การประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ครั้งที่ 6 | RUSCON 6

Proceedings

"การขับเคลื่อนงานวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างสรรค์โมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน"

27 - 28 เมษายน 2566

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา

การประชุมวิชาการระดับชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 6
27 – 28 เมษายน 2566
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ศูนย์พระนครศรีอยุธยา หันตรา

ชื่อหนังสือ
รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ครั้งที่ 6

ครั้งที่พิมพ์ 1 **ปีที่พิมพ์** 2566

เว็บไซต์
www.ruscon.rmutsb.ac.th

จัดทำและตีพิมพ์โดย
สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
60 หมู่ 3 ต.หันตรา อ.พระนครศรีอยุธยา
จ.พระนครศรีอยุธยา 13000 ประเทศไทย

ISBN (e-book) 978-974-625-992-7

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review)

สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

รศ.ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รศ.ดร.ไชยยันต์ ไชยยะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.อัคครัตน์ พูลกระจ่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.กรุง ลือวัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
รศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.เกียรติยุทธ กวีญาณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ธรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.นิพนธ์ ภูวเกียรติกำจร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.บพิธ บุปผโชติ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.พิชัย จันทร์มณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รศ.ดร.พีระยศ แสนโภชน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.ภาณุ พร้อมพุทธางกูร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รศ.ดร.วชิระ จงบุรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สมเกียรติ รุ่งทองใบสุรีย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.สยาม อรุณศรีมรกต	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร.สำเริง รักช้อน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
รศ.ดร.อัคครัตน์ พูลกระจ่าง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ทวีศักดิ์ ศรีจันทร์อินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.ธิบดินทร์ แสงสว่าง	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร.นันทชัย ชูศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผศ.ดร.ภาคภูมิ ศรีรมรื่น	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.วันรัฐ อับดุลลากาซิม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.วัลลภ ภูผา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วาณิช นิลนนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.สมพงษ์ พิริยายนต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.สุคม ลิปิเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review)

ดร.ประกอบ ชาติภุกต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.พสิษฐ์ สุวรรณภิงคาร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.วทัญญู รอดประพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	
รศ.กรรณิการ์ ดวงมาลย์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.นวลวรรณ สุนทรภิษัช	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.วิระพงศ์ จันทร์สนาม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.สยาม อรุณศรีมรกต	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.กชกร เจตินัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.ชวลิต ศรีสถาพรพัฒน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.นภา แซ่เบ๊	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร.นิธิรัชต์ สงวนเดือน	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.พิมสิรี สุวรรณะ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.พิลาพรรณ โพธิ์นรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.ภัททิรา หอมหวน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผศ.ดร.ยอดธง รอดแก้ว	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ.ดร.วันทนีย์ เขตต์กรณ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ศิริวัชร์ อาลักษณสุวรรณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผศ.ดร.สรชัย ชวรางกูร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.อุทาน บูรณศักดิ์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.มงคล ณ ลำพูน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ราตรี เอี่ยมประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.สิวาลัย จินเจือ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.ณัฐพงษ์ วงษ์ดำเนิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.สิริลักษณ์ ประเสริฐกุลศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สาขาเกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมอาหาร	
รศ.ดร.กาญจนา รุ่งรัชกานนท์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.จตุรงค์ ลังกาพินธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.พิทยา ใจคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review)

รศ.ดร.สมชาติ หาญวงษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รศ.ดร.อรอุมา เพียซ้าย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ศานิต สวัสดิกาญจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผศ.ดร.กฤติยา เขื่อนเพชร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผศ.ดร.คมสันต์ สุป้อง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผศ.ดร.จุฑามาศ ร่มแก้ว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.ชเนษฎ์ ม้าลำพอง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.ชูจิตร รินทะวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.ดร.ละอองศรี ศิริเกษร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.วราภรณ์ จันทรจำนงค์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.วิจิตรา เหลียวตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.วิศิษย์ เกตุปัญญาพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.วีระพล แจ่มสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผศ.ดร.ศรินญา สังขสัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.กิตติภพ วายุภาพ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
สาขาบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์	
รศ.ดร.จุรีพร กาญจนการุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ธัญปวีณ์ รัตน์พงศ์พร	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
รศ.ดร.บัวผัน สุพรรณยศ	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รศ.ดร.พิทักษ์ ศิริวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร เพชรบุรี
ผศ.ดร.กนิษฐา แย้มโพธิ์ใช้	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.กฤตยา ณ หนองคาย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.จันทิมา พรหมเกษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ.ดร.ณภัทร ทิพย์ศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผศ.ดร.นันทพรรดิ์ นิตยพงศ์ชัย	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ดร.นิศานาถ มั่งศิริ	มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
ผศ.ดร.ประทีป พืชทองหลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผศ.ดร.ปัชฌา ตรีมงคล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.พนัชกร สิมะขจรบุญ	มหาวิทยาลัยศิลปากร

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิผู้ประเมินบทความ (Peer Review)

ผศ.ดร.เรณู เหมือนจันทร์เชย	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.ว่าที่ร้อยเอกธนู ทดแทนคุณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
สาขาการศึกษา	
รศ.ดร.ประสาท เนืองเฉลิม	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร.เสกสรรค์ แย้มพินิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.อิศรา ก้านจักร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.เอกนฤน บางท่าไม้	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร.วารุณี ลัภนโชคดี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.วิไลวรรณ วงศ์จินดา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.วีระยุทธ สุดสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผศ.ดร.ศิริรัตน์ เพ็ชร์แสงศรี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร.สรกฤช มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.อพันตรี พูลพุทธา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.อังคณา อ่อนธานี	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.สุวิมล พิบูลย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

สารบัญ

		หน้า
	สาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย	
6ER-O01	การใช้วัสดุคอนกรีตรีไซเคิลแทนที่หินคลุกสำหรับงานก่อสร้างชั้นพื้นทาง *โชติกาญจน์ ราชกรม และ พิสุต รอดวินิจ*	1
6ER-O02	วัสดุก่อผนังจากเศษคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ กระตุ้นด้วยอัลคาไลเพื่อทดแทนการใช้ซีเมนต์และทรายจากธรรมชาติ *วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ และ สุรพันธ์ สันติยานนท์*	9
6ER-O07	การศึกษาสมบัติชีวมวลอัดเม็ดของเศษไม้ยางพาราจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ *จามร วสุรัตน์มณี ศิริชัย ยศวังใจ กัญจน์ชญา หงส์เลิศคงสกุล และ ดุสิต งามรุ่งโรจน์*	16
6ER-O08	ผลกระทบของการควบคุมอุณหภูมิไพโรไลซิสต่อคุณลักษณะของน้ำส้มควันไม้และการลดปริมาณสารเจือปน *นิธิพัฒน์ อิ่วสกุล กุลยศ สุวันทโรจน์ ดวงฤทัย นิคมรัฐ อภิสิทธิ์ น้อยพงษ์ ปวรุตม์ พราหมณ์พิทักษ์ และ นทีธร ชีวะสวัสดิ์*	23
6ER-O11	การประยุกต์ใช้หุ่นยนต์โต้ตอบ ChatGPT เพื่อช่วยสอนวิชาวงจรไฟฟ้า *ปรีชา สาคะรังค์ และ ผ่องพรรณ สาคะรังค์*	28
6ER-O14	การออกแบบและสร้างเครื่องอัดตลับลูกปืนขนาดพกพา *นิรันดร์ วัชโรดม ไพรัช อัมพร ภาณุพล ทาเอื้อ ศุภกิจ มีสวัสดิ์ และ ทรงวิทย์ แซ่ปัง*	37
6ER-O15	การทดสอบภาคสนามวัสดุกันความร้อนภายในบ้านขนาดจำลอง *ปิยชาติ ธาตรีนรานนท์ ไพรัช อัมพร ภาณุพล ทาเอื้อ ศุภกิจ มีสวัสดิ์ และ ทรงวิทย์ แซ่ปัง*	43
6ER-O16	การทดสอบการเผาหน้ากากอนามัยด้วยเทคนิคการเผาแบบควบคุมอากาศ *ธนาพล สุขชนะ ชัยยันต์ ใจบุญมา สราวุฒิ สิริเกษมสุข มงคล แก้วบำรุง อนุวัฒน์ บำรุงกิจ ชัยวัฒน์ คุรุกิจวาณิชย์ ชาติชาย ลีลาสิริวิไล รวินท์ธนัตถ์ ทิพย์เสนา และ วิภูษณะ ฉายินทุ*	51
6ER-O17	การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการติดตั้งแม่พิมพ์ตัดโลหะด้วยอุปกรณ์ตัดแผ่นชิม *วิษณุ แฟงเมือง สินมหัต ฝ่ายลุย ธนากร พิณภ์โกศล บุญทวี ยอดขำ และ ภัทรพงศ์ เกิดลาภี*	59
6ER-O19	การออกแบบและพัฒนาชุดยึดจับกลองสแนร์แบบปรับขนาดได้ *ยรัชฎ์ จันทรส สาลินี อาจารีย์ และ ดุสิต งามรุ่งโรจน์*	66
6ER-O20	จักกลวิทัศน์โดยผสานการทำงานแขนกลหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ร่วมกับเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ *ปฏิภาณ ห่วงศร อาทิตย์ ยาวุฒิ และ จักรรินทร์ ถิ่นนคร*	76
6ER-P03	การใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพัฒนาความเป็นฉนวนกันความร้อนของกระเบื้องมุงหลังคาที่ผลิตโดยเทคโนโลยีบล็อกประสาน *ณฐพงศ์ จันทร์เพ็ชร์*	91

		หน้า
6ER-P04	การศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขวดพลาสติก *ทวีศักดิ์ ศรีจันทร์อินทร์ และ ปัญญา ลูกพลับ*	96
6ER-P05	แนวทางการปรับปรุงอาคารเก่าสำหรับการอยู่อาศัยใหม่: กรณีศึกษาบ้านเลขที่ 149 เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร *รุจ รัตนพาหุ พัลยมล หางนาค และ วีรวรรณ สระทองห้อย*	100
6ER-P06	ออกแบบและทดสอบเสาไม้ประกับจากเศษไม้สักและเศษไม้ยางพารา : เสาแบบตัน และเสาแบบพื้นที่ว่าง *จามร วสุรัตน์มณี และ ดุสิต งามรุ่งโรจน์*	115
6ER-P07	กรณีศึกษาการใช้มาตรการการอนุรักษ์พลังงานของระบบหม้อไอน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหม้อไอน้ำในโรงงานผลิตอาหาร *ณัฐพงศ์ พูนกำลัง ติณณภพ กระจ่างสด ดุสิต งามรุ่งโรจน์ ติกะ บุนนาค โจเซฟ เคดารี และ ปรีดา จันทวงษ์*	122
6ER-P08	การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาผลิตผงสังกะสีออกไซด์ *ณัฐธิดา ช่วยบ้าน จอร์จ เคดารี ดุสิต งามรุ่งโรจน์ ปรีดา จันทวงษ์ ติกะ บุนนาค และ จงจิตร์ หิรัญลาญ*	129
6ER-P09	ปรับปรุงกระบวนการตัดแบ่งครึ่งชิ้นงานของเครื่องพันซ์ชิ่ง *ประวิทย์ ตฤณรัชตเมธี และ พงศ์เทพ โคกสอน*	126
6ER-P10	การออกแบบและสร้างเครื่องบดข้าวลีบหรือข้าวครึ่งเมล็ด *อติศักดิ์ ไสวอมร และ บัญชา พุทธากูล*	144
6ER-P11	การออกแบบและพัฒนาเครื่องปั่นเตรียมสารประกอบฟังก์ชันอาหาร กรณีศึกษา : จิ้งหรีดทองดำ *กานต์ จันทระ ยุทธศิลป์ ชัยสิทธิ์ โกเมนทร์ พร้อมจะบก ก่อเกียรติ กองสิงห์ จักรภพ วงศ์ลา และ รติภูมิ แก้ววงษา*	152
	สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ	
6ST-O01	การพัฒนาระบบตอบกลับอัตโนมัติ สำหรับการวินิจฉัยโรคเบื้องต้น *ทรรศนะ สีสว่าง ชิษณุชา อัครกุลพิชา ธนัฐดา รักษ์เจริญ และ สุธีรา พึ่งสวัสดิ์*	157
6ST-O02	การพัฒนาระบบตอบคำถามเพื่อการประชาสัมพันธ์หลักสูตรแบบอัตโนมัติ กรณีศึกษาสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี *จิตตภู พูลวัน ณิชานันท์ สมัครไทย พันธกานต์ รี้พลรุจ และ อธิศ มีเครือ*	166
6ST-O03	การพัฒนาแชทบอทเพื่อสนับสนุนข้อมูลการตัดสินใจเข้าศึกษาต่อ กรณีศึกษา วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี *พีรวัช แก้วไกรไทย และ บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล*	175
6ST-O04	การพัฒนาแชทบอทสำหรับให้คำแนะนำผู้ที่มีความต้องการซื้อที่อยู่อาศัย *ธมลวรรณ รังผึ้ง และ บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล*	182
6ST-O06	ระบบส่งเสริมการจัดหางานของนักศึกษาโดยวิธีจับคู่ข้อมูลและกราฟเรดาห์ กรณีศึกษา วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี *อภิวัฒน์ สร้างแก้ว และ บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล*	194

		หน้า
6ST-O07	ระบบช่วยบริหารเวลาทำงานสำหรับผู้เสี่ยงภาวะหมดไฟในการทำงานโดยเทคนิคไทม์บ็อกซิ่ง *ปพัชญา รัตนสาคร และ บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล*	207
6ST-O08	เว็บแอพพลิเคชั่นเพื่อการจัดการข้อมูลเวชระเบียน กรณีศึกษา: โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา *ยงยุทธ นันทจินดา และ บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล*	216
6ST-O09	การพัฒนาเว็บแอพพลิเคชันแบบสำรวจความพร้อมในการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ ด้วยเทคโนโลยี Laravel Framework กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ *บุรินท์ สุภีวี นฤทธิ์ แสงเปี่ยม ศรัณย์พงษ์ ศรีพูน สิทธิชัย บุญสนิท และ ภิญญาพัชญ์ ทาสาธนัตย์ตระกูล*	227
6ST-O10	ฟีเจอร์การประมูลอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับเว็บไซต์อีคอมเมิร์ซ *ชนิสรา คำทอง และ บุญประเสริฐ สุรักษ์รัตนสกุล*	241
6ST-O12	การแก้ปัญหาสมการการสั่นแบบแอนฮาร์มอนิกโดยทฤษฎีการรบกวนปรกติเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีเชิงตัวเลขและผลเฉลยอนุกรมกำลัง *ปรัชญา ตั้งจิตสมบูรณ์ และ ดุสิต งามรุ่งโรจน์*	251
6ST-O15	การพัฒนากระบวนการผลิตอัลลอยยาถมดำปราศจากตะกั่วเพื่อใช้งานในเชิงพาณิชย์ *กันตินันท์ ภูพานใบ เสวต อินทรศิริ ชาตรี วัจฉละญาณ และ ขจีพร วงศ์ปรีดี*	271
6ST-O16	การสร้างสื่อประชาสัมพันธ์สภาพแวดล้อมเสมือนจริงเพื่อการท่องเที่ยววัดแจ้งศิริสัมพันธ์ *พงฐฉัตร เนียมทรง ปนัดดา บุญมั่น พลปชา มณรัตนชัย ภิญญาพัชญ์ ทาสาธนัตย์ตระกูล ศวัสกร กันทะคีรี ศุภกร มุ่งแรมกลาง และ ภควัต อินทโร*	280
6ST-O17	การออกแบบการเรียนการสอนวิชาอาวุธโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนสำหรับนักศึกษาวิชาทหาร *วัชภูมิ เพชรแสงใส พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล และ ปณวรรต คงธนกุลบวร*	294
6ST-O19	ถังขยะอัจฉริยะสำหรับผู้สูงอายุ *เสาวลักษณ์ ลีลาวงศาโรจน์ ธนพร ปฏิกรณ์ นิภัทร์ ไวยธิรา และ ธนรัตน์ ร้อยอำแพง*	300
6ST-O20	เกมโรบล็อก คณิตศาสตร์ผจญภัย สำหรับชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 *พินทุสร ปัสนะจะโน สิรวิชญ์ ชาติเผือก และ สิทธิเดช ทวีกิจโชติรัตน์*	310
6ST-P01	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดของเกษตรกรอำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ *อรวรรณ เอี่ยมศรีวรรณ และ ภานุพงศ์ พรหมมารัตน์*	323
6ST-P02	การคัดเลือก *Bacillus* sp. จากทางเดินอาหารของกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii*) เพื่อใช้เป็นโพรไบโอติก *วิญญู บุญประเสริฐ ทัศนีย์ นลวชัย มัสธูรา ละใบเด็น และ ทินวุฒิ ล่องพริก*	334

		หน้า
	สาขาเกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมอาหาร	
6AF-O02	อิทธิพลของความเข้มแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจิงจูฉ่าย *ชนิกา อริยะดิบ วรัญญา อรัญวาลัย และ กนก เลิศพานิช*	341
6AF-O04	การเปรียบเทียบรูปแบบของการผสมเกสรต่อคุณภาพฝักข้าวโพดหวานสีแดงพันธุ์ราชินีทับทิมสยาม *วัชรวิทย์ รัศมี นภาพร จิตต์ศรัทธา และ รัชชานนท์ อุดมสุข*	348
6AF-O07	พฤติกรรมของไก่พื้นเมืองเวียดนามและไก่พื้นเมืองไทยที่เลี้ยงแบบขังสุ่มในช่วงฤดูร้อน *พิพัฒน์ สมภาร ภานุวัฒน์ ช่วยธรรมรัตน์ และ พิชญา กมลเสถียร*	353
6AF-P02	โรคใบจุดของผักกาดคอส *(Lactuca sativa* var. *longifolia)* และศักยภาพของสารเคมีเพื่อป้องกันการตกค้างของเชื้อราในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน *รัติยา พงศ์พิสุทธา สัณฐิติ บินคาเดอร์ ชัยณรงค์ รัตกรีฑากุล ศิโรรัตน์ เขียนแม้น ทิพย์วรา เทียนสว่าง ธนวรรณ พรหมขลิบนิล และ อรุณี คงสอน*	360
6AF-P03	อัตราปุ๋ยสังกะสีทางใบที่เหมาะสมสำหรับถั่วเขียวสองพันธุ์ที่ปลูกในชุดดินอยุธยา *สายชล สุขญาณกิจ และ โสภิดา สุขญาณกิจ*	370
6AF-P05	การเพาะเลี้ยงจิ้งหรีดโดยใช้สูตรอาหารเลี้ยงไก่เป็นสารตั้งต้น *ชาญณรงค์ ศรีทรงเมือง สัณฐิติ บินคาเดอร์ และ ทิพย์วรา เทียนสว่าง*	377
6AF-P06	ผลของระดับโปรตีนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของเป็ดปักกิ่งช่วงอายุ 15 ถึง 56 วัน *ชัยพฤกษ์ หงส์ลัดดาพร สว่าง กุลวงษ์ สุธาสินี ครุฑกะ พิทักษ์ น้อยเมล์ นิธิภัทร บุญปก ณัฐณิชา จีเวิน ผนิดา นาฏทัศ วีระเดช พิมูลขันธ์ สุนิตา พิมพ์โพธิ์ และ เสาวลักษณ์ ราตะบุตร*	383
6AF-P07	การเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านต่าง ๆ ของมะกะโรนีหลังผ่านการฉายรังสีแกมมาในระดับที่ใช้กำจัดแมลง *สุรศักดิ์ สัจจบุตร วชิราภรณ์ ผิวล่อง จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ ศิริลักษณ์ ชูแก้ว เขมรุจิ เข็มทอง ฐิติมา คงรัตน์อาภรณ์ ปัญชลี ประคองศิลป์ และ กำธร พุทธิขจร*	388
6AF-P09	การศึกษาผลิตกุ้งจ่อมมังสวิรัติจากกลูเตนแป้งโฮลวีทและกลูเตนแป้งสาลีอเนกประสงค์ *ธนาวดี บุญชัยดี รัตนพร ศรีอันประเสริฐ ณัฐพงศ์ พรหมไพโรจน์ และ อดิศักดิ์ ทับเจริญ*	395
6AF-P10	การสำรวจความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์และปริมาณวัตถุกันเสียของแป้งห่อโรตีสายไหมในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา *สิริวรรณ สุขนิคม และ สุณิสา สุวรรณพันธ์*	406
6AF-P11	การห่อหุ้มเซลล์โพรไบโอติกและการรอดชีวิตในเม็ดบีดส์ไฮโดรเจล *สุชาคริย์ วดีสุขเกษม นารีลักษณ์ นาแก้ว วรรณภา สระพินครบุรี อรรณพ ทัศนอุดม และ จารุวรรณ ทองสนิท โอคุมุระ*	412
6AF-P12	การศึกษาและพัฒนาเครื่องล้างข่าในครัวเรือน *เฉลิมขวัญ อริยะวงศ์ และ พิรุณ ชมศรี*	422

		หน้า
	สาขาบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์	
6BE-O02	การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานเพื่อยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ในรายวิชา การบัญชีภาษีอากร (3523501) เรื่อง การบัญชีภาษีเงินได้หัก ณ ที่จ่าย ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 นักศึกษาสาขาวิชาการบัญชี หมู่เรียน LN01 *เพลินพิศ โพธิ์วัน และ ชินเชิง แก้วก่า*	426
6BE-P01	การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการประกอบอาชีพยูทูบเบอร์ : กรณีศึกษารายการท่องเที่ยว *ศุภลักษณ์ เกษสร้อย และ นริศรา เจริญพันธุ์*	434
6BE-P02	อิทธิพลของการมุ่งเน้นตลาดที่ส่งผลต่อนวัตกรรมของธุรกิจ SMEs กลุ่มนครชัยบุรินทร์ *อารยา อึงไพบูลย์กิจ ดลใจ พิพัฒน์พงษ์ และ กิตติธรา อมรสิน*	447
6BE-P03	อิทธิพลของทุนทางปัญญาที่ส่งผลต่อความได้เปรียบทางการแข่งขันของบูทิคโฮเทล *วรดิศ ธนภัทร และ อารยา อึงไพบูลย์กิจ*	455
	สาขาสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์และวิจัยสถาบัน	
6SR-O01	การอนุรักษ์และเผยแพร่ภูมิปัญญาผลิตภัณฑ์พื้นบ้านโดยการมีส่วนร่วมของชุมชน อำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี *จักร์กวี ซื่อตรง*	461
6SR-O03	“เสียงเงียบ” ของเยาวชน: การสะท้อนคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของเยาวชนในงานวรรณกรรม *ปทิตตา พูพะเนียด*	477
6SR-O05	การตัดสินใจเดินทางท่องเที่ยวตลาดกลางคืนของวัยรุ่นหญิงไทย: กรณีศึกษาตลาดนัดเลียบด่วน รามอินทรา *เยาวลักษณ์ เอกไพฑูรย์ ธัญญลักษณ์ เอนกจำนงค์พร และ พงศ์เสวก เอนกจำนงค์พร*	484
6SR-O06	นวัตกรรมการตลาดและการท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ในอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว และบริการสำหรับการท่องเที่ยวรูปแบบใหม่ในศตวรรษที่ 21 *จง แซ่สง*	492
6SR-O07	ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการดูแลสุขภาพของนักศึกษาในช่วงที่มีการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา *ปวีณา รัตนเสนา มัยซาเราะ มะเส็ม อรุณี ยะพา และ นูรดี สาแม*	504
6SR-O08	การศึกษารูปแบบสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกศึกษาต่อของนักศึกษาในคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ *ศุภลักษณ์ บุญเชย และ อรวรรณ บ้านศาลเจ้า*	516

		หน้า
6SR-P01	การศึกษาปัจจัยในการตัดสินใจศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ *ปัญญา ลูกพลับ นฤมล ชินวุฒิโรจน์ อรวรรณ บ้านศาลเจ้า และ อัจฉรา พลอยสดใส*	523
6SR-P02	ความหลากหลายของทรัพยากรธรรมชาติและบริการของระบบนิเวศบึงสาธารณะท้องถิ่น *พัฒนพงษ์ ธงหาร กนกวรรณ แยกผิวผ่อง ขวัญสุดา วรวิบูล และ ฐกร อ่วมสถิตย์*	529
6SR-P04	ถวยศรัทธาบูชาองค์พระธาตุมะนาวเดี่ยว *สรินทร คุ้มเขต สังคม พรหมศิริ ชมภูนาฏ ชมภูพันธ์ จุฑาภรณ์ วิลัยแก้ว ผุสดี โกมาสถิต นัฐธิดา คำอ้อ และ อรนภา กันนะเรศ*	538
	สาขาการศึกษา	
6ED-O01	การพัฒนาทักษะและนวัตกรรมด้านวิสาหกิจการเกษตรและอาหารระดับบัณฑิตศึกษา *นักสิทธิ์ ปัญโญใหญ่ ชยานนท์ สวัสดีนฤนาท และ สุพจน์ บุณแรง*	546
6ED-O03	เจตคติที่มีต่อการเรียนภาษาอังกฤษของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี *จำรัก ซื่อตรง*	558
6ED-O04	การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้นในรายวิชาปฏิบัติการไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ *สุประวิทย์ เมืองเจริญ และ วิทฤทธิ์ โคตรมณี*	566
6ED-O06	การพัฒนาชุดการเรียนรู้เทคโนโลยีบ่งชี้ตัวตนจากคลื่นวิทยุด้วยโปรแกรมเชิงวัตถุ *นิรันดร์ ชุมสาย ณ อยุธยา และ ญาดา อธิรัตนปัญญา*	577
6ED-O07	การศึกษาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์โต้ตอบ ChatGPT ในการตรวจแก้ไขโครงสร้างประโยคและไวยากรณ์ภาษาอังกฤษพื้นฐาน *ผ่องพรรณ สาคะรังค์ และ ปรีชา สาคะรังค์*	586
6ED-O08	เกมเพื่อการศึกษาโดยใช้รูปแบบการสอนแสดงบทบาทสมมุติ เรื่อง ผจญภัยไปกับหนูน้อยในภารกิจสำรวจระบบสุริยะ โดยใช้แพลตฟอร์ม Roblox *คณิศร จี้กระโทก ปณวรรต คงธนกุลบวร และ พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล*	596
6ED-O09	ออกแบบและพัฒนาการตรวจจับท่าทางโดยใช้เทคโนโลยี computer vision ในกีฬาเทควันโด *มนตรี เพ็งพรหม คณิศร จี้กระโทก และ ปณวรรต คงธนกุลบวร*	604
6ED-O10	องค์ประกอบในการออกแบบและพัฒนาบอร์ดเกม: การทบทวนอย่างเป็นระบบ *นวมินทร์ บ่อจักรพันธ์ พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล และ ปณวรรต คงธนกุลบวร*	611

		หน้า
6ED-O11	การหาประสิทธิภาพและพัฒนาผลสัมฤทธิ์ด้วยแบบฝึกทักษะในรายวิชาการบัญชีภาษีเงินได้บุคคลธรรมดา : กรณีศึกษานักเรียนระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพ ปีที่ 2 สาขาวิชาการบัญชี *อัญชลี เมืองเจริญ และ เบญจพร สว่างศรี*	622
6ED-P01	ผลสัมฤทธิ์การอ่านอย่างมีวิจารณญาณของนักศึกษาวิทยาลัยเพาะช่างที่จัดการเรียนรู้ด้วยวิธีวิทยาศาสตร์ *วัฒนา แซ่มวงษ์*	630
6ED-P02	ประสิทธิผลของการเรียนการสอนในเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์ผ่านกิจกรรมคู่ขนานการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาไพทอน *ผุสดี อย่างกลั่น นิติมา อัจฉริยะโพธา และ ประพรรณพร รัตนะ*	638
6ED-P03	ประสิทธิผลและความพึงพอใจในการวัดผลการเรียนรู้แบบออนไลน์ เรื่อง เวกเตอร์ *นิติมา อัจฉริยะโพธา และ อนิรุธ ลวดทรง*	648
6ED-P04	การพัฒนาชุดการสอนแบบสื่อประสม เรื่องการประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ด้วยรูปแบบการเรียนการสอนแบบร่วมมือเป็นฐาน P-CSDE Model *วิทฤทธิ์ โคตรมณี อนุรักษ์ เมฆพะโยม และ สุประวิทย์ เมืองเจริญ*	654

6ER-O02 : วัสดุก่อผนังจากเศษคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศกระตุ้นด้วยอัลคาไลเพื่อทดแทนการใช้ซีเมนต์และทรายจากธรรมชาติ

Alkali-Activated Masonry Units Using Crushed Cellular Lightweight Concrete to Fully Replace Cement and Natural Sand

วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์[1*] และ สุรพันธ์ สันติยานนท์[2]

Warisara Lertpaitoonpan[1*] and Suraphan Santiyanon[2]

บทคัดย่อ

คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (CLC) ที่แตกหักเสียหายจากการผลิต การขนย้าย รวมทั้งเศษเหลือจากการตัด เป็นขยะที่จะต้องขนทิ้ง ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายและเป็นภาระต่อพื้นที่ฝังกลบ การผลิต CLC ก็ต้องใช้ซีเมนต์และทรายที่เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมด หากสามารถนำเศษ CLC กลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นวัสดุก่อสร้างก็จะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและตอบสนองต่อโมเดลเศรษฐกิจบีซีจี (BCG Economy) งานวิจัยนี้จึงนำเศษ CLC ที่บดละเอียด ผสมกับสารกระตุ้น (Activating Solution) คือโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเกต เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุเบาก่อผนังแทน CLC ชนิด C16 ที่ต้องมีค่ากำลังต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 51 กก./ตร.ซม. โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 7.5 โมลาร์ และมีอัตราส่วนของ เศษ CLC: สารกระตุ้น เป็น 1: 1.5 ผลการวิจัยพบว่า ก้อนตัวอย่างมีค่าความต้านแรงอัดสูงสุด (ที่ 28 วัน) เท่ากับ 115 และ 99 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 5 และ 7.5 โมลาร์ ตามลำดับ และมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,600-1,650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทุกระยะเวลาการบ่ม

คำสำคัญ: วัสดุก่อผนังชนิดกระตุ้นด้วยอัลคาไล เศษคอนกรีตบล็อกมวลเบา วัสดุทดแทนซีเมนต์

Abstract

The broken Cellular Lightweight Concrete (CLC) from production, handling, including the cutting residues. It must be disposed of, which is costly, and burdens the landfill area. In addition, the production of CLC requires depleted natural resources, cement and sand. If CLC scraps can be reused as building materials, it would be good for the environment and a response to the BCG Economy model as well. In this research, the crushed CLC fragments was mixed with an activating solution, sodium hydroxide and sodium silicate solution, to develop a lightweight wall material substituting CLC type C16 that must have a compressive strength of not less than 51 kg/cm^2. The sodium hydroxide concentrations of 5 and 7.5 molar, and the ratio of ground CLC: activating solution was 1: 1.5. The results showed that samples had the highest compressive strength, at 28 days curing age, of 115 and 99 kg/cm^2, for the sodium hydroxide concentrations of 5 and 7.5 molar, respectively. The density were between 1,600-1,650 kg/cm^3 for every mix recipe.

Keywords: Alkali-activated wall material, CLC fragment, Cement-substitute masonry

บทนำ

คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (Cellular Lightweight Concrete–CLC) หรือเรียกกันทั่วไปว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า มีโครงสร้างรูพรุนที่เกิดจากการเติมสารก่อฟองกระจายอย่างสม่ำเสมอ ด้วยโครงสร้างเช่นนี้จึงมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีน้ำหนักเบากว่าอิฐมอญประมาณร้อยละ 40 มีขนาดก้อนใหญ่กว่าอิฐมอญและผิวเรียบทำให้ประหยัดทั้งปูนก่อและปูนฉาบรวมทั้งก่อได้รวดเร็วกว่า เป็นฉนวนกันความร้อนช่วยลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศได้ ทนไฟ มีความแข็งแรง เจาะฝังพุกยึดแขวนได้ มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (Autoclaved aerated lightweight concrete–AAC) ทำให้ลดปัญหาความชื้นและเชื้อรา ดังนั้น CLC จึงได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุก่อผนังอาคาร (คำภี จิตชัยภูมิ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ,

[1] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ถนนพหลโยธิน กรุงเทพฯ

[1] Department of Civil Engineering, School of Engineering, Sripatum University, Phahonyotin Road, Bangkok.

[2] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ถนนพหลโยธิน กรุงเทพฯ

[2] Department of Civil Engineering, School of Engineering, Sripatum University, Phahonyotin Road, Bangkok.

* Corresponding author. E-mail: warisara.le@spu.ac.th เบอร์โทรศัพท์ผู้ส่งบทความ : 0803969965

2563; Bhosale et al., 2020) วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต CLC ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย น้ำ และสารก่อฟอง โดยเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าปูนซีเมนต์ผลิตมาจากทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป นอกจากนี้กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ยังปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง นั่นคือ ปล่อยก๊าซเรือนกระจกประมาณ 0.66 ถึง 0.82 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ต่อทุกๆ 1 ตันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตได้ ซึ่งปริมาณ CO_2 ที่ปล่อยออกมาจากการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 5 ถึง 7 ของปริมาณ CO_2 ที่เกิดจากมนุษย์ทั่วโลก (Turner and Collins, 2013; Sheheryar et al., 2021)

ทรายเป็นทรัพยากรธรรมชาติชนิดที่ใช้แล้วหมดไป และเป็นวัตถุดิบที่มีความต้องการใช้มากในการก่อสร้าง โดยมีแนวโน้มความต้องการที่ยังคงเพิ่มอย่างต่อเนื่อง อันมีผลมาจากการขยายตัวของเมืองและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การขุดทรายออกจากแม่น้ำและริมตลิ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ทั้งทางด้านกายภาพ ด้านชีววิทยา ด้านเคมี และสภาพแวดล้อมของมนุษย์ เช่น ทำให้ร่องน้ำกว้างขึ้นและระดับต่ำลง ความหลากหลายทางชีวภาพลดลงและทอดยาวในน้ำและชายฝั่งไปจนถึงพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงทั้งหมด คุณภาพน้ำ อากาศ และดินลดลงเนื่องจากมลพิษที่ปนเปื้อน โครงสร้างพื้นฐานเสียหาย การเข้าถึงน้ำจำกัดและเกิดการสูญเสียทางการเกษตร เมื่อปริมาณความต้องการทรายเพิ่มขึ้น ทำให้แหล่งของทรายขยายไปสู่พื้นที่ที่เปราะบางมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อความยั่งยืนตั้งแต่ระดับท้องถิ่นไปจนถึงระดับโลก (Rentier and Cammeraat, 2022; UN Environment Programme, 2022)

CLC ที่แตกหักเสียหายจากการผลิต การขนย้าย รวมทั้งเศษเหลือจากการตัด ไม่สามารถใช้ก่อผนังได้ เป็นขยะที่จะต้องขนทิ้งซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่าย และการกำจัดที่ต้องฝังกลบก็เป็นการเพิ่มภาระต่อพื้นที่ฝังกลบซึ่งก็ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ทั้งนี้จากรายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564 โดยกรมควบคุมมลพิษ (2564) ระบุว่ามีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบที่ดำเนินการกำจัดอย่างถูกต้องที่เปิดดำเนินการอยู่เพียง 70 แห่ง ในขณะที่สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยที่ดำเนินการกำจัดแบบไม่ถูกต้อง (แบบเทกอง) ที่เปิดดำเนินอยู่มีจำนวนถึง 1,888 แห่ง ในขณะที่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งประเทศมีปริมาณ 24.98 ล้านตัน ถูกนำไปใช้ประโยชน์ 7.89 ล้านตัน (ร้อยละ 32) ถูกกำจัดอย่างถูกต้อง 9.28 ล้านตัน (ร้อยละ 37) และถูกกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง 7.81 ล้านตัน (ร้อยละ 31) ซึ่งหากลดปริมาณขยะ CLC ที่จะต้องทิ้งก็จะส่งผลดีหลายด้านด้วยกัน เช่น ลดความต้องการใช้พื้นที่ฝังกลบ ลดการใช้พลังงานในการขนส่งของเสียไปยังพื้นที่ฝังกลบ ลดพลังงานที่ใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพและกำจัดของเสีย เป็นต้น และหากสามารถลดปริมาณขยะให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการนำมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดก่อนที่จะกำจัดทิ้ง จะเป็นการยืดอายุการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้ยาวนานที่สุด รวมทั้งลดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการนำวัตถุดิบจากธรรมชาติมาใช้ และลดการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศ ซึ่งเป็นหลักการของระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) และ ระบบเศรษฐกิจสีเขียว (Green Economy) โดยทั้งสองระบบนี้รวมอยู่ในโมเดลเศรษฐกิจบีซีจี (BCG Economy Model) (Figure 1) ที่ประเทศไทยกำลังส่งเสริมสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนดำเนินการ ทั้งนี้เศรษฐกิจบีซีจีจะเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยให้บรรลุตามยุทธศาสตร์เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (Sustainable Development Goals–SDGs) (กรมควบคุมมลพิษ, 2563; กรมควบคุมมลพิษ, 2565; วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ และ สมบัติ โพชนา, 2565)

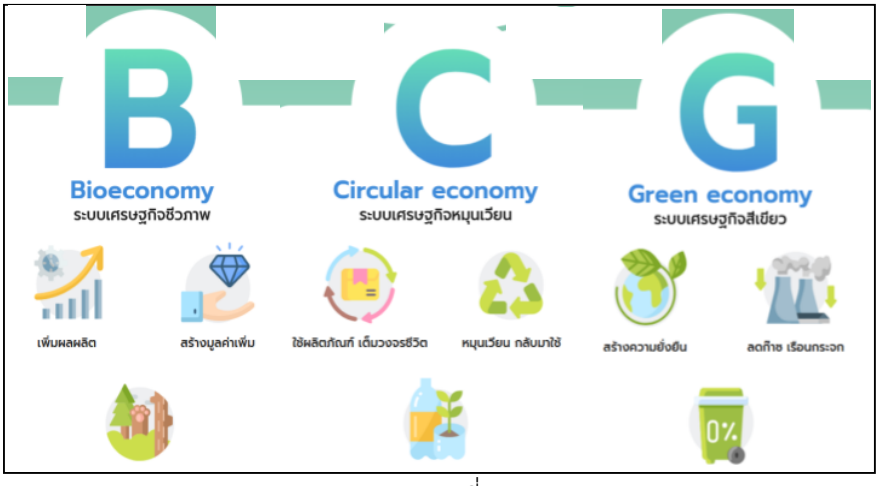

Figure 1 BCG economy model (ที่มา: https://www.bcg.in.th/)

จีโอโพลิเมอร์ (Geopolymer) หรือ วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่าง (Alkali Activated Materials--AAM) เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่แทนซีเมนต์ เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายด่างความเข้มข้นสูง ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และสารตั้งต้นที่มีองค์ประกอบของอะลูมินา (Alumina) และซิลิกา (Silica) เป็นหลัก ซึ่งสารตั้งต้นมีทั้งได้จากธรรมชาติและจากผลพลอยได้ของอุตสาหกรรมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เช่น เถ้าลอยจากโรงงานไฟฟ้า ดินขาวเผา กากขี้เหล็ก เถ้าแกลบจากการเผาข้าว เถ้าชานอ้อย เถ้าปาล์มน้ำมัน (วราพร วงษ์เจริญสมบัติ และคณะฯ, 2563) โดยมีผู้ศึกษาถึงการพัฒนา AAM กันอย่างกว้างขวางในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา เพราะใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าปูนซีเมนต์ กระบวนการผลิตไม่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และส่งเสริมการใช้วัสดุรีไซเคิลและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเป็นวัตถุดิบทุติยภูมิ จึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (นิดา ชัยมูล และ กริสน์ ชัยมูล, 2014; Provis, 2018)

ด้วยปัญหาเศษ CLC ที่ต้องทิ้งเป็นปริมาณมาก อีกทั้งยังไม่พบการนำเศษผง CLC มาใช้เป็นสารตั้งต้นผลิต AAM เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเศษ CLC ที่บดละเอียด ผสมกับสารกระตุ้น (Activating Solution) คือโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเกต พัฒนาเป็น AAM ที่จะใช้เป็นวัสดุก่อผนังแทน CLC ชนิด C16 นอกจากจะลดปริมาณขยะ CLC แล้ว ยังลดการใช้ปูนซีเมนต์และทรายจากธรรมชาติ เพื่อให้สอดรับกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน

วิธีการศึกษา

1. วัสดุและสารเคมี

1) เศษ CLC ที่ใช้เพื่อเป็นสารตั้งต้น นำจากโรงงานผู้ผลิตเพียงแห่งเดียว (Figure 2) โดยโรงงานนี้ผลิต CLC เฉพาะชนิด C12 เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อต้องการควบคุมคุณสมบัติของผง CLC ให้คงที่และเหมือนกันตลอดทุกส่วนผสม

2) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3) สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)

4) น้ำสะอาด

2. เตรียมผง CLC

นำเศษ CLC มาทุบด้วยค้อนให้มีขนาดเล็กลง และบดให้เป็นผงด้วยเครื่อง Los Angeles Abrasion Machine จากนั้น คัดแยกขนาดผง CLC ด้วยตะแกรงเบอร์ 60 เพื่อให้ได้ขนาด 0.250 มิลลิเมตร (Figure 3)

Figure 2 Broken CLC from manufacture

Figure 3 Crushed CLC (left); CLC powder size 0.25 (right)

3. ออกแบบส่วนผสม

1) สารกระตุ้น เป็นสารผสมระหว่างสารละลาย NaOH และ Na_2SiO_3 ที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลาย NaOH : Na_2SiO_3 เท่ากับ 1 : 2

2) อัตราส่วนผงคอนกรีตมวลเบา : สารกระตุ้น เท่ากับ 1 : 1.5

3) เปรียบเทียบผลของความเข้มข้น NaOH ที่มีต่อคุณสมบัติของ AAM โดยใช้ความเข้มข้นของ NaOH เท่ากับ 5 และ 7.5 โมลาร์

4. เตรียมตัวอย่างก้อน AAM

1) ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พักไว้ 1 ชั่วโมงจากนั้นนำสารละลายโซเดียมซิลิเกตมาผสมให้เข้ากันและนำสารละลายเทลงใส่ในผง CLC ที่ได้ชั่งตวงไว้

2) เทลงแบบลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ระหว่างเทให้กระทุ้งอย่างน้อย 15 ครั้ง

3) ทิ้งไว้ให้แข็งตัว 24 ชั่วโมง แล้วแกะแบบหล่อ (Figure 4) นำก้อนตัวอย่างบ่มในอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน

Figure 4 Cube-shape AAM at 24 hours after pouring into the mold.

5. ทดสอบความต้านแรงอัด

ทดสอบความต้านแรงอัด และหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ที่ระยะเวลาการบ่ม (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน

ผลการศึกษา

ในการศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มต่อสมบัติของ AAM ได้ควบคุมตัวแปรอื่นที่มีผลต่อคุณสมบัติของ AAM ให้คงที่ โดยตัวอย่างทั้งหมดถูกเตรียมจากเศษ CLC ที่ผ่านการบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 ผสมกับสารละลายด่าง NaOH ผสม Na_2SiO_3 ในอัตราการผสมที่เหมือนกัน ผลของระยะเวลาการบ่มต่อความต้านแรงอัดของก้อน AAM แสดงใน Figure 5 ซึ่งพบว่าระยะบ่มเพิ่มขึ้นจะทำความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นทุกสูตรผสม โดยส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัด 57, 95 และ 115 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 7.5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัด 45, 71 และ 99 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มความแข็งแรงสมบูรณ์ของโมเลกุลโดยขบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องระหว่างซิลิกา (SiO_2) และ อะลูมินา (Al_2O_3) จึงทำให้ความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้น (Sajan, P. et al., 2021; ฆนากานต์ และคณะฯ, 2565) แต่หาก AAM บ่มที่อุณหภูมิสูง (>60°C) จะไม่จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาการบ่มนานเพื่อให้ได้กำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านแรงอัดของ CLC ชนิด C16 ตาม มอก.2601-2556 ที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่น้อยกว่า 51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่า ส่วนผสมใช้ความเข้มข้น NaOH 5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัดเทียบได้กับ CLC ชนิด C16 ตั้งแต่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน แต่ส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 7.5 โมลาร์ จะต้องใช้เวลาบ่มมากกว่า 7 วัน (แต่ไม่ถึง 14 วัน) จึงจะมีความต้านแรงอัด 51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เทียบเท่า CLC ชนิด C16

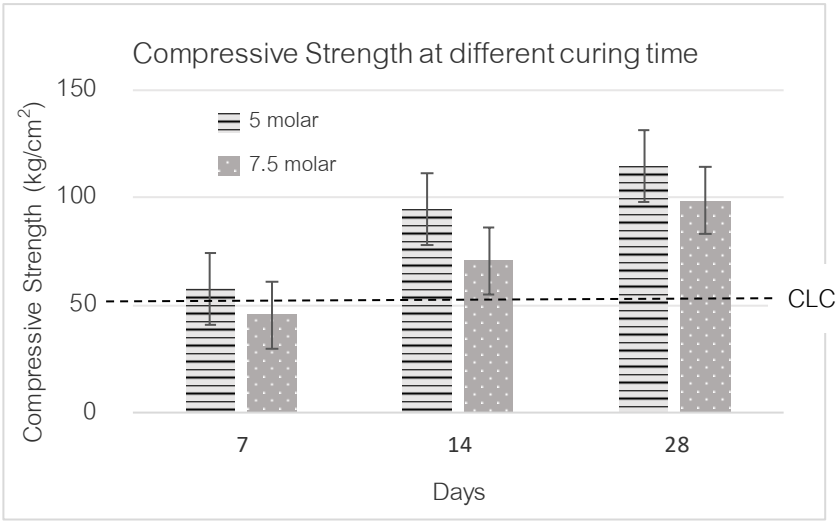

Figure 5 The compressive strength of AAM at 7, 14, and 28 curing days

เมื่อพิจารณาผลของการเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะพบว่า ความเข้มข้นที่สูงเกินกว่า 5 โมลาร์ จะส่งผลให้ความต้านแรงอัดลดลง ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นที่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ NaOH จะทำให้ AAM มีความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของ NaOH สูงกว่าค่าที่เหมาะสม ความต้านแรงอัดจะลดลง ซึ่งสาเหตุอาจมาจากไอออนของไฮดรอกไซด์ (OH^-) จำนวนมากจะตกตะกอนในเจลอะลูมิโนซิลิเกต (Aluminosilicate) ทันทีหลังจากเริ่มกระบวนการจีโอโพลิเมอไรเซชัน (Geo-polymerization) ซึ่งส่งผลให้ความต้านแรงอัดลดลง (Memon et al., 2013; Esparham and Moradikhou, 2021; Jan et al., 2022) ทั้งนี้ความเข้มข้นของ NaOH ที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของวัสดุตั้งต้น อัตราส่วนของวัสดุตั้งต้นต่อสารกระตุ้น และอัตราส่วนของ NaOH ต่อ Na_2SiO_3 เป็นต้น

สำหรับ Figure 6 แสดงความหนาแน่นของก้อน AAM ที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ซึ่งพบว่าระยะบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นลดลงทุกสูตรผสม โดยส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 5 โมลาร์ มีความหนาแน่น 1662, 1628, และ 1612 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้น NaOH 7.5 โมลาร์ มีความหนาแน่น 1673, 1653, และ 1624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำหรับระยะเวลาการบ่ม 7, 14, และ 28 วันตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของ CLC ชนิด C16 ตาม มอก.2601-2556 ที่กำหนดไว้ว่าต้องมีค่า 1,401-1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า ทุกส่วนผสมมีความหนาแน่นเกิน 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ไม่ถึง 1,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งยังคงเป็นวัสดุมวลเบาที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป (2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และความหนาแน่นจะลดลงตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งจากงานวิจัยของ Görhan et al. (2022) และ El-Hassan et al. (2021) ก็พบว่า ค่าความหนาแน่น ของจีโอโพลิเมอร์ลดลงเมื่อเพิ่มเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง ทั้งนี้อาจเนื่องจากการสูญเสียความชื้นในการบ่ม

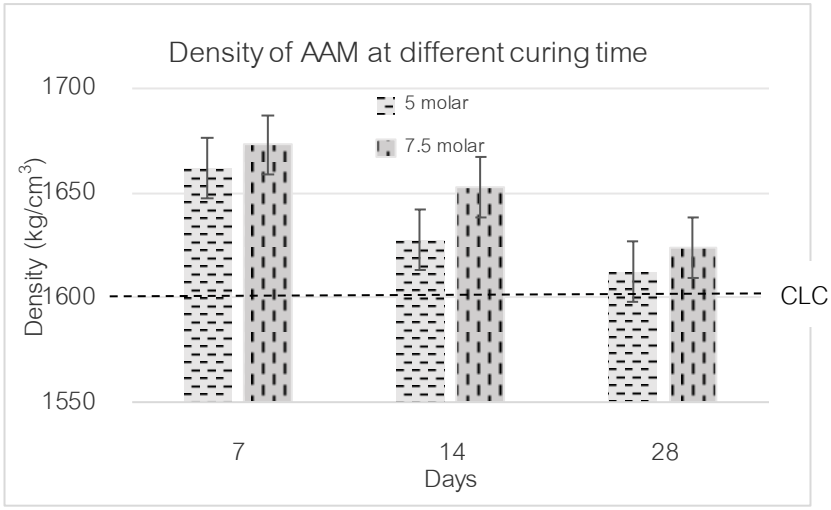

Figure 6 The density of AAM at 7, 14, and 28 curing days.

สรุป

เศษ CLC ที่บดละเอียด ผสมกับสารกระตุ้น (Activating Solution) คือโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมซิลิเกต เพื่อพัฒนาเป็นวัสดุเบาก่อผนังแทน CLC ชนิด C16 โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 และ 7.5 โมลาร์ และมีอัตราส่วนของ เศษ CLC : สารกระตุ้น เป็น 1: 1.5 ผลการวิจัยพบว่า ก้อนตัวอย่างมีค่าความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม 7, 14, และ 28 วัน ซึ่งได้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด (ที่ 28 วัน) เท่ากับ 115 และ 99 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับส่วนผสมที่ใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 5 และ 7.5 โมลาร์ ตามลำดับ และก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,600-1,650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ทุกระยะเวลาการบ่ม ทั้ง 2 สูตรผสม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของ CLC ชนิด C16 ที่มีค่าความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า 51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร 1,401 ถึง 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วพบว่า ก้อนตัวอย่าง AAM ที่ใช้สารละลาย NaOH ความเข้มข้น 5.0 และ 7.5 โมลาร์ มีความต้านแรงอัดและความหนาแน่นที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน สูงกว่า CLC (C16) จึงมีแนวโน้มที่จะนำ AAM ไปประยุกต์ใช้แทน CLC (C16) ได้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). *การศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสำหรับประเทศไทย*. สืบค้น เมษายน 2565, จาก https://www.pcd.go.th/publication/4771

กรมควบคุมมลพิษ. (2564). รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564. สืบค้น มกราคม 2566, จาก https://www.pcd.go.th/publication/26832

กรมควบคุมมลพิษ. (2565). *แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565 – 2570)*. สืบค้น มีนาคม 2566, จาก https://www.pcd.go.th/publication/28745

คำภี จิตชัยภูมิ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. (2563). คอนกรีตมวลเบาเซลลูล่ากำลังสูงทำจากเพอร์ไลต์เผาขยาย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25* (MAT09-1 MAT09-7). วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563 จ.ชลบุรี.

ฆนากานต์ มาศโอสถ, พานิช วุฒิพฤกษ์, อิทธิพล มีผล, ศิริพัฒน์ มณีแก้ว และ กิติศักดิ์ กาญจนันท์. (2565). การเพิ่มประสิทธิภาพของจีโอโพลีเมอร์จากดินขาว-เถ้าแกลบและการประยุกต์ใช้ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27* (GET15-1 - GET15-5). วันที่ 24-26 สิงหาคม 2565 จ.เชียงราย

นิดา ชัยมูล และ กริสน์ ชัยมูล. (2557). วัสดุประสานจากการกระตุ้นด้วยด่าง/จีโอโพลิเมอร์ และการประยุกต์ใช้กับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. *วิศวกรรมสาร มข,* 41(2), 263-270.

วราพร วงษ์เจริญสมบัติ, วีระวรรณ เฉลิมสกุลกิจ และ นุตา ศุภคต. (2563). จีโอพอลิเมอร์...ทางเลือกใหม่สู่อุตสาหกรรมการก่อสร้าง. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 24 (1).

วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ และ สมบัติ โพชนา. (2565). บล็อกประสานมวลเบาบดเป็นมวลรวมสำหรับการผลิตบล็อกใหม่: หนทางสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27* (ENV03-1 - ENV03-6). วันที่ 24-26 สิงหาคม 2565 จ.เชียงราย

สานักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มอก. 2601-2556 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ , *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม*, ฉบับที่ 4562, หน้า 1-9.

Bhosale, A., Zade, N. P., Sarkar, P., & Robin Davis. (2020). Mechanical and physical properties of cellular lightweight concrete block masonry. *Construction and Building Materials,* 248, 118621.

El-Hassan, H., Shehab, E., & Al-Sallamin, A. (2021). Effect of curing regime on the performance and microstructure characteristics of alkali-activated slag-fly ash blended concrete. Journal of Sustainable Cement-Based Materials, 10(5), 289-317.

Esparham, A. R., & Moradikhou, A. B. (2021). Factors influencing compressive strength of fly ash-based geopolymer concrete. *Amirkabir J. Civil Eng*., 53(3), 259-262.

European Environmental Agency. (2020). *Climate change mitigation*. Retrieved May 2022, from https://www.eea.europa.eu/publications/cutting-greenhouse-gas-emissions-through

Görhan, G., Aslaner, R., & Şinik, O., (2016). The effect of curing on the properties of metakaolin and fly ash-based geopolymer paste. *Composites Part B: Engineering*, 97, 329-335.

Jan, A., Pu, Z., Khan, K. A., Ahmad, I., Shaukat, A. J., Hao, Z., & Khan, I. (2022). A review on the effect of silica to alumina ratio, alkaline solution to binder ratio, calcium oxide + ferric oxide, molar concentration of sodium hydroxide and sodium silicate to sodium hydroxide ratio on the compressive strength of geopolymer concrete. *Silicon*, 14, 3147–3162.

Memon, F. A., Nuruddin, M. F., Khan, S. T., Shafiq, N., & Ayub, T. (2013). Effect of sodium hydroxide concentration on fresh properties and compressive strength of self-compacting geopolymer concrete. *Journal of Engineering Science and Technology*, 8(1), 44-56.

Provis, J. L. (2018). Alkali-activated materials, *Cement and Concrete Research*. 114, 40-48.

Rentier, E. S. & Cammeraat, L. H. (2022). The environmental impacts of river sand mining. *Science of the Total Environment,* 838, 155877.

Sajan, P., Jiang, T. Lau, C-K., Tan, G., & Ng, K. (2021). Combined effect of curing temperature, curing period and alkaline concentration on the mechanical properties of fly ash-based geopolymer. *Cleaner Materials*, 1, 100002.

Sheheryar, M., Rehan, R., & Nehdi, M. L. (2021). Estimating CO_2 emission savings from ultrahigh performance concrete: A System Dynamics Approach. *Materials*, 14(4), 995.

Turner, L. K. & Collins, F. G. (2013). Carbon dioxide equivalent (CO_2-e) emissions: A comparison between geopolymer and OPC cement concrete. *Construction and Building Materials,* 43, 125-130.

UN Environment Programme. (2022). *Global sand observatory initiative*. Retrieved May 2022, from https://unepgrid.ch/en/activity/sand