

고강도 콘크리트용 균열저감제가 첨가된 콘크리트의 수밀성 및 균열제어 특성

Properties for Crack Controlling and Watertightness of Concrete added with Crack Reducing Agent for High Strength Concrete

김도수* 길배수** 강용식*** 김우재*** 최세진*** 이성연****
Kim, Do Su Khil, Bae Su Kang, Yeong Sik Kim, Woo Jae Choi, Se Jin Lee, Seong Yeon

ABSTRACT

This study is related to comprehending performance for watertightness and crack control of concrete added with crack reducing agent concerning to high strength concrete mixes. It was confirmed that watertightness of concrete added with agent could be improved by evaluation absorption ratio, permeability ratio and pore size distribution of hardened concrete. As well resistance to crack resulted from shrinkage was transferred to better state by the addition of agent.

1. 서론

초고층 구조물에 널리 적용되는 구조재료인 고강도 콘크리트는 단위 결합재량의 사용량이 많기 때문에 자기수축, 건조수축 등의 의한 균열 혹은 대단위 부재의 적용으로 수화열에 의한 온도균열 등에 대한 대책은 미흡한 실정이다. 이러한 균열발생은 초기의 높은 설계강도임에도 불구하고 압축강도, 탄성계수, 크리프 등의 역학적 특성의 저하는 물론 중성화에 의한 철근부식, 유해인자의 침투에 의한 열화, 동해 등 내구성의 저하를 초래하여 궁극적으로 구조물의 내구년수를 현저히 감소시키는 주요요인이 되고 있다. 특히, 고강도 콘크리트에서는 단위결합재량의 사용량이 많기 때문에 자기수축, 건조수축 등의 수축요인에 의한 균열발생은 피할 수 없는 것이 현실이다. 이 중 건조수축의 경우에는 물-결합재비, 시멘트 종류 및 분말도, 골재의 성질 및 사용량, 습도, 건조기간, 부재두께 및 혼화제의 사용량 등 여러 요인이 중요한 영향을 미친다. 최근에는 상기 요인 중 콘크리트 시공단계에서 콘크리트 경화 전 후 수축을 억제시킬 수 있는 적정 첨가제를 적용하는 관련 연구들이 활발하게 보고되고 있다.

이러한 배경에서 본 연구에서는 1차적으로 모르타르 예비실험을 통해 고강도 콘크리트의 균열억제를 위해 개발된 균열저감제의 적정 첨가율을 도출하기 위해 35MPa 이상으로 설계된 고강도 콘크리트의 초기거동 및 경화특성을 살펴보고, 수밀성 및 수축제어 성능을 실내시험을 통해 확인하였다. 상기 모르타르 실험을 통해 도출된 균열저감제의 적정 첨가율로서 0.5%를 고정하여 35MPa, 50MPa, 70MPa 3수준의 고강도 배합을 대상으로 콘크리트의 투수-흡수비, 공극율 등의 수밀성능을 평가하고, 소성수축 및 구속건조수축 등의 시험을 통해 균열저감제가 콘크리트의 수축제어 성능에 미치는 효과

* 정회원, (주)트라이포드 기술경영이사, 공학박사

** 정회원, (주)트라이포드 대표이사, 공학박사

*** 정회원, (주)트라이포드 선임연구원, 공학석사

**** 정회원, (주)포스코건설 기술연구소 건축기술연구팀 과장, 공학박사

***** 정회원, (주)삼표 기술연구소 책임연구원, 공학박사

***** 정회원, (주)삼표 기술연구소 연구소장, 공학박사

를 파악하고자 하였다. 또한 이러한 수축특성과 균열제어 성능간의 상관성을 검토하여 균열저감제가 콘크리트의 수밀성과 균열제어 특성에 미치는 영향을 실험실적으로 규명하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

균열저감제를 첨가한 굳지 않는 콘크리트의 공기량, 슬럼프 및 응결시간은 선행 연구를 통해 발표한 바 있으며, 평가결과 동등이상의 시공성 및 경화특성을 확보함을 확인하였다. 이에 본 실험에서는 후속연구로서 표 1과 같이 3수준(35MPa, 50MPa, 70MPa)의 설계기준강도에 대해 균열저감제의 첨가율을 무첨가 및 0.5%로 구분하여 콘크리트의 수밀성 및 균열제어성능을 평가하고자 하였다. 콘크리트 수밀성능의 평가항목은 물 흡수계수비, 투수비, 세공율 및 공극구조의 분포를 대상으로 실시하였으며, 균열제어 성능의 평가항목으로 경화 전·후 소성수축 및 건조수축에 대하여 평가하였다. 아울러 경화 콘크리트의 압축강도에 미치는 영향도 함께 평가하였다.

표 1 실험계획

시리즈	설계기준강도(MPa)	균열저감제 첨가율 (%)	측정항목
I	35	0.00 0.50	<ul style="list-style-type: none"> ■ 물흡수계수비 ■ 투수비 ■ 세공율 및 공극구조 분포(PSD) ■ 압축강도 (3, 28, 56일) ■ 소성수축 ■ 구속건조수축
II	50		
III	70		

표 2 사용재료의 물리적 성질

구 성 재 료		물 리 적 성 질
시멘트		보통포틀랜드시멘트, 비중 : 3.15, 분말도 : 3,430cm ² /g
혼화제		플라이애시, 비중 : 2.22
잔골재	천연모래	비중 : 2.58, 조립율 : 2.50, 제염사
	부순모래	비중 : 2.60, 조립율 : 2.90
굵은골재		비중 : 2.65, 조립율 : 6.02, 부순자갈
혼화제	감수제	고성능나프탈렌계감수제, 고성능폴리카르본산계감수제
	균열저감제	결합재량의 0.5% 첨가

표 3 콘크리트 배합

시험체명	W/B	S/a	균열저감제 첨가율 (%)	FA 대체율 (%)	부순 모래 대체율 (%)	단위 수량 (kg/m ³)	절대용적(ℓ/m ³)					단위중량(kg/m ³)				
							C	FA	S	CS	G	C	FA	S	CS	G
35-0.0	36	49	0.00	15	50	175	131	33	152	152	317	413	73	393	397	839
35-0.5			0.50													
50-0.0	30		0.00				157	39	144	144	300	496	88	372	376	795
50-0.5			0.50													
70-0.0	23		0.00				205	51	129	129	269	647	114	334	338	714
70-0.5			0.50													

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 수밀성

배합강도에 따라 무첨가 콘크리트(Plain) 및 균열저감제를 0.5% 첨가한 콘크리트의 흡수율 및 투수율을 KS F 4926[콘크리트 혼입용 방수재]의 적용기준에 따라 평가한 결과를 요약하면 표 4와 같다.

균열저감제가 첨가되면 무첨가 콘크리트에 비해 물흡수계수비 및 투수비가 저감되었으나 배합강도가 증가될수록 균열저감제의 첨가효과는 약간씩 감소하였다. 그러나 35MPa에서는 균열저감제가 0.5%

만 첨가되어도 물 흡수계수비의 경우 43%, 투수비의 경우 46% 감소되어 수밀성이 크게 향상되는 것으로 확인되었다. 즉, 고강도 배합일수록 결합재의 사용량이 많고, 경화조직이 매우 치밀해지므로 균열저감제의 첨가효과와 함께 배합강도에 의한 영향도 크게 작용한 결과 균열저감제의 첨가로 인한 수밀성의 개선효과는 배합강도 높은 쪽보다는 낮은 배합강도에서 수밀성 강화효과가 큰 것으로 나타났다.

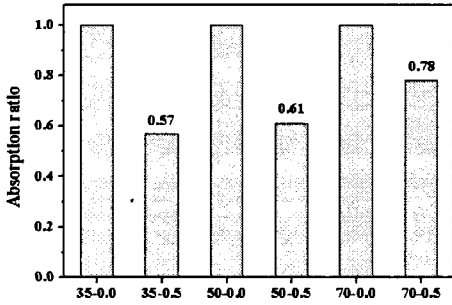


그림 1. 물흡수계수비

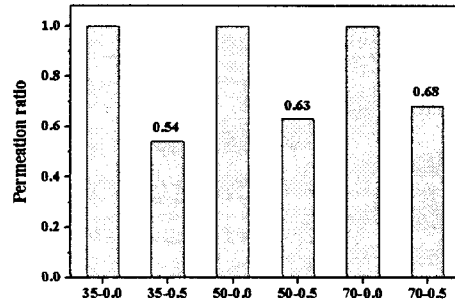


그림 2. 투수비

한편 균열저감제가 첨가된 경화 콘크리트의 수밀성 변화에 미치는 영향을 미시적으로 파악하기 위하여 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry, MIP)을 통해 재령 3, 28일 콘크리트 시험체를 대상으로 세공율, 세공부피 및 세공면적을 분석하였다. 세공특성을 분석한 결과 그림 3과 같이 균열저감제의 첨가가 콘크리트의 세공율, 세공부피 및 세공면적을 무첨가 콘크리트에 비해 감소하는 효과를 보였으며, 이는 균열저감제의 주요성분인 불화규산염에서 전이된 미세 난용성 금속불화물에 의해 경화 콘크리트 중 결합부분이 충전되는 효과에 의해 콘크리트 경화조직이 치밀화되어 수밀성이 개선되었음을 반증하는 결과이다. 그러나 고강도 배합일수록 단위결합재량의 증가로 경화구조가 치밀해진 결과 균열저감제에 의한 수밀성 강화효과는 다소 둔화되는 경향을 나타냈다.

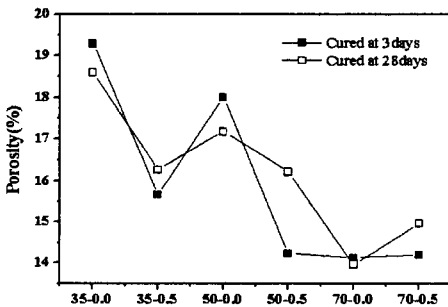


그림 3 공극율 변화

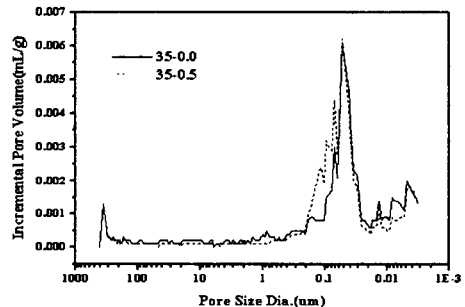


그림 4 세공구조 분포(재령 28일)

또한, 균열저감제가 첨가 후 재령 28일에서 경화시킨 35MPa 배합강도의 콘크리트 세공구조를 분석한 결과는 그림 4와 같다. 따라서 균열저감제의 첨가로 콘크리트 경화구조내의 최밀 충전효과에 의해 수밀성 및 건조수축과 관련 있는 수 μm 이상의 거대공극 혹은 모세관 공극이 $0.1\mu\text{m}$ 이하의 미세기공(micropore)으로 전이됨으로써 콘크리트의 세공구조가 수밀성 강화 및 수축에 대한 저항성에 유리한 쪽으로 개선됨을 알 수 있었다.

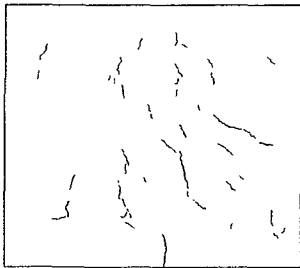
3.2. 균열저감제특성

경화 콘크리트의 소성수축 및 건조수축은 수밀성 평가시 가장 뚜렷한 효과를 보인 35MPa 배합을 기준으로 균열저감제를 0.5% 첨가한 콘크리트를 대상으로 비교 분석하였다.

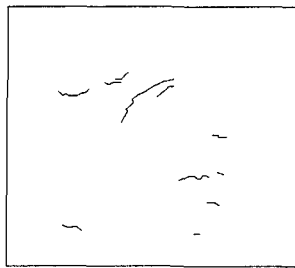
콘크리트의 소성수축과 건조수축에 의한 균열을 정량적으로 평가하고자 굵은 골재를 체분리한 상태

에서 100×100×15cm의 판상형 몰드를 이용하여 제작하였다. 이 때 초기 소성수축에 의한 균열을 유도하기 위해 시험체 타설 완료 후 30분부터 선풍기를 가동하여 풍속 4.5~5.0m/s의 바람이 부는 환경을 조성하였으며, 경화 전·후 수축이 자유롭도록 시험체 바닥에 비닐막을 설치하여 평가하였다. 또한, 건조수축에 의한 균열유도를 위해 건조온도 30~35℃, 상대습도 40% 이하의 환경을 조성하였다. 발생한 균열의 관찰은 시험체를 제작한 후 12시간 간격으로 균열 발생이 뚜렷이 구분된 8주까지 균열패턴을 트레이싱(tracing)하고, 시험체의 균열 폭, 균열길이 및 균열면적을 측정하여 상호 정량적으로 비교하였다. 평가결과, 그림 5 및 표 4와 같이 무첨가 콘크리트(35-0.0)에 비해 균열저감제를 0.5% 첨가한 콘크리트(35-0.5)의 균열개수, 균열면적 및 길이가 최소 52%에서 최대 85%까지 저감되었다.

이러한 경향은 전술한 바와 같이 균열저감제의 최밀 충전효과로 거대공극, 모세관 공극 등 결합부분이 감소되어 콘크리트의 표면수 및 세공수가 증발되는 과정에서 표면장력이 증가되어 수축응력이 유발되는 현상을 세공구조의 개선(모세관 공극의 감소)과 모세관의 완충효과를 통해 수축을 억제시키는 것으로 판단된다.



(a) 35-0.0



(b) 35-0.5

그림 5 콘크리트의 수축균열 패턴 비교(배합강도 35Mpa)

표 4 콘크리트 수축균열의 정량적 비교

시험체명	균열개수	균열길이 (mm)	균열면적 (mm ²)	균열폭 (mm)
35-0.0	48	2144.88	119.678	0.1~1.0
35-0.5	12	318.82	56.375	0.1~0.3

4. 결론

균열저감제를 고강도 설계배합 콘크리트(35MPa, 50MPa, 70MPa)에 적용하여 수밀성 및 균열제어 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 무첨가 콘크리트에 비해 균열저감제가 첨가(0.5%)된 콘크리트의 물 흡수계수비는 22~43%, 투수비는 32~46% 감소되었으며, 세공율의 감소와 세공구조를 개선하는 것으로 나타났다. 이러한 균열저감제에 의한 수밀성 강화효과는 배합강도가 낮을수록 효과가 큰 것으로 확인되었다.
- (2) 균열저감제의 첨가에 의해 콘크리트의 소성수축 및 건조수축이 세공구조의 개선 및 모세관의 완충효과에 의해 무첨가 콘크리트보다 52~85%정도 억제되는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 (주)삼표와 (주)트라이포드의 공동협약연구과제에 의해 수행된 실험결과의 일부이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 김도수 외 4인, 특수 무기성 혼화제가 첨가된 고강도 설계배합 콘크리트의 초기거동 및 수축특성, 2005년 추계콘크리트학술발표논문집, pp. 667-670, 2005.
- (2) ACI Materials Journal, 소성수축 균열에 의한 균열특성 시험, pp. 495-504, 1988.
- (3) 문승호, 콘크리트 구조물의 균열, 기문당, 2001.
- (4) 김은겸외 3인, 콘크리트의 체적변화의 중요성과 대책, 콘크리트학회지, 제 17권 4호, 2005.