

소형소각로 배출가스의 먼지입경 및 무기물질의 분포특성

○장하나, 유종익, 장민, 김기현, 서용철, 석광설*, 홍지형*
연세대학교 환경공학과, 국립환경연구원 대기연구부*

1. 서론

1998년 현재 우리나라에 설치된 소각로는 14,791개로서 소각 용량이 200kg/hr인 폐기물이 차지하는 처리능력은 전체 소각 처리량의 약 16.5%이다. 일반적으로 입자상 물질은 납, 비소, 카드뮴등과 같은 중금속을 포함하는 많은 휘발성무기물을 포함한다. 입자상 물질중 입자의 크기가 2.5 μ m 이하인 PM-2.5는 다른 무기물 함량을 가질 수도 있다.

본 연구에서는 우리나라에 설치되어 있는 소형 소각로(250kg/hr 이하) 중 사업장 일반폐기물 소각로 14기, 도시폐기물 소각로 중 4기에 대해 입자상 물질 입경 분포와 크기 범위(TPM, 10-2.5m, 2.5m이하) 별 무기물함량을 조사하였다. 입자상 물질의 크기 분포를 파악하기 위해 cascade impactor가 사용되었다. 중금속을 포함한 몇몇 무기물과 chlorine사이의 관계를 파악하기 위해 굴뚝에서 배출되는 가스의 chlorine농도를 측정하였다.

2. 실험방법

2.1 입자상물질의 채취

입자상 물질을 채취하기 위해 우리나라 대기오염 공정시험법에 있는 먼지시료 채취방법을 사용하였다(1). 우리나라 시험법은 US EPA method 5(2)가 원형 여지를 사용하는 반면에 원통형여지를 사용한다. Cascade impactor(Andersen Instrument Co. Ltd, Mark III Stack Sampler)가 PM10과 PM2.5채취와 입경분포분석에 사용되었다(3). 입경분포의 파악을 위해 WinCIDRS software (WinCIDRS, Ver. 4.0 Operations and Data Analysis System for Internal Particle Sizing Device)가 사용되었다.

2.2 입자상물질의 중금속과 무기물의 분석

채취된 시료의 중금속과 무기물질의 분석을 위한 전처리는 US-EPA test method SW-846 3050B(4)을 사용하였다. 분석은 ICP/MS(Varian Co. Ltd., Ultra mass 700)을 사용하였다.

[연락처] (우)222-701 강원도 원주군 흥업면 매지리, 연세대학교 환경공학과, 서용철
Tel ; 033-760-2438, Fax ; 033-763-5224, E-mail ; seoyc@dragon.yonsei.ac.kr

3. 결과 및 고찰

3.1 입자상물질의 배출

소형소각로에서 배출되는 PM-10입경분포를 Fig. 1에 나타냈다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 입자상 물질의 분포는 운전상태, 연료형태 그리고 소각로의 크기에 의해 많은 영향을 받기 때문에 일정하게 나타나지 않았으나 전체적으로 lognormal 분포를 나타냈다. 굵은 선으로 표시된 평균분포의 mean diameter는 1.7 μ m이며 median value는 0.4 μ m 이다.

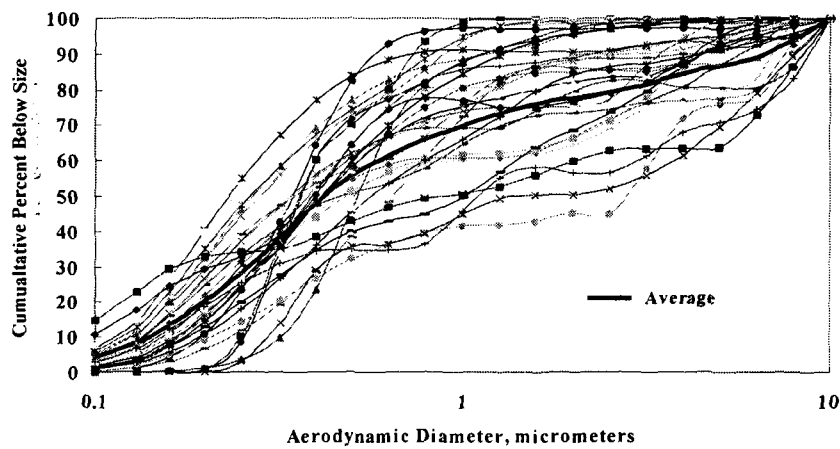


Fig. 1 Size distribution of PM-10 emitted from small incinerator.

3.2 재와 입자상물질의 중금속함량

소각로에서 무기물질의 평균배출농도는 Cadmium: 830.9, Chromium: 1240.7, Copper: 626.6, Magnesium: 220.0, Manganese: 141.0, Lead: 3710.3, Zinc: 5731.2 g/Sm³정도이다. 배출가스의 높은 온도 때문에 몇몇 무기물질은 높은 배출농도를 나타냈다. Table 1에 나타난 바와 같이 cadmium, copper, lead, zinc는 상대적으로 작은 입자에 더 많이 분포되어 있다. 한편 chromium 과 manganese은 뚜렷한 경향을 보이지 않았다.

3.3 HCl배출과 굴뚝온도

일반적으로 HCl은 무기물의 휘발성온도를 감소시킨다. 염소화합물은 보통 그것들의 산화물보다 더 낮은 휘발성온도를 가진다. 소형소각로의 경우 로와 굴뚝의 거리가 매우 짧고 cyclone과 같은 단순한 대기오염 방지장치만 있어 배출가스의 온도가 매우 높다. 높은 온도에서는 무기물이 응축될 가능성이 매우 적기 때문에 무기물질의 배출에 관련된 주요 인자는 소형소각로의 경우 HCl농도보다 배출가스의 온도가 더 주요한 인자가 된다.

Table 1. Total concentration and distribution of inorganics.

	Cd			Cr			Cu		
	< 2.5 μ m (%)	2.5-10 μ m (%)	TPM (mg/Nm ³)	< 2.5 μ m (%)	2.5-10 μ m (%)	TPM (mg/Nm ³)	< 2.5 μ m (%)	2.5-10 μ m (%)	TPM (mg/Nm ³)
MW-1	95.7	4.3	1842.61	52.5	47.5	248.72	89.7	10.3	638.64
MW-2	74	26	87.17	41.5	58.5	7180.65	92.9	7.1	780.86
MW-4	87	13	170.24	63.5	36.5	250.06	83.8	16.2	265.67
IW-1	96.8	3.2	603.47	41.1	58.9	118.62	98.1	1.9	537.38
IW-2	96.2	3.8	41.75	-	-	25.64	96	4	415.88
IW-3	96.8	3.2	673.68	53.9	46.1	1381.12	96.9	3.1	868.46
IW-4	94	6	224.98	96.6	3.4	18.33	88.3	11.7	235.56
IW-5	87.3	12.7	13.14	-	-	6.99	-	-	15.43
IW-6	89.7	10.3	20.61	54.1	45.9	92.2	92.6	7.4	206.74
IW-7	86.7	13.3	17.04	-	-	7.07	98.3	1.7	65.35
IW-8	76	24	159.6	64.7	35.3	1064.96	94.8	5.2	3520.48
IW-9	89.7	10.3	9381.25	37.7	62.3	102.75	88.5	11.5	528.8
IW-10	92.9	7.1	227.97	33.6	66.4	230.78	93.3	6.7	425.68
IW-11	92.2	7.8	167.49	72.1	27.9	5572.96	95.9	4.1	160.27
Avg.	89.6	10.4	973.6	55.6	44.4	1164.3	93	7	618.9

	Mn			Pb			Zn		
	< 2.5 μ m (%)	2.5-10 μ m (%)	TPM (mg/Nm ³)	< 2.5 μ m (%)	2.5-10 μ m (%)	TPM (mg/Nm ³)	< 2.5 μ m (%)	2.5-10 μ m (%)	TPM (mg/Nm ³)
MW-1	44.4	55.6	73.87	94.8	5.2	3578.35	96.8	3.2	12445.9
MW-2	4	96	646.33	89.4	10.6	909.48	88.7	11.3	2521.65
MW-4	57.2	42.8	31	87.7	12.3	1679.27	80.8	19.2	1402.04
IW-1	-	-	17.71	96.7	3.3	3599.55	95.1	4.9	1997.14
IW-2	-	-	173.36	95.2	4.8	2859.14	96.4	3.6	12981.71
IW-3	78	22	128.83	97.6	2.4	3587.99	97.2	2.8	2609.55
IW-4	7.7	92.3	2.08	92.4	7.6	1716.52	83.9	16.1	390.88
IW-5	-	-	19.97	-	-	98.04	94	6	6440.12
IW-6	94.3	5.7	18.5	93.6	6.4	651.73	84.1	15.9	428.81
IW-7	-	-	24.16	95.4	4.6	370.77	91.1	8.9	8361.6
IW-8	69	31	289.53	93.1	6.9	10132.7	94.7	5.3	15885.88
IW-9	21.1	78.9	15.83	91.9	8.1	20156.09	89.5	10.5	6070.83
IW-10	45.2	54.8	90.53	96.9	3.1	3630.62	93	7	2135.15
IW-11	-	-	287.5	94.9	5.1	1338.54	95.1	4.9	2821.1
Avg.	46.8	53.2	129.9	93.8	6.2	3879.2	91.5	8.5	5463.7

4. 결론

소형 소각로로부터 배출되는 입자상 물질에 대한 입경분포와 무기물질 함량을 조사하였다. 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

[1] 소각로가 각각 관찰상태가 다르므로 입경이 분산되어있음에도 불구하고 PM-10의 입경분포는 lognormal 분포를 나타낸다. Mean diameter와 median은 각각 PM-10의 경우 1.7 μ m, 0.4 μ m 를 나타냈다.

[2] 소형소각로의 입자상 물질과 무기물의 배출특성은 운전 상태, 연료, 소각로의 크기 등의 많은 인자에 의해 영향을 받는다. 그러나 무기물배출은 배출가스의 온도와 무기물의 휘

발도가 주요인자가 된다. 소각로의 배출기준을 만족하기 위해서는 배출가스의 온도를 떨어트리는 것이 필요하다.

[3] 무기물은 일반적으로 coarser particulate보다 finer particulate서 더 많이 나타났다. 이는 finer particulate가 coarser particulate보다 더 많은 비표면적을 가지므로 finer particulate에 집합하고 응축할 기회가 더 많기 때문으로 판단된다.

[4] 중금속배출에 대한 HCl농도의 영향은 높은 온도를 가진 시험되는 소각로에서 쉽게 관찰되지 않았다. 이는 배출가스의 온도가 HCl농도보다 더 영향을 주기 때문으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. NIER Korea, Standard method for Air Pollution, 1999.
2. EPA Method, EMTIC TM-5, Determination of Particulate matter emissions from stationary sources, 2000
3. EPA Method, EMTIC TM-201A Determination of PM-10 Emissions, 1997.
4. EPA Method, Test method for Evaluating Solid Waste, SW-846-3050B Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils, 3rd Edition, 1986.