

연행 공기량이 해양콘크리트의 동결융해 및 염화물 확산특성에 미치는 영향

The Effect of Entrained Air Contents on the Properties of Freeze-thaw Deterioration and Chloride Migration in Marine Concrete

박 상 준*

Park, Sang-Joon

Abstract

The freeze-thaw deterioration and chloride attack, which are the typical degradation factors for durability of marine concrete, are significantly affected by pore structures in terms of penetration and diffusion. These pore structures of concrete are closely related to the types and amount of AE agent, used to guarantee the resistance of freeze-thaw deterioration, and the elapsed time before concrete pouring. This paper evaluates the durability of concrete based on the results of tests on cylinder specimens and core specimens from mock-up members with different air content of 4~6% and 8~10%, respectively. According to the test results, the air content of hardened concrete is 2.5~5.2% at 7 days and 2.4~5.1% at 28 days. These air contents are about half of the initial values just after the concrete mixing. Judging from the amount of scale after the freeze-thaw test completed, air content of 8~10% is slightly more beneficial against the deterioration of concrete than air content of 4~6%. Meanwhile, the core specimens from mock-up members exhibit somewhat unfavorable freeze-thaw deterioration and chloride migration characteristic compared with the cylinder specimens tested in the laboratory under the same mixing condition, as to show 106% in freeze-thaw test and 160% in chloride diffusion coefficient test, respectively.

요 지

해양콘크리트의 대표적인 내구성 열화요인이라 할 수 있는 동결융해나 염해의 경우는 콘크리트내의 공극특성에 따라 침투 및 확산특성이 크게 상이하게 되는데, 이는 동결융해저항성 확보를 목적으로 사용되고 있는 AE제의 종류나 사용량 그리고 그의 경시변화 특성 등과 매우 밀접한 관계가 있다. 따라서 본 연구에서는 굳지않은 콘크리트의 목표 공기량을 각각 4~6%와 8~10%로 계획하여 실내시험을 실시한 후, 모의부재에서는 4~6%를 대상으로 평가하였다. 실험결과, 경화콘크리트의 공기량은 재령 7일에서 각각 2.5~5.2%, 재령 28일에서는 각각 2.4~5.1%정도로서 비빔직후 목표공기량의 절반수준인 것으로 나타났고, 동결융해 반복에 따른 스케일량은 목표공기량 8~10%의 경우가 4~6%에 비해 미미한 수준에서 다소 유리한 것으로 평가되었다. 한편, 모의부재에서 채취한 코어공시체의 동결융해 및 염화물 확산특성에서는 동일배합조건의 실내시험 결과에 비해 다소 불리한 것으로 나타났는데, 실내시험 결과에 비해 동결융해는 106%, 염화물 확산계수는 160% 수준인 것으로 나타났다.

Keywords : Chloride migration, Entrained air, Freeze-thaw, Marine concrete, Mock-up specimens

핵심 용어 : 염화물 확산, 연행공기, 동결융해, 해양콘크리트, 모의부재

* 정희원, (주)대우건설기술연구원, 건축연구팀 선임연구원

E-mail : concrete@dwconst.co.kr 031-250-1122

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2009년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

건설구조물에 적용되는 대부분의 콘크리트는 설계기 준강도를 만족시킬 목적으로 강도위주의 배합설계로 계획되고 있다. 그러나 염화물에 대한 내구성이 중시 되는 해양콘크리트의 경우는 각종 열화요인의 침투 및 확산에 대한 저항성을 향상시킬 수 있는 내구성 설계로 계획되어야 한다. 즉, 해양콘크리트에 있어 대표적인 내구성 열화요인이라 할 수 있는 동결융해나 염해의 경우 콘크리트의 수화도 및 내부의 공극특성에 따라 침투 및 확산특성이 크게 상이하게 되는 특징을 가지고 있는데, 이는 동결융해저항성 확보를 목적으로 사용되고 있는 AE제의 종류 및 그의 경시변화 특성 등에 따른 내구성 검토가 필요하다는 것이다. 또한, 현행 대부분의 내구성 평가는 주로 실험실에서 제작한 시험체를 대상으로 하고 있는데, 이는 실제 적용되고 있는 대단면의 콘크리트 구조물에 비해 양생조건이나 단면크기, 그리고 각종 열화요인 등의 수준이 크게 상이하기 때문에 실제 구조물의 동결융해나 염해 저항성을 평가하는데 많은 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트의 연행공기량이 동결융해 및 염화물 확산특성에 미치는 영향을 실험실 단계에서 검토하였고, 그 결과를 바탕으로 실제 해양 환경에 시공예정인 교량용 케이슨 형태의 모의부재를 제작하여 동결융해 및 염해저항 특성을 함께 평가함으로써, 실제 콘크리트 구조물의 내구특성에 대하여 검토하였다.

2. 내구성 설계

본 연구에서 대상으로 한 교량용 케이슨은 콘크리트의 내구성 설계방식인 Fig. 1의 Duracrete⁽⁴⁾를 기본으로 하였다. 콘크리트의 배합수준은 해양환경을 고려하여 구조물의 저항특성과 열화특성을 확률함수의 형태로 나타낸 확률론적 설계방법을 고려하여 정하였다.

여기서, 재료의 저항특성 및 열화성상을 저항함수 $R(t)$ 와 하중함수 $S(t)$ 로 나타내면, 식(1)과 같은 한계상태의 함수로 나타낼 수 있으며, 특징기간($0 : T$)내에 파괴확률은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$g(x, t) = R(t) - S(t) \quad (1)$$

$$P_f(T) = 1 - P\{g(x, t) > 0 \text{ for all } t \in [0; T]\} \quad (2)$$

즉, 콘크리트의 목표성능은 100년의 내구연한동안 철근의 위치에서 부식이 발생될 확률이 10% 이내가 될 수 있도록 하는 것인데, 이는 구조물의 피복두께, 재료특성 및 환경조건 등의 특성 값에 대하여 통계적 해석기법을 적용하여 계획한 것이다.⁽²⁾

여기서, 구조물의 피복두께를 75mm로 가정했을 경우 내구성 설계를 통하여 제안된 콘크리트의 목표 염화물 확산계수는 $3.5 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 이하이며, 동결융해 저항성은 56사이클 동안 $0.3 \text{kg}/\text{m}^2$ 이하의 스케일랑을 만족하도록 계획되었다.⁽³⁾ 설계기준강도는 40MPa를 대상으로 하였다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 Table 1과 같다. 먼저, 실험요인은 예비실험결과를 바탕으로 W/B는 30.0%와 32.5%의 2수준으로 하였고, 혼화재료는 플라이애시(이하 FA라 함)와 실리카퓌(이하 SF라 함)를 각각 20%와 3%를 치환하는 것으로 계획하였다. 목표 슬럼프 플로는 $550 \pm 50 \text{mm}$ 로 하였고, 굳지않은 상태에서의 공기량은 배합조정 없이 AE제만을 사용하여 4~6%와 8~10%의 2수준으로 계획하였다. 또한, 굵은

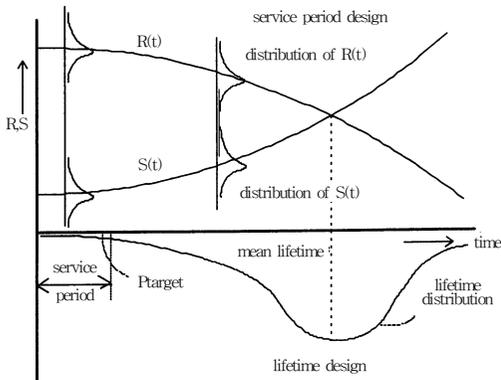


Fig. 1 Duracrete의 내구성 설계방식⁽⁴⁾

Table 1 실험계획

요 인		수 준		
배 합 요 인	W/B(%)	2	30.0, 32.5	
	혼화재료	2	FA 20%, SF 3%	
	목표 플로(mm)	1	550±50	
	목표 공기량(%)	2	4~6, 8~10	
	굵은골재 최대치수(mm)	2	20, 25	
실 험 사 항	실 내 시 험	굳지않은 콘크리트	2	· 슬럼프 플로 · 공기량
		경화상태 콘크리트	5	· 압축강도(1, 3, 7, 14, 28일) · 인장강도(1, 3, 7, 14, 28일) · 동결융해시험(56사이클) · 염화물 확산계수(7, 21, 28일) · 경화콘크리트 공기량(7, 28일)
	모의부재 실험*	2	· 동결융해시험(56사이클) · 염화물 확산계수(코어공시체) (7, 21, 28, 35, 56일)	

* 실내시험결과에서 도출된 최적의 배합조건을 선정하여 적용

Table 2 배합사항

Levels*	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)							
			W	C	FA	SF	S	G	SP (B×%)	AE (SP×%)
W30.0-G20-A5	30.0	38.5	137	352	91	14	656	1081	1.00	0.02
W30.0-G20-A10									0.95	0.10
W32.5-G20-A5	32.5	40.5		325	84	13	703	1065	0.95	0.01
W32.5-G20-A10									0.09	0.09
W30.0-G25-A5	30.0	39.0		352	91	14	665	1072	0.90	0.02
W30.0-G25-A10									0.10	0.10
W32.5-G25-A5	32.5	41.0		325	84	13	712	1056	0.95	0.01
W32.5-G25-A10									0.11	0.11

* W : 물-결합제비, G : 굵은골재 최대치수, A : 목표공기량

골재 최대치수는 대상부재의 철근배근 상황을 고려하여 각각 20mm와 25mm의 2수준으로 계획하였다.

세부실험사항은 Table 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 Table 2와 같다.

3.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였고, 기타 골재 및 혼화재료의 물리·화학적 성질은 Table 3~5와 같다.

3.3 실험방법

굳지않은 및 경화상태 콘크리트의 일반적인 시험은 KS 규준에 의거 표준적으로 실시하였다.

동결융해 시험은 3% NaCl에 노출된 콘크리트의 표면 스케일량을 평가하는 pr-EN 12390-9(european standard, testing hardened concrete-Part 9 : freeze -thaw resistance-scaling)에 따라 실시하였고, 염화물 확산시험은 적용될 구조체의 설계시 요구 성능을 감안하여 유럽의 시험규준인 NT Build 492⁽⁵⁾에 따라 실시하였다. 즉, Fig. 2에서와 같이 0.3 N의 NaOH 수용액을 양극으로 하고, 10% NaCl 수용액을 음극으로 하여 30 V의 전압을 가하였을 때의 초기 전류 값을 바탕으로 적용 전압 수준 및 시험지속시간을 선정하여 실시하였다. 염화물의 침투 깊이는 시험종료 후, 시험편을 할렬하여 0.1 N의 AgNO₃를 분무하였을 때 변색되는 부위를 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였으며, 식(3)을 이용하여 염

Table 3 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	강열감량 (%)	응결시간 (min.)		압축강도(MPa)		
			초결	중결	3일	7일	28일
3.12	3,384	1.15	280	360	21.9	29.7	38.1

Table 4 혼화재료의 물리·화학적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	화학 구성(%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
FA	2.27	3,157	56.4	23.7	9.0	2.5	1.3	1.1
SF	2.24	210,000	91.2	1.3	0.8	0.7	0.3	2.1

Table 5 골재 및 혼화제의 물리적 성질

잔골재	종류 : 세척사, 밀도 : 2.60 g/cm ³ , 조립율 : 2.60, 흡수율 : 1.04%
굵은골재	20mm : 종류 : 쇄석, 밀도 : 2.63 g/cm ³ , 조립율 : 6.96, 흡수율 : 1.27%
	25mm : 종류 : 쇄석, 밀도 : 2.76 g/cm ³ , 조립율 : 6.95, 흡수율 : 0.63%
혼화제	종류 : 폴리카본산계 고성능 감수제, 색상 : 연황색, 밀도 : 1.20 g/cm ³

화물 확산계수를 산출하였다. Photo 1은 수행된 염화물 확산시험 광경을 나타낸 것이다.

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

여기서, $\alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1}(1 - \frac{2c_d}{c_0})$, $E = \frac{U-2}{L}$

D : 비정상상태의 염화물 확산계수(cm^2/sec)

z : 이온의 원자가(염소이온인 경우 $z=1$)

F : 페러데이 상수(96,481.04 J/Vmol)

U : 적용한 볼트의 절대 값(V)

R : 기체상수(8,314 J/Kmol)

T : 처음과 끝의 양극 용액의 평균 온도(K)

L : 시편의 두께(m)

x_d : 염소이온의 침투깊이(m)

t : 실험 지속시간

erf : error function

c_d : 질산에 변색된 부분의 염소이온 농도

c_0 : 음극쪽 셀의 염소이온 농도

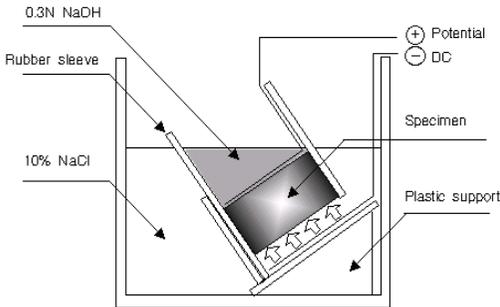


Fig. 2 염화물 축진시험장치의 모식도⁽⁵⁾



Photo 1 염화물 확산시험 광경

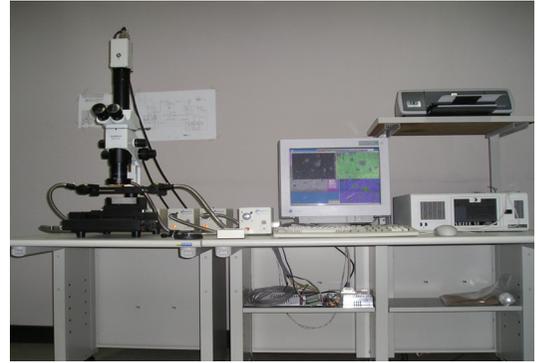


Photo 2 경화상태 공기량 측정장치

경화상태 콘크리트의 공기량은 화상해석장치(photo 2참조)를 이용하여 ASTM C 457(standard test method for microscopical determination of parameters of the air-void system in hardened concrete)에 따라 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

실험결과로서, Table 6은 굳지않은 콘크리트의 결과를 나타낸 것이다. 먼저, 슬럼프 플로의 경우 모든 배합조건에서 목표로 하였던 $550 \pm 50\text{mm}$ 의 유동성을 만족하였으며, 30분 경시변화 후에도 거의 유사한 유동특성을 발휘하는 것으로 나타났다. 공기량은 시간이 경과함에 따라 다소 감소하는 것으로 나타났는데, 즉,

Table 6 굳지않은 콘크리트의 실험결과

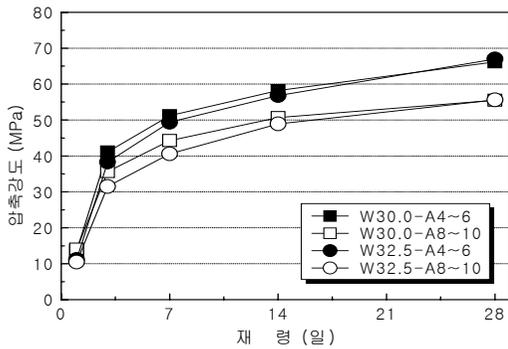
구 분	슬럼프 플로(mm)		공기량(%)	
	즉시	30분	즉시	30분
W30.0-G20-A4~6	530	520	5.5	4.6
W30.0-G20-A8~10	530	530	10.0 ↑	7.6
W32.5-G20-A4~6	510	490	4.8	4.2
W32.5-G20-A8~10	520	510	10.0 ↑	8.2
W30.0-G25-A4~6	510	510	6.0	4.7
W30.0-G25-A8~10	530	510	9.2	7.5
W32.5-G25-A4~6	500	500	5.1	4.5
W32.5-G25-A8~10	510	500	9.4	8.1

혼합직후의 목표공기량이 4~6%인 경우는 평균 15.6%정도, 그리고 목표공기량이 8~10%인 경우는 평균 20.1%정도 감소함으로서 목표공기량이 높을수록 시간경과에 따른 감소경향은 더욱 현저한 것으로 나타났다. 한편, 실험과정에 나타난 결과로서 공기량이 높아질수록 콘크리트의 점성이 낮아져 작업성이 크게 개선되는 것으로 나타났는데, 이러한 결과는 향후, 고강도나 초유동 콘크리트와 같이 높은 점성을 갖는 콘크리트의 시공성 개선에 적절히 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

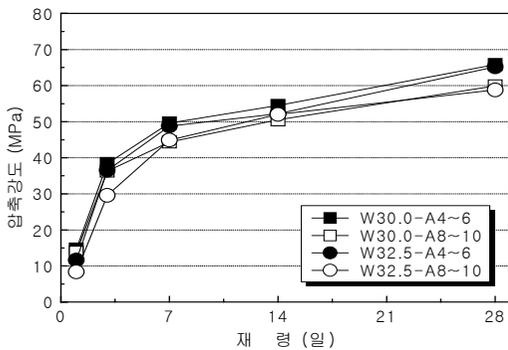
4.2 경화콘크리트의 특성

4.2.1 압축 및 인장강도

Fig. 3은 물-결합재비 및 공기량 변화에 따른 각재령별 압축강도를 굵은골재 최대치수별로 구분하여 나



(a) 굵은골재 최대치수 20mm

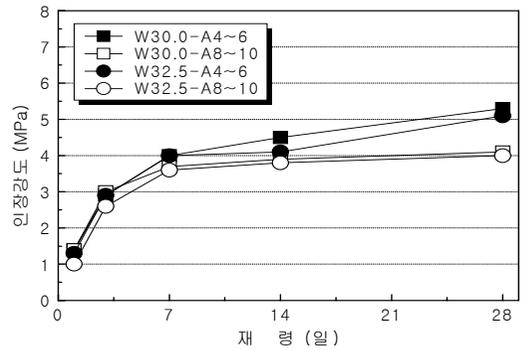


(b) 굵은골재 최대치수 25mm

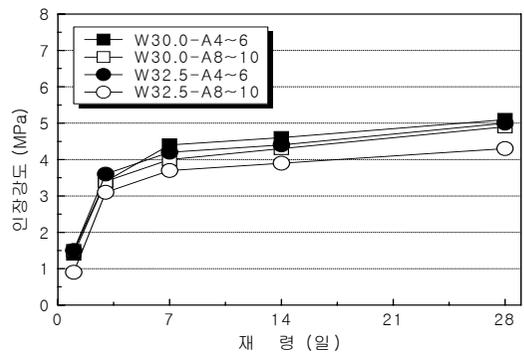
Fig. 3 물-결합재비 및 공기량 변화에 따른 압축강도 특성

타낸 것이다. 실험결과, 굵은골재 최대치수에 따른 압축강도는 물-결합재비 변화에 따라 약간의 차이는 있으나, 거의 유사한 수준인 것으로 나타난 반면, 굳지 않은 상태의 공기량 수준에 따른 압축강도는 공기량이 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났다. 즉, 재령 28일이고, 동일 물-결합재비에서 굳지 않은 상태의 목표공기량을 각각 4~6%와 8~10%로 적용한 결과, 굵은골재 최대치수 20mm에서는 약 16%, 25mm에서는 약 9% 정도 낮아지는 것으로 나타났는데, 이는 물-시멘트비가 일정할 때 공기량 1% 증가에 따라 압축강도가 평균 4~6%정도 감소한다는 기존의 연구보고와⁽¹⁾ 다소 차이가 있는 결과인 것이다. 따라서 실제 구조물의 요구성능을 확보하기 위한 최적의 공기량 수준은 AE제의 종류나 배합조건 그리고, 시공환경 등을 면밀히 검토한 후, 결정해야 할 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Fig. 3과 동일한 요령으로 재령별 인장강



(a) 굵은골재 최대치수 20mm



(b) 굵은골재 최대치수 25mm

Fig. 4 물-결합재비 및 공기량 변화에 따른 인장강도 특성

도 특성을 나타낸 것이다. 전반적으로 압축강도 결과와 유사한 경향으로 나타났으며, 압축강도의 약 1/13 수준인 것으로 분석되었는데, 이는 보통콘크리트의 인장강도 범위(1/9~1/13)와 거의 유사한 경향인 것이다.

4.2.2 동결융해

Fig. 5는 동결융해에 따른 콘크리트의 표면 스케일링 평가를 통해 동결융해 저항성을 평가한 것이다.

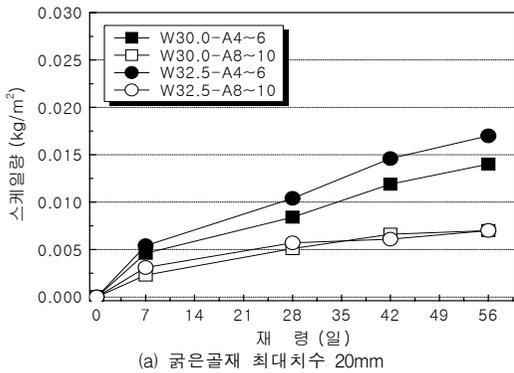
시험결과, 본 연구범위의 모든 배합조건에서 목표치인 0.3kg/m^2 이하의 1/20 수준인 것으로 나타나, 동결융해 저항성이 매우 우수한 것으로 평가되었다. 즉, 스케일링은 56사이클에서 목표공기량 4~6%의 경우 $0.014\sim 0.018\text{kg/m}^2$, 목표공기량 8~10%의 경우는 $0.007\sim 0.013\text{kg/m}^2$ 정도로 나타났다. 그러나 각 배합조건별 스케일링을 보면, 물-결합재비가 낮을수록 그리고 공기량이 증가할수록 미미한 수준에서 스케일

량이 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 연행공기가 동결수의 팽창압을 완화시키는 효과에 기인한 결과로 분석된다.

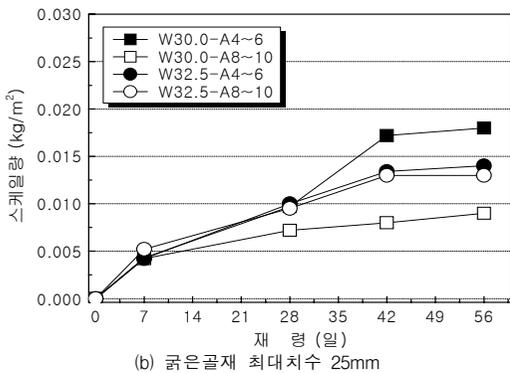
4.2.3 염화물 확산특성

Fig. 6은 물-결합재비 및 공기량 변화에 따른 염화물 확산특성을 굵은골재 최대치수별로 구분하여 나타낸 것이다. 단, 굵은골재 최대치수 20mm의 21일 결과 값은 시험기기의 오류로 인하여 제외하였다.

전반적으로, 염화물 확산계수는 물-결합재비가 낮아질수록 그리고, 재령이 경과할수록 낮아지는 것으로 나타난 반면, 굳지않은 상태에서의 공기량과 굵은골재 최대치수 변화에 따른 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다. 이는 콘크리트내의 공기량이 동결융해 저항성을 향상시키는 효과, 그리고 굵은골재 최대치수가 건조수축에 의한 콘크리트의 균열발생을 저감하는 측면 등에는 효과적인 수

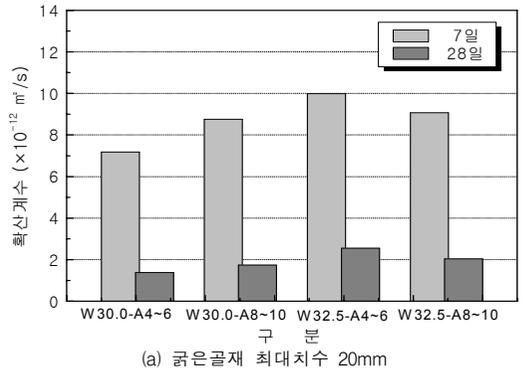


(a) 굵은골재 최대치수 20mm

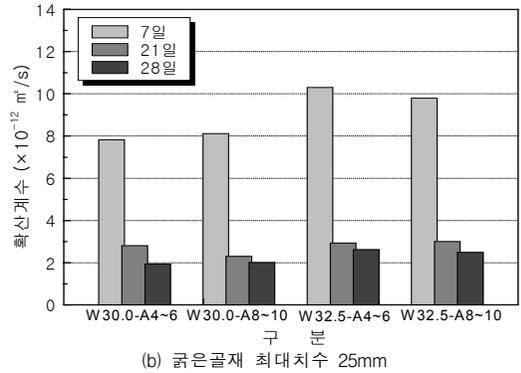


(b) 굵은골재 최대치수 25mm

Fig. 5 동결융해 저항성 평가를 위한 콘크리트의 표면 스케일링 측정결과



(a) 굵은골재 최대치수 20mm



(b) 굵은골재 최대치수 25mm

Fig. 6 물-결합재비 및 공기량 변화에 따른 염화물 확산 특성

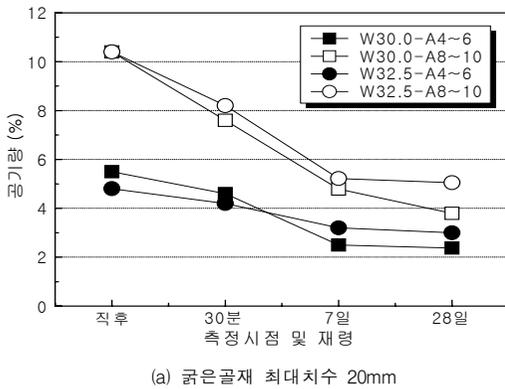
있으나, 균열 없는 건전한 콘크리트의 염화물 확산특성은 거의 영향이 없는 것으로 분석할 수 있다.

본 연구범위에서 염화물 확산계수는 재령 28일에 $1.38\sim 2.61\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ 로서 계획하였던 목표 염화물 확산계수($3.5\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ 이하)를 만족하는 것으로 평가되었다.

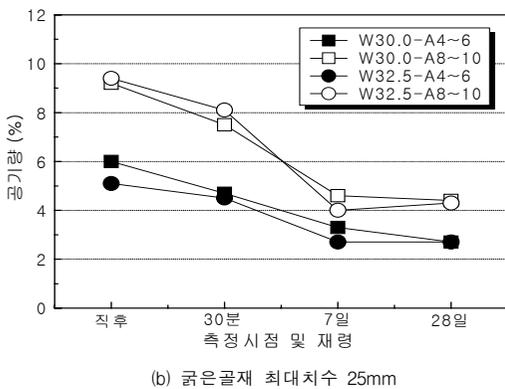
4.2.4 경화상태 공기량 특성

Fig. 7은 경화상태 콘크리트의 공기량 측정결과를 나타낸 것으로서, 시간경과에 따른 공기량 변화특성을 비교·검토하기 위하여 아직 굳지않은 콘크리트의 공기량도 함께 표현하였다.

시험결과, 공기량은 계획된 목표공기량 수준에 따라 혼합직후 4.8~6.0%, 그리고 9.2~10.4%정도 확보된 반면, 경시 30분에 4.2~8.1%정도로 감소하였고,



(a) 굵은골재 최대치수 20mm



(b) 굵은골재 최대치수 25mm

Fig. 7 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 공기량 측정결과

경화상태인 재령 28일에는 2.4~5.1%정도까지 낮아짐으로서, 당초 계획하였던 목표공기량의 1/2수준까지 감소하는 것으로 평가되었다. 이는 공기량 측정시의 시험오차, 그리고 적용된 AE제의 특성과 함께 콘크리트의 수화반응이 진행됨에 따른 내부공극(porosity)의 밀실화 등이 복합되어 나타난 결과로 분석된다.

4.3 모의부재 시험결과

모의부재 시험체는 앞서서도 언급한 바와 같이 해양 환경에 노출되는 케이스 부재로서 염화물 확산계수의 요구조건은 피복두께 75mm, 목표 염화물 확산계수는 $3.5\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ 이하 이다.

배합사항은 실내배합시험에서 검토한 W32.5-G20-A5를 적용하였으며, 코어공시체는 부위별 4개씩을 채취하는 총 28개를 대상으로 염화물 확산계수를 평가하였다. Photo 3는 모의부재의 모습을 나타낸 것이다.



Photo 3 모의부재의 제작

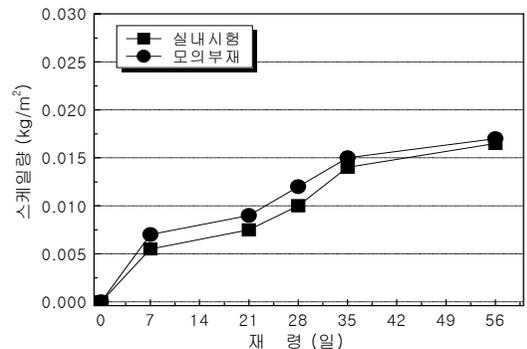


Fig. 8 실내시험과 모의부재 시험체의 스케일링

Fig. 8은 모의부재에서 채취한 코어 공시체의 동결융해시험결과를 나타낸 것이다. 즉, 동일 배합조건의 실내배합시험 결과에 비해 스케일량이 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 모의부재 제작시점의 외기온이 30℃를 상회하고 있었고, 펌프압송이나 다짐작업 등을 수행함으로써 연행공기가 크게 손실되어 나타난 결과로 분석된다.

Fig. 9는 코어공시체의 염화물 확산계수 측정결과를 나타낸 것이다. 분석결과, 7일 재령의 염화물 확산계수는 평균 $11.50 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 인 것으로 나타났고, 재령 28일에는 $3.20 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 정도인 것으로 평가되었는데, 이는 동일배합조건의 실내시험결과에 비해 다소 불리한 결과인 것이다. 따라서 실제구조물을 대상으로 목표 염화물 확산계수를 만족하기 위해서는 실내배합시험단계에서 다소 높은 안전율이 적용되어야만 한다는 것을 알 수 있었다. 즉, 이는 실험실 시험에서는 재료의 품질관리, 골재의 표면수율, 계량 오차, 표준양생 등이 정밀하게 진행되었으나 모의부재 시험에서는 이에 대한 관리가 부족하였기 때문인 것으로 판단된다. 재령 56일에는 평균 $2.24 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 수준인 것으로 나타났다. 이상을 종합하여 공기량 4~6%에 대한 실내 및 모의부재 시험시의 동결융해 및 염화물 확산계수 실험결과를 정리하면 Table 7과 같다.

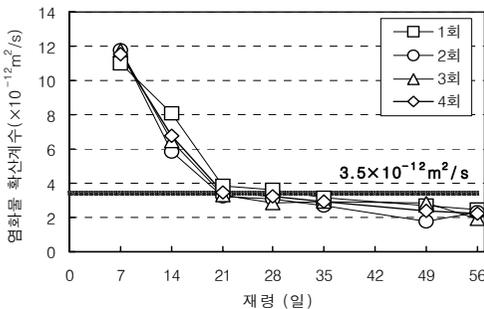


Fig. 9 모의부재 코어채취 공시체의 염화물 확산계수

Table 7 공기량 4~6%에 대한 실험결과

구분	실내실험	모의부재
56일 재령 스케일량 (kg/m ²)	0.016	0.017
28일 확산계수 (×10 ⁻¹² m ² /s)	2.00	3.20

5. 결론

본 연구에서는 콘크리트내의 연행공기량이 동결융해나 염화물 확산과 같은 내구특성에 미치는 영향에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 실내 배합시험결과, 압축 및 인장강도는 비빔직후의 공기량이 높을수록 감소하는 것으로 나타났으며, 경화콘크리트의 공기량은 재령 7일에서 2.5~5.2%정도, 재령 28일에서는 2.4~5.1%정도로서 비빔직후 확보했던 목표공기량의 절반수준인 것으로 나타났다. 동결융해 반복에 따른 스케일량은 목표공기량 4~6%의 경우 0.014~0.018 kg/m², 목표공기량 8~10%의 경우는 0.007~0.013 kg/m² 정도로서 목표치인 0.3kg/m² 이하의 1/20 수준인 것으로 나타났다.
- 2) 모의부재에서 채취한 코어공시체의 동결융해 및 염화물 확산특성은 동일배합조건의 실내시험결과에 비해 다소 불리한 것으로 나타났는데, 실내실험 결과에 비해 동결융해는 106%, 염화물 확산계수는 160% 수준인 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 2005, pp. 91.
2. 박상준, 유재강, 김영진, 임현철, "부산-거제간 연결도로 사업에 적용한 100년 내구수명 고내구성 콘크리트", 한국콘크리트학회지, Vol. 89, 2005, pp. 62-71.
3. Yoo, J. K., et al. "Investigation of corrosion protection properties of concrete containing ground granulated blast-furnace slag for massive coastal concrete structures in Korea", International Conference Advances in Concrete and Structure 2003, Vol. 2, 2004, pp. 818-826.
4. Duracrete final technical report, 2000.
5. NT Build 492, "Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient", NORDTEST, 1999.

(접수일자 : 2007년 11월 8일)
(심사완료일자 : 2008년 8월 12일)