

투수성 잔디블록 포장 하부 토양의 물리성

한승호 · 김원태 · 강진형

(주)한설그린 부설 조경생태디자인 연구소

Physical Properties of Soils under the Grass Block Porous Pavements

Han, Seung-Ho · Kim, Won-Tae · Kang, Jin-Hyoung

Institute of Landscape Ecological Design, HANDSEL GREEN Co., Ltd.

ABSTRACT

Impervious pavement is primary contributor to the malfunctioning of the urban water circulation system. The aim of this research is to provide basic information and data for new pavement materials and paving technology which could enhance the urban water circulation system. For the study purposes, physical properties of soils sampled from 16 stations were analyzed. The sampling spots were paved with grass block porous pavement material.

The findings from the analysis are as follows. The hardness of soils under the pavement was 17~22mm for thoroughfare and 6~32mm for parking areas. The bulk density was 1.42~1.81g/cm³ for thoroughfare and 1.38~1.75g/cm³ for parking area. The solid phase ration was 46.9~62.5m³/m³ for thoroughfare and 45.6~61.3m³/m³ for parking area. The porosity was 37.5~53.1m³/m³ for thoroughfare and 38.7~54.4m³/m³ for parking area. The saturated hydraulic conductivity was 8~164mm/hr for thoroughfare and 14~201mm/hr for parking area. The saturated hydraulic conductivity of the H sample area (the area was completed three months ago) and that of the other area were compared. There was up to 80% decreases of the saturated hydraulic conductivity within one year after the completion of pavement. After the first year, decrease in the saturated hydraulic conductivity was modest.

Also there are changes in both surface and under soil physical properties of the grass block porous pavement depending on compaction. The extent of change depends on the degree of compaction. All these factors are combined to influence the permeability of the soil under the pavements. The results of this suggest that it is required to develop a new pavement technology which ensures both the durability and porosity of the pavement to improve the water circulation system by applying Ecological Area Rate.

Key Words: Soil Texture, Soil Hardness, Bulk Density, Soil Three Phase Distribution, Saturated Hydraulic Conductivity

1. 서론

우리나라는 연강우량의 대부분이 여름철에 집중되며, 국지적 집중호우로 인해 치수에 상당한 어려움을 겪고 있다. 6~8월의 장마철에 연강우량의 60% 이상이 발생하고, 최근에는 게릴라성 집중호우로 단기간 내에 상당히 많은 강우가 발생하고 있다. 일례로 1998년 전남 순천지방은 1시간 강우량이 145mm로 전기상관측지점의 기록 이래 최대량을 보였으며, 1999년 파주 적성 지역에는 1,042mm로 연평균 강우량의 80%를 넘는 강우량이 3일만에 발생하였다. 따라서 우리나라의 경우, 매년 홍수 피해를 반복적으로 겪게 되는 주원인은 계절적으로 편중된 강우 특성에 있다고 판단된다. 한편 도시의 경우 이러한 자연현상에 의한 홍수재해의 취약성을 더욱 심화시키는 인위적인 상황이 가중되고 있는데, 인구의 도시집중에 따른 도시화에 그 원인이 있다고 생각된다. 도시화 즉, 도시가 개발된다는 것은 건축물을 비롯한 각종 구조물 건설, 도로 확장 및 포장, 주차장 건설 등을 의미하며, 우리나라의 경우 70년대 이후 급속한 산업화 및 도시화로 인해 하천변의 개발 이용과 자연녹지지역이 포장 등에 의해 불투수면으로 변화되었고, 이는 도시지역 물순환 체계의 교란 등 다양한 환경문제를 야기하고 있는 실정이다. 빗물이 지하로 스며들지 못하게 하는 불투수면은 도시 미기후, 수질을 포함한 수자원 관리, 토양, 동·식물, 도시미관 측면에서 부정적인 영향을 미친다고 보고되고 있다(서울특별시, 2000; 이창우 등, 2000).

또한 이창우 등(2000)의 텔파이 조사 결과에 의하면 불투수면으로 인한 대표적 환경문제 중에서도 전문가들은 물순환 문제를 가장 심각하다고 지적하였다. 따라서 물순환 문제의 해결을 위해서는 우선 불투수면을 투수성 포장 등으로 전환하든지 피복층 자체를 제거하여 유출계수를 낮추고, 토양의 물 흡수를 증진시켜야 한다고 판단된다.

일반적으로 투수성 포장은 포장체를 통하여 빗물을 노상에 침투시켜, 흙 속으로 환원시키는 기능을 갖는 포장이라 정의하고, 보도와 경차량이 통과하는 차도 및 주차장, 구내포장 등에 적용한다고 되어 있다(서울특별시, 1993). 따라서 투수성 포장은 도시에서 발생한 우수

의 지하 침투, 도시유출에서 용해성 오염물질과 미세한 오염물질의 제거, 지하수 함양, 세굴 조절 등의 기능이 요구된다. 또한 투수성 포장재의 사용은 일반 포장재와 비교할 때 강도가 떨어지기 때문에 주차장, 보도 등으로 사용이 제한되므로 경사가 완만하고, 토양의 투수성이 양호하며, 지하수위가 깊은 장소에 비교적 적합하다고 할 수 있다(김선태, 2002).

한편 지금까지의 포장공법은 특성상 내구성을 향상시키기 위해 수밀성이 우수한 구조를 가지는 콘크리트와 아스팔트로 진보되어 왔으며, 포장 하부의 기층, 노상 등도 요구되는 충분한 지반 지지력으로 인해 신속한 배수 또는 불투수성에 가까운 구조로 이루어졌다. 이에 비해 투수성 포장은 지금까지의 포장기술과는 완전히 다른 우수나 기타 유수를 공극이 많은 다공질 표층부에서 노상으로 침투시키는 구조로 되어 있다. 따라서 일반 포장의 우수처리는 도로경사에 의해 포장 표면을 따라 집수구나 배수구로 흘러가는데 비해 투수성 포장은 포장재의 공극 속을 통과시킴으로써 바로 아래 토양에 침투시켜 강우의 유출 억제, 지하수의 함양 등 본래 자연이 지닌 물순환에 가까운 효과를 얻을 수 있게 된다.

이러한 도시환경문제를 해결하기 위해 환경부(2005)는 지난해 연구사업을 통해 마련한 “생태면적률 적용 지침”에 대하여 건설교통부와 협의의 완료하였으며, 금년부터 2007년까지 2~3개의 신도시 건설사업 등에 시범 적용한 이후 2008년부터 전면 적용키로 하였다. 이번 지침은 도시개발사업, 택지개발사업, 국민임대주택단지 조성사업, 택지개발 예정지구 지정 및 도시개발구역 지정 등의 환경 영향 평가 또는 사전 환경성 검토 과정에 적용된다. 앞으로 생태면적률이 적용되면 자연지반녹지는 물론 인공녹지와 함께 투수 및 차수공간 등을 지역의 현황에 맞게 일정 비율 이상 확보하게 됨으로써 인공녹지 추가 확보, 지하수 함양 기능의 제고 등을 통한 도시의 생태적 기능 즉, 자연순환 기능 유지 개선, 도시 홍수 예방, 사람과 생물이 공존하는 도시 조성 등이 가능하게 될 것으로 예상된다. 또한 생태면적률이 신도시 개발사업에 적용되면 자연상태의 녹지보전은 물론 건폐지나 포장공간의 최소화, 옥상녹화나 투수성 포장 등이 활성화되어 도시의 생태적 기능이 향상됨은 물론 도시미관의 개선 등 더욱 쾌적한 도시조성이 가능

해결 것으로 기대된다.

그러나 생태면적을 적용지침(환경부, 2005)에 규정된 공간유형 중 부분포장, 전면투수포장 및 틈새투수포장 등은 자연지반과 연속성을 가지며 공기와 물이 투과되는 포장면이라 설명되어 있고, 이들 공간유형의 우수 투수 및 저장기능의 평가 기준은 자연지반녹지 기능의 61~80%로 되어 있으나, 포장 하부 예를 들어 모래층, 잡석층 등에 대해서는 별도의 평가 기준이 마련되어 있지 않음 뿐만 아니라 시공 후 이용에 따른 포장재 하부 구조의 투수 기능 및 저장 기능의 변화에 대해서도 별도의 대응책이 없는 상태이다. 따라서 만약 준공 전후 이들 층의 어느 한 부분이라도 투수기능이 저하되게 되면 전체 포장의 투수 기능 역시 저하될 것이며, 생태면적을 적용을 통해 목적인 자연순환 기능 특히 물순환 체계가 제대로 개선될 것인지 우려된다.

이러한 점에 착안하여 본 연구는 도시 물순환 체계를 교란시키는 가장 큰 원인인 불투수성 포장의 대안으로서 현재 주목받고 있는 투수성 잔디블록 포장 하부

토양을 대상으로 토양 물리성을 파악함으로써 도시 물순환 체계 개선에 기여할 수 있는 포장 소재 및 포장 공법의 개발을 위한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

II. 조사대상지 및 방법

조사대상지는 2001년 이후 부분포장 또는 틈새투수포장으로 준공된 8개 주차장으로 하였다. 또한 조사는 조사대상지 내에서도 차량의 이용빈도에 따라 다짐 정도가 다를 것으로 보고, 각 조사 대상지별로 차량의 주통행로와 주차지역으로 구분하였으며, 이 두 지역에 대해 각각 토양경도 및 포장재의 훼손 정도 등 사전조사를 실시하였다. 이를 토대로 각 조사대상지별로 주통행로의 경우 토양경도가 가장 높고, 훼손 정도가 가장 심한 1개 지점, 주차지역의 경우 토양경도가 가장 낮고, 포장재 상태가 양호한 1개 지점 등 총 16개 지점에 대해 본 조사를 실시하였다. 조사대상지의 개요는 표 1에 나타

표 1. 조사대상지의 개요, 포장재의 재원 및 주변상황

구분	준공시기	설치 지역	용도 및 이용형태	이용시간	재질	투수면적 (%)	녹피율 (%)	잔디 생육상태	일조조건	생태면적률 적용지침		
										공간유형	가중치	
A	A-1	2001. 4	서울	공원 - 무료	제한없음	합성수지	90% 이상	0%	-	양호	부분포장	0.5
	A-2							20%	불량			
B	C-1	2001. 6	서울	공원 - 유료	공원 개방시간	합성수지	90% 이상	0%	-	양호	부분포장	0.5
	C-2							20%	불량			
C	B-1	2002.11	서울	공원 - 무료	제한없음	합성수지	90% 이상	0%	-	양호	부분포장	0.5
	B-2							0%	-			
D	D-1	2003. 4	서울	공원 - 무료	제한없음	합성수지	90% 이상	30%	불량	양호	부분포장	0.5
	D-2							90%	양호			
E	E-1	2005. 5	서울	공원 - 무료	제한없음	합성수지	90% 이상	60%	불량	양호	부분포장	0.5
	E-2							90%	양호			
F	F-1	2005. 6	경기	회사 - 무료	평일위주	콘크리트	32%	50%	불량	양호	틈새포장	0.2
	F-2							90%	양호			
G	G-1	2006. 4	경기	회사 - 무료	평일위주	콘크리트	28%	-	-	양호	틈새포장	0.2
	G-2							-	-			
H	H-1	2006. 5	서울	전시관 - 무료	전시관 개방시간	합성수지	90% 이상	90%	양호	양호	부분포장	0.5
	H-2							90%	양호			

넌 바와 같이 준공시기가 2001년 4월~ 2006년 5월, 지역이 서울 및 경기도, 주차장 유형이 공원의 유·무료 주차장, 사내 주차장, 전시관 주차장 등이었다. 또한 포장재의 재질은 합성수지 제품 6개 지역, 콘크리트 제품 2개 지역이었으며, 1m²당 투수면적은 콘크리트 제품의 경우 각각 28%와 32%였으며, 합성수지 제품의 경우 모두 90% 이상이었다. 투수면적에 대한 녹피율은 0~90%로 다양하였으며, 최근에 조성된 주차지역이 높은 경향을 나타냈다. 단, G주차장의 경우 처음부터 식재를 하지 않은 것으로 판단되었다. 잔디의 생육상태 역시 앞서 언급한 녹피율과 유사한 경향을 보여 최근에 조성된 주차지역일수록 양호한 상태를 나타냈다. 한편 조사대상지를 생태면적을 적용지침에 규정된 공간유형에 따라 구분해 보면 부분포장이 6개 지역, 틈새포장이 2개 지역으로, 가중치는 각각 0.5와 0.2에 해당되었다.

포장의 구조는 조사대상지 모두 표층으로부터 포장, 다음으로 모래층, 잠석층 그리고 노상 순이었다. 그러나 그림 1에 나타낸 바와 같이 각 층의 두께는 포장층 46~100mm, 모래층 40~160mm, 잠석층 300~350mm 등이었으며, 또한 모래다짐이나 잠석다짐에 사용된 모래나 잠석의 입径의 경우 시공현장별로 서로 달랐다.

조사항목 및 방법은 포장면의 경우 조사지점별로 1m²당 투수면적(%), 투수면에 식재가 이루어진 경우, 투수면적에 대한 녹피율(%), 잔디의 생육상태 등을 조사하였으며, 야마나카(山中)식 토양경도계로 토양경도를 측정하였다. 또한 포장재를 들어낸 후 포장재 하부

토양에 대해 토양경도를 측정하였으며, 토성은 교란된 포장재 하부 토양을 일부 채취하여 실험실로 가져와 미농무성법(USDA, 1991)에 의한 비중계법으로 분석하였다. 용적밀도, 토양삼상, 공극률 등은 포장재 하부 토양을 2인치 코어로 채취하여 농촌진흥청(2000)의 토양 및 식물체 분석법으로 분석하였으며, 장력침투계(tension infiltrometer)와 Gardner(1958)의 불포화투수계수 식을 이용하여 포화투수계수를 추정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 포화투수계수

토양 내 투수계수는 토양의 기포(Bouwer, 1961), 토양의 팽창(Langerwerff *et al.*, 1969)과 배열형태, 토양의 공극 분포(박무언과 유순호, 1981), 토성 및 토양구조 등의 요인들에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 또한 김필주 등(1997)에 의하면 투수계수에 가장 큰 영향을 미치는 것은 토양의 물리성 악화, 즉 다짐에 의한 용적밀도의 상승인 것으로 보고되었다. 따라서 용적밀도를 포함한 토양물리성의 변화가 토양수 흐름에 미치는 영향을 정량적으로 조사하기 위해 먼저 조사대상지별 포화투수계수를 측정하여 그림 2에 나타냈으며, 이하 포화투수계수에 영향을 미친 토양 물리성에 대해 각 항목별로 살펴보도록 한다.

조사대상지 주통행로 포장면 하부 토양의 포화투수계수는 8~164mm/hr로서 주차지역의 14~201mm/hr에 비해 낮은 경향을 나타냈으며, 이에 대한 Pearson의 단순상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의한 것으로 확인되었다. 또한 준공 후 3개월째 측정된 H지역 포화투수계수와 그 외 조사대상지 포화투수계수를 비교해 보면 포화투수계수는 준공 후 1년 내에 1/5 수준으로 급격히 감소하였으며, 이후 시간이 경과하더라도 감소 정도는 매우 작은 것으로 판단되었다. 이러한 결과는 1.10~1.40g/cm³의 낮은 용적밀도 범위 내에서는 용적밀도가 증가함에 따라 투수계수가 큰 폭으로 감소하나 1.40g/cm³ 이상에서는 용적밀도 증가에 따른 투수계수의 변화는 매우 미미하다는 김필주 등(1997)의 연구 결과와 유사한 결과라고 판단된다. 특히, G지역과 H지역

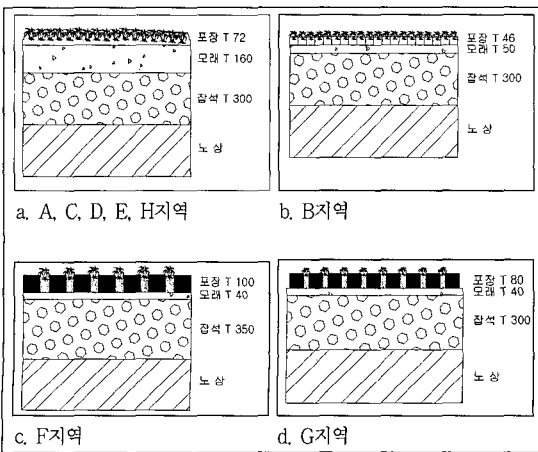


그림 1. 조사대상지 포장의 구조

의 경우 준공시점은 유사하나 포화투수계수에 있어서는 큰 차이를 나타냈는데 이는 조재현(1997)이 보고한 바와 같이 모래층의 두께에 기인한 결과라고 판단되나, 이외에도 포장의 재료, 크기, 두께 등도 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 또한 早野(1997)에 의하면 투수계수는 식물의 뿌리, 미소동물의 이동 통로 등 대공극의 존재 유무에 따라 크게 좌우되는 것으로 보고되어 있으나 본 연구의 조사지점에서는 이들의 존재가 확인되지 않은 관계로 이들의 영향은 없었던 것으로 판단하였다.

한편 대한주택공사의 토목공사 전문시방서(대한주택공사, 2006)에 의하면 투수 아스팔트 콘크리트 포장 하부 모래층의 투수계수는 10^{-3} cm/sec(36mm/hr) 이상이어야 한다고 규정되어 있다. 따라서 대한주택공사의 기준에 준한 지역은 주행통로의 경우 H지역뿐이었으며, 주차지역의 경우 E, F, G, H지역인 것으로 확인되었다.

2. 토성 및 토양경도

다짐은 토양에 외부 압력이 가해져 조직이 치밀해지는 현상으로 토양의 강도를 증가시키거나 투수성의 억제체를 목적으로 충격 또는 하중을 가하여 토양의 기상물과 공극률을 감소시키고 용적밀도를 높이는 행위를 말하며, 토양압밀 또는 압밀이라고도 한다(류순호 등, 2000). 일반적으로 다짐에 영향을 미치는 요소로는 입자의 크기, 입자배열, 입경분포, 토양수분함량, 다짐에너지 등을 들 수 있다(이현근, 1983). 토양의 다짐은 토

목과 식재기반의 관점에서 생각할 수 있다. 토목에서 토양은 구조물의 기반이기 때문에 다짐은 토양의 강도와 안정성을 높이고, 투수성을 낮춰 기계적 작업성과 구조적 안정성을 높이는 작용이다. 그러나 식재기반에서 토양의 다짐은 투수성의 감소에 의한 배수 불량, 기상물의 감소에 의한 가스 확산의 악화, 낮은 토양수분함량일 때의 토양경도 상승 등으로 인해 식물의 발아나 뿌리 발달이 억제될 수 있는 등 식물 생육상 바람직하지 못한 토양 물리성의 변화를 초래하게 된다.

한편 본 연구에서 다룬 투수성 잔디블록의 경우, 비록 보도와 경차량이 통과하는 차도 및 주차장, 구내포장 등에 사용이 제한되어 있지만 포장 특성상 내구성을 향상시키기 위해 구조적 안정성이 요구되며, 본래 자연이 지닌 물순환에 가까운 효과도 동시에 요구된다. 또한 포장면에 잔디 등의 식물을 식재하고자 하는 경우에는 식재기반으로서의 역할도 요구된다. 따라서 이러한 점들이 충분히 고려된 포장 구조의 설정이 필요하다고 판단된다.

조사 대상지 하부 토양의 입경가적곡선은 그림 3에 나타내었다. 이를 토대로 구한 토성은 표 2에 나타낸 바와 같이 A지역의 사양토를 제외하고 모두 조사대상지가 모래함량이 87% 이상인 사토였다. 또한 A지역을 제외한 조사대상지 모래의 입경분포는 표 3에 나타낸 바와 같이 대부분 조사, 극조사, 중사 순으로 높은 함량을 나타냈다. 한편 A지역을 제외한 조사 대상지 하부 토양의 균등계수(방윤경 등, 2005)는 13~33, 곡률계수는 2.6~2.8을 나타내 입도 분포 및 균일도가 양호한 것으로 판단되었다. 김경남과 심상렬(2003)에 의하면 입자의 균일도가 떨어지는 모래로 조성한 그라운드는 장기간에 걸쳐 선수, 관리자, 장비 등으로 인해 누적적으로 가해지는 답압으로 인해 지반이 쉽게 다져질 수 있기 때문에 결국 토양구조가 파괴되어 토양수분 이동에 관여하는 토양 공극이 배수에 불리하게 될 것이라고 하였다. 또한 잔디구장의 투수속도는 모래 입자의 크기와 균일도에 크게 영향을 받으므로 입도 분포 및 균일도가 양호한 모래를 사용하는 것이 바람직하다고 하였다(심상렬 등, 2000). 하지만 배수력과 내답압성 그리고 보수성이 양호한 식재층의 두께를 30cm로 제한한 미국골프협회의 안(USGA Green Section Staff, 1993)에 따른

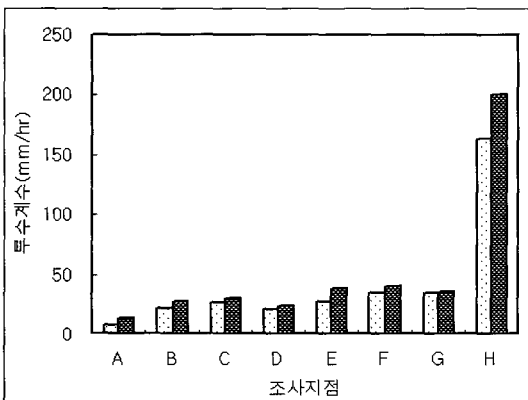


그림 2. 포장면 하부 토양의 포화투수계수
 범례: □ 주행통로, ■ 주차지역

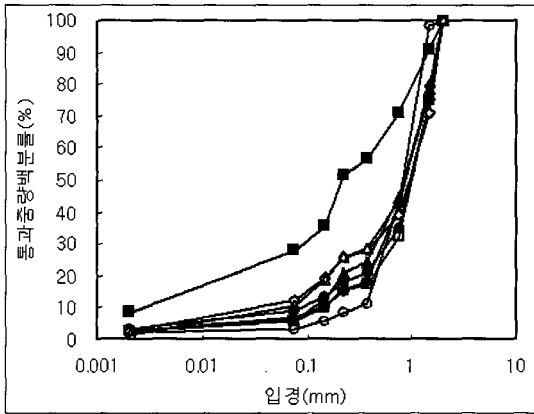


그림 3. 조사대상지 하부 토양의 입경거곡곡선
 범례: ■ A, ◆ B, ▲ C, ● D, □ E, ◇ F, △ G, ○ H

표 3. 조사대상지 하부 토양 중 모래의 입경분포

구분	입경분포(%)				
	극조사	조사	중사	세사	극세사
B	21.9	40.3	26.0	8.1	3.8
C	22.7	36.4	22.0	12.3	6.5
D	27.7	43.9	15.4	8.1	4.9
E	26.6	45.1	15.9	7.5	5.0
F	33.4	35.8	13.1	9.7	8.1
G	25.9	37.4	16.6	10.9	9.2
H	1.6	57.1	33.2	5.3	2.8

표 2. 조사대상지 하부 토양의 입경분포 및 토성

구분	입경분포(%)			토성
	모래	미사	점토	
A	72.2	19.4	8.4	사양토
B	92.9	4.3	2.8	사토
C	93.6	3.8	2.6	사토
D	91.1	5.9	3.0	사토
E	94.3	3.2	2.5	사토
F	87.6	9.9	2.5	사토
G	89.3	9.0	1.7	사토
H	96.7	1.3	2.0	사토

조사대상지는 없는 것으로 파악되었으며, 표 4에 나타난 식재층의 모래 입경분포에 따른 조사대상지는 E지역뿐이었다.

토양경도는 토양에 다른 물체가 관입할 때 토양이 나타내는 역학적 저항을 말하며, 입경조성, 공극량, 용적밀도, 토양수분함량 등의 조합으로 나타난다(류순호

등, 2000). 또한 투수성, 통기성과도 밀접한 관계가 있음이 보고되어 토양물리성을 가능할 수 있는 중요한 지표라고 할 수 있다(조재현, 1997).

조사대상지 주통행로 포장면의 토양경도는 21~36 mm로, 주차지역의 11~31mm에 비해 조사대상지별로 같거나 높은 경향을 나타냈다(그림 4 참조). 또한 주통행로 하부 토양의 토양경도 역시 17~32mm로, 주차지역의 6~32mm에 비해 조사대상지별로 같거나 높은 경향을 나타냈으며(그림 5 참조), 이에 대한 Pearson의 단순상관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의한 것으로 확인되었다. 이것은 자동차의 주행장치 즉, 타이어에 작용하는 동하중이 주요 원인이며, 또한 타이어의 공기압과 통과회수 등도 토양다짐에 크게 영향을 미친 결과라고 판단된다(박원엽과 이규승, 2001). Abebe *et al.* (1989)과 Schwanghart(1991)는 토양의 다짐 정도는 궤적상의 바로 아래에서 최대이고, 토심이 깊어질수록 감소하며, 30cm 이상의 토양다짐이 거의 나타나지 않는다고 하였다. 이를 토대로 판단할 때 앞서 언급한 바와 같이 미국골프협회가 제안한 식재층 두께 30cm는 투수포장 구조에 있어서 매우 유효할 것으로 판단된다.

표 4. 잔디그라운드 다층구조지반 식재층의 모래 입경분포

구분	자갈	극조사	조사	중사	세사	극세사	미사	점토	
분포	10% 이하		60% 이상		20% 이하	5% 이하	5% 이하	5% 이하	
							10% 이하		

자료: USGA Green Section Staff, 1993

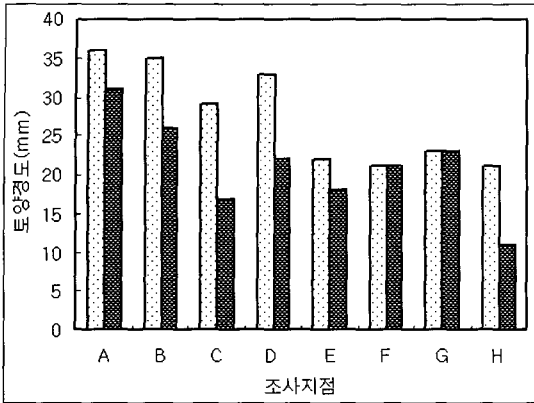


그림 4. 주통행로와 주차지역 포장면의 토양경도
범례: □ 주통행로, ■ 주차지역

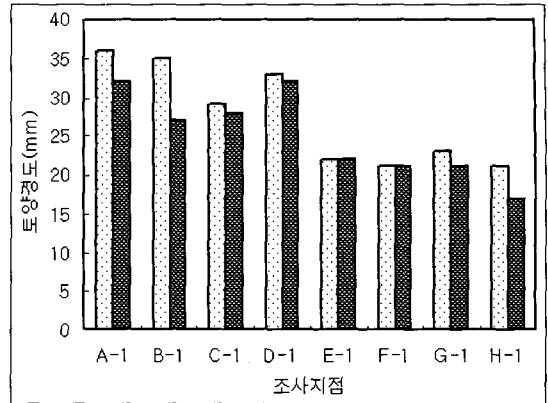


그림 6. 주통행로 포장면과 포장면 하부 토양의 토양경도
범례: □ 포장면, ■ 포장면 하부 토양

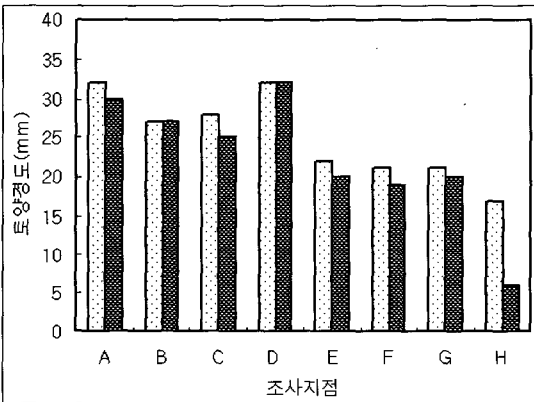


그림 5. 주통행로와 주차지역 포장면 하부 토양의 토양경도
범례: □ 주통행로, ■ 주차지역

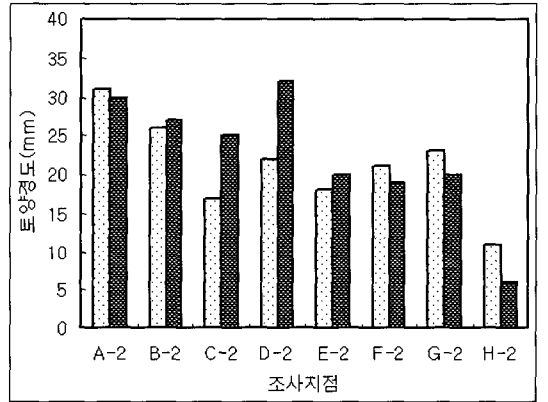


그림 7. 주차지역 포장면과 포장면 하부 토양의 토양경도
범례: □ 포장면, ■ 포장면 하부 토양

조사대상지 주통행로 포장면의 토양경도는 21~36mm로, 포장면 하부 토양의 17~32mm에 비해 조사대상지별로 같거나 높은 경향을 보여 앞서 언급한 토양의 다짐정도(Abebe *et al.*, 1989; Schwanghart, 1991)와 일치된 결과를 나타냈다(그림 6 참조). 그러나 주차지역 포장면과 포장면 하부 토양의 토양경도는 각각 11~31mm, 6~32mm로 조사대상지별로 상이한 결과를 보여 일정한 경향을 확인할 수 없었는데(그림 7 참조), 이에 대해서는 향후 재현실험 등을 통해 원인 등을 밝힐 필요가 있다고 생각된다.

3. 용적밀도, 고상률 및 공극률

용적밀도는 입자의 배열상태 또는 공극량을 나타내

는 성질로서 일정한 토양의 무거운 정도 혹은 치밀한 정도를 나타낸다. 용적밀도는 유기물함량, 토성 및 구조에 따라 변하며, 차량의 하중에 의한 다짐, 입단의 파괴 등은 용적밀도를 증가시켜 토양 내 투수성이 불량해진다(류순호 등, 2000).

조사대상지 주통행로 포장면 하부 토양의 용적밀도는 1.42~1.81g/cm³로, 주차지역의 1.38~1.75g/cm³에 비해 높은 경향을 나타냈으며(그림 8 참조), 이에 대한 Pearson의 단순상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의한 것으로 확인되었다. 또한 차량의 사용빈도 등도 고려하여 고찰할 필요가 있으나 C지역을 제외한 토양의 용적밀도는 준공 순서대로 증가하는 경향을 나타냈다. 이것은 앞서 언급한 토양의 다짐 정도가 영향을 미친 결과라고 판단된다.

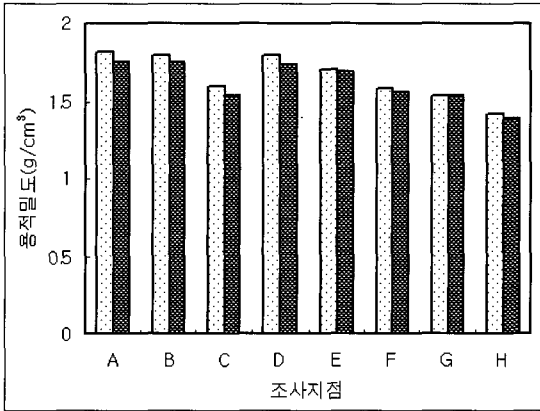


그림 8. 포장면 하부 토양의 용적밀도

범례: □ 주통행로, ■ 주차지역

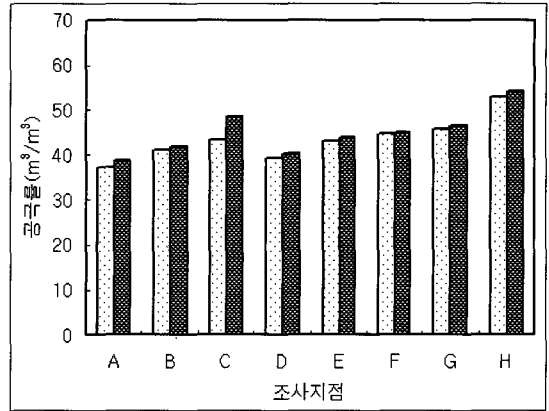


그림 10. 포장면 하부 토양의 공극률

범례: □ 주통행로, ■ 주차지역

한편 김필주 등(1997)에 의하면 투수계수에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 토양의 물리성 악화, 즉 다짐에 의한 용적밀도의 상승이라고 보고하였으며, 또한 1.10~1.40g/cm³의 낮은 용적밀도 범위 내에서는 용적밀도가 증가함에 따라 투수계수가 큰 폭으로 감소하나 본 연구의 용적밀도와 같은 용적밀도 1.40g/cm³ 이상에서는 용적밀도 증가에 따른 투수계수의 변화는 매우 미미하다고 보고하였다.

토양은 고상, 액상, 기상으로 구성되어 있으며, 이들의 용적비를 토양삼상이라 하는데 토양의 종류, 건조, 깊이 등에 따라 크게 다르다. 또한 액상률과 기상률을 합쳐 공극률이라 한다. 일반적으로 농경지 토양의 삼상 분포는 무거운 기계나 사람의 답압, 작업기에 의한 교

반·압축 등에 의해 변한다(류순호 등, 2000).

조사대상지 주통행로 포장면 하부 토양의 고상률은 46.9~62.5m³/m³로, 주차지역의 45.6~61.3m³/m³에 비해 높은 경향을 나타냈다(그림 9 참조). 한편 주통행로 포장면 하부 토양의 공극률은 37.5~53.1m³/m³로, 주차지역의 38.7~54.4m³/m³에 비해 낮은 경향을 나타냈으며(그림 10 참조), 이에 대한 Pearson의 단순상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의한 것으로 확인되었다. 이러한 결과 역시 앞서 언급한 토양의 다짐 정도가 영향을 미쳤기 때문이라고 판단된다.

이상의 결과들로부터 볼 때 다짐에 의해 투수성 잔디블록 포장면의 토양물리성 변화뿐만 아니라 포장 하부 토양의 토양 물리성도 변화하고, 변화의 정도는 다짐 정도에 따라 좌우되며, 결국 이러한 변화가 복합적으로 작용하여 포장 하부 토양의 투수성에 영향을 미치게 된다는 것을 알 수 있었다.

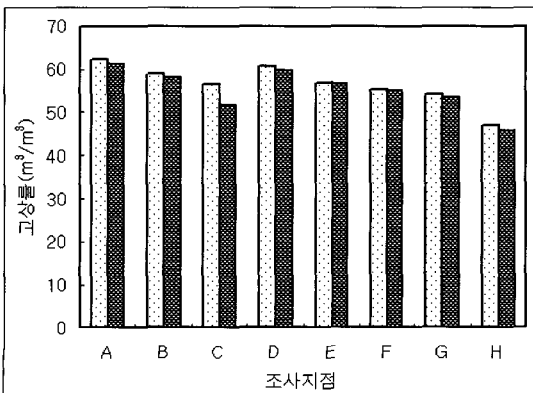


그림 9. 포장면 하부 토양의 고상률

범례: □ 주통행로, ■ 주차지역

IV. 결론

본 연구는 도시 물순환 체계를 개선시키기 위한 대안으로서 현재 주목받고 있는 투수성 잔디블록 포장, 콘크리트 잔디블록 포장 등 8개 지역, 16개 지점에서 포장재 하부 토양의 토양물리성을 파악하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 주통행로 포장면 하부 토양의 포화투수계수는 8~164mm/hr로, 주차지역의 14~201mm/hr에 비해 낮은

경향을 나타냈으며, 이에 대한 Pearson의 단순상관계수는 0.01 수준(양쪽)에서 유의한 것으로 확인되었다. 또한 준공 후 3개월째 측정된 H지역 포화투수계수와 그의 조사대상지 포화투수계수를 비교해 보면 포화투수계수는 준공 후 1년 내에 1/5 수준으로 급격히 감소하였으며, 이후 시간이 경과하더라도 감소 정도는 매우 작았다.

2. 주동행로 포장면 하부 토양의 포화투수계수가 주차지역에 비해 저하하게 된 원인은 분석 결과 차량 통행에 따른 다짐에 의해 토양경도, 용적밀도, 고상률 등이 증가하였기 때문이라고 판단된다. 특히 1.10~1.40 g/cm³의 낮은 용적밀도 범위 내에서는 용적밀도가 증가함에 따라 투수계수가 큰 폭으로 감소하였으나, 1.40g/cm³ 이상에서는 용적밀도 증가에 따른 투수계수의 변화는 매우 미미한 것으로 파악되었다.

3. 이상의 결과들로부터 볼 때 다짐에 의해 투수성 잔디블록 포장면의 토양물리성 변화뿐만 아니라 포장 하부 토양의 토양물리성도 변화하고, 변화의 정도는 다짐 정도에 따라 좌우되며, 결국 이러한 변화가 복합적으로 작용하여 포장 하부 토양의 투수성에 영향을 미치게 된다는 것을 알 수 있었다. 따라서 2008년 이후 생태면적률의 전면시행을 앞둔 상황에서 만약 시공 전후 이들 각층의 어느 한 부분이라도 투수기능이 저하되게 되면 전체 포장의 투수기능 역시 저하될 것이며, 생태면적률 적용을 통해 목적인 자연순환기능 특히 물순환 체계의 개선 효과를 충분히 기대할 수 없을 것이다. 이와 더불어 포장으로서의 내구성도 역시 고려되어야 할 요소이므로 투수가 잘 되면서도 구조적 하중에 강한 포장구조를 유지시킬 수 있는 소재와 포장공법 개발에 대한 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것으로 판단된다.

인용문헌

1. 김경남, 심상렬(2003) 경기장 지반 종류별 난지형 및 한지형 잔디의 표면 경도, 토심 경도 및 투수 속도 비교, 한국조경학회지 44(6): 991-997.
2. 김선태(2002) 투수성 포장공법의 시공실태 및 개선방안에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문.
3. 김필주, 이도경, 정덕영(1997) 토양의 용적밀도에 따른 포화수리전도도 및 음이온의 용출양상, 한국토양비료학회지 30(3): 234-241.
4. 농촌진흥청(2000) 토양 및 식물체 분석법, 수원: 농촌진흥청.
5. 대한주택공사(2006) 토목공사 전문시방서, 서울: 대한주택공사.
6. 류순호, 김계훈, 김민균, 박무언, 양재의, 유인수, 윤세영, 이완주, 임정남, 정연태, 정영삼(2000) 토양사전, 서울: 서울대학교출판부.
7. 박무언, 유순호(1981) 가시 생물공극이 토양의 수리전도도에 미치는 영향, 한국토양비료학회지 14(2): 64-69.
8. 박원엽, 이규승(2001) 타이어 집짐압과 토양속 응력분포에 관한 연구, 한국농업기계학회지 26(3): 245-252.
9. 방승경, 이성민, 이윤규(2005) 알기 쉬운 토질시험법, 서울: 동화기술.
10. 서울특별시(1993) 보도포장설계·시공편람, 서울: 서울특별시.
11. 서울특별시(2000) 서울시 비오름 현황조사 및 생태도시 조성 지침수립, 서울특별시 연구보고서.
12. 심상렬, 정대영, 김경남(2000) 스포츠 그라운드에 적합한 식재지반과 잔디 초종에 관한 연구, 한국조경학회지 28(2): 71-84.
13. 이창우, 문태훈, 홍민선, 서현교(2000) 서울시 환경용량 평가에 관한 연구Ⅱ, 서울시정개발연구원 보고서 2000-R-11.
14. 이현근(1983) 흙의 물리적 성질이 다짐에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 동국대학교 대학원 석사학위논문.
15. 조재현(1997) 답압이 불력포장 하부의 토양물리성에 미치는 영향에 관한 연구, 경희대학교 대학원 박사학위논문.
16. 환경부(2005) 생태면적률 적용지침, 서울: 환경부.
17. 早野美智子(1997) 踏固地における浸潤機構に関する研究, 千葉大學 大学院 博士學位論文.
18. Abebe, A. T., T. Tanake, and M. Yamazaki(1989) Soil compaction by multiple passes of a rigid wheel relevant for optimization of traffic, Journal of Terramechanics 26(2): 139-148.
19. Bouwer, H.(1961) A double tube method for measuring hydraulic conductivity of soil in sites above water table, Soil Science Society of America 25: 334-342.
20. Gardner, W. H.(1958) Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table, Soil Science 85: 228-232.
21. Langerwerff, J. V., F. S. Nakayama, and M. H. Frere(1969) Hydraulic conductivity related to porosity and swelling of soil, Soil Science Society of America 33: 3-11.
22. Schwanghart, H.(1991) Measurement of contact area, contact pressure and compaction under tires in soft soil, Journal of Terramechanics 28(4): 309-318.
23. USDA(1991) Soil Survey Manual.
24. USGA Green Section Staff(1993) USGA recommendations for a method of putting green construction, USGA Green Section Record March/April: 1-3.

원 고 접 수: 2006년 9월 4일

최종수정본 접수: 2006년 10월 18일

3인익명 심사필