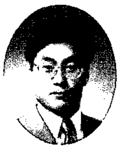
교면포장에 있어서의 고성능 콘크리트 적용

Application of High Performance Concrete in Bridge Deck Overlay



박해균* Hae-Geun Park
전상은** Sang-Eun Chun
원종필*** Jong-Pil Won
이명섭**** Myeong-Sub Lee

1. 머리말

교면포장은 교통하중에 의한 충격, 빗물, 기타 기상 및 환경조건 등으로부터 교량 바닥판을 보호하는 동시에 차량의 주행성을 확보하는 것을 목적으로 한다. 교면포장은 외부온도에 따른 포장 재료의 변화가 적어야 하며 바닥판을 보호하기 위해 방수성이 우수한 재료가 요구된다. 또한, 동절기 융빙제의 살포로 인한 염화물 이온의 침투는 교량의 구조적 안전에 심각한 영향을 주기 때문에 염화물에 대한 저항성이 높은 교면포장 재료가 필요하다. 이밖에 안전한 주행성능과 장기적인 내구성능을 가지고 있어야 하며 효율적인 유지관리가 가능한 요건을 갖추어야 한다. 본고에서는 최근 국내에서도 그 적용성에 대한 관심 고조와 시험시공이 일부 이루어지고 있는 고성능 콘크리트(high performance concrete)를 이용한 두 가지 바닥판 보호공법(교면포장 공법, 노출 바닥판 공법)에 대해 소개하고자 한다.

2. 공법 개요

2.1 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장(overlay) 공법

고성능 콘크리트는 1950년대부터 구주에서 실험적으로 사용하기 시작하였으며 유럽과 일본에서 고성능 감수제의 발전으로 인하여 낮은 물-시멘트 비를 가지고도 고성능 콘크리트를 생산할 수 있게 된 후 그 사용이 현저하게 증가하였다. 교면포장에서 무기계 혼화재의 일종인 실리카퓸 등을 혼입한 고성능 콘크리트의 사용은 1970년대 후반 북유럽에서 시작되었으며, 미국에서 처음으로 실리카퓸을 혼입한 고성능 콘크리트를 시공한 사례는 1983년 1월 교량과 유사한 구조물의 접근 바닥판에 약 1.5m^3 타설한 것이다. 1984년 초반 미국 12개 주의 도로교통국(Department of Transportation)에서는 교면포장에 실리카퓸을 혼합한 고성능 콘크리트 계열 교면포장에 대한 경제성, 시공성 및 역학적인 평가를 실시하여 아주 좋은 반응과 성과를 거둔 이후 미국의 많은 주에서 교면포장에 고성능 콘크리트의 적용이 점차 증가 하였다. 또한, Virginia DOT에서는 실리카퓸과 슬래그 또는 실리카퓸과 플라이애쉬 그리고 실리카퓸과 슬래그로 혼합한 교면 포장 구조물은 낮은 투수성과 긴 수명을 가진다는 연구 결과를 발표하기도 하였다. 이처럼 미국 여러 주의 DOT에서 교면 포장의 대체 재료로 실리카퓸을 적용하게 된 것은 기존 교면포장 재료에 대한 시공성 및 경제성 부분에서의 요청(VOC : voice of customer)과 함께 우수한 내구성능(낮은 투수성과 높은 전기저항성)이 함께 요구되었기 때문이다. 〈그림 1〉은 1980년대 중반 이후 실리카퓸 등을 이용한 고성능 콘크리트 교면포장이 적용되고 있는 미국의 각 주를 표시하고 있으며, 특히 국내의 기온과 유사한 Ohio 주의 경우에는 상당히 많이 적용되다.

따라서 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장(overlay) 공법은 무기계 혼화재료인 실리카퓸, 플라이애쉬 고로슬래그 등을 단독 또는 혼입하여 포함한 고성능의 콘크리트를 레미콘 공장 또는 배치플랜트를 통해 생산하고 레미콘 트럭을 이용하여 운반하여 기 시공된 콘크리트 바닥판위에 약 50 mm 전후로 포설 하는 교면포장 공법으로 정의할 수 있을 것이다.

2.2 고성능 콘크리트(HPC) 노출 바닥판(full-depth deck) 공법

노출 바닥판 공법은 교면포장과 교량 바닥판을 일체로 타설하는 방법으로 최근 들어 주로 미국의 각 DOT를 중심으로 신설교량에 대해 적용되고 있으며, "full-depth bridge deck(이

* 정회원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 과장
hgpark68@samsung.com
** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 과장
*** 정회원, 건국대학교 사회환경시스템공학과 교수
**** 정회원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 부장

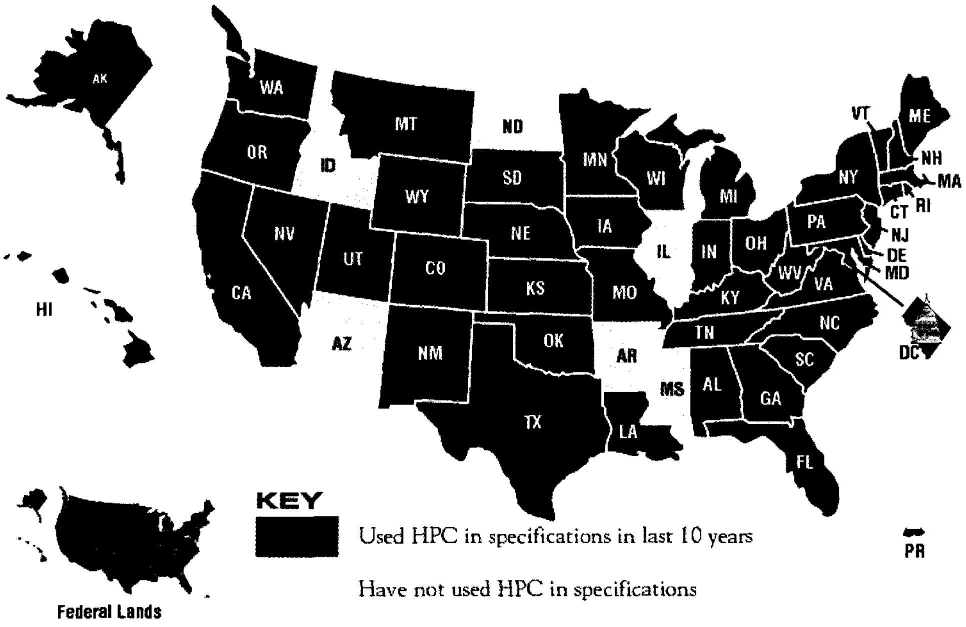


그림 1. HPC를 활용한 overlay 및 Full Depth deck 시공 현황(미국)

하, full-depth deck)"으로 지칭되는 바닥판 보호공법 중 하나이다. 국내의 경우는 1980년대 유류파동으로 인하여 아스팔트 가격이 급등하자, 그 대안으로 88올림픽고속도로, 호남고속도로 확장, 중부고속도로 건설에 사용된 실적을 가지고 있다. 그러나 당시의 시공조건은 단순히 기존 바닥판에 40 mm 두께의 일반 콘크리트 마모층을 두는 방법이었으며, 적정 피복두께를 만족하지 못한 구간에서 손상이 발생되는 경향을 나타내었다.

미국의 full-depth deck은 교량 바닥판의 내구성 증진을 위한 방안으로 실리카퓸 등을 혼합한 고성능 콘크리트(HPC)의 개발을 통해 활발히 적용되고 있다. Ohio DOT는 1987년 지간 37.5 m, 폭 10 m 교량에 실리카퓸을 섞은 Full Depth Deck을 처음으로 적용하고 그 공용성을 확인하였으며, New York State DOT는 1994년 Silica Fume Concrete(이하, SFC)에 대한 연구를 토대로 시험교량을 시공하고 이를 근거로 1995년 11개의 교량에 추가로 적용하였다. 또한 Minnesota DOT에서도 이전의 콘크리트 overlay 개념을 개선하고자 1997년부터 1999년까지 총 6개소의 교량에 고성능 콘크리트를 사용한 full-depth deck을 시공하고 균열발생 등의 현장 공용성 평가, 실내 실험, 초기 투자비용 비교·검토 등을 통하여 그 우수성을 확인 하였고 SFC Full Depth Deck의 사용을 추천하고 있다. 특히 고성능 콘크리트는 최근 20년 동안 미국 전역에서 overlay와 full-depth deck의 형태로 교량에 널리 사용되고 있으며, 〈그림 1〉은 최근 10년간(2004년 기준) 교량 시방서에 고성능 콘크리트를 사용한 주(州)를 나타내고 있다.

그림 2. 고성능 콘크리트 교면포장(overlay) 시공(해외/국내)

따라서 고성능 콘크리트(HPC)를 이용한 노출 바닥판 공법은 단순히 교면포장과 바닥판을 일체로 타설하는 시공적 측면뿐만 아니라 교량 바닥판의 내구성 증진을 위한 고성능 콘크리트 재료를 사용하고 포장층이 단순 마모층이 아닌 구조체의 역할을 수행함으로써 재료, 설계, 시공적인 측면에서 개선된 시공법이라고 할 수 있다(그림 2 참조).

3. 재료, 배합 및 시공 특성

3.1 고성능 콘크리트(HPC) 교면포장(overlay) 공법

고성능 콘크리트 교면포장 공법은 별도의 방수층 없이 약 50 mm의 포장두께로 교면위에 deck finisher를 이용하여 시공하는 공법으로 배치플랜트 또는 레미콘 공장을 통해 생산 하며, 레미콘 트럭으로 운반하여 시공하는 고효율 교면포장공법으로 1980년대 이후 현재까지 미국의 많은 주에서 시공되어 왔다. 미국 각 주에서 시공되고 있는 교면포장용 고성능 콘크리트의 배합설계의 일반적인 특징과 범위를 정리하면 다음과 같다.

3.1.1일반적인 특징

(1) 포졸란 재료를 사용하며 특히 실리카퓸과 플라이애쉬를 많이 사용한다.
(2) 적절한 물-결합재비를 사용한다.
(3) 낮은 투수성을 나타낸다.
(4) 높은 압축강도를 나타낸다.

3.1.2 단위 시멘트량 및 압축강도의 일반적인 범위

(1) 시멘트량 : 227 kg/m^3~445 kg/m^3
(2) 압축강도 : 140 kgf/cm^2~563 kgf/cm^2

미국에서 교면포장에 적용되는 실리카퓸의 혼입량은 일반적으로 단위 시멘트량의 5~12% 정도이며, 물-결합재 비는 0.33~0.43의 범위이다. 1986년 이전에는 연행공기로 인한 동결융해 저항성의 규정은 없었으나, 1986년 이후 교량에 쓰이는 모든 실리카퓸을 혼합한 고성능 콘크리트에 공기연행제를 넣어 시공을 실시하였다.

국내에서도 HPC 교면포장 적용성에 대한 연구가 2002년 타당성 검토를 거쳐 2003년부터 본격적으로 실시되었다. 국내 실정에 적합한 교면포장용 고성능 콘크리트의 최적 배합기술 개발을 위해 미국 각 주의 시방을 근거로 물-시멘트비, 실리카퓸 혼입률 등의 변화에 따른 우선 영향인자를 분석을 실시하였다. 이후, 통계적 optimization 방법인 반응표면분석법을 사용하여 혼화재 치환에 따른 경제적인 최적 배합비를 도출하였으며, 도출된 배합의 강도 및 내구성능을 평가를 통해 고성능 콘크리트의 최적 배합기술을 개발[1-3]되어 2005년 국내 현장에 시험 적용된 적이 있다.

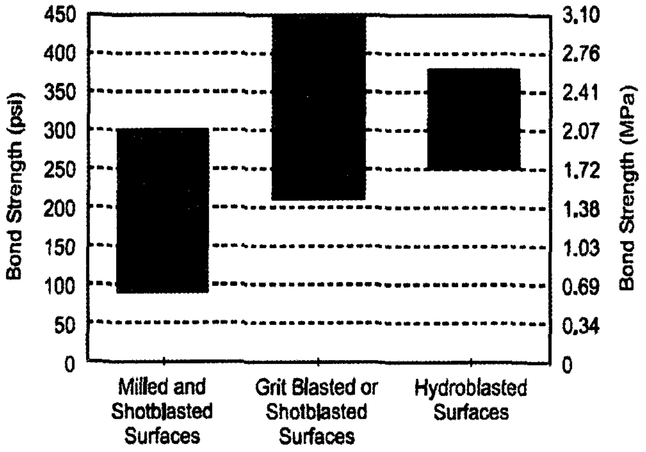


그림 3. 바닥판 표면처리 공법에 따른 부착강도 변화

HPC 교면포장은 기존 바닥판 콘크리트 위에 포설되는 관계로 하부 바닥판 콘크리트와의 부착강도 확보가 본 공법의 공용수명 연장을 위한 중요한 요소로 사료된다. 부착강도에 대한 문제는 표면처리 방법과 직결된다고 할 수 있는데 〈그림 3〉은 Virginia 및 Hawaii 주에서 시공된 HPC 교면포장의 표면처리 방법과 부착강도와의 관계를 나타낸 것으로 다양한 표면처리를 통한 부착강도의 변화를 보여주고 있다.

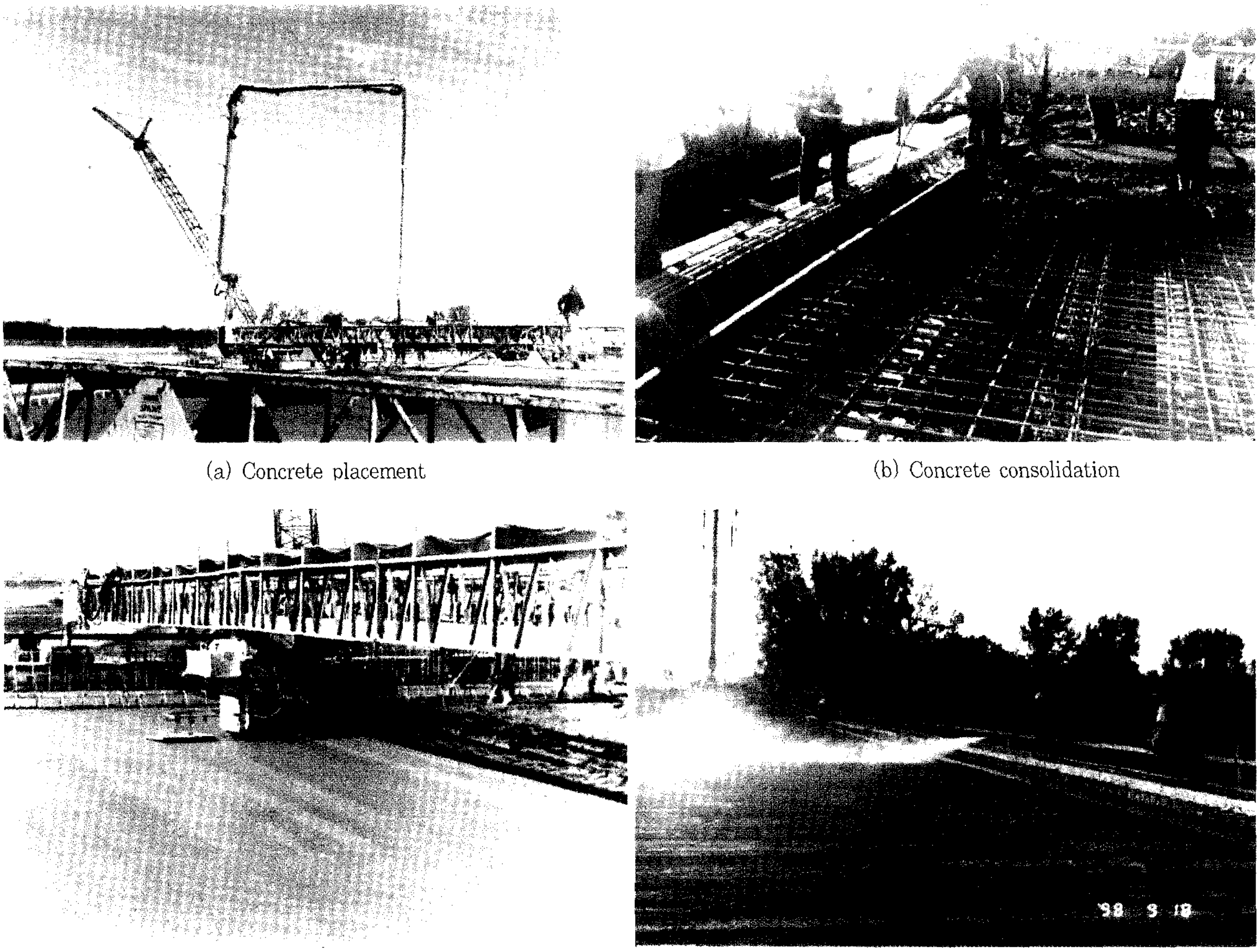
3.2 고성능 콘크리트(HPC) 노출 바닥판(full-depth deck) 공법

노출 바닥판 공법은 200~300 mm의 교량 바닥판과 교면포장을 고성능 콘크리트를 사용하여 일체로 타설하기 때문에 사용재료 및 배합은 3.1절의 HPC 교면포장과 크게 다르지 않다.

New York State DOT는 타설, 시공, 양생에 대한 자체 시방서에 근거하여 작업성, 펌핑성, 내구성능을 만족시키는 최적 배합(6% 실리카퓸, 20% 플라이애쉬를 혼입한 물/결합재비 0.4)을 도출하였다.

또한 Ohio DOT도 자체적인 시험시공 실적을 통하여 ①실리카퓸은 10% 이내로 사용, ②AE제나 고성능 감수제 사용, ③72시간 습윤양생 수행 등의 추천사항을 제시하였다. Minnesota DOT도 모든 full depth deck의 기준배합으로 5% 실리카퓸, 20% 플라이애쉬를 사용하였다.

시공 방법은 바닥판/교면포장 일체시공으로 기존의 분리 시공에 비해 시공성 개선, 작업기간 단축 등의 효과를 보이며, 시공법은 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 일반 바닥판 콘크리트 시공과 차이를 보이지 않는다.



(a) Concrete placement (b) Concrete consolidation

(c) Double-roller screed (d) Fogging over deck

그림 4. HPC를 사용한 full-depth bridge deck 시공 사례(미네소타주, 미국)

국내에서는 과거의 국내 시공 경험을 근간으로 하여 노출 바닥판 공법에 대한 연구가 다시 진행되고 있으며, 점진적으로 고성능 콘크리트의 적용성에 대한 검토가 이루어지고 있는 실정이다.

4. 결 론

고성능 콘크리트를 이용한 교면포장공법 및 노출바닥판공법 모두 북미에서 성공적으로 사용되고 있고 우수한 실적의 바닥판 보호공법이다. 두 공법 모두 실리카퓸 등 무기계 혼화재료의 사용으로 강도 및 내구성능 향상이 가능하며, 레미콘 공장 또는 현장 배치플랜트를 통한 대량 생산으로 시공 효율이 높고 초기 시공비 및 수명 연장에 따른 유지관리비용 절감이 기대되는 저비용·고효율 콘크리트 교면포장 공법으로 향후 그 적용 가능성이 점차 확대 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 원종필, 서정민, 이창수, 박해균, "교면 포장용 고성능 콘크리트의 장기 내구 특성", 대한토목학회논문집, 25권, 6A호, 2005, pp.1027~1033.
2. 원종필, 서정민, 이창수, 박해균, 이명섭, "통계적 방법에 의한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 최적 배합비 도출", 콘크리트학회논문집, 17권, 4호, 2005, pp.559~567.
3. 원종필, 서정민, 이창수, 박해균, 이명섭, "실리카퓸을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 단기 및 장기 성능 평가", 콘크리트학회 논문집, 17권, 5호, 2005, pp.743~750.
4. 서진원, 이지영, 이일원, 고동식, "콘크리트 노출 교량 바닥판의 공용상태 및 적용성 평가", 대한토목학회 정기학술대회논문집, 2003, pp.629~634.
5. Eric Embacher, "Using Silica Fume Concrete with Full-Depth Bridge Deck Construction in Minnesota", Technical Report of Minnesota Dot, 2001-18, 2001.