

(특별강연II)

## 항공기를 이용한 대기오염 측정

김 영준

미국 NOAA/ ERL/ ARL, 한국과학기술원 토목공학과

1995. 11. 11

한국대기보전학회 추계학술대회 발표

## I. 서론

- 대기오염물질은 기상조건에 따라 확산, 분산되며 대기중에서 화학반응을 통해 변환되면서 장거리로 이동 및 침강하게 된다.
- 지상측정이나 인공위성을 통한 원격측정 뿐 아니라 공간적으로 균일하지 않은 대기중의 오염물질 농도변화 및 상호반응을 규명하기 위해서는 in-situ 측정방법이 필요하다.
- 항공기를 이용한 in-situ 측정 및 샘플수집을 통해 넓은 지역에 걸쳐 오염물질의 수직 및 수평분포에 대한 자료를 신속히 얻을 수 있다.
- 1970년대 부터 선진국에서는 이용한 대기오염측정을 실시해오고 있으며 항공측정 기술을 꾸준히 개발해오고 있다.
- 미국 해양대기청산하 환경연구소의 대기자원연구실 (NOAA/ ERL/ ARL)에서는 1983년 부터는 King Air aircraft를 1994년 부터는 Twin Otter aircraft를 사용하여 대기오염 측정 뿐 아니라 구름 및 강수물리 측정, eddy flux 측정등을 실시해 오고있다.
- 항공측정의 응용분야는 광범위하나 그중 일부를 열거하면 다음과 같다.

- pollution survey/ sampling
- plume dispersion/ transformation
- atmospheric tracer study
- model boundary conditions
- model validation/ improvement
- emergency response
- climate/ radiation research
- atmospheric research/ cloud physics
- eddy flux measurement
- weather modification
- remote sensing
- intercomparison/ calibration

## II. 항공측정시 고려할 사항

항공기의 특성과 측정환경의 특수성 때문에 항공측정시에 고려할 사항들이 많은바 그중 대표적인 것들은 다음과 같다.

- 비행기 특성과 관련된 사항
  - 비행시간 및 비행거리 제한을 고려해야 한다.
  - 측정장비의 무게, 크기, 소요전력 등에 제한을 받는다.
  - 측정장비는 과격한 온도 및 습도 변화와 진동에 견딜 수 있어야 한다.

-샘플 보전(sample integrity)

- 높은 비행속도(50-200 m/sec) 때문에 샘플보전을 유지하기 힘들다.
- 입자상물질의 경우는 non-isokinetic sampling에 의한 영향, turbulence 및 inertial losses가 입자크기별로 다르게 일어나게 된다.
- 기체상물질의 경우는 흡착에 의한 손실을 줄여야 한다.
- Airborne Aerosol Inlet Workshop이 1991년 미국립기상연구소(NCAR)에서 열렸다.

-가타사항

- 고도(압력) 변화에 따른 측정장비의 감도변화 여부
- 측정장비의 반응시간(time response)
- 측정장비의 계기보정(calibration)

### III. 항공기 및 측정장비

- 현재 각국에서 사용중인 대기측정용 항공기가 표 1에 나와 있다.
- NOAA/ ERL/ ARL의 King Air 항공기 사진이 그림 1에 나와 있다.
- 항공기 탑재 측정장비는 크게 세가지로 분류할 수 있다.

- Batch Sampling 방법

- filter packs
- cloud water and precipitation collectors
- gas samples

- In-situ 측정장비

- 연속측정장비 :  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , CO,  $H_2O_2$ ,  
aerosol size distribution,  
cloud droplets, liquid water content,  
meteorological, radiation, turbulence

- Remote Sensing 측정장비

- LIDAR
- Spectroradiometer

#### IV. 항공측정 결과

NOAA/ ERL/ ARL의 King Air 항공기를 이용한 측정결과 중 몇가지를 소개하도록 한다.

##### 1. FRLAB(Front Range Lidar, Aircraft, and Balloon Experiment)

1990년 Colorado주 Boulder 부근에서 항공기, LIDAR 및 기구를 이용하여 대기중 aerosol의 연직 분포를 측정하였다. 그림 2에 King Air 항공기 양쪽날개 밑에 각각 장착된 PMS(Particle Measurement Systems) ASASP(Active Scattering Aerosol Spectrometer Probe)와 FSSP(Forward Scattering Spectrometer Probe)로 측정된 aerosol농도의 연직분포가 나와 있다. 그림 3에는 고도별로 측정된 aerosol size distribution이 나와 있다. 고도별로 aerosol이 몇 개층으로 되어있음을 알 수 있다.

##### 2. LMOS(Lake Michigan Ozone Study)

1991년 NOAA King Air 항공기는 LMOS 실험에 참여하여 Michigan호 주위의 기체상 및 입자상 오염물질을 측정하였다. 그림 4에 대기오염이 심했던 6월 26일 정오경에 측정된 각종 오염물질의 농도가 나와 있다. Michigan호 상공에 대기오염 plume층이 있는 것이 확인되었다. 같은 비행 동안 PMS probes로 측정된 aerosol volume size distribution이 그림 5에 나와 있다. 아침(Flight A) 보다 미세입자 농도가 크게 늘어났으며 평균 입자크기도 증가 했음을 알 수 있다.

##### 3. Boardman-ARM Regional Flux Experiment

1991년 NOAA/ ARL의 Long-EZ 항공기를 이용하여 미국 에너지성(DOE)의 ARM(Atmospheric Radiation Measurement) 프로그램의 일환으로 Oregon주 Boardman에서 Flux 측정한 결과가 그림 6에 나와 있다. Sensible(H)과 latent(LE) heat fluxes와 CO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> fluxes등이 나와 있다.

#### V. 결론

항공기를 이용한 대기오염 측정에 대해 간략히 소개하였다. 대기오염은 입체적으로 발달하는 현상이기 때문에 효과적인 대기오염연구를 위해서는 항공측정이 필수적이라 하겠다. 물론 항공기측정 만으로는 비용이 많이들 뿐 아니라 장기적인 측정이 불가능하기 때문에 지상에서의 감시측정과 모델링 연구가 병행되어야 할 것이다. 국내에서도 항공측정의 필요성이 인식되어 그에 대한 부대시설 및 연구 투자가 하루 빨리 이루어지기를 기대하면서 글을 맺는다.

Table 1.

Atmospheric Research AircraftUSA

• NOAA/ERL	(King Air C-90) Twin Otter P3-Orion RP3A (2) Aero Commander-2 Citation 550 Turbo-Commander	Beechcraft DeHavilland Lockheed Gulfstream Cessna Gulfstream
• NASA/ARC	DC-8 72 C-130 NC-130B ER-2 Perseus Twin Otter DHC-6	McDonnell Douglas Lockheed Lockheed NASA DeHavilland
• NASA/WFF	Electra L-188 P-3 Orion Sabreliner T-39 Skyvan SC-7	Lockheed Lockheed Rockwell Short Bros
• NCAR/RAF	(King Air B220-T) (Sabreliner) C-130 Hercules Electra L-188C G-IVA WB-57F	Beechcraft Rockwell Lockheed Lockheed Gulfstream General Dynamics
• Air Force Geophys. Lab.	NKC-135 Tanker	Boeing
• Naval Res. Lab.	P3 (4)	Lockheed
• Battelle PNL	G-1	Gulfstream
• Brookhaven National Lab.	Queen Air	Beechcraft
• Univ. of Washington	Samaritan C-131A	Convair
• Univ. of Wyoming	King Air 200-T	Beechcraft
• Univ. of North Dakota	Citation 550	Cessna
• SDSMT	T-28	North American
• NMIMT	Schweizer	
• NAWC, Inc.	421, 340, 340, 414	Cessna
• SRI International, Inc.	Queen Air	Beechcraft
• Weather Modification, Inc.	Duke	
• BMI, Inc.	G-I	Gulfstream
• Sonoma Technology, Inc.	Queen Air	Beechcraft

### Canada

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • Nat. Research Council<br>Inst. Aero, Res./FRL<br>Atmos. Env. Services | Twin Otter<br>Convair 580<br>Falcon 20<br>T-33 | DeHavilland<br>General Dynamics<br>Dassault<br>Canadair |
|---|--|---|

### England

- |   |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| • Meteorological Office<br>• Nat. Env. Res. Council | C-130<br>Chieftain | Lockheed<br>Piper |
|---|--------------------|-------------------|

### Germany

- |                                |                    |                             |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| • DLR<br>• Fraunhofer-Institut | Falcon 20<br>HS125 | Dassault<br>Hawker Siddeley |
|--------------------------------|--------------------|-----------------------------|

### France

- |   |     |                   |
|---|-----|-------------------|
| • | DC7 | McDonnell Douglas |
|---|-----|-------------------|

### Norway

- |                              |        |       |
|------------------------------|--------|-------|
| • Institute for Air Research | Navajo | Piper |
|------------------------------|--------|-------|

### Australia

- |         |     |        |
|---------|-----|--------|
| • CSIRO | F27 | Fokker |
|---------|-----|--------|

### New Zealand

- |                          |     |        |
|--------------------------|-----|--------|
| • Meteorological Service | F27 | Fokker |
|--------------------------|-----|--------|

### Japan

- |   |                  |                    |
|---|------------------|--------------------|
| • National Institute for<br>Environmental Studies | 440              | Cessna             |
| • Meteorological Research<br>Institute            | 404              | Cessna             |
| • Tohoku Univ.                                    | 206<br>Merlin IV | Cessna<br>Sweligen |
| • Nagoya Univ.                                    |                  |                    |

Tabel 2

# Aircraft Instrumentation

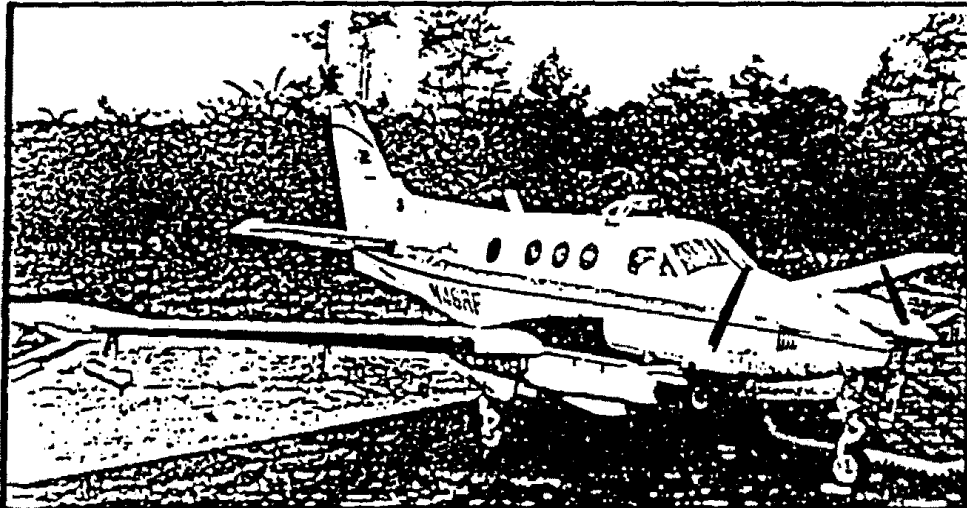
Parameter	Method	Manufacturer	Range	Accuracy	Resolution	Response Time
Pressure	transducer	Rosemount	0 - 1100 mb	± 1 mb	0.1 mb	1 s
Temperature	platinum resistance	Rosemount	-60°C - +40°C	1°C	0.1°C	1 s
Dew point	hygrometer	General Eastern	-75°C - +50°C	< 1°C	0.1°C	1 s
Cloud water	slotted rod	modified Moehnen	> 5 µm	N/A	N/A	Intermittent
Liquid water content	heated wire	PMS-King	0 - 8 g m <sup>-3</sup>	0.1 g m <sup>-3</sup>	0.1 g m <sup>-3</sup>	1 s
Particle size distribution	particle spectrometer	PMS ASASP - 100X PMS FSSP - 100 PMS OAP - 2 DC Norman G. Ahlgvist	0.12 - 3.12 µm 0.5 - 47 µm 25 - 800 µm 10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>	N/A N/A N/A ± 10 %	N/A N/A N/A 10 <sup>-7</sup> m <sup>-1</sup>	0.1 s 0.1 s N/A 1 min
Aerosol scattering extinction	3-wavelength nephelometer	General Electric	3 - 300,000 cm <sup>-1</sup>	± 10 %	0.1 %	1 s
Condensation nuclei	Expansion cloud chamber	General Electric	3 - 300,000 cm <sup>-1</sup>	± 10 %	0.1 %	1 s
Solar irradiance	photometer	U-COR	0 - 1500 W m <sup>-2</sup>	N/A	1 W m <sup>-2</sup>	1 s
Gas analyses H <sub>2</sub> O 1 N <sub>2</sub> O 1 CFC 12, 11, 113 CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , CCl <sub>4</sub> NO/NO <sub>y</sub> O <sub>3</sub> SO <sub>2</sub>	fluorescence gas chromatography gas chromatography chemiluminescence u.v. photometric pulsed fluorescence	K+K Enterprises SHIMADZU SHIMADZU TECO 14B (mod.) TECO 49 TECO 435	0 - 50 ppbv 10 ppbv - 300 ppm <sup>a</sup> 10 ppt - 100 ppb <sup>a</sup> 0 - 1000 ppbv 0 - 1000 ppbv 0 - 100 ppbv <sup>a</sup> by mole fraction	0.1 ppbv 1.0 ppbv 5.0 ppbv 0.1 ppbv 2.0 ppbv 0.1 ppbv	0.1 ppbv 0.2 ppbv 1.0 ppbv 0.07 ppbv 1.0 ppbv 0.05 ppbv	2 min 2 min 4 min 1 min 1 min 1 min
Aerosol Collection Black carbon	filter packs light attenuation	NOAA AOG Magsee Scientific	N/A 10 ng - 100 µg m <sup>-3</sup>	N/A ± 15 %	N/A 1 ng m <sup>-3</sup> ·hr	> 30 min 1 hr - 1 s
Aircraft position Heading Lat/long. TAS Wind speed Wind direction	LORAN-C LORAN-C computed value computed value computed value	Advanced Navigation Inc. N/A N/A N/A N/A	0° - 360° N/A N/A N/A 0° - 360°	1 deg 200 m 1 m s <sup>-1</sup> 1 m s <sup>-1</sup> 1 deg	1 deg 100 m 0.1 m s <sup>-1</sup> 0.1 m s <sup>-1</sup> 0.1 deg	1 s 1 s 1 s 1 min 1 min
Data acquisition	computer based	Science Eng. Assoc.	Software Config.	N/A	16 bit	0.01 sec (100 Hz)

Figure 1



U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE  
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

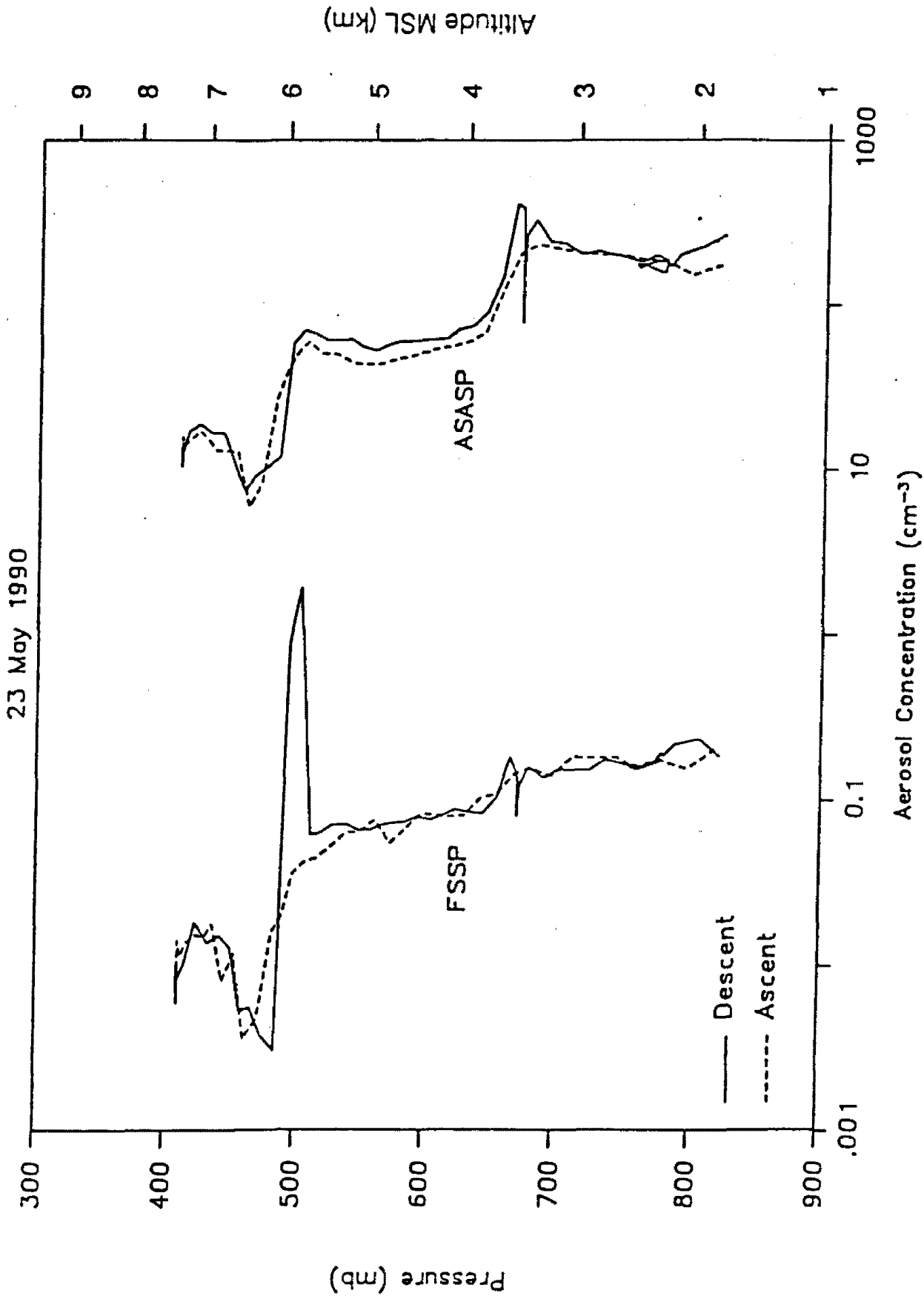
## AIR QUALITY RESEARCH AIRCRAFT



BEECHCRAFT KING AIR C-90

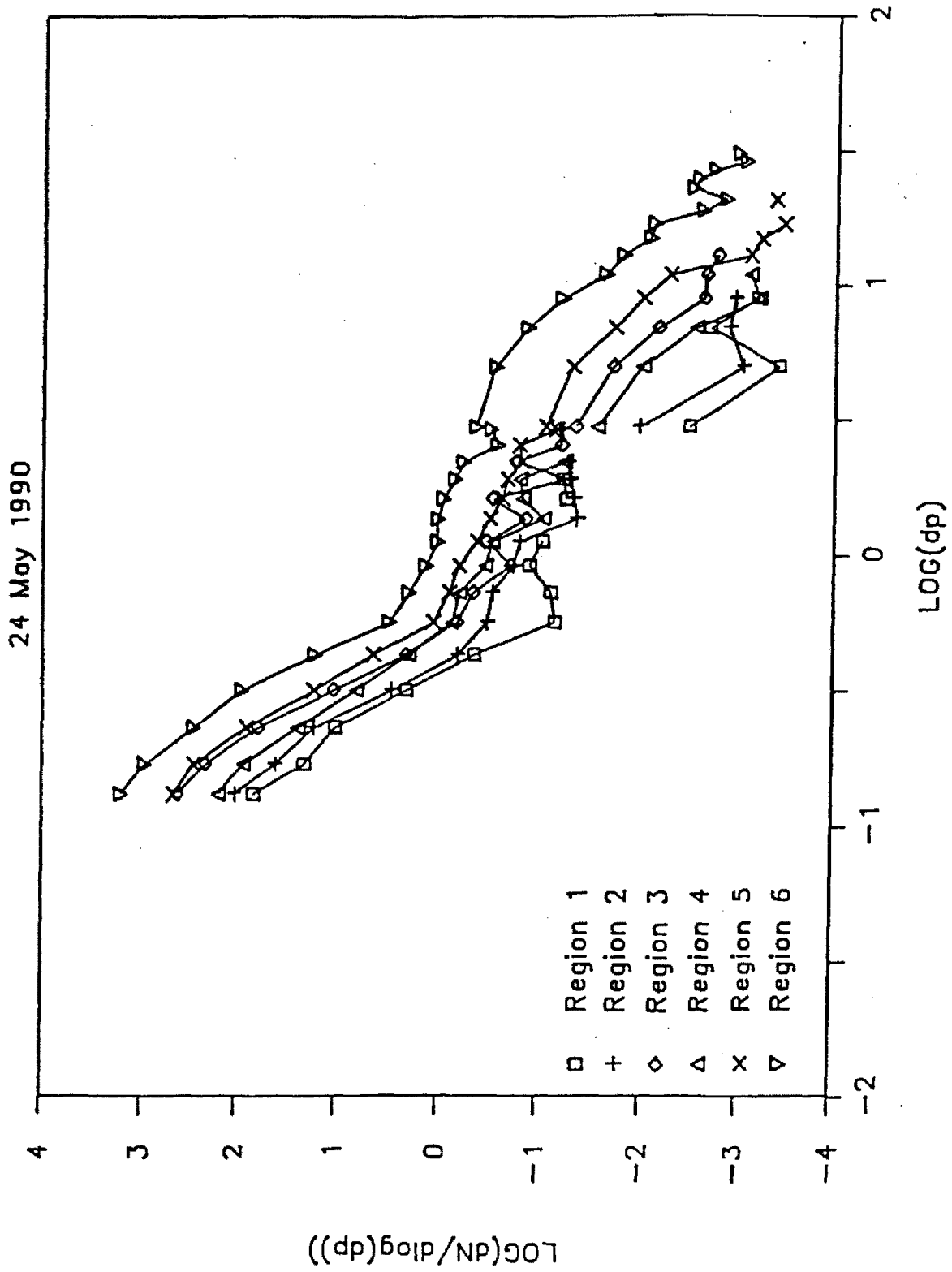


Figure 2



Vertical profiles of fine (ASASP) and coarse (FSSP) particle concentrations for the aircraft flight of May 23, 1990. Data shown are 1-min means.

Figure 3



Aerosol size distributions as measured by the ASAP and FSSP probes for the aircraft flight of May 24, 1990. Data shown are averages for the regions in Table 20.

Figure 4

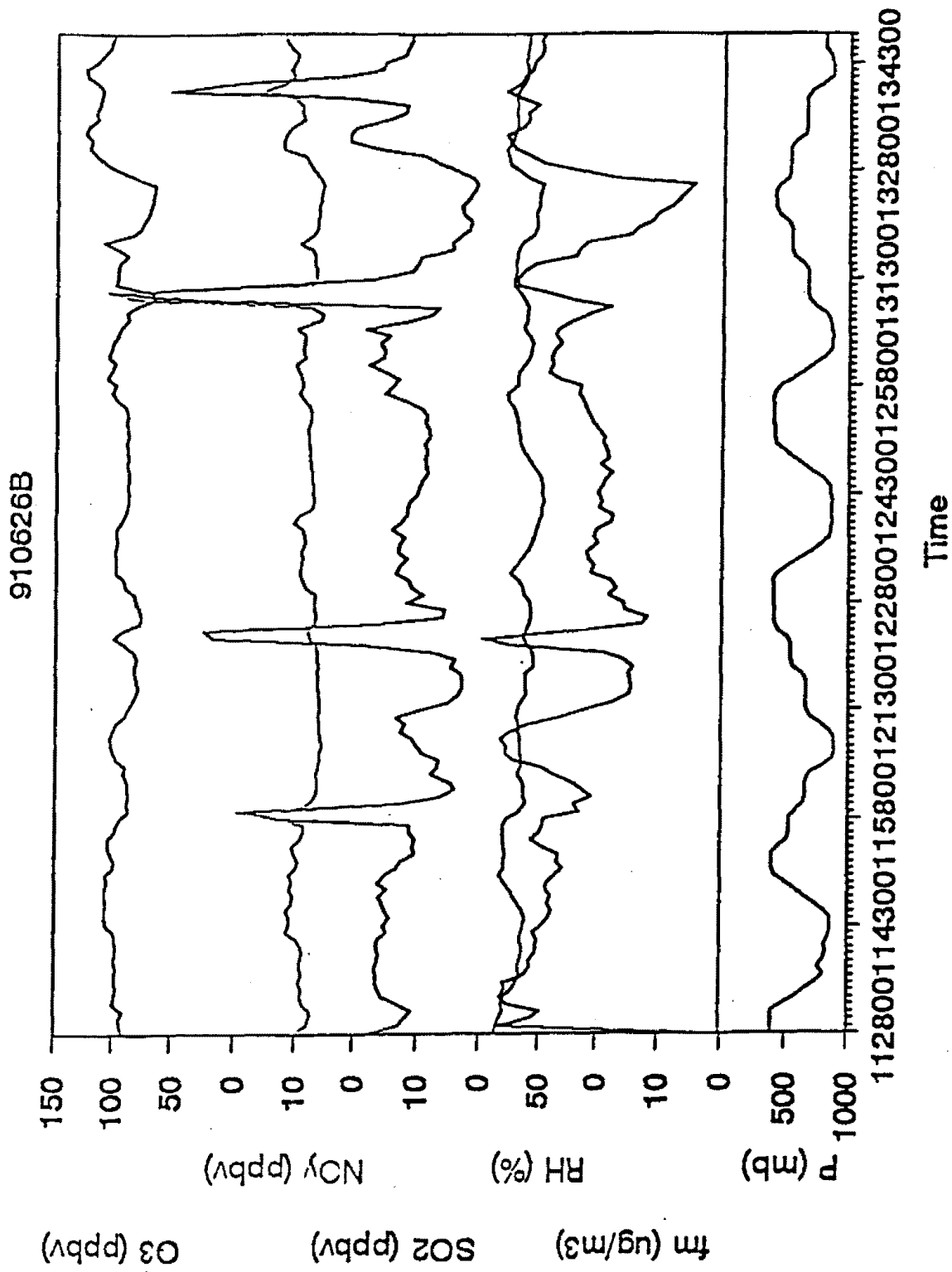


Figure 5

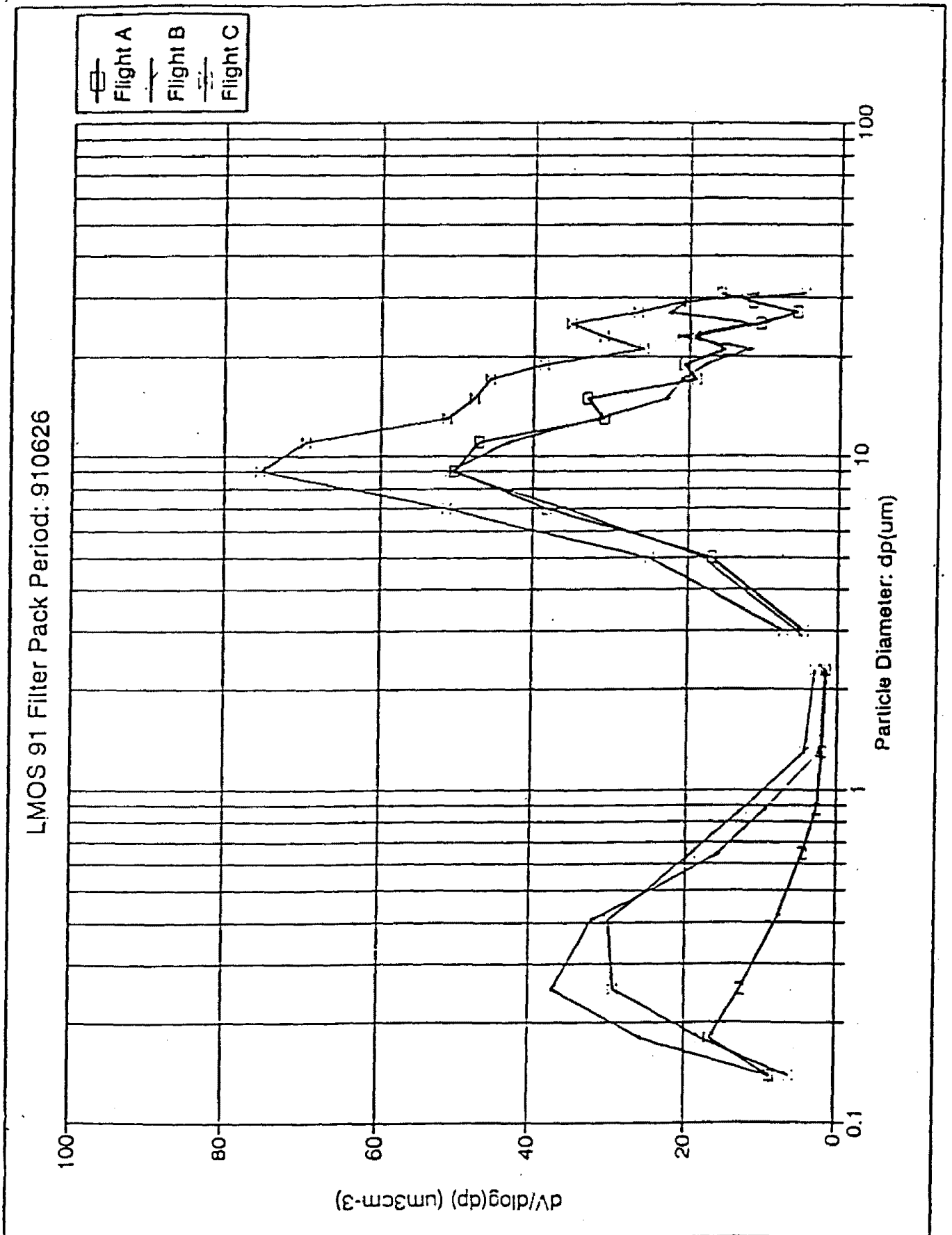


Figure 6

Boardman, Oregon June 18, 1991 7 Transects Centered at: 1934 GMT(0234 PDT)

