

폐기물소각에 따른 다이옥신 저감대책

강 영 훈*

目 次

- | | |
|----------------------|-----------------------------------------|
| I. 20세기 폐기물정책에 대한 반성 | III. 다이옥신류 저감대책 |
| II. 다이옥신에 의한 환경오염 사례 | 1. 소각전 기술(Pre-Incineration Technology) |
| 1) 다이옥신에 대한 정의 | 2. 소각 기술(Incineration Technology) |
| 2) 다이옥신의 생성 및 유해성 | 3. 소각후 기술(Post-Incineration Technology) |
| 3) 환경오염 사례 | IV. 결 론 |

I. 20세기 폐기물정책에 대한 반성

(1) 오늘날 지구환경문제를 다시 한번 생각하게 하는 사고의 전환 기초인 「지구환경과 자원의 한계성」은 1972년에 발표된 로마클럽의 「성장의 한계」 중에서 처음으로 명확하게 되었다. 그러나 그 이후에도 지구온난화, 오존층 파괴, 사막화, 폐기물 증가, 산림의 감소, 산성비, 야생동물의 감소 등으로 인한 환경문제¹⁾를 해결하기 위한 노력은 한마디로 자연에 대한 관용보다는 자국의 경제논리로 인한 이익 우선정책과 선진제국의 환경종속적 사고방식으로 인해 「환경의 세기」라고 불리는 21세기가 문턱에 다가오고 있으나 해결책은 보이지 않고 있다.

(2) 소각로는 1876년 영국의 맨체스터시에서 처음으로 플라야방식의 소각로가 건설된 후로 1885년 미국 뉴욕시, 1888년 영국의 울드햄시, 1896년 유럽대륙 최초의 소각로가 독일의 함부르크시에, 1897년 런던, 1903년 벨기의 부르셀, 1907년 파리의 산토안시에 건설되었고 뒤를 이어 남아프리카, 인도, 브라질, 호주, 뉴질랜드, 큐바, 필리핀, 한국 등에서 소각로가 계속해서 건설되기 시작했다. 이러한 소각로의 증가현상을 쓰레기배출량과 소각로의 관계를 보면,²⁾ 소각로의 수가 증가 함을 알 수가 있으며 또한 매립, 소각, 재활용이란 관계에서

* 제주대학교 행정학과 전임강사

1) 한겨레신문, 1997년 6월 24일

보면 매립과 소각에 의존함을 알 수가 있다.³⁾

이러한 19세기의 산물인 소각로에 의존하여 지구촌의 쓰레기를 소각에 의존하여 왔기 때문에 지구촌은 다이옥신을 포함한 환경오염으로 인한 피해와 심리적인 공포에서 벗어나지 못하고 있다.⁴⁾ 이외에도 아시아 각 국가에서는 POPS (Persistent Organic Pollutants)라고 불리는 DDT, Hexa Chloro Cyclohexanes (HCH), Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Mirex and Toxaphene, Poly Chlorinated Biphenyls(PCBs), Dioxins and furans 과 같은 맹독성물질이 현실적으로 발생하고 있고 나라에 따라서는 수출입도 이루어지고 있는 상태이다.

(3) 한국의 경우에도 1997년 한겨레신문에 의하면 전국적으로 가동중인 쓰레기소각장 11개 중 10개의 소각장에서 맹독성물질인 다이옥신이 선진국의 배출기준인 0.1ng(10억분의 1g)을 231배 넘는 곳이 1곳, 100배를 넘는 곳이 3개의 소각장이며, 대부분의 소각장은 선진국 기준을 초월하고 있다⁵⁾(표1 참조).

〈표 1〉 소각장별 다이옥신 량(단위: ng)

소각장명	목동	상계	다대	해운대	평촌	일산	창원	성서	부천	성남	의정부
다이옥신	0.06	0.17	0.32	0.7	0.99	2.86	1.27	13.46	23.12	12.92	8.68

이러한 상황에도 불구하고 제주도의 경우에는 쓰레기 종량제가 처음 시행된 지난 94년 4월 이후 제주도의 가정용 쓰레기 발생량은 5백8t을 시작으로 95년 5백3t, 96년 4백82t, 97년 4백26t, 98년 4백5t을 기록했다. 종량제 실시 이후 5년만에 하루 평균 쓰레기 발생량이 1백t 이상이나 줄어든 셈이다. 반면 하루평균 3백kg 이상의 쓰레기를 배출하면서 대형사업장으로 분류된 도내 2백여곳의 병·의원, 관광숙박업소, 공공시설 등에서 배출하는 쓰레기는 96년 59t에 머물렀으나 97년 1백23t, 98년 1백24t으로 크게 늘었다. 이처럼 대형사업장 쓰레기 배출량이 늘어남에 따라 가정용 쓰레기는 줄어들었음에도 불구하고, 도내 전체 생활쓰레기

2) 플라스틱처리촉진협회(1992). 『Fact Sheet』

3) OECD(1993). Environmental Data

4) Greenpeace(1998). 『Greenpeace research and interviews』

5) 국내 다이옥신 문제의 경과는 1) 60~70 월남전 참전, 고엽제 환자 발생 2) 1984 의정부 소각장 가동 (50톤/일, 1997 폐쇄), 3) 1992 목동, 성서 소각장 가동 (200톤일), 4) 1993 서울시 쓰레기 처리를 매립에서 점진적 소각으로 정책 변환, 5) 93~96 상계, 목동2차, 성남, 평촌, 창원, 부천, 해운대, 다대, 일산 소각장 가동, 6) 1994 서울시 목동 소각장 다이옥신 배출 조사 (KIST, 기초과학), 7) 1996 목동 소각장 다이옥신 과량배출 발표 (국립환경연구원), 8) 1997 환경부 다이옥신 종합대책 발표에 달하게 되었고, 도시소각로에서 발생하는 비산재 중 다이옥신의 연간 발생량 (1997년 추정치) 및 구체적인 내용은 <http://chem.yonsei.ac.kr/~leejh>을 참조, 동경도의 쓰레기소각시설 다이옥신 측정결과 및 독일의 경우에는 <http://dioxin.peacenet.or.kr/trash/t-library/k-dioxin.htm>을 참조.

발생량은 96년 5백41t, 97년 5백49t, 98년 5백39t 등 제자리를 맴돌고 있어 종량제 도입취지를 무색하게 하고 있다. 불법 쓰레기 투기행위도 크게 증가하고 있어서 95년에는 6천2백4건에 이르던 단속건수가 96년 5천4백54건으로 줄어드는 듯 했으나, 97년 9천1백20건, 98년 1만4천51건이 적발되는 등 도민들의 종량제 실천의지가 퇴색하고 있음을 보여주고 있다⁶⁾.

또한, 제주도에 12개나 있는 쓰레기 매립장이 포화상태에 이르자⁷⁾ 제주도 당국은 환경부와 기종에 대한 의견차이를 심하게 보이면서⁸⁾, 우리나라에서 문제가 발생하고 있는 스토카방식을 전면부정하고 새로운 고온 열처리방식을 제의하였다. 그러나 새로운 기종은 검증이 되지 않았고 예산부족 그리고 환경부의 책임회피라는 이유 때문에 문제의 유동상식을 도입할 가능성이 높아지고 있다.

제주도는 또한 주민과 환경단체의 반대에도 불구하고 매립비용을 줄이고 재활용과 소각율을 높이기 위한 단기적인 방편으로 제주시 회천동과 서귀포시 색달동에 쓰레기소각장을 세우기로 결정하였다(제민일보, 1999.6.14)⁹⁾. 그러나 제주도와는 달리, 필리핀과 쾨베라 등의 몇몇 시에서는 쓰레기 제로사회를 향해 소각장을 법률적으로 완전히 폐쇄하게끔 하고 있으며 또한 매립 제로사회를 목표로 하고 있다¹⁰⁾.

이러한 세계적인 추세에도 불구하고, 제주도에서는 여러가지 문제점이 발생하고 있으며 제주도의 입장에서 보았을 때도 정치, 경제, 사회, 의료부문은 정책의 불연속성으로 인한 혼돈의 연속이라고 본다. 특히 환경부문도 지도자와 공무원들의 관리전략의 미흡, 철학의 부재, 적극적인 관심과 소신의 부재, 시민단체들의 정치와의 협상, 이론가와 실천가들의 정책합리화 등으로 인해 Alvin Toffler가 환경파괴의 심각성을 개탄하면서 예기한 '자연이 이

6) 제민일보, 1999.4.12

7) 제주도의 쓰레기매립장 현황에 대해서는 제주환경운동연합 환경기지단이 보고서로 내놓은 복제주군·남제주군 쓰레기매립장 보고서, 1999년 4월과 제주도 쓰레기문제 해결을 위한 시민운동연합회 토론회 자료집, 1999.7.10을 참조

8) 기종에 대한 심포지움의 자료는 제주대학교 환경연구소(1997.4.15), 참단 도시 쓰레기 심포지움, 「환경연구 자료집」을 참조.

9) 제주도는 1999년 6월 12일 그동안 건설기술심의 불공정 시비로 사업이 지연돼 왔던 광역쓰레기소각시설에 대한 실시설계가 지난달말 완료됨에 따라 17일 제주도건설기술심의위원회의 심의를 거쳐 이달안으로 공사에 들어갈 계획이라고 밝혔다. 당초 2001년 완공을 목표로 했던 광역쓰레기소각시설은 하루 300t의 쓰레기를 처리할 예정이었으나 지방재정여건에 따른 대형사업 구조조정의 일환으로 완공시기가 2003년으로 연장됐고 규모는 270t으로 축소됐다. 그러나 광역소각시설은 총 사업비 567억원중 국비 30% 지방비 70%(도 35%·시·군 35%)로 추진, 지방비 부담이 과중됨에 따라 도·시·군의 재정운영에 지장을 초래하고 있어 원활한 사업추진이 어려운 상황이다.

이에 따라 제주도는 2000년부터 국고보조율을 70%로 인상해줄 것을 환경부와 기획예산청에 건의해 놓고 있다. 제주도의 요구가 받아들여지면 114억원의 지방비 경감효과를 얻게 된다. 제주도는 현재 매립 76%, 소각 3%, 재활용 21%인 쓰레기 처리실태를 광역소각시설이 완공되는 2003년에는 매립비율을 23%로 줄이고 소각(37%)과 재활용률(40%)을 높여, 쓰레기 관리정책을 자연순화형으로 전환할 계획이다(제민일보, 1999년 6월 14일).

10) 제주도 쓰레기문제 해결을 위한 시민운동연합회 토론회 자료집, 1999.7.10을 참조

제까지 저축해 놓은 이자는 물론 자본까지 까먹는 지경'에 이르고 있지 않나 생각한다¹¹⁾. 따라서 제주도에 소각장이 세워졌을 때 폐기물을 소각시키는 과정에서 나타날 수도 있는 환경오염사례와 다이옥신류 저감대책에 대해서 살펴보고자 한다.

II. 다이옥신에 의한 환경오염 사례

1. 다이옥신에 대한 정의

일반적으로 다이옥신이란 1개 또는 2개의 염소원자에 2개의 벤젠고리가 연결된 3중고리 구조로 1개에서 8개의 염소원자를 가진 다염소화된 방향족화합물을 지칭하며 다염소화된 다이(이)벤조 파라다이옥신(Polychlorinated-Dibenzo-p-Dioxin: PCDD) 및 그것과 유사한 성질과 상대 독성을 가진 폴리염화 다이(이)벤조 퓨란(Polychlorinated -Dibenzo-p-Furan: PCDF)을 모두 포함한다¹²⁾. 그러나 최근에는 다이옥신류와 유사한 성질과 독성을 가진 코프라나 PCB(벤젠의 ortho 자리에 염소 치환이 없거나 혹은 염소 한 개를 가진 PCB)를 다이옥신류에 덧붙이는 것이 제안되고 있다¹³⁾. <그림 1>에서는 PCDD, PCDF와 PCB 및 관련된 화합물의 구조를 나타냈다¹⁴⁾.

다이옥신류는 염소의 치환위치의 차이에 의해 많은 이성체(분자식은 동일하나 구조식이 달라 성질이 다른 화합물을 모두 이성체라 한다)를 가진 PCDD는 75종 PCDF에는 135종이 있으며 물질 수가 많은 것이 특징이다.

다이옥신류 중에는 강한 독성을 가진 것이 있는데 특히 2,3,7,8-TCDD는 급성독성이 매우 강한 것으로 알려져 있다. 예를 들어 물모트에의 LD₅₀(반수치사량: 동물의 반수가 죽는 투여량)은 대략 0.6 μg/kg이다. 사람에게 나타난 증상에는 클로로아크네라고 불리는 피부의 이상이 PCD를 포함한 이들 유기염소 화합물에 의한 폭로증상의 특징 중 하나이며 급성 독성류에도 만성독성, 발암성, 기형을 유발하는 성질 등이 동물실험을 근거로 보고되었는데 발암성에 대해서는 1997년 2월 국제 암 연구기관(IARC)에 의해 「사람에 대해서 발암성을 나타내는」 물질로 범주-1로 분류되었다. 또한 최근에는 내분비 교란 화학물질(소위 환경호

11) 21세기의 환경정책에 대해서는 제주대학교 환경연구소가 1999년 6월 14일 주최한 세미나 「새로운 천 년시대의 환경정책전략」을 참조

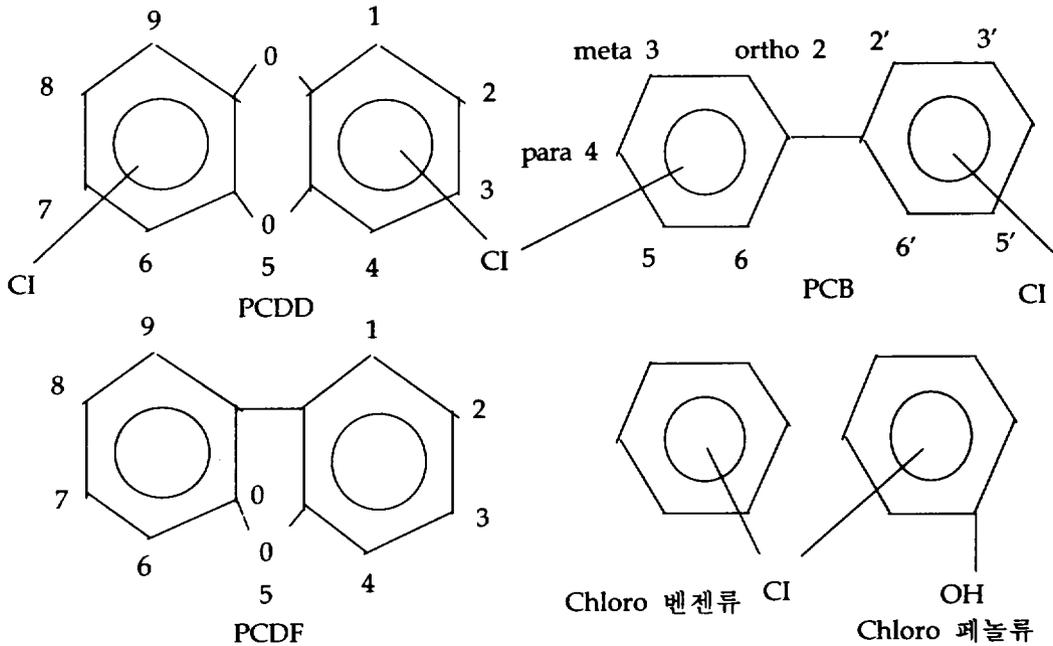
12) 한화진(1994.11.22). "도시폐기물 소각장에서의 다이옥신대책". 『환경포럼』, 제1권 제6호(통권6호)

13) 염소원자의 갯수와 위치의 조합에 의해 75개의 PCDD와 135개의 PCDF 유사종이 이론적으로 가능하다. 독성이 알려진 17개의 다이옥신유사종 중에서 2,3,7,8-사염화이벤조-파라-다이옥신 (2,3,7,8-TCDD)은 청산칼리보다 독성이 1만배 이상 높은 "인간에게 가장 위험한 물질"로 알려져 있으며 장기적으로는 후대에까지 신체적 결함을 유전시킨다. 『환경포럼』에서 인용

14) 배재근(1999). 『다이옥신류 저감대책과 방법』, 신기술

르몬)이라는 인식이 생겨 생식기능에의 영향이 우려되고 있다.

〈그림 1〉 다이옥신류 및 관련화합물의 화학구조



출처: 배재근(1999). 『다이옥신류 저감대책과 방법』, 신기술, p.9

폐기물학회편(1998). 『쓰레기독본』, 중앙법규출판사, p.151

다수의 다이옥신류의 독성은 벤젠고리에 대한 염소의 개수와 치환위치에 의해, 즉 이성체에 의해 독성이 크게 달라지는 것이 특징이며, 독성의 발현기구 등을 고려해 개개의 이성체의 독성을 2,3,7,8-TCDD의 독성에 환산하는 방법이 통용되고 있다. 이때 환산을 위한 인수가 독성 등량계수(TEF)이고, 환산을 행한 각각의 값을 합계하여 하나의 농도표시를 얻은 것이 독성등량(TEQ)이다. 다이옥신류의 TEQ를 나타낼 때는 4염소화물에서 8염소화물까지의 합계량이 이용된다. 소각 배기가스에는 특히 여러 종류의 다이옥신류가 포함되어 있으므로 총체로서의 독성표시가 유용하다.¹⁵⁾ TEF로서 종래 이용되고 있던 것은 국제적인 규격으로 <표 2>에 나타낸 것과 같다. 단, 1997년의 국제 다이옥신 회의에서 WHO에서 약간 다른 TEF가 사람/포유류 외에 어류 및 조류를 대상으로 제안되었다. 또한 코프라나 PCB에 대해서도 표 중에 TEF를 표시했다.¹⁶⁾

15) 다이옥신과 류란의 독성등가인자(TEF)에 대해서는 <http://dioxin.peacenet.or.kr/library/dying/dying2.HTM>을 참조

〈표 2〉 PCDD/PCDF 및 코프라나 PCB의 2,3,7,8-TCDD 독성 등가 환산계수

異性體	1-TEF(1988)	WHO(1997)		
		母乳類	魚類	鳥類
PCDDs				
2,3,7,8-TCDD	1	1	1	1
1,2,3,7,8-PeCDD	0.5	1	1	1
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.5	0.05
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	0.1	0.01	0.01
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	0.1	0.01	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	0.01	0.001	<0.001
OCDD	0.001	0.0001	-	-
PCDFs				
2,3,7,8-TCDF	0.1	0.1	0.05	1
1,2,3,7,8-PeCDF	0.05	0.05	0.05	0.1
2,3,4,7,8-PeCDF	0.5	0.5	0.5	1
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1	0.1
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1	0.1
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	0.1	0.1	0.1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	0.1	0.1	0.1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	0.01	0.01	0.01
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	0.01	0.01	0.01
OCDF	0.001	0.0001	0.0001	0.0001
Non-ortho PCBs				
3,4,4',5-TCB	-	0.0001	0.0005	0.1
3,3',4,4'-TCB	-	0.0001	0.0001	0.05
3,3',4,4',5-PeCB	-	0.1	0.005	0.1
3,3',4,4',5,5'-HxCB	-	0.01	0.00005	0.001
Mono-ortho PCBs				
2,3,3',4,4'-PeCB	-	0.0001	<0.000005	0.0001
2,3,4,4',5-PeCB	-	0.0005	<0.000005	0.0001
2,3',4,4',5-PeCB	-	0.0001	<0.000005	0.00001
2',3,4,4',5-PeCB	-	0.0001	<0.000005	0.00001
2,3,3',4,4',5-HxCB	-	0.0005	<0.000005	0.0001
2,3,3',4,4',5'-HxCB	-	0.0005	<0.000005	0.0001
2,3',4,4',5,5'-HxCB	-	0.00001	<0.000005	0.00001
2,3,3',4,4',5,5'-HxCB	-	0.0001	<0.000005	0.00001

출처: 폐기물학회편(1998). 전계서, p.153

2. 다이옥신의 생성 및 유해성

다이옥신류의 정확한 발생경로를 이해하는 것은 효율적인 제거방법을 알아내는 것과 직결되기 때문에, 그동안 발생경로를 물리화학적인 측면에서 밝히고자 시도한 연구가 적지 않았다. 이러한 연구들의 성과에도 불구하고 자세한 발생경로에 대한 이해는 아직도 단편적이고 부분적인 상태에 머무르고 있는 것으로 보여진다. 그러나 현재까지 알려진 바를 토대로 하면, 다이옥신류는 소각로 본체와 오염방지설비의 사이에서 주로 발생하는데, 대략 세 가지의 중요 발생경로가 제시되고 있다.

그 첫째는, 쓰레기속에 본래부터 존재하던 것들의 일부가 소각시 분해되지 않는 경우이며, 둘째로는, 염화벤젠(chlorinated benzene)이나 염화페놀(chlorinated phenol), 염화비닐(PVC) 등 다이옥신류와 관련된 화학구조를 가진 화합물들이 이미 쓰레기속에 존재하였거나, 소각시 우선적으로 형성된 다음, 이들로부터 후속적인 반응을 통해 다이옥신류가 형성되는 경우, 셋째로는 다이옥신류와는 화학적으로 직접적인 관련은 없는 여러 물질들이 복잡한 반응을 통하여 이들을 형성하는 경우 등이다. 이상의 세가지 발생경로 가운데, 두 번째와 세 번째의 경로는 다이옥신류가 본래 없던 것이 소각로 내에서 새롭게 만들어진다는 것을 의미한다.

이에 관한 여러 연구결과를 검토해 보면, 다이옥신류의 형성에 필요한 화학반응은 소각로 내의 비산재(fly ash)의 표면에서 많이 일어나며 특히 250°C~400°C의 비교적 제한된 온도범위내에서 활발하게 진행된다는 것을 알 수 있다. 따라서 연소후의 기체 및 비산재의 온도조절과 비산재의 배출규제가 다이옥신류의 규제에 있어서 매우 중요하게 된다는 점이다. 또한, 세 번째의 경로는 다이옥신류가 적절한 조건이 갖추어지는 경우 그들과는 화학구조상 아무런 관련이 없는 물질들로부터도 합성될 수 있다는 것을 의미하고 있다¹⁷⁾.

그렇다면 이렇게 하여 폐기물소각장에서 생성된 다이옥신은 인간에게 어느 정도 유해할 것인가? 다이옥신의 유해성을 평가하기 위해서는 다이옥신 유사종의 독성 자료와 노출량을 알아야 한다. 그러나 독성자료는 2,3,7,8-TCDD 등 아주 소수의 화합물에 대한 한정된 정보 뿐이어서 환경이나 식품에 대한 노출량 조사는 분석법이 어려워 자료가 부족하다. 따라서 다이옥신에 대한 기초자료가 부족한 상태에서 인간에의 영향을 정확하게 판단하는 것은 대단히 어려우며, 소각장으로부터 다이옥신을 함유한 배출물의 유해성 평가시에 고려되는 평가 대상으로는 ① 타고난 찌꺼기 ② 소화용 폐수나 배연가스 세정용 폐수 ③ 집진장치로부터의 비회(飛灰) ④ 배출물 등 4가지가 있다. 타고남은 찌꺼기나 비회(飛灰)는 분산되며 발생량도 많아 소각장내에 고이게 되므로 최종 처리장으로 이동

17) <http://user.yongsan.co.kr/chemi/폐기물/다이옥신.htm>을 참조

되어야 한다. 이때 다이옥신 등을 함유한 분진이 주변에 비산되거나 현장의 근로자가 흡입하지 않도록 주의하여야 한다. 보관장소는 빗물 침입에 의한 외부로의 다이옥신 유출로 새로운 환경오염이 유발되지 않도록 엄중한 관리를 해야 하며 사람 출입을 금한다. 미국의 경우 2,3,7,8-TCDD가 1ppb이상으로 오염된 토지에 사람이 입주하는 것을 제한하고 있다.

그렇다면 과연 인체에 영향을 미치지 않는다고 보여지는 섭취허용량은 얼마나 될 것인가? 각 나라마다 기준을 달리하여 「1ng/kg/일」을 기초로 허용량을 설정하는데 무작용량의 10분의 1, 100분의 1, 250분의 1의 안전율을 적용하여 각 나라의 허용량을 설정하고 있다. 미국과 일본의 경우 0.1ng/kg/일(ng은 10억분의 1), 네덜란드의 경우 0.004ng/kg/일로 가장 엄격한 허용량을 설정하고 있으며, 다른 나라들도 강화하는 추세이다¹⁸⁾.

3. 환경오염 사례

급격한 산업화와 도시화로 대량생산, 대량소비시대가 도래하면서 전세계적으로 폐기물 발생량이 급증하며 생활양식과 경제구조의 변화에 따라 폐기물의 종류 및 性狀도 변화하고 있다. 특히 난분해성으로서 처리가 곤란한 플라스틱류와 인체에 유해한 화학 합성물질 등의 폐기물이 매년 증가하고 있어 폐기물의 처분과 관련하여 대기, 수질 및 토양 등에 악영향이 초래되고 있다. 유해 오염물질에 대한 관심이 점차 증가하고 있는 가운데 폐기물 소각과 관련한 다이옥신에 대한 관심 및 연구 또한 증가추세이다. 베트남 전쟁에서 고엽제의 원료로 사용된 다이옥신은 간암, 기형아 출산 등 약 79만명에게 고엽제피해를 일으킨 주범으로 알려져 있고 1976년 이탈리아 Seveso에서 있었던 화학공장 사고에 의한 유출로 그 유독성이 규명되었다. 현재 알려진 다이옥신 유해성의 90%는 병원 및 도시 폐기물 소각로에 기인한다¹⁹⁾.

이렇게 다이옥신은 근대적인 쓰레기 소각장에서 나타나기 이전에 몇 개의 일화를 동반하며 역사에 등장해 왔다. 그 주된 내용을 정리하자면 <표 3>와 같다²⁰⁾. 제2차 세계대전 무렵부터 각종 유기염소계 농약이 양산되었으며, 그 중 하나인 제초제 2,4,5-T의 제조공장(미국 내)에서 1949년에 사고가 일어났고, 노동자의 건강장해가 일어났다. 후에 그 원인이 불순물이 포함된 2,3,7,8-TCDD인 것으로 밝혀졌다. 1960년대에는 잘 알려진 것처럼 베트남 전쟁에서 2,4,5-T와 같은 종류의 2,4-D가 고엽제로 이용되었다.

18) 한화진(1994.11.22). 전계서

19) Ibid

20) 폐기물학회편(1998). 전계서

〈표 3〉 다이옥신류에 의한 환경오염 사례

년 도	사 항	개 요
1962~1971	베트남전쟁시 미국이 고엽제 2,4,5-T 사용	· 2,4,5-T 제조 과정상에 부생성물로 다이옥신이 포함 · 간장암, 유산, 출생결함 등이 빈번히 나타남
1976	이탈리아 북부 세베소 2,4,5-T 제조공장에서 폭발사고 발생	· 4염소화 다이옥신(TCDD)이 비산하여 사고가 난후 닭, 고양이 등 동물이 사망 · 약 20만㎡에 상당하는 오염토양 발생 · 유해폐기물이 국경을 넘어 이동하는 사례가 발생
1978	뉴욕주 러브카날 농약공장 에서 화학계 산업폐기물에 의한 오염사고 발생	· 운하에 약 2만톤의 폐기물이 투하되었고, 跡地에 건축된 지하실 등에서 다이옥신을 포함한 유해물질이 침출 · 수백 세대가 이전
1982	미조리주 타임스 비치에서 토양오염 판명	· 농약공장에서 나오는 다이옥신을 포함한 폐기물이 기름과 함께 섞여 길에서 발생하는 먼지를 방지하기 위하여 사용 · 미국은 한 마을을 전부사서 주민과 기업을 이전
1983	愛媛대학그룹이 쓰레기소각장의 飛塵에서 다이옥신 검출	· 9시설에서 TCDD가 7~250ng/g의 범위에서 검출
1983년 쯤~	香川縣豊島에서 산업폐기물 불법투기	· shredder dust, 廢油汚泥 등이 투기 · 溶劑와 금속류외에도 다이옥신류의 함유가 확인
1995년 쯤~	일본 각지의 소각시설에서 다이옥신 오염 지적	· 지역주민들은 다이옥신이 건강에 미칠 불안을 호소 · 일반폐기물 소각시설은 물론 산업폐기물 시설과 소규모의 시설에서 발생하는 다이옥신에 대한 불안

출처: 일본폐기물학회편(1998), 전계서, p.150

1970년대 후반에는 미국 뉴욕주 나이아가라 호울즈시의 산업폐기물 매립지역 부근의 주택에서 다이옥신과 유기염소계 등 여러 종류의 유해물질에 의한 오염이 발생하여 많은 가정이 강제 퇴거되었는데, 이것은 러부카날 사건이라고 불린다. 1980년대에는 미조리주 타임즈 해변에서는 2,3,7,8-TCDD를 포함한 유상 폐기물이 경마장이나 도로의 지반에 산포에 따른 오염이 발생하여 앞에서와 마찬가지로 주민의 퇴거에 이르렀다.

한편 1976년에 이탈리아 북부 마을 세베소의 근교에 있는 유기염소계 농약 제조공장에서 폭발사고가 일어나 2,3,7,8-TCDD에 의해 주변의 토양이 오염되었다. 이 오염물은 드럼통에 보관되어 있었지만 행방불명되었고, 나중에 프랑스 농촌에서 발견되어 이 사건은 유해 폐기물 국경이동의 전형적인 사례로 알려져 있다.

쓰레기 소각과 다이옥신류와의 관계는 1970년대 후반 유럽에서 소각로의 먼지에 다이옥신류가 포함되어 있는 것이 잡지에 보고되면서 시작된다. 국내의 경우 다이옥신은 대기환경보전법상에 특정대기유해물질로 지정되어 있으나 이에 대한 대책은 없는 실정이다. 따라서 향후 증가할 폐기물 소각처리에 대비하여 다이옥신에 대한 종합적인 연구²¹⁾ 및 장기적인 대책수립이 요구되며 이에 대한 투자가 필요하다.

Ⅲ. 다이옥신류 저감대책

다이옥신류는 쓰레기 소각로에서 어떻게 하여 생성되는 것일까? 불완전 연소 또는 염화비닐이 원인이라는 의견을 자주 듣는다. 확실하게 어떤 종류의 산화폐기물 소각로에서 염화비닐이 부적절하게 소각 처리되면 매우 높은 농도의 다이옥신류가 생성되는 것이 보고되었다. 그러나 염화비닐이 포함되어 있는 폐기물이어도 고성능의 소각로에서 적절하게 처리하면 다이옥신류의 발생이 매우 적어지는 것으로 알려져 있다.

다이옥신류의 화학구조를 보면 벤젠 고리와 염소와 산소가 필요한 것을 알 수 있다. 단순히 생각하면 이들 구성요소를 제거하면 다이옥신류의 생성량도 줄어들 것이 기대되나, 쓰레기 소각 과정에 있어 다이옥신의 생성은 불완전 연소에서 일산화탄소와 미연가스가 많이 발생한다. 이 미연가스 중에는 벤젠 고리를 가진 화합물 등 다이옥신류로 변화하기 쉬운 화합물이 많이 포함되어 있다. 탄소는 다이옥신의 농도 레벨과 비교하면 과잉 존재하고 있으며 염소는 염화비닐의 열 분해에 의해서도 생성되지만 염화비닐을 완전하게 제거해도 식염 등의 무기염화물이 존재한다. 이 무기염화물도 고온 상태에 이르면 염화수소 가스가 되는 것으로 알려졌다. 따라서 폐기물 중에서 염소 자체를 제거하는 것에 의해 다이옥신류의 생성을 억제하는 것은 매우 어렵다는 것을 알 수 있다.

다이옥신류의 생성 기구에 관한 연구가 진행되면서 다이옥신류 생성에 영향을 미치는 다른 하나의 요소가 존재하는 것이 알려지게 되었다. 그것은 불완전연소에서 생성한 벤젠 환상물질(전구물질)이 배기가스가 냉각되는 과정에서 다이옥신류로 재합성되는 것이다. 그리고 배기가스 온도가 500~300°C 전후에서 생성반응이 가장 촉진되는 것, 또한 Cu 등의 금속 촉매가 이 반응을 촉진하는 것 등이 알려지게 되었는데 이 반응을 de novo 합성이라고 부르며, 이것은 라틴어로 "다시 처음부터"라고 하는 의미이다. 그리고 이 이론은 일본이 쓰레기 소각로에서 소각 성능이 나빠 불완전 연소하기 쉬운, 이미 집진기로써 전기 집진기를 사용하는 것 중 배기가스가 300°C 정도에서 흐르고 있는 시설에 대해 다이옥신 농도가 높은 경향에 있는 것, 그리고 소각로에서는 다이옥신 농도가 집진기 입구 보다 출구 쪽이 수배에서 수십 배나 높아지는 것 등을 잘 설명하고 있다²¹⁾.

이상의 이론을 정리하면 다이옥신류 생성에 크게 작용하고 있는 요소로서 다음의 네 가지를 들 수 있다. 즉 ① 폐기물의 조직과 구성, ② 불완전 연소의 유무, ③ 배기가스 냉각

21) <http://chem.yonsei.ac.kr/~leejh/> 환경부 고시 1998-141호에 따르면 포항산업과학연구원이 1998년 12월 15일, 환경부로부터 다이옥신 측정 및 분석 공인기관으로 지정되어 1999년 9월중순 현재 노원구 자원회수시설(상계소각장), 양천구 자원회수시설(목동소각장) 외 4개의 소각장에서 다이옥신 측정 및 분석업무를 수행하고 있다.

22) 연소상태에 따른 Dioxin발생량 및 저감방법 중에서 Co 및 O_2 농도와 연소온도 및 체류시간에 대해서는 <http://my.netian.com/~sclee2/wzinciner4.html>을 참조

과정의 온도와 체류시간, ④ 어떤 종류의 촉매의 존재이다. 이 중 ① 폐기물의 조직과 구성을 관리하는 보조적 방법에 대해서는 「시민이 할 수 있는 일로써 염화비닐 제품의 불매·불용 혹은 분별 수집을 행하는 것은 다이옥신류 저감대책으로 효과가 있는 것이 아닌가」라는 질문을 시민들에게서 자주 받는다. 이 질문에 대해 효과가 있다·없다라고 단정 짓기는 어려운데, 다이옥신류 억제에 관한 요소가 다수 존재하므로 어느 것 하나의 대책만으로는 충분하지 않기 때문이다. 또 다른 하나인 염화비닐 제품의 분리 수거라고 하는 대책이 매우 쉽지만 다이옥신류 배출 억제 대책으로서서는 불확실한 점이 있다는 점을 들 수 있다. 그러나 플라스틱류의 분별이 소각로에의 부하 경감되어 안정연소의 확보로 이어지는 경우에는 어느 레벨까지는 효과가 있다고 기대된다. 단 이 경우는 분리한 염화비닐 제품 내지는 플라스틱류의 적절한 처리 경로가 확보되어야 한다²³⁾.

폐기물소각에 있어 다이옥신류가 생성하는 것은 한국에서도 널리 알려지게 되었으며, 2001년도까지 배출된 쓰레기의 27% 이상을 소각처리할 예정에 있기 때문에 이런 상황에서 소각처리에 따른 다이옥신 논란이 계속될 것은 분명하다. 그러나 우리와는 달리 미국의 경우에는 1971년 2,3,7,8-TCDD의 초기형성이 동물실험에서 확인된 후 다이옥신에 대한 많은 연구 및 대책 등이 수행되어 왔다. 일본의 경우도 1990년 12월에 도시폐기물 소각처리에서의 다이옥신규제에 관한 개요를 공표하여 다이옥신량을 0.1ng/m³ 이하로 감소시키는 것을 목표로 하고 있으며, 독일도 0.1ng/m³, 네덜란드의 경우는 0.04ng/m³을 목표로 하고 있다. 여기서는 다이옥신을 0.1ng/m³ 이하로 감소시키는 방법²⁴⁾을 소각전 기술(Pre-Incineration

23) 소각로 시설에 투입되는 쓰레기 자체도 다이옥신 생성의 영향인자 중 중요한 인자로 볼 수 있는데 다이옥신류 및 PVC, PCB, 클로로페놀류 유기염소계 화합물과 같은 다이옥신류 전구물질, NaCl과 같은 무기물 형태의 염소화합물, 후연소 공정에서 다이옥신류 생성에 촉매역할을 하는 Cu나 Fe와 같은 금속성분 등이 쓰레기 내에 포함되어 소각로에 들어가면 다이옥신 생성을 조장하게 된다. 또한 소각로를 일정한 연소상태로 유지하려면, 투입되는 쓰레기질을 일정하게 유지하여야 한다. 쓰레기 질이 일정하지 않으면 쓰레기의 발열량, 수분함량, 함유성분 등이 달라지기 때문에 연소환경의 급격한 변화를 가져오게 한다. 따라서 소각로 제어의 어려움을 가져오고 그 결과 불완전 연소가 일어나 다이옥신류의 생성을 조장하게 된다. 그외의 자세한 내용은 <http://user.yongsan.co.kr/chemi/폐기물/다이옥신.htm>을 참조

24) <http://dioxin.peacenet.or.kr/trash/f-trash.htm>

미국의 경우, 1) 1957년 농약 2,4,5-T 불순물중 다이옥신 확인, 2) 1985년 다이옥신의 유해성 평가하여 다이옥신이 인체에 미치는 건강영향평가에 초점을 두고 1일 허용섭취량을 2,3,7,8-TCDD 100pg/kgbw/D로 결정하였고, 환경보호청은 1일 허용섭취량을 1pg/kgbw/D로 하였으며, 3) 1994년 이후 다이옥신의 발암가능성을 인식하고, 제어방법 및 기준을 검토하여 1995년 다이옥신 배출기준을 제시하였다. 독일의 경우에는 1) 1990년 약 400g TEQ/년의 다이옥신 배출 보고하여 독일의 모든 폐기물소각로는 다이옥신 배출허용치를 0.1ng TEQ/m³ 이하로 유지할 수 있는 방지시설을 갖추도록 법으로 규정하였으며, 다이옥신의 생성기전 및 배출량 조사, 유해성평가, 저감대책 등을 위한 관련 연구와 저감기술 보급을 위한 신기술 개발투자 및 연구가 활발히 추진되어 다이옥신 억제를 위한 방지장치는 고효율 먼지집진기(여과 및 전기집진기), 촉매장치(SCR, 선택적 촉매환원장치), 활성탄 흡착, 건식 및 반건식 세정탑 등이 있으며, 최근에 건설되는 쓰레기 소각로에는 집진시설 + 촉매시설 + 세정

Technology), 소각기술(Incineration Technology), 소각후 기술(Post-Incineration Technology)로 나누어 설명하고자 한다.

1. 소각전 기술(Pre-Incineration Technology)

소각전 기술로는 쓰레기의 사전분리방법과 쓰레기의 균질화를 들 수가 있는데 소각대상이 되고 있는 쓰레기의 조성을 분석하여 연소 후 발생하는 유해물질과의 관계를 검토한 후 주원인이 될 수 있는 쓰레기의 종류를 사전분리하는 방법이다.

생활주변에서 다이옥신 생성원인이 되는 물질로는 상·하수도 배관, 전선피복, 카펫, 접착제류, 랩류 등의 PVC류, 유기염소계 화합물이 있는 방충제, 항진균제, 불연처리된 의복, 목제품, 피혁, 건재, 가전류, PCB가 함유된 축전지를 사용하고 있는 소형 중고 TV나 라디오, 헥사클로로펜을 함유한 비누, 화장품, 표백분, 캔류, 전선, 전동, 건전지 등을 들 수가 있다. 따라서 위와 같은 폐기물을 사전에 분리 수거하는 것은 다이옥신을 줄일 수 있는 하나의 방법이다.

그리고 다른 방법은 쓰레기의 균질화로서 소각로에 투입되는 쓰레기의 양과 크기를 일정하게 하는 방법과 조성, 발열량, 수분 함유량 등의 쓰레기의 특성을 일정하게 하는 것이다. 투입되는 쓰레기의 양이 달라지면 화격자상의 부하상태가 달라지고 쓰레기의 크기가 다르면 국부적으로 연소환경이 달라지게 되기 때문에 바람직한 노내 환경을 유지하기 힘들어 진다. 공급되는 쓰레기의 특성이 변화하게 되면 노내온도 및 온도분포가 변하기 때문에 공기 공급량이라든가 쓰레기 공급량도 적절한 노내조건이 되도록 바꾸어 주어야 한다. 이러한 상황들이 소각로 제어에 어려움을 가져다 주고 급격한 부하변동에 따라 각 공정에 충격을 줌으로써 시설의 훼손을 가져오게 된다. 따라서 소각로로 쓰레기를 투입하기 전에 충분히 섞어주고 소각하기 적합한 일정한 조성의 쓰레기가 되도록 수거관리면에서도 신중을 기하여 소각하기 전에 좋은 균질의 쓰레기를 만들어 주어야 한다²⁵⁾.

2. 소각 기술(Incineration Technology)

1) 3T의 확보

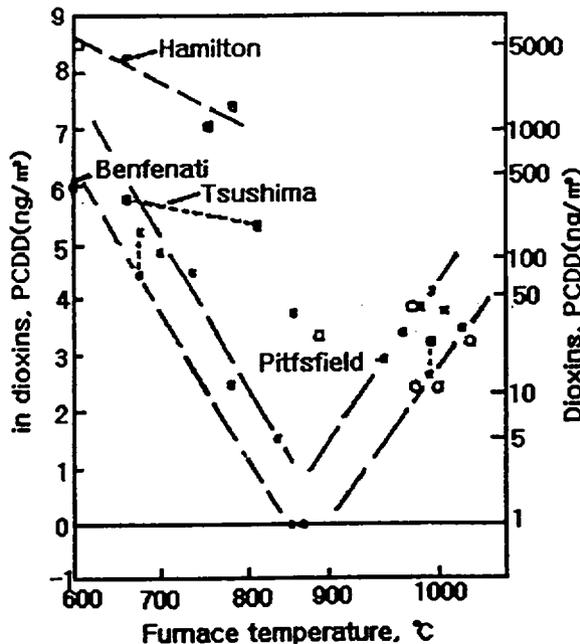
완전연소에 의해 왜 다이옥신류의 발생이 억제되는 것인가. 그것은 다이옥신류의 원료로 얻어지는 전구물질이 분해되어 적어지기 때문이다. 이 전구물질을 분해하기 위해서는 750°C 이상에서 1초 정도의 체류가 필요하다고 한다. 신 기본 방침에서도 이 조건을 보다 완전하

탑 등을 설치함으로써 다이옥신 배출을 거의 완벽한 수준으로 억제가 가능한 것으로 알려져 있다.
25) 한국과학기술연구원편저(1996), 『Dioxin Handbook』, 동화기술, pp.215-216

게 하기 위해 850°C 이상에서 2초간 체류를 기술 지침으로 하고, 가능하다면 900°C 이상이 바람직하다고 하고 있다. 이 때문에 보일러로에서는 수도관의 열 흡수 범위는 좁게 하는 등의 대책이 필요하게 되거나, 경우에 따라서는 체류시간 확보를 위해 소각로 용적을 확대해야 한다. 또한 온도가 너무 높으면 크린카라고 하는 먼지가 녹아 나와 벽에 부착해 성장하는 현상을 불러일으키기 쉽게 되므로 안정된 온도 제어가 필수이다.

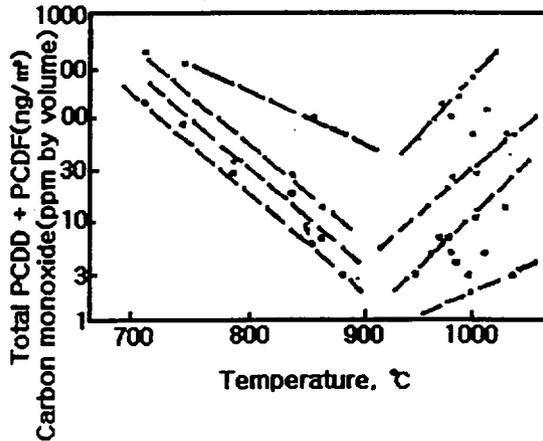
완전하게 연소하려면 이에 덧붙여 탄소와의 충분한 접촉이 필요하기 때문에 공급된 공기와 열분해 가스가 충분히 혼합되어야만 한다. 이 혼합 교반을 위해서는 연소가스의 흐름에 난류를 만드는 것이 필요하다. 여기에서의 연소온도(temperature), 체류시간(time), 탄소와의 혼합(turbulence)의 세 가지의 요소를 그 앞 글자를 따 완전연소를 위한 3T라고 한다. 실제 소각로에서 대책으로는 이 공기와의 교반 혼합이 가장 연구를 요하는 점이다²⁶⁾. 즉 이와 같은 연소 조건을 잘 조절·유지함으로써 연소가스 중의 미연탄·탄화수소 특히 다이옥신류의 변화가 쉬운 전구물질인 클로로벤젠, 클로로페놀, 폴리크로리네이티드비페닐 등의 물질 생성을 줄일 수 있는 것이다.

〈그림 2〉 소각로온도와 총다이옥신류 농도와의 관계



26) 소각로온도와 총다이옥신류 농도와의 관계, 소각로온도와 총다이옥신류 및 일산화탄소와의 관계, 산소에 대한 총다이옥신류 농도에 대한 관계, 저농도 범위에서의 일산화탄소와 총다이옥신류 농도와의 관계 등은 <http://user.yongsan.co.kr/chemi/폐기물/다이옥신.htm>을 참조

〈그림 3〉 소각로온도와 총다이옥신류 및 일산화탄소농도와 관계



〈그림 2〉와 〈그림 3〉을 보면 노내온도와 다이옥신류 사이의 상관관계를 알 수 있는데, 아주 저온영역에서는 온도가 증가함에 따라서 다이옥신의 배출수준은 급격히 감소되다가 최소값을 보인 후 다시 온도의 증가와 함께 다시 증가하는 경향을 나타내고 있다²⁷⁾.

2) 가스 냉각 과정²⁸⁾

일반적으로 종래 소각로의 배기가스 온도는 화로 출구에서 750°C에서 850°C였던 것이 집진기 입구에서는 270°C에서 300°C까지 냉각되었다. 이 가스 냉각에는 보일러를 사용한 방식과 물을 분무하는 방식이 있다. 비교적 소형(300t/d 미만)에서는 물 분사 방식으로 공기가 열기를 편성한 것이 대부분이며 가스냉각 과정이나 집진 과정에서 퇴적한 먼지는 다이옥신류 재합성의 온상이 된다. 따라서 가스냉각 장치에서의 먼지의 퇴적을 방지하기 위해서는 자동 청소 장치를 부착하거나 청소에 힘쓰는 대책이 필요하다.

다이옥신의 재합성은 가스 온도가 200°C보다 낮으면 급격하게 억제되는 경향이 있다고 알려져 왔다. 따라서 집진기 온도를 200°C이하로 하는 것이 다이옥신류 재합성 억제에 효과적이다. 이를 위해서는 가스냉각 능력을 증강시켜야 하며, 간단하게 배기가스의 온도를 내린다고는 하지만 800°C에서 300°C까지 내리는 것, 그리고 300°C에서 170°C내리는 것은 가스냉각 장치에 있어서 그 용적을 갑절로 늘리 필요가 있다. 그러나 기존 시설의 경우, 이러한 개조에 있어서 공장 부지 내에서 용적 증가를 위한 공간을 확보하기가 매우 어렵기 때

27) 구체적인 내용은 <http://user.yongsan.co.kr/chemi/폐기물/다이옥신.htm>을 참조

28) 가스냉각과정, 집진과정, 촉매산화방식, 활성탄제흡착, 소각후기술은 폐기물학회편(1998), 전계서 pp. 169-174

문에 무리하여 물 분사량만을 늘리면 증기가 되지 못한 잉여 수분이 먼지를 적셔 고착 폐색을 유발하거나 외부 부식의 원인이 되기도 한다. 따라서 분무하는 물분자를 안정적으로 미세화 하기 위하여 압축공기를 이용해 물을 분사하는 2류체 분무 방식의 채용이나 노즐의 설치위치, 분무량의 자동 억제 방식 등을 연구해야 한다.

3) 집진 과정

먼지 제거 과정의 저온화가 다이옥신 재합성 방지에는 가장 효과적이다. 적어도 200°C 이하가 되어야 하며, 전기 집진기의 경우 먼지의 비저항 관계로 240°C를 웃돌게 하면 오히려 집진 효율이 저하되어 역효과가 있다는 보고도 있다. 따라서 전기 집진기의 경우 저온화에는 한계가 있다. 또한 집진 효율에서는 백필터가 가장 좋기 때문에 많은 시설에서 항구 대책으로 배출기준 1~5 ngTEQ/Nm³를 달성하려고 하는 집진기는 전기 집진기에서 백필터로 변경시킬 수 밖에 없다. 백필터는 화로 가속도를 낮추는 것에 의해 다이옥신류를 화로 내부 위에 퇴적 쓰레기 층에 흡착 제거할 수 있고 배기가스 온도를 150°C 정도까지 내리면 더욱 효과가 높아지고 활성탄 분무의 병용으로 0.1ngTEQ/Nm³의 달성도 가능하다고 한다. 여기에서 유의할 것은 성능보증치로서의 0.1ngTEQ/Nm³와 설계목표로서의 0.1ngTEQ/Nm³에서는 그 의미가 크게 다르다는 것이다. 성능보증으로서의 0.1ngTEQ/Nm³을 요구한 제조회사는 확실히 수치를 만족시킬 필요가 있고, 설계적으로는 0.05ng TEQ/Nm³을 목표로 해야 하며, 또한 온도를 낮추는 것이 다이옥신 억제에 효과가 있다고 해도 너무 낮추면 집진기나 배연관의 저온 부식에는 충분한 유의가 필요하다.

4) 촉매 산화 방식

탈초용 촉매를 기초로 한 산화촉매 등에 의한 다이옥신을 분해 제거하는 방법이다. 촉매로서 이용되는 것은 티탄, 바나듐, 텅스텐계의 물질이 일반적이지만 촉매의 효과를 높이려면 배기가스의 온도를 230°C까지 올릴 필요가 있기 때문에 집진기에서 내린 배기가스 온도를 다시 가열할 필요가 있다. 그러므로 저온에서도 효과가 나오는 촉매가 개발되어 왔다.

이 촉매에 의한 방법은 화로과식 집진기나 미 활성탄 바람이 불어 들어오는 것의 흡착 제거방법과 편성하기가 용이함과 동시에 암모니아를 첨가하는 것에 의해 질소산화물도 동시에 저감할 수 있는 장점이 있다. 질소산화물에 대해서는 연소방법으로도 억제할 수 있지만 다이옥신 대책을 위해 완전연소를 피하면 역으로 질소산화물은 증가하는 경향이 있다. 따라서 연소 억제법이 이용되지 않을 때에는 이 방법은 효과적이지만 장시간 사용에 따른 촉매의 성능 저하에는 유의가 필요하다.

5) 활성탄계 흡착탑

집진후의 배기가스를 활성탄계 흡착제의 충전탑을 통과시켜 다이옥신류를 흡착 제거하는 것이지만 흡착제로서는 활성탄이나 활성해탄 등이 이용된다. 온도는 180°C 정도로 운전시키는 경우가 많으며 흡착제는 자동적으로 상태가 나빠지는 것에서 일정량씩 잘려 그 분량만큼 새롭게 흡착제가 보충되도록 되어있다. 폐낸 흡착제는 화로 내에서 소각처리되거나 규모가 큰 경우에는 현장에서 흡착제의 재생 장치에 착수하는 경우도 있다. 이 방식은 다소 입구 농도가 높아져도 출구 농도를 안정하여 낮게 억제할 수 있지만 흡착제는 가스 체류가 일어나면 발화하기 쉽기 때문에 그 대책이 중요하며 또한 먼지 등에 의한 폐색에 의해 차압이 상승하고 통풍력이 저하하여 처리능력이 저하할 가능성도 있다.

3. 소각후 기술(Post-Incineration Technology)

먼지 중에는 유해한 중금속뿐만 아니라 다이옥신류도 많이 포함되어 있다. 시멘트 고회화 처리만으로는 중금속의 불용출화는 가능해도 다이옥신의 분해까지는 어렵다. 분해 제거하는 방법이 가장 바람직 하지만 그 방법에는 가열 탈염소화법과 용해 고회법이 있다²⁹⁾.

1) 가열 탈 염소화법

환원분위기에서는 다이옥신류에 포함된 염소를 수소로 치환하는 반응이나 염소결합이 끊어져 환상구조가 파괴되는 반응이 진행된다. 먼지를 저산소 분위기에서 350~550°C로 보존·유지하면 다이옥신류와 같이 분해가 가속되므로 이러한 반응을 촉진하여 다이옥신류를 분해 제거하는 장치가 일부 도입되어 있다. 이 장치로 먼지 중의 다이옥신류는 95% 이상 분해되고, 처리 후의 다이옥신 농도를 0.1ngTEQ/g 정도 이하로 할 수 있다. 가열 처리 후의 냉각 과정에서 다시 다이옥신류가 합성된다고 하고 재합성을 막기 위해서는 가열된 재의 환원 분위기 하에서의 급냉이 중요하다.

2) 용해 고회법

용해 고회법이란 소각재·먼지를 전기나 등유로 가열하여 1250~1450°C 혹은 그 이상의 고온으로 유지하고 잔존 유기물은 연소, 무기물은 용해시켜 유리질의 슬러그로 하는 방법이다. 고온 용해과정에서 다이옥신은 높은 비율로 분해된다. 슬러그 중으로 이행한 유해 금

29) 다이옥신의 분해·제거방법에 대한 구체적인 내용은 한국과학기술연구원편저(1996). 『Dioxin Handbook』, 동화기술, pp.220-232를 참조

속류는 시리카망의 눈 중에 포함되어 외부에의 용출이 불가능하게 된다. 저비점 금속 알칼리염 등은 배기가스 내에 휘산 되며 도중에 응결하거나 집진기에 보집되어 용해 먼지로서 배출된다. 이 용해 먼지 중에는 다이옥신류는 포함되어 있지만 설계와 관리가 부적절하고 또한 재합성되는 것이다. 한편 먼지를 용융 처리하면 애써 백필터로 포집한 염화수소가스가 다시 방출되게 되며, 그 농도는 가스량이 작기 때문에 수천 ppm 정도가 된다. 용융처리에 배기가스 처리방식은 개발이 요망된다.

IV. 결 론

다이옥신이 국내에 알려진 것은 1995년 도시쓰레기 소각로에 주민의 민원이 집중되자 해외 선진국 소각설비의 가동상태 및 관계법규 등을 비교하는 과정에서 다이옥신이라는 맹독성물질이 소각로에서 발생되어 건강에 직접적인 영향을 준다는 방송매체의 보도로 일반 대중에게 알려졌다. 이는 혐오 시설인 소각로를 주변에 두기를 꺼려하는 주민들의 심리를 더욱 자극하게 되면서 소각설비의 핵심 사항으로 대두되어 소각장에서 발생하는 다이옥신 문제가 자주 거론되고 있지만, 쓰레기의 사전분리방법과 균질화, 연소조건, 배가스상태, 조업상태, 연소실형상이라는 관점에서의 근본적인 연구대책은 미흡한 상태이다. 따라서 (1) 현재까지 다이옥신에 대한 체계적인 연구가 부족한 상태이기 때문에 장기적인 관점에서의 투자가 필요하며, (2) 대부분의 지자체의 경우 임시대책으로 $0.5\text{ng}/\text{m}^3$ 이란 배출허용기준을 정하고 있으나 미봉책에 불과하기 때문에 다이옥신에 대한 측정·분석할 수 있는 근본적인 대책이 필요하고, (3) 이러한 노력외에도 근본적으로 폐기물 감량화와 발생원의 분리로 다이옥신생성을 최소화하기 위한 노력이 필요하고, (4) 제주도의 경우에는 다이옥신을 적게 발생시킬 수 있는 기종은 물론 현재의 종량제를 보완할 수 있는 근본적인 대책이 선행되어야 만이 20세기의 잔해물인 소각장에서 발생하는 다이옥신의 피해로부터 자유로울 수 있을 것이다.