

# 선체 표면 공사시 발생하는 분진 수거 장치 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of Dust Collection System for Hull Repair

여석준

S. J. Yoa

**Key Words:** Cyclone(사이클론), Bag Filter(여과포), Hybrid System(하이브리드 시스템), Collection Efficiency(집진효율), Pressure Drop(압력손실)

**Abstract:** The main purpose of this study is to investigate the characteristics of hybrid collection system combined with centrifugal force of cyclone and filtration of bag filter in one unit system. The experiment and numerical simulation are executed for the analysis of collection efficiency and pressure drop characteristics of hybrid system in comparison with those of a general fabric bag filter with the various experimental parameters such as inlet velocity(filtration velocity), dust concentration and dust type, etc.. In present system, dust particles tangentially coming into the system body are controlled by the centrifugal force effect, and the next collection is made out by the filtration mechanism in the fabric filter media. Therefore, the effective first collection causes the decrease of dust loading on the fabric filter, and it presents quite a lower pressure drop of fabric filter than that of a general fabric filter. At the inlet velocity, 21~27 m/sec and inlet concentration(fly ash) 300 mg/m<sup>3</sup>, pressure drops through the filter media of hybrid system are shown lower as 10~22 mmH<sub>2</sub>O comparing to those(17~33 mmH<sub>2</sub>O) of a general fabric bag filter.

### 기호 설명

- $\alpha$  : permeability of porous media
- $C_2$  : inertial resistance factor
- $F_D$  : drag force
- $F$  : external force
- $g$  : gravity
- $\mu$  : viscosity
- $p$  : static pressure
- $\rho$  : gas density
- $\rho_p$  : particle density
- $\tau_{ij}$  : stress tensor
- $u_i^p$  : velocity of particle
- $u_i$  : velocity of gas

### 1. 서론

선체 표면 공사시 선체 표면의 이물질 및 녹을 제거하기 위한 그라인딩 및 탈사 공정은 다량의 분진이 발생하므로 대부분의 사업장에서는 여과 집진 시설을 설치하거나 산업용 진공 청소기를 사용하여 발생하는 분진을 처리하고 있다. 여과 집진 장치는 연소 및 폐기물 소각공정에서 배출되는 분진입자, 유해가스 및 중금속 등을 처리·제거하는데 효과적이며, 집진 성능이 매우 우수하여 정부의 대기오염물질 배출규제에 적절히 대응할 수 있기 때문에 그 수요는 계속 증가 추세에 있다. 그러나, 여과 집진 장치의 여과포에 걸리는 과중한 분진 부하로 인한 높은 압력손실과 대유량 처리를 위해 장치 규모가 대형화되는 단점은 기술적, 경제적 제고 측면에서 해결되어야 할 과제이며, 이를 보완하기 위한 기술 개발이 매우 중요한 과제로 판단된다<sup>1~3)</sup>. 또한 산업용 진공청소기의 경우 장치의 이동이 용이하고 분진의 처리·제거에 있어서 집진 효율이 우수한 장점을 가지고 있으나 여과포에 걸

접수일 : 2004년 5월 12일

여석준(책임저자) : 부경대학교 환경시스템공학부

E-mail : [sjyoo@pknu.ac.kr](mailto:sjyoo@pknu.ac.kr), Tel : 051-620-6436

리는 분진부하로 인한 높은 압력손실과 처리유량이 작은 단점으로 인해 이를 대체할 새로운 장치의 연구 개발이 필요할 것으로 판단된다.

현재 보급되고 있는 여러 종류의 집진 장치 중에서 여과집진장치는 집진 효율이 높고 적용범위가 광범위한 반면 압력손실이 높아 이를 보완하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있으며<sup>4-9)</sup>, 이 중 정전 여과 집진 장치, 전처리용 cyclone의 설치, 전기력 및 cyclone의 효과가 단일 시스템으로 결합된 hybrid 집진기의 연구·개발은 여과집진장치의 문제점을 보완하기 위해 필요한 중요 과제이다<sup>10-11)</sup>

본 연구의 hybrid 집진 시스템은 단일 시스템 내에서 접선 유입에 의한 원심력 효과와 여과포의 집진 메카니즘이 효율적으로 결합된 것으로, 기본적인 구조는 cyclone 몸통내부에 여과재를 포함하고 있는 형태이다. 본 hybrid 집진 시스템은 원심력과 여과에 의한 집진이 1기의 시스템에서 동시에 이루어지게 되어 동일 규모의 일반 여과 집진기에 비해 집진기 내 가스의 선회류에 의한 1차 집진량의 증대로 보다 높은 집진효율 및 여과포로의 분진부하를 감소시켜 여과포에 가중되는 압력손실을 50% 이상 감소시킬 수 있어 처리유량을 2~3 배 이상 증대시킬 수 있을 것으로 예측되며, 장치의 소형화 및 설치·유지관리비 등 집진 장치에 대한 경제적 부담을 상당히 경감시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 hybrid 집진 시스템 개발을 위해 유입유속, 입자 농도 및 입자 종류 등 다양한 변수에 따른 hybrid 집진 장치의 집진 효율 및 압력 손실 특성 등에 대한 실험적 해석을 수행함으로써, 2기의 집진 장치가 한 시스템으로 단일화된 hybrid 집진 시스템의 최적 설계 조건을 도출하고자 한다.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1 실험 장치 및 방법

선체 표면 공사시 발생하는 분진 수거를 위한 hybrid 집진 시스템 실험 장치는 일반 산업체에서 사용되고 있는 여과 집진기와 원심력 집진기의 집진 원리를 1기의 시스템으로 결합한 형태로서 집진 장치의 유입구를 접선으로 변형시켜 집진 장치 내로 유입되는 처리가스에 부유하는 입자를 원심력 효과에 의해 1차 집진함으로써, 여과포에 부가되는 분진 부하의 감소와 집진 장치의 성능 향상

효과를 도모하고 집진 효율 및 압력 손실 특성에 대한 집진 장치의 성능을 해석하는 시스템이다.

본 hybrid 집진 시스템은 원심력 효과를 고려하기 위한 접선 유입구와 일반 여과 집진 장치의 특성을 고려한 중앙 유입구를 가진 실험 장치 본체, 실험 장치 본체에 입자를 일정하게 공급하기 위한 분진 발생 및 공급 장치, 장치 외벽에 1차 집진된 분진 및 탈진된 분진을 본체 내의 기류와 분리시켜 분진 재비산을 억제하는 호퍼(hopper), 처리가스가 통과하는 덕트 유로 및 처리 유량을 조절하는 흡입 송풍기(I.D. Fan)와 유속, 압력 손실 및 집진 효율 등을 측정할 수 있는 계측시스템으로 구성되어진다. Fig. 1 및 2에 본 hybrid 집진기의 전체 시스템에 관한 모식도 및 lab scale 모델의 주요 치수를 나타내었다.

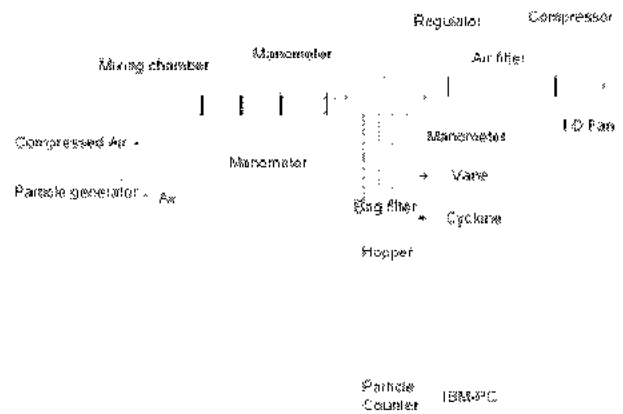


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

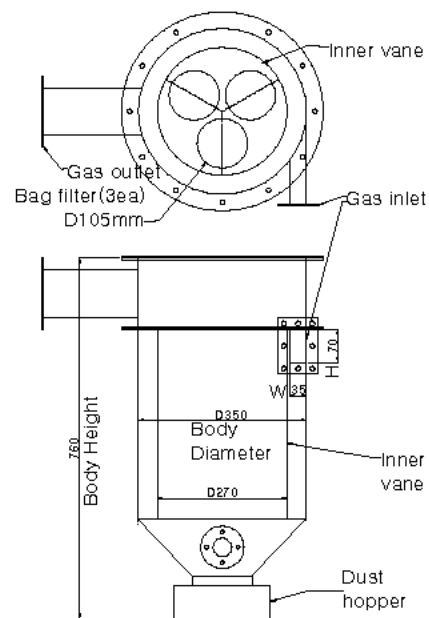


Fig. 2 Drawing of lab scale hybrid precipitator

본 연구의 실험의 내용은 여과속도 및 분진 농도에 대한 일반 여과 집진 장치와 원심력 효과에 따른 집진 효율과 압력 손실 특성에 대한 비교로 구분할 수 있다. 일반적으로 여과 집진 장치에 사용되는 여과속도는 1~2 m/min으로 적용되어지고 있는데 원심력 집진 장치에서는 유입유속이 15~30 m/s로 집진 효율에 따라 달리 사용되고 있으며, 현재 사용되고 있는 산업용 진공청소기들의 경우 여과속도 5~6 m/min, 처리유량 1.8~9.3 m<sup>3</sup>/min로 그 범위가 다양하며 압력손실이 2500~3500 mmH<sub>2</sub>O의 범위로 매우 높다. 본 실험에서는 접선 유입에 의한 사이클론의 집진 효율 및 압력 손실 감소 효과를 고려하여 여과 속도를 증가시키고 이에 따른 처리 유량의 증대 효과(처리 유량은 여과단면적과 여과속도의 곱으로 표현된다,  $Q = AV$ )와 장치의 설치 면적 감소 효과를 보기 위해서 여과속도 6.6~9.9 m/min을 적용하여 처리 유량 2.65~3.97 m<sup>3</sup>/min 범위에서 실험하였으며 사이클론의 효과를 고려하기 위해서 본체로의 유입 속도는 접선 유입 일 때 18~27 m/s로 적용되어졌다.

## 2.2 수치 시뮬레이션 방법

Hybrid 집진 시스템 내부의 유동 분포를 구하기 위해 집진기 내부의 유동을 비압축성, 정상상태의 유동이며, 입자의 질량 부하가 매우 낮다는 가정하에 Navier Stokes 방정식을 SIMPLE 알고리즘에 의해 해석하였다. 유체 유동에 대한 연속 방정식 및 운동량 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

여기서,

$$\tau_{ij} = \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right] \quad (3)$$

또한 장치 내부의 유동은 강한 선회류를 가지는 난류 유동이므로 올바른 평균 유동장을 평가하기 위해서는 적절한 난류 모델을 위해 사용하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 선회류 등에 의한 복잡한

난류 요동 성분을 가지는 난류 유동에 적절한 Reynolds Stress Transport Model(RSTM)을 사용하여 집진기 내부 난류 유동장을 평가하였다. Reynolds Stress Transport Model은 미분 수송 방정식에 의한 개개의 난류 stress의 계산을 포함하며 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \overline{u_i u_j}) + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho U_k \overline{u_i u_j}) = \\ & - \frac{\partial}{\partial x_k}[\rho \overline{u_i u_j u_k} + p(\delta_{kj} u_i + \delta_{ik} u_j)] \\ & + \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u_i u_j}) \right] \\ & - \rho \left( \overline{u_i u_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \overline{u_j u_k} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} \right) \\ & + p \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - 2\mu \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \quad (4) \end{aligned}$$

시스템 내부의 여과포 및 분진층은 유동에 저항으로 작용하여 압력손실을 일으키며, 이 필터 여재 및 분진층에 의한 압력손실은 Porous media model에 의해 운동량 방정식에 생성항으로 더해진다. 이 생성항은 점성손실항(Darcy)과 관성손실항으로 이루어지며, porous 영역에서 압력 구배를 일으켜 유체 속도에 비례하는 압력손실을 일으키게 된다. 단일 porous media에 대한 경우 아래 식과 같이 표현된다.

$$S_i = -\frac{\mu}{\alpha} u_i + C_2 \frac{1}{2} \rho |u_i| u_i \quad (5)$$

여기서  $\alpha$ 는 투과도(permeability),  $C_2$ 는 관성 저항 계수이다. 본 연구에서 투과도  $\alpha$  값은 필터 집진 실험에서 측정된 여과포의 압력손실 값으로부터 구하였다. 관성 저항 계수  $C_2$  값은 여과포와 같은 필터를 통과하는 비교적 느린 유속에서 그 값은 아주 작으므로 일반적으로 무시된다.

본 연구에서는 분진입자의 거동을 입자개개에 대하여 Newton의 운동방정식을 적용하여 해석하는 Lagrangian 궤적 모델을 적용하였다. 입자의 운동을 기술하기 위해서는 입자에 작용하는 항력, 부력, 자기력, 중력, 전기력 등 여러 가지 힘과 입자의 물성을 고려해야 하는데, 이 중 hybrid 집진기 내에서 입자에 작용하는 주된 힘인 항력과 중력을 고려하면, 단일 입자에 대한 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + g_x(\rho_p - \rho)/\rho_p + F_x \quad (6)$$

따라서 위 식으로부터 개개의 입자의 운동 궤적을 추적하여 집진 벽면에서 입자의 부착 정도를 판단할 수 있다.

본 연구에서는 실험용 hybrid 집진 시스템의 설계·제작에 앞서 hybrid 집진 시스템 최적 설계를 위해 model 별 집진기 내부 유동장 및 입자 거동 해석에 관해 수치 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 기초로 하여 처리 유량 3.9 m<sup>3</sup>/min 규모의 실험용 소형 hybrid 집진 시스템을 설계·제작하였다. 소형 hybrid 집진 시스템의 유속에 따른 압력 손실 특성 실험으로부터 hybrid 집진 시스템의 여과포 permeability를 도출하였으며, 소형 모델의 실험과 수치 시뮬레이션으로부터 얻은 여과포 permeability를 중형 및 대형 모델의 수치 시뮬레이션에 적용하여 처리 유량 6.5 및 9.8 m<sup>3</sup>/min 규모의 중형 및 대형 모델의 주요 설계 인자를 도출하였다(Fig. 2 및 Table 1 참조).

Table 1 Physical dimensions with model type (small, medium & large types)

Model type	Inlet Area (W×H mm)	Body Diameter(mm)	Body Height(mm)
Small	35×70	350	760
Medium	45×90	450	930
Large	55×110	550	1190

### 3. 연구결과 및 고찰

#### 3.1 실험적 결과 및 해석

##### 3.1.1 집진 효율

Fig. 3은 유입 농도 300 mg/m<sup>3</sup> 일 때, 유입 유속 18~27 m/s에서의 접선 유입 및 일반 여과 집진 장치의 특성을 지닌 중앙 유입 방식에서의 총괄 집진 효율을 나타낸 것이다. 집진 효율의 경우 두 가지 유입 방식 모두 최소 99.8% 이상의 고효율을 보였으며, 중앙 유입에 비해 접선 유입이 다소 높은 집진 효율을 나타냄을 알 수 있다. 또한

접선 유입에서 유입 유속이 18 m/s에서 27 m/s로 높아질수록 집진 효율이 증가하는 경향을 나타내는데, 이는 전술한 바와 같이 유속증가에 따라 원심력 효과가 증대되어 여과포에 의한 집진이 이루어지기 전에 미리 본체 벽면에서 1차 분리 집진되고 다음에 여과포에 의한 집진이 이루어지기 때문에 집진되는 분진의 양이 더 증가하기 때문이다.

##### 3.1.2 압력 손실 특성

Fig. 4는 처리 분진이 fly ash인 경우 일반 여과 집진기(중앙 유입 방식)와 hybrid 집진기(접선 유입 방식)에서 유입유속별(여과속도별) 필터에 걸리는 압력손실을 비교한 것이다. 중앙으로 유입되는 일반 여과집진기에서 필터에 걸리는 압력손실은 유입유속 21~27 m/s(여과속도 7.7~9.9 m/min)에서 17~33 mmH<sub>2</sub>O이고, 본 접선유입식의 hybrid 집진기의 경우 동일 조건에서 필터에 걸리는 압력손실은 10~22 mmH<sub>2</sub>O로 나타났다.

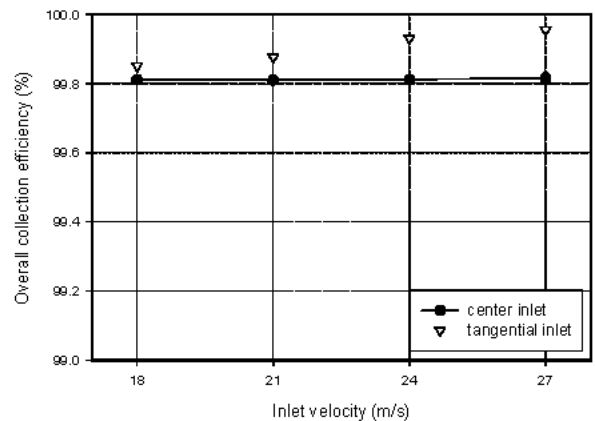


Fig. 3 Collection efficiency with inlet velocity

Fig. 5는 hybrid 집진기에서 분진 종류에 따른 필터 압력손실의 차이를 유속별로 나타낸 것이다. 선체 표면 공사시 발생하는 steel 분진 집진시의 필터 압력손실은 유입유속 21~27 m/s에서 1~3 mmH<sub>2</sub>O로 나타났으며, 동일 조건에서 fly ash 집진시의 10~22 mmH<sub>2</sub>O에 비해 매우 낮은 필터 압력손실을 보이고 있다. 이는 선체 표면 공사 분진의 경우 구성 성분의 63% 이상을 차지하는 steel 성분( $\rho$  7850 kg/m<sup>3</sup>)이 fly ash( $\rho$  2140 kg/m<sup>3</sup>)에 비해 비중이 3배 이상 높은 특성 및 20  $\mu$ m 이상의 입자들이 부피비로 94% 정도이므로 본 hybrid 집진기의 접선 유입시 원심력에 의한 1차 집진 효과가 fly ash에 비해 매우 크게 나타나 필

터에 누적되는 분진량이 대폭 감소되었기 때문으로 생각된다.

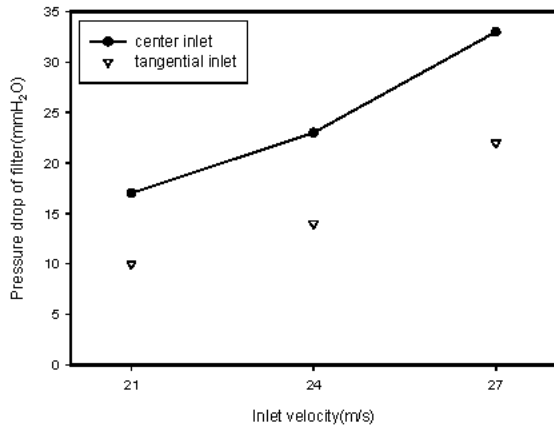


Fig. 4 Pressure drop of fabric filter with inlet type

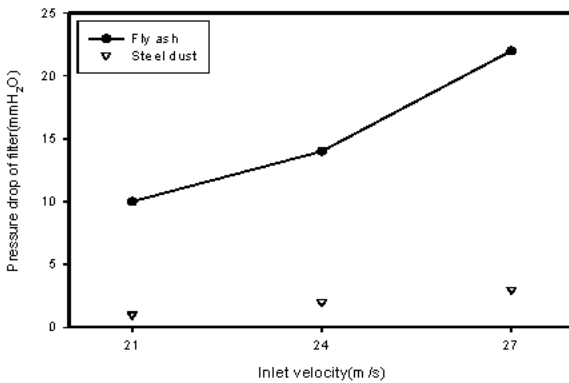


Fig. 5 Pressure drop of fabric filter with dust type

### 3.1.3 압력 손실 감소율

압력손실 감소율(Pressure Drop Reduction Ratio:PDRR)은 일반 중앙 유입방식의 여과 집진기와 본 접선 유입방식의 hybrid 집진기의 압력손실 변화율을 비교하기 위한 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$PDRR = \frac{\Delta P_C - \Delta P_T}{\Delta P_C} \times 100 \quad (7)$$

여기서,

$\Delta P_C$  : 중앙유입에서 여과포에 걸리는 압력손실

$\Delta P_T$  : 접선유입에서 여과포에 걸리는 압력손실

Fig. 6은 유입농도 200 mg/m<sup>3</sup>에 대하여 유입유속 21~27 m/s(여과속도7.7~9.9 m/min)에 따른 압력손실 감소율을 나타낸 것이다. 동일 조건(여과속

도 7.7~9.9 m/min, 분진농도 200 mg/m<sup>3</sup>)에서의 일반 여과집진기(중앙유입식)에 대한 본 hybrid 집진기의 필터 압력손실 변화는 fly ash 집진시 31~41%의 감소율을 보였다. 선체 표면 공사시 발생하는 분진(steel 분진)을 집진시에는 86~90% 정도의 압력손실 감소율을 보였으며, 이는 선체 표면공사 분진의 주 성분인 steel 분진의 밀도 및 직경이 fly ash보다 큰 특성으로 인한 1차 집진 효율의 증가로 인해 앞서 fly ash 처리의 경우 보다 매우 높은 압력 손실 감소율을 나타내는 것으로 생각된다.

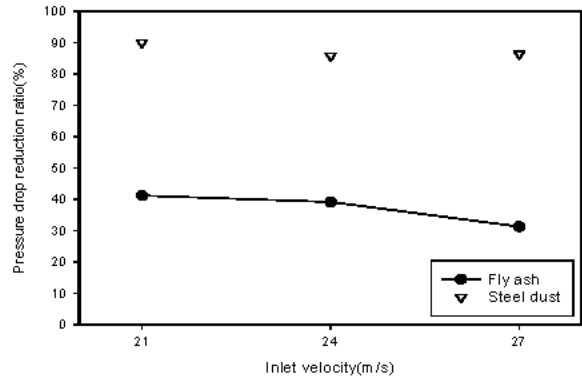


Fig. 6 Pressure drop reduction ratio with inlet velocity

### 3.2 수치 시뮬레이션 결과 및 해석

본 연구의 hybrid 집진 시스템의 집진 원리는 여과집진 원리에 사이클론의 원심력 효과가 결합된 것으로 가스 유입 속도와 관련된 유입구 면적 및 형상은 선회류를 위한 중요 인자로 원심력 효과에 매우 중요한 영향을 미친다. 본 연구에서는 hybrid 집진 장치의 유입구 면적, 직경 및 높이에 따른 처리 유량별 집진기 내부 유동장 및 입자 거동에 관한 수치 simulation을 수행함으로써 hybrid 시스템(원심력+filtration)에서 실험적으로 규명하기 어려운 원심력 효과에 의한 1차 집진 효율을 정량적으로 해석하고자 하였다.

Fig. 7, 8은 소형 hybrid 집진 시스템의 유입 유속 27 m/s(처리 유량: 3.97 m<sup>3</sup>/min)에 대한 내부 유동장의 수치 시뮬레이션 결과로서, 상부 접선으로 유입된 기류는 내부 선회류 분리 vane에 의해 내부 기류와는 분리된 채로 집진기의 원통형 벽면을 따라 선회·하강하며, 하부의 콘 부분에 이르러 내부 선회류로 전환되어, 내부 vane과 여과포 사이의 공간을 따라 상승하며 여과포를 통해 외부 유출구로 배출된다.



Fig. 7 Flow field plot of hybrid collection system (small model)

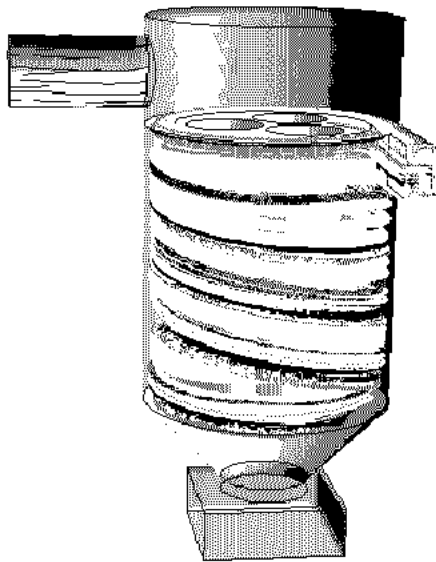
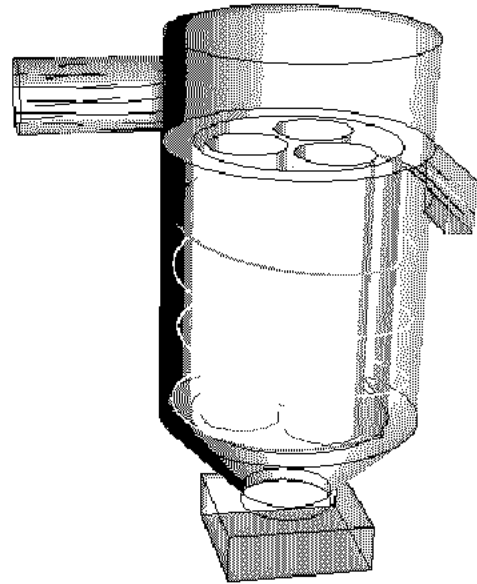


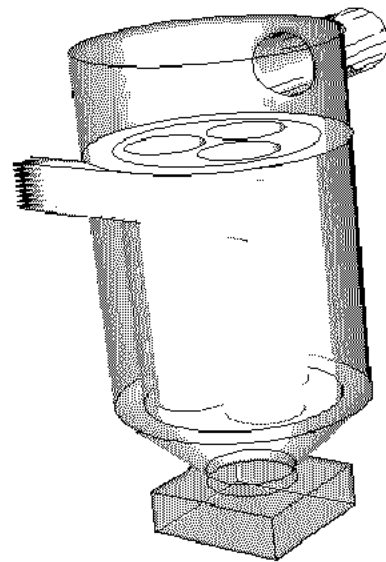
Fig. 8 Path lines of hybrid collection system

Fig. 9는 hybrid 집진기 내부의 입자 궤적을 plot 한 것으로, 소형 모델에서 유입유속 27 m/s, 입경 1, 10  $\mu\text{m}$ , 선체 표면 공사시 발생한 분진 (steel)에 대하여 유입구에서부터 장치 내 이동 궤적을 나타낸 것이다. 그림에서 입경 1  $\mu\text{m}$  분진의 경우 사각 유입 덕트의 바깥 벽면 쪽으로 가까운 위치에서 유입된 입자는 상부에서 선회류를 따라 곧 집진이 되며, 유입 덕트의 중심부 및 집진기 내부 쪽에 가까운 위치에서 유입된 입자는 선회류를 타고 하부 콘 부분까지 하강하여 내부 vane에 부착되어 기류와 분리되거나 혹은 내부 상승 기류를 타고 상승하다가 여과포에 부착된다. 반면 직경 10

$\mu\text{m}$  입자의 경우는 관성력의 증대로 인해 대부분의 입자들이 유입구 부근에서 집진벽면에 충돌 부착되어 1차 집진되는 것을 볼 수 있다.



(a)  $d_p$  1  $\mu\text{m}$



(b)  $d_p$  10  $\mu\text{m}$

Fig. 9 Particle trajectory (small model)

위 입자궤적 특성에 대한 수치 시뮬레이션으로부터 각 모델별 분진 종류 및 유입 유속에 따른 입경별 1차 집진 효율을 산출하였다. Fig. 10에 1

차 집진이 일어나는 영역과 집진된 분진이 기류와 분리되어 호퍼에 퇴적되는 것을 나타내었으며, 수치 시뮬레이션에 의해 계산된 1차 집진 효율 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11은 소형, 중형 및 대형 모델에서 선체 분진 및 fly ash 분진에 대하여 유입 유속 24, 27 m/s 일 때의 1차 집진 효율을 plot한 것으로, fly ash의 경우 소형 모델에서 입경 5  $\mu\text{m}$  이하는 1차 집진 효율 60% 이하로 비교적 낮으나, 그 이상 입경에서는 80% 이상의 높은 집진 효율을 보인다. 반면, fly ash에 비해 비중이 3배 정도 높은 선체 분진의 경우 5  $\mu\text{m}$  이상의 입경 범위에서 100%의 1차 집진 효율을 보인다. 또한 유입 유속이 24 m/s에서 27 m/s 증가될 때 원심력의 증대로 인해 1차 집진 효율이 다소 상승하는 것을 볼 수 있다. 총괄 1차 집진 효율은 소형 모델, 유입 유속 27 m/s에서 fly ash의 경우 61.2%, steel 분진의 경우 73.5%로 나타났다.

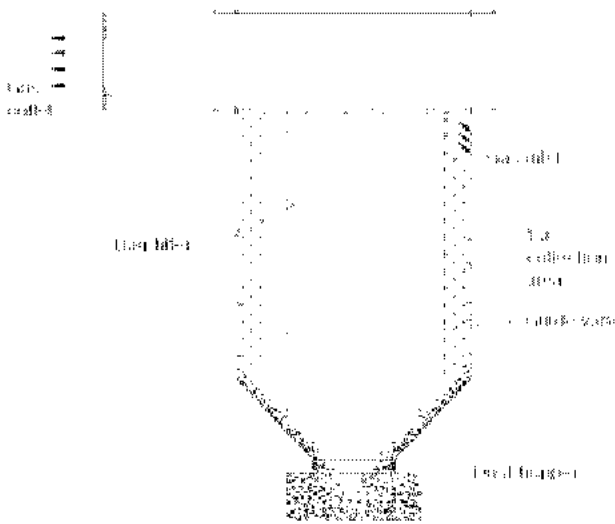
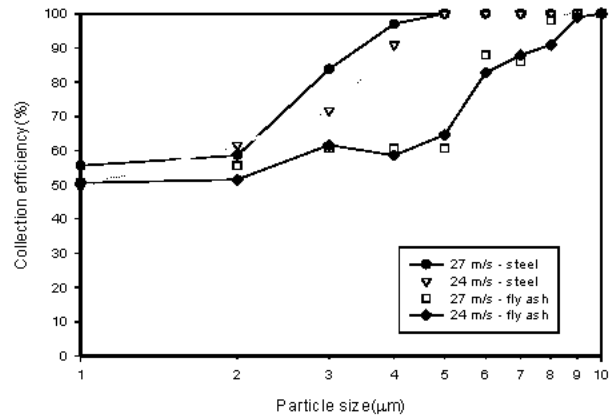
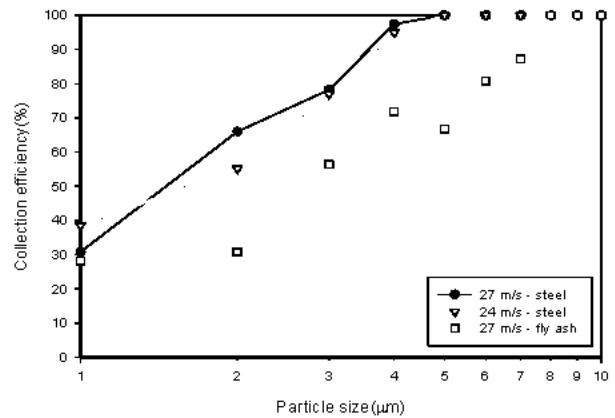


Fig. 10 The 1st collection of hybrid system

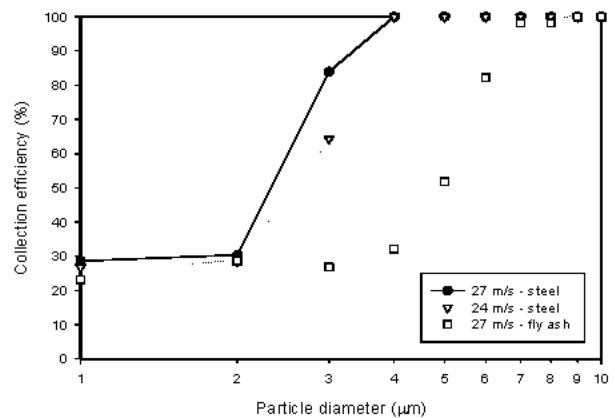
Hybrid 집진 시스템을 통한 압력손실은 공기가 여과포를 통과할 때의 여과저항에 의한 압력손실과 장치 내부 유로를 따른 벽면과의 마찰로 인한 압력손실의 합이라 할 수 있다. 이 두 압력강하 요인 중 장치 벽면과의 마찰로 인한 압력손실은 장치 geometry의 유동 계산에 의해 비교적 정확히 예측될 수 있다. 그러나 여과포 및 여과포+분진층에 의한 압력손실은 필터 미디어와 분진층의 여과저항과 여과속도에 비례하는 값이며, 여과저항은 필터 특성과 분진 부하 등에 따라 변하는 값으로



(a) Small model



(b) Medium model



(c) Large model

Fig. 11 Fractional 1st collection efficiency (numerical result)

이에 대한 정확한 data가 없으므로 소형 hybrid 집진 시스템의 여과속도에 대한 압력손실 특성 실

험을 통하여 여과속도와 압력손실 사이의 관계를 찾아 식(5)의 여과포 투과도(permeability; $\alpha$ )를 결정하여 중형 및 대형 모델 압력손실의 수치 시뮬레이션에 적용하였다.

Fig. 12는 수치 시뮬레이션에 의해 예측된 중형 및 대형 모델의 유입 유속 별 압력 손실로서 소형 모델의 실험 결과와 유사한 경향을 보이며, 1~3 mmH<sub>2</sub>O 정도 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 중·대형 모델로 갈수록 처리 유량이 증대 하지만, 유입·출구 면적도 동시에 증가하여 유입·유출 속도는 동일하므로 처리 규모에 따른 hybrid 시스템의 압력 손실 차이는 미미한 것으로 보인다.

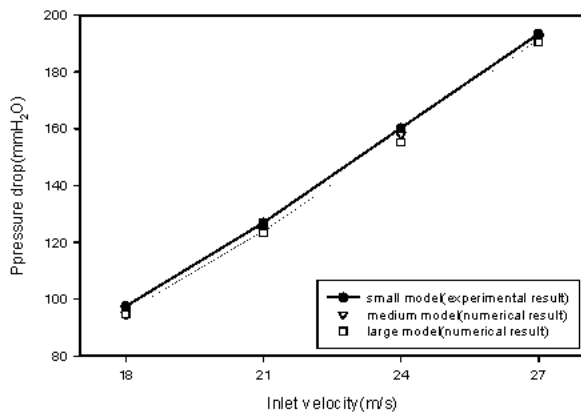


Fig. 12 Pressure drop of hybrid precipitator by numerical simulation.

#### 4. 결론

본 연구에서는 선체 표면 공사시 발생하는 분진 수거를 위한 hybrid 집진 시스템 특성 연구를 위해 Lab scale hybrid 집진 시스템을 설계·제작하고, 유입 유속(처리 유량), 여과 속도, 분진 종류 및 분진 농도를 변화시키면서 집진 효율 및 압력 손실 특성에 대한 실험을 수행하였다. 수치 시뮬레이션에서는 장치 규모별 유입 유속, 여과포 통기도 및 입자 특성에 따른 유동장, 입자 궤적, 1차 집진 효율 및 압력 손실 특성 등을 조사하였으며, 실험 결과 및 수치 시뮬레이션에 의해 소·중 및 대형 hybrid 집진 시스템의 주요 설계 인자를 도출하였다. 이상의 연구로부터 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Hybrid 집진 시스템(접선유입식)은 일반 여과 집진장치(중앙유입식)에 비해 유입 유속(18~27 m/s(여과속도 6.6~9.9 m/min))이 증가할수록 다소 더 높은 집진 효율을 보이며, 총괄 집진 효율 99.8% 정도의 높은 효율을 나타낸다.
- 2) Filter 압력 손실은 fly ash 유입 농도 300 mg/m<sup>3</sup>, 유입유속 21~27 m/s에서 hybrid system은 10~22 mmH<sub>2</sub>O로 일반 여과집진장치 17~33 mmH<sub>2</sub>O에 비해 매우 낮게 나타나며, 이는 접선 유입의 원심력 효과에 의해 1차 집진량의 증대에 의한 것으로 생각된다.
- 3) Hybrid 시스템의 원심력 효과에 의한 1차 집진 효율은 소·중·대형에서 steel 분진, 유입유속 27 m/s 인 경우 입경 4 μm 이상에서 99% 이상의 높은 집진 효율을 보이며, 4 μm 이하에서는 대형에서 소형 모델로 갈수록 높은 효율을 보인다.
- 4) 1차 집진 효율은 분진 밀도에 따라 높은 차이를 나타내며, steel 분진( $\rho$  7850 kg/m<sup>3</sup>)의 경우 유입유속 27 m/s, 소형 모델에서 1차 집진 효율 73.5%로 fly ash( $\rho$  2140 kg/m<sup>3</sup>)의 61.2%에 비해 매우 높게 나타남을 알 수 있다.
- 5) 1차 집진 효과에 의한 필터 분진 부하의 감소와 이로 인한 필터 부담의 감소로 인해 필터의 교체 주기 및 수명 연장 효과를 기대할 수 있다.

#### 5. 참고 문헌

1. Chudleigh, P. W., 1983, "Reduction of Pressure Drop across a Fabric Filter by High Voltage Electrification," *Filtration & Separation*, Vol. 20, No. 3, pp. 213~216.
2. Fjeld, R. A. and Owens, T. M., 1988, "The Effect of Particle Charge on Penetration in an Electret Filter," *IEEE transaction industry application*, Vol. 24, No. 4, pp. 725~731.
3. Frederick, E. R., 1980, "Fibers, Electrostatics, and Filtration : A Review of New Technology," *J. Air, Pollution Control Association*, Vol. 30, No. 4, pp. 426~431.
4. Frederick, E. R., 1961, "How dust filter selection depends on electrostatics," *Chemical Engineering*, Vol. 68, No. 6, pp. 107~114.



5. Henry, R. F. Podolski, W. F. and Saxena, S. C., 1985, "A Review of Electrostatically Augmented Gas Cleaning Devices for Particulate Removal," IEEE transaction industry application, Vol. IA 21, No. 4, pp. 939~949.
6. Humphries, W., Jones et al., 1984, "Electrostatic Enhancement of a Fabric Filter Baghouse," Proceeding of the second International Conference on Electrostatic Precipitation, Institute of Electrostatics Japan, Kyoto, pp. 471~475.
7. Penney, G. W., 1977, "Using Electrostatic Forces to Reduce Pressure Drop in Fabric Filters," Powder Technology, Vol. 18, pp. 111~116.
8. Chudleigh, P. W., 1985, "A Review of Pre Charger Technology with Applications to Fabric Filtration," Filtration & Separation, Vol. 22, No. 5, pp. 311~316.
9. Greiner, G. P. et al., 1981, "Electrostatic Stimulation of Fabric Filtration," Air Pollution Control Association, Vol. 31, pp. 1125~1130.
10. Smith, W. B. et al., 1984, "Electrical Augmentation of Fabric Filters by Precharging," Proceedings of the Second International Conference on Electrostatic Precipitation, Institute of Electrostatics Japan, Kyoto, pp. 444~452.
11. Ohtsuka, K. and Shimoda, M., 1986, "Mechanism of Fabric Filtration by Electrostatic Augmentation," Journal of Electrostatics, Vol. 18, pp. 93~102.