

# 박용디젤기관의 대기오염 저감을 위한 전기 다단 임팩션 시스템의 집진특성

여석준\* · 권준형  
부경대학교 환경공학과

## Collection characteristics of electro-static multi-staged impaction system for air pollutants removal of marine diesel engines

Seok-Jun YOA\*, Jun-Hyeong KWON

*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

The main object of this study is to investigate the collection characteristics of an electro-static multi-staged impaction system, experimentally. The experiment is carried out to analyze the characteristics of pressure drop and collection efficiency for the present system with the experimental parameters such as the inlet velocity, stage number, applied voltage and shape of discharge electrode, etc. In results, the pressure drop is shown below 148 mmH<sub>2</sub>O lower than that of the conventional bag filter at inlet velocity 3.46 m/s and 5 stage. For 5 stage, the collection efficiencies are to be 97.4, 99.0% with the applied voltage 0 kV at the inlet velocity 2.07, 3.46 m/s, while 98.4, 99.9% with 40 kV of a sharp edge discharge electrode. Additionally, the present system is to be considered as an effective compact system for a removal of particulate pollutants from marine diesel engines due to much higher collection efficiency and appropriate pressure drop.

Keywords : Electrostatic multi-staged impaction system, Pressure drop, Collection efficiency, Applied voltage

### 서론

각종 산업 및 발전시설, 운송시설 등 산업 활동에 따른 대기오염물질 배출 증가로 인해 국내외적으로 배출 규제가 강화되고 있는 실정이다. 더욱이 전 세계 수송 물량 규모의 80%를 담당하는 해상운송을 통해 배출되는 대기오염물질은 전체 운송수단 배출량에 큰 부분을 차지하고 있으며, 선박엔진을 포함한 비도로 분야에서 배기정화에 대한 요구가 증대되고 있다 (Kim et

al, 2012). 선박의 경우 선박 디젤엔진에서 배출되는 대기오염물질 중 입자상 오염물질의 경우 디젤엔진에서 배출되는 주요한 유해물질로서 국제해사기구 및 미국, 유럽연합 등에서는 대기오염 배기 배출물로 규정하여 그 배출량에 대한 규제를 시행하고, 규제를 강화해 나가고 있다 (Oh et al, 2006; Pak et al, 2009; Lee and Doo, 2011). 이와 같은 배기 규제에 부합하기 위해 선박용 배기 배출물 처리 장치개발이 절실히 필요한 실정

\*Corresponding author: [sjyoo@pknu.ac.kr](mailto:sjyoo@pknu.ac.kr), Tel: 82-51-629-6526, Fax: 82-51-629-6523

이다.

기존에 사용되고 있는 집진장치의 종류로는 중력침강장치, 원심력집진장치, 전기집진장치, 여과집진장치, 세정집진장치 등이 있고 이 중 미세먼지의 집진에 효과가 우수하며, 범용적으로 많이 사용되고 있는 집진장치로는 여과집진장치, 전기집진장치가 있다 (Oglesby and Nichols, 1978; Lee, 1995). 여과집진장치는 집진효율이 매우 높으며 실제 산업현장에서 많이 사용되고 있으나 낮은 여과속도에 의해 대유량을 처리할 경우 장치의 대형화가 요구되며, 배출가스 온도에 따라 여재선택의 제약이 발생한다. 또한 필터의 막힘 현상으로 유지·관리의 문제점과 필터의 폐쇄로 인한 필터교체 비용이 중요 문제로 대두된다. 전기집진장치의 경우 낮은 압력손실로 대유량의 배기가스를 고효율로 처리할 수 있다. 하지만 초기설치비가 많이 들며, 99% 이상의 고효율을 얻기 위해서는 넓은 집진면적을 확보해야하므로 장치 규모가 커지며 (Bang, 2013) 또한 집진판에 쌓인 분진을 털어내기 위해 탈진할 경우 다시 가스 흐름으로 유입되는 재비산 현상이 일어나는 단점이 있다 (Ahn et al, 2002). 따라서 본 연구는 여과 집진장치의 문제점인 필터의 사용 없이 99% 이상의 고효율을 유지하면서, 장치 대형화 등의 단점을 극복하고 소형 선박 및 어선에 적용 가능한 컴팩트한 집진 시스템을 연구·개발하는데 그 목적이 있다.

본 시스템은 전단부의 전기 집진부와 본 연구의 중요 집진부인 다층 다단 다공성 플레이트 시스템 (임팩션 시스템)으로 구성되어 있다. 다층 다단 다공성 플레이트 시스템의 경우 분진을 포함한 가스가 다공성 플레이트의 튜브를 통과하면서 높은 속도의 분사류를 형성하여 일정 관성력 이상의 입자는 분사 기류를 이탈하여 블랙홀을 통해 블랙박스내로 포집된다 (Fig. 4). 포집되지 않은 입자는 다음 단 (stage) 으로 이동하여 위의 과정을 반복하면서 5단 시스템에 의해 집진효율 95% 이상을 유도한다.

집진효율 99% 이상의 고효율 시스템을 위해 100% 전기력에 의해 집진되는 일반 전기집진기와는 달리 전기 의존도 5% 이내로 유지될 수 있는 전단부의 전기 집진부를 본 시스템과 결합하여 시스템 집진성능을 향상시키고자 하였다.

본 연구는 시스템 유입유속 (튜브통과유속), stage 수, 인가전압 및 방전극 형상 등의 물리적 변수에 따른 압

력손실 및 집진효율 특성을 해석하기 위해 실험적 방법에 의해 수행된다.

## 재료 및 방법

### 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험장치 구성은 분진 공급장치, 고전압 인가장치, 다공성 플레이트 시스템 본체, 흡입 송풍기, 유입유속·압력손실 및 집진 효율 등을 측정할 수 있는 계측시스템으로 이루어져 있으며, 유입유속과 압력손실 측정은 각각 열선풍속계 (model 6162 Kanomax, accuracy  $\pm 3\%$ ), 압력측정장비 (midi LOGGER GL800 GRAPHTEC, accuracy  $\pm 0.25\%$ )를 사용하여 계측하였다. 시스템 유입유속은 원형 덕트 내 유속을 측정함으로써 산출되었으며, 유속 측정점은 대기오염 공정시험법에 의해 덕트 단면의 14.6%와 85.4%되는 지점을 선정하였다. 본 장치의 압력손실은 장치 입·출구의 정압차에 의해 측정되었으며, 본 시스템의 이론적 압력손실을 나타내는 다음 식에 의해 평가해석될 수 있다 (Kim and Yoa, 2010).

$$\Delta P = P_n - P_{n-1} \propto f(\rho v_{in}^2, D_t, d_i, etc) \quad (1)$$

여기서,  $P_n$  과  $P_{n-1}$  은 플레이트 전·후에서의 압력,  $v_{in}$  은 시스템 유입유속 (m/s),  $D_t$  는 튜브직경(mm),  $d_i$  는 플레이트 간 간격 (mm)이다.

시스템 집진특성을 파악하기 위해 집진효율은 중량법 (gravi-metric method)에 의해 아래의 식으로 해석할 수 있다 (Cho and Kim, 1990; Yoa and Jang; 2014).

$$\eta_t = \left(1 - \frac{m_{out}}{m_{in}}\right) \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서,  $\eta_t$  는 총괄집진효율,  $m_{in}$ ,  $m_{out}$  은 입·출구 중량농도 ( $g/m^3$ )이다.

Fig. 1은 전체 시스템 구성에 대한 모식도이다. 유량 조절을 위해 인버터 (inverter)를 사용하여 I.D. Fan의 회전수를 조절하며, 시스템 입구 쪽에 위치한 스크류 (screw) 방식의 분진 공급 장치로부터 분진이 공급된다. 고전압 인가장치 (power supply)로부터 방전극에 고전압 (negative high voltage)이 추가된다.

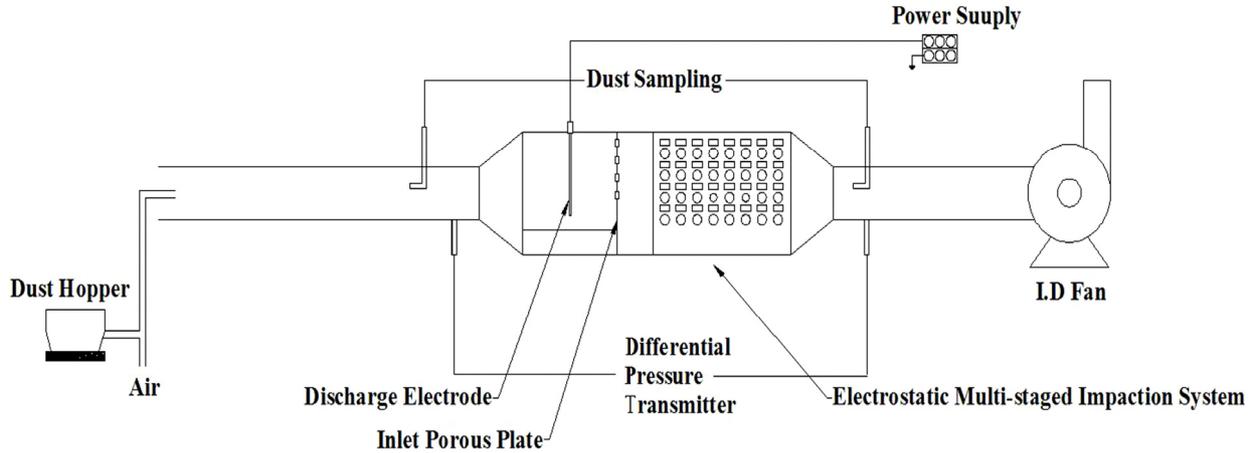


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

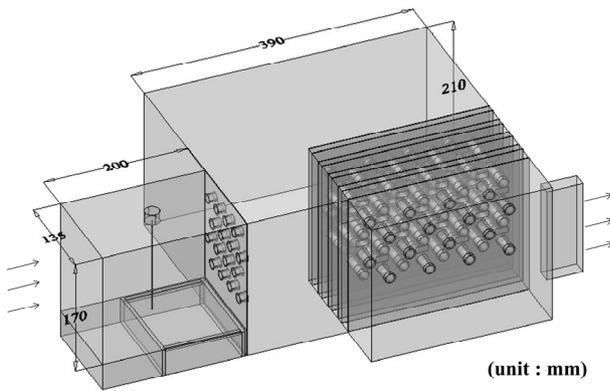


Fig. 2. Schematic diagram of electrostatic multi-staged impaction system.

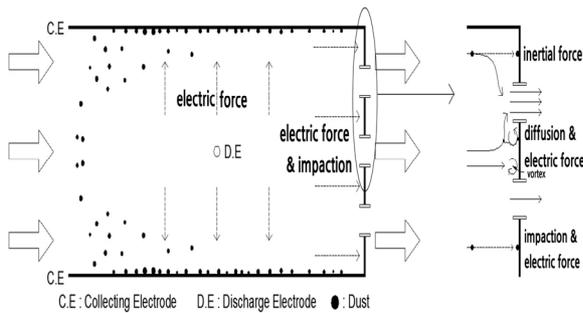


Fig. 3. Collection mechanism of electrostatic section.

Fig. 2는 전기 다단 임팩션 시스템의 모식도이다. 본 시스템은 본체 (결합형 다층 다단 다공성 플레이트 시

스템)의 전단부 (유입부)에 전기집진부를 구성하였다. 분진을 포함한 기류는 유입부를 통과하면서 전기력에 의해 1차적으로 분진은 집진되며, 포집되지 않은 분진은 본체를 통과하면서 임팩션 및 난류 확산 등에 의해 집진된다.

Fig. 3은 시스템 유입부의 분진 입자 포집 메커니즘을 나타낸 그림이다. 유입부, 즉 전기집진부에 설치된 방전극 (discharge electrode)에 고전압 (20, 30, 40 kV)을 인가하여 고전압 방전을 유도함으로써 분진입자는 전기적으로 하전된다. 하전된 분진은 1차적으로 기류에 평행한 좌·우측 평행 집진판에 강한 전기장에 의해 기류를 이탈하여 포집된다. 포집되지 않은 분진 중 일부는 전기 집진부 후미에 설치된 다공성 플레이트에서 전기력에 임팩션 난류확산효과가 부가되면서 포집효과를 증대시킨다.

Fig. 4는 시스템 본체의 다단(5 stage) 다공성 플레이트 시스템 구성 및 배열을 나타낸 것이다. 각 stage를 통과하는 튜브는 지그재그로 교차되며, 1 stage는 단층, 2~5 stage는 복층 구조로 블랙박스, 블랙홀로 구성되어 있다.

Fig. 5는 본 시스템에서의 집진 메커니즘을 나타낸 그림이다. 1 stage에서는 관성력에 의해 입경이 큰 입자가 주로 포집되고, 확산 현상에 의해 미세입자가 부분적으로 집진될 수 있지만, 그림에서 보듯이 포집된 입자는 재비산 될 가능성이 높아 집진효율의 감소를 초래

할 수 있다. 2~5 stage는 복층구조로 블랙홀과 블랙박스 구성되어 있으며 1 단에서 포집되지 않은 입자는 기류와 더불어 1단 튜브를 통해 가속화 되어 높은 관성력에 의해 기류를 이탈하여 블랙홀을 통해 블랙박스내로 진입되면서 포집된다. 따라서, 블랙박스 내에 포집된 입자는 재비산되어 유출될 수 없으므로 1단의 재비산에 의한 효율감소문제를 효과적으로 해결할 수 있다.

본 시스템의 압력손실, 집진효율 특성을 알아보기 위해 유입유속, stage 수, 방전극 종류 (Fig. 6) 및 인가전압 등의 실험 변수로 실험을 수행하였으며, 이에 따른 실험조건을 Table. 1에 나타냈다.

실험에 사용한 분진은 H 화력발전소에서 미분탄 연소기관에 의해 발생된 비산회재 (fly ash)입자로 입도분포측정기 (Beckman Coulter LS 13 320)를 사용하여 분진의 입경분포를 측정하였다(Fig. 7). 분진의 입경범위는 0.375~800  $\mu\text{m}$ 이며 부피기준으로 79.6  $\mu\text{m}$ 의 평균입경을 나타냈다.

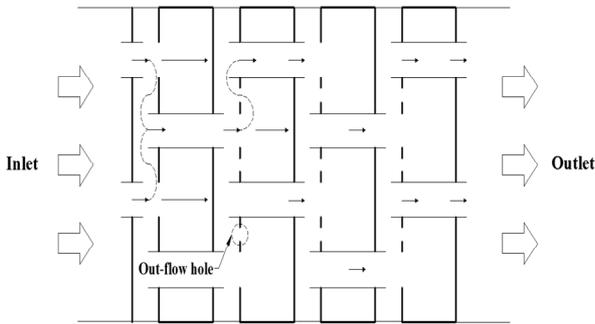


Fig. 4. Combined multi-layered multi-staged porous plate system.

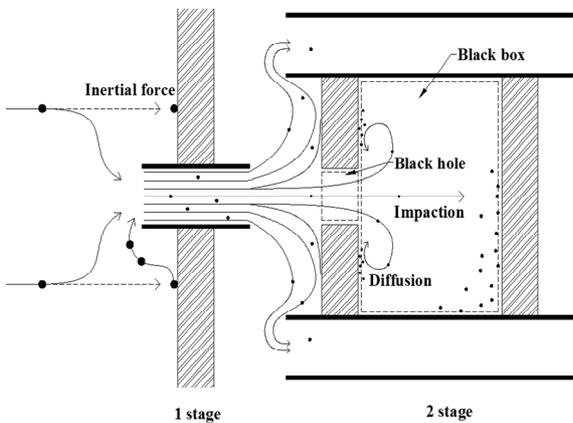


Fig. 5. Collection mechanism of the present system.

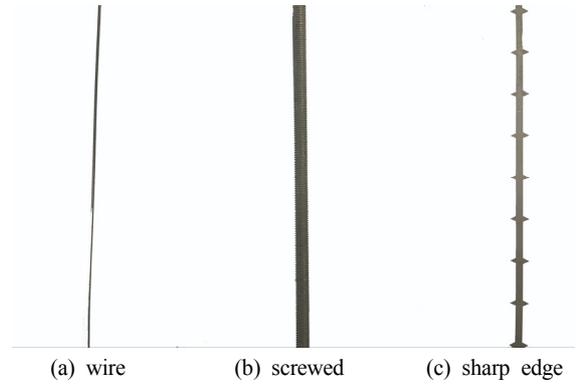


Fig. 6. Shape of discharge electrode.

Table 1. Experimental conditions

Description	Condition
Particle	fly ash
Inlet velocity (m/s)	2.07, 2.76, 3.46
Tube velocity (m/s)	9, 12, 15
Tube diameter (mm)	12
Stage number	1, 2, 3, 4, 5
Shape of discharge electrode	wire, screwed, sharp edge
Applied voltage (kV)	0, 20, 30, 40
Inlet concentration (g/m <sup>3</sup> )	3
Operating time (min)	4

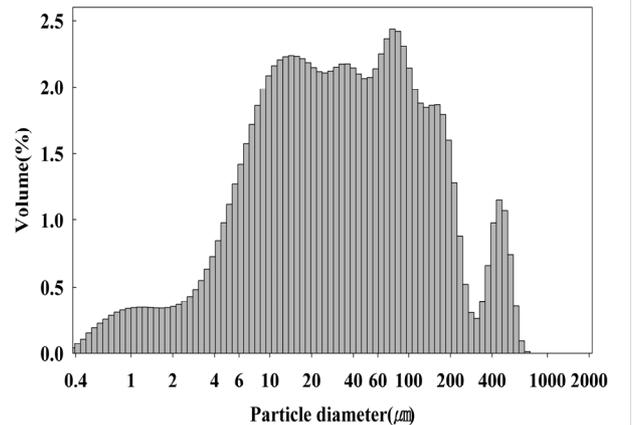


Fig. 7. Particle size distribution.

## 결과 및 고찰

### 압력손실 특성

본 시스템에서 각 stage에 걸쳐 발생하는 압력손실은 시스템 특성을 평가하기 위해 집진효율과 더불어 시스템 설계의 중요 인자가 된다. 압력손실에 영향을 미치

는 주요 물리적 변수로 시스템 유입유속, 단 수, 튜브직경 및 플레이트 간의 간격 등을 들 수 있다. 압력손실은 식 (1)에 의해 해석될 수 있으며 이들 변수에 따라 압력손실 특성이 변화될 수 있다. Fig. 8은 본체 1~5 stage에서 유입유속  $v_{in} = 2.07, 2.76, 3.46$  m/s (튜브통과유속  $v_t = 9, 12, 15$  m/s)에서 압력손실 측정값을 나타낸다. 단 수가 1에서 5까지 변화함에 따라  $v_{in} = 2.07$  m/s에서 11, 18, 25, 38, 42 mmH<sub>2</sub>O,  $v_{in} = 3.46$  m/s에서 32, 52, 65, 104, 109 mmH<sub>2</sub>O로 나타났다. 단 수 증가에 따라 유속의 증가에 의한 압력손실의 증가치는 더욱 커지는데, 같은 stage에서 압력손실은 식 (1)에 의해 유속의 제곱에 비례해서 증가함을 알 수 있다.

Fig. 9는 유입부 (전기집진부) 후미에 다공성 플레이트가 설치된 경우의 압력손실을 나타낸 그림이다.

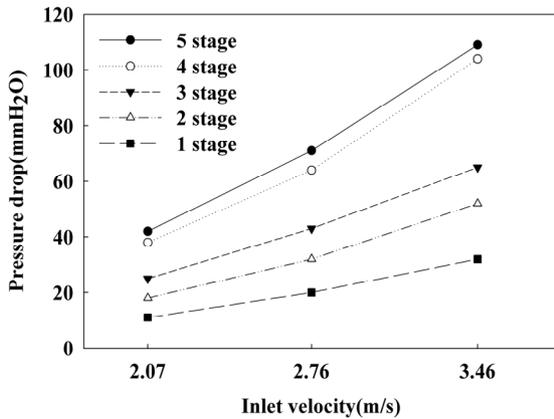


Fig. 8. Pressure drop with inlet velocity and stage number.

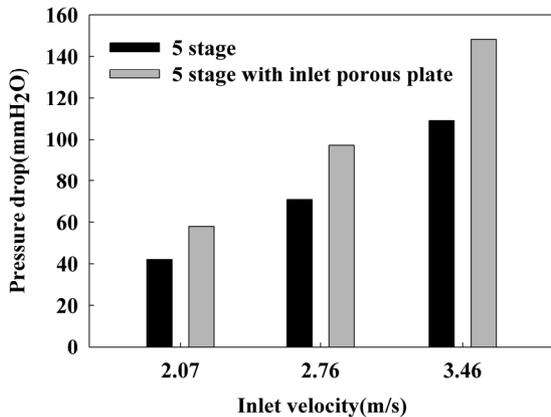


Fig. 9. Comparison of pressure drop with and without inlet porous plate.

본체 5 stage에 유입부 다공성 플레이트가 결합되어 있을 때  $v_{in} = 2.07, 2.76, 3.46$  m/s에서 58, 97, 148 mmH<sub>2</sub>O로 유속증가에 따라 본체 5 stage에 비해 압력손실 증가폭은 더욱 높게 나타난다.

### 전압-전류 특성

전기집진장치에서 인가전압과 이에 따른 전류 값은 중요한 설계인자로 방전극에 고전압을 인가하면 방전극과 집진판 사이에 형성된 전계를 따라 방전극에서 전자가 방출되는데 방전극 형상, 인가전압 등 다양한 요인에 따라 전류 값은 다르게 측정된다. 고전압 인가장치(KSC 한국 스위칭, 0~80 kV/0~20 mA)를 이용해 전압을 조절하고 이에 따른 전류 값을 측정했다 (Jae, 2008).

Fig. 10은 wire 방전극에서 인가전압에 따른 전압-전류 곡선을 나타낸 것이다.  $v_{in} = 3.46$  m/s에서 유입부 다공성 플레이트가 없는 경우 코로나 방전이 시작되는 전압 (방전 개시전압)은 11.6 kV이고 인가전압 20, 30, 40 kV에서 0.02, 0.10, 0.25 mA의 전류 값을 나타냈다. 유입부 다공성 플레이트가 있는 경우 방전 개시전압은 10.5 kV이고 인가전압 20, 30, 40 kV에서 0.03, 0.11, 0.27 mA로 유입부 다공성 플레이트가 없는 경우에 비해 0.01~0.02 mA 높은 전류 값을 나타내며, 코로나 전류는 인가전압의 증가와 함께 증가됨을 알 수 있다.

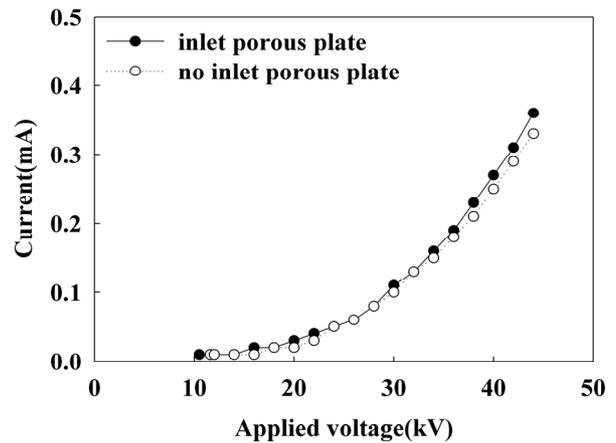


Fig. 10. Voltage-current with and without inlet porous plate. ( $v_{in} = 3.46$  m/s, wire discharge electrode)

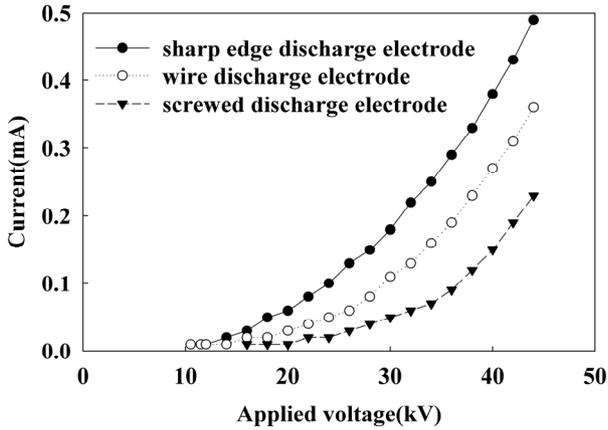


Fig. 11. Voltage-current with shape of discharge electrode. ( $v_{in} = 3.46$  m/s, with inlet porous plate)

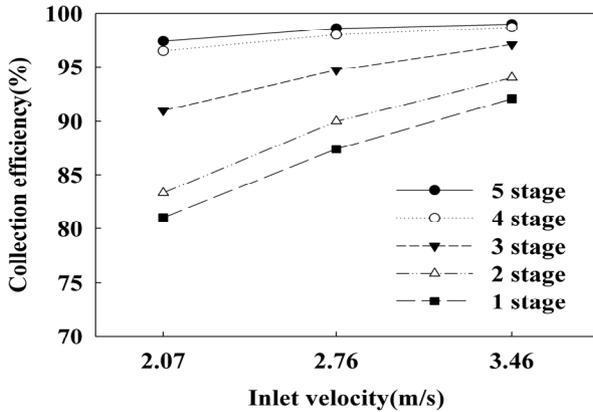


Fig. 12. Collection efficiency with inlet velocity and stage number.

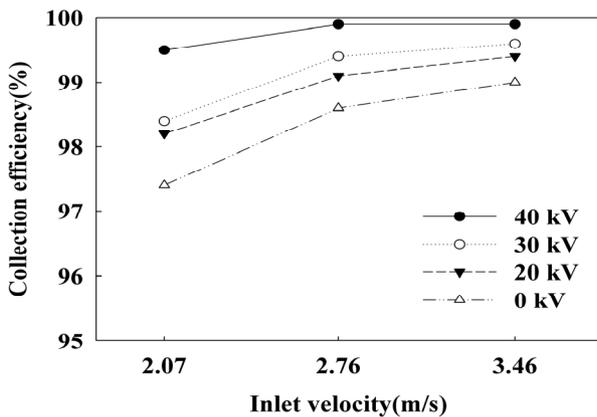


Fig. 13. Collection efficiency with inlet velocity and applied voltage. (wire discharge electrode, 5 stage)

Fig. 11은 방전극 형상에 따른 전압-전류 곡선이다. 유입부 다공성 플레이트를 설치하고  $v_{in} = 3.46$  m/s에 서 측정하였다. wire 방전극의 경우 코로나 방전 개시 전압은 10.5 kV이며, 인가전압 20, 30, 40 kV에서 0.03, 0.11, 0.27 mA의 전류 값을 나타냈고 screwed 방전극의 경우 방전 개시전압은 16.0 kV이며, 인가전압 20, 30, 40 kV에서 0.01, 0.05, 0.15 mA, sharp edge 방전극의 경우 방전 개시전압은 12.0 kV로 나타났으며, 인가전압 20, 30, 40 kV에서 0.06, 0.18, 0.38 mA의 전류 값을 나타냈다. 측정결과에서 보듯이 sharp edge 방전극의 경 우 동일 인가 전압에서 가장 높은 전류값을 나타냄을 알 수 있으며, 전기집진기에서 코로나 전류가 높을수록 입자 하전량이 높아져 집진효율이 증가하게 된다.

### 집진효율 특성

본 시스템의 집진효율에 영향을 미치는 주요 변수는 시스템 유입 유속, 본체 stage 수, 방전극 인가전압, 튜브 직경 등이며 중요 집진 메카니즘은 임팩션 효과, 난류 확산 및 전기력 등이 될 수 있다.

Fig. 12는 시스템 유입 유속 및 stage 수 변화에 따른 본 시스템의 집진효율 특성을 나타낸 것이다. 유입유속  $v_{in} = 2.07, 2.76, 3.46$  m/s (튜브통과 유속  $v_t = 9, 12, 15$  m/s)에서 1 stage의 경우 81.0, 87.4, 92.1%, 5 stage의 경우 97.4, 98.6, 99.0%의 높은 효율을 나타내었다. 유입유속이 증가하면서 임팩션 효과의 증대 및 난류강도에 의한 와류 확산효과가 부가되면서 집진효율은 상승한다 (Yoa, 2004). 임팩션 효과가 중요 메카니즘인 시스템에서 포집효율 50%의 절단입경 (cut-off diameter)은 식 (3)으로 표현된다 (Ji et al, 2001).

$$d_{p,cut} = \sqrt{\frac{9\mu D_t Stk}{\rho_p C_c v_t}} \quad (3)$$

여기서,  $d_{p,cut}$ 는 절단입경,  $\mu$ 는 가스의 점성계수,  $Stk$ 는 Stokes 수,  $\rho_p$ 는 입자밀도,  $C_c$ 는 커닝햄 보정 계수,  $v_t$ 는 튜브통과유속이다.

식 (3)의 절단입경보다 큰 입자는 모두 포집된다고 가정되므로 식 (3)에서 보는 바와 같이 유속이 증가함에 따라 절단입경은 감소하며, 이에 따라 집진효율이 증가함을 알 수 있다. 또한, stage 수가 증가할 때 임팩

션 메카니즘이 반복되면서 집진효율은 상승하지만 압력손실이 높아지기 때문에 효율과 더불어 최적의 시스템 설계가 요구된다.

Fig. 13은 5 stage에서 인가전압이 부가될 때 유입유속변화에 따른 집진효율을 나타낸 그림이다. 시스템 유입부의 전기집진부에 직경 1 mm의 wire 방전극을 장착하여 인가 전압 20, 30, 40 kV를 적용하였다. 전압을 인가하지 않은 0 kV인 경우  $v_{in} = 2.07, 2.76, 3.46$  m/s에서 집진효율은 97.4, 98.6, 99.0%, 인가전압 40 kV를 적용한 경우 동일 유입유속에서 99.5, 99.9, 99.9%의 높은 집진효율을 나타내며, 상대적으로 낮은 유입유속에서 고전압을 인가하였을 때 집진효율 상승폭은 더욱 증가됨을 알 수 있다.

전기 집진부의 입자 포집은 전기력에 절대적으로 의존되며, 전기력은 다음 식에 의해 표현될 수 있다.

$$F_E = qE, \quad E = \frac{\Delta V}{\Delta L} \quad (4)$$

여기서,  $F_E$ 는 전기력,  $q$ 는 입자의 하전량,  $E$ 는 전장강도,  $\Delta V$ 는 인가전압,  $\Delta L$ 은 방전극과 집진극과의 거리를 나타낸다.

위 식에서 표현된 전기력  $F_E$ 에 의한 집진극으로의 입자이동은 시스템 기류와는 수직방향으로 작용하기 때문에 기류속도가 높을 때 집진극으로의 입자의 이동 시간이 짧아지므로 포집효과가 감소될 수 있다.

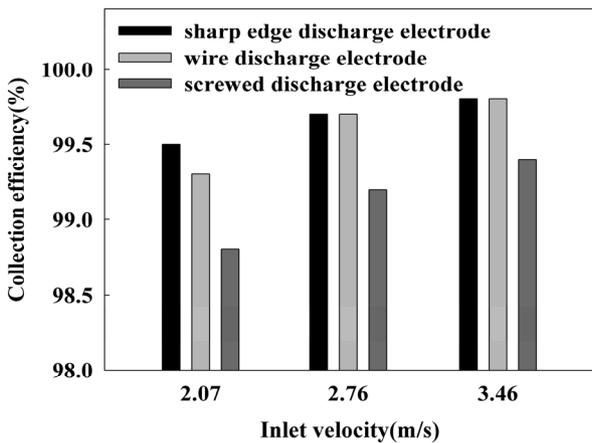


Fig. 14. Comparison of collection efficiency with shape of discharge electrode. (5 stage, applied voltage 30 kV)

Fig. 14는 5 stage, 인가전압 30 kV에서 방전극 형상 및 유입유속에 따른 집진효율을 나타낸 것이다.  $v_{in} = 2.07, 2.76, 3.46$  m/s에서 wire 방전극의 경우 99.3, 99.7, 99.8%, screwed 방전극은 98.8, 99.2, 99.4%, sharp edge 방전극의 경우 99.5, 99.7, 99.8%의 집진효율을 나타냈다. Fig. 12의 전압-전류 곡선에서 보듯이 screwed 방전극에 비해 wire 및 sharp edge 방전극에서 상대적으로 코로나 전류 발생이 증가되며, 이에 따른 높은 집진효율을 나타냄을 알 수 있다 (Kim et al, 2001).

### 결론

선박디젤엔진에서 배출되는 입자상 대기오염물질을 처리하기 위해 본 시스템은 전단부의 전기집진부와 다층 다단 임팩션 시스템 (본체)을 결합하여 소형어선 및 선박에도 적용 가능한 소형 장치규모로 99%이상의 고효율과 적정 압력손실을 유지할 수 있는 집진시스템이다. 본 시스템의 압력손실 및 집진특성을 해석하기 위해 시스템 유입유속, stage 수, 인가전압 및 방전극 형상 등의 물리적 변수들에 따른 실험을 수행하여 시스템 최적 설계를 위한 결과를 얻고자 하였다. 유입유속 및 단 수 증가에 따라 압력손실은 높아지며, 5 stage,  $v_{in} = 3.46$  m/s에서 최대 148 mmH<sub>2</sub>O 이하로 여과 집진장치 (150 mmH<sub>2</sub>O 이상)와 비교하여 적정 압력손실을 유지한다.

전기를 인가하지 않은 0 kV, 5 stage인 경우  $v_{in} = 2.07, 2.76, 3.46$  m/s에서 임팩션 및 난류 확산 효과에 의해 집진효율 97.4 98.6 99.0%를 나타내며, 인가전압 40 kV를 적용한 경우 전기력이 결합되어 99.5, 99.8, 99.9%의 높은 집진효율로 sharp edge 방전극에서 전기력 효과가 가장 높게 나타났다.

본 연구의 전기 다단 임팩션 시스템은 필터 사용 없이 적정 압력손실에서 99%이상의 고효율로 대유량을 처리할 수 있는 새로운 개념의 컴팩트형 집진 시스템이 될 수 있을 것으로 판단된다.

### 사사

본 연구는 2015학년도 부경대학교 자율창의학술연구비 (C-D-2015-0963) 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- Ahn KC, Kim BH and Lee GS. 2002. The Improvement of Collection Efficiency of Electrostatic Precipitator. *J KIIS* 72(4), 25-30.
- Bang SH. 2013. A comparison of electrical characteristics and collection efficiency of wet and dry ESP. Thesis for the Degree of Master of Engineering, Hanseo University, Korea, p 36.
- Cho BH and Kim JH. 1990. Air pollution prevention technology. *Dong Hwa Technol* 23, 260-322.
- Jae MG. 2008. Collection Characteristics of Electrostatic Multi-layer Multi-stage Porous Plate system. Thesis for the Degree of Master of Engineering, Pukyong National University, Korea, p 54.
- Ji JH, Bae GN and Hwang JH. 2001. Design and Performance Evaluation of a Three Stage Impactor. *J KOSAE* 17(6), 441-450.
- Kim HJ, Han BW, Cho GB and Kim YJ. 2012. Particle removal performance of a dry electrostatic precipitator for marine diesel engines and boilers. *Transactions of the KSME\_B* 5, 250-251.
- Kim IK and Yoa SJ. 2010. Collection Characteristics of Multi-layer Multi-stage Porous Plate System. *J Kor Soc Power Sys Eng* 14(5), 10-16.
- Kim YJ, Ha BK, Jeong SH, Hong WS, Ha DH and Yoo JS. 2001. A study on the Collection Characteristics of a Wide Plate-Spacing Electrostatic Precipitator - II. Effect of Wave Form of Pulse Energization-. *Kor J Air-Con and Refri Eng* 13(11), 1059-1064.
- Oglesby S and Nichols GB. 1978. *Electrostatic Precipitation*. MARCEL DEKKER inc., New York, USA, pp 1-10.
- Oh SH, Kim HK and Yoo BH. 2006. An Experimental Study on the Emission Characteristics of Diesel Particulate Matter. *Pro Kor Soc Mar Eng Con*, 93-94.
- Pak MS, Hong RJ and Han NH. 2009. A Study on the International Instruments of Air Pollution Prevention from Ships. *The Kor Ins Mar Law* 21(3), 1-36.
- Lee HS. 1995. A Theoretical Study of Fabric Filter Characteristics. *J App Sic Technol*, 4(1), 99-103.
- Lee YC and Doo HW. 2011. A Study on the IMO Regulations regarding GHG Emission from Ships and its Implementation. *J Nav Port Res* 35(5), 371-380. (doi : 10.5394/KINPR.2011.35.5.371)
- Yoa SJ and Jang CI. 2014. Collection Characteristics of wet-type rotating porous disk system for air pollutants removal of marine diesel engines. *J Kor Soc Fish Technol*, 50(3), 318-325. (doi : 10.3796/KSFT.2014.50.3.000)
- Yoa SJ. 2004. Study on the Collection Characteristics of Multi-stage Porous Plate System. Ministry of Trade, Industry & Energy, pp 11-44.

---

2015. 09. 17 Received

2015. 11. 25 Revised

2015. 11. 26 Accepted