

사각형 여과 집진기 충격기류 탈진시스템의 기초 연구

박승욱[†] · 김태형 · 양준호 · 이효우 · 하현철¹ · 정재훈²

창원대학교 환경공학과 · ¹(주)벤틱 · ²(주)K.E.M

The Fundamental Study on Pulse Jet Cleaning of Rectangular Bag-Filter System

Cheng Xu Piao[†] · Tae Hyeung Kim · Jun Ho Yang · Xiao Yu Li
Hyun Chul Ha¹ · Jae Hun Jung²

*Department of Environmental Engineering Changwon National University,
¹Ventech Corp · ²K.E.M Corp*

Bag-filter system has been widely used in industrial field to remove the particulate matters from the exhaust gas. The cylindrical type of bag-filter has been generally used. But it has many shortcomings. The reattachment of separated particles on the surface of bags could result in high pressure drop of bag-filter system and subsequent decrease of air flow rate since the cylindrical type bag-filter system should have the upward flow pattern. In addition, the supply of very high pressure pulse air jet to remove particulate matters on the surface of filter could result in a frequent rupture of bags. To overcome these shortcomings of the cylindrical type, the rectangular type was developed in the developed countries and imported to Korea. But, there was not many design data available to understand the mechanisms. Thus, the fundamental experiments were conducted in this study

to get some ideas about the pulse jet cleaning of rectangular type bag filter system. The experimental factors are as follows; pulse distance, pulse duration, pulse interval, pulse pressure and pulse nozzle type. Experiments followed the factorial design method. With the shorter pulse distance, the distribution of pressure drops was relatively not uniform while the particulate removal efficiency was higher. With the longer duration of pulsing and the more number of pulse nozzle, the removal efficiency was higher and the pressure drop distribution was more uniform.

Key Words : Bag Filter, Rectangular Type Bag Filter, Pulse Jet Cleaning, Pulse Nozzle

접수일 : 2007년 12월 28일, 채택일 : 2008년 6월 26일

† 교신저자 : 박승욱 (경남 창원시 사림동 창원대학교 환경공학과,

Tel: 055-213-3745, Fax:055-287-8288, E-mail: chengxu718@hanmail.net)

I. 서론

여과집진은 처리가스에서 먼지를 제거하는 가장 오래되고 널리 사용되는 방법이다. 특히 주조 및 용접공정과 같이 미세분진이 다량 배출하는 공정에서는 작업환경뿐만 아니라 주변지역 대기질 확보를 위해 기후조건이나 분진의 종류 그리고 작업공정에 관계없이 성능이 안정적이고 높은 집진 효율 유지가 가능하기에 그 사용비율이 점점 늘어나는(50% 이상) 추세를 보이고 있어 집진기 분야에서는 국내외적으로 가장 큰 시장을 형성하고 있다.

여과 집진기는 여과포에 부착된 분진의 탈진방식에 따라 충격기류 탈진(Pulse-jet), 역기류 탈진(Reverse Air), 진동탈진(Shaking) 등이 있다. 그 중에서 충격기류 탈진방식은 집,탈진 효율이 높고 장치가 소형인 장점을 가지고 있어 각 업체에서 비교적 많이 사용하고 있다. 하지만 충격기류(Pulse-jet) 탈진 방식에서 넓은 설계와 시공의 문제점으로 인하여 필터에 부착된 분진을 고르게 탈진시키지 못하는 현상이 발생한다. 따라서 시스템 차압이 증가하여 송풍기의 효율을 저하시키는 결과가 초래하기도 한다. 이런 현상이 발생하였을 때 간단한 해결방법으로 분사압력을 증가 하던가 아니면 분사주기를 짧게 조정하는 방식을 채용하는 경향이 있는데 이런 방식은 비록 처음에는 효과가 보이겠지만 시간이 길어지면서 문제점도 발생한다. 즉 압축공기에 의한 충격 에너지가 필터에 골고루 전달되지 않는 상태에서 근본적인 문제를 해결하지 않고 분사압력만 증가할 때 증가된 충격에너지가 필터의 특정부분에 집중됨으로서 탈진효율의 증가목적은 이루지 못하고 오히려 필터의 특정부분에 손상을 줄 수 있으며 또한 너무 빈번한 탈진주기는 필터의 피로파괴의 주원인으로서 장기간 사용 시 필터재의 연결부위를 파손시켜 필터의 사용 수명을 감소시키는 결과를 불러오기도 한다.

여과집진기의 특정상 필터 자체 및 필터 표면에 부착된 분진에 의한 압력손실로 인하여 처리효율의 저하, 운전유지비와 설치비가 증가하는 단점도 있다. 이를 최대한 극복하기 위한 조치로서 국내외적으로 융합형 복합기능시스템 개발이 활발하게 진행되고 있는데 이러한 여과 집진 장치는 기존 집진시스템의 바탕 하에서 다른 집진원리를 접목하여 하이브리드(Hybrid) 집진 시스템을 구성하는 방법인데 주로 여과 집진장치 전단에 원심력 집진장치를 설치하여 분진부하를 저감하거나 또는 여과 집진장치 전단에 전기 집진장치를 접목시키는 기술 등이 있다. 비록 이런 기술들은 이론적으로 볼 때 여과 집진기의 단점을 최소화하는 이상적인 방법들로서 충분한 연구가치가 있으며 또한 실제 실험연구 및 실사용 검증을 걸쳐 매우 이상적인 결과들이 나오고 있지만 이러한 시스템을 구성하려면 그에 상응한 초기 투자비용과 유지관

리비용의 증가로 인하여 대부분 중소기업체들은 이러한 시스템의 사용에 거부반응을 보여 광범위한 시장진출이 제한을 받고 있다.

합리적인 설계방안과 운행방식의 선택은 집진기의 초기 투자비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 여과 집진기의 집, 탈진 효율을 높이고 필터의 사용수명을 늘이며 송풍기의 성능을 최대한 발휘하여 시스템의 유지 및 보수비용을 절감하는데 매우 중요한 작용을 하고 있다. 비록 여과 집진기의 설계, 운영요소는 매우 많지만 대부분 요소들은 국내외의 연구인(혹 연구진)들의 상응한 연구결과와 사용업체들의 실사용 검증 결과가 있기에 이를 바탕으로 더욱 우수한 설계방안과 운전 방식을 도출해낼 수 있는 기초가 마련되어있다. 현재 국내의 여과 집진기의 사용현황을 살펴보면 상방기류방식의 원통형 백필터 형태가 대부분인데 따라서 그에 따르는 연구도 매우 활발하게 진행되어 그 수준도 상당히 높은 단계에 있다고 사료된다.

본 연구에서는 주로 하방기류형 사각형 백필터를 연구대상으로 진행하였다. 그것은 하방기류형 사각형 시스템은 위에서 서술한 하이브리드 집진 시스템을 구성하지 않고도 현재 산업체에서 많이 사용하고 있는 상방기류형 원통형 시스템이나 국외에서 인입한 서랍형 시스템 등이 존재하는 일부 단점들을 극복할 수 있는 대체방안으로서의 연구 필요성이 있다고 판정되었기 때문이다. 단순한 이론적인 측면에서 볼 때 하방기류형 사각형 시스템은 적층이 가능하므로 상방기류형 원통형 시스템에 비해 설비가 차지하는 부지면적이 적고 기류의 흐름형태를 볼 때 탈진분진의 재 비산이 적으며 또한 노즐의 위치가 상대적으로 고정되어있어 서랍형 시스템의 레일의 이격현상 등으로 인한 분사위치의 이탈현상 등 단점을 극복할 수 있어 중소기업체들의 긍정적인 평가를 받고 있다.

국내외의 문헌자료들을 살펴보면 사각형 백필터 시스템은 원통형 백필터 시스템에 비해 상용화된 시간이 짧아 그에 따르는 연구가 상대적으로 적어 각자 성능의 유사점과 차이점에 대한 연구결과가 여전히 미비한 상태이다. 그러므로 본 연구를 통하여 사각형 여과집진기의 각종 성능을 테스트하여 기존의 원통형 시스템과 비교분석 하는 것이 본 연구의 목적이다.

II. 연구방법

본 연구는 이론적인 분석을 바탕으로 주로 두 가지 실험 연구방법을 채용하였는데 첫째는 전체 실험과정에서의 시스템 차압을 측정하여 부동한 실험조건에서의 집, 탈진효

율을 분석하는 것이고, 둘째는 매번 실험이 끝난 후 실험에 사용된 필터 각 부위의 차압을 측정하여 필터의 상대차압의 크기와 분포를 재확인하는 방식으로 시스템차압 측정결과를 점검하고 탈진 후의 필터차압의 균일정도를 분석하는 것인데 시스템차압이 낮을수록 필터차압의 분포가 균일할수록 전체필터표면에서의 탈진효과가 우수하다고 판정한다.

상방기류 원통형 여과집진기와 하방기류 사각형 여과집진기의 이론적 측면에서의 유사점과 차이점에 대하여 연구를 진행하는 동시에 실험연구를 통하여 여과집진기의 기본 성능에 영향을 줄 수 있는 각 요소들의 영향정도 및 추세를 찾아내어 사각형 여과집진기의 특성을 연구하였다.

III. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

1) 시료분석

본 연구에 사용한 실험용 분진은 M사 알루미늄 용해공장의 여과 집진기에서 포집된 산화알루미늄 분말로서 사용 전

에 체분리(#100)를 통하여 불순물을 제거하고 110℃의 전기 건조로에서 12시간이상 건조하여 분진습기를 제거한 후 상온에서 30분 이상 냉각시켜 사용하였다.

실험에 사용한 분진의 입도분포는 레이저 회절 산란법(Laser Diffraction Scattering)을 이용하여 분석하였다. [Fig 1]에서 분진의 입경분포는 1~100µm 범위이며 대부분 20µm 전후로서 예비실험 차원에서 기타 여러 종류의 분진으로 대비실험을 진행하여 위 시료의 실험 사용가능성을 입증하였다.

2) 여과재

본 연구에서 사용한 여과재는 현재 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있는 재료인 POLYESTER(PE) 발수포를 사용하였다. 이런 여과는 PTFE(Polytetrafluoroethylene)소재를 일반 부직포위에 열융착 시킨 것으로서 일반 여과재보다 설치 전에는 낮은 공기투과도를 갖고 있으나 일단 설치 후 가동되기 시작하면 탈진이 잘 이루어지고 분진의 필터내부로의 침투가 적어 지속적인 낮은 차압을 유지할 수 있다. Fig 2는 필터의 규격으로서 현재산업체에서 많이 사용하고 있는 필터의 크기를 기준으로 선정하였는데 그 규격은 L×W×H=1500×300×50mm이다. 필터재질의 물리적 성질은 Table 1에서 표시하고 있다.

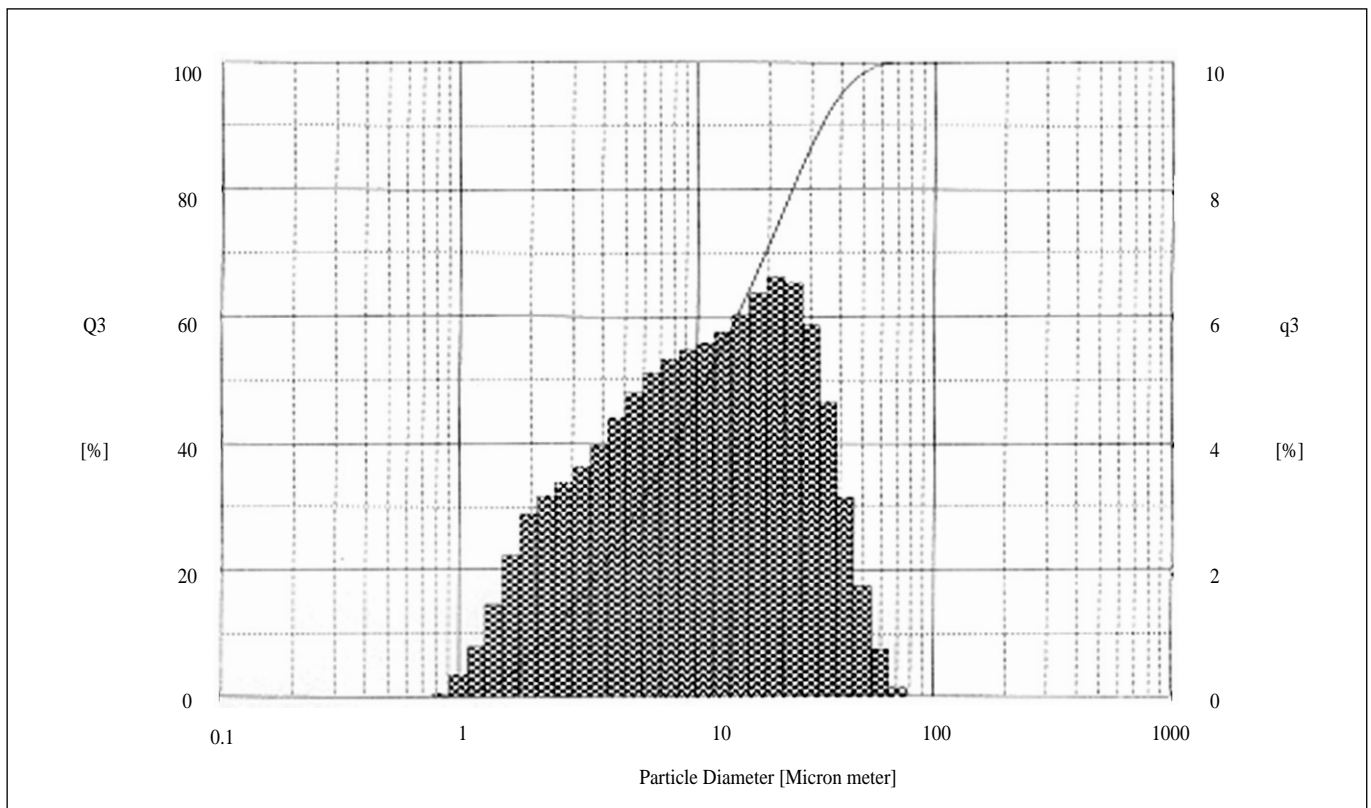


Fig.1. Particle size distribution of test dusts

2. 실험장치 및 방법

본 연구는 Fig 3과 같이 단일필터 실험장치를 제작하여 실험에 사용하였다. 필터규격은 $L \times H \times W = 1500 \times 300 \times 50(\text{mm})$ 이다. 소형 Screw 분진주입기(②)의 속도조절 Dial을 회전시켜 분진공급량을 조절하고 Compressor(④)로는 분사압력, Jet nozzle(⑦)의 이동으로 는 분사거리, Timer(⑧)로는 분사시간과 분사주기, 여과속도는 Damper(⑩)와 Blower(⑪)로 조절하였고 Computer(⑫)와 Micro manometer(⑬)로 매 10sec에 한번씩 시스템의 차압을 자동 측정하여 기록하였다. 시스템 차압의 변화를 기록하여 수치화하는 것은 전체 시스템에서 발생하는 집진, 탈진효과를 분석할 수 있는 중요한 인자로서 이 과정을 통하여 각 요소들의 집, 탈진효율에 주는 영향정도를 판단할 수 있다.

본 연구에서는 시스템차압을 측정하는 동시에 필터 각 부위의 최종차압분포를 측정하여 분석에 사용하는 연구방식을 채용하였다. Fig 4는 자체개발한 필터차압측정 장치로서 매번 실험이 완료 후 그림에서 표시한 것처럼 좌,우 각각 30개의 점을 선택하여 상대차압을 측정하는 방식으로 부동한

조건에서의 상대차압 분포를 측정하였다.

시스템차압 변화와 필터차압 사이에는 필연적인 연관성이 있다. 하지만 충격기류 탈진방식의 특성상 필터 각 부위의 차압이 균일하건 불균일하건 간에 시스템차압이 동일하게 나타낼 가능성이 존재한다. 일부 특정부위가 과도하게 탈진되고 일부 부위가 탈진이 잘 이루어 지지 않았을 경우에도 탈진이 비교적 균일하게 이루어졌을 때와 일정한 시간 내에는 거의 동일한 시스템차압변화를 나타낼 수 있다. 그것은 시스템 차압의 변화는 필터특정부위의 차압변화에 관계없이 필터전체의 차압변화를 표시하기 때문이다.

송풍기성능을 최대한 발휘하고 필터의 수명을 최대한 연장하려면 시스템차압이 낮을 뿐만 아니라 필터의 차압분포가 상대적으로 균일해야한다. 본 실험연구에서는 시스템차압 측정결과를 주요인자로 하고 필터차압분포 측정결과를 보조인자로 하여 분석에 사용하였다. 즉 대부분 경우에 시스템차압이 낮을 때 탈진효율도 우수하다고 판정하지만 시스템차압이 동일하거나 비슷할 경우에는 필터차압분포가 균일한 조건을 더욱 적정한 조건으로 최종 판정하였다.

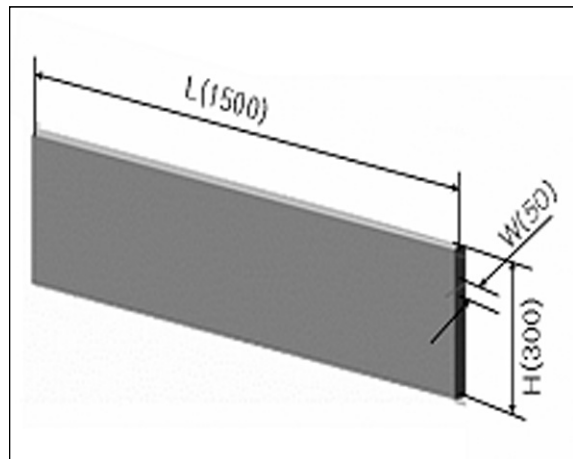


Fig.2. Standard bag filter

Table 1. Major properties of fabric

Weight unit (g/m^2)	550 ± 30
Ventilation rate ($\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$)	1.9 ± 0.2
Expansibility (Length, Kg)	160 ± 20
Expansibility (Width, Kg)	180 ± 20
Rate of expansion (length, %)	35
Rate of expansion (Width, %)	35
Strength of explosion (kg/m^2)	50 ± 10
Temperature of using ($^{\circ}\text{C}$)	94

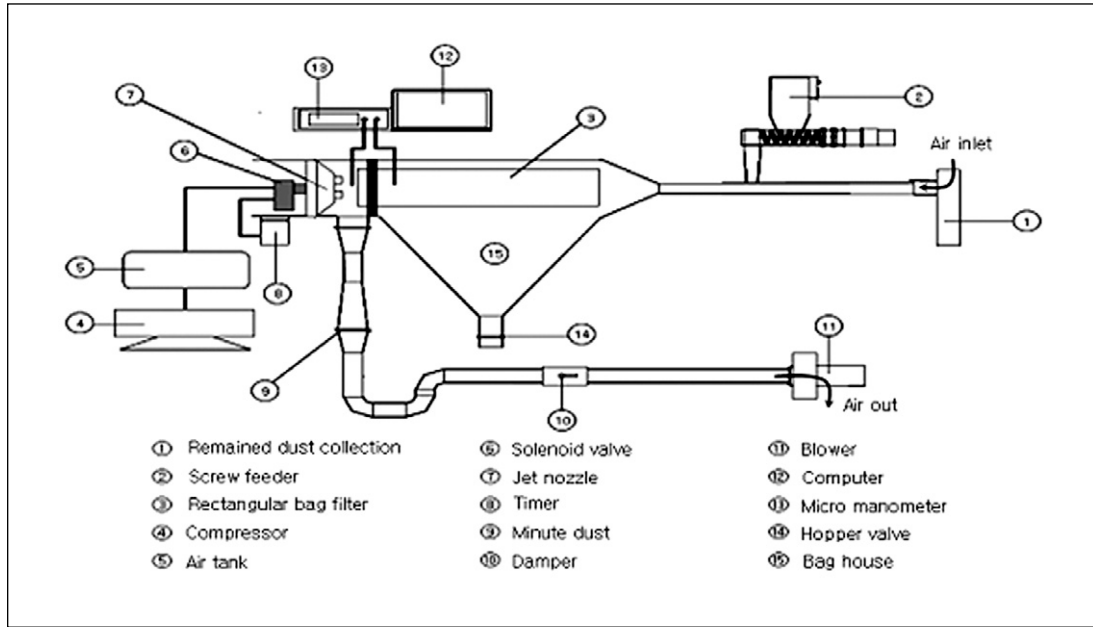


Fig.3. Schematic diagram of experimental equipment

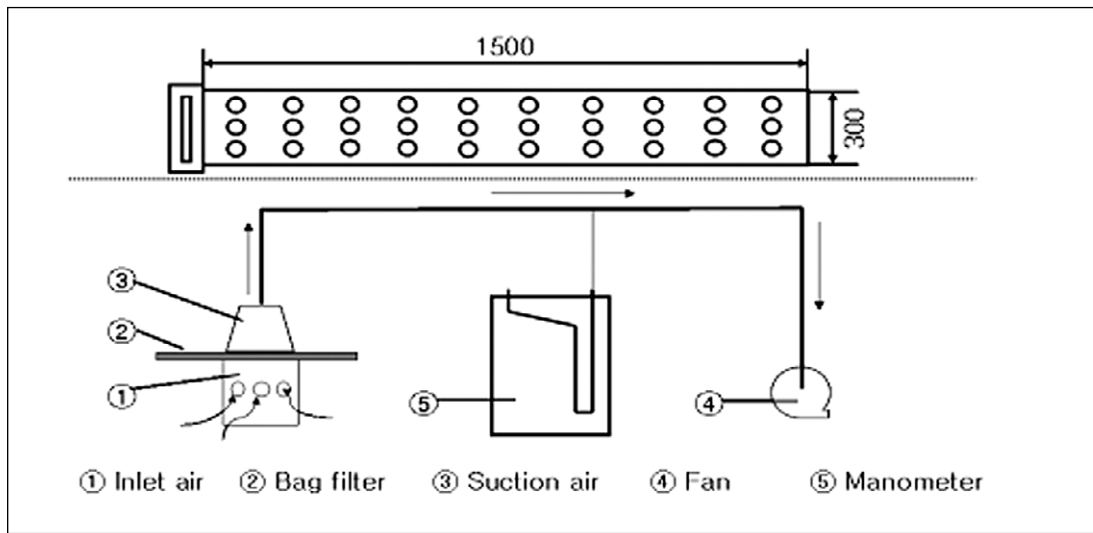


Fig.4. Diagram of equipment for testing filter pressure-drop

IV. 연구결과 및 고찰

2. 실험결과

1. 실험조건

[표2]는 본 연구의 전체 실험조건들을 나열하였는데 매요소의 영향정도를 측정하기 위하여 Bag material, Sample dust, Dust concentration은 Stationary conditions로 두고 Changeable conditions를 변화시키면서 비교실험을 진행하여 최종분석에 사용하였다.

1) 분사거리에 따른 변화

분사거리는 탈진효율에 일정한 영향을 주고 있다[Fig 5]. 즉 분사거리가 0일 때 탈진효율은 분사거리가 10cm와 20cm보다 우수하다(시스템 평균차압이 낮음). 분사거리가 10cm와 20cm일 때에는 처음에는 탈진효율이 다소 차이를 보이지만 실험시간이 흐름에 따라 그들 사이의 탈진효율은 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 분사압력 3kgf/cm² 이상에서 압축공기의 분사속도가 매우 크기 때문에 분사거리 20cm 미만에서는 탈진효율이 큰 차이를 보이지 않고 있다(황계순, 공성

Table 2. Experimental conditions.

General conditions	
Bag material	PE (Polyester)
Sample dust	Al ₂ O ₃
Dust concentration	30 g/m ₃
Cleaning conditions (* Standard conditions)	
Face velocity	1, 1.65* m/min
Pulse distance	0, 10*, 20 cm
Pulse time	0.1, 0.2, 0.3* sec
Pulse pressure	2, 3*, 4 Kg/cm ²
Pulse interval	5, 10* min
Nozzle type	2N*, 3N, T (Type)

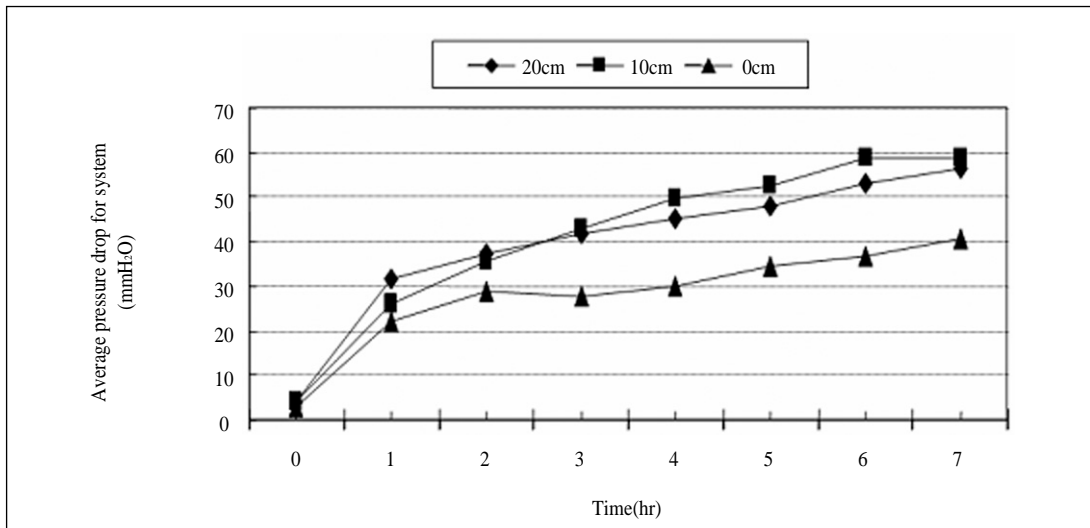


Fig.5. Average pressure drop for system-Influence of pulse distance

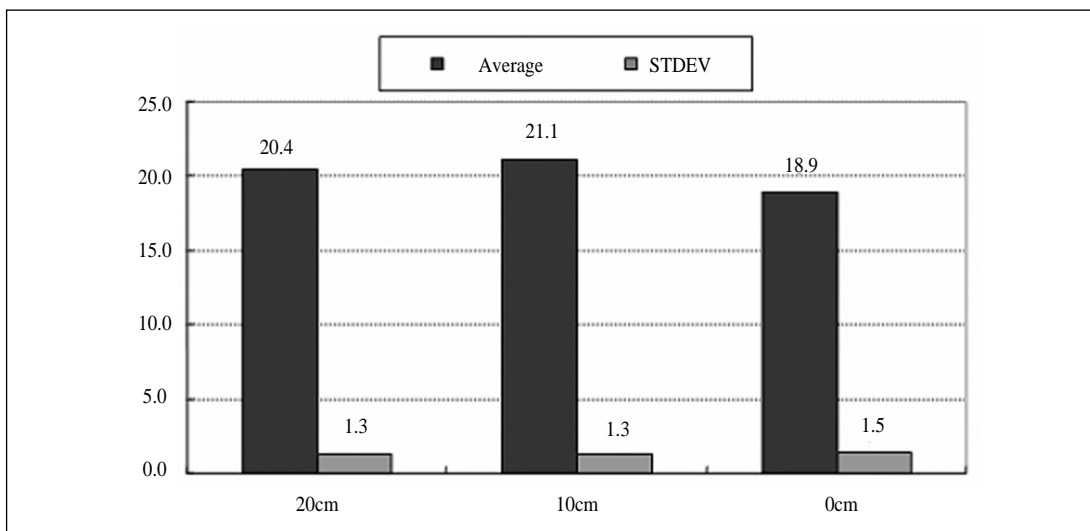


Fig.6. Average pressure drop for filter-Influence of pulse distance.

용.1997). 하지만 이 결과는 기존의 원통형 여과집진기의 탈진 성능에 관한 또 다른 연구결과(김선태 등.2004)와 다소 차이가 있는데 그 연구결과에 따르면 분사거리가 11cm일 때 탈진 성능이 제일 우수하고 분사거리가 커지거나 작아질 때 모두 탈진 성능이 저하되며 분사거리가 5cm일 때에는 시스템 차압이 더욱 큰 폭으로 증가되어 11cm일 때보다 1.8~2배까지 이른다는 연구결과가 나왔지만 사각형 여과집진기에서는 이와 반대로 분사거리가 작아질 때 오히려 시스템차압이 감소하는 추세를 보이고 있다. 이러한 기존의 연구와 모순되는 점들에 대하여는 앞으로 더욱 심도 깊은 연구와 실사용 검증 등을 걸쳐 그 진위를 판단하여 볼 필요가 있다.

Fig 6에서 나타난 필터차압의 변화는 세 가지 조건에서 모두 비슷한 추세를 보이고 있는 동시에 차압표준편차도

1.3~1.5사이로 비교적 작다. 다만 분사거리가 0cm일 때 탈진 효율은 기타 두 조건에 비해 우수하지만(필터차압이 낮음 18.9 : 20.4~21.1) 차압의 표준편차는 크다(1.5 : 1.3). 이는 분사거리가 0cm일 때 비록 시스템차압은 낮지만 필터 각 부위의 탈진정도가 다른 두 조건보다 불균일함을 설명한다. 기존 연구에서 필터차압의 크기와 분포에 대한 기재가 상대적으로 부족하고 본 연구에서 나타난 결과가 이론적으로 해석이 가능하기 때문에 위에서 나타난 실험결과를 그대로 인정하기로 한다.

2) 분사압력에 따른 변화

분사압력은 탈진효율에 절대적인 영향을 주는 요소로서 분사압력이 증가할 때 탈진효율도 자연히 증가한다[Fig 7]. 그것은 분사압력이 증가할 때 역기류의 유량도 따라서 증가

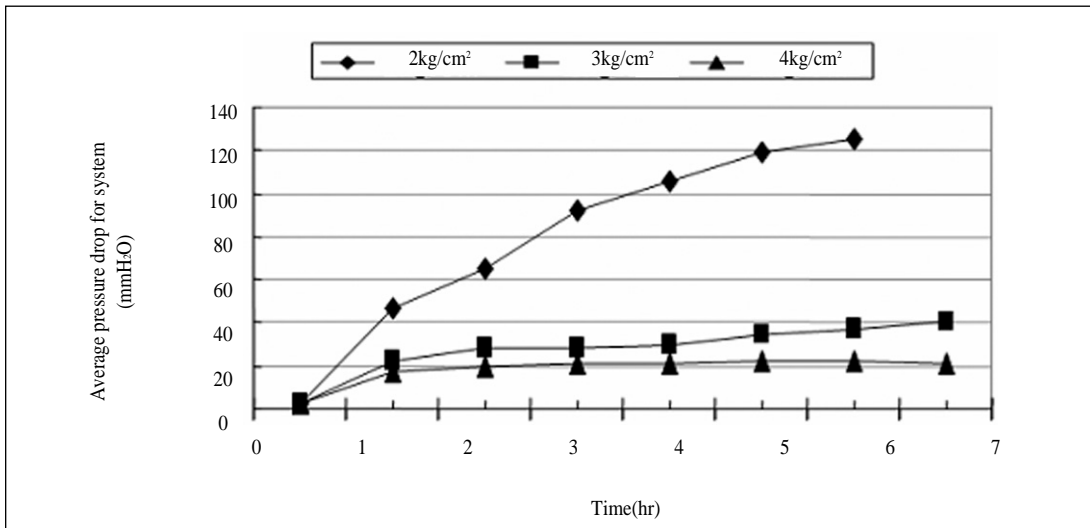


Fig.7. Average pressure drop for system-Influence of pulse pressure

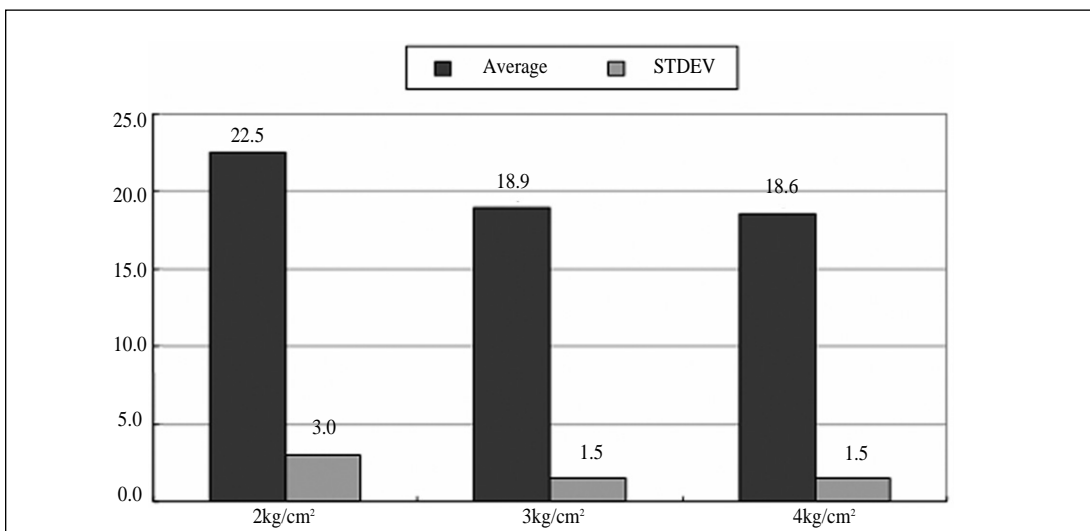


Fig.8. Average pressure drop for filter-Influence of pulse pressure

하며 벤츄리를 통한 외부기류의 유입도 증가되기 때문이다. 압력변화를 실험요소로 진행된 기존의 모든 연구결과는 이 점을 입증하여 주고 있다. 다시 말하면 분사압력이 증가할 때 여과집진기의 형태와 모양에 관계없이 탈진효율이 증가한다는 점이다. 하지만 분사압력의 과도한 증가는 필터에 형성된 가교를 너무 빈번히 파괴하기 때문에 미세분진이 더욱 쉽게 필터를 통과하여 청정공기와 함께 외부로 배출되며 동시에 미세분진이 더 빠른 시간 내에 필터내부에 침투 되적되어 짧은 시간에는 그 영향을 느끼지 못하지만 사용시간이 길어질 때 시스템차압의 증가를 불러온다. 또한 분사압력의 과도한 증가는 Bag filter 여재 손상의 주원인으로서 탈진효율을 높이려는 목적으로 분사압력을 한계이상 높인다면 오히려 필터파손 등 역효과가 발생할 수 있다. 분사압력이 낮을 때 비록 탈진압력은 낮지만 압력분포는 더 균일해진다(황계순, 공성용.1997). 즉 탈진에 사용하는 분사압력은 탈진이 원활하게 이루어지는 선에서 마무리 할 때 여과집진기의 에너지 소모를 최대한 줄여줄 것이며 동시에 필터의 사용수명도 최대한 연장할 수 있다.

Fig 8은 위에서 서술한 분사압력에 따른 영향을 입증하고 있다. 2kgf/cm²일 때 3kgf/cm²와 4kgf/cm²에 비해 필터차압(22.5 : 18.9~18.6)이 높을 뿐만 아니라 표준편차(3.0 : 1.5~1.5)도 크다. 발수포의 특성으로 인하여 필터차압의 변화는 주로 탈진 후에도 여전히 필터외부에 부착되어 있는 분진량의 다소(多少)와 부착력의 대소(大小)에 의하여 발생되는데 2kgf/cm²일 때 탈진이 후자에 비해 잘 이루어지지 않아 필터차압이 증가할 뿐만 아니라 그 자체의 에너지 부족으로 입구 가까운 부분만 탈진이 이루어지고 입구에서 멀어지면 점차 탈진이 잘 이루어 지지 않아 필터차압이 증가할 뿐만 아니라 차압의 표준편차도 증가한다. 하지만 분사압력 3kgf/cm²와

분사압력 4kgf/cm²일 때의 결과를 비교하여 보면 분사압력이 클 때 시스템차압이 낮기에(Fig 7) 탈진효율이 다소 높아진다고 볼 수 있지만 필터차압과 그 표준편차는 큰 차이가 없다(Fig 8). 앞에서 서술한 내용에서 높은 압력에서의 장시간의 탈진은 필터수명에 영향을 주게 됨으로 소 규격 필터소재를 사용할 때에는 필터차압과 그 표준편차가 큰 차이가 없고 분사압력의 증가가 탈진효율에 현저한 증가를 도래하지 않기 때문에 가능한 저압탈진방식을 채용하는 것이 바람직하다.

3) 분사시간에 따른 변화

분사시간이 길수록 탈진효율도 높아진다(Fig 9). 이는 대체로 분사시간이 길수록 압축공기 저장탱크에서 나오는 압축공기량이 증가하기에 필터를 역투과하는 공기량과 투과시간이 길어지면서 탈진이 잘 이루어지는 것이라 사료된다. 사실상 충격기류 탈진은 비록 짧은 시간이지만 대부분 2단계 과정을 걸쳐 이루어지는데 첫 번째 단계는 진동파로 인한 분진케이크의 파쇄과정이고 두번째 단계는 파쇄된 분진케이크가 역기류의 흐름을 타고 필터표면에서 이탈되는 과정이다(Simon.2006). 분진케이크를 충분히 파쇄 시키려면 그에 상응한 충격파가 형성되어야 하는데 이는 주로 분사압력에 의한 진폭 즉 파장과 분사시간에 의한 주파수(분사시간은 주파수에 역 비례함)가 필터에 부착된 분진케이크를 파쇄할 수 있는 조건에 부합되어야 한다. 또한 파쇄된 분진케이크를 필터표면에서 이탈 시키려면 그에 필요한 충분한 량의 역방향 후속공기가 있어야 하는데 분사시간이 증가할수록 역방향 후속공기가 충분하여 탈진이 잘 이루어질 것이라 판단된다. 하지만 여기에서 두가지 유의해야할 점이 있는데 하나는 충격기류에 의하여 여과백의 입구 쪽으로 유입되는 공기량은 분사할 때 압축공기 저장탱크에서 나오는 공기량(1차 공기량)과 분사된 압축공기로 인하여 벤츄리 등으로 유입되는

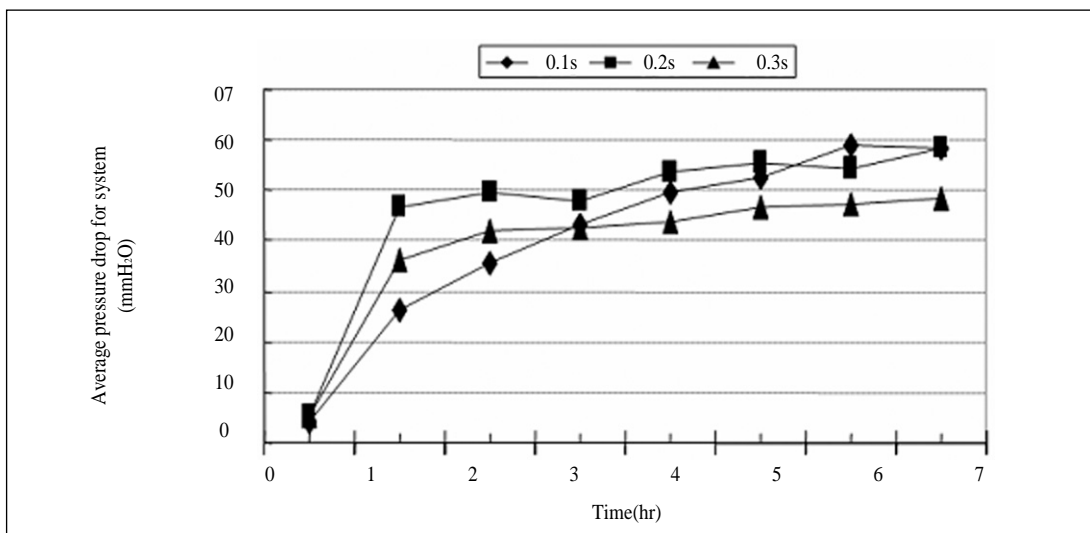


Fig.9. Average pressure drop for system-Influence of pulse time

2차 공기량을 합한 것으로서 2차 공기량은 반드시 분사시간에 비례하여 증가하는 것이 아니다(황계순.공성용. 1997)는 점이고 다른 하나는 분사시간이 길어질 때 충격파의 주파수가 작아져 특정된 분진케이크를 파괴시킬 수 있는 최적의 주파수에 미달하였을 때 오히려 분진케이크의 파괴가 잘 이루어지지 않아 탈진효율이 저하되는 결과를 초래할 것이다.

기존의 원통형 여과집진기의 연구에서는 분사시간을 대부분 0.1s로 선정하여 진행하였고 또한 현재 여과집진기 사용업체에서 설정하여 사용하는 분사시간 역시 대부분 0.1s로 하고 있다. 이는 원통형 시스템에서의 최적의 분사시간은 0.1s임을 실험연구와 실사용결과로 입증되었음을 의미한다. 하지만 본 연구에서는 분사시간이 길어질 때 탈진효율이 높아지는 결과가 나왔는데 분사시간이 무한정 길다고 하여 탈진효율이 높아지는 것은 아니겠지만(위에서 설명한 두가지 유의점에서) 분사시간은 일정한 범위 내에서 탈진효율에 비례하는 것만은 사실이다. 이는 사각형 여과집진기와 원통형 여과집진기의 구조상의 차이로 인하여 발생한다고 사료된다. 즉 원통형 여과집진기의 여과백은 입구가 위로 향해 매 달려 있는 상태로 그 자체의 형상유지는 백 케이스의 영향을 상대적으로 적게 받아 자유도가 높기에 탈진 시 저진폭, 짧은 주파수에서도 진동이 발생하여 분진케이크를 파괴할 수 있지만 사각형 여과집진기는 입구가 횡으로 향하고 있어 백 필터의 형상유지는 주로 백 케이스에 의하여 이루어지고 있어 필터의 자유도가 낮아 탈진 시 원통형에 비해 더욱 큰 충격압력과 더욱 많은 후속공기량을 필요할 것이라고 판단된다. 상술한 점을 실험과정에서 나타난 또 다른 현상으로 설명할 수 있다. 즉 실험과정에 필터의 상부에 분진이 퇴적되는 현상인데 이 부분의 탈진은 상당히 어려웠고 시간이 흐를수록 따라 퇴적양도 증가하였다. 이는 사각필터의 특정상 이

부분은 필터자체중량 및 실험과정에서 필터에 부착된 분진중량 등 원인으로 필터의 상부는 백케이스에 밀착되어 있어 거의 자유도가 없기에 충격기류를 분사할지라도 이 부분만은 충격기류의 영향을 매우 적게 받아 탈진이 힘들어 지면서 시간이 흐를수록 점점 더 많은 분진이 퇴적되게 된다. 이는 사각형 여과집진기는 그 자체의 특유한 탈진성능을 보유하고 있어 원통형 여과집진기의 탈진요소들을 참고로 할뿐 그대로 적용할 수는 없다는 점을 설명하여 주고 있다.

Fig 10의 필터차압의 크기는 0.3s일 때 0.1s와 0.2s일 때에 비해(15.9 : 21.1~20.6) 작을 뿐만 아니라 그 표준편차(0.5 : 1.3~1.2)도 작다. 이는 분사시간이 0.3s일 때 탈진효율도 높을 뿐만 아니라 필터전체에서 탈진이 기타 조건에 비해 균일하게 이루어지고 있음을 설명한다.

4) 여과속도에 따른 변화

여과속도의 변화는 초기에는 시스템차압에 큰 영향을 주지 않지만 시간이 길어짐에 따라 여과속도가 클 때 탈진효율도 떨어짐을 알 수 있다(Fig 11). 이는 발수포의 고유의 성능에 의하여 시작단계 즉 차압상승단계에는 여과속도가 탈진효율에 큰 영향을 주지 않지만 시간이 길어짐에 따라 여과속도가 클 때 분진의 필터표면 부착력이 커지고 필터표면에 부착된 분진량도 증가하면서 점점 탈진이 어려워지기 때문이다. 여과속도가 여과집진기의 성능에 주는 영향에 대하여 기존의 연구문헌들을 살펴보면 대부분 본 연구결과에 접근하거나 혹은 그 변화추세가 본 연구결과와 일치하다. 이는 본 연구에서의 여과속도의 영향은 사각형이나 원통형이나 모두 동일한 영향추이를 보이고 있음을 증명필터차압의 크기와 분포를 보면 여과속도의 변화는 필터차압의 크기에 비례한다(Fig 12). 이는 상술한 시스템차압의 변화결과를 뒷받침하여 주는데 필터차압의 크기는 (21.1:16.5)로 여과속도에 비

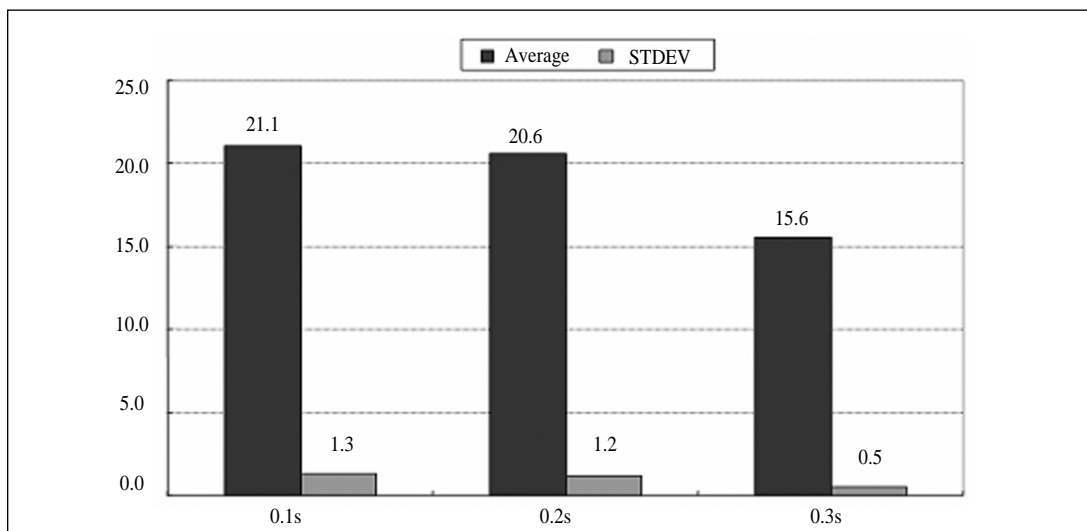


Fig.10. Average pressure drop for Filter-Influence of pulse time

레한다. 하지만 필터차압의 표준편차는 오히려 여과속도에 역비례 하는데 이는 여과속도가 작을 때 필터의 탈진은 어느 특정부위가 잘 이루어지기(입구부위와 제일 안쪽) 때문이다.

5) 분사주기에 따른 변화

분사주기에 따른 차압변화는 분사주기가 짧을수록 탈진 효율도 우수하다[Fig 13]. 기존의 연구결과를 살펴보면(서정민,김선태 등 2004) 고농도 일수록 분사거리의 영향보다 탈진주기가 더 큰 영향인자이며 일정한 농도에서는 분사주기가 짧을수록 시스템차압이 작고 탈진효율도 높아진다. 이는 본 연구의 실험결과와 그 추세가 일치하여 분사주기의 영향은 사각형과 원통형이 같다고 판정된다. 하지만 설비성능 자체의 제한으로 분사주기를 너무 짧게 할 수는 없고 또한 너무 빈번한 탈진은 필터의 특정부위 즉 미싱부분 등에 피로파

괴가 올 수 있으므로 여과집진기 운전 시 적절한 분사주기를 선정하여 사용하여야한다. 분사주기에 따른 시스템차압의 변화를 동반해 분사주기가 짧을 때 필터차압도 탈진효율의 증가로 인하여 작아진다.(17.3 : 21.1)[Fig 14] 또한 그편차도 비슷하여(1.4 : 1.3) 분사주기의 변화가 필터차압의 편차에 큰 영향을 주지 않음을 설명한다.

6) 노즐형태에 따른 변화

원통형 여과집진기는 Bag입구의 형태가 원형이므로 대부분 1백-1노즐의 방식을 취한다. 하지만 사각형 여과집진기는 Bag입구의 형태가 장방형(본 연구에서는 W*H=50*300을 사용하였음)이므로 상식적으로 볼 때 원통형처럼 단일노즐 방식을 사용할 수 없다. 아래에 이 크기에서 어떤 형태의 노즐을 몇 개 사용하는 것이 적합한지에 대하여 연구해보기로 한

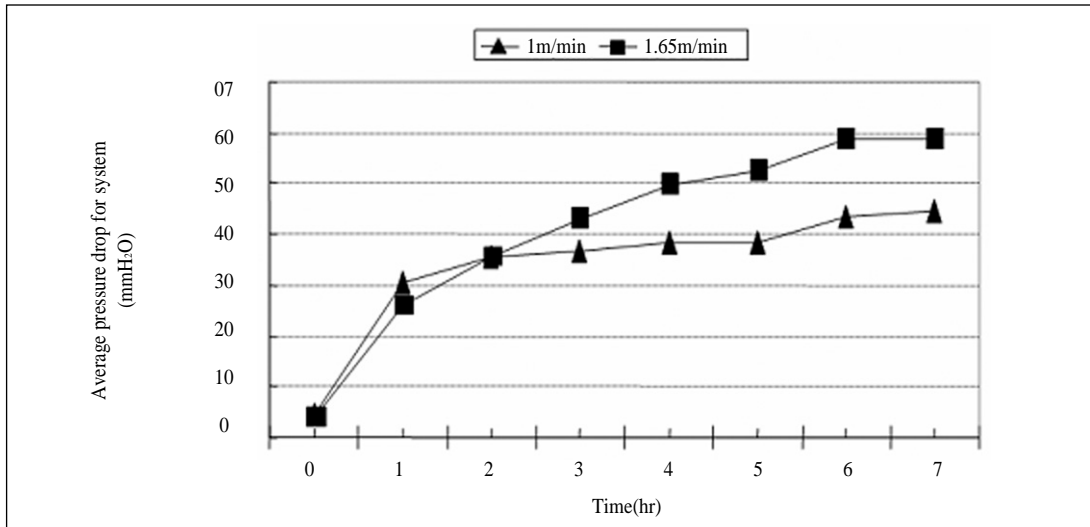


Fig.11. Average pressure drop for system-Influence of face velocity

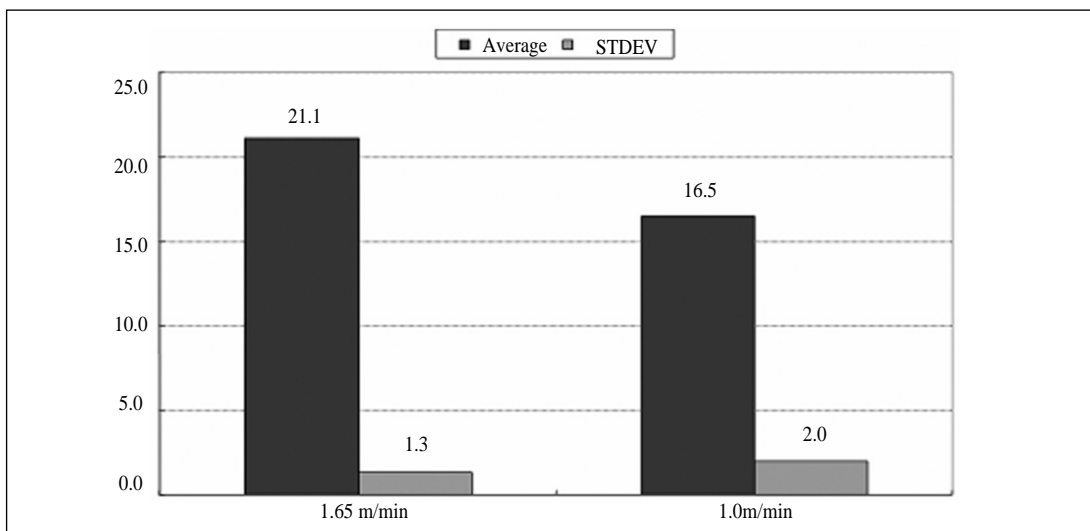


Fig.12. Average pressure drop for filter-Influence of face velocity

다. 다만 최소노즐구경을 6mm로 선정하고 매번 실험에서의 노즐분사구의 합계면적이 같거나 접근하게 하여 분사공기량의 오차를 최대한 줄였다. 노즐 형태는 Fig 15와 같다. T type은 분사구가 6개이다.

사각형 여과집진기에서 분사노즐의 형태변화 및 노즐수량은 탈진효율에 일정한 영향을 주고 있다. Fig 16은 분사노즐 수량이 증가할 때 탈진효율도 높아지는 추세를 보이고 있다. 이는 비록 동일한 분사량이라고 할지라도 사각형 Bag Type에서는 분사구멍수를 증가하여 Bag입구의 길이방향으로 분산분사(구멍수 증가) 하였을 때 탈진이 잘 이루어짐을 설명한다. 그러나 구멍수를 더 늘여 충격기류의 분산정도가 커졌을 때 역시 위에서와 같이 동일한 탈진효과가 있을지에 대하여서는 앞으로 더욱 깊은 연구가 필요하다. 또한 노즐의

형태에서 볼 때 2Nozzle과 3Nozzle은 확산관에 일정한 길이의 튜브를 용접하여 사용한 방식이고 T type은 T형 파이프에 직접 구멍을 내어 사용한 방식인데 실험을 통하여 볼 때 양자의 성능은 사각형 Bag-filter에서 큰 차이를 보이지 않고 있다. 게다가 T type은 제조공정이 간단하여 투자비용을 줄일 수 있는 장점이 있다. 기존의 원통형 여과집진기의 분사노즐 형태에 관한 연구결과를 살펴보면(황계순, 공성용.1997) 파이프에 구멍을 내어 사용한 H type이 필터내의 압력분포가 불균일하여(입구부분의 압력이 다른 형태보다 높음) 좋지 않은 형태로 판정 되었는데 이러한 연구결과는 본 연구의 연구결과와 다소 모순점도 있지만 이점은 비록 연구과제가 모두 여과집진기이긴 하지만 그 형태와 구조가 다르기에 완전히 동일한 연구결과를 도출해낼 수는 없을 것이라 사료된다.

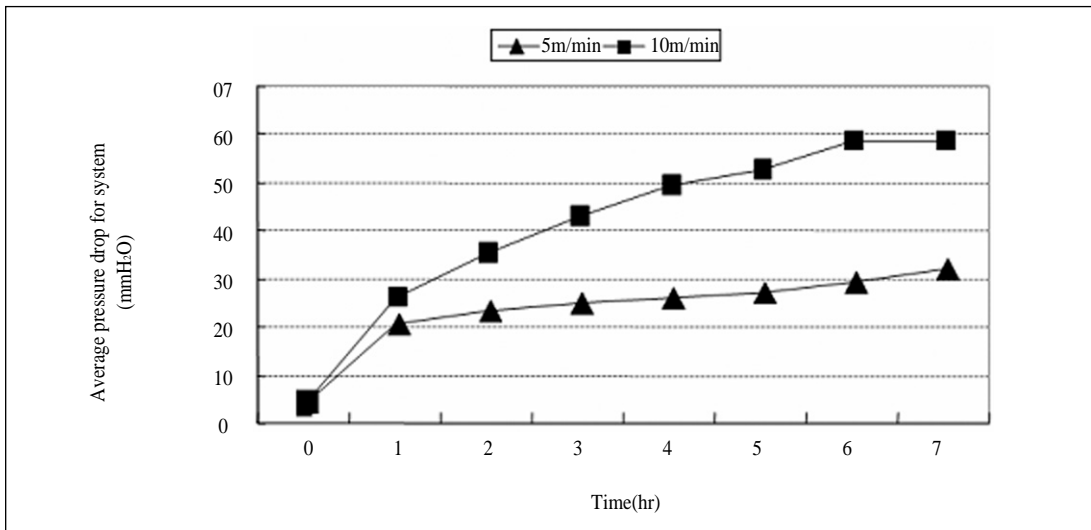


Fig.13. Average pressure drop for system-Influence of pulse interval

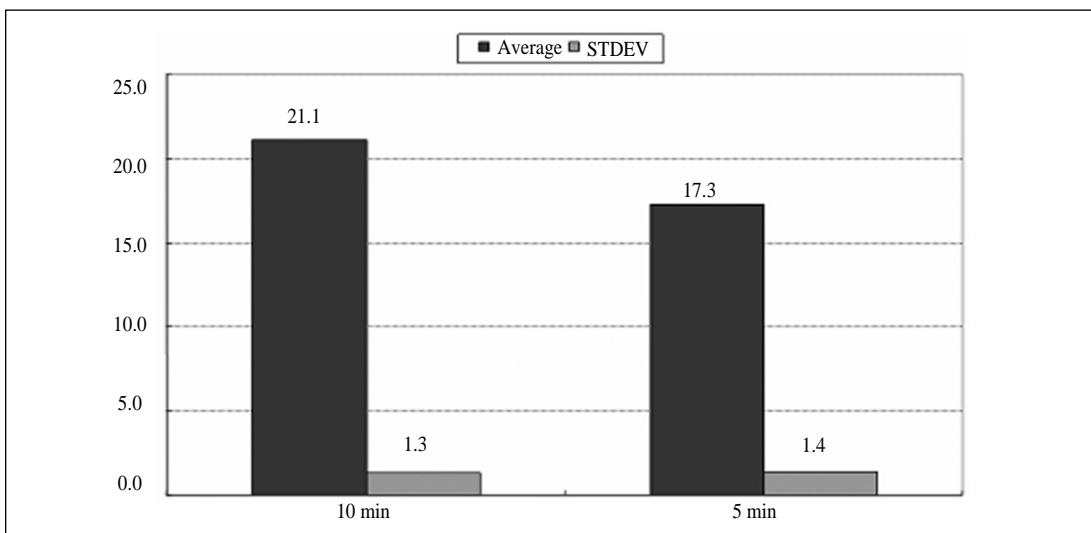


Fig.14. Average pressure drop for filter-Influence of pulse interval

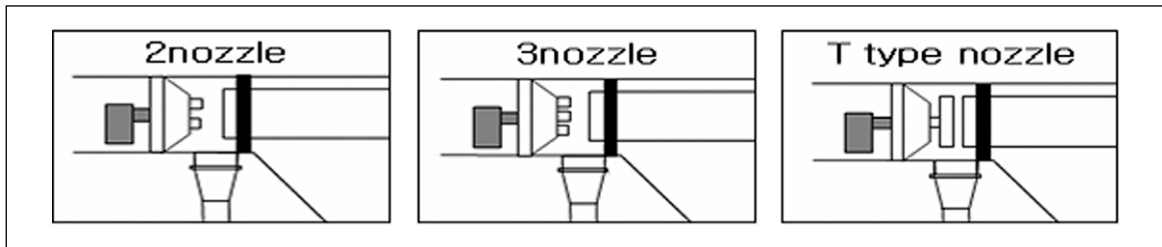


Fig.15. Schematic diagram of nozzle type.

Fig 17은 위에서 서술한 분사노즐 형태변경에 따른 변화를 입증하여 준다. 즉 노즐수량이 증가할 때 필터차압이 감소될 뿐만 아니라(16.6 : 15.1 : 12) 차압의 표준편차도 상대적으로 감소하는(0.9 : 1.1 : 0.6) 추세를 보이고 있다.

V. 결론

사각형 여과집진기에서 분사거리가 짧을 때 탈진효율은 우수하지만 필터차압분포는 오히려 불균일하며 분사거리가 10cm와 20cm에서는 탈진효율은 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 이사이의 분사거리에서는 거리의 변화가 탈진효과에 큰 영향을 주진 않는다는 것을 설명한다. 분사압력이 작을 때($2\text{kg}/\text{cm}^2$) 탈진효율이 낮을 뿐만 아니라 필터차압분포도 불균일하다. 분사압력이 $3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 에서 $4\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 증가할 때 탈진효율은 일정한 증가세를 보이지만 필터차압과 그 표준편차는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 때문에 소 규격필터를 사용할 때에는 분사압력을 $3\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 설정하면 충분하다고 생각된다. 다만 현실적으로 다행 혹은 다열로 여러 개의 필터를 동시에 탈진시키기 때문에 압력손실을 감안하여 분사압력을 적당히 증가시킬 필요성이 있다. 분사시간과 탈진효율은 비례하며 따라서 분사시간이 증가할 때 필터차압의 편차도 작아진다. 여과속도가 작을 수록 탈진효율은 높지만 필터차압의 표준편차는 큰 변화가 없다. 이는 여과속도가 필터의 탈진균일도에 큰 영향을 주지 않음을 설명한다. 분사주기가 짧을수록 탈진효과가 우수하다. 다만 탈진주기를 너무 짧게 설정하면 빈번한 탈진으로 필터에 형성된 가교를 파괴하는 경향이 있기 때문에 필터내부로의 분진침투가 쉽게 이루어지고 분진의 필터투과 가능성을 높여주기에 유의해야 할 것이다. 필터의 형태가 납죽한 사각형 형태로 되어 있기 때문에 노즐수량이 증가할 때 탈진효율이 높을 뿐만 아니라 필터표층에서의 탈진도 균일하여 진다. 때문에 사각형 백필터에서는 노즐수량을 적당히 증가할 필요가 있다.

VI. 감사의 글

이 논문은 2006년 한국산업기술재단의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- 서정민, 김선대. 충격기류식 여과집진장치의 펄스간격 및 분사거리에 따른 압력손실에 관한 기초연구. 석사학위논문; 2004
- 서정민, 최금찬, 박정호. 충격기류식 여과집진장치의 펄스간격 및 분사거리에 따른 압력손실변화에 관한 기초연구. 한국환경과학회지 2004;13(3):223-232.
- 윤명주. 충격기류식 여과장치를 이용한 분진포집성능에 관한 기초특성 연구. 석사학위논문; 1993
- 이원희. 상부유입식 전기 Cyclone/Bag Filter의 특성. 석사학위논문; 2000
- 최용석. 하부유입식 원심여과집진장치의 특성에 관한 실험 연구. 석사학위논문; 1998
- 황계순, 공성용. 펄스-젯여과집진기에서의 최적탈진시스템. 대한환경공학회지 1997;19(9):1193-1204.
- A. Kavouras and G. Krammer. Distributions of thickness and gas velocity in the cake of jet pulsed filters-application and validation of a generations filter model, Chemical Engineering Science 58. 2003. p. 223-238.
- David Leith and Michael J. Ellenbecker. Dust emission from a pulse-jet fabric filter, Filtration & Separation, July/August; 1983. p. 311-314.
- Xavier Simon, Sandrine Chazelet, Dominique Thomas, Denis Bemer, Roland Regnier. Experimental study of pulse-jet cleaning of bag filters supported by rigid rings doi: 10.1016/j.powtec.2006.10.005.