

# EA1) ACE-Asia 기간동안 제주 고산의 Sunphotometer 관측을 통한 에어로졸 광학특성 분석 Aerosol Optical Properties retrieved Sunphotometer Measurements at Kosan during ACE-Asia IOP

민희경, 김지영, 최병철, 이상삼, 오성남

기상연구소 응용기상연구실(국가지정연구실)

## 1. 서론

대기 중 에어로졸은 지구표면에 도달하는 태양복사에너지를 흡수 또는 산란시키는 직접 효과 및 대기물리작용에 의한 구름의 형성 및 구름 수명에 영향을 미치는 간접 효과를 통해 지구복사 평형에 불균형을 초래함으로써 전지구적인 기후변화에 영향을 미친다. 이들 에어로졸은 온실기체와는 달리  $-0.4 \sim -3.0 \text{ W/m}^2$ 의 지구 평균 복사강제력을 나타내면서(IPCC, 1995) 대기 중에 냉각 효과(white-house effect)를 일으킨다(Schwartz, 1996). 또한 지구 평균 복사강제력의 산출에 있어 대기 에어로졸은 상당한 불확실성을 가지므로 이들에 대한 지속적인 관측과 특성의 규명이 요구된다. 최근 동북아 지역의 에어로졸의 특성 규명을 위해 ACE-Asia(Asian Pacific Regional Aerosol Characterization Experiment) 에어로졸 관측 프로그램이 2001년부터 2005년까지 시행되고 있다. 특히 2001년 봄철에 ACE-Asia의 Super-site인 제주고산 지역을 중심으로 집중관측이 실시되었으며, 본 연구에서는 이 기간동안 측정된 지상관측 Sunphotometer 자료를 이용한 제주고산 지역에서의 에어로졸 광학 특성을 분석하고자 한다.

## 2. 자료 및 연구 방법

2001년 봄철에 제주고산지역에서 실시된 ACE-Asia 집중관측기간동안 측정된 Sunphotometer 자료를 이용하여 분석하였다. ACE-Asia Super-site인 제주고산( $33^\circ 17' \text{ N}$ ,  $126^\circ 10' \text{ E}$ , 평균해면고도 71.2m) 관측소는 지리적으로 동북아의 중심에 해당하는 제주의 서쪽 해안에 위치하고 있어 몽고사막 또는 중국 대륙에서 이동해오는 에어로졸과 동북아 지역의 에어로졸 특성 규명에 용이하다. 자료의 검증에 위해 AERONET 프로그램에서 관측하고 있는 고산의 Sun/skyradiometer 자료와의 선형회귀분석을 통해 비교 분석하였다. 황사일 사례에 대한 에어로졸 광학 특성을 자세히 살펴보기 위해 Skyradiometer 자료를 일부 사용하였다. 각 파장별 에어로졸 광학 깊이(AOD) 분석은 Bouguer-Lambert-Beer의 법칙을 사용하였고, 옹스트롬 혼탁계수( $\beta$ )와 파장지수( $\alpha$ )는 Iqbal (1983)의 방법에 따라 산출되었다(김지영 등, 2000; 민희경 등, 2001). 구름 효과 제거를 위해 NASA의 AERONET 프로그램에서 개발된 구름효과 제거 및 자료 질 검증 알고리즘(Smirnov *et al.*, 2000; 민희경 등 2000)을 적용하여 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Sun/skyradiometer와 Sunphotometer에서 산출된 에어로졸 광학깊이의 선형회귀 분석에서 두 자료의 AOD 값이 매우 일치하여 관측 자료가 신뢰할 만한 자료임을 보여주었다. 그림 1은 ACE-Asia 집중관측기간동안의 368, 500, 675, 778, 862nm 영역에서의 일 평균 AOD를 나타낸다. 각 파장별로 0.0~1.6 구간에서 변화하며, 이 기간동안 산출 평균은 각각 0.688, 0.495, 0.394, 0.378, 0.308이었다. 그림 2에는 500nm에서의 일 평균 AOD와 표준편차를, 황사가 관측된 날의 자료를 구분하여 표시하였다. 분석 결과 0.1~1.2 범위의 값을 가지면서, 심한황사의 관측 시 1.0 이상의 높은 값을 보이기도 하였으며, 오전에 강수가 관측된 4월 15일의 경우를 제외한 황사일의 AOD는 0.4 이상의 값을 가졌다. 맑은 날의 경우 500nm에서의 AOD는 0.1~0.2 정도의 값을 보이는데, 이는 지구 배경대기 지역의 하와이 마우나로아에서 0.01~0.10의 값을 가지는 것과 비교해 볼 때 상당히 높은 값을 알 수 있다(Holben *et al.*, 2001). AOD와 옹스트롬 파라미터( $\alpha$ )의 관련성 분석에서 AOD가 0.1~1.2일 때  $\alpha$ 는 0.3~1.6사이의 값(평균 0.965)을 가지면서 두 변수의 관계가 역상관인 반비례적 구도를 보였다. 이는 입자의 크기가 클 때 AOD가 큰 값을 가짐을 의미하며, AERONET 프로그램에서 1994년부터 관측해 온 하와이 마우나로아에서의 결과(Holben *et al.*, 2001)와도 유사하다. 이러한 결과는 특히 봄철에 중국이나 몽고사막으로부터 황사와 같은 상대적으로 큰 입자들이 이동해오면서 AOD의 증가를 가져오는 것으로 사료된다. AOD의 분포를 살펴보기 위하여 시간별 AOD 자료에 대한 구간별 상대빈도 분석을 실시하였으며, 각 파장역에서의 최대 상대빈도는 각각 0.60~0.65와 0.70~0.75(368nm), 0.40~0.45(500nm), 0.25~0.30(675nm와 778nm), 0.15~0.20(862

nm) 구간에서 나타났다. 이 결과는 1999년 2, 3월에 실시된 INDOEX 집중관측기간동안의 AOD(500nm) 최대 상대빈도구간(0.40~0.45) 결과와도 유사하였으며(Bush and Valero, 2001), 0.01~0.015에서 최대빈도가 나타난 마우나로아 자료와 비교해 볼 때 제주고산의 에어로졸의 양이 매우 많음을 알 수 있다. 2000년 서울지역의 봄철 에어로졸 자료(최대빈도구간: 0.55~0.60)와의 비교 분석에서는 제주고산에서의 AOD가 도심지역인 서울보다 상대적으로 낮은 구간에서 최대를 보임을 알 수 있었다(민희경 등, 2001). 본 관측기간동안의 13일의 황사일이 관측되었으며, 그 대표적인 날로 3월22일과 4월13일의 사례를 선택하여 에어로졸 광학 특성을 좀더 구체적으로 살펴보았다. 이 두 날의 일 중 AOD는 1.0 또는 그 이상의 값을 가지면서 일 평균값은 관측기간 평균값(0.495)보다 훨씬 높은 1.176과 0.786이었고,  $\alpha$ 는 일 평균 0.586, 0.649로 황사입자들이 상대적으로 큰 입자임을 보여주었다. 이 날 같은 지역에서 관측된 Skyradiometer 자료에서 산출된 부피분포 분석 결과에서 1~10 $\mu$ m구간에서의 큰 입자의 에어로졸이 증가하고, 위상함수분석에서 전방산란이 증대되었고, 또한 단일 산란알베도가 0.81~0.86으로 맑은 날(0.88)과 비교했을 때, 상대적으로 큰 입자들에 의한 흡수가 증가하였음을 알 수 있었다.

본 연구를 통해 ACE-Asia 관측기간동안의 제주고산에서의 에어로졸 광학 특성을 살펴보았으며, 보다 정확한 분석을 위해 장기적인 측정 및 분석이 요구되며, 산출된 지상관측결과와 모델 및 위성(TOMS나 SeaWiFs)자료와의 비교 검증이 수행될 예정이다.

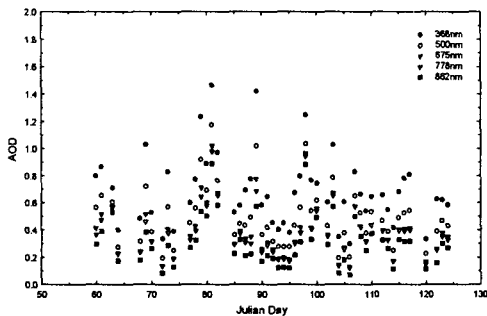


Fig. 1. The variation of daily mean of spectral aerosol optical depth

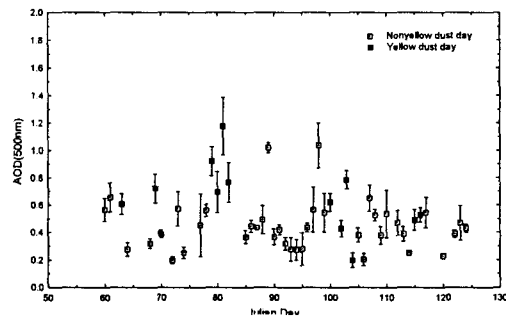


Fig. 2. The variation of daily mean aerosol optical depth(500nm) with standard deviation

## 사 사

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 국가지정연구실 사업의 하나인 기상연구소 응용기상연구실의 "한반도 기후 변화 감시 기술 개발" 연구과제(과제번호: 2000-3-193)로 수행된 내용이며, AERONET 복사관측자료를 제공해 주신 Holben 박사님께 감사의 말씀을 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김지영, 전영신, 오성남 (2000) 기단의 유형과 이동경로에 따른 대기 중 에어로졸 광학 깊이의 특성, 한국기상학회지, 36(4), 487-498.
- 민희경, 김지영, 최병철, 오성남 (2001) 서울 지역 대기 중 에어로졸의 광학 특성 : 구름 효과 제거 알고리즘 적용, 한국기상학회지(투고중).
- 민희경, 김지영, 최병철, 오성남 (2000) 대기 중 에어로졸 광학 특성 중 구름 효과 제거 분석, 한국대기환경학회 추계학술발표회, 11. 10~11, 경성대학교.
- Bush, B., and F. Valero (2001) Spectral Aerosol Radiative Forcing at the Surface during the Indian Ocean Experiment (INDOEX), *J. Geophys. Res.* (submitted).
- Holben, B. N. et al., (2001) An emerging ground-based aerosol climatology-Aerosol optical depth from AERONET. *J. of Geophysical Research*, 106, 12067-12097.
- IPCC (1995) World meteorological office, United Nations Environmental Programme, *Radiative forcing of climate change, The 1994 Report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC. Summary for policymakers.*
- Iqbal, M. (1983) An introduction to solar radiation. Academic Press, 390pp.
- Schwartz, S. E. (1996) The whitehouse effect-shortwave radiative forcing of climate by anthropogenic aerosols: an overview, *J. Aerosol Sci.*, 27, 359-382.
- Smirnov, A., B. N. Helben, T. F. Eck, O. Dubovik, I. Slutsker (2000) Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET database, *Rem. Sens. Environ.*