

# 규불화염계 균열저감제를 이용한 콘크리트의 균열제어특성

## Fundamental Characteristics of Crack Control for Concrete Used in Fluosilicate Salt Based Anti-crack Agent

강성웅<sup>\*</sup> 양일승<sup>\*\*</sup> 한병찬<sup>\*\*\*</sup> 김도수<sup>\*\*\*\*</sup> 길배수<sup>\*\*\*\*</sup> 윤현도<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Kang, Sung Woong Yang, Il Seung Han, Byung Chan Kim, Do Soo Kil, Bae Soo Yun, Hyun Do

### ABSTRACT

This study was performed to know effective control of crack occurred by hydration heat, restraint of multiplication of hydration heat, through mechanical test, strength test and crack control test using fluosilicate salt based anti-crack agent made from by-product during phosphoric acid manufacturing process. Mix proportions for experiment were modulated at 0.495 of water to cement ratio and addition amount of fluosilicate salt based anti-crack agent to 1.0%. Condensation time was late and compressive strength of hardened concrete cured at several days was executed to evaluate characteristics of crack control for concrete. It is ascertained that characteristics of crack control for concrete could be improved by an adequate addition of fluosilicate salt based anti-crack agent.

### 1. 서론

최근 무기 불소계 공정부산물의 발생에 따른 환경오염 문제 해결과 재활용을 위한 노력이 중요한 현안으로 대두되고 있다. 따라서 세계적으로 이러한 목적을 달성하기 위하여 각종 재활용 기술 및 제조시설 등이 개발되고 있으며, 현재에도 끊임없는 기술개발의 노력이 시도되고 있다. 이러한 추세에 따라 국내에서도 1990년대 후반부터 인산( $H_3PO_4$ ) 및 불산(HF)을 제조하는 공정 중에 액상형태의 부산물로 회수되는 불화규산( $H_2SiF_6$ )을 활용하여 안정한 액상형태로 제조되는 규불화염계 화합물이 콘크리트의 강도를 증진시키는 동시에 수밀성 증진 및 수화열 억제 등의 복합적 기능을 통해 경화 후 콘크리트의 건조수축, 소성수축 및 온도응력에 의한 균열저감 등 수밀성 및 경화 후 물성에 긍정적인 영향을 준다는 여러 연구가 보고 되고 있어 향후 건설용 혼화재료로서의 새로운 가능성이 제기되고 있다.<sup>1)</sup>

본 연구에서는 인산 제조공정 중에 공정부산물로 발생되는 불화규산( $H_2SiF_6$ )을 이용하여 국내 T사가 개발한 규불화염계 균열저감제를 적용하여 수화열에 따른 균열의 효과적 제어와 수화열의 상승 억제 성능 등을 평가하고자 하였다. 평가방법은 건조수축 실험, 소성수축실험, 수화열 실험을 실험실(Lab)에서 수행하였으며 그 결과를 보고하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 국내 S사에서 제조된 KS L 5201규정의 1종 A급 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 콘크리트의 배합설계는 표 1과 같이 물시멘트비 49.5%의 콘크리트로써 슬럼프치는

\* 정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

\*\*\* 정회원, 충남대 대학원 강사, 공학박사

\*\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\* 정회원, 충남대학교 강사, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, (주)트라이포드, 공학박사

표 1 콘크리트 배합설계

호칭강도(N/mm <sup>2</sup> )	슬럼프 범위(cm)	공기량의 범위(%)	W/C(%)	S/A(%)
24	15±2.5	4.5±1.5	49.5	44.6

표 2 균열저감제의 화학적 특성

농도(%)	주성분	비중	pH	외관
13±2	규불화염	1.15±0.05	2~3	암갈색 수용액

15±2.5cm의 범위를 유지하였으며 공기량은 4.5±1.5%의 범위를 유지하였다. 그리고 균열저감제의 화학 조성은 13±2% 농도의 가용성 규불화염(MSiF<sub>6</sub>, M : Zn, Mg)을 사용하여 콘크리트에 첨가하였고 재료의 화학적 특성은 표 2와 같다.

## 2.2 실험방법

규불화염계 균열저감제에 따른 균열 제어성능 평가에 대한 실험은 균열저감제의 첨가율에 따라 다음과 같이 3가지로 구분하여 실시하였다.

- 1) 소성수축균열에 저항성능의 평가는 그림 1과 같이 100mm×100mm×400mm 시험편을 제작하여 실시하고, 시험편과 구속장치의 바닥은 비닐막을 설치하여 콘크리트 시험편의 수축이 원활하도록 계획하였다. 균열을 인위적으로 발생시키기 위해 시험체를 온도 28±3℃, 습도 40±5%의 상태에 노출시키고 시험체 표면에 풍속 4.5~5.0m/s를 가한 조건에서 측정하였다.<sup>2)</sup>
- 2) 구속상태에서의 건조수축에 대한 성능평가는 JIS의 규준(콘크리트의 건조수축균열 시험방법)을 토대로 하여 그림 2와 같이 내부에 강관을 나무판 위에 고정한 후 그 외부에 몰드를 고정하고 두 강관 사이에 콘크리트를 타설하여 시험편을 제작하였다. 이 때 내부 강관의 외경은 300mm이며 시험편의 외경은 370mm이고 높이 140mm인 링 모양으로 구성된다. 원형의 건조수축 몰드를 7일간 습윤양생 후 건조장치(60℃, 절건상태)에 약 3주간 시험체를 보관하여 건조수축에 따른 시험체의 건조수축율을 평가하였으며, 건조수축율의 측정은 원형 콘크리트 몰드 4면에 콘크리트 길이변화측정용 게이지를 부착하여 실시하였다.
- 3) 콘크리트의 수화온도 저감성능은 모의 부재시험(거푸집규격 : 600×600×600mm)을 통해 수화온도 이력을 측정하여 평가하였다. 즉, 시험체 중심부에 T 타입 열전대를 매설하고 디지털식 온도 기록계(Maturimeter, 모델 : TMA-201)로 83시간까지 10분 간격으로 온도이력을 측정하였다.

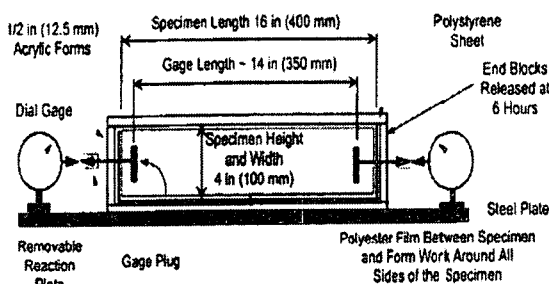


그림 1 소성수축균열 저항성능 평가 시험체 상세

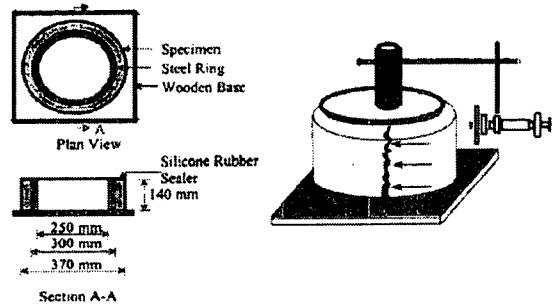


그림 2 건조 수축특성 평가용 시험체 상세

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 소성수축

콘크리트 소성수축균열 실험 결과, 소성수축균열은 콘크리트 타설한 후 10분에서 60분 사이에 형성되었으며 균열의 발생은 콘크리트가 타설된 후 6시간 후에 최종적으로 안정화되었다. 그림 3은 보통콘

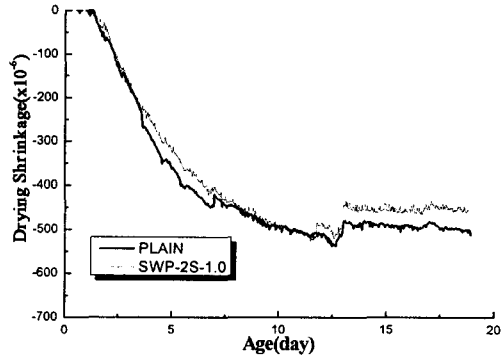
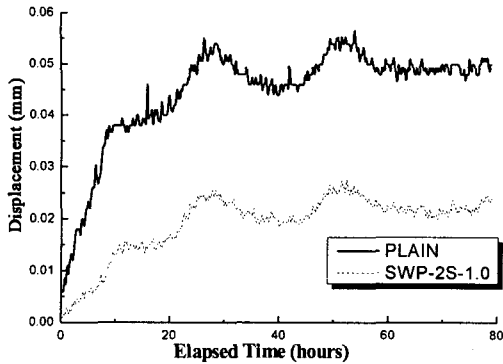


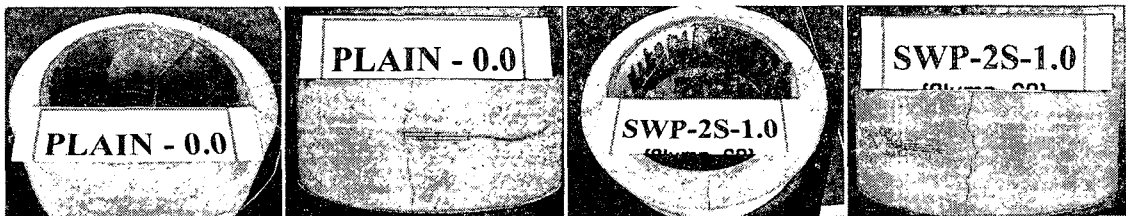
그림 3 균열저감제를 첨가한 콘크리트의 소성수축 곡선      그림 4 균열저감제를 첨가한 콘크리트의 건조수축 곡선

크리트와 균열저감제를 첨가한 콘크리트의 소성수축실험 결과를 나타낸 것이다. 최초 균열발생 시간은 무첨가 콘크리트(Plain concrete)의 균열 발생시간과 비교하여 균열저감제를 첨가한 콘크리트가 약 10분 정도 늦게 균열발생이 관찰되었다. 무첨가 콘크리트에서는 타설 후 26시간 경과된 시점까지 변위에 있어서 급격한 변화를 보이다가 최대변위인 0.056mm를 나타냈으며 50시간이 지난 후 다시 한번 최대변위를 기록한 후 다소 안정화되는 경향을 볼 수 있었다. 반면에 균열저감제를 첨가한 콘크리트에서는 타설 후 28시간 경과된 시점까지 변위에 있어서 무첨가 콘크리트의 변위변화와 비교하여 볼 때 보다 완만한 변화를 보이다가 0.026mm를 나타냈으며 51시간이 지난 후 최대변위인 0.028mm를 나타내었고 이후 다소 안정화되는 경향을 볼 수 있었다.

이는 규불화염의 첨가에 의해 시멘트 수화반응을 통해 생성된 난용성 금속불화물 충전작용 및 가용성 실리카의 포졸란 효과에 의해 콘크리트의 수밀성이 증진되어 자유수의 급격한 증발로 인해 발생하는 효과에 기인한 것이라 할 수 있다.

### 3.2 건조수축

그림 4는 각각 4가지의 Plain 몰드와 균열저감제를 C×1.0% 넣은 콘크리트 몰드에 대해 재령에 따른 건조수축량의 평균치를 나타낸 것인데 두 몰드 모두 약 500μ까지 급격한 수축을 나타내다가 이후 다소 안정화되는 것을 볼 수 있었다. Plain 몰드와 비교하여 볼 때 균열저감제를 넣은 몰드에 있어서 건조수축은 16%(66μ) 건조수축의 저감효과를 나타내었다. 그림 5는 실험결과로 나타난 실제 균열모습을 나타낸 것으로 개이지부분에 균열이 발생하게 되어 그림 4의 14일 정도의 건조수축량에 있어서 갑작스런 변화가 나타나게 되었다. 규불화염계 균열저감제를 혼입함으로써 무첨가 콘크리트에 비해 건조수축률도 줄어드는 경향을 나타내었다. 이는 전술한 규불화염의 첨가로 콘크리트 시험체의 수밀성이 개선되어 건조시 모세관의 수축 및 경화에 따른 수축 저항성이 향상된 결과로 판단된다.



(a) 무첨가 콘크리트 건조수축 균열

(b) SWP-2S를 첨가한 콘크리트의 건조수축 균열

그림 5 콘크리트 원형몰드의 건조수축 균열

### 3.3 수화온도 이력

그림 6은 Plain 및 균열저감제를 C×1.0% 첨가한 모의부재 콘크리트 시험체 중앙부의 재령시간에 따른 수화온도 분포를 나타낸 것이다. Plain에 비해 최고 온도에 도달되는 수화온도 상승패턴에 있어서 균열저감제가 첨가된 콘크리트의 수화온도가 다소 완만하며, 동일시간에서의 수화온도도 저감되며 최고 온도에 도달되는 시간도 6~7시간 정도 늦어지는 것으로 확인되었다.

이러한 효과는 규불화염계 균열저감제를 첨가할 경우 규불화이온( $\text{SiF}_6^{2-}$ )에서 해리된 불소이온( $\text{F}^-$ )과 시멘트 수화시용출되는 알칼리 금속의 반응에 의해 난용성 금속불화물이 생성될 때 열역학적 흡열과정에 의해 수화열이 흡수되는 효과에 기인한 결과로 판단된다. 또한 시멘트의 수화열을 지연시키는 효과도 복합적으로 작용하여 콘크리트 수화온도가 저감된 것으로 사료된다.

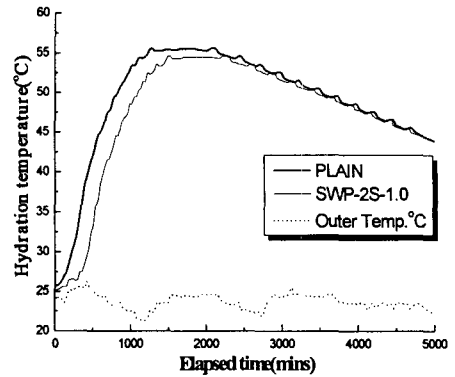


그림 6 균열저감제를 첨가한 콘크리트의 수화온도 이력곡선

## 4. 결론

규불화염계 균열저감제(SWP-2S)를 이용한 콘크리트의 균열제어 특성에 관한 Lab 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 규불화염계 균열저감제를 C×1.0% 첨가하는 경우 24MPa급 보통강도 콘크리트의 소성수축 및 건조수축이 각각 50%, 16% 감소되었으며 균열발생 시간 또한 10분정도 지연되는 것으로 확인되었다.
- (2) 콘크리트의 수화온도이력 실험결과, Plain 콘크리트에 비하여 균열저감제를 첨가한 콘크리트는 최고온도 도달시간이 6~7시간 지연되고, 최대 수화온도이전의 상승 기울기가 완만하며, 수화온도가 1.7% 저감되는 것으로 나타났다.
- (3) 본 실험에서 이용된 콘크리트 매스보다 부피가 큰 시험체를 사용할 경우 수화온도 상승속도의 저감효과와 수화온도의 저감효과가 더욱 크게 나타나게 될 것으로 판단된다. 이에 대한 보다 정확한 비교·분석을 위해서는 추가실험과 더불어 실제 현장에서의 평가도 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 실시하는 2004년 중소기업기술혁신개발사업(과제명 : 콘크리트 혼화용 규불화염계 균열저감제의 상용화 기술개발)에 따른 연구결과물로서 이에 대한 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김재은, 2성분 규불화염계 콘크리트 혼화제의 제법과 적용성에 관한 실험적 연구, 박사학위논문, 2004
2. ACI Materials Journal, 소성수축 균열에 의한 균열특성 시험, pp. 495-504, 1988, :
3. A. M. Neville, Properties of Concrete, Longman, pp.490-495
4. H.F.W. TAYLOR, Cement Chemistry, pp.199-274
5. P. Kumar Mehta, Concrete Structure, Properties, and Materials, Prentice Hall, pp.17-41
6. J. R. Lee, J. O. Kim, S. G. Han, Y. S. Kang, B. S. Khil and J. H. Nam, "Experimental Study on the Watertightness and Hardening Properties of Concrete using Fluosilicate Salt Based Chemical Admixture," Proc. of the Korea Concrete Institute, 16(1), pp. 36-39, 2004