

기후환경챔버를 활용한 블록의 공기온도 저감 성능평가

Performance Evaluation of Paving Blocks Based Ambient Temperature Reduction Using a Climatic Environment Chamber

고종환¹ · 박대근² · 김용길¹ · 김상래^{1*}¹한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터, ²서울특별시 품질시험소Jong Hwan Ko¹, Dae Geun Park², Yong Gil Kim¹ and Sang Rae Kim^{1*}¹Center for Climatic Environmental Real-scale Testing, Korea Conformity Laboratories, 27872, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do, Korea²The Pavement Research Center, Quality Inspection Office Division, Seoul Metropolitan Government, 06763, Seoul, Korea

Received 13 October 2017, revised 31 October 2017, accepted 14 November 2017, published online 31 December 2017

ABSTRACT: This study evaluated the reduction performance of ambient temperature and the amount of evaporation that takes place depends on the temperature difference of paving blocks which are used in the sidewalk, roadway, parking lot, park, plaza, and etc. The water-retentive block of the LID (Low Impact Development) practice was compared with the conventional concrete block. For the quantitative performance evaluation, experiments were performed in a climatic environment chamber capable of controlling the climatic environment (solar radiation, temperature, humidity, rainfall, and snowfall). The method for performance evaluation was proposed using temperature, humidity, and ambient air of paving blocks which changes according to the solar radiation and the wind speed after the rainfall. As a result, the evaporation amount of the water-retentive block was 2.6 times higher than that of the concrete block, the surface temperature of water-retentive block was 10°C lower than the concrete block, and the air temperature of water-retentive block was 4.6°C lower than the concrete block. Therefore, it is analyzed that the water-retentive block with a large amount of evaporation is more effective in reducing the urban heat island phenomenon as compared with the concrete block.

KEYWORDS: Air temperature, Climatic environment chamber, LID (Low Impact Development), Performance evaluation, Water-retentive block

요 약: 본 연구는 보도, 차도, 주차장, 공원, 광장 등에서 많이 사용되고 있는 포장 재료인 블록의 증발 등 열적 성능을 평가하였다. 일반적으로 많이 사용되고 있는 일반블록과 LID (Low Impact Development)형 제품인 투수블록과 보수블록을 비교하였으며, 통제된 기후조건(일사, 강우, 강설, 온도, 습도 등)이 갖춰진 챔버(chamber) 내에서 실험을 수행하였다. 환경챔버 내의 공기온도와 상대습도가 제어되는 상태에서 강우설비와 로드셀을 활용하여 강우전과 후의 증발변화 및 일사장치와 송풍장치를 이용하여 증발량을 계측하였다. 결과적으로 보수블록이 일반블록에 비해 증발산량은 약 2.6배 많았으며, 표면온도는 10°C, 공기온도는 4.6°C 낮았다. 따라서 블록시험에 강도, 투수성능뿐만이 아닌 열에 대한 부문도 추가하여 분석한다면, 도시의 열 환경개선에도 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

핵심어: 공기온도, 기후환경챔버, 저영향개발, 성능평가, 보수블록

*Corresponding author: ksrae@kcl.re.kr, ORCID 0000-0001-5077-6446

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

대부분의 도심지 도로는 아스팔트, 블록 포장 등 불투수성 재질로 포장되어 있다. 2013년도 기준 서울시는 전체 면적대비 투수율 44.22%, 불투수율 47.69%, 수계율 8.09%로 구성되어 있다. 그러나 지구별로 나눌 경우 주택지는 불투수율이 83%, 상업 및 업무시설지는 91.8% 등 대부분 인구가 생활하는 지역에서 불투수율이 높은 것으로 나타났다 (Ministry of Environment, 2017). 도심지의 불투수율이 높다는 것은 물 순환측면에서 강우시 침투 유출량은 물론 총 유출량이 많아져 비점오염원 총량이 증가하는 반면, 지하로 침투되거나 이용할 수 있는 물의 양은 적어진다는 것을 의미한다. 열순환측면에서는 불투수율이 증가할수록 지표면 온도가 상승하고 도시의 열환경(열 오염)이 더욱 악화됨을 의미한다.

도시의 불투수면적을 줄이고 환경친화적인 도시를 만들기 위한 여러 시도 중 대표적으로 저영향개발 기법이 있으며 이를 약칭으로 LID (Low Impact Development)라 한다. 그린인프라(Green Infrastructure) 구축을 위한 LID 관련연구는 대부분 물순환체계 회복과 홍수 및 침수 저감을 위한 유출저감 중심의 연구가 이루어지고 있다. 현재 서울시에서는 보도 및 8m 이하 생활도로에 투수블록 설치시 투수 지속성 검증시험 3등급 이상을 통과한 투수블록만을 설치하도록 하고 있다. 유출저감 관련 사항만 시험 항목에 규정되어 있으며, 열순환체계에 대한 접근은 미비한 실정이다. 본 연구에서는 실외 테스트베드에서 실측한 자료와 실내의 통제된 기후환경 챔버 (Chamber)에서 비교실험을 실시하였으며, 이후 통제된 기후조건인 챔버에서 일반블록과 투수블록, 투·보수블록, 보수블록을 비교대상으로 하여 증발량 및 공기온도를 분석하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 예비 실험

본 실험에 앞서, 블록의 재질별 표면온도 저감 특성을 살펴보기 위해 실외에 일반블록, 투수블록, 보수블록, 투·보수블록 총 4종의 블록을 설치하여 3개월 (6월-8월) 동안의 표면온도 자료를 확보하였다. Fig. 1과 같이 블록을 설치하였으며 특성은 Table 1과 같다.

수집한 데이터 중 기후조건과 강우에 따른 토양수분 조건의 영향을 살펴보기 위해 8월 13일부터 8월 17일 까지의 데이터를 Fig. 2와 같이 나타내었다. 강우기간에는 각블록별 유의미한 표면온도 차이는 없었다. Fig. 3과 같이 강우종료 후 일사량이 있는 경우 약 2-3시간 동안 일반블록에 비해 보수블록의 온도저감 효과를 확인할 수 있었고, 야간과 새벽에는 블록온도가 공기온도보다 낮게 나타났다. 강우가 없고 일사량이 큰 경우 일

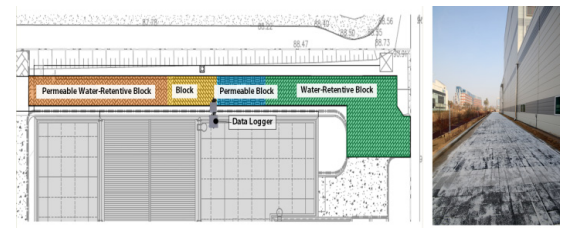


Fig. 1. Block distribution in the test-bed.

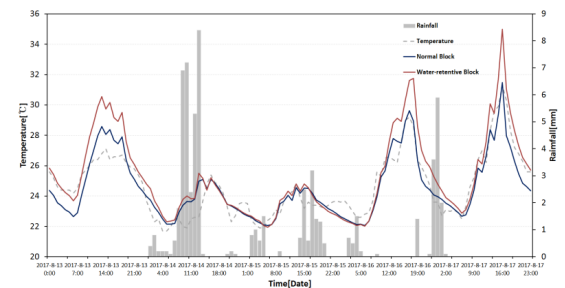


Fig. 2. Block surface temperature according to block types.

Table 1. Block feature depending on paving type

Type	Bending strength (MPa)	Percentage of water absorption (%)	Coefficient of permeability (mm/s)
1. Concrete Block	7.0	5	-
2. Permeable Block	5.7	-	0.2
3. Water-Retentive Block	5.8	10	-
4. Permeable Water-Retentive Block	6.0	-	0.2

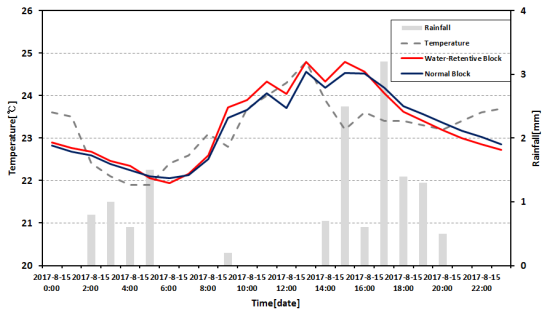


Fig. 3. Compared W.R.B with Concrete Block by surface temperature.

반블록의 온도가 다른 블록들에 비해 최대 2.9°C 낮은 것으로 나타났다.

표면온도에 가장 큰 영향을 주는 요소로는 알베도가 가장 크고 이어서 열용량, 열전도순이다 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport 2015). 또한 서울시 품질시험소 도로포장연구센터의 도심지 열섬저감 포장 (주차장) 시험시공 및 효과 분석의 연구에 따르면 밝은 색 블록이 어두운 색 블록보다 표면온도 차이가 평균 3 - 8°C 나타났다 (The Pavement Research Center 2016). 따라서 보수블록과 투·보수블록의 증발잠열에 따른 온도저감 효과 보다는 블록의 색상에 따른 알베도 값과 외기의 기후환경 변화로 인한 효과로 추정된다. 실외에서 진행된 테스트베드 실험결과를 고려하여, 본 실험에서는 블록의 색상을 비교적 동일한 계열로 하여 알베도 차이에 따른 영향을 최소화 하고자 하였다. 또한, 외부환경요인의 통제가 가능한 기후환경 챔버에서 실험을 실시하여 블록의 증발량과 온도저감 효과를 평가하였다.

2.2 블록의 증발량 측정 및 온도 분석 실험 방법

2017년 5월 충북혁신도시에 구축된 한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증시험동의 중형 챔버에

Table 2. Middle size chamber status

Temperature range	-30 ~ 80°C
Humidity range	10 ~ 90%
Rainfall	~ 150 mm/hr
Snowfall	~ 500 mm/hr
Solar radiation	800 ~ 1,200 W/m ²



Fig. 4. Experiment situation.

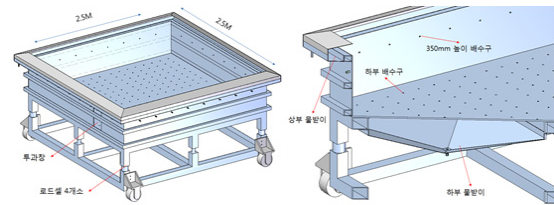


Fig. 5. Components of mock-up.

서 실험을 실시하였다. 중형챔버에서 모사할 수 있는 기후조건 범위는 Table 2와 같다. 블록의 공기온도 저감 실험을 위해 중형챔버의 항온·항습 상태는 Table 3의 조건으로 설정하여 Fig. 4와 같이 실험을 수행하였다. Mock-up 하부에 노상, 투수시트, 투수기층, 투수시트, 받침안정층, 블록 순으로 설치하였으며, Mock-up 상부에서 유출되는 유출량과 블록과 블록의 간극을 통해 침투되는 침투량을 측정할 수 있도록 설계·제작하였다. Mock-up은 Fig. 5와 같이 제작하였으며, Mock-up 내부의 실제 모사형태는 Fig. 6과 같다. 증발산량 및 온도의 측정 방법은 Fig. 7의 순서와 방법으로 진행하였다.

Table 3. Plan of experiment

Type		1. Concrete Block
Type		2. Water-Retentive Block
Mock-up size		2.5 m (W)*2.5 m (D)*1.5 m (H)
Setting	Constant Temperature	33.5°C
	Experiment Temperature	Until 60°C
	Constant Humidity	50%
	Solar radiation	615 W/m ²

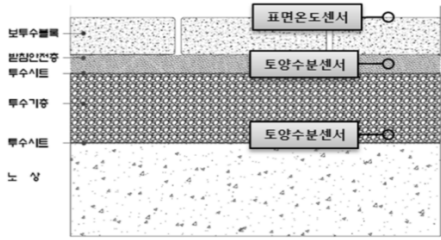


Fig. 6. Internal configuration.

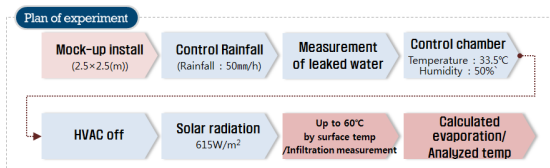


Fig. 7. Method for evaluating the heat island mitigation performance.

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 블록의 침투량과 증발량

Mock-up의 초기무게를 측정한 후 강우를 발생시켜 표면의 유출량과 침투량을 측정한 뒤 다시 Mock-up의 무게를 측정하여 증발량을 계산하였다. 기상청에서 제공되는 서울시의 30년간 (1981 - 2010년) 기상데이터를 통계 처리한 표준기상데이터에서 33.5°C 이상인 날의 일사강도를 분류하고, 평균일사강도 (615 w)를 계산하였다. Mock-up에 평균일사강도로 조사하여 온도를 측정하였고, 강우종료 후 Mock-up의 무게와 일사 후 Mock-up의 무게 차이를 이용하여 증발량을 계산하였다. Fig. 8에서와 같이 동일 조건에서 보수블록이 일반블록에 비해 증발량이 약 2.6배 많았다. 침투량은 약

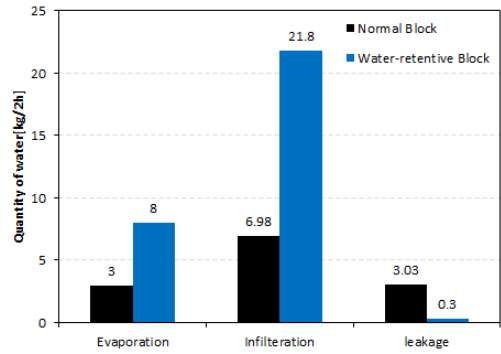


Fig. 8. Evaporation, permeability and runoff of I.B and W.R.B.

3.1배 큰 것으로 나타났으며, 표면에서 발생하는 유출량은 일반블록이 보수블록에 비해 약 10배 이상 높은 것으로 나타났다. 이는 보수블록이 물순환 측면에서 물의 유출량을 줄이고 블록아래 지표면으로 물을 잘 투수시키는 것으로 분석되었으며, 열순환 측면에서도 물의 잠열과 증발을 통해 공기온도 저감에 영향을 주는 것으로 분석되었다.

3.2 블록의 온도저감 효과

블록의 온도저감 효과를 분석하기 위해 열화상카메라와 일사램프 및 온도센서를 활용하여 표면온도를 측정하였다. 측정방법은 일본의 JIS방법에 근거하여, 1) 일반블록의 표면온도가 60°C에 도달할 때까지의 일사램프 가동 경과시간(T)을 측정, 2) 투수블록, 보수블록 및 투·보수블록 각각 동일한 시간(T)만큼 일사램프 가동, 3) 각 블록의 표면온도를 측정하여 온도차이 정도를 블록의 온도 저감 효과로 평가하였다 (Japan Society for Testing Materials 2015). Fig. 9는 도달시간 동안 챔

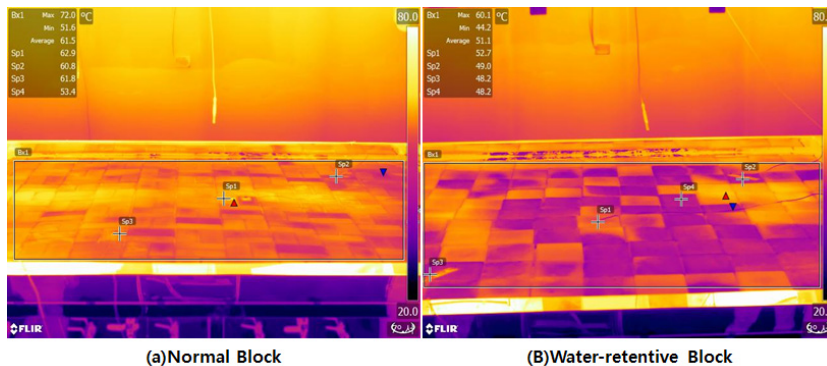


Fig. 9. Surface temperature of N.B and W.R.B with IR thermal image camera.

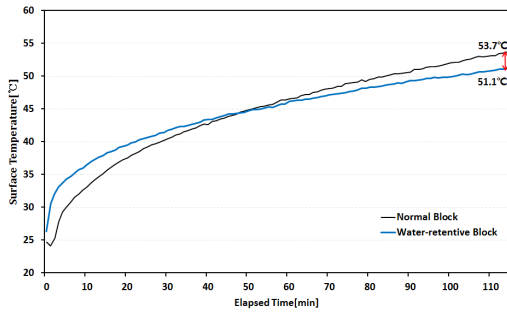


Fig. 10. Surface temperature of N.B and W.R.B.

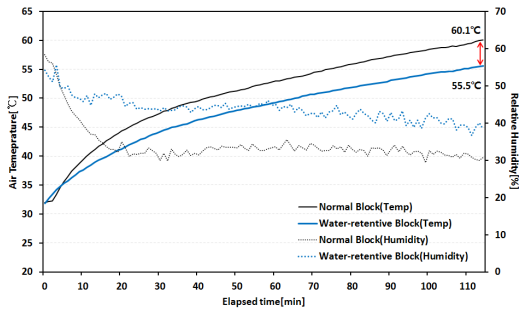


Fig. 11. Ambient air temperature and relative humidity around blocks according to elapsed time.

버에서 일사램프를 가동한 후 일반블록과 보수블록의 표면온도를 열화상카메라로 촬영한 결과이다. 일반블록과 보수블록의 표면온도차이는 평균 10°C 이상 차이를 보였다. 이는 일반블록에 비해 보수블록의 함수량이 높아 물의 증발잠열 흡수의 영향으로 판단된다.

Fig. 10에서와 같이 시험 초기에는 보수블록의 온도가 높고 일반블록의 온도가 낮은 것으로 나타났다. 이는 밀도가 높은 일반블록이 보수블록 보다 열용량이 크고, 열이 충분히 가해지는 시간이 필요하기 때문이다. 블록의 표면에 일사를 공급하고 50분 경과 후 블록간의 온도가 역전되어 표면온도가 저감되는 것으로 나타났다.

Fig. 11은 블록의 표면에서 50 cm 상부의 온도와 습도를 측정된 결과이다. 보수블록은 일반블록에 비해 공기온도를 약 4.6°C 저감시키는 결과를 보였다. 반면 상대습도는 평균적으로 약 10% 가량 높아지는 것으로 나타났다. 이는 증발로 인해 온도가 낮아지고 습도가 높아지기 때문에 나타나는 결과로 해석된다. 이상의 결과에 근거하면 도심지 대부분의 도로와 공원 등에 설치되어 있는 일반블록을 보수블록으로 전환할 경우 도시의 열 순환체계 개선에 도움이 될 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 도로에 일반적으로 사용되는 일반블록과 저영향개발 요소기술로 개발되고 있는 보수블록을 통하여 열 순환체계의 관점에서 증발량과 공기온도 저감을 평가해 보았다. 기후환경 챔버에서의 실험에 앞서 옥외의 통제되지 않은 기후조건에서 블록을 설치하여 비교한 경우, 보수블록이나 투·보수블록의 증발잠열에 따른 온도저감 효과 보다는 블록의 색상에 따른 알베도 값과 외부 환경이 큰 것을 알 수 있었다. 따라서 이를 보완하기 위하여 통제된 기후환경 챔버에서 Mock-UP을 제작하여 실험을 실시하였다.

증발량을 평가한 실험에서는 보수블록이 일반블록보다 2.6배 더 증발하고, 침투량은 약 3.1배 큰 것으로 나타났으며, 표면 유출량은 일반블록이 보수블록에 비해 약 10배 높은 것으로 나타났다. 이상의 결과는 보수블록이 일반블록에 비해 물순환 건전성 측면의 정량적 효과라 할 수 있다.

열화상카메라를 이용하여 표면온도와 공기온도 저감 효과를 분석한 결과, 보수블록이 일반블록에 비해 표면온도가 평균 약 10°C 이상 낮게 나타났다. 또한 표면온도 센서를 이용하여 측정된 결과, 초기에는 일반블록에 비해 보수블록이 온도가 높은 반면 50분이 경과된 후에는 보수블록의 온도가 낮아짐을 알 수 있었다. 이는 블록의 온도저감 연구시 블록의 물성에 따른 열용량 또한 영향인자로 고려해야 할 것으로 판단된다. 표면에서 50 cm 상부의 공기온도는 보수블록이 약 4.6°C 낮게 측정되었다. 향후 블록 상부의 다양한 높이에서의 온도를 측정하여 블록의 온도저감 영향 범위의 정량화 연구가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 기존의 블록시험방법인 강도 및 투수시험뿐만 아니라 블록의 증발잠열을 이용한 온도저감 효과와 그 필요성을 언급하였다. 투수블록, 보수블록 등 다양한 블록의 온도저감 효과에 대한 평가방법을 제시하였으며, 본 연구가 지표면 피복에 따른 열섬저감 효과를 정량화 하는데 기초자료로 활용 될 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(2016000200004)

References

- Choi, D.H. and Lee, B.Y. 2010. An experimental study of surface materials for planting of building surface by the radiant heat balance analysis in the summer. *Journal of the Korea Solar Energy Society*, Korea, pp. 71-80.
- Ministry of Environment. 2017. 2017 Ministry of Environment report. Korea.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2016. Development of high solar reflectance hybrid-Block for the island mitigations, *Infrastructure R&D Report*, pp. 72-78.
- Japan Society for Testing Materials. 2015. Test method for water retention, water absorption and evaporability of building materials. Japan.
- Lee, E.Y, Moon, S.K. and Shim, S.R. 1996. A study on the effect of air temperature and ground temperature mitigation from several arrangements of urban green. *Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture*. Korea. pp. 65-78.
- Kim, S.C., Lee H.J. and Park B.J. Assessment of Temperature Reduction and Evapotranspiration Green Roof Planted with *Zoysia japonica*, *Journal of Environmental Science International*, Korea, pp. 1443-1449.
- Takebayashi, H. and Moriyama, M. 2007. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island, *Building and Environment*, 42(8): 2971-2979.
- The pavement research center on Quality inspection office division in Seoul metropolitan government. 2016. Test construction and effect analysis of pavement for urban island mitigation on parking lot, *Academic report*, pp. 63-65.