

투수성 아스팔트 포장에 대한 우려와 실제: 구조적 적합성, 홍수 완화 그리고 비점오염 저감

Worries and Reality Regarding Porous Asphalt Pavements: Structural Integrity, Flood Mitigation and Non-Point Pollution Reduction

유인균* · 이수형 · 한대석 · 이상혁

한국건설기술연구원 도로연구소

Inkyoon Yoo*, Suhjung Lee, Daeseok Han and Sanghyuk Lee

Highway Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyang 10223, Korea

Received 2 October 2016, revised 8 November 2016, accepted 20 December 2016, published online 31 December 2016

ABSTRACT: Porous pavements are recommended as a Low-Impact Development (LID) method which is a strategy to develop a water cycle as close to a natural state as possible, and to solve the urban impervious surface problems. Porous pavements can yield a solution if it provides a more permeable surface with extra space to contain extra water from building roofs. But there are few applications in Korea because of a lack of recognition and experience. Highway engineers are mainly concerned about the infiltration of water into pavement structures. They worry about the weakening of the asphalt mixture and subgrade, and freezing during the winter season due to the infiltration of water. Meanwhile, hydrological experts doubt the effects of the amount of water to control during the flooding season, and environmental experts prefer a non-point pollution treatment system established beside highway. In this study, from reviewing the history and the body of literature about porous pavements, conclusions regarding the most advanced technologies were made. First, traditional thickness designs can be used for porous pavement, no extra distresses was found by weakening and freezing during the winter season. Second, hydrological design can be made by controlling the thickness of the pavement and the outlet of water. Third, the treatment efficiency of non-point pollution of porous pavements is not worse than any other method. Importantly, it's a more eco-friendly solution because of its lower requirement for de-icing agents.

KEYWORDS: Freezing, Low impact development, Nonpoint pollution reduction, Porous pavement, Road, Urban hydrology

요 약: 투수성 포장은 도시에서 불투수면 증가에 따라 발생하는 환경문제에 대응하기 위한 대표적인 저영향개발 (Low-Impact Development, LID) 기법의 하나이다. 도시의 도로가 투수성 포장으로 바뀐다면 도시의 불투수면이 약 절반으로 줄어들고, 더 나가 지붕으로부터의 강수 유출까지 수용할 수 있다면 도로는 도시 물 순환 문제의 원인지에서 해결자로 전환될 수 있다. 그러나 국내에서는 경험과 인식의 부족으로 투수성 포장을 적용하는 경우가 거의 없는 실정이다. 도로 포장을 설계, 시공 및 관리하는 도로 기술자는 전통적으로 포장 구조에 물이 들어가는 것을 피하려 하고, 수자원 전문가는 투수성 포장의 도시홍수 저감효과에 대해서 의문을 가진다. 본 연구에서는 국내외의 다양한 연구 결과를 검토하여 투수성 포장에 대한 역사와 최신 기술을 분석하였다. 최신의 투수성 포장 기술을 요약하면 다음과 같다. 첫째, 투수성 포장은 기존의 방법대로 설계해도 노상 약화와 동결 응해로 인한 구조적인 문제가 없다. 둘째, 투수성 포장의 저수층 두께의 조절로 도시수문 설계에 직접 반영할 수 있다. 셋째, 기존의 다른 비점오염 처리시설에 비하여 수질처리 효과가 떨어지지 않는다. 특히 투수성 포장은 겨울철 제설제 사용을 저감하여 보다 친환경적이다.

핵심어: 동결, 저영향개발, 비점오염저감, 투수성포장, 도로, 도시 물순환

*Corresponding author: ikyoo@kict.re.kr, ORCID 0000-0002-0352-1501

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

도시화로 인해 불투수면이 증가하면서 지하 침투량이 감소하고 강우 유출량이 증가하여 도시침수와 지하수 고갈이라는 문제와 고농도 초기우수에 의한 환경오염 등의 문제가 빈번하게 발생하고 있다. 이러한 문제에 대한 대책으로 강우유출 발생지에서부터 침투, 저류, 증발산을 유도하여 개발이전의 상태에 가까운 물 순환 구조를 만들기 위한 저영향개발(Low-Impact Development, LID) 기법이 제시되고 있으며, 구체적인 방법으로 침투도랑, 빗물정원, 식생수로 등과 함께 투수성 포장에 제시되고 있다(NEMA 2010). 도시의 불투수면은 건물의 지붕과 도로의 포장을 말하며, 지역에 따라 약간의 차이가 있으나 각각이 약 절반을 차지한다. 따라서 불투수면의 원인을 제공하는 도로 포장이 투수성으로 바뀐다면 불투수면이 반으로 줄어들고 건물 지붕에서의 유출까지 수용할 수 있다면 도시화로 인한 물 순환 문제를 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

도로를 설계하고 시공하고 관리하는 도로 기술자는 전통적으로 포장 구조에 물이 들어가는 것을 극도로 꺼리는 경향이 있다. 포장 구조에 물이 침투하였을 때, 아스팔트 혼합물의 내구성, 노상지 지력의 약화 그리고 겨울철 동결 융해로 인한 파손 등을 우려한다. 또한 많은 수자원 전문가들은 투수성 포장의 도시홍수의 저감효과에 대해서 의문을 갖고 있으며 환경전문가는 도로의 초기우수를 별도로 처리하는 방법을 선호한다. 이러한 이유로 투수성 포장에 대한 시도는 몇 차례 있었으나 적용은 거의 없는 실정이다(Ha and Ha 2000, Han 2006, Park and Kim 2015).

2000년대에 들어오면서 투수성 포장에 대한 장점이 부각되면서 앞서 제시된 여러 가지 우려를 불식시킬만한 연구가 있었다(Ferguson 2005, JRA 2007, NAPA 2008, NEMA 2010, Weiss et al. 2015). 구조적인 측면에서 점성토 위의 도로에서만 약간의 보강이 필요하다는 점, 투수성 포장의 저수층 두께의 조절로 도시 수문설계에 직접 반영된다는 점, 그리고 도로의 비점원오염 처리에 효과적이라는 사실 등이 연구되었다. 국내외의 문헌 리뷰를 통해 투수성 포장의 역사와 투수성 포장과 관련된 구조설계, 수문설계 그리고 환경설계에 대한 첨단기술을 살펴보기로 한다.

2. 도로포장의 역사와 투수성

2.1 전통적 투수성 도로 포장

도로 포장은 원래 투수성이었다. 따라서 물에 민감하게 거동하는 점토 성분의 도로보다는 호박돌이나 자갈과 쇄석을 이용하여 도로를 건설하였다(McNichol 2005). 그러나 1900년대에 석유 아스팔트가 대량 생산되면서 물이 투과되지 않는 아스팔트 포장이 주류를 이루다가 2000년대에 접어들면서 다시 투수성 포장이 각광을 받기 시작하고 있다.

전통적 도로 포장에서 문제가 되는 것은 비 온 뒤에 도로의 지지력이 약해져 바퀴가 빠져 움직이지 않는 것이다. 특히 수분에 민감한 점토질 지반일 경우 비가 오게 되면 지지력이 급속도로 저하된다. 따라서 도로포장에는 수분에 영향을 받지 않는 자갈을 사용하여 표면을 마무리하게 된다. 고대의 도로 포장으로 대표되는 로마의 도로 포장은 큰 호박석 등을 이용하여 지지력을 확보하고 평평한 면을 표면에 오도록 하여 노면의 평탄성을 확보하였다. 즉, 지반의 상황에 따라 기초를 두고 두께 10 cm 정도의 넓은 호박돌을 표면에 깔고 그 사이를 가는 돌과 석회 몰타르로 고정시키는 공법이 사용되었다. 물로부터 도로를 보호하기 위하여 주위보다 높게 건설하였으며 물이 신속히 배수되도록 측구와 표면 경사를 두었다(McNichol 2005). 로마시대 이후 거의 1,000년 동안 도로 건설이 거의 없었던 중세를 지나고 18세기 상업의 발달과 함께 도로 포장의 선구자들인 프랑스의 Tresage, 영국의 Telford와 McAdam에 의해서 크지 않은 쇄석으로도 도로를 건설할 수 있다는 것을 보여 주었다. 도로 표면에 쇄석으로 사용함으로써 도로 포장의 건설이 용이해지고 두께는 점점 얇아지면서 도로 건설 효율은 획기적으로 발전하였다(McNichol 2005).

2.2 불투수성 포장의 시작

1990년대 석유 아스팔트가 사용되면서 미국에서 공극을 최소로 줄일 수 있는 골재의 입도에 골재 중량의 6%의 아스팔트를 고온에서 혼합하여 도로에 포설하는 공법이 특허로 출원되어 사용되었다. 이때부터 아스팔트포장은 완전한 불투수성이라는 특성을 나타내게 되었다.

앞서 언급한 바와 같이 도로 기술자에게는 물이 달갑지 않은 존재였으나 저렴한 비용으로 단단한 구조물을 만들 수 있으면서 물까지 완전히 배제할 수 있는 아스팔트는 뜻

밖의 선물이었다. 세계 2차 대전 이후 대형차가 등장하면서 도로 포장의 두께 설계에 대한 연구가 주로 이루어졌으며 도로 포장의 불투수성에 대한 문제는 크게 부각되지 않았다.

2.3 다공성 포장의 창안

아스팔트 포장의 불투수성으로 인해 발생하는 문제를 해결하기 위한 노력은 공항 포장에서 먼저 시작되었다. 1950년대 중반 영국의 공군 비행장 활주로에서 빗길에 미끄러지는 수막현상을 제어하기 위해 아스팔트 혼합물에 사용되는 쇄석의 세립분을 줄임으로써 체적의 20% 정도의 공극을 갖는 다공성 아스팔트 혼합물이 사용되기 시작하였다(Nicholls 1998). 빗물이 표면으로 흐르지 않고 바로 그 자리에서 스며드는 다공성 아스팔트 혼합물이 배수성 포장이라는 이름으로 지금까지 도로 포장의 표층으로 사용되고 있다.

배수성 아스팔트혼합물 즉 다공성 아스팔트 혼합물은 도로 포장의 역사에서 획기적인 개념의 전환을 의미한다. 토목 기술자 특히, 도로 기술자가 가능한 없애려 했던 공극을 의도적으로 확보하고자 했다는 점, 그리고 상당한 양의 공극을 갖고도 충분한 내구성을 확보할 수 있는 아스팔트의 생산이 가능하다는 점에서 큰 전환점이라 할 수 있다.

그러나 배수성포장은 표층 5 cm에만 다공성 혼합물이 시공되고 표층 밑에 있는 기층은 불투수성으로 시공하여 기층 위에서 옆으로 배수되도록 물을 유도하는 시스템이다. 아직 물이 포장을 통해 지반 속으로 침투하는 투수성 포장에 대해서는 필요성이 크지 않았고, 또 물이 침투하면 포장 구조물이 약화되어 포장이 조기에 파손될 것이라는 두려움이 남아 있다. Fig. 1은 배수성 아스팔트포장의 단면과 투수성 포장의 단면을 비교해서 보여주고 있다.

2.3 투수성 포장의 시작

앞서 서론에서 언급한 바와 같이 2000년대에 들어오면서 도시화로 인한 도시의 불투수 면적의 증가로 발생하는 다양한 문제에 대한 대안으로 투수성 포장이 제시되며 많은 연구가 이루어지고 있다. 투수성 포장은 배수성 포장과는 달리 표면으로 침투한 물이 땅속으로 침투하는 포장을 말한다.

도로 포장 전문가는 도로 포장 속에 물이 들어오는 것을 극도로 꺼려하고 있다. 외국에서는 수십 년 전부터 교통사고 감소와 소음 저감 효과를 위해 적용되고 있는 배수성 포

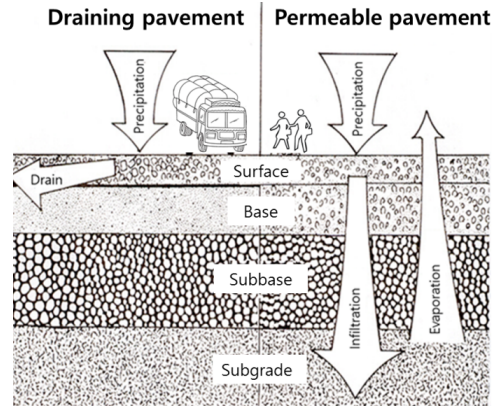


Fig. 1. Diagram of the cross-sections of draining pavements and permeable pavements.

장이 국내에서는 아직도 활성화가 안 되는 배경이기도 하다. 외국에서는 도로 포장을 투수성 포장으로 할 경우 구조적으로는 얼마나 보강을 해야 하는지, 겨울철 동결 융해에는 영향이 없는지에 대한 많은 연구가 이루어 졌다(Nicholls 1998, JRA 2007, Weiss et al. 2015). 다음 장에서 투수성 포장의 구조적인 문제에 대해서 살펴보고자 한다.

3. 투수성 포장의 구조설계

3.1 노상 연약화

도로 포장을 투수성 포장으로 설계하는 데 가장 우려하는 부분이 빗물 침투로 인해 노상이 약화되고 이로 인해 포장의 구조적 파손이 발생하는 문제와 겨울철 동상으로 인한 포장 파손 여부이다. 이러한 두 가지 우려에 대하여 외국에서 진행된 연구 결과를 살펴보기로 한다.

대도시 지역에서 차도의 도로 포장을 투수성 포장으로 바꾸어 안전과 환경 문제를 해결하고자 하는 노력은 일본에서 시도되었다(Mori et al. 2003). 아스팔트 표층을 통해 기층 위에서 횡방향으로 배수되는 배수성 포장의 시공과 그 효과에 자신감을 얻은 일본은 차도에 투수성 아스팔트 포장을 시도하였다. 도로 포장의 구조에 물이 들어가면 구조적으로 얼마나 약해지는지, 또한 이를 보강하려면 포장 두께를 얼마나 증가시켜야 하는지를 평가하기 위하여 시험 주로와 실제 도로에서 시험 포장을 실시하였다.

투수성 포장의 구조적 특성을 평가하기 위하여 시험시공하고 다년간 추적 조사한 결과에 따르면, 10년 동안 포장의 강도는 저하되지 않았으며 강우로 인해 노상의 강도도

저하되지 않았음을 확인하였다 (Imamichi et al. 2007). 만약의 경우를 대비하여 설치하였던 노상 위의 모래 필터 층도 그 필요성이 확인되지 않았다. 결론적으로 기존 포장 설계법에 따라 투수성 포장의 구조설계를 하여도, 빗물 침투로 인해 포장 구조에 미치는 영향은 발견되지 않았다. 이러한 내용을 근거로 일본도로협회에서는 2007년에 “투수성 포장 가이드북”을 발간하여 기존의 설계법대로 투수성 포장을 설계하도록 하고 있다 (JRA 2007). 다만, 노상이 점성토로서 투수계수가 아주 낮은 경우 보조기층의 두께를 증가시킬 것을 권장하고 있다. 또한 투수성 포장을 일시 저류형과 노상 침투형으로 구분하였는데 일시 저류형은 우수를 침투시키지 않고 횡방향으로 배수시키는 형식을 말하며, 노상 침투형은 노상위로 우수가 침투되는 형식을 의미한다. 저류형 투수성 포장은 노상의 우수침투로 인한 연약화 조건과 관련이 없다.

도로 포장 속으로 우수가 침투해도 포장 파손에 영향을 미치지 않는다는 사실은 지금까지의 도로 기술자들에게는 혁신적인 발상의 전환을 의미한다. 앞서 언급한 비와 같이 도로 기술자들은 고대부터 물이 도로에 침투하는 것을 두려워하였다. 아스팔트 혼합물을 포장에 사용하면서부터 물의 침투에 대한 염려는 어느 정도 잊고 있으면서도 표면의 균열부위로 물이 침투할 경우에, 가능한 한 빨리 배수될 수 있도록 굽은 입도의 재료를 사용하여 도로를 건설해 왔다. 그러나 도로에 물이 침투하면 입상재료가 약화되고 입상재료가 약화되면 포장의 파손이 일어날 것이라는 막연한 두려움은 실험과 시험시공을 통해 기우였음이 밝혀지고 있다.

도로에 우수가 침투하면 입상재료의 강도가 약화될 것이며 포장의 강도가 약화되면 포장이 쉽게 파손될 것이라고 지금까지 믿어 왔다. 이 믿음에 근거하면 도로 포장에 사용된 입상재료는 기층과 보조기층 그리고 노상을 들 수 있다. 기층과 보조기층에 사용된 입상재료는 물이 침투되더라도 빨리 배수될 수 있도록 양질의 재료를 사용하였기 때문에 우수의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다. 노상은 우수에 의해 함수비가 증가하고 포화가 되더라도 보통 포장의 두께가 1 m 정도의 상재압력과 이로 인한 구속응력을 받고 있는 상태에서는 강도의 변화가 크지 않기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 동결 응해로 인한 영향

투수성 포장에 대해 우려하는 시선 가운데 하나가 물이

들어가서 동결이 되면 포장이 파손될 것이라는 점이다. 이 문제도 배수성포장이 처음 도입되었을 때 제기되었던 문제이다. 이에 대한 해답은 배수성 포장을 시공하고 동결이 되었는데도 포장이 파손되지 않았고, 투수성 포장으로 건설하고 동결 되었는데도 파손되지 않았다는 사실이다. 동결된 다공성 포장에 파손이 발생하지 않은 결과를 설명하는 논리는 팽창할 공간이 있는 액체는 동결 시 구조체에 영향을 미치지 않는다는 사실로 설명되었다. 냉동실에 물병의 뚜껑을 열어서 동결시키면 물병이 깨지지 않는 원리로 설명되었다. 즉 공극이 서로 연결되어 물이 얼면서 팽창하는 체적을 연결된 공극이 수용하기 때문인 것으로 판단된다.

포장의 동결은 표면에서부터 시작되어 깊이 방향으로 진행된다. 투수성 포장은 일반 밀입도 포장보다 밀도가 작아 열전달 효율이 떨어져 동결 깊이가 깊지 않았다 (Ferguson 2005). 입상 재료에서의 동결은 앞서 설명한 원리로도 설명되겠지만 도로포장에서는 도로의 동상(frost heaving)을 방지하기 위하여 동상방지층을 동결 깊이까지 설치한다. 도로 포장의 기층이나 보조기층은 동상방지층보다 동상에 양호한 재료를 사용한다. 동상이 우려될 경우 동상방지층을 두께 되고, 동상방지층이 증가할수록 포장체의 구조적인 능력이 증가함과 동시에 우수의 침투능력은 점점 더 커지게 된다. 또한 투수성 포장의 경우 지열에 의해서 눈이 잘 녹아서 겨울철 제설제의 사용이 저감되는 것으로 나타나고 있다. 추운 지역에서 동상 때문에 투수성 포장이 우려되는 것이 아니라 더욱 효과적이라는 역설도 가능하다.

4. 투수성 포장과 수문설계

4.1 도시홍수 저감

홍수전문가들 입장에서는 투수성 포장이 도시홍수의 저감에 미치는 영향에 대해서 반신반의하는 수준이며, 투수성 포장의 공극이 막힐 경우 빗물저류 기능이 저하되지 않겠냐하는 우려를 하고 있다. 앞서 살펴본 비와 같이 투수성 포장은 크게 노상으로 빗물을 직접 침투시키는 침투형 투수성 포장과 노상 위에서 배수시키는 일시저류형 투수성 포장으로 구분할 수 있다. 유출 우량은 침투형의 경우 유출 우량 그 자체를 줄일 수 있으며, 일시 저류형의 경우는 유출 우량을 줄이기보다는 침투깊을 저감시킬 수 있다. 도시홍수와 관련하여 도로포장에 떨어지는 빗물을 처리하

는 방법은 상황에 따라 다양하게 설계할 수 있다. 상황에 따라 위의 두 가지를 조합하는 다양한 방법이 있을 수 있다. 즉, 노상으로 빗물을 침투시키면서 미처 침투시키지 못하는 빗물은 배수관을 통해 일시 저류형식으로 배수시킬 수도 있다. 또한 우수의 저류를 위해 저류 층을 포장에 추가하는 방법도 생각할 수 있다.

일본의 국토교통성에서는 투수성 포장의 다양한 효과를 검증하기 위해 시험포장을 실시하고 3년에 걸친 조사결과를 보고한 바 있다. 이 중에서 강수량과 유출량을 측정하여 투수성 포장의 우수의 유출 지연에 대한 효과를 살펴보면, 강우개시로부터 유출개시까지 약 4시간의 유출지연이 발생하였다. 또한 최대유출량은 집수에 요하는 시간과 노상 침투에 의해 약 40%의 저감이 발생하였고, 총강우량의 약 30%가 노상으로 침투하고 있다(Mori et al. 2003). 도시 홍수라는 관점에서 살펴보면, 강수량에서 침투량을 제외한 유량이 배수관망이 처리해야 할 유량이 되고 이것이 관망의 용량을 초과하면 도시홍수가 발생한다. 도심지 면적의 50% 이상을 차지하는 도로 포장이 침투량을 거의 제로로 산정하는 것과 자연지반보다 훨씬 투수율이 좋은 도로 포장 속으로 물이 침투하는 것을 비교한다면 투수성 포장에 의하여 배수관망으로의 유출이 획기적으로 경감될 것으로 판단된다.

도로 포장 속으로 들어가는 우수 침투량을 증가시킬 수 있는 다양한 방안이 있을 수 있다. 예를 들면, 도시홍수 저감을 위해서 도로 포장의 두께를 조절할 수가 있다. 도로 포장의 경우 우수가 침투할 수 있는 층을 증가시키든가 트렌치를 파고 골재를 채워서 침투시킬 수 있는 빗물의 양을 설계할 수도 있다(NAPA 2008). 또한 주차장이나 광장 그리고 차도포장의 하부에도 플라스틱 구조물 같이 공극이 많은 구조체를 매설하여 우수 침투량을 증가시킬 수 있다. 또한 노상의 처리를 통해 투수계수를 조절함으로써 침투된 우수의 유출을 조절할 수도 있다.

기존에는 도시 면적의 50% 이상을 차지하는 도로 포장이 우수를 전혀 침투시키지 못한다는 가정 하에 배수량을 산정하고 이를 소화할 수 있는 배수관망의 용량을 계산하여 홍수여부를 판단하였다. 그러나 도로 포장으로 떨어지는 우수를 자연지반보다 더 많이 침투시키고 다른 곳의 우수까지 수용할 뿐만 아니라 하천으로 유출까지 통제할 수 있다면, 투수성 포장은 도시홍수의 가장 강력한 저감방안이 될 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들면 건물 지붕을 포함한 도로 포장 주위의 강우까지 포장체 밑으로 수집하여

지반에 침투시키는 방안도 가능하다(NAPA 2008).

4.2 투수 기능

투수성 포장에서는 공극이 막혀서 기능을 제대로 못하는 문제가 발생할 수 있다. 일본에서는 이를 위해 고압분사와 흡입을 통해 공극 기능을 회복시킬 수 있는 장비를 개발하여 활용하고 있다. 그러나 공극 막힘을 장기적인 추적 조사한 결과에 의하면 1년을 주기로 겨울철에는 기능이 줄었다가 여름철에 비가 올 때 대형차가 지나가며 공극 기능이 개선되는 현상을 보였다. 따라서 공극 기능 회복을 위한 유지관리 장비를 사용하지 않아도 문제가 없을 것으로 판단하고 있다. 홍수피해 저감을 기대하는 투수성 포장에서는 공극의 막힘으로 인해서 저류 기능에 영향을 준다면 도시 수문설계에 신뢰성 있게 반영하기 어렵다. 선진국에서는 투수성 포장의 공극이 막히는 경우에도 빗물의 투수와 저류 기능을 할 수 있도록 빗물이 침투할 수 있는 안전장치(failsafe)를 설치하고 있다(NAPA 2008).

5. 투수성포장과 비점오염

5.1 도로의 비점오염

일반 포장과는 달리 투수성 포장은 도로에서 발생하는 비점오염물질이 직접 땅속으로 침투하게 된다. 그러나 다른 측면에서 투수성 포장이 겨울철 지열로 인하여 제설제 사용을 감소시켜서 환경오염을 원천적으로 저감하는 장점이 있다. 도로 위에 쌓인 분진, 자동차의 윤활유, 배어링 마모, 타이어, 엔진, 연료의 누출로 발생하는 오염 그리고 아스팔트와 동결방지제의 잔류물 등이 빗물이 씻겨 하천으로 직접 유입되면서 수질을 오염시키고 생태계를 교란시키고 있다. 도로를 투수성으로 포장하게 되면 빗물이 포장을 통해 땅속으로 침투하여 지하수를 함양하고 최종적으로 하천에 유입됨으로써 도로의 오염물질이 하천에 직접적으로 영향을 미치는 것을 막을 수 있다. 그러나 투수성 포장으로 하게 되면 오염물질이 빗물과 함께 토양으로 침투하여 토양이나 지하수를 오염시킬 수도 있다. 그러나 5년간의 연구에 따르면 오염물질은 표층과 모래층에 머물고 노면 배수로 인해서 토양 오염의 영향은 없었으며, 30년 이상 공용된 포장에서도 토양 표층에서만 오염물이 발견되었고 지하수에 대한 영향은 없는 것으로 보고되고 있다(Kinouchi et al. 2004).

Table 1. Comparison of the removal efficiencies of biochemical oxygen demands (BOD) and total phosphorus (TP) with the different treatment methods for the control of nonpoint source pollution from roads (MOE 2013).

Facility group	Types	Removal efficiency (%)		Remarks
		BOD	TP	
Storage facility	Pond swamp	43	52	Mitigating facilities in the table 6 attached in the enforcement regulations of Water Ecology Preservation Act in Korea
Artificial swamp	Artificial swamp	53	70	
Infiltration facility	Porous pavement	75	65	
	Infiltration reservoir	73	79	
	Infiltration trench	77	73	
Planting facility	Planting filter	44	42	
	Planting trench	34	51	
Filtering facility	Filter facility	54	58	
Others	Infiltration box, infiltration pipe and infiltration gutter	53	46	Mitigation facilities in this study
	Infiltration vase	75	72	
	Rain garden, passage plant vase and plant filter box	54	65	

환경부에서는 저영향개발(LID)에 사용되는 시설물의 비점오염 처리효율을 평가하였는데, 투수성 포장은 도로의 비점오염물질을 처리하는 침투시설로서 어느 다른 시설보다 그 효율성이 뒤지지 않았다 (Table 1).

5.2 겨울철 제설제 사용

투수성 포장에 대해서 겨울철 동결의 피해로 인한 파손을 우려하였으나 투수성 포장은 일반 포장에 비해 동결 깊이가 낮고 이로 인해 겨울철에 눈이 빨리 녹아 제설제의 사용을 줄일 수 있다. 겨울철 제설제의 사용을 줄임으로써 제설제로 사용되는 염화칼슘으로 인한 환경오염을 줄일 수 있는 장점이 있다. 뉴햄프셔 대학에서 일반 밀입도 포장과 투수성 포장에 대하여 적설상태와 염화칼슘 사용량을 비교한 결과, 투수성 포장에서 동일량의 염화칼슘을 적용하였을 때 동결면적이 절반 정도로 줄어들었다 (Houle 2008).

6. 결론

서울 도심이 자주 물에 잠기면서 도시홍수가 사회적 화두가 되어 근본적인 대책을 필요로 하고 최근의 저영향개발(LID)에서 추천되고 있는 투수성포장에 대해서 문헌고찰을 통해 아스팔트혼합물의 역사와 투수성 포장의 첨단기술 즉, 최근까지 검토된 기술의 진보에 대해서 살펴보았다.

먼저, 도로포장에 석유 아스팔트가 대량으로 사용되기

시작하면서 자연스럽게 불투수성을 갖게 된 도로포장은 노면의 수막현상을 제거하기 위하여 다공성 아스팔트 혼합물이 고안되었고, 결합력이 큰 특수 아스팔트가 개발되면서 다공성 아스팔트 혼합물이 내구성을 갖게 되면서 배수성 포장으로 일반적으로 사용되게 되었다. 현재 20% 정도의 다공성 아스팔트 혼합물은 일반적으로 사용하는 기술이 되었다.

둘째, 포장체 속으로 물이 스며드는 것을 본능적으로 두려워하던 도로 기술자는 시험포장을 통해 특수한 경우를 제외하고는 포장체에 물이 들어가도 구조적으로 크게 문제가 없음을 확인하였다. 노상이 점토층일 경우에도 보조기층의 두께를 증가시켜주는 것으로 구조적인 문제를 해결할 수 있음을 확인하였다. 겨울철 동결 문제에 대한 문헌조사 결과, 공극이 있는 투수성 포장이 열전도율이 낮아 일반 포장의 동결 깊이보다 깊지 않기 때문에 투수성 포장에서 문제가 되지 않는 것으로 제시되었다.

셋째, 구조적인 최소조건이 만족된다면 저수층의 증가를 통해 투수성 포장이 감당해야 하는 저수량을 설계할 수 있다. 그리고 투수성 포장의 배수조절 장치를 통해 도시홍수에 효과적으로 대응할 수 있다. 또한 투수성 포장의 공극막힘으로 인한 기능저하 문제는 안전장치를 통해 해결할 수 있음을 확인하였다.

넷째, 투수성 포장이 도로면에 누적된 비점 오염원 처리 효율도 어떤 다른 시설보다 나쁘지 않다는 것을 확인하였다. 또한 투수성포장은 겨울철 동결이 지연되고 지열이 울

라와 제설제의 사용이 적어져 보다 환경친화적 공법으로 판단된다.

다섯째, 투수성 포장의 표면 기능은 배수성, 저소음 포장과 동일하다. 즉, 미끄럼저항의 증가로 교통사고율이 급격히 감소하고 교통 소음이 저감되는 것은 따로 검증할 필요가 없이 배수성 포장의 효과에서 이미 검증되었다.

대도시의 약 50%가 도로포장으로 덮여있기 때문에 투수성 포장 자체가 도시홍수에 미치는 영향도 크고, 투수성 포장 하부의 공간을 활용하면 필요한 저수용량을 설계할 수 있다는 점이 획기적인 개념 전환이라 할 수 있다. 지금까지는 도로 포장체로 물이 들어가면 안 된다는 개념 때문에 저수공간을 찾기가 어려웠지만 투수성 포장에 의하여 물을 저장할 수 있는 대규모의 공간을 확보한 셈이다.

외국 특히, 일본에서는 차도에 대한 투수성 포장에 대한 경험이 10년이 넘고 다양한 지침이 제공되고 있다. 외국에서 이미 확립된 기술은 우선 도입하고 이를 개선할 수 있는 기술개발에 노력해야 할 것으로 판단된다. 그리고 도시배수를 통합적으로 설계할 수 있는 기술의 개발이 필요하다.

아스팔트 포장은 물과 공기가 소통되지 않는 불투수성 재료의 대명사로 지난 100여 동안 개발시대의 상징으로서 큰 역할을 하였다. 현재 아스팔트 혼합물 자신이 불투수성에서 물과 공기가 통하면서 자연을 모방하는 투수성으로 대변신을 꾀하면서, 지속가능한 발전과 녹색성장을 주도하고 특히 도시홍수를 크게 저감시킬 수 있는 건설기술로 새로 태어나고 있다.

References

- Ferguson, B.K. 2005. Porous Pavement. CRC Press, New York, USA.
- Ha, J.-D. and Ha, S.-O. 2000. Mixture design and construction application. The Magazine of the Korean Society of Road Engineers 8(2): 65-73. (in Korean)
- Han, S.-W. 2006. Pervious pavement method for reduction of traffic noise. The Magazine of the Korean Society of Road Engineers 8(4): 37-41. (in Korean)
- Houle, K.M. 2008. Winter Performance Assessment of Permeable Pavements. MS Thesis, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, USA.
- Imamichi, I., Suzuki, S. and Sirahama, K. 2007. Pervious pavement past 10 years. The 27th Japan Highway Conference of Japan Society of Road Engineering, Tokyo, Japan. (in Japanese)
- JRA. 2007. Guidebook for Pervious Pavements. Pavement Construction and Design Committee, Japan Road Association, Tokyo, Japan. (in Japanese)
- Kinouchi, T., 2004. Improvement and Effects of Urban Water Cycle, New Trial in Roads and Pavements for Improvement of Urban Environment. Construction Books, Tokyo, Japan. (in Japanese)
- McNichol, D. 2005. Paving the Way: Asphalt in America. National Asphalt Pavement Association, New York, USA.
- MOE. 2013. Guidelines for Optimum Management of Non-Point Pollution. Ministry of Environment, Sejong, Korea. (in Korean)
- Mori, N., Matsshita, T., Hurukawa, M. and Kikutsi, T. 2003. Application of Pervious Pavement in Traffic Roads: New Trial in Roads and Pavements for Improvement of Urban Environment. Construction Books, Tokyo, Japan. (in Japanese)
- NAPA. 2008. Porous Asphalt Pavements for Storm Water Management: Design, Construction and Maintenance Guide. National Asphalt Pavement Association, Lanham, Maryland, USA.
- NEMA. 2010. Guideline of Types, Installation and Maintenance of Structures for Reducing Storm Water Runoff. National Emergency Management Agency, Seoul, Korea. (in Korean)
- Nicholls, C. 1998. Asphalt Surfacing. E & FN Spon, London, UK
- Park, Y.-M. and Kim, K.-M. 2015. A study on traffic noise reduction of porous low noise pavement. The Fall Conference of Korea Society of Cement Concrete. pp. 711-712. (in Korean)
- Weiss, P.T., Kayhanian, M., Khazanovich, L. and Gulliver, J.S. 2015. Permeable Pavements in Cold Climates: State of the Art and Cold Climate Case Studies. Center for Transportation Studies, University of Minnesota, Minneapolis, USA.