

## 배경지역에서 대기 중 에어로졸의 변동 특성

### Variational Characteristics of Aerosols from Direct Solar Radiation at Background Region

신도식·김산·김정식·차주완·김성중

기상연구소 배경대기관측소

#### 1. 서론

지구대기는 자연적 또는 인위적인 오염원에 의해 심하게 오염되고 있고 이 대기오염물질은 바람에 의해 장거리로 수송되어 국가간 환경오염의 원인을 제공하기도 한다. 또한 최근 이산화탄소의 증가에 따라 온실효과에 의한 지구대기 온도의 상승과 산성비에 의한 피해 등은 심각한 환경 문제로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 지구대기를 관측할 수 있는 시스템의 필요성을 느껴 1960년대에 세계기상기구(WMO) 산하에 배경대기오염감시망(Background Air Pollution Monitoring Network, BAPMoN)이 구축되었다. 우리 나라도 1987년, 기상연구소에 배경대기관측소를 설립하여 기체상과 입자상 물질 관측뿐만 아니라 강수나 안개 등과 같은 액상의 오염물질도 관측하고 있다. 특히, 배경대기관측은 가장 청정한 지역에서 이루어져야 하기 때문에 관측소의 입지 조건은 매우 까다롭고 WMO에서 권고하고 있는 조건을 만족해야 한다. 충남 태안군 안면도에 설립된 국내 유일의 배경대기관측소는 우리 나라를 대표할 수 있는 지역관측소로써 관측된 자료는 기후변화의 기초 자료, 환경 기준값 제시 그리고 국가간 환경 분쟁시 대응 자료로 활용할 수 있는 중요한 의미를 가진다.

이 관측 자료 중에서 대기혼탁도를 분석할 수 있는 대기 중 에어로졸 측정 자료는 황사 또는 화산 폭발과 같은 자연 발생된 에어로졸과 인위적인 오염원에 의해 발생된 에어로졸의 변동을 분석할 때 기준값으로 이용될 수 있다. 대기 중 에어로졸의 변동은 기후변화에 직·간접적으로 영향을 미쳐 지구대기의 온도를 상승 또는 하강시킬 수 있다. 대기 중에 분포하고 있는 에어로졸은 태양복사에너지를 흡수, 반사 또는 산란시키기 때문에 에어로졸의 농도 변화는 에어로졸에 의한 광학적 두께, 즉 대기혼탁도를 변화시킨다. 따라서 배경대기 지역에서의 에어로졸 관측은 기후 연구에 필수적이고 이상기상 발생시 기초 자료로 활용하게 된다. 이 연구에서는 지상에 설치한 태양복사장비를 이용, 파장별 직달에너지를 측정하여 배경대기 지역에서 대기 중 에어로졸의 기준값을 제시하고 대기 혼탁도의 변동 특성을 분석하고자 한다.

#### 2. 연구 방법

충남 태안군 안면도에 위치한 기상연구소 배경대기관측소(36.517° N, 126.317° E)에 1998년 3월에 설치한 Sunphotometer(MS-110) 장비를 이용하여 다섯 개의 채널( $\lambda=368, 500, 675, 778, 862\text{nm}$ )에서 파장별 태양복사에너지 중 직달 일사량을 측정하였다. 이 자료는 매 10분 마다 각 파장에서 순간 값을 측정된 값으로 단위는 mV이다. 측정 기간은 1998년 3월부터 1999년 2월까지이며 매월 대기혼탁도의 기준값을 제시하여 배경대기 지역에서 에어로졸의 변동 특성을 분석하는데 이용하였다.

대기혼탁도를 계산하는 원리는 다음과 같다.

대기 중을 통과하여 지표면에 도달하는 태양복사에너지가 감쇄되는 현상은 Beer-Bouguer-Lambert의 법칙으로부터 가시광선에 관한 간단한 대기의 복사전달방정식을 적용한다.

$$\ln I_k(z) = \ln I_k(\infty) - \tau(\lambda)\sec\theta \quad (1)$$

여기서  $I_k(z)$ 는 임의의 파장( $\lambda$ )에서 지표면에 도달하는 직달일사량,  $\ln I_k(\infty)$ 는 임의의 파장( $\lambda$ )에서 대기 상부에 도달하는 직달일사량,  $\tau(\lambda)$ 는 대기의 광학적 두께 그리고  $\sec\theta$ 는 상대적인 공기질량(relative airmass)을 의미한다. 또한  $\tau(\lambda) = \tau_A(\lambda) + \tau_{O_3}(\lambda) + \tau_R(\lambda)$  이고,  $\tau_A(\lambda)$ 는 에어로졸에 의한 감쇄계수,  $\tau_{O_3}(\lambda)$ 는 오존 흡수계수 그리고  $\tau_R(\lambda)$ 는 레일레이 산란에 의한 감쇄계수이다. 즉, 가시광선 영역에서 광학적 두께는 오존, 레일레이 산란과 에어로졸의 효과만을 고려한다. 대기 혼탁도를 의미하는 500nm에서 에어로졸의 광학적 두께는 다음과 같이 계산한다.

$$\tau_A(\lambda) = (1/\sec\theta) \ln[I_k(\infty)/I_k(z)] - [\tau_{O_3}(\lambda) + \tau_R(\lambda)] \quad (2)$$

식 (2)에서 지구 상부에 도달하는 태양복사에너지,  $\ln I_k(\infty)$ 는 Langley Method를 이용하여 계산하였다 (King *et al.*, 1996).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 $\ln I_k(\infty)$ 추정과 대기혼탁도 변동

1998년 3월 부터 1999년 2월 까지 1년간 관측된 자료 중 매월 기준값을 제시하기 위해 Langley Method를 이용하여 임의의 파장 ( $\lambda$ )에서 대기상부에 도달하는 직달일사량,  $\ln I_k(\infty)$ 을 계산한 결과는 표 1과 같다.

Table 1. Calculating value of the direct extraterrestrial solar radiation using Langley method.

$\lambda$	368nm	500nm	675nm	778nm	862nm	$\lambda$	368nm	500nm	675nm	778nm	862nm
date						date					
'98.3.17	2.0966	2.1325	2.0966	2.0816	2.1866	9.17	1.9544	1.9869	2.0206	2.1225	2.0198
4.18	2.0305	2.0223	2.0121	2.1180	2.0252	10.20	1.9992	2.0160	2.0394	2.1423	2.0301
5.26	2.1275	2.0928	2.0731	2.1730	2.0730	11.1	1.9546	2.0004	2.0314	2.1380	2.0197
6.22	2.0932	2.0647	2.0532	2.1494	2.0493	12.4	1.8569	1.9511	2.0104	2.1217	2.0216
7.27	2.0190	2.0068	2.0178	2.1139	2.0150	'99.1					
8.25	1.6891	1.7746	1.8749	1.9998	1.9088	2.13	1.9279	1.9584	1.9897	2.0783	1.9727

표는 매월 기준일을 설정하여 각 파장별 대기 상부에 도달하는 직달일사량을 추정된 결과로 이 값으로부터 대기 중 에어로졸의 광학적 두께를 계산한다. 따라서 이 값의 정확한 추정이 대기 중 에어로졸의 특성을 결정하는 중요한 과정이다. 500nm에서 에어로졸의 광학적 두께, 즉 대기혼탁도를 계산하기 위해 500nm 값을 이용하였고 그 결과는 그림 1과 같다.

그림 1은 봄과 가을철의 대기혼탁도를 나타낸 것으로 봄철의 기준일로 3월17일과 5월 26일을 선택한 결과, 대기혼탁도는 0.1~0.3으로 배경대기 지역에서 Devara *et al.*(1996)이 밝힌 연구 결과와 잘 일치하였다. 또한 가을철의 기준일로 10월20일과 11월1일을 선택한 결과, 대기혼탁도는 0.1 이내로 봄철에 비해 매우 낮게 측정되었다. 따라서 대기혼탁도는 계절에 따라 기준값의 차이가 뚜렷하게 나타났고 이것은 대기혼탁도가 계절 변동이 있음을 의미한다.

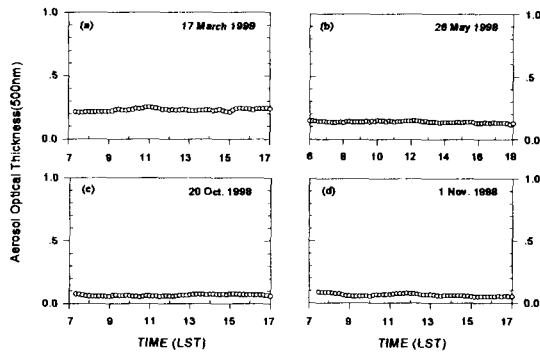


Fig. 1. Scatterplots of aerosol optical thickness at 500nm in a clear sky.