열섬저감포장의 표면 온도저감 효과 연구

A Study on the Surface Temperature Reduction of Heat-Island Pavements

김인수* 김해동** 조성환*** 최근식****
Kim, In Soo Kim, Hae Dong Cho, Seong Hwan Choi, Geun Sik

1. 서론

최근 산업화와 도시화가 급속히 진행되면서 주거 · 상업 · 공공시설 등이 늘어나 녹지면적이 줄어들고, 지표면 면적의 대부분이 인공적인 상태로 바뀌었다. 특히 대도시의 도심부에서는 도로 및 주변환경이 불투수성 재료로 도포되어 있어서 국지적인 열섬현상이 빈번히 발생되어왔으며 도심지를 비롯한 인구 밀집지역에서는 밤에도 기온이 떨어지지 않는 열대야가 지속되어 거주민의 생활환경에 막대한 지장을 초래하고 있다. 이런 현상을 일상적인 것으로 받아들이기에는 현재의 열섬현상의 강도와 발생빈도가 매우 크게 증가하고 있으며, 그 영향으로 노약자 및 어린이들에게는 건강상의 중요한 위협이 되고 있는 것으로 최근 조사되었다. 해당 조사에서는 대도시 서울의 10년간의 혹서기 사망자수를 조사하고 일정 온도 이상에서 사망자수가 급격히 증가하는 현상을 밝혀내었다. 이를 토대로 조사한 바에 의하면 약 2000명 이상의 사망자가 발생한 것으로 추정하였으며, 이는 같은 기간 동안 태풍 및 홍수 등의 다른 자연재해 사망자수보다도 높은 수치를 나타내었다고 주장하였다.

도시의 기온을 상승시키는 도시 열섬화의 원인으로는, 도시의 지표면이 인공구조물로 포장되는 것이 가장 큰 원인으로 알려져 있다. 오늘날 도시 지표면 면적의 상당한 부분이 아스팔트와 콘크리트로 덮여감으로써, 녹지와 습윤한 토양, 호수와 하천 등 천연의 지표면이 사라지고 있다. 인공 구조물 중에서도 도로포장은 도시 지표면의 많은 부분을 점하는데, 그 비율은 우리나라의 경우에 대략 20% 내외에 이르고 있다.

포장된 도로는 도시교통 체제를 지탱하는 중요한 사회기반 시설이지만, 자연지형이 차지하고 있던 공간을 대체함으로써 도시기후를 만들어 내는 중요한 요인이 되고 있다. 또한, 아스팔트 도로는 강우 시에 지표면으로부터 빗물을 빠르게 배수시켜 교통과 보행을 편리하게 하는 기능이 있지만, 반면에 지층의 토양수분을 감소시키는 작용을 하게 된다. 그 결과로 지표면의 수분증발효과가 소실되면 증발에 따른 냉각작용도 소실되기 때문에 도시 지표면의 고온화가 진행되어 버린다.

이처럼 도로포장은 도시 열섬화를 가져온 주요 원인 중에 하나이며, 이 사실로부터 반사도가 높은 재료를 도포한 도로포장(반사식 차열성 열섬저감 포장)과 수분 증발효과를 이용한 도로포장(증발형 보수성 포장)을 적용하면 도시 열섬화를 완화할 여지가 크다는 것을 알 수 있다. 이 중 본 논문에서는 현장 시험시공을 통해 기존의 배수성 아스팔트 포장의 표면에 반사성능이 우수한 특수도료를 코팅한 반사식 차열성 포장과 흡수성 물질을 배수성 아스팔트포장 공극에 투입한 증발형 보수성 포장의 표면온도를 열영상 카메라로 측정하고 그 결과를 분석하였다. 시공된 열섬 저감포장의 온도 저감 효과와 더불어 포장의 미끄럼 측정을 실시하여 안전성 측면에 대한 분석을 시도하였다. 현장 시험시공구간에

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 전임연구원 · 공학석사 031-371-3407 (E-mail : vyaay004@hanmail.net)
** 계명대학교 환경방재시스템학과 조교수 · 이학박사 053-580-5930 (E-mail : khd@kmu.ac.kr)
*** 정회원 · 동일기술공사 기술연구소 연구원 · 공학석사 02-3400-5614 (E-mail : kapimax@lycos.co.kr)
**** 계명대학교 환경과학과 석사과정 · 이학사 053-580-5749 (E-mail : racoony0612@nate.com)

대한 성능측정과 함께 해당 열섬저감포장이 적용되는 경우에 반사율(albedo)의 차이에 따른 포장의 기온 변화가 주위에 미치는 영향을 A2C모델 수치실험을 통해 분석하였다.

2. 현장 시공 및 온도효과 실측

고속국도 톨게이트 광장부를 시공부지로 섭외하여 현장시공을 실시하였다. 광장부의 1개차로에 대하여 기존 아스팔트 포장을 깊이 8-10cm로 절삭(1개차로 길이 70m)하였으며 절삭 후 13mm 배수성 아스팔트 혼합물(PG 76-22)을 시공하였다. 시공된 혼합물은 시험시공지에서 가장 가까운 아스팔트 플랜트를 선정하였으며 열섬저감 포장 재료 선정 및 시공은 도로교통연구원의 감독 하에 이루어졌다.

온도저감효과 측정은 열영상 카메라를 사용하여 배수성 포장구간과 반사식 차열성 포장 구간에 대하여 측정하였다. 증발형 보수성 포장은 인공살수가 필요한 관계로 측정에서 제외하였다. 다음은 반사식 차열포장과 배수성포장에 대한 열영상 분석 결과이다.

(a) 시험시공 전경

(b) 온도저감효과 열영상 측정 사진
(2008년 8월4일 오후 14시)

〈그림 1〉 현장 전경 및 온도저감 효과 측정 결과

위의 〈그림 1〉-(b)에서 온도저감효과는 약 10℃를 나타내었으며 해당일 최고기온은 32.1℃(제천기상대 자료), 풍속은 1.1m/s 였다. 차량견인식 미끄럼 장비(PFT 1295)를 이용한 측정결과에서는 반사식 및 증발형 포장 모두 SN 40~50의 값을 나타내었다.

3. 수치실험 설계

연구대상일은 특정일이 아닌 보통의 여름날 중, 200일 째인 7월 중순을 선택하였다. 초기조건은 풍속은 2m/s로 대구지역의 7월의 월평균 풍속으로 하였으며, 풍향은 서풍(270°)로 가정하였고, 기온은 25℃로 주었다. 모델의 수평격자수는 50×35, 연직격자수는 50 layers로 지표면과 대기의 열, 수증기 운동량 플럭스를 세밀하게 하기 위하여

지상에서 가까운 층은 조밀하게 하고 상층으로 올라갈수록 성긴 부등격자를 사용하였다. 또 본 연구에서 사용된 모형(A2C)의 대기역학적 기본 특징들은 일반적인 값을 사용하였다.

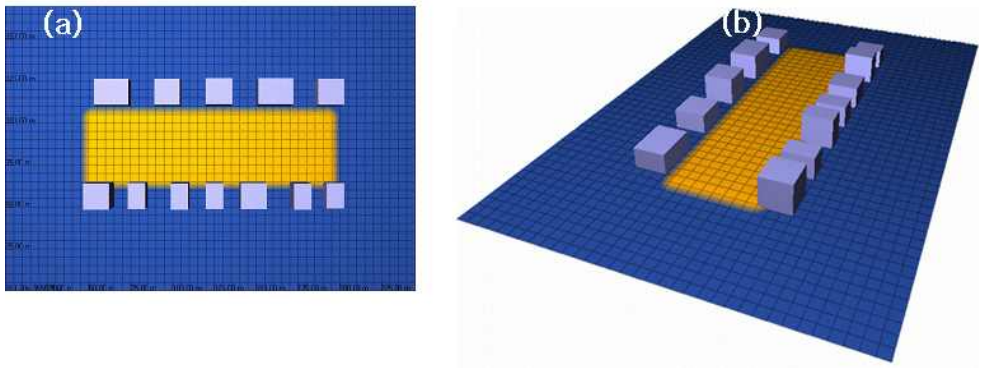
계산시간은 오전 10시부터 24시 까지를 대상으로 하였다. 안정된 결과 값을 얻기 위하여 초기 2시간은 결과해석에서 제외시켰다.

실험 영역은 〈그림 2〉와 같이 일반적인 도시지역으로 가정하였으며, 아스팔트가 10차선 정도의 폭(약 30m)으로 실험영역의 가장 가운데에 위치하고 양 옆으로 높이가 10m-15m정도 되는 빌딩들이 위치하고 있다. 경계조건에 직접적인 영향을 받는 것을 피하기 위하여, 모든 건물은 경계와 10개 이상의 격자를 두었다. 아스팔트를 제외한 모든 영역은 콘크리트로 가정하였고, 각각의 물리적 특성들은 〈표 1〉에 나타내었다.

본 연구의 목적은 반사율의 차이에 따른 아스팔트의 기온 변화가 주위에 미치는 영향을 알아보는 것으로 Albedo값을 달리하여(Albedo 1=0.1, Albedo 2=0.6) 실험설계를 하였다.

〈표 1〉 포장 종류 및 빌딩의 물리적 특성(A2C 기상 예측 모델에 고려된 요소들)

	Asphalt	Concrete	Building
반사도(albedo)	0.1	0.2	0.2
밀도(density(kg/m³))	2.4	2.3	2.3
열전도(conductivity(W/mK))	1.4	2.1	2.1
방출열(anthropogenic heat, (W/m²))	0.0	0.0	0.0
습윤도(wetness)	0.0	0.0	0.0
비열(specific heat(kJ/kgK))	1420	2070	2070
표면조도(roughness)	0.1	0.1	1.0



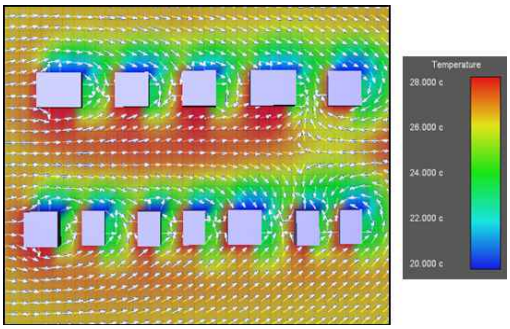
(a) 모델영역의 평면 도면 (b) 모델영역의 3D 도면

〈그림 2〉 각각의 토지 피복상태를 표시한 모델 영역
(a,b 중앙 (노란색) 부분은 아스팔트 피복 영역이고, 주위는 높이를 가지는 건물들을 나타냄)

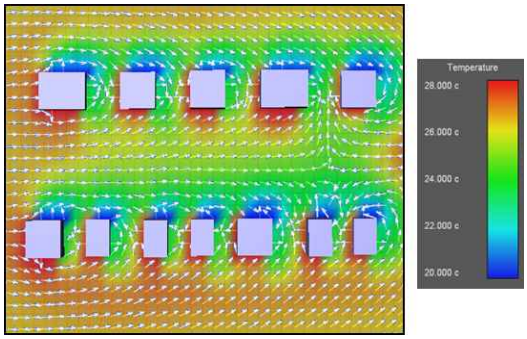
4. 실험결과

〈그림 3〉은 14시에서의 albedo=0.1의 결과를 나타낸 것으로 지상 2m에서의 온도와 바람장을 나타낸 것이고, 〈그림 4〉는 albedo=0.6의 결과를 나타낸 것이다. 두 실험에서 아스팔트로 포장된 부분의 기온과 콘크리트로 포장된 부분을

비교하면 〈그림 3〉은 약 1.5℃정도 높게 나타났고, 〈그림 4〉는 그 차이가 미미했다. 건물 주위에 고온이 나타나는 이유는 일출이후의 계속적인 건물 벽면 가열로 인해 형성된 열이며, 저온이 나타나는 부분은 그림자 영역으로, 복사냉각에 의해서 형성되는 저온역이다. albedo=0.1과 albedo=0.6의 결과를 좀 더 자세히 비교해보기 위해서, 〈그림 5〉와 같이 가로축의 단면의 온도를 살펴보았다.

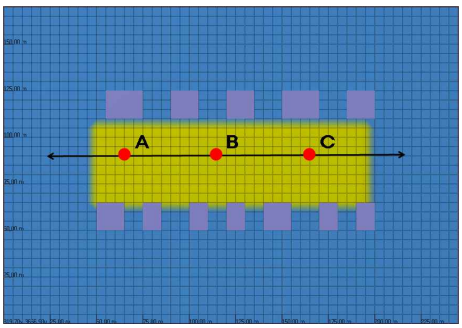


〈그림 3〉 14시에서 albedo=0.1의 수치실험 결과

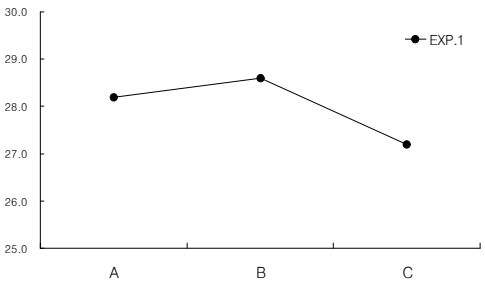


〈그림 4〉 14시에서 albedo=0.6의 수치실험 결과

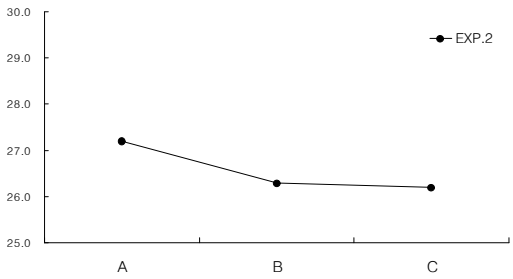
〈그림 5〉-(a)는 모델 영역에서의 비교대상 지점 A, B, C의 위치를 나타낸 것이고, (b)는 albedo=0.1의 결과, (c)는 albedo=0.6의 결과를 나타낸다. 〈그림 5〉-(b)에서 보는 것과 같이 albedo=0.1일 경우 지점 B에서 최고 28.6℃까지의 기온 분포를 보인다. 반면 albedo=0.6일 경우의 같은 지점의 기온은 26.3℃정도로 온도차이가 약 2.3℃정도이다.



(a) 단면도



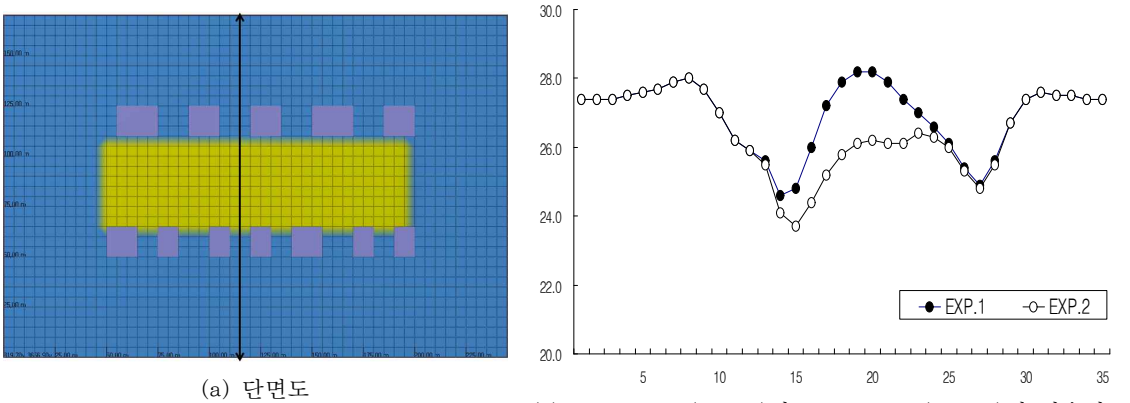
(b) albedo=0.1의 기온분포



(c) albedo=0.6의 기온분포

〈그림 5〉 아스팔트로 피복된 지역 A, B, C의 단면 온도 비교

〈그림 6〉은 아스팔트 위에서 가열된 공기가 순환하므로, 주변 건물지역에 미치는 영향을 알아보기 위해서 (a)와 같이 세로축 단면을 만들고, albedo=0.1과 albedo=0.6의 결과를 (b)에 비교하였다. 아스팔트로 피복 된 지역의 기온를 보면 최고 2.1℃의 차이가 나고, 건물이 시작 되는 부분에서의 기온차이는 최소 0.1℃에서 최고 0.6℃정도 차이가 나는 것을 볼 수 있다.



(a) 단면도

(b) albedo=0.1(EXP.1)과 albedo=0.6(EXP.2)의 기온비교

〈그림 6〉 실험 영역의 세로축 단면도

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서 현장 시험시공을 통해 반사식 차열성 포장과 증발형 보수성 포장의 온도저감 효과를 열영상 카메라를 이용하여 측정·분석하였으며, 반사율 차이에 따른 포장의 기온 변화가 주위에 미치는 영향을 평가하고자 A2C 기상예측 모델을 이용한 수치실험을 통하여 분석하였다. 향후 경년 변화에 따른 영향을 분석하기 위해 미끄럼 측정 및 온도 측정을 주기적으로 실시할 것이다.

(1) 열섬저감 포장의 모체 포장은 13mm 배수성 포장을 시공하였으며, 아스팔트 바인더는 PG 76-22를 사용하였다. 일조조건이 유리하며 실제 차량통행이 가능한 구간에 열섬저감 포장을 시공하였으며 온도저감 효과 및 미끄럼 안전도를 측정하였다. 측정결과 반사식 열섬 저감 포장은 약 10℃이상의 표면온도 감소효과가 있는 것으로 나타났으며, 차량 견인식 미끄럼 저항측정 결과에서는 두 가지 형태의 열섬저감 포장 모두 SN 40~50의 측정 값을 나타내었다.

(2) A2C 모델의 수치모의 실험 결과 일반아스팔트 포장(albedo=0.1) 경우는 주위 건물 보다 1.5℃ 높게 나타났고, 반사식 열섬포장으로 가정한 albedo=0.6에서는 주변 온도와 비슷하게 나타났다.

(3) 같은 지점에서 알베도에 따른 온도 차이는 albedo=0.6의 경우가 albedo=0.1의 경우보다 약 2.3℃ 낮게 나타나 알베도에 따른 기온 저감 효과가 있는 것으로 분석 되었다. 또한, 본 수치실험으로 가열된 아스팔트(albedo=0.1 경우)가 주변 건물에 미치는 영향은 열섬저감 포장(albedo=0.6 경우) 보다 최고 2.1℃ 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 “장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계 시공기술 개발(CTRM)”의 1세세부 과제 일환으로 작성되었습니다.

참고 문헌

1. 우에다, 니시오까, 나베시마, 나카오 (2004), “고반사성 포장의 반사율과 표면온도저감효과” , 일본건축학회 발표 논문
2. 노성열 (2005), “저소음 아스팔트 포장의 설계 및 시공” , 구미서관, pp.3-23
3. 류남형, 유병림, 2006, 투·보수성 시멘트 콘크리트 포장의 열물성 및 수분보유 특성이 표면온도에 미치는 영향, 한국조경학회지, 34(1), 21-36.
4. 장은숙(2005), “아파타 단지내의 열섬효과가 대기오염물질 확산에 미치는 영향해석을 위한 열유동장 수치모의,” 한국환경과학회지 14(6): 577.
5. 안덕순, 박희문, 엄병식, 김제원 (2006), “현장 계측자료를 이용한 아스팔트 포장체 온도 예측 연구” , 대한토목학회 논문집, 26(1), 67-72
6. 이현영(2000) 한국의 기후: 법문사
7. Ichinose, T., 1999, Local climate change related with land use change since the near modern period, Environmental system research, Vol. 27, 115-126.
8. Landsberg, H. E. (1981) Urban Climate : Academic Press
9. Moriyama, M., 2004, Heat Island, Kaku-Gei Press, 121-131pp.
10. M. Ek, and L. Mahrt, 1991, OSU 1D PBL model user’s guide, Oregon state university, 117p