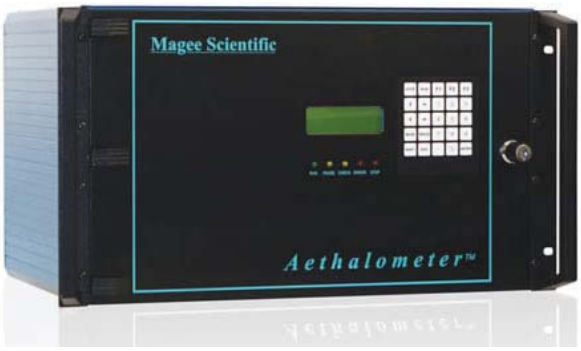
[첨부 2]

블랙카본 질량농도 계측기 운영, 보정 및 자료처리 기법

(AE-31 7파장 에쎌로미터를 중심으로)



2.1. 에쎌로미터의 관측 원리

Black Carbon(이하 BC)또는 Elemental Catbon(이하 EC)은 탄소 입자의 덩어리로서 태양으로부터 지구에 도달하는 햇빛을 흡수하는 성질을 가지며, 광학적 방법에 의해서는 '검정'으로 정의된다. 따라서 대기 중에 존재하는 BC의 양을 측정하는 것은 전 지구적인 대기복사수지 산정에 큰 영향을 끼친다.

주로 물질의 연소를 통해 대기 중에 방출되는 대기오염물질로, 인위적인 오염물질의 영향을 받은 공기괴의 지표로 활용된다 (Penner, 1995). 블랙카본에 의한 빛이 흡수되면 단산란 알베도를 낮추고, 대기의 태양복사 흡수를 증가 시키고, (Haywood and Shine, 1997). 최근의 선행연구에 따르면 블랙카본은 구름의 수명 (Ackerman et al., 2000), 강수 패턴 (Menon et al., 2002)및 극지방 얼음의 반사도와 용해에도 관계(Hansen and Nazarenko, 2003)가 있어서 블랙카본의 정확한 관측은 매우 중요하다. 에쎌로미터는 대기중에 존재하는 이 BC 에어러솔 입자의 실시간 농도정보를 제공하는 관측기기이다. 이 BC 에어러솔 입자들(Soot으로도 불림)은 일반적으로 각종 물질의 연소 시(특히 디젤연료의 연소 시)에 많이 발생하는 것으로 알려져 있다.

에쎌로미터는 연속적인 filter관측을 실시하며, 연속적인 정보 산출을 위해 inlet을 통해 filter위에 포집된 BC에 광학적 방법으로 생성된 빛을 발사해 감쇄되는 빛의 세기를 통해 BC의 양을 측정한다.

아래의 그림 2.1 (a)와 같이 Quartz filter의 에어러솔이 포집된 부분과 에어러솔이 없는 부분에 각각 같은 빛을 비춰주면 filter의 아래쪽에서 측정한 빛의 감쇄도에는 차이가 생기게 된다.

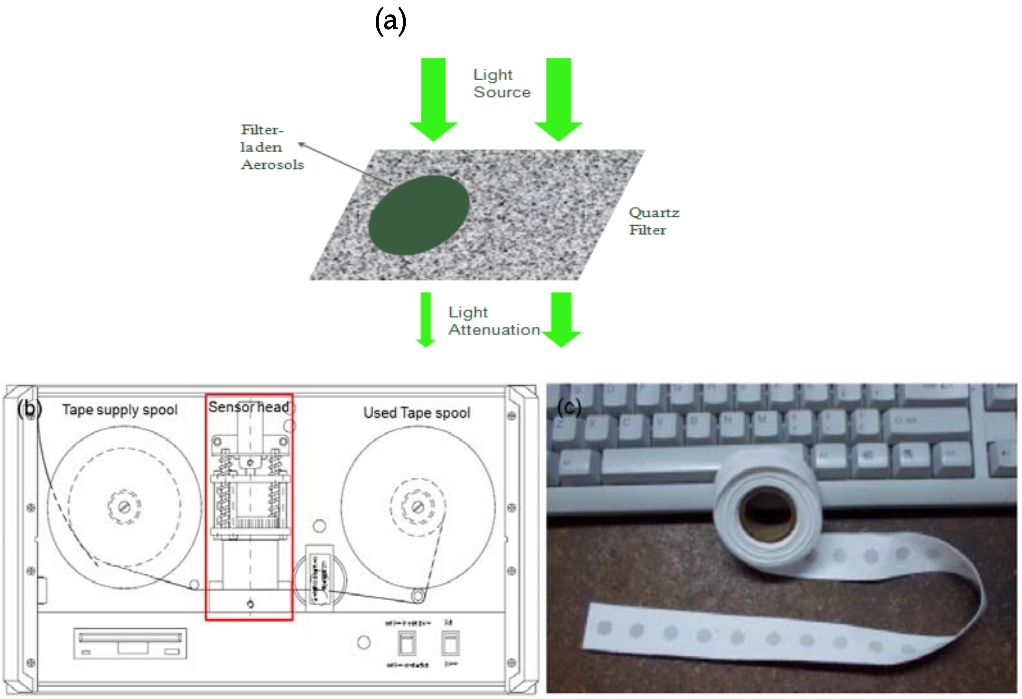


그림 2.1. 에쎌로미터 (a) 원리 (b) 내부 구조와 (c) Quartz filter tape

그 때, 빛의 감쇄도 차이는 어떤 물질의 광흡수도 가 α, 빛이 통과하는 물질의 직선길이가 l, I_0와 I는 각각 물질을 통과하기 전과 후의 빛의 세기로 보면, 빛이 매질을 통과할 때 지수적으로 감쇄됨을 보인 Beer-Lambert Law에 의해 물질에 의한 광흡수 정도 T는 아래 식 2.1과 같이 표현된다.

$$\frac{I}{I_0} = \alpha \quad l \tag{2.1}$$

이는 에쎌로미터의 경우에 BC의 질량농도(이하 BC 농도)를 계산해 내는 데에 적용된다. I_0와 I는 각각 LED에서 방사한 빛의 세기와 Sampling filter의 BC가 포집된 부분을 통과한 빛의 세기로 보면, 빛의 감쇄 정도를 나타내는 감쇄계수 ATN과의 관계는 아래의 식 2.2와 같다.

$$ATN = \ln \frac{I_0}{I} \tag{2.2}$$

본 연구에 사용된 Magee Scientific사의 AE-31 에쎌로미터는 7개의 파장 (370, 470, 520, 590, 660, 880, 950 nm)으로 BC의 증가에 비례하는 빛의 감쇄도 차이와 파장의 Spectrum을 통해 BC 질량농도를 측정한다. 에쎌로미터는 에어러솔이 포집된 quartz filter를 통과하는 빛의 감쇄 정도 ATN을 측정한다. (*Hansen et al., 1984*) filter에 포집된 에어러솔이 Δt의 시간 간격만큼 빛에 노출된다면, 빛의 감쇄계수 σATN은 식 2.3과 같게 된다.

$$\sigma_{ATN} = \frac{A}{100Q} \frac{\Delta ATN}{\Delta t} \tag{2.3}$$

여기서 A는 에어러솔이 포집된 영역의 면적이고, Q는 부피로 측정한 sample air의 유량이다. 식 2.4에서 결정된 σ_{ATN}에 따라 BC 농도인 BC_{ATN}를 식 2.5와 같이 산출한다.

$$\alpha_{ATN} = \frac{14625}{wave\ lengths\ [nm]} \tag{2.4}$$

$$BC_{ATN} = \frac{\sigma_{ATN}}{\alpha_{ATN}} \tag{2.5}$$

위의 그림 2.1 (b)와 그림 2.1 (c)는 에쎌로미터의 내부 구조를 나타낸 것이다. 그림 2.1 (b)에 에쎌로미터의 내부이며, 그림 2.1 (a)에서 나타낸 관측원리는 그림 2.1 (b)의 가운데 Sensor head에 들어있다. 각 1개의 filter spot에 에어러솔이 일정량 이상 쌓여, filter의 투과율이 낮아지면 자동으로 다음 filter spot으로 advance 되면서 준연속적인 관측을 하게된다.

에쎌로미터는 내부의 펌프를 이용해 에어러솔과 혼합된 대기 샘플을 인렛을 통해서 빨아들인다. 대기 샘플의 유량은 에쎌로미터 내부에 장착된 flow meter를 통해서 소프트웨어로 입력된 유량 값 (현재 셋팅 값은 3.9 LPM)을 유지하도록 감시된다.

대기 샘플은 에쎌로미터 내부의 quartz fiber filter tape을 지나가면서 그 위에 에어러솔 샘플을 쌓게 되고, 이 에어러솔 샘플에 연속적으로 일정 파장의 빛을 발사하여, 에어러솔 샘플을 통과할 때 감쇄되는 빛의 세기를 이용하여 에어러솔의 양을 연속적으로 감시할 수 있게 된다. 그림 2.1 (c)에서 보는 것처럼 각 filter spot은 roll로 말려있고 tape에는 관측을 할 수 있는 spot이 표시되어있어서 이 filter tape에 에어러솔 sample이 포집되면서 BC에 대한 관측을 수행하는데, 관측을 수행하는 동안은 tape이 움직이지 않지만, 에어러솔 sample이 일정수준 이상 쌓여 빛의 감쇄가 심해지면, 에쎌로미터는 filter roll을 말아서 자동으로 다음 spot으로 이동한 후, 다시 관측을 계속 수행하므로 이는 준연속적인 관측을 수행하는 것이다. 이런 filter spot의 이동은 보통 도시에서 하루 3~4회, 청정 지역에서는 하루 1~2회 이루어지며, 한 roll의 filter에는 1500개의 filter spot을 포함한다.

이 관측은 각 시간 단위마다 1개의 관측 자료를 생산하며, 사용자는 이 관측의 시간단위를 1초 ~5분으로 설정할 수 있다. 짧은 시간단위는 관측주기를 짧게 해서 더 정확한 값을 얻을 수 있겠지만, 더 많은 noise를 포함하게 된다. 따라서 필요에 따른 시간단위의 설정이 중요한데, 1~5분이 일반적인 사용 범위이다. 현재 제주 고산에서 관측 중인 에쎌로미터는 함께 관측 중인 기타 관측기기와 동일하게 5분 단위로 자료를 생산한다. 관측된 데이터는 기기내부에 위치한 CF메모리 디스크에 저장되며, analog voltage로의 변환을 통해 COM port로 PC에 전송/저장될 수도 있다.

2.2. 에쎌로미터의 BC 질량농도로부터 에어러솔 흡수계수로의 변환

에쎌로미터의 관측자료 보정 및 에어러솔 흡수계수로의 변환에 관해 많은 방법 (Weingartner et al., 2003; Arnott et al., 2005; Schmid et al., 2006; Virkkula et al., 2007)이 제시되었지만, 여기에서는 가장 널리 사용되고 있는 Arnott et al. (2005)의 연구에서 제시한 방법을 자료 보정 및 에어러솔 흡수계수로의 변환에 사용하기로 한다.

아래의 식 2.6은 Arnott et al. (2005)의 연구(이하 A2005) 중 식 (27)이다.

$$\sigma_{ap,n} = \frac{\alpha_{ATN} \cdot BC_n - \alpha(\lambda) \cdot \sigma_{sp,n}(\lambda)}{M} \cdot \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{Vdt}{A}\right) \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{ap,i}}{\tau_{a,fx}}} \quad (2.6)$$

BC_n는 filter Advanced된 이후 n 번째로 관측된 값이며, $\sigma_{ap,n}$은 n 번째로 관측된 BC_n 로부터 conversion 된 absorption coefficient이다. $\sigma_{sp,n}(\lambda)$는 $\sigma_{ap,n}$과 동시에 n 번째로 관측된 Nephelometer의 scattering coefficient 값이고, α_{ATN}은 absorption cross section 으로 제조사에서 $\sigma_{ATN} = 14625/\lambda,\ \lambda[nm]$라는 값으로 제공하고 있다.

$\alpha(\lambda)$은 Multi-Scattering이 absorption에서 차지하는 비율을 알기위해 경험적으로 구한 값이며, $\alpha(\lambda) = 1.472 \times 10^{-5}\lambda^{1.307},\ \lambda[nm]$ 이다. $\tau_{a,fx}$는 파장에 따른 필터 자체의 소산에 의한 영향인데 이 역시 저자가 경험적으로 구한 값을 제공하고 있다. 아래의 표 2.1에는 이 내용들이 정리하였다.

표 2.1. A2005 방법의 경험적 값들

Wavelength (nm)	$\alpha_{ATN}\ (m^2/g^-$	100α	M	$\tau_{a,fx}$
370	39.53	3.35	1.813	0.2736
470	31.12	4.57	2.073	0.2263
520	28.07	5.23	2.076	0.2181
590	24.79	6.16	2.104	0.1951
660	22.16	7.13	2.182	0.1777
880	16.62	10.38	2.226	0.1375
950	15.39	11.48	2.199	0.1390

하지만, 위의 표 1과 같은 값들은 A2005의 저자가 실험실 내에서 인위적으로 발생시킨 에어러솔들에 대한 경험값들로 실제 관측값에 적용하기에는 무리가 있다. 이에 대해 저자 역시 A2005 말미에, 실험실에서 실험한 자신의 결과를 실제 관측결과에 적용하기 검증하기 위하여 제한적으로나마 다른 값을 제시하였다. 이는 2003년 1월1일 ~ 2월15일에 비교적 대기 중 에어러솔이 적은 청정한 지역으로 알려진 미국 네바다 주의 Las Vegas 근교 Clark County에서 관측된 값을 바탕으로 제한적인 520nm의 값을 $M(520nm) = 3.688,\ \tau_{a,fx,520nm} = 0.2338$이라고 제시한 것으로, 저자는 배경대기와 같이 청정한 지역에는 이 값을 적용할 수 있을 것이라고 말하고 있다.

또한, Corrgan et al. (2006) 의 연구(이하 C2006)에서는 A2005의 값을 바탕으로 실제 관측에서 사용 가능한 에쎌로미터 7개 파장의 경험 상수 값을 환산하여 표로 밝히고 있다. 비교적 대기 중의 에어러솔이 적은 청정한 지역이며, 실제 관측이 이루어지고 있는 제주 고산 지역의 특성을 감안하여 이후 에어러솔 흡수 계수의 변환에는 C2006에서 제

시한 표 2의 경험 상수 값들을 사용하기로 한다.

표 2.2. C2006에서 A2005의 경험값을 재설정한 값

Wavelength (nm)	α_{ATN} $(m^2/g^-$	100α	M	$\tau_{a,fx}$
370	39.53	1.14	3.467	0.2874
470	31.12	1.55	3.629	0.2483
520	28.07	1.77	3.695	0.2338
590	24.79	2.09	3.770	0.2097
660	22.16	2.46	3.83.	0.1950
880	16.62	3.53	3.875	0.1566
950	15.39	3.83	3.855	0.1550

2.3. 에쎌로미터의 관측 자료 처리 방법

(1) aeth_1mon.f90 파일의 실행 (BC 농도 자료의 filtering 및 1개월 묶음)

에쎌로미터의 관측자료를 처리하기 위해 작업자가 자료를 처리할 디렉토리 (아래 그림 2.2에서는 [Air4:/work/jhkim/inst/aeth]로 설정, 이하 작업 디렉토리)에 자료처리를 위한 프로그램 aeth_1mon.f90, aene_synchro.f90, arnott_abs.f90을 저장한다. 작업 디렉토리 아래에 /data 디렉토리를 생성하고(mkdir data ↲), /data 디렉토리 아래에 다시 /rawdata, /1mon, /abs의 3개 디렉토리를 같은 방법으로 생성한다. 에쎌로미터의 관측자료는 모두 BCmmddyy.CSV 라는 이름으로 생성(이하 모든 파일명에서 yy는 해당년, mm은 해당월, dd는 해당일)되는데, 관측자료 파일을 모두 /inst/aeth/data/rawdata 디렉토리로 이동시키고, 자료를 처리하고자 하는 해당년의 관측자료 파일명 리스트 파일을 생성한다. 2010년의 관측자료 리스트 파일을 생성하고 싶다면, 입력창에 다음과 같이 입력한다.

```
ls BC*10.CSV > 2010list.txt ↲
```

그리고, 다시 2단계 상위의 작업디렉토리로 이동한다(cd ../.. ↲ 입력).

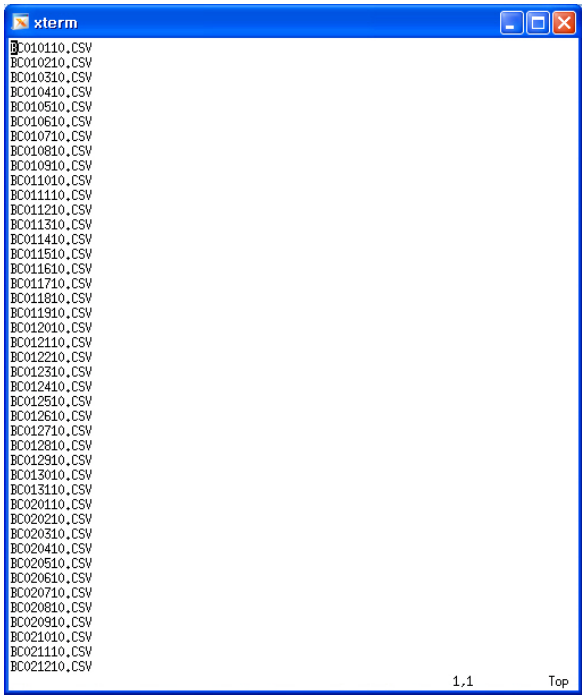


그림 2.2. 2010list.txt 파일의 자료 내용

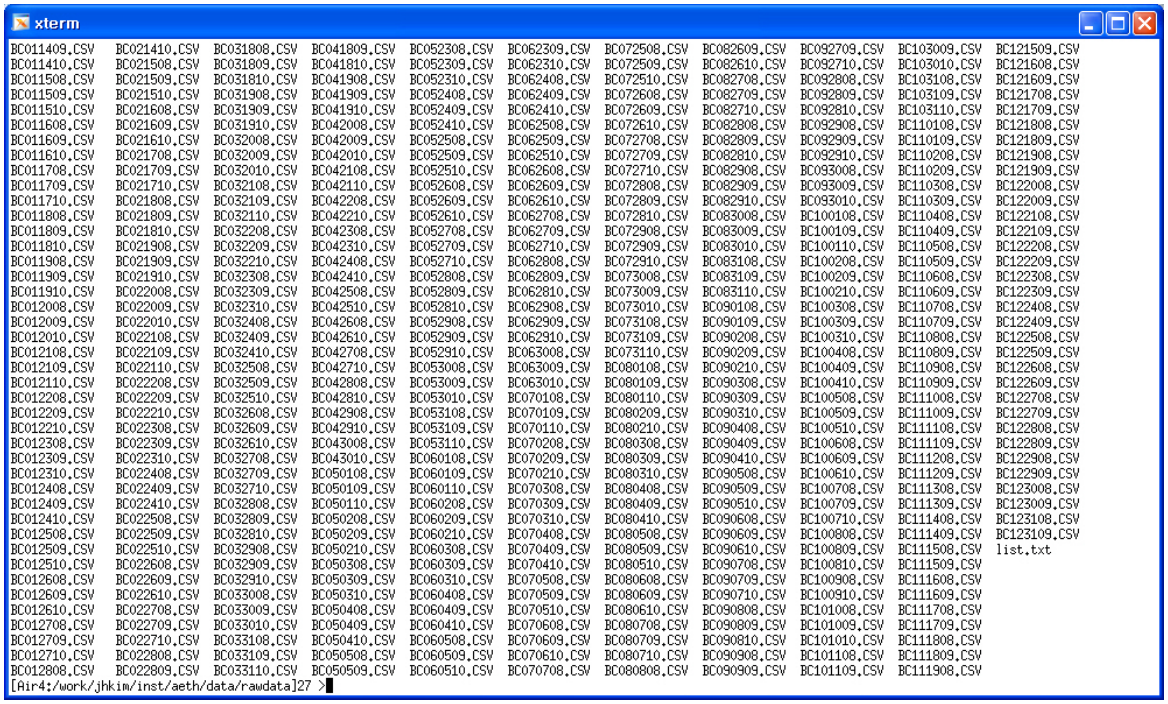


그림 2.3. /inst/aeth/data/rawdata 디렉토리의 파일

aeth_1mon.f90 파일은 이 관측 값들을 처리 가능한 형식으로 재작성하고, 1개월씩 묶는 작업을 수행한다. 이 프로그램을 실행하기 위해서는 '컴파일'이라는 과정이 필요한데, 이는 포트란으로 작성된 파일(*.f90 또는 *.f)을 실행가능한 형태로 변형하는 과정을 말한다. 컴파일 명령은 포트란 컴파일러의 종류에 따라 조금씩 차이가 있지만, 본 기기(서울대학교 대기환경 실험실 Air4 서버)에서는 pgf90 명령을 사용하며, 작업 디렉토리에

서 아래와 같이 입력한다.

pgf90 aeth_1mon.f90 ↲
a.out ↲

앞서 설명한 바와 같이 pgf90 은 해당 파일을 컴파일 하라는 뜻이며, 이 명령을 수행하면 작업 디렉토리에는 컴파일의 결과로 a.out 이라는 파일이 생성되는데 이 때, a.out 파일을 실행시키면 해당 작업이 실행된다. aeth_1mon.f90 파일을 실행시키면, 화면에는 'Input year in 2-digit form' 이라는 글씨가 출력된다. 이 때 자료를 처리하고 싶은 년을 2자리의 정수로 입력하면 된다. 해당년을 입력하면 다시 'Input month in 2-digit form' 라는 글씨가 출력된다. 이 때에도 자료를 처리하고 싶은 월을 2자리의 정수로 입력하면 된다. 예를 들어, 2010년 10월의 자료를 처리하고 싶다면, 아래와 같이 입력한다.

Input year in 2-digit form (화면에 자동으로 출력됨)
10 ↲
Input month in 2-digit form (화면에 자동으로 출력됨)
10 ↲

프로그램을 실행하면. 아래의 그림 2.4와 같은 화면을 볼 수 있으며, 해당월의 BC 질량농도 자료를 inst/aeth/data/1mon 디렉토리에 aeth20yymm_1mon.dat 파일에 1개월치를 묶어서 저장해두고, 다시 aeth20yymm.dat 라는 파일에 필요한 데이터만 다시 저장한다. 여기서 yy는 해당년, mm은 해당월을 의미한다. 위의 예시에서와 같이 2010년 10월의 자료를 처리하도록 입력하였다면, /inst/aeth/data/1mon 디렉토리에 aeth201010_1mon.dat 와 aeth201010.dat 라는 파일이 생성된다(그림 2.6).

최초의 rawdata인 BCmmddyy.CSV 파일을 내용을 확인해보면 각 데이터 칼럼의 값은 순서대로 날짜, 시간, 각 7개 파장의 BC 농도, flow rate, reference zero, reference beam, sample zero, sample beam, fraction, Attanuation 이며, 이 중 reference zero, reference beam, sample zero, sample beam, fraction, Attanuation은 각 7개 파장에 대해 모두 7번 반복 되며 기록되어있다. aeth20yymm_1mon.dat 파일에는 BCmmddyy.CSV 파일이 담고 있는 모든 정보가 그대로 저장되어있으며, 1개월 분으로 묶어서 저장했을 뿐이다.

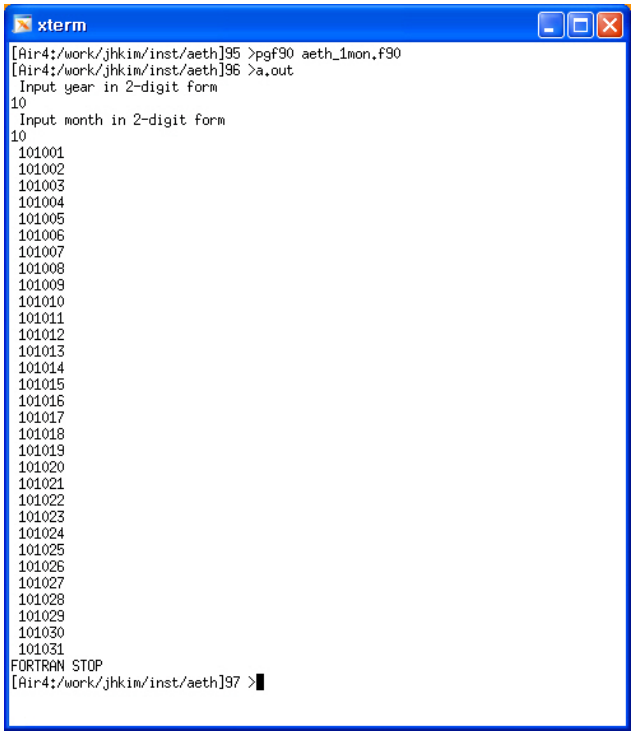


그림 2.4. aeth_1mon.f90 파일의 실행 결과

그러나, aeth20yymm.dat 파일에는 기기의 특성을 연구하거나, 필터의 특성 등을 연구할 때만 필요한 빛의 감쇄도, fraction 등의 자료를 제거하고 7개 파장의 BC 질량농도와 필터에 쌓인 에어러솔의 양을 나타내는 ATN 값만을 1개월 분으로 묶어서 저장한다. 또한, 동시에 관측자료의 품질관리를 위해 음수의 BC 질량농도, ATN이 감소하는 관측자료, 필터의 관측점이 이동하는 시점의 관측 자료를 제거한다.

그림 2.5. BCmmddyy.CSV 파일의 자료 내용

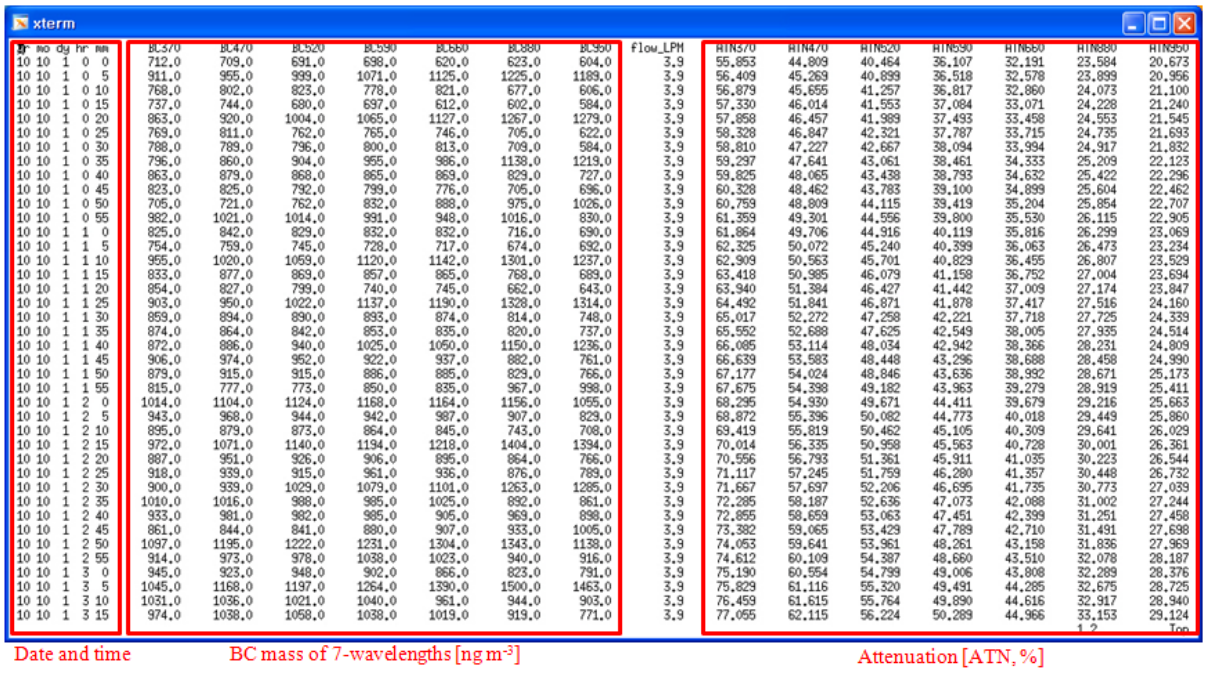


그림 2.6. aeth201010.dat 파일의 자료 내용

☞ BCmmddyy.CSV 파일의 자료 내용 ; Date, Time, BC mass(370 nm), BC mass(470 nm), BC mass(520 nm), BC mass(590 nm), BC mass(660 nm), BC mass(880 nm), BC mass(950 nm), Flow rate, Reference Zero(370 nm), Reference Beam (370 nm), Sample Zero(370 nm), Sample Beam(370 nm), Fraction(370 nm), Attanuation(370 nm), Reference Zero(470 nm), Reference Beam (470 nm), Sample Zero(470 nm), Sample Beam(470 nm), Fraction(470 nm), Attanuation(470 nm), Reference Zero(520 nm), Reference Beam (520 nm), Sample Zero(520 nm), Sample Beam(520 nm), Fraction(520 nm), Attanuation(520 nm), Reference Zero(590 nm), Reference Beam (590 nm), Sample Zero(590 nm), Sample Beam(590 nm), Fraction(590 nm), Attanuation(590 nm), Reference Zero(660 nm), Reference Beam (660 nm), Sample Zero(660 nm), Sample Beam(660 nm), Fraction(660 nm), Attanuation(660 nm), Reference Zero(880 nm), Reference Beam (880 nm), Sample Zero(880 nm), Sample Beam(880 nm), Fraction(880 nm), Attanuation(880 nm), Reference Zero(950 nm), Reference Beam (950 nm), Sample Zero(950 nm), Sample Beam(950 nm), Fraction(950 nm), Attanuation(950 nm)

(2) aene_synchro.f90 파일의 실행 (Nephelometer 자료와의 동기화)

작업 디렉토리의 1 단계 상위 디렉토리인 /inst 디렉토리(위의 예시에서 [Air4:/work/jhkim/inst] 디렉토리)에 /Neph 디렉토리를, 그 하위 디렉토리로 /data를 생성한다. 다시 /data 디렉토리의 하위 디렉토리로 /rawdata 디렉토리를 생성하고, 이 디렉토리 ([Air4:/work/jhkim/inst/Neph/data/rawdata] 디렉토리)안에 Nephelomter의 자료처리 과정을 통해 품질관리/1개월분 묶음 과정을 거친 Nephyymm.dat 파일을 모두 저장하고, 다음과 같이 Nephelometer의 자료 리스트 파일을 작성한다.

ls Neph*.dat > list.txt ↵

다시 에쎌로미터의 inst/aeth/data/1mon 디렉토리로 이동(cd ../../../aeth/data/1mon ↲)한다. 앞서 aeth_1mon.f90 프로그램을 이용하여 작성한, aeth20yymm.dat 파일의 리스트 파일을 작성한다.

ls aeth20????.dat > list.txt ↲

위와 같이 입력하고, 2단계 상위의 작업 디렉토리로 이동(cd ../.. ↲)한 다음, 아래와 같이 입력하여 aene_synchro.f90 파일을 실행한다.

pgf90 aene_synchro.f90 ↲
a.out ↲

위와 같이 입력하면, /data/aene 디렉토리에 aene20yymm.dat 라는 파일이 생성된다 (그림 2.8). 이 aene20yymm.dat 파일 안에는 inst/aeth/data/1mon/list.txt 파일과 inst/Neph/data/rawdata/list.txt 파일을 각각 열고, 이들 파일에 기록된 aeth20yymm.dat 파일과 Nephyymm.dat 파일의 내용을 비교하여 같은 시간 대에 관측된 자료가 모두 한 파일로 저장되어있다. 그 내용은 다음의 그림 2.7에서 보는 것처럼 에쎌로미터 7개 파장의 BC 질량농도, ATN, 네펠로미터 3개 파장의 에어러솔 산란계수와 3파장의 옹스트롬 지수이다.

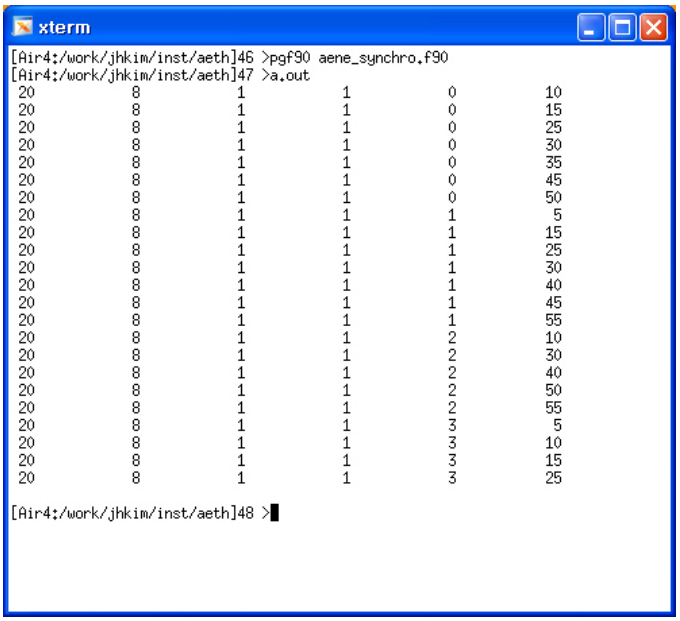


그림 2.7. aene_synchro.f90 파일의 실행 결과

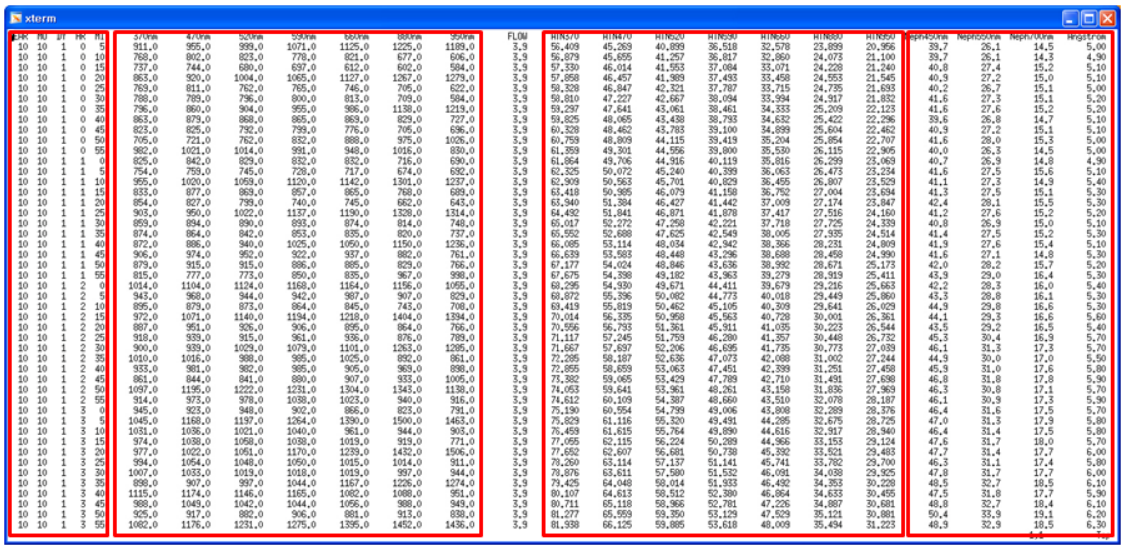


그림 2.8. aene201010.dat 파일의 자료 내용

(3) arnott_abs.f90 파일의 실행 (BC 질량농도를 Arnott 방법을 이용한 에어러솔 흡수계수로의 변환)

에쎌로미터와 네펠로미터의 관측자료 동기화 자료가 저장된 /inst/data /aene 디렉토리에서 아래와 같이 동기화된 자료파일의 리스트 파일을 작성하고, 2단계 상위 디렉토리인 작업 디렉토리로 이동(cd ../.. ↲)한 뒤, 또, arnott_abs.f90 프로그램을 실행시킨다.

```
ls aene*.dat > list.txt ↲
pgf90 arnott_abs.f90 ↲
a.out ↲
```

/inst/aeth/data/abs 디렉토리에 arnott_abs20yymm.dat 파일이 생성되는데, 아래의 그림 2.9, 2.10과 같이 에쎌로미터의 BC 질량농도, A2005 방법으로 계산된 에어러솔 흡수계수, 네펠로미터의 에어러솔 산란계수, 옹스트롬 지수가 저장된다.

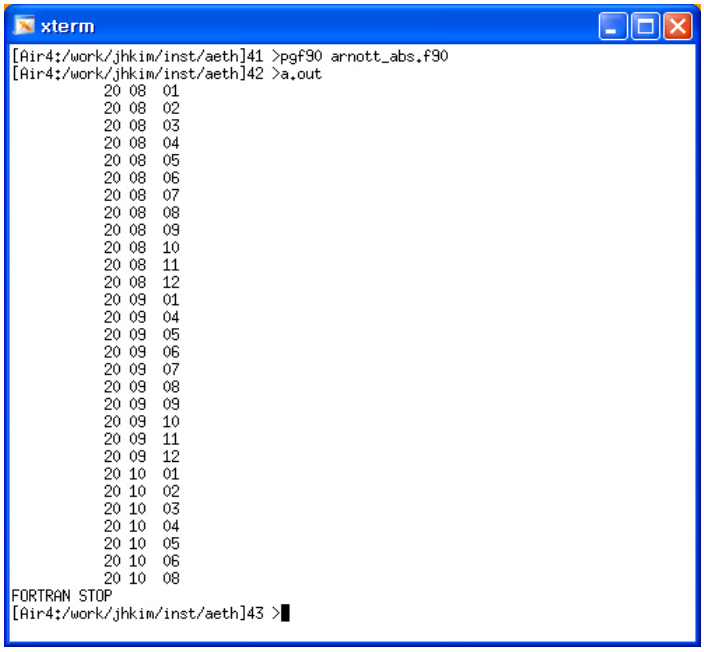


그림 2.9. arnott_abs.f90 파일의 실행 결과

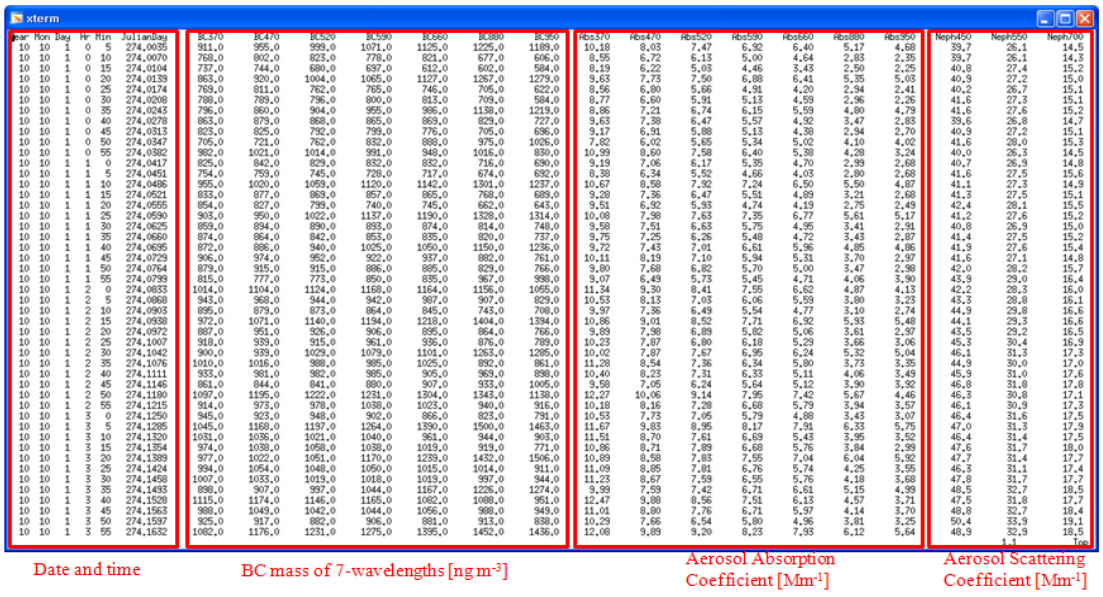


그림 2.10. arnott_abs201010.dat 파일의 자료 내용

2.4. 에쎌로미터의 관측 결과

아래의 그림 2.11은 2009년 5월~12월에 제주 고산 지역에서 에쎌로미터로 관측된 BC농도와 Arnott 방법을 이용하여 에어러솔 흡수계수로 변환한 값을 그린 것이다.

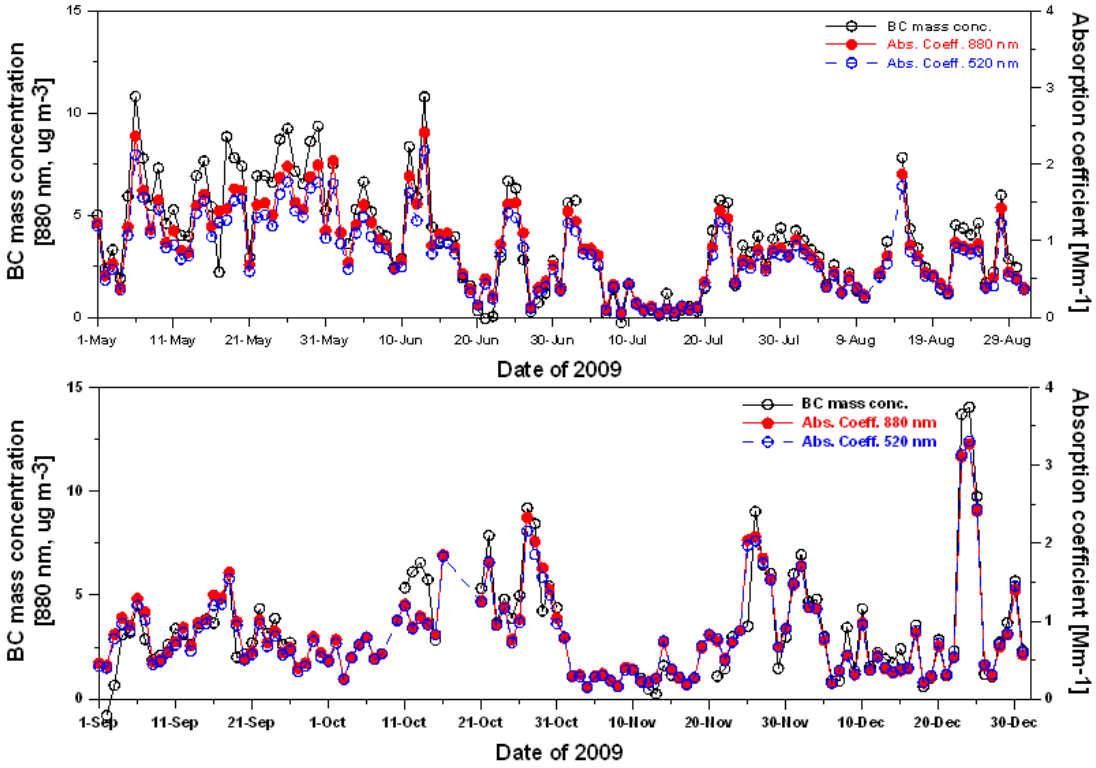


그림 2.11. 2009년 제주 고산 지역에서 에쎌로미터로 관측된 BC 질량농도 (880 nm), 에어러솔 흡수계수(520, 880 nm)

BC 질량농도와 비슷한 추세를 보이면서 변동하고 있으며, 봄/겨울철에 상대적으로 높고, 여름철에 상대적으로 낮은 BC 질량농도/에어러솔 흡수계수 값을 보이고 있다.

2.5. 참고 문헌

에쎌로미터 제조사 매뉴얼

http://mageesci.com/support/downloads/Aethalometer_book_2005.07.03.pdf

Ackerman, A. S., O. B., Toon, D. E., Stevens, A. J. Heymsfield, V., Ramanathan, and E. J., Welton, 2000, Reduction of tropical cloudiness by soot, *Science, 288*, 1042 - 1047

Arnott, W. P., K. Hamasha, H. Moosmüller, P. J. Sheridan, J. A. Ogren, 2005, Towards Aerosol Light-Absorption Measurements with a 7-Wavelength Aethalometer: Evaluation with a Photoacoustic Instrument and 3-Wavelength Nephelometer; Aerosol Science and Technology, 39:1, 17-29.

Corrigan, C. E., V. Ramanthan, J. J. Schauer, 2006, Impact of monsoon transitions on the physical and optical properties of aerosols, Journal of Geophysical Research, 111, D18208, doi:10.1029/2005JD006370

Hansen, A.D.A., Rosen, H., Novakov, T., 1984, The Aethalometer – an instrument for the real-time measurement of optical absorption by aerosol particles; Science of the Total Environment, 36, 191 - 196

Hansen, A. D. A., 2003, The Aethalometer, Manual, Magee Scientific, Berkeley, California, USA.

Hansen, J., and L., Nazarenko, 2003, Soot climate forcing via snow and ice albedos; *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 101*, 423 - 428.

Haywood, J. M., and K. P., Shine, 1997, Multi-spectral calculations of the radiative forcing of tropospheric sulphate and soot aerosols using a column model, *Quart. J. Royal Meteo. Soci., 123*, 1907 - 1930

Menon, S., J., Hansen, L., Nazarenko, and Y. F., Luo, 2002, Climate effects of black carbon aerosols in China and India, *Science, 297*, 2250 - 2253

Penner, J. E., R. J., Charlson, and J., Heintzenberg, 1995, Carbonaceous aerosols influencing atmospheric radiation: black and organic carbon., In: Aerosol Forcing of Climate. John Wiley and Sons, Chichester, 91 - 108

Saha, A., D. Despiau, 2009, Seasonal and diurnal variations of black carbon aerosols over a Mediterranean coastal zone; Atmospheric Environment, 92, 27 - 41

Virkkula, A., T. Mäkelä, R. Hillamo, T. Yli-Tuomi, A. Hirsikko K. Hämeri, and I. K. Koponen, 2007, A Simple Procedure for Correcting Loading Effects of 에쎌로미터 Data, *J. Air & Waste Manag. Assoc., 57(10)*, 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., 34*, 1445-1463