

고성능 콘크리트의 수축특성에 미치는 팽창재 종류 및 혼입률의 영향

Influence of the Kinds and the Content of Expansive Additive on the Properties of Shrinkage of High Performance Concrete

배정렬* 홍상희** 고경택*** 김성욱**** 한천구*****
Pei, Zheng Lie Hong, Sang Hee Koh, Kyoung Taek Kim, Sung Wook Han, Cheon Goo

ABSTRACT

The objective of this paper is to investigate the length change of high performance concrete using expansive additives to reduce autogenous shrinkage and drying shrinkage. The kinds and the contents of expansive additives are varied. The expansive additives are used made from Japan(CSA type;JEA), China(CSA type;CEA) and Korea(gypsum type; KEA), respectively. According to results, remarkable variations of the properties at fresh concrete are not found with dosage of expansive additives. For compressive strength, it decreases about 6~10% with expansive additives of 10%. Autogenous shrinkage decreases about 32%, and drying shrinkage does about 35%, respectively, with expansive additives of 5%, and about 68% and about 55%, with expansive additives of 10%. Accordingly, expansive additives demand requires 10% by cement weight in order to reduce shrinkage of high performance concrete more effectively in the sphere of this study, and JEA shows the best shrinkage reducing performance among the tested expansive additives.

1. 서론

최근들어 건설분야의 산업은 고도로 발달하고, 건설물은 대형화 및 복잡화 추세에 있다. 따라서 건설의 기본재료인 콘크리트의 경우도 고품질 및 고기능을 요구하고 있는데 즉, 굳지않은 상태에서의 유동성, 충전성 및 재료분리저항성이 양호하고 경화후에는 고강도, 고내구성을 발휘하는 고성능 콘크리트가 요구되어지고 있다.¹⁾

그러나, 현대개념에 부응하기 위한 양호한 품질의 고성능 콘크리트는 낮은 물-시멘트비, 많은 단위결합재량 및 혼화재와 고성능 감수제의 다량 사용에 따른 콘크리트의 수화반응의 활성화로 발생하는 자기수축 및 건조환경속에서의 건조수축 등 각종 수축균열대책이 새로운 문제점으로 대두되고 있다.^{2), 3)}

그러므로, 본 연구에서는 팽창재의 종류변화 및 혼입률에 따른 고성능 콘크리트의 건조수축 및 자기수축 등 수축저감특성을 비교·분석하였다.

* 정회원, 청주대학교 대학원, 석사과정

** 정회원, 청주대학교 산업과학연구소 연구원, 공학박사

*** 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원

**** 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원

***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수

2. 실험계획 및 방법

2.1. 실험계획

팽창재 종류 및 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 수축저감에 관한 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 실험요인으로 콘크리트의 배합은 W/B 30% 1수준에 대하여 목표 슬럼프플로우 60±10cm, 목표 공기량 4.5±1.5%로 계획하여 모든 배합에 적용하였다. 팽창재 종류로는 일본산 및 중국산 CSA계 팽창재와 한국산 석고계 팽창재의 3수준으로 계획하였는데, 균지않은 콘크리트와 경화 콘크리트의 실험사항은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다.

표 1 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B (%)	1	30
	슬럼프플로우 (cm)	1	60±10
	공기량 (%)	1	4.5±1.5
	팽창재 종류 및 혼입률 (%)	5	P(플레인) 일본산 CSA계(5, 10) 중국산 CSA계(10) 한국산 석고계(10)
실험사항	균지 않은 콘크리트	6	슬럼프, 슬럼프플로우 공기량, 단위용적중량 충전성, 재료분리저항성
	경화 콘크리트	3	압축강도(7, 28, 91일) 간조수축(1, 3, 7... 180일) 자기수축(0.5, 1, 2, 3... 49일)

표 2 배합사항

W/B (%)	단위 수량 (kg/m ³)	S/a (%)	SP (%)	AE (%)	팽창재 혼입률 (%)			용적배합 (ℓ/m ³)					
					JEA	CEA	KEA	C	S	G	JEA	CEA	KEA
30	175	45	1.90	0.042	0	0	0	185	268	327	0	0	0
				0.042	5	-	-	176	267	327	10	0	0
				0.042	10	-	-	167	267	326	20	0	0
				0.042	-	10	-	167	266	326	0	22	0
				0.038	-	-	10	167	266	326	0	0	22

* JEA : 일본산 CEA : 중국산 KEA : 한국산

2.2. 사용재료

본 연구의 사용재료로써, 시멘트는 국내산 보통포틀랜드시멘트(비중:3.15, 분말도: 3,413cm²/g)를 사용하였고, 골재로써 잔골재는 충남 연기군 강모래(비중: 2.67, 조립률: 2.55), 굵은골재는 충북 옥산산 최대치수 25mm인 부순 굵은골재(비중: 2.63, 조립률: 6.87)를 사용하였다. 팽창재는 일본 및 중국산 CSA계 팽창재, 국내 H사의 석고계 팽창재 시판품을 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3 팽창재 종류별 물리적 성질

구분	종류	비중	분말도 (cm ² /g)	화학적 성분 (%)			
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO
일본(JEA)	CSA계	2.9	2,000	4.5	13.5	1.1	52.5
중국(CEA)	CSA계	2.7	3,000	3.5	9.5	0.5	43.5
한국(KEA)	석고계	2.7	7,000	20.0	10.0	1.5	47.0

2.3. 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하였다. 굳지않은 콘크리트의 특성을 평가하기 위한 실험으로, 슬럼프 시험은 KS F 2402, 슬럼프플로우 시험은 슬럼프 측정이 끝난 후 최대직경과 이에 직교하는 직경의 평균치로 하였고, 공기량은 KS F 2421, 단위용적중량은 KS F 2409에 의거 실시하였다. 굵은골재 씻기실험 및 U형 충전시험은 기존연구에서 알려진 방법에 의거 실시하였다. 또한, 경화 콘크리트의 압축강도 시험은 소정의 재령에서 KS F 2405의 규정에 의거 실시하였다. 콘크리트의 건조수축시험은 KS F 2424의 규정에 의거 실시하였고, 자기수축 시험은 일본 콘크리트 공학협회의 시험방법으로 그림 1과 같이 행하였다.⁴⁾

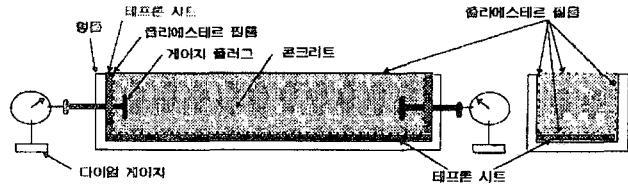


그림 1 자기수축 시험체

3. 실험결과 및 분석

3.1. 굳지않은 콘크리트의 특성

표 4는 팽창재 종류 및 혼입률 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 실험결과를 나타낸 것이다. 전반적으로, 팽창재의 치환은 유동성, 공기량 및 재료분리 저항성 등 굳지않은 콘크리트의 성상에는 약간의 증감경향을 보이고 있지만, 큰 영향은 아닌 것으로 분석된다.

표 4 굳지않은 콘크리트의 특성

항목 배치	슬럼프 (cm)	슬럼프 플로우 (cm)	공기량 (%)	단위용적 중량 (kg/m ³)	충전높이 (cm)	재료분리 저항률 (%)
P	26.0	62.5	4.5	2272	28.5	85.4
JEA5	26.3	65.5	4.6	2257	30.5	94.4
JEA10	26.5	68.0	4.7	2250	32.7	92.1
CEA10	26.0	61.0	4.2	2353	25.0	91.5
KEA10	27.0	66.5	4.2	2350	26.0	91.3

3.2. 압축강도 특성

표 5 및 그림 2, 3은 팽창재 종류 및 혼입률 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이다. 압축강도는 JEA 혼입률 5%에서 플레인과 비슷하거나 약간 높게 나타났는데 이는 소량의 팽창재 혼입에 따른 공극충전의 효과에 기인된 것으로 분석된 반면, 혼입률 10%에서는 과팽창에 따른 조직의 이완으로 저하하는 경향이였다.

표 5 팽창재 종류 및 혼입률 변화에 따른 압축 및 인장강도

구 분	강 도	압 축 강 도 (MPa)			인장강도 (MPa)
		7일	28일	91일	
P		48.4	58.4	65.5	5.48
JEA5		48.3	60.7	65.3	5.51
JEA10		42.4	55.7	62.4	5.27
CEA10		44.2	54.8	59.0	4.77
KEA10		51.6	58.9	62.6	5.49

팽창재 종류(혼입률 10%)변화에 따른 압축강도는 전반적으로 플레인과 비교하여 6~10% 저하되는 것으로 나타났는데, 종류별로는 큰 차이는 아니지만 KEA, JEA 및 CEA의 순으로 크게 나타났다. KEA의 경우, 재령 7, 28일에서 플레인과 비교하여 약간 높게 나타났는데 이는 KEA의 주성분이 석고계인 것으로 미루어 수화촉진의 영향에 기인된 것으로 사료된다.

또한, 재령 28일 인장강도는 표 5와 같이 압축강도의 경우와 유사한 경향으로 나타났다.

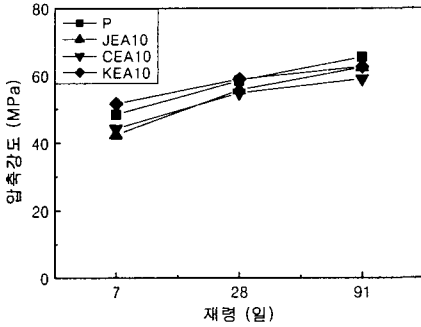


그림 2 팽창재(JEA) 혼입률 변화에 따른 압축강도

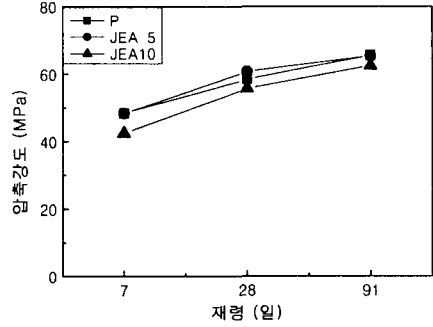


그림 3 팽창재 종류변화에 따른 압축강도

3.3. 건조수축 특성

그림 4는 JEA 혼입률 변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이고, 그림 5는 팽창재 종류변화에 따른 건조수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

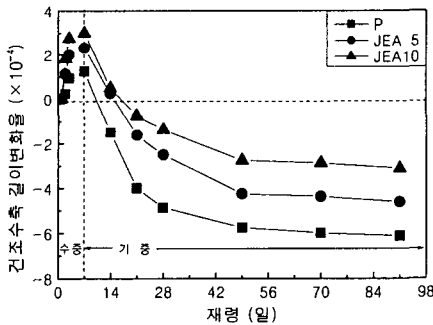


그림 4 팽창재(JEA) 혼입률 변화에 따른 건조수축

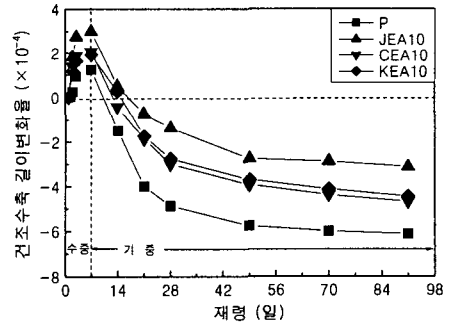


그림 5 팽창재 종류변화에 따른 건조수축

전반적으로 건조수축 길이변화율은 탈형 후, 수중양생 기간동안 콘크리트의 수분흡수 및 팽창재의 팽창반응에 기인하여 시험체는 팽창하는 경향을 나타내었고, 재령 7일 이후 기중양생 기간에는 건조에 의한 수축이 발생하였는데, 특히 건조 초기재령에서 급격한 수축이 발생하였으며, 재령이 경과함에 따라 보다 완만한 경향으로 나타났다.

재령 91일에서 플레인의 건조수축은 약 6.1×10^{-4} 정도로 나타났는데, 팽창재 치환에 따라 건조수축은 크게 감소하였으며 혼입률 증가에 따라 크게 감소하는 경향이였다. 재령 91일에서 JEA의 경우 플레인에 비해 혼입률 5%에서 25% 정도, 혼입률 10%에서 49% 정도의 건조수축이 감소하였고, 팽창재 종류에 따라서는 JEA, KEA 및 CEA의 순으로 작게 나타났는데, KEA 및 CEA의 경우는 약 25%정도 저감되는 것으로 나타났다.

3.4. 자기수축 특성

그림 6은 JEA 혼입률 변화에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이고, 그림 7은 팽창재 종류변화에 따른 자기수축 길이변화율을 나타낸 것이다.

전반적으로, 플레인 콘크리트는 초기 7일 재령까지 큰 자기수축이 일어났고 재령증가에 따라 보다 완만해지는 경향을 나타내었고, 팽창재를 사용한 콘크리트는 초기 3일 재령까지 팽창재의 에트링가이트 생성작용에 기인하여 시험체는 팽창의 성상을 나타내었으며 그 후 점차 수축하는 경향이였다.

재령 49일에서 플레인의 자기수축은 3.5×10^{-4} 으로서, 동일 재령 건조수축량의 약 60%를 차지하였고, 팽창재 혼입에 따라 크게 감소하였다. JEA 혼입률 변화에 따른 자기수축은 혼입률 증가에 따라 현저하게 감소하였는데, 혼입률 5 및 10%에서 각기 32 및 68% 저감하는 것으로 나타났다. 또한, 팽창재 종류에 따른 자기수축은 JEA, KEA 및 CEA의 순으로 작게 나타났는데, KEA와 CEA의 경우 수축저감 효과는 거의 비슷한 경향으로 플레인과 비교하여 각각 27 및 18%정도 저감하는 것으로 나타났다. 이는 팽창재의 팽창성분 및 팽창효과의 차이에 기인된 것으로 분석된다.

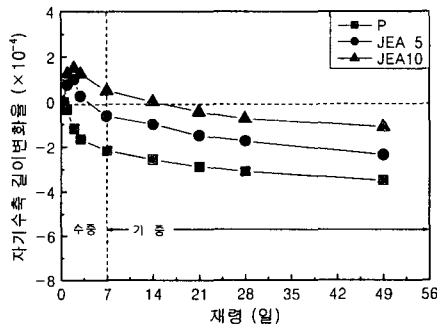


그림 6 팽창재(JEA) 혼입률 변화에 따른 자기수축

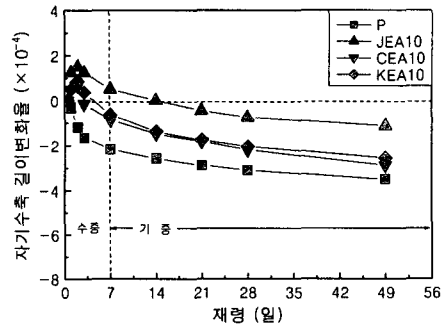


그림 7 팽창재 종류변화에 따른 자기수축

또한, 본 실험에서는 자기수축을 건조수축과 구분하기 위하여 자기수축 시험에서 시험체의 수분증발에 의한 질량감소율도 동시에 측정하였는데, 재령 49일까지 자기수축 시험체의 질량감소율은 모두 0.032~0.046%의 범위로써 일본 콘크리트공학협회의 자기수축 시험방법에서 제안한 범위인 0.05%이하의 규정치를 모두 만족하였다. 단, 91일 이후는 그 규정값을 초과하는 것도 존재하였으므로 본 분석에서는 91일의 자기수축 결과분석은 생략하였다.

3.5. 건조 및 자기수축 비교

그림 8은 JEA 혼입률 변화에 따른 건조 및 자기수축을 비교하여 나타낸 것이고, 그림 9는 팽창재 종류변화에 따른 건조 및 자기수축을 비교한 것이다.

재령 49일에서 플레인의 자기 및 건조수축은 각각 3.5×10^{-4} 및 5.75×10^{-4} 로 자기수축의 비율은 약 60%이었다. 팽창재 혼입률 증가에 따라 자기 및 건조수축은 모두 크게 감소하는 것으로 나타났는데 JEA의 경우 혼입률 5 및 10%에서 건조수축은 35 및 55% 감소하고 자기수축은 32 및 68%까지 감소하는 것으로 전반적인 자기수축의 비율은 감소하는 경향이였다.

팽창재 종류변화에 따른 수축저감효과는 JEA의 경우가 가장 우수한 것으로 나타났고, 자기수축의 비율은 JEA, KEA 및 CEA의 순으로 작게 나타났으며 KEA 및 CEA의 경우 자기수축저감 비율은 플레인과 비교하여 작게 나타난 것으로 건조수축 저감효과는 크지만 자기수축의 저감에는 큰 효과가 없는 것으로 판단된다.

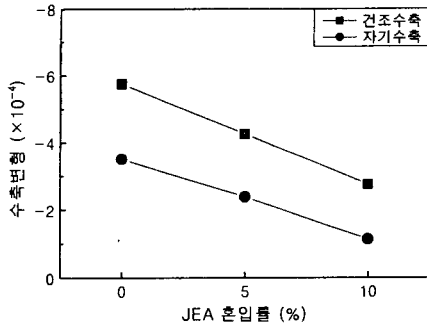


그림 8 팽창재(JEA) 혼입률 변화에 따른 건조 및 자기수축 비교

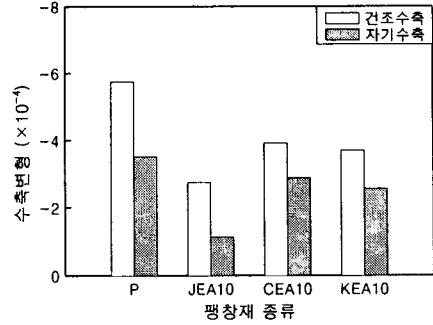


그림 9 팽창재 종류변화에 따른 건조 및 자기수축 비교

4. 결론

본 연구에서는 고성능 콘크리트의 자기 및 건조수축 등 수축특성에 미치는 팽창재 혼입률 및 종류의 영향에 대하여 분석하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 팽창재 사용은 굳지않은 콘크리트의 성상에는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었고, 압축강도는 팽창재 혼입률 5%인 경우는 플레인과 비교하여 동등 혹은 약간 증가한 반면, 혼입률 10%인 경우는 전반적으로 6~10% 저하하는 것으로 나타났다.

2) 건조수축 특성은 팽창재를 사용함으로써 크게 감소하는 경향이 나타났는데, 플레인에 비해 팽창재 혼입률 5%에서 35% 정도, 혼입률 10%에서 55%정도의 건조수축이 감소하였다. 또한 팽창재 종류별로는 JEA, KEA 및 CEA 순으로 수축보상 효과가 우수한 것으로 나타났다.

3) 자기수축 특성은 플레인의 경우, 재령 49일에서 건조수축량의 60% 전후로 나타났으며, 팽창재를 사용함으로써 현저하게 감소하였는데 플레인에 비해 JEA의 경우 혼입률 5%에서 32% 정도, 혼입률 10%에서 68%정도의 자기수축이 저감하는 것으로 나타났다. 또한, 팽창재 종류별 수축보상 효과는 JEA, KEA 및 CEA의 순으로 양호한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 홍상희, 전병채, 송명신, 한천구, 반호용 ; 무기질 혼화재의 혼입을 변화에 따른 고성능 콘크리트의 특성 분석, 대한건축학회 학술발표논문집, 제 18권 제 1호, pp.19~22, 1998.
2. 今本啓一, 大谷博 : 高强度・超高强度コンクリートの収縮性状に関する研究, 콘크리트工學年次論文報告集 Vol. 17, No. 1, pp.1061~1066, 1995.
3. 田中敏嗣, 杉山彰徳, 小川鑑, 富田六郎 : 混和材料を組合せて使用したコンクリートの諸特性, 콘크리트工學年次論文報告集 Vol. 17, No. 1, pp.157~162, 1995.
4. 日本コンクリート工學協會 : 自己収縮研究委員會報告書, 1996.