

สมบัติเชิงกลของ Alkali-activated Fly Ash Concrete ในงานถนน Mechanical Properties of Alkali-activated Fly Ash Concrete on Pavement Application

พองจันทร์ จิราลิต¹ สมิตร สงพิริยะกิจ² และ อติสร เพียรสุวรรณ^{2*}

¹ หลักสูตรวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จ.เชียงใหม่

² ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: adisorn.s@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอผลการทดลองจากการเก็บตัวอย่าง Alkali-activated Fly Ash (AFA) คอนกรีตที่มีกำลังอัดออกแบบ 280 กก/ซม² ที่อายุ 28 วัน ในการเทถนนคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 50 ม³ บริเวณหน้าด่านซึ่งนำหน้ารถบรรทุกทุกเข้าถ่านหิน โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง คอนกรีตที่ใช้ในการวิจัยนี้มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อยู่เพียง 60 กก/ม³ ในการกระตุ้นให้คอนกรีตมีกำลังอัดในระยะต้นสูงชัน เพื่อที่จะได้เปิดการจราจรได้โดยเร็ว นอกจากนี้วัสดุที่ใช้ในการวิจัยนี้ยังประกอบด้วย NaOH ที่มีความเข้มข้น 6M และใช้ถ่านหิน 380 กก/ม³ เป็นส่วนผสมของวัสดุประสานหลัก ผลการทดสอบปรากฏว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 วัน มีกำลังอัดมากกว่า 320 กก/ซม² ซึ่งเพียงพอต่อการเปิดการจราจรและกำลังอัดที่อายุ 28 วันมีค่าสูงถึง 400 กก/ซม² นอกจากนี้ผลการทดสอบเชิงกลอื่นๆ เช่น การขัดสี ค่าการซึมผ่านน้ำ การแทรกซึมคลอไรด์ และปริมาณโพรงอากาศ ก็ได้รายงานในบทความนี้ด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ: Alkali-activated Fly Ash Concrete, ถ่านหิน, กำลังอัด

Abstract

This article presents the results of alkali-activated fly ash concrete samples collecting from the pavement site in truck scaling area, Mae Moh power plant, Lampang. The concrete was 50 m³ batch and the design strength was 280 ksc at 28 days. The Portland cement type 1 was used in this project only 60 kg/m³ in order to enhance the early strength for re-open the traffic quicker. Other materials used in concrete proportion were NaOH with 6M concentration and fly ash 380 kg/m³. The results revealed that the concrete exhibited 320 ksc compressive strength within 7 days and more than 400 ksc at 28 days. Moreover, other significant mechanical properties such as abrasion, water permeability, chloride permeability, and permeable voids were reported in this paper as well.

Keywords: Alkali-activated Fly Ash Concrete, Fly Ash, Compressive Strength

1. บทนำ

ในปี 2559 โรงไฟฟ้าแม่เมาะทุกโรง จะมีการนำถ่านหินลิกไนต์ที่มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงเข้าใช้งาน ส่งผลให้ถ่านหินที่ได้จะมีปริมาณ Free Lime สูง และอาจจะเกินค่ามาตรฐานการส่งมอบของ

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ต่อลูกค้ากลุ่มคอนกรีต และผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ ทำให้ต้องนำถ่านหินดังกล่าวไปฝังกลบเพิ่มขึ้น โดยคาดว่าสูงถึง 2 แสนตันต่อปี ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการฝังกลบสูงเพิ่มขึ้นถึงปีละ 20 ล้านบาท เพื่อให้เกิดการส่งเสริมการนำถ่านหินที่มีปริมาณ Free Lime สูงไปใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น กฟผ. จึงริเริ่มโครงการนำร่อง Activated Fly Ash กับงานก่อสร้าง เพื่อนำเสนอการใช้ประโยชน์จาก Activated Fly Ash กับงานก่อสร้าง โดยมีเป้าหมายให้ Activated Fly Ash สามารถให้กำลังอัดสูงถึง 28-32 MPa ในระยะเวลา 28 วัน และในระยะเวลา 1 ปี โดยการทดลองจะทำการเทถนนคอนกรีตเสริมเหล็กบริเวณหน้าด่านซึ่งนำหน้ารถบรรทุกทุกเข้าถ่านหิน โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดย Chalee W และคณะ [1] ได้เสนองานวิจัยในทำนองเดียวกัน งานวิจัยนี้ได้ขยายผลการทดลองในแปลงทดลองขนาดใหญ่

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ

ถ่านหินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง โดยไม่ต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพ ตารางที่ 1 แสดงถึงองค์ประกอบหลักทางเคมีของถ่านหิน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	LOI
FA	30.0	16.6	9.9	30.7	2.8	1

นอกจากนี้ในโครงการนี้ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเกล็ด ตาม มอก. 150-2518 และใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต ชนิดที่ 2 ตาม มอก. 433-2539 สำหรับมวลรวมใช้ทรายแม่น้ำมีโมดูลัสความละเอียด 2.6 และหินขนาด ¾ - 1 นิ้ว

2.2 สัดส่วนผสม AFA คอนกรีต

สัดส่วนผสมของ AFA คอนกรีตที่ใช้ในการทดลองนี้แสดงในตารางที่ 2 โดยการทดลองนี้ เป็นการแปรผันอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อถ่านหิน เพื่อสังเกตคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่เปลี่ยนไป อาทิเช่น กำลังอัด และระยะเวลาการก่อตัว เป็นต้น

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตในห้องปฏิบัติการใช้สัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 2 โดยหล่อตัวอย่างเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน การทดสอบความสามารถไหลของคอนกรีต ทำโดยใช้การทดสอบแบบ ASTM C143 โดยการทดสอบมีเป้าหมาย Slump ที่ 10 เซนติเมตร เมื่ออายุของคอนกรีตสด

ผ่านไป 2 ชั่วโมง การทดสอบความทนทานของผิวหน้าคอนกรีต ทำโดยใช้การทดสอบแบบ ASTM C944 โดยผิวของคอนกรีตควรมีการสูญเสียน้ำหนักไม่มากกว่าคอนกรีตปกติ นอกจากนี้ ผลการทดสอบด้านความคงทนของคอนกรีตก็ได้รายงานในงานวิจัยนี้ด้วย

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

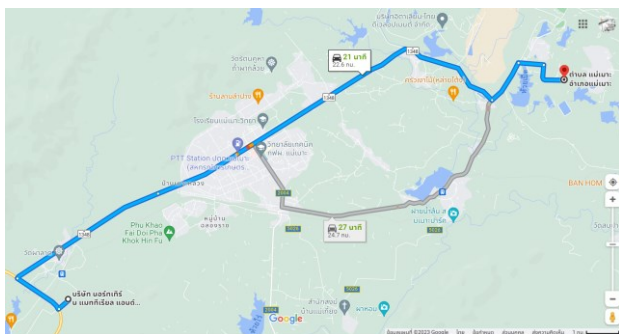
ลำดับ	อัตราส่วนผสมคอนกรีต ต่อ 1 ม ³ (กิโลกรัม)					สารลดน้ำ Type B+D (g)
	เถ้าถ่านหิน	ปูนซีเมนต์	หิน	ทราย	NaOH 0.5M*	
C1	430	10	1100	750	150	2400
C2	400	40	1100	750	150	2600
C3	380	60	1100	750	150	3000

* แบ่งสารละลาย NaOH 0.5M 150 กก ออกเป็น 2 ส่วน : ส่วนแรกสำหรับการผสมในโรงงาน น้ำ 136 กก และ ส่วนที่ 2 สำหรับการเติมสารละลาย NaOH ผนังงาน น้ำ 14 กก + NaOH 2.75 กก จะได้ค่าความเข้มข้นโดยประมาณ 6M ก่อนทดสอบค่าการยุบตัวและก่อนเทคอนกรีต

3. การเทคอนกรีตในแปลงทดลอง

การทำงานในครั้งนี้มีเส้นทางขนส่งไกลกว่าการทดลองที่ผ่านมาในอดีต [2] เนื่องจากสภาพการจราจรบริเวณหน้าด่านซึ่งค่อนข้างหนาแน่น มีรถบรรทุกขนาดใหญ่วิ่งเข้า-ออกเกือบตลอดเวลา และไม่สามารถหยุดการเดินรถได้ การทำงานต้องแบ่งการเทคอนกรีตออกเป็นสองครั้ง และเพื่อเป็นการลดปัญหาจราจร จะต้องเปิดการจราจรให้ได้ใน 7 วัน กล่าวคือ กำลังอัดของคอนกรีต ควรมีค่ามากกว่า 280 กก/ซม² ภายใน 7 วัน

สำหรับการเทคอนกรีต AFA ในแปลงทดลองขนาดใหญ่ในครั้งนี้ ด้วยปริมาตรคอนกรีต 50 ม³ จึงได้ทำการผสมในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ และด้วยการขนส่งถึงหน้างานที่มีระยะเวลานาน ซึ่งอาจจะทำให้คอนกรีต AFA แข็งตัวระหว่างการเดินทางได้ จึงแบ่งการผสมคอนกรีตออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกผสมในโรงงาน และ ส่วนที่ 2 เป็นการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่บริเวณหน้างาน สำหรับการผสมส่วนแรก เป็นการผสมเฉพาะ เถ้าถ่านหิน ปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำส่วนที่ 1 (แบ่งน้ำบางส่วนแยกออกจากส่วนผสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5M จากสัดส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 2) การผสมด้วยเทคนิคนี้ทำให้สามารถผสมคอนกรีต AFA ด้วยขั้นตอนการทำงานแบบปกติของโรงงาน โดยไม่จำเป็นต้องดัดแปลงส่วนหนึ่งส่วนใดของโรงงาน สำหรับการผสมคอนกรีต AFA ใช้เวลา 20 นาทีที่ตอร์หนึ่งคัน และการลำเลียงคอนกรีตจากโรงงานใช้เวลาประมาณ 40 นาที ถึงหน้างานตามเส้นทางขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เส้นทางขนส่งจากโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จถึงหน้างานบริเวณหน้าด่านซึ่งเถ้าถ่านหิน

เมื่อรถลำเลียงคอนกรีตถึงหน้างาน จะเตรียมการผสมส่วนที่ 2 โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 6M (เป็นการคำนวณปรับแก้ค่าความเข้มข้นตามปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์กับสัดส่วนของน้ำที่เหลือจากส่วนที่ 1) ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นจึงทดสอบค่าการยุบตัวดังแสดงในรูปที่ 3 และด้วยเทคนิคของการเติมสารละลายส่วนที่ 2 ที่หน้างาน นอกจากจะช่วยป้องกันปัญหาเรื่องระยะเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต AFA แล้ว ยังช่วยส่งผลดีต่อการยุบตัวของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นจาก 10 ซม เป็น 18 ซม ซึ่งมีค่าความสามารถในการทำงานเพียงพอสำหรับการเทคอนกรีตถนน และพร้อมเทคอนกรีตเข้าแบบหล่อ ดังรูปที่ 4 โดยใช้เวลาในการทำงานประมาณ 30 นาที จึงพร้อมตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบร้อย กรีดลายถนนตามต้องการ และทาเคลือบผิวหน้าคอนกรีต AFA ด้วยสารละลายโซเดียมซิลิเกต เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงของผิวหน้าถนน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 2 การเติมสารละลาย NaOH ที่หน้าจุดเทคอนกรีตบริเวณหน้าด่านซึ่งเถ้าถ่านหิน



รูปที่ 3 Slump ของ activated fly ash concrete ที่หน้าด่านซึ่ง (ซ้าย) 10 ซม ก่อนเติม NaOH (ขวา) 18 ซม หลังเติม NaOH



รูปที่ 4 การเทคอนกรีต



รูปที่ 5 ภายหลังจากเท แต่งผิวหน้า และกรีตลายถนน เคลือบผิวหน้าถนนคอนกรีต AFA ด้วยสารละลาย Na_2SiO_3

4. ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนาม

จากผลการทดลองพบว่าค่ากำลังอัดของ Alkali-activated Fly Ash Concrete ตามตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตยังคงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นได้อีก เมื่อสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อวัสดุผงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามความสามารถที่ได้ของคอนกรีตก็จะลดลงตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่มากขึ้นเช่นกัน โดยค่าความยวบตัวของคอนกรีตได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 จากผลการทดสอบทำให้พบว่า ตัวอย่างที่ C3* เท่านั้นที่มีศักยภาพที่พอเพียงแก่การทำงานคอนกรีตถนนที่รับน้ำหนักมากๆ ได้ แต่ความสามารถเท่าตัวของคอนกรีตจะยากลำบากมากในการทำงานคอนกรีตที่เทในที่

ตารางที่ 3 ค่ากำลังอัดของ Alkali-activated Fly Ash Concrete

ID	Compressive Strength (ksc)		
	3 d	7 d	28 d
C1	109	124	227
C2	141	183	288
C3	201	240	333

ตารางที่ 4 ค่าความยวบตัว และการสูญเสียการยวบตัว (cm)

ID	Slump (cm) at elapsed time in minute								
	0	15	30	45	60	75	90	105	120
C1	20	20	15	6	2	0			
C2	15	13	10	8	3	1	0		
C3	17	17	15	15	12	10	10	7	5
C3*	18	18	15	15	10/18	15	12	10	10

*ผสมโดยแยกเติมสารละลาย NaOH ภายหลัง เมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 นาที

เมื่อการทดลองในสนามแล้วเสร็จ ได้มีการเก็บตัวอย่างคอนกรีตและทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3 7 และ 28 วัน และทดสอบการซัดสีที่ผิวหน้าของคอนกรีต ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5 โดยคอนกรีต C3 มีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน มากถึง 430 กก/ซม² และมีการซัดสีที่ผิวหน้าใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในกลุ่มตัวอย่างที่มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต [3] กล่าวคือ ความแข็งแรงของผิวหน้าคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของคอนกรีต ไม่ว่าจะคอนกรีตจะผลิตจากวัสดุชนิดใด

ตารางที่ 5 ค่ากำลังอัดและการทนซัดสีของ Alkali-activated Fly Ash Concrete

ID	Compressive Strength (ksc)			Weight Loss at 28 days (g)		
	3 d	7 d	28 d	OPC	without Na_2SiO_3	with Na_2SiO_3
C3	200	325	430	8	13	8

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ทำการทดสอบความสามารถในการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต (Water Permeability, k) โดยคอนกรีต AFA ได้ทำการทดสอบและวัดค่า k ได้เท่ากับ 1.34×10^{-12} m/s และ มีการแทรกซึมของคลอไรด์โดยวิธีการเร่งด้วยไฟฟ้า (Rapid Chloride Permeability) ตามมาตรฐาน ASTM C1202 เท่ากับ 1444 คูลอมบ์ ที่อายุ 90 วัน

5. บทสรุป

จากผลการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตทางเลือกสำหรับงานก่อสร้าง ในโครงการนำร่อง Alkali-activated Fly Ash Concrete ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เพื่อส่งเสริมการนำถ่านหินที่มีปริมาณ Free Lime สูง ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น พบว่าได้ผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางวิศวกรรมที่เหมาะสม สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานถนนได้เป็นอย่างดี และจากเทคนิคที่ได้นำเสนอจากงานวิจัยนี้ เพื่อแก้ปัญหาในการจัดการเรื่องระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่เป็นผลมาจาก ปริมาณของ Free Lime ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการแบ่งการผสมคอนกรีต AFA ออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การแยกส่วนของน้ำส่วนที่ 1 ไปใช้ผสมคอนกรีตก่อนในระบบของโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ และ นำน้ำส่วนที่เหลือ ผสมกับ NaOH แล้วนำมาผสมกับคอนกรีตก่อนการเทที่หน้างานนั้น นอกจากจะสามารถแก้ปัญหาเรื่องระยะเวลาการแข็งตัวของคอนกรีต AFA ที่ควบคุมได้ยากแล้วยังสามารถลดภาระต้นทุนของโรงงาน โดยไม่จำเป็นต้องตัดแปลงส่วนหนึ่งส่วนใดของระบบการผลิต และยังไม่จำเป็นต้องแยกส่วนการผลิตของคอนกรีต AFA ออกจากส่วนการผลิตของปอร์ตแลนด์คอนกรีต หรือไฮดรอลิกคอนกรีตอีกด้วย เพราะไม่มีการปนเปื้อนของสารเคมีในระบบการผลิตคอนกรีตเลย เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองผลิตคอนกรีต AFA ในระบบอุตสาหกรรมในครั้งแรกของผู้วิจัย [2] ที่ต้องมีการต่อเติมบางส่วนของระบบการผลิตในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จสำหรับการเติมสารละลายขณะผสมคอนกรีต นอกจากนี้ การออกแบบระบบการผสม โดยแบ่งส่วนผสมของสารละลาย NaOH แล้วนำมาเติมก่อนการเทคอนกรีต ก็ยังช่วยเพิ่มค่าการยวบตัวของคอนกรีต แก้ปัญหาการสูญเสียค่าการยวบตัว (Slump loss) แม้ว่าการผลิตคอนกรีต จะใช้เวลาในการผสมและลำเลียงไปถึงหน้างาน โดยใช้เวลานานกว่า 1 ชั่วโมงก็ตาม เทคนิคนี้สามารถช่วยปรับแก้ค่าการยวบตัว และทำให้คอนกรีต AFA มีค่าการยวบตัว 18 ซม ก่อนการเทคอนกรีต ซึ่งเพียงพอต่อการทำงานถนนคอนกรีต และการออกแบบสัดส่วนผสม โดยการเพิ่มส่วนของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เข้ามาเพียงเล็กน้อย 60 กก/ม³ ก็สามารถช่วยพัฒนากำลังอัดช่วงต้นให้กับคอนกรีต AFA ได้เป็นอย่างดี ทำให้คอนกรีตมีค่ากำลังอัดที่ 7 วัน สูงถึง 325 กก/ซม² เพียงพอให้เปิดการจราจรสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ได้ และยังคงมีการพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่อง และมีค่ากำลังอัดสูงถึง 430 กก/ซม² ที่ 28 วัน

เมื่อเปรียบเทียบการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต AFA นี้ เทียบกับงานวิจัย Alkali-activated Fly Ash ที่ผ่านมาตั้งแต่อดีต [4] ในช่วงต้นของคริสต์ศตวรรษที่ 21 ที่เป็นช่วงเวลาที่ Geopolymer Concrete เริ่มเป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางทั่วโลก เริ่มมีการวิจัยและพัฒนาเกิดขึ้นในหลายมหาวิทยาลัยทั่วโลก ทั้งคอนกรีตที่พัฒนาจากถ่านหิน ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก เมตาคาโอลิน (Metakaolin) หรือดินขาวเผา หรือ วัสดุอื่น ๆ ใน

กลุ่มที่มีซิลิกาและอะลูมินาสูงตัวอื่น ๆ ต่างก็มีทิศทางในการพัฒนาที่ไม่แตกต่างกันมากนัก คือ การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นสูงเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยา โดยมีความเชื่อว่า ยิ่งใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นยิ่งสูง ยิ่งทำให้ได้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตสูงตามไปด้วย จึงนิยมใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ตั้งแต่ 8M จนถึง 16M [4] จวบจนปัจจุบัน [5-9] ทั้งงานวิจัยในกลุ่ม Geopolymer ทั้งที่ใช้เถ้าถ่านหินเพียงอย่างเดียว และที่ใช้เถ้าถ่านหินร่วมกับวัสดุตัวอื่น เช่น ตะกรันจากเตาถลุงเหล็ก ก็ยังคงนิยมใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ตั้งแต่ 6M จนถึง 16M เพื่อกระตุ้นปฏิกิริยา ในขณะที่งานวิจัยนี้ได้นำเสนอทางเลือกใหม่ที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายเพียง 0.5M ในระบบ เพื่อกระตุ้นการทำปฏิกิริยาของเถ้าถ่านหินที่มีค่า Free Lime สูง แต่ก็ยังสามารถพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน ได้ในเกณฑ์เดียวกันกับงานวิจัยอื่น ๆ โดยที่ยังได้คุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เป็นคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างผิวถนนได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา [10] ในการพัฒนาวัสดุทนไฟจากวัสดุพลอยได้ของโรงไฟฟ้า โดยการกระตุ้นการทำปฏิกิริยาด้วยกระบวนการ Geopolymerization หรือ การใช้สารละลายต่างเข้าไปละลายพันธะเดิม และสร้างพันธะใหม่ พบว่า การที่วัสดุตั้งต้น เช่น เถ้าถ่านหินที่ยังมีค่า Free Lime สูง และสามารถแตกตัวได้ดีในน้ำ จะเป็นผลดีอย่างมากต่อการทำปฏิกิริยาในลักษณะนี้ และพบว่าในบางกรณี ไม่จำเป็นต้องเติมสารละลายต่างเพิ่มขึ้นในระบบเลย ซึ่งจะสามารถช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างมาก

จากงานวิจัยและพัฒนาของวัสดุกลุ่ม Alkali-activated Fly Ash หรือ Geopolymer Materials ได้มีความพยายามในการพัฒนาวัสดุคอนกรีตเพื่อการประยุกต์ใช้ในการทำถนน เพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลาย [6-9] รวมถึงการประยุกต์ใช้กระบวนการทำปฏิกิริยาจีโอโพลิเมอร์ไปช่วยกระตุ้นการทำปฏิกิริยาและช่วยการยึดประสานในโครงสร้างของถนนในระบบการก่อสร้างถนนแบบ Macadam [11].

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ตามสัญญาเลขที่ 4120058070 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chalee, W., Soeurt, R., Pachana, P., Songpiriyakij, S., (2021). Improvement of High-Volume Fly Ash Cementitious Material Using Single Alkali Activation. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol. 15, Art. No. 44
- [2] N. Sima, C. Bunsong, C. Kuhakam, S. Songpiriyakij. (2018). 30 Cubic Meters Batching, Delivering, and Pouring of Activated Fly Ash Concrete. *Proceedings of International Conference on Alkali Activated Materials and Geopolymer: Versatile Materials Offering High Performance and Low Emissions*, May 27-June 1, 2018, Tomar, Portugal.
- [3] ปุณณมาน นรรัตน์, สมิตร์ ส่งพิริยะกิจ, ปิติ สุคนธสุขกุล (2552). คุณสมบัติของคอนกรีตที่ทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย และตะกรันเตาถลุงในปริมาณสูง. *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่ 5*, ตุลาคม 2552, นครราชสีมา หน้า MAT 186-191.
- [4] D Hardjito, S E Wallah, D M J Sumajouw & B V Rangan. (2005). Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Australian Journal of Structural Engineering*. Volume 6, 2005 - Issue 1. pp. 77-86.
- [5] Sourav Kumar Das, Sandeep Shrivastava. (2021). Influence of molarity and alkali mixture ratio on ambient temperature cured waste cement concrete based geopolymer mortar, *Construction and Building Materials*, V. 301, 2021, 124380, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124380>.
- [6] Sandeep Singh, Shashi Kant Sharma, M. Abdul Akbar. (2022). Developing zero carbon emission pavements with geopolymer concrete: A comprehensive review, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 110, 2022, 103436, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103436>.
- [7] Girish M.G., Kiran K. Shetty, Gopinatha Nayak, (2022). Synthesis of Fly-ash and Slag Based Geopolymer Concrete for Rigid Pavement. *Materials Today: Proceedings*, Volume 60, Part 1, 2022, pp. 46-54, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.332>.
- [8] Avinash Talkeri, A.U. Ravi Shankar. (2022). Alkali activated slag-fly ash concrete incorporating precious slag as fine aggregate for rigid pavements. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, Volume 9, Issue 1, 2022, pp. 78-92, <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.05.001>.
- [9] Aishwarya Badkul, Rakesh Paswan, S. K. Singh & P. Tegar. (2022). A comprehensive study on the performance of alkali activated fly ash/GGBFS geopolymer concrete pavement. *Road Materials and Pavement Design*. V. 23, 2022 - Issue 8. pp. 1815-1835.
- [10] พงษ์จันทร์ จิราลิต และคณะ. (2563). การพัฒนาวัสดุพลอยได้จากโรงไฟฟ้าสำหรับเป็นวัสดุดิบในการผลิตวัสดุทนไฟ, *สัญญาเลขที่ 61-N101000-11-IO.SS03N3008338*, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2 เมษายน 2561 – 14 กุมภาพันธ์ 2563, 279 หน้า.
- [11] Yue, J. Nie, X. Wang, Z. Liu, J.; Huang, Y. (2022). Research on the Pavement Performance of Slag/Fly Ash-Based Geopolymer-Stabilized Macadam. *Appl. Sci.* 2022, 12, 10000. <https://doi.org/10.3390/app121910000>.