

## 주차장바닥에서 혼화재료들을 사용한 누름콘크리트의 소성수축 균열저감

김영수<sup>1</sup>, 이동운<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 건축공학과, <sup>2</sup>동서대학교 건축토목공학부

### Plastic Shrinkage Cracking Reduction of Press Concrete Using Admixtures in Basement

Young-Su Kim<sup>1</sup>, Dong-Un Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Architectural Engineering, Pusan National University

<sup>2</sup>Division of Architecture & Civil Engineering, Dongseo University

**요약** 우리나라에서 지하층 누름콘크리트는 주로 무근 콘크리트를 사용하고 있다. 이러한 시스템에서는 건조수축이나 불규칙한 온도 분포로 인하여 바닥콘크리트의 균열이 빈번히 발생되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 과거에는 메탈라스, 섬유 등을 사용하였지만 균열을 제어하기에는 효과가 미비한 점이 있었다. 이에, 본 연구에서는 여러 가지 혼화재료를 혼입한 지하층 누름콘크리트의 균열 저감 효과에 관하여 분석하였다. 혼화재료의 종류에 따른 균열저감 효과를 알아보기 위해 공기량 실험, 슬럼프 실험, 압축강도 실험, 소성수축 실험을 실시하였다. 공기량 실험결과, 혼화재료들을 혼입한 시편들은 Plain과 유사한 공기량( $4.5 \pm 1.5\%$ )을 나타내었으며, 슬럼프 실험에서는 고성능 감수제를 혼입한 시편들이 Plain에 비하여 가장 높게 나타내었지만, 폴리머를 혼입한 경우 Plain과 유사하게 나타났다. 압축강도 실험에서는 실리카 흙, 고성능 감수제 및 SBR을 혼입한 시편들이 Plain에 비하여 10-15% 높게 나타났다. 소성수축 실험결과 MC, 고성능 감수제, SBR를 혼입한 시편들이 Plain에 비하여 균열발생이 적었으며, 특히 MC섬유를 혼입한 시편은 균열이 발생하지 않았다.

**Abstract** In Korea, press concrete in basements is mainly applied using plain concrete. This system has undesirable defects such as cracks caused by plastic shrinkage and irregular temperature distribution. To solve this problem, metal lath and fibers have been used in the past. However, they have not been effective in controlling cracks. This study analyzed the reduction of plastic shrinkage cracking for press concrete using various admixtures in a basement has been. In the air contents test, the specimens with various admixtures showed air contents similar to plain concrete ( $4.5 \pm 1.5\%$ ). The specimens using silica fume, super plasticizer agent, and SBR showed higher compressive strength by about 10-15% than plain concrete. Cracking decreased when the MC, super plasticizer, and SBR were added. When MC was used in the concrete, the plastic shrinkage did not occur.

**Key Words** : Press Concrete, Various Admixture, Slump, Compressive Strength, Plastic Shrinkage.

이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 이공분야기초연구사업(지역대학우수과학자지원사업)의 지원을 받아 수행된 연구임 (2017R1D1A3B05030876)

\*Corresponding Author : Dong-Un Lee(DongSeo Univ.)

email: ldu21@hanmail.net

Received July 17, 2019

Revised September 6, 2019

Accepted November 1, 2019

Published November 30, 2019

## 1. 서론

### 1.1 연구 계획 및 목적

최근 우리나라의 공동주택은 대지를 효율적으로 사용하기 위해 대형화, 고층화가 되고 있으며 주차장의 경우에는 대부분 지하구조물로 축조되고 있다. 일반적으로 지하주차장의 바닥 상부에 시공된 무근콘크리트는 표면부와 철근콘크리트 타설부위의 수축차이 및 시공시 발생하는 소성수축에 의하여 균열이 빈번히 발생한다. 이때 발생하는 콘크리트의 균열은 크게 구조적인 균열과 비구조적 균열로 나뉘게 된다.

구조적인 균열은 여러 환경에 의하여 다양하게 발생할 수 있으나 가장 많이 발생하는 것은 앞서 언급하였듯이 건조수축과 철근부식을 들 수 있다. 그리고 비구조적인 균열의 경우 콘크리트 타설 직후 경화초기에 발생하는 콘크리트 블리딩에 의한 소성수축을 들 수 있다. 현재 타설되고 있는 지하층 누름콘크리트의 배합설계는 일반적으로 25-18-150 (굵은골재 최대치수-설계기준강도-슬럼프) 또는 25-18-180을 사용하고 있다. 따라서 소성수축이 발생된 후에 생기는 응력을 제어하기에는 인장강도가 매우 약하기 때문에 표면균열이 빈번하게 유발되고 있다. 이렇게 발생하는 소성수축 균열은 타설 후 초기에 발생하여 내구성 저하와 콘크리트 구조물의 미관을 저하하는 문제점이 발생하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 누름콘크리트 타설 전에 와이어 메쉬를 설치하거나 누름콘크리트에 섬유를 혼입하여 균열을 저감시키는 방법을 사용하고 있다. 그러나 와이에 메쉬를 콘크리트 타설 전에 적정위치에 설치하기에는 작업상 어려움이 따르며, 섬유를 혼입하는 경우 섬유의 투입과 투입 후 분산의 문제 때문에 소성수축 균열의 저감효과는 미미한 것으로 보고되고 있어 이를 개선하기 위한 방법이 필요한 실정이다.

따라서 소성수축균열을 제어하기 위한 새로운 방법은 광물성 혼화제 또는 화학적 혼화재료를 사용하여 콘크리트를 보강하는 방법이다. 기존 연구에 의하면 혼화재료를 사용하여 모르타르의 균열을 저감시키는 방법이 있으나 지하층 누름콘크리트에 적용시킨 연구는 미비한 실정이다[1-2].

이에 본 연구에서는 지하주차장에 타설되는 누름콘크리트에 광물성 혼화제 또는 화학적 혼화제 등을 혼입하여 소성수축균열을 최소화 할 수 있는 최적 혼화제료 및 적정 혼입율 등을 알아보고자 한다.

### 1.2 연구 계획 및 목적

본 연구에서는 사용한 혼화재료들은 폴리머, 광물성 혼화제, 화학적 혼화제를 적정량을 혼입하여 실험을 진행하였다. 폴리머 재료인 메틸셀룰로스(이하 MC)와 Styrene Butadiene Rubber (이하 SBR)는 공기연행 및 감수효과가 나타나는 것으로 예상되기 때문에 선정하였으며, 광물적 혼화제의 경우 블리딩 감소 효과 및 강도 증진효과가 예상되어 플라이애시(이하 FA) 및 실리카흄(이하 SF)을 선정하였다. 그리고 화학적 혼화제 역시 감수효과에 의한 균열저감을 기대하고자 고성능 감수제(이하 SP)를 사용하였으며, 팽창재(이하 CSA)의 경우 팽창에 의한 균열저감 효과를 파악하고자 본 실험에 사용하였다. 이를 바탕으로 혼화재료들의 누름콘크리트 균열 저감 효과를 파악하여 그 데이터를 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획

### 2.1 평가항목 및 배합설계

본 연구에서의 배합설계는 Table 1.과 같으며 실험인자 및 평가항목은 Table 2.와 같다.

Table 1. Mixing Design of Concrete

Specimen	W/B (%)	Water (kg/m <sup>3</sup> )	Cement (kg/m <sup>3</sup> )	MC (kg/m <sup>3</sup> )	SBR (kg/m <sup>3</sup> )	FA (kg/m <sup>3</sup> )	SF (kg/m <sup>3</sup> )	CSA (kg/m <sup>3</sup> )	Super-plastici-zier (kg/m <sup>3</sup> )	Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	
										Fine	Coarse
Plain	0.55	180	328	-	-	-	-	-	-	940	805
MC			328	0.115	-	-	-	-	-	940	805
SBR			279	-	49	-	-	-	-	895	766
FA			262	-	-	66	-	-	-	929	795
SF			312	-	-	-	16	-	-	936	802
CSA			295	-	-	-	-	33	-	938	804
SP			328	-	-	-	-	-	4.92	940	805

Table 2. Experiment factor and assessment

Experiment Factor	W/B ratio	0.55
	Slump(mm)	150±25
	Air contents(%)	4.5±1.5
	Admixture type	MC <sup>1)</sup> , SBR <sup>2)</sup> , FA <sup>3)</sup> , SF <sup>4)</sup> , CSA <sup>5)</sup> , SP <sup>6)</sup>
	Admixture content amount (%)	0.35, 15, 20, 5, 10, 1.5
Assessment	Air content(Min)	Initial
	Slump (Min)	Initial
	Plastic shrinkage (Day)	Initial
	Compressive strength (Day)	3, 7, 28

- 1) MC: Methul Cellulose Polymer
- 2) SBR: Styrene Butadiene Rubber Polymer
- 3) FA: Fly Ash
- 4) SF: Silica Fume
- 5) CSA: Calcium SulfoAluminate Agent
- 6) SP: Super Plasticizer

배합설계의 경우 현장에서 가장 많이 사용되는 배합으로 설계기준강도는 18MPa로 설정하였으며, 물결합비(이하 W/B) 0.55로 고정하였다. 그리고 시멘트만 사용한 배합을 Plain 으로 설정하였으며, 균질않은 콘크리트의 특성의 경우 목표 슬럼프는 150 ± 25 mm이고 목표 공기량 4.5 ± 1.5 %로 계획하였다.

평가 항목은 누름콘크리트 현장 타설시 시공성을 파악하고자 균질 않은 콘크리트에서 공기량, 슬럼프 등을 측정하였으며, 소성수축에 의한 균열을 파악하고자 균은 콘크리트에서는 압축강도, 균열폭 및 균열발생시기 등을 측정하였다. 혼화재의 종류에 따른 소성수축균열 저감효과를 파악하고자 MC, SBR, FA, SF, CSA, SP를 각각 0.35%, 15%, 20%, 5%, 10%, 1.5%로 설정하여 혼입하였다.

## 2.2 실험재료

### 2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 S사에서 제조된 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 시멘트의 화학적 성분과 물리적 성질은 아래의 Table 3.에 자세히 나타내었다.

Table 3. Chemical and Physical composition of Cement

Type		Type I Portland Cement			
Fineness(cm <sup>2</sup> /g)		3.266			
Density(cm <sup>2</sup> /g)		3.15			
Chemical composition (%)	SiO <sub>2</sub>	20.71	Compound composition (%)	C <sub>3</sub> S	48.20
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.56		C <sub>2</sub> S	23.00
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.03		C <sub>3</sub> A	9.60
	CaO	62.25		C <sub>4</sub> AF	9.20
	MgO	3.40			
	SO <sub>3</sub>	2.50			
	L.O.I	1.42			

### 2.2.2 골재

굵은골재는 25mm 이하의 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 5mm 이하의 강모래를 사용하였으며, 입도는 굵은 골재와 잔골재 모두 표준입도분포곡선 안에 들도록 조정하여 사용하였다. 골재의 물리적 특성은 Table 4.에 나타내었다.

Table 4. Chemical and Physical Composition of Aggregate

Type	Coarse Aggregate	Fine Aggregate
Maximum size of aggregate (mm)	25	5
Fineness Modulus	6.8	2.85
Specific Gravity (g/cm <sup>3</sup> )	2.57	2.57
Absorption(%)	1.32	2.33
Bulk Density of Aggregate (kg/m <sup>3</sup> )	1,700	1,750

### 2.2.3 메틸셀룰로스

본 실험에 사용한 메틸셀룰로스(Methyl Cellulose)는 폴리머 재료의 일종으로서 주로 견출용-타일접착-미장용 모르타르와 시멘트 2차 제품에 적당량을 첨가하여 사용되는 재료이다. 이러한 메틸셀룰로스는 시멘트와 같이 사용시 공기연행 및 감수효과가 있는 것으로 알려져 있으며, 본 실험에 사용된 메틸셀룰로스의 물리적 특성은 Table 5.와 같다.

Table 5. Physical properties of Methyl Cellulose

Type	Color	Average size(um)	Density	pH
Powder	White	0.5~8	1.55	7.1

### 2.2.4 SBR(Styrene Butadiene Rubber)

본 실험에 사용한 SBR은 Styrene과 Butadiene을 주원료로 하여 제조된 폴리머 라텍스로 폴리머 재료 중 가장 일반적으로 많이 사용되는 것이다. 이 역시 시멘트와 사용 시 공기연행 및 감수효과가 있는 것으로 확인되어 본 실험에 사용하였으며 이에 대한 물리적 성질은 Table 6.과 같다.

Table 6. Physical properties of SBR

Type	Color	Density	pH	Viscosity (cps)	Total solid(%)
Liquid	Ivory white	1.02	8.11	70	48.0

### 2.2.5 플라이애시

본 연구에 사용된 혼화재료 중 플라이 애시는 강도증진 및 공기연행효과가 있는 것으로 알려져 있으며 경상남도 S 화력발전소에서 발생된 것을 사용하였다. Table 7.에 플라이 애시의 화학적 및 물리적 특성을 나타내었다.

Table 7. Chemical and Physical properties of Fly Ash

Fineness(cm <sup>2</sup> /g)		4,840
Density(g/cm <sup>3</sup> )		2.25
Chemical composition (%)	SiO <sub>2</sub>	61.20
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.92
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.63
	MgO	0.62
	CaO	1.82
	Na <sub>2</sub> O	0.35
	K <sub>2</sub> O	0.96
Etc		3.72

### 2.2.6 실리카흙

본 연구에서는 사용된 실리카흙은 강도증진 및 블리딩 감소효과가 있는 것으로 알려져 있으며, 노르웨이에서 제작된 응축 실리카흙을 사용하였으며, 물리·화학적 특성은 Table 8.과 같다.

Table 8. Chemical and Physical properties of Silica Fume

Fineness(cm <sup>2</sup> /g)		200,000
Density(g/cm <sup>3</sup> )		2.20
Chemical composition (%)	SiO <sub>2</sub>	92.01
	CaO	0.60
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00
	MgO	0.60
	SO <sub>3</sub>	-
K <sub>2</sub> O		-

### 2.2.7 CSA 팽창재(Calcium SulfoAluminate Agent)

본 실험에 사용된 CSA 팽창제는 모르타르와 콘크리트의 균열방지를 위한 콘크리트용 팽창성 혼합재로서 시멘트, 물과 혼합하여 수화하게 되면 콘크리트의 수축을 보상하는 팽창이 발생되어 균열을 최소화 하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에 사용된 팽창제의 물리적 성질 및 화학적 조성은 Table 9.와 같다.

Table 9. Chemical and Physical properties of CSA

Fineness(cm <sup>2</sup> /g)		2,000
Density(g/cm <sup>3</sup> )		2.85
Chemical composition (%)	SiO <sub>2</sub>	4.5
	CaO	10.7
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.2
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	52.5
	MgO	0.78
	SO <sub>3</sub>	27.8
K <sub>2</sub> O		16.0

### 2.2.8 고성능 감수제

본 연구에 사용된 화학적 혼화제 중 고성능 감수제는 단위수량을 줄일 수 있어 블리딩을 줄이는 효과가 있기에 균열발생을 저감시킬 수 있는 재료이다. 본 실험에 사용된 고성능 감수제는 폴리카르보산계로서 이에 대한 물리적 특성은 Table 10.과 같다.

Table 10. Physical properties of Superplasticizer

Main component	Type	Color	Density	Chloride	Toxicity
Polycarbon	Liquid	light brown	1.18 ±0.05	X	X

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 콘크리트 혼합 및 공시체 제작 방법

콘크리트의 혼합은 트윈샤프트 믹서를 사용하여 혼합을 실시하였다. 믹서에 시멘트, 골재 및 혼화재를 투입한 다음 건비빔을 30초간 저속(20 rpm)으로 실시하였다. 그리고 건비빔 후 물을 넣고 60초간 중속(30 rpm)으로 비빈 후, 고성능 감수제를 첨가하여 고속(40 rpm)으로 90초간 다시 비빔하여 혼합을 완료하였다. 압축강도실험을 실시하기 위해 공시체는 KS F 2403 규정에 의거하여 Ø100×200 mm의 원주형 공시체를 제작하였고, 양생은 각 실험요인에 따라 계획된 재령별로 실시하였다.

### 2.3.1 슬럼프 및 공기량

굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 측정실험은 KS F 2402 “포틀랜드시멘트 콘크리트의 슬럼프 실험방법”에 따라 슬럼프를 측정하였다. 그리고 굳지 않은 콘크리트의 공기량측정은 KS F 2421의 규정에 따라 측정하였다.

### 2.3.2 압축강도

경화된 콘크리트의 역학적 특성을 파악하기 위하여 압축강도는 KS F 2405 “콘크리트의 압축강도 시험방법” 규정에 따라 측정하였으며, 인장강도는 KS F 2423에 의거하여 실시하였다.

### 2.3.3 소성수축

콘크리트의 소성수축 실험은 100 cm × 100 cm × 5cm의 아크릴판을 제작한 후 균열을 유도하기 위해 각 네모서리에 10 cm × 10 cm 크기의 스티로폼을 만들었다. Fig. 1.은 소성수축발생유무를 측정하기 위한 모형도이다. 그리고 모든 시편은 실제 현장 여건에 적합하도록

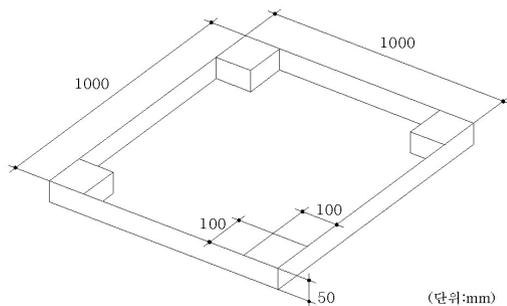


Fig. 1. Test Speciment of Plastic Shrinkage

기건 양생시켰으며, 옥외 노출시켜 건조수축을 발생하도록 하였다. 또한, 균열폭의 측정은 한 부위면에서 발견된 균열들 중 폭이 가장 큰 것에 대하여 버니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

#### 3.1.1 공기량 실험결과

Fig. 2.는 각종 혼화재료들의 종류에 따른 공기량 측정결과를 나타내었다. 혼화재료에 관계없이 목표공기량 4.5±1.5 %를 만족하였다. 플라이 애시를 제외한 시편의 경우 공기량이 Plain과 유사하게 측정된 것으로 확인되어 FA 시편을 제외한 혼화재의 경우 공기량에 미치는 영향은 매우 미미한 것으로 확인되었다. 그러나 FA 시편의 경우 공기량이 감소하는 것을 확인 할 수 있었는데 미연소 탄소분에 의하여 공기를 흡착함에 따라 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

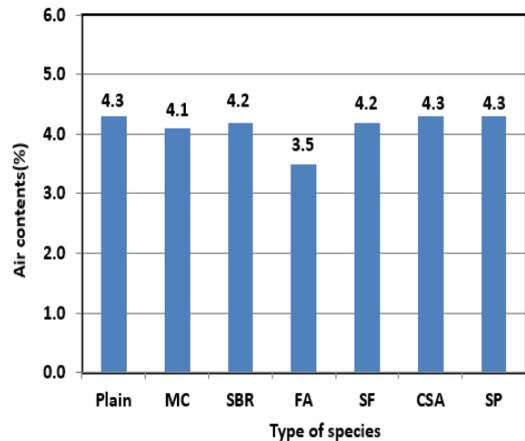


Fig. 2. The result of air contents test

#### 3.1.2 슬럼프 실험결과

그림 Fig. 3.은 혼화재의 변화에 따른 슬럼프를 나타내었다. Plain의 경우 155 mm로 목표 범위 150±25 mm를 만족하였지만 각종 혼화재료들을 혼합한 시편의 경우 혼화재의 종류에 따라 슬럼프가 크게 증가하거나 감소하는 경향을 나타내었다.

혼화재료 중 SP 시편의 경우 슬럼프 증가 효과가 가장 크게 나타났는데 이는 고성능감수제의 감수효과가 발생

하였기 때문에 이러한 현상이 나타난 것으로 판단된다.

SBR 시편의 경우 Plain보다 다소 높은 슬럼프가 측정되었는데 폴리머 재료의 경우 물과 반응하지 않으며, 콘크리트 믹싱시 폴리머 재료에 물이 흡수되지 않기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 MC 시편의 경우에도 Plain보다 다소 높은 슬럼프가 측정되었는데 이는 믹싱시 SBR의 분산 및 공기연행 효과에 의한 것으로 판단된다.

그러나 혼화재료 중 SF를 혼입한 시편의 경우 감소효과가 가장 크게 나타났다. 이러한 현상은 SF의 비표면적이 매우 크기 때문에 감소효과가 가장 크게 나타난 것으로 판단된다.

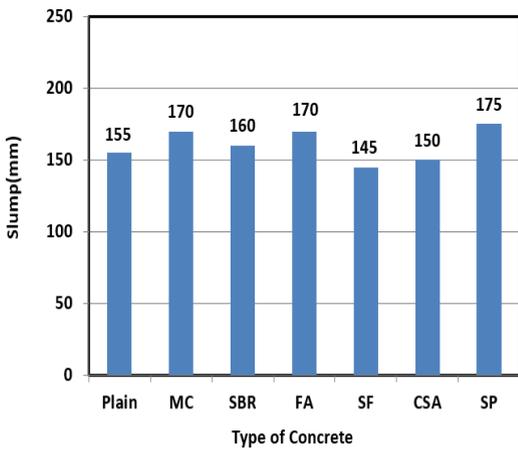


Fig. 3. The result of slump test

### 3.1.3 재령별 압축강도 실험 결과

Fig. 4는 혼화재료들의 종류에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 그래프이다. 전 시편모두 재령 28일의 목표강

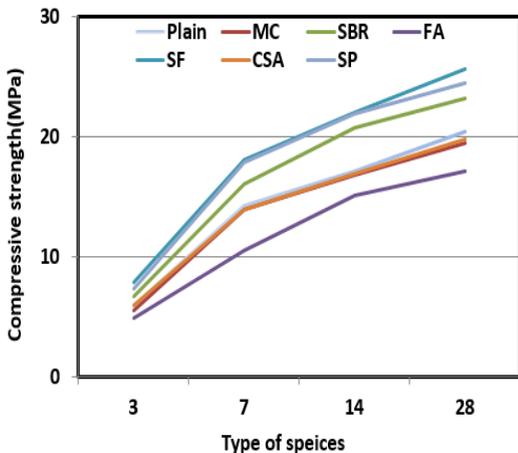


Fig. 4. The result of slump test

도인 18MPa이상로 확인되지만 혼화재료에 따라 상이한 결과가 나타났다. 혼화재중 SF 시편이 조기재령에서 재령 28일까지 가장 높은 압축강도를 나타내었으며, SP와 SBR 시편 역시 Plain에 비하여 높은 압축강도를 나타내었다. 그러나 MC, FA, CSA 시편의 경우 Plain에 비하여 낮은 압축강도가 확인되었다.

### 3.2.2 소성수축 실험결과

각 시편들의 옥외 노출양생을 실시한 결과 혼화재의 종류에 따라 균열 정도의 차이를 나타내며 균열이 발생하였다. 전체적인 균열의 상황을 살펴보면, 대부분 모서리와 가장자리를 중심으로 균열이 발생하였고 균열의 폭과 깊이가 크지 않은 잔균열이 많았다. 이것은 건조수축보다는 옥외 노출양생 시 바람 및 수분증발을 인하여 소성수축이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.

#### 1) 균열이 발생한 시편

포졸란계 혼화재료인 FA와 SF를 혼입한 시편의 경우 균열발생 정도는 시멘트만을 배합한 Plain 시편과 큰 차이가 없거나 오히려 더 악화된 것으로 나타났다. FA와 SF는 시멘트 수화반응시 발생하는 수산화칼슘과 반응하여 C-S-H를 만들어냄으로써 콘크리트의 내구성과 강도를 Plain보다 크게 향상시키게 된다. 그러나 이러한 포졸란반응은 소성수축으로 인한 균열을 저지하여 바닥마감 모르타르의 균열을 방지하는 것에는 큰 효과가 없는 것으로 확인되었다. 이러한 현상이 발생한 이유는 포졸란 재료의 경우 수산화칼슘이 생성되었을 때부터 반응하게 되는데 소성수축의 발생시점이 포졸란 반응보다 더 빨리 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.

그리고 CSA를 혼입한 시편에서 균열의 발생 정도가 가장 심하게 나타났고, 최대 1mm 폭의 균열이 시편 전체에 걸쳐 관찰되었다. 이는 팽창재 혼입으로 초기 응결이 빨라짐에 따라 콘크리트 내부에 많은 수분이 존재하는 상태에서 소성수축이 시작되었기 때문인 것으로 사료된다.

일반적으로 소성수축 변형은 콘크리트의 응결이 시작되는 시점에서 시작되어 종결 전에 종료되므로, 콘크리트의 응결이 빨리 일어나면 소성수축 또한 빨리 일어나게 된다. 따라서 팽창재를 통해 수축으로 인한 균열을 방지하기 위해서는 초기 수분증발을 억제할 수 있는 대책이 필요한 것으로 사료된다.



Fig. 5. Speciment of Plain



Fig. 6. Speciment of FA



Fig. 7. Speciment of SF

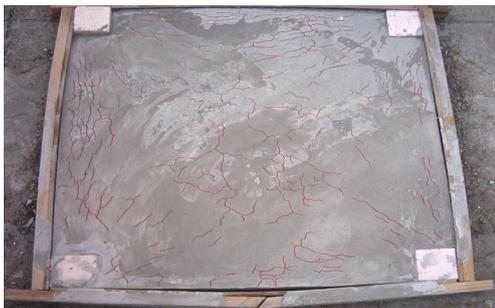


Fig. 8. Speciment of CSA

2) 균열이 발생하지 않은 시편

MC와 SBR과 같은 폴리머 재료를 혼입한 시편은 Plain에 비하여 크게 균열이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 특히, MC를 혼입한 시편에서는 균열을 전혀 찾아볼 수가 없었는데, 이는 폴리머 재료자체의 수분유지성으로 인해 수축으로 인한 균열을 방지하기 때문인 것으로 사료된다.

그리고 SP를 혼입한 시편 역시 균열이 거의 발생하지 않았는데 이는 고성능 감수제가 블리딩을 크게 감소시켜 소성수축균열을 방지하는 효과가 발생하였기 때문에 무근 콘크리트의 균열방지에 효과가 있는 것으로 판단된다.



Fig. 9. Speciment of MC



Fig. 10. Speciment of SBR



Fig. 11. Speciment of SP

3) 균열폭과 균열발생시기

8주 동안 각 시편의 균열폭과 균열발생시기의 실험결과를 Table 11.에 나타내었다. 8주의 기간 동안 최대 균열폭을 나타내었으며, 균열발생 시기는 최초 균열발생시기를 나타내었다.

앞서 언급하였듯이 MC 시편의 경우 8주 동안 균열이 발생되지 않았으며, SBR 시편에서는 3주째에 최초 균열이 발생한 후, 균열폭 0.05mm를 유지하였다. SP 시편은 균열발생시기가 1주로 이른 편이었지만, 최대 균열폭은 0.05mm로 작은 값을 나타내었다. MC, SBR 및 SP를 혼입한 3가지 시편들은 구조적 균열인 최대 균열폭이 0.3mm에 훨씬 못 미치는 것으로 확인되어 무근 콘크리트의 품질저하에 영향을 미치지 않는 균열이 발생하는 것으로 확인되어 균열저감 효과가 있는 것으로 판단된다.

그러나 Plain의 경우는 타설 후 1주 만에 균열이 관찰되었고, 재령에 따라 균열폭이 증가하다 6주째에 최대 균열폭 0.3mm를 나타내었다. 그리고, FA와 SF를 혼입한 시편은 기준 균열폭인 0.3mm를 넘어서지는 않았지만, 그 최대 균열폭이 0.15mm로 나타나 보수가 필요한 것으로 확인되었다. 팽창재를 혼입한 CSA 시편의 경우는 최초 균열발생시기인 1주째에 이미 0.25mm의 균열폭을 나타내어 초기재령부터 0.3mm에 가까운 균열폭을 나타내었다. 더욱이, CSA는 이후 지속적으로 증가하여 최대 1mm의 균열폭을 보이며 시편 중 가장 큰 균열폭을 나타내었다.

앞서 균열발생 정도와 균열폭 및 균열발생시기와의 비교분석을 통하여 얻은 결론은 균열폭이 상대적으로 작고, 최대 균열폭이 0.3mm에 훨씬 못 미쳤던 MC, SBR 및 SP 시편은 균열의 발생 또한 적은 것으로 나타났다. 그리고, 균열폭이 0.3mm를 넘어서거나 이와 유사한 값을 나타낸 Plain, SP, SF, FA 시편들의 경우에서 균열발생은 비교적 많은 것으로 관찰되어, 균열폭에 따라 균열발생 정도 또한 증가함을 알 수 있다.

Table 11. Results of cracking time and crack width

Type	Initial crack time (week)	Max cracking width(mm)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Plain	1	0.05	0.10	0.15	0.15	0.15	0.30	0.30	0.30
MC	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SBR	3	-	-	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
FA	3	-	-	0.04	0.10	0.10	0.15	0.20	0.20
SF	2	-	0.05	0.10	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20
CSA	1	0.25	0.45	0.45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SP	1	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

4. 결론

본 연구에서는 지하층 누름콘크리트의 배합에 있어 혼화재료들의 종류에 따른 소성수축저감 효과를 알아보고자 공기량, 슬럼프, 압축강도, 소성수축균열발생 실험을 진행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 공기량 실험결과 혼화재의 종류에 관계없이 전체적으로 목표공기량  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하는 것으로 확인되었다. 그러나 플라이 애시를 혼입한 시편의 경우 공기량이 감소하여 AE제 등을 일부 첨가하여 공기량 감소현상을 최소화 하여야 될 것으로 판단된다.
- 2) 슬럼프 실험결과 혼화재를 혼입한 시편의 경우 종류에 따라 슬럼프가 Plain과 다소 차이가 나는 것으로 측정되었지만, 전 시편 모두 목표공기량을 만족하는 것으로 확인되었다.
- 3) 압축강도의 경우 재령 28일의 목표 압축강도인 18 MPa를 상회하였으나 강도증진의 경우 혼화재별로 다소 상이한 결과가 나타났다. SF, SP 및 SBR를 혼입한 시편이 Plain에 비하여 약 10~15 % 정도 우수한 강도발현율을 나타내었다.
- 4) 소성수축균열의 발생유무는 Plain 및 다른배합에서 미소하게 발생하였지만 이중 MC, SBR 및 SP를 사용할 경우 소성수축균열이 방지되는 것으로 나타났다.

이상의 실험결과를 종합하면 혼화재료들의 혼입으로 인하여 압축강도가 증가하였더라도 균열이 발생하는 것으로 확인되었다. 그러나 이는 구조적 균열인 건조수축 균열이 아닌 타설 초기에 발생하는 소성수축 균열로 확인되었다. 따라서 표면에 발생하는 비구조적인 균열인 소성수축 균열의 경우 압축강도와 균열발생 정도와의 상관성이 적은 것을 확인할 수 있었다. 그리고 본 실험 결과로부터 공기량, 유동성, 압축강도 및 소성수축결과를 종합적으로 고찰한 결과 소성수축 저감 효과가 가장 뛰어난 혼화재료는 SBR 및 SP로 확인되었다.

References

[1] H.I. Park, Evaluation for Performance According to Curing Method of Poymer-Modified Mortars, Master's

thesis, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea, pp. 3-17, 2005.

- [2] W.B. Jin, S. N. Lee, Y. Y. Kim, "Mechanical properties and field implementation of floor mortar incorporated with VAE polymer", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.21, No.3, pp.27-34, May, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2017.21.3.027>
- [3] D.K. Kim, H. J. Park, D. U. Lee, "A study on crack reduction of covering concrete with fibers in basement", Journal of Korea Academia-industrial Cooperation Society, Vol.16, No.1, pp.814-821, Jan, 2015.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.1.814>
- [4] J.P. Won, C. G. Park, T. S. Ahn, "Experimental study for plastic shrinkage cracking of cellulose fiber reinforced concrete", Proceedings of Korea Concrete Institute Fall Conference, Vol.8, No.6, pp.151-161, Jun, 1996.  
DOI: [https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5104-3\\_34](https://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-5104-3_34)
- [5] B. H. Oh, H. J. Lee, Y. J. Kang, "Strength and mechanical characteristics of fiber-reinforced concrete", Journal of the Korean Society of Civil Engineering, Vol.9, No.3, pp.49-56, Sep, 1989.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.1155/2017/2316347>
- [6] L. R. Betterman, C. Ouyang, S. P. Shah, "Fiber matrix interaction in microfiber-reinforced mortar," Advanced Cement Based Materials, Vol.2, No.2, pp. 53-61, Mar, 1995.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/1065-7355\(95\)90025-X](https://doi.org/10.1016/1065-7355(95)90025-X)
- [7] H. Kasagani, C. B. K. RAO, "Effect of graded fibers on stress strain behaviour of Glass Fiber Reinforced Concrete in tension", Journal of construction and building material, Vol.183, No.20, pp. 592-604, Set, 2018.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.193>
- [8] Banthia, N. Nandakumar, "Crack growth resistance hybrid fiber reinforced cement composites," Journal of Cement Concr Comp, Vol.25, No.1, pp. 3-9, Jan, 2003.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00043-9)

---

김 영 수(Young-Su Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 서울대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 건축공학과 교수
- 2017년 9월 ~ 현재 : 한국연구재단 전문위원

<관심분야>

건축재료, 건축시공

---

이 동 운(Dong-Un Lee)

[정회원]



- 1996년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 부산대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2005년 1월 : (주) 본구조 엔지니어링 이사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건축재료, 건축시공