อิทธิพลของความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลต่อกำลังอัดของคอนกรีต
Effect of polyethylene glycol concentrations on compressive strength of concrete

ณัชพล บุญเรืองศรี1 และ เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์2[2]

[1,2] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา
**Corresponding author; E-mail address: Nuchapal.bo@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG) โดยใช้ความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG) ร้อยละ 2.5, 5, 7.5 และ 10 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุมเท่ากับ 320 ksc ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง งานวิจัยนี้ทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอลที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่ายุบตัวเมื่อใส่สาร PEG จะได้ค่ายุบตัวเท่ากับ 3, 3, 5.5, 6 และ 12 เซนติเมตร และความเข้มข้นเท่ากับ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10% ตามลำดับ และหน่วยน้ำหนักคอนกรีตที่อายุ 28 วันและความเข้มข้นเท่ากับ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10% ของวัสดุ PEG มีค่าเท่ากับ 2446, 2448, 2363, 2405 และ 2328 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ คอนกรีตที่อายุ 7 วัน และความเข้มข้นเท่ากับ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10% ของวัสดุ PEG มีค่าเท่ากับ 304, 254, 227, 211, 180 ksc ตามลำดับ และคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 432, 321, 292, 212 และ 196 ksc ตามลำดับ

คำสำคัญ: คอนกรีต, พอลิเมอร์, โพลีเอทิลีนไกลคอล

Abstract

This research examined the compressive strength of polyethylene glycol (PEG) modified concrete using polyethylene glycol (PEG) concentrations of 2.5, 5, 7.5 and 10 percent. The compressive strength of the controlled concrete is 320 ksc according to the standards of the Department of Highways. This study tested the compressive strength of concrete modified with polyethylene glycol at 7 and 28 days curing. The collapse values when PEG were applied yielded the collapse values of 3, 3, 5.5, 6 and 12 cm, and the concentrations were 0, 2.5, 5, 7.5 and 10%, respectively, and the concrete weight unit at 28 days and the concentration. The values of 0, 2.5, 5, 7.5 and 10% of PEG material were 2446, 2448, 2363, 2405 and 2328 kg/m3, respectively. Concrete at 7 days of age and concentrations were 0, 2.5, 5, 7.5 and 10. % of PEG material were 304, 254, 227, 211, 180 ksc, respectively, and concrete at 28 days was 432, 321, 292, 212 and 196 ksc, respectively.

Keywords: Concrete, Polymer, Polyethylene glycol

1. คำนำ

วัสดุหลักที่ใช้เป็นส่วนประกอบโครงสร้างถนนภายในประเทศไทยส่วนใหญ่ คือ คอนกรีต เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีราคาถูก มีความทนทานสูงเทหล่อและขึ้นรูปได้ง่ายและสะดวก อีกทั้งยังใช้ประกอบกับวัสดุอื่นๆ เช่น เหล็กเสริม จนได้เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีความสามารถในการรับแรงได้ดี คอนกรีตจึงกลายเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยความสามารถในการรับแรงอัด แรงดึง แรงดัด ของคอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุผสม และอัตราส่วนผสมที่เลือกใช้ทั่วไปวัสดุผสมของคอนกรีตจะประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย หิน และน้ำ ในบางครั้งอาจใช้สารผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น

พอลิเมอร์(Polymer) เป็นวัสดุสังเคราะห์เกิดจากกระบวนการรวมโมเลกุลขนาดเล็กเข้าด้วยกัน จึงทำให้มีความยืดหยุ่นและยึดเกาะตัวกันได้ดี [1],[2] ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เด่นของวัสดุพอลิเมอร์ อีกทั้งยังมีราคาต่ำ และถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านอุตสาหกรรมเกือบทุกชนิด Amin et al. [3] ศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตผสม PEG พบว่า PEG ส่งผลให้กำลังอัดของตัวอย่างสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสม PEG เนื่องจาก PEG ช่วยลดการระเหยของน้ำจากคอนกรีตและเพิ่มความสามารถในการกักเก็บน้ำ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุพอลิเมอร์เพื่อนำมาปรับปรุงกำลังอัดของคอนกรีต เพื่อประยุกต์ใช้ในงานถนน โดยวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ โพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG) โดยพิจารณาตัวแปรควบคุม ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย และอายุบ่ม นำไปทดสอบการรับกำลังอัดเพื่อเปรียบเทียบกับผลทดสอบคอนกรีตที่ไม่ผสมพอลิเมอร์ตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ค่ายุบตัวของคอนกรีตสด 5±2 และกำลังอัดไม่น้อยกว่า 325 กิโลกรมต่อตารางเซนติเมตร) [4]

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ตัวอย่างวัสดุทดสอบ

2.1.1 มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียดหรือทรายที่ใช้ในการทดสอบเป็นทรายแม่น้ำธรรมชาติ ได้มาจากบ่อทรายพิมายทรายทอง อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมาทำการล้างน้ำเพื่อเอาส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ ดินเหนียวและสิ่งเจือปนอื่นๆออก แล้วนำมาอบแห้งและนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

2.1.2 มวลรวมหยาบ

มวลรวมหยาบหรือหินเป็นหินปูนขาวที่ได้มาจากโรงโม่หินศิลาพรพิรุณ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ใช้มวลรวมหยาบเป็นขนาดคละโดยใช้หินเบอร์ 3/8และ3/4 นำมาหาขนาดคละโดยใช้มาตรฐาน ทล.-ท.204[5] คือหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง ส่วนขนาดใหญ่สุดของ

มวลรวมที่ใช้ควรมีขนาดไม่เกิน 1 ใน 5 ของส่วนที่บางสุดของโครงสร้างและต้องไม่เกิน 3 ใน 4 ของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

คุณสมบัติทางกายภาพ	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ
ค่าโมดูลัสความละเอียด	1.57	-
ความถ่วงจำเพาะ	2.65	2.70

2.1.3 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASTM C-150 [6]ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 คุณสมบัติทางเคมีแสดงในตารางที่ 2 ผลรวมของปริมาณธาตุ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ30.23 และ CaO มีปริมาณร้อยละ 61.62

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

องค์ประกอบทางเคมี **(%)**	ปูนซีเมนต์
SiO_2	22.30
Al_2O_3	4.23
Fe_2O_3	3.70
CaO	61.62
SO_3	4.62
K_2O	0.40
TiO_2	0.26
MnO_2	0.06
MgO	2.21
LOl	8.91

2.1.4 โพลีเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)

โพลีเอทิลีนไกลคอล ชนิด 4000 (PEG 4000) เป็นกลุ่มของโพลีเมอร์เอทิลีนออกไซด์สังเคราะห์ มีลักษณะเป็นเกล็ดขนาด 1.00-15.00 มิลลิเมตร มีจุดหลอมเหลวประมาณ 57.5 องศาเซลเซียส [7] มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.12 [8] แสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 โพลีเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)

2.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

การออกแบบ ส่วนผสมคอนกรีต ตามมาตรฐาน ACI 211.1-91 [9] ดังแสดงในตารางที่ 3 งานวิจัยนี้ใช้ความเข้มข้นของ PEG เท่ากับ 2.5, 5, 7.5, และ 10 ของปริมาตรน้ำ โดยใช้ระยะเวลาผสมประมาณ 5 นาทีหรือจนกระทั่งส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 3 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต

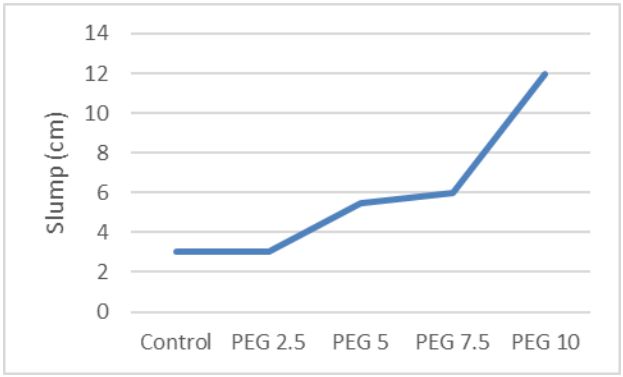
วัสดุผสม	(กก./ลบ.ม.)
ปูนซีเมนต์	385
ทราย	598
หิน	1184
น้ำ	185
w/c	0.48

เมื่อได้สารละลาย PEG ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ แล้ว ผู้วิจัยจึงเริ่มเตรียมตัวอย่างคอนกรีตผสมสารละลาย PEG โดยการนำมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบมาใส่ในเครื่องโม่คอนกรีตและผสมจนเข้ากัน จากนั้นนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ใส่ลงไปในส่วนผสม และผสมให้เข้ากันเป็นเวลาประมาณ 5 นาที นำสารละลาย PEG ใส่ลงไปในส่วนผสมแล้วผสมต่อจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มาหาค่ายุบตัว ตามมาตรฐาน ASTM C143 [10] พร้อมทั้งนำตัวอย่างเทในแบบ Cylinder ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร แล้วบ่มตัวอย่างไว้ในแบบหล่อประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นแกะตัวอย่างออกจากแบบหล่อ แล้วจึงนำมาบ่มในน้ำ [11] เป็นระยะเวลา 7 และ 28 วัน เมื่อได้อายุบ่มตามที่ต้องการแล้ว ตัวอย่างถูกนำไปทดสอบกำลังอัด (compressive strength) ตามมาตรฐาน ASTM C 39 [12] และเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังอัดกับมาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งคอนกรีตต้องมีกำลังต้านทานแรงอัดประลัยไม่น้อยกว่า 325 ksc ที่อายุบ่ม 28 วัน และมีค่ายุบตัวระหว่าง 5±2 เซนติเมตร

3. ผลการทดสอบ

3.1 การยุบตัวคอนกรีตผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล

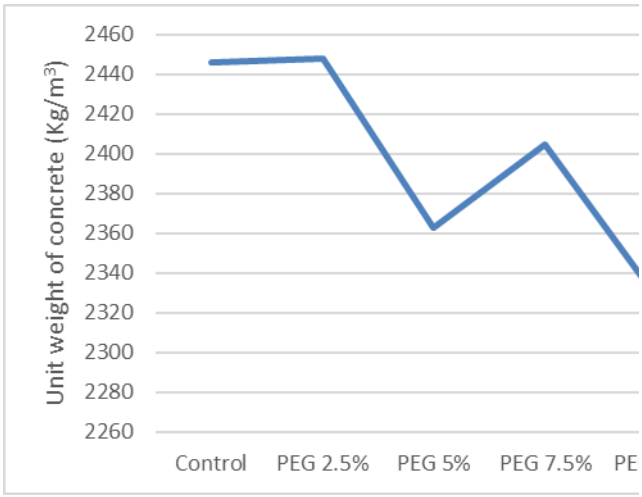
รูปที่ 2 แสดงค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG ที่ความเข้มข้นของ PEG เท่ากับ 2.5, 5, 7.5, และ 10 ของปริมาตรน้ำ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่ายุบตัวของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ PEG ที่เพิ่มขึ้น ค่ายุบตัวสูงสุดของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าเท่ากับ 12 เซนติเมตร สำหรับความเข้มข้นของ PEG เท่ากับ 10 ของปริมาตรน้ำ ค่าการยุบตัวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารละลาย PEG เข้าไปเคลือบผิวของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ซึ่งส่งผลให้แรงเสียดทานระหว่างมวลรวมลดลง [13] จากมาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งระบุค่ายุบตัวของคอนกรีตสำหรับผิวทางถนนคอนกรีตไว้ไม่น้อยกว่า 5±2 เซนติเมตร พบว่า ความเข้มข้นของ PEG ที่เหมาะสมของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG ควรมีค่าไม่เกิน 7.5 เซนติเมตร ซึ่งให้ค่าการยุบตัวเท่ากับ 6 เซนติเมตร



รูปที่ 2 ค่ายุบตัวของคอนกรีตปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10

3.2 หน่วยน้ำหนักคอนกรีตผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล

รูปที่ 3 แสดงหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตปรับปรุงด้วย PEG ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10 พบว่าคอนกรีตปกติมีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2446 kg/m^3 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตปรับปรุงด้วย PEG มีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นของ PEG หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตปรับปรุงด้วย PEG ลดลงร้อยละ 100, 96, 98, และ 95 สำหรับความเข้มข้น PEG เท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10 เนื่องจากสารโพลีเอทิลีนไกลคอลเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างมวลรวมได้น้อยนั้นจะทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงมาตามไปด้วย [14]

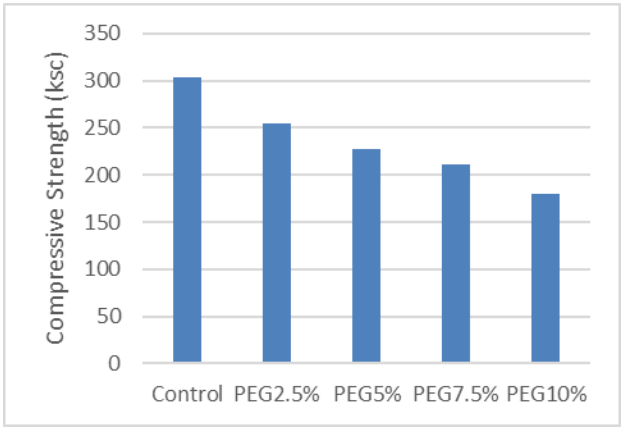


รูปที่ 3 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10

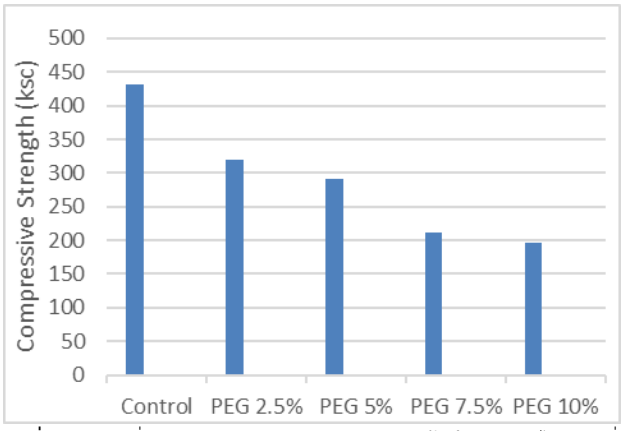
3.3 กำลังอัดของคอนกรีตผสมโพลีเอทิลีนไกลคอล

รูปที่ 4 และ 5 แสดงกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 และ 28 วันของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG ที่ความเข้มข้นของ PEG เท่ากับ 2.5, 5, 7.5, และ 10 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดที่อายุบ่ม 7 และ 28 วันของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ PEG ยกตัวอย่างเช่น กำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วันของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าเท่ากับ 432, 320, 291, 211 และ 196 ksc สำหรับความเข้มข้นของ PEG เท่ากับ 2.5, 5, 7.5, และ 10 ตามลำดับ กำลังอัดที่ลดลงเนื่องจากสารละลาย PEG ขัดขวางการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น [15] อีกทั้งปริมาณสารละลาย PEG ที่มากเกินไปจะเข้าไปเคลือบผิวของมวลรวม ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการขัดตัวกันลดลง

อิทธิพลของอายุบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG แสดงในรูปที่ 4 และ 5 พบว่า กำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วันของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าสูงกว่ากำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ประมาณร้อยละ 9 ถึง 29 กำลังที่สูงกว่านี้เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลมาจากการบ่มตัวอย่างในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังอัดกับมาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งระบุคอนกรีตต้องมีกำลังต้านทานแรงอัดประลัยไม่น้อยกว่า 325 ksc ที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่าคอนกรีตผสมสารละลาย PEG สำหรับทุกความเข้มข้นของสารละลาย PEG ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งมีค่ากำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วัน เท่ากับ 325 ksc



รูปที่ 4 กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของคอนกรีตปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10



รูปที่ 5 กำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วัน ของคอนกรีตปรับปรุงด้วยโพลีเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2.5, 5, 7.5 และ 10

4. บทสรุป

บทความนี้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของโพลีเอทิลีนไกลคอลต่อกำลังอัดของคอนกรีต ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่ายุบตัวของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ PEG ที่เพิ่มขึ้น ค่ายุบตัวสูงสุดของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าเท่ากับ 12 เซนติเมตร สำหรับความเข้มข้นของ PEG เท่ากับ 10 ของปริมาตรน้ำ

2. กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 และ 28 วันของคอนกรีตผสมสารละลาย PEG มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดกับการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ PEG เนื่องจากสารละลาย PEG ขัดขวางการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อีกทั้งปริมาณ

สารละลาย PEG ที่มากเกินไปจะเข้าไปเคลือบผิวของมวลรวม ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการขัดตัวกันลดลง

3. คอนกรีตผสมสารละลาย PEG สำหรับทุกความเข้มข้นของสารละลาย PEG ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งมีค่ากำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วัน เท่ากับ 325 ksc

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบและการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Mirzababaei, M., Arulrajah, A. and Ouston, M. (2017). Polymers for stabilization of soft clay soils. Procedia Engineering, 189, pp. 25-32.

[2] Mirzababaei, M., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Soltani, A. and Khayat, N. (2018). Stabilization of soft clay using short fiber and poly vinyl alcohol. Geotextiles and Geomembranes, 46, pp. 646-655.

[3] M. Amin, A. Zeyad, B.A. Tayeh, I.S. Agwa, Engineering properties of self-cured normal and high strength concrete produced using polyethylene glycol and porous ceramic waste as coarse aggregate, Constr. Build. Mater. 229 (2021).

[4] American Society for Testing and Materials , Annual Book of ASTM Standards , ASTM Designation C 31-85 , C 192-81.

[5] The A merican Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 1, AASHTO Designation: M80-87 (1995).

[6] American Society for Testing and Material (2002). ASTM C109. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars. ASTM International.

[7] ธิดารัตน์ สุทธิภาศิลป์ และ ปิติ สุคนธสุขกุล (2561). การศึกษาคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของมอร์ตาร์ปูนฉาบผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟินและโพลีเอทิลีนไกลคอล. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระเกล้า, ปีที่ 28, ฉบับที่ 2, หน้า 341-352.

[8] T. Yaowarat, S. Horpibulsuk, A. Arulrajah, M. Mirzababaei, A.S.A. Rashid, Compressive and flexural strength of polyvinyl alcohol modified pavement concrete using recycled concrete aggregates, J. Mater. Civ. Eng. (2017).

[9] Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete.

[10] Standard Test Method of SLUMP OF PORTLAND CEMENT CONCRETE

[11] รัฐพล สมนา (2556) ความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตผสมเถ้าถ่านหินที่บ่มในสภาวะที่แตกต่างกัน รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.

[12] Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

[13] E. Knapen, D.J.C. Van Gemert, c. Research, Cement hydration and microstructure formation in the presence of water-soluble polymers, 39(1) (2009) 6-13.

[14] บุรฉัตร ฉัตรวีระ , สุธี จริยธีรเวช และ ณัฏฐ์ มากุล (2552) คุณสมบัติของคอนกรีตบล๊อกกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้นผสมแร่ดินเบาและเถ้าชานอ้อย วารสารวิจัยและพัฒนา พระจอมเกล้าธนบุรี, ปีที่ 32, ฉบับที่ 1, หน้า 66-67.

[15] A. Allahverdi, K. Kianpur, M.R. Moghbeli, Effect of polyvinyl alcohol on flexural strength and some important physical properties of Portland cement paste, Iran. J. Mater. Sci. Eng. 7 (1) (2010) 1–6.