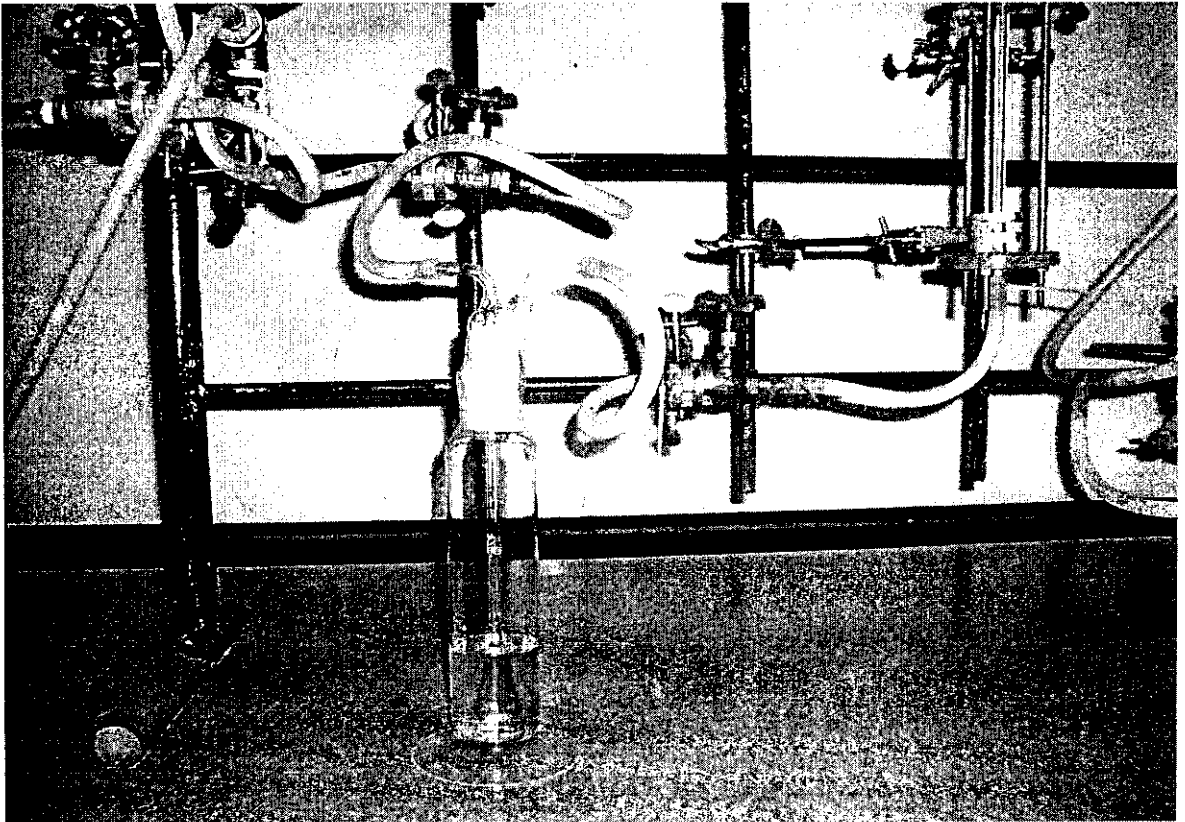
รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบการทดลอง



รูปที่ 3.2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง



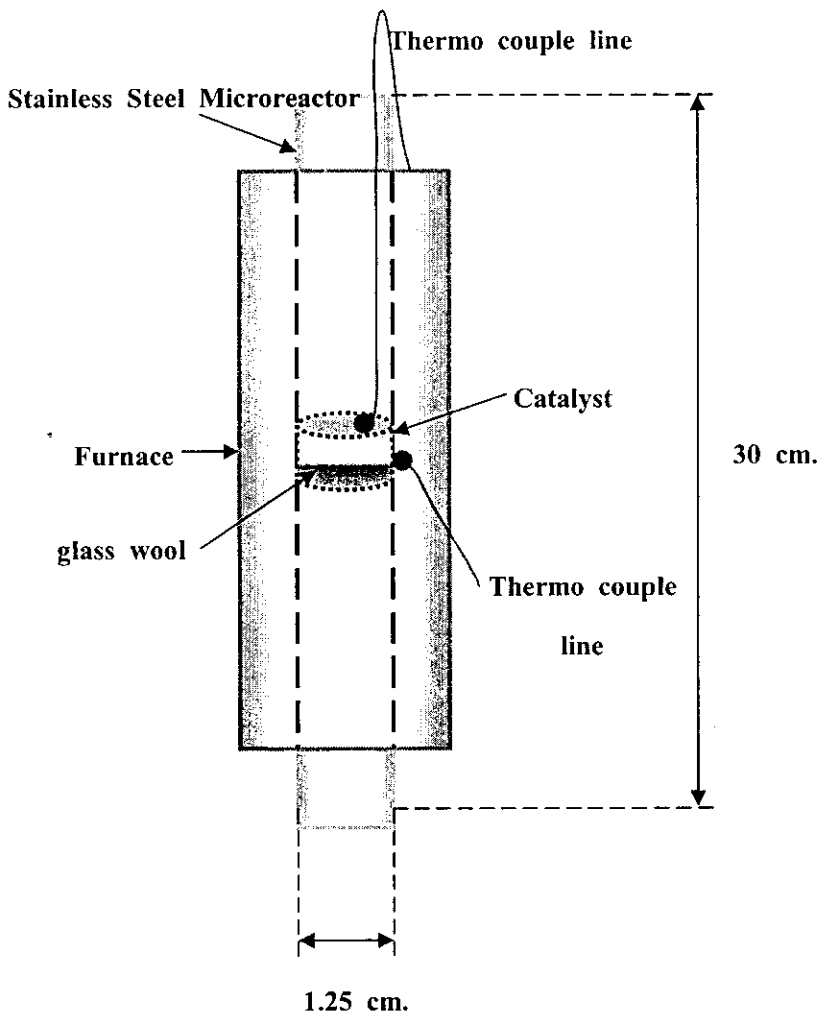
รูปที่ 3.3 แสดงสามทางในการผสมไฮโดรคาร์บอนกับอากาศ



รูปที่ 3.4 แสดงขวดระเหยสำหรับการระเหยไฮโดรคาร์บอน

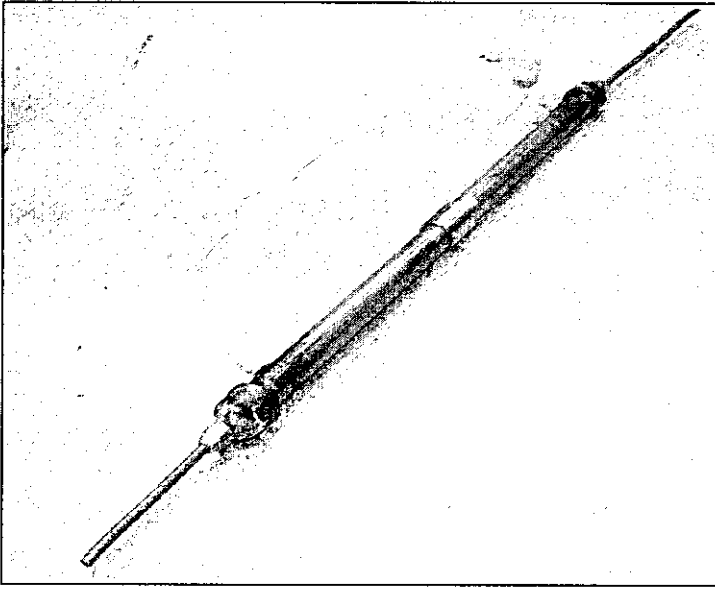
2. ส่วนของแหล่งให้ความร้อนและ Microreactor

โดยในส่วนนี้จะต่อจากส่วนการเตรียมสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพื่อทำการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยมีการผ่านสาร VOC คือ Toluene เข้าสู่ Microreactor ซึ่งมีลักษณะเป็น Column ที่ภายในจะทำการบรรจุ Pack Catalyst โดยมีใยแก้วเป็นตัวรองรับ โดย Column ทำมาจาก Stainless Steel มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว ความยาวที่ใช้ 30 เซนติเมตร ซึ่ง Column จะมีฝาปิดและมีช่องสำหรับระบายอากาศทั้งทางเข้าและทางออก และมีการติดตั้ง Thermo couple เพื่อวัดอุณหภูมิภายใน Column ขณะทำการทดลอง และในส่วนของตัวให้ความร้อนคือ Furnace ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิได้ในช่วงที่ต้องการ อุปกรณ์จะแสดงให้เห็นดังรูป

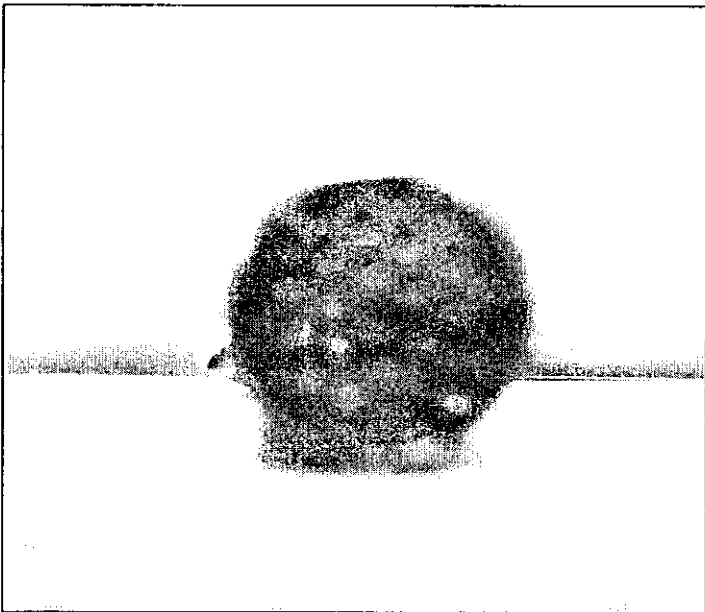


รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของ Furnace และ Microreactor ที่ใช้ในการทดลอง

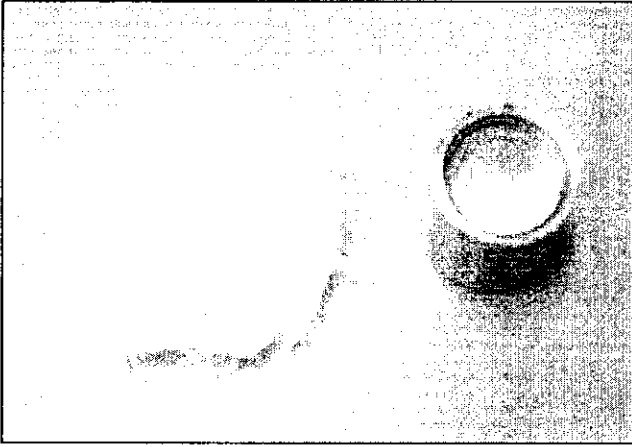
สำนักทรัพยากรการเรียนรู้คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร



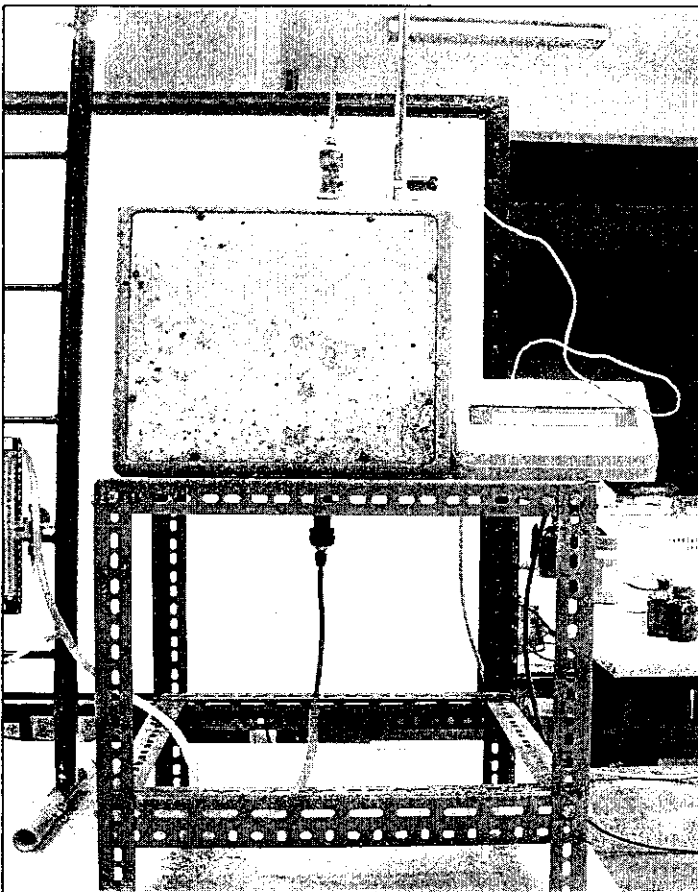
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของ Furnace และ Microreactor ที่ใช้ในการทดลอง



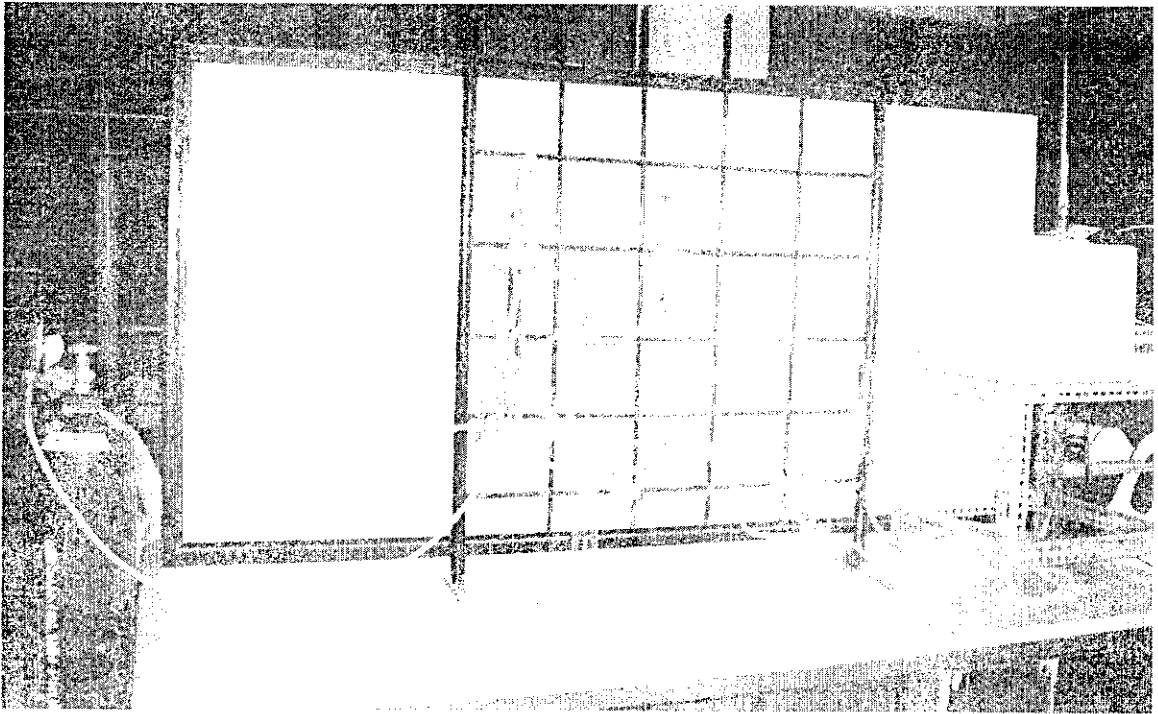
รูปที่ 3.7 แสดงแผ่นตะแกรงรองรับใยแก้วและ catalyst



รูปที่ 3.8 แสดงใยแก้วและการบรรจุใยแก้วใน reactor



รูปที่ 3.9 แสดงการติดตั้ง reactor ในเตาเผา



รูปที่ 3.10 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองทั้งหมด

3.3 วิธีการทดลอง

1. เตรียม Catalyst ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น
2. นำ Catalyst ที่เตรียมได้บรรจุลงใน Microreactor ซึ่งมีใยแก้วเป็นตัวรองรับ Catalyst โดยบรรจุ Catalyst ลงไป 2 g
3. ติดตั้ง Microreactor ที่บรรจุ Catalyst แล้ว เข้าใน Furnace
4. ต่ออุปกรณ์เข้ากับ Microreactor ให้เรียบร้อย และตรวจสอบอุปกรณ์ของระบบอีกครั้งก่อนดำเนินการทดลอง
5. เปิดเครื่องให้ Furnace เริ่มทำงานและปรับอุณหภูมิที่ 250°C และรอจนกว่าอุณหภูมิคงที่และทำการตรวจสอบอุณหภูมิภายใน Reactor ที่บรรจุ Catalyst ว่ามีอุณหภูมิเท่ากับ 250°C หรือไม่และต้องทำการปรับอุณหภูมิจนกว่าจะได้ค่าที่ตั้งไว้
6. เปิดวาล์วให้อากาศเข้าสู่ระบบโดยอากาศจะแยกออกเป็น 2 กระแสโดยมีกระแสที่ 1 จะส่งเข้าสู่ Silica gel เพื่อทำการดูดความชื้นและอากาศที่ดูดความชื้นแล้วจะส่งมาเข้าขวดเก็บอากาศเพื่อทำการระเหย Toluene และไอน้ำจากการระเหยที่ได้ถูกส่งต่อเข้าสู่สามทางที่ทำไว้เพื่อผสมกับอากาศอีกกระแสหนึ่ง ก่อนที่จะส่งเข้าสู่ Microreactor

7. ปรับอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ Microreactor ให้ได้ความเข้มข้นในช่วง 500 - 600 ppm ซึ่งการปรับความเข้มข้นให้ได้ตามต้องการจะต้องควบคุมอัตราการไหลของอากาศทั้งสองกระแสให้ได้ระดับที่เหมาะสม ซึ่งการวัดความเข้มข้นของ Toluene ในอากาศโดยการใช้ Sorbent tube ต่อเข้าท่อที่อากาศไหลแล้วนำไปวัดความเข้มข้น โดยการฉีดเข้าสู่เครื่อง GC และนำมาหาความเข้มข้นจาก Calibration Curve

8. เมื่อได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมตามที่ต้องการแล้วจึงทำการเปิดให้กระแสอากาศเข้าสู่ Reactor หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างที่เวลาต่าง ๆ ของการดำเนินการโดยการใช้ Sorbent tube ต่อเข้าท่อที่ทางออกโดยทำการวัดที่เวลาเริ่มต้นที่อากาศออกจาก Reactor, 30, 60 นาที แล้วไปฉีด GC แล้วทำการหาความเข้มข้นจาก Calibration Curve และใช้ถุงเก็บอากาศเก็บอากาศที่ทางออกที่เวลาต่าง ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบในอากาศที่ออกมา

9. เมื่อครบ 1 ชั่วโมง แล้วหยุดกระบวนการ

10. จากนั้นทำการเปลี่ยน Catalyst ใหม่แล้วทำการทดลองที่อุณหภูมิ 300°C , 400°C

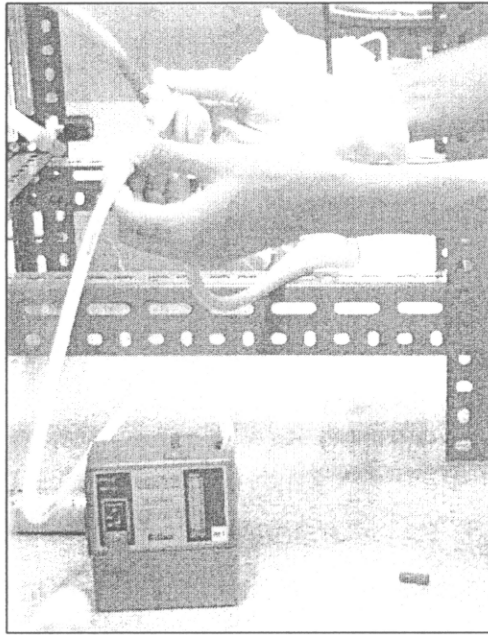
11. เมื่อทำครบทุกอุณหภูมิแล้วทำการเปลี่ยน Catalyst ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ 4%, 8%, 12% HPW บน SiO₂ และทำตามวิธีการเดิม

12. เมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นและหาองค์ประกอบในอากาศที่ออกมาจากการทดลอง แล้วนำมาเปรียบเทียบและสรุปผล

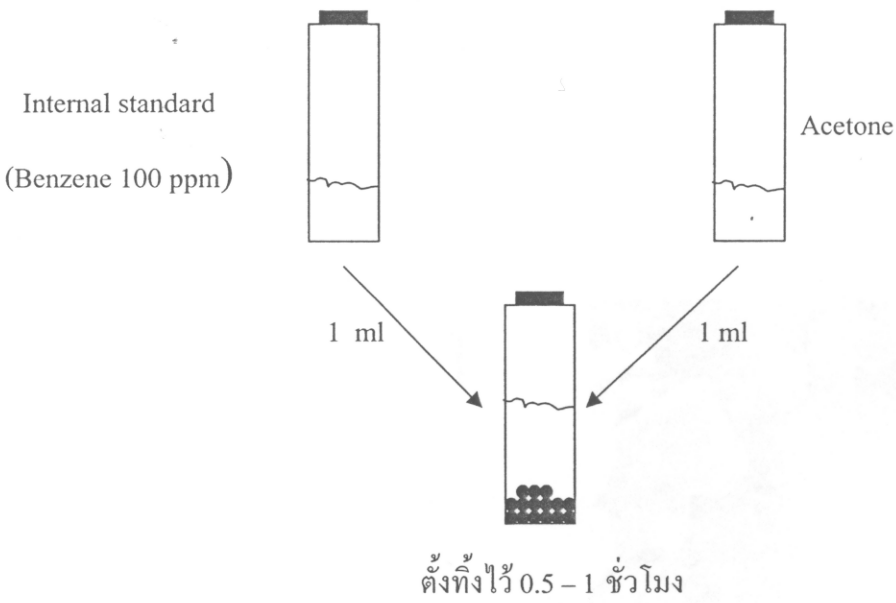
วิธีการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

วิธีมาตรฐานการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิด สำหรับในการทดลองใช้โพลูอินดีนนั้นการเก็บตัวอย่างจะใช้มาตรฐาน NIOSH Method 1501 ดูดอากาศผ่าน Sorbent tube ประเภท Coconut Shell Charcoal นำมาใช้ในการดูดอากาศในอัตรา 0.001 – 0.2 ลิตร / นาที โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างคือ Personal Air Sample จากนั้นตัวอย่างที่เก็บได้จะนำมาทำการวิเคราะห์ด้วย GC โดยใช้การวิเคราะห์แบบ Internal Standard โดยมีเบนซีนเป็นสารละลายมาตรฐาน จากค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย GC นำมาหาความเข้มข้นจาก Calibration Curve

หลังจากเก็บตัวอย่างโดยใช้ Sorbent tube แล้วนำ Activated carbon ซึ่งอยู่ภายใน tube ออกโดยมีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนหน้าและส่วนหลัง ทำการบรรจุลงในขวดแยกกัน จากนั้นนำมาสกัด และนำไปวิเคราะห์ด้วย GC ในลำดับต่อไป



รูปที่ 3.11 แสดงการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.12 แสดงการเตรียมตัวอย่างก่อนวิเคราะห์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

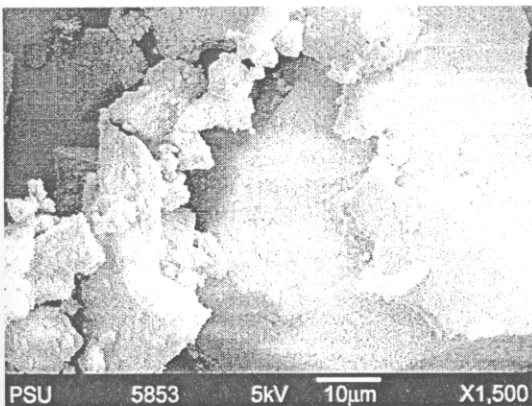
4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือพิเศษเพื่อศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้ HPW ที่ความเข้มข้นต่างๆบน SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite และหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยปฏิกิริยา Catalytic Oxidation โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองทำการโหลดฟอสฟอรัสติดแอซิดบน ซิลิกา อะลูมิเนียมออกไซด์ และ ซีโอไลท์ ซึ่งกำหนดเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ HPW/ SiO_2 , HPW/ Al_2O_3 และ HPW/Zeolite ต่าง ๆ ดังนี้ คือ 0%, 4%, 8%, และ 12% ทำการทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น XRD, SEM และ FT-IR เพื่อยืนยันชนิดของสาร การกระจายตัวของ HPW/ SiO_2 , HPW/ Al_2O_3 และ HPW/Zeolite และหมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยา

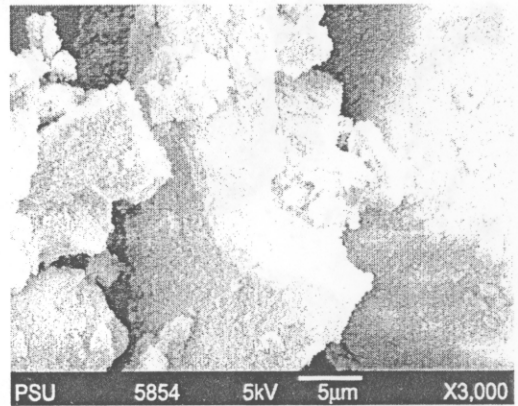
1. SEM (Scanning Electron Microscopy)

1.1 HPW บน SiO_2

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของ HPW บน SiO_2 ที่ % ต่าง ๆ ด้วยการถ่ายภาพด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกวาด Scanning Electron Microscopy (JEOL JSM - 5800LV) สามารถเห็นการกระจายตัวของ HPW บน SiO_2 ที่ % ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.1a-d โดยจากรูปสังเกตได้ว่า % ของ HPW ที่เพิ่มขึ้นส่งผลถึงปริมาณอนุภาคเล็กๆที่เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งอนุภาคเล็กๆที่เห็นคาดว่าเป็นอนุภาคของ HPW อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วย SEM ไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าอนุภาคเล็กๆนั้นคือ HPW ต้องทำการวิเคราะห์ด้วย เครื่องมือ XRD หรือ FTIR เพื่อยืนยันผลในลำดับต่อไป

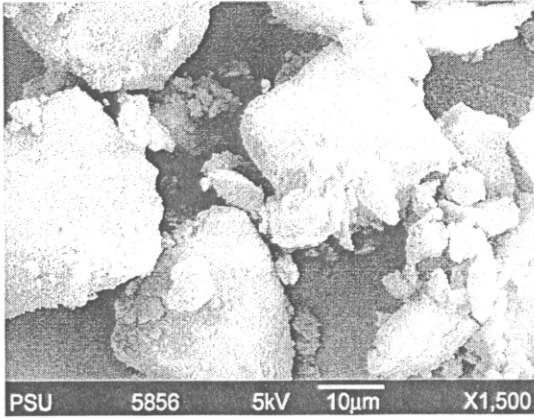


กำลังขยาย 1500 เท่า

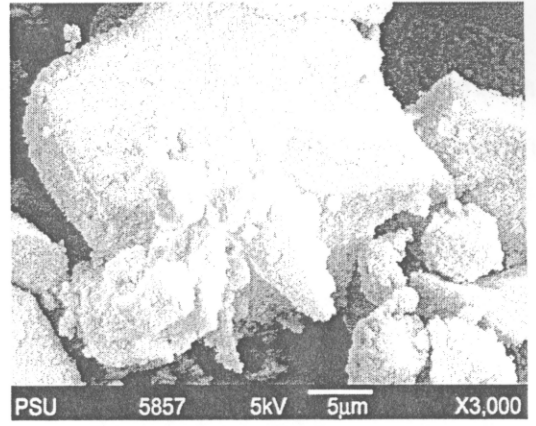


กำลังขยาย 3000 เท่า

รูปที่ 4.1-a SEM ของ 0% HPW (Pure SiO_2)

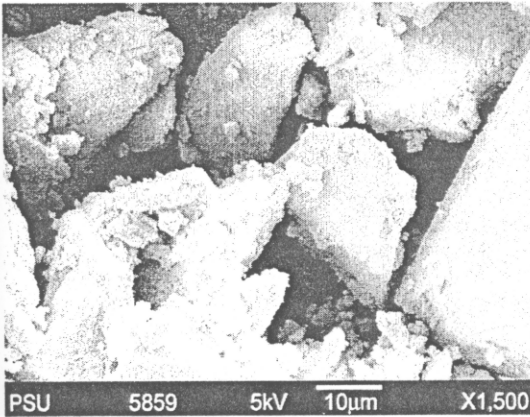


กำลังขยาย 1500 เท่า

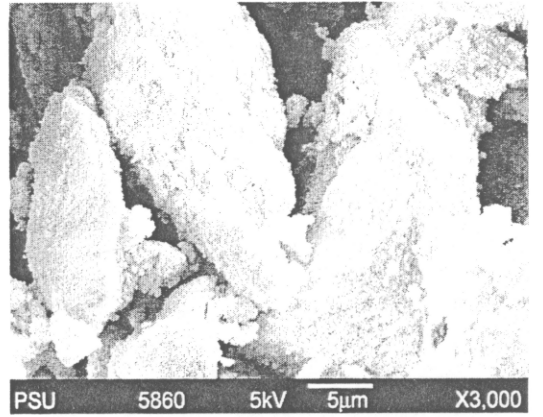


กำลังขยาย 3000 เท่า

รูปที่ 4.1-b SEM ของ 4%HPW บน SiO₂ โดยน้ำหนักร

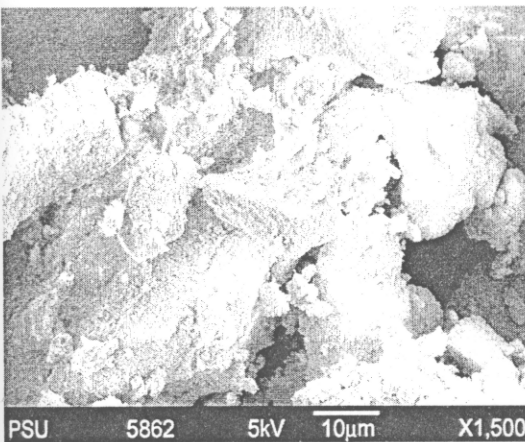


กำลังขยาย 1500 เท่า

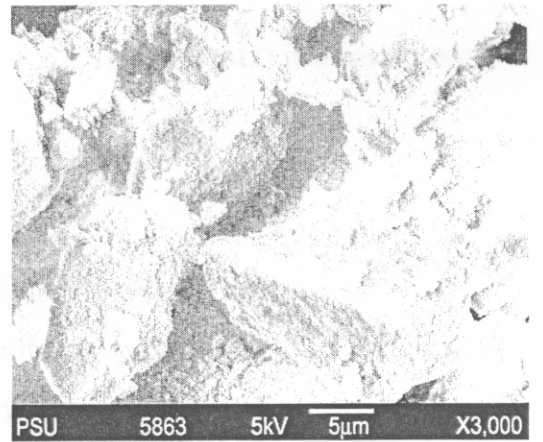


กำลังขยาย 3000 เท่า

รูปที่ 4.1-c SEM ของ 8%HPW บน SiO₂ โดยน้ำหนักร



กำลังขยาย 1500 เท่า

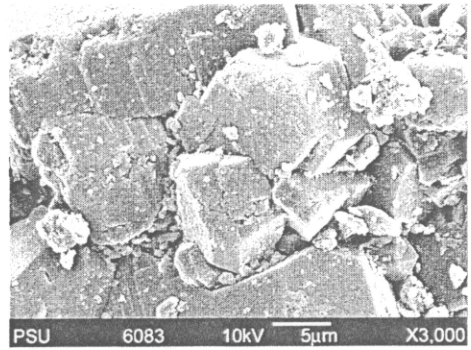
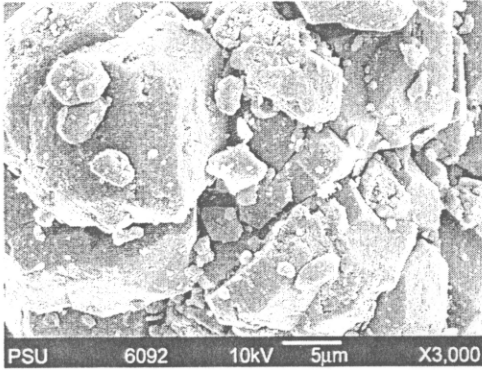


กำลังขยาย 3000 เท่า

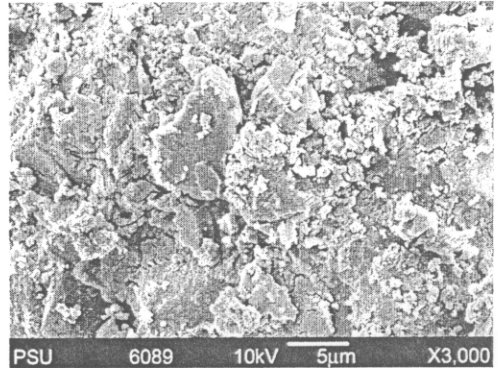
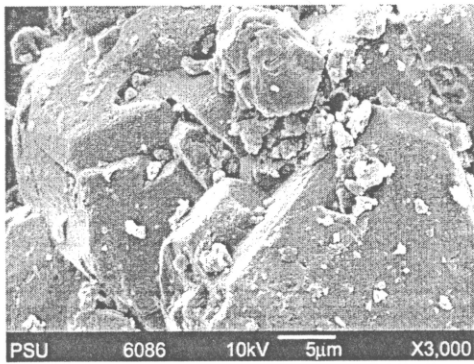
รูปที่ 4.1-d SEM ของ 12%HPW บน SiO₂ โดยน้ำหนักร

1.2 HPW บน Al_2O_3

จากการวิเคราะห์ SEM ได้ผล ดังรูปที่ 4.2a-d จะเห็นได้ว่ามีอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะบนอนุภาคของ Al_2O_3 โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่ 12%HPW/ Al_2O_3 ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นอนุภาคของ HPW ซึ่งจะทำให้การพิสูจน์ได้โดยการวิเคราะห์ XRD ต่อไป



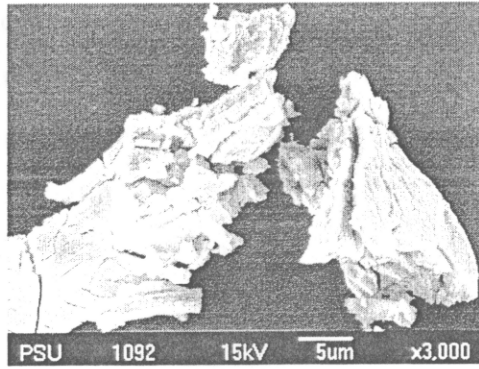
รูปที่ 4.2 a-b แสดงภาพขยายของ Al_2O_3 ที่ support HPW ที่ 0, 4% HPW/ Al_2O_3 กำลังขยาย 3,000 เท่า



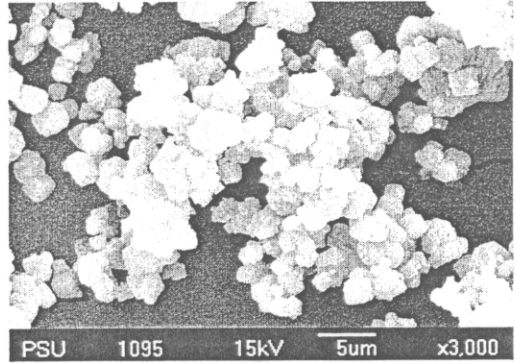
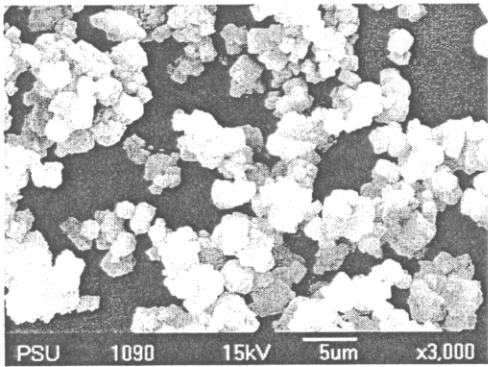
รูปที่ 4.2 c-d แสดงภาพขยายของ Al_2O_3 ที่ support HPW ที่ 8, 12% HPW/ Al_2O_3 กำลังขยาย 3,000 เท่า

1.3 HPW บน Zeolite

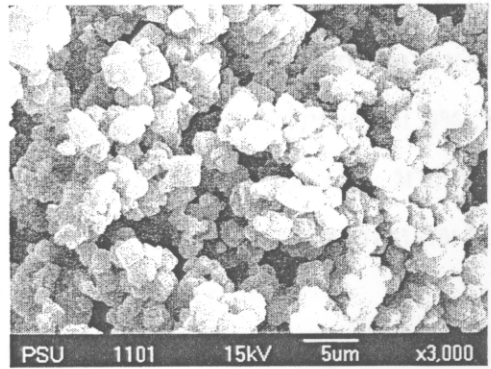
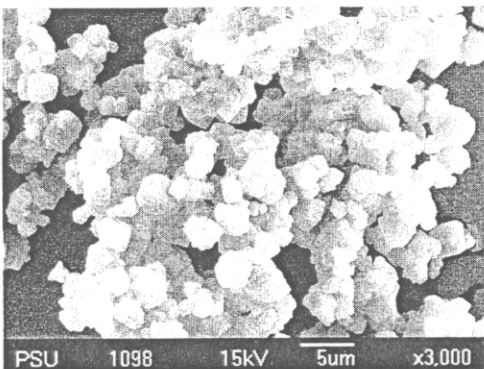
จากการวิเคราะห์ SEM ได้ผลดังรูปที่ 4.3a-d เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ SEM ของ HPW/ Al_2O_3 และ HPW/ SiO_2 คือสังเกตเห็นอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะบนอนุภาคของ Zeolite โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่ 12%HPW/Zeolite ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นอนุภาคของ HPW ซึ่งจะทำให้การพิสูจน์ได้โดยการวิเคราะห์ XRD ต่อไป



รูปที่ 4.3 แสดงภาพขยายของ Pure HPW ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.4 a-b แสดงภาพขยายของ Pure Zeolite และ 4% HPW/Zeolite ตามลำดับ กำลังขยาย 3,000 เท่า



รูปที่ 4.4 c-d แสดงภาพขยายของ 8%, 12% HPW/Zeolite ตามลำดับ กำลังขยาย 3,000 เท่า

Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการศึกษาลักษณะพื้นผิวของสาร จากรูปที่แสดงของ HPW/SiO₂, HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite ซึ่งพบว่ามีอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะบนอนุภาคของตัว Support โดยสังเกตได้ชัดเจนเมื่อ % loading ของ HPW เพิ่มสูงขึ้นในทุกตัว Support จึงคาดว่าน่าจะเป็นอนุภาคของ HPW ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตาม % loading ของ HPW อย่างไรก็ตามวิเคราะห์ด้วย SEM ไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าอนุภาคเล็กนั้นคือ HPW ต้องทำการวิเคราะห์ด้วย เครื่องมือ XRD หรือ FTIR เพื่อยืนยันผลในลำดับต่อไป

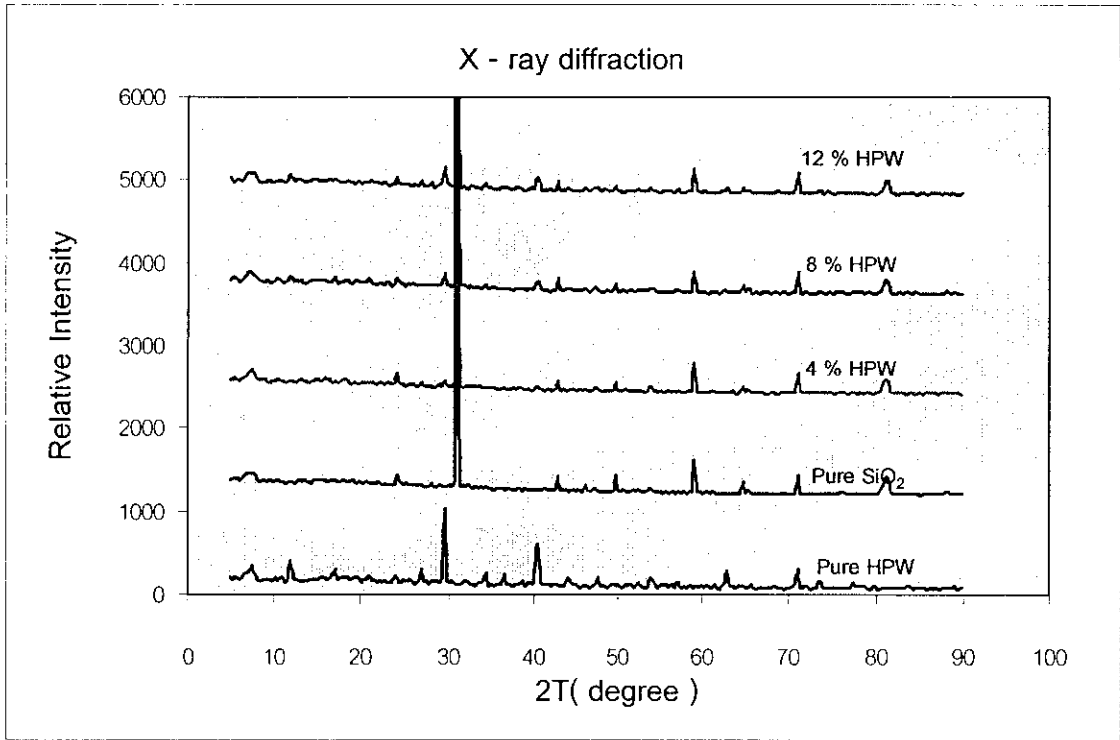
2. XRD (X - ray Diffractometer)

X-Ray Diffraction method เป็นวิธีการทั่วไปที่ใช้รังสีเอ็กซ์ที่ทราบความยาวคลื่น ไปกระทบอนุภาคหรือวัตถุที่มุมต่าง ๆ กัน โดยมี Detector เป็นตัวรับข้อมูล ซึ่งสารที่ต่างชนิดกันทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีต่างกันที่มุมองศาต่างกัน ทำให้ทราบรูปแบบโครงสร้างของผลึก(Crystal Identification) การยืนยันชนิดของสาร โดยใช้ การกระจายของแสง (Diffraction Pattern) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางของสารในรูปของมุมองศา (2θ) และความเข้มของแสง (Intensity) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์จำเป็นต้องทำการยืนยันชนิดของสารเพื่อความถูกต้องตามวัตถุประสงค์ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์โดยใช้ XRD ของ HPW ของตัวเร่งปฏิกิริยา HPW, HPW/SiO₂, HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite

2.1 HPW บน SiO₂

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของ HPW บน SiO₂ ที่ % ต่าง ๆ ด้วยการใช้เครื่อง X - ray Diffractometer (PHILLIPS X' Pert MPD) โดยผลการวิเคราะห์จะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง Intensity กับองศาที่เปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากความสัมพันธ์ที่ได้หากพิจารณาที่ 12%HPW ที่องศาการวัด 12 และ 28 องศา จะเห็น peak finger print ของ HPW บน SiO₂ ได้อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับ peak finger print ของ Pure SiO₂ ในตอนเริ่มต้น และในทำนองเดียวกันที่องศาการวัด 35 องศา peak finger print ของ HPW บน SiO₂ จะสูงขึ้นที่เมื่อเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็น 4% , 8% และ 12% ตามลำดับ การวิเคราะห์นี้ชี้ชัดให้เห็นว่า ยิ่งเปอร์เซ็นต์ของ HPW บน SiO₂ มากขึ้น intensity ก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วยและสิ่งที่ได้จากการวิเคราะห์นี้นอกจากที่จะนำไปทำการคำนวณ Mean crystal size แล้ว คือการคาดเดาพื้นผิวของ Catalyst ที่แปรผันตามขนาดของผลึก

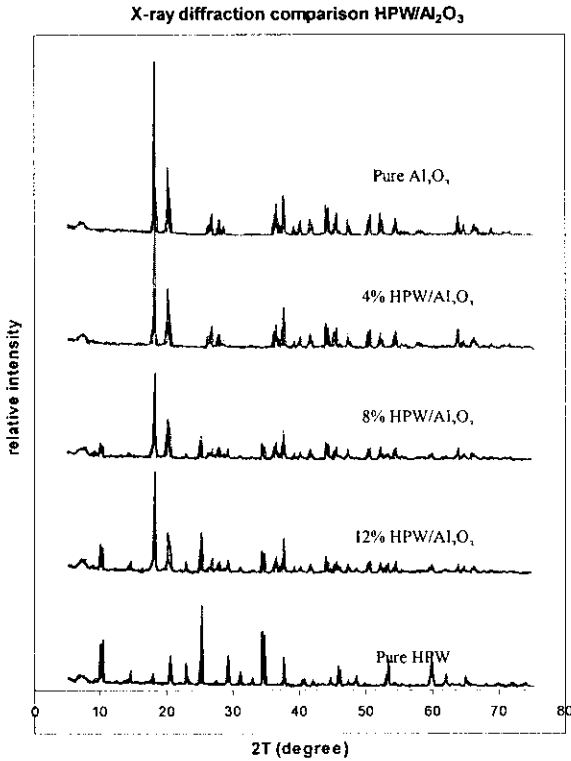
จากการวิเคราะห์ทาง XRD ทำเพื่อที่จะดูว่านอกจากที่ % ของ HPW บน SiO₂ จะมีผลต่ออัตราการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน แล้วขนาดของผลึกจะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาอย่างไร



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Relative Intensity กับองศาที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ HPW บน SiO_2 ที่ % ต่าง ๆ ด้วยเครื่อง X - ray Diffractometer (PHILLIPS X' Pert MPD)

2.2 HPW บน Al_2O_3

การวิเคราะห์ XRD จะใช้เครื่องมือ Phillips X'Pert MPD สำหรับ HPW/ Al_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยวิธี XRD พบว่า ประกอบไปด้วยอนุภาคของ HPW จริง ดังรูปที่ 4.6 ลักษณะของกราฟ (Fingerprint) ของ HPW/ Al_2O_3 ที่ได้มีลักษณะคล้ายกับของ HPW โดยปรากฏจุดสูงสุด (Peak) ที่ (2θ) 10.28° , 25.43° และ 35° ซึ่ง 2θ ที่ 10.28° และ 25.43° และ 35° สามารถบอกความเป็น HPW ของสารได้ ซึ่งไม่สามารถใช้ 2θ ที่ 17.88° และ 20.68° ยืนยันได้เนื่องจากเป็น 2θ เดียวกันกับ Al_2O_3 ความเข้ม (Intensity) ของ 2θ ที่ 10.28° และ 25.43° และ 35° ของ HPW/ Al_2O_3 ที่ % ต่าง ๆ มีค่าสูงขึ้นตาม % การโหลดของ HPW บน Al_2O_3 HPW/ Al_2O_3 ที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ค่าต่าง ๆ มีลักษณะปรากฏจุดสูงสุด (Peak) ที่ 2θ เดียวกันกับ HPW และพบว่าที่ 12% HPW/ Al_2O_3 มีความเข้ม (Intensity) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 2θ เดียวกัน ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการมีปริมาณของ HPW สูงกว่าที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ HPW/ Al_2O_3 ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วย XRD สามารถยืนยันว่าอนุภาคเล็กๆที่เห็นจาก SEM คืออนุภาคของ HPW และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ loading บน support ยิ่งสูงขึ้นการแสดงผลปริมาณของ HPW ในตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะสูงขึ้นเช่นกัน

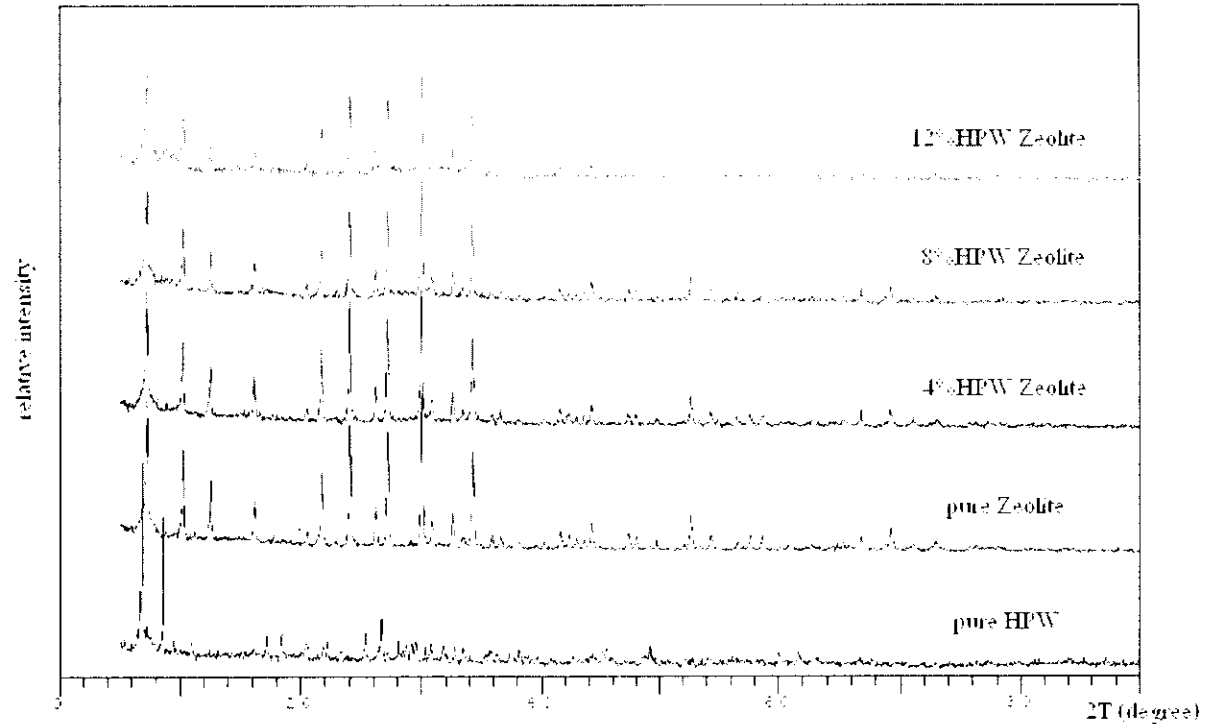


รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง relative intensity กับองศาที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ HPW บน Al_2O_3 ที่ %HPW ต่างๆกันด้วยวิธี XRD

2.3 HPW บน Zeolite

การวิเคราะห์ XRD จะใช้เครื่องมือ Phillips X'Pert MPD สำหรับ HPW/Zeolite ด้วยวิธี XRD พบว่า ประกอบไปด้วยอนุภาคของ HPW จริง ดังรูปที่ 4.7 การวิเคราะห์ HPW บน Zeolite ที่ %HPW ต่างๆกันด้วยวิธี XRD แสดงผลเช่นเดียวกับ % การโหลดของ HPW บน SiO_2 และ Al_2O_3 คือสามารถยืนยันได้ว่า HPW/Zeolite ที่โหลดขึ้นเป็นสารชนิดเดียวกับ HPW ทางการค้า และลักษณะกราฟของ HPW/Zeolite ที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ค่าต่าง ๆ มีลักษณะปรากฏจุดสูงสุด (Peak) ที่ 2θ เดียวกันกับ HPW และพบว่าที่ 12% HPW/Zeolite มีความเข้ม (Intensity) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 2θ เดียวกันซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการมีปริมาณของ HPW สูงกว่าที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ HPW/Zeolite ที่ค่าอื่น ๆ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้ คือ ที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักยิ่งสูงขึ้นการแสดงความเข้ม HPW ก็จะสูงขึ้น

X-ray diffraction comparison HPW Zeolite



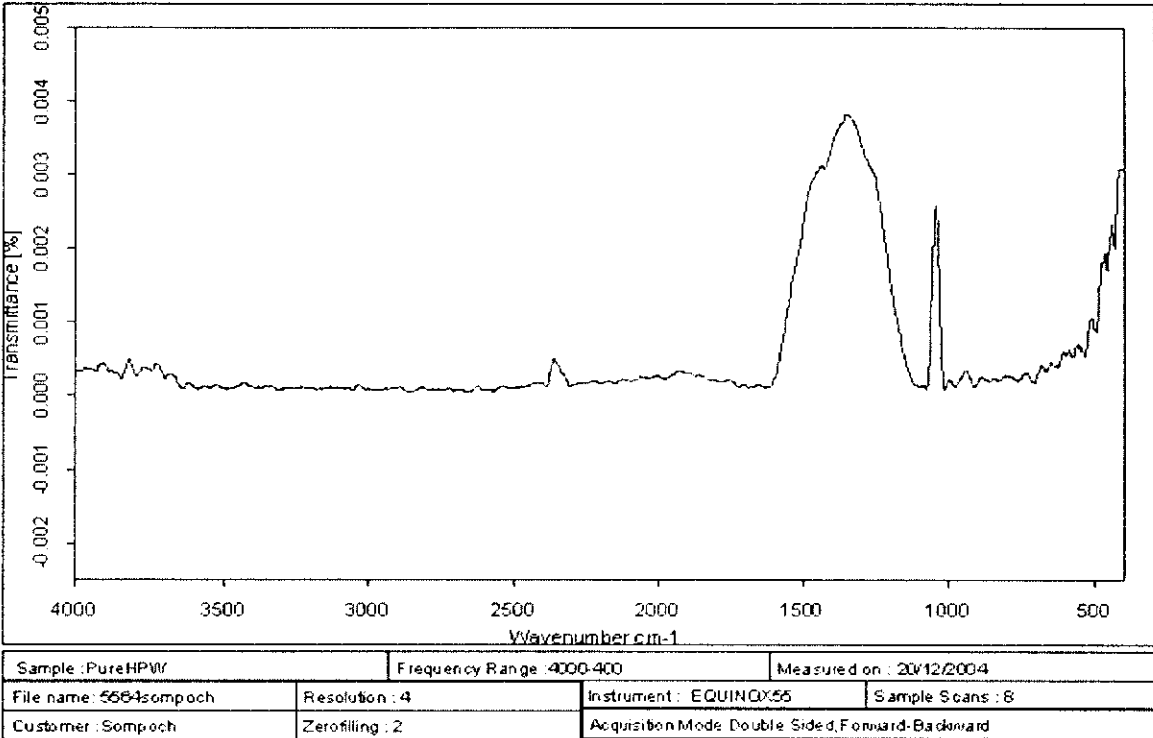
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง relative intensity กับองศาที่เปลี่ยนไปจากการวิเคราะห์ HPW บน Zeolite ที่ %HPW ต่างกันด้วยวิธี XRD

3. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer)

เพื่อใช้วิเคราะห์คุณลักษณะพันธะเคมีในองค์ประกอบของ Catalyst ก่อนและหลังการทดลอง โดยการใช้เครื่องวิเคราะห์ Fourier Transform Infrared Spectrometer , model EQUINOX 55 Bruker โดยทำการศึกษาในช่วงความถี่ $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ แสดงหมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยา

3.1 HPW บน SiO_2

Scientific Equipment Center , PSU.

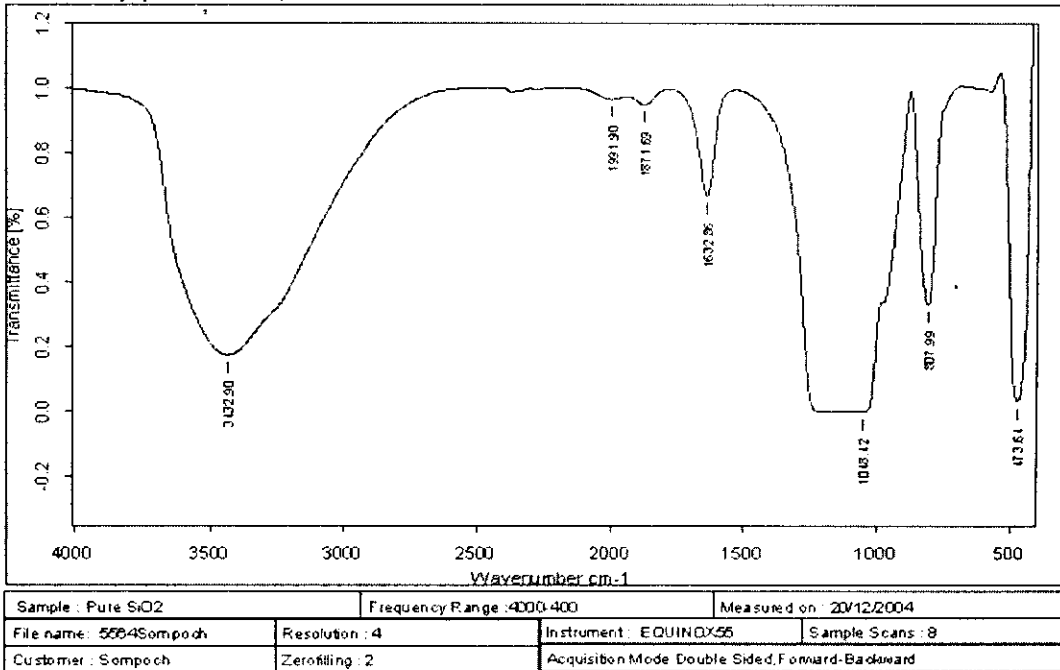


FT-IR Spectroscopy

รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์

Pure HPV ด้วย FTIR

Scientific Equipment Center , PSU.

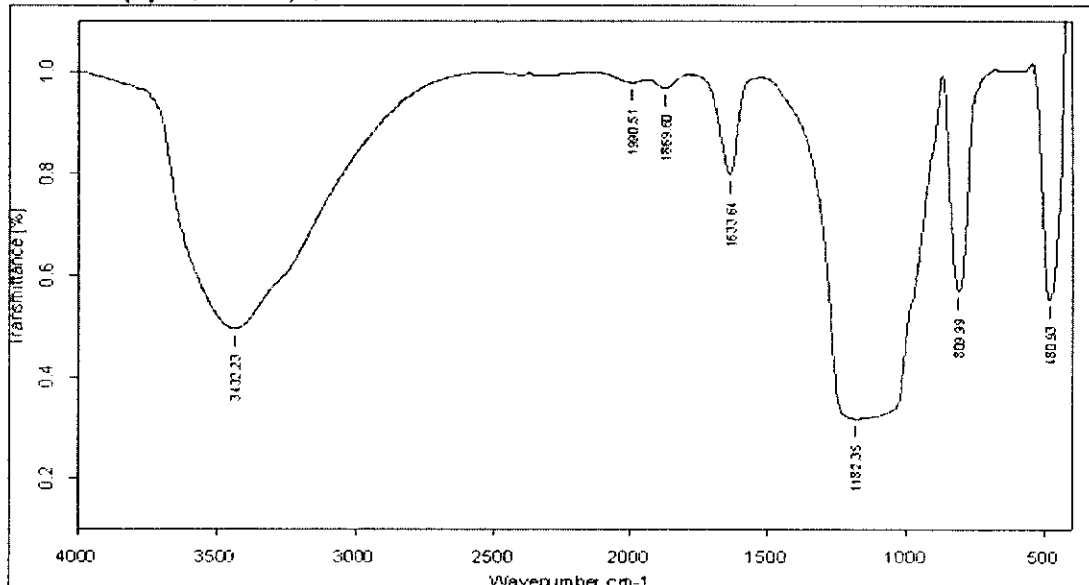


FT-IR Spectroscopy

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์

Pure SiO₂ ด้วย FTIR

Scientific Equipment Center , PSU.

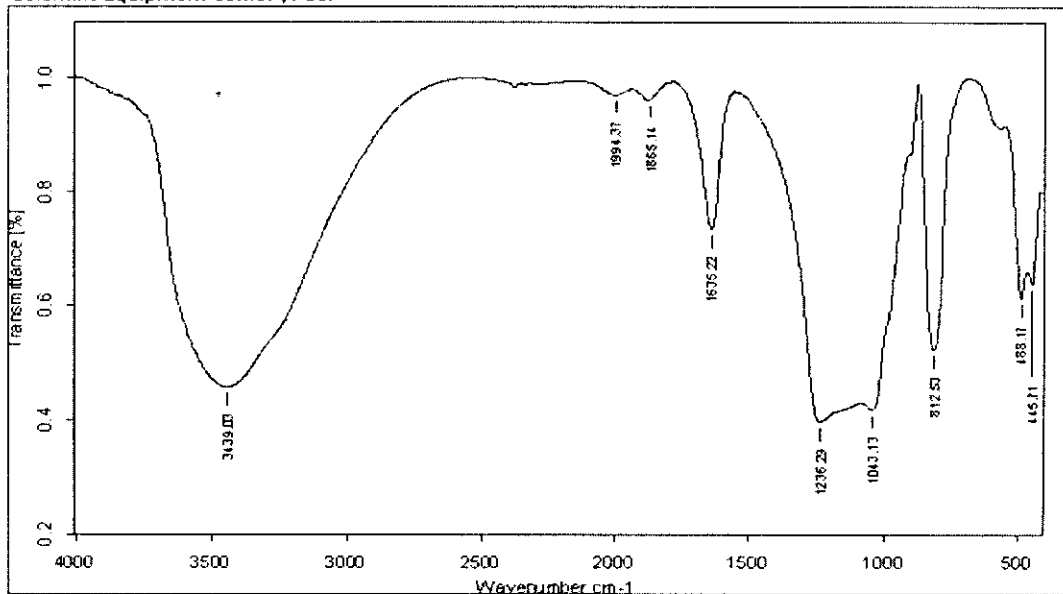


Sample : 4%HPW		Frequency Range :4000-400		Measured on : 12/01/2005	
File name : 6678Sompoch	Resolution : 4	Instrument : EQUINOX55		Sample Scans : 8	
Customer : Sompoch	Zerofilling : 2	Acquisition Mode Double Sided, Forward-Backward			

FT-IR Spectroscopy

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์ 4% HPW บน SiO₂ ด้วย FTIR

Scientific Equipment Center , PSU.

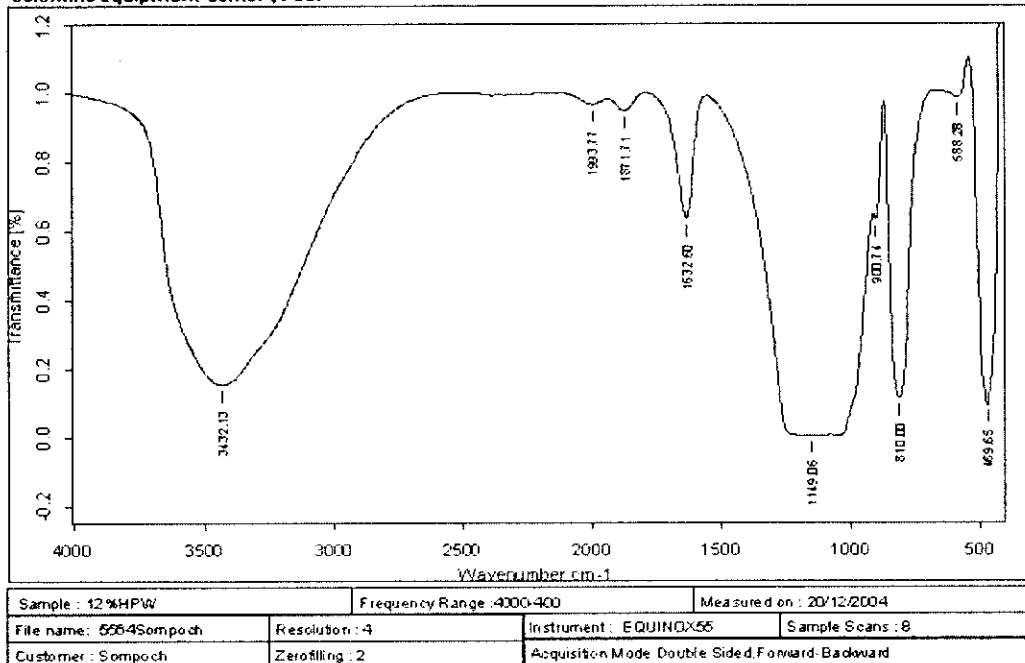


Sample : 8%HPW		Frequency Range :4000-400		Measured on : 12/01/2005	
File name : 5678Sompoch	Resolution : 4	Instrument : EQUINOX55		Sample Scans : 8	
Customer : Sompoch	Zerofilling : 2	Acquisition Mode Double Sided, Forward-Backward			

FT-IR Spectroscopy

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์ 8% HPW บน SiO₂ ด้วย FTIR

Scientific Equipment Center , PSU.



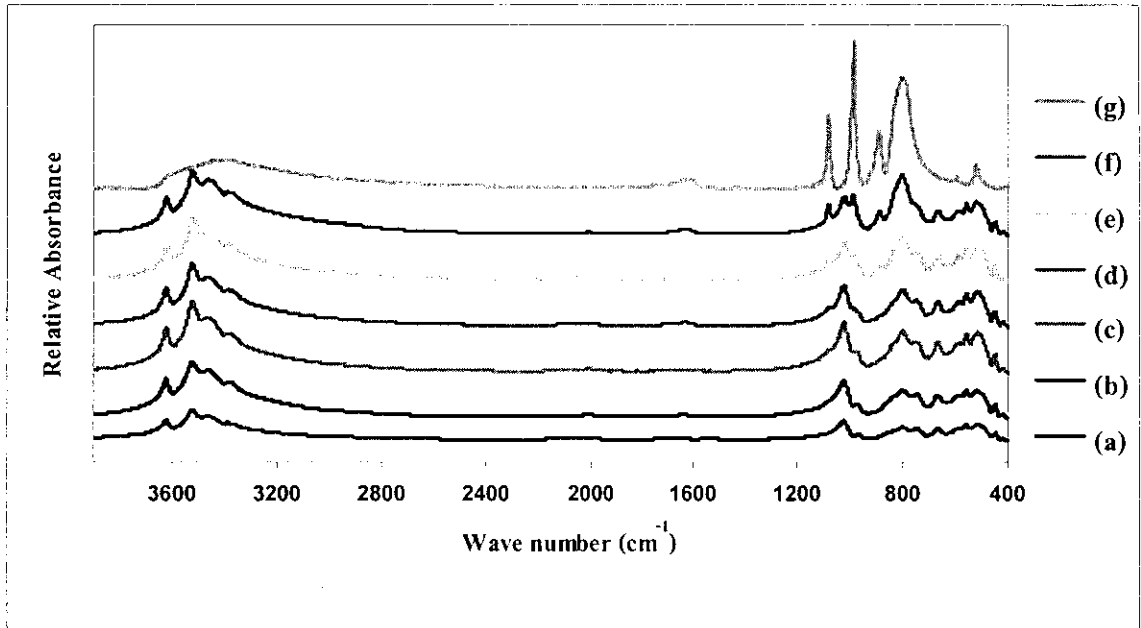
FT-IR Spectroscopy

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Transmittance กับ Wave number จากการวิเคราะห์ 12% HPW บน SiO₂ ด้วย FTIR

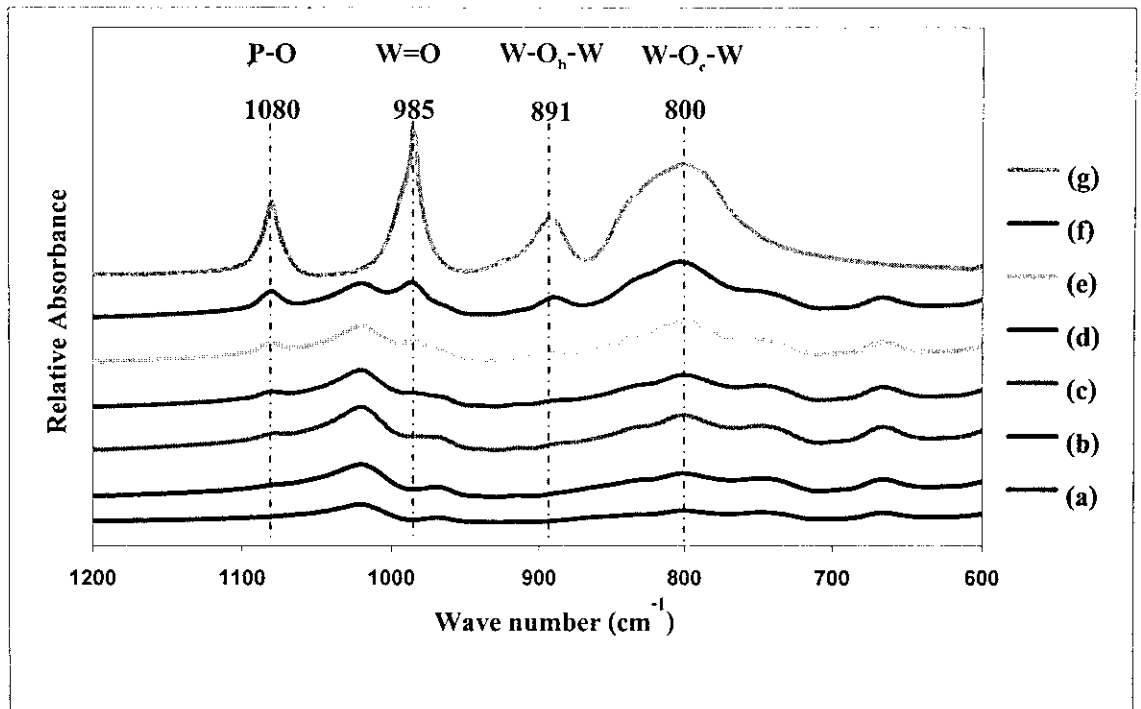
จากกราฟที่ได้ของการวิเคราะห์ลักษณะด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer เมื่อทำการเพิ่ม % การ load HPW บน SiO₂ พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างที่ Pure SiO₂ จะเห็น การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับ Peak ในช่วงแรก ที่ Peak ในช่วง 3687 – 3856 จะเกิดพันธะของน้ำเกิดขึ้น โดย น้ำที่เกิดขึ้นนี้มาจากความชื้นที่อยู่ใน HPW (เป็นตัวที่มีโครงสร้างที่ไวต่อความชื้น) สำหรับกลุ่มที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลง Peak ในช่วง 798 – 1082 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีพันธะของ HPW เกิดขึ้นซึ่งเมื่อเปรียบเทียบจากเอกสารอ้างอิง (P - O wave number 1096, W - O_i wave number 1019, W - O_c wave number 922, W - O_c wave number 861) สามารถสรุปได้ว่า Catalyst ที่ load เข้าไปเกิดการกระจายตัว และเกาะบนพื้นผิว SiO₂ จริง

3.2 HPW บน Al₂O₃

FTIR เป็นเทคนิคการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบ โดยทำการศึกษาในช่วงความถี่ 400 – 4000 cm⁻¹ แสดงหมู่ฟังก์ชันของตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพประกอบที่ 4.13 และ 4.14 ซึ่งแสดงแถบการยึดและการงอของพันธะต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 4.12 แสดงหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR Spectroscopy Pure Al_2O_3 (a), 2% HPW/ Al_2O_3 (b), 4% HPW/ Al_2O_3 (c), 8% HPW/ Al_2O_3 (d), 12% HPW/ Al_2O_3 (e), 20% HPW/ Al_2O_3 (f) และ Pure HPW (g)



ภาพประกอบที่ 4.13 แสดงหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FT-IR Spectroscopy Pure Al_2O_3 (a), 2% HPW/ Al_2O_3 (b), 4% HPW/ Al_2O_3 (c), 8% HPW/ Al_2O_3 (d), 12% HPW/ Al_2O_3 (e), 20% HPW/ Al_2O_3 (f) และ Pure HPW (g)

จากภาพประกอบที่ 4.13 ที่เลขคลื่นเท่ากับ 1080 cm^{-1} , 985 cm^{-1} , 891 cm^{-1} และ 800 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของ P-O, W=O, W-O_b-W และ W-O_c-W ตามลำดับ (Yu Seng Kim และคณะ, 2002) และจากผลการวิเคราะห์พบว่าเลขคลื่นที่ได้ของ HPW มีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ซึ่งแสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.1

จากการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถยืนยันการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ HPW/Al₂O₃ ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ โดยเฉพาะ FTIR นั่นคือ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของ HPW/Al₂O₃ มากขึ้นจะปรากฏจุดยอด (Peak) ดังกล่าวชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีเปอร์เซ็นต์ของ HPW เพิ่มขึ้นตามต้องการ

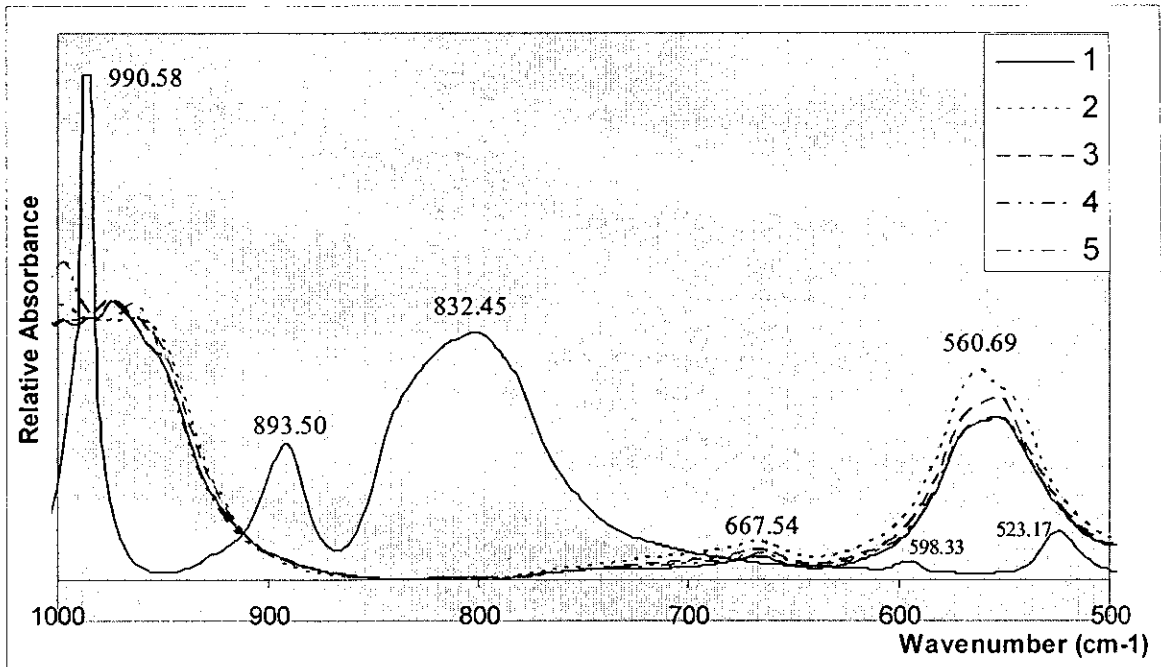
ตารางที่ 4.1 แสดงเลขคลื่นจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR ของ Pure HPW

Band/Wave number (cm ⁻¹)				Reference
P-O	W=O	W-O _b -W	W-O _c -W	
1080	985	891	800	งานวิจัยฉบับนี้
1080	na	814	887	Kim และคณะ, 2003
1079	980	902	765	Lin และคณะ, 2005
1080	985	893	812	Sepulveda และคณะ, 2005
1083	982	na	808	Yang และคณะ, 2005

na คือ ไม่รายงานข้อมูล

3.3 HPW บน Zeolite

การวิเคราะห์ FTIR จะใช้เครื่องมือ Model EQUINNOX 55, Bruker สำหรับHPW/Zeolite ด้วยวิธี FTIR พบว่าเมื่อ %HPW ลดลง ในช่วง Wavenumber (cm⁻¹) 500-600 ค่า Absorbent จะต่ำ สรุปได้ว่าพบว่ามีประเภทยอนูภาค HPW จริง ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Absorbance กับ Wavenumber (cm-1) HPW บน Zeolite ที่ %HPW ต่างกันด้วยวิธี FTIR โดยเส้นที่ 1 แสดง Pure HPW เส้นที่ 2 Pure Zeolite เส้นที่ 3 4%HPW/Zeolite เส้นที่ 4 8%HPW/Zeolite เส้นที่ 5 12%HPW/Zeolite ตามลำดับ

ผล FTIR ของ HPW/Zeolite เป็นการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถยืนยันการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ของ HPW ได้จากการทดสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ โดยเฉพาะ FTIR อย่างไรก็ตามกรณีของ HPW/Zeolite ผล FTIR ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าเปอร์เซ็นต์ของ HPW บน Zeolite มากขึ้นตาม % การ loading ที่เพิ่มขึ้น ใช้ผลของ SEM และ XRD ในการยืนยันตัวเร่งปฏิกิริยา HPW/Zeolite

4. ผลการวิเคราะห์ BET (Brunauer Emmett Teller Surface Area)

เป็นการหาพื้นที่ผิว และการกระจายตัวของขนาดอนุภาค แสดงพื้นที่ผิวได้ดังตาราง

4.1 HPW/ SiO₂

ตารางที่ 4.2 แสดงพื้นที่ผิวของ Catalyst ที่ใช้ในการทดลองของ HPW/SiO₂

%HPW/SiO ₂	BET Surface area (m ² /g)
Pure HPW	5.98
Pure SiO ₂	255.35
4%	235.50
8%	222.20
12%	211.10

ผลการวิเคราะห์ จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ายิ่งเพิ่ม %HPW ค่าของ BET ลดลงคาดว่า อาจเกิดเนื่องมาจาก HPW ที่เพิ่มขึ้นไปทำการปิดกั้น Micropore ของ SiO₂ ทำให้พื้นที่ผิวลดลงอาจทำการตรวจสอบได้โดยการหาขนาดของ Particle Size ของ HPW และ SiO₂

4.2 HPW/ Al₂O₃

ผลการวิเคราะห์ BET

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของ catalyst ด้วยวิธี BET พบว่า HPW ที่ support บน Al₂O₃ มีแนวโน้มว่าพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อ %HPW เพิ่มขึ้น ซึ่งจะสังเกตได้อย่างชัดเจนที่ 8%HPW และ ที่ 12%HPW ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติของแคตาลิสต์ที่วิเคราะห์ด้วย วิธี BET

%HPW/Al ₂ O ₃	BET Surface area (m ² /g)
0%	0.265
4%	0.373
8%	1.019
12%	1.476

4.3 HPW/ Zeolite

ผลการวิเคราะห์ BET

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของ catalyst ด้วยวิธี BET พบว่า HPW ที่ support บน Zeolite มีแนวโน้มว่าพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อ %HPW เพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตจาก Intensity ของ XRD ที่แสดง HPW บน Zeolite ของ 8%HPW และ ที่ 12%HPW ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงคุณสมบัติของแคตาลิสต์ที่วิเคราะห์ด้วย วิธี BET

%HPW/Zeolite	BET Surface area (m ² /g)
0%	0.175
4%	0.218
8%	0.476
12%	0.848

4.2 ผลการทดลอง

1. HPW/SiO₂

ผลการ Runblank ดำเนินการในสภาวะจริงโดยไม่ใช้ Catalyst

การทำ Blank เป็นการทดลองเพื่อหาการเปลี่ยนไปของโทลูอินในอากาศในขณะที่ไม่ใช้ Catalyst เกิดขึ้นเท่าใด ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนโดยใช้ความร้อนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยใช้ Catalyst มีค่าเท่าใด ในการทำ Blank จะใช้เวลาที่ 15 นาทีในการดำเนินการ โดยผลที่ได้แสดงไว้ดังตาราง

ตารางที่ 4.2 ผลความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศก่อนเข้าสู่ Reactor และหลังออกจาก Reactor ที่อุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ ในการทำ Blank

อุณหภูมิเตาเผา (°C)	เวลาดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ (ppm)	
		ก่อนเข้าสู่ Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	15	534.93	409.86
300	15	563.98	377.90
400	15	691.37	446.91

ตารางที่ 4.3 แสดง %Conversion ของโทลูอินในอากาศที่อุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ ในการทำ Blank

เวลาดำเนินการ(นาที)	% Conversion ที่อุณหภูมิ		
	200°C	300°C	400°C
15	23.34	32.99	35.44

2. ผลการทดลองโดยใช้ Catalyst ที่%HPW ต่าง ๆ

ในการทดลองจะดำเนินการทดลองโดยใช้เวลาทั้งหมด 60 นาที เริ่มจากเวลาเริ่มต้นการทดลองคือ ตั้งแต่อากาศออกจาก Reactor ให้เริ่มนับเป็นเวลา 0 และดำเนินการไปเรื่อย ๆ จนครบเวลาดำเนินการ

นิยาม เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.4 ผลความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศก่อนเข้าสู่ Reactor และหลังออกจาก Reactor ที่ 0% HPW ที่เวลาและอุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

อุณหภูมิเตาเผา (°C)	เวลาดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ (ppm)	
		ก่อนเข้าสู่ Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0*	518.09	313.97
	30	554.20	356.78
	60	504.52	303.52
300	0*	542.36	318.66
	30	549.82	339.03
	60	632.57	408.17
400	0*	519.35	239.35
	30	397.21	222.67
	60	517.54	301.11

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.5 ผลความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศก่อนเข้าสู่ Reactor และหลังออกจาก Reactor ที่ 4% HPW บน SiO₂ ที่เวลาและอุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

อุณหภูมิเตาเผา (°C)	เวลาดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ (ppm)	
		ก่อนเข้าสู่ Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0*	566.19	311.97
	30	533.37	333.19
	60	539.29	323.64
300	0*	386.09	206.06
	30	549.50	328.72
	60	529.52	317.00
400	0*	480.37	153.15
	30	501.22	275.13
	60	672.20	372.98

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.6 ผลความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศก่อนเข้าสู่ Reactor และหลังออกจาก Reactor ที่ 8 % HPW บน SiO₂ ที่เวลาและอุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

อุณหภูมิเตาเผา (°C)	เวลาดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ (ppm)	
		ก่อนเข้าสู่ Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0*	337.99	143.67
	30	593.51	269.15
	60	543.87	244.48
300	0*	624.90	83.46
	30	624.86	190.77
	60	658.46	337.78
400	0*	542.58	71.54
	30	790.14	243.05
	60	952.00	377.09

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

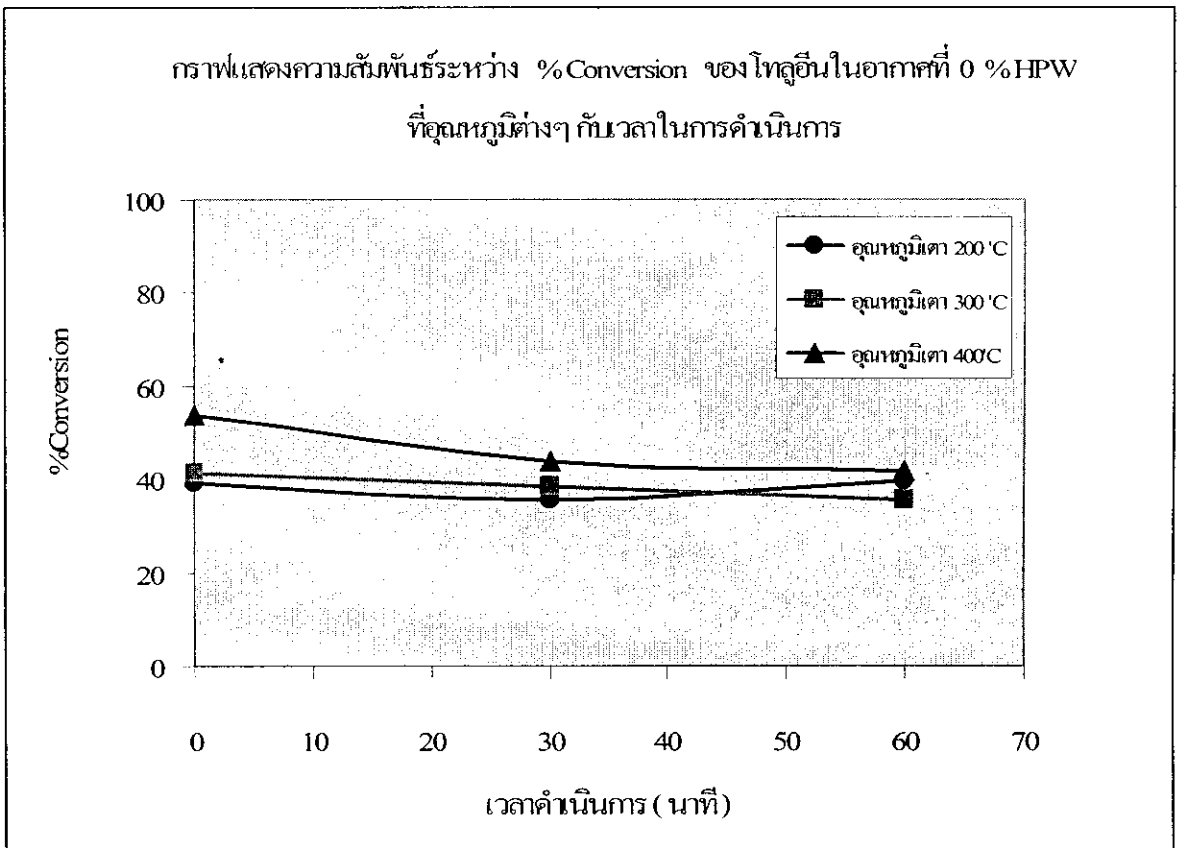
ตารางที่ 4.7 ผลความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศก่อนเข้าสู่ Reactor และหลังออกจาก Reactor ที่ 12 % HPW บน SiO₂ ที่เวลาและอุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

อุณหภูมิเตาเผา (°C)	เวลาดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ (ppm)	
		ก่อนเข้าสู่ Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0*	317.36	74.12
	30	473.44	123.45
	60	593.82	234.66
300	0*	361.36	74.35
	30	365.64	93.64
	60	382.69	107.65
400	0*	508.71	54.54
	30	922.54	195.48
	60	301.00	112.07

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.8 แสดง % Conversion ของโทลูอินในอากาศที่ 0% HPW บน SiO_2 ที่เวลา และอุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

เวลาดำเนินการ(นาที)	% Conversion ที่อุณหภูมิ		
	200°C	300°C	400°C
0*	39.39	41.25	53.91
30	35.62	38.34	43.94
60	39.84	35.47	41.82

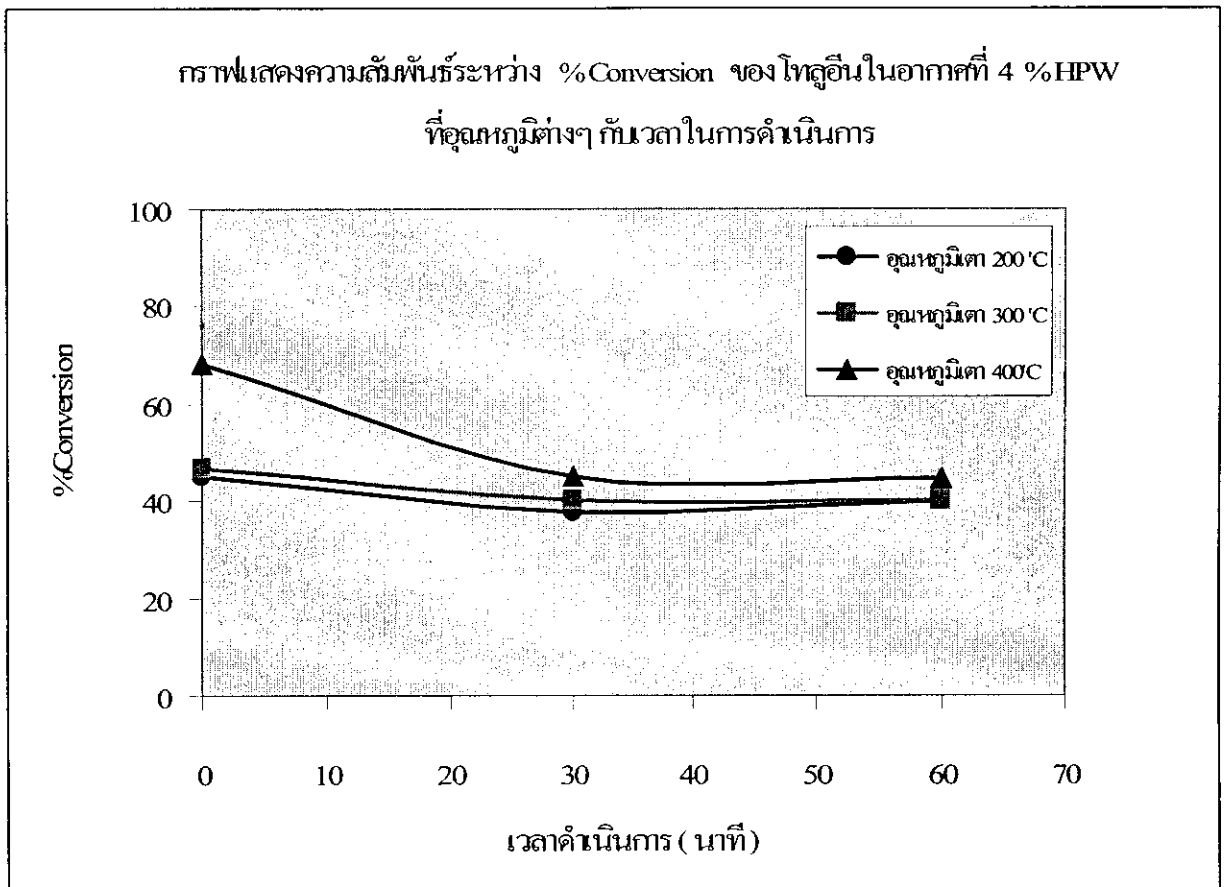


รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Conversion ของโทลูอินในอากาศที่ 0% HPW บน SiO_2 ที่อุณหภูมิตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.9 แสดง % Conversion ของโทลูอินในอากาศที่ 4% HPW บน SiO₂ ที่เวลาและอุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

เวลาดำเนินการ(นาที)	% Conversion ที่อุณหภูมิ		
	200°C	300°C	400°C
0*	44.90	46.63	68.12
30	37.53	40.17	45.11
60	39.98	40.13	44.50

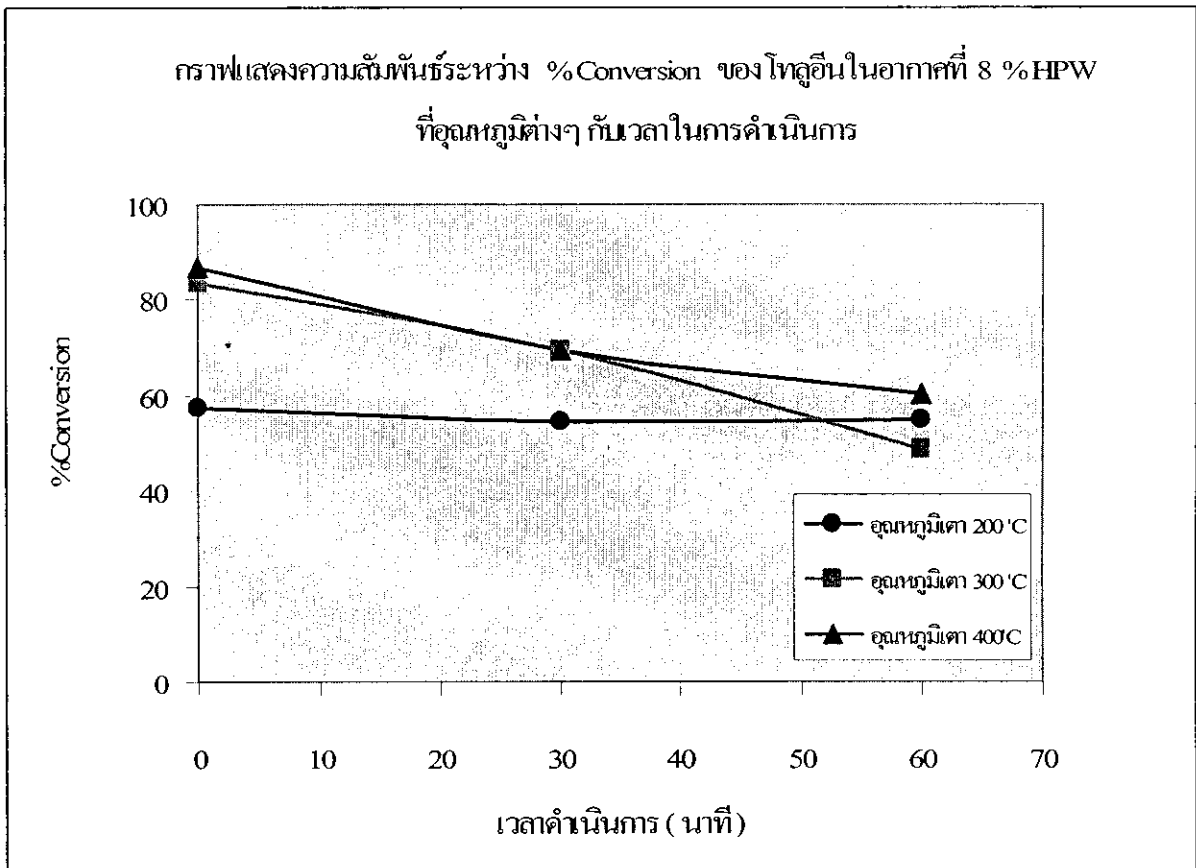


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Conversion ของโทลูอินในอากาศที่ 4% HPW บน SiO₂ ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.10 แสดง % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 8% HPW บน SiO₂ ที่เวลาและอุณหภูมิเตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

เวลาดำเนินการ(นาที)	% Conversion ที่อุณหภูมิ		
	200°C	300°C	400°C
0*	57.49	83.46	86.81
30	54.65	69.47	69.24
60	55.05	48.70	60.39

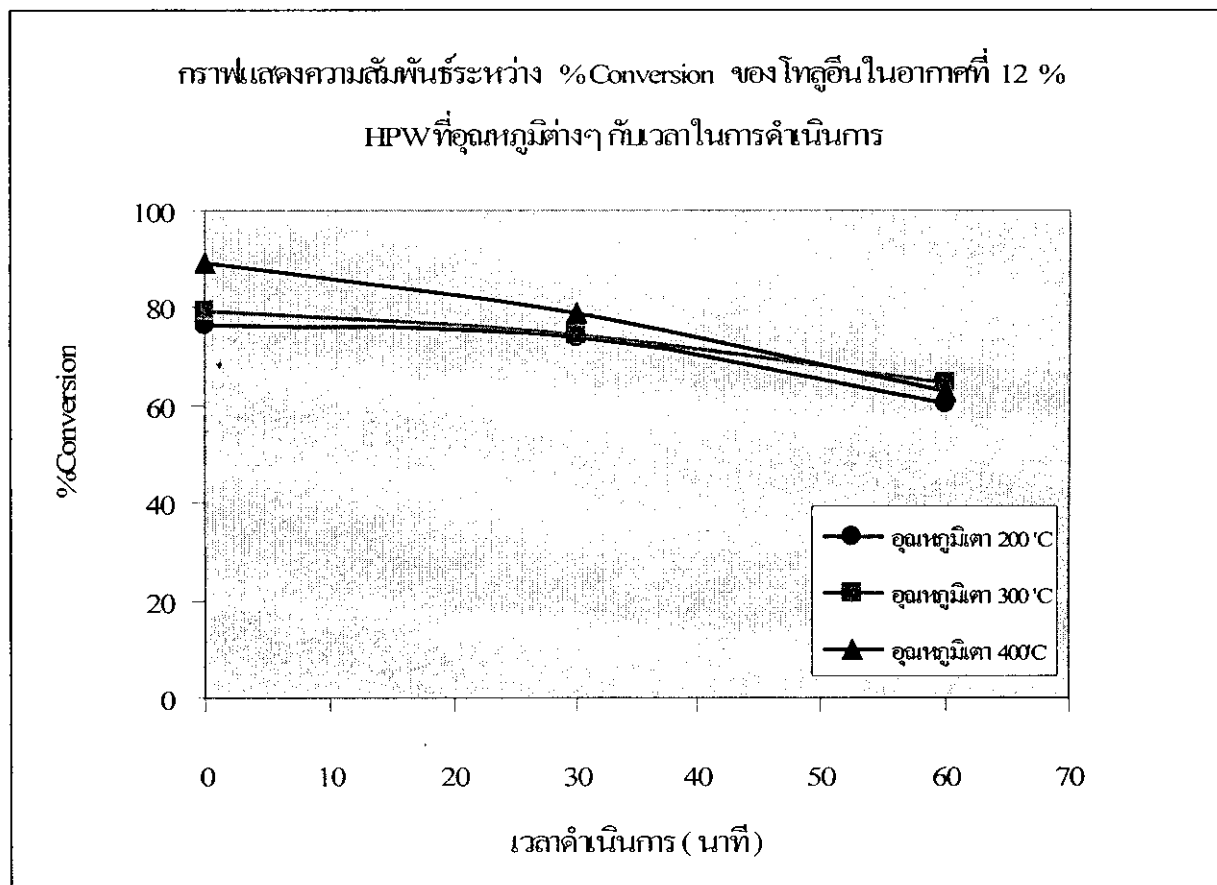


รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 8% HPW บน SiO₂ ที่อุณหภูมิตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.11 แสดง % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 12% HPW ที่เวลาและอุณหภูมิ
เตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

เวลาดำเนินการ(นาที)	% Conversion ที่อุณหภูมิ		
	200°C	300°C	400°C
0*	76.64	79.42	89.28
30	73.92	74.39	78.81
60	60.48	64.48	62.77

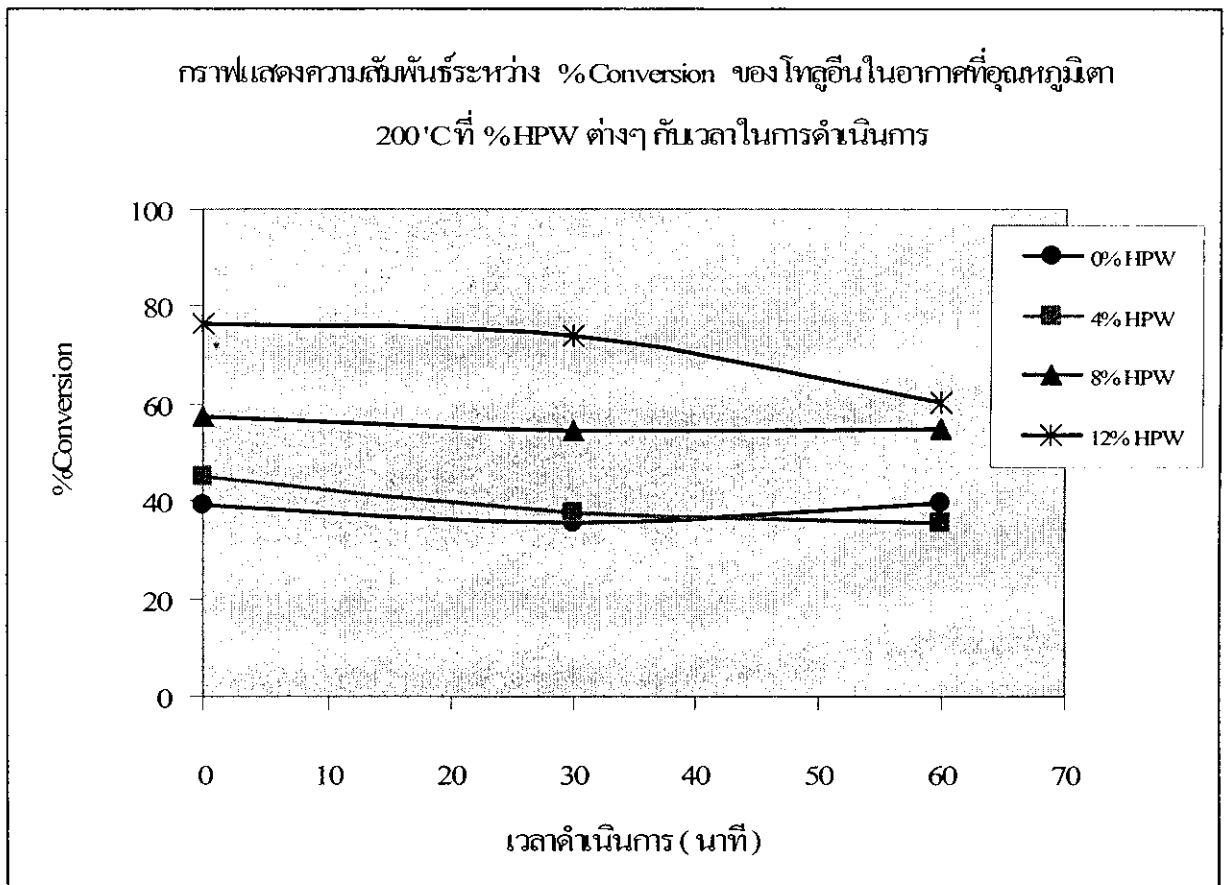


รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 12% HPW บน SiO₂
ที่อุณหภูมิตาเผาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ กับเวลาดำเนินการ

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบ % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW ที่อุณหภูมิเตา 200°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

เวลาดำเนินการ (นาที)	% Conversion ที่ % ความเข้มข้น HPW			
	0%	4%	8%	12%
0*	39.39	44.90	57.49	76.64
30	35.62	37.53	54.65	73.92
60	39.84	35.47	55.05	60.48

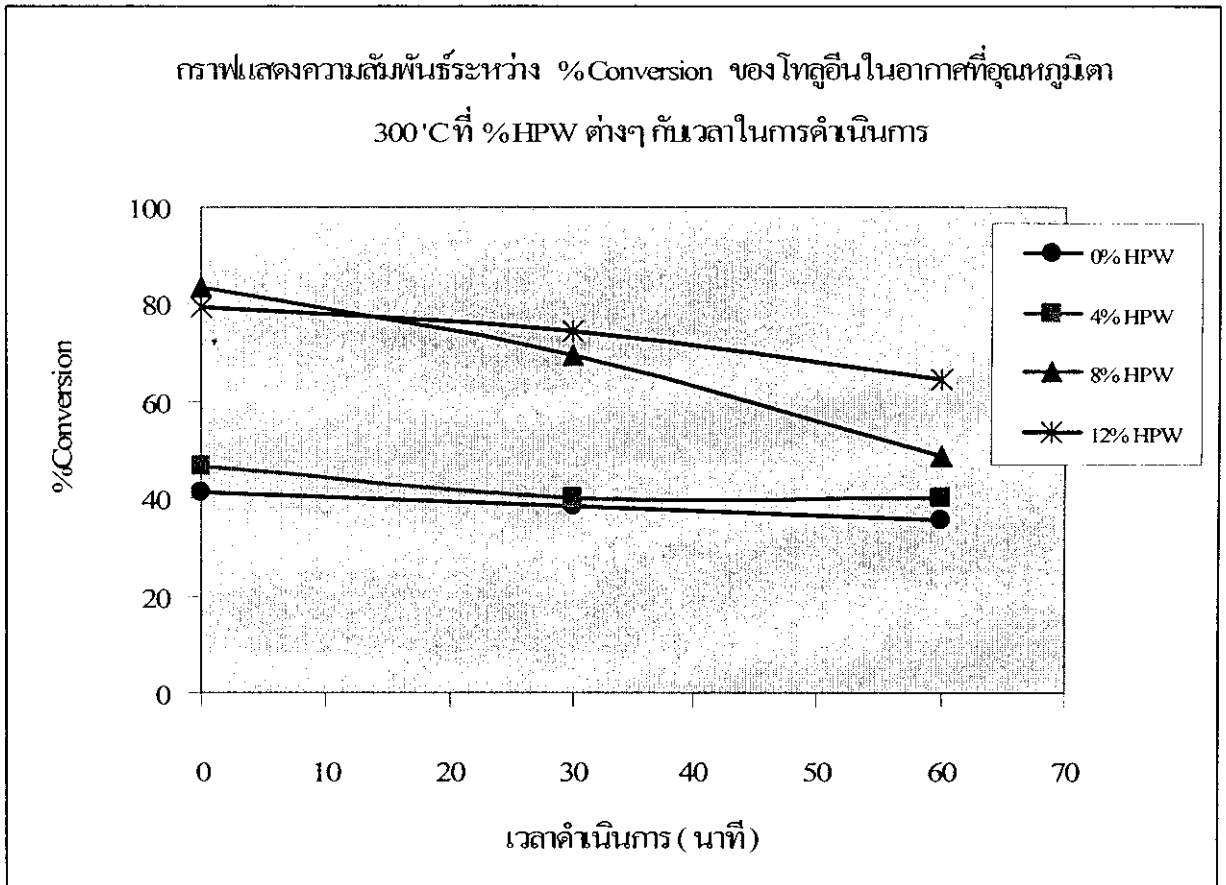


รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบ % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW ที่อุณหภูมิเตา 200°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบ % Conversion ของโพลูอินในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW ที่อุณหภูมิเตา 300°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

เวลาดำเนินการ (นาที)	% Conversion ที่ % ความเข้มข้น HPW			
	0%	4%	8%	12%
0*	41.25	46.63	83.46	79.42
30	38.34	40.17	69.47	74.39
60	35.47	40.13	48.70	64.48

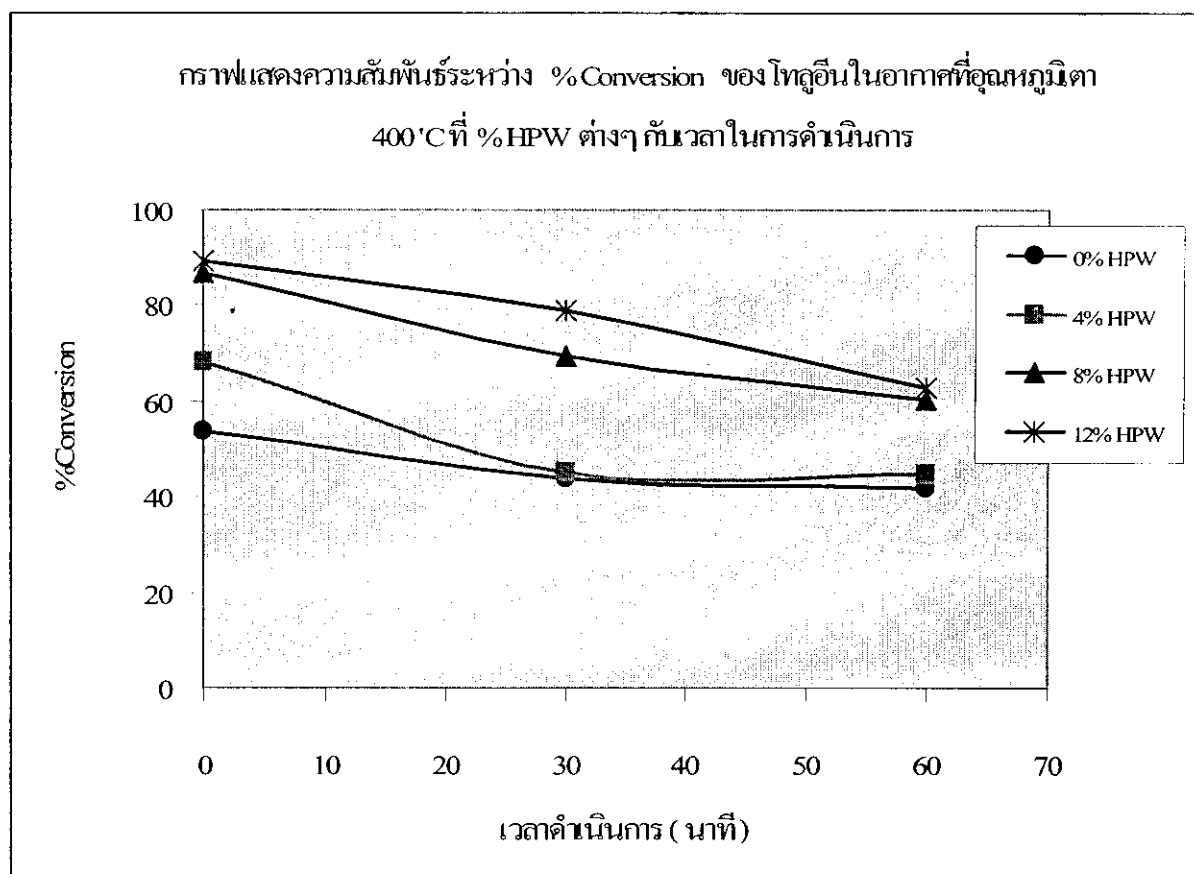


รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบ % Conversion ของโพลูอินในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW ที่อุณหภูมิเตา 300°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบ % Conversion ของโพลูอินในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW ที่อุณหภูมิเตา 400°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

เวลาดำเนินการ (นาที)	% Conversion ที่ % ความเข้มข้น HPW			
	0%	4%	8%	12%
0*	53.91	68.12	86.81	89.28
30	43.94	45.11	69.24	78.81
60	41.82	44.50	60.39	62.77



รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบ % Conversion ของโพลูอินในอากาศที่ % ต่างๆ ของ HPW ที่อุณหภูมิเตา 400°C และเวลาที่ดำเนินการทดลองต่างๆ

* เวลาที่ 0 นาที หมายถึงเวลาที่เริ่มจับเมื่ออากาศไหลออกจาก Column

2. HPW/Al₂O₃

1. ผลการ Run blank โดยการดำเนินการที่สภาวะจริงแบบไม่ใช้ Catalyst

การ Run blank เป็นการทดลองเพื่อหาค่า %Conversion ของโทลูอินในอากาศแบบไม่ใช้ Catalyst ซึ่งเป็นการใช้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Thermal Oxidation) เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้ Catalyst และความร้อนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Catalytic Oxidation)

ตารางที่ 4-15 แสดงพื้นที่ของโทลูอินในอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ก่อนเข้าและหลังจากออกจาก Reactor ที่อุณหภูมิภายใน reactor และเวลาต่างๆกัน

อุณหภูมิของ reactor (°C)	เวลาในการดำเนินการ (นาที)	พื้นที่ที่อ่านได้จากเครื่อง GC ของโทลูอินในอากาศ (ppm)	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	20	565	396
300	20	892	500
400	20	835	411

ตารางที่ 4-16 แสดง % Conversion ของโทลูอินในอากาศที่อุณหภูมิต่างๆในการทำ Blank

เวลาในการดำเนินการ (นาที)	% Conversion ที่อุณหภูมิต่างๆ		
	200 °C	300 °C	400 °C
20	29.87	46.21	53.77

2. ผลการทดลองโดยใช้ Catalyst

Catalyst ที่ใช้คือ HPW ที่ supported บน Al₂O₃ เวลาที่ใช้ในการดำเนินการทั้งหมด 90 นาที โดยเริ่มนับเวลาที่ 0 นาที เมื่อโทลูอินในอากาศเริ่มออกจาก Reactor และทำการเก็บตัวอย่างของโทลูอินในอากาศด้วย syringe ก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor ที่เวลา 10, 20, 30, 50, 70 และ 90 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4-17 แสดงความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ ก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ pure Al_2O_3 ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศใน Reactor($^{\circ}C$)	เวลาในการดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0	186	64
	10	322	195
	20	395	243
	30	439	279
	50	653	372
	70	579	404
	90	494	373
300	0	196	15
	10	465	161
	20	433	199
	30	1495	812
	50	838	458
	70	964	575
	90	762	414
400	0	444	184
	10	575	204
	20	1017	248
	30	625	356
	50	380	201
	70	424	321
	90	358	220

ตารางที่ 4-18 แสดงความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ ก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ 4%HPW/Al₂O₃ ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศใน Reactor(°C)	เวลาในการดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0	484	324
	10	689	427
	20	675	471
	30	760	439
	50	846	484
	70	617	357
	90	463	380
300	0	417	133
	10	654	270
	20	754	523
	30	673	477
	50	618	377
	70	792	308
	90	541	280
400	0	649	155
	10	637	200
	20	797	289
	30	700	142
	50	666	192
	70	630	203
	90	599	230

ตารางที่ 4-19 แสดงความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ 8 %HPW/Al₂O₃ ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศใน Reactor(°C)	เวลาในการดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศ	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0	202	13
	10	255	76
	20	302	99
	30	247	83
	50	653	248
	70	1090	531
	90	911	500
300	0	231	73
	10	505	167
	20	690	354
	30	975	309
	50	750	305
	70	699	257
	90	857	662
400	0	313	31
	10	344	28
	20	411	33
	30	430	67
	50	479	106
	70	683	62
	90	889	235

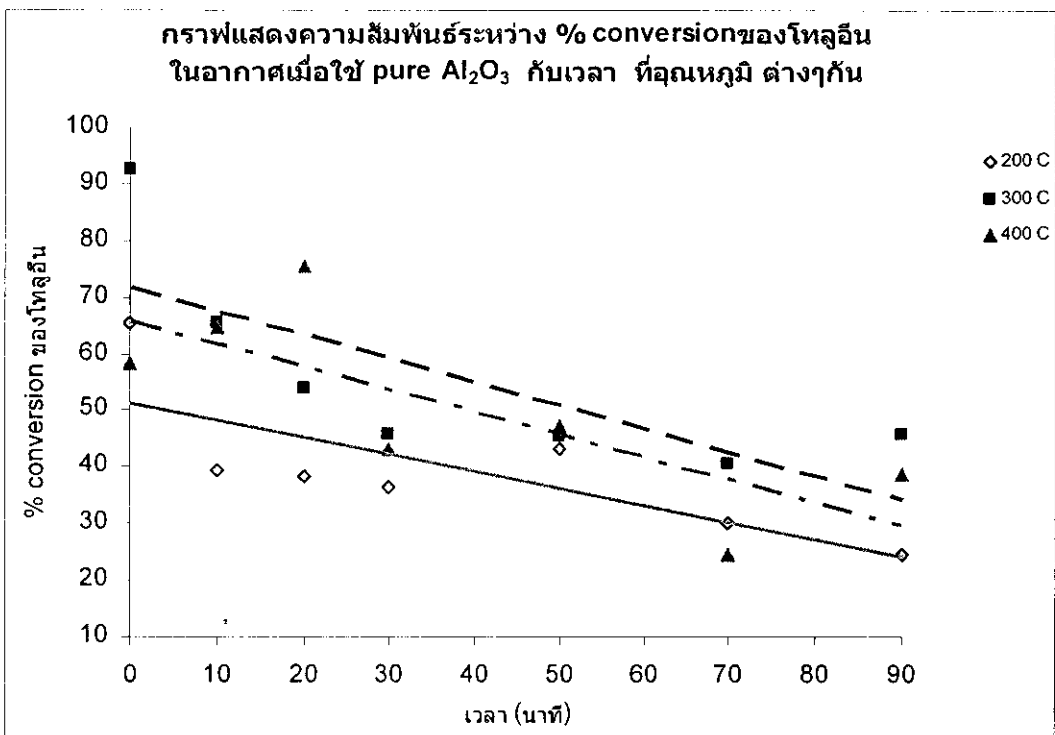
ตารางที่ 4-20 แสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ 12 %HPW/Al₂O₃ ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศใน Reactor(°C)	เวลาในการดำเนินการ (นาที)	ความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	0	633	295
	10	459	202
	20	671	297
	30	754	376
	50	1360	881
	70	970	461
	90	904	700
300	0	539	211
	10	777	251
	20	1044	520
	30	975	360
	50	714	441
	70	411	288
	90	210	131
400	0	574	150
	10	875	159
	20	1090	318
	30	1081	165
	50	833	327
	70	858	203
	90	812	141

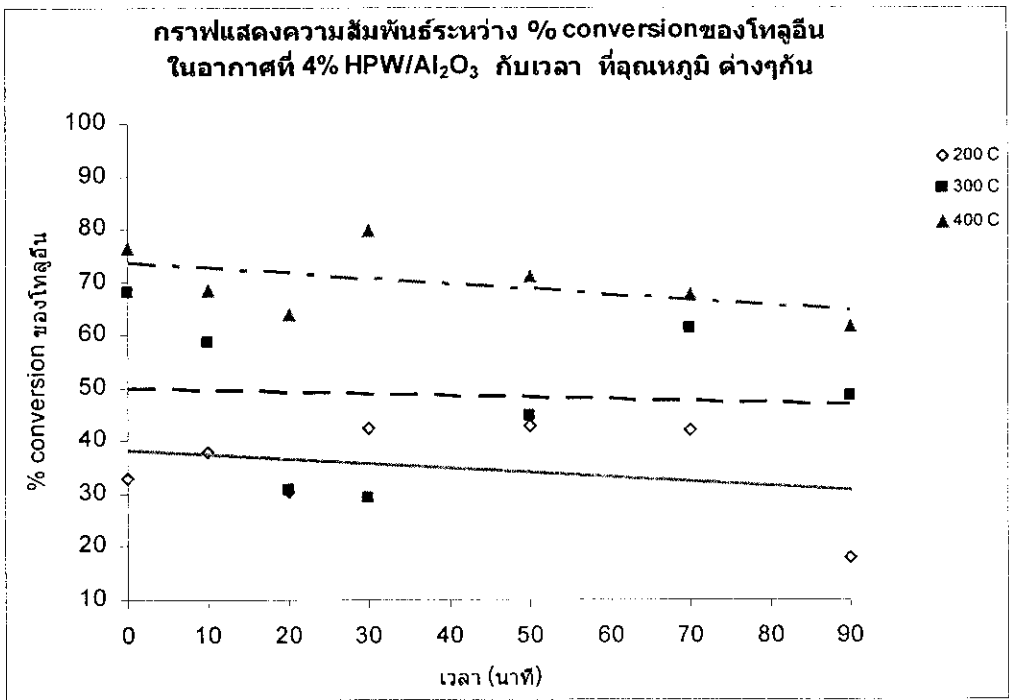
ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ%conversion

จากการทำการทดลองโดยที่ %HPW/ Al_2O_3 คงที่แล้วเปรียบเทียบ %conversion ที่อุณหภูมิ ต่างๆกัน นำมาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion กับเวลา ได้ผลดังรูปที่ 7-9

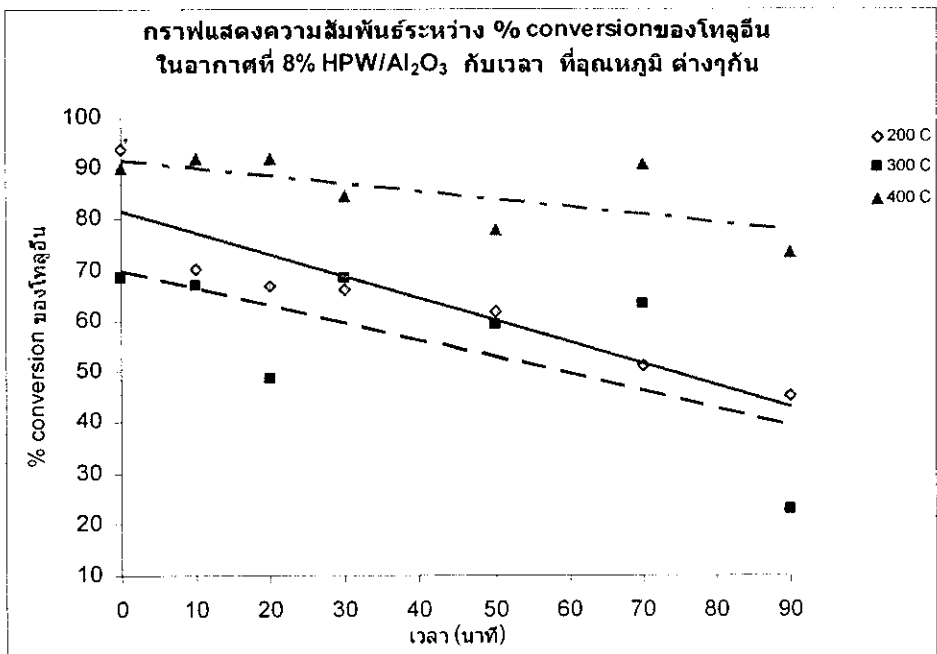
จากผลการทดลอง พบว่า 3 ใน 4 ตัวอย่างแคตาลีสต์ให้ค่า %conversion ของโทลูอินใน อากาศสูงที่สุด เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 400°C และให้ค่า%conversion ของโทลูอินต่ำ ที่สุดเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 200°C



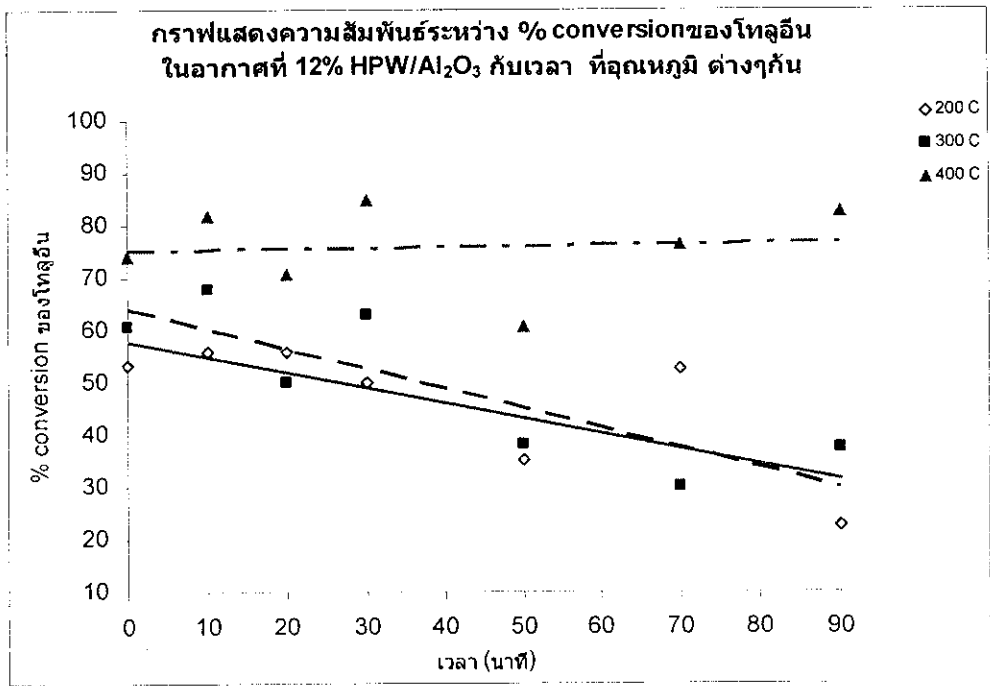
รูปที่ 7 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอินในอากาศที่ pure Al_2O_3 กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน (หมายเหตุ: เวลาที่ $t = 0$ นาที คือเวลาที่เริ่มมีกระแสอากาศไหล ออกจาก reactor)



รูปที่ 8 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 4%
HPW/Al₂O₃กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน

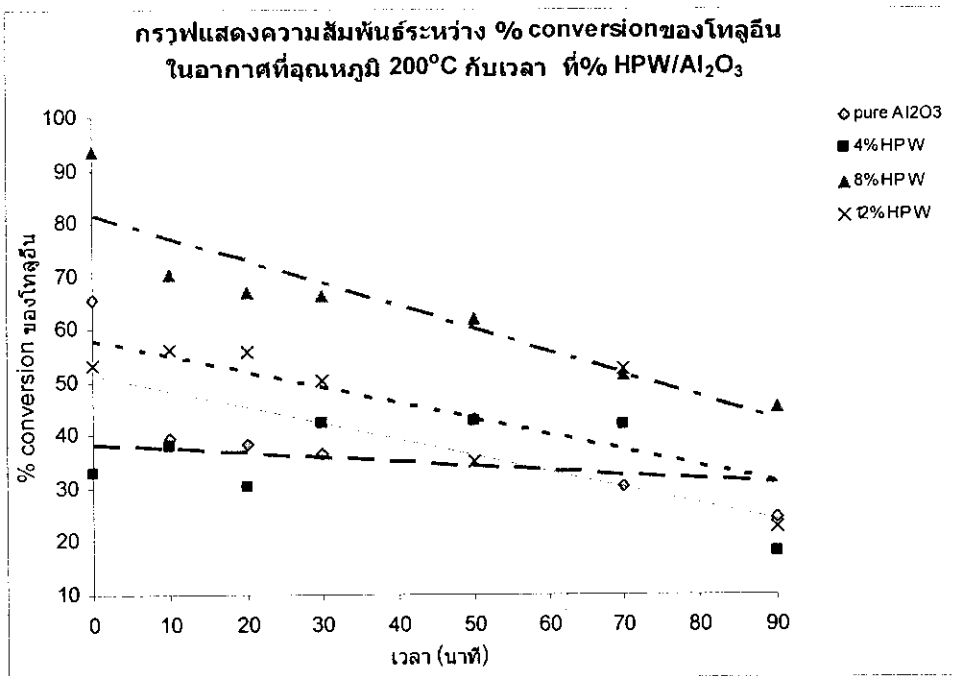


รูปที่ 9 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 8%
HPW/Al₂O₃กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน

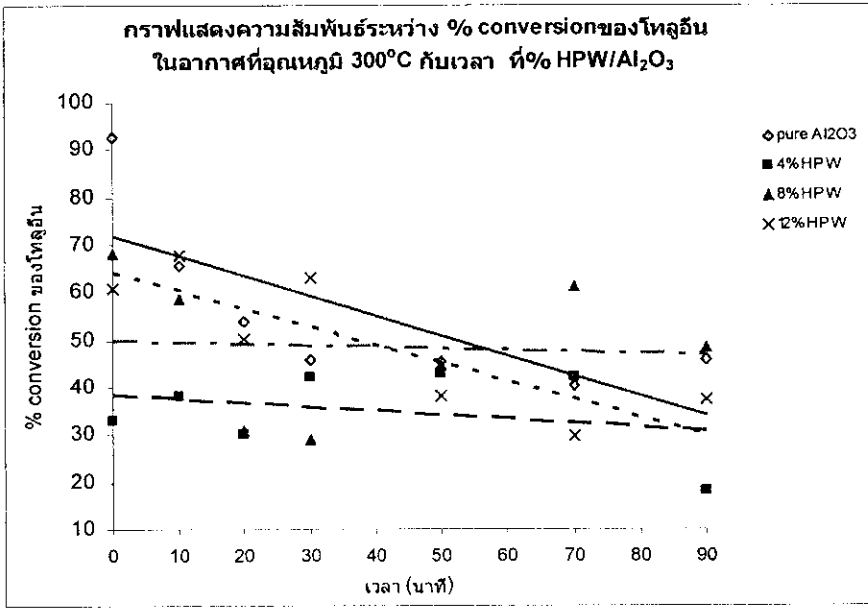


รูปที่ 10 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 12% HPW/Al₂O₃กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน

ผลของ%HPW/ Al₂O₃ที่มีต่อ%conversion

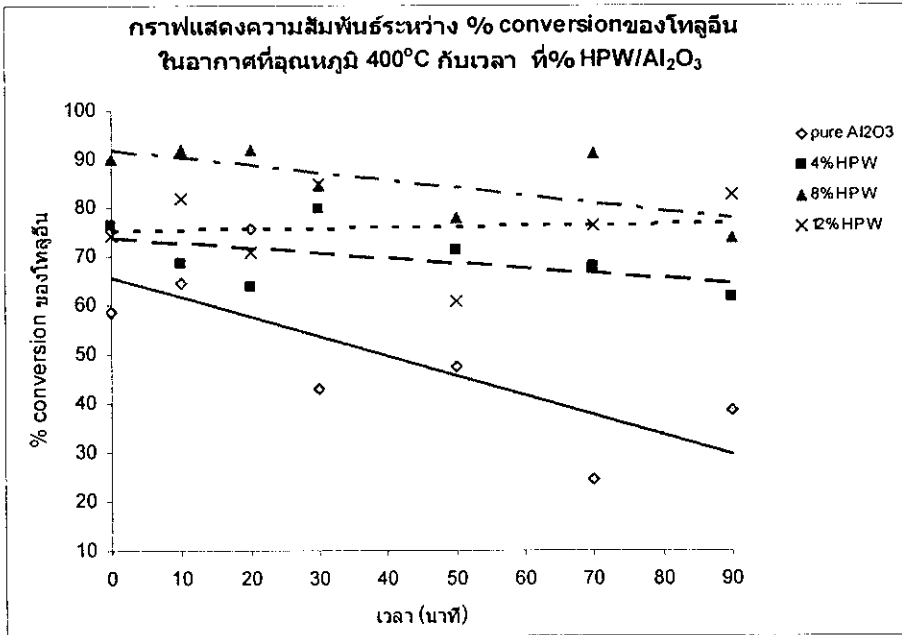


รูปที่ 11 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศ กับเวลาที่ อุณหภูมิ 200°C ที่ % HPW/Al₂O₃ ต่างๆกัน



รูปที่ 12 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศ กับเวลาที่
อุณหภูมิ 300°C ที่ % HPW/Al₂O₃ ต่างๆกัน

จากการทดลองที่อุณหภูมิดำเนินการคงที่ที่ 200, 300 และ 400°C แล้วเปรียบเทียบ
%conversion ที่ %HPW ต่างๆกัน นำข้อมูลมาพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
%conversion กับ เวลาพบว่าได้ผลดังรูปที่ 11-13



รูปที่ 13 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศ กับเวลาที่
อุณหภูมิ 400°C ที่ % HPW/Al₂O₃ ต่างๆกัน

จากการทดลองพบว่า 2 ใน 3 ของอุณหภูมิที่เลือกใช้จะให้ค่า %conversion สูงที่สุดเมื่อใช้
8% HPW/Al₂O₃ เป็นแคตาไลสต์ และให้ค่า %conversion รองลงมาเมื่อใช้ 12% HPW/Al₂O

3. HPW/Zeolite

1. ผลการ Run blank โดยการดำเนินการที่สภาวะจริงแบบไม่ใช้ Catalyst

การ Run blank เป็นการทดลองเพื่อหาค่า %Conversion ของโทลูอินในอากาศแบบไม่ใช้ Catalyst ซึ่งเป็นการใช้ความร้อนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Thermal Oxidation) เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้ Catalyst และความร้อนในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Catalytic Oxidation)

ตารางที่ 4-21 แสดงพื้นที่ของโทลูอินในอากาศที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC ก่อนเข้าและหลังจากออกจาก Reactor ที่อุณหภูมิภายใน reactor และเวลาต่างๆกัน

อุณหภูมิของ reactor ($^{\circ}\text{C}$)	เวลาในการดำเนินการ (นาที)	พื้นที่ที่อ่านได้จากเครื่อง GC ของโทลูอินใน อากาศ (ppm)	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	20	48272	33852
300	20	76241	42700
350	20	71378	35159

ตารางที่ 4-22 แสดง % Conversion ของโทลูอินในอากาศที่อุณหภูมิต่างๆในการทำ Blank

เวลาในการดำเนินการ (นาที)	% Conversion ที่อุณหภูมิต่างๆ		
	200 $^{\circ}\text{C}$	300 $^{\circ}\text{C}$	350 $^{\circ}\text{C}$
20	29.87	46.21	53.77

2. ผลการทดลองโดยใช้ Catalyst

Catalyst ที่ใช้คือ HPW ที่ supported บน Zeolite เวลาที่ใช้ในการดำเนินการทั้งหมด 90 นาที โดยเริ่มนับเวลาที่ 0 นาที เมื่อโทลูอินในอากาศเริ่มออกจาก Reactor และทำการเก็บตัวอย่างของ โทลูอินในอากาศด้วย sorbent tube ก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor ที่เวลา 10, 20, 30, 50, 70 และ 90 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4-23 แสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ ก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ pure Zeolite ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศ ใน Reactor(°C)	เวลาในการ ดำเนินการ (นาที)	พื้นที่ของโทลูอินในอากาศ ที่ได้ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC		พื้นที่ของเบนซินที่ใช้เป็น internal standard	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor	ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor
200	2	18075	5940	29053	34000
	10	8054	3540	35601	28410
	20	4305	2540	26540	24101
	30	2842	2540	27850	29450
	50	2045	1950	26514	25401
	70	1654	1540	27541	27540
	90	1535	1350	27540	26541
300	2	9540	1540	65240	154241
	10	3954	2541	154101	201544
	20	2954	1145	140125	104544
	30	2874	654	154245	99854
	50	1654	664	114524	98541
	70	1541	601	98548	101544
	90	847	514	98754	95441
350	2	4250	2514	145100	84510
	10	4120	1954	102121	110210
	20	3521	1865	95540	13202
	30	3240	2751	84751	112540
	50	7541	3542	165401	145204
	70	2245	2751	84157	95421
	90	2451	3524	85412	154220

ตารางที่ 4-24 แสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศ ก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ 4%HPW/Zeolite ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศ ใน Reactor(°C)	เวลาในการ ดำเนินการ (นาที)	พื้นที่ของโทลูอินในอากาศ ที่ได้ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC		พื้นที่ของเบนซีนที่ใช้เป็น internal standard	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor	ก่อนเข้า Reactor	หลังออก จาก Reactor
200	2	3504	3241	62105	68545
	10	5445	3451	65262	64510
	20	3470	2244	62741	63662
	30	2550	1345	61151	65525
	50	1874	1210	63211	57824
	70	1652	1485	65782	54581
	90	2252	2102	58261	65656
300	2	3521	1245	112450	95421
	10	1642	1541	89542	95645
	20	2045	1854	61054	86524
	30	2865	1865	154621	111455
	50	1540	1245	85426	84575
	70	1502	1452	85421	112401
	90	1754	1821	85412	105421
350	2	7012	1102	75766	84575
	10	4541	894	81898	75421
	20	4321	1542	85456	75410
	30	1854	1014	145201	145100
	50	2145	1450	85412	89415
	70	1894	1002	115421	82654
	90	1101	1010	76541	85422

ตารางที่ 4.25 แสดงความเข้มข้นของโทลูอินในอากาศก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ 8 %HPW/Zeolite ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศ ใน Reactor(°C)	เวลาในการ ดำเนินการ (นาที)	พื้นที่ของโทลูอินในอากาศ ที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC		พื้นที่ของเบนซีนที่ใช้เป็น internal standard	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor	ก่อนเข้า Reactor	หลังออก จาก Reactor
200	2	17529	3245	62115	68541
	10	5014	3854	60015	60125
	20	3740	2514	62451	65412
	30	2240	1345	65241	61024
	50	1854	1240	63201	58412
	70	2201	1784	65421	59741
	90	2012	2017	58471	65874
300	2	7514	354	98541	54213
	10	4578	521	68541	68159
	20	2401	710	69405	87451
	30	3201	847	75410	78451
	50	2678	865	84750	84572
	70	1804	590	71025	62451
	90	1450	324	84752	58941
350	2	4357	814	65241	68541
	10	2941	845	69101	51421
	20	1045	2501	54262	68547
	30	2452	1504	31401	54123
	50	2101	897	67450	66541
	70	1940	1450	59012	67890
	90	1420	1054	48740	69541

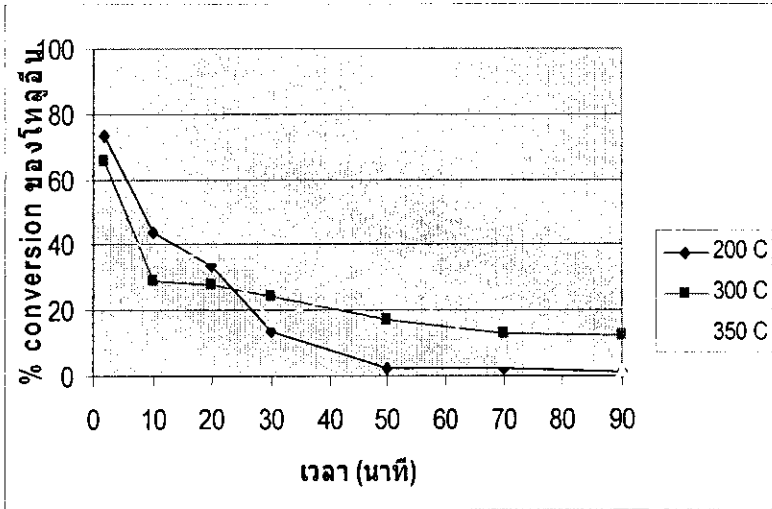
ตารางที่ 4-26 แสดงความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศก่อนเข้าและหลังออกจาก Reactor โดย Catalyst ที่ใช้คือ 12%HPW/Zeolite ที่เวลาและอุณหภูมิอากาศใน Reactor ต่างๆกัน

อุณหภูมิอากาศ ใน Reactor(°C)	เวลาในการ ดำเนินการ (นาที)	พื้นที่ของโทลูอีนในอากาศ ที่ได้ จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC		พื้นที่ของเบนซีนที่ใช้เป็น internal standard	
		ก่อนเข้า Reactor	หลังออกจาก Reactor	ก่อนเข้า Reactor	หลังออก จาก Reactor
200	2	10974	2245	63214	59410
	10	3710	2415	71012	65214
	20	2841	2410	68015	68514
	30	1745	1453	57841	53214
	50	1345	1245	59012	58741
	70	1945	1741	60148	64510
	90	1254	1021	45614	46785
300	2	43371	5214	66746	68541
	10	30283	6702	76009	66111
	20	7401	3208	54312	58410
	30	14476	5421	82664	62450
	50	21447	6541	73306	71012
	70	14762	4101	86145	43887
	90	14572	13549	78941	110121
350	2	6415	856	52461	61452
	10	4434	326	61189	32548
	20	6540	632	68215	40400
	30	3179	542	72674	33741
	50	684	1754	46984	67841
	70	2387	2101	72647	69288
	90	3095	845	42485	42587

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อ %conversion

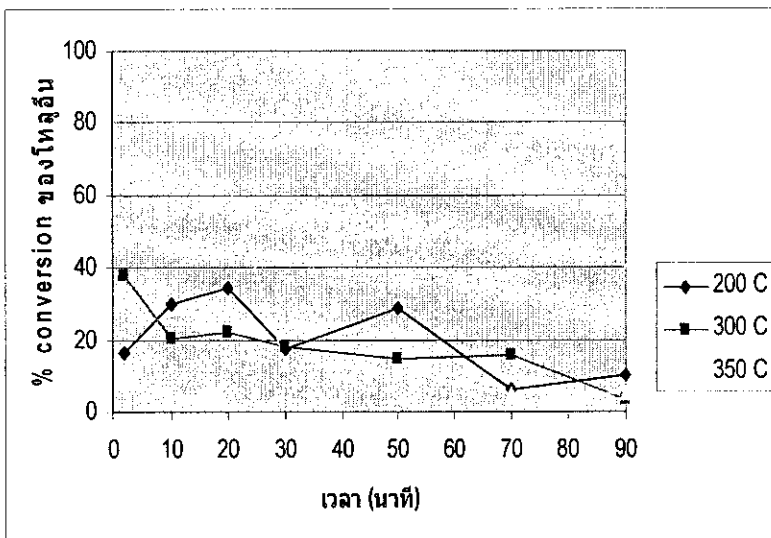
จากการทำการทดลองโดยที่ %HPW/Zeolite คงที่แล้วเปรียบเทียบ %conversion ที่อุณหภูมิต่างๆกัน นำมาพล็อตเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion กับเวลา ได้ผลดังรูปที่ 9-12

จากผลการทดลอง พบว่า 3 ใน 4 ตัวอย่างแคตาลิสต์ให้ค่า %conversion ของโทลูอีนในอากาศสูงที่สุด เมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 350°C และให้ค่า %conversion ของโทลูอีนต่ำที่สุดเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 200°C

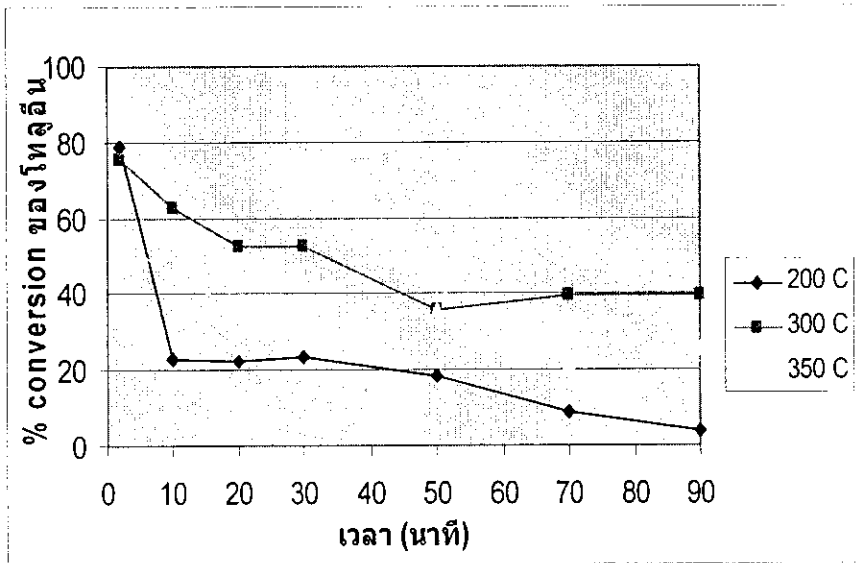


(หมายเหตุ: เวลาที่ $t = 0$ นาที คือเวลาที่เริ่มมีกระแสอากาศไหลออกจาก reactor)

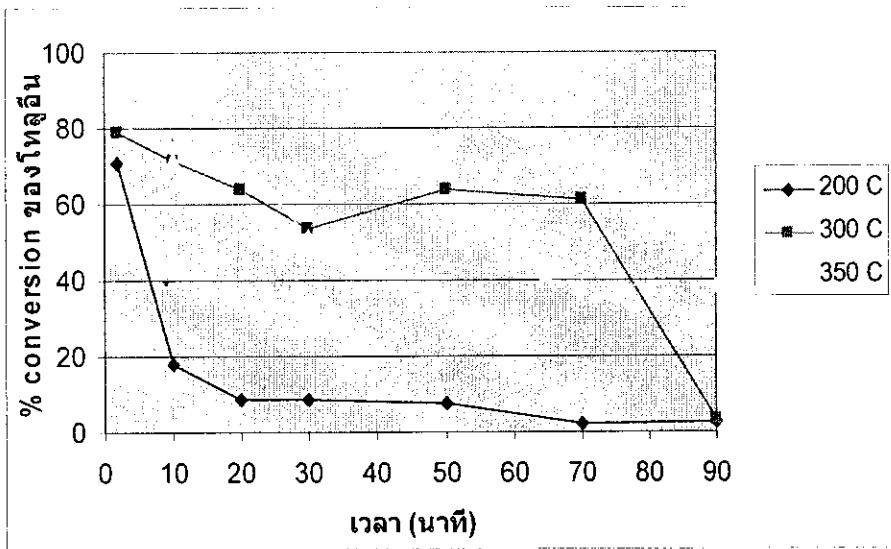
รูปที่ 9 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ pure Zeolite กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน



รูปที่ 10 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของ โทลูอีนในอากาศที่ 4% HPW/Zeolite กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน



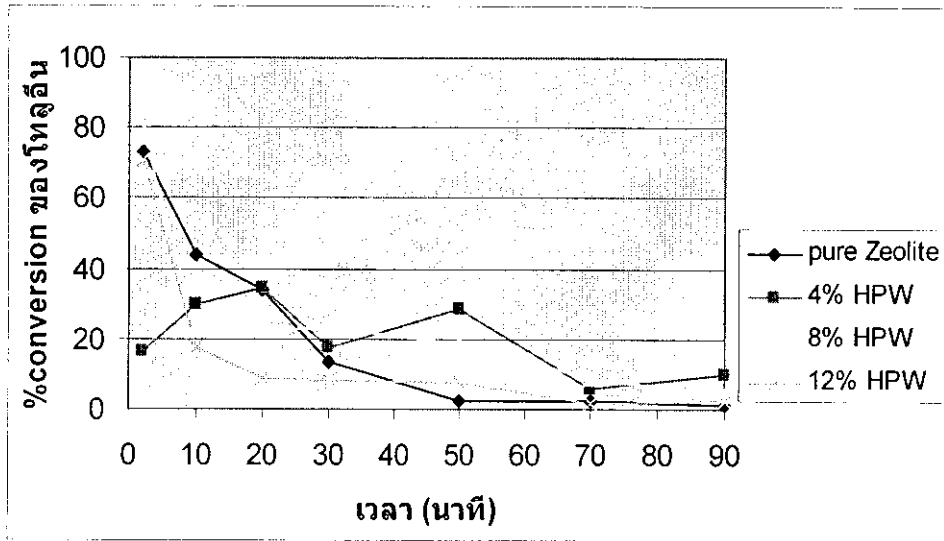
รูปที่ 11 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 8% HPW/Zeolite กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน



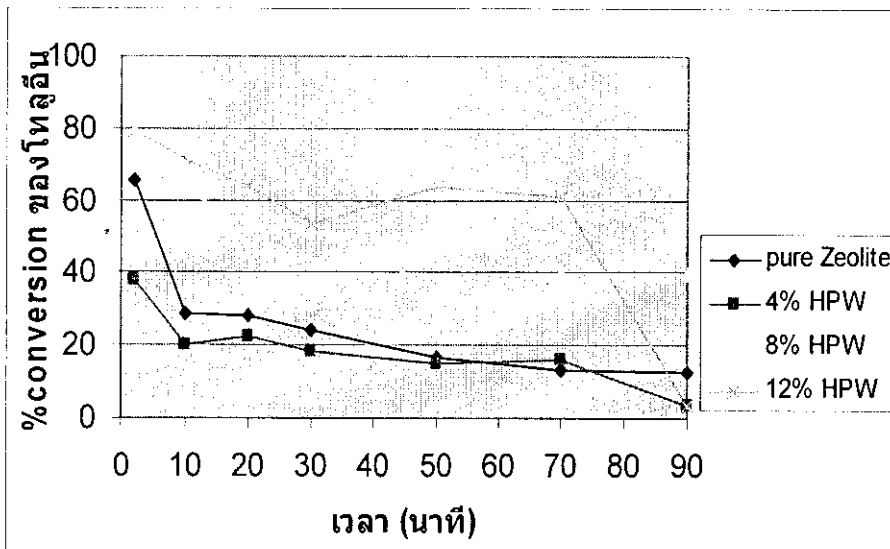
รูปที่ 12 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศที่ 12% HPW/Zeolite กับเวลาที่อุณหภูมิต่างๆกัน

ผลของ %HPW/ Zeolite ที่มีต่อ % conversion

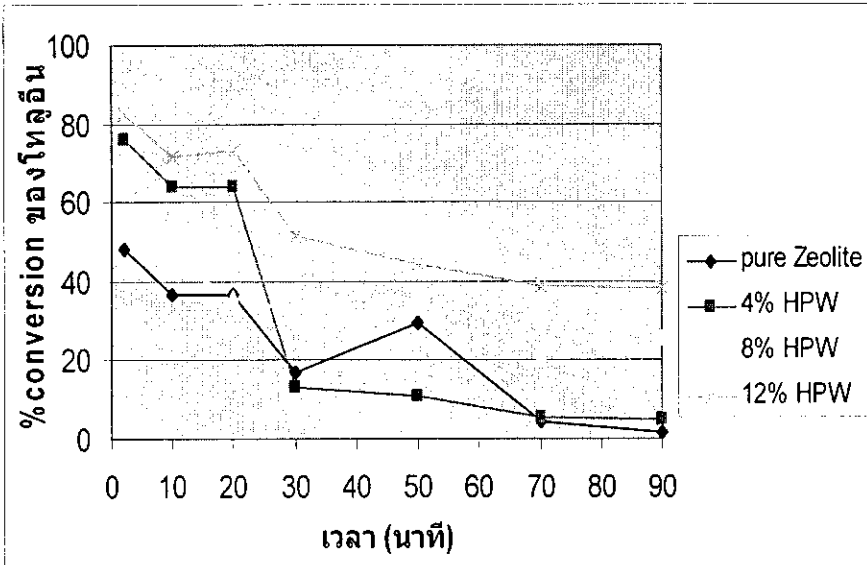
จากการทดลองที่อุณหภูมิดำเนินการคงที่ที่ 200, 300 และ 350°C แล้วเปรียบเทียบ %conversion ที่ %HPW ต่างๆกัน นำข้อมูลมาพล็อตเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion กับ เวลาพบว่าได้ผลดังรูปที่ 13-15



รูปที่ 13 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศ กับเวลาที่อุณหภูมิ 200°C ที่ % HPW/Zeolite ต่างๆกัน



รูปที่ 14 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศ กับเวลาที่อุณหภูมิ 300°C ที่ % HPW/Zeolite ต่างๆกัน

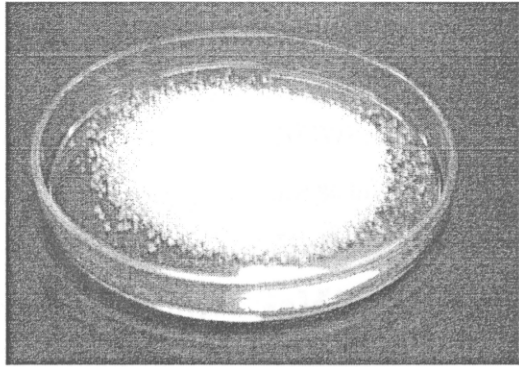
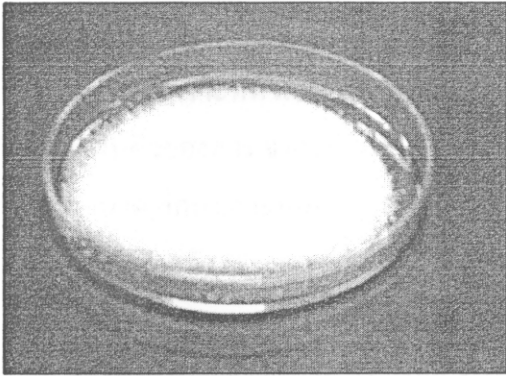


รูปที่ 15 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ ระหว่าง %conversion ของโทลูอีนในอากาศ กับเวลา ที่อุณหภูมิ 350°C ที่ % HPW/Zeolite ต่างๆกัน

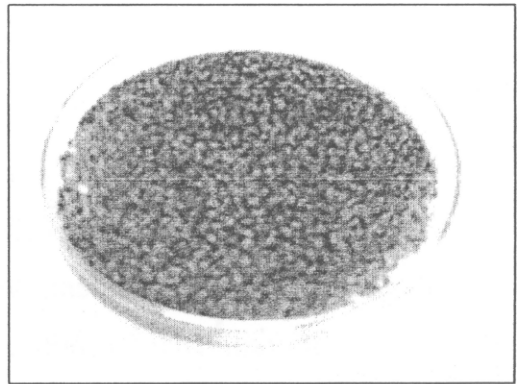
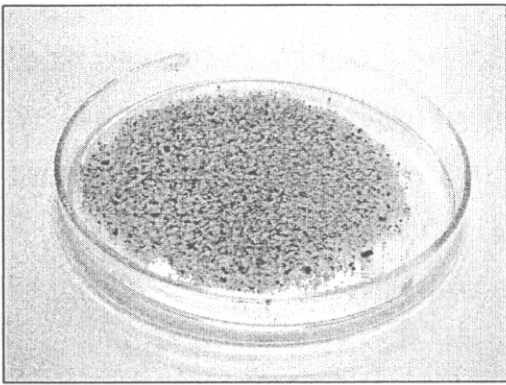
จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 200 °C พบว่า % conversion ของ catalyst ไม่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด, ที่อุณหภูมิ 300 °C ค่า %conversion ของ 12 %HPW/Zeolite ให้ค่ามากที่สุด และที่ 350 °C %conversion ของ 12 %HPW/Zeolite สูงสุดและคงที่เมื่อเวลาผ่านไปให้ค่า %conversion ประมาณ 40%

3. ลักษณะทางกายภาพของ Catalyst ก่อนและหลังการทดลอง

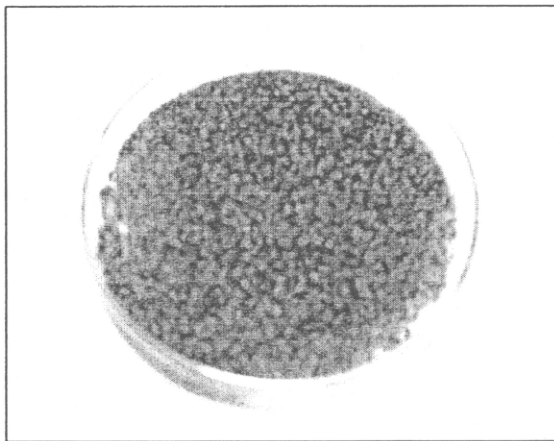
1. HPW/SiO₂



ภาพที่ 4.22 แสดงลักษณะของ HPW/SiO₂ ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.23 แสดงลักษณะของ Catalyst ที่ 4% และ 8% HPW/SiO₂ หลังการทดลอง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.24 แสดงลักษณะของ Catalyst ที่ 12% HPW หลังการทดลอง

4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา HPW/SiO₂, HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite

จากการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย Scanning Electron Microscope เป็นเทคนิคการศึกษา ลักษณะพื้นผิวของสาร จากรูปที่แสดงของ HPW/SiO₂, HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite ซึ่งพบว่ามีอนุภาคขนาดเล็กมาเกาะบนอนุภาคของตัว Support โดยสังเกตได้ชัดเจนเมื่อ % loading ของ HPW เพิ่มขึ้นในทุกตัว Supporter จึงคาดว่าน่าจะเป็นอนุภาคของ HPW ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นตาม % loading ของ HPW อย่างไรก็ตามวิเคราะห์ด้วย SEM ไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าอนุภาคเล็กนั้นคือ HPW ต้องทำการวิเคราะห์ด้วย เครื่องมือ XRD หรือ FTIR ต่อไป

การวิเคราะห์ XRD โดยใช้เครื่องมือ Phillips X'Pert MPD สำหรับ HPW/SiO₂, HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ประกอบไปด้วยอนุภาคของ HPW จริง HPW บน SiO₂, Al₂O₃ และ Zeolite ที่ได้มีลักษณะคล้ายกับของ HPW โดยปรากฏจุดสูงสุด (Peak) ที่ (2θ) 10.28°, 25.43° และ 35° ซึ่ง 2θ ที่ 10.28° และ 25.43° และ 35° สามารถบอกความเป็น HPW ของสารได้ HPW/SiO₂ และ HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite ที่ % ต่าง ๆ มีจุดสูงสุด (Peak) สูงขึ้นตาม % การโหลดของ HPW บน Supporter ซึ่งเป็นการบ่งบอกถึงการมีปริมาณของ HPW สูงกว่าที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ HPW ที่เพิ่มขึ้นบน Supporter ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วย XRD สามารถยืนยันว่าอนุภาคเล็กๆที่เห็นจาก SEM คืออนุภาคของ HPW และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ loading บน support ยิ่งสูงขึ้นการแสดงผลของ HPW ในตัวเร่งปฏิกิริยาก็คงจะสูงขึ้นเช่นกัน

จากการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาด้วย FTIR สามารถยืนยันการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ HPW บนตัว Supporter ได้เฉพาะผล FTIR ของ HPW/SiO₂ และ HPW/Al₂O₃ เท่านั้น นั่นคือมีการปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1080 cm⁻¹, 985 cm⁻¹, 891 cm⁻¹ และ 800 cm⁻¹ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของ P-O, W=O, W-O₆-W และ W-O₆-W ตามลำดับ (Yu Seng Kim และคณะ, 2002) และจากผลการวิเคราะห์พบว่าเลขคลื่นที่ได้ของ HPW มีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ซึ่งแสดงข้อมูลดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของ HPW บน SiO₂ และ Al₂O₃ มากขึ้นจะปรากฏจุดยอด (Peak) ดังกล่าวชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีเปอร์เซ็นต์ของ HPW เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาพื้นที่ผิวของ catalyst ด้วยวิธี BET พบว่า HPW/SiO₂, HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite ที่ความเข้มข้น 12% HPW ที่ค่าตามลำดับดังนี้คือ 211, 1.48 และ 0.8 m²/g

การศึกษาปฏิกิริยา Catalytic Oxidation

1. HPW/SiO₂

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

จากกราฟรูปที่ 4.15 – 4.18 พบว่ายิ่ง % ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศได้สูงขึ้น

จากกราฟรูปที่ 4.19 – 4.21 พบว่ายิ่งอุณหภูมิของเตาเผามากขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศได้สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศมีแนวโน้มลดลงและเริ่มคงที่หลังจากผ่านไป 30 นาที หนึ่งเวลาในการดำเนินการที่เพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศของ Catalyst มีประสิทธิภาพลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีความเป็นไปได้สูงว่าเกิดจากการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจาก CO₂ ที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยา

จากการสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสี Catalyst ที่ใช้ในการทดลองพบว่าหลังจากทดลอง Catalyst จะมีการเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีดำ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Oxidation จะเกิด Coke เกาะติดทำให้สีของ Catalyst เปลี่ยนไป

2. HPW/Al₂O₃

จากการทดลองสังเกตได้ว่า ที่ 12% HPW/Al₂O₃ ให้ค่า %conversion ต่ำลงไปกว่าที่ 8%HPW ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก HPW เกิดพันธะบางอย่างกับ Al₂O₃ หากต้องการทราบให้แน่ชัด จำเป็นจะต้องทำการวิเคราะห์ดูลักษณะพันธะเคมีในองค์ประกอบของแคตาไลสต์ด้วยวิธี Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงว่าเกิดขึ้นเนื่องจากพันธะเคมีในองค์ประกอบหรือไม่

ยิ่งอุณหภูมิของเตาเผามากขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศได้สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศมีแนวโน้มลดลง หนึ่งเวลาในการดำเนินการที่เพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศของ Catalyst มีประสิทธิภาพลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีความเป็นไปได้สูงว่าเกิดจากการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจาก CO₂ ที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยา

จากการทดลองจะพบว่าข้อมูลค่อนข้างกว้าง และที่บางข้อมูลพบว่ามี %conversion ต่ำกว่าค่า blank ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีความผิดพลาดในการทดลอง เนื่องด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างไม่มีมาตรฐานเพียงพอ และการเก็บตัวอย่างในสถานะแก๊สทำให้ต้องทำ calibration curve ด้วยวิธี external standardization ซึ่งพื้นที่ของกราฟจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารที่ทำการวิเคราะห์เท่านั้น ทำให้อาจมีความผิดพลาดได้ง่าย อีกทั้งวิธีการเก็บตัวอย่างที่ใช้นั้นอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดได้เช่นกัน หากต้องการให้ได้ผลที่เชื่อถือได้มากขึ้นควรทำการทดลองเก็บตัวอย่างในสถานะของเหลว

แล้วทำ calibration curve ด้วยวิธี internal standardization อีกทั้งควรทำการทดลองซ้ำอีกเพื่อให้แน่ใจได้ว่าผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องจริง เพื่อจะได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุต่อไป

3. HPW/Zeolite

จากการทดลองจะสังเกตได้ว่าที่ 12% HPW/Zeolite ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 °C ให้ค่า %conversion สูงสุด ยกเว้นที่อุณหภูมิที่ 200 °C ซึ่งที่ 8 %HPW/Zeolites ให้ค่า % conversion สูงสุดยิ่งอุณหภูมิของเตาเผามากขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศได้สูงขึ้นตามอุณหภูมิ ที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยานานขึ้น ความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศมีแนวโน้มลดลง อนึ่งเวลาในการดำเนินการที่เพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศของ Catalyst มีประสิทธิภาพลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีความเป็นไปได้สูงว่าเกิดจากการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเนื่องจาก CO₂ ที่เป็นผลิตภัณฑ์หลักของปฏิกิริยา

จากการทดลองจะพบว่าข้อมูลค่อนข้างกว้าง และที่บางข้อมูลพบว่ามี %conversion ต่ำกว่าค่า blank ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีความผิดพลาดในการทดลองและมีปัญหาในเรื่องการควบคุมความเข้มข้นโทลูอินเนื่องจากการควบคุมอัตราการไหลทั้งกระแสไอโทลูอินและกระแสอากาศให้คงที่ค่อนข้างยาก อีกทั้งควรทำการทดลองซ้ำอีกเพื่อให้แน่ใจได้ว่าผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้องจริง เพื่อจะได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุต่อไป

ในการทดลองตัวเร่งปฏิกิริยา HPW/SiO₂, HPW/Al₂O₃ และ HPW/Zeolite ในปฏิกิริยา Catalytic Oxidation พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของ reactor สูงขึ้นในช่วง 200 – 400 °C ความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศของตัวเร่งปฏิกิริยาก็สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของ Arrhenius ที่แสดงให้เห็นว่าค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับอุณหภูมินอกจากนี้ผลการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของ Pakornphant et al. 2004 ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยา Catalytic Oxidation of methanol บน Pt-Sn/Al₂O₃ ในช่วงอุณหภูมิ 35 – 300 °C ที่ความเข้มข้นระหว่าง 500 - 1200 ppm พบว่าปฏิกิริยา Catalytic Oxidation เกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยได้ CO₂ และเช่นเดียวกับการทดลองของ Arial et al. 1999 จากการศึกษาปฏิกิริยา Catalytic Oxidation of methane over hexaaluminates and hexaaluminate – supported Pd catalyst ผลของการได้ศึกษาพบว่า Catalytic oxidation ของ hexaaluminates และ hexaaluminate – supported Pd catalyst สามารถที่จะเปลี่ยน methane ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ได้ในช่วงอุณหภูมิ 350 – 550 °C โดยปฏิกิริยา Catalytic Oxidation เกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

นอกจากนั้น Arial et al. 1999 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของ Pd บน LaMnAl₁₁O₁₉ - ∞ เป็น 2 % ปฏิกิริยา Catalytic Oxidation เกิดได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของ Pd บน supporter เดียวกันแต่เปอร์เซ็นต์ของ Pd น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยชิ้นนี้คือเมื่อ % ความเข้มข้น HPW เพิ่มขึ้นความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศก็สูงขึ้น

สามารถเรียงลำดับการกำจัดโทลูอินในอากาศโดยดูจาก %Conversion ของโทลูอินได้ดังนี้คือ 12%HPW/SiO₂ ที่อุณหภูมิ 400°C สามารถกำจัดโทลูอินในอากาศได้สูงที่สุดมี คือ 89.28% ตามด้วย 8% HPW/Al₂O₃ ให้ค่า %conversion เท่ากับ 85.78% สุดท้ายคือ 12% HPW/Zeolite ให้ค่า %conversion ประมาณ 72% ซึ่งหากดูจากความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และ ปริมาณของ HPW พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวสูงสุดและมีปริมาณของ HPW มากสุดให้ ค่า%Conversion ของโทลูอินสูงสุด ซึ่งพื้นที่ผิวและปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่สูงกว่ามีผลโดยตรง ต่อการเกิด Oxidation Reaction โดยคำนึงถึงการปลดปล่อยออกซิเจนของตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสิ่ง สำคัญที่สุด (Arial et al. 1999 และ Mizuno et al. 1998)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ HPW บน Supporter คือ SiO_2 , Al_2O_3 และ Zeolite สามารถยืนยันได้จากลักษณะทางกายภาพ โดยใช้เทคนิค SEM, XRD และ FT-IR โดยพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ การโหลด (% Loading) HPW บน Supporter ทุกชนิดสูงขึ้นจะพบปริมาณ HPW มากขึ้น

5.2 การศึกษาปฏิกิริยา Catalytic Oxidation

- ตัวเร่งปฏิกิริยา HPW/ SiO_2 , HPW/ Al_2O_3 และ HPW/Zeolite ในปฏิกิริยา Catalytic Oxidation พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 3 ชนิด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของ reactor สูงขึ้นในช่วง 200 – 400 °C ความสามารถในการกำจัดโทลูอินในอากาศของตัวเร่งปฏิกิริยาก็สูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น
- % ความเข้มข้นของ HPW บนตัว supporter เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดโทลูอินในอากาศสูงขึ้นด้วย ผลปรากฏในทุกตัวเร่งปฏิกิริยาและทุกความเข้มข้น ของ HPW/ SiO_2 , HPW/ Al_2O_3 และ HPW/Zeolite
 - HPW เป็นตัว Oxidize ที่สามารถเกิดปฏิกิริยา Catalytic Oxidation ในการกำจัด โทลูอินในอากาศได้
 - สามารถเรียงลำดับการกำจัดโทลูอินในอากาศโดยดูจาก ได้ดังนี้คือ 12%HPW/ SiO_2 ที่อุณหภูมิ 400°C สามารถกำจัดโทลูอินในอากาศได้สูงที่สุดมี คือ %Conversion ของโทลูอินเท่ากับ 89.28% ตามด้วย 8% HPW/ Al_2O_3 ให้ค่า %conversion เท่ากับ 85.78% สุดท้ายคือ 12% HPW/Zeolite ให้ค่า %conversion ประมาณ 72% พื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา และปริมาณของ HPW ที่สูงมีผลโดยตรงต่อการเกิด Oxidation Reaction โดยคาดว่าตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถปลดปล่อยออกซิเจนซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในปฏิกิริยา Catalytic Oxidation

ข้อเสนอแนะ

1. ทำการศึกษาวិธีการ Regenerate Catalyst เพื่อทำการบำบัดและนำ Catalyst กลับมาใช้ใหม่
2. ทำการศึกษาในเชิงลึก เช่น ผลกระทบที่ได้จากการกำจัด, ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น หรือการศึกษา

ระดับโมเลกุล

3. ประยุกต์ใช้กับการทดลองกำจัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายประเภทอื่น ๆ เช่น เบนซีน , เมทานอล
4. ศึกษาคุณลักษณะของ Catalyst หลังใช้งานด้วยเครื่องวิเคราะห์ เช่น XRD, SEM, FTIR

บรรณานุกรม

1. Cordi, Eric M. and Falconer, John L. 1997. *App. Cata.* 151: 179 - 191.
2. Janik, Michael J., Campbell, Kimberly A., Bardin, Billy B., Davis, Robert J. and Neurock, Matthew. 2003. *App. Cata.* 256: 51 - 68.
3. Yuranov, I., Kiwi – Minsker, L. and Renken, A. 2003. *App. Cata. Environmental.* 43: 217 – 227.
4. Jang, Ben L., Nelson, R.M., Spivey, James J., Ocal, Meltem., Oukaci, R. and Marcelin, George. 1999. *Cata. Today* 47: 103 – 113
5. Okuhara, T. and Misono M. 1993. *Catalysis by Heteropoly Compounds in the Pseudo-liquid Phase. Dynamic Processes on Solid Surface.* Plenum Press, New York.
6. Mizuno, N. and Misono, M. 1998. Polyoxometalates Heterogeneous Catalyst. *Chemical Review.* 98: 199-217.
7. Herring, A.M., McCormick, R.L. and Boonrueng, S.R. 2000. A Comparison of the Interaction of Nitric Oxide with the Heteropolytungstic Acids: $H_3PW_{12}O_{40}$, $H_{0.5}Cs_{2.5}PW_{12}O_{40}$, $HMgPW_{12}O_{40}$, $H_8SiW_{11}O_{38}$, $H_4SiW_{12}O_{40}$, and $H_{10}CoW_{12}O_{42}$. *The Journal of Physical Chemistry B.* 104(19): 4653-4660.
8. Boonrueng, S.R. 1998. Sorption of NO by SiO_2 Supported 12-Tungstophosphoric Acid. M.S. Dissertation. Colorado School of Mines: Golden. Colorado.
9. Chantaravitoon, P., Chavadej, S. and Schwank, J. 2004. *Chemical Engineering Journal.* 97: 161-171.
10. Arai, H. and Machida, M. 1999. *Catal. Today.* 10: 81-95.
11. Groppi, G., et al. 1993. *Appl. Catal. A.* 104: 101-108.
12. Busby, J.A. and Trimm, D.L. 1979. *J. Catal.* 60: 430.
13. Cullis, C.F. and Willatt, B. M. 1983. *J. Catal.* 83: 267.

ภาคผนวก ก

การทำ Calibration Curve และ Calibration Curve ที่ใช้

การทำ Calibration curve

ในส่วนของการทำ Calibration curve แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. การทำ Calibration curve ของโทลูอีน

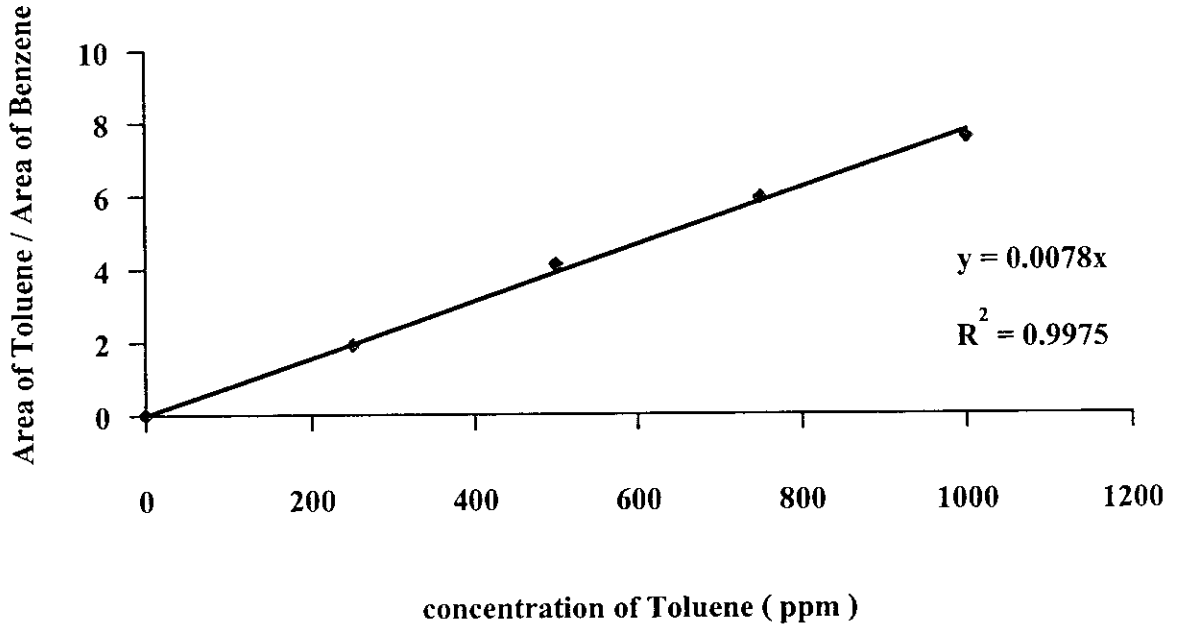
วิธีการทำ Calibration curve จะใช้วิธี External standardization ซึ่งทำการเตรียมสารมาตรฐานโทลูอีนในอากาศที่ความเข้มข้นต่างๆโดย

1. ใช้ขวดแก้วปากแคบเป็นภาชนะสำหรับเตรียมอากาศผสมโทลูอีน
2. เตรียมโทลูอีนที่ความเข้มข้นต่างๆกัน โดยให้ครอบคลุมช่วงความเข้มข้นที่ต้องการใช้
3. คำนวณหาปริมาณโทลูอีนที่ต้องใช้ในแต่ละความเข้มข้น เมื่อ V_{air} คือ ปริมาณของขวด จะได้ว่า

$$V_{air} = \frac{C_{Toluene} (ppm) \times 10^{-6} \times V_{air} \times \rho_{air}}{\rho_{Toluene}}$$

4. ประมาณปริมาตรโทลูอีนที่ต้องการใช้ในแต่ละความเข้มข้นให้เป็นปริมาณที่สามารถอ่านค่าได้จาก syringe liquid type จากนั้นจึงค่อยแปลงค่าจากปริมาตรของโทลูอีนกลับไปเป็นความเข้มข้น
5. ทำการปิดปากขวดด้วยฟอยด์ โดยใช้ยางรัดที่ปากขวดเพื่อให้ความมั่นใจว่าจะไม่เกิดการรั่วไหลของแก๊สในขวดได้
6. ทำการดูดโทลูอีนด้วย syringe liquid type ตามปริมาตรที่กำหนด แล้วฉีดทะลุผ่านฟอยด์ด้วยความเร็วแล้วรีบปิดรูด้วยกระดาษขาว
7. รอนจนโทลูอีนในขวดระเหยจนหมด จากนั้นจึงดูดตัวอย่างแก๊สผ่านฟอยด์ด้วย syringe liquid type แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC
8. นำค่าพื้นที่จากกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC มาพล็อตเป็นความสัมพันธ์กับความเข้มข้น จะได้กราฟดังรูป

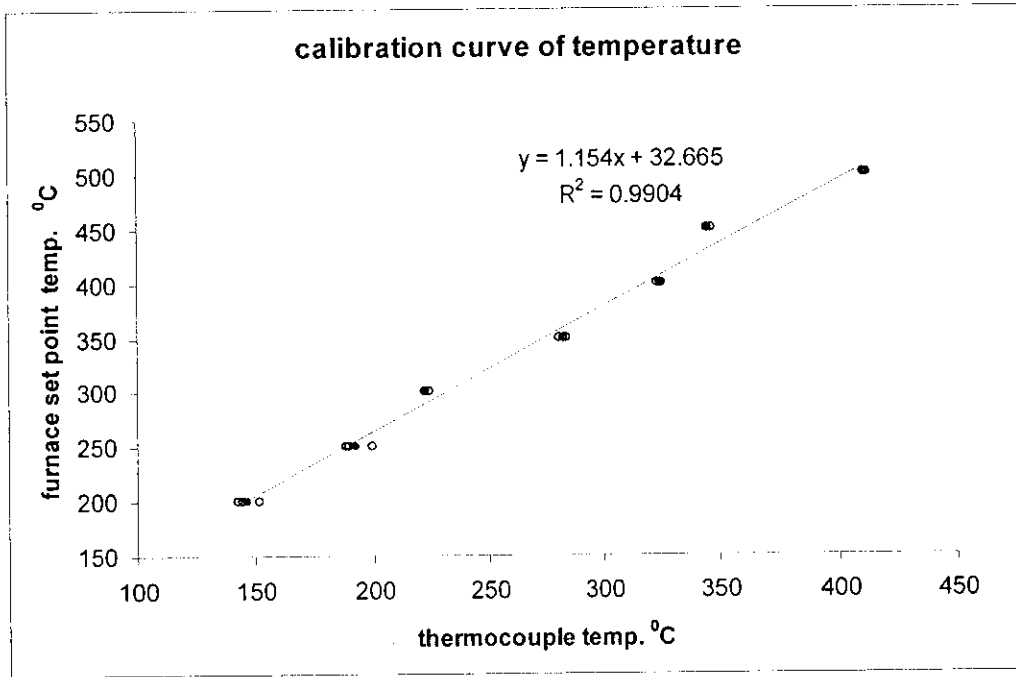
Calibration Curve of Toluene Concentration



รูปที่ ก.1 แสดง calibration ของ Toluene Concentration ที่ใช้ในการทดลอง

2. การทำ Calibration curve ของอุณหภูมิ

เนื่องในการทำการทดลองอุณหภูมิของ Furnace ที่ใช้มีค่าไม่เท่ากับอุณหภูมิภายใน reactor โดยใช้ thermocouple วัดอุณหภูมิภายใน reactor เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิของ furnace ต่างๆ กันในขณะที่ป้อนกระแสอากาศเข้า reactor เท่ากับอัตราการไหลจริงที่ใช้ทำการทดลอง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ ก.2 แสดง calibration สำหรับอุณหภูมิภายใน reactor ที่ Thermocouple สามารถอ่านได้ เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิของ furnace ต่างๆกัน

ภาคผนวก ข

การหา Wettness Point และ ตัวอย่างการคำนวณ

การหา Wettness Point ของ SiO_2

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังตาราง

ตารางที่ ข.1 แสดงค่า Wettness piont ของ SiO_2

SiO_2 sample	ปริมาณน้ำที่วัดได้ (ml)	Wettness piont (ml/g)
1	8.4	8.4
2	8.8	8.8
3	8.2	8.2

จากค่าที่ทำการทดลองได้ทำการหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะได้ค่าของ Wettness piont = 8.5 ml/g ดังนั้นในการเตรียม HPW ที่ % ต่าง ๆ จะสามารถนำค่าที่ได้ของ Wettness piont ใช้ในการละลาย Catalyst

ตัวอย่าง การเตรียม Catalyst HPW บน SiO_2 ที่ 12 % by weight จำนวน 5 กรัม

จากการคำนวณสามารถหาปริมาณของ HPW และ SiO_2 ที่ใช้เตรียมความเข้มข้นดังกล่าวจะได้ว่าจำนวนที่ใช้คือ HPW 0.6 กรัม และ SiO_2 4.4 กรัม เมื่อได้ค่าแล้วนำ HPW มาละลายด้วย Wettness Point คูณด้วยจำนวนกรัมของ SiO_2 4.4 กรัม ได้ปริมาตรที่ใช้ในการละลายเท่ากับ 37.4 ml จากนั้นเมื่อได้ทำการละลายสารละลาย Catalyst HPW แล้ว นำไปหยดให้ทั่ว SiO_2 ที่เตรียมไว้ในจานเพาะเชื้อ โดยต้องให้ชุ่มทั่วกันแล้วนำสารที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากนั้นนำมาเก็บไว้เพื่อที่นำไปวิเคราะห์หรือทำการทดลอง

การคำนวณหา % Conversion

จากค่าความเข้มข้นที่ได้จากการทดลองโดยมีค่าความเข้มข้นของโทลูอีนในอากาศก่อนเข้าสู่ Reactor และหลังออกจาก Reactor ที่อากาศได้ผ่าน Catalyst สามารถคำนวณค่า % Conversion จากสมการ

$$\%Conversion = \left(\frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \right) \times 100$$

เมื่อ

C_{in} = Concentration of Toluene in (ppm)

C_{out} = Concentration of Toluene Out (ppm)

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่า % Conversion ของโทลูอีนในอากาศที่การทดลอง 12 % HPW ที่อุณหภูมิ เตาเผา 400 °C ที่เวลา 90 นาที

ข้อมูล Concentration of Toluene in = 301.00 ppm

Concentration of Toluene Out = 112.07 ppm

$$\%Conversion = \left(\frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \right) \times 100$$

$$\%Conversion = \left(\frac{301.00 - 112.07}{301.00} \right) \times 100$$

$$\%Conversion = 89.28\%$$

เพราะฉะนั้นค่าของ % Conversion เท่ากับ 89.28 %