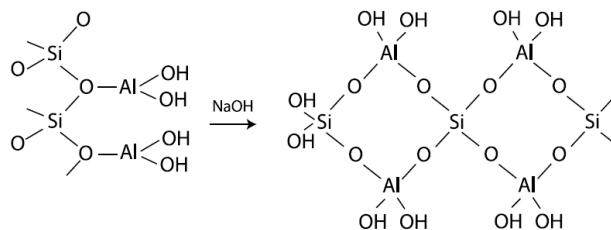


การพัฒนาวัสดุจีโอโพลิเมอร์

รองศาสตราจารย์ ดร.อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

วัสดุจีโอโพลิเมอร์ได้มีการพัฒนามาเป็นระยะเวลามากกว่า 10 ปี เพื่อทดแทนการใช้งานวัสดุประสานจากปูนซีเมนต์ และหันมาสนใจปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 1 ตัน เช่นกัน [1] นอกจากนี้ วัสดุก่อสร้างจากปูนซีเมนต์หรือคอนกรีตในบางสภาวะมีอายุการใช้งานสั้นและเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง ปัญหาเรื่องความคงทนของวัสดุก่อสร้างจากปูนซีเมนต์อาจเกิดจากการหล่อ หรือการบ่มที่ไม่เหมาะสม แต่สาเหตุหลักเกิดจากสมบัติของวัสดุ เช่นการมีน้ำหรือองค์ประกอบที่มีผลเสียต่อวัสดุ (Aggressive elements) ในส่วนผสม ทำให้เกิดคาร์บอนเนชั่น และปัญหาเรื่องการกัดกร่อน นอกจากนี้การมีสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium hydroxide) ในปริมาณสูงในคอนกรีตทำให้เกิดการกัดกร่อนในสภาวะกรดได้ง่าย ดังนั้น จึงมีการพัฒนาวัสดุประสานใหม่เพื่อทดแทนการใช้งานปูนซีเมนต์ และเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับงานก่อสร้าง ซึ่งเป็นวัสดุประสานจากปฏิกิริยาอัลคาไล (Alkali-activated binder)

ในปี ค.ศ. 1972 Davidovits วิศวกรเคมีชาวฝรั่งเศส ได้พัฒนาวัสดุโพลิเมอร์อนินทรีย์ (Inorganic polymer) โดยทำปฏิกิริยาระหว่างดินเกาลินหรือดินขาว (สารประกอบอะลูมิเนียมซิลิเกต) กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่อุณหภูมิ 100 – 150 °C และเกิดปฏิกิริยาโพลิคอนเดนเซชัน (Polycondensation) ดังแสดงในรูปที่ 1

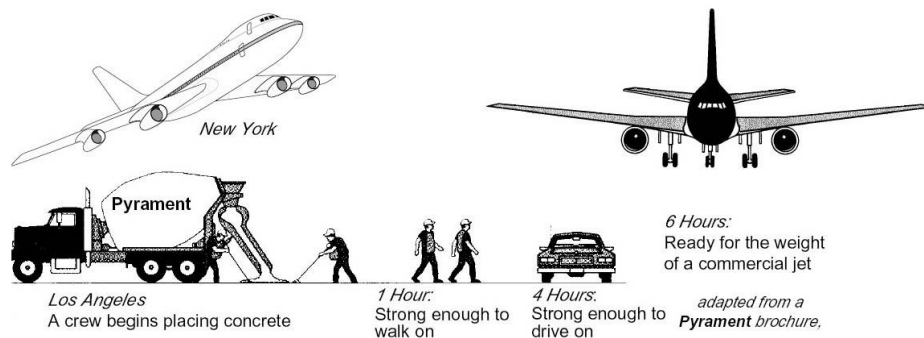


รูปที่ 1 การเกิดปฏิกิริยาโพลิคอนเดนเซชันของดินเกาลิน Si₂O₅-Al(OH)₄ ในสารอัลคาไล [2]

ต่อมา Davidovits ได้พัฒนาวัสดุอะลูมิเนียมซิลิเกตโครงสร้าง 3 มิติ จากสารที่มีความเป็นอสัณฐานเป็นสารกึ่งผลึก ในปี ค.ศ. 1979 จึงได้นิยามชื่อเป็นภาษาฝรั่งเศสว่า “Géopolymères” หรือภาษาอังกฤษว่า “Geopolymer” อ่านว่า “จีโอโพลิเมอร์” มีความหมายว่าโพลิเมอร์เชิงแร่ที่ได้จากวิธีเคมีธรณี (Geochemistry) หรือการสังเคราะห์ทางธรณีวิทยา (Geosynthesis) เนื่องจากสังเคราะห์ครั้งแรกจากดินเกาลิน [2]

การใช้งานจีโอโพลิเมอร์ครั้งแรกมีขึ้นในช่วงปี ค.ศ. 1973 – 1976 โดยใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เช่นแผ่นฉนวนทนไฟที่ใช้จีโอโพลิเมอร์เคลือบบนผิวแผ่นไม้ทั้ง 2 ด้าน อย่างไรก็ตาม สมบัติของวัสดุยังไม่ดีเท่าที่ควร ต่อมาในปี ค.ศ. 1978 – 1980 ได้มีการพัฒนาวัสดุประสานจีโอโพลิเมอร์ชนิดของเหลวจากเมตาเกาลิน

(Metakaolin) หรือดินขาวเผา โดยใช้สารละลายอัลคาไลซิลิเกตเพื่อผลิตเป็นวัสดุทนไฟทดแทนสารเรซินอินทรีย์ ซึ่งพบว่าจีโอโพลิเมอร์ทนไฟได้ดี ในปี ค.ศ. 1984 ได้มีการพัฒนาวัสดุผสมระหว่างจีโอโพลิเมอร์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้ผลิตผลิตภัณฑ์ชื่อ Pyrament® ที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 80% และสารจีโอโพลิเมอร์ 20% และให้ค่ากำลังอัดช่วงต้นที่สูงอย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับเป็นวัสดุสำหรับงานซ่อมแซมลานบินคอนกรีตที่พร้อมรองรับการขึ้นลงของเครื่องบินภายในเวลา 4 – 6 ชั่วโมง ทางเดินในอุตสาหกรรมและถนนทางหลวง ซึ่งจีโอโพลิเมอร์ซีเมนต์สามารถให้ค่ากำลังอัด 20 เมกะปาสคาล ภายในเวลา 4 ชั่วโมง ในขณะที่คอนกรีตธรรมดาใช้เวลาหลายวัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การใช้งานจีโอโพลิเมอร์วัสดุสำหรับงานซ่อมแซมลานบินคอนกรีต [3]

ในปี ค.ศ. 1987 ได้เริ่มมีการพัฒนาจีโอโพลิเมอร์ในงานด้านสิ่งแวดล้อม โดยในประเทศอุตสาหกรรมได้ผสมของเสียมีพิษ พวกละหะหนักและกากกัมมันตรังสี (Radioactive waste) ลงในวัสดุจีโอโพลิเมอร์เพื่อกักเก็บของเสียดังกล่าวไม่ให้ถูกชะลงในสิ่งแวดล้อม และสามารถลดค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางเทคโนโลยีคอนกรีตและวิธีนึ่งให้เป็นแก้ว (Vitrification) ที่อุณหภูมิสูง

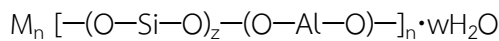
จีโอโพลิเมอร์ได้รับความสนใจมากขึ้นเมื่อมีประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีสาเหตุจากปรากฏการณ์เรือนกระจก และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สู่อากาศของอุตสาหกรรมต่างๆ โดยอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมต้นๆ ที่ผลิตก๊าซดังกล่าว จากการวิจัยของ Davidovits รายงานว่าวัสดุประสานจีโอโพลิเมอร์จากดินเกาลิน 1 ตัน ทำให้เกิดก๊าซ CO_2 0.180 ตัน (จากการเผาเชื้อเพลิง) ในขณะที่การผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตัน ทำให้ก๊าซ CO_2 1 ตัน นั่นคือจีโอโพลิเมอร์จากดินเกาลินปลดปล่อย CO_2 น้อยกว่าการผลิตปูนซีเมนต์ประมาณ 6 เท่า ส่วนวัสดุจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอย 1 ตัน ปลดปล่อยก๊าซ CO_2 น้อยกว่าการผลิตปูนซีเมนต์ประมาณ 9 เท่า [2]

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เริ่มมีงานวิจัยเกี่ยวกับจีโอโพลิเมอร์มากขึ้น โดยการนำเถ้าทิ้งต่างๆ มาเป็นสารตั้งต้นในการผลิตนอกเหนือจากเมตาเกาลิน [4] เช่น แร่ธาตุพวกอะลูมิเนียมซิลิเกต เถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงเหล็ก เถ้าแกลบ โดยเถ้าลอยมีการนำมาศึกษาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีสมบัติปอซโซลานที่มีซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบ อีกทั้งมีส่วนที่เป็นผลึกและอสัณฐานในอนุภาค ส่วนที่เป็นอสัณฐานเป็นส่วนทำปฏิกิริยาเกิดเจลจีโอโพลิเมอร์เชื่อมส่วนที่เป็นผลึกที่หักงอตัวได้เป็นวัสดุกึ่งผลึก โดยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยให้กำลังอัดที่สูงในระยะเวลาอันสั้นและมีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม

1.1 นิยาม

จีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุประสานพวกอะลูมิโนซิลิเกตจากแร่ธาตุในธรรมชาติ สามารถสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 °C เริ่มแรกสังเคราะห์ที่อุณหภูมิในช่วง 80 – 120 °C ด้วยเทคนิคเดียวกันกับที่ใช้สังเคราะห์เรซินอินทรีย์พวกเทอร์โมเซต (พลาสติกที่ไม่สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้) วัสดุชนิดนี้สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1,200 °C เป็นระยะเวลาสั้น จึงเรียกว่าเป็นวัสดุเหมือนเซรามิกที่เตรียมที่อุณหภูมิต่ำ [2]

โครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์เป็นสายโซ่โพลิไซอะเลต (Si-O-Al-O) ตามสูตร



เมื่อ M คือโลหะอัลคาไล

n คือจำนวนหน่วยโมเลกุลที่ต่อกันเป็นสายโซ่

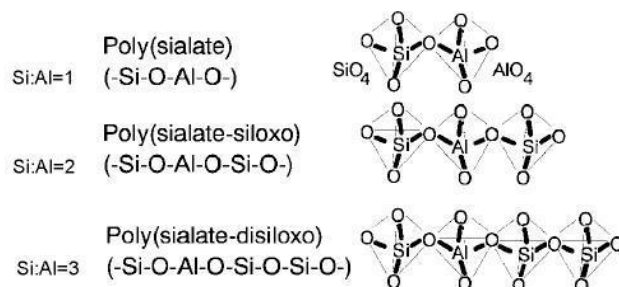
z คือตัวเลข 1 2 หรือ 3

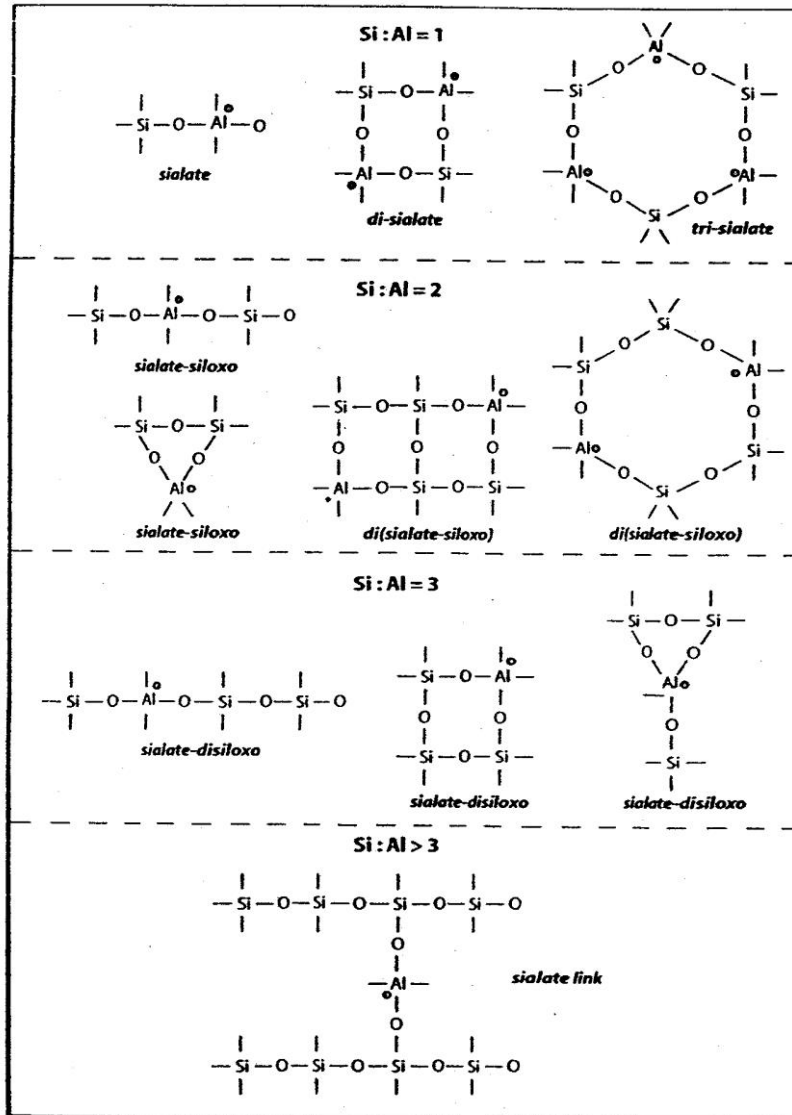
w คือจำนวนโมเลกุลของน้ำ

หาก z มีค่าเป็น 1 ได้สารโพลิไซอะเลต z มีค่าเป็น 2 ได้สารโพลิไซอะเลตไซลอกโซ หรือ z มีค่าเป็น 3 ได้สารโพลิไซอะเลต-ไดไซลอกโซ โครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์พวกสายโซ่โพลิไซอะเลต ดังแสดงในรูปที่ 3

โดยอัตราส่วนของระหว่าง Si ต่อ Al ระบุถึงสมบัติและการใช้งานของจีโอโพลิเมอร์ ที่อัตราส่วนต่ำ (1 2 และ 3) ทำให้ได้โครงสร้างแข็ง 3 มิติ เช่น ที่อัตราส่วน 1:1 เหมาะสำหรับงานอิฐ อัตราส่วน 2:1 เหมาะสำหรับงานซีเมนต์และคอนกรีต อัตราส่วน 3:1 เหมาะสำหรับผลิตสารประกอบไฟเบอร์กลาสและเครื่องมือที่ทนอุณหภูมิในช่วง 200 – 1,000 °C หากอัตราส่วนมากกว่า 15:1 ทำให้ได้วัสดุที่มีสมบัติไฟเบอร์คอมโพสิตที่ทนไฟ [5]

ปฏิกิริยาทางเคมีของจีโอโพลิเมอร์คล้ายกับการสังเคราะห์ซีโอไลต์ (Zeolite) แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีองค์ประกอบทางเคมีและโครงสร้างที่แตกต่างกัน [5,6] ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์ซีโอไลต์และจีโอโพลิเมอร์ การสังเคราะห์ซีโอไลต์จะใช้อุณหภูมิสูงกว่าจีโอโพลิเมอร์ ใช้ปริมาณสารละลายเบสมาก และให้โครงสร้างที่เป็นผลึก อีกทั้งให้สมบัติเชิงกล เช่นกำลังอัดต่ำกว่า





รูปที่ 3 โครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์พวกสายโซ่โพลิไซอะเลต [2]

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการสังเคราะห์ซีโอไลต์และจีโอโพลิเมอร์ [5,6]

	การสังเคราะห์ซีโอไลต์	ปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์
สารตั้งต้น	สารละลายเชิงซ้อน Al + สารละลายเชิงซ้อน Si	วัสดุที่มี Al-Si เป็นส่วนประกอบ + สารละลายอัลคาไล + สารละลายซิลิเกต
ปฏิกิริยาช่วงเริ่มต้น	การเกิดนิวเคลียส (nucleation) ใน สารละลาย	การชะวัสดุที่มี Al_2O_3 และ SiO_2 เป็น ส่วนประกอบออกมาสู่เฟส
ปฏิกิริยาช่วงปลาย	การโตขึ้นของผลึกในสารละลาย	การแพร่และควบแน่นของสารเชิงซ้อนของ Al และ Si ที่ชะออกมาในเฟส
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	90 - 300 °C	อุณหภูมิปกติ (Ambient)
ช่วง pH	6 - 11	14
ผลิตภัณฑ์ที่ได้	ซีโอไลต์ที่เป็นผลึก	ของผสมของเจลและวัสดุที่มีธาตุ Al และ Si เป็นส่วนประกอบ
องค์ประกอบทางเคมี	มีสูตรปริมาณสารสัมพันธ์ที่แน่นอน	มีสูตรปริมาณสารสัมพันธ์ที่ไม่แน่นอน
โครงสร้าง	ผลึกที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว (Unique crystal)	ของผสมแบบบอสันฐานจนถึงกิ่งผลึกและ สารตั้งต้นผลึกของอะลูมิเนียมซิลิเกต
ความแข็งแรงเชิงกล	ต่ำ	สูง

1.2 สมบัติของจีโอโพลิเมอร์

วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Environmentally friendly materials) : การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทุก 1 ตัน จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ 1 ตัน หรือประมาณ 5 – 8% ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโลก ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) และเป็นสาเหตุในการเกิดปรากฏการณ์โลกร้อน (Global warming) จากการผลิตปูนซีเมนต์ จีโอโพลิเมอร์มีสมบัติคล้ายวัสดุประสานจากปูนซีเมนต์ แต่มีปฏิกิริยาและโครงสร้างทางเคมีต่างกัน การผลิตจีโอโพลิเมอร์ไม่ต้องการความร้อนที่สูงในการเผาหินปูนเหมือนการผลิตปูนซีเมนต์ สารตั้งต้นมักเป็นของเสียอุตสาหกรรมที่มีซิลิกาและอะลูมินา ออสันฐานเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ้ำจากการเผาถ่านหิน (ทั้งถ้ำลอยและถ้ำก้นเตา) ถ้ำแกลบ และถ้ำชีวมวล เป็นต้น เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากถ้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตเป็นวัสดุประสานชนิดใหม่ และลดการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้เป็นอย่างดี [7]

ค่ากำลังอัด (Compressive strength) : จีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุประสานพวกอะลูมิเนียมซิลิเกต ที่ให้สมบัติทางด้านกำลังที่สูงในระยะเวลายานสั้นหากใช้ความร้อนเร่งปฏิกิริยา แม้ว่าจีโอโพลิเมอร์ต้องการความร้อนในการเร่งปฏิกิริยาให้เกิดสมบูรณ์ แต่อุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงมากนัก คือที่ประมาณ 45 - 70 °C จีโอโพลิเมอร์สามารถใช้การผลิตเช่นเดียวกับคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast concrete) เช่น เสา คาน ผนัง และพื้นสำเร็จรูป ซึ่งเหมาะสมกับงานที่ต้องการค่ากำลังอัดที่สูงในระยะเวลายานสั้น ในปัจจุบันคอนกรีตหล่อสำเร็จเป็นที่ต้องการของตลาดมากเนื่องมาจากสะดวกและใช้เวลาอันรวดเร็วในการทำงาน ส่วนการบ่มที่อุณหภูมิห้องทำให้จีโอโพลิเมอร์พัฒนากำลังช้า เมื่อเทียบกับการบ่มด้วยความร้อน [8] สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศในเขตอบอุ่นสามารถใช้ความร้อนช่วงเวลากลางวันบ่มจีโอโพลิเมอร์ได้

ความคงทน (Durability) : จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยที่มีส่วนผสมของซิลิกาและปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ ซึ่งมีความคงทนในสารละลายกรดและเกลือมากกว่าปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ เนื่องจากปูนซีเมนต์มอร์ตาร์มีปริมาณแคลเซียมในส่วนผสมมากและจึงไม่คงทนต่อสารละลายกรด [9,10] จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมสูงมักประสบปัญหาการขยายตัวในสารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เนื่องจากการเกิดเอทริงไกต์ (Ettringite) อย่างไรก็ตาม จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยมีความคงทนในสารละลายกรดและเบสได้ดีกว่าปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างอะลูมิโนซิลิเกตที่แข็งแรง

การตรึงของเสียที่มีพิษ (Toxic waste solidification) : จีโอโพลิเมอร์มีความสามารถในการตรึงของเสียที่มีพิษ [11-13] เนื่องจากโครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์มีลักษณะที่คล้ายกับซีโอไลต์ (Zeolite) และเลขโคออร์ดิเนชันของอะลูมิเนียมมีความสามารถในการตรึงโลหะหนัก เช่น $Cu(II)$, $Cd(II)$, $Cr(III)$, $Pb(II)$ ได้ดี [13] นอกจากนี้โครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์มีความแข็งแรง สามารถกักเก็บของเสียทางเคมีพวกออลิโชนิกและกากนิวเคลียร์ไม่ให้ถูกชะออกมาสู่สิ่งแวดล้อมได้ โดยของเสียที่มีพิษถูกกักอย่างหนาแน่นภายในโครงสร้าง 3 มิติของจีโอโพลิเมอร์

การทนไฟ (Fire resistance) : จีโอโพลิเมอร์คือสารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต จึงมีสมบัติในการต้านทานเปลวไฟที่ดี [14] โดยสมบัติดังกล่าวขึ้นกับสารตั้งต้นและสารละลายเบสที่ใช้ จีโอโพลิเมอร์ที่มีอัตราส่วนอะตอม Si:Al สูงกว่า 1.5 หรือมีปริมาณ SiO_2 ในส่วนผสมมากจะทนไฟได้ดี เมื่อทดสอบกับเปลวไฟอุณหภูมิประมาณ $800 - 1,000^\circ C$

1.3 การประยุกต์ใช้งานจีโอโพลิเมอร์

งานซ่อมแซม (Repair work) : งานซ่อมแซมเป็นงานที่ต้องการวัสดุซ่อมแซมที่ก่อตัวรวดเร็วและค่ากำลังอัดที่สูงในเวลาอันสั้น ซึ่งเห็นได้ว่าจีโอโพลิเมอร์มีความเหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุซ่อมแซม ระยะเวลาการก่อตัวมีความจำเป็นขึ้นอยู่กับประเภทการใช้งาน เช่นบริเวณริมแม่น้ำหรือชายฝั่งทะเลที่ต้องการการก่อตัวที่เร็วของวัสดุ โดยการใช้สารผสมเพิ่มในส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์สามารถหน่วง หรือเร่งการก่อตัวได้ [15] นอกจากนี้ จีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยสามารถเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างแท่งเหล็กและคอนกรีตเจาะรูได้ดี และถูกเสนอแนะสำหรับงานซ่อมแซมคอนกรีต [16]

อิฐจีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer brick) : จีโอโพลิเมอร์สามารถเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีต้นทุนการผลิตต่ำ ให้กำลังที่สูงแม้ว่าไม่มีการบ่มร้อน มีความเสถียรในน้ำ สามารถใช้ในงานไม่ต้องการการรับแรงมากได้ เช่นผนัง หรือทางเดินเท้า และมีความต้านทานความเย็น (Freezing) ในประเทศเขตกึ่งหนาวได้ [17]

จีโอโพลิเมอร์คอนกรีต (Geopolymer concrete) : ประเทศออสเตรเลียเป็นประเทศหนึ่งที่ได้ศึกษาวัสดุจีโอโพลิเมอร์ และเริ่มมีการประยุกต์ใช้งานจริง โดยเมื่อเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2551 ได้มีการเทพื้นทางเดินจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตครั้งแรกขึ้นที่ Curtin University of Technology โดยการผสมในรถผสมปูนและเป็นการเทในที่ และมีการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพตลอดทั้งปี ต่อมาในเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2552 ทางเดินเท้าแห่งที่สองได้สร้างขึ้นที่เมือง Curtin โดยใช้วัสดุดิบท้องถิ่น โครงการนี้เป็นความร่วมมือระหว่าง Centre for Sustainable Resource Processing (CSRP), Commonwealth Scientific and

Industrial Research Organisation (CSIRO) และ Curtin University of Technology ประเทศออสเตรเลีย [18] ดังแสดงในรูปที่ 4

นอกจากนี้ยังมีการสร้างท่อน้ำทิ้ง (Sewer pipe) ที่ทนกรดที่รุนแรงจากจีโอโพลิเมอร์สำหรับใช้ในโครงการระบบโครงสร้างพื้นฐาน โครงการนี้เป็นความร่วมมือระหว่าง CSIRO และภาคอุตสาหกรรมคือ บริษัทผลิตท่อน้ำทิ้ง Rocla ประเทศออสเตรเลีย [18]



รูปที่ 4 การใช้งานจีโอโพลิเมอร์แบบต่างๆ [23-25]

1.4 เครือข่ายจีโอโพลิเมอร์ไทย

เครือข่ายจีโอโพลิเมอร์ไทย (Thai Geopolymer Network) จัดตั้งขึ้นครั้งแรกเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2548 ในงานประชุมวิชาการคอนกรีตและจีโอโพลิเมอร์แห่งชาติ ครั้งที่ 1 โดยมี ศาสตราจารย์ ดร.ปริญญาจินดาประเสริฐ เป็นประธานเครือข่าย ที่ตั้งของเครือข่ายคือ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน (SIRDC) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สมาชิกประกอบด้วยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยและองค์กรต่างๆ อาทิ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครือข่ายการวิจัยทางด้านจีโอโพลิเมอร์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยมีความร่วมมือจากนักวิชาการและนักวิจัยต่างประเทศ เช่น ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น และฝรั่งเศส และตกลงร่วมกันจัดการประชุมวิชาการนานาชาติ International Conference on Pozzolan, Concrete and Geopolymer ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 [19]

นอกจากนี้ ทางเครือข่ายจีโอโพลิเมอร์ไทยได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ภายใต้โครงการส่งเสริมการเพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ และให้ทุนวิจัยแก่สมาชิกของเครือข่ายฯ เพื่อทำวิจัยระยะสั้น และเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการจีโอโพลิเมอร์ของนักวิจัยใน

ต่างประเทศ โดยรายชื่อ่นักวิจัยชาวต่างประเทศที่สมาชิกเครือข่ายฯ ได้ร่วมทำวิจัยระยะสั้น และเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการจีโอโพลิเมอร์ อาทิเช่น

1. Prof. Dr. Joseph Davidovits (Geopolymer Institute, France)
2. Prof. Dr. Ikeda Ko (Yamaguchi University, Japan)
3. Professor Dr. B. Vijaya Rangan (Curtin University of Technology, Australia)
4. Dr. Vute Sirivivatnanon (CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, Australia)
5. Dr. Kwesi Sagoe-Crentsi (CSIRO Manufacturing and Infrastructure Technology, Australia)
6. Prof. Dr. Kenneth McKenzie (Victoria University of Wellington, New Zealand)

ปัจจุบันจำนวนผลงานด้านจีโอโพลิเมอร์ของนักวิจัยไทยในฐานข้อมูล SCOPUS มีมากกว่า 80 บทความ นับเป็นอันดับ 7 ของโลก [20]

เนื้อหาของบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งในหนังสือ “วัสดุจีโอโพลิเมอร์” เขียนโดย รศ.ดร.อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2560 จัดพิมพ์โดยสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Malhotra VM (2002) Introduction: Sustainable development and concrete technology. ACI Concrete International, 24, 7-22.
- [2] Davidovits J (2008) Geopolymer : Chemistry and Applications. Morrisville, USA : Lulu Enterprises, Inc.
- [3] Davidovits J (1994) Geopolymers: Man-made rock geosynthesis and resulting development of very early high strength cement. Journal of Materials Education 16(2&3) 91-139.
- [4] Xu H, van Deventer JSJ (2000) The geopolymerisation of alumino-silicate minerals. International Journal of Mineral Processing 59(3) 247-266.
- [5] Comrie DC, Kriven WM (2003) Composite cold ceramic geopolymer in a refractory application. Advances in Ceramic Matrix Composites IX 153, 211-225.
- [6] อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ (2549) วัสดุจีโอโพลิเมอร์, โยธาสาร, 18(5) 55-60.
- [7] อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ และปริญญา จินดาประเสริฐ. (2552) แก้วกลบในงานคอนกรีต, สำนักพิมพ์ไซเน แอนด์เอ็นจีเนียริ่ง
- [8] Somna K, Jaturapitakkul C, Kajitvichyanukul P, Chindaprasirt P (2011) NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature. Fuel 90(6) 2118-2124.
- [9] Bakharev T (2005) Resistance of geopolymer materials to acid attack. Cement and Concrete Research 35(4) 658-670.
- [10] Bakharev T (2005) Durability of geopolymer materials in sodium and magnesium sulfate solution. Cement and Concrete Research 35(6) 1233-1246.

- [11] van Jaarsveld JGS, van Deventer JSJ (1999) Effect of the alkali metal activator on the properties of fly ash-based geopolymer. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 38(10) 3932-3941.
- [12] van Jaarsveld JGS, van Deventer JSJ (1999) Effect of the metal contaminants on the formation and properties of waste-based geopolymers. *Cement and Concrete Research* 29(8) 1189-1200.
- [13] Xu JZ, Zhou YL, Chang Q, Qu HQ (2006) Study on the factors of affecting the immobilization of heavy metals in fly ash-based geopolymer. *Materials Letters* 60(6) 820-822.
- [14] Cheng TW, Chiu JP (2003) Fire-resistant geopolymer produced by granulated blast furnace slag. *Minerals Engineering* 16(3) 205-210.
- [15] Rattanasak U, Pankhet K, Chindaprasirt P (2011) Effect of chemical admixtures on properties of high-calcium fly ash geopolymer. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 18(3) 364-369.
- [16] Songpiriyakij S, Pulngern T, Pungpremrakul P, Jaturapitakkul C (2011) Anchorage of steel bars in concrete by geopolymer paste. *Materials and Design* 32(5) 3021-3028.
- [17] Cordi-Geopolymer SA (2003) The geopolymer brick LTGS., <http://www.geopolololymer.com>
- [18] Geopolymer Alliance (2008) Curtin University Footpath In-situ cast geopolymer concrete, <http://www.geopolymers.com.au>
- [19] ปริญญา จินดาประเสริฐ (2549) สารจีโอโพลิเมอร์: วัสดุเชื่อมประสานที่ไม่ใช้ปูนซีเมนต์, การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน, มหาวิทยาลัยขอนแก่น : 25-27 มกราคม 2549
- [20] มุลนิธิโทรเร เพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย (2559) หนังสือรางวัลวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและทุนโทรเร ครั้งที่ 22, <http://www.ttsf.or.th>