

VES-LMC의 지연제 함량과 물-시멘트비에 따른 초기 거동

Early-Behavior of VES-LMC with Retarder and W/C

이진범* 최관길** 김기현*** 윤경구****
Lee, Jin-Beom Choi, Pan-Gil Kim, Ki-heun Yun, Kyong-Ku

1. 서론

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 작은 값으로 인해 무시되어왔던 자기수축에 대한 관심이 대두되고 있다. 자기수축은 아주 낮은 물-시멘트비의 경우를 제외하면 상대적으로 작다. 그러나 콘크리트의 고성능감수제 및 고강도화에 따라 낮은 물-시멘트비의 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 연구과제로 대두되어 현장 적용성에 대한 관심이 증대되고 있다.

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 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.

한편 초속경라텍스개질콘크리트는 급결성으로 인한 급격한 수분소산 및 증발로 초기 자기수축이 발생 할 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 지연제 함량변화와 물-시멘트비의 변화에 따른 상이한 초기 거동을 파악하는데 있다.

따라서 본 연구에서는 낮은 물-시멘트비와 높은 결합재비를 갖는 고성능·고강도 콘크리트에서 크게 나타나는 길이변형률에 대해 연구를 수행하였다. 작게는 VES-LMC의 지연제 함량과 물-시멘트비를 변수를 두어 초기거동 특성을 규명하는데 있고, 크게는 구조물의 설계, 시공 및 유지관리 단계에 있어서 고성능·고강도 콘크리트가 갖는 초기 변형률로 인한 문제를 해결하는데 기초 자료를 확보하고자 하였으며, 나아가 현장의 실무자들에게 참고자료로 활용되기를 바라는 바이다.

2. 실험방법 및 배합

2.1 변형률시험

변형률 실험은 그림 1 길이변형률시험 모식도에 나타난 바와 같이 0.001mm 정밀도를 가진 10mm LVDT를

* 정희원 · 강원대학교 토목공학과 석사과정 · 공학사 (033-250-6240, E-mail : leejinbeom@hanmail.net)
** 정희원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 · 공학석사 (033-250-6240, E-mail : pangil@kangwon.ac.kr)
*** 정희원 · 삼우 IMC 대표이사 박사수료 · (02-402-4795 E-mail : kiheun@empat.com)
**** 정희원 · 강원대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 (033-250-6236, E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)

사용하여 시편의 길이변화를 측정하였다. 콘크리트 타설 후 LVDT를 통해 획득된 길이변화량은 데이터 로거(Data Logger)로 자동전송 된다. 콘크리트 시편과 폴리에틸렌 형틀과의 분리를 위하여 일차적으로 0.5mm 두께의 테플론시트를 도포하고, 이차적으로 형틀 내부를 폴리머 콘크리트용 박리제로 도포한 후 타설을 실시하여, 형틀로부터의 마찰 영향을 최소화 하였다. 실험에 사용된 시편의 규격은 $70 \times 70 \times 320 \text{mm}^3$ 의 콘크리트 빔을 사용하였고 한 변수당 3개의 콘크리트 빔을 제작하였다. 실험은 온도 20°C , 상대습도 50%로 일정하게 유지되는 항온항습실에서 수행하였고, 초기수축 규명을 위하여 초기재령 1일까지의 수축데이터를 획득하였다. 실험의 측정은 콘크리트의 초결이 지난 후 센서의 유동이 없는 시기부터 시작하였다.

본 실험은 외부로의 수분증발을 억제하기 위해 폴리에틸렌 비닐로 일차 처리 후 형틀 커버를 덮고 형틀과 덮개 사이를 테이핑 처리하였다. 관입저항방법을 이용한 응결실험을 통하여 지연제 함량과 물-시멘트비 변화에 따른 VES-LMC의 응결실험을 실시하였고, 초결이 발생한 시기부터 길이변형을 측정하였다. 그리고 초기 팽창특성을 평가할 수 있도록 형틀 내부에 팽창을 허용할 수 있는 스티로폼 틀을 제작하여 삽입하였고, 스티로폼이 수분을 흡수하지 못하도록 비닐 슈트처리 하였다.

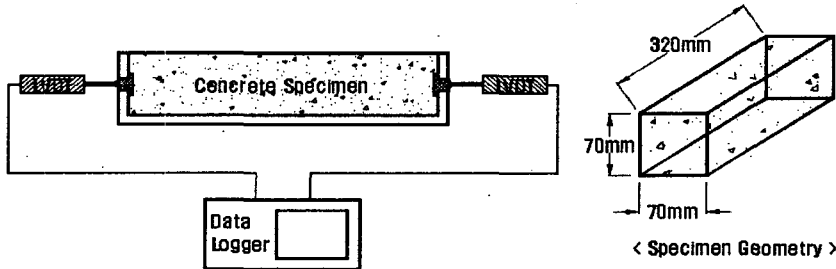


그림 1. 길이변형률시험 모식도

2.2 간이수화열시험

콘크리트포장의 초기균열에 관한 연구에서 가장 기본이 되는 요소는 초기온도패턴을 분석하는 것이라 할 수 있다. 본 실험에서는 간이 수화열 실험을 통하여 콘크리트 몰드의 중심의 초기온도를 획득하였고, 콘크리트 타설 직후 시편에 써머커플(Thermal Couple)을 매립하여 초기 24시간 동안 측정하였다.

2.3 배합설계

본 실험에서는 지연제 함량(0, 0.3, 0.6%)에 따른 변수와 물-시멘트비의 변화(34%, 38%, 42%)에 따른 변수가 길이변형에 미치는 영향을 파악하고, 각 변수별로 원형공시체($100 \times 100 \times 200 \text{mm}$)를 제작하여 중심온도 데이터를 비교 분석하였다. 또한 비교분석을 위해 기준배합은 다음과 같이($W/C=38\%$, $S/a=58\%$, $C=390 \text{kg/m}^3$, $\text{Latex}=122 \text{kg/m}^3$, $W=83 \text{kg/m}^3$, $S=920 \text{kg/m}^3$, $G=718 \text{kg/m}^3$)선정하였으며 이를 위해 표 1과 같이 VES-LMC 를 배합하였다.

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.



표 1. VES-LMC 배합표

Valuable	Latex Contents(%)	W/C (%)	S/a (%)	Mix Proportion (kg/m ³)					Antifoamer Content
				C	Latex	W	S	G	
Retard	15	38	58	390	122	83	920	718	1.0%
		38	58	390	122	83	920	718	
		38	58	390	122	83	920	718	
W/C	15	34	58	390	122	67	943	736	1.0%
		36	58	390	122	83	920	718	
		42	58	390	122	99	897	700	

3. 실험결과

3.1 길이변형률

3.1.1 지연제 함량에 따른 길이변형률

VES-LMC의 대부분의 초기수축은 24시간을 전후해서 일어남이 확인 된바있다 ⁴⁾. 본 실험에서는 이를 토대로 초기 24시간 동안의 길이변형률을 평가하였다. 실험은 위 실험방법에서 언급하였듯이 외부부의 수분 증발이 없는 조건을 만족 했으며, 콘크리트의 팽창량을 측정하기 위해 스티름폼 틀을 도입하였다. 슬래브 상부에 포설되는 현장타설 VES-LMC는 일반적으로 기준배합인 0.3%보다 과다 첨가하는 경향이 있으므로 지연제 함량에 의한 길이변형 특성을 분석함으로써 초기변형에 영향을 주는 인자들을 조기 제거하여 내구성 저감의 직접적인 원인인 균열을 저감 대책을 제시 할 수 있다.

그림 2는 지연제를 함량에 따른 VES-LMC의 24시간 동안의 발생한 길이변형률을 나타낸 결과이다. 지연제 함량이 0%인 경우, 초결은 콘크리트 타설 후 17분에 발생하였으며, 초결이 발생한 후부터 약 20분가량 20 μm 가 팽창한 후 수축한다. 최대 길이변형률은 65 μm 이며, 콘크리트 타설 후 5시간이 지나면서 부터 수축 폭이 크게 줄어들었으며 그 이후로는 직선 형태를 보이고 있다.

지연제를 0.3%를 첨가한 VES-LMC의 24시간 동안 발생한 길이변형률을 나타낸 결과는 다음과 같다. 초결은 콘크리트 타설 후 38분에 발생하였으며, 초결이 발생한 후부터 약 30분가량 30 μm 가량 팽창하였다. 열팽창과 자기팽창의 복합요인에 의해 발생한 결과로서 1시간10분이 지나서 수축경향이 두드러지게 나타나고 있다. 최대 길이변형률은 64.5 μm 이며 길이변화율은 0.020%에 해당하며 이는 타 보수재료에 비해 상당히 작은 것으로 평가되었다.

지연제를 0.6%를 첨가한 VES-LMC의 24시간 동안 발생한 길이변형률을 나타낸 결과이다. 초결은 콘크리트 타설 후 1시간 52분에 발생하였으며, 초결이 발생한 후부터 약 50분가량 60 μm 가량 팽창한 후 수축하기 시작하였다. 최대 자기수축은 20 μm 가 발생하였는데, 위의 두 변수와 비교할 때 상대적으로 작게 평가되었다.

그림 2는 지연제 변수에 따른 VES-LMC의 길이 변형률을 분석한 그래프이다, 지연제 함량이 증가 할수록 초기 팽창률이 증가하는 양상을 나타내고 있다. 또한 지연제의 과다한 첨가는 초기 수축변형을 증가시키며, 초기 팽창변형률과 수축변형률이 지연되는 것을 명확히 확인 할 수 있다 수 있다. 그림 3을 통해 지연제 함량이 증가 할수록 응결시간이 지연 되는 것을 알 수 있다. 그림 4는 각 변수별 최대 초기팽창변형률을 나타낸 그래프로서 지연제량이 증가 할수록 초기팽창이 증가하는 경향을 나타낸다. 따라서 현장에서의 과도한 지연제 함량의 증가는 초기팽창을 증가시키므로 콘크리트에 초기손상을 유발시킬 수 있으므로 주의를 요한다.

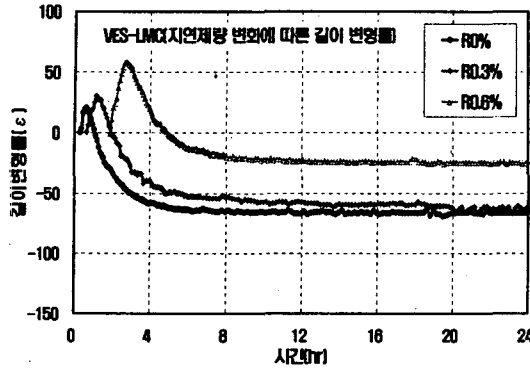


그림 2. 지연제 함량에 따른 길이 변형률

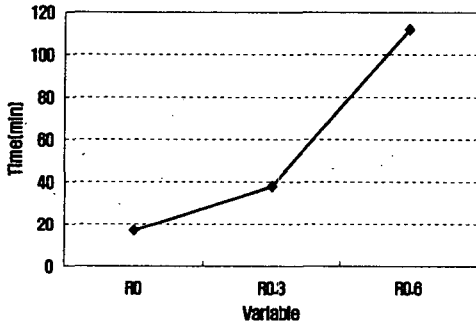


그림 3. 지연제 함량에 따른 초결시간

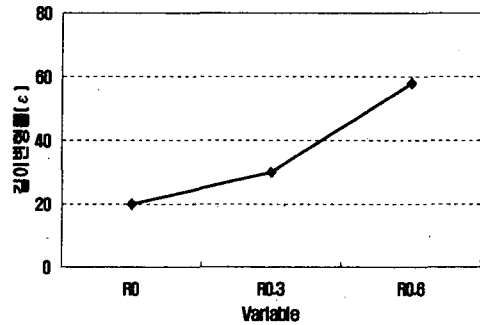


그림 4. 지연제 함량 변화에 따른 초기 팽창률

3.12 물-시멘트비에 따른 길이 변형률

그림 5는 물-시멘트비에 따른 길이 변형률을 비교하여 나타낸 그래프이다. 물-시멘트비가 34%인 VES-LMC의 24시간 동안 발생한 최대 초기 팽창은 타설 후 95분에 35 μm 가 발생하였으며, 최대 길이 변형률은 54 μm 이다.

물-시멘트비가 38%인 VES-LMC의 초기 팽창의 경우 32 μm 로 가장 작은 값을 갖지만 최대 길이 변형률은 63 μm 로 가장 크게 나타내며 8시간 이후로 길이부터 수축폭이 감소되다가 일직선상으로 진행되는 경향을 보인다.

물-시멘트비가 42%인 VES-LMC의 최대 길이 변형률은 40 μm 로 가장 작게 나타났으며 시편의 길이와 비교한 길이 백분율로 표현한다면 0.013%라는 수치를 얻게된다, 초결 발생 이후로 85분이 지난 후 수축이 시작되며 6시간 45분이 지난 후부터 길이 변형률이 수렴하게되며 최대 길이 변형률은 33 μm 로 가장 작게 나타나며, 그림 6과 같이 물-시멘트비가 커 질수록 최대 수축열이 커지는 경향을 나타내고 있다.

그림 7은 물-시멘트비에 따른 VES-LMC의 초기 팽창률을 분석한 그래프이며 물-시멘트비가 작을수록 초기 팽창률이 커지는 기존의 연구결과와 부합하였다, 대체로 8시간 이후의 수축 팽창 거동은 경미한 것으로 나타났으며, 초결 시간은 물-시멘트비 34%가 콘크리트 타설 후 45분, 38%는 38분 그리고 42%는 40분으로 나타난 것으로 보아 물-시멘트비가 초결 시간에 미치는 상관성이 없는 것으로 사료된다. 물-시멘트비가 38%인 배합에서 초기 팽창률이 가장 작기 때문에 기준 배합으로 적합하다고 판단 할 수 있다.

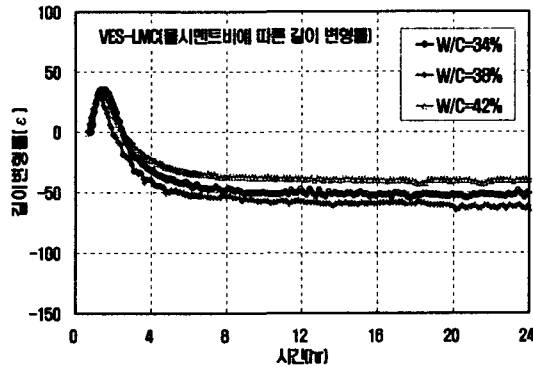


그림 5. 물-시멘트비에 따른 길이변형률

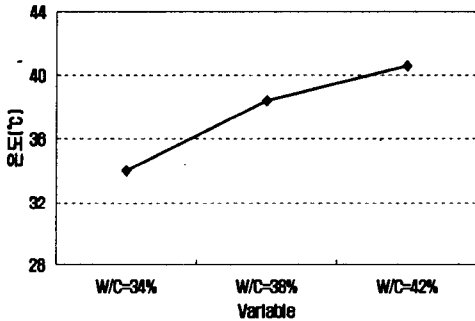


그림 6. 물-시멘트비에 따른 중심온도

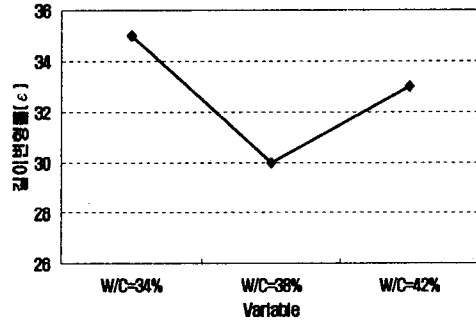


그림 7. 물-시멘트비에 따른 초기팽창률

3.2 간이수화열

3.2.1 지연제 함량에 따른 간이수화열

그림 8은 원형공시체 중심부 온도를 Thermal couple를 매립하여 콘크리트 타설 후 초결 시작과 함께 24시간 측정된 온도이력이다, 지연제 함량에 따른 VES-LMC의 온도 이력을 나타낸 그림이다. 실험은 항온 항습 조건(20 ± 1 50 ± 5)에서 수행되었고, 시편 중앙의 최대수화발열은 0.3%가장 낮은 38.4℃ 0.0%와 0.6%가 각각 39℃ 와 39.1℃를 나타냄으로서 지연제 함량은 온도증가에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며, 지연제 함량이 감소함에 따라 온도경사가 커지는 것을 확인 할 수 있는데 이는 지연제 첨가량이 적을 경우 급격한 부재의 팽창 수축 현상으로 인해 콘크리트의 초기 손상을 일으킬 수 있음을 알 수 있다, 따라서 지연제 함량이 많을 경우엔 초기 팽창변형이 크고 지연제 함량이 0%이거나 적을 양이 함유될 경우 급격한 팽창 수축이 발생이 예상됨으로 적정 지연제량은 기준변수인 0.3%가 적당하다고 사료된다.

3.2.2 물-시멘트비에 따른 간이수화열

그림 9는 물-시멘트비가 42%인 경우 초기발열온도가 가장 큰 것으로 나타났으며 온도경사도 완만한 반면에, 34%와 38%는 온도경사가 물-시멘트 42%보다 상대적으로 크며 비슷한 수화열 특성을 나타낸다. 또한 물-시멘트 비는 작지만 최고 발열온도에 영향을 미칠 수 있음을 그림 5에서 확인할 수 있다. 물-시멘트비 변수에 의한 응결지연 효과는 없다고 봐도 무관하다.

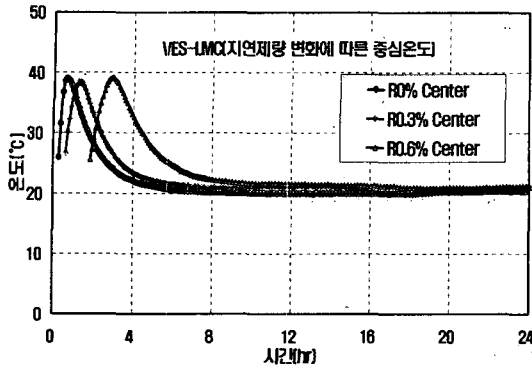


그림 8. 지연제 함량 변화에 따른 중심온도

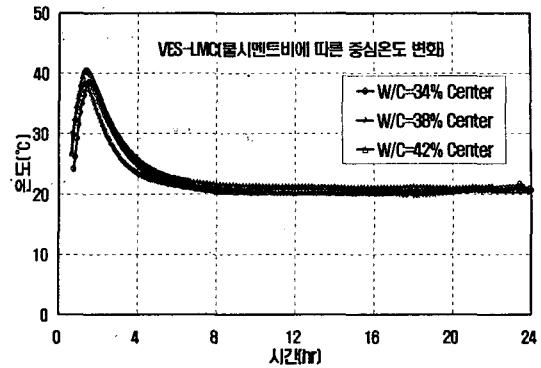


그림 9. 물-시멘트비에 따른 중심온도

4. 결 론

VESLMC의 지연제 함량과 물-시멘트비에 따른 길이변형률 실험을 통해서 경화전 초기 길이변형률을 정량적으로 평가하기 위해 길이변형률의 원인을 규명하여 콘크리트의 성질을 개선하기 위해 수행하였으며 본 연구에서 수행된 길이변형 및 간이수화열 실험에 대한 결과는 다음과 같다.

- (1) VES-LMC의 작업시간을 향상시키기 위한 지연제의 첨가는 최대수화발열온도에 영향을 미치지 않지만 지연제 06%이상 과다 사용될 경우 초기팽창률이 커지는 것으로 나타났다.
- (2) 길이변형률 시험결과 모든 변수에서 콘크리트 타설 19~22시간 후 최대수축을 일으키는 것으로 나타났다, 현장적용에 있어 적절한 교통개방시기에 중요한 참고 자료가 되리라 사료된다.
- (3) 간이수화열 실험결과 콘크리트 시편의 내부와 외부의 온도가 같아지는 시간은 콘크리트 타설이후 8시간 내외였다 따라서 초기재령에서의 엄격한 온도관리가 요구된다.
- (4) 지연제에 따른 길이변형율을 측정된 결과 지연제함량이 증가 할수록 응결이 지연되고 초기 팽창변형률이 커지는 경향을 보였으므로 현장타설시 작업성 확보를 위해서 과다하게 지연제 함량을 증가시키는 경우 초기의 큰 팽창으로 발생하며, 지연제를 첨가시키지 않거나 적은량을 첨가했을 때는 급격한 팽창 수축으로 인해 콘크리트 손상이 예상됨으로 양생관리에 있어 중요한 참고 자료가 되리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통기술평가원 CTRM 연구과제, “장수명·친환경 도로포장 재료 및 실제시공기술 개발”의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이희근, 이광명, 김병기 (2001), “고성능 콘크리트의 자기수축” 대한토목학회 2001학술발표회 논문집
2. 김진철(2003), “콘크리트의 건조수축 메커니즘과 예측모델” 도로포장공학회지 제5권 3호 p.p. 32~41
3. 임홍범(2004), “라텍스개질 콘크리트의 열팽창 및 수화열특성” 석사학위 논문, 강원대학교 대학원
4. 최관길(2005), “초속경 라텍스개질 콘크리트의 초기 및 구속건조수축특성” 석사학위 논문, 강원대학교 대학원
5. Patricia M. Buchanan(2002), “Shrinkage of Latex-Modified and Microsilica Concrete Overlay Mixtures” M. S Thesis in Virginia Polytechnic Institute and State University
6. Tazawa, E.(1969), “Influence of Curing Time on Shrinkage and Weight Loss of Hydrating Portland Cement”, Proc. of JSCE, No. 159