

집진장치의 유입구조에 따른 세라믹필터의 철입자 제거특성에 미치는 영향

박 영 옥^{1),*} · 정 주 영^{1),2)} · 서 용 철²⁾

¹⁾한국에너지기술연구원 청정화석연료연구센터, ²⁾연세대학교 환경공학과
(2009년 12월 16일 접수, 2009년 12월 30일 채택)

Effect of inlet structure of filtration system on the removal characteristics of iron particles by ceramic candle filters

Young-Ok Park^{1),*}, Ju-Yeong Jeong^{1),2)} and Yong-Chil Seo²⁾

¹⁾Clean Fossil Fuel Research Center, Korea Institute of Energy Research

²⁾Department of Environmental Engineering, Yonsei University

(Received 16 December 2009, accepted 30 December 2009)

Abstract

Wet-type particulate removal system is employed in most of ironmaking processes. These de-dusting systems require additional downstream aggregates for treatment of water and for drying of the collected slurry. Thus dried slurry can be pressed in shape of briquettes and recycled in the steelmaking process. Different from the wet-type, the dry-type particulate removal systems generate no slurry. A high-temperature, high-pressure de-dusting system with inertial inlet was developed. The target application of this system was to remove particulate matter generated from the novel ironmaking process and other steelmaking processes. In this study we conducted tests with this newly developed system to evaluate the performance of the silica-carbide (SiC) ceramic filters. In addition, for purpose of comparison, we also conducted tests with a unit which has conventional direct inlet. Fe-Particles collected from the novel ironmaking process were used in our tests as test dusts. The temperature and the pressure were kept constant at their respective values 800°C and 3 kg_f/cm².

Key words : Wet-type de-dusting system, Dry-type de-dusting system, New ironmaking process, Inertial inlet, Direct inlet, Silicon-carbide ceramic candle filter

1. 서 론

고온고압조건에서 배출되는 배가스 정제를 위한 대표적인 집진 설비로는 세라믹필터가 설치된 고온

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)42-860-3625, E-mail : yopak@kier.re.kr

고압집진장치가 대표적인 것으로 인정되고 있다 (Choi, 2008). 세라믹필터는 열 및 화학적 저항성과 기계적 충격 저항성이 커 고온고압조건에서 활용이 가능하다. 또한, 기존 섬유필터에 비해 세라믹필터는 고형화되어 있기 때문에 별도의 지지체가 필요 없다. 따라서, 설치비와 운전비를 현저히 줄일 수 있으며, 약 1,000°C와 10 kg/cm² 이하의 조건에서도 안정적으로 운전이 가능하다 (Chris, 1998). 또한 고온고압가스 여과기술은 고온고압 여과조작의 필수적인 냉각장치나 열교환기 등이 필요 없는 장점과 고온고압에서 먼지입자상물질을 완전히 제거함으로써 배기시설의 후처리를 간단하고 청정 배가스를 고온에서 폐열 활용으로 전환할 수 있는 점에서 에너지 절약과 환경오염 저감이 절실히 요청되는 차세대에 필수적인 기술로서의 많은 장점을 갖고 있다.

제철공장의 신개념 용융환원 제철공정의 분광 환원용 유동화로에서 배출되는 배가스의 온도는 600°C, 압력은 3.0 kg/cm²이며, 함유된 철입자의 농도는 약 20 g/m³, 일산화탄소가 36%, 이산화탄소가 23% 함유되어 있다. 배가스 중에 함유된 철입자를 회수하기 위해 현재는 습식인 세정식 집진장치를 이용하고 있다 (Lee, 2002). 세정식 집진장치에서 정제된 배가스는 발전소의 연소용 공기로 활용하고 있다. 따라서 배가스를 습식인 세정식 집진장치로 활용하여 배가스를 정제하므로 인해, 3.0 kg/cm², 600°C의 배가스가 상압, 20°C로 냉각된 조건으로 발전소에서 연소용 공기로 활용하고 있다. 배가스의 처리용량이 300,000 m³/hr인 경우 3.0 kg/cm², 600°C의 청정 배가스를 상압의 20°C 청정배가스로 전환하여 활용하므로 인해 176,716,000 kJ/hr의 에너지를 낭비하고 있고, 약 5.4 ton/hr의 탄소를 소비하며, CO₂로 환산하면 약 19.8 ton-CO₂/hr를 발생시키고 있다 (Lee, 2002). 또한, 3.0 kg/cm², 600°C의 청정 배가스를 활용하면 상압, 20°C의 청정 배가스를 활용하는 조건에 비해 발열량이 54 kJ/g인 천연가스로 환산하면 약 3,272 kg/hr의 절감효과에 해당된다. 또한 세정식 집진장치에서 배가스 중에 함유된 철입자를 회수하기 위해 많은 양의 세정액을 분사시켜야 하고, 이에 따라 폐수처리 설비가 필수적으로 가동되어야 한다. 이에 따라 대용량의 공업용수가 필수적으로 필요하다. 또한, 회수된 슬러지 상태의 철입자를 용광로에 장입하기 위해서는 건조가 필수적으로 필요하므로 건조를 위한 에너지 소

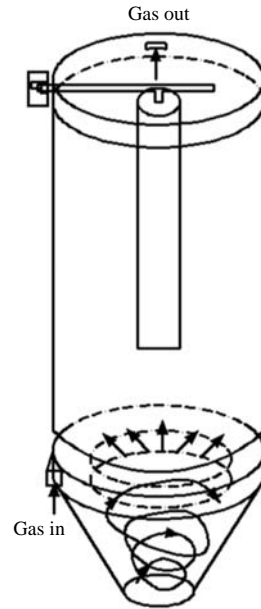


Figure 1. Structure of high temperature, high pressure filter test unit and typical flow pattern of gas and particulate.

요가 부가적으로 필요하다.

따라서, 본 연구는 신개념의 용융환원 제철공정 배출가스를 건식으로 처리하기 위한 기초연구로서 고온고압용 세라믹필터를 접선유입방식의 집진장치와 기존의 방식인 직접유입방식의 집진장치에 설치하여 신개념의 용융환원 제철공정의 유동층 용융환원로에서 배출되는 철입자상물질에 대한 제거성능을 800°C, 3.0 kg/cm² 조건에서 여과성능을 실험적으로 비교하였다.

2. 실험 및 방법

2.1 유입방식

기 개발된 CYBAGFILTER[®]는 접선유입방식으로 집진장치 중에서 먼지가 유입되는 장치 하단부분을 사이클론 형상으로 변형한 장치이며, 이를 응용하여 Figure 1에 접선유입방식의 고온고압 집진장치의 개념도와 접선유입에 의한 먼지입자의 흐름도를 예측하여 나타냈다 (Park, 2001; Kim, 2004; Kim, 2005; Park, 2008). 본 실험에서는 Figure 1의 장치 하부를 Figure 2의 접선유입방식의 하부구조(a)와 직접유입

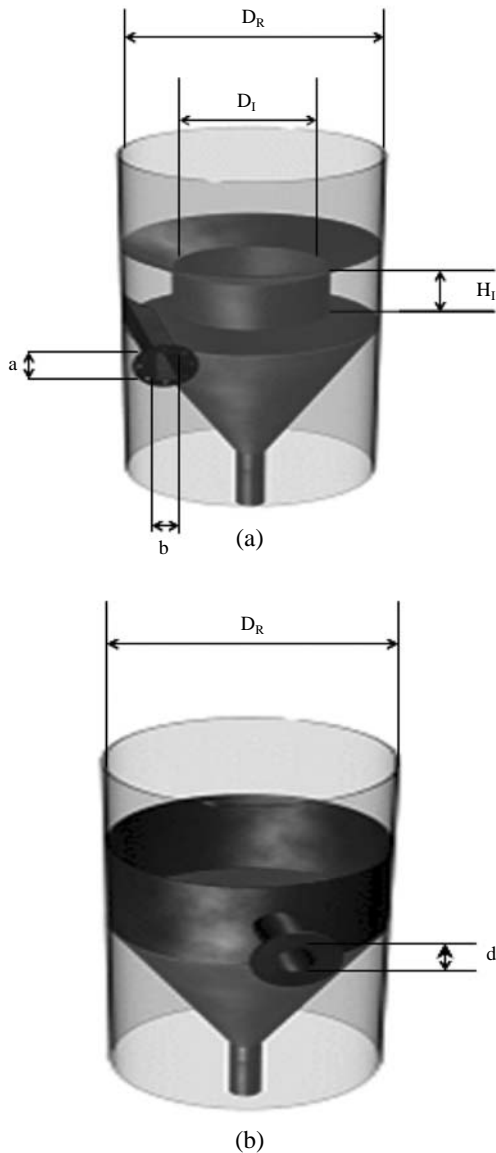


Figure 2. Structure of inertial inlet (a) and direct inlet (b).

방식 하부구조(b)를 제작 설치하여 고온고압 집진장치에 세라믹필터를 설치한 조건에서 집진장치의 유입방식 따른 여과성능 비교 평가하였다.

접선유입방식 입구구조는 유입먼지입자의 질량기준 평균입자크기 (D_p50)가 $5.0\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 범위에서 유입구를 유입한 기체와 먼지입자가 접선방향으로 1차 선회류를 유도하기 위한 가장 적합한 유입속도인

$19.6\ \text{m/sec}$ 이 유지되는 구조인 유입구 폭(b)과 길이(a) 비(b/a)를 0.5로 설계하였다. 1차 선회류는 장치 내부벽을 따라 하강하면서, 하단부의 호퍼부근에서 선회방향을 바꾸면서 중심축을 따라 2차 상승 선회류로 바뀌므로, 2차 선회류가 상부의 세라믹 필터로 균일한 분산되어 상승하도록 하기 위해 장치내부 직경(D_R)과 내통직경(D_I)의 비를 0.654로 설계하였고, 장치내부 직경(D_R)과 내통길이(H_I)의 비를 0.224로 설계하였다(Park, 2001; Kim, 2004; Kim, 2005; Park, 2008).

선회중에 먼지입자와 기체는 원심력과 중력 및 관성력의 평형이 깨지면서 먼지입자와 유체가 분리되기 시작하고, 외벽면에 부딪히는 먼지입자는 침강하여 포집된다(Kim, 2004). 이러한 원리에 의해 유입되는 먼지입자 중 입경이 큰 먼지입자들이 1차적으로 제거된 후, 나머지 먼지들은 상승하여 상부의 세라믹필터에서 포집된다. 세라믹필터에 포집된 먼지들은 주기적인 탈진조작에 의하여 하부로 떨어져 먼지입자 저장조에 저장된다. 직접유입방식의 입구형상은 원형으로 접선유입방식의 입구에서 유속과 같은 유속이 유지되도록 입구직경(d_i)을 설계하였다.

2.2 실험장치 및 방법

접선유입방식과 직접유입방식에 따라 세라믹필터의 여과성능을 실험하기 위한 실험장치의 흐름도를 Figure 3에 나타냈으며, 좌측에 접선유입방식의 세라믹필터 성능 실험장치와 우측에 직접유입방식의 세라믹필터 성능 실험장치를 나타냈다. 실험장치의 총 유량은 $3.0\ \text{kg}_f/\text{cm}^2$, 800°C 조건에서 $650\ \text{L}/\text{min}$ 이다. 실험장치는 세라믹필터 성능 실험장치의 본체부분, 실험용 먼지 정량공급 및 분사부분, 청정가스 배출부분, 탈진용 압축공기 생산 및 정제부분, 탈진공기저장 및 분사조절부분, 온도조절부분, 압력조절부분으로 구성되어 있다. 각각의 실험장치에는 길이 1,500 mm, 내경 40 mm, 외경 60 mm, 두께 20 mm인 silicon-carbide 세라믹필터 1본을 설치하였다. 각각의 실험장치에 유입되는 공기의 온도는 장치 전단에 설치된 예열히터 1에서 약 400°C 까지 상승시키고, 예열히터 2에서 약 600°C 까지 상승시키고, 장치 본체의 세라믹몰드 히터에서 요구하는 온도 800°C 까지 상승시켜 일정하게 유지하였다. 또한 각각의 실험장치 내부의 압력은 후단의 압력조절밸브를 이용하여 $3.0\ \text{kg}_f/\text{cm}^2$

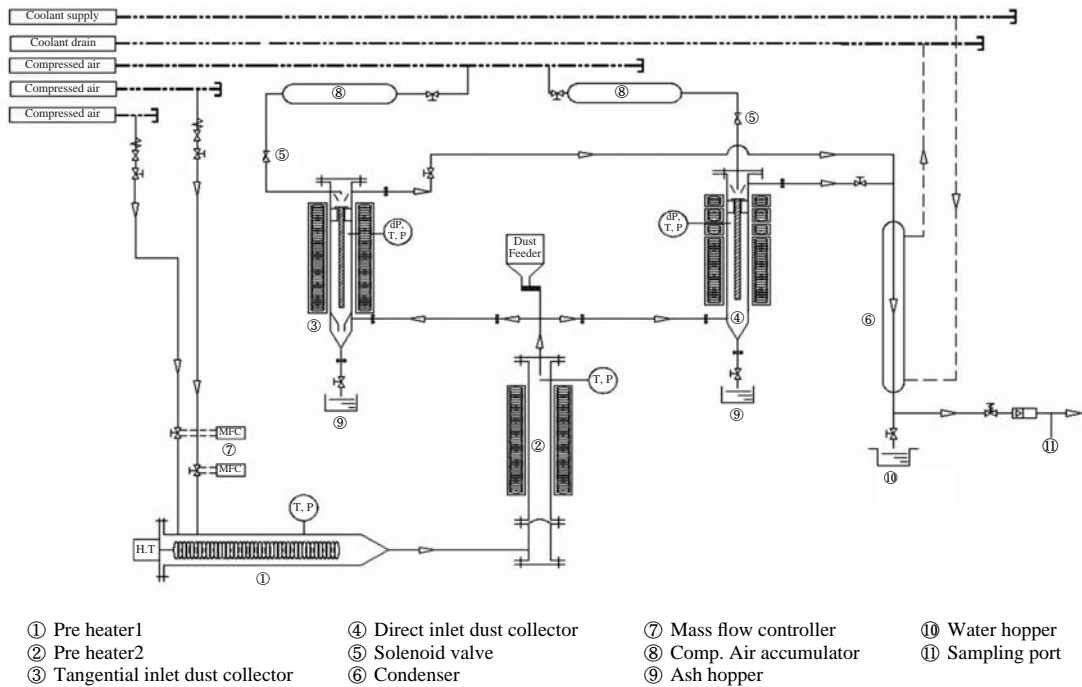


Figure 3. Schematic diagram of experimental.

Table 1. Experimental conditions

Test filter	Silicon-carbide ceramic filter
Filtration area, m ²	0.294
Filtration velocity, m/min	0.5 ~ 1.0
Inlet dust concentration, g/m ³	20.0
Pulse-jet air pressure, kg _f /cm ²	5.0
Pulse duration, msec	100
Cleaning onset filter pressure drop, mmH ₂ O	250
Inlet air temperature, °C	800
Inlet air pressure, kg _f /cm ²	3

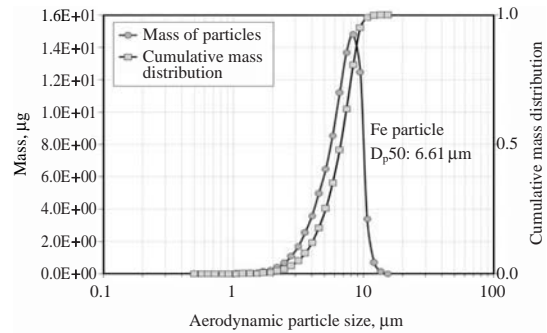


Figure 4. Particle size distribution of test dust.

로 일정하게 유지하였다. 본 연구의 실험조건을 Table 1에 나타냈다. 실험용 먼지입자는 신개념의 용융환원 제철공정에서 배출되는 3.0 kg_f/cm², 800°C 조건의 배가스 중에 함유된 철입자를 사용하였다. Figure 4에 실험용 철입자의 입자크기분포를 나타냈다. 실험용 철입자의 진밀도는 약 3.58 g/mL이고, 중간입자크기 (number median diameter)는 3.66 μm이다. 고압공기의 유량은 질량유량 조절계 (BROOKS, Model 5851E MFC, mass flow controller)를 이용하여 일정 유량으

로 조절하여 공급하였다. 세라믹필터 표면에 포집된 실험용 철입자층을 주기적으로 털어내기 위해 충격기류 탈진방식을 이용하였다. 탈진용 충격기류용 압축공기는 실험장치의 압력손실이 250 mm H₂O에 도달하였을 때 5.0 kg_f/cm² 압력, 100 m/sec의 속도로 실험용 세라믹필터의 상부에서 분사하였다. 철입자의 입자크기별 질량농도 및 개수농도 측정은 먼지입자 측정장치 (TSI, Aerodynamic Particle Sizer, Model

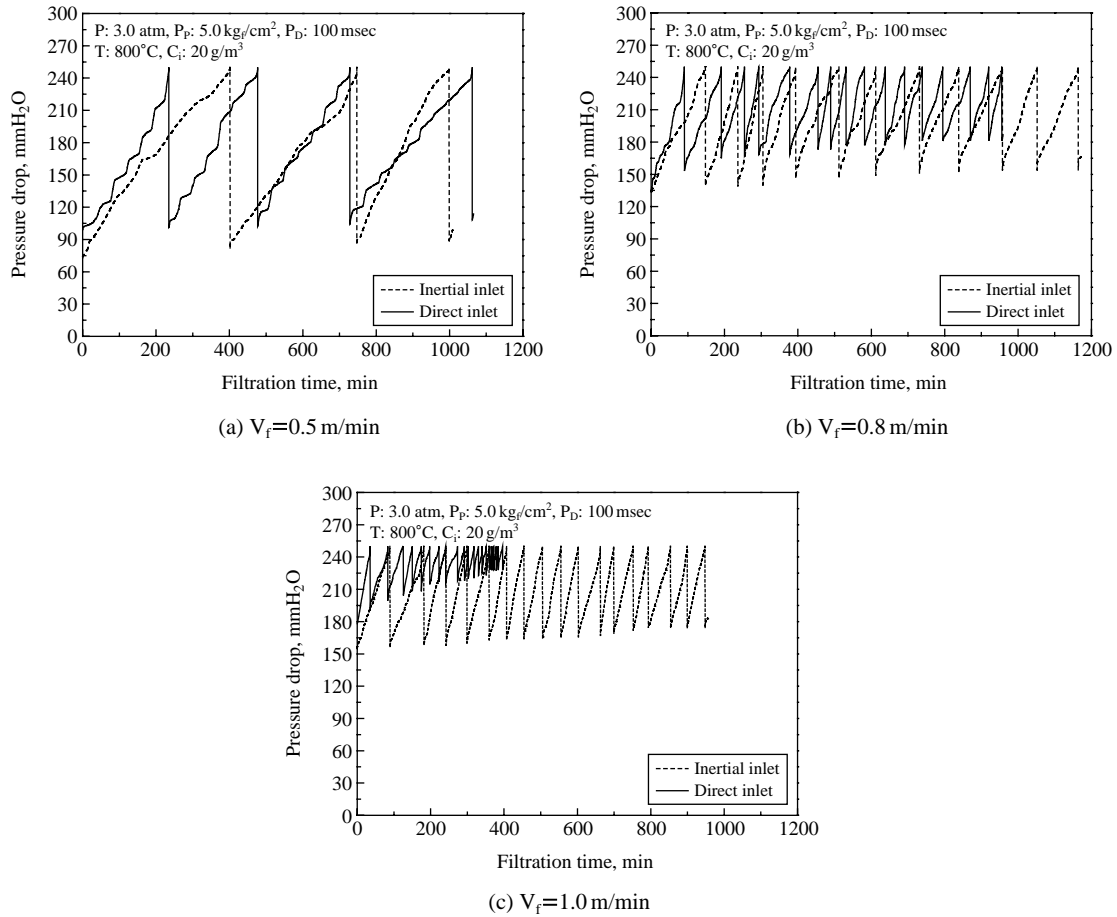


Figure 5. Pressure drop variations of the ceramic filter with inertial inlet and direct inlet.

3321)를 사용하였다. 실험장치의 입구에서는 먼지입자 농도가 높아 희석장치(Diluter, TSI 332101)를 사용하여 1/100 비율로 희석하여 먼지의 농도를 측정하였다. 실험용 먼지입자의 공급은 고온고압조건에 적합한 먼지입자정량공급장치를 설계, 제작하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압력손실

접선유입방식과 직접유입방식에 따라 여과시간에 따른 여과속도별 세라믹필터의 압력손실 변화 경향을 여과속도별로 Figure 5에 나타내었다. 그림에서

보면 접선유입방식인 경우가 직접유입방식에 비해 세라믹필터의 압력손실 상승이 완만하였고, 탈진간격이 길어진 것을 알 수 있으며, 여과속도가 빠른 조건일수록 짧아진다는 것을 확인하였다. 특히 여과속도가 1.0 m/min인 조건에서는 직접유입방식의 경우 여과시간이 약 400분경과 후부터 잔유압력손실이 약 210 mm H₂O로 일정하게 유지되었고, 접선유입방식에서는 잔유압력손실이 운전 초기부터 일정하게 약 160 mm H₂O로 직접유입방식에 비해 약 1.4배 낮았고, 탈진간격은 약 7배 이상 길게 유지되는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 접선유입방식인 경우 하부에서 유입되는 입경이 큰 먼지입자가 관성력에 의해 미리 제거가 되어 세라믹필터로 유입되는 먼지의

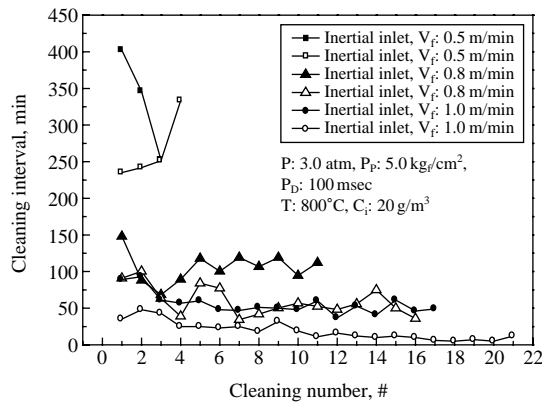


Figure 6. Cleaning intervals along the cleaning numbers.

양이 줄어들기 때문이다. 또한 접선유입방식에서 압력손실 증가 경향이 완만한 것은 직접유입방식은 유입되는 먼지입자 전량이 세라믹필터로 유입되어 먼지부하가 접선유입방식에 비해 크기 때문에 나타난 현상으로 볼 수 있다.

3.2 탈진특성

Figure 6은 세라믹필터의 표면에 포집 부착된 먼지층을 털어내기 위해 압축공기 분사횟수의 증가에 따른 탈진간격 변화 경향을 나타냈다. 여과속도가 0.5, 0.8, 1.0 m/min인 조건에서 접선유입방식에서는 평균 탈진간격이 각각 333분, 105.8분, 56분으로 각각 나타난 반면, 직접유입방식에서는 평균 탈진간격이 각각 265.5분, 59.7분, 19분으로 각각 나타났다. 접선유입방식의 평균 탈진간격이 직접유입방식에 비해 1.3~2.9 배 정도 길어진 것으로 확인되었다. 이와 같은 현상은 접선유입방식이 세라믹 필터에 부여되는 먼지부하가 직접유입방식에 비해 작기 때문에 나타난 현상으로 볼 수 있다. 따라서, 탈진간격이 길어지면 압축공기의 운전시간을 감소시키고 세라믹필터에 물리적인 충격의 횟수를 줄일 수 있어 세라믹필터의 마모파손을 줄일 수 있다.

세라믹 필터 표면에 부착된 먼지층을 압축공기 분사에 의해 털어낸 직후의 압력손실을 잔유압력손실이라 하며, Figure 7에 접선유입방식과 직접유입방식의 잔유압력손실을 여과속도에 따라 비교하여 나타냈다(Park, 2008). 그림에서 보면 접선유입방식의 잔

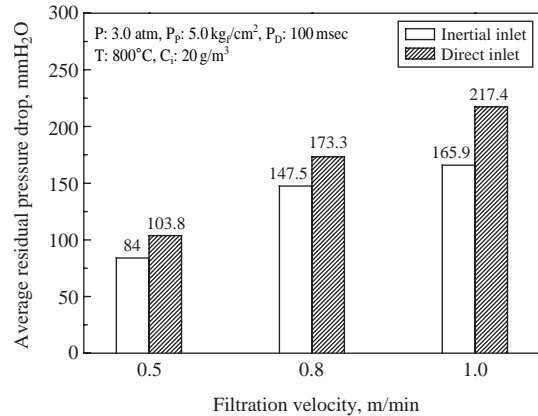


Figure 7. Comparison of residual pressure drops with inertial inlet and direct inlet.

유압력손실이 직접유입방식의 잔유압력손실보다 낮게 유지되었고, 잔유압력손실은 여과속도가 증가하면 높아지는 경향을 확인 하였다. 필터 표면에 부착된 먼지층은 여과속도가 빠른 조건에 비해 느린 조건이 잘 털어지는 특성이 있다(Park, 2008). 필터 표면에 부착된 먼지층을 털어내는 탈진조작에서 여과속도가 빠른 조건이 느린 조건에 비해 잔유압력손실이 높게 유지 하는 현상은 필터 표면에서 털어진 먼지입자가 여과속도가 빠르면 느린 조건에 비해 재 부착하는 량이 증가하기 때문에 나타난 현상으로 볼 수 있다. 일반적으로 필터의 압력손실은 먼지부하가 증가하면 증가하고, 먼지층을 털어내기 위한 분사 압축공기의 압력 증가와 압축공기 분사시간이 길어지면 저하하는 특성이 있다(Richard, 1975). 따라서, 직접유입방식의 잔유압력손실이 접선유입방식에 비해 높게 유지되는 것은 세라믹 필터에 부여되는 먼지부하가 직접유입방식이 접선유입방식보다 높게 유지되기 때문에 나타난 현상으로 볼 수 있다. 또한, 접선유입방식은 기류가 장치의 내벽부근으로 선회류를 형성하면서 상승하고, 중앙부근에서는 하강기류를 형성하기 때문에 세라믹 필터에서 털어진 먼지입자는 다시 세라믹필터 표면에 재부착을 하지 않고 바로 먼지저장조로 하강하는 특징이 있어 직접유입방식보다 잔유압력손실이 낮게 유지하는 이유이다(Kim, 2005). 잔유압력손실이 낮으면 탈진조작 개시 압력손실에 도달하는 시간이 길어져 탈진조작 횟수가 줄어들기 때

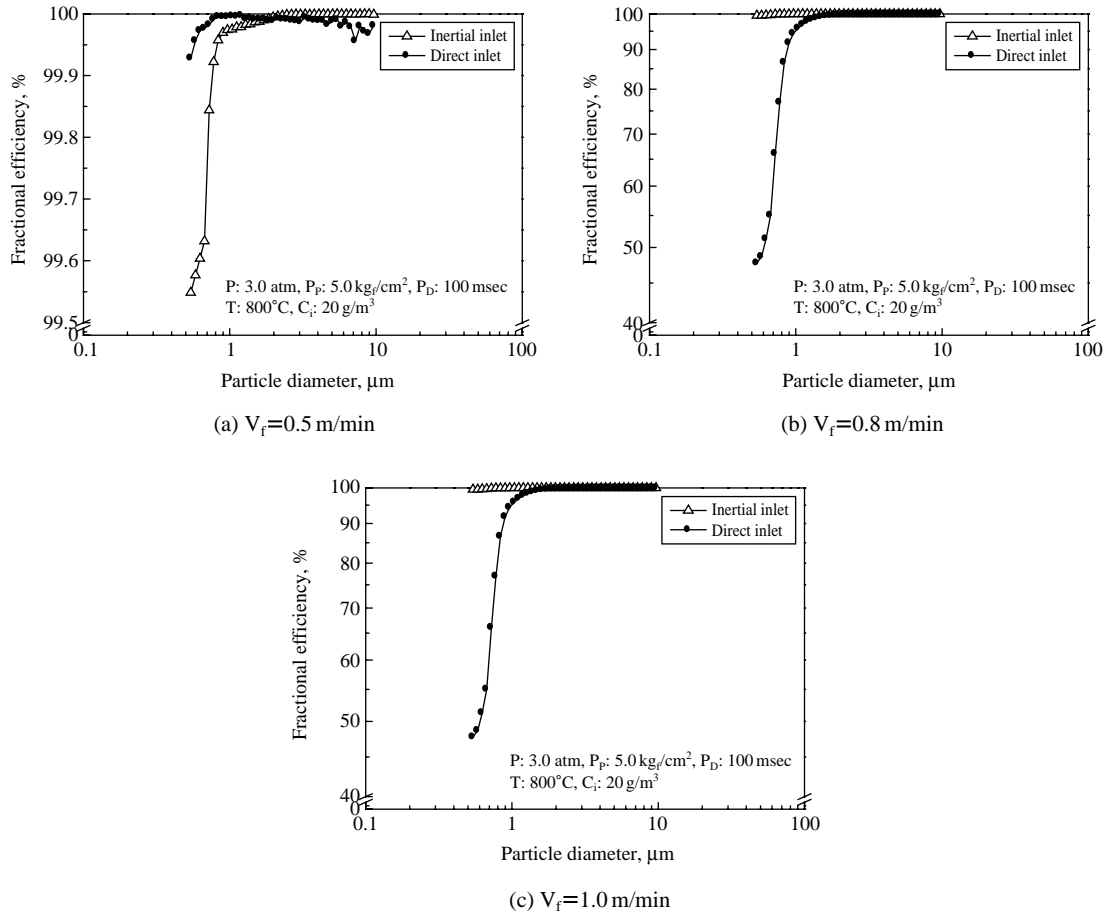


Figure 8. Comparison of fractional efficiency with inertial inlet and direct inlet.

문에 빈번한 탈진조작에 의한 세라믹 필터의 물리적 손상을 저감시킨다.

3.3 집진효율

먼지입자 크기별 질량기준 집진효율인 부분집진효율을 접선유입방식과 직접유입방식에 대해서 여과속도에 따라 Figure 8에 나타냈다. 먼지입자크기에 따른 부분집진효율은 접선유입방식이 직접유입방식에 비해 높게 유지되었다. 먼지입자크기가 0.5 μm의 경우 직접유입방식에서는 여과속도가 0.5 m/min, 0.8 m/min, 1.0 m/min 조건에서는 부분집진효율이 99.9%, 47%, 15%로 각각 유지되었고, 접선유입방식에서는 99.5%, 99.99%, 95%로 각각 유지되었다. 거의 100%를 유지하는 먼지입자의 크기는 접선유입방식에서는

약 0.8 μm 이상으로 나타났고, 직접유입방식에서는 약 2.0 μm 이상으로 나타났다. 필터에 의한 먼지입자의 포집에서 여과속도가 빠르면 먼지입자의 운동에너지를 잃기 때문에 먼지입자 등이 필터내부로 침투가 쉬워지고 압력손실도 증가하는 경향이 있다. 또한, 먼지입자크기에 따른 부분집진효율은 여과속도가 빠르면 낮아지고 먼지입자크기가 작아지면 낮아지는 경향이 있다 (William, 1999). 접선유입방식에서는 유입기체에 함유된 철입자가 장치하부에서 접선방향으로 유입되어 원심력에 의해 큰 입자의 대부분이 포집 제거되기 때문에 집진필터로 상승하는 기류에 함유된 먼지입자의 농도는 직접유입방식에 비해 낮게 유지된다 (Kim, 2005). 따라서 접선유입방식에서 부분집진효율이 여과속도가 빠른 조건일수록 직접유입

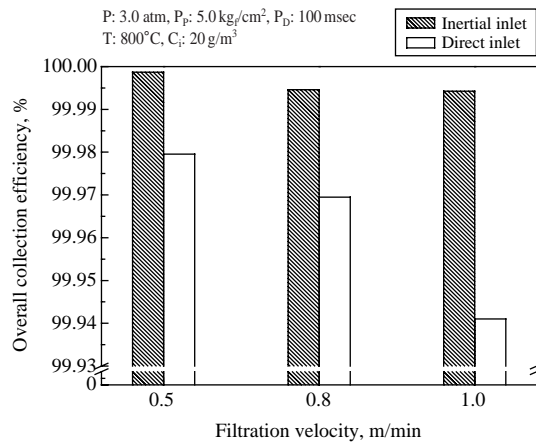


Figure 9. Comparison of overall collection efficiency with inertial inlet and direct inlet.

방식에 비해 높아지는 것은 직접유입방식에서는 장치내로 유입된 먼지입자들이 바로 상승하여 세라믹 필터에 포집과 동시에 세라믹 필터 내부로 침투하여 통과할 가능성 높아지나, 접선유입방식에서는 나선형으로 유입되어 상승하는 먼지입자들이 선회류를 형성하면서 장치의 벽면에서 포집되거나 선회류로 인해 기체의 운동에너지가 상실된 상태에서 세라믹 필터 표면 접선방향으로 포집되기 때문에 세라믹 필터로 침투하거나 통과하는 양이 감소했던 것으로 판단된다.

Figure 9의 유입방식에 따른 여과속도별 총괄집진 효율을 비교하여 나타냈다. 유입방식에 관계없이 여과속도가 증가하면 총괄집진효율은 감소하는 경향이 나타났고, 감소폭은 접선유입방식이 직접유입방식보다 적은 것으로 나타났다. 접선유입방식의 총괄집진효율은 여과속도 변화에 따라 차이가 있으나, 거의 99.99% 이상으로 높게 나타났다. 따라서, 신개념의 환원용융 제철공정에서 배출되는 철 입자를 포집하기 위해서는 접선유입방식의 집진장치에 세라믹 필터를 적용하는 방식이 고효율 조건 유지에 적합하다는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 접선유입방식과 직접유입방식에 세

라믹 필터를 적용하여 신개념의 환원용융 제철공정에서 배출되는 철입자의 포집조건에서 여과성능을 비교 검토하였으며 결과를 요약하면 아래와 같다.

여과속도가 1.0 m/min 조건에서 접선유입방식의 평균 잔유압력손실은 166 mm H₂O로 직접유입방식의 217 mm H₂O에 비해 1.4배 정도 낮게 유지되며, 여과시간이 300분 이상 경과 후부터는 직접유입방식의 탈진조작 횟수는 접선유입방식에 비해 급격히 증가하였다. 접선유입방식의 탈진간격은 직접유입방식에 비해 1.3~2.9배 정도 길어진 것으로 확인되었다. 탈진간격이 길어지면 압축기의 운전시간이 단축되고 탈진조작에 의한 세라믹 필터의 물리적인 충격 횟수를 줄일 수 있어 세라믹 필터의 수명 연장이 가능하다. 철입자 크기가 0.5 μm이고 여과속도가 1.0 m/min 인 조건에서 접선유입방식의 부분집진효율은 95%를 유지하였고, 직접유입방식의 부분집진효율은 15% 정도 유지된 것으로 확인되었고, 거의 100%에 근접하는 부분집진효율을 유지하는 철입자의 크기는 접선유입방식에서는 0.8 μm 이상이었고, 직접유입방식에서는 약 2.0 μm 이상으로 확인되었다. 접선유입방식의 총괄집진효율은 여과속도에 따라 다소 차이가 있었으나, 거의 99.99% 이상 유지되었고, 직접유입방식에서는 99.9% 이상 유지된 것을 확인하였다. 따라서, 신개념의 용융환원 제철공정의 배가스를 건식으로 처리하기 위해서는 접선유입방식의 집진장치에 세라믹 필터를 적용하면 기존방식의 집진장치에 비해 고효율 유지가 가능한 것으로 확인되었다.

Nomenclature

- a : height of inertial inlet, mm
- b : width of inertial inlet, mm
- C_i : inlet dust concentration, g/Sm³
- D_I : diameter of inner tube, mm
- D_R : diameter of body, mm
- d_i : diameter of direct inlet, mm
- H_I : height of inner tube, mm
- P : inlet hot air pressure, kg_f/cm²
- P_p : pulse air pressure, kg/cm²
- P_D : pulse duration, msec
- T : inlet hot air temperature, °C

V_f : filtration velocity, m/min

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 에너지자원기술개발 사업의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Choi, J.H. (2008), Aspects of Nozzle Effect on the Pulse jet Cleaning of a Ceramic Filter, *Proceedings of 10th World Filtration Congress*, Vol. III, April 14-18, Leipzig, Germany.
- Chris, S., Grannel, S.K., and Seville, J.P.K. (1998), Filter cake detachment from rigid ceramic filters, *Proceedings of Symposium on High-Temperature Particulate Cleanup for Advanced Coal-Based Power Systems*, 3.4.
- Kim, S.D., Park, Y.O., and Kang Y. (2004). Performance comparison of the CYBAGFILTER[®] and existing bag filter, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 20(6), 739-748.
- Kim, S.D., Son, J.E., Park, Y.O., Cheong D.K., and Kang Y. (2004). Characteristics of flow field and particulate trajectories in bag filter with centrifugal force application, *Korean Chem. Eng. Res.*, 42(3), 318-325.
- Kim, S.D. (2005). Performance characteristics of CYBAGFILTER[®]. *Doctorial thesis of University of Chungnam*, 102-124.
- Park, S.J., Choi, H.K., Kim, S.D., and Park, Y.O. (2001). Inner tube dimension affect on gas flow field and particulate trajectories in the filter system with inertial inlet, *Korean Chem. Eng. Res.*, 39(4), 438-445.
- Park, Y.O., Lee, C.J., Lim, J.H., and Choi, Y.K. (2007). Development of manufacturing technologies of one-touch cartridge filter bags, *Final report, Ministry of Trade, Commerce & Energy*, 73-90.
- Park, Y.O., Rho, H.J., and Rhee, Y.W. (2008). Filtration performance of CYBAGFILTER[®] installed with high temperature pleated filter bags, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 24(4) 483-491.
- Son, J.E., Park, Y.O., Koo, C.O., Kim, S.D., Lim, J.H., Choi, H.K., Kim, H.R., Kil, I.S., and Kim, D.J. (1998). Development of advanced fabric filter and system, *Final Report, Ministry of Environment*, 141-221.
- Ogawa, A. (1984). *Separation of Particles from Air and Gases*, CRC Press Inc, Boca Raton, Florida.
- Yoa, S.J., Cho, Y.S., Choi, Y.S., and Baek, J.H. (2001). Characteristics of Electrostatic Cyclone/Bag Filter with Inlet Types (Lab and Pilot Scale), *Korean J. Chem. Eng.*, 18(4), 539-546.
- Lee, I.O. (2002), "Energy and Pollutants Reducing Technologies in New Ironmaking Processed at POSCO", *ISIJ International*, Vol. 42, Supplement, pp. S33-S37.
- Park, Y.O. (2008), Filtration Performance Characteristics of High Temperature Pleated Filters which were Operated in Conventional Bag Filter and CYBAGFILTER[®], *Proceedings of 10th World Filtration Congress*, Vol. III, April 14-18, Leipzig, Germany.
- Park, Y.O., Choi, H.K., Shin, D.H., and Cheong, J.H. (2009), Development of High temperature, High pressure silica filter bag for removal of Fe particulate from new ironmaking processes, *Final Report, Korea Institute of Energy Research*, 55-80.
- Richard, D., and Jhon, W. (1975), *Fabric Filter Cleaning Studies*, Final Report, PB-240 372, GCA Corporation, National Environmental Research Center, 175-196.
- William, C.H. (1999), *Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles*, John Wiley & Sons, 182-205.
- Leith, D., and First, M. (1975) "Particle Collection by a Pulse-Jet Fabric Filter", 68th Annual Meeting of APCA., Boston, pp. 1-14.