

사각형 여과집진기 충격기류 시스템의 최적탈진조건에 관한 실험적 연구

박승욱[†] · 김태형 · 이효우 · 하현철¹ · 정재훈²

창원대학교 환경공학과, ¹(주)벤티크, ²(주)K.E.M

Experimental study on the optimum pulse jet cleaning conditions of a rectangular bag-filter system

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

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

Cylindrical bag filter system with pulse jet cleaning has been the most common device to control particle laden exhaust gas from the various industrial processes. But, it has many shortcomings due to particle reattachment and frequent bag rupture. In recent years, rectangular type bag filter system has been developed to overcome the problems associated with the cylindrical system. However, not many studies about the rectangular system were not done, compared to the cylindrical system. In this study, the optimum pulse jet cleaning conditions were thus tested by the series of experiments. The factors tested in this study are pulse distance, pulse pressure, pulse duration, the number of holes for pulsing and bag materials. A single bag (1,500mmL×50mmW×300mmH)

system and a multi-bags (3 bags in a row) were tested separately. The highest removal efficiency with a single bag system was found at the conditions with pulse distance of 10cm, pulse pressure of 3kg/cm², pulse duration of 0.3s, pulse jet number of 6 and Polyester bag. With the multi-bags system, the best cleaning conditions were found at the bag interval of 20cm with the simultaneous pulsing and the bag interval of 15cm with the serial pulsing.

Key Words: Rectangular bag filter, Pulse jet cleaning, Pressure drop, Bag interval

I. 서론

여과집진기는 산업체에서 배출되는 입자상 오염물질을 포집 제거하는 장치의 하나로서 집/탈진효율이 높을 뿐만 아니라 기후조건 및 작업공정에 관계없이 분진포집능이 안정적이고 특히 인체에 위해성이 가장 큰 미세먼진에 대한 안정적인 포집이 가능하기에 현재 국내외에서 가장 많이 사용

하고 있는 집진기 형태이다.

지금까지 산업체에서 보편적으로 사용하는 여과집진기의 형태는 상향기류 원통형 충격기류탈진시스템으로서 국내외에서 오랜 기간 사용해왔을 뿐만 아니라 그에 따른 연구도 매우 활발하게 진행되어 왔으며 많은 연구결과가 발표되었다(황계순과 공성용, 1997; 서정민 등, 2004; Simon & Chazelet, 2006). 또한 상술한 연구결과가 전산유체역학을 이용한 컴퓨

접수일: 2008년 7월 4일, 채택일: 2008년 9월 10일

[†] 교신저자: 박승욱 (경남 창원시 사림동 창원대학교 환경공학과,

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

터 시뮬레이션 연구결과와 유기적으로 결합되어 집진기의 설계, 제조, 운전, 보수 등 전반에 걸쳐 이용됨으로서 상향기류 원통형 여과집진기의 종합성능의 개선에 획기적인 진보를 불러오고 있다. 다시 말하면 이러한 모델은 사실상 이미 비교적 성숙된 단계에 와있다고 해도 과언이 아니다.

이와는 달리 본 연구의 주요대상인 하방기류형 사각형 충격기류 여과집진기는 체계적인 연구뿐만 아니라 그에 따르는 적용기술 측면에서 또한 기초적인 수준에 머물러 있는 실정이다. 때문에 상용화 정도가 낮고 연구결과가 미비한 사각형 여과집진기에 대하여 기존의 상방기류 원통형 여과집진기의 연구결과를 바탕으로 이론적인 연구의 진행과 함께 실험적인 연구방법을 통하여 최적의 탈진조건을 도출해내는 것은 사각형 여과집진기의 기본성능을 파악하는 지름길이라 생각한다. 충격기류 탈진시스템의 종합성능에 영향을 끼치는 인자는 매우 다양한데 그들의 영향정도는 여과집진기의 형태에 따라 영향추이가 뚜렷한 인자와 상대적으로 불투명한 인자로 구분할 수 있다. 기존의 원통형 시스템의 연구결과를 살펴보면(황계순과 공성용, 1997; 김선태, 2004; 박병현, 2004; 서정민 등, 2004) 벤츨리의 유/무, 분진농도, 여과속도, 분진입경, 분진비중, 분사주기, 분사압력 등 인자들은 그 영향추이가 상대적으로 확실한 인자에 속하고 분사거리, 분사시간, 노즐형태, 필터재질, 필터간격 등의 인자들은 외부조건 변화의 영향을 많이 받기 때문에 그 영향추이가 상대적으로 불확실한 인자로 본다.

본 연구에서는 위에서 서술한 “확실인자”에 대하여서는 연구대상에서 제외하고 “불확실인자”에 대하여서는 실험연구를 통하여 최적의 조건을 도출해내는 방식을 사용하였다.

하지만 여기에서 유의해야 할 점은 너무 높은 분사압력은 백소재를 파손시킬 가능성이 높아져 여과백의 사용수명을 줄이는 역효과가 발생할 수 있기에 분사압력은 비록 그 영향추이가 확실하기 때문에 즉 분사압력이 높을수록 탈진효율도 높아지기에 “확실인자”에 속하지만 본 연구대상에서 제외시키지 않고 주요인자의 하나로 포함시켜 연구를 진행하였다. 기존의 사각형 시스템의 연구결과를 살펴보면 주요인자들의 영향은 원통형과 비슷한 추이를 보이고 있다. 다만 실험연구에 사용할 노즐형태를 선정할 때 확산판에 튜브를 용접하여 제작된 튜브형의 탈진효율과 파이프를 T형으로 용접하고 그 앞 방향에 일정한 수량의 구멍을 내어 만들어진 홀형의 탈진효율이 비슷하거나 우수하다는 기존의 연구결과(박승욱, 2008)를 참조하여 제작이 쉽고 비용이 저렴한 T형 노즐형태를 최종 선정하여 본 실험연구에 사용하였다.

사각형 하방기류 여과집진기는 기류의 흐름형태를 볼 때 탈진분진의 재비산이 적어 탈진효율이 높고 적층이 가능함으로써 상방기류형 원통형 시스템에 비해 차지하는 설치 부지면적이 적기 때문에 순수한 이론적인 측면에서 볼 때에도 상당한 연구가치가 있을 것이라 사료된다.

II. 실험장치 및 방법

1. 시료 및 여재

본 연구에 사용한 실험용 분진은 모 알루미늄 용해공장의 여과 집진기에서 포집된 산화알루미늄 분말로서 사용 전에

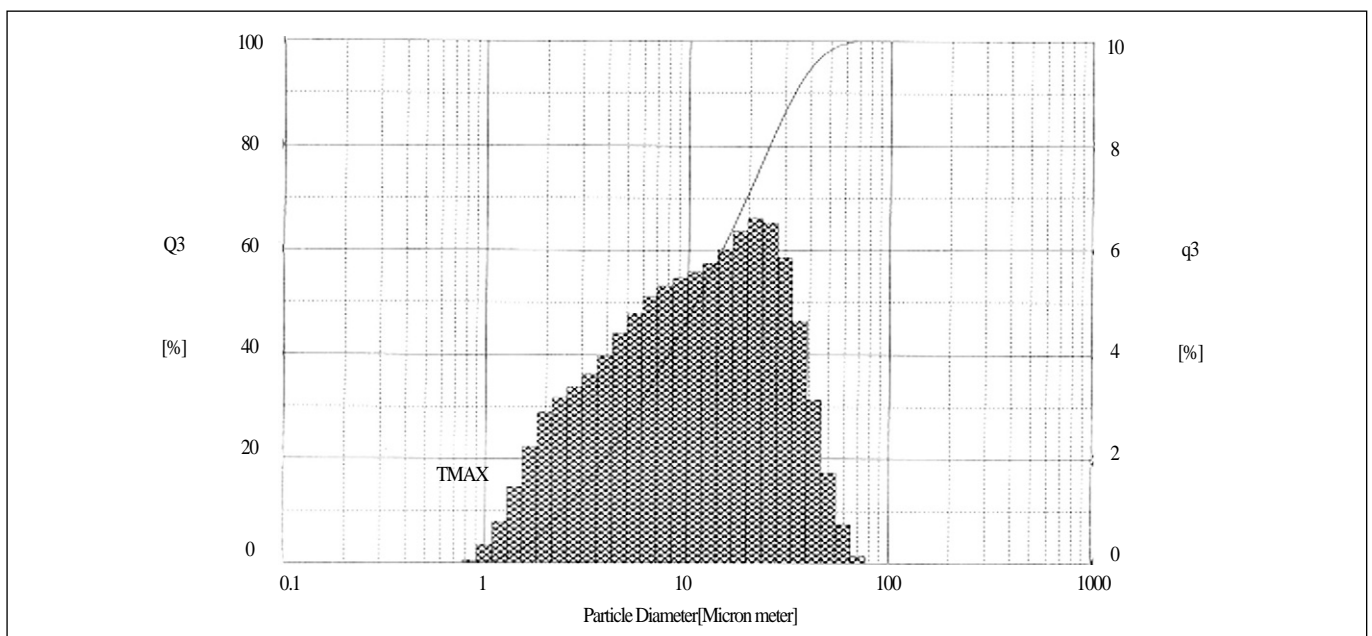


Fig. 1. Particle size distribution of test dust

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

실험에 사용한 분진의 입도분포는 레이저 입도분석장치(Malvern-mastersizer)를 이용하여 분석하였다. 분진의 입경분포(Fig. 1)는 1~100 범위이며 대부분 20전후로서 미세분진기준(PM-10)에 비교하여 볼 때 본 실험에서 사용한 분진시료는 미세분진함량이 그나마 높기에 여과집진기의 성능 테스트 실험용으로는 매우 적합하다고 판정된다.

본 연구에서 사용한 여과재(Table 1)는 현재 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있는 재료인 폴리에스터(PE) 발수포를 주 실험소재로 사용하고 비교분석용으로 노멕스(Nomex)와 유리섬유(Glass)를 사용하였다.

2. 실험방법

충격기류에 의한 여과백의 탈진효과를 평가하는 제일 중요한 방법은 시스템의 차압변화를 측정하여 분석하는 것으로서 본 연구에서는 단일필터 시스템에서는 매번 실험을 마이크로 마노미터로 매 10초에 한 번씩 최저 7시간 동안 시스템차압을 자동 측정하여 그 데이터를 컴퓨터에 저장하여 분석에 사용하였다. 또한 탈진 후 필터전체에서의 탈진균일정도를 비교하기 위하여 필터차압 측정장치를 개발하여 매번 실험이 끝난 후 필터 각 부위의 상대차압을 측정하여 차압분포를 확인함으로써 부동한 조건하에서의 필터차압의 균일정도를 비교분석하였다.

그리고 다중필터 시스템에서 필터간격과 탈진방식이 탈진효율에 미치는 영향을 측정하여 최적의 필터간격과 탈진방식을 도출해내기 위하여 단일필터 시스템과 마찬가지로 매번 실험을 마이크로 마노미터로 매 10초에 한 번씩 시스템차압이 안정될 때까지 혹은 측정한계치를 초과하지 않을 때까지 시스템차압을 자동 측정하여 데이터 분석을 진행하였

다.

시스템의 차압이 낮고 시스템의 차압변화가 균일할수록 탈진효과는 우수하다고 판정되며 시스템의 차압변화가 비슷할 때에는 필터차압의 분포가 균일한 조건이 더욱 적합한 조건이라고 판정된다.

3. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치는 주로 세 가지인데 단일필터 실험장치와 다중필터 실험장치 그리고 필터차압 측정장치이다.

1) 단일필터 실험장치

단일필터 실험장치는 현재 시중에 유통되는 소형 사각형 여과집진기의 필터의 크기를 기준(LHW=150030050mm)으로 단일필터로 제작된 실험장치(Fig. 2)로서 소형 스크루분진주입기(②)의 속도조절 다이얼을 회전시켜 분진공급량을 설정하고 컴프레서(④)로 분사압력을, 분사노즐(⑦)의 이동으로 분사거리를, 타이머(⑧)로 분사시간과 분사주기를 조정하여 사용하였다. 여과속도는 댐퍼(⑩)와 블로워(⑪)를 조절하여 조정하였고, 컴퓨터(⑫)와 마이클로 마노미터(⑬)로 매 10초에 한번 씩 시스템의 차압을 자동측정하여 기록하였다. 따라서 측정된 데이터의 최종 처리결과에 근거하여 각 인자들의 최적 탈진조건을 도출해내었다.

2) 다중필터 실험장치

다중필터 실험장치는 단일필터 실험장치의 필터규격으로 동시에 3개의 필터를 횡 방향으로 삽입할 수 있는 다중필터 실험장치(Fig. 3)로서 단일필터에서의 실험과의 연관성을 보장하기 위하여 분진공급장치의 다이얼을 조정하여 분진공급량을 3배로 늘렸고 에어탱크의 용적도 3배로 키웠으며 블로워의 회전속도와 댐퍼를 조절하여 공기의 유량을 3배로

Table 1. Major properties of filter fabrics

Major properties	PE	Nomex	Glass
Weight unit (g/m ²)	550±30	500±30	570±20
Ventilation rate (cm ³ /cm ² .sec)	15±2	15±2	15±4
Expansibility (Length, kg)	160±20	140±20	150±20
Expansibility (Width, kg)	180±20	160±20	150±20
Rate of expansion(Length, %)	35	35	40
expansion(Width, %)	35	35	40
Strength of explosion(kg/m ²)	50±10	50±10	50±10
Temperature of using (℃)	94	180	230

키웠다. 필터사이의 간격(D)을 10cm, 15cm, 20cm로 조정 가능하게끔 제작하였고 실험방법은 단일필터의 시스템차압 측정방법을 채용하되 분사방식은 개별탈진과 동시탈진이 가능하도록 타이머를 조정하면서 시스템 차압을 측정하여 필터간격의 변화와 탈진방식의 변화가 전체 시스템의 탈진 효과에 주는 영향을 비교하였다.

3) 필터차압 측정장치

단순히 시스템차압 측정결과에 근거하여 탈진효과를 판정하는 평가방식은 백필터의 종합성능 평가에 한계성이 있다. 왜냐하면 여과집진기의 에너지 소모를 최소화 하고 필터의 사용수명을 최대화 하려면 시스템차압이 낮을수록 탈진 작업 후의 필터차압분포가 균일할수록 좋은데 시스템차압의 측정결과는 필터 각 부위의 탈진균일 정도에 관계없이 백

필터 내/외부의 차압변화만 포괄적으로 표시하기 때문에 필터의 일부 특정부위가 과도하게 탈진되고 기타 부위는 탈진이 잘 이루어지지 않았다고 하더라도 최종 측정결과는 필터 전체에서 균일하게 탈진이 이루어 졌을 때와 비슷하게 표시되거나 혹은 일부 조건에서는 오히려 좋게 표시될 가능성도 있다.

본 실험연구에서는 상술한 시스템차압 측정방식의 한계성을 최대한 극복하기 위하여 조건변화에 따른 필터자체의 차압분포를 추가로 측정하여 시스템차압의 측정결과를 검증하는 동시에 탈진된 필터의 차압분포 균일정도를 비교하였다.

측정방법은 자체개발한 필터차압 측정장치(Fig. 4)를 이용하였는데 매번 실험에 사용된 필터를 케이스에서 분리하여 필터의 접합부를 절단한 후 좌우 각각 30개점을 선정하여 필

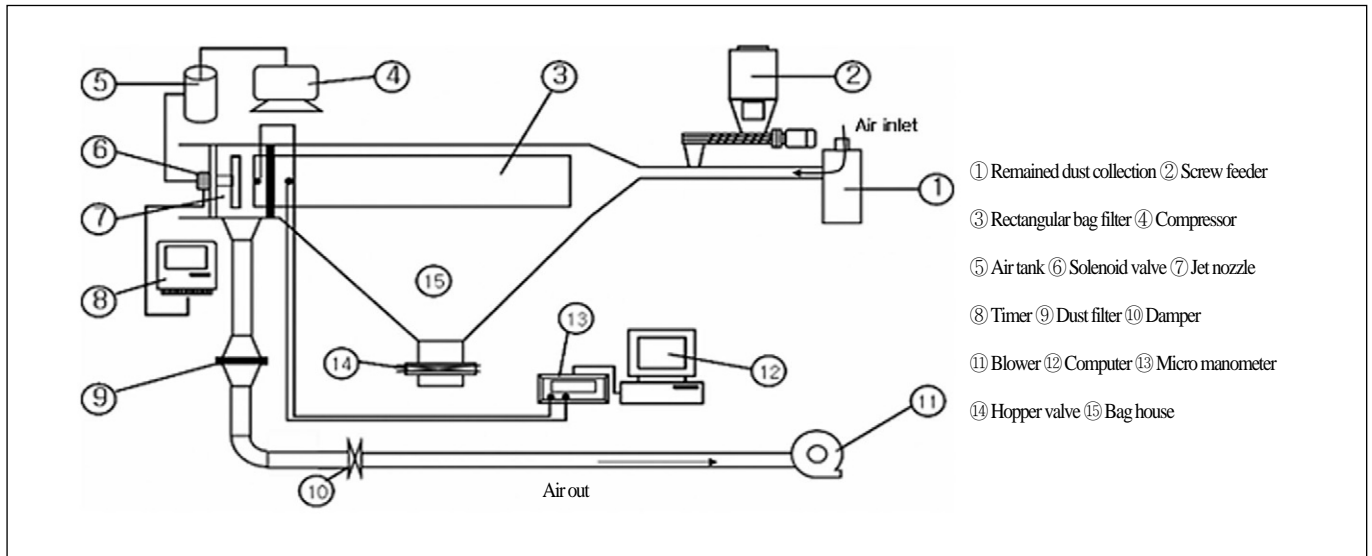


Fig. 2. Schematic diagram of experimental equipment for one bag system

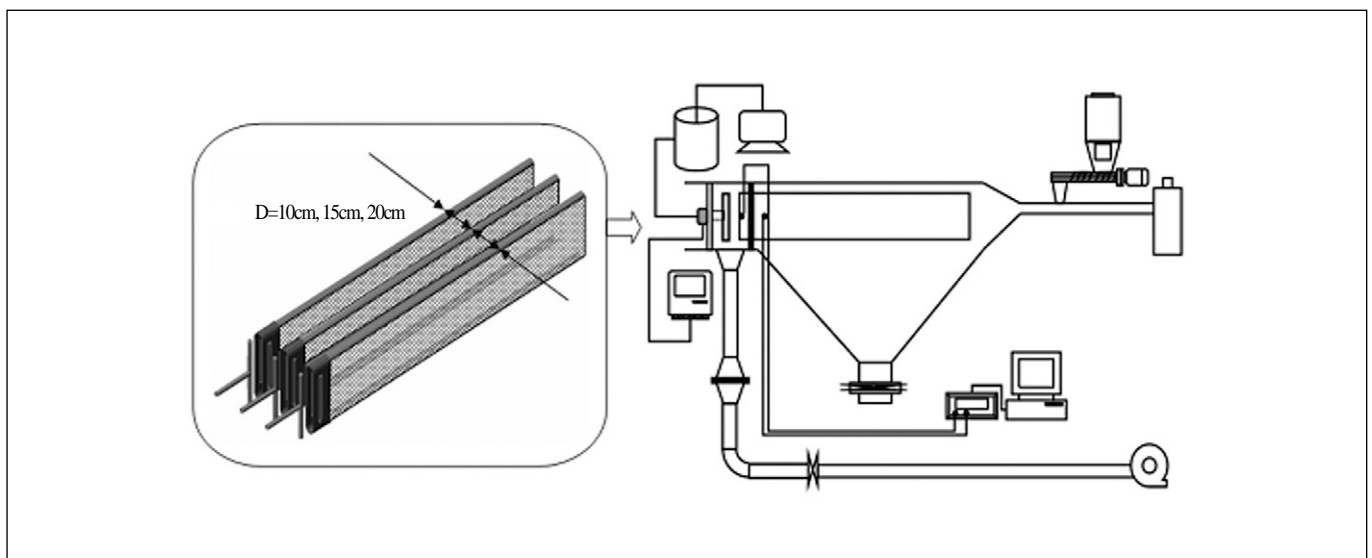


Fig. 3. Schematic diagram of experimental equipment for multi bag system

터의 상대차압을 측정하였다. 필터차압측정장치는 청진기의 원리를 모방하여 제작 되었는데 소형블로워(④)의 가동으로 인하여 다공파이프(②) 구멍으로 유입된 공기가 필터(①)를 투과하면서 필터의 저항으로 덕트(⑤)내/외에 차압이 형성되는데 이 차압을 액주 마노미터(③)로 측정하여 기록한다. 선정된 점들에서의 상대차압측정치가 그 부위의 탈진정도를 표시하는데 탈진이 잘된 부위는 필터의 상대차압이 낮고 탈진이 잘되지 않은 부위는 필터의 상대차압이 높을 것이다. 따라서 측정결과의 최종 분석과정을 걸쳐 필터 각 부위의 탈진효과를 비교할 수 있고 탈진의 균일정도를 판정할 수 있다.

4. 실험조건

1) 단일필터에서의 실험조건

단일필터 시스템에서의 실험조건(Table 2)은 크게 두 가지로 분류되는데 첫째는 일반조건(General conditions)으로서 이는 실험을 시작할 때 일단 선정되면 그 다음 진행되는 전체 실험과정에서 시종일관 변하지 않는다. 일반조건의 수치선

정은 기존의 여과집진기 실험연구에서의 수치들을 참조하고 본 연구에 사용되는 실험장치에서 예비실험을 통한 결과를 종합하여 최종 선정하였다. 그리고 둘째 조건으로서 탈진조건(Cleaning conditions)은 앞에서 서술한 그 영향정도와 추이가 상대적으로 확실한 인자들을 제외시키고 상대적으로 불확실한 인자들을 선정하여 기존의 연구결과를 바탕으로 각 인자의 실험조건들을 선정하였다. 다만 매번 실험은 사전에 지정된 인자에서 단 한 가지 조건에 따른 변화만을 측정하게 되어 있으므로 실험이 시작되면 기타 인자들은 표준조건(Standard condition)하에서 실험에 참여하게 된다. 이러한 시스템의 상대적인 안정성은 각 영향인자들을 실험조건에 따라 변화시킴으로써 상호비교가 가능하다.

2) 다중필터에서의 실험조건

단일필터 시스템에서의 실험조건과 마찬가지로 다중필터 시스템에서의 실험조건(Table 3) 역시 두 가지로 분류되는데 첫째는 일반조건(General conditions)으로서 실험을 시작할 때 일단 선정되면 그 다음 진행되는 전체 실험과정에서 시종일관 변하지 않는다. 두 번째는 탈진조건(Cleaning conditions)으

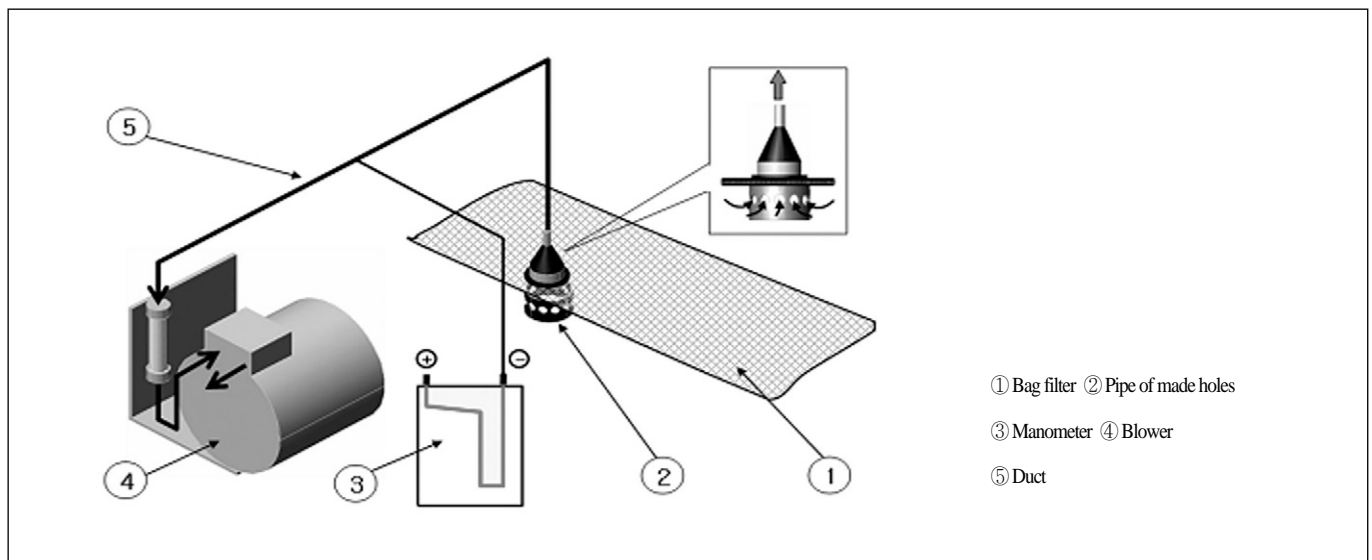


Fig. 4. Diagram of pressure drop for bag filter

Table 2. Experimental conditions of single bag filter

General conditions		Cleaning conditions	
Sample dust	Al ₂ O ₃	Pulse distance	2, 10*, 20 cm
Dust concentration	30 mg/m ³	Pulse pressure	2, 3*, 4 kgf/cm ²
Face velocity	1.65 m/min	Pulse time	0.1, 0.2, 0.3*, 0.4 sec
Pulse interval	10 min	Pulse hole quantity	4, 6*, 8
Nozzle type	T type	Bag material	PE*, Nomex, Glass

* Standard condition

로서 다중필터 시스템에서 모두 3개의 필터를 횡 방향으로 설치하고 필터사이의 간격이 탈진효율에 주는 영향정도를 분석하기 위하여 필터사이의 간격을 10cm, 15cm, 20cm로 변경(Fig. 3)하여 실험을 진행하였고 분사방식이 탈진효율에 주는 영향정도를 비교하기 위하여 조건에 제시한 분사주기로 개별탈진을 진행했을 때와 동시탈진을 진행했을 때를 비교하여 실험을 진행하였다.

일반적으로 원통형 여과집진기의 필터간격은 공탐속도를 0.8m/s~1m/s사이로 계산하여 선정하는데 이 기준을 사각형 여과집진기에 적용하면 필터사이의 최소간격은 10cm는 되어야한다. 때문에 본 실험에서는 필터사이의 최저 간격을 10cm로 선정하고 매번 5cm 씩 증가하여 15cm와 20cm로 필터 간격을 조정하여 대비실험을 진행하였다. 필터의 분사주기를 같게 하여 개별탈진과 동시탈진의 탈진효율 비교가 가능하게 하기 위하여 개별탈진방식에서는 타이머의 탈진주기를 3분으로 설정하면 매개 필터의 실 탈진주기는 9분이 되는데 동시탈진방식에서는 타이머의 탈진주기를 9분으로 선정하였기에 양자의 필터탈진주기는 사실상 모두 9분으로서 같아지게 된다.

III. 실험결과

실험결과의 하나인 마이클로 마노미터로 측정된 시스템

차압은 매 10초에 한 번씩 자동측정기록 되기 때문에 그 측정치는 가변량으로서 대부분 집진을 시작하면 서서히 증가하다가 탈진조작이 이루어지면 급격하게 떨어지고 또다시 서서히 증가하는 기본추세를 반복하고 있다. 하지만 매번 실험에서 측정된 가변량수치를 서로 비교하려고 하면 어려움이 있다. 때문에 본 연구에서는 측정된 차압측정치를 일정한 시간대(단일필터시스템은 1시간대에 다중필터시스템은 18분대)로 이동평균한 후 그래프화(Fig. 5)하여 복잡한 수치들은 간단하게 정리함으로서 상호비교가 가능하게 하였다. 그리고 측정된 필터차압은 서퍼(Golden software Surfer 8)로 상대차압분포도를 그려낸 후 상호 비교하는 방식을 사용하였다.

1. 단일필터 시스템에서의 결과

1) 분사거리의 변화에 따른 최적조건

기존의 사각형 여과집진기의 연구결과는 분사노즐이 2개인 시스템에서 분사거리가 작아질 때 탈진효율이 증가하고 10cm와 20cm사이에는 큰 변화가 없는 것으로 나와 있다. 그렇다면 본 연구에서 채용한 T형 노즐에서는 어떠한 결과가 나올지 주목된다. 시스템차압 측정결과(Fig. 6)로 본다면 탈진효율은 2cm와 10cm일 때 20cm일 때보다 높게 나오고 있다. 하지만 더 나아가 2cm일 때와 10cm일 때를 비교했을 때 양자의 결과가 매우 유사하기 때문에 상술한 시스템평균차압의 결과만으로 비교하기에는 한계성이 있다.

Table 3. Experimental conditions of multiple bag filter

General conditions	
Bag material	PE 550
Sample dust	Al ₂ O ₃
Dust concentration	60 mg/m ³
Face velocity	1.65 m/min
Pulse pressure	3 kgf/cm ²
Pulse time	0.3 sec
Pulse distance	10 cm
Pulse hole quantity	6
Nozzle type T type	T type
Pulse interval	3(Independence), 9(Same time) min
Cleaning conditions	
Interval of bag filters	10, 15, 20 cm Independence,
Pulse method Same time	Same time

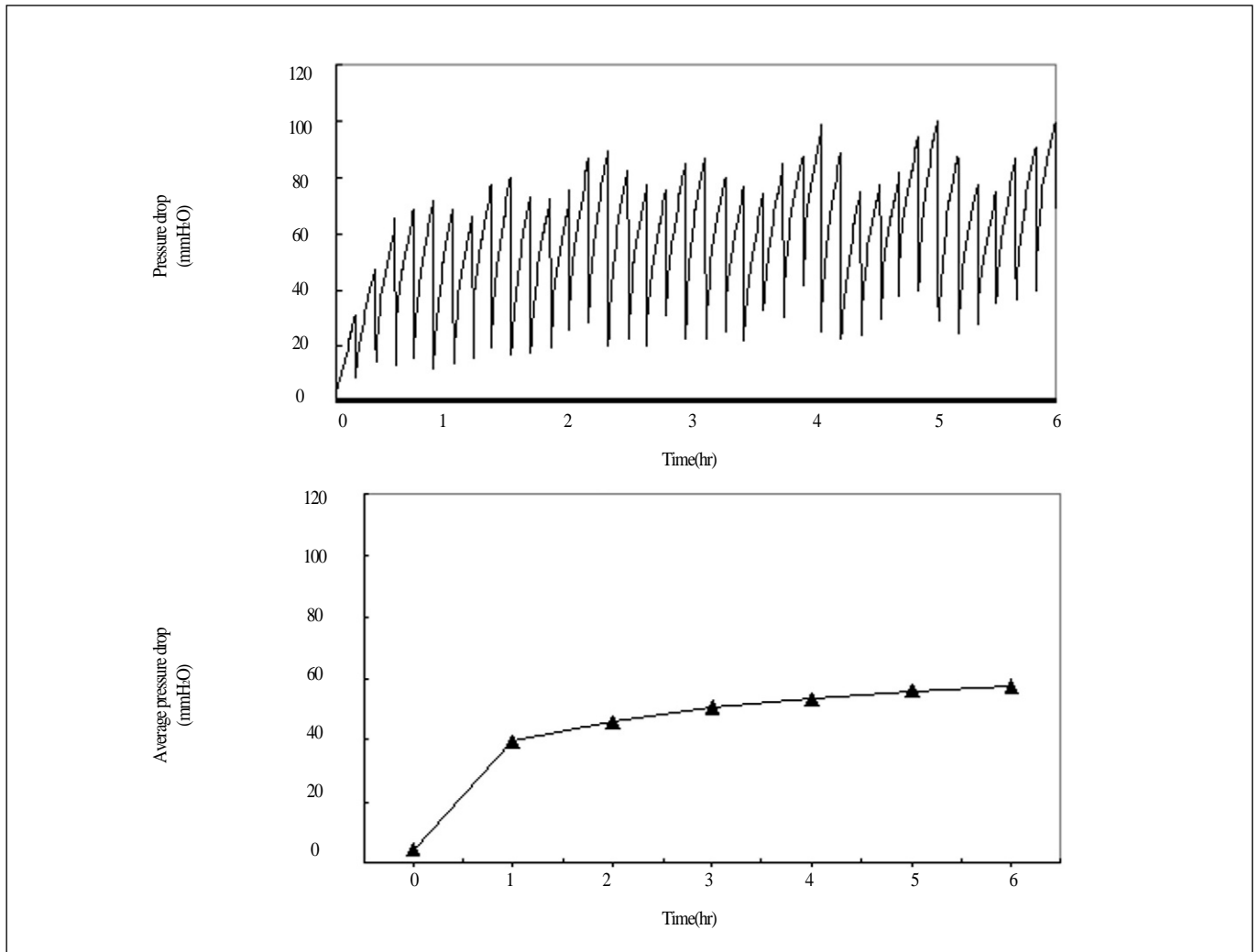


Fig. 5. Instance of arrangement of experimental result

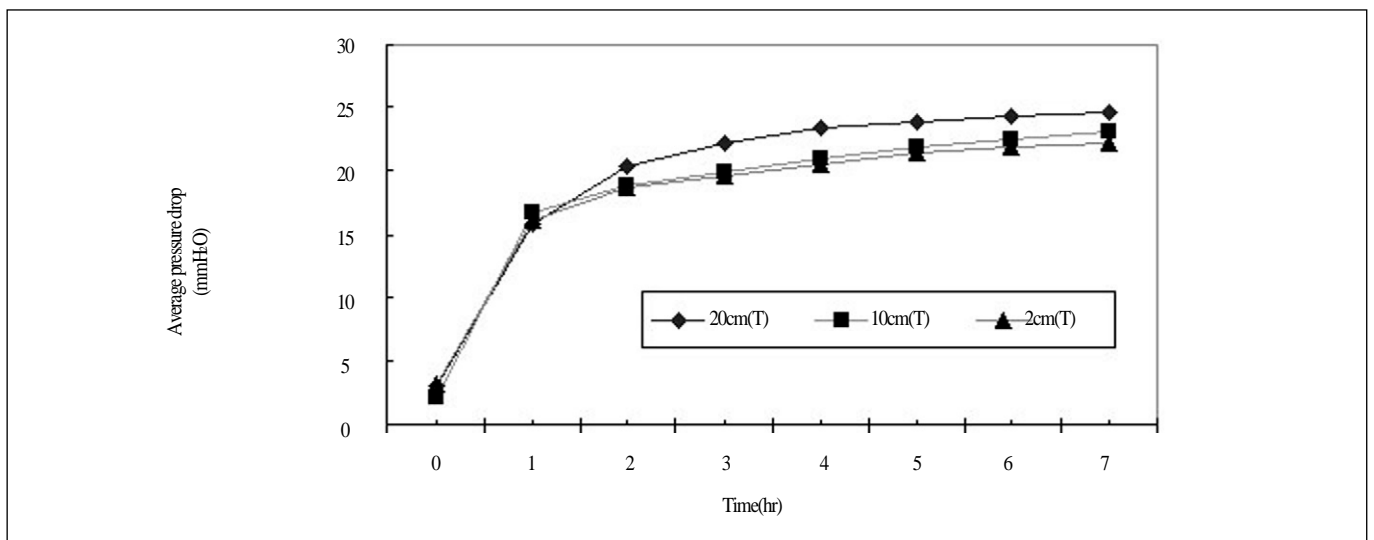


Fig. 6. Influence of pulse distance for T type nozzle

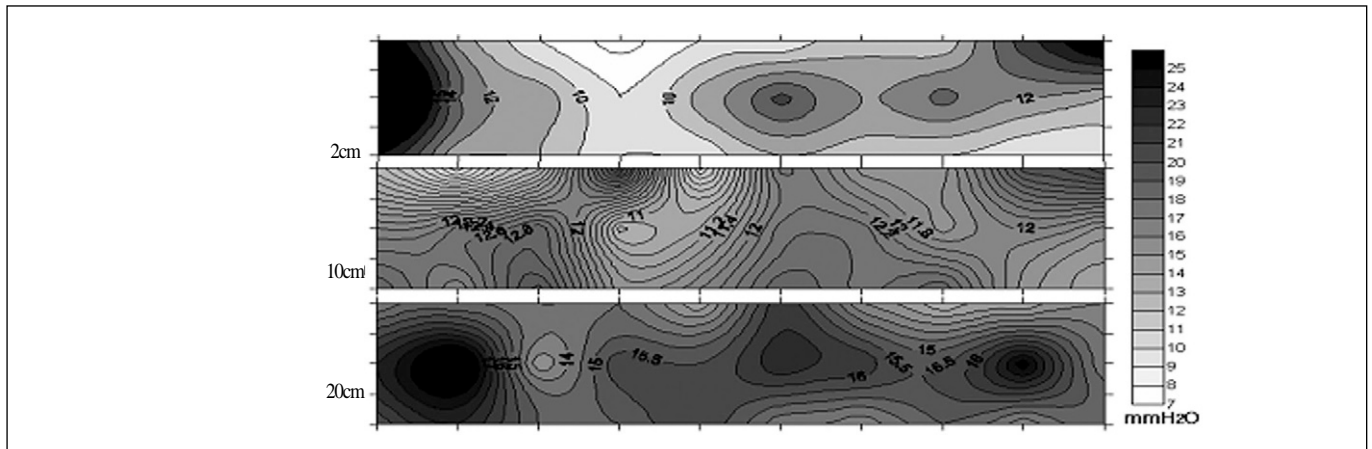


Fig. 7. Distribution of pressure drop on bag surface with different pulse distance

따라서 필터차압 측정결과로 그 차이점을 찾아보려고 한다. 비록 필터의 평균차압은 양자가 비슷하지만(시스템차압 측정결과를 재 증명하여줌) 필터차압 분포도(Fig. 7)에서 볼 때 분사거리가 2cm일 때 필터차압 분포가 분사거리 10cm일 때보다 불균일하기 때문에 장기간 사용 시 필터의 특정부분의 과도탈진으로 인하여 필터수명을 줄이는 결과를 초래할 수 있다. 본 연구에서 추구하는 최적의 탈진조건은 탈진효율이 높을 뿐만 아니라 필터차압도 균일해야한다.

이상 결과를 종합하여 보면 T형 노즐에서의 최적의 분사 거리는 10cm 좌우라고 판정된다.

2) 분사압력의 변화에 따른 최적조건

분사압력은 탈진효율의 변화에 절대적인 영향을 끼치는 인자이지만 분사압력의 과도한 증가는 여과소재를 파손시키는 역효과를 일으키기도 한다. 기존 연구에서 사각형 여과 집진기의 분사압력을 3kgf/cm²~4kgf/cm²로 권장했는데 본 연구에서 분사노즐을 T형로 사용했을 시에도 그에 비슷한 결

과(Fig. 8)가 도출되었다. 분사압력이 3kgf/cm²일 때부터 탈진이 잘 이루어지기 시작하는데 분사압력을 더 증가시킬 때에는 비록 탈진효율은 다소 증가하지만 필터차압분포(Fig. 9)는 필터입구 부분과 끝부분에 현저한 차이가 있다. 이는 분사압력이 증가할 때 비록 탈진효율은 다소 높아진다 하더라도 필터의 끝부분에 압력이 집중되어 이 부분을 파손시킬 우려도 있다.

사실상 여과집진기의 필터파손 원인은 많은 외부인자의 복합작용으로 인하여 발생되지만 제일 중요한 원인은 분사압력이 필터소재의 적정한계를 초과하였기 때문이다. 분사압력이 증가 할수록 필터파손의 가능성도 증가하게 된다. 따라서 탈진효과가 우수한 최적의 분사압력을 사용하는 것은 시스템효율 증가와 필터의 사용수명 연장에 매우 중요한 요소이다.

이상의 설명을 종합하면 본 실험규격의 단일필터에 사용되는 적정한 분사압력은 3kgf/cm²인데 대부분 여과집진기는 다행, 다열로 설계되어있어 행 또는 열 방향으로 여러 개의

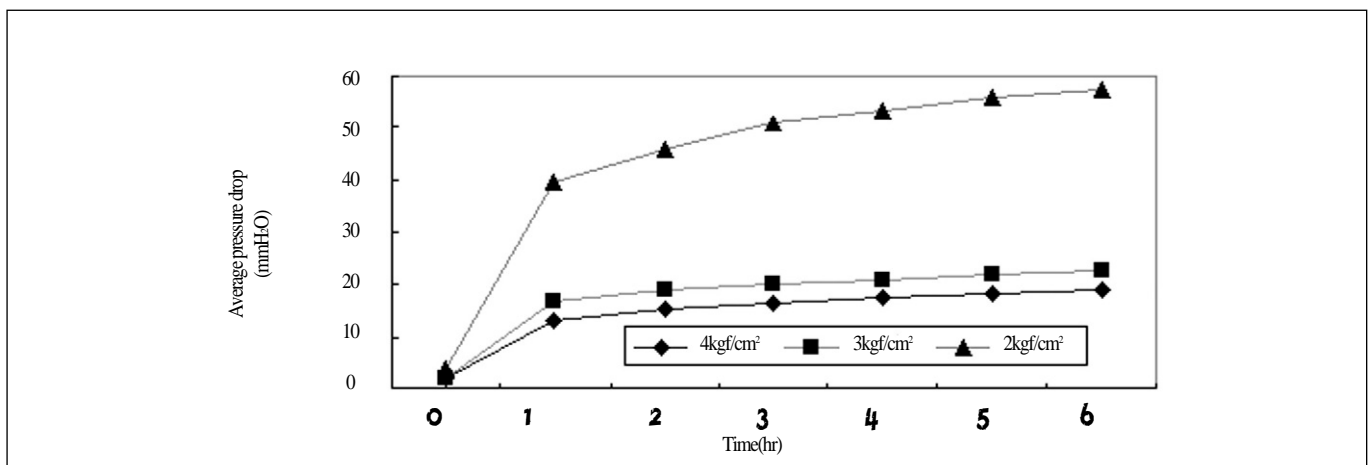


Fig. 8. Influence of pulse pressure for T type nozzle

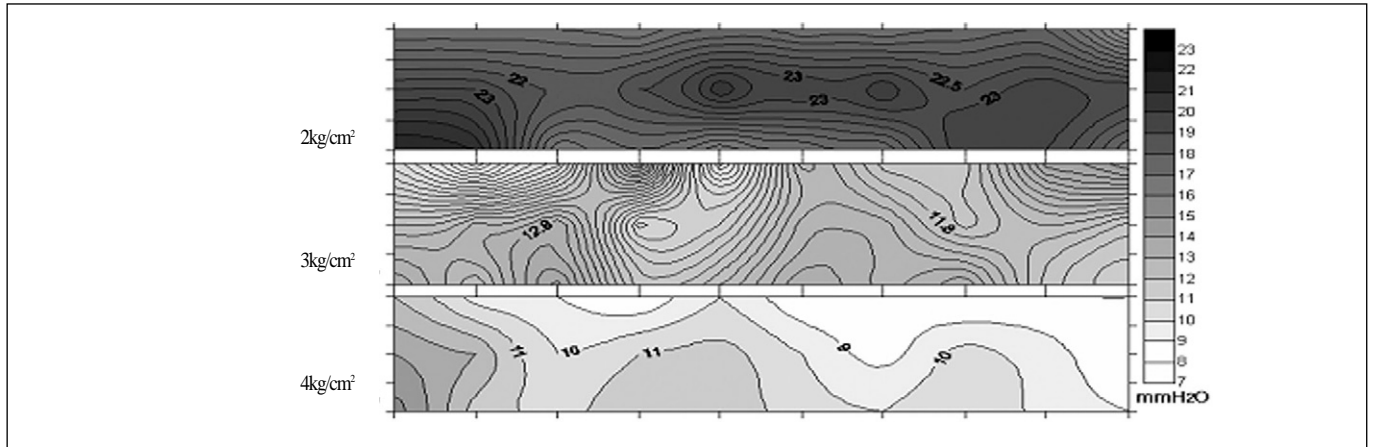


Fig. 9. Distribution of pressure drop on bag surface with different pulse pressures

필터를 동시탈진 할 때의 압력손실을 염두에 둔다면 분사압력은 위 기준에서 적당히 증가하여야 한다.

3) 분사시간의 변화에 따른 최적조건

원통형 여과집진기의 분사시간은 대부분 0.1초로 선정하여 사용하고 있는데 이는 오랜 시간의 실험연구와 사용검증을 거쳐 여과집진기 분야에서 인정하는 조건이라고 생각된다. 하지만 사각형 여과집진기의 경우 기존의 연구결과(박승욱, 2008)를 살펴보면 다소 차이가 있는데 0.1초의 분사시간이 최적의 조건이 아니라 분사시간이 길어짐에 따라 탈진효과도 좋아진다. 즉 사각형 여과집진기 형태에서의 탈진효율은 분사시간에 비례한다. 그러나 만일 탈진효율을 높이려는 목적으로 분사시간을 계속 증가시킬 때 탈진효율은 어떤 변화를 보일것인지에 대하여 의문이 남아있다.

이에 따라 본 연구에서는 분사시간을 0.1초, 0.2초, 0.3초, 0.4초로 나누어 비교실험을 진행하였는데 그 결과(Fig. 10)를 보면 탈진효율은 0.1초부터 0.3초까지는 분사시간에 비례하

여 증가하지만 분사시간을 0.4초 이상으로 증가시킬 때 탈진효율은 그에 따라서 증가하지 않는다.

필터차압분포(Fig. 11)를 살펴보면 분사시간 0.2초에서 필터입구부근의 탈진이 잘 이루어지지 않아 필터차압이 높은 것을 알 수 있다. 이는 위의 탈진효율의 변화를 또다시 검증하여 준다. 하지만 분사시간 0.3초와 0.4초를 비교할 때 비록 필터의 상대차압의 크기는 큰 차이를 보이지 않지만 차압분포는 0.4초일 때 입구부근의 차압이 상대적으로 끝부분보다 높아 0.3초일 때에 비해 차압분포가 불균일해지게 된다.

위의 실험결과는 본 시스템에서 분사시간을 0.3초 이상으로 증가시킬 때 그에 따르는 탈진효율의 기대효과를 볼러오지 못할 뿐만 아니라 차압분포 또한 불균일해 지기 때문에 최적의 분사시간은 0.3초임을 증명한다.

4) 분사구멍수의 변화에 따른 최적조건

여과집진기의 Bag의 형태에서 볼 때 원통형은 대부분 1백-1노즐 방식을 사용하지만 사각형은 반드시 입구의 길이 방

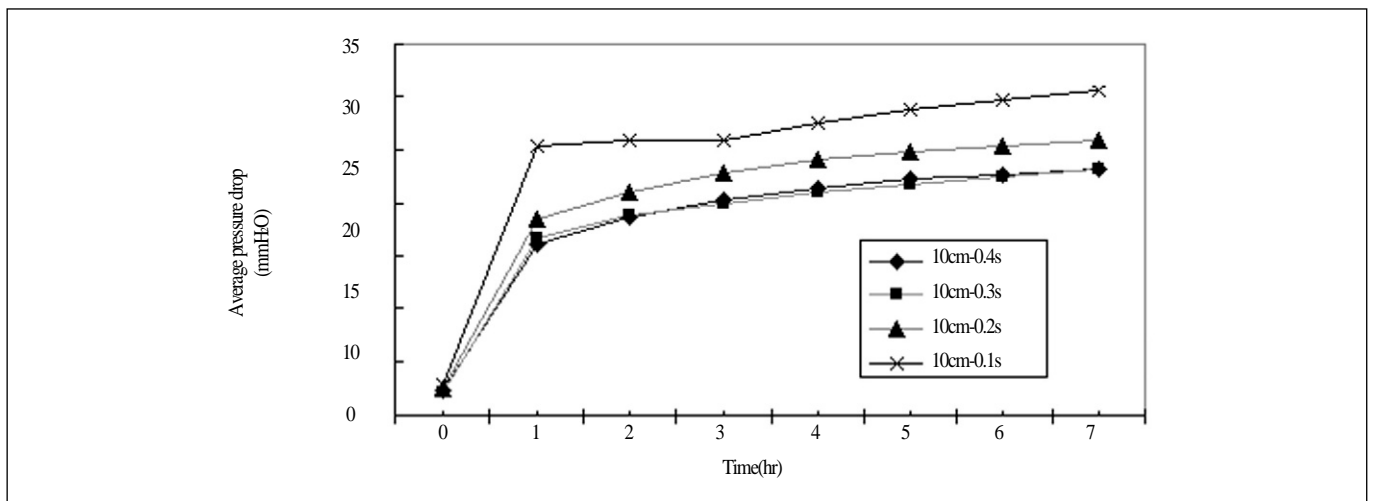


Fig. 10. Influence of pulse time for T type nozzle

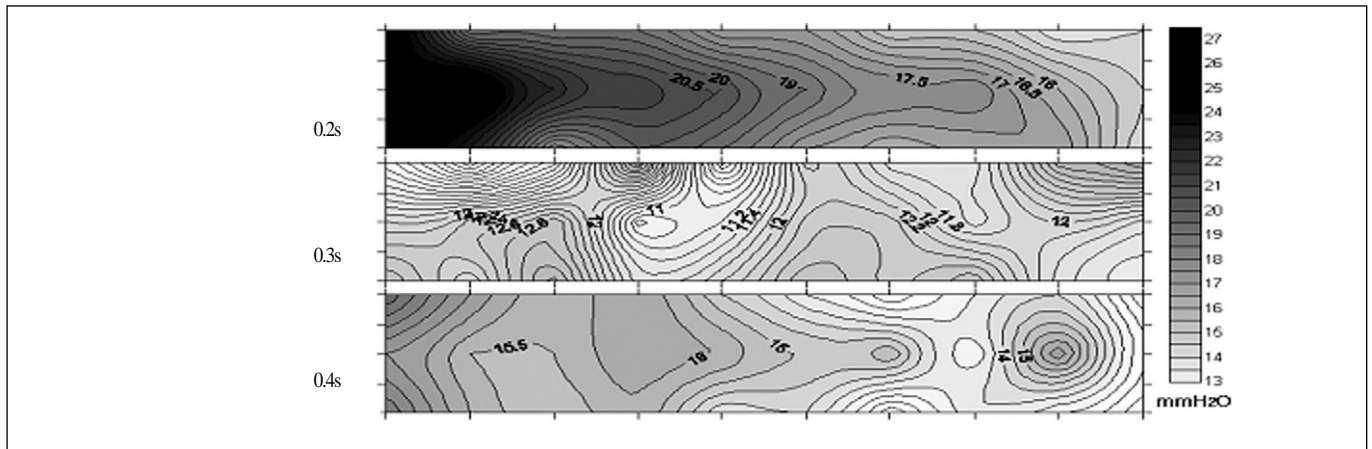


Fig. 11. Distribution of pressure drop on bag surface with different pulse times

향으로 적어도 2개 이상의 노즐을 설치하여 충격기류를 분산분사 하여야 한다. 본 연구에서 사용한 T형 노즐에서는 분사구멍수가 탈진효율의 영향인자로서 분사구멍수가 너무 적으면 상대적인 집중분사가 되어 탈진이 고르게 되지 않을 것이고 분사구멍수가 너무 많을 시에는 충격에너지가 과다 분산되어 탈진효율이 저하될 가능성이 존재한다.

분사구경 따른 탈진효율은 필터규격, 분사압력, 노즐형태 등등의 변화에 따라 복합적인 반응을 보이고 있다. 예하면 홀형노즐은 튜브형노즐에 비해 기류의 확산이 심하여 필터규격이 비교적 작은 경우에는 홀형의 탈진효과가 상대적으로 튜브형에 비해 우수하지만 반대로 필터규격이 큰 경우에는 오히려 튜브형이 우수하다. 또한 이들은 분사압력의 변화에 아주 민감한 반응을 보이고 있다. 때문에 분사구경은 상대적인 영향인자로서 절대적인 기준을 정하기에는 어려움이 있다. 본 연구에서는 사전에 T형 노즐에서 4mm, 6mm, 8mm, 10mm 분사구경을 선정하여 예비실험을 진행하였는데 본 시스템에 한하여 분사구경이 6mm일 때의 탈진효과가 상

대적으로 우수하였기에 이를 기준으로 실험을 진행하였다. 외부조건의 변화에 따른 분사구경의 선정에 대하여서는 더욱 심도 깊은 후속연구가 필요하다.

필터입구 30cm의 길이방향으로 몇 개의 분사구멍이 적절한 한지에 대하여 본 연구에서는 실험적인 방법으로 비교해 보았다. 기존의 연구결과는 분사구멍수가 많을 때 탈진효율도 높아진다. 이는 필터입구에서 길이방향으로 분산분사 하였을 때 탈진효율이 높아진다는 것을 설명한다. 본 연구에서는 구경이 6mm인 분사구멍을 4개, 6개, 8개로 실험을 진행하였는데 시스템 차압의 측정결과(Fig. 12)를 살펴보면 분사구멍수를 4개로부터 6개까지 증가시킬 때 탈진효율은 따라서 증가하지만 분사구멍수가 6개에서 8개까지 증가할 때 탈진효율은 더 이상 증가하지 않으며 필터차압(Fig. 13)도 균일한 분포를 나타내지 않는다. 이는 30cm의 필터입구 길이에서 적정 구멍수가 6개로서 이 조건일 때 탈진효율이 높을 뿐만 아니라 필터차압도 낮고 균일하기 때문에 분사구멍수를 그 이상 더 증가할 필요가 없음을 증명한다.

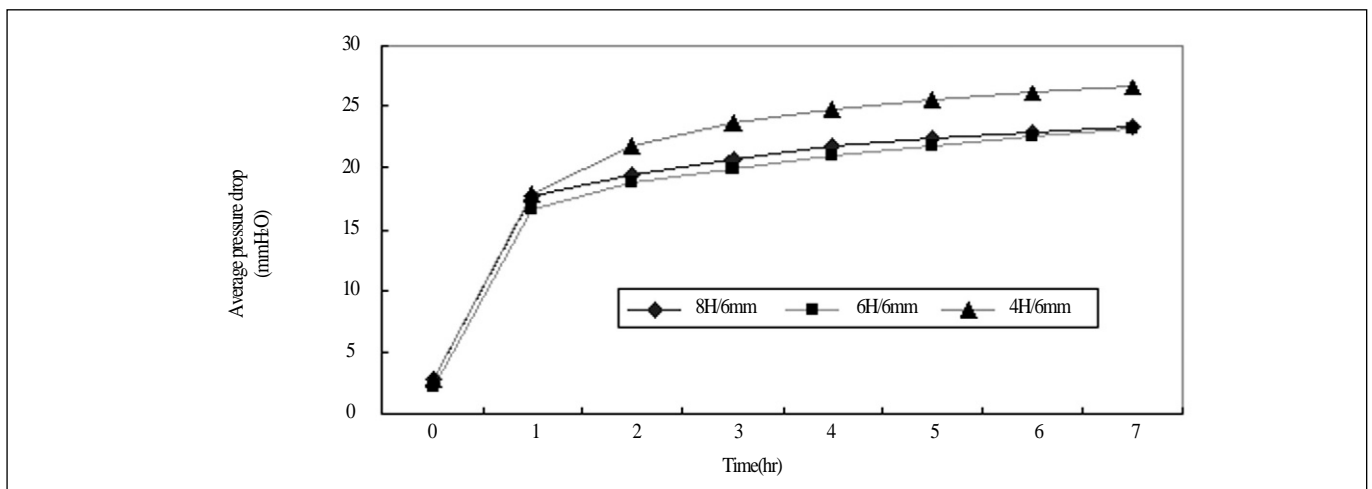


Fig. 12. Influence of nozzle holes for T type

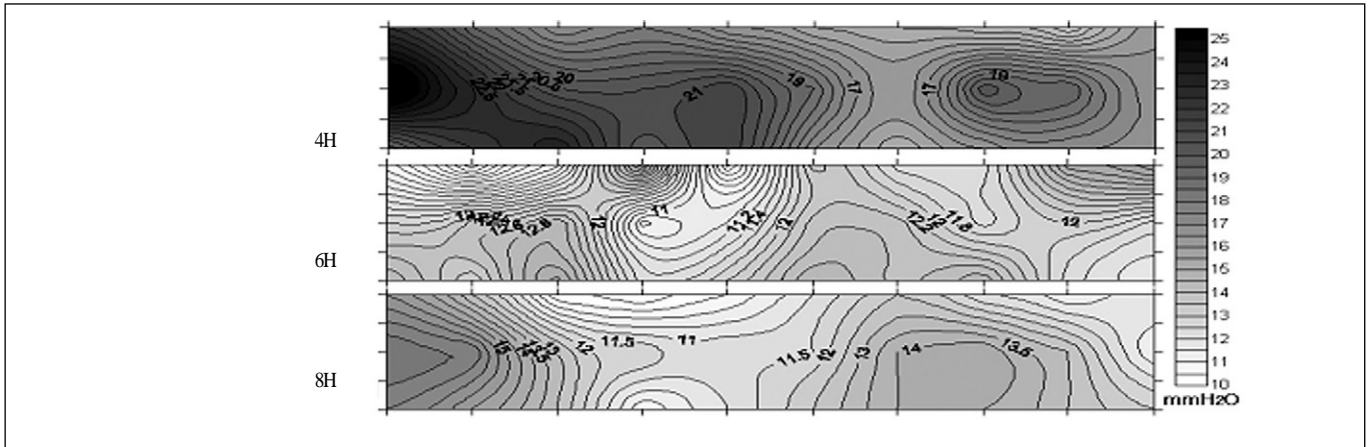


Fig. 13. Distribution of pressure drop on bag surface with different nozzle holes

5) 필터재질에 따른 변화

현재 시중에서 유통되고 있는 필터소재의 종류는 상당히 많다. 본 실험에서는 많은 여과재 중에서 대표적인 폴리에스터 발수포와 노멕스 그리고 유리섬유부직포를 대상으로 대비실험을 진행하여 사각형 여과집진기에서의 각각의 탈진 성능을 비교하여 보았다. 시스템차압의 측정결과(Fig. 14)를 살펴 보면 폴리에스터소재와 노멕스소재의 탈진효율은 비슷하고 유리섬유소재의 탈진효율은 매우 낮다. 하지만 여기에서 유의해야할 점은 필터차압분포(Fig. 15)를 보면 각각 서로 매우 큰 차이점을 나타내고 있다는 점이다. 유리섬유소재는 필터차압이 높을 뿐만 아니라 차압분포 또한 불균일하고 폴리에스터소재와 노멕스소재는 시스템차압 측정결과에서 나타났듯이 비록 탈진효율은 서로 비슷하지만 필터차압분포는 엄청난 차이점을 보이고 있다. 상대적으로 폴리에스터소재는 차압분포가 균일하지만 노멕스소재는 필터입구 부분은 탈진이 잘 이루어지지 않아 차압이 높고 필터끝부분은

탈진이 잘 이루어져 낮은 차압을 보이고 있다. 즉 시스템차압이 비슷하다고 하여 필터차압분포도 비슷한 것이 아니다.

이는 각 소재의 물리적 특성상의 차이로 인한 것이라고 볼 수 있는데 노멕스소재는 유연성이 약하여 외부의 충격기류의 작용 하에서도 여전히 자체의 기존형태를 보존하려는 특성이 있기에 충격기류 분사 시 필터입구부분에서는 탈진조작으로 인한 에너지 소모가 적어 충격에너지가 필터끝 부분에 집중되면서 이 부분의 탈진이 잘 이루어지는 반면에 유리섬유소재는 그 두께가 얇고 유연성이 좋아 충격에너지가 필터끝부분까지 충분히 영향을 주지 못하고 필터의 중부에서 충격에너지를 기본상 소모해버려 필터중부의 탈진은 잘 이루어지나 필터끝부분에서는 잘 이루어지지 않는다. 폴리에스터소재는 유연성이 상술한 두 소재의 사이로서 필터전체에서의 탈진이 비교적 고르게 이루어진다. 때문에 부동한 여재에 따라 부동한 집/탈진 방식 및 조건을 채용하여야한다.

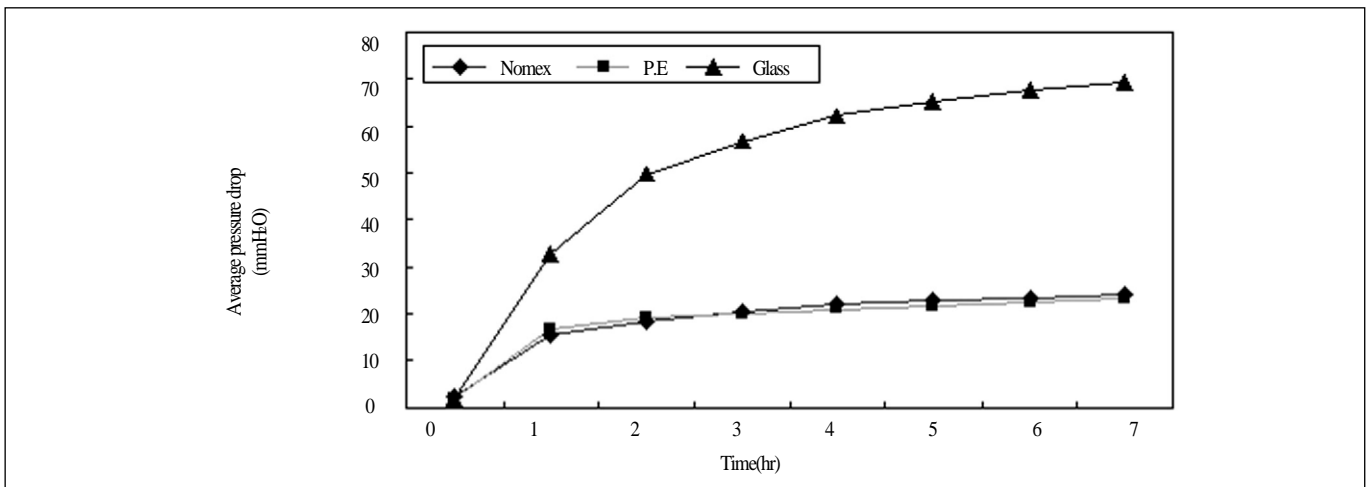


Fig. 14. Influence of Bag material for T type nozzle

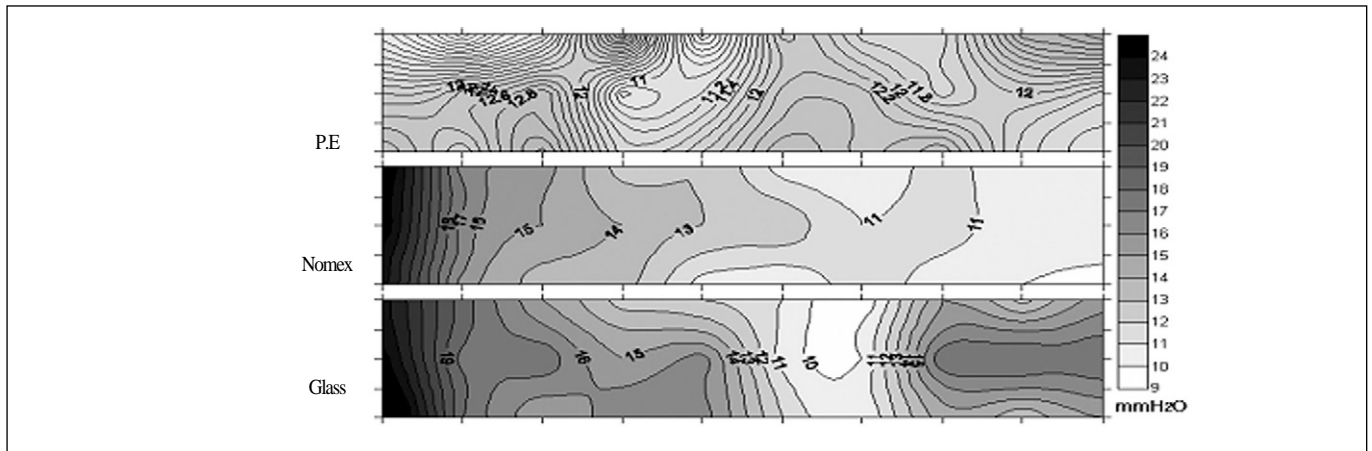


Fig. 15. Distribution of pressure drop on bag surface with different bag materials

2. 다중필터 시스템에서의 실험결과

1) 부동한 필터간격에서의 탈진방식에 따른 변화

필터사이의 간격 10cm, 15cm, 20cm 세 가지 조건에서 탈진 방식을 개별탈진과 동시탈진 두 개의 방식으로 진행한 실험 결과를 살펴보면 필터간격에 관계없이 개별탈진방식을 채택하였을 때에는 동시탈진방식에서 보다 탈진효과가 우수하다. 필터간격이 20cm일 때에는 동시탈진을 하여도 처음에는 탈진이 잘 이루어지지 않지만 시간이 흐르면서 양자의 탈진효과는 서로 접근하게 된다(Fig. 18). 이는 필터간격이 20cm 이상일 때에는 탈진방식에 관계없이 탈진이 잘 이루어진다는 것을 설명해준다.

하지만 필터간격이 10cm와 15cm일 때에는 탈진방식이 탈진효과에 상당히 큰 영향을 준다. 즉 10cm와 20cm의 필터간격에서는 동시탈진방식을 채용하였을 때 근본적으로 탈진이 이루어지지 않아 시스템차압이 급격하게 상승하는 것을

볼 수 있다(Fig. 16, Fig. 17). 이는 이 조건하에서 동시탈진을 진행할 때 충격기류가 인접한 두 필터사이에 합세하면서 순간적인 고압구역을 형성하여 후속기류의 역투과를 저해하기 때문이라고 판단된다. 다만 그 영향한계는 필터간격 20cm 미만이고 그 이상을 초과할 시에는 탈진효과에 큰 영향을 주지 않는다.

2) 부동한 탈진방식에서의 필터간격의 최적조건

개별탈진방식에서 필터간격이 넓을수록 탈진효율이 양호한 경향을 나타내지만 15cm 이상에서는 탈진효율이 큰 차이를 보이지 않고 있다(Fig. 19). 즉 개별탈진방식의 최적의 필터간격은 15cm 좌우이다. 횡축 방향으로의 동시탈진방식에서 필터간격이 15cm까지는 기본상 탈진이 이루어지지 않는다. 하지만 필터간격이 20cm부터는 탈진이 이루어지기 시작한다(Fig. 20). 때문에 횡축 방향으로의 동시탈진방식의 최적의 필터간격은 20cm 좌우이다. 대부분 여과집진기는 동시탈진방식을 채용하는데 사각형 여과집진기에서는 횡축 방

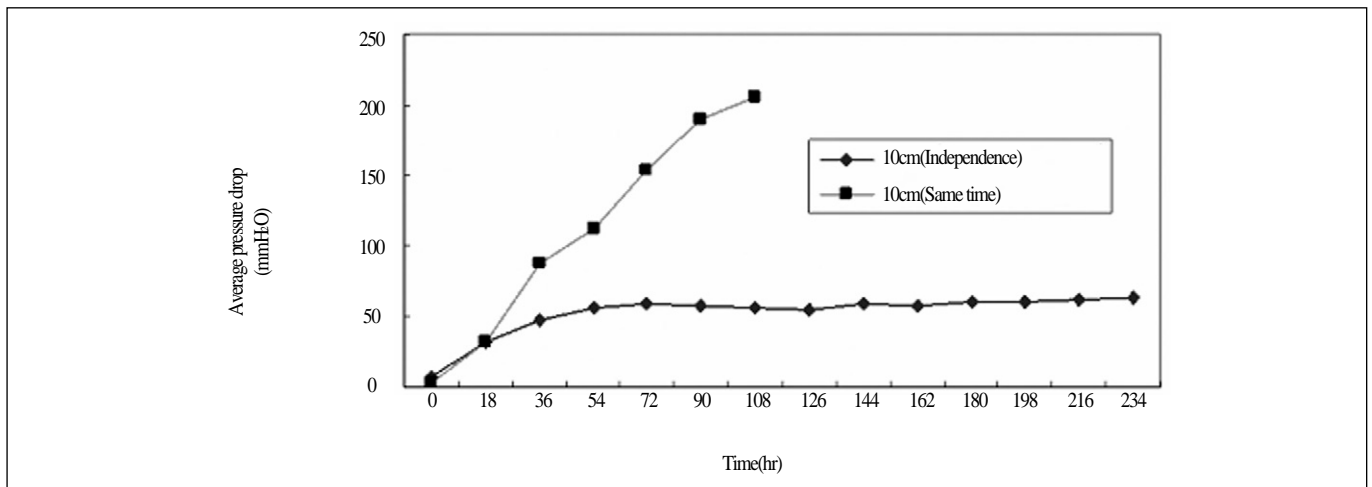


Fig. 16. Influence of pulse method with different bag interval(a)

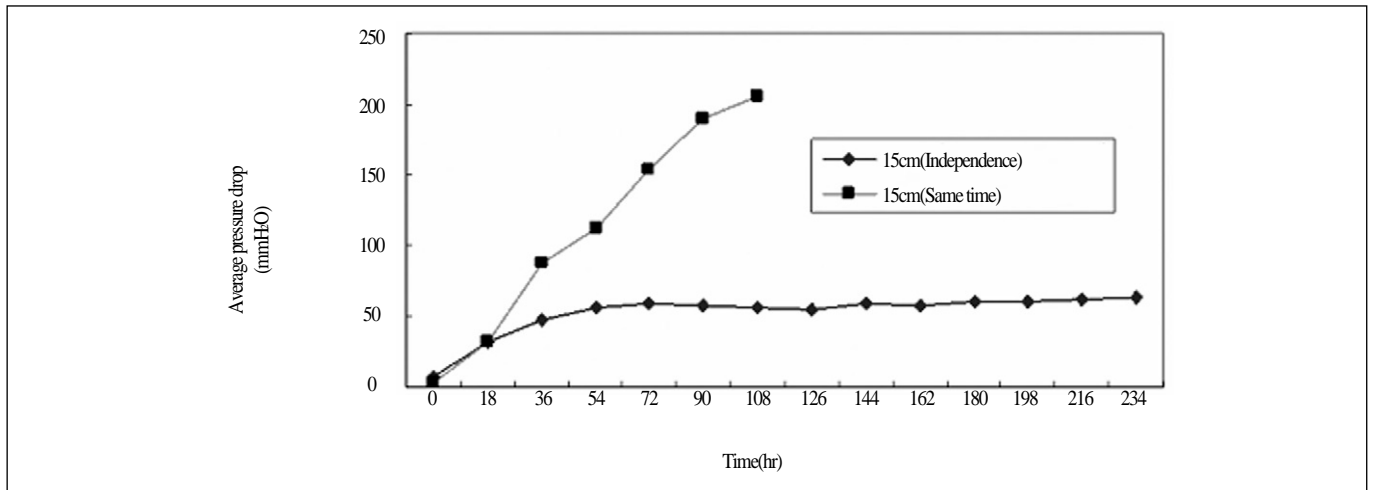


Fig. 17. Influence of pulse method with different bag interval(b)

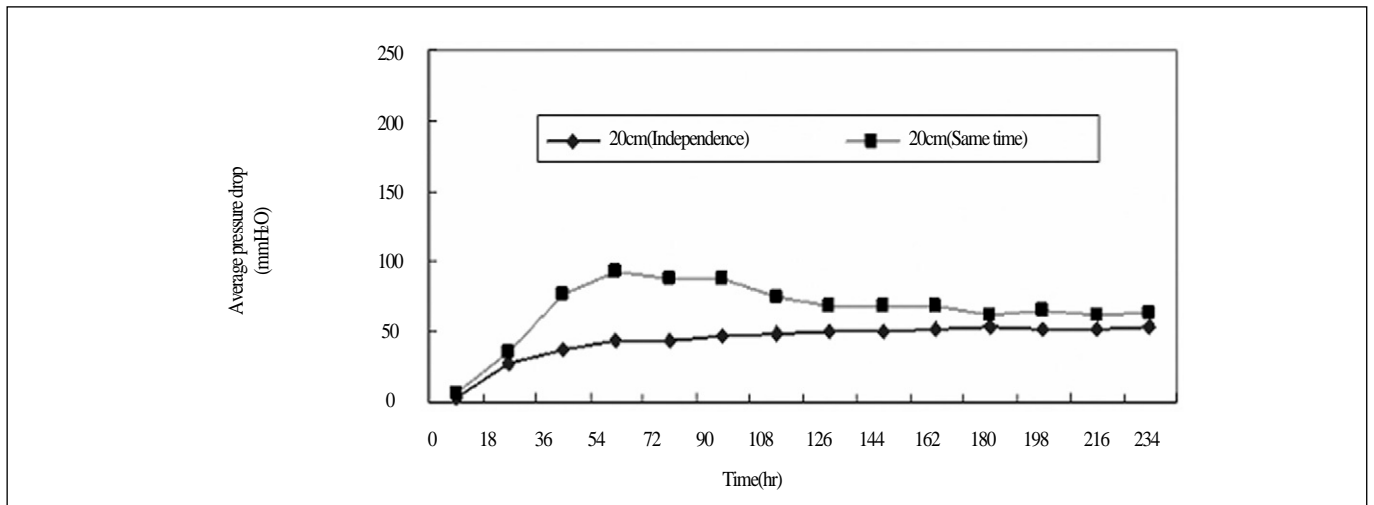


Fig. 18. Influence of pulse method with different bag interval(c)

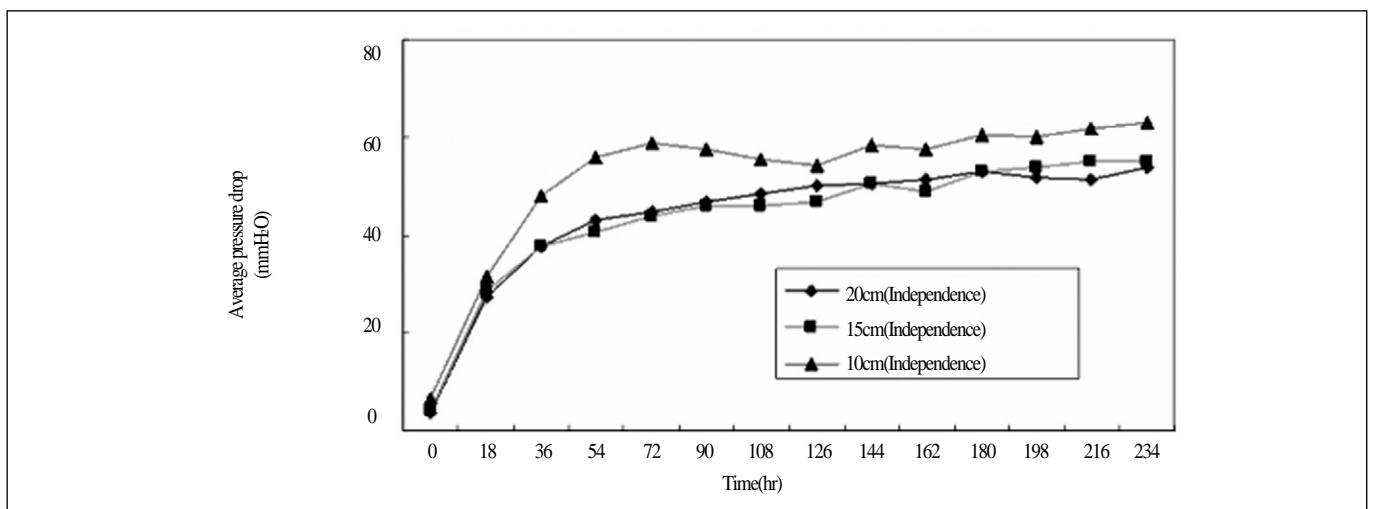


Fig. 19. Influence of different bag interval on independence pulse method(A)

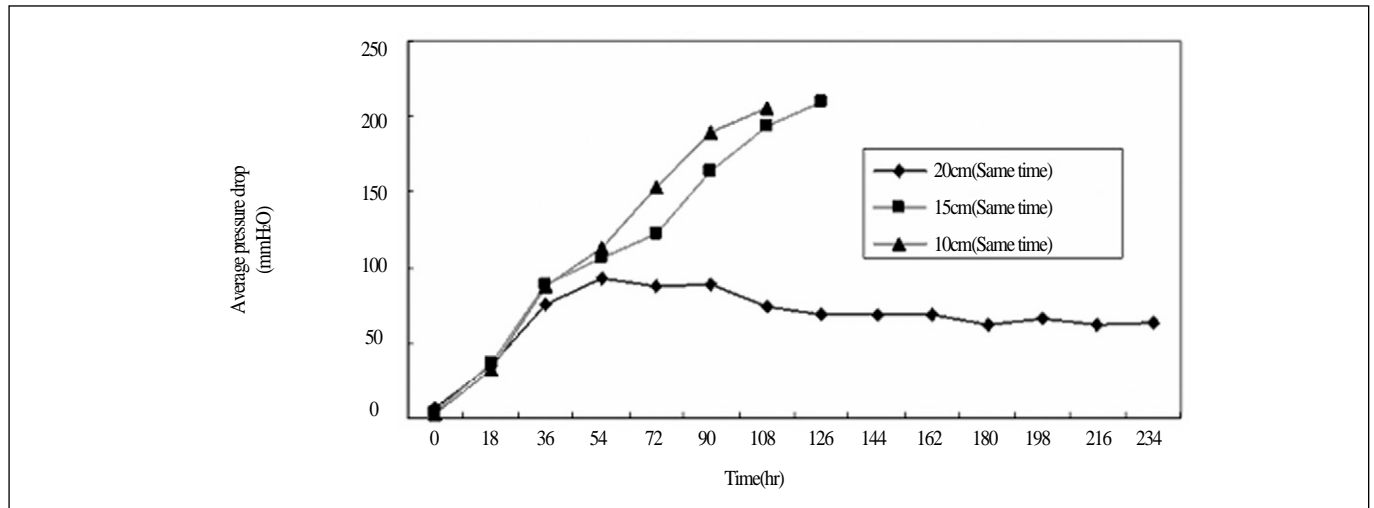


Fig. 20. Influence of different bag interval on independence pulse method(B)

향으로의 동시탈진방식을 사용할 때 최저필터간격을 20cm로 하여야한다. 동시탈진을 하는 시스템에서 필터간격을 부득이 20cm이하로 선정하여야 할 때에는 충격기류가 필터사이에서 합세하면서 발생한 순간적인 고압으로 인한 탈진장애를 극복하려면 횡축방향이 아닌 종축방향으로의 동시탈진방식을 채용하는 것이 바람직하다.

IV. 결론

필터규격이 LHW=150030050(mm)인 사각형 여과집진기의 T형 분사노즐을 사용하는 시스템에서 분사거리가 2cm일 때와 10cm일 때의 탈진효율은 모두 비슷하게 높지만 10cm일 때의 필터차압분포가 균일함으로 최적의 분사거리는 10cm 좌우이다. 분사압력은 높을수록 탈진효과가 우수하지만 단일필터의 분사압력은 3kgf/cm^2 이상일 때에는 탈진효율이 큰 증가세를 보이지 않는 반면에 필터차압분포가 불균일해지고 여재가 파손될 확률도 높아지기에 단일필터가 소요하는 최적의 분사압력은 0.3kg/cm^2 이다. 분사시간을 0.3초 이상으로 높일 때 탈진효율에 큰 변화가 없기 때문에 최적의 분사시간은 0.3초이다. 분사구멍수는 6mm구경 기준으로 6개일 때 탈진효율이 제일 높으며 필터전체에서 탈진이 균일하게 이루어지는 것으로 보아 최적의 분사구멍수는 6개이다. 필터재질을 살펴보면 폴리에스터 발수포와 노맥스가 모두 탈진성능이 우수하지만 필터의 차압분포를 볼 때 내열성이나 내수성이 요구되는 특수 환경을 제외한 일반적인 환경에서는 대부분 가격이 상대적으로 저렴한 폴리에스터 발수포를 사용하는 것이 좋다.

위와 같은 필터규격의 다중필터시스템에서 개별탈진방식

에서는 대체적으로 탈진효율이 높는데, 필터간격이 15cm이하에서는 필터간격이 클수록 탈진효율도 높아지지만 15cm 이상에서는 필터간격이 탈진효율에 큰 영향을 주지 않는다. 동시탈진방식에서는 필터간격이 20cm이하일 때 탈진이 잘 이루어지지 않으며 20cm이상에서는 탈진이 잘 이루어진다. 작은 필터간격에서 동시탈진방식을 사용할 때에는 횡축 방향으로의 동시탈진보다 종축 방향으로의 동시탈진방식을 선정하는 것이 바람직하다.

V. 감사의 글

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

REFERENCES

- 김선태. 충격기류식 여과집진장치의 펄스간격 및 분사거리 에 따른 압력손실에 관한 기초연구. 밀양대학교 석사학위논문; 2004.
- 김진철. 정전기력에 의한 미소입자의 여과집진성능 특성에 관한 연구. 호서대학교 석사학위논문; 2000.
- 김상도. 접선유입 방식의 원심여과집진 시스템의 특성. 충남대학교 박사학위논문; 2005.
- 김찬훈. 충격기류식 여과집진시설에서의 여과저항에 관한 연구. 동아대학교 석사학위논문; 1994.
- 박병현. 여과집진기에서 역세척 충격기류 분사노즐형태 및 탈진효율에 관한 연구. 경희대학교 석사학위논문;

- 2004.
- 박승욱. 사각형 여과집진기 충격기류 탈진시스템의 기초 연구. *J Korean Soc Occup Environ Hyg* 2008;18(2): 149-160.
- 서정민, 최금찬, 박정호. 충격기류식 여과집진장치의 펄스간격 및 분사거리에 따른 압력손실변화에 관한 기초연구. *한국환경과학회지* 2004; 13(3): 223-232.
- 이경미, 박병현, 조영민, 유정근. 여과집진기 역세척시 분사노즐 형태에 의한 영향 연구. *대한 폐기물학회* 2004; 21(1): 27-34.
- 이원희. 상부유입식 전기 Cyclone/Bag Filter의 특성. *부경대학교 석사학위논문*; 2000.
- 여상영. 환경정화용 백필터 여재의 설계와 여과 메커니즘의 분석. *한양대학교 박사학위논문*; 2006.
- 윤명주. 충격기류식 여과장치를 이용한 분진포집성능에 관한 기초특성 연구. *동아대학교 석사학위 논문*; 1993.
- 하문호. 예비하전장치를 이용한 여과집진 성능에 관한 연구. *호서대학교 석사학위논문*; 2000.
- 황계순, 공성용. 펄스-젯 여과집진기에서의 최적 탈진시스템. *대한환경공학회* 1997; 19(9): 1193-1204.
- 최용석. 하부유입식 원심여과집진장치의 특성에 관한 실험 연구. *부경대학교 석사학위논문*; 1998.
- A. Kavouras A, Krammer G. Distributions of thickness and gas velocity in the cake of jet pulsed filters-application and validation of a generations filter model. *Chemical Engineering Science* 2003; 58: 223-238.
- Chikao Kanaoka, Mana Amornkitbamrung. Effect of filter permeability on the r-lease of captured dust a rigid ceramic filter surface. *Powder Technology* 2001; 118:113-120.
- Ch. Stocklmayer, Hoflinger W. Simulation Practice and Theory. 1998; 6: 281-296.
- David Leith, Michael J, Ellenbecker. Dust emission from a pulse-jet fabric filter. *Filtration & Separation* 1983; July/August: 311-314.
- Wu-Shung Fu, Jia-Shyan Ger. A two-reservoir model to simulate the air discharged from a pulse-jet cleaning system. *J Air & Waste Manage. Assoc* 1999;49: 894-905.
- Xavier Simon, Sandrine Chazelet, Dominique Thomas, Denis Bemer, Roland Regnier. Experimental study of pulse-jet cleaning of bag filters supported by rigid rings. *j.powtec* 2006; 10-005
- Zhongli Ji, Mingxian Shi, Fuxin Ding. Transient flow analysis of pulse-jet generating system in ceramic filter. *Powder Technology* 2004; 139: 200-207.