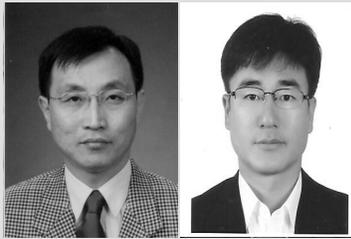


유리섬유 보강판(GFR-Plate)을 활용한 지하차도 신축이음부의 내구성 증진

A promoting Durability of Underpass Expansion Joint Using Glass Fiber Reinforced Plate



김영진(Young-Jin Kim) 정회원 | 토지주택연구원 수석연구원 공학박사 | yjkim016@lh.or.kr
윤수환(Soo-Hwan Yoon) 정회원 | (유)이지스건설 대표이사 | legis112@daum.net

1. 서론

일반적인 지하차도 개설은 개착 후 버림 콘크리트를 타설하고 방수층을 시공한다. 방수층위로 콘크리트 구조물을 20m간격으로 나눠서 타설하여 기초를 형성하고 그 위에 아스팔트 포장층을 하는데 그동안 콘크리트 구체 거동이 포장층에 미치는 영향에 대한 검토가 되지 않아 포장층에 신축이음을 설치하지 않고 시공했었다. 지하차도 완공 후 대기온도에 의한 콘크리트 구체의 신축작용, 차량진동 및 반복하중, 지반부등침하 등으로 인하여 아스팔트층의 균열, 함몰, 파손 등이 발생되어 운전자의 쾌속성을 확보할 수 없을 뿐더러 안전까지 위협하고 있다.

최근들어 지하차도 신축이음부분에 주행성, 방수성, 쾌속성 등을 만족할 수 있는 탄성봉합재 공법을 채택하여 사용성능을 개선하고자 하는 시공사례가 빈도있게 늘어나고 있는 추세이다.

2. 신축이음부 아스팔트층의 파손

2.1 신축이음부 파손

지하차도의 콘크리트 구체는 20m로 일정한 간격을 두고 나눠서 타설하기 때문에 신축이음부가 발생하나 아스팔트 포장층은 joint 구분없이 연속성을 갖는다. 이는 대기온도변화에 의한 콘크리트 구체의 신축작용 시 아스팔트 포장층에 균열이 발생하고 이 균열은 차량 윤택중 등에 의해 골재가 분리되면서 아스팔트포장 주행면에 포트홀 발생 등의 원인이 된다. 그림 1은 이러한 파손사례를 보여주고 있다.



그림 1. 아스팔트층의 균열 및 파손

2.2 차량의 반복하중에 의한 파손 원인

차량운행에 의한 지속적인 반복하중 및 진동은 아스팔트층을 지지하는 콘크리트 구체 중 가장 약한 신축이음부위부터 차츰 함몰이 진행되면서 피로파괴가 발생한다. 또한 그림 2 에서와 같이 콘크리트와 아스팔트의 이질재료에 대한 신·수축율 차이로 인한 균열의 발생, 차량통행으로 인한 하중 재하시 강도 차이 및 층 분리현상발생 등으로 인하여 균열발생의 원인이 되기도 한다.

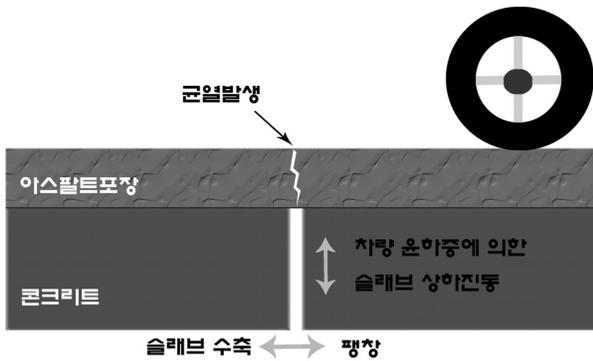


그림 2. 차량 반복하중에 의한 파손원인

2.3 신축이음부 손상부위별 외관조사 항목

외관조사는 정밀점검의 현장조사단계에서 가장 먼저 기본적으로 시행하고 있는 조사항목으로서 구조부재에 최대한 접근한 외관 상태를 육안으로 조사하여 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 따라 고시된 정밀점검 지침중 지하차도에 관한 세부지침에 의거 보수·보강 범위 및 방법 등의 결정에 대한 기본자료로 활용하기 위하여 실시한다. 주요 구조부재별 열화손상 및 변형상태의 정도를 평가하고 그에 따른 구조물 압거, 교량 등의 전반적인 외관상태 평가시 사용된 평가기준을 등급별로 구분하고 있으며 다음 표 1 과 같이 표기하여 사용한다.

표 1. 등급별 외관상태 분류

등급	외 관 상 태
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	경미한 손상의 양호한 상태
C	보조부재에 손상이 있는 상태
D	주요부재에 진전된 노후화(콘크리트의 전단균열, 침하 등)로 긴급한 보수·보강이 필요한 상태로 사용제한여부를 판단
E	주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용금지하고 개축이 필요한 상태

신축이음장치 외관조사의 체계화를 위해 점검항목과 손상종류로 분류할 수 있으며 이를 외관조사항목에 대한 것으로 구분하면 다음 표 2 와 같이 구별하여 판단할 수 있다.

표 2. 신축이음부의 외관조사 항목

점 검 항 목		신 축 이 음	
재 료	형 태	본 체	후타재
콘크리트	균 열		
	박 리		
	백 태		
	파손(탈락)		
강 재	부 식		
	변 형		
	균 열		
	파손(파단)		
기 능	누 수		
	체 수 (배수불량)		
	유 간		
	이상음, 진동		
고무재, 실링재, 패킹재	오 염		
	노 화		
	균 열		
	탈 락		
	파 손		

신축이음장치의 손상판정 기준(고무재)에 의한 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침」에 따른 신축이음장치 손상판정 기준은 다음 표 3과 같이 세부구조재

별로 분류하여 표시할 수 있으며, 예시를 통하여 보여주고자 한다.

표 3. 손상판정 기준(예시)

등급	본 체				후 타 재	
	누수, 오염	유간	노화	탈락	균열	파손
A	없음	정상 작동	없음	없음	없음	없음
B	없음	정상 작동	고무판 노화	없음	0.2mm균열, 1m이하 간격	없음
C	물받이파손으로 누수 발생	유간 사이 이물질로 인한 기능 불량	물받이 고무판 부분 파손	없음	0.3~0.5mm균열, 50cm이하 간격	국부적인 파손
D	누수로 신축이음 하부구조물 부식 발생	유간 폐쇄 혹은 비정상적으로 넓은	고무판 균열	볼트 또는 너트의 부분 탈락	1mm이상 균열, 30cm이하 간격	유간이 매몰, 단차에 의한 충격
E	하부구조물의 부식 심화	유간 폐쇄 혹은 비정상적으로 넓은	고무판 파손	신축이음본체 탈락	-	전체적으로 파손 진행

2.4 신축이음부 손상별 원인 및 사례 분석

신축이음부의 균열 및 파손, 패임발생 등으로 인하여 정상적인 수축·팽창이 작동하지 않으며, 지속적인 윤하중의 작용으로 신축이음부의 파손 및 탈락 부위확대로 인하여 그림 3과 같이 지하차도와 같은 시설물의 파손이 우려되며, 이러한 일반적인 파손 형태를 통하여 손상부위별 원인을 분석할 수가 있다.



그림 3. 파손사례별 사진

신축이음장치의 미설치로 인하여 허용신율에 대한 작용의 미비로 인한 신축이음부 균열현상과 지속적인 윤하중에 의한 충격하중이 신축이음부에 작용하여 패임, 파손, 탈락현상 등이 발생하고있고, 신축이음부가 파손되어 기능마비의 상태로 시설물의 안전성 확보를 위해 긴급한 보수가 있어야 한다고 판단된다. 신축이음부의 파손, 패임 및 균열로 정상적인 수축·팽창이 작용하지 않고 신축이음부의 파손, 탈락부위는 지속적인 윤하중의 작용으로 인하여 구조물 슬래브의 국부적인 파손이 진행성으로 계속적으로 발생할 것이며, 신축이음부 파손으로 인한 충격음 및 충격하중이 주변 건물에 전달될 수 있음을 판단할 수 있다.

3. 지하차도의 신축이음 해결방안

3.1 신축이음의 요건

지하차도 U-Type구간과 BOX-Type 구간의 콘크리트 구체연결부에 탄성봉합재(그림 4. 참조)를 이용한 아스팔트 포장 조인트의 연속화는 차량의 주행성을 개선하여 운전자의 쾌속성을 확보하고 나아가 누수를 방지할 수 있는 방수성과 지하수위 상승으로 인한 지하 용출수 및 아스콘의 침투수를 처리할 수 있는 배수성을 확보하여야 한다.

탄성봉합재의 시공 및 재료에 대한 사양은 ASTM (American Society for Testing and Materials)에서 제시하고 있는 ASTM D 6297(Standard Specification for Asphaltic Plug Joint for Bridges)과 ASTM D 6690(Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot-Applied, For Concrete and Asphalt Pavements)에 근거하여 만들어진 제품으로서 최대신축량 30mm에 적용이 가능하며 지하차도 신축이음, 교량 종방향JOINT, BOX암거, 캔틸레버 확장구간 접속부 등에 적용이 가능하다. 봉합재는 연화점이 높아 고온에서도 변형되지 않을 뿐만 아니라 부차강도와 부착신율이 현저하게 크다. 그림 4에서와 같이 탄성봉합재는 특히 저온에서의 균열발생이 현저하게 감소하는 것으로 나타난다.



그림 4. 탄성봉합재 설치 후 전경사진

3.2 신축이음부의 배수 및 보강판 문제해결
포장층에서 발생한 균열이나 다짐 불량 등으로 인

하여 공극이 발생하고 이 부분으로 우수가 침투하면 지하차도의 특성상 종·횡단 기울기가 형성되어 침투수는 기초콘크리트 슬래브를 타고 흘러내려가 신축이음부에 다다른다. 탄성봉합재의 신축이음부는 완벽한 방수실현이 가능하므로 침투수가 더 이상 갈 곳이 없어지며 이로인하여 신축이음부에 저장된 물은 아스콘 표층으로 올라오게되고 습기를 머금고 있는 아스콘 포장은 골재와 골재사이의 결집력을 약하게 만들어지게 하여 결국에는 포트홀 등의 파손으로 진행하게 된다. 겨울철에는 동결융해작용 및 결로발생으로 인하여 도로파손의 원인이 유공배수관(Drain Pipe)미설치로 인하여 배수로 미확보가 문제가 될 수 있다. 또한 그림 5 우측에서 보는바와 같이 단차가 심한 경우에는 보강판으로 사용하고 있는 강판위로 차량의 충격하중으로 인하여 철판의 수직부위로 진행성 균열이 발생하여 도로봉합재에 관통성 균열을 야기하기도 한다. 따라서 보강판 재료의 선정 및 적절한 배수로 확보가 신축이음부에서는 중요한 요소로 작용하고 있으므로 설계 및 시공시 이를 적절히 배려한 설계가 필요한 실정이다.

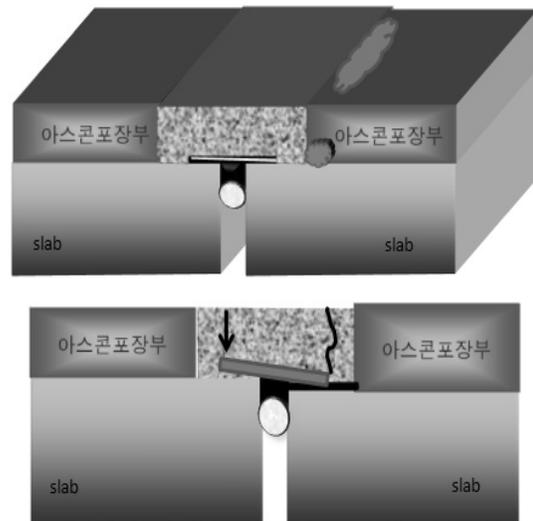


그림 5. 유도배수 및 지지부재에 의한 신축이음 문제

기초콘크리트 슬래브와 슬래브 사이는 온도변화에 의한 이격거리를 둔다. 이때 지지부재(강판)은 골재 포설시 공간사이로 골재가 들어가 채워지는 것을 막아주는 기능을 하지만 콘크리트 슬래브 표면은 매끄럽지 못하고 차량주행시 강판에 가해지는 충격력으로 인하여 시소작용의 원인이 되며, 지반의 부등침하시 지점부의 반력 등으로 인하여 단차가 발생하는 구간에는 강성을 가진 지지부재인 강판을 설치된 구간에서는 하중을 받는 반대쪽이 상하 반복작용을 하게 되어 신축이음부에 수직균열을 발생하게 된다(그림 6 참조). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 강판 대신 유리섬유보강판을 사용하여 차량주행에 따른 충격력을 흡수 및 감쇄효과를 노리며, 지점부의 반력으로부터는 지점반력을 최소화하여 전체 구조계의 안정성을 높이하고자 한다. 이러한 강판을 대체할 수 있는 재료로는 유리섬유보강판(Glass Fiber Reinforced Plate)을 제시하고자 하며, 시장성은 향후 점진적으로 확대 적용될 것으로 판단된다.



그림 6. 강성을 가진 지지부재 사용시 균열 발생

3.3 신소재인 유리섬유 보강판의 적용

그림 7은 격자형태의 유리섬유 보강판으로서 특허 제10-1157063(2012.6.11)로 등록된 제품으로서 특허명은 “도로구조물의 신축이음구조 및 이의 시공방법”으로 구성이 되어있다.

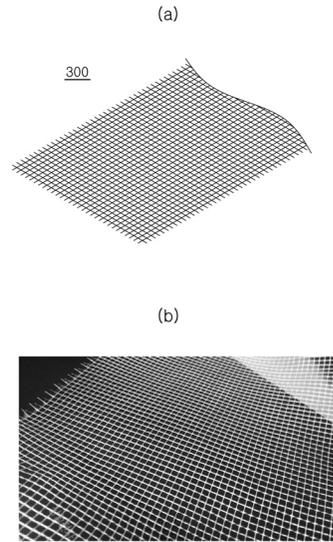


그림 7. 유리섬유 보강판

제품의 형상은 구조적 격자형태를 띄며, 하중에 대하여 분산 및 복원 등의 능력이 우수한 물적성질을 갖춘 유연한 성질로 구성되어 있으며, 외국에서는 도로포장부에서도 일부 사용하고 있는 실정이다. 그림 8은 유리섬유에 대한 class 별 속성을 나타내고 있다.

	A GLASS	C GLASS	D GLASS	E GLASS	ECRGLAS®	AR GLASS	R GLASS	S2 GLASS®
Durability (% weight loss)								
CHEMICAL PROPERTIES								
H ₂ O, 24 hr	1.8	1.1	0.7	0.7	0.6	0.7	0.4	0.5
168 hr	4.7	2.9	5.7	0.9	0.7	1.4	0.6	0.7
10% HCl, 24 hr	1.4	4.1	21.6	42	5.4	2.5	9.5	3.8
168 hr	7.5	21.8	43	7.7	3.0	10.2	5.1	
10% H ₂ SO ₄ , 24 hr	0.4	2.2	18.6	39	6.2	1.3	9.9	4.1
168 hr	2.3	4.9	19.5	42	10.4	5.4	10.9	5.7
10% Na ₂ CO ₃ , 24 hr		24	13.6	2.1		1.3	3.0	2.0
168 hr		31	36.3	2.1		1.8	1.5	2.1
ELECTRICAL PROPERTIES								
Dielectric Constant 1MHz	6.2	6.9	3.8	6.6	6.9	8.1	6.4	5.3
10 GHz			4.0	6.1	7.0			5.2
Dissipation Factor 1MHz		0.0085	0.0005	0.0025	0.0028		0.0034	0.0020
10 GHz			0.0026	0.0038	0.0031		0.0051	0.0068
Volume Resistivity (ohm-cm)	1.0E+10			4.02E+14	3.84E+14		2.03E+14	9.05E+12
Surface Resistivity (ohms)				4.20E+15	1.16E+16		6.74E+13	8.86E+12
Dielectric Strength (volts/mil)				262	250		274	330
THERMAL PROPERTIES								
Specific Heat J/g°C (BTU/lb°F)								
23°C	0.796 (0.190)	0.787 (0.188)	0.733 (0.176)	0.810 (0.193)			0.732	0.737 (0.176)
200°C		0.900 (0.215)		1.03 (0.247)	0.97 (0.232)		0.938	
Thermal Expansion								
Coefficient (x 10 ⁻⁷)	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)	°C (°F)
-30°C to 250°C	73 (41)	63 (35)	25 (14)	54 (30)	59 (33)	65 (36)	33 (18)	16 (8.9)

그림 8. Properties of Glass Fibers

유리섬유를 활용하여 격자형태로 만들어서 이를 지하차도 신축이음 지지부재로 사용할 경우 콘크리트 바닥의 요철부위나 단차부위에 밀착이 가능하며,

콘크리트와 반응성도 띄어나고, 차량의 반복하중으로 인한 신축이음부위의 균열발생을 최대한 제어를 할 수 있다. 녹는점이 1,300℃~1,500℃ 내외로서 지하차도 등의 도로 포장층 등의 현장에서 사용시의 가열온도는 약 210℃ 정도 내외의 열을 사용함으로써 열적 팽창성 및 안정성 확보도 가능한 실정이다. 또한 흡수성과 흡습성이 없어 습기를 내포하고 있지 않아 부식되지 않으며, 격자(Grid)형태를 띠고 있어 인장강도가 뛰어나다 신축이음 유지보수 시 유지보수성이 좋다. 일반적으로 콘크리트는 규산질성분의 미분말상태로 있을 경우에는 용출된 규산이온이 콘크리트 중의 모세관 공극을 통해 침투 확산하고 모세관 공극중에 있는 수산화칼슘으로부터 용출된 칼슘이온과 화학적으로 반응하여 불용성의 규산칼슘 수화물을 생성하고 모세관 공극을 충전시킨다고 보고 있기 때문에 유리섬유보강판의 효과가 우수하다고 판단되나 화학적 결합 및 장기적인 거동에 따른 내구성에 대한 부분은 좀 더 많은 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 결론

지하차도 주행면의 포장 신축이음은 운전자의 안전과 직결되는 만큼 하자원인을 분석하여 해결해야 한다. 이를 위해서는,

우선 먼저 포장층 내부로 유입된 침투수와 지하수위 상승으로 인하여 발생한 지하용출수를 적절히 해결해야 한다. 이를 위해서는 유공배수관(Drain Pipe)의 시공 및 강재를 사용한 보강판 사용보다는 유리섬유보강판의 사용을 통하여 균열 및 도로파손 등의 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

신축이음부 파손의 원인은 차량주행으로 인하여 발생하지만 구조체의 단차 및 침투수의 영향에 대한 고려가 현재까지는 전혀 이루어지고 있지 않기 때문에 교량 또는 지하차도의 신축이음부에 유공배수관

의 설치를 통한 적절한 배수기능의 유지 및 신소재인 유리섬유판을 통하여 충격하중 등에 대한 성능을 개선하였다.

참고문헌

1. 한국도로공사(2002년), “도로설계요령”
2. 국토해양부(2008년), “국도건설공사 설계실무요령”
3. 한국토지주택공사(2009), “단지조성공사 설계 및 적산기준”
4. 대한토목학회(2004), “철도설계기준-노반편”
5. 지하철 설계기준(2008), “서울 지하철 9공구 설계기준”
6. 서울시(2010), “시설물설계, 시공 및 유지관리 지침”
7. 건설교통부(2004), “공동구 내진설계 기준”
8. ASTM D 6297(2007), “Standard Specification for Asphaltic Plug Joint for Bridges”
9. ASTM D 6690(2007), “Standard Specification for Joint and Crack Sealants, Hot-Applied, For Concrete and Asphalt Pavements”
10. 특허등록 제10-1157063(2012.6.11), “도로구조물의 신축이음구조 및 이의 시공방법”
11. 한국화이버(2010), “Properties of Glass Fibers”