

팽창재를 이용한 고성능 콘크리트의 특성과 건조수축 및 자기수축 저감에 관한 연구

한 천 구

〈청주대학교 건축공학과, 공박〉

홍 상 희

〈청주대학교 대학원 석사과정〉

I. 서론	3.3 실험방법
II. 이론적 고찰	IV. 실험결과 및 분석
2.1 팽창재의 정의 및 종류	4.1 굳지않은 콘크리트의 특성
2.2 팽창기구(Mechanism)	4.2 경화 콘크리트 특성
2.3 팽창 콘크리트의 특성 및 활용	4.3 건조수축 특성
III. 실험계획 및 방법	4.4 자기 수축 특성
3.1 실험계획	V. 결론
3.2 사용재료	참고문헌

I. 서론

최근 고유동, 고강도 및 고내구성을 목표로 개발하고 있는 고성능 콘크리트는 현대개념에 부응하는 양호한 품질의 확보 이면에 많은 단위시멘트량 등 분체량의 증가에 따라 비경제성과 건조수축 및 자기수축 등에 의한 균열이 문제시 되고 있다.

이중 특히 자기수축은, 일반적인 콘크리트에서는 건조수축에 비하여 1할정도로 작기 때문에 종래에는 균열제어와 설계에 있어서는 거의 고려되는 일은 없었으나, 고강도 및 고유동 콘크리트와 같이 물결합재비가 작고 단위

결합재량이 많은 콘크리트에서는 자기수축이 대단히 커진다는 것이 보고 되고 있고 경우에 따라서는 자기수축만으로도 균열이 발생하는 일이 지적되고 있다.¹⁾

특히, 최근에는 단위결합재량이 많은 상태에서 고유동, 고강도 및 고내구성을 목표로 하는 고성능 콘크리트의 개발이 각광을 받고 있음에 앞으로는 이와 같은 콘크리트의 경우 건조수축 및 자기수축 등에 의한 균열이 크게 문제시 될것으로 예상된다.

그러므로 본 연구에서는 W/B 30, 35%의 고강도 범위에서 결합재로써 보통포틀랜드시멘트에 에트링가이트 성분의 CSA(calcium

sulfa aluminate)계 팽창재를 혼화재로 사용하여, 고성능 콘크리트로서의 특성분석과 구조물에 발생되는 건조수축 및 자기수축등 균열을 최소화하므로써 저균열인 고성능 콘크리트를 개발하고자 한다.

II. 이론적고찰

2.1 팽창재의 정의 및 종류

팽창재란 KS F 2562(콘크리트용 팽창재)에 “시멘트 및 물과 함께 혼합하였을 경우 수화반응에 의해 에트링가이트(Ettringite) 또는 수산화칼슘 등을 생성하고 모르타르 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재료를 말한다”로 정의되고 있다. 또한 팽창 시멘트는 KS F 5217『팽창성 수경시멘트』에 “포틀랜드 시멘트와 같이 수경성 칼슘실리케이트를 함유하며, 칼슘알루미네이트 및 황산칼슘을 함유하며 물로 반죽하였을 때 응결후 초기 경화기간중 부피가 현저하게 증가하는 시멘트로, 기본적으로 이 팽창은 칼슘알루미네이트와 황산칼슘에 의하여 일어난다”라고 정의되어 있다. 따라서 팽창 콘크리트란 건설교통부제정

(표 1) 팽창재에 대한 KS F 2562의 규정

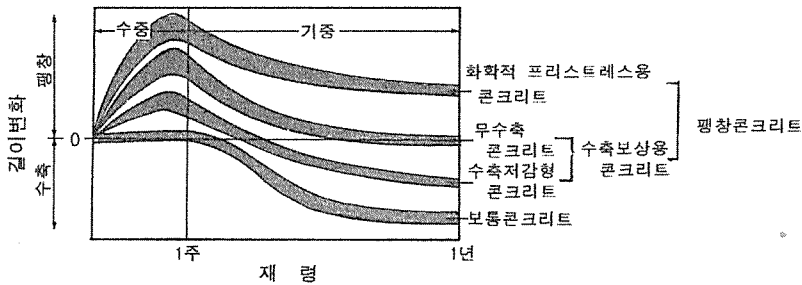
		항 목	규 정 치
화학 성분		산화 마그네슘 %	5.0이하
		강열감량 %	3.0이하
물리적 성질		비표면적 cm^2/g	2,000이상
		1.2mm체 잔분 %	0.5이하
	응 결	초결 (분)	60이후
		종결 (시간)	10이내
	팽 창 성 (길이변화율)	7 일	0.00030이상
		28 일	-0.00020이상
압축강도 $\text{kg}/\text{cm}^2(\text{MPa})$	3 일	70(6.9)이상	
	7 일	150(14.7)이상	
	28 일	300(29.4)이상	

(토목학회)콘크리트 표준시방서에 “팽창재를 시멘트, 물, 잔골재 및 굵은골재 등과 같이 비빈 것으로 경화한 후에도 체적 팽창을 일으키는 모든 콘크리트를 가르킨다”라고 정의하고 있는데, 실은 팽창재 뿐만 아니라 팽창시멘트를 이용한 경우도 포함하여 정의되게 된다.(그러나 실무에서는 팽창시멘트를 이용할 경우 팽창성분의 가감불가능 등의 단점으로 팽창시멘트보다는 팽창재가 널리 사용되고 있는 추세임)

팽창재의 종류로는 팽창을 일으키는 기구에

(표 2) 팽창재의 종류와 주요 구성화합물 및 수화생성물

종 류	성 분	수화생성물	사 용 방 법	관 매 형 태
K형	· Calcium Sulfa Aluminate ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$) · CaO · CaSO_4	Ettringite	Portland cement에 혼입 5~15%	· 팽창시멘트 · 팽창재
M형	· alumina cement 또는 Calcium Aluminate (수화물) · CaSO_4	Ettringite	Portland cement에 혼입 5~15%	· 팽창재
S형	Portland cement 중의 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 와 CaSO_4 를 많게 함	Ettringite	이것을 직접 사용	· 팽창시멘트
O형	· CaO	Calciumhydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Portland cement에 혼입 8 ~ 10%	· 팽창재



(그림 1) 팽창콘크리트의 개념 및 분류

따라 몇가지로 나눌수 있지만 KS F 2562에는 팽창재의 종류별로 구분하지 않고 [표 1]과 같이 화학성분과 물리적성질 만을 품질로 규정하고 있다. 단 KS F 5217인 팽창성 수경시멘트에는 K, M, S형의 3종류로 구분하고 있고, 일본의 경우에는 O형도 규정하고 있는데 그 구성 화합물 및 수화생성물은 다음 [표 2]와 같다.

팽창 콘크리트는 [그림 1]과 같이 팽창되는 정도(팽창재 사용량등)에 따라 화학적프리스트레소용과 수축보상용으로 분류되며 수축보상용은 무수축 콘크리트와 수축저감형 콘크리트로 나누어 진다.

2.2 팽창기구(Mechanism)

팽창재(팽창시멘트)가 팽창을 일으키는 기구는 K, M, S형은 에트링가이트의 생성에 있고, O형은 수산화칼슘의 생성에 있는데 각 종류별 팽창물질 생성화학식은 [표 3]과 같다.

이때 에트링가이트와 수산화칼슘의 생성은

수화반응 전후의 부피 변화율은 10.5% 및 5.7%의 수축이 발생하게 됨을 알 수 있다. 그러나 수화반응에 필요한 물은 모세관 공극등에 존재하는 것으로 물의 부피를 제외하고 고상부분의 부피변화만

을 계산하면 오히려 수화전의 약 2배 정도가 됨을 알 수 있다. 결국 수화반응으로 인한 고상의 용적증가로 부피팽창이 일어난 것으로 볼 수 있을 것이나 이러한 것은 단지 이론일 뿐이지 실제로는 수화반응에 참여한 물도 단순한 공극속의 물 뿐만아니라 어느정도 부피를 차지하고, 또한 시멘트 경화체에도 많은 공간이 존재하므로 이 공간에서 수화생성 물이 석출될수 있다. 따라서 이 석출물이 주위의 매트릭스(matrix:시멘트와 물)를 흐트러 뜨리지 않고 그 공간내에서만 생성된다면 팽창은 일어나지 않고 조적이 치밀해져 수밀성 및 강도증진 등에 효과가 있을것이지만, 반대로 석출물이 고상내에서 석출되면서 주위 미세구조를 밀어낸다면 고상은 팽창할 것이다. 따라서 고상의 부피변화와 공간을 갖는 다공체의 부피변화와의 관계는 단순하게 비교·설명할수 없기 때문에 팽창메카니즘을 이해하려면 그 수화생성물의 석출이 어떻게 미세구조에 영향을 미치는지를 충분히 검토해야만 할 것이다.

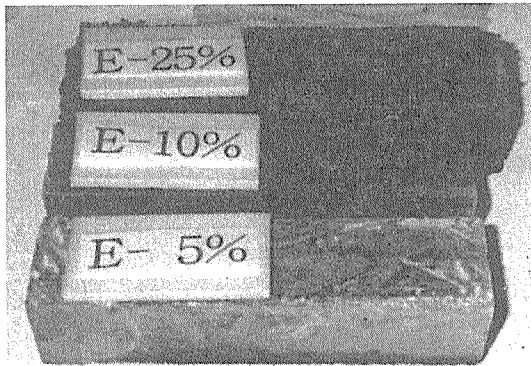
[표 3] 팽창재의 화학식

종 류	화 학 식
K형	$3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4 + 8CaSO_4 + 6CaO + 96H_2O \rightarrow C_4A_3S + 8CaSO_4 + 6CaO + 96H_2O$ $\rightarrow 3(3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O)$
M형 S형	$CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 + 2H_2O) + 2Ca(OH)_2 + 24H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3(CaSO_4 + 2H_2O) + 26H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$
O형	$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

2.3 팽창 콘크리트의 특성 및 활용

팽창재를 이용한 팽창콘크리트는 보통콘크리트와 달리 많은점에서 색다른 특성을 갖고 있다. 따라서 팽창 콘크리트를 효과적으로 활용하기 위하여는 별도로 충분히 검토되어야 하겠지만, 주로 팽창정도의 대소(大小)와 관련하여 중요한 영향요인만을 고찰하면 다음과 같다.

1) 팽창재 사용량이 많을수록 팽창량은 크다. 단, 지나친 팽창재량의 사용은 강도를 크게 저하시켜 경우에 따라서는 스스로 붕괴되는 경우도 있으므로 정량사용은 대단히 중요한 사항이다. (사진 1참조)



(사진 1) 팽창재 혼입량에 따른 팽창특성

2) 팽창재의 성분, 제조회사에 따라 팽창량은 다르므로 사전에 충분히 검토한다. 또한 일부회사는 단순한 팽창재만이 아니라 다양한 첨가물이 혼입된 경우도 있으므로 이점에 유의한다.

3) 팽창재의 최대 팽창시점은 7일 전후이다. 따라서 7일정도까지 충분히 수분양생을 실시하지 않은 경우는 팽창효과가 충분히 발휘되지 않을 수 있음에 유의한다.

4) 10~20℃와 같은 일정온도일 때 팽창콘크리트는 팽창을 일으키고 겨울철 혹은 고온

인 여름철에도 오히려 팽창량이 작아질 수 있으므로 이점에 유의한다.

5) 철근등 콘크리트가 구속조건에 놓이게 되면 팽창량은 줄어든다.

6) 팽창재가 풍화되면 성능이 저하되고, 보통콘크리트 보다 혼합시간을 길게하여야만 하며, 혼화제 및 혼화제의 종류에 따라서도 팽창량은 크게 영향받는 등 팽창콘크리트의 활용은 매우 세심한 주의 및 검토가 요구된다.

이상의 분석과 같은 팽창콘크리트를 실구조물에 활용할 수 있는 예로는 다음과 같은 용도를 들 수 있다.

(1) 건조수축보상에 의한 균열저감 목적

1) 수조, 정수장, 수영장 및 사일로우

2) 지하구조물 외벽의 누수방지

3) 넓은 면적에 이음매없이 콘크리트나 모르터를 연속적으로 타설할 때

4) 충전용 모르터

5) 무수축 그라우팅재

6) 방사선 차폐용 콘크리트

7) 방바닥 미장용 모르터 및 고급건축용 등

(2) 케미컬 프리스트레스 도입에 의한 균열내력 향상목적

1) 원형저수조, 수로터널

2) 연속철근콘크리트 포장, 강섬유 보강 콘크리트 포장

3) 교량의 합성바닥판

4) 박스칼버트(Box Culvert), 말뚝, 전주 등, 콘크리트 2차제품

III. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 [표 4]와 같다. 즉, 고강도 범위인 물결합재비(이하 W/B) 30% 및 35%의 2개 수준으로 하고, 팽

(표 4) 실험계획 및 배합사항

W/B (%)	팽창재 혼입율(%)	단위수량 (kg/m ³)	S/A (%)	S.P/A (%)	AE/B (%)	용적배합 (ℓ/m ³)				중량배합 (kg/m ³)				실험사항		
						C	S	G	E	C	S	G	E	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트	
30	0	177	48	1.75	0.0045	187	284	307	0	589	727	789	0	· 슬럼프 플로우 · 공기량 · U형충전 시험 · 굵은 골재 셋기시험	· 압축강도 (7, 28, 91, 180일) · 인장강도(28일) · 건조수축에 의한 길이변화 1일~180일 측정 (전체 무구속 및 팽창 재 혼입율 0%, 5%에 서만 구속을 비교함) · 자기수축 0.5~28일 측정	
	2.5					183	282	306	7	577	722	786	15			
	5					178	281	305	14	561	720	784	31			
	7.5					173	280	304	21	545	717	781	42			
30	0	175	50	1.40	0.0045	158	311	311	0	498	796	799	0			
	2.5					154	310	310	6	485	794	797	13			
	5					150	309	309	12	472	791	794	25			
	7.5					146	308	308	18	460	788	792	38			

창재 혼입율을 0%~7.5%까지 2.5% 간격인 4개수준으로 총 8개 배치를 실험한다. 이때, 콘크리트 배합은 각 물결합재비에 대하여 팽창재를 혼입하지 않은 배합에서 목표 슬럼프 플로우 60±5cm, 목표 공기량 4.5±1.5%가 발휘되도록 단위수량, 잔골재율, SP제 첨가량 및 AE제량을 결정한다 다음 이를 전배합에 동일하게 적용하도록 한다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프 플로우, 공기량, U형충전시험 및 굵은골재셋기시험을 실시하고, 경화 콘크리트에서는 압축 및 인장강도를 계획된 재령에서 · 건조수축에 의한 측정하며, 건조수축에 의한 길이변화는 탈형 직후와 3일에서 측정후 7일에서 91일까지는 일주일 간격으로 그리고 180일 재령에서 측정하도록 계획한다. 또한, 자기수축은 탈형이전의 초결에서 처음길이를 측정하며 탈형이후에는 계획된 재령에서 28일간 측정하도록 한다.

3.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서 먼저, 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하는데, 그 물리적성질은 [표 5]와 같다.

골재로써 굵은골재는 최대치수 20mm인 부순돌을 사용하며, 잔골재는 강모래를 사용하는데 물리적 성질 및 입도곡선은 [표 6] 및 [그

(표 5) 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (㎎/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,430	0.07	236	332	232	301	395

(표 6) 골재의 물리적 성질

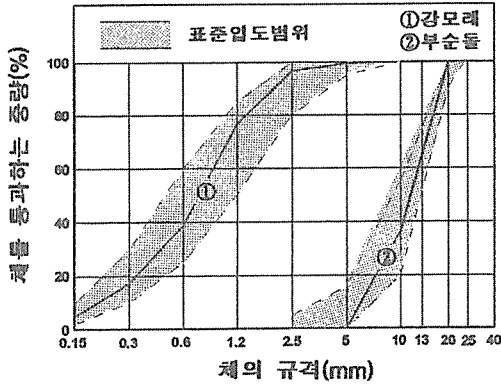
골재 종류	비중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m ³)	입형판정 실적율 (%)	No.200체 통과율 (%)
강모래	2.56	2.62	2.25	1530	61.0	2.06
부순돌	2.57	6.67	1.83	1532	59.0	-

(표 7) 팽창재의 화학적 성질(%)

CaO	Al ₂ O ₃	SO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SiO ₂	lg.loss	Total	f-CaO
46.54	14.92	32.27	0.17	0.78	0.14	4.01	1.05	99.88	15.90

(표 8) S.P제 및 A.E제의 물리적 성질

성분	외관	성상	비중 (20℃)	표준사용량 C×(%)
폴리칼본산계	암갈색	액체	1.05±0.02	0.5~3.0
Synthetic tensides	무색	액체	1.02	0.02~0.04



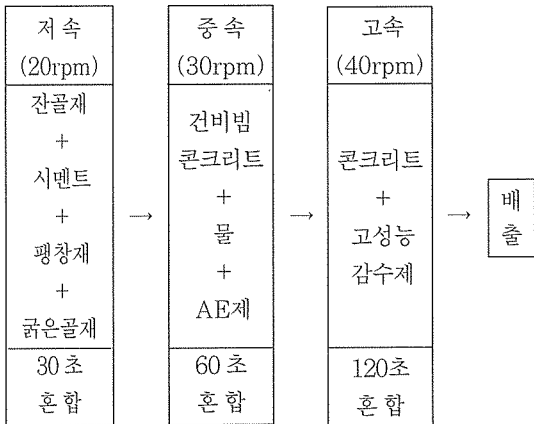
(그림 2) 골재의 입도곡선

림 2)와 같다.

혼화재료로서 팽창재는 CSA계로 국내에서 생산되는 제품을 사용하며, 유동성을 확보하기 위한 고성능 감수제는 폴리칼본산계를 사용하고, 소정의 공기량을 확보하기 위하여 AE제도 사용하는데 그 화학적성질 및 물리적성질은 [표 7] 및 [표 8]과 같다. 물은 상수도를 사용한다.

3.3 실험방법.

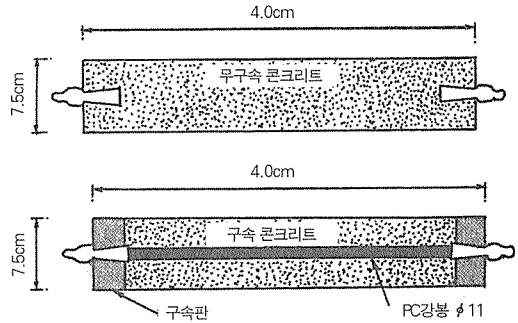
콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 이용하여 [그림 3]의 혼합순서에 따라 실시한다.



(그림 3) 콘크리트의 혼합 방법

실험방법으로 압축, 인장강도 측정용 공시체 ($\phi 10 \times 20\text{cm}$)는 KS F 2403의 표준적인 방법으로 제작하고, 길이변화 측정용 공시체는 $7.5 \times 7.5 \times 40\text{cm}$ 몰드의 양끝에 길이 측정용 게이지를 설치하여 [그림 4]와 같이 제작한다.

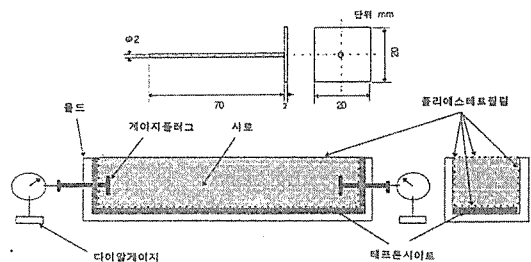
굳지않은 콘크리트의 실험으로 먼저, 슬럼프 플로우 시험은 슬럼프 콘에서 내려 앉은 콘크리트의 밑면에서 직교하는 두 지점간 지름을 측정하여 평균값으로 측정하고, 굽은골재 씻기시험 및 충전성 시험은 기존에 알려진 연구방법으로 실시한다.



(그림 4) 구속과 무구속길이변화 공시체의 상세도

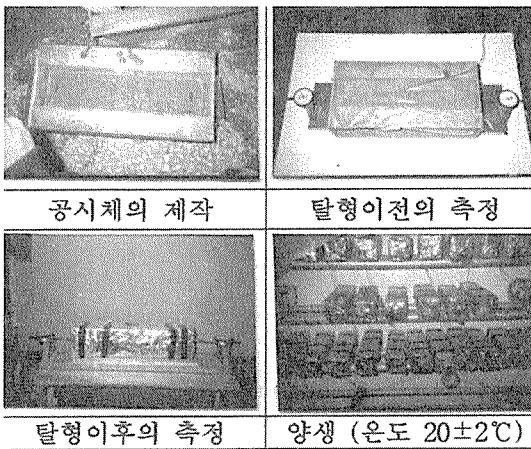
공기량시험은 KS F 2421의 규정에 따라 실시하며, 응결시간 측정은 KS F 2436의 관입저항침에 의한 콘크리트 응결시간의 시험방법에 따라 측정한다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축 및 인장강도 시험은 소정기간 수중양생 ($20 \pm 3^\circ\text{C}$) 후 KS F 2405, 2423의 방법에 의거하여 실시하



(그림 5) 자기수축 측정용 공시체

고, 길이변화 시험은 KS F 2562의 규정에 의거 7일까지는 수중양생한 다음 그 이후는 기중양생(온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$)으로 건조시킨 후 KS F 2424 규정에 의한 다이알게이지 방법으로 실시한다. 또한, 자기수축 측정은 일본 콘크리트공학협회의 규정(그림 5 참조)에 따라 측정용 몰드 양 끝에 게이지 플러그를 설치한 후 계획된 재령에서 측정한다.



[사진 2] 자기수축 시험

IV. 실험결과 및 분석

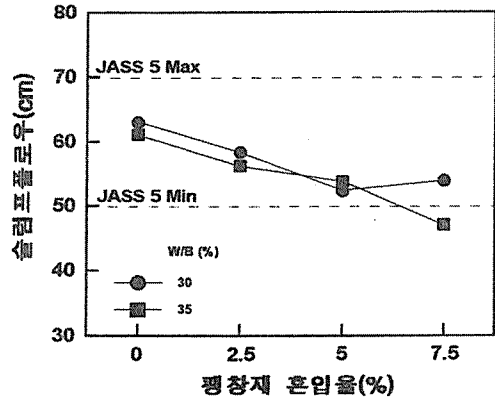
4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

[그림 6]은 팽창재 혼입율 변화에 따른 슬럼프 플로우를 W/B 별로 나타낸 그래프이고, [그림 7]은 [그림 6]과 동일요령으로 공기량을 나타낸 그래프이다.

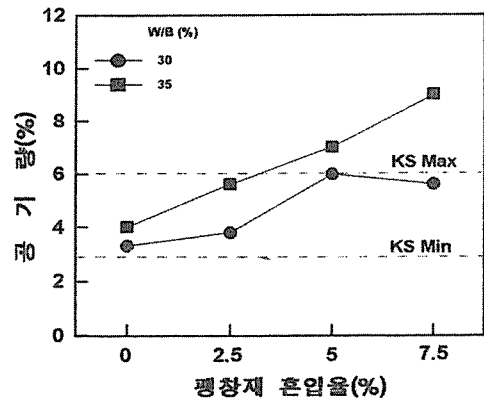
먼저 슬럼프 플로우는 팽창재 혼입율이 증가할수록 감소하는 경향으로 나타났는데, 팽창재 혼입율 2.5% 증가에 따라 슬럼프 플로우는 7~10% 정도 감소하였다.

이는 제품에 팽창성분인 에트링가이트의 생성을 유발할 목적으로 함유된 CaSO_4 성분의 증가로 인하여 슬럼프 플로우가 저하된 것으

로 사료된다. 단, W/B 35%에서 팽창재 혼입율 7.5%를 제외하고는 JASS-5의 슬럼프 플로우 범위를 만족하는 것으로 나타났다.



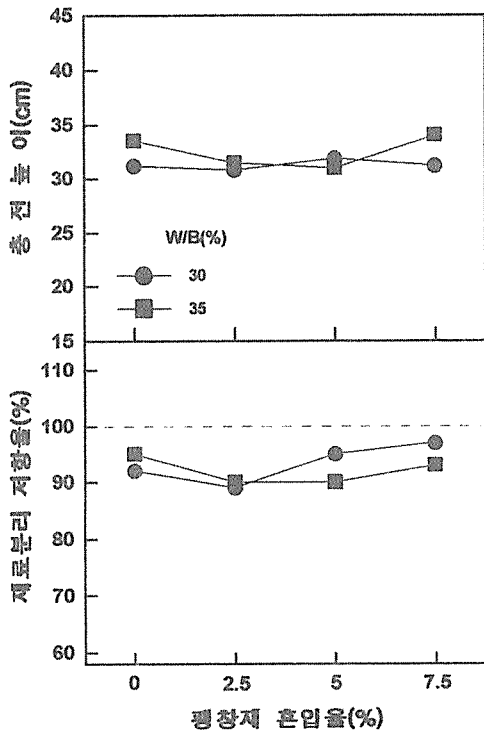
(그림 6) 팽창재 혼입율에 따른 슬럼프 플로우



(그림 7) 팽창재 혼입율에 따른 슬럼프 플로우

공기량은 팽창재 혼입율이 증가 할수록 W/B 30 및 35% 모두 증가하였는데, 이는 팽창재의 제품 사용상 용도에 맞게 첨가한 AE제 성분의 함유에 기인한 것으로 분석되어진다.

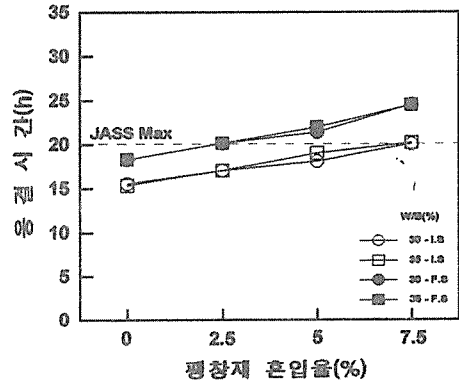
[그림 8]은 W/B별 팽창재 혼입율 변화에 따른 충전높이 및 굵은골재 씻기시험에 의한 재료분리 저항율을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다. 먼저, 충전높이는 팽창재 혼입율이 증가함에 따라 큰 차이없이 30cm 이상의 매우 양호한 것으로 나타났다. 재료분리 저항율은 팽창재



(그림 8) 팽창제 혼입율에 따른 충전높이 및 재료분리 저항율

혼입율 2.5%에서 다소 작게 나타났으나, 전반적으로 90% 이상의 양호한 결과로 나타났다.

[그림 9]는 팽창제 혼입율별 경과시간에 따른 관입저항치를 측정하여 콘크리트의 응결시



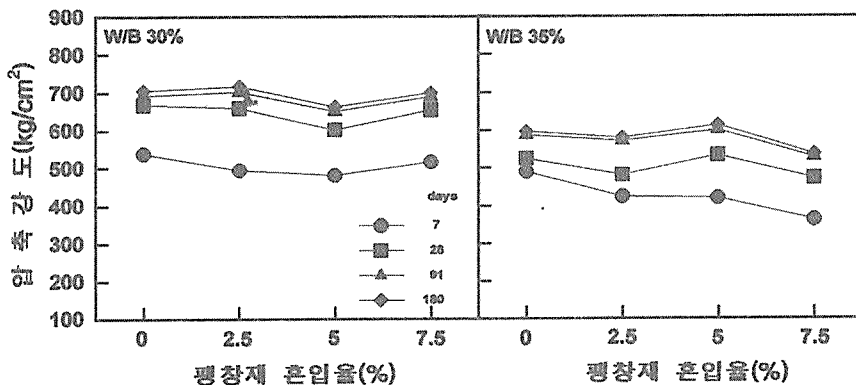
(그림 9) 팽창제 혼입율에 따른 응결시간

간을 나타낸 것이다. 초결과 종결 모두 팽창제를 첨가하지 않은 경우보다 팽창제 혼입율 2.5% 증가에 따라 1~2시간 정도 지연되는 것으로 나타났는데, 팽창제 혼입율 7.5%의 경우는 초결은 4시간 종결은 6시간정도 지연되는 것으로 나타났다.

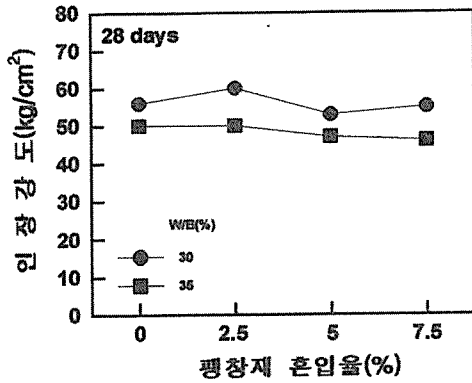
이는 팽창제의 제품성분중 유동성향상 목적으로 첨가된 리그닌 및 기타 특수 첨가물에 의한 응결지연 효과로 분석되어 진다.

4.2 경화 콘크리트 특성

[그림 10]은 W/B별 및 팽창제 혼입율 변화에 따른 압축강도를 나타낸 꺾은선 그래프이다.



(그림 10) 팽창제 혼입율에 따른 압축강도



(그림 11) 팽창제 혼입율에 따른 인장강도

당연한 결과이겠지만, 재령이 경과함에 따라 강도는 증진되었는데, 단 7일의 초기재령에서는 팽창제 혼입율이 증가 할수록 W/B 30% 및 35%인 경우 공히 저하되는 것으로 나타났으나, 28일, 91일 및 180일 재령의 경우 W/B 30%에서는 팽창제 혼입율 2.5%, W/B 35%에서는 팽창제 혼입율 5%에서 강도가 가장 큰 것으로 나타났다.

[그림 11]은 W/B별 팽창제 혼입율 변화에 따른 재령 28일에서의 인장강도를 나타낸 그래프이다.

전반적으로, 압축강도와 마찬가지로 팽창제 혼입율 증가에 따른 인장강도는 큰 차이는 아니지만, W/B 30% 경우는 2.5%에서 가장 양호하게 나타났다.

4.3 건조수축 특성

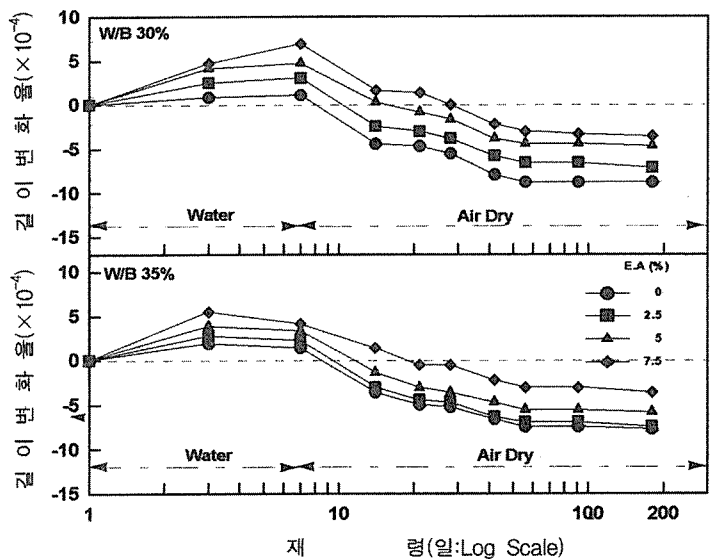
[그림 12]는 7일까지 수중양생한 후 기중양생으로 건조시킨 길이변화율을 W/B 및 팽창제 혼입율별 꺾은선 그래프로 나타낸 것이이고, [그림 13]은 [그림 12]에서의 7일,

28일, 91일 및 180일 길이변화 특성을 또 다른 각도에서 비교한 것이다.

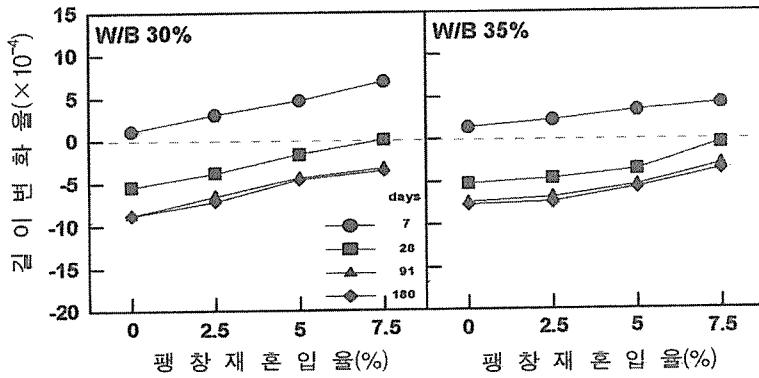
전반적인 경향으로는 수중양생 7일까지 팽창제의 팽창성분인 에트링가이트(ettringite)의 양호한 생성으로 꾸준하게 팽창을 보이는 반면 7일 이후 기중양생에서는 수축하기 시작 하였다. 배합별 특성으로는 W/B 30% 및 35%인 경우 공히 팽창제 혼입율이 증가할수록 비례적으로 수축이 작은 것을 알 수 있었는데, 그 경향은 W/B 30%인 경우가 35%보다 우수하였다.

적정 팽창제 혼입율은 W/B 30% 및 35%의 경우 건조수축이 가장 많이 보상되는것은 팽창제 혼입율 이 많은수룩이지만, 팽창제가 과량 혼입되면 유동성 및 강도가 저하되고 공기량은 증가하는 것으로 나타나 유동성 및 강도특성이 양호하면서 수축 보상효과가 있는 팽창제 혼입율은 5%가 적절한 것으로 분석된다.

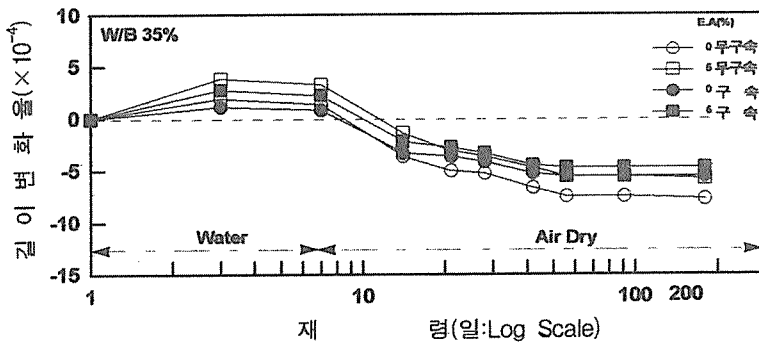
[그림 14]는 팽창제 혼입율 0%와 5%에서 구속방법과 무구속 방법의 길이변화율을 나타



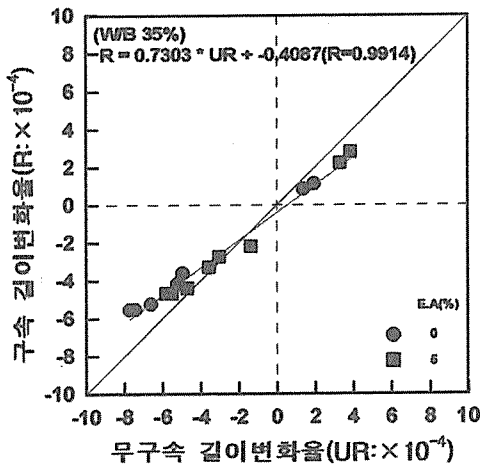
(그림 12) W/B별 팽창제 혼입율 변화에 따른 길이변화율



(그림 13) W/B별 팽창재 혼입율 변화에 따른 길이변화특성



(그림 14) 구속과 무구속의 길이변화율



(그림 15) 구속과 무구속 공시체의 길이변화특성

낸 것이고, [그림 15]는 [그림 14]을 또다른 각도에서 비교분석한 그래프이다.

전반적으로 큰 차이는 아닐지라도 팽창재 혼입을 0% 및 5% 모두 구속한 것이 구속하지 않은 시험체보다 더 작은 팽창 및 수축경향을 보였는데, 이는 구속함에 의한 케미컬 프리스트레스가 도입되어 팽창 및 수축력을 안정하게 유도한 것에 따라 나타난 현상으로 사료된다.

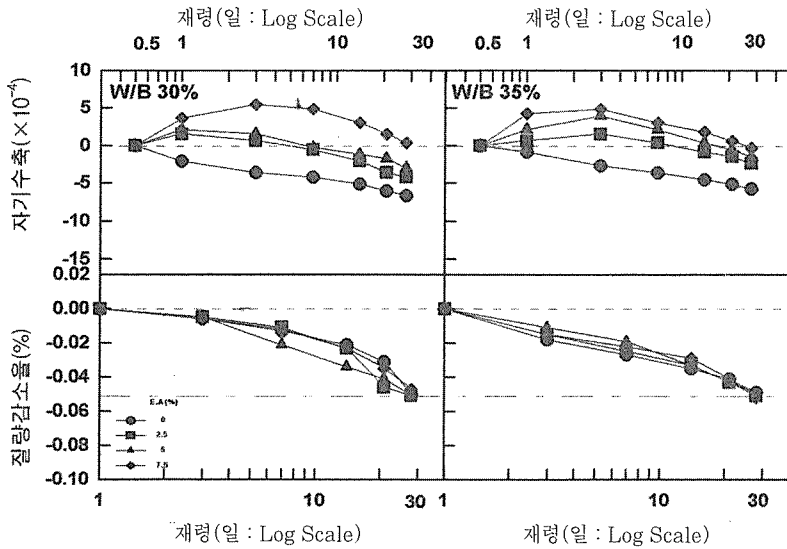
4.4 자기수축 특성

[그림 16]은 W/B별 및 팽창재 혼입율별 재령 경과에 따른 자기수축 및 질량감소율을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이고, [그림 17]은 W/B별 자

기수축율을 산점도로 비교한 것이다.

전반적인 경향으로는 팽창재를 혼입하지 않을 경우에는 초결이후 수화가 진행함에 따라 시멘트와 물이 수화반응되는 과정에서 자기수축이 꾸준히 진행되는데 특히, W/B가 작을수록 초기에 큰 자기수축이 일어나고 있다. 또한, 질량감소율은 W/B가 클수록 초기에 큰 것으로 나타났으나, 28일이내에서는 일본 콘크리트공학협회의 자기수축 측정방법에서 제한한 범위인 0.05% 이하의 규정치에는 대부분 만족하는 값을 나타낸다.

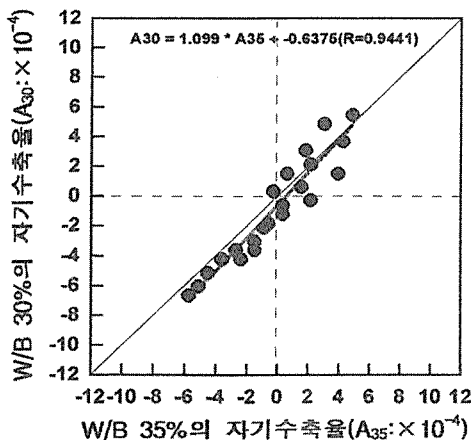
참고적으로 재령 28일 자기수축량은 W/B 30%인 경우 -6.67×10^{-4} , W/B 35%인 경우에는 -5.76×10^{-4} 로 나타나 보통 콘크리트의 건조수축량에 상응할 수 있는 정도로 큰 값임



(그림 16) W/B별 팽창재 혼입을 변화에 따른 자기수축 및 질량감소율

을 알 수 있다.

특히, W/B 30%에서 팽창재를 치환하지 않은 경우는 초기부터 꾸준한 수축을 보인 반면에 팽창재를 혼입하였을 경우 1일 및 3일에서 최대 팽창을 보였고, 그 이후 서서히 수축하였는데, 전반적으로는 W/B 30%가 W/B 35%보다 팽창이 큰 것으로 나타났다. 이는 W/B 30%인 경우가 W/B 35%인 경우보다 단위 시멘트량이 많아짐에 따라 팽창재 사용량도 많아



(그림 17) W/B별 자기수축 특성

짐으로써 팽창특성이 큰 것으로 분석된다.

또한, 팽창재 혼입을 2.5% 및 5%의 경우 W/B 30%는 재령 1일 이후부터 수축하기 시작하였으며, W/B 35%는 3일 이후부터 수축하였다.

이는 W/B가 작은 경우 단위시멘트량의 증가 등으로 인한 수화반응의 초기활성에 기인하여 자기수축이 크게 발생한 것으로 사료된다.

V. 결론

팽창재를 이용하여 품질이 더욱 향상된 고성능 콘크리트의 개발과 관련하여 굳지않은 콘크리트, 경화 콘크리트, 건조수축에 의한 길이변화 및 자기수축 특성등을 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 굳지않은 콘크리트에서 팽창재 혼입율이 증가함에 따라 슬럼프 플로우는 감소하였고, 공기량은 다소 증가하였으며, 응결시간은 지연되는 것으로 나타났다. 단, 재료분리저항을 및 충전높이는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

2) 경화 콘크리트에서의 강도특성은 팽창재 혼입율이 증가할수록 초기에는 저하되는 것으로 나타났으나 28일 이후는 2.5~5%에서 최대강도를 나타내었다.

3) 건조수축에 의한 길이변화율은 팽창재 혼입율이 증가할수록 수축보상 성능이 큰 것으로 나타났는데, 팽창재 5% 혼입하게 되면 팽창재 혼입율 0%보다 180일 재령일때 W/B 30% 및 35%에서 약 25~50% 정도의 수축보

상이 나타났다.

4) 자기수축 특성은 W/B가 작을수록 초기에 큰 수축경향으로 나타났는데, CSA팽창재를 5% 혼입함에 따라 28일재령에서 W/B 30%에서는 평균 3.6×10^{-4} , W/B 35%에서는 평균 4.2×10^{-4} 정도 자기수축 저감효과가 있는 것으로 분석되었다.

이상을 종합하여 볼 때 W/B 30% 및 35%에서 CSA계 팽창재를 5% 혼입하게 되면 유동성 및 강도특성이 양호하면서 건조수축 및 자기수축 보상효과가 있으므로 균열을 최소화하는 품질이 더욱 향상된 고성능 콘크리트의 개발이 가능한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 日本コンクリート工學協會；自己收縮研究委員會報告書, 1996.
2. 日本建築學會；膨脹材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針(案)・同解説, 1982.
3. 日本土木學會；膨脹コンクリート設計施工指針, 1993.
4. セメント・コンクリート研究會；Behavior of Water in Cement and Concrete, 1993.
5. 한천구, 반호용, 전병채, 홍상희；팽창재 종류 및 혼입율 변화에 따른 시멘트 모르타르의 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제14권, 제1호, 통권 제111호, 1997, pp.377~382.
6. 한천구, 반호용, 전병채, 신언구；팽창재를 혼입율 변화에 따른 콘크리트의 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제14권, 제5호, 통권 제115호, 1998, pp.349~354.

