



## 불소-실리카 복합형 균열저감제가 콘크리트의 수축균열 저항성 및 투기성에 미치는 영향

이만익<sup>1)</sup> · 박종화<sup>1)</sup> · 남재현<sup>1)</sup> · 김도수<sup>2)\*</sup> · 김재온<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>대전대학교 건축공학과, <sup>2)</sup>(주)트라이포드, <sup>3)</sup>신월종합건설(주)

## Effect of Fluorine-Silicate Hybrid Based Crack Reducing Agent on the Resistance for Shrinkage Crack and Gas Permeability of Concrete

Man-Ik Lee<sup>1)\*</sup>, Jong-Hwa Park<sup>1)</sup>, Jae-Hyun Nam<sup>1)</sup>, Do-Su Kim<sup>2)\*</sup>, and Jae-On Kim<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University, Daejeon 300-716, Korea

<sup>2)</sup>Tripod Co. Inc., Daejeon 306-808, Korea

<sup>3)</sup>Shin Wall Co. Ltd., Daejeon 302-170, Korea

**ABSTRACT** In this study, fundamental properties such as fresh and hardened performance of concrete mix (specification : 25-24-18) added fluorine-silicate hybrid based crack reducing agent(FS) were measured. Addition of FS ranged from 0.5% to 2.0% at intervals 0.5% based on cement weight. Adequate dosage(0.5%) of FS derived from basic properties measurements applied and compared resistance for shrinkage crack. The permeability of concrete in the absence(24-S-0.0) and presence(24-S-0.5) of evaluated at a mock-up sized concrete. Concrete added FS improved resistance for shrinkage crack and consequently crack number, length and area decreased to 50~74.4% compared non-added. As well, by the addition of FS, the resistance for permeability and penetration depth to concrete surface region increased 67% and 40%, respectively. Therefore it was confirmed that shrinkage crack resistance and permeability of concrete could be improved by the addition of FS.

**Keywords** fluorine-silicate hybrid, crack reducing agent, resistance for shrinkage crack, permeability

### 1. 서 론

건설기본 소재로서의 콘크리트는 무기계 결합재 및 골재가 결합된 복합구성 재료로서 강한 결합력에 의해 압축강도가 크고 열화환경에서도 내구적인 장점을 지니고 있다. 그러나 시멘트 수화반응 혹은 주위환경과의 상호작용을 통해 초기재령의 경화과정에서 큰 체적변화를 일으켜 균열이 유발되기 쉬운 단점도 지니고 있다. 또한, 장기재령에서도 지속적인 건조 환경에서 콘크리트 내부의 수분이 건조되어 수축응력에 의한 균열이 발생하는 등 구조부재로서 콘크리트 균열의 문제는 완전히 해결되지 못하고 있는 실정이다<sup>1)</sup>. 특히, 콘크리트 구조체로서 대형 매장 바닥이나 지하 주차장 바닥과 같은 슬래브 구조에서의 균열 발생은 건설 현장에서 현실적으로 매우 어려운 요인 중의 하나이다<sup>1)</sup>. 따라서 체적변화를 수반하는 콘크리트의 수화작용과 미세구조의 변화는 열화(deterioration), 크리프(creep) 및 수축(shrinkage)과 같은 시간 종속적 거동에 의해 지배 된다<sup>2)</sup>. 특히 수일 만에

발생하는 초기재령의 수축은 구조물 사용기간 동안 지속적인 영향을 주므로, 구조물은 일반적으로 다양한 형태의 구속 작용을 받게 된다. 이러한 체적의 불안정성(volumetric instability)은 콘크리트 구조물의 성능과 내구성에 악영향을 미치는 요인<sup>2)</sup>이 되므로 초기재령에서의 콘크리트의 급격한 체적변화, 특히 건조수축에 의한 구속응력을 억제하여 이로 인한 균열을 제어하는 것이 콘크리트 구조물의 내구성에 중요한 사항이 되고 있다.

최근, 콘크리트의 수축제어 및 내구성의 개선을 위해 다양한 방안들이 제기되고 있으나 현장 적용성과 시공성이 용이한 방안으로 콘크리트 시공단계에서 수축에 대한 저항성을 지닌 화학물질을 도입하여 이를 제어하는 기술로서 불소화합물을 적용하는 기술<sup>3-5)</sup>이 알려지고 있다.

특히 이전의 연구<sup>5-7)</sup>에서 규불화염과 같은 불소화합물은 콘크리트의 초기 유동성을 향상시키고, 증장기 강도를 증진하며, 수축저항성이 향상되는 특성이 여러 편 보고되고 있다. 그러나 콘크리트의 수축저감을 유도하는 불소화합물의 특성이 균열억제에 미치는 영향과 함께 내구성 검토에 대한 연구는 거의 발표되지 않고 있다.

이에 본 연구에서는 콘크리트 수밀성의 강화 및 건조 수축을 억제하는 효과가 있는 것<sup>8,9)</sup>으로 가용성 규불화염

\*Corresponding author E-mail : kds@tripod2003.co.kr  
Received February 28, 2006, Accepted August 21, 2006  
©2006 by Korea Concrete Institute

에 교질상(colloidal) 실리카를 수용액상태로 복합시킨 불소-실리카 복합형 균열저감제를 콘크리트에 적용하여 수축균열 저항성 및 투기성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.

## 2. 콘크리트 수축균열과 내구성

콘크리트에서는 발생요인 및 경화 전후 성상에 따라 소성수축, 온도수축, 건조수축, 자기수축, 탄산화수축 등 다양한 수축현상이 발생되게 된다. 이러한 수축현상 중 보통 콘크리트에서 체적변화에 가장 큰 영향을 미치고, 수축균열로서 발생확률이 높은 것이 건조수축 현상이다<sup>2)</sup>.

건조수축은 콘크리트가 경화된 후 콘크리트의 공극 내에 존재하는 수분이 증발되면서 체적감소가 유발되는 것으로, 시멘트의 수화 작용에 필요한 수량을 제외하고 자유수(잉여수)가 많은 배합일수록 건조수축량이 크게 된다. 이와 같이 수축균열의 요인으로 발생 확률이 가장 큰 건조수축 균열은 Fig. 1과 같이 콘크리트 치기 후 1~3개월 정도에서부터 부재의 크기에 따라 10년 이상 진행되는 것도 있으며, 타설 후 1년 이내에 60~80% 진행되는 것도 일반적이다.

이러한 수축균열이 콘크리트 구조물에서 발생되면, 유해인자, 수분 등이 내부로 침투하게 되고 이로 인해 철근부식, 중성화, 표면열화 및 동해 등의 내구성에 치명적인 영향을 미치게 되어 구조물의 내구년수를 현저하게

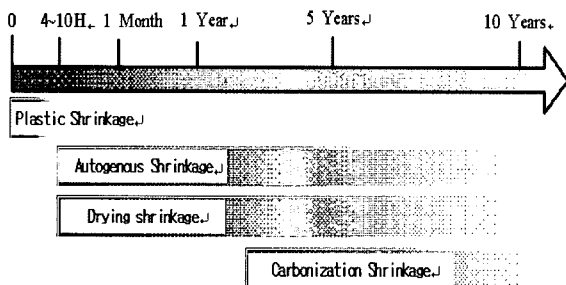


Fig. 1 Shrinkage types of concrete with elapsed time

Table 1 Mix proportions of concrete (Specification : 25-24-18)

W/B (%)	Specimen	Unit wight (kg/m <sup>3</sup> )					Addition of FS (C×%)	S/a (%)
		C	FA	S	G	W		
50	24-S-0.0	324	36	798	1,014	180	0.00	45
	24-S-0.5						1.62	
	24-S-1.0						3.24	
	24-S-1.5						4.86	
	24-S-2.0						6.48	

Table 2 Fundamental properties of FS

Chemical ingredients	Appearance	pH	Specific gravity
Fluorine compound, Colloidal silicate, Aromatic based condensate, Inorganic nitrate compound	Dark brown aqueous solution	2.8~3.0	1.12±0.05

저하시키는 요인이 된다<sup>10)</sup>. 따라서 콘크리트 초기 시공 단계에서부터 재료적, 시공적 관리를 통해 건조수축에 의한 균열을 최소화 시키는 것이 구조물의 내구성 측면에서도 매우 중요한 현안이다.

## 3. 실험 계획 및 배합

실험에서는 콘크리트 기초바닥 및 슬래브에서 일반적으로 사용되는 배합강도 24 MPa(규격 : 25-24-18)에서 시멘트의 10%를 플라이애쉬(FA)로 치환된 것을 기본배합으로 하였다. 실험에 사용된 시멘트는 비중 3.15, 분말도 3,300 cm<sup>2</sup>/g의 1종 보통포틀랜드 시멘트이다. 플라이애쉬는 하동산이었으며, 비중은 2.20, 분말도 4200 cm<sup>2</sup>/g, 강열감량 3.5%인 것을 사용하였다. 잔골재는 비중 2.46 및 굵은골재(쇄석)는 2.60을 사용하였다. 배합변수로는 불소-실리카 복합형 균열저감제(이하 FS로 표기함)를 시멘트 중량 대비 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%로 각각 첨가한 배합으로 Table 1과 같이 구분하여 콘크리트의 유동성상 및 경화성상을 측정하였다. 유동성상 및 경화성상의 기초물성에 대해 첨가율 대비 효과가 가장 우수한 첨가율을 도출하여 모의부재 규모의 콘크리트를 대상으로 무첨가 콘크리트와 수축균열에 대한 저항성 및 투기성을 비교·평가하였다.

실험에 사용된 FS는 주요성분인 규불화염과 교질상 실리카 외에 방향족계 축합물 및 질산염계 무기화합물로 구성된 것이며, 수용액 상태의 기초적인 물리적 특성을 제시하면 Table 2와 같다. Table 3은 본 연구에서 실시한 평가항목과 방법을 나타낸 것이다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 콘크리트의 유동성상

무첨가 및 FS의 첨가율에 따라 제조된 콘크리트의 초기 슬럼프 및 경과시간에 따른 슬럼프 변화에 대한 실험 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 무첨가에 비해 FS를 첨

**Table 3** Evaluation items and methods

State	Item	Method
Fresh	Slump	KS F 2401
	Air content	KS F 2421
	Bleeding	KS F 2414
Hardened	Compressive strength	KS F 2405
	Change in length	KS F 2424
Others	Shrinkage crack	2×2×0.3 m plate type mold
	Permeability and resistance for penetration	DIN 28400 (Apparatus : ISO 9001)

가한 콘크리트의 초기 슬럼프는 약 4.8~12.1% 향상되었고, 슬럼프 로스는 30분 경과시 11.7~22.3%, 60분 경과시 19.7~39.4% 저감되는 것으로 확인되었다. 특히, 0.5~1.0%의 첨가량으로도 초기 슬럼프의 향상 및 슬럼프 로스의 억제에 효과적이었으며, 이는 콘크리트의 유동성을 향상시키기 위한 조성물로서 FS에 투입된 방향족계 고분자 축합물의 유동성 개선효과에 기인된 것<sup>6,8)</sup>으로 판단된다.

한편, 콘크리트의 공기량 변화를 측정한 결과 Fig. 3과 같이 FS의 첨가량을 증가에 따라 콘크리트의 초기 공기량이 약간씩 증가하였으며, 90분 이후 공기량을 측정하면 1.5%이상에서는 오히려 공기량이 감소하여 공기량의 경시변화가 다소 커지는 경향을 나타냈다. 그러나 FS를 첨가해도 공기량 적정 함유기준인 4.5±1.5%를 만족하여 공기량 변화에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

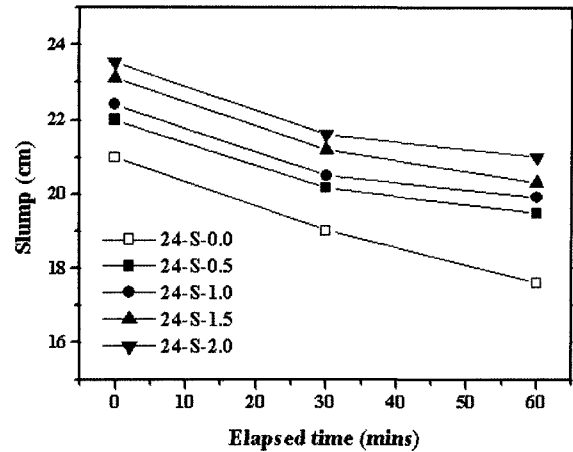
FS의 첨가율에 따른 콘크리트의 불리딩량은 Fig. 4와 같이 FS의 첨가로 감소되는 경향을 나타내며, 시간경과에 따라 더욱 현저한 것으로 확인되었다. 이러한 경향은 콘크리트 혼합수의 상승경로가 FS의 주요성분인 규불화염이 수화과정에서 전이된 미세 난용성 금속불화물에 의해 차단되어 혼합수의 상승을 억제한 결과<sup>5)</sup>로 판단된다.

### 4.2 콘크리트의 경화성상

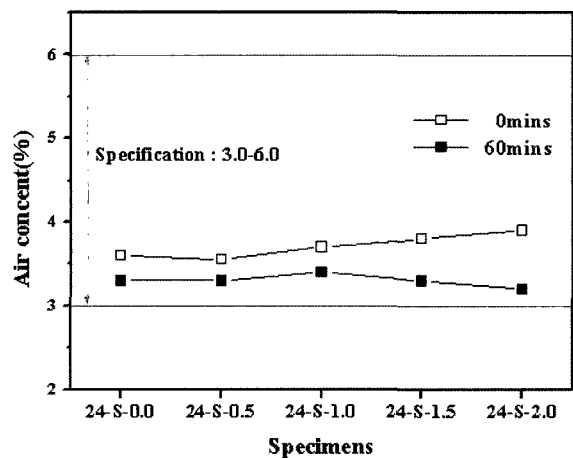
Fig. 5는 FS 첨가율 변화에 따른 콘크리트의 압축강도를 3, 7, 28, 56일 재령별로 측정된 결과이다. 재령 3, 7일에서 무첨가 콘크리트 보다 강도가 증진되며 재령 28일, 56일에서 더욱 현저한 경향을 보였다.

이는 규불화염에서 전이된 미세 난용성 금속불화물이 공극, 수화물 간극 등의 경화 콘크리트의 결함부를 충전하여 defect-free한 치밀한 경화조직 형성을 조장하고, 실리카의 포졸란 효과에 의해 장기재령에서 증강효과가 유지되는 것<sup>5,7)</sup>으로 판단된다.

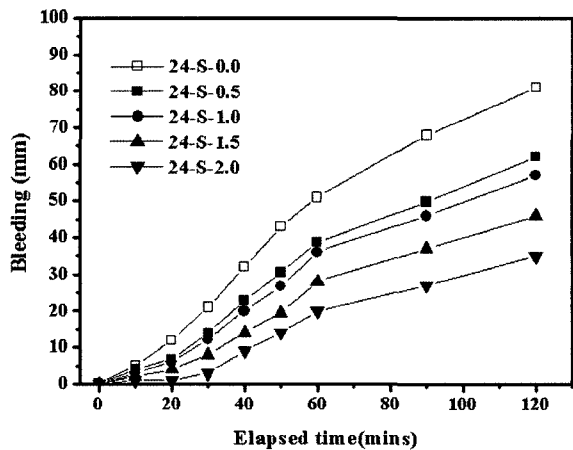
그러나 1.0%까지는 재령 28일 이후 콘크리트의 압축강도 증진효과가 뚜렷한 반면 1.5%, 2.0%에서는 다소 둔화되는 경향을 보였다. 이는 1.5% 이상 첨가한 경우 콘크리트가 치밀한 경화조직을 형성하는 단계에서 과도한 충전작용이 오히려 콘크리트 시험체에 미세한 균열(팽창균열로 판단됨)을 유발시켜 강도 발현이 저해되는 요인



**Fig. 2** Slump of concrete at initial and with elapsed time



**Fig. 3** Air content of concrete with elapsed time



**Fig. 4** Bleeding of concrete with elapsed time

에 의해 증강효과가 다소 둔화된 것으로 판단된다.

한편, 콘크리트의 체적변화에 미치는 FS의 효과를 파악하기 위해 무구축 상태에서의 자유건조수축을 KS F 2424[모르타르 및 콘크리트의 길이변화 시험방법]<sup>11)</sup>에 따라 평가하였다. Fig. 6과 같이 FS가 첨가되면 무첨가 콘크리트에 비해 동일 재령에서의 건조수축에 따른 길이변

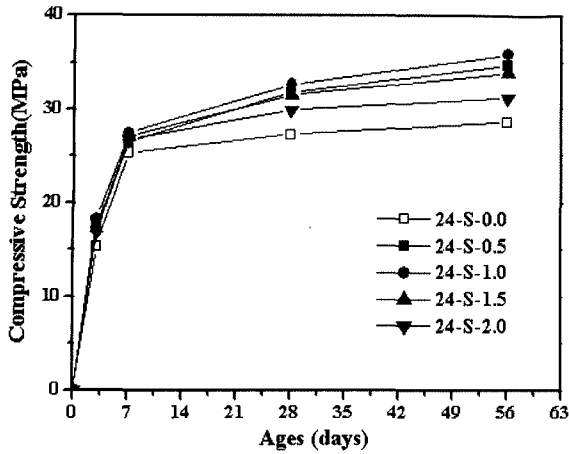


Fig. 5 Compressive strength of concrete cured at 3, 7, 28 and 56 days

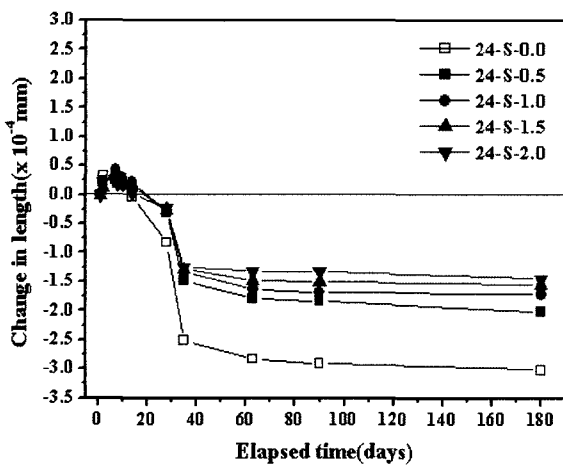


Fig. 6 Change in length of concrete with elapsed time

화가 감소되었으며, 첨가율 증가에 따라 더욱 현저한 경향을 나타냈다.

JASS 5<sup>12)</sup>에서는 6개월이 경과된 길이변화율을  $-8.0 \times 10^{-4} \text{ mm}$ 로 지정하여 이 이상의 길이변화 발생 시 콘크리트에 유해한 균열을 발생시키는 것으로 규정하고 있다.

상기 규정과 비교하여 본 실험에서 180일에서 FS가 첨가된 콘크리트의 길이변화율이  $-2.02 \sim -1.45 \times 10^{-4} \text{ mm}$  측정되어 수축균열을 억제하는 데 효과가 있을 것으로 기대되었다.

이와 같이 FS의 첨가로 콘크리트의 길이변화가 저감되는 특성은 시멘트 수화반응에 의해 유도된 난용성 급속불화물의 최밀 충전작용으로 경화 후 건조수축을 구속하는 효과와 공극수 증발로 건조수축을 유발하는 모세관 공극(capillary pore)이 일부 소실된 원인으로 판단된다. 충전작용에 의해 모세관 공극이 소실되는 효과를 확인하기 위하여 수은압입법으로 재령 28일에서 무첨가 콘크리트 및 FS를 0.5% 첨가한 콘크리트 경화체의 공극분포를 분석하였다.

Fig. 7과 같이 무첨가 콘크리트와 FS가 첨가된 콘크리트는 세공율에서는 각각 17.77%, 16.22%로 큰 차이가 없었으나 FS의 충전효과에 의해 건조수축과 관련 있는 수

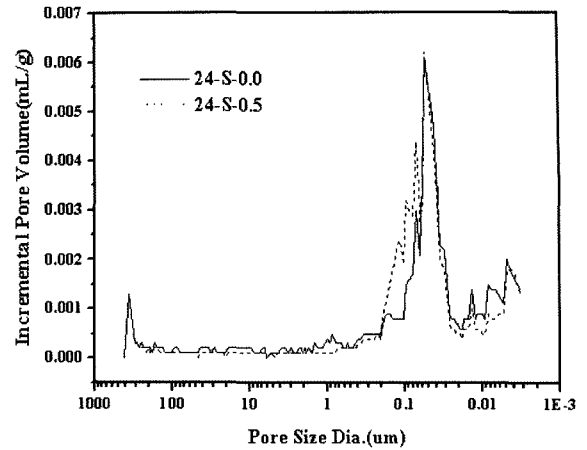


Fig. 7 Pore size distribution of concrete cured at 28 days

~수십  $\mu\text{m}$ 의 모세관 공극이  $0.2 \mu\text{m}$  이하의 미세기공(micropore)으로 전이됨으로써 모세관 공극의 일부가 소실됨으로써 수축저항성에 유리한 쪽으로 세공구조가 개선됨을 확인 할 수 있었다.

#### 4.3 콘크리트 모의부재의 수축균열 평가

FS를 첨가하여 콘크리트의 유동성상, 경화성상을 측정 한 결과, FS의 첨가를 대비 효과가 우수한 첨가율로서 0.5%를 선택하여 콘크리트 모의부재를 제작하여 수축균열패턴을 관찰하고, 발생된 균열을 정량적으로 평가하고자 하였다. 실험은  $\phi 16 \text{ mm}$  철근을 배근한 모의부재의 거푸집을 Fig. 8과 같이  $2,000 \text{ mm} \times 2,000 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$  제작하여 의기에 노출시킨 상태에서 콘크리트 타설 후 28일이 경과된 시점에서 무첨가 콘크리트와 균열 폭, 균

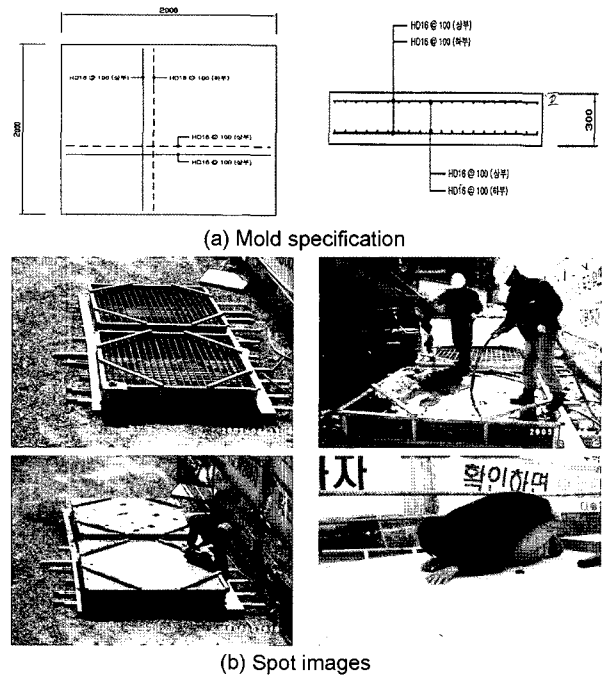
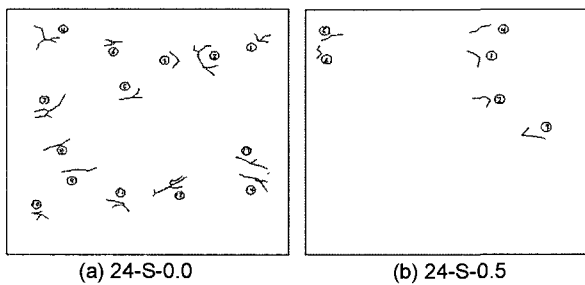


Fig. 8 Mold specification and spot images for measuring shrinkage crack of mock-up sized concrete in field test

**Table 4** Quantitative data for shrinkage crack of concrete

24-S-0.0				24-S-0.5			
Crack no.	Width (mm)	Length (mm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Crack no.	Width (mm)	Length(mm)	Area (cm <sup>2</sup> )
1	0.2	211.33	0.423	1	0.2	180.83	0.362
2	0.3	453.52	1.361	2	0.1	173.56	0.174
3	0.2	147.42	0.295	3	0.2	249.09	0.498
4	0.2	368.91	0.738	4	0.2	161.22	0.322
5	0.3	227.30	0.682	5	0.2	165.58	0.331
6	0.2	189.54	0.379	6	0.2	291.21	0.582
7	0.1	414.67	0.415				
8	0.2	185.91	0.372				
9	0.3	226.72	0.680				
10	0.1	209.15	0.209				
11	0.1	240.38	0.540				
12	0.5	475.67	2.378				
13	0.1	218.59	0.219				
14	0.1	466.00	0.466				
Total		4,035.10	8.856	Total		1,221.49	2.269
Ratio		100%	100%			30.3%	25.6%



**Fig. 9** Shrinkage crack patterns of mock-up sized concrete

열면적 및 균열길이를 상호 비교하였다.

타설 후 28일 경과된 시점에서 Table 4와 같이 무첨가 콘크리트(24-S-0.0)에서는 균열이 14개소 관찰되었고, FS을 0.5% 첨가한 콘크리트(24-S-0.5)에서는 균열이 6개소 관찰되었다. 균열 폭은 무첨가의 경우 0.1~0.5 mm인 데 반해 FS을 첨가하면 균열 폭이 0.2 mm을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 또한 균열 길이 및 균열 면적은 무첨가에 비해 각각 약 69.7%, 74.4% 가량 저감되었다.

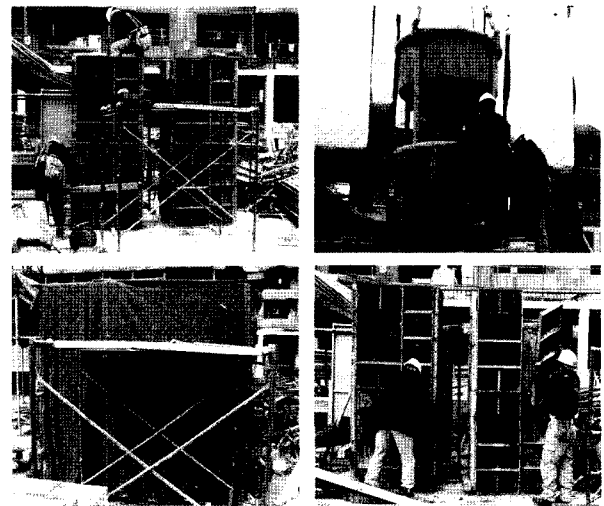
이러한 수축균열의 저감효과는 FS의 첨가로 난용성 금속불화물의 최밀 충전효과와 실리카의 포졸란 작용<sup>5,6,8)</sup> 및 전향의 콘크리트의 모세관 공극 크기의 분포를 측정 한 Fig. 8과 같이 무첨가 보다 모세관 공극이 감소되는 복합적인 작용에 의해 상대습도가 낮고 높은 외기 온도에서도 경화 콘크리트 표면에서의 수분 증발에 의한 건조수축이 억제되어 수축저항성이 유도된 결과로 판단된다.

#### 4.4 콘크리트 모의부재의 투기성 평가

본 시험에서는 콘크리트 구조체의 공기 삼투압을 비교

과 상태에서 직접 측정함으로써 투수계수 및 열화매질에 대한 침투저항성 등의 성능을 평가하는 시험장비(Torrent, ISO 9001 인증)를 사용하여 콘크리트 모의부재를 대상으로 투기성을 평가하였다. 콘크리트 모의부재의 제작 및 시험관련 사진은 Figs. 10 및 11에 제시하였다. 모의부재는 단면 1M에 높이 2M 크기의 거푸집을 사용하여 성형 후 기건양생을 통해 제작하였고, 재령 28일 경과된 시점에서 콘크리트의 투기성을 측정하였다. 이 때 FS의 첨가율은 0.5%로 하였으며, 무첨가 콘크리트와 투기계수(kT, 10<sup>-16</sup>m<sup>2</sup>) 및 공기 침투깊이(L, mm)를 계측하여 상호 비교하였다.

투수계수 및 공기 침투깊이를 계측한 결과, Table 5와



**Fig. 10** Construction of mock-up sized concrete specimen for measuring permeability and resistance for penetration

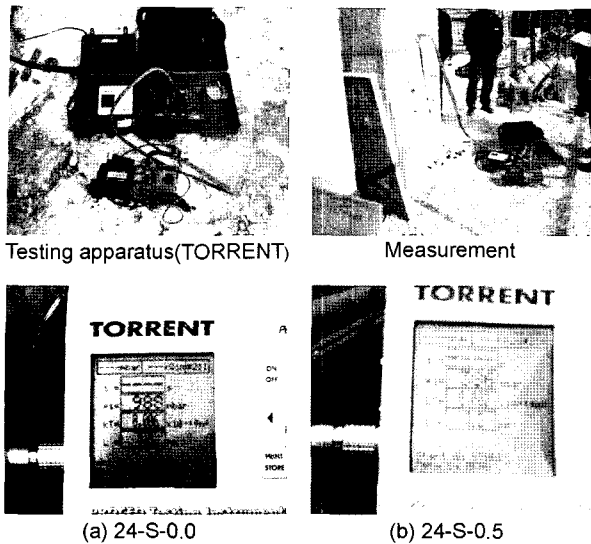


Fig. 11 Testing images and registered results of concrete specimen (a) and (b)

Table 5 Data for permeability and penetration depth of mock-up sized concrete

Specimen	Permeability (kT, $10^{-16}m^2$ )	Penetration depth (L, mm)
24-S-0.0	0.006	5.3
24-S-0.5	0.002	3.2
Reduction effect	67%	40%

같이 무첨가 콘크리트의 경우 투수계수와 공기 침투깊이가 각각  $0.006 \times 10^{-16}m^2$ , 5.3 mm인 반면 FS를 0.5% 첨가한 콘크리트에서는 각각  $0.002 \times 10^{-16}m^2$ , 3.2 mm로 측정되어 투기계수는 약 67%, 침투깊이는 약 40% 작게 나타났다.

이러한 특성은 콘크리트 표층부의 경화조직이 FS의 첨가로 치밀해지고, 열화매질에 대한 침투저항성이 개선<sup>13,14)</sup>되어 수분, 열화매질에 노출된 콘크리트의 중성화, 동해, 철근부식 등 콘크리트의 내구성 개선에 매우 긍정적인 효과를 줄 것으로 기대되었다.

## 5. 결 론

24 MPa 배합강도의 콘크리트를 대상으로 불소-실리카 복합형 균열저감제(FS)의 첨가율을 변수로 콘크리트의 유동성상 및 경화성상의 측정 및 이를 통해 도출된 FS의 적정 첨가율에서 콘크리트의 수축균열 및 투기성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 불소-실리카 복합형 균열저감제를 혼입한 콘크리트의 공기량은 무혼입 콘크리트에 거의 유사한 경향을 보였으나 초기 슬럼프, 슬럼프 경시변화 및 블리딩량은 FS의 첨가에 의해 저감되는 특성을 나타냈다.
- 2) 불소-실리카 복합형 균열저감제가 1.0% 까지 첨가

된 경우 콘크리트의 강도가 재령에 관계없이 증가되는 경향을 보였으나 1.0% 이상의 첨가율에서는 오히려 강도가 다소 저하되는 것으로 나타났다.

- 3) 무구속 상태에서의 자유건조수축(길이변화)는 무첨가 콘크리트보다 FS가 첨가된 콘크리트가 적은 것으로 나타났으며, 첨가율의 증감에 따른 효과보다는 첨가유무에 따른 효과가 더 큰 것으로 확인되었다. 또한 세공구조를 분석한 결과 FS 첨가효과로 인해 모세관 공극의 일부가 감소됨으로써 콘크리트의 증강특성 및 길이변화가 저감되는 특성을 확인할 수 있었다.
- 4) 콘크리트 모의부재를 대상으로 평가한 수축균열에서 무첨가 콘크리트에 비해 FS가 0.5% 첨가된 콘크리트의 균열개수는 50%이상 감소하였고, 균열길이 및 면적에 있어서도 약 69.7%, 74.4% 가량 저감되는 특성을 발휘하였다.
- 5) 콘크리트의 투수계수 및 열화매질에 대한 침투저항성을 통해 투기성을 평가한 결과 FS가 0.5% 첨가되면 투기계수 및 침투깊이가 무첨가 콘크리트보다 각각 67%, 40% 감소되는 것으로 나타났다.

이와 같이 불소-실리카 복합형 균열저감제(FS)를 콘크리트에 첨가하면 콘크리트의 기초물성의 저해 없이 유효 성분인 불소 및 실리카의 작용으로 미세 난용성 금속불화물의 최밀 충전작용 및 포졸란 반응의 복합적 효과에 의해 콘크리트 경화체의 세공구조가 개선됨으로써 수축균열에 대한 저항성 및 투기성이 향상되는 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 문승호, 콘크리트 구조균열, 기문당, 2001.
2. 김은겸, 최연왕, 차수원, 문대중, “콘크리트 체적변화의 중요성과 대책”, 콘크리트학회지, 17권, 4호, 2005, pp.14-24.
3. Grant, M. H., *Fluorine Chemistry(A Comprehensive Treatment)*, A Wiley Interscience Publication, New York, 1994, pp.83-95.
4. Gerhartz, W., “Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry”, *Fluorine Compounds*, Inorganic, Vol.A11, 1997, pp.326-335.
5. 김도수, 길배수, 임현성, 남재현, 노재성, “규불화아연이 ( $ZnSiF_6$ , aq)이 첨가된 시멘트 페이스트의 유동성 및 수화특성”, 한국세라믹학회지, 39권, 2호, 2002, pp.178-183.
6. 양일승, 윤현도, 김도수, 길배수, 한승구, “규불화염계 복합 조성물을 혼입한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회논문집, 17권, 5호, 2005, pp.769-774.
7. 김재은, 남재현, 김도수, 길배수, 이병기, “2성분 규불화염계 혼화제가 첨가된 시멘트의 수화반응 및 수밀성 변화”, 한국세라믹학회지, 41권, 10호, 2004, pp.749-755.
8. 강성웅, 양일승, 한병찬, 김도수, 길배수, 윤현도, “규불화염계 균열저감제를 이용한 균열저감 특성”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 16권, 2호, 2004, pp.289-292.

9. 이만익, 박종화, 남재현, 김도수, 길배수, 김재은, “불소-실리카 복합형 균열저감제(FS)가 첨가된 콘크리트의 초기거동 및 역학적 특성”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 17권, 2호, 2005, pp.683~686.
10. 이광명, 이희근, “초기재령 고강도 콘크리트의 자기수축 예측기술”, 콘크리트학회지, 17권, 4호, 2005, pp.34~40.
11. KS F 2424, 모르타르 및 콘크리트의 길이 변화 시험 방법, 한국표준협회, 2005. 12.
12. 日本建築學會, “水密コンクリト”, 建築工事標準仕様書・同解説JASS 5, 鐵筋コンクリト工事.
13. Ramachandran, V. S., *Concrete Admixture Handbook (Properties, Science, and Technology)*, 2nd, Noyes Publication, Ottawa, 1995, pp.264~266.
14. 김진근, 박혜선, “21세기의 내구성 있는 구조물 건설”, 13권, 4호, 2001, pp.94~100.

**요 약** 본 연구에서는 배합강도 24MPa로 설계된 25-24-18 규격의 콘크리트 배합에 불소-실리카 복합형 균열저감제(FS)를 시멘트 중량을 기준으로 0.5% 간격으로 2.0%까지 혼입하고, 유동성상 및 경화성상 등의 기초물성을 평가하였다. 기초물성 결과로부터 콘크리트의 수축균열 및 투기성 평가를 위한 FS의 적정 첨가율로서 0.5%를 도출하였으며, 무첨가 콘크리트와 수축균열 및 투기성 평가를 위한 모의부재 시험을 실시하였다, 수축균열에서 FS를 0.5% 첨가한 콘크리트의 균열개수는 50%, 균열길이 및 균열면적은 각각 69.7%, 74.4% 감소되었다. 콘크리트의 투기성을 측정된 결과, FS를 첨가한 콘크리트가 투수계수는 67%, 침투깊이는 약 40% 감소하였다. 따라서 FS 첨가에 의해 콘크리트의 기초물성 저해 없이 콘크리트의 수축균열의 저감과 투기성이 향상되는 효과를 확인할 수 있었다.

**핵심용어** 불소-실리카 복합형 균열저감제, 건조수축, 수축균열, 투기성