

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

ในบทนี้จะกล่าวถึง ข้อมูลพื้นฐานของซีโอไลต์ และข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ใช้เป็นสารตั้งต้นได้แก่ ถ้ำลอย เพอร์ไลต์ และดินขาว ซึ่งมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

2.1 ซีโอไลต์ (zeolite)

ซีโอไลต์ ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1756 โดยนักแร่วิทยา ชาวสวีเดน ชื่อ Cronstedt เขาค้นพบกลุ่มแร่ชนิดหนึ่งในธรรมชาติ ซึ่งเมื่อถูกให้ความร้อนแล้วจะเกิดการเดือดคล้ายการเดือดของน้ำ เขาจึงให้ชื่อกลุ่มแร่ชนิดนี้ว่า zeolite ซึ่งมาจากภาษากรีก 2 คำ คือ zeo (zein) = boil และ lite (lithos) = stone ที่แปลว่า “หินเดือด” (boiling stone) หลังจากการค้นพบในครั้งนั้นได้มีนักวิทยาศาสตร์ในสาขาต่าง ๆ รวมทั้งนักแร่วิทยาและนักเคมีทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของแร่กลุ่มนี้เรื่อยมา [1]

2.1.1 ข้อมูลพื้นฐานของซีโอไลต์

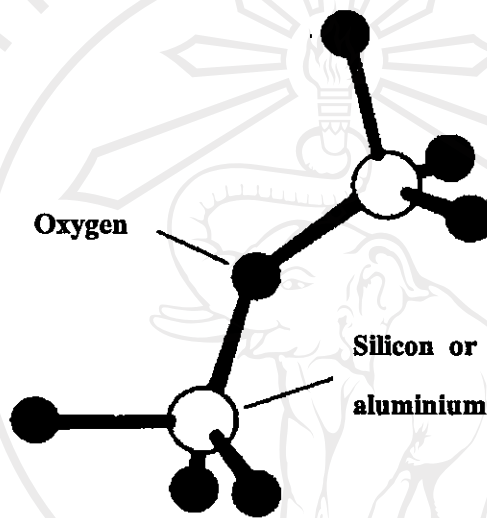
ซีโอไลต์เป็นวัสดุคักขนาดโมเลกุล (molecular sieve) ใช้คัดแยกโมเลกุลที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันออกจากกันได้ เนื่องจากการมีรูพรุน (pore) ที่มีขนาดของช่องเปิด (window) มีขนาดเฉพาะและอยู่ในระดับเดียวกับขนาดของโมเลกุลคือ 3-10 อังสตรอม ซึ่งรูพรุนภายในโครงสร้างของซีโอไลต์จะเชื่อมต่อกันเป็นระบบ โดยที่ภายในช่องว่างนี้จะมีไอออนบวก (cation) และ โมเลกุลน้ำแทรกตัวอยู่ [1-3]

สูตรทั่วไปของซีโอไลต์ คือ



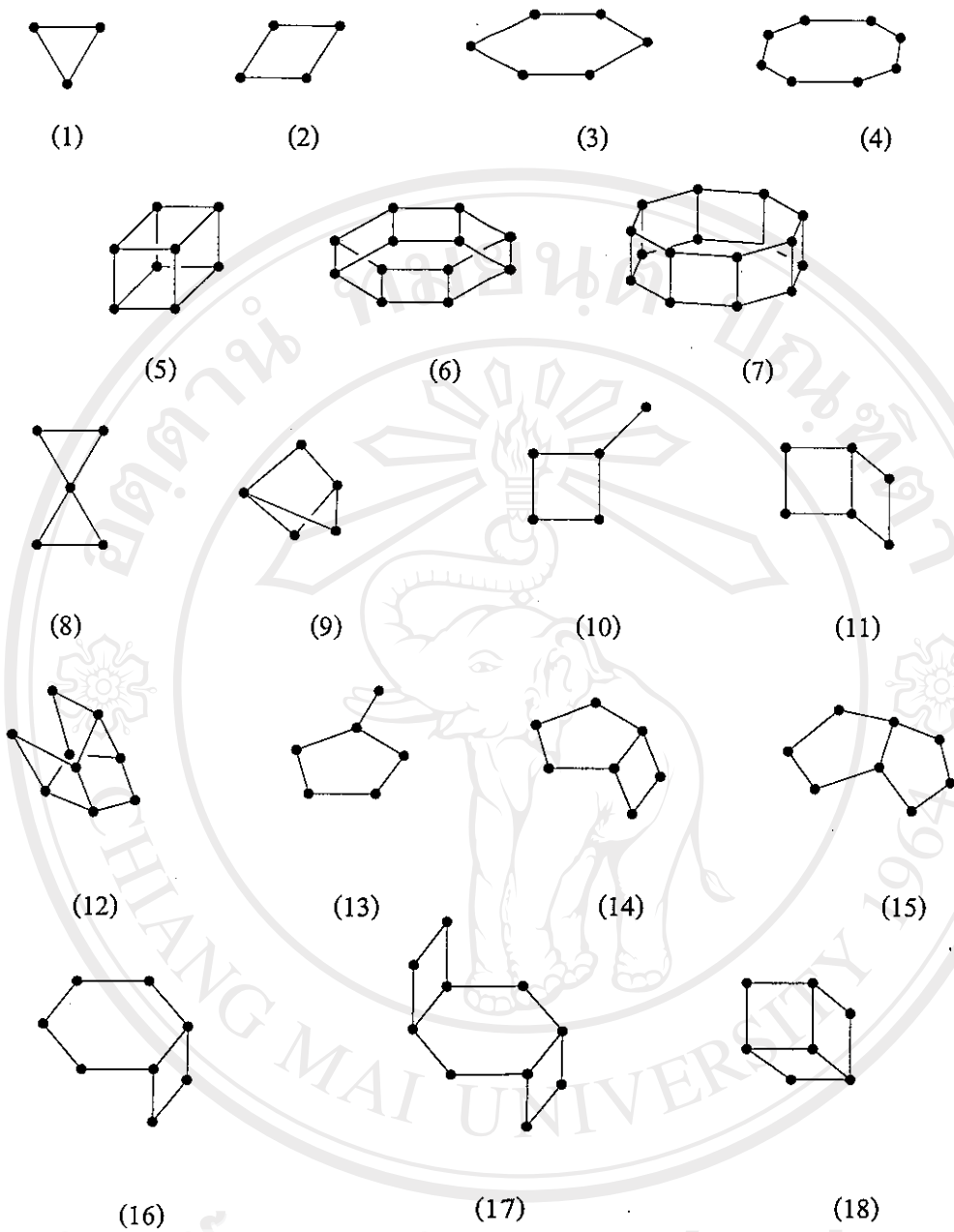
เมื่อ M	คือไอออนบวกที่มีวาเลนซ์เท่ากับ n และอยู่ในที่ว่างของโครงสร้าง
m	คือจำนวนโมเลกุลของน้ำในโครงสร้างผลึก
x และ y	คือจำนวนหน่วยอะลูมินาและซิลิกาในโครงข่ายตามลำดับ โดยที่อัตราส่วนของ x/y มีค่าได้สูงสุดเท่ากับ 1

ซีโอไลต์เป็นสารประกอบอลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate compound) ที่มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยย่อยปฐมภูมิ (primary building unit, PBU) เป็นรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral) ของ $[\text{SiO}_4]^{4-}$ และ $[\text{AlO}_4]^{5-}$ ที่เชื่อมต่อกันเป็นโครงข่าย 3 มิติด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้ง 4 ของทรงสี่หน้า [1,2] ดังแสดงตัวอย่างในรูป 2.1 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าเป็นการใช้อะตอมของออกซิเจนในตำแหน่งของมุมร่วมกัน (corner sharing) ดังนั้นอะตอมของออกซิเจนที่ถูกใช้เชื่อมระหว่างหน่วยย่อยปฐมภูมิสองหน่วยใด ๆ ก็เปรียบเสมือนสะพานที่เชื่อมต่อระหว่างสองหน่วยย่อยปฐมภูมิ



รูป 2.1 หน่วยย่อยปฐมภูมิของซีโอไลต์สองหน่วยย่อยซึ่งอยู่ในรูปทรงสี่หน้าของ $[\text{SiO}_4]^{4-}$ และ/หรือ $[\text{AlO}_4]^{5-}$ ที่เชื่อมต่อกันด้วยอะตอมของออกซิเจนในตำแหน่งมุมของทรงสี่หน้า[1]

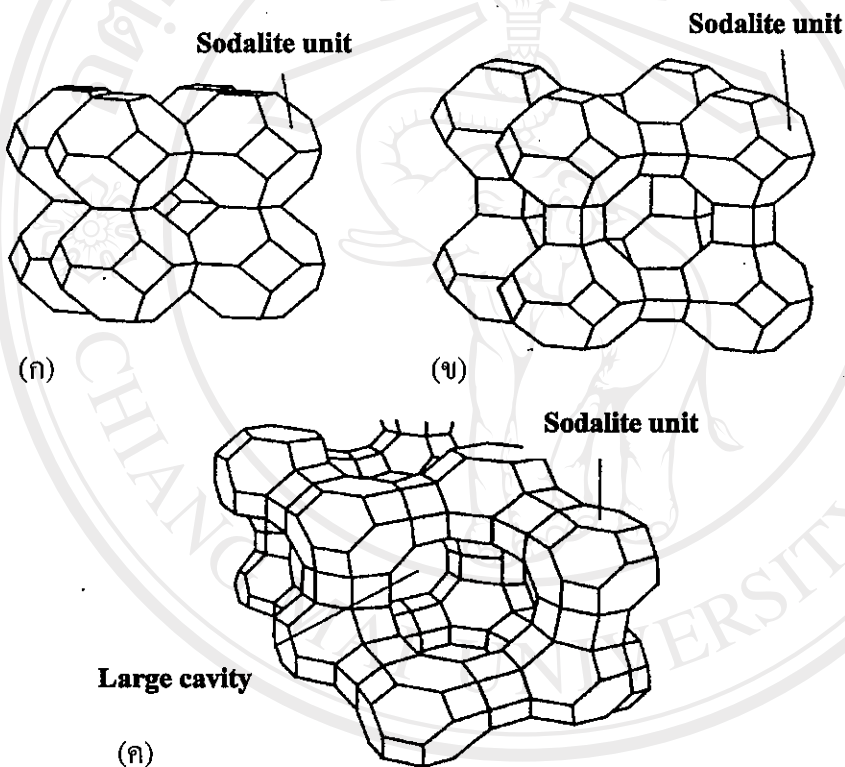
หน่วยย่อยปฐมภูมิที่จะมาเชื่อมต่อกันผ่านอะตอมของออกซิเจนนั้น สามารถที่จะเชื่อมต่อกันได้โดยอาจใช้ออกซิเจนเพียงหนึ่งอะตอม หรืออาจเป็นสอง สาม หรือสี่อะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ของหน่วยย่อยปฐมภูมิเลยก็ได้ ความหลากหลายในโครงสร้างจึงเกิดจากการเชื่อมต่อนี้และเกิดเป็นหน่วยย่อยที่มีขนาดใหญ่ขึ้นที่เรียกว่าหน่วยย่อยทุติยภูมิ (secondary building unit, SBU) ชนิดต่างๆ [5] ทั้งหมด 18 แบบ ดังแสดงในรูป 2.2 โดยในการแสดงโครงสร้างของซีโอไลต์นั้น โดยทั่วไปมักจะใช้ “เส้นตรง” แทน “สะพานออกซิเจนที่โค้งงอ” และจุดตัดของเส้นตรงเหล่านี้คือตำแหน่งของซิลิกอนและอลูมิเนียมที่อยู่ในตำแหน่งตรงกลางของทรงสี่หน้า ซึ่งในรูป 2.2 แทนด้วยจุดสีดำ



รูป 2.2 หน่วยย่อยทศนิยมทั้ง 18 แบบที่พบในโครงสร้างของซีโอไลต์ชนิดต่างๆ โดยแต่ละหน่วยโครงสร้างมีชื่อเรียกดังนี้ [5]

- | | | |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| (1) single three ring (S3R) | (2) single four ring (S4R) | (3) single six ring (S6R) |
| (4) single eight ring (S8R) | (5) double four ring (D4R) | (6) double six ring (D6R) |
| (7) double eight ring (D8R) | (8) spiro - 5 | (9) complex 4=1 |
| (10) complex 4-1 | (11) complex 4-2 | (12) complex 4-4-1 |
| (13) complex 5-1 | (14) complex 5-2 | (15) complex 5-3 |
| (16) complex 6-2 | (17) complex 2-6-2 | (18) complex 6*1 |

และเมื่อหน่วยย่อยทุติยภูมิเหล่านี้มารวมตัวกันเกิดเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ขึ้นอีกเรียกว่า หน่วยย่อยตติยภูมิ (tertiary building unit, TBU) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่มีรูปร่างเป็นทรงหลายหน้า (polyhedral subunit) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นโครงข่ายของซีโอไลต์ชนิดโซดาไลต์ ซีโอไลต์ A และซีโอไลต์ฟัจไซต์ ซึ่งซีโอไลต์ทั้ง 3 ชนิดนี้เกิดจากโครงสร้างรูปทรงหลายหน้า ชนิดเดียวกันคือกรงโซดาไลต์ (sodalite cage) ที่มาต่อกันในรูปแบบที่แตกต่างกัน โดยกรงโซดาไลต์นั้นประกอบด้วยหน่วยย่อยปฐมภูมิ 24 หน่วยมาต่อกันในรูปของวงสี่เหลี่ยม และวงหกเหลี่ยมที่มาต่อกันจนเป็นรูปคล้ายกรงหรือทรงเหลี่ยมแปดหน้าที่ถูกตัดมุม



รูป 2.3 โครงสร้างของซีโอไลต์ (ก) โซดาไลต์ (sodalite) (ข) ซีโอไลต์เอ (zeolite A) และ (ค) ฟัจไซต์ (faujasite) ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวในแบบอย่างต่าง ๆ กันของโครงสร้างรูปทรงหลายหน้ากรงโซดาไลต์[1]

ซีโอไลต์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการเกิดคือ

1. ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (natural zeolites)

ซีโอไลต์ชนิดนี้ เช่น ฟุจัสไซต์ (faujasite), เออร์ไรโอไนท์ (erionite), คาร์บาไซต์ (chabazite) และมอร์ดเนอไนท์ (mordenite) เป็นต้น เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลของสารละลายหินใต้ผิวโลก ที่มีองค์ประกอบของอลูมินา (alumina) ซิลิกา (silica) ภายใต้สภาวะที่เป็นด่างอย่างแรง คือมีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่เกิดจากการชะล้างของน้ำฝนผ่านชั้นหินลงมา ภายใต้ช่วงอุณหภูมิ 70 – 350 องศาเซลเซียส และความดันค่อนข้างสูง กระบวนการเกิดตามธรรมชาติลักษณะนี้จะใช้เวลานานมากและคุณภาพของซีโอไลต์ที่ได้จะมีการปนเปื้อนของแร่กลุ่มอื่นสูง

2. ซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ทางเคมี (synthetic zeolites)

กระบวนการสังเคราะห์ที่ใช้นั้นเป็นการเลียนแบบกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ แต่อาจมีการดัดแปลงวิธีการไปบ้าง เพื่อให้ได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะในการใช้งาน หรือให้ได้ประสิทธิภาพตามต้องการ ซีโอไลต์ชนิดนี้จะมีความบริสุทธิ์สูงกว่าซีโอไลต์ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

2.1.2 การนำซีโอไลต์ไปใช้ประโยชน์

ด้วยลักษณะโครงสร้างที่เป็นรูพรุนของซีโอไลต์ซึ่งจะมีประจุบวกที่ช่วยในการดูดซับประจุลบที่เกินมาของอลูมินา ทำให้ซีโอไลต์เป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดซับไอออนบวก นอกจากนี้ซีโอไลต์ยังมีความเฉพาะเจาะจงสูงมากกับสารแต่ละชนิด เนื่องจากข้อจำกัดด้านขนาดของรูพรุนและช่องเปิดเข้าสู่รูพรุน ดังนั้นจึงมีการนำซีโอไลต์ไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางทั้งในด้านการเกษตร และอุตสาหกรรม [1, 2, 6,7] โดยสามารถแบ่งการใช้งานหลักออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

- 1) ใช้ในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange process) เนื่องจากไอออนที่อยู่ในโพรง/รูพรุนของซีโอไลต์นั้นมีแรงยึดเหนี่ยวอย่างอ่อน ๆ เท่านั้นกับโครงสร้างอลูมิโนซิลิเกตทำให้ไอออนบวกเหล่านี้สามารถเกิดการเคลื่อนที่แลกเปลี่ยนกับไอออนบวกภายนอกได้ ตัวอย่างการใช้ซีโอไลต์ในลักษณะนี้คือ การแลกเปลี่ยนไอออน Ca^{2+} ในน้ำกับ Na^+ ในซีโอไลต์ชนิด A เพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ
- 2) ใช้เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) ซีโอไลต์ที่ไม่มีน้ำอยู่จะมีพื้นที่ว่างภายในโพรงมาก สามารถดูดซับสารได้ดี โดยขนาดของหน้าตัดหรือขนาดของโพรงจะเป็นตัวกำหนดขนาดโมเลกุลที่สามารถเข้าไป ซึ่งจะใช้ในกระบวนการทำให้สารบริสุทธิ์ (purifying process) เช่น ใช้แยกสารที่ทำให้เกิดมลภาวะ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

- ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวดูดน้ำ (drying agent) ในกระบวนการทำให้ก๊าซธรรมชาติแห้ง
- 3) ใช้ในการเร่งปฏิกิริยา (catalysis) เนื่องจากส่วนที่มีความเป็นกรดภายในโครงสร้างของซีโอไลต์ที่เกิดจากตำแหน่งที่เป็นกลุ่มไฮดรอกซิล (acidic hydroxyl) รวมถึงตำแหน่งของอลูมินานั้นถือว่าเป็นบริเวณกัมมันต์ (active site) รวมไปถึงลักษณะรูปร่างและขนาดของโพรงภายใน โครงสร้างซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกรองและคัดแยกสารที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยา ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความเฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากสมบัติดังกล่าวส่งผลให้ซีโอไลต์เป็นวัสดุที่มีคุณค่าและมีประโยชน์อย่างมากในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

2.2 การแปรสภาพวัตถุดิบในธรรมชาติเป็นซีโอไลต์

สมัยก่อนการสังเคราะห์ซีโอไลต์มักจะใช้สารเคมีในการสังเคราะห์ ทำให้ต้องใช้ต้นทุนสูงมาก เนื่องจากต้องใช้สารเคมีบริสุทธิ์ที่มีราคาสูงเป็นสารตั้งต้น นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามคิดค้นหาวิธีการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากวัตถุดิบราคาถูกหรือวัสดุเหลือใช้ที่สามารถหาได้ตามธรรมชาติ และวัตถุดิบนั้นต้องมีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือ อลูมินา ซิลิกา เป็นองค์ประกอบหลักในซีโอไลต์ เช่น ถ้ำลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน เพอร์ไลต์ และดินขาว เป็นต้นมาทดแทนสารเคมีที่มีราคาแพง อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ซีโอไลต์ไม่ว่าจะใช้สารเคมีเข้าช่วย หรือจากวัตถุดิบในธรรมชาติต้องอาศัยการควบคุมสภาวะของการเกิดซีโอไลต์เลียนแบบกระบวนการทางธรรมชาติซึ่งตัวแปรพื้นฐานในการสังเคราะห์ที่สำคัญมีหลายประการเช่น อัตราส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา ธรรมชาติของโลหะอัลคาไลน์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เป็นต้น

การสังเคราะห์ซีโอไลต์โดยทั่วไปนิยมทำภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) ซึ่งหมายถึงการทำปฏิกิริยาภายใต้ความดันและอุณหภูมิตามลำดับ ซึ่งปฏิกิริยาการสังเคราะห์ซีโอไลต์สามารถทำได้ด้วยการนำอะลูมินา ซิลิกา และ โลหะอัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์ มาทำปฏิกิริยากันภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม ซึ่งสารประกอบไฮดรอกไซด์จะเป็นตัวช่วยเปลี่ยนซิลิกาให้อยู่ในรูปของซิลิเกต และอลูมินาในรูปของอลูมิเนต ซึ่งจะอยู่กัน ในลักษณะเจลของสารประกอบอลูมิโนซิลิเกตที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (hydrated aluminosilicates) ที่เกิดจากการเกิดพอลิเมอไรเซชันร่วม (copolymerization) ของซิลิเกตและอะลูมิเนตที่อยู่ในสารละลายโดยมีกลไกการเกิดพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (condensation polymerization) สารประกอบอลูมิโนซิลิเกตในเจลจะเกิดการตกผลึกภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิประมาณ 175 องศาเซลเซียส แต่บางครั้งอาจใช้อุณหภูมิสูงถึง 300 องศาเซลเซียส ส่วนความดันที่

ใช้จะมีค่าต่างกันออกไปเช่นเดียวกับระยะเวลาที่ใช้ในการตกผลึกซึ่งมีตั้งแต่ 2 – 3 ชั่วโมงจนถึงหลายวัน

วัตถุดิบในธรรมชาติที่ใช้เป็นแหล่งของซิลิกา และอลูมินา มีอยู่หลายประเภท เช่น เถ้าลอย เพอร์ไลต์ และดินขาว ซึ่งในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีการนำวัตถุดิบเหล่านี้มาใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายแล้วก็ตาม แต่ยังคงถือได้ว่ามีประสิทธิภาพการใช้งานค่อนข้างต่ำ เนื่องจากปริมาณของสารปนเปื้อนที่เหลือนำมาจากสารตั้งต้น ทำให้เกิดแนวความคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้จากวัตถุดิบธรรมชาติเหล่านี้ โดยการปรับปริมาณของซิลิกาหรืออลูมินาในปฏิกิริยา แล้วเติมวัตถุดิบที่มีราคาถูกหรือวัสดุเหลือใช้ที่สามารถหาได้ตามธรรมชาติทั่วไป เช่น เพอร์ไลต์และดินขาวลงไป เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2.2.1 เถ้าลอย

2.2.1.1 ข้อมูลพื้นฐานของเถ้าลอย

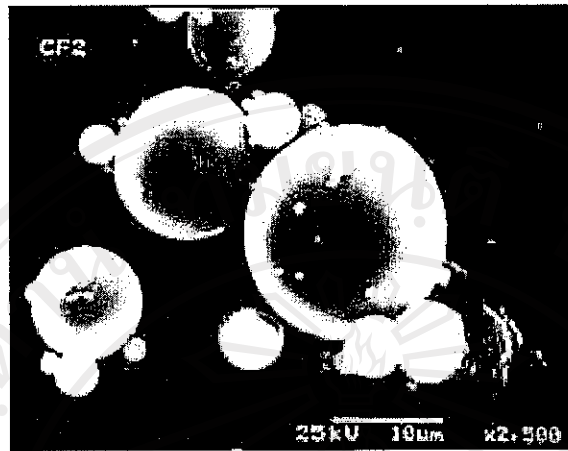
เถ้าลอย เป็นกากของเหลือจากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ในเตาของโรงไฟฟ้า ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 75-85 ของน้ำหนักเถ้าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเตาเผา เถ้าลอยจะลอยปะปนมาพร้อมกับไอร้อนขึ้นไปสู่บริเวณปล่องควันและจะถูกดักจับไม่ให้ลอยปะปนไปสู่บรรยากาศภายนอกด้วยเครื่องดักจับทางไฟฟ้าที่เรียกว่า เครื่องดักจับเถ้าลอยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) ต่อจากนั้นเถ้าลอยก็จะถูกรวบรวมเก็บไว้ในไซโล [8-11]

ลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยจะมีลักษณะเป็นฝุ่นผงสีเทา เทาดำ หรือน้ำตาล น้ำหนักเบา มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ เมื่ออยู่ในสภาพแห้งจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค ทำให้เกิดการฟุ้งกระจายได้ดี เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ส่องดูจะพบว่าอนุภาคของเถ้าลอยเป็นทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ไมครอนจนถึง 150 ไมครอนดังแสดงในรูปที่ 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved



รูป 2.4 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคเถ้าลอย ที่ได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง [10]

ถึงแม้ว่าลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยที่เกิดจากแต่ละแหล่งจะมีลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านธรณีวิทยาและด้านภูมิศาสตร์ที่สัมพันธ์กับการเกิดถ่านหินเป็นหลัก โดยจะแตกต่างกันออกไปตามบริเวณแหล่งที่มา ปริมาณแร่ธาตุของถ่านหิน กระบวนการเผาไหม้ อุณหภูมิในการเผา ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ลักษณะของโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นแหล่งเชื้อเพลิง และระบบการดักจับเถ้าลอย นอกจากนี้ยังขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมมลภาวะทางอากาศอีกด้วย สารอนินทรีย์ที่เป็นส่วนประกอบในเถ้าลอยจะเป็นไปตามชนิดของหินและดิน คือ มีออกไซด์ของซิลิกอน (Si) อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และแคลเซียม (Ca) คิดเป็นร้อยละ 95 – 99 ของส่วนประกอบทั้งหมดและมีส่วนประกอบย่อยอื่น ๆ อีกในปริมาณที่เล็กน้อยซึ่งได้แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ไว้ในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ [11]

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
SiO ₂	52.8 – 37.3
Al ₂ O ₃	28.1 – 18.0
Fe ₂ O ₃	14.4 – 8.5
CaO	9.4 – 17.4
MgO	1.2 – 3.3
Na ₂ O	0.6 – 1.7
K ₂ O	1.3 – 3.0
SO ₃	1.5 – 3.9
*LOI	0.1 – 0.9

* LOI = loss on ignition

2.2.1.2 การใช้ประโยชน์ของเถ้าลอย

เนื่องจากสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยที่มีลักษณะเป็นก้อนกลม โปร่งเบา และแข็งแรง ทำให้มีการนำเอาเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์หลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการก่อสร้างคือ

- 1) ใช้ในงานคอนกรีต เนื่องจากเถ้าลอยมีอนุภาคกลมส่งผลดีต่อความสามารถในการถ่ายเทได้ของคอนกรีต อีกทั้งอนุภาคมีความละเอียดสูงกว่าซีเมนต์จึงทำหน้าที่เป็นวัสดุอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคซีเมนต์ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มคุณสมบัติในการรับแรง เพิ่มความทนทาน และลดคุณสมบัติการซึมน้ำ เป็นต้น
- 2) ใช้ในการก่อสร้างถนน โดยการนำเถ้าลอยมาเป็นวัสดุรองพื้นถนนและใช้เป็นวัสดุในการถมที่ลุ่มเพื่อปรับสภาพของที่ดินบริเวณนั้นให้สูง
- 3) ใช้เป็นวัสดุหน้าหนักเบาในอุตสาหกรรมการผลิตซีเมนต์

นอกจากนี้ยังมีการนำเถ้าลอยไปใช้ในทางเกษตรกรรมเพื่อการปรับปรุงดิน เนื่องจากในเถ้าลอยมีสารที่เป็นค่า เช่น CaO, MgO, K₂O และ Na₂O ซึ่งจะช่วยลดความเป็นกรดในดินได้ และทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้ในการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายของเสีย เป็นต้น [4, 9]

2.2.1.3 การศึกษาปฏิกิริยาเคมีของแร่ลอยกับค้าง

การศึกษาปฏิกิริยาของแร่ลอยกับค้าง ได้มีการศึกษาค้นคว้ากันอย่างแพร่หลายเป็นเวลานานแล้ว ทำให้มีผลงานวิจัยที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาของแร่ลอยอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งในการศึกษาปฏิกิริยาก็สามารถทำได้หลายสถานะ เช่น ไฮโดรเทอร์มอล หลอมรวมแบบประยุกต์ และการกลั่น การกลั่นไหลกลับ (reflux) ซึ่งแต่ละวิธีนั้นก็มียุทธวิธีที่ต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ซีโอไลต์ให้มีความบริสุทธิ์สูงและมีคุณภาพดีนั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์และตัวแปรที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นสำคัญ ดังเช่นในงานวิจัยของ Queral และคณะ [12-14] ได้ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างแร่ลอยกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ภายในระบบปิด โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และความเข้มข้นของโลหะอัลคาไลด์ ซึ่งซีโอไลต์ที่เกิดขึ้นได้ส่วนใหญ่คือ ซีโอไลต์ชนิด Na-P1 ดังแสดงได้ในตารางที่ 2.2

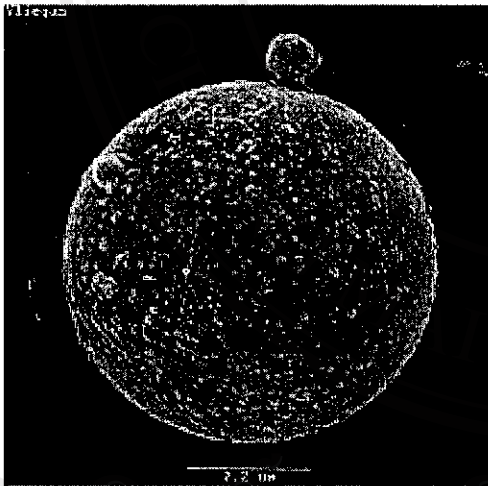
ตาราง 2.2 เงื่อนไขในการสังเคราะห์ซีโอไลต์ โดยการใช้แร่ลอยจากแหล่งต่าง ๆ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีต่างกันเมื่อ P1 : Na-P1, , An : analcime, Gm : gmelinite, *** : ปริมาณมาก, ** : ปริมาณกลาง, * : ปริมาณน้อย [12]

แหล่งแร่ลอย	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	สารละลาย	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)	อุณหภูมิที่ใช้ (°C)	ชนิดของซีโอไลต์
Teruel	1.8	NaOH 1.0M	48	150	P1***
Teruel NM	1.7	NaOH 1.0M	48	150	P1***, Gm, An
As Pontes	1.5	NaOH 1.0M	48	150	P1***, P*, An*
Escucha	1.9	NaOH 1.0M	48	150	An***
Compostilla	1.9	NaOH 1.0M	48	150	P1***, An**
Dou He	1.2	NaOH 1.0M	48	150	P1***, An*
Escatron	3.8	NaOH 1.0M	48	150	-
Cercs	2.0	NaOH 1.0M	48	150	-
Escucha	1.9	NaOH 0.5 M	48	150	An***
Compostilla	1.9	NaOH 0.5 M	48	150	P1***, An*
Dou He	1.2	NaOH 0.5 M	48	150	P1*, An*

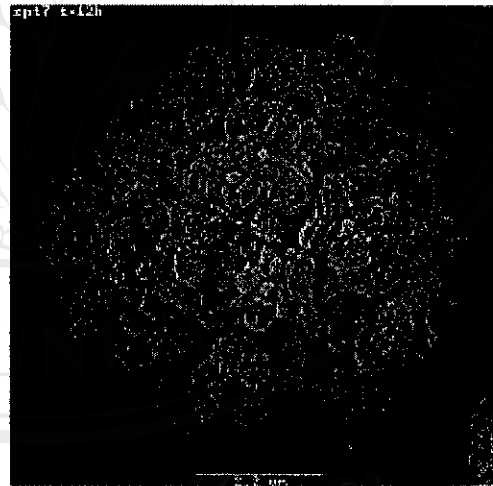
จากตาราง 2.2 แสดงให้เห็นว่าแม้จะทำการศึกษาปฏิกิริยาภายใต้สภาวะเดียวกัน ถ้าอัตราส่วนระหว่าง SiO₂/Al₂O₃ ต่างกันหรือแม้กระทั่งแร่ลอยจากแหล่งต่างกันก็จะทำให้เกิดซีโอไลต์ที่ต่างชนิดกันออกไป

ต่อมาในปี ค.ศ. 1998 Steenbruggen และ Hollman [15] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาของ แก้วลอยภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล และพบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 90 – 150 องศาเซลเซียส จะสามารถก่อให้เกิดซีโอไลต์ชนิด P1 ได้ ประมาณ 40 – 45 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อเปลี่ยนไปใช้สารละลายผสมระหว่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะได้ซีโอไลต์ชนิด K-G และ ZK19

นอกจากนี้ยังมีนักวิทยาศาสตร์อีกหลายท่านได้ศึกษาการสังเคราะห์ซีโอไลต์จากแก้วลอยเพิ่มเติม [16, 17] เช่น Hollman และคณะ [16] ได้นำแก้วลอยมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นจึงกรองแล้วนำสารละลายที่ได้ไปผสมกับอะลูมินาเพื่อปรับอัตราส่วนของซิลิกาต่ออะลูมินา ซึ่งจากการตรวจสอบชนิดของเฟสที่เกิดขึ้นพบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนที่มีซิลิกาเป็น 2 เท่าของอะลูมินา จะได้ซีโอไลต์ชนิด P แต่ถ้าใช้อัตราส่วนที่มีซิลิกาประมาณ 1.8 เท่าของอะลูมินาจะได้ซีโอไลต์ชนิด X



(ก)



(ข)

รูป 2.5 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคแก้วลอย (ก) ก่อน และ (ข) หลังกระบวนการสังเคราะห์ ซีโอไลต์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 12 ชั่วโมง [16]

หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2000 Rayalu และคณะ [18] ได้ทำการเตรียมซีโอไลต์ชนิดฟุจัสไซต์ ด้วยกระบวนการหลอมรวมแบบประยุกต์ จากการใช้เถ้าลอยทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในอัตราส่วน 1 : 1.2 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาอยู่ในช่วง 500 – 600 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 8 – 10 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 – 110 องศาเซลเซียส พบว่าได้ซีโอไลต์ชนิดฟุจัสไซต์แบบ Y จากนั้นนำไปศึกษาหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 400 – 500 meq/100 g

ในกรณีของการศึกษาภายในประเทศไทย ปิยะ ภูลีเวทิน [19] ได้ศึกษาปฏิกิริยาของเถ้าลอยกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะการกั่นไหลกลับ เพื่อนำไปใช้ในการกำจัดแคดเมียมออกจากน้ำ โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ อุณหภูมิกระตุ้น เวลาในการทำปฏิกิริยา ขนาดอนุภาค และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยพบว่าตัวแปรที่มีความสำคัญในการเกิดสารผลิตภัณฑ์คือ อุณหภูมิกระตุ้น และเวลาในการทำปฏิกิริยา ซึ่งเมื่อตรวจสอบหาชนิดพบว่าสามารถก่อให้เกิดซีโอไลต์ชนิด Na-P1 นอกจากนี้ปิยะยังพบอีกว่า การลดปริมาณแคดเมียมในน้ำโดยใช้ซีโอไลต์สังเคราะห์แบบนี้มีข้อจำกัดในการใช้ โดยจะได้ผลดีเมื่อปริมาณแคดเมียมไม่สูงมากนัก แต่การใช้ในแบบอย่างผงจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากกว่า

2.2.2 เพอร์ไลต์

2.2.2.1 ข้อมูลพื้นฐานของเพอร์ไลต์

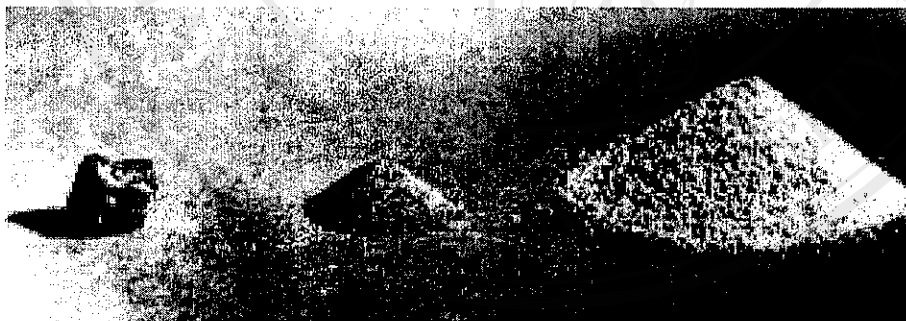
เพอร์ไลต์เป็นหินภูเขาไฟ (volcanic rock) ชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของแมกมา (magma) มีเนื้อละเอียดแบบแก้ว ผิวเป็นมันวาวแบบมุก มักมีรอยแตกเป็นวง ๆ ซ้อนกันคล้ายกลีบหัวหอม (onion-like structure) มีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนหินไรโอไลต์และหินแกรนิต แต่หินเพอร์ไลต์มีปริมาณน้ำอยู่สูงกว่ามาก เมื่อเพอร์ไลต์ได้รับความร้อนอย่างรวดเร็ว จะทำให้น้ำที่มีอยู่ในโครงสร้างระเหยกลายเป็นไอ และเกิดฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมากดันออกมาจากโครงสร้างอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างของเพอร์ไลต์เต็มไปด้วยรูพรุน [20, 21] เพอร์ไลต์มีหลายชนิดด้วยกันแต่เท่าที่ค้นพบในประเทศไทยมีด้วยกัน 3 ชนิดคือ

- 1) เพอร์ไลต์สีเขียวแถบแดง (banded perlite) เป็นเพอร์ไลต์สีเขียวนี้อัดแน่นมีเนื้อประสานอัดกันแน่น และมีจุดสีขาวของเฟลด์สปาร์ (feldspar) ปรากฏโดยทั่วไป นอกจากนี้เนื้อแก้วบางส่วนจะเกิดการแปรสภาพเป็นแถบแดง ๆ (red devitrification product)
- 2) เพอร์ไลต์สีเขียว (classical perlite) เป็นเพอร์ไลต์เนื้ออัดแน่นมีผลึกสีเขียว ถ้าส่องดูด้วยกล้องขยายจะพบรอยแตกร้าว (crack) โค้งไปโค้งมา นอกจากนี้ยังคงมีจุดสีขาว

ของเฟลด์สปาร์รวมอยู่ด้วย แร่เพอร์ไลต์ชนิดนี้ถือว่ามีคุณภาพดีกว่าชนิดอื่นเนื่องจากขยายตัวได้สูง แต่อุณหภูมิการขยายตัวอาจแตกต่างกัน

- 3) เพอร์ไลต์สีขาว (pumicious perlite) ประกอบไปด้วยเส้นใยของแก้ว (glass fiber) มีสีค่อนข้างขาว มีรูพรุนสูง แต่การขยายตัวไม่มากนัก และอาจมีเฟลด์สปาร์ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย

ลักษณะทางกายภาพของเพอร์ไลต์ แบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ เพอร์ไลต์ชนิดเนื้อแก้ว สัมผัสกับชนิดสีอ่อน โดยปกติจะขยายตัวหรือพองตัวเมื่อได้รับความร้อนอย่างรวดเร็ว (รูป 2.6) และพบว่าเพอร์ไลต์ชนิดสีเข้มจะสามารถเผาให้พองตัวได้ที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส โดยจะใช้เวลาในการเผานานกว่าและมีการพองตัวน้อยกว่าชนิดสีอ่อนหลายเท่า ส่วนเพอร์ไลต์ชนิดสีอ่อนจะเผาให้พองตัวได้ที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียส และจะมีอัตราส่วนของซิลิกาและอลูมินาสูงกว่าหินเพอร์ไลต์ชนิดสีเข้ม สำหรับหินเพอร์ไลต์ในประเทศไทยที่พบบริเวณทิวเขาลำน้ำสาย จังหวัดลพบุรีนั้นเป็นเพอร์ไลต์สีอ่อน ที่มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพดังตาราง 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ



Crude Perlite

Crush Crude Perlite

Expanded Perlite

รูป 2.6 การพองตัวของเพอร์ไลต์เมื่อได้รับความร้อน[22]

ตาราง 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเพอร์ไลต์ [21]

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)
SiO ₂	71.67
Al ₂ O ₃	13.45
Fe ₂ O ₃	1.43
K ₂ O	4.31
Na ₂ O	2.33
H ₂ O	5.16

ตาราง 2.4 สมบัติทางกายภาพของเพอร์ไลต์ [21]

สมบัติ	ค่าโดยทั่วไป
ความหนาแน่น	1.06 - 1.25 ตัน/ลบ.ม.
อัตราการขยายตัวหลังเผา	5.2 - 20.8 เท่า
ความหนาแน่นการขยายตัว(ก้อน)	35 - 150 กรัม/ลบ.ม.
ความแข็งแรงเฉพาะ	19.4 กก./ตร.ซม.

2.2.2.2 การนำเพอร์ไลต์ไปใช้ประโยชน์

สำหรับเพอร์ไลต์นั้นยังถือว่าเป็นแร่ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับแร่ชนิดอื่น ๆ และการใช้ประโยชน์จากเพอร์ไลต์ยังไม่ได้ได้รับความสนใจเท่าที่ควร ส่งผลทำให้เพอร์ไลต์เป็นวัสดุที่มีราคาถูกลงมาก อย่างไรก็ตามเนื่องจากหินเพอร์ไลต์เมื่อได้รับความร้อนก็จะเกิดการขยายตัวหรือพองตัวอย่างรวดเร็ว เพราะการสูญเสียน้ำ ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุนและน้ำหนักเบา ทำให้มีการนำเอาเพอร์ไลต์ที่ขยายตัวแล้วไปใช้งาน [2, 5, 21] ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) ด้านการก่อสร้าง มีสองลักษณะคือ การผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อทำคอนกรีตเบาและปูนฉาบ
- 2) ฉนวนความร้อน เพอร์ไลต์ความหนาแน่นปกติมีค่าการนำความร้อนค่อนข้างต่ำคือมีค่าประมาณ 0.256 W/m.K และถ้าเพอร์ไลต์มีค่าความหนาแน่นลดลง ความเป็นฉนวนจะเพิ่มมากขึ้น จึงมีการนำเพอร์ไลต์มาทำเป็นฉนวนความร้อน
- 3) ฉนวนป้องกันเสียง การมีรูพรุนของเพอร์ไลต์สามารถดูดซับเสียง โดยช่วยลดระดับเสียงที่ผ่านให้ลดลงได้

- 4) ตัวกรอง เนื่องจากเพอร์ไลต์มีองค์ประกอบของซิลิกาสูง (มากกว่า 70%) จึงสามารถดูดซับได้ดี และมีสมบัติที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี จึงนิยมใช้เป็นตัวกรองในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ น้ำตาลทราย และยารักษาโรค เป็นต้น
- 5) ทางด้านการเกษตร เพอร์ไลต์ที่มีความพรุนเบาสามารถนำมาผสมกับดินเพื่อปรับปรุงดินให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืช
- 6) ใช้เป็นตัวเติมและเพิ่มน้ำหนักในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมยาง สี และพลาสติก เป็นต้น

2.2.2.3 การศึกษาปฏิกิริยาเคมีของเพอร์ไลต์กับต่าง

จากองค์ประกอบทางเคมีของเพอร์ไลต์ที่มีซิลิกาและอลูมินาสูง จึงมีนักวิจัยจำนวนหนึ่งสนใจที่จะทำการเตรียมซีโอไลต์จากเพอร์ไลต์ ซึ่งในการเตรียมซีโอไลต์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากก็คือการเลือกใช้สารละลายไอโซโครอกไซด์ที่แตกต่างกัน ดังเช่นในงานวิจัยของ Wirsching และคณะ [24] ที่ได้ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมซีโอไลต์จากเพอร์ไลต์ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล โดยการนำเพอร์ไลต์แบบพองตัว (expanded perlite) มาทำปฏิกิริยากับสารละลายอัลคาไลน์ชนิดต่าง ๆ คือ สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายผลมของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 1 : 1 ที่อุณหภูมิระหว่าง 100 – 140 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 2 ชั่วโมงถึง 13 วัน พบว่า เมื่อใช้สารละลายอัลคาไลน์ต่างชนิดกันจะทำให้ได้ซีโอไลต์ที่ต่างชนิดกันไปด้วย ดังสรุปในตารางที่ 2.5

ตาราง 2.5 ผลของสารละลายอัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์ต่อชนิดของซีโอไลต์ [24]

ชนิดของสารละลาย	ชนิดของซีโอไลต์ที่สังเคราะห์ได้
KOH	zeolite ZK-19 (philipsite), zeolite W (merlinoite) zeolite G (chabazite), zeolite F (edingtonite)
NaOH	zeolite Na-Pc (gismondine), zeolite HS (sodalite hydrate), zeolite A
KOH + NaOH (1 : 1)	zeolite Na-Pc (gismondine), analcime, zeolite A, zeolite HS (sodalite hydrate)

นอกจากนั้น Khodabandeh และ Davis [25] ได้รายงานการศึกษาปฏิกิริยาของเพอร์ไลต์กับสารละลายที่มีส่วนประกอบของแคลเซียมคือ NaCl , CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และสารละลายผสมของ NaCl กับ CaCl_2 พบว่าจะได้ซีโอไลต์ชนิดต่างๆ เช่น จิสมอนไดต์ (gismondine) เป็นต้น

หลังจากนั้นในปีค.ศ. 1999 Christidis และ คณะ [26] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาระหว่างเพอร์ไลต์ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิระหว่าง 100 – 400 องศาเซลเซียส และได้รายงานผลว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเพอร์ไลต์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ อุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในขณะที่อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวจะไม่มีผลมากนัก

ในปีพ.ศ. 2545 เกศณีย์ อมดวง [27] ได้ทดลองเตรียมซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 จากเพอร์ไลต์ที่ผ่านการกำจัดเหล็กมาแล้วกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้เตตระโพรพิลแอมโมเนียมโบรไมด์ เตตระเอซิลแอมโมเนียมโบรไมด์ และเอซิลีนไดแอมมีนเป็นสารโครงสร้างเพื่อช่วยในการตกผลึกของซีโอไลต์ และพบว่าเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาให้มิลักษณะพรุนเบา ก่อนมาทำการสังเคราะห์นั้น จะสามารถเปลี่ยนไปเป็นซีโอไลต์ได้ในปริมาณที่มากกว่าซีโอไลต์ที่ไม่ได้ผ่านการเผา

2.2.3 ดินขาว

2.2.3.1 ข้อมูลพื้นฐานของดินขาว

ดินขาว เป็นแร่ชนิดหนึ่งเรียกว่า เคโอลิไนต์ (kaolinite) จัดอยู่ในกลุ่มพวกแร่ดิน (clay) โดยจีนเป็นชาติแรกที่พบแร่ชนิดนี้ที่บริเวณแถบภูเขาเคาลิง (kauling) จึงมีชื่อเรียกดินขาวอีกชื่อหนึ่งว่าเคโอลิน (kaolin) หรือไชนาเคลย์ (china clay) แหล่งของดินขาวที่พบโดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบคือแบบแรกมักพบบริเวณที่เป็นภูเขาหรือที่ราบซึ่งเดิมเป็นแหล่งแร่หินฟันม้า (feldspar) โดยเมื่อแร่หินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศ ก็จะเหลือเป็นดินขาว ส่วนแหล่งแบบที่สองคือบริเวณที่ราบลุ่มซึ่งเกิดจากการพัดพาของกระแสน้ำจากแหล่งต้นกำเนิดไปสะสมในบริเวณที่ราบลุ่มนั้น ในประเทศไทยได้พบแหล่งแร่ดินขาวในหลายจังหวัด เช่น ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี สุราษฎร์ธานี และระนอง เป็นต้น [28]

ดินขาวมีสูตรเคมีพื้นฐานคือ $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ ซึ่งลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปของดินขาวจะมีสีขาวหรือสีจาง ๆ และจะมีลักษณะของผลึกจัดเรียงกันเป็นชั้น ๆ (รูป 2.7(ก)) และมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยม (รูป 2.7(ข)) มีขนาดตั้งแต่ 0.05 – 10 ไมครอน และมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 0.5 ไมครอน ดินขาวที่บริสุทธิ์จะมีปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีคือ อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 39.5 โดยน้ำหนัก, ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 46.5 โดยน้ำหนัก และน้ำร้อยละ 14 โดยปริมาตร แต่อย่างไรก็ตาม

ตามดินขาวทั่วไปมักจะมีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ อีก เช่น เหล็ก แคลเซียม โพแทสเซียม โซเดียม ควอตซ์ และเฟลด์สปาร์ เป็นต้น



(ก)

(ข)

รูป 2.7 ภาพถ่าย SEM ของดินขาว โดย (ก) รูปร่างที่ซ้อนกันเป็นชั้น ๆ [29] และ (ข) รูปร่างที่มีลักษณะเป็นหกเหลี่ยม [30]

2.2.3.2 การใช้ประโยชน์จากดินขาว

ดินขาวจัดเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจสูงมากเพราะสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายประเภททั้งนี้เนื่องจากมีสีขาว มีความทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และมีความสามารถในการกลบสีอื่นได้ดี มีความละเอียดมาก ไม่ก่อให้เกิดการขัดสีกับเครื่องจักร มีค่าการนำไฟฟ้าและความร้อนต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีราคาถูกกว่าวัตถุดิบอื่น ๆ ที่มีสมบัติใกล้เคียงกัน อุตสาหกรรมที่ใช้ดินขาวเป็นวัตถุดิบที่อยู่หลายประเภท [31] ได้แก่

- 1) อุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ดินขาวใน 2 ลักษณะคือ ใช้เป็นตัวเติม (filler) เพื่อเพิ่มความทึบแสง เพิ่มน้ำหนักของกระดาษ เพิ่มความเรียบและใช้ทดแทนเยื่อกระดาษที่มีราคาแพงกว่า นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเคลือบ (coating) เพื่อปรับปรุงคุณภาพในการพิมพ์
- 2) อุตสาหกรรมสีน้ำหรือสีน้ำมัน ดินขาวเป็นที่นิยมใช้เนื่องจากมีคุณสมบัติในการกลบสีได้ดี จึงได้มีการนำมาใช้เป็นตัวเติมแทนไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีราคาแพง
- 3) อุตสาหกรรมยาง ดินขาวถูกนำมาใช้เป็นตัวเติม และตัวขยาย (extender) ทั้งในอุตสาหกรรมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ เพื่อช่วงเสริมแรงลดความเปราะ เพิ่มประสิทธิภาพของยาง ทำให้ยางมีความทนทานต่อการขัดสี

นอกจากนี้ดินขาวยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้อีก เช่น ในอุตสาหกรรมยาจะใช้ดินขาวผสมเป็นยารักษาโรคกระเพาะและลำไส้ เนื่องจากดินขาวสามารถดูดซับเชื้อโรคและสิ่งมีพิษได้ หรือในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางใช้ดินขาวผสมเพื่อให้เกิดความละเอียดนุ่มเนียนและสามารถกลมกลืนกับสารเคมีในเครื่องสำอางได้เป็นอย่างดี เป็นต้น

2.2.3.3 การศึกษาปฏิกิริยาเคมีของดินขาวกับค่าง

ดินขาวสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลายดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ส่งผลให้มีผู้ให้ความสนใจในการศึกษาปฏิกิริยาเคมีของดินขาวกับค่างน้อยมาก อย่างไรก็ตามก็ยังมีการศึกษาปฏิกิริยาเคมีของดินขาวกับค่างอยู่บ้างดังเช่น Akolekar และคณะ [32] ได้ศึกษาวิธีการเปลี่ยนดินขาวให้กลายเป็นซีโอไลต์ที่มีปริมาณซิลิกาต่ำ โดยการนำดินขาวมาผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 973 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าจะได้ซีโอไลต์ชนิด X ต่อมา Chandrasekhar และ Pramada [33] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาของดินขาวภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล และพบว่าจะได้ซีโอไลต์ชนิด A และ X แต่ยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังพบอีกว่าอัตราการเพิ่มหรือลดลงของอุณหภูมิจะมีผลต่อการเกิดซีโอไลต์ทั้งสองชนิด

จากการค้นคว้าเอกสาร และแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องนั้นพบว่ายังมีรายงานผลการศึกษาปฏิกิริยาของเถ้าลอยกับค่าง โดยการเติมวัตถุดิบชนิดอื่นลงไปปรากฏอยู่บ้าง เช่น ในปี พ.ศ. 2543 เมตตา เจริญพานิช [34] ได้ทำการทดลองสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด ZSM-5 ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้เถ้าลอยทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วเติมเถ้าแกลบลงไปในปฏิกิริยา ซึ่งจะใช้ซิลิกาจากแกลบเป็นตัวปรับอัตราส่วนของซิลิกาต่ออลูมินา ต่อมาในปี พ.ศ. 2545 ภัทพร โล่ห์สุนทร [35] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาภายใต้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มเติม โดยใช้เพอร์ไลต์ทำปฏิกิริยากับเถ้าแกลบ ซึ่งพบว่าสามารถเกิดซีโอไลต์ชนิด Analcime, Na-P และ Sodalite Octahydrate ได้

ในขณะที่เกี่ยวกับการศึกษาปฏิกิริยาของเถ้าลอยกับค่าง โดยการเติมเพอร์ไลต์หรือดินขาวลงไปด้วยนั้นยังไม่มีปรากฏ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สนใจที่จะทำการศึกษาปฏิกิริยาดังกล่าว เพื่อเป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในการศึกษาปฏิกิริยาจากวัตถุดิบราคาถูกลงภายในประเทศ และเป็นการประเมินความเป็นไปได้ในการศึกษาเพื่อการนำไปใช้ได้จริงต่อไป