

## Hy-SMPS의 개발 및 성능평가

이홍규 · 은희람 · 이건호 · 안강호\*  
한양대학교 기계공학과

(2015년 6월 20일 투고, 2015년 7월 2일 수정, 2015년 7월 2일 게재확정)

## Development and Evaluation of Hy-SMPS

Hong-Ku Lee · Hee-Ram Eun · Gun-Ho Lee · Kang-Ho Ahn\*  
*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University*  
(Received 20 Jun 2015; Revised 2 July 2015; Accepted 2 July 2015)

### Abstract

Atmospheric nano-particles along the altitude is one of the main factors causing severe weather phenomena. It is a challenge to find the precise particle size distribution. One useful instrument includes a scanning mobility particle sizer (SMPS). This measures the size distribution of submicron aerosols. The SMPS consists of a condensation particle counter (CPC), differential mobility analyzer (DMA), high voltage power supplier (HVPS), and neutralizer. Due to the many components, it is difficult to install a commercial SMPS into a tethered balloon package system (Eun, 2011). In this study, we customized a SMPS for the tethered balloon package system called Hy-SMPS. It is portable, compact in structure, and evaluated by TSI SMPS using mono and poly-dispersed particles.

Keywords : CPC, DMA, SMPS, High Voltage Power Supplier, Neutralizer, Size Distribution

---

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

### 1. 서 론

나노입자는 대기 중에서 일어나는 기상현상을 설명하는 중요한 요소이다. 때문에 이를 연구하여 기후 변화 및 대기 현상의 원인을 찾고자하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 특히 대기 중 입자의 고도별 분포를 정확하게 측정하는 것은 매우 중요하다. 입경별 농도 분포를 측정하는 장비 중 가장 널리 사용되는 장비는 SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)(Wang and Flagan, 1998)이다. SMPS는 DMA (Differential Mobility Analyzer)(Knutson and Whitby, 1975)와 CPC (Condensation Particle Counter)(Ahn and Liu, 1990 a.b)를 연결하여 수 분 이내로 입경별 농도 분포를 측정할 수 있는 장치이다. DMA에 인가하는 전압을 지수함수에 따라 증가 또는 감소시키면, 입자는 전기이동도에 따라 순차적으로 배열되고, 배열된 입자를 CPC를 통해 계수함으로써 입자의 입경별 농도 분포를 측정할 수 있다. SMPS는 높은 정밀도를 갖는 반면, 분극에 사용되는 DMA, 분극전압을 발생시키는 high voltage power supplier, 중성화를 위한 neutralizer, 입자를 계수하는 CPC 등을 갖추어야 함으로 그 시스템이 복잡하고 무거워진다. 일반적으로 널리 사용되는 CPC 인 TSI 3776의 무게는 9.9 kg로 SMPS로 구성할 경우 그 무게는 20 ~ 30 kg에 달한다. 따라서 이러한 시스템을 활용하여 고도에 따른 대기 중 입경별 농도 분포를 측정하는 것은 매우 어려운 일이다.

본 연구에서는 대기입자를 측정하기 위해 고안된

tethered balloon package system (Eun, 2011)에 탑재하여 고도에 따른 입자의 입경별 농도 분포를 측정할 수 있는 초소형, 초경량화 된 Hy-SMPS의 개발 및 성능 평가를 수행하였다.

### 2. 실험 험

#### 2.1 실험 장비

Hy-SMPS의 component 및 specification은 Table 1. 과 같고, 그 구조는 Fig 1.과 같다. Hy-SMPS는 초경량, 초소형화된 Hy-DMA, Hy-CPC, Hy-H.V.P.S (Hy-high voltage power supply), soft X-ray, 그리고 이들의 작동을 제어하는 제어보드 및 작동기들로 구성된다. 개발된 Hy-SMPS의 총 무게는 1.9 kg 로 매우 가볍고 크기는 250 × 250 × 250 mm 로 매우 작다.

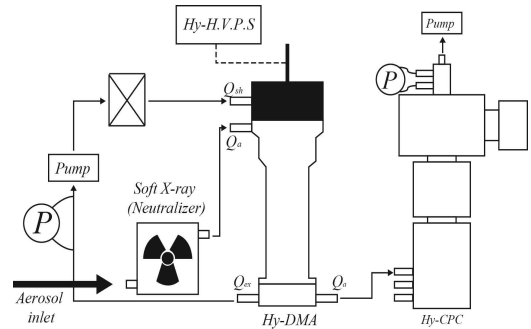


Fig 1. Schematic Diagram of Hy-SMPS.

Table 1. Component and Specification of Hy-SMPS.

Component	Specification
DMA	Hy-DMA (Calibrated)
Flowrate	0.125/1.25 lpm ( $Q_{sheath} / Q_{Aerosol}$ )
CPC	Hy-CPC (Calibrated)
Power Supply	Hy-H.V.P.S (Calibrated)
Voltage Range	0 ~ 10,000 V
Neutralizer	Soft X-ray
Measurement Range	6.26 ~ 254.83 nm
Weight	1.9 kg
Size	250 × 250 × 250 mm

2.2 실험방법

설계된 Hy-SMPS는 TSI SMPS를 통하여 성능평가 되었다. Fig 2.는 성능평가에 사용된 실험 개략도 이다. Atomizer를 통하여 분무된 NaCl 0.1 % 용액은 diffusion dryer를 통과하여 습기 제거 된 뒤, 1<sup>st</sup> DMA (standard DMA)로 유입되어 분극된다. 분극된 단분산입자를 TSI SMPS와 Hy-SMPS에 동시에 유입시켜 입자 크기에 따른 두 기기의 concentration resolution과 size resolution을 비교하였다. 이 후 3-way valve를 통하여 atomizer에서 발생된 단분산입자를 두 기기로 유입시켜 NaCl 0.1 % 용액의 size distribution을 비교 측정하였다. TSI SMPS의 sheath air는 3 lpm, aerosol 유량 및 CPC 유량은 0.3 lpm으로 설정하였고, 두 장비의 측정입경은 Hy-DMA의 작동 범위를 고려하여 10 nm ~ 143.3 nm 로 동일하게 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Size & Concentration Resolution

SMPS의 성능을 평가하기 위하여 입경에 따른 mode size와 total concentration ratio를 측정하였다. 실험에 사용된 단분산입자의 입경은 1<sup>st</sup> DMA 기준 20 nm, 50 nm, 80 nm, 100 nm, 140 nm 로 대기 중에 많이 분포하는 나노입자영역을 선정하였다. Fig 3.은 1<sup>st</sup> DMA로부터 분극된 단분산입자들에 대하여 TSI SMPS와 Hy-SMPS의 측정값을 비교한 그림이다. Size resolution을 비교를 위해 단분산 입자에 대한

두 기기의 mode 값 (Fig 3.(a))을 측정하였으며, concentration resolution을 비교하기 위하여 두 측정 기기의 total concentration ratio (Fig 3.(b))를 계산하였다. 실험은 총 3회에 걸쳐 반복 수행되었고, 그 결과를 이용하여 두 기기의 측정값에 대한 error bar를 그렸다. 이 때, 부호는 측정값들의 평균을, error bar는 측정값들 간의 표준편차를 나타낸다. 1<sup>st</sup> DMA에서 만들어진 단분산입자에 대하여 Hy-SMPS와 TSI SMPS의 mode 값은 10 % 이내의 오차를 보이고 있으며, total concentration ratio 또한 대부분 1 에 가까운 값을 나타내고 있다. 이로써 두 기기의 측정값이 매우 유사함을 확인할 수 있다.

3.2 Size Distribution

Fig. 4는 TSI SMPS와 Hy-SMPS를 이용해 입자의 size distribution을 측정할 것이다. 두 기기의 측정값

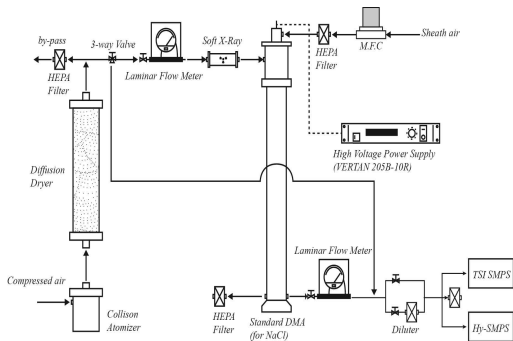


Fig 2. Experimental Set-up of Hy-SMPS.

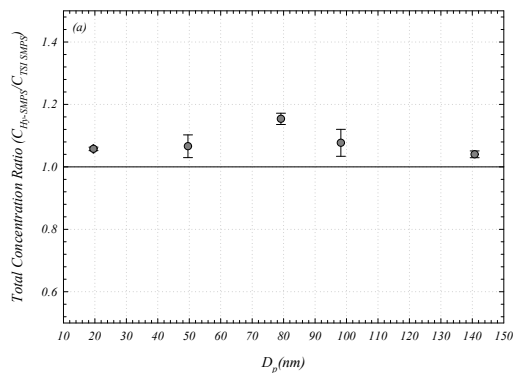
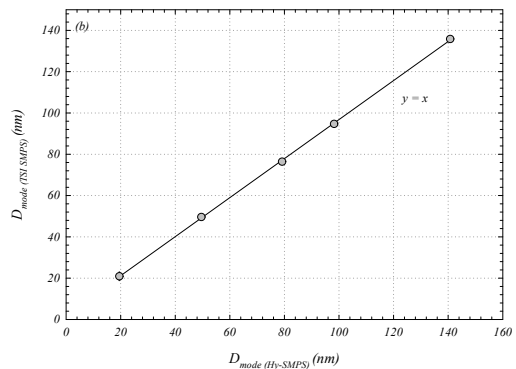


Fig 3. Mode size and Total concentration ratio ( $D_p$  : 20 nm, 50 nm, 80 nm, 100 nm, 140 nm).

을 비교하기 위하여 단분산입자와 다분산입자를 발생시켜 두 기기에 유입시켰다. Fig. 4 (a), (b) 는 각각 50 nm 와 100 nm, 단분산입자에 대한 두 기기의 size distribution이며, Fig. 4 (C) 는 NaCl 0.1 % 용액을 분무하여 발생시킨 다분산입자에 대한 size distribution이다. 두 기기의 inversion matrix 차이로

mode에서의 농도 값이 다소 차이는 있으나 두 측정 값의 total concentration의 차이가 10 % 이내로 측정되었다. 특히, Fig. 4 (C)에서 다분산입자에 대한 size distribution이 매우 유사하게 나타나는 것으로 보아 Hy-SMPS의 측정값이 신뢰할 만한 결과임을 확인할 수 있다.

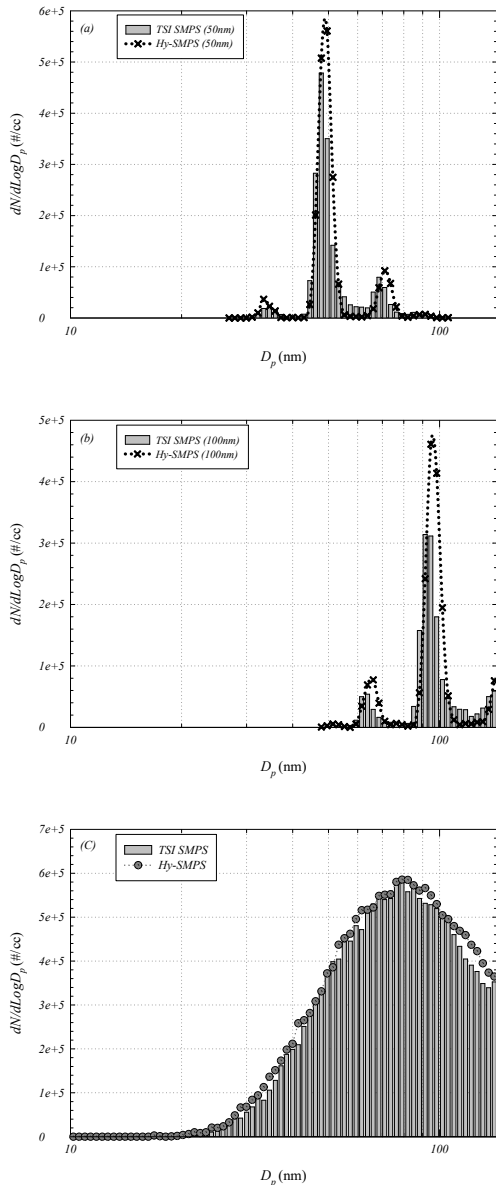


Fig 4. Size distribution of NaCl 0.1% solution.

#### 4. 결 론

본 연구는 tethered balloon package system에 탑재하여 고도에 따른 입자의 수 농도 분포를 측정할 수 있는 초소형, 초경량화 된 SMPS의 개발 및 성능평가를 목적으로 하였다. 기존에 제작되었던 초소형, 초경량화된 Hy-CPC와 Hy-DMA, Hy-H.V.P.S 등을 조합하여 Hy-SMPS를 구성하였다. 개발된 Hy-SMPS는 크기 250 × 250 × 250 mm, 무게 1.9 kg 으로 상용제품들에 비해 매우 작고 가벼우며, TSI SMPS와의 비교를 통하여 그 성능이 기존 상용기기와 동일함을 확인하였다. 본 연구에서는 상온 상압상태에서의 성능평가만이 수행되었으나 이 후 고 고도에서의 작동을 위한 온도와 유량제어 및 저온, 저압에서의 성능평가가 이루어진다면 Hy-SMPS와 tethered balloon package system을 활용한 대류권내 대기 에어로졸 입경별 분포측정이 가능할 것으로 예상된다.

#### 감사의 글

본 연구는 환경부 “차세대 에코이노베이션기술개발사업”으로 지원받은 과제임.

#### References

Ahn, K.-H., and Liu, B. Y. H. (1990a). Particle Activation and Droplet Growth Process in Condensation Nucleus Counter-I. Theoretical Background, J. Aerosol Sci., 21:249-261.  
 Ahn, K.-H., and Liu, B. Y. H. (1990b). Particle Activation and Droplet Growth Processes in

- Condensation Nucleus Counter. II. Experimental Study, *J. Aerosol Sci.*, 21:263-275.
- Eun H.R., H. K. Lee, Y. W. Lee, K.H. Ahn (2011). Development and Tethered Balloon Package System for Vertical Distribution Measurement of Atmospheric Aerosol, *Par. Aerosol Res.*, 9:4, 253-260.
- Knutson, E. and Whitby, K., (1975). Aerosol Classification by Electrical Mobility : Apparatus, Theory and Applications, *J. Aerosol Sci.*, 16, 443-451.
- Wang, S.C. and Flagan, R., (1990). Scanning Electrical mobility spectrometer, *Aerosol Sci. and Tech.*, 13, 230-240.