

단위 팽창재량 및 양생 환경요인 변화에 따른 콘크리트의 팽창 특성

Expansion Properties of Concrete under Various Unit Contents of Expansion Admixture and Curing Conditions



한 천 구*

Han Cheon-Goo



류 현 기**

Ryu Hyun-Ki



홍 상 회***

Hong Sang-Hee



김 정 진****

Kim Jeong-Jin

ABSTRACT

Usually, the expansive additives is used to prevent the occurrence of drying shrinkage in concrete. However it may sometimes be over-added in field due to the insufficient cognition of constructor's, which may cause the serious problems in concrete structures. In this study the experiments are performed to present the expansion properties of concrete by varying the water to binder ratios, unit contents of expansive additives and curing conditions. By the results, the strength showed an increase with the addition of expansion additives from 30kg/m^3 up to 50kg/m^3 , and a great decrease by contraries if the larger amount are added. Also the more the expansion additives were used, the more length change occurred in concrete. In view of the curing conditions, the concrete by air cured appeared a little expansion even the unit expansion additives increased, which showed an opposite inclination of that with standard curing. This could be explained by the less occurrence of hydration in air condition which also lead to the little expansion of concrete. Hence the expansion concrete to be cured in water or moisture condition became an especial important thing. concrete using expansive additives showed that high expansion was taken place with the rise of temperature.

Keywords : CSA type expansion admixture, unit contents of expansion admixture, properties of expansion

* 정회원, 청주대 건축공학과 교수

** 정회원, 충주대 건축공학과 교수

*** 정회원, 청주대 대학원 건축공학과 박사과정

**** 정회원, 청주대 대학원 건축공학과 석사과정

·본 논문에 대한 토의를 2000년 6월 30일까지 학회로
보내 주시면 2000년 8월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근, 건설현장에서는 소비자 및 시공자의 요구수준 향상 등에 따라 콘크리트 구조물에서 발생하는 각종 수축균열을 제어할 목적으로 팽창재가 사용되어지고 있다.^(1,2)

그러나 이와같은 팽창재의 사용량에 대하여는 시공자의 인식부족으로 인하여 경우에 따라서는 적정량 이상을 혼입하는 경우도 발생하여 과팽창으로 인한 시공부실 사례도 발생한 바 있고, 또한 다양한 양생환경변화에 따라 소정의 목적을 달성하지 못하는 사례도 있다.⁽³⁾

그러므로 본 연구에서는 고강도 및 일반강도 범위에서 단위팽창재량 및 양생환경요인을 변화시킨 조건에서 굳지않은 콘크리트, 경화 콘크리트 특성과 길이변화 등 팽창특성을 분석하브르써 팽창 콘크리트의 성상을 종합적으로 고찰하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 Table 1

및 2와 같다. 먼저, 콘크리트의 배합사항으로 물결합재비(이하 W/B)는 40% 및 60%의 2개 수준으로 하였고, 각각 W/B에서 Table 1과 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.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서 먼저, 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 Table 3과 같다. 골재로서 잔골재는 강모래, 굵은골재는 최대치수 20mm 부순돌을 사용하였는데 물리적 성질은 Table 4와 같다. 단, 사용한 강모래의 입도는 표준입도곡선 범위에 만족하는 것으로 하였다. 혼화재료로서 팽창재는 국내 D사에서 판매하고 있는 CSA계 팽창재를 사용하였는데, 그 화학적 성질은 Table 5와 같다. 물은 상수도를 사용하였다.

Table 1 Test plan

Factor		Levels										
mix design	W/B(%)	2	40, 60									
	Unit contents of expansion admixture (kg/m ³)	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
Target slump	1	15~18cm										
Measurement												
Fresh concrete	4	■ slump ■ slump flow ■ air content ■ unit volume weight										
Curing method	3	■ standard curing (20±2℃) - Air curing after water curing at 7 days ■ air curing(W/B 40%) ■ curing temperature(W/B 40%) - 5℃, 10℃, 20℃, 30℃										
Hardened concrete	5	■ compressive strength(3, 7, 28, 91, 180 days) ■ tensile strength(28days) ■ length-change ■ dynamic modulus of elasticity ■ loss of weight										
Constraint	2	■ compressive strength of specimens both unrestraint and restraint at 28 days W/B 40% - unit contents of expansion admixture 0, 23, 46(kg/m ³) W/B 60% - unit contents of expansion admixture 0, 15, 31(kg/m ³) comparison of restraints (φ 10×20cm mould)										

Table 2 Mix proportions

W/B (%)	Unit water (kg/m ³)	S/A (%)	AE/C (%)	Unit contents of expansion admixture (kg/m ³)	Volume (ℓ/m ³)				Weight (kg/m ³)			
					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
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 : Unit contents of expansion admixture

Table 3 Physical properties of cement

Specific gravity	Blaine (cm/g)	Soundness (%)	Setting time(min.)		Compressive strength (kgf/cm ²)		
			Ini.	Fin.	3d	7d	28d
3.15	3.430	0.06	236	332	210	280	376

Table 4 Physical properties of aggregates

Kinds	Specific gravity	F.M	Absorption ratio (%)	Unit weight (kg/m ³)	Solid volume percentage of shape variation
River sand	2.56	2.62	2.25	1530	61.0%
Crushed aggregate	2.57	6.67	1.83	1532	59.0%

Table 5 Chemical properties of expansive admixture(%)

CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	In.Re	SiO ₂	lg.loss	f-CaO
52.5	10.0	28.3	0.6	1.2	1.4	4.0	1.0	15.9

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 강제식 팬 믹서를 이용하여 Fig. 1의 혼합순서에 따라 실시하였다.

실험방법으로 압축(구속과 무구속), 인장강도 측정용 공시체(φ10×20cm)는 KS F 2403의 표준적인 방법으로 제작하였는데, 특히, 구속 공시체는 물을 불인체 습윤상태로 계획된 재령까지 양생하였다.

굳지않은 콘크리트의 슬럼프, 슬럼프플로우, 공기

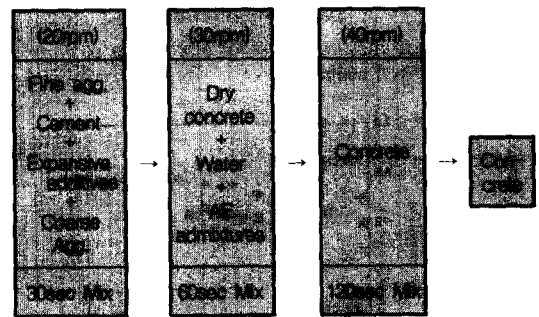


Fig. 1 Mixing procedure of concrete

량 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.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

Fig. 2는 W/B별 단위팽창재량 변화에 따른

슬럼프, 슬럼프 플로우치를 나타낸 꺾은선 그래프이다. 전반적인 경향으로는 단위팽창재량이 증가함에 따라 슬럼프치는 큰 변화가 없으나 슬럼프 플로우치는 약간 감소하는 경향으로 나타났다.

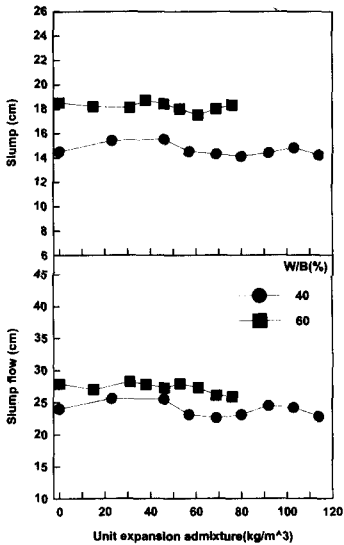


Fig. 2 Change in slump and slump flow by use of expansion admixture

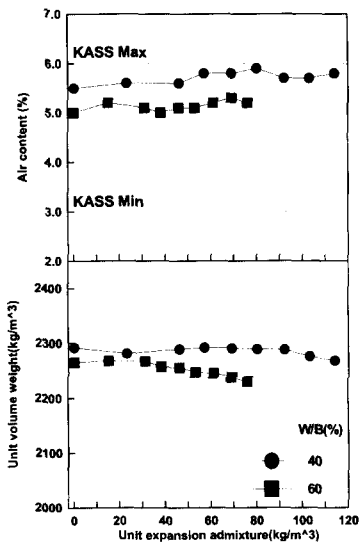


Fig. 3 Change in air content and unit volume weight by use of expansion admixture

Fig. 3은 Fig. 2와 동일한 요령으로 W/B별 단위팽창재량 변화에 따른 공기량 및 단위용적중량을 나타낸 그래프이다.

각 배합 공허 공기량은 KS 규정의 $4.5 \pm$

1.5%를 만족하는 양호한 결과로 나타났는데 단, 단위팽창재량이 증가함에 따라 공기량은 약간 증가하는 경향으로 나타났다. 또한, 단위용적중량의 경우는 팽창재를 전혀 혼입하지 않은 것보다 단위팽창재량이 증가할수록 약간 감소하는 경향으로 나타났는데, 이는 팽창재의 비중이 시멘트 보다 작음 및 공기량 증가에 따라 나타난 결과로 분석된다.

3.2 경화 콘크리트의 특성

Fig. 4는 각 W/B 및 재령별에 있어 단위팽창재량 변화에 따른 압축강도를 나타낸 것이고, Fig. 5는 Fig. 4를 또 다른 각도인 압축강도를 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 57 kg/m^3 이상, W/B 60%에서는 단위팽창재량 46 kg/m^3 이상에서는 강도저하가 크게 나타났다.

이는 Photo 1에서 보여주듯이 팽창재가 과량 혼입되면 콘크리트 내부조직의 과대팽창압으로 인하여 골재의 부착강도를 저해할 뿐만아니라 팽창압으로 체적이 증가하므로 콘크리트 조직이 스스로 붕괴되어 강도발현이 작게 나타난 것으로 분석된다.

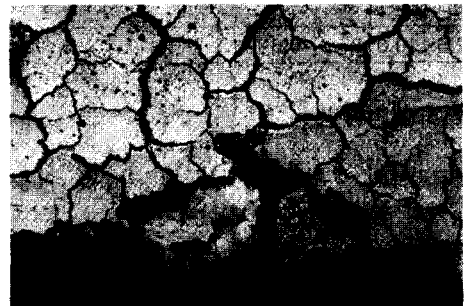


Photo 1 Interfacial failure between aggregate and paste due to expansion

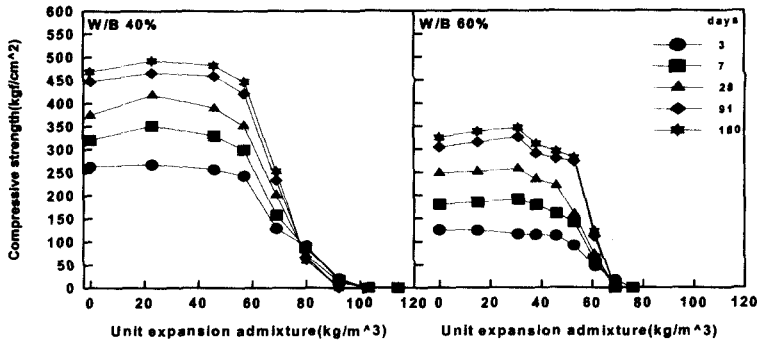


Fig. 4 Change in compressive strength by use of expansion admixture

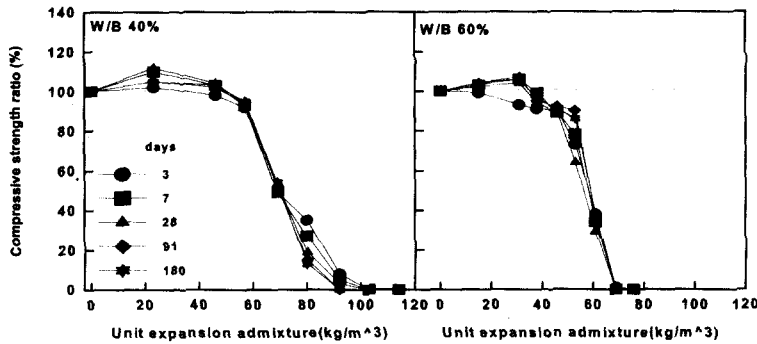


Fig. 5 Ratio of compressive strength

단, 재령이 경과함에 따라 상기의 일정 팽창재 사용량 이하에서의 압축강도는 조직 치밀화에 기인하여 약간 크게 증진되었다.

Fig. 6는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 공시체에 대하여 구속과 무구속으로 제작한 후 재령 28일에서의 압축강도를 W/B 40%에서는 단위팽창재량 0 kg/m^3 , 23 kg/m^3 , 46 kg/m^3 과 W/B 60%에서는 단위팽창재량 0 kg/m^3 , 15 kg/m^3 , 31 kg/m^3 인 경우에서만 비교한 그래프이다.

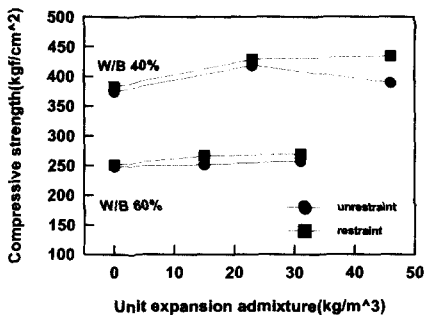


Fig. 6 Compressive strength of restrained and unrestrained concrete using different W/B ratios and expansion admixture

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 것으로 분석된다.

Fig. 7은 Fig. 4 및 5와 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.

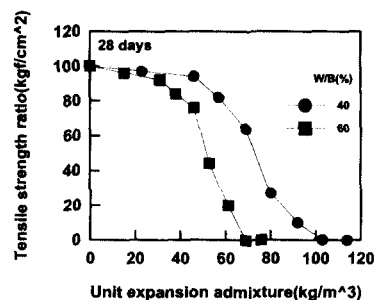
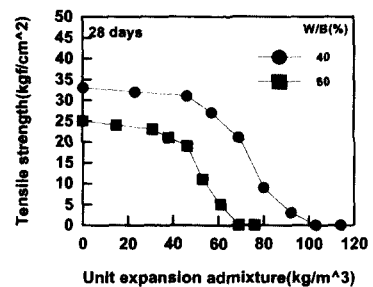


Fig. 7 Tensile strength and ratio of tensile strength

3.3 팽창 특성

Fig. 8은 각 W/B 및 단위팽창재량별 7일까지 수중양생 후 그 이후는 기중양생을 실시한 길이 변화율, 질량감소율 및 동탄성계수를 재령 경과에 따라 나타낸 그래프이다.

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

참고적으로, Photo 2는 재령 1, 3, 7일에서 W/B 40% 단위팽창재량 0 kg/m^3 , 114 kg/m^3 인 경우의 전자현미경(SEM)사진으로서, 재령 3

일 이후 단위팽창재량 114 kg/m^3 인 경우는 혼입된 과량의 팽창재에 기인하여 에트리נג가이트가 모노설페이트로 다량 전환된 것을 확인할 수 있었으며, 단위팽창재량 0 kg/m^3 보다 수화생성이 매우 빠른것으로 나타났다. 또한 Photo 3은 W/B 40% 표준양생인 경우 재령 7일에서의 단위팽창재량 증가에 따른 팽창균열 발생 양상으로 단위팽창재량이 증가함에 따라 균열 폭, 크기 및 균열량의 증가를 확인할수 있었는데, 단위팽창재량 46 kg/m^3 이하에서는 균열은 나타나지 않은 반면 단위팽창재량 114 kg/m^3 에서는 과팽창으로 인하여 팽창재를 혼입하지 않은 경우보다 약 10~13%의 부피팽창과 공시체의 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 분석된

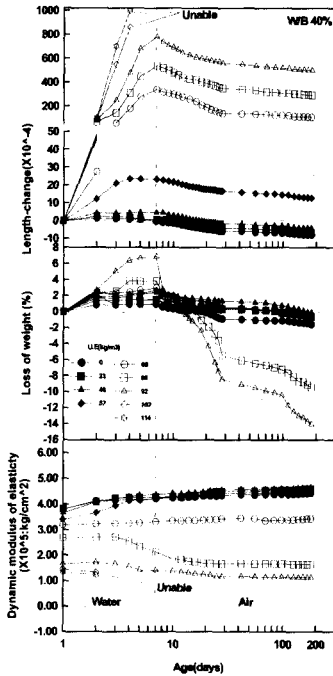


Fig. 8 Change in length, dynamic modulus of elasticity, and weight loss of concrete using different W/B ratios and expansion admixture (water curing)

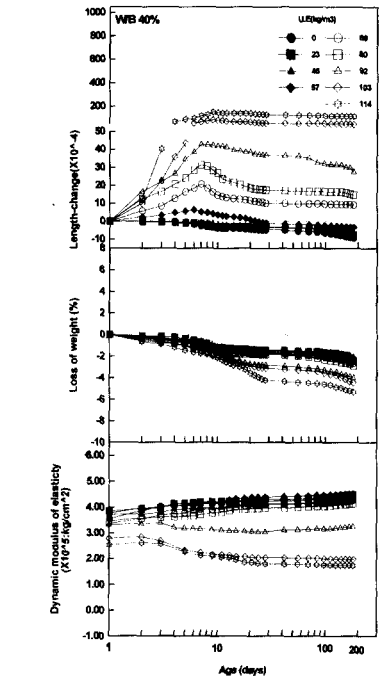
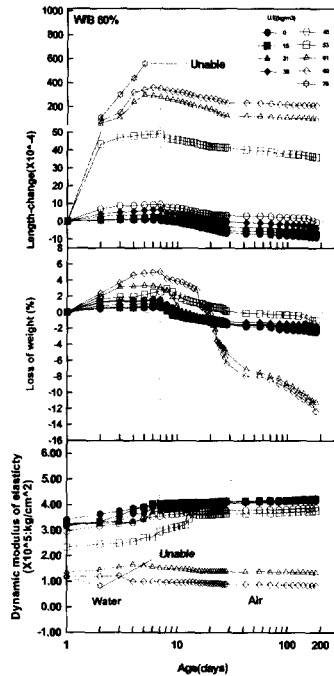
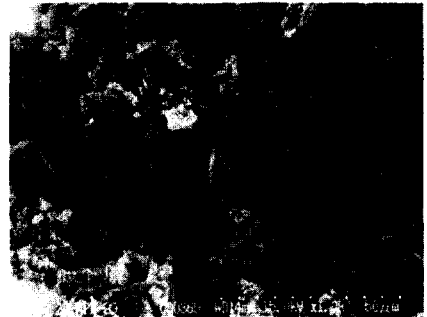


Fig. 9 Change in length, dynamic modulus of elasticity, and weight loss of concrete using different W/B ratios and expansion admixture (air curing)

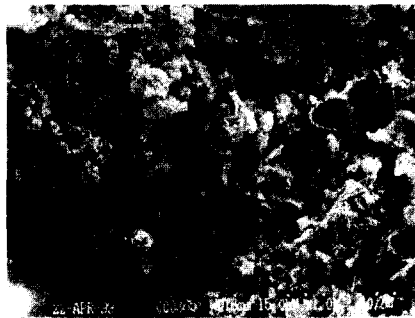
1 day



3 day



7 day



Unit contents of expansion admixture 0kg/m³

Unit contents of expansion admixture 114kg/m³

Photo 2 SEM under standard water curing(W/B 40%, after 7days)

다. 또한, 7일 수중양생 이후 건조시는 수분유출 및 증발이 컸을 뿐만아니라 재령이 경과할수록 콘크리트 표면이 탈락하는 것에 기인하여 크게 감소하는 경향으로 나타났다.

동탄성계수 특성에서도 W/B별 재령이 경과할 수록 동탄성계수는 증가하는 것으로 나타났으나, W/B 40% 단위팽창재량 80 kg/m³이상 및 W/B 60% 단위팽창재량 61 kg/m³이상에서는 초기 팽창 거동으로 인하여 콘크리트 조직이 밀실치 않아 재령 1일 및 3일 이후부터 꾸준히 감소하는

경향으로 나타났다.

3.4 양생환경요인에 따른 팽창 특성

Fig. 9는 양생환경요인중 건조에 따른 팽창 특성으로 Fig. 8과 동일한 요령으로 W/B 40%의 경우 기중양생에서의 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수를 나타낸 그래프이다.

전반적으로 기중양생인 경우는 단위팽창재량 46 kg/m³ 이하에서는 초기수축이 적은 경향이 있지만 팽창재 사용여부와 관계없이 계속 수축하는

경향으로 특히, 표준양생의 경우보다 팽창이 작은 경향으로 나타났는데 이는 팽창재를 혼입한 경우라도 에트링가이트의 수화반응 부진과 관련하여 거의 팽창작용을 발휘하지 못함에 기인한 것으로 사료된다.

그러므로, 팽창재의 양호한 효력 발휘를 실현하기 위하여는 충분한 수중양생이 매우 중요하게 작용함을 시사하고 있다. 또한, 질량감소율 및 동탄성계수는 수화반응 부족에 기인하여 표준양생

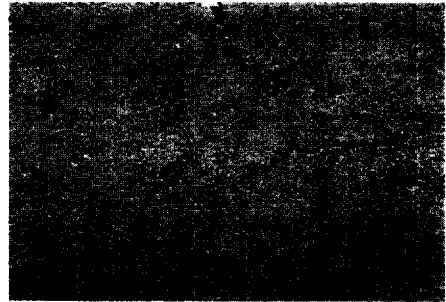
에서 나타난 값보다 작은값의 변화로 나타났다.

Fig. 10은 수중양생에서 각 양생온도별 길이변화율을 단위팽창재량 46 kg/m^3 경우에서만 비교한 그래프이며, Fig. 11은 3일, 7일 및 28일 길이변화율을 온도별로 비교한 그래프이다.

전반적으로 온도가 높을수록 초기에서 팽창재의 양호한 수화반응으로 큰 팽창 경향을 보인 반면, 낮은 온도에서는 팽창재의 수화반응 부진으로 인하여 다소 작게 나타났다. 특히, 온도 20°C 및



Unit contents of expansion admixture 57 kg/m^3



Unit contents of expansion admixture 69 kg/m^3



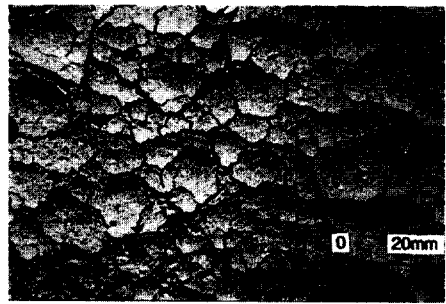
Unit contents of expansion admixture 80 kg/m^3



Unit contents of expansion admixture 92 kg/m^3



Unit contents of expansion admixture 103 kg/m^3



Unit contents of expansion admixture 114 kg/m^3

Photo 3 Expansion cracks of concrete using different contents of expansion admixture (W/B 40%)

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.

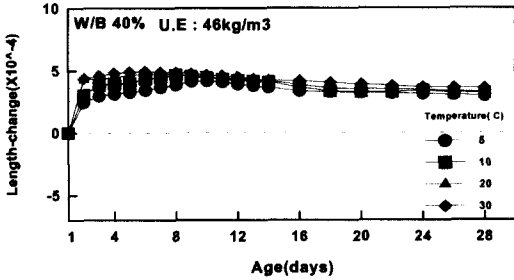


Fig. 10 Rate of change in length by curing temperature

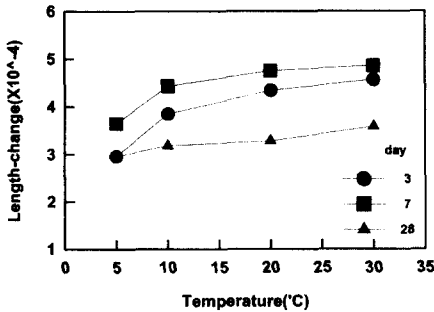


Fig. 11 Length change by curing temperature

3.5 압축강도비 및 길이변화특성

Fig. 12는 W/B별 단위팽창재량에 따른 28일 압축강도비 및 길이변화율을 나타낸 것이고, Fig 13은 Fig. 12를 또 다른 각도인 팽창재 혼입율에 따라 분석한 그래프이다.

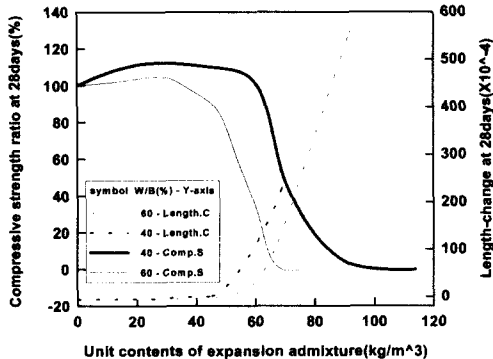


Fig. 12 Ratios of compressive strength and length change under different unit contents of expansion admixture

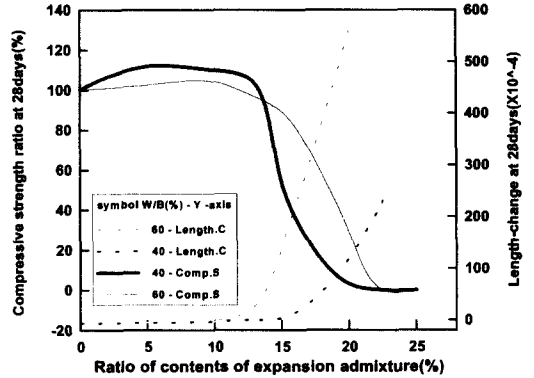


Fig. 13 Ratios of compressive strength and length change under different ratios of contents of expansion admixture

팽창재를 혼입율로 표현하였을 경우는 단위팽창재량으로 표현한 경우보다 팽창재 혼입율 12.5% 이상에서는 동일 팽창재 혼입율때 W/B 별 팽창량에는 커다란 차이로 나타나고 있어 팽창재를 이용한 배합설계시 팽창재량의 표현을 시멘트량에 대한 혼입을 보다는 단위팽창재량으로 표현 및 관리하는 것이 올바른 방법일 것으로 사료된다.

4. 결론

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

- 1) 굳지 않은 콘크리트의 특성으로 단위팽창재량이 증가함에 따라 유동성 및 단위용적중량은 감소하고, 공기량은 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 경화 콘크리트에서의 강도특성은 W/B 40%에서는 단위팽창재량 50kg/m³정도, W/B 60%에서는 단위팽창재량 30kg/m³이하에서는 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, 질량감소

을 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 30~50 kg/m³에서는 약간 증가한 반면 그 이후에서는 급속히 감소하였으며, 길이변화율은 반대의 경향으로 단위팽창재량 60 kg/m³ 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査設計・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 모르타르의 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.

요 약

최근, 건설현장에서는 소비자 및 시공자의 요구수준향상 등에 따라 콘크리트 구조물에서 발생하는 각종 수축균열을 제어할 목적으로 팽창재가 사용되어지고 있다. 그러나 이와같은 팽창재의 사용량에 대하여는 시공자의 인식부족으로 인하여 경우에 따라서는 적정량 이상을 혼입하는 경우도 발생하여 강도저하등 과팽창으로 인한 구조물의 시공부실 사례도 발생한 바있고, 또한 양생환경 불량으로 소정의 팽창량을 발휘하지 못한 사례도 있다. 그러므로 본 연구에서는 물결합재비 40 및 60%에 있어 단위팽창재량과 양생환경요인을 변화시킨 조건에서 팽창콘크리트의 팽창특성을 고찰하였다. 실험결과 단위팽창재량이 증가할수록 강도는 30~50kg/m³에서는 증가하는 반면 그이상에서는 크게 저하되는 것으로 나타났으며, 길이변화율은 단위팽창재량이 증가할수록 큰 팽창특성을 나타냄을 알수있었다. 특히, 양생환경요인에서는 표준양생보다 기중양생의 경우는 단위팽창재량이 증가하더라도 수화반응 부진에 기인하여 매우 작은 팽창량을 나타내고 있음에 팽창콘크리트의 습윤양생조건은 매우 중요함을 알수 있었고, 또한 양생온도가 높을수록 초기에 많은 팽창량이 발휘되고 있어, 양생온도의 중요성도 확인할수 있었다.

(접수일자 : 1999. 11. 12.)