

필터 집진기의 Fail safety용 금속필터 제조

최주홍, 하순중, 김성경, 박영철, 배승열*, 안인섭*
경상대학교 화학공학과(금속공학과*)

Preparation of metal filter element for fail safety of filtering dust collector

J-H Choi, S-J Ha, S-K Kim, Y-C Bak, S-Y Bae*, I-S Ahn*
Dept. of Chemical(Metallurgical*) Engineering, Gyeongsang National University

1. 서론

세라믹 또는 금속 소재의 강성체 필터를 사용하는 집진기는 집진효율이 높고 고온에서 사용이 가능하기 때문에 점점 엄격한 규제가 요구되는 환경공해 문제의 해소와 시스템의 에너지 효율향상 및 경제성 면에서 매우 유익한 시스템이다. 그러나 세라믹이나 금속 필터를 사용하는 필터 집진기는 운전 시에 필터의 파손에 대한 잠정적인 우려가 있기 때문에 이를 극복하고 시스템의 신빙성을 100% 확보하는 것이 궁극적인 과제로 인식되고 있다[1,2]. 고온 세라믹 필터의 활용이 가장 주목받고있는 IGCC 집진의 경우 석탄가스화 및 탈황 과정에서 발생하는 분진을 고온고압에서 제거하여 가스터빈을 보호하는 공정으로써 운전 중에 필터가 파손되면 그 부분으로 분진가스가 급격히 빠져나가 큰 분진 입자가 가스터빈으로 유입되고 심한 경우에는 파손된 필터의 파편이 여기에 동반될 수 있다. 따라서 운전 중에 필터의 파손에 대한 신빙성과 내구성 확보가 IGCC 집진의 궁극적인 과제이다. Fail safety 기술은 필터 집진기의 신빙성 확보를 위한 방법으로써 운전 시에 일부분의 필터가 파손이 되더라도 과도한 분진이 가스터빈에 유입되는 것을 방지함으로써 IGCC 시스템의 이용률(availability)을 높이도록 하는 기술이다[1]. 현재 선진국의 필터 제조업체와 공정개발 회사들이 복합발전 시스템의 신 기술로써 다양한 fail safety 기술을 개발하고 있으나 아직까지 기초기술 개발 단계에 있다. IGCC 가스에는 H₂S를 비롯한 반응성이 강한 가스들이 존재하기 때문에 이에 내구성이 있는 필터 재질의 선정과 fail safety 필터를 활용한 효율적인 필터 집진기의 설계가 중요한 과제이며, 이를 활용한 집진기의 개량설계에 대한 연구가 진행되고 있다. 필터 집진기의 신빙성을 확보하기 위해서는 IGCC의 운전조건인 고온고압과 부식성 가스에서 견딜 수 있는 필터개발이 우선적이다[3,4,5]. 그 다음에 필터에 열적·기계적 충격을 줄일 수 있는 최적 설계와 운전기술이 요구되며, 이를 보완하기 위하여 fail safety system이 필요하다.

Fail safety 필터의 역할은 필터 집진기 운전 시에 일부분의 필터가 파손이 되더라도 과도한 분진이 가스터빈에 유입되는 것을 방지함으로써 시스템의 이용률(availability)을 높이도록 하는 기술로써 필터가 국부적으로 파손되어 다량의 가스가 해당 fail safety 필터를 통과할 때 순간적으로 분진에 기공이 막히어 더 이상의 분진이 통과되지 않도록 해야한다. 그리고 정상운전 시에는 압력손실을 방지하기 위하여 투과성이 좋아야 한다. 투과성을 높이기 위하여서는 기공이 큰 필터를 제조하여야 하는데 이는 먼저 기술한 분진차단 효과와 상반된다. 따라서 기공이 크면서 분진에 의하여 쉽게 차단이 될 수 있는 필터의 제작이 본 기술의 핵심이다. 그리고 fail safety 필터는 열적 화학적으로 내구성이 강한 소재를 사용해야 한다.

2. 실험결과 및 검토

2.1. CIP에 의한 성형 소결필터 제조

금속필터의 제조에는 수분사(water atomization)법에 의해 제조되어진 입도가 40-60, 80-120 mesh인 SUS316L 분말을 사용하였다. 내부에는 코어가 설치되어진 실리콘 몰드에 장입하여, CIP(상온등압성형기)를 이용하여 1000, 1500, 2000 bar의 압력에 따라 실린더 형태의 성형체를 제조하고자 하였다. 성형체는 강도를 부여하기 위하여 고상 소결을 행하였다. 필터의 고상 소결 공정은 금속의 고온산화방지 및 소결력 증가를 위하여 5×10^4 torr의 진공 분위기 하에서 1200℃에서 1시간 동안 행하였으며, 급격한 냉각에 의한 소결체의 파괴를 막기 위하여 로냉 하였다. Fig.1과 Fig.2에 보인 바와 같이 필터의 두께가 증가됨에 따라 통기도 특성이 매우 증가한다는 결론을 얻을 수가 있었으며, 필터의 통기도는 입도의 크기보다는 두께에 더 크게 의존하는 것을 알 수가 있었으나, 입도가 증가할 경우 필터의 두께는 한정되어져 있으며 필터의 두께가 2.5mm이하일 경우에는 성형이 불가능하였고, 몰드에서의 분리가 불가능함으로 성형법을 이용하여 통기도 특성을 증가시키기는 어려움이 따른다. 본 실험에서도 입도가 40-60mesh 이상의 분말크기로 증가하였을 경우 약간의 성형에도 몰드가 손상되었으므로 더 이상의 입도증가에 의한 통기도의 향상은 어려운 것으로 사려된다. 그러므로, 이상의 결과에 따라 실리콘 몰드를 이용하여 40-60mesh사이의 분말을 이용하여 성형할 경우에는 성형압이 증가하면 성형은 가능하나 분말과 몰드가 분리되지 않는다는 단점이 있다. 또한, 성형압력이 낮을 경우에는 성형이 되지 않았다. 성형이 가능하고 이탈이 자유로운 조건은 1500bar에서 성형하였을 경우였으며, 입도가 증가할 경우에는 성형압력이 더욱더 증가하여야만 성형이 가능하였으나, 실리콘 몰드의 경도가 상대적으로 증가하여야 한다는 단점이 있다. 그러나, 실리콘 몰드의 경도가 증가되면 성형체 표면에 요철형태의 굴곡이 발생함으로 몰드의 경도증가도 한계가 있다. 그러므로, 성형법을 이용한 금속필터의 제조가 가능한 조건은 30-60mesh 분말을 이용하였을 경우 1500bar 였다.

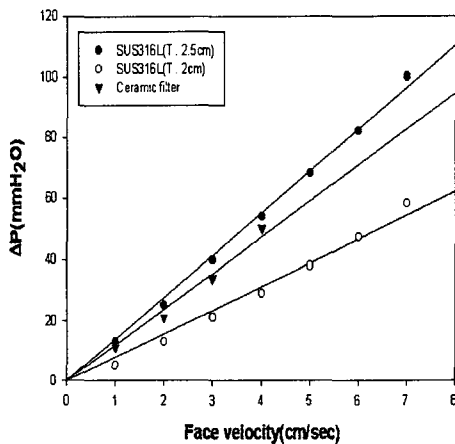


Fig. 1. The effect of filter tickness on the pressure drop.

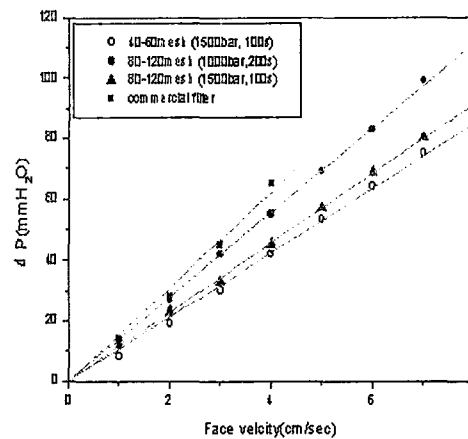


Fig. 2. The effect of particle size of filter on the pressure drop.

또한 Fig.2는 입도가 80-120mesh일 경우에 성형압력이 증가하여도 통기도가 낮게 나타남을 보인다. 이 원인으로는 성형압이 일정할 경우 두께가 얇아 질 경우에 발생하는 결과와 결과를 얻을 수가 있다. 기존의 결과들을 분석해 볼 때, 필터 제조시 사용되는 분말의 입도

가 미세할 경우에는 성형압이 증가할수록 내부의 기공의 사이즈가 증가하여 통기도가 감소하는 결과를 얻을 수가 있었으나, 본 결과에 의하면 분말의 입도가 임계크기 이상일 경우에는 필터의 통기도는 성형압보다는 필터의 두께에 더 크게 영향을 받는 것을 확인할 수가 있다. 이상의 실험 결과에 의하면 CIP법을 이용하여 제조되어진 필터의 경우에는 높은 통기도 특성을 만족하기는 힘들다. 그리고 상용필터를 제작하는 회사에 의뢰하여 최고의 통기도를 목적으로 제작한 CIP 소결 필터의 통기도도 만족스럽지 못함을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 CIP로 금속입자를 성형하는 경우 통기도를 높이기 위하여 큰 금속입자를 사용하는 경우 CIP molder가 찢어지기 때문에 성형의 한계가 있기 때문이다.

2.2. 자연소결에 의한 필터제조

기존의 제조방법으로는 충분한 통기도를 유지하기가 힘들므로 인하여 고압력의 성형공정을 제외시키고 고온에서 중력소결을 행하고자 하였으며, 무가압 고온소결의 경우 관상로를 이용하기는 매우 어려움으로 고온을 낼 수 있는 발열체를 이용한 진공로를 이용하여 한다. 무가압 금속필터는 주로 통기도가 뛰어난 동계합금분말 필터 제조시에 이용되어지는 방법으로 상업적으로 많이 이용되어지는 방법이며 주로 1000℃이하에서 소결 되어지는 반면에, 무가압으로 철계합금을 소결할 경우에 약 1300℃이상의 온도가 요구되어짐으로 많은 변수가 있음으로 이러한 변수를 찾고자 하였다. 본 실험에서는 기존의 금속필터 제조시에 이용되어졌던 SUS310L과 SUS316L분말을 입도별로 분급하여 사용하였다. 진공소결로는 흑연발열체를 이용하였으며, 최대 1500℃로 가열할 수 있으며, 2×10^{-2} torr 이상의 진공도를 가진다. 금속필터의 소결은 1250-1350℃의 온도구간에서 행하였으며, 챔버의 외부는 냉각수로 냉각하였으며, 고온에서 90분간 소결후 챔버의 내부를 질소로 냉각하거나 로냉하였다.

1350℃에서 90분간 소결후 챔버의 내부를 질소로 냉각하거나 서냉할 경우에 분말의 소결을 행한 결과에 따르면 표면이 검게 탄화된 것을 확인할 수가 있었으며, 이런 원인으로서는 흑연 히터 가열시 히터내부에서 탄소 가스의 배출에 의하여 발생하는 것으로써 소결이 진행되기 전에 SUS 분말이 먼저 탄소 가스와 반응하여 탄화가 빠르게 진행됨으로써, 소결이 거의 되지 않고 강도가 매우 약한 탄화체가 형성되어 필터가 부서러지는 상태를 보였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 중력소결시에 압력을 가해주기 위하여 분말 상부는 weight를 올려 소결력을 증대시키고자 하였다. 히터와 완전히 차단하여 제조되어진 소결체는 필터의 외부가 거의 탄화되지 않고 소결되어진 것을 볼 수가 있다. 그러나, 가압력이 매우 낮고 또한 몰드의 재질이 철계를 사용하였을 경우, 몰드의 표면과 분말이 반응층을 형성하여 분리가 쉽게 되지 않는 단점을 가지고 있다. 높은 통기도 특성을 가지게 하기 위해서는 높은 가압력과 온도가 필요로함으로 지속적인 데이터 축적과 연구가 진행되어져야 할 것으로 보인다. 제조된 금속 소결 필터의 미세조직을 광학 현미경으로 촬영한 결과 불규칙한 형태의 기공을 가지고 있는 것을 볼 수가 있었으며, 내부의 기공도는 점분석법을 행하여 측정하였을 경우 약 40%였다.

금속필터의 평균 경도값은 로크웰 경도기를 이용하여 K scale(1/8", 150kg)로 측정하였을 경우 37.4의 값을 나타내었다. 인장시험의 결과 인장강도값은 4kgf/mm²였으며, 변형율은 약 7%로 측정되었다.

2.3. 높은 통기도 필터 제조

일반적인 가압 소결법으로는 만족할 만한 통기도를 가질수 없으므로 무가압에 의해 필터를 제조하고자 하였다. 그러나, 무가압 소결의 경우에는 소결온도가 매우 높고 균일한 기공도를 부여하기 힘들므로 이러한 점을 보완하기 위하여 소결전의 무가압에 의한 성형법에서의 제조 방법을 개선하고자 하였다. 무가압 소결에는 접합강도를 부여하기 위하여 소결활성화제를 이용하여 소결온도의 강하 및 기공의 균일도를 제어하고자 하였으며, 소결활성화

는 삽입금속(filler metal or insert metal)을 사용하고, 접합은 용융삽입금속이 모재 표면에 젖은 후 이음부의 틈 사이로 모세관 현상에 의해서 유입되어 이루어지는 효과를 이용하고자 하였으며, 미시적으로 모재와 용융 삽입금속과의 반응에 의해서 접합부 계면에서 합금층의 생성 혹은 모재의 용해 현상등과 같은 복잡한 반응이 일어나는 과정을 이용하였다. 또한, 진공분위기를 이용하여 고체가 진공 중에서 그 표면이 청정한 경우에 고체표면에 존재하는 원자는 내부의 원자와 같이 주위를 다른 원자로 둘러싸여 있지 않으므로, 불완전한 결합손을 가진 활성 상태로 된다. 이것이 표면에너지로서 작용하고, 다른 원자를 끌어들이 수 있는 구동력인 동시에 액체금속이 젖게되는 근본적인 원인을 이용하였다. 본 연구에서는 Filler metal의 소결 활성화를 이용하여 금속필터를 제조하고자 하였으며, 소결필터의 내부기공의 형태 및 통기도 특성 등을 관찰하고자 하였다.

통기도 특성을 부여하기 위하여 입도가 큰 SUS316L분말을 이용하였다. 분말의 입도는 20-32, 32-42, 42-60, 60-80mesh였으며, #100의 SUS316L sheet를 이용하였다. Mesh sheet를 하부에 부착하였을 경우에 D라는 영문을 제일 앞쪽에 표기하였다. 필터의 형태를 유지하기 위한 바인더는 고분자 물질(PVA)과 증류수를 혼합한 후에 소결활성화제인 스테인리스 스틸용 filler metal을 첨가하여 재혼합 과정을 행하여 filler 용액을 제조하였다. 스테인리스 스틸분말은 형태를 유지하기 위하여 몰드에 장입하였으며, 몰드는 filler 용액에 함침하였다. 함침되어진 몰드는 수분을 증발시키기 위하여 건조시켰다. 완전히 건조되어진 성형체는 몰드를 제거하고 진공소결로에서 1200℃에서 1시간동안 소결하였으며, 이때의 진공도는 1.5×10^{-2} torr였다. Fig.3은 통기도가 가장 우수한 것으로 나타난 #20-32분말 또는 mesh sheet를 이용하여 제조되어진 금속 소결 필터의 단면사진을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 필터의 상부와 하부에 기공의 차이가 크게 나지 않는 것을 볼 수가 있으며, 균일한 기공도를 유지하고 있음을 관찰할 수가 있다. mesh sheet를 하부에 부착하였을 경우에는 금속 분말과의 상호 반응에 의하여 완전히 용착 되어져 와이어와 분말과의 경계면이 나타나지 않으므로 우수한 결합강도를 가질 것으로 예상되어진다. 점 분석법에 의하여 내부기공도를 계산하였을 경우에는 약 50%정도의 내부 기공도를 가지고 있다.

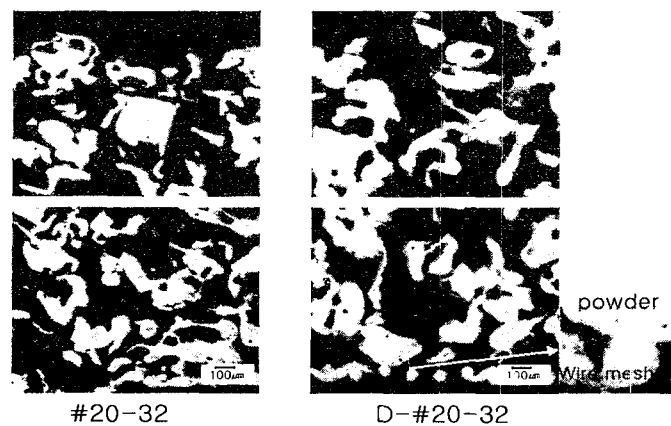


Fig. 3. Micro-structures of SUS316L filter.

2.4. 소결시편의 부식실험

소결필터의 부식실험은 furnace 내에 설치된 튜브에서 IGCC 가스 분위기에서 수행되었다. Fig.4는 500℃에서 시간변화에 따른 금속의 부식에 따른 단위표면적당 질량증가량을 비교한 것이다. SUS310 필터의 부식도가 제일 낮은 결과를 보인다.

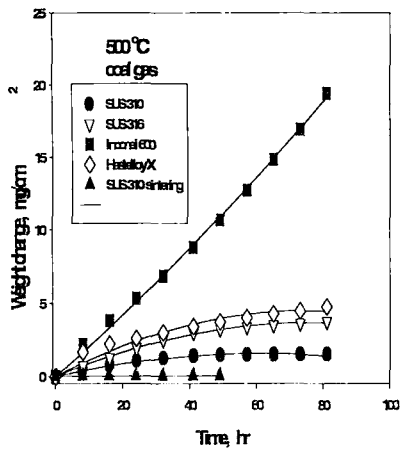


Fig. 4. The effect of coal gas on the weight change at 500°C.

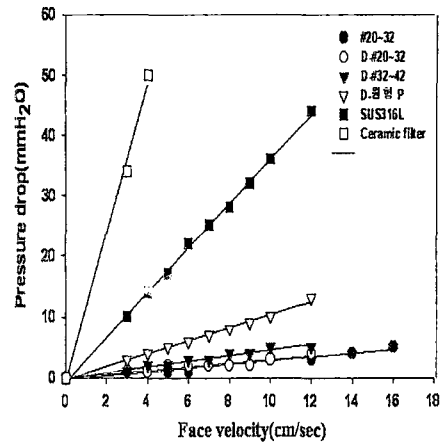


Fig. 5. Pressure drop through the fresh filters with clean air.

2.4. 필터 성능시험

필터의 기공도를 높이기 위하여 금속 파우더의 입자를 크게 하여 제조된 금속필터의 청정가스에 대한 압력손실 특성을 Fig.5에서 볼 수 있다. 20-42 mesh 사이를 갖는 입자로 제조된 필터의 압력손실은 일반 세라믹 필터에 비하여 매우 낮게 측정되었으며 여과속도가 15cm/sec 일 때도 압력손실이 20mmH₂O 이하로 유지됨을 알 수 있다. 이는 Fail safety 필터를 주 필터의 1/5 배까지 즉 30cm 까지 줄여도 주 필터의 여과속도 1.5cm/sec 일 때 갖는 압력손실보다 낮음을 알 수 있다.

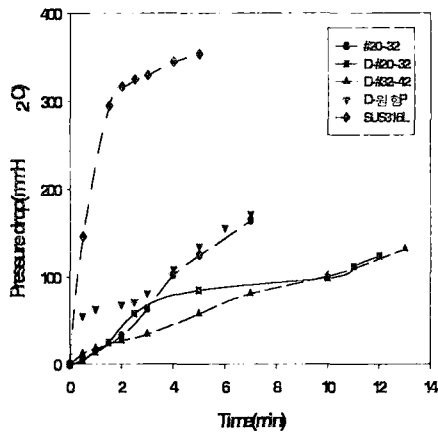


Fig. 6. Pressure drop through the fresh filters with dusty gas.

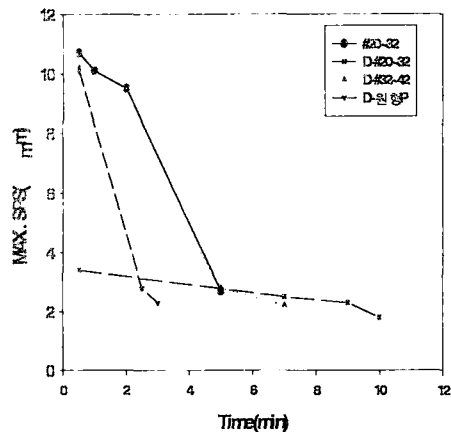


Fig. 7. Maximum size of slip particle during the run time.

주 필터가 파손되었을 때 fail safety 필터에 걸리는 압력손실 특성을 보기 위하여 분진가스를 여과속도 15cm/sec로 통과시킬 때 각 필터에 대한 압력손실 변화는 Fig.6에 보인 것과 같다. 큰 입자로 제조된 필터들의 눈막힘 현상은 기공이 적은 필터(SUS316L)에 비하여 느리지만 10분 이내에 압력손실이 100mmH₂O 이상으로 유지된다. 그리고 필터를 통과하는 분진의 최대직경(Fig.37) 과 평균직경(Fig.38)은 6분 내에 각각 3 μ m와 1 μ m 이하를 보인다. 따라

서 fail safety 필터의 기공이 100 μ m 이상으로 증가되더라도 분진누출을 차단하는 기능이 충분함을 알 수 있다. Fig. 7은 fail safety 필터의 분진차단 효과를 보기 위하여 여과속도 15cm/sec에서 분진을 주입하기 시작한 시간부터 시간경과에 따른 누출분진의 입도 분포를 나타낸 것으로써 3.5초에서 최대입경이 3 μ m 이하가 됨을 보인다.

3. 결론

필터 집진기의 신빙성을 확보하기 위하여 fail safety 필터로 활용할 수 있는 금속필터를 제조하여 그 성능을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) CIP에 의한 성형법이나 자연소결에 의한 금속필터의 제조법으로는 fail safety 필터에 요구되는 통기도를 만족하면서 강도가 높은 필터를 제조하는 어려움을 극복하지 못했다.
- (2) 삽입금속을 사용하여 입자가 20-40 mesh의 금속입자를 소결제조한 금속필터는 높은 기공도와 강도를 만족시키며 fail safety 필터로서의 기능이 만족하였다.
- (3) 소결필터의 부식실험을 위하여 furnace 내에 설치된 튜브에서 IGCC 가스 분위기에서 수행하여 500 $^{\circ}$ C에서 시간변화에 따른 금속의 부식에 따른 단위표면적당 질량증가량을 비교한 결과 SUS310 필터의 부식도가 제일 낮은 결과를 보였다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 에너지자원개발기술지원센터의 재정적 지원하에 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 최주홍: "IGCC용 필터 집진기의 신뢰성확보를 위한 fail safety 기술", 대체에너지기술 세미나, 산업자원부·에너지관리공단, 한양대학교, pp. 4-84 (2000).
2. 최주홍, 박영철, 안정준, 안인섭, 배승열: "세라믹 필터 집진기의 신빙성 확보를 위한 Fail safety 필터 개발", 한국에너지공학회 추계학술발표, 한국에너지공학회, 고려대학교, pp79-82(2000).
3. 박영철, 최주홍, "석탄가스 정제를 위한 safety filter 제작용 내식 합금의 평가", 한국에너지공학회지, 10(2), 132-139 (2001).
4. 박영철, 최주홍, "금속 필터용 합금강의 고온, H₂S 가스 조건에서의 부식 특성", 대한환경공학회지, 23(7), 1083-1091 (2001).
5. 배승열, 안인섭, 최주홍, 박영철, "스텐레스 스틸 분말을 이용한 금속필터의 제조 및 부식 특성", 2001 한국분말야금학회 춘계학술대회, 4월 13일, 목포대학.