

라텍스 개질 콘크리트를 이용한 고속도로 교면포장의 현장적용

Field Application of Latex Modified Concrete into Bridge Deck Overlay at Highway

김기헌* · 박상일** · 양희용*** · 윤경구**** · 이주형****

1. 서 론

기존의 교량 교면포장공법은 크게 아스팔트 콘크리트 교면포장과 콘크리트 마모층 교면포장 두 가지로 대별될 수 있는데, 기존 교면포장공법이 갖는 가장 큰 문제점중 하나는 슬래브콘크리트와 아스팔트 교면포장의 경계면에 체류가 생기고, 제빙제에 의한 염화물의 침투는 철근의 부식 및 교량 슬래브 콘크리트의 조기 열화현상의 발생으로 교량의 공용수명을 단축시키는 주요 요인이 된다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 연구기관에서 다양한 연구 및 공법들이 개발되어 현장에 적용되어 오고 있으나, 아직까지는 만족할만한 개선책이 마련되지 못한 실정이다.

LMC 교면포장 공법의 유래는 1952년 Dow Chemical Co.에서 LMC에 관련된 연구를 시작하여 1957년 Michigan, Cheboygan의 US 23 교량 교면을 대상으로 LMM을 이용한 교면 덧씌우기공법이 최초로 적용되었다. 그 이후 60년말까지 LMC는 교량의 보수·보강공사에 제한적으로 사용되어 왔으나, 1970년초 교량 슬래브 조사 및 연구실험 결과 Dow S/B LMC로 덧씌우기한 교면이 보통콘크리트 교면보다 염화물 침투성이 현격히 줄어들었고, FHWA의 보고서에서 교량 부식에 대한 해결방안으로 LMC를 제시하였다. 그 이후 미국에서는 시방규정(AASHTO Section 8&281, ACI 548.4-933)이 마련되어 교량에 확대·적용하게 되었으며, 오늘날 미국 각주에서는 주요교량의 80%이상, 연간 1,000개 이상의 교량에 LMC 교면포장공법이 적용되고 있는 실정이다. 그러나, 국내의 경우 현재까지 LMC교면포장공법의 현장 시공사례는 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구논문에서는 교면포장의 문제점을 해결하기 위한 대안중의 하나로 LMC 교면포장공법의 전반적인 소개와 LMC 교면포장 공법의 현장 시공사례를 미국의 사례와 비교검토하여 국내 여건에 맞는 실용화된 공법으로 자리매김할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

* 정회원 · 승화이엔씨 상무 · 시공 및 품질관리 기술사

** 정회원 · 한국도로공사 설계기준부 부장 · 구조기술사

*** 정회원 · 한국도로공사 설계처장

**** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사

***** 정회원 · 강원대학교 석재복합연구소 연구원 · 공학박사



2. LMC (Latex Modified Concrete)

2.1 개요

LMC란 보통포틀랜드 콘크리트에 라텍스를 혼합해서 만든 콘크리트를 말하며, LMC의 주요 혼화재인 라텍스는 50%의 물과 50%의 고분자로 구성된 재료로서, 콘크리트 배합시 미립자의 라텍스 고품분이 콘크리트내에 균일하게 분포되어, 경화후에는 콘크리트 내부의 미세공극을 채워주는 충전재 역할을 함으로써 일반콘크리트의 성질을 크게 개선시켜 준다.

2.2 LMC 교면포장 메카니즘

LMC의 메카니즘은 일반적으로 시멘트의 수화반응과 라텍스의 합착(合着)으로 진행된다. 보통콘크리트에서와 같이 LMC에서도 시멘트의 수화반응이 진행되며, 수화반응에 의하여 수분이 제거되면 분산된 라텍스 입자가 응집하게 되어 필름 막을 형성하게 된다. 이러한 필름막은 골재와 수화물의 표면에 흡착되고, 또한 골재와 수화물 사이에 발생된 공극의 채움재 역할을 하게 된다. 이와 같은 메카니즘으로 인하여 LMC는 투수성이 감소되고, 부착강도와 휨·인장강도가 증가하며, 동결융해저항성이 증가하는 성질을 가지게 된다.4)

2.3 기존 교면포장공법과 LMC 교면포장공법과의 비교

교량 주요부재의 수명에 대하여 유지관리 분야 실무자들에게 설문 조사한 결과(7)를 표1과 그림1에 각각 나타내었다.

표 1. 교량주요부재의 수명

구분	평균 (년)	표준편차 (년)	변동계수 (%)
아스콘포장	3.7	1.6	43
신축이음	3.7	1.7	46
강재도장	4.0	2.1	53
난간/연석	7.7	7.2	94
교좌장치	9.9	6.2	63
바닥판	13.5	8.9	66
주형	18.3	10.1	55

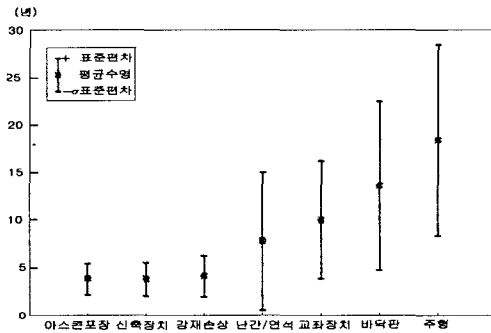
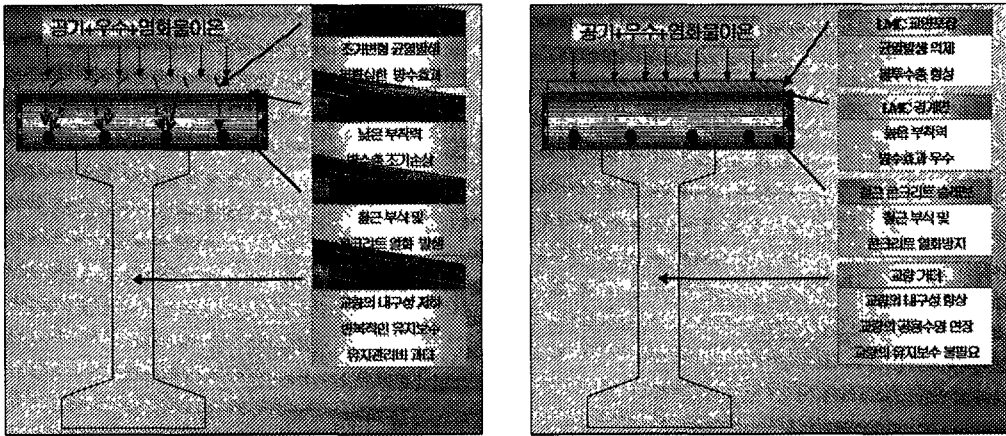


그림 1. 교량주요부재의 수명

그림2는 기존 교면포장공법과 LMC 교면포장공법과의 특징에 대한 비교·분석을 통해 LMC 교면포장공법으로 대체했을때의 효과를 나타낸 것이다.



[기존 교면 포장]

[LMC 교면 포장]

그림 2. LMC 교면포장공법과 기존 교면포장공법과의 비교

위의 결과로부터 우선적으로 생애주기비용(LCC) 측면에서 살펴보면, 기존 교면포장의 수명은 약 4년정도인데 비해 LMC 교면포장의 수명을 20년 이상으로 기존교면포장의 약 5배에 달하고 있으며, 초기투자비용은 LMC 교면포장비용이 기존 교면포장에 비해 다소 크나, 기존 교면포장의 경우 4년마다 이루어지는 재포장에 따른 보수공사비 및 교통처리비용이 고려할때 경제성은 충분하다고 본다. 둘째, 교면포장은 교량을 보호하는 지붕의 역할을 수행한다고 볼 수 있기 때문에 부착력뿐만 아니라 방수효과가 우수한 LMC 교면포장을 채택할 경우 철근부식 및 콘크리트의 열화방지 등으로 교량의 공용수명 및 내구성을 향상시키는 부수적 효과를 가져올 수 있다.

3. LMC 교면포장공법 현장 적용성 평가

3.1 대상 교량 제원

시험시공의 대상교량은 한국도로공사에서 시공하는 중부고속도로(하남-호법간)확장공사 제3공구 궁평육교로 선정하였다. 궁평육교의 상부구조형식은 P.C빔교이며, 시험시공교량 제원은 표 2와 같다.

표 2. 시험시공교량 제원

교량명	교량연장	교 폭	시공면적	포장두께	LMC수량
궁평육교	60m	24.3m	1,964㎡	5cm	98㎡

3.2 LMC 시험시공 배합설계

LMC의 배합설계는 배치플랜트에서 생산된 콘크리트의 품질확보를 위해 실내 실험을 통해 최적의



현장배합을 도출하였으며, 배합표는 표 3과 같다. 본 시험시공에 사용된 라텍스는 미국의 D사 제품(라텍스 고형분 50%, 물 50%)으로 시멘트 대비 15%를 혼입하였으며, 골재는 현장 인근지역에 채취한 강모래 및 굵은골재 최대치수 13mm인 쇄석을 사용하였다.

표 3. LMC 배합표

L/C (%)	W/C (%)	S/a (%)	시멘트 (kg)	Latex (kg)	Water (kg)	간골재 (kg)	굵은골재 (kg)
15	35	55	400	120	80	967	858

3.3 LMC 교면포장 시공 절차

시험시공은 상·하행선을 두차레로 나누어, 상행선은 2000년 5월26일, 하행선은 6월 2일에 각각 시험포설을 실시하였다. 시공순서는 LMC 타설에 앞서 부착강도를 높이고 교량 표면의오염물을 제거하기 위해 그라인딩을 수행하였다. 그리고 데크피니셔 레일과 방호벽측 인력작업대를 설치하고, 기존의 슬래브에 양생포와 폴리에틸렌의 필름을 덮어 습윤상태를 유지하였다. 그 후 배치플랜트에서 생산된 LMC를 레미콘으로 운반·포설하였으며, 데크피니셔를 이용하여 5cm의 교면 두께로 시공면을 마무리하였다. 이때 교량 가장자리부분은 인력마무리를 실시하였다. 포설이 완료된 곳은 바로 양생제를 살포하여 균열발생을 억제하였으며, 폴리에틸렌 필름으로 덮어 안정된 양생조건을 유지하였다.

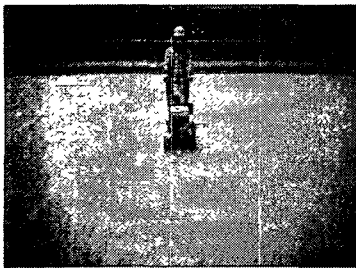


사진 1. 교면준비

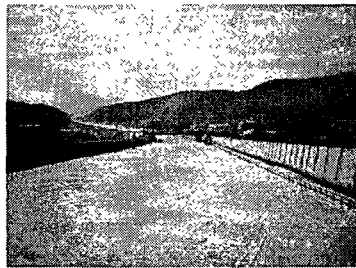


사진 2. 시공전 교면습윤상태



사진3. LMC 포설

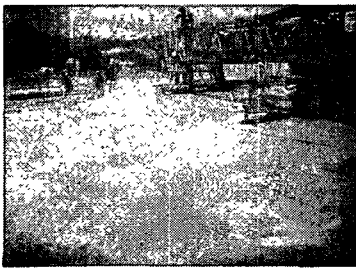


사진 4. 양생제 살포

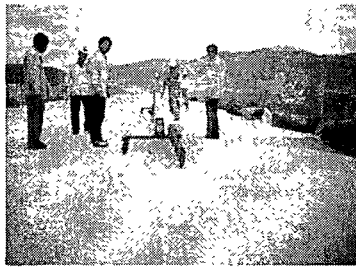


사진5. 평탄성시험

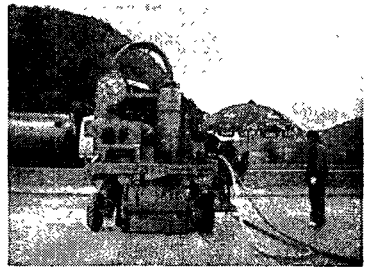


사진 6. Saw Cutting

그림 3. 시험시공 현장모습



그림 3은 시험시공 현장 모습 및 포설과정을 나타낸 것이다. 시험시공 결과 시공성은 매우 우수한 것으로 나타났으나, 배척플랜트로부터 현장 도달시간이 지체될 경우 작업성이 다소 떨어지는 문제점이 발생되므로 LMC 교면포장은 모빌믹서를 이용한 현장타설방식이 콘크리트 품질확보면과 시공성면에서 효과적인 것으로 판단되었다.

3.4 LMC 시험시공 결과

시험포설시 충분한 유동성을 유지하기 위해 슬럼프값을 $23 \pm 3\text{cm}$ 로 하여 작업성을 확보하였으며, 강도에 영향을 미치는 공기량은 $4.5 \pm 1.5\%$ 의 범위를 유지하도록 배합을 실시하였다.

각 재령 및 양생조건에 따른 강도발현특성을 파악하고자, 시공과정에서 임의로 LMC를 채취하여 압축강도 및 휨강도용 시험체를 제작하였다. 기 제작된 시험체는 기건양생(현장조건) 및 수중양생을 실시하였으며, 3일, 7일, 14일, 28일, 56일 재령에서 압축강도 및 휨강도시험을 KS규정에 준하여 행하였다. 재령 및 양생조건별 압축강도 및 휨강도 실험 결과는 표 4와 같다.

표 4. 압축강도 및 휨 강도시험 결과

강도 재령	압축강도 (kgf/cm ²)		휨강도 (kgf/cm ²)	
	기건양생	수중양생	기건양생	수중양생
3일	201	-	-	-
7일	230.37	209.74	54.41	51.01
14일	267.55	238.01	55.41	55.71
28일	283.08	250.06	58.41	62.21
56일	295.48	273.32	61.71	59.71

표 4에서 보여주듯이, 재령 28일 기준으로 수중양생조건에 비해 기건양생조건에서의 강도발현율이 압축강도는 12%정도, 휨강도는 6.5%정도 높게 나타났다. 이와 같이 기건양생조건이 수중양생조건에 비해 높은 강도발현을 보이는 것은 라텍스에 의해 필름막이 형성되면서 내부에 수분이 증발되는 것을 억제하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 휨강도의 증진은 라텍스 혼입으로 인해 시멘트 수화물과 골재의 접착 및 라텍스 필름의 높은 인장강도에 기인한 것으로 판단된다.

평탄성 측정은 도로 공용성의 주요 평가기준인 주행시 승차감을 지수화하여 나타내는 것으로 국내에서는 프로필로미터 기기를 사용하여 평탄성을 측정하는데, 본 시험시공도로의 경우 평탄성 측정결과, PrI는 상행선 28.9cm/km, 하행선 27.6cm/km로 각각 측정되었다. 이는 교면포장 기준값 24cm/km 보다는 다소 상회하는 결과이다. 그러나, 아스팔트 콘크리트 교면포장의 경우 연성포장의 특성으로 인해 초기 평탄성값이 지속되지 못하고 점점 증가하는 반면, LMC 교면포장의 경우 강성포장으로 인해 초기 평탄성값이 장기적으로 안정되는 특성을 가지고 있다.

평탄성 실험결과 상·하행선 평균값이 기준값보다 다소 높게 나왔으나 이는 작업자들의 LMC에 대한 인식부족과 시공경험이 부족한 원인으로 분석되며, 또한 데크피니셔 레이설치 방법 등을 개선하면



평탄성값은 기준치 이하로 충분히 시공할 수 있을 것으로 사료된다.

3.5 LMC 교면포장공법 국내·외 시공절차 비교

오래 전부터 광범위하게 LMC를 적용해 온 미국의 시공절차와 국내의 시공절차를 비교한 결과를 표 5에 나타내었다.

표 5. LMC 교면 포장공법의 국내·외 비교

시공단계		국외사례	국내사례	비고
주요공정	세부공정			
설계단면	포장두께	1½ ~ 2 inches	5mm	
교면준비	표면처리	Sand(Steel) Blast	2mm내외 Grinding	
	청소	에어 콤프레셔	고압살수	
	교면습윤상태유지	포설전 12시간	포설전 48시간	
LMC 생산	생산	Mobile Mixer	현장 배치플랜트	
	운반	Mobile Mixer	Agitator	
LMC 포설 및 마무리	Brooming	LMC Mortar를 테크브러시로 실시	LMC Mortar를 테크브러시로 실시	
	포설 및 고르기	인력	인력	
	마무리	Twin Roller Deck Finisher	Twin Roller Deck Finisher	
양생	피막양생	실시치 않음	피막양생제 살포	
	습윤양생	24시간 습윤양생	48시간 습윤양생	
	기건양생	72시간 기건양생	72시간 기건양생	
거치면 마무리		Saw Cutting 또는 타이닝 실시	Saw Cutting 실시	

4. 결 론

LMC 교면포장공법의 국내 실용화를 위해 현장시험시공 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) LMC의 재료적인 특성이 교량 교면포장에 요구되는 부착강도 및 방수효과 등에 대해 우수한 성질을 보이고 있으므로, 교면포장공법에 적용시 교량의 공용성 및 내구성이 크게 향상될 것으로 판단된다.
- 2) LMC의 재료적인 특성상 LMC 생산 및 포설, 마무리 작업이 조기에 진행되어야 하므로, 시공 현장에서의 직접 생산·포설할 수 있는 장비가 있어야 하며, 숙련된 작업원 및 조직구성 이 필요할 것으로 판단된다.
- 3) LMC 특성을 지배하는 주요 인자인 라텍스에 대한 제품의 적합성 및 균질성이 사전에 검증되어야 하며, 사용시 엄격한 품질관리가 요구된다.
- 4) LMC 교면포장은 기존 교면포장에 비해 초기투자비용은 다소 크나, 공용수명이 길고, 재포장에 따른 보수공사비 및 교통처리비용이 거의 들지 않아 생애주기비용(LCC)은 매우 작으므로 경제적인 것으로 판단된다.



감사의 글

본 논문은 한국과학재단지정 강원대학교 부설 석재복합신소재제품연구센터와 승화ENC의 지원에 의해 이루어진 것이며, 한국도로공사의 적극적인 현장 적용 및 평가에 의해 가능하였습니다. 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

1. AASHTO Section 8 & 28, 1996
2. ACI Committee 548 (1991), "State-of-the-Art Report on Polymer-Modified Concrete", ACI 548.3R-91
3. ACI Committee 548 (1996), "Standard Specification for Latex-Modified Concrete Overlays", ACI 548.4-93
4. Clear, K.C. and B. Chollar(1978), "Styrene-Butadiene Latex Modifiers for Bridge Deck Overlay Concrete", FHWA, Report No. FHWA-RD-78-35.
5. Isenburg, J.E., Rapp, D.E., Sutton, E.J., and Vanderhoff, J.W.(1971), "Microstructure and Strength of the Bond Between Concrete and Styrene-Butadiene Latex-Modified Mortar", Highway Research Record 370.
6. Ohama, Y.,(1989), "Principle fo Latex Modification and Some typical Properties of LMC", ACI Material Journal, Vol.84, NO.6. Nov-Dec. pp.511-518.
7. Ramakrishnan, V.,(1992), "Latex-Modified Concrete and Mortars, Synthesis of Highway Practice 179.
8. Whitting, D.(1981), "Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete", FHWA RD 91/119.
9. 서울특별시(1997), "도로시설물 유지관리 기본계획 종합보고서", 서울특별시 건설안전관리본부