

고형폐기물 소각로에서 배출되는 대기오염물질간의 상관성에 관한 연구

조 상 원
대구기능대학 환경화학과
(1998년 11월 11일 접수)

A Study on the Correlation Level Among Air Pollution from Solid Waste Incinerator

Sang-Won Cho

Department of Environment & Chemistry, Tae-gu Polytechnic College, Tae-gu
(Manuscript received 11 November, 1998)

The purpose of this study is providing basic data to control the air pollutants from solid waste incinerator. Incinerating the waste wood, the electrostatic precipitator had the best collection efficiency. The leather incineration had the same collection efficiency as synthetic resin incineration. And the coarse particle collection efficiency was high. As you know in correlation of leather incineration, pollutants produced a from incinerator are mostly fine particles. If the scrubber used only in the process produced a lot of fine particles. It is adequate to use the above control devices, together with high efficiency collector like bag-filter. To select the adequate control devices, it is required to investigate the size distribution before establishing control devices.

1. 서 론

인구의 증가, 산업의 고도화, 소비의 가속화 등으로 인하여 날로 증대되어 가는 폐기물은 지구상의 생태계에 지대한 영향을 줄 뿐만 아니라, 난분해성으로서 처리가 곤란한 플라스틱류와 인체에 유해한 화학합성물질 등의 폐기물이 매년 급격하게 증가하고 있으며, 폐기물 자체의 특성이 변하고 있다.¹⁾ 이러한 폐기물의 처리기술은 다양하지만, 도시폐기물 처리에 대한 기본 방향은 폐기물의 발생량을 줄이는 것이고, 이미 방출된 것에 대해서는 재활용하는 것이며, 재활용할 수 없는 폐기물에 대해서는 소각시키거나 매립하는 방법을 사용한다. 국내 폐기물의 경우 대부분 매립에 의존하고 있으나 매립지 확보의 곤란성, 토양오염, 지하수오염 등의 2차 오염과, 한편으로는 가용한 에너지 자원을 폐기하는 결과를 초래하게 되므로, 유독성 폐기물의 처리면과 폐자원의 활용면을 동시에 고려한 연소법(또는 소각법)이 실용화되어 왔다.²⁾

소각처리는 감량화 정도가 매우 높으며, 부패성유기물을 소각하여 무기물화 하고 병원성 미생물을 고온에서 방멸하여 폐기물을 안정화 및 무해화하는 매우 효과적인 방법이다.³⁾ 이러한 관점에서 도시쓰레기의 효율적인 처리를 위한 소각로 건설이 크게 증가하였으나, 소각로를 이용하여 폐기물을 처리할 경우 입자상물질과 여러 가지 산성가스 및 중금속 등이 배출되어 점차 쓰레기 소각장에 대한 불신이 깊어지고 있는 실정이다. 그러므로 폐기물 소각로의 설계시에는 사전에 적절한 저감방안을 수립하는 것이 필요하며, 이와 같은 오염물을 제거하기 위하여는 대상

폐기물별로 적정 소각로를 설계하고, 최적의 연소조건으로 운전되어야 하며 적정 대기오염 방지시설을 설치하여 오염물질 배출을 최소화하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 향후에 쓰레기 소각로의 적절한 설계와 대기오염방지시설 선정에 기초자료를 제공하고자, 부산시내에 설치되어 있는 쓰레기 소각로에서 배출되는 대기오염물질인 입자상물질과 이온성물질이 소각로 후단의 대기오염방지시설을 거치기 전·후에 따른 배출정도를 조사하며, 이들 대기오염물질들간의 상관성을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 먼지의 입경분포 측정

폐기물 소각로에서 배출되는 먼지의 입경분포를 조사하기 위하여 Fig. 1과 같은 Stack Sampler(美. Anderson社)를 사용하였으며, 다단분립기(cascade impactor)를 연돌에 장착하여 등속흡인에 의해 배기가스를 흡입하였고, 다단분립기는 스테이지(stage), 격리환(spacer), 여과재 지지판, 백업필터(back-up filter), 스테이지 홀더(stage holder)로 구성되어 있다. 일정량의 배기가스를 임팩터에 통과시키면 배기가스 내에 존재하는 입자상물질은 충돌판에 의하여 분리되고, 이렇게 분리된 먼지의 질량을 측정하면 각 스테이지별 질량을 구할 수 있으며, 임팩터에 의해서 입도별로 포집된 분진은 화학적 조성을 분석하는데 사용할 수 있다. 시료채취 전·후에 분급별 분출판과 back-up filter를 건조시킨 후 테시케이터에서 실온까지 냉각하여 평량하였으며, 시료채취 전·후의 무게차로 포집된 분진량을 구하였다.⁴⁾

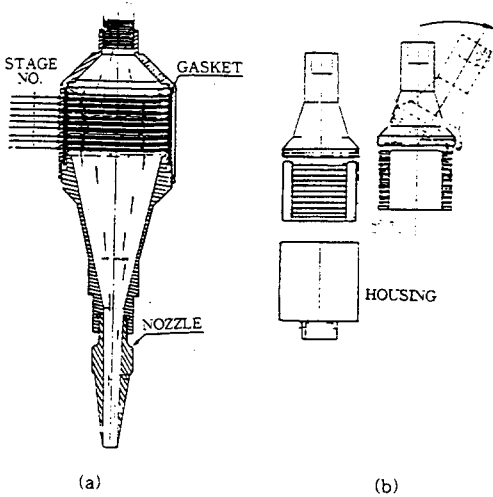


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

- (a) In stack particle fractionating sampler
- (b) Cascade impactor

2.2. 이온성물질 분석

배출가스 중의 입자상물질을 포집한 여과지를 평량한 다음 적당하게 잘라서 초음파추출기로 초순수에 1시간정도 추출한 후 수용성 음이온물질(SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻)을 이온 크로마토그래피(Ion Chromatography, Waters社, Model 600E System Controller)를 이용하여 정량하였다. 용리액으로는 Borate/Gluconate 용액을 사용하였으며, 분리 Column은 IC-PAK™ 을 사용하였고, 용리액 유량은 millipore filter로 여과한 후 그 여액을 검액으로 사용하였다. 또한, 양이온인 Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, K⁺는 포집한 여지의 일정분량을 HCl과 HNO₃ 혼합액을 시험관에 넣고 초음파추출기에서 약 1시간 처리한 후 증류수를 채워 잘 혼합하여 여지(ToYo, No.5C)에 통과시킨 다음 일정량을 원자흡광광도계(Atomic Absorption Spectrometer, Varian社, Model AA 30)로써 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대기오염물질 제거효율

대기오염방지시설을 거치기 전·후에 대한 오염물질간 상관도를 조사하면서 각 오염물질의 제거효율을 조사하였다. Fig. 2는 폐목재, 폐합성수지, 폐피혁 소각로에서 배출되는 먼지, Cl⁻, SO₄²⁻의 제거효율을 나타낸 것으로서, 그림에서 알 수 있듯이 먼지의 제거효율이 가장 높고 SO₄²⁻의 제거효율이 다소 낮은 것으로 나타났다. 폐합성수지와 폐피혁의 경우 소각로형식과 대기오염방지시설은 동일하지만, 폐피혁 소각시 이온성분의 제거효율이 폐합성수지 소각시의 제거효율 보다 낮은 것으로 나타나, 폐기물의 성상에 따라 발생하는 먼지의 입경이나 성분이 달라지고 각 성분의 제거효율도 이에 영향을 받는 것으로 판단된다.

따라서 폐목재 소각로의 경우, 먼지와 이온성분의 제거효율이 모두 90% 이상으로 조사되어, 먼지나 이온성분의

제거에는 전기집진기를 설치하는 것이 좋은 것으로 나타났고, 쓰레기의 성상이 폐합성수지나 폐피혁 등의 난분해성이 증가하는 현실을 감안할 때, 이들에 대한 저감대책이 요구된다고 하겠다.

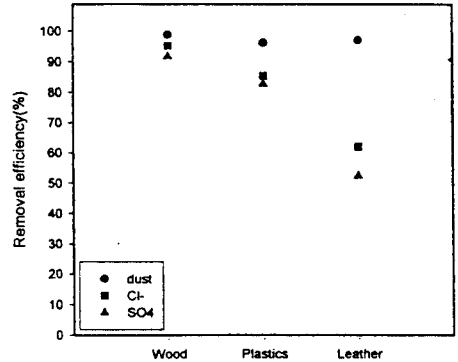


Fig. 2. Removal efficiency of air pollutants.

3.2. 대기오염물질간 상관성

3.2.1. 폐목재 소각

폐기물소각로의 형식이나 대기오염물질 제어장치의 종류에 따라 오염물질의 양이나 집진효율이 달라질 수 있다. 본 연구에서 사용된 폐목재소각 시설은 수평고정상식 소각로로서 상부로부터 폐기물이 주입되어 건조된 후 열분해되어 slag나 재가 하부로 배출되고, 대기오염물질을 제어하기 위하여 고전압 단단 전기집진기를 설치하였다. Table 1~Table 2 및 Fig. 3은 폐목재공정의 경우로서, Table 1과 Fig. 3(a)는 방지시설을 거치기 전의 입경 (particle size)에 대한 먼지(dust) 및 이온성분과의 상관관계를 나타내었으며, Table 2와 Fig. 3(b)는 방지시설을 거친후의 상관관계를 나타내었다. 위 Table에서 알 수 있듯이 방지시설을 통과하기 전의 입경과 먼지농도, Cl⁻, K⁺ 이온이 역상관 관계를, Ca²⁺, Mg²⁺이온 및 SO₄²⁻이온은 정상관 관계를 보였고, 방지시설 후에도 Cl⁻, Mg²⁺, Na⁺ 이온 등이 입경과 역상관 관계를 보이며 Ca²⁺, SO₄²⁻ 등은 정상관 관계를 나타냈다. 이는 폐목재 소각시설에서 방지시설(전기집진기)로 유입되는 먼지, Cl⁻, K⁺ 등의 오염물질들은 미세한 입자들에서 많이 존재하며 Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ 이온들은 큰 입자에 많이 존재하기 때문이다.

Table 1. Correlation coefficients among air pollutants (wood:before)

	Ca	Cl	dust	K	Mg	Na	SO ₄	size
Ca	1.000							
Cl	-0.643	1.000						
dust	-0.587	0.924	1.000					
K	-0.662	0.962	0.816	1.000				
Mg	0.849	-0.807	-0.654	-0.866	1.000			
Na	0.291	0.141	0.144	0.114	-0.040	1.000		
SO ₄	0.125	-0.640	-0.476	-0.672	0.477	-0.160	1.000	
size	0.717	-0.718	-0.689	-0.610	0.713	0.034	0.466	1.000

Table 2. Correlation coefficients among air pollutants. (wood:after)

	Ca	Cl	dust	K	Mg	Na	SO ₄	size
Ca	1.000							
Cl	-0.620	1.000						
dust	-0.190	0.288	1.000					
K	-0.433	0.747	0.049	1.000				
Mg	-0.628	0.542	0.083	0.374	1.000			
Na	-0.528	0.540	0.408	0.601	0.787	1.000		
SO ₄	0.640	-0.678	-0.478	-0.246	-0.810	-0.713	1.000	
size	0.649	-0.506	-0.241	-0.395	-0.882	-0.903	0.846	1.000

3.2.2. 폐합성수지 소각

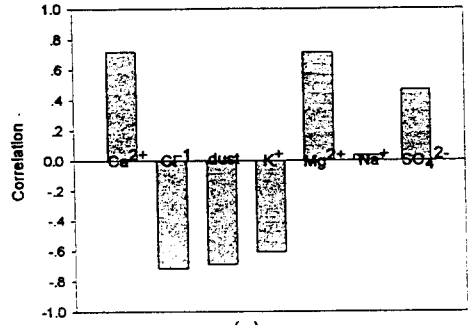
폐합성수지 소각시설은 건류식 소각로로서 폐기물 중 가연성부분을 무산소 또는 저산소의 상태에서 열을 가하여 탄화시키는 소각로를 말하며, 설치된 방지시설은 jet scrubber로서 벤츄리 scrubber와 비슷한 모양이나 세정수량이 많고 높은 압력으로 가스흐름의 직각 상방향에서 분사되어 기액의 혼합충돌을 일으켜 가스중의 분진을 처리한다. 이러한 폐합성수지 공정에서 배출되는 대기오염물질간의 상관성은 Table 3과 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 방지시설을 거치기 전에는 Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺ 등은 입경과 정상관 관계를 보이며 먼지, Cl⁻, SO₄²⁻ 이온은 입경과 역상관 관계를 보여 폐합성수지 소각시 양이온은 입경이 큰 먼지에 많이 함유되어 있고 음이온은 미세먼지에 많은 것을 알 수 있다. 방지시설 후에는 Table 4와 Fig. 4(b)에서와 같이, 배출되는 각종 오염물질이 입경에 영향을 적게 받으며, 각종 이온성물질은 전 입경에서 거의 비슷하게 제거되었다.

Table 3. Correlation coefficients among air pollutants (plastic:before)

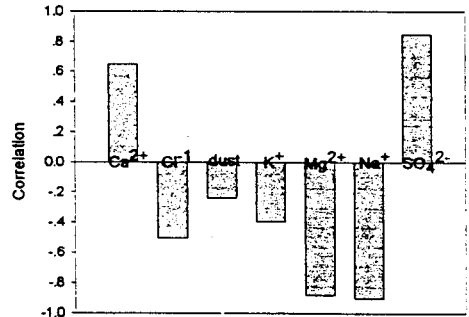
	Ca	Cl	dust	K	Mg	Na	SO ₄	size
Ca	1.000							
Cl	-0.151	1.000						
dust	-0.519	0.385	1.000					
K	0.891	-0.406	-0.291	1.000				
Mg	0.858	-0.555	-0.472	0.904	1.000			
Na	0.749	-0.621	-0.467	0.905	0.805	1.000		
SO ₄	-0.509	0.493	0.901	-0.360	-0.580	-0.529	1.000	
size	0.726	-0.642	-0.524	0.831	0.843	0.924	-0.629	1.000

Table 4. Correlation coefficients between particle size and various components(plastic:after)

	Ca	Cl	dust	K	Mg	Na	SO ₄	size
Ca	1.000							
Cl	0.335	1.000						
dust	-0.169	0.656	1.000					
K	0.349	0.003	-0.613	1.000				
Mg	0.237	-0.284	-0.057	-0.475	1.000			
Na	0.170	0.043	-0.384	0.669	-0.654	1.000		
SO ₄	-0.562	0.492	0.752	-0.421	-0.261	-0.127	1.000	
size	-0.337	-0.489	-0.414	0.258	-0.128	-0.057	-0.150	1.000



(a)



(b)

Fig. 3. Correlation coefficients between particle size and various components(wood) (a) before collector, (b) after collector.

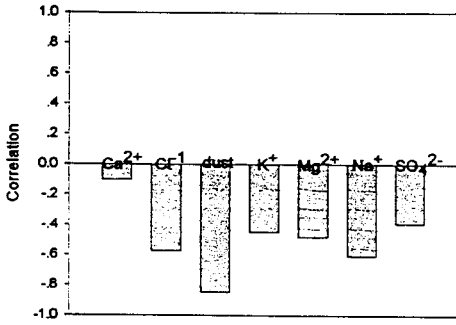
3.3. 폐피혁 소각

폐피혁 소각의 경우 소각로와 대기오염방지시설이 폐합성수지의 경우와 동일하며, 폐피혁 소각시에는 Table 5와 Fig. 5(a)에서 알 수 있듯이 방지시설을 거치기 전에는 입경과 Cl⁻, Na⁺, 먼지는 역상관 관계를 보이며, 특히 각종 오염물질들은 먼지와 높은 상관관계를 보이고, 또한 먼지는 입경과 높은 역상관 관계를 보여, 목재나 합성수지와는 달리 소각시설에서 배출되는 오염물질들이 미세한 입자에 치우쳐 있는 것으로 판단된다. 방지시설 후에서도 Table 6과 Fig. 5(b)에 보듯이 배출되는 오염물질들이 입경과 높은 역상관 관계를 보이며, 각종 오염물질 역시 먼지와 높은 상관 관계를 보여, 폐피혁 소각시 미세먼지의 발생이 많으므로 미세한 입경의 입자상 및 이온성물질을 제거함으로써, 높은 제거 효율을 나타낼 것으로 사료된다.

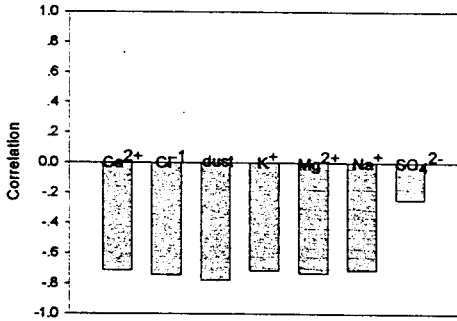
3. 결론

부산 시내에 설치되어 있는 쓰레기 소각로에서 배출되는 입자상물질과 이온성물질이 소각로 후단의 대기오염방지시설을 거치기 전·후에 배출되어지는 정도를 조사하여, 이들 대기오염물질간의 상관성을 조사한 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 폐기물의 성상에 따라 발생하는 먼지의 입경이나 성분이 다르고, 각 성분의 제거효율도 폐기물의 성상이나 소각로의 형식, 그리고 집진장치의 종류에 따



(a)

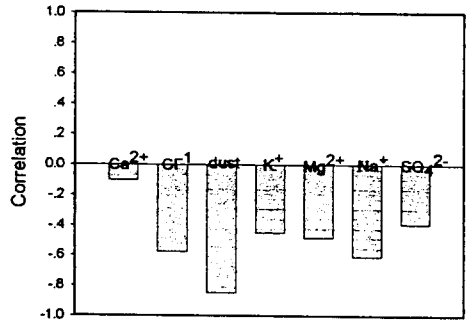


(b)

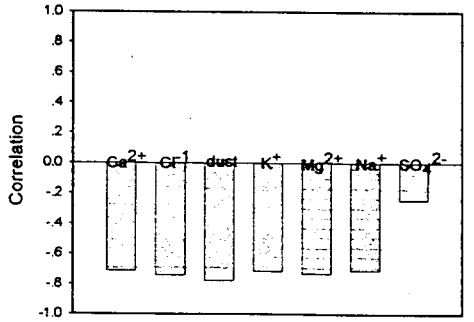
Fig. 4. Correlation coefficients between particle size and various components(plastic) (a) before collector, (b) after collector.

Table 5. Correlation coefficients between particle size and various components(leather:before)

	Ca	Cl	dust	K	Mg	Na	SO ₄	size
Ca	1.000							
Cl	0.621	1.000						
dust	0.255	0.837	1.000					
K	0.691	0.870	0.643	1.000				
Mg	0.694	0.857	0.628	0.994	1.000			
Na	0.666	0.868	0.705	0.976	0.988	1.000		
SO ₄	0.694	0.810	0.517	0.968	0.982	0.958	1.000	1.000
size	-0.105	-0.575	-0.847	-0.451	-0.482	-0.607	-0.393	



(a)



(b)

Fig. 5. Correlation coefficients between particle size and various components(leather).

Table 6. Correlation coefficients between particle size and various components(leather:after)

	Ca	Cl	dust	K	Mg	Na	SO ₄	size
Ca	1.000							
Cl	0.960	1.000						
dust	0.908	0.936	1.000					
K	0.970	0.906	0.838	1.000				
Mg	0.968	0.908	0.863	0.988	1.000			
Na	0.934	0.903	0.869	0.849	0.868	1.000		
SO ₄	0.772	0.784	0.729	0.680	0.718	0.709	1.000	
size	-0.712	-0.742	-0.777	-0.714	-0.730	-0.709	-0.246	1.000

라 다르게 나타났으며, 폐목재 조각로의 경우 먼지와 이온성분의 제거효율이 모두 90% 이상으로 조사되어, 먼지나 이온성분의 제거에는 전기집진기를 설치하는 것이 좋은 것으로 나타났고, 쓰레기의 성상이 폐합성수지나 폐피혁 등의 난분해성이 증가하는 현실을 감안할 때, 연소방법 개선, 조각로 개선, 집진시설의 적절한 선택 등이 필요하다.

- 2) 폐목재, 폐합성수지, 폐피혁 등 조각폐기물의 성상에 대기오염방지시설을 거치기 전·후의 대기오염물질 따라 배출현황은 다른 것으로 나타났고, 폐목재 조각시 집진기를 통과하기 전 Ca²⁺와 SO₄²⁻의 상관계수는 각각 0.717과 0.466이었으며, 집진기 통과 후에는 0.649와 0.846으로 정상관관계를 보였다. 또한, 폐합

성수지 조각시 집진기 통과전과 통과후의 상관성에는 큰 변화가 있었고, 폐피혁 조각시 집진기 통과 전·후에 모든 물질들이 입경과 역상관관계($r = -0.246 \sim -0.847$)를 나타내어 미세입자와 함께 배출되는 대기오염물질이 많은 것을 알 수 있었다.

- 3) 폐피혁 조각시 모든 이온성분들은 미세입자에 많이 함유되어 있는 것으로 조사되어, 미세입자의 제거효율을 높여야 대기오염물질의 제거효율을 높일 수 있으므로, 기존의 제트스크러버에 미세입자 제거효율이 높은 전기집진기, venturi scrubber, bag house와 같은 고효율 집진기와 병용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 이규성, 1997, 김영식, 폐기물처리기술, 형설출판사.
- 2) 한국폐기물학회, 1995, 폐기물 처리기술과 재활용, 동화기연.
- 3) 윤오섭, 1996, 폐기물처리기술, 동화기술.
- 4) 대학서림, 1997, 환경오염공정시험법(대기분야).
- 5) 주유연, 1995, 부산,경남지역 토양오염물질의 상관도에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문.
- 6) 박진, 1997, 부산지역 대기오염농도와 기상인자간의 통계분석-광안리 지역을 중심으로-, 부산대학교 석사학위논문.
- 7) 이종우 외 공저, 1981, 특정배출원의 분진입경분포에 관한 조사연구 국립환경연구소보, 3, 12.
- 8) 환경부, 1996, 환경통계년감.
- 9) 한국과학기술원, 1993, 매립신기술의 이론과 실제.
- 10) 전해수, 1994, 폐기물 유동층 소각 동화기술.
- 11) 김민영 외 공저, 1988, 환경대기중 입자상 물질에 함유된 중금속류의 입경별 조성분포에 관한 연구, 서울특별시 보건환경연구소보, 20, 256.
- 12) E. Robinson, 1970, Global effect of environmental pollutants, D. Reidel pub. Co.
- 13) R. Tanner, et al., 1977, Separation and analysis of aerosol sulfate species at ambient concentration, *Atm. Environ.* vol. 11, 55.
- 14) Parker C. Reist, 1995, *Aerosol science and Technology*, 131.
- 15) 大藤桓久, 1982, “廢棄物燒却爐 計劃と設計” 明現社.
- 16) Corey, R.C., 1969, *Principle and practices of Incineration*, Wiley-Interscience, NY(1969).