

라텍스개질 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 건조수축 특성

Drying Shrinkage Properties of Latex Modified Concrete with Water-Cement Ratios

정 원 경* 김 성 환* 김 동 호* 이 주 형** 이 봉 희***
Jeong, Won-Kyong Kim, Seong-Hwan Kim, Dong-Ho Lee, Joo-Hyung Lee, Bong-Hak

Abstract

Drying shrinkage cracking which may be caused by the relatively large specific surface is a matter of grave concern for latex modified concrete(LMC) overlay and rapid-setting cement latex modified concrete(RSLMC) overlay. LMC and RSLMC were studied for field applications very actively in terms of strength and durability in Korea. However, there were no considerations in drying shrinkage. Therefore, the purpose of this dissertation was to study the drying shrinkage properties of LMC and RSLMC with the main experimental variables such as cement types(ordinary portland cement, rapid setting cement), water-cement ratios and curing days at a same controlled environment of 60% of relative humidity and 20°C of temperature. The drying shrinkage for specimens was measured with a digital dial gauge of Demec.

The test results showed that the drying shrinkage of LMC and RSLMC were considerably lower with low water-cement ratio, respectively. This might be attributed to the interlocking of hydrated cement and aggregates by a film of latex particles, water retention due to hydrophobic, and colloidal properties of the latexes resulting in reduced water evaporation.

키워드 : 물-시멘트비, 라텍스, 건조수축, LMC

Keywords : water-cement ratio, latex, drying shrinkage, LMC

1. 서론

최근 국내 신설교량의 교면포장에 있어 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 기존 콘크리트에 라텍스 수지를 첨가하여 제조한 라텍스개질 콘크리트(Latex Modified Concrete; 이하 LMC)에 관한 연구가 활발히 진행되어지고 있다[1][2][5]. 이들의 연

구결과를 살펴보면, LMC 교면포장의 경우 동해에 방 및 염화물침투억제 성능이 우수하여 교량의 내구성을 향상시켜 공용년수 장기화에 우수한 효과가 있는 것으로 보고되고 있다[5][8].

한편, 기존의 교량, 도로 또는 교량 상판과 같이 긴급보수를 요하는 경우에 있어서는 양생기간을 줄일 목적으로 조기 강도 발현이 큰 초속경 시멘트를 이용하고 있다. 이러한 초속경 시멘트에 라텍스를 혼입하여 적용할 경우 보다 우수한 특성의 콘크리트 제조가 가능한 것으로 나타나고 있다[1]. 즉, 초속경 시멘트와 라텍스의 장점을 활용할 목적으로 초속경 시멘트를 사용한 라텍스개질 콘크리트(Rapid-Setting Cement Latex Modified

* 강원대학교 토목공학과 박사과정
** 한국철도기술공사 박사 후 과정, 공학박사
*** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

Concrete; 이하 RSLMC)에 대한 연구가 시도되고 있다[1][12]. 그러나, 이러한 신설교량의 교면포장 재료로 쓰이는 LMC와 긴급보수용으로 사용될 RSLMC의 경우 상대적으로 비표면적이 큰 콘크리트 포장이므로 내구성 및 공용성을 확보하기 위해서는 양생 초기에 따른 건조수축특성이 매우 중요한 요소 중에 하나이다[9][10]. 굳지 않은 콘크리트는 수화반응 시 수화열로 인한 수분 증발로 체적이 수축하게 되며, 경화과정에 이르기까지 건조한 환경에 노출되면 이러한 수축은 지속되게 된다. 콘크리트의 건조수축은 많은 변수들에 의해 영향을 받는데 특히, 사용재료의 특성, 주위환경의 상대습도와 온도, 구조물의 크기, 재령 등에 많은 영향을 받는다[3][4]. 또한, 초소성 시멘트 콘크리트는 단기간 내에 실용강도를 발휘하기 때문에 취성적이며 초기재령에서 건조수축으로 인한 균열이 발생하게 된다[6][7]. 이러한 초소성 시멘트 콘크리트는 양생 시 높은 수화열과 건조수축으로 인해 균열이 발생하기 쉽게 되며, 이러한 균열은 내구성 저하에 직접적인 원인이 될 수 있다.

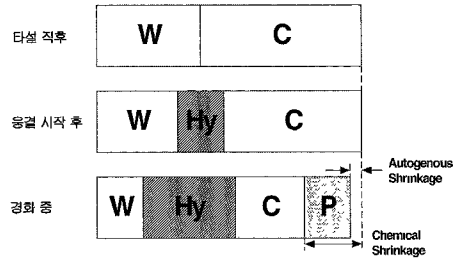
따라서 본 연구에서는 덧씌우기에 쓰이는 LMC와 시공 후 외부적, 내부적 요인에 의해 파손된 교면체의 긴급보수용으로 사용될 수 있는 RSLMC의 내구성 및 공용성 확보하기 위한 건조수축특성에 대해 고찰해 보고자 하였다.

2. 콘크리트 수축의 종류 및 특성

2.1 자기수축

배합수 이외의 물을 첨가하지 않고 외기로의 수분 손실이 없을 때 콘크리트는 시멘트의 수화반응에 의하여 건조하기 시작한다. 이와 같은 현상을 자기건조(self-desiccation)라 하며 그에 의해 발생하는 거시적인 체적감소를 자기수축(autogenous shrinkage)이라 한다. 자기수축은 건조수축과 유사한 메커니즘에 의해 발생하는 것으로 건조수축이 외부로의 수분 손실에 의해 발생하는 것과는 다르게, 자기수축은 단지 물이 내부에서 소모된다는 차이를 갖고 있다.

시멘트의 수화반응에 의해 발생하지만 자기수축과는 다른 메커니즘에 의해 발생하는 수축이 있다. 수화되지 않은 상태의 시멘트가 물과 반응하여 생성된 수화물의 체적이 수화되지 않은 상태의 시멘트의 체적과 물의 체적을 합한 것보다 작아지는 것을 수화수축(chemical shrinkage)이라 한다. 시멘트 경화체는 고체상태의 물질(수화되지 않은 상태의 시멘트 + 반응생성물), 액체상태의 물질(수화반응에 쓰이지 않는 물) 및 기체상태의 물질(혼합이 시작된 후부터 존재하는 기포와 수화에 의해 생성



C: 시멘트 W: 물 P: 공극 Hy: 수화생성물

그림 1. 수화수축과 자기수축의 묘사

된 공극)로 이루어져 있다. 자기수축은 경화체에 내재된 기체상태의 체적을 함하여 고려한 체적의 감소인 것이다. 그림 1은 수화수축과 자기수축의 개념을 묘사하고 있다. 일반적으로 응결에 의하여 시멘트 경화체의 구조가 형성된 후에는 수화가 진행됨에 따라 공극이 형성된다. 계속되는 수화반응에 의해 공극 속의 물이 수화반응으로 소모되고 그로 인해 수축이 발생하게 된다. 콘크리트의 자기수축은 물-시멘트 비가 감소할수록 증가한다.

2.2 소성수축

경화 중인 콘크리트에서 발생하는 수분손실은 균열을 일으키는 원인이 될 수 있다. 대부분의 경우 표면에서 물이 증발하여 발생하는 표면균열로 바닥판이나 거푸집이 물을 흡수하는 경우에도 균열이 발생되거나 표면에서의 증발이 증가한다. 표면에서의 증발과 같은 외적 영향에 의해 페이스트에서 물이 빠져나가면서 부 모세관압(negative capillary pressure)이 유발되어 페이스트의 체적이 줄어들게 된다. 모세관압이 페이스트 내부에서 증가하여 돌파압(breakthrough pressure : P_c)에 이르르면 물은 더 이상 고르게 분산되지 않고 이로 인해 새로운 미세 구조가 형성된다. 돌파압에 이를 때까지 소성수축 증가율은 최대가 되고 그 이후에는 소성수축(Plastic Shrinkage)이 거의 발생하지 않는다. 골재가 소성수축에 미치는 영향을 그림 2에 나타내었다. 소성수축은 페이스트의 다짐 효과를 유발하여 이론적으로는 유리하다. 그러나 실제의 경우 소성수축의 영향으로 인장응력이 유발되어 균열이 발생할 수 있다. 소성수축에 의한 균열은 증발이 급격히 일어나는 포장이나 슬래브의 표면에서 흔히 발생하여 내구성을 저하시킨다. 콘크리트의 소성수축은 풍속과 외기온도 및 콘크리트의 온도가 높을수록 그리고 상대습도가 낮을수록 증가한다. 이러한 조건은 여름철에 특히 잘 나타나며 수분손실이 블리딩량보다 많을 경우에 부모세관압이 유발되어 발생한다.

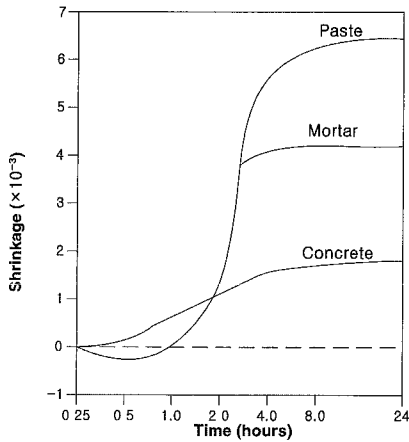


그림 2. 골재에 의한 소성수축 특성

2.3 건조수축

콘크리트는 수경성 재료로서 물과 시멘트의 수화반응이 진행됨에 따라 경화되어 가는 재료이다. 이로 말미암아 콘크리트는 항상 내부에 물이 존재하며, 물의 이동이 일어나고 있다. 이와 같은 물의 존재와 이동에 의해 콘크리트는 체적변화를 일으키게 되는데, 미포화상태의 대기 중에 놓여진 콘크리트에서는 물이 증발하게 되고, 이는 건조수축(Drying Shrinkage)을 발생시킨다.

콘크리트의 건조수축은 많은 요소에 의해 영향을 받기 때문에 어떤 대표적인 수치를 나타내기가 매우 어려우나, 사용재료나 배합, 콘크리트의 양생 방법 및 환경 등을 통하여 건조수축에 영향을 미치는 요인을 분석하고, 이를 통해 건조수축에 대한 수축량 추정에 대하여 살펴볼 수 있다.

3. 실험계획

3.1 실험 개요

본 연구에서는 콘크리트 덧씌우기에 널리 사용되고 있는 1종 시멘트와 보수보강용 초속경시멘트를 이용하였다. 주요 실험변수로는 시멘트 종류와 물-시멘트비를 선정하여 각각의 건조수축특성을 파악하였다. 즉, 일반 포틀랜드 시멘트를 사용한 라텍스개질 콘크리트(LMC)와 초속경 시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트(RSLMC) 등 2가지의 콘크리트 종류와 물-시멘트비를 주요 실험변수로 연구를 수행하였다.

3.2 사용재료

표. 1 라텍스의 물리적 특성

Percent Solids	Specific Gravity	PH
46~48(%)	1.01	10.5
Viscosity	Freeze thaw stability (-15℃~25℃)	stabilizer type
24 cps	5 cycle	anionic

본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트와 초속경 시멘트를 사용하였다. 라텍스는 스틸렌-부타디엔 계열로서 시멘트 모르타르용으로 상용화된 미국 D사의 SDL200제품으로 보다 자세한 물리적 특성은 표 1과 같다. 굵은 골재는 교면포장의 덧씌우기 목적으로 최대치수 13mm의 래미콘용 쇠석을, 잔골재는 끈지암에서 채취한 천연 강모래를 사용하였다.

3.3 배합설계

본 연구는 현재 사용되고 있는 라텍스개질 콘크리트와 라텍스개질 초속경콘크리트의 라텍스 혼입물 15%을 기준으로 원활한 작업성과 재료분리가 발생하지 않는 조건 하에서 물-시멘트비를 주요변수로 하여 배합계획을 하였다. 이것은 현장에서 발생할 수 있는 물-시멘트비의 변화에 기초한 것이다. 이러한 물-시멘트비 변화에 따른 보다 자세한 배합표를 표 2에 나타내었다.

표 2. OPC와 LMC의 시방배합표

Type	L (%)	W/C (%)	Mix Proportion (kg/m ³)					S/a (%)	A ¹⁾ (%)	S ²⁾ (%)
			C	L	W	S	G			
LMC	15	33	400	125	67	972	728	58	-	-
		35			75	960	719			
		37			83	948	710			
RS-LMC	15	36	390	122	74	952	716	58	1.0	1.0
		38			82	940	707			
		40			89	958	698			

주1) 소포제 : 라텍스 고흡분과 소포제고형분비

주2) 유동화제 : 시멘트 중량의 1.0%

3.4 길이변화시험

건조수축특성 평가를 위한 시험체의 크기는 10×10×46cm로 성형한 후 몰드 내에서 24시간 습윤(20℃, 80%RH)양생하여 공시체를 제작하였다. 습윤양생 재령 24시간에서 Demec Gauge를 이용하여 공시체의 초기값을 각각 측정한 후 20℃, 60%(RH)의 양생실조건하에 공시체를 양생시키고 그림 3과 4와 같이 JIS A 1129에 준하여 건조 재령 1, 3, 4, 14, 28일에서의 건조수축 및 중량을 측정하였다.[9][11] 또, 각 건조재령의 공시체의 중량으로 다음 식에 의해 중량 변화율을 구하였다.

$$\text{중량변화율(\%)} = \{(W_1 - W_0)/W_0\} \times 100 \quad (1)$$

W_0 : 측정시의 공시체 초기중량(g)
 W_1 : 건조재령에서의 공시체 중량(g)

또한, 길이변화에 대한 계산은 다음 식에 따라 산정하였다.

$$\Delta L = \frac{(L_0 - L_x)}{L_0} \quad (2)$$

ΔL : 건조재령 x 시간에서의 길이변화율
 L_0 : 최초 시험체의 측정길이(기준길이)
 L_x : 건조재령 x 시간에서 시험체의 측정길이

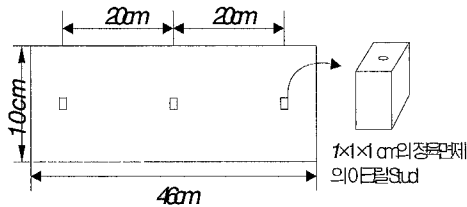


그림 3. 건조수축 시험 형상

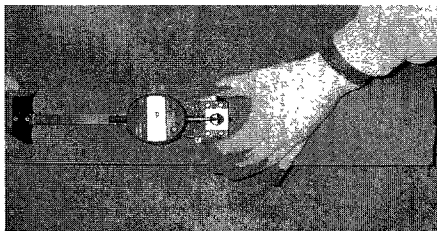


그림 4. 건조수축 측정

4. 실험결과 및 고찰

4.1 공기량

그림 5와 6은 RSLMC와 LMC의 라텍스 혼입물 15%에서 물-시멘트비 변화에 따른 공기량에 대해서 나타내고 있다. RSLMC의 경우 물-시멘트비 변화에 따른 공기량의 변화는 큰 차이가 없었으나 LMC의 경우 물-시멘트비 33%, 35%, 37%에서 각각 6.2%, 5.5%, 5.1%로 상대적으로 물-시멘트비가 증가함에 따라 다소 공기량이 감소하는 경향을 보였다. 그러나 공기량은 4~6%정도 존재하는 것으로 나타났다.

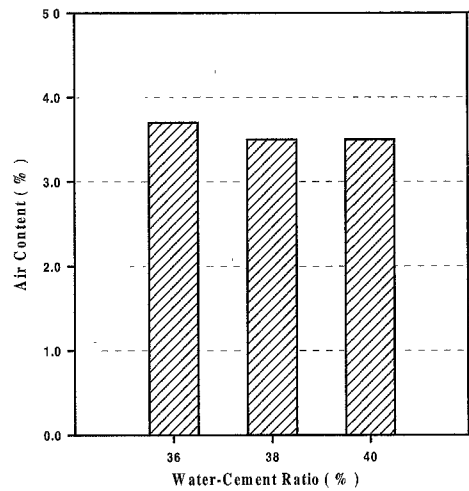


그림 5. 물-시멘트비에 따른 RSLMC의 공기량

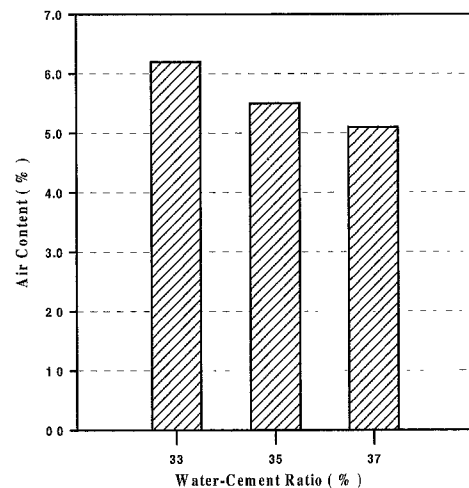


그림 6. 물-시멘트비에 따른 RSLMC의 공기량

4.2 압축강도 특성

그림 7 및 그림 8은 라텍스 혼입률 15%에서 물-시멘트비 변화에 의한 시멘트 종류에 따른 라텍스개질 콘크리트의 압축강도특성을 나타낸 것이다. LMC의 경우 물-시멘트비 33%, 35%, 37%일 때 재령 7일 강도는 각각 360, 332, 306kgf/cm²의 값을 나타내고 재령 28일에서는 468, 462, 402kgf/cm²으로 각각 30, 39, 31%의 증진을 보이고 있으며, RSLMC의 경우 물-시멘트비 36%, 38%, 40%일 때 초기재령 3시간 압축강도는 각각 280kgf/cm², 267kgf/cm², 231kgf/cm²의 값을 나타내고 있으며 물-시멘트비 40%인 경우에는 압축강도의 증진이 저조하였으나, 물-시멘트비 38% 및 36%에서는 급격한 압축강도 증진 현상을 보이고 있다

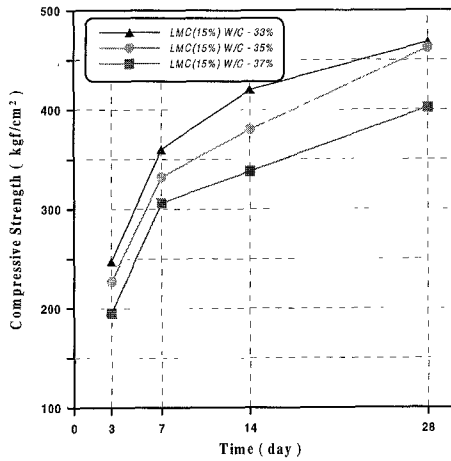


그림 7. 물-시멘트비에 따른 LMC 압축강도특성

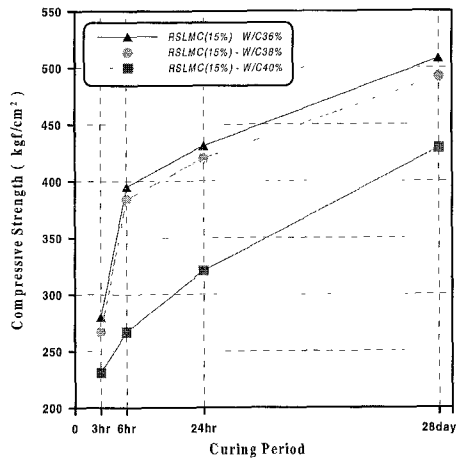


그림 8. 물-시멘트비에 따른 RSLMC 압축강도특성

4.3 휨강도 특성

그림 9 및 10은 라텍스 혼입률 15%에서의 물-시멘트비 변화에 의한 시멘트 종류에 따른 라텍스개질 콘크리트의 휨강도 특성에 대해 나타내고 있다. LMC의 경우 물-시멘트비 변화(33, 35, 37%)에 의한 재령 7일에서는 각각 70, 65, 58kgf/cm²로써 높은 휨강도를 나타내었다. 그리고 재령 28일에서 각각 90, 86, 76kgf/cm²으로 약 29, 32, 31%의 증진을 보였다.

RSLMC의 경우 물-시멘트비 변화(36, 38, 40%)에 의한 초기 3시간 휨강도는 물-시멘트비 40%일 때만 44kgf/cm²로 조기 교통 개방 기준인 45kgf/cm²보다 다소 낮았고 36%, 38%에서는 각각 56kgf/cm², 57kgf/cm²으로 조기 교통 개방 기준을 넘는 것으

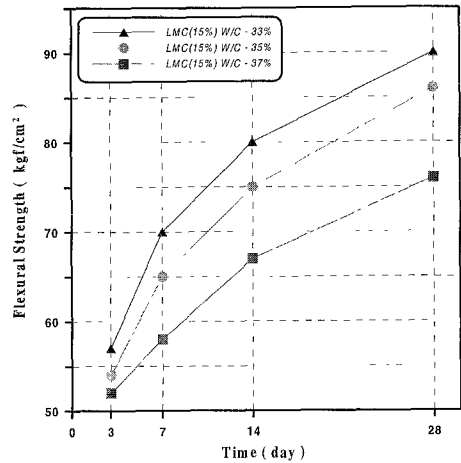


그림 9. 물-시멘트비에 따른 LMC 휨강도특성

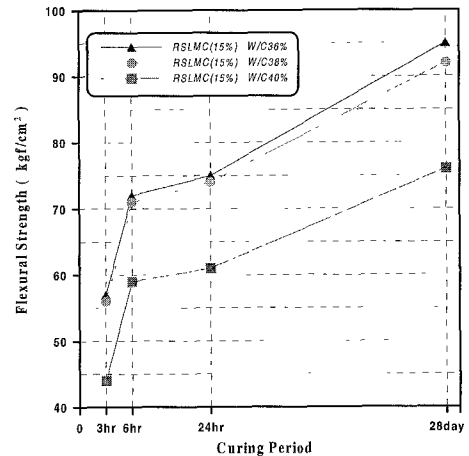


그림 10. 물-시멘트비에 따른 RSLMC 휨강도특성

로 나타났다. 그리고 강도 증진은 6시간까지 급격한 강도발현으로 보이나 그 이후 다소 완만한 경향을 나타내고 있으며, 24시간 이후 지속적으로 강도가 증진되어 재령 28일에 각각 95, 92, 76kgf/cm²의 높은 휨강도 특성을 보이고 있다. 이는 초속경 시멘트의 초기 급격한 강도발현특성으로 인한 것으로 판단된다.

4.4 쪼갬인장강도 특성

그림 11 및 12은 라텍스 혼입률 15%로 고정된 후 물-시멘트비 변화에 따른 쪼갬인장강도 특성에 대해서 나타내고 있다.

그림 7은 LMC의 경우로써, 라텍스 혼입률 15%

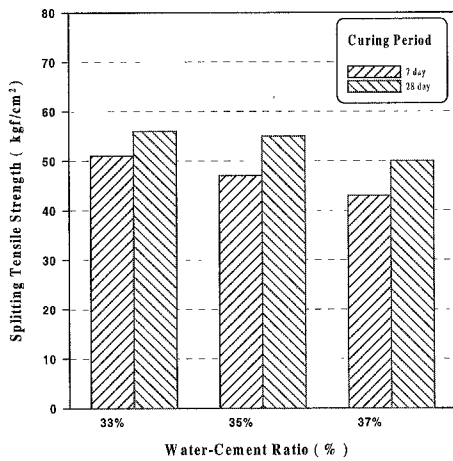


그림 11. 물-시멘트비에 따른 LMC쪼갬인장강도

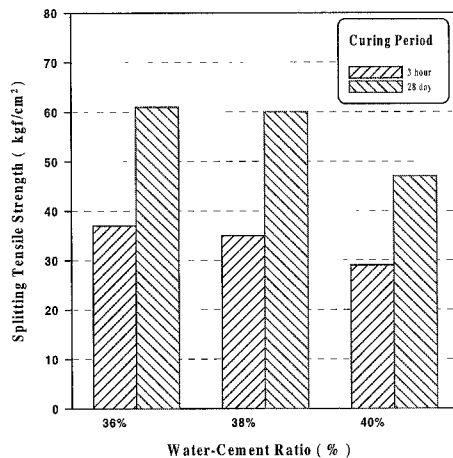


그림 12. 물-시멘트비에 따른 RSLMC쪼갬인장강도

에서 물-시멘트비 변화(33, 35, 37%)에 따른 재령 7일 쪼갬인장강도는 각각 51, 47, 43kgf/cm²을 보였으며 재령 28에는 각각 56, 55, 50kgf/cm²을 나타내었다. 상대적으로 쪼갬인장강도의 경우 다른 재료적 특성에 비해 강도 증진율이 높지 않았다. 그림 8은 RSLMC의 경우로써, 라텍스 혼입률 15%에서 물-시멘트비 변화(36, 38, 40%)에 따른 초기 3시간 쪼갬인장강도는 37, 35, 29kgf/cm²을 보였으며 재령 28일 강도는 각각 61, 60, 47kgf/cm²로써 65, 71, 62%의 높은 강도 증진을 보였다.

4.5 LMC의 건조수축특성

그림 13은 개질 효과가 가장 우수한 혼입률로 보고되고 있는 라텍스 혼입률 15%에 대해 물-시멘트비 33%, 35%, 37%로 변화를 주었을 때의 건조수축특성을 나타낸 것이다. 이들 물-시멘트비 변화에 따른 초기슬럼프는 각각 18cm, 20cm, 24cm로 나타났다.

건조재령 5일까지는 일정한 경향을 보이지 않다가 5일 이후부터 물-시멘트비가 낮을수록 건조수축이 감소하는 경향을 보이고 있으며 건조재령 28일에서 물-시멘트비 33%, 35%, 37%일 때 각각 건조수축에 따른 길이변형은 약 3.55×10^{-4} , 3.637×10^{-4} , 4.25×10^{-4} 정도로 물-시멘트비가 감소할수록 건조수축은 감소하는 경향을 나타내었으나 큰 차이를 보이지는 않았다. 그림 14는 물-시멘트비 변화에 따른 중량변화율을 나타낸 것으로 건조수축 변형률과 마찬가지로 건조재령 5일 이후부터 물-시멘트비가 37%, 35%, 33%인 순으로 중량감소를 보이고 있으며 건조재령 28일에서 물-시멘트비가 37%, 35%, 33%일 때 각각 약 0.95%, 0.81%, 0.77%정도의 중량감소를 보였다.

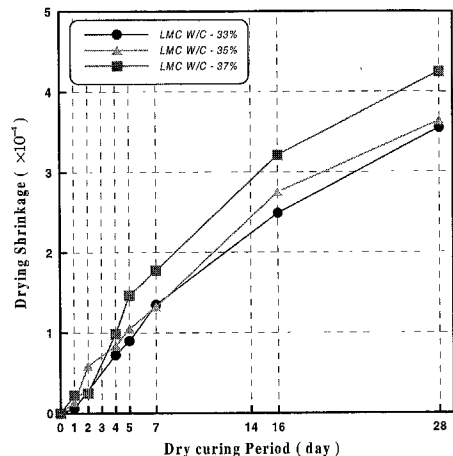


그림 13. 물-시멘트비에 따른 LMC건조수축특성

라텍스개질 콘크리트의 물-시멘트비에 따른 건조수축 특성

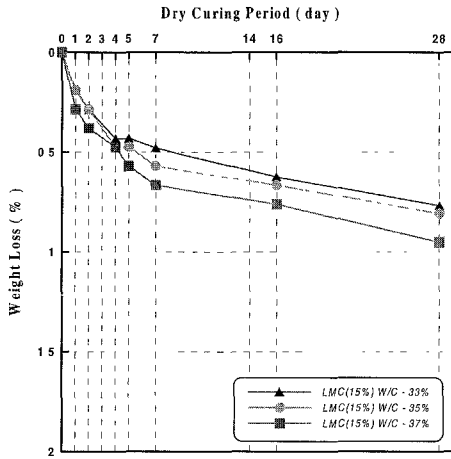


그림 14. 물-시멘트비에 따른 LMC 중량감소율

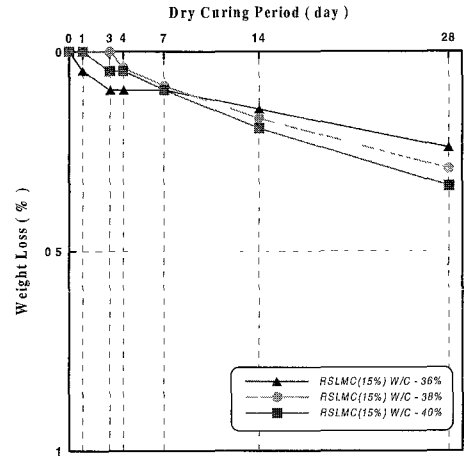


그림 16. 물-시멘트비에 따른 RSLMC 중량감소율

이를 통해 라텍스 혼입물 15%에 대한 일정 범위 내에서의 물-시멘트비의 변화는 작업성에는 변화를 보이나, 건조수축에서는 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다.

4.6 RSLMC의 건조수축특성

그림 15 및 16은 물-시멘트비 변화에 따른 초속경 시멘트를 사용한 라텍스개질 콘크리트 (RSLMC)의 건조수축특성과 중량변화율을 나타낸 것이다.

그림 15의 결과를 살펴보면, 라텍스 15%일 때 물-시멘트비 36%, 38%, 40%의 경우 건조재령 4일부터 물-시멘트비 변화에 따른 상호간의 건조수축 감소경향을 보이기는 하나 물-시멘트비 변화에 따른 LMC의 건조수축특성의 경우보다 더 작게 나타

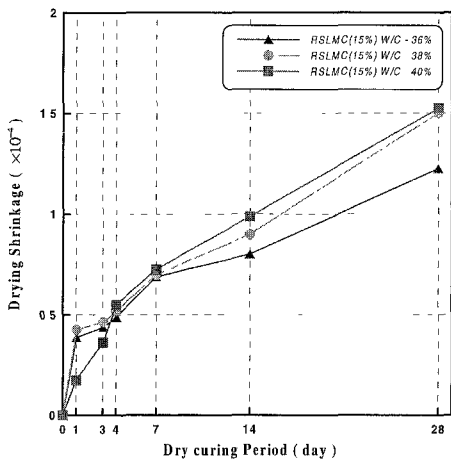


그림 15 물-시멘트비에 따른 RSLMC 건조수축특성

났다. 건조재령 28일에 있어 물-시멘트비 36%, 38%, 40%의 경우 각각 약 1.225×10^{-4} , 1.502×10^{-4} , 1.525×10^{-4} 의 건조수축변형률 특성을 나타냈다.

그림 16은 물-시멘트비 변화에 따른 초속경 시멘트를 사용한 라텍스개질 콘크리트의 중량변화율을 나타낸 것으로 건조재령별 건조수축변형률의 경향에 비추어 볼 때 중량변화율이 증가할수록 건조수축이 증가하는 점에서 건조수축과 단위수량과의 상호 연관성에 대해서 유추해 볼 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 시멘트 종류에 따른 라텍스개질 콘크리트의 역학적 특성과 건조수축특성에 대한 실험을 수행한바 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 압축강도, 휨강도, 쪼갬인장강도 등 동일 작업 조건에서 물-시멘트비가 낮을수록 시멘트 종류에 관계없이 단위수량의 감소를 통한 압축강도, 휨강도, 쪼갬인장강도의 증진을 가져왔다
- 2) 라텍스 15%일 때의 물-시멘트비 변화에 따른 건조수축변형률은 건조재령 28일에서 물-시멘트비 33%, 35%, 37%일 때 각각 건조수축변형률은 약 3.55×10^{-4} , 3.637×10^{-4} , 4.25×10^{-4} 정도로 물-시멘트비가 감소할수록 건조수축은 감소하였다.
- 3) 물-시멘트비 변화에 따른 RSLMC의 건조수축변형률은 라텍스 15%일 때의 건조재령 28일에 물-시멘트비 36%, 38%, 40%의 경우 각각 약 1.225×10^{-4} , 1.502×10^{-4} , 1.525×10^{-4} 정도의 건조수축변형률을 나타내고 있다. 그러나 물-시멘트비 변화에 따른 건조수축변형률은 차이를 보이지 않는다

것으로 나타났다.

4) LMC와 RSLMC의 경우 동일 건조수축변형률에서 물-시멘트비가 감소할수록 중량감소율은 작아짐을 알 수 있었다.

따라서 라텍스의 혼입은 시멘트 종류에 관계없이, 교면포장재료로 쓰이는 LMC와 긴급보수용으로 쓰이게 될 RSLMC의 현장 적용시 초기 건조수축으로 발생할 수 있는 균열을 상당부분 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 강원대학교 부설 석재복합신소재제품 연구센터의 연구지원비에 의해 연구되었으며 이에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

- [1] 정원경, "초속경 시멘트를 사용한 라텍스개질 콘크리트의 강도발현 및 투수특성," 강원대학교 석사학위논문. pp1~55. 2001
- [2] 김기현, 박상일, 양희용, 윤경구, 이주형, "라텍스개질 콘크리트를 이용한 고속도로 교면포장의 현장적용," 도로포장공학회 학술발표회 논문집, pp.117-123, 2001
- [3] 이진용·배성용·박태욱·최환세, "재생콘크리트 강도 및 건조수축 특성," 콘크리트학회논문집, 제9권, 2호, 1997
- [4] 한만엽, "건조수축의 메카니즘과 물의 역할," 콘크리트학회지, 제3권, 2호, 1991.
- [5] ACI Committe 548, "State of the Art, Polymer - Modified concrete", ACI 548. 3R-91. 1991
- [6] Kawano, T., "Studies on the Mechanism of Reducing Drying Shrinkage of Cement Mortar Modified by Rubber Latex," *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, Koriyama, Japan, Vol. 1, 1982, pp.147-162
- [7] Michalyshin, J.J., "*Shrinkage of High Latex-Modified Concrete versus Conventional Concrete Containing Water Reducers*," Dow Chemical Company. 1983
- [8] NCHRP Synthesis 179, "Latex -Modified Concrete and Mortars," 1992
- [9] Ohama, Y., and H. Hashimoto, "*Drying Shrinkage and Compressive Creep of Polymer Modified Concrete*," Semento-Gjutsu-Nempo, Japan, pp.308-311, 1978
- [10] Ohama, Y., and S. Kan, "Effects of Specimen Size on Strength and Drying Shrinkage of Polymer-Modified Concrete," *The International Journal of Cement Composites and Light Weight Concrete*, Vol.4, pp.229-233, 1982
- [11] Ohama, Y., "Principle of Latex Modification and Some typical Properties of LMC," *ACI Material Journal*, Vol. 84, No. 6, Nov.-Dec pp.511-518, 1987
- [12] Sprinkel, Michael M., "High -Early-Strength Latex Modified Concrete Overlays", *Transportation Research Record 1204*, National Research Council, Washington, D.C, pp 42~51, 1988