

# 서울시 대기질 모니터링을 위한 MODIS 위성자료의 응용 (Application of MODIS satellite data for air quality monitoring in Seoul Korea)

이권호, 이동하, 김영준

광주과학기술원 환경공학과, 환경모니터링 신기술 연구센터

## 1. 서론

지금까지의 대기질 측정 관련 연구는 대기 중의 오염물질의 농도만을 단편적으로 측정함으로써 어느 특정 지점에서 한정적으로 수행되어 왔으나 최근에는 광학적 방법을 이용한 첨단 관측법이 등장하고 있다. 특히 위성 관측 자료를 이용한 원격탐사 기법도 이러한 광학적인 측정방법을 응용한 것으로 대기 중의 에어로졸이나 오염 가스 관측에 많이 이용되고 있어 대기질 관리 측면에서 매우 유용하다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 환경 관측 위성인 MODIS 위성자료를 이용하여 주요 대기질 측정항목인 미세먼지와 관련된 대기 에어로졸 관측 자료를 분석하고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

기존의 MODIS 위성자료를 이용한 에어로졸 감시 기술은 미국 NASA가 제공하는 표준 에어로졸 광학두께 자료인 MOD04가 공간 해상도가 직하점(Nadir)에서 약 10km<sup>2</sup>로서 도시규모의 사용에 있어 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 에어로졸의 주요 발생원인 대도

시 지역에서의 에어로졸의 모니터링 및 분포 분석을 위하여 도시규모에 알맞은 MODIS 500m<sup>2</sup> 해상도 관측 자료를 이용하고자 하였다. 이를 위하여 대표적인 대도시 지역으로 서울지역의 MODIS 에어로졸 광학두께(AOT; Aerosol Optical Thickness)를 산출하고 환경부 대기질 관측망 자료의 미세먼지 농도(PM10)와의 비교를 통하여 위성관측 자료를 응용하고자 하였다.

본 연구에서 사용된 에어로졸 도출 알고리즘은 von Hoyningen et al., 2003이 제안한 BAER(Bremen Aerosol Retrieval Algorithm)을 MODIS 자료에 맞게 수정하여 사용하였다 (Lee et al., 2005). Fig. 1.은 본 연구에서 사용된 대기 에어로졸 분석 알고리즘을 순차적으로 나타내었다. 이 알고리즘에서는 위성에서 감지된 복사량이 대기 광학두께의 함수이므로 복사전달모델 시뮬레이션 결과를 통해 얻어진 LUT(Look-Up Table)과 위성의 실제 관측값을 최적화하여 에어로졸 광학두께를 구할 수 있다.

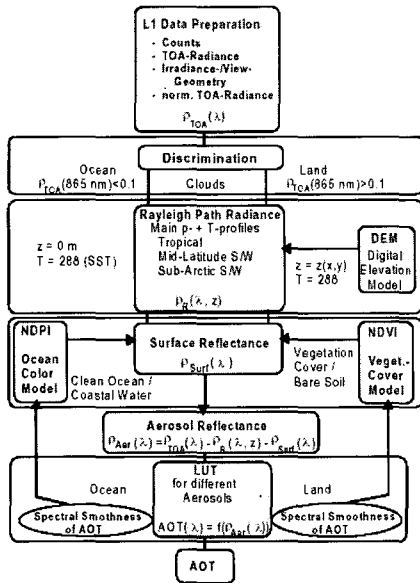


Fig. 1. The overview of main steps of the retrieval procedure for the AOT determination.

### 3. 결과 및 토의

AOT 계산을 위하여 위성에서 수신된 반사도 자료는 지표 반사도가 제거 되어야 하는데, 지표 반사도를 구하는 방법으로 고해상도 정밀 영상의 경우 현장에서 분광계를 이용한 직접 측정법과 아주 맑은 날 대기의 영향이 최소인 영상에서 대기보정을 실시한 후 얻게 되는 간접측정법이 있다. 전자의 경우 위성영상에 응용하기 위해서는 다양한 지역의 관측을 필요로 하며 대상이 되는 위성영상이 매우 고해상도 영상이어야만 비교검증이 가능하다. 후자의 경우 1km<sup>2</sup> 이하의 공간해상도를 가지는 정지 기상위성이나 지구관측 위성 등에서 많이 사용이 되고 있다. 이 방법은 대기

가 안정되어 깨끗한 날의 경우를 얻기가 힘들고 일련의 기간 동안의 최소 반사도를 이용하여 최상의 영상을 만들기 위해서는 자료의 처리량이 늘어나므로 비효율적이다. 따라서 기존의 1km<sup>2</sup> 해상도 관측 자료를 사용한 에어로졸 분석에서는 주요 지표 구성성분(식생, 토양)에 대한 기여도를 이용한 선형 혼합 모델(LMM; Linear Mixing Model)이 사용되었다(von Hoyningen *et al.*, Lee *et al.*).

$$\rho_{Surf}(\lambda) = F \cdot [C_{veg} \cdot \rho_{veg}(\lambda) + (1 - C_{veg}) \cdot \rho_{soil}(\lambda)]$$

여기서  $F$ 는 scaling factor 이고  $C_{veg}$ 는 식생지수  $\rho_{veg}(\lambda)$ 는 식생의 반사도,  $\rho_{soil}(\lambda)$ 는 토양의 반사도이다. 이 방법은 토양 및 식생의 정확한 반사도를 알고 있으면 식생 및 토양의 혼재 시에도 파장별 지표 반사도를 구할 수 있는 장점이 있다. 그러나 1km<sup>2</sup> 이상의 공간해상도에서는 다양한 지표구성 성분에 의한 효과가 더욱 복잡하게 나타나게 되므로 이에 대한 사용이 문제가 되고 있다. Fig. 2.는 그러한 예로서 맑은 날에 대한 식생지수 (AFRI; Aerosol Free Vegetation Index; Karnieli *et al.*, 2001), 선형 혼합 모델과 최소반사도법으로 계산된 지표반사도이다.

선형 혼합 모델에 의한 지표 반사도는 인공구조물이 밀집되어 있는 지역에서는 최소반사도 값보다 약 0.02정도의 다소 낮은 반사도 값을 나타낸다. 이러한 오차는 약 0.2 정도의 에어로졸 광학두께의 오차를 유발하게 된다. Fig. 3.에서는 두 가지 방법에 의한 지표 반사도를 파장별로 나타낸 그래프로써 오차의 크기는 파장이 증가할수록 커지게 된다.

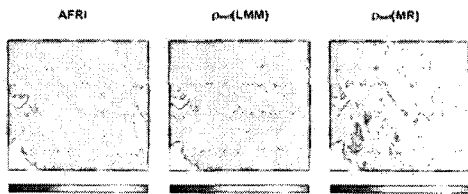


Fig. 2. AFRI, surface reflectance calculated by LMM and MR(Minimum Reflectance) in Seoul.

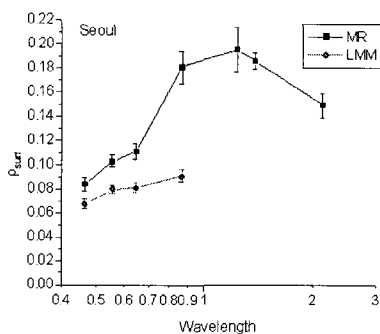


Fig. 3. Spectral surface reflectance calculated by LMM and MR in Seoul.

따라서 본 연구에서는 이러한 오차에 의한 영향을 최소화하기 위하여 0.65 $\mu$ m이상의 파장에 대하여는 에어로졸 분석을 실시하지 않았다. 일반적으로, 도시지역은 인공구조물의 특성상 식생이나 토양과는 다른 파장별 반사도를 가진다. 이러한 문제는 픽셀 해상도가 커짐에 따라 도시지역이 영상에서 차지하는 면적이 커짐으로 인하여 도시지역에서의 오차가 커지게 되는 것은 당연한 것이다. 따라서 본 연구에서는 MODIS 500m<sup>2</sup> 해상도의 지표 반사도의 설정을 위하여 1달간의 위성 관측 값을 이용하여 각 픽셀별로 최소 반사도 값을 가지는 픽셀들을 선택하여 월별 지표반사도 영상을 획득하였다.

Fig. 4. 는 2004년 4월 한 달 동안의 서울시 내의 27개 대기질 자동 측정망 PM<sub>10</sub> 농도 자료를 이용하여 MODIS 위성 관측 시간대( $\pm 30$ 분)의 관측 자료와 MODIS AOT를 월별 평균한 결과에 나타내었다. 이러한 결과는 서울시의 경우 PM<sub>10</sub> 분포가 대체적으로 북서쪽이 높은 경향을 나타내고 있다.

월별 변화로는 황사에 의한 영향이 심한 3, 4월의 농도가 다른 월보다도 높았고 강수가 많은 6~8월은

매우 낮은 농도 분포를 보였다. 미세먼지 농도는 서울 중심가와 서쪽은 50~60ug/m<sup>3</sup>인 데 비해 북서쪽인 은평구, 도봉구는 85ug/m<sup>3</sup> 이상으로 나타났다. 서울시의 미세먼지 발생원의 특성상 자동차에 의한 영향과 여름철 2차 생성입자에 의한 영향에 의하여 서울 중심부 및 주요 도로가 위치한 곳의 미세먼지 오염도가 높을 것이라는 예상과는 달리 연중 북서부 지역이 높게 나타나고 있다. 이러한 결과는 대기 중으로 배출 또는 대기 중에서 생성된 미세입자들이 서울지역의 주요 산악 지형인 북한산이나 도봉산 등에 의하여 확산 경로가 가로막히면서 정체되는 것으로 판단된다.

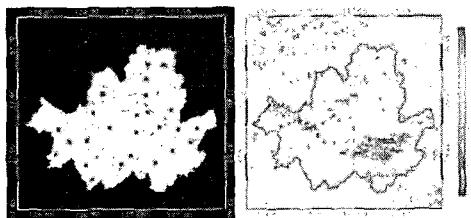


Fig. 4. PM<sub>10</sub> mass concentration and MODIS AOT in April 2004

#### 4. 결론

MODIS 500m<sup>2</sup> 해상도 관측 자료를 이용하여 서울시 지역의 에어로졸 광학두께 분포와 지상에서 관측된 미세먼지 농도를 분석하였다. MODIS 영상은 대기 에어로졸영역에 대한 정보를 잘 나타내어 주고

있으며 위성영상에서 도출된 AOT 값과 지상에서 관측된 값과의 비교를 통하여 위성자료의 대기질 응용을 위한 새로운 시도를 하였다. 이러한 위성자료를 이용한 대기중 에어로졸 분석은 향후 국내 보유위성자료 활용에 도움이 될 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 연구는 환경모니터링 신기술 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터사업 및 한국항공우주연구원의 위탁연구과제 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- Karnieli, A., Kaufman, Y.J., Remer, L.A., and Ward, A., 2001, AFRI - Aerosol free vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 77, 10-21.
- Lee, K.H., Kim, J.E., Kim, Y.J., Kim, J., and von Hoyningen-Huene, W., 2005, Impact of the Smoke Aerosol from Russian Forest Fires on the Atmospheric Environment over Korea during May 2003. *Atmos. Environ.*, 39(2): 85-99, doi:10.1016/j.atmosenv.2004.09.032.
- von Hoyningen-Huene, W., Freitag, M., Burrows, J. B. (2003) Retrieval of aerosol optical thickness over land surfaces from top-of-atmosphere radiance, *J. Geophys. Res.*, 108, No. D9355.