

**수도권지역에서 수치 토지피복지도 작성을 통한  
대기환경부문 활용사례 연구**  
- MM5내 기온 및 바람장의 민감도 분석과 식생분포에 기인한  
VOC 배출량 및 CO<sub>2</sub> 플럭스의 실시간 산정을 중심으로 -

**A Study on Examples Applicable to Numerical Land Cover  
Map Data for Atmospheric Environment Fields  
in the Metropolitan Area of Seoul**  
- Real Time Calculation of Biogenic CO<sub>2</sub> Flux and  
VOC Emission Due to a Geographical Distribution of  
Vegetable and Analysis on Sensitivity of  
Air Temperature and Wind Field within MM5 -

문운섭<sup>1)\*</sup> · 구윤서

<sup>1)</sup>한국교원대학교 환경교육과, 안양대학교 환경공학과  
(2006년 8월 16일 접수, 2006년 9월 16일 채택)

Yun-Seob Moon<sup>1)\*</sup> and Youn-Seo Koo

<sup>1)</sup>Department of Environmental Education, Korea National University of Education  
Department of Environmental Engineering, Anyang University

(Received 16 August 2006, accepted 16 September 2006)

### Abstract

Products developed in this research is a software which can transfer the type of shape (.shp) into the type of ascii using the land cover data and the topography data in the metropolitan area of Seoul. In addition, it can calculate the CO<sub>2</sub> flux according to distribution of plants within the land cover data. The CO<sub>2</sub> flux is calculated by the experimental equation which is compose of the meteorological parameters such as the solar radiation and the air temperature. The net flux was shown in about -19 ton/km<sup>2</sup> by removing CO<sub>2</sub> through the photosynthesis during daytime, and in 2 ton/km<sup>2</sup> by producing it through the respiration during nighttime on 10 August 2004, the maximum day of air temperature during the period of 3yr (2001 to 2004), in the metropolitan area of Seoul.

Spatial distribution of the air temperature and the wind field is simulated by substituting the middle classification of the land cover map data, upgraded by the Korean Ministry of Environment (KME), for the land-use data of the United States Geological Survey (USGS) within the Meteorological Mesoscale Model Version 5 (MM5) on 10 August 2006 in the metropolitan area of Seoul. Difference of the air temperature between both data was shown in

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)43-230-3769, E-mail : ysmoon@knue.ac.kr

the maximum range of  $-2^{\circ}\text{C}$  to  $2.9^{\circ}\text{C}$ , and the air temperature due to the land use data of KME was higher than that of USGS in average  $0.4^{\circ}\text{C}$ . Also, those of wind vectors were meanly lower than that of USGS in daytime and nighttime. Furthermore, the hourly time series of Volatile Organic Components (VOCs) is calculated by using the Biosphere Emission and Interaction System Version 2 (BEIS2) including the new land cover data and the meteorological parameters such as the air temperature and solar insolation. It is possible to calculate the concentration of ozone due to the biogenic emission of VOCs.

**Key words :** The land cover data,  $\text{CO}_2$  flux, Spatial distribution of the air temperature and the wind field, The biogenic emission of VOCs

## 1. 서 론

토지피복지도의 대기부분 활용은 미래의 도시계획에 의한 도시내 녹지공원 조성사업과 같은 지표면 토지이용의 변화에 따른 도시의 열환경 변화와 식생 분포에 따른 자연오염원과  $\text{CO}_2$  등의 발생량 등을 추정할 수 있다. 하지만 도시화 및 산업화에 따른 토지 이용도의 급변으로 이들의 정확한 예측은 쉽지가 않다. 다행히 한반도를 중심으로 최근 1 km 이하 상세 규모의 토지피복지도 작성뿐만 아니라 실시간 기상 및 대기질의 관측·수집이 가능하게 되었으므로 이들 자료를 활용한 대기오염물질 및 온실기체 등의 실시간 모델링 감시 시스템의 구축이 요구된다. 무엇보다도 한반도와 같이 복잡한 지형조건에서 토지피복의 변화에 따른 기온 및 바람장의 변화와 함께 식생분포도에 따른 실시간 자연배출량과  $\text{CO}_2$  플럭스 산정 등은 추후 예견되는 대기질 예보시스템 구축뿐만 아니라 지구온난화 물질 감시 시스템 구축에 필수적이다. 더구나 기상 및 대기질 모델링 등에 사용하고 있는 토지피복지도는 과거 10년 전에 사용하던 미국 USGS (United States Geological Survey) 자료에 의존하고 있는 실정이므로 최근 환경부에서 지리정보 시스템 (GIS, Geographic Information System)과 함께 구축한 중분류 토지피복지도의 이미지 자료를 고해상도 수치 토지피복지도 자료로 변환함으로써 대기환경부문에 직접 활용할 수 있도록 하는 것이 필요하다.

지표면 토지피복지도의 특성에 따른 도시의 열환경 변화는 선행연구를 통하여 잘 알려져 있는 편이다. Shashua-Bar and Hoffman (2000)은 도시지역에서

숲의 역할이 기온변동에 미치는 영향을 분석하였는데, 숲이 있는 지역이 없는 지역보다  $0.5^{\circ}\text{C}$  정도 낮게 나타나 토지피복이 도시기온변동에 중요한 인자임을 제시하였다. 우리나라에서는 이현영 (1995)이 서울지역 토지이용이 변화함에 따라 도시가 점차 건조화·온난화 추세를 보여 도시지역 열환경이 변하고 있음을 밝혔다. 최근에는 이러한 도시지역 토지피복 변화에 따른 도시 열환경 변화를 보다 세밀하게 파악하기 위해 국지규모의 수치모델링을 이용하여 접근하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다 (이순환 등, 2004; 이화운 등 2004, 2003; 김현구 등, 2003; 김유근 등, 2002, 2000; 홍정혜 등, 2000; Eliasson, 2000; Ichinose and Shimodozono, 1997; Kimura and Takahashi, 1991; Vukovich, 1980).

이에 비해, 지표면 토지피복지도내의 식생분포에 기인한 자연오염원의 배출량 산정은 국내의 경우 극히 제한적이다. 최근 국립환경과학원에서는 대기보전 정책지원시스템을 통하여 자연오염원에 의한 월평균 배출량 산정을 위하여 토지피복지도를 활용하고 있다 (국립환경연구원, 2003; 한국환경정책평가연구원, 2002). 하지만 국외의 경우, 미국 EPA (Environmental Protection Agency)에서는 지리정보시스템과 위성영상, 삼림과 농업 등의 데이터베이스인 BELD (Biogenic Emissions Landuse Database)를 구축하여 BEIS (Biogenic Emissions Industry System)란 자연오염원 배출량 산출 프로그램을 이용하여 자연오염원의 배출량을 실시간 추정하고 있으며 (Yarwood *et al.*, 2003), 유럽연합 (EU, European Union)의 핀란드, 스페인, 이탈리아 등도 SPARTACUS (System for Planning and Research in Towns and Coties for Urban Sustainability)란 사업에서  $100\text{ m} \times 100\text{ m}$  분해능의 토지

피복지도와 GIS의 공간정보 인자를 활용하여 대기 오염 및 소음의 모델링 연구를 수행한 바 있다. 또한 멕시코 Los Alamos 국립연구소의 에너지 및 환경 분석 그룹은 멕시코 내부와 주변의 대기질의 변화를 예측하기 위해 위성영상, 지도, 항공사진 등의 수치 토지피복지도를 이용한 지역 대기모형을 개발하였다 (한국환경정책평가연구원, 2002).

그리고 미국의 콜로라도 주립대학에서는 토지피복 지도내 자연식생 분포도를 이용한 육지의 CO<sub>2</sub> 배출량을 추정하였다(Denning *et al.*, 2003). 대기중의 온실 기체중 CO<sub>2</sub>가 지구온난화에 기여하는 정도가 약 55%로 알려지고 있으나 국지적인 규모의 생성/제거에 대한 정보는 매우 부족한 실정이다 (환경부, 2002). 국가간 CO<sub>2</sub> 수치 및 농도에 대한 정보는 IPCC (Intergovernment Panel for Climate Change) 보고서에 작성된 국가 인벤토리 또는 기상연구소 및 연세대학교의 에디공분산 기반 CO<sub>2</sub> 플럭스 타워관측(광릉지역)이나 안면도 및 제주도에서 실시간 GC (Gas Chromatography)관측 및 플라스크 샘플러 분석을 통하여 수집되고 있다. 최근 서울대학교 대기과학과에서는 중분류 토지피복지도를 활용하여 자연배출원을 고려한 CO<sub>2</sub> 플럭스(생성/제거)의 공간적 분포를 경인지역 (동경 126.2~127.4534°, 북위 37.0~37.99°)을 대상으로 3 km × 3 km 크기의 분해능으로 추정한다 (한국환경정책평가연구원, 2002).

따라서 본 연구에서는 환경부에서 작성한 최신의 한반도 중분류 토지피복지도 자료를 대기환경부문에 쉽게 활용할 수 있도록 다음의 연구를 수행코자 한다. 첫째, 수도권을 중심으로 상세규모 해상도의 토지피복지도의 수치자료를 작성하고, 동시에 자연 식생 분포에 따른 실시간 CO<sub>2</sub> 플럭스를 경험적으로 계산할 수 있는 소프트웨어(software)를 개발한다. 둘째, 기상청에서 기상예보모델로 사용중인 MM5 (Meteorological Mesoscale Model Version 5)내 USGS 자료를 새로 작성된 한반도 중분류 토지피복지도로 변환함으로써 변환 전후의 기온과 바람장의 민감도를 분석한다. 그리고 셋째, 한반도 토지피복지도내 식생분포 자료를 근거로 하여 자연오염원인 VOC (Volatile Organic Compound)의 실시간 산정법을 제시하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 토지피복지도의 대기환경부문 활용을 위한 이론적 고찰과 연구 방법

### 2.1 토지피복지도내 자연식생 분포에 기인한 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 플럭스 산정

본 연구에서는 CO<sub>2</sub> 플럭스산출 경험식을 국내 수치 중분류 토지피복지도 및 지형도 작성 software에 추가하여 시간별 일사량 및 온도를 입력파일로 하여 자연적 요인에 의한 CO<sub>2</sub> 플럭스를 추정할 수 있도록 한다.

중분류 토지피복지도 자료중, 농업지역, 산림지역 (침엽수림/활엽수림/혼효림), 초지에서의 CO<sub>2</sub> 플럭스는 다음의 경험식을 추정할 수 있다(Kondo *et al.*, 2001).

$$F_{CO_2} = -[bI/(1+aI)] + R \quad (1)$$

$$R = R_{10} \exp [309 [(1/(283.15 - T_0) - (1/(T - T_0)))] \quad (2)$$

여기서 F<sub>CO<sub>2</sub></sub>는 CO<sub>2</sub> 플럭스(mgCO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), I는 지표면일사량(J/sec, 경험식 또는 관측값), R은 생태계 호흡에 의한 CO<sub>2</sub> 플럭스 기여량(캐노피층 상부에서), R<sub>10</sub>은 기온 10°C에서의 R값(0.12364 mgCO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), T는 기온[K], 그리고 T<sub>0</sub>는 234.13°K이다. 그리고 상수 a, b는 표 1에서 처럼 중분류 토지피복형태에 따른 CO<sub>2</sub> 배출 변수를 나타낸다. 단 침엽수림의 배출 변수는 광릉에 위치한 온실가스 플럭스 타워에서 관측한 일사량과 기온값과, CO<sub>2</sub> 플럭스 자료를 이용하여 추정된 것이며, 이 중 a, R<sub>10</sub>, T<sub>0</sub>는 모든 캐노피에서 같은 값을 갖는다고 가정하고, 문헌을 이용하여 침엽수림 외 다른 생태계에 해당하는 파라미터를 추정된 것이다(한국환경정책평가연구원, 2002).

**Table 1. Coefficients of CO<sub>2</sub> flux based on type of the land cover in Eq. (1).**

Type of land cover	a (J <sup>-1</sup> sm <sup>2</sup> × 10 <sup>-4</sup> )	b (mgCO <sub>2</sub> J <sup>-1</sup> × 10 <sup>-3</sup> )
Agriculture	5.96	3.68
Dry land	5.96	4.76
Coniferous forest	5.96	3.02
Deciduous broadleaf forest	5.96	3.04
Mixed forest	5.96	2.02
Grassland	5.96	3.37

Data: Kondo *et al.* (2001).

기상청으로부터 측정되거나 예보된 일사량 및 기온의 시·공간적 데이터베이스로부터 상기 식 1과 2를 통하여 광합성 작용 및 호흡에 의한 연중, 월중, 일중 CO<sub>2</sub> 플럭스의 기여도를 경험적으로 산정할 수 있다.

**2.2 중규모기상모델(MM5)내 토지피복지도 변화에 따른 기온 및 바람장 수치모의**

토지피복지도의 변화에 따른 기온 및 바람장 변화를 수치모의 하기 위해 적용된 기상모델은 중규모기상모델인 MM5를 적용한다. MM5 모델은 미국 펜실베이니아 주립대학과 미국 국립 대기과학연구소가 공동으로 개발한 중규모기상모델로서, 현재 기상청에서 기상예보모델(30 km 및 5 km의 해상도)로 사용하고 있다. MM5 중규모기상모델은 시스마 좌표계로 쓰여진 비정수(non-hydrostatic)방정식계를 사용하며, Arakawa B격자망으로 구성되어 있다. 공간적으로 2차 중앙차분을 사용하며, 시간 적분방법은 반암시스킴(semi-implicit scheme) 및 시간 분리 스킴(time splitting scheme)을 사용한다. 또한 기상분석과 관측자료(중관 및 비중관)의 4차원자료동화(four-dimensional data assimilation, FDDA)가 가능하며, 다중격자방법으로 여러개의 연직적인 단방향, 양방향으로의 동지격자를 사용할 수 있으며, 미시적 물리학에 관련된 여러 가지 방법들을 선택적으로 사용 가능하게 되어 있다.

**2.2.1 중규모기상모델(MM5)내 토지피복지도의 변환방법**

대부분의 국내 기상 및 대기질모델내 토지피복지도 및 지형도는 미국 USGS(United States Geological Survey)에서 제공되는 자료를 사용하고 있다. 하지만 이들 자료는 과거 10년 전의 자료이므로 최신의 자료로 향상시킬 필요가 있다.

여름철 및 겨울철 한반도의 지표면 토지이용 특성을 표 2에 제시하였는데, 이것은 미국 USGS(United States Geological Survey)에서 제공하는 0.9 km 간격의 245의 등급별 지표면 특성자료와 현재 환경부에 개발한 국내 토지피복도의 대분류 및 중분류를 비교하여 나타낸 것이다. 따라서 기상 모델내 USGS 토지피복지도 자료를 고 분해능의 최신자료로 업그레이드하기 위해서는 대분류 토지피복지도 자료보다는

**Table 2. Classification of the land cover map between USGS (United States Geological Survey) and Korean Ministry of Environment (KME).**

Type of land cover map by USGS	Great classification by KME	Middle classification by KME
1. Urban	Urban land	Residential area Industrial area Business area Amusement facilities Traffic area Public facilities
2. Dryland crop pasture 3. Irrigation crop pasture 5. Crop/Grass mosaic 6. Crop/Wood mosaic	Agriculture	Dryland crop field Irrigation crop field House cultivation field Orchard Other cultivation field
11. Deciduous broadleaf forest 14. Evergreen needleleaf forest 15. Mixed Forest	Forest	Deciduous broadleaf forest Coniferous forest Mixed forest
7. Grassland	Grassland	Grassland Golf field Other grassland
17. Herb Wetland 18. Wooded wetland	Wetland	Inland Wetland Coastal Wetland
23. Bare ground	Bare ground	Mine area Other bare ground
16. Water Bodies	Water bodies	Inland water bodies Sea water bodies

중분류 이하의 상세자료를 사용하는 것이 요구된다.

그림 1은 수도권내 모델내 USGS 토지피복지도와 환경부 국내 토지피복지도를 1 km 분해능으로 비교하여 나타낸 것이다. 이와 같이 MM5내 USGS 토지피복자료와 환경부 수치 토지피복지도 사이에는 큰 차이가 발견되고 있으므로 그에 따른 기온 및 바람장의 변화를 수치모의하여 관측값과 함께 비교·분석할 필요가 있다.

MM5내 USGS 토지피복지도 대신 표 1에서 제시된 국내 중분류 토지피복지도를 대체하기 위해서는 국내 중분류 토지피복지도를 USGS의 분류코드로 변환을 하여야 한다. 국내 수치 중분류 토지피복지도 및 지형도 작성 소프트웨어를 통하여 USGS 분류코드로 변환된 위·경도별 수치 토지피복지도 자료는 MM5내 지형(TERRAIN) 전처리 과정의 소스코드인

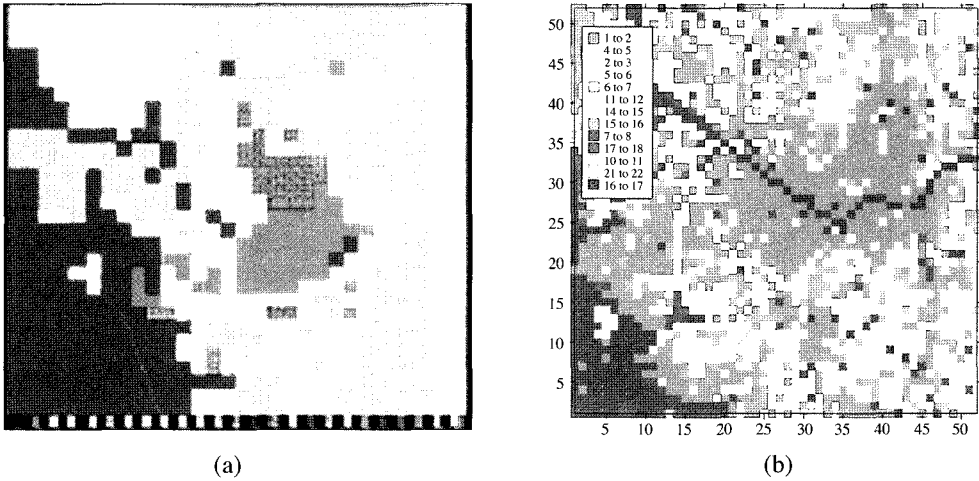


Fig. 1. Intercomparison of the land cover map between (a) USGS (United States Geological Survey) and (b) KME (Korean Ministry of Environment) in the metropolitan area of Seoul.

terdrv.f에서 입력파일(open문)로 처리하여 기존의 파일을 대체할 수 있다. 본 연구에서는 그림 1에서 제시된 1 km의 해상도를 가진 환경부 중분류 토지피복자료를 MM5내 토지피복자료로 변환한 후 기온 및 바람장에 대한 최하층 시그마 고도(약 36 m 고도)에서의 민감도를 분석하며, 동시에 지표면 토지피복지도의 변환에 따른 기온의 연직변화를 분석할 것이다.

2.2.2 MM5 모델링을 위한 초기, 경계 및 물리조건

MM5내 토지피복지도의 변환 전후에 대한 기온 및 바람장의 수치모의를 수행하기 위하여 수도권 지역의 경우는 연중 최고 온도 및 열대야 현상(야간 25°C 이상)을 보였던 2004년 8월 10일을 전후로 수치모의하고자 한다.

초기 입력값의 균형을 맞추기 위해서 24시간 초기화시간(spin-up time)을 두며, 모델링기간은 2004년 8월 8일부터 13일까지 5일간 수행한다. MM5 초기 및 경계 자료는 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)에서 제공하는 2.5°×2.5° GDAS (Global Data Assimilation System) 재분석 자료를 사용한다. 또한 수치모의 실험 영역은 한반도의 북위 37.8°, 동경 126.8°를 중심으로 27 km (D1: 82×82), 9 km (D2: 82×82), 3 km (D3: 82×82), 1 km (D4: 82×82)의 쌍방 등지격자 체계(2-way nesting)를 사용하며, 연직 격자로는 100 hPa를 상단으로 하는 17개

시그마 고도를 사용한다.

MM5의 모형 물리과정은 미세물리 모수화 방안으로 혼합상(Mix phase, Reisner *et al.*, 1998)을 적용하고, 적운 모수화 방법으로는 Kain-Fritsch (Kain and Fritsch, 1993)를 사용하며, 행성 경계층 모수화 방법으로는 MRF (Hong and Pan, 1996)를 사용한다. 복사 모수화 방안으로는 장파 복사의 경우 RRTM 복사 모수화 방안 (Mlawer *et al.*, 1997)을, 단파복사에 대해서는 단순법 (Dudhia, 1989)을 사용하고, 지면 모수화 과정은 5-층 열확산모델 (Chen and Dudhia, 2000)을 사용한다.

2.3 자연오염원에 의한 VOC 배출량 산정

국립환경연구원에서는 1999년부터 대기보전정책 수립지원시스템 구축 사업을 통하여 월평균 자연오염원에 기인한 휘발성유기화합물 (VOC)의 배출량 산정을 위하여 토지피복지도를 활용하여 작업하고 있지만, 유럽 및 미국에서는 자연오염원에 의하여 발생하는 VOC의 배출량을 실시간 산정하기 위하여 여러 가지 방법을 이용하고 있다. 그 중 BEIS 2(3) (Biosphere Emission and Interaction System Version 2 (3))는 미국 환경보호청 (EPA)에서 주로 이용하고 있는 방식으로 기상인자 적용에서 상당히 복잡한 방법을 이용하고 있으며, 유럽의 단순방법 (Simpler Methodology)에 비하여 광화학 모델에 이용할 수 있

는 격자별 배출량 및 1시간 단위의 배출량을 산정할 수 있다는 장점을 가지고 있다 (Yarwood *et al.*, 2003). 이러한 BEIS2(3)는 리눅스나 윈도우 등의 다양한 환경에서도 사용할 수 있다.

본 연구에서는 윈도우시스템 상의 Microsoft Access에서 실행되는 GLOBEIS (Global Biosphere Emission and Interaction System) 버전 2.2를 이용하여 수도권 지역의 식생분포에 기인한 시간별 자연 배출량을 산출한다. GLOBEIS 버전 2.2는 NCAR (National Center for Atmospheric Research)에서 특정 시간과 영역 내의 휘발성 유기 화합물 (VOC)과 일산화탄소 (CO) 그리고 질소산화물 (NOx)의 자연적 배출량을 계산하기 위해 개발한 모델로서 BEIS2, 수정된 BEIS2 및 GLOBEIS의 세가지 모델중 하나를 선택하여 이들 배출량을 산정할 수 있다.

GLOBEIS 버전 2.2에서 식생분포에 기인한 총 VOC 배출량은 각 모델내의 이소프렌 (isoprene), 모노터펜 (monoterpene), 그리고 기타 VOC (other VOCs)의 배출량을 근거로 CBM-IV 화학반응기구의 화학종을 기준으로 종별 배출량을 계산할 수 있는데, 이 때 각 모델간의 배출량 차이는 이소프렌 배출량 계산시 적용되는 캐노피 (canopy) 모델의 차이로 나타난다. GLOBEIS 2.2에서 BEIS2 모델을 선택하면 식생 형태, 운량 또는 PAR (Photosynthetically Active Radiation, 광합성 활성 복사 또는 광합성 유효광량으로 지표면일사량의 함수)와 온도의 입력자료를 이용하여 자연적 기원의 이들 VOC를 산정하며, 수정된 BEIS2를 선택하면 캐노피 모델에 사용되어지는 광 감소계수와 평균 잎 기울기의 코사인 값을 임의로 지정하여 이소프렌의 배출량을 산정할 수 있다. 그리고 GLOBEIS를 선택하게 되면 BEIS2 모델에서 사용되는 입력자료 외에 LAI (엽면적 지수, Leaf Area Index), 풍속, 습도, PDI (Palmer 건조지수, Palmer Drought Index) 및 과거 24시간/48시간/360시간 평균 온도 등의 입력자료가 추가되어 이소프렌의 배출량이 산정된다. 이러한 자료들은 시간에 따른 엽면적 변화, 잎의 온도, 지역의 건조상태, 과거의 온도에 의한 영향 등을 고려할 수 있으나 입력자료에 대한 국내 자료가 부족하므로 본 연구에서는 GLOBEIS 버전 2.2내 BEIS2 모델을 선택하여 총 VOC의 시간별 자연배출량을 산출한다. 즉, 수도권 지역의 환경부 중분류 토지피복지도내 식생분포와 연중 최고 온도 및

열대야 현상을 보였던 2004년 8월 10일 전후의 관측 또는 수치모의 기온 및 일사량 자료를 BEIS2에 적용함으로써 이소프렌, 모노터펜 및 기타 VOC의 각 시간별 배출량과 이들을 근거로 한 화학종분류를 통하여 총 VOC 배출량을 계산한다.

BEIS2 모델에서 식생분포에 기인한 이소프렌, 모노터펜 그리고 기타 VOC의 배출량 산정 방정식을 간략히 소개하면 다음과 같다. 이 때 이소프렌은 온도와 일사량에 대한 환경보정을 하게 되고 나머지 물질들에 대해서는 온도에 대해서만 환경보정을 수행한다 (Guenther *et al.*, 1999, 1997, 1996, 1995, 1993).

### 2. 3. 1 이소프렌 (isoprene)의 배출량 산정

BEIS2 모델에서 식생에 의해 발생하는 VOC 중 이소프렌의 배출량 ( $E_i$ ,  $\text{mgC g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )은 표준 온도  $30^\circ\text{C}$ 와  $1,000 \mu\text{mol/m}^2\text{sec}$ 의 PAR 플럭스에서 배출계수 ( $EF_i$ ,  $\text{mgC g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , Guenther *et al.*, 1995)와 식생에 의한 환경보정계수 ( $\gamma_{iso}$ )의 곱으로 다음 식으로 계산된다.

$$E_i = EF_i \cdot \gamma_{iso} \quad (3)$$

$$\gamma_{iso} = CI \cdot C_T \quad (4)$$

여기서 CI와  $C_T$ 는 일사량과 잎온도 보정계수로 다음과 같이 계산된다.

$$CI = (\alpha C_L Q) / (1 + \alpha^2 Q^2)^{1/2} \quad (5)$$

$$C_T = \frac{\exp[C_{T_1}(T_1 - T_s) / RT_s T_1]}{1 + \exp[C_{T_2}(T_1 - 314) / RT_s T_1]} \quad (6)$$

$$Q = 0.5 \cdot C_Q \cdot \text{PAR} \quad (7)$$

$$\text{PAR} = 0.5 \cdot I \cdot (1 - 0.75 C_d^{3/4}) \quad (8)$$

여기서  $\alpha$ 는 0.0027,  $C_L$ 는 1.066, Q는 광합성 광자 플럭스 밀도 (photosynthetic photon flux density, 400~700 nm에서  $\mu\text{mol photons/m}^2\text{s}$ ),  $C_{T_1}$ 는  $95,000 \text{ J mol}^{-1}$ ,  $C_{T_2}$ 는  $230,000 \text{ J mol}^{-1}$ ,  $T_1$ 는 시간별 기온 (K),  $T_s$ 는 표준 온도 (303K), R은  $8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ,  $C_Q$ 는 광합성 활성복사 PAR ( $\text{W/m}^2$ )의 기본 단위에 해당하는 Q값의 변환인자 ( $4.766 \mu\text{mol photons/m}^2\text{s}$ ), 0.5는 400~700 nm 파장에서만 고려되는 태양 단파복사의 가중값, I는 맑은 날 지표면일사량 ( $\text{W/m}^2$ , Iqbal, 1983), 그리고  $C_d$ 는 운량을 나타낸다. 식 10에서  $I \cdot (1 -$

$0.75C_d^{3/4}$ )는 MM5모델내에서 지표면 부근 단파복사량이나 관측된 일사량( $W/m^2$ )으로 대신할 수 있다.

2.3.2 모노터펜 (monoterpene)과 기타 VOC (other VOC)의 배출량 산정

모노터펜과 기타 VOC에 대한 시간별 배출량( $E_M$ ,  $mgC\ g^{-1}\ h^{-1}$ )은 다음과 같이 계산된다.

$$E_M = EF_M \cdot \gamma_{mp}(T_i) \tag{9}$$

$$\gamma_{mp}(T_i) = \exp[0.09(T_i - 303)] \tag{10}$$

여기서  $EF_M$ 은 온도 303K에서의 모노터펜과 기타 VOCs의 배출계수 ( $mgC\ g^{-1}\ h^{-1}$ , Guenther *et al.*, 1995), 그리고  $\gamma_{mp}(T_i)$ 은 모노터펜과 기타 VOCs의 환경보정계수를 나타낸다.

3. 결과 및 토의

3.1 토지피복지도의 대기부분 활용을 위한 소프트웨어 (software) 작성

3.1.1 수치 토지피복지도 및 지형도 작성 소프트웨어 구축

본 연구에서는 이미지 형태의 중분류 토지피복지도 파일 (.shp)과 지형도 파일 (.DEM)을 기상 및 대기질 모델에 수치적으로 직접 활용할 수 있는 간판

한 소프트웨어 (software)를 개발하였다. 본 소프트웨어는 현재 수도권을 포함한 경기도 전역과 부산권 및 울산권이 포함된 경상도 지역을 중심으로 위경도별, TM 좌표별 고분해능의 수치 피복지도 및 지형도 자료를 생성할 수 있도록 블랜드 C++ 프로그램을 이용하여 제작하였다. 그림 2는 수도권지역의 수치 피복지도 및 지형도 추출 프로그램용, 그림 3은 수도권 지역을 중심으로 이미지 형태의 토지피복지도에서 1 km 해상도로 추출된 결과 파일을 나타낸 것이다. 따라서 이들 자료는 토지피복변화에 따른 상세규모의 기상 및 대기질 수치모의시나 기타 대기부분 환경영향평가 등에서 매우 유용하게 사용될 것으로 사료된다.

3.1.2 식생분포에 기인한 이산화탄소 플럭스 산정

식생분포에 기인한  $CO_2$  플럭스를 추정하기 위하여 식 1과 2를 수치 중분류 토지피복지도 및 지형도 작성 소프트웨어에 추가하였다. 입력 자료는 시간별 일사량 및 기온자료가 데이터베이스로 사용되었다.

그림 4는  $CO_2$  플럭스산출 경험식을 기존 수치 중분류 토지피복지도 및 지형도 작성 소프트웨어에 추가하여 시간별 일사량 및 온도를 입력파일로 하여 식생분포에 기인한  $CO_2$  플럭스를 추정할 수 있는 소프트웨어를 나타낸 것이다. 이를 이용하여 수도권 지역에서 최근 3년 (2002~2004) 중 열대야를 동반한 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10에 대한  $CO_2$  플

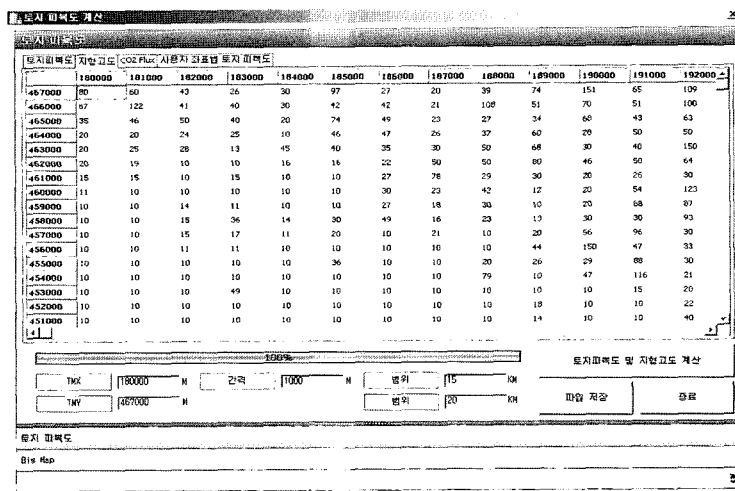


Fig. 2. Software for making the numerical land cover map from a image shape.

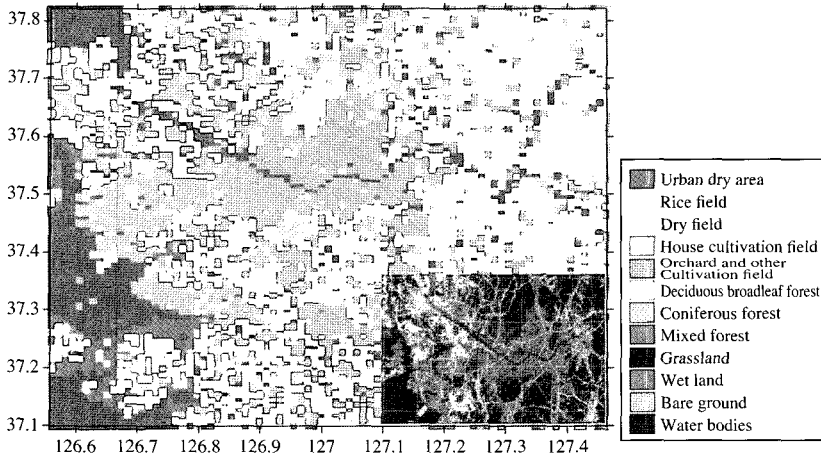


Fig. 3. Land cover map of 1 km resolution in the metropolitan area of Seoul extracted by software of Fig. 3. Picture within panel shows the middle classification of an image shape.

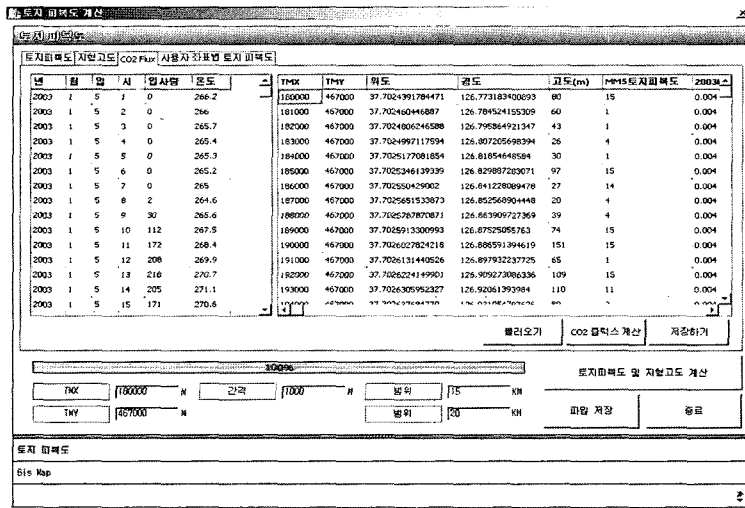


Fig. 4. Software for calculating CO<sub>2</sub> flux from the numerical land cover map.

럭스의 시간별 공간적 분포를 그림 5에 제시하였다. 그 결과 수도권지역에서 일중 최고 및 최저 기온 발생일 때의 식생에 기인한 CO<sub>2</sub> 플럭스는 낮동안 광합성에 의해 정오에 약 18.5톤/km<sup>2</sup>가 소모되었으며, 밤 동안 탄소 동화과정의 호흡에 의해서는 자정에 최대 약 2.5톤/km<sup>2</sup>가 생성되는 것으로 나타났다. 비록 본 연구의 결과가 경험식에 의해 계산된 것이지만 기상 연구소에서 광릉 수목원을 대상으로 표 1을 검증한

바 있으므로 (한국환경정책평가연구원, 2002) 그 결과를 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 수도권 지역에서 식생분포는 많은 양의 CO<sub>2</sub> 발생을 억제하고 동시에 산소를 제공할 수 있으므로 도시 내 녹지화 사업이 필수적이라 하겠다. 또한 아리랑 2호 우주선 발사를 통해 최신의 고해상도 토지피복지도가 계절적 분포에 따라 작성된다면 CO<sub>2</sub> 플럭스 수지의 계절적 분포 뿐만 아니라 실시간 변화도 가능할 것으



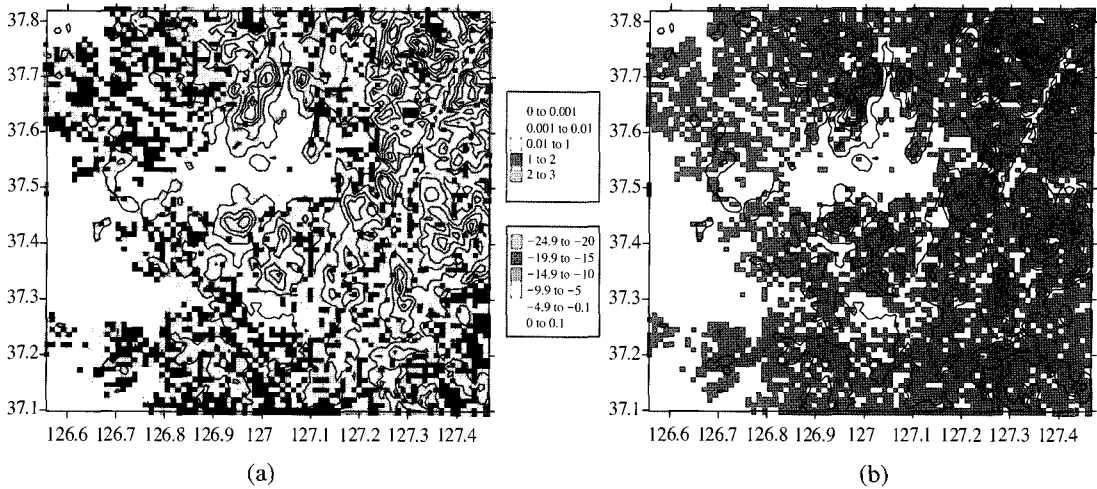


Fig. 5. Spatial distribution of the net CO<sub>2</sub> Flux due to the biosphere on 10 August 2004 in the metropolitan area of Seoul. (a) 1200 LST, (b) 2400 LST

로 예상된다.

### 3.2 중규모기상모델(MM5)내 토지피복지도의 변환에 따른 기온 및 바람장 수치모의

수도권지역에서 미국 USGS 토지피복지도 대신 환경부 중분류 토지피복지도의 변환에 따른 기온 및 바람장 차이를 분석하고자 현재 기상청에서 기상예보모델로 사용중인 MM5를 통하여 연중 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10일을 전후하여 이들의 변화를 수치모의 하였다.

그림 6은 수도권에서 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10일 오후 3시와 다음날 오전 3시의 토지피복지도 변환에 따른 기온장 수치모의 결과의 공간적 분포를 나타낸 것이고, 그림 7은 수도권내 기상청 관측소에서 미국 USGS 토지피복지도와 환경부 중분류 토지피복지도를 적용한 기온의 시계열 분포를 관측값과 비교하여 나타낸 것이다. 여름철 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10일의 경우 미국 USGS와 환경부 토지피복지도에 기인한 낮 최고 기온차는 오후 3시에 약 1.82°C, 오후 4시에 최대 2.9°C로 환경부 토지피복지도에 기인한 온도가 모델 대상 영역 전반에 걸쳐 높게 나타났다. 하지만 야간의 경우는 대체로 환경부 토지피복지도에 기인한 시·공간적 온도분포가 USGS 토지피복지도에 기인한 온도보다 낮거나 비슷하게 나타났다. 수도권 지역에서 2004년 8월 10

일 24시간동안 환경부 토지피복지도 적용에 따른 기온 증가는 평균적으로 약 0.4°C로 나타났다. 또한 서울시 기상청내 기상관측소의 실시간 기온 자료와의 비교 결과는 환경부 토지피복자료를 적용할 때가 최고 및 최저기온에서 관측값과 유사한 결과를 나타내었다. 그림 8은 MM5내 USGS 토지피복지도와 환경부 중분류 토지피복지도 적용시 기온의 고도별 시계열 분포에 대한 민감도를 나타낸 것이다. 각 시그마 고도에서 이들 두 자료에 기인한 기온의 시계열 변화는 13번째 시그마 고도(약 300 hPa)부터 최상층인 17번째 시그마 고도(100 hPa)을 제외하고 대부분이 낮 동안에 고도간 차이를 나타내었다. 따라서 기상청 기상예보모델에서 환경부의 중분류 수치 토지피복자료의 활용은 기온예보의 정확도에 있어서 큰 기여가 예상된다.

그림 9는 수도권에서 최고 기온 발생일인 2004년 8월 10일 오후 3시와 다음날 오전 3시의 토지피복지도 변환에 따른 바람장 수치모의 결과의 공간적 분포를 나타낸 것이고, 그림 10은 수도권내 기상청 관측소에서 미국 USGS 토지피복지도와 환경부 중분류 토지피복지도를 적용한 풍속과 풍향의 시계열 분포를 관측값과 비교하여 나타낸 것이다. 수도권에서 바람 벡터의 공간적 분포는 여름철 최고기온 발생일에 많은 변화를 나타내었다. 풍속의 경우는 환경부의 중분류 수치 토지피복자료 적용 시에 낮 동안 평균적

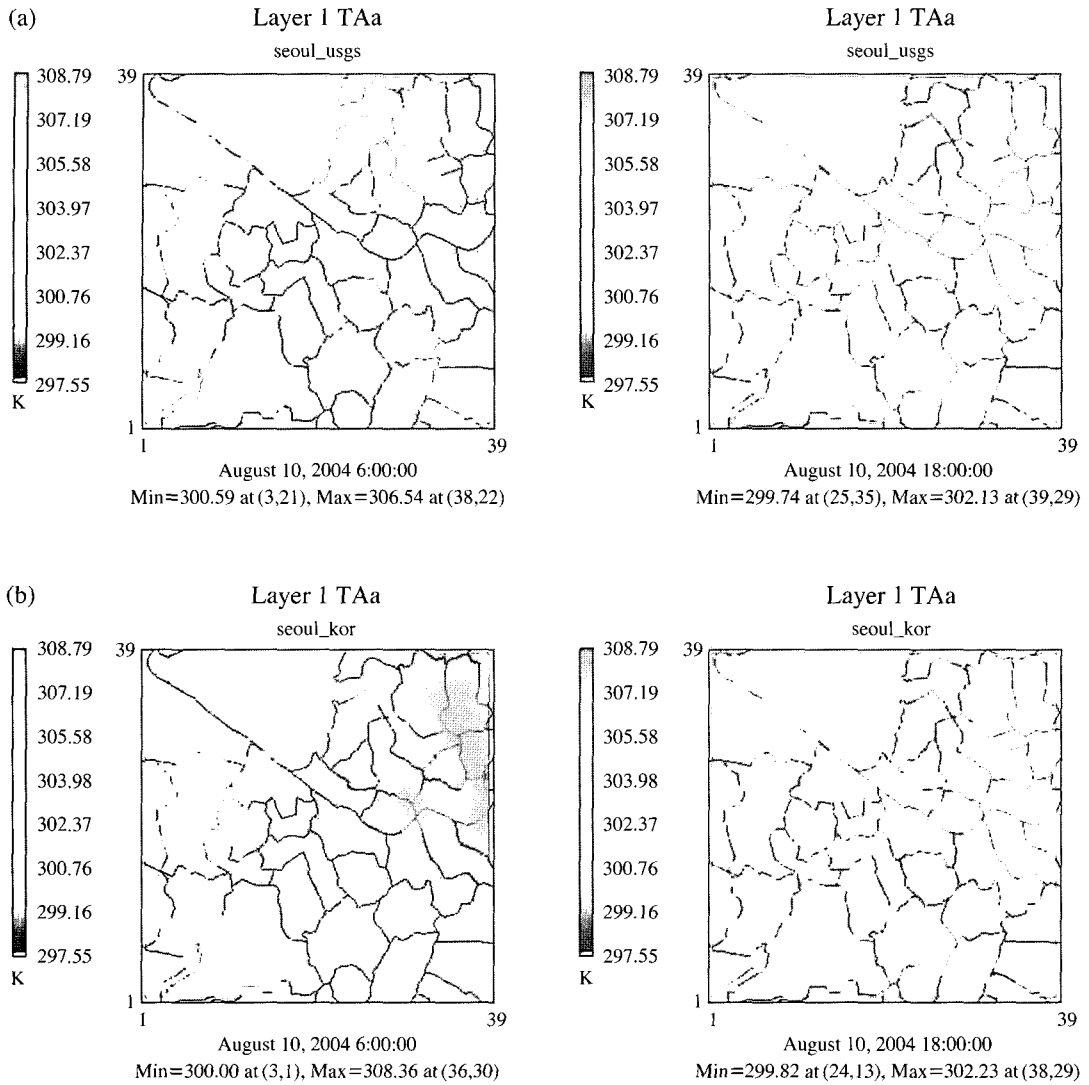


Fig. 6. Spatial distribution of the air temperature at 0600 UTC (1500 LST) and 1800 UTC on 10 August 2004 in the metropolitan area of Seoul. These show air temperature fields due to the land cover map data of USGS (a) and KME (b), respectively, within MM5.

으로 증가하여 관측값과 유사하게 나타났으며, 밤 동안에는 감소하여 나타났다. 8월 10일 하루 동안 평균 풍속은 환경부 토지피복지도를 적용하였을 경우가 더 낮게 나타났는데 이는 도시화의 영향으로 풍속이 전체적으로 감소하였음을 알 수 있다. 또한 환경부 토지피복지도를 적용하였을 경우 풍향의 공간적 분포도는 기존 USGS 피복지도자료 적용에 비해 다소 차이를 나타내었지만 그림 10과 같이 시계열 자료로

비교할 경우에는 이들 두 자료의 적용 결과가 큰 차이가 없이 유사한 경향을 나타내었다. 서울시 기상청내 기상관측소의 실시간 풍향 및 풍속 자료와의 비교 결과는 낮 동안에 USGS 및 환경부 토지피복자료를 적용할 경우 큰 차이가 나지 않았지만 오후 4시 이후 해질 무렵부터 다음날 오전 4시까지의 관측값과 큰 차이를 나타내었다. 이러한 오차는 MM5 내 바람장과 관련된 대기경계층의 물리·역학 방정식과 대

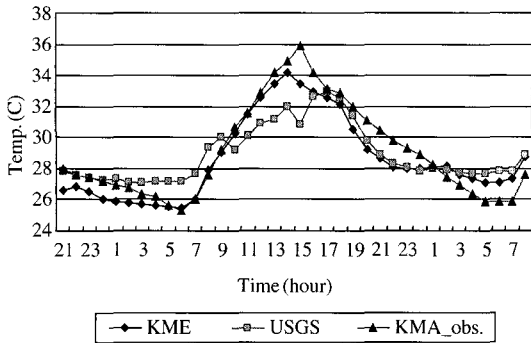


Fig. 7. Intercomparisons of the hourly air temperature due to the land cover map data of USGS and KME within MM5 on 11 August 2004 at the monitoring site of the Korean Meteorological Administration (KMA) in Seoul.

기안정도 및 대기혼합고 등의 기상 변수와 관련이 있을 것으로 예상되므로 특별히 해질무렵과 야간의 바람장에 관련된 이들 변수들을 향상시킬 필요가 있다. 즉, MM5 수치모의 바람장에 대한 상기 자료를 대기질 모델링에 그대로 적용할 경우에는 야간의 대기질 수송을 과대평가하여 계산할 수 있으므로 이에 대한 모델내 기상 매개변수 조절이나 관측값과의 자료동화를 통하여 초기조건을 향상시키는 것이 필요하다.

결과적으로 수도권지역에서 과거 20년 동안의 토지피복지도 변화는 여름철 최고 기온 발생일에 기온 변화 폭이 평균적으로 약 0.4°C 증가하여 도시 열섬 효과를 가중시킨 것으로 나타났고, 바람장의 경우는 수도권에서 전체적으로 도시화의 영향으로 감소하여

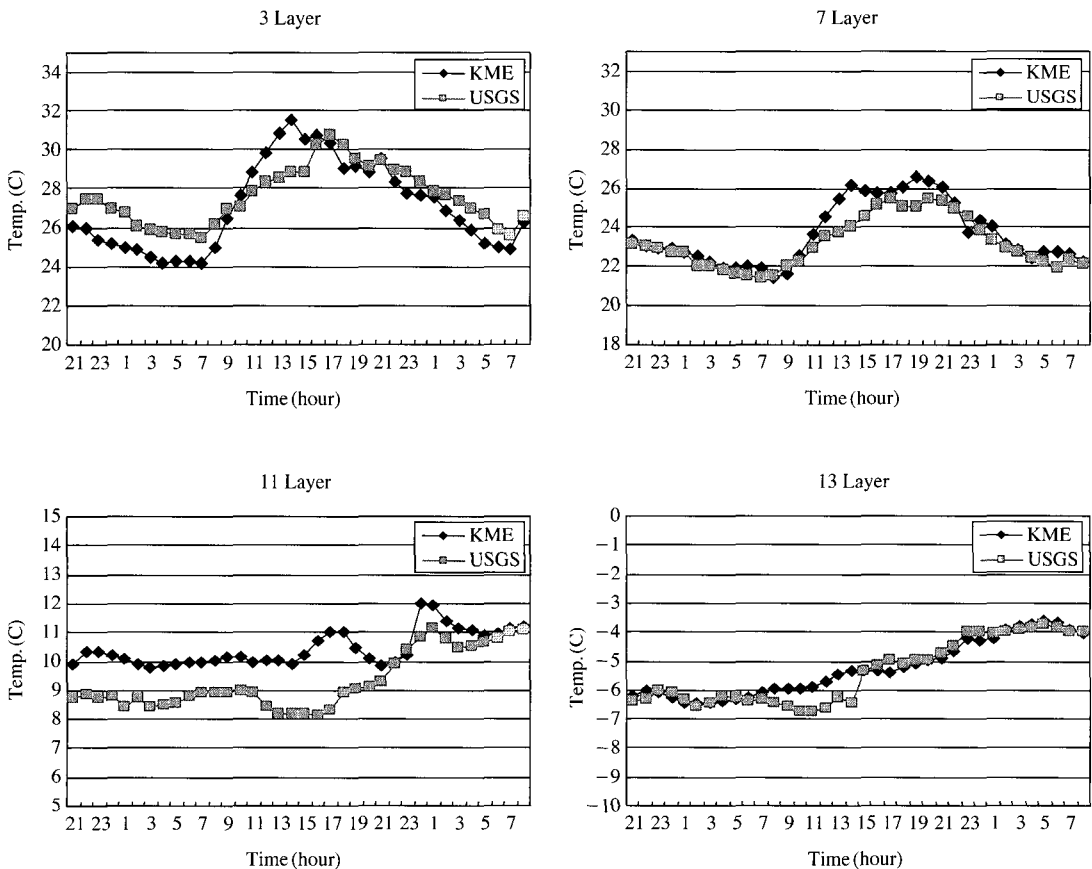


Fig. 8. Variation of the air temperature due to the land cover map data of USGS and KME at each vertical level within MM5.

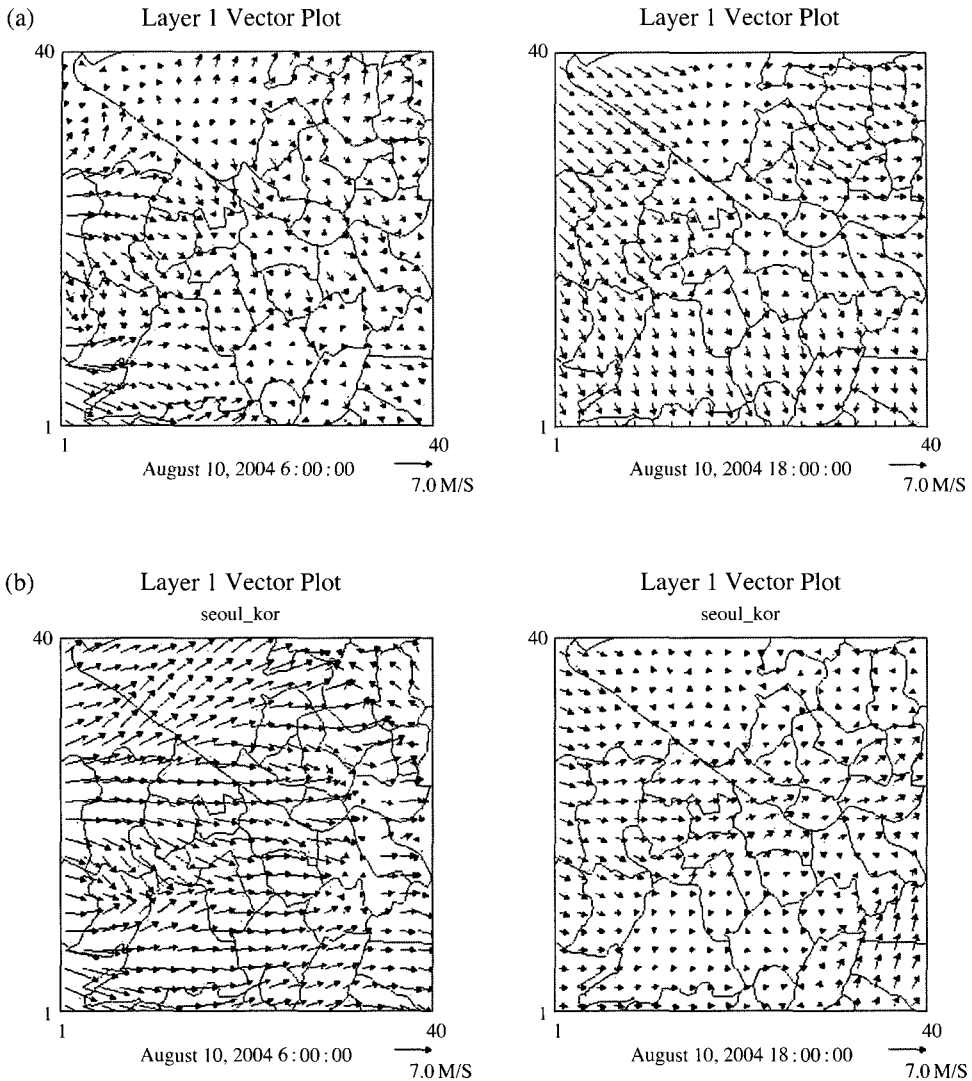


Fig. 9. Same as Fig. 7 except for wind vectors.

나타났다.

**3.3 토지피복지도내 식생 분포도를 활용한  
시간별 자연오염원의 배출량 산정**

전국을 대상으로 1 km 격자에 대한 일년 동안의 시간별 화학종별 배출량을 산정하는 것은 상당히 많은 자료가 요구되며 산출되는 자료 또한 매우 방대해지게 된다. 따라서 본 연구에서는 수도권 영역을 대상으로 각 기상관측소에서 실시간 관측하거나

MM5 등의 기상예보모델에서 수치모의 한 기온 및 일사량 자료와 토지피복지도내 식생분포도를 자연오염원의 배출량 산정 프로그램인 GLOBEIS 버전 2.2 내 BEIS2 모델에 직접 적용함으로써 시·공간별 자연 배출량을 산출하였다.

GLOBEIS 버전 2.2 내 BEIS2 모델에 직접 관측된 기상자료(기온 및 일사량)와 토지피복지도를 활용할 경우는 격자별, 시간별 기상자료와 격자별 식생분포도가 입력되어야 한다. 이 때 기상자료는 수도권 지

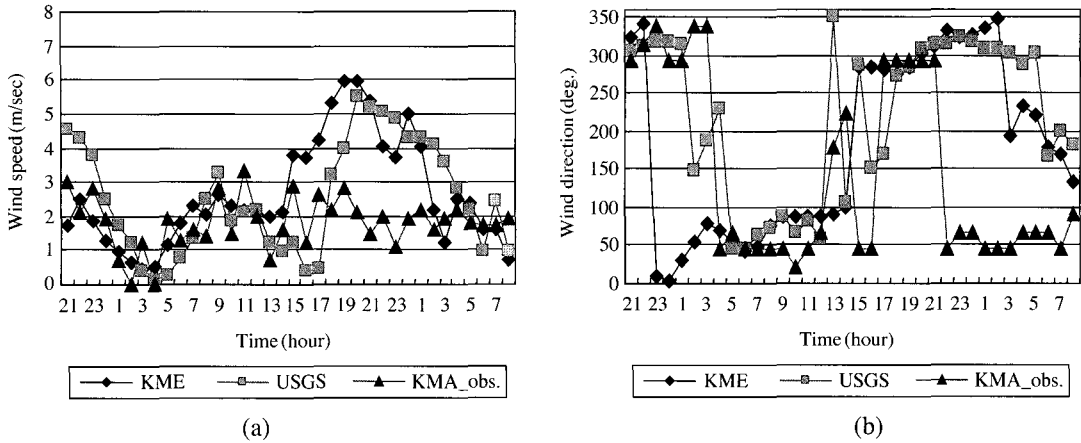


Fig. 10. Same as Fig. 7 except for the hourly wind speed and direction. (a) Wind speed and (b) wind direction.

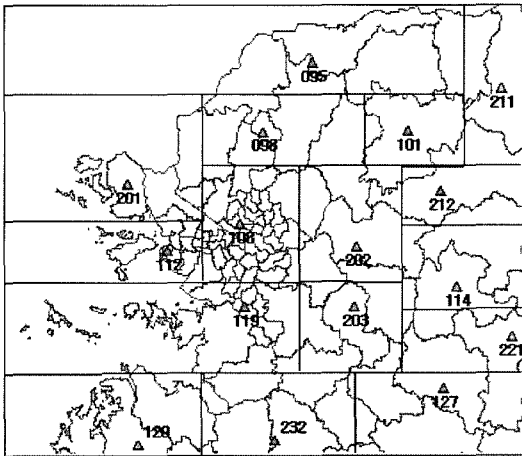


Fig. 11. Codes and their locations of meteorological monitoring sites in the metropolitan area of Seoul and its surrounding area.

역 각 지상 관측소의 2004년 8월 5일부터 8월 12일 까지, 8일간(192시간)의 기온 및 일사량 자료를 이용하였다. 그리고 MM5 기상예보모델을 이용하여 자연오염원에 기인한 실시간 배출량의 공간적 분포를 파악하기 위해서는 미국 USGS 토지피복지도 대신 환경부 중분류 토지피복지도를 적용함으로써 2004년 8월 10일을 전후로 수치모의 한 기온 및 일사량 자료를 사용하였다.

각 측정소의 기상관측 자료만을 이용하여 자연오

Table 3. Code and name of meteorological monitoring sites around the metropolitan area of Seoul.

Code	Name	Code	Name
095	Cheolwon	129	Seosan
098	Dongducheon	201	Gangwha
101	Chuncheon	202	Yangpyeong
108	Seoul	203	Echeon
112	Incheon	211	Inje
114	Wonju	212	Hongcheon
119	Soowon	221	Jecheon
127	Chungju	232	Cheonan

염원에 기인한 배출량을 산정할 경우에는 이들 관측소에서 측정된 기온 및 일사량 자료를 격자별로 할당하기 위해 그림 11과 같이 수도권을 포함한 주변 지역을 16개 지상 관측 지점으로 구분하여 해당 영역의 대표값으로 사용할 필요가 있다. 표 3은 기상 관측지점의 번호와 지점명을 나타낸 것이다. 또한, 표 4는 BEIS2의 식생 분류 코드를 나타낸 것으로 국내의 토지피복지도와 자연환경현황도의 수치입상도를 이용하여 국내의 식생분류를 BEIS2의 수종 코드에 맞게 분류한 것이다.

작성된 기온 및 일사량 자료와 식생토지피복지도 자료를 이용하여 수도권 지역을 대상으로 격자별, 화학종별, 시간별 배출량을 산출하였다. CBM-IV 화학반응기구의 화학종을 기준으로 종별 배출량을 산출하였으며, 최종적으로 산출된 VOC 화학종은 이소프렌 (ISOP, Isoprene), 올레핀 (OLE, Olefine), 파라핀

(PAR, Parafin), 크실렌 (XYL, Xylene), 포름알데히드 (FORM, Formaldehyde), 알데히드 (ALD2, Aldehydes), 에탄 (ETH, Ethene) 등이다.

동시에 상기 연구결과와의 비교를 위하여 국립환

경연구원 대기정책지원시스템 (CAPSS)의 월별 자연 오염원의 배출량 자료에 미국 EPA (Environmental Protection Agency)의 시간 프로파일을 적용함으로써 수도권 지역에 대한 격자별 시간별 배출량을 생성하

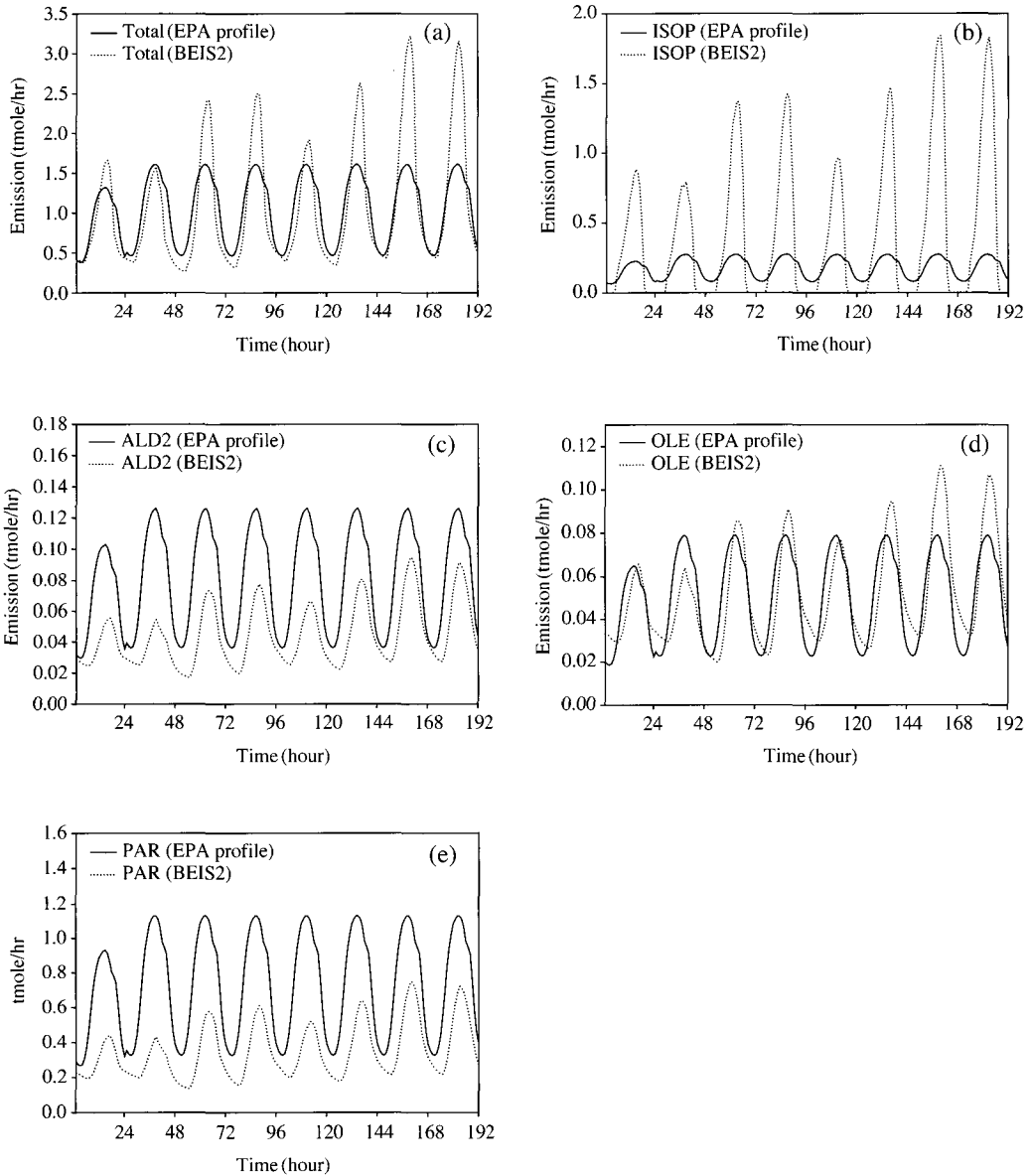


Fig. 12. Intercomparisons of the hourly biogenic emission (tmole/hr) due to the land cover map data from 5 to 10 August 2004 at the monitoring site (108) of the KMA in Seoul. Line shows the hourly profile provided by EPA (Environmental Protection Agency) and dotted line shows that calculated by BEIS2. (a) Total VOCs, (b) Isoprene, (c) Aldehydes, (d) Olefine, and (e) Parafin.

**Table 4. Names of the biosphere code within BEIS2 (Biosphere Emission and Interaction System Version 2).**

Biosphere code	Name
Abie	Abies (fir)
Acer	Acer (maple)
Alnu	Alnus (European alder)
Betu	Betula (birch)
Carp	Carpinus (hornbeam)
Casp	Castanopsis (chinkapin)
Celt	Celtis (hackberry)
Cham	Chamaecyparis (prt-orford cedar)
Cnif	BEIS conifer forest
Coru	Cornus (dogwood)
Frax	Fraxinus (ash)
Ilex	Ilex (holly)
Jugl	Juglans (black walnut)
Lari	Larix (larch)
Odcde	BEIS other deciduous forest
Paul	Paulownia
Pinu	Pinus (pine)
Popu	Populus (aspen)
Quer	Quercus (oak)
Robi	Robinia (black locust)
Sali	Salix (willow)
Taxo	Taxodium (cypress)
Thuj	Thuja (W. red cedar)
Tili	Tilia (basswood)
Ulm	Ulmus (American elm)

였다. 그림 12는 2004년 8월 5일부터 8월 12일까지 8일(192시간)동안 서울 기상 관측소(108 지점)에서 시간별 기온 및 일사량을 고려하여 계산한 VOC 화학종의 시간별 배출량결과와 미국 EPA의 시간 프로파일을 적용하여 계산한 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 비교대상은 분류된 화학종별 배출량을 모두 합한 총 VOC의 배출량뿐만 아니라 각 화학종별로 기온 및 일사량을 고려한 BEIS2의 시간별 배출량과 EPA 시간 프로파일에 의한 시간별 배출량을 포함한다. BEIS2 모델에서는 VOC종을 9개의 CBM-IV 화학종으로 분류하고 있으나 EPA 시간 프로파일을 이용하게 되면 ISOP, ALD2, OLE, PAR의 4개의 종으로 분류된다. 따라서 본 연구에서는 배출량의 상대비교를 위해 ISOP, ALD2, OLE, PAR의 시계열 배출량만 고려하였다. 이 때 배출량은 각 기상 측정소가 위치하는 권역의 격자별 배출량을 합산하여 시간별로 나타낸 것이다. EPA의 시간 프로파일을 이용하여 산출한 자연오염원에 기인한 시간별 총 VOC 배출량

은 시간분배계수의 차이로 인해 시간별 배출량의 변화가 있었으나 일별로는 동일한 일분배계수가 적용되었기 때문에, 처음 24시간인 8월 5일을 제외하고는 동일한 배출량과 배출경향을 보이고 있다. 그러나 기온 및 일사량을 이용하여 BEIS2 모델에서 계산한 시간별 총 VOC 배출량은 EPA 시간 프로파일에 의해 산정된 배출량 값보다 다소 높게 나타났고, 배출경향 또한 모두 다르게 나타나고 있는데, 이것은 BEIS2에 의한 자연오염원의 배출량 계산시 시간별 기상인자가 적절히 고려되고 있음을 알 수 있다. 즉 대부분의 자연 VOCs의 화학종별, 시간별 배출량이 일중 기온의 변화에 따라 변동하는 것을 알 수 있으나 한 낮 시간 동안의 이소프렌의 배출량은 다른 화학종의 배출량에 비해 높게 나타났는데, 이러한 원인은 이소프렌의 배출량 산정시에 일사량과 기온에 의한 환경보정계수가 모두 적용되는데 반해 기타의 화학종들에 대해서는 기온에 의한 환경보정계수만이 고려되기 때문으로 나타났다.

그림 13은 수도권에서 연중 최고기온 발생일인 2004년 8월 10일에 MM5의 기온 및 일사량의 수치모의 자료를 이용하여 계산한 시간별 자연 배출량중 1500 LST의 ISOP, ALD2, OLE 및 PAR의 배출량의 공간적 분포를 나타낸 것이다. 오존의 전구물질 역할을 하는 것으로 알려진 이들 VOCs는 1500 LST에 가장 많은 배출량을 나타내었고 이후 조금씩 감소하여 나타났다. 이러한 VOCs의 공간적 분포는 주변의 NOx의 공간적 분포와 함께 자연오염원에 기인한 오존의 생성에 직접적으로 관여하므로 대기질 모델을 이용하여 그 기여도를 계산하는데 직접 활용될 수 있다.

#### 4. 대기환경부문 연구를 위한 토지피복 지도의 향후 활용방안 및 발전방향

토지피복지도의 기상 및 대기질 모델링부문과 대기환경영향평가 등에서 향후 활용방안 및 발전 방향을 제시하면 다음과 같다.

- 본 연구를 기반으로 하여 대상지역을 확대하고 국내에 적합한 자연오염원의 배출계수를 조사할 필요가 있고 있을 검증할 측정망의 구축이 필요하다.
- 한반도 전체를 대상으로 한 대기 열환경 변화와 VOC 및 CO<sub>2</sub> 등의 자연적 배출량 산정이 필요하다

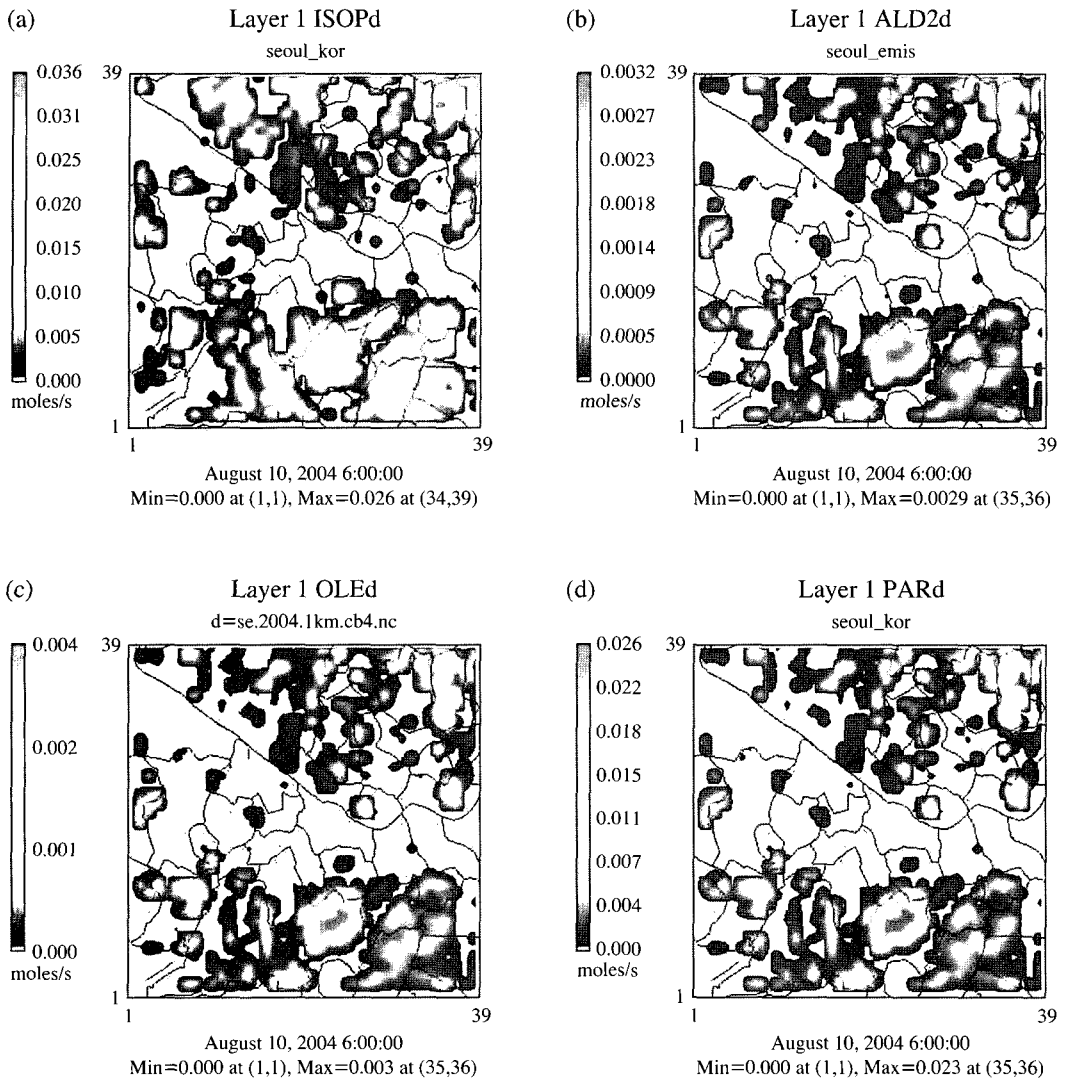


Fig. 13. Spatial distribution of the biogenic emission (g-moles/sec) at 0600 UTC (1500 LST) on 10 August 2004 in the metropolitan area of Seoul. (a) Isoprene, (b) Aldehydes, (c) Olefine, and (d) Parafin.

며, 국내 자연환경에 적합한 배출계수의 재산정 및 조사와 함께 이를 검증할 측정망 자료가 필요하다. 현재 자연오염원의 배출계수는 미국 EPA에서 조사된 값을 이용하고 있는 실정이고 자연오염원을 검증할 배경측정망이 전무한 실정이다.

- 토지피복지도의 건조지역내 각 사업장을 대상으로 인위적 VOC 및 CO<sub>2</sub> 배출량의 산출이 필요하다.
- 대기 배출총량제 대비 대기환경용량산정과 온실기체중 CO<sub>2</sub>의 배출권거래제 등에 대비할 수 있는

상세배출량 산정 프로그램을 개발하여 각 사업장에 제공하고 결과를 자동으로 서버에 upload하여 활용할 수 있도록 한다.

- 축적된 국가정보자료를 효율적으로 활용할 수 있도록 수치 토지피복지도 자료의 인터넷 홈페이지 제공과 함께 각종 연구사업 및 학술연구와 대기환경영향평가 등에 효율적으로 활용할 수 있도록 한다.
- 대기환경영향평가나 기상 및 대기질 실시간 감시



및 예보 연구 등을 위해 한반도 대분류/중분류/세분류 수치 토지피복지도를 적극적으로 활용하여 정확한 대기환경영향평거나 예보적중률을 향상시킬 수 있도록 자료를 체계화하여 인터넷 홈페이지에 제공할 필요가 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 지역적 특성을 고려한 보다 최신의 고해상도 토지피복지도 이미지 자료를 이용하여, 1 km 이하 고도의 복잡지형의 도시 및 산업단지에서 정확한 기상뿐만 아니라 대기질의 변화를 추정할 수 있도록 지리정보시스템(GIS)자료와 함께 수 m에서 수 km 고해상도의 수치 토지피복지도 자료를 추출할 수 있는 소프트웨어를 개발하였고, 이들 자료를 이용하여 MM5 모델내 기온과 바람장의 민감도 분석과 함께 식생분포도에 따른 실시간 VOC의 배출량과 CO<sub>2</sub> 플럭스를 경험적으로 산출하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

수도권지역에서 기상예보모델 MM5에 환경부 중분류 토지피복지도를 적용하여 수치모의 한 결과 과거 20년 동안의 토지피복지도 변화는 여름철 최고 기온 발생일에 기온 변화 폭이 최대 2.9°C로 증가하여 나타났고 평균적으로는 약 0.4°C가 증가하여 도시 열섬효과를 가중 시킨 것으로 나타났다. 그리고 바람장의 경우는 수도권에서 전체적으로 도시화의 영향으로 감소하여 나타났다. 또한 BEIS2 자연배출량 산정 프로그램을 이용한 시간별 VOC 자연오염원은 미국 EPA 프로파일의 단순내삽의 결과에 비해 고농도 오존 예측에 큰 기여가 예상되었다. 그리고 중분류 토지피복지도내 자연식생 분류에 따른 CO<sub>2</sub>의 플럭스는 연중 최고 기온일에 약 19톤/km<sup>2</sup>이 광합성에 의해 제거되는 것으로 나타났고, 야간의 경우는 호흡에 의해 약 2톤이 발생하는 것으로 나타났다.

상기 연구결과 자료는 실시간 기상 및 대기질의 감시와 예보의 적중률 향상에 기여할 수 있으며, 온실기체 배출량 산정을 위해 매우 유용한 자료로 활용될 수 있다. 향후 이들 연구 결과는 행정수도 도시계획과 같은 대규모 토지이용변화와 환경영향평가사업, 기상 및 광화학 수치모델의 초기 입력자료 등에 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구를 위해 토지피복자료를 제공해준 환경부에 감사드리며, 동시에 전국의 상세 수치 토지피복자료를 환경부 홈페이지를 통해 직접 활용할 수 있기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

- 국립환경연구원 (2003) 대기보전정책지원시스템, 삼성SDS, 437pp.
- 김유근, 이화운, 홍정혜, 손은하 (2000) 인공열과 land-use가 부산시의 열적 환경에 미치는 영향에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 16(4), 363-372.
- 김유근, 문윤섭, 오인보, 임윤규 (2002) 부산지역 토지이용(land-use) 변화에 의한 열환경 수치모의, 한국대기환경학회지, 18(6), 453-463.
- 김현구, 최재우, 손정봉, 정우식, 이화운 (2003) 풍력발전 단지 조성을 위한 바람환경 분석, 한국대기환경학회지, 19(6), 745-756.
- 이순환, 서광수, 김동희, 황수진 (2004) 미기상규모 영역의 온실기체 승온효과에 관한 수치연구, 한국대기환경학회지, 20(3), 303-315.
- 이순환, 김현숙, 이화운 (2004) 복잡 지형의 대기질 예측을 위한 지상자료동화의 효용성에 관한 수치연구, 한국대기환경학회지, 20(4), 523-537.
- 이현영 (1995) 토지이용 변화가 국지기상에 미치는 영향, 대한원격탐사학회지, 11(3), 83-100.
- 이화운, 노순아, 문난경 (2003) 지표면의 종류에 따른 오존의 건성침적속도에 관한 수치모의, 한국대기환경학회지, 19(5), 583-594.
- 이화운, 정우식, 김현구, 이순환 (2004) 대기오염 확산 해석을 위한 포항지역 기상장 연구 - 바람장 수치모의 -, 한국대기환경학회지, 20(1), 1-15.
- 한국환경정책평가연구원 (2002) 인공위성 영상자료를 이용한 토지피복지도구축, 126-137.
- 홍정혜, 김유근 (2000) 지표면 변화와 인공열이 바람장에 미치는 영향에 관한 수치 시뮬레이션, 한국대기환경학회지, 16(5), 511-520.
- Bruse, M. and H. Fleer (1998) Simulating surface- plant- air interactions inside urban environments with a three-dimensional numerical model, Environmental Software and Modelling, 13, 373-384.
- Chen, S.H. and J. Dudhia (2000) Annual report: WRF physics, Air Force Weather Agency, 38pp.

- Clapp, R.B. and G.M. Hornberger (1978) Empirical equations for some soil hydraulic properties, *Water Resource Res.*, 14, 601-604.
- Denning, A.S., M. Nicholls, L. Prihodko, I. Baker, P.-L. Vidale, K. Davis, and P. Bakwin (2003) Simulated and observed variations in atmospheric CO<sub>2</sub> over a Wisconsin forest, *Global Change Biology*, 9, 1241-1250.
- Dudia, J. (1989) Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077-3107.
- Elisson, I. (2000) The use of climate knowledge in urban planning, *Landscape and Urban Planning*, 48, 31-44.
- Guenther, A., P. Zimmerman, P. Harley, R. Monson, and R. Fall (1993) Isoprene and monoterpene emission rate variability: Model evaluation and sensitivity analysis, *J. Geophys. Res.*, 98, 12609-12617.
- Guenther, A., C.N. Hewitt, D. Erickson, R. Fall, C. Geron, T. Graedel, P. Harley, L. Klinger, M. Lerdau, W.A. Mckey, T. Pierce, R. Scholes, R. Stainbrecher, R. Tallamraju, J. Taylor, and P. Zimmerman (1995) A global model of natural volatile organic compound emissions, *J. Geophys. Res.*, 100(D5), 8873-8891.
- Guenther, A. (1996) Isoprene fluxes measured by enclosure, relaxed eddy accumulation, surface-layer gradient, mixed-layer gradient, and mixed-layer mass-balance techniques, *J. Geophys. Res.*, 101(D13), 18555-18567.
- Guenther, A. (1997) Seasonal and spatial variations in natural volatile organic compound emission, *Appl*, 7(1), 34-45.
- Guenther, A., B. Baugh, G. Bresseur, J. Geenberg, P. Harley, L. Klinger, D. Serca, and L. Vierling (1999) Isoprene emission estimates and uncertainties for the Central African EXPRESSO study domain, *J. Geophys. Res.*, 104(D23), 8873-8891.
- Hong, S.Y. and H.L. Pan (1996) Comparison of NCEP-NCAR Reanalysis with 1987 FIFE Data, *Mon. Wea. Rea.*, 124, 1480-1498.
- Iqbal, M. (1983) An introduction to solar radiation, Academic Press, New York, 205pp.
- Kain, H.S. and J.M. Fritsch (1993) Convective parameterization for mesoscale models; The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K.A. Emanuel and D.J. Raymond, Eds., *Amer. Meteor. Soc.*, 246pp.
- Kimura, F. and S. Takahashi (1991) The effect of land-use and anthropogenic heating on the surface temperature in the Tokyo metropolitan area: A numerical experiment, *Atmos. Environ.*, 25B, 155-164.
- Mlawer, E.J., S.J. Taubman, P.D. Brown, M.J. Iacono, and S. A. Clough (1997) Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave, *J. Geophys. Res.*, 102(D14), 16663-16682.
- Owen, S.M. and C.N. Hewitt (2000) Extrapolating branch enclosure measurements to estimates of regional scale biogenic VOC flux in the northwestern Mediterranean basin, *J. Geophys. Res.*, 105(D9), 11573-11583.
- Reisner, J., R.J. Rasmussen, and R.T. Bruintjes (1998) Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 124B, 1071-1107.
- Shashua-Bar, L. and M.E. Hoffman (2000) Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: an empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees, *Ener. Build.*, 31, 221-235.
- Vukovich, F.M. and W.J. King (1980) A theoretical study of the St. Louis heat island: the wind and temperature distribution, *J. Appl. Meteor.*, 15, 417-440.
- Yareood, G., G. Wilson, S. Shepard, and Guenther (2003) User's guide to the global biosphere emissions and interactions system (GLOBEIS3) version 3.1, Environ International Corporation, Novato, CA, 33pp.