

LMC와 RSLMC의 열팽창 특성에 관한 연구

A Study on Thermal Expansion of LMC and RSLMC

임 흥 범* 최 성 용** 최 판 길* 윤 경 구***
Lim, Hong-Beom Choi, Seong-Yong Choi, Pan-Gil Yun, Kyong-Ku

Abstract

Latex modification of concrete provides the material with higher flexural strength, as well as high bond strength and reduced water permeability. However, If the thermal expansion properties of overlay concrete (latex-modified concretes) are big different from that of substrate (ordinary portland cement concrete), these would cause a big interfacial stresses and result in premature failure. Therefore, the purposes of this study were to investgate thermal expansion characteristics of latex-modified concrete with cement types.

The result of thermal expansion showed the coefficient of thermal expansion of concretes increased with latex inclusion. The coefficient of thermal expansion of RSLMC was a little smaller than that of LMC, which might be due to the finer cement grain, compacter internal, and stiffer properties of concrete. However, the coefficients of LMC and RSLMC were quite similar to that of ordinary cement concrete. Thus, this would not cause an interfacial stresses and will enable to ensure long-term performance of concrete bridge deck overlays.

키워드 : 라텍스개질 콘크리트, 라텍스개질 초속경콘크리트, 열팽창

Keywords : latex modified concrete, rapid setting latex modified concrete, thermal expansion

1. 서론

콘크리트 덧씌우기는 노후된 콘크리트 포장의 구조적·기능적 보강 또는 신설 포장의 공용성 증대를 목적으로 사용되며, 신·구 콘크리트의 접합 방식, 덧씌우기에 사용되는 재료 등에 따라 구분된다. 교면 포장은 이러한 콘크리트 덧씌우기 공법 중 하나로 교통하중에 의한 충격이나 열악한 기상

조건 등으로부터 교량의 상판을 보호하고, 동시에 이용교통 차량에 쾌적한 주행성을 제공하는 것을 목적으로 한다

라텍스개질 콘크리트(Latex-Modified Concrete, 이하 LMC)는 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 기존 콘크리트에 라텍스 수지를 첨가한 교면포장 재료로써 투수저항성 및 동결융해 저항성이 뛰어나고 휨강도, 부착강도 등 역학적 특성이 우수하여 현재 국내 고속도로에서 콘크리트 포장구간의 교면포장은 LMC를 사용하고 있다 라텍스개질 초속경콘크리트(Rapid-Setting Latex-Modified Concrete; 이하 RSLMC)는 초기강도 발현이 가능한 초속경시멘트에 라텍스 수지를 혼합하여 조기교통개방이

* 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정
** 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*** 강원대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

가능한 재료로 차후 국내에서 포장용 긴급보수재
료로 적용사례가 증가할 것이다.

LMC와 RSLMC는 접착식 콘크리트 덧씌우기
재료로서 기존 콘크리트와의 완전한 부착이 이루
어져 포장체 두층이 단일화된 거동을 하도록 설계
하고 시공되어야 한다. 그러나 LMC와 RSLMC의
온도변화에 따른 거동이 기존 콘크리트와 다를 경
우 계면에서의 응력발생으로 부착강도 저하 및 균
열을 야기할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 라텍스가 콘크리트의
열팽창계수에 미치는 영향을 고찰하고자 LMC와
RSLMC의 라텍스 혼입률에 따른 열팽창계수를 산
정하였으며, 교량 상판에 적용되는 보통콘크리트
(Ordinary Portland Cement Concrete: 이하
OPC-BD)와 LMC와 RSLMC의 열팽창계수를 산
정하여 비교하였다.

2. 콘크리트의 열팽창특성

콘크리트는 복합재료로서 시멘트 페이스트와 골
재의 종류, 양 등에 의하여 콘크리트의 열팽창계수
(Coefficient of Thermal Expansion: CTE)를 결정
할 수 있으며, 콘크리트의 열팽창계수는 아래와 같
은 'Rule of Mixture'에 의한 식으로 나타낼 수 있
다.

$$\alpha_C = \alpha_P \times V_P + \alpha_A \times V_A$$

$$(V_P + V_A = 1)$$

여기서,

α_C : 콘크리트의 열팽창계수

α_P, V_P : 시멘트 페이스트의 열팽창계수와 부피

α_A, V_A : 골재의 열팽창계수와 부피

Fig. 1은 재령과 습도에 따른 시멘트 페이스트

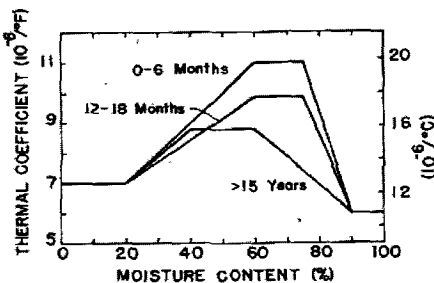


Fig. 1 Coefficient of Thermal Expansion of
Cement Paste

Table 1 Coefficient of Thermal Expansion with
Type of Rock or Mineral

Type of Rock or Mineral	Coefficient of Thermal Expansion ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Quartzite, Silica	11.0 ~ 12.5
Sandstone	10.5 ~ 12.0
Clay, Mtca, Shales	9.5 ~ 11.0
Granite, Gneiss	6.5 ~ 8.5
Crystalline, Limestone	3.5 ~ 6.0
Marble	4.0 ~ 7.0
Dolomite, Magnesite	7.0 ~ 10.0

의 열팽창계수를 나타낸 그래프이다. 그림에 나타
난 바와 같이 시멘트 페이스트의 열팽창계수는 일
반적으로 $11.0\sim 20.0\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 이며, 암석의 열팽창계
수는 $3.5\sim 6.0\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 석회암부터 $10.0\sim 12.0\times$
 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 의 사암이나 석영까지 종류에 따라 다양하
게 나타난다. Table 1은 암석의 종류에 따른 열팽
창계수를 요약하여 나타낸 것이다.

3. 실험

3.1 개요

본 연구에서는 라텍스가 콘크리트의 열팽창계수
에 미치는 영향을 고찰하고자 라텍스 혼입률을 단
위시멘트량 대비 10%, 15%, 20%의 LMC와 RSL
MC의 열팽창계수를 산정하였다. 또한 현재 구조
물에 적용되고 있는 라텍스 혼입률 15%인 LMC와
RSLMC의 열팽창계수를 교량설계기준에 제시된
설계기준강도 27MPa의 교량상판 콘크리트의 열팽
창계수와 비교하였다.

3.2 사용재료 및 배합

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사의 보통시
멘트와 아원계 초속경시멘트를 사용하였으며, 굵은
골재는 OPC-BD의 경우 최대치수 25mm, LMC와
RSLMC의 경우 최대치수 13mm의 쇄석을 사용하였
고 잔골재는 천연강모래를 사용하였다. 골재의 특
성은 Table 2에 나타내었다.

라텍스는 고흡분비가 48%인 미국 D사의 SBR
계열의 것을 사용하였고 라텍스의 물리·화학적
특성은 Table 3에 서술하였다.

Table 4는 본 연구에 사용된 배합을 나타낸 것으
로 OPC-BD는 교량설계 기준에 제시된 설계기준강
도 27MPa의 교량상판 콘크리트의 배합을 적용하여
나타내었으며, LMC-L15와 RSLMC-L15는 교면포

LMC와 RSLMC의 열팽창 특성에 관한 연구

Table 2 Physical Properties of Aqreqates

Type	Max Size (mm)	Specific Gravity	Absorpti on (%)	F.M
Fine Aggregate	< 5	2.6	0.71	298
Coarse Aggregate	13	2.7	0.97	6.3
	25	2.8	0.97	6.77

Table 3 Composition and Physical Properties of Latex

Solid Content (%)	Butadiene Content (%)	Styrene Content	Specific Gravity
48	34±1.5	66±1.5	1.01
Surface Charge	Average Particle Size	pH	Minimum Film Forming Temp. (°C)
Nonionic	1900 ~ 2500 Å	9.5	4°C

Table 4 Mix Properties of Concrete

Type	W/C (%)	Mix Proportion (kg/m ³)				
		C	W	L	G	S
OPC-BD	45	392	177	-	1072	714
LMC-L10	33	400	89	83	751	975
LMC-L15			67	125	728	946
LMC-L20			45	167	706	917
RSLMC-L10	38	390	104	81	727	945
RSLMC-L15			82	122	707	918
RSLMC-L20			59	163	687	892

장과 보수재료로 적용되고 있는 라텍스 혼입물 15%의 배합을 나타낸 것이다

3.3 실험방법

(1) 열팽창시편 제작

열팽창 실험을 위하여 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 의 원주형 공시체를 제작하였으며 콘크리트 시편의 내부온도를 측정하기 위하여 T type의 열전대인 thermocouple을 시편 중앙에 매립하였고 시편외벽에 스트레인 게이지를 부착하여 시편의 변형률을 측정하였다.

Fig 2는 열팽창실험을 위한 콘크리트 시편을 나타낸 것이다

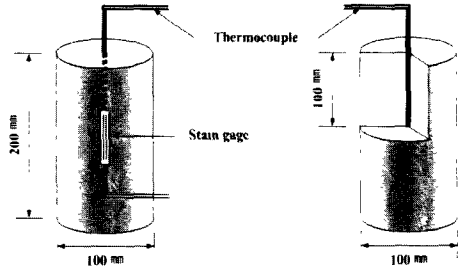


Fig 2 Specimen for Thermal Expansion

(2) 온도사이클과 온도변화량의 결정

국내의 포장용 콘크리트가 경험하게 되는 온도는 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 정도로 예상할 수 있으며, 본 실험에 사용된 스트레인 게이지의 측정온도 범위는 $0^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 이다. 또한 0°C 이하에서는 동결 등의 이유로 콘크리트의 열팽창실험이 어려움으로 본 콘크리트 열팽창실험에서는 온도사이클의 범위를 $15^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다.

한편 스트레인 게이지를 사용한 열팽창실험에서는 온도를 측정하는 위치와 콘크리트의 변형률을 측정하는 위치가 다르다는 문제점을 안고 있다. 따라서 이를 보완하기 위하여 열팽창실험 시편의 중앙과 외부에 thermocouple을 위치시킨 후 온도챔버의 온도변화량을 시간당 5°C 와 10°C 로 하여 시편의 내부온도와 외부온도를 측정하여 비교하였다.

시편의 내부온도와 외부온도를 측정된 결과는 Fig 3에 그래프로 도시하여 나타내었다. 온도변화량을 시간당 10°C 로 하였을 경우에는 시편의 내·외부 온도가 상이하였으나 온도변화량을 5°C 로 하였을 경우에는 시편의 내·외부 온도가 거의 일치하는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 온도챔버의 온도변화량을 시간당 5°C 로 설정하였다.

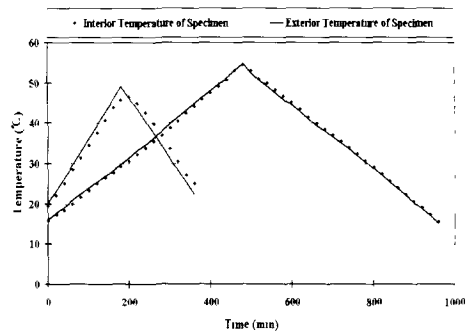


Fig. 3 Interior and Exterior Temperature of Specimen with Temperature Change

(3) 열팽창계수의 산정

열팽창계수는 온도와 길이변화량의 관계가 근사적으로 직선이 될 때 사용하는 변화량을 말하며, 평균 열팽창계수는 온도와 길이변화량의 관계가 직선이 되지 않을 때 평균 변화량을 말한다. 스트레인 게이지를 이용한 열팽창계수 시험의 경우 게이지의 열팽창계수와 온도변화에 따른 게이지의 측정값 오차가 발생하게 됨으로 이를 보정하여 아래의 식과 같이 열팽창계수를 산정하였다.

$$\alpha_c = \frac{\Delta \epsilon}{\Delta T} = \frac{(\epsilon_{\varrho} - \epsilon_{\varrho}) - (\epsilon_d - \epsilon_d)}{T_2 - T_1}$$

여기서,

α_c : 콘크리트의 열팽창계수

T_1, T_2 : 콘크리트 시편의 내부온도

$\epsilon_d, \epsilon_{\varrho}$: T_1, T_2 에서 콘크리트 시편의 변형률

$\epsilon_d, \epsilon_{\varrho}$: T_1, T_2 에서 gage factor에 의한 오차

4. 실험결과 및 고찰

4.1 압축강도

Fig. 4는 콘크리트의 재령 28일 압축강도를 나타낸 것으로 OPC-BD는 34.2MPa의 압축강도를 나타내었으며 LMC의 압축강도는 라텍스 혼입률 10%, 15%, 20%에 따라 42.1MPa, 40.2MPa, 34.9MPa의 압축강도를 나타내었다. RSLMC의 압축강도는 라텍스 혼입률에 따라 각각 51.0MPa, 47.0MPa, 44.7MPa의 압축강도를 나타내었다.

LMC와 RSLMC는 라텍스 혼입률이 증가할수록 압축강도는 감소하는 경향을 나타내었으며 이러한 원인은 시멘트 페이스트와 골재의 부착강도보다

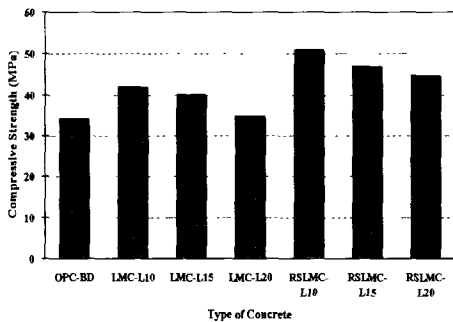


Fig. 4 Compressive Strength of Concrete

라텍스와 골재의 부착강도가 작기 때문에 압축과 곡면이 라텍스와 골재의 부착계면에 형성되기 때문으로 판단된다.

4.2 온도변화에 따른 콘크리트의 변형률

Fig. 5~11은 온도사이클(15℃~55℃)에서 온도변화에 따른 콘크리트의 변형률을 도시하여 나타낸 것으로 이 때 그래프의 기울기가 콘크리트의 열팽창계수를 나타낸다.

4.3 라텍스 혼입률에 따른 열팽창계수

라텍스 혼입률에 따른 LMC와 RSLMC의 열팽창계수를 그림 12에 나타내었다.

LMC의 라텍스 혼입률에 따른 열팽창계수를 살펴보면 LMC-L10의 열팽창계수는 $4.39 \sim 5.49 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, LMC-L15의 열팽창계수는 $6.05 \sim 8.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, LMC-L20의 열팽창계수는 $6.63 \sim 8.87 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었다. 또한 RSLMC의 열팽창계수는 라텍스 혼입률 10%, 15%, 20%에 따라 $4.10 \sim 6.46 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $5.53 \sim 7.51 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, $5.93 \sim 8.33 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.

실험 결과 라텍스 혼입률이 증가할수록 LMC와 RSLMC의 열팽창계수도 증가하는 경향을 나타내었으며, RSLMC의 열팽창계수가 LMC의 열팽창계수보다 약간 작은 값을 나타냄을 알 수 있었다.

앞서 언급한 바와 같이 라텍스의 혼입률이 증가할수록 LMC와 RSLMC의 압축강도는 감소하였고 열팽창계수는 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 일반적인 압축강도와 열팽창계수의 관계와 잘 부합되는 것으로 LMC와 RSLMC의 라텍스 혼입률에 따른 압축강도와 열팽창계수를 그림 13과 14에 도시하였다.

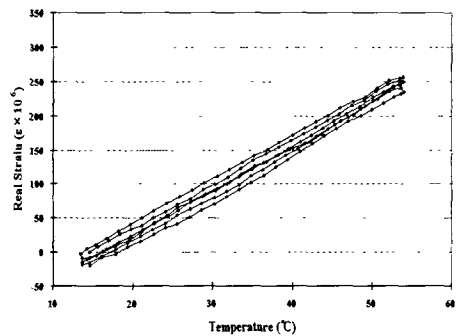


Fig. 5 Real Strain of OPC-BD with Temperature Cycle

LMC와 RSLMC의 열팽창 특성에 관한 연구

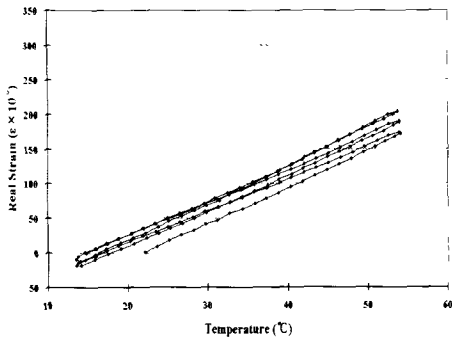


Fig. 6 Real Strain of LMC-L10 with Temperature Cycle

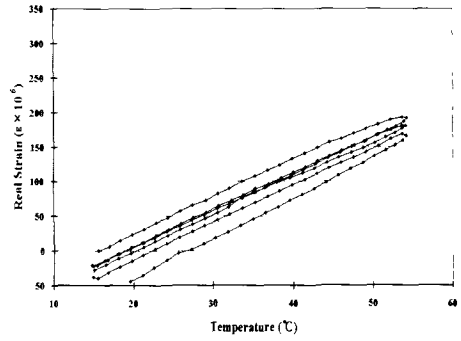


Fig. 9 Real Strain of RSLMC-L10 with Temperature Cycle

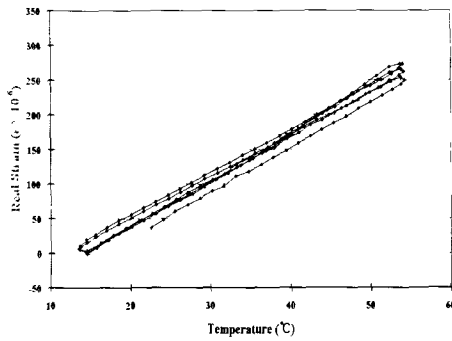


Fig. 7 Real Strain of LMC-L15 with Temperature Cycle

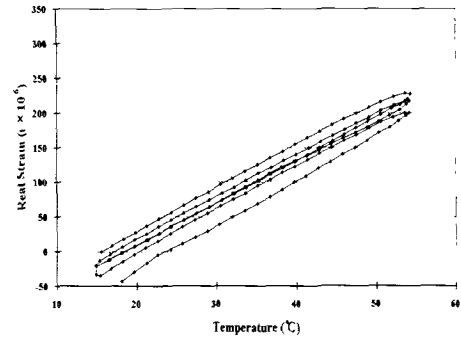


Fig. 10 Real Strain of RSLMC-L15 with Temperature Cycle

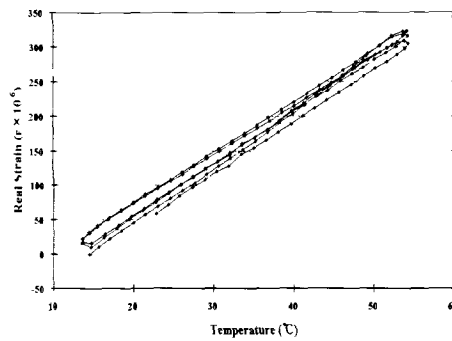


Fig. 8 Real Strain of LMC-L20 with Temperature Cycle

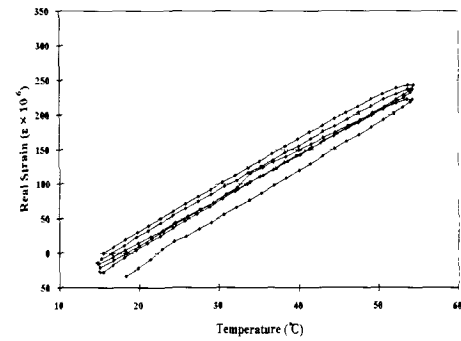


Fig. 11 Real Strain of RSLMC-L20 with Temperature Cycle

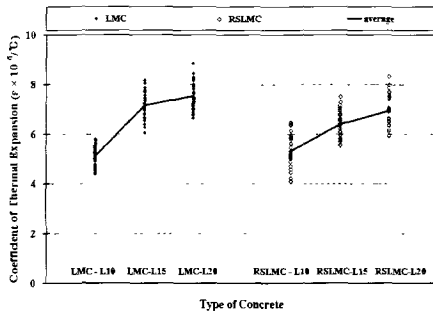


Fig. 12 Coefficient of Thermal Expansion of Concrete with Latex Content

Fig. 4.10~4.11에 나타난 바와 같이 압축강도와 열팽창계수의 관계는 어느 정도 밀접한 관계를 가지고 있으며 라텍스 혼입물에 따른 압축강도와 열팽창계수의 관계에 대한 많은 자료를 축적한다면 LMC와 RSLMC의 압축강도로서 열팽창계수를 예측할 수 있을 것으로 판단된다

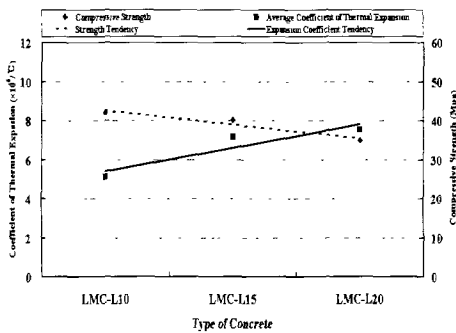


Fig. 13 Compressive Strength and Coefficient of Thermal Expansion of LMC

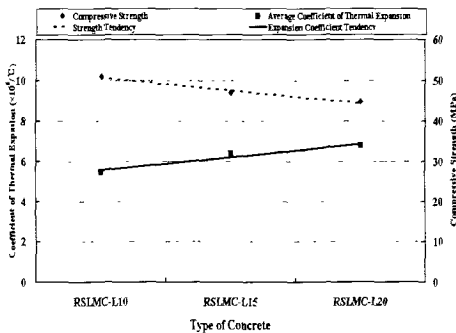


Fig. 14 Compressive Strength and Coefficient of Thermal Expansion of RSLMC

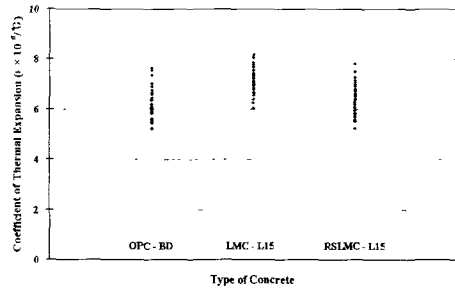


Fig. 15 Coefficient of Thermal Expansion with Concrete Type

4.4 콘크리트 종류에 따른 열팽창계수

교량 상판 콘크리트 OPC-BD, 교면포장 재료인 LMC-L15와 긴급 보수재료인 RSLMC-L15의 산정된 열팽창계수를 그림 15에 나타내었다.

그림에서와 같이 OPC-BD의 열팽창계수는 $4.65 \sim 7.88 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, LMC-L15의 열팽창계수는 $6.05 \sim 8.18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, RSLMC-L15의 열팽창계수는 $5.53 \sim 7.51 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 로 세 콘크리트 열팽창계수의 범위는 거의 유사하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

따라서 LMC 교면포장과 교량 상판의 부착계면에서 온도 변화에 따른 열팽창계수의 차이로 인한 거동의 차이는 없을 것으로 판단되며, LMC 교면포장이나 보통 콘크리트에 긴급 보수재료로 적용되는 RSLMC도 기존 콘크리트와의 부착계면에서 온도변화에 따른 거동은 유사할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 교량 상판 콘크리트와 LMC 교면포장, 그리고 긴급보수재료인 RSLMC의 부착계면에서 온도변화에 따라 발생할 수 있는 거동특성을 고찰하고자 콘크리트의 열팽창계수를 산정하여 비교분석 함으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. LMC와 RSLMC의 열팽창특성을 고찰한 결과 라텍스 혼입률이 증가할수록 열팽창계수는 증가하였으며, 압축강도는 이와 상반되는 경향을 나타내었다. 이는 온도변화에 따른 라텍스의 열팽창이 골재의 열팽창보다 크기 때문일 것으로 사료된다.
2. 교량 상판 콘크리트 OPC-BD와 LMC 교면포장, 그리고 긴급 보수재료인 RSLMC의 열팽창계수 범위를 비교한 결과 세 콘크리트 모두 유사한 열팽창계수 범위를 나타냄으로써 교량 상판 콘

크리트와 LMC 교면포장의 부착계면에서 열팽창계수의 차이로 인한 거동의 차이는 미비할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 김기현, 이종명, 홍창우, 윤경구, “라텍스개질 콘크리트의 투수성 및 동결융해 저항 특성”, *한국콘크리트학회 논문집*, Vol. 13 No. 5 pp484~490, 2001.
- [2] 양성철, 김남호, “콘크리트 팽창계수 측정 실험”, *한국도로포장공학회 학술발표회 논문집*, Vol.4 No 1 pp161~164, 2002.
- [3] 오병환, 최성철, 차수원, 신준호, 박해균, “현장 실물 시험체의 계측을 통한 콘크리트의 임계 수화도 및 열팽창계수 결정”, *대한토목학회 학술발표회 논문집*, pp760~763, 2002.
- [4] 윤경구, 정원경, 최상룡, 김동호, 이봉학, “초속경시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 내구특성”, *한국도로포장공학회 논문집*, 제 4 권 2호 pp1~8, 2002.
- [5] 이효림, 안남식, 양성철, “골재종류에 따른 콘크리트의 열팽창 계수 측정실험”, *한국도로포장공학회 학술발표회 논문집*, Vol.5 No.1 pp145~150, 2003.
- [6] Jack H. Emanuel and J Leroy Hulsey, 'Prediction of The Thermal Coefficient of Expansion of Concrete', *ACI - Journal Proceedings*, Vol.74 Issue.4 pp149~155, 1977.
- [7] Yamakawa, H., Nakarchi, H., Kita T., Onuma, H., "A Study of The Coefficient of Thermal Expansion of Concrete", *Transaction of the Japan Concrete Institute*, Vol.8 pp111~118, 1986.
- [8] Udemé J. Ndon and K L. Bergeson, "Thermal Expansion of Concrete: Case Study In Iowa". *Journal of Material in Civil Engineering(ASCE)*, vol.7 No.4 pp246~251, 1995.
- [9] Xuli Fu and D.D.L. Chung, "Effect of Admixtures on Thermal and Thermomechanical Behavior of Cement Paste". *ACI - Materials Journal*, Vol.96 No.4 pp 455~461, 2000.
- [10] Fandall W Poston, Keith Kesner, James E. McDonald, Alexander M. Vaysburd, and Peter H. Emmons, "Concrete Repair Material Performance-Laboratory Study". *ACI - Materials Journal*, Vol.98 No.2 pp 137~147, 2001.