

PC6) 선박배출 플룸 모델을 활용한 HCHO budget 분석

Budget of Elevated Levels of HCHO within Ship Plumes: A Ship-plume Photochemical/Dynamic Model Analysis

김현수 · 송철한 · 우정현¹⁾

광주과학기술원 환경공학과, ¹⁾건국대학교 신기술융합학과

1. 서 론

선박에 운항으로 인한 오염물질의 배출은 해양대기의 광화학 사이클과 global radiation budget에 있어 매우 중요하다. 특히 선박 배출 플룸으로 인한 MBL(Marine Boundary Layer)의 HCHO 농도 상승은 atmospheric oxidation cycle(or $O_3/HO_x/N_xO_y$ photochemistry)을 간접함으로써 광화학 사이클과 global radiation budget에 영향을 미친다. 이러한 HCHO의 농도는 primary HCHO와 primary VOCs 및 해양대기의 CH_4 의 산화과정에 의해 그 농도가 상승하게 된다. 이러한 HCHO의 생성 budget 중 CH_4 의 산화는 global warming gas인 CH_4 의 농도를 감소시키기 때문에 선박의 오염 플룸에 의한 oxidation process의 활성화는 atmospheric warming을 저감하는 효과를 가지게 된다. Bey et al.(2001)과 Lawrence et al.(2001)의 CTM(Chemistry-Transport Model)을 적용한 연구 결과에 따르면 선박배출 오염물질의 배출량을 고려하지 않았음에도 불구하고 ~50%의 global CH_4 는 TBL(Tropospheric Boundary Layer)의 chemical loss에 의해 제거되며, 만약 선박 운항에 의한 NO_x 의 emission이 함께 고려된다면 이들에 의해 보고된 chemical loss량 보다 많은 CH_4 가 대기 중 화학반응 프로세스에 의해 제거 될 것이라 판단된다. 본 연구에서는 선박배출 플룸에 의한 HCHO의 주요 생성 프로세스 및 생성량에 관한 연구를 통해 HCHO의 budget을 규명하고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 Kim et al.(2009)에 개발된 photochemical/dynamic ship-plume model을 적용하였으며, 적용된 모델은 대기 중 난류확산에 의한 농도 변화와 플룸내의 non-linear 화학변환 과정을 동시에 고려함으로써 오염 플룸내 오염물질의 거동을 예측한다. 해양 대기 중 오염물질의 난류확산 과정의 고려를 위해서 Song et al.(2003)의 parameterization이 적용되었으며, chemistry scheme은 Lurman et al.(1986)의 chemical mechanism이 적용되었다. 또한 모델의 구동 조건은 base study에 경우에는 ITCT 2K2(International Transport and Chemical Transformation 2002)의 관측 결과가 활용되었으며, 잠재적 HCHO의 생성량을 판단하기 위한 constructed case study의 경우에는 GEOS-CHEM의 시뮬레이션 결과와 INDOEX, TRACE-P 및 PEM WEST B의 관측결과를 활용하였다. 특히 기존 고정된 배경조건을 고려하는 Lagrangian modeling의 한계점을 극복하고자 상자모델의 모의를 통해 MBL의 HCHO의 일변화의 정보를 산출 하였으며, 이를 통해 배경의 HCHO 일변화를 모델의 모의에 적용하였다. HCHO budget의 분석을 위한 선박배출 NMVOCs의 emission rate 및 speciation은 EPA(2002)와 Endersen et al.(2003) 및 Houyoux(2005)의 연구 결과를 모델의 구동에 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

ITCT 2K2의 선박 배출 플룸의 거동과 플룸 추정을 위한 항공기(WD-3D)의 추정 track을 아래 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서와 같이 선박에서 배출된 플룸은 A 지점을 통과하여 H지점으로 이동하며 난류확산 과정과 대기 중 화학적 변환 과정을 거치게 된다. A 지점과 H지점에서의 plume의 aging은 20(min)과 176(min)이며, 모델의 구동을 위한 배경 조건 역시 항공 관측을 통해 획득된 정보를 활용하였다. 추정을 통해 획득된 NO_x , O_3 , CO, SO_2 , C_3H_8 의 배경농도는 0.15, 40, 130, 0.40, 0.37(ppbv)이며, 풍향과 선박의 진행 방향

을 고려하여 14(m/s)의 resultant velocity가 획득되었다.

그림 2는 HCHO의 budget의 결과를 나타내고 있다. 이때 Case I은 CH₄+OH의 반응이 고려된 경우, Case II는 CH₄+OH+primary NMVOCs emission이 고려된 경우(HCHO의 emission이 고려하지 않음), Case III는 CH₄+OH+primary NMVOCs emission이 모두 고려된 경우의 결과를 나타낸다. 결과에서 나타난 것과 같이 초반 선박 주변의 HCHO는 primary HCHO에 의해 그 농도가 상승되며, 시간이 경과함에 따라 오염 플룸의 aging이 진행 되면서 HCHO의 생성에 대한 CH₄+OH의 산화 반응의 기여율은 점차 상승하게 된다.

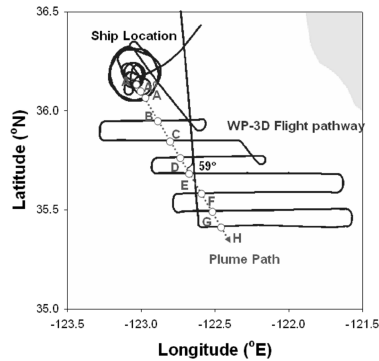


Fig. 1. ITCT 2K2 ship plume sampling, showing both plume path and WP-3D flight track.

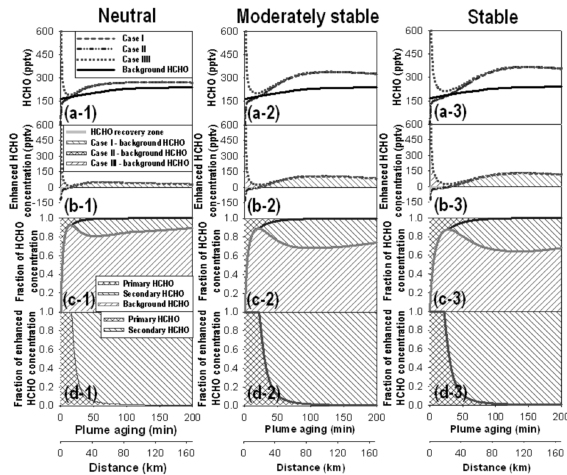


Fig. 2. HCHO sources and the budget inside the base-case ship plume(ITCT 2K2 ship-plume): (a) changes in the transect-averaged ship-plume HCHO mixing ratios with respect to ship-plume travel times; (b) differences between the transect-averaged ship-plume HCHO mixing ratios and the model-predicted background HCHO mixing ratios; (c) source fraction of the ship-plume HCHO mixing ratios; and (d) source fractions of the enhanced ship-plume HCHO mixing ratios. The first, second, and third columns show the results from the model-simulations under the conditions of neutral (D), moderately stable (E), and stable (F) MBL stability classes, respectively.

사 사

본 연구는 한국연구재단 도약연구지원사업(No. R17-2008-042-01001-0)의 지원과 2010년도 광주과학기술원의 재원인 기본연구사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Kim, H.S., C.H. Song, R.S. Park, G. Huey, and J.Y. Ryu (2009) Investigation of ship-plume chemistry using a newly-developed photochemical/dynamic ship-plume model, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 7531-7550.
- Song, C.H., G. Chen, S.R. Hanna, J. Crawford, and D.D. Davis (2003) Dispersion and chemical evolution of ship plumes in the marine boundary layer: Investigation of $O_3/NO_y/HO_x$ chemistry, *J. Geophys. Res.*, 108(D4), 4143, doi:10.1029/2002JD002216.