

การใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์

จากการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1

บทนำ

การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 14-16 พฤษภาคม พ.ศ. 2546 ณ เชื้อนครินทร์ จ.กาญจนบุรี มีบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทั้งสิ้นจำนวน 52 บทความ และจัดเป็นบทความที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ จำนวน 28 บทความ ซึ่งนับว่าเป็นจำนวนที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของบทความทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต ดังนั้นที่ประชุมคณะกรรมการคอนกรีตและวัสดุ จึงเห็นควรจัดทำรายงานสรุปเกี่ยวกับเนื้อหาในส่วนของวัสดุปอซโซลานที่ลงตีพิมพ์ในการประชุมครั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ที่สนใจในการค้นคว้า

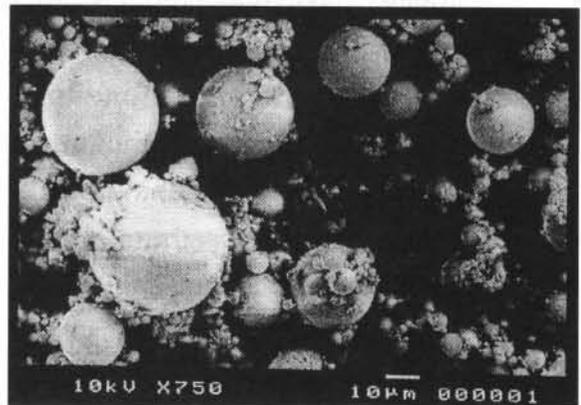
รายงานนี้เป็นเนื้อหาอย่างย่อในประเด็นสำคัญของการนำวัสดุปอซโซลานไปใช้ประโยชน์ ซึ่งเนื้อหาของบทความฉบับนี้ได้แบ่งวัสดุปอซโซลานออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ ถ้ำถ่านหิน และวัสดุปอซโซลานอื่นๆ ที่ไม่ใช่ถ้ำถ่านหิน

ถ้ำถ่านหิน

บทความส่วนใหญ่ที่ส่งเข้าร่วมในการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ในครั้งนี้โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ถ้ำถ่านหินจากแหล่งแม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งมีลักษณะอนุภาคที่ค่อนข้างกลมและตัน จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการเทของคอนกรีตให้สูงขึ้น นอกจากถ้ำถ่านหินที่แม่เมาะแล้วยังมีการศึกษาการใช้ถ้ำถ่านหินจากแหล่งอื่นซึ่งมีการเผาถ่านหินแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งทำให้ลักษณะของถ้ำถ่านหินมีรูปร่างไม่แน่นอนและมีรูพรุนสูงกว่ากรณีของถ้ำถ่านหินแม่เมาะ ซึ่งผู้วิจัยแนะนำว่าไม่ควรใช้มากกว่าร้อยละ 20 หากไม่มีการปรับปรุงขนาดของ

ถ้ำถ่านหินดังกล่าวให้เล็กลง

เนื่องจากลักษณะเด่นของถ้ำถ่านหินจากแม่เมาะที่กลมและตันจึงได้นำไปใช้ในการผลิตคอนกรีตที่มีความสามารถในการไหลเข้าแบบได้เองโดยไม่ต้องมีการจี้เขย่า เพื่อเทคานยัดเกาะ



รูปที่ 1 ถ้ำถ่านหินที่มีลักษณะกลมและตัน



รูปที่ 2 ถ้ำถ่านหินที่มีรูปร่างไม่แน่นอนและมีรูพรุน

ฐานรากคอนกรีต ซึ่งจะต้องมีเนื้อแน่น และมีการหดตัวน้อย โดยใช้เถาถ่านหิน ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 61 โดยน้ำหนักของ ปูนซีเมนต์ และใช้สารลดน้ำพิเศษประเภท Polycarboxylate พบว่าคอนกรีตที่ได้มีการ ไทลแด้ได้นานสองชั่วโมง มีเนื้อแน่น และมีการ หดตัวแบบออโตจีเนียส (Autogeneous) ที่อายุ 28 วัน น้อยกว่า 250 หน่วยในล้านหน่วย ของความยาว นอกจากนี้ยังใช้ทำคอนกรีต บดอัดในงานเขื่อนคลองท่าด่าน ซึ่งถือได้ว่าเป็นเขื่อนที่ใช้คอนกรีตบดอัดที่ใหญ่ที่สุดในโลก

ความทนทานของคอนกรีตที่ผสม เถ้าถ่านหินเป็นอีกหัวข้อที่ได้รับความสนใจจาก ผู้เข้าร่วมประชุม โดยศึกษาความทนทาน ของซีเมนต์เถ้าลอยผสมฝุ่นหินปูนโดโลไมติก และโดโลไมท์จากการย่อยหิน พบว่าสามารถ ทำให้เนื้อมอร์ตาร์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผล ให้การขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต การหดตัว แบบแห้ง และการหดตัวแบบออโตจีเนียส ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ปกติ

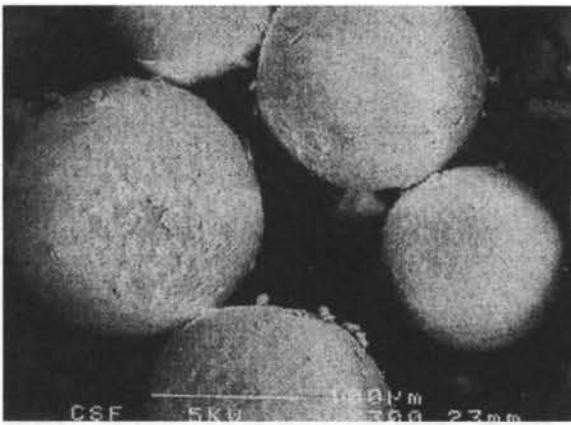
นอกจากนี้การเกิดสนิมเหล็กใน คอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมเถ้าถ่านหินพบว่า เถ้าถ่านหินมีผลชะลอการเกิดสนิมเหล็กใน ทุกอัตราส่วนของน้ำและวัสดุประสาน และทำให้ การซึมผ่านคลอไรด์ลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง โดยคอนกรีตผสมเถ้าถ่านหินในอัตราส่วน ร้อยละ 15-25 และใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อ วัสดุประสานเท่ากับ 0.40 หรือต่ำกว่า ทำให้ ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมลดลงเหลือ เพียง 4 ซม. จาก 7 ซม. ของคอนกรีตปกติ เนื่องจากการใช้เถ้าถ่านหินทำให้คอนกรีตมี ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและมีรูพรุนน้อยลง การใช้ เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมากขึ้นจะส่งผล ให้ขนาดและปริมาณโพรงคาпилลารีของเพสต์ ลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าถ่านหินที่มี ขนาดใหญ่กว่า โดยสรุปแล้วการใช้เถ้าถ่านหิน แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนจะช่วยทำให้คอนกรีต มีความทนทานได้ดีขึ้นเมื่อใช้ในปริมาณที่ เหมาะสม

เมื่อก้าวถึงกำลังอัดของมอร์ตาร์และคอนกรีต เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์ หรือคอนกรีตที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการบ่มที่ดี การประชุมครั้งนี้ พบว่าการบ่มคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินด้วยน้ำเป็นวิธีที่ช่วยให้ การพัฒนากำลังของมอร์ตาร์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมอร์ตาร์ ที่บ่มด้วยน้ำตลอดเวลาจะมีกำลังอัดสูงขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น และการใช้เถ้าถ่านหิน ในปริมาณมากต้องใช้ระยะเวลา การบ่มที่นานขึ้นเพื่อให้มีกำลังอัดใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ที่บ่มน้ำ ตลอดเวลา

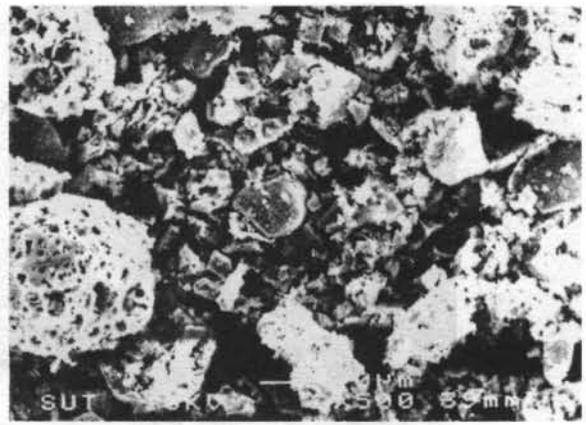
จากกระแสของการรณรงค์ในด้านการอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อมและพลังงาน ทำให้นักวิจัยให้ความสนใจศึกษา วัสดุเหลือทิ้งเพื่อใช้ในงานคอนกรีตมากขึ้น โดยในการประชุม ครั้งนี้มีการศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งร่วมกับเถ้าถ่านหินแทนที่ ปูนซีเมนต์ เช่น การผลิตอิฐมวลเบาโดยใช้ตะกรันจาก อุตสาหกรรมเหล็กซึ่งมีปริมาณ 1.54 ล้านตันต่อปี โดยใช้เป็น มวลรวมหยาบแทนหิน และใช้ปูนซีเมนต์ร่วมกับเถ้าถ่านหิน เป็นวัสดุประสาน พบว่าการใช้เถ้าถ่านหินร้อยละ 60 แทนที่ ช่องว่างระหว่างมวลรวมในอัตราส่วนร้อยละ 70 สามารถให้ กำลังอัด 68.73 กก./ซม.² นอกจากนี้ยังมีการศึกษานำ เถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ร่วมกับเถ้าถ่านหิน โดยใช้ เถ้าซีลี้อยไม้ยางพาราขนาดอนุภาคเฉลี่ย 48.85 ไมครอน ร่วมกับเถ้าถ่านหินขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.85 ไมครอน แทนที่ ปูนซีเมนต์ ซึ่งพบว่าทำให้ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำลดลง เรื่อยๆ ตามอายุการบ่ม มีความคงทนของมอร์ตาร์ต่อการ กัดกร่อนของกรดกำมะถันเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อแทนที่ เถ้าถ่านหินและเถ้าไม้ยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 40 และ หากมีการบ่มที่ดีจะทำให้มีความคงทนเพิ่มขึ้นด้วย

นอกจากนี้การใช้เถ้าถ่านหินยังช่วยลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ในการผสมคอนกรีตลงเนื่องจากรูปร่างที่กลมและผิวสัมผัส ที่ลื่นทำให้แรงเสียดสีระหว่างอนุภาคมีค่าต่ำ โดยการแทนที่ เถ้าถ่านหินในอัตราส่วนร้อยละ 40 ใช้เวลาในการผสมประมาณ 2-3 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ และสามารถประหยัด พลังงานได้ร้อยละ 25 และหากใช้สารลดน้ำพิเศษจะสามารถ ลดเวลาที่ใช้ผสมคอนกรีตลงได้อีก

งานวิจัยบางเรื่องกล่าวถึงการใช้เถ้าถ่านหินร่วมกับ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรัง ให้ดีขึ้น หรืออีกชิ้นหนึ่งที่ใช้วัสดุทั้งสองชนิดเป็นวัสดุ ประสานในมอร์ตาร์โดยไม่ต้องใช้ปูนซีเมนต์ ซึ่งพบว่าสามารถ ให้กำลังอัดของมอร์ตาร์มากกว่า 100 กก./ซม.² ที่อายุ 14 วัน ขึ้นไป



รูปที่ 3 ซิลิกาฟุ่มควบแน่น



รูปที่ 4 แก้วกลบซึ่งมีวสุพรมสูงและรูปร่างไม่แน่นอน

วัสดุปอซโซลานอื่นที่ไม่ใช่เถ้าถ่านหิน

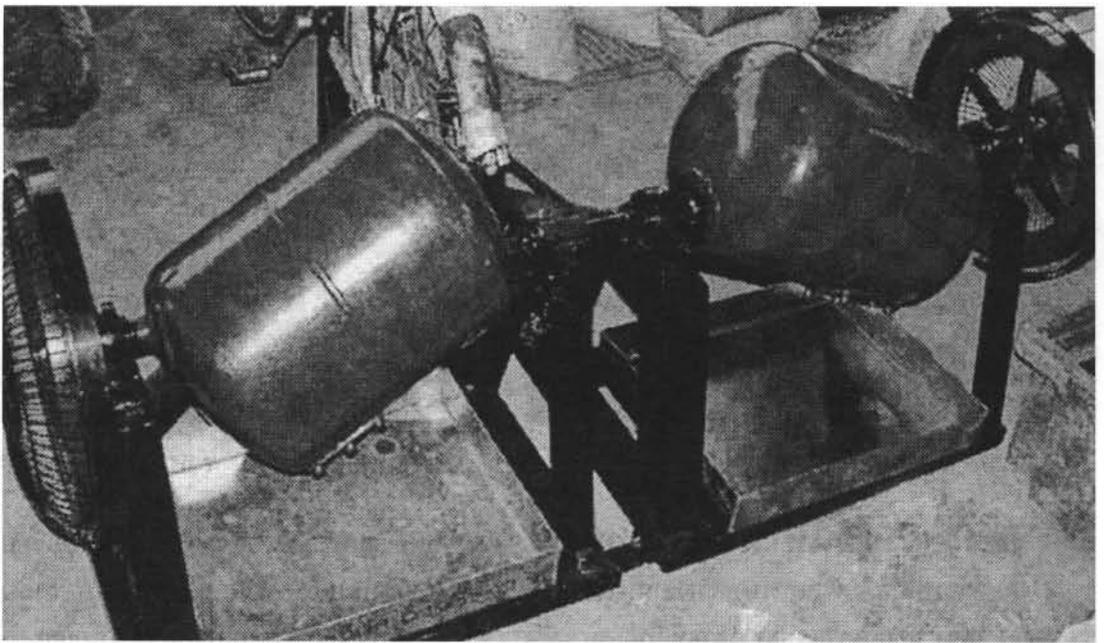
ในบทความที่ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 นอกจากวัสดุปอซโซลานที่เป็นเถ้าถ่านหินแล้ว ยังมีวัสดุปอซโซลานชนิดอื่นอีก ได้แก่ ซิลิกาฟุ่ม แก้วกลบ แก้วกลบขาว แก้วซีลือยไม่ย่างพารา แก้วชนบัตร ดินขาว วัสดุรีไซเคิล และกากตะกอนตะกั่ว ซึ่งแต่ละชนิดจะนำมาเป็นวัสดุประสานโดยการแทนที่ปูนซีเมนต์ วัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน และวัสดุปอซโซลานในกลุ่มนี้ที่นิยมใช้มานานแล้ว ได้แก่ ซิลิกาฟุ่ม แก้วกลบ และดินขาว ซึ่งบางบทความจะเป็นการนำวัสดุปอซโซลานเหล่านี้มาใช้ในงานจริง ขณะที่บางบทความเป็นงานวิจัยที่ทดลองขึ้นมาใหม่ เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นเพื่อเป็นพื้นฐานในการนำไปใช้ในงานจริงต่อไป

ซิลิกาฟุ่มเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีขนาดเล็กมาก จึงแทรกในช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์และมวลรวมได้ ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นมากขึ้น และมีกำลังอัดสูงขึ้น ซึ่งในการประชุมครั้งนี้ได้มีบทความเกี่ยวกับการใช้ซิลิกาฟุ่มเพื่อเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตหรือทำคอนกรีตกำลังสูง นอกจากนี้ยังมีบทความวิจัยที่ศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาค ซึ่งแสดงให้เห็นว่าซิลิกาฟุ่มสามารถลดค่าความพรุนและเพิ่มปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตได้อย่างดี ส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมซิลิกาฟุ่มมีคุณภาพที่ดีขึ้น

ในกรณีของแก้วกลบ มีงานวิจัยที่แยกแก้วกลบดำและแก้วกลบขาวออกจากกัน และทดลองนำไปใช้งานทั้งสองประเภท ขณะที่บางงานวิจัยใช้แก้วกลบที่ไม่แยกสีในการศึกษา จากการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มต่อเพสต์ที่ผสมแก้วกลบขาว สามารถสรุปได้ว่าซีเมนต์เพสต์ที่ผสมแก้วกลบขาวร้อยละ 20 ทั้งที่บดและไม่บด โดยน้ำหนักวัสดุประสานมีกำลังอัดสูงกว่าซีเมนต์เพสต์

ที่บ่มที่อุณหภูมิ 25, 50, และ 75 องศาเซลเซียส และจากงานวิจัยหลายฉบับพบว่าแก้วกลบมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 85 ขององค์ประกอบเคมีทั้งหมด ซึ่งซิลิกอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน นอกจากนี้คอนกรีตที่ผสมแก้วกลบสามารถต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟตได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่แก้วกลบที่ใช้ต้องผ่านการบดให้มีความละเอียดสูง เพื่อให้ทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี ซึ่งอาจใช้เวลาบดประมาณ 75 นาที

ดินขาว หรือ Metakaolin จัดเป็นวัสดุปอซโซลานธรรมชาติ มีองค์ประกอบออกไซด์ของซิลิกา เหล็ก และอะลูมินา สูงกว่าร้อยละ 80 ของน้ำหนักทั้งหมด แต่ต้องนำมาเผาที่ความร้อนประมาณ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ก่อนนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์ ซึ่งการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยดินขาวสามารถเพิ่มกำลังอัดและการต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากกรดให้กับมอร์ตาร์ได้ แต่ดินขาวที่เผาต้องนำมาบดให้ละเอียด มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 10,000 ซม.²/ก. และปริมาณแทนที่ที่ให้กำลังอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน คือร้อยละ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน และเนื่องจากดินขาวมีความหนาแน่นต่ำ ดังนั้นมอร์ตาร์และคอนกรีตที่ผสมดินขาวจะมีความหนาแน่นต่ำกว่ามอร์ตาร์และคอนกรีตปกติ ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่ดีเพราะอาจพัฒนาเป็นคอนกรีตมวลเบาได้



รูปที่ 5 เครื่องบดวัสดุปอชโซลานประหยัดพลังงาน

นอกจากนี้ยังมีเถาของวัสดุอื่นๆ อีก เช่น เถาธนบัตรซึ่งมีปริมาณออกไซด์ของซิลิกา เหล็ก และอะลูมินา ต่ำกว่าร้อยละ 70 แต่ให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่สูงกว่ามอร์ตาร์ที่ผสมเถาแกลบในช่วงอายุต้น ทั้งนี้เนื่องจากเถาธนบัตรมีขนาดเล็กกว่าเถาแกลบที่ไม่บดมาก จึงส่งผลในแง่ของการแทรกตัวในช่องว่างของเนื้อมอร์ตาร์สูงกว่าเถาแกลบ (เนื่องจากที่อายุ 3-7 วัน มีปฏิกิริยาปอชโซลานต่ำ) ดังนั้น ผลกระทบเนื่องจากขนาดอนุภาคของวัสดุปอชโซลานจึงมีความสำคัญต่อกำลังของคอนกรีตและมอร์ตาร์ในช่วงอายุต้นๆ มาก และยิ่งส่งผลกระทบต่ออัตราเร็วในการทำปฏิกิริยาปอชโซลานด้วย ซึ่งวัสดุปอชโซลานชนิดเดียวกัน แต่มีความละเอียดสูงกว่าจะสามารถทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า จึงเป็นเหตุให้มีการพัฒนาเครื่องบดวัสดุปอชโซลานประหยัดพลังงานที่ไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า แต่ใช้แรงงานคนในการปั่นจักรยานเพื่อบดวัสดุให้ละเอียด และเครื่องดังกล่าวมีความสามารถในการบดวัสดุปอชโซลานค่อนข้างสูง คือสามารถบดเถาธนบัตรแม่เมาะจำนวน 8 กิโลกรัม ที่มีขนาดอนุภาคค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 51 ให้เหลือน้อยกว่าร้อยละ 28 ภายในเวลา 60 นาที ซึ่งจะส่งผลดี

ในแง่ของการวิจัยและใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการพัฒนาเครื่องบดที่มีประสิทธิภาพสูงและประหยัดพลังงานต่อไป

บทสรุป

ปัจจุบันนี้การใช้วัสดุปอชโซลานมีแพร่หลายมากขึ้น โดยเฉพาะเถาธนบัตรหรือเถาลอย ซิลิกาฟูม เถาแกลบ และดินขาว เนื่องจากวัสดุปอชโซลานเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตได้จริง และยังช่วยลดต้นทุนในการผลิต ช่วยพัฒนาคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น กำลังอัด กำลังตัด ความต้านทานต่อการกัด และซัลเฟต ได้ดีขึ้น จากการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 ยังมีวัสดุปอชโซลานประเภทอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงในรายงานฉบับนี้ เช่น วัสดุรีไซเคิล และกากตะกอนตะกั่ว เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้ยังอยู่ในขั้นตอนของการทดลองวิจัย ซึ่งอาจใช้เป็นวัสดุปอชโซลานหรือมวลรวม เช่น กากตะกอนตะกั่ว เป็นต้น

ท่านผู้อ่านที่สนใจข้อมูลเพิ่มเติมทั้งหมดเหล่านี้สามารถหาอ่านได้จากเอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 1 ซึ่งการประชุมดังกล่าวถือเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมเพื่อเฉลิมฉลองครบรอบ 60 ปี แห่งการก่อตั้งวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.)

