

VES-LMC의 열 특성을 고려한 자기수축

Autogenous Shrinkage of VES-LMC considering Hydration-Heat

최 판 길* 이 봉 학**
Choi, Pan-Gil Lee, Bong-Hak

Abstract

Durability of concrete structures is seriously compromised by cracking at early-age concretes, particularly in high-strength or high-performance concrete structures. Since early-age cracking is influenced by various factors that affect the hydration process, early-age shrinkage and stress/strain development, the behavior at early-age is highly complex and no rational methodologies for its control have yet been established. Concrete structures often present volumetrical changes particularly due to thermal and moisture related shrinkages. Volumetric instability is detrimental to the performance and durability of concrete structures because structural elements are usually restrained. These restrained shrinkages develop tensile stresses which often results in cracking in combination with the low fracture resistance of concrete. Early-age defects in high-performance concrete due to thermal and autogenous deformation shorten the life cycle of concrete structures. Thus, it is necessary to examine the behavior of early-age concrete at the stages of design and construction. The purpose of this study was to propose a shrinkage models of VES-LMC (very-early strength latex-modified concrete) at early-age considering thermal deformation and autogenous shrinkage.

키워드 : 초속경 라텍스개질 콘크리트, 자기수축, 열 변형

Keywords : *very-early strength latex modified concrete, autogenous shrinkage, thermal deformation*

1. 서론

최근 콘크리트의 고성능화 및 고강도화에 따라 우수한 혼화재료의 사용으로 인해 낮은 물-시멘트비의 콘크리트가 사용되어왔지만, 물-시멘트비가 적고 단위 시멘트량이 많은 콘크리트에서는 이제까지 건조수축에 비해 상당히 낮은 값으로 인해 무시되어왔던 자기수축에 대한 관심이 대두되고 있다. 자기수축은 아주 낮은 물-시멘트비의 경우를 제외하면 상대적으로 작다. 그러나 콘크리트의 고성능감수제 및 고강도화에 따라서 낮은 물-시멘

트비의 콘크리트가 사용되고 있지만, 물-시멘트비가 작고, 단위 시멘트량이 많은 콘크리트에서는 지금까지 무시되었던 자기수축의 영향이 증대되고, 경우에 따라서는 자기수축만에 의해서도 균열이 발생하는 것이 지적되고 있기 때문에 자기수축 기구의 해명 및 그 예측 방법의 확립이 중요한 연구 과제로 대두되어 현장 적용성에 대한 관심이 증대되고 있다[1],[2],[9].

이러한 자기수축현상에 대해 일본 콘크리트공학 협회에서는 시멘트 수화에 의해 초결 이후 거시적으로 생기는 체적 감소 현상으로서, 물질의 침입이나 이탈, 온도변화, 외력, 외부 구속 등에 기인하는 체적 변화는 포함하지 않는 것으로 정의하고 있다[2].

* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정

** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

이러한 현상은 예전부터 알려져 왔으나, 일반 콘크리트의 경우에는 건조수축에 비해 대략 1/10 정도로 작기 때문에 그다지 중요한 고려의 대상이 아니었지만, 단위결합체의 함량이 높고, 물-시멘트비가 낮은 고강도, 고유동, 고내구성의 고성능 콘크리트에서는 무시할 수 없을 만큼의 변형이 발생되며 경우에 따라서는 자기수축만에 의해서도 균열이 발생된다고 보고 되면서 1990년대 초부터 일본에서는 이미 본격적으로 시작되고 있으며 국내에서도 일부 진행되고 있는 실정이다[7].

최근 들어 고속도로 및 국도를 중심으로 하여 심각하게 열화 된 교량상판 콘크리트 층을 보수하기 위한 긴급보수재료로써 초속경라텍스개질 콘크리트(Very-Early Strength Latex-Modified Concrete : 이하 VES-LMC)가 개발되어 상용화 단계에 이르고 있다. VES-LMC의 장점은 재령3시간 휨 강도가 4.5MPa이상, 압축강도가 21MPa 이상으로 발휘되어 보수 후 3시간 만에 교통개방을 가능하게 한다는 데 있다. 또한 라텍스의 첨가로 기존의 보수재료가 갖는 장기 내구성의 문제를 해결하여 일반콘크리트보다 투수저항성 및 동결융해저항성 등이 월등히 우수한 것으로 알려져 있다 [5],[7].

한편 초속경라텍스개질콘크리트는 급결성으로 인한 급격한 수분소산 및 증발로 초기 자기수축, 건조수축 등으로 균열이 발생할 우려를 안고 있다. 최근에 VES-LMC의 초기수축 및 수축균열특성에 대한 연구가 일부 진행되기는 하였으나, 아직까지 연구되어야 할 부분이 많이 남아있다. 따라서 본 논문에서는 VES-LMC의 균열원인 규명의 일환으로 초기단계에서 발생하는 열 특성을 고려한 자기수축 특성에 대하여 연구하였다.

따라서 본 연구에서는 낮은 물-시멘트비와 높은 결합재비를 갖는 고성능·고강도 콘크리트에서 크게 나타나는 자기수축에 대해 연구하였다.[8] 연구대상으로는 보수재료로서 그 수요가 급격히 증가하고 있는 VES-LMC를 선정하였고, 현장조건을 고려한 작업시간에 초점을 맞추어 지연제 함량변화를 주 변수로 선정하였다. 더불어 수화반응과정에서 발생하는 수화발열을 고려한 순수한 크기의 자기수축을 평가하였다. 그리하여 수화발열과 자기수축과의 상관관계를 도출하여 작게는 재료의 특성을 제시하며, 크게는 구조물의 설계, 시공 및 유지관리 단계에 있어서 고성능·고강도 콘크리트가 갖는 초기 자기수축으로 인한 문제를 해결하는데 많은 도움이 되기를 바라는 바이다.

2. 이론적 배경 및 실험개요

2.1 이론적 배경

콘크리트 구조물은 콘크리트 타설 직후부터 여러 가지 요인으로 인해 수축, 팽창 거동을 하게 되고 체적변화를 일으킨다. 체적변화 과정에서 콘크리트내부에 발생하는 수축으로 인한 수축압이 재료 자체가 가지는 인장응력 범위를 벗어나게 되면, 콘크리트 내부 중 가장 취약한 부분에서 균열이 발생하게 되고, 이렇게 발생한 균열은 발생부위의 단면 감소 영향으로 응력집중현상이 유발되어 균열이 진전하게 된다[6]. 본 논문에서는 이러한 균열의 원인이 되는 수축 중 하나인 자기수축 측정 방법에 대하여 논하였다.

콘크리트구조물의 고강도·고성능화는 구조물의 내구성, 안정성 등을 증가시키는 반면에 초기단계의 자기수축을 증가시키는 현상을 가져왔다. 이러한 자기수축의 원인으로서는 낮은 물-시멘트비와 높은 결합재 비율을 들 수 있다. 자기수축이라 함은 일반적으로 수화반응과정에서 발생하는 수분소산으로 인한 콘크리트 스스로의 수축을 의미한다.[2],[6] 따라서 외부로의 수분증발을 억제하고 열변형의 영향을 배제한다면 일정 부분 정량적 평가가 가능하다 할 수 있다. 특히, VES-LMC와 같이 낮은 물-시멘트비를 갖는 콘크리트의 경우 일반 OPC의 7일 강도가 3시간 만에 발현되므로, 초기에 수화반응이 급격히 일어나게 된다. 즉, 자기수축의 영향이 초기수축의 대부분을 차지한다는 예측을 할 수 있게 한다.

2.2 실험개요

본 실험에서는 지연제 함량에 따른 VES-LMC의 자기수축 특성을 파악하고, 간이수화열을 통해 수화열을 평가하고, 열에 의한 변형을 배제한 순수한 자기수축을 평가하고자 하였다.

표1은 실험에 사용된 배합표이고 긴급보수용으로 사용되고 있는 VES-LMC의 지연제 함량을 주 변수로 설정하였다.

VES-LMC 배합순서는 보통콘크리트 제조방법과 동일하게 하였으며, VES-LMC는 굵은 골재와 잔골재를 혼합하여 약 30초간 건비빔을 실시한 후 시멘트를 혼합하여 다시 30초간 모든 재료가 잘 섞이도록 비빔을 실시하였다. 다음으로 소포제가 첨가된 라텍스와 지연제가 희석된 물을 투입한 후 30초간 모든 재료가 잘 섞이도록 배합하였다.

콘크리트에 발생하는 균열의 원인은 온도강하와 수축으로 구분할 수 있는데, 본 연구에서는 고강도, 고성능 콘크리트에서 주로 나타나는 자기수축에 영향과 수화발열로 인한 영향을 고찰하였다. 실험에서 고찰된 수화열 및 자기수축의 정량적인 평가는 실제 VES-LMC로 유지보수 된 교량의 균열 평가에 참고자료로 활용될 수 있다.

표 1 Mix Proportions of VES-LMC

Type	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)					Antifoam agent	Retarder
			C	W	L	G	S		
VES-LMC L15-R0	38	58	390	82	122	707	918	1%	-
VES-LMC L15-R0.2									0.2%
VES-LMC L15-R0.4									0.4%

3. 실험방법

3.1 시험체 제작

(1) 간이 수화열 시험편

간이 수화열 시험편은 지름 10cm, 높이 20cm의 공시체에 thermocouple을 매립하여 온도가 측정될 수 있도록 시편 준비를 하였고, 자기수축시험편 내부에서 형성되는 온도변화와의 비교를 목적으로 자기수축시험편 내부에도 온도센서를 매립하여 실험을 실시하였다. 매립부위의 온도계지는 정확도를 기하기 위해 납땀 용접처리 하였다.

(2) 자기수축 시험편

자기수축 시험편은 콘크리트 시편과 폴리에틸렌 형틀과의 분리를 위하여 형틀 내부를 테프론 슈트로 일차처리하고, 폴리머 콘크리트용 박리제로 이차처리 하였다. 실험에 사용된 선형 범 시편의 규격은 아래 모식도에 나타난 바와 같이 팽창을 평가할 수 있는 내부스티로폼 치수를 포함한 크기로 70×70×320 mm²로 콘크리트 길이변화 시험을 위해 충분한 크기라 할 수 있다.

3.2 실험 및 측정

(1) 간이수화열 실험

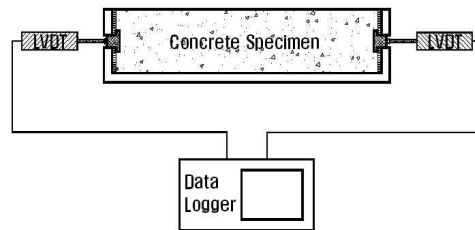
콘크리트 포장에서 초기균열을 일으키는 중요한 인자 중 하나는 콘크리트 내부의 초기온도로 알려져 있다. 따라서 콘크리트포장의 초기균열에 관한 연구에서 가장 기본이 되는 요소는 초기온도패턴을 분석하는 것이라 할 수 있다. 본 실험에서는 간이 수화열 실험을 통하여 초기온도를 획득하였고, 콘크리트 타설 직후 시편에 써머커플(Thermal Couple)을 매립하여 초기 24시간 동안 측정하였다. 본 실험에서는 온도계지로 써머커플을 사용하였다.

(2) 자기수축 실험

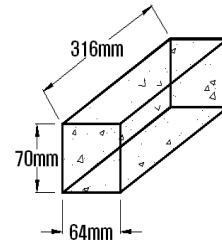
자기수축 실험은 0.001mm감도를 가진 10 mm LVDT를 사용하여 시편의 길이변화를 측정하는 방법으로, 본 실험법의 장점은 그림 1 모식도에 나타난 바와 같이 콘크리트 타설후 LVDT를 통해 획득된 길이변화량이 데이터 로거(Data Logger)를 통하여 데이터가 직접 전송되므로 콘크리트타설 후

부터 일련의 2차 처리 과정을 거치지 않는다는 데 있다. 따라서 상당히 정확한 데이터를 얻을 수 있는 방법이다.

본 실험은 외부로의 수분증발을 억제하기 위하여 은박 슈트로 일차 처리하고, 폴리에틸렌 비닐로 이차 처리하였다. 관입저항방법을 이용한 응결실험을 통하여 지연제첨가에 따른 VES-LMC의 응결실험을 실시하였고, 초결이 발생한 시기부터 자기수축을 측정하였다. 초기 자기수축 평가를 위한 실험 시간은 기존 참고자료[6]을 기준으로 하여 24시간 동안 측정하였다. 데이터의 빈도수는 처음 24시간은 5분에 한번씩 측정하였다. 그리고 초기의 팽창 특성을 평가할 수 있도록 형틀 내부에 팽창을 허용할 수 있는 스티로폼 틀을 제작하여 삽입하였고, 스티로폼이 수분을 흡수하지 못하도록 비닐 슈트 처리 하였다.



a. Configuration for Autogenous-shrinkage test



b. Specimen Geometry

그림 1 자기수축 시험편 및 형상

4. 실험결과 및 고찰

4.1 개요

본 연구의 목적은 VES-LMC의 열 특성을 고려한 초기 자기수축을 평가하여 현장에서 발생하는 균열의 원인을 규명함에 있다. 이러한 특성을 파악하기 위하여 2가지 실험을 실시하였다.

첫째는 외부로의 수분증발을 억제한 조건에서 수행된 자기수축 실험이다. 자기수축 실험은 위 실험방법에서 언급했듯이, 타설 직후부터 시편의 길이변화를 측정할 수 있어, 초결 이후부터 콘크리트의 수축 특성을 파악하였다.

둘째는 간이수화열 실험이다. 이 실험은 초기수축 중에서 수화열로 인한 팽창부분을 해석하기 위하여 수행된 실험으로 직경 10cm 공시체 내외부에 써머커플을 매립하여 측정하였다. 이렇게 측정된 시편 내외부 온도차는 온도경사로 인한 온도응력의 정도를 단위길이 당 온도로서 평가할 수 있게 한다. 본 장에서는 지연제 첨가에 따른 온도이력을 그림으로 나타내고 콘크리트 시편의 내외부 온도가 같아지는 시기를 측정하여 초기 수화발열로 인한 콘크리트의 관리시기를 제시하였다.

4.2 지연제 첨가에 따른 간이수화열

(1) VES-LMC L15(R0)의 간이수화열

지연제가 첨가되지 않은 VES-LMC L15(R0)변수의 온도이력을 그림2에 나타내었다. 실험은 항온항습조건(20±2℃, 50±5%)에서 수행되었고, 최대수화발열온도는, 콘크리트 내부에서는 1시간 15분에 35.4℃, 표면에서는 1시간 25분에 29.5℃로 각각 측정되었다. 콘크리트 내부와 표면의 온도차는 콘크리트타설 50분에서 1시간 30분 사이에 가장 크게 발생하였고, 최대 온도차는 재령 1시간에 9.2℃로 평가되었다. 이러한 결과는 콘크리트 타설 초기단계에 온도경사로 인한 미세균열이 발생할 수 있음을 시사하는 결과이며, 더불어 수화반응으로 인한 내부 수분소산으로 인해 발생하는 자기수축의 증가현상이 뚜렷하게 일어날 수 있음을 시사하는 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 콘크리트타설 6시간이 경과한 후 콘크리트시편의 내외부 온도가 같게 나타나고 있다.

그림2는 콘크리트타설 초기 6시간 동안의 온도이력을 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 타설 4시간 경과하면서부터 콘크리트 내부와 표면의 온도차가 거의 없음을 알 수 있다.

콘크리트 내부와 표면의 온도차를 선형적으로 가정한다면, 각 시간별 재령에서의 온도경사는 그림2에 나타난 $\Delta T(^\circ\text{C})$ 와 경향을 같이하게 된다. 실험에 사용된 시편의 중앙으로부터 표면까지의 길

이가 10cm임을 이미 알고 있으므로, 온도경사는 콘크리트 내외부 온도차와 비례하게 된다. 콘크리트의 간이수화열 실험을 시편의 규격을 달리하여 측정을 한다면 시편규격에 따른 온도분포 및 온도경사를 산출할 수 있을 것이다. 따라서 VES-LMC 보수체의 보수두께에 따른 온도경사로인한 온도응력을 알아내는데 유용하게 사용될 수 있다.

향후 시편규격, 즉 보수두께에 따른 온도이력분포에 대한 연구가 수행되어 온도로 인한 응력을 줄이기 위한 방안에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

(2) VES-LMC L15(R0.2)의 간이수화열

지연제가 0.2% 첨가된 VES-LMC L15(R0.2)변수의 온도이력을 그림4에 나타내었다. 최대수화발열온도는, 콘크리트 내부에서는 1시간 15분에 36.7℃, 표면에서는 1시간 35분에 28.8℃로 각각 측정되었다. 최대온도차는 타설 60분 후에 발생하여 지연제가 0.2% 첨가됨으로 인해서 약 10분 정도 수화발열온도가 지연됨을 알 수 있었다. 그러나 최대수화열에는 큰 차이를 보이지 않았다. 콘크리트 내부와 표면의 온도차는 콘크리트타설 50분에서 1시간 30분 사이에 가장 크게 발생하여 지연제가 첨가되지 않은 변수와 동일한 양상을 보였다. 최대 온도차는 재령 1시간에 8.9℃로 평가되어 R0 변수보다 0.3℃ 더 낮게 나타났다. 위와 같은 결과는 지연제가 콘크리트의 최고발열온도에는 거의 영향을 미치지 않으나 최대온도차에는 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

그림5는 R 0.2% 변수의 초기 6시간 동안의 온도이력을 나타내는 그래프이다.

(3) VES-LMC L15(R0.4)의 간이수화열

지연제가 0.4% 첨가된 VES-LMC L15(R0.4)변수의 온도이력을 그림6에 나타내었다. 최대수화발열온도는, 콘크리트 내부에서는 2시간에 35.8℃, 표면에서도 역시 2시간에 30.6℃로 각각 측정되었다. 최대온도차는 타설 1시간 10분 후에 발생하여 지연제가 0.4% 첨가됨으로 인해서 최대수화발열온도 및 최대온도차 발생시기가 다소 늦어지는 것으로 나타났다.

최대 온도차는 재령 70분에 7.0℃로 평가되어 세 가지 변수 중 가장 낮은 온도차를 보였다. R0 변수보다 0.3℃ 더 낮게 나타났다. 위와 같은 결과는 지연제가 콘크리트의 최고발열온도에는 영향을 미치지 않았다. 그러나 R 0.2% 변수에서 예상되었듯이 지연제의 첨가가 콘크리트 내외부 최대온도차를 낮춰주는 경향이 있음이 확인되었다.

그림7은 지연제가 0.4% 첨가된 VES-LMC L15의 초기 6시간 동안의 온도이력 그래프이다.

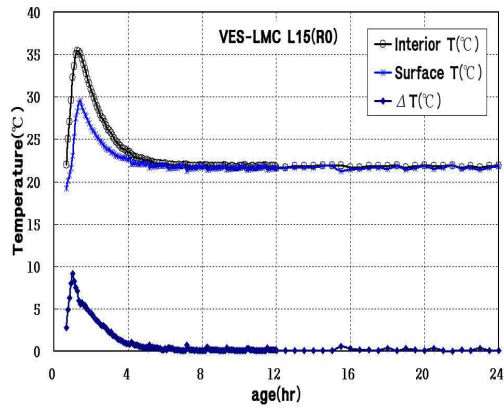


그림 2 24시간 온도이력 (R 0%)

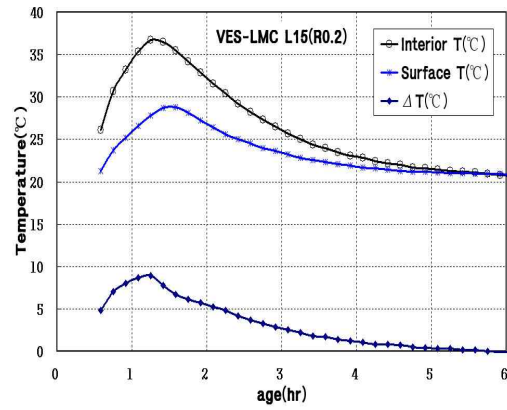


그림 5 6시간 온도이력 (R 0.2%)

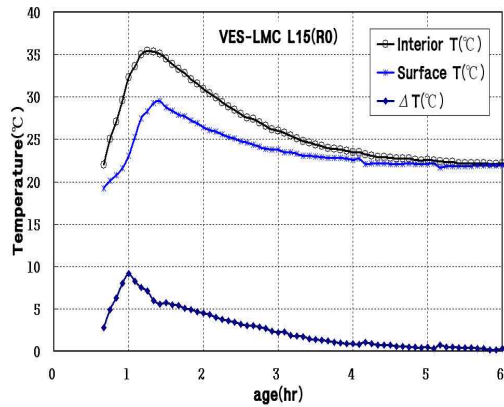


그림 3 6시간 온도이력 (R 0%)

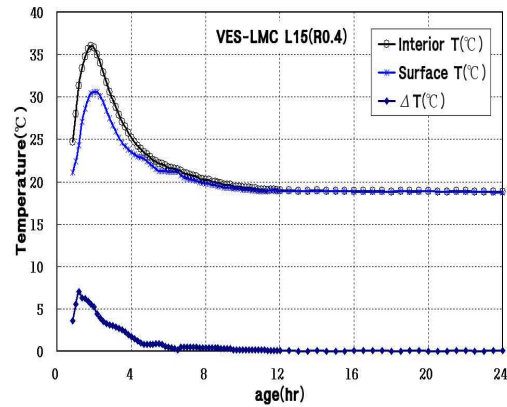


그림 6 24시간 온도이력 (R 0.4%)

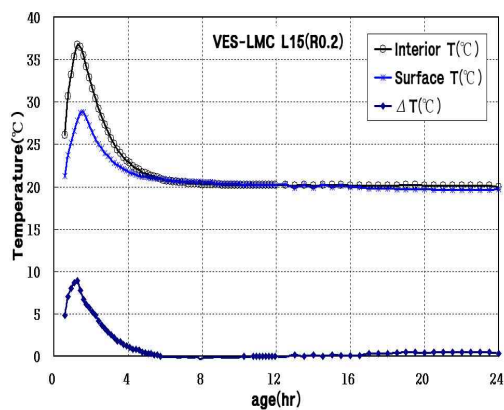


그림 4 24시간 온도이력 (R 0.2%)

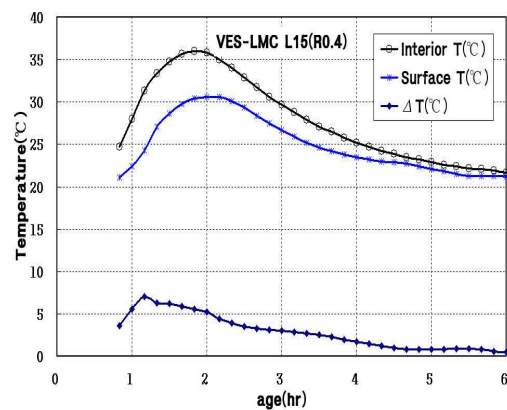


그림 7 6시간 온도이력 (R 0.4%)

4.3 VES-LMC의 초기 자기수축

(1) R0.2 자기수축(열 변형 포함)

VES-LMC의 대부분의 초기수축이 24시간을 전후해서 일어남이 이미 확인되었다[6]. 본 실험에서는 이를 토대로 초기 24시간 동안의 자기수축량을 평가하였다. 실험은 위 실험방법에서 언급하였듯이 외부로의 수분증발이 없는 조건을 만족할 수 있도록 은박 슈트로 일차도포한 후 폴리에틸렌 비닐로 이차 처리하였다. 특이할만한 점은 초기의 팽창량을 측정할 수 있는 스티로폼 틀이 도입되었다는 점이다.

그림8은 지연제가 0.2% 첨가된 VES-LMC의 24시간 동안의 자기수축량을 나타낸 결과이다. 초결이 발생한 후부터 약 30분가량 18 μ m정도 팽창한 후 수축을 하기 시작한다. 이러한 팽창은 초속경시멘트의 아린 성분에 의한 것으로 수축으로 인한 균열을 억제하기 위해 시멘트에 첨가되곤 한다. 최대자기수축은 58 μ m로 발생하였고, 콘크리트 타설 12시간이후부터는 수축의 폭이 크게 줄어들어 거의 직선의 형태를 보이고 있다. 이러한 결과는 기존의 연구결과와 매우 유사한 결과이며, 낮은 물-시멘트비를 갖는 고성능-고강도 콘크리트에서 나타나는 초기수축의 대부분이 자기수축에 기인함을 시사하는 결과이다.

(2) R0.4 자기수축(열 변형 포함)

그림 9는 지연제가 0.4% 첨가된 VES-LMC L15의 24시간 동안의 자기수축을 나타내는 그래프이다. 초결이 발생한 후부터 약 30분가량 18 μ m 정도 팽창하였다. 열팽창과 자기팽창의 복합요인에 의해 발생한 결과로서 콘크리트타설 약 1시간 40분이 지나면서 수축의 경향이 두드러지게 나타나고 있다. 열팽창을 포함한 최대자기수축 50 μ m대에서 형성되었다. 시험시편의 길이와 비교한 길이백분율로 표현하면 0.016%이라는 수치를 얻게 된다. 최대길이변화 비교에서 지연제가 0.2% 첨가된 경우보다 약 6~8 μ m 정도 자기수축이 작게 발생하긴 하였지만, 그 양이 너무 미소하기 때문에 경향 판단의 지표로 보기엔 상당한 무리가 있다.

지연제의 양 증가에 따라 자기수축 발생 시점이 지연된 것을 제외하고는 자기수축 측면에서 큰 차이를 보이고 있지는 않다. 따라서 적정범위 내에서 지연제 첨가는 자기수축과 무관함을 알 수 있다.

(3) R0.2 자기수축(열 변형 배제)

대부분의 초기자기수축이 콘크리트타설 24시간을 전후하여 발생한다는 것이 이미 입증되었고, 간이수화열 실험을 통한 실험결과 콘크리트 시편 내·외부의 온도가 같아지는 시점이 콘크리트타설 약 6시간임을 알았다. 즉, 초기 6시간이 지나면 더 이

상의 열로 인한 콘크리트의 팽창 및 수축의 경향은 없다는 결론에 도달하게 된다. 따라서 초기 6시간 동안의 열팽창변형률을 배제한다면 순수한 자기팽창 및 수축량 평가가 가능하게 된다.

VES-LMC L15의 열팽창계수는 $7.16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 알려져 있다[4].

간이수화열 실험을 통한 콘크리트 내·외부 온도를 평균하여 산출된 온도가 콘크리트의 평균온도라고 가정하면, 항온항습실 내부 온도와의 차이는 곧 열팽창변형률과 결부된다. 이와 같은 방법으로 온도차를 계산하고, 계산된 온도차에 열팽창계수를 곱해주게 되면 최종적으로 열팽창변형률이 산정되게 된다.

열 특성을 고려한 자기수축, 즉 순수한 자기수축은 외부로의 수분증발이 없는 상태에서의 열에 의한 변형을 배제한 경우이므로, 실험에서 측정된 초기자기수축 변형률에서 열 변형률을 빼주게 되면 정량적으로 계산가능하게 된다. 이렇게 계산된 수치를 검토하면, 초기 단계에서의 자기팽창과 자기수축을 계산해 낼 수 있다.

그림 10은 지연제가 0.2% 첨가된 변수의 24시간 동안의 자기수축, 열팽창 및 순수한 자기수축을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 열팽창의 영향으로 영향은 콘크리트타설 초기 5~6시간까지임을 알 수 있고, 초결 발생 후 약 50분까지 자기팽창의 경향이 나타나고 있다. 그림 11에 동일 변수에 초기 6시간의 변형특성을 나타내었다.

그림 11은 동일변수에 대한 초기 6시간 그래프이다.

열 변형을 포함한 자기수축의 경우 콘크리트타설 12시간 경에 대부분의 초기수축이 일어남을 알 수 있고, 순수한 자기수축의 경우에는 콘크리트타설 약 4시간 경에 대부분 발생함을 알 수 있다. 이러한 결과는 고성능-고강도 콘크리트에서 두드러지게 발생하는 것으로 기존의 연구결과와 부합하였다[6].

콘크리트타설 초기단계에서의 팽창의 영향은 일부 자기팽창에 영향을 받기는 하나, 대부분이 열팽창 변형에 의해 지배받음이 실험적으로 확인되었다.

(4) R0.4 자기수축(열 변형 배제)

그림 12는 지연제가 0.4% 첨가된 변수의 초기 24시간 동안의 자기수축, 열팽창 및 순수한 자기수축을 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 열팽창의 영향으로 영향은 콘크리트타설 초기 5~6시간까지임을 알 수 있다. 초결 발생 후 약 50분까지 자기팽창의 경향이 나타나고 있다.

그림 13은 동일 변수에 대한 초기 6시간의 변형특성을 나타내는 것으로, 타설 6시간 후부터 열 변형은 더 이상 일어나지 않음을 알 수 있다.

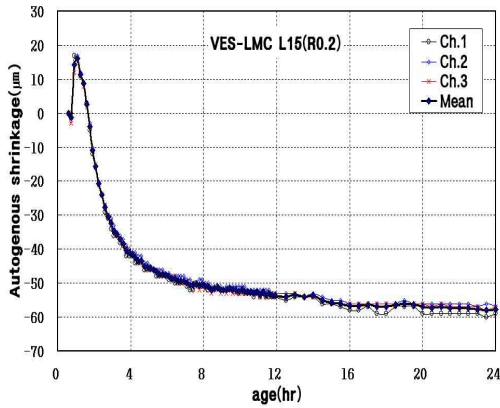


그림 8 열 변형을 포함한 자기수축 (R 0.2%)
24시간

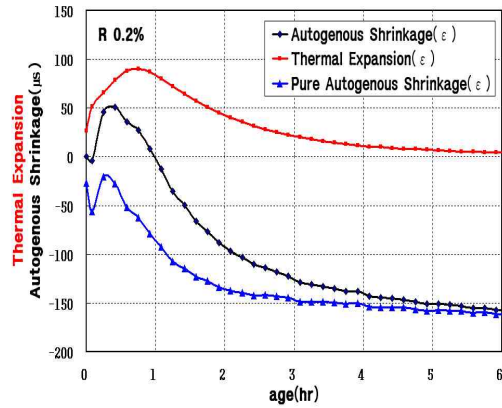


그림 11 열 변형을 배제한 자기수축 (R 0.2%)
초기 6시간

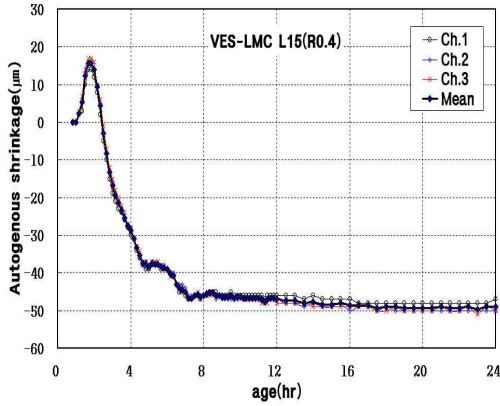


그림 9 열 변형을 포함한 자기수축 (R 0.4%)
24시간

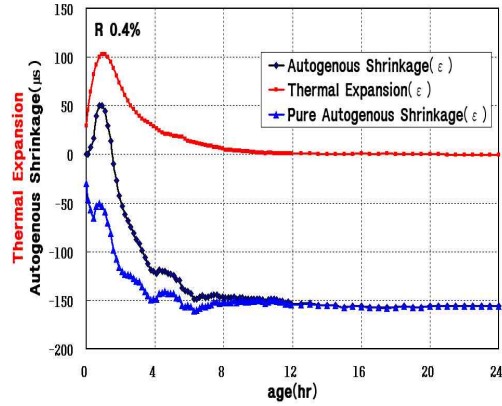


그림 12 열 변형을 배제한 자기수축 (R 0.4%)
24시간

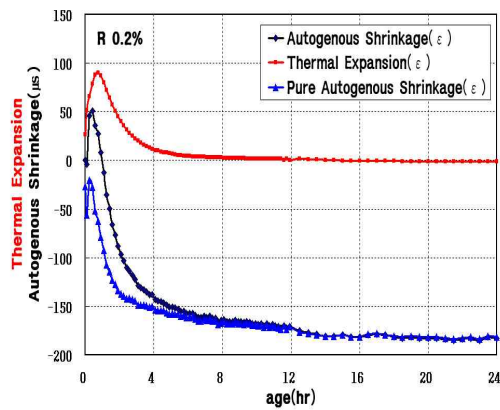


그림 10 열 변형을 배제한 자기수축 (R 0.2%)
24시간

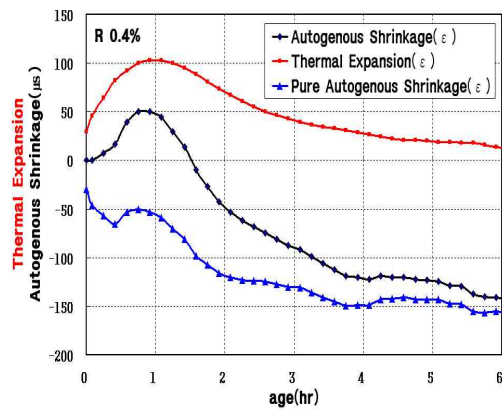


그림 13 열 변형을 배제한 자기수축 (R 0.4%)
초기 6시간

5. 결론

본 연구는 현재 그 수요가 급격히 증가하고 있는 초속경라텍스개질콘크리트의 경화전 초기 자기수축을 정량적으로 평가하여 장기적으로는 자기수축의 원인을 규명하여 콘크리트의 성질을 개선하기 위하여 수행하였다. 콘크리트의 열팽창계수와 온도차를 통해 열 변형률을 계산하고, 외부로의 수분증발이 없는 상태에서의 자기수축실험은 열 변형을 배제한 순수한 자기수축 평가를 가능하게 하였다. 본 연구를 통해 VES-LMC의 간이수화열 특성 및 초기 자기수축 특성에 대해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) VES-LMC의 작업시간을 향상시키기 위한 지연제의 첨가는 콘크리트의 최대수화발열온도에 영향을 미치지 않는다. 그러나 콘크리트시편 내·외부에서 온도 차이는 지연제 첨가량이 많아질수록 줄어드는 것으로 나타났다.
- (2) 간이수화열 실험결과 콘크리트 시편의 내부와 외부의 온도가 같아지는 시간은 콘크리트타설 6시간 내외였다. 따라서 초기제령에서의 엄격한 콘크리트 온도관리기 요구되며, 초기균열의 원인인 온도경사로 인한 온도응력 발생을 억제하게 될 것이다.
- (3) 구속된 틀 속에서 콘크리트의 초기팽창을 측정할 수 있는 실험방법을 구현하여, VES-LMC의 열팽창과 자기팽창을 정량적으로 평가하였다.
- (4) 열 특성을 고려한 순수한 자기수축은 콘크리트의 수화열, 열팽창계수 및 외부로의 수분증발이 없는 조건에서의 자기수축 측정으로 계산가능하다.
- (5) VES-LMC의 초기팽창 요인은 일부 자기팽창에 기인하기는 하나, 대부분이 열팽창 변형에 좌우된다는 것이 실험적으로 증명되었다.
- (6) 열 변형을 포함한 자기수축의 경우 대부분의 수축이 콘크리트타설 12시간 이내에 발생하였다. 그러나 열 변형이 배제된 순수한 자기수축의 경우 콘크리트타설 4시간까지 급격히 발생하였고, 콘크리트 온도와 대기온도가 같아지는 순간부터 거동특성을 같이 하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김진철, "콘크리트의 건조수축 메커니즘과 예측 모델" *도로포장공학회지* 제5권 3호 p.p. 32~41, 2003.
- [2] 이회근, 이광명, 김병기, "고성능 콘크리트의 자기수축" *대한토목학회 2001학술발표회 논문집*, 2001.
- [3] 이효림, 안남식, 양성철 "골재종류에 따른 콘크리트의 열팽창 계수 측정실험", *한국도로포장공학회 학술발표회* 논문집, Vol.5 No.1 pp145~150, 2003.
- [4] 임홍범, "라텍스개질 콘크리트의 열팽창 및 수화열특성" *공학석사학위 논문*, 강원대학교 대학원, 2004.
- [5] 최상릉, "초속경 SB 라텍스개질 콘크리트의 개발" *공학박사학위 논문*, 강원대학교 대학원, 2002.
- [6] 최판길, "초속경 라텍스개질 콘크리트의 초기 및 구속건조수축특성" *공학석사학위 논문*, 강원대학교 대학원, 2005.
- [7] Patricia M. Buchanan, "Shrinkage of Latex-Modified and Microsilica Concrete Overlay Mixtures" M. S Thesis in Virginia Polytechnic Institute and State University, 2002.
- [8] Tazawa, E., "Influence of Curing Time on Shrinkage and Weight Loss of Hydrating Portland Cement", *Proc. of JSCE*, No. 159, 1969.
- [9] Tazawa, E., Miyazawa, M., "Autogeneous Shrinkage caused by Self Desiccation in Cementitious Material", 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, Vol. 4, pp.712~718, 1992.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 CTRM 연구과제, "장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발"의 일환으로 수행되었음