

집진장치가 활성탄 분사에 의한 가스상 수은제거 성능에 미치는 영향

최호경*, 임영준, 이형근, 이시훈
한국에너지기술연구원
(hkchoi@kier.re.kr*)

The Influence of Particulate Collector on Gaseous Mercury Removal by Sorbent Injection

Ho Kyung Choi*, Young Jun Rhim, Hyung Keun Lee, Si Hyun Lee
Korea Institute of Energy Research
(hkchoi@kier.re.kr*)

서론

최근 미국 및 유럽에서는 연소배가스로 배출되는 대기오염물질 중에서 대표적 HAPs (Hazardous Air Pollutants) 인 가스 상태의 수은에 관심이 집중되고 있다. 수은은 체내에 축적되어 신경계의 발달과 기능에 치명적인 역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 국내에서는 산업안전보건법에서 TWA (Time Weighted Average) 노출기준 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 제한하고 있다.

세계적으로 수은은 자연적인 발생원(암반이나 해양)에서 약 1,000톤이 발생하고 있고, 석탄을 사용하는 발전소나 산업폐기물 소각로에서 약 2,000~4,000톤이 만들어진다는 보고가 있다[1]. 특히 발전소는 배가스 단위부피당 수은 농도는 낮지만 ($<10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 배출가스의 양이 많아 배출되는 수은의 총량은 많다.

대표적 유해 중금속인 수은은 증기압이 특히 높아서 증기상으로 배출될 가능성이 크다. 증기상 수은은 크게 원소수은 (elemental mercury, Hg^0) 과 산화수은 (oxidized mercury, Hg^{+2}) 으로 대별된다. 산화수은은 물에 대한 용해도가 커서 기존에 설치된배가스 처리설비로 제거가 가능하지만 원소수은 (배가스 수은의 약 50% 차지) 은 물에 대한 용해도가 낮아 제거되지 않는다. 따라서 원소수은을 제거하기 위해서는 촉매나 산화제를 이용하여 산화수은으로 전환시켜 제거하거나, 활성탄이나 기타 흡착제를 이용한 분사/흡착 방법을 이용하여야 한다.

증기상 수은을 제거하기 위하여 다공성 탄소물질인 활성탄 등 흡착제를 이용하는 분사/흡착 방법은 선진국에서는 이미 소각로를 대상으로 적용하고 있다. 그러나 흡착제 분사/흡착에 의한 배가스 내 가스상 수은 제거특성은 배가스의 조성 및 운전조건에 크게 좌우되기 때문에 제거 효율의 정확한 산정 및 예측이 힘들다.

한편, 시스템적인 측면에서 최근의 선진국에서의 배가스 처리기술 분야 기술개발 동향은 각 오염물질별 제거기술의 통합기술 개발로 초점이 맞추어져 있다. 즉, 각 오염물질별 제거기술은 효율은 우수하나 규제수준이 강화되면서 비용부담이 커지고 있고 따라서 발생하는 오염물질을 통합 처리할 수 있는 통합 기술 및 장치 개발에 집중적으로 투자가 이루어지고 있는 것이다.

이와 같이 경제적이고 효율적인 다중오염물질 처리를 위해 각 오염물질별 처리에 높은 선택성을 보유하고 있는 기술들을 결합하고 결합된 기술들이 최적의 성능을 발휘하기 위한 운용기술의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 PM/HAPs 동시처리를 위한 융합형 장치의 개발 및 적용에 있어 전기집

진과 여과집진 원리가 접목된 일체형 집진장치가 가스상 수은 제거 성능에 미치는 영향을 고찰하였다.

실험장치

PM과 HAPs의 고효율 동시 처리 기술의 적용을 위한 PM/HAPs 동시제거용 hybrid APCD (Air Pollution Control Device) 는 미세먼지와 같은 PM 및 수은과 같은 HAPs를 단일 시스템으로 동시에 저감 처리할 수 있도록 개발 중인 장치로서, 고효율 여과시스템과 흡착시스템이 조합되어 있다.

PM 제거를 위한 여과시스템으로는 $PM_{2.5}$ 이하 수준의 미세먼지를 보다 효과적으로 포집하기 위해 먼저 미세먼지에 정전기를 부여하여 집진극에서 일차적으로 포집하고, 집진극에 포집되지 않은 나머지 입자상 오염물질을 집진필터에서 포집 제거할 수 있도록 전기집진과 여과집진 방식을 하나의 장치로 조합시킨 하이브리드 집진방식의 시스템을 적용하였다.

HAPs 제거를 위한 흡착시스템으로는 흡착제를 여과시스템 전단의 덕트 내에 분사시켜 HAPs를 먼저 제거시킨 후 먼지 및 흡착제와 같은 PM을 후단의 여과시스템으로 제거하는 덕트 내 분사 (in-duct injection) 방식을 적용하였다.

Fig. 1에 본 연구에서 개발 중인 PM과 HAPs의 고효율 동시 처리 기술의 적용을 위해 제작 및 설치된 파일럿 규모의 PM/HAPs 동시제거용 hybrid APCD의 실험 공정도를 나타내었다.

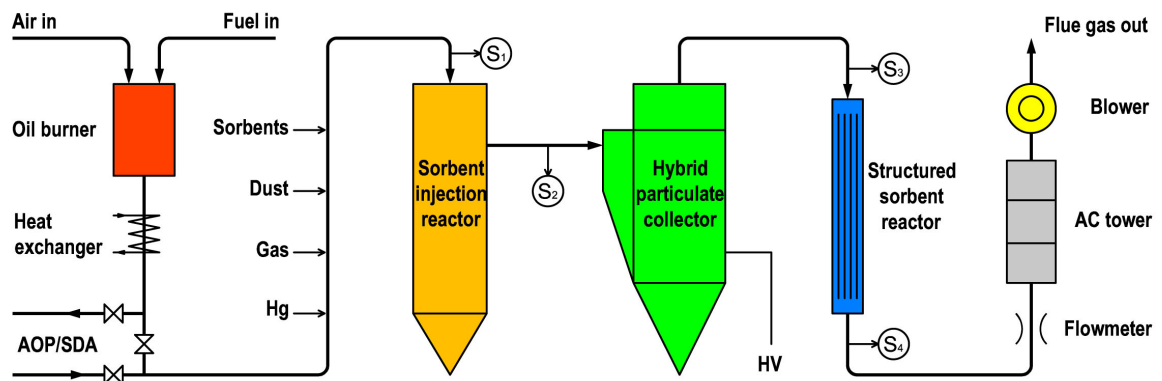


Fig. 1 파일럿 규모 PM/HAPs 동시제거용 hybrid APCD의 실험 공정도.

배가스의 조성에 따라 후단에서의 수은 제거 효율은 크게 차이가 난다[2]. 따라서 일정한 배가스 조성을 위해 연소 조절이 용이한 경유 연소 배가스를 사용하였다.

배가스에 가스상 수은은 액체상태의 수은을 일정 온도로 가열할 때 발생하는 증기를 일정 유량의 질소로 밀어 주어 공급한다. 실험에서 주입구에서의 수은 농도는 약 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도로 유지하였다.

가스상 수은의 분석에는 Mercury Instruments 사의 수은분석기(Mercury Vapor Monitor, VM-3000)를 사용하였다. 수은 분석기로 유입되는 샘플링 가스는 입자상 물질을 걸러주는 필터와 약 150ml의 10%(w/w) Na_2CO_3 수용액 및 수분 제거장치를 통과시켰다.

분사 흡착제로 사용되는 분말상 활성탄으로는 NORIT 사의 Darco FGDTM 를 사용하였

다. 실험에서 배가스 유량은 $190\text{Nm}^3/\text{hr}$, 배가스 온도는 130°C 로 고정하였다. 이때 배가스에 분사된 흡착제가 반응기에 체류하는 시간은 약 5초이다.

실험결과

Fig. 2는 활성탄을 분사하였을 때 분사/흡착 반응기 전단, 분사/흡착 반응기 후단, 그리고 집진장치 후단에서 측정된 수은 농도를 나타낸 그래프이다. 여기서 활성탄 분사량은 C/Hg 비 (Carbon to Mercury ratio)로 5,000인 경우이다. 그래프에서 활성탄 분사/흡착에 의한 수은 제거효율은 분사/흡착 반응기에서 약 30% 집진장치에서도 약 30% 정도로 나타남을 알 수 있다.

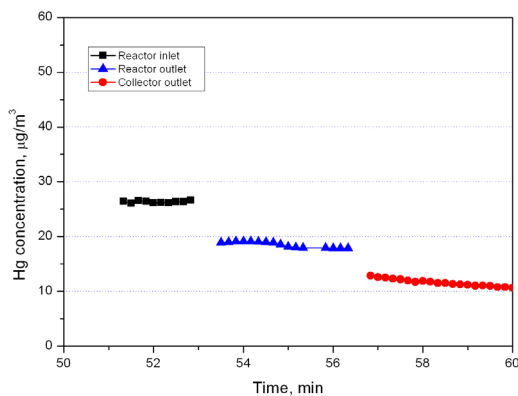


Fig. 2 활성탄 분사 시의 각 측정점별 수은 농도 변화.

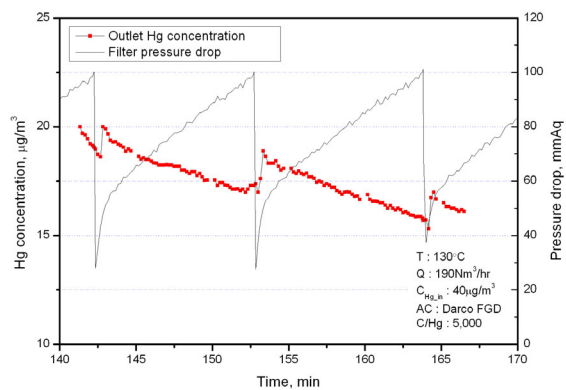


Fig. 3 여과포 탈진 시의 수은 배출농도 변화.

Fig. 3은 집진장치에서 여과포 표면에 부착된 활성탄이 수은 제거효율에 미치는 영향을 살펴보기 위해 여과포 탈진 시의 수은 배출농도 변화를 나타낸 그래프이다. 여과포를 탈진하게 되면 여과포 표면에 포집되었던 활성탄 입자가 떨어져 제거되기 때문에 수은 제거 효과가 급격히 떨어져 후단에서의 수은 농도가 높아진다. 이 그래프에서는 여과포에 부착된 활성탄에 의한 수은 제거 효율이 반응기 및 집진기를 포함한 전체의 제거효율 중 약 10%를 차지하는 것으로 나타났다. 물론 이러한 경향은 여과포 탈진시의 조건에 따라 달라질 수 있다.

Fig. 4는 활성탄 분사량의 척도인 C/Hg 비를 변화시켰을 때 시간에 따른 수은 제거효율 변화를 나타낸 그래프이다. 수은 제거 효율은 분사/흡착 반응기와 집진장치에서의 제거를 모두 포함한 결과이다. 그래프에서 S-AC로 표시된 것은 활성탄에 황처리를 하여 활성탄의 수은 제거효율을 향상시키고자 시도한 것이다.

그래프에서 활성탄 분사가 시작된 이후 처음에는 활성탄 제거효율이 빨리 상승하다가 시간이 경과함에 따라 그 상승 경향이 점차 둔화되면서 일정한 값으로 수렴함을 알 수 있다. 실험 초기 수은 제거효율이 상승하는 경향은 C/Hg 비가 클수록 급격하게 나타난다. 또한, 황처리를 한 활성탄은 그 증가 경향이 가장 급격함을 알 수 있다.

여기서 특이한 것은 C/Hg 비 또는 활성탄의 처리 여부에 상관없이 수은 제거효율의 수렴값이 일정하다는 것이다. 이것은 집진장치가 존재함으로써 인해 집진장치가 또다른 흡착 반응기 역할을 하게 되면서 일정시간이 경과하게 되면 전체적인 시스템 내에 존재하는

흡착제에 의한 수은 제거 양이 거의 일정해 진다는 것을 의미하는 것이다.

이러한 결과는 정량적인 수은 제거 효율은 전체적인 시스템의 특성에 따라 달라지겠지만 집진장치가 존재함으로 인해 적은 활성탄 주입량으로도 높은 수은 제거 효과를 올릴 수 있다는 것을 의미한다.

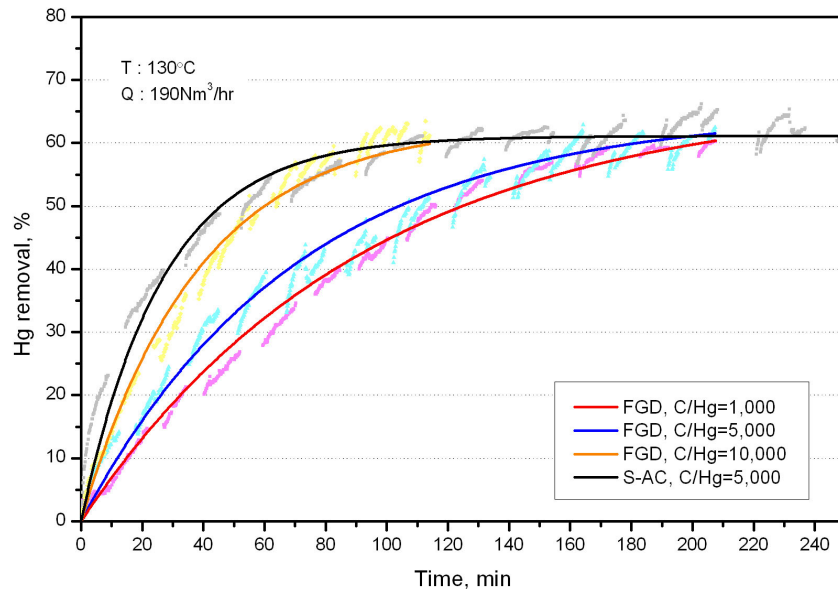


Fig. 4 C/Hg 비 변화에 따른 시간에 따른 수은 제거효율 변화.

결론

본 연구에서는 PM/HAPs 동시처리를 위한 융합형 장치의 개발 및 적용에 있어 전기집진과 여과집진 원리가 접목된 일체형 집진장치가 가스상 수은 제거 성능에 미치는 영향을 고찰하였다. 연구 결과, 집진장치가 제 2의 반응기 역할을 하여 일반적인 분사/흡착 반응과는 다소 다른 수은 제거 경향을 보임을 알 수 있었다. 즉, 활성탄의 주입량에 관계 없이 일정시간 경과 후 시스템에서 측정된 수은 제거 효율은 일정하게 나타났다. 또한, 정량적인 수은 제거 효율은 전체적인 시스템의 특성에 따라 달라지겠지만 집진장치가 존재함으로 인해 적은 활성탄 주입량으로도 높은 수은 제거 효과를 올릴 수 있다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. T. D. Brown, D. N. Smith, R. A. Hargis, and W. J. O'Dowd, J. Air & Waste Manage. Assoc., June, 1 (1999).
2. H. K. Choi, C. Lee, H. K. Lee, and S. H. Lee, The Korean Journal of Chemical Engineering, 24(2), (2007).