

폴리우레탄을 이용한 자전거도로의 탄성포장재 특성 Characteristic of Elastic Paving Materials in Bicycle Road using Polyurethane

이영세¹
Young-Sei Lee¹

In this study, characteristic of elastic paving materials in bicycle road using polyurethane were studied experimentally. As a results, following their good result was obtained. Bicycle road packaging materials are flexural strength g test, ratio of mass change after freezing and thawing, repulsion elasticity test, water Permeation coefficient test and slip resistance test results showed good performance.

Keywords : Polyurethane, elastics paving , Bicycle road, Binder, Slag ball

1. 서론

자전거도로용 바닥마감 재료와 관련된 분야는 국내 건설시장에서 그린정책에 힘입어 최근 두드러지게 관심을 받는 분야로서 재료의 친환경성, 내구성 및 안전성을 요구하는 기술에 해당한다. 또한, 최근 행정안전부에서는 국가자전거도로 네트워크 구축사업 추진하고 있다. 이러한 국가자전거도로는 처음으로 국가차원에서 전국을 대상으로 체계적으로 추진하는 자전거도로로서, 저탄소녹색성장이념을 구체적으로 실현하여 녹색교통시대의 도약을 위한 디딤돌이 될 것이다.

철강회사에서 생산되는 폐기물중 막대한 제강슬래그를 자전거바닥재로 사용한다면, 고갈되어 가는 천연자원의 부족현상을 해소하고 자연에 미치는 환경영향을 최소화할 수 있다.

현재 대부분의 바닥재는 콘크리트 및 아스콘

바닥재가 적용되고 있으나, 천연골재의 부족현상 등으로 대체재의 수요가 요구되고 있다. 이러한 상황에서 제강 슬래그볼을 사용한 바닥재의 수요가 높아질 것으로 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 자전거도로를 시공할 바닥면에 기층을 형성하고, 기층의 상부에 슬래그볼을 충전물로 사용하고, 폴리올 시스템의 주재료와 이소시아네이트를 포함하는 경화제를 동시에 분사, 발포하여 슬래그볼 혼합층을 형성하며 슬래그볼 혼합층 상부에 강도 및 마찰계수를 갖도록 표면 마감층을 형성하여 자전거통행에 적합하면서 평탄성을 확보하며 강도 작업성을 향상시키고 투수성과 자전거도로의 특성에 적합한 반탄력을 갖는 자전거도로의 포장재를 개발하여 콘크리트, 아스콘 과 휨강도 및 동결융해에 따른 내구성 저하를 확인하기 위해 동결융해 후 휨강도 및 질량변화율을 평가하고, 미끄럼 저항성, 반발 탄성 및 투수계수 등의 성

¹정회원, 경북대학교 나노소재공학부, 교수, 工博
교신저자: E-mail: ysl@knu.ac.kr

¹School of Nano & Material Science and Eng., Kyungpook National University

능을 실험을 통해 비교, 평가하여 그 특성을 연구하였다.

2. 배경

현재 공사 중인 자전거도로 표층재는 자전거라는 교통수단의 특수성에 따른 포장재의 특성에 맞지 않을 뿐더러 타 기능을 위한 용도로 개발된 포장재를 개념 없이 사용하므로 교통수단으로서의 국가 자전거 정책에 부합하지 못할 뿐만 아니라 자전거 이용자로부터 불편함을 초래하고 있는 현실이다. 그 이유로

첫째, 아스팔트 및 시멘트가 물과 반응하여 환경물질을 생성하는 문제로 도로 포장재로 널리 사용되는 아스콘 포장, 시멘트 포장은 차도(고속도로, 일반국도) 포장용으로는 그 기능을 만족한다 할 수 있으나 자전거도로 포장재로서는 그 설치 지역이 하천주변인 하상도로로 형성될 시는 수질보호 라는 환경성 문제를 유발할 수 있는 소지가 있다.

둘째, 도로 표면의 평탄성 문제로 자전거는 자동차에 비하여 바퀴가 상대적으로 작으므로 표면의 작은 돌출부라 하더라도 주행에 불편을 주게 된다. 현재의 아스콘 혹은 시멘트 시설로는 자동차의 경우는 주행감에 큰 지장을 주지 않는다 해도 자전거 주행 시는 쾌적한(Amenities) 주행감을 해치는 결과가 된다.

셋째, 우기 시 도로 표면의 물고임 현상은 도로 표면에 물고임 현상이 생기면 차량의 주행에 어려움이 많은데 자전거의 경우는 두 바퀴로 운행되기에 대단히 어려움을 주게 되는데 현재 설치되는 아스콘 혹은 시멘트 공법 시는 개선된 투수아스콘이나 투수콘크리트라 하더라도 투수력이 미약할뿐더러 물성 상 투수아스콘, 투수시멘트는 또 다른 문제점을 초래 하고 있다.

넷째, 마찰계수(BPN) 문제로 운전자가 도로 주행 시 쾌적한(Amenities) 주행감을 갖기 위해서는 도로 표면의 일정한 마찰계수를 요구하는데 아스콘 혹은 시멘트 공법은 적정한 마찰계수를 유지하기 위해서는 도로 시공 후 또 다른

시공을 하여야 되는 문제가 있다.

다섯째, 유지보수 문제로 형성된 도로는 교통량에 따라 일정한 기간이 경과되면 도로 피로감이 누적되어 시설된 도로 일부를 훼손하여 다른 시설을 (전기, 가스, 상하수도)해야 되는 경우가 생기는데 이때 시설된 일부를 보수할 시 아스콘 또는 시멘트 공법은 적은 면적이라도 제거하거나 재 시설을 위해서는 시공 장비가 동원되어야 하는 문제가 생긴다.

여섯째, 동결과파 문제로 도로는 동절기에 얼었다 녹았다를 반복하게 되면 도로가 파괴되어 기능이 상실되게 된다. 이는 투수 아스콘 및 투수시멘트 공법 시 빈번하게 발생 하게 되는데 시공 물질이 수분을 흡수 하는 소재로서 구성 되어 있기에 발생하는 문제이다.

일곱째, 기층 면과의 부착강도 문제로 일부 지역에서 자전거도로 포장재로서 탄성포장재(고무칩 포장재) 시설 공사를 할 시에 일반적으로 발생하는 현상으로 이 공법에 사용되는 시공소재인 고무칩은 비중이 낮고 열팽창 계수가 크기 때문에 표면에서 소성반응 및 재료분리 현상이 생길뿐더러 교반 시 사용하는 습기 경화형 바인더는 물성 특성상 기층 면인 시멘트 혹은 아스콘과의 부착강도가 약할뿐더러 우기시 물을 머금게 되면 부착력이 현저히 떨어지는 특징이 있어 도로를 훼손하는 문제가 있다.

이러한 자전거 도로의 현재 문제점을 극복하고 자전거 도로 기능인 쾌적성과 내구성, 환경성을 겸비한 우수한 자전거 도로를 시공하기 위해 폴리우레탄을 이용한 자전거도로의 탄성 포장재를 타 포장재와 비교, 검토하여 그 특성을 연구하였다.

3. 실험

3.1 폴리우레탄 배합비

폴리우레탄 합성에 사용한 다이소시아네이트는 BASF사의 작용기가 2.9이고 이소시아네이트 함량이 $31 \pm 0.5\%$ 인 4,4-di-pheny - methane diisocyanate(MDI)를 사용하였다. 폴리올은 (주)KPX의 폴리에스테르 폴리올과 폴리테트라 폴리올을 사용하였다 계면활성제는 Goldschmidt사의 silicon copolymer를 사용하였으며 촉매로는 Air product사의 PC-8 (dimethylcyclohexylamine)

을 사용하였다. 발포제는 화학적 발포제인 증류수와 물리적 발포제를 사용하였다. 그리고 경화제로 사용되는 이소시아네이트는 MDI(Diphenyl methane Diisocyanate) 44~46중량%, Polymeric MDI 39~41중량%, Alkylene oxide 계에 PO를 부가 반응시켜 OH-V값이 50인 폴리올 14~16 중량%로 구성하였다. 폴리우레탄 배합비를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Polyurethane mixing ratio

물질	중량비
Ethylenediamine을 base로 PO (Propylene Oxide)를 부가 반응하여 OH-V값이 550인 폴리올	19~21 중량%
Triethanolamine을 base로 PO를 반응시켜 OH-V값이 360인 폴리올	9~11 중량%
Sorbitol을 base로 PO를 부가 반응시켜 OH-V값이 480인 폴리올	4~6 중량%
Adipic acid에 monoethyleneglycol 과 1,4-but anediol을 ester화 반응시킨 분자량 2000인 폴리올	19~21 중량%
Trimethylene Propanol을 base로 PO를 부가 반응시켜 OH-V값이 600인 폴리올	39~41 중량%
Silicone 정포제	1~3 중량%
Amine Catalyst, Tonor등Additives	1~2 중량%
발포제로 사용된 HCFC-141b	1~3 중량%

3.2 친환경적 소재인 철강 부산물 슬래그 블
 철강슬래그 보수제는 기공의 폐쇄에 의한 보수 성능저하가 거의 일어나지 않는 배합설계라는 것도 큰 특징이다. 실제 도로에 적용 시 가열상태를 모사하기 위하여 60℃ 온수에 침적 양생한 경화제의 흡수시험을 시행한 결과물을 보면 철강슬래그 보수제는 60℃ 온수양생 7일 후에도 흡수량의 저하가 거의 일어나지 않고, 실제 도로 적용 시에도 내구성이 우수한 재료라 사료되어 이용하였다.

3.3 친환경적인 컬러 규사 및 표면 강화를 위한 친환경 코팅제

바닥 포장용 친환경 컬러규사를 제공하여 보다 친환경적이고, 인체에 유익하며 그 색감이 미려한 컬러규사를 이용하여 보도나 자전거도로 등의 표층에 시공되어 외관이 미려하도록 하고, 유해물질을 흡착제거하여 인체에 유익한 바닥 포장재 개발한 제품을 이용하였다.

바닥재의 물리 화학적 성질을 변화시키지 않으면서도 도시 미관을 아름답게 꾸미기 위해 다양한 색상을 표현할 수 있고, 미끄럼방지가 가능하며, 향균, 향곰팡이 작용을 하는 도막형 바닥재용 친환경 컬러 코팅제를 사용하였다.

3.4 시험 범위

시험은 내후성, 휨강도, 동결융해 200 cycle 후 휨강도 및 질량변화율, 제논아크 200 시간 후 휨강도, 반발 탄성, 미끄럼 저항성, 투수계수 및 윤하중시험을 실시하였다.

3.4.1 휨강도시험 결과

(표준양생, 동결융해 200 cycle 및 제논아크 200 시간)

도로 또는 광장의 바닥은 사람, 차량 및 기타 물체에 의해 외부 하중이 지속적으로 작용한다. 이러한 외부 하중은 주로 이동에 의한 하중으로 바닥재는 이에 대응할 수 있는 성능을 갖추고 있어야 한다. 바닥재 관련 휨강도 성능으로 KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록에서는 휨강도를 5.0 MPa(=N/mm²) 이상으로 규정하고 있다. 본 평가에서는 길이와 나비를 동일한 치수로 하여 길이 230±3.5 mm, 나비 114±3.0 mm 및 두께 80±3.0 mm로 하여 표준화하였다. 또한, 3개씩 제작된 공시체를 시험하여 평균값을 계산하였다.

휨 시험은 시료를 24시간 물속에 침수시킨 후 꺼낸 즉시 시험한다. 시료를 그림 1과 같이 놓고 지점 간 거리를 140 mm로 취하여 지점간 중앙에 하중을 가한다.

이때 가압 속도는 파괴 하중의 약 50%까지는 빠른 속도로 작용시킨 다음, 최대 휨 압축 응력의 증가가 매분 9.8 MPa(=N/mm²)을 초과하지 않을 정도로 하중을 가하여 시험기에 나타난 최대 하중 P를 측정하여 다음 식에 따라 휨강도를 계산한다.

$$\text{휨강도 [MPa(=N/mm}^2\text{)]} = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

- P : 시험기가 나타낸 최대 파괴 하중 (N)
- l : 지점 간 거리 (mm)
- b : 지점 간에 직각 방향의 평균 나비 (mm)
- d : 블록의 평균 두께 (mm)

3.4.2 동결융해

바닥재는 눈과 비 등에 의해 물을 흡수하게 된다. 흡수된 물은 동결기 기온변화에 따라 동결융해가 반복되어 균열과 표면의 박리가 발생된다. 동결융해 시험은 KS F 2456 급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법을 준용하여 실시하였으며, 200 cycle의 동결융해 시험 후의 휨강도 및 질량변화율을 측정하여 동결융해 저항성을 판단하였다.

동결융해 1 사이클은 공시체 중심부의 온도를 원칙으로 하며 원칙적으로 4℃에서 -18℃로 떨어지고, 다음에 -18℃에서 4℃로 상승되는 것으로 한다. 각 사이클에서 공시체 중심부의 최고 및 최저 온도는 각각 (4±2)℃ 및 (-18±2)℃의 범위 내에 있어야 하고, 언제라도 공시체의 온도가 -20℃ 이하 또는 6℃ 이상이 되어서는 안된다.

동결융해 1사이클의 소요 시간은 2시간 이상, 4시간 이하로 한다. 시험방법 A에서는 융해 시간을 총 시간의 25% 보다 적게 사용하여서는 안 된다.

동결융해 저항성 시험은 KS F 2456 급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법의 시험방법 A법(수중 급속 동결융해 시험방법)으로 200사이클 후 휨강도 및 질량변화율을 평가하고 있다.

d) 200사이클 후 질량변화율은 다음 식에 의해 산출하였다.

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

- M : 질량변화율 (%)
- W_1 : 동결융해 시험전의 시험체 절건 질량 (g)
- W_2 : 동결융해 시험후의 시험체 절건 질량 (g)

3.4.3 반발탄성

반발 탄성 시험은 KS M 6518 가황 고무 물리 시험 방법으로 시험한다. 반발 탄성율이 극대화되면 충격에 의한 안정성과 활동성을 기대할 수 있다.

시험은 철봉은 4가닥의 실에 의하여 수평으로 매달려 있고, 그 철봉의 한끝은 반구형이고 다른 끝에는 지침을 가진다. 철봉은 길이 약 356mm, 지름 12.7mm, 질량 350g의 둥근봉이다. 철봉의 현수 높이는 2,000mm, 낙하 높이는 수직 방향으로 100mm로 한다. 시험편의 지지장치는 그림 13과 같이 견고하게 고정하고 철봉의 타격에 의하여 진동 등이 생길 우려가 없어야 한다. 눈금판은 수평 길이 25mm, 원호의 반지름 2,000mm로 하고, 그 눈금은 수직 높이 100mm를 100등분한 것이다. 철봉을 자유롭게 현수하였을 때 지침은 눈금 0의 위치에 있고, 철봉 끝이 시험편의 면에 살짝 닿도록 조정하였다.

시험 방법은 철봉의 지침을 눈금판의 눈금 100의 위치에 맞추어서 이 위치에서 철봉을 자유롭게 떨어뜨려 반발할 때의 높이 눈금을 측정한다. 이 조작을 반복하여 4회째 타격시 반발 높이를 읽고, 이 반발 높이의 수치를 반발 탄성 (%)의 평균값으로 나타낸다.

시험 결과의 맺음법 시험 성적은 원칙적으로 3개 시험편의 반발 탄성(%)의 평균값으로 나타내었다.

3.4.4 투수계수

투수 계수란 다공질 재료의 침투성 또는 침수성의 정도로 정해지는 고유 값으로 콘크리트골재 및 아스콘의 입자, 간극비 대소, 포화도 및 침투수에 대한 저항력 등에 의존한다. 일정 단위의 단면적을 단위시간에 통과하는 수량으로 정의된다. 이것은 다공질재료의 물질성질에 의해 결정되는 것이지만 실내에서 실험적으로 이것을 구할 때는 실험 시의 수온에 따라 점성계수가 관련되므로 표준수온을 15℃로 하여 이것을 환산하는 방법을 사용하였다.

시험체의 건조 밀도, 틈새비 및 포화도는 다음 식에 따라 산출하였다.

$$\rho_d = \frac{m}{A \cdot L \left(1 + \frac{w}{100}\right)}$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

$$S_r = \frac{w\rho_s}{e\rho_w}$$

측정시의 수온 T (°C)에서의 투수 계수는 다음 식에 따라 산출하였다.

$$k_r = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A \cdot (t_2 - t_1)}$$

온도 15°C 에서의 투수 계수는 다음 식에 따라 산출하였다.

$$k_{15} = k_r \cdot \frac{\eta_r}{\eta_{15}}$$

3.4.5 습윤시 미끄럼 저항성

미끄럼 저항성 시험은 KS F 2375 노면의 미끄럼 저항성 시험 방법(BPT : British Pendulum Tester 영국식 미끄럼 저항 시험기) 방법으로 시험하였다. 도로공사 표준시방서 1996에서는 미끄럼방지 포장에 한하여 미끄럼 저항시험을 하고 있으며 기준값은 75 BPN 이 상으로 규정되어 있다.

공시체 표면에 완전하게 충분히 물을 적신다. 처음 측정 할 때에는 그 값을 기록하지 않는다.

진자가 노면을 통과한 후 방향이 바뀌어 슬라이더가 공시체 표면에 다시 접촉하기 전에 진자를 손으로 정지시킨다. 진자를 슬라이더 이동 핸들로 시작 위치에 슬라이더를 올리고, 슬라이더와 공시체 표면이 접촉되지 않도록 한다. 측정하기 전에 드래그 포인터가 진자 위에 멈추도록 되돌린다.

공시체 표면을 충분히 습윤하게 하여, 측정값이 거의 일정할 때까지 눈금을 읽어 기록하였다.

4. 실험결과 및 고찰

부착강도는 표준양생후 시험편을 제작한 후 온도 20±3°C, 상대습도 50±5% 조건에서 7일간 양생한 후 KS F 4936 (콘크리트 보호용 도막재)에 따라 실시하며, 온·냉반복후 부착강도는 표준 양생이 완료된 후 시험체를 20±2°C 물속에 18시간 담가 둔 뒤, 즉시 -20±3°C의 항온챔버 속에서 3시간 냉각 시키고, 이어서 50±3°C로 3시간 가열 한다. 이를 1사이클로 하여 10회 반복한 뒤, 20±3°C에서 2시간 정치한 후 부착강도 시험을 실시한다.

내마모성 시험은 KS F 2813 건축재료 및 건축구성 부품의 마모 시험방법(연마지법)에 따라 시험하며, 연마륜은 CS-17, 추의 무게는 1,000g, 회전수는 1,000회로 하여 시험 하였다.

4.1 휨강도 시험 결과

(표준양생, 동결융해 200 cycle 및 제논아크 200 시간) Fig. 1에 휨강도 시험결과를 나타내었다. Table 2는 시험조건별 휨강도 시험 결과이다. 휨강도는 자전거도로 포장재가 보행자 및 자전거 등의 하중이 포장재 표면에 미칠 때 작용하는 휨응력(bending stress)에 대응하기 위하여 파괴거동에 저항할 수 있는 내구성능을 나타내는 지표로서 검토하였다.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 휨강도는 콘크리트, 아스콘 및 POS콘 모두 품질기준 5.0 MPa를 상회하는 결과가 나왔으나, 본 실험 제품의 휨강도는 콘크리트의 1.1배에 해당하는 우수한 휨강도 성능이 나타났다. 또한, 동결융해 200 cycle 후의 휨강도에서는 3가지 시험체 중 유일하게 품질기준 5.0 MPa를 만족하는 결과가 나타나 내구성능을 확인할 수 있었다. 동결융해 후 휨강도 잔류율은 콘크리트 64.5%, 아스콘 32.2%, POS콘 94.1%로 POS콘의 경우 동결융해가 내구성능에 미치는 영향은 극도로 작다고 판단할 수 있다.

Table 2. Flexural strength test result

시험체 종류	휨강도 (MPa)		동결융해 200 cycle 후 (MPa)		제논아크 200 시간 후 (MPa)	
	시료	평균	시료	평균	시료	평균
	콘크리트	7.75	7.55	5.45	4.87	
7.53		5.12				
7.37		4.05				
아스콘	5.29	5.15	1.58	1.66		
	5.20		1.83			
	4.98		1.58			
POS콘	8.28	8.35	7.75	7.86	7.69	7.94
	8.39		7.53		7.93	
	8.39		8.29		8.21	

Table 3. Freezing and thawing test result

시험체 종류	질건무게 (g)	동결융해 후 질건무게(g)	질량변화율 (%)	
			시료	평균
콘크리트	3143.23	3045.07	3.22	3.35
	3184.17	3077.24	3.47	
	3146.51	3044.31	3.36	
아스콘	2640.12	2510.19	5.18	5.12
	2687.11	2552.42	5.28	
	2704.57	2578.27	4.90	
POS콘	3310.40	3259.69	1.56	1.49
	3256.51	3205.69	1.59	
	3227.22	3184.65	1.34	

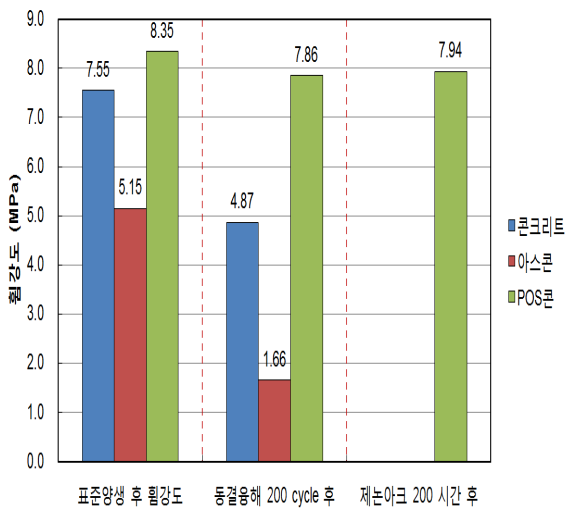


Fig. 1. Flexural strength test result.

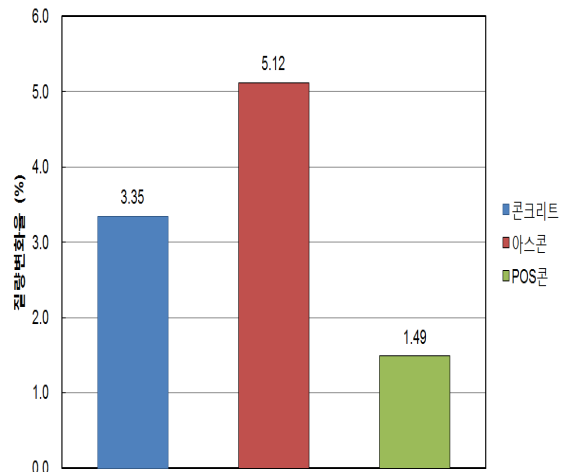


Fig. 2. Ratio of mass change after Freezing and thawing.

4-2. 동결융해

동결융해 200 cycle 후 시험 결과는 Table 3 및 Fig. 2에 나타내었다. 동결융해 시험은 수분에 의한 동결 및 융해 과정을 거치면서 공시체의 체적변화에 따른 물성성능 저하 및 표면박리에 의한 질량변화를 평가하기 위한 시험이다. POS콘의 경우, 동결융해 전후의 휨강도 및 질량변화율은 콘크리트 및 아스콘과 비교해 월등히 우수하다고 판단된다.

4-3. 반발탄성

반발 탄성 시험은 KS M 6518 가항 고무 물리 시험 방법으로 시험하였다. Table 4 및 Fig. 3에 휨반발탄성 시험결과를 나타내었다. 반발 탄성율이 극대화되면 충격에 의한 안정성과 활동성을 기대할 수 있으며 반발 탄성 향상으로 자전거 주행성의 향상을 기대할 수 있다.

Table 4. Repulsion elasticity test result

시험체 종류	반발 탄성 (%)	평균 (%)
콘크리트	7.0	7.3
	8.0	
	7.0	
아스콘	4.5	4.5
	4.0	
	4.0	
POS콘	11.0	10.7
	10.0	
	11.0	

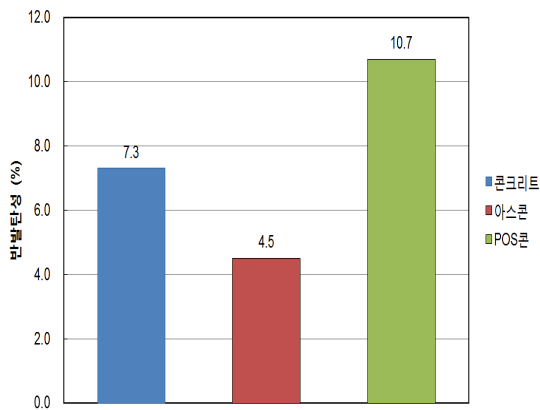


Fig. 3. Repulsion elasticity test result.

4-4. 투수계수

Table 5 및 Fig. 4에 나타난 비교 시험 결과 POS콘의 투수성능은 콘크리트 포장에 비하여 매우 우수함을 알 수 있었으며, 아스콘과 거의 동등한 수준의 뛰어난 투수성을 보였다. POS콘을 적용함으로써 도시의 불투수성 포장은 해체되고 나아가 친환경적인 포장소재를 이용한 도심의 친수화성화는 결국 도시의 투수면적의 확대를 이끌어 도시에 거주하는 시민들에게 환경적 이익을 배분할 것으로 여겨진다.

Table 5. Water Permeation coefficient test results

시험체 종류	투수 계수
콘크리트	7.1×10^{-10}
아스콘	2.5×10^{-1}
POS콘	1.6×10^{-1}

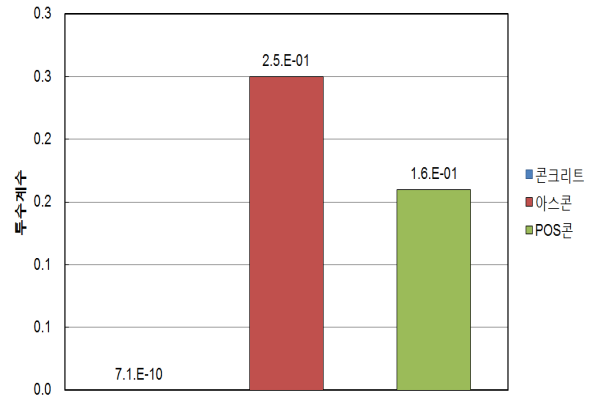


Fig. 4. Water Permeation coefficient test results.

4-5. 습윤시 미끄럼 저항

미끄럼 저항성 비교시험은 미끄럼 저항 시험기(BPT : British Pendulum Test) 장비를 이용하여 습윤상태의 포장면에 대한 고무 미끄럼 마찰계수를 측정하는 시험이다. Fig. 5에 미끄럼 저항성 결과를 나타내었다. Table 6에 나타난 비교시험 결과 POS콘 포장이 콘크리트 및 아스콘 포장과 비교하여 미끄럼 저항 능력이 매우 우수함을 알 수 있다. 이것은 미끄럼 방지 기능을 하는 유기질 무기질 폴리머 바닥재를 채용하고 있는 것에 기인하고 있다. 또한, 율하중 시험 후의 미끄럼 저항성 시험을 실시하였다. 그 결과, POS콘의 경우가 율하중 시험 전후의 BPN감소율이 25.1%로 가장 작은 값을 나타내고 있어, 장기적인 미끄럼 저항성능이 확보된다고 판단된다.

Table 6. Sliding resistance test results

시험체 종류	율하중 시험 전		율하중 시험 후		감소율 (%)
	미끄럼 저항성 (BPN)	평균 (BPN)	미끄럼 저항성 (BPN)	평균 (BPN)	
콘크리트	61	62	34	35	43.5
	62		35		
	63		36		
	62		35		
	61		35		
아스콘	68	68	49	48	29.1
	67		49		
	68		48		
	67		47		
	68		48		
POS콘	76	75	55	56	25.1
	75		59		
	74		58		
	74		55		
	75		54		

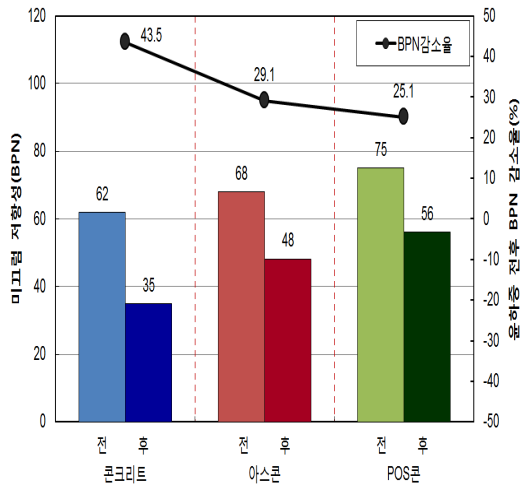


Fig. 5. Sliding resistance test results.

4. 결론

1) 자전거 포장재로서 갖추어야 할 구조적 시험 결과, 휨강도(동결융해 전, 동결융해 200 cycle 후, 제논아크 200 시간 후) 및 동결융해 후 질량변화율에서 기준치를 만족하거나 만족할 만한 성능이 나타났다. 더불어, 비교대상인 콘크리트 및 아스콘과 비교하여 월등히 우수한 성능을 나타낸 점을 고려하여 자전거 포장재로서 만족스러운 성능을 지닌 것으로 예측된다.

2) 반발 탄성 시험 결과 연구개발 제품의 경우 콘크리트 및 아스콘 포장재와 비교하여 3.4% 및 6.2% 높게 나타났다. 따라서 자전거도로의 특성에 적합한 반탄력을 보유하여 주행성이 우수한 자전거도로를 시공할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 투수 계수 시험 결과 POS콘의 투수 성능은 콘크리트 포장에 비하여 매우 우수하며, 아스콘과 거의 동등한 수준의 뛰어난 투수성을 보였다. 따라서 수분이 머무를 여지가 없으므로 동결과피 저항성이 우수한 것과 연관된다.

4) 미끄럼 저항성 시험 결과 POS콘의 BPN값은 콘크리트 및 아스콘과 비교하여 13 및 7 BPN 높게 나타났다. 즉, 습윤상태의 노면에서도 자전거 타이어가 미끄러지지 않는 높은 미끄럼 저항값을 보여주고 있어 안전성 측면에도 우수성을 확인 할 수 있었다. 또한, 윤하중 마모 시험 후의 미끄럼 저항성을 측정 한 결과,

POS콘의 경우 BPN감소율이 25.1%로 가장 작은 값을 나타냈다.

5) 윤하중 마모 시험 결과, POS콘의 질량 변화율은 시험 전후 차이가 없는 결과가 나타났다. 즉, 우수한 윤하중 저항성능을 가지고 있으면, 표면 균열, 잔갈립 및 박리 등의 이상현상이 발생하지 않으므로 장기적인 보수비용 절감으로 이어질 것으로 생각된다.

이상을 종합하면 일반콘크리트 및 아스콘과 비교해 품질이 우수한 것으로 나타났다. 자전거도로의 역할은 자전거 이용자에게 안전하고 쾌적한 주행을 확보하는 동시에 쾌적함을 줄 수 있어야 한다. 주행성은 이용자의 감각에 의한 것으로 최적의 평탄성, 미끄럼 저항성, 노면의 배수성 및 윤하중 저항성 등으로 평가된다. 또한 쾌적감은 심리적으로나 시각적인 감각에 의한 것으로 색깔, 조형, 질감 등이 주위 환경과의 조화 등으로 평가한다. 따라서, 연구개발 제품은 국내 자전거도로포장 산업의 전체적인 품질향상을 기대할 수 있으며, 국내 산업을 선진국 수준으로 향상시킬 수 있는 우수한 성능을 보유한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) U.S Department of Transportation : A Compendium of NHTSA's Pedestrian and Bicyclist Traffic Safety Research Projects, (2007)
- 2) At The Frontiers of Cycling : Policy Innovations in the Netherlands, Denmark, and Germany, World Transport Policy & Practice Eco-Logica Ltd., (2007)
- 3) City of Baltimore, Bicycle Master plan, (2006)
- 4) City of Seattle, Seattle Bicycle Master plan, (2007)
- 5) Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Road Traffic Signs and Regulations in the Netherlands, (2009)
- 6) 행정안전부, 2010년 국가자전거도로 기본계획안, (2010)

(접수:2014.01.07, 수정:2014.02.11, 게재 확정:2014.02.21)