

# 불소-실리카 복합형 균열저감제(FS)가 첨가된 콘크리트의 초기거동 및 역학적 특성

## Initial Behaviors and Dynamic Properties of Concrete added with Fluorine-Silicate Hybrid Type Crack Controlling Agent

이만익\*      박종화\*\*      남재현\*\*\*      김도수\*\*\*\*      길배수\*\*\*\*\*      김재온\*\*\*\*\*  
Lee, Man Ik   Park, Jong Hwa   Nam, Jae Hyun   Kim, Do Su      Khil, Bae Su      Kim, Jae On

### ABSTRACT

This paper is related to investigate adding effect of fluorine-silicate hybrid type crack controlling agent(FS) on initial behavior, dynamic properties, adiabatic hydration temp, and plastic crack behavior of concrete(Specification : 25-30-18). It is appeared that adding of FS contributed to strength elevation, lowering of hydration temperature as well as plastic crack reduction without disturbance of initial behaviors of concrete such as slump, air content and setting.

### 1. 서론

최근 불화규산, 불소화합물 등 무기불소계 공정부산물의 발생에 따른 환경오염문제 해결과 재활용을 위한 노력이 중요한 현안으로 대두되고 있다. 따라서 이러한 목적을 달성하기 위하여 각종 재활용 기술 및 제조시설 등이 개발되고 있으며, 현재에도 끊임없는 기술개발의 노력이 시도되고 있다.

한편, 콘크리트의 구조물에서 균열의 발생은 피할 수 없으나, 허용치를 초과할 경우 콘크리트 구조물의 보수보강의 비용뿐만 아니라 복구기간 동안 등의 손실이 크다. 그러므로 콘크리트의 균열을 효율적으로 저감함으로써 구조물의 내구력 손상을 최대한 억제하기 위해서는 균열이 피할 수 없는 문제점이라는 인식보다는 콘크리트 시공초기단계에서 발생될 수 있는 균열을 효과적으로 제어할 수 있는 관련기술의 개발이 시급한 실정이다.

이에 본 연구에서는 무기불소계 공정부산물의 하나인 불화규산을 활용하여, 가수분해를 통해 생성되는 불소-실리카 복합형 화합물을 제조하고, 배합강도 30MPa로 설계된 콘크리트에 혼입율을 변수로 적용하여 굳지 않은 콘크리트의 초기거동, 굳은 콘크리트의 압축강도 및 수화온도 변화와 콘크리트 초기시공단계에서 단시간에 주로 발생되는 소성건조수축균열의 제어에 미치는 효과를 파악하였다.

\*정회원, 대전대학교 건축공학과 박사과정

\*\*정회원, 대전대학교 건축공학과 석사과정

\*\*\*정회원, 대전대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\*정회원, (주) 트라이포드 기술경영이사, 공학박사

\*\*\*\*\*정회원, (주) 트라이포드 대표이사, 공학박사

\*\*\*\*\*정회원, 신월종합건설(주) 대표이사, 공학박사

## 2. 불소-실리카 복합형 균열저감제(FS)의 반응 메커니즘

불화규산은 가수분해를 통해 불소이온과 실리카로 해리되는데, 금속염과의 반응으로 생성된 규불화염으로 금속이온과 규불화이온( $\text{SiF}_6^{2-}$ )으로 해리되는 특성을 나타내기도 한다. 상기 해리특성을 지닌 규불화염을 콘크리트에 첨가하면 시멘트 수화과정으로 형성된 강알카리 상태에서 규불화이온은 가용성 실리카와 불소이온으로 2차 해리되며, 가용성 실리카는 칼슘실리케이트의 수화생성물인  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 반응하는 포졸란 반응에 참여하고, 불소이온은 경화콘크리트의 최밀충전효과를 나타내는 난용성 금속불화물의 생성반응에 참여한다. 이러한 특성을 통해 규불화염이 첨가된 콘크리트는 각각의 불소-실리카의 작용에 의해 강도증진, 수밀성 향상, 수축을 저감등의 특성을 발휘하며, 특히 열역학적 흡열반응인 난용성 금속불화물의 생성과정을 통해 시멘트의 수화열을 저감하는 효과를 나타낸다.

## 3. 실험계획 및 방법

본 연구의 콘크리트 배합은 시멘트의 10%를 플라이애쉬(FA)로 치환된 것을 기본배합으로 하여, 표 1과 같다. 시멘트는 비중 3.15, 분말도  $3,300\text{cm}^2/\text{g}$ 의 1종 보통포틀랜드 시멘트이고, 플라이애쉬는 하동산이며, 비중은 2.20, 분말도  $4200\text{cm}^2/\text{g}$ , 강열감량 3.5%의 것을 사용하였다. 잔골재는 비중 2.46 및 굵은골재(쇄석)는 2.60을 사용하였다. 불소-실리카 복합형 화합물(이하 균열저감제 혹은 FS로 표기함) 특성은 표 2와 같다. 본 연구의 굳지 않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험항목 및 평가방법은 표 3과 같다.

표 1. 콘크리트 배합

W/B (%)	배합명	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )						FS 첨가량(C×%)	S/a (%)
		C	FA	S	G	W	FS		
40.0	30-S-0.0	387	43	779	914	170	0.00	0.0	
	30-S-0.5						1.94	0.5	
	30-S-1.0						3.87	1.0	
	30-S-1.5						5.81	1.5	
	30-S-2.0						7.74	2.0	

\*FS : 불소-실리카 복합형 균열저감제, FA : 플라이애쉬

표 2. 균열저감제의 특성

주요성분	비중	pH	외관
불소-가용성 실리카 복합물	1.15 ± 0.05	3.0 ~ 4.0	암갈색수용액

표 3. 실험계획

구분	굳지 않은 콘크리트	경화 콘크리트	비고
시험항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>슬럼프 경시변화(KS F 2401)</li> <li>공기량 경시변화(KS F 2421)</li> <li>블리딩(KS F 2414)</li> <li>응결시간(KS F 2436)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>압축강도(3, 7, 28 56일)(KS F 2405)</li> <li>소성건조수축균열(100×100×1.5cm 판상형 시험체)</li> </ul>	단열수화온도(거푸집규격 : 30×30×30cm)

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1. 굳지 않은 콘크리트의 특성

무혼입 및 균열저감제의 혼입율에 따라 콘크리트의 슬럼프와 슬럼프로스의 시험결과는 그림 1과 같이 무혼입시 18.2cm의 값이 측정되었으며, 첨가율의 증가에 따라 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 슬럼프 로스는 무혼입과 균열저감제의 혼입율의 증가에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다. 무혼입

및 균열저감제의 혼입율에 따라 콘크리트의 공기량을 측정 한 결과는 그림 2와 같이 공기량은 무혼입 시 4.5% 이었고, 균열저감제의 혼입율에 따른 공기량은 3~6%인 것으로 측정되었다. 경과시간에 따른 공기량은 무혼입과 균열저감제(FS)가 혼입된 것과 거의 동일한 경향을 나타냈다. 무혼입 및 균열저감제(FS)의 혼입율에 따라 콘크리트의 블리딩량은 그림 3과 같이 측정 후 180분에서 무혼입의 경우 18g이 측정되었지만, 균열저감제가 혼입된 것은 최소 12g이 측정되어 균열저감제의 혼입으로 블리딩량이 약 33% 감소되는 경향을 나타냈다. KS F 2436의 관입저항법에 따른 무혼입 및 균열저감제의 혼입율에 따른 콘크리트의 응결시간은 그림 4와 같이 무혼입의 초결은 7시간 18분이었고, 종결은 9시간 47분으로 측정된 반면, 균열저감제의 혼입으로 초결 및 종결이 지연되는 경향을 보였으며, 혼입율 증가에 따라 초결은 2시간 55분에서 3시간 20분, 종결은 2시간 37분에서 3시간 41분정도 지연되는 것으로 확인되었다.

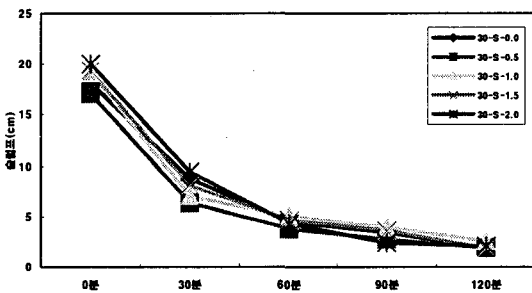


그림 1. 슬럼프 경시변화

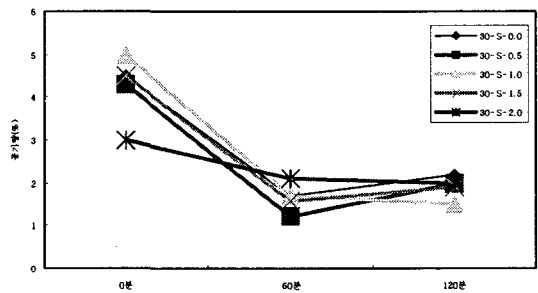


그림 2. 공기량 경시변화

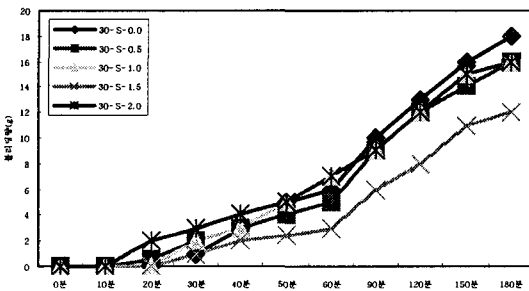


그림 3. 블리딩 경시변화

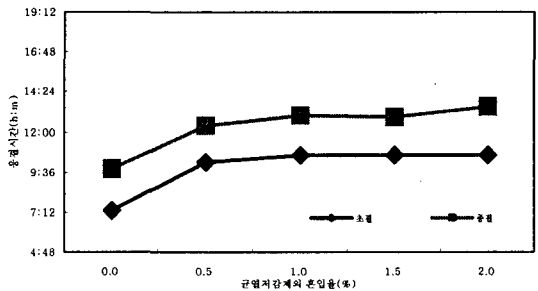


그림 4. 응결시간 변화

#### 4.2. 굳은 콘크리트의 압축강도

그림 5는 균열저감제의 혼입량을 변화시켜 콘크리트의 압축강도를 3, 7, 28, 56일 재령별로 측정 한 결과이다. 초기재령인 3일에서는 0.5%의 혼입율이 무혼입보다 높은 24.4MPa값이 측정되었다. 그러나 재령 경과에 따라 무혼입에 비해 균열저감제의 혼입으로 소폭의 강도증진이 확인되었다.

#### 4.3. 단열수화온도 변화

무혼입과 균열저감제(FS)의 혼입에 따른 단열수화온도는 84시간까지 측정 한 결과 그림 6과 같이 균열저감제의 혼입으로 수화온도가 최소 3℃(30-S-0.5)에서 최대 8℃(30-S-2.0)정도 감소하는 것으로 관찰되었다.

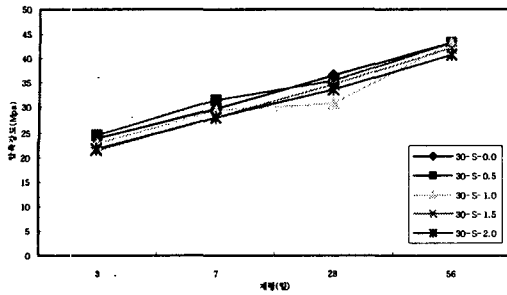


그림 5. 압축강도변화

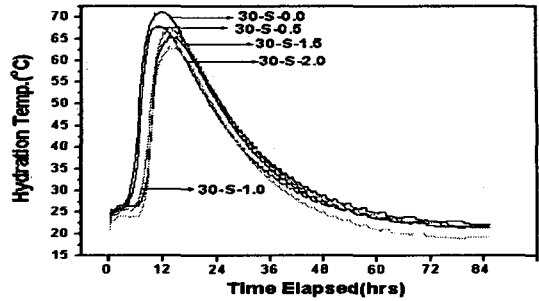


그림 6. 단열수화온도

#### 4.4. 소성건조수축균열

콘크리트의 소성건조수축 균열평가는 100×100×1.5cm의 판상형 시험체를 제작하여 8주 경과 후 실시하였다. 표 4는 무혼입 및 균열저감제 혼입(C×0.5%)시의 정량적인 균열측정결과이며, 소성건조수축에 의한 콘크리트 표면균열패턴은 그림 7과 같다. 균열저감제를 0.5%의 혼입으로 균열개수는 75%, 균열길이는 85%, 균열면적은 53% 저감되었으며, 균열폭도 감소되는 것으로 확인되었다. 균열저감제의 혼입을 0.5% 이상에서는 뚜렷한 균열이 관찰되지 않았다.

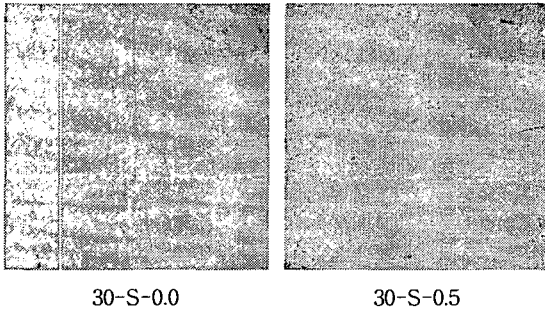


그림 7. 소성건조수축균열발생 패턴비교

표 4. 콘크리트 표면균열의 정량적 비교

시험체 구분	균열 개수	균열 길이(mm)	균열 면적(mm <sup>2</sup> )	균열 폭(mm)
30-S-0.0	48	2144.88	119.678	0.1~1.0
30-S-0.5	12	318.82	56.375	0.1~0.3

#### 5. 결론

- (1) 불소-실리카 복합형 균열저감제를 혼입한 콘크리트의 슬럼프, 공기량은 무혼입과 거의 유사한 경향을 보였으나 응결시간은 약간 지연되고, 블리딩은 저감되는 특성을 나타냈다.
- (2) 불소-실리카 복합형 균열저감제의 혼입으로 콘크리트의 강도가 소폭 증가되었으며, 단열수화온도는 혼입율의 증가에 따라 최대 수화온도가 최소 3°C에서 최대 8°C까지 저감되는 특성을 보였다.
- (3) 소성건조수축균열은 균열저감제의 0.5% 혼입으로도 크게 저감되는 것으로 확인되었다.

#### 참고문헌

- (1) 김재은, 박사학위논문, 2004.
- (2) ACI Materials Journal, 소성수축 균열에 의한 균열특성 시험, pp. 495-504, 1988.
- (3) 윤현도의 5인, 규불화염계 균열저감제를 이용한 콘크리트의 균열제어특성, 2004년 추계콘크리트학술 발표논문집, pp. 289-292, 2004.
- (4) 문승호, 콘크리트 구조균열, 기문당, 2001.