

도시지역에서 하천환경관리를 위한 방안 연구
- 투수성 포장의 효과를 중심으로 -

책임연구원 : 이 창 해

(대진대학교 환경공학과 교수)

연구원 : 조 영 호

(한국종합기술개발공사 전무)

김 형 렬

(건설교통부 수자원정책과 서기관)

이 진 원

(한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원)

1. 서론

최근 들어 수도권 지역을 물론 농촌지역에서도 자연유역의 도시화 가속으로 토지이용의 극대화가 진행되고 있다. 도시화의 특징으로는 인구의 급증, 일인당 소비수량의 증가, 주택단지의 개발과 도로의 확충으로 인한 불투수성 지표면적의 증가, 하수관거의 발달을 들 수 있다. 이와 같은 변화 특징으로 인해 도시의 수문환경은 크게 바뀌게 되어 수자원 확보와 홍수문제 및 수환경문제 등에 봉착하게 된다.

수자원확보 문제로서는 인구의 증가에 따른 물수요가 증가와 생활수준 향상에 따라 일인당 물수요의 증가로서 가중된다. 이러한 물수요에 대응하기 위한 수자원을 개발하여야 하는데 유역내에서 공급원을 확보하는데는 한계가 있어 광역상수도를 통한 다른 수역으로부터 물을 공급할 수밖에 없으나, 지자체간의 이해관계로 인해 쉽지 않은 문제이다. 그리고 지하수 함양이 부족한 상태에서 과도한 지하수의 사용으로 지반이 침하되거나 수자원으로서의 지하수의 이용이 제한되는 일이 발생되고 있다.

도시화가 진행되면 불투수면이 증가하고 하수관거가 발달하게 된다. 증가된 불투수면으로 인하여 자연상태일 때보다 강우로 인한 유출이 더 많이 발생하고, 하수관거의 확충과 자연수로의 정비 또는 암거화로 물이 보다 빨리 이동되는 결과를 가져온다. 이로 인하여 그림 1과 같이 홍수도달시간이 짧아지고 침투유량이 증가되며 기저유출은 감소된다(Wanielista와 Yousef, 1992). 즉, 홍수 위험도가 높아지고 더욱이 도시화에 따른 하천범람지역의 인구와 자산의 집중으로 홍수피해는 급증하게 된다.

한편 환경측면에서는 인구증가와 불투수면 증가 모두의 영향을 받는다. 불투수면의 증가에 따라 유출량은 증가하는 반면 표층을 통한 지하수함양은 감소하며 지하수위는 저하된다. 강우가 없을 때 기저유출은 이러한 지하저류에 의하여 생성되는데 그림 1에 나타난 바와 같이 도시화로 인하여 기저유출의 감소로 도시의 하천유량이 감소하고 인구증가에 따라 점오염원인 오수발생량의 증가와 강우시 도로, 지붕 및 포장면으로부터 씻겨 나오는 비점오염물질로 인한 오염부하가 증가하므로 수질오염이 더더욱 가중되어 소규모의 도시하천이 거의 하수관거의 기능에 머무르는 등 하천환경이 급속히 악화되고 있는 실정이다. 또한 낮아진 지하수위로 인해 지중에 미생물이 서식하지 못하여 토양환경도 악화되

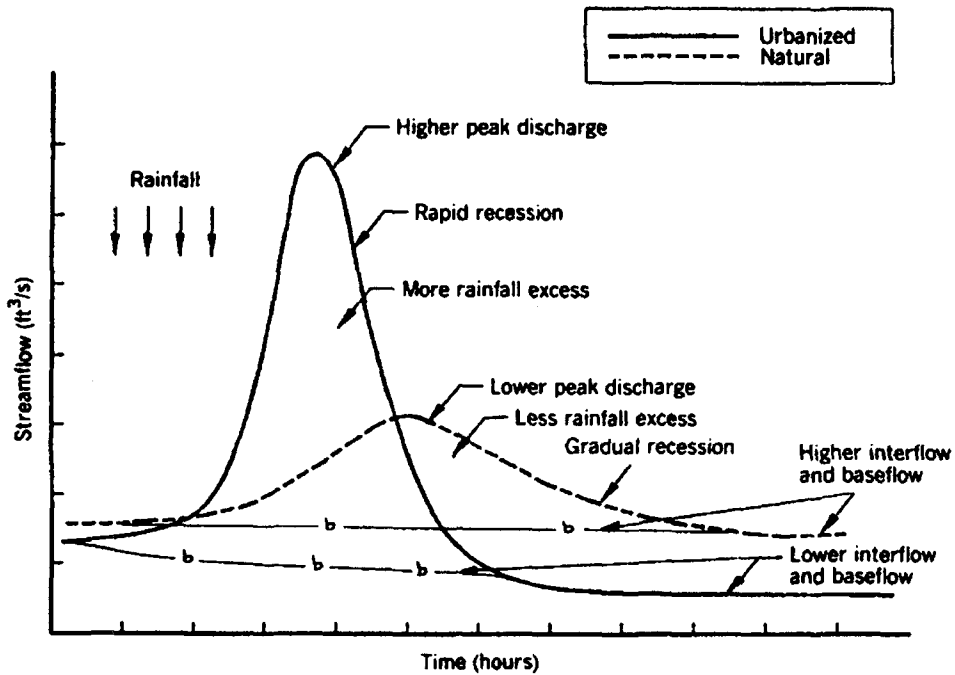


그림 1. 도시화에 따른 수문곡선의 변화

고, 도시의 가로수를 포함한 식생의 생육이 나빠지고 있다.

이외에도 도시화에 따라 대형 건물이 불규칙하게 들어서 공기의 흐름을 지연시키고, 열 배출량도 늘어나며, 포장면은 태양에너지의 흡수를 증가시키고, 불투수성 지표는 증발산량을 감소시켜 기화열에 의한 냉각효과가 줄어들어 열섬현상의 발생이 촉진된다. 따라서 열섬효과에 의한 상승기류의 발생, 미세먼지에 의한 응결핵의 증가, 연소와 냉각탑에서 발생하는 수증기 등으로 인해 강수량도 약 10% 정도 증가되는 것으로 알려져 있다(Oke, 1974). 그러므로 불투수층과 하수관거의 발달과 함께 홍수유출은 더욱 증가되며, 더욱이 홍수피해가 하류지역으로 전가된다는데 문제의 심각성은 더욱 크다. 예를 들어 1998년 8월에 발생한 중랑천 홍수의 경우, 8월 8일에 도봉구와 노원구는 각각 475mm와 347mm로 관측사상 두 번째의 큰 강우에도 불구하고 범람하지 않았으나, 8월 6일의 200mm와 165mm의 강우에도 중랑천이 범람하였다(이종태, 1998). 그 원인은 중랑천 상류인 의정부 지역에 6일에는 366~409mm, 8일에는 250mm의 강우가 발생한데서 찾을 수 있다. 게다가 중랑천 상류에 개발이 완료되었거나 사업중인

의정부시의 택지개발지는 장암, 송산, 금오, 민락, 신곡으로 총면적은 3.361km²에 달하고 있어(국토개발연구원, 1996) 앞으로 중랑천의 범람의 가능성은 더 커지고 있다.

이와 같은 도시화로 인한 수문환경변화의 문제점을 최소화하기 위하여 선진 각국에서 최근에 이용이 확대되고 있는 우수유출의 저감대책의 하나인 투수성 포장의 경우 침투성의 증대로 유출율이 감소하여 홍수량을 줄이고 지하수위를 높여 홍수와 갈수시의 수자원효율의 증가는 물론 지하에 물 및 공기를 공급하여 토양 및 하천환경관리상의 장점을 제외하고도, 도로에 고인 물의 제거로 차량 및 보행자의 교통장애를 줄이고 포장표면의 공극으로 인한 자동차 소음의 감소 효과 등이 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 국내에서는 아직 우수유출 저감시설에 대해서 홍수를 줄이기 위한 치수차원에서의 연구는 있었으나, 수자원 및 하천환경관리의 차원에서 연구된 바는 찾아보기 어려운 실정이다. 그러므로 도시지역의 투수성 포장의 수자원 및 하천환경관리 차원에서의 타당성과 경제적 효과에 대해서 기초적인 연구를 통해 그 실용화를 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

2. 우수유출억제시설

우수의 집중적인 유출을 억제하고 보수와 저류기능을 강화하는 것으로, 도시화로 인한 홍수, 수원함양기능 저하, 수자원환경의 악화 등을 억제하는 기술을 추진하는 구체적인 시설들은 그림 2와 같이 우수를 일시적으로 저류시켜 침투유출을 줄이는 저류형과 지표면이나 지층을 통한 지하로의 침투형으로 대별된다(서울시정개발연구원, 1995).

저류형인 우수저류시설은 일반적으로 유역의 말단이나 타 유역과 함께 공용으로 설치되어 유역으로부터 유입된 우수를 조절할 목적으로 설치된 지역외저류와 유역내에 내린 강우가 우수관거, 우수지 및 하천으로 유입하기 전에 물을 일시적으로 저류시켜 유출을 억제하는 지역내저류로 분류된다. 이와 같은 저류시설은 침투유출량을 저감에는 효과적이지만 홍수유출량의 감소기능이 없으며 지하수 함양이나 기저유출을 증가시킬 수는 없으므로 홍수부담을 경감시키는 외에 수자원의 확보나 환경보전의 기능을 보유하지 못하는 단점이 있다.

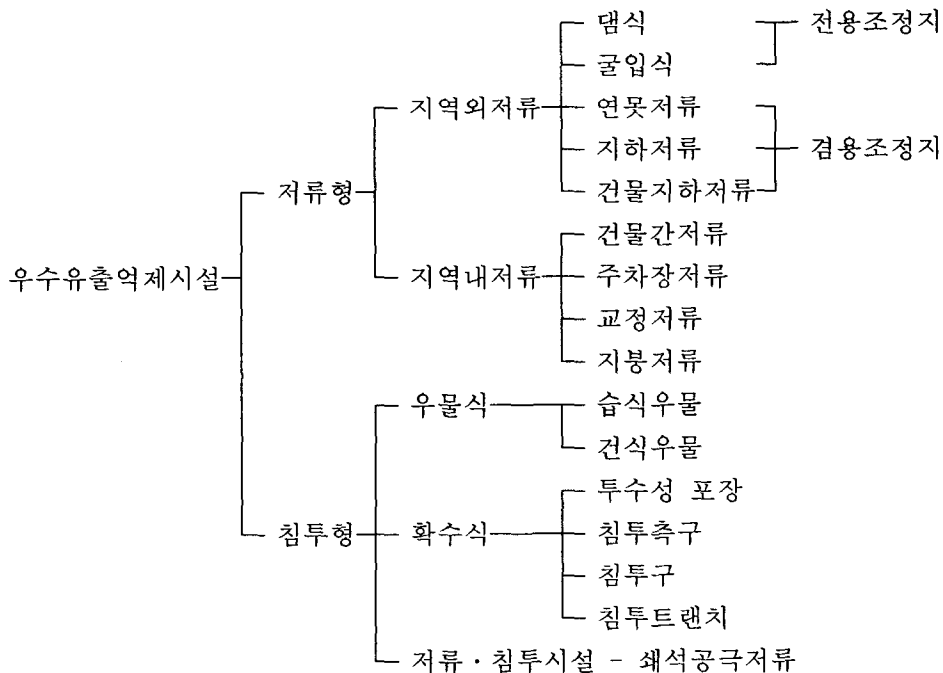


그림 2. 우수유출억제시설의 종류

침투형 우수유출억제시설에는 그림 2와 같이 우물식과 유역의 표층에서부터 물을 침투시키는 확수식이 있으며 추가적으로 저류와 침투의 기능을 동시에 가지는 쇄석공극저류식이 있다. 우수침투시설은 지반의 침투능력에 따라 지하로 우수를 침투시켜 침투유출량뿐만 아니라 홍수유출량 자체도 감소시켜 하류하천의 홍수부담을 경감시키는 것 외에도 토지의 다목적 이용과 지하수자원확보 및 환경보전의 효과도 탁월하다(김귀곤, 1993).

우물식은 국부적 투수성이 크고 하수도 본관이 없는 곳에서도 시설이 가능하지만, 우물 속의 막힘 제거작업에 어려움과 넓은 토지의 점유 등에 문제가 있어 지표에 직접 침투시키는 확수식 방법에 대한 요구가 확대되었다.

확수식은 지표의 불포화층의 얇은 위치에 우수를 침투·확산시켜 지표면 유출을 억제하거나 저류효과에 의하여 유출을 지연시키고자 하는 방법으로 투수성 포장, 침투측구, 침투구, 침투트렌치 등으로 세분된다. 침투측구와 침투구 및 침투트렌치는 각각 일반 측구와 맨홀 및 하수관거의 기능에 침투 효과를 추가한 것으로 우수배제시설로 인한 도달시간을 감소시키면서 유출량도 줄이고자 하는 방법으로 우수를 유역에서 신속히 배제시키는 목적에 발상의 전환을 부여하여 유역의 토양환경과 하류하천의 수질을 보전하기 위한 것이다. 일반적인 종래의 포장이라는 것은 교통기능을 중시하고 보다 안전하고 튼튼해야 한다는 관점에서 노반이나 노상에 우수가 침투되지 않아 수분을 포함하지 않는 방향으로 기술개발이 되어 왔다. 그러나 투수성 포장은 포장면을 통해 우수를 직접 도로로 침투시켜 지중에 분산침투 시키는 구조를 가진 포장을 말한다. 본 연구에서는 투수성 포장을 중심으로 도시의 하천환경을 보전하기 위한 우수유출억제시설의 타당성에 관한 연구의 기초를 마련하고자 한다.

3. 투수성 포장

3.1 투수성 포장의 종류와 구조

보통 포장과 투수성 포장 및 배수성 포장의 차이점은 그림 3에 나타낸 바와 같다. 일반적인 보통포장은 노상을 구성하는 흙이 수분을 지나치게 가지면 충분한 지지력을 얻을 수 없으므로(진병익, 1981) 표층, 기층 및 노반 모두 불투수층으로 만들어 빗물이 표층에 고이거나 측구를 통하여 하수구 등으로 흘러 들어갈 수 있도록 구성된 포장이다. 배수성 포장은 포장체의 표층부분을 투수성으로 하고 기층과 노반이 불투수층으로 되어 있어서 빗물이 표층으로 스며든 후 기층의 불투수층을 만나면 일반 불투수성 포장과 마찬가지로 측구나 하수구 등을 통하여 강으로 흘러 들어가는 구조이며, 투수성 포장은 표층, 기층, 노반이 모두 투수층으로 되어있어서 빗물이 노반까지 직접 흘러 들어가는 구조이다. 그러므로 배수성포장은 교통량이 많은 일반도로에 적합하며, 투수성 포장은 진입로나 주차장, 공장, 자전거도로 및 인도 등 교통하중이 적은 곳에 적합한 것으로 판단된다.

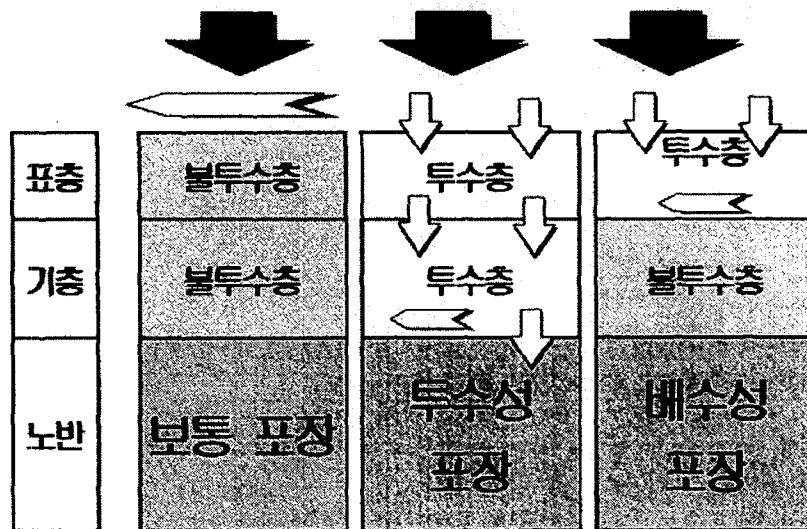


그림 3. 보통 포장, 투수성 포장 및 배수성 포장

일반적인 도로 포장과 마찬가지로 투수성 포장도 아스팔트 포장과 콘크리트 포장이 있다. 투수성 아스팔트 포장은 1980년대부터 선진국에서 개발하여 보도를 중심으로한 생활관련 도로, 광장 및 주차장 등에 실제 포장을 하고 있다. 그러나 결합재로서 아스팔트를 사용하기 때문에 여름철에 노면의 온도가 상승할 때 아스팔트 점성으로 인하여 투수공이 막히게 되고, 중차량이 통행함에 따라 노면이 변형되어 투수기능이 상실되는 문제점이 지적되고 있다(한양대학교 건설연구소, 1997). 그러므로 아스팔트가 지닌 재료상의 단점을 콘크리트로 대체한 기술이 개발될 필요가 있다.

3.2 투수성 콘크리트 포장 공법

일반적으로 콘크리트에서는 골재와 골재 사이의 공극을 시멘트풀이 채움으로서 내부의 공극을 최소화하여 흡수나 투수를 줄일 수 있도록 만들고 있다. 그러나 투수성 콘크리트는 콘크리트 내부에 연속공극을 형성함으로써 투수를 용이하게 하도록 제조해야 한다. 주지하는 바와 같이 콘크리트의 공극 중에는 투수성에 관여한다고 생각되는 연속된 공극과 그렇지 않은 독립된 공극으로 나눌 수 있으며 콘크리트의 투수성을 증진시키기 위해서는 연속공극을 15% 정도로 증가시키는 것이 바람직하다. 또한 콘크리트의 강도면에서도 독립된 공극을 최소화시켜 총 공극량을 저하시키는 것이 바람직하기 때문에 공극을 독립시키지 않고 연속공극으로 변화시키는 것이 중요한 과제라 할 수 있다(문한영 등 1998).

콘크리트에 연속된 공극을 형성시키는 방법으로써 콘크리트에 혼화제인 기포제를 사용하여 콘크리트 중에 다량의 기포를 발생시켜 연속된 공극을 형성하는 방법과 콘크리트 배합시 잔골재율을 적게 하여 골재와 골재사이에 연속공극을 형성하는 방법으로 나눌 수 있다(大友 등, 1991). 그러나 기포제를 사용하는 방법은 독립된 공극을 발생시키기도 하며 시공성이 나쁘므로 주로 비교적 균일한 골재입도를 사용하는 방법에 대한 연구가 활발하다.

투수성 콘크리트는 그림 4와 같이 콘크리트 배합시 잔골재율을 최소화시킴으로써 균일한 골재입도로 이루어졌으며 골재는 서로 맞물려 있는 상태를 유지하고 시멘트풀은 골재표면을 감싼 상태로 되어 있다. 그리고 골재와 골재 사이에 형성된 공극의 일부가 시멘트풀로 채워지며 골재 사이의 공극이 크게 형성

된 부분은 시멘트풀로 다 채워지지 못하고 작은 공극이 형성되는데 이것을 투수공이라 한다. 또한 투수성 콘크리트는 잔골재를 적게 사용함으로써 시멘트풀의 유동성이 클 경우에는 골재와 골재 사이의 공극으로 시멘트풀이 흘러내려 저층의 공극을 채우기 때문에 투수성이 저하되고 위층의 콘크리트 강도에 영향을 미치므로 된반죽의 시멘트풀을 만들어야 하기 때문에 물-시멘트비를 적게 하여 슬럼프가 0에 가까운 상태로 만들어야 한다(中丸 등, 1992). 따라서 이렇게 제조된 투수성 콘크리트는 보통 콘크리트와 같이 시공할 수 없고 롤러다짐에 의해 시공을 해야 함으로 특수한 목적으로만 사용할 수 있어, 주로 보도 및 주차장 등과 같은 콘크리트의 포장 구조체를 만드는데 적합하다고 생각된다.

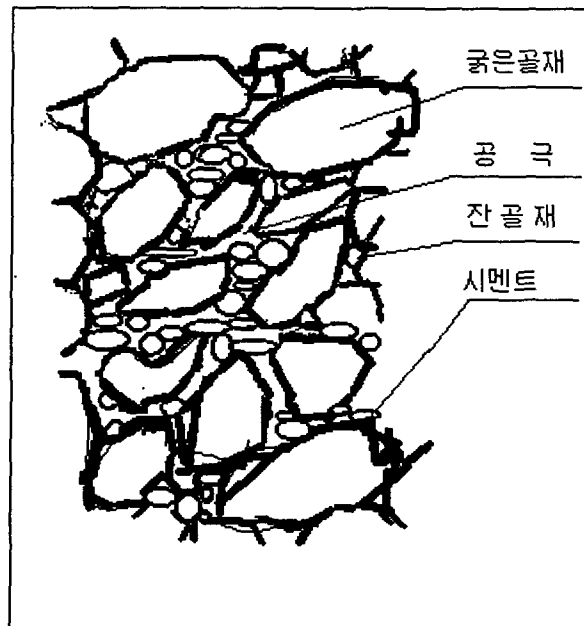


그림 4. 투수성 콘크리트의 단면도

현재의 도로포장은 주로 아스팔트 포장과 콘크리트 포장으로 거의 투수성이 없어 강우시 빗물이 지표로 흘러 하천으로 곧바로 유입되기 때문에 환경적인 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 또한 배수시설이 완벽하지 못한 도로에서는 많은 양의 물이 배수되지 못하고 도로에 고여 있음으로 인해 도로교통에 장애

를 초래하며, 도로표면에 수분이 다량 함유되어 있어 차량제동시 미끄럼 저항성이 떨어져 사고의 위험성이 높다. 따라서 이러한 문제점을 개선시키기 위한 방안으로 투수성 콘크리트의 포장에 대한 관심이 증가되고 있으며, 이러한 투수성 콘크리트 포장의 개념도를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서와 같이 투수성 콘크리트 포장은 노상 위에 휠터층(모래층)과 $1.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 정도의 투수계수를 갖는 기층 및 표층의 투수성 콘크리트로 구성되어 있다. 따라서 강우시 표면수를 다른 포장체보다 빠른 시간에 투수시킴으로써 차바퀴와의 수막현상 방지와 다공성에 의한 마찰력의 증가로 도로교통의 안정성을 확보할 수 있으며, 차도나 보도 등에 물이 고이지 않고 난반사에 의한 눈부심이 없어 보행자나 운전자의 행동에 제약을 받지 않는다. 또한 땅 속에 즉시 투수시켜 지하수의 고갈을 예방하고 포장체 밑의 토양에 수분과 산소를 공급함으로써 미생물의 서식이 가능하도록 하며 가로수 등에 자연수를 공급함으로써 자연 환경적인 효과를 얻을 수 있다. 이 외에도 아스팔트 포장공법을 적용함으로 시공속도가 빠르고, 포장 후에도 블리딩이 생기지 않으므로 이에 따른 레이턴스가 생기지 않음으로써 먼지가 나지 않으며 저렴한 비용으로 다양한 색상의 포장이 가능한 장점을 가지고 있다.

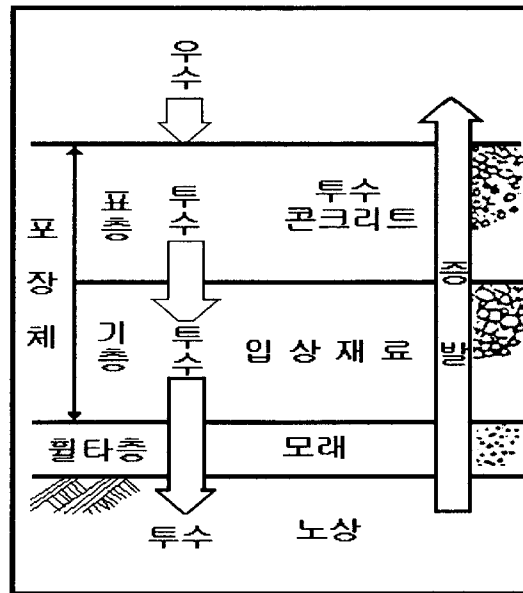


그림 5. 투수성 콘크리트포장의 단면구조

그러나 이러한 장점이 있는 반면, 줄눈이 필요하고 차량 통행시 아스팔트와는 달리 충분한 양생기간이 필요하며 노상층이 연약지반일 경우 우수의 침투로 인해 지반지지력의 저하가 우려되고 동결융해에 대한 각별한 관리가 필요한 단점을 가지고 있다.

그러나 현재 국내에서 시공되는 투수성 콘크리트는 1년 정도만 공용하면 틈이 막혀 공극이 줄어들음으로 인하여 배수기능의 저하를 초래한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 골재의 형상과 성질, 입도와 60℃점도의 개질재 및 공극율-골재입도-맞물림에 대한 배합 등 연속공극의 확보를 위한 연구가 진행되어야 할 것이며 식물성 섬유첨가의 유효성을 확인하고 틈이 막히거나 채워지는 메커니즘을 분석하는 것도 중요하다. 그리고 고압수, 제트수를 이용한 청소, 흡입청소 등 적절한 세정시기를 검토하고 투수성 시험의 전반적인 평가방법이 개발되어야 할 것으로 생각되며, 투수성 포장에서도 배수경사를 충분히 확보하는 것도 하나의 중요한 요소라 생각한다.

3.3 선진국의 연구 동향 및 이용 실태

투수성 콘크리트를 이용한 배수성 포장은 1988년부터 선진외국에서 본격적으로 현장에 적용하고 있으며, 그 적용에 대한 목적도 조금씩 달라지고 있다. 미국의 경우 배수성 포장에 일반 아스팔트를 주로 사용한 실적이 있으며, 이와 같은 경우 그 적용 장소와 조건을 제시하여 포장 파손을 최소화하는 소극적인 적용례가 있었는가 하면, 유럽이나 일본에서는 개질 아스팔트를 사용하여 가능하면 중대형 차량이 많이 혼입되고 있는 교통 조건에서도 그 기능을 유지시키려는 적극적인 적용 경향도 있다. 선진외국의 투수성 콘크리트 및 아스팔트를 이용한 포장의 연구동향 및 이용실태에 대하여 국가별로 살펴보면 다음과 같다.

3.3.1 미 국

미국에서는 1930년대 오리건주에서 배수성 포장으로 여러 번 실코우트층을 시공하는 방식에서 출발하여 1959년 애리조나 주, 네바다 주에서 개립도 마모층 혼합물사용을 처음으로 추진하였으며 미연방 도로국(FHWA)에서는 1973년에 개립도 마모층 지침서를 제시하여 각 주에서 이의 사용을 권장하고 있다. 미국

에서의 배수성 포장은 우천시의 미끄럼 저항성 확보에 주안점을 둔 것으로 유럽에서의 소음저감효과를 주안점으로 하고 있는 것과는 상이하다. 그리고 목표 공극율은 15%로 하며 시공두께는 20mm로서 포장전체의 구조용량을 평가할 때 배수층은 고려하지 않는다.

3.3.2 유 럽

유럽에서의 투수성 콘크리트를 사용한 배수성 포장은 일반적으로 골재를 우수한 것으로 선정하고 개질 아스팔트를 적용한 혼합물을 기본으로 적용하고 있다. 사용골재의 최대치수는 14mm, 11mm 및 8mm로 구분하고 있으며 목표 공극율을 20% 정도로 하고 시공두께는 35~50mm범위로서 투수성 포장층은 전체 포장구조용량에 고려된다. 그리고 다음 표 1은 유럽의 초창기 배수성 포장의 적용현황을 나타낸 표이다.

표 1. 유럽의 투수성 포장의 적용현황

국가명	보급년도	개 요
구서독	1986	1970년대 초 일반 아스팔트로 배수성 포장 적용 후 1986년부터 개질 아스팔트 적용, 셀룰로스 화이버를 첨가하여 결합재의 피복두께를 두껍게 하기도 함.
오스트리아	1984	Pyhrn 도로공사 180km 중 85km가 배수성 포장
프랑스	1984	수막현상 배제, 물 고임 방지 및 시인성 향상
이태리	1986	고속도로 300만m ² 이상 실적, 5~8년간 수명기대
폴란드	1986	소음 3~5dB 저감을 목적으로 실시, 결합재 노화, 균열, 돌의 비산, 소성이 문제
벨기에	1981	파리~브뤼셀 350km 중 100km가 배수성 포장, 사고가 10~15% 감소

3.3.3 일 본

일본에서의 배수성 포장은 1987년에 동경시의 외곽순환도로에 저소음 포장으로 처음 시공된 이래 건설성, 일본도로공단 등에서도 많은 시험시공이 실시되었다. 1992년 총 시험시공면적이 약 18만 m^2 의 실적이 있으며 매년 그 시공면적이 급격히 증가하고 있다. 배수성 포장의 결합재로서는 대부분 개질재 아스팔트를 사용하고 있으나 부분적으로는 일반 아스팔트의 시공실적도 있다.

3.3.4 각국의 비교

이태리에 있어서 배수성 포장은 대략 5~8년의 수명을 기대하며, 네덜란드는 6만대/일의 도로에서 약 10년을 기대할 수 있다는(일반 밀입도 아스팔트 혼합물 : 약 12년) 보고가 있다. 유럽의 배수성 포장의 기능에 관한 경시변화특성 자료는 충분치 않으나 스페인의 자료를 기준으로 살펴보면 첫째, 차륜 통과부는 비차륜 통과부에서보다 차량 주행에 따른 타이어 흡인력으로 청소효과가 있으며 혼합물의 투수성을 보다 잘 지속시킨다. 둘째, 공극이 적은 배수성 포장일수록 틈이 쉽게 막히는 결과를 준다. 셋째, 폴리머 개질 아스팔트를 사용할 때 7.5년 정도 투수성을 지속하고 있다.

한편, 1991년 8월에 개최된 PIARC의 배수성 포장의 기술현황에 관한 워크숍에서 발표된 주요 내용은 다음과 같다. 첫째로 배수성 포장의 투수성은 초기 몇 년 동안에는 급속히 적어지나 그 이후의 투수성 저감속도는 늦어지고 만족할 수 있는 정도에서 머무른다. 둘째, 저속주행 도로나 교통이 통행하지 않는 도로에서는 틈채움이 일어난다. 셋째, 틈채움에 대해서 틈막힘을 제거하는 여러 형태의 장치가 시험되었으나 흡입 청소법에 의한 것이 유효하다. 넷째, 고속도로에서는 매년 노면의 예방적 틈막힘 청소가 필요하다.

일본은 유럽에 비해 교통 및 기상조건이 나쁘며 또한 골재 사정이 좋지 않은 것으로 평가되며, 여러 번 시행된 시험시공에서 틈막힘 및 틈채움에 의한 기능 효과는 1년 정도에서 저하되는 것이 많았고 배수 및 흡음 기능 효과는 약 2년 정도 유지하고 있는 것으로 평가된다. 또한 소음저감효과에 대해서는 밀입도 혼합물 포장에 비해 시공 직후에 7dB정도까지 저하된 것이 있었으며, 2년 후에는 2dB 저하한 경우가 있는가 하면 표면형태에 따라서는 밀입도 혼합물의 경우

보다 오히려 소음효과가 나쁜 경우도 보고된 바 있다. 그러나, 배수 기능이 더욱 저하하여도 시인성이나 미끄럼 저항성은 일반 밀입도 아스팔트 혼합물 포장에 비해 양호하게 평가되고 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 배수성 포장은 더욱 더 기능성 포장으로 설계, 시공, 관리면에서 보완 발전되어야 할 부분이 많이 있다고 판단된다. 따라서 향후 이 기술에 대한 투자와 노력을 조금만 더 기울인다면 점차 증대되는 일반도로는 물론 고속도로에서의 안전성 요구 및 환경과 관련된 소음 대책에 대응할 수 있는 포장으로서 투수성 포장은 조만간 포장부분 신기술로 그 자리를 확보 하리라 판단된다.

3.4 투수성 포장의 장단점

최근 들어 우리 나라의 교통량이 급속도로 증가하고 있으며 산업화와 도시화의 가속화로 인류의 생활수준 및 양상이 다양해짐에 따라 도로를 포함한 우리의 생활주변 모든 장소에 이용이 편리하도록 포장을 하고 있고 포장율도 급속히 증가하고 있다. 현재 우리 나라의 모든 도로포장은 불투수성인 아스팔트 포장과 콘크리트 포장을 채택하고 있다. 이러한 불투수성 포장체들은 투수성이 없기 때문에 강우시 배수시설이 없거나 완벽하지 못한 도로에서는 많은 양의 물이 배수되지 못하고 도로에 고여 있음으로 인해 도로교통에 장애를 초래하며 도로표면에 수분이 다량 함유되어 있어 차량의 제동시 미끄럼에 대한 저항성이 떨어져 사고의 위험성이 높다.

또한 물을 땅속에 침투시키지 못하고 포장체 표면으로 흘러 하수관과 하천, 강 등으로 흘러 들어가면서 도시하천의 범람원인이 되고 있는 반면, 지하수가 고갈되고 지중에 미생물이 서식하지 못하며 토양이 사막화되는 등 자연환경적인 여러 가지 문제점을 내포하고 있을 뿐만 아니라 생활수준 향상으로 물수요가 급속히 늘어나면서 하천, 저수지 등의 지표수만으로는 용수의 수요량을 충족하지 못하게 되자 필연적으로 지하수에 관심을 기울이게 되었고 지하수의 과잉 이용은 지반침하를 불러일으키고 지하수 고갈 및 오염을 가져 올 수 있어 지하수 이용을 제한하는 등 심각한 상태에 이르렀다. 특히 우리 나라 강수특징은 몬순기후의 영향을 받아 연 강수량의 2/3가 6~9월에 집중되는 특성을 가지고 있으며 여름에는 홍수가 빈번하고 겨울과 봄에는 상대적으로 가뭄이 발생하는 등

계절적인 편차가 크다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 일환으로 투수성 포장에 대한 관심을 기울이게 되어 1980년대부터 선진 외국에서는 투수성 아스팔트 콘크리트를 개발하여 보도를 중심으로한 생활관련도로, 광장 및 주차장 등에 실제포장을 하고 있다. 또한 최근에는 이 공법이 일반도로에도 시험시공이 되고 있지만 결합재로서 아스팔트를 사용하기 때문에 여름철에 노면의 온도가 상승할 때 아스팔트 점성으로 인하여 투수공이 막히게 되고, 중차량이 통행함에 따라 노면이 변형되어 투수기능이 상실되는 문제점이 지적되고 있다.

주택가나 아파트 단지 등 보행자 전용도로 및 주차장용으로 시공되는 포장 콘크리트를 투수나 배수가 잘 되는 포장구조체로 만들 경우 집중호우나 폭우가 쏟아질 때 일반적인 불투수성 콘크리트 포장보다 훨씬 짧은 시간에 투수 내지는 배수가 잘 됨으로써 보행에 불편을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 우리 나라의 경우 지금까지는 대부분의 포장이 불투수성의 아스팔트 콘크리트 포장이거나 시멘트 콘크리트 포장이라고 해도 과언이 아니지만 외국에서는 포장의 용도와 기능에 알맞은 다양한 포장공법이 개발되어 실용화되고 있는 실정이다.

그 대표적인 예가 보행자 전용의 도로나 주차장용 포장에 국한되지 않고 일반적인 자동차 전용도로에 투수성 포장을 적용함으로써 우천시 차량주행안전성의 향상, 소음의 저감 등의 효과가 있을 뿐만 아니라 불투수성 포장은 노면수를 지하로 배수시키지 못하고 측구 등으로만 흘려 보내 하천의 범람, 지하수의 고갈, 환경오염 등의 원인이 되는 반면 투수성 포장은 포장체를 통하여 노면수를 직접 노상으로 침투시켜 지하수로 환원시킬 수 있는 장점을 가진 포장공법이다.

또한 투수성 콘크리트가 발휘하는 또 하나의 효과로는 저소음효과를 들 수 있다(松尾 등, 1993). 일반 밀입도 혼합물에 비하여 시공 직후 소음이 7dB까지 저하된 연구보고가 있으나 틈이 막히거나 채워져 공극이 줄어들면 배수기능이 저하될 뿐만 아니라 저소음의 효과도 떨어진다. 저소음 포장은 비교적 큰 공극을 가진 개립도 아스팔트 혼합물을 이용한 포장으로 자동차 주행에 의해 발생하는 소음을 흡음 한다. 그림 6은 다공성 포장의 정음효과에 대한 개념도를 그린 것이다. 그림 6(a)에서는 자동차 제동시 소음이 발생하는 경우인데 보통 포장은 타이어 홈과 포장면 사이가 좁아서 공기가 빠져나갈 수 없으므로 공기압축음과 팽창음이 발생하는 것에 비하여 다공성 포장은 공극이 많음으로 공기가

공극을 통하여 빠져나감으로써 자동차 제동시 소음이 많이 흡수됨으로써 흡음 효과를 가진다.

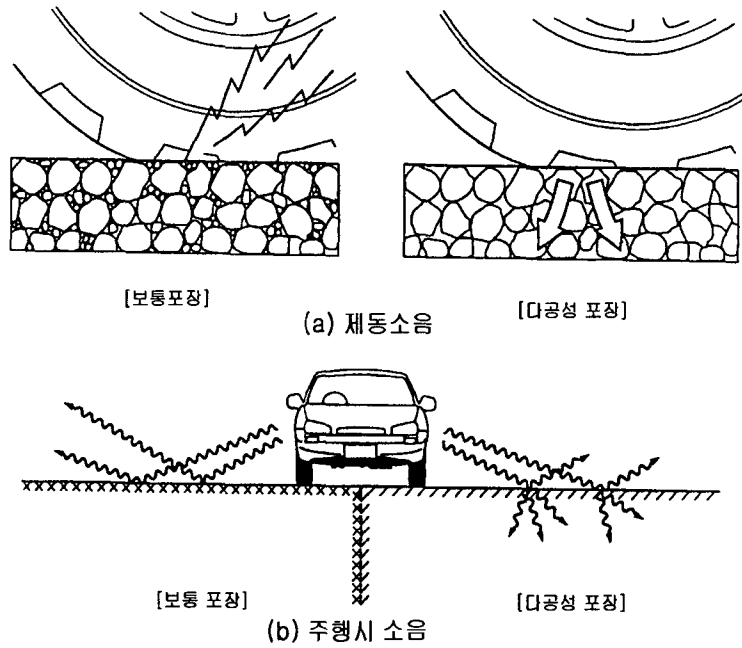


그림 6. 다공성 포장의 저음 효과

그리고 그림 6(b)에서는 자동차 주행시 소음이 발생하는 경우인데 보통 포장에서는 음이 반사되어 소음이 심한 반면 다공성 포장에서는 음의 일부가 포장체 내의 공극으로 흡수되어 반사음이 경감됨으로써 저소음 효과를 가져다준다.

4. 수문환경에 대한 효과 분석

4.1 물 문제

물의 문제를 다루는데 있어 일반적으로 3가지로 나누게 된다. 물의 과잉으로 발생하는 재해를 방지하기 위한 치수문제와 물의 부족이 주안점이 되는 이수문제 그리고 수질오염으로 대표되는 환경문제가 그것이다.

우선 치수문제를 살펴보면, 우리 나라의 재해의 특성은 과거의 상황과 많은 차이점을 갖고 있다. 첫째, 기상이변에 의한 집중호우로 과거 기록을 상회하며, 둘째 도시개발과 교통기반시설 등으로 토지이용의 변화, 셋째 하천의 통수기능을 저해하는 구조물의 설치, 하천범람지역의 인구와 자산의 집중 및 지하공간의 이용으로 인한 Damage Potential의 증가와 이에 따른 Flood Risk가 날로 증가하고 있다. 특히, 도시화는 지표면의 불투수화와 평탄화로 지하 침투량이 적어지는 반면 표면 유출량은 급격히 증가하는 결과를 초래하고, 하천개수와 하수도의 정비로 유출시간이 단축되어 단시간내에 급격히 유출되어 홍수량이 증가하는 결과를 가져온다. 홍수량을 처리하기 위하여 하천폭의 확대와 제방고를 높여야 하지만 하천변의 토지가 고도로 이용되고 있어 하천부지의 확보는 경제적·사회적으로 사실상 불가능하다. 그러므로 홍수가 발생하는 원인 중 지표면에서의 직접유출 성분을 줄이고 유출을 지연시킴으로써 홍수량을 줄이는 방법이 필요하다.

이수문제에 있어 한발로 인한 심각한 피해는 우선 농업에 미치는 재해를 생각할 수 있다. 벼농사기간 중(6·7·8월)에 내리는 평균 강수량은 연평균 강수량의 약 55% 정도, 즉 600~700mm 정도이나 그 양이 1/2 이하가 되면 벼농사는 한발에 의한 한해를 받는다. 최근 댐이나 저수지 등 관개시설이 많이 정비되어 피해면적은 감소되고 있으나, 기상재해 중에서는 풍수해 다음으로 피해액이 크다고 볼 수 있다. 한발은 벼뿐만 아니라 전 작물과 과수 등에도 피해를 입히며, 또한 여름철뿐만 아니라 동해안 남부 지방에서는 겨울철에도 한발이 발생한다. 한발은 비가 내리지 않는 날이 약 20일 이상 계속되면 발생되기 시작하나 10-20일 마다 20~30mm정도의 비가 내리면, 가령 그 총량이 월평균 강수량의 1/2이하일지라도 한발이 되지 않는다. 벼농사의 경우 한발이 되느냐 안 되느냐는 5~6월의 강수량에 의해서 대체적으로 짐작할 수 있다. 즉 5-6월의 강수량이

충분하면 7-8월의 강수량이 다소 적어도 한발의 염려는 없으나 적으면 한발의 위험성이 있다. 인구가 증가하고 생활수준이 향상되며 산업시설이 급증한 현대에 와서는 가뭄이 농업에 미치는 영향이외에도 개인의 일상생활과 산업시설의 가동에 지대한 피해를 입히고 있다. 더구나 수도권 지역의 경우 농촌의 도시화 추세에 따라 불투수지역인 포장면적이 확대됨으로 인해 홍수량이 증가하고 갈수량이 줄어 한발의 가능성은 더욱 높아지고 있다.

하천환경문제를 살펴보면 사회 및 경제발전에 따라 물수요가 급증되고, 도시화·공업화로 인한 특정지역의 용수수요가 대량화·집중화되면서 지역적·계절적으로 편기된 자연하천 유출량만으로는 용수수요를 충족하기에는 한계에 도달하였다. 더욱이 도시하천에서의 생활하수와, 공장에서의 공장폐수, 농촌지역에서의 축산 폐수가 제대로 처리되지 못하고 하천 및 호소로 배출됨에 따라 우리나라의 하천 및 호소는 점점 더 물오염이 심해지는 추세이다. 이러한 하천수질의 악화는 근본적으로 물이용량의 증가에 따라 가속화 될 것이다. 이러한 이유로 환경기초시설에 막대한 비용을 투자하면서도 하천 및 호소의 물오염은 좀처럼 개선되지 못하고 있다. 우리 나라 하수처리율은 1993년 현재 39%에 그치고 있으며 1997년까지 73%로 높이고 있으나 생활 및 공업용수의 수요량 증가는 이러한 하수처리율의 증가를 상회하게 되어 미처리된채 하천으로 유입되는 오염배출량의 총량은 비슷한 수준을 유지하게 되어 적극적인 대책이 없는 한 하천 및 호소의 오염은 계속 될 것으로 보인다. 그러므로 오폐수의 처리에만 매달릴 것이 아니라 하천의 기능을 충족시킬 수 있는 하천관리유량의 확보에도 관심을 가져야 할 때이다. 또한 환경부에서 하천생태계 보전과 친수공간 확보를 위하여 연구하고 있는 자연형 하천계획에 있어서도, 어떻게 소하천의 배수기능을 유지하고 소하천 유지용수를 확보하느냐가 가장 큰 선결문제인 것이다.

위에서 언급한 하천의 치수·이수·환경문제를 극복하면서도 주택문제의 해결 및 삶의 질을 높이기 위한 신도시 개발을 늦출 수도 없는 실정이다. 즉, 개발에 따른 포장면적의 확대에 의한 문제점을 해결하는 방안으로 유출 억제시설을 도입하는 도시화 계획이 필요한 것이다. 이러한 유출억제 시설로는 하천변에 조정지나 우수지를 설치하는 기존의 방법도 있지만 하천변의 토지이용의 고도화에 따른 문제점은 역시 상존 하게 된다. 보다 적극적인 방법으로 우수침투시설을 고려 할 수 있다. 침투구와 침투트렌치 및 침투측구를 사용하는 방법으로 기존의 맨홀과 측구의 바닥을 투수성으로 처리하는 방법이지만 이런 시설물 내

의 유량이 커서 유량대비 침투효율은 적은 편이다. 그러므로 가장 효율적인 우수침투 방법은 투수성 포장을 들 수 있다.

투수성 포장을 포함한 유출억제시설의 효과는 홍수량 감소는 물론이고 수문순환계를 보다 자연상태에 가깝게 복원시킴으로써 평수량 증대, 지하수량 증대, 지중의 수분증가 및 증발산에 의한 도시열섬효과의 완화도 포함된다.

4.2 자연지역과 도시의 물수지 비교

도시의 물수지의 특성을 설명하기 위해 자연지역과 도시의 물수지 기준을 비교해 보면 그림 7과 같은 물수지 개념도로 나타낼 수 있다(新井 등, 1987). 여기서 타 지역으로부터의 지하수 유입은 없고, 하류방향으로는 열린 시스템이며, 도시는 전면이 불투수성 지역으로 가정한다.

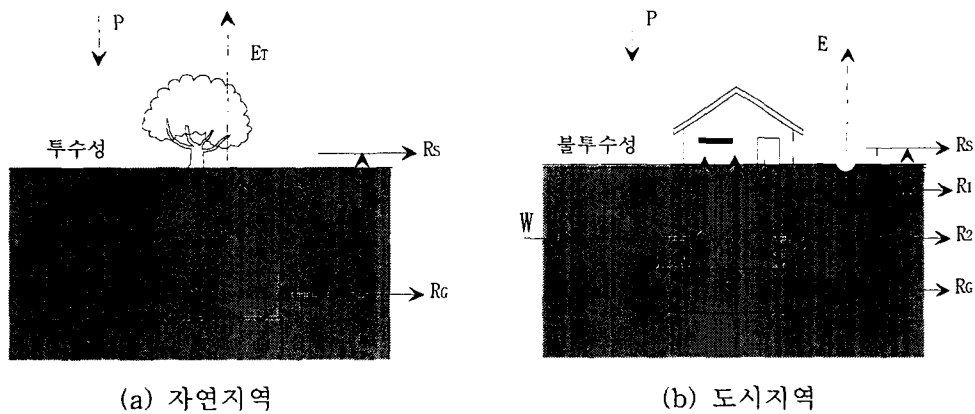


그림 7. 자연지역과 도시의 물수지

4.2.1 자연지역의 물수지

그림 7(a)와 같이 자연지역에서는 강수(P)의 극히 일부가 표면유출(Rs)이 되고, 일부는 증발산(E_T) 되며, 나머지부분은 지중으로 침투되어 토양수 또는 지하수(S)의 변화에 기여한다. 지중수의 일부는 모관작용에 의해 토양 속으로 상승되어 증발산으로 없어지고, 일부는 용천 등의 형태로 지상으로 침출하고, 일

부는 지하수의 형태로 땅속을 흐른다. 여기서 증발을 통해 물이 기화할 때에는 약 580cal/g의 잠열이 소비되며, 이 작용으로 인해 기온과 지온의 조절 역할을 한다.

자연지역의 강우 도중 또는 직후의 유출(종래의 표면유출로 보여져 온 성분)에 대해서는 최근 새로운 자료가 모아져 개념이 변화하고 있다. 최근 동위원소를 추적자로 한 동위체수문학의 발전에 따라 자연지역의 강우유출의 대부분이 강수의 침투에 의해 밀려나온 지하수 또는 한번 지중으로 잠입한 토층의 공극에서 유출된 물이라고 여겨지고 있다. 따라서 그림 7에 나타난 바와 같이 $P \rightarrow S \rightarrow R_G \rightarrow R_s$ 의 경로로 인한 유출이 많은 것으로 파악된다. 그러므로 자연지역에서 표면유출은 극히 미미하여 이 용어를 사용하는 것이 적절치는 않으나, 종래의 관행과 도시지역과의 대응관계를 나타내기 위해 사용한다.

물의 부존상태와 흐름을 나타내기 위해서 수지식과 운동방정식 등이 사용되나, 여기서는 주로 수지식에 의해 설명하기로 한다. 습윤지역($P > E_T$)을 상정하므로 물수지식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = E_T + \Delta S + (R_s + R_G) \quad (1)$$

여기서 ΔS 는 지중의 수분저류량의 변화를 나타내지만, 연평균 값 또는 연간의 변화로 고려하면 $\Delta S = 0$ 이 되어 이 항목은 생략할 수 있다. 그러나 계절변화를 추적할 경우에는 ΔS 가 중요하므로 생략될 수 없다.

4.2.2 도시지역의 물수지

도시의 물수지에 대하여는 그림 7(b)에 나타나 있는 바와 같이, 도시수문의 3대 특징인 타 지역으로부터 수도 등의 용수도입(W)과 배수시설 및 불투수성 지표층 도입이 자연지역과 다르다. 만약 도시 전역이 불투수성 지표라고 하면, 증발은 겨우 강우의 초기와 강우 후 표면저류에서만 발생한다. 현실적으로 불투수성 지표면도 완전하지 않으므로, 일부는 지중으로의 침투도 생길 것이다. 그러나, 침투하는 물의 흐름은 자연지역의 경우보다는 적으므로, 그림에서는 점선으로 나타내고 있다. 증발(E)과 지중으로의 침투가 적어지므로 도시지역에서는 실제의 표면유출이 발생하고, 그 양은 상당히 많은 편이다. 지중으로의 침투가

감소하고 동시에 도시에서 양수가 행해지기 때문에 지하수량은 감소한다. 이와 함께 R_G 및 지하수에서 지표로의 침출수량도 감소한다.

수도관에서는 대개 누수가 있고, 이것이 시가지의 지하수 함양에 기여할 것으로 추정된다. 도시로부터의 배수는 자연지역과 마찬가지로 R_S 와 R_G 에 의한 것 외에 우수의 배수구(R_1)와 하수도(R_2)의 유출도 더해진다. R_1 및 R_2 가 별개의 시스템으로 만들어져 있는 경우(분류식하수도)가 있는가 하면, 양자가 공용으로 된 경우(합류식하수도)도 있다. 이들은 하천과 연계되는 경우도 있으므로 R_S , R_1 , R_2 의 사이에는 점선으로 연결되어 있다. 물론, 하수도는 지하수와 연결되기도 한다.

그러므로 그림 7을 참조하여 도시수역의 물수지식은 식 (2)과 같이 된다.

$$P + W = E + \Delta S + (R_S + R_G + R_1 + R_2) \quad (2)$$

현실적으로 도시역내에서 물의 이동경로를 추적한다는 것은 어려우므로 개념적으로 설명해보면, 하천·운하·터널수로 등에 의해 타 유역으로부터 급수된다. 강수의 일부가 지붕 등에 차단되는 것 외에 표면저류지로 모이고 유출에는 관여하지 않는다. 지표면에 도달한 강수의 일부는 불투수성의 지표층을 흘러 하천과 배수구로 들어가 지표수로 배수된다. 이와 같이 물의 대부분은 하천을 경유하여 배수되고 그 도시역내에서 재 이용될 기회는 적다.

도시의 용수는 나라마다 지역마다 다르지만 주로 도시지역 밖에서 유입된다. 이러한 도시 용수의 일부는 냉각탑에서 수증기형태로 대기 중으로 소실되는 것 외에 잔디밭과 나무에 살수된 후 증발에 의해 소실되는 부분도 있다. 미국 도시의 일부에서는 이러한 형태의 증발을 무시할 수 없다고 생각된다.

도시용수의 배수경로는 하수도를 경유하고 처리 후 지표수로 방류되는 것이 일반적이거나 하수도를 경유하지 않는 경우, 또는 직접 땅속으로 침투하는 경우도 드문 것은 아니다. 상수도의 누수, 하수도와 지하수의 교류도 도시 물수지의 한 요소이다. 이와 같이 물수지항 또는 물 흐름을 도시역에서 정확히 파악하는 것은 상당히 곤란하며, 많은 연구들에서 제시된 수치도 정확성을 확인하기는 어렵지만 어느 정도의 오차를 인정하는 범위에서 투수성 포장을 포함한 우수유출억제시설의 효과를 검토해 볼 수는 있을 것이다.

4.3 우수유출억제시설의 효과 분석

4.3.1 도시화에 따른 수문곡선의 변화

유역의 도시화가 진행됨에 따라 인구와 주택지역 및 상·공업지구가 증가하고 도로가 포장되므로 불투수 면적이 크게 증가하고, 수로가 정비되어 관망에 의하여 오수 및 우수가 신속히 배수된다. 그러므로 자연상태의 유역이었을 때에 비하여 동일 강우에도 유출계수가 커져 첨두유량과 유출용적이 증가하고, 이와 함께 유출속도가 빨라져 첨두유량 발생시간과 기저시간이 감소하고 기저유출 또한 감소하는 등 유출수문곡선이 현저히 변하게 된다.

이와 같이 도시화가 유출에 미치는 영향은 여러 연구 결과에서 제시되었다. James(1965)는 72.2mi²의 유역 중 불투수성 면적율이 45%인 California주의 Morrison Creek에서 홍수시를 중심으로 수문곡선을 해석하여, 도시화에 의해 기저유출은 0.7배 감소하고 표면유출은 5.9~12.5배 증가하는 것으로 추정했다. 미국 13개 유역에 대한 Rao(1972) 등의 연구에서는 유역면적의 50%가 도시화된 경우, 자연유역에 비해 지체시간은 50%정도 감소되고, 첨두유량은 10~120% 정도 증가되는 것을 보여주고 있다. Ikuse 등(1975)이 실시한 연구의 경우 Tama New Town에 있는 자연유역인 Bessho유역(농장 17.36%, 숲 78.97%, 주택지 3.67%)과 도시화된 Nagayama유역(아스팔트 지역 21.8%, 콘크리트 지역 13.8%, 잔디지역 64.4%)의 경우, Nagayama유역이 Bessho유역에 비하여 유출용량은 강우 100mm일 경우 약 2배가 되었으며, 지체시간은 1/4 정도로 줄었고, 첨두유량은 약 5배가 된다고 보고하고 있다. 국내의 연구로는 고재웅(1980), 전병호(1980), 한국토지공사(1989), 전병호(1991), 서울시정개발연구원(1995) 등의 연구에서 도시화 정도에 따른 첨두유량과 유출계수 및 유출용적 등의 증가정도를 분석하였다. 그러나 대부분 실측자료보다는 ILLUDAS나 ILSM 모델 등에 의해 모의한 결과이거나 주요 관심사항이 홍수와 관련된 치수관점에서의 접근이다. 이러한 도시화에 따른 수문곡선의 변화를 최소화하기 위하여 우수유출억제 시설과 그의 효과에 대한 연구들이 일본을 중심으로 진행되어 왔다.

4.3.2 우수유출억제시설의 효과

1) 물수지의 균형 효과

일본의 八王子주택단지에서의 물순환의 보전을 위한 시스템으로 투수성포장을 포함한 빗물의 저류 및 침투시설에 의한 효과를 물수지 분석에 의한 연구 결과(松下, 1993)를 살펴보면, 八王子주택단지의 개발면적은 3.92km^2 이고 2%의 면적만이 개발 전에는 불투수구역이다. 관련하천은 1급 하천인 다마천 수계의 병위천(유역면적= 6 km^2)이며, 토지이용의 구성은 대략 산림·전답(87%)과 택지·도로(13%)로 구성되어 있고, 상수도공급은 주로 지하수에 의존하며 약 $128,000\text{m}^3/\text{년}$ ($30\text{mm}/\text{년}$)이고, 하수처리는 각 가정에서 정화조에 의해 처리되어 잡배수로 전량 병위천에 유출($30\text{mm}/\text{년}$)되고 있다. 년강수량은 약 $1,500\text{mm}$ 이고, 표면유출량은 약 70mm 이며, 지하수유출량은 약 52mm (년강수량의 3%)가 저수로서 유출되어 잡배수와 합쳐서 병위천의 평상시 유출량은 $82\text{mm}/\text{년}$ 이다.

이 단지를 종래의 표준적인 배수방식에 의한 도시개발의 경우, 불투수구역은 53%로 증가하여 표면유출량은 $740\text{mm}/\text{년}$ 으로 개발 전에 비해 약 10배의 홍수량 증가가 이루어지며, 지하수 유출량은 $37\text{mm}/\text{년}$ 으로 개발전의 절반수준에 머무르게 된다. 즉, 과도한 홍수유출과 갈수량의 부족현상이 예상된다. 그러나 투수성 포장 등 물순환의 보전을 위한 시스템을 도입할 경우 표면 유출량은 $374\text{mm}/\text{년}$ 으로 기존의 개발방식에 비해 50% 수준에 머물고 지하수유출량은 $97\text{mm}/\text{년}$ 으로 기존 방식에 비해 2.6배의 증가가 예상되어 하천환경 유지와 개선이 가능하다. 또한 도시 개발후의 홍수량 증가로 하천개수가 필수적이다. 기존의 개발방식보다 침투성 포장에 의한 물순환보전시스템의 경우 20%의 단면 감소가 예상되어 40%이상의 하천개수 사업비의 감소와 하류하천의 유량증가 효과를 줄일 수 있는 것으로 나타났다.

일본의 주택·도시정비공단에서 수행한 昭島주택단지의 물순환 보전의 효과에 대한 연구에서 조사한 바에 의하면, 昭島주택단지를 4개로 나누어 제1단지는 침투트렌치와 침투구 및 침투측구를 설치하고, 제2단지는 여기에 투수성 포장을 추가하고, 제3과 4단지는 종래의 공법으로 시공하여 유출량을 조사한 결과 유출율이 제1단지에서는 0.25, 제2단지에서는 0.02, 제3과 4단지에서는 0.55와 0.49로 조사되어 투수성포장의 우수유출 억제 효과가 충분한 것으로 나타났다(吉野와

坂尾, 1993). 동경의 23區에 우수침투공법을 적용하여 연간 물수지를 계산한 결과(虫明, 1991), 하수도가 완전히 보급된 후 당시 약 65%의 불투수면의 반을 우수침투시설로 적용한 결과 연간 약 200mm 정도가 침투되는 것으로 나타났다.

평수량 증대효과는 투수성 포장으로 인한 지하수의 함양으로 평상시의 유출량이 증대한다는 것은 명백히 인식할 수 있다. 한편, 도시포장지역의 평탄화와 불투성 포장으로 인하여 평상시 지면이 건조해지고 증발이 차단되어 복사열 증가와 증발에 의한 흡수열 감소에 따라 도시의 온도상승 효과를 일으킨다(吉野, 1993). 그러나 투수성포장은 이러한 현상을 완화시키는데 커다란 역할을 한다.

2) 식물 생육에 미치는 효과

도시지역에 불투수성 면적이 증가하므로 물의 토양으로의 침투가 적어져 도시내의 가로수를 비롯한 공원 수목의 생육불량의 한 원인이 된다고 추측된다. 그러므로 투수성 포장 등을 도입하여 지중의 수분 함량을 자연상태에 가깝게 복원시켜 지중의 미생물이나 곤충들의 서식처로서 지중생태계를 건강하게 할 필요가 있으나 이에 관한 연구가 대단히 부족한 것 또한 사실이다.

清水와 岡本(1992)은 투수성 포장이 식재토양이나 식물의 생육에 미치는 효과를 알아보기 위해 용량이 약 48 l인 농업용 콘테이너에 토양을 넣고 그 위에 투수성 포장판과 콘크리트 포장판을 절반씩 설치하고 나머지 표토에서 잔디를 식재 하여 2년간 생육에 관한 비교실험을 수행했다. 그 결과 투수성포장 아래의 토양으로 투수된 투과수량이 불투수성 포장의 경우보다 2배 이상 많은 것으로 나타났고, 잔디의 생육량도 투수성지역이 불투수성 지역보다 30%이상 많으며, 전혀 포장하지 않은 곳보다도 훨씬 생육상태가 좋은 것으로 나타났다. 첫 번째 결과는 포장면이 50%임에도 불구하고 전체 투수량이 배 이상 차이 나는 것은 잔디의 생육에 따른 토양의 스폰지화가 원인이고, 두 번째 결과는 투수성에 따른 토양의 함유수분의 효과이며, 마지막의 결과는 투수성포장의 mulching효과에 의한 것으로 판단된다.

이러한 연구가 보다 설득력을 갖기 위해서는 실제와 같은 지하수의 흐름현상이 고려되고 보다 다양한 식물이 식재 된 상태에서 현장에서 직접 관찰 및 비교 실험을 수행할 필요가 있을 것이다.

3) 수질보전의 효과

도시하천의 수질을 보전하기 위해서는 크게 환경기초시설에 의한 점오염원의 하수처리와 강우시 비점오염원의 처리 및 기저유출의 증대에 의한 하천유지수량의 확보로 요약해 볼 수 있다.

우선 점오염원에 의한 수질오염문제는 환경기초시설의 확충에 의해서 해결될 문제이므로 여기서는 논외로 하기로 한다. 더욱이 미국의 경우와 같이 환경기초시설을 충분히 시설 및 운영한 곳에서도 하천의 수질은 어느 한계이상 개선되지 못함을 확인 할 수 있었는데, 그 이유로는 비점오염원에 의한 수질오염문제를 개선하지 못했기 때문으로 평가되고 있다. 합류식하수도의 경우 건기시 하수관거에 오염물질이 퇴적되고 강우시에는 우수에 혼합된 오수가 우수토실을 통해 하천에 방류되므로 하천수질에 악영향을 끼치고 있다. 분류식 하수도는 우수는 전량 종말처리장으로 보내지고 우수만 우수관거를 통해 하천으로 방류되므로 수질이 개선되리라 기대했지만 도시지역의 비점오염원이 그대로 하천에 방류되어 이것이 하천의 오염부하량을 급증시키는 결과를 가진다. 안산시 반월천의 경우 강우시 오염부하량이 급증하여 시화호에 미치는 오염부하량이 건기시의 약 100배 가량 증가한다는 연구보고도 있다(국립환경연구원, 1998). 그러므로 비점오염원의 처리문제에도 각별히 신경을 써야 한다.

우수유출억제시설의 도입으로 강우시 홍수유출을 줄임과 함께 침투수에 의한 기저유출을 증가시킬 수 있음은 앞에서 서술한 바와 같이 여러 연구에서 확인되고 있다. 이로 인한 건기시의 하천유량의 증대로 오염부하량에 대한 희석능력이 증대되고, 물리적·생물학적 자정작용이 활발해져 하천의 오염농도를 현저히 줄일 수 있다. 더욱이 투수성 포장을 도입한 경우 이른바 초기세류(first flush)현상에서 오는 오염물질을 지하에 침투시키게 된다. 그러나 이러한 비점오염원이 넓은 지역에 침투함과 동시에 우수와 공기가 함께 지하로 공급되므로 흙 속에 서식하는 미생물들이 처리할 수 있는 환경이 조성되므로 하천으로 유입되는 오염물질을 현저히 줄일 수 있을 것이다. 즉 하천 유지 용수의 증가뿐이 아니라 비점오염원에 의한 하천오염을 줄이는 효과를 지니게 된다.

구미의 우수저류시설중의 약 절반은 초기세류된 우수를 일단 저류하고 강우 종료 후에 서서히 처리해서 방류하여 공공수역의 수질개선의 역할을 주목적으로 하고 나머지가 치수를 목적으로 하고 있다. 이 경우 일시에 대량의 우수를

모으기보다는 작은 저류시설을 분산 설치하는 것이 효과적이며, 이러한 소형의 저류시설은 도시의 친수공간의 확보에도 도움이 될 것이며, 우수침투시설과 병행하면 효과를 극대화 할 수 있을 것이다. 이것을 목적으로 한 검토는 아직 불충분하고 필요한 자료도 거의 정리되어 있지 못하다. 이와 같은 연구를 위해 필요한 자료로는 유출유역의 지표면 조건, 오탁부하의 종류, 유출형태, 부하의 종류에 따른 처리능력, 방류지점에의 영향 등을 들 수 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 도시화는 물순환계에 영향을 미쳐 수해의 격화, 도시하천의 수질오탁의 진행, 용수의 감소, 도시식물의 생육부진, 증발감소에 따른 도시의 열섬현상의 발생(村上과 淺沼, 1993) 등의 문제를 야기 시키고 있다. 이러한 문제의 해결책으로 투수성 포장과 같은 우수유출억제시설에 대해 살펴보았으나, 이들 대책이 이러한 문제들을 모두 해결할 수 있다는 정량적인 결과를 제시하지는 못하고 있다. 그러나 수문환경문제는 각각이 독립적으로 발생되고 작용되는 것이 아니라 연계되어 서로 영향을 끼치고, 어느 정도의 수준을 유지한다면 가이아(Gaia)이론으로 설명되는 것처럼 자정작용에 의해 전체적인 문제해결에 상당한 도움을 줄 것이다. 수문환경은 단순히 물순환으로 보지 말고 그에 따른 물질이나 에너지의 순환도 관계하기 때문에 그 보전대책에는 넓은 관점의 접근이 필요하다. 이중에는 지구환경문제도 당연히 포함된다. 지구의 온난화는 에너지 순환과 대기순환을 통해 물순환계에 영향을 미친다. 이들은 불가분의 관계에 있다고 해도 좋다. 그래서, 수문환경을 보전 재생하는 것은 넓은 의미에서 지구환경의 재생에 연결된다. 수문환경에 관한 연구의 진전과 보전을 위한 기술개발의 중요성을 지적해 두고 싶다.

투수성 포장의 이와 같은 장점에도 불구하고 아직도 해결해야할 과제들이 남아있다(이진원 1994). 예를 들어 공인된 기준의 부재와 효과의 실질적 결과에 대한 신뢰성이 정량적으로 뒷받침되어야 하고, 경제적 부담에 대한 평가와 안정성 대책 및 대 국민 홍보가 뒤따라야 할 것이다.

5. 투수성 포장의 경제성 분석

5.1 투수성 포장의 경제성 분석의 필요성

전술한 바와 같이 투수성 포장은 침투성의 증대로 유출율을 감소시켜 홍수로 인한 피해를 줄이고 지하수위를 높여 갈수시의 수자원을 효율적으로 이용할 수 있도록 한다. 그리고 지하에 물과 공기를 공급하여 토양 및 하천 환경관리상 장점을 지닌다. 또한 도로에 고인 물의 제거로 차량 및 보행자의 교통장애를 줄일 뿐만 아니라 교통사고의 위험을 감소시킨다. 그리고 포장표면의 공극으로 인한 소음의 감소 효과 등이 있는 것으로 알려져 있다.

한편 이러한 특성을 지닌 투수성 포장을 하기 위해서는 기존의 포장에 비해 더 많은 비용이 든다. 그러므로 기존 포장에 비해 투수성 포장의 사용 여부 및 사용범위를 결정하기 위해서는 투수성 포장으로 인한 새로운 추가적 편익(benefit)이 새로운 추가적 비용(cost)을 비교해서 이루어져야 한다. 투수성 포장의 추가적 편익과 비용의 측면을 고려하지 않은 상태에서는 투수성 포장 이용 주장의 경제적 타당성을 확보할 수가 없다.

그런데 투수성 포장의 경제성 평가에서 투수성 포장의 추가적 비용 측면은 재료비 또는 공사비의 증가를 추가적 비용으로 쉽게 취급할 수 있는 반면에 추가적 편익 측면의 가치는 화폐적 단위로 측정하기 쉽지 않다. 왜냐하면 투수성 포장으로 인한 추가적 편익은 일반적으로 화폐로 직접적으로 환산하기 힘든 정성적 성격을 지니고 있기 때문이다. 결국 투수성 포장의 경제성 평가에 있어 관건은 투수성 포장의 추가적 편익의 가치 측정에 있다고 해도 과언이 아니다.

한편으로 막연해 보이는 듯한 투수성 포장의 편익 측정을 위해서는 다행스럽게도 최근에 환경자원의 가치측정을 위해 사용되는 후생(welfare) 측정방법들을 이용할 수 있다. 그러므로 우선 투수성 포장으로 인한 편익의 유형을 우선 명확히 하고, 그러한 편익들의 가치를 측정하기 위해서 어떤 후생 측정방법이 적합한지 알아보고자 한다. 마지막으로 투수성 포장의 편익 측정을 위해 필요한 후생 측정법을 이용하기 위해 필요한 자료들을 정리하고자 한다. 그리하여 이 연구 이후에 이와 관련된 연구를 시도하는 연구자에게 도움을 주고자 한다.

5.2 투수성 포장으로 인한 경제적 편익

투수성 포장으로 인해 발생하는 긍정적 효과의 경제적 편익을 측정하기 위해서는 우선적으로 그 효과가 어떤 것인지 명확히 되어야 한다. 즉 투수성 포장으로 인해 추가적으로 발생하는 편익의 유형이 어떤 것인지 분명해져야만 비로소 경제성을 평가할 대상을 가지게 된 것이다. 이 때 투수성 포장은 단위 면적당 생산비와 편익을 비교할 수 있겠지만 투수성 포장이 일정한 지역에 어느 정도로 이용되는지에 따라 어떠한 결과를 가져오는지에 대한 일정한 시나리오를 가질 수 있어야 한다. 물론 이러한 시나리오는 과학적 근거로 해서 이루어져야 하겠다. 이러한 시나리오를 바탕으로 설정된 투수성 포장이 가져올 여러 가지 긍정적 측면들이 바로 투수성 포장의 경제적 편익이며, 투수성 포장의 편익 유형을 정리해 보면 표 2와 같이 나타낼 수 있다.

표 2. 투수성 포장의 편익 유형

편익유형	편익범주	편익소범주	예
사용가치	직접사용가치	도로의 이용	제동거리감소, 난반사감소, 주행성향상, 보행불편해소
		하천의 이용	수자원확보
	간접사용가치	심미적	칼라포장, 강변위락활동, 조망, 차량소음감소
		생태계 유지	지중 미생물 서식, 하천오염감소
비사용가치 (존재가치)	대리소비		자신과 관련된 사람들의 소비
			일반 대중의 소비
	청지기		홍수감소, 지반침하감소, 자연환경의 보존(고유가치)
			다음세대에게 물려줌(유증가치)

일반적으로 환경자원의 경제적 편익에는 사용가치(use value)와 비사용가치(non-use value)로 나누어진다. 투수성 포장으로 인한 편익 역시 이 범주에 맞추어 분류할 수 있다. 여기서 사용가치란 평가하고자 하는 대상재화를 물리적으로

로 이용한다고 기대되는 경제주체들에게 직·간접적으로 현재 발생하는 편익을 통틀어 일컫는다. 반면에 존재가치 또는 수동적 사용가치(passive use value)라고도 불리는 비사용가치는 대상재화의 직·간접적인 이용과 관련되지 않는 여러 가지 이유로부터 발생하는 편익을 말한다. 즉, 사람들이 어떤 방식으로 쾌적성에 의해 물리적으로 영향받기 때문에 발생하는 사용가치와는 달리, 비사용가치는 위락장소의 보존이나 개선으로부터의 효용을 얻기 위해 위락장소를 방문할 필요가 없다는 관념과 관련된다(Krutilla 와 Fisher, 1975).

우선, 사용가치에 속하는 편익은 크게 직접사용편익과 간접사용편익 유형으로 구분할 수 있다. 직접사용편익은 대상재화를 물리적으로 이용한다고 기대되는 경제주체로부터 발생하는 편익을 일컫는다. 즉, 투수성 포장인 도로와 하천을 물리적으로 이용하는 경제주체에게 발생하는 편익을 말한다. 예를 들어 일정한 지역에 이용된 투수성 포장으로 인한 직접사용편익은 우천시에 도로상태 개선으로 인한 교통장애 및 교통사고의 감소, 포장표면의 공극으로 인한 소음의 감소 그리고 갈수시의 수자원 확보 등이 될 것이다. 한편 간접사용편익은 지하수 수위의 조절로 인한 하천환경의 보존에서 오는 여러 형태의 편익을 생각할 수 있다. 즉 하천 환경 보전으로 인한 심미적 가치의 증가, 하천을 포함한 주위 생태계의 복원 내지 보전으로 인한 편익 그리고 하천 환경의 보존으로 인한 옥외위락(outdoor recreation)으로 인한 편익 등이 간접사용가치의 범주에 속한다고 볼 수 있다.

투수성 포장으로 인한 비사용가치는 크게 대리소비가치(vicarious consumption value)와 청지기가치(stewardship value)로 분류할 수 있다. 대리소비가치란 자신과 관련 있는 사람 혹은 일반대중들이 투수성 포장으로 인해 발생하는 여러 가지 서비스를 소비한다는 것을 아는 경우에 발생하는 효용을 지칭한다. 투수성 포장을 이용하는 가족 또는 이웃을 생각할 때 안도감 또는 만족감이 발생한다면 이러한 편익은 대리소비가치에 속한다고 볼 수 있다(신영철, 1997c). 한편 청지기가치는 유증가치(bequest value)와 고유가치(inherent value)로 나눌 수 있다. 개선된 자연환경을 가족이나 다음 세대가 미래에 즐길 수 있도록 물려준다는 것에서 발생하는 효용을 유증가치라 한다. 한편 고유가치는 자연환경의 쾌적성 그 자체가 누구에게 이용되는지 여부와 상관없이 자연환경의 쾌적성이 보존되는 것으로부터 느끼는 효용을 말한다. 결국 청지기가치는 투수성 포장의 직·간접적인 이용여부와 전혀 상관없이 그로 인해 홍수가 감소하고 지반침하

가 억제되며 자연환경이 보다 잘 보존된 상태로 유지되어 다음 세대에 물려줄 수 있다는 것으로부터 발생하는 편익이라 볼 수 있다.

이와 같은 여러 유형의 경제적 편익을 각각 나누어서 측정하기는 쉽지 않다. 특히 최근 각광받고 있는 조건부가치측정법(CVM : contingent valuation method)을 이용하여 응답자의 최대 지불의사금액(WTP : willingness to pay)으로부터 추론하고자 하는 경우에는 이를 독립적으로 측정하기는 힘들다. 왜냐하면 조건부가치 측정 상황에서 응답자들은 투수성 포장으로 인한 여러 가지 편익을 유형별로 구분해서 인식하고 이를 합산하는 과정을 거치기보다는 주어진 대상으로부터 얻게되는 편익을 종합적으로 판단하기 때문이다.

5.3 경제적 편익의 측정 방법

편익을 측정할 수 있는 방법들은 측정하고자 하는 편익의 유형, 이용 가능한 자료, 주요 적용대상 등에 따라 달라진다. Smith와 Krutilla(1982)는 편익측정방법을 물리적 연계(physical linkages)에 기초한 방법과 행위적 연계(behavioral linkages)에 기초한 방법의 주요한 2가지 범주로 구분한다.

먼저, 물리적 연계에 의한 방법은 평가하고자 하는 재화를 대체할 수 있는 재화를 공급하기 위한 비용을 해당 재화의 편익으로 감안할 수 있다. 그러나 이 방법은 소비자의 효용함수와 직접적으로 관련되지 않으므로 소비자의 후생측정수단이 될 수 없다. 또한 측정할 수 있는 편익도 비사용가치 측면을 평가하기에는 미흡하다. 그러므로 행위적 연계에 의한 방법들을 중심으로 논하고자 한다. 행위적 연계에 의한 편익측정 방법들을 Mitchell과 Carson(1989)은 행위적 연계의 유형이 관찰된 시장행위 또는 가상적 시장에서의 응답인지 여부와 선호의 현시방법이 직접적 또는 간접적인지 여부에 따라 관찰/직접, 관찰/간접, 가상/직접, 가상/간접 편익측정방법의 4가지로 유형으로 분류했다. 각 편익측정방법 유형에 속하는 편익측정방법들의 예와 각 유형의 특성을 표 3에 정리하였다(신영철, 1997a).

표 3. 행위적 연계에 기초한 편익측정방법들의 특징

측정방법 유형 및 방법들 특성	관찰/직접	관찰/간접	가상/간접	가상/직접
	주민투표 모의시장	가계생산 헤도닉 가격 여행경비	조건부서열화 (CR)	조건부가치측 정법(CVM)
사전적 편익 측정	예	아니오	예	예
모근 존재 편익 측정	예	아니오	예	예
선택가격 추정	아니오	아니오	예	예
관련재화의 보통 수요곡선 직접적 추정	예	아니오	아니오	예
관련재화의 보상 수요곡선 직접적 추정	아니오	아니오	아니오	예

첫 번째로, 관찰/직접 편익측정방법에 속하는 주민투표 또는 모의시장은 관찰된 시장에서 선호가 현시 되므로 사람들의 선호와 직접적으로 연결된다. 이러한 특성은 관련 재화의 가치측정을 위한 최적 조건이 되지만, 우리 나라에서는 공공재에 대해 주민투표가 이루어지는 경우가 거의 없어 이용할 자료가 없으며, 모의시장은 공공재에 적용대상이 아니므로 이용할 수 없다.

두 번째로, 관찰/간접 편익측정방법들은 여행을 하거나 주택을 구입하는 결정을 하는 것처럼 실제 시장의 선택과 관련된 자료를 이용하여 비시장 쾌적성의 가치를 추론한다. Freeman(1979)은 이러한 유형의 방법에 의해 편익을 추정하는 과정을 탐색적 작업 즉, 사람들이 다른 경제적 선호들에 반응할 때 뒤에 남겨둔 단서들을 짜집기하는 것으로 묘사한다.

가계생산함수는, 소비자들이 그 자체로서는 효용이 없는 시장재를 구입해서 비시장재와 결합함으로써 궁극적으로 가계에 효용을 주는 재화와 용역을 생산하는 가계투입물들이 된다고 본다. 그러므로 최종 재화와 용역을 생산하는데 시장재와 비시장재 사이에 일련의 기술적 관계가 존재한다고 가정하게 된다. 그러한 가계생산기술을 통하여 시장재 수요와 비시장재 사이의 관계를 알게 되면 시장재 수요의 변화로부터 비시장재 변화의 편익을 계산할 수 있게 된다. 그러나 이 방법은 효용함수 및 가계생산함수에 약보완관계(weak complementarity), 완전대체관계(perfect substitute)의 제약이 주어져야 하고, 시장재와 비시장재

사이의 관계가 완전분리적일 때에는 시장재 수요의 변화에서 비시장재 변화의 편익을 추론할 수 없게 된다. 또한 한강수질개선으로 발생하는 사용가치적 측면 뿐만 아니라 비사용가치 측면을 포함하도록 가계생산함수를 구성하기 어렵다.

세 번째로, 가상/직접 측정방법들은 쾌적성의 질 또는 양의 가상적 변화에 대한 가치를 직접적으로 측정함으로써 간접적 연계 방법들에 필요한 수많은 가정들의 필요를 없앤다. Smith과 Krutilla(1982)는 쾌적성 수준과 개인행위 사이에 '관례적인(institutional)' 연계라는 것을 설정한다. 이러한 관례적 연계 가정의 장점은, 가상적 시장들에 대한 개인 응답이 실제시장에 대한 개인 응답과 비교 가능하다는 점이다. 그러므로 이 전제가 허용된다면, 단순성과 이론적 정당성 및 편익범주의 전 영역을 가치측정 할 수 있는 능력을 가진 방법이 이용 가능해진다.

마지막으로 가상/직접 편익측정방법의 대표적인 방법이 조건부가치측정법(CVM)이다. 시나리오가 응답자들에게 적절해야 한다는 중요한 제약만 충족된다면, CVM연구자들은 평가되어질 재화와 재화의 공급상황의 다양한 상태를 쉽게 지정할 수 있다. 뿐만 아니라 이러한 필요는 현재의 제도적 준비 또는 공급수준에 의해 제한 받지 않는다. 그리고 관찰된 행동에 의존하는 방법들은 존재가치를 도출할 수 있다하더라도 매우 어렵게 얻을 수밖에 없는 반면, 사전적(ex ante) 판단을 할 수 있게 하는 CVM의 가상적 성격은 존재가치를 포함하는 WTP금액을 쉽게 얻을 수 있게 해 준다. 왜냐하면 일반적으로 CVM 응답자들은 후생의 총변화를 평가한 뒤 쾌적성에 대한 가격을 제시하기 때문이다. 따라서 응답자들이 생각해야만 할 관련된 편익의 범주를 상기시킨다면, 그들의 WTP금액은 그들 선호 전체를 반영할 것이다. 그러므로 CVM연구에서는 이용자와 비이용자의 WTP금액에 사용편익 및 존재편익이 일반적으로 포함된다.

또한 CVM를 포함하는 가상/직접 방법들은 개인의 보상수요곡선의 특정점들을 직접적으로 측정할 수 있다. 이것은 다른 방법들을 괴롭히는 개인효용함수의 형태에 대한 잘못된 가정으로 인한 잠재적 편익 문제를 회피하게 한다.

그러므로 투수성 포장으로 인한 여러 가지 편익 유형과 그에 따른 후생변화 즉 편익을 측정하고자 한다면 CVM을 이용하는 것이 가장 바람직하다고 생각된다. 조건부가치측정법의 이론적 기초 및 실제 이용 사례는 신영철(1997b, 1997c)에 의해 이루어진 한강수질 개선편익 측정을 들 수 있다.

5.4 경제성 평가에 필요한 자료 및 과정

투수성 포장의 경제성 평가를 위해서는 조건부가치측정법(CVM)을 사용하는 것이 바람직하지만, 몇 가지 전제되어야 할 자료와 과정들이 있다.

우선, 일정한 지역을 투수성 포장을 이용하는 경우 실제로 발생할 수 있는 여러 가지 편익의 유형과 정도를 시나리오로 구축할 수 있어야 한다. 이 시나리오의 과학적 근거에 의해 구축되어 실제로 투수성 포장이 이루어지는 경우 그와 같이 실현될 수 있는 시나리오이어야 한다. 이를 위해서는 투수성 포장의 효과를 적절히 시뮬레이션 할 수 있는 자료들이 필요할 것이다.

둘째로 일단 어느 정도 과학성을 지닌 시나리오가 완성되면 여기서 발생하는 편익의 유형과 정도를 명확히 할뿐만 아니라 이를 설문 응답자에게 이해할 수 있는 형태로 이를 위해서는 우선 투수성 포장으로 인한 편익의 유형이 명확하게 정의되고 이를 일반인들이 이해할 수 있는 형태로 표현할 수 있어야 한다. 소규모집단 조사와 예비적 설문작성을 통해 설문작성자가 의도한 대로 전달이 되는지를 검토하여 최종 설문지를 작성하여야 한다.

셋째로 표본조사를 통해 모집단의 편익을 추론하고자 하므로 이를 보장할 수 있도록 표본 추출 등의 통계적 과정에 유의해서 실제 조사를 실행해야 한다. 그리고 실제 설문조사 과정에서 발생할 수 있는 여러 가지 편익(bias)의 가능성을 최소화하기 위해 기존에 정립된 기준들을 만족할 수 있도록 실행되어야 한다.

넷째로 표본조사에 의해 조사된 자료에는 투수성 포장으로 발생하는 여러 가지 편익을 향유하기 위해 응답자들이 최대한 어느 정도의 금액을 지불할 의사가 있는지 파악해야 한다. 이 지불의사금액에 대한 유도과 더불어서 응답자의 사회경제적 특성 및 투수성 포장에 대한 인식 및 인지 여부를 판단할 수 있는 자료들을 확보할 수 있도록 설문이 설계되어야 한다.

마지막으로 조사된 자료를 분석하고자 하는 경우 만약 조건부가치측정법 중 최근에 일반화되고 있는 양분선택형 지불의사 유도방법을 이용하는 경우 계량모형 설정 및 분석에 신중해야 한다(신영철, 1998), 왜냐하면 이 경우 일반적으로 이용할 수 있는 계량모형에 의존할 수 없기 때문이다.

6. 결 론

도시화가 진행됨에 따라 필연적으로 불투수성 포장면적의 확대와 하수관거의 정비가 이루어지게 된다. 그러나 이러한 것들은 삶의 질을 높이기 위해 시민들이 살고있는 근접 주변만을 인식한 근시안적 처방이라 생각된다. 그 결과로 홍수피해의 격화, 도시하천의 수질오염, 하천유지용수의 감소, 도시식물의 생육부진, 증발감소에 따른 도시의 열섬현상의 강화 등 실로 많은 대가를 치르고 있다. 그러므로 투수성 포장을 중심으로 도시하천의 환경관리를 위한 방안을 살펴 보았다.

도시하천의 환경관리를 위한 지금까지의 대부분의 연구는 환경기초시설에 의한 오염저감방안과 친환경적인 하천과 제방의 복원공법에 치우쳐 왔다. 물론 이들이 많은 효과를 나타낸 것도 사실이지만 도시가 가지는 근본적인 문제들의 치유책으로 부족한 점이 있는 것도 사실이다. 그러므로 투수성 포장을 포함한 우수유출억제방안에 대해 검토해 보았다. 우수억제시설의 종류와 기능의 검토, 투수성 포장의 메커니즘, 선진외국의 연구 및 이용 현황, 투수성 포장의 장단점, 도시화로 인한 물문제, 도시지역의 물수지, 수문환경에 미치는 효과를 검토하였다. 특히 우리 공학인들이 간과하기 쉬운 경제성 분석에 대하여도 살펴보았다. 본고는 앞으로 이 분야들의 연구에 대한 기초적 단계에 머물고 있어 정량적인 분석이 포함되어 있지는 못하지만 투수성 포장이 도시하천의 환경관리를 위하여 공헌할 여지는 충분하다는 것을 확인할 수 있었다.

수문환경을 단순히 물순환으로만 보지 말고 그에 따른 물질이나 에너지의 순환도 관계하기 때문에 그 보전대책에는 넓은 관점의 접근이 필요하다. 본고에서 살펴 본 투수성 포장의 많은 장점에도 불구하고 아직도 해결해야 할 과제들이 남아있다. 예를 들어 우수유출억제효과에 대한 과학적이고도 현장에 확인된 정량적 결과와 이를 바탕으로 한 공인된 기준의 설정과 경제성 평가에 대한 공학자들의 참여 및 체계적인 대 국민 홍보가 뒤따라야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 고재웅 (1980). “도시화에 따른 수문현상의 변동”, 한국수문학회지, 제13권 제2호.
- 국립환경연구원 (1998). 하수도 시설개축 및 기능개선 전략 연구, 한양대학교 환경공학연구소, pp. II.43-52.
- 국토개발연구원 (1996). 수도권 정비 경기도 세부추진계획 기술부문 타당성조사, pp.65-72.
- 김귀곤 (1993). 생태도시 계획론, 대한교과서주식회사, pp. 114-144.
- 문한영, 김성수, 정호섭 (1998). “투수성 콘크리트포장의 실용화를 위한 실험적 연구”, 콘크리트학회지, 제10권 3호, pp. 165-173.
- 서울시정개발연구원 (1995). 우수유출률 저감대책, 시정연 95-R-21, pp.55-116.
- 신영철 (1997a). 조건부가치측정법에 의한 한강수질개선 편익추정에 관한 연구. 박사학위논문, 서울대학교, pp. 16-24.
- 신영철 (1997b). “이중양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강 수질개선 편익 측정”, 환경경제연구, 한국환경경제학회, 6(1).
- 신영철 (1997c). “단일양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강 수질개선 편익 측정”, 공공경제, 한국공공경제학회, 2.
- 신영철 (1998). “이중 양분선택형 질문 CV자료에서의 정박효과 검토”, 자원경제학회지, 한국자원경제학회, 8(1).
- 이종태 (1998). “'98 홍수재해원인과 하천관리의 문제점”, 한국수자원학회지, Vol. 31, No. 5, pp. 20-32.
- 이진원 (1994). “홍수유출억제를 위한 유역대책 -일본의 예를 중심으로-”, 건설기술정보, 통권127호, pp. 21~26, 한국건설기술연구원.
- 전병호 (1991). “소규모단지의 유출모의와 도시화 효과에 관한 연구”. 한국수문학회지, 제24권 2호.
- 진병익 (1981). 신편 도로공학, 창지사.
- 최상훈, “물이 스며 흐르는 콘크리트”, 한국양회공업, 시멘트, Vol. 146, 1997
- 한국토지공사 (1989). 도시소규모 단지의 우수유출량 산정기법에 관한 연구.
- 한국투수개발 주식회사, “세립도 투수콘크리트 박층포장 공법”, 1991
- 한양대학교 건설연구소, “투수성 콘크리트 포장의 개발에 대한 연구”, 연구보고

서, 1997

- 吉野文雄, 坂尾祥文 (1993). “水文環境の保全と再生 -都市化と水循環を中心として-”, 雨水技術資料, Vol. 8, pp. 49-78
- 吉野文雄 (1993). “都市の熱環境の改善に向けて -都市の熱汚染の現状と雨水貯留浸透の役割-”, 雨水技術資料, Vol. 10, pp. 33-43
- 大友武臣 外, “透水性コンクリートの開発に関する研究”, 第45回セメント技術大會講演集, pp. 750~755, 1991
- 松尾伸二 外, “透水コンクリートの透水・透湿・吸音特性”, コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 15, pp. 525~530, 1993
- 松下 潤, “八王子ニュータウンにおける水循環保全システムとの意義”, 雨水技術資料, Vol. 10, pp 21~31, 1993
- 新井 正, 新藤静夫, 市川 新, 吉越昭久 (1987). 都市の水文環境, 共立出版株式会社.
- 中丸貢 外, “透水性セメント・コンクリート舗装の車道への適用に関する検討”, 土木學會第47回年次技術講演概要集, pp. 152~153, 1992
- 清水陸行, 岡本諛明 (1992). “透水性舗装が土壤水分および芝草の生育に及ぼす効果”, 造園雑誌, 55(5), pp. 157-162.
- 村上雅博, 浅沼 順, “大氣放射・地表面熱収支モデルを組れた都市流出・水収支解析とその應用”, 雨水技術資料, Vol. 10, pp 45~58, 1993
- 虫明功臣 (1991). “都市と水循環”, 雨水技術資料, Vol. 1, pp. 12-20
- Freeman, A. Myrick III, *The Benefits of Environmental Improvement: Theory and Practice*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, 1979.
- Ikuse, T., Miura, A., Takeuchi, S., and Matsushita, J. (1975). “Effects of Urbanization on Runoff Characteristics”, IAHR-AISH Publication No. 117, International Hydrologic Symposium in Tokyo, pp. 377-385.
- James, L.D. (1965). “Using Digital Computer to Estimate the Effects of Urban Development on Flood Peak”, *Water Resources Research*, Vol. 1, pp. 223-234.
- Krutilla, J.V., and Fisher, A.C. (1975), *The Economics of Natural Environments: Studies in the Valuation of Commodity and Amenity*

Resources, The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, Baltimore.

Mitchell, R.C., and Carson, R.T. (1989). *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method*, Resources for the Future, Washington, D.C.

Oke, T.R. (1974). Review of Urban Climate. W.M.O. Technical Note, No. 134.

Rao, R.A., Delleur, J.W., and Sarma, P.B.S. (1972). "Conceptual Hydrologic Models for Urbanizing Basins", *Journal of Hydraulics Division*, HY7, ASCE, pp. 1205-1220.

Smith, V. Kerry, and John V. Krutilla, "Toward Reformulating the Role of Natural Resources in Economic Models", in V. Kerry Smith and John V. Krutilla, eds., *Explorations in Natural Resource Economics*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press for Resources for the Future, 1982.

Wartielista, M.P., and Yousef, Y.A. (1992). *Stormwater Management*. John Wiley & Sons.