

온도조건에 따른 교면방수재의 인장접착강도 보정계수에 관한 실험적 연구

Correction Coefficient for Tensile Adhesive Strength of the Bridge Decks Waterproofing Systems with Different Temperature Conditions

이 병 덕* 윤 병 성**
Lee, Byung Duck Yun, Byung Sung

ABSTRACT

In this study, tensile adhesive strength(TAS) test was carried out for evaluated the effects of temperature conditions(-20, -10, 0, 5, 10, 20, 30, 40°C) on the tensile adhesive characteristics about 4 type waterproofing membranes which were commercially used in bridge decks. And, failure appearances of waterproofing systems in each temperature after TAS test were observed the sawing surfaces of waterproofing systems for whether or not damaged of waterproofing membranes. Also, correction coefficient of TAS with temperature were calculated using 4 type waterproofing membrane.

It could be shown that the higher TAS and shear adhesive strength, the lower temperature, regardless of the type of waterproofing membrane. Temperature sensibility of TAS was especially remarkable in epoxy membrane. Failure type was occurred the ductile failure in 30°C and 40°C. From these results, it was shown that if ambient temperature above 30°C maintains for a long time, waterproofing membrane will be deformed by softening. Otherwise, waterproofing membrane in temperature below 20°C shown that occurred the brittle failure. From the results of visual observation of cutting surface for specimen, the thin waterproofing membranes shown indented by hot aggregate of the asphalt mixtures. Therefore, it could be known that the specification of waterproofing membrane thickness is necessary by waterproofing membrane type. As temperature change varied with pavement depth, the interface temperature was more important than ambient temperature in TAS test. Now, TAS test results were limited only in -10°C and 20°C temperature, but correction coefficient of TAS by ambient temperature could be used as a solution to deal with this problem.

1. 서론

콘크리트 교량 바닥판에서의 방수재는 우수 및 동절기 염화물 제설제 살포로 인한 염화물의 침투를 방지하여 교량의 내구성을 증진시킨다는 측면에서 매우 중요하다. 그러므로 방수재의 성능을 검증하기 위한 방법으로 대부분의 국가에서 가장 중요하게 취급하는 것이 방수재 자체의 방수성과 더불어 바닥판 콘크리트와 아스팔트 포장층 계면에 사용된 방수재의 접착력이다. 실제로 교면에서 방수시스템(Waterproofing System : WPS)은 접착력 저하로 인한 방수재 계면에서 탈리가 발생하지 않는 한 소요의 공용성에는 문제가 되지 않고 있다. 이러한 교면 방수시스템의 접착력 평가 항목중 국내외에서 가장 많이 사용되고 있고, 현장에서도 사용가능 한 시험방법으로 인장접착강도(Tensile Adhesive Strength : TAS) 시험을 들 수 있다. 하지만, TAS의 국내 기준은 시험시 온도가 -10°C, 20°C에서만이 규정되어 있으므로 시공후 및 공용중에 정확한 평가가 이루어지지 못하고 있다.

따라서 본 연구는 주로 콘크리트 교면용 방수재의 종류에 따라 시험온도(-20, -10, 0, 5, 10, 20, 30, 40°C)에 따른 TAS 특성 및 파괴형상을 비교하였다. 또한 현재 -10°C 및 20°C 기준으로만 되어 있는 TAS를 4종류(시트식 1종류, 도막식 2종류, 복합식 1종류)의 방수재를 사용하여 온도에 따른 보정계수를 산출하였다.

* 정회원. 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

** 정회원. 한국도로공사 도로교통기술원 연구원

2. 실험

2.1 사용 방수재 및 실험변수

본 연구를 위해 선정된 방수재는 계열별로 시트식 1종, 도막식 2종, 그리고 복합식 1종으로, 총 4종의 방수재를 선정하여 실험을 실시하였으며, 선정된 방수재에 대하여 계열별로 재료특성을 구분하여 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타낸 방수재 두께는 아스팔트 콘크리트를 포설 한 후 절단면 조사를 통해 측정된 방수층 두께이다.

표 1 방수재의 종류 및 시험변수

기 호	방수재 구분	재질	방수층 두께 (mm)	시험변수
A	도막식	클로로프렌 합성고무계	0.6~0.8	시험온도: -20, -10, 0, 5, 10, 20, 30, 40℃ 혼합물 종류: SMA, 일반 밀입도
B	시트식	합성섬유 부직포+특수고무 아스팔트 합침	3.0~3.5	
C	도막식	에폭시수지계	0.5~0.9	
D	복합식	SBR 고무 + 펠트(부직포)	1.5~3.0	

2.2 실험방법

TAS 시험을 위한 콘크리트 슬래브 시험시편은 설계강도 270kgf/cm²으로 하여 300×300×100mm의 크기로 제작한 후, 방수재료를 시방에 맞춰 도포를 완료하였다. 도포가 완료된 방수재는 2주 이상 양생을 실시한 후 SMA와 밀입도 아스팔트 혼합물 2종류를 포설하였다. 아스팔트 혼합물이 완전하게 양생이 이루어진 후 각 시편에 대하여 100mm 직경의 절삭기로 4개소에 코어링을 실시한 후 접착시험용 강재 디스크(Steel disk)를 아스팔트 포장층 면에 부착하였다. 이러한 과정을 통해 실험 준비를 완료한 후 각 온도별로 시편을 24시간 이상 항온항습 챔버 내에서 방치하여 방수재 표면까지의 온도평형이 이루어지도록 한 후 TAS 시험을 실시하였다.

현재 TAS 시험 규정에서는 시험속도를 1kgf/cm²로 규정하고 있다. TAS 시험은 각 온도에서 더 이상의 하중 증가가 발생하지 않는 시점에서의 탈리상태를 조사하였으며, 시험이 완료된 후 시험편을 절단하여 방수재의 상태를 육안으로 조사하여 골재의 침투여부 및 각 방수재별 두께 측정을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 TAS

각 방수재에 대하여 TAS와 온도의 관계를 혼합물별로 구분하여 그림 1, 2에 나타내었다. 시험온도 -20, -10, 0, 5, 10, 20, 30, 40℃에 대하여 동일한 조건으로 시험을 실시한 결과 시험에 사용된 모든 방수재에서 동일한 경향을 나타내었다. 즉 온도가 낮을수록 TAS는 증가하며, 증가정도는 방수재 종류별로 차이는 있지만, 20℃의 온도를 기준으로 했을 때 5℃ 이하에서 TAS의 증가정도는 점차 감소하였다.

현재 규정되어 있는 TAS 규정 값은 -10℃ 및 20℃를 기준으로 하고 있으며, 시험된 방수재 A의 경우, SMA 혼합물과 밀입도 혼합물 모두에서 20℃ 이상에서 시험된 결과 값은 현재 규정되어 있는 20℃에서 기준 값인 6kgf/cm²(점선)를 크게 상회하는 것으로 나타났다.

온도에 따른 방수재의 TAS 값의 변화는 온도가 증가함에 따라 감소하고, 온도가 감소함에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히 클로로프렌 도막방수재(A)는 고온에서의 온도변화에 따라 TAS 값의 변화가 커 고온에서의 감온성이 큰 것으로 나타났다. 그러나 온도가 낮을수록 감온성이 작은 것으로 나타났는데, 이는 주성분이 클로로프렌 고무이기 때문인 것으로 추정된다. 반면에 시트 방수재 및 복합식 방수재에서는 저온에서의 감온성이 큰 것으로 나타났는데, 이러한 원인은 시트식에서의 중심기재(직포나 부직포)나 복합식에서의 펠트류가 점성성분을 가지고 있지 않기 때문인 것으로 판단된다.

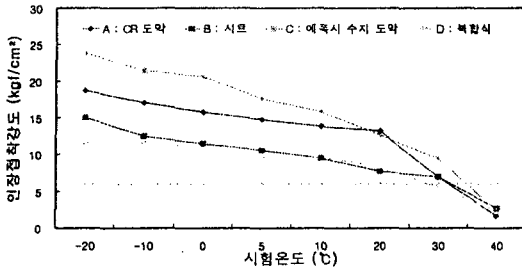


그림 1 방수재 종류에 따른 TAS와 온도 관계(SMA)

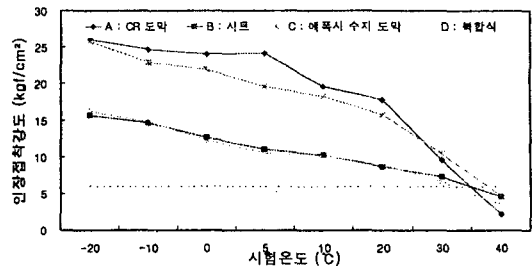


그림 2 방수재 종류에 따른 TAS와 온도 관계(밀입도)

3.2 온도에 따른 TAS 보정계수

현재 -10°C 및 20°C로 규정되어 있는 TAS 값을 임의의 온도에 따른 TAS 보정계수를 산정하고자 하였다. 시험온도 20°C를 기준으로 온도변화에 따른 TAS 증감율을 그림 3, 4에 나타냈고, 기준온도 20°C에 대한 각 시험온도에서의 TAS 보정계수를 아스팔트 혼합물에 따라 표 2, 3에 나타내었다.

표 2, 3은 시험온도에 따른 TAS를 회귀분석하여 보정계수를 산정한 것으로, 회귀분석 결과 방수재 종류 및 아스팔트 혼합물 종류에 따라 시험온도와 TAS 사이의 상관관계수가 0.94~0.98로 산출되어 상관성이 높은 것으로 나타났다. 이를 통해 현재 -10, 20°C에서 만이 규정되어 있는 TAS 기준으로 인한 문제점은 본 연구를 통해 산출한 보정계수를 적용하여 대기온도에 제한을 받지 않고 상시점검을 수행할 수 있을 것으로 판단된다.

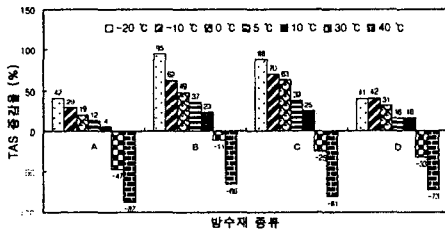


그림 3 시험온도 20°C에 대한 방수재 종류에 따른 TAS 증감율 (SMA 혼합물)

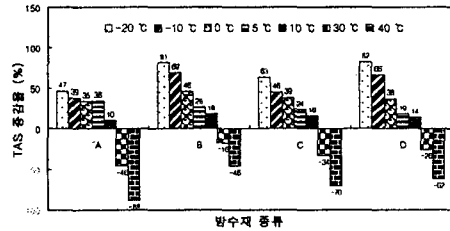


그림 4 시험온도 20°C에 대한 방수재 종류에 따른 TAS 증감율 (밀입도 혼합물)

표 2 회귀분석에 의한 시험온도에 따른 TAS 보정계수 (SMA 혼합물)

방수재 종류	시험 온도 (°C)												
	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	보정계수												
A - 도막식	0.616	0.619	0.629	0.649	0.678	0.721	0.738	0.870	1.000	1.204	1.560	2.320	4.979
B - 시트식	0.534	0.561	0.593	0.631	0.677	0.732	0.801	0.887	1.000	1.152	1.369	1.701	2.272
C - 도막식	0.539	0.557	0.580	0.611	0.651	0.702	0.772	0.866	1.000	1.203	1.541	2.208	4.116
D - 복합식	0.670	0.669	0.677	0.693	0.720	0.758	0.813	0.890	1.000	1.166	1.433	1.922	3.081

표 3 회귀분석에 의한 시험온도에 따른 TAS 보정계수 (밀입도 혼합물)

방수재 종류	시험 온도 (°C)												
	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40
	보정계수												
A - 도막식	0.642	0.636	0.639	0.653	0.679	0.718	0.778	0.866	1.000	1.219	1.622	2.574	7.365
B - 시트식	0.545	0.577	0.612	0.653	0.701	0.757	0.823	0.902	1.000	1.123	1.282	1.497	1.802
C - 도막식	0.588	0.603	0.624	0.652	0.688	0.736	0.799	0.883	1.000	1.170	1.435	1.902	2.925
D - 복합식	0.508	0.539	0.575	0.616	0.665	0.724	0.796	0.885	1.000	1.152	1.363	1.675	2.185

3.3 파괴형상 및 절단면 관찰결과

온도 및 방수재 종류에 따른 TAS 시험을 실시하였을 때 WPS의 파괴형상을 표 4에 나타내었다. TAS 시험시 계면에서의 파괴형상은 시험온도별로 약간의 차이를 나타냈다. 또한 온도가 크게 증가할 경우, 혼합물 자체의 인장력의 저하로 인해 계면에서의 파괴가 발생하지 않고 아스팔트 콘크리트의 응집파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 현장에서의 인장접착강도의 정확한 평가를 위해서는 포장층의 인장강도가 크게 저하하지 않는 시점을 고려하여 실시해야 할 것으로 판단되며, 또한 절단면관찰을 통해 아스팔트 콘크리트 포설시 골재에 의한 방수재 손상 여부를 관찰할 수 있었으며, 관찰결과 SMA 혼합물의 경우가 일반 밀입도 혼합물을 포설한 경우보다 골재에 의한 방수재 손상 및 시공 후 방수재 두께가 얇게 형성된다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 방수재 선정에 있어서 혼합물이 미치는 영향을 신중하게 고려해야 하며, 골재에 의해 파손된 부위에서는 수분의 침투가 가능하고, 이로 인해 접착력도 급격히 저하될 수 있을 것으로 판단된다.

표 3 온도변화에 따른 TAS 시험시 WPS의 파괴형식

방수재 종 류	시험온도 (°C)											
	-20		-10		5		20		30		40	
	SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반	SMA	일반
A - 도막식	E	E	E	E	E	E	B	C	B	B	B	B
B - 시트식	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	C
C - 도막식	F	F	F	F	F	F	F	F	A	F	A	A
D - 복합식	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	A	A

주) A : 아스팔트 콘크리트의 응집파괴 B : 아스팔트 콘크리트 포장층과 방수재 계면에서의 파괴
 C : 방수층의 응집 파괴 D : 방수층과 콘크리트 바닥판 계면에서의 파괴
 E : 콘크리트의 응집파괴 F : 디스크 탈리

4. 결 론

온도조건에 따른 교면방수시스템의 접착특성 평가를 위해 실시된 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 인장접착강도는 방수재의 종류에 상관없이 온도가 증가함에 따라 감소하고 온도가 감소함에 따라 증가함을 알 수 있었다. 시험온도에 대한 인장접착강도의 감온성은 클로로프렌 도막방수재에서 현저하게 나타났다.
- 현재 -10°C 및 20°C로 규정되어 있는 인장접착강도 기준으로 인해 현장에서의 방수시스템 상시 평가가 제한적이었으나, 대기온도에 따른 인장접착강도 보정계수를 산정하므로 인해 이러한 애로사항을 해소함과 더불어 공용성 평가에 기여할 수 있을 것이다.
- 인장접착강도 시험시 파괴형태는 30°C와 40°C에서는 연성 파괴가 일어나지만 대기온도가 30°C 이상을 오랫동안 지속될 경우 방수재에서는 연화에 의한 변형 발생이 가능하다는 것을 예측할 수 있었다.
- 시험체 절단면 관찰을 통해 아스팔트 혼합물 종류에 따라 방수재 종류별로 방수두께의 규정이 필요할 것으로 나타났으며, 특히 아스팔트 혼합물 포설시 온도의 철저한 관리가 방수시스템의 접착력 및 장기공용성에 있어 매우 중요한 인자라는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 한국도로공사, "교면방수시스템의 평가기법개발 및 고성능화 구축방안", 도교기 ME-03M-20, 2003.
- Price A. R., "Waterproofing of Concrete Bridge Decks : Site Practice and Failures", TRRL Research Report 317, TRRL, 1991.