

2A3) 굴뚝 배출가스 중 먼지농도 측정방법 연구

New Approach for Measurement Methods of Dust in Flue Gas

이 병 규 · 선 병 수

울산대학교 건설환경공학과

1. 서 론

굴뚝배출가스 중의 먼지농도의 측정방법은 대기오염공정시험법에 정하고 있고, 1963년에 공해방지법이 규정된 이래, 이 법률에 규정하는 배출허용기준의 적합성을 판정하기 위해 적용하고 있다. 1980년대 산업화의 진전으로 인한 경제구조의 고도화 등으로 환경문제가 심각화·다양화되자 산업시설에 대한 오염물질의 배출허용기준이 본격적으로 강화되면서 먼지저감시설 역시 중력집진기, 원심력집진기, 전기집진기 등으로 점진적 발전 보급되어 왔다. 먼지저감 시설을 설치하여 운영하면서 제진효율 및 배출허용기준 충족여부 등의 성능보장시험을 통한 적정성 평가업무가 중요한 과제로 대두되었다. 이에 따라 굴뚝배출가스 중 먼지측정방법에 대한 검증의 가장 주된 목적은 자료의 신뢰성을 저하시킬 수 있는 구조적 오차를 규명하는데 있다. 그러나 오차발생의 정도 및 이에 대한 이해와 보정기준이 명확한 근거나 이론이 자세히 확립되지 않은 상황이므로 측정방법 전반에 걸친 표준화작업이 시급하다. 또한 먼지농도 측정은 높은 굴뚝에서 직접 채취해야 함에 따라 무거운 장비의 이송, 장비의 취급과 측정기법에 대한 세심한 주의가 요구되는 등 어려움이 있어 광학적 원리에 의한 먼지자동측정기기를 도입하여 병행 운용되고 있다. 자동측정에 의해 얻어진 먼지농도는 중량 법에 의해 얻어진 먼지농도로서 검정하여 보정토록 규정하고 있다. 이에 본 연구에서는 다양한 업종의 산업현장에서 먼지농도 측정시 배출가스함유 오염물질의 종류에 따른 여과지 제조회사 및 재질 특성, 그리고 가격을 고려한 선택성 검토 등 표준화 작업에 활용 할 수 있는 배경과 근거를 마련코자 하였다.

2. 연구내용 및 방법

설문조사를 통하여 여러 사업장의 굴뚝배출 먼지측정에 대한 실태분석을 실시하였다. 여과지의 강도 보강을 위해 여과지 바인더에 알루미늄을 투입하고 있으므로, 미국 EPA 6010B(ICP) 분석법에 따라 3종류의 알루미늄 바인더 여과지의 알루미늄 함유량을 분석을 실시하였다. 먼지포집 여과지의 종류별 오차발생에 관한 실험실적 입증시험을 위하여, 여과지와 황산미스트나 황산화물과의 반응성을 조사하였다. 즉, 유리섬유여과지와 실리카섬유여과지 (TOYO 및 Whatman사 제품)를 SO₃ 가스와 1wt% 황산용액과 반응시켜, 먼지포집 여과지에 포함된 성분과 굴뚝배출가스 중의 황산미스트나 황산화물과의 화학반응으로 인한 먼지농도 오차발생정도와 오차발생에 대한 원인 규명을 시도하였다. 또, 실제 굴뚝배출구에서 여과지의 기능 향상을 위해 투입된 알루미늄 바인더가 포함된 실리카섬유 여과지를 사용하여 배출가스 중 먼지농도를 측정하였다. 이때 바인더 성분과 굴뚝 배출황산화물의 반응에 의한 알루미늄 황산염 생성을 고찰하여, 염의 생성에 따른 여과지의 중량증가와 이로 인한 먼지농도 분석상의 오차정도를 이론생성량과 비교분석 하였다. 본 연구결과에 기초하여 굴뚝배출가스 중 먼지측정 오차발생 감소를 위한 여과지 재질의 선택, 오차보완사항, 먼지측정 방법의 표준화 및 규격화의 필요성 등을 제안하고자 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 여과지 종류별 알루미늄 조성분석 결과

실리카섬유제품 여과지의 경우 제작회사에 따라 현격한 차이를 보이고 있다. TOYO 88R 제품의 알루미늄(Al)성분은 무시할 수준으로 미량 함유된 반면, Whatman사 제품은 상당히 높은 조성을 나타내었다. 특히, 유리섬유제품인 TOYO 86R의 실리카섬유제품보다 훨씬 높은 알루미늄 함유량을 나타내었다.

데, 분석된 세 종류의 여과지 중 가장 높은 농도의 알루미늄이 함유되어 있었다.

Table 1. 여과지의 알루미늄 함유량 분석결과

여과지종류	재질	실리카섬유		유리섬유
	제작사	TOYO 88R (바인더 비함유)	Whatman (바인더함유)	TOYO 86R (바인더함유)
분석항목	Al (mg/kg)	336	41,500	58,600

3.2 SO₃ 가스와의 반응성 시험결과

알루미늄의 함유량이 낮은 실리카섬유제품인 TOYO 88R은 거의 무시할 수준의 증가율을 보였지만, 알루미늄을 상당량 함유하고 있는 실리카섬유제품인 Whatman 제품과 유리섬유제품인 TOYO 86R은 10,200-10,400ppm의 상대적으로 매우 높은 질량변화 (증가)를 나타내었다. 즉, 알루미늄 함유량이 높은 것은 함유량이 적은 것에 비하여 약 100배 이상의 무게증가가 확인되었다.

3.3 굴뚝에서의 유리섬유 및 실리카섬유 제품 여과지 사용시 질량증가로 인한 농도오차

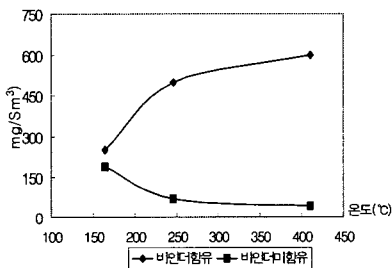


Fig. 1. 온도에 의한 바인더와의 반응성.

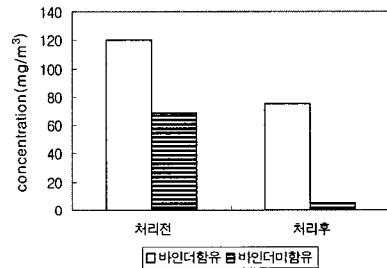


Fig. 2. 화학적 반응에 의한 질량변화.

석유정제시설의 한 배출구 (굴뚝)에서의 배출방지시설을 설치하기 전 배출온도에 따른 바인더 함유 여과지와 바인더를 함유하지 않은 여과지를 사용하였을 경우의 먼지배출 농도분석을 실시하였다. 거의 유사한 농도의 황산화물 및 황산미스트를 배출하는 배출구에서 바인더 미함유 여과지의 경우 45-189 mg/Nm³의 농도를 보였고 배출온도변화에 따른 농도 감소를 보였다. 그러나 바인더 함유 여과지의 경우 250-600 mg/Nm³의 농도를 보여서 배출온도 증가에 따라 배출농도도 증가하는 경향을 보였다. 그래서 알루미늄이나 성분이 없거나 매우 낮은 경우에는 배출허용기준을 만족하던 것이 바인더의 알루미늄이나 성분과 황산화물 및 황산미스트와의 반응증가로 배출허용기준을 초과하기도 하였다. 즉, 알루미늄 성분과의 반응으로 인한 질량증가로 인하여 60-1,250%의 배출농도의 오차가 발생하였다. 바인더 미함유 여과지를 사용할 경우 배출온도 증가시 황산미스트의 응축에 인한 효과가 급격히 감소하므로 먼지 배출농도가 급격히 감소한 것으로 설명된다. 그러나 바인더 함유 여과지를 사용할 경우 배출온도 증가시 알루미늄이나 성분이 황산화물이나 황산미스트와의 반응이 증가하여 먼지 배출농도가 증가한 것으로 해석된다.

3.4 1wt% 황산용액에 의한 반응성 시험결과

알루미늄의 함유량이 낮은 실리카섬유제품인 TOYO 88R이나 불소수지 TOYO 89R의 경우 항량범위 이내의 무게변화가 있었으나, 알루미늄을 상당량 함유하고 있는 유리섬유제품인 TOYO 86R과 실리카섬유제품인 Whatman 제품은 29,100-31,600 ppm의 매우 높은 질량변화 (증가)를 나타내었다. 1wt%의 황산용액에서의 질량증가는 SO₃ 가스와의 반응 시험에 의한 질량증가 결과에 비하여 3배 정도나 되는 큰

질량증가가 확인되었다. 이렇게 높은 알루미늄을 함유한 여과지의 경우, 여과지와 묶은 황산과 반응에서는 여과지와 SO₃ 가스와의 반응에서 보다 여과지의 황산미스트가 여과지의 미세공간까지 침투하여 반응한 것으로 추측된다. 따라서, 여과지에 함유된 알루미나 바인더 성분이 먼지 측정농도 오차발생에 직접적인 변수로 작용하고 있음이 실험실적으로 입증되었다고 볼 수 있다.