

# 콘크리트 구조물의 열화방지를 위한 표면 성능 개선제의 성능 평가

Evaluation on the Performance of Surface Performance Improving Agent  
for the Deterioration Prevention of Concrete Structures

류 금 성\*

Ryu, Gum-Sung

고 경 택\*\*

Koh, Kyoung-Taek

김 도 겐\*\*\*

Kim, Do-Gyeum

이 장 화\*\*\*\*

Lee, Jang-Hwa

## Abstract

The latest concrete structure has showed that the deterioration of durability has been increased by the damage from salt, carbonization, freezing & thawing and the others. Therefore, the measures for the concrete which has deteriorated durability have been taken. Among them, it has been often used that surface treatment which cuts off the deterioration factors of durability by protecting the surface of concrete. However, troubles such as fracture and rupture in the repair layer have been reported as time goes by due to the difference between the organic repair material like epoxy and concrete properties. Researchers have been developing the repair material which can cut off the deterioration factors of durability such as CO<sub>2</sub> gas, chloride ion and water by making the formation of concrete elaborate through the reaction with calcium ion when the surface improving agent is coated on the concrete. The main ingredient of that is inorganic substance which is the same as the concrete property. This study was evaluated the surface improving agent for permeability, watertightness, air-permeability, chemical resistance and elution resistance. As a result, it has been reported that the surface improving agent improves watertightness and air-permeability by penetration more than 10mm within concrete. Therefore, it is concluded that the surface improving agent developed in this research prevents deterioration of concrete durability when it is coated on the concrete structure.

## 요 지

최근 콘크리트 구조물은 염해, 중성화 및 동결융해 등에 의한 내구성능 저하의 사례가 증가하고 있다. 이렇게 내구성능이 저하된 콘크리트에 대한 다양한 대책이 강구되고 있으며, 그 중에서도 콘크리트의 표면을 보호하여 내구성능 저하의 요인을 차단하는 표면처리공법이 많이 사용되고 있다. 그러나 에폭시 등 유기계 및 시멘트계 보수제는 콘크리트의 물성의 차이로 인하여 시간이 경과함에 따라 보수층의 파단 및 들뜸 등 문제가 발생하는 사례가 보고되고 있다. 저자들은 콘크리트의 물성과 동일한 무기계를 주성분으로 한 표면 성능 개선제를 콘크리트에 도포하면, 칼슘이온 등과 반응하여 콘크리트의 조직이 치밀해짐으로써 CO<sub>2</sub> 가스, 염소이온 및 물 등 내구성능 저하요인을 차단하는 보수제를 개발하고 있다. 본 연구에서는 개발된 표면성능 개선제의 침투성능, 수밀성능, 통기성능, 화학저항성능, 용출저항 성능 및 열화된 콘크리트에 대한 적용성에 대하여 평가하였다. 그 결과, 표면성능 개선제는 콘크리트의 내부로 10mm 이상 침투되며 콘크리트의 수밀성능 및 통기성능 등을 향상시키는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서 개발된 표면성능 개선제를 콘크리트 구조물에 도포하면 콘크리트의 내구성능 저하를 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

**Keywords :** Deterioration, Repair, Waterproofing, Surface Performance Improving Agent

**핵심 용어 :** 열화, 보수, 방수, 표면 성능 개선제

\* 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

\*\* 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

\*\*\* 한국건설기술연구원 수석연구원(주)콘테크 대표이사

\*\*\*\* 한국건설기술연구원 연구위원

E-mail: ryu0505@kict.re.kr, 031-910-0050

• 본 논문에 대한 토의를 2005년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2006년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

콘크리트는 내부는 모세관공극, 젤공극 등을 갖는 다공질의 재료라는 특성을 지니고 있어 다양한 성능저하 요인에 의해 지속적인 침식을 받기 때문에, 철근콘크리트 구조물의 내구성능을 확보하기 위한 재료·시공 측면의 연구<sup>(1),(6)</sup>가 최근 들어 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 내구성 확보를 위한 연구는 과거 콘크리트의 강도이론을 중심으로 연구가 진행되어 왔으나, 급변하는 지구환경 및 수질의 오염, 탄산가스 농도 증가 등에 의한 콘크리트의 내구성 저하가 화두로 대두되면서 콘크리트의 내구성능 향상을 통한 구조물의 표면보호 및 유지관리에 관련된 연구<sup>(3),(7)</sup>가 증대되고 있다.

따라서 다공성을 지닌 콘크리트의 장기 내구성 확보를 주목적으로 하는 공법들의 기본 개념은 외부환경과 기공을 경계로 하여 콘크리트의 내부까지 유해물질이 미치지 못하게 하는 것이어야 한다.<sup>(2)</sup> 이에 해당하는 가장 대표적인 방법은 밀실한 재료를 콘크리트 표면에 도포하는 것이다. 이러한 경우, 그 재료의 수밀성능이 가장 중요한 관건으로 작용하지만, 수밀성능의 향상을 위한 두께증가는 한계가 있으며, 그 재료가 훼손되는 경우에 대해서는 별도의 대책이 마련되어야 하는 단점을 가지고 있다. 따라서 콘크리트의 기공을 충전하든지 또는 기공 벽의 물성을 변화시켜 두께증가에 대신하는 방법이 요구되고 있으며, 이러한 방법만으로도 설계시의 요구 성능을 만족시키고 장기적인 내구성능을 확보시킬 수 있다면 최선의 대책이 될 것이다. 이러한 관점에서 콘크리트 구조물의 시공단계에서부터 유지관리까지 적용할 수 있는 내구성능 향상을 목적으로 하는 양질의 구조물 보호재 개발과 적용이 시급하다고 하겠다. 따라서, 콘크리트 구조물의 열화방지를 위하여 신속하고 편리한 시공이 가능하며 환경 친화적인 신소재를 이용한 콘크리트 표면 성능 개선제를 개발하였다.

본 연구에서는 개발된 표면 성능 개선제의 침투성능, 수밀성능, 통기성능, 화학저항, 용출저항 성능 및 열화된 콘크리트에 대한 적용성에 대하여 성능검증 및 메카니즘 분석을 하였다.

## 2. 콘크리트 표면 성능 개선제의 메카니즘

콘크리트 표면 성능 개선제를 적용한 콘크리트의 반응 메카니즘<sup>(6)</sup>을 정리하면 Fig. 1과 같다.

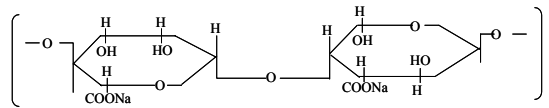
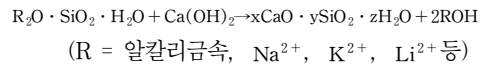


Fig. 1 반응 메카니즘 및 생화학물질의 화학구조

$R_2O$ 계 실리케이트는 콘크리트 중의 칼슘이온( $Ca^{+}$ )과의 반응에 의해 칼슘실리케이트 수화물을 형성하여 공극 및 비구조적 균열 등의 취약조직을 겔상의 반응 생성물로 충전하고, 해조류 추출물인 sodium alginate와  $R_2O$ 계 실리케이트는 졸-겔(Sol-Gel)결합을 이루어 가교망상 결합을 형성하며,  $R_2O$ 계 실리케이트와 이온화된 리튬폴리케이트는  $Si-O-Si$  형태의 사슬결합을 이루므로써 콘크리트 자체에 이물질 차단 성능을 증가시킨다. 또한 콘크리트 내부의 모세관 공극에 침투하여 화학적 구조상 3차원 망목구조를 형성하여 0.5~1nm 크기의 미세기공이 형성되기 때문에 직경 0.28nm의 수증기 입자가 통과할 수 있는 통기성능을 갖는다.<sup>(3)</sup>

## 3. 성능검증 시험

### 3.1 개요

본 연구에서는 설계기준강도(18, 24, 35 MPa)가 다른 콘크리트에 대해 표면 성능 개선제를 도포하여 침투성능, 수밀 성능, 통기 성능, 화학저항 성능, 용출저항 성능 및 열화된 콘크리트에 대한 적용성에 대해 검토하였다. Table 1은 표면 성능 개선제의 기본 물성이고, Table 2는 강도 수준별 콘크리트의 배합이다.

Table 1 표면 성능 개선제의 물성

components	gravity	viscosity (cP)	surface tension (dyne/cm)	pH	solid (%)
composite of R <sub>2</sub> O Silicate & PolySilica	1.20	4.7	31	12.1	25.3

Table 2 콘크리트 배합

Design Strengths (MPa)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Content(kg/m <sup>3</sup> )			
			W	C	S	G
18	62	45	165	265	826	1041
24	48	46	178	370	771	891
35	42	46	169	401	754	891

### 3.2 침투성능

본 연구에서는 표면 성능 개선제를  $\phi 100 \times 100 \text{mm}$  콘크리트 시편에 일방향으로 도포하여 일정기간 경과 후 2등분으로 활렬하여 콘크리트 내부로 침투된 깊이를 측정하였다. 표면 성능 개선제 침투성능은 콘크리트의 강도, 함수율 및 도포량의 변화에 따른 영향을 분석하였다.

### 3.3 수밀 성능

#### 3.3.1 시험개요

콘크리트의 수밀성능은 콘크리트 조직의 치밀함을 나타내는 특성으로서 본 연구에서 흡수율, 투수성, 투기성 및 공극률에 대해 검토하였다.

#### 3.3.2 흡수율시험

$\phi 100 \times 100 \text{mm}$  원주형 공시체에 표면 성능 개선제를 도포한 후 일방향 침투를 유도하기 위하여 시험체의 측면을 에폭시로 코팅하여 KS F 4930(콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수방지제) 및 KS F 2609(건축재료의 물흡수계수 측정방법)에 준하여 시험을 실시하였다. 물 흡수량의 측정시간은 10분, 30분, 1시간, 6시간, 24시간으로 하였으며, 다음의 식에 따라 물 흡수 계수비를

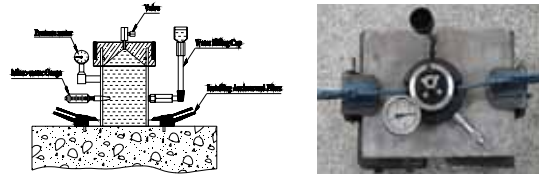


Fig. 2 투수성 시험장치

구하였다.

$$\text{물 흡수 계수비} = \frac{\text{도포된 시험체의 물 흡수 계수 (kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}\text{)}}{\text{도포하지 않은 시험체의 물 흡수 계수 (kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}\text{)}}$$

#### 3.3.3 투수성 시험

투수시험은 Fig. 2에 나타난 바와 같이  $200 \times 200 \times 100 \text{mm}$ 의 직육면체 콘크리트 공시체에 표면 성능 개선제를 도포한 후 3일간 물을 분무하였으며 4일간은 기건양생을 실시하여 독일 G사 제품의 GWT-4000kit 시험장치에 의해 투수성 시험을 실시하였다. 그리고 투수계수는 다음과 같이 계산하였다.

$$C_{cp} = \frac{q}{P/L} \quad [\text{mm}^2/\text{sec} \cdot \text{BAR}]$$

여기서,  $C_{cp}$ : 투수계수,  $q$ : 유속( $\text{mm}/\text{sec}$ ),  $P$ : 기압( $= 1 \text{ BAR}$ ),  $L$ : 가스킷 두께( $15 \text{mm}$ )

#### 3.3.4 투기성 시험

투기성 시험은  $200 \times 200 \times 100 \text{mm}$ 의 직육면체 콘크리트 공시체에 도포한 후 3일간 물을 분무하였으며, 4일간은 기건양생을 한 다음 Fig. 3의 투기성 시험장치를 이용하여 실시하였다. 투기성 계수(K)는 Torrent가 제안한 이론적 모델에 의하여 다음과 같이 계산된다.

$$K = 4 \left( \frac{V_c (dP/dt)^2}{A(P_a^2 - P_i^2)} \right) \cdot \frac{\mu P_a}{\epsilon} \int_{t_1}^{t_2} \left[ 1 - \left( \frac{P_i}{P_a} \right)^2 \right] dt$$

여기서,  $K$ : 투기성계수( $\text{m}^2$ ),  $dP/dt$ : 시간  $t$ 에 대한 미분항( $\text{Nm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $\mu$ : 기체의 동점도( $\text{Nsm}^{-2}$ ),  $V_c$ : 챔버 내부용량( $\text{m}^3$ ),  $\epsilon$ : 콘크리트의 공극( $\text{m}^3$ ),  $A$ : 내부 챔버와의 접촉면적( $\text{m}^2$ ),  $P_i$ : 내부챔버의 압력( $\text{Nm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),  $P_a$ : 대기압( $\text{Nm}^{-2}$ )



Fig. 3 투기성 시험장치

### 3.3.5 공극률 시험

콘크리트 공극률 시험은  $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체에 도포하여 7일간 양생을 실시한 다음 ASTM C 642(Standard Test Method of Density, Absorption, and Voids in Harden Concrete)에 의해 측정하였으며 계산식은 다음과 같다.

$$V_{EP}(\%) = \frac{W_B - W_A}{W_B - W_C} \times 100$$

여기서,  $V_{EP}$  : 공극률(%),  $W_A$  : 완전 건조중량(g),  $W_B$  : 끓인 후의 표면건조 포화중량(g),  $W_C$  : 수중중량(g)

### 3.4 통기 성능

콘크리트 공극률 시험은  $\phi 100 \times 200$ mm 원주형 공시체에 도포하여 7일간 양생을 실시한 다음 KS F 2607(건축재료의 투습성 측정방법)의 컵법에 준하여 실시하였고 계산식은 다음과 같다.

$$\mu = \frac{1}{1.5 \times 10^6} \times \frac{\Delta P}{m} \times \frac{1}{s}$$

$$S_d = \mu \times s$$

여기서,  $S_d$  : 등가 공기층 두께(m),  $\mu$  : 측정재료의 습기 투과 저항 계수,  $s$  : 측정재료의 두께(m),  $m$  : 측정재료의 단위시간당 질량의 변화,  $\Delta P$  : 습기압차(Pa)

### 3.5 화학저항 성능

화학저항 성능은 백화저항성과 염화칼슘에 대한 저항성 시험으로 평가하였다. 백화저항성은 10%의 황산 소오다 수용액에 7일 동안 침적시킨 다음 백화현상 발생 현황을 관찰하였다. 염화칼슘에 대한 저항성은 5%

의 염화칼슘 수용액에 72시간 침적시킨 다음 육안관찰을 하는 ASTM C 267(Standard Test Methods for Chemical Resistance of Mortars, Grouts, and Monolithic Surfacing and Polymer Concretes)에 준하여 실시하였다.

### 3.6 용출저항 성능

본 연구의 용출 저항 성능은 KS F 4930(콘크리트 표면도포용 액상형 흡수방지제)에 준하여 실시하였다. 용출 저항 성능은 음용 수질이 오염되지 않고 음용 수질에 적합하도록 규정되어 있고, 시험항목은 KS F 4811(유리 섬유 강화 폴리에스테르 물탱크)의 부속서 1에 따르는 규정으로 되어있다.

### 3.7 열화된 콘크리트에 대한 적용성

열화된 콘크리트에 대한 표면 성능 개선제의 적용성을 검토하기 위해 설계기준강도 18MPa 콘크리트를 사용하였다. 열화된 콘크리트에 대한 적용성은 콘크리트 공시체에 도포하여 양생한 다음 동결융해를 15사이클까지 실시한 콘크리트 공시체(AP/FT)에 대해 재령 7일, 28일, 91일에서 압축강도, 투수성, 공극률 측면에서 적용성을 평가하였다. 그리고 도포하지 않은 시험체(Plain)에 대해 동결융해 시험을 15사이클까지 실시한 다음 도포한 콘크리트 공시체(Plain/FT/AP)에 대해 재령 7일, 28일, 91일에서 압축강도, 투수성, 공극률 측면에서 적용성을 평가하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 침투성능

#### 4.1.1 콘크리트 강도별 침투깊이

Fig. 4는 표면 성능 개선제를 도포한 후 1일, 3일, 7일, 14일에 침투깊이를 측정한 결과이다. 콘크리트 강도에 따라 최종적으로 16~27mm까지 침투하였고, 강도가 낮을수록 침투깊이가 증가하는 경향을 나타냈으며, 또한 재령에 대한 차이는 거의 없는 것으로 나

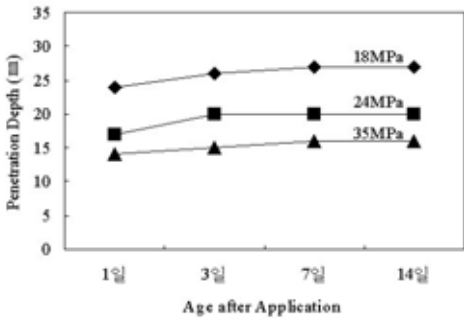
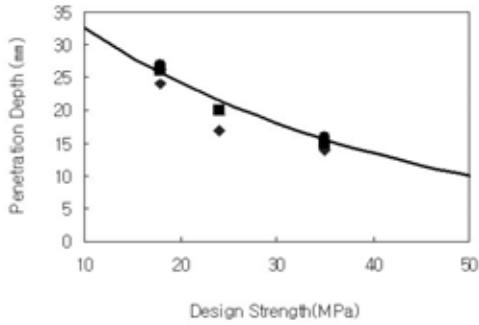


Fig. 4 콘크리트 강도별 표면 성능 개선제의 침투깊이

타났다. 이처럼 콘크리트 내부로의 침투력이 뛰어난 것은 나노크기의 입자로 구성되어 콘크리트의 모세관 공극보다 작은 분자크기를 가지고 있으므로 반응성 물질과 활성화 물질이 보다 효율적인 모세관 흡입력에 의해 콘크리트의 내부 깊숙이 침투되기 때문이다.<sup>(3)</sup>

#### 4.1.2 콘크리트 함수율에 따른 침투깊이

콘크리트 공시체를 수중에서 꺼낸 다음 온도 30℃, 습도 60%의 항온항습기에 일정기간에 넣어 6개 수준으로 함수율을 조절한 콘크리트에 대해 표면 성능 개선제를 도포한 후 7일에 침투깊이를 측정하였다.

Fig. 5는 콘크리트 함수율에 따른 침투깊이 결과이다. 함수율 20%와 같이 콘크리트 내부에 수분이 너무 많은 경우에는 콘크리트 공극내에 수분이 존재하여 표면 성능 개선제의 침투력이 다소 저하되나, 함수율 15%부터는 침투깊이가 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

#### 4.1.3 표면 성능 개선제의 도포량에 따른 침투깊이

Fig. 6은 표면 성능 개선제의 도포량에 따른 침투

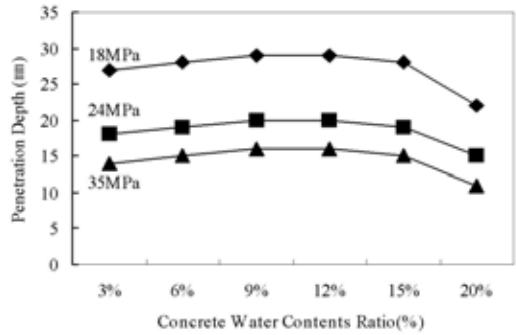


Fig. 5 콘크리트 함수율에 따른 표면 성능 개선제의 침투깊이

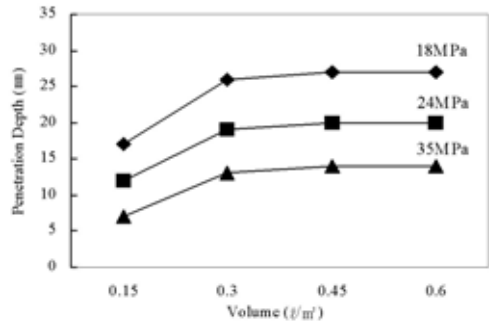


Fig. 6 표면 성능 개선제의 도포량에 따른 침투깊이

깊이를 측정한 결과이다. 시험은 m²당 0.15 l, 0.3 l, 0.45 l, 0.6 l 도포하여 7일 후 침투깊이를 측정하였다. 침투깊이는 0.3 l까지 도포량이 많을수록 증가하나, 그 이상부터 침투깊이는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

## 4.2 수밀 성능

### 4.2.1 흡수율시험

Fig. 7은 콘크리트 강도에 따른 흡수비 시험을 실시한 결과이다. 그 결과, 도포한 콘크리트는 도포하지 않은 Plain 콘크리트에 비해 물의 흡수가 30%전후 정도임을 알 수 있고, 설계기준강도가 낮을수록 그 효과가 큰 경향이 있으나, 설계기준강도 24MPa 이상부터 그 효과가 거의 동일한 것으로 나타났다. 도포하지 않은 시편은 설계기준강도에 따라 흡수깊이가 35~57mm이었으나, 도포한 콘크리트 시편은 5~9mm정

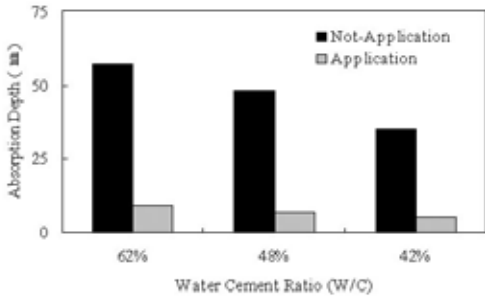
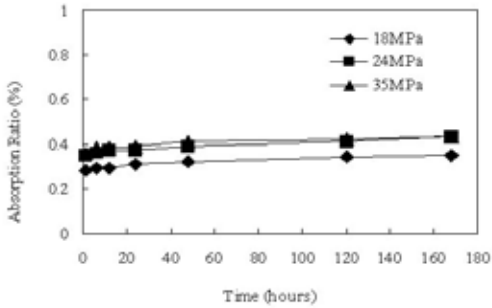


Fig. 7 콘크리트 강도별 흡수비 시험 결과

도로 흡수깊이가 현격히 감소하였다.

#### 4.2.2 투수성 시험

Fig. 8은 도포 유무에 따른 투수시험을 실시한 결과이다. 도포한 콘크리트는 도포하지 않은 Plain 비해 2.7~3.7배 정도 수밀성이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 설계기준강도가 작을수록 그 효과가 뛰어난 것으로 분석되었다.

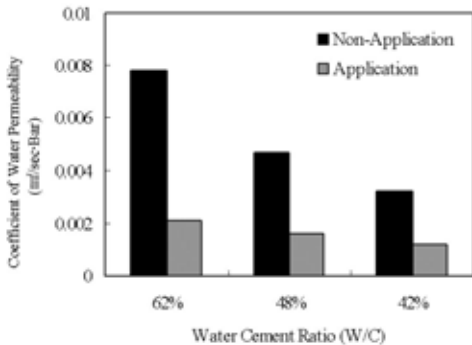


Fig. 8 투수성 시험 결과

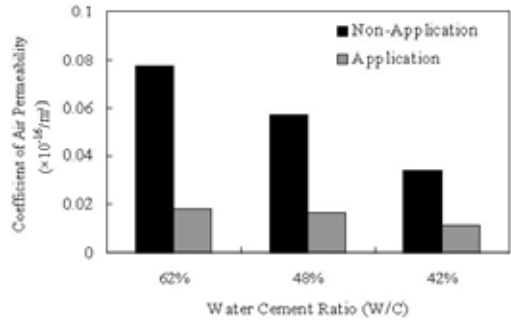


Fig. 9 투기성 시험결과

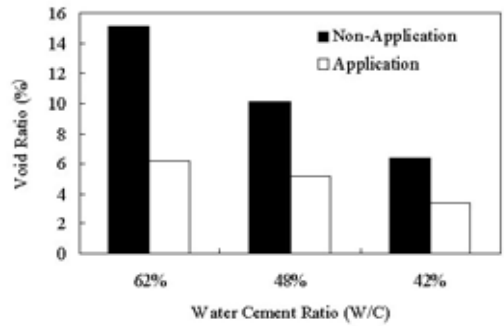


Fig. 10 공극률 시험결과

#### 4.2.3 투기성 시험

Fig. 9는 도포 유무에 따른 투기성 시험결과이다. 콘크리트 강도에 따라 투기계수가 3.1~4.3배 정도로 감소하는 것으로 나타났다.

#### 4.2.4 공극률 시험

Fig. 10은 도포 유무에 따른 공극률 시험결과이다. 도포한 콘크리트의 공극률은 Plain에 비해 1.9~2.5배 정도 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 설계기준 강도 18MPa 콘크리트에 적용한 경우에는 공극률 감소 효과가 뛰어난 것으로 나타났다.

이처럼 표면 성능 개선제를 도포함으로써 시멘트 수화생성물인 수산화칼슘 등과 반응하여 규산칼슘 수화물을 생성하여 흡수율, 투수성, 투기성 및 공극률에 대해 분석한 결과 콘크리트 내부의 공극을 메워 조직이 치밀하게 되어 수밀 성능이 향상된 결과로 분석된다.

### 4.3 통기 성능

Table 4는 통기성을 측정한 결과이다. 콘크리트 표면에 도포하지 않은 Plain의 통기성은  $18.0\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ 이고, 도포한 콘크리트의 통기성은  $9.4\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 표면 성능 개선제를 도포한 콘크리트의 통기성능은 Plain의 약 50%로 비교적 양호한 통기성능을 가지는 것으로 분석된다.

### 4.4 화학저항 성능

Table 5는 화학저항 성능시험을 실시한 결과이다. 표면 성능 개선제를 도포한 콘크리트에서 이상이 없는 것으로 나타났다. 따라서 도포한 콘크리트는 화학저항 성능을 가지는 것으로 분석된다

Table 4 통기성 시험결과

통기성( $\text{g/m}^2 \cdot \text{day}$ )	
Non-Application	Application
18.0	9.4

Table 5 화학저항 성능시험

시험항목	도포
백화저항성	이상 없음
염화칼슘에 대한 저항성	이상 없음

Table 6 용출 저항 성능 시험결과

시험항목	KS F 4930 기준값	시험결과	판정
냄새와 맛	이상없을것	이상없음	만족
탁도	2이하	0.5이하	
색도	5이하	1이하	
중금속(pb로서)	0.1mg/L이하	검출안됨	
과망간산칼륨 소비량	10mg/L이하	2	
pH	5.8~8.6	7.1	
페놀	0.005mg/L이하	검출안됨	
중발 잔류분	30mg/L이하	3	
잔류염소의 감량	0.2mg/L이하	0.1	

### 4.5 용출저항 성능

Table 6은 용출 저항 성능을 실시한 결과이다. 그 결과, 표면 성능 개선제의 용출 저항 성능은 KS F 4930의 기준값을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

### 4.6 열화된 콘크리트에 대한 적용성

#### 4.6.1 압축강도

Fig. 11은 열화된 콘크리트에 대한 적용성을 평가하기 위한 압축강도 시험 결과이다. 도포하지 않고 동결융해를 150사이클 받은 시험체(Plain/FT)는 압축강도가 거의 증진되지 않는 것으로 나타났다. 이 결과로부터 동결융해 작용에 의해 조직이 파괴된 콘크리트는 아무 조치를 실시하지 않는 경우에 문제가 발생할 우려가 있음을 알 수 있다.

이에 반해 표면 성능 개선제를 도포하고 동결융해를 150사이클 받은 콘크리트(AP/FT)는 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증가하고 있으며, 재령 91일에서 1.13배 정도의 압축강도가 증진 효과가 있는 것으로 나타났다. 이것은 표면 성능 개선제의 구성성분인 생화학물질이 동결융해 이후에도 계속 작용하여 동결융해 작용에 의해 발생한 미세 균열이나, 큰 공극을 매워 조직이 치밀해진 결과로 사료된다.

또한 표면 성능 개선제를 도포하지 않고 동결융해를 150사이클 받아 강도가 크게 저하된 콘크리트에 표면 성능 개선제를 도포한 경우(Plain/FT/AP), 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증가하고 있으며, 재령 91

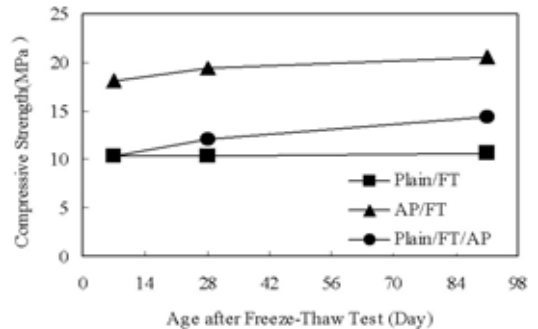


Fig. 11 압축강도 증가 효과

일에서 1.40배 정도의 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이처럼 동결융해 작용에 의해 콘크리트 조직이 파괴되어 강도가 크게 저하된 콘크리트에 도포함으로써 강도가 증진되는 것은 표면 성능 개선제가 콘크리트 내부에 침투하여 수화생성물과 강한 반응하여 균열이나 공극을 매워 콘크리트 조직이 치밀해졌기 때문이다.

#### 4.6.2 투수성

Fig. 12는 열화된 콘크리트에 대한 적용성을 평가하기 위한 투수성 시험결과이다. 표면 성능 개선제를 도포하지 않고 동결융해 작용을 150사이클 받은 Plain (Plain/FT)은 투수계수가 거의 감소하지 않음을 알 수 있다. 이에 반해 동결융해를 받기 전에 표면 성능 개선제를 도포한 콘크리트(AP/FT)와 동결융해를 받은 후 도포한 콘크리트(Plain/FT/AP)는 재령이 증가함에 따라 투수계수가 감소하고 있다. 재령 91일에서 AP/FT인 경우에는 1.49배 정도, Plain/FT/AP

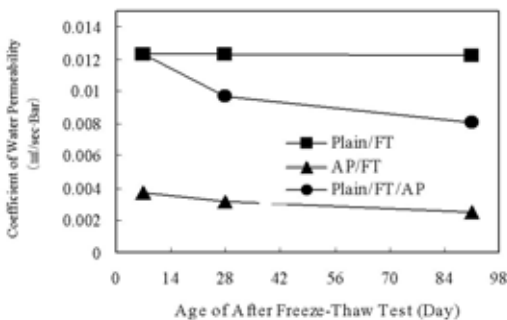


Fig. 12 투수성능 억제 효과

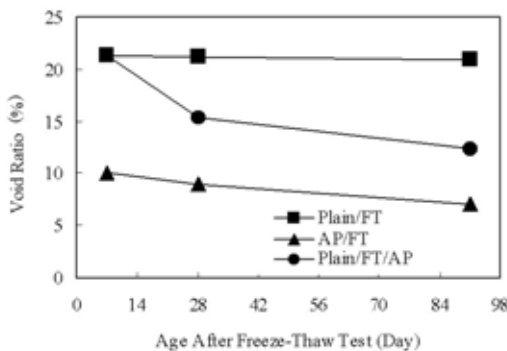


Fig. 13 공극률 억제 효과

인 경우에는 1.52배 정도의 투수계수 감소하여 콘크리트의 수밀성이 향상되고 있음을 알 수 있다.

#### 4.6.3 공극률

Fig. 13은 열화된 콘크리트에 대한 적용성을 평가하기 위한 공극률 시험결과이다. 동결융해를 받기 전에 표면 성능 개선제를 도포하여 동결융해 작용을 150사이클을 받은 콘크리트(AP/FT)는 재령이 증가함에 따라 콘크리트 공극률이 감소하고 있으며, 재령 91일에서 1.42배정도 공극률 감소효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고 동결융해를 받은 후 표면 성능 개선제를 도포한 콘크리트(Plain/FT/AP)도 재령이 증가함에 따라 콘크리트 공극률이 감소하여 재령 91일에서 1.73배정도의 공극률 감소효과가 있는 것으로 나타났다.

이런 결과는 표면 성능 개선제를 도포함으로써 동결융해 작용에 의해 발생한 균열을 매워 콘크리트 조직이 치밀해진 결과로서 분석된다.

### 5. 공극분포 및 콘크리트 표면 성능 개선제의 침투깊이에 따른 SEM 분석

표면 성능 개선제를 콘크리트 표면에 도포한 경우, 콘크리트 조직을 어느 깊이까지 어느 정도 치밀하게 하는가를 검토하기 위해 표면 성능 개선제를 콘크리트 표면에 도포하여 7일간 양생한 다음 Fig. 14와 같이 콘크리트 깊이별로 시료를 채취하여 5mm정도 크기로 시료를 만들어 수은압입법(MIP)에 의해 세공구조(기공률, 기공분포)를 측정하였다.

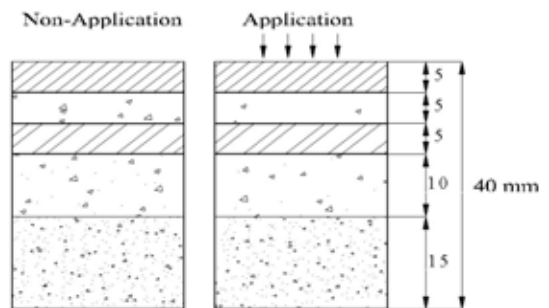


Fig. 14 콘크리트 깊이별 시료채취



Fig. 15와 Fig. 16은 각각 표면 성능 개선제의 도포 유무에 따른 콘크리트 깊이별 전체 기공용적과 기공용적분포의 결과이다.

본 연구의 공극분포 결과에 의하면 표면 성능 개선제를 도포한 결과, 전체 기공용적은 콘크리트 표면으로부터 25mm까지 감소하는 것으로 나타났다. 0.05  $\mu\text{m}$  이상의 비교적 큰 기공이 감소하고 0.05  $\mu\text{m}$  이하의 작은 기공이 증가하는 것으로 나타났으며, 콘크리트 표면으로부터 10mm까지 그 효과가 뚜렷하게 나타나

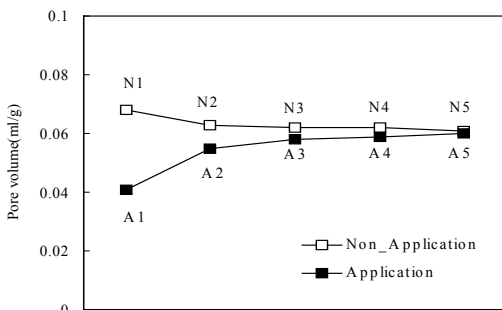


Fig. 15 전체 기공용적

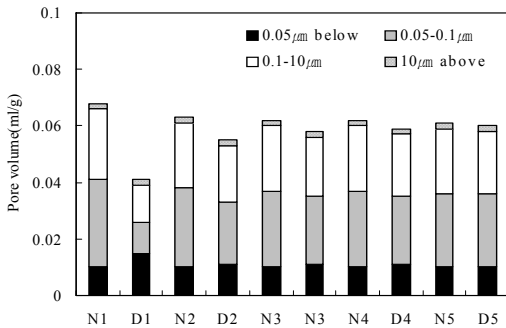
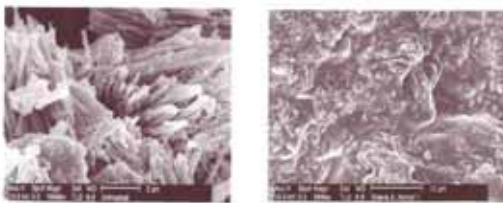


Fig. 16 공극 분포



(a) Not coating (b) Coating

Fig. 17 SEM 분석

고 있다. 이는 표면 성능 개선제를 도포하면 공극을 감소시켜 콘크리트 조직을 치밀하게 하여 강도 및 수밀성을 향상시킨 것으로 판단된다.

Fig. 17은 콘크리트 표면에서 5mm까지의 시료를 채취한 다음 콘크리트 표면 성능 개선제의 도포 유무에 따른 SEM 사진을 촬영한 결과이다. 그 결과, 무도포의 시료인 경우 큰 공극이 많이 존재하고 있으나, 본 연구에서 개발한 표면 성능 개선제를 도포한 시료인 경우, 콘크리트 조직이 치밀해져 있음을 알 수 있다.

이상의 콘크리트의 표면 성능 개선제의 메카니즘을 정리하면, 실리케이트는 콘크리트의 수화생성물인  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하여 규산염을 만들고, 또한 해조류 추출물 S는  $\text{Na}^+$  성분과 콘크리트 내의  $\text{Ca}^{2+}$ 과 교차결합에 의해 안정된 겔을 형성하고 또한 연속적으로 반응을 한다.<sup>(3),(8)</sup> 이로서 콘크리트의 조직이 치밀해져 강도 증진과 수밀성 및 염화물 이온, 이산화탄소, 물과 같은 이물질의 차단능력이 향상된 것으로 예측된다.

## 6. 결론

본 연구에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 표면 성능 개선제의 침투성능 결과, 강도별 침투성능은 강도에 따라 다소 다르나, 콘크리트 내부로 16~27mm 정도 침투하고 10mm까지 그 효과가 뚜렷하게 나타났다. 콘크리트 함수율에 따른 침투성능은 콘크리트 표면 및 내부에 수분이 축축히 젖어 있는 상태에서 적용하면 적용효과가 다소 저하될 수 있으나, 콘크리트 함수율 15% 이하부터 콘크리트 함수율에 관계없이 적용효과가 뛰어난 것으로 나타났다. 도포량에 따른 침투성능은 성능 개선제의 도포량에 따라 침투깊이가 다르나, 도포량 0.3  $\ell/\text{m}^2$  부터는 침투깊이가 차이가 없는 것으로 분석되었다.
- 2) 콘크리트 표면 성능 개선제의 수밀 성능 결과, 흡수성의 경우 성능 개선제를 도포한 경우 도포하지 않은 경우에 비해 물의 흡수가 약 30%로 도포함으로써 물의 침투깊이가 1/6정도로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 투수성의 경우 수밀 정도가 2.5배 정도 이상 증가하였고, 투기성의 경우 투기계수가 3배 이상 감소 및 공극률의 경우 1.9~2.5배

- 정도 감소하였다.
- 3) 콘크리트 표면 성능 개선제는 비교적 양호한 통기 성능이 있고, 화학저항 및 용출저항 성능은 충분한 것으로 분석된다.
  - 4) 콘크리트 표면 성능 개선제의 열화된 콘크리트의 적용성을 압축강도, 투수성, 공극률 측면에서 검토한 결과, 콘크리트 표면에 도포함으로써 동결융해 작용에 의해 발생한 미세 균열 및 공극을 메워 콘크리트 조직이 치밀해진 결과로 분석된다.
  - 5) 본 연구에서 개발된 콘크리트 표면 성능 개선제를 콘크리트 표면에 도포하면 콘크리트 표면의 조직이 치밀해져 강도 증진과 수밀성능 및 염화물 이온, 이산화탄소 가스, 수분과 같은 이물질의 차단성능 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.
  - 6) 본 연구에서 개발된 콘크리트의 표면 성능 개선제를 실제 콘크리트 구조물에 안정적으로 적용하기 위해 장기적인 성능검증 및 다양한 콘크리트에 적용성을 검토할 예정이다.

#### 참고문헌

1. 고경택, 김성욱, “도포형 표면강화제 적용 콘크리트의 성

- 능 검증법에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2000.
2. 김도겸, 이장화 외, “RC구조물 보수 보강재에 관한 조사 연구”, 한국건설기술연구원, 1997.
3. 김도겸, 고경택 외, “철근콘크리트 구조물의 침투강화형 방수제 조성물 및 그의 제조방법과 이를 이용한 복합방수 시공방법” 특허 10-2003-0011617
4. 조성훈, 박규성, 오상근, “고성장 유기결정체의 생성 메카니즘을 이용한 콘크리트 표층부의 수밀성 개선공법”, 한국구조물진단학회지, 제5권 3호, 2001. 7.
5. 鈴木一孝, “コンクリートの組織構造の診断”, 森北出版株式會社, 1993.
6. Kagi, D. A. and Ren, K. B, “Reduction of water absorption in silicate treated concrete by post-treatment with cationic surfactants”, Building and Environment, Vol. 30, No. 2, 1995.
7. Thompson, J. L. and Scheetz. B.E., “Characterization of silicate sealers on concrete”, Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 10, 1997.
8. Hatterji, S., “Concrete durability and CaO/SiO<sub>2</sub> mole ratio of CSH”, Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 5, 1995.

(접수일자 : 2004년 1월 29일)