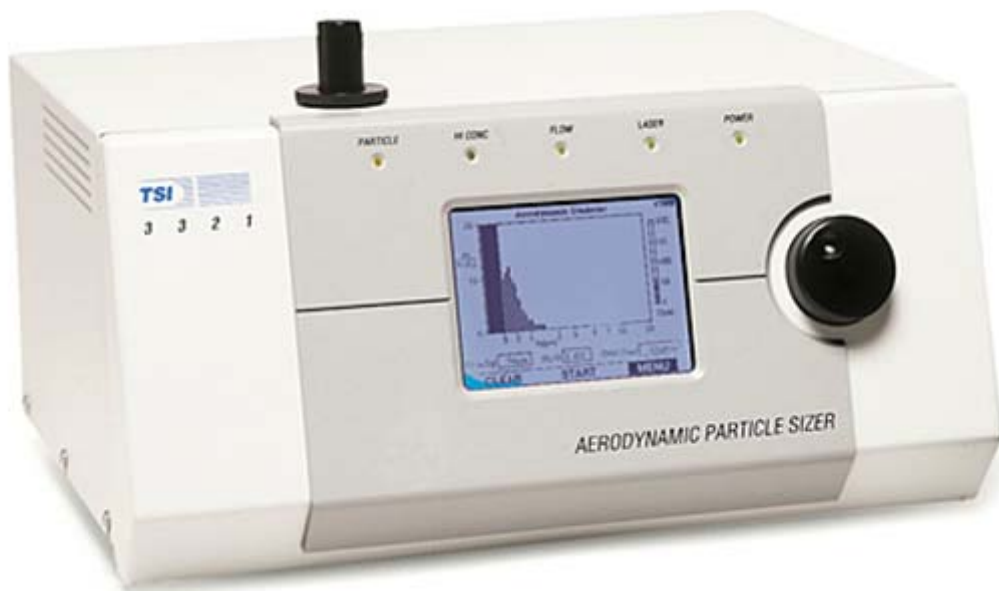


[첨부 4]

공기역학적 입경별 수농도 계측기 운영, 보정 및 자료처리 기법

(TSI 3321 APS를 중심으로)



4.1. 기기 개요

입경 0.37~20 μm 크기 에어리솔의 공기 역학적인 입경과 광 산란 강도를 실시간으로 측정하여 입경별 입자 수농도를 관측하는 장비로서, 전체 입경 채널 수는 52 개 (32 채널/decade), sampling 유량은 1 lpm이고 측정 가능한 농도 범위는 0 ~ 10,000 $\#/\text{cm}^3$ 이다.

4.2. 기기 설명

(1) 기기 전면

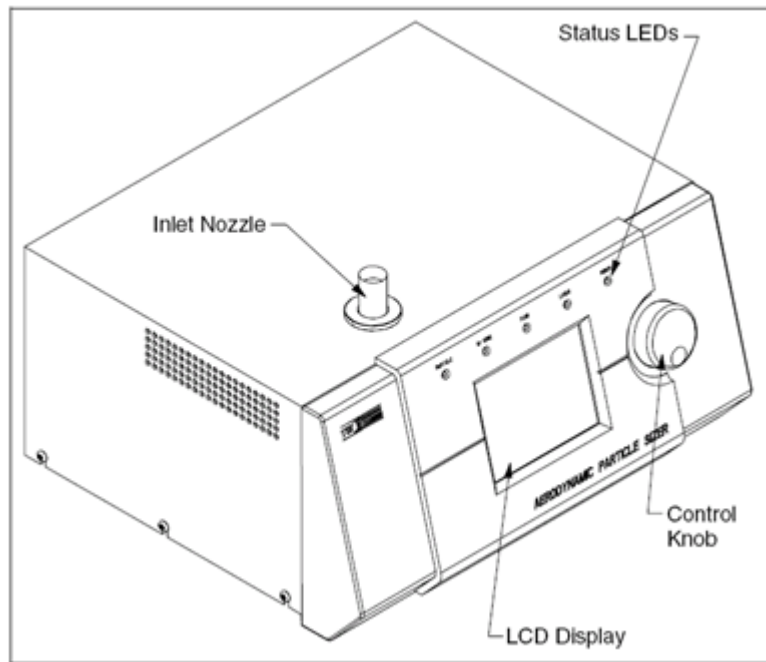


그림 4.1. Model 3321 APS의 전면

(2) 기기 후면



그림 4.2 DC Power Input Pin

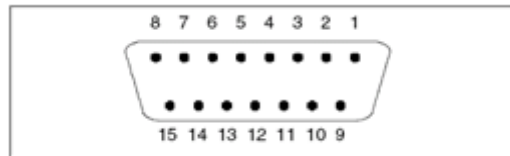


그림 4.3 I/O Port Pin

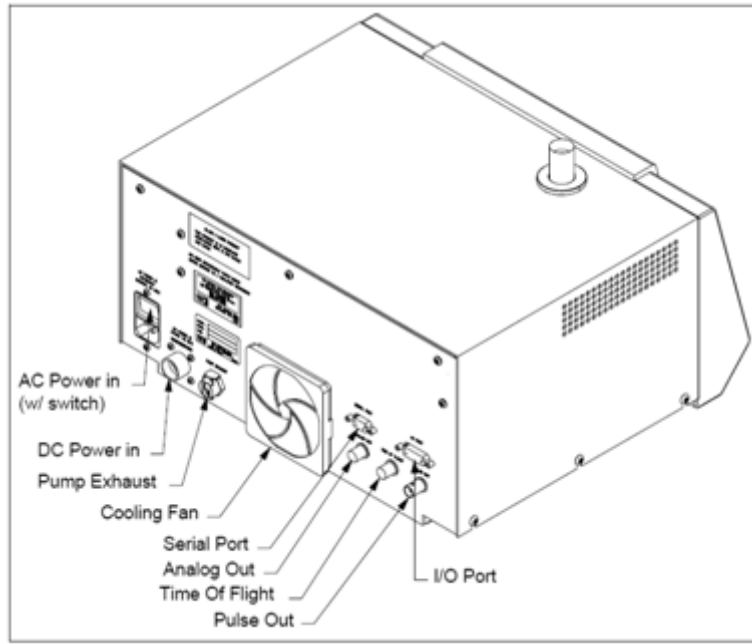


그림 4.4. Model 3321 APS의 후면

(3) 기기 내부

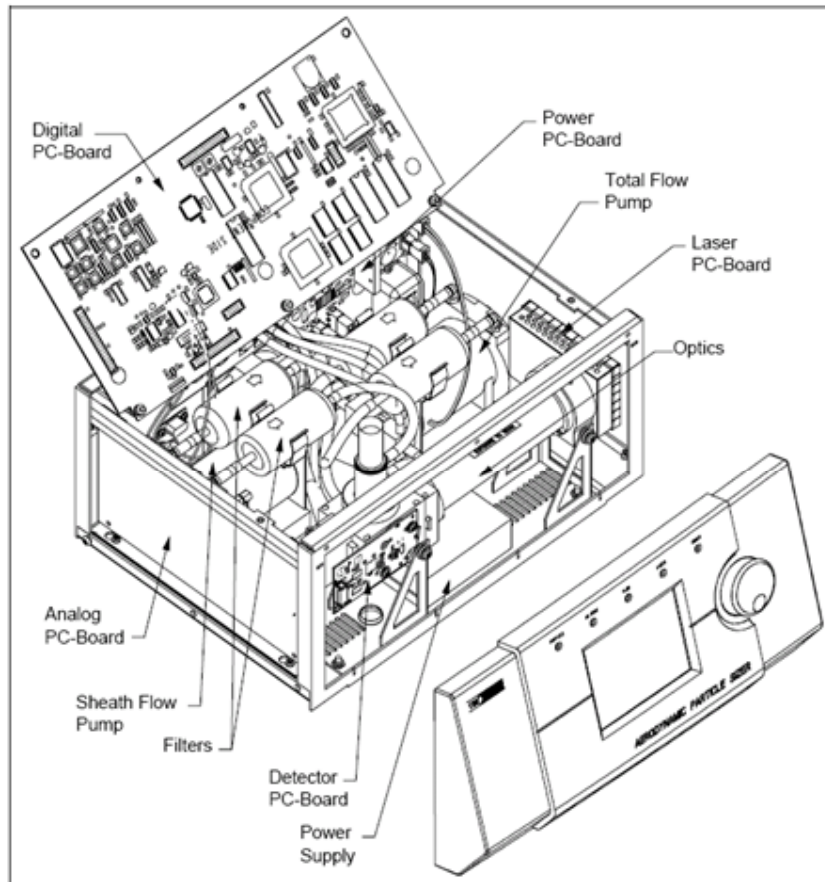


그림 4.5. Model 3321 APS의 내부 구성 요소

(4) 기기 작동 원리

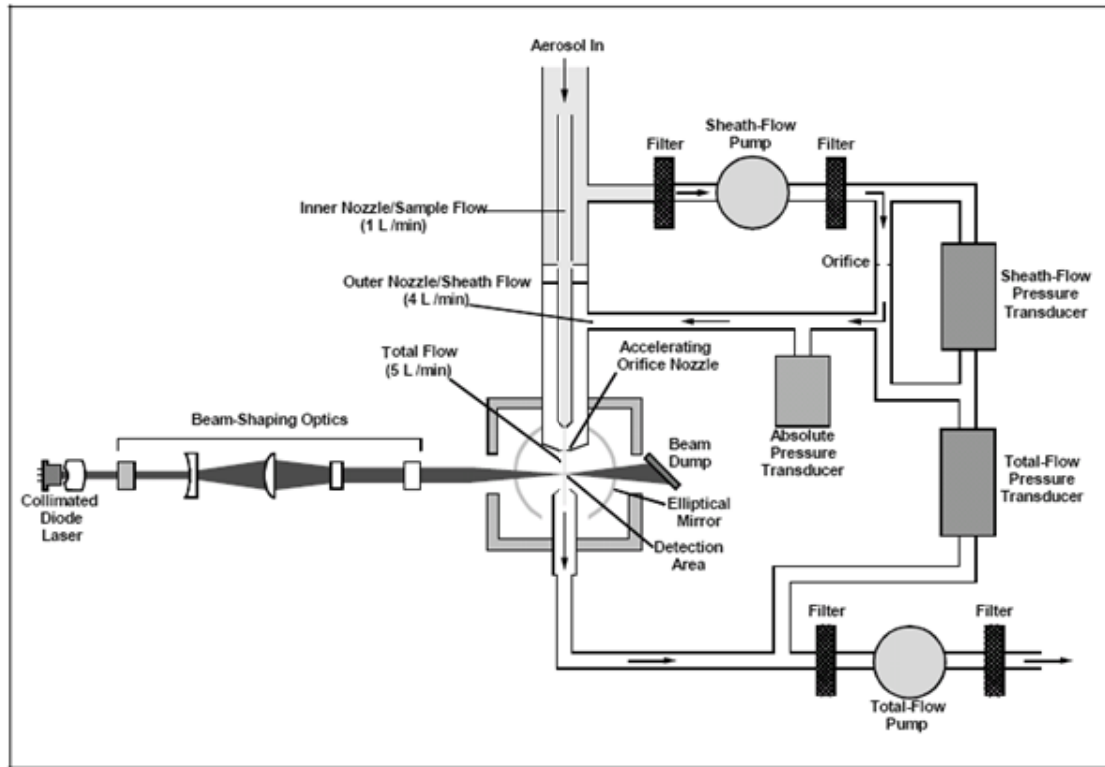


Figure 5-1
Aerosol Flow Through the APS Model 3321

그림 4.6. Model 3321 APS를 통과하는 에어로졸 흐름

공기역학적 입경별 수농도 계측기는 에어로솔의 크기에 따라 입자의 속도가 다른 원리를 이용하여, 노즐을 통과하는 공기흐름에서의 입자의 속도를 측정하여 입자의 크기 별 수 농도를 측정하는 기기이다. Inlet 을 통과하여 들어간 공기는 두 흐름으로 나뉘어서 inner nozzle을 통하는 sample flow와 outer nozzle을 통과하는 sheath flow로 갈라져 측정이 이루어진다.

4.3. 기기 설치

- ① 기기 설치 시 벽면으로부터 장비 측면과 장비 뒷면 모두 5cm 이상 떨어져 있어야 한다.
- ② 기기 후면에 있는 전원코드를 콘센트에 연결한다(85-260 VAC, 50-60 Hz).
- ③ 컴퓨터와 연결: cable(4-meter의 cable이 제공됨)을 Model 3321의 뒤에 있는 **Serial Port**와 연결하고 컴퓨터에도 연결한다.
- ④ 컴퓨터에는 **Aerosol Instrument Magnager**를 실행시켜 놓는다.
- ⑤ 기기의 전원을 켜다.
- ⑥ 기기 작동 시 **Control Knob**를 이용하여 설정상태를 변경하거나 장비 상태를 확인하고 컴퓨터 없이 측정을 시작하도록 하여 측정결과를 LCD에 표시하도록 할 수 있다.
- ⑦ 기기 설정 목록은 표 4.1, 표 4.2와 표 4.3을 참고한다.

표 4.1. Startup Display

측정 결과 항목	내용
Size Distribution	입경 분포 그래프
Concentration	농도
Mean Aerodynamic Particle Size	평균 입경
Total Aerodynamic Particle Size	농도 바 그래프

표 4.2. 주 메뉴 항목

주 메뉴 항목	내용
Clear	화면에 표시된 측정결과를 지움
Continue	측정을 재개
Start/Stop	측정 시작/멈춤
Menu	메뉴를 보여줌

표 4.3. 세부 메뉴 항목

주 메뉴 항목	내용
Exit	초기화면으로 가기
Sample Time (sec)	측정시간 설정: 1~64,800 (Summed mode), 1~300 (average mode)
Sample Mode	Summed(누적 농도), Average(평균 농도), Sum.Corr. (Software 로만 가능)
Sample Type	Continuous(연속 측정), Single(한번만 측정)
Pumps	On/Off
Sound	On(Hi-Conc. 설정값을 넘었을 때 뽁소리가 나도록 함)/Off
Screen Saver	Off/5/10/15/30분(Control Knob를 만질 때까지 LCD 화면을 끄)
Baud Rate	38,400(correlated mode)/19,200/9,600 bps: Serial 통신속도 선택
Inlet Pressure (mbar)	Sample Inlet쪽 압력
Sheath Flowrate (lpm)	Outer Nozzle 유량
Aerosol Flowrate (lpm)	Inner Nozzle 유량
Total Flowrate (lpm)	측정을 끝내고 장비밖으로 내보내는 유량
Optics Temperature (C°)	Optic components의 온도 표시(APD 감지기의 온도와 동일)
Cabinet Temperature (C°)	장비 내부의 온도 표시
Laser Current (mA)	0~100: 레이저에 흐르는 전류로 사용시간 경과에 따라 값이 조금씩 올라감
Laser Power (%)	0~100: 레이저 전력 설정(75가 기본으로 변경시키지 말 것)
Laser	On/Off
APD Voltage (V)	APD (Avalanche Photodetector)의 전압 표시 및 조정
APD Max Vop (V)	장비 전원을 켰을 때 APD에 인가되는 최대 전압
APD Autocalibration	On(다음 측정결과를 표시하기 전에 이전 결과를 4초간 표시)/Off
Alarm Level (pt/cm ³)	Hi Conc LED에 불이 켜지고, 경고음을 울리는 농도 수준을 설정
End of Sample Pause	On(다음 측정결과를 표시하기 전에 이전 결과를 4초간 표시)/Off
Display Image	Positive(흰색바탕에 검은 글씨)/ Negative(검은 바탕에 흰색 글씨)
Firmware Version	버전 정보 표시

4.4. 기기 관리 및 유지

(1) 기기 관리시 주의 사항

- ① 펌프가 작동시 유량이 적당하지 않거나 유량변동이 심할 경우
: Pump Exhaust가 막혔는지 확인 할 것, Inner/Outer Nozzle 오염 확인, 필터가 막혔는지 확인
- ② Hi Conc 경고 LED 가 들어올 경우
: 고농도에서는 coincidence error가 발생하므로 Aerosol Diluter를 장착할 것
(보통 1,000 particles/cm³ 농도 이상에서)

(2) 필수 기기 관리 사항

- Inner Nozzle 청소

전원을 끈 상태에서 Inner Nozzle을 분리해 낸다. 오염의 정도에 따라서 다음의 순서로 청소한다.

- ① 깨끗한 압축공기로 (35psi 이하) Nozzle 반대 방향으로 불어낸다.
- ② 비눗물로 씻어내고 물로 세척한 후에 압축공기로 말린다.
- ③ 이소프로판올로 세척한다.

- Outer Nozzle 청소

전원을 끈 상태에서 Inner Nozzle을 분리하고, Outer Nozzle을 분리한다. 그리고 깨끗한 압축공기로 Nozzle 반대방향으로 불어낸다. 보푸라기가 일지 않는 부드러운 천과 물로 Nozzle을 닦아낸다. 하지만 Nozzle 내부는 닦지 말고 압축 공기로만 불어내야 한다.

- Air Filter 교환

필터의 방향에 주의하여 필터를 교환한다. 튜브를 뺄 때는 잡아당기지 말고 튜브를 밀어서 분리시키는 것에 주의한다.

- EPROM 교환

교환할 필요가 없으며, 수 년 후에 버전을 확인하여 교환 여부를 결정한다.

(3) 유지 스케줄

다음 표 4.4에 나와있는 유지 스케줄을 참고하여 기본적으로 기기 청소 및 부속품을 바꿔 주며, 자료의 에러를 체크하면서 그 주기를 조절하도록 한다.

표 4.4. APS 기기의 유지 스케줄

유지 보수 내용	장비 점검 주기
Inner Nozzel 청소	750 시간 (약 31일)
Outer Nozzel 청소	2500 시간 (약 104일)
Air Filter 교환	5000 시간 (약 208일)
장비 점검 및 Calibration	5000 시간 (약 208일)

4.5. 기기 보정 및 검증

공기역학적 입경별 수농도 계측기의 경우 에어로솔의 크기에 따라 입자의 속도가 다른 원리를 이용하여, 노즐을 통과하는 공기흐름에서의 입자의 속도를 측정하여 입자의 크기 별 수 농도를 측정한다. 인렛(inlet)을 통과하여 들어간 공기는 두 흐름으로 나뉘어 안쪽 노즐(inner nozzle)을 통하는 샘플 흐름(sample flow)과 바깥쪽 노즐(outer nozzle)을 통과하는 시스 흐름(sheath flow)으로 갈라져 측정이 이루어진다. 공기역학적 입경별 수농도 계측기는 제조 당시 밀도가 1.05g/cm^3 에 가까운 폴리스티렌 라텍스(Polystyrene Latex; PSL) 구체들을 이용하여 보정되어 진다. 게다가 공기역학적 입경별 수농도 계측기는 잠잠한 공기 안의 입자의 공기 역학적 입경분포를 측정하는 것이 아니라, 약 150 m/s 의 속도를 갖는 공기흐름에 해당한다. 이는 입자 레이놀드(Reynolds) 수가 스토크스 체제(Stokes regime; $R > 0.5$) 밖임을 의미한다. 따라서 기기로 유입되는 입자의 밀도가 0.9g/cm^3 보다 작거나 1.1g/cm^3 보다 큰 경우는 스토크스 보정(Stokes correction)을 시행해야한다. 예를 들어, 입자의 밀도가 0.8 g/cm^3 이면, 5% 정도 과소평가되어질 수 있으며, 입자의 밀도가 2 g/cm^3 일 경우 10% 정도 과대평가되어질 수 있다.

만약 입자의 밀도를 안다면 비-스토크스 에러(non-Stokes error)는 Wang and John(1987) 논문의 식 (8), (9)와 (10)을 이용하여 보정할 수 있다. 이는 다음 표 4.5에 나타내었다.

표 4.5. APS 측정에 대한 스토크스 보정(Stokes correction)

스토크스 보정 (Stokes correction)	설명
$D_{a2} = D_{a1} \left[\frac{6 + R_2^{2/3}}{6 + R_1^{2/3}} \right]^{1/2}$	D _{a2} =보정된 공기역학적 입경 [μm]
	D _{a1} =보정되지 않은 공기역학적 입경 [μm]
$R_1 = \frac{\rho_a (U - \bar{V}) D_1}{\mu \sqrt{\rho_1}}$	R ₁ =아래 참조
	R ₂ =아래 참조
$R_2 = \frac{\rho_a (U - \bar{V}) D_2}{\mu \sqrt{\rho_2}}$	ρ _a =공기 밀도[g/cm ³] (air @ 20C = 1.205E-3 g/cm ³)
	μ=공기 점도[dyne·s/cm ²] (air @ 20C = 1.81E-4 dyne·s/cm ²)
	ρ ₁ = 보정 입자 밀도 [g/cm ³] (PSL = 1.05 g/cm ³)
	U=공기 속도 [cm/s] (전형적으로 15000 cm/s)
	V=평균입자속도 [cm/s] (입자 크기에 따름)
	ρ ₂ = 실제 입자 밀도 [g/cm ³] (사용자에 의해 제공)

관측자료에 결함이 있는지 여부는 **Aerosol Instrument manager**에서 관측 파일을 열어 **View** → **Instrument Status**에서 확인할 수 있다(그림 4.7, 그림 4.8). 자료의 에러 메시지는 표 4.6에 수록하였으며, 이러한 에러가 두 개 이상 나타날 시에는 “**Errors Detected**”라고 메시지가 뜬다. 또한 자료를 **export** 한 후 파일의 ‘**Status Flag**’의 ‘0’과 ‘1’의 16개의 숫자 조합을 통해 자료 상태가 표현되어 있다. 각 숫자 조합이 의미하는 에러 메시지 역시 표 5.2에 정리하였다. 이들은 표 4.7의 결함 목록에서 그 원인을 찾아 볼 수 있다. 자료에 대한 검정은 동일한 기기 또는 유사한 측정항목의 기기(예, **Optical Particle Counter**)와 일정시간 측정하여 자료를 비교 검토하도록 한다.

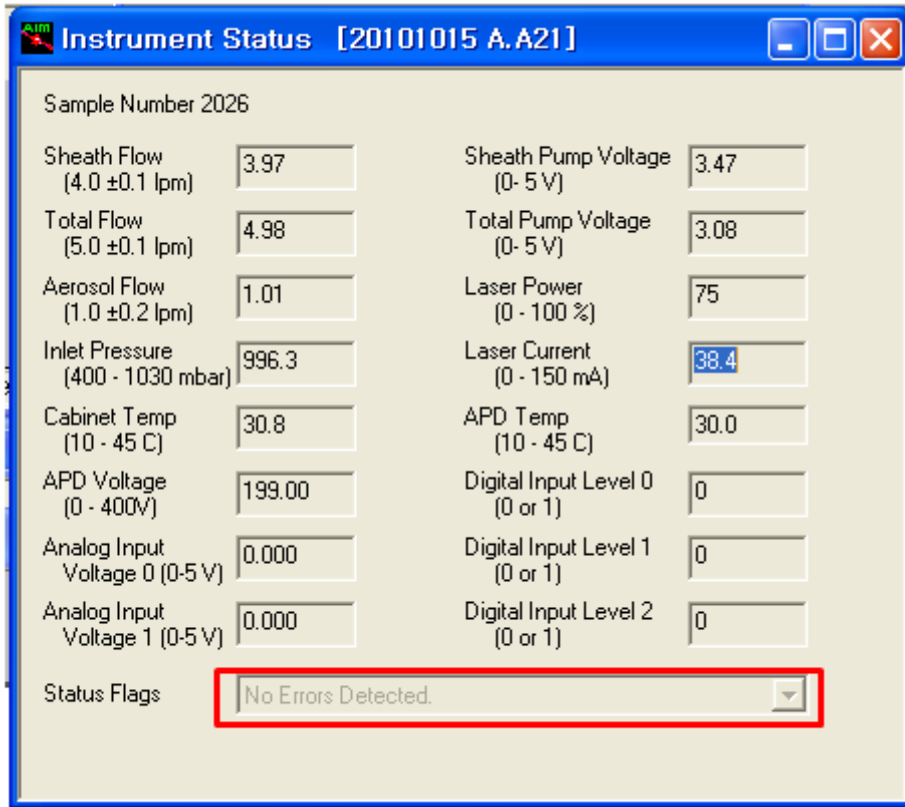


그림 4.7. Instrument Status 창의 데이터 상태 표시 (OK의 예)

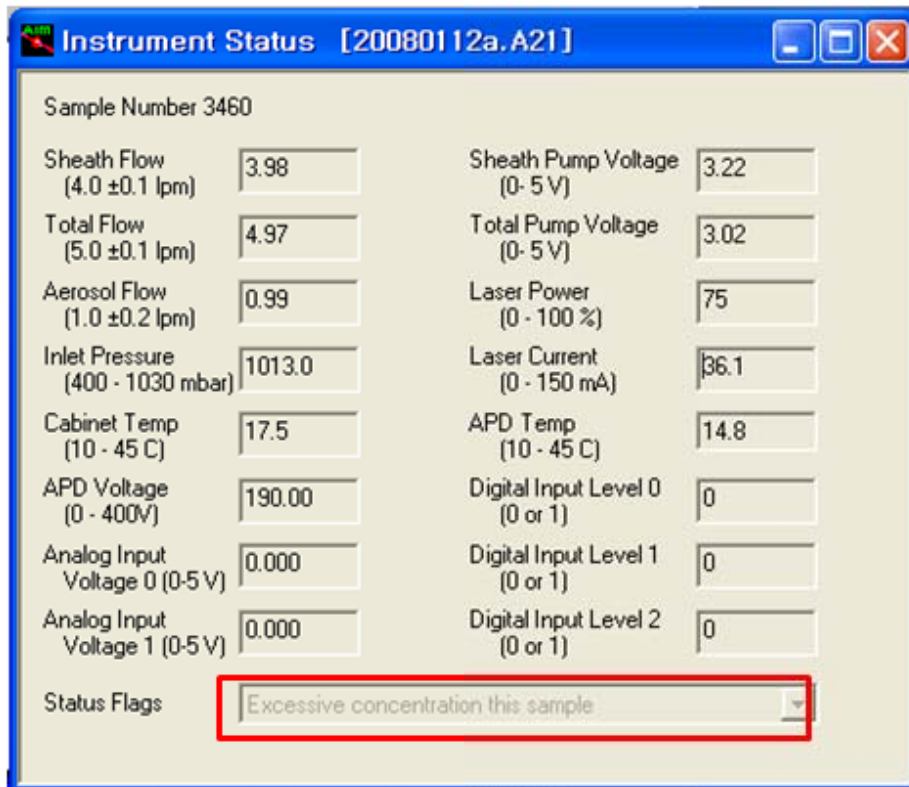


그림 4.8. Instrument Status 창의 데이터 상태 표시 (Error의 예)

BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB
Laser Curr	Sheath Pu	Total Pum	Box Temp	Avalanch f	Avalanch f	Status Flags	Median(평균)	Mean(평균)	Geo. Mean	Mode(평균)
36.4	3.268	3.029	19.1	16.3	191	0000 0000 0000 0000	1.0242	1.2268	1.08841	0.835363
36.4	3.254	3.027	19.2	16.3	191	0000 0000 0000 0000	1.01679	1.2242	1.08464	0.835363
36.4	3.264	3.02	19.1	16.3	191	0000 0000 0000 0000	1.02182	1.22713	1.08786	0.835363
36.4	3.251	3.028	19.1	16.3	191	0000 0000 0000 0000	1.02182	1.22717	1.08903	0.835363
36.4	3.27	3.022	19	16.3	191	0000 0000 0000 0000	1.02729	1.23235	1.09273	0.835363
36.4	3.249	3.021	19	16.3	191	0000 0000 0000 0000	1.02854	1.23288	1.09414	0.835363
36.4	3.285	3.022	18.7	16.3	191	0000 0000 0000 1000	1.0317	1.23406	1.09576	0.835363
36.4	3.251	3.024	18.9	16.3	191	0000 0000 0000 1000	1.03182	1.2311	1.09437	0.897687
36.4	3.242	3.015	18.9	16.3	191	0000 0000 0000 1000	1.02955	1.23002	1.09291	0.835363
36.4	3.247	3.032	18.9	16.3	191	0000 0000 0000 1000	1.02955	1.23002	1.09291	0.835363
36.4	3.247	3.024	18.9	16.3	191	0000 0000 0000 1000	1.03175	1.23006	1.09376	0.835363

그림 4.9. Export data 상의 상태 표시 (OK와 Error의 예)

표 4.6. 에러 메시지와 데이터 상태 표시 문자

Message	Status Flag
No Errors Detected	0000 0000 0000 0000
Laser fault	0000 0000 0000 0001
Total Flow out of range	0000 0000 0000 0010
Sheath Flow out of range	0000 0000 0000 0100
Excessive sample concentration (alarm)	0000 0000 0000 1000
Accumulator clipped (i.e. > 65535)	0000 0000 0001 0000
Autocal failed	0000 0000 0010 0000
Internal temperature < 10°C	0000 0000 0100 0000
Internal temperature > 40°C	0000 0000 1000 0000
Detector voltage more than ± 10% Vb	0000 0001 0000 0000
Reserved (unused)	0000 0010 0000 0000

표 4.7. APS의 결함 확인 목록

기기 상태 분야	설명
시스 흐름 (Sheath Flow)	4.0 (± 0.1) L/min
전체 흐름 (Total Flow)	5.0 (± 0.1) L/min
에어러솔 흐름 (Aerosol Flow)	1.0 (± 0.1) L/min
인렛 압력 (Inlet Pressure)	400-1030 mbar
캐비닛 온도 (Cabinet Temperature)	10-45°C
APD 전압 (Avalanche Photodetector Voltage)	0-400 volts
아날로그 입력 전압 0 (Analog Input Voltage 0)	0-5 volts
아날로그 입력 전압 1 (Analog Input Voltage 1)	0-5 volts
시스 펌프 전압 (Sheath Pump Voltage)	0-5 volts
전체 펌프 전압 (Total Pump Voltage)	0-5 volts
레이저 파워 (Laser Power)	0-100% (기본은 75%)
레이저 전류 (Laser Current)	0-100 mA
APD 온도 (Avalanche Photodetector Temperature)	10-45°C
디지털 입력 단계 0 (Digital Input Level 0)	0 또는 1 volt
디지털 입력 단계 1 (Digital Input Level 1)	0 또는 1 volt
디지털 입력 단계 2 (Digital Input Level 2)	0 또는 1 volt

4.6. 자료 처리

(1) 자료 처리 프로그램의 폴더 위치

공기역학적 입경별 수농도 측정기의 자료를 처리하기 위해서는 그림 4.10과 같은 폴더의 하위 구조들을 먼저 만들어 놓아야한다. 매뉴얼과 함께 제공하는 두 개의 코드와 하나의 파일은 'CODE' 폴더 아래 위치해야하며, APS_ARRANGE.f를 통해 자료를 정리하고자 하는 한달치 input 파일(파일명: APS_KGAWOyyyyymm.txt)은 'DATA/TXTdata' 폴더 아래 위치해야한다.

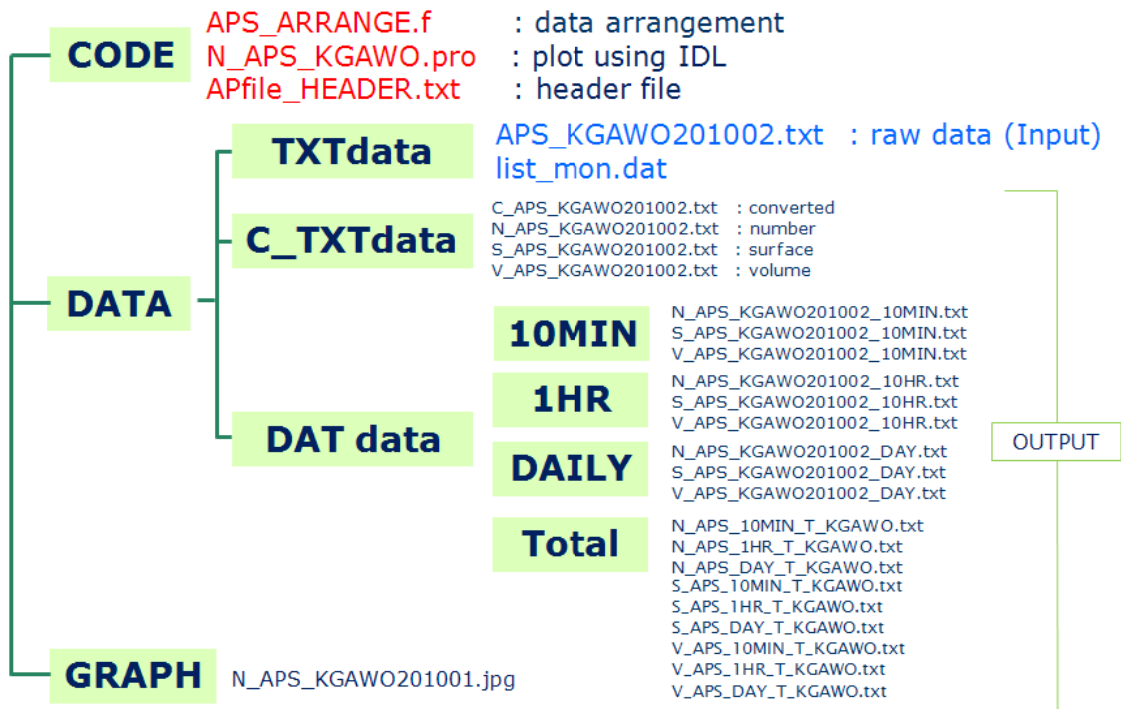

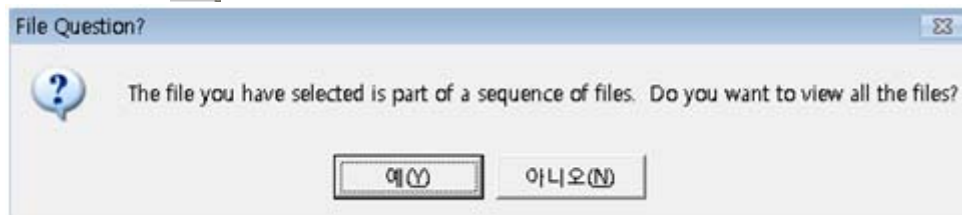


그림 4.10. 자료처리 프로그램의 폴더 위치

(2) Input 자료 만들기

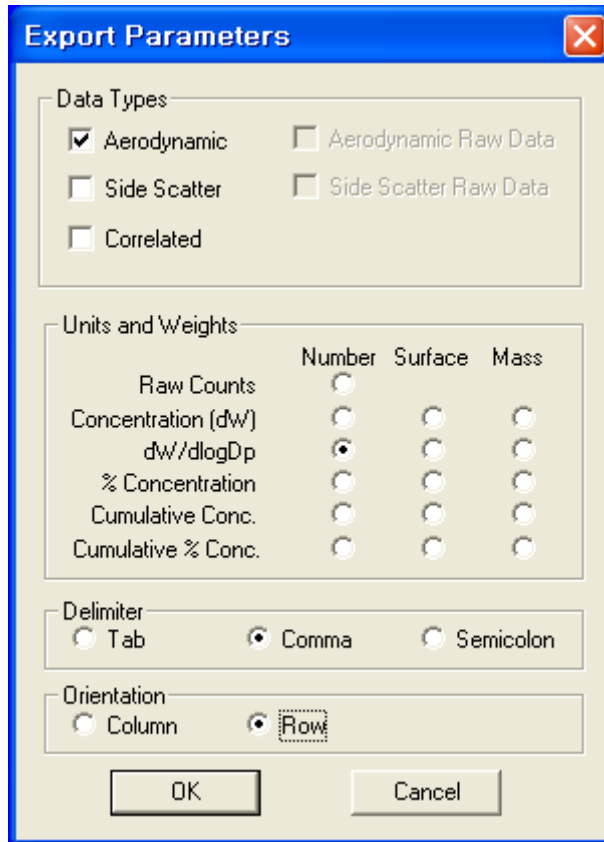
정리하고 싶은 자료를 기기와 함께 제공되는 Aerosol Instrument Manager 프로그램을 이용하여 raw data에서 text 파일로 만든다.

- ① Aerosol Instrument Manager 프로그램 실행
- ② File - open (or  클릭) - *.A21 선택 - 예 or 아니오 선택



- ③ 나타나는 sample List 중 필요한 시간대 자료를 클릭
(여러개 자료 클릭시 Shift or Ctrl 키 이용)

- ④ File - Export to file
- ⑤ 다음 그림과 같이 선택



- ⑥ .txt 파일로 저장됨

(3) 자료 처리 프로그램 실행하기

- ① 한달치 공기역학적 입경별 수농도 계측기 **input** 자료(파일명: APS_KGWOyyyyymm.txt)를 DATA/TXTdata/ 아래 위치해 놓기
- ② DATA/TXTdata 폴더 아래 list_mon.dat를 새로 만들어서 분석하고 하는 **input** 파일의 파일명을 쓰기
- ③ CODE 폴더로 가서 APS_ARRANGE.f를 실행하기
(>pgf90 APS_ARRANGE.f
>a.out)
- ④ DATdata 폴더아래 /10MIN, /1HR, /DAILY, /Total 폴더들 아래 자료가 정리 되어 생성 된 것을 확인할 수 있다.

(3) 그래프 프로그램 실행하기

- * 그래프 프로그램 코드: CODE폴더 아래 N_APS_KGAWO.pro 파일임
- * 그래프 이용 자료: DATA/DATdata/10MIN 아래 있는 10분 평균 자료들임
- * 그래프 결과: GRAPH 폴더아래 jpg 파일로 저장됨

※ Linux 상의 프로그램 실행

① 먼저 vi 편집기를 통해 N_APS_KGAWO.pro 파일을 열어 7번째 줄의 file=File_search('N_APS_KGAWO201002.txt') 인 부분에서 ' ' 안의 부분을 그래프 그리기 원하는 파일명으로 고친 후 저장한다.

② IDL 실행 후 위의 코드를 run 한다.

(>idlde

File → Open → N_APS_KGAWO.pro

Run → Compile

Run → Run)

③ 그림파일이 새창으로 뜨며, GRAPH 폴더에 저장된 것을 확인 할 수 있다(예, 그림 4.11).

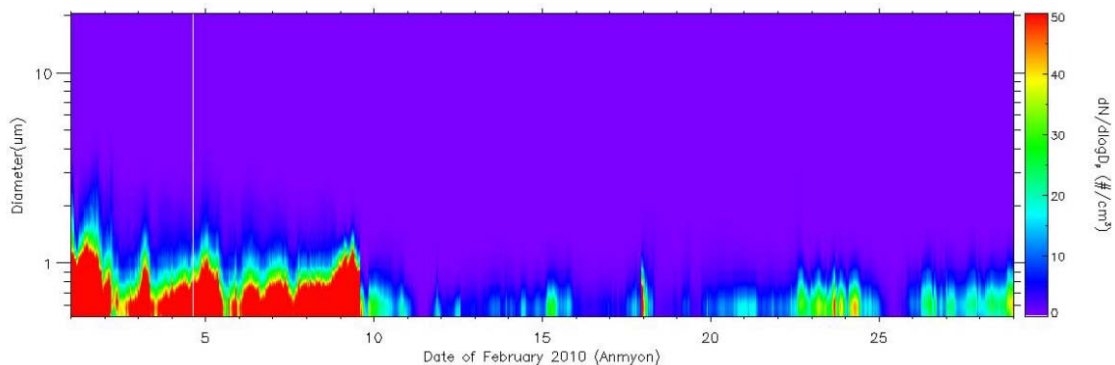




그림 4.11 N_APS_KGAWO.pro를 이용해서 그린 안면도 기후변화감시센터에서 공기역학적 입경별 수농도 계측기로 관측된 2010년 2월의 입경별 에어러솔 수농도 분포

※ Window 상의 IDL 실행

- ① .pro 프로그램을 더블 클릭하면 IDL 프로그램이 실행되면서 .pro 프로그램이 열린다.
- ② .pro 프로그램 파일의 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 줄의 폴더 경로를 주의한다
- ③ 7번째 줄의 file=File_search('N_APS_KGAWO201002.txt') 인 부분에서 ' ' 안의 부분을 그래프 그리기 원하는 파일명으로 고친 후 저장한다.
- ④ 프로그램 실행하기 (compile과 run은 다음 중 한 가지 방법을 이용하면 됨)
 - Ctrl + F5 후 F5

- 프로그램 메뉴 중 Run 클릭
Compile N_APS_KGAWO.pro 클릭
Run N_APS_KGAWO 클릭
- 단축 아이콘 클릭 ( → )

※ 그림 그리는 시간을 늘리거나 줄이고 싶을 때는, 그래프를 그리기 원하는 자료가 담긴 text 파일을 원하는 기간의 자료가 담기도록 수정한다. 또한 N_APS_KGAWO.pro 프로그램에서 93번째 줄, 100번째 줄, 107번째 줄, 111번째 줄의 Xrange=[a, b] 라는 부분의 a, b에 x축의 시작과 끝을 적어주면 된다.

※ 또한 제공하는 표면적 농도 그리는 프로그램 (S_APS_KGAWO.pro)와 부피 농도 그리는 프로그램(V_APS_KGAWO.pro)는 위와 동일한 방법으로 실행 가능하다.