

# 콘크리트 표면밀도 증가에 의한 원전구조 성능개선 연구

## The research for the durable-performance improvement of nuclear concrete structures by increasing the density of concrete surface layer

최 홍 식\* 이 시 우\*\* 허 권\*\*\* 이 상 민\*\*\*\*  
Choi, Hong Shik Lee, Si Woo Heo, Gweon Lee, Sang Min

### ABSTRACT

For nuclear concrete structures on the coast, the prevention and management against salt damage is needed because they are being under the influence of the sea water at all times. In general, the deterioration of the concrete is generated in concrete surface firstly and then extended into concrete gradually as its service life increases. Therefore, the protective layer on the concrete surface is needed to establish and manage the durability of concrete. To enhance the durability performance of the existing and new concrete, the development and application of a high-performance penetration sealer is needed. The sealer has to have the functions that are able to prevent the attack of the moisture, carbon dioxide, and harmful substance from the outside. Therefore, the aim of this project is to guarantee the long service-life and waterproof performance of a nuclear concrete structures by increasing the density of the existing and new concrete surface layer, and to enhance the dust-proof performance of the uncoating part of the nuclear safety-relative structures.

### 1. 서론

콘크리트는 반영구적인 재료임에도 불구하고 다양한 성능저하 요인에 의해 지속적인 침식을 받기 때문에 최근 콘크리트 구조물의 내구성능을 확보하기 위한 재료·시공 측면의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이와 같은 내구성 확보 연구는 과거 콘크리트의 강도이론을 중심으로 연구가 진행되어 왔으나, 급변하는 지구환경 및 수질의 오염, 탄산가스 농도의 증가 등은 콘크리트 표층부의 부식 및 침식을 유발시키고 있어 구조물의 표면보호 및 유지관리에 대한 필요성이 증대되고 있다.

따라서, 본 연구는 해수 및 대기환경에 노출되어 있는 원전 구조물의 콘크리트 표면밀도를 증가시킴으로써 구조물의 장수명화 및 방수성능을 확보함과 동시에 원자력 발전구조물의 미도장 부위에 적용하여 콘크리트의 내구성능 향상을 정량적으로 평가하고자 한다.

\* 정회원, 충청대학 건설교통과 교수

\*\* 정회원, 충청대학 건축인테리어학부 교수

\*\*\* 정회원, 충청대학 화장품과학과 교수

\*\*\*\* 정회원, 비엔티엔지니어링 대표이사

## 2. 실험개요

표면침투제를 사용한 콘크리트 시편의 장기내구성능 향상효과를 정량적으로 평가하기 위한 배합설계표는 표 1과 같으며, 설계기준강도( $f_{ck}$ )는 3000psi, 5500psi인 실험시편의 제작현황은 표 2와 같다.

표 1. 3000psi, 5500psi의 배합설계

설계강도 (psi)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 값 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	잔골재율 (%)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )			
						W	C	S	G
3000	25	15	4.5	55.4	45.8	166	267	810	979
5500	25	16	5.0	48.7	43.0	185	380	731	994

표 2. 내구성시험용 시편제작현황

구분	규격 (cm)	3000psi	5500psi	소계
원주형 공시체	10×20	108	36	144
ㄷ자형 RC시편	-	3	-	3
RC바 시편	5×5×15	27	9	36

본 실험에 사용된 표면침투제는 무기계 1종과 유·무기계 1종이며 기본 물성은 표 3과 같다.

표 3. 표면침투제의 종류와 특성

종류	주성분	색상	점도 (cp)	표면장력 (dyne/cm)	용매
B (유·무기계)	R20 Type (Silicate+Sodium Alginate+Solution Polymer)	하늘색	4.13	38	물
D (무기계)	Silicate	무색	3.72	26	알코올



사진 1. 표면침투제 도포

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 압축강도에 의한 경시변화

공시체를 탈형 후 각각의 콘크리트 표면에 침투제를 도포 후 각각의 해안환경조건에 노출시키며, 재령 28일, 90일, 360일, 720일에 각 실험조건별 3개씩 시편을 선별하여 UTM을 이용해 파괴시켜 압축강도(ASTM C 39)를 도출하였다.

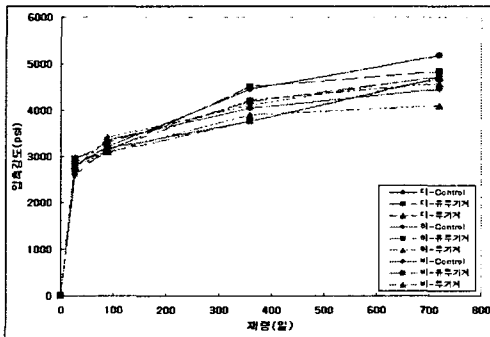


그림 1. 환경조건에 따른 압축강도(3000psi)

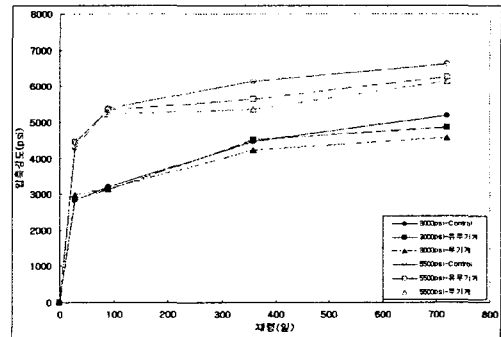


그림 2. 설계조건에 따른 압축강도(비말대)

그림 1, 그림 2에 나타낸 바와 같이 3000psi, 5500psi으로 제작된 원주형 공시체에 침투제를 도포한

후 각각의 해안환경조건에 노출시킨 후 재령별 압축강도를 실시한 결과 Control 시편보다 침투제를 도포한 시편의 압축강도가 높게 측정되었으며, 침투제를 도포한 시편의 압축강도를 비교한 결과 유·무기계를 도포한 시편이 무기계를 도포한 시편 보다 높게 측정되었다.

### 3.2 염화물 이온 침투에 의한 평가

공시체 탈형 후 각각의 콘크리트 표면에 침투제를 도포 후 각각의 해안환경조건에 노출시키고, 재령 90일, 360일, 720일에 각 실험조건별 2개씩 시편을 선별하여 UTM을 이용 할렬로 조겐 후 Otsuki et al(1992)에 의해 제안된 0.1N AgNO<sub>3</sub> 용액분부에 기초한 변색법으로 염화물 침투깊이를 측정하였다.

그림 3, 그림 4에 나타난 바와 같이 3000psi, 5500psi으로 제작된 원주형 공시체에 침투제를 도포한 후 각각의 해안환경조건에 노출시킨 후 재령별 염화물 이온 침투깊이를 측정한 결과 침투제를 도포한 시편과 Control 시편의 비교결과 침투제를 도포한 시편이 염화물 이온 침투에 대한 저항성이 높은 것으로 측정되었으며, 두가지 종류의 침투제를 비교한 결과 무기계 침투제가 유·무기계 침투제 보다 콘크리트 염화물 이온 침투 저항성이 높은 것으로 나타났다. 또한, 720일차에서는 대기중 환경조건에 노출된 시편을 제외하고 모든 시편들의 중앙부까지 염화물 이온이 침투한 것으로 측정되었다.

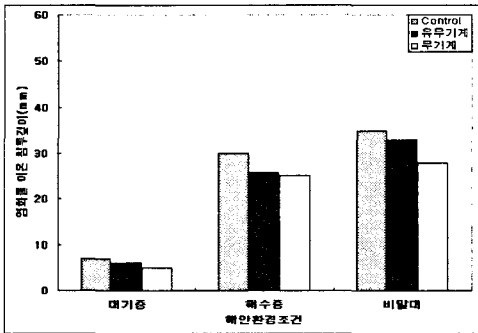


그림 3. 환경 조건별 염화물이온 침투깊이 (3000psi)

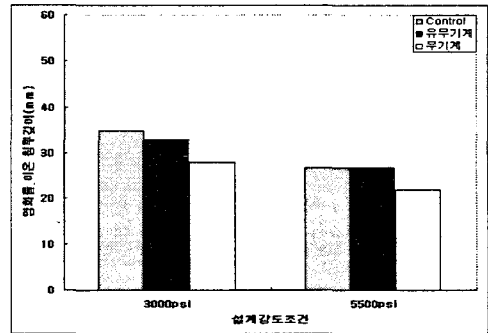


그림 4. 설계 조건별 염화물이온 침투깊이 (비말대)

### 3.3 철근 부식에 의한 평가

RC보 시편을 탈형 후 각각의 콘크리트 표면에 침투제를 도포 후 각각의 해안환경조건에 노출시키고, 재령 28일, 56일, 90일, 180일, 360일, 720일에 각 실험조건별 시편을 선별하여 철근부식도 측정기를 위치별 자연전위측정법(ASTM C 876-80)에 의해 철근의 부식도를 평가하였다.

그림 5, 그림 6에서 무기계 침투제가 유·무기계 침투제 보다 부식 저항성이 높은 것으로 나타났다.

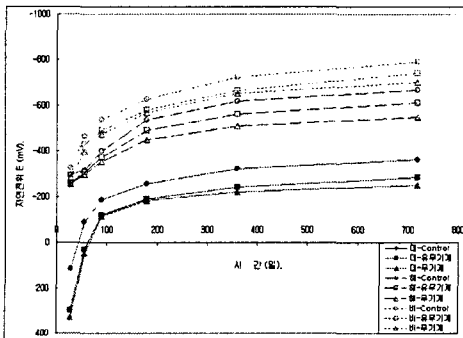


그림 5. 환경 조건별 자연전위 측정결과(3000psi)

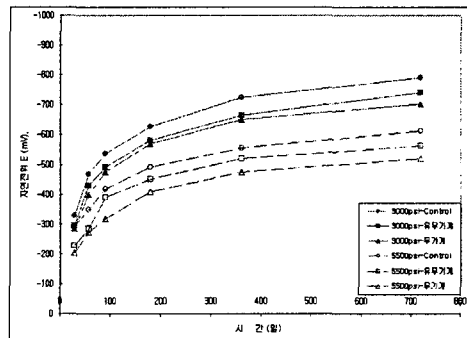


그림 6. 설계 조건별 자연전위 측정결과(비말대)

### 3.4 건조수축에 의한 균열저항성 평가

균열저항 및 비구속 시편내부에 매립형 게이지를 설치하여 TDS와 연결하여 장기계측을 실시하고, 균열저항성 시편의 경우 균열이 발생하는 시점을 기록하여 건조수축에 의한 균열저항성을 평가한다.

3000psi, 5500psi로 제작된 균열저항 및 비구속형 시편에 침투제를 도포한 후 동일조건외 환경상태에서 변형률을 측정하는 결과는 그림 7, 그림 8과 같다. 비구속형 시편에 대한 건조수축 측정결과는 그림 8과 같이 Control 시편 보다 침투제를 도포한 시편이 미세하게 적은 것으로 측정되었다.

또한, 균열저항 시편의 시험 경우 9.5일 지나 Control 시편에서 균열이 발생하였다. 유·무기계 침투제를 도포한 시편에서는 12일이 지난 후에 균열이 발생하였으며, 무기계를 도포한 시편의 경우에는 20일 지난 후에 균열이 발생하였다.

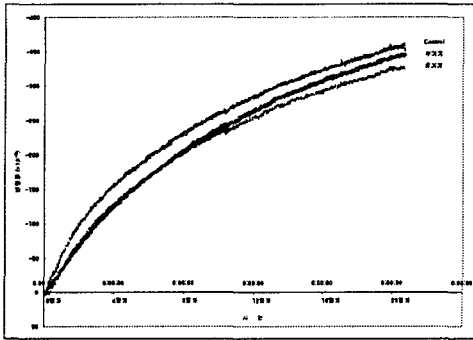


그림 7. 비구속형 시편의 시험결과

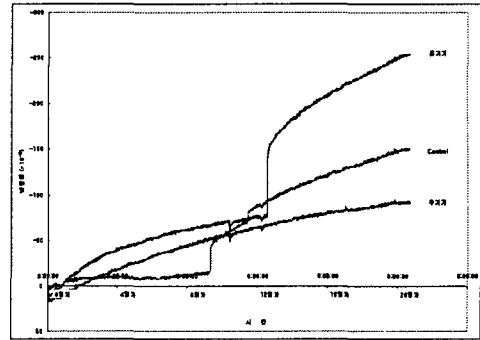


그림 8. 균열저항 시편의 시험결과

### 4. 결론

- 1) Control 시편보다 침투제를 도포한 시편의 압축강도가 높게 측정되었으며, 유·무기계를 도포한 시편이 무기계를 도포한 시편 보다 높은 압축강도를 나타냈다.
- 2) 침투제를 도포한 시편이 염화물 이온 침투에 대한 저항성이 높은 것으로 측정되었으며, 무기계 침투제가 유·무기계 침투제 보다 콘크리트 염화물 이온 침투 저항성이 높은 것으로 나타났다.
- 3) 무기계 침투제가 유·무기계 침투제 보다 부식 저항성이 높은 것으로 나타났다.
- 4) 비구속형 시편에 대한 건조수축 측정결과는 Control 시편 보다 침투제를 도포한 시편이 건조수축의 영향이 적은 것으로 측정되었다.
- 5) 표면밀도 증진재를 통한 콘크리트의 표면 보호는 원전 및 기후변화가 심한 국내 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 통한 장수명화에 기여할 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. 노병철 외, 고성능 표면침투제의 시공성 평가, 한국콘크리트학회지, 제16권2호, p. 805, 2004.
2. P.Kumar Mehta and Paulo J. M. Monteiro, Concrete Structure, Properties and Materials, Prentice Hall, 1993.
3. Sidney Mindess and J. Francis Young and David Darwin, Concrete Second edition, Prentice Hall, 2003
4. 정해문 외, 염해방지를 위한 콘크리트 표면도장재료의 성능평가, 한국콘크리트학회지, 제14권1호, p. 749, 2002.