

자동차 양지주차가 기온상승에 미치는 영향에 관한 관측적 연구

안지숙 · 구현숙 · 박명희 · 김해동*

계명대학교 지구환경보전과, 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000

An Observational Study of Parked Cars' Effect in the Sunshine on the Increase of Air Temperature

Ji-Suk Ahn, Hyun-Suk Koo, Myung-Hee Park, and Hae-Dong Kim*

Department of Environmental Conservation, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract: This study investigated the effect of parked cars in the sunshine on the increase of air temperature on a sunny day. Air temperatures were determined both from inside of the parked cars and the top surface of the vehicle at which one car was parked under the sunshine and the other in the shade for the duration of 27 hours. The surface temperatures of asphalt and bare soil were simultaneously measured in both locations, sunshine and shade areas, along with a couple of meteorological factors. The sensible heat fluxes from the surfaces of asphalt, bare soil and two vehicles were estimated by utilizing those observed data. The results are as follows; 1) The surface temperatures of bare soil, asphalt and two vehicles increased with 30~37°C, 37~46°C and 42~49°C respectively during the day. 2) The sensible heat fluxes were noticeably higher from the top surface of the parked vehicle in the sunshine than from the asphalt or bare soil. The differences of sensible heat fluxes between the vehicle's roof and the other two surfaces of asphalt and bare soil were 60 (asphalt) and 85 (bare soil) W/m² during the daytime.

Keywords: urban warming, sensible heat flux, bare-soil

요약: 고온의 맑은 날 양지에 자가용을 주차시키는 것이 기온상승에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위하여 양지와 음지에 주차되어 있는 차량을 대상으로 차의 상판과 차 내부의 온도를 27시간에 걸쳐서 측정하였다. 뿐만 아니라 양지와 음지를 대상으로 아스팔트와 토양의 표면온도 및 몇 가지 기상요소를 동시에 관측하였다. 이렇게 얻어진 자료를 이용하여 낮 동안에 아스팔트, 나대지 그리고 차의 상판에서 대기로 공급되는 현열을 산출하였다. 그 결과는 다음과 같다. 1) 나대지, 아스팔트 그리고 차의 상판온도는 낮 동안에 각각 30~37°C, 37~46°C 및 42~49°C까지 상승함을 확인할 수 있었다. 2) 양지에 주차된 차량의 상판에서 대기 중으로 수송되는 현열의 양은 아스팔트와 나대지 표면에 비하여 훨씬 많은 것으로 밝혀졌다. 차량 상판과 지표면간의 현열플럭스 차이는 낮 동안에 최대 약 60(아스팔트표면), 85(나대지 표면) W/m²에 이르렀다.

주요어: 도시승온화, 현열플럭스, 나대지

서론

어느 지역에 도시가 발달하게 되면 그곳의 기온이 주변에 위치한 교외지역에 비하여 높게 형성되는 것을 확인할 수 있는데, 이것을 도시열섬현상(Heat Island Phenomenon)이라고 부르며 이 때 도심과 교외간의

기온차를 도시열섬 강도(Heat Island Intensity)라고 한다(Landsberg, 1981).

도시화가 진척될수록 도시의 기온은 교외지역에 비하여 높아지는데, 우리나라와 같은 온대지방에서 도시의 기온이 높아지면 겨울에 도시민들의 생활을 불편하게 만드는 일은 거의 없지만, 여름철에는 환경쾌적성을 현저히 낮추어 건강과 경제에 부담을 가중시킨다. 주로 여름철에 나타나는 부정적 의미로 인하여 일본을 포함한 선진 국가들은 도시열섬화 현상을 열오염(thermal pollution)으로 간주하여 이를 완화하기

*Corresponding author: khk@kmu.ac.kr
Tel: 82-53-580-5930
Fax: 82-53-530-5385

위한 다양한 정책적 수단을 강구하고 있다(김해동 외, 2002).

도시열섬은 도시의 건설을 위하여 자연환경을 인공 구조물로 변화시킨 결과의 총체적 반영이라고 말할 수 있다(김유근과 이화운, 1999). 중위도 온대지역의 도시에서 볼 수 있는 도시열섬화의 주원인은 계절에 따라서 다른 것으로 알려져 있는데 겨울에는 인공열의 영향이 탁월한 것으로 알려져 있다(Kawamura, 1989). 반면에 여름철 도시열섬 형성의 가장 큰 원인은 아스팔트도로와 콘크리트 건축물의 큰 열용량에 있는 것으로 평가된다. 녹지와 물이 있는 자연 상태의 토지에 아스팔트나 콘크리트 구조물을 건설하면, 자연 그대로 있는 토지와는 상이한 기후가 나타나게 된다.

도시와 교외간의 가장 큰 기후적 차이는 야간 기온의 차이에 있는데, 도시열섬 강도는 주간보다 야간에 훨씬 크게 나타난다(Landsberg, 1981; Mizukoshi and Yamashita, 1993). 이것은 다음과 같은 원인에 기인한다. 도시의 포장된 지표면이나 건물의 벽면은 낮 동안에 열을 축적하고 해가 진후에 대기 중으로 방출하는 능력이 자연 상태의 토지에 비하여 월등히 높다. 이것이 여름철 야간에 도시의 기온 하강을 억제하는 주요인이다(Sakakibara and Mieda, 2002). 인간의 생체는 기온이 25°C를 넘어서면 쾌적한 수면을 이루기 어렵다. 도시에서는 여름철 야간에도 기온이 25°C를 상회하는 경우가 많이 발생하는데, 이러한 기후조건을 열대야일(Tropical Night Days)이라고 한다(Asai, 1996).

낮에도 인공구조물에 노출된 곳에서의 기온은 매우 높게 나타난다. 숲의 그늘이 만들어져 있는 도심공원 내의 기온은 일사에 노출된 주변의 도로상에서 관측된 것 보다 몇 도 낮은 것으로 알려져 있다(Grey and Deneke, 1986; Yoshikado et al., 2002). 그래서 도시 내에서 여름철 기온을 낮추기 위해서는 도로와 같은 지표면의 온도를 낮추어 주는 것이 중요하다고 할 것이다(Horikuchi et al., 2004).

도시의 고온화는 인간이 만든 것이기 때문에 역으로 인간 노력으로 상당 부분 억제가 가능한 문제이다. 덥고 햇볕이 강한 여름철에 낮기온을 낮추기 위해서는 그늘을 만드는 나무를 심고 증발로 인한 냉각효과를 증대시키기 위하여 거리에 물을 뿌리는 일 이외에도 건물이나 지표면의 일사에 대한 알베도를 높이는 것이 필요하다. 알베도를 높이기 위해서는 건

물의 지붕이나 벽에 밝은 색의 페인트를 칠하거나, 어두운 건물의 벽면에 담쟁이 식물을 이용하여 녹화를 하는 방법도 있다.

여름에 도시녹지는 낮 동안에는 증발산작용을 통하여 도시기온을 냉각시키고 지표에 음지를 만들어 지표온도상승을 억제시킴으로써 야간의 열대야현상을 억제하는 역할을 한다(Oke, 1981; Yamada, 2003). 아울러 녹지는 아스팔트에 비하여 반사도가 크기 때문에 태양에너지의 흡수량을 저감시켜 지표면과 하층대기의 기온상승을 억제시키는 역할을 하기도 한다(Sugawara, 1995).

도시생활에서 실천할 수 있는 도시고온화를 억제하는 데에 도움이 되는 보다 손쉬운 방법으로 자동차 주차문화의 개선을 생각할 수도 있다. 아스팔트로 포장되고 일사에 노출된 주차장과 이에 주차된 차량은 소규모의 강력한 열원으로 작용하여 기온을 높이는 방향으로 작용한다. 뿐만 아니라 여름철 양지에 주차된 차량 내부도 고온화 되기 때문에 차량운행 시에 차내 온도를 낮추기 위해 많은 양의 냉방용 에너지를 소모하여야 한다. 즉 지상의 주차장에 차양 막을 설치하든가 지하주차장 시설을 늘이는 것으로 기온상승 억제에 기여할 수 있다.

이는 Landsberg(1981)가 1980년대에 발간한 그의 저서에서 도시기후 개선을 대책의 하나로 제시한 방법이기도 하다. 이러한 배경에서 본 연구에서는 고온의 맑은 날에 실외 양지주차로 유발될 수 있는 지표온도상승효과와 차량 내부온도상승에 따른 냉방에너지 소요량을 관측적 방법을 통하여 정량적으로 평가하여 보았다.

관측 및 연구 방법

관측

고온의 맑은 날 실외 양지주차로 유발될 수 있는 기온상승효과와 차량 내부온도상승에 따른 냉방에너지 소요량을 정량적으로 평가하여 보기 위하여 계명대학교 대구성서캠퍼스 환경대학 건물 주차장에서 자동관측과 수동관측을 병행하여 필요한 자료를 27시간 연속 측정하였고, 측정에 사용된 차량은 흰색 중 소형 승용차를 사용하였다. 관측된 자료는 차량상판 온도, 아스팔트 표면온도, 나대지 온도, 차량 내부온도 및 풍속이다. 표면온도는 적외선복사온도계를 이용하였고, 차량내부의 온도, 기온 및 풍속은 미국

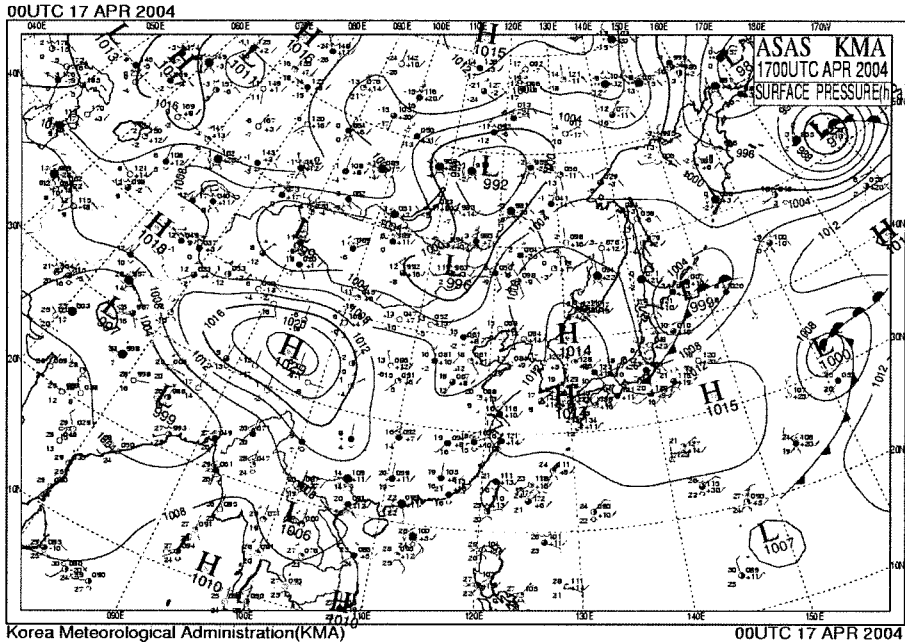


Fig. 1. Weather chart on April 17th, 2004.

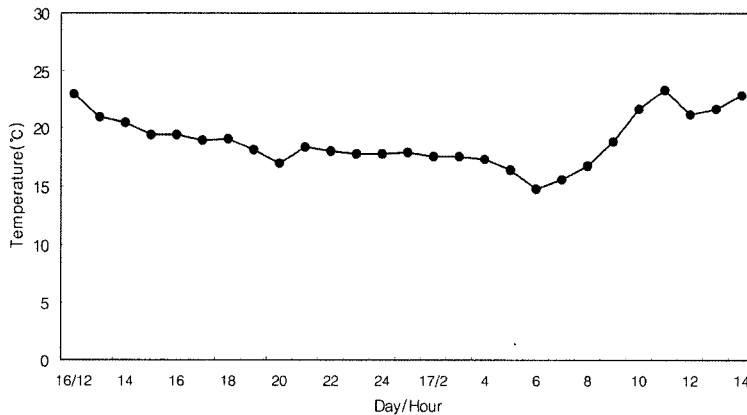


Fig. 2. Time variation of temperature through AWS.

Campbell사에서 제작한 기온측정센서 및 풍향풍속계로 측정하였다. 지표면온도는 양지와 음지에서 비교 관측하였다.

관측은 2004년 4월 16일 12시에서 다음 날 14시까지 27시간 연속으로 이루어졌으며, 기온과 풍속 측정 고도는 백엽상 높이와 같이 지상 1.5미터로 하고, 온도계 센서가 일사 및 지열에 직접 노출되지 않도록 차단용 틀을 설치하였다.

관측일(4월 16~17일)의 대구지역의 날씨는 구름이 거의 없었으며, 바람은 약한 편이었다. 그리고 기온

은 높아 일최고기온이 24°C에 이르렀다. 참고로 이날의 지상일기도를 Fig. 2에 제시하였다. 우리나라는 동서고압대의 후면에 자리 잡고 있는데, 등압선의 간격이 매우 커서 바람이 약하고 맑은 날씨가 출현하였음을 추정할 수 있다(Fig. 1).

연구방법

지표의 토지피복도의 차이가 도시의 열환경에 미치는 효과를 분석하였다. 지표면이 각각 아스팔트, 나대지 및 차량으로 덮여 있을 시에 지표면과 대기간

의 현열교환량의 차이를 평가하였다. 현열교환량을 추정함에 있어서는 다음과 같은 bulk식을 이용하였다.

$$H = C_p \rho C_H U (T_s - T_a) \tag{1}$$

여기서, C_H 는 bulk 수송계수, U 는 풍속(m/s)인데 이들의 곱인 $C_H U$ 를 현열의 수송속도라고 부른다. 현열의 수송속도는 Ishi and Kondo(1993)의 방법을 따라서 선택하였다. T_s 는 표면온도(°C), T_a 는 기온(°C), C_p 는 공기의 정압비열(1004 J/(K · kg))이다.

그리고 양지와 음지에 주차된 차량의 차량내부온도 변화자료를 이용하여, 각 시간대에서 양지에 주차된 차량을 운행할 시에 음지에 주차시킨 차량의 내부온도와 같게 만들어주기 위해서 필요한 냉방에너지의 량을 추정하여 제시하였다. 소요냉방에너지의 추정방법은 동일 시간대에 양지와 음지에 주차해 둔 차량 내부온도의 차이에 1500CC 급의 준중형 차량의 내부공간의 체적과 공기의 체적열용량($C_p \rho = 1.21 \times 10^3 \text{ JK}^{-1} \text{ m}^{-3}$)을 곱하여 얻었다.

결과 및 고찰

기상관측

대구 계명대학교 환경대학 건물에 인접한 열린 공간에 풍향풍속계와 온도센서를 설치하여 기온과 바람을 관측하였다. 기온에 대한 시간변화를 Fig. 2에 나타내었다. 기온의 시간변화를 살펴보면 4월의 기온으로는 상당히 높은 값을 보였는데, 최고기온은 16일 12시에 약 23.5°C로 나타났고 최저기온은 17일 6시에 약 14.5°C로 나타내서 일교차가 9°C로 다소 크게

나타났다. 풍속은 관측일이 기압구배력이 약한 동서 고압대의 영향에 있었지만, 국지풍의 영향으로 한낮에 약 5~7 m/s에 이르렀고, 야간에는 이보다 작아 1~3 m/s로 관측되었다. 관측기간 중에 최대풍속은 한낮인 16일 15시에 6.8 m/s이었고, 최소풍속은 야간인 17일 5시에 1 m/s로 나타났다(Fig. 3).

표면온도변화

맑은 날 햇볕에 노출된 경우와 그렇지 않은 경우의 지표면과 차량표면의 온도 차이를 비교하기 위하여 양지와 음지에 각각 위치한 아스팔트, 나대지 및 차량상판의 표면온도를 열적외선 온도계를 이용하여 1시간 간격으로 관측하였다. Fig. 4에 양지에서 관측된 3가지 표면의 온도를 동시에 제시하였다. 야간(22~6시)에 관측된 최저온도는 차상판이 오전 4~6시 사이에 5°C 내외로 현저히 냉각되었지만, 아스팔트와 차상판의 표면온도는 12~13°C로 거의 차이가 없었다.

일반적으로 열저장 능력이 뛰어난 아스팔트의 표면온도가 야간에 나대지에 비하여 훨씬 높은 온도를 나타내는 것으로 알려져 있으나, 이번 관측에서는 두 곳의 표면온도가 거의 같게 관측된 것은 관측시기가 4월 중순이어서 아직 아스팔트의 깊은 층까지 열이 저장되어있지 않은 것에 기인하는 것으로 사료된다.

이에 반하여, 낮 동안에는 아스팔트, 나대지, 차상판의 온도에 큰 차이가 나타났다. 나대지의 경우에는 17일 13시의 약 42°C를 예외로 한다면 12~16시 사이에 30~37°C 정도에 그쳤지만 인공구조물인 아스팔트표면온도는 17일 13시에 약 48°C로 나타났고, 12~16시에는 37~46°C에 이르러 동일한 기상조건 하에서

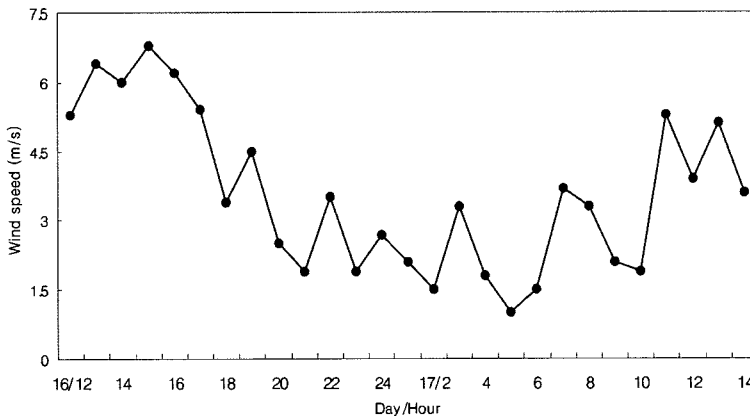


Fig. 3. Time variation of wind speed through AWS.

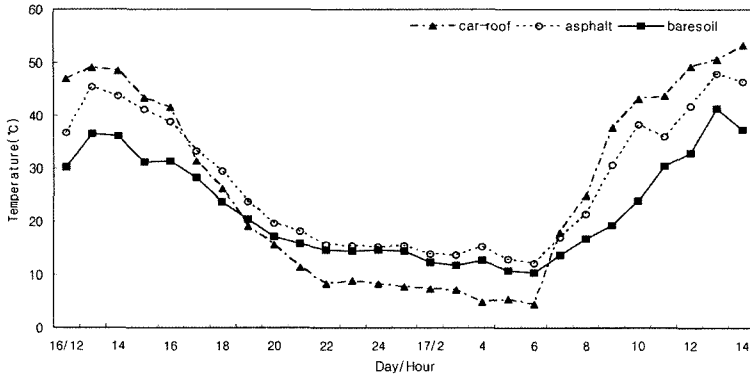


Fig. 4. Time variation of surface temperature in the sun. (car-roof, asphalt, and baresoil)

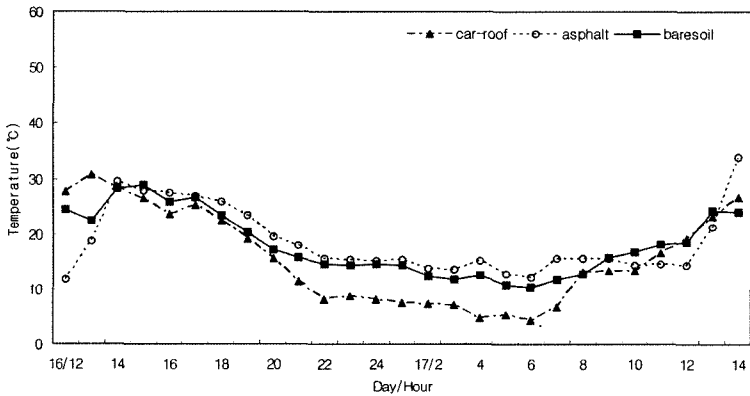


Fig. 5. Time variation of surface temperature of car-roof, asphalt, and baresoil in the shade.

나대지의 표면보다 10°C 이상이나 높게 관측되었다. 이러한 사실로부터 도시승온화의 주요 원인이 도시공간이 인공구조물로 피복되어가는 것에 있음을 확인할 수 있었다. 한편, 차상판의 온도는 아스팔트 표면보다도 더욱 높게 관측되었다. 한낮인 12~16시 사이에 차상판의 온도는 42~49°C로 나타났는데, 이는 아스팔트표면온도에 비해서도 3~5°C나 높은 것이다.

같은 시간대에 음지가 지워진 나대지와 아스팔트의 표면온도 및 음지에 주차해둔 차상판의 표면온도는 모두가 한낮인 12~16시에도 대체로 20~30°C로 비슷한 온도를 나타내었다(Fig. 5). 이를 양지에서 관측한 것과 비교하여 보면 나대지에서 약 10°C, 아스팔트에서 약 20°C 그리고 차상판의 경우에는 약 25°C의 온도차이가 나타났다.

차량내부온도

하계에 차량운행 시에 차량의 내부 온도가 고온으로 형성되어 있을수록 더욱 많은 냉방에너지가 소요

될 것이다. 양지와 음지에 주차한 차량의 경우에 실제로 냉방소요에너지에 어느 정도의 차이가 나타나는지를 확인하기 위하여 차량내부의 온도를 비교 관측하였다(Fig. 6). 지면도달 태양에너지가 없고 차체에 흡수되어 있던 열에너지가 대기 중으로 충분히 방출된 이후 시간대라고 판단할 수 있는 오후 8시에서 오전 8시까지의 예상대로 온도차이가 거의 없었다. 반면에 오전 8시 이후부터 양지와 음지에 주차된 차량의 내부온도의 차이는 점차 커지는데, 오전 11시 이후부터 오후 4시 사이에는 그 차이가 약 20°C에 이르렀다.

양지에 주차된 차량의 내부온도를 음지에 주차되어 있던 차량과 같도록 냉방을 하는 데에 필요한 에너지를 계산하여 Fig. 7에 제시하였다. 내부온도에 차이가 커지는 오전 11시에서 오후 3시 사이에는 차량 내부공간의 체적이 약 4.2 m³(2.2미터(길이)×1.6미터(폭)×1.2미터(높이))인 준중형 승용차를 양지에 주차시켰다가 운행할 시에 음지에 주차시켜 놓았을 시의

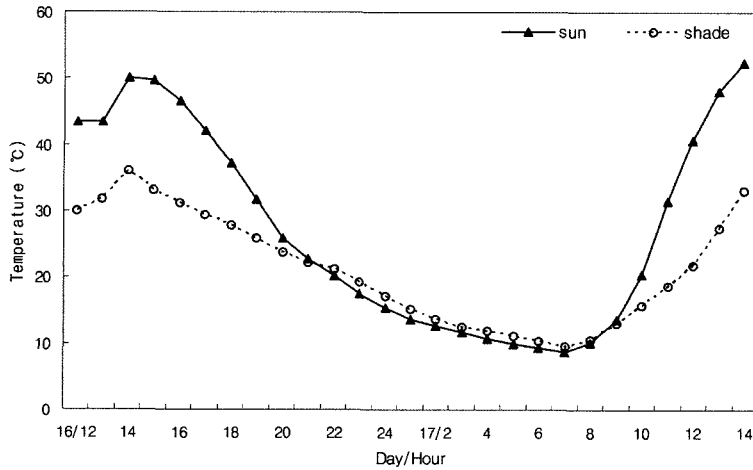


Fig. 6. Time variation of internal temperature of vehicle in the sun and shade.

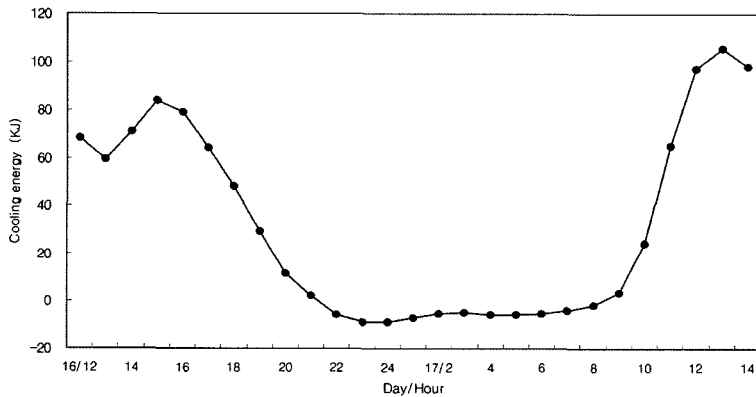


Fig. 7. Amount of energy used to cool down heated cars in the sun to the level of in a shade.

차량 내부온도와 같도록 냉방시키는 데에 소요되는 에너지량은 1대당 약 65~105 KJ의 냉방에너지가 소모됨을 확인할 수 있다. 우리나라의 차량등록 대수는 2002년에 13,949천대에 이르렀다. 따라서 현재는 2004년 4월 현재에는 15,000천대를 초과하였을 것으로 추정할 수 있다. 이 중에서 약 70%가 승용차이다. 이들 등록 차량의 전부가 1,500CC급 준중형 승용차라고 가정하면, 관측이 이루어진 기상조건 하에서 차량의 10%가 하루에 1회씩 한낮에 양지에 추가 주차하였을 때 유발되는 냉방소요에너지는 약 $9.8 \times 10^7 \sim 1.6 \times 10^8$ KJ씩 증가함을 알 수 있었다.

지면 피복 상태에 따른 현열수송량

태양에너지로 가열된 아스팔트, 나대지 및 차량 상판으로부터 대기가 받는 현열(sensible heat)을 추정하

여 Fig. 8-10에 제시하였다. 저녁 8시에서 오전 8시 사이에는 표면온도와 기온에 큰 차이가 없기 때문에 모든 경우에 작은 양의 현열속을 나타내었다.

그러나 태양에너지의 지면도달이 많아진 오전 11시에서 일몰에 가까운 오후 6시경까지는 지면의 종류에 따라서 많은 차이를 보였다. 특히 차량상판에서 대기로의 현열량이 가장 높게 나타났는데, 차량상판과 아스팔트와는 같은 시간대에서 최대 약 60 W/m^2 로, 나대지와는 이보다 더욱 커서 약 85 W/m^2 의 차이가 있는 것으로 평가되었다. 관측일과 같은 기상조건 하에서, 우리나라 전체 보유차량의 상판면적이 1500CC급 준중형 승용차(약 7.65 m^2)와 같다고 간주하였을 때, 차량의 10%인 약 150만대가 아스팔트에 추가로 주차하여 대기가 지표로부터 하루 중에서 가장 더운 5시간동안(오전 11시~오후 4시)에 추가로 받

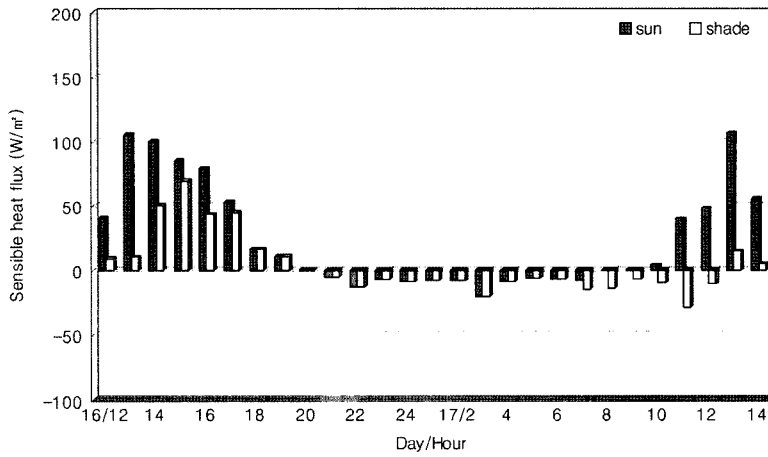


Fig. 8. Time variation of sensible heat flux from bare soil to atmosphere.

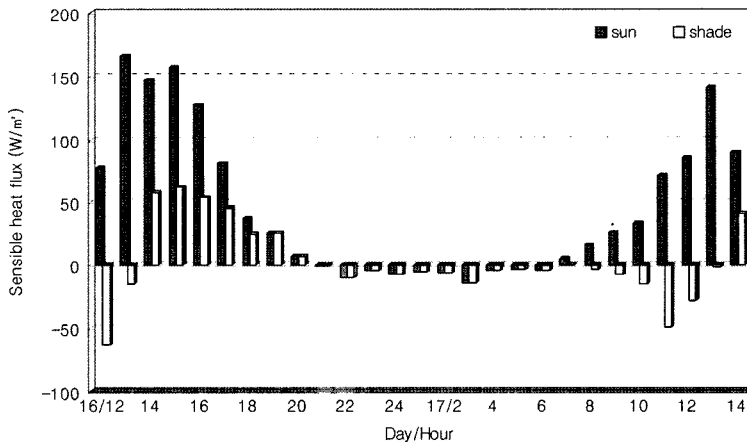


Fig. 9. Time variation of sensible heat flux from asphalt to atmosphere.

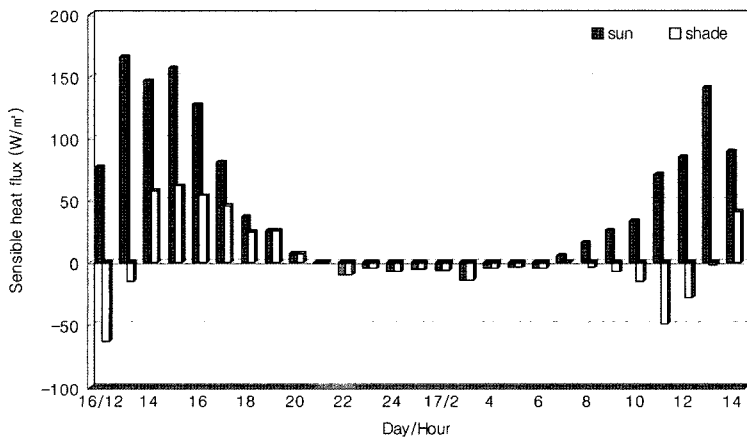


Fig. 10. Time variation of sensible heat flux from the car-roof to atmosphere.

는 에너지의 총량은 약 7.56×10^{10} KJ($=1.73 \times 10^{10}$ Kcal)에 상당한다. 이는 플라타너스 약 12만 그루가 쾌청한 하계에 하루 종일 증발산 과정을 통하여 도시를 냉각시킬 수 있는 양과 거의 같다. 여기서 이용한 플라타너스의 증발산 과정을 통한 기온냉각효과는 조현길과 안태원(1999)의 결과에 근거하였다.

요약 및 결론

도시승온화를 억제할 수 있는 대응책의 하나로 도시공간에서의 주차 공간 개선이 제안되고 있다. 이러한 주차공간의 개선을 통하여 실제로 도시승온화에 기여할 수 있는 효과를 정량적으로 평가하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 계절적으로 봄에 해당하는 4월중에 관측이 이루어져 지면도달 일사량의 양은 하계에 비하여 많지 않았음에도 불구하고 도시의 지표면 조건에 따른 지면온도에는 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 나대지의 지표면온도는 관측기간 중의 한낮에 $30\sim 37^\circ\text{C}$ 정도 상승하였지만, 아스팔트 표면온도는 $37\sim 46^\circ\text{C}$ 그리고 차량상판의 온도는 $42\sim 49^\circ\text{C}$ 까지 상승함을 확인할 수 있었다.

둘째, 낮에 차량상판에서 대기 중으로 수송되는 현열의 양은 아스팔트 면에서 대기 중으로 수송되는 것 보다 많았다. 그 차이는 대체로 오전 11시에서 오후 4시에 걸쳐서 매 시간별로 각각 약 50, 60, 30, 30, 20, 20 W/m^2 정도로 평가되었다.

우리나라 전체 등록차량을 실험에 이번 사용된 준준형급 승용차로 간주하고 이것의 10%가 아스팔트 양지상에 주차된다고 가정하면, 이로 인하여 오전 11시에서 오후 4시 사이에 약 7.56×10^{10} KJ의 현열이 지표에서 대기로 추가로 수송될 수 있음을 의미한다. 이것은 플라타너스 약 12만 그루가 하루 동안에 증발산을 통해서 대기를 냉각시키는 양에 상당한다.

셋째, 양지주차로 차량 내부온도도 고온으로 가열되어진다. 이러한 차량을 운행할 때에는 내부온도를 낮추기 위하여 더욱 많은 냉방에너지를 소비하게 된다. 양지에 주차하여 차량내부가 승온화된 차량 내부온도를 음지에 주차하여 둔 차량의 내부온도와 같게 하기 위하여 소모되는 에너지의 양을 추정된 결과, 차량내부공간면적이 약 4.2m^2 인 준준형차의 경우에 오전 11시에서 오후 4시 사이에는 약 $65\sim 105$ KJ의 냉방에너지가 추가로 소비됨을 알 수 있었다. 우리나

라의 등록차량을 전부 준준형차로 가정하고, 이들 차량의 10%가 오전 11시에서 오후 3시 사이에 하루에 1차례씩 양지주차 후에 운행을 하면서 냉방을 할 경우에 음지 주차 후 운행 차량에 비하여 추가로 약 $9.8 \times 10^7 \sim 11.6 \times 10^8$ KJ의 에너지를 추가로 소비하게 됨을 추정 할 수 있었다.

이 실험연구를 통해서, 주차공간을 음지로 만듦으로써 에너지절약을 실천하고 도시기온 저하에 기여할 수 있음을 확인할 수 있었다. 최근 도시승온화 억제를 위하여 도시녹화에 많은 예산을 투입하고 있다. 물론 도시 녹지화는 도시승온화 억제효과 뿐만 아니라, 도시인의 심리적 안정에도 크게 기여하기 때문에 지속적인 추진이 필요할 것이다. 그러나 도시공간에서 11대의 차량이 5시간 동안 양지주차 되어 대기 중으로 공급하는 현열의 양은 플라타너스 한 그루가 하루 종일 증발산을 통하여 저하시킨 도시기온을 온전히 상쇄시킬 수 있는 양에 필적한다. 따라서 도시공간의 기온을 낮추는 데에 주차시설의 개선도 대안의 하나로 주목할 필요가 있을 것이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2006-000-10104-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

- 김유근, 이화운, 1999. 대기오염개론. 시그마프레스, 서울, 280 p.
- 김해동, 이송욱, 구현숙, 2002. 대규모 주택단지내의 인공구조물에 의한 승온화 효과에 관한 연구. 한국환경과학회지, 12(7), 705-713.
- 조현길, 안태원, 1999. 도시녹지에 의한 미기후개선의 기능. 한국조경학회지, 27(4), 23-28.
- Asai, T. 1996. 東京大學出版會. Local Meteorology, 東京, 233 p. (in Japanese)
- Grey, G.W. and Deneke, F.J., 1986. Urban Forestry (2nd ed.). Wiley, New York, USA, 245 p.
- Horikuchi, I., Kobayasi. T., Tsukamoto. O., and Outsuki, K., 2004. 局地氣象學. 森北出版株式會社, 東京, 244 p. (in Japanese)
- Ishi, T. and Kondo, J., 1993. The seasonal variation of the oceanic heat transport in the East China Sea, Yellow Sea and Sea of Pohai. Tenki, 40, 895-906.

- Kawamura, T., 1989, 都市氣候二關する研究動向. 天氣, 36 (4), 197-205. (in Japanese)
- Landsberg, H.E., 1981, The urban climate. Academic Press, New York, USA, 304 p.
- Mizukoshi, M., Yamashita, 1993, 氣候學入門. 古今書院, 東京, 188 p.
- Oke, T.R., 1981, Canyon geometry and the urban heat island: Comparison of scale model and field observation. International Journal of Climatology, 1, 237-254.
- Sakakibara, Y. and Mieda, A., 2002, Causes of nocturnal Heat-island and the difference between Heat-island intensity on fine and cloudy days. Tenki, 49 (7), 533-539. (in Japanese)
- Sugawara, H. and Kondo, J., 1995, Sensitivity test of urban surface temperature. Tenki, 42, 813-820.
- Yamada, H., 2003, Consider the Heat-island Phenomenon form the viewpoint of urban greenery. 環境情報科學, 32 (3), 28-36. (in Japanese)
- Yoshikado, H., Kondo, H., and Kikegawa, Y., 2002, Thermal environment of building roofs based on measurements in the central areas of Tokyo. Tenki, 49 (11), 887-899. (in Japanese)

2006년 9월 5일 접수
 2006년 12월 7일 수정원고 접수
 2006년 12월 21일 채택