

คอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดและซีโอไลต์ธรรมชาติ
Crushed Clay Brick Waste Aggregate Concrete Mixed Ground Granulated Blast Furnace Slag and
Natural Zeolite

พลวัช ดาวโรฤทธิ์^{1*} และ ดนุพล ตันนโยภาส²

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

E-mail: dragonball_020130@hotmail.com^{1*}, danupon.t@psu.ac.th²

บทคัดย่อ

ศึกษาเศษอิฐดินเผาใช้เป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ธรรมชาติ โดยแทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ในอัตราส่วนผสมต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 20 25 และ 30 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5 คงที่ตลอดการศึกษานี้ ได้เตรียมตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 ซม. ไม่บ่มและบ่มแบบแช่น้ำเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ตรวจสอบสมบัติคอนกรีต ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ การหดตัวแบบแห้ง ความแข็งแบบชอร์ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ และกำลังอัด ตรวจสอบประกอบในคอนกรีตที่กำลังสูงสุดด้วยวิธีการเลียเวนรังสีเอกซ์ และโครงสร้างจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ร้อยละ 20 อายุบ่ม 28 วัน มีกำลังอัดสูงสุด 24.85 เมกะพาสคัล ผลการทดสอบระบุว่ามวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดและซีโอไลต์ธรรมชาติสามารถผลิตเป็นคอนกรีตปูนสำหรับพื้นที่การจราจรได้

Abstract

Crushed clay brick waste (CCBW) used as coarse aggregate in concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) and natural zeolite (NZ) investigated. The GGBFS and NZ were partially replaced of Portland cement in a different ratio from 20, 25 and 30wt. %. Water to cementitious material ratio of 0.5 was constant throughout this study. Size of 10×10×10 cm CCBW concrete cube specimens were prepared and uncured and soaking in water for 7 and 28 days. Test result of CCBW concrete properties such as bulk density, water absorption, drying shrinkage, Shore hardness, electrical resistivity and compressive strength were determined. The mineral components of highest strength specimen were analyzed via X-ray diffraction and the scanning electron microscope. The CCBW concrete containing GGBFS and 20%NZ at 28 days provided highest compressive strength of 24.85 MPa. The test result indicated that the

incorporation of CCBW with GGBFS and NZ can be produced paving blocks for trafficked area.

1. บทนำ

ในสองทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการพัฒนาวิธีหลากหลายในการนำของเสียจากการก่อสร้างและการรีไซเคิลเศษหักของอาคารจากแผ่นดินไหว [1] กลับมาใช้ใหม่ แทนที่มวลรวมธรรมชาติ จึงได้มีการศึกษาเชิงลึกถึงสมบัติและการใช้มวลรวมคอนกรีตนำกลับมาใช้ใหม่สำหรับคอนกรีตด้านโครงสร้างและไม่ใช้โครงสร้าง และพบว่าจำนวนมากได้นำมาใช้ในงานวิศวกรรมในการผลิตคอนกรีตอย่างยั่งยืนมาช้านาน [2] อย่างไรก็ตามเศษคอนกรีตมีการผสมของเสียอื่นๆ เช่น เศษอิฐดินเผา ซึ่งระดับของมลพิษแปรผันตามวัสดุก่อสร้างดั้งเดิม ความแตกต่างของสมบัติเศษอิฐดินเผาจากมวลรวมคอนกรีตนำกลับมาใช้ใหม่จะมีผลต่อการออกแบบส่วนผสม ทำนองเดียวกันมีผลต่อทั้งสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตใหม่ที่เกิดขึ้นเมื่อมลพิษเกินระดับหนึ่ง [3] การแยกเอาเศษอิฐดินเผาออกจากมวลรวมคอนกรีตนำกลับมาใช้ใหม่ยุ่งยากแก่การดำเนินงานและในทางปฏิบัติเสียค่าใช้จ่ายสูงอีกด้วย [4] ถึงกระนั้นก็มีความสำคัญแก่การศึกษาถึงผลกระทบของเศษอิฐดินเผาในระดับมลพิษต่างๆ มีต่อคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัว Cachim [5] เติมน้ำเศษอิฐดินเผาร้อยละ 15 ไม่เกิดผลเสียด้านกำลังแก่คอนกรีต ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ร้อยละ 0.45 และ 0.50 แต่หากแทนที่เศษอิฐร้อยละ 30 กำลังอัดลดลงร้อยละ 20 Yang et al. [6] ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตนำมวลรวมคอนกรีตกลับมาใช้ใหม่และเติมน้ำเศษอิฐดิน

เผาปริมาณมาก พบว่าค่าสภาพความชื้นผ่านได้ของน้ำของที่ใส่เศษอิฐดินเผาร้อยละ 50 มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 21 ($2.31 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{min}^{1/2}$) เมื่อเทียบกับตัวควบคุม กำลังดึงแบบผ่าซีก (splitting tensile strength) ที่ใส่เศษอิฐดินเผาเล็กน้อย มีค่าลดลงร้อยละ 7.5 ที่อายุบ่ม 7 วัน และค่าลดลงร้อยละ 13.8 ที่อายุบ่ม 28 วัน เมื่อเทียบกับตัวควบคุม ส่วนกำลังดัดที่ใส่เศษอิฐดินเผาล้วนมีค่าลดลงร้อยละ 3.7 ที่อายุบ่ม 7 วัน และค่าลดลงร้อยละ 9.3 ที่อายุบ่ม 28 วัน เมื่อเทียบกับตัวควบคุมและค่ากำลังอัดเมื่อใส่เศษอิฐดินเผาล้วนมีค่าลดลงร้อยละ 6.7 ที่อายุบ่ม 7 วัน และลดลงร้อยละ 5.7 ที่อายุบ่ม 28 วัน เทียบกับคอนกรีตควบคุม

Poon and Chan [7] ได้ศึกษาการผสมมวลรวมคอนกรีตกับอิฐดินเผาที่ทยอยเป็นมวลรวมในการผลิตอิฐคอนกรีตปูถนน ด้วยการสนับสนุนของรัฐบาลฮ่องกง ด้วยมวลรวมคอนกรีตนำกลับมาใช้ใหม่มากที่สุดถึงร้อยละ 70-100 ผลการทดสอบพบว่าการใส่รวมอิฐดินเผาช่วยลดความหนาแน่น กำลังอัด และกำลังดึงของอิฐคอนกรีตปูถนน เนื่องมาจากการดูดซึมน้ำสูงของอนุภาคอิฐดินเผา มีผลทำให้อิฐคอนกรีตปูถนนดูดซึมน้ำมากกว่าอิฐคอนกรีตปูถนนที่ไม่ผสมอิฐดินเผา ซึ่งสอดคล้องกับหลายงานวิจัย [1,3,4,6] แม้พบว่าอิฐดินเผาทำให้คุณภาพของอิฐคอนกรีตปูถนนเสื่อมเสียคุณภาพในระดับหนึ่ง อิฐคอนกรีตปูถนนที่ใช้อิฐดินเผาต่อร้อยละ 50 ก็ยังอยู่ในเกณฑ์กำหนดคุณลักษณะต่ำสุดของฮ่องกง (เกรดบี) สำหรับใช้เป็นพื้นทางเท้า และอิฐคอนกรีตปูถนนเตรียมจากอิฐดินเผาต่อร้อยละ 25 ผ่านเกณฑ์กำหนดค่ากำลังอัดของอิฐคอนกรีตปูถนน (เกรดบี) ของฮ่องกงในพื้นที่มีการจราจร Bektas et al. [8] พบว่ามวลรวมอิฐดิน

เผาแทนทรายในมอร์ตาร์ไม่เกินร้อยละ 20 ไม่มีผลเสียด้านความคงทน แต่เพิ่มร้อยละ 30 ทำให้ปฏิกิริยาแอลคาไลซิลิกาขึ้น การเติมผงอิฐดินเผาและตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดช่วยทำให้คอนกรีตเสถียรขึ้น [9] ดังนั้นในงานนี้จึงใส่ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด (GGBFS) และซีโพลิมอร์เพื่อเพิ่มสมบัติด้านความคงทนแก่คอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผา

2. การดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้

อิฐดินเผาจากโรงทำอิฐ ต.บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ (รูปที่ 1 ก) ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดและซีโพลิมอร์จากการผลิตเชิงพาณิชย์ ขนาดเล็กกว่า 45 ไมครอน (รูปที่ 1 ข) พบว่าตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียดมีปริมาณ SO_3 สูง SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 น้อย (ตารางที่ 1) อยู่ในเกณฑ์วัสดุปอซโซลานประเภท C และยังพบว่าค่า CaO มากกว่าที่ใช้ในงานวิจัยของ Kinuthia and Nidzam [9] ส่วนซีโพลิมอร์ที่ใช้มีองค์ประกอบทางเคมีจัด ในวัสดุปอซโซลานประเภท N [10]



รูปที่ 1 ก) ขนาดเศษอิฐที่ใช้ทำเป็นมวลรวมคอนกรีตศึกษา และ ข) ภาชนะบรรจุซีโพลิมอร์ชนิดสีขาว (ซ้าย) และตะกรันเตาถลุงเหล็กสีเทาเข้ม (ขวา)

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

อัตราส่วนปูนซีเมนต์:ทราย:อิฐ เท่ากับ 1:2:4 ตาม ACI 221R [13] ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

(ปูนซีเมนต์+ตะกรันเตาถลุงเหล็ก+ซีโพลิมอร์รวมชาติ) เท่ากับ 0.5 คงที่ตลอดการทดลอง ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1(OPC) ทรายที่ใช้

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสานที่ใช้หล่อคอนกรีตศึกษาวิเคราะห์โดยวิธี XRF

องค์ประกอบทางเคมี	ซีโพลิมอร์ (%) [11]	ตะกรันเตาถลุงเหล็ก (%)	ปูนซีเมนต์ (%) [12]
SiO_2	70.12	23.24	21.30
Al_2O_3	21.89	11.54	4.96
Fe_2O_3	1.77	17.06	3.10
TiO_2	1.24	0.52	-
K_2O	0.94	2.33	0.50
SO_3	0.46	5.72	2.72
CaO	0.16	37.4	66.61
Na_2O	-	0.82	-
MgO	-	1.02	-
LOI	3.42	0.35	0.74

เป็นทรายก่อสร้างมีความถ่วงจำเพาะ 2.42 ซีโพลิมอร์ 1.80 ตะกรันเตาถลุงเหล็ก 2.10 และหล่อก้อนคอนกรีตด้วยเบ้าขนาด 10×10×10 เซนติเมตร บ่มตัวอย่างแบบแช่ในน้ำ เป็นเวลา 7 และ 28 วัน

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของคอนกรีตศึกษา

อัตราส่วนผสมวัสดุผสม	ปริมาณ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)			
	0%	20%	25%	30%
OPC	400	320	300	280
GGBFS	-	32	32	32
ซีโพลิมอร์รวมชาติ	-	48	68	88
เศษอิฐดินเผา	700	700	700	700
ทรายหยาบ	1,050	1,050	1,050	1,050
น้ำ (w)	200	200	200	200

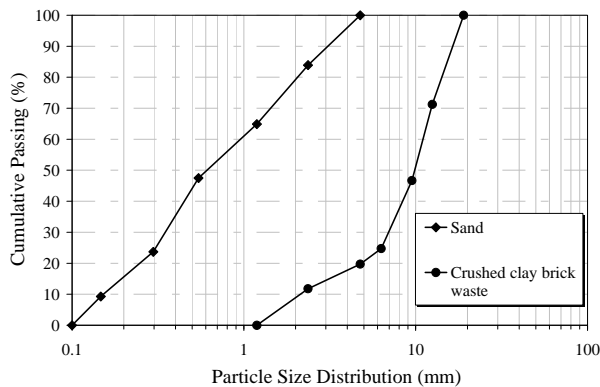
2.3 วิธีการทดสอบ

การวิเคราะห์หาขนาดคละของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C33 [14] เวลาทดสอบของเพสต์ด้วยเข็มโวกัดตามวิธี ASTM C191-01 [15] หลังครบกำหนดบ่มนำมาเซตให้ผิวแห้งและชั่งน้ำหนักและวัดขนาดของก้อนตัวอย่าง เพื่อคำนวณความหนาแน่นรวมและการดูดซึมน้ำ วัดความแข็งแบบชอร์ด้วยเครื่อง Hardness Tester รุ่น EQUO TIP ทดสอบกำลังอัดตาม ASTM C192 [16] ด้วยเครื่องกดให้กำลังอัดสูงสุดที่ 1,500 กิโลนิวตัน และเพิ่มอัตราการกดได้สม่ำเสมอในช่วง 85.8-208.2 กก./ตร.ซม./นาที วิเคราะห์ชนิดแร่ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 สมบัติมวลรวมเศษอิฐดินเผา

เศษอิฐดินเผานำมาบดขนาดทำเป็นมวลรวมหยาบ ซึ่งมี F.M. = 4.28 และทรายที่ใช้มีค่า F.M. = 2.72 (รูปที่ 2) ความถ่วงจำเพาะของเศษอิฐดินเผา มีค่า 1.35 และการดูดซึมน้ำในเวลา 24 ชม. มีค่าร้อยละ 1.66 ดูดซึมน้ำสูงเช่นเดียวกับของงานวิจัยอื่น [4,5]



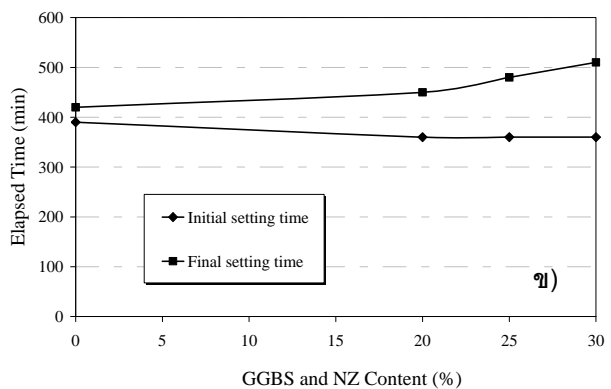
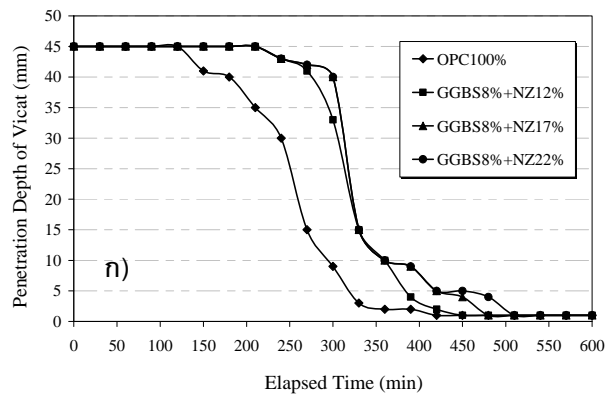
รูปที่ 2 การกระจายขนาดของทรายและมวลรวมเศษอิฐดินเผา

3.3 ลักษณะของเพสต์

ตัวอย่างเพสต์ทุกสูตร ได้นำมาทดสอบการก่อตัวด้วยเข็มแบบโวกัดและความถ่วงจำเพาะแห้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 เวลาก่อตัว

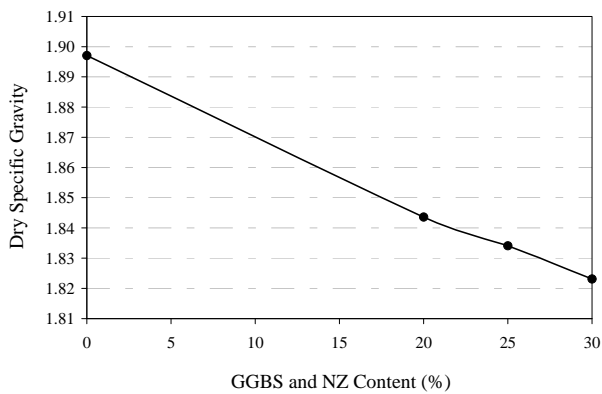
จากการทดสอบการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ เวลาเริ่มก่อตัวเร็วสุดคือ 120 นาที และที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กรวมกับซีโอไลต์ที่ร้อยละ 20 25 และ 30 เวลาเริ่มก่อตัวช้าลงตามลำดับ ดังในรูปที่ 3 ก) ขณะที่ระยะเวลาในการก่อตัวได้นานขึ้น ดังในรูปที่ 3 ข) ทั้งนี้เนื่องจากการถ่ายน้ำจากรูเล็กและการแพร่ของปูนซีเมนต์



รูปที่ 3 เพสต์ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ในแต่ละอัตราส่วน ก) พฤติกรรมการก่อตัว และ ข) ช่วงระยะเวลาการก่อตัว

3.3.2 ความถ่วงจำเพาะแห้ง

เพสต์ที่เติมตะกรันเตาถลุงเหล็กพร้อมกับซีโอไลต์ที่ร้อยละ 0 (ควบคุม) 20 25 และ 30 พบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะแห้งประมาณ 1.90 1.84 1.83 และ 1.82 ตามลำดับ ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงตามปริมาณซีโอไลต์ที่เติมเข้าไป (รูปที่ 4) เนื่องจากวัสดุประสานทั้งสองมีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตารางที่ 1) ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะของเพสต์ผสมมีค่าน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 4 ความถ่วงจำเพาะของเพสต์ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ธรรมชาติ

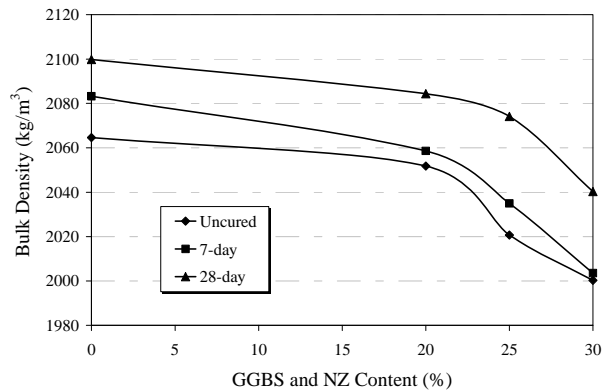
3.4 ลักษณะของคอนกรีต

ตัวอย่างคอนกรีตที่หล่อและครบกำหนดบ่มได้นำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความแข็งแบบชอร์ การหดตัวแบบแห้งปริมาตร ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและกำลังอัด

3.4.1 ความหนาแน่นรวมของคอนกรีต

พบว่าค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของคอนกรีตเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ที่ร้อยละ 0 20 25 และ 30 มีค่าลดลง

ตามลำดับ และความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ความหนาแน่นรวมของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ธรรมชาติ

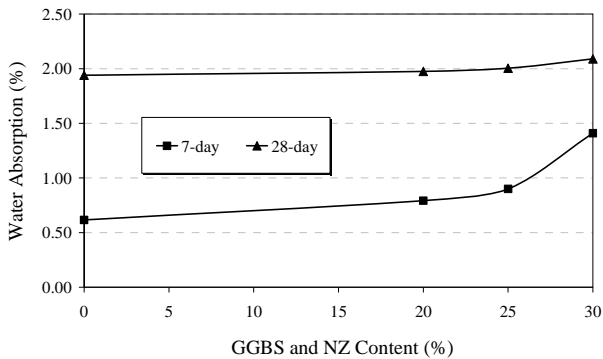
3.4.2 การดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำพบว่าคอนกรีตที่มีปริมาณตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์แทนที่ปูนซีเมนต์มีแนวโน้มของการดูดซึมน้ำมากเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนที่ร้อยละ 0 20 25 และ 30 ตามลำดับ โดยที่อายุบ่ม 28 วัน ที่ปริมาณตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ทดแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดคือ ร้อยละ 2.09 และที่อายุบ่ม 7 วัน ของควบคุม มีการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดคือร้อยละ 0.62 (รูปที่ 6) บ่งเป็นนัยว่าคอนกรีตมีความพรุนตามปริมาณวัสดุประสานเติมเข้าไป สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม และไม่เกิดเกณฑ์ดูดซึมน้ำของอิฐคอนกรีต กำหนดร้อยละ 45

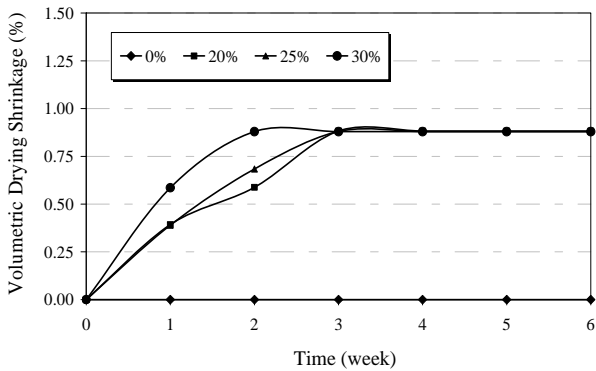
3.4.3 การหดตัวแบบแห้งเชิงปริมาตร

คอนกรีตที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์มากขึ้นมีแนวโน้มค่าการหดตัวแบบแห้งเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น ในช่วงสามสัปดาห์แรก หลังจากนั้นเริ่มหยุดหดตัว เนื่องจากน้ำในโพรงรูเล็ก (capillary water)

ของเนื้อซีโอไลต์และเนื้อคอนกรีตคายออกไปหมด ทำให้หดไปราวร้อยละ 0.90 (รูปที่ 7)



รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ธรรมชาติ

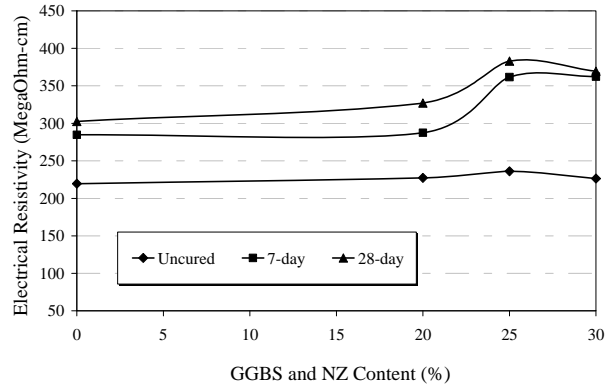


รูปที่ 7 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ธรรมชาติ

3.4.4 ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

คอนกรีตที่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์มีแนวโน้มค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพิ่มขึ้น ตามอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 20 และ 25 ตามลำดับ ส่วนที่ร้อยละ 30 เริ่มลดลง ดังรูปที่ 8 โดยที่อายุบ่ม 28 วัน ที่ตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 25 มีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงสุด 383 เพิ่มขึ้นร้อยละ 26.82 และคอนกรีตควบคุมที่ไม่ผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์และไม้บ่มมีความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำสุดคือ 220

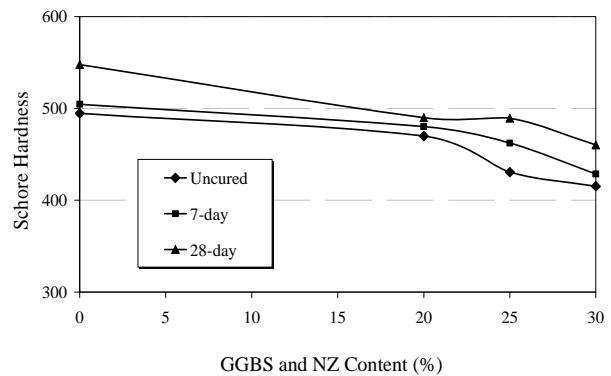
คือ 220



รูปที่ 8 ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ธรรมชาติ

3.4.5 ความแข็งแบบชอร์

ค่าความแข็งแบบชอร์เพิ่มขึ้นตามอายุบ่มตามลำดับ แต่แปรผกผันกับปริมาณตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 9 สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม

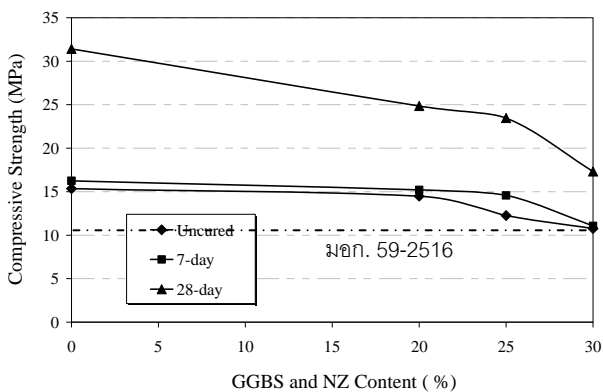


รูปที่ 9 ความแข็งแบบชอร์ของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์ธรรมชาติ

3.4.6 กำลังอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตได้เพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม ดังรูปที่ 10 ขณะเดียวกันกลับลดลงตามปริมาณตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโอไลต์แทนที่ปูนซีเมนต์ที่

เพิ่มขึ้น และเมื่อเทียบคอนกรีตที่ผสมร้อยละ 30 กับที่ไม่เติม อายุบ่ม 28 วัน พบว่ามีค่าลดลงร้อยละ 45 สอดคล้องกับผลงานวิจัยของชัยณรงค์และธนพล [11] ที่เติมซีโพลิต์มากกว่าร้อยละ 10 ส่งผลให้กำลังมอร์ตาร์ลดลงทุกอายุบ่ม นอกจากนี้สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ความแข็งแบบชอร์ ต่างสอดคล้องกับผลค่ากำลังอัด ซึ่งการทดสอบความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะและความแข็งแบบชอร์ช่วยประหยัดตัวอย่างและเวลาในการทดลอง ซึ่งผลครั้งนี้ไปทำนองเดียวกันคอนกรีตใสมวลรวมเศษขวดแก้วและผสมเถ้าขาน้อยมีกำลังอัดประมาณ 35-45 เมกะพาสคัล [17] และค่ากำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์อิฐคอนกรีต 105 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 10.3 เมกะพาสคัล [18] แต่ยังไม่ยกกว่าเกณฑ์ของ ASTM C936 ที่กำหนดให้มากกว่า 55.2 เมกะพาสคัล [19] และมาตรฐานฮ่องกงกำหนดมากกว่า 45 เมกะพาสคัล [7]

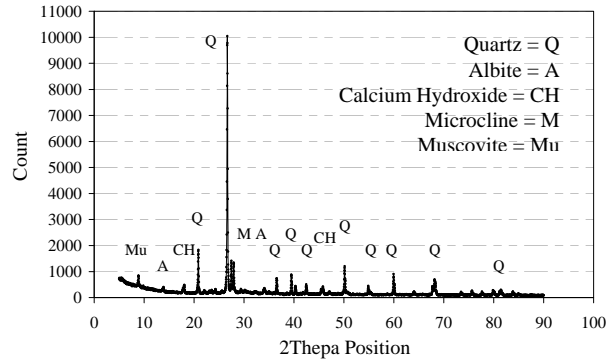


รูปที่ 10 กำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโพลิต์ธรรมชาติ

3.5 วิเคราะห์ลายพิมพ์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ผลวิเคราะห์ลายพิมพ์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction pattern) ชนิดและปริมาณแ

ประกอบที่พบในคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโพลิต์ร้อยละ 20 บ่ม 28 วัน



รูปที่ 11 ลายพิมพ์ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีโพลิต์ร้อยละ 20

โดยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟพบว่า มี ควอตซ์ (Q) ร้อยละ 38.90 แอลไบต์ (A) ร้อยละ 29.31 แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ร้อยละ 2.85 ไมโครไคลน์ (M) ร้อยละ 9.12 มัสโคไวต์ (Mu) ร้อยละ 16.31 และอื่นๆ ร้อยละ 3.51 รูปที่ 11 ซึ่งปฏิกิริยาปอซโซลานไม่ค่อยมีประสิทธิภาพที่ควรเป็น สันนิษฐานได้อีกทางหนึ่งว่าเศษอิฐเป็นมวลรวมได้ดูดซึมน้ำไว้ ทำให้บริเวณรอยต่อกับวัสดุประสานมีสถานะไม่เหมาะสมเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน รวมทั้งอาจเนื่องจากซีโพลิต์เป็นแร่มีโครงสร้างโพรงมาก หากมีการปรับปรุงให้กลายเป็นอสัณฐานน่าพัฒนาปฏิกิริยาปอซโซลานให้เพิ่มขึ้น ทำให้ เช่น ผลงานธนพลและอิสเฮาะ [20] ได้ปรับปรุงด้วยการเผาที่อุณหภูมิ 750 และ 800 องศาเซลเซียส ทำให้คอนกรีตดีขึ้น หรือทำนองเดียวกับหินเพอร์ไลต์เผาและดินขาวแปร (metakaolin) [21]

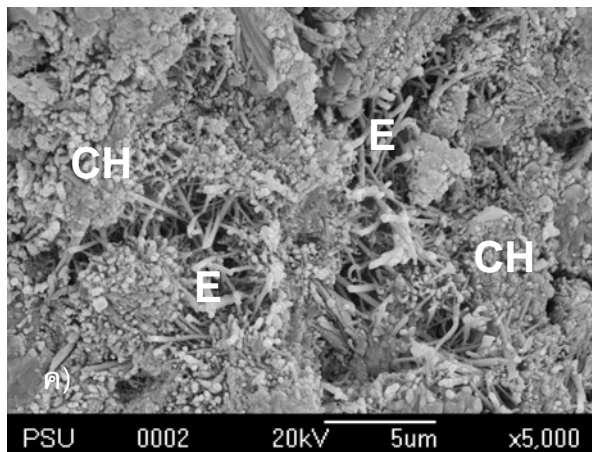
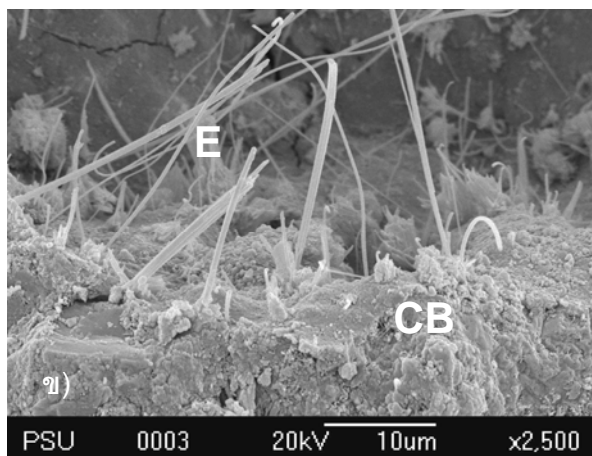
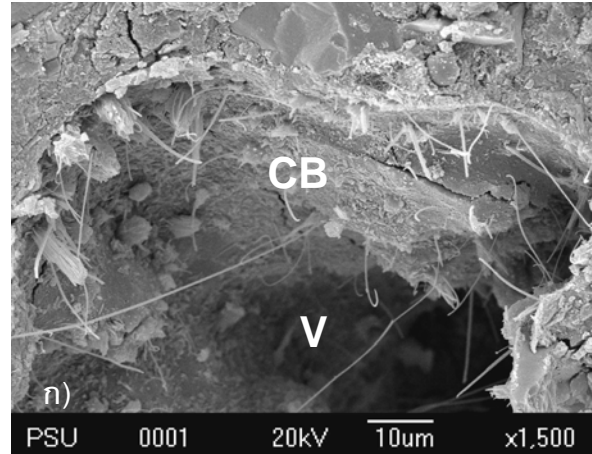
3.6 โครงสร้างจุลภาค

ผลวิเคราะห์โครงสร้างภายในของคอนกรีตพิเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีไอไลด็ร้อยละ 20 อายุบ่ม 28 วัน ตรวจไม่พบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium silicate hydrate -CSH) พบแต่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) เศษอิฐดินเผา (CB) โพรง (V) เอตทริไนท์ (ettringite-E) ดังรูปที่ 12 พบบริเวณส่งผ่านรอยต่อระหว่างหน้า (interfacial transition zone) เศษอิฐและวัสดุประสานไม่แน่นอน มีช่องว่างมากและไม่ปรากฏ CSH ขึ้น จึงทำให้ได้กำลังอัดไม่สูง

4. สรุป

ผลการศึกษสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตมวลรวมเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีไอไลด็ สรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

เวลาก่อตัวเพสต์นานขึ้น ส่วนสมบัติของคอนกรีต ได้แก่ ความหนาแน่นรวม การหดตัวแบบแห้ง ความแข็งแบบชอร์ และกำลังอัดของคอนกรีตลดลง ขณะที่การดูดซึมน้ำและความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะเพิ่มขึ้น ตามปริมาณแทนที่ของตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีไอไลด็ที่เพิ่มขึ้น และมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงสุดที่ปริมาณแทนที่ของตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีไอไลด็ร้อยละ 25 ที่อายุบ่ม 28 วัน ซึ่งสามารถนำของเสียตะกรันเตาถลุงเหล็กมาใช้ประโยชน์เป็นอิฐคอนกรีตและมีศักยภาพพัฒนาเป็นอิฐคอนกรีตปูถนน (paving block) หรืออิฐปูถนน (paving brick) ที่ดี นับว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการกำจัดและลดปริมาณวัสดุของเสียที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นำมาใช้ประโยชน์ทางด้านวัสดุก่อสร้างสีเขียว



รูปที่ 12 ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบส่องกราดของโครงสร้างภายในคอนกรีตพิเศษอิฐดินเผาผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กและซีไอไลด็ ก) กำลังขยาย 1,500 เท่า พบเอตทริไนท์ เศษอิฐดินเผาและโพรง ข) กำลังขยาย 2,000 เท่า พบเศษอิฐดินเผาและเอตทริไนท์ ค) กำลังขยาย 5,000 เท่า พบแคลเซียมไฮดรอกไซด์และเอตทริไนท์

- [15] ASTM C191-01a Standard test method for time of setting of hydraulic cement by vicat needle
- [16] ASTM C192/C192M-12a Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory specification for solid concrete interlocking paving units
- [17] จักรกฤษณ์ สุนทรานุรักษ์ และคุณพล ตันนโยภาส “การพัฒนากำลังและความคงทนต่อซัลเฟตของคอนกรีตใสมวลรวมเศษขวดแก้วใสมสเม้าชานอ้อย” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 หน้า 63-75 พ.ศ. 2557.
- [18] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.59-2516, อีฐูคอนกรีต, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, 14 หน้า พ.ศ. 2516
- [19] ASTM C936/936M-13 Standard
- [20] คุณพล ตันนโยภาส และอิสเฮาะ ยูโซะ “พฤติกรรมของคอนกรีตมวลรวมเปลือกผลยางพาราที่เคลือบผสมซีโอไลต์ดัดแปร” วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 หน้า 173-184 พ.ศ. 2556.
- [21] คุณพล ตันนโยภาส และวิระพงษ์ นิยมญาติ “สมบัติของมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์และดินขาวแปร” การประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 8-9 ธันวาคม 2548 หน้า MnE-13-MnE18.