



주물공장 바닥배출 분진처리 시스템의 활용방안

이 동 호

인천대학교 산업안전공학과(riedh@inchon.ac.kr)

손 두 익

산업안전관리공단(sondi@kosha.net)

분진의 정의는 공기중에 떠 있는 고체상의 모든 물질을 일컬으며, 주로 고형체를 대상으로 물리적 작용에 의하여 폭발, 연삭, 절단의 작업에서 다량으로 발생된다. 이러한 분진은 작업에서 인공적으로 발생되기도 하며 화산폭발, 암석파괴, 풍화 등과 같은 자연현상에 의해 공기 중에 존재하기도 한다.

일반적으로 산업현장 내에서 발생하는 부진은 유해작용에 의한 분류에 속하는 다음의 분진이 문제시된다.

- 진폐증을 일으키는 분진 : 유리규산, 석면, 활석, 산화베릴륨 등으로 폐내에 들어가 섬유조직 또는 결절형성 등의 증상을 나타내고 폐에서의 산소섭취 능력을 방해하며 흔히 폐결핵증을 유발한다.
- 전신중독성 분진 : 수은, 연, 카드뮴, 망간, 안티몬, 베릴륨 등의 금속과 비소, 인, 셀레늄, 유황 등의 화합물로 구성된 분진으로 중추신경계, 신장, 조혈장기 등 특정한 장기에 급성 또는 만성장애를 일으킨다.
- 자극성 분진 : 산, 알카리, 불화물, 크롬산 등으로 구성된 분진으로 눈, 호흡기 및 소화기 점막과 피부부를 자극하여 염증이나 궤양을 형성하고 치아를 부식시킨다
- 불활성 분진 : 석탄, 석회석, 시멘트분진 등으로

많은 양에 노출시 유해하다.

- 발암성 분진 : 인, 석면, 니켈과 보닐. 아민계 색소가 해당하며 인체에 암을 유발시킬 수 있다.
- 광물성 분진 : 광업, 조선소, 도자기 및 요업, 주물업, 유리제품제조, 연탄제조, 보석가공, 전기제품제조업 등

이상의 내용을 토대로 보면 지금까지 일상생활 또는 작업장내에서 분진에 대한 환기대책은 극히 미비하다. 이러한 문제점은, 주물공장의 작업환경에서 쉽게 찾을 수 있다. 주물공장은 대표적 3D 업종으로 손쉽게 작업장의 공기 질 개선을 언급하기는 매우 어려운 현실이다. 특히 주물공장에서 발생하는 소음 및 고열은 작업을 하는 순간에만 발생하므로 예방이 가능할 수 있으나, 작업시 발생하는 분진은 전체 작업장에 비산되어 배기 시설을 가동하여도 원활한 배출 특성을 얻기는 매우 어려운 현실이다. 또한 미세 분진의 발생과 아울러 후처리 작업시 흙이 발생되므로 일반적 환기설비적용으로 제거 불가능할 뿐만 아니라 근본적 해결방안에 대한 대안은 지금까지 없었다.

주물공장의 분진배출 개선 방안으로 지금까지 상부의 배기 시설을 이용하던 고정 관념을 탈피하여 작업장 바닥에 퇴적되는 분진을 근본적으로 잔류시키지 않고 발생 즉시 하방으로 배출하는 바닥배출 시스템에 대한 활용방안을 소개한다.



분진의 발생요인 및 현재의 처리방식의 문제점

1차 발생분진

주물공장에서 발생하는 분진은 작업형태에 따라 1차 및 2차로 나누어 발생된다.

1차 발생 분진은 표 1과 같으며 작업형태에 따른 대표적 발생물질에 대해 나타내었다. 1차분 진발생의 특징은 작업구조물의 형상이 복잡함에 따라 구조물 내부의 주물사가 완전 탈사 되지 못한 경우, 미 제거 주물사는 후처리 작업도중 바닥으로 흘러 나와 퇴적되는 특성을 나타낸다.

1차 발생분진 중에서 약 5~10%의 초 미세 분진만 상부의 배기 덕트를 통해 배출되고 나머지 미세 분진 및 슬러그 등 전체의 약 90% 이상은 바닥으로 침하 후 퇴적된다. 퇴적분진은 작업자의 활동과 가공물, 작업공구 등의 움직임에 의한 기류와 작업시 사용하는 압축공기 등의 영향으로 재비산된다. 이를 2차 발생분진이라 하며, 작업장의 공기질 개선을 위해 해결해야 할 주된 대상이 된다.

일부 사업장에서는 국소 배기 시설을 부착하여 발생하는 분진을 즉시 포집하여 배출시키며 작업도중 작업장 바닥에 쌓인 분진은 작업자가 수시로 처리한다. 이때 다량의 분진이 비산되어 작업장을 오염시키게 된다. 일부 작업장에서는 모래가 많지 않은 순수 연삭작업 분진은 진공흡입 장치를 사용하여 제거하는 경우도 있다.

작업장에서 확산된 분진은 전체환기 시설을 통해 환기시키고 있으나 실효를 발휘하지 못하고 있다. 평균적으로 발생 분진 처리를 하지 않고 작업을 하

는 사업장이 대부분이며 퇴적된 분진을 제거하지 않고 제품의 취급시 완충재로도 사용되고 있는 등, 21C를 향한 시점에서 상상하지 못할 현실이 존재하고 있다.

2차 발생분진

1차로 발생된 분진중에서 75 μm 이하의 초 미세 분진 약 5 ~ 10%만 상부의 배기덕트를 통하여 배출되고, 미세 분진 및 슬러그 등 전체의 약 90% 이상은 바닥으로 침하 후 퇴적된다. 퇴적분진은 작업자의 활동과 가공물, 작업공구 등의 이동에 의한 기류발생과, 작업시 사용하는 압축공기 등의 영향으로 재 비산되어 전체 작업장 공기중에 확산된다.

분진의 재 비산 요인은 다음과 같으며, 주물, 주강공장의 보수작업 공정에서 작업장내 공기질 개선을 위해 해결해야 할 주된 과제이다.

- 작업자가 움직일 때마다 발에 밟혀서 재비산
- 작업공구를 바닥에 놓을 때의 충격이나 주변 기류의 변화.
- 절단작업시 산소 및 가스의 분출압력에 의한 재비산
- 그라인딩 작업시 휠의 회전력에 의한 주변 기류의 변화
- 브러시 작업시 브러시의 회전력에 의한 주변 공기의 와류
- 작업시의 진동이나 충격 등에 의한 재비산
- 작업장 밖에서의 외풍유입, 작업장 내부의 기류 이동

분진배출 경로의 검토

이상의 분진특성의 검토로부터 지금까지 상부의 배기 시설을 이용하던 고정 관념에서 탈피하여 작업장 바닥에 분진이 근본적으로 잔류하지 않도록 발생즉시 하방으로 배출하는 방식에 대한 고안이

<표 1> 작업공정별 발생물질

작업구분	발생물질
그라인딩	금속분진, 저석분진, 전사
용접	흄, 유해가스, 슬러그, 스파터
브러싱	금속분진
가스절단	흄, 유해가스, 미스트, 스파터



이루어졌다. 그 배출경로별 감소율은 그림 1과 같이 설정하였다. 또한, 작업장 상부에는 작업성격에 따라 환기가 필요한 경우 별도의 흡 후드를 설치할 수 있도록 하였다.

배출방식

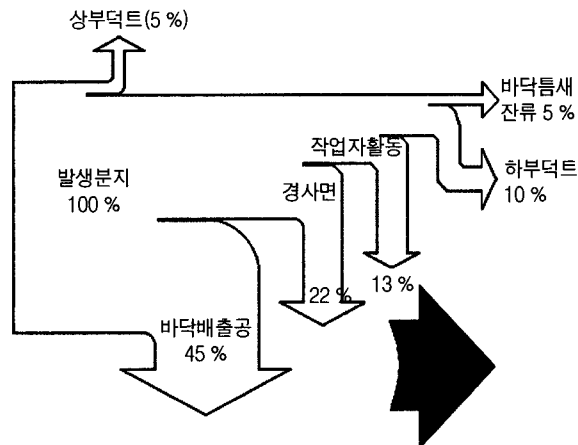
바닥배출된 분진의 취합방식의 특성상 습식과 건식 두가지 방법으로 나누어 시스템설계를 실시하였다.

습식처리

분진의 배출은 주위의 비산을 막기 위하여 습식 처리가 가장 이상적이나 설비가 복잡하여 비용이 많이 소요되고 미세 분진의 여과기술 및 폐수처리 설비가 없는 사업장과 탈사가 완전하게 이루어지지 않는 제품에는 적용하기에 적합하지 않다. 그림 2는 그 개념도를 나타내며 이 방식은 기존의 폐수처리 방식과 연계하여 검토할 경우 실효성이 큰 방식이다.

건식처리

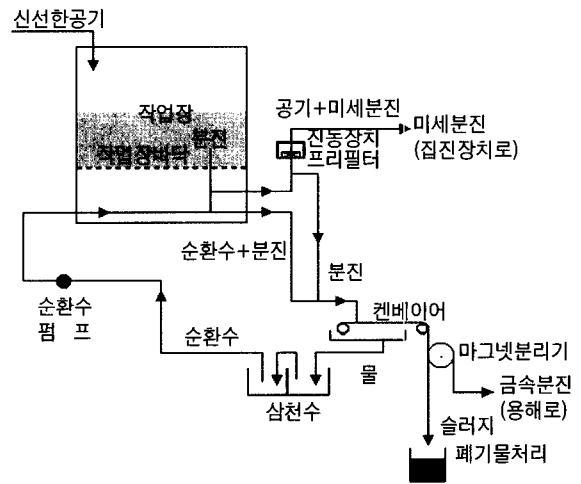
제품의 구조상 탈사가 완전하게 이루어지지 않거나 폐수처리가 어려운 사업장에서는 모래의 재생을 쉽게 하기 위하여 건식처리 방식이 우수할것으



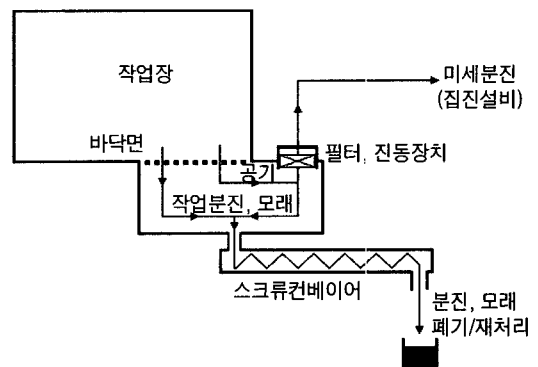
[그림 1] 작업장 분진의 배출경로설정

로 예상된다. 따라서, 다음의 2가지 안을 제시하여 사업장 특성에 맞추어 선택할 경우 후처리설비로서의 실효성이 클 것이다. 건식처리 방식의 개념도를 그림 3에 나타내었다.

한편 이 방식은 지하공간을 많이 필요로 하는 단점이 있다. 이러한 습식처리 및 건식처리 안을 기본으로 작업장의 여건에 따라 여러 가지 방법을 응용하거나 실정에 맞게 변형하여 설치할 수 있다. 이때 바닥면 아래 부분에는 충분한 공간이 형성되어야 배기성능을 향상시킬 수 있음을 유념하고, 필요에 따라서는 바닥면 전체를 다공판으로 설치함으로써 효과를 극대화시킬 수 있다.



[그림 2] 습식처리방식 개념도



[그림 3] 건식 처리방식 개념도



바닥판과 하부구조

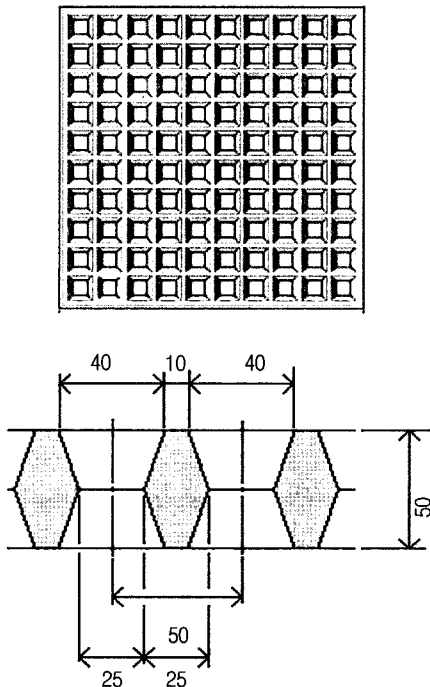
바닥판

발생된 분진이 작업장 내에 체류하지 않고 즉시 배출될 수 있도록 작업장 바닥에 구멍을 설치한다.

단면부 중 상부의 표면적을 가장 작게 하는 것이 분진의 체류를 효과적으로 줄이는 방법이며, 강도와 배기속도의 향상을 위해 그림 4와 같이 가운데 부분이 넓은 다이아몬드 형상이 적합하다.

하부공간(plenum)

하방으로의 배기를 균일하게 하고 공기유동을 원활하게 하기 위해서는 충분한 공간이 확보되어야 한다. 이 때 배기덕트 유속으로 인한 수평방향 흡인력과 바닥판 구멍으로 흘러 떨어진 분진의 수직방향 낙하속도 등의 영향으로 인하여 대부분은 바닥으로 떨어지게 된다.



[그림 4] 바닥판 형상 및 단면구성

수로(선택사항)

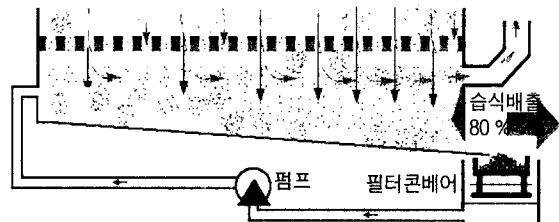
수로는 약간의 경사를 주어 수면에 떨어진 분진이 바닥으로 가라앉더라도 쉽게 흘러내려 갈 수 있도록 한다. 수로의 바닥 면은 에폭시 도장을 하여 마찰계수를 줄이고 물 속으로 침강한 입자가 쉽게 미끄러져 떠내려갈 수 있는 구조와 재질로 한다. 다만, 여기에서 문제가 되는 것은 가우징 작업시 용락된 철 응고물이다. 무게가 무거워 쉽게 떠내려가지 않을 가능성이 있으므로 년1회 정도 주기적으로 퇴적된 것을 청소하여야 할 필요성이 대두된다.

배플

하부공간과 수로의 출구에 배플을 설치하여 유속을 증가시킴으로서 경사로에서도 쓸려 내려가지 않는 무거운 분진이 있으면 증가된 유속에 의해 쉽게 흘러 나갈 수 있도록 한다. 배플 위에 배기덕트를 설치하여 공기의 흡인력에 의해 바닥에 잔류하는 분진이나 하부로 침강하는 분진의 유동속도를 증가시켜 이때 쉽게 수면으로 떨어지도록 하며, 배기덕트의 입구에 필터(pre filter)를 설치하여 일정 크기 이상의 분진은 이곳에서 여과되며, 수시로 진동을 가하여 수로로 쉽게 떨어지도록 한다.

컨베이어장치

필터 컨베이어는 여과된 슬러지의 양을 감지하여 필요시에만 구동되도록 한다. 철망 구조의 벨트 위에 롤 여과지(roll filter paper)를 공급시켜 컨베이어의 구동속도와 동일하게 이송시키면서 순환수에 포함되어 있는 입자를 여과시킨다.



[그림 5] 경사수로의 구조



순환수

순환수는 제대로 처리하지 않으면 폐수처리 공정을 거쳐야 하므로 더욱 세심한 주의를 하여야 한다. 필요시 수용성 절삭유를 첨가하여 철분의 부식을 방지하고, 유동성을 좋게 하며, 폐수 처리량을 최소화하기 위하여, 필터 콘베어에서 여과된 물은 순환 펌프를 사용하여 경사로 상류로 재순환 시킨다.

이때 경사로 하류에 마그네틱 필터 세퍼레이터를 설치하여 금속분을 별도로 포집 할 수 있으며, 이렇게 하면 펌프의 수명도 연장되고, 철분을 분리 수거하여 용해로로 보내 용해시킴으로서 재활용 하는 방법도 고려 할 수 있다.

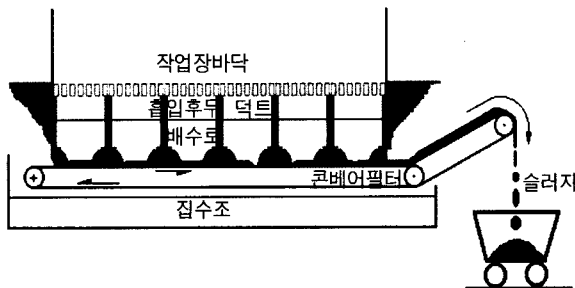
집수조(침전조)

순환수의 최 하류에 집수조를 설치하여 여과되지 않은 입자가 순환수에 포함될 경우를 대비하여 침전시키는 기능을 추가한다. 펌프의 수명 연장과 순환수의 수질을 깨끗하게 유지시킬 수 있다.

수처리 문제

순환수에는 철분이 함유되어 있기 때문에 이를 직접 수처리장으로 흘려 보내면 활성오니법에 의해 처리하는 공장에서는 문제를 일으킬 소지가 있다.

따라서 앞에서 언급한 바와 같이 마그네틱 세퍼레이터로 철분을 분리시키고 집수조에서 중발시키거나 침전시킨 후 슬러지 형태로 특정폐기물로 처리하는 것이 가장 효과적이다.



[그림 6] 콘베어 구조(습식)

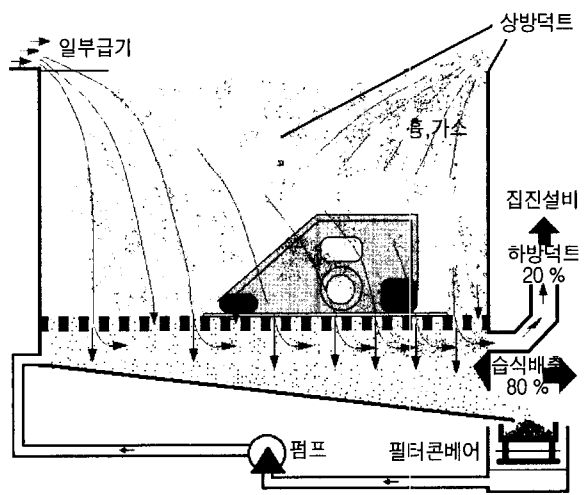
개선된 설비구조

습식처리

이 구조는 탈사 공정에서 거의 완전한 탈사가 이루어지고 후처리 작업공정에서 주로 그라인딩 작업량이 많은 경우에 적합한 구조이다. 분진의 완벽한 처리가 가능하여 공장내부로 확산되기 이전에 확실히 제거할 수 있으나 공사에 소요되는 비용부담이 크다. 한편 수처리에 관한 문제는 앞에서 언급한 내용과 같이 좀 더 심층적인 검토가 있어야 하며, 여기서는 제외하였다.

건식처리

이것은 주물사의 처리가 완벽하게 될 수 없는 내부구조가 복잡한 물건을 제작하는 사업장에 적합한 방식으로서 공사비의 부담을 줄이고 단기간 내에 설비를 개선 할 수 있는 장점이 있다. 주물사를 처리하기 용이하며 작업장 바닥의 청소가 쉽다. 필터는 진동장치를 추가하여 수시로 흡착된 분진을 제거할 수 있도록 하고, 댐퍼의 개폐는 액츄에이터를 이용하여 콘베어 가동시점과 집진 송풍기 가동시점을 조절할 수 있다. 또, 스크류 콘베어를 경사지게 설치하면 지상으로 이송하기 쉽다.



[그림 7] 습식처리 방식의 구조



호퍼와 이송장치(제 2안)

건식으로 처리하는 또다른 방식은 경사진 호퍼를 설치하고 그 아래에 버킷 컨베이어(또는 스크류 컨베이어)를 설치하여 모래분진을 자동으로 이송, 배출시키는 방법을 선택할 수 있다. 이때 하부에 충분한 공간을 확보할 수 있으면 배출구를 한곳만 만들어 컨베이어를 1 기만 설치해도 좋으며, 작업장의 크기가 아주 작은 경우에는 컨베이어에 의한 이송을 생략하고 직접 배출시킬 수 있다. 이 방법도 컨베이어의 설치 경사각에 따라서 지상까지 밀폐된 계 안에서 분진이나 주물사의 이송이 가능하다.

바닥배출 시뮬레이션 성능 검토

주물공장의 형태 및 크기는 입지조건 및 환경적 요건에 따라 다양하므로 단일 형태로 모범답안을 만들 수 없다. 따라서, 분진처리시스템의 설계에 앞서 성능검토의 필요성이 대두된다.

특히, 바닥배출방식의 배출특성에 대한 검토는 주물공장의 분진처리의 핵심이 되므로 후처리공간 내로 유입되는 외기조건을 경계조건으로 정확히 설정하여시뮬레이션을 통해 타당성 입증에 선행되

어야 한다. 이렇게 얻어진 시뮬레이션 결과는 분진 배출 시스템의 설계 타당성 검토로 적극적으로 활용되어야 한다.

입자 영상유속계 (imaging velocimetry)

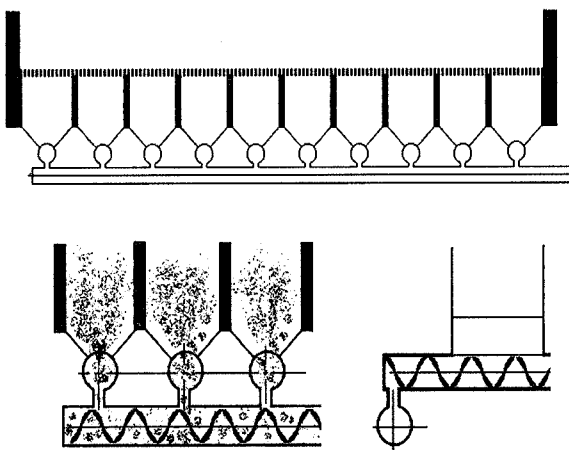
공업현장의 유체 흐름을 computer graphics로 표현하는 기술은 최근 디지털 화상처리기술의 발달로 비접촉 계측의 주류를 이루고 있다. 2차원 또는 근간 3차원공간의 실시간 속도계측이 가능하게 됨에 따라 분진거동의 계측에 매우 유용하게 이용될 수 있다.

따라서, 영상유속계는 유체의 정량적 파악과 정성적 측정이 가능하며 정상 및 비정상 흐름장의 2차원, 3차원해석을 축소모형실험을 대상으로 환기설비의 성능파악이 가능하다. 특히, 공장의 특성을 상사법칙으로 맞추어 분진의 바닥배출해석 tool로 사용된다. 주물공장의 1:1 scale을 대상으로 바닥배출 특성에 대한 시뮬레이션은 불가능하므로 축소모형이 채택된다. 모형실험의 장점은 정상적인 환기검증과 비정상상태인 화재 시 방재 능력을 동시에 검증할 수 있는 점이며 대표적으로 다음의 2방식이 사용된다.

- PIV (particle image velocimetry) : 공장모형 내의 환기성능 검증
- CCIV (continuous concentration imaging velocimetry) : tracer가 분포된 영상의 밝기로 경로추적 방식

PIV, CCIV의 공간정보 취득에 있어서 공통적인 장점으로 다음을 들수 있다.

- LDV (laser dopper velocimetry) 및 열선유속계 (hot wire anemometer)와의 비교 : 기존의 점계측 (point measurement) 속도측정법은 국부적인 속도정보만을 제시함으로써 매순간 변화하는 유동구조의 공간변화를 정확히 해석하



[그림 8] 건식처리방식 (2안)



<표 2> 실험기기

가시화 실험기기	국내/국외 기기		모 델 명
	국내 도입	국외 수입	
레이저 광원	Ar Laser		○ CW Power: 5.0W Beam Diameter: 1.5mm Beam Divergence: 1.5Mrad Cooling: Water (2.5Gal/min) Power Supply Cooling: Water/Fan
	Nd-YAG Laser		○ Single Pulse at 532nm (10Hz) • Power: 300mJ • Min/Max intrapulse rate: 1-200ms • Cooling: Closed loop air cooling
광학 기기	Optical Table	○	• OB-1800DH
	Optical Lens Beam Splitter Special Filter Object Mirror Plate Holder Optical Chopper	○ ○ ○ ○ ○ ○	• OL101,102 • BS-50M • SF-02M • HMH-60M • KH-45T • (Hz 제어방식)
영상 취득 및 해석	Digital Video DV Board S-VHS Video 화상취득		○ ○ ○ ○ • S-VHS Video • Sony DCR VX-1000 • Sony DVBK-W 1000 • Mitsubishi HV-S700 • Ditect DIG-98
	Software -유체화상해석 -농도변위량해석	○	○ • LibFlow-Vec32 • LibGray-Val32
계측기	EPS(Electronic Pressure System) -Soft/ware -Module -Calibrator -Sensor		○ • EPS장비Set

기 어렵다. 반면 PIV (particle image velocimetry) 및 PTV (particle tracking velocimetry)는 정성적인 순간 유동정보의 제공 및 우수한 공간분해능을 갖는 정량적인 속도정보

를 제공함에 따라, 분진이동과 같은 연속공간 영역에서의 환기성능평가에 적합하다. 모형모델실험의 조건, 방법, 데이터계측법 및 실험에 필요한 실험기기는 표 2와 같다.

가시화 시뮬레이션은 풍량의 변화에 따른 트레이서의 공간벡터를 분석함으로써 물질배출 포착성능에 대한 평가가 가능하게 된다. 가시화 실험에서는 기상의 스모크와 고상의 분진으로 구분하여 트레이서로 적용하는 경우의 기준으로 기상의 경우 high density법을 고상의 경우는 low density법을 가시화의 방식으로 적용한다. 따라서 종합적인 주물공장 후처리 공정의 작업환경개선이 이루어질 수 있는 배풍량의 조건을 도출하기 위해 종합적으로 유해물질이 배출 가능한 최소 배풍량이 산정된다.

맺음말

분진처리방식에 대한 시스템 도입으로 신설되는 주물공장을 대상으로 기존의 환기시스템에서 얻을 수 없는 획기적인 공기질 개선이 기대된다.

시스템 적용에 있어서 고려할 사항은 공장규모를 감안하여 최적의 하방배출 배출 배풍량을 선정하는 것이며 발생 스모크 및 분진의 원활한 배출이 가능함을 시뮬레이션을 통하여 우선적으로 확인하는 작업이 무엇보다 선행되어야 한다. 또한 행정규제를 피하기 위한 설비투자는 제한적 효과를 낼 수밖에 없으며 사업주의 투철한 개선의지 및 개선 사업장을 대상으로 한 정부보조금의 확대가 병행될 경우 실효성이 있을 것으로 사료된다. (★)