

EA5) TOMS를 이용한 대류권 오존 측정과 분석

The distribution of tropospheric ozone from TOMS data

김재환 · 나선미 · M. J. Newchurch¹⁾

부산대학교 대기과학과, 알라바마대학 대기과학과¹⁾

1. 서 론

Fishman et al.(1987)의 연구를 시작으로 인공위성 자료를 이용하여 적도지역의 대류권 오존에 대한 연구가 활발해졌다. 적도지역의 대류권 오존의 분포는 Atlantic Ocean에서 최대값을 가지며 Pacific Ocean에서 최소값을 가지는 wave pattern을 보인다. S. America와 S. Africa에서 연중 dry season(6-9월)에 biomass burning로 인해 대류권 오존의 최대값이 나타난다. 인공위성 자료를 이용한 대류권 오존을 구하는 방법은 다음과 같다. Total ozone를 측정하는 TOMS data와 성층권 오존을 측정하는 SAGE data의 차이를 이용하여 대류권 오존을 구하는 Tropospheric Ozone Residual (TOR) method가 있다. 이후에 SBUV를 이용하여 대류권 오존을 구하는 연구도 있다. 또한, MLS data와 HALOE data를 합성한 성층권 오존과 TOMS total ozone과의 차이를 이용하여 대류권 오존을 구하는 연구와 구름을 이용하는 Convective Cloud Differential(CCD) method가 있다. 이와 같은 연구들은 모두 적도지역의 total ozone과 대류권 오존에서만 wave pattern을 보이며, 상대적으로 성층권 오존은 같은 위도에서 경도에 따른 변화는 거의 없다고 가정하고 있다.

2. 연구 방법

TOMS는 인공위성의 진행방향에 대해 수직으로 내려다보면서 왼쪽에서 오른쪽으로 35개의 scan position에서 주어진 파장에 해당되는 photon을 측정한다. 18번 scan position은 지구표면에 대해 수직으로 내려다보는 position으로 nadir scan position이라 한다. Scan Angle Geometry method에서는 16~20 scan position을 nadir scan position으로 하며, 1~3과 33~35 scan position을 high scan position으로 간주한다. TOMS total ozone은 TOMS가 측정한 radiance와 여러 조건에 대해 radiative transfer code에 의해 계산된 radiance를 비교하여 결정된다. Radiative transfer code는 특정 파장에 대한 backscattered radiance를 주어진 total ozone, viewing geometry(solar zenith angle, satellite zenith angle, 그리고 azimuth angle), surface pressure, surface reflectivity에 대해 계산한다. TOMS algorithm에서는 측정된 radiance를 N-value라는 값으로 환산하여 사용한다. N-value는 다음과 같이 정의된다.

$$N\text{-value} = -100 \log_{10} A(\lambda)$$

$A(\lambda)$ 는 주어진 파장 λ 에서, solar flux(F_λ)에 대한 backscatter된 radiance(I_λ)의 비(I_λ/F_λ)로 정의된다. N-value를 사용하는 이유는 optical path length가 1.0보다 작을 때, 주어진 solar zenith angle, reflectivity 등에 대해 total ozone과 선형적인 관계에 있기 때문이다. 그러므로, TOMS algorithm에서는 간단한 interpolation을 통해 total ozone을 구할 수 있다. 실제 대기권의 ozone profile이 TOMS algorithm이 가정한 ozone profile과 다를 경우의 TOMS total ozone error를 이해하기 위하여, Tropospheric ozone retrieval efficiency (TORE)라는 개념을 도입했다. TORE는 TOMS algorithm에 사용되는 standard ozone profile에 성층권에 임의의 오존을 더했을 때 계산된 N-value의 변화와 대류권에도 같은 오존을 더했을 때 계산된 N-value의 변화의 비로 정의된다.

$$TORE = \Delta N(\text{Tropospheric ozone change}) / \Delta N(\text{Stratospheric ozone change})$$

Surface reflectivity가 20%이하일 때, 즉 맑은 날의 TORE는 항상 1보다 작다. TOMS algorithm에서 가정된 ozone profile과 실제 ozone profile이 다른 경우에 구한 total ozone은 scan angle과 solar zenith angle에 대해 오차를 가지게 된다. Nadir scan position에서의 TORE 값이 high scan position보다 항상 크다. 다시 말하면, retrieved total ozone은 항상 nadir scan position에서 high scan position 보다 실제 total ozone에 가깝다는 것을 의미한다.

$$Diff = \Omega_{total, nadir} - \Omega_{total, high}$$

Nadir scan position과 High scan position에서의 total ozone의 차이는 scan geometry와 대류권 오존 양에 의해 달라지는 대류권 오존에 대한 retrieval efficiency를 반영하는 것으로, TOMS algorithm에 가정된 대류권 오존과 실제 대류권 오존이 다를 경우에 나타난다. 따라서 Diff의 값의 크기와 부호는 실제 대류권 오존을 의미하는 것이다. 즉 적절한 scale factor를 이용하면, corrected-Diff로부터 직접 적도지역 대류권 오존의 climatology를 구할 수 있다.

$$Tropospheric\ ozone = 32 + 6.7 \times Diff_{corrected}$$

EP/TOMS 자료의 경우, 6-9 범위의 값을 가지는 scale factor 중에서 6.7을 사용하였다.

3. 분석 및 결론

Tropospheric ozone profile, scan angle, 그리고 solar zenith angle에 따라 영향을 받는 tropospheric ozone retrieval efficiency를 이용하여 Nadir scan position과 High scan position에서 관측된 TOMS total ozone의 차이(Diff)를 이용하여 적도지역의 대류권 오존을 구할 수 있다. 즉, TOMS retrieval efficiency의 물리적 특성을 이용하면 TOMS total column ozone으로부터 대류권 오존을 구할 수 있다. 인공위성 자료를 이용한 Scan Angle Geometry(SAG) method를 통해 얻은 적도지역의 대류권 오존 분포는 Africa 지역의 wet & dry season 변화에 의한 biomass-burning 지역의 변화, El Nino season에 적도지역의 convective activity의 변화에 의한 대류권 오존의 분포를 잘 보여준다. 이러한 결과는 이전의 인공위성 자료를 이용한 Tropospheric Ozone Residual(TOR) method와 비교해 볼 때, 상당부분 일치하는 결과를 보여준다. 차후에 Scan Angle Geometry method로 구한 결과의 error에 대한 원인이 밝혀진다면, 더 정확한 대류권 오존을 구할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

Fishman, J., and J. C. Larsen, (1987) Distribution of total ozone and stratospheric ozone in the tropics: Implication for the distribution of tropospheric ozone, J. Geophys. Res., 92, 6627-6634.