

PA26) 변분자료동화를 활용한 NO_x배출량 최적화와 O₃의 초기농도분포 개선

박순영¹⁾ · 김동혁¹⁾ · 이순환²⁾ · 이화운³⁾

부산대학교 환경연구원, ¹⁾충남연구원 서해안기후환경연구소, ²⁾부산대학교 지구과학교육과,
³⁾부산대학교 대기환경과학과

1. 서론

대기질 모델의 예측능력은 기상 모델에 비해 다양한 입력 자료의 불확실성이 누적되어 기상모델의 그것보다 더 낮다. 그 중 배출량은 대부분 top-down 방식의 산출방식을 따르기 때문에 기상학적 상황에 따른 배출상황보다는 평균화된 배출 변화를 보여준다.

자료동화는 모델, 관측, 그리고 두 자료의 오차 정보를 이용하여 최적의 초기장을 생성하는 기법이다. 이것은 주로 기상예측 활용되었지만 최적화하기 위한 조절 변수를 초기농도 뿐 아니라 경계농도와 배출량 등으로 설정할 경우 그 활용성은 대기질 모델에서 더 확대된다. 많은 자료동화 기법 중 4DVAR (four-dimensional variational data assimilation)는 비선형의 수치모형에 대한 수반모형을 사용하여 시간과 공간에 대한 최적 결과를 제공하는 방법이다.

본 연구에서는 수도권을 대상으로 오존의 초기장에 대한 최적화와 함께 오존의 전구물질인 NO_x의 배출조절계수를 최적화하기 위해 4D-Var가 적용된 대기질 모델을 사용하였다. 관측된 지상 오존농도를 사용하였으며 오존의 단기간 예측성을 평가하였다.

2. 자료 및 방법

수치모의에 사용된 기상-대기질 수치모델링 시스템은 WRF-CMAQ이며 대기질 모델 CMAQ의 수반모델은 Texas Environment Research Consortium (TERC)의 H98과제 "Air Quality Modeling of TexAQs- II Episode with Data Assimilation"에서 개발된 코드를 사용하였다(Hakami et al., 2007).

CMAQ/4DVar에서 정의된 비용함수는 아래와 같다.

$$J(\mathbf{C}_0) = \frac{1}{2}(\mathbf{C}_0 - \mathbf{C}_0^b)^T \mathbf{B}_0^{-1}(\mathbf{C}_0 - \mathbf{C}_0^b) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (\mathbf{H}_k \mathbf{C}_k - \mathbf{C}_k^{obs})^T \mathbf{R}_k^{-1}(\mathbf{H}_k \mathbf{C}_k - \mathbf{C}_k^{obs})$$

우변의 첫 번째 항에서 \mathbf{C}_0 는 조절변수인 초기 오존농도 분포이며 \mathbf{C}_0^b 는 자료동화가 적용되기 전의 배경농도이다. 그리고 \mathbf{B}_0 는 모델의 BEC이다. 두 번째 항은 관측과 모델결과의 차이를 주어진 시간 구간에서 모두 고려한 값을 의미한다. \mathbf{H}_k 는 관측연산자, \mathbf{C}_k 는 모델의 결과, 그리고 \mathbf{C}_k^{obs} 는 해당 시간의 관측 값이다. 관측 오차는 \mathbf{R}_k 로 주어진다.

3. 결과 및 고찰

기존 배출량은 야간에 과대 조사된 NO_x배출량으로 야간에 O₃이 빠르게 감소한 경향이 나타났다. 하지만 자료동화를 통하여 줄어든 배출량을 산출할 수 있었다. 이러한 특성이 늦은 오후와 야간에 지속되는 오존농도를 모의하여 관측과 유사한 경향성을 보였다. 또한 오존의 초기농도 분포 개선에서 오전에 낮은 관측농도가 초기장에 반영되어 주간 고농도 오존을 보다 잘 모의 하였다. 24시간 예보를 수행한 결과 주간 자료동화 기간 후에는 8%의 예보오차가 감소하였고 야간 자료동화 기간 후 이어진 24시간 예보에서 11%의 오차감소를 보였다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2015RIC1A1A01051833)