

# 이동통신 기지국 직접대기냉각용 에어필터의 성능평가실험

여국현, 유경훈<sup>†</sup>, 차호진\*, 김용우\*, 최동규\*\*, 이홍규\*\*\*

한국생산기술연구원 에어로졸·오염제어연구실, \*삼성전자(주) 네트웍사업부, \*\*엠소정보통신, \*\*\*고어 코리아

## An Experiment on Performance Evaluation of a Direct Ambient Cooling Air Filter for Wireless Telecommunication Base Transceiver Stations

Kyung-Hoon Yoo<sup>†</sup>, Kuk-Hyun Yeo, Ho-Jin Cha\*, Yong-Woo Kim\*  
Dong-Kyu Choi\*\*, Henry Lee\*\*\*

**ABSTRACT:** In recent European telecommunication base transceiver stations(BTS) a membrane laminated air filter is reported to replace a heat exchanger in order to cool internal digital units of BTS. The concept of using the air filter is for the direct ambient cooling(DAC) of BTSs without heat loss generally found in the heat exchanger type BTS. In the present study, a performance evaluation experiment was conducted to investigate the pressure drop characteristics with dust loading and the particle collection efficiency of the air filter for the DAC of BTS.

**Key words:** Base Transceiver station(기지국), Direct ambient cooling(직접대기냉각), Air filter(에어필터), Dust loading(분진적재), Pressure drop(압력강하), Particle collection efficiency(집진효율)

### 기호설명

- $\eta$  : 입자수 기준 집진효율[%]
- $C_{inlet}$  : 에어필터의 입구에서의 총입자수농도 [particles/m<sup>3</sup>]
- $C_{outlet}$  : 에어필터의 출구에서의 총입자수농도 [particles/m<sup>3</sup>]

### 1. 서론

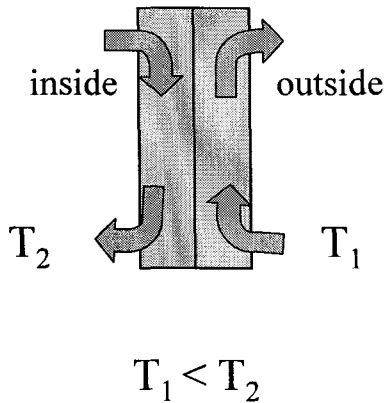
기존의 실외형 이동통신 기지국(이하 BTS; Base Transceiver Station)의 경우 Fig. 1과 같이 열교환기(이하 HEX; Heat Exchanger)를 통한

열전달에 의해 기지국 내부의 디지털장비의 발열을 외부로 방출하고 동시에 대기 중의 먼지, 습기 및 물 등의 유입으로부터 디지털장비를 보호하고 있다. 이 HEX 방식의 경우 기지국 내부는 외부의 대기와 고립, 밀폐되어 있어 그림에 도시한 바와 같이 장비의 냉각에 사용할 수 있는 내부 공기측 온도  $T_2$ 는 외부 공기측 온도  $T_1$ 보다 크므로  $(T_2 - T_1)$ 의 온도손실을 냉각에 도입하고 있어 열효율이 낮다. 반면에 그림에서 도시한 바와 같이 열교환기 대신에 에어필터(Air Filter)를 적용한 직접 대기냉각(이하 DAC; Direct Ambient Cooling) 방식의 경우는  $T_2 = T_1$ 이므로 대기를 내부 디지털장비의 냉각에 직접 사용할 수 있어 냉각 측면에서 HEX 방식의  $(T_2 - T_1)$  만큼의 성능 개선 효과가 있다고 볼 수 있다. 열교환기(HEX)의 효율에 따라 이 성능개선 효과는 달라지지만 BTS의 설계온도차  $(\Delta T)_{design} = 15$

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel.: +82-41-589-8354; fax: +82-41-589-8634  
E-mail address: khyoo@kitech.re.kr

## HEX (Heat Exchanger)



## DAC (Air Filter)

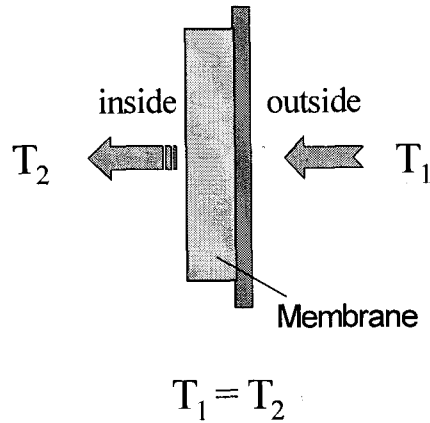


Fig. 1 Schematic diagram of the concepts of a heat exchanger cooling and a direct ambient cooling for wireless telecommunication base transceiver stations

°C의 경우  $T_2$ 의 상승분이 보통 7~8 °C인 것을 고려하면 DAC 방식은 HEX 방식에 비해 1/2 정도의 내부 유량으로도 동일한 냉각 성능을 발휘할 수 있다. 또한, 일반적으로 열교환기의 제원에 비해 에어필터의 제원이 상대적으로 작으므로 BTS 장비의 Compact화 측면에서도 유리하다고 볼 수 있으며 이와 같은 경향은 기지국 내부의 디지털장비의 발열량이 커질수록 가속화될 것이다.

그러나 DAC 방식을 다중이용시설이나 옥외형 BTS에 적용할 경우 먼지, 습기 및 물 등의 유입에 대응할 수 있는 대책이 요구되며 이는 에어필터의 필터링 특성에 좌우된다. 또한 에어필터에 쌓인 분진 적재량이 커질수록 에어필터의 유동저

항(차압, 압력강하)이 증가하여 극단적인 경우 적용 팬(fan)으로는 필요 공기유량의 확보가 불가능한 경우가 발생할 수 있어 분진공급량에 대한 유체역학적 특성에 대한 검토가 요구된다. 따라서 BTS 장비의 발열량 증가 추세에 대응할 수 있는 열적 solution으로서 DAC 방식의 타당성 검토를 위해서는 핵심이 되는 DAC용 에어필터의 분진에 대한 유체역학적 특성 및 필터링 특성에 대한 분석, 이를

통한 운영 환경에 대한 에어필터의 장기적 수명 특성에 대한 분석이 필수적으로 요구된다.

본 연구에서는 2 kW급 이동통신 기지국의 직접대기냉각을 위해 제안한 멤브레인(membrane) 적층식(laminated) 에어필터에 대하여 유체역학적 특성 및 필터링 특성을 평가하기 위한 차압(압력강하) 및 집진효율 실험을 수행하였다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험장치

BTS DAC용 에어필터의 유체역학적 특성 및 필터링 특성을 분석하기 위하여 본 연구에 도입된 실험풍동은 분진적재가속풍동과 정밀시험풍동의 2가지로 구성되었으며, 측정장치로는 유속 및 차압 측정장치, 분진 및 입자 발생장치, 입자크기 분포 측정장치로 구성되었다. Fig. 2는 DAC용 에어필터의 분진적재 가속실험에 사용된 풍동에 대한 조립도를 나타내고 있으며, Fig. 3은 정밀실험 풍동과 사용된 측정 장치의 배치도를 나타내고 있다. Table. 1은 실험에서 사용된 장치들의 제원을 나타내고 있다. 유속 및 속도 측정을 위하여 영국 Furness사의 Digital Micromanometer FCO 12를 사용하였다. 적재시험용 분진으로는는

Table 1 Conditions of the present apparatus

Test model	Condition of apparatus	Model number
CMAG	DOS / 0.5 $\mu\text{m}$ over generation	3470
APS (5 L/min)	0.5 ~ 30 $\mu\text{m}$	3310A
COA	NaCl / 0.5 $\mu\text{m}$ under generation	Constant Output Atomizer
SMPS (0.4 L/min)	0.014 ~ 0.631 $\mu\text{m}$ Electrostatic Classifier Condensation Particle Counter	3071 3022A
Micromanometer (FCO 12)	$\pm 1.99 \sim 19.99(\text{Pa})$ $\pm 19.99 \sim 199.9(\text{mmH}_2\text{O})$ $\pm 199.9 \sim 1999(\text{mmH}_2\text{O})$	No.1 No.3 No.4
Test powders	1 ~ 8 $\mu\text{m}$ / $\text{SiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3$	KS NO.11

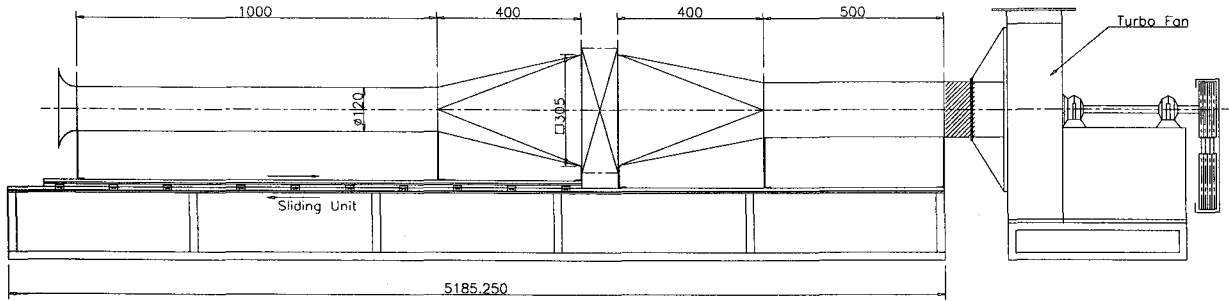


Fig. 2 Schematic diagram of the present dust loading wind tunnel.

KS 11종 분진을 사용하였으며, 재질은 옥토(loam)이며 밀도는  $2.9 \sim 3.1 \text{ g/cm}^3$  (평균  $3.0 \text{ g/cm}^3$ )이다.  $8 \mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 중량 백분율은 5.8 %이고  $1 \mu\text{m}$ 보다 큰 입자의 중량이 69 %이다. 화학성분은  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  등으로 구성되어 있다. 집진효율 측정을 위한 입자 발생장치로는 응축형 입자발생장치인 CMAG (Condensation Monodisperse Aerosol Generator)를 사용하여 DOS(Di-Octyl Sebacate) 입자를 사용하여 평균입자크기  $0.6 \sim 1.3 \mu\text{m}$ 의 단분산 입자를 발생하였다. 또한, 분무형 입자발생장치인 COA(Constant Output Atomizer)를 사용하여  $0.07 \sim 0.1 \mu\text{m}$  범위의 NaCl 입자와  $0.3 \mu\text{m}$ 의 DOS 입자를 발생시켰다. 입자크기분포 측정장치로는 비교적 큰 입자로 구성된 에어로졸의 입자크기분포 측정의 경우 TSI사의 APS33

(Aerodynamic Particle Sizer 33)을 사용하였으며, 비교적 작은 입자로 구성된 에어로졸의 경우 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)를 사용하였다.<sup>(1-2)</sup>

## 2.2 실험방법

Fig. 3의 정밀실험 풍동에서 CMAG 및 COA를 사용하여 입자를 발생한다. 발생된 입자는 DAC용 필터 통과 전후의 입자크기분포를 APS 및 SMPS를 사용하여 측정하였고 필터의 초기상태의 집진효율을 측정하였다. 이때의 차압을 마이크로마노미터(micromanometer)를 사용하여 속도별 초기압력강하(차압) 실험을 실시한 후 Fig. 2의 분진적재가속 풍동에서 일정량의 시험분진(test powders)을 DAC 필터에 적재한다. 분진

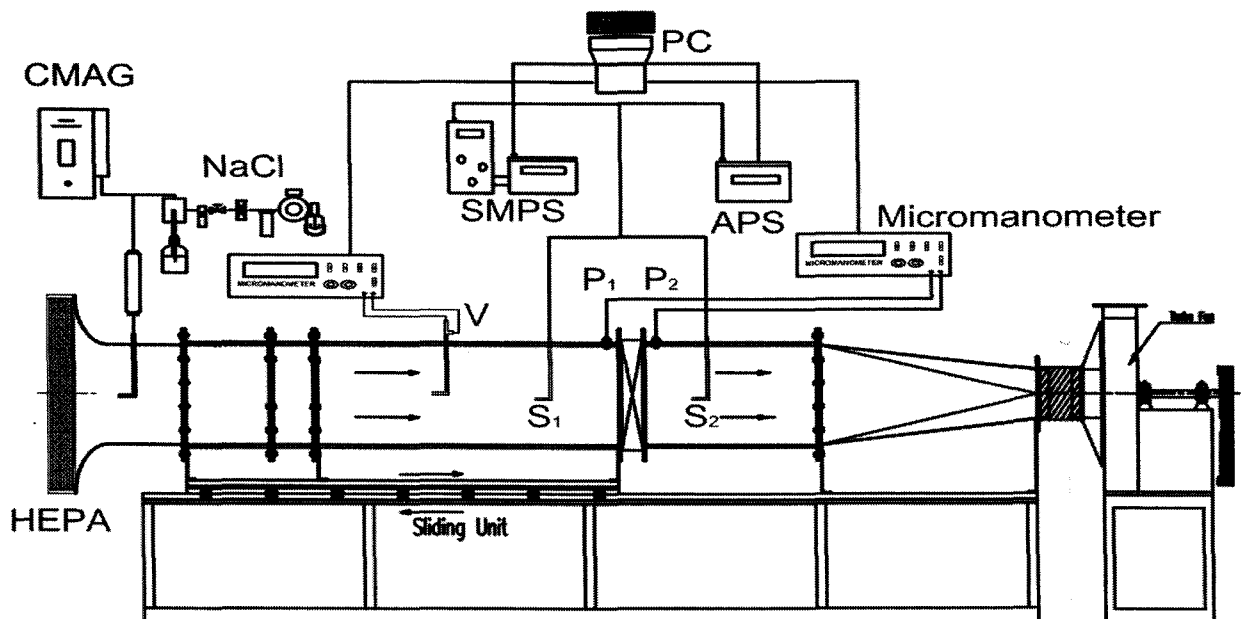


Fig. 3 Schematic diagram of the present experimental apparatus for the filter performance evaluation.

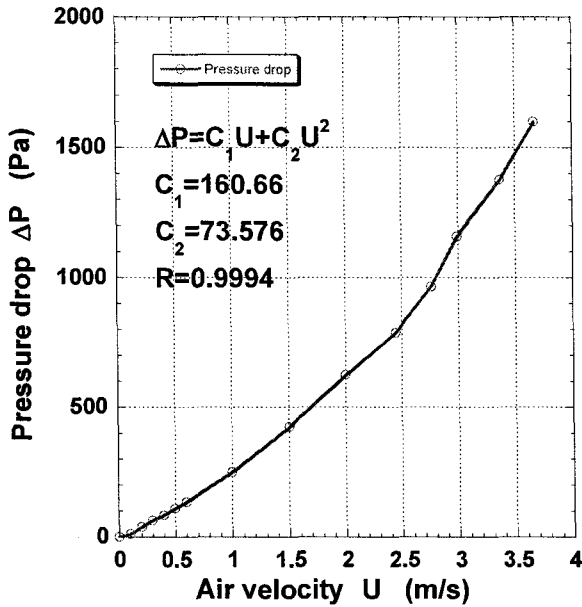


Fig. 4 Variation of initial pressure drop with respect to air velocity(dust loading=0 g).

적재를 실시한 필터는 다시 Fig. 3의 정밀실험 풍동에서 분진적재량에 대한 압력강하(차압) 특성을 측정하였다. 이와 같은 단계 실험을 최종 분진적재량인 800 g에 도달할 때까지 반복하였다.

### 3. 실험 결과 및 검토

#### 3.1 초기차압(압력강하)특성

Fig. 4는 분진공급량이 0 g일 때의 공기속도에 대한 차압특성곡선을 나타내고 있다. 정밀실험풍동내 공기속도가 증가함에 따라 차압이 증가하는 경향을 보임을 알 수 있다. 이는 일반적인 에어 필터의 공기속도에 대한 압력강하 특성이 원점에 꼭지점을 가지는  $\Delta P = C_1U + C_2U^2$ 과 같은 2차 다항식 곡선의 형태가 얻어지기 때문이다.<sup>(3)</sup> 정격속도 0.3 m/s에서 64 Pa의 차압이 발생함을 알 수 있다.

#### 3.2 분진적재량에 대한 차압특성

Fig. 5는 분진공급량에 대한 기지국 DAC용 에어 필터의 공기속도별 차압특성곡선 및 기지국 팬의 성능곡선을 나타내고 있다. 그림으로부터 분

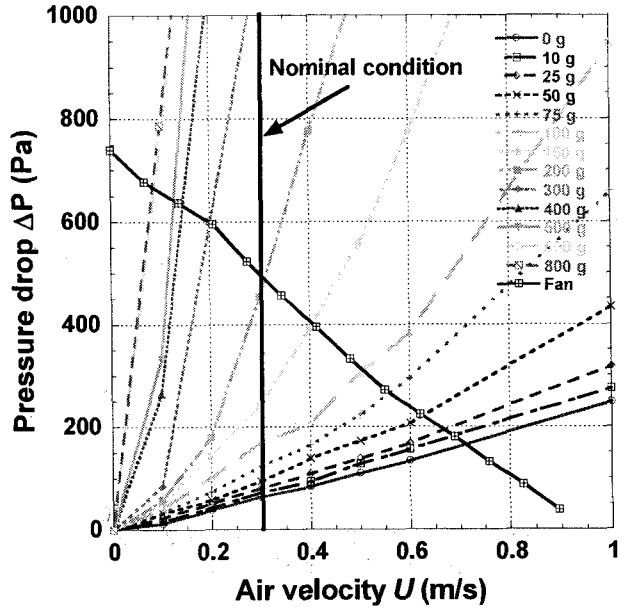


Fig. 5 Variations of pressure drop-air velocity curve with respect to dust loading.

진공급량이 증가함에 따라 필터의 공기속도에 대한 2차 다항식 형태의 차압특성 곡선의 기울기가 급격해짐을 알 수 있다. 팬의 성능곡선과 필터의 차압특성곡선이 만나는 지점이 시스템 작동점이 된다. 만약 팬을 그림에 도시된 일정한 회전수로 가동하게 되면 DAC용 에어 필터는 초기에 0.77 m/s에서 183.8 Pa의 차압이 걸리게 된다. 계속해서 분진이 적재됨에 따라 분진공급량이 총 100 g이 되면 0.54 m/s에서 334.8 Pa의 차압이 걸리게 되고 200 g이 되면 0.32 m/s에서 514.7 Pa의 차압이 걸리게 된다. 이로부터 약간의 분진이 추가로 적재되면 정격속도 0.3 m/s에서 532.0 Pa의 차압이 걸리게 됨을 알 수 있다. 따라서 그림에 도시된 성능곡선을 만드는 팬의 회전수에서는 정격속도 0.3 m/s를 확보하기 위해서는 대략 총 200 g의 분진공급량이 되면 팬의 회전수를 증가시키든지 새로운 필터의 교체가 요구된다.

Fig. 6은 필터와 DU(digital unit)가 모두 장착된 경우의 시스템 저항곡선을 보여주고 있다. 그림에서 filter+DU-0g의 경우는 실제 2 kW급 DAC BTS에 대해 분진공급량이 0 g인 초기의 깨끗한 필터와 DU가 함께 장착되었을 때를 실험한 경우이며 나머지 filter+DU-100g, 200g, 300g은 이로부터 추정된 값이다. 또한, 그림에서

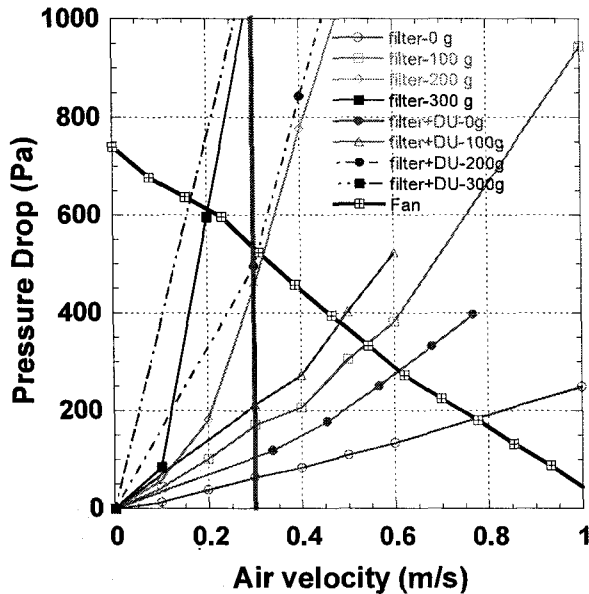


Fig. 6 Measured fan performance curve and estimated system(filter+ digital unit) resistance curve.

filter-0g, 100g, 200g, 300g은 Fig. 5의 본 연구의 DAC용 에어필터의 분진공급량 0 g, 100 g, 200 g, 300 g의 차압특성곡선이다.

먼저 filter+DU-0g의 차압에서 filter-0g의 차압을 뺀 차압값은 순수한 DU의 차압값이므로 이를 filter-100g, 200g, 300g에 각각 더해줌으로써 filter+DU-100g, 200g, 300g을 구하고 이를 Fig. 6에 도시한 것이다. filter+DU-0g의 실제 실험값은 그림에서 보다시피 0.3~0.8 m/s의 공기속도구간에서만 실험하였기 때문에 추정값은 본 연구의 차압특성 실험구간 중에서 0, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 m/s에 대해서만 산출하였다.

팬이 작동하기 시작하면 초기에 0.61 m/s에서 281.8 Pa의 차압이 발생하게 되고 분진공급량이 100 g이 되면 0.48 m/s에서 378.8 Pa의 차압이,

Table. 2 Test aerosol measurements at the inlet of the filter.

Particle material (Generation method)	GMD ( $\mu\text{m}$ )	TNC (particles/cm <sup>3</sup> )	GSD
NaCl 1 g/L solution (COA)	0.0688	14800	1.68
NaCl 100 g/L solution (COA)	0.128	28900	1.6
DOS (COA)	0.372	27600	1.41
DOS (CMAG)	0.567	4079.714	1.1
DOS (CMAG)	1.241	7834.412	1.3

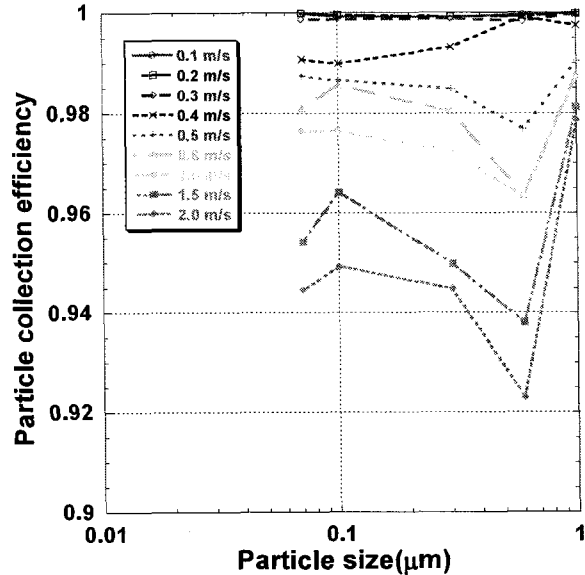


Fig. 7 Variation of particle collection efficiency curve with respect to air velocity.

200 g이 되면 0.31 m/s에서 521.2 Pa의 차압이, 300 g이 되면 0.17 m/s에서 627.3 Pa의 차압이 발생하게 되어 약 200 g이 되면 정격속도 근처에 도달한다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 5의 순수 필터만의 실험 결과와 크게 다르지 않은 것은 필터에 누적된 분진적재량이 많아지게 되면 DU의 저항보다는 필터에 의한 저항이 훨씬 지배적으로 작용하여 필터에 의한 유량확보가 결정적이라는 것이다.

### 3.3 집진효율특성

집진효율을 측정하기 위하여 정밀실험풍동에서 필터를 통과하기 전과 통과한 후의 공기내의 부유하는 입자들의 입자크기분포를 전술한 APS와 SMPS를 사용하여 측정하고 Table 2와 같이 총입자농도(TNC)를 구하여 집진효율을 다음과 같이 산출하였다.

$$\eta = \frac{C_{inlet} - C_{outlet}}{C_{inlet}} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $\eta$ 는 입자수 농도기준에 의한 집진효율이고,  $C_{inlet}$ 는 필터 입구에서의 총입자수농도이고,  $C_{outlet}$ 는 필터 출구에서의 총입자수농도이다.<sup>(4)</sup>

Fig. 7은 DAC용 에어필터의 상하류에서의 입

자크기분포로부터 산출한 집진효율의 실험결과를 보여주고 있다. 그림으로부터 정격속도 0.3 m/s에서 모든 입자크기에 대해 99.8 % 이상의 높은 집진효율을 보여주고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

2 kW급 이동통신 기지국(BTS, Base Transceiver Station)의 직접대기냉각(DAC, Direct Ambient Cooling)용 멤브레인 적층식 에어필터의 유체역학적 특성과 필터링 특성을 분석하기 위한 실험장치를 구성하고 그 실험 결과로부터 다음과 같은 사항들이 관찰되었다.

(1) 유체역학적 특성평가 결과, 정격 공기속도 0.3 m/s가 BTS용 래디얼 팬의 특정 회전수(unknown)에 대해 분진공급량 약 200 g까지 확보됨을 확인하였다.

2) 필터링 특성평가 결과, 정격속도 0.3 m/s에서 모든 입자에 대해 99.8 % 이상의 집진효율 얻어졌다.

#### 참고문헌

- (1) Yoo, K.-H., Roh, H.-H., Choi, E. and Kim, J.-K., 2003, An Experiment on the Particle Collection Characteristics in a Packed Wet Scrubber", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15 NO. 4, pp. 305-311.
- (2) Yoo, K.H., 1996, Study on particle charging and collection in two-stage parallel-plate electrostatic precipitators, Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- (3) Chen, D.-R., Pui, D.Y.H, and Tang, Y.-M., 1996, Filter pleating design for cabin air filtration, SAE Technical Paper Series 960944.
- (4) Yoo, K.-H., Yeo, K.-H., Son, S.-W., Hwang, K.-H., Jung, J.-W., and Kim, Y.-S, 2004, An Experiment on Particle Collection and Gas Removal of Electrostatic Wet Scrubbers, Proc. of the 1st Korean Society for Indoor Environment Conference, pp. 288-291.