

라텍스개질 콘크리트의 열팽창 특성 분석

Analysis of Thermal Expansion of Latex-Modified Concrete

최 성 용^{*} 이 주 형^{**} 임 홍 범^{***} 윤 경 구^{****}
Choi, Seong-Yong Lee, Joo-Hyung Lim, Hong-Beom Yun, Kyong-Ku

Abstract

The properties of mechanics and durability of LMC have been performed actively. However, little studies on analysis and properties of thermal expansion has been on the temperature variation. Especially, the low of bonding strength and tensile cracking are caused by difference of thermal expansion between LMC and the substrate concrete. Therefore, this study focused on effect of thermal expansion behavior and properties of LMC according to temperature variation.

To identify the property of thermal expansion of LMC, tests of modulus of thermal expansion were carried out at 28 days after casting specimen, subjected to temperature variation between 10°C and 60°C.

The results of this study showed the modulus of elastic of LMC was similar to that of ordinary portland concrete(OPC). It means that stresses caused by difference of modulus of elastic did not occur on interface between LMC and existing concrete. The modulus of thermal expansion of LMC had a little smaller than that of OPC. The modulus of thermal expansion of polymer modified concrete is generally larger than OPC, but the result of this test is disagree with the fact, which may be due to the humidity evaporation difference and aggregate properties.

키워드 라텍스개질 콘크리트, 열팽창계수, 온도

Keywords Latex-modified concrete, modulus of thermal expansion, temperature

1. 서론

현재 가장 많이 사용되는 교면포장 재료인 아스팔트 콘크리트포장은 강성인 콘크리트와 가요성인

아스팔트 콘크리트가 서로 이질적인 재료이므로 부착력이 낮고, 온도변화에 의한 수축팽창 작용으로 들뜸 현상이 발생하여 아스팔트포장의 조기파손이 발생되었다. 이러한 조기파손으로 인하여 콘크리트 구조물의 노후화 촉진이 유발되고 4~5년마다 아스팔트 재포장이 요구되며 이로 인해 보수공사비가 추가 발생되고, 교통정체 등의 문제가 발생되었으며, 재포장시 아스팔트 포장층 절삭과정에서 교면 방수층이 손상되어 방수기능 저하 등의 문제가 대두되어 왔다.

이런 기존 교면포장의 문제점에 대한 해결방안

* 강원대학교 대학원 토목공학과 박사과정
** (재) 한국철도기술공사, 공학박사
*** 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정
**** 강원대학교 토목공학과 조교수, 공학박사

으로 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 기존 콘크리트에 라텍스 수지를 첨가한 라텍스개질 콘크리트(Latex-Modified Concrete) 교면포장이 최근에 사용되고 있다. 라텍스개질 콘크리트 교면포장의 경우 방수성능이 우수하고, 내구성을 향상시키고 고강도, 고밀도로 인해 공용년수가 장기화되는 특성의 우수한 효과가 있으며, 현재 국내에서도 라텍스개질 콘크리트 교면포장에 대한 연구가 활발히 진행되어 역학적 특성 및 내구특성에 관한 연구가 많이 이루어졌다[1][2].

그러나 온도변화에 따른 라텍스개질 콘크리트의 열팽창 거동이나 특성분석 등에 대한 연구는 미비한 실정이다. 특히 라텍스개질 콘크리트는 신철교량의 교면포장과 보수를 위한 덧씌우기에 사용되어지는 재료로서 기존 콘크리트에 적용되어 신·구 콘크리트의 복합 구조체를 이룬다. 두 가지의 서로 다른 콘크리트로 구성된 신·구 콘크리트 구조물의 성능은 새로 적용되는 신 콘크리트 재료의 물성보다 신·구 콘크리트의 부착성능에 의하여 크게 좌우된다[3]. 이는 라텍스개질 콘크리트와 기존 콘크리트의 열팽창계수의 차이로 인하여 부착계면에서 부착강도를 저하시키고, 인장균열을 야기할 수 있다.

따라서 본 논문은 온도변화가 라텍스개질 콘크리트의 열팽창 거동이나 특성에 미치는 영향에 대해서 고찰하고자 하였다.

2. 라텍스개질 콘크리트의 열팽창 특성

2.1 콘크리트의 열팽창 특성

구조재료로서 철근과 콘크리트의 온도에 따른 물성의 변화 및 재료적 특성에 대한 연구가 진행되어 왔다. 철근의 경우 재료의 균질성으로 인하여 고온에서의 물성변화와 비선형 변형률에 대한 많은 연구가 진행되어 신뢰성 있는 재료모델들이 개발되었다. 그러나 콘크리트는 다른 구조재료에 비해서 열전도율 또는 열확산계수가 현저히 낮아서 구조체의 방화구획 자체나 내화재료로 널리 사용되어지지만 이질재료의 복합체로 실험조건에 균일성을 확보하기가 곤란하고 고온에서의 비선형 변형률에 대한 분석이 난이하여 온도변화에 따른 콘크리트의 거동에 대한 연구는 미비한 실정이다. 최근까지의 연구결과로는 온도가 증가할수록 콘크리트에 대한 응력-변형률 곡선에서의 기울기는 현저히 완만해진다고 알려져 있다.

콘크리트의 열팽창 특성의 영향인자를 살펴보면 다음과 같다.

2.1.1 온도

우리나라에서 포장용 콘크리트가 경험하게 되는 온도는 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 정도로 예상할 수 있다. 하지만 콘크리트의 온도가 영하로 떨어지면 동결 등으로 열팽창계수를 구하는 방법이 쉽지 않게 된다. 따라서 기존의 연구에서는 $10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 의 온도 사이클링 범위에서 열팽창계수를 구하고 있는 실정이다. 콘크리트는 온도가 증가할수록 압축강도 및 탄성계수가 감소하고 고온에 의한 콘크리트의 항복시의 변형도가 증가하는 연성 거동의 특성을 지니게 된다.

2.1.2 습도

콘크리트는 다공성재료로서 내부에 수분을 함유한 공극을 포함하고 있으며 온도의 변화에 의하여 수분의 이동을 유발한다. 따라서 이러한 수분의 이동에 의한 콘크리트의 온도저하현상이나 역학적 특성의 변화가 발생한다.

이와 같이 습도는 열팽창계수에 상당히 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 습도에 따른 시편의 열팽창계수의 영향을 구명하기 위해서는 상대습도를 달리하는 온도챔버 안에서 열팽창계수를 측정해야 되지만 대부분의 국내의 실험실에서는 습도를 달리하는 챔버를 갖추고 있는 경우가 드문 실정이다. 한편, 텍사스주 도로국에서는 포장용 콘크리트의 품질관리용으로서 완전 습윤 조건에서의 시편의 열팽창계수를 측정하고 있다[6].

2.1.3 재령

초기재령의 열팽창계수는 시간이 경과함에 따라 감소하다가 일정한 값으로 수렴을 한다. 이에 따라 일본토목학회에서는 1986년에 매스콘크리트 구조물의 열균열지수(thermal crack index)를 규정하였으며 매스콘크리트 구조물의 열응력에 관한 분석적 평가를 기초로 하여 초기 경화중인 콘크리트의 열팽창계수를 재령에 따라 산출해낼 수 있도록 하였다[13].

2.1.4 골재의 영향

일반적으로 시멘트 페이스트의 열팽창계수는 약 $11 \times 10^{-6} \sim 20 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ 정도로서 골재보다 열팽창계수가 큰 경향이 있으며 시멘트 페이스트와 골재의 열팽창계수의 차이가 $5.5 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ 이상인 경우 콘크리트의 동결융해 저항성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 암석의 열팽창계수는 약 $5.0 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ 정도의 석회질암에서부터 약 $12.0 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ 정도의 사암 또는 석회질암까지 다양한 열팽창계수를 나타내며 골재의 열팽창계수가 증가하면 콘크리트의 열팽창계수도 증가하게 된다.

2.2 폴리머개질 콘크리트의 열팽창 특성

폴리머개질 콘크리트의 열팽창계수에 관한 상반되는 결과를 제시한 두 편의 연구문헌이 있다. 첫 번째 연구문헌은 ASTM C 531에 준한 실험을 실시하여 열팽창계수를 산출하였고, 두 번째 연구문헌은 시멘트 페이스트에 폴리머를 혼입하여 열팽창계수를 산정하는 실험을 실시하였으며 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 시멘트 페이스트도 동일 실험을 실시하여 실험방법의 타당성을 입증하였다.

전자의 연구문헌의 결과는 일반적으로 시멘트의 열팽창계수보다 폴리머의 열팽창계수가 크기 때문에 폴리머를 첨가한 콘크리트의 열팽창계수는 보통 콘크리트보다 큰 값을 나타나는 결과를 제시하였다. 후자의 연구문헌의 결과에서는 시멘트 페이스트에 폴리머를 혼입함으로써 시멘트 페이스트의 열전도율과 열안정성이 모두 감소하게 되어 폴리머개질 콘크리트의 열팽창계수가 보통 콘크리트보다 작은 열팽창계수를 나타내었다.

앞서 언급한 바와 같이 콘크리트의 열팽창 특성에 영향을 미치는 많은 요인들이 존재한다. 따라서 폴리머의 혼입으로 인한 콘크리트의 열팽창 특성을 분석하기 위해서는 더욱 많은 실험과 연구가 필요한 실정이다.

3. 실험

3.1 사용재료 및 콘크리트 배합

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201에 적합한 S1의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 굵은 골재는 교량의 교면포장에 적용하기 위한 13mm의 쇄석을 사용하였으며, 잔골재는 천연 강모래를 사용하였다.

라텍스는 스티렌(Styrene)과 부타디엔(Butadiene)이 주 모노머로 구성되어 있는 고분자를 공중합한 폴리머와 물을 일정비율로 혼합해서 만든 우유빛 액상 물질로써 물과 폴리머의 구성비율은 48:52이고, 스티렌과 부타디엔은 66:34로 구성되어 있으며 소량의 계면활성제와 안정제가 첨가되어 있는 미국 D사의 SBR 라텍스를 사용하였다. 라텍스의 물리적 특성은 Table 1에 나타내었다.

본 실험에 사용된 배합은 '라텍스개질 콘크리트(라텍스개질 콘크리트) 교면포장공사 특별 시방서'의 배합기준에 준하여 이루어졌으며 그 배합 특성은 Table 2와 같다. 라텍스 혼입량은 단위시멘트량의 15%를 사용하였으며, 잔골재율은 58%로 배합하였다. 배합에서의 단위시멘트량은 400kg/m³으로 고정하였으며, 단위수량은 Latex에 포함된 수량을 고려하여 결정하였으며 슬럼프 조건은 교량의 교면포장에 적용하기 위해 20±1 cm로 하였다.

양생은 상대습도 55±5%, 20℃의 양생실에서 28일간 양생을 실시하였다.

콘크리트 제조의 배합순서는 먼저 굵은골재와 잔골재를 혼합하여 약 30초간 건비빔을 실시한 후 시멘트를 혼합하여 충분한 혼합이 되도록 약 1분간 비빔을 실시하였다. 그리고 라텍스와 물을 혼합하여 투입한 후 약 90초간 비빔을 실시하였다.

3.2 강도특성 실험

라텍스개질 콘크리트의 압축강도 휨강도 특성 분석과 '라텍스개질 콘크리트 교면포장공사 특별 시방서'에서 제시한 품질관리기준에 대한 적합성과 교통개방을 위한 휨강도의 적합성을 판단하고자 압축강도 실험은 KS F 2405, KS F 2408에 준하여 압축강도와 휨강도 실험을 실시하였다.

콘크리트의 탄성계수 실험은 KS F 2438에 준하여 $\Phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체의 외벽 중앙에 스트레인 게이지를 부착하고 라텍스개질 콘크리트의 재령 28일에 측정된 압축강도의 40%를 재하하중으로 결정하여 하중을 2회 반복 재하 하는 것으로 실험 종료하였다. 하중재하시 변형의 연속 기록이 가능한 데이터 로거를 사용하여 응력-변형 곡선을 도시하였으며 다음과 같은 식으로 라텍스개질 콘크리트의 탄성계수를 산정하였다.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

여기서,

E 탄성계수 (kgf/cm²)

S₁ 세로 변형 0.00005cm에 대한 응력 (kgf/cm²)

S₂ 재령 28일에 측정된 압축강도의 40%에 해당하는 응력 (kgf/cm²)

ϵ_2 응력 S₂로 인하여 발생한 세로 변형

Table 1 Composition and Physical Properties of Latex

Percent Solids	Specific Gravity(25°C)	PH	Surface Tension dynes/cm at 25°C
46%-48%	1.01	10.5	32
Self Life	Viscosity cps at 20°C	Freeze thaw stability (-15°C to 25°C)	stabilizer type
> 2 years	24	5 cycle	anionic

Table 2 Mix Proportions of Latex Modified Concrete

W/C (%)	S/a (%)	Mix Proportion (kg/m ³)				
		Cement	Latex	Water	Sand	Gravel
33	58	400	125	67	728	972

3.3 열팽창특성 실험

3.3.1 실험방법 및 시편제작

라텍스개질 콘크리트의 열팽창 특성인 열팽창 계수 측정 실험에는 일반적으로 스트레인 게이지를 사용하는 방법과 LVDT를 사용하는 방법이 있다. 본 논문에서는 LVDT 고정대의 열팽창으로 인한 오차발생 우려와 실험조건에 따라 스트레인 게이지를 사용하는 방법을 채택하여 다음과 같은 방법으로 실시하였다.

열팽창계수 측정 실험에 사용된 시편은 상대습도 55±5%, 20℃의 양생실에서 재령 28일에 실시하였으며, 시편의 내부온도는 시편의 중앙에 Thermocouple를 매립하여 온도를 측정하였다. 그리고 포장용 콘크리트가 경화하게 되는 온도를 고려하여 10℃~60℃의 온도 사이클을 결정하고 온도의 상승 또는 하강은 콘크리트 내부와 외부의 온도차를 최소화 하기 위하여 5℃/hr로 설정하고 실험을 진행하였다. 즉 10℃에서 60℃상승하는데 10시간 소요되며, 60℃에서 10℃로 하강하는데 10시간이 소요된다. 이와 같이 상승 하강을 1 사이클로 하여 총 2번의 사이클 실험을 실시하고, 온도변화에 따른 변형률 측정을 위해 매 20분마다 온도와 변형률을 측정하였다.

열팽창계수 실험시편은 Φ100×200mm의 원주형 공시체를 제작하여 실험을 실시하였다. 시편의 외벽

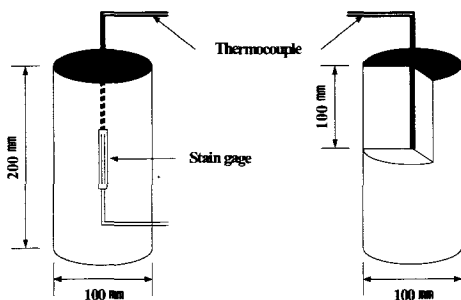


Fig. 1 Specimen set-up for Thermal Expansion Test

에 콘크리트용 변위측정 게이지를 수직방향으로 부착하였고, 시편의 내부온도 측정을 위하여 시편 중앙에 thermocouple을 매립하였다. 열팽창계수 실험시편은 Fig. 1에 나타내었다

본 논문에서는 실험시편 2개를 제작한 후 시편의 외벽에 콘크리트용 스트레인 게이지를 부착하여 온도변화에 따른 변형률을 측정하였다.

3.3.2 열팽창계수 산정식

열팽창 계수는 온도와 길이변화량의 관계가 근사적으로 직선이 될 때 사용하는 변화량을 말하며, 평균 열팽창 계수는 온도와 길이변화량의 관계가 직선이 되지 않을 때 평균적으로 변화량을 말한다. 스트레인 게이지를 이용한 열팽창계수 시험의 경우 게이지의 열팽창계수와 온도변화에 따른 게이지의 측정값 오차가 발생하게 됨으로 이를 보정하여 다음과 같은 식으로 열팽창계수를 산정하였다.

$$\alpha = \frac{(\epsilon_{t_2} - \epsilon_{t_1}) - (\epsilon_{c1} - \epsilon_{c2})}{t_2 - t_1}$$

여기서,

α : 열팽창계수

t_1, t_2 : 시편의 내부온도

$\epsilon_{c1}, \epsilon_{c2}$: t_1, t_2 에서 콘크리트 시편의 변형률

$\epsilon_{g1}, \epsilon_{g2}$: t_1, t_2 에서 발생하는 게이지 측정오차

4. 강도특성 및 열팽창특성 결과 및 고찰

4.1 강도특성 실험 결과

4.1.1 압축강도와 휨강도

라텍스개질 콘크리트의 압축강도 특성은 시편을 3개 제작하여 평균으로 나타낸 것으로, 평균압축강도는 재령 7일에서 332 kgf/cm²를 나타내었으며, 재령 14일에는 354 kgf/cm², 재령 28일에는 412 kgf/cm²의 강도를 나타내었다

또한 라텍스개질 콘크리트의 휨강도 특성은 재령 7일에서 58 kgf/cm²를 나타내었으며, 재령 14일에는 65 kgf/cm², 재령 28일에는 74 kgf/cm²의 강도를 나타내었다.

이와 같이 압축강도 특성과 휨강도 특성은 각각 재령 28일에 412 kgf/cm², 74 kgf/cm²의 강도를 나타내었다. 이는 라텍스개질 콘크리트를 사용하여 시공되는 교면포장 또는 보수를 위한 덧씌우기 재료로 충분함을 알 수 있다.

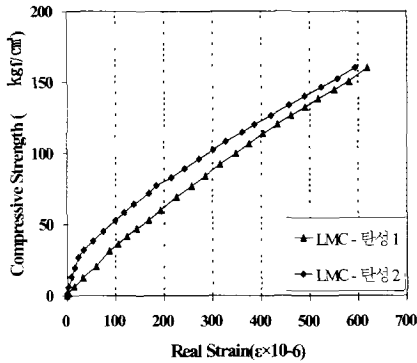


Fig 2 Stress-Strain Curve of LMC

4.1.2 탄성계수

라텍스개질 콘크리트의 탄성계수를 측정된 결과 $2.45 \times 10^5 \sim 2.60 \times 10^5$ kgf/cm²를 나타내었다. Fig 2는 라텍스개질 콘크리트의 응력-변형률 선도를 도시한 것이다.

이와 같은 결과는 보통 콘크리트와 유사한 값을 나타내었다 따라서 기존 콘크리트와 라텍스개질 콘크리트의 부착계면에서 탄성계수의 차이로 인한 응력은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

4.2 열팽창특성 결과분석

4.2.1 온도변화에 따른 라텍스개질 콘크리트 변형률

시편 외벽에 스트레인 게이지를 부착하여 10℃ ~ 60℃ 온도변화에 따른 라텍스개질 콘크리트의 변형률 측정하였다

Fig 3과 Fig 4에 측정결과를 도시하였다. Fig 3은 초기 온도상승 단계에서 시편의 변형률을 측정된 값이고, Fig. 4는 초기 온도하강 단계에서 시편의 변형률을 측정된 값을 나타낸 것이다. Fig. 3과 Fig 4에서 볼 수 있듯이 온도변화에 따라 콘크리트의 변형이 선형적으로 변하는 것을 알 수 있다 이와 같은 선형관계를 통해 열팽창계수를 산정할 수 있다

4.2.2 라텍스개질 콘크리트 열팽창특성

라텍스개질 콘크리트 시편에 스트레인 게이지를 부착한 후 10℃ ~ 60℃의 온도사이클을 2회 반복하여 실험을 실시하였으며 열팽창계수는 Fig. 3과 Fig 4에서 나타낸 것과 같은 온도변화에 따라 변형률이 선형 변형하는 구간에서 1℃당 변형률의 변화량을 계산하여 산정하였다.

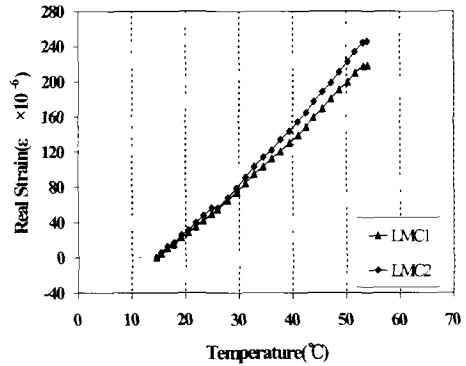


Fig 3 Strain of LMC with Increasing Temperature Step

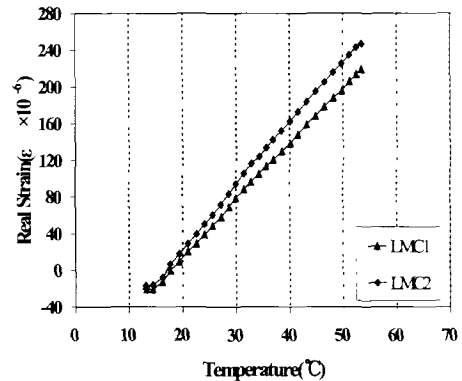


Fig. 4 Strain of LMC with Decreasing Temperature Step

Table 3 Coefficient of Thermal Expansion of LMC

Temperature Process	Step	Specimen 1 ($\epsilon \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)	Specimen 2 ($\epsilon \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)
Increasing Temperature	1	5.65	6.29
	2	5.23	5.92
Decreasing Temperature	1	6.25	6.93
	2	5.93	6.61

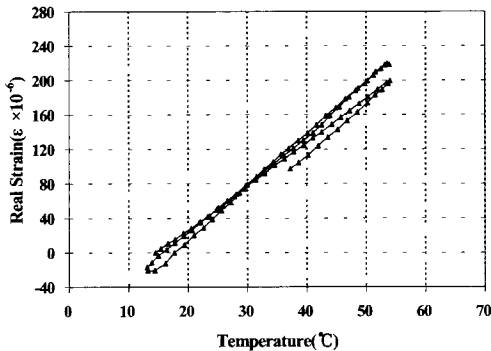


Fig. 5 Strain of LMC with Temperature Variation - Specimen 1

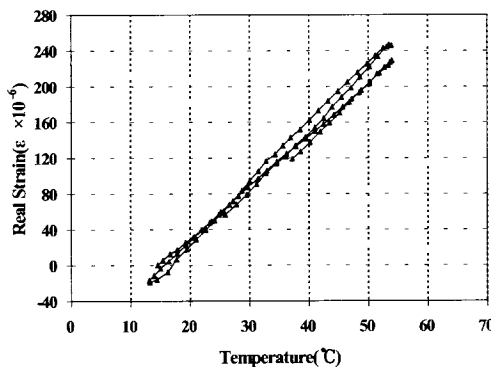


Fig. 6 Strain of LMC with Temperature Variation - Specimen 2

재령 28일에서 라텍스개질 콘크리트의 열팽창계수는 $5.23 \times 10^{-6} \sim 6.93 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 을 나타내었다.

온도의 상승과 하강과정에서 각각 온도변화에 따른 변형률을 측정하였다. 온도의 상승과 하강단계에 대한 열팽창계수는 Table 3에 제시하였으며, Fig. 5와 Fig. 6에 결과를 나타내었다.

일반적으로 시멘트 페이스트의 열팽창계수보다 폴리머의 열팽창계수가 훨씬 크기 때문에 폴리머의 혼입으로 인하여 열팽창계수는 증가하는 것으로 알려져 있다[14] 하지만 본 논문에서는 이러한 현상과는 상반되는 결과를 얻었다. 이러한 차이는 열팽창계수의 측정방법과 골재, 습도의 변화 등에 의한 영향으로 판단된다.

5. 결론

본 논문에서는 라텍스개질 콘크리트의 기초물성과 온도변화에 따른 열팽창 특성 실험을 실시하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 라텍스개질 콘크리트의 기초 물성인 압축강도 특성과 휨강도 특성은 각각 재령 28일에 412 kgf/cm^2 , 74 kgf/cm^2 의 강도를 나타내었다 이는 라텍스개질 콘크리트를 사용하여 시공되는 교면포장 또는 덧씌우기 재료로 충분함을 알 수 있다.

(2) 라텍스개질 콘크리트의 탄성계수는 $2.45 \times 10^5 \sim 2.60 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 로써 보통 콘크리트와 유사한 값을 나타내었다. 따라서 기존 콘크리트와 라텍스개질 콘크리트의 부착계면에서 탄성계수의 차이로 인한 응력은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

(3) 라텍스개질 콘크리트의 열팽창계수는 $5.23 \times 10^{-6} \sim 6.93 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 로 보통 콘크리트의 열팽창계수보다 작은 값을 나타내었다. 일반적으로 폴리머개질 콘크리트의 열팽창계수가 보통 콘크리트의 열팽창계수보다 크다는 것과 상반되는 결과를 나타냈으며 이러한 결과는 골재, 습도의 변화 등에 의한 영향으로 사료된다.

향후 콘크리트에 라텍스 혼입에 따른 콘크리트의 열팽창특성에 대한 더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 윤경구, 이주형, 김기현, 김대호, “현장적용성을 위한 라텍스개질 콘크리트의 역학적 특성”, 대한토목학회 학술발표회 논문집 pp 395-398, 2000.
- [2] 이주형, 정원경, 김동호, 이봉학, 원치문, “라텍스 혼입에 따른 라텍스개질 콘크리트의 동결융해 저항특성평가”, 한국콘크리트학회 가을 학술발표회, Vol. 12, No. 2, pp497-502, 2000.
- [3] 윤경구, 이주형, 최상릉, 김기현, “라텍스개질 콘크리트의 부착강도 특성”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol. 13, No. 5, pp507-515, 2001.
- [4] 김기현, 윤경구, 정원경, 김태경, 박상일, “국내 개량 조합장비를 이용한 LMC 현장시공평가” 한국도로포장공학회 2001 학술발표회 논문집, pp87-91, 2001.
- [5] 양성철, 김남호, “콘크리트 팽창계수 측정 실험”, 한국도로포장공학회 2002 학술발표회

논문집, pp161-164, 2002

- [6] Emanuel, J. H. and Hulse, J. L. "Prediction of the Thermal Coefficient of Expansion of Concrete". ACI Journal Proceedings, Vol 74, Issue 4, 149-155, 1977
- [7] Ohama, Y. "Polymer-Modified Mortar & Concretes", Concrete Admixtures Handbook. Properties, Science, and Technology, Noyes Publication, Park Ridge, pp337-429, 1984.
- [8] Ohama, Y., "Principle of Latex Modification and Some Typical Properties of LMC". ACI Materials Journal, Vol. 84, No. 6, pp511-518, 1987.
- [9] W. P. S and Khoury, G. A, "The Thermal and Structural Effects Elevated Temperatures on The Basic Creep of Hardened". Materials and Structures, Vol 23, pp418-425, 1990.
- [10] Emmons, P. H., "Concrete Repair and Maintenance illustrated", R S. MEANS COMPANY INC, pp155-164, 1994.
- [11] Ndon, U J, "Thermal Expansion of Concretes: Case Study in Iowa", Journal of Material in Civil Engineering, Vol. 7, No 4, pp246-251, 1995
- [12] Dow Chemical Publications, "A handbook on Portland Cement Concrete and Mortar Contain Styrene-Batadiene Latex"
- [13] Yamakawa, H., "A Study of the Coefficient of Thermal Expansion of Concrete"
- [14] Udeme J Ndon, "Effect of Admixtures on Thermal and Thermomechanical Behavior of Cement Paste". ACI - Materials Journal , vol. 96 No 4, pp 455~461, 1999.