

평가요소에 따른 포장재의 생태적 특성 고찰

한승호 · 옥승엽 · 김원태 · 강진형
(주)한설그린 부설 조경생태디자인연구소

I. 서론

도시개발에 따라 콘크리트 구조물 및 아스팔트 포장 이 증가하여 자연 및 생태적 기능이 훼손되고 도시열섬 효과와 같은 기후변화, 도시홍수 등 자연재해에 대한 취약한 구조와 함께 생활환경의 질이 저하되고 있으며, 생물서식 공간이 급격히 감소하여 심각한 생태적 문제에 직면하고 있다.

반면, 기존의 계획지표로 활용되고 있는 건폐율이나 용적률은 개발의 한계를 규정할 뿐, 개발공간의 생태적 가치(환경의 질)를 관리하지 못하고 있는 실정이다(서울시, 2000).

1970년대에 50.1%였던 우리나라의 도시화율이 2002년에는 90%까지 증가되어 도시의 집중화 현상이 두드러져 가고 있고, 더구나 이러한 도시 내부는 도시 외곽지역보다 훨씬 높은 기온의 도시열섬화 현상이 나타나는데, 도시를 형성하는 빌딩이나 도로 및 기타 기반시설물들이 대부분 콘크리트, 유리, 아스팔트와 같이 토양에 비해 열용량이 큰 재질로 구성되어 있어 도시의 기온을 올리고 있기 때문이다. 반면 이렇게 덥혀진 도시를 식혀줄 자연녹지나 공원, 하천, 습지 등 자연 생태적 환경시설이 턱없이 부족하고 건물군은 더욱 고층화되어 고밀도의 도시중심부는 상황이 더욱 악화되고 있다.

이런 도시의 환경을 저해하는 상당히 영향력이 큰 요소 중 하나는 도시의 불투수 포장면이며 불투수 포장 이 도시 표면유출의 2/3를 발생시키고, 지하수를 2/3로 줄여 생활용수를 부족하게 하고, 도시열섬화 온도상승의 2/3에 해당하는 역할을 한다고 보고되었다(Ferguson, 2005).

불투수 포장은 수문변화¹⁾를 야기시켜 강우시 모든 빗물을 지표면 또는 연결된 하수관거를 통해 하천으로 신속히 흘려보냄으로써 하천은 일시적으로 범람하게 되고 평상시에는 필요로 하는 지표수와 지하수가 고갈

되어져, 도시 내 수목생육 유지를 비롯한 야생 동식물의 원활한 서식생태계를 유지하는데 기본이 되는 필수적 생존용수의 확보마저 어렵게 된다. 이렇듯 녹지의 훼손에 의한 그린네트워크(Green Network)의 단절과 하천의 복개에 따른 블루네트워크(Blue Network)의 불연속은 점차 열악해져가는 도시의 생태적 환경을 유기적으로 활성화 시키려는 우리의 노력에 더욱 장애가 되고 있다.

정부에서도 도시기후 변화, 생물다양성 감소 등 도시 생태문제를 적극적으로 해소하기 위한 계획차원의 수단으로 생태면적률 제도와 친환경 건축물인증제를 시행을 앞두고 시범적인 운용을 하고 있다. 이러한 움직임은 그동안 개발에 대한 규제가 건폐율이나 용적률과 같은 양적인 규모를 대상으로 한 것에 비하여 앞으로는 환경을 우선으로 고려하여 자연생태적인 요소를 질적으로 평가하여 규제하며 권장 유도하여 나아가겠다는 정부의 의지로 보여진다.

하지만 아직은 이러한 제도의 시행 초기 단계이고, 일반 설계자나 개발업자의 인식이 부족할 뿐만 아니라 제도의 세부적인 규정이 미흡하여 지속적으로 보완할 수 있는 연구나 자료의 축적이 필요하다 하겠다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 도시환경의 개선에 큰 영향을 미치는 투수포장 재료를 생태공학²⁾적인 접근으로 생태적인 특성, 즉 생태계 구성요소³⁾ 중 온도, 습도, 바람, 빛, 복사열 등 열에너지에 밀접하게 관계되어지는 무기물적인 요소를, 특히 물수지를 중심으로 성능을 계측하여 정량화하고, 이들의 상호관계를 포괄적으로 분석 종합하여 조경분야에서 사용하는 투수포장 재료의 생태적인 가치를 객관적으로 평가함으로써 환경개선제도의 세부규정 운용의 근거자료로 활용하고, 미래의 효율적이고 경제적이면서 생태적인 기능을 충분히 발휘할 수 있는 우수한 투수포장재를 개발 보급하는데 요구되는 유용한 기초자료를 제공하는 것을 본 연구

의 목적으로 한다.

II. 연구방법

먼저 연구범위에 해당하는 투수포장재의 개념 및 정의에 대해 정리하고 이러한 투수포장재의 물순환체계에 대하여 살펴본다. 다음으로 현행 투수포장재와 관련한 평가제도 등에 대해 고찰해 보고 끝으로 투수포장재와 관련된 선행연구 결과를 토대로 포장재의 환경성능 평가요소를 도출하고 선별된 평가요소에 포장재별 성능결과를 대입하여 특성을 고찰하여 본다. 포장재 성능 결과치는 이전에 본 연구소에 선행되었던 실험결과와 관련 선행연구 결과를 토대로 작성하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 투수포장재의 정의 및 물순환체계

투수포장재란 포장체를 구성하는 내부 매질의 공극 사이로 빗물, 공기와 같은 액상 또는 기상의 물질이 침투되어 순환유통이 가능한 재료로서 대기와 접하는 포장표층부와 포장재 하부를 안정시켜 주는 포장기층 구조재를 포함하는 것으로, 일반 수밀성 콘크리트나 아스팔트 포장과 같이 공극이 없어 물질의 유통이 단절된

불투수성 포장재에 대응하여 일컫는다(Ferguson, 2005).

도시의 포장면 또한 공기나 물, 열에너지 등의 유통이 원활하여 지하수를 충전시켜 주고, 수목의 뿌리에 필요한 산소와 영양원소를 공급해 주며, 토양미생물이 살 수 있는 여건을 유지시켜 주는 기능을 가져야 건강한 포장재가 될 것이다. 또한 투수 포장재는 표층의 침투성능뿐만 아니라 기층의 물순환 기능을 함께 고려하여야 한다. 지표와 기층 지하가 상호 원활한 물순환 체계를 갖는 투수포장체가 되어야만 네트워크화된 도시 생태계를 건강하게 회복시키는 역할을 하게 되고, 지속 가능한 생태도시의 주요한 구성 요소가 될 수 있다.

투수성 포장체를 중심으로 한 물 순환체계를 살펴보면 그림 1과 같다.

2. 국내 포장재 특성평가제도

현재 국내에서 포장재의 특성을 평가하여 인증하거나 분류하는 공인된 제도 및 기준은 아직 없는 상황이다. 다만 평가매개변수를 이용하여 공간유형을 13개로 분류하고 그 중 포장부분을 세분하여 가중치를 주고 있는 생태면적률제도를 대표적으로 들 수 있다. 도시환경을 질적으로 규제하기 위해 제정된 생태기반지표의 기본목표는 자연의 순환기능을 유지 활성화시키는 생태적 특성을 평가하는 것으로 표 1과 같은 다섯 가지의 매개변수(媒介變數)를 사용하였다.

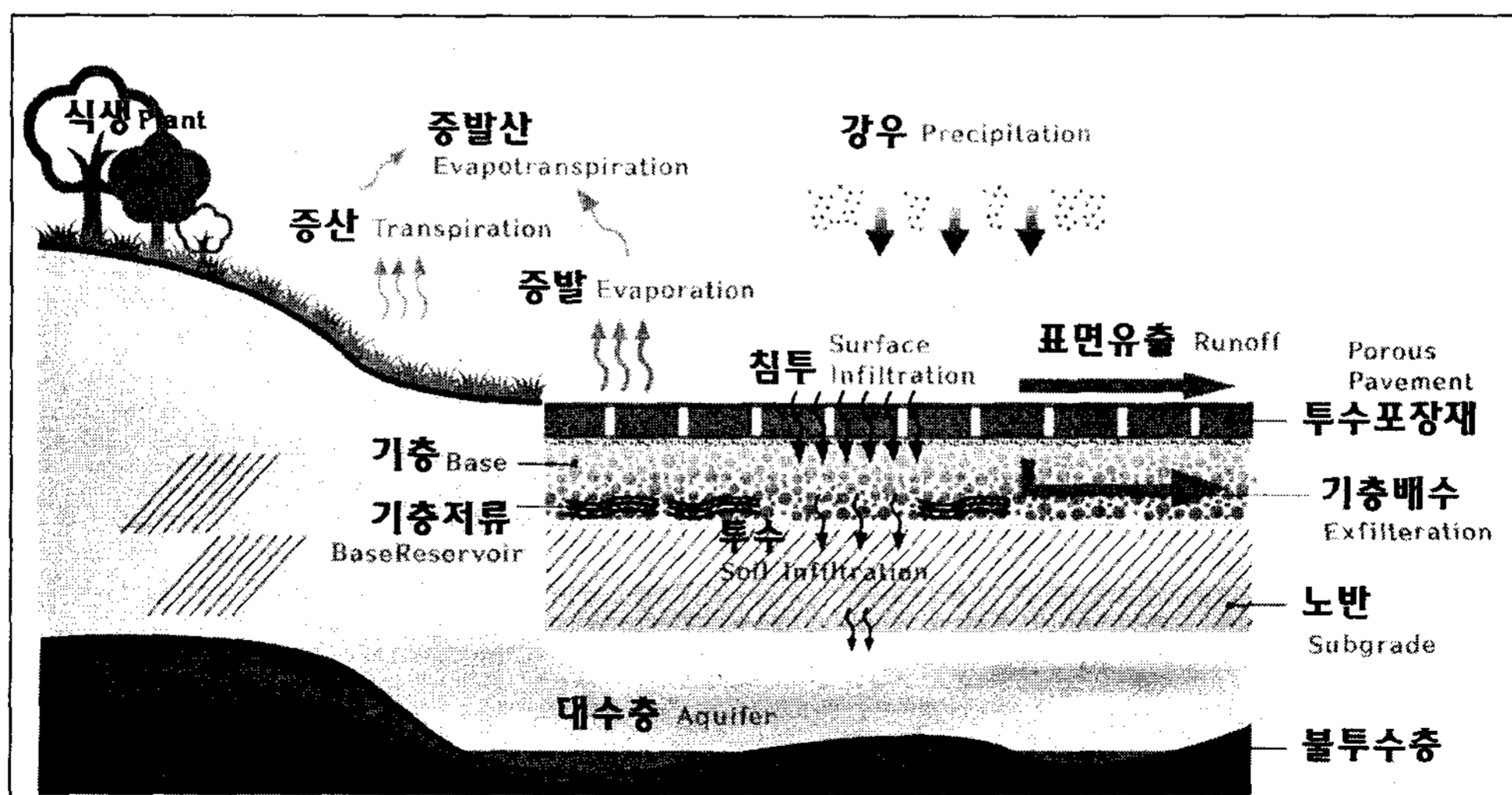


그림 1. 투수포장재의 물순환체계 모식도

표 1. 생태면적을 공간유형별 평가매개변수

구분	정의	평가 관점
증발산 기능	흡수 또는 저장된 우수의 증발 및 냉각 작용으로 인한 도시기후 조절 기능	흡수 또는 저장한 우수의 증발, 냉각 기능
미세분진 흡착 기능	대기 중의 미세분진 및 오염물질을 흡착하는 기능	식재면적과 식생의 양
우수 투수 및 저장 기능	투수로 인한 토양 기능 유지 및 지하수 생성 기능	우수유출량(우수 투수율과 저장·흡수 기능) 지하수 생성
토양 기능	식물생장의 토대가 되는 유기토양층 생성 및 토양에 흡착된 오염물질의 여과, 완충, 전환 가능	토양층의 구성과 생물활동성 식물의 성장활동
동식물 서식처 기능	식물이나 동물의 서식지 제공 기능	포장 및 식재면적식물의 뿌리공간확보 종 다양성 증진 가능성

표 1의 매개변수는 포장면을 포함한 13가지로 구분된 다양한 공간유형에 대한 것으로 본 연구에서 다루는 포장면 공간유형에 한하여만 검토해 보면 동식물서식처 기능은 전혀 없고, 토양기능 또한 부분포장에서 매우 미흡하게 나타나고 있는데, 선행연구에서 살펴 본 바에 의하면 표면유출과 지하수 함양에 관한 항목이 많이 있었고, 또한 도시열섬현상에 주된 영향을 미치는 열 특성에 관한 항목, 예를 들어 표면온도에 영향을 주는 알베도, 열용량, 열전도율과 같은 요소와 일사량에 따른 반사복사열 요소가 주로 연구되었다. 특히 포장면 표면온도와 대기의 온도에 밀접하게 영향을 주는 증발산에 관한 관심도가 빠르게 확대되어지고 심지어는 직접 살수를 하여 주는 배수성 포장, 보수성 포장에 관한 실험적 연구가 활발히 진행되어가고 있는 현상을 볼 수 있었다.

또한 투수 포장면이 식생포장의 경우를 제외하고는 미세분진흡착기능은 미약하지만 비점오염수질을 정화하는 측면에는 상당한 효과가 있다고 여겨진다. 이러한 관점에서 종합하여 볼 때 투수포장재의 생태적인 특성

을 평가하는 항목으로 다양한 관점의 객관적인 평가가 있어야 한다고 판단되었으며 선행된 포장재의 각 분야별 특성연구를 조사하여 평가항목을 도출하고자 하였다.

3. 포장재의 생태적특성 평가요소 도출과 고찰 결과

포장재의 평가요소 도출을 위해 크게 물환경, 열환경, 식생환경으로 구분하여 선행연구를 조사하였으며, 이를 통해 각 범위에서 세부적으로 가장 중요한 항목을 도출하였으며 그 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 제시한 평가요소를 이용하여 실제로 일부 포장재를 선정하여 평가하였을 때 환경성능평가표의 형식은 표 3과 같다. 입력된 성능수치는 본 연구소에서 진행한 최근 몇 년간의 포장재 성능측정의 결과와 유사한 관련선행 연구의 결과를 통해 해당부분의 성능수치를 입력하였으며 아직 신뢰할 만한 결과치가 없는 부분은 입력하지 않았다.

표 2. 투수포장재의 생태적 특성평가를 위한 평가요소

구분	정의	평가관점	대표적인 관련 선행 연구	
물환경	표면유출	포장면의 투수성과 거칠기에 의한 유출량 저감 기능	강우사상에 따른 표면유출량의 감소 정도	· M. Schmidt and B. Heinzmann(2005) · 한승호 외 (2007)
	침투 및 보수	침투로 인한 토양 기능 유지 및 지하수 생성 기능	강우사상에 따른 침투속도, 침투율, 침투량과 지하수 생성량	· 한국건설기술연구원 (2005) · 한승호 외 (2006)
	증발산	토양에 함양된 우수의 자연증발과 식물의 증산작용에 의한 수증기발산 기능	저류 또는 공급에 의해 촉진되어진 토양수분의 증발산량 및 냉각작용으로 인한 도시기후 조절 효과	· 福田萬大, 越他喜孝, 辻正, 淺枝隆, 藤野毅(1999a) · 越川喜孝, 辻井豪, 吉田建二.(2001)
	수질정화	지표상의 비점원에 의해 발생된 오염물질의 여과, 완충, 전환 가능	포장재료, 충전진재의 식생유무에 따른 수질정화효과	

(표 2 계속)

구분	정의	평가관점	대표적인 관련 선행 연구	
열환경	표면온도 (최고/일교차)	포장재료와 대기면이 접하는 부분의 온도	태양복사열에 의한 포장재의 온도변화	· Asaeda, T. and Thanh C. V.(1996) · 류남형(2004)
	알베도	포장재가 빛을 반사하는 정도	포장재료 색채의 밝기와 거칠기	· 한승호 외(2006)
	잠열량	현열로 나타나지 않고 내재된 열량	상태의 변화없이 보유하는 열에너지량	· 福田萬大, 越他喜孝, 辻正, 淺枝隆, 藤野毅(1999a)
	열용량	포장재료의 온도를 변화시키는데 필요한 에너지량	보유할 수 있는 열에너지의 크기	· 淺枝隆, ウタンカ, 北原正代(1991) · 福田萬大, 深澤邦彦, 荒木美民, 藤野毅, 淺枝隆(1997)
	열전도율	포장재질이 열을 전달하는 속도	열에너지를 이웃매질에 전달하는 속도	· Asaeda, T., Thanh C. V. and Wake, A.(2000)
식생환경	식재 면적률	식생이 가능한 면적의 넓이	단위 포장면에 대한 식재지의 면적비율	
	식생공간 연결성	개별 식생공간의 크기와 연결되어 있는 정도	식생가능 공간의 연결되어진 정도(네트워크의 정도, 녹색바둑)	

표 3. 평가요소를 활용한 포장재 환경성능평가표 사례

평가요소	물환경				열환경				식생환경	
	투수 면률	표면 유출계수	침투속도 (침투률)	증발 산률	최고 표면온도 (대기온도)	표면온도 일교차	알베도 (표면색상)	여름 최대 장파복사량	식재 면적률	식생공간 연결성
포장재	%		cm/s, %	%	℃	℃		W/m ²	%	연결유무
자연지반 녹지	전면 투수	0.05~0.25 ^a	(0.26~0.3) ^c	0.40~0.44 ^c	-	-	-	-	100	가능
합성수지 잔디블록	80~90	-	6.9×10^{-2}	-	37.9 (34.0)	14.5	0.20~0.21 (잔디)	521	80~90	가능
식재+잔디 포장	40~50	-	4.3×10^{-2}	-	40.1 (34.0)	16.4	0.33~0.35 (화강석+잔디)	540	40~50	가능
식재틈새 포장재	10~20	-	4.7×10^{-2}	-	43.1 (34.0)	20.4	0.39~0.42 (화강석)	565	10~20	가능
콘크리트 잔디블록	25~35	-	-	-					20~35	대부분 단절형
목재블록 포장	10 이하	-	-	-	56.1 (34.0)	32.8	0.37~0.39 (미송)	651	식재불가	해당없음
점토블록	10 이하	-	-	-	51.7 (37.1)	27.1	0.35~0.37 (밝은 황토색)	627	식재불가	해당없음
투수 콘크리트	전면 투수	-	-	-	54.2 (35.3)	28.6	0.20 (회색)		식재불가	해당없음
쇄석포설 포장	전면 투수				56.6 (37.1)	31.8	0.29~0.31	661	식재불가	해당없음
흙다짐 포장	불투수 포장		$1.1 \times 10^{-6} \sim 6.6 \times 10^{-7}$		45.9 (37.1)	21.4	0.26~0.28 (황토색)	582	식재불가	해당없음
아스팔트	불투수 포장	0.70~0.95 ^b	(0.03) ^c	0.07 ^c					식재불가	해당없음
불투수 콘크리트포장	불투수 포장	0.75~0.95 ^b	(0.03) ^c	0.07 ^c	45.3 (35.3)	19.3	0.40		식재불가	해당없음

^a: 일본건설성(1984) 유출계수^b: 미국토목학회 유출계수기준^c: 김영권(2005) 주택지 개발에 따른 물수지특성에 관한 연구 P22~23

평가요소를 활용하여 포장재의 생태적 특성을 고찰하여본 결과 물환경 특성에서는 합성수지 잔디블록이 콘크리트 잔디블록에 비해 식생면적(투수면적)이 넓어 경관상 유리하고 표면 유출계수가 낮고 침투속도가 빠를 것으로 기대된다. 그러나 폭우가 아닌 일반적인 강우상태에서 투수면적이 전체면적의 20% 이상 차지하는 투수블록의 표면유출량이 거의 없다는 연구결과를 통해서 빗물의 대부분이 포장재 하부로 침투될 수 있다고 가정한다면 투수기능에서는 유사한 수준을 알 수 있다(Schmidt and Heinzmann, 2005).

열환경특성에서는 여러 가지 요인이 복합적으로 작용하였는데 알베도가 높아 반사복사량이 많았음에도 실제적으로 표면온도나 장파복사량에서 목재블록 및 점토블록포장이 매우 높았으며 쇄석포장, 흙다짐포장도 높은 편에 속하였다. 이런 결과가 발생한 가장 큰 이유는 수분증발량에서 찾을 수 있는 것으로 판단되는데 상대적으로 알베도가 낮아 열흡수율이 높음에도 식생이 있거나 보습효과가 있어 수분을 상대적으로 오래 잡아 둘 수 있는 잔디식생포장이 표면온도 및 장파복사량에 낮은 것을 알 수 있었다. 쇄석포장재의 경우, 투수포장재임에도 불구하고 보습할 수 있는 능력이 적어서 쉽게 온도가 상승하는 것으로 판단된다.

하지만 아직 많은 부분의 해당항목에 정확하고 객관적인 성능수치가 없는 상황이어서 더욱 정확하고 신뢰성 있는 포장재 성능고찰을 위해서는 추가적인 측정연구가 더 진행되어야 한다. 차후 이와 같은 평가요소를 통해서 포장재의 성능판단에 대하여 더욱 과학적이면서 객관적으로 분석될 수 있을 것으로 판단되며 이상에 언급된 평가요소에 대한 검증 및 효과적인 항목의 설정과 과학적 검증을 통한 포장재 성능측정결과가 필요하다.

주 1. 수문변화: 도시의 개발에 의한 불투수포장면의 증가로 개발 이전 자연계에서 발생하는 것보다 침투유출량 및 총유출량이 증가하고, 침투유출이 발생하는 시간이 감소되는 변화를 말함.

주 2. 생태공학(Ecological Engineering): 생물과의 공존을 목적으로 인간과 자연과의 관계를 구축하는 기술학으로 취급

하는 대상은 생태계가 되며, 생물의 생활시스템과 생태계 구조를 해명하는 생물학과 생태계를 유지하고 인간생활에 도움을 주는 생태인프라(eco-infra)를 건설부문 시스템으로 구축하는 기술학으로 구성된다.

주 3. 생태계 구성요소: 생태계의 구성요소는 크게 생물부문, 유기물부문, 무기물부문에 나누어 볼 수 있는데, 1) 생물부문(Biotic factor)은 생산자(Producer), 소비자(Consumer), 분해·환원자(Decomposer)로, 2) 유기물부문(Organic matter)은 낙엽지(Litter), 동물사체, 용존 유기물, 생리활성물질 등, 3) 무기물부문(Inorganic matter)은 매질, 기질(토양), 빛(에너지), 물, 이산화탄소, 산소, 영양염류, 온도, 바람, 파도, 지형과 같은 물리적 요소로 이루어진다.

인용문헌

1. 류남형(2004) 조경용 투보수성 시멘트 콘크리트 포장의 열특성 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
2. 서울특별시(2000) 서울시 바이오톱 현황조사 및 생태도시 조성 지침수립. 서울특별시 연구보고서.
3. 한국건설기술연구원(2005) 포장면의 환경성 향상소재 개발. 경기도: 한국건설기술연구원.
4. 한국조경학회(2002) 조경설계기준. 서울: 한국조경학회.
5. 한승호, 김원태, 강진형(2006) 투수성 잔디블록포장 하부 토양의 물리성. (사)한국조경학회지 34(4): 96-104.
6. 한승호 외(2006) 저수형 잔디블록 저수조내 충전재료에 따른 저수량 및 초종별 증발산량.(사)한국조경학회지 34(5): 76-83.
7. 환경부(2005) 생태면적을 적용지침. 서울: 환경부.
8. Asaeda, T. and Thanh C. V.(1996) Heat Storage of Pavement and Its Effect on the Lower Atmosphere, Atmospheric Environment 30(3): 413-427.
9. Asaeda, T., Thanh C. V. and Wake, A.(2000) Characteristics of permeable pavement during hot summer weather and impact on the thermal environment. Building and Environment 35: 363-375.
10. Bruce K. Ferguson(2005) Porous pavements. New York: CRC press.
11. Marco Schmidt * and Dr. Bernd Heinzmann(2005) Impacts of Semi-Permeable Surfaces on the Urban Hydrology.
12. 淺枝隆, ウタンカ, 北原正代(1991) 道路舗装の熱環境に及ぼす影響. 環境システム研究 19: 89-93.
13. 越川喜孝, 辻井豪, 吉田建二(2001) 透水性を有する保水性舗装に関する検討. 土木學會第56回 年次學術講演會 V-088: 176-177.
14. 福田萬大, 深澤邦彦, 荒木美民, 藤野毅, 淺枝隆(1997) 夏季自然状態での各種舗装の熱環境緩和特性に関する實驗的研究. 土木學會論文集 571(V-36): 149-158.
15. 福田萬大, 越他喜孝, 辻正, 淺枝隆, 藤野毅(1999a) 夏季に給・散水した保水性舗装の熱環境緩和特性に関する實驗的研究. 土木學會論文集 613(V-42): 225-236.