

## 콘크리트 구조물의 내구성능 저하를 방지하는 침투형 성능개선제 개발

류금성<sup>1)\*</sup>·고경택<sup>1)</sup>·김성욱<sup>1)</sup>·김도겸<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 구조연구부

(2004년 5월 20일 원고접수, 2005년 5월 30일 심사완료)

### Development for Penetrative Performance Improving Agent to Prevent Deterioration of Concrete Structures

Gum-Sung Ryu<sup>1)</sup>, Kyoung-Taek Koh<sup>1)</sup>, Sung-Wook Kim<sup>1)</sup>, and Do-Gyeum Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 411-712, Korea

(Received May 20, 2004, Accepted May 30, 2005)

#### ABSTRACT

Recently, the deterioration of concrete structures have been increased by the damage from salt, carbonization, freezing & thawing and the others. Therefore, the measures for the deterioration of concretes have been taken. Among them, it has been often used that surface treatment which cut off the deterioration factors of durability by protecting the surface of concrete. The water proof and repair materials for concrete mainly use organic materials such as epoxy, these materials excel in intial bonding force and resistance to chemical agents. But they cause difference in the modulus of elasticity and the rate of shrinkage and expansion of concrete, and thus result in such problems as scaling and spalling in the progress of time. Therefore in this study it develop the performance improving agent of concrete surface that can block a deterioration cause such as CO<sub>2</sub> gas, chloride ion and water from the outside and enhance waterproofing ability by reinforcing the concrete surface when applying it to concrete structures.

**Keywords :** Penetrative performance improving agent, waterproofing performance, deterioration-restraining performance

#### 1. 서 론

콘크리트는 내구성이 우수하고 경제적이기 때문에 강재와 더불어 건설재료로서 가장 널리 사용되어 왔다. 그러나 최근 들어 여러 연구 결과와 현장 점검 결과에 의하면 노출 환경과 사용 재료에 따라 내구성이 저하되어 실제 구조물에 심각한 문제를 일으키는 것으로 조사되고 있다<sup>1-3)</sup>. 이렇게 내구성능이 저하된 콘크리트 구조물에 대해 적절한 보수·보강 등의 유지관리를 통하여 구조물의 성능을 회복시키고 사용수명을 확보해야 한다. 최근 콘크리트 구조물의 내구성능 저하를 방지하기 위해 다양한 대책이 강구되고 있다. 그러나, 보수재에 많이 사용되는 에폭시수지 등으로 구성된 유기계 보수재는 콘크리트와의 물성의 차이로 보수층의 들뜸 균열 등의 하자가 발생하는 등 내구성 측면에서 문제가 있는 것으로 지적되고 있다<sup>1,3)</sup>.

이러한 보수재의 문제점을 보완하기 위하여 무기계를 주성분으로 하는 보수재를 콘크리트 표면에 도포하여 외부로부터의 내구성능 저하 요인을 차단할 수 있는 침투형 성능개선재의 사용이 증가하고 있다<sup>3-5)</sup>. 그러나 국내에서는 침투형 성능개선재의 침투력 및 콘크리트와의 반응 메커니즘 등에 대한 검토가 충분히 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 콘크리트 표면을 강화시켜 CO<sub>2</sub> 가스, 염화물 이온 등의 열화물질을 차단시키는 동시에 방수 성능을 부여할 수 있는 콘크리트 표면 성능개선제를 개발하기 위하여 침투력이 우수한 최적의 구 물질 및 배합비를 선정하였고, 강도, 흡수율, 투수성, 염화물 차단성 및 중성화 억제성 시험을 실시하여 성능을 평가하였다.

#### 2. 침투형 성능개선제의 개발 개요

본 연구에서는 침투형 성능개선제를 개발하기 위해 먼저 콘크리트 표면을 강화시킬 수 있는 재료를 설계하여

\* Corresponding author  
E-mail : ryu0505@kict.re.kr  
©2005 by Korea Concrete Institute

최적의 콘크리트 성능개선제의 구성물질을 침투력 측면에서 선정하였다. 그 다음에 선정된 구성물질에 대해 내구성 성능 저하 억제 성능 및 방수성능 등을 검토하여 최적의 침투형 성능개선제의 배합비를 결정하고 성능 개선의 메커니즘을 규명하여 최종적으로 콘크리트의 내구성 성능 저하를 억제할 수 있는 침투형 성능개선제를 개발하였다.

### 3. 최적의 구성물질 선정

#### 3.1 구성물질 재료 설계

본 연구에서는 콘크리트 표면을 강화시키기 위해 실리카계인 실리케이트( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ )를 사용하였다. 실리케이트는 순수한 모래와  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  등의 알칼리 물질을 1300 °C 고온에서 용융시켜 제조한 컬렛(cullet)을 물에 넣고 1~2 기압 하에서 가열하여 제조한 것으로 이산화규소( $\text{SiO}_2$ )분자를 10~20개 정도 가지는 작은 단위의 고분자(polymer)로 구성되어 있다<sup>6-10</sup>. 본 연구에서 나트륨과 실리카의 구성비가 다른 A, B, C, D를 사용하였고, Table 1은 실리케이트 기본 물성이다.

그리고 실리케이트 이외에 표면강화물질의 반응성 강화를 위하여 콘크리트와 연속적으로 반응할 수 있도록 반응성 강화물질(해조류 추출물질(S), 단백질 추출물질(P))을 사용하였으며, Table 2는 반응성 강화물질의 기본물성이다. 해조류 추출물질 S는 해조류 세포벽에서 추출하여 혼합한 물질이며, 가지사슬이 없는 ( $\beta$ -1,4) 결합의 만누로닉산

Table 1 Properties of silicate

Item	Silicate types			
	A	B	C	D
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.26	1.38	1.59	1.69
Iron (%)	0.03	0.03	0.05	0.05
Sodium (%)	6	9	14	17
Silica (%)	23	28	34	36

Table 2 Properties of reaction reinforcing material

Item	Kind of material	
	S	P
Source	Marine algae	Protein
Water content(%)	7.013	3.015
pH	7.2	7.1
Viscosity(cP)	20~400	50~600

Table 3 Properties of penetration reinforcing material

Item	Kind of material			
	Fluorine type		Silicone type	
	Anion	Nonion	Anion	Nonion
Solid (%)	25	40	27	45
Density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.03	1.06	1.05	1.08
Ignition point (°C)	21	22	23	23

( $\beta$ -D-mannuronic acid)과 글루로닉산( $\alpha$ -L-gluronic acid)이 결합되어 형성된 고분자 물질로서 콜로이드성, 친수성이 풍부한 다당류의 일종이다<sup>11</sup>). 그리고 단백질 추출물질 P는 탈유지에 순수하게 배양된 유산균을 첨가하여 산을 첨가, 응고 침전시켜 60 °C에 가열한 후 탈수 건조시킨 물질로서  $\alpha$ (60%),  $\beta$ (17.6%),  $\gamma$ (2.4%)의 3성분으로 이루어졌으며 분자량은 75,000~375,000이다.

이상의 표면강화물질들은 점도가 높아 콘크리트 내부에 침투되기 어려우므로 표면강화물질이 콘크리트 표면 내부로의 침투 강화를 위해 본 연구에서 증류수와 침투강화물질을 사용하였다. 침투강화물질은 Table 3에 나타난 바와 같이 불소계(음이온계, 비이온계), 실리콘계(음이온계, 비이온계)를 사용하였다.

#### 3.2 시험 방법

콘크리트 표면강화물질이 콘크리트 표면 내부에 침투하기 위해서는 점도와 표면장력이 상당히 중요하므로 본 시험에서 콘크리트 표면강화 구성에 필요한 실리케이트의 종류, 증류수-실리케이트 비, 침투강화물질의 종류 및 양, 반응성 강화물질의 첨가 유무에 대해 침투력을 검토하였다.

##### 3.2.1 점도 시험

점도시험은 KS M 3705(접착제의 일반 시험 방법)의 단일원통 회전점도계에 의한 방법에 준하여 실시하였다. 본 시험에 사용한 기기는 브룩필드 점도계(Brookfield viscometer DV-II+)로서 스피들(spindle)을 표시선까지 시료 안에 넣어, 동기 전동기를 가진 스피들이 시료 안에서 일정하게 회전하는 데 걸리는 토크(torque)를 이용하여 이에 대한 저항값으로서 점도를 측정한다. Fig. 1은 브룩필드 점도계로 콘크리트 표면강화물질의 점도를 측정하는 모습이다.

##### 3.2.2 표면장력 시험

액체의 표면장력을 측정하는 방법으로는 모세관 상승법, 방울 무게법, 링법, 기포 압력법이 있으며 본 시험에서는 콘크리트 표면강화물질의 표면장력을 검토하기 위해 링법에 기초를 둔 Du Nouy 장력계를 사용하였으며, 시험장치는 Fig. 2와 같다.



Fig. 1 Viscometer

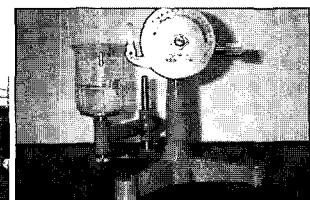


Fig. 2 Surface tension meter

### 3.3 시험 결과

#### 3.3.1 실리케이트 종류의 영향

Fig. 3은 실리케이트 종류가 점도 및 표면장력에 미치는 영향이다. 증류수-실리케이트 비는 30%, 침투강화물질은 불소계-비이온계 0.01%를 사용하였다. 그 결과, 실리케이트의 종류가 점도에 미치는 영향은 상당히 크고, 실리카와 나트륨의 구성비가 클수록 점도가 작아지는 경향을 하고 있다. 그리고 실리케이트 종류에 따른 표면장력의 차이는 그리 크지 않으나, 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 실리케이트 A의 표면장력이 가장 낮다. 이상과 같이 콘크리트의 표면 강화물질로 실리케이트를 사용할 경우, 침투력 측면에서 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 A가 유리한 것으로 판단된다.

#### 3.3.2 증류수-실리케이트 비의 영향

Fig. 4는 증류수-실리케이트 비가 점도와 표면장력에 미치는 영향이다. 실리케이트는 A를 사용하였고, 침투강화물질은 불소계-비이온계 0.01%를 사용하였다. 그 결과, 증류수-실리케이트 비가 클수록 점도는 작아지는 경향을 하고 있고, 표면장력도 증류수-실리케이트 비가 클수록 낮아지는 경향을 하고 있으나, 증류수-실리케이트 비 60% 이상부터 표면장력이 증가하고 있다. 이상의 결과로부터 침투력 측면에서 증류수-실리케이트 비는 30~60% 정도를 선택하는 것이 유리한 것으로 판단된다.

#### 3.3.3 반응성 강화물질의 영향

Fig. 5는 반응성 강화물질의 종류와 양이 침투력에 미치는 영향이다. 반응성 강화물질은 해조류 추출물 S와 단백질 추출물 P를 사용하였고, 그 양은 0, 0.05, 0.1, 0.2%, 증류수-실리케이트 비는 30%, 침투강화물질은 불소계-비이온계 0.01%, 실리케이트는 A를 사용하였다. 그 결과, 반응성 강화물질의 종류에 상관없이 첨가한 양이 많을수록 점도 및 표면장력이 증가하고 있으나, 반응성 강화물질 0.1%까지는 큰 영향을 미치지 않고 있다. 또한 단백질 추출물 P보다 해조류 추출물 S가 침투력 측면에서 다소 우수한 것으로 나타났다. 이상의 결과로부터 침투력 측면에서 반응성 강화물질은 해조류 추출물 S가 유리하고, 0.1%까지 침투력에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

#### 3.3.4 침투강화물질의 영향

Fig. 6은 침투강화물질의 종류 및 양이 점도와 표면장력에 미치는 영향이다. 침투강화물질의 종류의 영향은 사용하는 양이 다르기 때문에 직접적으로 비교하기 어렵지만, 불소계가 실리케이트 보다는 약간 양호한 결과를 얻었으며, 특히 실리콘 음이온계의 경우는 사용량이 많을수록 오히려

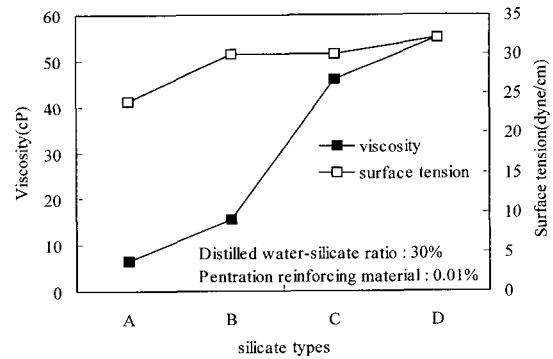


Fig. 3 Influence of silicate types

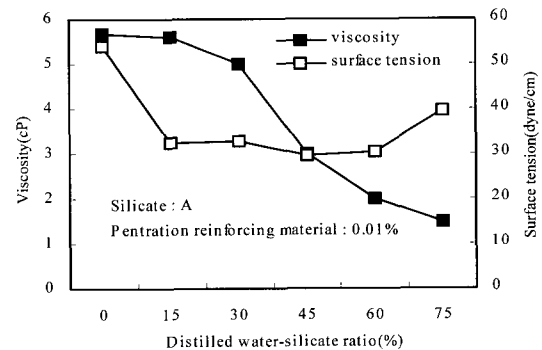


Fig. 4 Influence of distilled water-silicate ratio

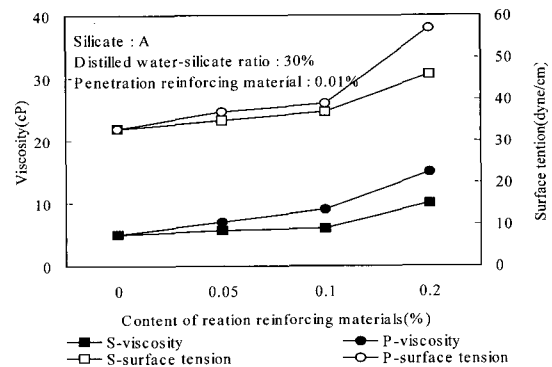
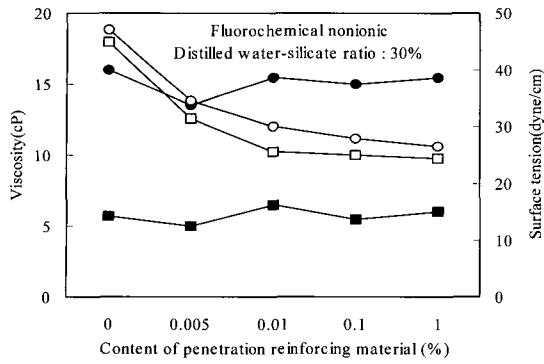


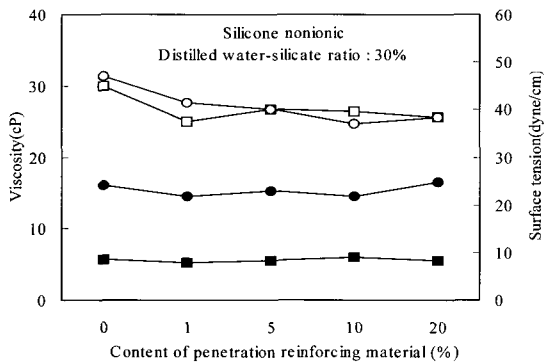
Fig. 5 Influence of reaction reinforcing material

려 점도 및 표면장력이 증가되는 결과를 얻었다. 불소계 침투강화물질은 음이온계와 비이온계에 상관없이 0.1%까지 양이 많을수록 표면장력이 작아지는 경향을 하고 있으며 0.1% 이상부터 조금씩 표면장력이 증가하고 있다. 그리고 침투강화물질을 첨가하지 않은 경우에 표면장력은 60 dyne/cm 정도이었으나, 0.005%를 첨가한 경우에 표면장력은 30 dyne/cm 정도로 낮아졌다.

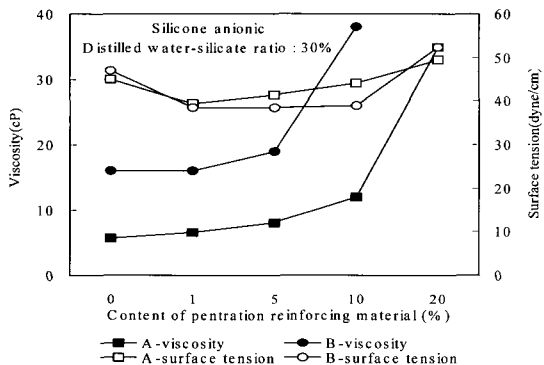
이상과 같이 침투강화물질을 사용함으로써 어느 농도까지 점도에 별다른 영향을 미치지 않고 표면장력은 양이 많을수록 감소하여 침투력이 향상되는 것으로 나타났다. 그리고 이 농도를 초과하면 점도와 표면장력은 증가되어 오히려 침투력이 저하되는 경우가 발생하였다.



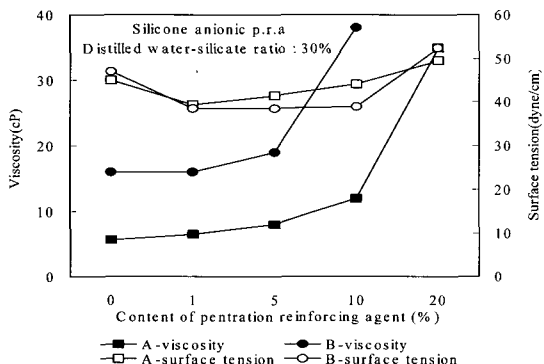
(a) Fluorochemical nonionic



(b) Silicone nonionic



(c) Silicone anionic



(d) Silicone anionic

Fig. 6 Influence of penetration reinforcing agent



Fig. 7 Structure of penetration reinforcing material

침투강화물질은 Fig. 7과 같이 구조적으로 물에 친화성을 나타내는 친수기와 유기용매에 친화성을 나타내는 친유기 양쪽을 동시에 분자 내에 갖는 화합물로 구성되어 있다. 침투강화물질의 친유기는 물과 멀리하고자 하는 성질이 있으므로 기벽에 가까이 있거나 수면에 모여서 물 밖의 공기 쪽으로 이동하고 친수기는 수중으로 이동함에 따라 물과 공기 사이의 접촉면을 줄이려는 성질을 갖고 있어 침투강화물질을 첨가하면 표면장력이 저하되는 것이다. 그리고 침투강화물질의 농도가 증가하면 수표면에 더 있을 수 없고 표면장력이 더 이상 저하되지 않고 그 다음에는 친유기 상호간에 결합하여 친유기를 내부로 친수기는 물과 닿을 수 있도록 밖으로 하는 미셀(micelle)이라고 하는 집합체를 형성하여 표면장력을 역으로 증가시키는 것이다<sup>11)</sup>.

### 3.3.5 최적의 성능개선제의 구성물질 도출

이상과 같이 콘크리트 성능개선제의 구성 재료의 종류와 양이 점도와 표면장력 측면에서 침투력을 평가한 결과, 실리케이트는 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 A, 증류수-실리케이트 비는 30~45% 정도, 침투강화물질은 불소계 0.01% 정도, 반응강화물질은 해조류 추출물 S 0.1%까지가 침투력 측면에서 가장 적합한 것으로 도출되었다.

## 4. 최적의 구성물질의 배합비 선정

앞에서 선정된 재료들의 조합에 의해 콘크리트 성능개선제로서의 요구되는 성능에 가장 적합한 재료의 배합비에 대해 검토하여 최종적으로 침투형 콘크리트 성능개선제를 개발하였다.

### 4.1 사용 재료 및 배합비

Table 4는 사용된 재료의 주요 물성을 나타내었다. 실리케이트는 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 A를 기본으로 하여 비교를 위해 B에 대해서도 검토하였다. 그리고 사용재료의 배합비를 Table 5에 나타내었다.

### 4.2 시험 방법

최적의 침투형 성능개선제의 배합비를 선정하기 위해 압축강도, 흡수율, 투수성, 염화물 및 중성화 차단성 시험을 실시하였다.

여기서 사용된 콘크리트는 동일한 배합조건 하에서 공시체를 제작하기 위해 레미콘을 사용하였다. 배합조건은 설계기준강도 21 MPa, 슬럼프 10cm, 공기량 2.0%로 하였다. 타설된 공시체는 28일 습윤양생을 실시, 7일간 기건양생 후 침투형 성능개선제를 표면에 도포하였다. Table 6은 사용된 콘크리트의 배합비이다.

**Table 4** Properties of performance improving agent

Materials		Main properties
Silicate	A	Density 1.26 g/cm <sup>3</sup> , Iron 0.03 %, Sodium 6 %, Silica 23 %
	B	Density 1.38 g/cm <sup>3</sup> , Iron 0.03 %, Sodium 9 %, Silica 28 %
Reaction reinforcing material		Marine algae S, pH 7.2, Water content 7.013 %
Penetration reinforcing material		Fluorine type, Density 1.06 g/cm <sup>3</sup> , Solid content 40 %

**Table 5** Mix proportions of performance improving agent

Materials	Mix proportion
Silicate	A, B
Reaction reinforcing material(%)	0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3
Penetration reinforcing agent(%)	0.01
Distilled water-silicate ratio(%)	0, 15, 30, 45, 60, 75

**Table 6** Mix proportion of concrete

W/C (%)	S/a (%)	Air (%)	Slump (cm)	Unit content(kg/m <sup>3</sup> )			
				W	C	S	G
54.9	47.7	2.0	10	168	306	871	963

**4.2.1 압축강도 시험**

콘크리트의 압축강도 시험은  $\phi 100 \times 200$  mm 원주형 공시체에 침투형 성능개선제를 도포하여 3일간 온도 23 °C의 실내에서 습윤양생(살수에 의해 충분한 수분 공급)을 실시한 후 다시 4일간 기건양생(온도 23%, 상대습도 55%)한 다음에 압축강도 시험을 실시하였다. 압축강도 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 준하여 압축강도를 측정하였으며, 압축강도는 공시체 3개의 값을 평균으로 하여 구하였다.

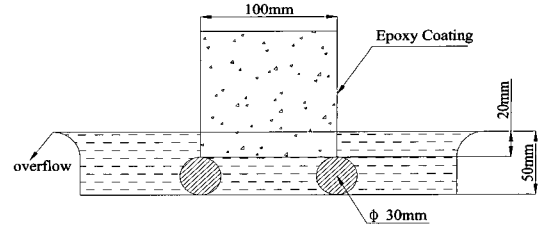
**4.2.2 흡수율 시험**

흡수율 시험에 사용된 시편은  $\phi 100 \times 100$  mm 원주형 공시체에 침투형 성능 개선제를 도포한 후 일방향 침투를 유도하기 위하여 공시체의 측면을 에폭시로 코팅을 하였다. 흡수율 시험은 Fig. 8과 같이 침투형 성능개선제를 도포한 면을 48시간 동안 물에 잠기도록 하였다. 그리고 흡수율 시험이 끝난 즉시 공시체를 이등분으로 할렬하여 그 면에 수분 흡수 깊이 측정용 시약을 뿌려 흡수 깊이를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다.

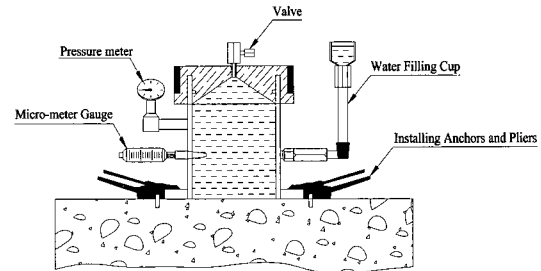
**4.2.3 투수성 시험**

투수성 시험은  $200 \times 200 \times 100$  mm의 직육면체 콘크리트 공시체에 침투형 성능개선제를 도포한 후 3일간 물을 분무하였으며 4일간은 기건양생을 한 다음 실시하였다. Fig. 9는 투수성 시험장치의 개요이다.

**4.2.4 염화물 차단성능 평가**



**Fig. 8** Absorption test



**Fig. 9** Water permeability test

염화물 차단성능 평가 시험은  $100 \times 100 \times 100$  mm의 공시체의 밑면에 침투형 성능개선제를 도포한 후 1방향으로의 침투를 유도하기 위하여 옆면에 에폭시 코팅한 후 NaCl 3.6%의 용액에 침적한 후 깊이별 산가용성 염화물 함유량을 측정하였다. 염화물 함유량 측정은 콘크리트 표면으로부터 일정한 간격으로 시료 20g을 채취한 후 일본콘크리트공학협회 기준(안) [경화 콘크리트 중의 염분량 측정 방법]에 의해 염화물을 추출하여 이온전극법을 이용한 일본 K사 제품의 AG-100을 이용하여 측정하였다.

**4.2.5 중성화 억제성능 평가**

중성화 억제능력 평가 시험은  $\phi 100 \times 100$  mm의 공시체를 침투형 성능개선제로 도포한 후 2방향의 이산화탄소 침투를 유도하기 위하여 공시체 옆면을 에폭시로 코팅하였다. 코팅 후 이산화탄소 10%, 온도  $30 \pm 3$  °C 및 습도  $60 \pm 5$  %에 30일간 노출시킨 후 페놀프탈레인 용액에 의한 발색 깊이를 측정하였다.

**4.3 시험 결과 및 고찰**

**4.3.1 강도**

Fig. 10은 실리케이트 종류 및 증류수-실리케이트 비가 강도에 미치는 영향이다. 여기서 실리케이트는 실리카와 나트륨의 구성비 3.4(실리케이트 A)와 실리카와 나트륨의 구성비 3.2(실리케이트 B) 2종류를 사용하였다. 그 결과, 실리케이트 종류와 증류수-실리케이트 비에 상관없이 무처리 콘크리트에 비해 강도가 증진되었고, 이것은 실리케이트가 콘크리트에 내부에 침투하여 콘크리트 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 규산칼슘계 수화물(C-S-H)를 생성하여

콘크리트 조직이 치밀해지기 때문으로 판단된다<sup>7,12,13</sup>.

실리케이트 종류에 따른 영향을 보면, 실리케이트 A가 B보다 강도 증진 효과가 우수한 것으로 나타났으며, 이것은 실리케이트의 실리카와 나트륨의 구성비와 침투력에 관계된 것으로 사료된다. 실리케이트는 실리카와 나트륨의 구성비가 클수록, 즉 실리카 성분이 많은 A가 수산화칼슘과 반응을 많이 하여 콘크리트의 조직이 치밀해지고, 또한 점도와 표면장력의 결과에 의하면 실리케이트 B보다 A가 침투력 측면에서 유리하므로 콘크리트에 침투가 많아 콘크리트와 반응을 많이 했기 때문으로 판단된다<sup>12</sup>.

그리고 증류수-실리케이트 비의 영향을 보면, 증류수-실리케이트 비 30%, 45%에서 효과가 크게 나타났다. 이처럼 증류수-실리케이트 비 30%, 45%가 다른 증류수-실리케이트 비보다 강도 증진 효과가 큰 것은 증류수-실리케이트 비 0%, 15%에서 점도와 표면장력이 증가되어 침투력이 저하됨으로서 콘크리트와 반응이 적었기 때문이고, 증류수-실리케이트 비 60%, 70%에서 실리케이트 성분이 적어 콘크리트 수화생성물인 수산화칼슘과 반응이 많이 일어나지 않았기 때문으로 판단된다.

Fig. 11은 해조류 추출물 S의 반응성장화물질 첨가율이 강도에 미치는 영향이다. 반응성장화물질 첨가율에 상관없이 강도가 증진되고 있으며, 특히 첨가율 0.1%까지는 침

가율이 높을수록 강도 증진효과가 우수하고, 첨가율 0.1% 이상부터 첨가율이 높을수록 강도 증진 효과가 저하되는 결과를 얻었다. 해조류 추출물 S에는 실리카 성분과 나트륨 성분이 존재하여 콘크리트 성분인 칼슘이온과 반응하여 규산칼슘계 수화물(C-S-H)을 생성함으로써 콘크리트 조직이 더욱 치밀해진다고 생각된다. 그리고 첨가율 0.1% 전후에서 강도에 미치는 영향이 다른 것은 해조류추출물 0.1%까지는 점도와 표면장력에 그리 큰 영향을 미치지 않고, 그 이상부터 점도와 표면장력이 증가되어 침투력 측면에서 저하되었기 때문이다.

이상 강도의 결과를 정리하면, 실리카와 나트륨 구성비가 큰 A, 실리케이트-증류수비 30~40%, 해조류 추출물 S는 0.1%으로 구성하는 것이 강도증진 측면에서 가장 유리할 것이다.

### 4.3.2 흡수율

Fig. 12는 실리케이트 종류와 증류수-실리케이트 비가 흡수율에 미치는 영향을 검토하기 위해 48시간 동안 흡수율 시험을 실시한 결과이다. 흡수율 측면에서도 강도 결과와 마찬가지로 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 A와 증류수-실리케이트 비 30%와 45% 정도가 유리한 것으로 나타났다.

Fig. 13은 콘크리트 공시체를 48시간 흡수시킨 다음 공시체를 이등분으로 할렬하여 그 면에 수분침투 측정용 시약을

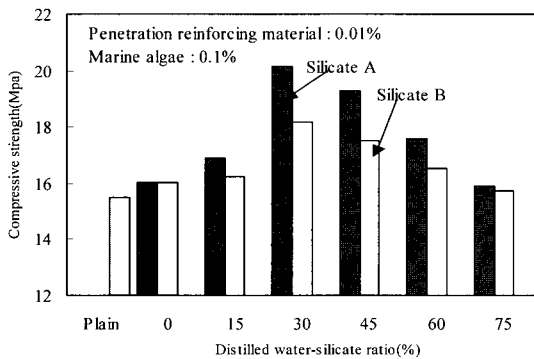


Fig. 10 Influence on strength of distilled water-silicate ratio

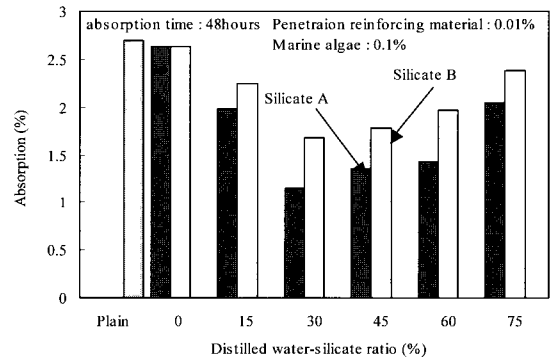


Fig. 12 Influence on absorption of distilled water-silicate ratio and silicate type

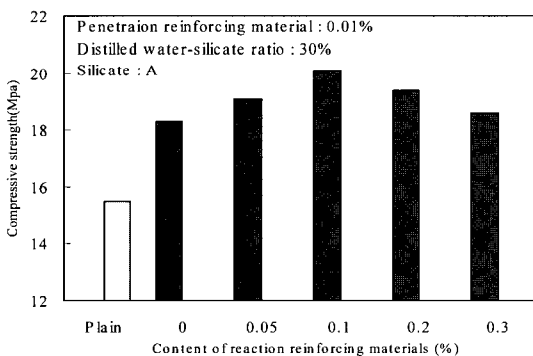


Fig. 11 Influence on strength of reaction reinforcing material

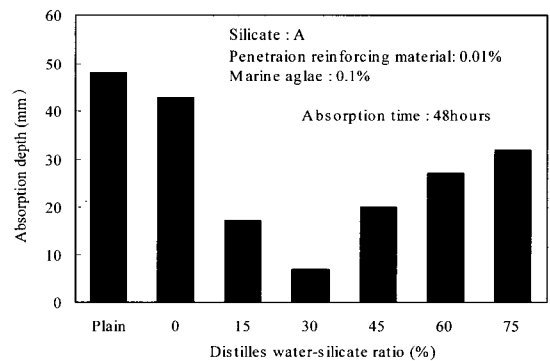


Fig. 13 Influence on absorption depth of distilled water-silicate ratio

뿌려 흡수 깊이를 측정된 결과이다. 콘크리트 공시체의 흡수깊이는 흡수율과 마찬가지로 증류수-실리케이트 비와 실리케이트 종류에 상관없이 무처리 공시체보다 물이 침투가 되지 않았으며, 특히 실리케이트 A와 증류수-실리케이트 비 30%에서 물의 침투가 가장 적은 것으로 나타났다.

Fig. 14는 해조류 추출물 S의 반응성 강화물질 첨가율에 따른 흡수율의 결과이다. 반응성 강화물질 첨가율에 상관없이 Plain보다 흡수율이 작으며, 특히 첨가율 0.1%까지는 첨가율이 높을수록 흡수율 측면에서 유리하고, 첨가율 0.1% 이상부터 첨가율이 높을수록 흡수율 측면에서 불리한 것으로 나타났다.

이상과 같이 흡수율의 결과를 정리하면, 실리카와 나트륨 구성비가 큰 A, 실리케이트-증류수비 30% 해조류 추출물 S 0.1%으로 구성하는 것이 흡수율 측면에서 가장 유리할 것이다.

### 4.3.3 투수성

Fig. 15는 실리케이트 종류 및 증류수-실리케이트비가 투수성에 미치는 영향이다. 증류수-실리케이트 비가 0%인 경우에는 실리케이트 종류에 상관없이 수밀성 증진에 효과가 없는 것으로 나타났다. 이처럼 증류수-실리케이트 비 0%의 경우에 수밀성 증진에 효과가 없는 것은 점성과 표면장력이 너무 크기 때문에 침투력 저하에 의해 콘크리트 내부로 실리케이트가 침투가 되지 못했기 때문으로 판

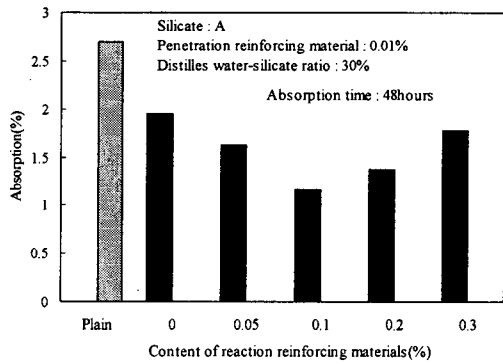


Fig. 14 Influence on strength of reaction reinforcing material

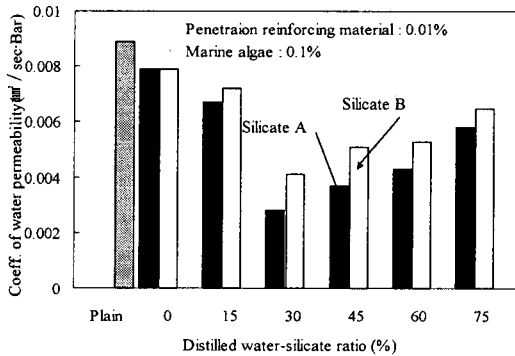


Fig. 15 Influence on water permeability of distilled water-silicate ratio and silicate type

단된다. 그러나 증류수-실리케이트 비 15%, 30%, 45%인 경우에 도포한 전과 후에 투수계수가 상당히 감소하고 특히 30%에서 그 효과가 현저히 나타났다. 이것은 실리케이트에 증류수를 혼합시킴으로서 성능개선제의 점도 및 표면장력이 낮아져 콘크리트 내부로 침투가 많아 시멘트의 수화생성물인 수산화칼슘과 반응하여 C-S-H를 생성하여 콘크리트 조직이 치밀해졌기 때문으로 판단된다.

Fig. 16은 해조류 추출물 S의 첨가율에 따른 투수성 시험결과이다. 해조류 추출물 S의 첨가율 0.1%까지는 첨가율이 증가할수록 수밀성이 증진되며, 그 이상부터는 그 효과가 저하되는 것으로 나타났다.

이상 투수성 시험결과로부터, 실리케이트 A, 증류수-실리케이트 비 30%과 해조류 추출물 0.1%가 수밀성 증진에 가장 효과가 있는 것으로 확인되었다.

### 4.3.4 염화물 차단 성능

Fig. 17은 증류수-실리케이트 비 및 실리케이트 종류가 염화물 차단성능에 미치는 영향은 검토하기 위해 NaCl 3.6% 수용액에 90일 동안 염화물 침적 시험을 실시한 결과이다. 그 결과, 증류수-실리케이트 비에 상관없이 실리케이트 A가 실리케이트 B보다 염화물 차단 성능이 뛰어난 것으로 나타났다. 그리고 증류수-실리케이트 비 30%

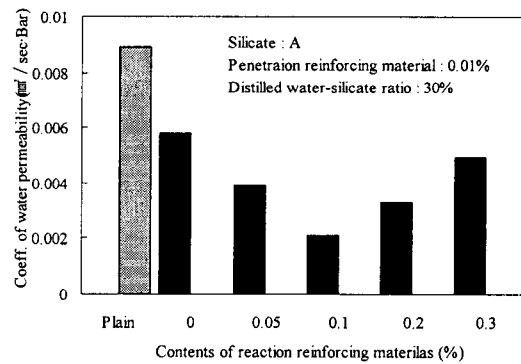


Fig. 16 Influence on water permeability of reaction reinforcing material

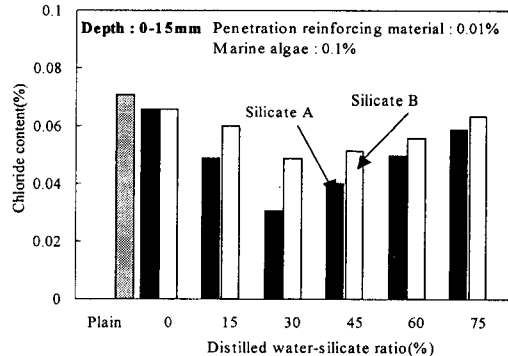


Fig. 17 Influence on chloride block performance of distilled water-silicate ratio and silicate type

까지는 증류수-실리케이트 비가 클수록 염화물 차단 성능이 뛰었으며, 30% 이상부터 증류수-실리케이트 비가 클수록 염화물 차단 성능이 저하되는 것으로 나타났다.

Fig. 18은 반응성 강화물질 첨가율에 따른 염화물 차단 성능에 미치는 영향이다. 반응성 강화물질 0.1%을 사용한 경우가 염화물 차단성능이 가장 뛰어난 것으로 나타났다.

이처럼 침투형 성능개선제를 도포함으로써 염화물 이온 차단성능이 증진되는 것은 콘크리트 내부의 조직이 치밀함과 또한 침투된 염화물의 고정화 등으로 설명할 수 있다. 침투형 성능개선제를 도포함으로써 강도, 흡수율, 투수성시험 결과와 마찬가지로 실리케이트 성분 및 반응성 강화물질과 수산화칼슘과의 반응으로 C-S-H 생성하여 콘크리트 내부의 조직이 치밀하게 만든 것이 염화물 이온 차단 성능이 증진된 주요 원인이다<sup>9)</sup>.

이상과 같이 90일 동안 NaCl 3.6% 수용액에 침적시험을 실시한 결과, 실리케이트 A, 증류수-실리케이트비 30%, 해조류 추출물 0.1%가 염화물 차단 성능 측면에서 가장 효과가 있는 것으로 확인되었다.

#### 4.3.5 중성화 억제 성능 시험 결과

Fig. 19는 실리케이트 종류와 증류수-실리케이트 비가 중성화 억제성능을 평가한 결과이다. 증류수-실리케이트 비에 상관없이 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 A가 구성비가 작은 B보다 중성화 깊이가 작게 나타났다. 그리고 증류수-실리케이트 비 30%까지는 실리케이트가 많이 포함될수록 중성화 억제성능이 우수하며, 그 이후부터는 실리케이트가 많이 포함될수록 중성화 억제성능이 저하되는 것으로 나타났다.

Fig. 20은 반응성 강화물질의 첨가율에 따른 중성화 억제성능을 평가한 결과이다. 중성화 억제성능도 다른 시험과 마찬가지로 반응성 강화물질 0.1%까지는 첨가율이 많을수록 중성화 억제성능이 우수하고, 그 이상부터 억제성능이 저하되는 것으로 나타났다.

이처럼 실리케이트, 반응성 강화물질 및 침투강화제 등으로 구성된 성능개선제를 콘크리트에 도포하면 중성화 억제성능이 우수한 것은 실리케이트 및 반응성 강화물질이 콘크리트의 수화생성물인 Ca(OH)<sub>2</sub>와 반응하여 규산염을 생성하여 콘크리트 조직이 치밀해져 콘크리트 내부로의 CO<sub>2</sub> 침투를 차단시켰고, 또한 일부 CO<sub>2</sub>가 침투되어 중성화되더라도 규산염의 pH 13 정도이므로 알칼리성이 부여되었기 때문으로 판단된다.

이상과 같이 중성화 시험을 실시한 시험결과, 실리케이트 A, 증류수-실리케이트 비 30%, 해조류 추출물 0.1%가 중성화 차단 성능 측면에서 가장 효과가 있는 것으로 확인되었다.

### 5. 침투형 성능개선제의 메커니즘

콘크리트 침투형 성능개선제를 도포하여 압축강도, 흡수율, 투수성, 투기성, 염화물 및 중성화 차단 성능을 평가한

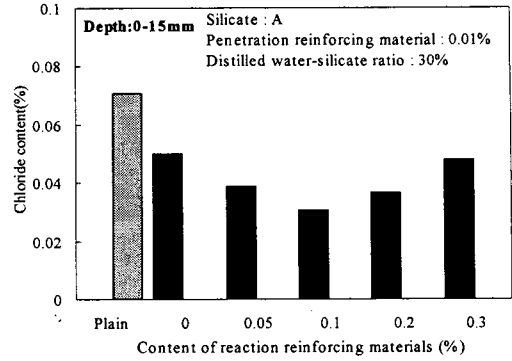


Fig. 18 Influence on chloride block performance of reaction reinforcing material

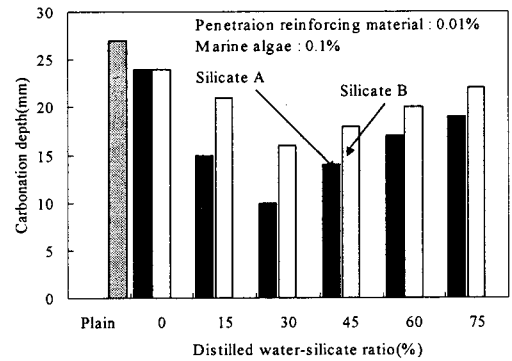


Fig. 19 Influence on carbonation block performance of distilled water-silicate ratio and silicate type

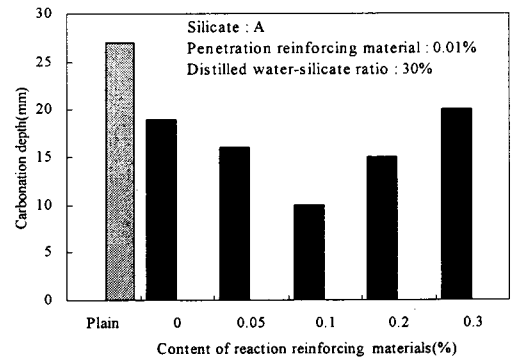
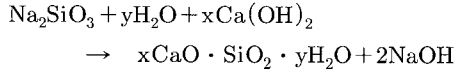


Fig. 20 Influence on carbonation block performance of biochemical material

결과, 실리케이트 A, 실리케이트-증류수 비 30%, 해조류 추출물 S 0.1%, 침투강화제는 0.01%의 조합이 가장 우수한 결과를 얻었다. 그리고 침투형 성능개선제가 콘크리트의 성능을 향상시키는 메커니즘은 다음과 같다.

실리케이트 성분은 콘크리트 내부에 수분이 존재하면 콘크리트 수화물인 수산화칼슘과 신속하게 반응하여 규산염 겔 (Calcium Silicate Hydrate gel)을 형성한다. 이 규산염 겔은 콘크리트 내에 존재하는 균열, 공극 등의 취약조직을 메워 콘크리트 조직이 치밀해지는 것이다<sup>17,18)</sup>





실리카와 나트륨의 구성비가 큰 실리케이트가 콘크리트 표면 성능 향상에 우수한 것은 실리카 성분이 콘크리트 수화 생성물인  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응을 많이 하고, 또한 침투력 측면에서도 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 실리케이트가 침투력 측면이 유리하므로 콘크리트에 침투가 많아 콘크리트와 반응을 많이 하기 때문이다. 또한, 증류수-실리케이트 비가 침투력과 콘크리트와의 반응성을 고려하면 30%가 콘크리트 조직을 가장 치밀하게 하는 것으로 나타났다.

해조류 추출물 S는 Fig. 21과 같은 화학구조를 하고 있으며, 그 중에서 2개의 나트륨이온( $\text{Na}^+$ )과 콘크리트 성분 중의 칼슘이온( $\text{Ca}^{2+}$ ), 마그네슘( $\text{Mg}$ )과 같은 2가의 금속이온이 양이온에 의해 교차결합을 하여 화학적으로 신속하고 안정된 겔을 형성하며, 또한 이 반응은 콘크리트 내부의 pH가 8.5 이상 조건 하에서 수분과 칼슘이온이 존재하면 연속적으로 반응을 한다. 이상과 같이 실리케이트와 해조류 추출물 S를 사용한 경우에는 콘크리트 조직을 치밀하게 하여 강도, 수밀성, 방수성능 및 이물질 차단성능을 증가시키는 것으로 판단된다.

한편, 성능개선제를 콘크리트 표면에 도포한 경우, 콘크리트 조직을 어느 깊이까지 어느 정도 치밀하게 하는가를 검토하기 위해 실리케이트 A, 증류수-실리케이트 비 30%, 해조류 추출물 0.1%, 침투강화제 0.01% 등으로 제조된 성능개선제를 콘크리트 표면에 도포하여 7일간 양생한 다음 콘크리트 깊이별로 시료를 채취하여 다이아몬드 절단기로 5mm 정도 크기로 시료를 만들어 수은압입법(MIP)에 의해 세공구조(기공률, 기공분포)를 측정하였다.

Fig. 22는 각각 성능개선제의 도포 유무에 따른 콘크리트 깊이별 전체 기공용적 결과이다.

성능개선제를 도포한 결과, 콘크리트 표면으로부터 5mm까지 기공률이 50%로 감소하고 있으며,  $0.05\mu\text{m}$  이상의 비교적 큰 기공이 감소하고  $0.05\mu\text{m}$  이하의 작은 기공이 증가하여 콘크리트 조직이 상당히 치밀해지고 있음을 알 수 있다. 그리고 5mm 이상부터 성능개선제의 영향이 감소하고 있으며, 10mm 이상부터 거의 효과가 없는 것으로 나타났다. 이상과 같이 콘크리트 침투형 성능개선제는 콘크리트 표면으로부터 10mm 정도까지 침투가 되며, 특히 5mm까지는 콘크리트 조직을 상당히 치밀하게 하는 것으로 판명되었다.

그리고 일반적으로 기공 크기  $0.05\mu\text{m}$  이상의 비교적 큰 공극은  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  생성량과 천이대가 풍부하게 형성되는 경우에 많이 존재하여 콘크리트 강도, 수밀성, 이온투과성 및 동결융해 저항성에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있고<sup>6,12)</sup>, 본 연구에서 개발된 침투형 성능개선제를 도포하면 콘크리트 표면으로부터 10mm까지의 기공률과  $0.05\mu\text{m}$

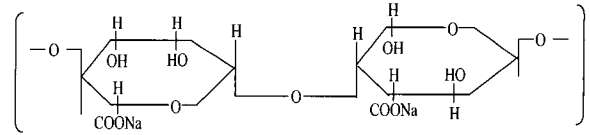


Fig. 21 Chemical structures of biochemical material

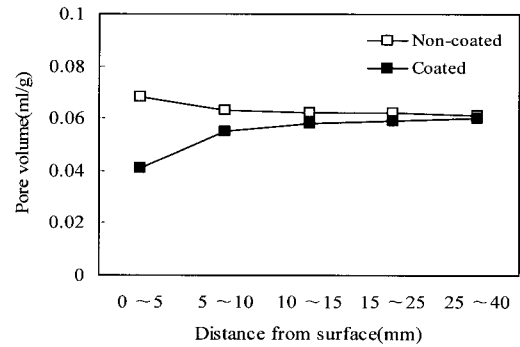
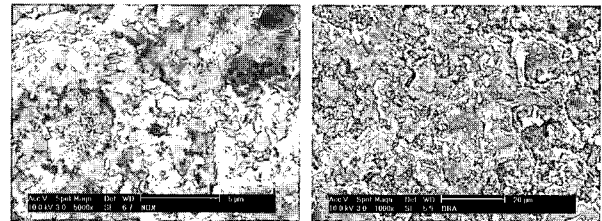


Fig. 22 Total pore volume



(a) Non-coated

(b) Coated

Fig. 23 SEM micrographs of non-coated and coated specimens

이상의 공극을 감소시켜 강도, 수밀성 및 이온투과성을 향상시킨 것으로 판단된다.

Fig. 23은 콘크리트 표면에서 5mm까지의 시료를 채취한 다음 침투형 성능개선제의 도포 유무에 따른 SEM 사진을 촬영한 결과이다. 그 결과, 무도포의 시료인 경우 큰 공극이 많이 존재하고 있으나, 본 연구에서 개발한 성능개선제를 도포한 시료인 경우, 콘크리트 조직이 치밀해져 있음을 알 수 있다.

이상의 콘크리트 침투형 성능개선제의 메커니즘을 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. 이로써 콘크리트의 조직이 치밀해져 강도 증진과 방수성능 및 염화물 이온, 이산화탄소, 물과 같은 이물질의 차단성능이 향상된다. 그리고 콘크리트 침투형 성능개선제를 콘크리트 도포하면 콘크리트 표면으로부터 약 10mm까지 침투가 되며, 특히 5mm까지의 콘크리트 조직을 치밀하게 만드는 효과가 두러지게 나타났다.

## 6. 결 론

본 연구에서 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 침투형 성능개선제의 구성 재료의 종류와 양이 점도와 표면장력 측면에서 침투력을 평가한 결과, 실리케이트는 실리카와 나트륨의 구성비가 큰 A, 증류수-실리케이트 비는 30~45% 정도, 침투강화제는 불소계 0.01% 정도, 반응성 강화물질은 해조류 추출물 S 0.1% 까지가 침투력 측면에서 가장 적합한 것으로 판단된다.
- 2) 압축강도, 흡수율, 투수성, 투기성, 염화물 및 중성화 차단성능을 평가한 결과, 실리케이트 A, 실리케이트-증류수 비 30%, 해조류 추출물 S 0.1%, 침투강화제는 0.01%의 조합이 가장 우수한 것으로 분석되었다.
- 3) 개발된 콘크리트 침투형 성능개선제는 콘크리트 표면으로부터 약 10mm까지 침투가 되며 특히 5mm까지의 조직의 치밀 효과가 두드러지게 나타났다.
- 4) 본 연구에서 개발된 콘크리트 침투형 성능개선제를 콘크리트 표면에 도포하면 콘크리트 표면의 조직이 치밀해져 강도 증진과 방수성능 및 염화물이온, 이산화탄소 가스, 수분과 같은 이물질의 차단성능 향상에 크게 기여할 것으로 판단된다.
- 5) 본 연구에서 개발된 콘크리트의 침투형 성능개선제를 실제 콘크리트 구조물에 안정적으로 적용하기 위해 장기적인 성능검증 및 다양한 콘크리트에 적용성을 검토할 예정이다.

## 참고문헌

1. 김도겸, 이상화 외, RC구조물 보수·보강재에 관한 조사 연구, 한국건설기술연구원, 1997, pp.4~32.
2. 서울특별시, 콘크리트 구조물의 부식상태 조사 및 방지대책, 서울특별시, 1998, pp.25~38.
3. 고경택, 김성욱, “도포형 표면강화제 적용 콘크리트의 성능 검증법에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술 발표회 논문집, 12권2호, 2000, pp.1025~1030.
4. 조성훈, 광규성, 오상근, “고성장 유기결정체의 생성 메커니즘을 이용한 콘크리트 표층부의 수밀성 개선공

- 법”, 한국구조물진단학회지, 5권 3호, 2001, pp. 817~820
5. 김도겸, 고경택, 류금성, “콘크리트 보수재료로서 도포형 표면강화물질 검토”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 13권 2호, 2001, pp.497~502.
6. Khalid, M. and Aslam, M., “Waterproofing treatment for masonry and lime concrete surface”, *Indian Concrete Journal*, Vol.54, 1980, pp.503~509.
7. 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, pp.237~243.
8. Buenfeld, N. R. and Zhang, J. Z., “Chloride diffusion through surface-treated mortars specimens”, *Cement and Concrete Research*, Vol.28, No.5, 1998, pp. 665~674
9. Thompson, J. L. and Scheetz, B. E., “Characterization of silicate sealers on concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol.27, No.10, 1997, pp.1561~1567.
10. Hatterji, S., “Concrete durability and CaO/SiO<sub>2</sub> mole ratio of CSH”, *Cement and Concrete Research*, Vol.25, No.5, 1995, pp.929~937.
11. Lind, A. and Anderson, J., “Solubilization of benzene derivatives in silicate-surfactant system”, *Colloids and Surface*, 2001, pp.415~422.
12. 竹内節, “吸着化學-表面制御テクノロジー”, 産業圖書, 1995, pp.33~43.
13. Mehta, P. K., *Concrete/microstructure, Properties, And Materials*, Prentice-Hall, 1986, pp.321~333.
14. Academic Press, *Sol-Gel Science*, Kluwer Academic Publishers, 1990, pp.56~77.
15. 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, pp.88~92.
16. 田中亨二, 吳祥根, “ケイ酸質塗布防水材料によるコンクリートの内部組織の變化”, 日本建築學會構造系論文報告集, 416号, 1990, pp.165~188.
17. 長島喜一良, “無機質系下地補修材の軀體保護機能とその施工例”, 七技年報, No.42, 1987, pp.43~47.
18. シーエムシー, 新コンクリート用混和材料, 1988, pp.96~103.

## 요 약

최근 콘크리트 구조물의 성능 저하는 염해, 중성화, 동결융해 및 기타 요인에 의해 증가하고 있고 콘크리트 성능 저하를 방지하기 위해 다양한 대책이 강구되고 있다. 이러한 콘크리트 성능 저하를 방지하기 위한 방법 중에 콘크리트 표면을 보호함으로써 성능 저하 요인을 차단할 수 있는 콘크리트 표면 처리제가 종종 사용되고 있다. 콘크리트 보수·방수재료는 에폭시와 같은 유기계 재료가 많이 사용되고 있으며, 이런 재료는 초기접착력과 내약품성이 우수한 장점을 가지고 있다. 그러나 이런 유기재료는 콘크리트와의 탄성계수 및 수축팽창율이 차이로 시간이 경과함에 따라 박리, 들뜸 현상이 발생하는 등 내구성에 문제가 있는 것으로 지적되고 있다. 한편 최근 콘크리트 구조물의 내구성 및 방수성능을 향상시키기 위해 무기질계 침투형 보수·방수재의 사용사례가 증가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트 표면을 강화시켜 CO<sub>2</sub> 가스, 염화물 이온 등의 열화물질을 차단시키며 동시에 방수성능을 부여할 수 있는 콘크리트 침투형 성능개선제를 개발하였다.

**핵심용어** : 침투형 성능개선제, 방수성능, 내구성능 저하 물질 차단성능