

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์และความต้านทานเชิงไฟฟ้า ของคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา

Chloride Diffusion Coefficient and Electrical Resistivity of Concrete Containing Bottom Ash

นพรัตน์ มณีวงศ์จิตร (Nopparat Maneewongwijit)* วีระ หอสกุลไท (Veera Horsakulthai) **

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของเถ้าก้นเตาต่อค่าการซึมผ่านของคลอไรด์และความเข้มของค่าความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีต โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าก้นเตาในอัตราร้อยละ 0, 10, 20, และ 40 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ที่ใช้เท่ากับ 0.61, 0.47, และ 0.33 การทดสอบค่าการซึมผ่านของคลอไรด์ใช้วิธีซึมผ่านแบบ non-steady state ตามมาตรฐาน NT BUILD 492 ทดสอบที่อายุ 28 และ 90 วัน สำหรับค่าความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีตใช้ค่ากระแสเริ่มต้นจากการทดสอบการซึมผ่านของคลอไรด์ และจากกฎของโอห์ม (Ohm's law) สามารถคำนวณหาความต้านทานเชิงไฟฟ้าได้ จากการทดสอบพบว่า การต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาทุกอัตราส่วนผสมได้ใกล้เคียงหรือต่ำกว่าที่อายุ 28 วัน แต่สามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ได้ดีกว่าที่อายุ 90 วัน โดยเฉพาะคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ 40

ABSTRACT

The purpose of this paper was to study the effect of bottom ash on chloride diffusion coefficient and electrical resistivity of concrete with Portland cement replacement dosage of 0%, 10%, 20%, and 40% by weight of binder. The water to binder ratios of 0.61, 0.47, and 0.33 were used to determine the chloride coefficient by non-steady state migration experiment (CTH rapid method test) following as NT BUILD 492 at the age of 28 and 90 days. The electrical resistivity is determined using the initial current values of the CTH rapid method test. Ohm's law is used to estimate the resistivity values. From the test, it was found that the chloride penetration of concrete with bottom ash was nearly or inferior than the chloride penetration of control concrete at the age of 28 days, but better at the age of 90 days. Especially, the concrete with 40% bottom ash.

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ การนำพาด้วยไฟฟ้า ความต้านทานเชิงไฟฟ้า เถ้าก้นเตา กำลังรับแรงอัด

Key Words: Chloride diffusion coefficient, Migration, Electrical resistivity, Bottom ash, Compressive strength.

* นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

คอนกรีต เป็นวัสดุประกอบจากการผสมรวมกันของ ปูนซีเมนต์ หิน ทราวย น้ำ และ/หรือ วัสดุผสมเพิ่ม เมื่อแข็งตัวจะเป็นวัสดุพรุน (porous materials) มีโพรงกระจายอยู่ทั่วไปในเนื้อคอนกรีต และมีความต่อเนื่อง เนื่องจากระบบโพรงของคอนกรีตมีความต่อเนื่อง จึงทำให้ก๊าซ ความชื้น และไอออนของสารเคมี สามารถแทรกซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีต โดยผ่านระบบโพรงของคอนกรีต สารเคมีที่เป็นปัจจัยที่ทำให้คอนกรีตเสียหายโดยตรง เช่น สารละลายซัลเฟต ซึ่งจะทำให้เกิดการขยายตัว และกำลังรับแรงอัดลดลง (Skalny et al., 2002) และอีกประเภทหนึ่งจะไม่ทำความเสียหายต่อคอนกรีตโดยตรง แต่จะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตถูกกัดกร่อนได้ เช่น สารละลายคลอไรด์ เมื่อไอออนของคลอไรด์แทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตจนถึงเหล็กเสริม ไอออนของคลอไรด์จะไปทำลายฟิล์มที่เคลือบเหล็ก และเมื่อเหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและน้ำ จะก่อให้เกิดสนิม ปริมาตรของเหล็กจะเพิ่มขึ้นและดันคอนกรีตแตกหักได้ (Neville, 2003, Bentur et al., 1997) วิธีการหนึ่งที่จะทำให้คอนกรีตสามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ให้เคลื่อนที่ได้ช้าลง ยืดอายุของคอนกรีตเสริมเหล็กให้ยาวนานขึ้น ต้องทำให้ขนาดเฉลี่ยของโพรงในเพสต์เล็กลง โดยใช้วัสดุปอซโซลานผสมในคอนกรีตด้วยการแทนที่ปูนซีเมนต์ก็จะทำให้ขนาดเฉลี่ยของโพรงในเนื้อเพสต์เล็กลง (Chindaprasirt et al., T., 2005, Poon CS, Kou and Lam, 2006, Poon et al., 1999) และสามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ได้ดีขึ้น (Kou and Lam, 2006, Poon et al., 1999)

ถ้ำกันเตาเป็นผลพลอยได้ จากการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อน ของโรงไฟฟ้าถ่านหินลิกไนท์ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ขนาดของอนุภาคของถ้ำกันเตาค่อนข้างโต โดยทั่วไปมีขนาดกว้างตะแกรงเบอร์ 325 (45 μm) มากกว่าร้อยละ 90 เมื่อนำมาบดให้มีขนาดเล็กลง โดยกว้างตะแกรงเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 34 จะมีคุณสมบัติเป็นวัสดุ

ปอซโซลาน ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ผสมในคอนกรีตได้ (Jaturapitakkul and Cheerarot, 2003)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำถ้ำกันเตาบดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนผสมในคอนกรีต เพื่อศึกษาความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์และความเข้มของความต้านทานของคอนกรีต

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผลิตตามมาตรฐาน มอก.15-2547 ถ้ำกันเตาจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 และนำไปบดได้ความละเอียดมีขนาดกว้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 30 - 34 องค์ประกอบทางเคมีและความถ่วงจำเพาะ แสดงไว้ในตารางที่ 1 หินย่อยขนาดโตสุด 20 มม. ความถ่วงจำเพาะ 2.69 หน่วยน้ำหนักกระทุ้งแน่น 1575 กก./ม³ ใช้เป็นมวลรวมหยาบ และทรายแม่น้ำมีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.75 ความถ่วงจำเพาะ 2.60 ใช้เป็นมวลรวมละเอียด น้ำประปาผลิตโดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น สารลดน้ำพิเศษ ประเภท F ตามมาตรฐาน ASTM C494

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์และถ้ำกันเตา

องค์ประกอบ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (%)	ถ้ำกันเตา (%)
SiO ₂	21.52	37.07
Al ₂ O ₃	4.54	18.86
Fe ₂ O ₃	3.05	13.77
CaO	62.74	16.59
MgO	1.09	2.26
Na ₂ O	1.47	1.29
K ₂ O	0.74	2.43
SO ₃	3.47	1.82
LOI	1.20	5.28
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.67

2. วิธีการศึกษา

2.1 ปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ คอนกรีตกำลังต่ำ (กำลังออกแบบ 25 MPa), กำลังปานกลาง (กำลังออกแบบ 35 MPa), และ กำลังสูง (กำลังออกแบบ 55 MPa) มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.61, 0.47, และ 0.33 ตามลำดับ ส่วนผสมของคอนกรีตได้ออกแบบตามมาตรฐาน ACI 211.1 เป็นคอนกรีตควบคุม จากนั้นคอนกรีตแต่ละกลุ่มได้แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าก้นเตาในอัตราร้อยละ 10, 20, และ 40 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

2.2 การทดสอบการหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ในคอนกรีต

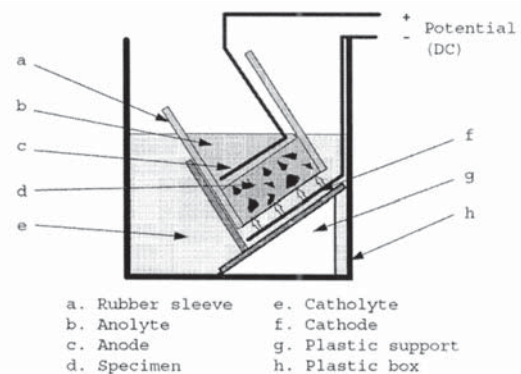
คอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. สูง 200 มม. ถอดออกจากแบบ เมื่ออายุ 24 ± 0.5 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มโดยแช่ในน้ำ ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ก่อนการทดสอบ 2 วัน นำชิ้นตัวอย่างไปตัดให้ได้ขนาดหนา 50 ± 2 มม. จากนั้นทำชิ้นตัวอย่างให้อิ่มตัวด้วยน้ำ และนำตัวอย่างไปทำการทดสอบ (ที่อายุ 28 และ 90 วัน) โดยจัดเตรียมลักษณะการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 1 ประยุกต์ศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ เข้ากับวงจร แล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน เพื่อหาค่าศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบทำตามมาตรฐาน NT BUILD 492 (Nordtest method, 1999)

ตารางที่ 2 ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต

Mix	Composition (kg/m ³)						
	w/b	PC	BA	Coarse Agg.	Sand	Water	SP*
L-OPC	0.61	312	-	984	845	190	-
L-BA10	0.61	281	31	984	837	190	-
L-BA20	0.61	250	62	984	832	190	-
L-BA40	0.61	197	125	984	816	190	-
M-OPC	0.47	404	-	984	770	190	-
M-BA10	0.47	364	40	984	762	190	-
M-BA20	0.47	323	81	984	749	190	-
M-BA40	0.47	242	162	984	733	190	-
H-OPC	0.33	576	-	984	627	188.5	2.9
H-BA10	0.33	518	58	984	614	188.5	2.9
H-BA20	0.33	461	115	984	601	188.5	2.9
H-BA40	0.33	346	230	984	575	188.5	2.9

* สารลดน้ำพิเศษมีน้ำผสมอยู่ร้อยละ 50

เมื่อทดสอบแล้วเสร็จ นำชิ้นตัวอย่างไปผ่าแบ่งครึ่งขวางหน้าตัด แล้วฉีดยึดผิวที่ผ่าครึ่งด้วยสารละลายซิลเวอร์ในเตรทความเข้มข้น 0.1 N วัดความลึกของการซึมผ่านของคลอไรด์ จากค่าอุณหภูมิช่วงระยะเวลาการทดสอบ ความลึกเฉลี่ยของการซึมผ่านของคลอไรด์ และขนาดของชิ้นตัวอย่าง นำไปแทนค่าในสมการที่ (1) จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์



ภาพที่ 1 การจัดชุดทดสอบตามมาตรฐาน NT Build 492 [9]

$$D_{mm} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \left(x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)L \cdot x_d}{U-2}} \right) \quad (1)$$

เมื่อ

D_{nssm} = สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ($\times 10^{-12}$ m²/s)

T = อุณหภูมิของสารละลาย (°C)

L = ความหนาของตัวอย่างทดสอบ (mm)

U = ศักย์ไฟฟ้า (V)

t = ช่วงระยะเวลาที่ทดสอบ (h)

x_d = ความลึกเฉลี่ยของการซึมผ่าน (mm)

3. การทดสอบการหาค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีต

จากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ในคอนกรีต ตามหัวข้อที่ 3.2 จะใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ประยุกต์ใช้กับค่ากระแสเริ่มต้นที่ไหลผ่านนำไปคำนวณหาความต้านทานของคอนกรีต (Stanish et al., 1997) จากกฎของโอห์ม (Ohm's law) ดังสมการที่ (2) แทนค่า ศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเริ่มต้น จะได้ค่าความต้านทานของคอนกรีต

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

เมื่อ R = ค่าความต้านทานของคอนกรีต (Ω)

V = ศักย์ไฟฟ้า (V)

I = กระแสไฟฟ้า (amp)

เมื่อได้ค่าความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีต สามารถหาค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีต (electrical resistivity) ได้จากสมการที่ (3)

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (3)$$

เมื่อ ρ = ความเข้มของความต้านทานของคอนกรีต (k Ω ·cm)

R = ความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีต (k Ω)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่าง (cm²)

L = ความหนาของชิ้นทดสอบ (cm)

ผลการทดสอบและอภิปราย

1. ความเป็นปอซโซลานของเถ้าก้นเตา

เถ้าก้นเตาตั้งเดิมจะมีขนาดโต ซึ่งมีความละเอียดขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 325 มากกว่าร้อยละ 34 จึงนำมาบดด้วยเครื่องบดลอสแอนเจลิสให้ได้ความละเอียดมีขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 34 ในงานวิจัยนี้ใช้ความละเอียดมีขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 30 - 34 คุณสมบัติทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีองค์ประกอบเคมี SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ ร้อยละ 70 SO₃ ร้อยละ 1.82 ปริมาณความชื้นร้อยละ 0.5 และ ความสูญเสียเนื่องจากการเผาร้อยละ 5.28 ดัชนีกำลังที่ 7 และ 28 วัน เป็นร้อยละ 83 และ 84 ตามลำดับ ความต้องการน้ำร้อยละ 100 ดังแสดงในตารางที่ 3 จากคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเถ้าก้นเตาบดดังกล่าว มีคุณสมบัติเข้าข่ายเป็นปอซโซลานชนิด F ของเถ้าลอย

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดทางเคมีและกายภาพของปอซโซลาน

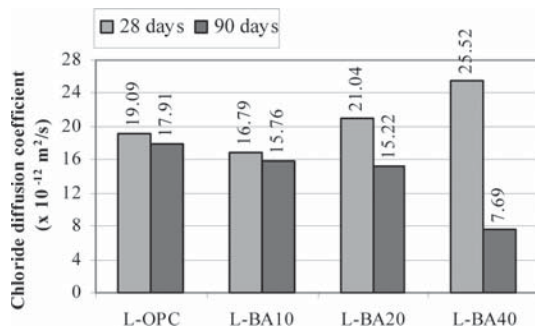
ข้อกำหนดทางเคมีและกายภาพ	ชนิด			BA*
	N	F	C	
				(%)
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min, %	70.0	70.0	50.0	70
SO ₃ , max, %	4.0	5.0	5.0	1.82
Moisture content, max, %	3.0	3.0	3.0	0.5
Loss on ignition, max, %	10.0	6.0	6.0	5.28
Fineness:				
Amount retained when wet-sieved				
on No.325 sieve, max, %	34	34	34	32.6
Strength activity:				
at 7 days, min, % of control	75	75	75	83
at 28 days, min, % of control	75	75	75	84
Water requirement, % of control	115	105	105	100

2. ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ในคอนกรีต

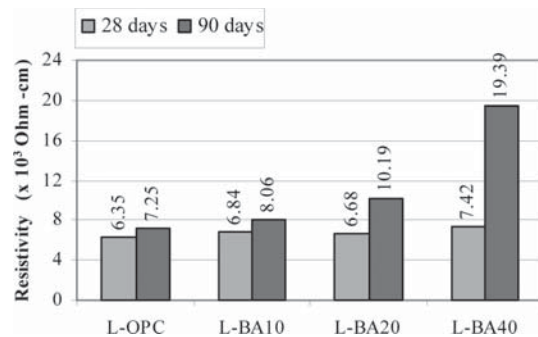
ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ในคอนกรีตได้แสดงไว้ในภาพที่ 2, 3 และ 4 ที่อายุ 28 วัน คอนกรีตควบคุม กำลังต่ำ (L-OPC), กำลังปานกลาง (M-OPC) และกำลังสูง (H-OPC) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ เท่ากับ 19.09×10^{-12} , 13.36×10^{-12} และ $7.76 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา L-BA10, L-BA20 และ L-BA40 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ คิดเป็นร้อยละ 80, 110, และ 134 ของคอนกรีตควบคุม L-OPC ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา M-BA10, M-BA20 และ M-BA40 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ คิดเป็นร้อยละ 113, 116, และ 121 ของคอนกรีตควบคุม M-OPC ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา H-BA10, H-BA20 และ H-BA40 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ คิดเป็นร้อยละ 120, 130, และ 130 ของคอนกรีตควบคุม H-OPC ตามลำดับ และที่อายุ 90 วัน คอนกรีตควบคุม L-OPC, M-OPC และ H-OPC มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ลดลงเป็น 17.91×10^{-12} , 12.11×10^{-12} และ $6.72 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ลดลงร้อยละ 6.2, 9.4 และ 13.4 ของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา L-BA10, L-BA20 และ L-BA40 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ คิดเป็นร้อยละ 88, 85, และ 43 ของคอนกรีตควบคุม L-OPC ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา M-BA10, M-BA20 และ M-BA40 คิดเป็นร้อยละ 92, 95, และ 51 ของคอนกรีตควบคุม M-OPC ตามลำดับ และคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา H-BA10, H-BA20, และ H-BA40 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ คิดเป็นร้อยละ 90, 69, และ 59 ของคอนกรีตควบคุม H-OPC ตามลำดับ

3. ความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีต

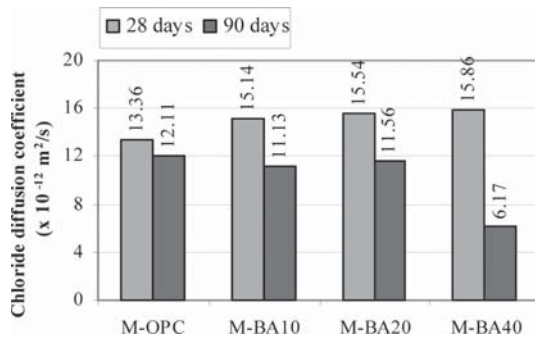
ผลการทดสอบความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีตได้แสดงไว้ในภาพที่ 5, 6, และ 7 ที่อายุ 28 วัน คอนกรีตควบคุม L-OPC, M-OPC และ H-OPC มีค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าเท่ากับ 6.35, 7.53 และ 9.75 $\text{k}\Omega\text{-cm}$ ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา L-BA10, L-BA20, และ L-BA40 มีค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 108, 106, และ 117 ของคอนกรีตควบคุม L-OPC ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา M-BA10, M-BA20, และ M-BA40 ความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 89, 99, และ 127 ของคอนกรีตควบคุม M-OPC ตามลำดับ และคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา H-BA10, H-BA20, และ H-BA40 มีค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 98, 113, และ 114 ของคอนกรีตควบคุม H-OPC ตามลำดับ และที่อายุ 90 วัน คอนกรีตควบคุม L-OPC, M-OPC และ H-OPC มีค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 7.25, 7.78 และ 11.73 $\text{k}\Omega\text{-cm}$ เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 14, 3, และ 23 ของคอนกรีตควบคุมที่อายุ 28 วัน ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา L-BA10, L-BA20, และ L-BA40 มีค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 111, 141, และ 267 ของคอนกรีตควบคุม L-OPC ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา M-BA10, M-BA20, และ M-BA40 มีค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 113, 137, และ 271 ของคอนกรีตควบคุม M-OPC ตามลำดับ คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตา H-BA10, H-BA20, และ H-BA40 มีค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 110, 127, และ 255 ของคอนกรีตควบคุม H-OPC ตามลำดับ



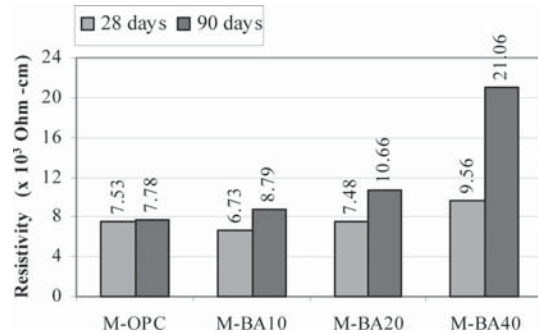
ภาพที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีตกำลังออกแบบ 25 MPa (w/b = 0.61)



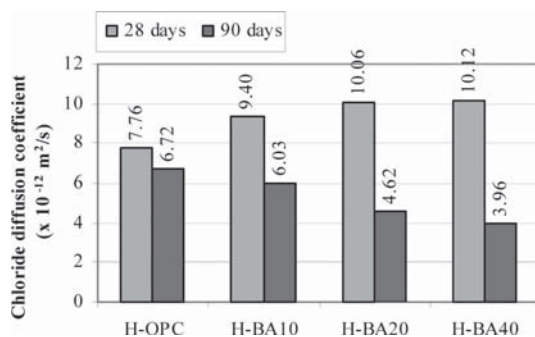
ภาพที่ 5 ความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีตกำลังออกแบบ 25 MPa (w/b = 0.61)



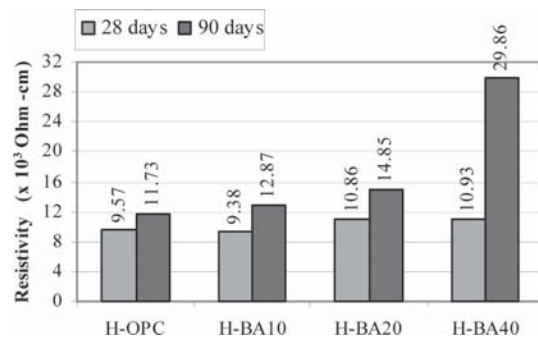
ภาพที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีตกำลังออกแบบ 35 MPa (w/b = 0.47)



ภาพที่ 6 ความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีตกำลังออกแบบ 35 MPa (w/b = 0.47)



ภาพที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีตกำลังออกแบบ 55 MPa (w/b = 0.33)



ภาพที่ 7 ความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าของคอนกรีตกำลังออกแบบ 55 MPa (w/b = 0.33)

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของคลอไรด์ของคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาจะมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่าของคอนกรีตควบคุมทุกอัตราส่วนผสมและทุกกลุ่มคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน เนื่องจากลักษณะของอนุภาคเถ้าก้นเตาบดมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมการอัดตัวในเพสต์จะไม่ค่อยดีไม่เหมือนทรงกลมที่สามารถกลิ้งและแทรกตัวได้ดีกว่า ทำให้เกิดช่องว่างหรือขนาดของโพรงที่โต จึงต้านทานการแทรกซึมได้ไม่ดีนัก ผลของค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าช่วยยืนยัน ค่าการซึมผ่านของคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาจะมีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่าทุกอัตราส่วนผสมและทุกกลุ่มคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน เช่นกัน เมื่ออายุ 90 วัน คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาจะสามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุมทุกอัตราส่วนผสมและทุกกลุ่มคอนกรีต โดยคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาในอัตราสูงขึ้นมีแนวโน้มในการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาในอัตราร้อยละ 40 มีค่าสัมประสิทธิ์การแทรกซึมของคลอไรด์ลดลงร้อยละ 41 - 57 ของคอนกรีตควบคุม และค่าความเข้มของความต้านทานเชิงไฟฟ้าช่วยยืนยันผลดังกล่าว โดยมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 155 - 171 ทั้งนี้เนื่องจากผลของการบ่มคอนกรีตและการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานช่วยให้ระบบโพรงในเพสต์พัฒนาและมีขนาดเฉลี่ยเล็กลง ขณะเดียวกันยังช่วยให้การเชื่อมต่อระหว่างเพสต์กับมวลรวม (interfacial zone) ได้ดีขึ้นและทึบน้ำมากขึ้น (Chindaprasirt et al., T., 2005, Poon CS, Kou and Lam, 2006, Poon et al., 1999)

สรุป

เมื่อนำเถ้าก้นเตา แม่เมาะมาบดได้ความละเอียดค่าตะแกรงเบอร์ 325 (45 μm) ร้อยละ 30-34 เมื่อนำมาใช้ในงานคอนกรีตพบว่า

1. คุณสมบัติเข้าข่ายเป็นวัสดุปอซโซลาน คล้ายเถ้าลอย เป็นชนิด F

2. คอนกรีตผสมเถ้าก้นเตามีความต้านทานใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม ที่อายุ 28 วัน และเมื่อบ่มคอนกรีตในน้ำจนอายุ 90 วัน สามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม โดยเฉพาะคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ 40 จะเห็นเด่นชัดมาก ส่วนคอนกรีตผสมเถ้าก้นเตาร้อยละ 10 และ 20 จะไม่เด่นชัด

เอกสารอ้างอิง

- American concrete institute, 2005. Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. ACI 211.1-91, ACI manual of concrete practice.
- American society for testing and materials, 2005. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete. ASTM C618-03, Annual book of ASTM standards, Vol.04.02: 323-325.
- Bentur, A., Diamond, S., and Berke, NS. 1997. Steel Corrosion in Concrete. London: Chapman and Hall.
- Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Sinsiri, T. 2005. Effect of fly as fineness on compressive strength and pore size of blended cement paste. Cement and Concrete Composite, 27: 425-428.
- Jaturapitakkul, C., Cheerarot, R. 2003. Development of bottom ash as pozzolanic material. J. Mat. in Civ. Engrg, 15: 48-53.
- Neville, AM. 2003. Properties of concretes. 4th and final edition. Harlow, London: John Winley and Sons.

- Nordtest method, 1999. Chloride migration coefficient from non-steady state migration experiment. NT BUILD 492, NordTest, Espoo, Finland.
- Poon, CS., Kou, SC., Lam, L. 2006. Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete. *Construction and Building Materials*, 20: 858-865.
- Poon, CS., Lam, L., Wong, YL. 1999. Effects of fly ash and silica fume on interfacial porosity of concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(3):197-205.
- Skalny, J., Marchand, J., and Odler I. 2002. Sulfate attack on concrete. London: Spon Press.
- Stanish, KD., Hooton, RD., and Thomas, MDA. 1997. Testing the chloride penetration resistance of concrete: A literature review. Report No. DTFH-97-R-00022 "Prediction of chloride penetration in concrete". Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada.