

해양콘크리트의 연행공기량이 동결융해 저항성 및 염화물 확산특성에 미치는 영향에 관한 연구

A Study on the Effect of Entrained Air Contents of Marine Concrete on the Properties of Freeze-Thawing Resistance and Chloride Migration

박상준* 유재강** 신홍철*** 김영진**** 박형근***** 임현철*****
Park, Sang Joon Yoo, Jae Kang Shin, Hong Chul Kim, Young Jin Park, Hyung Keun Lim, Hyun Chil

ABSTRACT

This study investigates the effect of air contents on concrete properties, compressive strength, chloride migration coefficient and freeze-thaw resistance. Chloride migration and freeze-thawing test conducted in accordance with NT-BUILD 492 and pr-EN 12390-9, respectively.

As a result, compressive strength reduced with air contents increase, but chloride migration coefficient more influenced by the water-binder ratios than air contents. Air contents of hardened concrete measured half times that of fresh concrete after mixing. Also, concrete scaling decreased with air contents increased.

1. 서론

해양환경에 노출된 철근콘크리트 구조물의 내구성은 피복콘크리트를 통해 침투하는 염화물이 철근위 치까지 침투, 축적되어 철근 부식을 유발시킴으로 서서히 저하된다. 따라서, 철근의 보호피막이 되는 피복콘크리트를 밀실하게 시공함으로써 염화물의 침투속도를 지연시켜 내구성을 확보할 수 있게 된다.

한편, 계절의 변화에 의해 콘크리트 구조물은 동결융해 작용을 받게 되며, 지속적인 동결융해 작용은 피복콘크리트의 박리·박락을 유발시킴으로서 철근의 보호피막으로서의 기능을 소실시키게 된다.

본 연구에서는 고강도콘크리트에 연행시킨 공기량이 동결융해 작용에 따른 스케일링과 염화물 확산 계수에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구는 표 1과 같이 물-결합재비는 각각 30%와 32.5%, 비빔직후 콘크리트의 목표 공기량은 5%, 9% 수준으로 하는 총 4배합을 대상으로 압축강도, 염화물 확산계수 및 경화콘크리트의 공기량을 측정 하였고, 동결융해 사이클에 따른 콘크리트의 스케일 량도 측정하였다. 여기서, 굳지않은 콘크리트의 목표공기량은 배합사항을 조정하지 않고 단지 AE제의 사용량만을 조정하는 것으로 계획하였다.

표 2는 본 연구에 사용된 재료의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

* 정회원, 대우건설 기술연구소 선임연구원, 공박
** 정회원, 대우건설 기술연구소 전임연구원
*** 정회원, 대우건설 기술연구소 전임연구원, 공박
**** 정회원, 대우건설 기술연구소 수석연구원, 공박
***** 정회원, 대우건설 GK CM팀장, 공박
***** 정회원, 대우건설 GK PC제작현장 현장소장

표 1. 콘크리트 배합 및 평가항목

기호	공기량 범위 (%)	물-결합 재비 (%)	잔골재율 (%)	단위량 (kg/m ³)							측정항목	
				물	시멘트	잔골재	굵은골재	플라이애시	실리카폼	고성능감수제		AE제
W30A5	4~6	30.0	39.0	137	352	665	1072	91	14	4.11	0.12	· 압축강도 · 염화물 확산계수 · 공기량 (Fresh, hardened) · 스케일량
W30A9	8~10										0.21	
W32.5A5	4~6	32.5	41.0	137	325	712	1056	84	13	4.00	0.07	
W32.5A9	8~10										0.12	

표 2. 사용재료의 물리적 성질

	시멘트	혼화재		잔골재	굵은골재	고성능감수제	AE제
종류	1종	플라이애시	실리카폼	강모래(중국산)	부순골재(25mm)	폴리카르본산	Rosin계
비중	3.17	2.27	2.21	2.60	2.68	1.20±0.02	1.04±0.02
기타	Blaine _g 3,384cm ² /g	Blaine _g 3,556cm ² /g	Blaine 210,000cm ² /g	FM 2.81 흡수율 0.97%	FM 6.50 흡수율 0.69%	액상	액상

2.2 실험항목 및 방법

염화물 확산계수(Chloride migration coefficient)는 ø100×200mm의 원주형 공시체 중앙부위에서 50mm 두께로 채취한 시험체를 NT Build 492¹⁾에서 제안한 그림 1과 같은 시험장치를 사용하여 염화물 확산시험을 수행하였고, 시험시의 측정값을 바탕으로 식 1에 준하여 염화물 확산계수를 산출하였다.

$$D = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - \alpha\sqrt{x_d}}{t} \dots\dots\dots \text{식 1}$$

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

- D : 비정상상태의 염화물 확산계수 (m²/sec)
- z : 이온의 원자가 (염소이온의 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 (sec)
- erf : error function
- c_d : 질산에 의해 변색된 부분의 염소이온 농도 (c_d ≈ 0.07N)
- c₀ : 음극쪽 셀의 염소이온 농도 (c₀ ≈ 2N)

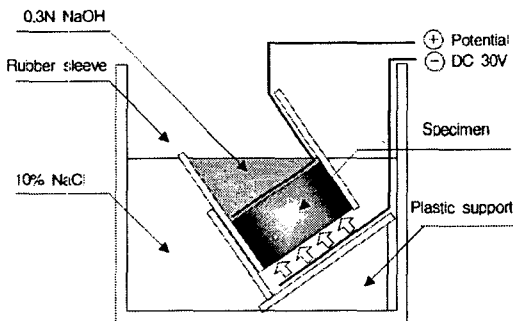


그림 1. 염화물 확산시험 모식도

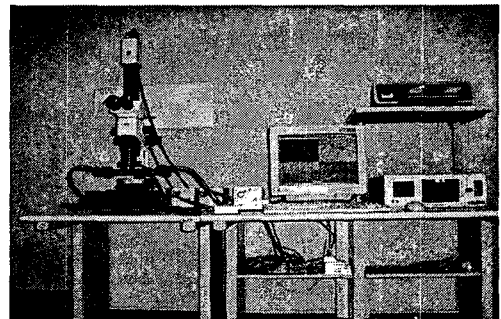


사진 1. 화상해석 장치

경화콘크리트의 공기량은 ASTM C 457²⁾에 준한 화상해석 방법에 의해 측정하였으며, 사진 1은 측정에 사용한 화상해석 장치를 나타낸 것이다.

동결융해 시험은 콘크리트의 스케일링 저항성을 평가하는 시험방법인 pr-EN 12390-9³⁾에 준하여 실시하였으며, 시험 용액으로 3% NaCl 수용액을 사용하여 재령별 스케일 량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기량

그림 2는 굳지않은 및 경화 콘크리트의 공기량 측정결과를 나타낸 것이다. 굳지않은 콘크리트의 공기량은 경시 30분에 목표 공기량 수준별로 각각 4~5%, 7.5~8.5% 수준인 것으로 나타났다. 그러나, 화상해석장치로 측정한 재령 7일 및 28일의 경화상태 공기량은 각각 2.5~3.5%, 4~5% 수준으로 굳지않은 콘크리트의 약 절반수준인 것으로 나타났다. 따라서, 현행 콘크리트의 동결융해 저항성 확보를 목적으로 굳지않은 상태에서의 공기량이 4.5±1.5%를 만족하도록 하고 있는 관련규준에 대한 면밀한 검토가 요구된다.

그림 3은 재령 28일의 W/B 30% 시험체의 경화콘크리트 공기량 측정 결과를 직경별로 나타낸 것으로, AE제 첨가율 변화에 따라 연행된 공기포의 범위는 50~400 μ m 수준인 것으로 나타났으며, 대부분이 100~200 μ m 범위인 것으로 분석되었다.

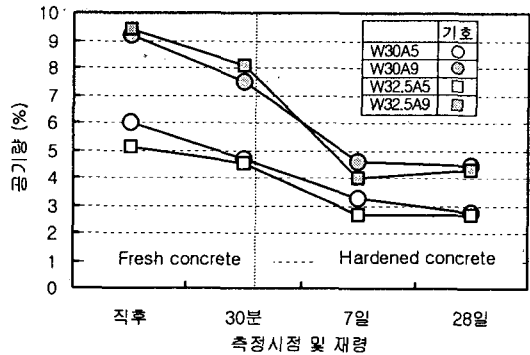
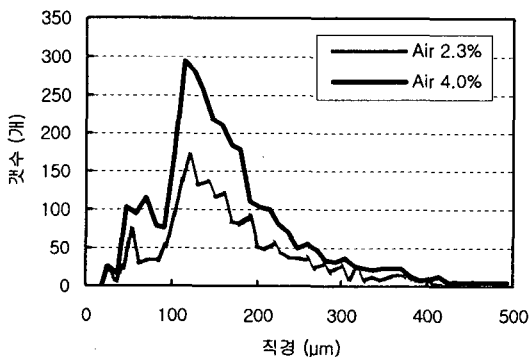
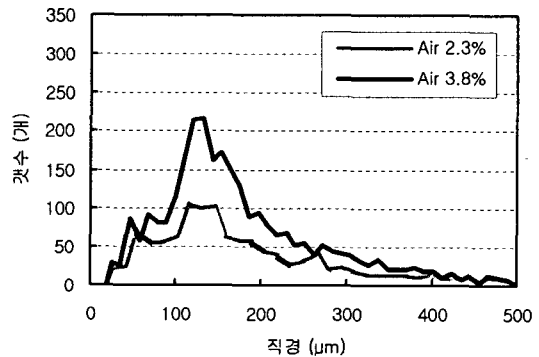


그림 2. 공기량



(a) W/B 30%



(b) W/B 32.5%

그림 3. 공극직경의 분포

3.2 압축강도 및 염화물 확산계수

그림 4는 압축강도 특성을 나타낸 것이다. 전반적으로 압축강도는 물-결합재비 수준 보다 연행된 공기량에 따른 영향이 더 큰 것으로 나타났다.

그림 5는 염화물 확산특성을 나타낸 것으로서, 공기량 수준보다 물-결합재비 수준에 의해 염화물 확산계수는 영향을 받는 것을 알 수 있으며, 재령 28일 값을 보면 W/B 30%의 A5, A9배합은 각각 1.94와 2.01 $\times 10^{-12}$ m²/sec, W/B 32.5%는 2.61과 2.49 $\times 10^{-12}$ m²/sec로 나타났다.

이상의 결과를 보면, 콘크리트 시험편의 전 단면적에 대하여 평가하는 압축강도의 경우 콘크리트 내부에 연행된 공기량 수준에 다소 영향을 받고 있는 반면, 콘크리트 내부를 이동하는 염소이온의 침투특성은 직경이 50~200 μ m 범위인 연행공기량에 영향을 받기 보다는 모세관공극과 밀접한 관계가 있는 것으로 평가되고 있는 물-결합재비의 영향을 받는 것으로 분석되었다. 즉, 이온의 반경이 0.181nm 인 염소이온이 콘크리트 내부로 침투·이동하는 특성은 세공의 연속성, 굴곡도 등에 영향^{4,5)}에 미치는 모세관 공극의 특성에 따른 것으로 분석된다.

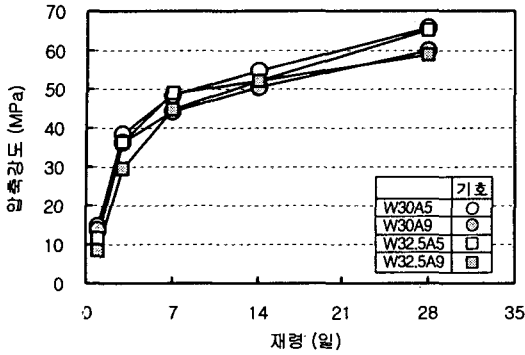


그림 4. 압축강도

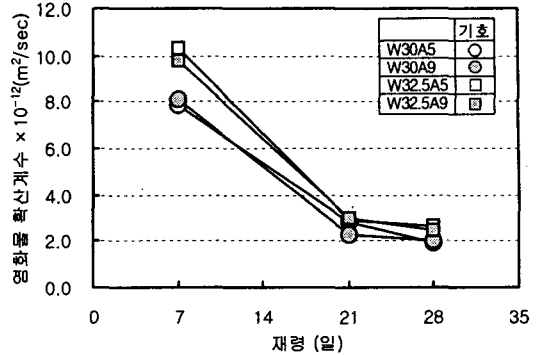


그림 5. 염화물 확산계수

3.3 동결융해 저항성

그림 6은 동결융해 시험에 따른 재령별 스케일 량 측정결과를 나타낸 것으로서 목표공기량이 높은 콘크리트의 스케일 량이 다소 적게 나타났으며, 본 연구의 범위에서 목표 공기량별 스케일 량의 차이는 물-결합재비가 보다 낮은 30%가 32.5%에 비하여 크게 나타났다.

4. 결론

해양콘크리트에 연행된 공기량이 동결융해 및 염화물 침투저항성에 미치는 영향에 대하여 검토한 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 콘크리트에 혼입된 공기량 수준에 따라 압축강도는 다소 차이를 보인 반면, 염화물 확산계수는 큰 차이를 보이지 않고 물-결합재비 수준에 보다 영향을 받는 것으로 나타났다.
- (2) 경화콘크리트의 공기량은 균지않은 콘크리트의 절반 수준으로 나타났으며, 염수를 사용한 동결융해 시험결과 공기량이 높을수록 스케일링 저항성은 향상되는 것으로 나타났는데, 이러한 경향은 물-결합재비가 낮을수록 더욱 현저한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. NT BUILD 492, Concrete, mortar and cement-based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments, 1999, Nordtest
2. ASTM C 457-98, Standard test method for microscopical determination of parameters of the air-void system in hardened concrete
3. prEN 12390-9, Testing hardened concrete - Part 9: Freeze-thaw resistance - Scaling, 2002
4. 丸屋 剛, 콘크리트中の塩化物イオンの移動に関する解析手法の構築
5. 桜田良治, 콘크리트中の塩化物イオンの拡散浸透と細孔隙の關係, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.829~834, 1999