

유해폐기물소각의 대기오염 관련성 및 제어대책

동 종 인

서울시립대학교 공과대학 환경공학과
(1992년 6월 9일 접수)

Air Pollution Aspects of Hazardous Waste Incineration and Control Strategies

Jong-In Dong

Dept. of Environmental Engineering, Seoul City University
(Received June 9, 1992)

Abstract: Main disposal technology for industrial wastes in Korea has been landfilling, however, this is encountering serious problems such as the lack of landfill sites and objections of residents. Incineration, therefore, has become a final solution for this dilemma. Various kinds of air pollutants generation are possible because of the variety of types and compositions of wastes generated in industry. In this paper, air pollutants produced while incinerating hazardous industrial wastes are discussed and some control technologies are surveyed with the purpose of optimal design of incinerators and emission reduction. From this initial stage of incinerator utilization, low-emission type should be developed and applied and intensive research on pollutant generation due to waste incineration and advanced control technologies should be also performed.

1. 서 론

최근들어 국내경제규모의 급격한 팽창과 산업활동의 증가로 말미암아 이의 부산물로 생성되는 생활쓰레기와 각종 산업폐기물의 발생량이 엄청나게 증가하게 되었고 이것의 합리적인 처리는 지역차원의 문제를 넘어선 국가적인 중요과제로 부상하게 되었다.

특히 독성과 유해성이 높은 산업폐기물의 배출량 증가로 이를 적정하게 처리할 수 있는 중간처리시설이 부족하고 그나마 기존시설에 대한 인근주민의 반발심리로 인한 시설의 정상가동이 어려운 것이 현실이다. 따라서 각 산업체에서 또는 회

사의 공동체별로 처리시설의 필요성이 높아지게 되었고 이 중 소각시설의 중요성이 더욱 높아지게 되었다.

그러나 현실적으로 볼 때, 우리나라의 소각기술의 개별역사는 그리 오래지 않고 따라서 일부 국내 자체의 소각로를 제외하고는 외국기술에 의한 소각로를 사용하게 되었다. 이렇게 소각로를 설치, 가동함에 있어서 폐기물의 적정소각에만 관심을 두었고 이로 인한 이차오염문제는 비교적 등한히 되어온 것이 사실이다.

보통 유독성이 높은 산업폐기물은 소각처리하여 그 잔재를 고형화하거나 직접 매립하게 되는데 이때 불완전한 연소에 의해서 일반적인 대기

오염물질뿐만 아니라 중금속성분을 함유한 미세한 입자물질, 다이옥신과 같은 발암성 물질, 유기염소계 화합물 및 다환방향족합물등 각종물질이 배출될 가능성이 있다. 따라서 유해성 산업폐기물을 처리함에 있어서 전문적인 지식과 세심한 환경상의 영향을 고려하여야 한다.

따라서 여기에서는 유해폐기물을 소각할 때 배출될 수 있는 대기오염물질등에 대하여 살펴보고 이를 제어할 수 있는 방안들에 대하여 간단히 살펴보고자 한다. 폐기물종류의 다양성때문에 이들 영향에 대한 것을 일반적으로 말하기는 어려운 점을 부연하고자 한다.

2. 유해폐기물소각의 중요성과 국내현실

산업에서 발생하는 폐기물의 최종처리형태로 그동안 매립에 의존해 왔던 것은 사실이다. 과거 분류체계를 따른다면 특정산업폐기물은 표1에서도 보는 바와 같이 처리대상량 대비 66.3%의 소각처리율을 보이고 있으나 일반산업폐기물의 경우 5.0%정도, 유기물인 경우도 처리대상폐기물의 13.6%에 그치고 있다. 연소성에 따른 소각정도를 판단하여 보더라도 전체 가연성 산업폐기물의 19.6%만이 소각처리되고 있어 소각에 의한 중간처리가 주로 그 처리에 있어서 법적 구속력을 갖는 일부 특정 산업폐기물에 국한되었고 일반산업폐기물은 공공 및 자체 매립장에 거의 의존해 왔다는 것을 알 수 있다[1]. 산업폐기물의 약 44%를 중간처리시설에 의존하고 있고 가연성 폐기물의 상당량을 소각시설에서 처리하고 있는 이웃 일본과 비교하여볼 때 큰 차이가 있음을 알 수 있다[2,3]. 그러나 잘 알려진 바와 마찬가지로 이용가능한 매립지는 이제 거의 한계점에 도달하였고 새로운 폐기물 분류시스템에 의해 일반폐기물화한 산업체에서 발생하는 폐기물들도 일부 매립장 주변주민들의 폐기물의 유해성에 대한 의심등으로 해서 집단반발심리를 자극하고 있다.

수년전부터 대형기업체나 공단등에서 집단적으로 산업시설에서 발생하는 각종폐기물을 소각하는 노력을 보이고 있어 바람직한 현상이라도 보이는데 이러한 추세는 일반폐기물이라고 하더라도 산업체에서 발생하는 폐기물에 대한 거부감의 확산으로 해서 더욱 가속되리라 전망된다. 폐기물

을 배출하는 산업체에서의 소각시설의 수도 표2에서 보는 바와 마찬가지로 종말처리업소에서의 시설수보다 훨씬 앞지르고 있고 처리능력면에서는 더욱 큰 것을 알 수 있다.

〈표 1〉 산업폐기물종류별 소각처리 현황('89)

분류	발생량 (천톤/년)	처 리 대상량 (천톤/년)	소 각 처리량 (천톤/년)	소각처리율(%)	
				발생량 대 비	처리량 대 비
계	21,041	9,703	701	33	72
특정산업	843	359	238	28.2	66.3
일반산업	20,198	9,344	463	2.3	5.0
-유기물	5,823	3,363	458	7.9	13.6
-무기물	14,375	5,981	5	0.0	0.1

* 자료 : 환경처

이와 같이 폐기물의 소각처리의 중요도에 대한 인식이 점점 높아지고 있음에도 불구하고 소각에 의해 발생될 수 있는 이차환경오염문제에 대하여는 그동안 제대로 대처되고 있다고 보기가 어렵다고 할 수 있다. 과거 폐기물은 단순히 소각처리만 하면된다는 인식 때문에 소각로의 구조나 대기오염방지시설이 부적절한 경우가 많았고 보다 근본적인 문제로 산업체에서 폐기물이 발생하는 단계에서 공정별 또는 성분별로 분리, 수집되지 않고 혼합되어 배출되는 사례가 많았다. 또한 폐기물 소각시설 또는 대기오염배출시설간의 법률적인 해석문제의 혼돈도 일부 있었다. 과거의 대기오염배출허용기준 적용물질의 종류나 그 기준이 그다지 엄격하지 않았음에도 불구하고 대기오염물질 배출로 적발되는 적이 종종 있어 왔다. 이러한 것들은 특정한 폐기물에 적절한 소각로의 건설이 미비할 뿐만 아니라 폐기물의 발생, 수집단계에서의 분리수거 미 실시, 폐기물의 보관 및 취급상의 문제, 소각로 운영기술의 미숙, 대기오염방지시설의 부적정성 및 조작상의 문제등의 복합적인 요인에 의한 것으로 보여진다.

따라서 앞으로 강화되는 대기오염배출허용기준에 대처하고 소각로에 의한 주변환경영향의 최소화와 주민 및 작업자들의 안정을 위하여 보다 고효율이고 대기오염물질을 적게 배출시키는 전문 소각로의 개발이 시급히 이루어져야 한다.

또한 유기염소계 화합물을 포함한 유해폐기물의 소각시 발생될 수 있는 미량 유해화학물질의 생성기전 및 이를 제어하기 위한 소각기법의 개발 및 방지기술의 연구도 병행해서 이루어져야만 소각의 목적을 이루고 주민들이 현재 폐기물 매립시설에 갖고 있는 유해폐기물의 소각시설에 대한 협오감을 불식시키고 신뢰감을 심을 수 있다는 것을 선진국의 교훈으로부터 알 수 있다.

<표 2> 산업폐기물 소각시설의 규모별 시설수('90)

구분	시설수(기)	처리능력(톤/일)	규모별 시설수(기)			
			-10톤	10~50톤	50~100톤	100~
계	261	4,844	155	83	14	9
배출업소	203	4,241	124	56	14	9
처리업소	58	603	31	27	-	-

* 자료 : 환경처

3. 소각과 이차오염물질 생성

유해폐기물의 소각과 관련하여 발생될 수 있는 이차오염의 형태는 소각시 생성되는 대기오염물질이고 이의 처리를 위해 습식처리장치를 사용할 경우 수질오염문제 및 소각로의 반응잔재물과 집진시설에서 포집된 입자물질의 매립시 일어날 수 있는 중금속류, 무기물 및 유기성 미량유해물질 등에 의한 토양오염등을 들 수 있다[4,5].

여기서 대기오염측면만으로 한정하여 유해폐기물의 소각시 발생가능한 오염물질의 종류를 살펴보면 다음과 같다.

- 먼지 : 주로 실리케이트 화합물 및 산화물인데 여기에는 납, 카드뮴 및 아연등이 화합물 형태로 존재하고 가끔 수은이 증기상태로 배출되기도 한다.
- 가스상 물질 : 아황산가스, 질소산화물 및 일산화탄소등과 같은 산화물 형태의 기체상 대기오염물질과 염화수소, 불화수소등과 같은 산성 가스들이 연소산물로서 배출될 수 있다.
- 미량유해물질 : 불완전연소의 산물로서 포스겐, 단환방향족 탄화수소, 나아가서 염소계 고분자화합물이 소각될 때 다이옥신과 같은 유독성 물질이 배출될 수 있다.

그러나 이러한 배출물질에는 일정한 틀이 정해져 있는 것이 아니고 다음과 같은 여러가지 요인들에 의해 오염물질의 성상이나 양이 결정된다.

- 처리대상 폐기물의 조성
- 대기오염방지시설의 종류와 효율
- 소각시설의 유형
- 소각온도
- 연소가스의 연소실에서의 체류시간

이러한 오염물질들은 근본적으로 처리대상 폐기물의 성상에 포함되어서 배출되는 경우 소각과정에서 생성되는 두가지로 크게 분류될 수 있다. 입자상물질 중 중금속물질이나 아황산가스 같은 것들이 전자에 해당되는 것들로서 이들을 제어하기 위해서 소각하고자 하는 폐기물의 성상을 면밀히 분석하여야 하고 폐기물의 수집시 이들 물질들이 혼입되지 않도록 하는 것이 중요하다.

소각과정에서 생성되는 물질들은 소각로의 구조나 연소조건에 크게 좌우되는데 이를 개선함으로써 오염물질의 배출량을 줄일 수 있다. 그러나 완벽한 소각조건이란 실제로 도달하기 어렵기 때문에 배출허용기준 준수여부를 검토하여야 하고 국내 배출규제가 없다 하더라도 국제적인 배출허용기준 및 연구동향을 파악하여 장래의 배출허용기준과 주위 상황변화에 적극 대처하여야 한다. 한 예로 C, H, O 및 Cl이 존재하는 어떤 조건에서도 온도와 시간만 일정조건이 되면 다이옥신이나 퓨란이 생성될 수 있다 [6]. 온도 250~400°C인 비교적 낮은 온도조건에서 표면촉매반응으로 이러한 물질이 생성될 수 있다. 따라서 대상물질의 전구물질 존재여부를 반드시 파악하고 이러한 것들이 포함되어 있을 경우 소각조건이 엄격히 지켜지도록 소각로의 제반요건을 갖추어야 하고 필요한 경우 고성능의 대기오염 방지시설의 설치도 검토하여야 한다.

4. 소각에 의한 대기오염물질 제어대책

유해폐기물에 의한 대오염을 저감하기 위하여 근원적으로 유해 중금속이나 미량유해물질이 소각대상물질에 혼입되지 않도록 하는 방법

이 있겠고 다음 방법으로 소각과정에서 적정조건이 유지되게 함으로써 대기오염물질이 생성되지 않게 하는 방법이 있다. 그러나 대기오염물질이 완벽하게 발생되지 않는 유해폐기물 소각로는 상업적으로 가능한 소각조건에서는 찾기가 힘들다. 경우에 따라서는 연소조건을 개선하여 처리가 용이한 대기오염물질형태로 전환시킴으로써 대기오염물질의 제거효율측면에서 개선을 도모할 수 있다. 물론 이러한 과정에서 필요한 에너지의 소모와 폐열회수장치 사용의 변수에 대한 영향도 고려하여야 한다.

일단 배출되어 나오는 대기오염물질을 제어하기 위하여 일반적으로 고려되고 있는 대기오염방지장치의 종류도 크게 입자상물질 제어장치와 가스상물질 제어장치로 구분할 수 있다. 입자상물질 제어장치로 전통적으로는 사이클론, 여과집진장치, 전기집진장치 및 습식 집진장치 등을 들 수 있다.

이중 사이클론은 집진효율이 그리 높은 편이 아니며 특히 미세한 먼지물질이 다량배출하는 경우에 있어서는 적절하지 않다. 여과집진장치의 경우 미세한 입자직경(submicron)부터 광범위한 입자범위까지 고효율의 집진성능을 나타내지만 여과포의 재질상의 한계점으로 장치에 들어가기전에 상당한 냉각을 하여야 하기 때문에 이에 대한 부담이 크고 여과포를 비교적 자주 교환하여야 한다. 습식세정장치는 기체상 오염물질을 함께 제거할 수 있는 장점이 있지만 압력저하가 크고 여기에서 배출되는 폐수의 처리와 탈수 및 슬러지 처리문제도 함께 고려하여야 한다. 전기집진장치는 넓은 영역의 입자범위에 높은 집진효율을 나타내고 있어 대용량의 집진장치를 중심으로 널리 사용되고 있으나 아주 미세한 입자의 집진효율에 한계가 있고 초기 투자비가 높으며 입자물질의 비저항치등 공정상 유의해야 할 요인들이 있다.

염화수소, 불화수소 및 아황산가스등의 가스상 오염물질을 처리하는 장치는 과거 습식세정장치에 의존하여 왔고 효율 또한 높은 안정성을 보이고 있다. 그러나 장치를 단순화시키고 운영

비절감등의 목적으로 석회등을 사용한 건식 또는 반건식의 형태로 이러한 물질을 처리하고 입자물질을 여과집진장치로 제거하는 방법이 연구, 개발되고 있다. 질소산화물의 처리가 주요 현안중의 하나로 되어 있는 일본과 같은 경우에 있어서는 주로 선택적 촉매전환반응기(selective catalytic reactor)등을 사용하여 제어하고 있으나 한국의 경우 아직 질소산화물의 배출허용기준이 그리 높지 않은 편이나 지역적인 대기질의 유지나 장래의 배출허용기준 강화등에 대비하여 이에 대한 고려도 필요하다.

납, 카드뮴, 아연, 수은, 비소 및 안티몬등과 같은 중금속물질이 포함되어 있는 경우에는 소각 후 이런 물질들이 배출가스로 나와 냉각되면 금속 또는 산화금속형태의 흙이 형성되고 특히 0.1 μ m이하의 아주 미세한 입자물질을 형성하게 된다. 따라서 이러한 물질들을 제어하기 위한 효율적인 방법으로 여과집진장치를 들 수 있겠으나 이것도 여러 면에서 한계가 있으므로 중금속물질들이 상당량 포함된 유해폐기물은 소각하지 않거나 제어장치를 선정하는데 매우 신중을 기하여야 한다.

또한 근년에 들어서 크게 관심의 대상이 되고 있는 다이옥신류(polychlorinated dibenzodioxins or PCDDs)나 퓨란류(polychlorinated dibenzofurans or PCDFs)의 배출제어도 염소계 방향족물질 또는 고분자물질을 연소할 때는 고려를 하여야 한다. 이러한 물질들은 소각대상물질의 조성으로 포함되어 있는 경우는 거의 없고 소각과정에서 생성된다. 따라서 구미 및 일본등에서는 쓰레기의 소각에서 배출되는 이런 물질들의 배출허용기준을 정하여 엄격히 규제하거나 연소로에서의 소각온도 및 체류시간, 배출가스중 일산화탄소 및 산소농도의 규정등을 정하여 이들 물질들과 포스겐과 같은 물질의 배출을 관리하고 있다. 유해폐기물의 소각로의 경우 보통 쓰레기의 소각온도조건보다 높기 때문에 이런 물질의 분해조건에서 유리하지만 이러한 물질들이 생성될 수 있는 전구물질의 농도가 보통 매우 높기 때문에 반응메카니즘과 소각로의 구조, 연소조

건등에 각별한 분석이 필요하다. 따라서 일차적으로 소각조건에서 제어를 하되 배출가스에 대하여는 이런 물질들이 생성되지 않는 조건으로 충분히 냉각시키고 입자물질에 대하여 여과집진장치같은 고효율의 집진장치사용이 바람직하다 하겠다. 물론 폐기물이 다양하고 소각로의 구조나 소각조건이 다르기 때문에 일반적으로 말하기는 힘들기 때문에 각 경우에 대하여 면밀한 연구와 대책강구가 필요하다.

이러한 대기오염물질들은 비정상 가동상태에서 많이 배출되기 때문에 소각로가 정상상태로 도달하기 이전에는 폐기물의 주입을 하지 않아야 한다. 또한 각 소각로에서 정상적으로 소각시킬 수 있는 폐기물은 한정되어 있기 때문에 소각로의 허가 및 시운전과정에서 엄격한 심사와 분석을 실시하여 그 소각로가 처리할 수 있는 대상폐기물과 소각량을 한정시켜야 한다(7). 해당소각로의 정상가동을 감시하기 위하여 소각온도, 폐기물 공급량, 일산화탄소 및 염화수소 등의 배출가스 농도등이 연속적으로 모니터링되어야 한다.

또한 집진장치등에서 포집된 입자물질이나 슬러지등에 포함되어 있을 중금속물질이나 미량유해유기물질들이 매립처리시 용출이 되어 인근 토양이나 지하수에 오염현상이 일어나지 않도록 처리에 있어서 주의를 기울여야 한다.

이와 같은 오염물질 제어장치들은 단독으로 작동할 수 없기 때문에 입자물질 제어장치 및 가스상물질 제거장치 그리고 폐열회수장치등이 소각로본체와 유기적으로 또한 상호보완적으로 최적시스템이 되도록 구성되어야 한다. 이렇게 하기 위해서 여러가지 장치의 배열을 비교하여 배출허용기준과 주위환경보전상 문제가 없는 범위안에서 가장 경제적으로 효율적인 구성을 도모하여야 한다. 또한 시멘트킬른같은 고연연소장치들이 유해폐기물의 소각을 위해서 좋은 연소조건을 제공하기 때문에 응용될 가능성이 있는 것과 같이 다양한 방법의 처리기법도 개발되어야 한다(8).

5. 결 론

산업체에서 발생하는 각종 폐기물의 처리가 과거 매립 위주의 처리에서 매립지의 절대부족과 주민들의 반발심리로 소각처리의 필요성이 어느 때보다 높아졌고 실제로 많은 소각로들이 건설될 것이다. 특히 산업체에서 배출되는 폐기물들은 그 종류와 조성이 다양하기 때문에 소각시 각종 대기오염물질의 배출이 가능하다. 따라서 유해성 산업폐기물의 소각로의 개발이 기술도입시 폐기물의 소각효율뿐만 아니라 대기오염물질의 생성가능성과 제어대책을 반드시 신중하게 고려하여야만 된다. 이렇게 함으로써만 앞으로 소각로에 의한 각종 폐기물의 처리에 주민들이 신뢰감을 갖고 지금 매립지가 겪고 있는 그런 어려움을 면할 수 있을 것이고 소각에 의한 대기질의 악화를 방지할 수 있을 것이다.

이를 위해서는 각종 폐기물들이 소각될 때 발생하는 오염물질의 생성특성에 대한 연구가 집중적으로 이루어져야 하겠고 소각로의 개발 및 설계, 제작시에도 저공해형의 소각로로의 전환이 시급하다.

또한 소각로의 설치, 운영시에도 해당소각로가 처리할 수 있는 폐기물의 종류를 지정하고 아울러 처리용량도 같이 철저히 준수하게끔 지도하며 소각과정에서 발생될 수 있는 오염물질을 모니터링하고 나아가서 주위 대기질을 감시할 수 있는 체계구축도 도모하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 폐기물의 소각과 청정에너지화 기술, 한국과학기술원, 1991. 7
2. 日本の廢棄物 '90, 日本厚生省, 1990. 7.
3. Asia and Pacific Regional Workshop on Hazardous Waste Minimization and Reduction, Kyoto, Japan, Dec. 3-7, 1990, UNEP
4. Lehman, J.P., Hazardous Waste Disposal, Plenum Press, 1983
5. Bozzelli, J. W., Dong, J.I. et al., Incineration

- of Chlorocarbon-Mechanism of Air Pollutants Generation, 대기오염을 위한 주제과제와 대책, 1992. 6., 국립환경연구원
6. Altwicker, E.R., Hazardous Waste and Hazardous Materials, 7, 1, 73-87, 1990
 7. Hall, Jr., R. M. et al., RCRA Hazardous Waste Handbook, 5th ed., Government Institute, 1985
 8. Proceedings of the 5th National Conference on HWHM '88 Hazardous Wastes and Hazardous Materials, April 19-21, 1988. Las Vegas, Nevada, U. S. A., HMCRI