팽창재량 및 양생방법에 따른 시멘트 모르터의 특성에 관한 연구

A Study on the Properties of Cement Mortar with the Content of Expansive Additives Under Various Curing Method

한 성 수* 김 정 진* 김 효 구* 홍 상 희** 한 천 구***
Han, Sung Soo Kim, Jeong Jin Kim, Hyo Goo Hong, Sang Hee Han, Cheon Goo

ABSTRACT

When the expansive additives are used in concrete to reduce the shrinkage cracking, it shows variable properties with the curing method and curing temperature. Therefore, in this study, the experiments are perfomed to present the expansion of cement mortar by varying the unit additions of expansive additives and the curing method. According to the test results, the order of expansion by curing method, which is caused by hydration heat of cement, is follows ; curing at water > curing at air after curing at water for 7 days > curing at air. Cement mortar using expansive additives shows that high expansion is place with rise of temperature.

1. 서 론

콘크리트 구조물에 발생하는 가장 큰 문제중의 하나는 균열이다. 균열은 콘크리트의 숙명처럼 불리어져 왔으며 오래전부터 이러한 균열문제에 대해서 많은 연구자들에 의하여 연구되어지고 있다. 따라서, 최근 건설현장에서는 소비자 및 시공자의 요구수준의 향상으로 고기능 및 고품질을 요구하며 특히, 각종 균열제어에 많은 노력을 기울이고 있는데, 균열방지 대책으로 가장 효과적인 방법은 혼화재중 팽창재를 사용하는 것으로 알려지고 있다.

팽창재란 KS 규격에 시멘트 및 물을 함께 혼합하였을 경우 수화반응에 의하여 에트린가이트(Ettringite) 또는 수산화 칼슘 등을 생성하고, 모르터 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재료로 정의 하고 있다.

그러나 균열제어 목적으로 사용되어지고 있는 팽창재는 시공자의 인식부족으로 인하여 콘크리트를 타설한 후 양생방법의 불량으로 기대이상의 효과를 얻지 못하는 경우도 있다.

그러므로 본 연구에서는 시멘트 모르터의 단위팽창재량 및 양생방법을 변화시킨 조건에서 길이변화율, 질량감소율, 동탄성계수 등 제반특성을 분석하므로써 팽창모르터의 양생방법 요인에 따른 팽창특성을 종합적으로 고찰하고자 한다.

* 정회원, 청주대 대학원 석사과정
** 정회원, 청주대 대학원 박사과정
*** 정회원, 청주대 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 배합사항은 표 1과 같다. 즉, 모르터 배합은 모르터 배합비 1 : 3, W/B 60%에 강모래를 사용하는 1개 수준으로하며, 단위팽창재량을 0~25%까지 각 9개 수준으로 변화시켜 실험계획 한다.

양생방법으로는 기중양생(20±3℃), 수중양생 7일후 기중양생 (이하, 표준양생 20±2℃,), 수중양생(5℃, 10℃, 20℃, 30℃)의 3개 수준으로 변화시켜 실험계획한다.

실험사항으로 단위팽창재량에 따른 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수는 탈형 후 1일부터 14일 까지는 1일, 그 후 28일 재령까지는 2일 간격으로 측정하도록 실험계획 한다.

표1. 실험요인 및 수준

실험요인			수 준									
배합사항	배합비	1	1 : 3									
	골재	1	강 모 래									
	W/B	1	60 %									
	단 위 팽창재량	9	(%)	0	5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
			(kg/m^3)	0	23	47	59	70	82	94	105	117
	양생방법	3	■ 수중양생(20±3℃) ■ 수중양생 7일 후 기중양생(20±2℃) ■ 기중양생(20±3℃)									
실험사항	경 화 모르터	5	■ 길이변화율 ■ 질량감소율 ■ 동탄성계수									

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로서 먼저, 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜트 시멘트를 사용하는데, 그 물리적성질은 표 2와 같다. 잔골재는 강모래를 사용하며 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 단, 사용한 강모래의 입도는 표준입도곡선 범위에 만족하는 것으로 한다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm^2/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축 강도(kg/cm^2)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,430	0.06	236	332	210	280	376

표 3. 골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적 중 량 (kg/m^3)	입형판정 실 적 율 (%)	No.200체 통과율 (%)
강모래	2.56	2.62	2.25	1530	61.0	2.06

표 4. 팽창재의 화학적 성질(%)

CaO	Al_2O_3	SO_3	MgO	Fe_2O_3	Insol	SiO_2	lg.loss
52.5	10.0	28.3	0.6	1.2	1.4	4.0	1.0

혼화재료로서 팽창재는 D사의 CSA계를 사용하는데, 그 화학적 성질은 표 4와 같으며, 물은 상수도를 사용한다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르터의 혼합은 KS L 5109에 의한 수경성 시멘트 반죽 및 모르터의 기계적 혼합방법에 의해 실시한다. 공시체의 제작은 ASTM C 348의 규정에 의거 4×4×16cm의 몰드를 이용하여 제작한 후, 실험계획된 방법대로 기중양생(20±3℃), 표준양생(수중양생7일후 기중양생, 20±2℃), 수중양생 (5℃, 10℃, 20℃, 30℃)을 실시한다.

경화 모르터의 시험으로 동탄성계수는 KS F 2450 규정으로 실시하고, 건조수축에 의한 길이변화 시험은 기중양생, 표준양생 및 수중양생으로 실험계획에 따라 양생한 후 KS F 2424 규정의 다이알게이지 방법으로 측정한다.

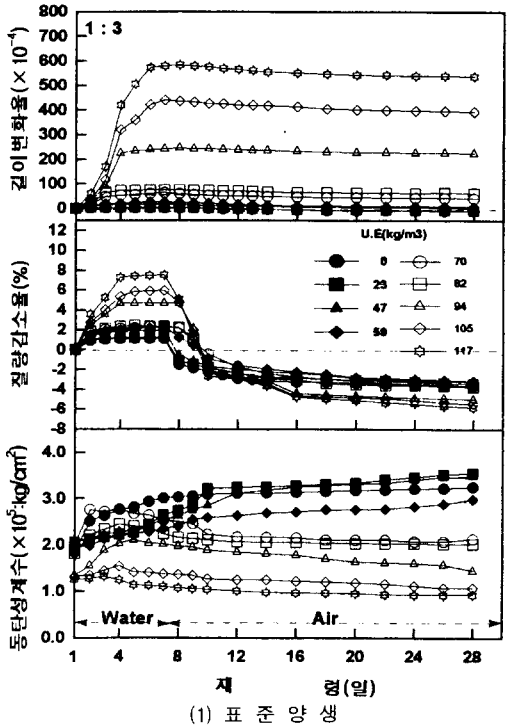
3 실험결과 및 분석

3.1 양생방법에 의한 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성 계수

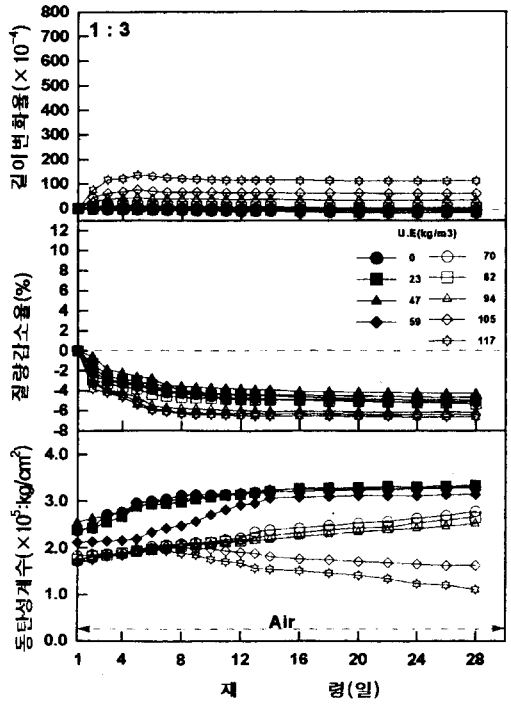
그림 1은 단위팽창재량 변화에 있어 표준양생(7일간 수중양생 후 기중양생), 수중양생 및 기중양생의 양생방법별 재령경과에 따른 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수를 나타낸 것이다.

먼저 표준양생의 경우 수중양생 7일까지 팽창재의 팽창성분인 에트린가이트(ettringite)의 양호한 생성으로 꾸준한 팽창을 하다가, 7일 이후 기중양생에서는 수축하기 시작하였는데, 단위팽창재량 47 kg/m^{3}을 혼입할 경우는 탈형직후 보다 28일 재령에서 1.11×10^{-4}의 팽창이 일어나므로 수축보상효과를 기대할수 있지만, 단위팽창재량 57kg/m^{3}이상에서는 과팽창이 일어난 것으로 나타났다.

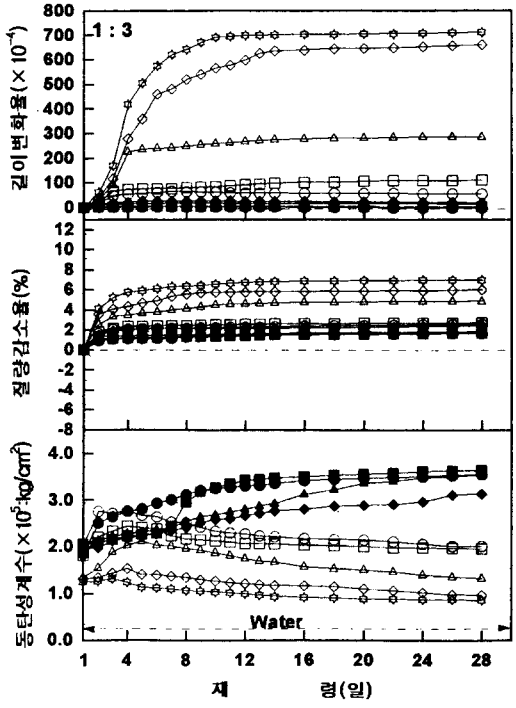
특히, 단위팽창재량 94kg/m^{3}이상에서는 약230×10^{-4}~530×10^{-4}이상 크게 팽창하여 재령 2일 및 3일 이후에는 다이얼 게이지 방법으로는 도저히 측정할 수 없으므로 버니어 켈리퍼스로 측정할 수



(1) 표 준 양 생



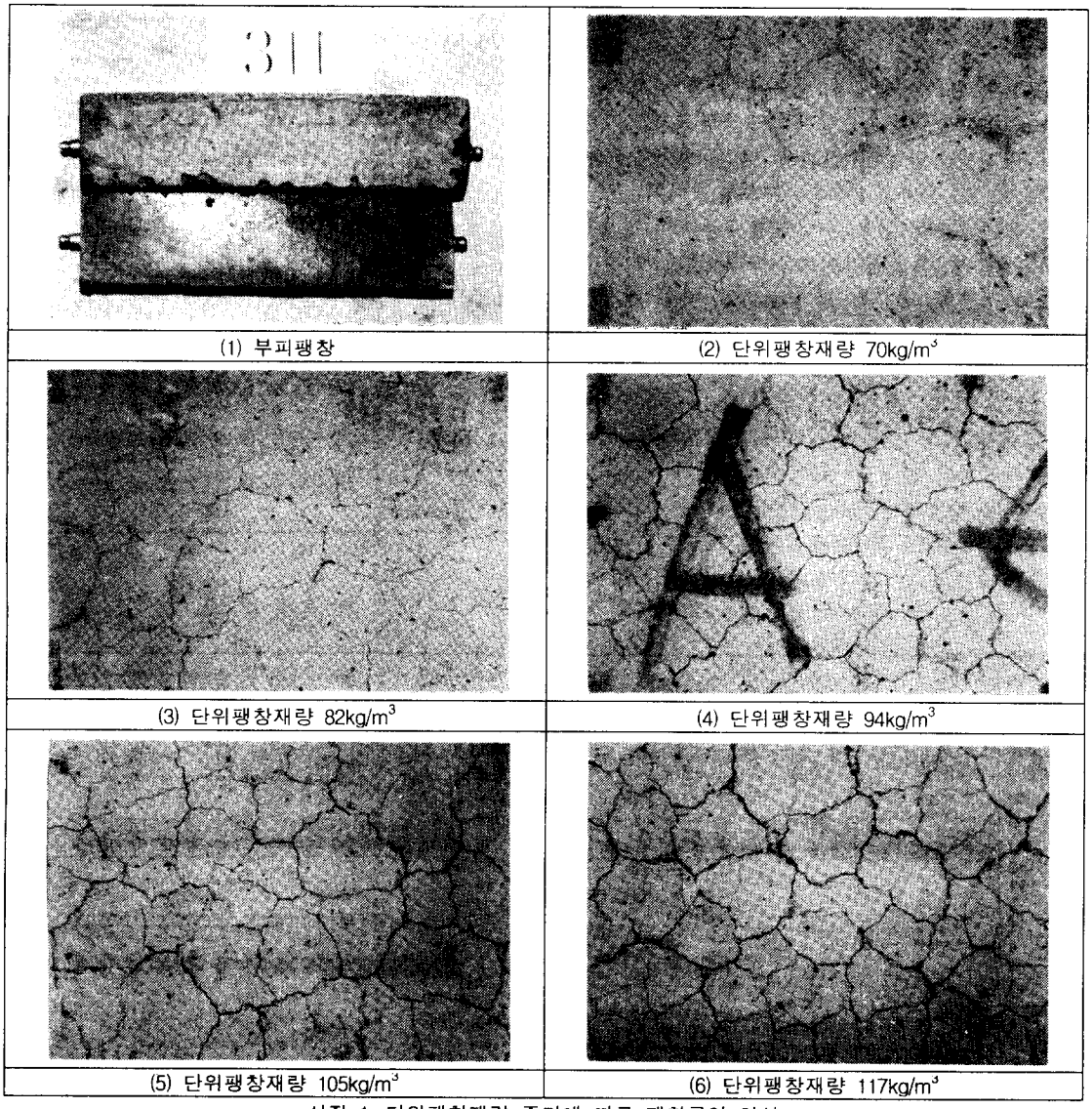
(2) 기 중 양 생



(3) 수 중 양 생

그림 1. 양생방법 및 단위팽창재량 변화에 따른 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수

밖에 없었는데, 단위팽창재량 117kg/m^{3}이상의 경우는 수중양생 3일에서 팽창재를 혼입하지 않은 경우보다 약 15%의 부피팽창(사진 1의 (1)참조)을 보이면서 자연파괴상태에 이르러 적정 단위팽창재의 중요성을 실감할 수 있었다.



(1) 부피팽창 (2) 단위팽창재량 70kg/m^3

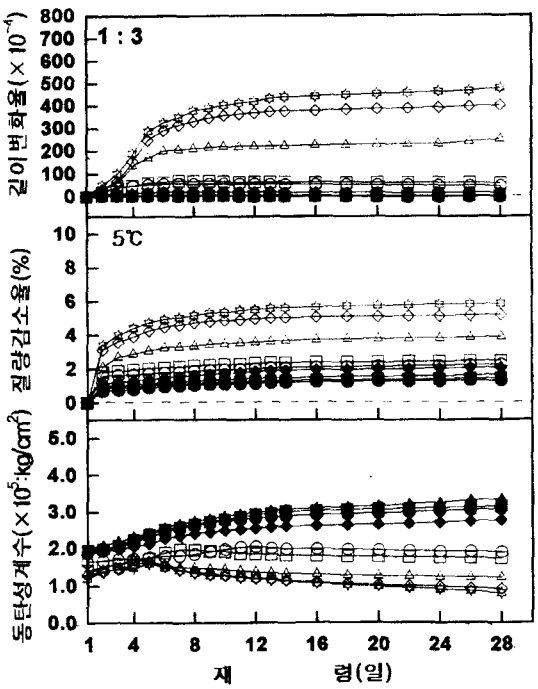
(3) 단위팽창재량 82kg/m^3 (4) 단위팽창재량 94kg/m^3

(5) 단위팽창재량 105kg/m^3 (6) 단위팽창재량 117kg/m^3

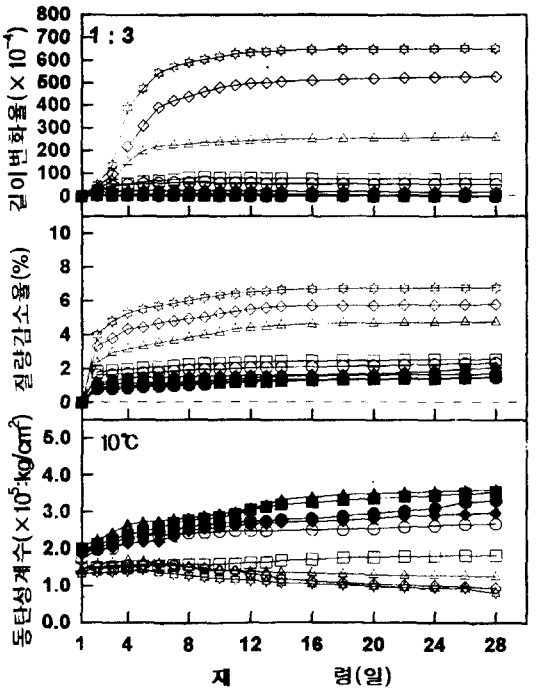
사진 1. 단위팽창재량 증가에 따른 팽창균열 양상

사진 1의 (2)~(6)은 참고적으로 표준양생인 경우 재령 7일에서의 단위팽창재량 증가에 따른 팽창균열발생 양상으로 단위팽창재량이 증가함에 따라 균열 폭, 크기 및 균열량의 증가를 확인할 수 있었으며, 단위팽창재량 59kg/m^{3}이하에서는 팽창균열은 나타나지 않았다.

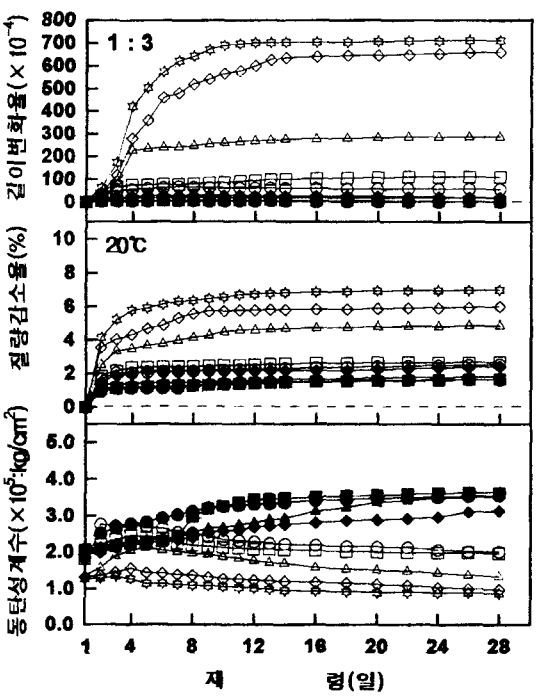
수중양생의 경우는 7일까지 표준양생과 같은 경향을 보였으나, 그 이후부터는 계속 팽창경향으로 나타났다. 특히, 단위팽창재량 82kg/m^{3}이하에서는 수중양생 7일부터 수축하는 것으로 나타났는데 이는 모르터의 화학수축 및 자기수축으로 인하여 나타난 결과로 사료된다. 단위팽창재량 94kg/m^{3}이상에서는 재령이 경과함에 따라 팽창재의 팽창성능으로 계속 팽창하는 경향으로 나타났다.



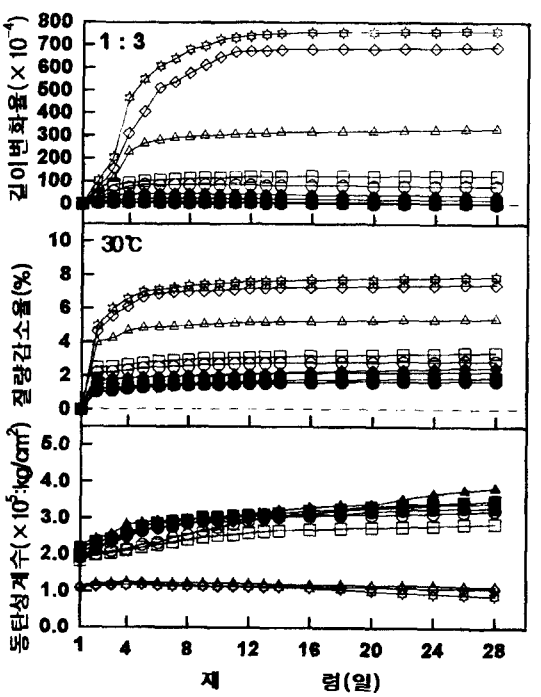
(1) 양 생 온 도 5℃



(2) 양 생 온 도 10℃



(3) 양 생 온 도 20℃



(4) 양 생 온 도 30℃

그림 2. 온도변화에 따른 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수

기중양생의 경우, 단위팽창재량 59kg/m^{3}이하에서는 팽창재 사용여부와 관계없이 계속 수축 경향으로 나타났다. 특히, 표준양생 및 수중양생의 경우보다 팽창이 적은 경향으로 나타났는데 이는 팽창재를 혼입한 경우라도 팽창재의 에트린가이트 성분의 수화반응 부진과 연관하여 거의 팽창작용을 발휘하지 못함에 따라 팽창재의 양호한 효력발휘를 위해서는 충분한 수준공급이 매우 중요하게 작용함을 시사하고 있다.

또한 질량감소율은 표준양생 및 수중양생에서는 단위팽창재량이 증가할수록 큰 질량증가를 보인 반면 표준양생의 경우 기중양생 이후에는 큰 감소경향으로 나타났다. 이는 수중양생기간 동안 단위팽창재량 증가에 따라 팽창재의 과팽창으로 인하여 공극의 증가로 물의 침입이 컸던것과 또한 건조시는 수분유출 및 증발이 컸을 뿐만 아니라 재령이 경과할수록 단위팽창재량 94kg/m^{3}이상에서는 모르터 표면이 탈락하는것에 기인하여 크게 감소하는 것으로 나타났다.

동탄성계수 특성에서는 재령이 경과할수록 동탄성계수는 증가하는 것으로 나타났으나 단위팽창재량 평균 94kg/m^{3}이상에서는 초기팽창거동으로 인하여 재령 1일 이후부터는 꾸준히 감소하는 경향으로 나타났다.

3.2 온도변화에 의한 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성 계수

그림 2는 수중양생에서 각 온도별 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수를 단위팽창재량별 재령경과에 따라 나타낸 꺾은선 그래프이다. 전반적으로 온도가 높을수록 팽창재에 의한 팽창성능은 양호한 경향을 보인 반면, 낮은 온도인 5℃ 및 10℃에서는 팽창재의 팽창반응 부진으로 인하여 다소 작게 나타났다. 특히 온도 20℃ 및 30℃에서 초기의 높은 온도로 인한 수화생성물의 양호한 생성으로 초기재령부터 최대팽창을 보인반면 낮은 온도인 5℃ 및 10℃에서는 온도 20℃ 및 30℃보다 팽창반응은 늦게 나타났다. 또한 단위팽창재량 70kg/m^{3}이상에서는 팽창재량에 의하여 큰 차이를 보인 반면 단위팽창재량 59kg/m^{3}이하에서는 팽창량 차이는 크지 않은 것으로 밝혀졌다.

질량감소율에서 질량은 재령이 경과함에 따라 꾸준히 증가하는 것으로 나타났는데 이는 모르터 내부에 수분의 증발은 일어나지 않고, 단지 팽창에 의하여 이완된 공극조직 속으로 지속적인 수분유입의 증가로 인하여 증가된 것으로 사료된다.

동탄성계수 특성 또한, 단위팽창재량 82kg/m^{3}이하에서는 재령이 경과할수록 증가 경향으로 나타난 반면, 단위팽창재량 94kg/m^{3}이상에서는 재령 1일 및 3일 이후부터 과팽창으로 감소 경향이 나타났다.

4. 결 론

시멘트 모르터에 있어 팽창재량 및 양생방법에 따른 길이변화율, 질량감소율 및 동탄성계수 특성의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 표준양생 및 수중양생의 경우 단위팽창재량 94kg/m^{3}이하에서는 완만한 팽창을 보인반면, 그 이상에서는 기하급수적으로 증가하였으며, 단위팽창재량 59kg/m^{3}이하에서는 팽창균열이 나타나지 않은 반면, 단위팽창재량 70kg/m^{3}이상에서는 팽창균열이 발견되었다.

2) 양생방법의 경우 수분함유정도에 따른 시멘트 수화열과 연관하여 수중양생, 표준양생 그리고 기중양생 순으로 팽창이 큰 것으로 나타났는데, 기중양생의 경우는 팽창재를 혼입하더라도 팽창재의 수화반응 부진과 연관하여 거의 팽창작용을 발휘하지 못하므로 팽창작용에 있어서 습윤양생조건이 매우 중요함을 알 수 있다.

3) 양생온도 변화에 따른 길이변화율은 낮은 온도에서 팽창재의 수화반응 부진으로 초기 팽창성능은 작은 것으로 나타난 반면, 높은 온도에서는 큰 팽창 경향으로 나타났다.

4) 질량감소율에서 질량은 단위팽창재량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 동탄성계수는 반대의 경향으로 저하 하는 것으로 나타났다.