

계열별 교면 방수시스템의 품질관리 지침(안) 고찰

Quality Control Recommendation with Waterproofing Membrane Type of Waterproofing System for Concrete Bridge Decks

이 병 덕* 박 성 기** 심 재 원** 정 해 문* 김 광 우***
Lee, Byung Duck Park, Sung Ki Shim, Jae Won Cheong, Hai Moon Kim Kwang woo

ABSTRACT

The waterproofing systems of concrete bridge deck are installed under the complex circumstances, such as traffic loading, weather, and the condition of the deck concrete. For assuring the effectiveness of waterproofing system, the materials and the construction method and timing ought to be suitably selected with the procedures of waterproofing and the system has to ensure the economical performances.

First of all, we discussed whether the quality and performance criteria for highway bridge deck are resonable or not through the investigation of domestic and foreign criteria. The basic properties of waterproofing membranes on market and the performance of waterproofing systems of concrete bridge deck have also been investigated in the view of the damages frequently reported from job site. In this way, the causes and measures of damages, the guidelines of design, construction, quality control, and maintenance, the test methods and criteria of membranes and waterproofing system, are proposed.

1. 서론

교면방수는 다른 건축 및 지하구조물 방수와 마찬가지로 외부로부터 물이나 기타 유해한 물질이 콘크리트 내부로 침투하는 것을 방지한다는 목적은 동일하지만, 교량에서의 방수층은 주행차량에 의한 반복하중, 진동, 충격 등의 역학적 작용과 온도변화 등의 기상작용, 그리고 바닥판의 수축팽창 작용 등이 복합하게 작용하는 환경에 설치되므로 이에 부합하는 성능기준이 반드시 필요하다.

그러나 현재 국내에서는 교면 방수용으로 다양한 종류의 방수제가 유통되고 있으나, 성능의 차이가 심하고, 또한 건축용 및 기타 분야에 적용하고 있는 기준을 여과 없이 인용함으로써 조기손상이 빈번하게 발생하고 사용수명이 외국에 비해 상당히 짧다.⁽¹⁾⁽²⁾

따라서 본 연구에서는 상기와 같은 여러 가지 상황과 문제점, 기후조건, 교통량, 도로의 기하학적 조건, 교량조건 등을 고려하여 국·내외 기준과 실내시험⁽³⁾을 바탕으로 우리의 실정에 적합한 교면방수재의 품질기준을 제시하고자 한다.

* 한국도로공사 도로연구소 재료환경연구그룹 책임연구원

** 한국도로공사 도로연구소 재료환경연구그룹 연구원

*** 강원대학교 지역기반공학과 교수

2. 교면방수재 품질기준

2.1 교면방수재 품질기준의 문제점

교면방수재는 기타방수와는 달리 고려되어야 할 조건들이 많음에도 불구하고 기존 건축이나 지하구조물 방수에서 사용되어온 기준을 바탕으로 제정되었고, 주로 방수재료 자체의 품질기준에 초점이 맞춰져 있기 때문에 시공이 완료 후 차량에 의한 반복하중, 진동, 충격, 전단 등의 역학적 작용, 온도변화 등의 기상작용, 그리고 상판의 팽창수축작용 등에 대한 저항성을 평가할 수 있는 항목이 명시되어 있지 않은 실정이다. 이로 인해 공사 완료 후 단기간 내에 많은 하자가 발생하여 경제적으로 많은 비용이 낭비되고 있으며, 이로 인한 잦은 하자 보수로 사회적으로도 많은 문제를 야기하고 있다.

2.2 품질기준 제정의 절차

교면방수재는 교통조건, 기후조건, 교량의 구조형식 등이 성능에 지대한 영향을 미치므로 이를 고려한 품질기준의 설정이 필요하다. 그러나, 이러한 품질기준을 제시하기 위해서는 장기간의 상세한 실내 실험 및 현장실험 결과의 분석을 통해 각각의 항목에 대하여 최적값을 선정하여야 한다. 본 연구에서는 교면방수재의 품질기준을 설정하기 위해, 한국산업규격(KS 규격)을 기본 값으로 설정하고 연구결과에 따라 보완하는 방식을 취하였으며, 방수층에 대한 품질기준은 국내·외 각 나라의 기준에서 설정된 값들을 비교·분석하고, 실험결과를 바탕으로 설정하였다. 하지만, 교면방수재 및 방수층의 품질기준은 추후 많은 연구 진행결과에 따라 보완 및 수정이 필요할 것으로 판단된다.

3. 국가별 품질기준 분석

3.1 시트식 방수재

3.1.1 두께

시트의 두께에 대한 국내·외의 규정을 표 1에 나타내었는데, 일반적으로는 교면의 열악한 환경조건을 고려하여 시트의 두께를 비교적 두꺼운 값을 사용하는 것이 바람직한 것으로 생각되지만, 재료별로 특성이 다르기 때문에 일률적으로 두께를 언급하는 것은 옳지 않다. 접침부의 경우는 두께가 두꺼운 경우가 불리하며, 고온의 기온이 지속되면 방수재가 연화되어 밀림이 발생하기 쉽다. 따라서 인장강도 및 신장률 등이 최소한의 두께로 최대한의 성능발현이 될 수 있게 하여야 한다.

표 1 시트 방수재의 두께에 대한 국내·외 품질기준

구분	기준 값
미국	· 고무 아스팔트계 : 1.6mm · 개질 역청계 : 1.8mm
영국	· 제품규격과의 일치성만 확인
독일	· 금속보강 역청계 : 4.5~5.5mm, 부직포 두께 : 2.0mm 이상
일본	· 10~3.5mm
한국고속철도	· 4.0(-5%)mm
한국도로공사	· 시트 방수재 : 4.0 ± 0.3mm, 합성고무도막 : 1.2 ± 0.05mm

3.1.2 인장강도 및 신장률

시트의 인장강도 및 신장률은 시트의 재질과 시험시 재하속도에 따라 차이가 있으며 국내·외 기준을 표 2에 나타내었다. 미국과 독일의 경우는 재질, 덴마크에서는 시트의 시공 위치와 방향에 따라 달리 규정하고 있다. 교면 방수공에 필요한 품질은 재질에 관계없이 동일한 기준이 요구되므로 방수시트의 인장강도 및 신장률에 대한 규정을 하나로 통일하는 것이 관리에 용이할 것으로 판단되나, 아직 실험의 모든 항목이 검증된 것이 아니므로 미검증된 항목에 대해서는 한국산업규격을 기본으로 미국, 일본규격 등에 따라 물성값을 보완하는 것이 바람직하다.

표 2 시트방수재의 인장강도 및 신장율에 대한 규정 비교

구 분	재 질	인장 강도(kgf/cm)	신 장 율 (%)	인장 속도(mm/min)
미국	고무 아스팔트계	8.8	15	50
	개질 아스팔트계	7.0	10	
일본		10	10~80	-
대만	-	50 이상	120 이상	500
한국고속철도		13 이상	33 이상	100
한국도로공사		10이상	25이상	-
한국산업규격	합성고분자계	6.1~10.2	150~300	200~500
	개량 아스팔트계	8.2	15	100

3.1.3 내열성

KS F 4917에 제시되어 있는 규정을 적용하고 있지만, 실제로 교면방수재는 시공 후 아스콘이 포설 되기 때문에 아스콘 혼합물의 포설 및 다짐 시 온도에 영구적으로 물성변화가 없어야 하고, 치수안정이 확보되어야만 한다. 따라서 내열성 시험시 규정온도는 아스콘 혼합물의 포설 및 다짐 시 최대온도를 고려하여 170℃ 정도로 책정하는 것이 타당하다고 판단된다.

3.1.4 내굴곡성

시트는 저온에서 펼침성 및 내굴곡성(또는 저온가요성·유연성)이 우수해야 하며, 내굴곡성은 시험 결과 시트에 균열이 발생하지 않아야 하는 것으로 규정되며, 동절기 실질적인 교면에서의 온도를 기준으로, 내굴곡성 시험시 측정온도는 -20℃, 심봉의 크기는 직경 10mm로 규정하는 것이 적절하다고 판단된다. 또한 이 시험은 구조물의 단부나 쏘인트 등에서의 시공성을 평가하는 척도로 이용할 수 있다.

3.1.5 내음폭패임성능 및 내갈충격저항성

시트의 편칭에 대한 저항성을 검사하기 위한 것으로 정적 편칭시험이라고도 하는 내음폭패임성능 프랑스 규격(NFP 84-352)과 KS F 4917에 제시되어 있으며, 시험의 기본원리는 동일하다. 고속도로 교면방수용 시트는 고온의 아스콘 골재의 관입작용을 감안하면 편칭 저항성은 중요하다.

3.1.6 접합강도

접합강도는 도막식방수재의 경우는 겹침부 및 이음부가 없는 연속적인 방수막을 형성하므로 크게 중요시되지 않지만, 시트식은 일정크기의 시트재를 겹쳐 시공하므로, 이 겹침 부위에서 방수성능의 문제가 야기될 수 있다. 또한 겹침부에 차량통행에 의해 전단력이 지속적으로 작용하게 되면, 특히 2겹 이상 겹침시에는 접착력이 크게 저하될 우려가 있으므로 규격제정이 필요하다고 사료된다.

3.1.7 기타

교량은 산성비나 제설재에 영향을 받기 쉬우므로 유해물질이 침투하였을 때, 방수재료가 내화화성을 가지고 있어 교량의 열화를 방지할 수 있어야 한다.

3.2 도막식 방수재

3.2.1 두께

방수재를 너무 두껍게 도포할 경우, 방수층 위에 아스팔트 콘크리트를 포장하기 때문에 양생이 문제 될 수도 있고, 도막층 내부에 밀림에 의해 전단력이 발생되어 방수층 파손을 초래하는 문제점이 있다. 그러므로 시공성과 양생 그리고 방수성능 등을 종합하여 해당 재료가 성능을 발휘할 수 있는 두께를 사용한다. 유의할 점은 도막두께가 최종 양생후에 품질의 일관성을 유지할 수 있어야 한다는 점이다.

3.2.2 인장강도 및 신장율

도막식 방수재는 다양한 재질로 제조되고 있으므로 국내·외 규정에서는 인장강도 및 신장율을 성분에 따라 구분하여 규정하고 있다. 단지 적용부위가 교면임을 감안한다면, 건축방수재와는 달리 동결기 세설제로 사용되는 염류에 대한 저항성을 갖추어야 하고, 아스콘 포설시 고열에 견딜 수 있는 내열 저항성을 필요로 한다. 따라서 교면 방수재 특성상 아스콘 포설에 따라 고온의 열에 우선 접한 후 염류에 노출되기 때문에 가열처리한 시편으로 화학처리 한 후 무처리한 시편과의 인장강도 및 신장율로 규정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

3.2.3 내굴곡성

내굴곡성은 시트식 방수재에서 언급한 것과 같이 낮은 온도에서의 굴곡에 대한 저항성을 평가하는 것으로서, 나라마다 약간씩 차이를 보이지만 시험항목에 포함시키고 있다. 시험온도는 우리나라의 겨울철 평균 대기온도보다 다소 낮은 온도로 설정하는 것이 바람직할 것으로 사료되며, 이는 대기온도보다 실제 교면에서의 온도가 이보다 더 낮기 때문이다. 따라서 적정온도는 -20℃가 적합할 것으로 판단되며, 심봉의 크기는 직경 10mm인 것을 사용하는 것으로 한다.

3.2.4 방수성

교면방수재의 가장 기본적이고 중요한 성능이 방수성이다. 각 나라마다 흡수율이나 흡수비로서 방수 성능을 규정하는 등 다양하나, 감수량을 기준으로 적부를 판정하는 것이 바람직하다고 판단되며, 이 또한 기관별, 국가별 차이를 나타내고 있다.

3.2.5 작업성, 지축건조시간, 불휘발분

작업성은 도포 작업에 지장이 없는 것으로, 지축건조시간은 후속작업 공정을 고려하고 기후 및 작업 환경의 급작스러운 변화에 대처할 수 있어야 하므로 3시간 이내가 적합할 것으로 판단되며, 불휘발분은 내굴충격저항성이나 아스콘 포설시 가열골재에 의한 찢김저항성, 접착력 확보 등과 직접적으로 연관되는 도막두께에 영향을 미치므로 표준값의 3% 이내 및 도막두께와 더불어 고려하여야 할 것으로 사료된다.

3.2.6 접착성

교면에서 방수재의 성능 평가 척도로 가장 중요한 것 중의 하나가 각 층간 계면에서의 접착성이다. 접착성의 결여는 포장층까지도 조기 손상을 야기시키고 주행성, 안전성 저하를 초래한다.

표 3 방수층의 접착성에 대한 규정

구 분	영국	독일		일본		대만	한국고속철도공단		
		8℃	23℃	-10℃	20℃		-25℃	20℃	40℃
인장접착강도(kgf/cm ²)	0.6 이상	7 이상	4 이상	12 이상	6 이상	7 이상	9 이상	4 이상	2.4 이상
전단접착강도(kgf/cm ²)	-	-	1.5 이상	8 이상	1.5 이상	-	-	-	-
전단접착 변형율 (%)	-	-	-	0.5 이상	1.0 이상	-	-	-	-

*시험방법은 동일하지 않은 경우가 있다

4. 교면방수재 품질기준(안) 제안

4.1 방수재에 대한 품질기준

여러 나라의 규정을 감안하고, 성능기준을 두고 있는 영국 및 일본 등의 규정을 참고하여, 방수재 재질자체의 품질기준과 바닥판 콘크리트-방수재-아스팔트콘크리트 포장층을 포함한 방수층의 품질기준을 구별하여 규정하고, 현재 범용적으로 사용되고 있는 방수재를 중심으로 규정하는 것으로 한다.

표 4 시트식 방수재의 품질기준(안)

선정기준	시험항목		시험방법	온도조건(℃)	규격값	
일체화 특성	두께 (mm)		접착공법	KS F 4917	20	3.5 이상
			음착공법			4.0 이상
	인장 성능	인장강도 (kgf/cm)	개질 아스팔트계	공사시험법	20	15 이상
			합성 고분자계			
		판단시 신장율 (%)	개질 아스팔트계	공사시험법	20	25 이상
			합성 고분자계			200 이상
접합강도 (kgf/cm)		KS F 4917	20	5 이상		
인열강도 (kgf)		KS F 4917	20	5 이상		
시공성	내굴곡성 (Φ10mm 심봉)		공사시험법	-20	이상 무	
내구성	열화처리 후 인장성능 (가열, 알칼리, 산 및 염수처리 후)	외관변화		공사시험법	170, 20	이상 무
		질량변화율(±%)				2 이하
		인장강도비 (%)				80 이상, 150 이하
		신장변화율 (%)				80 이상, 150 이하
	내열·치수안정성 (%)		공사시험법	170	2 이하	
내피로 성능		KS F 4917	-20	이상 무		
교면상태	내용폭패임 성능 (kg)		KS F 4917	20	구멍이 없을 것	

* 가열처리 후의 인장강도비 및 신장변화율은 무처리시 값의 80% 이상, 150% 이하이다.

* 알칼리, 산 및 염수처리한 시편은 가열처리한 후의 시편을 사용하고, 가열처리시 값에 대한 인장강도 및 신장변화율의 80% 이상, 150% 이하이다.

표 5 도막식 방수재의 품질기준(안)

선정기준	시험항목		시험방법	온도조건(℃)	규격값	
일체화 거동	두께 (mm)		KS M 6518	20	1.2 이상(양생완료 후)	
	고형분 (%)		KS F 3211	-	표준값의 3% 이내	
	인장 성능	인장강도 (kgf/cm)	합성고무계	KS F 3211 공사시험법	20	15 이상
			고무아스팔트계			
			무기질탄성계			
		판단시 신장율 (%)	합성고무계	KS F 3211 공사시험법	20	300 이상
고무아스팔트계	50 이상					
무기질탄성계	80 이상					
시공성	내굴곡성 (Φ10mm 심봉)		공사시험법	-20	이상 무	
	지속건조 시간 (시간)		KS M 5000	20	3 이내	
	작업성		-	-	도포작업에 이상 무	
교면상태	내용폭패임 성능 (kg)		KS F 4917	20	구멍이 없을 것	
내구성	열화처리 후 인장성능 (가열, 알칼리, 산 및 염수처리 후)	외관변화		KS F 3211 공사시험법	170, 20	이상 무
		질량변화율(±%)				2 이하
		인장강도비 (%)				80 이상, 150 이하
		신장변화율 (%)				80 이상, 150 이하
	내피로 성능		ASTM C 836	-20	이상 무	
내열·치수안정성 (%)		공사시험법	170	2 이하		

* 가열처리 후의 인장강도비 및 신장변화율은 무처리시 값의 80% 이상, 150% 이하이다.

* 알칼리, 산 및 염수처리한 시편은 가열처리한 후의 시편을 사용하고, 가열처리시 값에 대한 인장강도 및 신장변화율의 80% 이상, 150% 이하이다.

* 도막두께는 내용폭패임 성능 시험시 70℃ 온도를 추가하여 구멍이 뚫리지 않고, 아스콘 혼합물 포설시 및 후에 방수재에 구멍이 뚫리지 않을 경우 제품의 표준값 두께로 하여도 무방하다.

4.2 방수층에 대한 품질기준

방수제는 앞서 언급한 방수제 종류 및 공법에 따라 방수층을 형성하여 방수성능을 발휘한다. 따라서 콘크리트 바닥판과 같이 거동하고 있는 방수층에 대해 방수제 자체의 물성과 구분하여 규정한다. 특히, 성능기준은 국내·외 문헌과 실험결과의 일부를 토대로 작성하였기 때문에 대체적으로 규격값을 보수적으로 제정하였다. 이는 외국과 비교하여 국내의 교면방수제 품질문제, 시방부재, 시공경험의 부족 등을 감안하였기 때문이다. 따라서 차후 항목별로 수정 및 보완과 함께 규격값에 대한 적정성을 상세하고 체계적으로 수립해야 할 것으로 판단된다.

표 6 교면 방수층 품질기준(안)

시험항목	시험온도(℃)	시험방법	기준	
방수성(ml)	20	공사시험법	감수량 0.5 이하	
내괄충격저항성	10, 25, 40	"	합격	
전단접착성	강도(kgf/cm ²)	-10	8.0 이상	
		20	1.5 이상	
	신장율(%)	-10	0.5 이상	
		20	1.0 이상	
인장접착성	강도(kgf/cm ²)	-10	12.0 이상	
		20	6.0 이상	
수침 7일 후의 인장접착성	강도(kgf/cm ²)	20	"	수침전 70% 이상

5. 결론

본 연구를 통해 기존의 품질기준에 대한 문제점을 분석하고, 교면방수제에 적용할 수 있는 기준(안)을 마련하여 보다 내구적이고 안정적인 방수성능 발현에 기여하고자 하였으며, 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 현재 국내에서 교면용으로 시판되는 제품에 대한 정확한 분석을 통해 기존의 건축용 방수로부터 얻어진 기준을 일체화거동, 시공성, 내구성, 교면상태로 분리하여 규정함으로써 교면방수제가 가지는 특성을 고려한 평가가 가능하며, 이로 인해 방수제 시공 후 발생 가능한 하자를 미리 방지할 수 있다.
- (2) 교면에 적용되는 방수제는 교량의 진동이나 차량에 의한 역학작용, 기상작용에 의해 영향을 받기 쉬우므로 이에 대한 저항정도를 평가할 수 있는 항목을 추가함으로써 방수제 선정에서부터 적용현장의 특성에 맞는 제품 선정이 가능하여 제품 선정시부터 일관적인 품질관리가 가능하다.
- (3) 교면방수제는 방수제 시공이 완료된 후 포장층이 시공되고, 아스콘 포설 시 높은 온도의 혼합물에 의해 방수제 자체의 물성이 변화될 수 있는 가능성이 있기 때문에 이에 대한 영향을 점검하고, 포장층까지의 시공이 완료된 후 방수시스템의 성능을 평가할 수 있는 시험항목을 규정함으로써 보다 내구적인 시공을 유도할 수 있을 것이다. 또한 향후 고성능 방수 시스템이 구축될 수 있도록 산·학·연이 협동하여 지속적으로 관심을 기울여야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Manning, D. G., "Waterproofing for Concrete Bridge Decks," NCHRP Synthesis of Highway Practice 220, TRB, Washington, D. C., 1995.
2. 日本道路協會, "道路橋鐵筋コン크리트床版防水層 設計·施工資料," 日本道路協會, 1987.
3. 日本道路公團, "材料施工資料(第4号)-コン크리트床版防水工," 日本道路公團試驗研究所, 1994.