

PC7) 한반도에서 GOME 및 CMAQ NO₂ 증적분 농도의 상호 비교 및 NO_x 소멸 연구

Comparisons between CMAQ and GOME-derived NO₂ columns and NO_x losses

한경만¹⁾ · 송철한¹⁾ · 이재화²⁾ · 김 준²⁾ · 이철규^{1,3)} · A. Richter⁴⁾

¹⁾광주과학기술원 환경공학과, ²⁾연세대학교 대기과학과,

³⁾Department of Physics and Atmospheric Science, Dalhousie University,

⁴⁾Institute of Environmental Physics, University of Bremen

1. 서 론

최근 공개된 2006년 INTEX-B emission inventory에 따르면, 중국지역에 대해 NO_x와 CO 배출량은 ACE-ASIA emission inventory와 비교하여 각각 55%, 18%의 증가를 보이고 있다. 이러한 증가는 위성관측을 통한 NO₂ 증적분 농도 증가에서도 확인되고 있다(Richter et al., 2005). Han et al.(2009)의 연구에서는 CMAQ NO₂ 증적분 농도가 GOME NO₂와 비교하여 중국 동중부(CEC) 지역에서 CMAQ NO₂가 과소 평가되었고, 남한 지역에서 CMAQ NO₂가 과대 평가되었음을 확인하였다. 중국지역을 대상으로 모델링과 관측을 통한 NO₂ 증적분 농도를 비교하는 많은 연구가 수행되었음에도 NO_x 소멸에 관한 연구는 미미하고, 본 연구에서는 한반도 지역에서 NO_x의 소멸과 CMAQ 및 GOME NO₂ 증적분 농도 상호 비교를 통해 NO_x 배출량 자료 정확도를 평가하고자 하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서는, Han et al.(2009)의 선행된 연구방법을 기초로, Models-3/CMAQ v4.5.1 모델링을 수행하였고, MM5 모델링을 통해 기상장을 마련하였다. 모델링 기간은 4계절에 대해 각각 3주간 수행되었다. 인위적 배출량 자료는 국가별로 서로 다른 emission inventory가 적용되었고, 표 1에 정리하여 나타내었다. 중국지역에 대해 NO_x 배출량을 40% 증가시켰다. NO_x와 NH₃는 배출량의 계절적 요인을 동시에 고려하였다. 자연 배출량인 isoprene과 monoterpene은 GEIA emission inventory로부터 확보하였고, 이를 중국지역에 대해서는 70%, 그 외 지역에서는 50% 감소시킨 상태로 모델링을 구동하였다.

Table 1. Emission inventories and species used in this study.

Regions	Emission inventory	Species
China and North Korea	ACE-ASIA	SO ₂ , NO _x , NMVOCs, CO, CO ₂ , NH ₃ , BC, OC
South Korea	CAPSS	SO ₂ , NO _x , Total NMVOC, CO, NH ₃
	ACE-ASIA	NMVOC ¹ , CO ₂ , BC, OC
Japan	REAS	SO ₂ , NO _x , NMVOCs, CO, CO ₂ , NH ₃
	ACE-ASIA	BC, OC

3. 결과 및 고찰

그림 1은 4계절에 대해, CMAQ과 GOME으로부터 산출된 NO₂ 증적분 농도와 그 차이를 나타낸 것으로, 북한 지역에서는 CMAQ NO₂ 농도 level이 GOME NO₂와 비교하여, 계절별로 일치하고 있고, 그 차이에 있어서도, GOME NO₂ 산출 error인 $0.5 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{15} \text{ molecules cm}^{-2}$ 범위에 상당히 근접한 값을 나타내고 있다. 하지만, 남한 지역에서는 시·공간적으로 편차를 보이고 있고, 여름과 겨울에는 CMAQ NO₂가 GOME NO₂보다 큰 값을 보이고 있는 반면, 가을에는 CMAQ NO₂가 GOME NO₂보다 작은 값을 보이고 있다. 또한 부산 인근 지역에서는 CMAQ NO₂가 GOME NO₂보다 전 계절에 걸쳐 큰 값을 보이는데, 이는 남한지역에 적용된 CAPSS NO_x 배출량 자료가 과대한게 산정된 것으로 판단이 된다. 또한, GOME sensor에서는 중국으로부터 장거리 이동되는 NO₂ plume을 잘 포착하고 있으나, CMAQ NO₂에서는 이를

잘 모의하고 있지 못하기 때문에, 그 차이 값이 황해 상공에서 (-) 값 ('파란색')을 나타내고 있다. 이런 두 영향의 개선을 통해 CAPSS 배출량 자료의 정확한 정량화가 확보될 것으로 판단된다. 그림 2는 남한과 북한 지역에서 NO_x의 화학적 소멸의 연직 분포를 나타내는 것으로, NO_x 화학적 소멸 속도는 아래 반응식을 바탕으로 계산되었다(Song et al., 2003; Han et al., 2009). NO_x 화학적 소멸은 봄과 여름에 남한 지역에서 큰 값을 나타내고 가을과 겨울에는 북한 지역에서 큰 값을 나타내고 있다. 이것은 봄과 여름철 고농도의 OH라디칼과 NO₂의 반응이 더욱 활발하기 때문에 남한 지역에서 큰 값을 보이고, 가을과 겨울철에는 OH라디칼의 농도가 낮기 때문에 PAN의 열분해가 활발한 남한 지역에서, PAN의 열분해로 인해 NO₂의 공급이 많아져 NO_x 화학적 소멸이 작은 값을 보이고 있다.

$$L_{NO_x} = k_1 [NO_2][OH] + k_2 [NO_3][HCHO] + k_3 [NO_3][ALD2] + k_{4,h} [NO_3] + 2k_{5,h} [N_2O_5] + k_6 [NO_2][RO] + k_7 [NO][RO_2] + k_8 [NO_2][CH_3C(O)O_2] - k_9 [PAN]$$

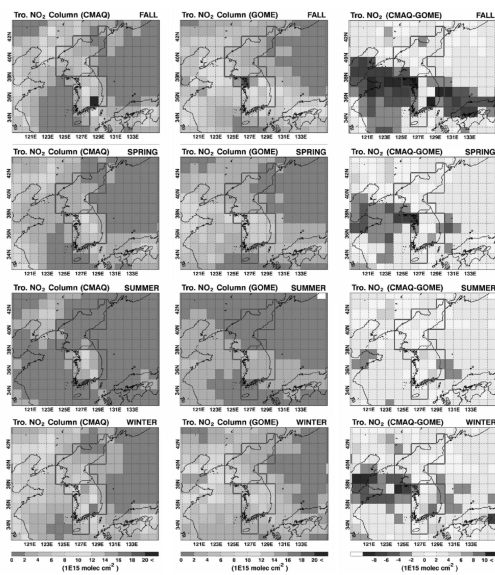


Fig. 1. Seasonal variations of the CMAQ and GOME-derived NO₂ columns and their differences (unit: 1×10^{15} molecules cm^{-2}) in the Korean peninsula.

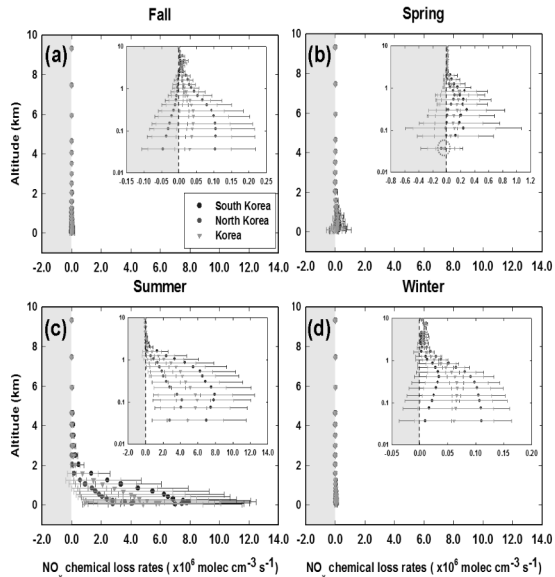


Fig. 2. Vertical distribution of NO_x chemical loss rate over the Korean peninsula.

사 사

본 연구는 한국환경산업기술원의 차세대 핵심환경기술개발사업(121-081-055) 및 한국과학재단의 도약연구지원사업 (No.R17-2008-042-01001-0)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Han, K.M. et al. (2009) Investigation of NO_x emissions and NO_x-related chemistry in East Asia using CMAQ-predicted and GOME-derived NO₂ columns, Atmos. Chem. Phys, 9, 1017-1036.
- Richter, A. et al. (2005) Increase in tropospheric nitrogen dioxide over China observed from space, Nature, 437, 12-132.
- Song, C.H. et al. (2003) Dispersion and chemical evolution of ship plume in the marine boundary layer: investigation of O₃/NO_y/HO_x chemistry, JGR, 108(D4), 4143, doi10.1029/2002JD002216, ACH4: 1-18.