

조경용 투수성 포장의 생태적 특성 측정

한승호* · 류남형** · 강진형*

*(주)한설그린 부설 조경생태 디자인 연구소 · **진주산업대학교 조경학과

1. 서론

도시화와 더불어 지표면의 대부분은 아스콘이나 시멘트콘크리트에 의해 포장이 됨으로써 도시 전체의 열환경을 악화시키고 있다. 도시 전체의 열환경 문제로 대 표되는 도시열섬현상은 도로포장에 의한 증발량의 감소, 포장도로나 콘크리트 구조물의 증가에 의한 도시 전체의 열용량의 증대 이외에도, 석유·전기 에너지의 대 량소비에 따른 배출열의 증대, 나지면적의 감소, 소하천 의 복개에 의한 증발산량의 감소 등 여러 가지 원인에 의해 발생하고 있다. 더욱이 포장화에 의한 영향은 국소 적인 열환경에 직접적으로 작용을 하여, 생활환경을 악 화시키고 있다. 구체적인 예를 들면 한 여름 낮의 아스 팔트 포장의 표면온도가 50℃ 이상이 되고, 노면로부터의 반사가 보행자에게 큰 불편감을 주며, 이것에 인접 한 건물의 실내환경에도 악영향을 미친다. 또한 아스팔트 및 콘크리트 포장은 낮에 대량의 열을 축열하기 때문 에, 야간이 되더라도 기온보다 지표면 온도가 높아서, 대기를 계속 가열한다. 이것은 실내환경에 영향을 미치 는 것뿐만이 아니고, 냉방부하의 증가를 가져와, 광역적 으로는 열대야의 발생을 조장하는 요인이 되고 있다(伊 藤幸廣 등, 1996). 옥외 콘크리트 상에서의 인체의 열수 지 해석 결과 지면으로부터의 장파복사가 가장 큰 부하 를 주며, 이는 포장 표면온도가 이용자들에게 불편감을 주는 요인이 된다는 것을 의미한다(神田 學와 土屋信夫, 1995, 田中孝典, 1998).

1990년대 이후 포장의 열환경에 대한 관심이 높아졌 고, 이를 계기로 열환경에 미치는 각종 포장의 영향을 밝히기 위해, 실제 도시 내의 포장도로나 모델 포장의 관측치를 사용하여 투수성 포장을 포함한 각종 포장의 열특성에 대해서 조사한 결과를 발표하였다(淺技 등, 1991; 成田健一과 關根 毅, 1991; Asaeda 등, 1996; 福 田 등, 1997; Asaeda, T and V. T. Ca, 2000). 포장의

고온화 억제대책으로서 색채를 바꾸어 알베도를 높 이거나, 포장이나 골재에 열전도성이나 비열을 높이며, 포장에 투수성이나 보수성을 가지게 하여 잠열을 높이고, 가로수 등의 그늘에 의한 입사량을 줄이는 방법 등 이 있다. 최대 지표면 온도에 영향을 주는 것은 포장의 알베도, 열용량, 열전도율 순이며 각각이 기준상태의 5 배로 되었을 때, 최대 포장 표면온도는 각각 22%, 9%, 4% 증가한다는 것도 밝혀졌다(木内 豪와 小林裕明, 1999). 아스팔트 콘크리트 포장 표면의 최대온도는 알 베도 값 0.1이 증가하면 -3.7℃ 감소하며, 알베도 값을 0.1에서 0.3으로 높이면 기온이 약 0.6℃ 감소하고, 아스 팔트 결합재를 살포한 후 굳기 전에 직경이 약 6mm 가 량의 자갈을 뿌리고 전압을 함으로써 알베도 값을 자갈 알베도 값의 2/3까지 높일 수 있는 방안도 제시되었다 (Pomerantz *et al.*, 2000). 그리고 최근에는 포장의 열환 경 개선을 목적으로 한 주로 포장체의 잠열을 높이는 포 장 재료 및 공법에 대한 다양한 연구 결과도 보고되었다 (伊藤 등, 1996; 福田 등, 1999a; 1999b, 赤川宏幸과 小 宮英孝, 2000; 越川 등, 2001). 하지만, 대부분의 투·보 수성 포장 재료 및 공법에 대한 연구는 주로 투수성 아 스콘 포장에 국한되어 있으며, 투수성 블럭 포장을 대 상으로 한 열환경 연구는 희소하다.

따라서 본 연구는 도시의 열환경을 악화시키는 원인 의 하나인 불투수성 포장의 대안으로서 주목을 받고 있 는 투수성 잔디블럭 포장, 보수층을 가진 석재+잔디 블 록 포장, 석재블럭 포장, 목재블럭 포장의 열특성을 과 약함으로써, 도시 열환경 개선에 기여할 수 있는 투·보 수성 포장재료 및 포장공법의 개발을 위한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 우선 투수성 포장의 열물성, 열환경 개선에 대한 문헌을 조사 분석하 고, 조사분석 결과를 바탕으로 옥외실험을 위한 투수성 포장 공시체를 구축하며, 구축된 포장 공시체의 여름철 열환경을 관측한다. 관측된 자료를 근거로 투수성 블럭

포장의 표면온도의 일 변화와 포장 표면의 장파복사 및 단파복사 등을 분석 및 고찰한다.

본 연구의 결과는 경제성, 시공성, 강도, 내구성, 보행성이라는 기능성에만 치중해 왔던 포장에 보행자의 쾌적성, 환경의 보전이라는 기능을 부가시키는데 기여할 것이며, 특히 도시의 열환경을 개선시킬 수 있는 투·보수성 포장재료 및 공법의 개발을 위한 유용한 근거 자료로 이용될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 시험 포장체의 구성재료

투수성 포장재료에는 투수성 아스팔트 콘크리트, 투수성 시멘트 콘크리트, 잔디블럭, 목재블럭, 석재블럭 등과 같이 여러 가지 종류가 있으나, 본 연구에서는 친환경적 포장재료인 투수성 잔디블럭, 보수층을 가진 석재블럭(잔디줄눈), 석재블럭, 목재블럭을 대상으로 열환경을 측정하였다.

2. 시험 포장체의 구성

투수성 포장의 열특성에 관한 기초적 자료를 얻기 위해, 투수성 잔디블럭 포장(이하 잔디블럭이라 한다), 보수층을 가진 투수성 석재블럭(잔디줄눈) 포장(이하 석재잔디라 한다), 투수성 사교석 포장(이하 석재블럭이라 한다), 투수성 목재블럭 포장(이하 목재블럭이라 한다)을 평면치수 100cm×100cm 되도록 옥외시험포장을 구축하였다. 이는 평면치수 100cm×100cm는 300cm×300cm의 공시체 표면온도는 90cm×90cm의 그것보다 주간은 1℃, 야간은 2℃ 정도 높을 뿐이며, 공시체 주위의 열이나 수분의 영향을 무시할 수 있다는데 근거를 두었다(福田 등, 1997).

포장시험체의 단면은 다음과 같다(그림 1~4 참조). 주변으로부터의 전열의 영향을 피하기 위해, 방부목재로 사각형 외부박스(내부 규격 1200mm×1200mm×800mm 또는 650mm)를 제작하고 저면 및 측면에 두께 100mm의 발포스티로폴로 단열한 후 합석으로 내부박스(내부 규격 1000mm×1000mm×700mm 또는 550mm)를 만들어 넣었다. 합석 박스 바닥면에는 원활한 배수를

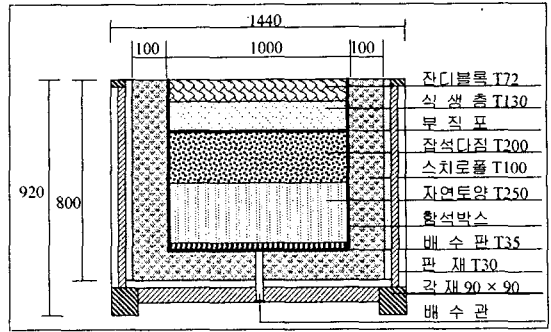


그림 1. 잔디블럭 포장의 대형 시험체 단면도

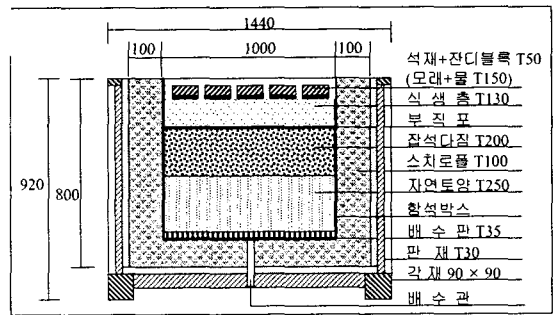


그림 2. 석재블럭+잔디줄눈 포장의 대형 시험체 단면도

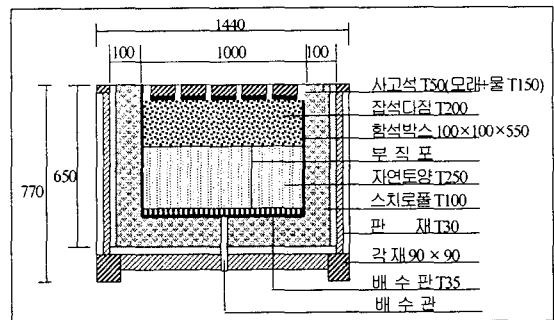


그림 3. 석재블럭 포장의 대형 시험체 단면도

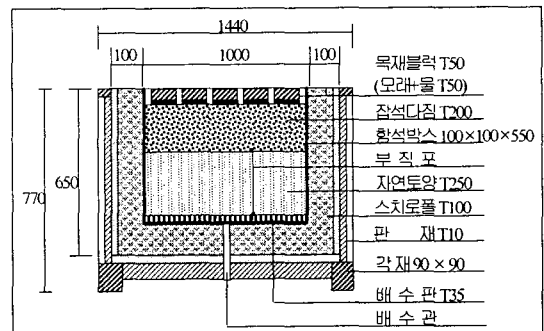


그림 4. 목재블럭 포장의 대형 시험체 단면도

위해 배수구(Φ30mm)를 낸 후 배수관을 깔았으며, 시험체 내의 토양입자가 배수관을 메우는 것을 방지하기 위해 부직포를 깔았다. 부직포 위에 토양(T250mm)을 채우고, 토양층 위에 부직포를 깔고 잡석을 T200mm를 깔았다. 그리고 잔디블럭과 석재잔디는 토양(식생층)을 T130mm 간 후, 잔디블럭 T72mm 및 석재잔디 T50mm의 포장재를 포설하였으며, 석재블럭과 목재블럭은 잡석 위에 T50mm의 포장재를 포설하였다(成田健一과 關根 毅, 1991).

포장시험체 상호간의 영향을 최소화하기 위해, 포장공시체간의 거리를 1m가 되게 배치하였다.

3. 포장체의 열환경 측정

1) 포장체의 온도

각 시험체의 온도는 직경 0.3mm의 T형 열전대(NiCr-Ni)를 사용하여, 깊이방향으로 5점 또는 4점 즉 포장체 표면, 포장체 저면, 식생층 중간점, 잡석층 중간점, 토양 중간점을 측정하였다. 포장재료별 온도 측정지점은 다음과 같다(표 1 참조). 측정된 온도는 5분 간격으로 샘플링하여 1시간 평균값을 데이터로거(Delta-T사의 DL2e와 Campbell사의, CR10X)에 저장하였다.(西岡 등, 2002).

2) 포장체 표면의 입사 및 반사 일사량, 대기 및 포장체 장파복사량

입사 및 반사 일사량과 대기 및 포장체 장파복사량은 포장 시험체의 거의 중앙의 상방 30cm 높이에 설치한 순복사계(net-radiometer, Kipp & Zonen사, CNR1)와 일사계(Delta-T사의 CM3, Kipp&Zonen사의 CM6B), 그리고 지구복사계(Kipp&Zonen사의 CG1)로 5분 간격으로 측정을 하였으며, 측정치는 데이터 로거(Campbell사, CR10X/Multiplex)에 입력하였다(福田 등, 1999a: 1999b).

3) 기상조건

표 1. 포장재료별 온도 측정지점

구분	잔디블럭	사고석 잔디블럭	사고석	목재블럭
깊이 (cm)	0, 7.2, 13.7, 30.2, 52.7	0, 5, 11.5, 28, 50.5	0, 5, 15, 37.5	0, 5, 15, 37.5

각 시험체로부터 약 3m 떨어진 장소에 전도증가우량계(정밀도 ±1%, Met One Instruments사, Model 370)를 사용하여 강수량을, 증발계(Met One Instruments사, Model 550501)을 통해 증발량을, 약 2.0m의 높이에서 온습도계(습도 10%~90%에서 정밀도 ±3%, 온도: 정밀도 ±0.1℃, Met One Instruments사, Model 083C) 및 화살날개식 풍향풍속계(풍향의 정밀도 ±4°, 풍속정밀도 10m/s 이하인 경우는 ±0.1m/s; 10m/s 이상인 경우는 ±1.1%, Met One Instruments사, Model 083C)를 통해, 기온과 습도 및 풍속을 측정하였다. 측정치의 시간 평균값은 데이터로거(Met One Instruments사, AUTO-MET)에 입력하였다.

4) 측정장소

주변건물로부터의 영향이 적고 더욱이 개방적인 장소(진주산업대학교 신축 제 3공학관 4층 건물의 옥상, 약 50m×25m)를 실험장소로 한다. 각 시험체는 서로 약 1m 이상 떨어져 설치하였다. 연속측정은 2005년 7월 22일부터 2005년 8월 30일까지 계속하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 포장재료별 온도 변화

1) 표면온도의 일 변화

2005년 7월 31~8월 9일 동안의 열전대로 측정된 포장 표면 최고온도의 변화를 다음 그림 5에 나타내었다. 8월 1~3일 내린 비로 포장 표면온도가 급격히 저하하였으나, 강우로 인한 석재블럭 및 목재블럭의 온도 저하효과는 하루 이상 지속되지 않았다. 이는 토양표면에서 일어나는 증발의 경과 일수에 따른 변동은 각기 다른 두 개의 건조단계로 나타나며, 1단계는 표면에 적정 수분이 공급되어, 증발은 표면에서의 유용 에너지에 의해 좌우되고, 2단계는 토양 표층이 어느 정도 건조된 후 증발은 아래로부터의 수증기 공급에 의해 좌우되며, 1단계 보다 적은 증발이 일어나고, 1단계는 1일 단위(order of day) 이하로 지속된다는 기존의 연구결과로 볼 때, 투수콘의 1단계 증발은 하루 이상 지속되지 않았기 때문인 것으로 판단되었다(Porte-Agel *et al.*, 2000). 기간 중 기온이 비교적 높았던 8월 5일(최고기온 34.0℃)에 있어서 포장표면의 일최고온도는 목재블

력이 56.1°C로 가장 높았고, 다음으로 석재블럭이 43.1°C이었으며, 석재잔디와 잔디블럭은 40.1°C와 37.9°C로 낮게 나타났다. 목재블럭이 석재블럭보다 최고 13.0°C 높은 표면온도를 나타냈던 것은 알베도(석재블럭 0.37~0.40, 목재블럭 0.27~0.30)의 차이 때문이라 판단되었다. 그리고 석재잔디가 석재블럭보다 표면 최고온도가 3.0°C 낮았던 것은 석재잔디의 잔디피복 줄눈에서의 증발효과인 것으로 판단되었다. 또한 같은 시기는 아니지만 2002년 8월 2일(최고기온 35.3°C)에 측정된 포장 표면의 일 최고온도인 수밀콘 45.5°C, 나지 45.3°C와 비교해 보았을 때 목재블럭은 상대적으로 매우 높은 표면온도를 나타내었고, 잔디블럭은 상대적으로 매우 낮은 표면온도를 나타내었다(류남형과 유병림, 2005). 이는 목재블럭의 열용량이 작기 때문이며, 잔디블럭의 식생층에서의 증발산효과 때문인 것으로 판단되었다.

기간 중 강우 후 기온이 가장 높았던 8월 5일(최고기온 34.0°C)에 있어서 포장표면온도의 경시적 변화를 다음 그림 6에 나타내었다. 표면의 일최고온도는 오후 2시경에 나타났으며, 일 최저온도는 오전 5시경에 나타났다. 포장표면 온도의 일 교차는 목재블럭이 32.8°C로 가장 높게 나타났고, 다음으로 석재블럭 20.4°C, 석재잔디 16.4°C, 잔디블럭 14.5°C 순으로 낮게 나타났다. 일평균 포장 표면온도도 목재블럭이 34.1°C로 가장 높게 나타났고, 다음으로 석재블럭 31.7°C, 석재잔디 30.0°C, 잔디블럭 28.6°C 순으로 낮게 나타났다. 목재블럭은 낮은 알베도 때문에 상대적으로 높은 최고온도를 나타내었으며, 상대적으로 낮은 최저온도를 나타내었던 것은 낮은

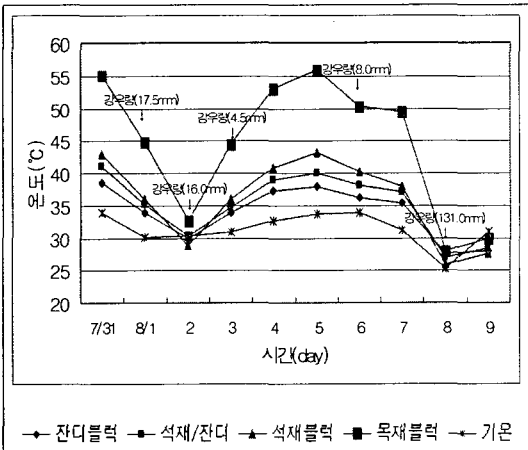


그림 5. 포장표면 일 최고온도의 변동(2005년 7월 31일~8월 9일)

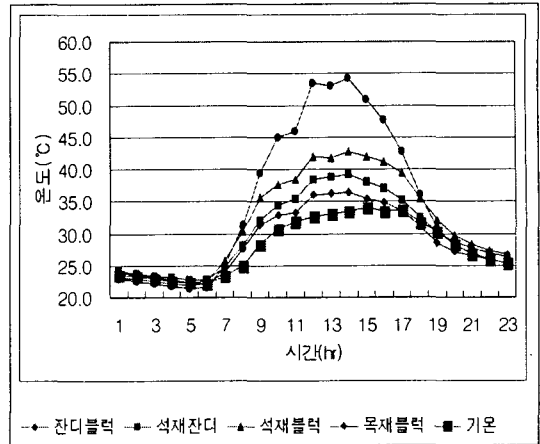


그림 6. 포장 표면온도의 일중 변화(2005년 8월 5일)

열용량 때문인 것으로 판단되었다.

2) 포장체의 층별 온도변화

2005년 8월 5일 오전 1시부터 오후 12시 사이에 노상, 여과층, 기층, 표층에 있어서 포장 표면의 최고 및 최저 온도를 나타내는 시간에 있어서의 포장재료에 따른 깊이 방향의 온도 변화를 다음 그림 7에 나타내었다.

온도경사의 부호를 포장체 내의 열류방향이 지중에서 포장표면으로 향할 때를 마이너스, 역으로 향할 때를 플러스로 전제하고, 각 포장체에 대한 깊이방향의 온도 변화를 검토하였다.

포장 표면온도가 가장 낮은 일출직후 아침 5시에 있어서 각종 포장의 온도기울기를 비교하면, 표층은 목재블럭(-0.4°C/cm) > 석재블럭(-0.34°C/cm) > 석재잔디(-0.25°C/cm) > 잔디블럭(-0.24°C/cm)의 순으로 가파르게 나타났다. 온도기울기가 가파르다는 것은 가파른 만큼 대기로의 열방사가 활발하게 일어나고 있다고 볼 수 있으며, 이는 전날에 가열된 포장이 다음 날 오전 6시까지도 즉 야간 내내 대기를 가열하고 있었다는 것을 의미한다.

포장 표면온도가 가장 높은 오후 2시의 각종 포장의 온도기울기를 비교하면, 표층은 목재블럭(2.07°C/cm) > 석재블럭(0.72°C/cm) > 석재잔디(0.40°C/cm) > 잔디블럭(0.30°C/cm)의 순으로 가파르게 나타났다. 온도기울기가 가파르다는 것은 그만큼 지중으로의 열전도가 활발하게 일어나고 있다고 볼 수 있다.

2. 복사량

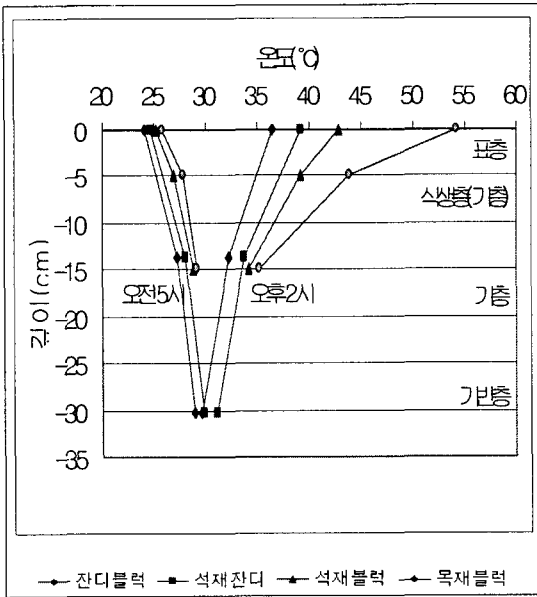


그림 7. 포장 표면온도 최저, 최고 시의 층별 온도분포(2005년 8월 5일)

1) 기상 경시적 변화

2005년 8월 4일~5일 기상의 경시적 변화를 그림 8에 나타내었다. 습도는 8월 4일 59%~94%, 8월 5일 59%~95%를 나타냈으며, 야간에는 90% 이상을 나타냈다. 기온은 8월 4일은 24.0℃~32.7℃, 8월 5일은 22.1℃~34.0℃를 나타냈다. 풍속은 8월 4일 0.00m/sec~0.41m/sec, 8월 5일 0.00m/sec~0.23m/sec를 나타냈으며, 양일의 야간 풍속은 0.00m/sec에 가까웠다. 전천일사는 8월 4일의 1시간 평균은 최고 919W/m², 8월 5일의 1시간 평균 최고 928W/m²를 나타냈다. 장파복사는 8월 4일의 1시간 평균은 383W/m²~445W/m², 8월 5일의 1시간 평균 최고 381W/m²~431W/m²를 나타냈다.

2) 포장재료별 전천/반사일사량

2005년 8월 5일의 전천일사량과 포장재료별 반사일사량을 다음 그림 9에 나타내었다. 전천일사량은 오전 12시 최고 값(928Wm⁻²)을 나타냈으며, 최대 반사일사량은 석재블럭(377Wm⁻²)이 가장 큰 값을 나타내었다. 다음으로 목재블럭(339Wm⁻²), 석재잔디(315Wm⁻²)순으로 나타났고, 잔디블럭(252Wm⁻²)가 가장 낮게 나타났다.

포장재료별 알베도를 다음 표 2에 나타내었다. 알베도는 태양고도가 낮은 아침, 저녁과 같이 입사하는 일사

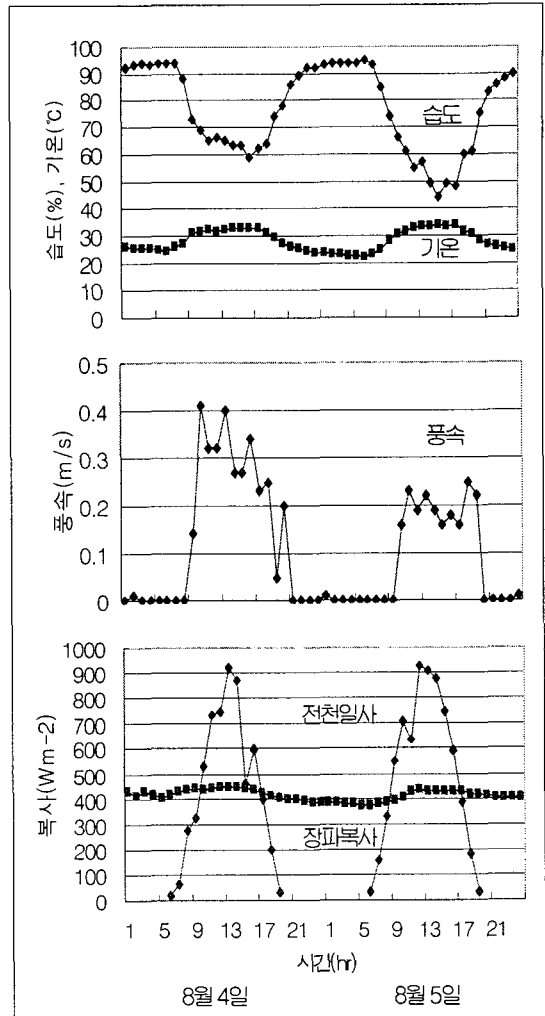


그림 8. 기상 및 복사량의 경시변화(2005년 8월 4~5일)

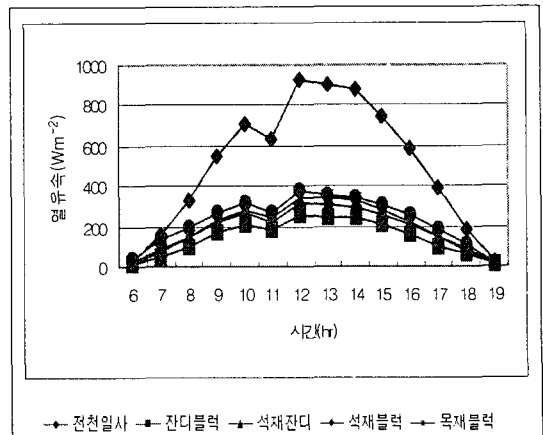


그림 9. 전천일사량과 포장재료별 반사일사량(2005년 8월 5일)

표 2. 포장재료별 알베도(2005년 8월 5일)

구분	시간													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
잔디블럭	0.39	0.33	0.31	0.31	0.30	0.28	0.27	0.27	0.27	0.28	0.27	0.27	0.30	0.41
석재잔디	0.85	0.58	0.44	0.40	0.37	0.35	0.34	0.33	0.33	0.34	0.36	0.38	0.46	0.50
석재블럭	1.31	0.83	0.58	0.49	0.45	0.42	0.41	0.39	0.39	0.41	0.44	0.49	0.63	0.59
목재블럭	0.59	0.47	0.44	0.42	0.40	0.39	0.37	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.40	0.56

가 작을 때는 지표면이 거울같이 반사하여 높은 알베도를 나타내는 등 일중에도 변화한다. 오전 11시부터 오후 3시 사이의 포장체 표면의 알베도는 석재블럭(0.39~0.42)이 가장 큰 값으로 나타났고, 목재블럭(0.37~0.39), 석재잔디(0.33~0.35), 잔디(0.20~0.21)의 순으로 나타났다. 석재블럭의 알베도 값이 가장 크게 나타났던 것은 포장면의 색상이 밝고 표면이 매끈하기 때문이라 판단되었다.

2) 포장재료별 장파복사량

2005년 8월 5일의 대기 장파복사량과 포장재료별 장파복사량을 다음 그림 9에 나타내었다. 각 포장의 열방사량은 오후 2시에 최고 값으로 나타났으며, 목재블럭(651Wm⁻²)이 석재블럭(565Wm⁻²)보다 큰 값으로 나타났고, 다음으로 석재잔디(540Wm⁻²), 잔디블럭(521Wm⁻²)의 순으로 나타났다. 이는 목재블럭의 알베도값이 낮고, 열용량이 작아서 포장표면온도가 높기 때문이며, 잔디블럭은 잔디를 포함한 식생층의 증발산효과 때문인 것으로 판단되었다.

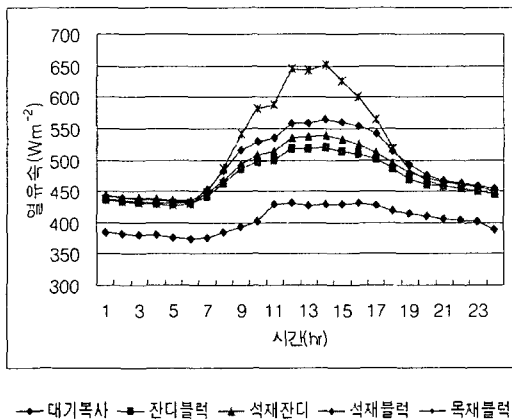


그림 9. 포장재료별 장파 복사량(2002년 8월 5일)

IV. 결론

본 연구는 여름철 투·보수성 블럭 포장의 열환경을 파악하기 위해 옥외에 투·보수성 포장 공시체를 구축하고 열환경의 변화를 관측하였다. 관측된 자료 중 강우 후 기온이 가장 높았던 2005년 8월 5일(최고기온 34.0℃)의 자료를 근거로 투·보수성 블럭의 표면온도의 일변화, 포장체의 층별 온도변화, 포장표면의 장·단파복사 등을 분석 및 고찰한 결과는 다음과 같다.

1) 포장표면의 최고 온도는 목재블럭(56.1℃)이 가장 높았으며, 다음으로 석재블럭(43.1℃), 석재잔디(40.1℃), 잔디블럭(37.9℃)의 순으로 높게 나타났다.

2) 공시 포장의 열특성을 분석한 결과 목재블럭이 석재블럭 보다 더 극한적인 열환경을 나타냈다. 이는 목재블럭 포장면의 알베도(0.37)가 석재블럭 포장의 알베도(0.41)보다 낮고, 목재블럭의 열용량이 낮은 것이 주된 원인으로 판명되었다.

3) 공시 포장의 열특성을 분석한 결과 석재블럭이 잔디블럭보다 더 극한적인 열환경을 나타냈다. 이는 잔디블럭 식생층에서의 증발산효과 때문인 것으로 판단된다.

4) 포장에 의한 도시열환경의 악화를 완화하기 위해서는 포장 표면색을 밝게 하여 알베도를 높이고, 포장체에서 지속적인 증발이 일어날 수 있는 재료나 공법에 대한 방안을 강구하여야 할 것으로 판단되었다.

5) 본 연구에서 도출된 계량적인 수치는 상대적인 비교치로서의 의미는 가지지만, 여러 가지 오차 요인을 내포하고 있어서, 정량적인 데이터로 활용하기에는 많은 한계를 가지고 있다. 따라서 열환경에 대한 정량적인 분석을 위해서는 세부 항목별로 실험의 정밀도를 높인 후속 실험이 필요하다.