

PC10) 선박배출 플룸 모델의 활용에 관한 연구 Application of Newly-developed Ship-plume Model

김현수 · Nguyen Thi Xuan · 이소진 · 김용훈 · 송철한
 광주과학기술원 환경공학과

1. 서 론

대형 선박으로부터 기인하는 오염물질은 MBL(Marine Boundary Layer)의 대기환경과 climate change의 관점에서 매우 중요하다. 최근 emission estimation 결과에 의하면 전지구적 화석연료의 사용에 의해 배출되는 NO_x와 SO₂중 대형선박으로부터 배출되는 NO_x와 SO₂가 전체 배출량의 21%와 7%를 차지하고 있으며, 이 중 SO₂는 non-sea-salt sulfate의 중요한 source로 작용한다. Sulfate의 생성량 증가는 구름의 응결핵인 CCN(Cloud condensation nuclei)의 생성량을 증가시키며, CCN의 생성량 증가로 인하여 전 지구적으로 약 -0.11(W/m²)의 cooling effect를 발생 시킨다. 또한 NO_x의 경우 MBL의 대기 중에 중요한 oxidants인 OH와 O₃의 농도를 증가시킴으로서 대기 중 산화반응의 사이클을 활성화 시킨다. 본 연구에서는 선박 배출 오염 플룸 내의 non-linear한 chemistry과정을 모사할 수 있는 plume-dynamics model의 시뮬레이션을 통해 chemical NO_x lifetime, HNO₃의 reaction probability 및 OPE(Ozone production efficiency)의 연구에 활용하였다.

2. 연구 방법

본 연구에서 개발된 reactive plume모델은 해양 대기 중 화학적 변환과정의 고려를 위해 NMHCs(Non Methane HydroCarbons) 관련 대기화학 메커니즘이 modified된 Lurmann et al.(1986)의 chemical mechanism을 적용하였으며, 해양 대기 중 난류확산 과정은 Briggs (1972)과 Hanna et al.(1985)의 parameterization에 기초하였다. 또한 오염플룸의 전체 볼륨에서의 화학적 변이과정의 모사를 위해 primary pollutants인 NO_x, SO₂, CO₂의 concentration distribution을 Gaussian 분포를 가진다 가정하였으며, 이를 통해 산출되는 frequency function를 통해 아래의 식 (1)을 통해 F_c(concentration factor)를 산출하였다. 또한 산출된 플룸의 임의이 지점 χ와 임의이 시간 t에서의 F_c(χ,t)와 플룸 중심선에서의 농도인 C_i과 곱해 줌으로서 아래의 식 (2)와 같이 플룸내의 primary pollutants의 concentration distribution을 나타내었다.

$$F_c(\chi, t) = \exp\left[\frac{-\chi^2}{2\sigma(t)^2}\right] \quad (1)$$

$$C_i(\chi, t) = C_{i,cl} F_c(\chi, t) \quad (2)$$

따라서 선박 배출 플룸의 난류확산 과정과 화학적 변이과정에 의한 오염물질 i의 net change는 아래와 같이 표현되어 진다.

$$\Delta C_i^N = \Delta C_i^D + \Delta C_i^R \quad (3)$$

개발된 모델 활용하여 chemical NO_x lifetimes을 산출 하였으며, instantaneous NO_x lifetime은 아래의 식 (4) 및 (5)와 같이 NO_x의 농도를 instantaneous NO_x의 loss rate (Lⁱ_{NO_x})로 나뉘 줌으로서 계산될 수 있다.

$$L_{NO_x}^i = k_1 [OH][NO_2] + k_2 [DMS][NO_3] + k_{mt,NO_3}[NO_3] + 2k_{mt,N_2O_5}[NO_3] + k_3 [CH_3CO_3][NO_2] - (k_4 + J_1)[PAN] \quad (4)$$

$$\tau_{NO_x}^i = \frac{[NO] + [NO_2]}{L_{NO_x}^i} \quad (5)$$

또한 HNO₃의 비균질 반응을 모수화하고자 하였으며, HNO₃의 sea-salt 표면에서의 reaction probability의 sensitivity test를 실시하였다. 이때 비균질 반응은 Schwartz equation을 적용하였으며, 이때 reaction probability외의 mass transfer coefficient에 영향을 미치는 aerosol surface density는 ITCT 2K2의 항공

측정의 결과를 활용 하였다. OPE의 정의는 NO_x의 molecule당 생성되는 O₃의 molecule이며, 아래의 식 (6)과 같이 ozone formation rate를 NO_x loss rate로 나눠줌으로서 산출 될 수 있다.

$$OPE = \frac{F_{O_3}}{L_{NO_x}} \quad (6)$$

3. 결과 및 고찰

아래의 그림 1은 각각 안정도가 F(stable)일 때의 모델의 구동을 통해 산출된 chemical NO_x lifetime과 OH 라디칼의 농도를 나타내고 있으며, 8개의 plume transects의 평균 $\tau_{NO_x}^i$ 은 2.68(hr)로 나타났다.

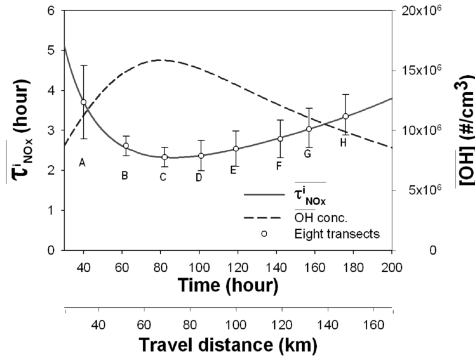


Fig. 1. Change in OH and $\tau_{NO_x}^i$ along the ship-plume transects.

또한 그림 2와 3에는 모델의 구동 및 관측을 통해 얻어진 HNO₃의 농도와 OPE의 비교를 나타내고 있다. 그림 2에 나타나 있듯이 HNO₃의 sea-salt 표면에서의 reaction probability는 그 값의 영역이 0.05-0.1 사이에 존재 하는 것으로 판단되며, 그림 3에 나타내었듯이 ship-plume dynamics 모델을 통해 산출된 OPE와 관측을 통해 얻어진 OPE은 그 값의 범위가 매우 일치 하고 있고 OPE의 값의 범위는 4.5-27.0으로 나타났다.

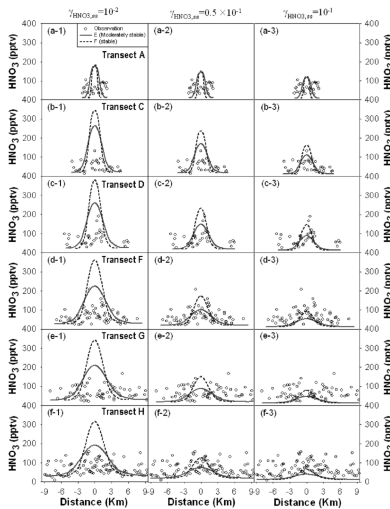


Fig. 2. Sensitivity tests for determining the HNO₃ reaction probability.

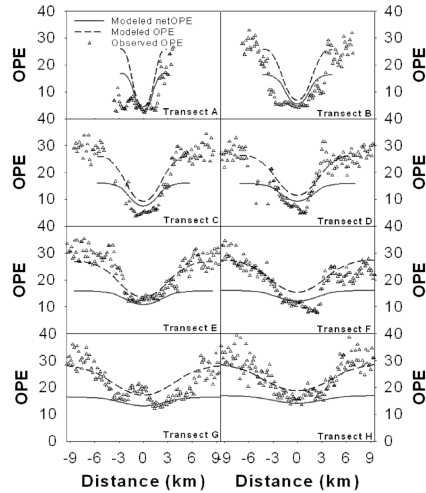


Fig. 3. The comparisons between modeled and observed OPE.

사 사

본 연구는 기상청 기상지진기술개발사업 응용기상기술개발사업(CATER 2006-3201)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Hanna, S.R., L.L. Schulman, R.J. Paine, J. Pleim, and M. Baer (1985) Development and evaluation of the Offshore and Coastal Dispersion Model, Journal of the Air Pollution Control Association, 35, 1039-1047.
- Lurmann, F.W., A.C. Lloyd, and R. Atkinson (1986) A chemical mechanism for use in long-range transport/acid deposition computer modeling, J. Geophys. Res., 91(D10), 10905-10936.