

팽창재 혼입율 변화에 따른 콘크리트의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Concrete with the Variation of Addition Ratio of Expansive Additives

신 언 구*	이 대 주**	홍 상 희**
Shin, Eon Goo	Lee, Dae Ju	Hong, Sang Hee
전 병 채***	한 천 구****	반 호 용****
Jun, Byung Chea	Han, Cheon Goo	Bhan, Ho Yong

Abstract

The objective of this study is to develop the non crack ready mixed concrete and the high quality concrete under various addition ratios of expansive additives. According to the experiment results, when expansive additive are mixed in concrete mixture by about 6% per cement concents, in W/B of 45~55%, it is found that the strength increase and the shrinkage compensation can be achived by about 2~3 times. And it is considered to produce high quality concrete and non crack ready mixed concrete.

1. 서 론

최근 콘크리트구조물의 경우는 요구수준의 향상, 재료의 열악, 시공방법의 불량 및 관리소홀 등의 문제로 소성수축, 자기수축 및 건조수축 등에 의한 균열이 자주 발생하고 있는데, 이와같은 균열은 건축물의 미관손상, 심적불안뿐만 아니라 강도 및 내구성 저하에까지 이르러 사회적으로 크게 문제시 되고 있다.

그러므로 본 연구에서는 콘크리트에 발생하는 각종 수축균열을 보상하기 위하여 CSA계 팽창재를 시멘트량에 일정비율 혼입하는 팽창재 혼입율 변화에 따라 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 특성 및 길이변화 특성 등 각종 물성을 분석·고찰하므로써, 궁극적으로는 무균열레미콘 및 고품질 콘크리트의 개발에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, W/B는 설계기준강도 210~270kg/cm² 정도로 예상되는 범위로서 W/B 45% 및 55%의 2개 수준으로 하고, 팽창재 혼입율을 0%~12%까지 3%간격인 5개 수준으로 총 10배치를 실험계획한다.

* 정희원, 정주대학교 산업대학원 석사과정
** 정희원, 정주대학교 대학원 석사과정
*** 정희원, 정주대학교 대학원 박사과정
**** 정희원, 정주대학교 교수, 공학박사

이때, 콘크리트의 배합사항은 팽창재의 적정 혼입율로 예상되는 단위시멘트량의 6%인 배합에서 목표 슬럼프를 $18 \pm 1\text{cm}$ 에 맞는 단위수량 및 잔골재율을 결정하고, 또한 목표 공기량을 $4.5 \pm 1.5\%$ 로 만족하는 AE제량을 결정하여 기타 배합에도 동일하게 적용하도록 한다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 슬럼프 폴로우, 공기량 및 단위용적중량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 압축 및 인장강도, 동탄성계수를 계획된 재령에서 측정하며, 건조수축에 의한 길이변화는 탈형 직후와 3일에서 측정후 7일에서 28일까지는 일주일 간격으로 측정하도록 계획한다.

표 1. 실험계획 및 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m ³)	S/A (%)	AE/C (%)	팽창재 혼입율 (%)	용적배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)			실험사항			
					C	S	G	E	C	S	G	E	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
45	185	40	0.05	0	129	256	385	0	411	646	984	0	<ul style="list-style-type: none"> · 슬럼프 · 슬럼프폴로우 · 공기량 · 단위용적중량 	<ul style="list-style-type: none"> · 압축강도 · 인장강도 · 동탄성계수 (7, 28일) · 길이변화 1,3,7,14,21,28일
				3	125	256	383	6	399	644	981	12		
				6	121	255	382	12	386	642	978	25		
				9	117	254	381	18	374	640	975	37		
				12	114	253	380	23	362	638	972	49		
55		42	0.01	0	106	279	385	0	336	703	986	0		
				3	103	278	384	5	326	701	984	10		
				6	99	278	383	10	316	700	981	20		
				9	96	277	382	15	306	698	979	30		
				12	93	276	382	19	296	696	977	40		

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내 성신양회(주)의 1종 보통 포블랜드 시멘트를 사용하는데, 그 물리적 성질은 표 2와 같다. 골재로써 굵은골재는 대전산 20mm 화강암 부순돌을 사용하며, 잔골재는 충남 병천산 강모래를 사용하는데 물리적 성질 및 입도곡선은 표 3 및 그림 1과 같다. 혼화제로서 팽창재는 (주)중부실업에서 생산되는 CSA계 팽창재를 사용하며, 혼화제는 AE제를 사용하는데, 그 화학 및 물리적 성질은 표4 및 5와 같다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비 중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	용결 시간(분)		압축 강도(kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.18	3,346	0.06	270	430	216	312	397

표 3. 골재의 물리적 성질

골재종류	비중	조립율 (F.M)	공극율 (%)	흡수율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	입형편정실적율 (%)	No.200체 통과량 (%)
강모래	2.52	2.68	41.1	1.94	1482	53.8	3.0
부순돌	2.58	6.70	40.9	1.76	1511	57.5	-

표 4. 팽창재의 화학적 성질

CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SiO ₂	lg.loss	Total	f-CaO
52.28	13.46	28.26	0.21	0.73	0.12	3.82	1.03	99.91	15.90

표 5. 혼화제의 물리적 성질

혼화제종류	주성분	형태	색상	비중 (20℃)	표준사용량
AE제	synthetic tensides	액체	무색	1.02	시멘트 중량의 0.02% ~ 0.04%

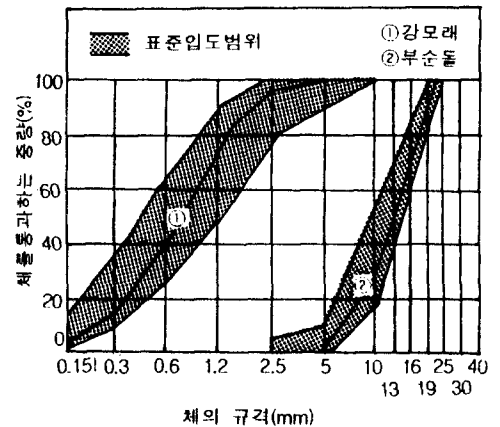


그림 1. 골재의 입도곡선

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 이용하여 그림 2의 혼합 순서에 따라 실시한다.

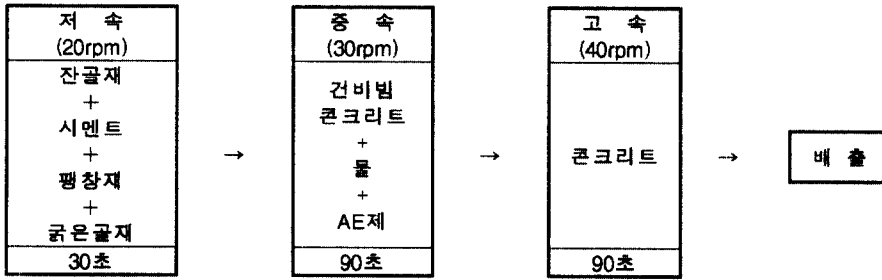


그림 2. 콘크리트의 혼합

실험방법으로 압축, 인장강도 측정용 공시체는 KS F 2403의 표준적인 방법으로 제작하고, 길이변화 측정용 공시체는 7.5×7.5×40cm 몰드의 양끝에 길이 측정용 게이지를 설치하여 제작한다.

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 시험은 KS F 2402에 의한 표준적인 방법으로 실시한 후, 슬럼프 플로우 시험을 실시하고, 공기량 시험은 KS F 2421 규정에 따라 실시한다. 경화 콘크리트의 실험으로 압축, 인장강도 및 동탄성계수시험은 KS F 2405, 2423 및 2407의 표준적인 방법에 의거 실시하고, 길이변화 시험은 7일 까지는 수중양생한 다음 그 이후는 기중양생으로 건조시킨후 KS F 2424 규정에 의한 다이알게이지 방법으로 실시한다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

팽창재 혼입을 변화에 따른 콘크리트의 특성을 분석하기 위한 굳지않은 콘크리트 및 경화 콘크리트의 특성을 실험한 결과는 표 6과 같다.

표 6. 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 실험결과

W/B (%)	팽창재 혼입율 (%)	슬럼프(cm)			슬럼프플로우(cm)			공기량 (%)	단 위 용 적 중 량 (kg/m³)	압축강도 (kg/cm²)		인장강도 (kg/cm²)		동탄성계수 (×10 ⁵ kg/cm²)	
		0분	30분	60분	0분	30분	60분			7일	28일	7일	28일	7일	28일
		45	0	14.0	10.8	7.5	23.1			22.4	21.9	5.1	2,231	231	318
	3	16.0	10.7	9.6	26.3	22.7	21.7	5.6	2,207	229	314	35.2	44.5	3.42	3.47
	6	17.4	11.0	7.8	25.2	23.0	21.7	4.9	2,238	236	347	34.3	43.3	3.31	3.56
	9	14.2	10.5	8.7	23.9	23.3	22.1	5.6	2,220	209	310	26.1	35.5	3.21	3.44
	12	11.0	7.5	6.0	21.9	21.3	20.6	5.2	2,217	123	287	17.3	19.6	2.60	3.43
55	0	18.6	12.2	11.8	25.5	22.5	21.5	5.1	2,225	172	247	25.4	37.5	2.96	3.22
	3	18.0	10.5	8.0	26.0	21.8	21.3	5.1	2,226	166	253	28.6	36.2	2.86	3.28
	6	18.8	10.8	9.6	25.9	22.1	21.5	5.1	2,230	159	237	27.1	32.7	3.16	3.29
	9	17.2	10.8	8.5	24.5	23.3	22.0	5.0	2,223	150	229	22.5	33.3	2.83	3.30
	12	18.5	12.5	9.6	26.5	24.4	21.5	5.5	2,213	110	207	15.1	25.2	2.58	3.25

그림 3은 팽창재 혼입을 변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우를 W/B 별로 나타낸 그래프이다.

팽창재 혼입을별 유동성은 혼입율이 증가함에 따라 큰 차이가 없거나 약간 감소하는 경향으로 나타났다. 그림 4는 팽창재 혼입을 및 W/B별 슬럼프 및 슬럼프 플로우의 경시변화를 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다. 당연한 결과이겠지만, 슬럼프 및 슬럼프 플로우는 모두 시간이 경과함에 따라 감소하였다.

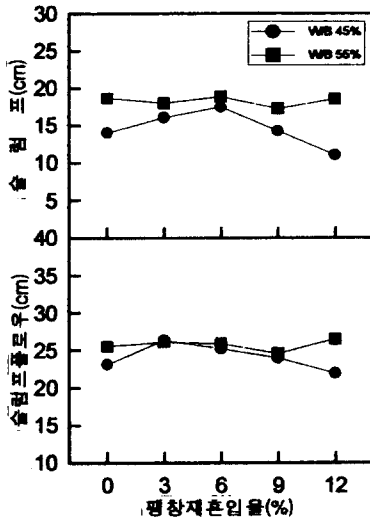


그림 3. 팽창재 혼입율에 따른 유동성

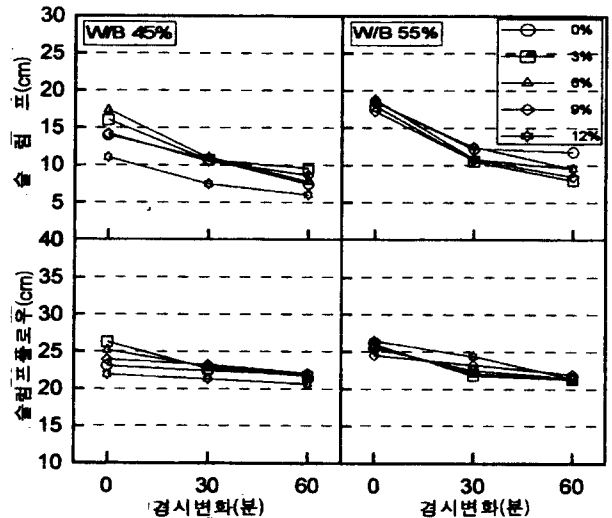


그림 4. 경시변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우 변화

그림 5는 그림 3과 동일한 방법으로 공기량 및 단위용적중량을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

먼저, 공기량은 전반적으로 각 배합 공히 KS규정의 $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하는 양호한 경향으로 나타났고, 팽창재 혼입을별로는 혼입율이 증가함에 따라 약간의 변동이 있기는 하지만 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나 팽창재를 혼입하여도 공기량 변화에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한, 단위용적중량도 팽창재 혼입율이 증가함에 따라 팽창재의 비중이 시멘트 보다 작음에 따라 약간 작아지는 경향이나 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

3.2 경화 콘크리트 특성

그림 6은 W/B별 재령경과에 따른 압축 및 인장강도, 동탄성계수를 팽창재 혼입을별로 나타낸 꺾은선 그래프이다.

전반적인 경향으로 재령이 경과 할수록 압축 및 인장강도, 동탄성계수는 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 그림 7은 그림 6을 또다른 각도에서 W/B 및 재령별 팽창재를 혼입하지 않은 경우의 100에 대한 혼입을 변화에 따른 각 비율을 나타낸 것이다.

압축강도비는 초기재령에서 팽창재가 다량 혼입되면 강도 발현비율이 작게 나타나지만, 재령이 경과

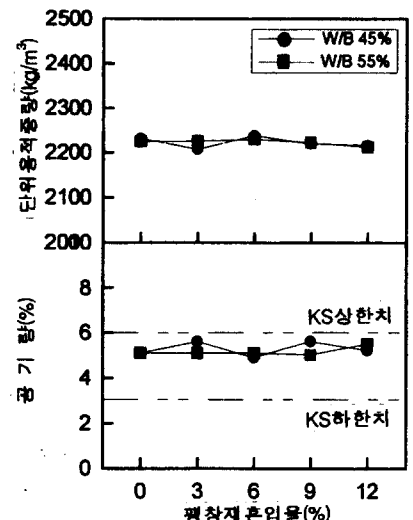


그림 5. 팽창재 혼입을 변화에 따른 공기량 및 단위용적중량

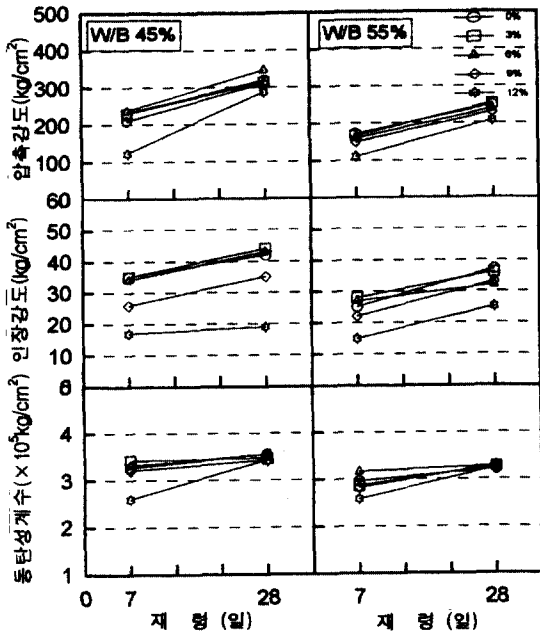


그림 6. 팽창재 혼입을 변화에 따른 압축, 인장강도 및 동탄성 계수

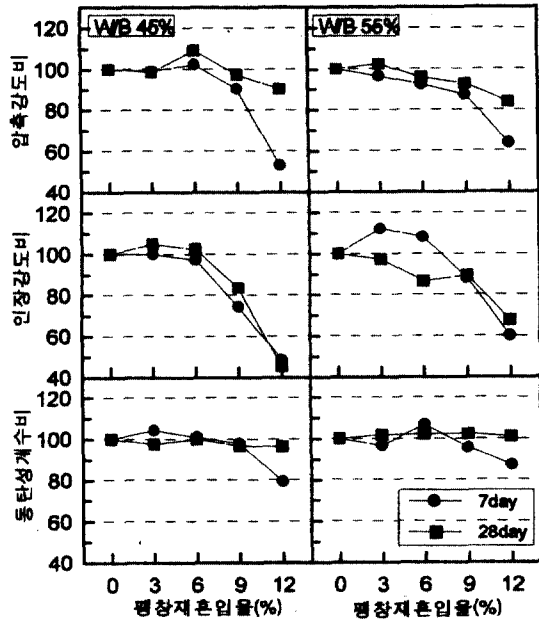


그림 7. 팽창재 혼입을 변화에 따른 압축, 인장강도 및 동탄성계수비

함에 따라 강도가 회복되는 것으로 나타났는데, 이는 팽창재를 혼입한 경우 팽창성분인 에트링가이트에 의하여 자기수축 등의 수축이 보상된 것에 기인한 결과로 분석된다. 압축강도비는 W/B 45%의 경우 각 재령 공히 팽창재 혼입을 6%에서 제일 크게 나타났다.

W/B 55%의 경우도 W/B 45%와 유사한 경향으로 나타났으나 단, 팽창재 혼입을 3%에서 가장 양호한 것으로 나타났다. 인장강도비 및 동탄성계수비도 압축강도비와 유사한 경향으로 나타났다.

3.3 길이변화율

그림 8은 7일까지 수중양생한 다음 그 이후는 기중양생으로 건조시킨 길이변화율을 W/B별 재령 경과에 따른 팽창재 혼입을별로 나타낸 그래프이다.

W/B 45% 및 55%에서 팽창재 혼입을 0%인 경우에는 수중양생 3일 이후부터 수축하는 것으로 나

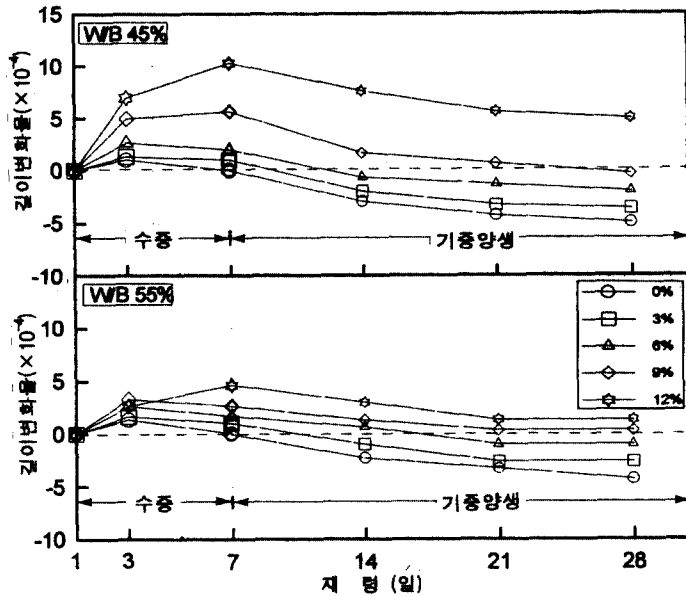


그림 8. 팽창재 혼입을 변화에 따른 길이변화율

타났는데, 이는 콘크리트의 화학적 수축 및 자기수축으로 인하여 나타난 결과라고 사료된다. 팽창재 혼입율 9%, 12%에서는 수중양생 7일 이후 기중양생에서 수축하는 것으로 나타났는데, 이는 콘크리트의 화학적 수축 및 자기수축보다 팽창재의 팽창력이 크기 때문이라고 사료된다.

W/B 55%인 경우는 W/B 45%인 경우보다 팽창성능이 작아지는 차이를 보였는데 이는 W/B가 큰 경우에 단위시멘트량이 적어짐에 따라 팽창재 사용량도 적어짐으로써 팽창특성은 그리 크지 않은 것으로 나타났다.

그림 9는 그림 8에서의 7일, 28일 길이변화율을 팽창재 혼입율 변화에 따라 비교한 꺾은선 그래프이다. 전반적인 경향으로 팽창재 혼입율이 증가 할 수록 팽창이 크게 나타났다. W/B 45% 경우 재령 28일에서 건조수축이 완전히 보상되는 팽창재 혼입량은 약 9% 정도로 나타났지만, 팽창재가 다량 혼입되면 강도가 저하되는 것으로 나타나, 유동성 및 강도특성이 양호하면서 수축이 보상되는 팽창재 혼입율은 6%가 적절한 것으로 분석된다. 또한, W/B 55%의 경우는 W/B 45%와 유사한 경향이기는 하나 역시 유동성, 강도특성 및 수축보상특성등과 연관하면 팽창재 혼입율은 3%~6%가 가장 양호한 것으로 분석된다.

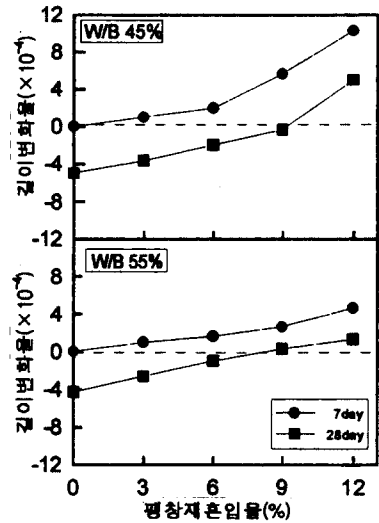


그림 9. 팽창재 혼입율 변화에 따른 팽창특성

4. 결 론

W/B 45~55%인 보통 콘크리트 범위에서 팽창재 혼입율 변화에 따른 굳지않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 특성을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프, 슬럼프 폴로우 및 공기량은 팽창재 혼입율 변화에 따라 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.
- 2) 경화 콘크리트에서 강도는 팽창재 혼입율이 증가할 수록 초기에서는 저하하였으나 재령 28일에서는 강도가 회복되는 것으로 나타났는데, W/B 45%의 경우 팽창재 혼입율 6%, W/B 55%에서는 팽창재 혼입율 3%에서 강도가 가장 양호한 것으로 나타났다.
- 3) 길이변화특성은 팽창재 혼입율이 증가함에 따라 크게 나타났는데, W/B 별로는 W/B 45%인 경우가 W/B 55% 보다 단위시멘트량이 많아짐에 따라 팽창재 사용량이 증가하여 크게 나타났다.

종합적으로, CSA계 팽창재를 사용한 콘크리트의 경우 W/B45~55%에서 팽창재를 시멘트량에 약 6%정도 혼입하게 되면 강도특성이 향상되고, 아울러 수축에 대해서도 2~3배 정도 보상효과가 있는 것으로 밝혀져, 무균열레미콘 및 고품질콘크리트의 제조가 가능한 것으로 판단된다.

끝으로, 본 연구는 중소기업청 및 충청북도의 '96년도 「산·학·연 공동개발 지역 컨소시엄」 계획에 따라 충북도내 중부실업(대표이사:박재호, 기술담당이사:송명신)과의 컨소시엄 연구로 이루어졌음에 위 기관에 감사한다.

참 고 문 헌

- 1) 홍상희, 한상기, 전병재, 반호용, 한천구, 팽창재 종류 및 혼입율 변화에 따른 시멘트 모르타르의 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회 춘계학술발표논문집, 제 9권, 1호, 1997, pp.106~111