

원전콘크리트 내구성능개선을 위한 표면침투제 개발

Development of a Sealer for the Durable-Performance Improvement of the Nuclear Concrete

박 상 순* 이 상 근** 이 상 민***
Park, Sang Soon Lee, Sang Keun 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 study is to development of a sealer for the long service-life and waterproof performance of a nuclear concrete 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, 특히 해안가에 위치한 원전구조물의 경우 해수의 영향을 직·간접적으로 받고 있어서 항상 염해에 대한 예방 및 관리가 요구되고 있다. 해수는 콘크리트 표면의 공극이나 결합부위를 통해 염화물을 침투시켜 철근 주위에 형성된 부동태 피막을 깨뜨리고 철근의 부식을 초래하게 되며, 이와 같은 철근부식은 콘크리트 구조물의 구조적 성능저하로 직결된다.¹⁾ 원자력 구조물중 해수에 접한 취배수 구조물과 표층면이 대기에 노출되어 있는 대부분의 콘크리트 구조물은 표면공극이나 결합을 통해 염해를 입을 수 있는 환경에 놓여있기 때문에 염해로 인한 구조적 성능저하를 예방할 수 있는 방안이 요구되고 있다.

*정회원, 비엔티 엔지니어링(주) 기술연구소 부장

**정회원, 비엔티 엔지니어링(주) 기술연구소 소장

***정회원, 비엔티 엔지니어링(주) 사장

따라서, 본 연구는 해수 및 대기환경에 노출되어 있는 원전 구조물의 콘크리트 표면밀도를 증가시킴으로써 구조물의 내구성능 및 방수성능을 향상시켜 구조물 수명을 연장시킬 수 있는 콘크리트 표면 침투제의 개발을 연구의 목적으로 한다.

2. 표면침투제의 개발

최근 콘크리트 구조물의 노후화에 따른 보수 및 내구성 향상을 위한 방법으로서는 액상의 침투제에 대한 사용이 증가하고 있다. 액상의 표면침투제는 무기 물질을 콘크리트와 같은 무기재료의 표면에 적용하여 염분 또는 수분에 의한 영향을 줄이고 특히, 표면층에 소수성을 형성하여 수분함량을 조절하는 것이 특징이다²⁾⁻³⁾ 다공성 콘크리트 구조물의 표면침투제가 장기간 보호효과를 이루고, 표면처리된 표면 외층에 적절한 수분조건을 제공하기 위해서는 표면침투제가 콘크리트 구조물 내부로 가능한 깊숙이 침투되어야 한다. 그러나 종래의 표면침투제는 소수성 물질을 용매 또는 담체 등에 함유하는 형태로서, 수분함량이 많은 콘크리트 표면에 브러쉬 또는 스프레이 방식으로 도포되면, 상호 접착력이 약하고, 표면침투제가 침투되는 과정에 용매가 증발되어 침투를 방해하는 단점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 소수성 물질을 콘크리트 내부로 깊숙이 침투시키는 목적을 달성하기 위하여, 콘크리트 표면에 소수성 물질과 화학적 결합이 가능한 친수성의 물질을 동시에 포함하고 액상의 표면 접착력을 낮추는 계면활성제를 추가로 첨가하는 것을 특징으로 한 표면침투제를 개발하였다.

3. 성능평가시험

개발된 침투제의 성능평가 및 비교를 위해 표 1과 같이 다양한 성분의 무기계 및 유기계 표면 침투제를 도포한 시험용 시편을 표 2의 배합으로 제작하여 침투특성, 흡수성능 및 수밀성능 평가를 실시하였다.

표 1 표면침투제의 종류 및 물성

표면침투제 종 류	주 성 분	색 상	점도 (cp)	표면장력 (dyne/cm)	용 매	비고
A (무기계)	Potassium Silicate	무색	3.96	61	증류수	
B(유·무기계)	R20 Type (Silicate+Sodium Alginate +Solution Polymer)	연한 청색	4.13	38	증류수	
C(무기계)	Silane-siloxane	연 한 초록색	3.85	28	알콜	
D(무기계)	Silicate	무색	3.72	26	알콜	개발제품
E(무기계)	Modified Sodium Silicate	하늘색	4.16	35	증류수	
F(유·무기계)	Silicate Type + Polymer dispersion	연 한 초록색	4.56	36	증류수	
P (control)	-	-	-	-	-	-

표 2 시험용 콘크리트 배합설계

설계압축강도 (MPa)	굵은골재 최대치수(mm)	슬럼프값 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	잔골재율(%)	단위량(kgf/m ³)			
						W	C	S	G
21	19	15	4.0	54.2	46.8	187	345	807	946

3.1 침투성능시험

3.1.1 침투깊이 측정

콘크리트 공시체($\phi 10 \times 20\text{cm}$)를 표면침투제 종류별로 1시간동안 일방향으로 침적시킨 후 이등분 할렬하여 콘크리트내부로 침투된 깊이를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 표면침투제 종류별 침투깊이는 그림 1과 같이 1~13mm인 것으로 측정되었으며 본 연구에서 개발된 침투제의 침투깊이는 12mm로서 상대적으로 깊은 것으로 나타났다. 반응속도를 측정한 결과 A, B, E의 경우 침투한 반응물질이 빠르게 반응하여 불투수층을 형성하므로 추가적인 침투제의 침투를 차단하는 것으로 나타났으며, 표면침투제 C, D, F는 반응성 물질이 서서히 반응하여 겔(gel)화 되어서므로 충분히 모세관 흡입력에 의해 콘크리트 내부로 침투되는 것을 확인하였다.

3.1.2 점도 및 표면장력 측정

점도시험은 KS M 3705의 단일원통 회전점도계를 이용하여 실시하였고, 표면장력은 링법에 기초를 둔 Du Nouy 장력계를 사용하였다. 그림 2에 나타난 바와 같이 침투성능에 영향을 미치는 인자인 표면장력과 점도가 낮은 알콜계 용매를 사용한 표면침투제의 침투성능이 좋은 것으로 관찰되었으며, 표면침투제의 반응속도 시험에서 알 수 있듯이 침투제의 반응속도 또한 침투깊이에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

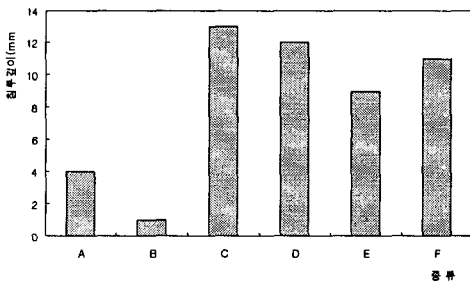


그림 1 침투깊이

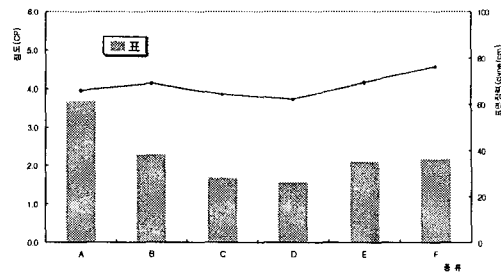


그림 2 표면장력 및 점도

3.2 흡수성능시험

표면침투제를 도포한 원형 공시체($\phi 10 \times 20\text{cm}$)를 일방향으로 물에 침수시킨 후 시간에 따른 흡수율을 검토하기 위하여 흡수전의 시편 무게를 측정하고, 흡수 후의 시편 무게를 일정시간마다 측정하였다. 시험결과 그림 3에서 나타난 바와 같이 표면침투제 D를 도포한 공시체의 흡수율은 무도포 공시체 흡수율P에 비해 최대 85% 흡수율이 감소한 것으로 나타났으며, 상대적으로 기타의 침투제에 비해서도 우수한 흡수저항성을 나타내었다.

3.3 수밀성능시험

3.3.1 투수성시험

독일 G사 제품인 GWT-4000kit 시험장치를 이용해서 직접가압투수시험을 실시하였으며, 시편은 $20 \times 20 \times 10\text{cm}$ 를 사용하였다. 투수시험결과 그림 4에서와 같이 개발된 침투제로 도포된 시편 D의 투수성이 가장 낮은 것으로 나타났으며 무도포 공시체 P보다 70% 정도 수밀성이 향상된 것으로 평가되었다.

3.3.2 투기성시험

투기성시험은 이중으로 흡입되는 내측 진공실의 기압 변화를 720초 동안 측정하는 것으로서 투기계수(K)는 Torrent가 제안한 이론적 모델에 의하여 계산된다. 시험결과 그림 5에서와 같이 개발된 침투제로 도포된 시편의 투기계수가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 모도포한 공시체보다 최고 44% 이상 투기계수가 감소한 것으로 평가되었다.

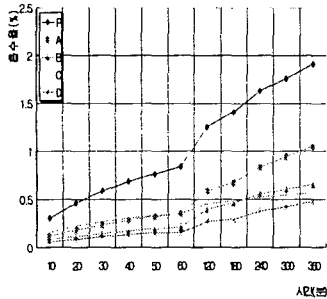


그림 3 흡수율 시험결과

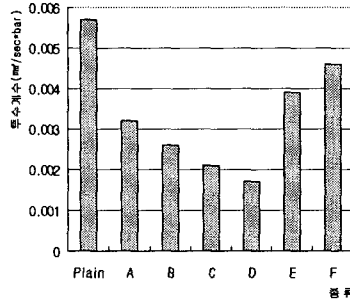


그림 4 투수성시험결과

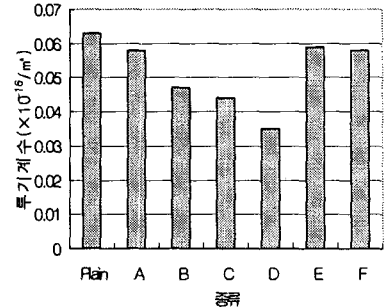
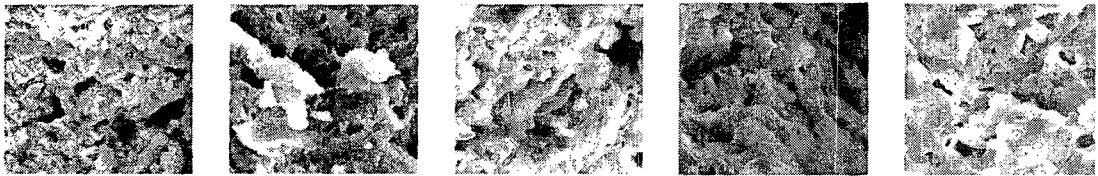


그림 5 투기성 시험결과

3.4 표면조직 관찰

각 시편에 대해 SEM 사진을 촬영(2000배)하여 콘크리트 조직을 분석하였다. SEM 분석결과 표면 침투제를 도포한 콘크리트 표층부에서 방수층을 형성하고 있는 것을 확인할 수 있었고 특히 표면침투제 D표면부에서 밀실한 방수층을 형성하고 있음을 관찰할 수 있었다.



(a) Plain

(b) 침투제 A

(c) 침투제 C

(d) 침투제 D

(e) 침투제 E

그림 6 SEM 분석결과

4. 결론

- 1) 본 연구에서는 콘크리트 표면에서 소수성 물질과 화학적 결합이 가능한 친수성의 물질을 포함하고 액상의 표면장력을 낮추는 계면활성제를 첨가하여 콘크리트 내부로 깊이 침투함으로써 외부로부터 수분침입을 방지할 수 있을 뿐 아니라 원활한 콘크리트의 호흡이 가능한 표면침투제를 개발하였다.
- 2) 주성분이 다른 다양한 표면침투제를 콘크리트 시편에 도포한 후 압축강도, 흡수율, 투수성 및 투기성 시험을 수행하였으며, 시험 결과의 분석을 통해 개발된 무기계 침투제가 콘크리트 표면의 수밀성과 방수성능을 크게 향상시킨다는 사실을 입증하였다.

참고문헌

- 1) Xi, Y., Member, ASCE and Bazant, Z.P., "Modeling Chloride Penetration in Saturated Concrete", ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 11, No. 1, pp. 58-65
- 2) Brinker, C.J. and Scherer, G.W., "Sol-gel Science", Academic Press, 1990.
- 3) Attia, Y.A., "Sol-gel Processing and Applications:Catims", Plenum Press, 1994.