

초고강도 콘크리트의 자기수축 및 물리적 특성에 관한 기초적 연구

A Basic Study on Autogenous Shrinkage and physical property of the Ultra-High-Strength Concrete

박 현*	윤 기 현*	조 승 호**	김 광 기***	김 우 재****	정 상 진*****
Park, Hyun	Yoon, Ki-Hyun	Cho, Seung-Ho	Kim, Kwang-Ki	Kim, Woo-Jae	Jung, Sang-Jin

Abstract

In ultra-high-strength concrete, autogenous shrinkage is larger than dry shrinkage due to the consume of a large amount of cement and cementitious material, and this is a factor deteriorating the quality of structures. Thus, we need a new technology for minimizing the shrinkage strain for ultra-high-strength concrete. So, this paper have prepared super-high-strength concrete with specified mixing design strength of over 150MPa and have evaluated a method of reducing autogenous shrinkage by utilizing expander and shrinkage-reducing agent.

According to the results of this study, with regard to the change in length by autogenous shrinkage, an expansion effect was observed until the age of seven days. The expansion effect was higher when the contents of the expander material were higher. In addition, ultra-high-strength concrete showed a shrinkage rate that slowed down with time, and the effect of the addition of expander material on compressive strength was insignificant. That is shown that required more database to be accumulated through experimental research for the shrinkage strain of members.

키워드 : 자기수축, 초고강도 콘크리트

Keywords : Autogenous Shrinkage, Ultra-High-Strength Concrete

1. 서 론

최근 들어 급격히 증가하고 있는 주상복합 등과 같이 초고층 및 대규모 건축공사의 경우 대량자원을 소비하며 사회 자본으로 축적되어지고 있지만, 내구성이 부족한 것이 지적되어, 장기적으로 이들 구조물의 공용기간을 연장하는 것에 의해 환경부하 저감이나 라이프사이클 코스트의 절약이 요구되어지고 있다.

이러한 관점에서 콘크리트의 경우도 고품질 및 고기능을 요구하고 있으며 이러한 요구조건에 부응할 수 있는 콘크리트의 하나로서 고강도 콘크리트의 개발과 현장 실용화가 지속적으로 증가하고 있으며 주목을 받고 있는 상황이다. 그런데, 현재 개발되고 있는 고강도 콘크리트는 많은 단위시멘트량에 따른 수축에 의한 균열문제 및 고성능 감수제 사용에 따른 결합재의 수화활성이 향상되기 때문에 발생하는 자기수축 등 각종

균열이 문제점으로 대두되고 있다.

고강도 콘크리트 및 고유동 콘크리트와 같이 물결합재비가 작고 단위결합재량이 많은 콘크리트에서는 자기수축이 매우 커진다는 것이 보고되고 있으며, 경우에 따라서는 자기수축만으로도 균열이 발생하는 일도 지적되고 있다. 따라서 건조 및 자기수축 등 균열문제를 해결하기 위해 팽창재 및 수축저감제를 효율적인 비율로 조정하여 사용하는 것도 검토할 필요성이 제기되고 있다.

본 연구에서는 이에 적극적인 입장에서 자기수축을 제어하기 위해 설계기준강도 150MPa의 초고강도 배합을 설계하고, 팽창재 및 수축저감제를 활용한 자기수축 저감 방안을 연구하였다. 건축구조재료로서 팽창재 및 수축저감제가 갖는 성향을 파악하고, 배합에 치환되었을 때 콘크리트가 갖는 물리·역학적인 성질을 고루 평가하여, 자기수축에 관련된 기초자료를 제시하기 위함이며, 더 나아가 고강도 콘크리트 수축균열에 있어 해법을 제시하는 용도로 사용되고자 한다.

* 단국대학교 건축공학과, 석사과정

** 단국대학교 건축대학 건축공학과 연구전임강사, 공학박사

*** 롯데건설(주) 기술연구원 선임연구원, 공학박사

**** (주)포스코건설 기술연구소 과장, 공학박사

***** 단국대학교 건축대학 건축공학과, 교수

2. 실험개요

2.1 실험계획

본 실험은 기본적으로 초고강도 콘크리트가 가져야 하는 유동특성, 강도특성을 만족한 상태에서 국제적인 고성능 콘크리트의 정의에 맞는 즉, 고유동·고강도·고내구성을 동시에 만족하는 수축보상 고성능 콘크리트를 제조하기 위한 일련의 연구로, 설계기준강도 150MPa의 배합을 설정하였다.

굳지 않은 콘크리트의 성질에서 초고강도 콘크리트의 실험계획은 표 1과 같다. 슬럼프플로우 650±50mm, 공기량 1.5±0.5% 미만으로 목표를 설정하고 초고강도 콘크리트를 제작하여 이를 본 연구에 적용하였다. W/B 16%, 팽창제 혼입율 0%, 1%, 3%, 5%, 수축저감제 혼입율 0%, 1%, 2%, 3%, 각 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	1.5±0.5% 미만
	석고계 팽창제	4	0, 1, 3, 5%
	수축저감제	4	0, 1, 2, 3%

2.2 사용재료 및 배합

본 실험에서 사용한 시멘트는 분말도 7,000cm²/g인 H사의 4성분계 Premixed Cement를 사용하였고, 잔골재는 인천산 세척사(밀도: 2.6g/cm³), 굵은 골재는 경북 균위산 쇄석(밀도: 2.68g/cm³) 최대치수 13mm를 사용하였다. 혼화제는 폴리카본산계 고성능감수제를 사용하였다. 팽창제는 석고계를 사용하였으며, 수축저감제는 글리콜에테르계를 사용하였다. 팽창제 및 수축저감제의 물리적 성질과 콘크리트의 배합계획은 표 2~4와 같다.

표 2. 팽창제의 물리화학적 성질

종류	밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)	SiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	F-CaO (%)
석고계	2.90	3.117	3.80	28.66	13.55	51.35	0.56	16.02

표 3. 수축저감제의 물리적 성질

성분	외관	밀도 (g/cm ³)	용해성
글리콜에테르 유도체	얇은 황색의 액체	0.98	수중분산

표 4. 콘크리트 배합계획

구분	W/B (%)	S/a (%)	SP (%)	PA/SR (%)	단위질량 (kg/m ³)				
					W	B	S	G	PA/SR
PA	16	30	3.0	0	150	938	403	987	0
PA-1				1					9
PA-3				3					28
PA-5				5					47
SR	16	30	3.0	0	150	938	403	987	0
SR-1				1					9
SR-2				2					19
SR-3				3					28

* PA : 팽창제, SR : 수축저감제, SP : 고성능감수제
B(Binder) : 국내 H사의 4성분계 Pre-Mixing 시멘트

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 KS F 8009에 규정된 강제식 혼합믹서를 사용하여 실시하였으며, 보통 콘크리트의 혼합시간 보다 1.5배 정도 길게 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 특성을 평가하기 위하여 공기량 및 슬럼프플로우 실험을 실시하였다. 슬럼프시험은 KS F 2402『콘크리트의 슬럼프 시험방법』에 준하여 측정된 후, 슬럼프 평판에 내려앉아 퍼진 콘크리트의 최대 지름과 직교하는 두 지점의 지름을 측정하여 그 두 값의 평균으로 구하였다. 공기량 시험은 KS F 2421『압력법에 의한 콘크리트 공기량 시험방법』에 준하여 측정하였다.



사진 1. 강제식 믹서 사진 2. 공기량 시험 사진 3. 슬럼프플로우

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 1과 같다.

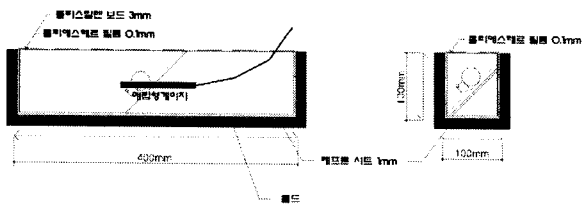


그림 1. 자유 수축에 의한 길이변화

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트 특성 결과

그림 2는 팽창재 및 수축저감제 혼입을 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 플로우 및 공기량의 실험 결과를 나타낸 것이다. 각각의 혼입을 증가에 따른 공기량은 목표치와 큰 차이가 없으며, 슬럼프 플로우의 경우 수축저감제 혼입율에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 그 영향은 미미하였고, 모두 목표 값 범위 안에 만족하는 것으로 나타났다.

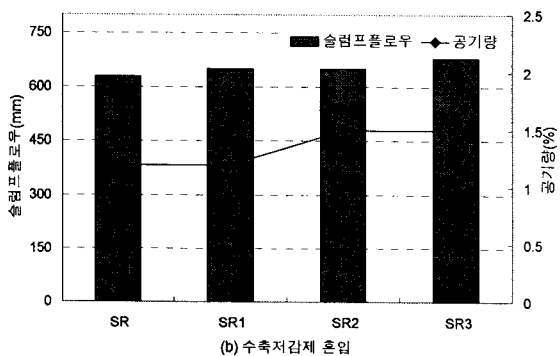
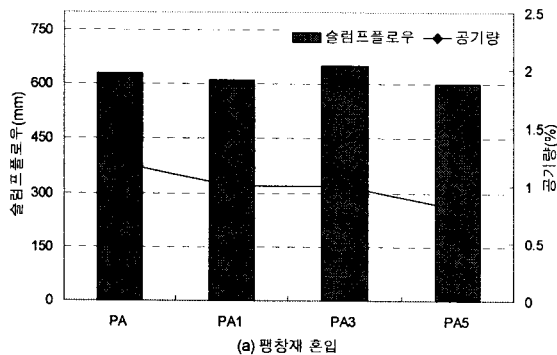
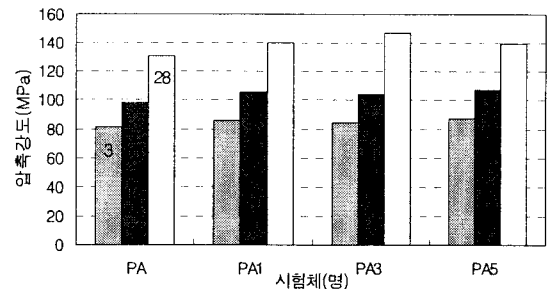


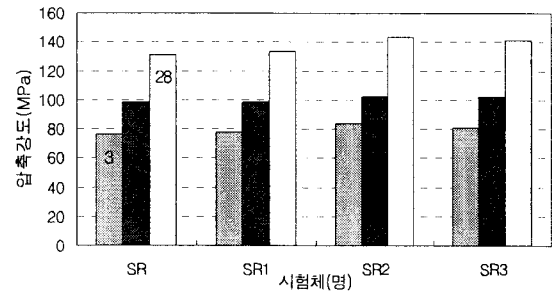
그림 2. 슬럼프 플로우 및 공기량

3.2 경화 콘크리트 특성 결과

압축강도 성상은 그림 3과 같이 28일 재령을 기준으로 압축강도 실험결과를 나타낸 것이다. 팽창재 및 수축저감제 혼입을 증가에 따라 강도가 증가하는 경향을 보였으며, 팽창재는 혼입율 3% (PA3), 수축저감제는 혼입율 2% (SR2) 강도가 가장 높게 나타났다. 각각의 시험체에서 PLAIN보다 높은 강도 성상을 나타냈으며, 이는 팽창재의 에트르나이트에 의한 수축보상에 기인한 것과 수축저감제의 경화체로부터 표면장력을 저하시키는 물리작용으로 콘크리트의 강도 증진에 기여한 것으로 판단된다.



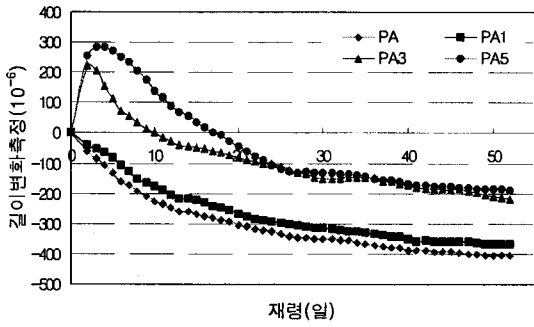
(a) 팽창제 혼입



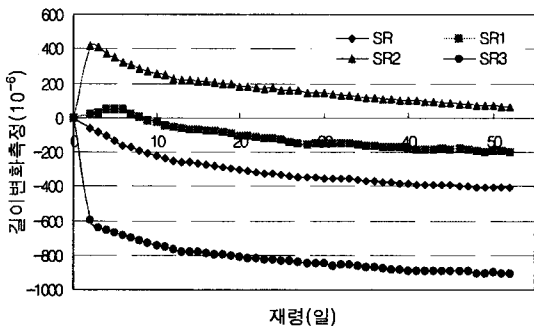
(b) 수축저감제 혼입

그림 3. 압축강도 실험결과

길이변화특성으로 혼입을 변화에 따른 실험결과를 그림 4에 나타내었다. 팽창재 및 수축저감제 의한 수축저감 효과는 양호한 것으로 나타났으며, 다만 수축저감제를 3%혼입한 시험체에서는 PLAIN보다 오히려 수축하는 경향을 나타내었다. 한편 팽창재 혼입율 3%에서는 221×10^{-6} , 5%에서는 285×10^{-6} 팽창하였으며, 수축저감제 혼입율 1%에서는 52×10^{-6} , 2%에서는 417×10^{-6} 팽창하였다. 또한 초기의 팽창구간에서 최대 팽창량에 이르는 도달시간은 재령 1~4일 사이에 모두 최고점에 도달하였으며, 이후 서서히 수축하기 시작하여 재령 52일에서 PLAIN과 비교하였을 때, 자기수축량이 46~53% 정도 저감하는 것을 본 실험결과를 통해 알 수 있었다.



(a) 팽창제 혼입



(b) 수축저감제 혼입

그림 4. 길이변화 실험결과

본 실험의 결과를 통해 압축강도 및 물리적 성상에 있어서도 문제시 되지 않아 팽창제 및 수축저감제의 자기 수축 제어에 효과가 있는 것으로 사료되며, 추가적인 실험을 통하여 문제점을 해결하고 지속적인 연구가 필요할 것이라 판단된다.

감사의 글

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

참고 문헌

1. 이희근 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
4. 菅田 紀之의 1인, シリカフュームを用いた高強度コンクリートの収縮特性, 콘크리트工学年次論文集, Vol 25, 2003, pp.431-436.
5. 梅本 宗宏의 6인, 超高強度コンクリートの自己収縮に関する実験的研究(その4 自己収縮試験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1分冊, 2007, pp. 261-262.

4. 결 론

본 연구는 초고강도 콘크리트의 자기수축 제어를 위한 팽창제 및 수축저감제를 사용하여 시험실 실험을 실시, 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 1) 팽창제 및 수축저감제 혼입을 변화에 따른 슬럼프 플로우 및 공기량에 대한 영향은 미미하였으며, 모두 목표치를 달성하였다.
- 2) 콘크리트의 압축강도에 있어서는 혼입을 증가에 따라 강도 또한 증가하는 경향을 나타내었으며, 팽창제 혼입을 3%에서 가장 강도가 양호한 것으로 나타났다. 과다 첨가에 있어서는 강도가 저하하는 경향이 있어 주의가 필요할 것으로 판단된다.
- 3) 길이변화에서 팽창제의 혼입은 그 종류와 무관하게 PLAIN과 비교하여 수축량을 감소시키는 것으로 나타났으며, 수축저감제 또한 자기수축 저감에 효과적인 것으로 나타났다. 이는 팽창제의 수축보상작용과 수축저감제가 모세관 공극 중에 발생하는 모세관 장력을 완화시킴에 기인한 것으로 분석된다.