

라텍스개질 콘크리트 교면포장 재료의 열팽창특성에 관한 연구

A Study on Thermal Expansion Characteristics of Latex-Modified Concrete Overlays at Bridge Deck

임홍범* · 최성용** · 김동호*** · 윤경구****

Lim, Hong Beom · Choi, Seong Yong · Kim, Dong Ho · Yun, Kyong Ku

1. 서론

교면포장은 교통하중에 의한 충격, 빗물과 같은 기상작용 등으로부터 교량의 상판을 보호하고 통행차량에 쾌적한 주행성을 제공하는 것을 목적으로 하며, 아스팔트 콘크리트 교면포장과 콘크리트 마모층 교면포장으로 대별된다. 이러한 기존 교면포장의 가장 큰 문제점은 교량 상판의 콘크리트와 교면포장의 아스팔트 콘크리트가 서로 이질적인 재료로서 부착력이 낮으며, 제빙제에 의한 염화물 또는 수분의 침투로 인하여 철근의 부식이 발생하고 교량 상판의 콘크리트에 조기열화현상이 발생하여 교량의 공용수명을 단축시킨다는데 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 하나의 방안으로 라텍스개질 콘크리트(Latex-Modified Concrete; 이하 LMC)를 사용한 교면포장공법이 제시되었으며 최근 국내에 도입되어 신설교량에 적용되고 있다. LMC 교면포장은 실험 연구결과 동결융해 저항성 및 염화물 침투억제 효과가 우수하고 콘크리트의 휨강도 및 부착강도 증진 등의 역학적 특성에도 효과가 있는 것으로 입증되었다.

그러나 LMC의 온도변화에 따른 거동특성에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 교면포장 등과 같은 덧씌우기포장에서 기존재료와 덧씌우기재료의 열팽창계수 차이는 부착계면에서 응력발생으로 인한 인장균열을 야기할 수 있으며 부착강도의 저하, 스폐링 등의 원인이 되기도 한다.

따라서 본 연구에서는 라텍스의 혼입이 콘크리트 열팽창에 미치는 영향을 파악하기 위하여 라텍스 혼입률에 따른 LMC의 열팽창계수를 산정하였다. 또한 교량 상판에 적용되는 보통콘크리트(Ordinary Portland Concrete; 이하 OPC)와 LMC의 열팽창계수를 산정하여 비교하였으며, 이를 통하여 부착계면에서의 거동특성을 고찰하고자 하였다.

2. 실험

2.1 개요

본 연구에서는 라텍스 고품분을 시멘트 중량대비 0%, 10%, 15%, 20% 첨가하여 LMC의 열팽창계수를 비교함으로써 라텍스가 LMC의 열팽창계수에 미치는 영향을 고찰하였다. 그리고 교량 상판과 일체거동성을 파악하고자 교량설계기준에 제시되어 있는 270kgf/cm² 설계기준강도콘크리트를 굵은골재 25mm를 이용하여 OPC-G25를 배합하고, LMC와 상대비교하기 위하여 13mm 골재를 이용하여 OPC-G13를 배합하여 시험편을 제작 열팽창계수를 비교 분석하였다.

2.2 사용재료 및 배합설계

본 연구에서 사용된 라텍스는 미국 D사의 콘크리트제품용인 스티렌-부타디엔 계열로 시멘트 중량대비 0%, 10%, 15%, 20%로 혼입하였다. 시멘트는 국내 S사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다. 굵은골재는

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 · 석사과정 033-250-6240 (E-mail : redtiger75@empal.com)
** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 · 박사과정 033-250-6240 (E-mail : choisy2@hanmail.net)
*** 정회원 · 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 연구원 · 공학박사 033-250-6240 (E-mail : dhkim1327@korea.com)
**** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 033-250-6236 (E-mail : kkyun@cc.kangwon.ac.kr)

표 1. 콘크리트 배합

Specimens	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)					AE감수제 (%)
			Cement	Water	Latex	Sand	Gravel	
OPC - G25	45	41	392	177	-	714	1072	0.3
OPC - G13	33	58	400	132	-	1032.7	795.0	2.5
LMC - L10	33	58	400	88.7	83.3	975.0	750.5	-
LMC - L15				67.0	125.0	946.2	728.3	
LMC - L20				45.3	166.7	917.3	706.1	

OPC-G25의 경우 굵은골재 최대치수가 25mm이고 비중이 2.8인 쇄석을 사용하였고, OPC-G13과 LMC는 굵은골재 최대치수가 13mm이고 비중이 2.7인 쇄석을 사용하였다. 잔골재는 비중이 2.6인 강모래를 사용하였다. OPC와 라텍스 혼입률에 따른 LMC의 배합은 표 1에 나타내었다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 스트레인 게이지를 사용하여 콘크리트의 열팽창실험을 수행하였다. 스트레인 게이지를 사용한 열팽창실험은 온도의 측정과 변형률을 측정하는 위치가 다르고 온도변화에 따른 스트레인 게이지의 수축·팽창으로 인하여 측정된 값에 오차가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 동결융해기기의 온도 상승 및 하강을 5°C/h, 10°C/h, 20°C/h로 다르게 하여 시편의 중앙, 외벽 그리고 동결융해기기의 내부온도를 측정하였고, 위치에 따른 온도 차이가 거의 없는 5°C/h로 동결융해기기의 온도상승 및 하강을 설정하였다. 또한 스트레인 게이지의 수축·팽창으로 인한 콘크리트의 변형오차는 게이지 제원에 제시된 식을 이용하여 스트레인 게이지의 변형을 산정함으로써 보정하였다.

그림 1과 그림 2는 열팽창실험 시편과 동결융해기기를 나타낸 것으로 열팽창실험은 $\Phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 제작하여 $-40^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 의 온도조절이 가능한 동결융해기기에서 실험하였다. 콘크리트 시편의 온도변화는 시편 중앙에 thermocouple을 매립하여 측정하였고 시편외벽에 스트레인 게이지를 부착하여 시편의 변형을 계측하였다. 그리고 국내 포장용 콘크리트가 경험하게 되는 온도는 약 $-20^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 로 예상할 수 있으나 스트레인 게이지의 적용이 가능한 온도범위와 영하에서 콘크리트의 열팽창실험이 어려움을 감안하여 온도 사이클의 범위를 $15^\circ\text{C} \sim 55^\circ\text{C}$ 로 결정하였고, 시편의 내부 온도변화와 변형률은 데이터로거를 사용하여 20분 간격으로 측정하였다.

측정온도에 따른 스트레인 게이지의 변형을 고려한 콘크리트의 열팽창계수는 다음과 같은 식으로 산정하였다.

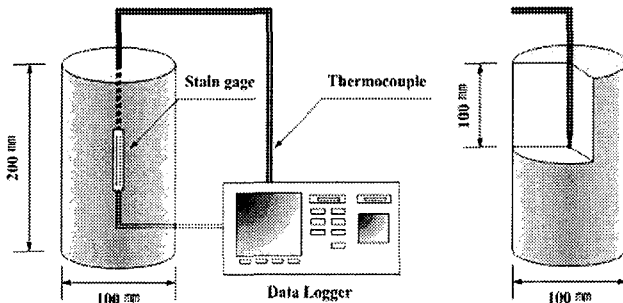


그림 9. 열팽창실험 시편

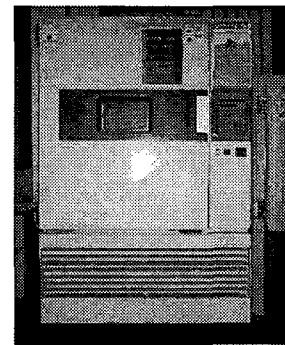


그림 10. 동결융해기기



$$\alpha = \frac{(\epsilon_{c2} - \epsilon_{g2}) - (\epsilon_{c1} - \epsilon_{g1})}{T_2 - T_1}$$

여기서, α = 콘크리트의 열팽창계수 ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
 T_1, T_2 = 콘크리트 내부온도 ($^{\circ}\text{C}$)
 $\epsilon_{c1}, \epsilon_{c2}$ = T_1, T_2 에서 콘크리트의 변형률
 $\epsilon_{g1}, \epsilon_{g2}$ = T_1, T_2 에서 게이지의 수축·팽창으로 인한 측정오차 변형률

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압축강도

KS F 2405에 의거하여 실험한 재령 28일 압축강도의 결과를 그림 3에 나타내었다. OPC-G13과 LMC의 압축강도를 살펴보면 라텍스의 혼입률이 증가함에 따라 압축강도는 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 라텍스 필름막과 골재의 계면 부착력이 시멘트 페이스트와 골재의 계면 부착력보다 낮으므로 압축파괴면이 라텍스 필름막과 골재의 계면에서 형성되기 때문으로 판단된다.

3.2 라텍스 혼입률에 따른 콘크리트의 열팽창특성

초기 온도상승 사이클에서 콘크리트의 변형을 도시한 그림 4에서 보는 바와 같이 라텍스 혼입률이 증가할수록 LMC의 변형도 커지는 것을 알 수 있다. 이와 같이 라텍스 혼입률의 증가에 따라 콘크리트의 변형이 커지는 것은 온도변화에 의한 시멘트 페이스트나 골재의 변형보다 라텍스의 변형이 더욱 크기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 OPC-G13과 라텍스 혼입률에 따른 LMC의 열팽창계수를 산정하여 그림 5에 나타내었다. 라텍스 혼입률이 0%인 OPC-G13을 기준으로 라텍스 혼입률에 따른 LMC의 열팽창계수를 비교하여 보면 라텍스 혼입률 10%, 15%, 20% LMC의 열팽창계수는 OPC-G13의 열팽창계수보다 24%, 73%, 83%가 크게 나타났다.

LMC의 압축강도와 열팽창계수의 관계를 살펴보면 라텍스 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하고 열팽창계수는 증가하는 상반된 관계를 나타낸다. 이는 일반적인 압축강도와 열팽창계수의 관계와 일치하는 것이다.

3.3 OPC와 LMC의 열팽창 특성

교량 상판에 적용되는 OPC-G25와 교면포장에 적용되는 LMC-L15의 열팽창계수를 그림 6에 비교하여 나타내었다. OPC-G25의 평균 열팽창계수는 $6.11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 산정되었으며 LMC-L15의 평균 열팽창계수

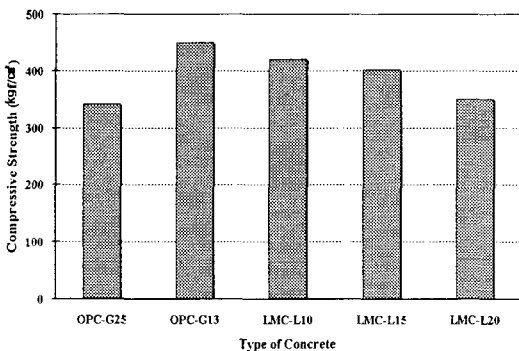


그림 11. OPC와 LMC의 압축강도

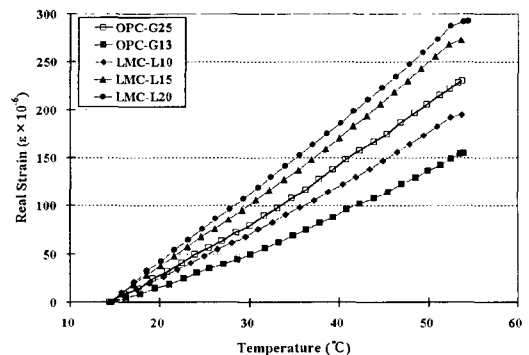


그림 4. 초기 온도상승시 콘크리트의 변형률

표 2. OPC와 LMC의 압축강도와 열팽창계수

Specimens	OPC - G25	OPC - G13	LMC - L10	LMC - L15	LMC - L20
Compressive Strength (kgf/cm ²)	342	450	421	402	351
Coefficient of Thermal Expansion ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	5.24 ~ 7.64 (6.11)	2.69 ~ 4.28 (4.13)	4.39 ~ 5.79 (5.11)	6.05 ~ 8.18 (7.16)	6.63 ~ 8.87 (7.54)

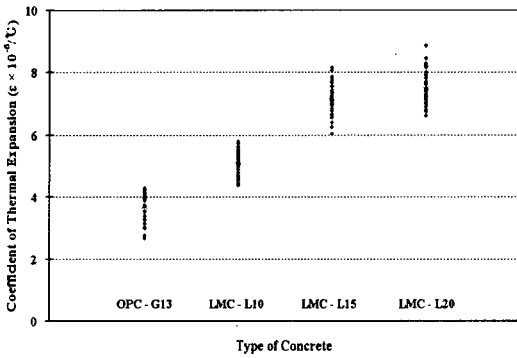


그림 5. 라텍스 혼입률에 따른 열팽창계수

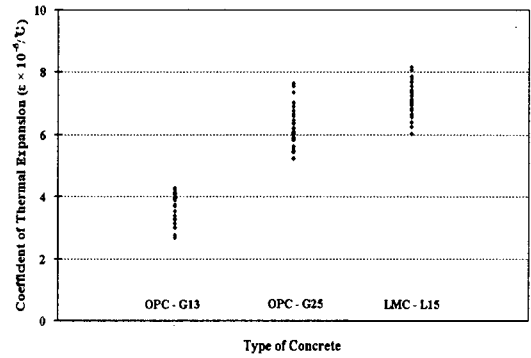


그림 6. OPC와 LMC의 열팽창계수 비교

는 $7.16 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 으로 OPC-G25보다 약간 큰 값을 나타내었다.

OPC-G25와 LMC-L15의 산정된 열팽창계수를 살펴보면 OPC-G25의 경우는 $5.24 \sim 7.64 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, LMC-L15의 경우는 $6.05 \sim 8.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 열팽창계수의 범위가 유사하게 나타났다. 따라서 교량 상판 콘크리트와 LMC 교면포장의 열팽창계수를 비교 고찰할 때 교면포장의 계면에서 열팽창 계수 차이로 발생할 수 있는 구조적 문제점이 없을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 라텍스 혼입률에 따른 콘크리트의 열팽창계수를 비교하였으며, 교량 상판 재료인 OPC와 국내 교면포장에 적용되고 있는 라텍스 혼입률 15%의 LMC의 열팽창계수를 산정하여 비교함으로써 부착계면에서의 거동특성을 고찰하였다.

1. 라텍스 혼입률에 따른 LMC 열팽창실험 결과, 라텍스 혼입률이 증가할수록 LMC의 열팽창계수도 증가하였다. 이는 온도변화에 의한 시멘트 페이스트와 골재의 변형보다 라텍스의 변형이 더 크기 때문으로 사료된다. 또한 라텍스 혼입률에 따른 LMC의 압축강도와 열팽창계수 관계는 상반되는 경향을 나타내었다.
2. 교량 상판 OPC-G25와 LMC교면포장 LMC-L15의 열팽창계수를 비교한 결과, 두 콘크리트의 열팽창계수는 유사한 범위를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 열팽창계수만으로 부착계면에서 발생하는 거동특성을 고찰할 경우 계면에서 두 재료는 구조적으로 일체의 거동을 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Udeme J. Ndon and K. L. Bergeson(1995) "Thermal Expansion of Concretes: Case Study in Iowa" Journal of Material in Civil Engineering, vol. 7, No. 4, pp246~251
2. Yamakawa H., Nadauchi H., Kita T., and Onuma H.(1986) "A Study of The Coefficient of Thermal Expansion of Concrete" Transaction of the Japan Concrete Institute, Vol.8, pp111~118