# จีโอพอลิเมอร์: วัสดุก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อม

**คณิตตา ธรรมจริยวงศา**
**สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม**

นับตั้งแต่มีการก่อสร้างสนามฟุตบอล และสนามแข่งรถในจังหวัดบุรีรัมย์ส่งผลให้เศรษฐกิจของจังหวัดคึกคักไปด้วย นอกจากนี้ธุรกิจการก่อสร้างอาคารพาณิชย์ หมู่บ้านจัดสรร ตลอดจน อาคาร บ้านเรือนต่างๆ อยู่ในช่วงที่เรียกได้ว่าเติบโตสูงสุด สิ่งปลูกสร้างเหล่านี้ส่วนใหญ่ทำจากปูนซีเมนต์ทั้งสิ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานสูง อีกทั้งใช้วัตถุดิบประเภทอะลูมินา ซิลิกาและแคลเซียมออกไซด์ที่ต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงถึง 1,400-1,600 องศาเซลเซียสเพื่อให้ได้สารประกอบแคลเซียมออกไซด์ไปทำปฏิกิริยากับวัตถุดิบอื่นๆ เพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบของปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ยังปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อปรากฏการณ์เรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศมากถึงร้อยละ 7 หากผู้ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจการก่อสร้างหันมาใส่ใจกับคุณภาพสิ่งแวดล้อมกันมากขึ้นก็น่าจะหันมามองวัสดุชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติไม่ต่างไปจากซีเมนต์แต่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ นั่นคือวัสดุที่เรียกว่า **จีโอพอลิเมอร์** เป็นวัสดุประสานชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับการใช้ปูนซีเมนต์ แต่สังเคราะห์โดยใช้วัสดุที่เป็นผลพลอยได้หรือวัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ เช่น เถ้าถ่านหิน, เถ้าแกลบ, เถ้าชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์และเป็นการจัดการสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

จีโอพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้จากวัสดุที่องค์ประกอบหลักที่มี ซิลิกา และอะลูมินา ใน ปริมาณสูง ทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างเข้มข้น เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้าง 3 มิติอสัณฐาน ที่มีความแข็งแรงและสามารถรับกำลังอัดเช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ โดย จีโอพอลิเมอร์มีลักษณะโครงสร้างที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอัตราส่วน ซิลิกาต่ออะลูมินา (Si:Al ratio) เมื่อมีปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้นทำให้อัตราส่วน Si:Al เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการรับกำลังได้มากขึ้นด้วย แต่ ทั้งนี้ทั้งนั้นปริมาณซิลิกาที่เพิ่มขึ้นต้องเป็นซิลิกาที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาได้ดี ซึ่งได้แก่ มีความไม่เป็นผลึกที่สูงและสามารถละลายได้ในสารละลายด่างเข้มข้น ซิลิกาที่นิยมใช้เป็นสารผสมเพิ่มในงานคอนกรีตที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในวัสดุจีโอพอลิเมอร์ได้แก่ ซิลิกาฟูม ซึ่งมีความไม่เป็นผลึกที่สูง มีขนาดเล็กและมีความว่องไวในการ

ทำปฏิกิริยาที่สูงมาก เป็นแหล่งซิลิกาที่ดีที่ สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายด่างเข้มข้นและเถ้าถ่านหินเพื่อเกิดเป็นจีโอพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการรับกำลังได้ดี

**ความหมายและโครงสร้างของจีโอพอลิเมอร์**

จีโอพอลิเมอร์ (geopolymers) หรือเรียกอีกอย่างว่า พอลิไซอะเลต (polysialate) เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดหนึ่งที่มีโครงสร้าง 3 มิติแบบอสัณฐาน (amorphous) ซึ่งมีองค์ประกอบของซิลิกา ($SiO_2$) และอะลูมินา ($Al_2O_3$) เป็นหลัก โดยจะถูกทำให้แตกตัวด้วยสารละลายที่มีความเป็นด่างสูง ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโซเดียมซิลิเกต ($Na_2SiO_3$) แล้วใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อให้จีโอพอลิเมอร์สามารถเกิดการก่อตัวแข็งแรงและให้กำลังอัดได้ โครงสร้างโมเลกุลของจีโอพอลิเมอร์แสดงได้ดังสมการ

$$M_n [- (Si - O_2)_z - AlO_2 -]_n \bullet wH_2O$$

โดย M คือ ธาตุอัลคาไลน์

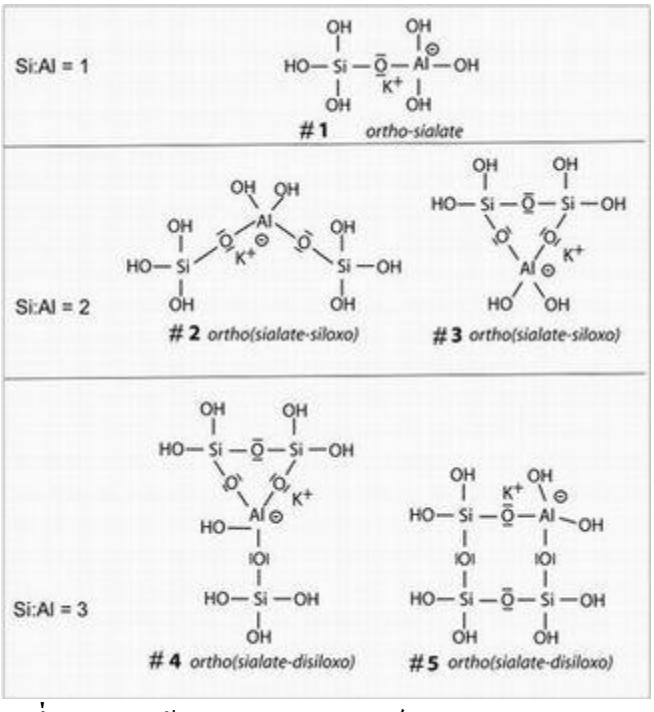
\- คือ การยึดเกาะพันธะ (bond)

z คือ จำนวนโมเลกุลของ $SiO_2$ เท่ากับ 1, 2 หรือ 3

n คือ จำนวนหน่วยโมเลกุลที่ต่อกันเป็นสายโซ่ หรือ Degree of Polymerization

w คือ จำนวนโมเลกุลของน้ำ

สารจีโอพอลิเมอร์เกิดจากการก่อตัวของซิลิกาและอะลูมินารวมตัวกันเป็นสารเชื่อมประสานในลักษณะของสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นหน่วยทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral) ของ $[AlO_4]^{5-}$ และ $[SiO_4]^{4-}$ โดยมีโลหะอัลคาไลน์ เช่น โซเดียม ($Na^+$) หรือโพแทสเซียม ($K^+$) ในการทำให้ประจุสมดุล ณ ตำแหน่งของ $[AlO_4]^{5-}$ ดังแสดงในรูปที่ 1 การสังเคราะห์วัสดุจีโอพอลิเมอร์ไม่จำเป็นต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงมากเหมือนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงทำให้การใช้พลังงานลดลงไปมากและต้นทุนในการผลิตต่ำลง

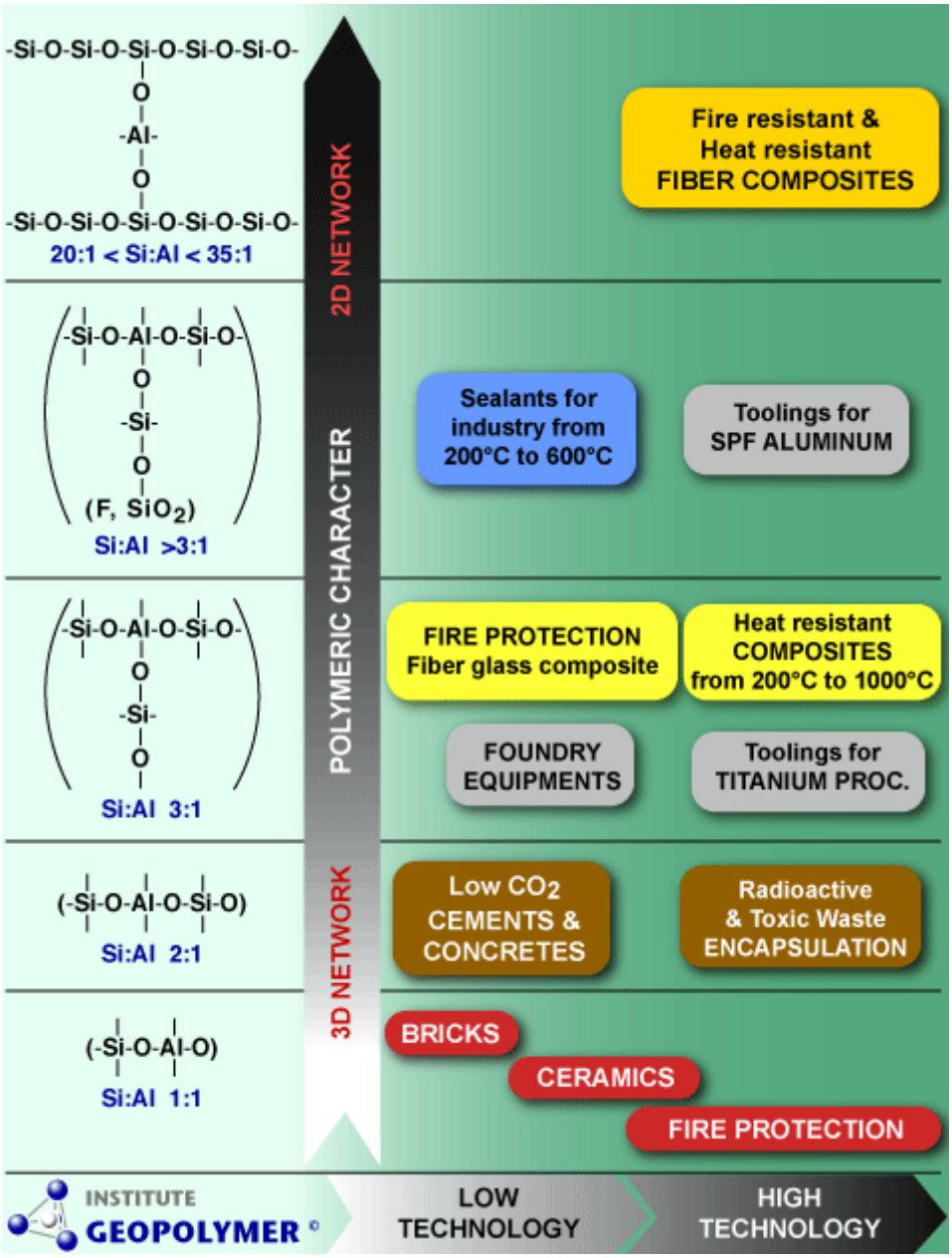



**รูปที่ 1** โครงสร้างของจีโอพอลิเมอร์

**ที่มา:** https://en.wikipedia.org/wiki/Geopolymer

**สืบค้นเมื่อวันที่:** 30 มิถุนายน 2558

จีโอพอลิเมอร์มีองค์ประกอบทางโครงสร้างแตกต่างจากการเกิดไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากองค์ประกอบหลักของวัสดุและการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เหมือนกันกล่าวคือ โครงสร้างไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะประกอบด้วยสารเชื่อมประสานของสารประกอบที่เรียกว่า แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ซึ่งเป็นผลผลิตจากการเกิดปฏิกิริยาของวัสดุที่ประกอบด้วยซิลิกา และแคลเซียมออกไซด์ แต่การสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์จะเกิดจากปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชัน (polycondensation) ซึ่งใช้หลักการทำปฏิกิริยาระหว่างซิลิกอน (Si) และอะลูมิเนียม (Al) โดยใช้สารละลายที่มีความเป็นด่างสูงในการทำให้สารเหล่านี้แตกตัวออกมาทำปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นโมเลกุลลูกโซ่ในลักษณะของพอลิเมอร์และเนื่องจากจีโอพอลิเมอร์มีอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาที่แตกต่างกันจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ดังแสดงในรูปที่ 2




**รูปที่** 2 โครงสร้างของจีโอพอลิเมอร์และการใช้งานของจีโอพอลิเมอร์

**ที่มา:** http://www.geopolymer.org/science/chemical-structure-and-applications

**สืบค้นเมื่อวันที่:** 30 มิถุนายน 2558

**การประยุกต์ใช้วัสดุจีโอพอลิเมอร์**

สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การนำไปใช้ในงานก่อสร้างหรืองานคอนกรีตและมอร์ต้า การทำอิฐทนไฟ การทำวัสดุตกแต่งเพื่อความสวยงาม ตลอดจนการนำไปใช้กับอุตสาหกรรมไฟฟ้า เช่นการทำฟิวส์ หรือใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องบินโดยประยุกต์ใช้กับคาร์บอนไฟเบอร์ในการทำตัวถังเครื่องบิน

**การสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์**

วัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุจีโอพอลิเมอร์ ประกอบด้วย

**1. สารพอซโซลานตั้งต้น**

คือ วัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นซิลิกาและอลูมินาที่สามารถชะละลายได้ง่าย วัสดุพอซโซลานที่นำมาใช้ประโยชน์มีที่มาจาก 2 แหล่งได้แก่ พอซโซลานที่ได้จากกระบวนการผลิต (artificial pozzolan) และพอซโซลานจากธรรมชาติ (natural pozzolan) พอซโซลานที่ได้จากกระบวนการผลิตได้แก่เถ้าลอย เถ้าหนัก ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเผาไหม้ถ่านหินในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ปัจจุบันได้มีการนำเอาพอซโซลานชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์ในการสร้างเขื่อนและสะพาน เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ ส่วนพอซโซลานที่มาจากธรรมชาติได้แก่ ดินไดอะตอมลำปาง (diatomaceous earth) เถ้าภูเขาไฟ ดินขาว ซึ่งวัสดุเหล่านี้ก่อนนำไปใช้งานต้องผ่านกระบวนการต่างๆ ก่อน เช่น การเผา การทำให้แห้ง เป็นต้น

ตัวอย่างของสารพอซโซลานตั้งต้น เช่น

- **เถ้าถ่านหิน**

เถ้าถ่านหินเป็นผลพลอยได้ที่ได้จากการเผาถ่านหิน เพื่อใช้ในกระบวนการให้พลังงานความร้อน ซึ่งมีปริมาณมากและต้องทำการกำจัดทิ้ง เถ้าถ่านหินมีคุณสมบัติเป็นวัสดุพอซโซลานตามมาตรฐาน ASTM C 618 มีองค์ประกอบทางเคมีด้วยการวิเคราะห์โดยเทคนิค X- Ray Fluorescence (XRF) ประกอบด้วยองค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์($SiO_2$) อะลูมินาออกไซด์ ($Al_2O_3$) เฟอร์ริคออกไซด์($Fe_2O_3$) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์(MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์($SO_3$) เป็นต้น ตามมาตรฐาน ASTM C618 จำแนกเถ้าถ่านหินออกเป็น 2 Class ได้แก่ Class F และ Class C โดยพบว่า เถ้าถ่านหินที่เหมาะ สำหรับนำมาเป็นวัสดุตั้งต้นของจีโอพอลิเมอร์ควรเป็น Class F

เนื่องจากมีปริมาณซิลิกาและอะลูมินาที่สูงกว่า Class C เมื่อตรวจสอบความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่ามีส่วนที่ไม่เป็นผลึกถึงร้อยละ 80 ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาได้ จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นทำให้เถ้าถ่านหินเหมาะสม ในการใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์

**- เถ้าแกลบ**

แกลบเป็นวัสดุที่คนไทยรู้จักกันดีตั้งแต่สมัยโบราณ ประเทศไทยได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน ปัจจุบันนิยมใช้แกลบเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าแกลบเป็นได้ทั้งสีเทา น้ำตาลและดำ ทั้งนี้ขึ้นกับอุณหภูมิการเผา เถ้าแกลบสามารถใช้ผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนได้ แต่จำเป็นต้องมีความละเอียดสูงเพื่อเพิ่มความไวในการทำปฏิกิริยา พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของ เถ้าแกลบมีค่าซิลิกอนไดออกไซด์ที่สูงมากกว่าร้อยละ 90 และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการ เผาประมาณร้อยละ 3 – 5 ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบขึ้นอยู่กับวิธีการเผา หากเผาไหม้ค่อนข้างสมบูรณ์มีค่าระหว่าง 1.9-2.3 ความเป็นวัสดุพอซโซลานของเถ้าแกลบสามารถวัดได้ด้วย การทดสอบค่าดัชนีกาลังตามมาตรฐาน ASTM C311 โดยใช้การทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน ของมอร์ต้าที่ทำจากปูนซีเมนต์และมีการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าแกลบ

**- เถ้าชานอ้อย**

เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลซึ่งใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่าในประเทศไทยมีเถ้าชานอ้อยหลังจากใช้เป็นเชื้อเพลิงประมาณ 4.5 แสนตันต่อปี โดยทั่วไปชานอ้อยมีความชื้นประมาณร้อยละ 45 – 55 มีเส้นใยประมาณ ร้อยละ 46 มีน้ำตาลเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 3 การเผาเถ้าชานอ้อยเพื่อให้เป็นเชื้อเพลิงก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมากเนื่องจากมีปริมาณกำมะถันต่ำ ทำให้ไม่เกิดฝนกรด องค์ประกอบหลักของเถ้าชานอ้อยได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ เช่นเดียวกับ เถ้าแกลบและเถ้าแกลบเปลือกไม้ และส่วนใหญ่ไม่เป็นผลึก จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุพอซโซลานได้

**2. อัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์**

อัลคาไลน์ไฮดรอกไซด์ที่นิยมใช้กันได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) สารทั้ง 2 ชนิดสามารถให้ความเป็นด่างสูงและใช้ได้ดี โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากราคา

ไม่แพง หาได้ง่าย และให้จีโอพอลิเมอร์คุณภาพดี โซเดียมไฮดรอกไซด์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1)โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเหลว หมายถึง สารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำ ลักษณะทั่วไปเป็นของเหลวข้น ไม่มีสี และ 2)โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดแข็ง หมายถึง โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นของแข็ง มีลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นเกล็ด ลักษณะทั่วไป เป็นของแข็ง สีขาวสะอาด

**3. สารประกอบซิลิเกต**

สารประกอบซิลิเกตที่ใช้กันเป็นสารละลายโซเดียมซิลิเกต ($Na_2SiO_3$) ซึ่งเป็นสารละลายของโซเดียมซิลิเกตในน้ำ จัดเป็นด่าง ลักษณะทั่วไปไม่มีสี หรือมีสีเทาอ่อน

**4. น้ำ**

สารจีโอพอลิเมอร์ต้องการน้ำเพื่อทำให้ส่วนผสมสามารถผสมเข้ากันได้ดี และสามารถทำปฏิกิริยาได้ทั่วถึง น้ำที่ใช้ในการสังเคราะห์เป็นน้ำกลั่น

แม้ว่าจีโอพอลิเมอร์จะยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายในประเทศไทย ส่วนใหญ่แล้วยังอยู่ในขั้นตอนของการวิจัยเพื่อพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพ อีกทั้งเทคโนโลยีทางด้านนี้ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ยังใหม่อยู่สำหรับคนไทย แต่นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยให้ความสำคัญกันมากขึ้น ซึ่งนับเป็นการพัฒนาวัสดุที่สามารถใช้งานแทนที่วัสดุก่อสร้างอย่างซีเมนต์และคอนกรีตโดยทำลายสิ่งแวดล้อมน้อยลง

**เอกสารอ้างอิง**


เกียรติสุดา สมนา. (2557). **ความทนทานของจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าชีวมวล.** คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

เกียรติสุดา สมนา. (2557). **ผลกระทบของการเพิ่มของซิลิกาต่อลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค ระยะเวลาการก่อตัวและกา ลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์.** คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

ธัญรัศม์ เลิศโฆษิตพงศ์. (2553). **การสังเคราะห์วัสดุจีโอพอลิเมอร์จากดินไดอะตอมลำปาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

บุรฉัตร ฉัตรวีระและณัฏฐ์ มากุล. (2555). **สมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์จากเถ้าลอยและเถ้า**

**แกลบ:อิทธิพลของอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อเถ้าแกลบ อัตราส่วน Na2SiO3 ต่อ NaOH ภายใต้การบ่มด้วยพลังงานไมโครเวฟ**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 35 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน 2555.

รัตนศักดิ์ อุบลรัตน์และปริญญา จินดาประเสริฐ.(2551). **การศึกษาจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าถ่านหิน.** มหาวิทยาลัยบูรพา.

ราชภัทร รัตนวราหและประเสริฐ อิ่มนาง. (2553) **การศึกษาการซึมผ่านของน้ำของคอนกรีตพรุนจีโอพอลิเมอร์ที่ผสมเถ้าลอย.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

**Chemical Structure and Applications,** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://www.geopolymer.org/science/chemical-structure-and-applications (วันที่สืบค้นข้อมูล: 30 มิถุนายน 2558)

**Geopolymer,** [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Geopolymer (วันที่สืบค้นข้อมูล: 30 มิถุนายน 2558)