

비노출 방수층의 윤하중 시험 및 평가방법 개발에 관한 실험적 연구

A Study on the Development of the Wheel Tracking Test and Evaluation Method on Blind Type of Waterproofing Layer

송 제 영* **엄 덕 준**** **곽 규 성***** **오 상 근******
 Song, Je-Young Eom, Deok-Jun Kwak, Kyu-Sung Oh, Sang-Keun

Abstract

There are a lot of problem about waterproofing membrane coating for concrete deck of bridge and waterproofing sheets for concrete of deck of bridge because it couldn't confirm waterproofing's defeat after construction.

These problems make a waterproofing material damage and concrete deck of bridge damage. So It needs a lot of money for repair work and reinforcement work.

Therefor the structure slab of using waterproofing material protect invasion of water. Also, Concrete deck of bridge need a endurance permeability for the reduction repair payment. In this study, An experimental study on the quality standardization test method waterproofing layer on working of live load

키워드 : 윤하중, 이동하중, 교면, 내구성, 방수재

Keywords : wheel tracking, live load, concrete deck of bridge, durability, waterproofing material

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

이동하중에 의해 교면부에 적용되는 방수재는 포장으로부터 방수재에 침투되는 물과 염화물 등에 의한 바닥판 콘크리트의 열화 및 철근의 부식을 방지하기 위해 사용된다.

주차장 및 모든 이동하중이 적용되는 곳의 방수재는 건축 및 기타분야와는 달리 주행차량 등에 의한 반복하중, 진동, 충격, 전단 등의 역학적 작용과 온도변화에 의한 수축팽창 등이 복잡하게 반복되는 바닥판에 사용되므로 이들에 대한 적절한 적용성이 요구된다.

그러나 우리나라 교량에 사용되어온 교면 방수재는 사용의 간편함과 경제성을 이유로 침투식 방수재에 의존해 왔다. 또한 최근 고품질의 장대교량이 많이 건설되면서 기존에 사용해오던 침투식 방수재는 고강도 콘크리트에 충분히 침투되지 않고 균열발생시 제거능을 다하지 못하여 일시적인 방수기능 뿐인 단점이 드러나 시트식이나 도막식 방수재의 사용이 점차 증가하고 있다.

그러나 시트식 및 도막식 방수재는 시공 후 성능검증이 곤란하고 기준에 부적합한 자재가 사용되거나 불량시공을 하여

도 결과확인이 어려워 아직까지는 많은 문제점을 안고 있다. 이러한 문제들로 인해 최근 들어 방수재의 조기손상뿐만 아니라 교면 포장의 조기 파손 사례가 많이 발생하여 보수노강 대책에 많은 노력과 비용이 투입되고 있는 실정이다.

이에 물의 침입에 대한 구조체 바닥의 내구 수명 확보, 교량용 방수재의 장기 내구 성능 강화를 통한 유지관리의 보수비용 절감 등을 목적으로 이동하중이 적용되는 방수재의 안전성 평가를 위한 성능평가 시험방법과 품질기준에 대하여 연구하고자 한다.

1.2 연구의 범위

본 연구에서는 이동하중이 적용되는 방수재의 특성에 따라 방수재가 내마모 성능 및 구조체 보호 목적의 방수 성능 등 안전성을 필수적으로 확보해야 할 필요가 있으므로 본 연구는 다음의 그림 1과 같다.

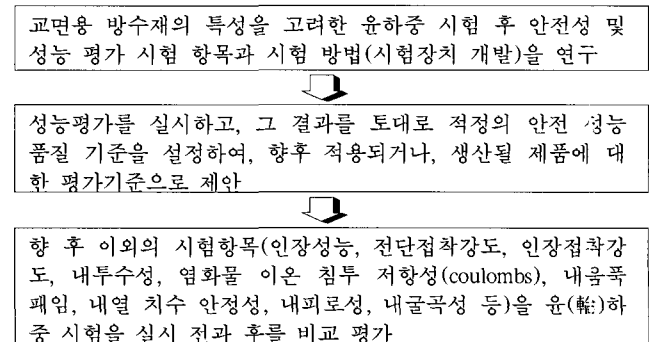


그림 1. 연구의 범위

* 서울산업대학교 산업대학원 석사과정, 정희원

** 리폼시스템 연구원, 정희원

*** BK방수기술연구소 소장, 정희원

**** 서울산업대학교 건축공학부 교수, 공학박사, 정희원

2. 이동하중이 적용되는 방수재의 종류 및 특성

이동하중에 적용되는 방수재는 크게 노출과 비노출로 나누어진다. 노출이란 바닥 콘크리트 위에 방수층이 올라가며 방수층 위로 차량, 보행자 등의 이동하중을 받는다. 비노출이란 노출의 반대 개념으로 바닥 콘크리트 위에 방수층 다시 방수층 위에 보호층(예: 콘크리트)이 올라간다.

2.1 노출용 방수재의 종류 및 특성

주차장 기준층의 경우 에폭시수지계, 우레탄수지계, 수지 모르타르계가 사용되며, 주차장의 경우 경제의 급격한 발전과 자동차 보유대수의 증가로 그 수요가 급증하고 있다. 그러나 최근 주차장의 바닥 들뜸, 균열, 누수, 먼지, 주행소음 등으로 인해 민원 사례가 급증하고 있는 실정이다.

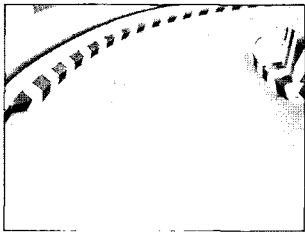


사진 1. 코너부의 마모

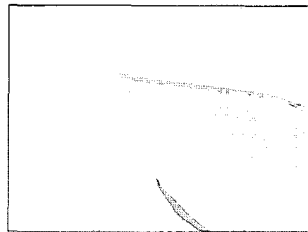


사진 2. 바닥재의 균열 및 파손

2.1.1 에폭시 수지계 바닥재

고분자 화합물을 이용하여 강인한 도막을 형성한다. 하지만 내후성이 약해 외부의 적용에는 제한적이다.

2.1.2 우레탄 수지계 바닥재

우레탄 결합을 가진 고분자물질로 내후성과 내구성, 내충격성이 뛰어나며 탄성체로 소지의 영향을 받지 않아 균열이나 진동에 강하다.

2.1.3 수지모르타르계 바닥재

사용이 간편한 1액형 도료로서 가격이 저렴하고 사용하기 쉬우나 내마모성이 요구되어지는 바닥에는 적합하지 못해 그 사용이 많이 제한된다.

2.2 비노출용 방수재의 종류 및 특성

주차장에 적용되는 비노출용 방수재가 사용되는 곳은 주로 차량의 주행이 많은 주차장 및 교면이 된다. 주차장 및 교면에 적용되는 비노출용 방수재는 크게 침투식, 시트식, 도막식 및 복합식으로 나누어진다.

2.2.1 시트식 방수재의 특성

시트식 방수재는 부직포 또는 직포에 합성고무나 수지, 플라스틱, 아스팔트 등을 주원료로 해서 적층 성형한 두께 1.5~4.0mm, 폭 1m 정도의 시트에 광물질 분말을 도포하여 롤 상으로 감은 형태이다. 일반적인 시공법은 접착제나 토치(Torch)를 사용하여 모체에 부착시켜 방수층을 형성한다.

2.2.2 도막식 방수재의 특성

우리나라에서는 고무아스팔트 및 클로로프렌 고무가 주류를 이루고 있으며, 방수층의 두께는 0.3~2.5mm 정도이다.

구성성분에 따라 크게 3가지로 구분되는데, 합성고무계는 우레탄, 아크릴, 클로로프렌고무로 상온식과 가열식이 있다. 고무아스팔트계는 주로 가열식이고, 수지계는 반응형으로 1액형과 2액형이 있다.

3. 사용재료 및 시험조건

본 시험의 사용 재료로써, 시험판은 300×300×50mm의 모르타르 시험판을 사용하였고, 시험체는 현재 교면용으로 많이 사용되어지고 있는 고무 아스팔트계 도막, 우레탄 고무계 도막 방수재 및 개량 아스팔트 시트 방수재를 사용하였다.

3.1 사용재료

3.1.1 시험판

보통포틀랜드 시멘트, 주문진산 표준사(국내산)

3.1.2 방수재

고무아스팔트, 우레탄고무계, 개량아스팔트시트

3.2 성능 평가 조건

교면용 방수재의 성능항목별 시험조건은 다음 표 1과 같다.

표 1. 성능평가 조건

시험항목	조 건
윤하중 저항성능	실제 자동차 바퀴를 이용하여 방수층의 마찰 및 파단등의 종합적 손상을 약 300kg의 수직하중으로 직선, 곡선 윤하중 시험기 모두 1만회씩 총 6만회 회전한 시험체에 대해 길이변화 및 두께변화를 평가 분석하였다.
인장성능	윤하중 시험이 완료된 시험체에 대하여 (KS F 4932 교면용 도막방수재)의 시험기준으로 인장성능 시험을 하였다.

4. 시험방법 및 기기

4.1 윤하중 저항성능

교면용 방수재의 실증적 시험방법으로 그림 2, 그림 3의 윤하중 시험기 개요도와 같이 실제의 자동차 바퀴를 이용하여 측정하는 시험방법을 적용하고자 한다.

특히, 시험시 타이어의 수직하중은 300kgf로 정하였는데 이는 일반 소형승용차 총중량이 약 1,200kg으로 1개의 바퀴에 약 300kgf의 수직하중이 작용하는 것을 고려하였다. 또한, 타이어 총 회전수는 건설공사의 종류별 하자담보책임기간(제30조 관련)에서 전문공사 중 방수는 3년에 해당되므로 내구년수를 고려하여 6만회)로 정하여 시험하였다. 시험결과의 분석은 실제

1) 타이어 총 회전수 산정근거:

$$1일 차량 이용대수 \times 0.3(부하율) \times 30(일) \times 12(월)$$

$$= \text{년간 타이어 주행횟수}$$

$$(예시) 200대 \times 0.3 \times 30일 \times 12월 = 21,600대$$

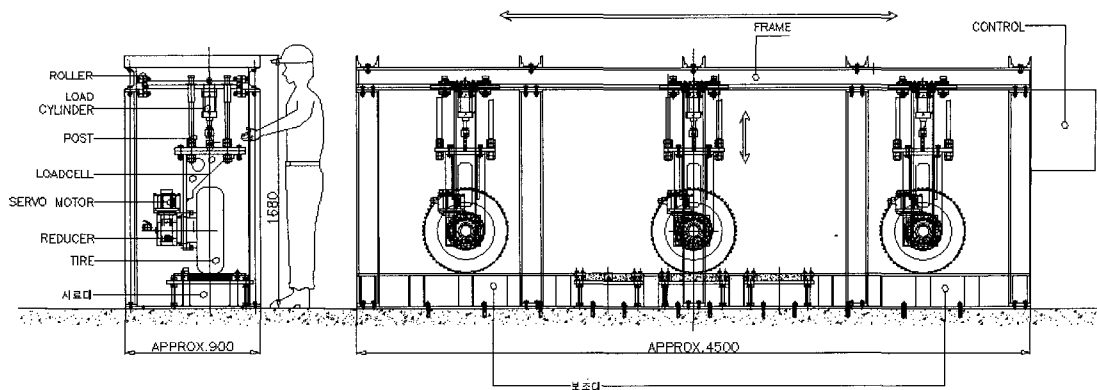


그림 2. 직선 운하중 시험기 개요도

자동차 바퀴에 작용하는 하중 및 마찰로 인해 교면용 방수재 등의 길이 및 두께 변화를 관찰한다.

- ② 회전반경 : 1.1m(지름: 2.2m)
- ③ 타이어 공기압 : 30psi
- ④ 타이어 상태 : 175/70/R13 (소형 승용차 기준)

4.1.1 시험기기

1) 직선 운하중 시험기 개요도

직선 운하중 시험기의 바퀴축의 하중 및 바퀴의 속도는 곡선 운하중 시험기와 같은 원리이다. 다만 직선 운하중 시험기는 차량의 직선 주행을 대상으로 시험하며 바퀴가 왕복운동을 하는 원리로서 직선 주행 부분의 방수재의 성능을 시험한다.

- ① 주행부 수직하중 : 300kgf
(산출근거 ; 일반 소형 승용차 총 중량이 1,200kg으로 1개의 바퀴에서 약 300kgf의 수직하중이 부여된다)
- ② 주행부 길이 : 4.5m(주행부 폭: 0.46m)
- ③ 타이어 공기압 : 30psi
- ④ 타이어 상태 : 175/70/R13 (소형 승용차 기준)

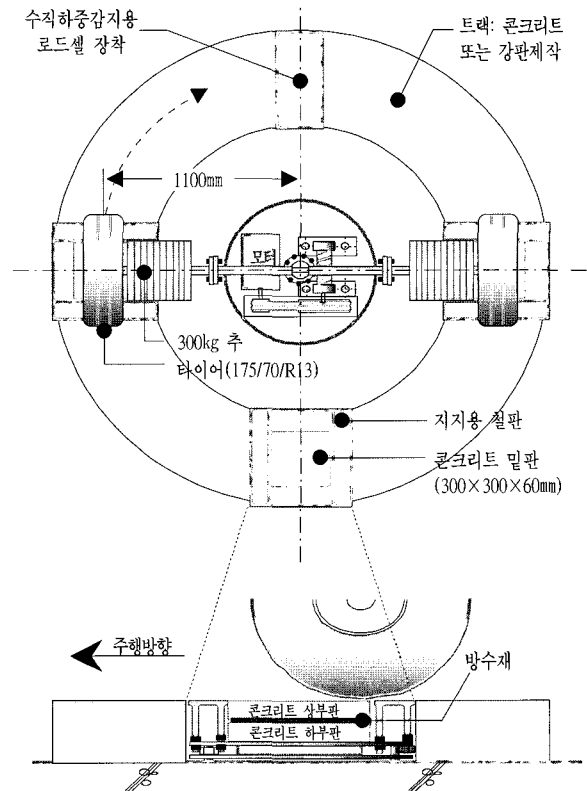


그림 3. 곡선 운하중 시험기 개요도

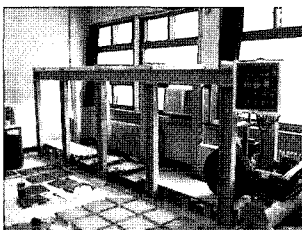


사진 3. 직선운하중시험장치

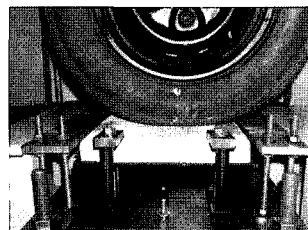


사진 4. 높이 조절용 볼트설치

2) 곡선 운하중 시험기

곡선 운하중 시험기는 차량의 주행 도중에 발생할 수 있는 도로의 코너부위를 주행할 때를 대상으로 제작된 시험기이며 바퀴축에 최대 300kg 정도의 추가 적재된 후 1~5km/h 정도로 바퀴의 속도를 조절할 수 있어야 하며, 설정 회전수에 따라 자동으로 작동 및 정지되며, 시험체에 전달되는 수직하중을 자동으로 감지할 수 있도록 주행로에 로드셀을 설치한 것이어야 한다.

- ① 주행부 수직하중 : 300kgf (단, 원심력은 고려하지 않음)
(산출근거 ; 일반 소형 승용차 총 중량이 1,200kg으로 1개의 바퀴에서 약 300kgf의 수직하중이 부여된다)

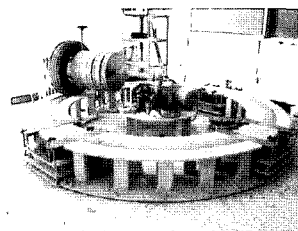


사진 5. 곡선운하중시험장치

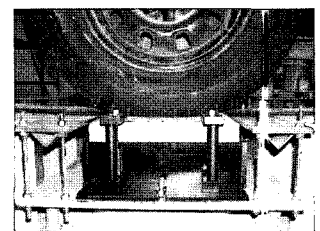


사진 6. 높이 조절용 볼트설치

3) 만능인장성능 시험기(U.T.M)



사진 7. U.T.M 만능인장시험기

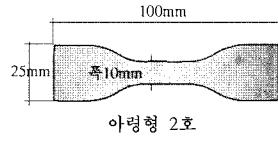


사진 8. 인장시험용 시험체

인장성능 시험은 「KS F 4932 교면용 도막 방수재」에 의거하여 시험하였으며 인장성능 시험에 사용된 방수재료는 고무아스팔트계 1액형(도막식) 방수재를 사용하였으며, 운하중 시험 전·후의 방수재를 각각 무처리, 알칼리 처리(168시간 침지), 가열처리(168시간 가열) 시험편 5개 중 3개의 값을 선정하여 평균한 값을 사용하였다.

$$\Delta T_B = \frac{T_B - T'_B}{T_B} \times 100(\%)$$

여기에서, ΔT_B : 방수재의 인장강도 변형률(%)
 T_B : 운하중 시험 전 인장강도(N)
 T'_B : 운하중 시험 후 인장강도(N)

그림 4. 인장강도 변형률 공식

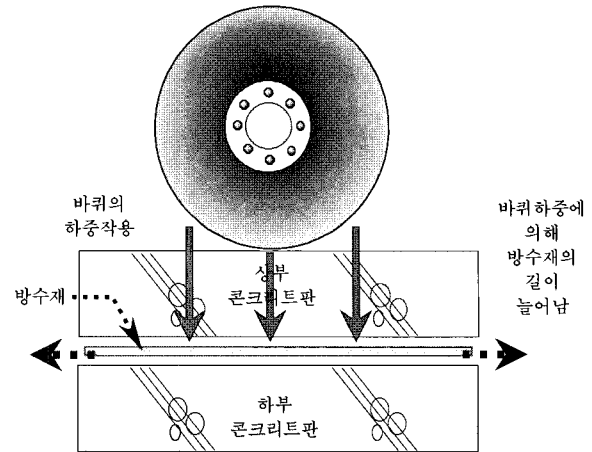


그림 5. 바퀴하중에 의한 방수재 변형 모식도

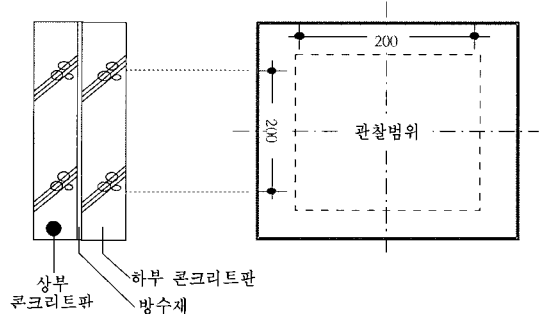


그림 6. 판정 및 관찰범위

4.1.2 시험편의 제작

- 1) 시험체의 크기는 300×300×50mm의 상부판, 하부판 각각의 시험편을 1set로 콘크리트 시험체를 제작하며, 압축강도는 최소 210kgf/cm² 이상으로 한다.
- 2) 시료의 시험편을 하부판 시험체 위에 평행하도록 놓고 다시 그 위에 상부판 시험체를 평행하게 올려 놓는다. 두 시험체 사이의 방수재가 일체가 되도록 체결한다. 서로 평행상태를 유지할 수 있도록 한다.
- 3) 시료의 두께는 관련시방에서 따라 충분한 두께를 유지하고, 별도의 규정이 없는 경우 3mm정도를 유지한다.
- 4) 시험편은 매끈하고, 심한 요철(凹凸)이 없도록 시료를 도포 한다.

4.1.3 시험방법

- 1) 시험 주행속도는 5km/h(회전시 평균 속도)를 유지한다.
- 2) 총 주행(회전수)은 6만회를 시험하되, 각 1만회 종료 후 육안관찰로 방수재의 표면상태 즉, 균열, 마모, 박리 등 현저하게 변형된 부분은 기록한 후 표면의 상태를 확인할 수 있도록 사진 촬영한다.
- 3) 직선 및 곡선 운하중 각각 3개의 시험체 모두 표면의 균열, 마모 또는 박리현상 등이 있는지 관찰한다.
- 4) 관찰 부분은 방수재가 도포된 부분 중 바퀴가 지나간 지점의 중심으로부터 사방으로 100mm까지로, 그림 6과 같이 총 200×200mm의 면적만을 대상으로 한다.

5. 시험 결과

5.1 운하중 저항성능 결과

운하중 시험 전에 그림 7과 같이 방수재의 상, 하, 좌, 우 각각 3곳의 방수재 두께와 가로 및 세로로 방수재의 길이를 각각 3곳을 측정하여 평균을 구하며 운하중 시험 후에 길이 및 두께 변화를 같은 곳에서 다시 측정한다. 1만회 운하중 시험을 실시한 결과 고무아스팔트계, 우레탄 고무계 도막 방수재 및 개량아스팔트 시트 방수재에서 각각의 길이 및 두께의 변화를 관찰할 수 있었으며 도막 및 시트 방수재의 표면 변화를 관찰할 수 있었다. 그 결과는 표 2~9와 같다.

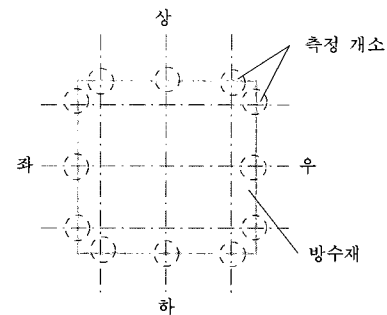


그림 7. 방수재 길이 및 두께 측정 위치

5.1.1 방수재의 두께, 길이변화 및 인장성능 결과

1) 직선, 곡선 윤하중 시험 후 방수재의 도막두께 변형 분석

표 2. 윤하중 시험 후 방수재의 두께 변형 분석

구 분	1만회	2만회	3만회	4만회	5만회	6만회	비고
시험 전·후 두께 차(mm)	-0.01	-0.03	-0.02	-0.09	-0.10	-0.10	직선
	-0.02	-0.04	-0.02	-0.07	-0.05	-0.09	곡선
두께 변형률(%)	0.78	2.46	1.82	7.38	6.29	7.09	직선
	1.47	3.70	1.56	6.93	4.95	6.35	곡선

※ 여기서 (-)는 두께 감소를 의미 한다.

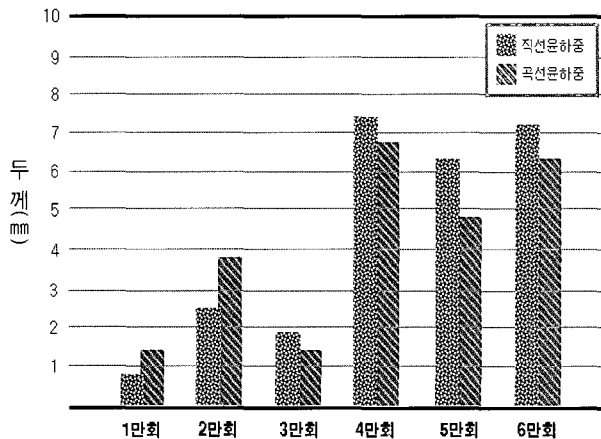


그림 8. 방수재의 두께변형률

2) 직선, 곡선 윤하중 시험 후 방수재의 길이변형 분석

표 3. 윤하중 시험 후 방수재의 길이변화 분석

구 분	1만회	2만회	3만회	4만회	5만회	6만회	비고
시험 전·후 길이 차(mm)	0.05	0.04	0.08	0.18	0.43	0.39	직선
	0.02	0.01	0.03	0.06	0.15	0.14	곡선
길이 변형률(%)	0.07	0.11	0.06	0.09	0.19	0.38	직선
	0.02	0.04	0.02	0.03	0.07	0.13	곡선

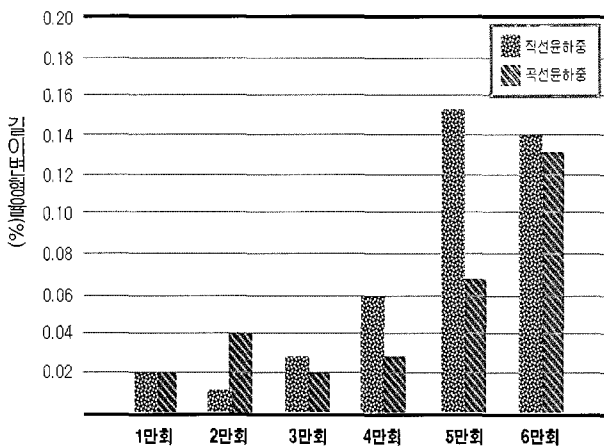


그림 9. 방수재의 길이변형률

3) 직선, 곡선 윤하중 시험 후 방수재의 인장강도 분석

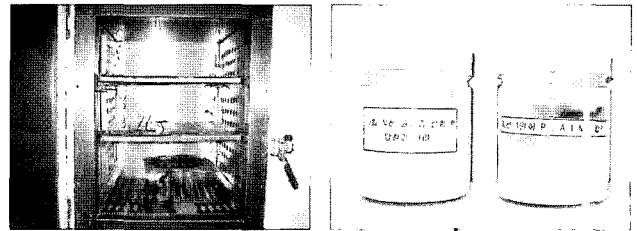


사진 9. 시험체 가열처리

사진 10. 시험체 알칼리 처리

표 4. 직선 윤하중 시험 후 인장성능(무처리) 분석

구 분	인장강도차 (N/mm ²)	신장률차 (%)	인장강도 변형률(%)	신장 변형률(%)
1만회	-0.15	26.01	-4.14	3.50
2만회	-0.06	14.12	-1.76	2.00
3만회	-0.04	-20.60	-0.64	-2.47
4만회	-0.03	-18.92	-0.76	-2.49
5만회	-0.52	-19.68	-12.62	-2.53
6만회	-0.42	-40.55	-9.84	-5.22

※ 여기서 (-)는 감소를 의미 한다.

표 5. 직선 윤하중 시험 후 인장성능(알칼리처리) 분석

구 분	인장강도차 (N/mm ²)	신장률차 (%)	인장강도 변형률(%)	신장 변형률(%)
1만회	-0.09	-7.15	-2.62	-1.01
2만회	-0.28	-172.40	-8.62	-21.27
3만회	-0.36	-35.41	-6.04	-4.47
4만회	-0.07	-2.84	-1.79	-0.33
5만회	-0.46	-56.78	-12.01	-7.73
6만회	-0.16	-19.81	-4.21	-2.71

표 6. 직선 윤하중 시험 후 인장성능(가열처리) 분석

구 분	인장강도차 (N/mm ²)	신장률차 (%)	인장강도 변형률(%)	신장 변형률(%)
1만회	-0.65	-217.29	-21.67	-28.64
2만회	-0.07	-34.38	-2.82	-6.67
3만회	-0.61	-15.10	-12.84	-1.77
4만회	0.34	98.33	12.01	11.15
5만회	0.79	107.99	32.78	16.12
6만회	0.92	101.95	41.07	15.25

표 7. 곡선 윤하중 시험 후 인장성능(무처리) 분석

구 분	인장강도차 (N/mm ²)	신장률차 (%)	인장강도 변형률(%)	신장 변형률(%)
1만회	-0.16	-34.44	-4.32	-4.72
2만회	-0.21	-6.22	-3.13	-0.77
3만회	-0.13	20.88	-3.49	2.91
4만회	-0.15	-82.98	-2.30	-9.28
5만회	-0.27	-11.33	-7.07	-1.63
6만회	-0.82	-32.40	-14.41	-0.55

표 8. 곡선 윤하중 시험 후 인장성능(알칼리처리) 분석

구 분	인장강도차 (N/mm ²)	신장률차 (%)	인장강도 변형률(%)	신장 변형률(%)
1만회	-0.09	12.77	-2.85	1.96
2만회	-0.05	-5.67	-0.83	-0.72
3만회	-0.24	-102.23	-6.86	-13.24
4만회	-0.37	-34.08	-5.72	-4.23
5만회	-1.11	-55.53	-31.90	-7.91
6만회	-0.19	-20.31	-3.78	-2.63

표 9. 곡선 윤하중 시험 후 인장성능(가열처리) 분석

구 분	인장강도차 (N/mm ²)	신장률차 (%)	인장강도 변형률(%)	신장 변형률(%)
1만회	-0.30	-5.86	-12.00	-0.84
2만회	-0.42	-24.51	-7.68	-2.61
3만회	-0.59	-33.31	-19.93	-4.49
4만회	-0.39	-30.59	-7.83	-3.34
5만회	-0.14	-21.22	-5.76	-3.27
6만회	-0.39	-30.20	-9.61	-3.46

5.2 종합분석

5.2.1 직선 윤하중 시험 후

위의 표에서와 같이 두께와 길이의 변형률이 비슷한 경향을 보이지 않는 이유는 방수재의 도막 두께가 두꺼운 부분은 많은 쪽으로 감소하였다. 반면, 얇은 부분은 거의 두께 감소가 없기 때문에 길이의 변형과 상이한 결과가 나타났다.

인장강도의 경우 알칼리 처리 및 가열처리 후의 인장강도 변형률은 어떤 특정한 패턴을 갖고 변형이 생기는 것이 아니라 자유분방하게 변형률을 보이는 이유는 알칼리 처리 및 가열처리가 이동하중이 방수재에 미치는 영향보다 더 큰 영향을 주기 때문에 이동하중에 의한 변형은 열화처리 과정에서 무시되었다고 사료된다.

5.2.2 곡선 윤하중 시험 후

곡선 윤하중 저항성능 시험 또한 직선 윤하중 저항성능 시험과 비슷한 경향을 보였다.

인장성능시험에서 가열처리의 경우 인장강도 변형률이 Plain의 시험편에 비해 Test의 시험편 인장강도의 저하가 크게 나타났는데 이는 앞서 언급한 바와 같이 고무아스팔트계 도막식 방수재가 열에 약하여 이동하중에 의한 변형 보다는 열화처리에 의한 변형이 윤하중 시험 횟수에 상관없이 방수재에 큰 영향을 주기 때문이다.

6. 결 론

본 연구에 따른 시험결과 각각의 재료별 방수재를 윤하중 시험기준에 따른 6만회 시험을 한 후 방수재의 두께, 길이변화 및 인장성능 변화를 측정된 결과 최소한의 이동하중만을 고려하였을 때 방수재의 두께 감소와 길이의 증가를 알 수 있었으며, 방수재의 손상 정도로서 윤하중 시험 후의 인장성능은 윤하중 시험전의 인장성능 보다 저하되는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 개발한 윤하중 저항성능 시험(시험장치)은 주차장에 적용되는 비노출용 방수재의 실증적인 시험방법 및 성능평가 방법으로 적용 가능할 것으로 사료되며, 향후 윤하중 저항성능 시험에 비노출용 방수재의 계열별 특성에 따라 요구되는 성능평가 항목(전단접착강도, 인장접착강도, 내투수성, 염화물 이온 침투 저항성, 내움푹 패임, 내열 치수 안정성, 내피로성, 내굴곡성 등)을 함께 적용된다면 더욱더 실증적인 시험방법이 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 수행한 윤하중 저항성능 시험 방법은 향후 도로의 환경(진동, 전단, 온도변화, 화학적 작용, 이동하중의 증가, 기타요인 등)을 고려한다면 교면용 방수재의 실증적인 시험방법이 될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 교면방수재료 시공에 따른 적용성 연구(Ⅱ), 한국도로공사, 2001
2. 오상근, 콘크리트 구조물 방수 및 누수 보수 기술의 새로운 접근, 한국구조물진단학회지, Vol. 3, No 2
3. 오상근 외, (주) 청우미디어, 건축 방수시스템의 설계와 시공
4. 한국산업규격, 교면용 시트 방수재. KS F 4931, 2002
5. 한국산업규격, 교면용 도막 방수재. KS F 4932, 2002
6. 정성룡 외, 공기압에 따른 타이어의 역학적 특성변화의 고찰, 한국자동차공학회, 1993
7. 정성룡, 휠 얼라인먼트와 타이어 마모 특성 연구, 한국자동차공학회, 1998
8. 이병덕, 교면방수 시스템의 인장접착 성능 개선을 위한 영향인자 분석, 2002