

วัสดุจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer Material)

New Cement Binder

เรียบเรียงโดย ศักรินทร์ เหลืองกำจร

วิศวกร นวัตกรรมคอนกรีตและบริการ

ในปัจจุบัน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุส่วนประกอบที่สำคัญของคอนกรีตและมอร์ตาร์ ซึ่งได้มาจากกระบวนการเผาสารซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และ แคลเซียมออกไซด์เป็นหลัก (CaO) โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิ ประมาณ 1400 – 1600 องศาเซลเซียส แล้วนำมาบดให้ละเอียดตามความต้องการ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้พลังงานสูงมากในกระบวนการผลิต เริ่มตั้งแต่การระเบิดวัสดุต้นแหล่ง การย่อย การลำเลียง การเผา ตลอดจนการบดให้ละเอียด

หนึ่งผลกระทบจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่มีผลทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบดังกล่าวจึงมีการนำวัสดุทดแทนมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งได้แก่ วัสดุปอซโซลาน ที่เป็นผลพลอยได้ (By product) จากอุตสาหกรรมต่างๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และยังสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตและมอร์ตาร์ให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย



Fig. 1 โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

อย่างไรก็ตามนักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาวิจัยค้นคว้าเพื่อที่จะหาวัสดุทดแทนที่จะนำมาใช้แทนซีเมนต์ให้มากที่สุด โดยมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นหรือไม่แตกต่างไปจากเดิม และเนื่องจากวัสดุปอซโซลานต่าง ๆ นั้นไม่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานด้วยตัวมันเองจึงนำมาใช้ทดแทนซีเมนต์ได้แค่เพียงบางส่วนเท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่าจีโอโพลิเมอร์

1. จีโอโพลิเมอร์คืออะไร (What is Geopolymer ?)

จีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) เป็นวัสดุผสมอลูมิโนซิลิเกตที่มีโครงสร้าง 3 มิติแบบอสัณฐาน (Amorphous) หรือเรียกอีกอย่างว่า สารประกอบจีโอโพลิเมอร์อินทรีย์ ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1950 โดย Dr. Glukhovsky ชาวสหภาพโซเวียต หลังจากนั้นต่อมาไม่นาน ในปี ค.ศ. 1970 นิยามของจีโอโพลิเมอร์ ถูกกำหนดขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Prof. Joseph Davidovits นักวิทยาศาสตร์เคมีชาวฝรั่งเศส ได้ให้นิยามของจีโอโพลิเมอร์ดังนี้

จีโอโพลิเมอร์ เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดหนึ่งที่มีส่วนผสมของแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบเกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยส่วนผสมทางเคมีของแร่ธาตุนั้นจะอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งมีองค์ประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นหลัก โดยจะถูกทำให้แตกตัวด้วยอัลคาไลน์หรือสารละลายที่เป็นด่างสูง ซึ่งได้แก่ สารละลาย Na_2SiO_3 หรือ KOH แล้วใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถเกิดการก่อตัวแข็งตัวและให้กำลังอัดได้ โดยโครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์นี้จะแตกต่างจากโครงสร้างของการเกิดการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์อย่างสิ้นเชิง

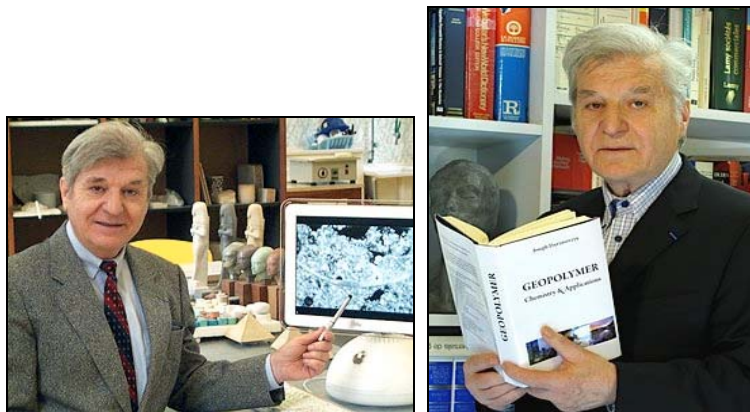


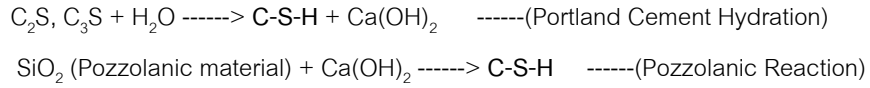
Fig. 2 Prof. Dr Joseph Davidovits นักวิทยาศาสตร์ผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุ Geopolymer

เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุก่อสร้างต่างๆ จะทำให้เราได้วัสดุประสานที่สามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถึง 100 % เลยทีเดียว และในอนาคตข้างหน้า คาดว่าวัสดุจีโอโพลิเมอร์จะมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผลิตคอนกรีตและวัสดุก่อสร้างต่างๆ

2. ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์กับวัสดุจีโอโพลิเมอร์ (Portland cement Hydration VS Geopolymerization)

ลักษณะโครงสร้างของ Hydration ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และ Geopolymer นั้นแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือโครงสร้างไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะประกอบด้วยสารเชื่อมประสานหลักที่เรียกว่า คัลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานและให้กำลังอัดกับคอนกรีต ซีเมนต์เพสหรือมอร์ตาร์ที่แข็งตัวแล้ว

Fig. 3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปฏิกิริยาปอซโซลานของวัสดุปอซโซลาน



โดยเมื่อมีการนำวัสดุปอซโซลาน (ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ SiO_2) มาใช้ร่วมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่สองเกิดขึ้นซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolan Reaction) ซึ่งจากปฏิกิริยานี้เองจะส่งผลให้มีผลผลิตที่เป็นตัวเชื่อมประสานเกิดมากขึ้น (CSH) จึงส่งผลให้คอนกรีตหรือซีเมนต์พิเศษมีโครงสร้างที่หนาแน่นและมีความทนทานมากขึ้น

จีโอโพลิเมอร์มีองค์ประกอบทางโครงสร้างแตกต่างจากไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของวัสดุและการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมือนกัน โดยจีโอโพลิเมอร์มีโครงสร้างหลักที่เกิดจากองค์ประกอบของ ซิลิกา (Si), อะลูมินา (Al) และ ออกซิเจน (O) เกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยใช้สารละลายที่มีความเป็นด่างสูงในการทำให้สารเหล่านี้แตกตัวออกมาทำปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็น Polymer Chain เกิดขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วจะให้ความร้อนในการเร่งปฏิกิริยาควบคู่กันไปด้วย

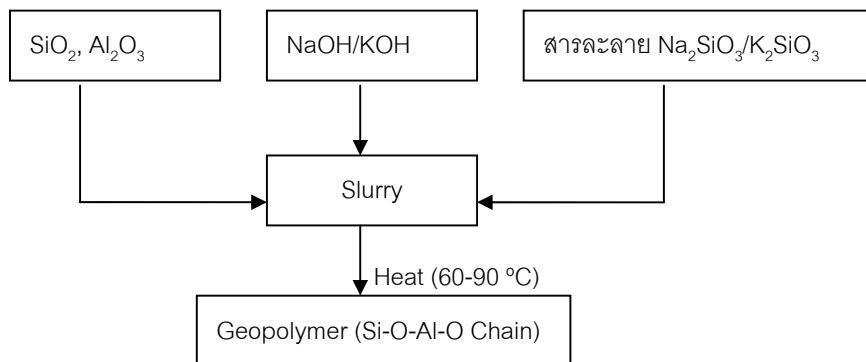


Fig.4 การเกิดสารจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymerization)

โดยวัสดุจีโอโพลิเมอร์ที่ได้นั้นจะมีโครงสร้างของโมเลกุลลูกโซ่แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ Si : Al ของสารตั้งต้น โครงสร้างโมเลกุลของจีโอโพลิเมอร์แสดงได้ดังสมการ



Remark** M คือ ธาตุอัลคาไลน์, - คือ การยึดเกาะพันธะ, Z คือ จำนวนโมเลกุล, n คือ หน่วยซ้ำของโมเลกุลลูกโซ่ และ w คือ จำนวนโมเลกุลของน้ำ

สังเกตได้ว่าวัสดุ Geopolymer จะต้องใช้ความร้อนในการเร่งการเกิดปฏิกิริยา Geopolymerization ซึ่งในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์สามารถวิจัยค้นคว้าในการผสมวัสดุ Geopolymer ให้สามารถทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ได้ในอุณหภูมิปกติ (Ambient Temperature) โดยไม่ต้องใช้ความร้อนในการช่วยเร่งปฏิกิริยาอีกต่อไป

เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ Portland Cement กับ ปฏิกิริยา Geopolymerization

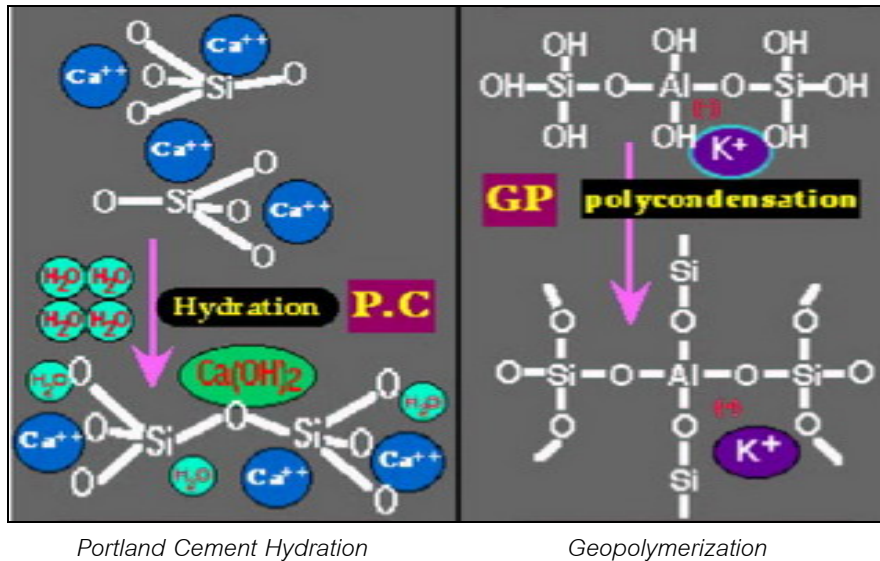
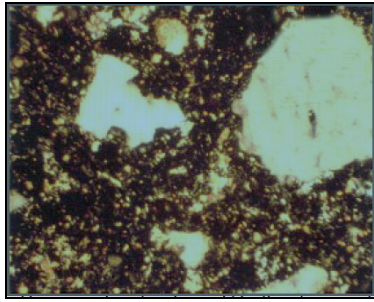


Fig. 5 Comparison of Portland Cement Hydration and Geopolymerization

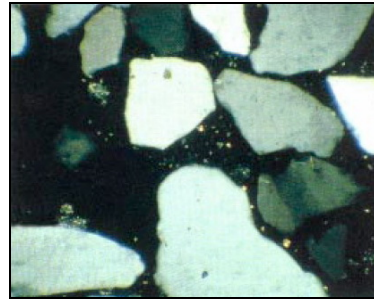
จะเห็นได้ว่าวัสดุที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยา Geopolymerization ได้แก่ วัสดุที่มีองค์ประกอบหลักเป็น SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่ง วัสดุดังกล่าวพบได้มากใน วัสดุปอชโซลานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน อาทิเช่น เถ้าถ่านหิน หรือ Fly Ash เถ้าแกลบ (RHA) หรือตลอดจน Metakaolin ดังนั้นวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับจีโอโพลิเมอร์ เทคโนโลยี ซึ่งเราจะได้วัสดุประสานชนิดใหม่ที่ไม่ต้องใช้ซีเมนต์อีกต่อไป และยังมีราคาถูกกว่าวัสดุซีเมนต์อีกด้วย

Chemical Composition	Portland Cement	Pulverized Fuel Ash	Rice Hush Ash	Metakaolin
* SiO_2	21.70%	42.58%	76.19%	52.86%
* Al_2O_3	5.04%	24.79%	0.89%	42.79%
Fe_2O_3	3.43%	10.72%	0.74%	0.50%
CaO	64.64%	12.47%	1.82%	0.03%

Fig. 6 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุต่างๆ



Portland Cement Mortar Structure



Geopolymer Mortar Structure

Fig. 7 แสดงภาพขยายขนาดไมโครของลักษณะโครงสร้างของมอร์ตาร์ เปรียบเทียบกับ Geopolymer Mortar

ซึ่งจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของ Portland Cement Mortar เปรียบเทียบกับ Geopolymer Mortar พบว่าลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของ Geopolymer Mortar จะมีลักษณะโครงสร้างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) ทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า Portland Cement Mortar ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างที่ค่อนข้างจะร่วน (Granular) และไม่มีความแน่นในการอัดตัวกัน

3. ผลผลิตจากวัสดุโพลิเมอร์ (Geopolymer Products)

Geopolymer Technology สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การนำไปใช้ในงานก่อสร้างหรืองานคอนกรีตและมอร์ตาร์ งานตกแต่ง ตลอดจนงานอุตสาหกรรมไฟฟ้า เครื่องบิน ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านนี้เริ่มนำมาใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศแล้ว

- งานคอนกรีตและมอร์ตาร์ซ่อมผิวทางหรือซ่อมโครงสร้างต่างๆ เนื่องจากวัสดุ Geopolymer บางตัวสามารถให้กำลังอัดได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งสามารถใช้งานได้ภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมงเลยทีเดียว



Fig. 8 แสดงการนำไปใช้งานโครงสร้างคอนกรีตและงานซ่อมถนนของวัสดุ Geopolymer

- การนำไปใช้ในงานอื่นๆ เช่น การทำอิฐทนไฟ การทำวัสดุตกแต่งเพื่อความสวยงาม การนำไปใช้กับอุตสาหกรรมเครื่องบิน และอุตสาหกรรมไฟฟ้า เป็นต้น



Fig.9 อิฐทนไฟซึ่งทำมาจาก metakaolin-geopolymer



Fig.10 นำไปประยุกต์ใช้ในการทำพิวส์ไฟฟ้า



Fig.11 ทำวัสดุตกแต่งเพื่อความสวยงาม



Fig.12 ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องบินโดยประยุกต์ใช้กับคาร์บอนไฟเบอร์ ในการทำตัวถังเครื่องบิน

อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตและมอร์ตาร์ในประเทศไทยนั้นยังไม่นิยมแพร่หลาย เนื่องจากเทคโนโลยีนี้ยังถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ยังใหม่อยู่สำหรับคนไทยและยังอยู่ในช่วงพัฒนาเพื่อนำมาใช้ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยเริ่มให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีนี้มากขึ้น โดยคาดว่า Geopolymer จะเข้ามาแทนที่วัสดุก่อสร้างอย่าง ซีเมนต์และคอนกรีตอีกในอนาคตอีกด้วย

Reference

- 1) www.Geopolymer.org
- 2) 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications.
Market Trends and Potential Breakthroughs, Prof. Dr. Joseph Davidovits,
Geopolymer Institute.
- 3) Development and Properties of Low-Calcium Fly Ash-Based Geopolymer Concrete,
Dr. Hardjito and B. V. Rangan, Curtin University of Technology
- 4) From Ancient Concrete to Geopolymer, Geopolymer Institute.
- 5) วัสดุจีโอโพลิเมอร์ ดร. อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์, โยธาสาร, กันยายน-ตุลาคม 2549