



지연제 함량 변화에 따른 초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)의 자기수축

Autogenous Shrinkage of Very-Early Strength Latex-Modified Concrete with Retarder Contents

최 판 길* 윤 경 구** 이 봉 학***
 Choi, Pan-Gil Yun, Kyong-Ku Lee, Bong-Hak

Abstract

The autogenous shrinkage of high-performance concrete, including very-early strength latex-modified concrete(VES-LMC), is generally bigger than that of normal strength concrete because of the low water/cement ratio, high binder contents, and usage of superplasticizer. Mix. proportion of VES-LMC has low water/cement ratio(0.38), high cement content(390kg/m³), and aid of latex(15% of cement weight). Thus, these factors of VES-LMC, rapid water self-dissipation and evaporation within 3 hours of concrete placement would increase the autogenous shrinkage. The purpose of this study was to evaluate the early-age shrinkage, thermal deformation and autogenous shrinkages of VES-LMC with retarder contents(retarder solids-cement ratio, by weight) using to secure working time in field. The experimental results showed that retarder contents do not affect of the maximum hydration temperature. Early-age expansion of VES-LMC was mostly caused by thermal expansion and partly by autogenous expansion. The autogenous shrinkage is decreased by increasing the retarder contents within this study. On the other hand, the usage of retarder should be decided carefully considering the field conditions because an excessive usage of retarder can cause harmful early-age expansion.

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

요 지

초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)를 포함한 고성능 콘크리트는 낮은 물-시멘트비, 높은 결합재량 및 고성능감수제의 사용 등으로 인해 자기수축(Autogenous Shrinkage)이 1종 콘크리트(OPC)보다 크게 나타나는다. 초속경 라텍스개질 콘크리트의 배합특성은 낮은 물-시멘트비(0.38), 높은 단위시멘트량(390kg/m³) 및 라텍스첨가(단위시멘트량 대비 15%)로 구성되므로, 자기수축이 크게 발생할 수 있고, 또한 콘크리트 타설 후 3시간 이내에 발생하는 급격한 수분소산(Water Dissipation)과 수분증발은 자기수축을 증가시킬 수 있다. 본 논문의 목적은 현장에서 작업시간 확보를 목적으로 사용되는 지연제 첨가량 변화에 따른 초기수축, 온도변형 및 자기수축을 평가하는 것이다. 실험결과, 지연제의 첨가는 콘크리트의 최대 수화열에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 초속경 라텍스개질 콘크리트의 초기 팽창은 일부 자기팽창의 영향이 있기는 하지만, 대부분이 열팽창에 기인하는 것으로 나타났다. 지연제 첨가량이 증가함에 따라 자기수축이 감소하는 것으로 나타났다. 지연제의 과도한 사용은 과도한 초기 팽창을 일으킬 수 있으므로 현장조건을 고려하여 신중하게 결정되어야 한다.

핵심용어 : 초속경 라텍스개질 콘크리트, 자기수축, 초기수축, 온도변형

* 정희원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 · 교신저자(E-mail : pangil@kangwon.ac.kr)
 ** 정희원 · 강원대학교 토목공학과 교수(E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)
 *** 정희원 · 강원대학교 토목공학과 교수(E-mail : Bonghak@kangwon.ac.kr)



1. 서론

최근 구조물의 장대화 및 거대화 추세는 고성능, 고강도 및 고기능성의 콘크리트 개발에 대한 필요성을 증가시키고 있으며, 이를 위해서는 높은 결합재 함량, 낮은 물-시멘트비 및 고품질의 혼화재료 사용이 필수적으로 수반되어야 한다. 특히, 교통 차단이 어려운 교면포장 보수에서는 사용자 불편을 최소화하기 위해 보수 후 교통개방시간을 최대한 앞당기는 것이 무엇보다도 중요하고, 긴급보수에 특성화된 고성능 및 고기능성의 콘크리트 보수재료를 사용할 필요가 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위하여 국내에서는 2004년부터 초속경 라텍스개질 콘크리트 (Very-Early Strength Latex-Modified Concrete : 이하 VES-LMC)가 개발되어 적용되어 오고 있다. 초속경 라텍스개질 콘크리트는 재령3시간에서 압축강도와 휨강도가 각각 21MPa이상 및 4.5MPa이상 발휘되어 콘크리트 타설 후 3시간 만에 교통개방을 가능하게 한다는 긴급보수의 큰 장점이 있다. 더불어 라텍스(Latex)의 첨가로 기존의 보수재료가 갖는 장기 내구성의 문제를 해결하여 일반콘크리트보다 투수저항성, 표면박리 저항성 및 동결융해 저항성 등이 월등히 우수한 것으로 알려져 있다(Yun et al., 2004).

그러나 초속경 라텍스개질 콘크리트를 포함한 고성능 콘크리트는 낮은 물-시멘트비와 높은 결합재 함량으로 인해 이제까지 건조수축에 비해 상당히 작은 값으로 무시되어왔던 자기수축이 크게 나타나는 경향이 있다. 자기수축은 아주 낮은 물-시멘트비의 콘크리트를 제외하면 상대적으로 작게 나타나지만, 고성능감수제의 사용, 높은 결합재 함량 및 고강도 혼화재료의 사용 등은 자기수축의 증가요인으로 작용하여 경우에 따라서는 자기수축만으로도 균열이 발생할 수 있다고 보고된 바 있다(이희근 외, 2001; Tazawa, 1992).

자기수축은 예전부터 알려져 왔으나, 일반 콘크리트에서는 건조수축에 비해 대략 1/10 정도로 작게

나타나는 반면, 고강도, 고유동 및 고내구성의 고성능 콘크리트에서는 무시할 수 없을 만큼의 변형이 발생하므로, 1990년대 초부터 일본에서는 이미 본격적으로 이에 대한 연구가 시작되었고, 국내에서도 일부 진행되고 있다(최판길, 2005; Tazawa, 1992).

초속경 라텍스개질 콘크리트의 배합특성은 낮은 물-시멘트비(38%), 높은 단위시멘트량(390kg) 및 라텍스첨가(단위시멘트량 대비 15%)로 구성되므로 자기수축이 크게 발생할 수 있는 요건을 갖추고 있다. 또한 초속경시멘트(Very-Early Strength Cement)의 급결성은 콘크리트 타설 후 단시간(3시간)내에 급격한 수분소산 및 증발을 야기하여 초기 자기수축 및 건조수축을 크게 유발할 수 있다는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 초속경 라텍스개질 콘크리트에 발생하는 자기수축의 현상을 규명하고, 초기단계에서 발생하는 급격한 수화열에 대한 영향을 온도경사(콘크리트 내외부 온도차)로 일반화하여 자기수축 특성평가를 실시하였다. 실험변수는 현장에서 외기온도 변화에 따라 투입량이 조절되는 지연제 첨가량을 0%, 0.3% 및 0.6%로 선정하고 초기수축, 온도변형 및 자기수축을 평가하였다. 이러한 연구는 재료 특성제시와 더불어 구조물의 설계, 시공 및 유지관리 단계에서 발생할 수 있는 자기수축으로 인한 문제 해결에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 자기수축과 자기건조

2.1 자기수축

콘크리트 구조물의 고강도·고성능화는 구조물의 내구성, 안정성 등을 증가시키는 반면에 초기단계의 자기수축을 증가시키는 현상을 가져왔다. 이러한 자기수축의 원인으로는 낮은 물-시멘트비, 높은 결합재 함량 및 고품질의 혼화재료 사용 등을 들 수 있다. 서론에서 언급한 바와 같이 VES-LMC의 배합은 자

기수축 증가요인을 갖추고 있으며, 초속경시멘트의 사용은 일반 OPC의 7일 강도를 3시간 만에 발현하게 한다. 따라서 급격한 수화반응으로 인해 콘크리트 내부 자기건조 속도가 증가하게 된다. 즉, 건조수축과 자기수축이 콘크리트타설 3시간 만에 대부분 발생할 수 있음을 의미하고, 수축응력이 콘크리트 타설 초기에 집중되어 시간에 관계한 응력분산 효과가 매우 작아지게 되어 자기수축으로 인한 균열 발생가능성이 증가하게 된다.

자기수축은 외부로부터의 수분 공급이 없고 일정한 온도 하에서 시멘트의 수화반응에 의해 배합시 사용된 배합수가 소비되면서 콘크리트 내부의 상대습도가 감소하는 자기건조(self-desiccation)현상에 의해 발생한다. 따라서 배합수량이 상대적으로 적은 고강도 콘크리트는 재령 초기에서부터 내부가 건조한 상태로 되기 쉽기 때문에 자기수축이 크게 발생할 수 있다. 자기수축에 대한 정의를 살펴보면 다음과 같다.

Davis(1940)는 자기수축을 '외부로부터의 수분 이동, 온도 변화, 그리고 외부하중 또는 구속에 의한 응력 등의 원인 이외의 이유로 인해 질량 내부의 물리화학적 구조가 변화하여 콘크리트의 체적이 변화하는 현상'으로 정의하였고, 일본 콘크리트공학협회(JCI) 자기수축 위원회에서는 '초결 이후에 시멘트가 수화할 때 발생하는 결합재의 체적감소'로 정의하고, 자기수축에는 물질의 손실 또는 침투, 온도 변화, 외부 하중 또는 구속에 의한 수축은 포함하지 않는 것으로 명시하였다(Tazawa, 1998).

상기에 정의된 바와 같이 자기수축은 수화반응과정에서 발생하는 수분의 소산에 의한 콘크리트 스스로의 수축을 의미하므로, 정의에 입각한 제한된 실험 조건에서 외부로의 수분증발을 억제하고 온도변화의 영향을 배제한다면 일정부분 정량적인 평가가 가능할 것으로 판단된다(Yun et al, 2007).

그림 1은 2004년 Nawa(2004)에 의해 발표된 이론으로 시멘트수화반응과정과 자기수축을 도식화하여 나타낸 그림이다.

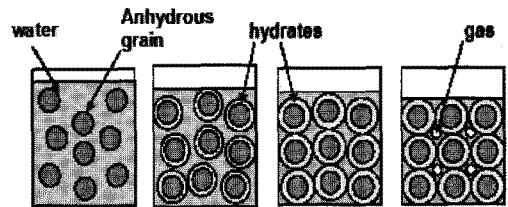
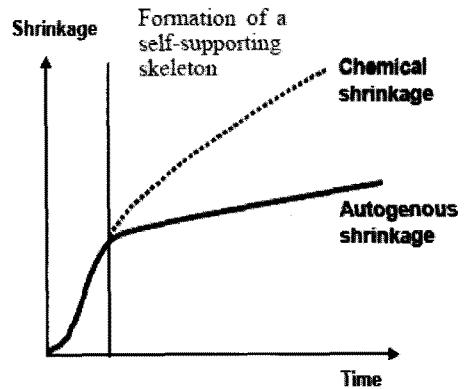


그림 1. 자기수축과 시멘트수화(Nawa, 2004)

2.2 자기건조

자기건조는 앞서 언급한 바와 같이 콘크리트 내부의 상대 습도가 감소하는 현상이다. 자기건조와 일반적인 건조의 차이를 살펴보면, 자기건조는 수분 공급이 차단된 콘크리트 내의 모든 곳에서 균일하게 진행되지만, 일반적인 건조는 콘크리트 표면에서 발생하는 국부적인 현상으로 콘크리트 미세구조의 다짐 정도와 대기의 건조 정도에 따라 다르다는 특징이 있다. 다시 말해, 건조수축은 수분이 외부로 증발하면서 발생하지만 자기수축은 수화반응에 의한 수분의 소산에 의해 발생한다는 것이다. 그러나 콘크리트 내의 습도가 감소한다는 점은 동일하다.

물-시멘트비가 매우 낮은 고강도 콘크리트의 공극은 매우 미세하고 이미 자기건조로 인해 물이 소모되었기 때문에 고강도 콘크리트 표면에서의 건조는 느리게 진행되어 건조수축 변형량은 일반 콘크리트에서보다 작게 나타난다. 따라서 보통강도 콘크리트의 수축은 건조수축이 지배적인 반면에 고강도 콘



크리트의 경우에는 자기수축이 많은 부분을 차지한다(Aitcin, 1998).

3. 자기수축 실험

3.1 실험개요

본 실험에서는 열전대(thermocouple)를 사용하여 콘크리트의 온도변화를 측정하고, 공시체 내외부 온도차에 열팽창계수를 곱하여 열변형률(thermal strain)을 산정하여 온도변화로 인한 영향을 배제하는 방법을 고려했다. 즉 제한된 환경(외부로의 수분증발 억제, 외부하중 제거 및 마찰영향 최소화)에서 초기수축을 평가하고 초기수축에서 온도변화로 인한 영향을 배제하여 자기수축을 간편하게 평가할 수 있는 방안을 모색하였다.

실험변수는 수화반응 발생 시기 조절을 목적으로 지연제 첨가량을 각각 0%, 0.3%, 및 0.6%를 선정하여 이에 따른 VES-LMC의 자기수축 특성을 평가하였다. 지연제 첨가량은 콘크리트 타설 당시의 외기 온도에 따라 투입량이 결정되는 혼화제로 수화반응 속도 및 발생 시기에 영향을 미친다.

3.2 사용재료 및 콘크리트 배합

3.2.1 사용재료

시멘트는 국내 S사에서 생산되는 교면포장 보수 전용 VES-Cement를 사용하였으며 실험에 사용된 VES-Cement의 물리적 성질은 표 1과 같다. 굵은 골재는 최대치수 13mm 쇄석을 사용하였고, 잔골재는 천연강모래를 사용하였다. 실험에 사용된 골재는 KS 규정을 만족하는 골재를 물로 세척하여 사용하였다. 표 2는 골재의 비중 및 조립률을 나타낸다. VES-LMC의 물성변화에 가장 큰 영향을 미치는 라텍스는 미국 D사의 DL470을 사용하였고, 스티렌-부타디엔(Styrene-Butadiene)라텍스로 시멘트 모

르타르와 콘크리트에 적합하도록 제조된 것이다. 라텍스의 물리적 특성은 표 3과 같다. 라텍스 첨가용 소포제는 D사의 실리콘 계열 L101A제품으로 라텍스의 제조에도 사용되는 것을 선정하여 사용하였다. 표 4는 실험에 사용된 소포제의 특성을 나타내고, 표 5는 현재 현장에서 널리 사용되고 있는 구연산계열 지연제의 화학적 특성을 나타낸다.

표 1. VES-Cement의 물리화학적 특성

Cement Type	Chemical Composition (%)						Blaine (cm ² /g)	Specific Gravity
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
VES-Cement	10.2	16.7	1.3	50.8	1.4	15.5	5,700	2.95

표 2. 골재의 물리적 특성

Type	Max. size	Specific Gravity	F.M
Fine Aggregate	-	2.54	2.89
Coarse Aggregate	13mm	2.75	6.18

표 3. 라텍스의 물리적 특성

Solids Content (%)	pH	RVT Brookfield Viscosity (mPa · s)	Surface Tension (dyne/cm)	Particle Size (nm)	Stabilizer Type	Minimum Film Forming Temperature(°C)
45~48	9.5~11.0	40	30~35	180~210	Anionic	< 4

표 4. 소포제의 물리적 특성

Specific Gravity	pH	Solid Content (%)	Appearance
1.02	7.0	25	White

표 5. 지연제의 특성

Series	Characteristic	Molecule	Molecule	Purity	pH
Trisodium Citrate	White Crystalline	C ₆ H ₅ KNa ₃ O ₇	258.07	99.0~100.5%	Alkalinity

3.2.2 콘크리트 배합

표 6은 실험에 사용된 배합표를 나타낸다. VES-LMC 배합순서는 보통콘크리트 제조방법과 동일하게 하였으며, 콘크리트 배합은 굵은 골재와 잔골재를 혼합하여 약 30초간 건비빔을 실시한 후 시멘트를 혼합하여 다시 30초간 모든 재료가 잘 섞이도록 비빔을 실시하였다. 다음으로 소포제가 첨가된 라텍스

와 지연제가 희석된 물을 투입한 후 30초간 모든 재료가 잘 섞이도록 배합하였다.

표 6. VES-LMC 배합표

Classification	W/C	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)					Anti-foaming agent ¹	Retarder ²	Slump	Air Content
			Cement	Water	Latex	Gravel	Sand				
R 0.0%	0.38	58	390	82	122	707	918	1.0%	0.0%	21cm	4.5%
R 0.3%	0.38	58	390	82	122	707	918	1.0%	0.3%	21cm	4.5%
R 0.6%	0.38	58	390	82	122	707	918	1.0%	0.6%	21cm	4.5%

*1 : 시멘트 중량 대비

*2 : 라텍스 고흡분 대비

3.3 간이 수화열 및 초기 길이변화 실험

3.3.1 시험체 제작

간이 수화열 시험편은 지름 10cm, 높이 20cm의 원형공시체에 열전대(thermocouple)를 매립하여 내부 온도 측정이 가능하도록 하였다. 자기수축시험편 내부의 수화온도와 원형공시체의 수화온도 비교를 목적으로 자기수축시험편 내부에도 열전대를 매립하여 수화온도를 측정할 결과 시편 크기 및 형상에 관계없이 수화열이 동일하게 측정되었다. 실험결과를 비교한 그래프는 그림 2와 같다. 따라서 본 논문에서는 길이변화 시편 내부의 간섭을 최소화하기 위하여 원형 공시체에 온도데이터를 사용하였다. 실험은 온도 20℃ 및 상대습도 60% 조건에서 실시하였다. 그림 3은 공시체를 사용한 간이 수화열 실험 모식도를 나타낸다.

초기 길이변화 시험편은 가로×세로×높이가 각각 64×316×70mm²인 크기의 시편을 사용하여 굽은 골재 최대치수($G_{max}=13mm$)보다 3배 이상 크기를 확보하여 콘크리트의 특성이 충분히 발휘될 수 있도록 하였다. 콘크리트 시편과 형틀과의 분리를 위하여 형틀 내부를 테프론 시트(teflon sheet)로 1차 처리하고, 폴리머 콘크리트용 박리제로 2차 처리하였다. 그리고 초기 팽창특성을 평가할 수 있도록 형틀 내부에 팽창을 허용할 수 있는 스티로폼(Styrofoam) 틀을 제작하여 삽입하였고, 스티로폼이 수분을 흡수하

지 못하도록 폴리에틸렌 필름(polyethylene film)을 도포 하였다. 마지막으로 외부로의 수분증발을 최소화하기 위하여 폴리에틸렌 시트로 상부를 밀봉하고 캡을 씌운 후 실험을 실시하였다.

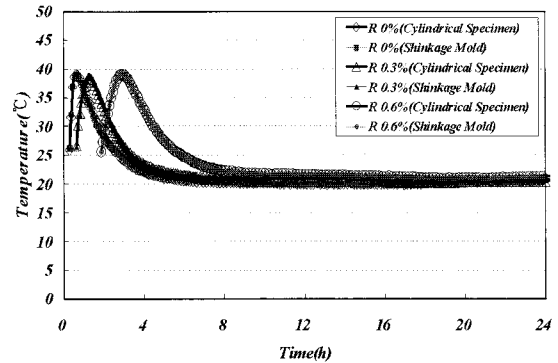


그림 2. 시편 형상에 따른 수화온도 비교

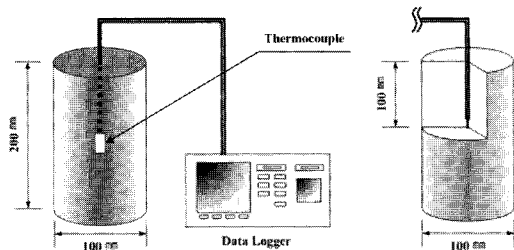


그림 3. 간이 수화열 실험 모식도

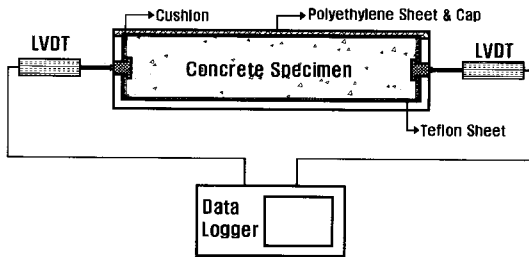
3.3.2 실험 및 측정

초기균열을 일으키는 중요한 인자 중 하나는 콘크리트 내부의 초기온도이므로, 초기균열에 관한 연구에서 가장 기본 단계는 초기온도 경향을 분석하는 것이다. 본 실험에서는 간이 수화열 실험을 통하여 초기온도를 측정하였다. VES-LMC는 1종 콘크리트(OPC)의 7일 강도를 3시간에 발현하므로 재령 3시간까지의 온도변화가 매우 중요하다. 온도변화는 콘크리트 타설 직후 시편에 열전대(thermocouple)를 매립하여 24시간 동안 측정하였다.

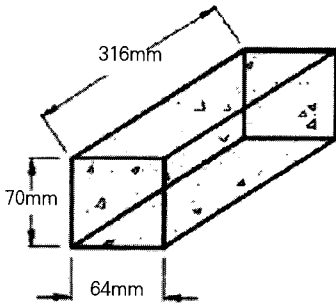
초기 길이변화 실험은 1 μ m감도를 가진 CDP-10mm LVDT를 사용하여 시편의 길이변화를 측정하는 방법으로, 본 실험법의 장점은 그림 4 모식도에 나타난

바와 같이 콘크리트 타설 후 LVDT를 통해 길이변화량이 데이터 로거를 통하여 직접 전송되므로 콘크리트 타설 후 2차 처리과정이 필요없어 비교적 정확한 데이터를 얻을 수 있다는 점이다.

관입저항시험 방법을 적용하여 응결실험을 실시하고, 초결이 발생한 시점부터 초기수축 실험을 실시하였다. 초기수축 평가를 위한 실험 시간은 수화열 평가에서와 동일한 기준으로 24시간동안 실시하였다. 데이터의 빈도수는 초결 이후 24시간은 5분에 한 번씩 측정하고 이후 48시간은 30분에 한 번씩 측정하였다.



(a) 자기수축시험 모식도



(b) 시험편 크기

그림 4. 자기수축시험 모식도 및 시험편 형상

자기수축평가는 자기수축 정의에 입각하여 물질의 손실 또는 침투, 온도 변화, 외부 하중 또는 구속에 의한 수축을 배제할 수 있도록 다음의 네 단계를 통해 평가하였다.

1단계 : 외부로의 수분증발 억제하여 건조수축 제어된 상태에서 초기 길이변화 평가(건조수

축 제어)

2단계 : 시편과 형틀과의 마찰의 영향이 최소화된 상태에서 초기 길이변화 평가(구속영향 및 외부하중 제어)

3단계 : 수화반응으로 인한 온도변화 배제(온도변화×열팽창계수 = 열 변형률 계산)

4단계 : 1, 2 단계에서 측정된 초기수축에서 3단계의 방법으로 계산된 열 변형률을 배제하여 자기수축 계산

4. 실험결과 및 고찰

4.1 지연제 첨가량 변화에 따른 온도변화 특성

VES-LMC에서 지연제는 응결지연을 통한 작업성 확보를 목적으로 투입되며, 외부기온에 따라 투입되는 첨가량이 결정된다. Cady(1971) 등은 1종 콘크리트(OPC)에서 지연제 첨가에 따른 콘크리트의 균열특성을 평가한 결과, 지연제가 균열에 미치는 영향은 없다고 보고 한 바 있다. 그러나 VES-LMC는 보통콘크리트의 수화 메커니즘과는 달리 콘크리트 타설 초기에 수화반응이 급격히 발생하므로 온도변화 및 수축 등에서 다른 특성이 나타난다. 특히 초기변형에 따른 체적변화가 단 시간에 발생하기 때문에 수화반응 발생 시기 및 속도에 영향을 미치는 지연제의 첨가는 콘크리트의 물성을 변화시킬 수 있다.

본 논문에서는 변수별로 제작된 원형공시체에 열전대(thermocouple)를 매립하여 시간에 따른 내부 온도변화를 측정하고, 제한된 환경에서 콘크리트의 초기 길이변화를 측정하여 초기수축과의 상관성을 분석하고 이들의 상관관계에서 자기수축을 평가하였다. 그림 5는 지연제 첨가량에 따른 VES-LMC의 내부 온도변화를 측정된 그래프이다. 실험결과 최대 수화열은 지연제 첨가량 0%, 0.3% 및 0.6%에서 각각 39℃, 38.4℃와 39.1℃로 측정되어 최대 수화열은 유사한 것으로 나타났으나, 지연제 첨가량 증가에 따

라 최대 수화열 발생시점이 늦춰지는 것으로 나타났다. 지연제 0% 변수의 경우 타설 후 1시간 이내에 최대 수화열을 나타내었고, 0.6% 첨가된 변수는 3시간 이후에 최대 수화열을 나타내었다. 즉, 지연제 첨가가 시멘트 수화반응을 잠시 억제시킬 수는 있으나 수화반응이 개시되면 화학반응에 의한 수화발열 특성에 있어 지연제의 영향은 무시될 수 있다는 것이다.

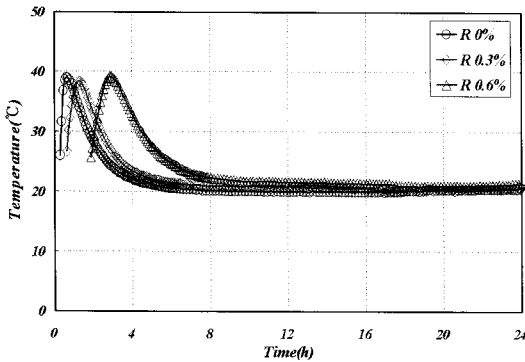


그림 5. 지연제 첨가량 변화에 따른 온도변화

4.2 지연제 첨가량 변화에 따른 초기 길이변화 특성

VES-LMC는 수화반응 개시 후 12시간 이내에 초기 수축의 90% 이상이 발생한다고 보고된 바 있다(최판길, 2005). 따라서 VES-LMC의 체적변화는 수화반응 시점부터 매우 활발하게 일어나며 이러한 체적변화는 콘크리트의 초기 균열발생 원인이 될 수 있다.

그림 6은 VES-LMC의 시간대별 초기수축을 최대 수축에 대한 대비백분율로 나타낸 것이다. 이를 살펴보면, VES-LMC의 초기 길이변화는 타설 12시간 이내에 수축이 대부분 발생함을 알 수 있고, 4시간 이내에 초기수축의 90%가 발생하여 초기재령에서의 높은 수화온도와 수축이 매우 중요한 영향인자임을 알 수 있다(최판길, 2005).

그림 7은 지연제 첨가에 따른 초기 길이변화(총 변형률) 특성을 나타낸 그래프이다. 본 결과는 외부로

의 수분증발 억제, 마찰의 영향 최소화 및 외부하중이 제어된 상태에서 온도변화의 영향이 포함된 초기 수축을 나타내는 그래프이다. 실험결과를 살펴보면, 지연제첨가량이 증가할수록 초기 팽창이 증가하는 것을 알 수 있다. 지연제 첨가량 0%, 0.3%와 0.6%에서 초기 팽창변형률은 $40\mu\epsilon$, $60\mu\epsilon$, $120\mu\epsilon$ 에서 최종 수축변형률이 각각 $130\mu\epsilon$, $120\mu\epsilon$, $50\mu\epsilon$ 으로 나타났다.

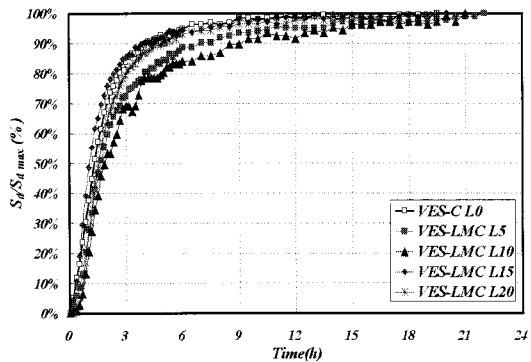


그림 6. 최대수축대비 재령별 수축백분율(최판길, 2005)

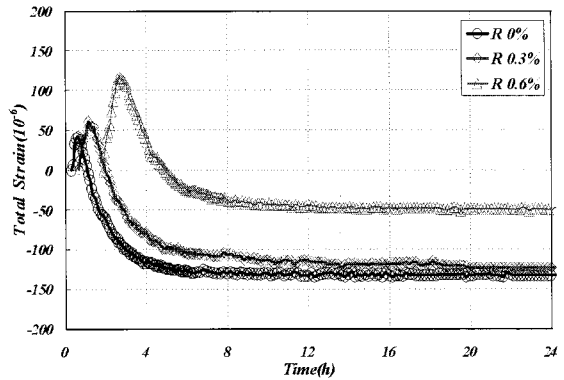


그림 7. 지연제 첨가량 변화에 따른 총 변형률

본 연구에서의 길이변화 측정 시점은 자기수축 정의에 준하여 응결시험을 통해 나타난 초결을 기준으로 실시하였다. 지연제 첨가에 따른 초결 발생시기의 변화는 지연제 첨가량이 증가하면서 1시간 이상 지연되는 것으로 나타났다. 이러한 초결 시간의 지연은 작업시간의 확보 측면에서는 매우 유리하나 시멘트 입

자간의 수화반응이 급격히 발생하여 시멘트 수화반응시 생성되는 에트링가이트(ettringite)가 급속히 생성되어 팽창이 매우 커질 수 있으므로 주의가 요구된다. 지연제 첨가량 증가에 따른 초기 팽창은 지연제가 첨가되지 않은 변수에 비해 약 2~2.5배 이상으로 나타나 초기 팽창에 의해 인장응력이 매우 크게 발생하여, 경우에 따라서는 초기 팽창에 의해 콘크리트 내부 혹은 표면에 손상이 갈 수 있을 것으로 판단된다. 최종 수축은 지연제 첨가량 0.6%에서 $50\mu\epsilon$ 로 가장 작게 나타났으나, 초기 팽창을 고려한 절대 수축변형률은 $170\mu\epsilon$ 내외로서 지연제 첨가에 따른 절대 수축변형률에는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

전체적으로 지연제 첨가량이 증가함에 따라서 초기 팽창도 증가하는 경향이 나타나므로, 초기 팽창을 최소화하는 동시에 작업시간을 확보할 수 있는 최적 지연제 첨가량은 0.3%내외가 되어야 할 것으로 사료된다.

4.3 지연제 첨가량 변화에 따른 자기수축 특성

본 연구에서는 콘크리트의 길이변화를 측정하기 위해 각주형 시편을 이용하여 일본 콘크리트공학협회(JCI) 자기수축 위원회에서 제안한 방법을 이용하였고, 온도변형률은 콘크리트 공시체 내-외부 온도차를 계산하고 열팽창계수를 곱하여 산출하였다. 이때 사용된 VES-LMC의 열팽창계수는 $7.16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 를 적용하였다(임홍범, 2003).

그림 8~10은 지연제 첨가량 변수별 총 변형(total strain), 온도변형(thermal strain) 및 자기수축(autogenous shrinkage)의 관계를 나타내는 그래프로서 자기수축은 총 수축에서 온도변형의 영향을 배제한 수축을 나타낸다. 지연제가 첨가되지 않은 경우와 0.3%가 첨가된 변수에서는 자기수축이 콘크리트 타설 2시간까지 급격하게 수축하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 수화반응이 급격하게 일어나므로 인해 콘크리트 내부에 존재하는 수분의 소산속도가 빨라지게 되어 자기수축이 급격하게 증가된 것으로 사

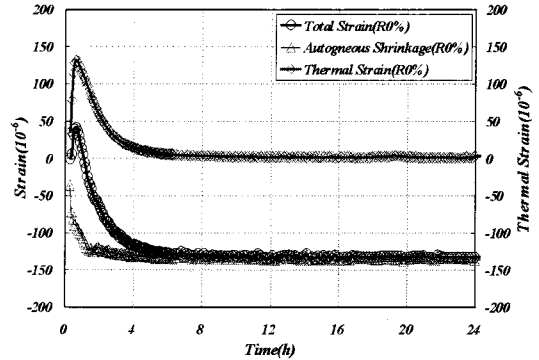


그림 8. 총 변형, 온도변형 및 자기수축 비교(R 0%)

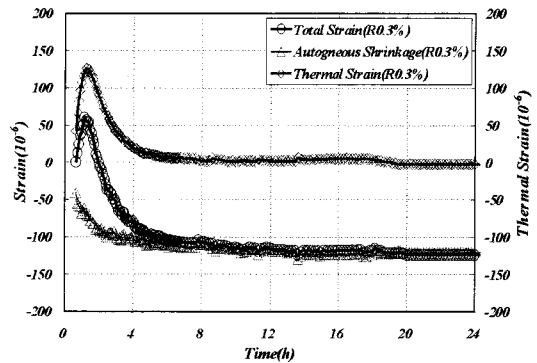


그림 9. 총 변형, 온도변형 및 자기수축 비교(R 0.3%)

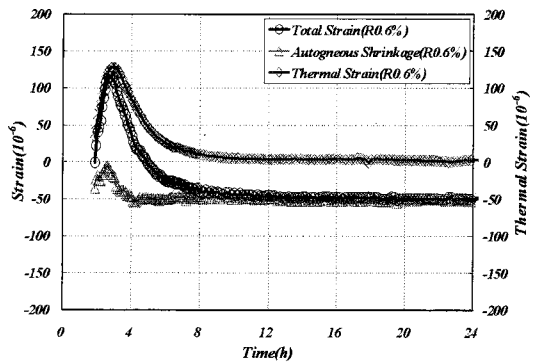


그림 10. 총 변형, 온도변형 및 자기수축 비교(R 0.6%)

료된다. 지연제가 0.6% 첨가된 경우의 자기수축은 초기에 일정부분 팽창특성을 보이다가 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 재령별 변화하는 열팽창계수를 정확하게 산출하지 못함에 의해 발생하는 오류일 수 있으므로, 추후 열팽창계수와 수축을 동시

에 평가할 수 있는 실험방법을 고안하여 정확한 결과를 도출할 필요가 있다. 본 실험에서는 지연제 첨가량이 증가할수록 초기에 자기팽창이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 지연제 첨가량에 따른 초기 자기팽창의 증가는 지연제에 의해 억제된 화학적 반응이 순간적으로 개시됨에 따라 에트링가이트 및 수산화칼슘의 급성장에 의한 팽창으로 판단되므로(이광명 외, 2006) 과도한 지연제의 첨가는 초기 팽창에 따른 균열을 발생시킬 수 있으므로 현장 여건을 고려하여 신중하게 결정되어야 할 것으로 판단된다.

그림 11은 지연제 첨가량 변화에 따른 VES-LMC의 자기수축을 비교한 그래프이다. 지연제 첨가량이 증가함에 따라 자기수축이 감소하는 경향을 보이고 있으나, 앞서 언급한 바와 같이 지연제가 0.6% 첨가된 변수에서는 총 수축에서 콘크리트에 유해한 팽창으로 사료되는 초기 팽창이 발생하므로 적정 지연제 첨가량은 현장에 적용된 콘크리트의 균열발생 여부를 토대로 결정되어야 할 것으로 판단된다.

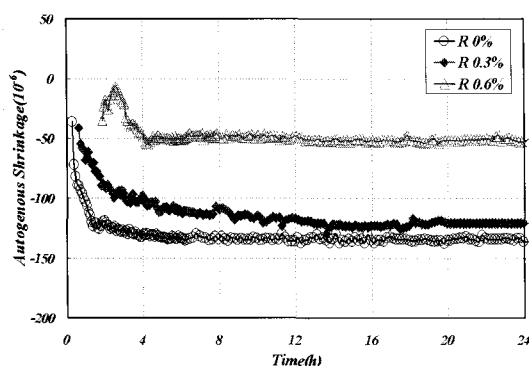


그림 11. 지연제 첨가량 변화에 따른 자기수축

5. 결론

본 논문에서는 초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)를 포함한 고성능, 고강도 및 고기능성 콘크리트에서 비교적 크게 나타나는 자기수축을 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 적용하여 지연제 첨가량

변화가 VES-LMC의 자기수축에 미치는 영향을 평가하였다. 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)의 작업시간을 확보하기 위해 투입되는 지연제의 첨가는 콘크리트의 최고 수화발열온도에 영향을 미치지 않으며, 콘크리트 시편의 내부와 외부의 온도가 같아지는 시간은 콘크리트 타설 6시간 내외인 것으로 나타났다.
- 2) 지연제가 첨가되지 않은 시험편 대비 지연제가 0.3%와 0.6% 첨가된 시험편의 초기 팽창은 약 2~2.5배 이상으로 나타나 과도한 초기 팽창으로 인해 콘크리트 내부 또는 표면에 인장응력을 발생시켜 결함을 유발할 수 있는 가능성은 커지지만, 팽창과 수축의 절대치를 모두 고려한 수축은 170 $\mu\epsilon$ 내외로서 지연제 첨가에 따른 절대 수축변형률에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.
- 3) 초속경 라텍스개질 콘크리트(VES-LMC)의 초기 팽창은 일부 자기팽창의 영향이 있기는 하지만, 대부분이 온도변형에 기인하는 것으로 나타나 재령별 정확한 열팽창계수의 산정이 무엇보다도 중요하다.
- 4) 지연제 첨가량이 증가함에 따라 자기수축이 감소하는 경향을 보이고 있으나, 과도한 지연제의 사용은 콘크리트에 과도한 팽창을 유발시킬 수 있으므로 사용상 주의가 요구되며, 초기 팽창과 최종 수축을 고려하여 최적 지연제 첨가량은 0.3%가 되어야 할 것으로 판단된다.
- 5) 자기수축을 포함한 총 수축의 대부분은 콘크리트 타설 12시간 이내에 발생하고, 자기수축은 콘크리트 온도와 대기온도가 같아지는 순간부터 총 수축과 거동특성이 동일하게 나타난다.

참고 문헌

이광명, 선우주연, 이회근, Kamal, H. Khayat(2006),



- 양생조건이 콘크리트의 체적 변화에 미치는 영향, 콘크리트학회논문집 제18권 3호 pp.331~338.
- 이회근, 이광명, 김병기(2001), 고성능 콘크리트의 자기 수축, 대한토목학회 2001학술발표회 논문집, pp. 1~4
- 임홍범(2004), 라텍스개질 콘크리트의 열팽창 및 수화열 특성, 공학석사학위 논문, 강원대학교 대학원
- 최관길(2005), 초속경 라텍스개질 콘크리트의 초기 및 구속건조수축특성, 공학석사학위 논문, 강원대학교 대학원
- Aitcin, P. C.(1998), Autogenous Shrinkage Measurement, *Proceedings of the International Workshop on Autogenous Shrinkage*, Edited by E. Tazawa, June 13~14, Hiroshima, Japan, pp.257-268.
- Cady, P.D., Carrier, R. E., Bakr T., and Theisen, J.,(1971), *Final Report on the Durability of Bridge Decks-Part I: Effect of Construction Practices on Durability*, Department of Civil Engineering, Pennsylvania State University.
- Davis, H.E.(1940), *Autogenous Volume Change in Concrete*, Proceedings of ASTM, No. 40, pp.1103~1110.
- 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
- Tazawa, E.(1998), *Autogenous Shrinkage of Concrete*, *Proceedings of the International Workshop organized by JCI*, Hiroshima, Japan, pp.3~8
- Toyoharu Nawa et al(2004), Autogenous Shrinkage of High-Performance Concrete, *Proceeding of the International Workshop on Microstructure and Durability to Predict Service Life of Concrete Structures* Sapporo, Japan.
- Yun, K.K., Kim, D.H., and Choi, S.Y.(2004), Durability of Very-Early-Strength Latex-Modified Concrete Against Freeze-Thaw and Chemicals, *Journal of TRB, TRR 1893*, National Research Council, Washington, pp. 1~10
- Yun, K.K., Choi, P.G., Choi, S.Y., Kim, K.H.(2007), Thermal and Autogenous Shrinkages of Very-Early Strength Latex-Modified Concrete, *Journal of TRB, TRR 2020*, Washington D.C., pp30~39

접 수 일: 2009. 3. 10
 심 사 일: 2009. 3. 13
 심사완료일: 2009. 5. 12