

# 라텍스 혼입에 따른 LMC의 동결융해 저항특성평가

## Freezing and Thawing Resistance of Latex Modified Concrete with Latex Content

이 주 형<sup>\*</sup> 정 원 경<sup>\*\*</sup> 김 동 호<sup>\*\*\*</sup> 이 봉 학<sup>\*\*\*\*</sup> 원 치 문<sup>\*\*\*\*\*</sup> 이 정 호<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Lee, Joo Hyung Jung, Won Kyung Kim, Dong Ho Lee, Bong Hak Won, Chi Mun Lee, Jung Ho

### ABSTRACT

This study was performed to change the latex content for properties of freezing-thawing resistance. When styrene-butadiene latex is added to portland cement, aggregate and water, a concrete with the color, consistency and workability of ordinary conventional concrete results, but with 20% to 35% less water. When cured, the concrete consists of hydrated cement and aggregate interconnected by a film of latex particles. In general, increasing the amount of latex will produce concrete with increased tensile and flexural strength and lower modulus of elasticity.

Air entrainment has been used in conventional concrete for the past 50 years to impart freeze/thaw resistance. Latex modified concrete does not need additional air entrainment for freeze/thaw resistance provided adequate cure occurs.

### 1. 서론

LMC(Latex Modified Concrete)란 일반 콘크리트에 라텍스를 혼입 첨가한 것으로서, 라텍스는 52%의 물과 48%의 고분자 고형분으로 이루어진 것을 말한다. LMC를 포장에 적용할 경우 아스팔트포장에 비하여 높은 압축, 휨, 인장강도를 보유하는 것으로 보고되고 있다. 라텍스가 골재와 시멘트 페이스트 사이에서 충전 효과를 보임으로써 고밀성 및 동결융해에 대한 저항을 유지할 수 있어서 각종 염해 불의 완벽한 차단과 교면 포장재료로서 매우 적합한 것으로 나타나고 있다. LMC포장의 경우 낮은 투수성으로 인해 염분 및 수분침투를 방지하여, 철근부식 등으로부터 콘크리트 슬래브를 보호하여 내구성을 향상시키고 고강도, 고밀도로 인해 공용년수가 증가되는 특성을 가진다. 비록 초기투자비용이 다른 공법에 비해 높다고는 볼 수 있으나 장기적인 유지보수 등의 경제성을 비교하여 볼 때 오히려 총 투자비용은 50%정도에 불과하다. 또한 콘크리트 상판과 동결재료이므로 충분한 부착력을 가질 수 있어 일체화 거동을 유도할 수 있다. 이런 우수한 효과로 인해 LMC는 현재 미국에서는 오래 전부터 사용되어 오고 있으며 시방규정(AASHTO Section 8&28, ACI 548.3R-91)까지 마련되어 있는 실정이고,

\*정회원 · 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 박사후 과정  
\*\*정회원 · 강원대학교 토목공학과 석사과정  
\*\*\*정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\*정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\*\*정회원 · 한라대학교 토목공학과 교수, 공학박사  
\*\*\*\*\*정회원 · 영동전문대학 토목과 전임강사, 공학박사

현재 신설교량의 80%를 LMC 교면포장으로 시공하고 있다. 이에 따라 본 논문은 우리나라에 소개되지 않은 LMC를 이용, 실제 현장에 적용하기에 앞서 국내실정에 적합한 배합을 산정하고, 실내실험을 통해 라텍스의 혼입율에 따른 강도특성과 동결융해 저항특성을 평가하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험개요

본 연구에서는 LMC의 동결융해특성을 파악하기 위하여 물-시멘트비와 잔골재율을 고정시킨 상태에서 라텍스의 혼입률을 실험변수로 정하여 시험체를 제작하였다. 라텍스 혼입률은 시멘트 대비 0%, 5%, 10%, 15%, 20%로 하여 실험을 수행하였다. LMC 적용을 위한 특성 중 재령에 따른 압축강도, 휨강도 측정과 LMC의 동결융해특성을 알기 위한 방법으로 KS F 2456 B Type에 따라 공기 중 급속동결 수중급속융해의 방법으로 실험을 실시하였다.

### 2.1 사용재료

LMC의 배합설계는 ACI 등의 관련규정이 있으나 본 실험에 사용된 배합설계는 국내에 규정이 없는 관계로 여러 실내 실험을 통해 최적배합설계를 도출, 사용하였다. 시방배합의 경우 표 1과 같다.

표 1 라텍스혼입율에 따른 시방배합

라텍스혼입율 (%)	W/C (%)	S/a (%)	시멘트 (kg/m <sup>3</sup> )	Latex (kg/m <sup>3</sup> )	Water (kg/m <sup>3</sup> )	잔골재 (kg/m <sup>3</sup> )	굵은골재 (kg/m <sup>3</sup> )
5	37	55	400	40	128	1018	834
10	37	55	400	80	108	990	813
15	37	55	400	120	88	986	804
20	37	55	400	160	68	974	776

본 시험시공에서 사용된 라텍스는 그 양에 있어 시멘트 對比로 5, 10, 15, 20% 혼입하였으며 제조사는 미국의 D사제품으로 콘크리트용으로 제조된 것이고, 잔골재 및 굵은 골재는 입도분포규정을 만족하는 소양강 잔골재와 부순돌을 사용하였다. 시멘트는 국내 S사 제품의 보통 포틀랜드 1종 시멘트를 사용하였다. 배합 방법은 기존의 콘크리트 타설과 동일하게 수행되었다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 압축강도 및 휨강도실험

압축강도와 휨강도 측정은  $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체와  $100 \times 100 \times 460$ mm의 각주형 공시체를 제작하여 재령 3, 7, 14, 28, 56일에 준하여 행하였으며, KS F 2405의 제 규정에 따라 압축강도를 측정하였으며, 또한 휨강도 측정을 위해 KS F 2407의 규정에 따라 실시하였다. 양생은 ACI에서 권장하는 방법인 3일 기건양생 후 수중양생방법을 택하였다.

#### 2.3.2 동결융해 저항성 실험

동결-융해에 대한 저항 시험은 KS F 2456(ASTM C 666) B Type에 따라 공기 중 급속동결 수중

급속융해의 방법으로 실시하였으며, 이때 공시체 중심에서의 온도를 그림 1에 나타내었다. 실험은 동결시  $-18^{\circ}\text{C}$ , 융해시  $4^{\circ}\text{C}$ 로 상승시키는 것을 1사이클 4시간으로 하여 반복 수행하였다. 각 시험체는 300사이클을 원칙으로 수행하나 시험체의 상대 동탄성 계수가 60% 이하로 되는 경우 시험을 종료하였다. 본 연구에 사용된 동결융해 시험기는 동결융해 과정을 자동으로 제어 할 수 있으며, 이는 공시체의 온도, 냉각공기의 온도 및 융해수의 온도를 제어하면서 수행되었다.

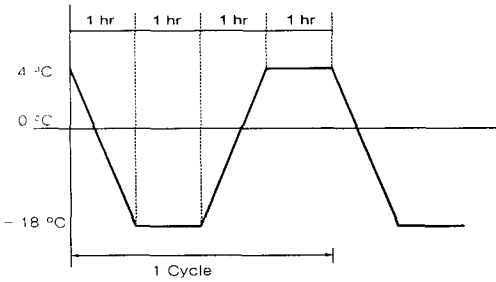


그림 1. 동결융해 사이클

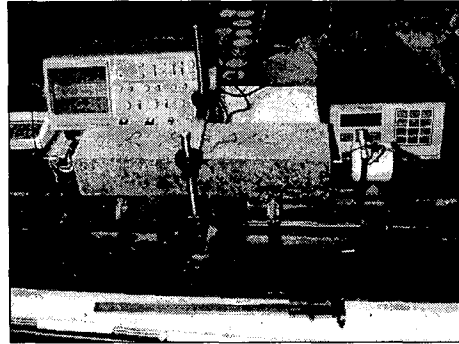


그림 2. 동탄성계수의 측정

그림 1은 동결-융해시험 사이클로 온도가 어떠한 변화를 갖는가를 보여주고 있다. 동탄성계수 측정방법에는 크게 고유진동수에 의한 측정방법과 초음파 속도법에 의한 측정방법이 있으며, 본 연구에서는 고유진동수에 의한 측정법을 이용하여 동탄성계수를 측정하였다. 그림 2는 연구에 사용된 시험체와 동탄성계수 측정을 보여주고 있다. 고유진동수는 ELE사 제품 고유진동수를 측정기를 이용하여 측정하였으며, 각 변수에 대한 내구성 지수는 KS F 2456에서 제안한 식으로 계산하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 압축강도

라텍스 혼입율에 따른 압축강도 발현을 재령 3, 7, 14, 28, 56일 강도특성을 고찰하였다. 물-시멘트를 37%로 고정하여 실험을 실시하였고, 라텍스의 혼입율이 증가할수록 슬럼프의 급격한 증가를 확인할 수 있었다. 라텍스혼입율이 5%일 경우 배출 슬럼프가 7cm 였으나 20%를 첨가할 경우 25cm까지 증가하였다. 압축강도의 발현은 표 2에 나타내었다. 혼입율에 따른 압축강도발현 특성을 고찰해 보면, 5%혼입시 28일 강도가 약  $370\text{kgf/cm}^2$ 의 매우 높은 압축강도를 보였다.

표 2. 재령에 따른 압축강도 특성

재령 라텍스혼입율	3일	7일	14일	28일	56일
5%	290.38	292.08	376.79	369.92	374.84
10%	219.85	274.17	322.55	338.26	382.57
15%	203.46	237.16	277.48	300.14	323.32
20%	168.24	213.14	239.28	252.95	281.64

그러나, 이 경우 슬럼프가 7cm로 매우 낮았으며 물-시멘트를 고려할 경우 Plain에서도 동일한 강도조건을 만족시킬 수 있으며, 라텍스의 혼입으로 인한 개선이 두드러지지 않는 것으로 판단되어진다. 그림 3은 56일 압축강도를 라텍스 혼입을 5%를 기준으로 상대 비교한 것으로 혼입을 10%일 때 6%의 강도증진을 보였으나 15%와 20%는 각각 13%, 24%씩 강도가 저하되었다. 그러나, 혼입을 10%는 작업성 개선에 있어 만족할 만한 수준은 아니었다. 라텍스 혼입을 15%의 경우, 슬럼프 24cm의 매우 높은 결과값을 보였으며 강도발현에 있어서도 28일 강도가 300kgf/cm<sup>2</sup>를 넘어서는 우수한 강도값을 나타내었다. 동일 슬럼프 조건의 Plain의 경우는 극심한 재료분리 등으로 인해 작업자체가 불가능했었다. 혼입을 20%의 경우는 배출 슬럼프 25cm로 재료분리현상이 발생했으며, 28일 압축강도 또한 250kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 강도발현은 현저히 둔화되었다. 이러한 결과로부터 라텍스의 혼입을 15%일 때, 작업성의 우수한 확보와 더불어 강도면에서도 매우 양호한 것을 알 수 있었다.

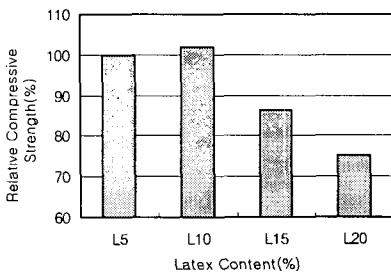


그림 3. 압축강도의 상대비교

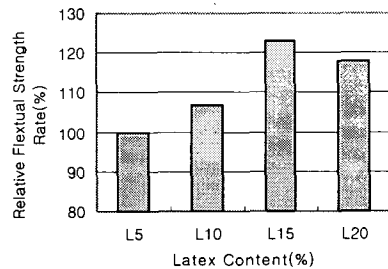


그림 4. 휨강도의 상대비교

### 3.2. 휨강도

라텍스 혼입에 따른 휨강도는 모든 경우에 있어서 교통개방의 기준이라 할 수 있는 30kgf/cm<sup>2</sup>를 두 배 이상 초과하는 매우 우수한 강도 특성을 나타내었다. 이러한 결과는 라텍스의 혼입으로 인한 충전 효과와 더불어 라텍스의 필름막이 힘에 저항으로써 강도가 증진되어지는 것으로 생각된다. 그림 4는 56일 휨강도를 라텍스 혼입을 5% 기준으로 상대 비교한 것으로 혼입을 15%일 때, 휨강도 증진율이 23%로 가장 높은 결과를 보였다. 본 실험에서 실시한 휨강도발현 특성 결과, 라텍스의 혼입을 15%의 경우가 가장 경제적인 혼입율로써 압축강도와 휨강도 발현 특성 그리고 작업성 개선이 우수한 것으로 나타났다.

표 3. 재령에 따른 휨강도 특성

라텍스혼입율 \ 재령	7일	14일	28일	56일
	5%	43.80	52.01	55.71
10%	56.41	52.11	62.31	67.01
15%	55.41	57.51	61.91	77.21
20%	58.51	54.81	65.71	73.81

### 3.3 동결융해저항성

콘크리트가 동해에 의하여 내구성을 잃는 것은 콘크리트가 노출된 외적 요인인 환경조건에 의하는 경우, 또는 콘크리트 자체의 내적 요인에 기인하는 경우로 구분된다. 외적요인으로는 물리적, 화학적 작용을 들수 있는데, 기상작용이나 심한 온도변화의 영향이 있을 수 있다. 내적요인으로는 콘크리트 자체의 수밀성이 좋지 못하면 함수량이 자연히 증가되어 동해의 영향이 커지게 된다. 라텍스를 혼입하여 동결융해를 실험한 결과, 라텍스 첨가로 인한 내적요인의 강화로 인해 동결융해의 피해가 거의 없는 것으로 나타났다. 라텍스가 혼입되어 고유동의 상태임에서도 불구하고 시멘트풀과 골재사이의 충전작용과 필름막의 형성으로 인해 동결에 의한 영향을 거의 받지 않는 것으로 판단된다. 라텍스 혼입율에 따른 동결융해 저항성 차이는 거의 없는 것으로 나타나, 라텍스가 일정량 이상만 첨가되면 동결융해에 대한 저항성은 확보되어지는 것으로 나타났다.

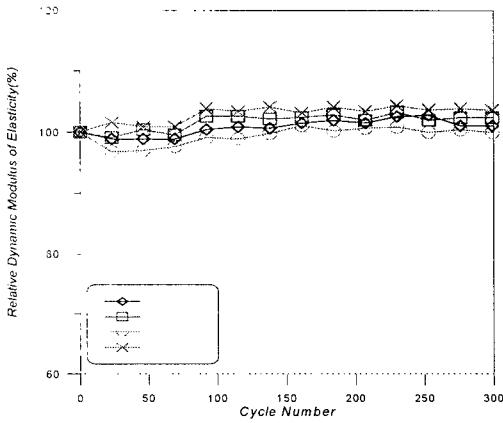


그림 5. 상대 동탄성 계수

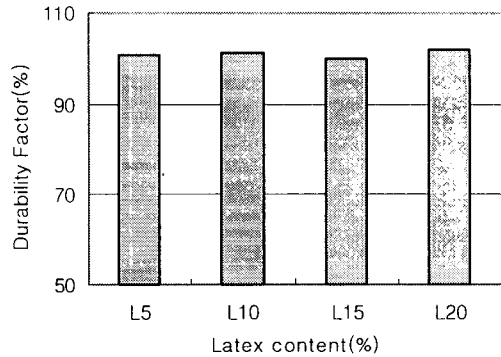


그림 6. 라텍스 혼입율별 내구성지수

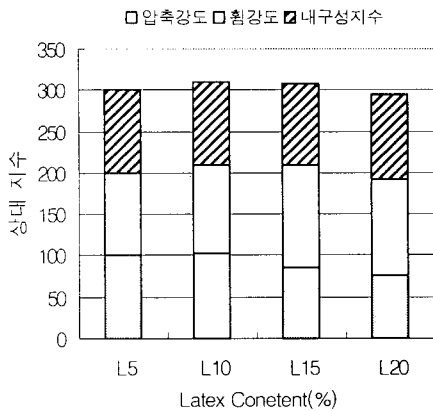


그림 7. 5%對比 특성별 상대지수

그림 5에서 볼 수 있듯이 라텍스 혼입율 변화에 따른 상대 동탄선 계수는 동결융해 반복주기 300cycle이 지나도 90%이상을 유지하고 있었다. 따라서 라텍스 각 혼입율에 따른 내구성지수는 그림 6과 내구성 지하는 크게 일어나지 않았다. 그러나, 슬럼프 증진에 따른 작업성을 고려할 경우 라텍스 혼입율 10%보다는 15%의 경우가 보다 효율적일 것으로 판단되어진다. 그림 7은 압축강도, 휨강도, 그리고 내구성지수를 라텍스 혼입율 5% 기준, 각 시험인자에 대한 특성 정도를 나타낸다.

#### 4. 결론

라텍스 개질 콘크리트에 대한 강도특성과 동결융해 저항특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 라텍스 혼입율에 따른 LMC의 특성 중 슬럼프의 경우 라텍스 혼입율이 증가할수록 슬럼프의 증가 폭도 매우 크게 상승하는 것으로 나타났다. 그러나 20%가 넘어설 경우 재료분리 등의 현상이 나타났다. 5, 10%의 경우는 작업성이 확보되지 않았다. 라텍스 혼입율 15%의 경우는 재료분리 현상없이 충분한 작업성확보를 얻을 수 있었다.
- 2) 압축강도는 라텍스의 혼입율이 증가할수록 강도는 저하되었다. 이와같은 결과는 물-시멘트비의 변화가 없는 상태에서 라텍스혼입에 따른 슬럼프 증진으로 인한 결과이며, 라텍스 혼입율 15%일 때, 우수한 작업성확보와 더불어 압축강도발현 특성도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있었다.
- 3) 휨강도의 경우 라텍스의 모든 혼입율 조건에서 교통개방 기준을 만족하였다. 라텍스의 첨가로 인해 가장 우수한 재료성능 개선을 보인 경우는 혼입율이 15%경우로 나타났다.
- 4) 동결융해저항 특성의 결과를 보면, 모든 경우에 있어 매우 우수한 동결융해저항특성을 보여, 라텍스의 혼입으로 인해 동결융해의 피해를 최소로 줄일 수 있음을 확인할 수 있었다. 작업성 확보, 경제성, 강도 및 내구적 측면을 고려하면, 라텍스 혼입율 15%의 경우가 교면포장에 적용하기 위한 가장 타당한 범위로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 강원대학교 석재복합 신소재제품연구센터의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

#### 참고문헌

1. American Concrete Institute, Standard Specification for Latex-Modified Concrete Overlays, ACI 548. 4-93
2. Ohama, Y.,(1989), Principle of Latex Modification and Some typical Properties of LMC, *ACI Material Journal*, Vol.84, NO.6. Nov-Dec. pp.511-518
3. Ramakrishnan, V.(1992), Latex-Modified Concrete and Mortars, *Synthesis fo Highway Practice* 179