

# 표면침투제를 이용한 콘크리트의 내구성 향상에 대한 연구

## A Study on Durability Improvement for Concrete Structures Using Surface Impregnant

권성준\*      박상순\*\*      이상민\*\*\*      김정훈\*\*\*\*  
Kwon, Seung-Jun      Park, Sang-Sun      Lee, Sang-Min      Kim, Jeong-Hoon

### Abstract

Concrete structures undergo degradation of durability performance and it generally propagates to the structural problems. Recently, a lot of materials for surface protection for concrete are developed, however, performance is not clearly improved due to the difficulties such as repair construction technique and quality of materials for repairing. In this study, liquid inorganic impregnant for concrete structures is developed and durability performance for impregnated concrete specimens is carried out. Furthermore, the performances of the concrete specimens with developed impregnant is also compared with those of the specimens with impregnant conventionally used. Additional CSH gel is formed through the reaction of calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) and impregnant with silicate. As a result of the reaction, impregnated concrete is evaluated to have more denser surface and resistance to deterioration. Finally it is experimentally verified that the concrete specimens with developed impregnant show better durability performance than normal specimens and those with conventional impregnant.

### 요 지

콘크리트 구조물은 사용기간의 증가에 따라 내구적인 성능저하를 보이게 되며, 이러한 성능저하는 구조적인 성능저하로 진전되어 최종적으로는 안전상의 문제가 된다. 최근에 많은 표면보수 공법이 제시되고 있으나, 보수시공기술 또는 재료자체의 결함으로 뚜렷한 보수성능을 확보하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 콘크리트 구조물의 표면보수를 위하여 액상 무기계 침투제를 개발하였으며, 침투된 콘크리트 시편을 대상으로 내구성능에 대한 실험을 수행하였다. 또한 기존에 개발된 침투제를 적용한 콘크리트 시편과 내구성에 대하여 비교를 수행하였다. 침투된 콘크리트 표면에서는 잔존하는 수산화칼슘과 침투된 실리케이트와의 반응에 따라 추가적인 CSH겔이 형성되었으며, 이에따라, 소수성을 가진 저공극층이 콘크리트 표면에 형성됨을 확인하였다. 최종적으로 개발된 액상형 침투제를 이용한 콘크리트 시편은 내구적인 성능에서 침투전의 시편 및 기존에 사용된 침투제를 적용한 시편에 비해, 우수한 내구적 특성을 가지고 있음을 확인하였다.

**Keywords :** Concrete, Impregnant, Repair, Durability performance

**핵심 용어 :** 콘크리트, 침투제, 보수, 내구성능

\* 정희원, 비엔티 엔지니어링 차장, 공학박사

\*\* 정희원, 비엔티 엔지니어링 부장, 공학박사

\*\*\* 정희원, 비엔티 엔지니어링 대표이사, 공학박사

\*\*\*\* 정희원, (주)에이티맥스 대표이사, 금오공대 박사과정

E-mail : jjuni@cmme.yonsei.ac.kr 031-448-8012

• 본 논문에 대한 토의를 2007년 8월 31일까지 학회로 보내주시면 2007년 11월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서론

최근들어 콘크리트의 내구적 또는 구조적인 문제점을 극복하기 위하여, 많은 보수기법들이 개발되고 있다. 특히 표면 침투를 통한 보수재료는 콘크리트 표면에 직접 부착 또는 고정됨으로서 열화인자의 직접적인 유입을 차단하며, 적절한 시공성이 확보된다면 열화인자에 대하여 효과적인 내구성 확보방안으로 사용될 수 있다(CEB, 1999; Emmons, 1994). 그러나 콘크리트는 강재와 달리 투수성능 및 투기성능을 가지고 있으며, 내부와 외부의 습도차로 발생하는 수분의 영향으로 인해, 표면보호재의 들뜸과 같은 시공불량현상을 보이기도 한다(Emmons, 1994). 콘크리트 표면의 공극은 균열과 함께 유해인자의 주된 침투경로가 되며, 공극률의 감소를 통하여 많은 내구적인 문제점이 개선된다. 혼화재료의 혼입을 통한 염화물 침투 저항성의 개선(송하원 등, 2003; 2005), 매립된 철근의 부식 제어(Songet al., 2005; 송하원 등, 2003) 등 많은 연구결과에서 공극률 감소에 따른 내구성능의 개선을 확인할 수 있다. 콘크리트의 제조시 혼화재료를 사용하거나 판집착 방식의 보수를 통한 내구성 평가에 대하여 많은 연구가(ACI, 1996) 꾸준히 진행되어 왔으며, 최근들어 침투제를 통한 콘크리트 표면의 성능 개선에 대한 연구 역시 활발하게 진행되고 있다(유성원 등, 2004).

본 연구에서는 무기계 액상형 콘크리트 침투제를 개발하여 그 적용성을 실험적으로 평가하였다. 이를 위해, 액상형 콘크리트 침투제를 사용한 콘크리트 시편에 대하여, 침투전후의 강도변화를 평가하였으며 투수성, 투기성, 염화물 침투성 등과 같은 내구성 시험을 수행하였다. 한편 기존의 침투제와의 성능비교를 수행하였으며, 최종적으로 개발된 침투제의 적용성 평가 및 제한사항도출을 수행하였다.

## 2 액상형 실리케이트 침투제의 개발 개요

### 2.1 개발된 표면침투제의 특징

기존의 표면침투제는 소수성 물질을 용매에 포함시

키는 형태로서, 수분 함량이 많은 콘크리트 표면에 브러쉬 또는 스프레이 방식으로 도포되면, 상호접착력이 약해지고 표면침투제가 침투되는 과정에서 용매가 증발되어, 침투가 저하되는 단점이 있다. 이러한 영향을 개선하기 위해, 콘크리트 표면에 소수성 물질과 화학적 결합이 가능한 친수성의 물질을 동시에 포함하고, 액상의 표면장력을 낮추는 계면활성제를 추가로 첨가하여, 침투성능을 확보하였다.

### 2.2 개발된 표면침투제의 구성

#### 1) 부분적으로 가수분해된 에틸실리케이트

친수성 물질인 에틸실리케이트(부분적으로 가수분해되어 조절된 에틸실리케이트 단량체)를 기본으로 사용한다. 에틸실리케이트( $Si(OC_2H_5)_4$ )는 물에 의하여 완전히 가수분해 되면, 콘크리트의 주성분이 실리카( $SiO_2$ )가 생성되지만, 본 침투제에서는 부분적으로 가수분해되어, 친수성기 $[(OC_2H_5)_{4-n}Si(OH)_n]$ 를 하나 이상 포함하게 된다.

특히 수산화칼슘은 부분적으로 가수분해된 에틸실리케이트와 반응하여, 칼슘유기계 실리케이트 염을 형성하게 되고, 이때 형성된 칼슘실리케이트 염은 콘크리트 페이스트 구조안으로 유입되어 미세공극을 충전하게 된다.

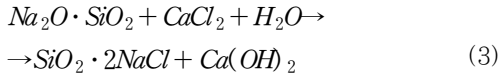
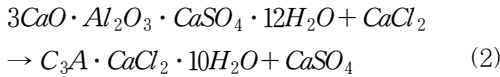
#### 2) 소수성 실리콘 화합물의 선택

본 연구에서 개발된 침투제에서는 실리콘 화합물(소수성인 실란, 올리고머 실록산, 저분자량의 폴리실록산)을 필요로 한다. 실리콘 화합물은 부분적으로 가수분해된 에틸실리케이트와의 칼슘실리케이트 염의 생성을 일부 억제하고 콘크리트 표면상에서 에틸실리케이트와 반응하여 소수성을 제공한다.

따라서 표면상에서 형성된 소수성은 콘크리트 내부로 수분의 침투를 억제하는 반면, 표면침투제가 모세공극 및 계면사이에 미세균열 속으로 깊이 침투하도록 한다. 올리고머 실록산을 사용했을 경우의 분자식은 Fig. 1(a)에 나타냈으며, 저분자량의 폴리실록산을 사용했을 경우는 Fig. 1(b)에 나타내었다.



로 자유염화물과 고정염화물로 분류할 수 있다. 철근부식에 직접적으로 관여하는 자유염화물 이온과는 다르게 고정염화물(일반적으로 프리텔염,  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ )은 외부로부터 화학적인 침식 또는 탄산화와 같은 특수한 환경을 제외하면 화학적으로 안정적인 형태를 가지고 있다. 식(2)에서는 염화물을 포함하고 있는 가용성의 염화칼슘과 monosulfate와의 반응을 통하여 프리텔염을 형성하여 염화물의 고정화를 나타내고 있다. 식(2)와 마찬가지로 실리케이트가 콘크리트 내부로 침투하게 되면 가용성염을 식(3)과 같이 불용성의 규산염겔 ( $SiO_2 \cdot 2NaCl$ )로 변화시킴으로서 염화물의 고정화를 수행할 수 있다.



한편 기존의 이론에 의하면(송하원 등, 2003; 2005), 콘크리트 내 공극수에 용해되어 있는 염화물 이온은 CSH겔에 흡착하여 고정염화물로 변화하는데, 물시멘트비에 관계없이 생성되는 CSH양에 관계하게 되므로, 추가적으로 생성되는 콘크리트 표면의 CSH양의 증가는 염화물 확산성의 감소 뿐 아니라 고정염화물의 증가를 통하여 자유염화물의 감소를 유도한다고 할 수 있다.

#### 4. 침투제가 적용된 콘크리트의 내구성능 평가

##### 4.1 실험의 개요

본 연구에서는 표면침투제를 적용한 콘크리트 시편에 대하여 압축강도, 침투깊이, 투수성 및 투기성, 세공구조특성, 흡수율, 염화물 침투, 탄산화 등이 평가되었다. 또한 기존에 개발된 표면침투제에 대하여 동일

Table 1 실험에 사용된 콘크리트 시편의 배합

강도 (MPa)	슬럼프	W/C	S/a	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )
24	15	46.8	43.7	178	380	751	976
30		33.6	45.7		530	649	954

Table 2 액상형 침투제의 성분 및 특징

표면침투제 종류		주성분	색상	점도 (cp)	표면장력 (dyne/cm)	용매
개발	무기계	Silicate	무색	3.72	26	알콜
기존	유·무기계	Silicate + Sodium + Polymer	하늘색	4.13	38	물

한 실험을 수행함으로써, 개발된 침투제의 성능을 비교하였다. Table 1에서는 사용된 콘크리트 시편의 배합표를 나타내고 있으며 Table 2에서는 개발된 액상형 침투제 및 비교대상 침투제의 성분 및 특징을 나타내고 있다. 한편 도포방법은 Mock-test 결과, 롤러에 의한 방법보다 고압 스프레이식이 더욱 침투가 잘되었으므로 스프레이 도포에 의한 시공을 선정하였다.

##### 4.2 기초물성실험 (강도실험)

Table 3 및 Fig. 3에서는 경화가 거의 종료될 수 준인 81일 경과후, 표면에 침투제를 도포하고 14일 재령에서 압축강도를 나타낸 것이다. 기존 침투제와의 성능비교를 같이 나타내었으며, KS F 2405에 준하여 200tonf의 UTM을 사용하여 실험을 수행하였다. 표면침투제를 적용한 콘크리트 시편의 경우 압축강도는 24MPa 시편에 대해서는 21.2%, 30MPa 시편에 대해서는 16.1%의 강도증가를 나타내고 있었다. 침투제를 적용할 경우 콘크리트 모재에 강도면에서의 성능저하는 발생하지 않을 것으로 예상된다.

Table 3 침투전후의 강도실험결과 (MPa)

침투전	24MPa 시편		30MPa 시편		
	기존 침투제	개발 침투제	침투전	기존 침투제	개발 침투제
25.0	28.1	30.3	29.8	34	34.6

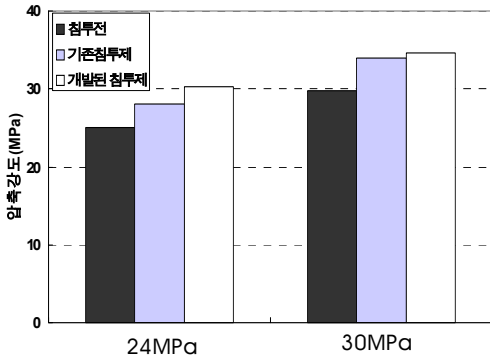


Fig. 3 침투전후의 강도변화

### 4.3 침투성능 평가

침투깊이를 최대한 확보하는 일은 열화에 대한 표면 보호층을 확보하는 것과 같으므로 침투성능은 매우 중요하다고 할 수 있다. 표면침투제의 반응물질의 크기는 나노크기의 입자로 구성되어 있으므로 일반적인 범위의 콘크리트 모세관 공극보다 작은 지름을 가지고 있으며, 이러한 모세관 흡입력(capillary suction)에 의해 침투가 진행된다. 반응이 너무 빠를 경우, 표면에 겔형태의 막을 형성하여 침투가 늦어지는 경향을 보이게 된다. Table 4 및 Fig. 4에서는 콘크리트 강도에 따른 침투깊이의 변화를 나타내고 있는데, 강도가 높은 콘크리트(30MPa)의 경우, 침투깊이가 상대적으로 낮게 평가되었다. 24MPa 콘크리트 시편에 비하여 30MPa 콘크리트 시편의 경우, 공극률이 작고, 조직이 치밀하므로 이에 따라 침투가 작게 진행된 것으로 예상된다.

### 4.4 투수성 및 투기성 평가

콘크리트의 투수성 및 투기성은 다공질매체의 특성

Table 4 강도에 따른 침투깊이의 변화 (mm)

24MPa 시편		30MPa 시편	
기존 침투제	개발 침투제	기존 침투제	개발 침투제
14	12	3	2.5

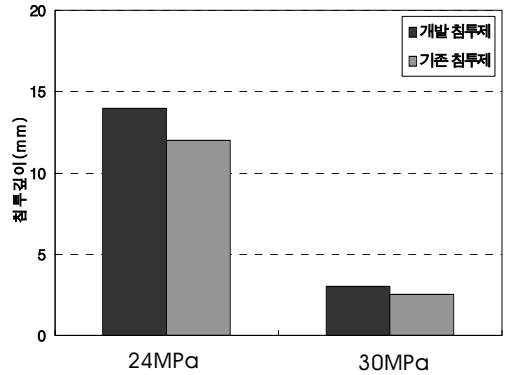


Fig. 4 모재 콘크리트 강도에 따른 침투깊이의 변화

으로, 확산특성과도 직접적으로 연계되어 있으므로 열화저항에 대한 지표로 사용될 수 있다. 최근들어 미세 공극구조를 이용한 투수성 예측 또는 균열부의 투수특성 모델링 등이 수행되고 있으나(권성준 등, 2005; 박상준 등, 2001), 본 연구에서는 단순한 실험적 평가를 수행하여 표면침투제의 침투 전후의 투수성에 영향을 분석하도록 한다. Fig. 5에서는 투수성 및 투기성 실험장치의 그림을 나타내고 있으며, Table 5 및 Fig. 6에서는 침투 전후의 투수성 및 투기성의 실험결과를 나타내었다.

실험결과 투수성의 경우, 24MPa의 콘크리트는 45%수준으로, 30MPa의 콘크리트는 25%수준으로 감소하였다. 투기성의 경우, 강도에 상관없이 85% 수준으로 평가되었는데, 이는 기체의 투과를 허용하고 있으며, 호기성을 확보하여, 추후 침투제가 도포될 경우, 들뜸을 방지할 수 있다. 투수성 및 투기성에서도 기존제품보다 동등 이상의 성능을 확보하고 있음을 알 수 있다.

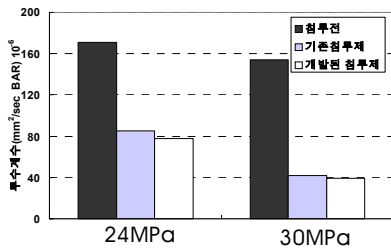


(a) 직접압투수시험기 (b) 투기성 시험장비

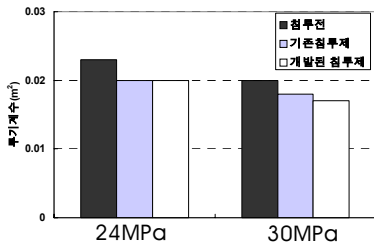
Fig. 5 투수 및 투기 시험장비

Table 5 침투전후의 투수성 및 투기성의 변화

투수계수( $\times 10^{-6}$ mm <sup>2</sup> /sec BAR)					
24MPa 시편			30MPa 시편		
침투전	기존 침투제	개발 침투제	침투전	기존 침투제	개발 침투제
170.7	85.4	77.6	153.8	42.0	39.4
투기계수(m <sup>2</sup> )					
24MPa 시편			30MPa 시편		
침투전	기존 침투제	개발 침투제	침투전	기존 침투제	개발 침투제
0.023	0.02	0.02	0.02	0.018	0.017



(a) 투수성의 변화



(b) 투기성의 변화

Fig. 6 침투전후의 투수성 및 투기성변화

#### 4.5 세공구조특성 평가

침투제로 인해 추가적으로 형성된 CSH겔은 체적 팽창에 의해 콘크리트 표면의 공극을 감소시키며, 이로 인한 수밀성을 증가시킨다. 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry : MIP)를 이용하여 공극률을 평가하였다. 공극률은 20.20%에서 침투후 9.17%로 감소하였는데, 이는 초기치의 45% 수준으로 평가되었다.

Table 6 및 Fig. 7에서는 24MPa 콘크리트 시편에 대한 공극률 변화를 기존 침투제의 성능과 비교하여 나타내었다.

Table 6 침투전후의 공극률 변화

24MPa 시편의 공극률(%)		
침투전	기존 침투제	개발 침투제
20.20	18.53	9.17

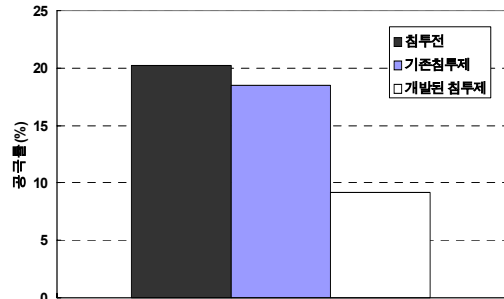


Fig. 7 침투전후의 공극구조 변화

#### 4.6 흡수율 평가

콘크리트 시편을 4주 양생후, 표면에 침투제를 도포하고, 양생후 다시 수중에 침지하여 흡수율을 측정하였다. 72시간 침지후의 측정결과로 흡수율을 식(4)과 같이 평가하였으며 그 결과를 Table 7 및 Fig. 8에 나타내었다.

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (4)$$

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

콘크리트 표면에서 형성된 소수성층이 콘크리트 흡수율을 감소시켰으며, 그 결과 침투전 시편의 17~18%수준으로 흡수율이 감소함을 알 수 있다.

Table 7 침투전후의 흡수율 변화 (MPa)

24MPa 시편			30MPa 시편		
침투전	기존 침투제	개발 침투제	침투전	기존 침투제	개발 침투제
2.72	0.70	0.46	2.05	0.53	0.38

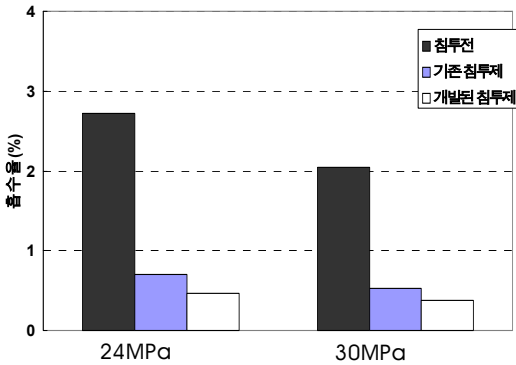


Fig. 8 침투전후의 흡수율의 변화

#### 4.7 화학적 저항성 평가

표면 침투제의 화학적 저항성(내산성 및 내알칼리성)을 평가하기 위해, 5% 황산, 질산 및 염산용액, 1%의 염화물 용액 및 수산화나트륨 용액에 4일간 침지하였다. 화학반응에 의해, 외부에 형성되는 화합물의 변화를 중량변화율로 측정하는 것이 일반적이지만, 본 실험에서는 초음파 속도의 감소율을 이용하여 화학용매에 대한 콘크리트 시편의 건전도를 평가하였다. 콘크리트 시편의 건전도는 매질이 조밀할수록 초음파 속도가 높아지므로 화학용매에 침지한 후, 감소율이 낮을수록 건전성이 확보된다고 할 수 있다. 시편은 10×20 원주형 시편을 사용하였으며, 침투전의 초음파속도는 24MPa 시편의 경우, 3.703km/sec를, 30MPa 시편의 경우, 3.913km/sec로 평가되었다. 산에 대해서는 초음파 속도 감소율이 비교적 크게 개선되었으며, 염화물 이온에 대해서는 90~97%, 수산화나트륨에 대해서는 68~92%, 질산용액에 대해서는 13~40%, 염산용액에 대해서는 88~97%, 황산용액에 대해서는 11~77% 수준으로 각각 감소하였다. 침투 후 생성된 표면층은 내화학성에 대하여 모재 콘크리트보다 효과적으로 방어할 수 있음을 알 수 있다.

Table 8에서는 측정장비의 사양 및 측정결과를, Fig. 9에서는 각각의 용액에 침지 전후에 대한 초음파 속도 감소율 결과를 나타낸다.

Table 8 측정장비의 사양 및 침지용액에 따른 초음파속도 감소율

침지용액에 따른 중량감소율(%)						
침지용액 및 농도	초기치 (km/sec)	1% 염소	1% 수산화나트륨	5% 질산	5% 염산	5% 황산
24MPa	3.703	1.05	2.74	2.58	2.09	3.64
		1.02	1.88	1.04	2.04	0.42
30MPa	3.913	0.61	0.84	3.26	3.05	2.48
		0.55	0.78	0.41	2.70	1.92

- 센서 : V153, 1.0MHz,  $\phi$ 13mm (Panametric)
- Signal Cable : PSH 32-C5 (National Inst.)
- 초음파 측정장치 : 500PR (National Inst.)
- PUNDIT PLUS : 54KHz (CNS)

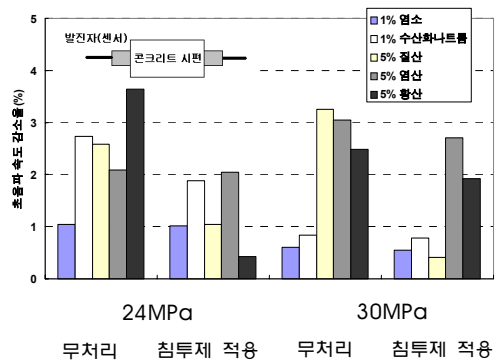


Fig. 9 화학용매 침지 전후의 초음파감소율 변화

#### 4.8 탄산화 깊이 평가

표면이 함침된 콘크리트 시편의 탄산화 저항성을 평가하기 위해 축진탄산화 실험을 수행하였다. 제조된 시편은 이전의 내구성능 실험에 사용된 배합과는 다른 것으로 A배합(W/C 54.2%, OPC 100%) 및 B배합(W/B 45%, FA 20%치환)을 대상으로 하였다. 각 시편은 수중양생 4주 경과후, 4주간 65% 상대습도에 존치되었으며, 이후 실험을 수행하였다.

Table 9에서는 실험에 사용된 배합을, Table 10에서는 탄산화 실험 사양을 나타내고 있으며, 그 결과를 존치기간의 제곱근으로 회귀분석하여 Fig. 10에 도시하였다. 침투제를 적용하지 않은 시편에 비하여 A 배합 시편의 경우, 51.7% 수준으로, B 배합 시편의 경우, 62.4% 수준으로 감소하였다.

Table 9 촉진 탄산화실험에 사용된 배합

배합	슬럼프 (cm)	W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )
A	15	54.2	46.8	187	345	807	946
B	10	45.0	44.0	169.1	OPC : 304.9 FA : 76.0	739	1012

Table 10 촉진 탄산화 실험 사양

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

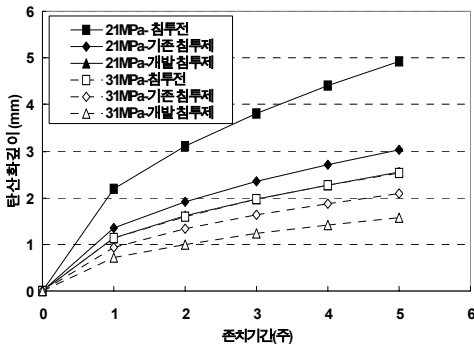


Fig. 10 침투전후의 탄산화 깊이 변화

#### 4.9 염화물 침투 평가

표면침투제의 적용 전후의 콘크리트 시편에 대하여, 염화물 침투실험을 수행하였으며, 염화물 침투깊이의 변화와 확산계수의 변화를 분석하였다. 사용된 배합은 Table 9의 촉진탄산화 실험에 사용된 배합과 동일하다.

##### 1) 자연해수침지에 따른 침투깊이 평가

침투실험의 경우, A배합 시편에 대하여 3개월간 자연해수에 10×10cm(실린더) 시편을 침지시킨 뒤, 깊이방향으로의 염화물 침투깊이를 평가하였으며, 시약은 질산은용액(0.05N, 0.1N)을 사용하였다. 실험결과 침투깊이는 84~87% 수준으로 감소하였는데, 표

Table 11 질산은용액 농도에 따른 침투깊이의 변화(mm)

AgNO <sub>3</sub> 0.05N			AgNO <sub>3</sub> 0.1N		
침투전	기존 침투제	개발 침투제	침투전	기존 침투제	개발 침투제
19.5	14.8	17.5	16	10	12.9

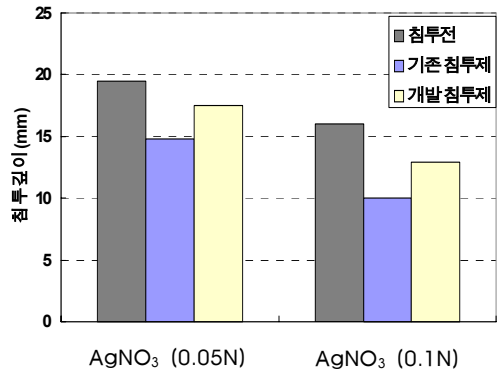


Fig. 11 침투전후의 염화물 침투깊이 평가 (A 배합)

면의 확산계수 감소와 고착화 증가에 따른 염화물 이온의 침투량 감소가 주원인이라고 할 수 있다. Table 11 및 Fig. 11에서는 장기침지(3개월, A 배합)의 실험결과를 나타내고 있다.

##### 2) 촉진실험에 의한 확산계수 평가

촉진실험에 의한 확산계수 평가는 기존의 이론식에 (Tang and Nilsson, 1992) 따랐으며, 식(5) 및 식(6)에 따라서 도출된다. Table 12에서는 실험사양 및 실험결과를 나타내고 있으며, 이를 Fig. 12에 나타내었다.

$$D = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_f}{t} \quad (5)$$

$$x_f = x_d - 1.061x_d^{0.589} \quad (6)$$

여기서,  $R$ 은 기체상수,  $T$ 절대온도,  $F$ 는 페러데이 상수,  $E$ 는 전위차,  $x_d$ 는 질산은으로 평가되는 측정된 염화물 깊이를 말한다.



Table 12 촉진실험에 따른 확산계수 평가

온도	20±2℃	
전압	30V	
전극	stainless steel plate	
지속시간	8시간	
용액	NaCl 3%	

배합별 확산계수 ( $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ )

A배합			B배합		
침투전	기존 침투제	개발 침투제	침투전	기존 침투제	개발 침투제
2.61	2.23	2.23	1.55	1.11	1.16

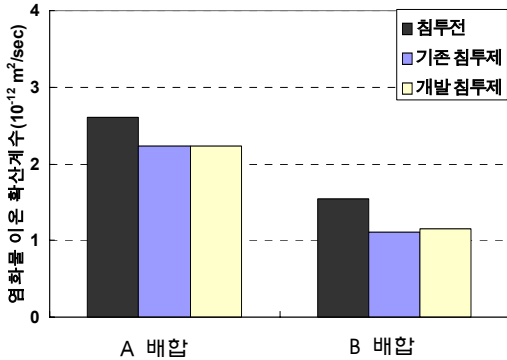


Fig. 12 촉진실험을 통한 염화물 확산계수의 평가

실험결과, 침투후의 염화물 확산계수는 75~85%의 수준으로 감소하였으며, 이러한 감소효과는 염화물의 침투에 대한 저항성을 증가시킨다. 기존의 침투제와의 비교에서는, 거의 비슷한 염해저항성을 가진다고 할 수 있다. 겉보기 확산계수 역시 동일한 수준으로 감소한다고 가정하고 경계조건을 Table 13과 같이 가정하면, 개발된 침투제 사용에 따른 내구수명의 변화는 Fig. 13과 같이 나타날 수 있다.

## 5. 결론

표면침투제를 이용한 콘크리트의 내구성 향상에 대한 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

1) 무기계 실리케이트를 주된 원료로 하고, 알콜용매를 이용한 액상형 침투제를 개발하였으며, 실내 실험

Table 13 내구수명 평가를 위한 조건

항목	단위	값
피복두께	m	0.1
표면염화물량	kg/m <sup>3</sup>	12
침투전 확산계수	m <sup>2</sup> /sec	1.55
침투후 확산계수	m <sup>2</sup> /sec	1.16
임계염화물량	kg/m <sup>3</sup>	1.2

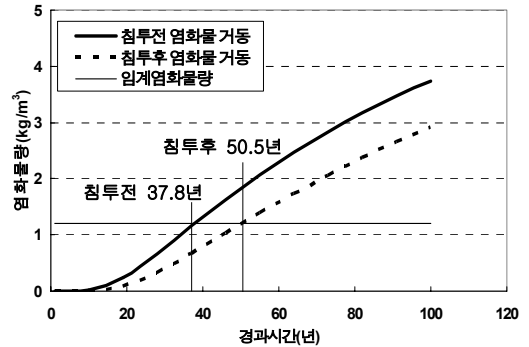


Fig. 13 확산계수 감소에 따른 내구수명의 증가

험을 통하여 적용성을 평가하였다. 개발된 침투제는 기존의 제품과 성능을 비교한 결과, 대부분 동등이상의 성능을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

- 침투후의 콘크리트 시편은 인장 및 압축강도의 증가를 비롯하여, 투수성에서 25~45% 수준으로 감소하면서도 투기성을 확보하고 있음을 알 수 있었다. 한편 세공구조에서 45% 수준으로 공극률이 감소하였으며, 흡수율 역시 17~18%수준으로 감소하였다.
- 촉진 탄산화 실험을 통하여 침투후에 51.7~62.4% 수준으로 탄산화 속도계수가 감소하였으며, 염화물 침투실험에서는 84~87%수준으로 침투깊이가 감소하였다. 한편 촉진실험을 통하여 도출된 염화물 확산계수는 침투후 75~85%수준으로 감소하였으며, 이러한 확산계수감소특성을 고려하여 내구수명을 평가한 결과, 주어진 피복두께 (0.1m)와 표면염화물(12kg/m<sup>3</sup>)에 대하여 약 12.7년 내구수명이 증가함을 알 수 있었다.
- 개발된 침투제는 부배합 콘크리트에서의 침투깊이 확보, 시공성 평가기법의 정립, 도포방법의 최적화

등에 대한 연구가 추가적으로 수행된다면 콘크리트 구조물의 내구성능을 개선하고 내구수명을 연장하는 데 효과적인 기법이 될 수 있다.

#### 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. 6A, 2001, pp. 915-924.
3. 송하원, 권성준, 이석원, 변근주, "고로슬래그 미분말 콘크리트의 염화물 침투 저항성에 관한 연구", 한국콘크리트학회 논문집, 제15권, 제3호, 2003, pp. 400-408.
4. 송하원, 권성준, 변근주, 박찬규, "혼화재를 사용한 고성능 콘크리트의 배합특성을 고려한 염화물 확산 해석 기법에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제25권, 제 1A호, 2005, pp. 213-223.
5. 송하원, 이승훈, 권성준, 김호진, 변근주, 손유신, "해양 및 항만 콘크리트 구조물의 열화해석", 대한토목학회 2003 정기학술발표 논문집, 2003, pp. 1119-1124.
6. 양은익, 김명유, 노병철, 김정훈, "표면침투제에 따른 콘크리트의 염화물 침투와 동결융해 저항성에 대한 평가", 콘크리트학회 논문집, 제18권, 1호, 2006, pp. 65-72.
7. 유성원, 서정인, 하헌재, 이상민, 이상근, "고성능 표면침투제가 도포된 콘크리트의 물리 특성", 한국콘크리트 학회 가을학술논문집, 16권, 2호, 2004, pp. 233-236.
8. ACI International, Repair and Strengthening of Concrete Members with Adhesive Bonded Plates, Technical Report, 1996.
9. CEB, General Task Group 20, Durable concrete structure-Design Code, CEB, Thomas Telford, 1989.
10. Emmons, P.H., Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R.S. Means Company, 1994.
11. Ha-Won Song, Chang-Hong Lee, Ho-Jin Kim, Seung-Jun Kwon, Seung-Woo Pack, and Keun Joo Byun, "Service life design of durability and safety of reinforced concrete", Proceedings of an International Workshop on Durability of Reinforced Concrete under Combined Mechanical and Climatic Loads, Technological University, Qingdao, China, October 27-28, 2005, pp. 15-26.
12. 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)