



# 04

## 송도지역 내염해성 콘크리트 현장적용

Field Application of PHDC(Promoted High Durability Concrete) in Song-Do

김우재 Woo Jae Kim  
포스코건설 R&D Center  
기술연구소 차장

유조형 Jo Hyeong Yoo  
포스코건설 R&D Center  
기술연구소 과장

길배수 Bae Su Khil  
트라이포드 대표이사

### 1. 머리말

최근 송도 신도시 개발사업 및 국내외 해안 매립지 신도시 개발 사업이 크게 증가함에 따라 주상복합 아파트 등의 공동 주거시설 및 오피스텔의 대형 업무시설에 대한 건축공사뿐만 아니라 해안교량, 해안터널 및 해안 공업단지, CTS 반출부두 등의 토목구조물에 대한 건설공사가 활발히 추진되고 있다. 그러나 구조물 차체가 항만 또는 해안가에 위치하거나 해수환경에 접하는 해안 콘크리트 구조물 특성상 시공단계부터 염해 및 다습한 환경에 노출되어 염소이온, 황산염류 및 수분 등의 부식이자에 콘크리트의 스케일링과 염소이온의 침투에 의한 철근 부식이 야기되어 균열 및 피복 탈락 등의 구조적 결함이 발생하여 구조물의 급속한 열화가 초래되는 성능저하 현상이 발생한다. 이중에서도 특히 염해에 의한 콘크리트 구조물의 손상은 침투된 염소이온 및 해사 혼입 등의 내·외부요인에 의해 콘크리트내 철근의 부식으로 직접 연결되므로 유지보수에 의해 열화손상 이전 상태로의 완전회복이 어려울 뿐만 아니라 다른 열화요인에 비해 그 손상정도나 발생빈도 면에서 매우 심각한 것으로 알려지고 있어 해안 콘크리트 구조물의 열화요인 개선 요구가 더욱 증대되고 있다. 특히 송도신도시 지역은 모든 지역이 해안 매립지로 콘크리트 구조설계기준 제4장 사용성 및 내구성 기준에 <표 1>과 같이 특수 노출상태에 대한 요구사항에 준하여 공동주택 기초 콘크리트 설계기준이 35 MPa의 강도로 설계 되었다. 따라서 당사에서는 콘크리트 구조설계 기준에서 요구하는 내염해성 성능을 만족시키기 위해 개발한 내염해성 콘크리트 기술인 고내구성 콘크리트(Promoted High Durability Concrete; 이하 PHDC)기술을 현재 시공 중인 F-21, 22, 23 Block 및 D-17, 18 Block 공동주택 현장에 기초부재에 적용하고 있다.

### 2. 송도지역 현장적용을 위한 고내구성 콘크리트(PHDC)

PHDC에 적용되는 혼화제(Hyper-HD)의 주요 성분인 Si/Al 복합 무기염과 다환영 올리고머 축합물에 의한 콘크리트의 균열을 제어하기 위한 수축저감 및 내염해성 개선 메커니즘을 제시하면 <그림 1>과 같다. 상기 메커니즘과 같이 Si/Al 복

표 1. 특수 노출상태에 대한 요구사항

노출 상태	보통골재 콘크리트 최대 물-결합재비	보통골재 콘크리트와 경량콘크리트의 최소 설계 기준압축강도 $f_{ck}$ (MPa)
물에 노출되었을 때 낮은 투수성이 요구되는 콘크리트	0.50	27
습한 상태에서 동결융해 또는 제빙화학제에 노출된 콘크리트	0.45	30
제빙화학제, 염, 소금물, 비닷물에 노출된 이면 종류들이 살포된 콘크리트의 철근부식 방지	0.40	35

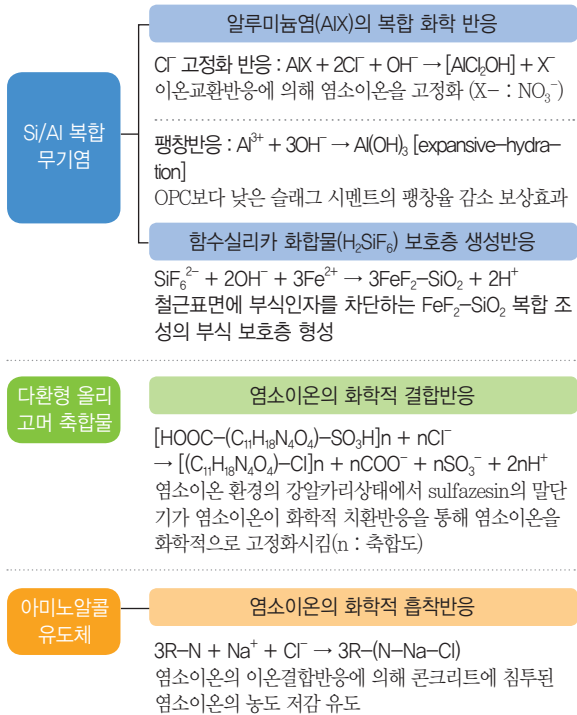


그림 1. PHDC의 적용된 반응 메커니즘

합 무기염을 시멘트에 첨가하면 시멘트 수화 과정중에 Si 무기염에서 해리된  $SiF_6^{2-}$  이온이 산화 된 철이온을 환원시키면서 SEM 및 EDX 분석을 통해 확인한 결과 철근표면에  $FeF_2 \cdot SiO_2$  복합조성의 불투과성 부식 보호층을 형성하여 염소이온의 침입을 차단해 철근방식 작용을 하게 된다. Al 무기염은 이온교환반응에 의해 염소이온을 화학적으로 고정화하고, 일부 미 반응 상태로 해리된 알루미늄 이온은 시멘트의 수축을 보상할 정도의 팽창성 수화 화합물로서  $Al(OH)_3$ 의 생성을 유도하는 작용을 한다. 또한 PHDC의 적용된 다환형 올리고머 축합물은 축합도(degree of condensation)가 3~5, 1,500~2,000 범위의 분자량(Mw)을 지닌 올리고머형 화합물(sulfazecin,  $C_{20}H_{20}N_4O_9S$ )로써 시멘트와 같은 강알칼리 상태에서 염소이온이 침투되면 화합물의 말단기인 Sulfonate Group( $-SO_3H$ )와 carboxyl group( $-COOH$ )가 주쇄(main chain)에서 분리되고, 염소이온이 화학적으로 결합하게 된다. 이러한 염소이온의 화학적 결합특성은 다환형 올리고머 축합물의 축합도에 비례하여 증가되는 특성을 나타낸다. 또한 다환형 올리고머 축합물의 염소이온 치환반응 후 해리된 Sulfonate( $SO_3^-$ ) 및 Carboxylic Acid 음

이온( $-COO^-$ )은 시멘트 입자에 흡착되어 콘크리트의 유동성을 향상시키는 부수적인 특성을 부여하게 되며, 기타 조성물로 함유된 아미노 알코올 유도체는 특성기인  $Na^+$ 가 콘크리트에 유입된 염소이온과의 결합 반응에 의해 강력히 고정화함으로써 콘크리트에 침투된 염소이온의 농도를 저감하는 역할을 하게 된다.

PHDC의 조성물(Hyper-HD)이 지닌 상기 효과를 바탕으로 수천~수만 ppm의 고농도로 염소이온이 함유된 매립지 지하수 환경에 시공된 철근 콘크리트를 대상으로 기존 슬래그 콘크리트(SC) 대비 신기술 조성물이 적용된 콘크리트(PHDC)의 수축저감 및 내염해성 효과를 모식적으로 비교하면 <그림 2>와 같이 나타낼 수 있다.

### 3. 현장적용 성능평가

#### 3.1 성능평가 개요

PHDC 기술의 현장적용을 위해 <표 2>와 같이 송도지역 기초 및 지중부재에 적용되는 기존 35 MPa 배합과 내구성 개선제(Hyper-HD)를 포함한 27, 30 MPa 배합을 선정하여 강도 및 내염해성 평가한 내구성 개선제의 염

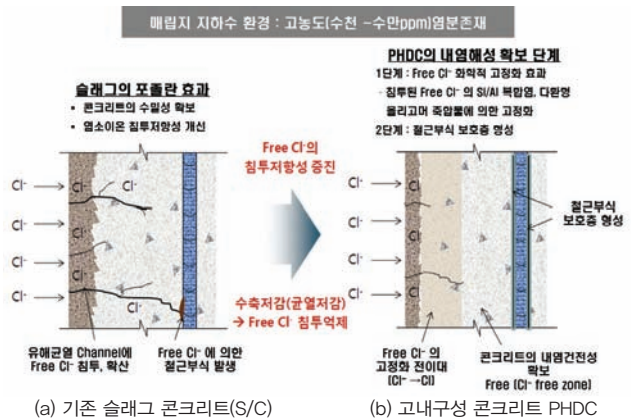


그림 2. PHDC의 내염해성 증진 효과 모식도

표 2. 성능평가 계획

구분	내용	성능평가	비고
Plain-27	27 MPa	압축강도 NT-Build 492 통과전하량	공인성적서 발급
PHDC-27	27MPa + Hyper-HD 0.5%		
Plain-30	30 MPa		
PHDC-30	30MPa + Hyper-HD 0.5%		
Plain-35	35 MPa		

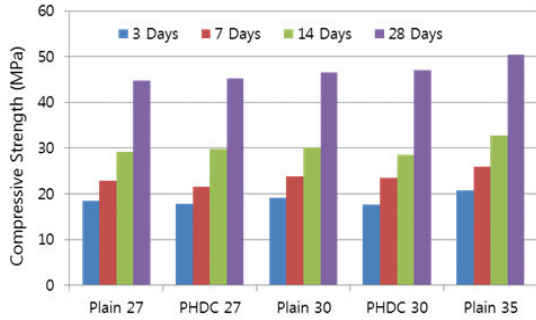


그림 3. 압축강도 측정결과(28일 강도는 공인성적서 발급)

해에 대한 저항성을 기존 35 MPa 기준과 비교 평가하여 그 우수성을 검증하였다.

### 3.2 성능평가 결과

#### 3.2.1 압축강도 측정결과

압축강도 측정결과는 KS F 2405에 준하여 시험을 실시하였으며, 28일 재령에서의 압축강도 측정결과를 한국건설생활환경시험연구원에 의뢰하여 공인성적서를 발급받았다. 측정결과는 <그림 3>과 같으며, 모든 시험체에서 설계기준강도를 상회하는 결과를 도출하였다.

#### 3.2.2 내염해성 평가결과

PHDC 기술의 내염해 성능을 평가하기 위해 염소이온 확산계수 및 염소이온 통과전하량을 측정하였다. 염소이온 확산계수 시험은 <표 3>과 같이  $\phi 10 \times 20$  cm의 원주형

표 3. 내염해성 평가방법

시험 항목	시험 규격	측정요인	모식도
염소이온 확산계수	NT-Build 492	- 시험체 두께 (mm) - 전압(V) - 전류(A) - 온도(°C)	
통과 전하량	KS F 2711	- 염소이온 침투 깊이(mm) - 통과전하량(C)	

공시체를 제작하여 28일간 수중양생을 실시한 후, NT-Build 492에서 제안한 시험법을 적용하여 염소이온 확산계수를 측정하였다. 염소이온 통과전하량은 KS F 2711 '전기전도도에 의한 콘크리트 염소이온 침투저항성 시험 방법'에 준하여 내염해성 평가를 진행하였다(그림 4, 5).

### 3.3 결론

이상과 같이 압축강도 및 내염해성을 평가한 결과 기존 송도지역 기초 및 지중부재에 적용되는 기존 규격의 콘크리트 내염해성 성능보다 내구성 개선제(Hyper-HD)를 적용한 콘크리트가 더 우수한 내염해 성능을 나타내는 것을 시험과 공인성적서 발급을 통해 검증하였다.

### 4. 송도지역 내염해성 콘크리트 현장적용

현재 송도지역 공동주택 시공현장인 F-21, 22, 23 Block(마스터뷰) 및 D-17, 18 Block(그린워크 3차) 현장 기초부재에 당사에서 개발한 PHDC 기술이 적용 중에 있다(표 4).

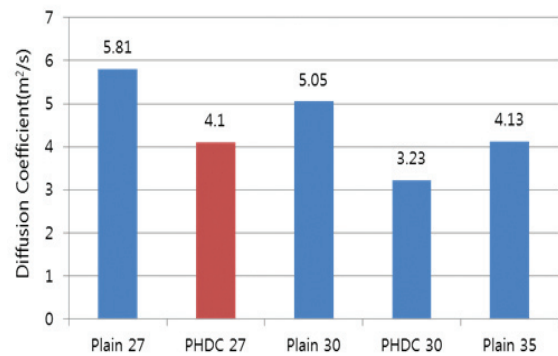


그림 4. 염소이온 확산계수 측정결과

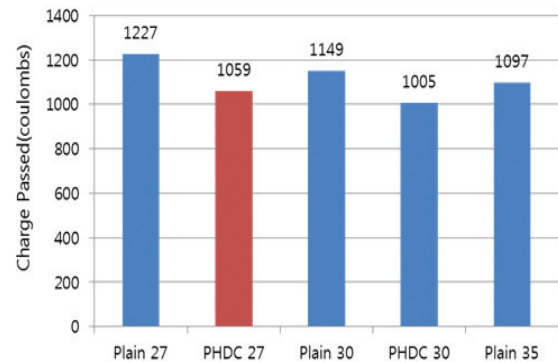



그림 5. 통과전하량 측정결과

표 4. 송도지역 내염해성 콘크리트 적용 현장

구분	내용	
공사명	마스터 뷰	그린워크 3차
시공사	(주)포스코건설	
위치	인천 연수구 송도동 F-21,22,23 Block	인천 연수구 송도동 D-17,18 Block
규모	기초부재 약 15,000 m <sup>3</sup>	기초부재 약 10,000 m <sup>3</sup>
조감도		

### 5. 맺음말

최근 국내에서는 인천 송도, 부산, 서산 등 해안 매립지에 대한 신도시 개발 사업이 증가하고 있으며, 해안 공업단지, 장대교량, 항만 등 해안 토목공사의 물량이 증대되면서 해안 매립지에 대한 콘크리트 물량이 지속적으로 증가하고 있으며, 중동 및 남미지역의 대규모 해안 플랜트 건설 프로젝트 수주가 꾸준히 증가하고 있다.

이에 맞도록 꾸준한 연구개발로 100년 이상의 내구수명을 갖는 콘크리트 개발 및 품질관리를 통해 내구성분야에 경쟁력을 키워야 할 것이다. 

담당 편집위원 : 권성준(한남대학교) jjuni98@hannam.ac.kr

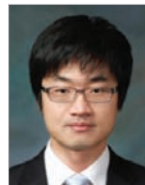
#### 참고문헌

1. 김우재, 길배수, 'Si/Al 복합 무기염 및 다환형 올리고머 축합물을 적용한 모르타르의 내염해성과 황산염 저항성에 대한 실험적 연구', 한국콘크리트학회 가을 학술대회 논문집, Vol. 21, No. 2, 2009, 1pp.
2. 김우재, 김도수, 홍석범, '고내구성 콘크리트(PHDC)의 현장적용 성능 및 장기 모니터링에 관한 연구', 한국콘크리트학회 봄 학술대회 논문집, Vol. 22, No. 1, 2010, pp. 457 ~ 458.
3. 日本材料學會, 콘크리트混和材料ハンドブック, 2004, 4.



**김우재 차장**은 단국대학교 건축공학대에서 비탈형연구거푸집 개발에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 포스코건설(주) 기술연구소에서 10여년간 고성능 콘크리트 및 건설재료 분야의 현장 실용화를 위해 노력 중이며, 200 MPa 초고강도 콘크리트 실용화 및 초고강도 콘크리트 내염해성 분야를 연구하여 포스코건설 현장에 적용하였다. 현재 다량치환 슬래그 콘크리트(HVSC) 개발 및 초고강도 콘크리트를 활용한 고성능 강합성(CFT)구조 분야를 연구 중에 있다.

kimwj70@naver.com



**유조형 과장**은 한양대학교 건축공학과 지속가능 건축재료 및 시공 연구실에서 철근 콘크리트 구조물의 방식공법에 관한 연구로 박사학위를 취득하고, 현재 포스코건설 R&D Center 기술연구소에 근무하고 있다. 주 관심분야는 슬래그를 이용한 친환경 콘크리트 및 철근 콘크리트 구조물의 염해 내구성 분야이다.

johyeong@poscoenc.com



**길배수 박사**는 충남대학교 건축공학과 건축구조연구실에서 수화열 제어재에 의한 매스콘크리트 구조물의 온도균열 저감에 관한 연구로 박사학위를 취득하고, 현재 (주)트라이포드 대표이사로 10여 년간 경영하고 있다. 주 관심연구 분야는 특수환경 콘크리트 및 친환경 바닥마감재 분야이다.

kbs@tripod2003.co.kr