

팽창 콘크리트의 구속효과에 따른 강도특성

The Strength Properties with Restricted Effects of the Expansive Concrete

박 남 규* **박 민 수*** **박 춘 영**** **김 호 열***** **강 병 희******
 Park, Nam-Kyu Park, Min-Soo Park, Chun-Young Kim, Hyo-Youl Kang, Byung-Hee

Abstract

The purpose of this study is to investigate the properties of concrete with the kinds and addition of expansive additives. 2 kinds of expansive additives produced in our country and 0, 10, 20, 30, 40% of ratio of addition rate are selected for this experiment. According to experimental results, flow, slump and air rate of concrete with expansive additives is nearly same with its of plain concrete and compressive strength, tensile strength of concrete with expansive additives at 28 days is higher than that of plain concrete.

Therefore, The expansion concrete is able to manufactured so it consumes by restricted effects.

키 워 드 : 콘크리트, CSA계 팽창재, 강도, 팽창률
 Keyword : Concrete, CSA Expansive, Strength, The rate of expansion

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

한국산업규격에 의하면 팽창재란 ‘시멘트 및 물을 함께 혼합하였을 경우 수화 반응에 의해 에트링가이트 또는 수산화칼슘 등을 생성하고 모르터 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재료를 말한다’ 로 정의되어 있다. 특히, 팽창을 일으키는 성분 중 칼슘실퍼알루미네이트 수화물은 시멘트의 유해물질로서 콘크리트의 팽창파괴의 원인으로 작용하여 그동안 시멘트 수화생성물으로써는 별로 환영 받지 못하는 것이었지만, 많은 연구가 이루어져 최근에는 이와 같은 칼슘실퍼알루미네이트의 팽창력을 인위적으로 조절하여 무수축혼화재, 팽창재 및 팽창 시멘트 등을 개발하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

최근 건설현장에서는 콘크리트의 수축균열을 제어할 목적 외에 케미컬 프리스트레스 콘크리트와 같은 고성능 콘크리트용 재료로서 활용하기 위한 연구가 시도되고 있다. 케미컬 프리스트레스 콘크리트(이하 CPSC)는 팽창재의 팽창력을 구속하여 콘크리트 내에 자기응력을 내재시킴으로서 콘크리트의 인장강도 및 휨강도를 개선한 콘크리트로서, 팽창재의 종류 및 사용량은 CPSC의 물성에 지대한 영향을 미치게 된다. 현재 우리나라에서는 외국 사례를 통하여 이의 활용이 제시되고 있으나, CPSC의 개발 및 실용화를 위한 연구는 매우 부족한 실정이

다. 선행 연구¹⁾인 모르터 적용성 실험결과에 의하면 팽창 모르터의 팽창력을 구속함으로써 압축강도는 Plain 모르터와 유사하거나 상회하면서도, 인장강도 및 휨강도의 개선효과를 발휘하는 결과를 얻은바 있다.

이에 본 연구에서는 선행연구 결과를 바탕으로 팽창재를 사용한 콘크리트의 팽창력을 구속함으로써 발생하는 케미컬 프리스트레스 도입 효과를 검토하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 팽창재를 이용한 콘크리트의 팽창력을 구속 시킴으로써 발휘되는 자기응력이 콘크리트 경화체에 미치는 영향을 검토하기 위하여 사용량이 가장 많고 팽창 특성이 우수한 CSA계 팽창재를 대상으로 연구를 진행하였다.

팽창재는 기존 연구에서 도출한 국내 K사의 제품으로서 케미컬 프리스트레스 도입효과가 우수한 A-K, C-K 2종을 사용하였으며, 이의 치환율은 시멘트 중량에 대하여 각각 0~40%의 범위에서 10% 구간으로 변화하였다.

팽창 콘크리트의 구속은 자체 고안한 강재 구속장치를 이용하였으며, 시험체의 양생은 추후 공장생산 여건을 고려하여 표준조건하에서 소요 재령동안 기중 양생하였다.

실험은 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프-플로우와 경화 콘크리트의 재령별 압축강도, 인장강도 시험을 실시하였다.

이상의 결과를 비교 검토하여 구속 조건하에서 발휘되는 팽창 콘크리트의 팽창재 종류 및 치환율에 따른 물성을 검토하는 것까지를 본 연구의 범위로 하였다.

* 동아대학교 대학원 석사과정, 정회원
 ** 동아대학교 대학원 박사과정, 정회원
 *** 김해대학 건축계열 전임강사, 공학박사, 정회원
 **** 동아대학교 건축학부 교수, 정회원

2. 실험

2.1 실험인자 및 수준

실험인자 및 수준은 다음 표 1과 같다.

표 1. 실험인자 및 수준

실험인자		수준수
팽창재 종류	A-K, C-K	2
치환율(%)	10, 20, 30, 40	4

2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며 골재는 경남 하동산 강모래와 용원산 석석자갈을 이용하였다. 팽창재는 국내 K사의 A-K, C-K의 2종을 사용하였으며, 공기연행효과가 없는 국내 H사의 폴리카르본산계 고성능 감수제를 이용하였다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

밀도	분말도 (cm ³ /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(Mpa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,200	0.02	220	400	20±2	30±3	38±0

표 3. 골재의 물성

종류	최대입경 (mm)	조립율	밀도	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)
잔골재	5	2.71	2.59	1.13	1,620
굵은골재	20	6.90	2.63	0.89	1,520

표 4. 팽창재의 물성

성질 종류	MGO (%)	강열감량 (%)	비표면적 (cm ² /g)	응결시간(분)		팽창성		압축강도(mpa)		
				1.5	종결	7일	28일	3일	7일	28일
A-K	1.5	1.5	2,960	135	210	0.060	0.031	30.8	44.4	58.6
C-K	1.5	1.2	3,260	140	355	0.048	0.022	13.5	23.6	33.1

성질 종류	밀도	함량 (%)					
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CaO	f-CaO
A-K	2.93	1.5	16.1	0.5	27.5	52.8	19.0
C-K	2.97	1~2	12~15	0.5~1.0	15~25	50~60	-

표 5. 고성능 감수제의 물성

종류	밀도	성상	고형분 (%)	전체알칼리량 (kg/m ³)
폴리카르본산계	1.07	연갈색 액체	20	0.03

2.3 배합

콘크리트의 배합은 표 6과 같이 Plain 콘크리트를 기준으로 팽창재를 중량 치환하였으며, Plain 콘크리트의 배합기준은 목표 슬럼프 21±3cm, 슬럼프-플로우 55±5cm, 설계기준강도 60MPa로 설정하였다.

표 6. 콘크리트의 배합

팽창재	치환율 (%)	W/B (%)	S/a (%)	단위량(kg/m ³)					SP (B×%)
				W	B		A		
					C	E	S	G	
-	0			165	500	0	797	978	1.7
A-K	10			165	450	50	796	977	
	20			165	400	100	795	975	
	30			165	350	150	793	973	
	40	33.0	45	165	300	200	792	971	
C-K	10			165	450	50	796	977	
	20			165	400	100	795	975	
	30			165	350	150	794	974	
	40			165	300	200	793	973	

※ W/B:물결합재비, S/a:잔골재율 W:배합수, B:결합재, C:시멘트, E:팽창재, S:잔골재, G:굵은골재, SP:고성능감수제

2.4 실험방법 및 측정

콘크리트의 배합은 KS F 2403에 준하였으며, 시험체의 구속은 몰드 내부에 콘크리트를 충전한 후 그림 1와 같은 장치를 이용하여 팽창으로 인한 체적변화가 발생되지 않도록 소요 재령 동안 실시하였다. 시험체의 양생은 추후 CPSC의 공장생산 조건을 감안하여 표준조건 하에서 기중 양생하였다.

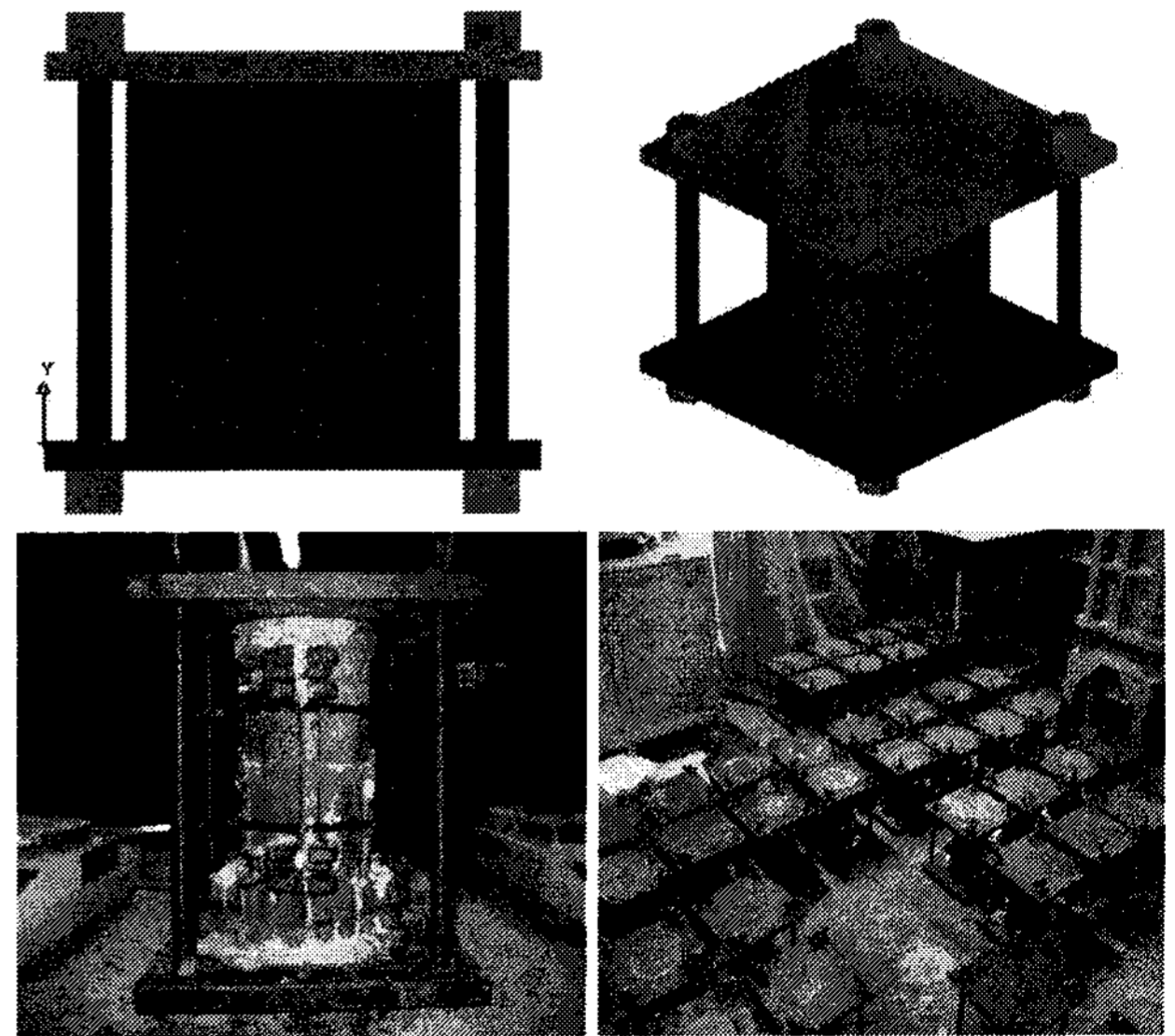


그림 1. 콘크리트 구속방법

측정항목 및 적용규준은 표 7과 같다.

표 7. 측정항목 및 적용규준

측정항목	적용규준
슬럼프 및 슬럼프-플로우 시험	KS F 2402
공기량 시험	KS F 2421
압축강도 시험	KS L 2413
인장강도 시험	KS L 2423

3. 실험결과 및 분석

3.1 슬럼프 플로우 및 슬럼프

팽창재 종류 및 치환율의 변화에 따른 팽창 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프-플로우 시험결과는 그림 2, 그림 3와 같다.

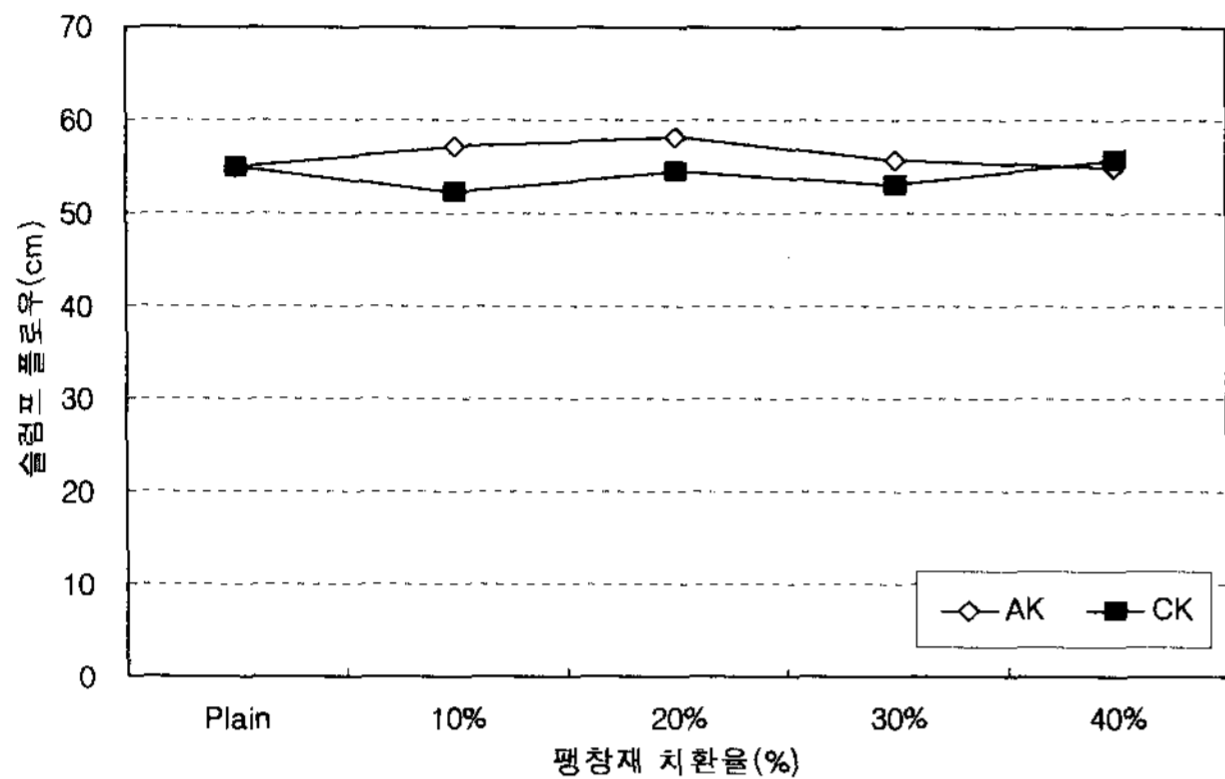


그림 2. 슬럼프 플로우

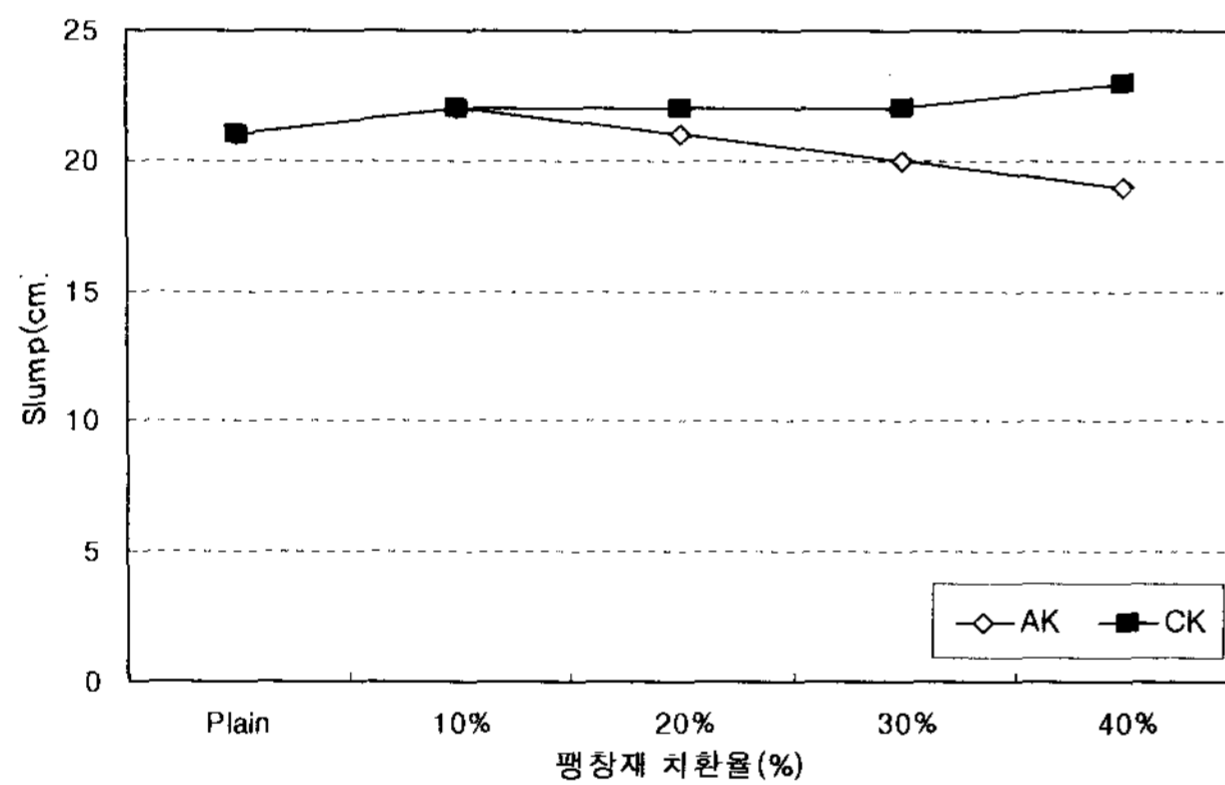


그림 3. 슬럼프

팽창콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 팽창재의 종류 및 치환율이 변화함에 따라 다소 변화하는 양상을 나타내었으나 큰 차이를 나타내지 않았으며, 모든 조건에서 목표 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 만족하는 것으로 측정되었다. 따라서 팽창재의 종류 및 치환율은 콘크리트의 유동성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

3.2 공기량

팽창재의 종류 및 치환율을 달리하여 제작한 팽창콘크리트의 공기량 시험결과는 그림 4와 같다.

팽창콘크리트의 공기량은 팽창재의 종류 및 치환율에 따라 변화하는 것으로 나타났으나, 공기량은 약 1~2%의 범위로서 그 차이가 매우 적은 것으로 나타났다. 이러한 공기량은 콘크리트 배합 시 자연스럽게 유입되는 갇힌 공기의 량과 유사한 범위로서 팽창재의 종류 및 치환율은 콘크리트의 공기량에 큰 변화를 유발하지 않는 것으로 나타났다.

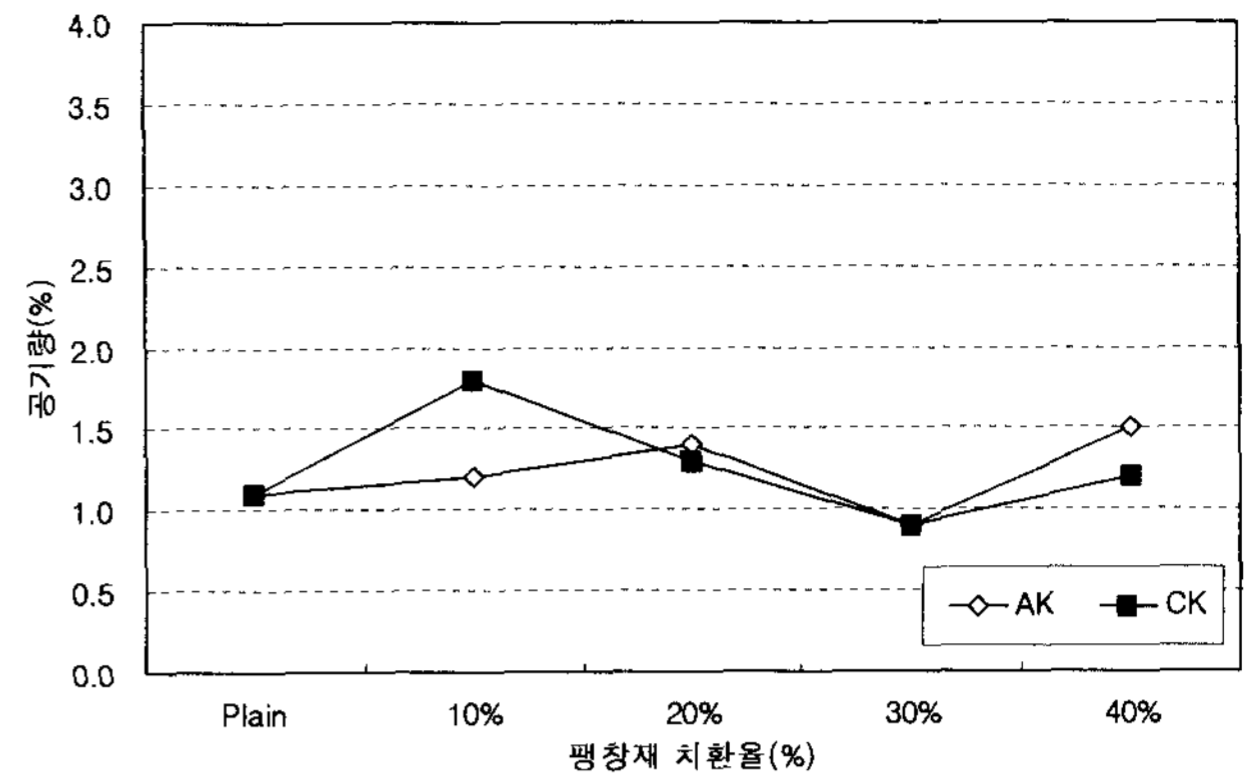
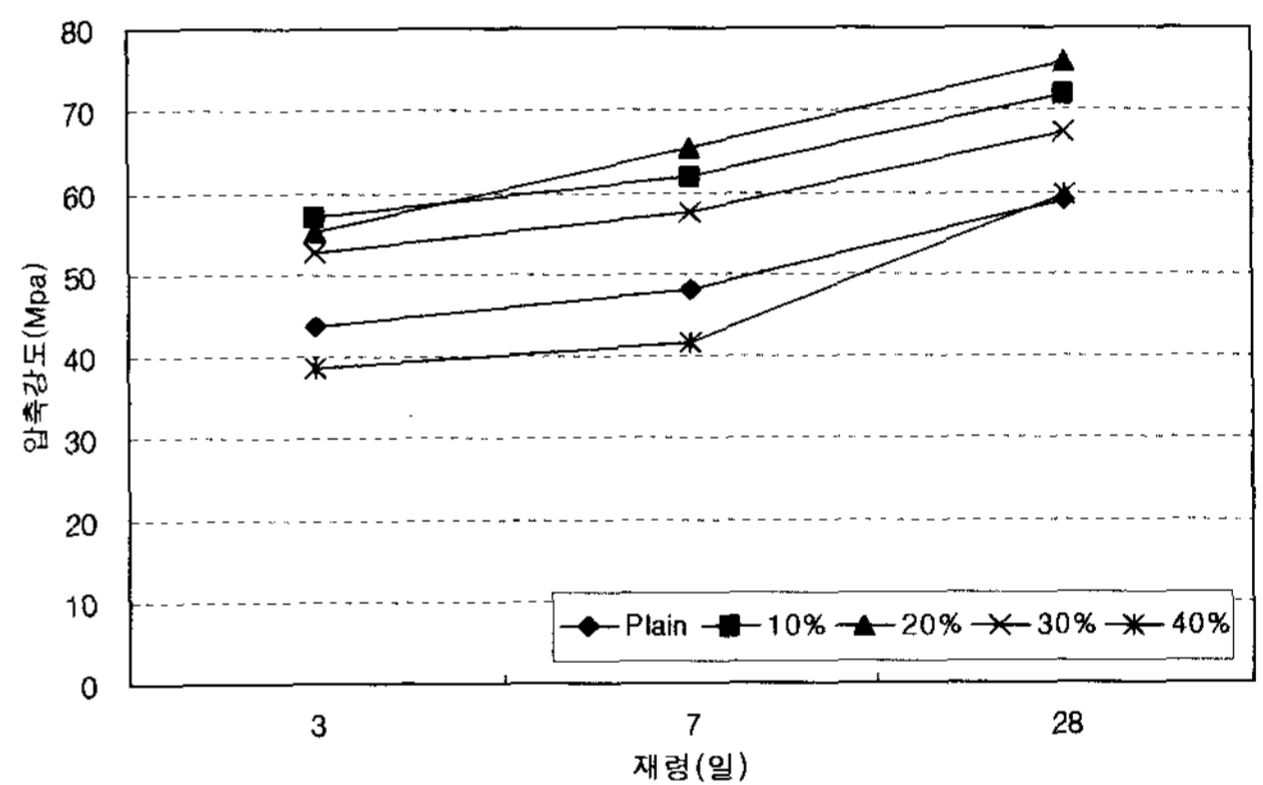


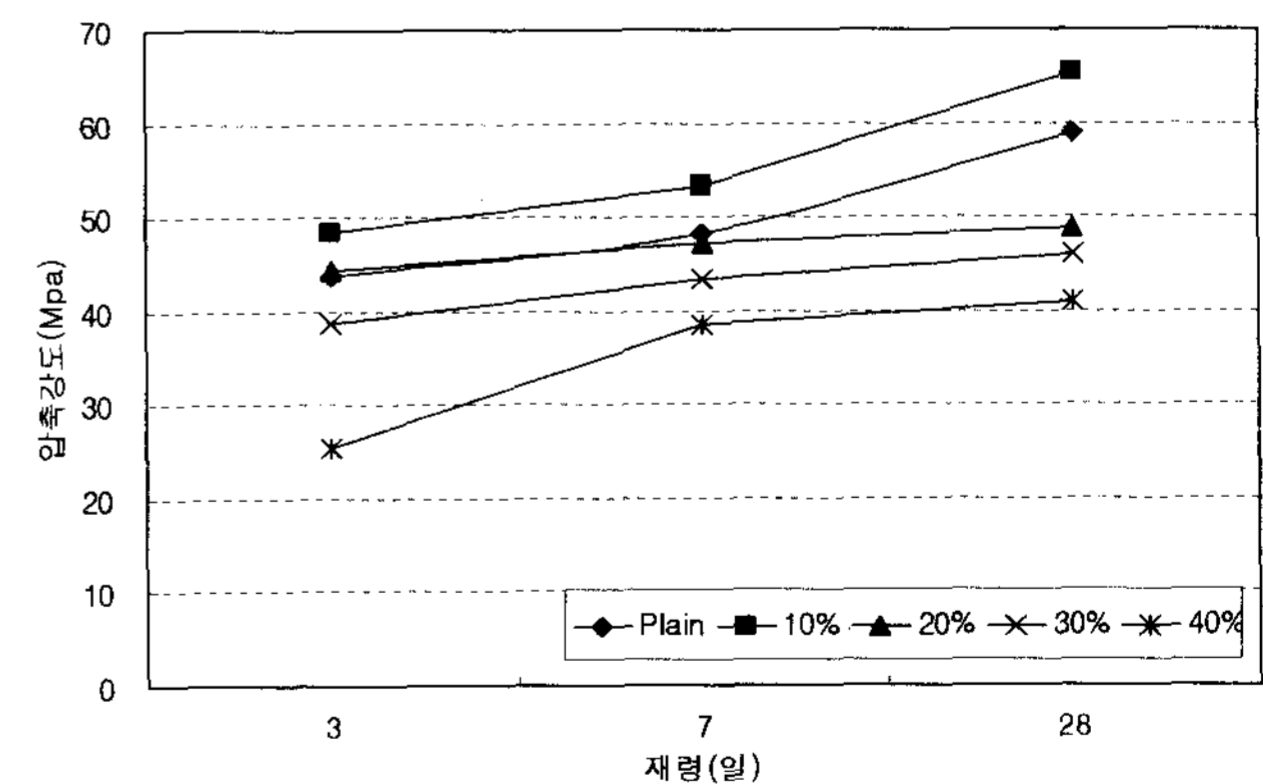
그림 4. 공기량

3.3 압축강도

그림 5은 팽창재 종류 및 혼입율에 변화에 따른 압축강도의 시험결과이다.



a) A-K



b) C-K

그림 5. 압축강도

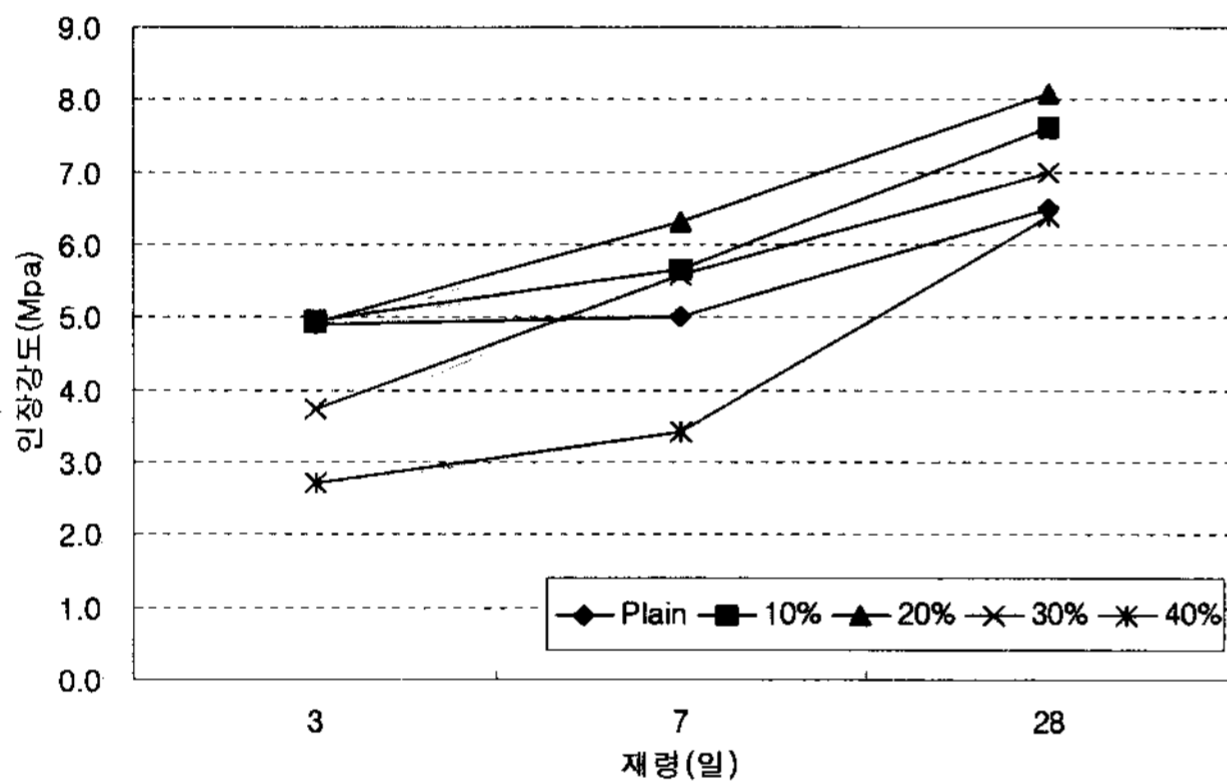
A-K 팽창재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 치환율 10~30%에서는 Plain 보다 모두 높게 측정되었고, 40%에서의 3일, 7일 재령강도는 Plain보다 낮았지만 28일 재령에서는 높은 강도를 발휘함으로써 정상 강도로 회복하였다. 10~30%의 경우는 초기강도부터 케미컬 프리스트레스가 작용한 결과로 판단되고 40%의 경우는 치환율에 의한 시멘트 페이스트 양이 줄어

들어 초기강도가 떨어졌으나 이후 재령일에 따른 팽창재의 팽창작용에 의한 결과 값으로 보아진다. 특히 치환율 20%에서 Plain의 129%에 달하는 가장 높은 강도를 나타내었다.

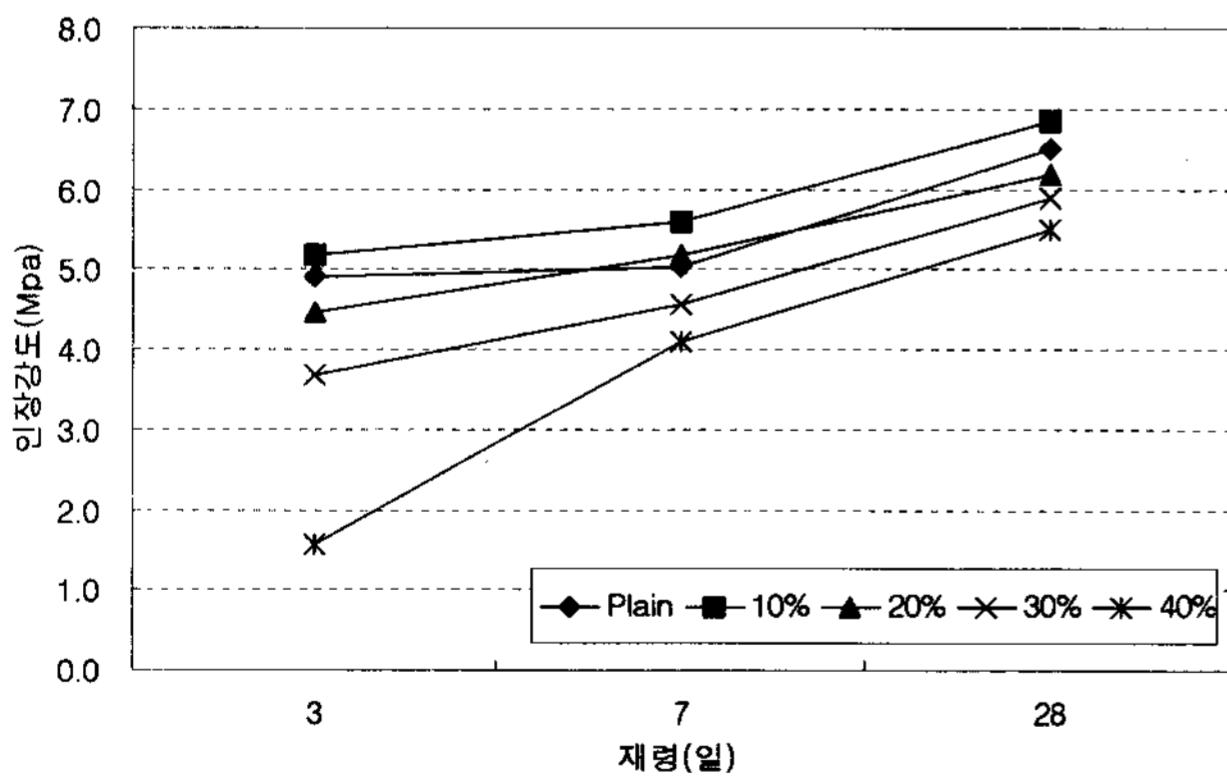
C-K 팽창재를 사용한 콘크리트의 경우는 10% 강도만 Plain 보다 111% 정도 높게 측정되었고 치환율 20%의 경우 초기강도는 Plain 보다 높았으나 7일의 경우는 다소 낮았으며 28일 강도의 경우는 현저하게 낮은 강도를 나타내었다. 또한 30~40%의 경우는 3일, 7일, 28일의 경우 Plain 보다 낮았고 강도 증가율도 낮아졌다. C-K 팽창재의 경우 치환율 10%의 경우는 Plain 보다 높았지만 20~40%의 경우는 치환율의 증가에 따라 점차적으로 강도가 감소되는 것을 알 수 있다.

3.4 인장강도

그림 6은 팽창재 종류 및 혼입율에 변화에 따른 인장강도의 시험결과이다.



a) A-K



b) C-K

그림 6. 인장강도

A-K 팽창재를 사용한 콘크리트의 인장강도는 치환율 10%, 20%에서는 초기강도는 Plain과 비슷하였으나 7일, 28일 강도에서는 높게 나타났고 특히 20%에서는 최고 125%의 강도가 증가하였다. 치환율 30%의 경우 초기강도는 Plain보다 낮았지만 7일~28일 재령일 동안 급속도로 증가하여 Plain을 훨씬 능가하였다. 40%의 경우는 압축강도와 마찬가지로 초기강도부터 Plain보다 낮았으나 28일 강도에서는 거의 강도를 회복하였다. C-K 팽창재를 사용한 콘크리트의 인장강도는 치환율 10%에서

는 Plain을 상회하였으나, 그 이상의 조건에서는 인장강도가 낮은 것으로 나타났다.

4. 결 론

CPSC의 개발 및 실용화를 위한 기초 자료를 제시하기 위하여 팽창재의 종류 및 치환율에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프-플로우, 공기량 시험과 구속 환경 하에서 양생한 시험체의 재령별 압축강도, 인장강도 시험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 팽창재를 치환한 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프 플로우 및 공기량은 목표치를 모두 만족하였으며, 팽창재의 종류 및 치환율의 변화에 따른 차이는 적었다.
- 2) 팽창재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 구속환경 하에서 팽창재의 종류에 따라 최고 강도를 발휘하는 치환율이 달랐지만 모든 조건에서 Plain 콘크리트의 압축강도에 비하여 상회하는 것으로 나타나 콘크리트의 팽창력을 구속함으로써 콘크리트 경화체 내부에 케미컬 프리스트레스가 도입되는 것을 알 수 있다.
- 3) 인장강도 시험결과 팽창콘크리트의 팽창력을 구속함으로써 콘크리트의 인장강도가 개선되는 효과를 나타내었으며, 인장강도 발현특성은 A-K 팽창재가 우수하였다.

이상의 결과에서 팽창력을 구속하여 제작한 콘크리트의 경우 압축인장강도에서 A-K 팽창재는 치환율 20%, C-K 팽창재는 치환율 10%에서 가장 높은 강도를 나타내었다. Plain의 압축강도에 비교하여 볼 때 A-K 20%는 압축강도 129%, 인장강도 125%, C-K 10%는 압축강도 111%, 인장강도 106% 정도 강도 발현 양상이 향상되는 것으로 나타나 CPSC용 팽창재로서의 적용성은 A-K가 적정한 것으로 나타났다.

추후 CPSC의 실용화 측면에서 CPSC의 내구특성 및 고온 특성 등에 관한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료되며, 본 연구의 결과를 활용한다면 적정 팽창재 및 치환율의 선정과 CPSC의 물성 검토에 대한 기초 자료로서 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 CPSC는 팽창재를 팽창력을 구속함으로써 발휘되는 자기응력효과를 통하여 보다 우수한 강도특성을 발휘하는 콘크리트로서 활용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 강병희 외 3명, 케미컬 프리스트레스를 도입한 모르타의 강도발현 특성 연구, 대한건축학회 지회연합회 논문집 제2권 1호, 2006. 12
2. 김정진 외 4명, 단위 팽창재량 변화에 따른 팽창 콘크리트의 특성 분석, 대한건축학회 논문집 제19권 2호, 1999. 10
4. 안중길, 화학적 프리스트레스가 도입된 모르타의 균열저항성능 평가에 대한 연구, 석사학위 논문, 연세대학교, 2003
3. 한천구 외 4명, CSA계 팽창재를 이용한 고성능 콘크리트의 특성에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제14권 11호, 1998. 1