

การใช้ตะกอนประปาเป็นวัสดุประสาน

ดร.เกียรติสุดา สมณา

1. บทนำ

ตะกอนน้ำประปาเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบเพื่อผลิตเป็นน้ำประปา ในกระบวนการผลิตน้ำประปานั้น เริ่มต้นจากแหล่งน้ำดิบซึ่งส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา ผ่านตะแกรงดักขยะเพื่อป้องกันเศษขยะทั้งขนาดใหญ่และเล็กเข้าไปอุดตันและทำลายเครื่องจักร หลังจากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนของกระบวนการ Coagulation เพื่อเติมสารเคมีช่วยตกตะกอนที่เรียกว่า สารเคมี Coagulant ในขั้นตอนนี้เป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการ Flocculation ซึ่งเป็นขั้นตอนของการรวมตะกอนเพื่อให้ตะกอนมีขนาดใหญ่และเตรียมพร้อมที่จะตกตะกอนในขั้นตอนของการตกตะกอน (Sedimentation) เพื่อแยกส่วนของตะกอนประปาออกจากน้ำที่ปรับปรุงคุณภาพเพื่อเข้าสู่กระบวนการกรอง (Filtration) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เพื่อเตรียมส่งน้ำประปาไปยังบ้านเรือนประชาชนเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภคต่อไป

ในขั้นตอนของการตกตะกอน พบว่าจะมีตะกอนประปาที่ต้องการกำจัดอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาการกองเก็บของตะกอนประปา จากข้อมูลของการประปานครหลวง ในส่วนเขตรับผิดชอบของประปาบางเขน พบว่า มีการผลิตน้ำ ประมาณวันละ 3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือเท่ากับ 1,100 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี จะมีตะกอนดินทิ้งประมาณ 0.025 - 0.035 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร คูณด้วย 3 ล้านลูกบาศก์เมตร จะมีค่าเท่ากับ 75,000 - 105,000 กิโลกรัมต่อวัน หรือ 75 - 105 ตันต่อวัน หรือประมาณ 100 ตันต่อวัน ในทางวิทยาศาสตร์ พบว่า การผลิตน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร มีน้ำ 1,000 ลิตร มีน้ำหนัก 1,000 กก. หรือ 1 ตัน น้ำดิบที่ค่าความขุ่น 30 - 40 NTU จะมีปริมาณตะกอนประมาณ 25 - 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้น ในการผลิตน้ำประปา 1 ลูกบาศก์เมตร จะมีปริมาณตะกอน 25 - 35 กรัม ทำให้ในแต่ละปีมีปริมาณตะกอนแห้ง 1 - 1.2 แสนตัน (<http://www.mwa.co.th/>) จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการกองเก็บเป็นจำนวนมาก ทำให้มีงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ตะกอนประปามากขึ้น เพื่อนำตะกอนประปามาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด เช่น การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน

(จิตรกร วงศ์กรเขาวลิต, 2543) การใช้แทนทรายในการทำบล็อกประสาน (สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ และ อติสรณ์ พงษ์สุวรรณ, 2551) การทำเป็นวัสดุประสานร่วมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ (รัฐพล สมนา และ เกียรติสุดา สมนา , 2557) การประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์ (Naprarath Waijarean et. al., 2014) เป็นต้น

2. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนประปา

ลักษณะทั่วไปของตะกอนประปามีลักษณะคล้ายกับตะกอนดินเหนียว เปียกชื้น เมื่อตากให้แห้งมีลักษณะดังรูปที่ 1 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับตะกอนดินนั่นเอง ดังนั้น ก่อนนำไปใช้งานต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการนำไปตากให้แห้งและบดให้มีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัสดุก่อนนำไปใช้เป็นวัสดุประสานต่อไป



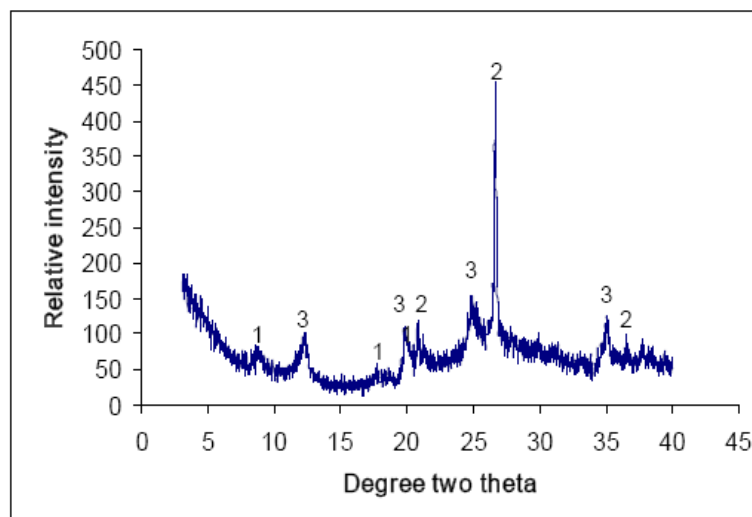
รูปที่ 1 ลักษณะของตะกอนน้ำประปាក่อนการปรับปรุงคุณภาพ (ดวงกมล สุริยฉัตร และคณะ, 2547)

เมื่อดูจากองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปา ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า มีซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) ในปริมาณสูงซึ่งมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับวัสดุปอซโซลาน มีความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัสดุประสานในงานก่อสร้างได้ และเมื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของตะกอนประปา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าโครงสร้างโดยทั่วไปของตะกอนน้ำประปามีทั้งเป็นผลึกและไม่เป็นผลึก โดยมีผลึกของ Quartz, kaolinite และ illite หากมี

การปรับปรุงคุณภาพโดยการนำไปเผาเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างของสารประกอบจะช่วยเพื่อคุณสมบัติที่ดี ก่อนที่จะนำตะกอนน้ำประปาไปใช้ประโยชน์ได้ แสดงดังรูปที่ 2 จากงานวิจัยของ Naprarath Waijarean et.al. (2014) เห็นได้ว่าเฟสของสารประกอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้วยเทคนิค XRD แต่เมื่อนำไปเป็นวัสดุประสานพบว่า ทำให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปา (รัฐพล สมนา และ เกียรติสุดา สมนา, 2557)

| Composition (%) | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | Na ₂ O | K ₂ O | MgO | SO ₃ | LOI |
|-----------------|------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------------------|------------------|-----|-----------------|------|
| ตะกอนประปา | 56.76 | 20.33 | 6.03 | 0.70 | 4.63 | 1.51 | - | 0.47 | 6.95 |



หมายเหตุ 1 คือ illite 2 คือ quartz และ 3 คือ kaolinite

รูปที่ 2 โครงสร้างผลึกของตะกอนน้ำประปา (สุพิน แสงสุข, 2554)

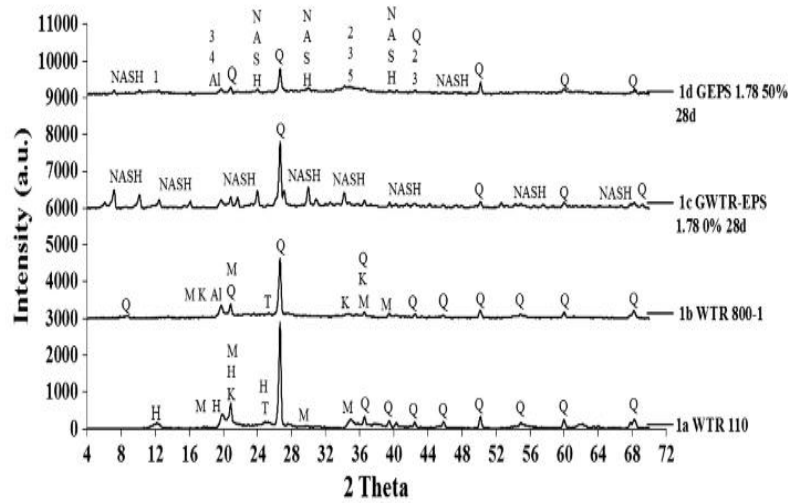


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of geopolymer synthesized from WTR and cured for 28 days, (1a): non-calcined WTR, (1b): calcined WTR at 800 °C, (1c): synthetic geopolymer without EPS and (1d): synthetic geopolymer with 50%EPS. H=Halloysite ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$), Q=Quartz (SiO_2), Al=Aluminum Silicate Oxide (Al_2SiO_5), M=Muscovite ($KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$), K=potassium Aluminum Silicate ($KAl_3Si_3O_{11}$), T=Anatase (TO_2), NASH=Sodium Aluminum Silicate Hydrate ($Na_{96}Al_{96}Si_{96}O_{348}.216H_2O$), 1=Sodium Aluminum Iron Hydrate Silicate, 2=Zinc Chromium Oxide, 3=Zinc Oxide, 4=Sodium Iron Oxide, 5=Andalusite.

รูปที่ 3 โครงสร้างผลึกของตะกอนน้ำประปาเมื่อมีการแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส
(Naprarath Waijarean et.al., 2014)

3. การนำตะกอนประปาไปใช้ประโยชน์

จากคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกอนประปา ทำให้มีหลายงานวิจัยที่มีการใช้ประโยชน์จากตะกอนประปา เช่น

3.1 การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน

จากองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปาที่มีซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) ในปริมาณสูงเช่นเดียวกับวัสดุปอซโซลาน ทำให้สามารถนำตะกอนประปามาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน (ร้อยละ 5 – 20 โดยน้ำหนัก) (Paramalinggam Thanalechumi et.al., 2016) แต่ก่อนการนำตะกอนประปามาใช้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแคลไซต์ที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียส (จิตรกร วงศ์กรเชาวลิต, 2543 และ รัฐพล สมณา และ เกียรติสุตา สมณา, 2557) เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขององค์ประกอบของตะกอนประปาและช่วยกระตุ้นให้สารประกอบในตะกอนประปาสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี ช่วงเวลาการเผาอยู่

ในช่วง 15 – 60 นาที (จิตรกร วงศ์กรเขาวลิต, 2543) โดยจากการทดลองของจิตรกร วงศ์เขาวลิต (2543) พบว่าการรับกำลังของมอร์ต้าผสมตะกอนน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปามหาสวัสดิ์มีค่าต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม โดยเฉพาะที่อุณหภูมิการแคลไซต์ที่ 500 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการเผา 15 นาที แต่มีค่าดัชนีการรับกำลังร้อยละ 75 ตามมาตรฐาน ASTM C618

3.2 การผลิตบล็อกประสาน

โดยทั่วไปในการผลิตบล็อกประสานจะประกอบด้วยปูนซีเมนต์และทราย เราสามารถใช้ตะกอนประปาในการแทนที่ทราย โดยใช้ตะกอนประปาเป็นมวลรวมละเอียดเพื่อทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังอัดและร้อยละการดูดซึมน้ำ ตาม มอก.57-2530 พบว่าการใช้ตะกอนประปาแทนที่ทรายร้อยละ 40, 50 และ 60 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.6 ที่อายุ 28 วัน เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปหล่อเป็นบล็อกประสาน ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 163, 142 และ 96 กก/ซม² ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ ร้อยละ 13, 14 และ 15 ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนที่มีตะกอนดินผสมอยู่ ร้อยละ 60 เหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปผลิตบล็อกประสาน ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก.57-2530) และเป็นอัตราส่วนที่มีตะกอนดินผสมอยู่มากที่สุด (สมบุญ คงสมศักดิ์ศิริ และ อติสรณ์ พงษ์สุวรรณ, 2551)

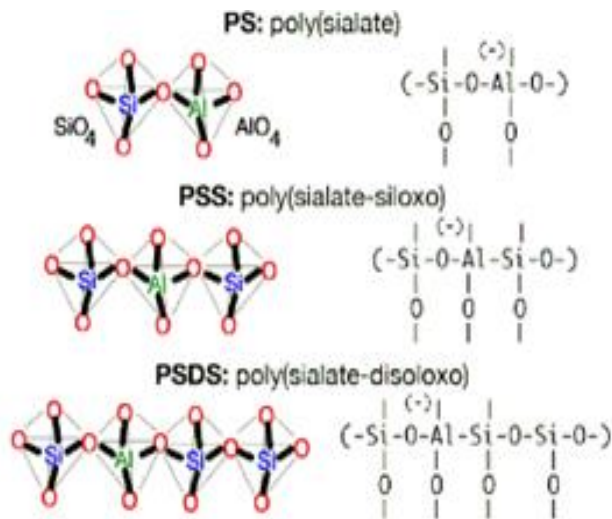
3.3 การใช้เป็นวัสดุประสานร่วมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์

ตะกอนประปามีซิลิกาและอะลูมินาในปริมาณสูงเมื่อนำมาผสมรวมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณสูง โดยใช้หลักการของปฏิกิริยาปอซโซลาน (ASTM C618) กล่าวคือ วัสดุที่มีซิลิกาหรือซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบ โดยตัวมันเองไม่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประสาน แต่เมื่อมีความชื้นเพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์และสามารถเป็นวัสดุประสานได้ แต่การใช้ตะกอนประปาเป็นวัสดุประสานจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยการแคลไซต์ที่อุณหภูมิสูงในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียสก่อน (จิตรกร วงศ์เขาวลิต, 2543 และ รัฐพล สมณา และ เกียรติสุดา สมณา, 2557) โดยใช้อัตราส่วนผสมที่กากแคลเซียมคาร์ไบด์ต่อตะกอนประปา 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 โดยน้ำหนัก พบว่า การใช้กากแคลเซียมคาร์ไบด์ผสมร่วมกับตะกอนประปาเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก

วัสดุประสานสามารถแข็งตัวได้และรับกำลังอัดได้เช่นเดียวกับปูนซีเมนต์ (รัฐพล สมณา และ เกียรติสุตา สมณา, 2557)

3.4 การใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์

วัสดุจีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุประสานชนิดใหม่ที่ไมใช้ปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบ แต่อาศัยหลักการของการใช้วัสดุปอซโซลาน หรือวัสดุที่มีซิลิกาและอะลูมินาในปริมาณสูงมาสังเคราะห์ร่วมกับสารละลายต่างเข้มข้น เพื่อให้เกิดเป็นโมเลกุลลูกโซ่ของซิลิกาโดยใช้ออกซิเจนอะตอมร่วมกัน ลักษณะโครงสร้างของจีโอโพลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะโครงสร้างของผลิตภัณฑ์จีโอโพลิเมอร์ (Davidovits, 2008)

การสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์ด้วยการใช้ตะกอนประปาเป็นวัสดุตั้งต้นนั้น หากไม่มีการปรับปรุงคุณภาพของตะกอนประปา พบว่า ต้องใช้สารละลายต่างเข้มข้นในปริมาณสูงเนื่องจากตะกอนประปามีคุณสมบัติในการดูดน้ำมาก การผสมตัวอย่างเมื่อไม่ใช้อุณหภูมิเป็นตัวกระตุ้นไม่สามารถใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างเข้มข้นที่สูงเกิน 10 โมลาร์ เนื่องจากการทำงานได้ของจีโอโพลิเมอร์ลดลง แข็งตัวเร็วและไม่สามารถทำให้ผสมกันได้ดี ถ้าหากมีการกระตุ้นด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 6 โมลาร์จะให้ค่า

กำลังอัดที่ดีและหากใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่ำกว่านั้นควรใช้ปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ผสมเพิ่มเพื่อให้จีโอโพลิเมอร์พัฒนากำลังอัดได้ (พิรุฬห์ลักษณ์ คำผายและคณะ, 2558) เช่นเดียวกับ งานวิจัยของ พิมพ์ศิลป์ จันทร์ประเสริฐ, 2556 ที่สังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์จากดินตะกอนประปราร่วมกับเถ้าถ่านหินด้วยสัดส่วน 70:30 ใช้อัตราส่วน L/FA (liquid alkali activator/Fly ash) ในช่วง 1.1 ถึง 1.5 และกระตุ้นด้วยความร้อน 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์ได้ หากต้องการใช้ตะกอนประปรายเป็นวัสดุตั้งต้นในการสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์ได้ดีจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของตะกอนประปราร่วมด้วยการแคลไซด์ที่อุณหภูมิ 600 – 900 องศาเซลเซียส (Naprarath Waijarean et.al., 2014) ในการศึกษาพบว่าอัตราส่วน $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1.78 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายต่างเข้มข้น พบว่าจีโอโพลิเมอร์จากตะกอนประปราร่วมที่แคลไซด์ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสให้ค่ากำลังอัดที่สูง

4. สรุป

จะเห็นได้ว่าการใช้ตะกอนประปราร่วมสามารถเป็นได้ทั้งวัสดุประสานและวัสดุมวลรวม จากองค์ประกอบทางเคมีของตะกอนประปราร่วมที่มีซิลิกาและอะลูมินาในปริมาณสูงทำให้มีคุณสมบัติที่มีแนวโน้มในการเป็นวัสดุพอโซโซลาน ข้อเสียของตะกอนประปราร่วมคือการดูดน้ำ ทำให้เมื่อนำไปเป็นวัสดุประสาน ส่วนผสมจะมีความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยหากต้องการนำตะกอนประปราร่วมมาใช้เป็นวัสดุประสานจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของตะกอนประปราร่วมโดยการนำมาแคลไซด์ที่อุณหภูมิในช่วง 500 – 900 องศาเซลเซียส เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในตะกอนประปราร่วมมีคุณสมบัติในการเป็นวัสดุประสาน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมโยธาได้อย่างหลากหลาย นอกจากนี้ยังเป็นการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

Davidovits, J., 2008, Geopolymer Chemistry and Applications (2nd ed.), Saint-Quentin, FR: Geopolymer Institute, France, 585 p.

Naprarath Waijarean, Suwimol Asavapisit, Kwannate Sombatsompop, 2014, Strength and microstructure of water treatment residue-based geopolymers containing heavy metals, Construction and Building Materials 50 (2014) 486–491.

Paramalinggam Thanalechumi, Abdull Rahim Mohd Yusoff, Mohanadoss Ponraj and Hanim Awab, 2016, Studies on potential of Portland cement mortar for binding of waterworks sludge to reduce heavy metal leaching, Sāidhanā March 2016, Volume 41, Issue 3, pp 359–367.

จิตรกร วงศ์กรเชาวลิต, 2543, “คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าตะกอนสลัดจ์ที่เกิดจากการผลิตน้ำประปา”
วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2543

ดวงกมล สุริยฉัตร ภาสันท วิชิตอมรพันธ์ และ วรธนะ เรื่องสำเร็จ, 2547, การประยุกต์ใช้ตะกอนดินจากน้ำประปา, รายงานวิชาการ ฉบับที่ สอพ. 16/2547, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐานกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, สำนักอุตสาหกรรมพื้นฐาน กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ. 10400 พิมพ์ครั้งที่ 1: 43 หน้า

พิมพ์ศิลป์ จันท์ประเสริฐ (2556) การศึกษาพฤติกรรมด้านกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจีโอโพลิเมอร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

พิรุฬห์ลักษณ์ คำผาย, เกียรติศักดิ์ ใจสะอาด, สุวิสา โพธิ์หักและเกียรติสุดา สมณา (2558) การสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์จากตะกอนประปาโดยไม่มีส่วนผสมของโซเดียมซิลิเกต, การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6 ประจำปี 2558 วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2558 ณ วิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย จังหวัดขอนแก่น

วารสารคอนกรีต TCA e-magazine



รัฐพล สมณา และ เกียรติสุตา สมณา, วัสดุประสานที่ได้จากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และตะกอนประปา,
งานประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 10, ณ โรงแรมดุสิต ไอส์แลนด์ รีสอร์ท เชียงราย, 20-22 ตุลาคม 2557.

สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ, อติสรณ์ พงษ์สุวรรณ. บล็อกประสานผสมตะกอนดินจากน้ำประปา. การประชุม
วิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่1, 2551

สุพิน แสงสุข, 2554,

http://www.cca.chula.ac.th/lecture_series/images/stories/ppt/sufficiency10.pdf

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310

โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>