

콘크리트 교량의 교면방수 종류 및 특성

Characteristics of Waterproofing System on Concrete Bridge Deck



박희문*
Hee-Mun Park



최지영**
Ji-Young Choi



김성욱***
Sung-Wook Kim

1. 머리말

교면포장에 있어 방수층은 침투수로부터 바닥판을 보호하는 기능을 하며, 방수성 및 접착성 확보, 구조적 동일체 형성, 내구성 확보 등의 역할을 한다. 만약, 물이 줄눈이나 포장을 통하여 침투하면 콘크리트 바닥판에서는 피로 파손이 촉진되며, 철근 및 강재에 부식을 일으켜 교량의 내구성을 저하시킨다. 이와 같이 방수층은 물의 침투를 방지하여 포장과 바닥판의 내구성을 향상시키기 위한 층으로 매우 중요한 역할을 한다.

방수층은 적용 초기에 중요성이 인식되지 않아 기준이 정립되지 않았으나 최근에는 다양한 방수재료와 공법들이 개발되면서 교량 바닥판 보호 및 아스팔트 층과의 역학적 관계에도 영향을 미친다는 연구결과에 따라 그 중요도가 높아지고 있다. 교면포장은 <그림 1>과 같이 표층(상층), 텍코트, 기층(레벨링층), 방수층 및 접착층으로 구성된다. 교면방수의 불량으로 발생하는 대표적인 파손으로는 포트홀이 있다. 아스팔트 포장과 방수층 사이에 빗물이 침입하여 혼합물이 박리함으로써 발생한다. <그림 2>는 포트홀이 발생한 교면포장의 예이다.

2. 교면 방수재의 종류 및 장단점

교면 방수재는 아스팔트, 합성고무, 합성수지, 섬유, 광물질 및 휘발성 용제 등의 원재료를 2가지 이상 혼합하여 사용한다. 일반적으로 교면 방수층으로 사용하는 것은 침투계, 시트계, 도막계, 포장계로 구분할 수 있으며, 국내에서는 주로 도막계와 시트계 방수재료를 사용하고 있다. <그림 3>은 교면 방수재의 분류를 나타낸다.

2.1 침투계 방수재

침투계 방수층은 콘크리트 바닥판에 적용되며 유기화합물계와 무기화합물계로 크게 나눌 수 있다. 침투계 방수층은 콘크리트 교면 바닥판 표면의 미세 공극을 따라 방수제가 침투하여 1차적인 수막을 형성하면서 콘크리트 내의 규소(Si) 성분과 계속적인 화학작용으로 결합, 확산되어 거의 균일한 깊이로 수막을 형성하여 수분, 염분 및 중성화에 의한 피해로부터 콘크리트를 보호하는 역할을 한다. 과거에는 침투계 방수층이 주로 적용되

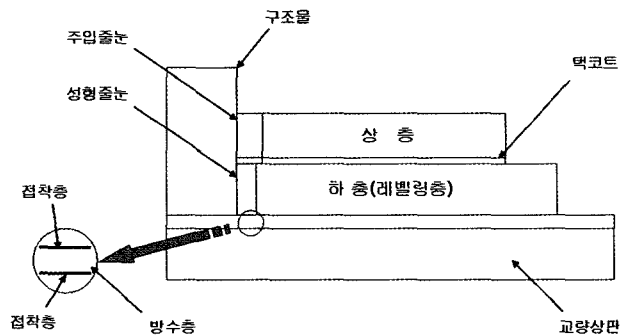


그림 1. 교면포장의 구성



그림 2. 포트홀이 발생한 교면포장

* 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원
hpark@kict.re.kr

** 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원

*** 정희원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

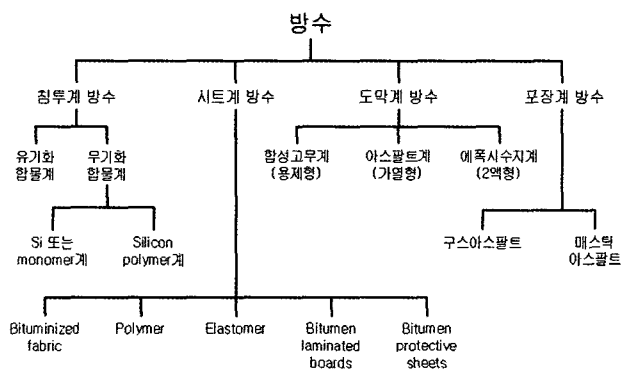


그림 3. 방수재의 분류

있으나 현재는 방수성능이 우수한 도막계와 시트계 그리고 포장계 방수로 대체되어 거의 적용되지 않고 있다.

2.2 도막계 방수재

도막식 방수의 경우 보수공사 시 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있으며, 교량 바닥판과의 접착력이 우수하기 때문에 방수 효과가 뛰어나다.

그러나 포장층과의 접착력이 부족하다는 단점을 가지고 있다. 적절한 부착강도를 얻기 위하여 방수층 시공 후 경화가 일어나

기 전에 규사층을 살포하여 아스팔트 층과의 접착력을 증가시켜 주어야 한다.

도막계 방수는 일본과 한국에서 주로 사용되고 있는 방수공법으로서 유럽에서는 영국과 독일에서 일부 사용되고 있다. 도막계 방수공법은 주로 레진(Resin) 성분의 액상형태를 3~5회 도포하여 소정의 두께를 만족시킴으로써 방수층을 형성하는 공법으로 방수효과가 뛰어나지만 시공 시 방수층이 파손될 우려가 있으므로 철저한 시공관리가 필요하다. 또한 도막식 방수층은 바닥판과의 결합력은 뛰어나지만 아스팔트 층과의 부착강도가 떨어진다는 문제점을 가지고 있다. 영국 등에서는 이러한 도막계 방수층의 문제점을 해결하기 위하여 방수층 위에 규사를 살포함으로써 아스팔트 층과의 부착강도를 증진시키고 있으며, 국내에서도 이러한 공법이 적용되고 있다. 도막계 방수재는 합성고무 도막계와 아스팔트 도막계 그리고 에폭시 수지 도막계로 분류할 수 있다.

2.2.1 합성고무 도막계 방수재

내구성이 우수한 성질을 가지고 있는 클로로프렌 고무 등과 같은 합성고무 주성분과 무기질 충전제, 섬유, 가류제, 안료 등을 첨가한 휘발성 용제를 가한 고점도의 용액을 사용하며, 일반적으로 불휘발성 성분은 30~50% 정도이다. 이 합성고무 도막

표 1. 도막 방수재의 품질 기준(KS F 4932)

항 목	품질 기준	적용 시험 항목			
1	작업성(workability)	포장작업에 지장이 없는 것	4.3		
2	불휘발분 (%)	표시값 ± 3% 이내	4.4		
3	지축건조시험 (20 °C)	3시간 이내	4.5		
4	인장 성능	무 처 리	1.5 이상	4.6	
		알칼리 처리	무처리의 80% 이상		
		가열 처리	무처리의 80% 이상		
		무 처 리	100 이상		
5	전단 접착 성능	신장률(%)	알칼리 처리	무처리의 80% 이상	4.7
			가열 처리	무처리의 80% 이상	
		전단 접착강도 (N/mm ²)	-20 °C	0.8 이상	
			20 °C	0.15 이상	
6	인장 접착 강도 (N/mm ²)	-20 °C	0.5 이상	4.8	
		20 °C	1.0 이상		
7	내투수성	-20 °C	1.2 이상	4.9	
		20 °C	0.6 이상		
8	내투수성	투수되지 않을 것	4.9		
9	염화물 이온 침투 저항성(coulombs)	100 이하	4.10		
10	내열 충격 패임	구멍이 생기지 않을 것	4.11		
11	내열 치수 안정성(%)	150 °C, 30분	± 2.0 이내	4.12	
12	내피로성	잔금, 찢김, 파단이 생기지 않을 것	4.13		
13	내균열성	-20 °C	잔금, 찢김, 파단이 생기지 않을 것	4.14	

계 방수재를 접착층위에 3~5회 도포하여 용제의 휘발에 의해 건조 후 두께 0.4~1.5 mm 정도의 연속 방수층을 형성한다.

접착제는 주로 클로로프렌 고무, 합성수지 안료 등 방수재와 같은 원료로 구성되어 있지만, 바닥판 콘크리트의 침투성을 고려해서 휘발 용제를 75~90% 첨가한 고무계 용제형이 사용된다. 보통은 바닥판위에 1~2회 도포하여 바닥판 콘크리트와 방수재의 접착성을 확보한다.

2.2.2 아스팔트 도막계 방수재

스트레이트 아스팔트 또는 블로운 아스팔트에 합성고무나 합성수지를 10~40% 첨가한 고무 혼합 아스팔트를 주성분으로 하고 여기에 광물질 분말 등을 첨가하여 사용한다. 이러한 아스팔트 도막계 방수재는 가열 용해하여 접착층에 1~3회 도포한 후 광물질 입자를 살포하여 1.0~1.5 mm 두께의 방수층을 형성한다. 접착제는 고무혼합 아스팔트에 휘발성 용제를 50~80% 가한 아스팔트계(고무혼입) 용제형을 사용하며, 일반적으로 콘크리트 바닥판에 2회 도포하고 접착층으로 하여금 피막을 형성한다.

2.2.3 에폭시 수지 도막계 방수재

방수재는 열경화성 수지를 주성분으로 하기 때문에 주재와 경화제의 액상의 2성분으로 구성되어 있다. 일반적으로 주재에는

에폭시 수지, 경화제에는 변성 폴리아민 및 폴리아미드 등이 주로 사용된다. 이 밖에 연화제, 충전재분말, 안료 등이 첨가된다. 주재와 경화제는 도포작업 직전에 혼합하여 도포하고 도막은 화학반응 때문에 경화한다.

이 방수재는 콘크리트에 대한 접착성이 우수하지만 아스팔트 포장과의 접착성을 확보하기 위하여 수지의 가사시간 내에 아스팔트 혼합물을 포설하여 주어야 한다. 접착제는 에폭시 수지 등의 합성수지에 휘발성 용제를 가한 것을 사용한다. 도막계 방수재의 각각에 대한 기준은 <표 1>과 같다.

2.2.4 시트계 방수

시트계 방수는 매우 우수한 방수효과를 얻을 수 있으며, 포장층과의 접착력이 좋다는 장점이 있다. 시공하중에 의한 파손을 방지하기 위하여 표면을 유리섬유로 처리하며, 바닥판 표면 상태에 상관없이 적용할 수 있다. 그러나 보수작업이 힘들고 바닥판과의 접착력이 부족하다는 단점이 있기 때문에 별도의 접착층을 두어야 한다.

시트계 방수재는 부직포 또는 직포에 가열 용해한 고무혼합 아스팔트를 함침 피복한 두께 1.0~3.5 mm, 폭 1m 정도의 시트에 광물질 분말을 도포하여 롤 형태로 감는다. 유럽에서 폭넓게 사용되고 있으며, 방수효과가 탁월하지만 교량 바닥판과의 부착력이 부족하다는 단점을 가지고 있다.

표 2. 시트계 방수재의 품질 기준(KS F 4931)

항 목		품질 기준	적용 시험 항목	
1	인장 성능	무처리	13.0 이상	
		인장강도 (N/mm ²)	알칼리처리	13.0 이상
		가열처리	13.0 이상	
		신장률(%)	무처리	33 이상
2	전단 접착 성능	알칼리처리	33 이상	
		가열처리	33 이상	
		전단접착강도 (N/mm ²)	-20 ℃	0.8 이상
		20 ℃	0.15 이상	
3	전단접착변형률 (%)	- 20 ℃	0.5 이상	
		20 ℃	1.0 이상	
4	인장접착강도(N/mm ²)	- 20 ℃	1.2 이상	
		20 ℃	0.6 이상	
5	내투수성	투수되지 않을 것	4.7	
6	염화물 이온 침투 저항성(coulombs)	100 이하	4.8	
7	내음폭 패임	구멍이 생기지 않을 것	4.9	
8	내열 치수 안정성(%)	150 ℃, 30분	± 2.0 이내	
9	저온 굴곡성	(- 20 ℃)	균열이 없을 것	
10	접합강도(N/mm ²)		5.0 이상	
11	내피로성		잔금, 찢김, 파단이 생기지 않을 것	
12	내균열성	-20 ℃	잔금, 찢김, 파단이 생기지 않을 것	

하지만 최근에 강도와 부착력 증진을 위해 시트계에 유리섬유를 보강한 새로운 공법들에 의해서 시트계 방수층의 단점이 보완되었다.

부직포는 폴리프로필렌과 폴리에스테르 섬유를 뒤엎키게 제작한 것이기 때문에 직포와 비교하여 강도의 방향성이 작다. 함침한 아스팔트로는 스트레이트 아스팔트에 스틸렌부타디엔 고무(SBR)와 스틸렌부타디엔스티렌(SBS)등의 합성 고무를 5~30% 첨가한 고무혼합 아스팔트와 블로운 아스팔트 등이 있으며, 접착용 아스팔트로는 고무혼합 아스팔트, 블로운 아스팔트 또는 아스팔트 콤파운드가 사용되며 주로 촉발부 공법에 적용된다. 그 밖에 시트계 방수재의 이면을 비너로 녹여서 붙이는 용착공법도 있다. 접착제는 고무혼합 아스팔트 또는 합성고무에 휘발성 용제를 50~80% 첨가한 저점도의 액체로 도포 후 휘발 건조되어 콘크리트 바닥판 면에 피막을 형성하며 그 기능은 콘크리트와 방수재를 접착하는데 있다.

현재 시트계 방수재료에 실시해야할 품질시험 기준은 시트계 방수를 주로 적용하고 있는 유럽의 여러 국가들에서 실시하는

시험항목들을 중심으로 국내 실정에 적합하게 선정하였으며, 그 항목과 기준은 <표 2>와 같다.

2.3 포장계 방수재

포장계 방수재료는 일반적으로 구스 아스팔트가 주로 사용되며, 영국 및 유럽에서는 매스틱 아스팔트를 사용하기도 한다. 포장계 방수재는 강재 바닥판에 주로 적용되며, 바닥판의 조인트 부분에 대한 효과적인 방수를 얻을 수 있다. 포장계 방수재는 골재를 2.5mm체 통과중량 백분율이 80% 이상인 것을 사용하여 수밀성을 고려한 가열 아스팔트 혼합물을 사용하며, 바인더로 사용되는 아스팔트는 스트레이트 아스팔트에 천연 아스팔트를 25~30% 첨가한 경질 아스팔트로서 적정량은 7~10%이다. 이 혼합물은 일반적으로 사용되는 포설기로 바닥판위에 15~25mm 두께로 포설한다.

접착제로는 고무혼합 아스팔트에 휘발성 용제를 50~80% 첨가한 아스팔트계(고무혼합) 용제형을 사용한다. 주로 경질 아스

표 3. 각국의 콘크리트 바닥판 교면포장 단면구성

항목	국가	덴마크	독일	영국
단면 구성	콘크리트 바닥판			
포장 층의 재료 및 두께	표층 기층	개질 및 일반 AC (40~50 mm) 개질 및 일반 AC (40~50 mm)	개질 AC (35 mm~40 mm) 구스 (35 mm)	개질 및 일반 AC (40~50 mm) 개질 및 일반 AC (40~50 mm)
방수층 형식		시트식 방수	시트식 도막식	시트식 도막식
특성		방수시트위에 개립 에폭시 콘크리트로 구성된 드레인 통로 시공	고가의 방수시스템 및 교면포장재 적용	시트재 위에 유리섬유, 도막계 위에 보호층을 설치
단면 구성	콘크리트 바닥판			
포장 층의 재료 및 두께	표층 기층	개질 및 일반 AC (30~40 mm) 개질 AC (30~40 mm)	개질 및 일반 AC (30~40 mm) 개질 AC (30~40 mm)	개질 및 일반 AC (총두께 50~80 mm)
방수층 형식		도막식 시트식	도막식 시트식 방수층 없음	
특성		재료의 선택부터 시공까지 동일한 규정을 적용	유지관리 및 품질 관리가 힘들, 각층의 재료선택에 있어서 선택 기준이 없음	

팔트(스트레이트 아스팔트, 천연 아스팔트), 조골재, 세골재 및 펠러로 간략화 시킬 수 있다.

3. 국·내외 교면포장의 비교

국내 교면포장과 국외 교면포장은 그 구조와 재질에서 크게 차이를 보이고 있다. 국외 교면포장의 경우 방수와 배수를 위해 여러 공법들을 적용하고 있으며 내구성 향상을 위해서 포장층을 두 개층으로 시공하고 있다. 바닥판 형식별로 국내 교면포장과 국외 교면포장을 <표 3>에서 비교하였다.

표에서 보는 바와 같이 각 나라별 교면포장의 두께는 대부분 80 mm 내외로 유사하나 교면포장의 재료와 방수공법 등은 상당히 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 각 국의 교면포장에서 공통적으로 방수에 상당한 노력을 기울이는 것을 알 수 있다. 각 나라별 교면포장의 특성을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 스웨덴 : 환경적인 조건이 열악하기 때문에 방수시트와 에폭시를 함께 방수층으로 사용
- (2) 덴마크 : 교면포장의 균열이나 공극을 통해 침투한 침투수를 포장체 외부로 신속히 배출시키기 위하여 포장층과 방수층 사이에 최대입경 8 mm인 배수성(공극률 20%) 혼합물을 박층(15 mm)으로 설치
 - 교통량에 따라 규격화된 교면포장 단면을 적용
 - 방수시트 바로 위에 단부보(edge beam)와 평행하도록 두께 25 mm 폭 100~150 mm 인 개립 에폭시 콘크리트로 구성된 드레인 통로 시공
- (3) 독일 : 초기 공사비가 증가하더라도 고가의 방수시스템 및 교면포장재 적용
- (4) 영국 : 방수층의 부착력을 좋게 하고 방수성능을 향상시키기 위해서 매스틱 아스팔트위에 규사(세골재)를 살포하고 시트재 위에 유리섬유, 그리고 도막계 위에 보호층을 설치함
- (5) 일본 : 교면포장을 위한 세부적인 규정이 수립되어 있어 재료의 선택부터 시공까지 동일한 규정을 적용
- (6) 한국 : 규격화된 단면 구성이 없기 때문에 체계적인 유지관리 및 품질관리가 어려움
 - 각층의 재료선택에 있어서 선택 기준이 없음
 - 기술적인 미비

4. 교면방수 신공법(RESin'S CONE 공법)

국내 보유 기술로서 내마모성, 내충격성, 방수·방식성 및 강력

한 접착력을 갖는 에폭시 수지와 천연 골재를 사용한 교량바닥판의 방수·방식 및 아스팔트 혼합물과의 접착공사에 적용된다.

시공은 하도, 중도, 상도 순으로 실시한다. 하도는 에폭시 수지 프라이머로서 교량바닥판 전면에 정밀하게 도포하여 바닥판과 안정적인 도막층을 형성한다. 중도는 2액형 상온 반응 경화성 에폭시 수지를 폴리아마이드, 변성아민 등 경화제를 혼합한 물질로서 내약품, 수밀성, 내염수성, 방수·방식성, 인장강도, 압축강도가 우수한 고순도 에폭시 수지이다. 상도를 도포하기에 앞서 포장체와의 밀림현상을 방지하기 위하여 에폭시 수지가 경화되기 전에 규사를 살포한다. 규사살포 및 중도 경화완료 후, 접착이 불량한 잉여골재를 완전히 접착시켜 고착화하기 위하여 상도를 실시한다.

4.1 교량바닥판 표면처리

콘크리트 바닥판의 바탕면에는 단차, 돌기물, 레이턴스 막 등이 존재하고, 먼지, 유지류, 녹 등의 이물질이 많이 묻어있다. 이러한 물질들은 콘크리트 바탕과 방수접착층의 부착력을 약화시키는 직접적인 요인이 된다. 따라서 기계적인 특수고압 분사장치로 물을 분사시켜 바닥판의 이물질 제거 및 레이턴스 막에 의해 가려졌던 미세균열 등을 노출시켜 에폭시 수지 도포전 균열의 보수 및 교면에 에폭시 프라이머가 완전히 침투할수 있도록 표면처리 한다.

4.2 에폭시 수지 1차(하도) 도포

표면처리가 완료된 콘크리트 바닥판 표면에 규사의 접착력 증대와 완충적 탄성도막층을 형성하기 위해 RESIN-S`CONE #101을 저점도화하여 지정된 배합비에 따라 잘 혼합하여 콘크리트 바닥판 전면에 정밀하게 도포하여 에폭시 수지의 안정적인 도막층을 형성한다.

4.3 에폭시 수지 2차(중도) 규사접착층 도포공정

1차 도막층이 초기 경화된 후 RESIN-S`CONE #201를 규사살포 공정에 맞춰 빈틈없이 정밀하게 도포해야하며 희석제는 주재와 경화제의 혼합물에 중량비로 5% 이내로 희석하여 사용한다.

4.4 규사살포 및 접착공정

에폭시 수지(RESin'S`CONE #201)를 도포 완료한 즉시(에폭시 수지가 경화되기 전) 규사를 골고루 균일하게 살포하여 접착시킨다.



그림 4. 에폭시 수지 1차도포 작업

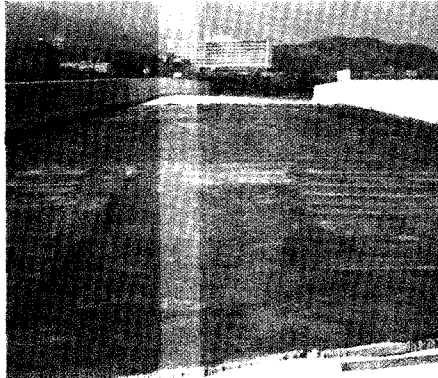


그림 5. 1차 도포 작업완료

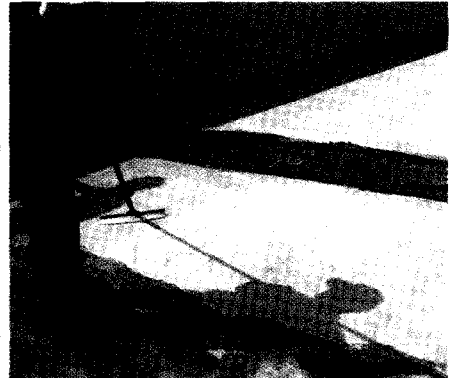


그림 6. 에폭시 수지 2차도포 작업

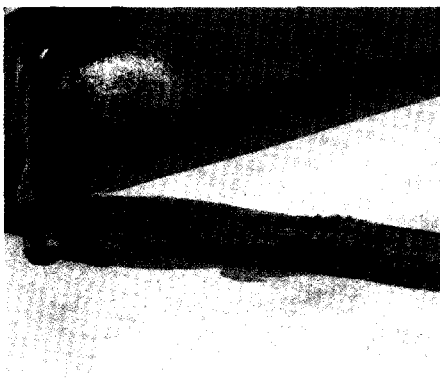


그림 7. 규사살포 작업

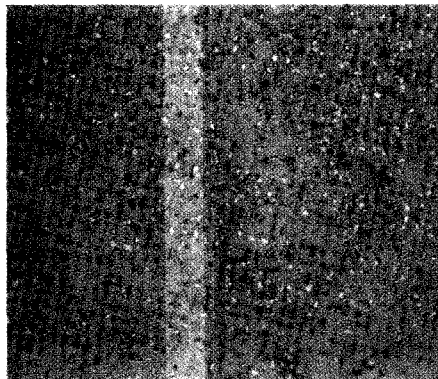


그림 8. 규사살포 모습



그림 9. 작업 완료

4.5 에폭시 수지 3차(상도) 마감 도포공정

규사살포 및 접착이 완료된 후 에폭시수지를 마감도포하여 접착 불량한 잉여 골재(규사)를 완전히 접착시켜 고착화한다. 마감도포시 주재와 경화재의 혼합물에 회석제를 5% 이내로 첨가하여 불완전 접착된 잉여 골재의 함침이 용이하도록 처리한다.

5. 맺음말

교량의 바닥판은 우수의 영향과 함께 통행류에 의하여 반복되는 피로 하중을 직접 받는 부재이다. 국토 상 교량유지관리 시스템인 BMS(bridge management system)에 조사된 바로는 콘크리트 교량 바닥판의 평균 수명은 약 17년 정도 밖에 되지 않는다. 교량 바닥판의 수명이 이렇게 짧은 이유는 바닥판 자체의 내하성능과 내구성능이 충분히 확보되지 못한 것이 주 원인 이겠지만 교면방수층의 손상으로 인하여 물과 용설제에 포함된 염분 성분의 침투 등으로 인한 외부로부터의 유해물질의 침투가 수명을 단축시키는 가속제 역할을 한 때문으로 판단된다. 최근에 교량 바닥판 콘크리트에 대한 성능과 품질 개선이 적극적으로 이루어지고 있다.

그러나 바닥판 콘크리트 모체로만 외부에서 유입되는 물과 유해물질을 모두 저항하기는 어려운 점이 있다. 콘크리트 교량 바닥판이 고유의 성능과 정해진 수명 이상 공용을 하기 위해서는 지금까지 비교적 등한시 다루어져 왔던 교면방수에 대한 기술 개발이 매우 필요하다.

교량 바닥판에서 교면방수 기술이 진일보 된다면 사회기반시설인 교량의 유지관리 비용과 잦은 보수 및 교체로 발생하는 교통통제로 인한 사회간접비용 손실을 크게 절감할 수 있을 것이다. □

참고문헌

1. 박희문, 최지영, 김기현, "고내구성 교면포장 기술 개발 연구", 3차년도 보고서, 한국건설기술연구원, 2004.
2. 박희영, "교면포장의 수분손상 억제를 위한 배수공법 개발", 세종대학교 석사졸업논문, 2005.
3. 김명재, "서울시 교면포장의 현황분석 및 개선방안 연구", 세종대학교 석사졸업논문, 2005.
4. 교면용 시트 방수재 KS F 4931, 한국표준협회, 2002.
5. 교면용 도막 방수재 KS F 4932, 한국표준협회, 2002.