

# 콘크리트의 수축균열 제어를 위한 다기능 균열 저감 콘크리트 기술

The Multi-Functional Crack Reducing Concrete Technology for Control of Shrinkage Cracks in Concrete

고정원 Jeong Won, Ko  
(주)대우건설기술연구원  
건축연구팀 선임연구원

김영진 Young Jin, Kim  
(주)대우건설기술연구원  
수석연구위원

민경소 Kyoung So, Min  
(주)에이씨애크  
대표이사

## 1. 머리말

경제발전과 더불어 사회기반 시설물이 증가하고 초고층·저심도·장대화되면서 설계·구조·시공 기술, 재료성능 면에서 점차 높은 성능이 요구되고 있다. 특히, 콘크리트 구조물의 구조적 안정성, 내구성, 미관 등을 고려한 균열하자 문제는 대부분 건설현장에서 지적사항으로 대두하고 있다.

최근 국토교통부로부터 고시<sup>1)</sup>된 “공동주택 하자판정기준 개정(안), 2015년 10월”에 따르면 기존의 허용균열폭 0.3mm 미만의 미세한 균열이라도 누수를 동반하거나, 철근 배치 위치의 균열 및 미관상 지장을 초래하는 경우에는 균열하자로 판정하고 있어서, 향후 건설현장에서 더욱 적극적인 콘크리트 균열하자에 대한 대처가 필요한 실정이다.

일반적으로 콘크리트의 균열은 소성수축, 건조수축, 화학수축, 자기수축, 수화열, 소성침하, 부동침하 및 조기시공하중 등의 원인에 의해 발생하는 것으로 알려져 있다. 이상의 균열원인 중 콘크리트의 수축 원인에 의한 균열 발생이 전체의 80% 이상을 차지하고 있으며, 이러한 콘크리트 수축량은 부피의 0.04~0.06%를 차지한다고 보고되고 있다<sup>2)</sup>. 더욱이, 이러한 수축은 콘크리트의 안정성, 내구성에 큰 영향을 미치고 있다.

이에 이 특집에서는 콘크리트 수축저감기술 동향과 수축균열을 보다 근본적으로 제어할 수 있는 성능적 요구 및 합리적인 균열제어 기술을 소개하고자 한다.

## 2. 기존 콘크리트 균열 저감 기술

### 2.1 팽창재 활용기술

수축균열을 제어하기 위해서는 수축량을 제어하여 원천적으로 인장응력을 줄이는 것이 효율적이며, 이를 위해 개발된 것이 팽창재이다. 일본에서는 1980년도에 JIS A 6202의 콘크리트용 팽창재 규격을 제정했으며, 우리나라에서도 1989년에 KS F 2562 “콘크리트용 팽창재”라는 규격을 제정되어 현재까지 유지되고 있다.

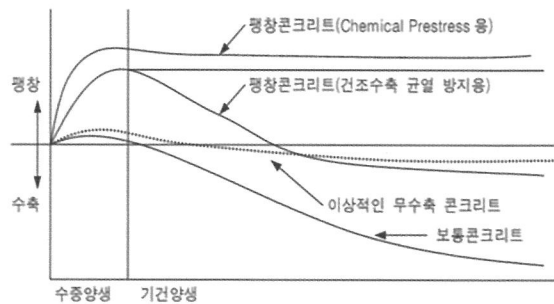


그림 1. 팽창재의 균열 저감 효과

표 1. 팽창재 종류와 구성성분<sup>3)</sup>

종류	성분	팽창원	사용 방법
K형	• Calcium Sulfa Aluminate(3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · CaSO <sub>4</sub> ) • CaO · CaSO <sub>4</sub>	Ettringite	Portland cement에 혼입 10 %
M형	• Alumina cement 또는 Calcium aluminate(수화물) • CaSO <sub>4</sub>	Ettringite	Portland cement에 혼입 10 %
S형	• Portland cement 중의 3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 와 CaSO <sub>4</sub> 증량	Ettringite	Cement로 사용
O형	• CaO	Calcium hydroxide Ca(OH) <sub>2</sub>	Portland cement에 혼입 10 %

팽창재 종류는 팽창을 일으키는 기구에 따라 몇 가지로 나눌 수 있지만, KS F 2562에는 팽창재의 종류별로 구분하지 않고 화학성분과 물리적 성질만을 품질로 규정하고 있다. 단, KS F 5217인 팽창성 수경시멘트에는 K, M, S형의 3종류로 구분하고 있고, 일본의 경우에는 이 외에 O형도 규정하고 있다(표 1).

팽창 콘크리트는 팽창되는 정도(팽창재 사용량 등)에 따라 화학적 프리스트레칭용과 수축보상용으로 분류되며, 수축보상용은 무수축 콘크리트와 수축저감형 콘크리트로 분류된다.

국내에서는 콘크리트의 건조수축 보상이나 케미컬 프리스트레칭용으로 팽창재를 사용하는 경우는 매우 제한적이지만, 주로 CSA(칼슘설포알루미네이트)계 팽창재가 주로 쓰이고 있으며, 대부분 일본이나 중국에서 수입되고 있다. 반면에 팽창재 사용이 일반화된 일본에서는 CaO계 팽창재와 CSA계 팽창재가 모두 사용되고 있으며 최근에 CaO계 팽창재 사용이 증가하고 있다.

콘크리트용 팽창재로 주로 사용되고 있는 CSA계 팽창재나 CaO계 팽창재는 균열 저감재로서 상기와 같은 효과가 있음에도 불구하고 충분한 검토 없이 사용할 시에는 지연팽창 등의 예기치 않는 문제점이 나타날 수 있으며, 특히 경제성 문제 이외에 이러한 품질 안정성 문제 이유로 국내에서는 콘크리트 적용이 매우 제한적으로 사용되고 있다.

## 2.2 균열 자기치유 활용기술<sup>4~6)</sup>

‘자기치유(self-healing)’의 사전적 의미를 살펴보면 인위적으로 손상된 부위에 대하여 외부로부터의 물리적인 방법을 통하지 않고 본체 내에 함유한 물질에 의하여 원형상태로 복구되는 과정으로 정의하고 있다. 최근 콘크리트 균열 자기치유 기술(그림 2)은 미생물을 통한 생체광물 형성작용으로 균열을 메우는 기술과 마이크로캡

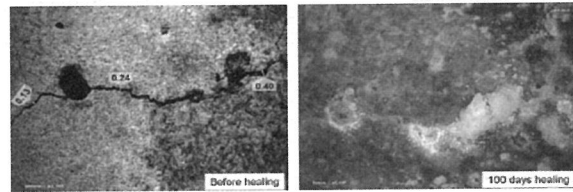


그림 2. 시멘트계 무기질 석출에 의한 균열자기치유 기술

슐을 콘크리트에 분산시켜 균열 발생 시 캡슐 속의 보수재를 통한 균열을 자가보수하는 기술, 시멘트계 무기질 석출을 통한 균열 자기치유 기술 등이 개발되고 있다.

이와 같은 기능을 콘크리트에 적용하면 미생물 유기증식성, 보수캡슐, 무기광물질의 팽창성을 이용하여 콘크리트의 균열발생을 인지하고 생성물을 확장하여 균열을 메우는 일종의 능동적 치유성을 자기치유라 칭하고 있다.

이러한 콘크리트 자기치유 기술은 콘크리트 구조물의 내구 성능에 긍정적 영향을 미치며, 유지보수 비용을 획기적으로 절감시킬 수 있어서 사용수명 연장에 효과적일 아이템이라 할 수 있다. 따라서, 기술개발과 함께 실용화 범위가 점차 넓어지고 있다.

## 3. 다기능 균열 저감 콘크리트 기술

### 3.1 기술개요

다기능 균열 저감 콘크리트 기술은 새로운 팽창원리를 가지는 팽창재를 주재료로 하고 있으며, 기존의 CSA계

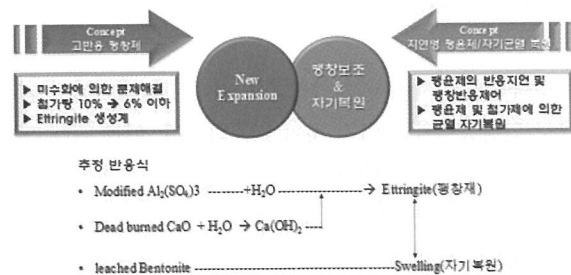


그림 3. 다기능 균열 저감재 반응 설계식

및 CaO계 팽창제와는 차별화한 개질된 알루미늄노설페이트와 과소 CaO 재료의 단계적 반응설계를 통하여 수산화칼슘과 에트리나이트에 의한 팽창을 혼합한 형태를 가진다(그림 3). 이로써, 기존 팽창제 대비 사용량을 50% 절감할 수 있으며, 초기 반응성을 극대화함으로써 미수화 팽창제에 의한 지연팽창 문제를 해소할 수 있다(그림 4).

또한, 팽윤제의 전처리를 통하여 보습효과를 통한 초기 작업성 저하문제를 해결함과 동시에 swelling 효과 및 자기치유 효과를 얻을 수 있도록 설계된 기술이다.

### 3.2 성능평가(Mock-up Test)

콘크리트 구조체 적용성을 사전검토하기 위해 Mock-up 시험을 통한 성능 검토를 하였다.

#### 3.2.1 배합선정

본 연구의 시험배합은 <표 2>와 같이 현장에 적용되고 있는 S 레미콘사의 기준배합을 사용하였으며, 비교 대상으로 기준배합, 기존 팽창제기술 및 다기능 균열 저감기술에 대한 비교시험을 시행하였다.

#### 3.2.2 시험방법

본 연구의 시험은 <그림 5>와 같이 3.0×3.0×0.15m의 양단구속 중앙 무근(2.0m) Mock-up 시험체를 제작, 매립형 게이지(KM100-B)를 설치하여 외기에 노출된 환경에서의 콘크리트 건조수축량을 측정하였다.

#### 3.2.3 시험결과

Mock-up 시험 결과(그림 6), 다기능 균열 저감제의 밀도향상 효과로 인하여 Plain 대비 10% 내외의 강도 증진 효과가 있었다.

건조수축 경향은 기존 배합과 비교하여 80% 이상 수축량이 줄이는 결과를 나타내었으며,

이는 무수축에 가까운 건조수축량으로 평가할 수 있다. 또한, 본 다기능 균열 저감 콘크리트의 균열 자기치유 성능을 검토하기 위하여 0.3mm의 미세 균열을 유발해 수중에 28일간 침지시킨 시험체에서 <그림 7>과 같이 탄산칼슘 결정질에 의한 균열 자기치유 성능을 확인할 수 있었다.

### 3.3 현장 적용

현장 적용은 균열 문제 해소가 절실한 지하주차장 중

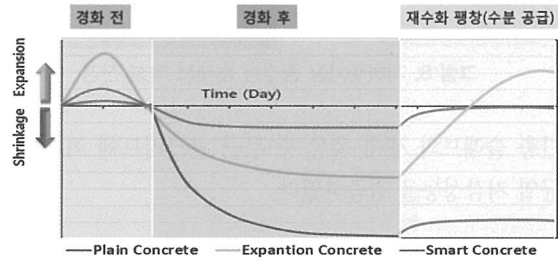


그림 4. 다기능 균열 저감재의 성능비교 곡선

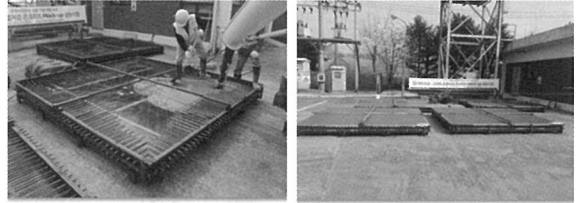


그림 5. Mock-up 시험체 타설 전경

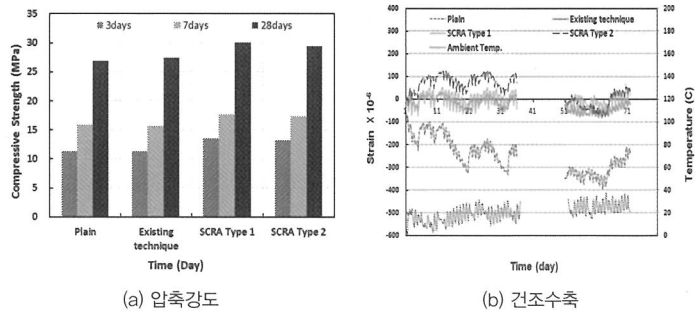
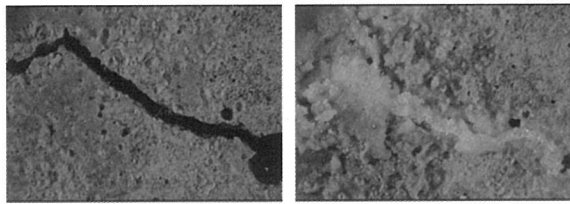


그림 6. Mock-up 시험 결과

표 2. 콘크리트 배합( $f_{ck}$  21 MPa 기준)

구분	W/C(%)	S/a(%)	단위용적중량(kg/m <sup>3</sup> )								
			W	OPC	SP	FA	SCRA <sup>®</sup> E.T.	S1	S2	G	AD
Plain	52.4	48.0	165	221	47	47	0	432	435	947	2.21
E. T.	52.4	48.0	165	189	47	47	32	432	435	947	2.21
SCRA	52.4	48.0	165	205	47	47	16	432	435	947	2.21

※ SCRA : 다기능 균열 저감제(5%/B), Existing Technique : 기존 균열 저감제(10%/B), Total Binder 315 kg에 대한 내할 적용



(a) 균열사진 (b) 28일간 수중양생  
그림 7. 수중양생을 통한 균열 자기치유 결과

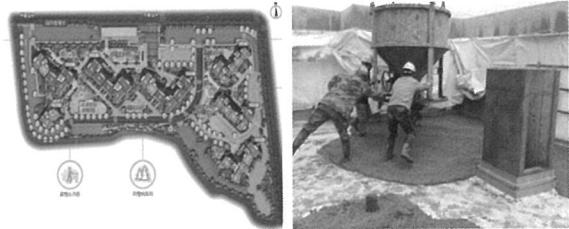


그림 10. 세대옥상 방수층 상부 무근콘크리트 타설 전경

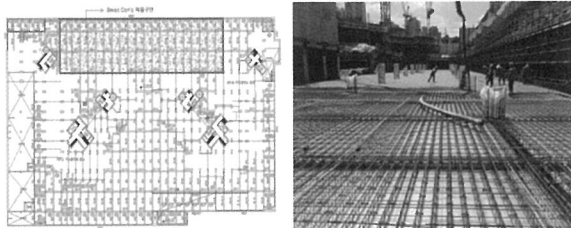


그림 8. 지하주차장 중간층 슬래브 타설 전경

간층 슬래브와 세대 옥상 층 무근 콘크리트에 적용하여 균열 저감성능을 검증하였다.

### 3.3.1 지하주차장 중간층 슬래브

적용 부위는 <그림 8>과 같이 지하 2층 주차장 바닥 슬래브 구간이며, 슬래브 구조는 데크슬래브, 설계강도 24 MPa, 슬래브 두께 200 mm, 콘크리트 타설물량은

450 m<sup>3</sup> 적용하였다.

강도시험 결과, 일반 콘크리트 대비 약 122% 강도가 증가하는 결과를 확인할 수 있다. 측정된 건조수축량은 약 200 μm의 팽창이 발생되어 일반적인 초기재령에서의 건조수축이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이로 인하여 다기능 균열 저감 콘크리트 타설 구간에서는 건조수축에 의한 균열이 발생하지 않은 것으로 판단된다.

### 3.3.2 세대 옥상 무근 콘크리트

적용 부위는 <그림 10>와 같이 옥상층 방수층 상부에 시공되는 누름 콘크리트(무근)에 적용하였다.

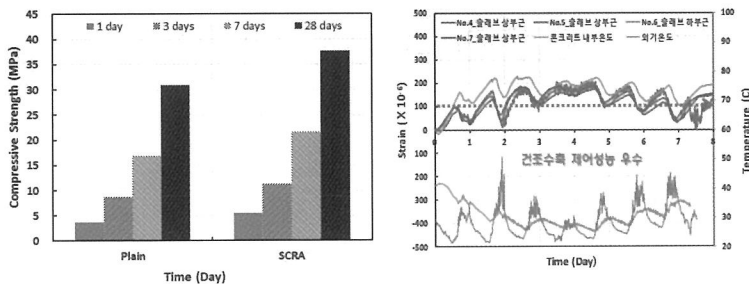
기존의 옥상 층 누름 콘크리트에는 와이어메시를 시공한 후, 18 MPa의 콘크리트를 적용하고 있다. 그러나, 와

이어메시는 공법상 스페이서를 적용하지 않기 때문에 누름콘크리트 시공 후 표면마감 및 구배 시공 과정에서 작업자에 의해 와이어메시가 바닥으로 내려앉게 된다. 따라서, 콘크리트 상부는 와이어메시의 효과를 얻을 수 없어서 소성 및 건조수축 균열이 쉽게 발생하게 된다.

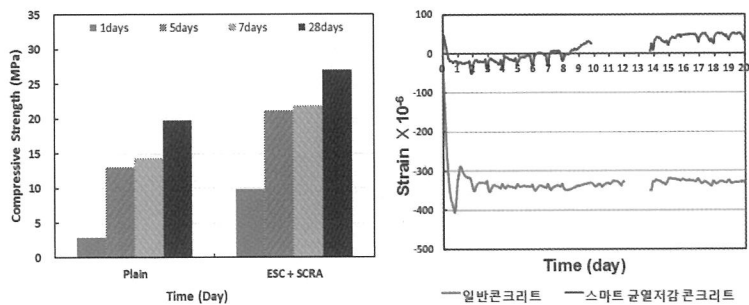
본 기술은 와이어메시를 제외하고 누름 콘크리트에 다기능 균열 저감재를 결합재의 5% 적용하는 것만으로 누름 콘크리트의 수축균열을 제어할 수 있다.

<그림 11>은 동절기 마감공정을 단축하기 위해 OPC 대신 준조강시멘트를 적용함과 동시에 다기능 균열 저감재(5%/Binder)를 적용한 결과이다.

압축강도 시험 결과, 1종 보통포틀랜드시멘트(OPC) 100% 배합 대비 준조강시멘트(ESC) 95% + 다기능 균열 저감재(SCRA) 5% 적용된 배합의 강도가 1일 강도 기준 336%(2.9 MPa : 9.9 MPa),



(a) 압축강도 (b) 건조수축  
그림 9. 주차장 슬래브 압축강도 및 건조수축 계측 결과



(a) 압축강도 (b) 건조수축  
그림 11. 세대옥상 압축강도 및 건조수축 계측 결과

28일 강도 기준 136%(19.8MPa : 26.9MPa)의 강도가 증가하는 경향을 나타내었다.

한편, 현장 적용을 통한 건조수축 비교 시험 결과, 일반 콘크리트에서는 양생초기(타설 직후~24시간) 소성 및 건조수축량이 약 400 μm로 크게 발생하는 것을 알 수 있으며, 이로 인한 균열 발생이 확인되었다.

그러나 다기능 균열 저감재를 적용한 콘크리트는 양생 초기(타설 직후~6시간) 약 100~200 μm의 팽창을 통하여 소성균열을 억제하고, 이후 약 3주간 건조수축이 거의 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

이러한 영향으로 인하여 다기능 균열 저감재가 적용된 구간에서는 8개월이 지난 지금까지도 균열이 발생하지 않는 것이 확인되었다.

#### 4. 결론

콘크리트는 수화반응을 통하여 강도를 나타내는 재료이므로 반드시 물을 사용해야 하며, 이러한 물은 콘크리트가 경화되는 과정 및 경화 후에 증발하는 과정에서 수축변형이 필연적으로 발생한다. 이처럼 수축에 의한 콘크리트 균열하자로 인하여 경제적, 구조적인 문제가 반복적으로 빈번히 발생하고 있다. 우리는 균열이 어떤 영향에 의해 발생하는지 인지하고 있으나, 여러 가지 요인으로 인해 적극적인 대처를 하지 못하고 있다. 향후, 건설인력 저감, 건설시장에서의 품질관

#### 참고문헌

1. 국토교통부, 공동주택 하자의 조사, 보수비용 상정 방법 및 하자판정기준 전부개정(안), 2015. 10. 6.
2. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, 1992.
3. 한천구, 홍상희, 팽창재를 이용한 고성능 콘크리트의 특성과 건조수축 및 자기수축 저감에 관한 연구, 한국레미콘공업협회지, 제58호, 1999.
4. 홍석범, 구체방수 콘크리트의 자기복원 성능에 대한 실험적 연구, 한국과학기술원, 2009. p.50.
5. Breugel, K. V., "Is there a market for self-healing cement-based materials" Proceeding of the 1st International Conference on Self-Healing Materials, Delft, Netherlands, 18-20 April, 2007.
6. Tae-Ho Ahn and Toshiharu Kishi, Crack Self-healing Behavior of Cementitious Composites Incorporating Various Mineral Admixtures, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 8, No. 2, 2010, pp. 171~186.

리기준 강화 및 사용자의 품질요구 눈높이가 높아지는 등 사회적 문화로 정착될 가능성이 매우 높다.

현재 우리는 품질관리 측면에서 과도기에 있다고 할 수 있다. 단순한 균열보수를 뛰어넘어 근본적인 균열 제어 측면에서의 기술개발이 필요한 시점이다.

현재의 기술을 보다 발전시킬 수 있도록 현장에서 균열 저감기술을 적극적으로 적용할 필요가 있으며, 장·단기적인 안목에서의 관심과 기술개발이 필요하다. □

담당 편집위원 : 신경준(충남대학교) kjshin@cnu.ac.kr



**고정원 선임연구원**은 일본 동경대학교 대학원에서 고강도 콘크리트 중의 열수분 이동 및 폭렬에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후, (주)대우건설 기술연구원에서 선임연구원으로 재직 중에 있으며, 고성능 콘크리트의 현장 실용화 연구 활동 및 해외현장의 리스크 저감을 위한 기술지원에 매진하고 있다. 현재 우리 학회 내화 콘크리트 위원회에서 활동하고 있다.  
jeongwon.ko@daewooenc.com



**김영진 수석연구위원**은 연세대학교 토목공학과에서 반복하중을 받는 RC 휨 부재의 비선형해석에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후, 1992년부터 (주)대우건설 기술연구원에서 토목 연구팀장을 거쳐 기술연구담당 임원으로 재직하고 있다. 주 관심 연구 분야는 프리캐스트 조립식 급속 시공 교량, 저탄소 시공시스템, 콘크리트 내구성 및 레올로지 분야 등이며, 한국구조물진단유지관리공학회 부회장, 우리 학회 콘크리트원자력구조물 연구위원회 위원장 및 감사를 맡고 있다.  
youngjin.kim@daewooenc.com



**민경소 대표**는 한양대학교에서 '칼슘계 화합물 미분말의 합성과 형상제어'로 박사학위를 취득하였다. (주)한라시멘트에서 연구소장, 기술담당상무, (주)삼표산업에서 R&D 총괄담당 고문으로 근무한 후, 현재 (주)에이씨 엠텍 대표를 맡고 있다.  
ksmin@acmtech.co.kr