석회석 미분말을 활용한 보통강도 고유동 콘크리트의 염소이온 침투특성

Chloride Ion Penetration Properties of Normal Strength High-Fluidity Concrete Using Lime Stone Powder

최 연 왕[1)*] 문 재 흠[2)] 엄 주 한[3)]

Choi, Yun Wang Moon, Jae Heum Eom, Joo Han

Abstract

Recently, there are a lot of researches related to the high-fluidity concrete (HFC) with field applications. However, most applications and studies are with concretes with high strength level so there are little studies about durability evaluations such as chloride ion penetration properties with normal strength concrete. Therefore, to evaluate the durability of HFC with normal strength level, this study performed the chloride ion penetration test and observed the micro pore distribution with normal strength HFC which contains limestone powder. Experimental results showed that most micro-pores have diameters between 0.005 to 0.05 ㎛ with HFCs using limestone powder and the average diameter becomes larger with the increase of limestone powder content. Also, it was shown that, with the increase of the limestone powder content, penetration depth and diffusion coefficient of chloride ion increased and diffusion coefficient had good relationships with compressive strength and average pore diameter with the coefficient of determination over 0.90.

Keywords : High-fluidity concrete, limestone powder, Chloride ion diffusion coefficient, Pore structure

1. 서 론

최근 국내의 경우 해안매립에 의한 영토확장, 해상공항, 도서를 잇는 교량 및 항만건설 등과 같은 해양 환경하의 콘크리트 구조물이 증가함에 따라 염해에 의한 해양 콘크리트 구조물의 성능저하 문제가 대두되고 있는 실정이다(문한영 등, 2006, 최창식 등, 2000). 기존 연구자들에 의하면, 해양 콘크리트 구조물에 나타날 수 있는 문제점으로는 해수에 의한 오염과 건습의 반복, 염해 또는 탄산화에 의한 철근부식, 각종 유해 이온에 의한 화학적 침식 및 동결융해에 의한 성능저하 등을 들 수 있다 (Metha and Monteiro, 2006).

또한 해양 구조물뿐만 아니라 일반적인 철근 콘크리트 구조물에 있어서도 내진설계 반영에 따른 과밀 배근 및 단면형상이 복잡해짐에 따라 다짐작업이 곤란해지는 문제점과, 대규모 타설시 타설시간 및 타설 인력증가, 품질유지 등 안정된 품질확보 등의 어려움이 발생되고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 콘크리트 타설시 작업성을 개선, 시공효율을 향상시킨 고유동 콘크리트의 개발 및 적용이 요구되고 있다. 고유동 콘크리트는 굳지 않은 콘크리트의 유동성 및 점성을 개선시켜 무진동·무다짐으로 타설이 가능한 콘크리트를 말하며, 유동성 및 점성을 만족시키기 위해 다량의 분체를 사용하는 특성이 있다. 국내의 경우 2009년 콘크리트 표준시방서에 “고유동 콘크리트” 규정이 신설(한국콘크리트학회, 2009)됨에 따라 차후 콘크리트 구조물에 사용이 보편화 될 것으로 예상되지만 아직까지 고유동 콘크리트의 내구성 평가에 대한 규준이 마련되어 있지 않은 실정이며, 기존의 내구성 관련 연구는 고강도 이상(40MPa) 영역의 콘크리트 배합을 주로 다루었기 때문에 보통강도를 가진 고유동 콘크리트의 염소이온 침투 저항성에 관한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다.

염해에 관한 내구성 평가는 콘크리트 내부의 염소이온 침투와 확산계수를 평가하는 것이 매우 중요하다. 염소이온 확산계수의 평가는 Fick의 제 1법칙 및 2법칙을 이용하여 확산계수를 추정(Otsuki et al., 1999)하고 있으며, 이 방법들은 비교적 정확한 확산계수를 추정할 수 있는 장점이 있으나 장시간의 시험기간이 소요되는 문제점이

1) 정회원, 세명대학교 토목공학과 교수

2) 정회원, 한국건설생활환경시험연구원 건설기반기술팀 선임연구원

3) 정회원, 에스지에스건설시험연구원(주) 공인시험실 사원

* Corresponding author : crete77@semyung.ac.kr, 043)649-1331

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2010년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Chemical compositions and physical properties of OPC and admixtures

Item / Type	CaO (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	MgO (%)	Fe_2O_3 (%)	SO_3 (%)	Insol. (%)	L.O.I (%)	Surface area (cm^2/g)	Density (g/cm^3)
OPC	61.40	21.60	6.00	3.40	3.10	2.50	0.21	0.03	3,540	3.15
LSP	43.80	11.06	4.13	1.42	1.44	0.30	-	35.66	4,600	2.69
F A	6.51	58.20	26.28	1.10	7.43	0.30	-	3.20	3,550	2.18

있다. 따라서 최근에는 전기적인 촉진실험을 통해 단기간에 평가하기 위한 연구들이 진행되고 있다(Andrade, 1993, ASTM C1202, 1992, Dhir et al., 1990, Luping and Nilsson, 1992, NT BUILD 492, 1999, Zhang and Gjφrv, 1994). 따라서 본 연구에서는 보통강도(40MPa이하) 고유동 콘크리트의 염해에 대한 내구특성을 알아보기 위하여 석회석 미분말을 혼합한 2성분계 및 3성분계 보통강도 고유동 콘크리트를 제조하여 수은압입법을 통하여 공극구조 특성을 분석하였으며, ASTM C 1202 (1992) 및 Tang & Nilsson method (Luping and Nilsson, 1992)를 참조하여 염소이온 침투특성을 분석·고찰 하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 혼화재

시멘트는 밀도 3.15g/cm^3 및 분말도 3,540cm^2/g의 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함)를 사용하였으며, 보통강도 고유동 콘크리트를 제조하기 위하여 석회석 미분말(이하 LSP로 약함) 및 플라이애시(이하 FA로 약함)를 혼화재로 사용하였다. 이들의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

2.1.2 골재

잔골재는 낙동강산 강모래(이하 S로 약함)를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수(이하 Gmax로 약함)가 20mm인 석회암질 부순골재(이하 G로 약함)를 사용하였다. S 및 G의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.1.3 혼화제

고유동 콘크리트의 유동성 확보 및 공기량 조절을 위하여 화학혼화제는 국내 H사의 폴리카르본산계 고성능 감수제(이하 SP라 약함) 및 공기 연행제(이하 AE라 약함)를 사용하였다.

2.2 콘크리트 배합

본 연구에서 사용한 고유동 콘크리트(이하 HFC로 약함)의 기준배합은 예비실험을 통하여 골재채움률(이하 PF로 약함) 1.12, 잔골재율 48%, 물/분체비 35%인 기준배합을 결정 하였으며 (최연왕 등, 2002, Choi, Y. and Choi, W., 2008, Choi et al., 2006, Su et al., 2001), LSP를 혼합한 2성분계 분체는 LSP를 기준 OPC의 부피에 대하여 3수준(0, 15 및 30%)으로 치환하였다. 또한 LSP를 혼합한 3성분계 분체는 기준 OPC의 부피에 대하여 FA를 15 및 30%로 고정시킨 2성분계 분체의 LSP를 부피에 대하여 15 및 30%으로 치환하였다 (Choi, Y. and Choi W., 2008). Table 3은 콘크리트의 배합표를 정리한 것이다. 기준배합 결정시 굳지 않은 HFC의 성능평가는 국내 콘크리트 표준시방서(2009)를 통하여 기준을 정립하였다.

Table 4는 한국콘크리트학회에서 제시한 HFC의 성능평가 기준안을 정리한 것이다. 평가 등급 기준은 일반 철근콘크리트 구조물에 적용할 수 있는 2등급을 적용하여 검토하였다. 이러한 기준을 만족시키는 기준배합을 선정한 후 사용재료가 충분히 혼합될 수 있도록 Fig. 1과 같은 순서로 콘크리트 배합을 실시하였다.

Table 2 Physical properties of aggregates

Item / Type	Gmax (mm)	Density (g/cm^3)	Absorption (%)	F.M.	Bulk density (kg/m^3)
S	-	2.56	2.07	2.76	1,659
G	20	2.70	1.01	6.94	1,626

Table 3 Mixture proportions of concrete

Mix No.	Types	Unit mass (kg/m^3)						SP (P×%)
		W	P*			S	G	
			OPC	LSP	FA			
1	Plain	178	509	0	0	768	848	0.8
2	LSP15 FA0		433	65	0			
3	LSP30 FA0		356	130	0			
4	LS15 FA15	178	368	65	45	768	848	0.8
5	LSP15 FA30		303	65	90			
6	LSP30 FA15	178	303	130	37	768	848	0.8
7	LSP30 FA30		249	130	74			

* P : Powder(OPC+LSP+FA)

Table 4 Specification of HFC proposed by KCI

Item	Rank	1	2	3
Construction condition	Minimum gap between reinforcement(mm)	35-60	60-200	≥200
Flow ability	Slump flow(mm)	600-700		
Segregation resistance ability	Time required to flow through V-funnel(s)	-	-	-
	Time required to reach 500mm of slump flow(s)	5-20	3-15	3-15
Filling height of U-box test(mm)		≥300	≥300	-

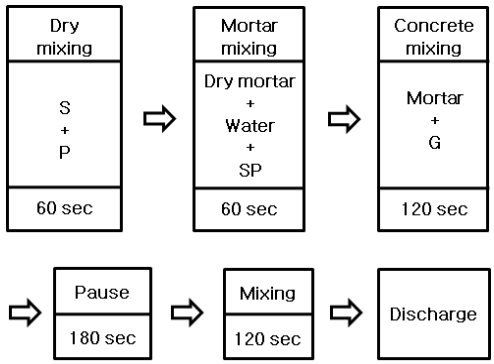


Fig. 1 Mixing method

2.3 실험방법

2.3.1 자기충전성 평가

HFC의 자기충전성 평가 항목에는 유동성, 재료분리 저항성 및 충전성이 있다. 유동성 평가 시험방법은 Slump flow 값을 측정하였다. 재료분리저항성 시험은 V-funnel 유하시간 및 Slump flow 500mm 도달시간을 측정하였으며, V-funnel test의 경우 시료를 시험장치에 채운 후 하부의 입구를 개방하여 시료가 완전히 흘러내렸을 때까지의 유하시간을 측정하였다. 또한 충전성 평가 시험방법으로 U형 박스에 시료를 채운 후 가운데 칸막이를 들어올려 콘크리트가 철근 사이를 통과하여 상승된 높이와 단차를 측정하였다.

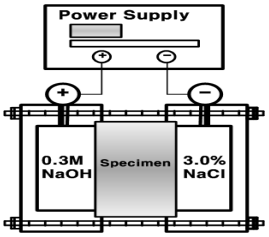
2.3.2 압축강도 시험

압축강도 시험용 공시체는 ϕ100×200mm 원주형 몰드에 다짐을 하지 않은 상태로 제작하였으며, 24시간 후 몰드를 탈형하여 소정의 재령까지 수온 20±2℃ 수조에 침지하여 양생하였다. 압축강도 시험은 재령 7일, 28일, 56일 및 91일에서 KS F 2405에 준하여 실시하였다.

2.3.3 콘크리트 미세공극구조

시멘트 경화체의 공극구조 측정은 공극의 크기에 따라 N2 가스 흡착법(1~3nm), 수은압입법(3nm~30㎛), 광

Table 5 Condition of accelerated test

Conditions		levels	Cell
Electrolyte	(-)	3.0% NaCl	
	(+)	0.3M NaOH	
Applied voltage (V)		30	
Thickness (mm)		50	
Duration time (hour)		8	

학현미경법(30㎛~1mm) 및 X선 CT법((1mm 이상) 등이 사용되고 있다. 본 연구에서는 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry ; 이하 MIP라 약함)을 통하여 수은을 413.6 MPa까지 압입하여 0.003~10㎛ 영역의 모세관공극을 측정하였으며, 수은 접촉각은 130.0°로 가정하였다.

시험편은 수중 양생한 재령 28일 콘크리트를 파쇄한 후 굵은 골재를 제외한 모르타르 부분에서 약 1.5g을 채취하여 105~110℃ 온도에서 항량 건조시켰다. 수은의 압력과 압입량으로부터 공극을 원통형으로 가정하여 식(1)에서 공극의 직경을 산정하였다.

$$\varnothing = \frac{-(4 \cdot \gamma \cdot \cos\theta)}{P} \quad (1)$$

여기서, $\varnothing$: 공극의 직경 (m)
P : 적용 압력 (Pa)
γ : 표면장력 (0.485Pa)
θ : 접촉각 (130°)

한편, 모세관 공극을 원통형으로 가정하여 총 체적(Vt)과 총 표면적 (St)의 관계로부터 식(2)를 이용하여 모세관 공극의 평균직경(Da)을 산정하였다.

$$D_a = \frac{4V_t}{S_t} \quad (2)$$

2.3.4 염소이온 침투저항성 시험

염소이온 확산 특성을 평가하기 위하여 압축 강도 시험용 공시체 제작 방법에 따라 ϕ100×200mm 원주형 공시체를 제작하였다. 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 몰드를 제거한 후 시험 전까지 20±2℃의 온도로 습윤양생 하였다. Table 5는 Tang & Nilsson이 제안한 전기촉진시험방법을 이용한 것으로 ASTM C 1202의 이온투과시험법을 적용한 전기적인 촉진시험법을 사용하였다. 공시체의 일정 부위를 커터기를 사용하여 50mm 두께로 절단한 후 셀과 결합하였다. 0.3M의 NaOH 수용액

을 양극, 3% NaCl 수용액을 음극으로 30V의 전압을 8시간 동안 가하였다. 염소이온의 침투깊이는 시험이 종료한 후 시험편을 할렬하여 0.1N $AgNO_3$용액을 분무하였을 때 변색되는 부위를 전자버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 측정된 침투깊이를 바탕으로 식(3)을 이용하여 확산계수를 추정하였다.

$$D = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha\sqrt{x_d}}{t} \quad (3)$$

여기서, $\alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot erf^{-1}(1-\frac{2c_d}{c_0})$

D : 확산계수 (m^2/sec)
z : 이온의 원자가 (염소이온의 경우 z=1)
F : 페러데이 상수 (96,481.04 J/Vmol)
U : 양극과 음극 사이의 전압차 (V)
R : 기체상수 (8.314 J/Kmol)
T : 용액의 온도 (K)
L : 시편의 두께 (m)
x_d : 염소이온의 침투깊이 (m)
t : 실험 지속시간
erf : error function
c_d : 질산은에 의해 변색된 부분의 염소이온 농도
c_0 : 음극쪽 셀의 염소이온 농도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 자기충전성 및 압축강도 평가

3.1.1 자기충전성 평가

Table 6은 HFC의 자기충전성을 평가하기 위하여 유동성, 재료분리저항성 및 충전성 실험 결과를 정리한 것이다.

Table 6에서 보이는 바와 같이 유동성은 LSP를 혼합한 2성분계 및 3성분계 모두 LSP의 혼합률이 증가할수록 Slump flow는 증가하였으며, Slump flow값은 KCI 2등급 규정에서 제시한 600~700mm를 만족하였다. V-funnel 유하시간은 모든 배합에서 7~13sec 범위에 있었으며, Slump flow 500mm 도달시간 및 충전성 평가는 KCI 2등급 규정(3~20sec 및 300mm)에서 제시한 값을 만족하였다.

3.1.2 압축강도 평가

Fig. 2는 LSP 혼합률을 변화시킨 2성분계 및 3성분계 HFC의 재령 7일, 28일, 56일 및 91일 압축강도를 정리한 것이다. Fig. 2의 결과 LSP를 15% 및 30% 혼합한 HFC의 경우 재령 28일 압축강도는 Plain과 비교하여 각각 12% 및 24% 감소되었으며, 재령 91일까지 LSP의 사용량이 증가할수록 압축강도는 낮게 나타났다. 이러한 원인은 LSP의 혼합률이 증가할수록 단위시멘트의 사용량은 감소하며, 무반응성 분체인 LSP가 시멘트 수화반응에 거의 기여하지 못하므로 압축강도 발현에 영향을 주지

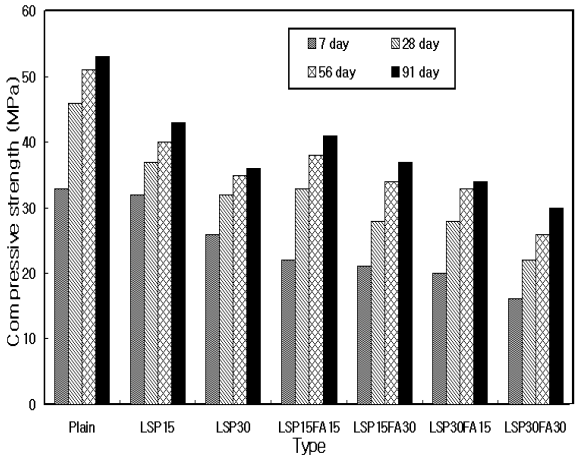


Fig. 2 Compressive strength by age

Table 6 Fresh properties of HFC

Mix No.	Type	Flowability	Segregation resistance ability		Packing ability
		Slump flow (mm)	V-funnel flow (sec)	T_{500}* (sec)	Filling height of U-box test (mm)
1	Plain	630	7.7	6.5	350
2	LSP15	660	7.3	4.6	330
3	LSP30	680	7.2	4.5	340
4	LSP15 FA15	640	8.1	4.8	325
5	LSP15 FA30	630	10.5	6.0	320
6	LSP30 FA15	665	7.8	4.7	320
7	LSP30 FA30	650	9.9	5.0	305

* T_{500} : flow time to achieve 500mm

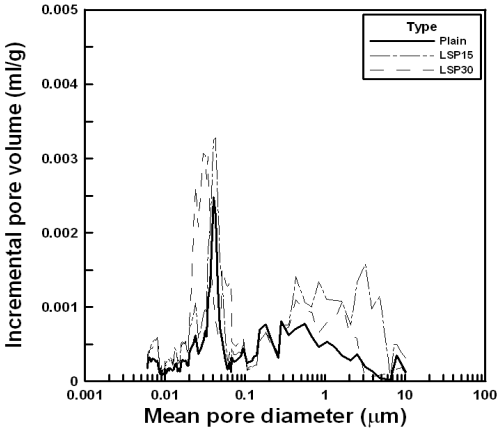
못한 것으로 판단된다. LSP를 혼합한 3성분계 HFC배합은 FA 15% 및 30% 혼합한 HFC의 경우 재령 28일 압축강도는 LSP 15% 혼합한 배합(No. 2)보다 각각 11%(No.4) 및 24%(No.5) 감소하였으며, LSP를 30% 혼합한 배합(No.3)보다 각각 13%(No.6) 및 31%(No.7) 감소되었다. 압축강도는 FA 혼합률이 증가할수록 초기강도가 낮게 나타났으나, 재령이 경과함에 따라 강도차가 줄어드는 것으로 나타났다. 이러한 원인은 FA의 혼합률이 증가함에 따라서 단위시멘트의 사용량이 감소하여 초기강도는 저하되지만, 포졸란 반응으로 인하여 장기강도가 발현되는 것으로 판단된다.

이러한 결과를 통하여 OPC만을 사용한 Plain배합에 LSP의 혼합률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향이 나타났으며, LSP 및 FA를 혼합한 HFC 배합으로 콘크리트의 압축강도를 조절할 수 있을 것으로 판단된다.

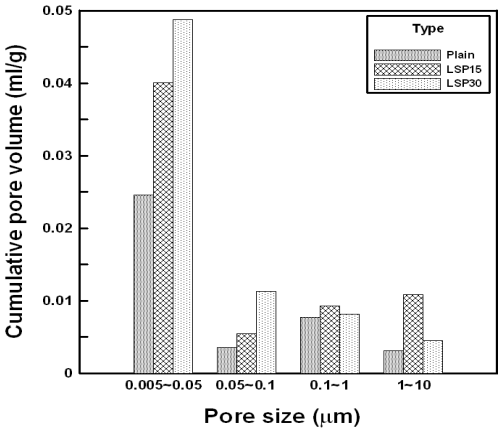
3.2 콘크리트의 공극크기 분포

본 연구에서는 0.003~10㎛의 공극을 모세관공극으로 분류하였으며, 모세관공극을 다시 마이크로공극(0.05㎛ 이하) 및 매크로공극(0.05㎛ 이상)으로 분류하였다 (Mehta and Monteiro, 2006). Fig. 3, Fig. 4 및 Fig. 5는 MIP를 통하여 HFC의 재령 28일 공극크기 분포를 측정하여 정리한 것이다. Fig. 3의 결과 Plain의 주피크는 0.03㎛ 부근에 나타났으며, LSP를 15% 및 30% 혼합한 HFC의 경우 0.03㎛ 이하에서 주피크가 나타났다. 이러한 결과를 통하여 LSP 혼합률이 증가할수록 주공극의 분포가 보다 마이크로 공극 영역으로 이동됨을 알 수 있고 HFC의 공극 크기는 0.005~0.05㎛ 사이에서 가장 많이 분포 하고 있으며, 모세관공극 전체 공극 중 60% 이상을 차지하고 있다. 또한 LSP 혼합률이 증가할수록 Plain에 비해 모든 공극 범위에서 공극량이 증가하였다. 이러한 원인은 OPC보다 LSP의 분말도가 높아 시멘트 입자간의 공극을 채워 0.005~0.05㎛ 범위의 공극량이 증가하였으며, Plain에 비하여 시멘트량이 줄고 무반응성 분체인 LSP가 수화반응에 기여하지 못하여 1㎛ 이상에서도 공극량이 증가된 것으로 판단된다.

Fig. 4 및 Fig. 5의 결과 FA와 함께 LSP 15% 및 LSP 30%를 혼합한 HFC배합의 경우 0.05 ㎛ 부근에서 주피크가 나타났다. HFC의 공극 크기는 0.005~0.05㎛ 사이

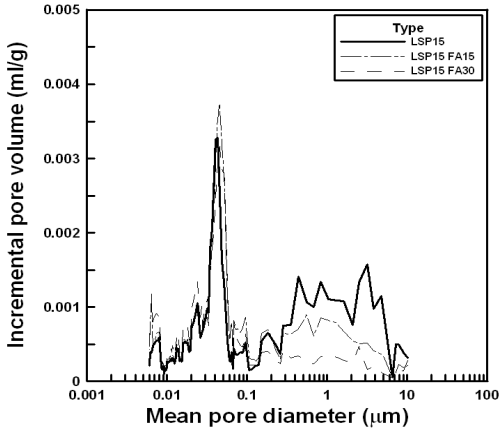


(a) Pore distribution curve

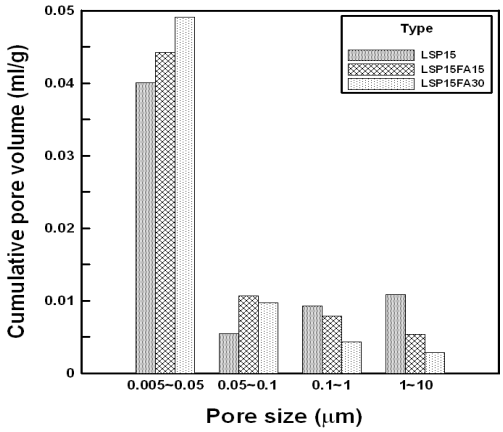


(b) Pore amounts by size

Fig. 3 Binary blended of HFC

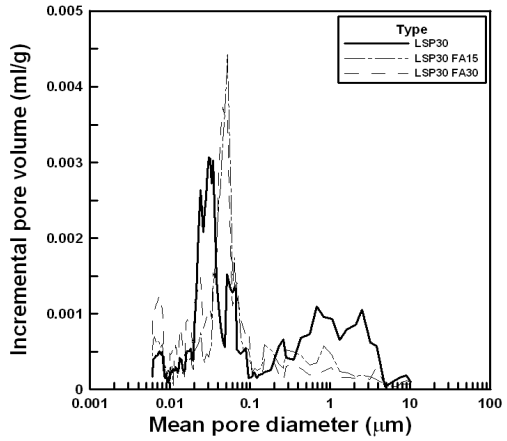


(a) Pore distribution curve

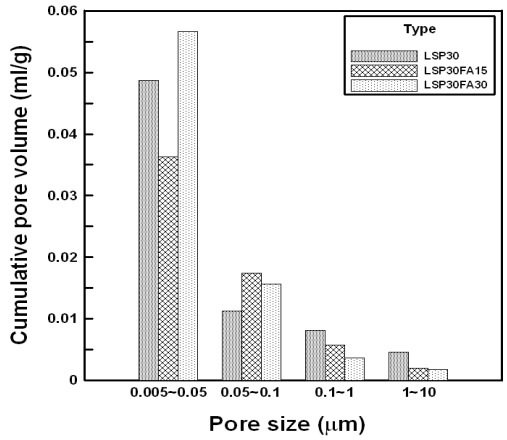


(b) Pore amounts by size

Fig. 4 Ternary blended of HFC(LSP15)



(a) Pore distribution curve



(b) Pore amounts by size

Fig. 5 Ternary blended of HFC(LSP30)

Table 7 Result of pore analysis at 28days

Mix No.	Type	Total pore volume (ml/g)	Average pore diameter (㎛)
1	Plain	0.0587	0.0227
2	LSP15	0.0887	0.0260
3	LSP30	0.0867	0.0309
4	LSP15FA15	0.0926	0.0311
5	LSP15FA30	0.0773	0.0415
6	LSP30FA15	0.0792	0.0417
7	LSP30FA30	0.0862	0.0466

에서 가장 많이 분포 하고 있으며, 모세관공극 전체 공극 중 59% 이상을 차지하고 있다. 또한 FA 혼합률이 증가할수록 0.05~0.1㎛ 범위의 공극량이 증가하였으며, 1㎛ 이상의 공극량이 크게 감소하였다. 이러한 원인은 FA의 포졸란 반응에 의하여 1㎛ 이상의 공극을 포졸란 반응 생성물로 채워 0.1㎛ 이하의 공극량이 증가된 것으로 판단된다.

Table 7은 식(2)를 이용하여 재령 28일 HFC의 모세관 공극 평균 직경을 정리한 것이다. Table 7의 결과 평균 공극 직경은 LSP를 혼합한 2성분계 및 3성분계 HFC는 LSP 혼합률이 증가할수록 평균 공극 직경은 커지는 경향을 나타났다.

Table 8 Chloride ion penetration depth by age (mm)

Mix No.	Type	Ages (day)			
		7	28	56	91
1	Plain	18.84	11.97	9.38	8.32
2	LSP15	22.97	14.93	11.37	10.13
3	LSP30	25.94	16.82	13.43	13.21
4	LSP15FA15	27.76	19.54	13.80	10.60
5	LSP15FA30	38.23	23.51	14.41	10.86
6	LSP30FA15	33.82	23.01	16.92	14.86
7	LSP30FA30	43.72	28.49	19.30	15.88

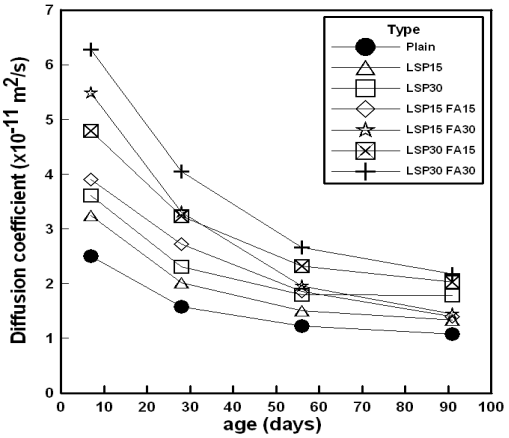


Fig. 6 Chloride ion diffusion coefficient by age

이러한 결과를 통하여 LSP의 혼합률이 증가할수록 2성분계 및 3성분계 HFC의 평균 공극 직경은 커지는 경향을 나타냈으며, 염소이온 침투저항성이 감소될 것으로 판단된다.

3.3 염소이온 침투깊이 및 확산계수 평가

Table 8은 재령 7, 28, 56 및 91일 확산실험이 끝난 후, 측정된 염소이온 침투깊이를 정리한 것이며, Fig. 6은 Table 8의 침투깊이를 근거로 식(3)을 이용하여 추정한 확산계수를 정리한 것이다.

Fig. 6의 결과 재령 91일까지 모든 HFC의 염소이온 확산계수는 재령이 경과될수록 감소하였으며, 특히 LSP를 혼합한 2성분계 및 3성분계 HFC의 경우 재령이 증가함에 따라 감소폭이 크게 나타남으로써, 초기재령보다 장기재령일 때 안정성적인 것으로 판단된다. 또한 LSP 및 FA의 혼합률을 변화시킨 HFC의 배합의 염소이온 확산계수는 OPC만 사용한 Plain 배합이 모든 재령에서 가장 작게 나타났으며, LSP 및 FA를 혼합한 3성분계 배합보

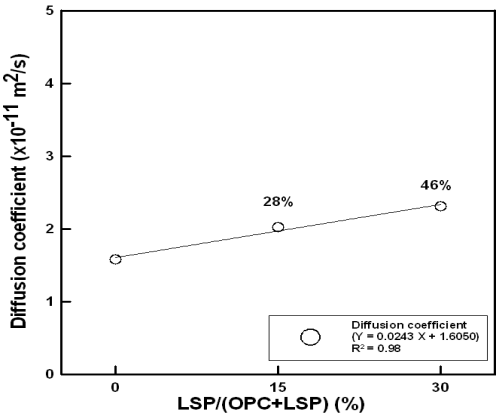


Fig. 7 Chloride ion diffusion coefficient of age 28 days (Binary blended of HFC)

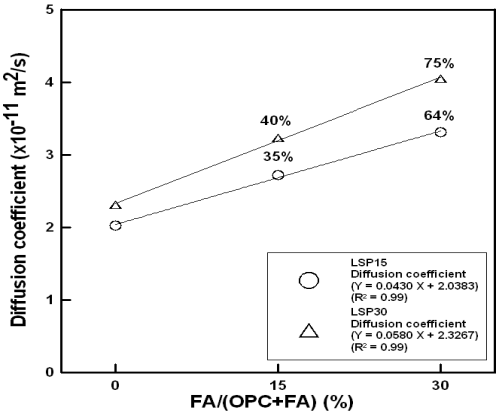


Fig. 8 Chloride ion diffusion coefficient of age 28 days (Ternary blended of HFC)

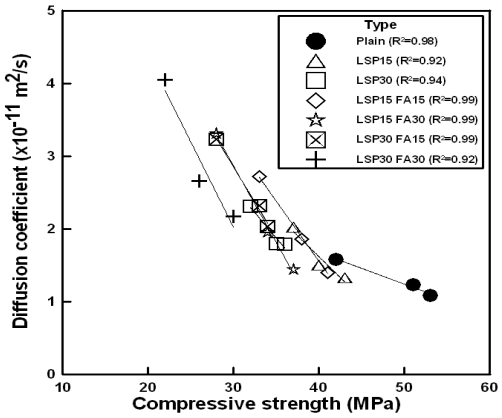


Fig. 9 Relation of compressive strength with chloride ion diffusion coefficient

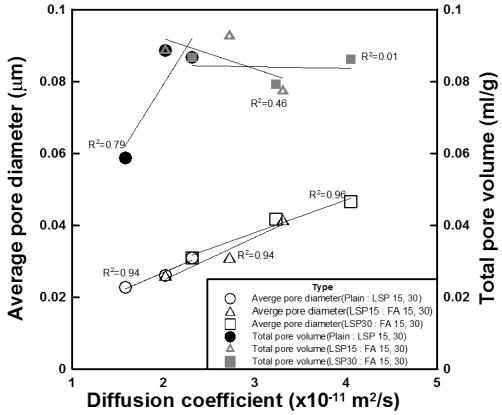


Fig. 10 Relationship of micro pore and chloride ion diffusion coefficient

다 LSP 만을 혼합한 2성분계 배합이 작은 염소이온 확산계수 값을 나타냈다.

Fig. 7 및 Fig. 8은 LSP를 혼합한 2성분계 및 3성분계 HFC의 재령 28일 염소이온 침투깊이와 확산계수를 정리한 것이다. Fig. 7의 결과 LSP를 혼합한 2성분계 HFC의 재령 28일 염소이온 확산계수는 Plain과 비교하여 28% 및 46% 증가하였다. 이러한 원인은 무반응성 분체인 LSP를 사용함으로서 단위 시멘트량이 감소하여 LSP가 수화반응에 기여하지 못한 결과로 판단된다.

Fig. 8의 결과 LSP를 혼합한 3성분계 HFC배합은 FA 15% 및 30% 혼합한 HFC의 경우 재령 28일 염소이온 확산계수는 LSP 15% 혼합한 배합(No.2) 보다 각각 35%(No.4) 및 64%(No.5) 증가되었으며, LSP 30% 혼합한 HFC(No.3)와 보다 각각 40%(No.6) 및 75%(No.7) 증가되었다. 이러한 원인은 LSP 사용에 따른 단위시멘트량 감소와 함께 FA으로 포졸란 반응에 의한 $Ca(OH)_2$ 수화물 감소 때문으로 판단된다.

다음과 같은 실험 결과를 통하여 LSP를 혼합한 HFC의 경우 LSP의 혼합률이 증가할수록 염소이온 침투깊이 및 확산계수는 증가하는 경향을 나타냈으며, 앞에서 언급한 MIP의 평균 공극 직경 결과와도 일치함을 알 수 있었다.

3.4 압축강도와 염소이온 확산계수의 관계

Fig. 9는 재령 28일, 56일 및 91일 압축강도와 염소이온 확산계수의 상관관계를 나타낸 것이다. Fig. 9의 결과 압축강도와 염소이온 확산계수 사이에는 압축강도가 증가할수록 염소이온 확산계수는 감소하는 경향이 나타났으며, 모든 배합에서 결정계수가 0.90 이상으로 나타나는 양호한 상관성을 나타냈다. 이러한 결과를 통하여 압축강도와 염소이온 확산계수 사이에는 밀접한 관계가 있으며, 염소이온 침투저항성을 증가시키기 위해서는 고강도 영역으로 가는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.5 미세공극과 염소이온 확산계수의 관계

Fig. 10는 콘크리트의 미세공극이 염소이온 확산특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 콘크리트의 총공극량 및

평균 공극 직경과 염소이온 확산계수의 상관관계를 나타낸 것이다. Fig. 10의 결과 LSP를 혼합한 2성분계 및 3성분계 HFC의 경우 평균 공극 직경과 염소이온 확산계수 사이에서 결정계수는 0.90 이상으로 양호한 상관성을 나타냈다. 한편, 총공극량과 염소이온 확산계수 사이에서는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

이러한 결과를 통하여 총공극량 보다는 평균 공극 직경이 염소이온 확산계수에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다.

4. 결 론

석회석 미분말을 혼합한 고유동 콘크리트의 염소이온 침투특성을 평가하기 위하여 공극구조 측정 및 전기촉진 시험법을 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 수은압입법을 통하여 재령 28일 공극구조를 분석 결과 석회석 미분말이 증가할수록 고유동 콘크리트의 평균 공극 직경은 커지는 경향을 나타냈다.

2) 염소이온 침투깊이 및 확산계수를 추정한 결과 석회석 미분말을 혼합한 고유동 콘크리트는 석회석 미분말의 혼합률이 증가할수록 염소이온 확산계수는 증가하는 경향을 나타냈다.

3) 석회석 미분말을 혼합한 고유동 콘크리트는 압축강도가 증가할수록 염소이온 확산계수는 감소하였고, 석회석 미분말 및 플라이 애시를 혼합한 3성분계 배합보다 석회석 미분말을 혼합한 2성분계 배합이 보다 작은 염소이온 확산계수 값을 나타내었으며, 평균 공극 직경과 염소이온 확산계수 사이에는 결정계수 0.90 이상으로 양호한 상관성을 나타냈다.

이상의 결과를 통하여 고유동 콘크리트는 석회석 미분말이 증가할수록 염소이온 침투저항성은 감소하는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 건설핵심연구개발사업의 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술 (05건설핵심 D11-1)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 문한영, 김홍삼, 이승태, “해수 침식을 받은 콘크리트의 성능저하 원인 규명”, 대한토목학회 논문집, 22권 1A호, 2006, 1, pp.171-179.
2. 최연왕, 정문영, 정지승, 문대중, 안성일, “골재 채움율과 잔골재 용적비를 고려한 자기충전형 콘크리트의 최적배합”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제14권 2호, 2002, pp.549-554.
3. 최창식, 나정민, “국내외 철근 콘크리트조 건축물의 염해 피해 사례 및 대책”, 한국구조물진단학회 특집기사, 제 4권 4호, 2000, 10, pp.3-9.
4. 한국콘크리트학회, 국토해양부 제정 콘크리트표준시방서, 2009, pp.135-142.
5. Andrade, C., “Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements”, Cement and Concrete Research, Vol. 23, 1993, pp. 724-742.
6. ASTM C 1202, “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration”, ASTM, Philadelphia, 1992, pp.1-5.
7. Choi, Y., Choi, W., Kim, B., and Jung, J., “Flowability and Strength Properties of High Flowing Self-Compacting Concrete Using for Tunnel Lining”, KCI Concrete Structures and Materials, Vol. 2, No. 12, 2008, pp.145-152.
8. Choi, Y., Kim, Y., Shin, H., Moon, H., “An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete”, Cement and Concrete Research, Vol. 36, Issue 9, 2006, pp.1595-1602.
9. Dhir, P.K., Jones, M.R., Ahmed, H.E.H., “Rapid Estimation of Chloride Diffusion Coefficient in Concrete”, Magazine of Concrete Research, Vol. 42, No. 152, 1990, pp.177-185.
10. Luping, T., and Nilsson, L. O., “Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an electrical field”, ACI Materials Journal, Vol. 89, No. 1, 1992, pp.49-53.
11. Metha, P. K. and Monteiro, P. J. M, “Concrete : Structure, Properties, and Materials”, 3nd Ed., McGraw Hall, 2006.
12. NT BUILD 492, Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials, “Chloride Migratio Coefficient from Non-Steady-State Migraion Experiments”, Nordtest, 1999.
13. Otsuki, N., Hisada, M., Otani, T., and Maruyama, T., “Theoretical Evaluation of Diffusion Coefficient of Chloride Ion in Mortar from Mobility”, ACI Material Journal, Vol. 96, No. 6, 1999, pp.627-633.
14. Su, N.., Hsu, K., and Chai, H., “A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete”, Cement and Concrete Research, Vol. 31, Issue12, 2001, pp.1799-1807.
15. Zhang, T. and Gjφrv, O.E., “An Electrochemical Method for Accelerated Testing of Chloride Diffusivity in Concrete”, Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 8, 1994, pp.1534-1548.

(접수일자 : 2010년 4월 21일)
(심사완료일자 : 2010년 6월 22일)

요 지

최근 고유동 콘크리트(High Fluidity Concrete 이하 HFC)에 대한 연구는 많은 시공사례와 함께 진행되고 있지만, 콘크리트의 내구성능을 평가하는 항목 중 하나인 염소이온 침투에 대한 연구는 미비하며, 기존의 내구성관련 연구는 고강도 이상(40MPa)연구됨에 따라 보통강도 고유동 콘크리트의 염소이온 침투에 관한 연구는 찾아보기 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 석회석 미분말을 혼합한 보통강도 HFC를 제조하여 콘크리트의 공극구조 및 염소이온 침투특성을 분석·고찰 하였다. 실험결과 석회석 미분말을 혼합한 2성분계 및 3성분계 고유동 콘크리트의 경우 콘크리트의 공극 크기는 0.005~0.05 ㎛ 사이에서 가장 많이 분포 하고 있으며, 석회석 미분말의 혼합률이 증가할수록 평균 공극 직경은 커지는 것으로 나타났다. 또한 석회석 미분말의 혼합률이 증가할수록 염소이온 침투깊이 및 확산계수는 증가하는 경향이 나타나며, 확산계수는 압축강도 및 평균공극직경 사이의 상관관계에서 결정계수 0.90 이상의 양호한 상관성이 있었다.

핵심 용어 : 고유동 콘크리트, 석회석 미분말, 염소이온 확산계수, 공극구조