

화염내에 중금속이 유해 미세입자 형성에 미치는 영향

박 비 오 · 양 고 수
전북대학교 환경공학과

I. 서 론

대기 중에 존재하는 다양한 성분의 혼합체로 이루어진 미세분진(100nm 이하)에 노출 될 경우에 인체 건강에 미치는 위해성에 관하여 최근 몇 년 동안 연구되어 왔다. 예로 Oberdorster 와 Co-Workers(Ferin, et al., 1990; Oberdorster, et al., 1990; Oberdorster, et al., 1996)는 유해 미세입자의 흡입으로 인한 상당한 독성에 관하여 연구 보고하였다.

미세입자에 대한 생물학적인 반응에 대한 메카니즘에 대해서는 명확하지 않지만, 화학적인 메카니즘에 대한 가능성은 폐에 일반적으로 존재하는 H_2O_2 에 Fe(II)가 포함된 유해 미세 입자의 노출에 의한 결합에 의해 펜톤 반응(Fenton Reaction)을 일으킨다는 것이다. H_2O_2 와 Fe(II)의 반응은 OH의 형성을 유도함으로써 폐조직에 강한 산화작용을 일으킨다.

Hughes et al(Hughes, et al., 1998)는 로스엔젤레스 지역내 부유연무질에서 금속은 주요한 인자임을 연구 발표하였다. 미세 중금속 입자의 형성은 연소장치의 내부에서 고온으로 이루어지는 화학적 반응의 부산물로 중금속과 비휘발성 물질간의 핵 형성과정(Nucleation)의 결과로 일어난다. 특히, 연소과정은 그을음(Soot)입자 뿐만 아니라 미세 중금속입자(Metallic aerosol)의 중요한 발생원이라고 할 수 있다. 자동차를 비롯한 연소장치로부터 금속성분의 방출은 연료에 혼합된 중금속에 의하여 즉, 연소의 산화 촉매물질로 연료에 중금속을 혼합하여 연소 시킴으로 연소 후에 중금속의 자체 원소로, 혹은 산화 형태의 물질로, 혹은 탄화수소 화합물인 그을음 입자와 혼합되어 방출될 수 있고, 또한 연소장치의 상호 마찰과 부식에 의한 중금속 입자의 방출을 들 수 있다(Seeker, 1990).

본 연구에서는 실제 연소과정에서 미세입자가 발생하는 기작과 유사하게 반응되는 확산화염(Diffusion Flame)을 이용하여 미세 입자를 연속적으로 발생시킬 수 있는 유해 미세입자 발생장치를 설계 및 제작하여 실험함으로써 미세입자의 발생기법과 발생특성에 대한 이론적인 정립 뿐만 아니라 유해 미세입자의 위해성 평가에 대한 중요한 Data Base를 구축하는데 목표로 한다.

II. 연구 방법

일정한 크기의 미세분진을 발생시키기 위한 확산화염 버너장치의 구조는 다음 Fig. 1에서 보여주는 것과 같다. 작은 두 개의 동심원으로 되어있는 노즐을 $\phi=100\text{mm}$ 인 관의 중심에 장착하고 관내의 유동을 균일하게 하기 위하여 미공을 갖는 판(porous plate)을 설치하였다. 기본화염으로는 C_2H_4 연료를 사용하였고, 보조연료로는 염화화합물(HCl)로 그을음의 발생 조건을 일정하게 조절하기 위하여 사용하였다. 그리고, 중금속으로는 철 용액을 사용하였다. 철은 500ml의 유리병을 이용하여 Water Bath 내에 깊이 안치시킨 후 C_2H_4 를 용기내로 주입시켜 버블링에 의하여 연료내로 주입시켰다.

모든 연료의 유량은 질량유량계(Mass flow meter)를 이용하여 조절하였다. 그리고, 중금속 산화물이 노즐로 부착에 의한 막힘현상을 방지하기 위하여 Two Chamber Nozzle로 Ar flow를 주입하였다. 노즐로부터 방출되는 유해 미세분진의 조건은 연료의 유량을 250ml/min으로 일정하게 주입시켜 주었으며, 염화화합물과 철의 주입량을 조절하여 그을음의 농도와 중금속의 농도를 변화시키며 발생시켰다. Table 1에서 염화화합물과 C_2H_4 의 실험 조건을 보여주고 있다.

[연락처] (우)561-756 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14 전북대학교 환경공학과 양고수,
Tel : 063-270-2440, Fax : 063-270-2449, E-mail : gsyang@moak.chonbuk.ac.kr

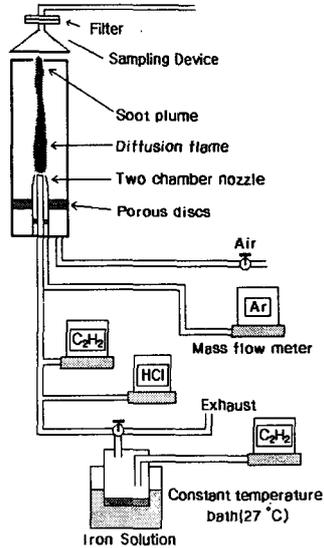


Figure 1. Diffusion Flame Apparatus

Table 1. Experimental Conditions

HCl Volume % Mixture Gases(HCl + C ₂ H ₄)	HCl Flow(ml/min)	C ₂ H ₄ Flow(ml/min)
0	0	250
20	50	200
40	100	150
60	150	100
80	200	50

미세입자의 Sampling 지점은 그을음이 확산에 의하여 분산되지 않고 일정하게 발생되는 지점에서 흡입펌프를 이용하여 Fig. 1에서와 같이 모든 그을음 입자를 Filter에 포집하였다. 샘플을 포집하기 위한 흡입속도는 흡입펌프에 의해서 일정한 유속으로 샘플링되고 건식가스메타를 이용하여 유량을 측정하였다.

Filter에 포집된 미세분진의 발생량은 전자 저울(Mass balance)을 이용하여 측정하였으며, Scanning Electron Microscope(SEM)을 이용하여 그을음 및 입자상 물질의 특성을 조사분석하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서 이용한 층류확산화염 장치는 금속 부하가 희석된 화염가스 안에서 그을음 및 금속/그을음을 일정한 농도로 발생시키는 것을 보여주었다. Table 2에서는 염화화합물의 연소시 발생하는 그을음의 양을 보여주고 있다

Table 2. Amount of soot no Filter depending on the HCl Volume

HCl Volume % Mixture Gases(HCl + C ₂ H ₄)	Amount of Soot(mg/l) of absorbed gases through a filter
0	0
20	0.0210
40	0.2654
60	0.4210
80	1.9300

비록 그을음의 양이 고정된 질량 부하에서 유지되었더라도, 미세입자의 크기분포는 금속의 유무에 큰 영향을 받는데, Fe 성분이 첨가되었을 경우 Fe 성분이 첨가되지 않을 경우에 비하여 평균적으로 적은 입자크기분포를 가진 것으로 측정되었다. 미세분진 내의 금속은 결정 그 자체로서 그을음으로부터 분리되어 존재하거나 또는 그을음 내에 존재한다. 이와 같은 금속입자의 안정된 형태는 안정된 고온의 화염후류 온도와 확실한 체류시간에 의한 결과이다. 만약 건강에 미치는 유해 미세분진의 영향에 대한 중요성을 형태학적으로 찾는다면, 그을음 및 미세입자의 화염후류 온도 변화는 아주 중요한 매개변수가 될 것이다.

IV. 참고문헌

Dobbins, R. A., Mulholland, G. W. and Bryner, N. P.(1994), "Comparison Of a Fractal Smoke Optics Model With Light Extinction Measurements", *Atmospheric Environment* 28 :889-897.

Bryner, N. P.(1994), "Comparison Of a Fractal Smoke Optics Model With Light Extinction Measurements", *Atmospheric Environment* 28 :889-897.

Ferin, J., Oberdorster, G., Penney, D. P., Soderholm, S. C., Gelein, R. and Piper, H. C.(1990), "Increased Pulmonary Toxicity of Ultrafine Particles .1. Particle Clearance, Translocation, Morphology", *Journal of Aerosol Science* 21: 381-384.

Garvie, L. A. J. and Buseck, P. R.(1998), "Ratios of ferrous to ferric iron from nanometre-sized areas in minerals", *Nature* 396: 667 - 670.

Hughes, L., Cass, G., Gove, J., Ames, M. and Olmez, I.(1998), "Physical and Chemical Characterization of Atmospheric Ultrafine Particles in the Los Angeles Area", *Environmental Science Technology* 32: 1153-1161.

Imlay, J. A., Chin, S. M. and Linn, S.(1988), "Toxic DNA damage by hydrogen peroxide through the Fenton reaction in vivo and in vitro", *Science* 240: 640- 642.

Koylu, U. O. and Faeth, G. M.(1994), "Optical Properties of Overfire Soot In Buoyant Turbulent Diffusion Flames At Long Residence Times", *Journal Of Heat Transfer-Transactions Of the Asme* 116: 152-159.

Koylu, U. O. and Faeth, G. M.(1994), "Optical Properties of Soot In Buoyant Laminar Diffusion Flames", *Journal Of Heat Transfer-Transactions Of the Asme* 116: 971-979.

Oberdorster, G., Ferin, J., Finkelstein, G., Wade, P. and Corson, N.(1990), "Increased Pulmonary Toxicity of Ultrafine Particles .2. Lung Lavage Studies", *Journal of Aerosol Science* 21: 384-387.

Oberdorster, G., Finkelstein, J., Ferin, J., Godleski, J., Chang, L. Y., Gelein, R., Johnston, C. and Crapo, J. D.(1996), "Ultrafine Particles As a Potential Environmental Health Hazard-Studies With Model Particles", *Chest* 109: S68-S69.

Rumminger, M. D., Reinelt, D., Babushok, V. and Linteris, G. T.(1999), "Numerical study of the inhibition of premixed and diffusion flames by iron pentacarbonyl", *Combustion and Flame* 116: 207-219.

Zhang, J. and Megaridis, C. M.(1996), "Soot Suppression By Ferrocene in Laminar Ethylene/Air Nonpremixed Flames", *Combustion and Flame* 105: 528-540.