

PA16) Aethalometer AE-51 모델의 검댕자료 정확도 평가연구

Evaluation of Accuracy in Black Carbon Concentration from Aethalometer AE-51 Model

정정훈 · 박승식 · 윤관훈¹⁾ · 김정호¹⁾

전남대학교 환경공학과, ¹⁾(주)에이피엠엔지니어링

1. 서 론

대기 중의 검댕(Black carbon, BC)은 화석연료 연소나 바이오매스 연소의 불완전연소 과정에서 직접적으로 발생하며, 일반적으로 3 μm 이하의 작은 입자 크기를 가지는 입자상 물질이다. BC 에어로졸 입자는 인간의 건강 및 시정에 악영향을 미치며, 직·간접적으로 빛을 흡수함으로써 알베도 및 구름조절에 영향을 준다. 현재 대기 중 실시간 BC 에어로졸의 질량농도를 측정하기 위해 가장 많이 사용되는 기법은 Hansen et al.(1984)에 의해 개발된 Aethalometer이다. Aethalometer는 빛의 감쇄가 필터에 수집된 BC 농도에 선형적으로 비례한다는 전제 하에 빛의 감쇄 변화를 BC 입자의 질량농도로 변환 시킨다. 최근 Aethalometer 제작사인 Magee Scientific Inc.는 세계 최초로 포켓 사이즈의 휴대용 BC 측정기(AE-51 모델)를 개발하였다. AE-51 모델은 순환대기 BC 측정에 주로 사용하는 AE-16 모델과 동일하게 광학적 흡수방법을 이용하여 BC 농도를 실시간으로 측정한다. BC 측정원리는 기존 Aethalometer와 동일한 반면 250 g의 가벼운 무게와 빠른 측정 속도(최소 1초 간격 측정 가능), 유동적인 시료채취 기능 등의 장점을 가지고 있다. 또한 정확한 측정을 위해 T60 테플론 코팅된 붕소규산염 유리섬유재질의 여과지(filter ticket)를 사용하며, 여과지의 장착 및 교체는 사용자에게 의하여 수동으로 이루어진다. 이런 이유로 인하여 AE-51 모델의 측정시간은 매우 유용적이다. 본 연구에서는 AE-51 모델의 BC 측정 정확도를 평가하기 위하여 880 nm의 단일파장을 이용하는 AE-16 모델과 비교실험을 수행하고 두 종류의 장비사이의 BC 측정오차를 최소화하기 위하여 AE-51 모델에서 사용하는 여과지의 적정표준시간을 제안해보고자 한다.

2. 연구 방법

대기 중 BC 입자의 측정은 전남대학교 한 3층 건물 옥상에서 880 nm 단일파장의 Aethalometer AE-16 및 AE-51(Magee Scientific Inc.)를 사용하여 2010년 1월 9일~2월 10일 사이에 5분 간격으로 수행하였다. AE-51 모델은 AE-16 모델과 동일하게 880 nm의 적외선 단일파장을 이용하여 실내 및 작업환경의 검댕농도를 실시간으로 측정하도록 개발된 장비이다. AE-51의 주 용도는 도로변 노출시험 및 Flux 연구에 활용이 가능하다. 그러나 두 장비의 차이점은 AE-16은 $\text{PM}_{2.5}$ 입자의 BC농도를 측정할 수 있도록 $\text{PM}_{2.5}$ 임팩터가 도입부에 설치되어있는 반면에 AE-51은 TSP(Total Suspended Particulate)의 BC 농도를 측정한다. AE-51 모델의 실시간 BC 에어로졸 측정의 신뢰성을 평가하기 위하여 두 측정 장비의 BC 에어로졸 측정이 동시에 동일한 장소에서 이루어졌다. Aethalometer는 필터에 수집된 BC 입자의 질량과 빛의 감쇄가 선형적으로 비례한다는 가정 하에 BC 입자의 질량농도를 측정한다. 하지만 석영 필터에 입자가 쌓임에 따라 입자의 포화영향(saturation effect)으로 인해 빛의 감쇄와 BC 농도사이에 비선형 관계가 나타남이 보고되고 있다(Weingartner et al., 2003; Virkkula et al., 2007; 박승식 등, 2009). 따라서 본 실험에서 AE-16 모델에서 측정한 BC 자료의 광학적 산란효과를 보정하기 위해 Virkkula et al.(2007)이 제안한 비선형 단순모형을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 전체 측정기간 중 AE-16과 AE-51의 5분 평균 BC 농도를 나타내는 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 두 장비의 BC농도의 시간별 추이는 매우 비슷한 경향을 보여 주었다. 실제로 AE-16과

AE-51의 입자의 채취절단입경이 다르므로 TSP를 측정하는 AE-51의 BC 농도가 PM_{2.5}를 측정하는 AE-16의 BC 농도보다 항상 크게 관측이 되어야 하는데 두 장비의 측정결과에 의하면 반대의 현상이 확인되었다. AE-51 필터의 교체 직후에는 AE-51의 BC 농도가 AE-16의 BC 농도보다 약간 높거나 거의 비슷한 값을 보여주었으나 측정시간이 증가함에 따라 두 장비의 BC 농도는 AE-16의 BC 농도 값이 높게 측정이 되었다. 측정시간이 길어짐에 따라 필터상의 광학적 포화현상 때문에 AE-16의 BC 농도가 저평가됨에도 불구하고 AE-51의 BC 농도가 AE-16의 농도에 비하여 훨씬 낮게 측정되었다. 이것은 아마도 AE-51 BC 농도의 광학적 포화효과 외에도 필터사용시간에 의한 오차 때문으로 판단된다. 다시 말하면, AE-51 측정 BC 농도의 정확도를 향상시키기 위해서는 AE-51에 사용하는 유리섬유 여과지를 사용하는데 있어서 여과지 하나당 최적의 누적 BC 농도, 즉 한계사용시간이 필요하다는 것을 의미한다. 표 1은 AE-51 모델의 필터 측정 시간별 AE-51과 AE-16모델의 BC 평균 농도를 비교한 표이다. AE-51모델의 평균 필터 측정시간은 2~3일이며, AE-51모델에 비해 AE-16모델의 BC 평균값이 약 30% 정도 높게 나타났다. 표 1에서 보는바와 같이 AE-51의 필터 사용시간이 길어질수록 AE-51모델과 AE-16모델의 BC 농도의 편차가 증가함을 알 수 있다. 특정 이벤트나 박무, 연무, 안개의 관측 일을 제외한 날에 대해서는 측정시간 약 1,560분(26시간)에 오차율이 10% 내외로 비교적 정확한 BC 질량농도가 관측되었다. 예외의 경우로 측정시간이 880분(1월 18일~19일)으로 가장 짧았던 날의 오차율이 48.13%로 높게 나타났는데, 이것은 박무와 연무의 동반 일기유형으로 인해 대기 안정도가 매우 안정하여 BC 농도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 측정시간이 3,230분(1월 21일~23일)으로 비교적 길었던 날의 BC 농도의 오차율은 14.40%로 낮게 나타났으며, 이는 비와 눈과 같은 강수에 의한 대기 희석 효과에 의해 BC의 농도가 낮게 나타났기 때문으로 판단된다. 따라서 박무와 연무와 같은 대기정체현상과 관련된 일기유형이 관측될 때는 측정시간을 약 1,440분(24시간) 이하로, 비와 눈과 같은 강수현상이 관측될 때는 측정시간을 약 3,000분(50시간) 이하로 유지하는 것을 추천한다.

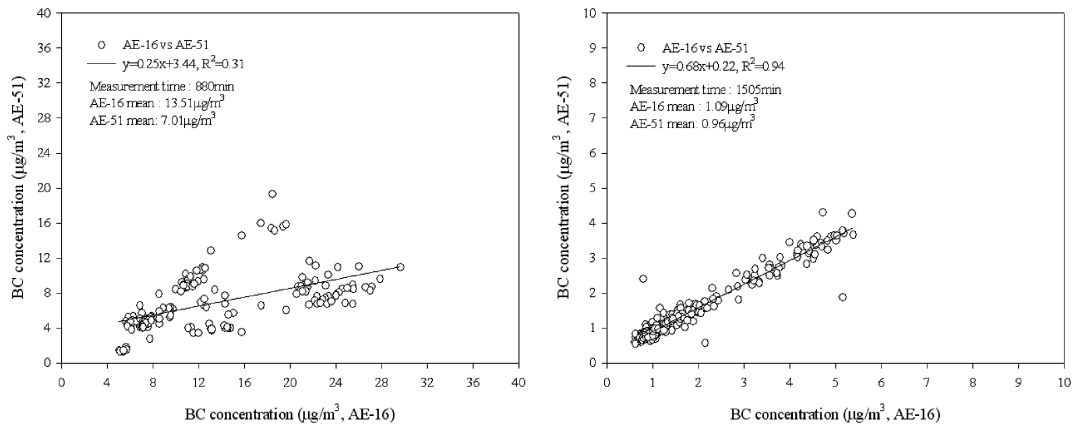


Fig. 1. Relationship between AE-16 and AE-51 BC concentrations.

Table 1. Comparison of BC concentrations observed from aethalmoeter AE-16 and AE-51 models.

Date	Measurement time (min)	AE-16 mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AE-51 mean ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Error ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Relative Error (%)	Weather conditions
01/09~01/11	3035	3.85	2.31	1.54	40.07	mist,haze,snow
01/11~01/14	4125	1.68	1.09	0.58	34.82	mist,haze,snow
01/14~01/17	4090	3.59	1.81	1.78	49.56	rain,clear
01/17~01/18	2085	7.40	3.49	3.91	52.84	clear,haze
01/18~01/19	880	13.51	7.01	6.50	48.13	mist,haze
01/19~01/21	2570	5.00	2.55	2.45	48.93	mist,haze,rain,fog
01/21~01/23	3230	1.27	1.09	0.18	14.40	rain,mist,snow
01/23~01/25	2060	4.42	2.69	1.73	39.15	snow,clear, mist,haze, yellow sand
01/25~01/26	1415	1.06	0.91	0.14	13.36	mist,haze, yellow sand, clear
01/26~01/28	2985	4.90	2.71	2.19	44.62	clear,rain,mist
01/28~01/30	2800	3.96	2.32	1.64	41.49	mist,clear,rain, haze
01/30~02/01	2485	5.09	2.83	2.25	44.26	rain,mist,haze
02/01~02/02	1445	2.41	1.92	0.49	20.29	mist,haze,clear
02/02~02-03	1505	1.09	0.96	0.14	12.51	clear
02/03~02/04	1390	1.77	1.42	0.35	19.89	clear,snow
02/04~02/05	1425	4.80	3.50	1.29	26.96	snow,clear
02/05~02/06	1595	1.01	0.89	0.12	11.46	clear
02/06~02/07	1410	3.39	2.45	0.94	27.74	clear,rain
02/07~02/09	2525	3.87	2.62	1.25	32.26	rain,mist
02/09~02/10	1670	6.21	4.15	2.06	33.14	rain, mist,fog

사 사

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임(No. R01-2008-000-20255-0).

참 고 문 헌

- 박승식, 정정훈, 조성용, 김승재 (2009) 광주 도심지역에서 측정된 Aethalometer 검맹입자 자료의 보정, 한국대기환경학회지, 25(6), 571-578.
- Hansen, A., H. Rosen, and T. Novakov (1984) The Aethalometer - an instrument for the real-time measurement of optical absorption by aerosol particles, Sci. Total Environ., 36, 191-196.
- Virkkula, A., T. Makela, R. Hillamo, T. Yli-Tuomi, A. Hirsikko, K. Hameri, and I.K. Koponen (2007) A simple procedure for correcting loading effects of aethalometer data, J. Air & waste manage. Assoc., 57, 1214-1222.
- Weingartner, E., H. Saathoff, M. Schnaiter, N. Streit, B. Bitnar, and U. Baltensperger (2003) Absorption of light by soot particles: determination of the absorption coefficient by means of aethalometers, J. Aerosol Sci., 1445-1463.