

## 균열저감형 수밀 콘크리트의 지하구조물 기초바닥 현장 적용 사례

The Application of Watertightness Concrete with Anticrack Performance for the Groundwork of Underground Construction



김도수\*  
Do-Su Kim



길배수\*\*  
Bae-Su Khil



김종진\*\*\*  
Jang-Jin Kim



전영식\*\*\*\*  
Yeong-Sik Jeon



윤길호\*\*\*\*\*  
Gil-Ho Yoon



한승구\*\*\*\*\*  
Seung-Goo Han

### 1. 서 론

콘크리트에 균열이 발생하게 되면 구조적 결함, 내구성 저하, 외관 손상 등을 유발하여 치명적인 손실을 초래하기 때문에 균열제어를 통한 내구성능의 증대가 필수적이다. 국내 콘크리트 구조물의 동향을 살펴보면 LCC 개념에 비추어 구조물의 신축비용이 25%에 불과하고, 다양한 형태의 균열보수, 개수, 유지관리 및 폐기처분에 대한 비용이 75%를 차지함에 따라 구조물 시공시 콘크리트의 균열발생과 시공 후 콘크리트 내 철근 부식을 억제하는 기술이 요구된다고 할 수 있다. 불화규산( $H_2SiF_6$ ) 및 가용성 금속류를 활용하여 제조된 수밀성 무기질 균열저감제(SWP-2)는 콘크리트에 첨가되면 수밀성이 향상되고, 수화열의 상승을 억제하며 경화수축을 억제하는 등 재료적 요인에 의한 균열발생 요인을 효율적으로 제어하는 성능을 발휘한다. 또한 철근 부식·팽창에 의한 2차적인 균열을 억제하는 효과에 의해 콘크리트 구조물의 내구성을 향상시키는 것으로 보고되고 있다. 이러한 효과에 의해 균열저감제는 2004년에 각각 산업자원부의 한국신기술(NT) 및 과학기술부의 신기술(KT)을 인증받았으며, 현재 계룡건설산업(주)과 (주)트라이포드는 공동 협약기술에 의해 균열저감형 수밀 콘크리트를 수밀성과 균열저감이 요구되는 콘크리트 지하구조물의 기초바닥에 적용한 기술을 국내 최초로 건설신기술로서 제안하여 최종승인(2005년 6월)을 앞두고 있다.

이 기사에서는 균열저감형 수밀 콘크리트를 온도, 습도 등의 변동성이 크고 열악한 환경적 요인에 노출된 실제 콘크리트 지하구조물의 기초바닥에 타설한 적용 현장 중 일부 시공

사례를 소개하고자 한다.

### 2. 현장시험 개요

현장시험은 <사진 1>과 같이 대전 노은 택지 2지구 아파트의 주상통합형 지하주차장 기초 바닥(시공부재 두께 : 800

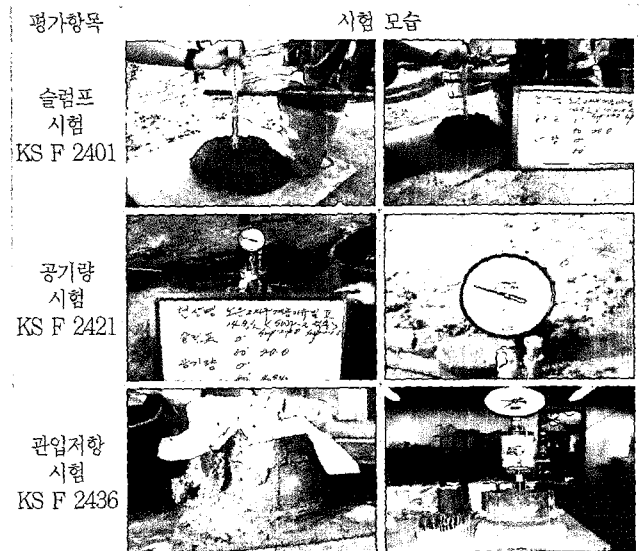


사진 1. 굳지 않은 콘크리트의 현장시험

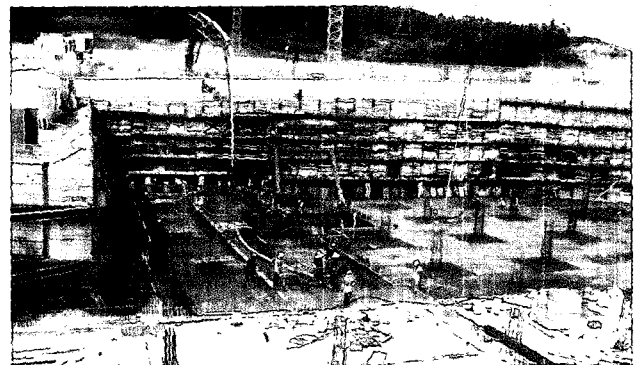


사진 2. 현장전경

\* 정희원, (주)트라이포드 기술경영본부 기술경영이사  
kds@tripod2003.co.kr

\*\* 정희원, (주)트라이포드 대표이사

\*\*\* 계룡건설산업(주) 노은2지구 7블럭 계룡리슈빌아파트 현장소장

\*\*\*\* 계룡건설산업(주) 노은2지구 13블럭 계룡리슈빌아파트 현장소장

\*\*\*\*\* 계룡건설산업(주) 건축부 이사

\*\*\*\*\* 정희원, 계룡건설산업(주) 건축사업본부 전무이사(본부장)

표 1. 현장 개요

일시	2004. 7 ~ 8.
위치	대전 노은 2택지개발지구 아파트 공사현장
시공사	계룡건설산업(주)
적용부위	아파트 지하주차동 기초바닥(T = 800 mm)
적용면적	11,640 m <sup>3</sup>
균열저감제 첨가율	C×0.5%
타설방법	레이콘 공장의 B/P 첨가 후 펌핑 타설
배합기준	25-24-15
배합사항	호칭강도(MPa) : 24.0, 목표 슬럼프(mm) : 150.0, 목표공기량(%) : 4.5±1.5
현장시험평가항목	공기량, 슬럼프 경시변화

표 2. 콘크리트 현장배합표

기준 강도 (wt.)	W/C	S/a	단위재료 소요량(kg/m <sup>3</sup> )							
			시멘트 (C)	물 (W)	잔골재 (G)	굵은골재 (G)	혼화제	SWP-2		
24	50	45.2	273	91	173	168	786	937	5.46	1.6

표 3. 균열저감제의 특성

주요성분	비중	pH	외관
2성분 규불화염, 가용성 실리카, 방향족계 축합물, 질산염계 화합물(PCM)	1.15±0.05	3.0 ~ 4.0	암갈색 수용액

표 4. 현장 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 평가결과

평가항목	Plain		균열저감형 수밀콘크리트 (SWP-2-0.5)	
	0 min	60 min	0 min	60 min
슬럼프(mm)	198	172	210	198
공기량(%)	5.3	4.9	6.0	5.1

mm)에 균열저감형 수밀 콘크리트를 일체 타설하였으며, 시공 현장의 개요는 <표 1>과 같다. 현장의 기초바닥에 타설된

콘크리트 배합은 <표 2>와 같이 기준강도가 24 MPa, 목표슬럼프가 150 mm이며 기초 바닥의 시공두께는 800 mm이었다. 균열저감제는 (주)트라이포드사에서 시판하는 규불화염 및 가용성 실리카를 주성분으로 하는 복합 화합물로서, 콘크리트에 C×0.5% 첨가하여 현장적용 특성을 파악하였다. 한편, 기초바닥 타설공사에 투입된 균열저감제(SWP-2)의 특성은 <표 3>과 같다.

### 2.1 굳지 않은 콘크리트 특성

현장타설시 굳지 않은 콘크리트에 대한 워커빌리티 및 재료적 특성을 알아보기 위하여 유동성, 공기량, 응결시간 시험을 행하였다. <표 4>와 같이 균열저감제를 첨가하였을 경우 균열저감형 수밀콘크리트(이하 SWP-2-0.5로 표기함)의 유동성이 무첨가콘크리트(이하 Plain으로 표기함)보다 약 6.1 ~ 15.1% 정도 증가하는 결과를 보였으며, 슬럼프 로스는 유사한 경향을 보였다. 유동성이 향상되는 효과는 균열저감제 성분 중 콘크리트의 유동성에 기여하는 방향족계 고분자 축합물의 작용 및 규불화염이 시멘트 수화성분과 반응(MSiF<sub>6</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> → MF<sub>2</sub> + 2CaF<sub>2</sub> + SiO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O, M: Zn or Mg)을 통해 시멘트-물계에 자유수가 추가된 영향으로 판단된다. 현장 타설 콘크리트의 공기량은 목표공기량 기준 4.5±1.5%을 충족하는 값을 보였으며, 균열저감제 첨가로 인한 두드러진 공기량 변화는 나타나지 않았다. 또한 콘크리트의 응결은 <그림 1>와 같이 초결은 135분, 종결은 160분 지연되는 것으로 나타났다. 이와 같이 균열저감형 수밀 콘크리트의 응결시간이 다소 지연되었으나 거푸집 탈형 등 공기에는 영향을 줄 정도는 아니며, 기타 콘크리트의 초기 시공성에도 큰 영향이 없는 것으로 확인되었다.

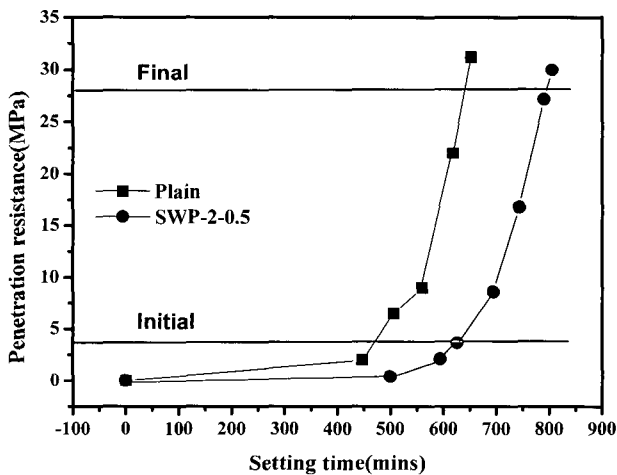


그림 1. 굳지 않은 콘크리트의 응결시간 측정결과

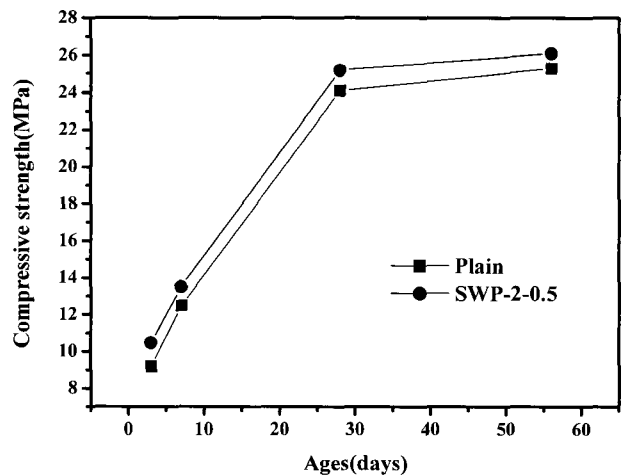
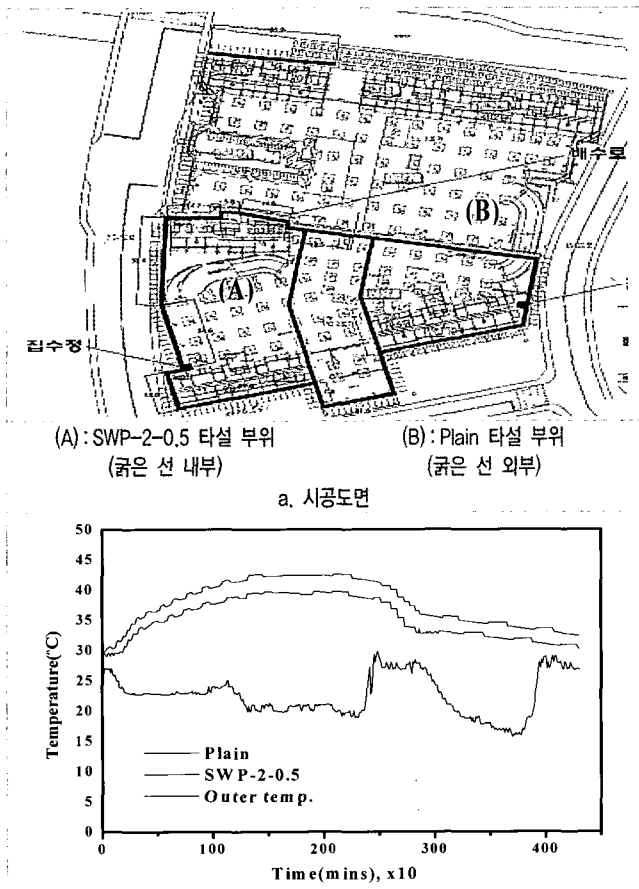


그림 2. 경화 콘크리트의 압축강도 측정결과



b. 현장 시공 콘크리트의 수화온도 측정결과

- 전체 측정시간(3일, 4,320분)에 있어서 SWP-2를 0.5% 첨가한 콘크리트 부재의 수화온도가 무첨가에 비해 낮아짐
- 최고 수화온도의 경우 Plain 에서는 약 43°C인 반면 SWP-2-0.5에서는 약 39°C로 9.3%의 온도저감 효과 확인
- 최고 온도에 도달되는 온도상승 속도가 완만하고 정점에 도달되는 시간도 약간씩 지연됨
- 현장에서 시공된 콘크리트의 수화온도에 대해 균열저감제의 첨가로 급격한 수화온도의 상승이 억제되고, 수화온도가 감소되는 효과를 통해 시공부재가 큰 현장에서 온도응력에 의한 콘크리트의 균열발생을 저감하는데 효과적으로 기여할 것으로 판단됨

그림 3. 현장 시공 콘크리트의 수화온도 시험개요

## 2.2 경화콘크리트 특성

### 2.2.1 압축강도

아파트 공사현장에 사용되는 콘크리트 배합(25-24-15)을 대상으로  $\phi 100 \times 200$  mm의 원주형 공시체에 SWP-2-0.5와 Plain을 각각 타설한 후 (그림 2)과 같이 재령별(3일, 7일, 28일, 56일) 압축강도를 실시하였다. 초기 3일 재령에서 Plain에 비해 SWP-2-0.5의 압축강도가 약간 낮은 값을 보이나 재령이 지날수록 압축강도가 서서히 회복되었다. 재령 28일에서 Plain보다 4.6%, 56일에서 3.2%의 압축강도가 향상되었다. 이러한 효과는 시멘트 수화과정에서 균열저감제의 주요성분 중 규불화염이 알칼리 환경에서 해리되어 안정화

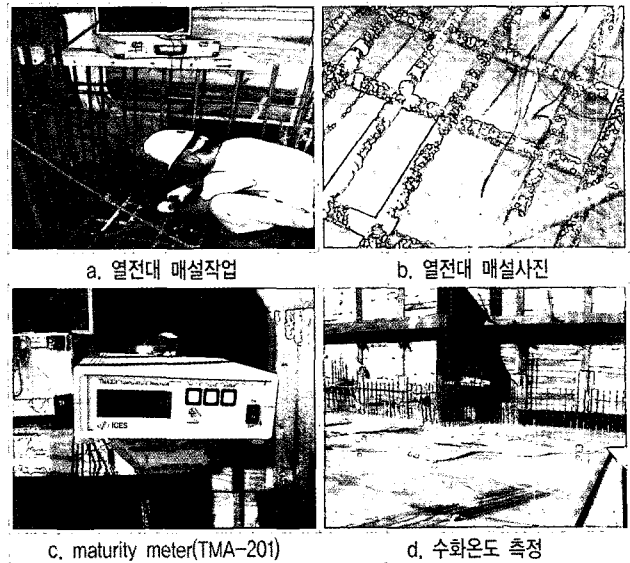


사진 3. 수화온도 측정사진

된 미세한  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{NaF}$ 와 같은 난용성 금속불화물의 콘크리트 결합부에 대한 충전작용과 해리과정에서 생성된 가용성 실리카의 포졸란 작용 때문으로 증장기 재령에서 압축강도가 향상된 것으로 판단된다.

### 2.2.2 시공 콘크리트의 수화온도 변화

아파트 지하주차장 기초바닥(부재 두께 : 800 mm)의 콘크리트의 수화온도이력을 타설 부위 중 균열저감제를 적용하지 않은 타설부위와 적용한 부위(〈그림 3〉 시공도면의 굵은선 내부)를 구분하여 시공 콘크리트의 중앙부에 T타입 열전대(thermocouple)를 (사진 3)와 같이 매설하고, 디지털식 온도기록계(maturity meter, 모델명 : TMA-201)로 외기온도를 측정하면서 3일간 10분 간격으로 콘크리트의 수화온도를 연속적으로 측정하였다.

### 2.2.3 콘크리트 균열특성

JIS규격(콘크리트의 건조수축균열시험방법)에 따라 Plain 및 SWP-2-0.5를 대상으로  $170 \times 100 \times 1,000$  mm의 구속 변형 시험용 몰드를 이용하여 구속상태에서 건조수축률을 평가하였다. 이 때 시험체의 제작 및 양생온도는  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 에서 포화 습윤상태로 7일간 양생하고, 몰드를 제거하여 측정시까지 온도  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도  $60 \pm 5\%$  기건상태에서 진행하였다. 시험체 양측 중앙에서의 길이변형률을 1일 1회 간격으로 연속적으로 측정하였으며, 측정 시기는 시험체의 몰드 탈형 직후에 실시하여 시험체에 균열발생을 체크하면서 연속적으로 48일간 측정하였다. 시험개요 및 측정결과는 (그림 4)에 나타내었다.

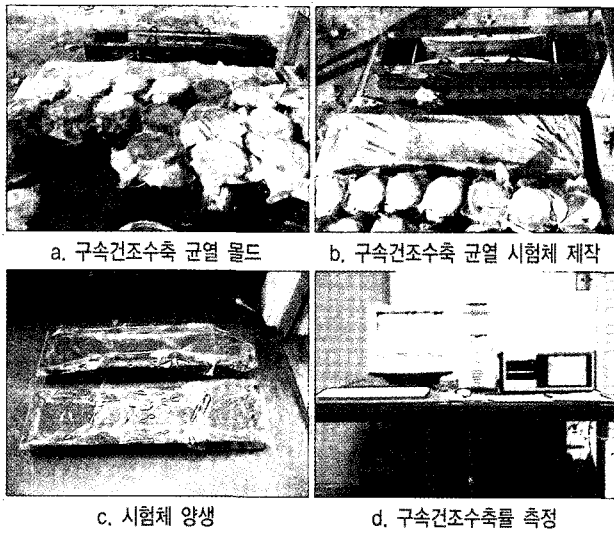


사진 4. 구속건조수축 시험사진

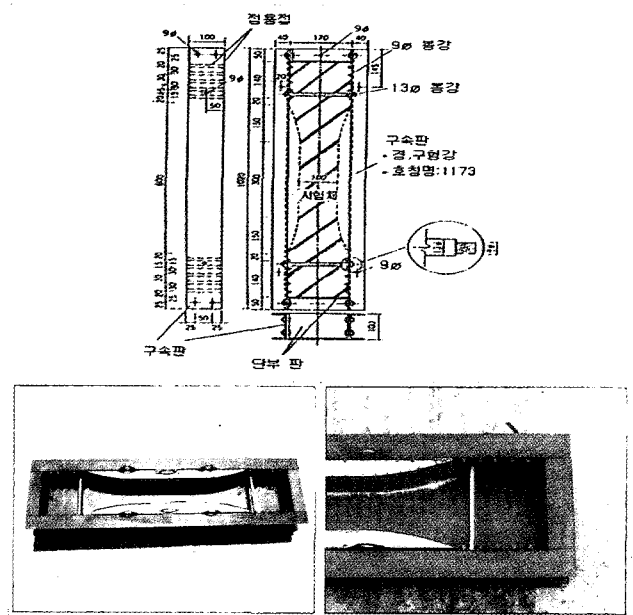
### 3. 결 론

아파트 신축현장의 지하구조물 기초바닥용 콘크리트 배합(25-24-15)에 균열저감제를 적용한 균열저감형 수밀 콘크리트의 초기 시공성 및 수화온도이력, 균열 특성을 평가한 결과 다음과 같은 시공결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 현장배합에 균열저감제를 C×0.5% 첨가한 균열저감 수밀 콘크리트의 초기 유동성은 향상되었으나 공기량에는 큰 변화가 없었다.
- (2) 수화온도 이력을 측정한 결과 균열저감제의 첨가로 콘크리트의 수화온도 상승속도가 완만하고, 최대온도가 감소되는 경향을 보여 콘크리트 수화열이 저감되는 특성을 확인할 수 있었다.
- (3) 건조수축 특성에 있어서 균열저감제가 첨가된 균열저감형 수밀 콘크리트의 구속건조수축이 감소되고, 수축응력에 의한 균열저항성이 개선되는 것으로 나타났다. □

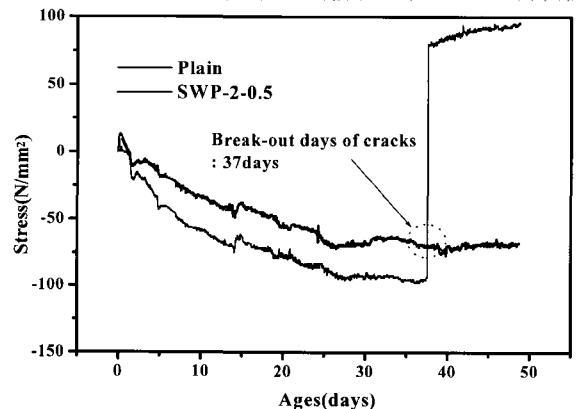
### 참고문헌

1. 김도수, "무기불소화합물로 표면처리된 탄산칼슘의 무기복합재료 충전성 및 유해중금속 안정화 특성", 충남대학교 박사학위논문, 2000.
2. 노재성 외, "규불화염계 혼화제(Me)가 첨가된 시멘트 페이스트의 유동특성", 한국세라믹학회 춘계 학술연구발표회 초록집, 2001, p.132.
3. 오상근 외, "폭로환경하에서의 규산질 미분말혼합 시멘트계도포 방수재료 시공부위의 투수성 및 세공용적 변화에 관한 연구", 대



구속건조수축 측정용 몰드      구속봉강(9ψ: 용접, 13ψ: 조립) 및 단부판

a. 구속건조수축 균열몰드(JIS 규격)



b. 구속건조수축 측정결과

- Plain은 양생 37일에서 균열발생이 관찰되었으나 SWP-2를 C×0.5% 첨가한 시험체는 측정 재령(48일)중에 균열발생이 관찰되지 않았음
- 이러한 효과는 규불화염 및 가용성 실리카의 혼입 효과로 인해 콘크리트의 수밀성이 향상된 결과, 건조수축에 대한 저항성이 향상됨으로써 구속조건에서의 균열발생이 효과적으로 억제되는 성능으로 이어진 것으로 판단된다.

그림 4. 현장 시공 콘크리트의 구속건조수축 시험개요

한건축학회 학술발표논문집, 제16권 1호, 1996, pp.83~88.

4. P. Kumar Mehta, "Concrete Structure, Properties, and Materials," Prentice Hall, pp.17~41.
5. 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), 2004, pp.36~39.