ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247622

RTA5080020 ศ.ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุประสาน

โดย

ศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ คณะ

1 กันยายน 2553

b00252187

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247622
สัญญาเลขที่ RTA5080020

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุประสาน

โดย

ศ. ดร.	ชัย จาตุรพิทักษ์กุล	หัวหน้าโครงการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ. ดร.	ปริญญา จินดาประเสริฐ	ที่ปรึกษาโครงการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ. ดร.	สมิตร ส่งพิริยกิจ	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ. ดร.	เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร.	สหลาภ หอมวุฒิวงศ์	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ. ดร.	พรเกษม จงประดิษฐ์	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร.	สมโพธิ อยู่ไว	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร.	ชูชัย สุจิวรกุล	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.	ทวิช พูลเงิน	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. ดร.	ธีรวัฒน์ สินศิริ	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.	อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.	วันชัย สะตะ	ผู้ร่วมวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานเป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

247622

งานวิจัยนี้ใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม 4 ชนิด ซึ่งได้แก่ เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์มน้ำมัน และ เถ้าชานอ้อย เพื่อเป็นวัสดุประสานในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วน นอกจากนี้ยังใช้เถ้าถ่านหินเพื่อเป็นวัสดุพื้นฐานในการทำจีโอโพลีเมอร์คอนกรีต ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นของเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม ทรายแม่น้ำ หินปูนย่อย และมวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีต จากนั้นทำการหล่อเพสต์ มอร์ต้าร์ และคอนกรีต ที่มีส่วนผสมของเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทดสอบกำลังอัด โมดูลัสยืดหยุ่น การแทรกซึมของสารละลายคลอไรด์จากน้ำทะเล การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟต และการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ เถ้าปาล์มน้ำมัน และเถ้าชานอ้อยสามารถใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้หากเถ้าเหล่านี้มีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสม มีความละเอียดสูงและส่วนใหญ่ไม่เป็นผลึก เถ้าเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้เร็วขึ้นตามความละเอียดที่สูงขึ้น การใช้เถ้าถ่านหินในส่วนผสมคอนกรีตสามารถลดการแทรกซึมของสารละลายคลอไรด์จากน้ำทะเลได้เป็นอย่างดี เมื่อใช้เถ้าถ่านหิน หรือ เถ้าชานอ้อย หรือ เถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ หรือ เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีความละเอียดสูง แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่ไม่มากจนเกินไป (โดยทั่วไปคือร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน) สามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่สูง มีการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าดังกล่าวในส่วนผสมที่มีกำลังอัดเท่ากัน แต่การใช้เถ้าดังกล่าวที่มีความละเอียดต่ำ หรือ แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงมากเกินไป (เช่นร้อยละ 50 ขึ้นไป) พบว่าส่งผลเสียต่อคอนกรีตทั้งด้านกำลังอัดและการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต สำหรับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ผสมเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมที่แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนพบว่ามีค่าไม่แตกต่างจากคอนกรีตปกติที่มีกำลังอัดเท่ากัน การใช้อุณหภูมิที่สูงสามารถเร่งกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์ที่อายุต้นได้เป็นอย่างดี อัตราส่วน S/A (solution/ash ratio) มีผลกระทบต่อกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มากกว่าอัตราส่วน P/Agg[(ash content+solution content)/Aggregate content ratio] นอกจากนี้เมื่อพิจารณากำลังอัดที่เท่ากันพบว่าจีโอโพลีเมอร์คอนกรีตมีค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตที่สูงกว่าคอนกรีตปกติค่อนข้างมาก วัสดุประสานจากส่วนผสมของกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินสามารถผลิตคอนกรีตที่มีกำลังอัด 28 และ 34 เมกาปาสกาลที่อายุ 28 และ 90 วัน ตามลำดับโดยไม่ต้องมีปูนซีเมนต์ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตในส่วนผสมมีค่าการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามการใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสามารถลดอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีตดังกล่าวได้

247622

Abstract

In this study, 4 industrial ashes namely fly ash, rice husk or rice husk-bark ash, palm oil fuel ash, and sugar cane bagasse ash, were used as pozzolanic materials to partially replace Portland cement. Fly ash was also used as a base material to produce geopolymer. Basic properties of the ashes, river sand, crushed lime stone, and recycled aggregates were determined. Pastes, mortars, and concretes containing industrial ashes were cast and investigated their compressive strength, modulus of elasticity, chloride penetration, sulfate attack, and water permeability.

The results showed that fly ash, sugar cane bagasse ash, rice husk or rice husk-bark ash, and palm oil fuel ash could be used as pozzolanic materials if the ash has high fineness with a suitable chemical composition and most of them were not in crystalline phase. The higher is the fineness of the ash, the higher is the pozzolanic reaction. The use of fly ash to partially replace Portland cement in concrete reduced the penetration of chloride from sea water into concrete, thus enhanced the service life of the concrete in marine environment. Concretes containing fly ash or sugar cane bagasse ash, or rice husk-bark ash or palm oil fuel ash with high fineness at rate of 20-30% by weight of binder can effectively reduce water permeability as compared to normal concrete with the same compressive strength. If high replacement rate (more than 50% by weight of binder) or low fineness of the ash was used to replace Portland cement in concrete, it resulted in low compressive strength and high water permeability of the concrete. Modulus of elasticity of concrete containing industrial ash is the same as that of normal concrete which has the same compressive strength. High temperature can be used to accelerate the early age compressive strength of geopolymer concrete. The ratio of S/A (solution/ash ratio) has more effect on the compressive strength of geopolymer concrete than that of P/Agg [(ash content+solution content)/Aggregate content ratio]. The mixture of calcium carbide residue and fly ash can be used as a binder to produce concrete with compressive strength of 28 and 34 MPa at 28 and 90 days, respectively without any Portland cement. Concrete mixed with recycled aggregate has high water permeability, however, the use of industrial ash can reduce the water permeability of the concrete.

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

โครงการวิจัยเรื่อง การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุประสาน ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) ภายใต้โครงการเมธีวิจัยอาวุโสประจำปีพ.ศ. 2550 ซึ่งดำเนินโครงการวิจัยระหว่างวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 30 สิงหาคม 2553

วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยมี 2 ข้อคือ เพื่อสร้างกลุ่มวิจัยให้เป็นกำลังสำคัญในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีต และ เพื่อสร้างองค์ความรู้ตลอดจนเผยแพร่องค์ความรู้ของการใช้เถ้าฯ ออกไปในวงกว้าง

โครงการนี้มีอาจารย์เข้าร่วมจำนวน 10 คน เป็นที่ปรึกษาโครงการ 1 คน รวม 11 คน จาก 6 มหาวิทยาลัย ซึ่งได้แก่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาวิทยาลัยบูรพา และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และมีนักศึกษาปริญญาโทและเอกเข้าร่วมอีกจำนวนหนึ่ง รวมกลุ่มวิจัยทั้งหมดมีจำนวน 26 คน ในระหว่างดำเนินงานมีอาจารย์ที่เป็นนักวิจัยในโครงการจำนวน 3 คนได้รับตำแหน่งวิชาการที่สูงขึ้นจากอาจารย์เป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมิตร ส่งพิริยกิจ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรวัฒน์ สินศิริ นอกจากนี้ยังมีอาจารย์ที่อยู่ในโครงการจำนวน 2 คน ที่ยื่นขอตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ คือ ดร. ทวิช พูลเงิน และ ดร. วันชัย สะตะ ซึ่งขณะนี้อยู่ในขั้นตอนของการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ

นักศึกษาที่จบปริญญาเอกภายใต้โครงการนี้ (บางคนอาจมีโครงการอื่นสนับสนุนด้วย เช่น คปก. โครงการพัฒนาอาจารย์ของ สกอ. เป็นต้น) รวม 4 คนโดยทุกคนทำงานเป็นอาจารย์ในมหาวิทยาลัยของรัฐฯ ซึ่งได้แก่ ดร. วิเชียร ชาลี ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำที่มหาวิทยาลัยบูรพา ดร. นันทชัย ชูศิลป์ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา ดร. จตุพล ตั้งปกาศิต ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คลองหก และ ดร. วีรชาติ ตั้งจิรภัทร ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับนักศึกษาที่จบปริญญาโทภายใต้โครงการนี้มีจำนวน 6 คน ซึ่งทั้ง 6 คนทำงานในภาครัฐฯและภาคเอกชน และ หนึ่งในหกคนนี้ คือ นาย อรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์ ได้รับอนุมัติจากกรมชลประทานให้ลาศึกษาต่อในระดับปริญญาเอก ที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มจธ.

สำหรับผลงานทางด้านวิชาการพบว่ามีบทความที่ได้รับการตีพิมพ์หรือตอบรับเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่มี Impact Factor จำนวน 15 เรื่อง โดย 14 เรื่องเป็นบทความฉบับเต็ม และ 1 เรื่องเป็น Technical Note มีการยื่นขอจดสิทธิบัตร 1 เรื่อง คือ เอกสารคำขอจดสิทธิบัตร ที่ 100100038 เรื่อง "กรรมวิธีการผลิตวัสดุประสานสำหรับผลิตคอนกรีตซึ่งมีกำลังสูง มีความร้อนต่ำ และมีความทนทานสูง" ซึ่งอยู่ระหว่างการพิจารณาของกรมทรัพย์สินทางปัญญา และ หนังสือ 1 เรื่อง ชื่อ “การใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต”

การจัดการประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานมีการจัดขึ้นปีละ 1 ครั้งรวม 3 ครั้งโดยใช้ชื่อว่า “การนำเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยมาใช้ในงานคอนกรีต” ซึ่งแต่ละครั้งมีผู้สนใจเข้าร่วมประชุมสูงกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 80 คน กล่าวคือครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 19 สิงหาคม 2551 มีผู้เข้าร่วมจำนวน 86 คน ครั้งที่ 2 วันที่ 31 กรกฎาคม 2552 มีผู้เข้าร่วมจำนวน 96 คน และครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 6 สิงหาคม 2553 มีผู้เข้าร่วมจำนวน 93 คน ซึ่งส่วนใหญ่ของผู้เข้าร่วมประชุมเป็นผู้ประกอบการหรือพนักงานในอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีต ผู้ใช้คอนกรีต นักวิชาการ วิศวกร และบางส่วนเป็นนักศึกษาในระดับปริญญาโทและเอกที่มีความสนใจในเรื่องของคอนกรีต นอกจากนี้ผลสำรวจแบบสอบถามจากการจัดประชุมทั้ง 3 ครั้ง พบว่าผู้เข้าร่วมประชุมส่วนใหญ่พอใจที่เข้าร่วมประชุมและเห็นว่าได้ประโยชน์จากการเข้าร่วมประชุมระดับ ดี ถึง ดีมาก

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย เรื่อง **การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุประสาน** สามารถดำเนินการได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และการสนับสนุนจากหน่วยงานหรือบุคคล ซึ่งคณะผู้วิจัยขออนุญาตเอ่ยนามดังต่อไปนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งหัวหน้าโครงการฯ ทำงานอยู่ ที่สนับสนุนการดำเนินงานตลอดจนสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้นโครงการ

ขอขอบคุณที่ปรึกษาโครงการวิจัย ศ. ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ ที่กรุณาให้ความเห็นและคำแนะนำที่ดีและเป็นประโยชน์ต่อโครงการหลายครั้ง ทั้งเรื่องการตีพิมพ์และความร่วมมือในการทำวิจัยร่วมกัน

งานวิจัย ข้อมูลงานวิจัย และผลงานตีพิมพ์ส่วนใหญ่มาจากการทำงานของนักศึกษาในระดับปริญญาโทและเอกของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยอื่นๆที่ผู้ร่วมวิจัยสังกัดอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดร. จตุพล ตั้งปกาศิต ดร. วีรชาติ ตั้งจิรภัทร ดร. นันทชัย ชูศิลป์ ดร. วิเชียร ชาลี คุณณัฐพงศ์ มกรธัช คุณรัฐพล สมนา คุณเกียรติสุดา สมนา คุณอรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์ คุณปกป้อง รัตนชู คุณธนพล เหล่าสมาธิกุล คุณพร้อมพงศ์ ผุงเพิ่มตระกูล คุณภูวิช ตรีสุวรรณ คุณสุพัฒน์ ขำคล้าย คุณสุทธินันท์ แอเดียว คุณเทียรศักดิ์ กลับประสิทธิ์ คุณประสิทธิ์ อุตส่าพานิช คุณเที่ยง ชีวเกตุ คุณรักษ์ บูรณสิงห์ คุณจักรพันธ์ วงศ์พา คุณไชยนันท์ รัตนโชตินันท์ ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณอังคณารัตน์ กาญจนมณีนิล คุณสุชาดา ไวยวุทธิ คุณพวงทอง ทองบริสุทธิ์ และ คุณตวงพร ชินณะราศรี ที่ดำเนินการเรื่องธุรการและด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องการดำเนินการวิจัยได้เป็นอย่างดี

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้จะไม่สามารถดำเนินการได้ หากขาดการสนับสนุนด้านทุนวิจัยอย่างเต็มที่จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) ซึ่งได้เห็นความสำคัญและสนับสนุนทุนวิจัยในโครงการกลุ่มทุนวิจัย หรือ เมธีวิจัยอาวุโส สกว.-สกอ. ประจำปี 2550 ซึ่งทุนนี้ได้สร้างนักวิจัยและผลงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีตตลอดจนทำให้ความรู้ ความเข้าใจ ในการจัดการเกี่ยวกับเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมดีขึ้น และ แพร่หลายออกไปอย่างกว้างขวาง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	**ก**
Abstract	**ข**
บทสรุปผู้บริหาร	**ค**
กิตติกรรมประกาศ	**จ**
สารบัญ	**ฉ**
บทที่ 1 เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรม	**1**
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 เนื้อหาของรายงานฉบับนี้	2
บทที่ 2 การศึกษาและการทดลอง	**3**
2.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	3
2.2 การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน	3
2.3 การใช้เถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมพื่อทำจีโอโพลีเมอร์	3
บทที่ 3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	**4**
3.1 ผลการศึกษาที่เป็นบทความที่ตีพิมพ์ หรือ ได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ในวารสาร	4
3.2 ผลการศึกษาที่นำไปจดสิทธิบัตร	5
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษา	**6**
บทที่ 5 ผลการดำเนินงาน (Output) ที่ได้จากโครงการวิจัย	**7**
5.1 ผลงานโดยภาพรวม	7
5.2 การจัดประชุมวิชาการประจำปี	8
5.3 หนังสือเรื่อง การใช้วัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต	8
ภาคผนวก ก.	**9**
ก.1 รายชื่อและบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ	
ก.2 เอกสารการยื่นขอจดสิทธิบัตร	