

팽창제를 사용한 초고강도 콘크리트의 물리적 특성에 관한 기초적 연구

A Fundamental Study on Physical Properties of Ultra High-Strength Concrete using Expansion Agent

박 현* 한 다 희** 조 승 호*** 김 광 기**** 김 우 재***** 정 상 진*****
 Park, Hyun Han, Da-hee Cho, Seung-Ho Kim, Kwang-Ki Kim, Woo-Jae Jung, Sang-Jin

Abstract

As super-high-strength concrete uses a large amount of binder, there is an autogenous shrinkage strain larger than dry shrinkage and it degrades the quality of structures. Thus, we need a technology to minimize the shrinkage strain of super-high-strength concrete. Accordingly, the present study prepared super-high-strength concrete with design strength of over 100MPa and, using an embedded gauge, measured the shrinkage strain of free shrinkage specimens for super-high-strength concrete containing expansion agent. According to the results of this study, the expansion rate of concrete increased in the early stage due to the admixture of expansion agent, but the shrinkage rate went down with the lapse of time. The effect of the admixture of expansion agent on compressive strength appeared insignificant. Further research shall be made on different kinds of expansion agents and various mixture ratios for basic analysis to reduce autogenous shrinkage of super-high-strength concrete.

키 워 드 : 자기수축, 팽창제, 초고강도 콘크리트
 Keywords : Autogenous Shrinkage, Expansion Agent, Ultra-High-Strength Concrete

1. 서 론

최근 국내·외 초고층 건축물에 대한 관심과 수요가 증가하고 있는 실정이며, 구조물들의 고층화·고내구화에 따른 초고강도 콘크리트의 필요성이 대두되고 있다. 초고강도 콘크리트는 보통 콘크리트에 비하여 결합재량이 많기 때문에 수화반응의 진행에 따라 발생하는 자기수축이 크다고 알려져 있다. 자기수축은 외부로부터의 수분 공급이 없고 일정한 온도 하에서 시멘트의 수화 반응에 의해 콘크리트 내부의 상대습도가 감소하는 자기건조 현상에 의해 발생한다. 이는 콘크리트 구조물에 적용하였을 경우 자기수축으로 인한 균열발생과 이로 인한 부재내력의 저하, 누수, 발청에 의한 내구성 저하로 연결되며 구조물의 품질을 저해하는 요인으로 작용된다. 그러나 콘크리트의 자기수축 변형을 최소화시키기 위한 기존 연구는 고강도

콘크리트를 대상으로 자기수축에 관한 예측식에 기존의 데이터를 정리하고 있어 실증적인 측면에서의 자기수축 특성에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 해외에서는 콘크리트의 자기수축 문제가 빠른 시기에 검토되어 자기수축을 저감하기 위한 특정한 여러 방법들이 제안되어 검토되고 있다. 즉, 초고강도 콘크리트의 자기수축 제어 및 내구적 성능 향상을 위해서는 초기 균열의 주요 원인인 자기수축을 제어하기 위한 정확한 측정 및 예측이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 설계기준강도 100MPa 이상을 갖는 초고강도 콘크리트를 실험배합을 통하여 제조 하였다. 이에 적극적인 입장에서 자기수축을 제어하기 위한 대책의 일환으로서 주로 수축균열을 방지하는 목적으로서 활용되고 있는 팽창제를 혼입하였다. 향후, 초고강도 콘크리트에 대하여 팽창제가 물리적 특성에 미치는 영향을 평가하고 자기수축에 관련하여 기초자료로서 활용 할 수 있는 정보를 제시하고자 한다.

* 단국대학교 건축공학과, 석사과정
 ** 단국대학교 건축공학과, 박사과정
 *** 단국대학교 건축대학 건축공학과 연구전임강사, 공학박사
 **** 롯데건설(주) 기술연구원 선임연구원, 공학박사
 ***** (주)포스코건설 기술연구소 과장, 공학박사
 ***** 단국대학교 건축대학 건축공학과, 교수

2. 실험개요

2.1 실험계획

자기수축 저감을 위한 굳지 않은 콘크리트의 성질에서 초고강도 콘크리트의 실험 계획은 표1과 같다. 슬럼프플로우 650±50mm, 공기량 2%미만으로 목표를 설정하고 초고강도 콘크리트를 제작하여 이를 본 연구에 적용하였다. W/B 16%, 팽창제 혼입율 0%, 1%, 3%, 5% 4수준으로 계획하여 길이변화 및 유동특성과 강도에 미치는 영향에 대하여 실험을 실시하였다.

표 1. 실험인자와 수준

실험인자		실험수준	
배합 사항	W/B	1	16%
	슬럼프플로우	1	650±50mm
	공기량	1	2% 미만
	CSA계 팽창제	4	0, 1, 3, 5%

2.2 사용재료 및 배합

본 실험에서 사용한 시멘트는 비표면적이 3400cm²/g인 국내 S사 보통포틀랜드시멘트를 사용하였고, 잔골재는 인천산 세척사(밀도: 2.6g/cm³), 굵은 골재는 가평산 쇄석(밀도: 2.71g/cm³) 최대치수 20mm를 사용하였다. 혼화제는 폴리카본산계 고성능 감수제를 사용하였으며, 플라이애시(밀도: 2.2g/cm³)는 경남 화동화력발전소산으로 KS L 5405 규정에 적합한 것이며, 실리카폼(밀도: 2.2g/cm³)은 캐나다산을 사용하였다. 팽창제는 CSA계를 사용하였다. 팽창제의 물리화학적 성질과 콘크리트의 배합계획은 표 2~3과 같다.

표 2. 팽창제의 물리화학적 성질

종류	밀도 (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	비표면적 (cm ² /g)
CSA계	2.93	1.0~2.0	12~15	0.3~0.8	0.4~2.3	27~31	2690

표 3. 콘크리트 배합계획

구분	W/B (%)	S/a (%)	단위질량(kg/m ³)								
			W	C	S	G	FA	SF	PA	SP	
PA0										0	24.7
PA1	16	36	147	631	447	826	186	111		9.3	
PA3										27.8	
PA5										46.4	

※ PA0(팽창제0%), PA1(팽창제1%), PA3(팽창제3%), PA5(팽창제5%)

2.3 실험방법

초고강도 콘크리트는 많은 단위결합재량의 영향으로 인하여 보통 콘크리트의 혼합시간 보다 1.5배 정도 길게 혼합하였다. 그림 1과 같이 모르터를 제조 후에 굵은 골재를 마지막에 혼합하는 방법으로 실시하였다. 굳지 않은 콘크리트의 특성을 평가

하기 위하여 공기량 및 슬럼프플로우 시험과 응결시간을 측정하였다. 슬럼프시험은 KS F 2402 『콘크리트의 슬럼프 시험방법』에 준하여 측정한 후, 슬럼프 평판에 내려앉아 퍼진 콘크리트의 최대 지름과 직교하는 두 지점의 지름을 측정하여 그 두 값의 평균으로 구하였다. 응결시간은 KS F 2436 『관입 저항침에 의한 콘크리트 응결 시간 시험방법』에 준하여 측정하였고, 공기량 시험은 KS F 2421 『압력법에 의한 콘크리트 공기량 시험방법』에 준하여 측정하였다.

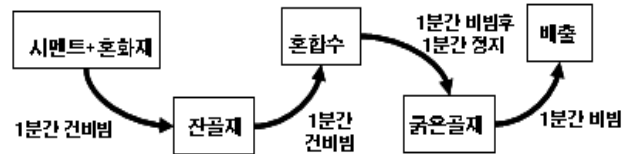


그림 1. 콘크리트 혼합방법

경화 콘크리트의 성상 평가는 KS F 2403 및 2405에 의거하여 Ø100*200mm의 원주형 공시체를 제작하고 공시체의 양생은 20±3℃의 수조에서 표준수중양생을 실시하여, 계획된 재령에서의 압축강도를 측정하였다. 또한 자유건조수축 방법으로 매립형 게이지를 통하여 온도 20±2℃, 습도 60±5%의 조건에서 측정하였고, 몰드의 바닥과 양면에 공시체의 이동이 몰드에 의해 구속받지 않게 하기 위하여 테프론 시트를 설치하였다. 또한 수분증발 및 흡수를 막기 위해 폴리에스테르 필름으로 표면을 덮어 주었다. 시험체의 크기 및 게이지 설치는 그림 2와 같다.

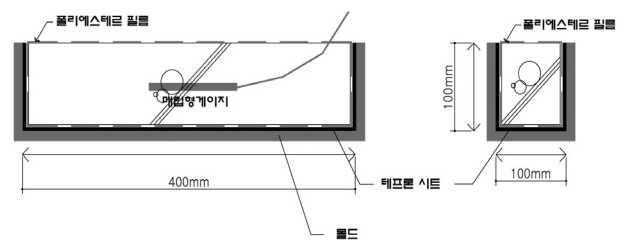


그림 2. 자유 수축에 의한 길이변화

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트 특성 결과

그림 3~5는 팽창제의 혼입율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 유동특성의 실험 결과를 나타낸 것이다. 팽창제 혼입율 증가에 따른 공기량은 목표치와 큰 차이가 없으며, 슬럼프플로우의 경시변화는 팽창제 혼입율 증가에 따라 감소하는 경향을

나타났다. 특히 혼입율 5%에서 유동성 저하가 크게 나타났고, 혼입율 1%에서는 플레인과 거의 동등한 유동특성을 나타냈다. 응결시간 또한 플레인과 비교하였을 때 촉진되는 것으로 나타났다.

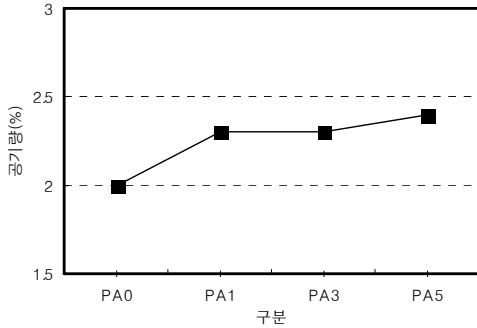


그림 3. 팽창제 첨가량에 따른 공기량

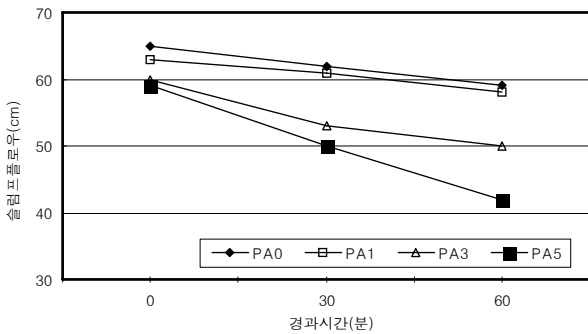


그림 4. 팽창제 첨가량에 따른 슬럼프플로우 경시변화

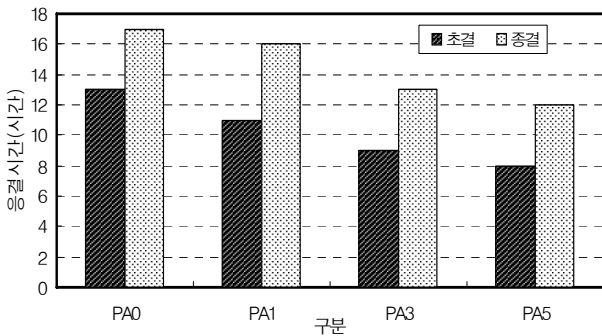


그림 5. 팽창제 첨가량에 따른 응결시간 비교

3.2 경화 콘크리트 특성 결과

그림 6은 팽창제의 혼입율에 따른 압축강도의 특성을 나타낸 것이다. 압축강도 초기에는 팽창제 혼입으로 인한 강도발현이 작게 나타나지만, 시간이 경과함에 따라 팽창제의 팽창성분에 의해 강도가 회복 되는 것으로 나타났다. 또한 플레인과 비교하였을 때 혼입율 3%에서의 강도가 가장 양호한 것으로 나타났고, 팽창제 혼입율 5%에서는 강도가 저하하는 경향을 나타냈다. 보고된 바에 의하면 팽창제의 에트링가이트에 의한 수축보상에 기인하여 강도발현이 크게 되지만 팽창제를 과다하

게 첨가 할 경우 콘크리트 조직의 이완으로 강도가 저하되는 경향을 나타낸다.

그림 7은 초고강도 콘크리트의 길이변화율을 나타낸 것이다. 팽창제의 혼입율 별로 측정을 하였고, 재령 7일까지의 길이변화율을 측정하였다. 실험 결과로 혼입율 5%에서의 팽창효과가 가장 크게 나타났으며, 혼입율 1%의 시험체는 팽창효과가 초기에 경미하게 발생하였고 재령이 경과함에 따라 팽창효과가 없는 것으로 나타났다. 이는, 혼입율 1%에서는 초고강도 콘크리트의 수축특성보다 팽창성능을 발휘하지 못한 것으로 분석되며, 팽창제 혼입율 3%, 5%에서는 콘크리트의 화학적 수축 및 자기수축보다 팽창제의 팽창성능이 크기 때문이라고 분석된다.

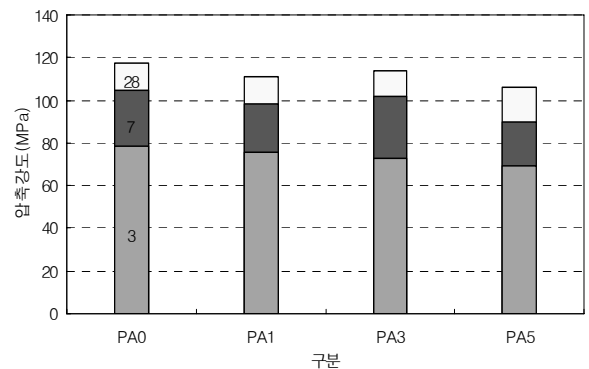


그림 6. 팽창제 첨가량에 따른 압축강도

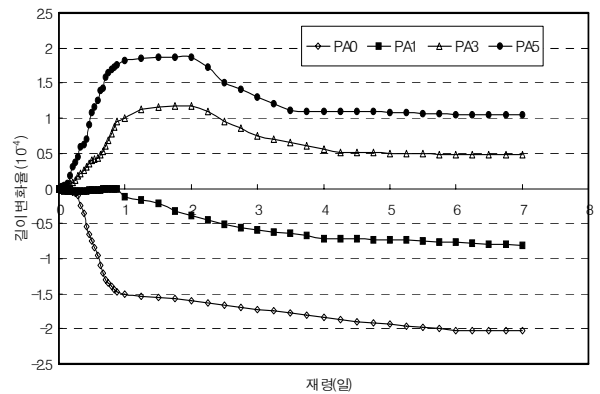


그림 7. 팽창제 첨가량에 따른 길이 변화율

4. 결론

초고강도 콘크리트의 물리적 특성에 관하여 팽창제를 사용, 본 연구로부터 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 팽창제 혼입에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성에 미치는 영향은 비교적 경미한 것으로 나타났으나, 팽창제 혼입율 증가에 따른 슬럼프플로우 경시변화에 대한 대책으

로 추가적인 실험을 통하여 배합 수정이 필요할 것으로 판단되었다.

- 2) 팽창제 혼입율 증가에 따른 초기강도는 저하하였으나 재령에 따라 강도는 회복되는 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 플레인과 비교하였을 때 혼입율 3%에서 강도가 가장 양호한 것으로 나타났다.
- 3) 길이변화특성은 팽창제 혼입율 증가에 따라 팽창효과가 큰 것으로 나타났으며, 혼입율1%에서는 효과가 거의 없는 것으로 나타났다.

향후 실험으로는 설계기준강도에 변화를 주어 100MPa 급 초고강도 콘크리트의 수축제어에 관한 연구가 계속 될 것이며, 팽창제의 다양한 종류와 혼입율 변화, 수축저감제 등의 혼합 유·무 등 초고강도 콘크리트에 미치는 영향에 대해서 지속적인 연구가 필요할 것이라 판단된다.

감사의 글

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 『BK21 사업』의 지원비를 받았음.

참 고 문 헌

1. 이회근 외, 초기재령 고강도 콘크리트의 자기수축 예측기술 콘크리트학회지 제 19권 5호 2005. 07
2. 정상진 외, 초고강도콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구 대한건축학회 논문집(구조계), v.22 n.9(2006-09)
3. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트공학, 기문당, 2005년