

VES-LMC의 열 변형을 고려한 자기수축

Autogenous Shrinkage of VES-LMC considering Thermal Deformation

최판길* 이진범** 최승식** 윤경구***

Choi, Pan Gil Lee, Jin Bum Choi, Seung Sic Yun, Kyong Gu

ABSTRACT

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.

Keyword : VES-LMC, Autogenous shrinkage, Thermal Deformation

1. 서론

최근 콘크리트는 우수한 혼화재료의 사용, 낮은 물-시멘트비 및 콘크리트 타설 장비의 개발 등으로 고성능·고강도화의 흐름을 타고 있다. 물-시멘트비가 적고 단위시멘트량이 많은 콘크리트에서는 건조수축에 비해 상당히 작은 값으로 인해 무시되어왔던 자기수축에 대한 관심이 대두되고 있다. 자기수축은 아주 낮은 물-시멘트비의 경우를 제외하면 상대적으로 작다고 알려져 있는데, 콘크리트의 고성능감수제 및 고강도화에 따라서 낮은 물-시멘트비의 콘크리트가 사용되고 있지만, 물-시멘트비가 작고, 단위시멘트량이 많은 콘크리트에서는 지금까지 무시되었던 자기수축의 영향이 증대되고, 경우에 따라서는 자기수축만에 의해서도 균열이 발생하는 것이 지적되고 있다. 따라서 자기수축 발생기구, 영향인자 및 예측 방법의 확립이 중요한 시점이라 할 수 있다.[1],[2],[7]

이러한 자기수축현상에 대해 일본 콘크리트공학협회에서는 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]

최근 들어 고속도로 및 국도를 중심으로 하여 심각하게 열화 된 교량상판 콘크리트 층을 보수하기 위한 긴급보수재료로서 초속경라텍스개질 콘크리트(Very-Early Strength Latex-Modified Concrete : 이하 VES-LMC)가 개발되어 상용화 단계에 이르고 있다. VES-LMC의 장점은 재령3시간 휨 강도가

* 강원대학교 토목공학과 박사과정

** 강원대학교 토목공학과 석사과정

*** 강원대학교 토목공학과 부교수

4.5MPa이상, 압축강도가 21MPa 이상으로 발현되어 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. [4],[5]

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.

2. 실험방법

2.1 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 온도계이저로 써머커플을 사용하였다. 표 1은 실험에 사용된 배합표이다.

2.2 자기수축 실험

자기수축 실험은 0.001mm감도를 가진 10 mm LVDT를 사용하여 시편의 길이변화를 측정하는 방법으로, 본 실험법의 장점은 그림1 모식도에 나타난 바와 같이 콘크리트 타설후 LVDT를 통해 획득된 길이변화량이 데이터 로거(Data Logger)를 통하여 데이터가 직접 전송되므로 콘크리트타설 후부터 일련의 2차 처리 과정을 거치지 않는다는 데 있다.

본 실험은 외부로의 수분증발을 억제하기위하여 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 연구결과에 준하여 24시간동안 측정하였다.[5] 데이터의 빈도수는 처음 24시간은 5분에 한번씩 측정하였다. 그리고 초기의 팽창특성을 평가할 수 있도록 형틀 내부에 팽창을 허용할 수 있는 스티로폼 틀을 제작하여 삽입하였고, 스티로폼이 수분을 흡수하지 못하도록 비닐 슈트처리 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 초기 자기수축(R 0.2%)

대부분의 초기자기수축이 콘크리트타설 24시간을 전후하여 발생한다는 것이 이미 입증되었고, 간이 수화열 실험을 통한 실험결과 콘크리트 시편 내·외부의 온도가 같아지는 시점이 콘크리트타설 약 6시간임을 알았다.[5] 즉, 초기 6시간이 지나면 더 이상의 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 있으므로,[3] 간이수화열 실험을 통한 콘크리트 내·외부 온도를 평균하여 산출된 온도가 콘크리트의 평균온도라고 가정하면, 항온항습실 내부 온도와의 차이를 통해서 열팽창변형률의 크기와 관계한다. 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 의

한 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 2는 지연제가 0.2% 첨가된 변수의 24시간 동안의 자기수축, 열팽창 및 순수한 자기수축을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이 열팽창의 영향으로 영향은 콘크리트타설 초기 5~6시간까 지임을 알 수 있고, 초결 발생 후 약 50분까지 자기팽창의 경향이 나타나고 있다.

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.[5]

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

3.2 자기수축(R 0.4%)

그림 3은 지연제가 0.4% 첨가된 VES-LMC L15의 24시간 동안의 자기수축을 나타내는 그래프이다. 초결이 발생한 후부터 약 30분가량 18 μ m정도 팽창하였다. 열팽창과 자기팽창의 복합요인에 의해 발생한 결과로서 콘크리트타설 약 1시간 40분이 지나면서 수축의 경향이 두드러지게 나타나고 있다. 열팽창을 포함한 최대자기수축은 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 경향판단의 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 무관하다는 결론을 얻을 수 있다.

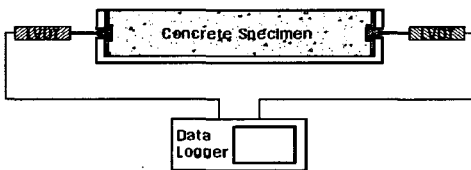


그림 3. 자기수축 시험 모식도

표1. Mix Proportions of VES-LMC

Type	W/C (%)	S/a (%)	단위량 (kg/m ³)					소포 제	지연 제
			C	W	L	G	S		
VES-LMC L15-R0.2	38	58	390	82	122	707	918	1%	0.2%
VES-LMC L15-R0.4									0.4%

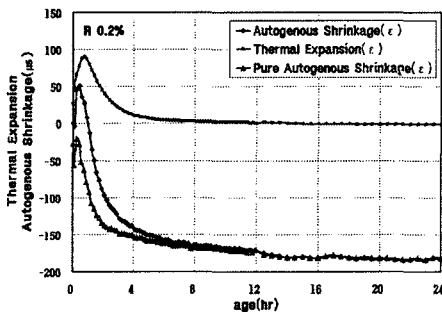


그림 2. 자기수축 (R 0.2%)

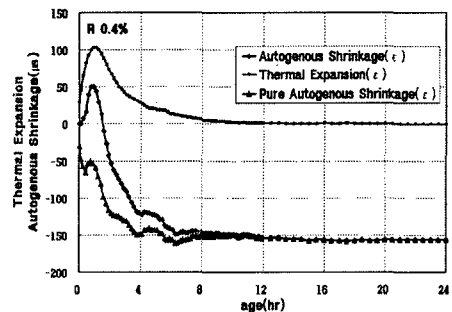


그림 3. 자기수축 (R 0.4%)

4. 결론

본 연구를 통해 VES-LMC의 열 변형을 포함한 초기 자기수축 특성에 대해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 간이수화열 실험결과 콘크리트 시편의 내부와 외부의 온도가 같아지는 시간은 콘크리트타설 6시간 내외였다. 따라서 초기재령에서의 엄격한 콘크리트 온도관리가 요구되며, 철저한 온도관리는 초기균열의 원인인 온도경사로 인한 온도응력 발생을 억제하게 될 것이다.
- (2) 구속된 틀 속에서 콘크리트의 초기팽창을 측정할 수 있는 실험방법을 구현하여, VES-LMC의 열팽창과 자기팽창을 정량적으로 평가하였다.
- (3) 열 특성을 고려한 순수한 자기수축은 콘크리트의 수화열, 열팽창계수 및 외부로의 수분증발이 없는 조건에서의 자기수축 측정으로 계산가능하다.
- (4) VES-LMC의 초기팽창 요인은 일부 자기팽창에 기인하기는 하나, 대부분이 열팽창 변형에 좌우된다는 것이 실험적으로 증명되었다.
- (5) 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.

감사의 글

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

참고문헌

1. 김진철(2003), “콘크리트의 건조수축 메커니즘과 예측모델” 도로포장공학회지 제5권 3호 p.p. 32~41
2. 이회근, 이광명, 김병기 (2001), “고성능 콘크리트의 자기수축” 대한토목학회 2001학술발표회 논문집
3. 임홍범(2004), “라텍스개질 콘크리트의 열팽창 및 수화열특성” 공학석사학위 논문, 강원대학교 대학원
4. 최상릉(2002), “초속경 SB 라텍스개질 콘크리트의 개발” 공학박사학위 논문, 강원대학교 대학원
5. 최관길(2005), “초속경 라텍스개질 콘크리트의 초기 및 구속건조수축특성” 공학석사학위 논문, 강원대학교 대학원
6. Tazawa, E.(1969), “Influence of Curing Time on Shrinkage and Weight Loss of Hydrating Portland Cement”, Proc. of JSCE, No. 159
7. Tazawa, E., Miyazawa, M.(1992), “Autogeneous Shrinkage caused by Self Desiccation in Cementitious Material”, 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, Vol. 4, pp.712~718