

보건분야-연구자료
연구원 2002- -
0-00-0-2002-12-

산업 폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가 연구(I)

한국산업안전공단
산업안전보건연구원

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 『산업폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가
연구』 최종 보고서로 제출합니다.

2002년 12월 31일

주관 연구부서 : 산업안전보건연구원 직업병연구센터

연구책임자 : 책임연구원 김기웅

참여연구자 :

산업화학물질연구센터 책임연구원 김현영

노동부산업보건환경과 전문위원 황호순

직업병연구센터 연구원 고경선

산업역학조사팀 연구원 이용학

요 약 문

1. 과 제 명 : 산업폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가 연구

2. 연구기간(1차년도) : 2002. 1. 1 ~ 2002. 12. 31.

3. 연 구 자 : 총괄연구책임자 김 기 웅 (책임연구원)

4. 연구목적

본 연구는 한국산업안전공단 산업안전보건연구원과 일본산업의학총합연구소가 공동으로 추진하는 『산업폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가』에 대한 한·일 공동연구의 1차 년도 연구이다. 본 연구의 목적은 산업폐기물 소각로 근로자에 대한 건강장해를 평가하기 위하여 작업방법 및 형태, 폐기물의 종류, 노출되는 비산 재(fly ash) 및 바닥 재(bottom ash) 속의 중금속과 다이옥신 함유량을 평가한 후, 2차 연도(2003 ~ 2004)에 수행하는 소각로 근로자의 건강장해 평가 연구에 활용하기 위함.

5. 연구내용

- 산업폐기물 종류 및 작업공정 파악
- 바닥재와 비산재 중 중금속 측정(Pb, Cd, Zn, Cu, Fe, Mn, Cr, Ni, Mg 등)
- 바닥재와 비산재 중 다이옥신 함유량 측정(17 종)
- 전반적인 작업환경 평가

6. 활용계획

본 연구에서는 산업폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가를 위하여 소각장에 유입되는 산업폐기물의 종류, 조성비율 및 유입량 등을 파악하고 비산 재와 바닥 재 속에서 중금속과 다이옥신의 함유량을 측정한 후, 1일 소각되는 폐기물에서 이들 물질의 예측 함유량을 평가한 다음, 2차년도(2003~2004)에 수행할 근로자 건강장해 평가 연구에 활용하고자 한다.

7. 연구개요

소각처리는 대상물질이 고온에 의하여 분해되는 과정에서 많은 유해물질을 발생시킨다. 소각 사업장 근로자들은 분진에 노출됨에 따라 많은 유해물질에 노출되고 있다. 즉, 중금속과 다이옥신류는 분진에 포함되어 있거나 결합된 형태로서 분진의 노출과 함께 이루어지고 있다. 따라서 산업폐기물 소각 사업장 근로자들의 건강장해 평가를 위해서는 우선 소각 재에 함유된 중금속과 다이옥신과 같은 유해물질의 함유량을 평가하는 것이 매우 중요하다.

금번 연구는 경기·안산 및 인천광역시에 위치한 산업폐기물 소각 사업장 중 1일 소각용량이 200 톤 이하인 중·소규모 사업장 9개 업체를 실태조사 한 후, 작업자 수, 작업형태, 소각로 방식 및 1일 소각용량 등을 파악하여 4개 사업장을 선정하여 비산 재 및 바닥 재를 채취하여 중금속과 다이옥신류의 함유량을 측정하였다. 그 결과 바닥 재 보다 비산 재에서 퓨란과 다이옥신의 함유량이 높은 것으로 나타났으며, 퓨란과 다이옥신의 각각에 대한 동종체의 함유량은 상대적으로 TCDD독성등가환산계수가 낮은 퓨란 동종체(1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF)와 다이옥신 동종체(1,2,3,6,7,8-HxCDD,

1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD)의 함량이 높게 나타났다.

사업장에 따라 TCDD독성등가환산농도의 차이는 있으나, A 사업장의 경우에 비산 재와 바닥재에 있어서 총 PCDDs+PCDFs의 독성등가환산농도는 0.0118과 0.142 ng-TEQ/g으로 측정되었다. B 사업장에서의 비산 재와 바닥 재 속의 총 PCDDs+PCDFs의 독성등가환산농도는 1.238와 0.096 ng-TEQ/g으로, C 사업장에서는 51.249와 0.131 ng-TEQ/g으로 측정되었다.

소각 재 속의 중금속 함유량은 사업장에 따라 다소의 차이를 보였으나, Pb, Cd, Mn, Cr, Ni, Mg 등은 매우 미량 함유되어 있으며, 조성성분에 대한 백분률도 전부 1% 미만이었다. A 사의 경우 바닥 재에서 Al 함유량이 11.717 mg/g, B 사의 비산 재 중 Al 함유량이 37.663 mg/g과 바닥 재에서 Fe와 Al이 각각 23.134와 12.289 mg/g으로 함유되어 있으며, C 사의 비산 재에서 Zn이 18.178 mg/g과 D 사의 바닥 재에서 Cu의 함유량이 20.144 mg/g으로 측정되었으나 전부 1-4% 정도의 함유량을 보였다.

8. 중 심 어

산업폐기물, 소각 재, 중금속, 퓨란과 다이옥신류

9. 약 어

TEQ : Toxic equivalent, TEF : Toxic equivalency factor

TCDD : 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxins

TCDF : Tetrachlorinated dibenzofuran

Pe-, Hx-, Hp-, OCDD, OCDF : penta-, Hexa-, Hepta-, Octa-chlorinated dibenzo-dioxins, Octachlorinated dibenzofuran

차 례

요 약 문	i
차 례	iv
표 및 그림목차	vi
제 1 장 서 론	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적	8
제 2 장 연구방법	9
1. 연구대상	9
2. 연구방법	9
가. 소각 재 중 다이옥신 함량 측정	9
나. 소각 재 중 중금속 함량 측정	10
제 3 장 연구결과	12
1. 산업폐기물 소각 사업장의 일반적 특성	12
2. 소각 재 중 다이옥신 함유량	14
3. 소각재 중 중금속 함유량	16

제 4 장 고 찰	18
참고문헌	21

표 목 차

<표 1-1> 폐기물발생 현황	7
<표 2-1> 유도결합플라즈마 광학방출분광계 분석조건	11
<표 3-1> 연구대상 산업폐기물 소각 사업장의 일반적 특성	19
<표 3-2> 소각 재에 함유된 다이옥신과 퓨란 동종체의 농도	15
<표 3-3> 소각 재 중 중금속 함유량	17

그 립 목 차

[그림 1-1] 년도별 1일 폐기물 발생량	2
[그림 1-2] 년도별 폐기물 처리주체 비율.....	5
[그림 1-3] 년도별 폐기물 처리방법	6

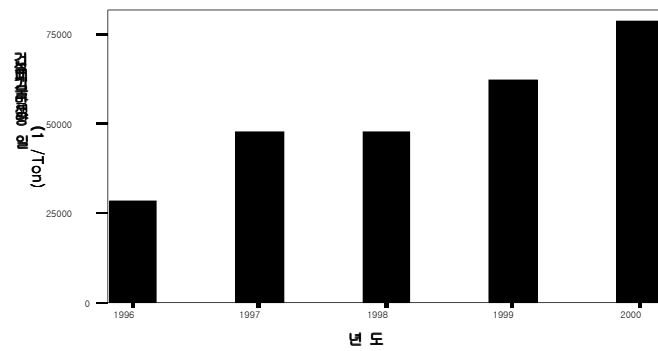
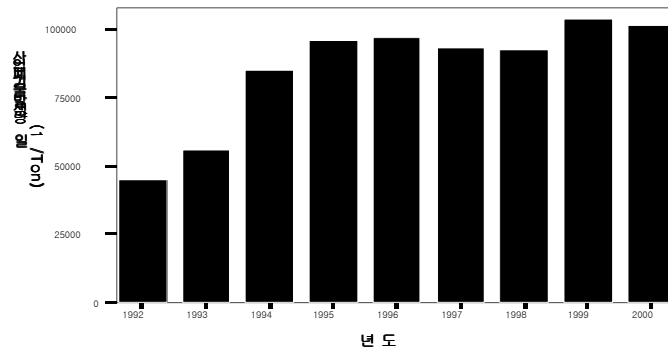
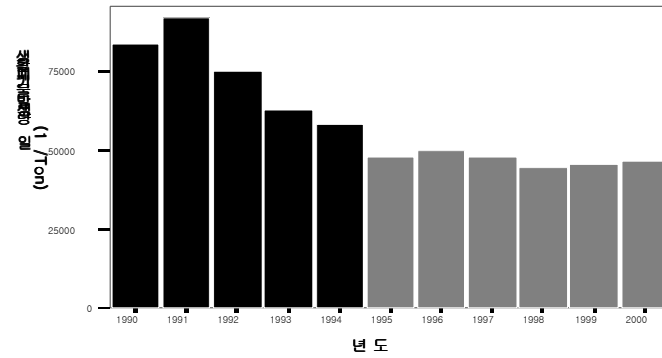
제 1 장 서 론

1. 연구배경

환경부는 자연환경 및 생활환경을 청결히 함으로써 환경보전과 국민생활의 질적향상에 이바지함을 목적으로 “폐기물관리법”을 제정하여 폐기물의 발생·수집부터 처리단계까지 관리하고 있다. 이 법에서는 폐기물을 “쓰레기, 연소재, 오니, 폐유, 폐산, 폐알카리, 동물의 사체 등 사람의 생활이나 사업활동에 필요하지 아니하게 된 물질”로 정의하고 생활, 사업장, 지정, 건설 및 감염성 폐기물로 분류하고 있다. 그러나 사업장폐기물 소각 사업장의 규모에 따라 다를 수 있지만 대부분의 사업장폐기물 소각 사업장에서는 사업장폐기물과 지정폐기물을 함께 처리하고 있다. 따라서 금번의 연구에서는 사업장과 지정폐기물을 합하여 산업폐기물로 지칭하여 기술하고자 한다.

1990년도에 우리나라의 1일 생활폐기물 총 발생량은 83,962 톤이었으나 그 후 서서히 감소를 보이다가 쓰레기 종량제를 실시한 1995년도를 기준으로 현저한 감소를 보여 2000년도 현재 46,438 톤으로 1990년도 대비 약 55%의 감소를 보였으며, 쓰레기 종량제를 실시한 1995년도 이후에는 생활폐기물의 1일 발생량은 어느 정도 안정된 반면, 재활용품의 발생량이 현저히 증가되어 2000년도 현재 약 13,704 톤의 1일 발생량을 보이고 있다(그림 3-1)(환경부, 2001).

그러나 산업 및 건설폐기물의 생성량은 생활폐기물의 발생량과 대조적인 현상을 보이고 있다. 산업폐기물의 경우, 1992년도 1일 총 발생량이 45,058 톤이



[그림 1-1] 년도별 1일 폐기물 발생량. 생활폐기물 발생량 도표의 회색 막대는
쓰레기 종량제 실시 이후

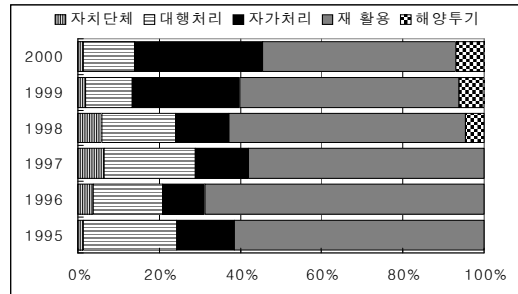
있던 것이 2000년도 현재 101,453 톤으로 1992년도 대비 약 56% 정도가 증가되었으며, 증가는 종이류, 나무류, 폐합성고분자 화합물 및 오니류를 포함한 가연성 물질의 발생량이 1992년도 대비 약 72% 정도의 현저한 증가를 보였다. 건설폐기물의 경우도, 1996년도 1일 총 발생량이 28,425 톤이었던 것이 2000년도 현재 약 78,777 톤으로 1996년도 대비 64% 정도가 증가된 것으로 보고되었다(표 3-1)(환경부, 2001). 2000년도에 이들 각각의 폐기물처리 주체를 보면, 생활폐기물의 경우, 1일 총 발생량(46,438 톤) 중 약 45.5%(21,152 톤)가 자치단체에 의해서 처리되고, 41.3%(19,167 톤) 정도는 재활용업체에 의해서, 약 12.0%(5,580 톤)와 1.2%(539 톤)는 각각 대행처리업체 및 자가처리 방식에 의해서 처리되고 있다. 산업폐기물은 1일 총 발생량(101,453 톤) 중 47.6%(48,263 톤)가 재활용업체에서, 자가처리는 약 31.6%(32,072 톤), 대행처리는 12.5%(12,711 톤), 1.8%(1,457 톤)는 자치단체에서 처리되며 전체의 6.8%(6,943 톤)는 해양투기되는 것으로 보고되었다. 건설폐기물은 전체 발생량(78,777 톤/1일) 중 약 80%(62,339 톤) 정도가 재활용 처리되며, 나머지는 대행처리(10,545 톤), 자가처리(4,436 톤) 및 자치단체(1,457 톤)에서 처리되는 것으로 보고되었다(그림 3-2). 이들 폐기물을 처리하는 주체에 대한 년도별(1995~2000년) 경향을 보면, 생활폐기물과 건설폐기물의 처리는 재활용이 증가되고 산업폐기물은 자가처리가 증가되는 것으로 나타났다. 폐기물 처리에 있어서 이러한 현상은 처리 주체의 투자 및 처리비용에 의존하여 나타난 결과로 보인다.

폐기물 처리 방법도 년도별로 변화를 보이고 있다(그림 3-3).

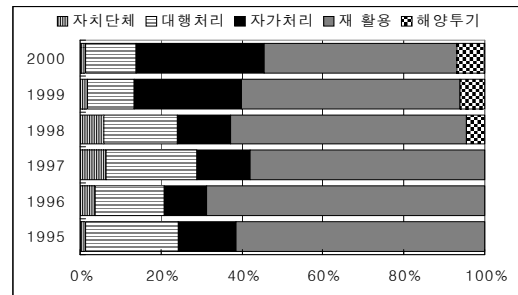
1995년도 생활폐기물 처리는 전체의(47,774 톤) 약 72.3%(34,546 톤)가 매립에 의한 방법으로 처리되었으며, 4.0%(1,922 톤)는 소각에 의한 방법 그리고 23.7%(11,306 톤)가 재활용되는 것으로 나타났다. 그러나 2000년도에는 처리 방법이 변화를 보여, 전체 폐기물 발생량(46,438 톤) 중 매립에 의한 처리가

47%(21,831 톤)로 감소된 반면, 소각에 의한 처리는 11.7%(5,440 톤), 재활용 처리는 41.3%(19,167 톤)로 매년 증가가 이루어지고 있다. 산업폐기물 처리의 경우도 생활폐기물 처리와 비슷한 경향을 보이고 있다. 1995년도 1일 폐기물 총 발생량 95,823 톤 중 32.6%(31,203 톤)가 매립에 의한 처리, 약 6.0%(5,691 톤)는 소각처리하고 나머지 61.5%(58,929 톤)는 재활용 처리되는 것으로 나타났다. 2000년도(1001,453 톤/1일 총 발생량)에는 18.7%(18,962 톤)가 매립처리되어 현저한 감소를 보인 반면, 소각처리는 약 8%(8,038 톤), 재활용은 66.5%(67,514 톤)로 증가되는 경향을 보였다. 그러나 1997년도 이후에는 해양투기가 서서히 증가를 보여 2000년도 현재는 전체의 6.8%(6,943 톤) 정도를 차지하는 것으로 보고되고 있다. 이러한 현상은 폐기물 처리비용을 감소하며, 우리나라의 국토면적을 고려한 정책의 일환으로 매립에 의한 처리보다는 소각처리 방법을 택하는 것이며, 향후에도 소각에 의한 처리와 재활용 처리가 증가될 것으로 생각된다. 그 동안 산업보건에 있어서 주 대상 사업장 및 대상자는 제조업체의 근로자들이었다고 단언하여도 큰 무리는 없을 것으로 생각된다. 그러나 현재 산업보건분야의 전문가를 포함한 정부 및 사업장의 많은 사람들의 헌신적인 노력의 결과로 작업방법, 작업환경 및 직업관련 질병에 대한 인식과 사고가 변하여 열악하던 작업환경이 개선되고 질병발생에 대한 예방과 질병관리가 이루어지면서 전형적인 직업병이 감소되고 있는 반면, 산업형태의 구조변화와 그 동안 소홀하였던 부분에 있어서는 기존에 발생하던 직업관련 질병과 다른 양상의 질병이 발생되고 있다. 그 중의 하나가 폐기물 소각장 근로자의 작업환경 및 건강관리에 대한 문제이다. 2001년도 11월, 울산소재 모 산업폐기물 처리업체 근로자 6명이 무더기로 ‘독성간염’ 증세를 보여 근로자 1명이 사망하고 다른 근로자는 치료를 받았으며, 우리나라에 있어서 이러한 폐기물 처리업체는 약 2,916개 업체로 종사 근로자 수도 10 만여 명에 달하는 것으로 보고

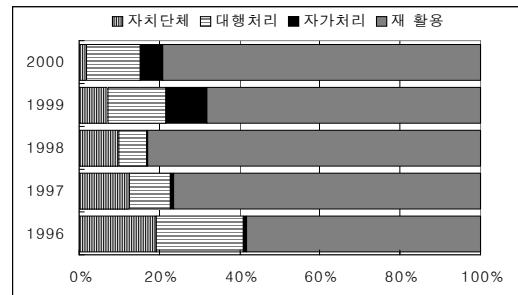
a)



b)

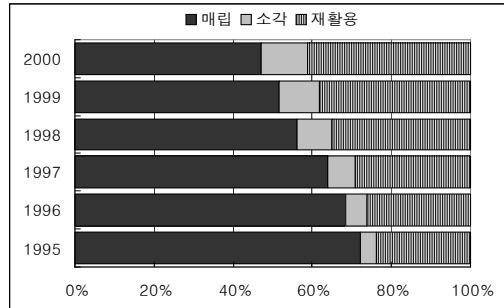


c)

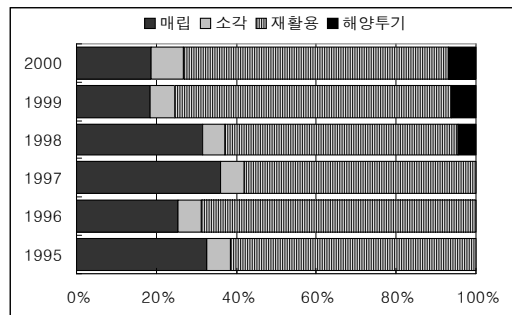


[그림 1-2] 년도별 폐기물 처리주체 비율. a) 생활폐기물, b) 산업폐기물
c) 건설폐기물.

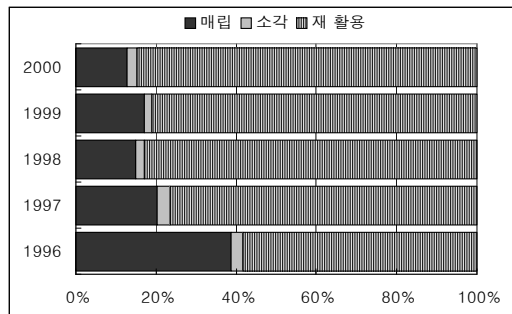
a)



b)



c)



[그림 1-3] 년도별 폐기물 처리방법. a) 생활폐기물, b) 산업폐기물, c) 건설폐기물.

<표 1-1> 폐기물 발생현황

(단위: 톤/일)

연도	생활폐기물				산업폐기물			건설폐기물		
	총 계	가연성	불연성	재활용	총 계	가연성	불연성	총 계	가연성	불연성
1990	83,962	44,909	39,053	-						
1991	92,246	52,617	39,629	-						
1992	75,096	47,211	27,885	-	45,058	6,746	41,312			
1993	62,940	44,558	18,381	-	55,969	7,350	48,619			
1994	58,118	42,273	15,845	-	85,229	17,299	67,930			
1995	47,774	36,192	11,582	-	95,823	23,446	72,377			
1996	49,925	30,306	7,456	12,163	96,984	26,607	70,377	28,425	2,991	25,434
1997	47,895	28,739	6,675	12,481	93,528	27,851	65,677	47,777	3,792	43,985
1998	44,583	26,435	5,332	12,816	92,713	27,497	65,216	47,693	3,148	44,545
1999	45,614	27,312	5,082	13,220	103,893	26,037	77,856	62,221	4,425	57,796
2000	46,438	27,676	5,058	13,704	101,453	24,330	77,123	78,777	5,207	73,570

되었다(2001년 11월 22일자 조선일보). 또한 산업 폐기물 소각장에서 5-10년 동안 근무한 근로자에서 혈중 다이옥신 농도가 45.9 pg으로, 생활폐기물 소각장 근로자(7.12 및 10.4 pg)와 일반인(10-20 pg) 보다 매우 높은 수준으로 측정되었다는 보도가 있었다(2002년 10월 29일자 문화일보).

따라서 이들 폐기물 처리업체 근로자들에 대한 작업환경과 건강관리가 과거 어느 때 보다 절실히 요구되는데, 현재 산업보건분야에 있어서 이들 폐기물 처리업체 근로자에 대한 관심은 매우 미흡한 실정이다. 그런 이유 중의 하나가 폐기물 처리업체의 관리는 환경부 소관이라는 막연한 선입견 때문이라고 생각

된다. 환경부에서는 폐기물 처리업체의 근로자 건강관리보다는 주로 환경과 관련된 일, 즉 대기 중으로 배출되는 유해화학물질의 농도 및 폐수처리 등의 관리와 감시, 그에 따른 정책수립 등에 관한 일을 수행한다. 그렇다면 폐기물 처리업체의 근로자는 정부의 어느 부처에서, 어떤 법적인 근거아래 직업관련 질병으로부터 근로자의 건강을 보호해야할 것인지를 생각해야 할 것이다. 현재 폐기물 처리업체에서는 작업환경 측정과 근로자의 건강검진을 매년 수행하고 있다. 그런 이유에서 산업보건분야에서는 제조업뿐만 아니라 이들 폐기물 처리업체 근로자에 대한 건강관리도 적극적으로 수행하여야 할 것으로 보인다.

2. 연구목적

본 연구는 한국산업안전공단 산업안전보건연구원과 일본산업의학총합연구소가 공동으로 추진하는 『산업폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가』에 대한 한·일 공동연구의 1차년도 연구이다.

연구의 목적은 산업폐기물 소각로 근로자에 대한 건강장해를 평가하기 이전에, 1) 산업폐기물 소각장에서의 작업방법 및 작업형태, 유입되는 산업폐기물의 종류 및 조성 등 전반적인 실태를 파악하고, 2) 근로자들이 노출되는 분진(비산 재와 바닥 재) 중 내분비장해 물질로 알려져 있는 다이옥신과 중금속의 함유량을 측정하여 근로자들의 예측 노출농도를 평가하고, 3) 2차 연도(2003 ~ 2004)에 수행하는 산업폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가 연구에 활용하기 위함에 있다.

제 2 장 연구방법

1. 연구대상

연구대상 산업폐기물 소각 사업장은 한국산업폐기물처리공제조합에 가입된 48개의 산업폐기물 처리업체 중 경기·안산 및 인천광역시에 위치하며, 1일 소각처리 용량이 200 톤 이하인 중·소형 산업폐기물 소각 사업장 9개소를 선정하였다. 이들 대상 사업장을 직접 방문하여 사전에 준비된 실태 조사표를 이용하여, 근로자 수, 작업방법 및 형태, 유입되는 폐기물의 종류 및 조성비율 등 일반적인 사항을 조사하였다. 1차 선정된 9개 사업장 중 작업자 수, 소각로 형태, 1일 소각용량 등을 고려하여 규모별로 4개 사업장을 2차 선정한 후, 비산재와 바닥재를 채취하여 중금속과 다이옥신의 함량을 측정하였다.

2. 연구방법

가. 소각재 중 다이옥신 함유량 측정

비산재와 바닥재를 각각 10 g 취하여 원통여지에 넣고 염산처리 한 후, toluene을 용매로 하여 16 시간 동안 속실텯 추출한 다음, 정제용 내부 표준물질($^{13}\text{C}_{12}$ -2,3,7,8- T_4CDD 등 15종)을 일정량 첨가한 후 약 1 mL로 농축하였다. 농축된 시료를 황산처리 하여 다층실리카겔 컬럼에서 n-hexane으로 용출하고

질소가스를 이용하여 약 1 ml로 다시 농축한 다음, 알루미나 컬럼에서 2% dichloromethane이 함유된 n-hexane으로 용출한 후, 내부 표준물질 일정량을 첨가하고 가스크로마토그래프/질량분석계(Autospec Ultima, Micromass Co., England)를 이용하여 각 동종체의 2개 이온을 선택이온검출법(SIM)으로 검출하고, 그 선택이온의 면적비를 검사하여 다이옥신류인 것을 확인한 다음 가스크로마토그램의 피크 면적으로부터 내부표준법으로 정량 분석하였다 (국립환경연구원, 1999).

나. 소각 재 중 중금속 함량 측정

채취한 바닥 재 및 비산 재의 수분을 완전히 제거한 후, 0.001 mg까지 칭량이 가능한 전자천평을 이용하여 소각 재를 일정량 취하여 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)에서 권장하는 공정시험법인 NIOSH Method 7300(1994)에 따라 중금속을 분석하였다. 칭량한 소각재를 질산(70%) 4 ml와 과염소산(70%) 1 ml와 혼합하여 초음파 오븐 베셀에 넣고 회화시킨 후, 5% 질산을 첨가하여 최종부피를 15 ml로 한 다음, 유도결합플라즈마 광학방출분광계(Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy; Optima 4300 DV, Perkin-Elmer, USA)를 이용하여 표 2-1의 조건으로 납을 포함한 10개의 중금속을 분석하였다.

<표 2-1> 유도결합플라즈마 광학방출분광계(ICP-OES) 분석조건

Plasma Flow rate	15 L/min
Auxiliary Flow rate	0.2 L/min
Nebulizer Flow rate	0.8 L/min
Plasma source equilibration delay	15 sec
Plasma Aerosol type	wet
Nebulizer start-up	Instant
Autosampler/Wash parameter	AS-90 PLUS
Wash rate	1.5 mL/min
Wash time	30 sec
Sample flow rate/Delay time	1.5 mL/min/30 sec
Flush time	5 sec
Resolution/purge gas flow	Normal
Read time	3 sec/1회
Replicates	5
Electromagnetic power	1300 W
Wavelength	220.353(Pb), 228.802(Cd), 206.200(Zn), 327.393(Cu), 238.204(Fe), 257.610(Mn), 267.721(Cr), 231.604(Ni), 285.213(Mg), 396.153(Al)
Detector	Charge-coupled device(CCD) detector

제 3 장 연구결과

1. 산업폐기물 소각 사업장의 일반적 특성

연구대상 산업폐기물 소각 사업장의 1일 소각처리 용량을 살펴보면, 5개 업체가 100 톤 미만, 4개 업체가 100-200 톤의 소각용량을 가지고 있었다. 이들 대상 소각업체 중 1개 사업장(일반 산업폐기물)을 제외하고는 전부 일반 및 지정 산업폐기물을 소각처리 하는 업체로서, 대부분 스토커 방식의 소각로를 보유하고 있었으며, 이중 4개 소각 사업장에서 로타리킬른과 액상 산업폐기물 소각을 위한 소각로를 보유하고 있었다(표 3-1). 이들 사업장에 유입되는 일반 산업폐기물의 대부분은 폐합성수지류(프라스틱, 비닐 등을 포함하여 80% 정도)이었으며, 나머지 20% 정도가 폐지, 섬유 및 폐목재 등이었다. 지정 산업폐기물은 폐유, 폐페인트 및 폐유기용제 류 등이었다. 업체마다 다소의 차이는 있었으나 산업폐기물 전체 유입량 비율을 보면, 일반 산업폐기물이 약 70-80% 정도, 그 나머지 20-30%는 지정폐기물이었다. 일반과 지정 산업폐기물의 소각 후 남는 재의 양을 비교해 보면, 지정폐기물을 소각한 후 남는 소각 재의 양이 일반 산업폐기물을 소각한 후 남는 재의 양보다 훨씬 적었다. 물론, 소각로 방식과 폐기물의 상태(흙 등 타지 않는 물질의 함량)에 따라서 차이를 보일 수 있으나 스토커 방식의 경우에 투입량의 10-30% 정도가 바닥 재, 10% 미만이 비산 재였다.

이들 대상 소각 사업장의 작업형태는 전부 교대작업이었다.

<표 3-1> 연구대상 산업폐기물 소각 사업장의 일반적 특성

회사	근로자수(명)	소각용량(톤/일)	소각로 방식	폐기물 처리
A	18(13)	10	스토커	일반·지정
B	17(6)	70	스토커	일반·지정
C	50(17)	96	스토커	일반·지정
D	76(25)	96	스토커, 로타리킬른 액상분사형	일반·지정
E	100(45)	100	스토커, 로타리킬른 액상분사형	일반·지정
F	34(18)	150	스토커	일반
G	57(21)	150	스토커, 로타리킬른	일반·지정
H	70(40)	150	스토커, 로타리킬른	일반·지정
I	112(69)	200	스토커	일반·지정

근로자수(명): 총인원(현장인원)

2. 소각 재 중 다이옥신 함유량

연구대상 9개 사업장 중 1일 10 톤, 96 톤, 100 톤 및 200 톤의 소각용량을 보유한 4개 사업장을 선정하여 이들 사업장에서 소각 후 생성되는 비산 재(1개 사업장은 작업공정의 문제로 제외)와 바닥 재를 채취하여 각각에 대한 다이옥신(7종)과 퓨란(10종)의 동종체(congeners) 함량을 분석하여 표 3-2에 나타내었다. 1개 사업장의 결과를 제외하고는 바닥 재 보다 비산 재에서 퓨란과 다이옥신의 함유량이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 상대적으로 TCDD 독성등가환산계수가 낮은 퓨란 동종체(1,2,3,4,6,7,8-HpCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF, OCDF)와 다이옥신 동종체(1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD)의 함량이 높아서 나타난 현상이다.

A 사업장의 경우, 비산 재에 있어서 PCDFs와 PCDDs에 대한 독성등가환산농도는 각각 0.077과 0.041 ng-TEQ/g으로 총 PCDDs+PCDFs의 독성등가환산농도는 0.0118 ng-TEQ/g이었으며, 바닥 재에서의 총 PCDDs+PCDFs의 독성등가환산농도는 0.142 ng-TEQ/g으로 비산 재에서 보다 10배정도 높게 측정되었다. 그러나 B와 C 사업장에서는 대조적인 결과를 보였다. B 사업장의 경우, 비산 재 속의 PCDDs+PCDFs 독성등가환산농도는 1.238 ng-TEQ/g, 바닥 재는 0.096 ng-TEQ/g으로 약 13배정도가 높게 측정되었다. C 사업장의 경우에도 비산 재에서의 PCDDs+PCDFs 독성등가환산농도는 51.249 ng-TEQ/g, 바닥 재에서는 0.131 ng-TEQ/g으로 매우 큰 차이를 보였다. D 사업장의 경우에는 작업공정상 문제로 인하여 바닥 재만을 채취하여 퓨란과 다이옥신 동종체를 분석한 결과, PCDDs+PCDFs 독성등가환산농도는 4.039 ng-TEQ/g으로 측정되었다.

<표 3-2> 소각 재에 함유된 다이옥신과 퓨란 동종체의 농도

동종체	A 사업장		B 사업장		C 사업장		D 사업장	
	FA	BA	FA	BA	FA	BA	BA	
다이옥신(ng/g)								
2,3,7,8-TCDD	0.004	0.008	0.015	0.006	0.403	0.003	0.084	
1,2,3,7,8-PeCDD	0.013	0.026	0.071	0.018	2.172	0.012	0.500	
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.022	0.022	0.120	0.011	7.799	0.013	0.736	
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.079	0.037	0.267	0.013	20.258	0.021	0.725	
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.040	0.033	0.252	0.014	8.310	0.018	0.785	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	1.199	0.324	5.182	0.067	571.35	0.336	8.037	
OCDD	3.940	0.695	20.124	0.128	2,452.56	1.436	21.448	
TEQ(ng-TEQ/g)	0.041	0.034	0.186	0.019	13.292	0.018	0.660	
퓨란(ng/g)								
2,3,7,8-TCDF	0.008	0.049	0.113	0.047	3.200	0.040	0.948	
1,2,3,7,8-PeCDF	0.019	0.062	0.243	0.051	7.548	0.055	1.460	
2,3,4,7,8-PeCDF	0.048	0.097	0.589	0.085	14.360	0.100	2.808	
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.051	0.079	0.705	0.050	26.826	0.073	2.604	
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.089	0.157	1.345	0.100	46.952	0.135	4.780	
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.257	0.184	3.193	0.086	116.06	0.196	6.253	
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.014	0.014	0.246	0.006	12.137	0.017	0.628	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.722	0.735	13.469	0.245	482.728	0.890	29.562	
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.191	0.087	2.540	0.027	190.899	0.184	2.963	
OCDF	0.690	0.429	26.695	0.098	3,145.67	2.175	55.158	
TEQ(ng-TEQ/g)	0.077	0.108	1.052	0.077	37.957	0.113	3.379	
PCDDs+ PCDFs TEQ	0.118	0.142	1.234	0.096	51.249	0.131	4.039	
FA, 비산 재; BA, 바닥 재								

3. 소각 재 중 중금속 함유량

연구대상 사업장 중 3개 사업장에서 비산 재와 바닥 재를 채취하였고, 1개 사업장에서는 작업상황으로 인하여 바닥 재만 채취하여 Pb와 Cd을 포함한 10 종류의 중금속 함유량을 분석하여 표 3-3에 나타내었다.

산업폐기물 소각 사업장별로 중금속의 함유량은 다소의 차이를 보였으나, Pb, Cd, Mn, Cr, Ni, Mg 등은 매우 미량 함유되어 있으며, 조성성분에 대한 백분률도 전부 1% 미만이었다. A 사의 경우 바닥 재에서 Al 함유량이 11.717 mg/g, B 사의 비산 재 중 Al 함유량이 37.663 mg/g과 바닥 재에서 Fe와 Al이 각각 23.134와 12.289 mg/g으로 함유되어 있으며, C 사의 비산 재에서 Zn이 18.178 mg/g과 D 사의 바닥 재에서 Cu의 함유량이 20.144 mg/g으로 측정되었으나 전부 1-4% 정도였다. 따라서 이들 사업장의 소각 재 중 각각의 중금속 예측 함량은 비산 재와 바닥 재를 합한 다음, 생성된 총 소각 재의 양으로 환산하여 계산하였다. 그 결과, 3개 사업장의 중금속 예측 함유량의 차이는 있으나 Al, Cu, Zn, Fe 및 Mg 등은 많은 함유량을 보인 반면, Pb, Cd, Cr, Ni 및 Mn 등은 상대적으로 적은 함유량을 보였다.

<표 3-3> 소각 재 중 중금속 함유량

회사	소각재	Pb	Cd	Zn	Cu	Fe	Mn	Cr	Ni	Mg	AL
중금속 함유량(mg/g)											
A	비산	3.705	0.287	9.308	7.562	5.177	0.195	0.074	0.045	3.928	2.781
A	바닥	1.043	0.019	1.887	3.650	3.926	0.448	0.098	0.036	2.022	11.718
	계	4.748	0.306	11.195	11.212	9.103	0.643	0.172	0.081	5.950	14.499
B	비산	1.421	0.035	6.063	0.661	6.737	0.542	0.089	0.060	5.512	37.663
B	바닥	1.491	0.004	3.092	1.701	23.134	0.296	0.066	0.235	1.351	12.289
	계	2.912	0.039	9.155	2.362	29.871	0.838	0.155	0.295	6.863	49.952
C	비산	7.144	1.051	18.178	8.263	3.521	0.543	0.072	0.055	4.017	5.657
C	바닥	1.160	0.089	3.253	2.117	2.767	0.167	0.096	0.053	3.188	6.900
	계	8.304	1.140	21.431	10.380	6.288	0.710	0.168	0.108	7.205	12.557
D	바닥	0.688	0.001	0.716	20.144	8.894	0.209	0.010	0.054	1.644	3.923
	계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
중금속 예측 함유량(kg/톤)											
A	계	175.7	11.3	414.2	414.8	336.8	23.8	6.4	3.0	220.2	536.5
B	계	58.2	0.8	183.1	47.2	579.4	16.8	3.1	5.9	137.3	999.0
C	계	207.6	28.5	535.8	259.5	157.2	17.8	4.2	2.7	180.1	313.9

제 4 장 고 찰

소각처리는 소각 대상물질이 고온에 의하여 분해되는 과정에서 많은 유해물질을 발생시킨다. 서론 부분에서 잠시 언급하였듯이 폐기물은 발생 주체에 따라 생활폐기물, 산업폐기물 및 건설폐기물로 분류할 수 있으며, 폐기물의 종류에 따라서 소각과정에서 발생하는 유해물질도 서로 상이하다.

산업폐기물은 일반폐기물과 지정폐기물로 다시 분류할 수 있는데, 일반폐기물의 대부분은 폐합성수지류이며, 지정폐기물은 폐유, 폐페인트 및 폐유기용제 등이다. 따라서 일반폐기물과 지정폐기물의 소각과정에서 발생하는 유해물질의 종류와 농도는 작업장의 규모에 따라 차이를 보일 수 있다. 그러나 중·소규모 소각 사업장은 일반과 지정폐기물을 소각시키는 소각로가 서로 근접한 위치에 설치되어 있어서 동일한 공간에서 작업이 이루어진다고 볼 수도 있다. 따라서 이들 작업자들이 작업과정에서 노출 가능한 대표적인 유해물질은 분진, 중금속 및 다이옥신류 등이며, 이들 중금속과 다이옥신은 분진(소각 재)에 포함 또는 결합된 형태로 작업자가 노출된다.

다이옥신은 대체적으로 열에 안정하며 휘발성이 낮고, 자연상태나 생체내에서 잘 분해되지 않으며 생체내에서 축적되는 성질을 가지고 있는 물질로서 polychlorinated dibenzo-p-dioxin(PCDD)을 지칭하며, 일반적으로는 polychlorinated dibenzo-p-dioxin과 dibenzofurans의 염소 유도체들을 다이옥신이라 부른다. PCDD는 두 개의 벤젠 핵과 두 개의 산소가 병렬로 연결된 구조를 가지고 있으며, 퓨란은 두 개의 벤젠 핵에 하나의 산소가 결합된 구조를 가지고 있다. 다이옥신과 퓨란은 화학적 구조뿐만 아니라 물리·화학적인 성질도 매우 유사하다. 다이옥

신은 치환된 염소의 숫자와 위치에 따라 많은 동종체를 가지고 있는데, PCDDs는 75종, PCDFs는 135종으로 210종의 동종체가 존재하며, 동종체에 따라서 독성발현의 차이가 현저하다. 다이옥신 동종체 중 2,3,7,8-TCDD의 독성이 가장 크며, 1,2,3,8-TCDD의 독성보다는 약 1,000 ~ 10,000배정도 크다(Bradlaw 등, 1976). 우리가 노출되는 다이옥신은 단일 동종체에 노출되는 것이 아니라 여러 종의 동종체가 혼합된 형태로 노출되기 때문에 동종체간 상대적 독성평가 농도인 독성등가환산농도로 평가하고 있다. 1978년 네덜란드의 Olie가 도시 소각로에서 다이옥신이 배출된다는 보고(Olie 등, 1977) 이후 많은 연구자들에 의해서 소각과정에서 생성되는 다이옥신 동종체에 대한 독성발현 연구가 활발히 진행되고 있다. 소각 사업장 근로자들의 다이옥신 노출은 분진 즉, 소각 재에 결합된 다이옥신에 노출되는 것이다. 따라서 본 연구에서는 비산 재와 바닥 재 속에서 2,3,7,8-TCDD를 포함한 6종의 다이옥신 동종체와 10종의 퓨란 동종체를 분석하였다. 그 결과, 3개의 연구대상 사업장 중 2개 사업장의 경우, 바닥 재보다 비산 재에서 다이옥신의 함유량이 큰 것으로 나타났다. 이러한 현상은 배출구를 통하여 소각로 밖으로 배출되는 미세 분진에 소각과정에서 발생된 다량의 다이옥신이 결합된 상태로 분진 집진기(백 필터)에 포집된 것이 비산 재이기 때문에 다이옥신의 함유량이 크게 측정된 것으로 생각된다. 그러나 비산 재와 바닥 재에 있어서 다이옥신 동종체의 함유량을 보면, TEF가 가장 큰 2,3,7,8-TCDD(TEF=1)보다 상대적으로 독성이 적은 OCDD(TEF=0.001), OCDF(TEF=0.001), 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF(TEF=0.01)와 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF(TEF=0.01) 등의 함유량이 높은 것으로 측정되었다. 그러나 폐기물의 종류와 소각 조건 특히, 소각온도에 따라서 비산 재와 바닥 재 속의 다이옥신 함유량은 많은 차이를 보일 수 있으므로 본 연구에서도 사업장별 소각 재 속의 다이옥신 함유량 차이가 현저하였던 것으로 생각된다.

합성수지 및 기타의 제품에는 원료에 함유되어 있거나 생산과정에서 부원료 및 첨가제 형태로 인위적으로 첨가하기 때문에 중금속이 함유되어 있다. 그렇

기 때문에 이들 폐합성수지류 및 기타 산업폐기물이 소각되면 재 속에 중금속이 존재하게 되는 것이라 생각된다. 금번 연구에서 소각 재 중 중금속의 함유량을 측정한 결과, 납은 0.7-8.0, 카드뮴은 0.001-1.2, 크롬은 0.01-0.17, 니켈과 망간은 각각 0.03-0.3과 0.2-0.7 mg/g으로 분석되었으며, 조성성분에 대한 백분율도 1% 미만으로 확인되었다. 우리나라의 산업폐기물 소각장에 대한 연구가 거의 이루어지지 않아서 본 연구결과를 다른 연구결과와 비교할 수 없어서 금번 대상 사업장의 수준이 어떤 상태인지는 알 수 없었다. 생활폐기물 소각 사업장의 경우, 소각 재 중 납은 0.6-10.0 mg/g, 카드뮴과 크롬은 각각 0.005-1.2와 0.098-0.3 mg/g의 함유량을 보였다는 보고가 있었으며(정태현 등, 2002), Shin과 Chang(1999)은 생활폐기물 소각장의 비산 재 속의 납 함유량이 3.55 mg/g, 카드뮴은 0.25 mg/g, 크롬과 니켈은 각각 0.08과 0.07 mg/g이었다고 보고되었다.

향후에는 산업폐기물 소각 사업장의 근로자 건강보호를 위하여 소각 재 속의 다이옥신과 중금속에 대한 지속적인 평가와 TEF가 낮은 다이옥신의 동종체 연구도 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한, 다이옥신은 내분비장해물질 중의 하나로서 면역계와 성(sex) 호르몬 등에 많은 영향을 미치는 물질로서 이 분야에 대한 연구도 병행하여 추진되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 2차 년도 연구는 이번 연구결과를 토대로 하여 연구대상 사업장을 선정하고, 연구대상자들이 노출되는 다이옥신 및 중금속의 노출농도와 혈중 농도 등을 측정한 후, 이들 유해물질의 혈중 농도변화에 따른 면역계, 성 호르몬의 변화, 다이옥신 대사효소의 유도·발현, adduct 및 활성산소종의 농도 등을 측정하여 산업폐기물 소각로 근로자들의 건강장해 평가에 대한 연구를 실시하고자 한다.

참 고 문 헌

- 국립환경연구원. 내분비장해물질의 측정분석방법. 1991
- 정현태, 김기현, 유종익, 최용철, 윤기섭, 서용철. 도시 폐기물 서각재의 물리·화학적 특성 및 용출 방법에 따른 중금속 용출 특성 평가 연구. 한국폐기물학회지 2002;19:407-417
- 환경부. 2000 전국 폐기물 발생 및 처리현황. 2001
- Bradlaw JA and Csterline JL. Dioxin Congeners Toxicity. J Assoc Off Anal Chem 1976;62:904-910
- Shin K-J and Chang Y-S. Characterization of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans, biphenyls, and heavy metal in fly ash produced from Korean municipal solid waste incinerators. Chemosphere. 1999;38:2655-2666
- NIOSH. NIOSH Manual of Analytical Methods(NMAM). 4th ed., Method 7300, Issue2, US Cincinnati, OH, 1994 .
- Olie K., Vermeulen P and Hutzinger O. Chlorodibenzo-p-dioxins and chloro-dibenzofurans are trace components of fly ash and flue gas of some municipal incinerators in the Netherlands, Chemosphere. 1977;8:455-459

산업폐기물 소각로 근로자의 건강장해 평가 연구(I)

(연구원 2002-00-00)

발 행 일 : 2002년 12월 31일

발 행 인 : 원 장 정 호근

연구책임자 : 책임연구원 김 기웅

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전보건연구원

직업병연구센터

주 소 : 인천광역시 부평구 구산동 34-4

전 화 : (032) 5100-926

F A X : (032) 518-0862
