수축저감제 및 팽창재를 조합 사용한 초고강도 콘크리트의 자기수축 특성에 관한 실험적 연구

A Experimental Study on Autogenous Shrinkage properties of Ultra High-Strength Concrete Using Expansion Agent and Shrinkage-reducing

박 현* 박 흥 이* 김 학 영** 백 민 수*** 김 우 재**** 정 상 진*****
Park, Hyun Park, Heung-Lee Kim, Hak-Young Paik, Min-Su Kim, Woo-Jae Jung, Sang-Jin

Abstract

In ultra-high-strength concrete, chemical shrinkage is larger than drying shrinkage due to using a large amount of cement and admixtures, and this is a factor deteriorating the quality of structures. Thus, we need a new technology for minimizing the shrinkage strain of ultra-high-strength concrete. So, this study have prepared super-high-strength concrete with specified mixing design strength of over 100MPa and have evaluated a method of reducing chemical shrinkage by using expander and shrinkage-reducing agent.

According to the results of this study, with regard to the change in length by chemical shrinkage, an expansion effect was observed until the age of seven days. The expansion effect was higher than previous research that used only expander or shrinkage reducing agent. 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.

키 워 드 : 자기수축, 초고강도 콘크리트, 팽창재, 수축저감제
Keywords : Autogenous Shrinkage, Ultra-High-Strength Concrete, Expansion Agent, Shrinkage Reducing Admixture

1. 서 론

초고층구조물의 건립에는 많은 우수한 구조재료들이 개발되어 사용되고 있으나 이중에서도 콘크리트는 가장 널리 사용되는 구조재료로서 1820년대 근대적 의미의 콘크리트가 개발된 이래 끊임없는 기술개발을 통하여 국외의 경우 철근콘크리트구조물에 120MPa급의 초고강도콘크리트가 개발되고 구조설계를 통하여 구조물에 적용되었으며, PC를 활용한 토목교량 등의 부재의 제작에 150~200MPa급 콘크리트가 사용되고 있다. 설계강도 60MPa이상의 고강도콘크리트는 보통강도콘크리트(설계강도 21 ~ 30MPa)와 비교하여 단위면적당 높은 응력을 보유하고 있어 특히 초고층구조물의 저층부에 작용하는 매우 높은 축력을 효과적으로 제어할 수 있다. 이와 함께 저층부의 단면감소로 인한 유효사용면적의 증대, 단면축소에 따른 자중감소로 지진에 유리, 조기강도발현으로 인한 거푸집 제거시기 단축으로 공기단축 등 많은 장점이 있다.

하지만 고강도 콘크리트는 많은 단위시멘트량에 따른 수축에 의한 균열문제 및 고성능 감수제 사용에 따른 결합재의 수화활성이 향상되기 때문에 발생되는 자기수축으로 인한 각종 균열이 문제점으로 대두되고 있다. 이를 해결하기 위하여 선행연구에서 검토되어 그 효과를 나타낸 팽창재 및 수축저감제를 조합 사용하여본 연구에 적용하였다.

초고강도 콘크리트의 자기수축을 측정 및 제어하기 위한 100MPa급의 초고강도 배합을 설계하고, 팽창재 및 수축저감제를 조합 사용하여 자기수축 저감 방안에 관하여 실험을 실시하였다. 초고강도 콘크리트의 자기수축제어에 있어 효과적인 두 가지 혼화재료를 조합사용하여 콘크리트가 갖는 물리·역학적인 성질을 평가하고 초고강도 콘크리트의 수축제어에 있어 기초적인 자료를 제시하고자 한다.

* 단국대학교 건축공학과, 석사과정
** 단국대학교 건축공학과, 박사과정
*** 단국대학교 건축대학 겸임교수
**** (주)포스코건설 기술연구소 과장, 공학박사
***** 단국대학교 건축대학 건축공학과, 교수

2. 실험개요

2.1 실험계획

본 연구의 실험 계획은 표 1과 같다. 굳지 않은 콘크리트에서 슬럼프플로우 650±50㎜, 공기량 1.5±0.5% 미만으로 목표를 설정하였고, 경화콘크리트에서 압축강도 및 길이변화 실험을 실시하였다. W/B 16%, 팽창재 혼입율 0%, 1%, 3%, 5%, 수축저감제 혼입율 0%, 1%, 2%, 3%, 각 4수준으로 계획하여 초고강도콘크리트의 특성에 미치는 영향에 대하여 실험을 실시하였다.

표 1. 실험 계획

실 험 인 자		실 험 수 준	
배합	W/B	1	16%
	슬럼프 플로우	1	650±50㎜
	공기량	1	1.5±05% 미만
	석회계 팽창재	4	0, 1, 3, 5%
	수축저감제	4	0, 1, 2, 3%
실험 사항	굳지 않은 콘크리트	2	공기량, 슬럼프 플로우
	경화 콘크리트	2	압축강도, 길이변화

2.2 사용재료 및 배합

본 연구에서 사용한 시멘트는 H사의 4성분계 Premixed Cement 로서 분말도 약 7,000㎠/g 시멘트를 사용하였다. 사용골재로는 잔골재는 인천산 세척사(밀도: 2.6g/㎤), 굵은 골재는 경북 군위산 쇄석(밀도: 2.68g/㎤) 최대치수 13㎜를 사용하였다. 혼화제는 폴리카본산계 고성능감수제를 사용하였다. 콘크리트의 수축을 제어하기 위한 혼화 재료로서 팽창재는 석회계를 사용하였으며, 수축저감제는 글리콜에테르계를 사용하였다. 각 재료의 물리적 성질과 콘크리트의 배합계획은 표 2~4와 같다.

표 2. 팽창재의 물리화학적 성질

종류	밀도 (g/㎤)	분말도 (㎠/g)	SiO_2: (%)	SO_3 (%)	Al_2O_3 (%)	CaO (%)	K_2O (%)	F-CaO (%)
석회계	2.90	3,117	3.80	28.66	13.55	51.35	0.56	16.02

표 3. 수축저감제의 물리적 성질

성 분	외 관	밀도 (g/㎤)	용해성
글리콜에테르 유도체	옅은 황색의 액체	0.98	수중분산

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 KS F 8009에 규정된 강제식 혼합믹서를 사용하여 실시하였다. 굳지 않은 콘크리트의 특성을 평가하기 위하여 공기량 및 슬럼프플로우 실험을 실시하였다. 슬럼프시험은 KS F 2402『콘크리트의 슬럼프 시험방법』에 준하여 측정하였으며 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 ∅100*200㎜의 원주형 공시체를 제작하고 공시체의 양생은 표준수중양생을 실시하여, 압축강도를 측정하였다. 또한 자기수축은 다른 선형적인 방법들이 있지만 그림 1과 같이 매립형 게이지를 통하여 측정을실시 하였다.

표 4. 배 합 표

W/B (%)	S/a (%)	SP (%)	PA (%)	SR (%)	단위질량(kg/㎥)						
					W	B	S	G	SP	PA	SR
16	30	3.0	0	0	150	938	403	987	28	0	0
			1	1						9	9
			1	2						9	19
			1	3						9	28
			3	1						28	9
			3	2						28	19
			3	3						28	28
			5	1						47	9
			5	2						47	19
			5	3						47	28

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

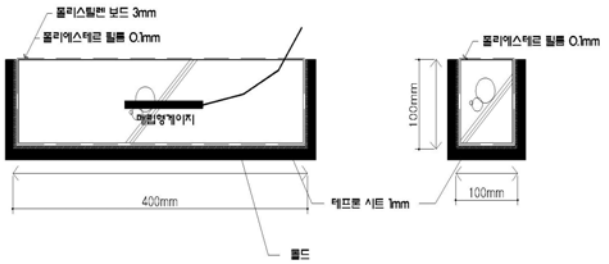

그림 1. 자유 수축에 의한 길이변화

3. 실험결과 및 고찰

3.1 굳지 않은 콘크리트 특성 결과

그림 2는 슬럼프 플로우 및 공기량의 실험 결과를 나타낸 것이다. 각각의 혼입율 증가에 따른 공기량은 목표치와 큰 차이가 없으며, 각 시험체에서 수축저감제 혼입율 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 그 영향은 미미하였고, 모두 목표 값 범위 안에 만족하는 것으로 나타났다.

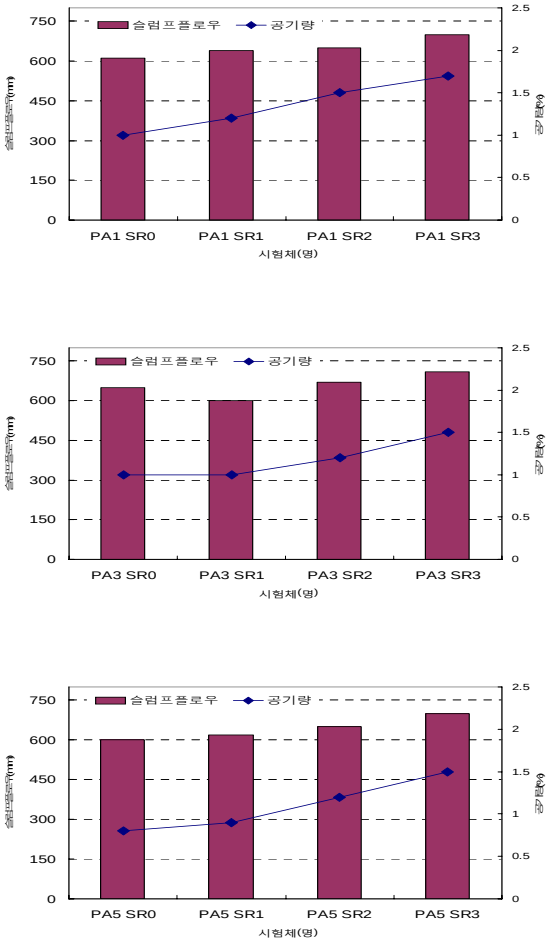

그림 2. 슬럼프 플로우 및 공기량

3.2 경화 콘크리트 특성 결과

압축강도실험 결과는 그림 3과 같이 28일 재령을 기준으로 나타낸 것이다. 팽창재 및 수축저감제 혼입에 따른 강도에 미치는 영향은 미미하였으며 각각의 시험체에서 PLAIN과 거의 유사한 강도 성상을 나타냈다. 이는 팽창재 및 수축저감제를 조합 사용하였을 경우에압축강도에 미치는 영향은 적은 것으로 사료된다.

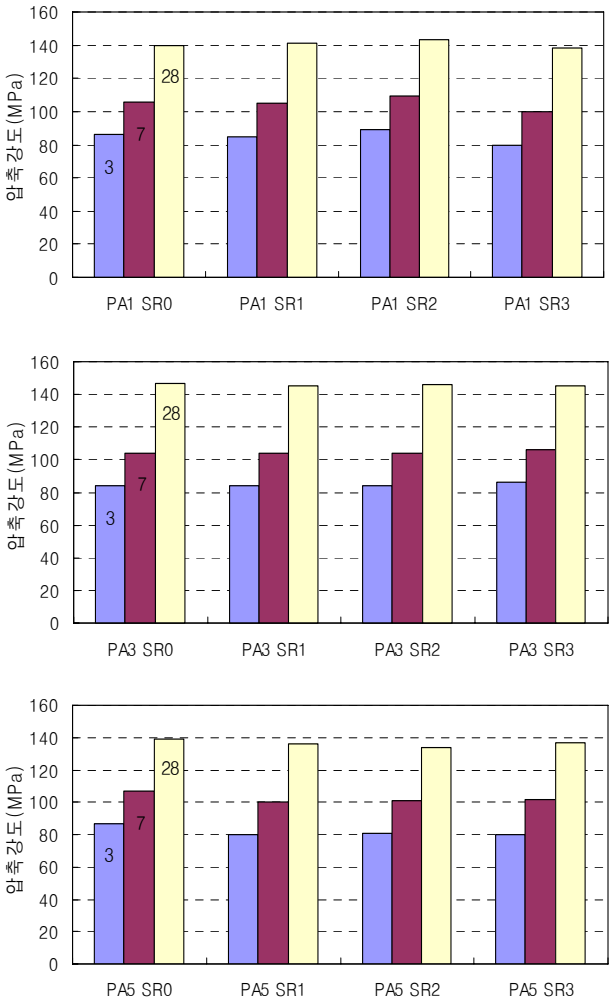

그림 3. 압축강도 실험결과

길이변화특성으로 혼입율 변화에 따른 실험결과를 그림 4에 나타내었다. 본 연구의 결과로서 선행연구와 비교하였을 경우 단독으로 사용하였을 경우보다 조합하여 사용하는 것이 더욱 효과가 큰 것으로 나타났다. 또한 팽창량 또한 더욱 양호한 것으로 나타났으며, 각각의 시험체에서 모두 그 혼입율이 증가할수록 팽창효과는 큰 것으로 나타났다. 이는 팽창재의 에트링가이트 생성반응과 재령경과에 따른 수축저감제의 내부 수분 표면장력 저하 효과에 기인하여 수축이 저감되는 것으로 사료된다. 특히, 팽창재나 수축저감제를 단독 사용한 경우와 비교하여도 20~40 % 정도의 수축저감 상승효과가 나타나고 있어, 조합사용하는 기술은 고가의 혼화재를

적게 사용하더라도 콘크리트의 수축을 대폭 저감시킬 수 있음을 알 수 있다.

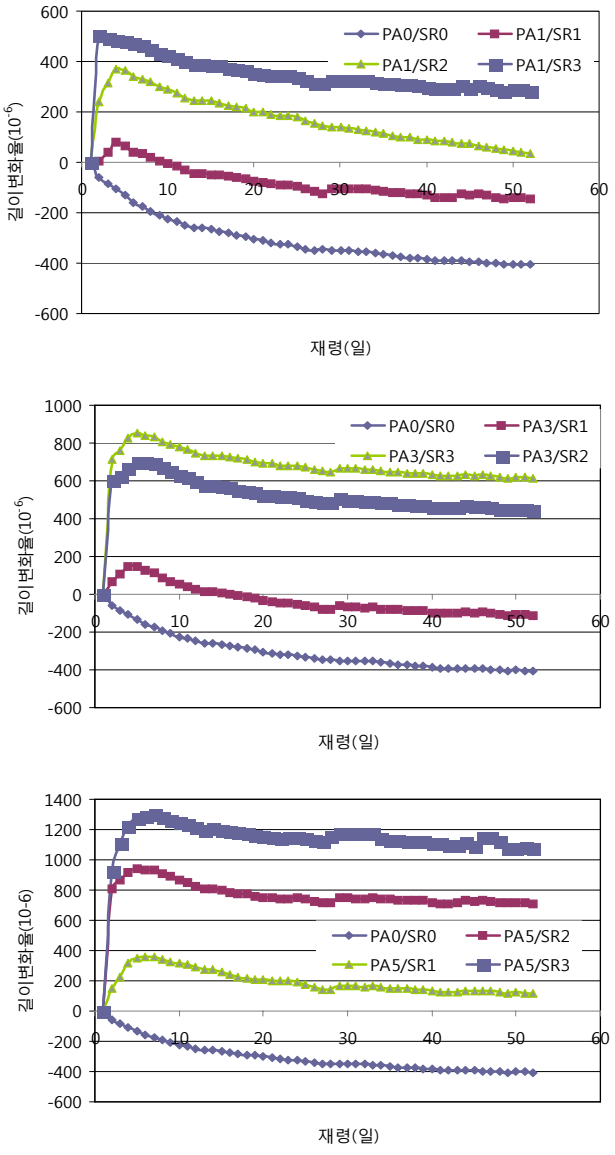

그림 4. 길이변화 실험결과

4. 결 론

본 연구는 초고강도 콘크리트의 자기수축 제어를 위한 팽창재 및 수축저감제를 조합 사용하여 실험실 실험을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 내렸다.

1) 팽창재 및 수축저감제를 조합 사용하였을 경우 혼입율 증가에 따라 슬럼프 플로우 및 공기량이 증가하는 경향을 나타내었으나 그 영향은 미미하였으며, 모두 목표치를 달성하였다.
2) 압축강도에 있어서는 모두 100MPa급의 초고강도 콘크리트를 만족 하였으며 각각의 시험체 모두에서 PLAIN과 유사한 강도 발현을 나타내었다.
3) 길이변화에서 팽창재 및 수축저감제의 조합사용은 단독 사용하였을 경우 보다 팽창효과가 큰 것으로 나타났으며 이는 각기 다른 성능의 혼화재료를 병용 하였을 경우 그 효과는 더욱 큰 것을 알 수 있었다.

본 실험의 결과를 통해 팽창재 및 수축저감제의 조합사용은 압축강도 및 물리적 성상에 미치는 영향은 크지 않아 팽창재 및 수축저감제의 조합사용은 자기 수축 제어에 효과가 있는 것으로 사료된다. 또한 지속적인 연구를 통하여 좀 더 많은 실험의 결과가 필요할 것으로 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 제19권 제5호 2005.7
2. 정상진 외, 초고강도 콘크리트의 자기수축 및 물리적 특성에 관한 기초적 연구 한국건축시공학회(학계, 제9권 제1호 2009.5
3. 정상진 외, 초고강도콘크리트의 기초물성에 관한 실험적 연구 대한건축학회 논문집(구조계), 제22권 제9호 2006.9
4. 한국콘크리트학회,최신콘크리트공학, 기문당, 2005
5. 梅本宏 宗宏외 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, pp.261~262, 2007
6. 菅田 紀之외 1인, シリカフユームを用いた高強度コンクリートの収縮特性, コンクリート工學年次論文集, Vol 25, pp.431~436, 2003