

## การศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

เมตตา เจริญพานิช และมาริสสา สำราญ (2541) ทำการปรับปรุงคุณภาพถ้ำลอยให้เป็นสารประกอบซีโอไลท์ (zeolite) เป็นแนวทางหนึ่งในการนำเอาถ้ำลอยจากถ่านหินลิกไนต์มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ในงานวิจัยเรื่องนี้ถ้ำลอยจากแหล่งแม่เมาะได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทั้งทางกายภาพและทางเคมี เพื่อการปรับปรุงคุณภาพให้เป็นสารประกอบซีโอไลท์ในกระบวนการ Alkaline hydrothermal activation ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสและความดัน 4.8 บรรยากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 72 ชั่วโมง และ 120 ชั่วโมง ภายใต้การควบคุมสภาวะการทดลองที่ pH 13.0 โดยใช้สารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมลต่อลิตร จากผลการวิจัยพบว่า ถ้ำลอยที่ผ่านกระบวนการ Alkaline hydrothermal activation ในช่วงเวลา 72-120 ชั่วโมง ให้ปริมาณซีโอไลท์สังเคราะห์มากกว่าเงื่อนไขการทดลองอื่นๆ โดยซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้ คือซีโอไลท์สปีส์ P

รศ. ดร. ไพศาล คงคาจุฉาย และผศ. ดร. เมตตา เจริญพานิช (2542) ทำการสังเคราะห์ซีโอไลท์ชนิด ZSM-5 โดยใช้ถ้ำลอยลิกไนต์จากแหล่งแม่เมาะเป็นสารตั้งต้น เมื่อใช้ pH ที่ 10.0-11.5 ความดันเริ่มต้น 1-5 atm และทำการเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องด้วยอัตรา 1.5°C/min ไปที่อุณหภูมิสูงสุดซึ่งตั้งไว้ที่ 180 ถึง 210 องศาเซลเซียส โดยมีสารเตตระโพรฟิล แอมโมเนียมโบรไมด์เป็นสารกำหนดโครงสร้าง พบว่าที่อัตราส่วนระหว่างซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 100 สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์ซีโอไลท์ชนิด ZSM-5 คือ pH 11 และความดันเริ่มต้นที่ 4 atm โดยให้เปอร์เซ็นต์ปริมาณซีโอไลท์ชนิด ZSM-5 สูงสุด 44 wt.% และที่อัตราส่วนระหว่างซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 40 พบว่าไม่สามารถผลิตซีโอไลท์ชนิด ZSM-5 ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 180 องศาเซลเซียส พบซีโอไลท์ชนิด ZSM-5 และชนิด P เกิดขึ้นปะปนกัน และที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส พบซีโอไลท์ชนิด ZSM-5 เพียงชนิดเดียว

มนตรี ทองคำ (2542) ทำการสังเคราะห์ซีโอไลท์จากถ้ำลอยถ่านหินโดยการกระตุ้นด้วยสารละลายต่าง ถ้ำลอยถ่านหินที่ใช้เป็นสารตั้งต้นนี้ได้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ ชนิดของสารละลายเบส (สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) ความเข้มข้นของสารละลาย (1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 โมลต่อลิตร)

อุณหภูมิ (70, 100, และ 120 องศาเซลเซียส) เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (24, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง) และใช้ส่วนผสมของสารตัวอย่างต่อสารละลาย 0.125 กรัมต่อมิลลิลิตร

การสังเคราะห์ทำในเครื่องปฏิกรณ์ที่ประกอบด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิและเครื่องกวน ที่ต้องมีการกวนตลอดเวลาที่ทำการทดลอง ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) พบซีโอไลต์ดังนี้ zeolite P, chabazite, nepheline, gismondine นอกจากนี้ยังพบสารประกอบชนิดอื่น ๆ เช่น sillimanite, wilhendersonite, gehlenite ภาวะการสังเคราะห์ที่เหมาะสม คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้ให้ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออน 619.44 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมซีโอไลต์ ซึ่งให้สมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีขึ้นจากถ้ำลอยถ่านหินที่ยังไม่ผ่านการกระตุ้นซึ่งมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคลเซียมไอออน 52.20 มิลลิโมลต่อกิโลกรัมซีโอไลต์

#### 4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในต่างประเทศ

Julio Cesar Trois Endres และคณะ (2001) ได้สังเคราะห์ซีโอไลต์จากถ้ำลอย โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3.5 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมง สังเคราะห์ได้ซีโอไลต์ชนิด faujasite, chabazite, phillipsite เมื่อนำไปทำการศึกษาคัดซับโลหะหนัก 4 ชนิด คือ Fe, Zn, Cu, Pb ในสภาพของสารละลายที่แตกต่างกันคือ ในสภาพที่เป็นกรดและสภาพที่เป็นด่าง พบว่าสารละลายในสภาพที่เป็นกรด ซีโอไลต์สังเคราะห์ให้ค่าการดูดซับโลหะหนักได้ดีกว่าสภาพที่สารละลายเป็นด่าง

Lopez-Salinas และคณะ (1997) ได้สังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด P จากถ้ำลอย เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3-18 ชั่วโมง และสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Faujasite ได้ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5.5 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 1-4 วัน และพบว่าเมื่อนำซีโอไลต์ชนิด P ไปจุ่มชุบด้วยทองแดง (Cu) จะสามารถรีดิวซีโนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) ด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ถึง 47 เปอร์เซ็นต์



Zhao และคณะ (1997) สามารถสังเคราะห์ซีโอไลท์ชนิด Y จากเถ้าลอย ที่มีความเป็นผลึกถึง 72 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เจลของสารอะลูมิเนียมซิลิเกต ที่มีอัตราส่วนผสมโดยโมลเท่ากับ  $15 \text{Na}_2\text{O}:1\text{Al}_2\text{O}_3:15\text{SiO}_2:300\text{H}_2\text{O}$  เป็นตัวล่อ (Seed) โดยทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้ตกผลึกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อไม่ใส่ตัวล่อในการสังเคราะห์ จะปรากฏซีโอไลท์ชนิด P ผสมกับซีโอไลท์ชนิด Y ทั้งนี้ปฏิกิริยาการเกิดซีโอไลท์ชนิด P สามารถเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการเกิดซีโอไลท์ชนิด Y แต่สามารถควบคุมได้โดยการใส่ตัวล่อลงไป

Steenbruggen และ Hollman (1998) สามารถสังเคราะห์ซีโอไลท์ชนิด P จากเถ้าลอย ได้ประมาณ 40-45 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 90-150 องศาเซลเซียส ที่ความดันออโตจีนัส (Autogenous pressure) และที่สภาวะเดียวกัน เมื่อเปลี่ยนสารละลายที่ใช้เป็นสารละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์และสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตราส่วน 1:1 และ 2:1 สามารถสังเคราะห์ ซีโอไลท์ชนิด K-G (chabazite) และซีโอไลท์ชนิด ZK19 (phillipsite) ตามลำดับ

Woolard และคณะ (2000) ได้ทำการสังเคราะห์ซีโอไลท์จากเถ้าลอย ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆกันตั้งแต่ 1-8 โมลต่อลิตร ซีโอไลท์ที่ได้คือ Na-P1 และ hydroxysodalite ซึ่งให้ค่าพื้นที่ผิวและค่าการแลกเปลี่ยน แคตไอออนได้ดีกว่าเถ้าลอย เมื่อนำไปทำการศึกษาคัดซับโลหะหนักตะกั่ว โดยใช้  $\text{pH} = 5$  พบว่า ซีโอไลท์ที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถดูดซับตะกั่วได้ดีกว่าเถ้าลอยที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ซีโอไลท์ที่ให้ความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุด เมื่อสังเคราะห์โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร และ Na-P1 ให้ค่าการดูดซับตะกั่วได้ดีกว่า hydroxysodalite

Querol และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาคัดซับซีโอไลท์จากเถ้าลอยในระดับโรงงานทดลอง โดยมุ่งเป้าหมายไปที่การสังเคราะห์ซีโอไลท์จากเถ้าลอยของประเทศสเปน ในระดับห้องทดลอง (ใช้ตัวอย่างเถ้าลอยเป็นกรัมและกิโลกรัม) ไปสู่ระดับโรงงานทดลอง (ใช้ตัวอย่างเถ้าลอยเป็นเมตริกตัน) รวมถึงศักยภาพการนำซีโอไลท์ไปใช้ประโยชน์ ผลการศึกษาตัวอย่างเถ้าลอยจาก 11 แหล่งที่ถูกคัดเลือกมาใช้ เครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ Parr digestion bombs สารละลายโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (KOH and NaOH) ภายใต้

เงื่อนไขดังนี้ อุณหภูมิ 150-200 องศาเซลเซียส เวลา 3-48 ชั่วโมง ความเข้มข้นของสารละลาย 0.5-5 โมลต่อลิตร ความดัน 4.7-15.3 atm และอัตราส่วนของสารละลายต่อตัวอย่าง 2-18 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลการทดลองที่ได้พบว่าเกิดซีโอไลต์หลายตัวที่สำคัญคือ NaP1 zeolite, phillipsite / KM-zeolite, K-chabazite, F linde zeolite, herschelite, faujasite , zeolite A โดยเฉพาะ NaP1 zeolite สามารถสังเคราะห์ได้ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทำได้ทั้งในระดับห้องทดลองและในระดับโรงงานทดลอง เมื่อนำไปทดสอบหาค่าการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับ แอมโมเนียและโลหะหนักต่างๆ ได้ =160-260 meq/100gm ส่วนซีโอไลต์ตัวอื่นเมื่อนำไปทำการทดสอบการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับโลหะหนักต่างๆในระดับ โรงงานทดลอง ได้ผลดังนี้

$\text{Ni}^{2+} = 68 \text{ meq/100gm}$	$\text{Cd}^{2+} = 90 \text{ meq/100gm}$
$\text{Zn}^{2+} = 95 \text{ meq/100gm}$	$\text{Pb}^{2+} = 98 \text{ meq/100gm}$
$\text{Fe}^{2+} = 110 \text{ meq/100gm}$	$\text{Ba}^{2+} = 130 \text{ meq/100gm}$
$\text{Cr}^{2+} = 260 \text{ meq/100gm}$	$\text{Cu}^{2+} = 210 \text{ meq/100gm}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย