

내구성 실험을 통한 최적 표면침투제의 선정

Selection of Concrete Surface Impregnant through Durability Tests

권 성 준*

박 상 순**

이 상 민***

김 종 우****

Kwon, Seung-Jun

Park, Sang-Sun

Lee, Sang-Min

Kim, Jong-Woo

Abstract

The repair technique utilizing surface impregnant is widely used due to its simple construction procedures and economical benefit. Surface protection through this repairing technique cannot increase the bearing capacity of concrete members much but increase the durability performance and service life efficiently. In this study, fundamental tests such as water suction and permeation are performed for concrete specimens with several organic/inorganic impregnant and suitable impregnant is selected on the basis of the results. Finally, durability tests such as carbonation, freezing and thawing, and chloride attack are carried out for the concrete specimens with selected impregnant and it is experimentally verified that they have good resistance to deteriorations.

요 지

표면침투제를 사용하여 콘크리트 표면을 경화시키는 보수공법은 간단한 시공방법 뿐 아니라 경제적인 방법으로 최근들어 많이 사용되고 있다. 이러한 표면보호공 또는 보수방법은 강도에 대해서는 크게 개선효과를 확보하기는 어렵지만, 공극을 치밀하게 형성함으로써 내구적인 저항을 개선하고 내수구멍을 연장할 수 있다. 본 연구에서는 다양한 유/무기계 표면침투제를 사용한 콘크리트 시편에 대하여 흡수성, 투수성과 같은 기초적인 실내실험을 수행하였으며, 이에따라 최적의 표면침투제를 선정하였다. 이후 선정된 표면침투제에 대하여 다양한 내구성 실험(탄산화, 동결융해, 염해저항성, 내화확성)이 수행되었으며, 선정된 2가지 표면침투제를 사용한 콘크리트 시편은 우수한 내구적 저항성을 가지고 있음을 실험적으로 규명하였다.

Keywords : Concrete, Impregnant, Repair, Durability performance

핵심 용어 : 콘크리트, 표면침투제, 보수, 내구성능

* 정희원, 비엔티 엔지니어링 차장, 공학박사

** 정희원, 한국전자재시험연구원 선임연구원

*** 정희원, 비엔티 엔지니어링 대표이사, 공학박사

**** 정희원, (주)유디코 대표이사, 상지대학교 건설시스템
공학과 박사과정

E-mail : parkss87@kicm.re.kr 019-255-7255

• 본 논문에 대한 토의를 2007년 12월 31일까지 학회로 보내
주시면 2008년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서론

콘크리트 구조물은 사용기간의 증가에 따라 내구적인 성능저하를 나타내게 되고 최종적으로 구조적인 성능저하에 이르게 된다. 표면침투제를 이용하여 콘크리트 표면의 열화인자를 차단하는 기술은 효과적으로 내구성을 개선할 수 있는 기법이며, 최근들어 많이 사용되고 있는 실정이다(Emmons, 1994; 유성원 외, 2004; 양은익 외 2006). 콘크리트는 성형성, 경제성 등 많은 장점을 가지고 있으나, 내부에 공극을 포함하고 있으며, 이러한 공극은 염화물 이온, 이산화탄소 이온 등 유해인자의 주된 통로가 되는 것으로 알려져 있다(CEB, 1989, 권성준 외, 2005; 박상순 외, 2001).

표면침투제 도포를 통한 구체강화공법은 콘크리트 내부에 침투된 실리케이트계 성분($Na_2O \cdot nSiO_2$)과 잔존하는 수산화 칼슘과의 반응을 통하여 추가적인 *CSH* 겔을 생성하고 이로인한 추가적인 체적변화를 통해 콘크리트 구조의 내구성을 향상시키는 기법이다. 만일 콘크리트 구조물이 일정한 외부노출조건을 가지고 있으며, 구조적인 변화를 요구하지 않는다면, 표면침투제를 사용한 보수공법은 매우 효과적인 방어기재로 사용할 수 있다. 그러나 이러한 표면침투제를 사용한 보수기법을 콘크리트 구조물에 적극적으로 적용하기 위해서는 기초실험을 통하여 최적의 침투제를 선별하고, 이후 내구적 성능 실험을 수행하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 다양한 무기계 또는 유.무기계 침투제를 사용한 콘크리트 시편에 대하여 실내실험을 수행하여, 최적의 표면침투제를 선별한 후, 내구성에 관련된 실험을 수행하였다. 표면침투제의 선별을 위한 실내실험으로는 압축강도, 침투깊이 평가, 점도 및 표면장력, 흡수율, 투수성 및 투기성을 평가하였으며, 실험 결과에 따라 표면침투제를 선정하였다. 이후 일반 콘크리트에 사용되는 배합(OPC 100%, W/C 54.2%) 및 혼화재료를 사용한 배합(FA 20%, W/B 45%)에 대하여 선정된 표면침투제를 적용한 뒤 내구성 관련 실험을 수행하였다. Fig. 1에서는 본 연구의 개요도를 나타내고 있다.

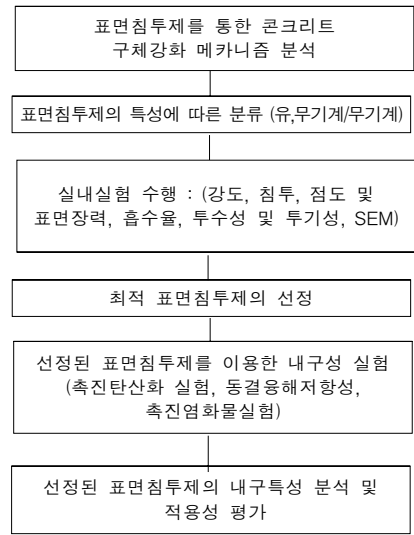
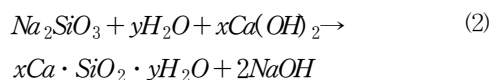
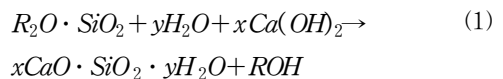


Fig. 1 본 연구의 개요도

2 실리케이트 침투를 통한 콘크리트의 성능개선

표면침투제의 기본 메카니즘은 공극 및 미세 균열에 침투된 실리케이트 성분이 콘크리트에 잔존하고 있는 수산화칼슘과 반응하여 불용성의 실리케이트겔(*CSH*)을 추가적으로 형성시키는 방식으로, 이러한 수화물의 생성은 미세공극을 충전하여 내구적 성능을 개선한다. 이러한 충전성의 효과는 기존의 수산화칼슘의 체적비(volume fractile)보다 실리케이트 겔의 체적비가 더욱 크기 때문에 침투깊이 및 생성되는 *CSH*양에 따라 공극과 미세균열이 충전되게 된다(Papadakis 외 1991). 식(1)에서는 유무기계 혼합형의 화학반응식을 나타내고 있으며, 식(2)에서는 무기계 침투제의 화학반응식을 나타내고 있다.



이와 같이 실리케이트를 콘크리트에 도포하면 콘크리트 조직이 치밀해져 결과적으로 투수성 감소, 경도

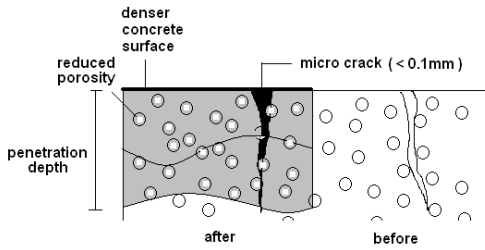


Fig. 2 표면침투제의 사용에 따른 내구적 성능개선

증진, 내구성이 향상되는데 Fig. 2에서는 침투에 따른 성능개선을 나타내고 있다.

3. 최적의 표면침투제 선정을 위한 기초 실험

3.1 실험의 개요

본 연구에서는 표면침투제가 사용된 콘크리트 시편에 대하여 기초실험을 수행하였다. 기초실험에서는 강도평가, 침투성능평가, 점도 및 표면장력평가, 흡수율평가, 투수성 및 투기성, SEM 분석을 통한 미세구조 분석 등을 포함하고 있다. Table 1에서는 대상 표면침투제의 성분 및 특성을 나타내고 있다.

3.2 표면침투제 적용후 압축강도 평가

압축강도평가에서는 28일 수중양생된 콘크리트 공시체(Φ10×20cm)를 표면침투제에 1시간 동안 침지시

Table 1 대상침투제의 성분 및 특징

종류	주 성분	색상	특성	용매
A	Potassium Silicate	무색	무기계	증류수
B	Silicate+Sodium Alginate +Solution olymer	연한 청색	유/무기계	증류수
C	Silane-siloxane	연한 초록색	무기계	알콜
D	Silicate	무색	무기계	알콜
E	Modified Sodium Silicate	하늘색	무기계	증류수
F	Silicate Type + Polymer dispersion	연한 초록색	유/무기계	증류수

Table 2 시험용 콘크리트 시편의 배합표

설계 압축강도 (MPa)	굵은골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	W/C (%)	단위량(kg/m ³)			
				W	C	S	G
21	20	15	54.2	187	345	807	946

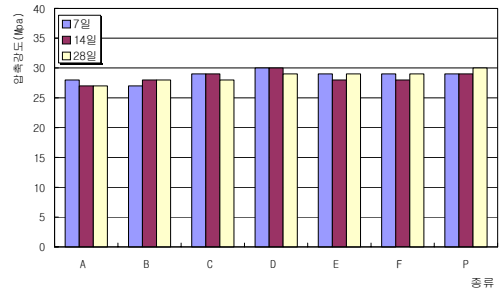


Fig. 3 표면침투제 적용후 재령에 따른 압축강도

킨 뒤, 5일간 자연건조 시켰으며, KS F 2405에 따라 압축강도평가를 수행하였다. 표면침투제 적용 후 압축강도 평가시점은 7일, 14일, 28일이며, Table 2에서는 시험용 콘크리트 시편의 배합표를, 실험결과는 Fig. 3에 나타내었다. 표면침투제는 표면의 경도 및 밀도증가에 따라 내구적인 저항성을 개선하는 것이 목적이므로, 적용하지 않은 콘크리트 시편(P)과의 압축강도 비교 결과, 큰 강도증가를 기대할 수 없었다.

3.3 침투성능평가

침투깊이가 증가할수록, 콘크리트 구체 강화층이 깊게 형성되므로 침투깊이의 평가는 매우 중요하다. 본 실험에서는 콘크리트 시편의 측면은 에폭시수지로 코팅하였으며, 모세관 흡입력에 의한 침투성능을 평가하였다. 표면침투제의 반응물질의 크기는 나노입자의 크기를 가지고 있으므로 모세관 흡입에 따라 반응성물질 및 활성화물질이 콘크리트 내부로 흡수된다.

한편 침투와 동시에 저투수층이 형성되므로 반응속도가 너무 빠르게 될 경우, 모세관 침투속도가 늦어지게 된다. 각각의 침투제와 잘게 부순 콘크리트와의 반응속도를 관찰한 결과, A, B에서는 1/6시간, 1/12시간 경과후 겔(gel)화 되었으며, C, D에서는 6시간 및 24시간, E와 F에서는 1/3시간 및 2시간이 경과함을

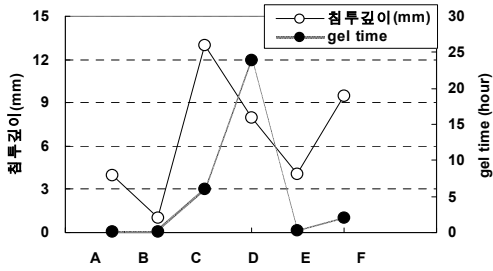


Fig. 4 침투제에 따른 침투깊이 및 겔타임(이용준, 2003)

확인하였다. 즉 실리케이트와 콘크리트와의 반응속도 지연에 따라 침투깊이가 개선됨을 알 수 있다. Fig. 4에서는 침투깊이 및 겔타임의 변화를 침투제의 종류에 따라 도시하였다.

3.4 점도 및 표면장력 평가

점도와 표면장력은 침투메카니즘에서 매우 중요한 역할을 하며, 낮을수록 침투가 용이하다. 본 실험에서는, 점도평가에서는 KS M 3705의 단일원통 회전점도계를, 표면장력은 링법을 이용한 Du Nouy 장력계를 사용하였다. Fig. 5에서는 점도 및 표면장력의 실험결과를 나타내고 있다.

물의 점도인 1.2cp보다는 침투제가 3~4배정도 큰 값을 보이고 있으며, 표면장력은 물의 표면장력인 75dyne/cm에 비하여 35~80% 수준을 보이고 있었다. C와 D 침투제의 경우, 점도 및 표면장력이 동시에 우수하게 평가됨을 알 수 있다.

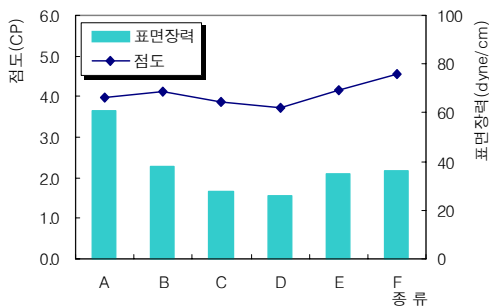


Fig. 5 침투제 종류에 따른 표면장력 및 점도

3.5 흡수율 시험

표면침투제를 도포한 공시체(10×20cm)를 일방향으로 물에 침지시킨 뒤 흡수율을 평가하였다. 흡수전후에 따른 중량비를 식(3)을 이용하여 평가하였으며, 각 시간마다의 흡수율을 평가하였다.

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

여기서, A는 흡수율(%), W_1 는 흡수전 시편무게(g), W_2 는 흡수후 시편무게(g)를 나타낸다.

실험결과 A~D를 도포한 공시체의 중량변화율을 각각 55%, 34%, 29%, 25% 수준으로 흡수율이 감소하였는데, 표면의 공극이 치밀하게 형성되고 소수성으로 변화하여 수분의 유입에 저항하기 때문이다. 한편 E 및 F에서는 도포하지 않은 공시체와 큰 차이를 발견하지 못하였다. Fig. 6에서는 침지시간에 따른 침투제를 사용한 콘크리트 시편의 흡수율을 나타내고 있으며, B,C,D 침투제가 우수한 흡수저항성을 가지고 있음을 알 수 있다.

3.6 투수성 및 투기성 평가

콘크리트의 투수성 및 투기성은 다공질매체의 특성으로서 확산성과도 직접적으로 연계되어 있으므로 열화저항에 대한 지표로 사용될 수 있는데(CEB, 1989; Bungey and Millard, 1996), 본 연구에서

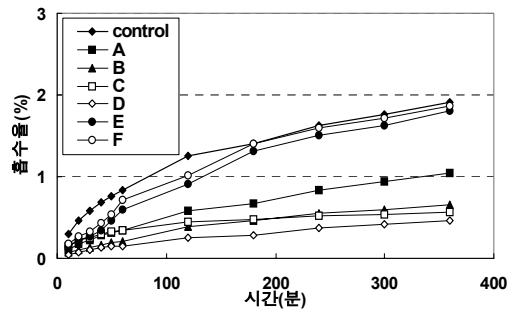


Fig. 6 침지시간에 따른 흡수율의 변화



(a) 직접가압투수시험기 (b) 투기성 시험장비
Fig. 7 투수 및 투기 시험장비

는 실험적 평가를 수행하여 표면침투제 적용 전후의 투수성 및 투기성에 대한 개선효과를 분석하도록 한다. Fig. 7에서는 본 실험에서 사용한 투수장비 및 투기장비를 나타내고 있다.

1) 투수성 평가

직접가압 투수실험을 수행하였으며, 독일 G사의 GWT-400kit 시험장비에 의한 방법으로 투수실험을 수행하였다. 시편은 20×20×10cm의 직육면체 콘크리트 공시체를 사용하였으며, 투수계수는 식(4)과 같이 도출할 수 있다.

$$C_{\phi} = \frac{q}{P/L} \quad (4)$$

여기서, C_{ϕ} 는 투수계수(mm²/sec Bar), q 는 유속(mm/sec), bw 는 기압, L 는 개스킷의 두께(15mm)를 나타낸다. 실험결과, A~D의 침투제가 우수한 투수저항성을 나타내었으며, D 침투제의 경우 최대 30% 수준으로 투수성이 감소하였다. Fig. 8에서는 표면침투제 적용에 따른 투수계수의 변화를 나타내고 있다.

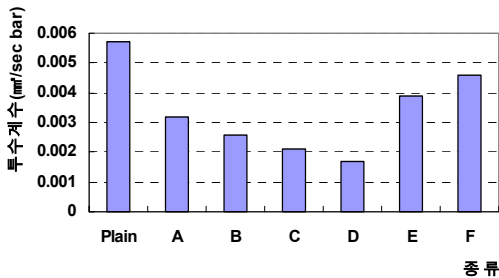


Fig. 8 침투제에 따른 투수계수의 변화

2) 투기성 평가

일반적으로 투수성과 투기성은 같은 경향을 가지고 있으나, 표면침투제를 적용할 경우, 투기성을 확보하는 것이 바람직하다.

그 이유는 투기성을 확보하지 못하는 경우, 내부에서 발생한 수증기가 외부로 증발하면서 표면침투제 적용층과 모재 콘크리트 사이에 변형 또는 들뜸이 발생하기 때문이다. 이러한 현상은 유기계 코팅(에폭시 수지)작업에서 많이 발생하는 현상이며, 시공이후 시간의 경과에 따라 성능저하가 발생하는 주된 원인이 되고 있다.

투기성 시험은 20×20×10cm의 직육면체 콘크리트 공시체를 이용하여 실시하였는데, 내측 진공실의 기압변화를 720초 동안 측정함으로써 콘크리트의 투기성을 평가하는 것이다. 투기계수는 식(5)에 의해서 평가하며, 그 결과는 Fig. 9와 같이 나타내었다.

$$K = 4 \left(\frac{V_c (dP_l/dt)^2}{A(P_a^2 - P_l^2)} \right) \frac{\mu P_a}{\epsilon} \int_{t_0}^t \left[1 - \left(\frac{P_l}{P_a} \right)^2 \right] dt \quad (5)$$

여기서, K 는 투기계수(m²), ϵ 은 콘크리트의 공극(m³), dP_l/dt 는 시간에 따른 압력구배(Nm⁻² s⁻¹), A 는 내부 챔버와의 접촉면적(m²), μ 는 기체의 동점도(Nsm⁻²), P_l 는 내부챔버의 압력(Nm⁻² s⁻¹), V_c 는 챔버 내부용량(m³), P_a 는 대기압(Nm⁻²)을 나타낸다.

표면침투제를 적용하지 않은 시편에 비하여 A, B, C, D, E, F는 각각 8%, 25%, 30%, 44%, 6%, 8%의 투기계수 감소를 나타내고 있음을 알 수 있다.

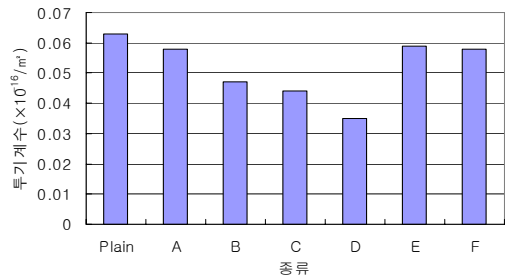


Fig. 9 침투제의 종류에 따른 투기계수의 변화

3.7 SEM 분석에 따른 표면조직의 관찰

각 시편에 표면침투제를 도포하여 14일간 기중양생 시킨 뒤에 공시체 표면부에서 채취한 시료를 이용하여, SEM 분석($\times 2000$ 배)을 수행하였다. SEM을 통한 표면조직의 관찰에서는 수산화칼슘이 CSH겔로 변화하면서 판상형의 수화물이 관찰되며, 이로인한 내부 조직이 치밀해지는 것이 일반적이다.

모든 시편들은 표면침투제를 적용하지 않은 시편에 비하여 밀실해지고 있음을 확인하였으며 주요 분석결과를 Fig. 10(a)~(d)에 나타내었다.

3.8 최적의 침투제 선정

본 절에서는 기초물성평가에서 도출된 결과를 이용하여 최적의 표면침투제를 선정하도록 한다. 선정방법은 최대로 성능이 개선된 값을 100%로 하였으며 각 침투제의 성능을 %로 치환하여 산정하도록 한다. 등수에 따른 일정한 가중치를 도입할 경우, 비슷한 개선 효과를 보임에도 불구하고 성능이 낮게 평가될 수 있기 때문이다. 평가대상은 성능으로 규정할 수 있는 흡수율, 투수성, 투기성으로 정하였으며, 강도 특성은 큰 성능개선효과가 없었으므로 제외하였다. Table 3에서는 표면침투제 선정과정 및 결과를 나타내고 있다.

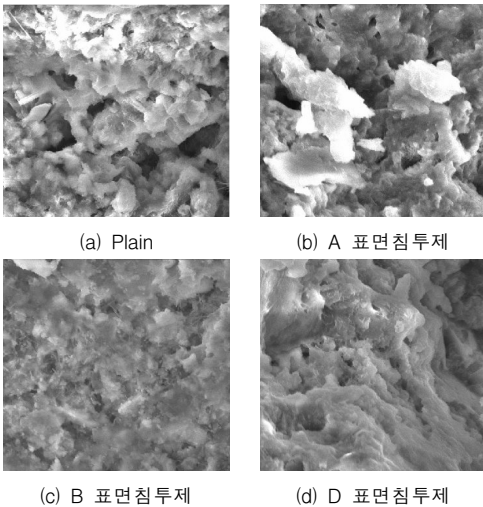


Fig. 10 표면침투제 사용에 따른 조직의 변화

Table 3 최적의 침투제 선정결과

종류	특성	흡수율	투수성	투기성	누계
A	무기계	44.8	53.1	98.3	196.2
B	유/무기계	72.3	65.4	79.7	217.4
C	무기계	83.9	81.0	74.6	239.5
D	무기계	100.0	100.0	59.3	259.3
E	무기계	26.1	43.6	100.0	169.7
F	유/무기계	25.1	37.0	98.3	160.4

이상의 결과에서 무기계에서는 D type의 침투제가 선정되었으며, 유/무기계에서는 B type의 침투제가 선정되었다.

4. 선정된 표면침투제에 대한 내구적 저항성 평가

본 장에서는 기초물성실험을 통하여 최종적으로 선정된 B-Type(유/무기계) 및 D-Type(무기계) 표면침투제의 내구적 저항성을 평가하였다. 일반적으로 표면침투제가 사용될 수 있는 콘크리트 구조체의 노출환경인 탄산화, 동결융해, 염해(침투깊이 및 확산계수)에 대한 실험을 수행하였다.

Table 4에서는 사용되는 콘크리트 시편의 배합표를 나타내고 있는데, A배합의 설계강도는 21MPa였으며, B배합의 설계강도는 34MPa이다.

4.1 촉진 탄산화 실험

본 장에서는 A, B 배합에 선정된 표면침투제를 도포하고 촉진탄산화 실험을 수행하여 탄산화에 대한 저항성을 평가하였다.

Table 4 콘크리트 시편의 배합표

Type	W/C (%)	잔골재율 (%)	단위량(kg/m ³)				
			W	C	S	G	FA
A	54.2	46.8	187	345	807	946	-
B	45	44	169.1	304.9	739	1012	76

* 굵은골재 최대치수 (A : 20mm, B : 25mm)

* 슬럼프 (A : 15cm, B : 10cm)

Table 5 촉진탄산화 실험사양

온도 (°C)	습도 (%)	이산화탄소 농도 (%)	비고
20	65	5	1주 측정간격

Table 6 촉진탄산화 실험 결과

분류	A 배합		B 배합	
	탄산화 속도계수 (mm/week0.5)	R ²	탄산화 속도계수 (mm/week0.5)	R ²
plain	2.200	0.8294	1.1342	0.8780
유/무기계	1.354	0.7319	0.9391	0.7718
무기계	1.137	0.7000	0.7079	0.9067

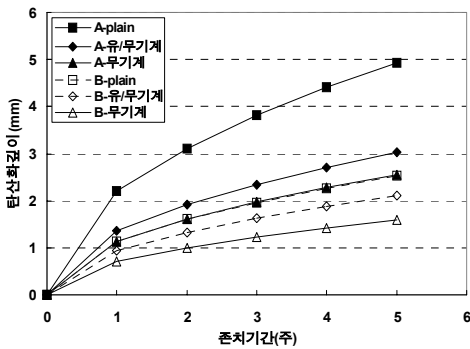


Fig. 11 표면침투제 사용에 따른 탄산화 깊이의 변화

각 시편은 28일 수중양생을 거친 뒤 표면건조 상태에서 침투제를 도포하였으며, 탄산화 실험시의 습도 65%를 만족하기 위하여 2주 경과된 실험을 수행하였다. Table 5에서는 촉진탄산화 실험사양을 나타내고 있으며 Table 6에서는 탄산화 실험결과를 \sqrt{T} 에 의해서 회귀분석한 결과를 나타내고 있다. 한편 시간에 따른 탄산화 깊이는 Fig. 11에 나타내었다.

일반적으로 혼화재료를 사용한 콘크리트의 경우, 포졸란 반응에 따라 내부의 수산화칼슘이 감소하여, 탄산화 깊이가 증가한다고 보고되고 있다(和泉 등, 1986). 그러나 최근들어 혼화재료를 사용한 콘크리트가 낮은 이산화탄소 농도에 장기간 노출될 경우, 이산화탄소의 확산이 감소하여, 충분한 탄산화 저항성을 가지고 있다고 알려져 있다(Ishida and Maekawa, 2001; Ishida et al., 2004).

본 실험결과에서 알 수 있듯이 표면침투제를 사용한 콘크리트는 침투제의 콘크리트에 비하여 유/무기계 침투제인 경우는 61~83% 수준으로 감소하였으며, 무기계 침투제인 경우는 51~62% 수준으로 감소하였다. 탄산화 깊이의 감소는 침투제를 통하여 추가적으로 생성된 수화물이 공극을 충전시키고 이에따라 이산화탄소의 확산이 감소한 것으로 평가된다.

4.2 동결융해 저항성 평가

동결융해평가에서는 Table 7과 같이 KS F2456 (급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항시험방법)중 기중동결 수중융해방법을 사용하여 동결융해 저항성을 평가하였다. 평가방법은 상대동탄성계수의 변화 및 질량감소율을 측정하였는데, 식(6)에서는 상대동탄성 계수를, 식(7)에서는 내구성지수를 나타내고 있다.

Table 7 동결융해 시험방법

최저온도	최고온도	융해에 필요한 시간 (1사이클의 공정)	1사이클의 소요시간
-18±2°C	4±2°C	20%이상	3~4시간

$$\text{상대동탄성계수 } P_t = \left(\frac{n_1^2}{n^2} \right) \times 100 \quad (6)$$

$$\text{내구성지수 } DF = \frac{PN}{M} \times 100 \quad (7)$$

여기서, P_t 는 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성 계수(%), n 은 동결융해 C사이클에서의 변형진동의 1차 공명진동수, n_1 은 동결융해 C사이클후의 변형진동의 1차 공명 진동수, DF 는 내구성 지수, P 는 N 사이클에서의 강대 동탄성계수, N 은 상대동탄성 계수가 60%되는 사이클 또는 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 사이클 수, M 은 동결융해에의 노출이 끝날 때의 사이클 수를 나타낸다. 표면침투제 도포 전후의 동결융해 실험결과에 대하여 중량감소율을 Fig. 12에, 동탄성계수비의 변화는 Fig. 13에 나타내었다. 실험 결과 표면침투제를 적용한 콘크리트 시편은 동결융해에 대한 저항성을 동등이상으로 개선시키고 있음을 알 수 있다.

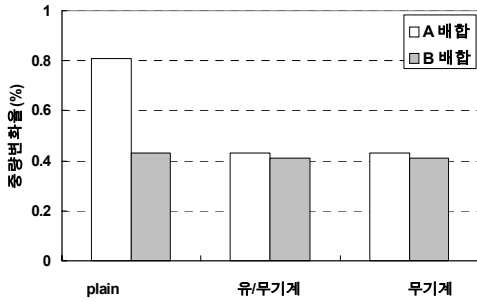


Fig. 12 침투제 도포 전후의 중량변화율(동결융해)

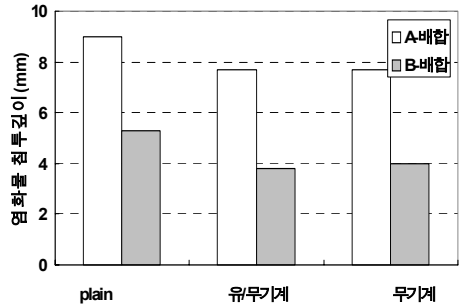


Fig. 14 침투 전후의 염화물 침투깊이의 변화

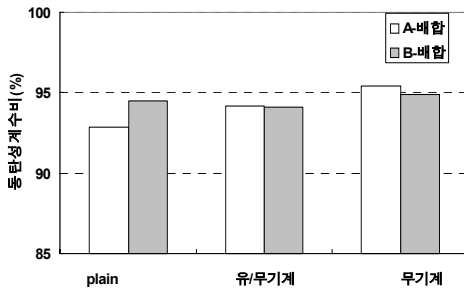


Fig. 13 침투제 도포 전후의 동탄성계수비 (동결융해)

B 배합 콘크리트 시편에 유/무기계 침투제를 사용한 경우, 약간 동탄성계수가 증가하고 있는데 이는 침투제를 도포하지 않은 콘크리트와 큰 차이는 없었다. 한편 실험이 끝난 뒤 육안관찰결과, 균열은 발생하지 않았으며, 약간의 스케일링이 발생하였다. A배합(OPC 100%)를 사용한 콘크리트에 비하여 B배합(FA 20%)을 사용한 콘크리트에서 뚜렷한 개선효과를 볼 수 없었다.

4.3 염해저항성 평가

표면침투제의 적용 전후의 콘크리트 시편에 대하여, 염화물 침투실험을 통한 염화물 침투깊이의 변화와 확산계수의 변화를 분석하였다.

1) 자연해수침지에 따른 침투깊이 평가

침투실험의 경우, 각 콘크리트 시편에 대하여 3개월

간 자연해수에 10×10cm(실린더) 시편을 침지시킨 뒤, 깊이방향으로의 염화물 침투깊이를 평가하였으며 시약은 질산은용액(0.1N)을 사용하였다. 1차원 유입을 위하여 윗면을 제외한 측면과 밑면은 에폭시로 코팅하였다. 실험결과 침투깊이는 표면침투제를 사용한 경우, 모두 85%수준으로 감소하여 염화물 침투에 저항성을 가지고 있음을 알 수 있다. 표면의 확산계수 감소와 염화물 고착화 증가에 따른 이온의 침투량 감소가 주원인이라고 할 수 있다. Fig. 14에서는 장기 침지(3개월)후 염화물 침투깊이의 실험결과를 나타내고 있다.

2) 촉진실험에 의한 확산계수 평가

촉진실험에 의한 확산계수 평가는 기존의 이론식에(Tang and Nilsson, 1992) 따랐으며, 식(8) 및 식(9)에 따라서 도출된다. Table 8에서는 실험사양을 나타내고 있으며, 실험결과를 Fig. 15에 나타내었다.

$$D_{cpd} = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (8)$$

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \text{erf}^{-1} \left[1 - \frac{2C_d}{C_o} \right] \quad (9)$$

여기서, D_{cpd} 는 비정상 상태에서 구한 전위차 촉진 염소이온 확산계수(m^2/sec), R 은 기체 상수(8.314J/mol·K), T 절대 온도(K), L 은 시편 두께(m), z 는 이온 전자가, F 는 패러데이 상수(96,500J/V·mol),

Table 8 촉진 염화물 실험 사양

온도	20±2℃
전압	30V
전극	stainless steel plate
지름/두께 (m)	0.1/0.05
Anode	Lime water
Cathode	NaCl 3%
지속시간	8시간

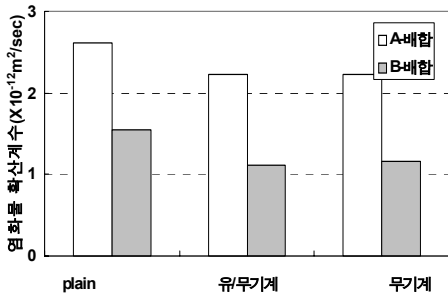
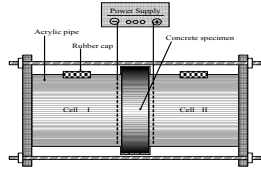


Fig. 15 촉진실험을 통한 염화물 확산계수의 평가

U 는 전위차(V), x_d 는 비색법에 의한 침투 깊이 (m), t 는 전위차의 적용 시간(sec), C_0 는 음극셀의 염소이온 농도(mol/l), C_d 는 비색법에 의한 반응 농도(mol/l), a 는 실험 상수 ($T=295K$, $U=30V$, $L=0.05m$ 이면, $a = 23,600m^{-1}$), erf^{-1} 는 오차 함수의 역함수를 나타낸다.

실험결과, 침투후의 염화물 확산계수는 A배합의 경우, 85% 수준으로 감소하였으며, B배합의 경우, 72%(유/무기계 침투제) 및 75%(무기계 침투제) 수준으로 감소하였다. 염해에 대한 저항성에서는 유/무기계 침투제를 사용한 경우가 무기계 침투제를 사용한 경우에 비하여 약간 우수한 저항성능을 보이고 있었다.

5. 결론

내구성 실험을 통한 최적 표면침투제의 선정을 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 6가지의 무기계 또는 유/무기계 침투제를 이용하여 기초물성평가를 수행하였으며, 투수성, 투기성, 흡수성능 평가를 통하여 최적의 침투제를 선정하였다. 최적의 침투제로 선정된 침투제의 경우, 강도 증가효과는 크지 않았으나 흡수율에서는 25~34% 수준으로, 투수성에서는 30~45% 수준으로 감소하여 성능의 우수성을 확인할 수 있었다.
- 2) 선정된 표면침투제에 대하여 내구적 저항성능을 평가한 결과, 탄산화 깊이는 유/무기계 침투제인 경우 61~83% 수준으로, 무기계 침투제인 경우는 51~62% 수준으로 감소하였다. 한편 염화물 침투깊이 평가에서는 선정된 침투제 모두 15% 정도의 침투깊이 감소를 확인할 수 있었으며, 염화물 확산계수에서도 일정수준의 감소(72%-유/무기계 침투제, 75%-무기계 침투제)를 실험적으로 평가하였다. 염해에 대해서는 유/무기계 침투제가 무기계 침투제 보다 약간 우수한 저항성능을 보이고 있었다.
- 3) 선정된 침투제의 시공성, 품질관리기법, 적용제한 사항 등이 제시된다면 표면침투제를 사용한 콘크리트 보수공법은 콘크리트 시설물에 대한 보수시스템 및 내구수명 연장기법으로 적극적으로 활용할 수 있을 것으로 평가된다.

참고문헌

1. 권성준, 송하원, 박찬규, 변근주, "공극구조를 고려한 탄산화된 콘크리트의 투수 특성에 대한 연구", 대한토목학회 논문집, Vol. 25 No. 3A, 2005, pp. 577-583.
2. 박상순, 송하원, 변근주, "균열을 갖는 콘크리트의 염화물 확산 및 투수모델", 대한토목학회 논문집 Vol. 21, No. 6-A, 2001, pp. 915-924.
3. 양은익, 김명유, 노병철, 김정훈, "표면침투제에 따른 콘크리트의 염화물 침투와 동결융해 저항성에 대한 평가", 콘크리트 학회 논문집, 제18권, 1호, 2006, pp. 65-72.
4. 유성원, 서정인, 하헌재, 이상근, 이상근, "고성능 표면침투제가 도포된 콘크리트의 물리 특성, 한국콘크리트 학회 가을학술논문집", 16권, 2호, 2004, pp. 233-236.

-
5. 이용준. "표면침투제를 적용한 기존 콘크리트의 내구성 향상", 상지대학교 석사학위논문, 2003, 12.
 6. 和泉意登志, 喜多達夫, 前田熙信, 中性化, 技報堂出版, 1986.
 7. Bungey, J.H. and Millard, S.G., *Testing of Concrete in Structure*, Blackie Academic & Professional, 1996.
 8. CEB, General Task Group 20, *Durable concrete structure-Design Code*, CEB, Thomas Telford, 1989.
 9. Emmons, P.H., *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*, R.S. Means Company, 1994.
 10. Ishida, T. and Maekawa, K., "Modeling of PH Profile in Pore Water Based on Mass Transport and Chemical Equilibrium Theory", *Concrete Library of JSCE*, No. 37, June, 2001, pp. 151-166.
 11. Papadakis, V.G., Vayenas, C.G., and Fardis, M.N., "Fundamental Modeling and Experimental Investigation of Concrete Carbonation," *ACI Materials Journal*, V. 88, No 4, 1991, pp. 363-373.
 12. Ishida, T., Soltani, M., and Maekawa, K., "Influential Parameters on the Theoretical Prediction of Concrete Carbonation Process", *Proceedings 4th International Conference on Concrete Under Severe Conditions*, Seoul, Korea 2004, pp. 205-212.
 13. Tang, L. and Nilsson, L.O., "Rapid Estimation of Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field", *ACI Material Journal*, Jan-Feb., 1992, pp. 49-53.
- (접수일자 : 2006년 6월 19일)