

# 기상모델을 이용한 지표면 반사능에 따른 냉방에너지 소비 저감 연구

안재호\*

\*한경대학교 환경공학과(jhan@hknu.ac.kr)

## A Study on Reduction of Air Conditioning Energy Consumption by Surface Albedo Variation Using Meteorological Model

AN, Jae-Ho\*

\*Dept. of Environmental Engineering, Hankyong National University(jhan@hknu.ac.kr)

### Abstract

Recently environmental regulations like the Kyoto Protocol, adopted in 1997, required the 5.2% reduction of the greenhouse gas emission in 1990. And 13th General Assembly in 2007, held in Bali of India, have agreed to duty reduction even in developing countries in 2013. Korean government needs the researches on climate change and the strategic programs for greenhouse gas reduction. In this paper Colorado State University Mesoscale Model(CSU-MM) was applied to simulate the relationship between surface albedo and air temperature. Meteorological model simulation in region of Ansan-City, Shiheung-City showed that mean air temperature became lower with the increase of albedo value. Simulated air temperature became lower  $-0.16^{\circ}\text{C}$  and  $-0.66^{\circ}\text{C}$  by 5% and 20% increase of albedo values respectively. And cooling energy saving amount in air conditioning process was calculated according to lowered air temperature. The reduction of air temperature resulted the reduction of air conditioning energy in personal house and commercial buildings. The increase of albedo from 5% to 20% resulted the reduction of air conditioning energy from 44,493 MWh/yr to 183,796 MWh/yr. Additionally the reduction of greenhouse gas emission through the energy saving was calculated after IPCC guideline. In terms of greenhouse gas emission  $\text{CO}_2$  was reduced form  $-30,414 \text{ ton-CO}_2/\text{yr}$  to  $-125,638 \text{ ton-CO}_2/\text{yr}$  according to the reduction of electric energy.

Keywords : 기상모델(Meteorological Model), 지표면 반사능(Surface Albedo), 지구온실가스(Greenhouse Gas), 냉방 에너지(Air Conditioning Energy)

**기 호 설 명**

R	: 단파장의 태양광선 ( $\mu\text{m}$ )
R	: 장파장의 태양광선 ( $\mu\text{m}$ )
L	: 모닌-오브코프 길이 (cm)
$u_*$	: 바람 마찰 속도 (m/sec)
$T_G$	: 지표면 온도 ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\sigma$	: 스테판-볼츠만 상수
$q_*$	: 비습도 (kg/kg)
$\Theta_*$	: 온위 ( $^{\circ}\text{K}$ )
$C_p$	: 공기 정압비열 ( $\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ )
$S_0$	: 태양상수 ( $\text{Watt/m}^2$ )
dd	: 춘분이후의 일수 (day)
WOZ	: 남중시간 (h)
$\phi$	: 위도 (Grad.)
Z	: 천정각 (Grad.)

**1. 서 론**

최근 선진국을 중심으로 1997년에 채택된 교토의정서에서는 선진국의 온실가스 감축목표를 1990년 대비 5.2% 감축계획을 세워 추진하였다. 우리나라도 더 이상 온실가스 감축 의무에서 자유로울 수 없게 되었으며, 구체적인 기후변화에 대한 온실가스감축, 연구개발, 탄소배출거래제도 등의 대응책 마련에 부심하고 있다. 2009년 말에 정부에서는 개도국에 대한 권고치 중예선 가장 높은 배출 전망치(BAU)<sup>1)</sup> 대비 30% 감축을 추진하는 것에 대해서 최종 의결이 이루어졌다. 이에 따른 대책에는 국가 온실가스 감축 목표 제시와 함께 온실가스 감축, 기후변화 적응, 연구개발, 인프라 구축, 국제협력 등 각 분야별로 온실가스 저감 정책을 포괄하고 있다. 이러한 저감 목표에 도달하고 관리방안에 도출하기 위해

서는 단위지역을 대상으로 온실가스의 배출 현황을 정확하게 파악하고 나아가 이를 바탕으로 구체적인 방안을 검토하는 것이 필요할 것이다.

본 연구에서는 기상모델(CSU-MM: Colorado State University Mesoscale Model)을 이용하여 산업단지 등에 녹지를 조성함으로써 얻어지는 대기냉각효과 등을 분석한 연구를 수행하였다. 산업공단의 개발 및 지표면 특성의 변화로 인하여 녹지의 온실가스 배출에 미치는 영향 대하여 분석하고자 한다. 구체적 방법으로 지표면의 열적특성에 가장 영향이 큰 Albedo의 변화가 지표면 및 대기의 온도에 미치는 영향을 분석하였다. 녹지로의 이용을 확대하여 구체적으로 지표면 Albedo 값의 증가 시의 대기냉각효과를 비교 분석하여 이를 통하여 에너지소비량의 감소를 산정하였다. 나아가 본 연구에서는 에너지 절약을 통한 CO<sub>2</sub>의 배출 저감량을 산정하고자 하였다. 특히 여름철 도시기온 저감에 따른 냉방에너지 저감량과 연계하여 단위 지자체에서의 구체적인 온실가스 저감량을 정량적으로 산정하는 연구를 수행 하였다.

구체적인 수치모의를 위하여 반월·시화 산업단지를 연구대상지역으로 하여 생태산업단지에 요구되는 토지의 이용 및 녹지 공급에 따른 기온과 지표면온도의 측면에서의 영향과 도시열섬강도와 같은 중요한 지표를 제시하고자 한다. 지면의 종류에 따라 서로 다른 밀도, 비열 그리고 열전도도를 갖게 되며 이것은 지표면열평형에 많은 영향을 미치게 된다. Taha는 산업공단 개발 등과 같이 전원지의 건물, 도로, 인공구조물로의 전환은 알베도 값을 변화시켜 태양열을 받아들여 저장을 하여 도시의 기온을 상승시킨다고 밝히고 있다.<sup>2)</sup> 또한 알베도를 높여서 태양복사를 많이

1) BAU(Business As Usual) : 특별한 조치(저탄소녹색 성장 등)를 취하지 않을 경우 배출될 것으로 예상되는 미래 전망치. 즉, 국민경제의 통상적 성장관행을 전제로 유가변동, 인구변동, 경제성장률 등에 따라 영향을 받을 미래의 온실가스 배출 추계치이다.

2) Taha, H., Urban climate and heat islands, albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat, Energy & Buildings, Special Issue on Urban Heat Island, 1997, pp. 99 ~ 103.

반사시키고 지면의 열 흡수를 줄여 도시기온을 저감할 수 있는 방안들을 제시하고 있다. 본 연구에서는 환경부의 토지피복분류지도에 따라 격자별로 알베도, 토양수분함량, 지표면 거칠기 길이, 토양열용량에 대한 특성값을 입력 자료로 사용하였다. 구체적인 특성값은 USGS<sup>3)</sup> (United States Geographical Survey)에서 제시한 특성값을 환경부 토지피복분류 범주에 맞추어 적용하였다. 그 중 본 연구에서는 지표면 특성에 따른 지표면의 알베도값의 변화에 따른 도시열섬강도의 저감효과를 중심으로 수치실험을 수행하였다.

표 1. 토지이용에 따른 지표면 특성값

범례	알베도 (%)	토양습도 (kg/kg)	거칠기길이 (cm)	열전도도 ( $\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{s}^{-1/2}$ )
주거지역	18.0	0.10	50.0	3.
공업지역	18.0	0.10	50.0	3.
상업지역	18.0	0.10	50.0	3.
위락시설	18.0	0.10	50.0	3.
교통지역	18.0	0.10	50.0	3.
공공시설	18.0	0.10	50.0	3.
논	18.0	0.50	15.0	4.
밭	17.0	0.30	15.0	4.
비닐재배	25.0	0.02	10.0	5.
과수원	22.0	0.10	10.0	3.
기타재배	18.0	0.25	14.0	4.
활엽수	14.0	0.30	50.0	4.
침엽수	12.0	0.30	50.0	4.
혼효림	13.0	0.30	50.0	4.
초지	19.0	0.15	12.0	3.
골프장	19.0	0.15	12.0	3.
기타초지	19.0	0.15	12.0	3.
내륙습지	14.0	0.60	20.0	6.
연안습지	14.0	0.60	20.0	6.
채광지역	25.0	0.20	10.0	2.
나지	25.0	0.20	10.0	2.
내륙수	8.0	1.0	0.01	6.
해양수	8.0	1.0	0.01	6.

## 2. CSU-MM 기상모델의 열수지방정식

지구의 온실가스의 배출량의 변화가 도시

3) <http://landcover.usgs.gov/landcoverdata.php>

의 기온 등과 같은 기상적 측면의 영향을 분석하고자 기상모델인 CSU-MM 모델을 적용하여 분석을 하였다. CSU-MM모델은 운동량 방정식, 열보존방정식, 습기보존방정식, 비압축성 연속방정식, 정정상태 방정식 및 지표면에서의 열수지방정식을 기초로 하여 유도된 3차원 중규모 기상모델이다. 본 연구에서는 기상모델을 태양열로 인한 바다와 육지의 열적 특성의 차이와 지면의 거칠기 및 지형의 영향으로 발생되어지는 중규모의 기상현상을 수치 해석하는 목적에 이용되었다. 이 모델은 3차원 격자모델로 각 격자점마다 대기안정도에 따른 난류확산계수를 고려하여 풍향, 풍속, 기압, 수증기의 혼합비, Planetary Boundary Layer (PBL) 등을 계산하고 시간적인 변화를 예측하게 된다.

### 2.1 CSU-MM 모델

본 연구에 적용한 모델은 CSU-MM (Colorado State University Mesoscale Model) 모델로서 Pielke<sup>4)</sup>에 의해 Florida 해안의 해륙풍 해석에 이용되었고, 이후에 이태리 Barbados 지역과 북부 독일의 해안지역의 국지적인 기상현상을 분석하기 위해 적용되었다. 최근에는 이 모델에서 예측된 기상자료에 대기오염확산모델을 연결하여 중거리 대기오염확산 분석에 많이 적용되었다. Segal<sup>5)</sup> 등에 의해 실제 지역 Greater Chesapeake Bay에 적용되었다. 또한 남부 Florida 지역에서 약 100km 쯤 떨어진 주위의 대규모 발전소들이 자연공원에 주는 영향을 분석하기 위하여 Segal et al.<sup>6)</sup>는 중거리 이동과 SO<sub>2</sub> 농도 예측을 위해

4) Pielke, R. A., A three - dimensional numerical model of the seabreeze over south Florida, Mon. Weather Review, 1974, pp. 115 ~ 139.

5) Segal, M., McNider, R. T., Pielke, R. A. and McDougal, D. S., A numerical model study of regional air pollution meteorology of the Greater Chesapeake Bay area - summer day case study, Atmos. Environment, 1982, pp. 1382 ~ 1397.

6) Segal, M., Pielke, R. A., Arritt, R. W., Moran,

이 모델을 적용하여 영향을 분석해 보았다. 그리고 중간규모의 대기의 순환현상이 대기 오염확산에 미치는 영향을 분석하기 위하여 Robinsohn et al.<sup>7)</sup> 에 의해 이스라엘 남부 해안 지역에 적용되었다. 본 연구에 적용한 기상모델이 이상의 연구들을 통하여 중규모 지역을 대상으로 한 연구에서 기상요소의 예측 능력이 충분히 인정이 되었다 할 것이다.

### 2.2 열수지 방정식

열수지방정식에는 단과장과 장과장의 태양광선에 의한 열이동, 지면에서의 열전달, 습기의 기화 또는 응축열, 난류에 의한 열이동 그리고 지면에서의 복사열이 고려되었으며, 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_s + R_l - \rho L u_a q_a - \rho C_p u_a \theta_a - \rho_s C_s K_s \frac{\partial T_s}{\partial z} / \epsilon - \sigma T_g^4 = 0 \quad (1)$$

지면에 도달하는 태양광선의 세기와 일조 시간은 위도( $\phi$ ), 천정각( $\delta$ )와 일중 시간의 변화( $\tau$ )에 의하여 결정되며 다음 식에 의해 나타낼 수 있다.

$$\cos \theta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \tau \quad (2)$$

여기서  $S_0$ 는 태양상수 ( $1351.76 \text{ W/m}^2$ ) 이며 태양고도와 천정각은 다음 식들로 구할 수 있다.

M. D., Yu, C. H. and Henderson, D., Application of a Mesoscale atmospheric dispersion modeling system to the estimation of sulfur dioxide concentrations from major elevated sources in southern Florida", Atmos. Environment, 1988, pp. 1319 ~ 1334.

7) Robinsohn, J., Mahrer, Y. und Wakshal, E., The effects of mesoscale circulation on the dispersion of pollutants ( $\text{SO}_2$ ) in the eastern Mediterranean - southern coastal plain of Israel, Atmos. Environment, 1992, pp. 271 ~ 277.

$$\tau = \frac{2\pi}{24} (t - t_0) \quad (3)$$

$$\sin \delta = \sin \delta_0 \cos \epsilon + \cos \delta_0 \sin \epsilon \sin \tau \quad (4)$$

$$\tau = \frac{2\pi}{24} (t - t_0) \quad (5)$$

여기서  $\epsilon$  는  $23.5^\circ$  이고,  $dd$  는 춘분 이후 경과한 일수이며, 태양시 남중시간을 고려하여 구한다.

### 2.3 에너지 소비에 따른 온실가스 배출량

환경관리공단<sup>8)</sup>의 지자체 온실가스 배출량 산정지침에서 2006 IPCC 가이드라인을 이용한 간접배출계수를 적용하여 에너지 소비에 따른 온실가스의 저감량을 산정 하였다.<sup>8)</sup> 본 연구에서는 전력 및 열을 공급받아 사용하는 경우 사용원별로 구분하였고 연구대상 지역인 시흥시와 안산시의 전력 사용량 자료를 이용하여 온실가스 배출량산정을 하였다.

$$\text{배출량}(\text{ton-CO}_2/\text{년}) = \sum (\text{전력소비량}(\text{MWh}/\text{년}) \times \text{온실가스배출원단위}(\text{CO}_2/\text{MWh})) \quad (6)$$

$$\text{이산화탄소} : 0.464\text{kg-CO}_2/\text{MWh}$$

### 3. 지표면 알베도 변화에 따른 온도 변화

지표면 특성의 차이는 비열, 지면으로의 열전도의 차이 등이 복합적으로 작용하며, 지표면 반사능인 알베도의 값이 변화는 결국 지표면 및 대기의 온도 차이를 나타내게 된다. 구체적으로 대상지역을 시화반월 산업단지<sup>8)</sup>에 적용하여 연구를 수행하였다. 나아가 이 지역의 지표면 반사능 변화에 따른 에너지 저감을 통한 온실가스 배출량 저감 효과에 대

8) 환경관리공단, 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories 적용을 위한 지자체 온실가스 배출량산정지침, 2009. 11.

한 결과를 분석하였다.

### 3.1 지표면 온도 및 대기의 온도

본 연구에서는 시흥안산지역의 지표면의 알베도 증가에 따른 기온과 지표면온도의 변화를 수치 모의하여 분석하였다. 다음의 그림1.과 그림2.는 공단 내 지점의 2009년 5월 4일의 수치 모의 결과를 나타내었다. 결과를 분석하면 알베도의 값이 증가할수록 지표면에서의 반사량이 증가하여 지표면의 온도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 알베도 증가에 따른 지표면 온도의 저감효과와 대기기온의 저감효과를 그래프에 나타내었고, 이를 분석하면 2009년 5월 4일의 경우에 적용하면 일평균기온은 수치모의 결과 알베도가 5%, 10%, 15%, 20% 증가 시에 각각 약  $-0.16^{\circ}\text{C}$ ,  $-0.51^{\circ}\text{C}$ ,  $-0.57^{\circ}\text{C}$ ,  $-0.66^{\circ}\text{C}$ 의 대기온도의 저감현상을 알 수 있었다. 이러한 결과는 윤용한이 약18ha 정도의 공원지역을 대상으로 시가 주변지의 식재지, 초지 및 나지의 지표면 특성에 따른 오후 2시 내외의 일 중 최고 기온을 분석하여 공원내 토지피복현황에 따른 기온의 변화를 실측하였다. 고온역인 나대지와 저온역인 식재지의 기온이 약  $1^{\circ}\text{C} \sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 의 차이를 실측을 통해 제시하였다.<sup>9)</sup> 이는 지표면 특성에 따른 기온의 차이가 약  $1^{\circ}\text{C}$  내외를 실측을 통해 보여 주고 있으며, 본 모델이 지표면 식재 특성에 따른 약 20%의 알베도의 증가 시 기온의  $0.66^{\circ}\text{C}$  감소하는 결과는 비교적 합리적인 기온차의 범위를 나타내는 것으로 사료된다. 또한 윤용한 등의 연구에서 녹피율이 10% 증가 시에 일최고기온은  $0.33^{\circ}\text{C} \sim 0.43^{\circ}\text{C}$ 의 기온저하가 있다고 제시하였고, 일최저기온은  $0.2^{\circ}\text{C} \sim 0.25^{\circ}\text{C}$ 의 기온의 저하를 보고하고 있다.<sup>10)</sup> 이결과 또한 녹피율과 밀접한 관계에 있는 알베도 값의 변화에 따른 기온차의 범위

9) 윤용한, 녹지의 토지피복현황과 식재층위구조가 미기상조절효과에 미치는 영향, 한국산림휴양학회지, 8권 1호, 2004. 1.

10) 윤용한, 김은일, 송태갑, 공원녹지가 기온저하에 미치는 영향, 한국조경학회지, 26권 2호, 1998.7.

가 본 연구 모델을 통한 온도차의 범위와 유사하다고 사료된다. 이현주 등은 RAMS 모델을 이용한 수치모의를 통해 도시지역을 대상으로 지표면의 알베도 값이 0.18에서 0.40으로 변화시킬 때 동래의 경우  $-0.70^{\circ}\text{C}$  그리고 부산지역의 경우  $-0.65^{\circ}\text{C}$ 를 보고하고 있다.<sup>11)</sup>

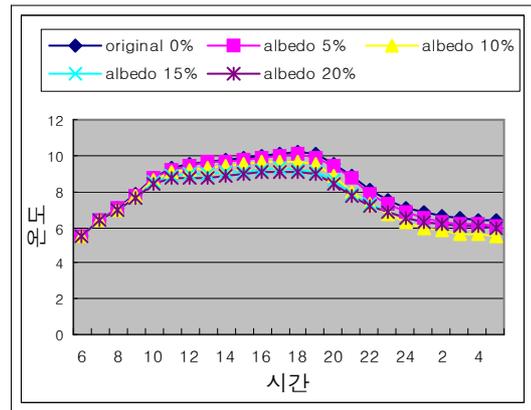
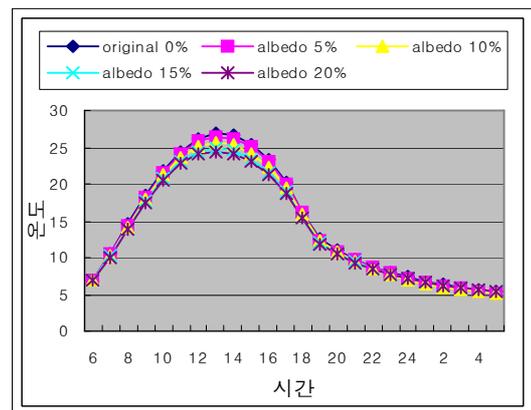


그림 1. 2009년 5월 4일 지면 반사율에 따른 대기의 온도 (공단 내 TMX:175, TMY:423)

이러한 연구 결과들과 비교해 볼 때 본 연구의 수치모의 결과인 알베도 값의 변화에 따른 일 평균온도가 최대  $-0.66^{\circ}\text{C}$ 의 온도차를 보인 것은 수치모의가 신뢰성 있는 결과를 도출한 것으로 사료된다.



11) 이현주, 이귀옥, 이순환, 이화운, 알베도 증가에 따른 도시기온 하강 효과에 관한 수치연구, 한국대기환경학회지, 24권 1호, 2008. 8.

그림 2. 2009년 5월 4일 지면 반사능에 따른 지표면의 온도  
(공단 내 TMX:175, TMY:423)

그림 3, 4에서 반월·시화공단지역을 포함한 수치모의 대상 지역의 일중 수평적인 지표면 온도장을 도시하였다. 오전 10시와 오후 1시의 지표면 온도장을 비교해 보면 공단이 놓인 중심지역과 주변의 녹지지역과의 지표면 온도경사가 훨씬 커진 것을 보여주고 있다. 구체적인 수치결과를 보면 오전 10시경의 지표면온도는 주변지역에 비하여 공단지역이 약 3 °C 정도 높았으며, 오후 1시경에는 도시지표면온도가 약 6.5 °C 높았으며 오후 6경까지 약 5 °C의 차이를 보여 공단지역이 주변지역에 비하여 현저하게 높은 지표면온도를 보여 주었다. 이는 바람속도의 감소로 열의 이류가 적은 점과 지표면 열 수지를 계산하기위한 식(2)에 포함된 지면의 습도 차이로 도시지역에서 잠열로 인한 열의 방출이 작은 점 그리고 지면특성에 따라 비열차이, 지면으로의 열전도도의 차이 등이 복합적으로 작용한 결과로 사료된다. 지표면의 알베도 증가로 인해 태양복사에너지의 반사율이 높아짐으로 지표면의 온도 그리고 대기의 온도는 저하되는 것으로 사료되며, 본 모델을 통해 지면피복 특성에 따른 지표면의 열적 특성을 합리적으로 수치모의하고 있다고 하겠다.

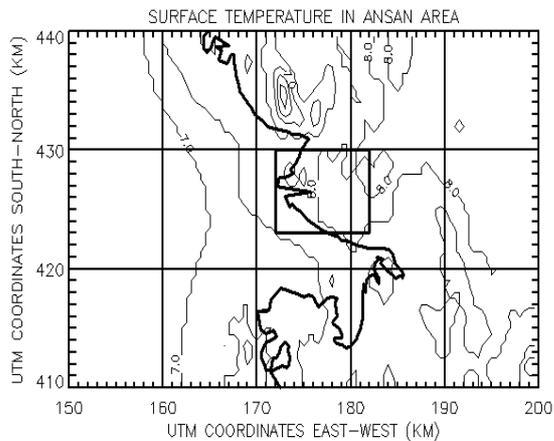


그림 3. 2009년 5월 4일 AM 10시의 대기 온도  
(굵은 선 상자 내가 공단지역을 나타냄)

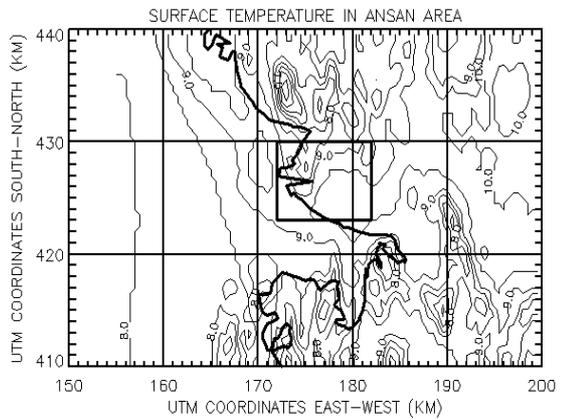


그림 4. 2009년 5월 4일 PM 1시의 대기 온도  
(굵은 선 상자 내가 공단지역을 나타냄)

조현길 등의 연구에서 콘크리트포장의 경우 태양복사를 더 많이 반사를 하지만 초지나 수목이 지니는 증발산량의 역할이 적어 표면의 온도가 일중 높은 것으로 보고되었다.<sup>12)</sup> 구체적으로 콘크리트포장의 경우 잔디에 비해 약 6 °C, 나지에 비하여 약 3.5 °C 각각 높은 것의 연구 결과를 나타내었다. 3장 1절의 비교한 바와 같이 기존 연구에서의 알베도에 따른 기온의 변화에 대한 결과는 본 모델의 수치모의 결과와 온도변화 범위에서 상당히 유사한 결과를 보여주고 있다. 지표면온도의 지표면 특성에 따른 온도차의 범위도 본 연구에서 이용한 모델로 수치모의한 온도차의 범위와 유사하게 나타나고 있다. 이는 본 연구에 적용한 모델이 비교적 합리적인 수치모의 결과를 도출하고 있다고 사료되며, 이 결과를 바탕으로 기온저감에 따른 여름철 냉방에너지 저감량의 신뢰성 있는 산정이 가능할 것으로 사료된다.

#### 4. 대기 온도 저감에 따른 에너지 절약

12) 조현길, 안태원, 도시녹지에 의한 미기후 개선에 관한 연구, 한국조경학회지, 27권 4호, 1999. 12.

녹지, 나지 및 인공구조물을 포함하는 지표면의 특성에 따른 알베도의 실제 측정값으로 아스팔트포장이 0.09로 가장 낮은 값을 백색벽면이 0.68로서 가장 높은 값을 조현길(1999)의 연구에서 제시하였다. 이러한 결과는 인공구조물 보다 잔디 및 수목 등이 더

많은 태양복사를 흡수하여 주변의 기온을 낮추는 것으로 사료된다. 또한 수목의 피복도가 12% 및 22%인 장소의 여름철 온도는 식생부재의 장소보다 각각 0.6 °C, 1.4 °C 더 낮다는 결과를 제시하였다.

표 2. 대기의 기온 저감에 따른 냉방에너지의 저감량 및 온실가스 배출저감량 산정

	original 0%	albedo 5%	albedo 10%	albedo 15%	albedo 20%
지표면 반사능 증가에 따른 기온차	0.00	-0.16	-0.51	-0.57	-0.66
냉방에너지 소비전력의 저감율	0.0%	-1.07%	-3.42%	-3.82%	-4.42%
냉방에너지 소비전력의 감소량 (안산시)	2,658,510 (MWh)	-28,446	-90,921	-101,555	-117,506
냉방에너지 소비전력의 감소량 (시흥시)	1,499,765 (MWh)	-16,047	-51,292	-57,291	-66,290
냉방에너지 소비전력의 총저감량	4,158,275 (MWh)	-44,493	-142,213	-158,846	-183,796
온실가스 감소량 (안산시)	(ton-CO <sub>2</sub> )	-13,199	-42,187	-47,122	-54,523
온실가스 감소량 (시흥시)	(ton-CO <sub>2</sub> )	-7,446	-23,799	-26,583	-30,759
총온실가스 저감량	(ton-CO <sub>2</sub> )	-20,645	-65,986	-73,705	-85,282

지표면 반사능의 변화에 따른 대기 온도를 낮추는 효과는 여름철의 냉방에너지 저감을 가져올 것으로 사료되며, Simpson의 연구에서 제시한 대기기온의 감소로 인한 에너지 저감량 산정 방법을 적용하여 상업적 또는 산업적인 에어컨 전력소비의 절감을 정량적으로 산정해 보고자 한다.<sup>13)</sup> Sacramento 지역을 대상으로 한 연구에서 수목녹지에 의한 온도 저감, 풍속의 증가에 따른 온도 저감 등의 다양한 요인을 고려하여 산업지역에서 1.0 °C의 대기 기온이 감소를 하면 여름철 에어컨의 사용을 줄여 가정용은 평균 6.5%, 상업적 에어컨 전력소비의 6.7%를 저감할 수 있다는 정량적 연구 결과를 보고한 바 있다.<sup>14)15)</sup>

그러므로 본 연구에서는 다음 식으로 냉방에너지의 저감량을 산정하였다.

$$\text{총냉방저감량} = \text{각 지자체별 냉방에너지사용량} \times \text{저감비율}$$

$$\text{저감비율} = \frac{\text{기온1도 저감에 따른 냉방에너지 저감량}}{\text{알베도 증가에 따른 온도저감}}$$

본 연구 대상지역인 시화·반월지역의 경우 상업 및 산업의 비중이 현저히 많은 특성으로 이 부분의 냉방에너지의 소비량은 지역의 특성상 차이가 있을 수 있지만 본 연구의 가정용과 상업용 냉방에너지의 저감량 산정에 적용이 가능한 방법으로 사료된다. 한국전력통계(2009)의 자료에는 전력의 사용량을 행정구역별, 용도별로 분류하여 놓았고, 단위지체의 전력 사용은 인구수를 고려하여 전력 사용량을 산정하였다. 본 연구에서는 냉난방 부문의 전력소비 저감을 계산하기 위하여 가정용, 공공용 그리고 서비스업 부문의 전력 사

conditioning energy caused by a near by park. Energy and Buildings 29, 1998, pp. 8392

13) Simpson, J. R., Urban forest impacts on regional conditioning energy use : Sacramento country case study, Journal of Arboriculture, 1998, pp. 224 ~ 234.  
14) McPherson, E, G., Sacramento's parking lot shading ordinance : environmental and economic costs of compliance, Landscape and Urban Planning, 2001, pp. 105 ~ 123.  
15) Ca, V.T., Aseada, T., Abu, E.M., Reduction in air

용량만을 대상으로 하였다. 산정결과 안산시 는 1년간 2,658,510 MWh, 시흥시는 1,499,765 MWh의 전력을 소비하였다. 본 연구에서는 기상모델의 수치모의 결과를 이용하여 지표면 알베도의 변화에 따른 이 지역의 여름철 냉방에너지 소비의 저감량을 산정하여 표 2. 에 나타내었다. 지표면의 알베도값의 5% ~ 20%로 증가 시에 냉방에너지의 저감량은 각각 44,493 ~ 183,796 MWh/년으로 산정이 되었다.

또한 냉방에너지의 전력소비저감을 통한 온실가스 CO<sub>2</sub>의 배출 감소량을 환경관리공단의 온실가스 배출량 산정지침에 따라서 2006 IPCC 가이드라인을 이용한 간접배출계수를 적용하여 산정을 한 결과 시흥과 안시시의 두 지자체에서 알베도값의 증가에 따라 20,645 ~ 85,282 ton/년으로 산정이 되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 기상모델 CSU-MM을 이용하여 산업단지 등에 지표면 특성의 변화로 인하여 녹지의 온실가스 배출에 미치는 영향 대하여 분석하였다. 지표면의 열적특성에 가장 영향이 큰 Albedo의 변화가 지표면 및 대기의 온도에 미치는 영향을 분석하였다. 녹지로의 이용을 확대하여 구체적으로 지표면 Albedo 값의 증가 시의 대기냉각효과를 비교 분석하여 이를 통하여 냉방 에너지소비량의 감소를 산정하였다. 나아가 이를 통한 CO<sub>2</sub>의 배출 저감량을 산정하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 2009년 5월 4일의 경우에 기상모델의 수치모의 결과 일평균기온은 알베도가 5%, 10%, 15%, 20% 증가 시에 각각 약 -0.16 °C, -0.51 °C, -0.57 °C, -0.66 °C 의 대기온도의 저감현상을 알 수 있었다.
- (2) 지표면 온도장을 비교해 보면 시흥·반월 공단이 놓인 중심지역과 주변의 녹지지

역과의 지면 온도경사가 훨씬 커진 것을 보여주고 있다. 구체적인 수치결과를 보면 오전 9시경의 지표면온도는 주변지역에 비하여 공단지역이 약 3 °C 정도 높았으며, 정오인 12 시경에는 도시지표면온도가 약 6.5 °C 높았으며 오후 6경까지 약 5 °C의 차이를 보여 공단지역이 주변지역에 비하여 현저하게 높은 지표면온도를 보여 주었다.

- (3) 지표면의 알베도값의 5% ~ 20%로 증가 시에 냉방에너지의 저감량은 각각 44,493 ~ 183,796 MWh/년으로 산정이 되었다.
- (4) 알베도값의 5% ~ 20%로 증가시킬 때 냉방 에너지의 소비저감을 통한 온실가스 CO<sub>2</sub>의 배출 감소량은 20,645 ~ 85,282 ton/년으로 산정이 되었다.

## 후 기

본 연구는 시흥환경기술개발센터의 2009년도 연구개발 사업비 지원 (과제번호: 09-1-40-41)에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 박주현, 환경경제학, 경문사, 2000
2. Taha, H., Urban climate and heat islands, albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat, Energy & Buildings, Special Issue on Urban Heat Island, 1997, pp. 99 ~ 103.
3. <http://landcover.usgs.gov/landcoverdata.php>
4. Pielke, R. A., A three-dimensional numerical model of the sea breezes over south Florida, Mon. Weather Review, 1974, pp. 115 ~ 139.
5. Segal, M., McNider, R. T., Pielke, R. A. and McDougal, D. S., A numerical model study of regional air pollution meteorology of the Greater Chesapeake Bay area - summer day case study, Atmos. Environment,

- 1982, pp. 1382 ~ 1397.
6. Segal, M., Pielke, R. A., Arritt, R. W., Moran, M. D., Yu, C. H. and Henderson, D., Application of a Mesoscale atmospheric dispersion modeling system to the estimation of sulfur dioxide concentrations from major elevated sources in southern Florida", Atmos. Environment, 1988, pp. 1319 ~ 1334.
  7. Robinsohn, J., Mahrer, Y. und Wakshal, E., The effects of mesoscale circulation on the dispersion of pollutants (SO<sub>2</sub>) in the eastern Mediterranean - southern coastal plain of Israel, Atmos. Environment, 1992, pp. 271 ~ 277.
  8. 환경관리공단, 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories 적용을 위한 지자체 온실가스 배출량산정지침, 2009. 11.
  9. 윤용한, 녹지의 토지피복현황과 식재층위 구조가 미기상조절효과에 미치는 영향, 한국산림휴양학회지, 8권 1호, 2004. 1.
  10. 윤용한, 김은일, 송태갑, 공원녹지가 기온저하에 미치는 영향, 한국조경학회지, 26권 2호, 1998.7.
  11. 이현주, 이귀옥, 이순환, 이화운, 알베도 증가에 따른 도시기온 하강효과에 관한 수치연구, 한국대기환경학회지, 24권 1호, 2008. 8.
  12. 조현길, 안태원, 도시녹지에 의한 미기후 개선에 관한 연구, 한국조경학회지, 27권 4호, 1999. 12.
  13. Simpson, J. R., Urban forest impacts on regional conditioning energy use : Sacramento country case study, Journal of Arboriculture, 1998, pp. 224 ~ 234.
  14. McPherson, E. G., Sacramento's parking lot shading ordinance : environmental and economic costs of compliance, Landscape and Urban Planning, 2001, pp. 105 ~ 123.
  15. Ca, V.T., Aseada, T., Abu, E.M., Reduction in air conditioning energy caused by a near by park. Energy and Buildings 29, 1998, pp. 8392