

고해상도 지표자료를 이용한 도시 열환경 완화효과 가능성에 관한 연구

이귀옥 · 이현주* · 이화운

부산대학교 지구환경시스템학부

*국립환경과학원 환경총량관리연구부 대기총량과

(2008년 9월 9일 접수; 2008년 12월 19일 수정; 2009년 2월 26일 채택)

Application of High Resolution Land Use Data on the Possibility to Mitigate Urban Thermal Environment

Kwi Ok Lee, Hyun-Ju Lee* and Hwa Woon Lee

Division of Earth Environment System, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**Environmental Cap System Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon 404-708, Korea*

(Manuscript received 9 September, 2008; revised 19 September, 2008; accepted 26 February, 2009)

Abstract

In recent years, the urban thermal environment has become worse, such as days on which the temperature goes above 30°C, sultry nights and heat stroke increase, due to the changes in terrestrial cover such as concrete and asphalt and increased anthropogenic heat emission accompanied by artificial structure. The land use type is an important determinant to near-surface air temperature. Due to these reasons we need to understand and improve the urban thermal environment. In this study, the fifth-generation Pennsylvania State University-National Center for Atmospheric Research Mesoscale Model(MM5) was applied to the metropolitan of Daegu area in order to investigate the influence of land cover changes and urban modifications increase of Albedo to the surface energy budget on the simulated near-surface air temperature and wind speed. The single urban category in existing 24-category U.S. Geological survey land cover classification used in MM5 was divided into 6 classes to account for heterogeneity of urban land cover. As a result of the numerical simulation intended for the metropolitan of Daegu assumed the increase of Albedo of roofs, buildings, or roads, the increase of Albedo (Cool scenario) can make decrease radiation effect of surface, so that it caused drops in ambient air temperature from 0.2 to 0.3 on the average during the daylight hours and smaller (or near-zero) decrease during the night. The Sensible heat flux and Wind velocity is decreased. Modeling studies suggest that increased surface albedo in urban area can reduce surface and air temperatures near the ground and affect related meteorological parameters such as winds, surface air temperature and sensible heat flux.

Key Words : High albedo materials, Cool scenario, Urban thermal environment, MM5

1. 서 론

도시화와 산업화는 인간 생활을 풍요롭게 하고
편리하게 만들었지만 부수적으로 지구 온난화와 환

경오염을 유발하였다. 특히 도시화에 따른 도시 지역의 도로 포장 및 건축물 증가와 같은 지표피복의 변화, 인공구조물에 의한 인공열의 발생과 도시로의 인구 집중에 의한 인구 증가와 같은 요인들에 의해 도시열섬과 같은 국지적인 기후변화가 유발되었다. 따라서 이러한 도시열섬을 완화하기 위해 다양한 방법들이 제시되고 있는데 대표적으로 인공열 방출을 감소시키자는 것과 지붕 녹화 산업과 도시 내 녹화사업 그리고 도시 구조물의 알베도 증가를 통해 도시 열섬을 완화하고자 하는 연구들이 주를 이루고 있다¹⁾.

미국립 로렌스 버클리연구소의 Rosenfeld 등²⁾에 의하면 자동차, 공장, 빌딩에서 나오는 열은 여름철의 도시열섬에 영향을 주는 온도의 1% 미만에 불과하며, 그것보다는 도시에서 어두운 빛깔의 표면(도로, 지붕 등)이 태양 에너지의 대부분을 흡수하여 도시 열섬을 유발한다고 주장했다. 이러한 문제를 개선하기 위해 주로 옥상 녹화사업과 도시내 녹화사업이 주를 이루고 있지만 옥상 녹화 사업은 방수대책과 건물의 강도 문제로 개수 공사를 필요로 하는 경우가 많고, 도시 지표면에는 높은 용적 비율로 인공구조물이 설치되어 있어 나무를 식재할 수 있는 공간이 매우 한정되어 있는 실정이다. 따라서 보다 현실적으로 쉽게 접근할 수 있는 방법이 도시 구조물의 알베도를 증가시켜 도시열섬을 완화할 수 있도록 하는 것인데, Taha³⁾는 도시의 시가지와 포장된 도로, 인공 구조물은 알베도가 낮아 많은 태양열을 받아들이고 많은 열을 저장하는 성질이 있기 때문에 지붕 및 도로 포장, 건물의 외벽을 밝은 색으로 교체하여 알베도를 높인다면 태양열 반사를 높이고 열 흡수를 줄여 도시 기온을 저감시킬 수 있다고 하였다.

이와 같이 현실적으로 쉽게 접근할 수 있는 알베도 증가를 이용한 도시 열환경 완화효과를 정량적으로 살펴보기 위해서는 지표면의 형태를 수치모델에서 제대로 표현해 주는 것이 중요한데 현재 도시 또는 국지규모의 모델에서는 대부분 미농무성에서 제공하고 있는 30초 지표피복 자료를 이용하여 도시지역을 하나의 urban category로 표현하여 수치모의함으로써 실제 도시 지역내의 다양한 토지 피복(상업, 공업, 주거, 교통지역 등)을 고려하지 못하여

정밀한 해석에 어려움이 따른다.

따라서 본 연구에서는 중규모 기상 모델인 MM5 (Mesoscale Meteorological Model)를 이용하여 환경부에서 제공하는 한반도 중분류 토지 피복자료를 이용한 최신의 고해상도 토지피복자료를 통해 급속한 도시화와 산업화로 인해 도시 열환경의 악화를 초래한 대구지방을 대상으로 도시 열환경을 정확히 수치모의하고자 하였으며, 알베도 변화에 의한 도시 열환경 개선효과를 정량적으로 살펴보고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 대상지역 및 모델의 구성

본 연구의 대상지역인 대구광역시와 한반도의 동남부에 위치한 영남내륙의 중심지로 우리나라 대표적인 분지형 도시이다. 도시 내 열 환경의 분포 및 상세 기상장에 초점을 맞추기 위해 지표면의 차등 가열과 지형이 주요 원인이 되어 발생하는 기상현상이 뚜렷했던 2004년 6월 24일을 수치모의 사례일로 선정하였다. 연구에 사용된 수치 모델은 펜실베이니아 주립대학과 미국 기상연구소가 공동으로 개발한 후 지속적으로 개선되어 세계적으로 연구 및 현업에 가장 많이 이용되고 있는 3차원 대기 역학 모델인 Penn State University(PSU)/National Center for Atmospheric Research(NCAR) Mesoscale Model로써 초기에는 중규모 기상 예측에 주로 사용되었으나 최근 중규모와 미기상 현상에도 적용가능하도록 되었다⁴⁾.

도시의 열환경을 정확히 수치모의 하기 위해 본 연구에서 사용된 물리과정 중 복사과정은 RRTM (Rapid Radiative Transfer Model) Longwave Scheme을 사용하여 수증기, 이산화탄소, 오존에 의한 상세한 흡수 스펙트럼 효과를 고려하였으며, 대기 경계층에 대한 물리과정은 현열, 잠열, 그리고 운동량에 대한 연직 플럭스를 계산하기 위해 비국지적 연직 확산을 고려하는 Eta PBL Scheme을 사용하였다. Explicit Moisture Scheme은 Dudhia scheme라고 잘 알려져 있는 simple iced Scheme을 사용하였으며, 지표면 물리 과정은 연직적으로 5개(1,2,4,8,16)층으로 결정하여 연직 확산 방정식을 통해 계산되어지는 온도를 사용하여 연직적으로 지표면 온도의 일변화를 빠르게 모의하는 Five-Layer soil scheme을 선택

하였다⁵⁾. 수치모의에 사용된 중규모 모델의 초기 및 경계입력 자료는 선정일의 3시간 단위 KMA RDAPS (Regional Data Analysis and Prediction System)를 사용하였으며, 지표 경계 입력 자료로는 3초 지형고도 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 대구지역을 중심으로 수치모의를 하기 위해서 경계조건 등으로 인한 계산 오차를 줄이기 위해서 대규모 영역부터 시작하여 관심 영역까지 계산하며 계산 영역 경계에서의 되먹임(feed-back)을 허용하는 쌍방 격자계(two-way interacting nested grid system)를 이용하였으며, 두 번의 nesting으로 9 km, 3 km, 1 km의 분해능으로 구성하였으며(Fig. 1), 연직층은 33개의 층으로 구성하였다.

또한 본 연구에서는 Domain 3에 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복자료(MLU)를 MM5의 입력자료로 사용하고자 하였다. 환경부에서는 IRS 위성영상을 이용하여 대분류 분류항목에서 도시지역을 주거지역, 공업지역, 상업지역, 교통지역 등으로 분류, 총 23개 분류항목을 나타내었으며, 이러한 중분류

자료를 이용하여 도시지역을 주거지역, 상업지역, 공업지역, 혼합 도시지역, 교통지역으로 나누어 수치모의 하는 MLU case의 각 토지피복의 물리적 특성을 Table 1에 나타내었다. 각 토지 피복이 가지는 알베도(Albedo), 거칠기(Roughness length), 단위 용적당 지표면이 가지는 열적 관성(Thermal inertia), 수분가용량(Moisture availability)등의 물리적 특성을 고려하였다.

2.2. Cool Scenario 설계

본 연구에서는 다양한 지표면 피복 상태가 혼합되어진 도시의 알베도 변화에 의해 도시 열환경이 어느 정도 개선될 수 있으며, 도시 상층 기상장은 어떻게 변화되는지 살펴보기 위해 Cool scenario를 설계하였다. 중규모 모델인 MM5의 격자는 1 km x 1 km로 구성되어 있어 모델내 각 격자의 landuse는 30 m 격자 간격의 중분류 자료의 토지피복자료중 최대값을 대푯값으로 하여 지표면 상태를 표시한다. Table 2는 모델 내의 지표면 피복의 대푯값에 대한 중분류 토지피복 자료가 차지하는 비율을 나타내고

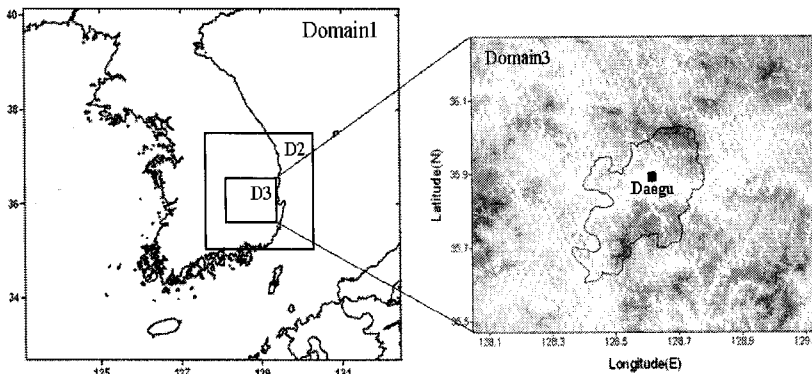


Fig. 1. Map depicting the three horizontal MM5 domains.

Table 1. Values of middle classification-related physical parameters (for summer conditions)

Vegetation integer identification	Vegetation description	Albedo(%)	Moisture avail.(%)	Emissivity (% at 9μm)	Roughness length(cm)	Thermal inertia (cal cm-2 k-1 s-1/2)
		Sum	Sum	Sum	Sum	Sum
Urban						
31	Residential	16	10	88	35	3
32	Industrial	15	8	88	50	3
33	Commercial	13	5	88	100	3
34	Mixed urban	15	5	88	35	3
36	Transportational area	13	5	88	50	3

Table 2. Percentages of built-up surface types for urban categories of MM5 land use

Middle classification MM5 Land use	Residential	Industrial	Commercial	Public institution	Transportation	The rest
Residential	46%	3%	7%	4%	7%	33%
Industrial	6%	50%	2%	2%	7%	33%
Commercial	27%	1%	43%	4%	10%	15%
Mixed urban	6%	-	-	30%	10%	54%
Transportation	-	-	-	-	-	-

있다. 모델 내에 1 km×1 km의 격자에서 Residential로 표현되는 지표피복은 환경부에서 제공하는 중분류 토지 피복자료를 이용하면 46%의 주거지역과 3%의 공업지역, 7%의 상업지역, 4%의 공공시설, 7%교통지역, 33%의 기타 영역으로 구성되어 있으며, Industrial은 6%의 주거지역, 50%의 공업지역, 2%의 상업지역, 2%의 공공시설지역, 7%의 교통지역과 33%의 기타 영역으로 구성되어 있다.

일반적으로 주거지역은 주거를 목적으로 하며 단독주택, 아파트 단지 등이 이에 속하며, Cool roof의 사용으로 알베도 증가를 강요하기에는 사회적 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 Prado and Ferrera⁶⁾에 의해 실제 재료별로 관측된 값을 참고로 하여 Cooling Roofing 기술을 이용하여 공업지역, 상업지역, 공공시설 지역 내의 신규나 재건축되는 건축물의 반사율 개선과 기존 구조물에 대한 반사율 개선을 통해 알베도를 0.5로 증가할 것을 가정하였다. 또한 교통지역은 Cooling Paving 기술을 이용하여 기능적이고, 환경적 특성에 따른 도로 포장 재료의 개선을 통하여 알베도를 0.3으로 증가할 것으로 가정하였다. 이에 따라 0.16의 Residential의 알베도는 0.21로 증가하며, Industrial은 0.15에서 0.24로, Commercial은 0.13에서 0.32로 증가할 것으로 가정하였다(Table 3). Commercial은 많은 빌딩과 교통지

역으로 구성되어 있어 Cool scenario를 가정하였을 때 가장 높은 알베도 변화가 나타났다. 본 연구의 Cool scenario 설계에 사용된 Cool Roofing과 Cool Paving은 미국이나 유럽 등의 선진국의 여러 나라에서 개발되어 사용되고 있는 기술로 태양복사를 직접 접하게 되는 도로 포장이나 건물외벽의 알베도의 변화를 이용하여 도시 기온 상승을 저감하기 위한 기술이다. 표면에 특수한 도료를 사용하여 햇빛으로 인한 적외선 영역을 반사시켜 표면에서의 열에너지 흡수를 억제시키는 원리이다. 현재 많이 사용되고 있는 제품과 특성을 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

MLU의 사용으로 생기는 이러한 온도장 변화의 신뢰성을 검증하기 위해 관측값과의 오차(error)정도를 살펴보기 위해 통계적 분석 방법을 이용하였다. 분석에 사용된 관측 자료지점은 대구광역시 내에 위치하여 MLU에서 도시 카테고리 세분화되어 나타난 대구 기상대 지점과 남구, 서구의 두 AWS의 관측값을 중심으로 통계적 검증 방법이 이루어졌다. Root Mean Squared Error(이하 RMSE)는 표준 편차와 비슷한 의미로 모델로 예측된 값이 실제 관측값과 평균적으로 얼마 정도의 차이(error)를 보이는가를 나타내는 것으로 그 값이 작을수록 모델의 해석능력이 높은 것을 의미한다. Willmott⁷⁾에 의해 제안되어진 Index of Agreement(이하 IOA)는 관측값과 예측된 값과의 일치도를 나타내는 것으로 0.0~1.0 값을 가지고 1.0일 때 두 값 사이의 완벽한 일치도를 보이는 것으로 0.7이상이면 유효한 값으로 여겨진다. 각각의 지수를 구하는 식은 아래에 제시하였다.

Table 3. Cool scenario for albedo

	Base case albedo	Cool scenario albedo
Residential	0.16	0.21
Industrial	0.15	0.24
Commercial	0.13	0.32
Amusement	0.15	0.27
Transportation	0.13	-
Public facilities	0.15	-

Table 4. Cool roofing technologies

Cool roofing technology	Uses	Solar reflectance	Emissivity	Lifecycle
Liquid applied coatings				
White	Coating	75-80%	0.87	5-10 years
Colors	Coating	25-65%	0.87	5-10 years
Aluminum-asphalt	Coating	50%	0.40	5-10 years
Prefabricated membranes				
Single-ply(white)	New construction/Reroofing	75-80%	0.80	8-15 years
Modified bitumen	New construction/Reroofing	25%	0.80	15-20year
Metallic foil/white	New construction/Reroofing	85%		
Metal panel roof systems				
Metal panel system(white)	New construction/Reroofing	50%	0.60	15-25 years
Specialty products systems				
Clay tiles (white)	New construction	40%	0.85	20-30 years
Concrete tile (white)	New construction	40%	0.85	20 years
Metallic tile (white)	New construction	40%	0.65	20 years

Table 5. Cool paving technologies

Cool paving technology	Uses	Solar Reflectance	Lifecycle
Cement concrete			
Cool concrete	New construction	New:35-48% Old:25-35%	15-35 years
White topping	New/resurfacing		10-15 years
Porous concrete	New construction	30-40%	15-20 years
Concrete pavers	New construction (not for heavy traffic)	30%	10-15 years
Asphalt concrete			
Cool asphalt White aggregate	New construction/Reroofing	10-15%	7-10 years
Cool asphalt White aggregate or Light colors	Resurfacing/Maint. Chip seal Asphalt emulsion Surface coating	20% 15% 15%	5-7 years 3-5 years 3-7 years
Open graded asphalt	New construction	10%	7-10 years

$$RMSE = \sqrt{[|P_i - O_i|^2]}$$

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - \bar{P}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

P_i : Prediction

O_i : Observation

\bar{P} : Averaged prediction

\bar{O} : Averaged observation

Fig. 2에서 보여지는 바와 같이 기온에 있어서 중 규모 지표피복 자료를 이용한 경우 대기상대와 남구 서구에서 IOA의 값이 0.997로 높은 일치도를 보여주었으며, RMSE도 2.11로 관측값과의 표준편차가 작게 나타났다.

도시 지역의 알베도 변화가 지표 온도장에 미치는 영향을 살펴 보기 위해 주거, 공업, 상업, 복합도시지역의 알베도를 0.21, 0.24, 0.32, 0.27로 증가시켜

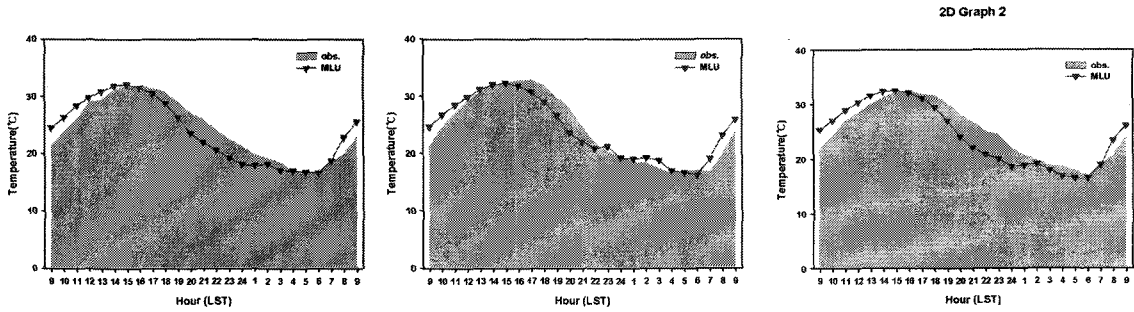


Fig. 2. Comparison of surface air temperatures at Daegu M.A.(a), Namgu(b) and Seogu(c).

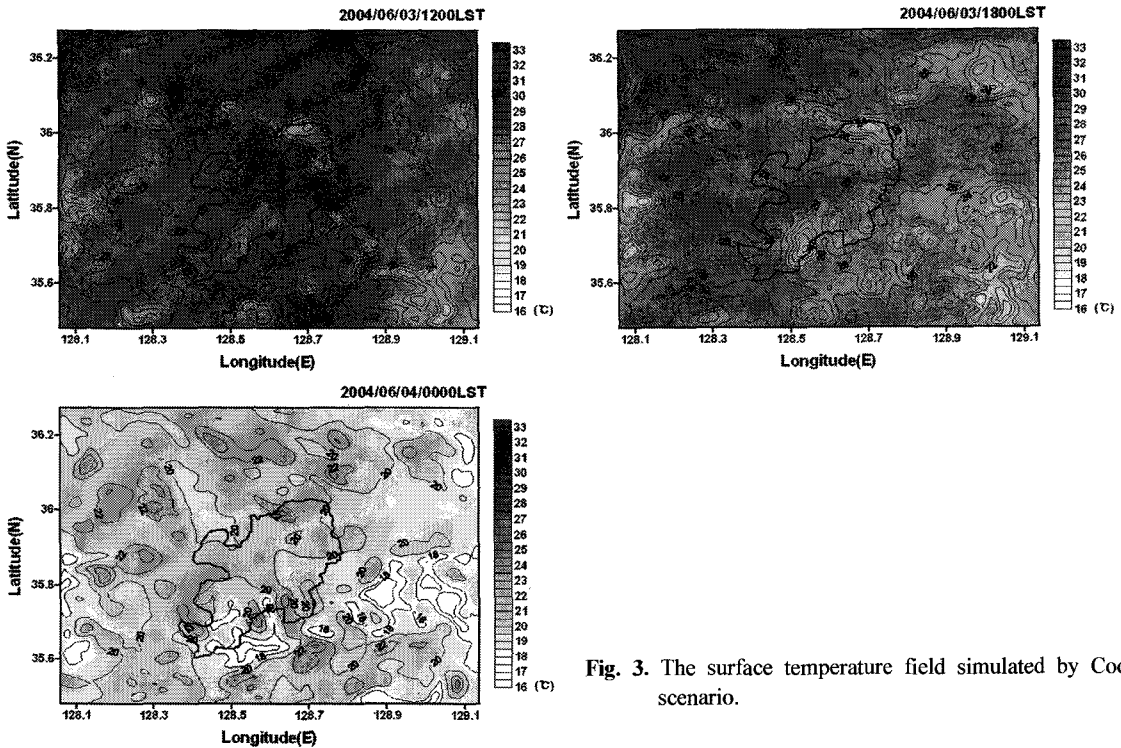


Fig. 3. The surface temperature field simulated by Cool scenario.

수치모의를 수행한 결과의 수평 온도장을 Fig. 3에 나타내었다. 1200 LST와 1800 LST에 Base case로 선택한 MLU수치모의와 비교했을 때 도시 중심부에 형성되어 있던 고온역이 나타나는 영역이 줄어들었고 고온역의 반경 또한 줄어들었다. MLU를 사용한 Base case와의 수평 온도장의 차이를 Fig. 4에 나타내었다. 태양 복사 에너지가 강한 낮시간대(1200 LST)에 큰 차이를 보이는데 이것은 도시 지역내의 알베도 변화로 햇빛을 효율적으로 반사하여 0.2~0.4 °C 정도의 기온차를 보인 것이다.

1800 LST에서는 Base case와 Cool scenario의 온도장이 도시 지역에서 약간의 차이를 나타내고 있으나 큰 차이는 나타나지 않았다. 이 시간대는 대구의 동쪽에서 유입되는 기류에 의해 도심지의 알베도 변화에 의한 기온 저감 효과가 바람에 의해 이루어져 나타나기 때문에 도심지에서는 알베도 변화에 의한 기온 저감효과가 작은 것으로 보인다. 따라서 지표면의 알베도 변화를 통해 변화된 지역 뿐만 아니라 그 주변지역의 온도장에도 영향을 미칠 수 있고 또한 이것은 지역적인 환경에 영향을 미칠 수 있

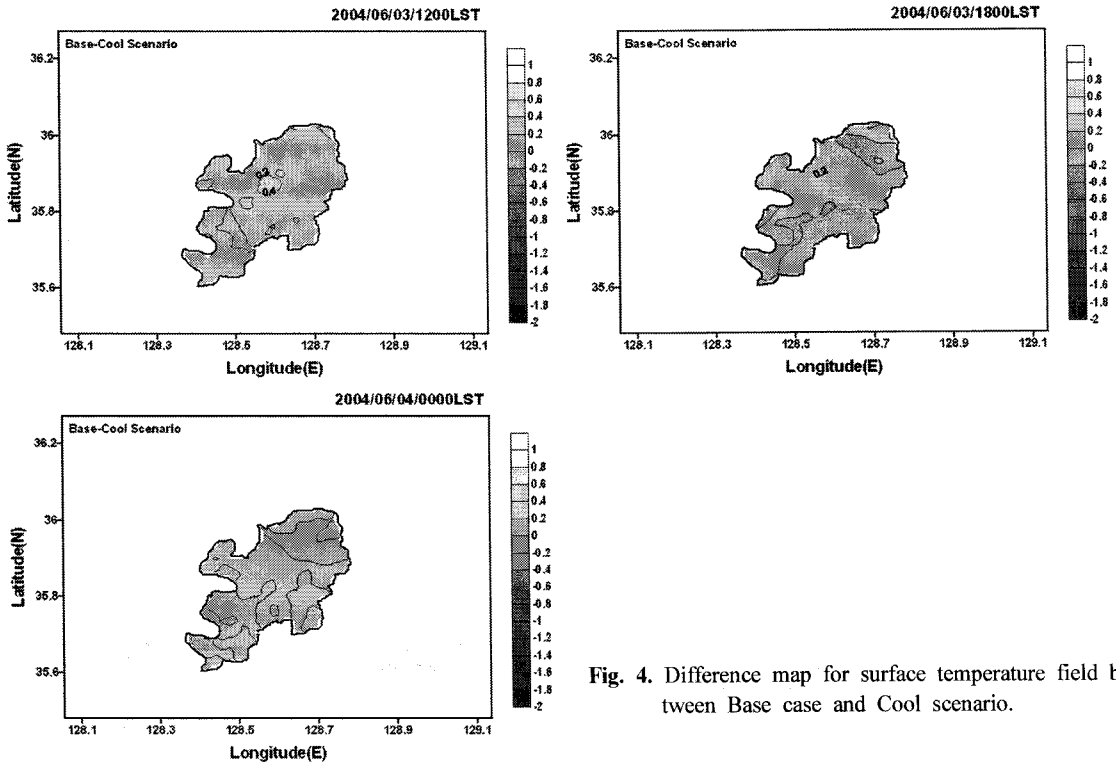


Fig. 4. Difference map for surface temperature field between Base case and Cool scenario.

다는 것을 말한다.

0000 LST의 야간의 경우 태양의 단파 복사의 영향이 없기 때문에 도로, 교통 및 아스팔트, 건물의 외벽의 알베도증가에 의해서는 열수지의 변화에 영향을 미치지 못하기 때문에 Base case와 Cool scenario의 기온차는 거의 나타나지 않았다.

대구광역시 내에 위치한 대구기상대와 남구, 서구지점의 Base case와 Cool scenario 수치모의와의 온도 차이에 대한 일변화를 Fig. 5에 나타내었다. 일출이후 태양의 단파복사에 영향을 받기 시작하면서 지표면의 알베도 변화가 열수지에 영향을 미쳐 0.4°C 정도의 큰 기온 차를 보인다. 일사가 강한 오후로 접어들면서 대구지역에서 나타나는 국지순환의 영향으로 대구의 동쪽에서 불어들어 오는 기류에 의해 도심지역의 알베도 증가에 의한 기온 저감의 영향은 조금씩 줄어들게 되며 일몰 이후 그 차는 거의 나타나지 않는다.

대구광역시 내에 위치한 세 지점 모두 Cool scenario에 의한 기온저감은 비슷한 패턴을 보이지만, 서구 지점에는 가장 큰 기온 저감효과를 보이는 것

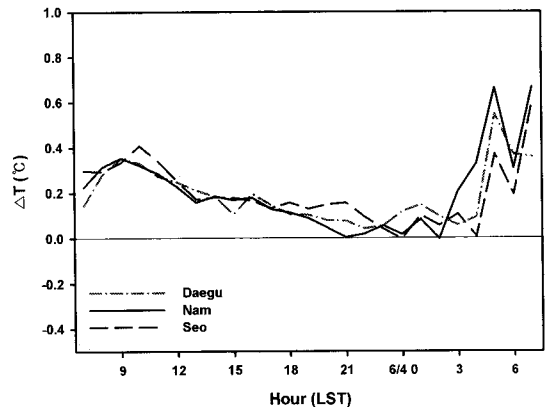


Fig. 5. Diurnal variation of difference between Base case and Cool scenario.

으로 나타났다. 서구지점의 경우 풍하측에 위치하여 지표면 알베도 변화에 의한 기온 저감 효과와 함께 풍상측의 기온 저감 효과가 이루어져 그 효과가 더해졌기 때문인 것으로 보인다.

지표면의 알베도변화에 따른 바람장의 변화를 나타내기 위하여 Fig. 6에 Cool scenario 수치모의의 바

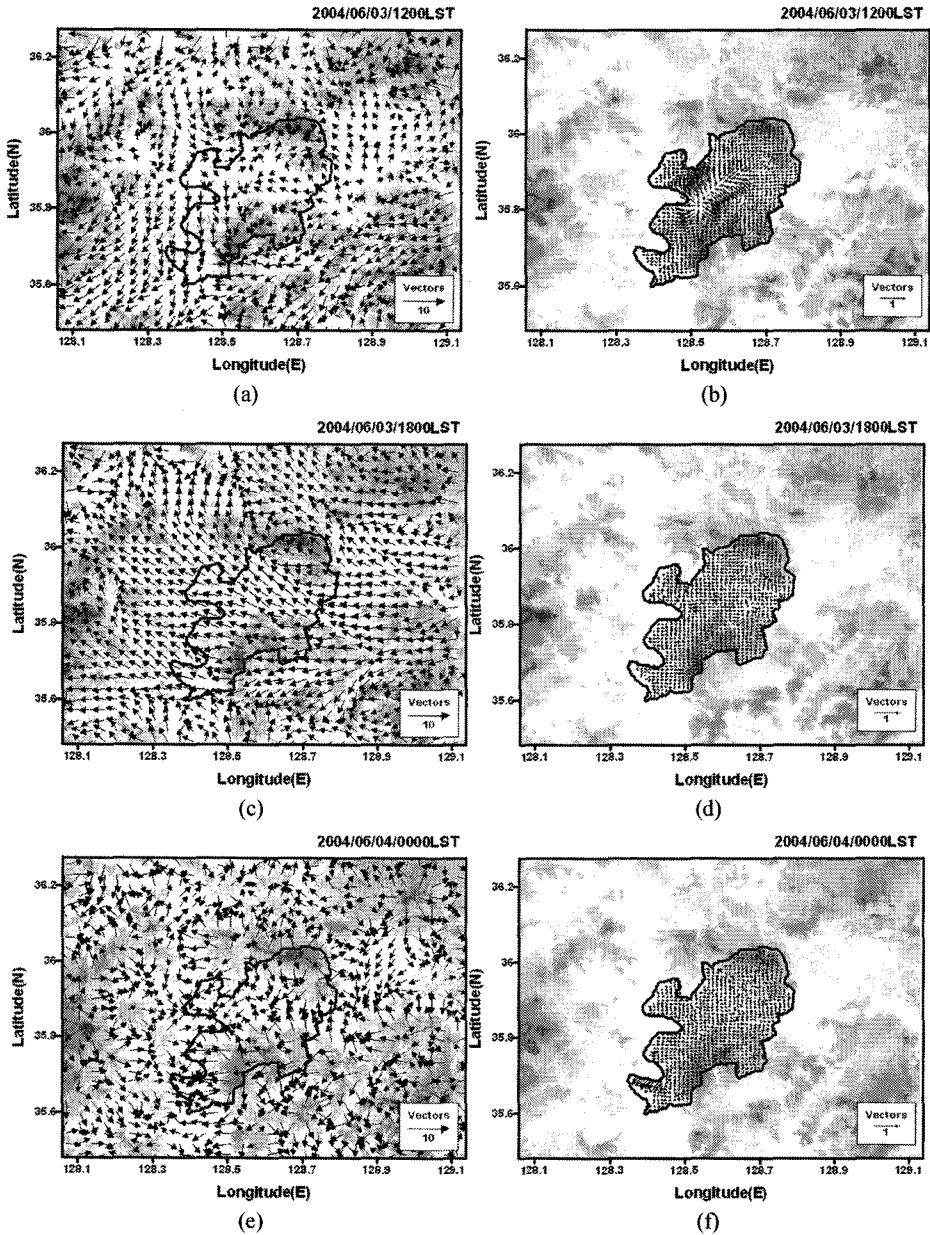


Fig. 6. The surface wind field simulated by Cool Scenario(a, c, e) and difference map for wind field between Base case and Cool scenario.

람장과 Base case와 Cool scenario의 바람장의 동서 성분과 남북성분의 차를 나타내었다. Fig. 7는 Base case와 Cool scenario에 대한 수평 풍속의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 Cool scenario에 의한 바람장의 변화는 거의 나타나지 않았다. 1200 LST에는

태양복사가 가장 강하여 지표면의 알베도 변화에 의해 열수지의 변화를 가져와 이로 인해 바람의 1 m/s 미만의 변화가 나타났다. 특히 큰 알베도를 변화시킨 공업지역에서는 큰 온도 저감효과로 발산하는 모습을 나타내었다.

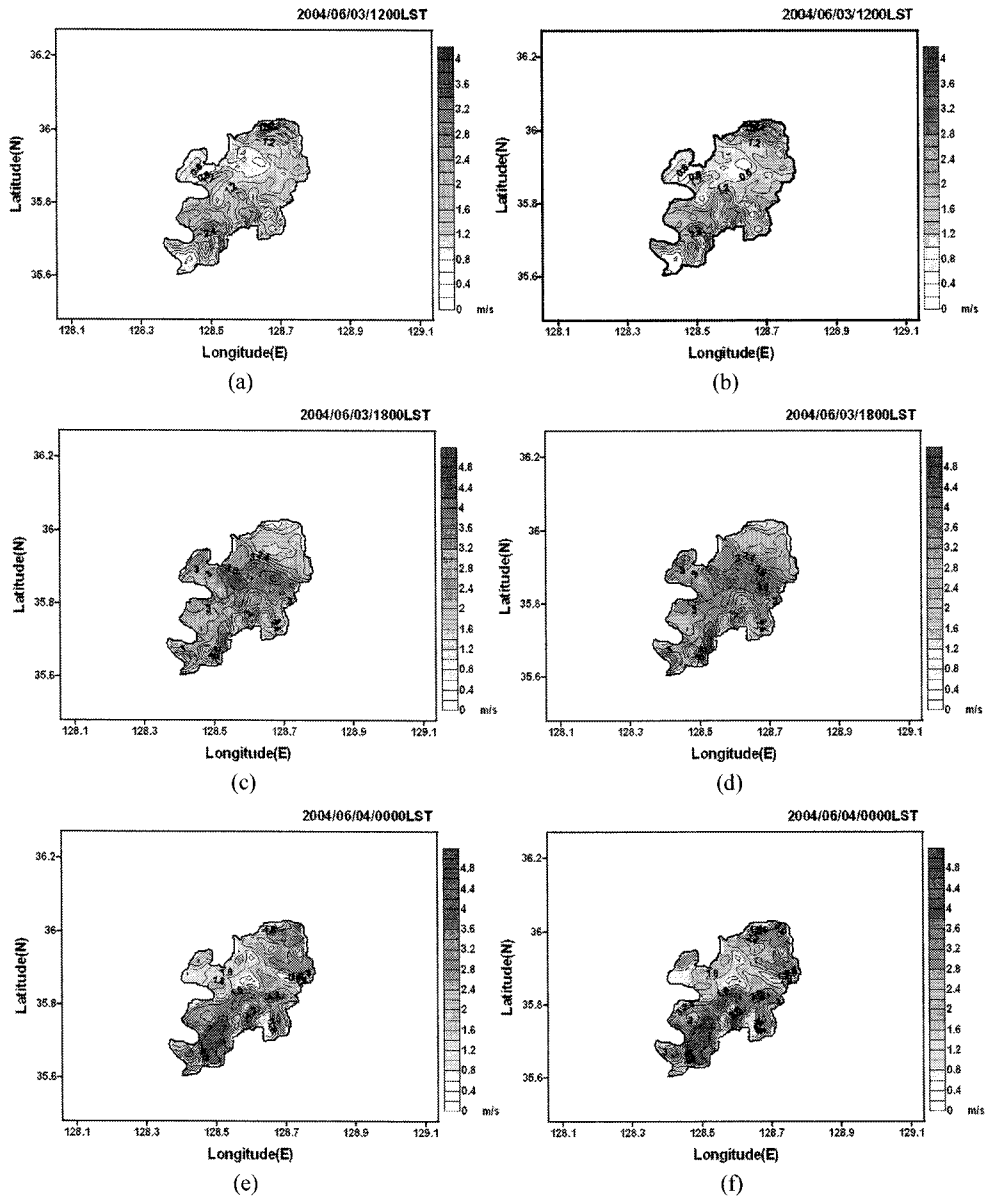


Fig. 7. The wind speed simulated by Base case(a, c, e) and Cool scenario(b, d, f).

1800 LST에는 대구지역의 지형적인 요인에 의한 동풍 계열의 강한 바람에 의해 지표면의 특성변화에 의한 바람장의 변화는 거의 나타나지 않는다. 그러나 미미하게나마 풍향의 변화를 관찰할 수 있다. 그리고 알베도의 변화가 태양복사가 없는 야간 시간대에 열수지 변화에 영향을 미치지 못함으로 인해 0000 LST에는 풍향의 변화만 관찰되었다.

지표면 알베도 조건 변화에 의해 전체적으로 비교적 약화된 풍속을 모사하고 있으나 도심의 경계를 중심으로 비교적 강화된 풍속대를 나타내고 있다. Cool scenario에 의한 지표면 알베도 증가는 지표면의 기온을 하강시켰으며, 이러한 지표면 기온 하강은 도시지역의 혼합층 성장을 저해하여 낮은 혼합층 고도를 가지게 되어 도심의 지표면 알베도 변

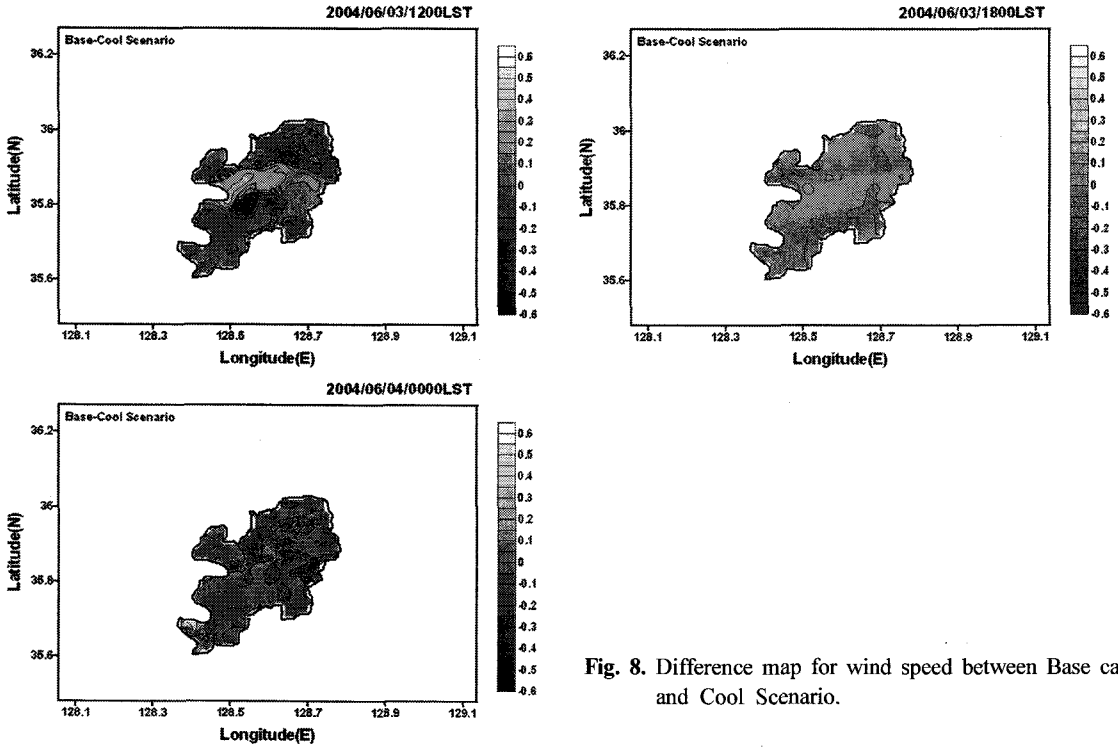


Fig. 8. Difference map for wind speed between Base case and Cool Scenario.

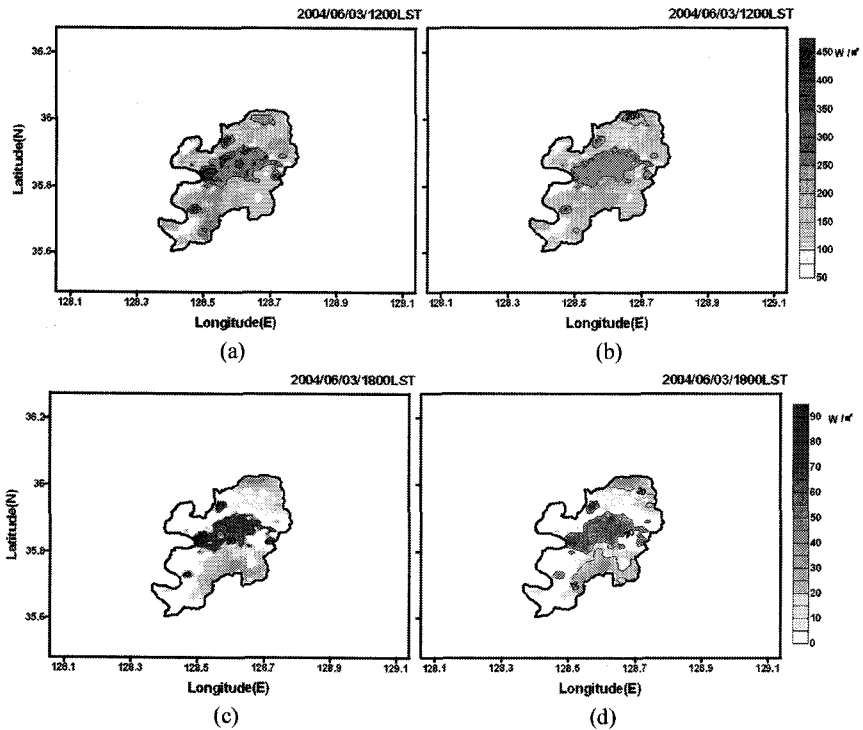


Fig. 9. Horizontal field of sensible heat flux for Base case(a, c) and Cool scenario(b, d).

화를 가한 지역에서 풍속이 약화된 모습을 보인다.

Fig. 9은 현열 플럭스의 분포를 나타내는 것으로 이를 먼저 정확히 정의하자면, 어떤 면을 지나는 현열 수송의 비율을 말한다. 예를 들면, 대기 중에 수평하게 높여진 단위 면적을 지나서 단위시간 동안에 연직 방향으로 수송되는 현열을 현열 플럭스라고 한다. 또한 전 지구 표면에서의 연평균 에너지 수지를 추정하면, 현열플럭스로서 연평균 대기로 태양복사(약 338 W/m²)의 약 5%를 지구 표면으로부터 대기 중에 방출하고, 숨은열 플럭스로는 약 24%를 방출하고 있다고 한다⁸⁾. Fig. 9에 나타난 현열 플럭스의 수평분포에서는 현열 플럭스의 양을 통해 지표면의 상태를 잘 모사하고 있는 것으로 보인다. 여기서 부호는 flux의 방향으로써 음의 부호는 지면에서 대기로의 상방향을 나타내며, 양의 부호는 대기에서 지표로의 하방향을 의미한다. 1200 LST에 MLU를 이용한 수치모의에서 대구의 서쪽에 위치한 공업지역과 중심의 상업지역은 높은 현열 플럭스를 가진다. 도시 내의 다양한 피복 상태를 잘 모사하고 있는 것으로 분석된다.

지표면 알베도 변화에 의한 현열 플럭스의 차를 Fig. 10에 나타내었다. Base case 수치모의에서 1200 LST에 대구 중심의 상업지역에서의 현열 플럭스가 350 W/m²를 나타내었으나 270 W/m²로 낮아졌으며, 알베도 변화의 지표면 물성치가 변한 지역에서 평균적으로 20 W/m²정도 현열 플럭스가 낮아졌다. 일몰이후 일사가 없어지면서 지표면이 서서히 냉각되면서 현열 플럭스의 양도 작아지고, 일사가 없어지면서 알베도 변화의 영향을 받지 않기에 야간에는 Base case와 Cool scenario의 현열의 차이는 거의 없다.

4. 결 론

본 연구는 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복 자료를 이용하여 국지규모의 대기유동장 수치모의에 도시지역내의 다양한 토지피복(주거, 상업, 공업, 교통, 공공시설, 위락시설)을 고려하여 대구지역의 도시 열환경을 정밀히 모사하고, 이를 바탕으로 열환경 개선을 위한 Cool-scenario 설계를 통해 도시

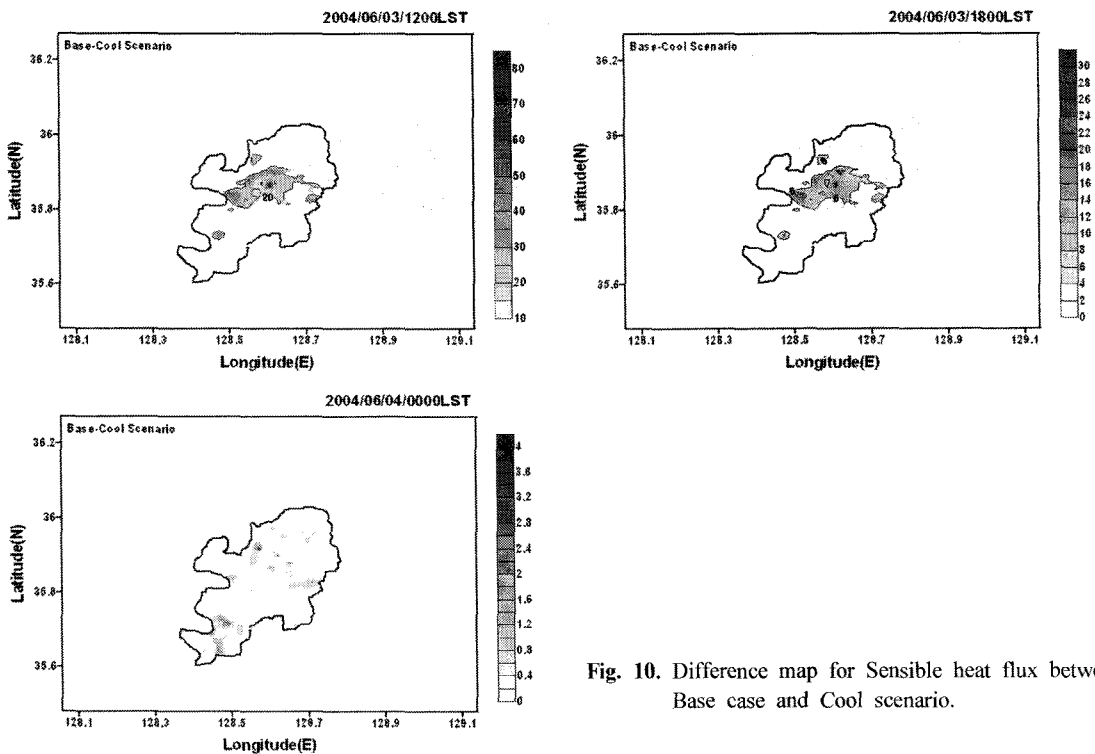


Fig. 10. Difference map for Sensible heat flux between Base case and Cool scenario.

열환경 완화 방법을 강구하고자 하였다. 도시 내 열환경의 분포 및 상세 기상장에 초점을 맞추기 위해 지표면의 차등 가열과 지형이 주요 원인이 되어 발생하는 기상현상이 뚜렷했던 2004년 6월 2-4일을 수치모의 사례일로 선정하였다.

환경부 중분류 토지 피복 자료를 이용하여 수치모의한 결과를 통계분석을 통해 살펴보았을 때 기온에서 IOA의 값이 0.997로 아주 잘 모의하였다. 그리고 중분류 토지피복자료를 이용하여 도시내의 지표면 알베도는 Cool Roofing과 Cool Paving 등의 기술에 의해 주거지역은 0.21, 공업지역, 상업지역, 복잡도시지역은 0.24, 0.32, 0.27로 증가시킬 수 있었다. 또한 이러한 도시 열환경 개선을 위한 Cool scenario 수치모의를 통해 풍속의 감소와, 현열의 감소와 일최고 기온을 0.2~0.4℃ 정도 완화시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 비록 수치모의의 수평 해상도에 의해 다소 평균화된 값으로 표현되어지기 때문에 그 변화가 다소 작게 표현되어지나 실제 지역적인 관측에 따르면 4~5℃ 이상의 효과가 보여진다. 따라서 앞으로 수평해상도가 1 Km미만의 미규모 모형을 이용하여 이러한 열환경 저감효과에 대해 수치모의 했을 경우 이러한 지역적인 기온 저감효과를 보다 상세히 살펴 볼 수 있을 것으로 기대된다. 또한 앞으로 도시화에 따른 도시 열섬 현상 등과 같은 도시 고온화와 관련된 여러 환경적 문제를 해결하기 위한 하나의 방법으로 제시할 수 있으며, 도시지역의 지표면 알베도 변화라고 하는

현실적으로 실현 가능한 방법을 통해 도시 열환경을 개선시킬 수 있을 것이라 생각된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-2205)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) Rizwan A. M., Dennis Y. C., Leung K. C., 2008, A Review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island, J. Environ. Sci., 20, 120-128.
- 2) Rosenfeld A. H., Akbari H. A., Romm J. J., Pomerants M., 1998, Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction, Ener. Build., 28, 51-62.
- 3) Taha H., 1997a, Urban climates and heat islands, albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat, Ener. Build., 25(2), 99-103.
- 4) Dudhia J., 1993, A nonhydrostatic version of the penn stat/NCAR mesoscale model : validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front, Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.
- 5) Dudhia J., 1996, A multi-layer soil temperature model for MM5, The Sixth PSU/NCAR Mesoscale Model Users' Workshop, 22-24, July 1996, Boulder, Colorado, 49-50.
- 6) Prado R. T. A., Ferreira F. L., 2005, Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials, Ener. Build., 37, 295-300.
- 7) Willmott C. J., 1981, On the validation of models, Phys. Geogra., 2, 168-194.
- 8) Oke T. R., 1987, Boundary Layer Climates, 2nd ed., Routledge, 435pp.