

# 팽창재를 혼입한 고내구성 해양콘크리트의 염화물 확산특성에 관한 연구

## A Study on the Chloride Migration Properties of High Durable Marine Concrete Using the Expansion Production Admixture

김 경 민\*  
Kim, Kyoung Min

류 동 우\*  
Ryu, Dong, Woo

박 상 준\*\*  
Park, Sang, Joon

---

### ABSTRACT

Recently, high strength, flowability, and durability of concrete were required according to increase of large scale and high rise structure. However, cracks occurred easily on the high performance concrete. In this reason, using expansion agent for reducing shrinkage cracks were increased, but it did not consider on durability of high performance concrete. Accordingly, this study investigated the resistance of shrinkage and damage form salt by mixing CSA expansion agent on the blast-furnace slag cement and mixed cement for the low heat of hydration by three components. The cases that 8 % of expansion agent was mixed and the proportion was OPC were expanded till 43.7 times compared with control concrete. For the resistance to the damage of salt, it was improved when mixing ratio was increased and the maximum size of coarse aggregate grewed bigger. In this study, the resistance to the damage of salt of the cases that 8 % of expansion agent was mixed was improved about 16 % compared with control concrete.

### 요 약

본 연구에서는 고로슬래그 혼합시멘트와 3성분계 저발열 혼합시멘트를 대상으로 하고, 여기에 CSA계 팽창재를 혼입함으로써 이에 따른 수축보상 효과와 함께 염해저항 특성에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 검토결과, 배합조건이 OPC이고, 팽창재 혼입율이 8 %인 경우는 팽창재를 혼입하지 않은 경우에 비해 최대 43.7배까지 팽창하는 것으로 평가되었고, 굵은골재 최대치수가 콘크리트의 길이변화특성에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다. 염해저항성은 굵은골재 최대치수가 클수록, 그리고 팽창재 혼입율이 증가할수록 개선되는 것으로 평가되었는데, 본 연구범위에서는 팽창재를 8 % 혼입한 콘크리트의 염해저항성이 팽창재를 혼입하지 않은 경우에 비해 약 16 % 정도 유리한 것으로 평가되었다.

---

\* 정회원, (주)대우건설기술연구원 건축연구팀 전임연구원

\*\* 정회원, (주)대우건설기술연구원 건축연구팀 선임연구원

## 1. 서론

최근의 건축물이 대형화, 초고층화 됨에 따라 고강도, 고유동, 그리고 고내구성의 콘크리트가 요구되고 있다. 일반적으로 콘크리트의 고성능화는 물-결합재비가 낮고, 단위결합재량이 많게 되는 배합특성이 있어, 일반콘크리트에 비해 균열이 발생하기 쉽게 되는 특징을 가지고 있는데, 이렇게 발생한 균열은 누수 등의 사용적 측면뿐만 아니라, 구조적, 내구적 측면에서 많은 문제점을 유발하게 된다. 따라서 최근에는 콘크리트 구조물에 발생하는 수축균열을 저감할 목적으로 팽창재를 사용하는 사례가 증가하고 있는데, 이는 단지, 콘크리트의 수축특성만을 보상하고자 하는 목적 이외에 내구성 향상 측면에 대한 검토는 매우 미흡한 실정이다. 따라서, 본 실험에서는, 결합재로 해양콘크리트용으로 주로 사용되고 있는 고로슬래그 혼합시멘트와 3성분계 저발열 혼합시멘트를 대상으로 하고, 여기에 CSA계 팽창재를 혼입함으로써 이에 따른 수축보상 효과와 함께 염화물 확산특성에 대하여 검토하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 실험의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트의 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 콘크리트의 배합은 실제 레미콘사에서 적용하고 있는 1개 수준의 물-결합재비에 대하여, 결합재 종류로 OPC에 고로슬래그 미분말을 40 % 치환한 경우 (이하 SLC라 칭함)와 저발열 혼합시멘트 (이하 LHC라 칭함)를 사용하는 것으로 하였다. 목표슬럼프는 210±25 mm, 목표공기량은 4.5±1.5 % 수준으로 하였고, 여기에 팽창재를 전혀 혼입하지 않은 경우와 각각 3 %, 5 % 및 8 %를 혼입하는 것으로 하였다. 또한 굵은골재 최대치수를 각각 20 mm와 25 mm로 변화시키는 등 총 16배치에 대하여 검토하는 것으로 계획하였다.

### 2.2 사용재료

사용재료로서 먼저 시멘트의 물리적 성질은 표 3과 같고, 혼화재료로서 고로슬래그 미분말은 분말도 4,284 cm<sup>2</sup>/g의 국내 G사의 제품을 사용하였으며, 팽창재는 국내 H사의 CSA계 팽창재를 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 잔골재는 밀도 2.60 g/cm<sup>3</sup>의 세척사를 사용하였고, 굵은골재는 밀도

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B	1	0.39
	목표 슬럼프 (mm)	1	210 ± 25
	목표 공기량 (%)	1	4.5±1.5
	결합재 종류	2	· OPC+Slag powder 40% (SLC) · 저발열시멘트 (LHC)
	팽창재 혼입율 (%)	4	0, 3, 5, 8
실험사항	굵은골재 최대치수	2	20 mm, 25 mm
	균질않은 콘크리트	2	슬럼프, 공기량
	경화 콘크리트	3	· 길이변화 (직후~91일) · 압축강도 (1, 3, 7, 28일) · 염화물 확산계수 (7, 28, 56일)

표 2. 배합사항

구분	G max. (mm)	W/B	S/a (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )					
				W	C	팽창재	BS*	S	G
SLC	20	0.39	45.0	155	199	-	199	785	996
					187	12			
					179	20			
					167	32			
	25		45.5	155	199	-	199	794	987
					187	12			
					179	20			
					167	32			
LHC	20	44.5	155	397	-	-	767	994	
				386	12				
				378	20				
				366	32				
	25		44.5	155	397	-	-	767	994
					386	12			
					378	20			
					366	32			

2.60 g/cm<sup>3</sup>의 최대치수 20 mm 및 25 mm인 쇄석을 사용하였다. 화학 혼화제는 결합재 종류에 따라 OPC와 LHC로 구분하여 국내 E사 및 U사의 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하였다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종류	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	응결시간 (hr. : min.)		강열 감량 (%)	압축강도 (MPa)		
			초결	종결		3일	7일	28일
OPC	3.16	3.416	3:50	6:35	0.69	25.4	34.2	48.9
LHC	2.80	4.017	4:50	8:10	1.2	12.7	23.7	44.2

### 2.3. 실험방법

길이변화 측정은 『KS F 2562 콘크리트용 팽창재』의 B법 (팽창 및 수축을 대상으로 하는 방법)에 준하여 계획된 재령에서 측정하였다. 사진 1은 길이변화 측정세트를 나타낸 것이다. 염화물 확산시험은 NT BUILD 492(The Rapid Chloride Migration Test(RCM))<sup>3)</sup>에 따라 확산계수 (Chloride Migration Coefficient)를 산출하였다. 기타의 실험은 KS 기준 및 표준적인 방법에 의하여 실시하였다.

표 4. 팽창재의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	응결 (h:m)		팽창성 (%)		압축강도 (MPa)		
		초결	종결	7일	28일	3일	7일	28일
2.97	3.500	2:20	4:20	0.05	-0.01	20.8	27.0	35.3



사진 1. 길이변화 측정 몰드

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 굳지않은 콘크리트

먼저, 유동성의 경우 팽창재 혼입율이 증가할수록 다소의 차이는 있었으나 콘크리트의 배합특성에 영향을 미칠 정도는 아닌 것으로 평가되었고, 공기량의 경우는 모든 배합조건에서 목표공기량을 만족하는 것으로 나타남으로서, 팽창재 혼입에 따른 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다.

### 3.2 경화콘크리트

#### ① 길이변화

그림 1은 팽창재 혼입율 변화에 따른 길이변화 특성을 시멘트 종류별로 구분하여 나타낸 것이다.

전반적인 경향으로는 양생조건이 수중인 경우에서 크게 팽창하고, 이후 기중양생조건에서는 수축하는 것으로 나타났으며, 팽창재 혼입율이 증가할수록 팽창량은 증가하는 것으로 나타났다. 특히 팽창재 혼입율이 8%인 경우는 팽창재를 혼입하지 않은 경우에 비해 최대 43.7배까지 팽창하는 것으로 평가되었으며, 28일 재령에는 공시체 탈형 직후보다도 팽창되는 것으로

평가되어 실무에 활용함에 있어 면밀히 검토되어야 하는 것으로 평가되었다. 한편, LHC를 사용한 경우는 시멘트 종류로 OPC를 사용한 경우와 유사한 길이변화특성을 갖는 것으로 나타났으며, 굵은골재 최대치수 변화에 따른 특성으로는 그 차이가 최대 60×10<sup>-6</sup>정도인 것으로 나타났다. 즉, 굵은골재 최대치수가 팽창재를 혼입한 콘크리트의 길이변화 특성에 미치는 영향은 미미한 것으로 평가되었다.

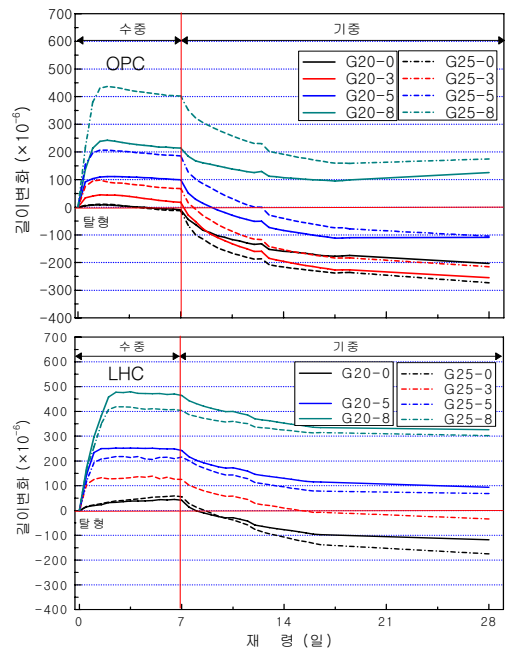


그림 1. 길이변화 특성

### ② 압축강도

전반적으로 재령이 경과할수록, 그리고 팽창재 혼입율이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났으나, 굵은골재 최대치수 변화에 따른 영향은 다소 미미한 것으로 평가되었다. 28일 재령 압축강도는 40.0~61.2 MPa 수준인 것으로 나타났다.

### ③ 염화물 확산

그림 2는 시멘트 종류 및 팽창재 혼입율 변화에 따른 염화물 확산특성을 나타낸 것이다.

먼저, OPC를 사용한 경우의 염화물 확산계수는 굵은골재 최대치수가 20 mm이고, 팽창재를 사용하지 않은 경우 재령 28일에  $2.70 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 인 것으로 나타난 반면, 동일 재령에서 팽창재를 3 % 혼입한 경우는  $2.83 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ , 그리고 5 %와 8 %를 혼입한 경우는 각각  $2.12 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 와  $2.27 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ 인 것으로 나타나, 팽창재를 혼입율이 증가함에 따라 염해저항성도 향상되는 것으로 평가되었다. 즉, 팽창재를 8 % 혼입한 콘크리트의 염화물 확산특성이 팽창재를 혼입하지 않은 경우에 비해 약 16 % 정도 유리한 것으로 평가되었다.

한편, 굵은골재 최대치수를 25 mm로 상향조정된 경우에 있어서도 유사한 경향인 것으로 나타났는데, 굵은골재 최대치수가 클수록, 그리고 팽창재 혼입율이 증가할수록 염해저항성도 향상된다는 것을 알 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 CSA계 팽창재를 혼입함으로써 이에 따른 수축보상 효과와 함께 염화물 확산특성 등에 대하여 검토하였는데, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 팽창재 혼입에 따른 유동성과 공기량은 거의 영향이 없는 것으로 평가되었다.
- 2) 길이변화는 팽창재 혼입율이 증가할수록 팽창하는 것으로 나타났고 굵은골재 최대치수 변화에 따른 길이변화특성은 영향이 적은 것으로 평가되었다.
- 3) 팽창재 혼입율이 증가함에 따라 압축강도가 비례하여 증가하는 것으로 나타난 반면, 굵은골재 최대치수 변화에 따른 영향은 크지 않은 것으로 평가되었다.
- 4) 염해저항성은 굵은골재 최대치수가 클수록, 그리고 팽창재 혼입율이 증가할수록 향상되는 것으로 평가되었다.

### 참고문헌

1. 이선우, 김남호, “CSA팽창재의 콘크리트에 사용”, 콘크리트학회지, 제8권, 6호, 1996.
2. 대우건설기술연구원, “GK PJ적용을 위한 고내구성 해양콘크리트 배합설계 보고서, 2006.
3. Duracrete-Final Technical Report, Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures, Document BE95-1347/R17, European Brite-EuRam Programme, Published by CUR, the Netherlands, May 2000.

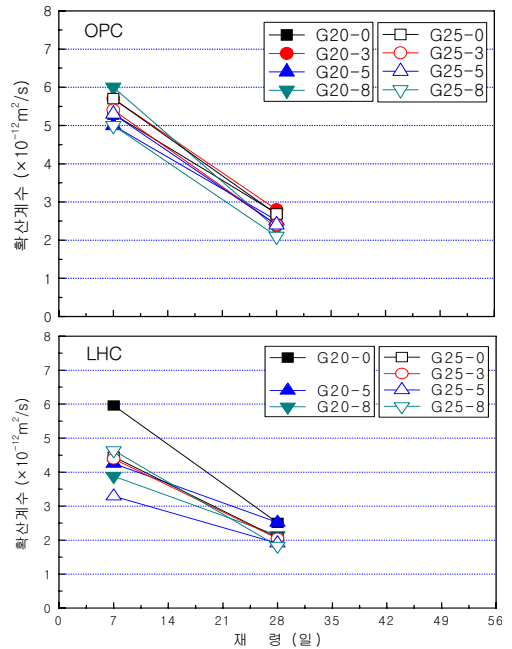


그림 2. 염화물 확산특성