

도시열섬완화를 위한 그린인프라시설의 표면온도 저감 성능평가

Performance evaluation of Surface Temperature Reduction by using Green infrastructure Surface Temperature Measurement for Urban Heat Island Mitigation

고종환¹ · 배우빈² · 박대근³ · 정원경⁴ · 박윤미² · 김용길⁵ · 김상래^{6*}

¹한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터 연구원, ²한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터 주임연구원, ³서울기술연구원 기획조정본부 연구기획실장, ⁴한국건설품질시험연구원 대표이사, ⁵한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터 수석연구원, ⁶한국건설생활환경시험연구원 기후환경실증센터 선임연구원

Jong Hwan Ko¹, Woo Bin Bae², Dae Geun Park³, Won Kyong Jung⁴, Yun mi Park², Yong Gil Kim⁵ and Sang Rae Kim^{6*}

¹Center for Climatic Environmental Real-scale Testing, Korea Conformity Laboratories 27872, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

²Center for Climatic Environmental Real-scale Testing, Korea Conformity Laboratories 27872, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

³Seoul Institute of Technology, 03909, Maebongsan-ro, Mapo-gu, Seoul, Korea

⁴Korea Construction Quality Testing Institute 17555, Manse-ro, Wongok-myeon, Anseong-si, Gyeonggi-do, Korea

⁵Center for Climatic Environmental Real-scale Testing, Korea Conformity Laboratories 27872, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

⁶Center for Climatic Environmental Real-scale Testing, Korea Conformity Laboratories 27872, Jincheon-gun, Chungcheongbuk-do, Korea

Received 3 December 2018, revised 19 December 2018, accepted 19 December 2018, published online 31 December 2018

ABSTRACT: This study is to develop a GSTM (Green infrastructure Surface Temperature Measurement) equipment for reducing the surface temperature of GI by using LID Method. The tests were conducted including GI products such as Greening block, Pervious Block, Soil Block and so on. The GSTM equipment developed by considering the literature surveys are characterized as follows. The non-contact infrared temperature sensor was used to measure the surface temperature, and it was improved to measure the overall average temperature including the center and the corner temperature of the specimen. The developed GSTM equipment was used to compare performance of asphalt and GI products. As a result, the Greening Block show a high difference of 18.4°C and it contributes to the decrease of surface temperature.

KEYWORDS: Climatic environment chamber, GI (Green Infrastructure), LID (Low Impact Development), Performance evaluation, Surface Temperature

요약: 본 연구는 도시의 열섬을 저감하기 위해 그린인프라시설의 표면온도 저감 성능시험 장비를 개발하고, 대표적인 그린인프라시설 제품을 포함하여 실험을 수행하였다. 기존문헌을 고찰하여 장비를 개발하였으며, 개발된 장비의 특징은 다음과 같다. 표면온도의 측정방법은 비접촉식인 적외선온도센서를 활용하였으며, 시편의 중앙 온도만 측정하는 것이 아닌 모서리 부분 온도를 포함하여 전체적인 평균온도를 측정하도록 개선하였다. 개발된 장비 (GSTM)를 활용하여 대조군인 아스팔트와 그린인프라시설 제품을 비교하여 성능평가를 수행하였다. 그 결과 식생블록이 18.4°C의 높은 차이를 보이며, 표면온도 저감에 기여하는 것으로 나타났다.

핵심어: 기후환경챔버, 그린인프라, 저영향개발, 성능평가, 표면온도

*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

환경부 「전국 불투수면적률 조사 및 개선방안 연구 (2013)」에 따르면, 도로와 주차장은 투수·불투수 분류 기준 중 불투수로 분류된다. 도로와 주차장은 포장하는 재료가 아스팔트, 시멘트, 블록 등의 불투수성 재질로 구성되기 때문이다. 불투수성 재질로 구성된 도로포장의 특성으로 인해 물순환 측면에서는 강우시 침투 유출량과 총유출량을 증가시켜 비점오염원 총량이 증가한다. 반면 지하로 침투되거나 이용할 수 있는 빗물의 양은 줄어들게 된다. 열순환 측면에서는 지표면으로 전달되는 태양의 복사열이 주간에는 현열로 반사되어 도시의 열섬현상을 야기하고, 도로 포장재료의 축열로 인해 야간에는 열대야를 야기한다.

국립환경과학원의 ‘국가장기생태연구 사업 3단계 보고서 (2013)’에 따르면 기온과 강수량 등 기후요소에 대한 우리나라 기후변화 전망을 소개하고 있다. RCP 4.5의 경우, 연평균 기온 14°C인 지역이 전반기에는 남해안 지역에 국한되나, 경남, 전남 전북으로 확대되는 것으로 전망 된다(Fig. 1). 하지만 RCP 8.5의 경우

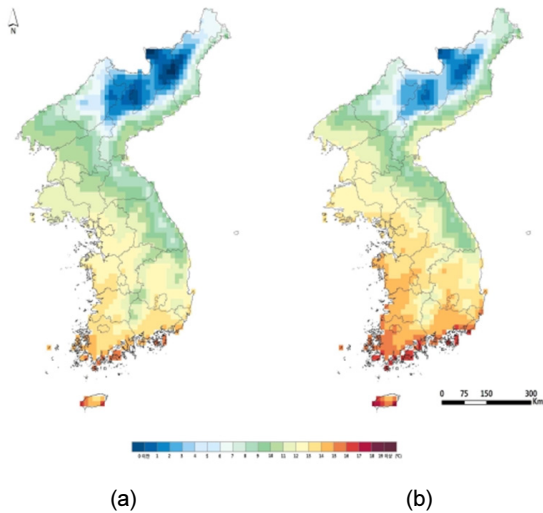


Fig. 1. Temperature change on the Korea based on RCP 4.5 (a) 2011~2055 (b) 2056~2100.

1) RCP (Representative Concentration Pathways (대표농도경로))는 IPCC (Intergovernment Panel on Climate Change) 5차 평가보고서 (2013)에서 나온 시나리오로써 온실가스 농도 값을 설정한 후 기후변화 시나리오를 산출하여 그 결과의 대책으로 사회·경제 유형별 온실가스를 배출 저감 정책을 결정한다.

전반기는 경남과 전남지역이었으나, 후반기에는 강원도를 제외한 남한 전체와 북한의 일부지역으로 확대되었다 (Fig. 2). 강수량의 경우 전반적으로 증가하는 것으로 예상 되었다. 연강수량이 1,700 mm 이상인 지역이 남해안 일부지역과 강원도 동해안 일부지역에서 남한 전체의 내륙지역까지 확대되었다 (Figs. 3, 4).

앞서 언급한 내용들은 기후변화에 따른 한반도의 온도 상승 및 강수량이 증가하는 시나리오를 나타내고 있다. 이에 대응하기 위해 도로분야에서는 배수성포장, 투수포장, 투수블록 등과 같이 LID (Low Impact Devel-

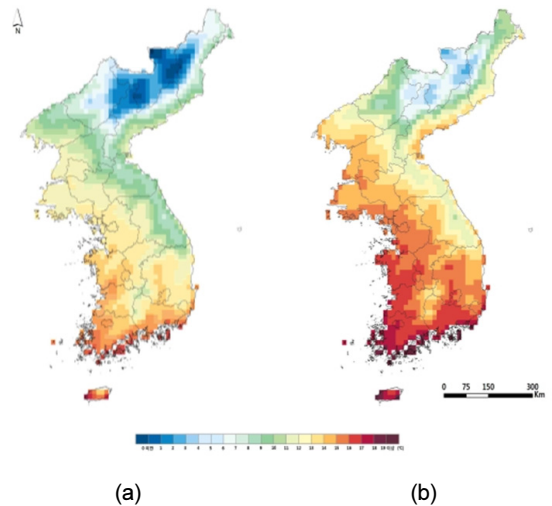


Fig. 2. Temperature change on the Korea based on RCP 8.5 (a) 2011~2055 (b) 2056~2100.

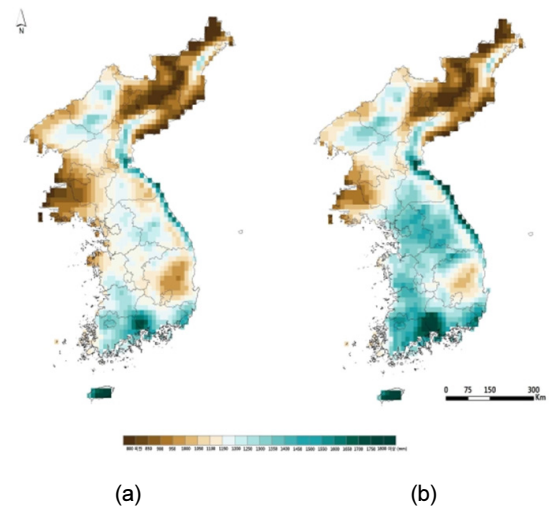


Fig. 3. Rainfall change on the Korea based on RCP 4.5 (a) 2011~2055 (b) 2056~2100.

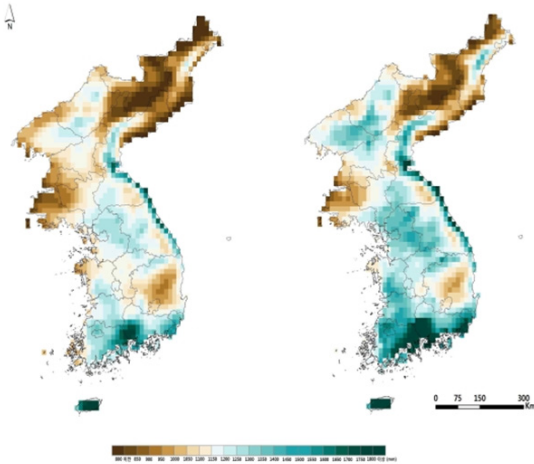


Fig. 4. Rainfall change on the Korea based on RCP 8.5 (a) 2011~2055 (b) 2056~2100.

opment) 기법이 적용된 다양한 그린인프라 제품이 생산되고 있다. 하지만 강우 및 폭우에 대응하고 도시 물 순환 관련하여 투수성능의 평가기준만 KS F 4419로 제시되고 있다. 도시의 열환경에 대응할 수 있는 규정화된 시험방법 및 규정이 없어 본 연구에서는 그린인프라시설의 열섬저감 성능을 평가할 수 있는 시험방법과 그에 따른 장비를 개발하고, 대표적인 그린인프라시설을 대상으로 성능평가를 수행하였다.

2. 문헌 고찰

Shin et al. (2011)은 JIS A 5371의 부속서 B.5.4.1과 B.5.4.2의 방법으로 보수성 재료의 성능을 평가하였다. 시편을 50 mm 두께의 단열재로 만들어진 용기에 설치하고, 풍속발생 장치를 설치하여 1, 3, 5 m/s의 바람을 발생시킬 수 있도록 하였다. 또한 시편 중앙의 온도를 측정할 수 있도록 비접촉식 적외선 온도센서를 설치하였으며, 저울을 통해 시료의 중량 변화를 측정할 수 있도록 장비를 구성하였다. 램프와 시편 표면까지의 거리는 시편의 높낮이를 조절하여 상당외기온도(2) 80°C인 지점으로 결정하는 등 변동성이 큰 시험방법이다. 따라서 본 연구에서는 개발한 장비는 상당외기온도 보다는 조사되는 광량을 기준으로 시편의 높이를 결정하였으

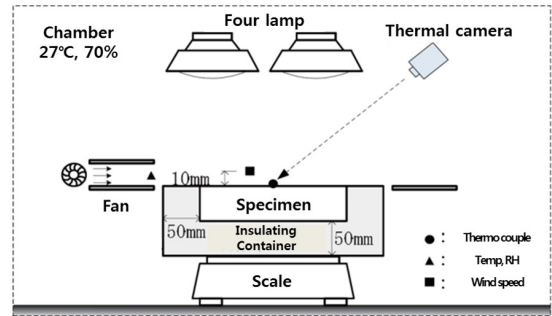


Fig. 5. Surface Temperature Testing Equipment according to the JIS.

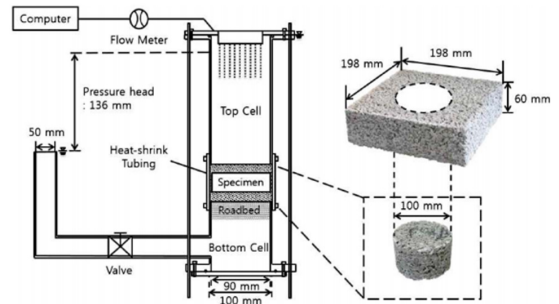


Fig. 6. Evaporation testing equipment.

며, 표면온도는 시편 중앙과 각 모서리 지점의 온도를 측정하여 평균온도로 하였다 (Fig. 5).

Seo et al. (2016)은 투수블록의 증발량을 평가하기 위한 장비개발과 방법론을 제시하였다. 증발량 평가 방법은 (1) 시편에 물을 살수 한 후 24시간 동안 진공 챔버에 두어 공극속의 공기를 제거하여 100% 포화상태로 만든다. (2) 코어형 시편의 측면을 열수축 튜브로 밀봉하여 블록의 상부표면을 통해 증발할 수 있는 조건으로 만든다. (3) 실온 23°C 및 상대습도 54% 에서 400시간 동안 자연적으로 증발 하도록 둔다. (4) 증발하는 동안 시편의 저울을 이용하여 무게를 측정한다. (Fig. 5) 증발은 대부분 약 50시간 동안 급격히 증발하고 50시간이 경과된 이후에는 증발하는 속도가 현저히 저하하는 것으로 분석되었다. 하지만 온도에 대한 측정 보다는 증발량에 중점을 두어 온도저감과 관련한 직접적인 측정은 이루어지지 않았다. 또한 제품단위의 블록이 아닌 코어를 별도로 준비해야 하는 장비적 한계가 있다 (Fig. 6).

Jiang et al. (2016)은 보수성 블록을 통해 표면온도 저감 연구를 수행 하였다. 시험 방법은 (1) 측정시편을 20°C의 물에 12시간 동안 침지시킨 후 젖은 천으로 표

2) 상당외기온도 (Solar air temperature): 외기온도뿐만 아니라, 직달일사나 대기복사를 통해 구조체의 표면온도가 상승하게 되는데, 이때 구조체의 표면온도 나타내는 것.

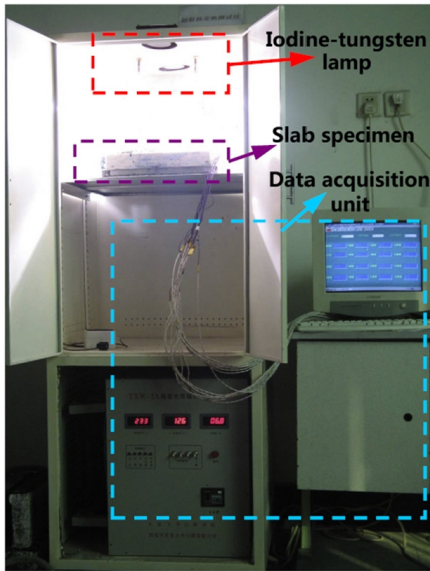


Fig. 7. Indoor temperature testing equipment.

면을 닦아낸다. (2) 폴리스티렌 폼보드로 시편의 옆면과 바닥면을 막아 열을 차단한다. (3) 열전대 3개를 30 mm 간격으로 시편의 표면 위에 설치하고, 평균온도를 시편의 대표온도로 사용한다. (4) 시편 표면에서 500 mm 상부에 위치한 300 W 텅스텐 램프로 시편을 조사한다. 실험을 시작할 때 실내온도는 27.9°C부터 실시하며, 측정장비 외부의 영향을 최소화 하기 위해 폴리스티렌 폼보드로 시험공간을 막는다. 하지만 좁은 체적으로 인해 램프가 온도환경을 지배하여 블록의 표면온도 상승이 램프에 의한 복사로 상승하는 것인지, 램프의 열에 의해 상승하는 것인지 판단할 수 없다는 연구의 한계가 있다. 또한 램프를 통한 조사도 동일한 높이에서 측정만 하였을 뿐 광량을 측정하지는 못하였다(Fig. 7).

3. 연구 결과 및 고찰

3.1 성능평가 장비 개발

국내외 관련 자료들을 바탕으로 그린인프라시설의 표면온도 저감 성능을 평가할 수 있는 시험 장비(GSTM, Green infrastructure Surface Temperature Measurement)를 개발하였다. 지금까지의 연구에서는 측정장비 외부 기후인자 즉, 온도와 습도 등을 통제하지 않은 상태에서 표면온도를 측정하였거나, 체적이 작은 장비에서 램프를 통해 조사하고 표면온도를 측정하는 수준이었다.

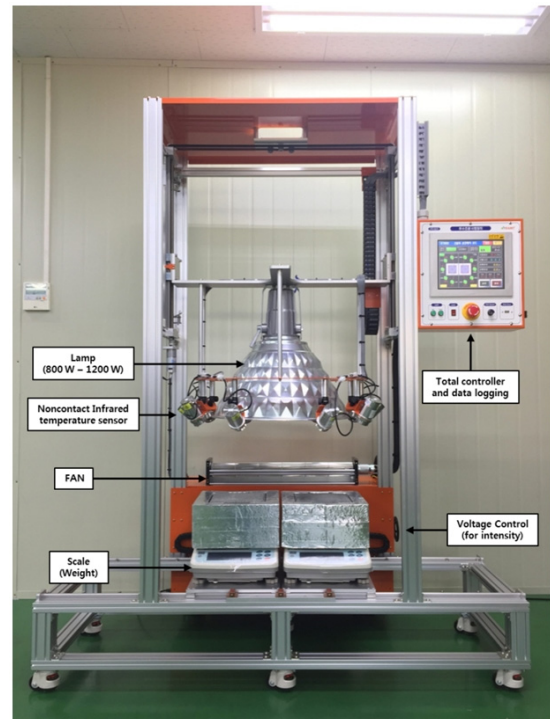


Fig. 8. The development equipment.

외부 기후환경을 통제 하지 않은 상태에서 표면온도를 측정하여 비교하는 것은 동일한 조건에서의 비교가 될 수 없는 한계를 가지고 있으며, 체적이 작은 장비에서 표면온도를 측정하는 경우 램프의 영향이 다른 요소들에 비해 절대적인 영향을 미치게 되어 표면온도는 시편의 성능에 따른 온도상승 보다는 램프에 의한 온도 상승이 더 크게 되어 시편의 성능에 따른 온도상승을 분석하기에는 어려움이 있다. 따라서 그린인프라시설의 표면온도 측정장비는 비교적 체적이 넓고 실험환경이 통제되는 환경챔버 내부에 표면온도 측정장비를 두어 평가하는 것이 적절하다. 시편의 표면온도를 측정하는 방법은 일반적으로 열전대를 이용하나, 열전대의 경우 시편의 표면온도 상승에 따라 표면과의 접촉면에 접촉체가 녹아 탈락 등이 발생할 수 있으므로 본 연구의 장비에는 비접촉식 적외선온도센서를 사용하였다(Fig. 8).

3.2 표면온도 저감 성능평가 방법

그린인프라시설의 온도저감 효과를 분석하기 위해 일사램프로 조사하고 비접촉식 적외선 온도센서를 활용하여 표면온도를 측정하였다. 측정방법은 일본의



Fig. 9. The experimental samples.

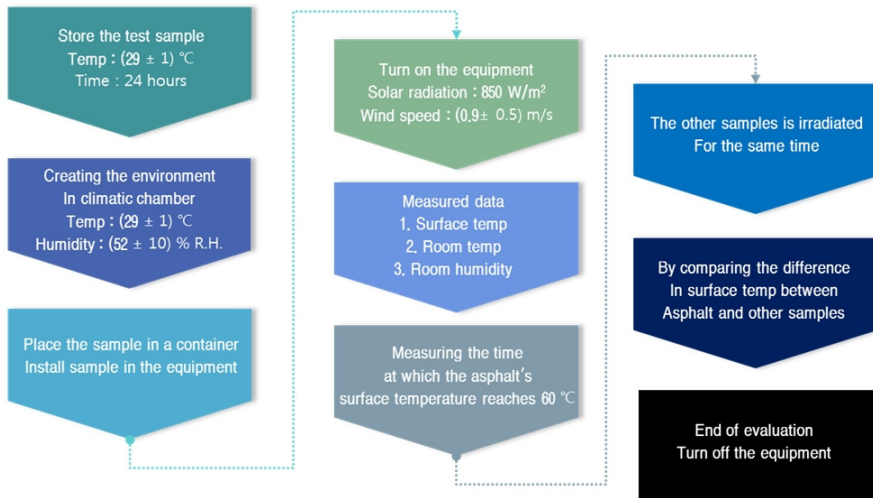


Fig. 10. The experimental procedure.

JIS방법에 근거하여, 1) 밀입도 아스팔트의 표면온도가 60°C에 도달할 때까지의 일사램프 가동 경과시간 (T)을 측정, 2) 비교시편 (Fig. 9)을 각각 동일한 시간 (T)만큼 일사램프 가동, 3) 각 블록의 표면온도를 측정하여 온도차 정도를 블록의 온도 저감 효과로 평가하였다 (Japan Society for Testing Materials, 2015) (Fig. 10) 본 실험에서는 여름철 선행무강우일수 (Antecedent dry days)에 영향을 받는 표면온도의 극한 상태 평가를

위해, 각 재료를 5일 이상 충분히 건조한 후 실험을 수행하였다.

아스팔트를 대조군으로 하여 총 5개의 시편과 비교하였다. 식생블록 (18.4°C), 투수블록 (11.4°C), 일반블록 (7.1°C), 흙포장 (5.9°C), 투수성포장 (2.9°C)의 순으로 표면온도의 저감량을 나타냈다 (Table 2). 식생블록은 식생으로 인한 증발 잠열까지 포함하므로, 더 낮은 온도를 나타내는 것으로 보였다. 두 번째로 투수

Table 1. Experimental condition

Air Temperature	Relative Humidity	Solar intensity	Wind speed
(29 ± 1) °C	(52 ± 10) %	(850 ± 20) W/m ²	(0.9 ± 0.5) m/s

Table 2. Experiment result

	Asphalt	Normal Block	Poros Block	Poros Pavement	Greening Block	Soil Pavement
Pre-start temp (°C)	24.1	28.4	26.4	25.4	21.7	23.8
Terminal temp (°C)	60	52.9	48.6	57.1	41.6	54.1
Temp rise (°C)	35.9	24.5	22.2	31.7	19.9	30.3
Reduction (°C)		7.1	11.4	2.9	18.4	5.9

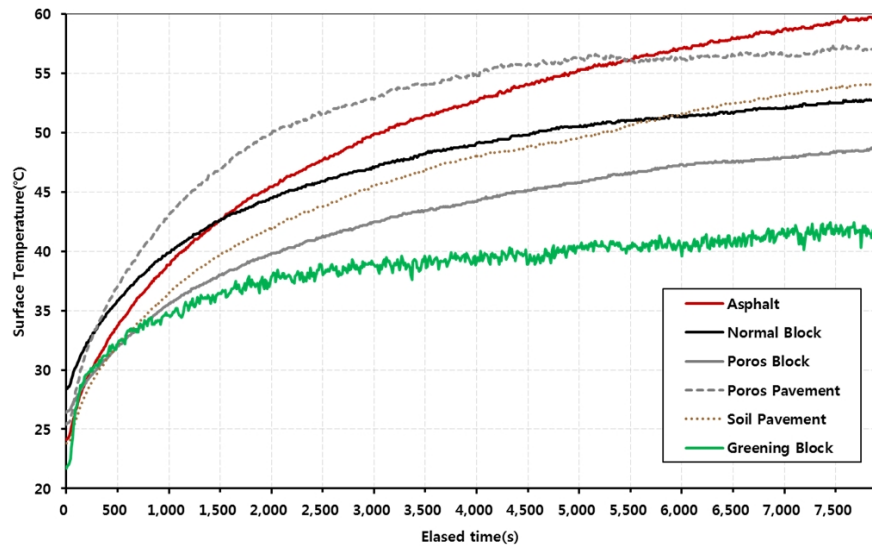


Fig. 11. The result chart.

블록의 경우 표면의 도료색상과 공극에 따라 온도의 저감 효과를 가지는 것으로 나타났다. 이 외에도 블록 표면의 알베도 값과 물성에 따른 열용량에 대해 추가적 분석이 필요한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 그린인프라시설의 표면온도 성능평가 장비(GSTM)를 개발하고, 이를 활용하여 도로에 일반적으로 사용되는 밀입도 아스팔트와 일반블록, 저영향개발 요소기술로 개발되고 있는 투수블록, 투수포장, 흙포장, 식생블록을 열 순환체계의 관점에서 평가해보았다.

밀입도 아스팔트와 비교하여 식생블록(18.4°C), 투

수블록(11.4°C), 일반블록(7.1°C), 흙포장(5.9°C), 투수성포장(2.9°C)의 순으로 표면온도의 저감량을 나타냈다. 대표적인 그린인프라시설인 식생블록과 투수블록이 가장 높은 저감 효과를 보였으며, 그 외 시편의 경우에는 두 시편과 비교하여 다소 유의미한 결과를 나타내지 않았다. 이번 연구에서 블록의 경우 물의 증발잠열을 포함하지 않고, 건조상태의 시료를 활용하여 평가하였다. 이는 여름철 무강우가 지속되는 극한상태에서 그린인프라시설의 효과를 분석하기 위함이다. 향후 추가적인 연구에서는 선행무강우일수에 따른 각 제품의 효과 성능을 추가적으로 분석하고자 한다.

본 연구에서는 그린인프라시설의 표면온도저감 효과를 분석할 수 있는 장비와 실험방법을 제시하였다. 식생블록, 투수블록 등 다양한 그린인프라시설의 여름

철 무강우의 극한상황에서의 표면온도 성능을 평가할 수 있었으며, 본 연구가 지표면 피복에 따른 열섬저감 효과를 정량화 하는데 기초자료로 활용 될 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 환경정책기반공공기술개발사업(20116000200004)의 지원으로 수행되었습니다. 아울러 에스그린코리아, ㈜대일텍, SBB(주)의 조언과 협조에 감사드립니다.

References

- Seo, D.W., Yun, T.S., Kim, K.Y. and Youm, K.S. 2016. Time-Dependent Drainage Capacity and Runoff of Pervious Block Subjected to Repeated Rainfall Simulation, *Journal of Materials in Civil Engineering* 29(5): 040162731-0401627310
- Shin, M., Shinji, H., Tetsuo, F., Tetsuya, M. and Yasushi, K. 2011. 40324 Study on Performance Test of Water Retentive Materials : Part 2 Test Result, *Construction Material Test Center Construction Material Test Information* pp.687-688.
- 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.
- 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.
- Ko, J.H., Bae, W.B., Shin, D.U. and Kim, Y.G. 2017. Performance evaluation of Evaporation and Air Temperature reduction of Water-retentive block, the Architectural Institute of Korea 2017 Autumn Conference 37(2): 571-574.
- Ko, J.H., Park, D.H., Kim, Y.G. and Kim, S.R. 2017. Performance Evaluation of Paving Blocks Based Ambient Temperature Reduction Using a Climatic Environment Chamber, *Ecology and Resilient Infrastructure* 4(4): 187-192.
- 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.
- National Institute of Environmental Research, 2014, Korea National Long-Term Ecological Research Project, The Third Stage Report (2010-2013) of KNLTER, pp.163-173.
- 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.
- Jiang, W., Sha, A., Xiao, J. and Apeagyei, A. 2016. Experimental study on materials composition design and mixture performance of water-retentive asphalt concrete, *Construction and Building Materials* 111: 128-138.