

배출 모델 표준입력자료 작성을 위한 CAPSS2SMOKE 프로그램 개발

Development of CAPSS2SMOKE Program for Standardized Input Data of SMOKE Model

이용미 · 이대균* · 이미향 · 홍성철¹⁾ · 유 철 · 장기원 · 홍지형 · 이석조
국립환경과학원 대기공학연구과, ¹⁾국립환경과학원 기후변화연구과
(2013년 3월 26일 접수, 2013년 7월 22일 수정, 2013년 9월 13일 채택)

Yong-Mi Lee, Dae-Gyun Lee*, Mi-Hyang Lee, Sung-Chul Hong¹⁾,
Chul Yoo, Kee-Won Jang, Ji-Hyung Hong and Suk-Jo Lee
Atmospheric Engineering Research Division, National Institute of Environmental Research
¹⁾*Climate Change Research Division, National Institute of Environment Research*
(Received 26 March 2013, revised 22 July 2013, accepted 13 September 2013)

Abstract

The Community Multiscale Air Quality (CMAQ) model is capable of providing high quality atmospheric chemistry profiles through the utilization of high-resolution meteorology and emissions data. However, it cannot simulate air quality accurately if input data are not appropriate and reliable. One of the most important inputs required by CMAQ is the air pollutants emissions, which determines air pollutants concentrations during the simulation. For the CMAQ simulation of Korean peninsula, we, in general, use the Korean National Emission Inventory data which are estimated by Clean Air Policy Support System (CAPSS). However, since they are not provided by model-ready emission data, we should convert CAPSS emissions into model-ready data.

The SMOKE is the emission model we used in this study to generate CMAQ-ready emissions. Because processing the emissions data is very monotonous and tedious work, we have developed CAPSS2SMOKE program to convert CAPSS emissions into SMOKE-ready data with ease and effective. CAPSS2SMOKE program consists of many codes and routines such as source classification code, PM₁₀ to PM_{2.5} ratio code, map projection conversion routine, spatial allocation routine, and so on. To verify the CAPSS2SMOKE program, we have run SMOKE using the CAPSS 2009 emissions and found that the SMOKE results inherits CAPSS emissions quite well.

Key words : CAPSS2SMOKE, SMOKE model, emission, CAPSS, CMAQ

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)32-560-7344, E-mail : hileedg@korea.kr

1. 서 론

대기화학모델은 대기환경의 문제를 파악하고 배출량 저감 계획의 효율성을 예측하기 위한 중요한 도구이다. 이러한 대기화학모델을 이용한 정확한 대기질 예측을 위해서는 배출량 및 기상자료와 같은 기반 자료의 정확도 확보는 필수이며, 이 중 배출량 자료는 관심 영역의 배출 특성을 반영하는 대기화학모델의 중요한 입력 자료 중 하나이다(Kim *et al.*, 2008a). 국립환경과학원에서는 우리나라의 대기오염물질 배출량을 정확하고 현실적으로 산정하기 위해서 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System; CAPSS)이라는 국가 배출원 목록 시스템을 개발하였다(Lee *et al.*, 2011b). 본 대기정책지원시스템에서는 행정구역별 배출량 자료뿐만 아니라 대기화학모델 연구자를 위한 1 km × 1 km의 격자별 배출량 자료도 동시에 산정하여 배포하고 있다. 격자 배출량 자료는 Transverse Mercator(TM) 지도 투영법에 따라 중부원점을 기반으로 산정되며, 점, 이동 및 면 오염원 자료로 나누어 작성된다(NIER, 2006). 최근에는 대기환경변화에 대한 정책의 수립 및 평가를 위한 연구에서 Models-3/Community Multiscale Air Quality(CMAQ)과 같은 대기화학모델링이 적극 활용됨에 따라 이러한 대기오염물질 배출량을 대기질 모델링에 적용하기 위한 방법 및 프로그램 개발이 중요한 과제 중에 하나로 인식되고 있다(Lee *et al.*, 2011a; Kim *et al.*, 2008a). 국가대기오염물질 배출량을 대기화학모델링에 필요로 하는 입력 자료로 변환하기 위해서는 배출모델을 이용하여 시간별, 격자별, 화학종별 배출량으로 변환하는 과정이 필요하다(Kim *et al.*, 2004). 또한 대기정책지원시스템에서 제공하는 우리나라의 국가대기오염물질 배출량을 이러한 배출 모델에 입력 자료로 활용하기 위해서는 지도 투영과 위치 정보 및 자료 형식 변환, 배출량 할당 등 복잡한 자료 처리 과정이 필요하다(Kim *et al.*, 2008a).

따라서 본 연구에서는 대기화학모델을 활용한 연구 및 정책 활용도를 높이기 위하여 국가 대기오염물질 배출량을 배출 모델의 입력 자료로 변환하는 표준화 방법론을 마련하고자 하였다. 본 연구에서 사용된 배출량 처리 모델로는 대기화학모델 분야에서 널리 활용되고 있는 U.S. EPA의 Sparse Matrix Operator

Kernel Emissions(SMOKE) 모델을 기반으로 하였다(CEP, 2004). 따라서 본 연구에서는 국가대기오염물질 배출량 자료를 SMOKE 입력 자료로 변환하는 일련의 과정을 포함하는 ‘CAPSS2SMOKE’ 프로그램을 개발하였으며, 작성된 입력 자료 및 프로그램은 대기정책모델링 지원시스템 홈페이지(<http://capmos.nier.go.kr>)를 통하여 제공 및 공유하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 배출 모델 및 배출량

배출 모델은 대기화학모델에 알맞은 배출량 입력 자료를 생성하기 위한 도구로써 대기화학모델을 운영하기 위해서 반드시 필요한 요소이다. 배출 모델은 특히, 배출원별 연간 배출량으로 구성된 배출원 목록을 대기화학모델에서 필요로 하는 세분화된 형태의 배출량 입력 자료로 변환하는데 활용된다. 국내 대기화학모델 분야에서는 U.S. EPA의 SMOKE를 활용한 연구가 많이 수행되고 있으며(Kim, 2011; Kim and Lee, 2011; Lee *et al.*, 2009; Moon *et al.*, 2008), 이러한 SMOKE 모델은 희소행렬(Sparse Matrix) 알고리즘을 통한 고성능 컴퓨팅을 통하여 배출원 목록을 빠르고 효율적으로 처리한다(Houyoux *et al.*, 2000; Coats *et al.*, 1996).

본 연구에서 활용된 국가 대기오염물질 배출량은 매년 국립환경과학원의 대기정책지원시스템을 통하여 산정되며, 국가 통계 자료와 국내 배출계수 그리고 EU의 CORINARIR, U.S. EPA의 AP-42, 국영연구개발원(TNO, Netherlands Organization for Applied Scientific Research) 등의 국외 배출 계수들을 참조하여 산정된다(NIER, 2010; NIER, 2007). 국가 대기오염물질 배출량의 경우 기본적으로 읍면동 기준으로 작성하며, 읍면동 자료를 기반으로 시군구, 시도 및 격자별 배출량 등을 작성하게 된다(NIER, 2005a). 이러한 지역 및 격자별 배출량의 공간 배분에는 공간적 특성을 반영할 수 있는 다양한 GIS 레이어(Layer) 자료를 이용하게 된다. 특히, 격자별 배출량은 수치표고 모델 결과를 산출된 격자망도와 행정구역별 자료를 활용하여 배분하게 된다(NIER, 2005b). 행정구역별 배출량을 격자 배출량으로 배분하는데 활용되는 GIS 레이어별 자료의 구축과정은 그림 1과 같다. 이때, 행

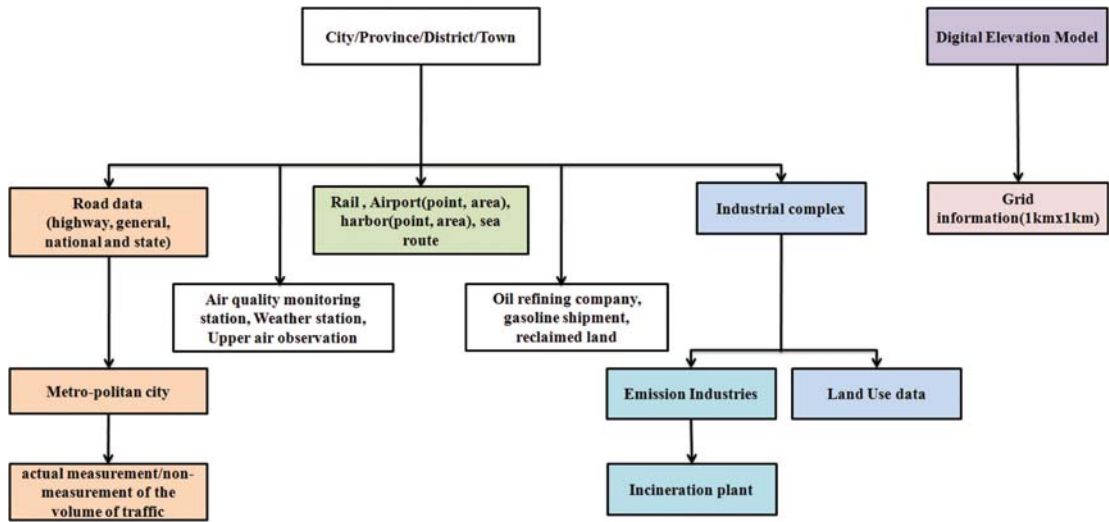


Fig. 1. Process of building GIS data for the generation of CAPSS grid emissions.

Table 1. Example of spatial allocation factor for the generation of CAPSS grid emissions.

Source classification code	Discription	Spatial allocation factor
0201****	Non-industrial combustion (Commercial & institution)	Section of city
0202****	Non-industrial combustion (Residential)	Section of city
060403**	Solvent usage (asphalt pavement)	Road "lane*length" ratio
0701****	Mobile source on road (Cars)	Road "lane*length" ratio
04*****	Mobile source on non-road (Railroad)	Length of railroad in town
...

* Reference: Air pollution forecasting and management system (5th): the method of emission calculation and report of building GIS data (2005)

정구역과 격자망도 간에 배출량을 배분하기 위하여 점오염원을 제외한 나머지 배출원에 대해 공간배분을 수행하며, 활용되는 배분 지표는 배출원별로 서로 상이하다(표 1).

2. 2 프로그램 개발 언어 및 원리

본 연구에서 격자별 배출량을 SMOKE 입력 자료로 변환하는 과정은 Interactive Data Language (IDL) 이라는 프로그래밍 언어를 통해 수행하였다. IDL은 과학자를 위해 특화된 언어로 과학 기술 자료처리에 적용할 수 있는 편리하고 강력한 프로그램 언어이다. IDL은 컴파일(compile) 과정을 필요로 하는 FORTRAN 언어와는 다르게 필요할 때 함수(function) 및 프로시저(procedure)를 자동으로 찾아 실행하는 배열 기반의 언어이다. IDL이 가지는 장점은 수백 개의 유

용한 루틴(routine)들을 내장하고 있어 새로운 루틴의 개발이 쉽고 유연한 형 변환이 가능하여 프로그래밍이 편리하며, 운영체제에 무관하게 사용될 수 있어 리눅스, 노트북 등 어느 시스템에서든 모두 동일하게 실행이 된다는 것이다(Kling, 1999).

본 연구에서는 자료처리 시스템을 개발하기 위하여 개별 루틴들에 대하여 일반화(generalization), 모듈화(module) 및 확장성(expansibility)의 3가지 원칙을 고려하여 프로그래밍을 하였다. 일반화는 개별 루틴들이 특정 프로그램에서만 실행되는 것을 방지하고 범용적으로 사용될 수 있도록 하기 위한 원칙이다. 모듈화는 개별 루틴들이 독립적인 기능을 할 수 있도록 하기 위한 원칙으로 루틴의 재사용을 쉽게 만들며 프로그램의 가독성을 높여 유지·보수가 쉽게 작성 하였다. 확장성은 현재 필요한 기능뿐만 아

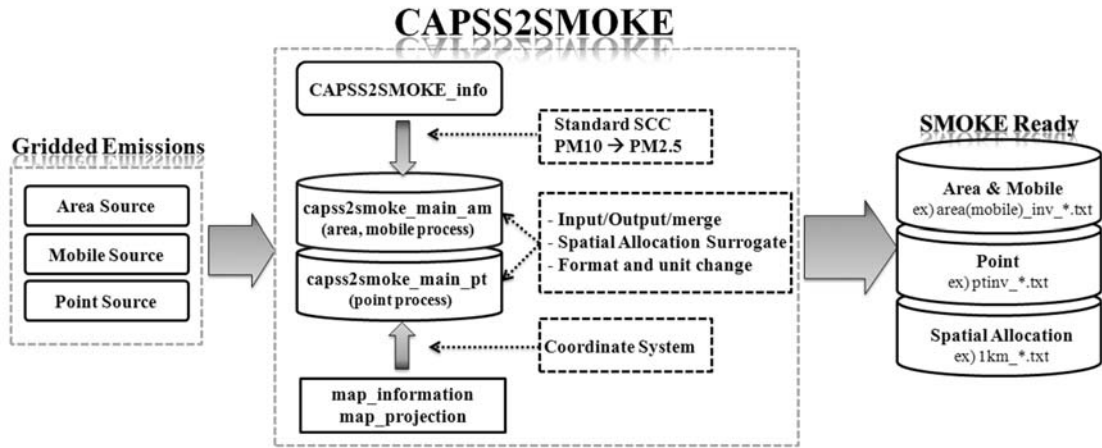


Fig. 2. Schematic diagram of CAPSS2SMOKE program.

나라 장래 사용할 수 있는 기능을 쉽게 확장할 수 있도록 설계한 원칙이다.

2.3 CAPSS2SMOKE 구성 및 내용

2.3.1 프로그램 구성 및 주요 내용

대기질 모델 입력 자료를 작성하기 위해서는 다수 다량의 자료를 통해 일정 형식의 입력 자료를 산출해야 한다. 이를 위해 별도의 사용자 작성 프로그램 또는 상용 프로그램을 사용하여 자료를 추출하고 변환하는 등의 과정이 필연적으로 동반되게 된다. 이런 기반 자료를 통해 모델링 입력 자료를 준비하기 위해서는 복잡한 변환 과정과 유사한 과정을 반복적으로 수행하여야 하며, 사용되는 프로그램들의 미세한 조정을 필요로 한다(Lee *et al.*, 2011b). 이러한 일련의 배출량 입력 자료의 작성 및 처리를 포함하여 개발된 ‘CAPSS2SMOKE’ 프로그램의 주요 기능 및 프로그램 구성은 그림 2와 같다.

본 연구에서 개발된 CAPSS2SMOKE 프로그램은 두 가지의 주요한 프로그램으로 구성되어 있다. 이 중에서 CAPSS2SMOKE_main_am은 격자별 먼 및 이동오염원 배출량을 배출 모델에 맞도록 처리하며, CAPSS2SMOKE_main_pt은 점오염원의 배출량을 SMOKE 모델의 입력자료 형태로 변환하도록 개발되었다. 본 메인 프로그램은 자료의 입출력 과정, 포맷의 변환, 단위 변환, 시도별 및 오염원 분류 체계별 배출량으로 병합하는 과정 등을 포함하고 있다. 더불어

두 가지 서브루틴(Subroutine) 프로그램을 이용하여 오염원별 배출량 합산 자료를 공간적으로 분배하는 공간 할당 계수 산정 과정을 포함하였다. 서브루틴 프로그램을 자세히 살펴보면, CAPSS2SMOKE_info에서는 PM₁₀을 PM_{2.5} 배출량으로 할당하기 위한 과정과 CAPSS의 오염원 분류체계와 연료분류 체계를 포함하는 표준 오염원 분류체계 작성과정을 포함하고 있다. 다음으로 map_info와 map_projection 등의 서브루틴 프로그램은 모델에서 필요로 하는 좌표 체계로 변환하는 과정이 수행된다. 이러한 서브루틴 프로그램을 메인 프로그램 밖에서 작성한 이유는 오염원, 연료 등의 분류체계 변경 등의 상황에 메인 프로그램의 변경 없이 서브루틴 프로그램 수정만으로 효율적으로 대처하기 위한 것이다.

2.3.2 표준 오염원 분류 체계 생성

국내 대기오염물질 배출량을 SMOKE 모델에 적용하기 위해서는 CAPSS에서 사용하는 8자리의 오염원분류체계와 5자리의 연료 분류체계를 모두 포함한 새로운 분류가 필요하다. 따라서 기존의 오염원 분류 체계에 2자리의 새로운 연료 코드를 적용하여 총 10자리의 오염원 분류 체계를 고안하였다. 본 연구에서는 Kim *et al.* (2006)에 개발한 43종의 연료 분류에서 미래의 확장성을 고려하여 139개의 CAPSS의 연료 분류를 성분별로 나누어 총 62개의 새로운 연료 분류 코드를 생성하였다. 표준 오염원 분류 체계에 따른 CAPSS 연료 분류 체계에 대한 할당 지표는 표 2

Table 2. New fuel code matching with CAPSS fuel code.

New fuel code	Fuel classification	CAPSS fuel code
1	Private heating and civil anthracite coals	10101, 10108
2	Non private heating and civil anthracite coals	10102, 10109
3	Cheonwoon coal	10103
4	Not classified anthracite	10199
5	Bituminous	10200, 10201
6	Coke	10300, 10301
7	Wood	10400, 10401
8	Charcoal	10500, 10501
9	Brown coal	10600, 10601
10	Peat coal	10700, 10701
11	Coal tar	10800, 10801
12	Other solid fuel	10900, 10901
13	Brimstone	11000, 11001
13	Brimstone	11001
14	B-A oil	20100-20105
15	Not classified B-A oil	20199
16	B-B oil	20200-20205
17	Not classified B-B oil	20299
18	B-C oil, LSWR	20300-20307
19	Not classified B-C oil	20399
20	Diesel	20400-20407
21	Not classified diesel	20499
22	Kerosene	20500-20503
23	Not classified kerosene	20599
24	High-grade gasoline	20601
25	Regular and Intermediate gasoline	20602, 20603
26	Unleaded gasoline	20604
26	Regular unleaded gasoline	20605
27	High-grade unleaded gasoline	20606
28	Not classified gasoline	20699
29	Jet aircraft fuel	20700-20703
30	Jet aircraft gasoline	20704
31	Not classified aircraft oil	20799
32	Naphtha	20800, 20801, 20802
33	Not classified naphtha	20899
34	Solvent	20900, 20901
35	Crude oil	21000, 21001
36	Asphalt oil	21100, 21101
37	Lube base oil	21200, 21201
38	Lubricating oil	21300, 21301
39	Petmleum coke	21400, 21401
40	Other liquid fuel	21500-21502
41	Methanol	21600, 21601
42	Ethanol	21700, 21701
43	Benzene	21800, 21801
44	Toluene	21900, 21901
45	Acetylene	22000, 22001
46	Transient life fuel	23001
47	TLF (heavy oil)	23002
48	Electricity power	30100, 30101
49	LPG (Propane, Butane)	40100-40102
50	Liquefied natural gas	40200, 40201
51	Process gas COG. air gas	40300, 40301
52	Mixed gas	40400, 40401

Table 2. Continued.

New fuel code	Fuel classification	CAPSS fuel code
53	Refining gas	40500, 40501
54	Paraffin wax	40600, 40601
55	Hydrogen	40700, 40701
56	Methane gas	40800, 40801
56	Landfill gas	40802
57	Ethane	40900, 40901
58	Carbon monoxide	41000, 41001
59	Coal gas	41100, 41101
60	Water gas	41200, 41201
61	CNG	41300
62	Other	99999

Table 3. Example of new PM_{2.5}/PM₁₀ ratio used in the CAPSS2SMOKE program.

CAPSS SCC	Source classification for CAPSS	Source classification for AQMP	PM _{2.5} /PM ₁₀ ratio
01010100	Combustion in electric generation/Public	Fuel Combustion/Electric Utilities	0.99
01020100	Combustion in electric generation/ District heating	Fuel Combustion/Cogeneration	1.00
02010100	Non-industrial combustion/ Commercial & institution	Fuel Combustion/Service and Commercial	0.99
04010100	Industrial Processes/petroleum product	Industrial Processes/Oil and Gas Production	1.00
04020101	Industrial Processes/Iron & steel manufacture	Industrial Processes/Metal Processes	0.68
04040101	Industrial Processes/Inorganic chemical	Industrial Processes/Chemical	0.84
04060101	Industrial Processes/Wood & pulp	Industrial Processes/Wood and Paper	0.60
09010104	Waste disposal/Waste incineration	Waste Disposal/Incineration	0.75
10010101	Agriculture/Use of fertilizer	Miscellaneous Processes/Farming Operations	0.25
07010101	Mobile source on road/Cars	On-Road Motor Vehicles/ Light Duty Passenger Auto	0.46
07040101	Mobile source on road/Buses	On-Road Motor Vehicles/ Diesel Urban Buses (UB)	0.55
08020101	Mobile source on non-road/Railroad	Other Mobile Sources/Trains	0.92
08040101	Mobile source on non-road/Aircraft	Other Mobile Sources/Aircraft	0.49
...

*Reference: Attachment A to Appendix III Draft Final 2012 AQMP, Annual Average Emissions by Major Source Category, South Coast Air Quality Management District Governing Board, 2012

와 같다.

2. 3. 3 PM_{2.5} 배출량 산정

CAPSS 배출량 산정시 먼지 부문은 Total Suspended Particles (TSP)와 PM₁₀ 배출량만을 포함하고 있다. 이에 따라 미세먼지 예측을 위해 배출 모델에 필요로 하는 배출원별 PM_{2.5} 배출량 산출 과정이 추가적으로 필요하다. 본 연구에서는 Kim *et al.* (2008b)의 방법을 적용하여 PM₁₀ 중 PM_{2.5} 분율을 활용하여 PM_{2.5} 배출량을 작성하였다. Kim *et al.* (2008b)에서는 PM_{2.5}/PM₁₀ 배출 비율을 산정하기 위하여 2003년 Air Qua-

lity Management Plan 보고서를 활용하였으며, 본 자료의 기준 연도 배출량인 1995년의 주요 오염원별 연간 평균 배출량을 활용하였다(SCAQMD, 2003). 그러나 본 연구에서는 미세먼지의 예측 정확도를 높이기 위해 가장 최신의 세분화된 PM_{2.5} 배출량 할당하기 위하여 2012년에 배포된 AQMP의 최종보고서를 활용하였다. 이때, PM₁₀ 중 PM_{2.5} 배출량 비율은 AQMP 보고서의 기준 연도인 2008년 주요 오염원별 연간 평균 배출량을 이용하였다(SCAQMD, 2012). 또한 앞선 연구에서는 배출원 대분류별 미세먼지 비율만을 할당하였으나 본 연구에서는 세분화된 배출원별 미

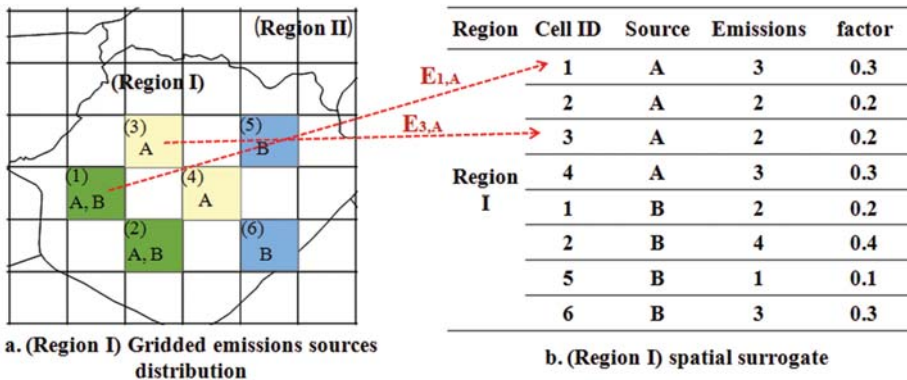


Fig. 3. Example of spatial allocation.

세먼지 비율을 적용함으로써 미세먼지의 배출원별 특성을 반영하고자 하였다(표 3).

2. 3. 4 좌표 변환 시스템 및 자료 형식 변환

대기정책지원시스템에서는 대기오염물질 배출량을 TM 좌표를 기반으로 작성함에 따라 CAPSS2SMOKE 프로그램은 모델에서 필요로 하는 위·경도 및 Lambert Conformal Conic(LCC) 등의 좌표 시스템으로 변환하는 과정을 포함하고 있다. 또한 SMOKE 모델링 시스템의 일반적 접근법을 사용한 실행에는 입력 자료를 일정한 형식으로 변환하는 과정이 필요하다. Linux 기반의 SMOKE 모델링 시스템에서 요구하는 입력 자료의 형식은 Inventory Data Analyzer (IDA), Emission Modeling System, '95(EMS-95), 그리고 one-record-per-line (ORL) 등이 있다. 특히, 기준 물질과 PM 국가 배출량 인벤토리(NEI) 자료는 대부분 IDA 형식이나 ORL 형식을 활용함에 따라 본 연구에서는 IDA 형식에 따라 점, 면 및 이동오염원 배출량으로 변환하는 과정을 CAPSS2SMOKE 프로그램에 수록하였다. 면, 이동 그리고 점 오염원 배출량의 입력 자료 형식(IDA)은 www.smoke-model.org의 User's manual을 활용하였다(CEP, 2004).

2. 3. 5 공간 할당 자료 작성

CAPSS 격자별 배출량은 배출 모델에서 필요로 하는 도메인별 배출량 할당을 위해서는 공간할당계수(spatial allocation surrogate) 작성과정이 필요하다. 그림 3은 CAPSS2SMOKE를 이용하여 오염원별, 격자별 할당 계수 작성 과정의 예시를 나타낸 것이다. 예

를 들어 Region I 지역의 A 오염원에서 배출하는 총 배출량을 $E_{total,A}$ 라고 할 때, 1번 격자의 A 오염원에서 배출되는 개별 배출량인 $E_{1,A}$ 를 앞선 총 배출량으로 나누어 주면 해당 격자의 공간 할당 자료(0.3)가 된다. 이렇게 산정된 공간할당계수는 SMOKE 모델 내의 Surgtool 프로그램을 이용하여 대기질 모델에 필요한 각 도메인별 공간할당계수를 산정하는데 기반 자료로 활용된다(CEP, 2004).

이렇게 CAPSS2SMOKE를 활용하여 공간할당계수가 작성될 경우, 이러한 공간 할당계수와 함께 행정구역별 배출량이나 임의의 배출량을 SMOKE 입력 자료로도 사용가능하며, 이러한 과정의 예시를 그림 4와 같이 제시하였다.

대기정책지원시스템의 점오염원 배출량의 경우 TM 좌표를 km 단위로 산정함에 따라 인접지역의 배출원을 동일 지점으로 처리하고 있다. 이에 본 연구에서는 각 배출원의 정보를 활용하지 못하는 문제점을 보완하기 위하여 CAPSS2SMOKE 프로그램에서는 동일 지점으로 처리된 배출원(굴뚝)을 서로 분리하여 각 배출원의 배출량뿐만 아니라 배출원 정보까지 개별적으로 활용함으로써 보다 정확한 입력 자료를 적용하도록 하였다.

3. 프로그램 적용 결과

본 연구에서는 개발된 CAPSS2SMOKE 프로그램을 검증하고자 2009년 대기오염물질 배출량(CAPSS)과

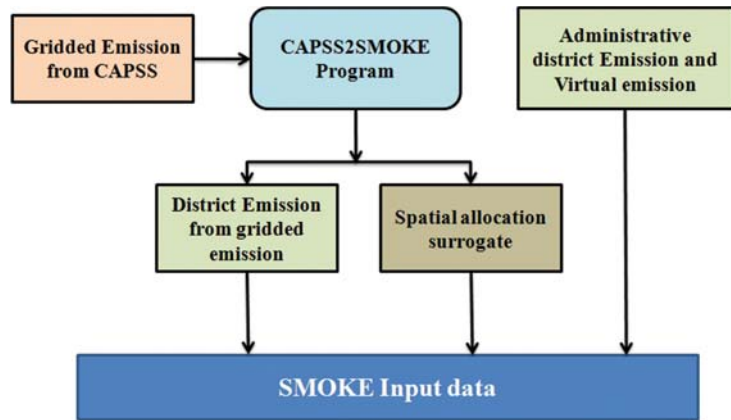


Fig. 4. Application example using spatial allocation surrogate.

Table 4. Regional Emissions of CAPSS and SMOKE output (ton/year).

SYSTEM	Region	CO	NO _x	VOC	NH ₃	SO ₂	PM ₁₀
CAPSS emissions	National	932,825	1,170,889	938,721	305,979	461,573	322,328
	Seoul	165,960	76,674	86,380	5,356	5,028	17,544
	Incheon	57,644	55,727	56,246	6,164	18,743	8,340
	Gyeonggi	166,115	198,021	188,426	50,281	44,330	49,393
SMOKE output emissions	National	932,826	1,170,893	938,721	305,978	461,573	322,328
	Seoul	165,962	76,673	86,380	5,356	5,028	17,544
	Incheon	57,645	55,727	56,246	6,164	18,743	8,340
	Gyeonggi	166,114	198,022	188,425	50,281	44,330	49,393

* ton unit: short ton (=1.102311metric ton)

개발된 프로그램을 통해 작성된 입력 자료를 배출 모델(SMOKE)에 적용한 결과를 비교 분석하였다. 2009년 대기오염물질 배출량을 SMOKE 모델에 적용하기 위하여 총 685개의 오염원 표준 분류 체계와 미국의 오염원 분류 체계간의 연결 과정(mapping)을 수행하였고, 모델 내의 레퍼런스 프로파일(reference profile) 등의 입력 자료 등을 수정하였다.

SMOKE 모델의 실행을 통하여 배분된 배출량의 지역별 총 값과 CAPSS 배출량의 입력 자료를 비교한 값은 표 4와 같다. 2009년 CAPSS 배출량과 SMOKE 실행 결과 산출된 전국 배출량은 모든 물질에서 연간 5톤 미만의 차이를 나타내고 있었고, 평균 오차 역시 0.001% 미만으로 거의 차이가 없는 것으로 분석되었다. 수도권의 지역별 오염물질 배출량의 경우 CO와 NO_x의 경우 연간 1~2톤 정도의 차이가 나타났으나, 그 외 오염물질의 경우 차이가 없거나 1톤

이하로 입력 자료를 잘 반영하는 것으로 분석되었다.

다음으로 개발된 프로그램을 이용하여 작성된 배출량이 SMOKE 실행에 따라 공간적으로 잘 배분되었는지를 알아보기 위하여 먼 및 이동오염원의 NO_x 배출량 분포를 비교·분석하였다(그림 5). 분석을 위해 3 km×3 km 격자의 수도권 지역 SMOKE 실행 결과와 CAPSS의 1 km×1 km 격자의 수도권 배출량을 활용하였다. 사용된 배출량은 동일한 영역에 대해 분석한 결과로 CAPSS 배출량의 경우 TM 격자 체계로 표시하였고 SMOKE 결과는 위경도 격자 체계로 제시하였다. 이때, 그림 5의 CAPSS 자료(5-a, 5-c)는 수도권 지역만을 나타낸 것으로 서산, 당진 등의 충청남도 및 강원도 일부 지역의 배출량은 제외된 것이다.

SMOKE 실행 결과, 격자 배출량은 CAPSS의 9개 격자 배출량을 합산한 것과 같으므로 배출량의 최대

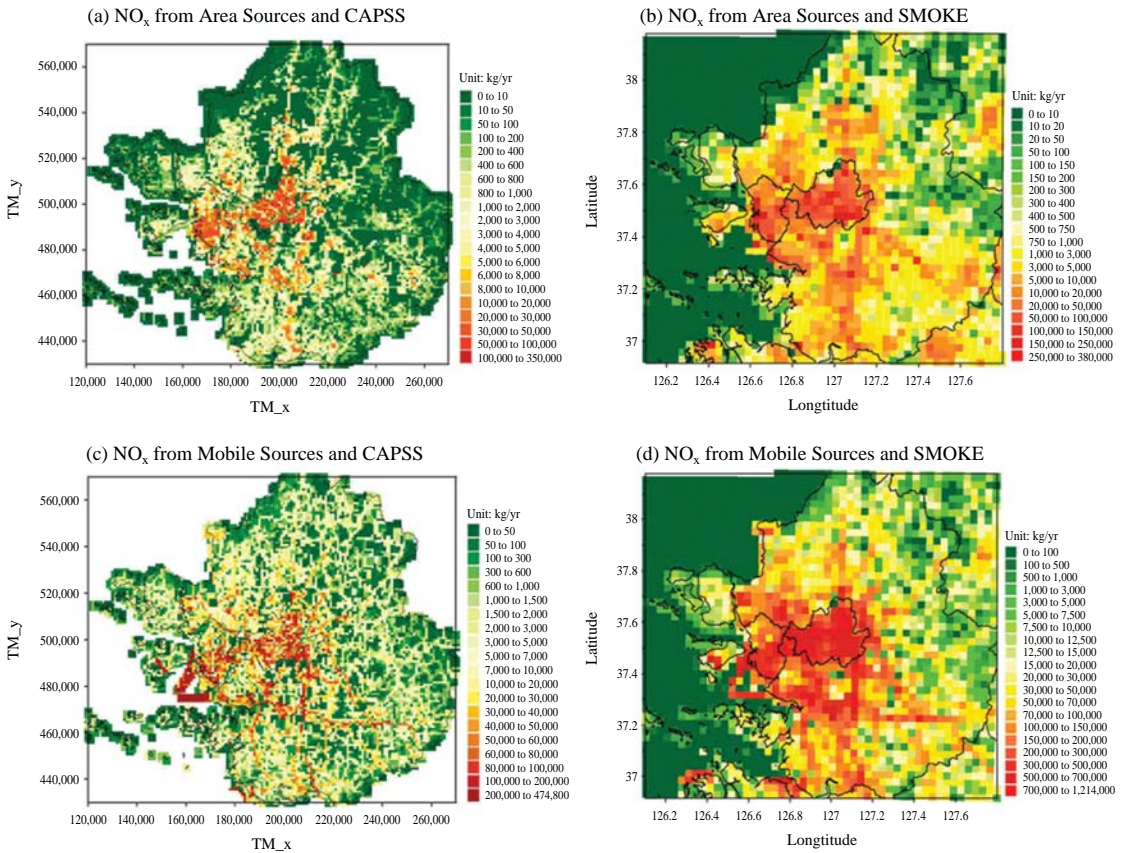


Fig. 5. Comparison of spatial distribution of NO_x emissions: (a) CAPSS 1 km × 1 km NO_x emissions from area sources, (b) SMOKE output 3 km × 3 km NO_x emissions from area sources, (c) CAPSS 1 km × 1 km NO_x emissions from mobile sources and (d) SMOKE output 1 km × 1 km NO_x emissions from mobile sources.

값은 높아졌고, 배출량이 높은 지역과 낮은 지역이 혼재된 지역에서의 배출량 구배는 비교적 평탄화(smoothing)되었다. 세부적으로 살펴보면, SMOKE 실행에 따른 면오염원의 NO_x 배출량은 CAPSS 배출량에서 나타난 바와 같이 서울시, 인천 및 경기 남부 지역 등을 주요 고배출 지역(hot spot)으로 잘 나타내고 있었다. 이동오염원의 NO_x 배출량은 역시 교통 부하량이 높은 서울시와 경기도 주변 고속 및 지방도로 그리고 비도로 이동오염원의 교통량이 높은 인천 주변 항만 등을 NO_x 고배출 지점으로 잘 나타내고 있었다. 따라서 SMOKE 실행을 통해 생성된 NO_x 배출량의 공간 분포가 CAPSS 배출량의 공간 분포를 잘 반영하는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

대기화학모델을 이용하여 대기환경을 예측하고 이 결과를 토대로 대기정책을 수립하기 위하여 신뢰성과 투명성이 확보된 입력 자료가 필요하다. 특히, 대기질 예측의 기반이 되는 배출량 입력 자료의 표준화는 대기화학모델링 결과의 신뢰성 및 활용성을 제고하기 위하여 반드시 필요하다. 따라서 본 연구를 통해 대기화학모델에 입력 자료로 활용되는 배출 모델의 결과를 보다 향상시키고 체계적이고 효율적인 배출량 입력 자료를 산출하기 위하여 국가 대기오염 물질 배출량을 이용하여 표준화된 배출량 자료 처리 과정을 포함한 CAPSS2SMOKE 프로그램을 개발하고자 하였다.

본 자료 처리 프로그램을 위해 CAPSS 배출량의 오염원 및 연료 분류 체계를 고려한 새로운 표준 오염원 분류 체계를 고안하였다. 또한, PM₁₀ 배출량 중 PM_{2.5} 배출량 산정 비율을 최신의 자료를 기반으로 작성하였고 공간 할당 방법을 개선하여 원자료인 국가 대기오염물질 배출량과의 일치도를 향상시켰다. 이러한 CAPSS2SMOKE 프로그램 개발에 따른 배출량을 SMOKE 모델에 적용하여 CAPSS 국가대기오염물질 배출량과 비교 검증 결과, 전국 및 수도권의 지역별 배출 총량은 입력 자료인 대기오염물질 배출량과 일치하며, 공간적 분포 역시 대기오염물질 배출량의 공간 할당을 적절히 반영하는 것으로 분석되었다.

CAPSS2SMOKE 프로그램은 대기화학모델의 신뢰도를 좌우하는 배출량 입력 자료 작성 과정을 투명하게 운영함으로써 모델 결과의 정확도 및 신뢰도의 향상을 목적으로 개발되었다. 이렇게 개발된 프로그램은 대기모델링 지원시스템 홈페이지 (<http://capmos.nier.go.kr>)를 통하여 사용자들에게 제공 및 공유함으로써 대기화학모델의 활용도를 높일 뿐만 아니라 연구자들 간의 소통을 통해 입력 자료 개선 연구에도 도움이 될 것으로 사료된다. 또한 대기정책 수립 및 평가에 따른 대기질 예측 모델링 수행에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 추후 개발된 프로그램을 이용하여 대기질 예측 연구와 배출량 및 입력 자료 처리 방법에 대한 개선 연구에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

References

CEP (2004) "User's manual for Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Modeling System". Available online: <http://cf.unc.edu/cep/emppd/products/smoke/version2/html/>.

Coats, C.J., Jr. and M.R. Houyoux (1996) Fast emissions modeling with the Sparse Matrix Operator Kernel Emissions modeling system, Presented at The Emissions Inventory: Key to Planning, Permits, Compliance, and Reporting, Air & Waste Management Association, New Orleans, LA, September 1996.

Houyoux, M.R., J.M. Vukovich, C.J. Jr. Coats, N.W. Wheeler, and P.S. Kasibhatla (2000) Emission inventory de-

velopment and processing for the seasonal model for regional air quality (SMRAQ) project, *J. Geophys. Res.*, 105, 9079-9090.

Kim, D.Y., S.M. Choi, and G.T. Joe (2004) Development of emission modeling system for air quality modeling, *Proceeding of the 37th meeting of KOSAE*, 74-75.

Kim, J.S., D.I. Jung, J.H. Hong, J.Y. Kim, S.J. Ban, S.N. Park, Y.M. Lee, and E.G. Choi (2006) Development of Modeling Input System for Air Quality Assessment in Seoul Metropolitan Areas, NIER.

Kim, J.Y., J.S. Kim, J.H. Hong, D.I. Jung, S.J. Ban, and Y.M. Lee (2008b) Assessment of Changed Input Modules with SMOKE Model, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 24(3), 284-299. (in Korean with English abstract)

Kim, S.T. (2011) Ozone Simulations over the Seoul Metropolitan Area for a 2007 June Episode, Part I: Evaluating Volatile Organic Compounds Emissions Speciated for the SAPRC99 Chemical Mechanism, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 27(6), 772-790. (in Korean with English abstract)

Kim, S.T. and J.B. Lee (2011) Estimating Influence of Local and Neighborhood Emissions on Ozone Concentrations over the Kwang-Yang Bay based on Air Quality Simulations for a 2010 June Episode, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 27(5), 504-522. (in Korean with English abstract)

Kim, S.T., N.K. Moon, and D.W. Byun (2008a) Korea Emissions Inventory Processing Using the US EPA's SMOKE System, *Asian J. Atmos. Environ.*, 2(1), 34-46.

Kling, R. (1999) Application Development with IDL: Combining Analytical Methods with Widget Programming, Ronn King Consulting.

Lee, D.G., C. Yoo, Y.M. Lee, M.H. Lee, and J.H. Hong (2011a) Development of standardized data for Clean Air Policy Modeling System, NIER.

Lee, D.G., Y.M. Lee, K.W. Jang, C. Yoo, K.H. Kang, J.H. Lee, S.W. Jung, J.M. Park, S.B. Lee, J.S. Han, J.H. Hong, and S.J. Lee (2011b) Korean National Emissions Inventory System and 2007 Air Pollutant Emissions, *Asian J. Atmos. Environ.*, 5(4), 278-291.

Lee, Y.M., H.J. Lee, C. Yoo, J.H. Song, J.Y. Kim, and J.H. Hong (2009) Verification of Mobile Emission for CMAQ using an Observation-based Approach in Seoul Metropolitan Area, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 25(5), 369-381. (in Korean with English abstract)

- Moon, N.K., K.Y. Lee, and S.T. Kim (2008) A comparison of ozone simulation using CMAQ and CAMx over Seoul Metropolitan Area, Proceeding of the 47th meeting of KOSAE, 383-385.
- NIER (2005a) Air pollution forecasting and management system on 5th : Overall report.
- NIER (2005b) Air pollution forecasting and management system on 5th : The method of emission calculation and report of building GIS data.
- NIER (2006) Estimation and verification of national air pollutants emissions and improvement of application program, NIER.
- NIER (2007) Manual of air pollutants emission calculation method.
- NIER (2010) Manual of air pollutants emission calculation method II.
- SCAQMD (2003) Air Quality Management Plan.
- SCAQMD (2012) Final Program Environmental Impact Report of the 2012 Air Quality Management Plan.