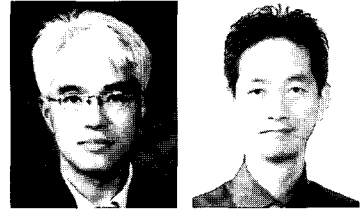


비점오염원 관리에 효율적인 환경친화적 도로포장



이 관 호 | 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 부교수
황 주 환 | 정회원 · 동성엔지니어링 도로부 상무이사

1. 서론

일반적으로 도로포장체를 건설할 경우, 배수성 포장을 시공하면 환경적으로 여러 가지 문제를 해결할 수 있다. 특히, 이러한 포장은 소음과 도로의 비점오염원 저감에 매우 큰 효과가 있는 것으로 보고되고 있고, 강우/강수시 수막현상을 저감시켜 도로주행 안전성을 향상시키는 것으로 보고되고 있다. 국내에서도 도심도로의 소음 및 빗길 안전주행성을 향상시키기 위해 도심지 주요 간선도로에 배수성 포장의 시공에 대한 관심이 매우 커진 상태이고, 이와 관련된 산·학·연 연구가 활발하게 진행중에 있다. 본 특별기사에서는 배수성 포장(Porous Pavement)에 대한 기본적인 사항을 재검토하고, 향후 활용을 위한 기본정보 제공을 그 목적으로 한다.

2. 배수성 포장의 활용

도로포장면적은 일반적으로 도시의 발전 및 도시의 인구밀집도와 매우 큰 상관관계가 있다. 그림 1은 인구밀도와 토지이용시 도로포장면적과 건물의

지붕면적 비율을 나타내고 있다. 그림에서 제시된 것과 같이 도시의 인구밀도가 높아짐에 따라 도로포장비율이 높아짐을 알 수 있다. 인구밀도가 높아짐에 따라 신규도로가 건설되고, 건물 및 주차장 면적의 확대가 이루어지기 때문이다. 이러한 도로포장면적의 증대는 도로포장체와 관련된 배수시스템의 증설이 병행해서 이루어져야 한다. 이로 인해 강우/강수로 인한 도심지역 토지의 가용 지하수량은 상당한 제약을 받고 있는 실정이다. 국내의 물이용이 주로 지표수에 의지하고 있는 상황에서, 사용가능한 대량의 지하수의 지표수 유출은 우리나라의 물 이용효율을 크게 저하시키고 있다. 따라서, 도로포장체를 통해 지하로 유입되는 유량을 증가시키면 상대적으로 제한된 지표수 이용과 더불어 물 부족 문제를 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 기대한다. 이러한 목적을 위해 배수성 포장의 활용이 매우 중요하게 대두되고 있는 상황이다.

배수성 포장은 포장체내에 많은 공극이 존재하고, 이 공극을 통해 도로포장체로 유입되는 물을 포장체내의 배수시스템을 통해 배출하는 것이다. 우리가 통상적으로 이용하는 밀입도 아스팔트 포장은 혼합물이 거의 불투수성을 가지며, 기본설계 개념이 노

면의 종단경사를 이용한 노면배수를 통해 강우/강수의 도로포장체내 유입을 방지하는 것이다. 그림 2는 배수성 포장과 밀입도 아스팔트 포장의 강우/강수시 도로포장체를 통한 배수특성을 보여주고 있다.

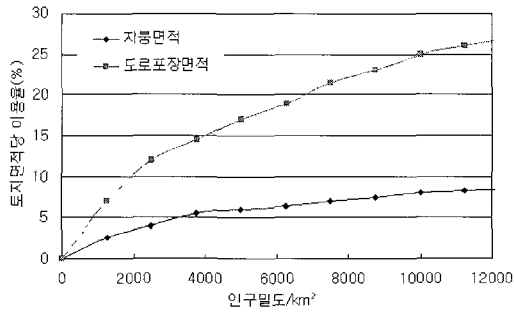
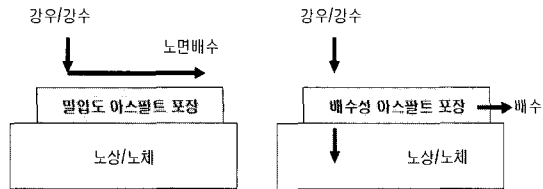


그림 1. 토지이용면적당 도로포장 이용율



(a) 불투수 개념의 아스팔트 포장체 (b) 투수/배수를 고려한 아스팔트 포장체

그림 2. 투수특성에 따른 강우/강수의 배수특성

배수성 포장의 장점중의 하나는 소음저감 효과이다. 특히, 도심지역의 경우 도로와 주거환경이 매우 근접해 있어서 도로주행 차량으로 인한 소음이 매우 심각한 상황이다. 그림 3은 우리 주변에 발생하는 일상적인 소음의 크기를 보여주고 있다. 도로주행 차량으로 인한 소음 증가는 차량이 없는 도로 또는 인도에 비해 약 20~30dBA 정도 높은 상태이다. 이러한 소음문제는 배수성 포장의 공극특성을 이용하여 10dBA정도를 저감시킬 수 있다.

배수성 포장의 또 다른 장점은 빗길 도로주행 안전성을 향상시키는 것이다. 표 1은 도로의 등급에 따른 도로주행안전성을 나타내는 것으로 통상적으로 사용하는 미끄럼저항(skid resistance)의 상대적인 중요도를 나타낸다. 그림 4는 배수성 포장과 일반

아스팔트 포장의 표면 마찰특성을 나타내고 있다. 일반적으로 배수성 포장의 경우 차량에서 떨어지는 기름, 강우/강수시 빗물 등이 바로 포장체내로 유입되기 때문에 도로포장 표면에 차량주행 안전성을 저해하는 요소를 감소시켜주는 효과를 가진다. 도심지 내에서 이용할 수 있는 배수성 포장의 형태는 매우

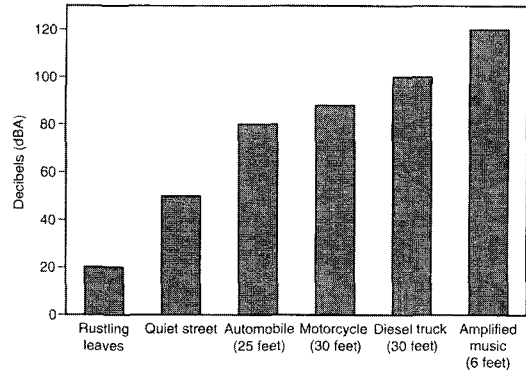


그림 3. 소음발생원과 크기

표 1. 도심지도로의 상대적 미끄럼저항 값의 중요도

미끄럼저항값 크기	주요 적용처
매우 중요	<ul style="list-style-type: none"> • 구부러진 도로 • 5% 이상의 급경사 도로 • 신호등이 있는 교차로 인근 도로 • 보행자 통행이 있는 도로
중간 정도	<ul style="list-style-type: none"> • 고속도로 및 고속주행도로 • 도심지의 중교통량 도로 • 지방국도
미미함	<ul style="list-style-type: none"> • 교차로가 없는 일반국도상의 커브길 • 차량전용도로

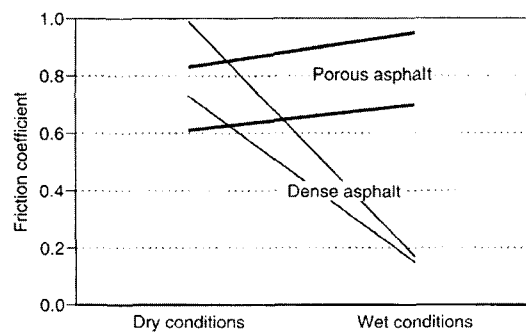


그림 4. 포장종류에 따른 마찰 저항값의 비교

다양하다. 일반 주택가 주변의 경우 블록을 격자형으로 시공하여 격자형사이의 공간을 배수로로 이용할 수도 있고, 주차장의 경우 플라스틱 geocell 등을 이용할 수 있다.

3. 배수성 포장재료 및 시공

3.1 기본구성요소

일반적으로 배수성 포장의 형식은 매우 다양한 재료 및 공법을 이용할 수 있다. 기존의 밀입도 아스팔트 포장의 표층 및 기층, 덧섞우기층, 필터층 등을 재료 및 다양한 공법을 적용하여 배수성 포장을 적용할 수 있다. 그림 5는 배수성 포장의 기본원리 및 단면구조를 나타내고, 표 2는 배수성 포장의 기본구성요소를 설명한 것이다. 각각의 요소는 도로포장단면의 구성에 따라 적절하게 적용하고, 이의 구조적 안전성에 대한 검토가 반드시 이루어져야 한다.

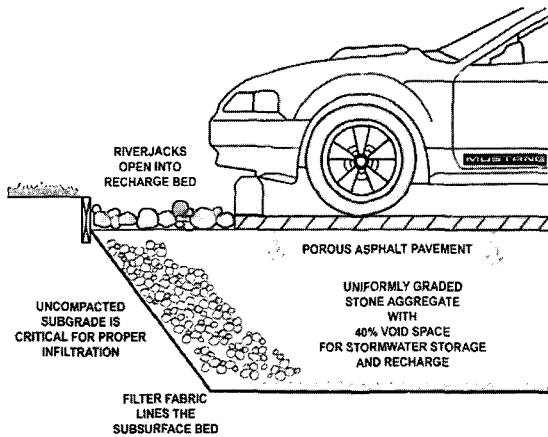


그림 5. 배수성 포장의 기본원리 및 단면구조

그림 6은 저류지(reservior)의 종류를 보여주고 있다. 저류지는 포장체내로 유입된 물을 임시로 저장하거나 또는 배수로의 기능을 하며, 여기서 배출

표 2. 배수성 포장의 구성요소

구분	정의
기층	표층 아래 놓이며, 사용하는 재료는 표층에 비해 낮은 등급의 재료를 이용하고, 표층에서 전달된 하중을 노상으로 전달해주는 중간층 역할
보조기층	기층과 아스팔트 표층/중간층 사이에 위치하며 하중전달을 위한 중간층 역할
표층	교통하중을 직접 지지하는 단면으로 주로 아스팔트 혼합물로 구성된 상대적으로 재료비용이 비싼 층
필터층	두개의 층 사이에 배수를 목적으로 삽입된 층을 의미하고, 또한 포장체의 공극을 통한 입자이동을 억제하기 위해 사용
지오 멤브레인	라이너(liner)라고 통칭하며, 불투수성 토목섬유
지오 텍스타일	filter fabric이라 통칭하며, 투수 또는 배수를 위한 토목섬유
포장층	교통하중을 직접 지지하기 위해 설치된 단면
저류지	도로포장단면을 통해 흐르는 물을 임시 저장하는 장소

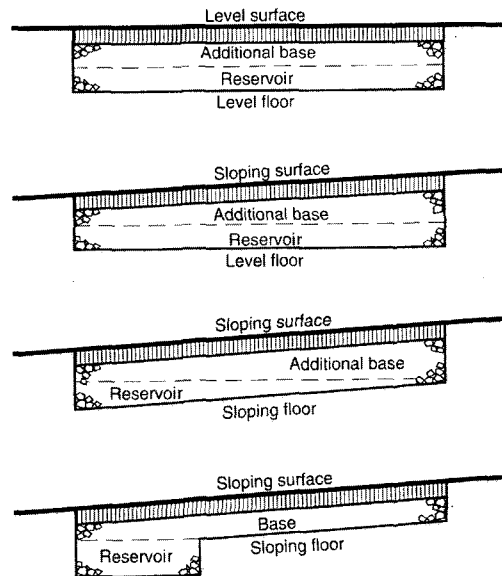


그림 6. reservior의 다양한 시공단면

된 물은 지반 또는 도로배수파이프로 보내지게 된다. 저류지의 용량은 사용된 단면상의 공극의 크기와 밀접한 상관관계가 있다. 우리나라의 강우/강수는 집중호우 특성을 가지며, 이러한 집중호우시 도로포장단면내의 저류지는 도로주변 또는 인근 하천으로 방류되는 유량을 감소시켜, 홍수 등의 피해예방 효과도 가진다.

유입된 물의 배수처리방법은 도로포장 단면상의 저류지에서 저류지 바닥면을 통해 물을 방류하기 위한 배수시스템, 저류지에 저장된 물이 일정량이 넘게 되면 배수파이프로 월류(overflow)하는 형식의 배수시스템, 도로포장체 표면에서 월류하는 형식의 배수시스템 등이 있다. 일정량의 물은 도로표면으로 월류를 하게 되고, 나머지 물은 지반쪽으로 침투되어 배수가 되는 시스템이다. 이러한 단면은 겨울철 도로포장체의 동결융해 피해가 없는 지역에서 설치하는 것을 권장하고 있다. 그림 7은 Cahill edge drain 공법의 전형적인 설치단면을 보여준다.

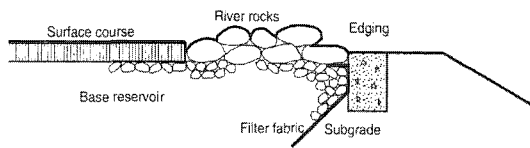


그림 7. Cahill edge drain 배수시스템

3.2 시공재료 및 시공조건

배수성 포장재료는 매우 다양하게 조합하여 이용할 수 있다. 그러나, 재료의 조합시 기능적, 구조적, 환경적, 심미적, 경제적 요소등을 종합하여 적절하게 이용하여야 한다. 주요 포장재료에는 골재, 아스팔트 바인더, 블록(block), 시멘트 콘크리트, 플라스틱 geocell, open-cell grid 등이 있다. 일반적으로 아스팔트 바인더를 사용하지 않는 골재는 매우 적은 교통량 조건의 도로 또는 주차장 포장에 직접 이용할 수 있다. 그림 8은 배수성 식재, 플라스틱

geocell, open-jointed paving block, open-celled paving grids, 배수성 콘크리트포장을 보여주고 있다.

배수성 포장의 시공은 일반 밀입도 아스팔트 포장 시공상 요구되는 것과 비슷하다. 배수성 포장의 성공적인 시공을 위해서는 다음과 같은 항목을 반드시 체크하여야 한다.

- 시공방법의 선정
- 포장체 측면에서의 배수시스템
- 시공과정중에 발생하는 포장체의 파손저감대책
- 시공시방서(specification)
- 시공사의 자격요건
- 유지관리방안

표 3은 배수성 포장재료의 표준시방기준을 제시하는 기관 및 관련 웹사이트 주소이다.

표 3. 배수성 포장재료의 표준시방기준 관련 웹사이트

포장재료	시방서 관련 기관	웹사이트 주소
Open-graded aggregate	State Highway Agencies	-
	ASTM International	www.astm.org
	AASHTO	www.transportation.org
Porous Turf	Turfgrass Producers International	www.turfgrassod.org
Plastic geocells	Individual Manufactures	-
Paving Blocks and Grid	Interlocking Concrete Pavement Institute	www.icpi.org
	National Concrete Masonry Association	www.ncma.org
Porous Concrete	Florida Concrete and Products Association	www.fcpa.org
	Georgia Concrete and Products Association	www.gcpa.org
Porous Asphalt	Oregon Department of Transportation	www.odot.state.or.us

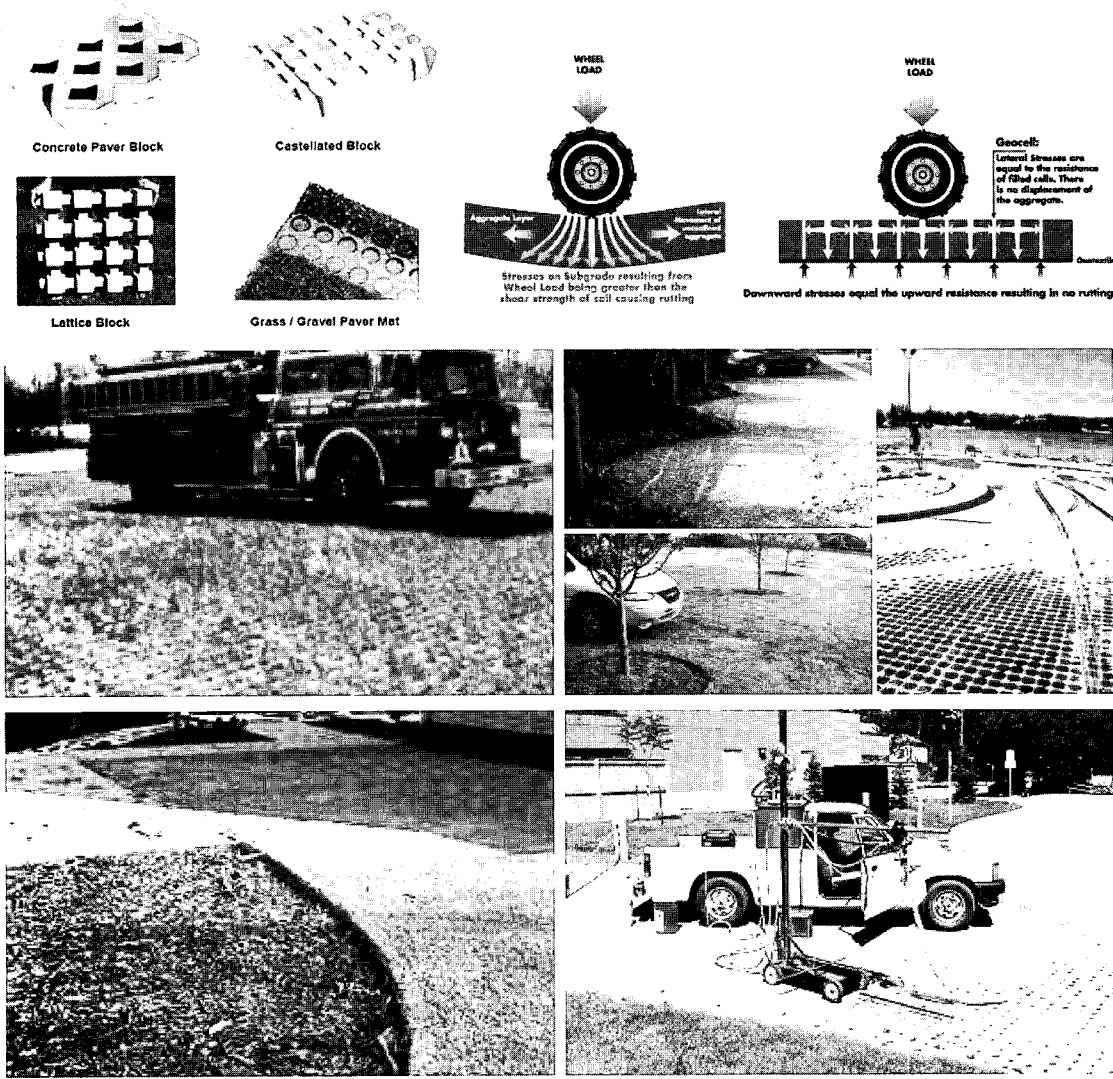


그림 8. 배수성 포장의 종류

4. 배수성 아스팔트포장(Porous Asphalt Pavement)의 구조적 특성

4.1 초기 배수성 아스팔트포장

1970년 초 미국의 Franklin Institute가 캘리포니아주 고속도로에 open-graded 골재입도를 적용하였다. 사용된 골재의 입도는 기존의 다른 입도에 비해

상대적으로 매우 큰 공극과 투수계수를 가졌다. 여기서 이용된 골재의 입도를 개량하여 현재와 유사한 배수성 아스팔트 혼합물을 개발하였다. 사용된 골재의 입도는 표 4에 나타난 것과 같다. Franklin Institute 공법이 적용된 최초의 도로포장은 1973년도에 델라웨어주 주립대학교에 시공되었다. 시공된 단면은 그림 9에 나타난 것과 같은 층구조로 시공되었다.

배수성 아스팔트 포장에서 가장 큰 문제중의 하나는 아스팔트 바인더의 드레인다운(drain-down) 현상

표 4. Franklin Associate의 배수성 포장 입도

골재입경	통과 % (중량단위)		
	캘리포니아 시방기준	Franklin Institute	Thelen & Howe
1/2 inch	100	100	100
3/8 inch	90-100	97	95
No. 4	35-50	34	35
No. 8	15-32	16	15
No. 16	0-15	13	10
No. 200	0-3	2	2

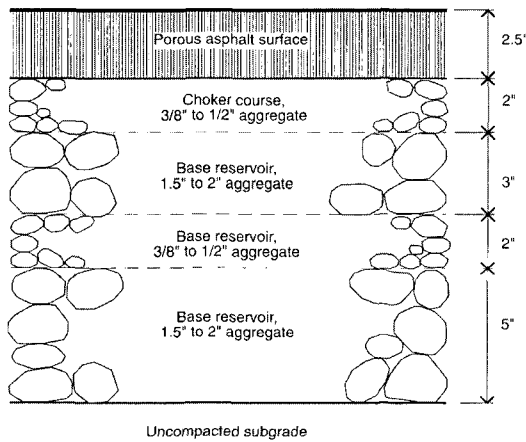


그림 9. 초기 배수성 아스팔트 포장 층 구조

이다. 1990년 미국 조지아주의 주거단지 도로포장에서 주민들이 자가용 세차를 하는 과정에서 배수성 포장에 유입된 물이 초기 3년 동안에는 막힘없이 배수되었는데, 시간이 지남에 따라 배수되는 정도가 매우 불량함이 발견되었다. 즉, 노면을 통한 유출(runoff)이 시각적으로 확인되었다. 이러한 현상을 자세히 관찰한 결과, 도로포장체의 표면부근에서는 골재에 코팅된 바인더가 거의 없었고, 1/2 inch 아래쪽의 골재에는 과도한 아스팔트 바인더가 발견되었다. 이러한 현상은 특히, 도로표면의 온도가 높게 상승하는 여름철에 집중적으로 발생함을 알게 되었다. 즉, 온도가 높은 도로표면의 아스팔트 바인더가 녹아서 도로포장체의 공극을 통해 아래쪽으로 이동하는데, 포장 하부

쪽으로 갈수록 온도가 낮아져서, 흘러내린 아스팔트 바인더가 응고되는 것이다. 연구자들은 6~22년 정도 된 다양한 지역의 배수성 아스팔트 포장을 검사하였고, 아스팔트 바인더의 드레인다운 현상을 거의 모든 도로포장체에서 발견하였다. 이러한 현상을 막기 위해 고점도의 아스팔트 바인더 및 막힌 공극을 청소하기 위한 다양한 방법이 제시되었다.

4.2 배수성 아스팔트포장의 발전

초기 배수성 아스팔트포장에서 좀더 공학적, 역학적 개념의 포장으로의 발전은 1990년대에 급격하게 진행되었다. 특히, 미국에 비해 유럽에서 상대적으로 많은 연구 및 시공사례를 통한 배수성 아스팔트 포장이 발전하였다. 유럽의 경우 1980년대부터 배수성 아스팔트포장을 고속도로에 시공하였는데, 이는 미국에 비해 시공사의 수가 상대적으로 적은 대신, 규모가 커서 정부단체와의 상호 유기적인 관계가 매우 좋았던 영향도 있다. 미국의 경우 1990년대 TRB(TRR No. 1265)를 통해 유럽의 배수성 아스팔트포장에 대한 자료보급을 통해 많은 영향을 받았다(Huber, 2000). 특히, 아스팔트 바인더의 drain-down 등 민감성을 줄이기 위하여 각종 섬유보강재의 이용이 보편화된 것이 2000년대 초이다. 골재표면에 코팅된 아스팔트 바인더의 부착력은 아스팔트 바인더의 점착력의 6배정도의 크기를 가진다(Kuennen, 2003). 이러한 개질아스팔트의 이용은 저온에서는 좀더 연성(flexible)이 커지고, 고온에서는 점도가 커져서, 배수성 아스팔트 혼합물의 문제점을 상당 부분 개선할 수 있었다. 이러한 기술적 발전은 배수성 아스팔트포장의 수명을 통상 7년에서 11년 정도로 약 4년여를 증가시켰다. 이러한 개선효과는 배수성 아스팔트 포장 시공회사의 수익률을 약 50% 증가시키는 효과를 주었다. 그러나, 이런 효과를 지속적으로 유지하기 위해서는 배수성 아스팔트 포장내의 공극을 항상 일정하게 유지해 주어야 한다.

4.3 배수성 아스팔트포장의 시공

배수성 아스팔트 포장은 비용이 일반 밀입도 아스팔트 포장 보다 상대적으로 비싸기 때문에, 시공사의 경제성을 확보하기 위하여 통상 표층에만 시공하여 이용한다. 배수성 아스팔트포장은 일정 비율 이상의 공극률 확보가 매우 중요하므로, 도로포장 시공시 주로 중간정도의 다짐 장비를 이용한다. 이는 다짐중 골재의 파쇄로 인한 골재입도의 변화, 투수계수의 변화를 최소화하기 위해서이다. 기층용 재료의 골재 최대입도가 매우 큰 경우 도로포장 다짐과정상에서 표층용 재료가 기층으로 유입되는 문제가 발생하므로, 이를 분리할 수 있는 분리층(choker course)을 설치하여 이용한다. 분리층은 통상 2~3cm 정도를 이용하고, 다짐시 품질관리가 중요하다. 배수성 아스팔트 포장의 시공두께는 도로포장의 내구성을 가질 수 있는 정도로 결정되어야 한다. 일반적으로 배수성 포장은 잔골재의 비율이 작은 관계로 일반 밀입도 아스팔트 포장에 비해 전단강도(shear strength)가 작으므로, 두께결정시 밀입도 아스팔트 포장과는 다른 방법을 적용해야 한다. Franklin Associate에서는 CBR

표 5. 배수성 아스팔트 포장의 최소두께 결정(평균 CBR=2)

교통량구분	평균ESAL/일	최소두께 (cm)		
		표층용 배수성 아스팔트포장	골재기층	최종두께
주차장, 주거지역	1	10	15	25
	10	10	30	40
도심지 도로	20	11.5	33	44.5
	50	13	36	49
	100	13	40	53
고속도로	1000	15	50	65
	5000	18	56	74

교통량구분	노상토 CBR	표층+기층 최소두께 (cm)		
		6-9	10-14	15이상
	ESAL/일 < 5	23	18	13
	ESAL/일 6-10	28	20	15
	ESAL/일 21-75	30	23	18

값을 이용하여 사용 가능한 배수성 아스팔트 포장 최소두께를 표 5와 같이 제안하였다.

4.4 배수성 아스팔트포장의 경제성

1970년 배수성 아스팔트 포장은 비용이 일반 밀입도 아스팔트 포장 보다 약 50% 정도 시공비용이 비싸게 시공되었다. 이러한 비용의 증가원인은 새로운 공법의 적용, 엄격한 골재의 품질관리, 최적아스팔트 함량의 엄격한 적용 등으로 인한 것이다. 그러나, 배수성 아스팔트 포장은 도로포장기능을 수행하기도 하지만, 홍수 등 집중호우시 배수시스템 또는 빗물의 저장탱크 기능을 수행하기도 한다. 따라서, 배수성 아스팔트 포장의 경제성은 이러한 기능을 고려하여야만 한다.

5. 결론

Porous Pavement라 불리는 배수성 포장은 매우 다양한 포장재료 및 공법으로 시공되고 있다. 우리나라의 경우, 배수성 아스팔트포장이라는 매우 좁은 분야로 한정하여 사용하고 있는 실정이다. 본고에서는 광의의 목적에서 이용되는 배수성 포장에 대한 기본 내용을 정리해 보았다. 배수성 포장은 친환경 도로포장의 대표적인 형식으로 우리나라의 강우/강수 특성에 의한 도로포장 파손 및 물의 저장/배수등 다양한 기능을 가진 기능성 포장으로 이용할 수 있다. 따라서, 협의의 배수성 아스팔트 포장 뿐만 아니라, 광의의 의미에서 이용 가능한 배수성 포장에 좀 더 많은 관심과 연구가 수행되어 친환경 기능성 도로포장기술이 개발되어야 할 것이다.

참고문헌

건설교통부 (2006), "환경친화적 도로유지관리 잠정지침"
 Ferguson, B. K. (2005), "Porous Pavements", Taylor & Francis