

# 단위팽창재량 및 양생 환경요인 변화에 따른 콘크리트의 팽창특성

한 천 구

(청주대학교 건축공학과 교수·工博)

홍 상 희

(청주대학교 대학원 박사과정)

## 1. 서론

콘크리트 구조물에 발생하는 가장 큰 문제 중의 하나는 균열이다. 다양하게 발생하는 균열은 콘크리트의 수명으로 불리어져 왔으며 이미 오래전부터 이러한 균열문제는 많은 연구자에 의해 연구되어 왔는데, 현재까지도 균열저감에 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 최근에 많은 건설현장에서는 소비자 및 시공자의 요구수준 향상 등에 따라 콘크리트 구조물에서 발생하는 각종 수축균열을 제어할 목적으로 팽창재가 사용되어지고 있다.<sup>1)2)</sup>

그러나 이와같은 팽창재의 사용량에 대하여는 시공자의 인식부족으로 인하여 경우에 따라서는 적정량 이상이 혼입되어 과대팽창으로 인한 시공부실 사례도 발생한 바 있고, 또한 다양한 양생환경 변화에 따라 소정의 목적을 달성하지 못하는 사례도 있다.<sup>3)</sup>

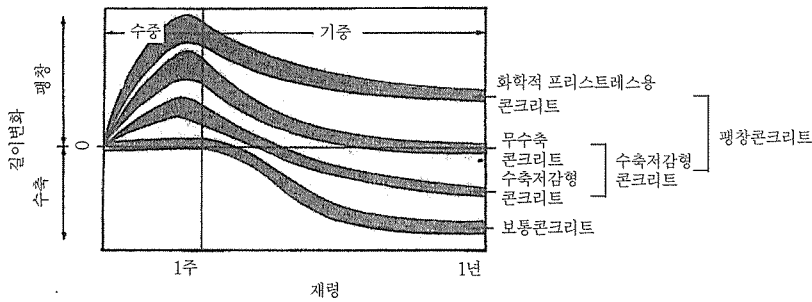
그러므로 본 연구에서는 고강도 및 일반강

도 범위에서 단위팽창재량 및 양생환경요인을 변화시킨 조건에서 굳지않은 콘크리트, 경화 콘크리트 특성과 길이변화 등 팽창특성을 분석하므로써 팽창콘크리트의 성상을 종합적으로 고찰하고자 한다.

## 2. 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 모르타 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



(그림 1) 팽창콘크리트의 개념 및 분류

(표 1) 팽창재에 대한 KS F 2562의 규정

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

함유하여 물로 반죽하였을 때 응결후 초기 경화기간중 부피가 현저하게 증가하는 시멘트로, 기본적으로 이 팽창은 칼슘알루미네이트와 황산칼슘에 의하여 일어난다"라고 정의되어 있다. 따라서 팽창 콘크리트란 건설교통부

제정(토목학회)콘크리트 표준시방서에 "팽창재를 시멘트, 물, 잔골재 및 굵은골재 등과 같이 비빈 것으로 경화한 후에도 체적 팽창을 일으키는 모든 콘크리트를 가르킨다"라고 정의

하고 있는데, 실은 팽창재 뿐만아니라 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 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 수축보상은 무수축 콘크리트와 수축저감형 콘크리

(표 2) 팽창재의 종류와 주요 구성화합물 및 수화생성물

종류	성 분	수화생성물	사용방법	판매형태
K형	· Calcium Sulfa Aluminate ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$ ) · CaO · $\text{CaSO}_4$	Ettringite	Portland cement 에혼입 5~15%	· 팽창시멘트 · 팽창재
M형	· alumina cement 또는 Calcium Aluminate (수화물) · $\text{CaSO}_4$	Ettringite	Portland cement 에혼입 5~15%	· 팽창재
S형	Portland cement 중의 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 와 $\text{CaSO}_4$ 를 많게 함	Ettringite	이것을 직접 사용	· 팽창시멘트
O형	· CaO	Calciumhydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Portland cement 에혼입 8~10%	· 팽창재

트로 나누어 진다.

## 2.2 팽창기구(Mechanism)

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

이때 에트링가이트와 수산화칼슘의 생성은 수화반응 전후의 부피변화율은 10.5% 및 5.7%의 수축이 발생하게 됨을 알 수 있다. 그러나 수화반응에 필요한 물은 모세관 공극등에 존재하는 것으로 물의 부피를 제외하고 고상부분의 부피변화만을 계산하면 오히려 수화전의 약 2배 정도가 됨을 알 수 있다. 결국 수화반응으로 인한 고상의 용적증가로 부피팽창이 일어난 것으로 볼수 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 수화생성물이 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 갖

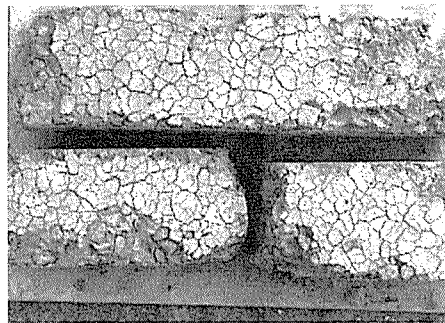
는 다공체의 부피변화와의 관계는 단순하게 비교·설명할수 없기 때문에 팽창메카니즘을 이해하려면 그 수화생성물의 석출이 어떻게 미세구조에 영향을 미치는지를 충분히 검토해야만 할 것이다.

## 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)

2) 팽창재의 성분, 제조회사에 따라 팽창량



[사진 1] 팽창재 혼입량에 따른 팽창특성

[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	$CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 + 2H_2O) + 2Ca(OH)_2 + 24H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$
S형	$3CaO \cdot Al_2O_3 + 3(CaSO_4 + 2H_2O) + 26H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$
O형	$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

은 다르므로 사전에 충분히 검토한다. 또한 일 부회사는 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 유의 한다.

4) 10~20℃와 같은 일정한 온도일 때 팽창콘크리트는 팽창을 일으키고 겨울철 혹은 고온인 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, 혼화재 및 혼화제의 종류에 따라서도 팽창량은 크게 영향받는 등 팽창콘크리트의 활용은 매우 세심한 주의 및 검토가 요구된다.

이상의 분석과 같은 팽창콘크리트를 실구조물에 활용할수 있는 예로는 다음과 같은 용도를 들수 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 균열 내력 향상목적

- 1) 원형저수조, 수로터널
- 2) 연속철근콘크리트 포장, 강섬유 보강 콘

크리트 포장

3) 교량의 합성바닥판

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

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

단위팽창재량 및 양생환경요인 변화에따른 콘크리트의 팽창특성을 분석하기 위한 본 연구의 실험계획 및 배합사항은 [표 4] 및 [표 5]와 같다. 먼저, 콘크리트의 배합사항으로 물결합재비(이하 W/B)는 40% 및 60%의 2개 수준으로 하였고 각각 W/B에서 [표 5]과 같이 단위팽창재량을 팽창재 혼입율 0%~10%까지 5%의 간격, 10%~25%까지 2.5%의 간격으로 단위팽창재량을 결정한 9개 수준으로 총 18배치를 실험계획 하였다. 이때 기본배합은 팽창재를 혼입하지 않은 배합에서 목표 슬럼프치 15~18cm에 맞는 단위수량 및 잔골재율을 결정하였고, 목표 공기량은  $4.5 \pm 1.5\%$ 로 하여 각 배합에 동일하게 적용하였다.

#### 3.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서 먼저, 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 [표 5]와 같다. 골재로서 잔골재는 강모래, 굵은골재는 최대치수 20mm 부순돌을 사용하였는데 물리적 성질은 [표 6]과 같다. 단, 사용한 강모래의 입도는 표준입도곡선 범위에 만족하는 것으로 하였다. 혼화재료로서 팽창재는 국내 D사에서 판매하고 있는 CSA계 팽창재를 사용하였는데, 그 화학적 성질은 [표 7]와 같다. 물은 상수도를 사용하였다.

[표 4] 실험계획

실험 요인		수 준											
배 합 사 항	W/B(%)	2	40, 60										
	단위팽창재량 (kg/m <sup>3</sup> )	9	W/B 40%	0	23	46	57	69	80	92	103	114	
			W/B 60%	0	15	31	38	46	53	61	69	76	
	목표슬럼프	1	15~18cm										
실험 사항													
굳지않은 콘크리트	4	■슬럼프 ■슬럼프 플로우 ■공기량 ■단위용적증량											
양생방법	3	■표준양생 (20±2℃) - 수중 7일후 기중양생 ■기중양생(W/B 40%) ■양생 온도(W/B 40%) - 5℃, 10℃, 20℃, 30℃											
경 화 콘크리트	5	■압축강도(3, 7, 28, 91, 180일) ■인장강도(28일) ■길이변화 ■동탄성계수 ■질량감소율											
구속방법	2	■제령 28일 압축강도에서 전체 무구속 및 W/B 40% - 단위팽창재량 0, 23, 46(kg/m <sup>3</sup> ) W/B 60% - 단위팽창재량 0, 15, 31(kg/m <sup>3</sup> ) 에서만 구속을 비교함.(φ10×20cm 공시체 제작)											

[표 5] 배합사항

W/B (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/A (%)	AE/C (%)	단위팽창재량 (kg/m <sup>3</sup> )	용적배합( l /m <sup>3</sup> )				중량배합(kg/m <sup>3</sup> )			
					C	S	G	U.E*	C	S	G	U.E*
40	183	36	0.27	0	145	226	401	0	458	569	1050	0
				23	138	225	400	8	435	568	1046	23
				46	131	225	400	16	412	567	1044	46
				57	127	225	400	20	400	567	1044	57
				69	123	225	400	24	389	567	1044	69
				80	120	225	400	27	377	567	1043	80
				92	115	225	400	32	366	566	1043	92
				103	113	225	400	35	355	566	1042	103
				114	109	225	400	39	343	566	1042	114
60	183	41	0.15	0	97	277	398	0	305	698	1040	0
				15	92	277	398	5	290	697	1039	15
				31	87	276	398	11	275	697	1038	31
				38	85	276	398	13	267	697	1038	38
				46	82	276	398	16	259	696	1038	46
				53	80	276	398	18	252	696	1037	53
				61	77	276	398	21	244	696	1037	61
				69	75	276	397	24	236	696	1037	69
				76	73	276	397	26	229	695	1036	76

\* U.E : 단위팽창재량

### 3.3 실험방법

[표 6] 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간 (분)		압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,430	0.06	236	332	210	280	376

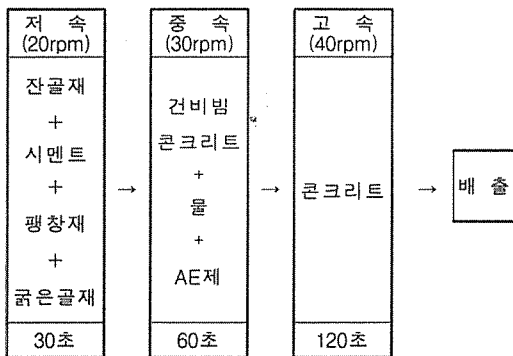
[표 7] 골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m <sup>3</sup> )	입형판정 실적율 (%)	0.08mm계 통과율 (%)
강모래	2.56	2.62	2.25	1530	61.0	2.06
부순돌	2.57	6.67	1.83	1532	59.0	-

[표 8] 팽창제의 화학적 성질(%)

CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Insol	SiO <sub>2</sub>	lg-loss	f-CaO
52.5	10.0	28.3	0.6	1.2	1.4	4.0	1.0	15.9

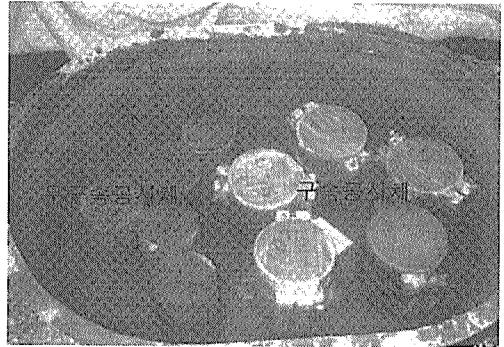
콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 이용하여 [그림 2]의 혼합순서에 따라 실시하였다.



[그림 2] 콘크리트의 배합

실험방법으로 압축(구속과 무구속), 인장강도 측정용 공시체(φ10×20cm)는 KS F 2403의 표준적인 방법으로 제작하였는데, 특히, 구속 공시체는 [사진 2]와 같이 몰드를 붙인채 습윤상태로 계획된 재령까지 양생하였다.

굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로



[사진 2] 구속 및 무구속 양생

우, 공기량 및 단위용적중량시험과 경화 콘크리트의 압축 및 인장강도는 KS 및 기준에 알려진 방법으로 실시하였다. 길이변화 시험은 KS F 2562의 규정에 의거 계속 기중양생과 7일 까지는 수중양생한 다음 그 이후는 기중양생(온도 20±2℃, 습도 60±5%)으로 건조시킨 후 KS F 2424 규정에 의한 다이알게이지 방법으로 실시하였으며, 동탄성계수는 KS F 2450 규정으로 실시하였다.

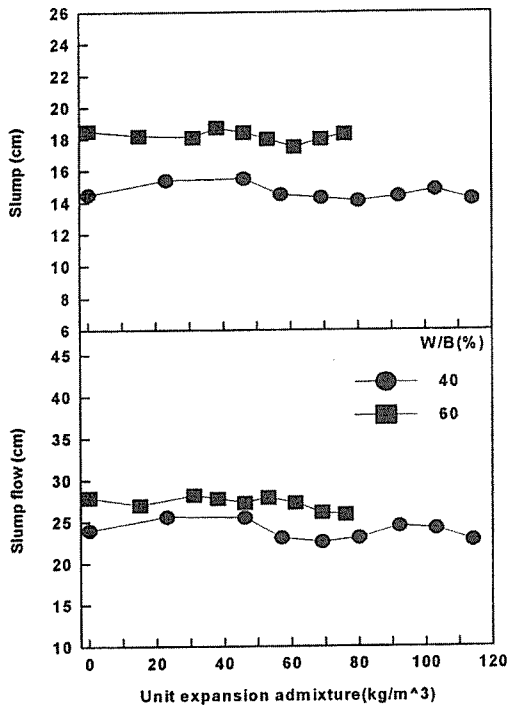
## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 굳지않은 콘크리트의 특성

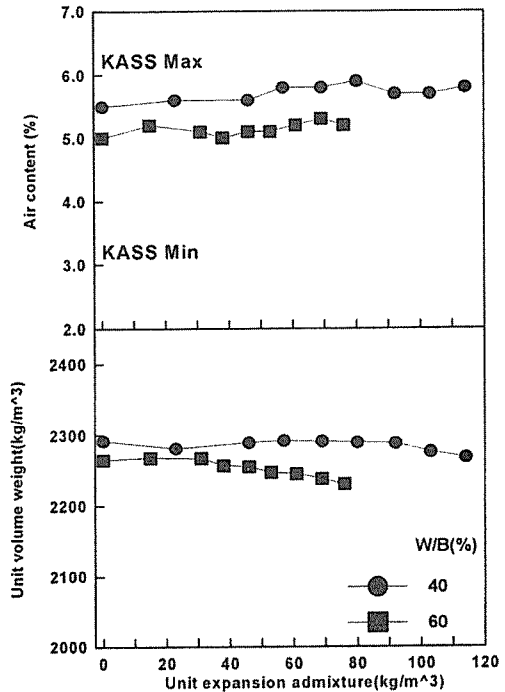
[그림 3]은 W/B별 단위팽창재량 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프 플로우치를 나타낸 꺾은선 그래프 이다. 전반적인 경향으로는 단위팽창재량이 증가함에 따라 슬럼프치는 큰 변화가 없으나 슬럼프플로우치는 약간 감소하는 경향으로 나타났다.

[그림 4]는 [그림 3]과 동일한 요령으로 W/B별 단위팽창재량 변화에 따른 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 그래프이다.

각 배합 공히 공기량은 KS 규정의 4.5±1.5%를 만족하는 양호한 결과로 나타났는데 단, 단위팽창재량이 증가함에 따라 공기량은



(그림 3) 단위팽창재량 변화에 따른 슬럼프 및 슬럼프 플로우치



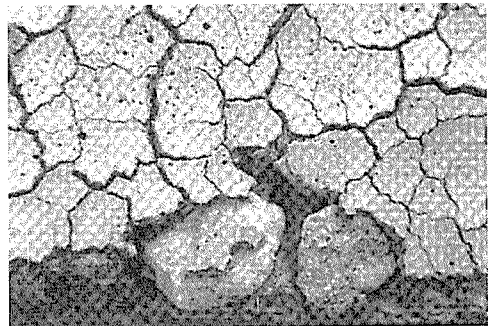
(그림 4) 단위팽창재량 변화에 따른 공기량 및 단위용적 중량

약간 증가하는 경향으로 나타났다. 또한, 단위 용적중량의 경우는 팽창재를 전혀 혼입하지 않은 것보다 단위팽창재량이 증가할수록 약간 감소하는 경향으로 나타났는데, 이는 팽창재의 비중이 시멘트 보다 작음 및 공기량 증가에 따라 나타낸 결과로 분석된다.

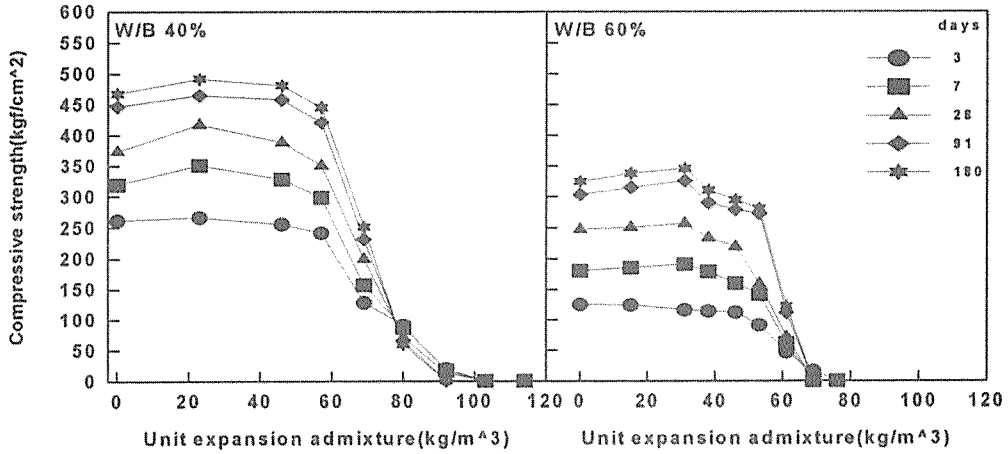
#### 4.2 경화 콘크리트의 특성

[그림 5]는 각 W/B 및 재령별에 있어 단위 팽창재량 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, [그림 6]은 [그림 5]를 또 다른 각도인 압축강도율로 분석한 것으로 즉, 각 W/B 및 재령별에 있어 팽창재를 혼입하지 않은 것을 100(%)으로 하여 단위팽창재량 변화에 따른 압축강도비를 비교한 그래프이다.

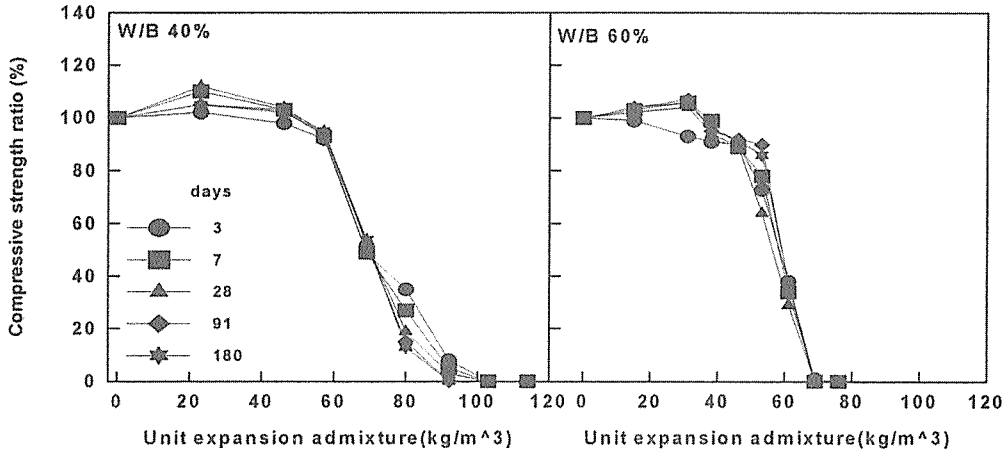
전반적인 경향으로는 W/B별 단위팽창재량이 증가할수록 초기 3일재령에서는 모두 감소하는 것으로 나타났는데, 특히, W/B 40%에서는 단위팽창재량 57kg/m³이상, W/B 60%에서는 단위팽창재량 46kg/m³이상에서는 강도저하가 크게 나타났다. 이는 [사진 3]에서



(사진 3) 팽창재의 과량 혼입으로 인한 팽창파괴



(그림 5) 단위팽창재량 변화에 따른 압축강도



(그림 6) 단위팽창재량 변화에 따른 압축강도비

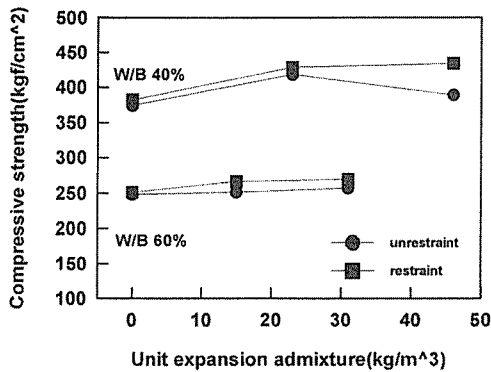
보여주듯이 팽창재가 과량 혼입되면 콘크리트 내부조직의 과대팽창압으로 인하여 골재의 부착강도를 저해할 뿐만아니라 팽창압으로 체적이 증가하므로 콘크리트 조직이 스스로 붕괴되어 강도발현이 작게 나타난 것으로 분석된다. 단, 재령이 경과함에 따라 상기의 일정 팽창재 사용량 이하에서의 압축강도는 조직 치밀화에 기인하여 약간 크게 증진되었다.

[그림 7]은  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  공시체에 대하여 구속과 무구속으로 제작한 후 재령 28일에서의

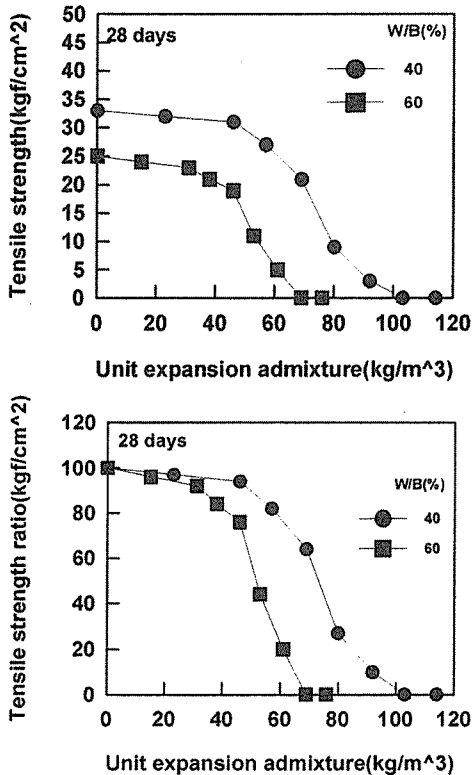
압축강도를 W/B 40%에서는 단위팽창재량  $0\text{kg/m}^3$ ,  $23\text{kg/m}^3$ ,  $46\text{kg/m}^3$ 과 W/B 60%에서는 단위팽창재량  $0\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$ ,  $31\text{kg/m}^3$ 인 경우에서만 비교한 그래프이다.

전반적으로 단위팽창재량이 증가할수록 구속 압축강도는 무구속 압축강도 보다 W/B 40% 및 60%에서 평균 2~5%정도 크게 나타났다. 이는 구속한 공시체의 경우가 케미컬프리스트레스 효과에 따라 콘크리트의 조직이 치밀화되어 플레인에 비하여 강도가 큰 것으





(그림 7) W/B별 및 단위팽창재량 변화에 따른 구속과 무구속공시체의 압축강도



(그림 8) 단위팽창재량 변화에 따른 인장강도 및 인장강도비

로 분석된다.

[그림 8]은 [그림 5] 및 [그림 6]과 동일한 요령으로 인장강도 및 인장강도비를 비교한

그래프이다.

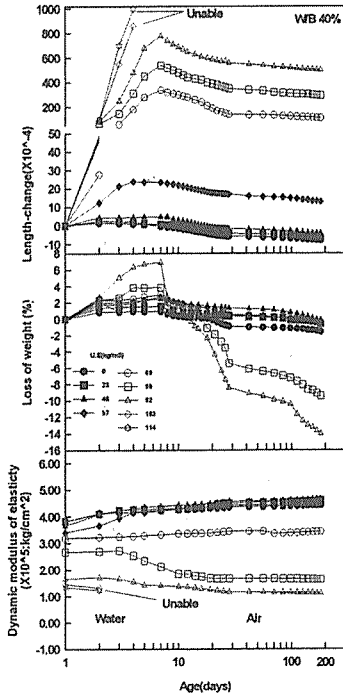
인장강도 및 인장강도비 특성에서는 W/B 40%, 60% 공히 초기부터 단위팽창재량이 증가함에 따라 강도가 저하하는 것으로 나타났는데, 전반적인 양상은 압축강도 및 압축강도비와 유사한 경향으로 나타났다.

### 4.3 팽창 특성

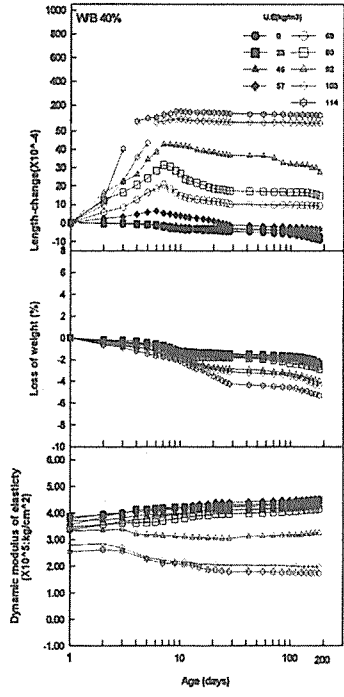
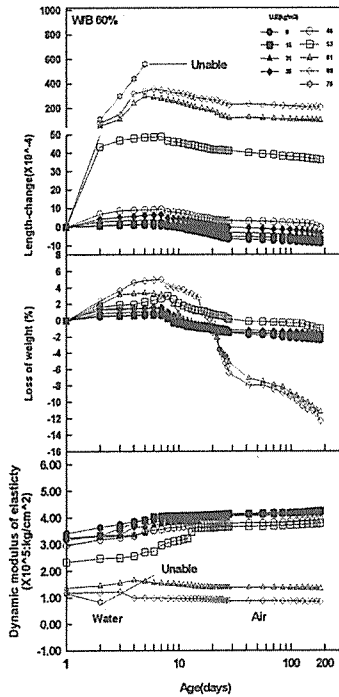
[그림 9]는 각 W/B 및 단위팽창재량별 7일 까지 수중양생 후 그 이후는 기중양생을 실시한 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수를 재령 경과에 따라 나타낸 그래프이다.

전반적으로 W/B 40% 및 60% 공히 수중양생 7일까지는 팽창재의 팽창성분인 에트링가이트의 양호한 생성으로 꾸준하게 팽창을 보이는 반면 7일 이후 기중양생에서는 건조작용으로 수축하기 시작하였다. 즉, W/B 40%인 경우에서 단위팽창재량 46kg/m³ 이하에서는 거의 유사한 경향을 나타낸 반면, 단위팽창재량 69kg/m³ 이상에서는 크게 팽창하여 수중양생 3일 이후에서는 다이알게이지 방법으로 측정 범위를 초과하므로 버니어캘리퍼스로 측정해야할 정도이었다.

참고적으로, 사진 4는 재령 1, 3, 7일에서 W/B 40%, 단위 팽창재량 0kg/m³, 114kg/m³ 인 경우의 전자현미경(SEM)사진으로서, 재령 3일 이후 단위 팽창재량 114kg/m³인 경우는 혼입된 과량의 팽창재에 기인하여 에트링가이트가 모노설페이트로 다량 전환된 것을 확인할 수 있었으며, 단위팽창재량 0kg/m³보다 수화생성이 매우 빠른 것으로 나타났다. 또한 [사진 5]는 W/B 40% 표준양생인 경우 재령 7일에서의 단위팽창재량 증가에 따른 팽창균열 발생 양상으로 단위팽창재량이 증가함에 따라 균열 폭, 크기 및 균열량의 증가를 확인할 수 있었는데, 단위팽창재량



(그림 9) W/B별 및 단위팽창재량 변화에 따른 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수 특성(표준양생)



(그림 10) W/B별 및 단위팽창재량 변화에 따른 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수 특성(기준양생)

46kg/m<sup>3</sup>이하에서는 균열은 나타나지 않은 반면 단위팽창재량 114kg/m<sup>3</sup>에서는 과팽창으로 인하여 팽창재를 혼입하지 않은 경우보다 약 10~13%의 부피팽창과 공기체의 표면에 복잡한 모양의 팽창균열을 보이면서 자연파괴됨을 확인할 수 있었다.

질량감소율은 수중양생 기간동안 단위팽창재량이 증가할수록 큰 질량증가율을 나타내었다. 이는 수중양생 기간동안 팽창재의 팽창작용으로 인한 공극의 증가로 물의 침입이 컸던 것으로 분석된다. 또한, 7일 수중양생 이후 건조시는 수분유출 및 증발이 컸을 뿐만 아니라 재량이 경과할수록 콘크리트 표면이 탈락하는 것에 기인하여 크게 감소하는 경향으로 나타났다.

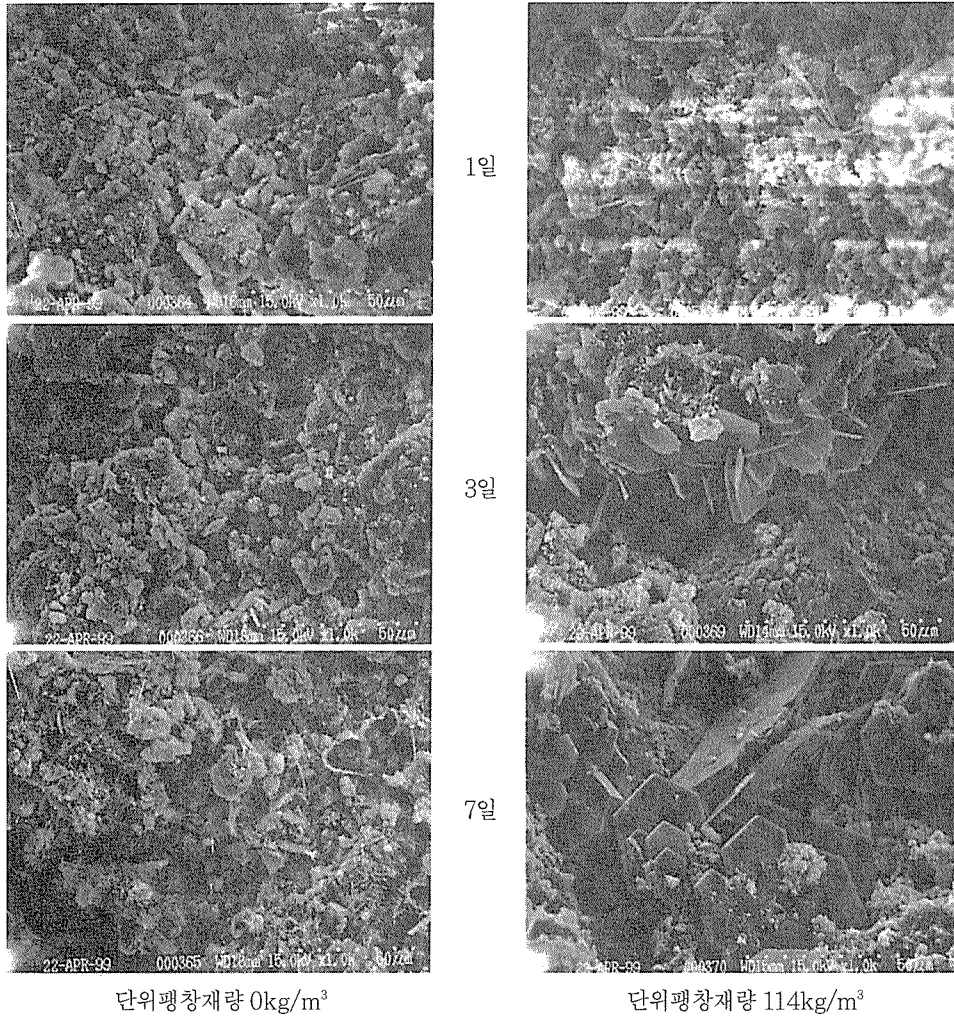
동탄성계수 특성에서도 W/B별 재량이 경

과할수록 동탄성계수는 증가하는 것으로 나타났다. W/B 40% 단위팽창재량 80kg/m<sup>3</sup> 이상 및 W/B 60% 단위팽창재량 61kg/m<sup>3</sup> 이상에서는 초기 과팽창 거동으로 인하여 콘크리트 조직이 밀실치 않아 재령 1일 및 3일 이후부터 꾸준히 감소하는 경향으로 나타났다.

#### 4.4 양생환경요인에 따른 팽창 특성

[그림 10]은 양생환경요인중 건조에 따른 팽창특성으로 [그림 9]와 동일한 요령으로 W/B 40%의 경우 기준양생에서의 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수를 나타낸 그래프이다.

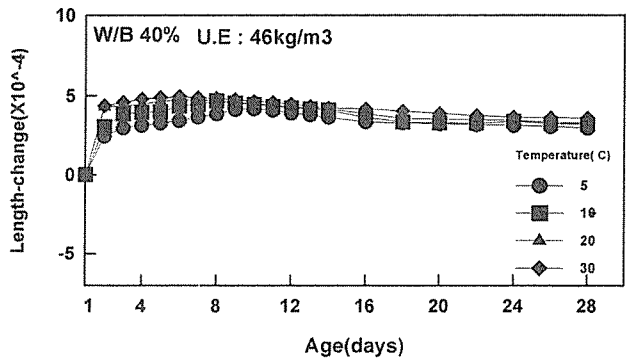
전반적으로 기준양생인 경우는 단위팽창재량 46kg/m<sup>3</sup> 이하에서는 초기수축이 적은 경



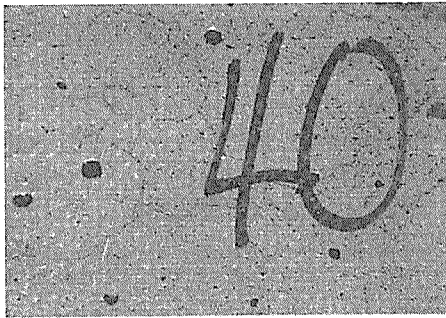
(사진 4) 표준양생시의 SEM 사진 (W/B 40%)

향이 있지만 팽창재 사용여부와 관계없이 계속 수축하는 경향으로 특히, 표준양생의 경우보다 팽창이 작은 경향으로 나타났는데 이는 팽창재를 혼입한 경우라도 에트린가이트의 수화반응 부진과 연관하여 거의 팽창작용을 발휘하지 못함에 기인한 것으로 사료된다.

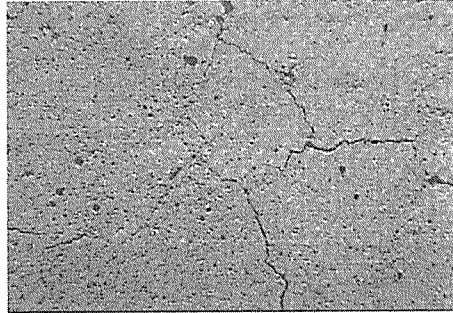
그러므로, 팽창재의 양호한 효력 발휘를 실현하기 위하여는 충분한 수중양생이 매우 중요하게 작용함을 시사하고



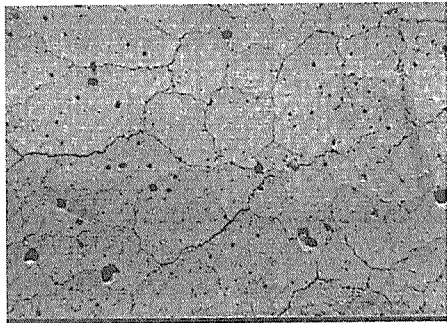
(그림. 11) 온도환경변화에 따른 길이변화율(수중양생)



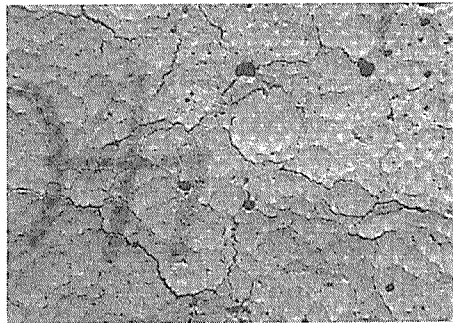
단위팽창재량 57kg/m<sup>3</sup>



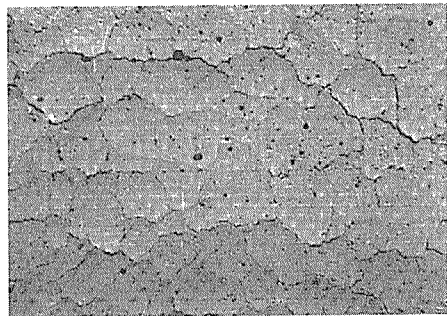
단위팽창재량 69kg/m<sup>3</sup>



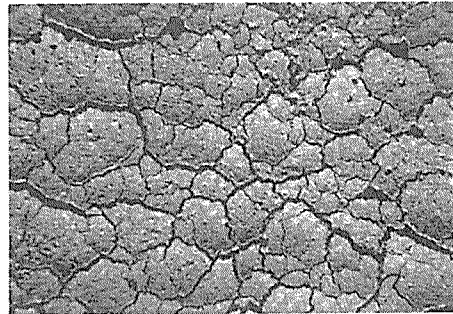
단위팽창재량 80kg/m<sup>3</sup>



단위팽창재량 92kg/m<sup>3</sup>



단위팽창재량 103kg/m<sup>3</sup>



단위팽창재량 114kg/m<sup>3</sup>

1일

3일

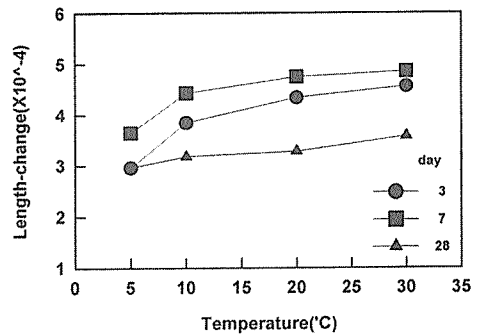
7일

(사진 5) 단위팽창재량에 따른 팽창균열 (W/B 40%)

있다. 또한, 질량감소율 및 동탄성계수는 수화 반응 부족에 기인하여 표준양생에서 나타낸 값보다 작은값의 변화로 나타났다.

[그림 11]은 수중양생에서 각 양생온도별 길이변화율을 단위팽창재량 46kg/m<sup>3</sup> 경우에 서만 비교한 그래프이며, [그림 12]는 3일, 7일 및 28일 길이변화율을 온도별로 비교한 그래프이다.

전반적으로 온도가 높을수록 초기에서 팽창

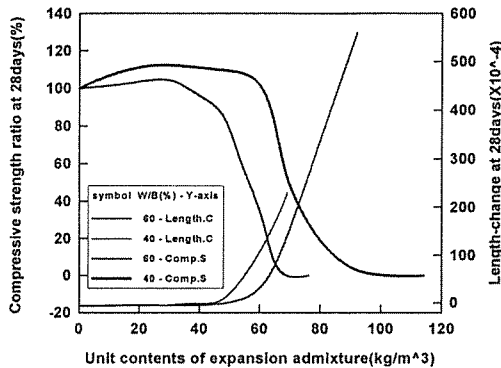


(그림 12) 온도에 따른 길이변화율

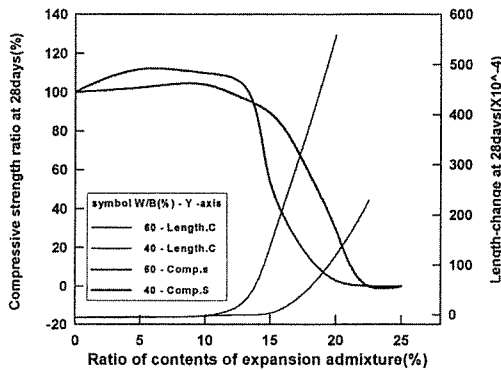
재의 양호한 수화반응으로 큰 팽창 경향을 보인 반면, 낮은 온도에서는 팽창재의 수화반응 부진으로 인하여 다소 작게 나타났다. 특히, 온도 20℃ 및 30℃에서는 초기의 높은 온도로 인한 수화생성물의 양호한 생성으로 3일에 최대 팽창을 보인 반면 낮은 온도인 5℃ 및 10℃에서는 7일 이후에서 최대 팽창이 나타났다.

#### 4.5 압축강도비 및 길이변화특성

[그림 13]은 W/B별 단위팽창재량에 따른 28일 압축강도비 및 길이변화율을 나타낸 것이고, [그림 14]는 [그림 13]를 또 다른 각도인 팽창재 혼입율별에 따라 분석한 그래프이다.



(그림 13) 단위팽창재량 변화에 따른 압축강도비 및 길이변화율



(그림 14) 팽창재혼입율 변화에 따른 압축강도비 및 길이변화율

팽창재를 혼입율로 표현하였을 경우는 단위 팽창재량으로 표현한 경우보다 팽창재 혼입율 12.5%이상에서는 동일 팽창재 혼입율일때 W/B별 팽창량에는 커다란 차이로 나타나고 있어 팽창재를 이용한 배합설계시 팽창재량의 표현을 시멘트량에 대한 혼입율 보다는 단위 팽창재량으로 표현 및 관리하는 것이 올바른 방법일 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

팽창재를 이용한 콘크리트의 단위팽창재량 및 양생환경요인 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성 및 경화 콘크리트의 강도 및 팽창 특성을 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 단위팽창재량이 증가함에 따라 유동성 및 단위용적 중량은 감소하고, 공기량은 증가하는 것으로 나타났다.

2) 경화 콘크리트에서의 강도특성은 W/B 40%에서는 단위팽창재량 50kg/m<sup>3</sup>정도, W/B 60%에서는 단위팽창재량 30kg/m<sup>3</sup>이하에서는 약간 증가하는 반면 그 이상에서는 크게 저하 되는 것으로 나타났다.

3) 길이변화특성은 표준양생보다 기중양생의 경우는 단위팽창재량이 증가하더라도 수화반응 부진에 기인하여 매우 작은 팽창량을 나타내고 있음에 팽창콘크리트의 습윤양생조건은 매우 중요함을 알수 있었다. 또한, 질량감소를 및 동탄성계수도 단위팽창재량 증가에 따라 수화반응과 관련하여 표준양생에서 나타난 값보다 작게 나타났다.

4) 양생온도 변화에 따른 길이변화율은 높은 온도에서 양호한 수화반응으로 큰 팽창 경향을 나타낸 반면 낮은 온도에서는 팽창재의 수화반응 부진으로 초기 팽창성능은 작게 나타났다.

5) 단위팽창재량에 따른 압축강도비는 단위팽창재량 30~50kg/m<sup>3</sup>에서는 약간 증가한 반면 그 이후에서는 급속히 감소하였으며, 길이변화율은 반대의 경향으로 단위팽창재량 60kg/m<sup>3</sup> 이상에서는 큰 팽창으로 나타났다.

## 참고문헌

- 1) 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.
- 2) 日本土木學會; 膨脹コンクリート設計施工指針, 1993.
- 3) 한천구, 반호용, 전병채, 홍상희; 팽창재 종류 및 혼입률 변화에 따른 시멘트 모르타의 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제14권 1호 통권 111호, 1998.
- 4) 한천구, 반호용, 전병채, 홍상희; CSA계 팽창재 및 무기질 혼화재를 이용한 고성능 콘크리트의 특성에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 1999.
- 5) 홍상희, 김정진, 강두용, 류현기, 한천구; 팽창재를 이용한 콘크리트의 양생환경에 따른 팽창특성, 콘크리트학회 학술발표논문집, 제11권 2호, 1999.
- 6) 한천구, 한성수, 김정진, 홍상희; 팽창재량 및 양생환경 변화에 따른 시멘트 모르타의 팽창특성에 관한 연구, 대한건축학회연합논문집, 제2권, 1호(통권2호), 2000.2, pp.159~164.
- 7) 김정진, 한성수, 홍상희, 김기철, 한천구; 팽창재를 이용한 시멘트 모르타의 팽창특성에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제19권 제1호, 1999, pp. 415~420.

