

Fly Ash를 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 강도와 염화물 저항능력간의 상관관계 평가

윤용식¹, 박재성², 황철성³, 권성준^{4*}

Evaluation of Relationship between Strength and Resistance to Chloride in Concrete Containing Fly Ash with Ages

Yong-Sik Yoon¹, Jae-Sung Park², Chul-Sung Hwang³, Seung-Jun Kwon^{4*}

Abstract: Fly ash(FA) which is a byproduct in the coal combustion in thermal power plant contributes to pore structure densification due to pozzolanic reaction, and this leads to long-term strength development and excellent resistance to chloride penetration. In the work, compressive strength and chloride resistance in OPC(Ordinary Portland Cement) and FA-based concrete are evaluated, and the relationships are investigated considering ages. For the work, 3 different W/B (Water to Binder) ratios of 37%, 42%, and 47% are prepared, and 3 substitution ratio of fly ash(0%, 30%, and 50%) are considered as well. At the age of 28 days and 180 days, test results of compressive strength, diffusion coefficients based on Tang's method, and passed charges referred to ASTM C 1202 and KS F 2711 are obtained. With increasing replacement ratio of FA and decreasing W/B, the resistances to chlorides(diffusion coefficient and passed charge) are improved, and the results at the age of 180 days decrease to only 15% level at the age of 28 days due to pozzolanic reaction in FA 50 mixture, which shows that resistance to chloride is much dependent on age effect than strength development. After 180 days, more clear linear relationships are observed between strength and resistance to chloride.

Keywords: Chloride ion, Fly ash, Chloride diffusion coefficient, Amount of passed charge, Compressive strength

1. 서 론

콘크리트는 경제적이고 고내구성인 건설재료로서 철근 보강재와 함께 철근 콘크리트(RC: Reinforced Concrete)로 오랜 기간 활발히 사용되어왔다. 하지만 사용기간이 증가하게 되면 내부의 철근 부식 등에 의한 균열 발생과 같은 내구성 문제가 발생하고 이러한 문제는 구조적인 문제로 진전된다. 특히 콘크리트 내부의 철근 부식이 가장 중요하게 고려되는데, 압축력에는 강하지만, 인장력에는 취약하므로 철근이 인장력에 주로 저항하기 때문이다. 매립된 철근 부식은 콘크리트 내부로 침투되는 염화물 이온에 의해 주로 발생하게 되며, 이를 극복하기 위해 많은 연구들이 재료, 설계, 시공분야에서 진행 중이다(Broomfield, 1997; RILEM, 1994; Song et al., 2005).

고성능 콘크리트(HPC: High Performance Concrete)는 강

도 및 내구성에서 뛰어날 뿐 아니라 작업성에서도 우수하여 1990년대 후반부터 사용되어온 건설재료이다(Song et al., 2006). 고성능 콘크리트에는 주로 혼화재료가 혼입되는데, 대표적으로 고로슬래그미분말(GGBFS: Ground Granulated Blast Furnace Slag)과 플라이애시(FA: Fly Ash) 그리고 실리카 폼(SF: Silica Fume)등이 널리 사용되고 있다. 이러한 혼화재료 들은 작업성 개선 및 내구성능 향상 등 공학적 장점뿐만 아니라 사회적으로 대두되고 있는 CO₂ 저감에 효과적이다(Back et al., 2011; Lee et al., 2013; Park, 2017).

그중 FA는 화력 발전소 부산물로서 석탄을 연소시키고 난 뒤 발생하는 산업 부산물이다. FA를 혼입한 콘크리트는 FA의 포졸란 반응에 의해 추가적인 수화물을 생성하게 되는데 이로 인해 공극구조가 밀실해지므로 장기강도 및 내구성능이 개선되게 된다. 특히 밀실해진 공극구조는 염화물 확산계수를 감소시키는데 큰 효과가 있다고 알려져 있다(Nath and Sarker, 2011). 또한 입자가 구형으로 되어있기에 굳지 않은 상태에서 볼 베어링(Ball bearing)효과로 인해, 작업성 증대 및 블리딩 현상 감소 등의 효과도 기대할 수 있다. 또한 부배합에서는 자기수축 및 건조수축에도 OPC 콘크리트 또는 GGBFS 치환 콘크리트에 비해서도 매우 안정적인 수축거동을 나타낸다(Yoo et al., 2012; Yoo et al., 2013). 최근에는 CO₂ 저감 효과

¹학생회원, 한남대학교 건설시스템공학과, 석사과정

²학생회원, 한남대학교 건설시스템공학과, 석사과정

³정회원, 가천대학교 토목환경공학과, 교수

⁴정회원, 한남대학교 건설시스템 공학과, 부교수, 교신저자

*Corresponding author: jjuni98@hannam.ac.kr

Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

•본 논문에 대한 토의를 2017년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

를 높이기 위해 FA를 중량비로 60% 이상 대량 치환한 HVFAC (High Volume Fly Ash Concrete)에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다(Kwon et al., 2014; Nath and Sarker, 2011; Park and Lim, 2015).

염화물 침투를 해석하기 위해 겔보기확산계수와 Fick's 2nd Law를 기반으로 한 해석이 일반적으로 사용되고 있다. 겔보기 확산계수는 염화물량을 직접적인 해로 확인할 수 있다는 장점이 있지만 장기간의 실험기간과 질산은 적정에 따른 변동성에 의한 실험오차가 많다는 단점이 있다. RCPT(Rapid Chloride Penetration Test)는 Fick's 2nd Law를 활용하여 확산계수를 도출하는데, 자유염소이온의 전기장 내의 속도를 평가하는 방법이다(Tang, 1996(a); Lee and Kwon, 2012; NOR-DTEST, 1999). 또한 전하 투과시험도 많이 이용되고 있는데 이 시험으로도 경험식을 통해 확산계수를 도출할 수 있지만 본질적으로 단순한 침투저항성만을 정성적으로 평가하는 실험으로 알려져 있다(ASTM C 1202, 1993). RCPT와 전하 투과 시험은 비교적 짧은 시간에 콘크리트 시편의 염해저항능력을 평가할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 염화물 저항성능은 콘크리트의 수화반응의 진전에 따라 일반적으로 증가하는데, 주로 시간의존성 확산계수로 표현된다.

본 연구에서는 전하통과량과 촉진확산계수의 변화를 강도 변화와 비교 평가하여 재령 변화에 따른 염화물 저항성을 재령증가와 함께 고찰하도록 한다. 이를 위해, 물 - 결합재(W/B: Water to Binder)비를 3 수준(37%, 42%, 47%)으로 설정하였으며 FA의 치환율을 3 수준(0%, 30%, 50%)으로 고려하여 총 9개의 배합을 수행하였다. Tang's Method에 따른 염화물촉진 확산계수 시험, ASTM C 1202와 KS F 2711에 따른 통과 전하량 측정 시험 및 압축강도 시험을 실시하여 각 결과를 재령일의 증가를 고려하여 비교 분석하였다. 염화물 시험은 재령 28일, 180일에 대하여, 압축강도 시험은 재령 28일, 49일, 180일에 대하여 실시하였으며 재령의 증가에 따라 변화하는 확산계수 및 총 통과전하량을 압축강도 특성과 연계하여 평가하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 콘크리트배합 및 시편

본 연구에서는 FA의 치환율 및 W/B의 변화에 따른 염해 저항성을 평가하기 위해 Table 1과 같이 배합을 준비하였다.

OPC 배합과 FA 30%, 50% 치환한 총 3가지 배합에 대해 W/B를 0.37, 0.42, 0.47로 변화시켜 총 9가지 콘크리트 배합을 설정하였다. Tables 2 및 3은 배합에 사용된 골재와 혼화제의

Table 1 Mix proportions for this study

	W/B (%)	Unit weight(kg/m ³)					S.P (%)
		W	C	FA	Fine Agg.	Coarse Agg.	
OPC	37	168	454	0	767	952	1.1
	42	168	400	0	787	976	1
	47	168	357	0	838	960	0.95
FA 30	37	168	318	136	745	952	1.4
	42	168	280	120	768	953	1.2
	47	168	250	107	820	939	1
FA 50	37	168	227	227	662	950	1.5
	42	168	200	200	685	982	1.3
	47	168	178	179	703	1008	1.2

Table 2 Properties of aggregate

Items	G _{max} (mm)	Specific gravity (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M.
Fine aggregate	-	2.58	1.01	2.90
Coarse aggregate	25	2.64	0.82	6.87

Table 3 Properties of super-plasticizer

Items	Type	pH	Main component	Solid	Density
2000R	Liquid	6.7	Polycarbonic Acid	25%	1.08

특성을 나타내고 있다.

지름 100 mm 높이 200 mm의 원주형 공시체를 제작한 후 Tang's method 및 ASTM C 1202, KS F 2711에 따라 두께 50 mm의 디스크 시편을 제작하였다. 염화물 침투 시험을 위한 목표재령은 28, 180일로, 압축강도 평가 시험을 위한 목표 재령은 28, 49, 180일로 설정하였으며, 각 목표 재령일까지는 20°C 수중양생을 실시하여 시험을 진행하였다.

2.2 Tang's Method에 따른 촉진 염화물 확산시험

재령의 증가에 따라 변화하는 염화물 확산계수를 도출하기 위해서 Tang's method에 의거하여 실험을 실시하였다. Fig. 1과 같이 염화물 확산 Cell을 구성하였다. 음극(-, Cell I)에는 0.5 M의 염화나트륨(NaCl) 수용액을 사용하였고 양극(+, Cell II)에는 포화 수산화칼슘(Ca(OH)₂) 수용액을 사용하였다. 또한 Table 4에서는 Tang's method의 실험조건을 나타내었다. 8시간동안 전압을 인가한 후 시편을 할렬하여, 쪼갠 부분에 0.1 N의 AgNO₃ 용액을 분무해 은색으로 변하는 부분을 염소이온 침투깊이로 측정하였다.

Table 4 Conditions for rapid chloride penetration test

Condition		Levels
Electrolyte	Cathode	0.5 Mole NaCl
	Anode	Saturated Ca(OH) ₂
Applied voltage(V)		30
Thickness(mm)		50

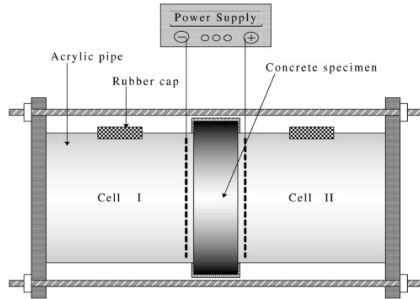


Fig. 1 Diagram of chloride diffusion Cell

염소이온 침투깊이로부터 촉진확산계수를 식 (1) 및 (2)에 의해 도출하였다.

$$D_{rcpd} = \frac{RTL}{zFU} \frac{x_d - a\sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

$$a = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \operatorname{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2C_d}{C_0}\right) \quad (2)$$

여기서, D_{rcpd} 는 비정상상태에서 구한 전위차 촉진 염소이온 확산계수(m^2/sec), R 는 기체상수($8.314J/mol.K$), T 는 절대 온도(K), L 은 시편두께(m), z 는 이온전자가(1.0), F 는 패러데이상수($96,500J/V.mol$), U 는 전위차(V), x_d 는 비색법에 의한 침투깊이(m), t 는 전위차의 적용시간(sec), C_d 는 비색법에 의한 반응농도(mol/l), C_0 는 음극 Cell의 염소이온농도(mol/l)를 나타낸다.

2.3 ASTM C 1202 및 KS F 2711에 따른 전하량 투과시험

콘크리트에 투과되는 전하량을 측정하기 위해 ASTM C 1202와 KS F 2711의 방법에 준하여 실험을 수행하였다. 지름 100 mm, 두께 50 mm 시편을 대상으로 음극에는 3% NaCl 수용액을, 양극에는 0.3 M NaOH 수용액을 주입 후 6시간동안 60 V의 전압을 인가하였다. 통과 전류량은 30분 간격으로 측정하였으며 식 (3)을 이용해 총 통과 전하량을 도출하였다. 이 값은 시편의 염화물 침투저항성을 평가하는데 활용된다. 또한 ASTM C 1202 및 KS F 2711에서 제시하고 있는 총 전하량 평가기준을 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Evaluation standard of total passed charge

Total passed charge(coulomb)	Chloride ions permeability
>4000	High
2000~4000	Moderate
1000~2000	Low
100~1000	Very low
<100	Negligible

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (3)$$

여기서 Q 는 총 통과 전하량(Coulomb)을 나타내고 있으며, I_x 는 x 분에서의 전류값(A)를 나타낸다.

2.4 콘크리트 압축강도 시험

KS F 2405에 따라 재령 28일, 49일 및 180일 공시체에 대해 압축강도를 평가하였다. 각 배합 당 3개의 공시체를 사용하였으며, 강도의 평균값을 실험 결과로 사용하였다.

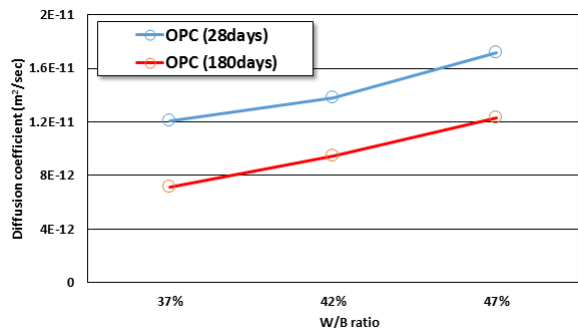
3. 실험결과 및 분석

3.1 재령의 증가에 따른 염화물 확산계수 평가

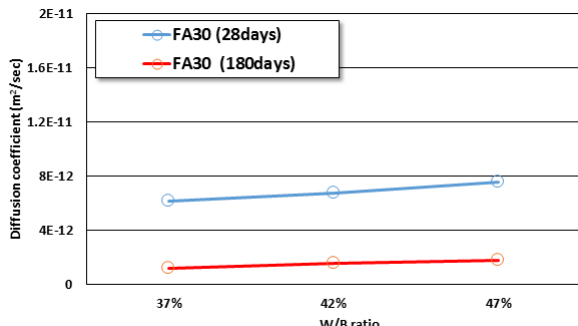
각 배합 및 재령에 따른 확산계수 변화를 비교분석하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

기존의 연구동향과 마찬가지로(Nath and Sarker, 2011), FA를 혼입한 콘크리트에서 OPC 대비 낮은 염화물 확산계수를 보였다. 이는 FA의 포졸란 반응으로 인해 공극구조가 치밀해지고, 그에 따라 염해 저항성이 개선된 것으로 보인다. 재령 28일에서는 FA30의 배합이 FA 50 배합보다 작은 염화물 확산계수를 나타냈다. 이는 다량의 OPC로 인해 초기재령에서는 30% 수준의 치환률이 우수한 염해 저항성을 갖기 때문이다. 그러나 장기재령인 180일에서의 염화물 확산계수는 FA 50의 경우 각 물결합재비에서 1.00, 1.32, $1.37 \times 10^{-12} m^2/s$ 로 FA 30 대비 약 77~83% 낮게 나타났다. FA를 50% 치환한 배합은 치환률이 비교적 크므로 충분한 양생기간이 확보된 후 포졸란 반응에 의한 더욱 조밀한 구조로 개선된 것으로 평가된다. 또한, 모든 배합에서 W/B가 클수록 높은 확산계수를 나타냈다. 또한 Fig. 3에서는 각 배합별로 재령 28일 대비 재령 180일에서의 확산계수 변화율을 나타낸 그래프를 도시하였다. FA를 혼입한 배합에서는 OPC 배합 대비 개선된 염해저항성을 보였으며, 특히 재령 180일의 FA 50 배합에서 재령 28일 대비 약 15%정도로 가장 높은 감소율을 보였다. 이는 치환률이 높은 경우 충분한 양생기간이 확보되면 활발해진 Fly Ash의 포

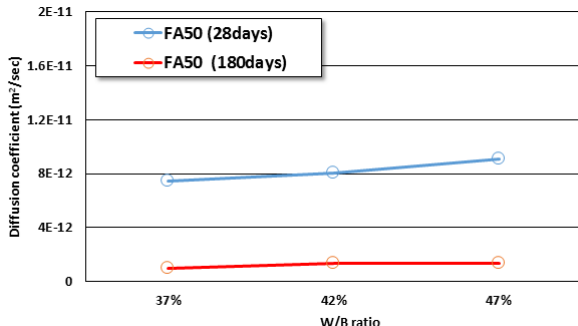
졸란 반응에 따라 공극구조가 다른 배합에 비해 뚜렷하게 개선되기 때문이다.



(a) OPC



(b) Fly Ash 30%



(c) Fly Ash 50%

Fig. 2 Diffusion coefficient with W/B ratio and Curing period

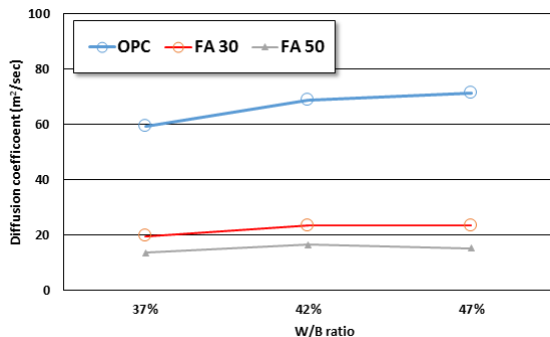
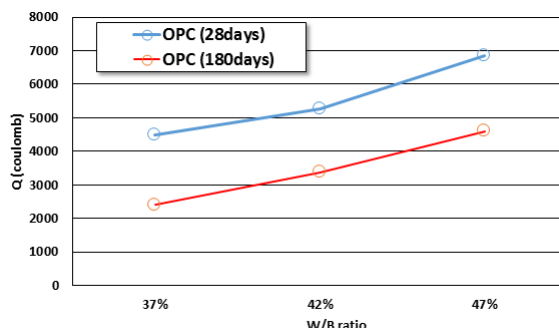


Fig. 3 Decreasing ratio of diffusion coefficient between Age 28 days and 180 days

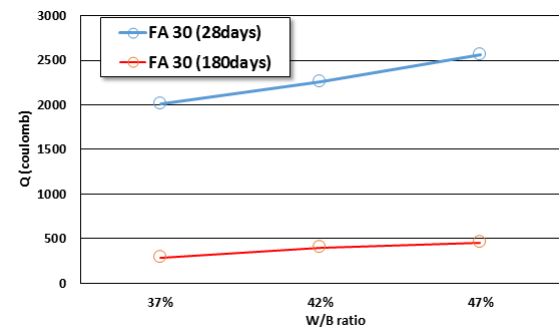
3.2 재령의 증가에 따른 통과전하량 평가

ASTM C 1202 및 KS F 2711에 준하여 측정된 총 통과전하량을 각 배합 및 재령에 따라 평가하였다. 배합별 총 통과전하량을 Fig. 4, 재령에 따른 총 통과전하량의 변화율을 Fig. 5에 나타내었다.

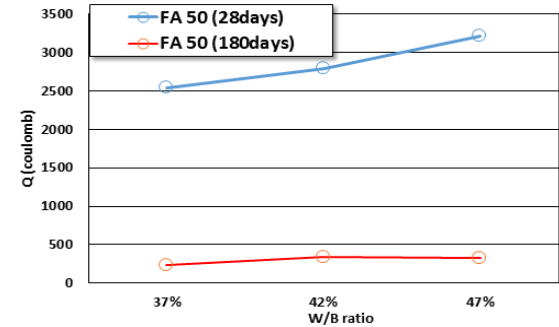
총 통과전하량 실험 결과는 앞서 분석한 염화물 확산계수의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 두 시험 모두 전기장내의 염소이온 이동속도에 지배적인 실험이기 때문이다. 재령 28일에서는 W/B 47%의 OPC 배합에서 가장 큰 총 통과전하량(6863.4 C)가 측정되었고, W/B 37%의 FA 30% 치환 배합에서 가장 작은 총 통과전하량(2012.4 C)가 측정되었다. 재령 28일에서 모든 W/B의 OPC 배합은 총 통과전하량이 4000 C를 초과하여 높은 부식위험군에 속하였고 모든 FA 치



(a) OPC



(b) Fly Ash 30%



(c) Fly Ash 50%

Fig. 4 Total passed charge with W/B and curing period

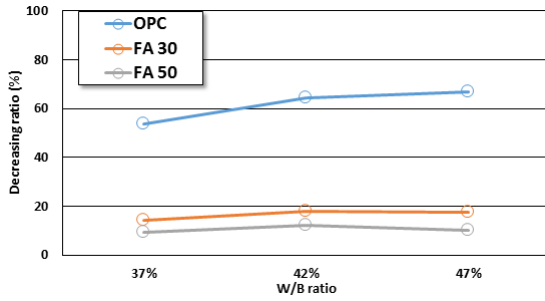


Fig. 5 Decreasing ratio of total passed charge between Age 28 days and 180 days

환 배합은 보통 등급에 속하였다. 재령 180일에서는 W/B 37%, 42%의 OPC 배합은 보통 등급으로 개선되었지만 47%에서는 여전히 높은 부식위험군에 속하였다. FA 치환배합은 모두 매우 낮은 등급에 속함으로써 염화물 침투저항능력이 크게 향상된 것으로 판단된다.

또한 재령이 180일로 증가하면서 모든 배합에서 총 통과전하량의 감소가 나타났는데 OPC 배합에서는 재령 28일 대비 약 54~67%로 감소하였고, FA 30% 및 50% 치환 배합에서는 각 11~18%, 9~12% 수준으로 감소하였다. FA 치환 배합에서 재령이 증가함에 따른 개선된 침투저항효과가 뚜렷하게 나타났다. 이는 FA 혼입 콘크리트의 장점인 포졸란 반응으로 인한 불용성의 안정한 규산화 칼슘수화물의 추가적인 생성으로 인해 공극구조가 치밀해졌기 때문이다(Kim et al., 2009).

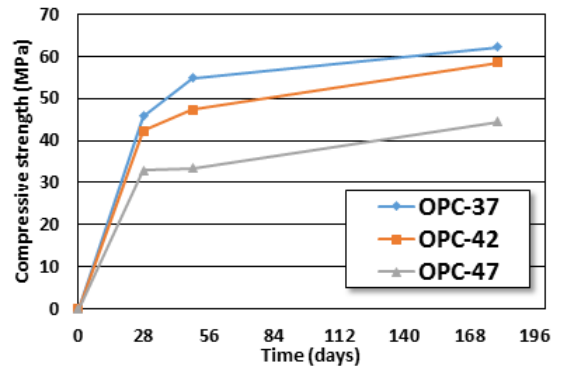
3.3 재령의 증가에 따른 압축강도 평가

KSF 2405에 준하여 압축강도를 평가하였는데, Fig. 6는 각 배합별 재령의 증가에 따른 강도 변화를, Fig. 7은 재령 28일과 180일 사이의 강도증가율을 나타내고 있다.

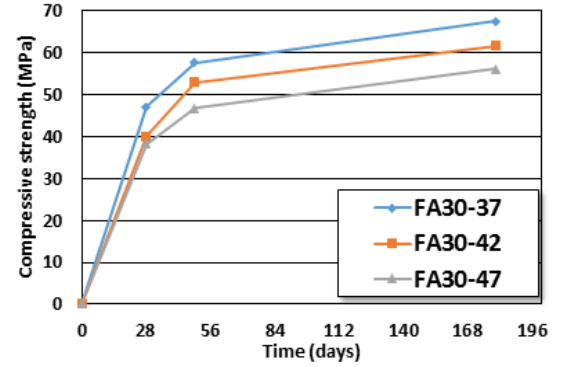
모든 배합에서 재령이 증가함에 따라 강도가 증가하였으며, 기존의 연구결과와 마찬가지로 FA를 혼입한 배합에서 OPC 대비 개선된 장기강도 발현이 지배적으로 평가되었다. 재령이 28일에서 180일로 증가함에 따라 OPC 배합에서는 135.26~138.34%, FA 30에서는 143.09~154.02%, FA 50에서는 145.47~184.11%의 강도 증가율을 나타냈다.

4. 재령에 따른 염화물 확산계수 및 강도변화 평가

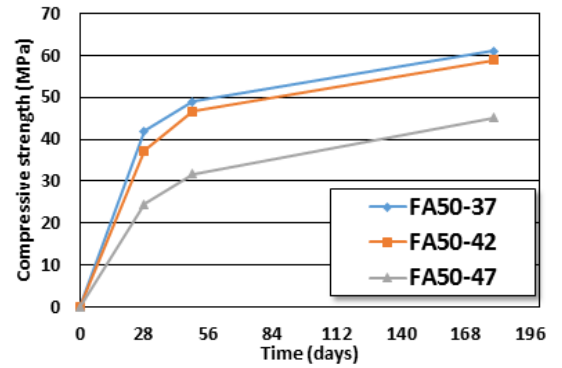
본 절에서는 재령28일의 염화물 확산계수, 총 통과전하량, 압축강도가 재령 180일의 실험결과와 어떤 상관성을 가지는지에 대하여 평가하였다. 재령 기간이 늘어남에 따라 확산계수



(a) OPC



(b) Fly Ash 30%



(c) Fly Ash 50%

Fig. 6 Strength evaluation with age and binder type

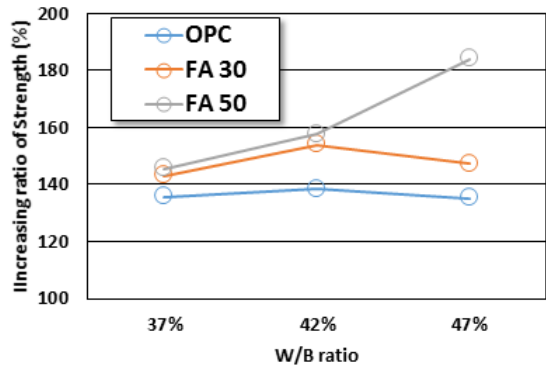
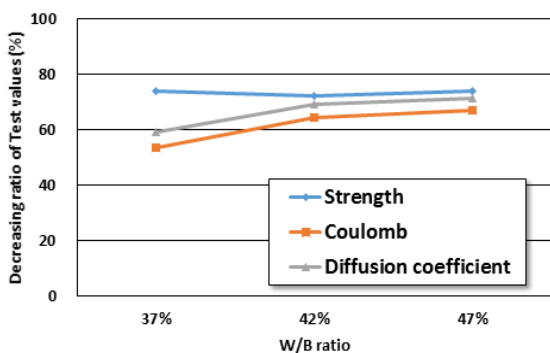


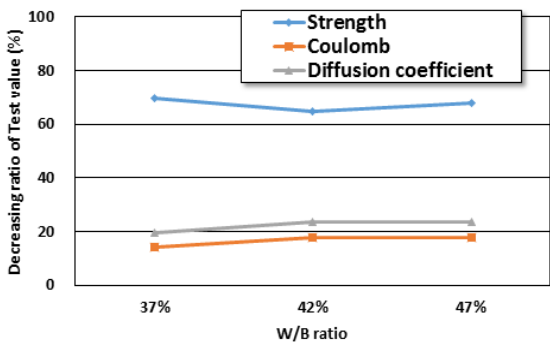
Fig. 7 Increasing ratio of strength between Age 28 days and 180 days

및 총 통과전하량은 감소하지만 강도는 증가하기 때문에 강도의 경우는 증가율의 역수를 취하여 평가하였다. Fig. 8에서는 각 배합에서 재령이 28일에서 180일로 증가함에 따라 강도, 확산계수, 총 통과전하량의 변화율을 W/B에 따라 나타내었다.

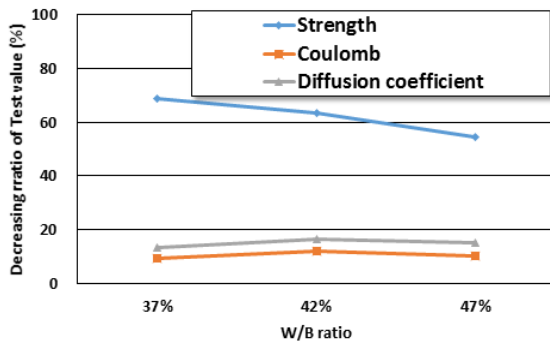
OPC 배합에서는 W/B가 높을수록 확산계수 및 총 통과전하량의 감소율이 증가하였다. FA 치환 배합에서는 뚜렷한 경향은 나타나지 않았는데, 이는 FA 치환 배합은 재령 28일에서부터 낮은 확산계수와 총 통과전하량을 확보하였기 때문이다. 압축강도에서는 OPC, FA 30 배합에서는 특별한 경향이 나타나지 않았지만 FA 50 배합에서는 변화율이 W/B가 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 압축강도 변화율은 역수를 취했으므로 FA 50 배합에서 압축강도가 W/B와 비례하여



(a) OPC

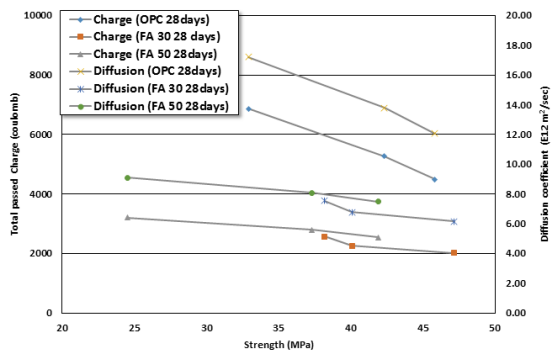


(b) Fly Ash 30%

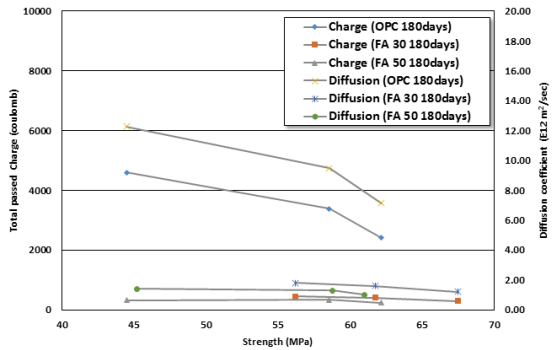


(c) Fly Ash 50%

Fig. 8 Decreasing ratio of test values with curing period



(a) Compressive strength and chloride behavior(28 days)



(b) Compressive strength and chloride behavior(180 days)

Fig. 9 Relation between compressive strength and chloride resistance

증가하였는데, 높은 W/B를 가진 배합(47%)라 하더라도 치환율 50% 수준에서는 높은 장기강도 발현을 의미한다.

또한 이 세 가지 실험 결과의 관계는 Fig. 9와 같이 분석해 볼 수 있다.

재령 28일 및 180일에서 모든 배합에서 강도가 증가함에 따라 확산계수와 총 통과전하량이 선형적으로 감소하는 관계를 나타내었다. 28일 재령에서는 FA 30 배합이 FA 50 배합보다 높은 확산계수와 높은 전하통과량을 가지고 있으며, FA 30에서 강도와 선형관계의 변동성이 크게 발생하였다. 이는 비교적 초기 재령인 28일에서는 포졸란 반응을 기대하기 어렵지만, OPC 량이 FA 50보다 많으므로 이로 인해 강도의 증가에 비하여 염화물 저항성이 낮게 평가되었다. 그러나 재령이 180일로 증가함에 따라 FA 30 및 FA 50에서 강도와 염화물 저항성의 선형관계가 뚜렷하게 확보되었으며, FA 50에서 모두 낮은 확산계수 및 통과전하량이 평가되었다.

5. 결론

본 연구에서는 재령 28일, 180일에 대하여 측정된 염화물 확산계수와 총 통과전하량, 재령 28일, 49일, 180일에 대하여 측정

한 압축강도를 OPC 및 FA를 혼입한 콘크리트에 대하여 분석하였으며, 재령의 증가에 따라 변화하는 염화물 저항성을 강도 변화와 함께 고려하여 평가하였다. FA를 혼입한 콘크리트의 강도, 확산계수, 총 전하량을 비교 분석한 결론은 다음과 같다.

- 1) 재령이 28일에서 180일로 증가함에 따라 확산계수는 OPC의 경우 59.3~71.4%, FA 30의 경우 19.5~23.4%, FA 50의 경우 13.4~16.3% 수준으로 감소하였다. FA 혼입 배합에서 OPC 대비 뚜렷한 감소율을 나타냈으며 W/B가 증가할수록 대체로 감소율도 증가하였다. 통과전하량도 확산계수와 비슷한 거동을 나타내었는데, OPC의 경우 53.6~67%, FA 30의 경우 14.3~17.7%, FA 50의 경우 9.1~12.1% 수준으로 감소하였다.
- 2) 재령 28일에서는 OPC 및 FA 50 배합의 경우 강도가 증가함에 따라 선형적으로 확산계수 및 총 통과전하량이 감소하였지만, FA 30 배합의 경우 강도가 40 MPa 이상인 경우 선형관계가 유지되지 않았다. 이는 FA 30% 치환의 경우, 강도의 증가는 OPC의 수화반응에 의하여 진행되지만, 충분한 포졸란 반응이 발생하지 않아 염해 저항성이 약간 낮게 평가된 것으로 판단된다. 그러나 재령이 180일로 증가함에 따라 이러한 변동성이 크게 감소하여 모든 배합에서 선형적 관계를 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015-R1A5A1037548).

References

Back, C. H., Tae, S. H., Roh, S. J., Lee, J. H., and Shin, S. W. (2011), A Study on the Requisite Elements of LCCO₂ Evaluation System at Planning Stage of Building, *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 12(3), 31-41.

ASTM C 1202 (1993), Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Annual Book of American Society for Testing Materials Standards.

Broomfield, J. P. (1997), Corrosion of Steel in Concrete: Understanding, Investigation and Repair, E&FN, London. 1-15.

Kim, J. M., Kwak, E. G., Cho, S. H., Kang, C. (2009), Decision of Optimized Mix Design for lightweight Foamed Concrete Using Bottom Ash by Statistical Procedure, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 21(1), 3-11.

KS F 2405(2015), Standard test method for compressive strength of concrete, KSSN, 1-3.

KS F 2711(2012), Testing method for resistance of concrete to chloride ion penetration by electrical conductance, KSSN, 1-18.

Kwon, S. O., Bae, S. H., Lee, H. J., and Jung, S. H. (2014), Characteristics for Reinforcement Corrosion and Chloride Ion Diffusion of High Volume Fly Ash Concrete, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, 2(1), 34-39.

Lee, H. S., and Kwon, S. J. (2012), Analysis Technique for Chloride Behavior Using Apparent Diffusion Coefficient of Chloride Ion from Neural Network Algorithm, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 24(4), 481-490.

Lee, S. H., Park, W. J., and Lee, H. S. (2013), Life cycle CO₂ Assessment Method for Concrete using CO₂ Balance and Suggestion to Decrease LCCO₂ of Concrete in South-Korean Apartment, *Energy and Buildings*, 58(1), 93-102.

Nath, P., and Sarker, P. (2011), Effect of Fly Ash on the Durability Properties of High Strength Concrete, *The Proceedings of the Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, 14, 1149-1156.

NORDTEST (1999), Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments, NT BUILD 492, 1-11.

Park, K. C., and Lim, N. G.(2015), Chloride Penetration of Concrete Mixed with High Volume Fly Ash and Blast Furnace Slag, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(1), 90-99.

Park, S. S. (2017), Corrosion-Resisting Performance Evaluation of Concrete Mixed with Fly-Ash, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 21(1), 117-125.

RILEM (1994), Durability Design of Concrete Structures, Report of RILEM Technical Committee 130-CSL, E&FN, London, 28-52.

Song H. W., Pack, S. W., Lee, C. H., and Kwon, S. J. (2006), Service Life Prediction of Concrete Structures under Marine Environment Considering Coupled Deterioration, *Journal of Restoration of Building and Monument*, 12(4), 265-284.

Song, H. W., Kwon, S. J., Byun, K. J., and Park, C. K. (2005), A Study on Analytical Technique of Chloride Diffusion Considering Characteristics of Mixture Design for High Performance Concrete using Mineral Admixture, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 25(1A), 213-223.

Tang, L. (1996a), Chloride Transport in Concrete - Measurement and Prediction, Publication, Chalmers University of Technology, Sweden, 26-85.

Tang, L.(1996b), Electrically Accelerated Methods for Determining Chloride Diffusivity in Concrete-Current Development, *Magazine of Concrete Research*, 48(176), 173-179.

Yoo, S. W., Koh, K. T., Kwon, S. J., and Park, S. G.(2013), Analysis Technique for Flexural Behavior in RC Beam Considering Autogenous Shrinkage Effect, *Construction and Building Materials*, 47, 560-568.

Yoo, S. W., Kwon, S. J., and Jung, S. H. (2012), Analysis Technique for Autogenous Shrinkage in High Performance Concrete with Mineral and Chemical Admixtures, *Construction and Building Materials*, 34, 1-10.

Received: 03/06/2017

Revised: 04/25/2017

Accepted: 04/26/2017

요 지: 화력발전의 부산물인 플라이 애쉬는 포졸란 반응을 통하여 조직구조를 개선하고 장기 강도 및 염화물 저항성에 매우 효과적이다. 본 연구에서는 28일 및 180일 재령의 보통 포틀랜드 시멘트 및 FA를 혼입한 콘크리트에 대하여 압축강도 및 염화물 저항성을 평가하였으며, 재령의 증가에 따른 상관성을 평가하였다. 이를 위해, 물-결합재비(W/B)를 37%, 42%, 47%의 3가지 수준, Fly Ash를 시멘트 중량의 0%, 30%, 50%의 3가지 수준으로 나누어 총 9가지 배합을 설정하였으며, 28일 및 180일 재령 시, 압축강도, Tang's method에 의한 축진확산계수, 그리고 ASTM C 1202, KS F 2711을 통한 통과전하량을 측정하였다. Fly Ash 혼입율이 클수록, W/B가 낮을수록 염화물 저항성(확산계수 및 통과전하량)이 개선되었는데, 모든 FA 50 배합에서 염화물 저항성은 재령 28일 대비 재령 180일에서 약 15% 수준으로 감소하였다. 이는 FA의 포졸란 반응으로 인해 공극구조가 더 치밀해져 나타난 결과이며, 염해 저항성이 강도보다 시간에 더욱 의존적임을 알 수 있다. 재령 180일 이후, FA를 혼입한 배합에서 강도와 염해저항성의 뚜렷한 선형관계가 관측되었다.

핵심용어: 염소 이온, 플라이애시, 염화물 확산계수, 통과 전하량, 압축강도
