

## 안산지역 내에서의 Tethered Balloon 탑재형 포집기를 이용한 연직 분포된 Aerosol 포집 및 분석

은희람 · 김환기 · 이홍규 · 유동현 · 육세진 · 안강호\*

한양대학교 기계공학과

(2011년 12월 12일 투고, 2011년 12월 21일 수정, 2011년 12월 27일 게재확정)

## Vertically Distributed Aerosol Sampling and Analysis using Tethered Balloon Sampler System in Ansan

Hee-Ram Eun · Whan-Ki Kim · Hong-Ku Lee · Dong-Hyun Yoo · Se-Jin Yook · Kang-Ho Ahn\*

*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University*

(Received 12 December, 2011; Revised 21 December, 2011; Accepted 27 December, 2011)

### Abstract

It is very important to measure atmospheric particles and evaluate the characteristics of them since aerosol can influence atmospheric environment, climate, and health. Satellite, aircraft, radio sonde are usually used to measure the vertical distribution of particle properties, temperature, humidity, and pressure. Although the method of using an aircraft is favorable to collect the horizontal distribution of the particles, but unadaptable to measure the vertical distribution of the particles. However, all-in-one balloon particle sampler system can collect particles depending on each altitude controlling the balloon by winch. In this research, we performed the air sampling on the TEM grids using house made light weight impactor at the altitude of 300m and 900m. The collected particles were analyzed using TEM/EDS.

**Keywords** : Particle, Sampling, Tethered balloon, Atmospheric aerosol, TEM/EDS images, Light weight Impactor

---

\* Corresponding author.

Tel : +82-31-417-0601, E-mail : khahn@hanyang.ac.kr

## 1. 서 론

대기 중 부유 입자상 물질은 지구 대기 환경과 기 후, 그리고 인체 건강에 많은 영향을 미치므로 대기 입자를 분석하고 그 특성을 규명하는 연구는 매우 중요하다. 현재 이 같은 대기 중 에어로졸과 온도, 습도, 압력 등의 연직 분포를 측정하기 위해 인공위 성, aircraft, radio sonde 등을 이용하고 있다(Daniel R. *et al.*, 2008; Wenying He. *et al.*, 2009). 이 중 aircraft를 이용한 연구들의 경우 제작된 sampler 내 부 filter에 흡입된 입자를 포집한 후 이를 적출시켜 화학성분 분석하는 방법이 사용되고 있다. aircraft를 이용한 측정의 경우 운항 속도에 의한 입자의 비산 및 분산의 문제점이 있을 뿐 아니라 고속으로 전진 하는 aircraft의 특성상 sampling probe에서의 droplet fragmentation이 일어날 수 있다.(Hermann *et al.*, 2001) 또한 안개, 황사, 비, 바람과 같은 기상현상 시 측정 상 제약이 존재하여 실제 대기측정에서 매우 중요한 기상상태가 고려되지 않는다. 또한 비용적 비효율성과 비행금지구역 및 고도제한, 채공시간의 한계는 측정범위나 횟수를 제한하는 요인이 된다. sonde를 이용한 에어로졸 입자의 측정의 경우, 기구의 특성상 회수가 어렵고 적재할 수 있는 용적에 한 계가 있다. 때문에 대용량의 입자 포집기를 탑재할 수가 없으며 고도별 입자의 포집은 불가능하였다. 이러한 대기 중 에어로졸 측정의 한계를 극복하고 자 본 연구에서는 1.2 km 까지 고도별 정지가 가능 하고 회수 가능한 balloon 탑재형 입자 포집기를 제 작하였고, 이를 활용한 해발 300 m, 900 m에서 입자 를 포집 및 EDS를 이용한 입자의 화학성분 분석을 수행하였다.

## 2. 측정

### 2.1 실험장비

#### 2.1.1 Balloon

본 연구에 사용된 balloon은 실험 후 재사용이 용 이하며 우레탄으로 제작하여 사용 후 Helium gas와

함께 보관할 수 있도록 설계되었다. balloon은 총 10 kg의 payload를 견딜 수 있도록 설계되었다. 10 kg의 무게를 상공에 띄우기 위해서 Helium gas 9 m<sup>3</sup> 정도 가 필요하다. 하지만 국내에서 직경 2.8 m의 balloon 의 제작이 어려워 직경 2.5 m balloon과 직경 1.5 m balloon을 제작하여 실험에 사용하였다. 실제 balloon 에 적재된 무게는 3 kg이하로 상공에 올라가는데 무 리가 없으나 충분한 부력을 확보함으로써 바람으로 인한 balloon의 수평방향 drift를 최소화 하였다. 풍향 에 따른 drift의 정도는 다음과 같이 이론적으로 추 산하였다. 실험에 사용된 2.5 m, 1.5 m balloon에 작 용하는 알짜 부력은 1 L일 때 1.11 g이다. 이는 공기 의 밀도와 Helium의 밀도 차이이다. 본 실험 당시 경 기도 안산시의 평균 풍속 3 m/s에 대하여 위 balloon 은 하늘 방향으로의 11.0 kg의 부력과 2 m/s 속력의 값, 수평방향으로의 balloon의 무게 1.8 kg과 바람에 의한 3 m/s속력의 값을 갖는다. 이로부터 기구가 상 승하는 각도는 지상으로부터 76.3°를 유지하면서 상 승하게 된다. 이는 권선기를 중심으로 부채꼴모양의 이동 변위를 구할 수 있다. 풍속이 3 m/s일 경우, balloon을 900 m까지 상승시켜도 실제로 875 m에 balloon이 위치하게 되고 drift정도는 213 m이다. 풍 속이 1 m/s 일 경우는 지상으로부터 85.4°를 유지하 면서 상승한다. balloon을 900 m까지 상승시켜도 실 제로 897 m에 위치하고 drift는 73 m이다.

풍선 크기에 따른 drift를 이론적으로 추산한 결과, 2.5 m balloon만 이용 할 경우와 2.5 m, 1.5 m balloon 2가지의 풍선을 이용한 경우, 풍속 3 m/s를 가정하 였을 때 157 m의 차이가 남을 확인하였다. 따라서 1.5 m balloon을 추가 하는 것이 157 m의 draft를 축 소시키는 효과가 있을 것으로 사료된다.

#### 2.1.2 Balloon 탑재형 포집기

본 연구에 사용된 Balloon 탑재형 포집기는 관성 형 포집기(inertial impactor)로써 이는 공기와 함께 이동하는 입자의 관성을 이용하여 입자를 포집하는 장치이다. 포집기는 그 원리가 단순하며 소형화가 용이하여 대기 중 입자를 포집하고 분석하는 본 연 구 목적에 적합하다. 관성형 포집기를 사용하면 목 표한 입자 직경보다 큰 입자들과 작은 입자들로 분

리할 수 있기 때문에, 작은 입자를 사용하는 실험의 전(前) 과정에서 사용되기도 한다. 관성형 포집기의 입자 포집 특성은 충돌 판의 재질 및 표면상태, 입자의 재질, 포집기 내부로 유입되는 유량, 노즐 형상 및 노즐과 충돌 판 사이의 거리 등에 따라서 변화하게 된다(Yook and Ahn, 2003). 포집기의 원리와 설계 방법에 대해서는 잘 알려져 있고(Marple, 1970; Rader and Marple, 1985), 널리 사용되는 상용 포집기의 성능과 특성에 대해서도 많은 연구가 이루어졌다(Marple and Willeke, 1979; Knuth, 1984; Rader et al., 1991; Howell et al., 1998). 대기 에어로졸의 입경별 질량 농도 분포 측정에 다단 포집기(cascade impactor)가 많이 사용되고 있다(Howell et al., 1998; Dias da Cunha et al., 1998, Bae et al., 1999). 본 연구에서도 PM10, PM2.5, PM1.0으로 3단으로 구성된 다단 포집기를 소형화(H:70 mm × D:34 mm, 58g)시켜 balloon 탑재에 적합하도록 하였다.

2.1.3 Sampling board

본 연구에 사용된 sampling board는 온도센서와 GPS모듈을 탑재하여 입자 포집 시 측정된 고도와 온도를 balloon 회수 후 그림 1처럼 확인할 수 있다. sampling board는 300 m, 900 m 상공에 도달 후 사전에 설정된 포집시간 동안에 입자포집을 위한 pump를 가동시킨다. pump를 이용하여 대기 중 입자를 포집기 내부로 유입시킨다. 이 때 포집유량은 1 lpm으로

능동제어된다. 설정된 포집유량은 제작된 포집기의 포집효율곡선 및 시뮬레이션을 통하여 검증되었으며 포집 전 bubble flow meter를 사용하여 교정하였다.

2.1.4 권선기(Winch)

본 연구에 사용된 권선기의 전동 부는 0 m/min ~ 120 m/min 까지 속도조절이 가능하며 최고 출력 시 70 kg의 부하를 견딜 수 있도록 설계되었다. 권선기와 balloon은 45 kg을 견딜 수 있는 3가닥의 braiding line으로 연결되어 있다. 권선기의 목적은 balloon을 해발 300 m, 900 m까지 상승, 하강시키는 것이다.

2.2 측정방법

본 연구에서 목표로 하는 측정 높이는 해발 300 m 와 900 m로 1차 실험은 2011년 10월 23일(일요일), 해발 300 m에서 sample 1 ~ sample 6의 측정이 진행되었다. 그림 2와 같이 sampling board와 포집기를 balloon에 장착하여 권선기로 해발 300 m에 위치시키고 PM1.0, PM2.5, PM10에 대하여 약 30분간 포집하였다. 2차 실험은 2011년 11월 25일(금요일), 해발 300 m, 900 m에서 sample 7 ~ sample 17을 측정하였다. 실험은 1차 실험과 동일조건으로 수행하였고 약 15분간 포집하였다. 포집된 입자 sample 분석에 사용된 장비는 JEM-2100F(JEOL LTD.)로 본 연구에서는 sample의 image 및 결정 크기, 입자구성 원소를 분석 시 사용되었다

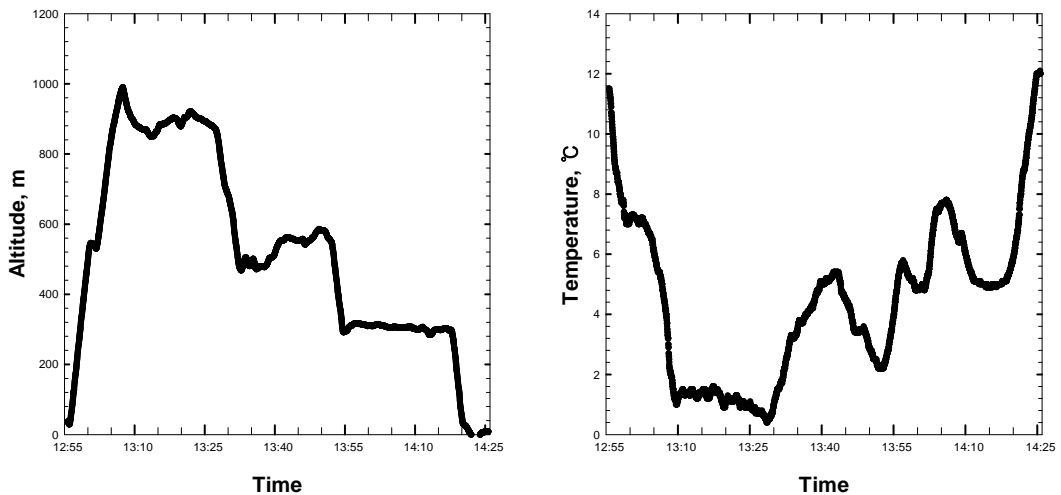


Fig. 1. Change of Altitude and Temperature during measurement.

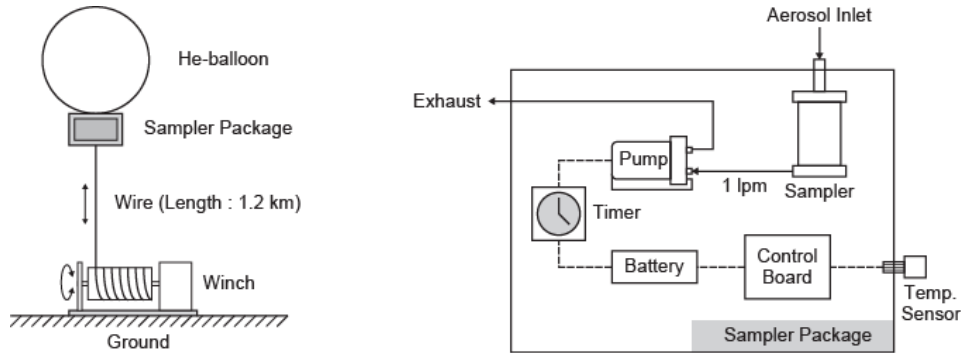


Fig. 2. Schematic of Sampler Package.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 300 m 대기의 화학성분 분석 결과

본 연구에서 실험한 결과 중 그림 3 (a)는 표 1 sample 1에서 C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Cu의 원소들이 관찰되었다. 그림 3 (b), (c)은 표 1 sample 2, sample 3에서 Cu, Pb, S가 높은 Atomic%와 C, O, Na, Al, Cr, Fe, Cl, Co, Zn의 원소들이 관찰되었다. 동일시각과 해발 300 m에서 포집한 그림 4 (a)의 원소는 C, O, N, Na, Mg, Si, K, Ca, Cr, Cu, Cl, S로 표 2 sample 4에서 관찰되었다. 그림 4 (b), (c)은 O, Si, Cl, Cu, Fe, Zn이 높은 Atomic%를 보였고 C, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Co, Pb, S가 관찰되었다. 화학성분 분석을 통하여 2011년 10월 23일 해발 300 m에서는 O, Si, Na, Fe, Zn, Pb, Cu가 높은 Atomic%로 관찰 되었다. 그림 5는 2011년 11월 25일 해발 300 m의 입자 사진이다. 그림 5 (a)은 표 3 Sample 7에서 O, C, Si, Ca, Cu가 높은 Atomic%로 관찰되었다. 또한 C, F, O, Na, Mg, Al, K, Ti, Fe, Cl, S가 관찰되었다. (b) sample 8은 높은 Atomic%의 Na과 C, O, Na, Mg, Si, Ca, K, Cu, Cl, S가 관찰되었다. (c) sample 9는 타 원소와 비교해 높은 Atomic%의 Ca과 C, O, Mg, Al, Si, S, Cl, K, Cr, Fe, Cu가 관찰 되었다. 동일시각 해발 300 m에서 측정된 PM2.5의 특징은 그림 6의 사진과 표 4의 Atomic%로 관찰 되었다. 그림 6 (a)은 O, Si, Al, Cu, Ca, Fe가 높은 Atomic%로 관찰되었다. (b)는 Ca, Cu, O, C, Cl이 관찰되었다. (c)는 sample 11과 동일한 경향으로 Ca, O, Cu, C이 관찰되었다. 2011년 11월25일 해발 300 m

의 sample은 1차 실험과 비교하여 Ca, Cu의 원소들이 높은 Atomic%로 측정되었다.

#### 3.2 900 m 대기의 화학성분 분석 결과

본 연구에서 2011년 11월 25일 해발 900 m에서 PM1.0에 포집된 sample들과 관련된 그림 7 (a)를 보면 높은 Atomic%의 Fe, O, Cu가 표 5 sample 13에서 관찰되었다. 또한 C, Si, Zr, Ti가 미량으로 관찰되었다. sample 13, 14의 화학성분 또한 Fe, O, Cu가 높은 Atomic% 관찰되었다. 낮은 Atomic%의 원소로는 Ca, C, S, Cl이 관찰되었다. sample 15는 사진 상으로 sample 13, 14와 차이점이 있는 형태를 나타내었다. sample 15의 원소로는 O, Na, Cu, Mg, C, S, Cl, Si, Ca가 관찰되었다. sample 15는 Fe원소가 전혀 관찰 되지 않은 반면에 Na원소가 높은 Atomic%로 관찰 되었다. 동일시각 해발 900 m PM2.5에 포집된 그림 8 (a) sample 16은 표 6에서 Ca, O, Si, Al, Cu, Mg, S, Fe, Sr Cr이 관찰되었다. sample 17에서는 sample 16과 동일한 원소가 관찰되었다. Ca가 가장 높은 Atomic%로 관찰됐고 O, Mg, C, Cl, Cu, Si, Al이 관찰되었다.

#### 3.3 고찰

본 연구의 실험 시스템은 pump유량 1 lpm의 조절, 온도센서 data 저장의 기능을 가진 sampling board를 중심으로 장비가 약 12시간 동안 가동할 수 있는 배터리와 PM1, PM2.5, PM10 관성 포집기로 구성되어 있다. 실험의 정확성을 위하여 통신모듈을 system에 장착하여 balloon의 고도를 지상에서 모니터링 함으

Table 1. EDS analysis of Fig. 3. (a), (b), (c) samples.

Element	Sample 1		Sample 2		Sample 3	
	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%
C	0.39	0.77	0.49	3.07	-	-
O	36.98	54.15	3.80	17.70	0.21	1.23
Na	0.91	0.93	0.92	2.97	-	-
Mg	1.33	1.28	-	-	-	-
Al	18.10	15.72	-	-	0.15	0.51
Si	22.54	18.80	-	-	-	-
K	3.16	1.89	-	-	-	-
Ca	0.37	0.22	-	-	-	-
Ti	0.20	0.10	-	-	-	-
Cr	0.39	0.17	1.72	2.46	1.70	3.01
Fe	4.33	1.82	0.20	0.27	0.24	0.40
Cu	11.30	4.17	24.96	29.28	24.13	34.90
Cl	-	-	2.81	5.92	12.01	31.14
Co	-	-	0.19	0.25	0.27	0.43
Zn	-	-	3.54	4.04	1.25	1.76
Pb	-	-	55.26	19.88	60.02	26.62
S	-	-	6.10	14.18	-	-
Totals	100.00		100.00		100.00	

Table 2. EDS analysis of Fig. 4. (a), (b), (c) samples.

Element	Sample 4		Sample 5		Sample 6	
	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%
C	2.27	3.80	2.90	7.63	0.45	0.99
N	6.23	8.94	-	-	-	-
O	38.87	48.85	14.73	29.08	24.10	39.61
Na	30.12	26.34	-	-	8.37	9.58
Mg	4.61	3.81	0.29	0.38	1.19	1.29
Si	0.18	0.13	16.61	18.67	15.56	14.57
S	4.75	2.98	0.31	0.31	3.01	2.47
Cl	2.67	1.51	18.09	16.11	9.66	7.16
K	1.31	0.68	0.61	0.50	1.17	0.78
Ca	0.49	0.25	1.20	0.95	1.45	0.95
Cr	0.32	0.12	0.67	0.40	0.56	0.28
Cu	8.19	2.59	9.95	4.94	6.56	2.72
Al	-	-	6.18	7.24	14.14	13.78
Fe	-	-	0.58	0.33	3.61	1.70
Zn	-	-	27.87	13.46	9.92	3.99
Ti	-	-	-	-	0.23	0.13
Totals	100.00		100.00		100.00	

Table 3. EDS analysis of Fig. 5. (a), (b), (c) samples.

Element	Sample 7		Sample 8		Sample 9	
	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%
C	7.53	14.84	3.74	6.31	0.96	2.68
O	31.82	47.11	39.51	49.96	12.21	25.47
F	0.95	1.18	-	-	-	-
Na	0.30	0.31	23.64	20.81	-	-
Mg	1.67	1.62	8.28	6.89	1.65	2.26
Al	4.49	3.95	-	-	0.41	0.50
Si	9.83	8.29	0.09	0.06	0.51	0.61
S	1.28	0.94	4.83	3.05	13.82	14.40
Cl	0.92	0.61	0.59	0.33	14.31	13.47
K	0.30	0.18	1.45	0.75	-	-
Ca	25.38	15.00	1.25	0.63	32.88	27.39
Ti	0.35	0.17	-	-	-	-
Cr	0.44	0.20	0.32	0.13	0.75	0.48
Mn	0.15	0.06	-	-	-	-
Fe	1.37	0.58	-	-	12.52	7.48
Cu	13.23	4.93	11.06	3.52	10.00	5.25
N	-	-	5.24	7.57	-	-
Totals	100.00		100.00		100.00	

Table 4. EDS analysis of Fig. 6. (a), (b), (c) samples.

Element	Sample 10		Sample 11		Sample 12	
	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%
C	1.10	2.30	7.82	17.15	10.00	21.68
O	25.88	40.42	24.79	40.83	23.03	37.48
F	3.98	5.23	-	-	-	-
Na	0.60	0.66	-	-	-	-
Mg	0.99	1.01	0.50	0.54	0.30	0.32
Al	12.29	11.38	-	-	0.29	0.28
Si	27.42	24.39	-	-	0.56	0.52
P	0.20	0.17	-	-	-	-
S	1.88	1.46	0.47	0.39	0.25	0.21
Cl	1.58	1.12	5.49	4.08	0.61	0.45
K	1.78	1.14	-	-	-	-
Ca	6.71	4.18	48.12	31.63	51.60	33.52
Ti	0.52	0.27	-	-	-	-
Cr	0.45	0.22	0.55	0.28	0.58	0.29
Mn	0.13	0.06	-	-	-	-
Fe	5.30	2.37	0.23	0.11	0.62	0.29
Cu	9.19	3.62	12.02	4.98	12.15	4.98
Totals	100.00		100.00		100.00	

Table 5. EDS analysis of Fig. 7. (a), b), (c) samples.

Element	Sample 13		Sample 14		Sample 15	
	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%
C	5.30	13.83	3.39	9.10	7.91	14.51
O	21.09	41.36	22.57	45.51	29.98	41.26
Mg	0.43	0.56	0.92	1.22	11.99	10.86
Al	0.47	0.55	0.34	0.41	-	-
Si	4.37	4.89	0.34	0.39	1.55	1.22
S	1.71	1.67	1.02	1.02	3.99	2.74
Cl	4.06	3.59	1.35	1.23	2.27	1.41
K	1.01	0.81	0.06	0.05	0.59	0.33
Ca	1.45	1.14	7.56	6.08	1.75	0.96
Ti	3.81	2.50	-	-	-	-
Cr	0.96	0.58	0.91	0.57	0.39	0.17
Mn	0.19	0.11	-	-	-	-
Fe	30.66	17.22	45.42	26.23	-	-
Cu	18.60	9.19	16.02	8.13	18.60	6.45
Zr	5.89	2.02	-	-	-	-
V	-	-	0.09	0.06	-	-
Na	-	-	-	-	20.98	20.10
Totals	100.00		100.00		100.00	

Table 6. EDS analysis of Fig. 8. (a), b), (c) samples.

Element	Sample 16		Sample 17	
	Weight%	Atomic%	Weight%	Atomic%
C	0.86	1.88	8.80	17.20
O	27.71	45.40	28.03	41.14
Na	0.28	0.32	-	-
Mg	4.47	4.82	12.66	12.23
Al	8.00	7.77	0.78	0.68
Si	12.97	12.11	1.57	1.31
S	3.15	2.57	0.18	0.13
K	0.65	0.43	0.33	0.20
Ca	30.30	19.82	29.54	17.31
Ti	0.23	0.13	-	-
Cr	0.46	0.23	0.47	0.21
Mn	0.21	0.10	-	-
Fe	2.75	1.29	0.56	0.24
Cu	6.52	2.69	6.70	2.48
Sr	1.44	0.43	-	-
Cl	-	-	10.39	6.88
Totals	100.00		100.00	

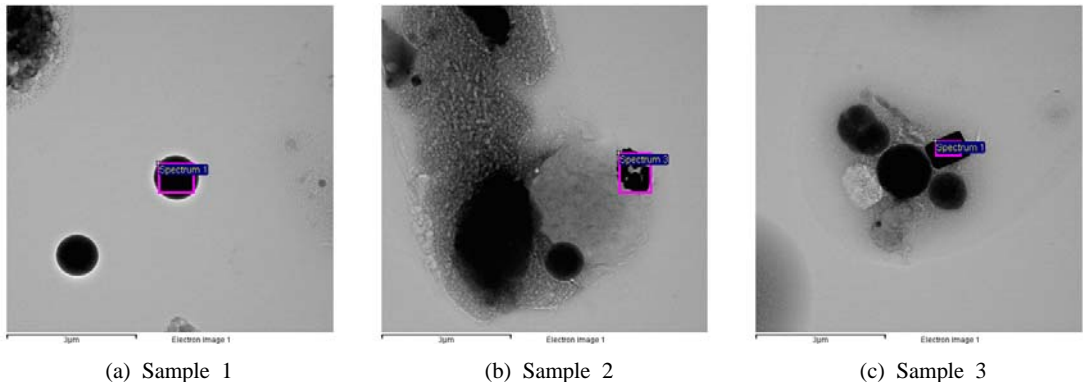


Fig. 3. PM1.0 samples at an altitude of 300 m in 2011.10.23 (a),(b),(c) TEM images.

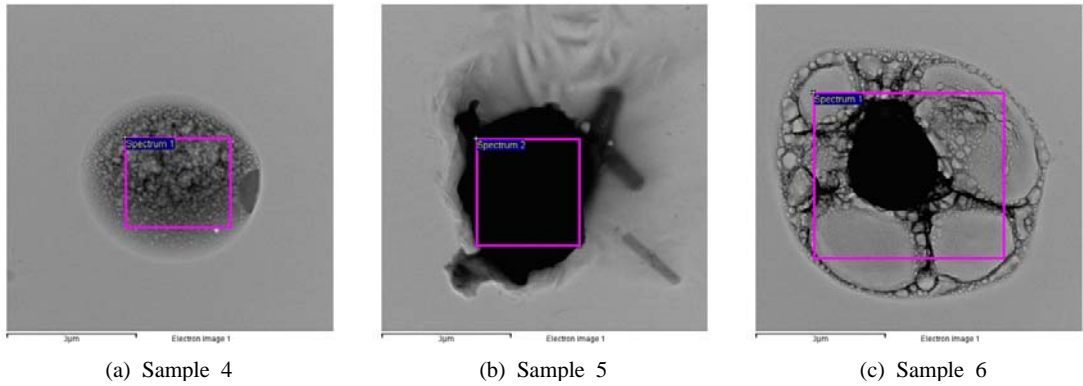


Fig. 4. PM2.5 samples at an altitude of 300 m in 2011.10.23 (a),(b),(c) TEM images.

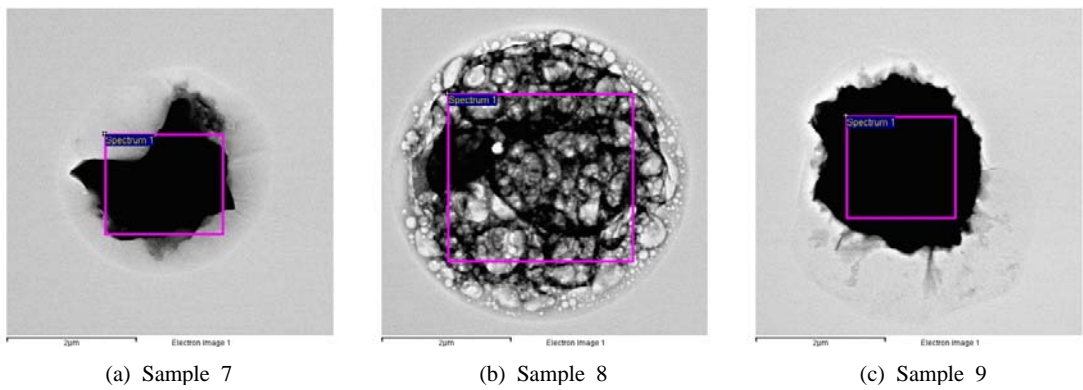


Fig. 5. PM1.0 samples at an altitude of 300 m in 2011.11.25 (a),(b),(c) TEM images.



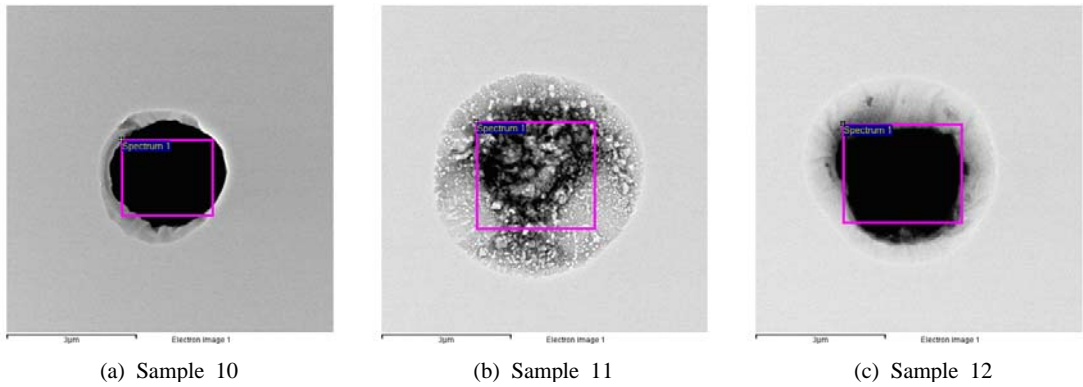


Fig. 6. PM<sub>2.5</sub> samples at an altitude of 300 m in 2011.11.25 (a),(b),(c) TEM images.

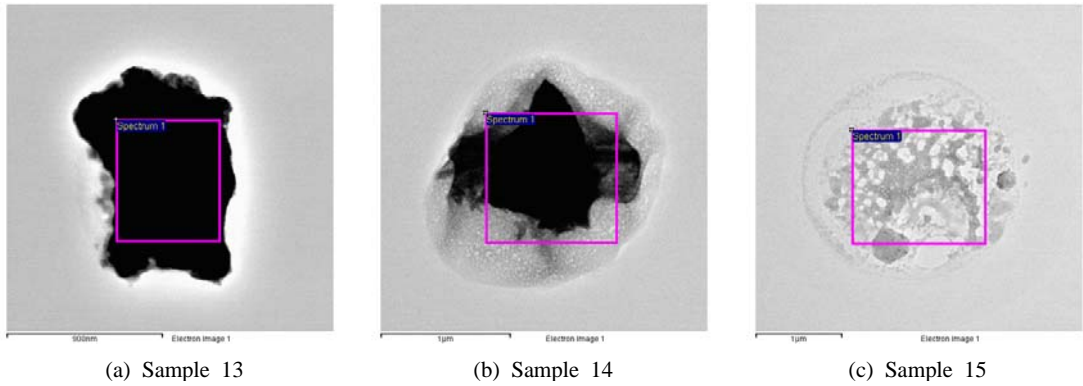


Fig. 7. PM<sub>1.0</sub> samples at an altitude of 900 m in 2011.11.25 (a),(b),(c) TEM images.

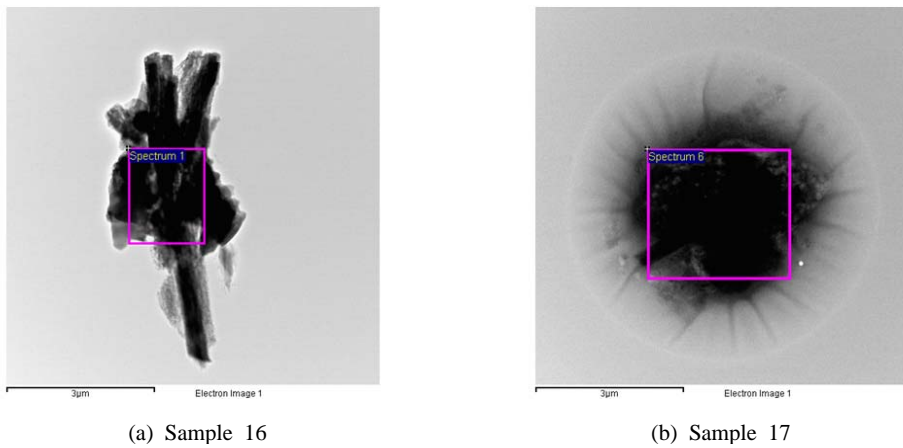


Fig. 8. PM<sub>2.5</sub> samples at an altitude of 900 m in 2011.11.25 (a),(b) TEM images.

로써 바람에 의한 영향을 최소화 하였다. aircraft를 이용한 측정의 경우 운항 속도에 의한 입자의 비산 및 분산의 문제점이 있는 것에 비해 tethered balloon을 이용한 본 시스템은 sampling 시 외부의 영향이 적어 입자의 오염 정도가 적다고 사료된다. 또한 2 m/s로 빠르게 작동 할 수 있는 권선기를 이용하여 지상과 고층대기 간 측정 시차를 최소화 하였다. 풍향 및 풍속은 교내에 설치된 기상측정기(Davis Vantage Pro2) 통하여 측정되었다. 10월 23일의 풍향은 동남동풍이었으며 실험장소를 기준으로 지도상 동남동쪽 근거리에는 인구 밀집지역, 원거리에는 서해안 고속도로가 위치하고 있다. 분석 결과 C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Cu, Cl, Co, Zn, Pb, S 총 17가지 원소가 검출 되었다. sample 1의 Si, Al의 높은 구성이 관찰되는 것은 실험 장소 근처의 공사와 교통량으로 인한 도로의 마모가 원인으로 사료된다. 또한 S와 Zn 등의 원소들도 관찰되는데, 일반적으로 S는 자동차 등의 연소로 인한 입자의 배출, Zn은 자동차 타이어의 가소제로서 차량 운행에 의한 마모로 인해 발생된 것으로 알려져 있다. sample 2, 3에서 나타나는 Pb성분은 자동차와 같은 이동 배출원에서 배출 되는 것으로 알려져 있다.(Kang and Joe, 2005). 2011년 11월 25일 실험의 경우 풍향은 서북서풍으로 실험장소를 기준으로 지도상 서북서쪽은 근거리에 공단 밀집 지역이 원거리에 서해안이 위치하고 있다. 분석 결과 C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Cr, Fe, Cu, Cl, Co, Zr, Pb, S, P, V, Sr 총 20가지 원소가 검출 되었다. 일반적인 Fe/Si 비는 0.17로 알려져 있으며(Spengler, et al., 1983), 높은 Fe/Si 비가 나타나는 것으로 보아 근거리에 위치한 공단밀집지역에서 인위적으로 발생한 Fe입자가 바람에 의해 실험지로 유입되었다고 사료된다. sample 10, 11, 12에서 검출된 Ca은 원거리에 위치한 서해안에서 생성된 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)으로부터 발생되었다고 사료된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 1차 실험과 2차 실험에서 포집된 PM1.0, PM2.5를 성공적으로 포집하고 화학성분 분석을 하였다. 해발 300 m, 900 m 상에 부유하는

PM10 입자의 경우 그 농도가 매우 낮아 분석이 불가능하였다. 또한, 해발 300 m, 900 m에서의 입자 포집을 통해 고도에 따른 화학성분의 차이점을 관찰하고자 하였다. 그러나 예상과 달리 고도 300 m와 900 m에서는 입자의 크기에 따른 분포나 입자 성분은 시료 채취 회수가 적기 때문에 큰 차이점을 찾을 수 없었다. 향후 연구에서 더 많은 표본을 취하여 변화 모습과 차이점을 측정할 예정이며 포집 시 Particle의 수 농도를 확인할 수 있는 장치를 함께 탑재하여 입자 포집 시 동일고도에서의 수 농도변화를 파악할 것이다. 본 연구를 통하여 구축된 tethered balloon 시스템은 포집기 뿐 아니라 대기입자의 특성을 확인 할 수 있는 다양한 장비들을 함께 탑재할 수 있음으로 향후 대기 특성 연구에 큰 영향을 줄 것으로 기대된다. 또한 무선시스템도입을 통한 원격 제어기능의 확보는 본 시스템을 이용한 더욱 폭넓은 연구를 가능케 할 것으로 예상된다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 “차세대 예코이노베이션기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

#### 참 고 문 헌

- Bae Gwi-Nam, Jun-Ho Ji, and Kil-Choo Moon (1999). Collection characteristics of a MOUDI cascade impactor for coarse particles, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 15, No. 6, pp. 799-804.
- Daniel R., William L., D.A. (2008). Aircraft measurements of the impacts of pollution aerosols on clouds and precipitation over the Sierra Nevada, *Journal of Geophysical Research*, VOL.113, D15203, doi : 0.1029/2007JD009544.
- Dias da Cunha, K., J. L. Lipsztein, C. P. Fang, and C. V. Barros Leite (1998). A cascade impactor for mineral particle analysis, *Journal of Aerosol Science and Technology*, Vol. 29, pp. 126-132.
- Hermann, M., F. Stratmann, M. Wilck, A. Wiedensohler

- (2001). Sampling Characteristics of an Aircraft-Borne Aerosol Inlet System, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 18, 7-19.
- Howell, S., A. A. P. Pszenny, P. Quinn, and B. Huebert (1998). A field intercomparison of three cascade impactors, *Journal of Aerosol Science and Technology*, Vol. 22, pp. 475-492.
- Kang, S. M., Joe J. G. (2005). Seasonal Characterization of Particles Busan Area, *Korean J. Sanitation*. Vol. 20, No. 3, pp.17-26.
- Knuth, R. H. (1984). Calibration and field application of a Sierra model 235 cascade impactor, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, Vol. 45(6), pp. 393-398.
- Marple, V. A. (1970) A fundamental study of inertial impactors, Ph. D. dissertation, University of Minnesota, particle Technology Laboratory, Publ. 144.
- Marple, V. A., and K. Willeke (1979). In aerosol measurement, D. A., Lundgren et al.(Eds.), University Presses of Florida.
- Rader, D. J., and V. A. Marple (1985). Effect of ultra-Stokesian drag and particle interception on impaction characteristics, *Journal of Aerosol Science and Technology*, Vol. 4, pp. 141-156.
- Rader, D. J., L. A. Mondy, J. E. Brockmann, D. A. Lucero, and K. L. Rubow (1991). Stage response calibration of the Mark III and Marple personal cascade impactors, *Journal of Aerosol Science and Technology*, Vol. 14, pp. 365-379.
- Spengler, J. D. and G. D. Thurston (1983). Mass and elemental composition of fine and coarse particles in six U. S. cities, *Journal of the Air Pollution Control Association A*. Vol. 33, No. 12, 1162-1171.
- Wenying He, Shu-peng Ho, H.C., X.Z., Doung H., Ying-Hwa Kuo (2009). Assessment of radiosonde temperature measurements in the upper troposphere and lower stratosphere using COSMIC radio occultation data. *Geophysical Research Letters*, VOL. 36, L17807, doi:10.1029/2009GL038712.
- Yook, Se-Jin and Ahn, Kang-Ho (2003). Real-time observation on airborne particles with Visual Impactor, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*. Vol. 19. No. 1. pp. 67~76.