

특수콘크리트를 이용한 교면포장 공법

Bridge Deck Pavement Using Latex Modified Concrete



이상우*
Sang-Woo Lee



박성기**
Sung-Ki Park



김기현***
Ki-Heun Kim



임홍범****
Hong-Beom Lim

1. 서 론

콘크리트 교량 바닥판은 동결융해, 마모, 알칼리 골재 반응, 과도한 균열 발생이나 보강재 철근의 부식으로 인한 스펀링 등과 같은 원인에 의해 손상이 발생된다. 우리나라뿐만 아니라 외국의 경우에도 교량의 손상에 있어서 가장 큰 문제로 우수 및 제설제 등의 침투에 따른 바닥판 보강철근의 부식으로 인한 콘크리트 열화로 규정하고 있다.

NCHRP(National Cooperative Highway Research Program)의 보고서 "NCHRP Synthesis of Highway Practice 4 : Concrete Bridge Deck Durability(1970)"에 의하면 가장 빈번한 유지보수가 필요한 손상형태가 교량 바닥판에서의 균열, 스케일링 및 스펀링 등인 것으로 나타났다. NCHRP 연구 결과에 따라 1972년 FHWA(Federal Highway Association)에서는 교량의 손상을 최소화하기 위하여 정책적으로 모든 교량에 바닥판 보호공법을 적용하도록 하였다. 이를 계기로 교면방수가 건설시장에서 새로운 분야로 확대되기 시작하였으며, 이와 더불어 철근의 피복두께의 증가, 균열발생 억제, 그리고 콘크리트 내부의 공극을 저감하려는 노력들이 이루어졌다.

1979년에 발표된 NCHRP 보고서 "NCHRP Synthesis of Highway Practice 57 : Durability of Concrete Bridge Decks"에서는 교량 바닥판 콘크리트의 내구성 증진에 효과적인 공법들에 대해 언급하였으며, 기존의 방법에 대한 비교, 평가를 통하여 보다 내구성이 우수한 재료 및 공법을 제시하고자 하는 노력들이 이루어졌다. NCHRP Report 297(Babaie and Hawkins, 1987)에서는 신설교량에서 적용 가능한 5가

지 바닥판 보호공법에 대해 조사한 결과를 제시하였다. 보고서에서 제시된 5가지 방법으로는 ① 75 mm 이상의 피복두께를 갖는 바닥판 시공, ② 저슬럼프 콘크리트 덧씌우기, ③ 라텍스 개질 콘크리트(LMC) 덧씌우기, ④ 방수재와 아스팔트콘크리트를 결합한 덧씌우기, ⑤ 에폭시 코팅 철근의 적용 등이다. 연구 결과에 따르면, 피복두께의 증대, 저슬럼프 콘크리트 덧씌우기, 그리고 LMC 덧씌우기 등의 방법은 내구성 증진에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 방수재와 함께 적용된 아스팔트 콘크리트 덧씌우기나 에폭시 코팅 철근을 사용하는 방법은 시공 초기에는 염소이온의 침투 방지에 효과적이지만 반복적인 차량 통행과 시간경과에 따라 침투방지 효과가 크게 저하되는 것으로 조사되었다.

본고에서는 신설 및 기존 교량 바닥판의 보수, 보강 및 재포장 공사에 사용되는 라텍스 개질콘크리트(latex modified concrete, 이하 LMC로 약함) 교면포장 공법의 특성과 향후 활용 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

2. LMC 교면포장 공법의 개요

2.1 LMC 공법의 특성

한국도로공사에서 발표한 자료에 의하면 교량 바닥판의 평균 공용수명은 28~29년으로, 일반적으로 알려진 교량의 공용수명인 50년에 크게 못 미치는 것을 알 수 있다. 아스팔트 콘크리트 교면포장에 적용되는 시트 방수와 도막 방수의 경우 최초 보수는 공용 후 2~6년 사이에 발생하며, 평균 6년마다 재보수가 이루어지고 있다. 이런 보수는 미관 훼손과 주행성 저하를 유발하여 바닥판의 기능저하를 야기하고, 바닥판의 열화 및 노후화에 영향을 미치게 되어 결과적으로 교량의 공용수명을 단축시키는 결과를 초래한다.

특히 교량을 개축할 경우 일일 교통량과 도로망 구조로 불

* 정희원, (주)승화이앤씨 기술연구소 소장
swlee05@paran.com

** 정희원, (주)승화이앤씨 기술연구소 과장

*** 정희원, (주)삼우아이엠씨 대표이사

**** 정희원, (주)삼우아이엠씨 기술연구소 대리

표 1. LMC의 특성

| 구분 | 특징 |
|--------------|--|
| 재료적 특성 | 부착성: 바닥판 콘크리트와 완전부착(부착강도 16~23 kgf/cm ²) |
| | 투수저항성: 투수저항성 우수(라텍스고형분 충전 및 필름막 형성) |
| | 마모저항성: 마모저항성 우수(보통콘크리트에 비해 19~32%정도 높음) |
| 바닥판 콘크리트 내구성 | 균열저항성: 균열저항성 큼 (휨강도 60~100 kgf/cm ²) |
| | 동결융해저항성: 동결융해 저항성 우수(상대동탄성계수 95%이상) |
| | 하중저항성: 기존 콘크리트 바닥판과 합성으로 외력에 저항 |
| | 염해: 염해방지효과 우수(방수 및 표면 스케일링 저항성 우수) |
| | 동해: 동해방지효과 우수(동결융해 저항성 및 방수성 우수) |
| 공용수명 | 전체적인 내구성 증가로 인한 장기 공용수명 기대 |

표 2. LMC 품질기준(예 한국도로공사)

| 항목 | 시방기준 | | 시험 결과 | |
|------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 시방기준 | 일반 LMC | 일반 LMC | 초속경 LMC |
| 슬럼프 | 19 ± 3 cm | 18~22 cm | 18~22 cm | 18~22 cm |
| 공기량 | 3~6 % | 3~5 % | 3~5 % | 4~5 % |
| 압축강도 | f _{4hr} = 210 kgf/cm ² 이상 | - | 210~250 kgf/cm ² | 210~250 kgf/cm ² |
| | f ₂₈ = 270 kgf/cm ² 이상 | 340~380 kgf/cm ² | 380~450 kgf/cm ² | 380~450 kgf/cm ² |
| 휨강도 | f _{4hr} = 45 kgf/cm ² 이상 | - | 45~55 kgf/cm ² | 45~55 kgf/cm ² |
| | f ₂₈ | 65~85 kgf/cm ² | - | - |
| 부착강도 | f _{4hr} = 14 kgf/cm ² 이상 | - | 15~23 kgf/cm ² | 15~23 kgf/cm ² |
| | f ₂₈ | 19~26 kgf/cm ² | - | - |
| 평탄성 | 24 cm/km 이하 | 0~15 cm/km | 8~24 cm/km | 8~24 cm/km |

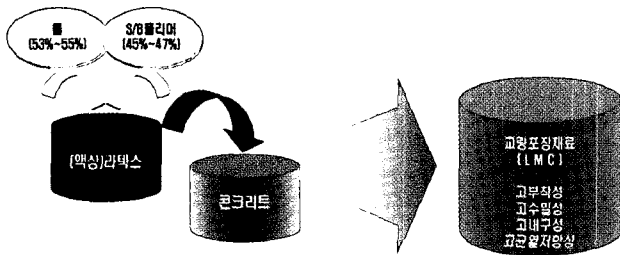


그림 1. LMC(latex modified concrete)의 구성

때 대체도로 활용이 곤란하여 대부분 우회도로의 건설이 필요하나, 우회도로 건설비용이 크게 소요되고 용지확보의 곤란 등의 어려움이 있는 실정이다. 이에 따라 내구성이 우수한 교면포장 재료의 적용과 우회도로나 장기간 교통차단이 없이 교량을 보수·보강하고 재포장할 수 있는 기술의 필요성이 대두되었다 <표 1 참조>.

LMC는 일반적인 콘크리트 배합에서 요구되는 특성을 만족시키기 위해 첨가되는 화학혼화제 대신에 교면포장에서 요구되는 다양한 특성을 만족시킬 수 있도록 '라텍스'라는 폴리머 개질제가 첨가된 개질 콘크리트이다. 라텍스는 일반적으로 물과 합성 S/B 폴리머(스티렌-부타디엔 폴리머)를 일정한 비율로 혼합해서 만든 유유빛 액상물질로 콘크리트에 첨가시 소량의 특성을 만족하도록 별도의 첨가제가 포함되어 제조된 것이다(그림 1 참조).

라텍스가 첨가된 콘크리트는 일반 콘크리트와는 다른 내부구조를 형성하게 된다. LMC의 배합초기에는 라텍스 내부에 분산

된 S/B 폴리머가 콘크리트 구성 성분과 함께 고르게 분산되어 있는데 시멘트의 수화반응 진행과 함께 수분이 소실되면 S/B 폴리머 입자가 강하게 결합되고, S/B 폴리머 입자가 서로 연결되어 콘크리트 내부에 라텍스 필름을 형성하여 하나의 "Packing Structure"를 구성하게 된다. 이러한 특성으로 콘크리트는 매우 조밀한 단일구조를 형성하게 되어 보통 콘크리트의 취약한 제성질을 개선시키는 특성을 갖게 된다. 또한 첨가된 라텍스는 원재료의 특성상 다른 재료와 높은 결합력을 발휘하게 되는데, 이러한 재료적 특성으로 인하여 기존에 존재하는 콘크리트 슬래브와의 부착력이 매우 증가하게 된다.

또한 장기 교통차단이 불가능한 교량 바닥판의 보수 보강의 경우 초속경시멘트에 라텍스를 첨가한 콘크리트도 개발되어 있으며, 이 콘크리트는 4시간 압축강도 210 kgf/cm² 이상으로서 조기강도 발현이 우수한 특징이 있다.

2.2 LMC의 품질관리기준

한국도로공사에서 규정하고 있는 일반 및 초속경 LMC의 품질관리기준은 <표 2>와 같다. 품질관리 기준의 특징으로는 교면 덧씌우기 공사의 목적에 사용되기 때문에 부착강도와 평탄성에 대한 기준이 규정되어 있으며, 초속경 LMC는 신속한 보수·보강 및 재포장 공사에 적용하는 재료로써 조기강도 발현이 매우 중요한 품질관리 대상이다. 또한 소량의 작업성과 표면마무리성을 확보하기 위하여 슬럼프의 관리기준이 높은 것을 알 수 있다.

표 3. LMC 교면포장 공법 적용현황

| 구분 | 2000년 | 2001년 | 2002년 | 2003년 | 2004년 | 2005년 | 계 |
|---------|---------|----------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 고속도로 | 1(2.0)* | 17(50.0) | 10(84.9) | 15(137.8) 4(0.4)** | 43(368.5) 19(16.3) | 66(178.7) 24(35.9) | 152(821.9) 47(52.6) |
| 국도, 지방도 | - | 1(2.7) | 2(9.0) | 4(21.1) | 11(45.1) 1(5.7) | 11(23.5) 1(0.8) | 29(101.4) 2(6.5) |
| 지자체 등 | - | - | 1(6.4) | 1(2.3) | 4(21.7) | 4(34.1) 1(0.5) | 10(64.5) 1(0.5) |
| 계 | 1(2.0) | 18(52.7) | 13(100.3) | 24(161.6) | 78(457.3) | 107(283.6) | 241(1,057.5) |

주) * () 적용면적 : 천 m², ** 초속경 LMC 적용은 2003년부터 이루어짐

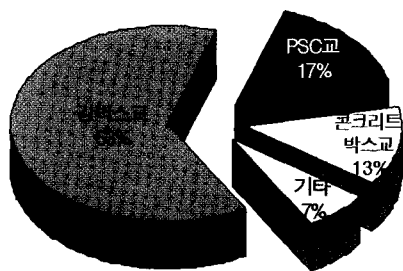


그림 2. 교량형식별 LMC 적용현황

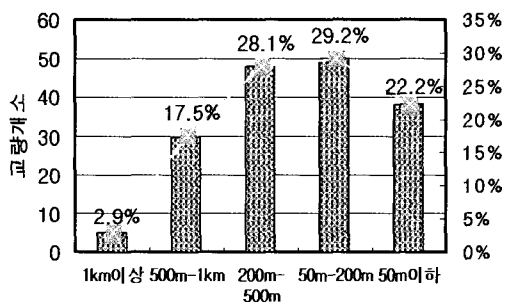


그림 3. 교량연장별 LMC 적용현황

2.3 LMC 적용현황

<표 3>과 같이 LMC 및 초속경 LMC 교면포장이 적용된 교량 및 구조물은 약 240여개이며, 포장면적은 약 1,058,000 m²에 이르고 있다. LMC 교면포장이 적용된 교량형식은 <그림 2>에서 보여지는 바와 같이 강박스교가 63%로 가장 많으며, PSC거더교, 콘크리트박스교, 라멘교, 소수주형교 등 다양한 형식의 교량에 적용되었다. 교량 연장별 LMC 교면포장의 적용분포를 보면, <그림 3>과 같이 총 연장 50m 이하의 교량에서부터 1km 이상의 교량에 이르기까지 다양하게 적용되고 있는 것으로 조사되었다. 초속경 LMC는 2003년 고속국도 중부선 평동육교에 실시한 시험시공을 시점으로 2005년 현재 적용실적은 33개교, 57,800 m²의 교량 바닥판 콘크리트를 보수 및 재포장 하였다. 또한 초속경 LMC는 콘크리트 포장도로의 보수공사에 일부 시험시공한 바 있으며, 그 결과 기존의 보수공법에 비해 우수한 효과가 있는 것으로 평가되어 적용대상 구조물은 교량의 바닥판 외에 콘크리트 포장 광장부 및 콘크리트 포장도로로 확대적용되고 있다.

초속경 LMC가 적용된 교량의 공용년수 분포를 살펴보면 <표 4>과 같으며, 적용된 교량의 공용년수는 75%정도가 10~20년 공용된 교량으로 조사되었다. 10년 이하의 교량 바닥판에 적용된 경우는 교면포장의 최초 보수주기인 3~6년과 유사한 시점에서 실시된 것으로, 교량 바닥판의 손상이 심한 경우 뿐만 아니라 유지관리의 효율성을 고려하여 초기 보수에도 적용할 수 있다는 실례를 보여주고 있다.

표 4. 초속경 LMC 적용교량의 공용년수 분포

| 공용년수 | 5년 이하 | 5~10년 | 10~15년 | 15~20년 | 20년 이상 | 합계 |
|------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 교량개소 | 2 | 5 | 9 | 16 | 1 | 33 |
| (%) | (6.1%) | (15.2%) | (27.3%) | (48.5%) | (3.0%) | (100%) |

3. LMC 교면포장 공법의 시공절차

LMC 교면포장 시공을 위해서는 일반 교량 슬래브 공사와는 다른 장비의 조합 및 절차가 요구되며 각 시공절차를 소개하면 <그림 4>과 같다.

3.1 교면포장 및 바닥판콘크리트 절삭

기존의 교면포장과 바닥판콘크리트는 노면파쇄기와 워터제트를 이용하여 절삭을 실시하며, 두 장비를 조합함으로써 절삭 시 작업효율을 극대화할 수 있다. 난간방호벽이나 중앙분리대 부근은 장비를 이용한 절삭이 난이함에 따라 Gun Type의 워터제트나 인력 브레이커를 이용하여 절삭하기도 한다. 워터제트는 손상된 바닥판 콘크리트를 선택적으로 절삭함과 동시에 철근 아래의 열화된 부분까지 제거가 가능함으로써 부착강도 증진과 교량의 구조 기능회복에 기여한다.

3.2 절삭이물질 처리 및 표면건조포화상태 유지

절삭이물질의 처리는 스키드로더와 진공흡입트럭을 이용하여 실시하며, 고압살수 및 진공흡입청소를 통하여 절삭이물질과 고인 물을 완전히 제거하여 표면건조포화상태를 유지시킴으로써 부착강도를 증진시킨다.

3.3 LMC 생산

LMC 생산은 이동식 모빌믹서에 의하여 생산된다. 이동식 모빌믹서는 생산에 필요한 시멘트, 라텍스, 골재 등을 각각 분리 적재하여 현장에서 생산과 동시에 포설하는 장비로 연속적인 생산으로 소요의 작업성을 지속적으로 유지할 수 있다. 또한 초속경 LMC의 경우 초속경 시멘트를 사용하므로 신속한 공정진행이 요망된다.

3.4 브루밍(brooming) 작업

브루밍 작업이란 포설 전에 특수 제작한 솔을 이용하여 LMC 모르타르를 기존 바닥판에 얇게 도포하는 작업을 말한다. 브루밍 작업은 기존 바닥판의 요철면에 골고루 모르타르를 도포함으로써 기존 바닥판 콘크리트와의 부착력을 증진시킬 수 있다.

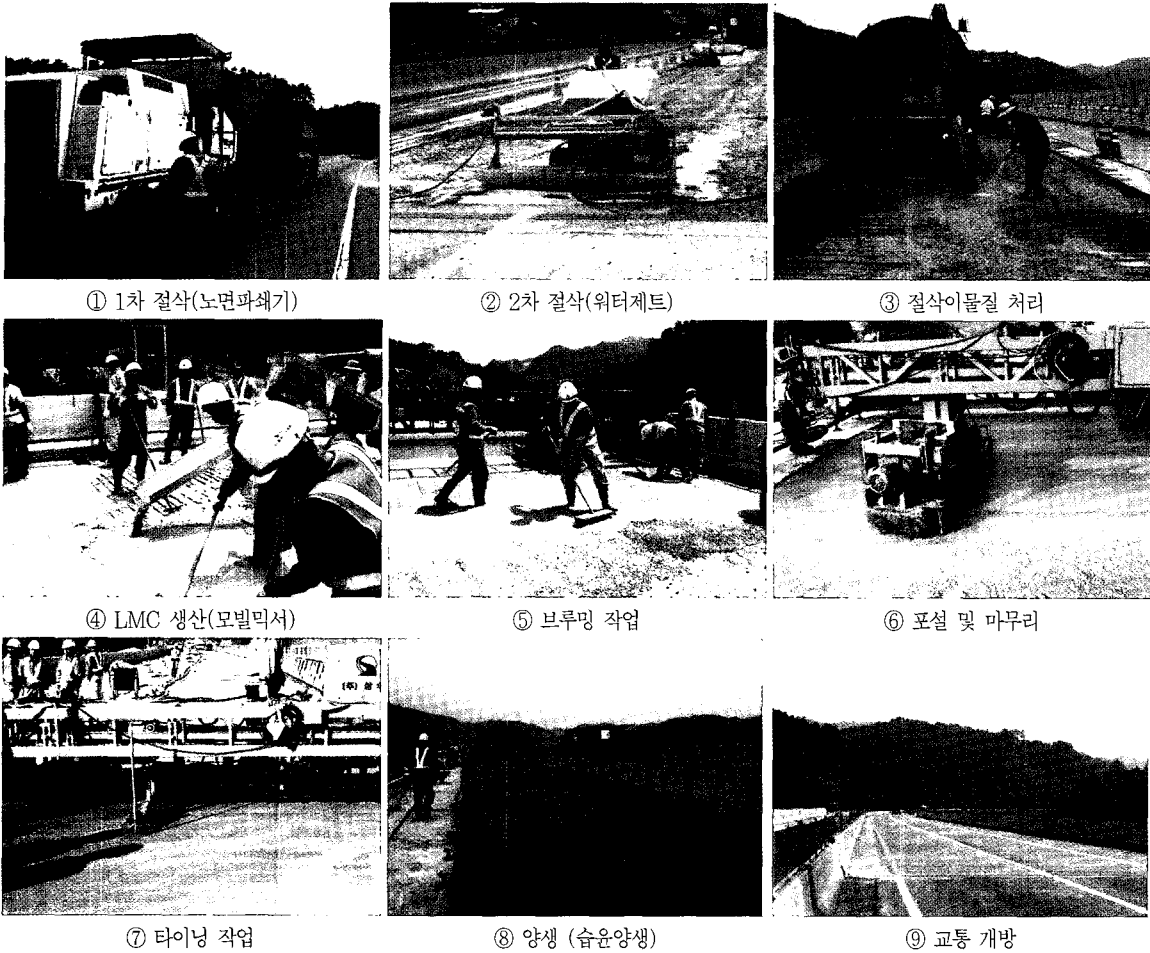


그림 4. LMC 교면포장공법의 시공 절차

3.5 포설 및 마무리

LMC의 포설 및 마무리는 포설 폭이나 현장여건에 따라서 트러스스크리드 또는 콘크리트 롤러 페이퍼를 이용하여 포설·마무리 한다.

3.6 타이닝(tining) 작업

표면 마무리가 완료되면 즉시 조면마무리기기를 이용하여 타이닝을 실시한다.

3.7 양생 및 교통개방

양생은 타이닝 후 즉시 피막양생제를 골고루 살포하며, LMC의 경우 젖은 양생포를 덮어 24시간이상, 초속경 LMC의 경우는 3~4시간동안 습윤양생을 실시한다. 교통개방에 대하여 신설교량 등에 사용되는 LMC의 경우에는 작업차량 등의 통행이 가능한 최소 양생기간은 14일로 규정하고 있다. 하지만 중차량의 통행을

위해서는 28일 이상 충분히 양생하여야 한다. 공용중인 교량의 보수 보강을 위하여 사용되는 초속경 LMC는 포설·마무리 후 3~4시간에 압축강도 210 kgf/cm², 휨강도 45 kgf/cm² 이상 발현함으로써 최소한 3~4시간동안 양생하면 교통을 개방할 수 있다.

4. 현장 품질관리 결과

LMC는 일반콘크리트와 달리 현장 모빌믹서를 사용하기 때문에 현장품질관리항목 및 관리결과가 매우 중요한 것으로 생각된다. 본 고에서는 그동안 시공된 각 노선별 대표교량에 대하여 LMC 및 초속경 LMC의 현장품질관리 결과를 <표 5 및 6>과 같이 정리하였다.

5. 맺음말

우리나라에 교량 바닥판 콘크리트의 손상 징후가 나타나기 시작하는 시기는 선진 외국보다 매우 빠르게 나타나는 것으로 조사된다. 이러한 원인은 아스팔트 교면포장과 바닥판 콘크리트

표 5. 신설교량에 적용된 LMC의 역학적 특성(재령 28일 기준)

| 교량명 | 시공 년도 | 압축강도(kgf/cm ²) | 휨강도(kgf/cm ²) | 부착강도(kgf/cm ²) | 평탄성(PrI, cm/km) |
|----------------|-------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| 중부고속도로 상번천3교 | 2001 | 347 | 67.3 | 25.4 | 1.5~12.7 |
| 중부고속도로 하번천교 | 2001 | 365 | 73.2 | 20.5 | 4.7~13.6 |
| 서울외곽순환도로 거여고가교 | 2002 | 359 | 68.5 | 21.5 | 0.0~10.3 |
| 경부고속도로 낙동강교 | 2003 | 375 | 85.4 | 19.9 | 1.3~14.1 |
| 한강 상 교량 잠수교 | 2004 | 360 | 72.3 | - | - |

표 6. 초속경 LMC의 역학적 특성(재령 4시간 기준)

| 교량명 | 시공 년도 | 압축강도(kgf/cm ²) | 휨강도(kgf/cm ²) | 부착강도(kgf/cm ²) | 평탄성(PrI, cm/km) |
|---------------|-------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------|
| 영동고속도로 진부교 | 2005 | 233 | 47.8 | - | 19.8 |
| 영동고속도로 진부IC교 | | 239 | 49.2 | 17.3 | 15.8 |
| 경부고속도로 병천1교 | | 228 | 48.1 | 19.1 | 25.7 |
| 중부고속도로 송계2교 | | 228 | 48.9 | - | 14.6 |
| 호남고속도로지선 두계천교 | | 225 | 48.5 | 21.5 | 12.7 |
| 국도46호선 청평2교 | | 220 | 48.5 | 21.4 | 10.6 |

경계면에 체류수가 존재하며 체류수 중에는 제빙제로 사용되는 염화칼슘을 비롯한 각종 유해 화학물질에 의한 콘크리트의 침식, 동결·융해 반복 작용 등에 의해 조기에 바닥판 콘크리트 열화가 발생하는 것으로 분석되고 있다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 개발된 LMC교면포장 공법은 LMC의 우수한 신·구 콘크리트 부착력과 수밀성을 갖는 재료적 특성과 바닥판 콘크리트 상면에 50~80 mm 두께로 LMC로 덧씌우기 함으로서 바닥판 콘크리트를 확실하게 보호하는 역할을 할 수 있으며, 또한 LMC의 내구 특성에 의해 장기간 유지보수가 불필요하며, 장래 유지보수가 필요할 경우 LMC 부분만을 절삭·재포장할 수 있으므로 바닥판 콘크리트의 철근이나 구조체 손상을 주지 않고 유지보수가 가능하다. 이러한 이점 때문에 고속국도를 중심으로 2001년부터 LMC 교면포장 공법이 광범위하게 적용되고 있으며 점차적으로 일반국도 및 지방도에도 확대적용이 필요할 것으로 사료된다. 또한 초속경 LMC 교면 보수 및 재포장 공법은 LMC가 갖는 재료적 특성 외에 포설 후 3~4시간만에 210 kgf/cm² 이상의 강도가 발휘되므로 조기에 교통개방을 할 수 있어 장기간 교통차단이나 우회도로 가설 없이 공용 중인 교량에 부분적으로 교통을 차단한 상태에서 바닥판 콘크리트의 손상부분을 보수·재포장 할 수 있다. □

참고문헌

- Babaie, K. and Hawkins, N. M. (1987), "NCHRP Report 297 : Evaluation of Bridge Deck Protective Strategies", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 80pp.
- Bishara, A. G., "Latex Modified Concrete Bridge Deck Overlays Field Performance Analysis", Ohio Department of

- Transportation, Report No. FHWA/ OH/79/004, 1979, 96pp.
- Clear, K. C. and Chollar, B. H., "Styrene- Butadiene Latex Modifiers for Bridge Deck Overlay Concrete, Department of Transportation", Federal Highway Administration, Office of Research and Development, April, 1978.
- Khulman, L. A. and Foor, N., "Chloride Permeability versus Air Content of Latex Modified Concrete", Cement, Concrete and Aggregates, Summer, ASTM, 1984.
- Kuhlmann, L. A., "Performance History of Latex -Modified Concrete Overlays", ACI Publication SP-69 : Application of Polymer Concrete, 1981, pp.205~218.
- Kuhlmann, L. A., "Experiments to Evaluate Factors Effecting the Permeability of Portland Cement Mortar and Concrete Modified with Styrene-Butadiene Latex", Presented at the Research Session, ACI Annual Meeting, Toronto, Canada, 1990.
- "NCHRP Synthesis of Highway Practice 333 : Concrete Bridge Deck Performance", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 2004.
- "NCHRP Synthesis of Highway Practice 4 : Concrete Bridge Deck Durability", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1970, 48pp.
- "NCHRP Synthesis of Highway Practice 57 : Durability of Concrete Bridge Decks", Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1979, 61pp.
- "고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용(LCC) 분석 연구", 한국도로공사, 2002.
- 윤경구, 이주형, 홍창우, 김기현, 김태경, "콘크리트 교면 덧씌우기를 위한 SB라텍스 개질 콘크리트의 현장 적용성 평가", 한국도로학회 논문집 제3권 4호, 2001, pp. 93~103.
- 윤경구, 정원경, 최상릉, 김동호, 이봉학, "초속경시멘트를 이용한 라텍스개질 콘크리트의 내구특성", 한국도로학회 논문집 제4권 2호, 2002, pp.1~8.