

ความทนทาน ของซีเมนต์เถ้าลอยผสมปูนหินปูน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความทนทานของมอร์ตาร์เถ้าลอยผสมปูนหินปูน โดยใช้ปูนหินปูนจากกระบวนการย่อยหินปูน 2 ชนิดคือ โดโลมิติกและโดโลไมท์ คุณสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ การหดตัวแบบแห้งและแบบอบไตจีเนียส ความทนทานต่อซัลเฟต ความทนทานต่อกรดซัลฟูริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน โดยทำการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอย และปูนหินปูน) ที่ 0.485 และการแทนที่ของเถ้าลอยในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยน้ำหนักที่ร้อยละ 0, 40 และ 60 สำหรับของกรณีของมอร์ตาร์ที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนประกอบจะทำการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนหินปูนที่ร้อยละ 40, 60 และ 100 โดยน้ำหนักตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า การหดตัวแบบแห้งและแบบอบไตจีเนียส การขยายตัวเนื่องจากซัลเฟต และการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดของมอร์ตาร์เถ้าลอยผสมปูนหินปูนจะมีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ปกติ ในขณะที่ความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันของมอร์ตาร์เถ้าลอยผสมปูนหินปูนจะมีค่าเพิ่มขึ้น

ABSTRACT : This research aims to study the durability of fly ash mortar containing limestone powder. Two types of limestone powder from rock crushing process (Dolomitic and Dolomite) were used. Drying and autogenous shrinkages, sulfate resistance, sulfuric acid attack at 5 percent by weight concentration and carbonation reaction were studied. Water to binder (Portland cement, fly ash and limestone powder) ratio was fixed at 0.485 and the percentage replacements of fly ash by weight in Portland cement were 0, 40 and 60. In case of mortar containing fly ash, percentage replacements of limestone powder in fly ash by weight were 40, 60

and 100 respectively. The test results showed that drying and autogenous shrinkages, expansion due to sulfate and weight loss due to acid attack of fly ash mortar containing limestone powder were less than normal mortar. Where as the depth of carbonation reaction of that mortar was higher than normal mortar.

คำหลัก : เถ้าลอย, ปูนหินปูน, โดโลไมท์, โดโลมิติก

1. บทนำ

จากความก้าวหน้าของศาสตร์ทางด้านวัสดุคอนกรีตทำให้ในปัจจุบันสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งที่ไร้คุณค่าหลายชนิด เช่น เถ้าลอยจากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง เถ้าแกลบจากอุตสาหกรรมการผลิตอิฐมอญ เป็นต้น กลับมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดยจะเห็นได้จากเมื่อนำวัสดุดังกล่าวไปใช้งานสามารถทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาวะสดและแข็งตัวดีขึ้น ดังเช่น เถ้าลอยที่ช่วยเพิ่มความสามารภในการทำงานได้ [1, 2, 3] และยังลดการหดตัวของคอนกรีต [4,5] หรือแม้กระทั่งเถ้าแกลบขาวที่สามารถนำมาใช้ผสมคอนกรีตได้ [6,7] แล้วทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เช่น อุณหภูมิของคอนกรีตลดลง [8] แต่กระนั้นสิ่งที่น่ากังวลโดยทั่วไปคือ วัสดุแต่ละชนิดล้วนมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ที่สามารถนำศักยภาพที่มีอยู่นั้นมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน ดังนั้นงานวิจัยสมัยใหม่จึงพยายามที่จะศึกษาค้นคว้าในแนวทางนี้เพิ่มขึ้น โดยเป็นการนำข้อดีของแต่ละวัสดุมารวมกันและหาสภาพหรือรูปแบบการใช้งานที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น ในรูปแบบของสัดส่วนผสมที่จะใช้งาน เป็นต้น ดังนั้นการวิจัยนี้ได้ดำเนินการคิดค้นกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการนำทั้งเถ้าลอยและปูนหินปูนมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ต่อไป โดยมุ่งศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นในแง่ของความทนทาน

ของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมฝุ่นหินปูน

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลกระทบของเถ้าลอยและผงหินปูนที่มีต่อความทนทานของมอร์ตาร์ซีเมนต์

3. การทดสอบ

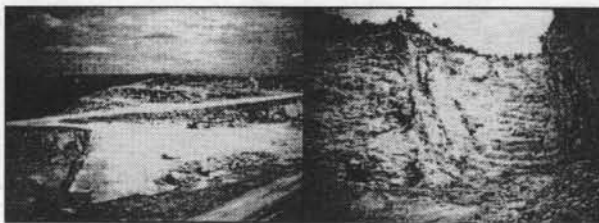
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.1.2 เถ้าลอย ใช้เถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้า จังหวัดลำปาง

3.1.3 ฝุ่นหินปูน ใช้ฝุ่นหินปูน 2 แหล่งคือ เหมืองหินปูนชนิดโดโลมิติก จังหวัดสระบุรี และฝุ่นหินปูนจากเหมืองหินปูนชนิดโดโลไมท์ จังหวัดกาญจนบุรี ดังรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [9]

หินปูนประเภทโดโลมิติก (Dolomitic) และโดโลไมท์ (Dolomite) จัดอยู่ในประเภทหินคาร์บอเนต (Carbonate Rock) โดยหินคาร์บอเนตที่มีองค์ประกอบของแร่โดโลไมท์อยู่ในปริมาณร้อยละ 10 ถึง 50 จะจัดเป็นหินปูนประเภทโดโลมิติก ในขณะที่ถ้ามีปริมาณของแร่โดโลไมท์มากกว่าร้อยละ 50 จะจัดเป็นหินปูนประเภทโดโลไมท์ โดยหินปูนทั้งสองประเภทมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังตารางที่ 1 [9]



รูปที่ 1 เหมืองหินปูนประเภทโดโลมิติก จังหวัดสระบุรี

รูปที่ 2 เหมืองหินปูนประเภทโดโลไมท์ จังหวัดกาญจนบุรี

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของหินปูนประเภทโดโลมิติก (Dolomitic) และโดโลไมท์ (Dolomite)

คุณสมบัติทางกายภาพ	ประเภทของหินปูน	
	โดโลมิติก	โดโลไมท์
รูปผลึก	Hexagonal/Rhombohedral	Hexagonal/Rhombohedral
ความแข็ง	3.0 – 3.5 (Mohr's Scale)	3.0 – 3.5 (Mohr's Scale)
ความถ่วงจำเพาะ	2.65 – 2.75	2.82
สี	สีขาว สีเทาหรือสีชมพู	สีขาวหรือสีชมพู
แร่ธาตุที่เจือปน	Fe, Mn, Co, Zn, Mg	Fe, Mn, Co, Zn, Pb

3.1.4 มวลรวมละเอียด ใช้ทรายแม่น้ำ

3.1.5 น้ำ ใช้น้ำประปา

3.2 วิธีการทดสอบ

3.2.1 การหัดตัวแบบแห้ง

การทดสอบการหัดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 596 [10] ทดสอบโดยการหล่อตัวอย่างขนาด 25 x 25 x 285 มิลลิเมตร จนกระทั่งเวลาก่อตัวสุดท้ายแล้วจึงถอดแบบออกและวัดความยาวเริ่มต้นของแท่งตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปทำการปรมในน้ำเป็นเวลา 28 วัน ระหว่างนั้นให้วัดค่าการยืดหดตัวของตัวอย่างด้วยเครื่อง Digital Strain Gauge อย่างสม่ำเสมอ เมื่อครบกำหนด 28 วัน จึงนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำเปลี่ยนมาเป็นการปรมในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25±2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 60±5 ทำการเก็บวัดข้อมูลเป็นประจำจนกระทั่งค่าการหดตัวมีแนวโน้มคงที่และคำนวณหน่วยการยืดหดตัวจากความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับความยาวเริ่มต้นของแท่งตัวอย่าง

3.2.2 การหัดตัวแบบอบไอน้ำ

โดยการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดสอบการหัดตัวแบบแห้ง หลังจากถอดแบบที่เวลาการก่อตัวสุดท้ายแล้วจึงทำการหัดแท่งตัวอย่างด้วยพลาสติกใสเพื่อป้องกันการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างตัวอย่างกับสิ่งแวดล้อม วัดความยาวเริ่มต้นของแท่งตัวอย่างแล้วนำไปเก็บไว้ในห้องปรมที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25±2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 60±5 ทำการวัดความยาวของแท่งตัวอย่างเป็นประจำ ในที่นี้จะทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 21 วัน และคำนวณหน่วยการยืดหดตัวจากความยาวที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับความยาวเริ่มต้นของแท่งตัวอย่าง

3.2.3 การทดสอบความทนทานต่อซัลเฟต

การทดสอบความทนทานต่อซัลเฟตในรูปของการขยายตัวของตัวอย่าง โดยใช้มาตรฐาน ASTM C 1012 [10] เป็นแนวทางเบื้องต้น โดยเริ่มจากการนำแท่งตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด 25 x 25 x 285 มิลลิเมตร และเมื่อทำการถอดแบบแล้วจึงวัดความยาวเริ่มต้นของตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปทำการปรมในน้ำปูนใสเป็นเวลา 28 วัน แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ผสมกับแมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO₄) ที่มีความเข้มข้นรวมเท่ากับ 100 กรัม/ลิตร (สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 50 กรัม/ลิตร ผสมกับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 50 กรัม/ลิตร) ทำการวัดความยาวโดยใช้เครื่อง Digital Strain Gauge วัดเป็นประจำทุกสัปดาห์ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาหน่วยการยืดหดจากความยาวที่เปลี่ยนไปเทียบกับความยาวเริ่มต้น

3.2.4 การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น

วิธีการทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น โดยนำตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงกระบอกขนาด 75 x 150 มิลลิเมตร ที่ผ่านการ

บ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน แล้วจึงนำไปไว้บริเวณที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในที่นี้จะนำไปไว้ในห้องเรียน เมื่อครบกำหนดที่อายุ 28, 56, 91 และ 365 วัน ตามลำดับ มาทำการผ่าซีก จากนั้นทำการฉีดพินอล์ฟทาลินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักในเอทานอลที่บริเวณหน้าตัดภายใน สังเกตสีที่เปลี่ยนไปของหน้าตัดดังกล่าว หากบริเวณใดที่มีการทำปฏิกิริยาของพินอล์ฟทาลินกับคาร์บอนเตจจะทำให้สีของพินอล์ฟทาลินไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนบริเวณที่ไม่เกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงอมชมพู ทำการวัดระยะจากผิวนอกของแท่งตัวอย่างจนถึงบริเวณที่เป็นสีม่วงอมชมพู

3.2.5 ความทนทานต่อกรดซัลฟูริก

การทดสอบเริ่มจากการนำตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงกระบอกขนาด 10 x 20 เซนติเมตร ที่บ่มน้ำเป็นเวลา 28 วัน โดยหลังจากซึ่งหน้าหนักเริ่มต้นแล้วมาทำการบ่มในสารละลายกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) ซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และหน้าหนักที่สูญเสียไปเนื่องจากกรดตามระยะที่กำหนด

4. ส่วนที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของมอร์ตาร์

สัดส่วนของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยและฝุ่นหินปูนที่ใช้แสดงในตารางที่ 2 โดยกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.485 และอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อวัสดุผงเท่ากับ 2.75 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 2 สัดส่วนของมอร์ตาร์ที่ใช้ในการทดสอบ

สัญลักษณ์	ชนิดของเถ้าลอย	ชนิดของฝุ่นหินปูน	ร้อยละการแทนที่ของเถ้าลอยต่อวัสดุผง	ร้อยละการแทนที่ของฝุ่นหินปูนต่อวัสดุผง
MC100 ¹	-	-	0	0
MC60	PFA	-	40	0
MC40	PFA	-	60	0
MC60-D40	PFA	D	24	16
MC60-D60	PFA	D	16	24
MC60-D100	PFA	D	0	40
MC40-DL40	PFA	DL	36	24
MC40-DL60	PFA	DL	24	36
MC40-DL100	PFA	DL	0	60
MC40-D40	PFA	D	36	24
MC40-D60	PFA	D	24	36
MC40-D100	PFA	D	0	60

หมายเหตุ: (*) MCX คือ มอร์ตาร์ที่มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ X และมีปริมาณเถ้าลอย (PFA) ร้อยละ 100-X โดยน้ำหนัก

(**) MCX-(D, DL) Y คือ มอร์ตาร์ที่มีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ X และมีปริมาณเถ้าลอย (Pulverized Fuel Ash : PFA) รวมกับฝุ่นหินปูน (DL คือฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติก และ D คือฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์) ร้อยละ 100-X โดยน้ำหนัก และในอัตราส่วนร้อยละ 100-X จะมีฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติก หรือโดโลไมท์ในของปริมาณร้อยละ Y โดยน้ำหนัก

5. ผลการทดสอบ

5.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย และผงฝุ่นหินปูน

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย และผงฝุ่นหินปูน ทั้ง 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 3 พบว่าฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติก (DL) จะมีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) แต่จะไม่ปรากฏในฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์ (D) ในขณะที่ปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ในฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมท์จะมีปริมาณมากกว่าฝุ่นหินปูนชนิดโดโลไมติก และในฝุ่นหินปูนทั้งสองชนิดจะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงกว่าเถ้าลอย

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าลอย และผงฝุ่นหินปูน [9]

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	วัสดุผง		
		เถ้าลอย	DL	D
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	21.85	44.96	16.05	0.00
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	5.39	23.01	1.36	0.14
ไอรอนออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	2.10	9.76	0.60	0.16
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	65.91	9.32	43.19	37.21
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.16	2.26	1.09	19.42
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.31	2.16	0.26	0.01
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₂)	2.81	1.19	-	-
Free Lime (CaO)	0.81	0.14	-	-
คุณสมบัติทางกายภาพ				
พื้นที่ผิวจำเพาะด้วยวิธีเบลม (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม)	3234	1732	3990	1775
ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.17	2.70	2.84
ความชื้นแฉะปกติ (ร้อยละ)	25.5	24.0	29.5	24.5
ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (นาที)	86	97	135	93
ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย (นาที)	190	200	230	190
ดัชนีกำลังที่ 28 วัน (ร้อยละ)	100	75.1	84.5	80.1

หมายเหตุ : คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้นแฉะปกติ ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายและดัชนีกำลังที่ 28 วัน ได้จากการแทนที่เถ้าลอยหรือฝุ่นหินปูนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก