

VES-LMC와 성형줄눈재를 이용한 CRCP 포장 줄눈부 보수공법

Repair Method of CRCP Joint by VES-LMC and Prefomed Joint Seal

김기현* · 김용곤** · 이남주*** · 윤경구**** · 김형배*****

Kim, Ki Heun · Kim, Yong Gon · Lee, Nam Joo · Yun, Kyong Ku · Kim Hyung Bae

1. 서 론

현재 국내 고속도로 노선은 20개 노선 1,996.3km로 2020년경에는 연장 6,160km로 발전될 것이 예상되며 더욱이 통일 후를 대비한 한반도 중합도로망 구축을 위한 연구 추진과 동북아 연결 하이웨이, 아시아 대륙도로망 구축 등으로 고속도로의 건설은 지속적으로 발전할 것으로 예상된다¹⁾. 그러나 국내 도로포장 중 콘크리트포장이 차지하는 비율은 약 16%정도로 그 비율이 크지 않으며 중차량에 대한 저항성, 장기적 공용성 확보 등의 장점에도 불구하고 크게 확대 적용되지 못하는 이유 중 하나는 콘크리트 도로포장 유지보수의 어려움에 있다²⁾. 특히 콘크리트포장 기법 중 하나인 연속철근콘크리트포장(Continuously Reinforced Concrete Pavement, 이하 CRCP)은 무근콘크리트포장(Jointed Concrete Pavement, 이하 JCP)에서 나타나는 우각부 균열이나 줄눈부의 파손을 방지하고 공용서비스를 개량하기 위하여 개발된 포장공법으로 긴 구간에 횡방향 줄눈부가 없이 연속적으로 철근이 사용된 포장³⁾으로 우리나라에서는 중부 고속도로의 일부 구간 및 중부내륙 고속도로 상의 시험도로에 시공되어 공용 및 연구 중에 있다. 그러나 국내 콘크리트포장 연구는 JCP 포장에 대한 거동분석이 주로 이루어져 왔으며 CRCP에 관한 연구는 몇몇 연구자에 의해 이루어지고 있는 실정이다. 특히 CRCP 포장에 대한 장기적 공용성 확보를 위한 보수방법 및 실적은 전무한 실정이다.

본 연구에서는 중부고속도로상에 위한 CRCP 포장구간 중 파손된 포장면에 대한 보수공법으로 적용된 VES-LMC 및 성형줄눈재를 이용한 콘크리트포장의 부분단면 보수공법을 소개하고 현장적용 사례를 통해 콘크리트포장 보수에 대한 새로운 기술력 확보를 도모하고자 한다.

2. 연속철근콘크리트포장(CRCP) 파손

2.1 CRCP 파손

연속철근콘크리트포장은 차량의 주행성에 방해가 되고 콘크리트포장 소음에 원인이 되는 가로줄눈이 없어 주행시 쾌적성을 향상시키며 줄눈보수비가 소요되지 않는 장점이 있는 것으로 알려져 국내에서도 그림 1과 같이 중부내륙고속도로 상의 시험도로 및 일부 고속도로 구간에 적용, 연구 중에 있다. 연속철근콘크리트포장은 연속된 세로방향 철근을 사용하여 콘크리트 슬래브의 가로줄눈을 (구조물 접속부의 팽창줄눈 제외) 전부 생략하므로 인하여 생기는 콘크리트 슬래브의 가로균열을 세로방향 철근에 의하여 분포시켜 개개의 균열폭을 좁게 한 것이다. JRCP나 CRCP 등 철근이 보강된 콘크리트포장에 있어서 철근의 역할은 균열발생 자체를 막는 것이 아니라 균열이 발생한 경우 그 균열이 과도하게 벌어지는 것을 막는데 있다³⁾. 균열이 과도하게 벌

* 정회원 · 강원대학교 토목공학과 박사수료 · 기술사 (02-402-2795, E-mail : kiheun@empal.com)

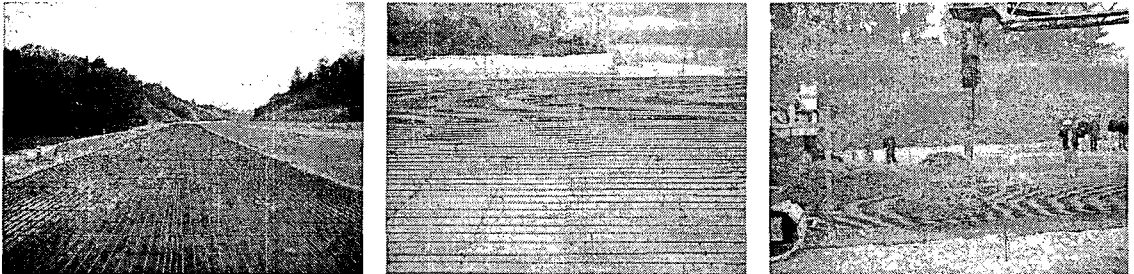
** 정회원 · 대상이앤씨(주) 대표이사 · 공학석사 (033-744-3220, E-mail : kyg@idseng.co.kr)

*** 정회원 · 대상이앤씨(주) 기술개발연구소 · 공학석사 (033-744-3220, E-mail : cheemong@hanmail.net)

**** 정회원 · 강원대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 (033-250-6236, E-mail : kkyun@kangwon.ac.kr)

***** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 공학박사 (031-371-3351, E-mail : khb@freeway.co.kr)

어지는 경우 균열을 통하여 물이 침투하여 철근의 부식, 노상토의 강도저하, 펌핑 등이 발생할 가능성이 커지며, 또한 넓은 균열 틈으로 인해 골재간의 맞물림이 저하되어 균열 확대 등을 야기시킬 수 있다. 또한 균열이 과도하게 발생되어 이를 보수하고자 할 경우 무근 콘크리트와 달리 포장체 내부에 설치된 연속철근으로 인하여 전단면 보수 및 부분보수에 어려움을 갖고 있다.



(a) 종방향 철근 배근

(b) 횡방향 철근 배근

(c) 콘크리트 타설

그림 1. CRCP 공법에 의한 도로포장

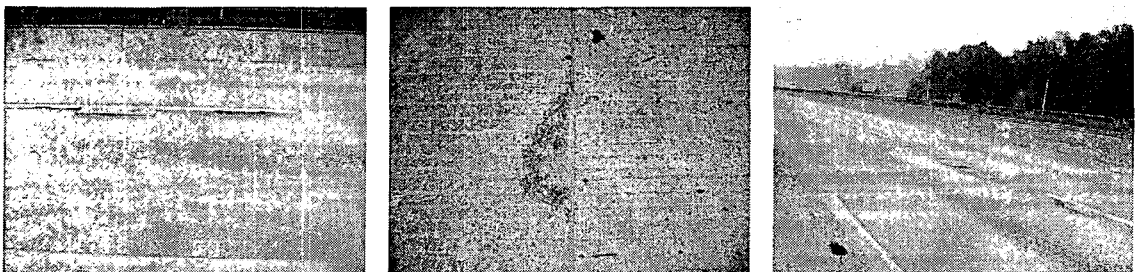
2.2 줄눈부 파손

콘크리트 포장 파손의 주된 원인 중에 하나인 줄눈부 파손과 직접적으로 관련되어 있다. 줄눈부로 유입된 이물질이 온도 및 습도에 따라 수축팽창을 하는 콘크리트 포장의 활동을 방해하고 과도한 응력을 국부적으로 유발시켜 줄눈부 탈락(Spalling)과 균열을 일으키며, 이러한 파손이 발생하고 난 후에는 잦은 보수를 시행함에도 불구하고 여전히 취약구간으로 남아 전체적인 콘크리트 포장의 공용성을 현저히 저하시킨다⁴⁾. 현재의 줄눈부 보수방식은 과거 30여년간의 시공공법에서 큰 차이를 보이지 않고 있으며 보수에 대한 효과도 적어 반복적인 경제적 손실의 주요 원인이 되고 있다. CRCP의 경우 가로줄눈부의 생략으로 인한 줄눈부 파손은 우려의 대상이 아니나 포장체를 따라 시공되는 세로줄눈부의 파손은 피할 수 없으며 일정한 공용기간이 경과한 후에는 이를 교체 또는 보수해야 하는 문제점을 가지고 있다.

3 현장적용성 평가

3.1 적용대상 개요

열화된 콘크리트 포장 줄눈부 조기보수를 위한 현장적용은 중부고속도로 일죽-호법간 하행선 314.2K~315.2K 중 400M 구간에서 2005년 6월에 시행되었다. 본 구간은 CRCP 공법으로 시공된 곳으로 사진 2와 같이 세로방향의 균열발생과 더불어 줄눈부 파손에 따른 임시 보수구간이 매우 많은 곳으로 조사되었다.



(a) 가로균열

(b) 줄눈부 파손

(c) 줄눈부 임시보수

그림 2. 적용대상 파손 현황



3.2 사용 재료 특성

콘크리트포장 부분보수를 위한 보수재료는 시멘트계열 및 폴리머계열이 대표적이거나 장기공용성을 고려하여 시멘트계열로 보수하는 경향을 보이고 있다. 본 현장적용성 평가에서는 조기강도발현, 부착성 우수, 내구성 확보 등이 검증된^{5,6)} 초속경라텍스개질콘크리트(VES-LMC)를 사용하여 교통통제의 최소화 및 보수 후 공용성 증진을 도모하고자 하였다.

주입형 줄눈재와는 틀리게 성형 줄눈재는 미리 주어진 줄눈부 크기에 맞도록 제작되어 있으며 일반적인 줄눈재 시공에서와는 달리 백업재를 사용하지 않는다. 성형줄눈재는 주로 폴리클로로프렌 재질을 활용하여 제작되며 층상 구조 또는 미로형 구조를 사용하여 줄눈부의 팽창 및 수축에 따라 발생하는 인장 및 압축응력에 대한 저항성을 높이게 된다. 미국에서는 성형 줄눈재의 사용비율이 점점 높아지고 있으며 전체 도로관리당국의 21% 정도가 사용하고 있다. 미국 미시간주 교통부에서는 다양한 주입줄눈재와 성형줄눈재에 대한 시험시공 및 4년여의 추적조사를 거쳐 신설 콘크리트 포장 줄눈에서는 반드시 성형줄눈재를 적용할 것을 권고하고 있다⁴⁾.

3.3 시공절차 및 평가

3.3.1 시공절차

본 현장적용성 평가에 사용된 VES-LMC는 재료 및 장비의 특수성으로 인하여 기존 보수공법과는 차별되는 전문성을 요하게 된다. 따라서 보수 후 성능의 최적화를 위해서는 철저한 현장 품질관리 및 시공관리가 선행되어야 하며 중부고속도로상에 시행된 시공절차는 그림 3과 같다. 각 공정은 조기교통개방을 위하여 Fast-track 개념으로 적용되며 오후 7시에 착공되어 익일 오전 9시에 교통을 개방하였다.

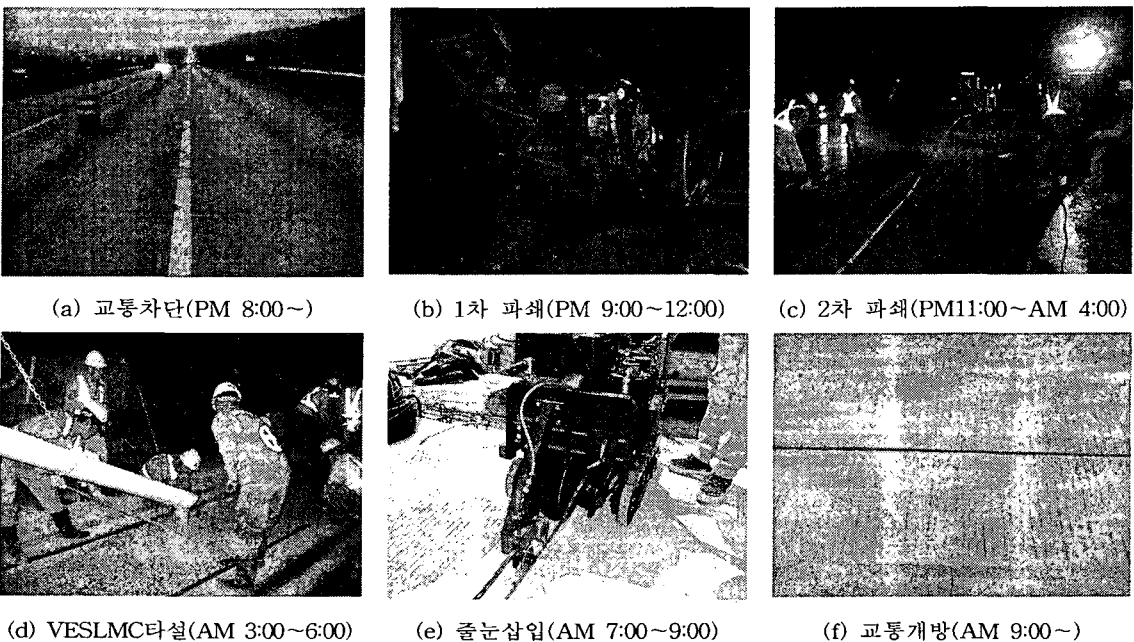


그림 3. 콘크리트 포장 줄눈부 조기보수 공법 시공절차

3.3.2 시공평가

그림 4와 5는 본 현장적용성 평가 시 제작된 공시체를 이용한 강도발현 특성을 나타낸 것이다. 이를 살펴

보면, 재령 4시간에 압축강도 28MPa 이상, 휨강도 6MPa 이상의 만족할 만한 강도발현 특성을 나타내고 있다. 공기량 측정에서도 4% 이상의 공기량을 나타내었으며 초기배출 슬럼프의 평균값은 약 19cm로 측정되었다. 시공공정에 있어 투입 장비이상으로 인하여 약 3시간 정도의 공사시간이 추가로 소요되어 예정된 교통개방시간보다 약 2시간이 더 지연되는 결과를 가져왔다. 그러나 철저한 사전준비가 이루어질 경우 야간작업에 따른 출퇴근 시간대 교통개방은 충분히 가능한 것으로 평가되었다.

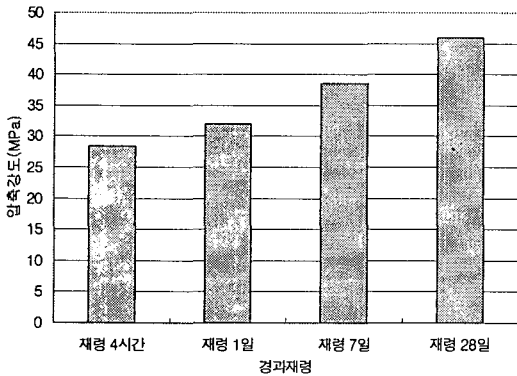


그림 4. 압축강도 발현 특성

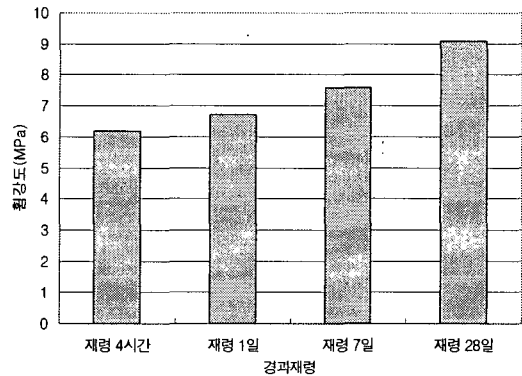


그림 5. 휨강도 발현 특성

3.3.3 온도평가

CRCP의 공용성에 영향을 미치는 요소 중에서 균열틈이 가장 중요한 것으로 알려져 있다. 또한 이러한 균열은 발생시기에 따라 균열폭이 달라지는 것으로 연구되고 있다. 즉, 균열이 비교적 시공초기에 발생하는 경우에는 콘크리트의 건조수축에 의한 체적감소가 균열틈으로 모이게 되므로 균열틈이 크게 된다. 반면에 포설 후 상당한 기간이 지나 건조수축이 많이 진행된 후에 발생하는 균열에는 그 이후에 발생하는 건조수축값이 상당히 작으므로 건조수축에 의한 균열틈의 증가는 거의 무시되면 다만 균열발생 시의 온도와 어느 시점에서 온도의 차에 의해서만 균열틈의 크기가 결정된다. 콘크리트의 건조수축은 초기에 대부분이 발생하므로 CRCP의 균열틈을 작게 유지하기 위해서는 균열의 발생시기를 가능한 늦출 필요가 있다^{3,7)}.

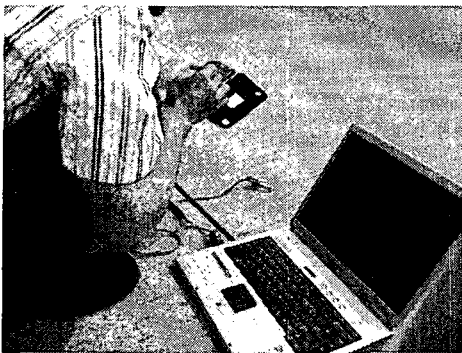


그림 6. i-button을 이용한 온도 측정

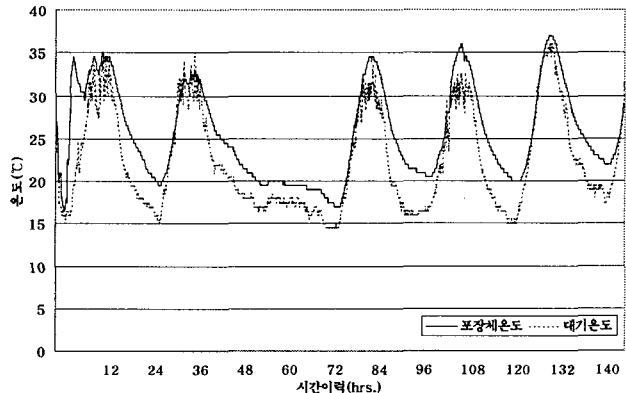


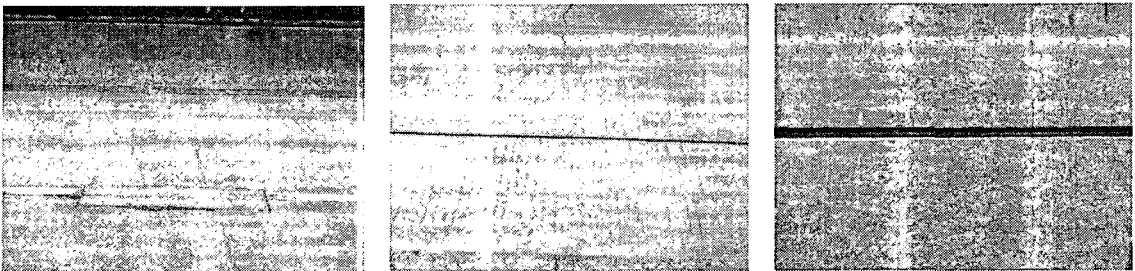
그림 7. VES-LMC의 온도이력



그림 6은 CRCP 포장에서 균열발생의 주요 원인이 되는 포장체 온도변화를 포설 직후 매설한 I-button을 이용하여 측정하는 모습을 나타낸 것이다. 최초 측정은 VES-LMC 포설과 동시(새벽 02:00)에 이루어졌으며 이후 측정간격 시간을 5분으로 하여 6일간 포장체 내부 온도 및 외기 온도 측정데이터를 수집하도록 설정하였다. 그림 7은 초기 포장체 거동의 주요 특성은 온도체 변화를 나타낸 것이다. 이를 살펴보면 초기 VES-LMC 타설 직후 빠른 경화 특성상 외기 온도와 약 10℃ 내외의 온도차이를 보이고 있으나 8시간 이후 포장체 내부 온도는 외기 온도 변화와 동일한 움직임을 보이는 것으로 측정되었다. 또한 포장체 내부 온도와 외기 온도와의 차이는 5℃ 이내로 나타나 포설 직후의 초기 경화 온도 차이를 제외하고는 거동차이에 의한 균열발생 가능성이 매우 낮은 것으로 나타났다.

3.3.4 균열조사

본 연구에서는 CRCP 구간에 대한 새로운 보수기법을 적용하고 장기적인 포장체 거동을 분석하고자 지속적인 현장 모니터링을 통하여 균열발생 시기 및 균열조사를 실시하고 있다. 이를 위해 2005년 6월 8일 포설 직후 일주일 이내(6월 15일)의 온도변화와 균열발생을 조사하였으며 한달 후(7월 12일) 육안검사에 의한 균열조사를 실시하였다. 그림 8은 CRCP 보수구간의 보수 전 균열 모습과 한달 후 보수부의 균열상태를 나타낸 것이다. CRCP 구간의 균열발생 시기는 초기발생과 추후발생으로 구분할 수 있으나 본 연구에서 시도된 VES-LMC와 성형줄눈재에 의한 보수공법 적용시 초기균열발생은 없는 것으로 조사되었다. 또한 공용 중 한달이내에도 균열 발생 및 기존 균열의 전진 현상은 관찰할 수 없어 매우 우수한 보수기법 중 하나인 것으로 판단되었으며 추후 지속적인 관찰로 CRCP 보수구간에 대한 거동을 분석하고자 한다.



(a) 보수 전 균열사진

(b) 보수 후 전경

(c) 보수 후 줄눈부 전경

그림 8. CRCP 보수구간 균열 조사

4 결론

본 연구에서는 중부고속도로상에 위한 CRCP 포장구간 중 파손된 포장면에 대한 보수공법으로 적용된 VES-LMC 및 성형줄눈재를 이용한 콘크리트포장의 부분단면 보수공법을 소개하고 현장적용 사례와 현장추적 조사를 통한 CRCP 콘크리트포장 거동을 분석하고자 한다.

1. 콘크리트포장 공법 중 하나인 CRCP공법은 주행성 확보 및 공용성 증진을 목적으로 시공되었으나 횡방향 균열폭의 과대한 벌어짐과 세로방향줄눈부의 파손이 일부 발생하는 것으로 나타났다.
2. CRCP 파손부는 횡방향 균열과 세로줄눈부의 교차점에서 심화되었으며 반복적인 보수로 포장체의 공용성과 주행성이 문제시 될 수 있는 것으로 조사되었다.
3. 기존 방식과는 달리 줄눈부를 따라 시행된 부분 연속 보수공법 재료인 VES-LMC의 조기강도 발현 특성에 의해 포설·마무리 후 3-4시간 만에 교통개방이 가능하였으며 기존 보수재료와는 달리 신규콘크리트 경계부에 별도의 줄눈부를 설치하지 않고 세로방향 줄눈부에 성형줄눈재를 신속하게 삽입하였다.
4. CRCP 포장체의 균열발생 시기 및 특성을 분석하고자 포장체 내부 및 외기 온도를 측정한 결과, 초기 포장체의 수화열에 의한 온도상승이 나타났으나 이후 장기적인 거동에서는 외기온도와 동일한 온도거동을



나타내어 건조수축에 의한 균열발생 가능성이 낮은 것으로 나타났다.

5. 보수구간에 대한 균열조사 결과, 초기균열발생은 관찰할 수 없었으며 기존 균열의 전진도 없는 것으로 나타났다. 이를 통해 초기 VES-LMC의 수화온도 상승을 억제할 경우 VES-LMC의 부착특성에 의해 기존바닥판콘크리트와 일체적으로 부착되어 포장의 구조기능과 포장의 주행성이 회복되며, 내구수명이 연장될 것으로 기대되었다.

참고문헌

1. 건설교통부, <http://www.moct.go.kr/Statistic/>
2. 한국도로공사 (2004), 고속도로 포장상태 조사 및 분석 보고서 pp. 1'278.
3. 조대호 외 3인 (1994), CRCP의 초기거동 및 온도패턴에 관한 시험적 연구, 대한토목학회 논문집, 제14권 제2호, pp.299~305.
4. 한국도로공사 (2004) 콘크리트 포장의 수명연장을 위한 줄눈재의 품질기준 정립 성능개선에 관한 연구, 도로교통기술원 연구보고서 도교기 PA-04-12, pp. 1~133.
5. Sprinkel, M.M. (1999) Very early strength latex modified concrete overlays, *Report of Virginia Transportation Research council*, No. VTRC99-TAR3.
6. YUN, K.K, Kim, D.H., Choi, S.Y. (2004) Durability of Rapid-Setting Latex Modified Concrete Against Freeze-Thaw and Chemicals, *Journal of TRB*, TRR 1869, pp1-10.
7. 서영찬 (1993), 콘크리트 포장의 포설시기가 시공초기의 균열 발생 패턴에 미치는 영향, 대한토목학회논문집, 제13권 제2호, pp.135~139.