

교면방수재 시공에 따른 품질성능

Performance of Waterproofing System of Concrete Bridge Deck



김영근*
Young-Geun Kim

1. 머리말

교량은 하천이나 도로, 계곡 등의 통과를 위한 시설물로서 손상이 발생되어 통행에 악영향을 미칠 경우에 복구를 위한 공간적인 제약으로 인하여 시간 및 경제적인 요구가 크게 증가된다. 특히 국가의 물류 수송의 핵심기능을 하는 도로에서의 교량의 안전은 그 중요성을 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 우리나라 IMD(스위스 국제 경영개발원) 건설교통 경쟁력 지수현황을 살펴보면 교통소통, 교통안전, 교통환경 등 도로교통부분의 각 통계지표 항목별 분석을 실시한 결과 IMD 평가에 의한 우리나라(남한)의 건설교통부분 경쟁력은 인구 2천만명 이상의 30개국 중 2005년 현재 철도밀도(철도연장(km)/국토면적(km²)) 8위, 도로밀도(도로총연장(km)/국토면적(km²)) 8위로 중위권 수준이며 향후 남북 통일시대를 대비한 우리나라의 IMD 경쟁력 지수는 하위수준일수 밖에 없다. 따라서 향후 남북 통일시대를 대비한 IMD 경쟁력 지수 향상을 위해서는 도로, 철도의 건설은 증대할 수밖에 없으며 이로 인한 교량시설은 더욱 늘어날 수밖에 없을 것이다.

2006년 현재 전국 교량수는 22,227개교이며 이중 국토상 교량은 4,216개교, 고속도로 6,000여개교이며, 나머지는 시, 군, 구, 도의 교량이라 할 수 있다.

철도교량 중 KTX 1단계 개통구간에 86개소이며, 2단계 개통의 KTX 전구간의 26%에 차지하는 구간이 교량으로 시공된다고 할 정도로 교량은 도로에 있어서 중요한 시설물이며 국가 기간산업 구조물로서 그 중요성은 지대하다고 할 수 있다.

이러한 국가 중요 시설물에 대한 유지관리 및 내구성 확보차원에서 철근콘크리트 구조물로 이루어진 대부분의 교량상판(교면)은 열화매개인자인 물과 항상 접할 수 있으며 이러한 매개

인자에 용해된 각종 열화요소(염화칼슘, CO₂, O₂, 산성비 등)로부터 보호하기 위한 교면방수는 필연적으로 요구된다.

다른 건축 및 지하구조물 방수와 마찬가지로 방수라는 관점에서는 교면방수도 유사하나, 콘크리트 교면방수의 경우, 하중조건과 구조조건에 의해 포장체의 손상으로 인하여 각종유해물질을 차단하고 상판의 내하력 확보, 내구성 향상을 도모하는데 있다.

이러한 도로교상에서 철근콘크리트 상판은 타 콘크리트 부재에 비해 두께가 얇고 포장면에 직접 교통하중을 받는 열악한 환경조건하에 있기 때문에 손상을 받기 쉽다. 그러나 콘크리트 교량구조물의 내구성 증진을 좌우하는 교면방수는 시급한 건설물량과 우선적인 양적성장에 초점이 맞춰진 건설정책 등으로 인해 지난 오랜 세월동안 기술자들의 관심 밖의 일이었다. 특히 방수대책 자체가 단기적으로는 그 효과가 두드러지지 않고, 시공 후 검점이 곤란하다는 이유로 많은 방수업체들의 물량숙이기 및 불량시공 등이 빈번하게 발생되어 왔다.

따라서 이러한 원인에 의해 손상에 대한 보수와 보강에는 큰 비용을 필요로 하며 공사차량의 차단 및 교통지체를 유발하기 때문에 내구성을 연장시키기 위한 보호대책에 대한 관심과 연구는 사회적·경제적 현안으로 대단히 중요시 되고 있다.

더욱이 근래 국내에서는 교면방수용으로 다양한 종류의 방수재가 유통되고 있으며, 성능의 차이 또한 심하여 그 사용성 여부에 대한 상세한 판단기준의 다양화도 시급하다. 또한 각 시공현장에서의 감독자들은 방수재의 시공에 있어 제품에 관한 정확한 품질기준이 다양화되어있지 않기 때문에 근래 제조업체에서 제공하고 있는 품질기준을 참고로 제품을 선정하여 시공이 이루어져 왔다. 그러나 교면에서의 방수재 적용은 완벽한 품질기준 및 성능기준, 풍부한 시공기술 및 철저한 품질관리 등이 이루어져야만 가능하다고 할 수 있다.

따라서 교면에 적용할 방수재 선정은 교량형식 및 상판조건

* 정희원, 한국건자재시험연구원 방수보수보강센터 센터장
vskim@kicm.re.kr

을 면밀히 검토한 후 규정에 근거하여 전문가의 견해를 참고하여 어떤 재료를 사용할 것인가를 결정하는 것이 중요하다. 그리고 선정되어 사용할 재료는 품질확인을 위하여 자재 납품 후 무작위 샘플링을 통해 국가공인 시험기관에 요청하여 물성시험과 현장성능시험을 통해 품질확인이 이루어진 제품에 대해서 시공이 이루어져야 한다. 따라서 상기와 같은 여러 가지 상황과 문제점, 기후조건, 교통량, 도로의 기하학적 조건, 교량조건 등을 고려하여 우리의 실정에 적합한 품질 및 성능기준을 제시하고 보완하는 것이 중요하다. 아울러 우수한 재료의 개발과 현지점에서 가장 타당성이 있다고 생각되는 설계·시공에 관한 사항에 관해서도 더욱더 보완하는 것은 시급한 전제이다.

다행히도 현재 국내에서는 교면방수제에 대한 품질규격이 2002년 산업자원부 기술표준원이 용역을 의뢰하여 한국건설재시험연구원에서 교면용 시트방수재(KS F-4931), 교면용 도막방수재(KS F-4932)를 제정하였으며, 침투식 방수재 규격으로서 콘크리트 표면 도로용 액상형 흡수방수재(KSF-4930)의 품질규격이 표준화되어 있다. 따라서 다양한 종류의 방수재가 있지만 상기규격에 의하여 품질관리가 이루어지고 있으며, 또한 도로공사 전문시방서, 고속도로 전문시방서, 고속철도 전문시방서 등으로 교면방수제에 대한 품질관리가 이루어지고 있는 실정이다. 앞으로 각기 다른 재료에 대해서도 다양한 교면방수제의 규격과 시공 후 성능기준을 확보할 수 있는 규격 연구가 요구된다.

2. 교면방수층에 요구되는 기본적 성질

콘크리트 상판방수는 교량형식, 하중조건, 교통여건, 환경조건에 따라 어떤 종류의 방수시스템을 적용할 것인가가 결정되며, 이러한 방수시스템의 선택이 교량의 내구성에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다. 일반적으로 시트(sheet)식, 도막(liquid membranes)식, 침투(penetration)식, 각각의 방수층에 따라서 교면방수층에 요구되는 성질은 다소 다르지만 기본적으로는 다음과 같은 규격에서 제시한 항목을 만족하여야 한다.

□ 한국 산업 규격

- 교면용 시트방수재(KS F-4931)
- 교면용 도막방수재(KS F-4932)
- 침투식 방수재(KS F-4930)

□ 전문시방서

- 한국도로공사 전문시방서
- 고속도로 시방서
- 한국철도시설공단시방서

상기와 같이 방수재의 기본 요구성능은 한국산업규격과 전문시방서 기준에 적합하여야 하며, 바람직한 방수층 형성을 위해서는 방수층 설치 후 수밀성이 확보되어야 하고, 경제적이여야 한다고 정의할 수 있다.

3. 교면방수층의 선택 기준

교면방수층의 선택기준은 방수층을 적용하는 현장의 상판, 교통, 도로구조, 기상 등의 제 조건이 일치되지 않아 확실적으로 결정할 수 없지만 방수층을 시공하는 경우에는 이러한 조건과 포장의 보수시간, 방수층 시공의 난이도 등을 검토하여 최적의 방법을 선택하는 것이 중요하다. 일반적으로 방수층의 선택에 있어서는 방수재료의 품질도 고려하지 않으면 안 된다.

콘크리트 교면 방수층의 선택기준은 다음과 같다.

보도의 경우는 차도에 비해 포장두께가 얇기 때문에 블리스터링을 억제 가능한 재료를 선택하여야 하며 차도의 경우 포장철거상판면 선택조건에서 방수층 시공후의 양생 요인으로는 공정달성이 충분한 시간을 얻지 못한 경우가 많으므로 양생시간이 짧은 것을 선택하며, 상판표면의 상태 요인으로는 상판의 요철에 대해서 시공이 양호한 것을 선택하여야 한다.

교통조건 선택의 경우 중 교통노선요인으로서 전단강도가 높은 것을 선택하여야 하며, 도로구조 선택조건에서 곡선부 경사로 요인의 경우 차륜에 의한 원심력이나 가속, 제동과 함께 전단력이 큰 것을 고려하고 전단강도가 높은 것을 선택하며, 기상조건에서 온난지의 경우 하절기 노면 온도를 고려하여 전단강도 및 인장 접착 강도가 높은 것, 한랭지의 경우 동절기 노면온도를 고려하여 전단강도 및 신장, 인장접착강도가 높은 것을 선택기준으로 하여야 한다.

4. 교면에서의 콘크리트와 방수재의 결합 방법

일반적으로 두가지 이상의 재료를 결합하는 방법으로 열에 의한 방법, 화학적 반응을 일으키는 방법, 물리적 방법 등이 있다. 방수재와 콘크리트의 계면 즉 결합부위를 일체화시키기 위해선 열이나 화학적 결합방법이 이상적이나 콘크리트 표면은 열이나 화학적 반응을 일으키지 않는다. 그러므로 기존 방수재와 콘크리트는 물리적 결합시스템을 따르고 있어 들뜸의 위험을 항상 지니고 있다. 이러한 현상을 사전에 방지하기 위해 설계상의 요인, 시공상의 요인, 재료상의 요인, 건설환경상의 요인 등에서 방수의 결합 원인을 찾아내고 세부적 대안이 제시되고 있지만 기술적 한계와 경제적 실효성 측면에서 여러 가지 현실적 제약에 따른다.

석유화학과 고분자수지의 축적된 기술수준을 바탕으로 최근 기존방식에서 탈피한 새로운 방식의 재료들이 소개되고 있다.

4.1 접착 방식

콘크리트 표면에 형성되어진 요철과 모세관 속에 방수재가 함침되어 수많은 갈퀴모양의 앵커를 형성시켜 구체와 방수재를 결합시킨다. 이러한 접착방식에서 바탕재의 역할이 중요하다. 바탕재가 가져야할 특성은 마찰력이 적고 입자가 미세해야 함침의 깊이가 크다. 또한 일정한 함침 두께가 형성될 수 있도록 경화시간을 지연시킬 필요가 있다. 재료의 강도가 높을수록 부착강도가 높아지나 신율이 떨어져 구체의 균열발생에 의한 손상이 크다. 재료의 신율이 클수록 크랙발생에 대한 대응력은 높으나 구체의 진동이나 거동시 앵커의 수축률이 커 쉽게 들뜸이 발생된다. 부착강도를 높이기 위해 강한 강도로 바탕처리한 후 균열에 대응하기 위해 신율이 높은 방수재를 도포하나 이는 층간박리현상을 초래할 수도 있으므로 반드시 사전에 검토가 요구된다.

4.2 점착 방식

점착제는 점성을 지닌 반고체로 재료간의 내부 마찰력에 의해 형태가 유지된다. 고체형 재료는 중심방향으로 힘이 작용하므로 구체와 분리하려는 성질이 강하나 점착제는 힘의 방향이 분산되어 있으므로 구체의 거동 및 진동의 영향이 적다. 반면 시간이 지나거나 수분과의 접촉이 지속될 경우 점착력이 상실될 염려가 있을 뿐 아니라 완전 점착방식이 아니므로 교면위에서 차량의 급제동에 의해 제동력이 교면에 전달되어 전단점착강도 확보에 만족하지 못하는 경우가 있으므로 반드시 사전 검토가 요구된다.

4.3 침투 방식

방수재를 콘크리트 표층부에 도포하여, 방수재의 구성성분이 콘크리트 공극, 모세관에 존재하는 CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (수산화칼슘), 물 등과 반응하여 규산칼슘수화물(calcium silicate hydrate), 에트링자이트(ettringite) 등의 결정체를 생성하여, 점차 콘크리트 내부로 확산됨으로서 수밀성을 향상시키는 방식으로 재료의 형태는 무기질 분체형, 무기질 액상형, 유기질 액상형, 무기·유기혼합 분체형, 무기·유기 혼합 액상형 등으로 구분한다. 또한 이들 재료가 생성하는 결정체의 종류에는 크게 무기질계와 유기질계로 구분할 수 있고, 유기질계 결정체가 주종을 이루었으나 이 또한 제조사의 설명이며 과학적으로 메커니즘이 밝혀지지 않아 확신하기 어려운 실정이다.

최근 무기질 액상형 침투방식의 방수재가 개발되어 시중에 판매 시공되고 있으며 KS F-4930 품질기준에 만족한 우수제품이 소개되고 있다. 따라서 침투식의 경우 유기질계인 실란계열과 무기질인 실리케이트계열의 침투식이 그 성능을 인정받고 있는 실정이다. 침투식 방수재의 경우 내구성 확보를 위해 침투 후 표면강화재를 코팅함으로써 기존침투방식에 비해 상당한 내구력을 확보할 수 있는 것으로 알려져 있다. 유기계 실란계열의 경우 침투 후 내구성이 떨어지는 단점이 있다. 이 경우 표면강화코팅제를 병행 사용하여 내구성을 확보할 수 있다. 무기질분체형의 경우는 침투성이 과학적으로 검증되지 않은 점도 묵과해서는 안 될 사항이다.

5. 교면방수 시공 절차 및 방법

콘크리트 상판 방수공의 선정에 있어서는 방수재 및 방수층의 품질기준에 합격한 것은 물론, 적용현장의 상판, 교통량, 교량구조, 기상 등의 여러 조건이 동일하지 않기 때문에 확립적으로 선정할 수 있는 것은 아니다. 상판방수층의 시공성 등을 검토하여 최적의 것을 선정하는 것이 중요하다. 또한 포장과 구조물과의 경계면을 침투한 침투수에 대한 방지대책이나 방수층 위에 체류하는 물을 신속하게 배수하는 상판배수처리는 방수시공품질의 성패를 좌우하는 큰 요인의 하나다.

5.1 교면방수 공법 선정

교면방수 공법의 선정을 위해서는 교면방수에 영향을 미치는 인자를 분석하고, 이들의 영향이 콘크리트 상판에 미치는 여러 가지 문제를 면밀히 검토할 필요가 있다.

이상적인 방수체계에 대한 요구조건은 시공 후에 방수성을 유지하고, 예상되는 사용기간 중에도 방수성을 확보해야하며, 경제적이어야 한다고 정의 될 수 있다. 그러나 이것은 간단한 문제가 아니고, 수많은 요구조건을 만족시켜야 하는 아주 복잡한 조건이다. 따라서 양호한 시공을 위해 꼭 지켜야 하는 조건을 구체화할 필요가 있다. 많은 요구조건이 방수층에 대해서만 적용되지만 방수층의 성능이 대부분 방수체계의 성능을 결정하게 된다. 따라서 시공성, 내구성, 환경친화성, 유지관리 및 보수 용이성을 종합적으로 고려하여 해당교량의 특성에 적합하도록 교면방수공법을 선정하여야 한다.

이를 위한 절차는 다음과 같다.

- ① 현장조건 및 시방서 조사
- ② 물성시험
- ③ 실내·외 성능시험
- ④ 교면방수 재료 및 공법 선정

표 1. 교면방수재 선정시 점검사항(시트, 도막, 침투식)

점검 사항	점검 항목
방수재료의 자체 물성	· 내투수성 및 염화물 침투 저항성
	· 인장강도 및 신장률
	· 저온가요성
	· 내열성
	· 내화학성
	· 내굴곡성
	· 침투깊이
	· 인열강도
	· 내흡수성능
	· 치수안정성
방수재의 교면과의 일체화 성능	· 용출저항성능
	· 인장접착강도
	· 전단접착강도
	· 인장강도 및 신장률
	· 내플충격성(chisel test)
방수공법의 시공성	· 시공의 난이도
	· 내플충격성(chisel test)
	· 내굴곡성
	· 인열강도
내구성능	· 지축건조시간
	· 가열 및 약품 침지 후 인장강도 및 신장률
환경친화성능	· 수침 7일후, 내화학성 및 인장강도 및 신장률
	· 인체에 대한 위해 여부
유지보수의 용이성	· 시공시 주위 환경에 미치는 영향
	· 기존방수층 제거용이성 및 시간
	· 지축건조시간
	· 기후에 따른 보수가능 여부
	· 조기교통개방성

※ 교면방수재의 종류에 따라 점검 항목 선택함

6. 맺음말과 제언

교면방수의 시공에서 시트식공법은 에어포켓(air pocket)이나 겹침부상의 문제가 있고, 도막식공법은 수회에 걸친 겹침시공에 따른 양생문제, 도막층 내부의 밀림에 의해 전단력이 발생되어 방수층 파손을 초래하는 문제점이 있으며, 침투식 공법은 시공방법(로울러, 스프레이)에 따른 침투깊이 확보의 문제점이 따른다. 이들은 공법별로 상이한 특성을 가지며, 양호한 시공을 위해 이에 따르는 시공상의 주의사항을 충실히 따라 주어야 한다.

첫 번째로 시공상의 유의점에 대한 항목으로는 상기 3가지 공법에 공통적으로 중요하게 방수층 품질에 영향을 미치는 사항이 하다면 처리다. 하다면 처리는 콘크리트 상판면에 레이턴스, 먼지, 유지 등이 부착되어 있다면 방수층의 접착성능 및 침투깊이 확보에 악영향을 미치는 경우가 많기 때문에 이들 유해물질을 확실하게 제거해야 한다.

두 번째 기상조건으로서 콘크리트 교면방수시공에 있어서는 재료의 품질 및 올바른 시공도 물론 중요하지만 시공시의 주변 온도에도 많은 영향을 주게 된다. 시공시의 기온은 5℃ 이상을 원칙으로 하며, 부득이 기온이 5℃ 미만에서 시공하는 경우는 결로에 주의해야 하고, 하절기와 같이 시공시의 온도가 25℃ 이상의 경우 차양을 설치하여 직사광의 영향을 받아 시공면의 온도가 올라가는 것도 재료에 따라 대책을 세워야 한다. 우기 직후에는 상대습도가 높아 콘크리트 상판면의 함수율이 10% 이하로 떨어지지 않는 경우 시공을 피해야 한다.

세 번째 방수재료의 보관으로써 여러 가지 품질시험, 성능시험 및 관련도서를 통해 선정된 재료가 품질관리의 부실로 제 성능을 발휘하지 못하면, 방수시공 자체만의 손실뿐만 아니라, 교량 전체에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 현장여건 등을 고려한 품질관리가 이루어지도록 실시되어야 한다.

네 번째 위험물에 대한 처리 사항으로 방수용 재료를 구성하는 프라이머 및 도막식, 침투식 방수재는 가연성의 휘발성 유기용제가 포함되어 있으므로 인화성인 경우가 대부분이다. 따라서 유기용제를 사용하는 경우는 일정량 이상 사용하거나 저장하는 경우는 화재안전상의 관점에서 이에 해당하는 관련 규제법령을 따라야 한다.

다섯 번째 배수처리로서 최근 콘크리트 상판에서는 대형차량이나 교통량의 증대에 따른 손상·열화가 큰 문제가 되고 있다. 더욱이 포장, 노상 및 도로 부속물 등에서 방수층위로 침투하는 물은 구조상 피할 수 없기 때문에 방수층 바로 위의 체류수는 아스팔트 포장의 열화·박리를 증가시키는 요인으로 작용한다. 따라서 배수처리는 방수층 설치의 성패를 좌우하는 큰 요인의 하나이고, 침투수는 신속하게 방수층 위에서 배수되어야 한다. □

참고문헌

1. 김영근, "ACM 및 침투성 방수재를 이용한 이중 방수공법에 대한 연구", 한국건설자재시험연구원, 2000. 2, pp.58~62.
2. 김영근, "교면용 도막방수재 연구", 한국건설자재시험연구원, 2002. 2, pp.14~43.
3. 박창로 외, "고속도로 교량의 유지관리 실태", 고속도로 종합정보지 제69호, 2004. 12, pp.188~202.
4. 송기섭, "21세기 도로정책 방향", 한국도로학회 학술발표회 논문집, 2005. 11, pp.11~26.
5. KS F 4930 콘크리트 표면 도포용 액상형 흡수방지재.
6. KS F 4931 교면용 시트 방수재.
7. KS F 4932 교면용 도막 방수재.