

(POPs)

-

-

2000. 12



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

序 言

잔류성 유기오염물질(POPs)은 높은 잔류성, 생물농축성, 환경 및 인체건강 위해성으로 인해 이미 1970년대부터 선진국을 중심으로 사용이 금지되었거나 제한되고 있습니다. 그러나 일부 국가에서는 아직도 이들 물질을 사용하고 있으며, 사용된 물질의 일부가 장거리를 이동하여 해당물질을 사용을 하지 않은 국가에까지 그 피해가 확산되었습니다. 또한 일부 POPs 물질은 다양한 산업공정에서 부산물로 발생되고 있어 이들이 환경이나 인체건강에 미치는 피해가 보고되기도 하였습니다. 이에 UNEP를 중심으로 POPs 물질을 국제적으로 규제하고자 하는 움직임이 1990년대 중반에 강력하게 제기되었습니다. 몇 차례의 정부간 협상을 거쳐 마침내 2001년에 POPs 규제협약(잔류성 유기오염물질에 관한 스톡홀름 협약)이 채택될 예정입니다.

UNEP의 POPs 협약에서 규제대상 물질로 지정한 12종의 물질 중 유기염소계 농약은 이미 국내에서 사용이 금지되었거나 아직 사용된 적이 없는 신규물질이므로 국내 관리상의 문제점은 없는 듯 합니다. 그러나 각종 산업공정에서 부산물로 발생되고 있는 다이옥신, 퓨란, HCB(헥사클로로벤젠)은 아직 배출원이나 배출량 등 기초 연구조사조차 시작되지 않은 실정입니다. 따라서 협약이 체결될 경우 이에 대응할 수 있는 국내 부산물의 관리방안을 마련하는 일이 매우 시급한 실정입니다.

이에 본 연구에서는 POPs 물질에 대한 전반적인 규제동향과 함께 부산물 관리의 필요성을 제기하였습니다. 또한 선진국의 부산물 관리동향을 살펴보고, 국내의 규제현황을 조사하였습니다. 이를 바탕으로 향후 POPs 협약이 체결될 경우 우리나라 실정에 적합한 부산물의 관리방향을 도출하였습니다. 화학물질로 인한 인체건강과 생태계 파괴가 날로 심각해지는 현시점에서 아무쪼록 본 연구가 우리나라의 효율적인 화학물질 관리 및 POPs 물질의 규제대책 마련에 일익을 담당하는 초석이 되길 바랍니다.

끝으로 본 연구를 수행한 본원의 朴貞圭 박사와 李熙宣 박사에게 감사를 표합니다. 또한 과제수행을 위해 껏은 일을 마다하지 않은 元信媛 연구원과 具泫貞 연구원에게 심심한 감사를 표합니다. 특히 바쁜 와중에도 본 연구의 심사를 기꺼이 맡아주신 鄭會聲 박사님, 權寧閑 박사님, 金康碩 박사님의 노고에 감사드리며, 지난 일년동안 본 과제를 위해 물심양면으로 도움을 주신 인제대학교 황인영 교수님, 국립환경연구원 최경희 연구관님, 환경부 화학물질과 성수호 사무관님께도 진심으로 감사드립니다.

아울러 본 연구의 내용은 저희 연구원의 공식 견해가 아닌 연구자 개인의 견해임을 밝혀 드립니다.

2000年 12月
韓國環境政策・評價研究院
院長 李相垠

< 목 차 >

I. 서론	1
1. 연구의 목적	1
2. 연구의 내용 및 방법	1
II. POPs 부산물 관리의 필요성	2
1. POPs 부산물의 정의	2
2. 국제적인 규제강화	3
3. 발생원 대체방법의 부재	4
4. 기존 관리정책의 미흡	6
5. 심각한 물질독성 및 환경위해	6
5.1 다이옥신/퓨란	7
5.1.1 실험동물에 대한 독성	7
5.1.2 인체건강에 대한 독성	10
5.1.3 생태독성	12
5.2 HCB	13
5.2.1 실험동물에 대한 독성	13
5.2.2 인체건강에 대한 독성	16
5.2.3 생태독성	18
III. 선진국의 POPs 부산물 관리동향	20
1. 다이옥신과 퓨란	20
1.1. 국가별 배출원	20
1.1.1 미국	20
1.1.2 캐나다	24
1.1.3 일본	26
1.1.4 EU 국가	27
1.1.5 각국의 배출량 비교	29
1.2 국가별 오염현황	30
1.2.1 미국과 캐나다	30
1.2.2 일본	34
1.2.3 EU 국가	39
1.3 국가별 규제현황	43
1.3.1 미국	43
1.3.2 캐나다	47
1.3.3 일본	48
1.3.4 EU 국가	48
2. HCB	50

2.1 국가별 배출원	50
2.1.1 미국	50
2.1.2 캐나다	58
2.2 국가별 오염현황	59
2.3 국가별 규제현황	59
2.3.1 미국	59
2.3.2 캐나다	63
IV. POPs 부산물의 국내 배출현황과 문제점	66
1. 다이옥신과 퓨란	66
1.1. 배출원 및 배출현황	66
1.2 오염현황	68
1.2.1 토양	68
1.2.2 음식물	68
1.2.3 인체	69
1.3 국내 관리상의 문제점	69
2. HCB	70
2.1 배출원 및 배출현황	70
2.2 오염현황	70
2.3 국내 관리상의 문제점	73
V. POPs 부산물의 효율적 관리방안	75
1. 배출원 및 배출량 조사	75
2. 오염현황 및 위해성 확인사업 실시	77
3. 규제기준 선정	77
3.1 환경매체별 허용기준	77
3.2 주요 배출원별 배출기준	78
4. 최적가용기술 개발 및 적용	80
4.1 다이옥신/퓨란의 저감방안	81
4.2 HCB의 저감방안	81
5. POPs 부산물의 통합관리를 위한 특별법 제정	83
VI. 결론	85
VII. 참 고 문 헌	86
부록 I. 약어정리	91
부록 II. 각국의 HCB 규제기준	93
부록 III. 소각시설에서의 다이옥신/퓨란 저감기술	108

<표 목 차>

<표 II-1> 유기염소계 농약의 대체물질	5
<표 II-2> PCBs의 용도별 대체물질	5
<표 II-3> 농약관리법에 의한 유기염소계 농약의 규제현황	6
<표 II-4> 생물종에 따른 TCDD의 급성독성	8
<표 II-5> 2,3,7,8-TCDD의 반수치사량	8
<표 II-6> 실험동물에 대한 다이옥신의 발암성	10
<표 II-7> 다이옥신의 인체발암성 역학조사 결과	11
<표 II-8> 연구기관별 다이옥신에 대한 인체위해성평가 결과	11
<표 II-9> HCB의 물리화학적 특성	14
<표 II-10> HCB에 노출된 포유류의 최저 NOEL과 LOEL	15
<표 II-11> HCB의 생태독성 시험결과	18
<표 III-1> 미국의 대기 및 제품을 통한 다이옥신/퓨란 배출량('95)	21
<표 III-2> 미국내 다이옥신, 퓨란 및 PCBs의 매체별 배출량	22
<표 III-3> 캐나다의 다이옥신/퓨란 배출원별 배출량	25
<표 III-4> 일본의 다이옥신 배출량	26
<표 III-5> 일본에서의 배출원별 다이옥신 추정 배출량	27
<표 III-6> 영국의 다이옥신/퓨란의 배출원별 배출량	28
<표 III-7> 네덜란드의 다이옥신 배출량	29
<표 III-8> 국가별 다이옥신/퓨란의 대기배출량 비교	30
<표 III-9> 캐나다 British Columbia주 토양내의 다이옥신/퓨란의 농도	32
<표 III-10> 미국내 11개 호수 및 저수지에서의 다이옥신/퓨란 농도	33
<표 III-11> 캐나다 British Columbia주 퇴적물내의 다이옥신/퓨란농도	33
<표 III-12> 미국 오대호에 서식하는 어류의 다이옥신/퓨란 농도	34
<표 III-13> 캐나다의 음식물내 다이옥신/퓨란 농도	35
<표 III-14> 미국 미시시피 남부의 음식물내의 다이옥신/퓨란 농도	35
<표 III-15> 일본의 대기중 다이옥신 농도('96)	36
<표 III-16> 일본의 흑송 침엽에서 검출된 다이옥신 농도	37
<표 III-17> 일본 토양에서의 다이옥신 농도	38
<표 III-18> 일본의 하천침전물내의 다이옥신 농도	39
<표 III-19> 일본의 혼합류에 함유된 다이옥신 농도	40
<표 III-20> EU 회원국의 대기 중 다이옥신 농도	41
<표 III-21> EU 회원국의 토양 중 다이옥신 농도	41
<표 III-22> EU 회원국의 어류 중 다이옥신 농도	42
<표 III-23> EU 회원국의 점오염원 부근의 소의 우유 중 다이옥신 농도	42
<표 III-24> 미국의 도시폐기물 처리시설에 대한 기준	44
<표 III-25> 미국의 다이옥신/퓨란 관련 규제법규 및 관련조항	46
<표 III-26> 캐나다의 부문별 다이옥신/퓨란의 배출허용기준	47

<표 III-27> 일본의 다이옥신 배출기준	48
<표 III-28> 독일의 다이옥신 대한 법적 규제기준	49
<표 III-29> HCB를 불순물로 함유하고 있는 농약의 종류 및 사용용도	53
<표 III-30> 미국내 산업분야별 HCB 배출량	57
<표 III-31> TRI에 보고된 산업별 분류에 따른 HCB 배출량	57
<표 III-32> 캐나다의 대기중 HCB 배출량	58
<표 III-33> 미국의 HCB관련 규제법규 및 관련조항	61
<표 III-34> 캐나다의 Track 1 물질 선정기준	64
<표 III-35> 캐나다 Track 1 물질의 종류 및 배출원	64
<표 IV-1> 국내 대기 중 다이옥신 배출량('95년)	66
<표 IV-2> 우리나라의 도시쓰레기 소각로의 다이옥신 배출 현황	67
<표 IV-3> 국내 소각시설에서의 다이옥신 배출량	67
<표 IV-4> 서울 및 인천 거주 산모의 모유 중 다이옥신 농도	69
<표 IV-5> 국내 HCB 배출원별 원료물질의 생산량/수입량	71
<표 V-1> 국내 산업체에 대한 배출량보고제도 시행현황	75
<표 V-2> 미국 TRI의 POPs 기준치	77
<표 V-3> 환경매체별 다이옥신 허용기준	78
<표 V-4> 환경매체별 HCB 허용기준	78
<표 V-5> 각국의 소각시설의 다이옥신 배출 기준치	79

<그 립 목 차>

<그림 III-1> 미국내 HCB의 배출원 및 배출현황	51
<그림 III-2> 전체 오염 배출원에 대한 HCB의 대기 및 수계 배출경향 (1990-1997, TRI)	66

I. 서론

1. 연구의 목적

DDT, 다이옥신 등의 화학물질은 인간의 건강을 위협하고 생태계내 생물체에 강한 독성을 나타낸다. 또한 자연적인 분해가 느리기 때문에 환경에 오래 잔류하게 돼 생태계내 먹이사슬을 통하여 생물농축되며, 발생원으로부터 장거리를 이동하는 특성을 가진다. 이와 같은 유해성 및 물질의 특성으로 인해 1990년대 중반부터 이들 화학물질을 잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, 이하 POPs)로 명명하고, 국제적으로 엄격히 규제하고자 하는 움직임이 활발히 진행되고 있다.

특히 UNEP를 중심으로 진행되는 POPs 규제협약은 2001년 협약체결을 눈앞에 두고 있다. UNEP에서 지정한 12종의 POPs 물질 중 유기염소계 농약은 이미 국내에서 사용 또는 제조가 금지되었거나 미등록된 물질이므로, 추후 이에 대한 잔류성 여부에 대한 검색 및 모니터링 등 기초연구가 요구된다.

한편 POPs중 각종 산업공정에서 부산물(이하 POPs 부산물)로 발생하는 다이옥신, 퓨란, 헥사클로로벤젠(Hexachlorobenzene, 이하 HCB) 등은 다른 POPs 물질과는 달리 원료물질이 아니므로 관련법에 의해 사용 또는 제조를 금지할 수 없을 뿐만 아니라 대체물질도 거의 존재하지 않는다. 따라서 해당 물질들의 유해성 관리를 위해서는 기존의 유해화학물질과는 다른 규제방안을 적용하여야 할 것이다. 그러나 현재 우리나라에서 POPs중 부산물에 대한 규제가 시작단계에 불과하여, 아직 구체적인 배출원조사 확인되고 있지 않은 실정이다.

이에 본 연구는 POPs중 부산물에 해당하는 다이옥신, 퓨란, HCB 관리의 필요성을 제안하고, 이들 물질의 국내외적인 규제동향을 파악하여 우리의 대응방향을 제시하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

위의 연구목적을 달성하기 위한 효과적인 수행기법으로 본 연구의 내용은 다음과 같이 네 부분으로 나누어 진행하였다.

첫째, POPs 부산물 관리의 필요성을 고찰하였다. 우선 POPs 물질 전반에 대한 국제적인 규제동향과 함께 물질에 대한 일반적인 특성을 조사하였다. 또한 부산물에 해당하는 POPs 물질의 유해성과 관리의 필요성을 제시하였다.

둘째, POPs 부산물의 국제적인 규제동향을 파악하였다. 이를 위하여 다이옥신/퓨란 및 HCB의 두 그룹으로 나누어 각국의 배출원, 배출량, 환경매체별 오염현황 등을 조사하고, 이들에 대한 국가별 규제기준을 각각 파악하였다.

셋째, POPs 부산물의 국내 관리동향을 살펴보았다. 다이옥신/퓨란 및 HCB로 구분하여 물질별 배출원과 배출량, 오염현황 및 규제기준, 관리상의 문제점 등을 조사하였다. 그러나 이와 같은 조사항목들에 관하여는 조사시점인 현재까지 부분적인 연구만이 수행된 관계로, 배출 및 오염현황을 파악하기에는 관련자료가 매우 부족하였다.

넷째, 위의 현황을 기초로 POPs 부산물에 대해 국내 대응방향을 도출하였다. 이 부분의 결과로서 배출원 및 배출량 조사, 오염현황 및 유해성 확인사업, 규제기준 선정, 최적가용기술 및 저감방안 등으로 나누어 국내 현실에 적합한 대응책을 제안하였다.

위와 같은 연구내용 중 외국의 규제동향 파악은 주로 인터넷을 중심으로 관련자료를 수집하였다.

II. POPs 부산물 관리의 필요성

1. POPs 부산물의 정의

국제적으로 생산 또는 사용을 금지하고자 하는 POPs 물질이란 환경 내에서 광화학적·생물학적 및 화학적 분해가 제대로 되지 않고, 먹이사슬을 통해 동식물의 체내에 축적되는 독성이 강한 유기오염물질을 말한다. POPs 물질의 대표적인 환경상 특성은 높은 잔류성과 생물농축성, 장거리이동성, 독성 등이며, 이를 기준으로 UNEP는 2000년 현재까지 다음 12종의 물질을 POPs 규제대상물질로 선정하였다.

- ① 유기염소계 농약 : 알드린(Aldrin), 클로르단(Chlordane), DDT, 디엘드린(Dieldrin), 엔드린(Endrin), 헵타클로로(Heptachlor), 미렉스(Mirex), 톡싸펜(Toxaphene)
- ② 산업공정의 부산물 : 다이옥신(Dioxins), 퓨란(Furans), HCB (Hexachlorobenzene)¹⁾
- ③ 산업용 화학물질 : PCBs(Polychlorinated Biphenyls)

POPs 물질중 유기염소계 농약은 주로 살충제 또는 토양살충제로 사용되어 왔다. 그러나 이들 물질은 환경내에서 분해가 거의 이루어지지 않아 DDT의 경우 토양에서의 반감기가 10 - 15년에 이르며, 먹이사슬에서 생물농축되어 생태계와 인체건강에 악영향을 미쳤다. 이와 같은 위해성으로 인해 유기염소계 농약의 대부분은 이미 1970년대부터 선진국을 중심으로 사용이 금지되어 왔다. 우리나라 역시 1970년대부터 국내 미등록 물질인 미렉스를 제외한 나머지 POPs 농약의 국내사용을 전면 금지되었다.

또한 POPs 물질에는 폐기물 소각을 포함한 각종 산업공정에서 발생하는 부산물이 포함되며, 이들 종류로는 다이옥신, 퓨란, HCB 등이 있다. UNEP의 경우 부산물을 “인위적인 모든 활동(anthropogenic sources)에서 비의도적으로 발생 또는 배출되는 물질”로 정의하고 있다. PCBs는 주로 산업용 화학물질로 사용되나 일부 coplanar PCBs(또는 다이옥신 유사 PCBs)는 부산물로 발생하기도 하여, POPs 협약의 부산물에 대한 규정이 일부 적용되기도 한다.

한편 UN/ECE²⁾는 UNEP의 12종 물질 이외에 살충/살균제인 클로르데콘(Chlordecone), 살충제 HCH(Lindane), 방염제인 헥사브로모비페닐(Hexabromobiphenyl), 산업부산물인 PAHs 등을 포함한 총 16종 물질을 POPs로 지정하여 규제하고 있다. 이들 물질 중 클로르데콘은 국내 미등록제품이며, HCH는 1979년 국내 사용이 금지되었다.

따라서 현재까지 국제적으로 POPs로 규정된 부산물은 UNEP의 다이옥신, 퓨란, HCB, PCBs(coplanar)와 UN/ECE의 PAHs이다. 이들 부산물은 주로 원료물질인 다른 POPs 물질과는 달리 산업공정중에서 비의도적으로 발생되기 때문에 발생량 또는 배출량을 확인하기가 매우 어렵고, 관리정책 역시 원료물질과는 다른 접근방법이 요구된다. 이에 UNEP 등 국제기구와 많은 선진국에는 이들 부산물의 관리를 강화하고 있으며, 우리나라도 다음과 같은 필요성에 의해 POPs 부산물 관리방안 마련이 요구된다.

1) 유기염소계 농약으로 사용되기도 하였으며, 산업공정의 부산물로 주로 발생됨

2) Economic Commission for Europe

2. 국제적인 규제강화

날로 산업화되어 가는 현대 사회에서 화학물질이 차지하는 비중은 빠르게 증가하고 있다. 특히 유해화학물질이 생태계나 인간에 피해를 주는 사례가 증가하자 전세계적으로 이에 대한 연구와 함께 대응방안을 마련하기 시작하였다. 이들 유해화학물질이 환경에 미치는 영향에 대한 국제적인 규제는 1972년 스톡홀름 유엔인간환경회의를 계기로 논의되기 시작하였고, 1992년 리우환경회의(UNCED³⁾)를 계기로 더욱 가속화되었다. 이 회의에서는 “지속가능한 개발”을 위한 국제협력을 다짐하는 “리우선언”과 21세기 지구환경보전을 위한 행동계획인 “의제 21”이 채택되었다. 리우선언의 원칙 21과 원칙 14는 각각 유해화학물질의 국경간 이동억제를 위한 국제협력과 화학물질의 위해성 저감을 위한 각국의 사전예방에 관한 내용을 명시하고 있다. 또한 의제 21의 제19장에서는 유해화학물질의 안전관리를 위한 세부 실천사항으로 화학물질의 위해성평가, 분류·표지의 조화, 정보교환, 위해저감 프로그램 수립, 화학물질 안전관리를 위한 국가능력 및 시설강화, 불법교역 방지 등을 명시하였다. 이와 같이 화학물질의 안전한 관리 및 피해저감을 위해 제시된 여러 목표를 수행하기 위한 활발한 국제적인 활동이 진행되었으며, 그중 POPs 물질 규제에 관한 움직임은 UNEP을 중심으로 시작되었다.

1995년 UNEP 집행이사회는 UN/ECE의 『장거리 국경간 대기오염에 관한 협약(LRTAP)⁴⁾』에 근거한 POPs 의정서를 채택하고자 POPs로 의심되는 주요물질에 대한 평가를 여러 국제기구⁵⁾에 요청하였다. 그 결과 12종의 물질⁶⁾을 규제대상물질로 선정하고, 이를 국제적으로 규제하기 위한 『POPs 국제협약화를 위한 정부간 협상회의(INC)⁷⁾』의 개최 및 향후 협상과정에서 『규제대상 추가물질 선정을 위한 전문가그룹(CEG)⁸⁾』을 구성하게 되었다. 현재까지 INC회의는 1998년 6월 캐나다 몬트리올에서의 첫 회의를 시작으로 2000년 12월 제 5차 INC회의까지 개최되었으며, 향후 일정은 2001년 5월 협약체결을 위한 외교회의만을 남겨놓고 있다.

그간의 5차례 협상회의에서는 의도적으로 사용된 POPs의 생산·사용의 금지(협약초안 부속서 A), 생산·사용의 제한(협약초안 부속서 B), POPs의 특성을 가진 신규화학물질, 부산물배출저감(협약초안 부속서 C), POPs를 함유한 폐기물의 관리 및 처리, 국가이행계획, 협약 부속서내 물질수록, 정보교환, 기술·재정지원 등에 대해 논의되었다. 그러나 많은 조항에 대해 EU국가와 비EU국가(JUSCANZ 그룹⁹⁾), 선진국과 개도국간의 의견차이가 있었으며, 지금까지 진행된 각 INC 회의의 결과 및 각국의 제안내용은 인터넷의 <http://www.irptc.unep.ch/pops>에 올려져 있다.

12종의 POPs 물질 중 부속서 A에 수록된 생산 및 사용을 국제적으로 금지하자고 제안된 물질은 알드린, 클로르단, DDT, 디엘드린, 엔드린, 헵타클로로, 미렉스, 톡싸펜, PCBs 등이며, 부속서 B의 생산

3) The United Nations Conference on Environment and Development

4) The Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution은 대기오염물질이 국경으로 넘어 다른 국가에 미치는 악영향을 관리하기 위해 1979년 11월에 채택됨

5) IFCS(Intergovernmental Forum on Chemical Safety, 화학물질안전에관한정부간포럼), IPCS(International Programme on Chemical Safety, 국제화학안전계획), IOMC(Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, 화학물질관리기구간프로그램)

6) 알드린, 클로르단, DDT, 디엘드린, 엔드린, 헵타클로로, 미렉스, 톡싸펜, 다이옥신, 퓨란, 헥사클로로벤젠, PCBs

7) Intergovernmental Negotiating Committee

8) Criteria Expert Group

9) OECD 회원국중 15개 EU 회원국을 제외한 나머지 국가들로, 한국, 일본, 미국, 스위스, 캐나다, 호주, 뉴질랜드 등임

및 사용을 제한하고자 제안된 물질은 DDT¹⁰⁾이다. 한편 부속서 C에는 산업공정의 부산물인 다이옥신, 퓨란, HCB, PCBs의 배출저감을 위한 일반적 지침과 함께 주요 배출원 목록을 수록하였다. 일부 PCBs는 폐오일의 정제시 부산물로 발생하기도 하여 부속서 C에 포함되어 있으나, POPs 물질 중에서 주요 부산물은 다이옥신, 퓨란, HCB 등으로 볼 수 있다.

UNEP 협약에서는 POPs 부산물의 배출을 저감 또는 방지하기 위하여 각 회원국은 자국의 실정에 적합한 규제기준을 선정하되, 신규배출원에 대하여는 반드시 BAT(Best Available Techniques, 최적가용기술)를 적용하도록 권고하고 있다. 이에 모든 국가들은 자국내에서 발생하는 부산물의 발생현황 파악 등 기초연구를 활발히 진행시키는 동시에 부산물 규제를 강화하고 있다.

우리나라의 경우 앞에서 밝힌 바와 같이 유기염소계 농약은 이미 사용 또는 제조가 금지되어 있어, 2001년에 POPs 협약이 채택되어도 국내 산업계에 미치는 영향은 적을 것으로 예상된다. 그러나 POPs 부산물의 경우 아직 국내 배출원이나 배출현황 등이 제대로 파악되지 않았고, 이를 효율적으로 관리할 수 있는 방안도 부족한 실정이다. 따라서 협약의 체결이 목전에 다가온 현시점에서, 국제적으로 규제가 강화되고 있는 POPs 부산물의 국내 관리방안 마련은 매우 시급한 실정이다.

3. 발생원 대체방법의 부재

부산물은 다른 POPs 물질과는 상이한 대체방법이 요구된다. 유기염소계 농약을 포함한 대부분의 POPs 물질은 원료물질이므로, 이를 대체할 수 있는 물질 또는 방안이 많이 개발되어 있다. 우선 유기염소계 농약의 대체물질로는 기존의 농약보다 잔류성이 짧으나 대상 해충에 대한 농약활성은 오히려 높은 물질이 사용되고 있다<표 II-1>. 또한 생물 천적 및 생물농약을 이용하거나, 대상작물을 내충성 품종으로 개량하는 등의 대체방안도 많이 개발되어 있다. 한편 산업용 원료물질로 사용되는 PCBs의 경우, <표 II-2>에서와 같이 각 사용용도별로 대체물질이 개발되어 사용되고 있다. 이와 같은 대체물질의 활용으로 인해 UNEP는 POPs 협약을 통해 이들 물질의 국제적인 사용을 금지 또는 제한할 것을 제안하고 있다.

그러나 POPs 부산물은 원료물질이 아니므로, 대체물질의 사용이 아니라 배출을 저감 또는 방지하는 기술(BAT)이 적용되어야 한다. 현재 부산물의 물질별 또는 배출원별로 BAT의 개발을 서두르고는 있으나, 아직 전세계적으로 적용가능한 BAT는 미흡한 실정이다. 특히 우리나라의 경우 부산물의 배출원이나 배출량조차 파악되지 않은 실정이라, 적용할 수 있는 BAT는 외국에 비해 더욱 제한적이다.

이와 같은 이유로 부산물은 POPs 물질을 위시한 다른 유해화학물질의 관리정책과는 다른 접근방법이 요구되며, 아직 구체적인 관리방안이 마련되어 있지 못한 실정이므로 이에 대한 대책이 매우 시급하다.

10) 부속서 B에 포함되는 물질은 DDT와 PCBs가 논의되었으나, 제5차 INC회의에서 DDT만으로 결정됨

〈표 II-1〉 유기염소계 농약의 대체물질

분류	POPs물질	대 체 물 질
농약	Aldrin	endosulfan, carbofuran, carbaryl, chlorpyrifos, quinalphos, phorate 등
	Chlordane	disulfoton, fonofos, chlorpyrifos, propoxur, fenitrothion, diazinon 등
	Dieldrin	pirimiphos, endosulfan, carbofuran, fonofos, chlorpyrifos, fenthion 등
	Endrin	chlorpyrifos, endosulfan, carbaryl, malathion, nicotine, phosphamidon 등
	DDT	diazinon, carbaryl, malathion, trichlorphon, quinalphos 등
	Mirex	diflubenzuron, carbaryl, avermectin, diazinon, deltamethrin, sulfuramid 등
	Heptachlor	aldicarb, carbaryl, carbofuran, phorate, fenvalerate, deltamethrin 등
	Toxaphene	trichlorphon, trifluralin, alachlor, dimethoate, chlorpyrifos 등

자료 : http://db.chem.unep.ch:8887/irptc/owa/alt.get_search

〈표 II-2〉 PCBs의 용도별 대체물질

PCBs 사용용도	대 체 물 질
변압기에 사용되는 PCBs를 함유한 절연유	Mineral oils, Silicon oils 테트라클로로벤젠, 할로겐화탄소의 혼합물
응축기에 사용되는 PCBs를 함유한 절연유	Methyl(phenylmethyl) benzene과 Methylbis(phenylmethyl) benzene의 혼합물 Phenylxylethane, A diaryl alkane PXE(phenylxylethane)
페인트, 방수제, 플라스틱에 사용되는 PCBs를 함유한 가소제(plasticizers)	Chlorinated paraffins Phthalates dicetyl phthalate
바닥재에 사용되는 PCBs를 함유한 접착제	Chlorinated paraffins
PCBs를 함유한 작동유(hydraulic fluids)	식물성 기름 (turnip oil)
PCBs를 함유한 열교환유체	Biphenyl Diphenyl oxide

자료 : http://db.chem.unep.ch:8887/irptc/owa/alt.get_search

4. 기존의 관리정책 미흡

POPs 물질 중 유기염소계 농약은 환경에 미치는 위해성과 높은 잔류성으로 인해 선진국에서는 이미 '60 - '70년대에 사용이 금지되었다. 우리나라는 국내 미등록 농약인 미렉스를 제외한 나머지 7종의 농약은 유해화학물질관리법에 의해 취급제한 유독물로 지정되어 있으며, 농약관리법에 의해 다음 <표 II-3>과 같이 등록이 취소 또는 금지되었다. 따라서 이들 POPs 물질에 대한 국내 규제기준은 이미 마련되어 있으므로, POPs 협약이 체결되더라도 관리상의 어려움은 적을 것으로 예상된다.

이에 비해 POPs 부산물의 경우 물질별 배출원이 매우 다양하며, 해당물질의 배출원으로 의심되는 많은 산업공정이 국내에서 운영되고 있어 부산물이 환경중으로 배출될 가능성이 매우 크다. 또한 이에 따른 생태계나 인체건강에 미치는 영향이 일부 보고되기도 하였다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 아직 부산물에 대한 구체적인 관리방안이 마련되어 있지 않아, 국내 화학물질 관리의 사각지대에 놓여있다. 환경부 등 관련부처에서 POPs 부산물의 규제방안 마련을 준비하고는 있으나, 선진국이나 UNEP에서 수행중인 규제동향과 비교해보면 아직 시작단계에 불과하다. 따라서 다른 POPs 물질과는 달리 기존의 관리정책이 매우 미흡한 실정이므로, POPs 부산물의 정책적인 대응책 마련이 요구된다.

<표 II-3> 농약관리법에 의한 유기염소계 농약의 규제현황

농 약 종 류	용 도	규 제 내 용
알드린(Aldrin)	토양살충제	'72년 등록취소/금지
클로르단(Chlordane)	살충제	'77년 등록취소/금지
DDT	살충제	'71년 등록취소/금지
디엘드린(Dieldrin)	살충제	'70년 등록취소/금지
엔드린(Endrin)	살충제	'69년 등록취소/금지
헵타클로로(Heptachlor)	토양살충제	'79년 등록취소/금지
미렉스(Mirex)	방염제/살충제	국내 미등록
톡사펜(Toxaphen)	살충제	'82년 등록취소/금지

5. 심각한 물질독성 및 환경위해

POPs 부산물은 심각한 물질독성과 함께 인체건강이나 환경에 미치는 위해성이 매우 크다. 물론 다른 POPs 물질도 인체건강이나 환경에 위해하나, 지금까지 사용된 모든 화학물질 중에서 가장 위해한 물질 중 하나가 바로 다이옥신이다. 퓨란 역시 다이옥신과 거의 동일한 독성을 갖고 있으며, HCB도 높은 독성으로 인해 이미 농약으로의 사용이 금지된 바 있다. 지금까지 POPs 부산물에 대한 많은 관련연구가 수행되었으며, 그 중 부산물의 실험동물이나 인체에 대한 독성 및 생태독성에 관한 연구결과를 다음에 정리하였다. 따라서 이와 같은 높은 독성과 환경위해성으로 인해 이들 부산물의 관리는 반드시, 그리고 시급히

수행되어야 할 것이다.

5.1 다이옥신/퓨란

다이옥신이란 고리가 세 개인 방향족 화합물에 여러 개의 염소가 붙어있는 화합물을 총칭하며, 가운데 고리에 산소원자가 두 개인 다이옥신계 화합물(Poly Chlorinated Dibenzo-p-Dioxin, PCDD)과 산소원자가 하나인 퓨란계 화합물(Poly Chlorinated Dibenzo Furan, PCDF)등으로 구별된다. 이들 화합물은 염소의 치환수와 치환위치에 따라 다이옥신계 화합물은 75개, 퓨란계 화합물은 135개의 이성체가 각각 존재한다. 다이옥신 이성체중 2,3,7,8-TCDD의 독성이 가장 강한 것으로 알려져 있으며, 지금까지 연구된 다이옥신 및 퓨란계 화합물의 유해성은 다음과 같다.

5.1.1 실험동물에 대한 독성¹¹⁾

(1) 급성 독성

TCDD의 급성독성은 성별이나 나이, 생물종과 계통에 따라 매우 광범위한 결과를 나타낸다<표 II-1>. 미국 EPA의 실험결과, 기니피그 수컷은 LD50 0.6 μ g/kg를 나타내어 TCDD에 실험대상 생물종 가운데 가장 민감한 것으로 밝혀졌고 햄스터 수컷의 LD50는 5,051 μ g/kg로 가장 민감하지 않은 것으로 나타났다. 같은 생물종일지라도 계통이나 성별에 따라 급성독성의 차이가 커, 랫드의 경우 계통에 따라 LD50값이 300배 이상 차이가 나기도 한다<표 II-4>.

한편 크기가 큰 동물일수록 TCDD 독성의 영향이 크게 완화되는 것으로 나타났으며, 실험동물 중 크기가 가장 작은 물모트의 LD50은 0.6~2.5 μ g/kg으로 가장 낮았다<표 II-5>.

TCDD의 급성독성에 의해 관찰되는 일반적인 증상은 심한 체중감소, 흉선의 기능감퇴, 비장이나 고환·난소의 과대성장, 골수의 파괴 등이다. 이런 증상은 생물종에 따라 다르게 나타나는데, 설치류와 토끼는 일차적으로 간에 영향을 받게되는 반면 기니피그의 경우 흉선과 림프의 과대성장이 발생된다. 이들 증상은 TCDD의 독성영향에 대한 민감한 생물학적 지표로 활용되고 있다(WHO/IPCS, 1989; U.S.EPA, 1984, 1985).

11) www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin

〈표 II-4〉 생물종에 따른 TCDD의 급성독성

종/계통(성별)	LD ₅₀ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	노출후 사망시간(일) ^a	체중 감소율 (%)
기니피그/hartley(수컷)	0.6-2.1	5-34	50
밍크/NR(수컷)	4.2	7-17	31
닭/NR(NR)	<25	12-21	NR
원숭이/rhesus (암컷)	-70	14-34	13-38
랫드/L-E(수컷)	-10	15-23	39
랫드/Sherman, Spartan (수컷)	22	9-27	NR
(암컷)	13-43		
랫드/Sprague-Dawley (수컷)	60	NR	NR
(암컷)	25		
(수컷, 새끼)	25		
랫드/Fischer Harlan (수컷)	340	28 ^b	43
랫드/H/W(수컷)	>3,000	23-34	40-53
마우스/B6(수컷)	182	24 ^b	25
마우스/D2A/2J(수컷)	2570	21 ^b	33
마우스/B6D2F1(수컷)	296	25 ^b	34
토끼/NewZealand White (암컷 및 수컷)	275	12-22	NR
햄스터/Golden Syrian (암컷 및 수컷)	1,157-5,051	2-47	NR

^a 사망 동물의 경우^b 평균 사망시간

NR = Not reported

자료 : <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin>〈표 II-5〉 2, 3, 7, 8-TCDD의 반수치사량(LD₅₀, $\mu\text{g}/\text{kg}$)

동 물 명	반수치사량	동 물 명	반수치사량
물 모 트	0.6~2.5	토 끼	115~275
쥐(마우스, 랫드)	22~320	개	100~3,000
원 숭 이	< 70	햄 스 터	1,150~5,000

자료 : <http://toxnet.nlm.nih.gov>

(2) 아만성 및 만성독성

다이옥신 화합물의 아만성 독성을 실험하기 위해 랫드(SD)의 암수 성체에 대해 12마리씩 13주 동안 주 5일 위관영양실험¹²⁾을 통해 단계별로 0, 0.001, 0.01, 0.1, 1.0 $\mu\text{gTCDD/kg}$ 로 주입하였을 때 암컷과 수컷 모두 5마리의 랫드가 사망했다(Pluess et al., 1988a,b).

다른 연구에서는 기니피그(Hartley) 암컷과 수컷에게 90일간 TCDD를 투여한 후 생존동물에 대해 광범위하게 혈액과 정자의 화학성분을 분석하였다. 이때 먹이에 0, 2, 10, 76, 430 ng/kg 의 TCDD를 포함시켰는데 2, 10 ng TCDD/kg 의 경우 다이옥신의 노출에 의한 변형은 관찰되지 않았다. 이 실험의 결과에 의하면 기니피그에 대한 NOAEL값¹³⁾은 0.6 ng TCDD/kg 로 측정되었으며, 고농도의 노출에서는 심한 체중감소와 함께 높은 사망률이 관찰되었다(DeCaprio et al., 1986).

임신중인 rhesus 원숭이에게 일주일에 3번씩 0.2 $\mu\text{gTCDD/kg}$ 씩 지속적으로 투여한 결과 아무런 영향도 관측되지 않았다. 그러나 1.0, 5.0 $\mu\text{gTCDD/kg b.w}$ 의 다이옥신이 투여된 원숭이에서는 체중감소, 피부의 변화, 빈혈 등이 관측되었다(McNulty, 1984).

한편 다이옥신의 만성독성 시험을 위해 Kociba et al.(1978,1979)는 랫드(SD)의 암컷과 수컷 각각 50마리씩에게 0.001, 0.01, 0.1 $\mu\text{gTCDD/kg}$ 를 포함한 먹이를 2년간 투여하였다. 0.1 $\mu\text{g/kg/일}$ 의 농도로 노출된 암컷에서는 치사율이 증가하였으나 같은 농도에 노출된 수컷과 0.01, 0.001 $\mu\text{g/kg/일}$ 에 노출된 랫드에서는 치사율의 증가가 관측되지 않았다. 6개월에서 2년까지 0.1 $\mu\text{g/kg/일}$ 로 노출된 암컷과 수컷 랫드의 평균 체중은 감소하였으며, 0.01 $\mu\text{g/kg/일}$ 농도로 노출된 암컷의 경우도 체중이 감소한 것으로 나타났다. 0.1 $\mu\text{g TCDD/kg/일}$ 에 노출된 암컷 랫드의 부검시 추출된 혈청을 분석한 결과 손상된 간의 기능에 연관된 효소의 활동이 증가한 것으로 나타났다.

(3) 발암성

2,3,7,8-TCDD는 마우스, 랫드, 햄스터 등의 실험동물에 대한 만성독성실험에서 발암을 일으키는 것이 보고되고 있다. <표 II-6>에서와 같이 10 ngTCDD/kg/일 수준에서 SD계 랫드의 간, 허, 폐 등에서 종양이 발생되었다. 미국 국립독성연구소(National Toxicology Program, NTP)에 의한 실험결과, OM계 랫드의 수컷에서는 갑상선의 종양이 증가하지만 암컷에서는 간의 종양결절과 간암이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 <표 II-6>에 나타난 것처럼 암을 유발하는 용량은 암수에 따라 50배까지도 차이가 났다.

(4) 생식독성

TCDD는 실험동물의 생식에 영향을 미치는데, TCDD에 노출된 암컷 랫드에서 수정율의 감소, 임신말기의 유산율의 증가, 새끼수의 감소, 난소의 기능장애 등이 발생된다고 보고되고 있다(Kociba et al., 1976 ; Barsotti et al., 1979 ; Allen et al., 1979).

또한 수컷의 경우 체중의 감소가 일어날 정도의 고농도에 노출된 경우 고환과 외부 생식기의 중량감소, 정자생산량의 감소, 수정율의 감소 등의 증상이 나타났다(Chahoud et al., 1989).

12) 위에 삽입한 고무관 등으로의 강제적 영양공급

13) No Observed Adverse Effect Level

〈표 II-6〉 실험동물에 대한 다이옥신의 발암성

화합물	동 물 (계통)	성별	종양의 종류	암발생용량	연구자/ 연구기관
2,3,7,8-TCDD	rat (SD)	수컷 암컷	간, 혀, 폐	10ng/kg/일 10ng/kg/일	Kociba 등 (1978)
2,3,7,8-TCDD	rat (OM)	수컷 암컷	갑상선, 간	10ng/kg/주 500ng/kg/주	NTP** (1982)
2,3,7,8-TCDD	mouse (Swiss/ II/Riop)	수컷	간	700ng/kg/주	Toth (1979)
2,3,7,8-TCDD	mouse (B6C3F1)	수컷 암컷	간 간, 갑상선	500ng/kg/주 2000ng/kg/주	NTP (1982)
6염소화 HCDD*	rat (OM)	수컷 암컷	간 간	5000ng/kg/주 2500ng/kg/주	NTP (1980)
6염소화 HCDD	mouse (B6C3F1)	수컷 암컷	간 간	5000ng/kg/주 5000ng/kg/주	NTP (1980)

*6염소화 HCDD : 1,2,3,6,7,8-TCDD와 1,2,3,7,8,9-TCDD의 혼합물

** NTP : 미국 National Toxicology Program

자료 : C. Rappe, "Sources of Exposure, Environmental Concentration and Exposure Assessment of PCDDs and PCDFs, Chemosphere, Vol.27, Nos.1-3, p211-225, 1993.

5.1.2 인체건강에 대한 독성¹⁴⁾

다이옥신의 독성이 처음으로 알려진 것은 1900년대 초 염소생산 공장의 근로자들에게 급성 염소성 여드름(chloracne)이라는 피부 질환이 관측되면서부터이며, 그 원인이 2,4,5-trichlorophenol¹⁵⁾에 의한 것으로 밝혀졌다. 1950년대에는 chlorophenol을 함유한 지방을 섭취한 사람들에게서 Chick edema(일종의 부종) 현상이 발생되기도 하였다. 그 후 1960년대 베트남 전쟁시 살포된 제초제 Agent Orange, 1976년 이탈리아 세베소 화학공장 폭발 등으로 인해 다량의 다이옥신이 근로자와 인근 주민들에게 노출되는 사건이 발생되었다.

이런 다이옥신 대량노출이 인간에 미치는 영향은 체중감소, 흉선위축, 간 대사장애, 성호르몬 또는 갑상선호르몬 등 지방대사의 이상, 중추신경 이상 등이며, 다양한 암을 유발하기도 한다. <표 II-7>는 다이옥신류 화합물의 인체 발암성에 대한 역학 조사 결과를 정리한 것으로, 다이옥신에 고농도로 노출될 경우 특정부위가 아닌 광범위한 신체부위에서 암이 발생되었다. 특히 다이옥신 중 가장 독성이 강한 것으로 알려져 있는 2,3,7,8-TCDD는 폐암이나 기타의 여러 암의 발병율을 미세하게 증가시키는 것으로 알려지고 있다.

이와 같은 다이옥신의 위해성으로 인한 인간의 건강을 보호하기 위해 여러 선진국과 국제기구에서는 각자의 연구결과를 바탕으로 일일 섭취허용량(TDI¹⁶⁾)을 결정하였다<표 II-8>. 이중 미국 EPA는 다이

14) <http://europa.eu.int/comm/environment/dioxin/task8.pdf>

15) 2,4,5-T와 hexachlorophene 생산에 사용됨

16) tolerable daily intake

옥신의 일일 섭취허용량을 0.006pgTCDD/kgb.w./일로 가장 낮게 정하고 있다.

〈표 II-7〉 다이옥신의 인체발암성 역학조사 결과

대상자	암종류	발암리스크	연구자
제조제 노출자*	연조직 육종	5~7	Hardell 등 (1979)
2,4,5-T 취급자	연조직 육종	1.3~2.5	Eriksson 등 (1990)
베트남 귀환병	경합조직 등의 암**	4.6	Kogan 등 (1988)
베트남 귀환병	전체 암	1	Michalek 등 (1990)
화학공장 종사자	연조직 육종	9.2	Fingerhat 등 (1991)
화학공장 종사자	호흡기계통 암	1.42	Fingerhat 등 (1991)
화학공장 종사자	전체 암	1.9	Mantz 등 (1991)
화학공장 종사자***	전체 암	2.01	Zober 등 (1990)

* : 폐독시초산 및 클로로페놀 노출자

** : 결합조직, 지방, 기타의 연조직

*** : 급성 염소성 여드름(chloracne)가 확인되며, 20년 이상의 관찰자임

자료: 官田秀明, “다이옥신·PCB 등 유기염소화합물의 환경리스크평가에 관해 서”, 지구환경시스템공학연구소 강연자료, 1997.

〈표 II-8〉 연구기관별 다이옥신에 대한 인체위해성평가 결과

실시기관	연도	TDI (pgTCDD/kgb.w./일)	방법	영향(중)
미국 EPA	1985	0.006	linearized multistage	암(랫드)
노르웨이 (Nordic Council of Ministers)	1988	5	UF* 200	암(랫드)
WHO	1990	10	UF 200	번식 및 면역체계에 영향 (랫드, 원숭이)
네덜란드 (Health Council of The Netherlands)	1996	1	UF 100	자궁내막증 (원숭이)
WHO	1998	1 - 4	UF 10	성장발달에 영향 (랫드, 원숭이)

*UF : uncertainty factor, 불확실성 계수

자료 : ECE & UK DETR, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data, 1999

5.1.3 생태독성¹⁷⁾

(1) 식물

식물에 대한 다이옥신의 독성에 대한 연구는 많지 않다. 일부 수생식물의 표면에 다이옥신이 농축된 것이 관측된 바는 있으나 이로 인한 독성영향은 관찰되지 않았다.

(2) 무척추동물

무척추동물에 대한 다이옥신 영향에 대한 연구결과, 대부분의 경우 무척추동물은 다이옥신에 대해 민감하게 반응하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 일부 연구에 의하면 다이옥신이 무척추동물에 독성영향을 주는 것으로 나타났으며, 배추벌레나 달팽이 등에서 번식력이 감소하거나 대합조개의 유전자가 변화되었다.

(3) 어류

다이옥신에 노출된 어류에서는 배(胚)나 유생단계의 발달과정이 크게 손상되고, 성체단계에서는 무기력증이나 자극에 대한 무반응 등의 영향이 관찰되었다. 일반적으로 어류는 발생 초기단계에서 다이옥신에 노출되었을 때 독성영향을 크게 받으며, 성체단계에서는 낮은 민감도를 나타내고 염소원자를 4,5,6의 위치에 포함한 이성체의 경우 더 높은 독성영향을 받는다. 어류의 알은 다이옥신에 매우 민감한 반응을 보이는데 성체의 몸에 흡수된 다이옥신이 알에도 전해지기 때문에 발생초기단계의 중요한 노출과정으로 생각된다.

(4) 조류

미국과 캐나다의 오대호에서 다이옥신의 오염에 의한 야생동물의 피해가 관측되었는데 어린 가마우지(cormorant)와 제비갈매기 등 어류를 섭취하는 조류의 기형이 다수 발견되었다. 이때 관측된 기형은 먹이 중의 다이옥신과 퓨란에 노출된 암탉의 자손에서 관측된 기형과 유사한 것이었다. 기형의 원인을 확인하고자 TCDD-TEQs와 부화율의 감소, 배(胚)에 대한 독성 등과 기형의 연관성을 조사한 결과, 오대호의 가마우지나 제비갈매기 등의 알에서 관측되는 TEQ는 대부분(90%이상)이 선형 PCBs으로 밝혀졌다. 따라서 오대호에 서식하는 조류의 기형은 PCDDs/PCDFs에 의한 것이라기 보다는 선형 PCBs의 영향으로 밝혀졌다.

그 외 다수의 관련실험과 현장연구 결과에 의하면 조류는 다이옥신에 노출되었을 때 산란율의 감소, 배(胚)의 독성, 심장혈관이나 뇌손상 등의 영향을 받는 것으로 밝혀졌다.

(5) 포유류

실험동물에서 나타난 영향이 야생포유류에서도 관측되는데 다이옥신에 오염된 어류를 섭취한 밍크는

17) <http://europa.eu.int/comm/environment/dioxin/task7.pdf>

무기력, 식욕감퇴, 적혈구수의 감소 등 다이옥신 독성을 나타냈으며 비장, 간, 폐 등의 거대화 증상이 관측되었다.

5.2 HCB

HCB는 백색의 결정체로 1940년대 보리, 밀, 귀리, 호밀 등 곡물의 살균제로 처음 생산되었으며 화약이나 탄약, 합성고무를 제조하는데 사용되기도 하였다<표 II-9>. 그 후 살충제와 목재방부제로도 사용되었으나 최근 발생하는 HCB의 대부분은 여러 산업공정에서 부산물 또는 불순물로 발생되고 있다. 염소계 용매 및 염화비닐 등의 염소화합물 제조공정, chlor-alkali 공정, 도시폐기물 소각장으로부터 배출되는 비산재(fly ash)와 연료가스로부터 발생하는 폐기물 등의 부산물로 생성되며, 유기염소계 살충제의 제조공정으로부터 불순물로서 생성되기도 한다.

그러나 HCB는 강한 잔류성과 독성, 고농도의 생물농축으로 인해 인간과 환경에 미치는 심각한 피해가 점차 보고되기 시작하였다. 인체에 나타나 HCB의 유해한 영향은 1955년부터 1959년까지 터키에서 최초로 발생하였다. 살균제인 HCB로 처리된 곡물로 만든 빵을 섭취한 후 약 500여명이 HCB에 중독되었으며 4,000명 이상이 질병에 감염되었다. 특히 HCB에 노출된 여성들의 모유를 섭취한 유아들은 높은 사망률을 나타내었다. 그 외 HCB의 인체건강 및 환경에 미치는 위해성은 다음과 같다.

<표 II-9> HCB의 물리화학적 특성

CAS No.	118-74-1
분자식	C ₆ Cl ₆
분자량	284.79
상태	상온에서 백색결정의 고체
용해도	물에 거의 용해되지 않음(25℃에서 0.005mg/ℓ) 에테르, 벤젠, 클로로포름, 고온의 에탄올에는 잘 용해됨
분배계수	옥탄올-물 분배계수 (log K _{ow}) = 5.5
증기압	0.0023 Pa (25℃)
헨리상수	131 Pa/m ³ /mol
기타 특성	낮은 인화성

5.2.1 실험동물에 대한 독성

HCB는 포유류에 광범위한 독성을 나타내며 실험동물에 대한 HCB의 독성치는 표 <II-10>와 같다. 이때 독성치는 LOELs(lowest-observed-effect levels)와 NOELs(no-observed-effect levels)로 표현하였다.

(1) 급성 및 아만성 독성

실험동물에 대한 HCB의 급성독성은 낮게 나타났는데 구강 LD50값은 기니피그 1,000mg/kgb.w., 랫드 3,500 - 10,000mg/kgb.w.이며, 호흡에 의한 LC50 값은 고양이 1,600mg/m³, 마우스 4,000mg/m³이다. HCB는 휘발성이 높지 않고¹⁸⁾ 지용성이 낮으므로¹⁹⁾ 고농도의 노출에 의한 급성 및 아만성독성에 대한 연구는 많이 수행되지 않았다.

HCB에 짧은 시간동안 노출되었을 경우 일차적으로 간과 신경에 대한 독성효과가 발생하고, 체중변화, 피부손상, 몸의 떨림 증상 등이 나타난다. 노출기간과 양이 증가하면 피부손상, 행동이나 신경의 변화, 체중 감소, 조직무게의 증가, 갑상선 기능 및 갑상선호르몬 변화 등의 증상이 나타나고 심하면 사망에 이른다. 특히 저농도의 HCB에 장기간 노출되었을 경우 칼슘의 체내 항상성 교란과 뼈의 기형이 유발된다.

<표 II-10> HCB에 노출된 포유류의 최저 NOEL과 LOEL

영향	NOEL (mg/kgb.w./일)	LOEL (mg/kgb.w./일)
먹이를 통해 HCB에 아만성으로 노출되었을 때 urinary coproporphrin과 마이크로솜 간효소 증가	0.05	0.5
위를 통해 HCB를 만성적으로 주입하였을 때 칼슘대사변화, 간의 중량증가	0.07	0.7
젤라틴 캡슐에 의해 HCB에 아만성으로 노출된 원숭이의 난소 상피조직, 여포세포, 난소여포 등 미세구조변화 및 난자의 발달 변화	-	0.1
5주된 쥐(rat)를 먹이를 통해 HCB에 노출시켰을 때 체액성 면역작용, intraalveolar macrophage의 축적, 마이크로솜 EROD 활성 등 증가	-	0.2a
쥐(mice)를 임신기간과 45일때까지 HCB를 포함한 땅콩버터를 먹였을 때 oxazolone에 대한 delayed-type hypersensitivity가 저하됨	-	0.5a
쥐(mice)가 먹이를 통해 HCB에 아만성적으로 노출되었을때 Leishmania 감염에 민감해지고 악성종양에 대한 저항력과 수면시 세포 파괴 감소	-	0.6

18) 25℃에서의 증기압이 0.0019 Pa임

19) 옥수수기름에 대한 용해도가 10 mg/ml임

〈표 II-10〉 HCB에 노출된 포유류의 최저 NOEL과 LOEL (계속)

영향	NOEL (mg/kgb.w./일)	LOEL (mg/kgb.w./일)
개(beagle)가 젤라틴캡슐을 통해 HCB에 만성적으로 노출되었을 때 위 임파세포의 마디성장(Nodular hyperplasia of gastric lymphoid tissue)	-	0.12
수컷 F0의 조직의 무게(심장, 뇌, 간) 증가, F1암컷 수컷 모두의 화합물과 관련된 조직의 변화 (compound-related histological change)	0.05-0.07 ^a	0.27-0.35 ^a
먹이를 통해 HCB에 만성적으로 노출된 쥐의 간(SERDML 분열증식, 미토콘드리아의 변형, 액포수의 증가)의 미세구조 변화	0.05-0.06	0.25-0.30
먹이를 통해 HCB에 만성적으로 노출되었을 때 혼합된 산화작용 유도	-	0.5-0.6
HCB에 만성적으로 노출된 어미 밍크의 hypothalamus의 세로토닌 농도의 증가, 수유기간동안 HCB에 노출된 밍크새끼의 hypothalamus의 도파민농도 감소, 출생시 몸무게 감소, 유아의 사망률 감소, 간이나 신장의 손상은 눈에 띄지 않음.	-	0.16a
^a 어미에 의해 전달되어진 노출, in utero나 육아에 의해 전달된 것을 알려지지 않음 ^b Ethoxyresorufin-O-deethylase		

(2) 만성독성

저농도의 HCB에 장기간 노출된 대부분의 실험동물 간에서 비종양적인 영향(non-neoplastic effects)이 관측되었다. 랫드(Sprague-Dawley, SD)를 대상으로 2세대에 걸쳐 실시한 실험에서는 F1의 동물²⁰⁾에서 심장과 간의 무게증가, 간과 신장의 조직변화 등이 관측되었다. 또한 랫드(SD)에 9 - 10개월간 먹이에 HCB 10ppm(대략 0.5-0.6mg/kgb.w./일)을 주입하였을 때 산화제 활성이 관찰되었으며, 먹이에 5ppm 농도로 3 - 12 개월 간 주입하였을 경우 원형질 망상조직의 급증과 함께 미토콘드리아의 변형, 저장액포 증가 등이 유발되었다.

20) HCB의 노출농도는 부모와 F1세대 모두 0.27-0.35mg/kgb.w./일임

(3) 발암성

지금까지 수행된 많은 연구에서 HCB의 발암성이 확인되었다. Cabral et al.(1977)이 먹이 중에 50ppm, 100ppm, 200ppm의 HCB를 주입한 결과, 수컷과 암컷 Syrian golden 햄스터에서 간암세포가 현저하게 증가하였다. 또한 스위스 쥐(Swiss mice) 암컷과 수컷에게 HCB의 농도가 0ppm, 50ppm, 100ppm, 200ppm으로 조절된 먹이를 120주 동안 주입한 결과, 200ppm에 노출된 암컷에서 간세포의 종양이 현격히 증가하였다(Cabral et al., 1979; Carbral and Shubik, 1986).

그 외 여러 연구에서도 HCB가 발암성 물질 또는 암의 전구물질임이 밝혀졌으며, 특히 간암을 유발하는 확률이 매우 높은 것으로 보고되고 있다.

(4) 번식독성

최근 Health and Welfare Canada에서 실시한 연구에 의하면 저농도의 HCB라 할지라도 암컷 원숭이의 생식세포에 영향을 주는 것으로 나타났다. Cynomolgus 원숭이에게 HCB를 구강으로 0.1mg/kgb.w./일 씩 90일간 주입하였을 때 난소표면의 상피세포(Babineau et al., 1990)와 여포세포의 구조가 퇴화하고 난자의 성장이 감소하는 것을 관측할 수 있었다(Singh et al., 1991.).

한편 여러 실험종에 대한 연구결과는 HCB에 반복적으로 노출될 경우 남성의 생식에도 영향을 미치지 만 주로 고농도(30 - 221mg/kgb.w./일)의 HCB에 노출되었을 때에만 영향을 주는 것으로 밝혀졌다(den Tonkelaar et al., 1978 ; Elissalde and Clark, 1979 ; Simon et al., 1979 ; Borzelleca and Carchman, 1982).

임신과 수유기간 동안 HCB에 노출된 실험동물 역시 간독성과 함께 출생시 체중감소, 사산수 증가 등의 독성이 보고되어 있다(Grant et al., 1977 ; Mendoza et al., 1977 ; Hansen et al., 1979 ; Kitchin et al., 1982 ; Arnold et al., 1985).

(5) 면역독성

지금까지 수행된 연구결과에 의하면 HCB는 면역체계에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 쥐나 원숭이를 약간의 HCB에 노출시켰을 때 흉선과 비장, 림프관, 폐의 림프조직에 영향을 주는 것으로 나타났다(Kimbrough and Linder, 1974 ; Latropoulos et al., 1976 ; Goldstein et al., 1978 ; Vos et al., 1979 ; Kitchin et al., 1982). Gralla et al.(1977)은 하루 1mg(0.12mg/kg bw/일) 이하의 농도에 만성적으로 노출시켰을 때 개의 위 임파선 세포의 초과생장(hyperplasia)이 유발되었다고 보고한 바 있다. 또한 쥐를 대상으로 HCB를 처리한 결과 면역체계가 변형되었으며 폐세포에 macrophage가 축적되는 현상이 관찰되었다(Vos et al., 1983).

5.2.2 인체건강에 대한 독성

(1) 모유내에서의 농도

HCB는 전세계적으로 분포된 모유내의 오염물질로서 스페인, 브라질, 이집트의 3개국을 제외한 모든 나라에서 채취한 시료의 90% 이상으로부터 HCB가 검출되었다. HCB는 인도와 같이 살균제를 전혀 사용하지 않는 나라에서도 발견되었으며, 대부분의 국가에서 산업지역내에 거주하는 산모의 모유에서 가장

높은 농도로 검출되었다.

세계적으로 모유내 HCB의 평균 배경농도(background level)는 약 0.1 ppm으로 알려져 있다. 대부분의 국가들²¹⁾이 0.04 - 0.2ppm 범위의 HCB 농도를 보이고 있으며, 브라질, 캐나다, 스페인, 영국 등은 0.02ppm 또는 그 이하의 낮은 농도를 유지하고 있다. 전세계적으로 HCB 농도가 가장 높게 나타난 지역은 요르단(평균 0.29ppm), 체코(평균 0.639ppm), 슬로바키아(평균 0.829ppm) 등으로, 특히 슬로바키아의 경우 HCB가 아직도 농업에서 사용된다는 점과 염소계 용매 제조과정에서 HCB가 다량 발생되기 때문에 고농도의 HCB가 모유에서 검출된 것으로 추정된다.

최근 들어 선진국에서는 혈액과 모유내의 HCB 농도가 감소되고 있는 것으로 밝혀졌다. 덴마크에서 수행된 한 연구에 의해서 1993년 모유속의 농도가 1986년 측정치의 절반 이하로 떨어졌으며, 노르웨이에서도 1986년과 1991년 사이에 HCB 농도가 약 50% 감소되었다. 또한 스웨덴의 경우 모유에 포함된 HCB 농도가 현저히 감소되었음이 통계적 수치로 발표된 바 있다. 스페인 바로셀로나에서 실시된 한 연구에 의하면 1993년의 혈액내 HCB 농도(평균 4.13ng/ml)가 1986년 동일한 실험대상에게서 검출된 농도(평균 11.09ng/ml)보다 현저하게 감소되었음을 알 수 있다.

(2) 인체노출의 영향

HCB는 모체로부터 태아에게 태반을 통해 전달되고, 수유를 통해 유아에게 전해진다. 스웨덴에서 실시된 연구에 의하면 평균 98일의 수유기간동안 모유속의 HCB 농도가 현저히 감소되었으며, 첫 임신에 의한 모유에서의 HCB 농도(0.1ppm)가 두 번째 임신기간(0.06ppm), 세 번째 임신기간(0.04ppm)보다 높게 나타났다. 이는 수유기간동안 모체로부터 아기에게 HCB가 전달되고, 임신기간 동안에는 태아에게 전달되었기 때문이다.

HCB의 직업상의 노출에 관한 연구는 최근 스웨덴에서 실시되었는데, 그 결과 알루미늄 주물공정²²⁾에 노출된 작업자의 혈액내 평균 HCB 농도는 공정에 노출되지 않은 작업자들보다 4배 이상 높은 농도(0.313 ~ 0.66ppm)로까지 증가되었음이 밝혀졌다. 또한 유해폐기물 소각장에 종사하는 작업자들에 대한 연구결과 이들의 혈액내 HCB농도가 현저하게 증가하여 일반인에 비해 2배에 달하였으며, 이는 소각시 발생하는 유기염소가 함유된 여러 화학물질들에 노출되어 발생한 것으로 추정된다(Selden et al., 1997).

그 외 인간이 HCB에 노출됨으로서 발생하는 독성 영향은 동물실험 결과와 마찬가지로 porphyria와 간에 대한 영향, 피부손상, 신경계의 영향, 효소농도의 변화, 여러 형태의 암²³⁾ 및 기형발생²⁴⁾ 등이 보고되어 있다(Sonawane 1995, ATSDR 1997). 이 외에 HCB는 여성의 난소와 월경주기에 대한 영향, 임신 중 생존율과 출생률의 감소 등을 유발하기도 한다.

21) 호주, 카자흐스탄, 터키, 멕시코, 프랑스, 독일, 네덜란드, 이탈리아, 노르웨이, 스웨덴 등

22) 알루미늄의 용융과정에서 수소를 제거하기 위해 hexachloroethane를 사용하며, 이때 HCB가 부산물로 방출됨

23) 유기염소물질 제조공장 주변에 살고 있는 주민을 대상으로 실시한 역학조사 결과, 혈액내 HCB가 증가한 주민들의 soft tissue sarcoma와 갑상선암의 발병률이 평균 발병률보다 높은 것으로 보고되고 있다(Grimalt et al., 1994).

24) 지금까지 HCB의 사람에 대한 in utero 성장에 미치는 영향에 대한 연구는 수행된 바는 없지만, 1950년대 터키사건으로 인하여 HCB에 노출된 여성에게서 태어난 어린이중 많은 기형이 보고된 적이 있다(ATSDR, 1997).

5.2.3 생태독성

지금까지 발표된 HCB의 생태독성 연구결과를 <표 II-11>에 정리하였다. 다음 표에서 나타난 바와 같이 HCB는 다양한 수서생물과 육상생물중에서 독성을 나타내고 있다.

<표 II-11> HCB의 생태독성 시험결과

실험	생물군	독성치	참고문헌
급성	수서	· 민물조류(<i>Chlorella pyrenoidosa</i>)는 정상폐쇄시스템에서 $1\mu\text{g}/\ell$ 의 HCB에 46시간 동안 노출시에 엽록소, drymatter, carbon-hydrate, 질소생성 등이 감소됨	Geike and Parasher, 1976
		· 물벼룩, <i>Daphnia magna</i> 는 $5\mu\text{g}/\ell$ 농도의 흐르는 물속(flow-through test)에서 치명적 영향 없음	Nebecker et al., 1989
		· $7\mu\text{g}/\ell$ 의 HCB를 포함한 흐르는 물에서 HCB는 13%의 분홍새우(pink shrimp, <i>Penaeus duorarum</i>)와 10%의 새우(grass shrimp, <i>Palaemonetes pugio</i>)를 치사시킴	Parrish et al., 1974
		· 정상폐쇄시스템에서 섬모충류 원생동물(<i>Euplotes vannus</i>)은 $10\mu\text{g}/\ell$ 의 HCB에 48시간 노출된 후 생식이 10% 감소	Persone and Uyttersprot, 1975
		· 담수어류는 수중 HCB의 용해도 부근의 농도에서 급성 노출시 유해한 영향을 받지 않음	Call et al., 1983; Ahmad et al., 1984
		· 해양어류 연준모치 (sheepshead minnow, <i>Cyprinodon variegatus</i>)는 $13\mu\text{g}/\ell$ 농도에 96시간 노출될 때 유해한 영향을 받지 않음	Parrish et al., 1974
급성	육상	· 갈매기(<i>Larus argentatus</i>)의 배(embryo)에 대한 LD_{50} 은 $4.3\mu\text{g}/\text{kgb.w.}/\text{일}$ 이며, $1.5\mu\text{g}/\text{kgb.w.}/\text{일}$ 에 노출되었을 때 배의 무게 감소	Boersma et al., 1986
		· 생후 10일 된 꿩(ring-necked pheasants, <i>Phasianus colchicus</i>)의 5일 LC_{50} 은 $617\mu\text{g}/\text{kg b.w.}/\text{일}$ · 생후 5일된 물오리(<i>Anas platyrhynchos</i>)의 5일 LC_{50} 은 $5000\mu\text{g}/\text{kg b.w.}/\text{일}$ 이상	Hill et al., 1975
만성	수서	· 조류(<i>Chlorella pyrenoidosa</i>)를 3주간 $1\mu\text{g}/\ell$ 에서 배양했을 때 성장 증가	Geike and Parasher, 1976
		· 원생동물(<i>Tetrahymena pyriformis</i>)이 10일간 $1\mu\text{g}/\ell$ 에 노출되었을 때 성장 감소	Laseter et al., 1976
		· 가재(<i>Procambarus clarki</i>)는 정상상태의 renewal 시스템에서 $5\mu\text{g}/\ell$ 에 10일간 노출됐을 때 hepatopancreas의 손상 증가	Calamari et al., 1983
		· 단각목(amphipod, <i>Gammarus lacustris</i>)이 $3.3\mu\text{g}/\ell$ 의 HCB가 포함된 흐르는 물에 28일간 노출되었을 때 치사율 증가	Nebecker et al., 1989

〈표 II-11〉 HCB의 생태독성 실험결과(계속)

실험	생물군	독성치	참고문헌
만성	수서	· 단각목(<i>Hyallela azteca</i>)과 연충 (worm, <i>Lumbriculus variegatus</i>)을 4.7 $\mu\text{g}/\ell$ 의 HCB에 노출시킬때 생존, 성장, 생식에 영향없음	Laseter et al., 1976
		· 연준모치(fathead minnow, <i>Pimephales promelas</i>)와 무지개송어(rainbow trout, <i>Oncorhynchus mykiss</i>)는 수중 용해도 정도의 농도에서 유해한 영향 받지 않음	U.S. EPA, 1988
		· 바스(large-mouth bass, <i>Micropterus salmoides</i>)는 10일간 3.5 $\mu\text{g}/\ell$ 의 흐르는 물에 노출됐을 때 간탈저(liver necrosis) 현상을 나타냄	-
	육상	· 일본매추라기(Japanese quail, <i>Coturnix japonica</i>)는 100 $\mu\text{g}/\text{g}$ 의 HCB를 포함한 먹이를 90일간 섭취할 때 치사율이 증가 · 알의 부하율은 20 $\mu\text{g}/\text{g}$ 에서 감소 · 5 $\mu\text{g}/\text{g}$ 에서는 간의 무게가 증가, 간의 경미한 손상과 배설물 중 coproporphyrin가 증가	Vos et al., 1972
		· Eurasian kestrels(<i>Falco innunculus</i>)에게 50에서 200 $\mu\text{g}/\text{g}$ 의 HCB를 포함하는 쥐(mice)를 65일간 먹였을 때 체중 감소, 간의 무게가 증가, 심장무게 감소	Vos et al., 1972

Ⅲ. 선진국의 POPs 부산물 관리동향

UNEP의 POPs 규제협약안에는 부산물에 포함되는 화합물질로 PCDD/ PCDF, HCB, PCBs를 규정하고 있다. 이중 PCBs는 coplaner 형태의 PCBs가 일부 산업공정에서 발생될 수 있어 부산물로 간주되고 있다. UNEP에서 규정한 이들 부산물의 배출원 중 BAT를 적용하여야 하는 배출원은 다음과 같다.

- ① 도시폐기물, 유해폐기물, 의약품폐기물, 하수 슬러지 등의 혼합소각
- ② 유해폐기물을 소각하는 시멘트 킬른
- ③ 표백과정에서의 염소물질 또는 염소물질을 생산해내는 화학물질을 사용하는 펄프공정
- ④ 다음과 같은 금속처리공정 ; 2차 구리생산공정, 제철산업의 탕화공정, 2차 알루미늄 생산공정, 2차 아연생산공정

또한 다음과 같은 공정에서도 PCDD/ PCDF, HCB, PCBs이 발생할 수 있다.

- ⑤ 폐기물의 노천소각
- ⑥ ④에 포함되지 않은 금속처리시설에서의 열처리과정
- ⑦ 가정쓰레기 소각
- ⑧ 석탄연료를 사용하는 시설과 산업용 보일러
- ⑨ 비의도적으로 POPs 물질(특히 chlorphenol과 chloranil)을 배출하는 화학공정
- ⑩ 화장(火葬)
- ⑪ 자동차(특히 납이 포함된 휘발유 사용)
- ⑫ 동물사체의 소각
- ⑬ 직물과 가죽의 염색(chloranil을 사용) 및 마무리공정(알칼리용액으로 추출)
- ⑭ 폐자동차의 파쇄공정
- ⑮ 구리선의 용해공정
- ⑯ 폐유정제소

이들 물질의 다양한 배출원, 오염현황 및 규제기준 등은 국가별로 차이가 있어, 이를 다음과 같이 살펴봄으로써 POPs중 부산물의 국제적인 규제동향을 파악하였다.

1. 다이옥신과 퓨란

1.1. 국가별 배출원

1.1.1 미국

미국 EPA는 미국내 다이옥신과 퓨란의 배출에 대해 지속적인 연구를 진행하여 왔으며, 최근(2000년 9월)에는 1998년 배출원 목록에 대한 보고서를 발표한 바 있다. 그러나 본 보고서에는 1998년 TRI 자료를

수집하지 못하여, 1995년 TRI 자료를 중심으로 미국내 각 배출원별 배출량을 다음 <표 III-1>과 같이 정리하였다.

<표 III-1>에서 보는 바와 같이 1995년 미국내 다이옥신 배출원에서 대기로 방출된 다이옥신 총량은 1,026gI-TEQ/년 ~ 7,541gI-TEQ/년 정도이며, 평균치는 2,745gI-TEQ/년이었다. 다이옥신 배출원 중 다이옥신을 가장 많이 배출한 것은 목재방부제인 PCP가 처리된 목재로서, 매년 25,000gI-TEQ/년의 PCDDs와 PCDFs가 배출되었다. 그 외에 대량 배출원으로는 폐기물 소각(도시폐기물 및 병원폐기물 소각)과 금속처리공장(이차 구리제련공장)등이 있다.

도시폐기물 소각으로 인해 발생하는 다이옥신의 양은 1987년의 평균배출량 7,915gTEQ/년(3,540 - 17,698gTEQ/년)에서 1995년 배출량 1,100gTEQ/년 (492 - 2,496gTEQ/년)으로 현저히 감소하여 약 1/7이하로 감소되었다<표 III-2>. 이는 소각공정의 개선 및 소각로의 오염방지기술 향상에 의한 것으로, 미국내 모든 소각로에 MWC 기준(Municipal Waste Combustion, 도시폐기물소각)을 엄격한 적용한 결과이다(US EPA, 1998). 의료폐기물 소각으로 인한 다이옥신 배출 역시 1987년(평균배출량 2,470gTEQ/년)에 비해 1995년의 평균배출량이 477gTEQ/년(151 - 1,510gTEQ/년)이 현저히 감소되었다. 이와 같은 소각에 의한 다이옥신 배출은 미국내 대기 배출의 주요 배출원이다.

한편 다이옥신의 주요 수질 배출원은 펄프나 제지공장이며, 이는 1987년의 356gTEQ/년(252 - 504gTEQ/년)에서 19.5gTEQ/년(13.8 - 27.6gTEQ/년)으로 감소되었다. 이와 같이 현격한 저감효과가 발생된 것은 펄프 제지공정에서 다이옥신의 발생을 저감하기 위해 화학적인 표백과정을 변경하였으며, 특히 Cluster rule(63FR 18504)을 적용함으로써 가능하였다.

<표 III-1> 미국의 대기 및 제품을 통한 다이옥신/퓨란 배출량('95)

배출원	배출량(gI-TEQ/년)
○ 폐기물 소각(도시, 병원 및 유해폐기물 포함)	1,589
○ 발전 및 에너지(자동차 연료, 목재, 석탄, 석유 연소 포함)	214
○ 기타 고온 배출원(시멘트화로, kraft 회수 보일러 포함)	174
○ 무단 소각 (산림화재)	208
○ 금속제련공장(구리, 알루미늄, 납 등의 이차 탕화공장)	560
○ 화학물질제조/공장 배출원	NEG
대기로의 총배출량	2,745(1,026 - 7,541)
○ 기타 배출원 (대기를 제외한 제품) - Pentachlorophenol	25,000
○ 대기배출원의 평가등급 - 매립지 화재	1,000
- 가정내 무단 소각	1,000
- 철탕화공장	100

자료 : Ministry of Environment, New Zealand inventory of dioxin emissions to air, land and water, and reservoir sources, 2000

〈표 III-2〉 미국내 다이옥신, 퓨란 및 PCBs의 매체별 배출량
('87년과 '95년)

배출원	'87년 매체별 배출량 (gTEQ/년)				'95년 매체별 배출량 (gTEQ/년)			
	대기	수계	토양	제품	대기	수계	토양	제품
폐기물 소각								
○ 도시폐기물 소각	7,915	*	*	NA	1,100	*	*	NA
○ 유해폐기물 소각	5.0	*	*	NA	5.7	*	*	NA
○ 보일러/산업용로	0.77	*	*	NA	0.38	*	*	NA
○ 병원폐기물 소각	2,470	*	*	NA	477	*	*	NA
○ 화장로	0.16	*	*	NA	0.24	*	*	NA
○ 하수 슬러지 소각	6.0	*	*	NA	6	*	*	NA
○ 타이어 연소	NEG	*	*	NA	NEG	*	*	NA
○ 펄프/종이 슬러지 소각	(b)	*	*	NA	(b)	*	*	NA
발전/에너지 생산								
○ 자동차연료연소 (유연)	32.4	NA	NA	NA	NEG	NA	NA	NA
○ 자동차연료연소 (무연)	3.8	NA	NA	NA	6.3	NA	NA	NA
○ 자동차연료연소 (디젤)	26.3	NA	NA	NA	33.5	NA	NA	NA
○ 목재연소 (주거용)	89.6	NA	*	NA	62.8	NA	*	NA
○ 목재연소 (산업용)	27.5	*	*	NA	29.1	*	*	NA
○ 석탄연소 (주거용)	**	NA	*	NA	**[10]	NA	*	NA
○ 석탄연소 (산업용/ utility)	62.8	*	*	NA	72.8	*	*	NA
○ 석유연소 (주거용)	**	NA	NA	NA	**[10]	NA	NA	NA
○ 석유연소 (산업용/ utility)	15.5	*	NA	NA	9.3	*	NA	NA
기타 고온 배출원								
○ 시멘트화로(폐기물소각)	117	*	*	*	153	*	*	*
○ 시멘트화로(폐기물소각 이외)	13.7	*	*	*	17.8	*	*	*
○ 아스팔트 혼합 공정	**	*	*	*	**[10]	*	*	*
○ 석유정제 촉매 재생	*	NEG	*	NA	*	NEG	*	NA
○ 담배연소	1.0	NA	*	NA	0.81	NA	NA	NA
○ 탄소 재활성화로	NEG	NA	NA	NA	NEG	NA	NA	NA
○ kraft 회수 보일러	2.0	*	*	NA	2.3	*	*	NA
무단소각								
○ 매립 발생가스 연소	**	NA	NA	NA	**[10]	NA	NA	NA
○ 매립지 화재	**	NA	*	NA	** [1000]	NA	*	NA
○ 화재(구조물)	**	*	*	NA	**[10]	*	*	NA
○ 화재(자동차)	**	*	*	NA	**[10]	*	*	NA
○ 산림화재	170	NA	*	NA	208	NA	*	NA
○ 쓰레기 무단소각	**	NA	*	NA	** [1000]	NA	*	NA
○ PCBs의 무단소각	*	*	*	NA	*	*	*	NA

자료 : US EPA, '99 Great lakes binational Toxics Strategy : PCDD(dioxin) and PCDF(furans) sources and Regulations, 2000

〈표 III-2〉 미국내 다이옥신, 퓨란 및 PCBs의 매체별 배출량('87년과 '95년)(계속)

배출원	'87년 매체별 배출량 (gTEQ/년)				'95년 매체별 배출량 (gTEQ/년)			
	대기	수계	토양	제품	대기	토양	제품	
금속제련공정								
○ 제철금속 용광로/정제								
-탕화공정	**	*	*	NA	**[100]	*	NA	
-코크스 제조공정	**	*	*	NA	**[10]	*	NA	
-전기로	**	*	*	NA	**[10]	*	NA	
-철주조	**	*	*	NA	**[10]	*	NA	
○ 비철금속용광로/정제								
-이차 알루미늄 탕화공정	9.5	*	*	NA	17	*	NA	
-이차 구리탕화공정	304	*	*	NA	541	*	NA	
-이차 납탕화공정	1.22	*	*	NA	1.63	*	NA	
○ Scrap electric recovery	*	*	*	NA	*	*	NA	
○ Drum and barrel reclamation	NEG	NEG	NEG	NA	NEG	NEG	NEG	
화학물질제조/공정 배출원								
○ 표백 목재 펄프제지 공정	*	356	14.1	505	*	19.5	24.1	
○ Mono-to tetrachlorophenols	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	
○ Pentachloro-phenols	NEG	NEG	NEG	36,000	NEG	NEG	25,000	
○ Chlorobenzenes	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	NEG	
○ Chlorobiphenyls (leaks/spills)	NEG	NEG	NEG	NA	NEG	NEG	NA	
○ Ethylenedichloride /vinyl chloride	*	*	NEG	*	*	NEG	*	
○ Dioxazine 염료 및 색소	NEG	NEG	NEG	64	NEG	NEG	0.36	
○ 2,4-Dichloro phenoxy acetic acid	NEG	NEG	NEG	21.3	NEG	NEG	18.4	
○ 비소각 도시슬러지	NA	NA	207	7.0	NA	207	7	
○ 유지 액체비누	NEG	NEG	NEG	*	NEG	NEG	*	
○ 광화학반응	*	*	*	NA	*	*	NA	
저장 배출원								
○ 클로로페놀처리목재	*	*	*	NA	*	*	NA	
총배출량	11,274	356	221	36,597	2,745	208	25,050	

(a) '최종 다이옥신 배출목록' 보고서 작성시 일부 배출원에 대한 자료가 준비되지 않아 1998년 다이옥신 배출목록 초안보고서의 내용을 반영함

(b) 산업에서의 목재연소의 총량의 포함

* : 본 분류는 PCDD/PCDF의 배출원이라는 증거는 일부 존재하나 정량적인 자료가 충분하지 않음

** : 본 분류는 PCDD/PCDF의 배출원이라는 증거가 존재하여 1995년 배출량 자료를 만들었으나 배출계수나 활동도가 아주 낮아 목록에 포함시키기에는 배출량 산정이 불확실하다. []안의 숫자는 본 배출원의 배출순위로 총배출량을 산정하지는 않았다.

NA : 적용할 수 없음(not applicable)

NEG : 무시할 정도로 작거나(1g/년 이하) 존재하지 않음

1.1.2 캐나다

캐나다는 1995년 CEPA의 연방-주정부자문위원회(Federal-Provincial Advisory Committee, CEPA-FPAC)하에 다이옥신과 퓨란에 관한 연방-주정부대책위원회를 구성하여, 캐나다내의 다이옥신 배출목록과 함께 실질적인 저감을 위한 지속적인 실천계획을 수립하였다. 다이옥신 대책위원회에서 발표한 캐나다내 다이옥신 배출원별 배출량은 다음 <표 III-3>과 같다.

캐나다에서 다이옥신의 주요한 대기배출원은 도시폐기물 소각으로, 이는 미국 등 다른 국가와 유사하다. 도시폐기물 소각으로 인한 배출량은 1990년 204gTEQ/년에서 1999년 82.2gTEQ/년로 저감될 것으로 추정된다. 다이옥신의 총 대기배출량은 1997년의 경우 1990년에 비해 18%정도 감소한 것으로 관측되었으며, 1999년의 경우 산업체에서의 시설을 개선함으로써 추가로 25% 정도의 저감효과를 유발할 것으로 예측된다. 따라서 1990년에 비해 다이옥신의 대기배출량은 총 43%이상 저감할 것으로 예측된다.

캐나다에서 발생하는 다이옥신 중 수계로의 배출원은 펄프/제지업체, 화학물질 제조업체 등이며, 이중 펄프/제지업체에서의 다이옥신 배출량은 1990년 450gTEQ/년이었으나, 1999년에는 약 4.7gTEQ/년으로 측정가능농도 이하로 저감될 것으로 예측되었다.

다이옥신/퓨란의 토양으로의 직접 배출은 농약의 다량 사용이나 하수슬러지에 의해 발생되었다. 캐나다 농약관리규제청(PMRA²⁵⁾)은 현재 농약사용에 의한 다이옥신 배출량을 측정중이며, 하수슬러지는 PCDDs/PCDFs의 배출원으로 생각되지만 토양으로의 배출량은 아직 측정되지 않고 있다.

특히 제품을 통해 배출되는 다이옥신은 주로 목재방부제가 처리된 목재에서 발생되며, 1999년 발생총량은 1990년에 비해 저감되지 않았다. 이에 캐나다내 2개의 작업그룹에서 목재방부제로 인한 다이옥신의 오염방지 또는 저감방안에 대한 연구를 수행중이다.

25) The Pest Management Regulatory Agency

<표 III-3> 캐나다의 다이옥신/퓨란 배출원별 배출량(gTEQ/년)

배출원	1990년	1997년	1999년 (예측치)
대기배출			
도시폐기물 소각	204	152	82.2
목재연소(주거용)	35.7	35.7	35.7
제철산업 : 탕화공정	42.9	42.9	23.5
펄프 & 제지 : 보일러	10.5	10.5	10.5
제철산업 : 전기화로	9.1	10.2	10.2
디젤기관의 연료연소(교통)	8.7	8.7	8.7
석유연소(주거용)	7.0	7.0	7.0
발전/에너지 생산	3.4	4.6	4.6
목재폐기물연소	4.4	4.4	4.4
시멘트화로	2.6	2.8	2.8
병원 소각로	8.3	2.5	2.5
화학물질제조(대기배출)	2.2	2.0	0.3
In-service Utility Poles	1.9	1.9	1.9
목재방부제 공장	1.8	1.8	1.8
유해폐기물 소각로	2.1	1.3	0.8
펄프/제지 : Kraft Liquor Boilers	0.7	0.7	0.7
연방 소각로	1.3	0.6	0.6
강철주조 EAF	0.4	0.5	0.5
하수슬러지 소각로	0.3	0.3	0.3
기초금속제련	0.1	0.1	0.1
이차 납 제련소	0.1	0.1	0.1
생의약 폐기물 소각	4.9	0	0
총대기배출량	353	290	199
수계배출			
펄프 & 제지	450.0	4.7	4.7
화학물질 제조	3.7	0	0
수계배출 합계	454	5	5
토양으로의 배출			
In-Service Utility Poles	9	9	9
In-Service Utility ties	164	164	164
토양배출 합계	173	173	173
제품 중			
펄프 & 제지 : 보일러	137	137	137
Out-of-Service treated wood	89	89	89
총배출량	226	226	226

자료 : '99년 Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene Inventory of Releases, Environment Canada

1.1.3 일본

도시폐기물의 73% 가량을 소각에 의존하고 있는 일본의 경우 다이옥신은 일찍이 중요한 사회문제로 대두되었다. 일본의 후생성(Ministry of Health and Welfare)은 1984년부터 다이옥신에 대한 본격적인 연구를 시작하여, 그동안 다이옥신에 대한 규명, 위해성 평가 및 제어를 위한 각종 연구프로그램을 진행하여 왔다. 그 결과 <표 III-4>에서와 같이 일본의 다이옥신 배출은 주로 쓰레기 소각에서 발생되고 있음이 조사되어졌다. 특히 1990년의 경우 전체 다이옥신 배출량의 약 84.6%가 도시쓰레기 소각에서 발생되었으며, 그 외 유해폐기물이나 의료폐기물 소각도 주요 배출원으로 밝혀졌다. 1998에는 전체 다이옥신 배출량이 1990년에 비해 약 1/3가량 감소되었으며, 이는 주로 도시쓰레기에서 발생하는 다이옥신 양의 감소로 기인되었다. 그러나 유해폐기물의 소각으로 발생하는 다이옥신 양은 오히려 1990년도 배출량의 약 2배로 증가하였다.

한편 <표 III-5>는 연소, 소각관련 오염원별 배출량과 함께 제품에 함유된 다이옥신 농도를 나타낸 것이다.

<표 III-4> 일본의 다이옥신 배출량

배출원	배출량(gTEQ/year)	
	1990년	1998년
합계	6,206(100)	2,921(100)
도시쓰레기소각	5,250(84.6)	1,340(45.9)
유해폐기물소각	460(7.4)	961(32.9)
의료폐기물소각	160(2.6)	335(11.5)
하수슬러지소각	7(0.1)	3(0.1)
자동차배기가스	<1(0.0)	2(0.1)
제지, 철강, 화력발전	292(4.6)	262(9.0)
KP(黑液)회수보일러	3(0.1)	2(0.1)
담배연기	16(0.3)	7(0.2)
기타	17 (0.3)	9(0.2)

* 배출량은 조사된 범위내의 평균값을 사용하였음.

* ()는 %을 나타냄.

자료: 일본 후생성 수도환경부 환경정비과: 일반폐기물소각시설의 배출가스 중의 다이옥신류 농도 등에 대하여, 1999

〈표 III-5〉 일본에서의 배출원별 다이옥신 추정 배출량

연소, 소각 관계 등	다이옥신류 농도		폐기물 1톤당 배가스 발생량 (Nm ³ /ton)	추정 연간 소각처리량		추정 연간 배출량	
	PCDD (ng/N m ³)	PCDF (ng/N m ³)		추정 폐기물량 (ton/year)	소각 처리율 등 (-)	PCDD (kg/year)	PCDF (kg/year)
도시쓰레기 소각	290~ 1,700	300~ 1,900	5,000	58,700,000		85~500 ^a	88~560 ^a
유기염소계 폐기물, 폐유 등의 소각	150	340	15,000	3,627,000	1.0	8.2	19
의료폐기물 소각	140	300	8,000	1,326,000~ 3,977,000	1.0	1.5~4.5	3.2~9.5
하수오니 소각	5.0	30	2,500	3,116,000	1.0	0.039	0.234
제지슬러지 소각	5.0	30	2,500	4,034,000	0.3	0.015	0.091
제지공장회수 흑액 보일러	1.0	0.7	6,700	12,281,000	1.0	0.082	0.058
목재, 폐재 소각	150	100	8,100	8,500,000	0.3× 0.0015 ^b	0.005	0.003
금속정련 관련 시설	320	940	250	45,283,000	1.0	3.6	10.6
활성탄 재생처리	1.0	1.0	3,000	20,000	1.0	0.00006	0.00006
담배연기	5256	-	0.002 (Nm ³ /개 피)	306×10 ⁹ (Nm ³ /개 피)	1.0	3.2	-
종이, 판지제품	160	30(μg/ ton)	-	22,537,000 (유통량)	0.6 ^c	2.2	0.41
자동차 배가스	2.0(ng-TCDD/km)×10(km/L-oil)× 340,000,000(L-oil/year)					0.007 ^d	-
석유첨가제 (유통유)	30(ng/g)×800(g/L-oil)×648,000,000(L-oil/year)					16	-
농약 ^e	주용도	다이옥신류 함량농도(ppm)	생산량(ton/year)		다이옥신류 배출량 (kg/year)		
2,4-PA제 ^f	제초제, 식물 성장 조절제	0.001~23.8	160		-3.8		
MCP제 ^f	제초제	0.033~1.564	162		-0.25		
CNP제 ^g	제초제	2,090~3,880	1,912		4,000~7,400		
클로메톡 시닐제 ^g	제초제	23	591		13.6		

a: 기하평균식 - 산술평균식 b: 목재방부제 처리율 c: 염소표백률 d: TCDD만

e: 문헌에 의해 f: Phenoxy계 농약 g: 디페닐에테르계 농약

자료 : 다이옥신대책(1993), 서울시 청소사업본부 시설 2부, 6월 1993

1.1.4 EU 국가

EU 국가 중 영국과 네덜란드의 다이옥신/퓨란 주요 배출원과 배출원별 배출량은 다음과 같다.

(1) 영국

영국내에서 다이옥신/퓨란의 배출원 및 배출량은 일차적으로 1993년에 조사되었으며, 이 자료와 추가적인 대기(HMIP, 1995)와 토양 및 수계로의 배출량(환경청, 1997) 자료를 다음 <표 III-6>에 정리하였다.

영국 역시 오래된 도시폐기물 소각로들이 대기와 토양으로의 다이옥신 주요 배출원이다. 그러나 최근에 신설되는 소각로에서 배출되는 물질에 대한 기준이 1996년부터 적용되어, 신설배출원에서의 배출량은 10gI-TEQ/년으로 감소하였다. 다이옥신의 주요 대기 배출원 중 비산업용 배출원인 화재나 폐기물의 무단소각 등의 자료는 1993년 조사에서 파악되지 못하여, <표 III-6>의 소각 이외의 배출원은 주로 산업공정에 국한되어 있다. 이 중 perchloro-ethylene과 trichloroethylene의 제조공정은 다량의 다이옥신/퓨란의 잔류물을 배출하는 것으로 평가되었다. 한편 1998년 영국 환경청은 규제대상인 대규모 산업공정에서의 배출량을 조사하였으며, 그 결과 대기로의 다이옥신 총배출량은 약 110gI-TEQ/년으로 추정되었다(영국 환경청, 1999). 이는 1993년의 430-840gI-TEQ/년에 비하면 크게 향상된 것으로, 영국 정부의 지속적인 규제에 의한 것으로 생각된다.

한편 수계로 배출되는 다이옥신 양은 활용가능한 자료의 부족으로 인해 잠재적으로 중요성을 갖는 배출원에 대해 H(1gI-TEQ/년이상), M(0.1-1g I-TEQ/년), L(0.1gI-TEQ/년이하)등으로 각각 표현하였다.

<표 III-6> 영국의 다이옥신/퓨란의 배출원별 배출량

배출원	배출량 (gI-TEQ/년)		
	대기('95)	토양('97)	수계('97)
도시폐기물 소각	460-580	520-2,400	M/L
기타 폐기물 소각	20-100	13-40	H
석탄 연소	25-100	1.9-120	L
금속산업	37-130	210-540	M/L
교통	1-45	-	-
화장로	1-35	-	-
농약사용(특히 PCP)	-	100-3,200	-
화재	조사되지 않음	7.5-2,400	H
농약생산	0.1-0.3	8.9-2,000	H
per-, trichloroethylene	<0.02	350-630	M
총배출량*	560-1,100	1,500-12,000	

자료 : Ministry of Environment, New Zealand inventory of dioxin emissions to air, land and water, and reservoir sources, 2000

* : 표에 언급되지 않는 기타 배출량 포함

(2) 네덜란드

네덜란드는 자국내에서 발생하는 다이옥신의 배출원 및 배출량을 확인하기 위해 1989년부터 관련연구기관(Organization for Applied Scientific Research, National Institute of Public Health and Environmental Protection)을 중심으로 대규모의 다이옥신 측정 프로그램을 운영하였다. 프로그램에 요구되는 기초자료를 위하여 자국내의 모든 도시폐기물 소각로(MWI)와 60여 개의 공업시설에 대해 다이옥신을 직접 측정하였으며, 그 결과 산출된 다이옥신의 배출량은 <표 III-7>과 같다.

네덜란드에서의 다이옥신도 다른 국가와 유사하게 소각시설에서 가장 많이 발생하고 있으며, 1989년의 경우 도시폐기물에서 발생하는 다이옥신 양이 전체 발생량의 약 82%를 차지하고 있다. 그 후 네덜란드 정부는 도시폐기물 소각로의 폐쇄 또는 개선을 위한 여러 노력으로 인해 1991년에는 다이옥신의 배출량을 절반('89년 기준)으로 감소하는데 성공하였다. 최근에는 기존의 소각시설뿐 아니라 신규 소각시설에 대해 엄격한 다이옥신의 배출농도를 적용하고 있어 소각로에서 발생하는 2000년도 다이옥신의 배출량(추정치)은 현격히 감소될 것으로 예상된다.

폐기물 소각 이외의 주요한 다이옥신 배출원으로는 목재방부제의 사용을 들 수 있다. 이는 1990년대부터 급격히 증가하여 최근에는 목재 방부제의 사용이 가장 큰 오염원으로 나타났다.

〈표 III-7〉 네덜란드의 다이옥신 배출량

공정 목록	1989년 (gTEQ/년)	1991년 (gTEQ/년)	2000년* (gTEQ/년)
도시고형폐기물 소각	790	382	max. 4
유해폐기물의 소각	12	16	1.7
하수 슬러지의 소각		0.3	1.5
케이블 및 전기모터 연소		1.5	1.5
병원 폐기물의 소각	4.0	2.1	0
아스팔트 혼합 공장		0.3	0.3
기름 연소	2	1.0	1.0
석탄 연소		3.7	3.7
목재 연소 플랜트	16	12	9
화장		0.2	0.2
자동차		7.0	max. 5
탕화공정		26	3
비철 플랜트	51	4.0	4.0
화학약품 생산 공정	5	0.5	0.5
목재방부제의 사용		25	20
여러 고온처리 공정들		2.7	2.7
농약	50		
화재	9		
기타	15		
합계(실화 제외)	965	484	max. 58

* 2000년도 자료는 다이옥신 배출량 추정치

자료 : Koning, J. de, A.A. Sien, L.M. Troost, and h.j. Bremmer (1994),
Source of Dioxin Emissions in the Netherlands. Organohalogen
Compounds, vol. 14, 315.
Technical Report, No. 49, (1992), "Exposure of man to Dioxin: A
Perspective on Industrial Waste Incineration, Brussels.

1.1.5 각국의 배출량 비교

각 국가별 다이옥신과 퓨란의 배출원 및 배출량을 비교하는 것은 매우 어렵다. 이는 각국의 배출량을 조사하는 접근방법이 상이하고, 산업구조나 오염방지기술의 수준 역시 국가별로 매우 다르기 때문이다. 또한 다이옥신과 퓨란의 배출량은 오염방지시설의 설치나 노후된 시설의 교체에 따라 매우 변화가 심하기 때문에 모든 자료에는 반드시 기준년도가 명시되어야 한다.

다이옥신과 퓨란에 대한 UNEP의 최근 검토에 따르면, 15개 국가²⁶⁾에서 이들 물질의 대기배출량에 대한 목록을 작성하였다. 그러나 일부 기존의 목록은 낙후되어 개정이 필요하며 미국의 배출목록은 아직 초

26) 유럽의 11개 국가, 미국, 캐나다, 일본, 호주

안 단계인 것으로 파악되었다. 그외 다른 국가에서의 배출목록은 준비중인 것으로 알려졌으며, 일부 국가에서는 국가적인 배출목록과 함께 지역적인 배출목록도 작성중이다.

<표 III-8>는 현재까지 UNEP에 의해 검토된 국가별 대기배출목록을 정리한 것이다. 그러나 앞에서 설명하였듯이 국가별 배출목록의 비교시 작성방법의 차이까지 비교하는 것은 불가능하므로, 작성방법이 결과에 많은 영향을 준다는 사실을 유념하여야 할 것이다. 국가별 배출목록을 정리할 수 있는 구조적인 접근방법을 수립하기 전까지는 제한된 범위내에서 세부적인 비교만이 가능하리라 생각된다. 특히 국가별로 다이옥신/퓨란의 배출원이 매우 다른데, 어떤 국가는 화재나 폐기물의 무단소각, 매립지의 화재 등을 포함시키지 않았다. 이러한 배출원이 제외됨으로써 총 다이옥신/퓨란의 배출량이 과소 평가될 수 있으며, 대부분의 국가에서 주로 대기 배출목록만을 작성하고 토양과 수계를 통한 배출량이 제외되어 있으므로 <표 III-9>는 제한적인 자료임을 거듭 밝혀둔다.

<표 III-8> 국가별 다이옥신/퓨란의 대기배출량 비교

국가	배출량 (gTEQ/년)	기준연도	참고문헌
호주	150-2,300	-	EPG, 1998
오스트리아	28.7	1994	UBAVIE, 1996
벨기에	662	1995	De Fre and Wewers, 1999
캐나다	290	1997	Environment Canada, 1999
덴마크	37-45	1995	Ministry of Environment and Energy, 1997
프랑스	674-2,737	1997	Ademe, 1999
독일	333	1994	FEU, 1998
헝가리	104	1996	KG, 1997
일본	3,981-8,351	1990	Hiraoka & Okajima, 1994
네덜란드	484	1991	Bremmer <i>et al.</i> , 1994
뉴질랜드	14-51	1998	Ministry for the Environment, 2000
슬로바키아	42.5	1993	Kocan, 1994
스웨덴	21.6-88	1993	de Wit, 1995
스위스	180	1995	BUWAL, 1997
영국	560-1,100	1993	HMP, 1995
미국	1,026-7,541	1995	US EPA, 1998

자료 : Ministry of Environment, New Zealand inventory of dioxin emissions to air, land and water, and reservoir sources, 2000

1.2 국가별 오염현황

다이옥신에 관한 연구 발표자료에 의하면 다이옥신은 대기나 토양, 수계 등 인간의 생활환경 곳곳에서 발견되고 있으며, 사람이 섭취하는 육류, 우유, 생선, 야채, 과일 등의 많은 음식물에서 발견되고 있다. 다음은 환경 중 다이옥신의 오염현황을 매체별로 정리한 것이다.

1.2.1 미국과 캐나다

(1) 대기

일반적으로 도시지역에서의 다이옥신 농도는 다른 지역에 비해 높게 나타나는데 1994년과 1995년에 미국 오하이오주에서 측정한 대기 중 PCDD/PCDF 평균농도는 도시지역은 $3.5\text{pg}/\text{m}^3$, 전원지역은 $2.2\text{pg}/\text{m}^3$ 으로 나타났다(Ohio주 EPA, 1994). 도시지역의 경우 오하이오주의 콜럼버스시 인근지역의 대기중 다이옥신 농도가 특히 높게 나타났다.

Maisel and Hunt(1990)는 로스엔젤레스와 캘리포니아에서의 다이옥신과 퓨란의 대기농도를 측정하였는데 평균 $0.12\text{pg}/\text{m}^3$ 으로 나타났다. 한편 Connecticut주 환경청은 1993년 가을에서 1994년 여름까지 주(州)의 6개 지역²⁷⁾에서 다이옥신의 농도를 측정하는 프로그램을 진행하였는데 계절별로 측정된 평균농도(OCDD)는 각각 0.451(11월), 0.196(2월), 0.155(5월), 0.056(8월) pg/m^3 이었다.

캐나다는 1996년 가을부터 캐나다 전지역을 대상으로 대기중의 다이옥신/퓨란의 농도를 측정하기 시작하였다. 펄프회사 인근의 대기중 PCCD/PCCF농도의 범위는 $0.006 - 0.067\text{pgI-TEQDF}/\text{m}^3$ 이었으며, 이는 캐나다 도시지역의 농도($0.01 - 0.08\text{pgI-TEQDF}/\text{m}^3$)와 유사한 수준이나 인근의 다른 공업지역의 농도($0.01 - 0.4\text{pgI-TEQDF}/\text{m}^3$)보다는 낮은 수준이었다.

(2) 토양

토양에서의 다이옥신 농도는 주로 산업화된 지역이 전원지역보다 훨씬 높게 나타났다. 캐나다 온타리오주와 미국의 중서부지역의 토양을 대상으로 다이옥신을 분석한 결과, 전원지역은 $73 \pm 50\text{ppt}$, 도시지역은 $2,075 - 3,608\text{ppt}$, 산업화된 지역은 $8,314 - 9,955\text{ppt}$ 으로 나타났다. 같은 전원지역이라도 중서부의 산업화된 지역보다 남부의 농업지역에서의 다이옥신 농도가 낮게 나타나, 미시시피 남쪽의 전원지역에서의 토양내 다이옥신/퓨란의 농도가 $0.16 - 22.9\text{ppt}$ 로 측정되었다(Rappe et al.).

한편 캐나다 북서부의 브리티쉬 컬럼비아주(British Columbia) 환경청은 1990년부터 1999년까지 다이옥신의 토양오염 모니터링을 실시하였는데 배출원으로부터 가까운 지역(primary sites), 배출원으로 생각되는 곳의 인근지역(secondary sites), 오염되지 않은 지역(background)으로 각각 나누어 측정하였다. 그 결과 <표 III-9>에서와 같이 2,3,7,8-TCDD 농도가 가장 높게 나타난 지역은 화학물질 배출원(chemical source)과 관련된 1차 및 2차 토양이었으며, 53개의 오염되지 않은 지역의 토양시료(background sample)에서는 2,3,7,8-TCDD가 검출되지 않았고 2,3,7,8-TCDF는 $0-3.2\text{ppt}$ 정도의 낮은 수준인 것으로 밝혀졌다.

다이옥신의 오염원이 전혀 존재하지 않은 북극의 토양에서도 다이옥신이 관측되는데, Grundy et al.(1995)과 Bright et al.(1995)가 실시한 연구에 따르면 캐나다 북극지역의 토양에 다이옥신/퓨란 화합물이 평균 $0.2 - 0.9\text{ppt}$ 정도 함유되어 있었다.

27) 자원회수시설이 위치한 6개 지역을 대상으로 대기농도를 측정

〈표 III-9〉 캐나다 British Columbia주 토양내의 다이옥신/퓨란의 농도

시료구분 ^a	다이옥신/퓨란 농도(pg/g) ^b	
	범위 ^c	평균
background soil 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8,-TCDF	ND ^d ND-32.0	ND(53) 3.2(53)
primary soil(모든 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8,-TCDF	ND-85.0 ND-520.0	5.2(31) 47.9(31)
primary soil(화학물질 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8,-TCDF	ND-85.0 ND-520.0	8.4(18) 60.3(18)
primary soil(연소 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8,-TCDF	ND-3.5 ND-160.0	0.8(13) 30.7(13)
secondary soil(모든 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8,-TCDF	ND-550.0 ND-550.0	5.4(137) 25.1(137)
secondary soil(화학물질 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8,-TCDF	ND-550.0 ND-520.0	15.4(47) 60.7(47)
secondary soil(연소 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8,-TCDF	ND-5.6 ND-180.0	0.09(90) 6.5(90)

자료 : US EPA, Exposure and Human Health Reassessment of TCDD and Related Compounds, 2000

^a : background 시료는 환경중의 다이옥신 농도를 나타내며, Primary Sample은 오염물질의 배출원 부근에서 채취되었으며 Secondary sample은 일차배출원으로부터 직접 영향을 받은 지역에서 채취되었다.

^b : pg/g(건조중량), ^c : ()안 숫자는 평균농도 계산에 이용된 sample의 수,

^d : ND = Not Detected

(3) 퇴적물

미국 EPA는 자국내의 지리적으로 다양하게 분포하고 있는 11개 호수 및 저수지의 퇴적물에 대해 다이옥신과 퓨란 화합물의 농도를 측정하였다. 채취한 퇴적물 중 가장 최근에 측정된 상층부에서의 농도는 0.11 - 15.6ppt (total I-TEQ) 이었으며 평균 농도는 5.3 ppt였다<표 III-10>. 알래스카주에 위치하는 Chandler 호수에서 가장 낮은 다이옥신이 검출되었으며, 도시 인근에 위치한 Canandaigua호수(뉴욕주)와 Santeetlah저수지(노스캐롤리나주)에서 높은 다이옥신이 검출되었다(Versar, 1996a ; Cleverly et al., 1996).

한편 캐나다 British Columbia 주정부는 1990년부터 2년간 실시한 다이옥신 오염조사 결과, <표 III-11>와 같이 평균 I-TEQDF값은 오염되지 않은 background 지역의 퇴적물에서는 3.9ppt, 오염원과 가까운 secondary 지역에서는 32.5ppt의 다이옥신이 검출되었다(BC Environment, 1995).

(4) 어패류

10여년에 걸쳐 북미 오대호에 서식하는 어류에 대한 다이옥신 오염도를 조사한 결과, 연구 초기('70년 말 - '80년 초)에 잡힌 어류에 비해 최근에 잡힌 어류에서 다이옥신 농도가 감소했음을 알 수 있다<표 III-12>. 이는 미국 정부의 적극적인 노력으로 인해 오대호의 다이옥신 오염이 저감되었음을 의미한다. 한편 Copper et al.(1995)와 Fiedler et al.(1997c)는 미시시피 남부지역의 시장에서 거래되는 어류 중의 다이옥신과 퓨란의 농도를 측정하였는데, 양식메기와 갑각류의 소화샘에서의 농도가 평균 2.1ppt로 가장 높게 측정되었다.

<표 III-10> 미국내 11개 호수 및 저수지에서의 다이옥신/퓨란 농도

장소	I-TEQ _{DE} (ppt)	퇴적물 중 상층부의 축적시기 (년)
Chandler 호수, AK	0.11	'56 - '93
Canandaigua 호수, NY	15.0	'81 - '91
Skaneateles 호수, NY	10.1	'84 - '91
Great Sacandaga저수지, NY	6.4	'74 - '83
Santeetlah 저수지, NC	15.6	'74 - '83
Blue Ridge 저수지, GA	5.6	'74 - '83
Deer Creek 저수지, UT	1.2	'73 - '82
Echo 호수, UT	0.82	'73 - '82
Panguitch 호수, UT	0.91	'73 - '82
Ozette 호수, WA	1.2	'77 - '85
Beaver 호수, WA	0.98	'74 - '85
평균	5.3	-

자료 : US EPA, Exposure and Human Health Reassessment of TCDD and Related Compounds, 2000

<표 III-11> 캐나다의 British Columbia주 퇴적물내의 다이옥신/퓨란의 농도

시료구분 ^a	다이옥신/퓨란 농도(pg/g) ^b		I-TEQ _{DS} (pg/g)	
	범위 ^c	평균 ^d	범위 ^c	평균 ^d
background 퇴적물 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8-TCDF	ND ^d ND-17.0	ND(12) 1.4(12)	0.0 - 24.4	3.9(12)
2차 퇴적물 (모든 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8-TCDF	ND-2.7 ND-33.0	0.2(21) 3.5(21)	0.0 - 172.0	32.5(21)
2차 퇴적물 (화학물질 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8-TCDF	ND-2.7 ND-33.0	0.2(14) 3.8(14)	0.0 - 172.0	42.1(4)
2차 퇴적물 (연소 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8-TCDF	ND-1.1 ND-12.0	0.2(7) 3.0(7)	0.0 - 63.6	13.2(7)

자료 : US EPA, Exposure and Human Health Reassessment of TCDD and Related Compounds, 2000

a : Background 시료는 환경중의 다이옥신 농도를 나타내며, 2차 시료는 일차 배출원으로부터 직접 영향을 받은 지역에서 채취되었다.

b : pg/g(건조중량)

c : () 안 숫자는 평균농도 계산에 이용된 sample의 수

d : ND = Not Detected

<표 III-12> 미국 오대호에 서식하는 어류의 다이옥신/퓨란 농도

위 치	채집기간	어 종	측정수/시료수	농도 pg/g (ppt)
Erie 호수	1980	fish	5/17	1.4~2.6
Erie와 Superior 호수	1981~1983	fish	0/6	ND
Superior 호수	1980	송어	1/1	1.0
Huron 호수	1980	송어	6/7	1.5~2.6
	1981	송어	2/2	3~28
	1981~1983	송어	1/3	6
Ontario 호수	1978~1981	송어	44/45	3.6~162
	1981~1983	송어	5/8	8~46
Michigan 호수	1978	송어	26/36	4~695
	1979	새끼송어	0/5	ND
Michigan 강	1979	fish	28/58	17~586
	1981~1983	fish	1/5	10
	1981~1983	fish	2/17	10~93
	1983	fish	2/17	9~93
Michigan 호수	1973	fish	26/36	4~695
Great 호수	1980	fish	21/62	2~58
	1981~1983	fish	6/36	6~46
Saginaw 만	1978~1983	fish	16/62	15~102
	1979~1984	fish	27/70	7~60
St. Lawrence	1982	뱀장어	8/11	3~29

ND : Not Detected

자료: 瀧澤行雄, “다이옥신의 의학”, 브라이유 주식회사, 동경, 일본, 1993

(5) 음식물

캐나다는 식품안전프로그램을 통해 토론토와 몬트리올에서 유통중인 여러 식품에 포함되는 다이옥신과 퓨란의 농도를 분석하였다. 육류에서는 소고기와 내장류, 유제품중에서는 체다치즈와 버터, 조리용 기름 등에서 다이옥신이 검출되었는데, 주로 지방 함유량이 높은 식품에 많이 농축되어 있다<표 III-13>(Ryan et al., 1997).

Copper et al.(1995)은 1994년 남부 미시시피 지역의 시장에서 거래되는 음식물 38종을 채취하여 다이옥신 농도를 측정하였는데 이때 시료는 주로 다이옥신/퓨란 섭취원이 될 수 있는 음식물을 대상으로 하였다. <표 III-14>은 음식물내 다이옥신/퓨란의 농도를 정리한 것으로 38개 시료 모두에서 다이옥신/퓨란이 검출되었으며 일반적으로 어패류에서의 농도가 육류나 유제품에 비해 높은 것으로 나타났다.

1.2.2 일본

(1) 대기

일본의 환경성은 지속적으로 환경중의 다이옥신 모니터링을 실시해오고 있다. 대기중 다이옥신의 최신 측정 결과(1996년)는 <표 III-15>에서 보는 바와 같이, 공업지대 근방의 주택지역(6개 지점)에서는 0.3

8~1.67pg-EQ/m³(평균 1.00pgTEQ/m³), 대도시지역(6개 지점)에서는 0.30~1.65(평균 1.02), 중소도시 지역(6개 지역)에서는 0.05~1.56(평균 0.82), 배경지역(3개 지역)에서는 0.05~0.10(평균 0.07)으로 나타났다. 전체적인 경향은 겨울철의 농도가 여름철의 농도에 비해서 높게 나타나 계절적인 차이를 나타내고 있다.

대기중의 다이옥신에 대한 장기적인 평가로서는 식물의 잎에 퇴적 또는 축적한 다이옥신 양을 측정하고 있다. <표 III-16>에서 보는 바와 같이 흑송의 침엽을 지표로 한 대기오염 평가결과, 높은 인구밀도와 함께 산업활동이 활발한 대도시 지역인 치바, 카나가와, 후쿠오카, 오사카 등에서는 다이옥신의 오염농도가 현저하게 높았다. 반면에 덜 산업화가 진행된 홋카이도, 이와테, 돗토리 등지에서는 다이옥신의 농도가 1/10에 불과하였다.

<표 III-13> 캐나다의 음식물내 다이옥신/퓨란의 농도

음식물분류	시료	PCDD/PCDF(ppt)	
		토론토	몬트리올
육류	소고기	0.32	0.32
	소고기 스테이크	0.18	0.17
	소고기 구이	0.087	0.14
	돼지고지	0.045	0.044
	고기의 내장류	0.29	0.37
	가금류	0.066	0.043
유제품	우유(whole)	0.038	0.031
	1% 우유	0.024	0.021
	크림	0.079	0.076
	체다치즈	0.24	0.20
	버터	0.5	0.33
어류	담수	0.26	0.16
	해수	0.033	0.013
기름	조리용 기름 및 샐러드유	0.42	0.28

자료 : US EPA, Exposure and Human Health Reassessment of TCDD and Related Compounds, 2000

<표 III-14> 미국 미시시피 남부의 음식물내의 다이옥신/퓨란 농도

음식물 시료	관측시료수	pg/g시료
버터	3	0.683, 0.770, 0.552
우유	3	0.025, 0.026, 0.012
체다치즈	3	0.300, 0.247, 0.254
달걀	3	0.038, 0.020, 0.019
소고기	3	0.196, 0.254, 0.152
닭	3	0.043, 0.085, 0.053
닭의 간	3	0.031, 0.064, 0.070
소시지	3	0.178, 0.221, 0.282

자료 : US EPA, Exposure and Human Health Reassessment of TCDD and Related Compounds, 2000

〈표 III-15〉 일본의 대기중 다이옥신 농도('96)

	측 정 지 점	평균	여름1	여름2	겨울1	겨울2	비고
공업 지역 근방 의 주택 지역	이바라키縣 카시마郡神梧町	0.71	0.08	0.08	1.9	0.79	94년 공업지역 평균 0.63 pg/m ³
	카나가와縣 가와사키市(川崎市)	1.62	0.59	1.0	2.5	2.4	
	오오사카府 堺市1	1.67	0.42	0.70	2.84	2.71	
	오오사카府 堺市2	0.75	0.19	0.18	0.90	1.72	
	효우고縣 아마가사키市(尼崎市)	0.84	1.7	0.58	0.62	0.46	
	후쿠오카縣 오오무타市(大牟田市)	0.38	0.33	0.38	0.15	0.68	
	평 균	1.00	0.55	0.49	1.49	1.45	
대 도시 지역	미야기縣 센다이市(仙台市)	0.30	0.09	0.15	0.91	0.04	94년 대도시 평균 0.37 pg/m ³
	도쿄都 新宿区	1.65	0.48	1.3	2.5	2.3	
	오오사카府 오오사카市1	1.45	0.28	0.24	2.69	2.57	
	오오사카府 오오사카市2	1.02	0.53	0.28	1.77	1.48	
	후쿠오카縣 후쿠오카市1	0.87	0.31	0.43	1.18	1.54	
	후쿠오카縣 후쿠오카市1	0.82	0.45	1.03	1.13	0.68	
	평 균	1.02	0.36	0.57	1.70	1.44	
중 도시 지역	오오사카府 枚方市	1.36	0.43	0.17	3.21	1.61	94년 중소도시 평균 0.2 pg/m ³
	오카야마縣 倉敷市	0.16	0.17	0.26	0.15	0.04	
	시마네縣 마츠에시(松江市)	0.05	0.06	0.00	0.12	0.01	
	후쿠오카縣 쿠루메시 (久留米市)	1.03	0.41	0.53	1.42	1.75	
	후쿠오카縣 소도시	0.75	0.51	0.71	0.89	0.88	
	후쿠오카縣 北野町	1.56	0.98	1.56	2.00	1.70	
	평 균	0.82	0.43	0.54	1.30	1.00	
배경 지역	오오사카府 南河内 郡 千早赤阪村	0.07	0.04	0.14	0.07	0.03	94년 배경지역 평균 0.02 pg/m ³
	후쿠오카縣 八女郡 失部村	0.10	0.08	0.03	0.13	0.14	
	니이가타縣 佐渡郡 相川村	0.05	0.01	0.05	0.13	0.00	
	평 균	0.07	0.04	0.07	0.11	0.06	
평 균		0.82	0.39	0.47	1.30	1.12	

자료 : 후생성생활위생국 河村成彦, "다이옥신류의 성질과 인체에 미치는 영향에 관하여", 産業 と 環境, 1997. 10.

<표 III-16> 일본의 흑송 침엽에서 검출된 다이옥신 농도

지 역	다이옥신류의 TEQ 농도 (pgTEQ/g) (PCDDs+PCDFs+Co-PCBs)
홋카이도(北海道)	1.42
이와테현(岩手縣)	2.02
치바현(千葉縣)	19.7
토쿄도(東京都)	5.41
카나가와현(神奈川縣)	21.0
시즈오카현(靜岡縣)	10.6
아이치현(愛知縣)	7.90
기후현(岐阜縣)	2.41
이시카와현(石川縣)	5.01
미에현(三重縣)	2.58
쿄토부(京都府)	8.20
나라현(奈良縣)	10.8
오오사카(大阪府)	19.9
오카야마현 (岡山縣)	7.66
히로시마현(廣島縣)	4.77
야마구치현(山口縣)	1.00
돗토리현(鳥取縣)	1.09
후쿠오카현(福岡縣)	3.30
오이타현(大分縣)	2.23

자료 : 官田秀明, “다이옥신·PCB 등 유기염소화합물의 환경리스크 평가에 관하여”, 지구환경시스템공학연구소 강연자료, 1997.

(2) 토양

일본에서 논, 과수원, 도시의 비농경지, 하천, 연안 해역의 토양 시료를 측정한 대부분의 자료에서 다이옥신이 수십 ppb 농도 수준으로 발견되었는데, 논에서 채취한 토양시료는 주로 1,3,6,8-TCDD, 1,3,7,9-TCDD와 8염화물 다이옥신(OCDDs)을 함유하고 있었다. 일본 환경청에서 조사한 자료에 의하면 연안 해역, 호수, 하천의 침적물에서 다이옥신 농도는 수년 동안 큰 변화를 보이지 않았고, 1,3,6,8-TCDD는 건중량으로 침적물 1g당 0.1ng(0.1ppb), OCDD는 1ng(1ppb) 정도가 각각 관측되었다.

<표 III-17>는 일본중에서 사이타마현과 후쿠오카현의 토양을 분석한 결과이며, 사이타마현은 남부에 주로 폐재를 소각하는 소규모의 산업폐기물 소각로가 집중되어 있는 지역이다. 이곳의 토양 중 소각잔사에서의 다이옥신 농도는 4,300pgTEQ/g과 2,100pgTEQ/g이었다. 한편 소각시설에서 100~900m의 떨어진 지점의 토양 중 다이옥신 농도는 96~220pgTEQ/g이며, 이는 4,500m 떨어진 대조토양이나 후쿠오카현의 도시지역보다도 훨씬 오염되었음을 알 수 있다. 따라서 소각 시설에서 발생한 다이옥신이 대기를

통해 인근 환경을 오염시킴을 확인할 수 있다.

토양뿐 아니라 강바닥에서 채취한 침적토나 바닷가 해안의 침적물에서도 다이옥신 화합물은 상당량 발견되고 있는데 이는 <표 III-18>와 같다. 일본 후쿠오카 지방의 강바닥 침적 토양과 해변가의 침적 토양에서 염소가 많이 함유된 7염화물 또는 8염화물 다이옥신 이성질체 화합물들이 염소가 적게 함유된 다이옥신 화합물보다 많은 양이 발견되어졌다. 한편 타이완 완리지방을 흐르는 어젠강에서 채취한 침적토에서도 최고 160ng/g의 총 다이옥신이 검출된 바 있다.

〈표 III-17〉 일본 토양에서의 다이옥신 농도
(사이타마현 및 후쿠오카현)

위 치	TEQ 농도 : PCDD+PCDF 농도 (PCDD +PCDF+Co-PCB 농도) (pg/g 건조 중량)
소각 잔사	4300
소각 잔사	2100 (3100)
소각 잔사 + 토양(50 m)	440 (560)
소각 잔사 + 토양(70 m)	520 (770)
소각 잔사(100 m)	140 (190)
토양(150 m)	180 (250)
토양(175 m)	220 (270)
토양(550 m)	210 (260)
토양(850 m)	97 (160)
토양(950 m)	96 (110)
대조 토양(4500 m)	34 (38)
후쿠오카 대도시 공원	4
후쿠오카 공공소각장 부근	15
후쿠오카 대도시 주변	2
후쿠오카 산꼭대기의 쿠누기 숲	31
후쿠오카 농촌의 삼나무 숲	65
후쿠오카 중도시주변의 공원	7
후쿠오카 공업도시의 공원	35

자료 : 官田秀明, “다이옥신·PCB 등 유기염소화합물의 환경리스크 평가에 관하여”, 지구환경시스템공학연구소 강연자료, 1997.

<표 III-18> 일본의 하천침전물내의 다이옥신 농도

위 치	농 도
일본의 후쿠오카 강	8ng/g OCDD <1ng/g HpCDD 1ng/g PeCDD <1ng/g PeCDD 1ng/g TCDD
일본의 해안가	5.5ng/g OCDD <1ng/g HpCDD <1ng/g HxCDD <1ng/g PeCDD 1ng/g TCDD
타이완의 어젠강 (12개의 다른 샘플) 0.006~160ng/g PCDD ND~288ng/g PCDF	

자료 : Ohsaki, Y., *et al.*, "Chemosphere", 1994, 23, 47

(3) 수계

일본의 환경청이 1986년 실시한 유해화학물질 오염실태 조사결과, 수계에서 검출된 다이옥신 종류는 1,3,6,8-TCDD, 1,3,7,9-TCDD, OCDD 등이며 검출률은 약 50%였다. 이는 논 제초제로 사용된 클로로 니트로펜(CNP)의 불순물로 발생된 것으로 추정되었다. 한편 다른 연구조사에 따르면 일본의 호수 에서의 다이옥신 농도는 N.D~50pgTEQ/L (N.D~10pgTEQ/L), 하천수는 2~33pgTotal/L라고 보고되어 있다.

(4) 음식물

일본 환경청이 일본 연안에서 잡히는 어패류의 다이옥신의 함량을 조사한 자료에 의하면 1985년 이후로 측정한 대부분의 어류에서 2,3,7,8-TCDD와 2,3,7,8-TCDF가 검출한계 1ppt 이상으로 발견되었다. 해안에서 멀리 떨어진 곳의 시료에서는 해안 가까이에서 잡힌 시료보다 훨씬 적은 양의 다이옥신이 검출되었으며 식육과 성장률이 큰 여름철을 지낸 시료에서 더 높은 양의 다이옥신이 검출되어, 이는 어류의 다이옥신은 먹이사슬을 통한 생물학적 축적에 의해 발생된 것임을 입증하였다.

일본의 패류(貝類)에서의 다이옥신 농도를 측정하기 위하여 실시한 연구결과, 오사카현에 서식하는 홍합에서 가장 높은 농도의 다이옥신이 검출되었다<표 III-19>. 그러나 홍합에서 검출된 TEQ의 대부분은 PCBs류의 이성질체였는데, 이는 PCBs계 화합물이 다이옥신류보다 물에 대한 용해도 및 생체이용률이 높기 때문이었다. 또한 홍합의 다이옥신 오염은 어떤 특정한 오염원에 의한 것이 아니라, 인구밀도 및 산업활동에 따른 광역적인 오염이 그 원인인 것으로 밝혀졌다.

1.2.3 EU 국가

(1) 대기

EU 회원국 중 8개국의 대기중 다이옥신 농도는 다음 <표 III-20>와 같이 국가 또는 지역마다 매우 다양하다. <표 III-20>의 대기환경내 농도는 1fg I-TEQ/m³에서 수백fgI-TEQ/m³에 이르고, 특히 영국의

남부웨일즈 지방의 한 지역(Pontyfelin House Site)에서는 14,800fgI-TEQ/m³의 높은 농도의 다이옥신이 검출되었다. 이는 시료를 채취한 지역의 인근에 대규모의 도시폐기물 소각로가 위치해 있기 때문인 것으로 밝혀졌다.

다이옥신의 대기중 농도는 계절적으로 변화하는 양상이 발생되었는데, 이는 대부분의 국가에서 나타나며 독일의 경우 TEQ를 기준으로 겨울철의 농도가 여름철보다 10배 가량 높았다. 이와 같은 계절적 차이의 원인은 명확하지 않으나, 겨울철은 연료소모가 증가하고 대기 기류의 혼합이 낮은 층에서 이루어지기 때문인 것으로 의심하고 있다.

〈표 III-19〉 일본의 혼합류에 함유된 다이옥신 농도

지 역	TEQ 다이옥신 농도(pg/g) (PCDDs+PCDFs+PCBs)
홋카이도	0.9610
이와테縣	1.488
지바縣 I	9.234
지바縣 II	3.730
토쿄만	16.21
카나가와縣	13.10
시즈오카縣 I	6.5
시즈오카縣 II	5.173
아이치縣	22.91
푸쿠이縣	2.248
오사카縣 I	36.22
오사카縣 II	13.87
오사카만	5.114
효고縣	13.95
오카야마縣	4.879
시마네縣 I	3.168
시마네縣 II	2.2
히로시마縣 I	8.549
히로시마縣 II	3.437
야마구치縣	2.938
코치縣	0.856
후쿠오카縣	8.314
오이타縣	2.578
오키나와縣	0.2

자료 : H. Miyata, *et al.*, "Survey on Pollution of Dioxin and Related Compounds Monitored by Blue Mussel as a Biological Indicator at 24 Coastal Areas in Japan, Organohalogen Compounds, Vol. 20, 187-190, 1994

(2) 토양

EU 회원국의 토양내 다이옥신 농도는 최저 1ngI-TEQ/m³에서 최고 100ng I-TEQ/m³까지 넓게 분포되어 있다<표 III-21>. 네덜란드의 경우 대부분의 토양 시료를 도시폐기물 소각로 부근에서 채취하여 평

균 252ngI-TEQ/m³로 높게 나타났다. 한편 오염지역의 경우 수백ngI-TEQ/m³에서 최고 100,000ng I-TEQ/m³에까지 이르는데 이는 국가별로 다이옥신 측정방법에 차이가 있음을 감안하여야 할 것이다.

〈표 III-20〉 EU 회원국의 대기 중 다이옥신 농도

국가	대기환경(fgI-TEQ/m ³)				침적 (pg-TEQ/m ² · 일)	
	불특정 지역	도시	농촌	오염지역	도시	농촌
오스트리아	1.3-587					
벨기에		86-129	70-125		<1-12	<1-3.1
독일	2-812				<1-464	
이탈리아		48-277				
룩셈부르크		54-77	30-64			
네덜란드		4-99	9-63	6-140		
스웨덴	5.4-53.7	<1-29				
영국		0-810	1-24	14,800	<1-312	<0-517

자료 : ECE & UK DETR, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data Task2-Environmental Levels, 1999

〈표 III-21〉 EU 회원국의 토양 중 다이옥신 농도(ngI-TEQ/m³)

국가	기타	산림	목초지	경지	전원	오염지역*
오스트리아		<1-64	1.6-14			332
벨기에	2.7-8.9				2.1-2.3	
핀란드						>90,000
독일		10-30	<1-30	<1-25	1-5	30,000
그리스	2-45					1,144
아일랜드	<1-8.6	4.8	<1-13			
이탈리아	<1		<1-43	1.9-3.1		
룩셈베르크	1.8-20	6.0			1.4	
네덜란드					2.2-16	99,000
스페인	<1-24.2				<1-8.4	
스웨덴					<1	11,446
영국	<1-87				<1-20	1,585

자료 : ECE & UK DETR, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data Task2-Environmental Levels, 1999

* : 오염지역 중 최고농도

(3) 식물

식물을 통해 대기환경내 오염물질의 농도를 예측해 볼 수 있는데, 각국의 제철소 부근에 서식하는 케일에 농축되어 있는 다이옥신 농도를 측정한 결과 룩셈부르크는 평균 106ngI-TEQ/kg, 독일은 23.6ngI-TEQ/kg 이었다. 오스트리아는 전나무의 다이옥신 농도를 측정하였는데 배경농도가 0.3 - 1.9ng I-TEQ/kg, 전원지역의 경우 0.5ngI-TEQ/kg, 도시지역의 경우 1 - 1.7ng I-TEQ/kg이었다. Bacaria와 Hesse의 연구에 의하면 독일 소나무에서의 다이옥신 농도는 0.53 - 1.64pgI-TEQ/kg이었으며, 오스트리아 Brixlegg 구리 제련소 부근의 소나무에서는 51 - 86ngI-TEQ/kg의 다이옥신이 검출되었다.

(4) 동물

몇몇 EU 회원국의 어류 중 다이옥신 농도는 <표 III-22>와 같이 수백 pg TEQ/g fat 정도로 관측되었다. 바다독수리나 바다오리와 같은 먹이사슬 내 최상위 포식자의 경우 고농도로 나타났는데, 핀란드의 흰꼬리 바다독수리의 경우 830 - 66,000pgTEQ/g fat의 다이옥신이 관측되었다.

<표 III-22> EU 회원국의 어류 중 다이옥신 농도(pTEQ/g fat)

국 가	핀란드	독일	스웨덴	영국
농 도	75-200	40-51	9.1-420	16-700

자료 : ECE & UK DETR, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data Task2-Environmental Levels, 1999

소의 우유는 다이옥신의 점오염원 부근의 대기환경을 예측하는데 이용된다. 이에 대한 네덜란드와 독일의 연구결과에 의하면 우유 중 다이옥신의 농도는 고도로 산업화되고 인구가 밀집된 지역의 경우 1 - 3pgTEQ/g fat 정도로 나타났으나, 이는 상업용 우유의 다이옥신 기준인 5 - 6pgTEQ/g fat 이하의 농도였다. <표 III-23>은 오스트리아, 프랑스, 아일랜드의 다이옥신 점오염원 인근에 서식하는 소의 우유중 다이옥신 농도를 조사한 것으로, 오스트리아의 구리제련 공장 주변에서 서식하는 소의 우유에서 다이옥신이 가장 많이 검출되었다.

<표 III-23> EU 회원국의 점오염원 부근의 소의 우유 중 다이옥신 농도(pgTEQ/g fat)

국 가	오스트리아	프랑스	아일랜드
배출원	구리 제련공장	도시 폐기물소각로 부근	점오염원을 제외한 일반 조사
농 도	5-69.5	0.32-8.37	0.13-1.5

자료 : ECE & UK DETR, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data Task2-Environmental Levels, 1999

1.3 국가별 규제현황

1.3.1 미국

(1) 대기청정법(Clean Air Act, CAA)

다이옥신과 퓨란은 CAA에서 지정한 189개의 유해대기오염물질(HAPs)중 하나이며, 다이옥신과 퓨란의 주요 배출원은 section 112(c)(6)의 배출목록('90)과 미국 다이옥신 배출원 목록²⁸⁾에 포함되었다. 현재 EPA에서는 다이옥신과 퓨란을 포함한 주요 대기오염물질 배출원을 대상으로 '유해대기오염물질의 배출 기준(NESHAPs²⁹⁾)이라는 대기배출규제를 실시중이다. 이러한 기준은 CAA의 112조와 129조를 바탕으로 수립되었으며, 신규 및 기존시설에 모두 적용된다. 다이옥신의 배출과 관련된 연방정부의 대기배출 기준은 일부부문에서 완성되었거나 의회에 상정중인데, 이에 해당하는 배출원은 도시폐기물연소(MWCs³⁰⁾) 시설, 병원/의약/감염성 폐기물 소각로(HMIWIs³¹⁾), 유해폐기물연소시설(HWCs³²⁾), 펄프 및 제지산업 등이다.

CAA에는 대기중의 다이옥신 규제기준은 아직 설정되어 있지 않으며, 도시폐기물 소각시설에서 배출되는 다이옥신 기준만이 설정되어 있다<표 III-24>. 기존 및 신규 소각시설로 구분하여 처리능력별로 산소농도 7%에 대한 배출허용기준이 설정되어 있으며, 1997년 이후 신설된 소각로의 경우 배출허용기준이 13ng-Total/m³(0.1 ~ 0.3ngTEQ/m³)으로 기존의 소각로에 비해 규제가 강화되었다.

미국 EPA는 이와 같이 강화된 규제에 의해 다이옥신과 퓨란의 주요 배출원으로부터의 배출량이 저감되리라 예상하고 있으며, MWC 규제에 의해 도시폐기물 연소시설의 경우 24gTEQ/년, 의약폐기물 소각로의 경우 6 ~ 7g TEQ/년의 다이옥신이 각각 감소할 것으로 추정하고 있다(USEPA, 1998).

(2) 수질청정법(Clean Water Act, CWA)

CWA는 수계로 오염물질이 방류되는 것을 규제하는 법으로, 이 법에서는 인체건강을 보호하기 위한 다이옥신의 수질환경기준을 1.3×10⁻⁸μg/ℓ 으로 정하고 있다. 또한 CWA는 CWA Biosolid rules에 의해 도시하수 슬러지의 사용과 처분을 규제하고 있다. 아직까지 다이옥신 농도에 대한 규정은 없지만 EPA가 1999년 12월 23일 재활용되거나 토양에 비료로 이용되는 biosolids의 다이옥신 농도기준을 300ppt로 할 것을 제안한 바 있다(64FR 72045).

28) Inventory of Sources of Dioxin in the United States(draft)

29) National Emissions Standards for Hazardous Air Pollutants

30) Municipal Waste Combustors

31) Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators

32) Hazardous Waste Combustor

〈표 III-24〉 미국의 도시폐기물 처리시설에 대한 기준

규 칙	소 각 시 설		기준 · 가이드라인 (ng/Nm ³ , O ₂ 7% 환산)
	건설시기	규 모 (처리능력)	
40CFR part 60 subpart Ea	98.12.20 ~ 94.9.20 건설 또는 89.12.20 ~ 96.6.19 개조	> 225 톤/일	배출기준: ≤30ng/Nm ³
40CFR part 60 subpart Eb	94.9.21 ~	> 35 톤/일	97.11.20까지 건설개조 최초3 년간의 배출기준: ≤30ng/Nm ³ 그후 배출기준: ≤13ng/Nm ³ 97.11.21이후 건설개조 배출 기준: ≤13ng/Nm ³
40CFR part 60 subpart Eb	~ 94.9.20	> 225 톤/일	EP를 사용하고 있는 시설 가 이드라인: ≤60ng/Nm ³ EP 이외의 처리장치를 사용 하고 있는 시설 가이드라인: ≤30ng/Nm ³
		35 < ~ ≤ 225톤/일	가이드라인: ≤125ng/Nm ³

자료: 환경부, 국립환경연구원, “'99 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과보고서”, 2000

(3) 음용수관리법(Safe Drinking Water Act, SDWA)

SDWA은 오염된 음용수로부터 건강을 보호하고 지하수의 오염을 방지하기 위한 목적으로 1974년 제정되었다. SDWA의 국가적 음용수기준(National Primary Drinking Water Standard)에서는 물질의 기준을 강제적인 오염기준(MCLs³³⁾)과 비강제적인 오염기준목표(MCLGs³⁴⁾)으로 나누어 정하고 있다. SDWA에 의해 설정된 2,3,7,8-TCDD의 MCLG는 궁극적으로 ‘0’을 목표를 하고 있으나, EPA는 현실적인 오염목표 기준(MCL)을 30pg/ℓ로 정하고 있다.

(4) Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act(CERCLA)

CERCLA는 규제되지 않거나 위탁 처리되는 유해폐기물에 대한 기준을 명시하고 있으며, CERCLA 목록에 등록된 유해물질을 보고의무량(reportable quantity) 이상으로 배출한 경우에는 즉시 국립대책센터(National Response Center)에 보고해야 한다. CERCLA §103(a)에 의하면 어떤 시설이나 점오염원으로부터 배출되는 다이옥신의 양이 1 lb를 초과하는 경우 즉시 보고하도록 되어있다(40CFR 302.4).

33) maximum contaminant levels

34) maximum contaminant level goals

(5) Superfund Amendment and Reauthorization Act(SARA)/ Emergency Planning and Community Right-to-Know Act(EPCRA)

SARA Title III에 의해 유해물질에 대한 정보를 보고·통고해야 하며, 매우 유해한 물질목록(Extremely Hazardous Substances list)에 포함된 물질이 일정량(Threshold Planning Quantities, TPQs) 이상의 농도로 존재하는 경우 EPCRA(Emergency Planning and Community Right-to-Know Act)에 의해 응급계획(emergency planning)을 준비해야 한다.

대기, 수계, 토양으로 배출되는 다이옥신은 TRI에 보고할 의무가 없었으나(SARA/EPCRA§313), 1999년 10월 개정된 TRI 규정에 의해 다이옥신과 다이옥신 유사화합물(7종의 PCDD와 10종의 PCDF)이 EPCRA 313(d)(2)의 TRI 물질목록에 포함되었다. 따라서 연간 0.1g 이상 다이옥신을 배출하는 시설은 반드시 TRI를 보고해야할 의무를 가진다(64FR 58665).

(6) 자원보전·회복법(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)

RCRA은 유독성 고형폐기물의 취급, 저장, 처리, 처분을 규제하기 위해 1976년 제정되었다. RCRA에서 제정한 유해폐기물은 비특정배출원 폐기물(non-specifics F-listed), 특정배출원 폐기물(specific K-listed) 등 몇 가지로 나뉘는데, 다이옥신을 포함하는 목재보존처리공정, 제철공정, 구리제련시설 등에서 배출되는 폐기물은 K-목록에 속한다(40CFR 261.31). 이 목록에 포함되는 폐기물은 토양에서 처리할 수 없다(40CFR 268, Subpart C - Prohibition on Land Disposal). 한편 다이옥신과 퓨란의 처리기준은 폐수가 아닌 경우 0.001mg/kg, 폐수의 경우 0.000063mg/L이다(40CFR 268.48).

(7) 유해물질관리법(Toxic Substances Control Act, TSCA)

다이옥신과 퓨란은 일부 화학물질 제조공정의 부산물로 배출되므로 EPA에서는 TSCA의 4조에 의해 화학물질 제조자나 수입업자로 하여금 상업용 유기화학물질 중 다이옥신과 퓨란의 존재여부에 대한 실험을 의무화하도록 하고 있다(52FR 21412-21452). 이러한 규제에 의해 화학물질의 제조공정이 얼마나 많은 양의 다이옥신과 퓨란을 부산물로 배출하는지 확인할 수 있으며 나아가 화학물질의 제조에 좀더 안전한 기술의 도입을 촉진할 수 있다.

(8) 연방살충제·살균제·살서제법(Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act(FIFRA))

EPA는 1983년 다이옥신의 유해성으로 인해 FIFRA에 의거 Silvex와 2,4,5-T의 판매를 금지하였다(USEPA, 1998). 다이옥신을 포함하고 있는 제품에 대해서도 규제를 강화하여 2,3,7,8-TCDD의 경우 모든 제품에 1.0ppb이상 포함되지 않아야 하며, 1989년 2월 이후부터 제조용으로 사용되는 PCP에서 6염화다이옥신(6-chlorinated dioxin)이 월 2ppm이상으로 방출하거나 1회에(batch level) 4ppm이상 배출되는 경우 사용이 금지되었다.

지금까지 살펴본 미국의 다이옥신/퓨란에 관한 규제기준은 다음 <표 III-25>에 정리하였다.

〈표 III-25〉 미국의 다이옥신/퓨란 관련 규제법규 및 관련조항

법규	관련조항
CCA	§112(c)(6): Major source categories identified; MACT standards promulgated for MWC(40CFR 60), MWC(40CFR 60), HMIWI(62FR48347), and HWC(64FR 52827)
CWA	CWA Priority: Listed Priority pollutant(40 CFR 423);subject to NPDES effluent limitations under §304(b)(40 CFR 122) and general pretreatment(40CFR 403) CWA Biosolids Rule:proposed standard of 300 parts per trillion toxic equivalents for dioxins in biosolids (64 FR72045)
Pulp and Paper Cluster Rule	(63FR 18504) : Sets new NESHAPS/MACT air standards specificially for the pulp and paper source category(under CAA 112(b)) and water effluent limitations and pretreatment standards for certain facility subcategories(under CWA 304(b), 307)
SDWA	NPDWR/MCL: 30pg/L(enforceable) MCL goal for 2,3,7,8-TCDD is zero
RCRA	RCRA : Several dioxin-bearing wastes are F-listed hazardous wastes, and as such are subject to land disposal restrictions(40CFR 261.31-32) Land disposal restrictions for certain dioxin-containing and wood-preserving wastes(40CFR 268.30-31 Subpart C)
SARA/EPCRA	CERCLA§103 : Spills of 2,3,7,8-TCDD>1lb. must be reported to the National Response Center SARA §313 : October 29,1999 Amendment adds dioxin-like compounds to those chemicals subject to TRI reporting requirements, with a theshold reporting quantity of 0.1 g/year (64FR 58666)

자료 : US EPA, '99 Great lakes binational Toxics Strategy : PCDD(dioxin)
and PCDF(furans) sources and Regulations, 2000

<표 III-25> 미국의 다이옥신/퓨란 관련 규제법규 및 관련조항(계속)

법규	관련조항
FIFRA and TSCA	FIFRA : Sale of Silvex and 2,4,5-T canceled for all uses (USEPA 1998) ; PCP use allowed only for wood on restricted basis (52FR 2282-2293)
< 약어설명 > CAA: Clean Air Act CERCLA: Comprehensive Environmental Response, Comensation, and Liability Act CWA: Clean Water Act FIFRA : Federal Insecticide, Fungicide, Rodenticide Act HAP : Hazardous Air Pollutant HWC : Hazardous Waste Combustors MACT : Maximum Achievable Control Technology MCL: Maximum Contaminant Level (drinking water standard) MWC : Municipal Waste Combustors HMIWI : Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators NESHAPS: National Emissions Standards for Hazardous Air pollutants(HAPs) NPDES: National Pollutant Discharge Elimination System NPDWR: National Primary Drinking Water Regulations RCRA: Resource Conservation and Recovery Act SARA/EPCRA: Superfund Amendment Reauthorizatio Act/Emergency Planning and Community Right-to-Know Act TRI : Toxics Release Inventory TSCA : Toxic Substances Control Act	

1.3.2 캐나다

다이옥신과 퓨란은 캐나다에서 Track 1 물질로 구분되어 관리되고 있다. 1.1.2에서 언급한 바와 같이 다양한 배출원을 가지고 있지만, 다음 <표 III-26>과 같이 일부 배출원에서의 배출허용기준만이 정해져 있다.

<표 III-26> 캐나다의 부문별 다이옥신/퓨란의 배출허용기준

부 문	배출허용기준
대기배출 (Atmospheric Releases)	
대형 도시소각로	0.5ng/m ³ *
시멘트화로	0.1ng/m ³
병원 소각로	0.5ng/m ³ *
유해폐기물 소각로	0.5ng/m ³ *
연방 소각로	0.5ng/m ³
병원생물체(biomedical 소각로)	0.5ng/m ³ *
수계배출 (Effluent)	
펄프 및 제지산업	2,3,7,8-TCDD < 15pg/ℓ
	2,3,7,8-TCDD < 50pg/ℓ

자료 : '99년 Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene Inventory of Releases, Environment Canada

* : CCME Guideline

1.3.3 일본

일본은 1980년대부터 다이옥신에 대한 관심을 갖기 시작하여, 1984년부터 1985년에 걸쳐서 쓰레기 소각시설의 긴급실태조사를 실시하였다. 이 조사를 근거로 1985년부터 5개년 계획으로 후생성은 국립공중위생원과 폐기물연구재단에 “폐기물 처리에서 다이옥신 등의 발생 메카니즘 등에 관한 연구”를 위탁함과 동시에 1990년 12월에는 쓰레기 처리에 관계되는 “다이옥신류 발생방지 등의 가이드라인”을 작성였다. 그 후 후생성에서는 1995년 11월에 “다이옥신의 위해성 평가에 관한 연구반”을 설치하고 다음해인 1996년 6월에 다이옥신의 1일 섭취허용량(TDI)을 10pgTCDD(TEQ)/kg-체중/day를 제안하였다. 현재 일본의 환경청에서는 1995년부터 다이옥신의 환경중의 잔류실태를 모니터링하고 있다.

한편 1997년 8월 폐기물처리법(“폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률”)의 시행령을 일부 개정하여 다이옥신의 배출원에 대한 운전관리기준 및 구조기준을 결정한 바 있다. 이는 다음 <표 III-27>에서와 같이 다이옥신의 1일 섭취허용(TDI)을 근거로 기존시설의 다이옥신 배출농도를 80ngTEQ/Nm³으로 설정하였으나, 최근에는 2000년 1월 15일부터 시행된 다이옥신 특별조치법(1999년 7월)에 의해 기존시설에 대해서는 80ngTEQ/Nm³을 그대로 적용하나 2000년 12월까지 유예기간을 두고 있다. 그러나 2001년부터 시설에 따라 점차적으로 배출기준을 낮추고자 한다.

한편 일본정부는 2000년부터 TDI 수치를 4pg/kg-체중/day로 적용하여 정부차원에서 다이옥신의 총량 저감계획을 수립하고자 노력하고 있다.

<표 III-27> 일본의 다이옥신 배출기준

종류	시설구분	신설시설 기준	기설시설 기준		
			2000.1 ~ 2000.12	2001.1 ~ 2002.11	2002.11 ~
폐기물 소각로	4ton/hr 이상	0.1	기준적용유예	80	1
	2~4ton/hr	1			5
	0.2*~2ton/hr 미만	5			10
제강용 전기로		0.5		20	5
철강업 소결시설		0.1		2	1
아연회수시설		1		40	10
알루미늄합금 제조시설		1		20	5

* 신설 소각시설의 경우는 50kg/hr 이상 시설

자료: 환경부, 국립환경연구원, “'99 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과보고서”, 2000

1.3.4 EU 국가

EU 국가중 독일과 네덜란드의 다이옥신/퓨란 규제기준은 다음과 같다.

(1) 독일

독일에서 다이옥신을 규제할 수 있는 법령은 연방대기정화법, 연방배출규제법, 다이옥신 규제가이드라인 등을 들 수 있다.

① 연방대기정화법 : 이 법에 의해 폐기물 및 유사한 가연성 물질을 사용하는 소각로에 관한 규칙이 1990년 12월 1일에 시행되었다. <표 III-28>에서 보는 바와 같이 폐기물 소각시설의 배기가스중의 기준치는 $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ 이나, 기존 소각로에 대해서는 1994년 3월 1일(일부는 1996년 12월 1일)까지 신규 기준에 대한 유예기간을 두었다. 하수슬러지에 대한 규제는 1992년 7월 1일 개정되었으며, 농지에 이용되는 슬러지의 다이옥신 기준치는 $100\text{ ngTEQ}/\text{kg}$ -슬러지(d.m)이다. 방목하고 있는 동물이 토양에서 직접 슬러지 입자를 섭취하거나 목초가 슬러지나 토양입자에 오염될 가능성이 있으므로 목초지에 대한 오염된 슬러지 사용은 원칙적으로 금지하고 있다.

② 연방배출규제법(Federal Emission Control Act) : 이 법은 독일의 환경전반에 대한 법률로서, 폐기물 소각에 대한 다이옥신의 배출기준으로 $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ 을 제시하고 있다. 또한 독일에서는 대기오염 방지와 관련하여 쓰레기 소각 및 연소시설뿐 아니라 자치단체가 신규공장의 조업을 허가할 때 구조기준으로서 반드시 최적가용관리기술(Best Available Control Techniques, BACT)의 적용을 따르도록 규정되어 있다. 한편 산업에 대한 배출기준의 경우, 폐기물종류와 업종의 구별없이 일괄적으로 배가스량 $5,000\text{m}^3/\text{hr}$ 이상의 시설에 대해서는 주(州) 환경장관회의(UMK)의 결정에 의해서 $0.1\text{ngTEQ}/\text{Nm}^3$ 을 따르도록 제시하고 있다.

<표 III-28> 독일의 다이옥신 대한 법적 규제기준

대 상	시행시기	규 제 기 준
화학물질	1989년	Pentachlorophenol(PCP) 금지
	1989년	Polychlorinated biphenyls(PCB) 금지
	1990년	다이옥신류의 종류에 따라 함유량 1.5 또는 $100\mu\text{g}/\text{kg}$ 규제
폐기물 소각시설	1990년	$0.1\text{ng I-TEQ}/\text{m}^3$
자동차용 Scavenger	1992년	유연휘발유에 Scavenger 첨가 금지
하수슬러지	1992년	농업용, 원예용, 산림용 퇴비로 사용되는 하수슬러지에 대하여 $100\text{ngITEQ}/\text{kg}$
화장장	1997년	$0.1\text{ngITEQ}/\text{m}^3$

자료: 김재형, “유럽국가의 다이옥신류 규제기준”, ‘첨단환경기술’ 2000. 5

③ 다이옥신 규제 가이드라인 : 1995년 연방환경청은 다이옥신류의 규제기준 설정에 대한 보고서를 발간하였는데 이 보고서는 산업시설로부터 다이옥신류의 배출저감을 위한 수단과 목표농도들을 권고하고 있다. 이 보고서에 따르면 농업용으로 사용되는 퇴비에 대해서는 $17\text{ngI-TEQ}/\text{kg}$ -건조중량이 권고되었다. 토양의 경우, 농업용 토양은 다이옥신 농도를 $5\text{ngI-TEQ}/\text{kg}$ 으로 저감시키고 이 농도를 초과할 경우 음식물 재배를 금지시키도록 권고하였다. 놀이터나 주거지역의 토양은 각각 $100\text{ngI-TEQ}/\text{kg}$, $1,000\text{ngI-TEQ}/\text{kg}$ 이상인 경우 교체 또는 조치를 취하도록 권고하고 있다. 또한 우유 및 유제품에 대해서는, 우유 중 최대 다이옥신 농도가 $5.0\text{pgI-TEQ}/\text{g}$ -유지방을 초과할 수 없도록 권고하고 있으며, 유제품은 $3\text{pgI-TEQ}/\text{g}$ -지방의 기준과 $0.9\text{pgI-TEQ}/\text{g}$ -유지방의 목표치를 설정하고 있다. 한편 TDI 권고치는

10pgI-TEQ/kg-체중(PCB 제외)을 설정하고 있어 이 농도 이상이면 별도의 조치를 취하도록 하고 있으며, TDI 목표치로는 1pgI-TEQ/kg-체중을 설정하고 있다.

(2) 네덜란드

네덜란드는 다이옥신류를 가장 유해한 물질로서 인정하고 있고 배출의 최소화를 의무화하고 있다. 관련법규로는 1989년 제정된 폐기물소각지침(Waste Incineration Guideline, WIG)이 있다. WIG는 지자체의 쓰레기 소각로, 유해폐기물 소각로, 의료폐기물 소각로, 슬러지 소각로의 관리를 주대상으로 하고 있으며 이들에 대한 배출기준은 0.1ngTEQ/Nm³의 일반 폐기물 소각시설의 규정을 그대로 적용하고 있다. 당시에는 지침이었으나 1999년 1월부터 법적 규제로 전환되었다. 이 기준의 적용을 위하여 최소한 년 2회의 사업자에 의한 “자주적인 측정”을 시행하여야 하며, 만약 목표기준치를 달성하지 못하는 경우에는 소각시설의 조업정지 등의 벌칙이 적용되고 있다.

한편 철강업의 소결로의 경우 BAT(Best Available Technology)의 개념을 도입하여 이를 기초로 0.4ngI-TEQ/m³를 권고치로 적용하고 있다. 하수슬러지에 대해서는 190ngI-TEQ/kg-건조중량을, 퇴비에 대해서는 1994년 RIVM에 의해 63ngI-TEQ/kg-건조중량을 권고치로 제안하고 있다. 또한 토양의 경우 1987년 거주지역과 농업지역으로 분류하여 각각 1,000ngI-TEQ/kg-건조중량이 제안되어 있다. 네덜란드는 다이옥신의 TDI 권고치와 목표치는 각각 10pgI-TEQ/kg-체중과 1pgI-TEQ/kg으로 설정하고 있다.

2. HCB

2.1 국가별 배출원

HCB는 다이옥신과 퓨란화합물을 배출하는 공정과 같은 열적, 화학적 공정에서 배출되며, 주요 배출원은 혼합소각을 포함한 폐기물 소각공정, 금속산업에서의 열처리공정, 노(爐)에서의 연소화 연료의 사용 등이다. 그러나 앞의 다이옥신/퓨란과 유사하게 각국의 다양한 산업공정에 의해 HCB의 주요배출원에 차이가 있으며, 주요 국가의 HCB 배출원별 배출량은 다음과 같다.

2.1.1 미국

미국에서의 HCB는 1940년대부터 1970년대 말까지 밀과 같은 곡류의 일차살균제로 제조·사용되었으나 1984년에 이러한 농약의 이용이 금지되어 현재 미국에서는 더 이상 상품(end product)으로 제조되지 않고 있다. 그러나 HCB는 다양한 제조과정의 부산물, 불순물, 중간생성물로 형성되며, 특히 연소계 용매와 농약의 생산과정에서 발생한다. HCB는 또한 다양한 소각 과정에서 불완전 연소물질로 형성되어 대기를 통해 매우 넓은 지역으로 확산되는 특성을 가지고 있어 이를 규제하는 것이 현실적으로 매우 어렵다.

아직까지 HCB가 대기로 확산되는 과정에 대해 정확하게 밝혀진 바는 없다. 1990년 대기정화법(Clean Air Act, CAA)의 Section 112(c)(6)에 따라 EPA는 전체 HCB 발생량의 90%정도를 차지하는 배출원을 1990 Emissions Inventory of Section 112(c)(6) Pollutants(EPA, 1998a)로 분류하였다. 그러나 자료가 불충분하여 HCB의 각 배출원별로 대기배출량을 추정하지는 못하고 있다.

주요 HCB 배출원은 1990년 배출목록 자료³⁵⁾를 통해 확인하였고, 그 외 대기배출을 일으키는 오염원

35) '90 Inventory data

은 발표된 관련문헌을 통해 조사하였다. 물이나 토양으로의 HCB 배출은 EPA의 TRI를 참조하였으며, EPA의 Permit Compliance System과 RCRA의 Biennial Reporting System을 통하여도 HCB의 수계 배출을 확인한 바 있다. 미국 EPA의 지속적인 환경 모니터링 연구를 통해서 호수와 강의 퇴적물이 HCB로 오염되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 자료에 의해서 확인된 미국내 환경매체별 HCB의 배출원 및 오염원은 다음과 같다.

(1) 대기 배출

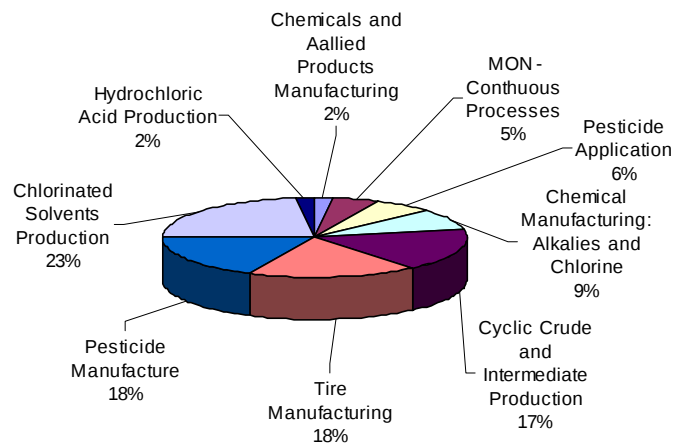
미국의 TRI³⁶⁾에 기록된 자료를 살펴보면 HCB의 모든 발생가능한 오염원은 다음 <그림III-1>과 같으며 이들로부터 배출되는 HCB의 총량은 매년 약 2.5톤(5,000 lbs)으로 추산되고 있다.

① 염소계 용매 제조시

미국 EPA는 매년 약 1,162 파운드의 염소계 용매(chlorinated solvents) 생산으로 인해 HCB의 대기 배출이 발생한 것으로 간주하고 있으며, 이는 전체 HCB 배출량 중 23%를 차지하는 것으로 추정된다.

HCB가 발생가능한 염소계 용매의 종류로는 carbon tetrachloride, perchloroethylene, trichloroethylene, ethylene dichloride, 1,1,1- trichloroethane 등이 있다. HCB는 이들 용매의 제조과정에서 불순물로 생성되며 증류과정을 통해 최종산물로부터 HCB를 분리해내기도 한다. 따라서 HCB의 발생량을 저감하기 위하여 염소계 용매생산업체에서는 정기적으로 증류기구(distillation apparatus)를 청결히 하는 것이 가장 중요하다.

<그림 III-1> 미국내 HCB의 배출원 및 배출현황



자료 : '90년 미국 TRI 참조

36) TRI의 대상이 되는 제조업체는 근로자 10명 이상을 고용하고 있으며 TRI 목록의 화학물질을 약 25,000 파운드를 제조 또는 처리하거나 10,000파운드를 사용하는 업체임.

② 농약 제조시

염소계 살충제의 제조시 불순물로 HCB가 생성되며, 이는 전체 HCB 배출량의 약 18%를 차지하고 있다. 따라서 미국 EPA는 atrazine, chlorothalonil, picloram, simazine, lindane, pentachlorophenol, dimethyltetrachloro-tetephthalate(DCPA), pentachloronitrobenzene (PCNB) 등의 염소계 살충제 오염물질로서 HCB의 최대허가농도(Maximum Allowable Concentrations)를 규제하고 있다.

미국내 염소계 농약 제조산업에서 HCB가 대기로 배출되어 나가는 양은 매년 916파운드에 이른다(Pope, 1999). 비록 HCB가 atrazine, simazine, lindane 등의 불순물로 생성되지만, 이러한 상용된 살충제들은 일반적으로 HCB를 거의 함유하고 있지 않다(Jensen, 1999). 미국 농약제조업체에서 작성된 자료에 의하면 Picloram에 8ppm, chlorothalonil에 22ppm, DCPA에 3000ppm의 HCB가 각각 포함되어 있는 것으로 밝혀졌다(Benazon, 1999).

③ 농약 살포시

HCB로 오염된 유기염소계 농약을 환경중에 살포시 주로 휘발을 통해 대기로 방출될 가능성이 있다. 오염된 농약에서 대기로 휘발되는 HCB는 전체 대기배출량의 약 8~80%로 추정되며, 이들 배출량은 매년 292 파운드에 달한다(Pope, 1999). 다음의 <표 III-29>은 HCB를 불순물로 포함하고 있는 농약의 유효성분, 상품명, 효능, 사용용도를 나타낸 것이다.

④ 타이어 제조시

1993년 NTI³⁷⁾ 자료에 의하면 미국내 타이어 제조시 대기로 배출되는 HCB의 양은 매년 870파운드인 것으로 나타났으며, 이는 전체 대기 방출량의 18%에 이르는 양이다. 그러나 RAM³⁸⁾은 1999년 7월 자체 내에서 수행된 실험 결과를 볼 때 타이어 제조업에서 이용되는 고무 처리과정에서는 HCB가 검출가능한 수준으로 발생하지 않는다고 주장하고 있다.

한편 미국내 고무제조협회는 1994년과 1995년에 걸쳐 고무산업에 대한 배출요소 개발을 위해 HCB가 배출 가능한 다양한 처리과정(mixing, milling, extruding, calendaring, curing)에 대한 연구를 수행한 바 있다. 이 연구결과 고무산업에서 처리되는 고무화합물 23종 중 라텍스³⁹⁾ 혼합 과정에서 HCB가 검출되었다.

37) National Toxics Inventory Data

38) Rubber Manufacturers Association : 미국의 모든 타이어 제조업체를 대표하는 고무 상품 산업을 위한 전국 무역 연합

39) 라텍스는 타이어 벨트를 코팅하는데 사용됨

〈표 III-29〉 HCB를 불순물로 함유하고 있는 농약의 종류 및 사용용도

유효성분명	상 품 명	효 능	주 요 사 용 처
Chlorothalonil	Daconil 2787 Forturf, Bravo, Exotherm Termil, Tuffcide	살충제	온실 토마토 및 원예식물 등 대부분의 작물에 사용함.
Dimethyl Tetrachloro- terephthalate	DCPA, Dacthal, Fatal, Decimate DAC 893, Dacthalor,	제초제	잔디, 원예식물, 양파, 브로콜리, 꽃양배추에 사용함.
Pentachloro- nitrobenzene	Terraclor, Tritisan, Quintozene, pCNB, Terraclor, Super X	토양살충제, 종자처리제	양배추, 꽃양배추, 땅콩, 고추, 콩, 마늘, 밀 및 다양한 원예식물의 습기제거에 사용함.
Picloram	Tordon, Borolin, Amdon, Pin, Grazon	제초제	뿌리가 깊고 잎이 넓은 잡초종류에 광범위하게 사용함. 설비공용로(utility right-of-way) 주변이나 목초지의 잡목림을 제거함.

자료 : '99 Great Lakes Binational Toxics Strategy : HCB Sources and Regulations

⑤ 고리화합물 원료 및 중간물질⁴⁰⁾ 제조시

미국내 고리화합물 원료 및 중간물질을 생산하는 모든 공정에서 25,000 파운드의 HCB가 제조 또는 처리되거나 10,000파운드의 HCB가 사용되고 있다. 따라서 미국내 모든 고리화합물 제조업체는 EPA의 TRI의 대상에 해당되므로 EPA에 HCB의 배출 및 이동을 반드시 보고하여야 한다.

TRI자료에 따르면 미국 멤피스에 위치한 한 화학회사에서는 1997년 약 14파운드의 HCB를 배출하였다고 보고한 바 있으며, 이보다 규모가 작은 회사는 TRI에 보고할만한 수준의 HCB를 배출하지는 않는 것으로 추정하고 있다.

40) Cyclic Crude and Intermediate로 미국내 SIC(Standard Industrial Code) code가 2865인 산업임

⑥ 화학제품 제조시 : 알칼리 및 염소

알칼리와 염소를 취급하는 산업공정에서도 HCB가 부산물로 발생하며, 1997년 미국내 주요 화학 회사에서 배출된 양은 총 135파운드이다. 이는 전체 HCB 대기방출량의 2%에 해당하는 양이다.

⑦ MON-Continuous Processes

MON이란 Miscellaneous Organic NESHAP⁴¹⁾로 다양한 유기화학물질의 생산 및 처리에 대한 배출 기준이다. MON에 포함되어 있는 유기물질의 종류는 benzyltrimethylammonium chloride, carbonyl sulfide, chelating agent, 폭발성 물질, hydrazine, 사진용 화학물질, 고무용 화학물질, symmetrical tetrachloropyridine, 페인트 및 접착제, 기타 유기화학물질 등 약 150개의 유기화학물질 산업이 포함되어 있다. 이들 다양한 유기화학물질의 제조시 발생하는 HCB의 양은 전체 대기방출량의 약 5%에 해당되고 있다.

⑧ 염화수소산⁴²⁾ 생산시

염화수소산 생산시에도 HCB가 부산물로 발생되며, 이는 전체 HCB 대기배출량의 약 2%에 달한다. 현재 미국 내 약 44개 회사⁴³⁾가 이 배출원의 범위에 포함되어 있다. 미국에서 제조되는 염화수소산의 90% 이상이 vinyl chloride와 같은 염화유기화학물질을 제조할 때 발생되고 있다. 또한 chlor-alkali 공장에서도 염소가스가 생성되며, 염화유기 폐가스, 염화금속과 황산의 반응시, fumed silica 생산시에도 발생되고 있다. 이와 같은 HCl 가스는 일반적으로 수용성 성질을 이용하여 물에 흡수시킴으로써 회수하고 있다. HCl 흡수제에서 배출된 가스는 부식 스크러버(caustic scrubber)를 경유하는 과정을 거친다. 그러나 습식가스 소각설비 중에는 HCl을 회수하거나 통제하지 못하는 것도 있다.

⑨ 석탄연소시

1993년에 발표된 유해화학물질 배출량자료에는 석탄 연소가 HCB의 배출원인으로 분류되지는 않았으나, EPA의 "1998 Emissions Inventory of Section 112(c)(6) Pollutants(EPA, 1998a)"에 따르면 미국내 HCB 발생량의 30%에 달하는 양이 발생한다고 명시되어 있다.

그러나 미국내 전력연구소(EPRI)⁴⁴⁾는 이와 같은 EPA의 자료를 반박하며 석탄의 연소가 HCB의 주요 배출원이 아닐 것으로 주장하고 있다. 전력연구소의 주장에 따르면 석탄을 연료로 사용하고 있는 14개의 화력발전소에서의 HCB 발생에 대한 연구결과, 모든 연구지역에서 HCB가 검출되지 않았다고 한다. 또한 비록 HCB가 몇몇 장소에서 발견되었다고 하더라도 각각의 발전소 설비에서 진행된 3개의 실험결과의 평균은 기준치를 넘지 않았다. 또한 온타리오주의 화력발전소를 대상으로 한 실험에서도 HCB가 검출한 계치(0.02ng/ml)를 초과한 바 없었다. 향후 이와 같은 논쟁을 종식시키기 위하여 석탄연소로 인한 HCB 발생여부와 발생량에 관한 연구가 좀더 지속되어야 할 것이다.

41) National Emissions Standard for Hazardous Air Pollutants : 유해 대기오염물질에 대한 배출기준

42) Hydrochloric Acid

43) 이들 회사가 운영하고 미국내 공장 수는 82개임

44) The Electric Power Research Institute

⑩ Aluminum Degassing

2차 알루미늄 공정에서 용해된 알루미늄으로부터 가스를 제거하기 위해 용매제로 hexachloroethane(HCE)을 사용할 때 HCB가 배출된다는 연구결과가 보고된 바 있다(Westberg et al., 1997). 그러나 알루미늄 협회는 미국에는 용매제로서 HCE를 사용하는 대규모 2차 알루미늄 공정이 없으며, HCE를 용매제로 사용한다고 보고된 소규모의 2차 알루미늄 용광로는 5대호 연안에 없다고 밝히고 있다.

⑪ 폐기물 소각 및 시멘트 제조시

염소계 물질의 불완전한 분해로 인한 HCB의 배출은 시멘트 또는 aggregate kilns뿐만 아니라 자치단체의 폐기물, 병원 폐기물, 유해성 폐기물, 하수슬러지 소각 때문인 것으로 알려져 있다(Benazon, 1999; Cohen et al. 1995). 일반 폐기물 또는 병원 폐기물의 소각장, 시멘트 킬른 등에서 발생하는 HCB의 양은 대기 유해물질의 저감기준을 준수함으로써 조절될 수 있다.

⑫ 무단소각행위

EPA에서 수행한 배출특성화연구⁴⁵⁾에서 HCB의 배출이 검출된 바 있으며(EPA, 1997), 최근에는 소각된 폐기물 1톤당 배출되는 양에 대한 HCB 배출요인이 개발되고 있다. 그러나 아직까지 무단소각행위(open trash burning)를 통해 배출되는 양을 예측한 바는 없다. 이는 소각방법 및 폐기물의 특성에 대한 연구의 부족, 무단소각행위에 대한 행위의 기준(activity level)이 없기 때문이다. 현재 미국내 원주민중 578개 부족이 거주하는 지역의 약 95% 이상에서 이와 같은 무단소각에 의해 폐기물을 처리하고 있는 실정이다.

⑬ 목재 보존

목재방부제인 PCP(pentachlorophenol)에도 HCB가 포함되어 있어 처리된 목재를 통해 환경이나 인체 건강에 심각한 영향을 미치게 된다. 따라서 미국 EPA는 PCP의 HCB 농도를 75ppm 이하로 규정하고 있다. 한편 PCP 제조업체에서 조사·보고된 자료에 의하면 PCP의 평균 HCB 농도는 40ppm으로 기준치 이하이며, 일반적으로 사용되는 40-ft길이의 전신주 하나에는 약 10 파운드의 PCP를 포함되어 있었다. 목재방부제에 포함되어 있는 HCB는 주로 휘발에 의해 대기로 확산되며, 목재방부제의 목재내 침투정도에 따라서 휘발율의 범위가 12% - 36%로 차이가 나는 것으로 밝혀졌다. 특히 전신주에 사용되는 PCP에 함유된 HCB는 주위의 토양으로 유출되어 오염시킬 가능성이 높다는 연구결과도 보고된 바 있다(WLSSD, 1998).

⑭ 하수처리시설

하수처리시설에서 HCB는 처리과정 중에 휘발되거나 폐수에서 물 표면으로 배출된다. 또한 토양에 투

45) Emission Characterization Study : 가정 폐기물 소각 모형에서 배출되는 HCB의 양을 정량화하는 연구

기된 하수 슬러지에서 HCB가 휘발되기도 한다. 하수처리시설에서의 HCB 양은 처리 시설에 따라 매우 다양하며, 이는 폐수의 배출 유형(지방, 도시, 산업지역)과 수행된 처리 방식에 따라 다르게 나타나고 있다.

수처리시설의 HCB은 주로 HCB 폐기물을 배출하는 시설에서의 유입수, 오염된 퇴적물의 재부유(resuspension), 처리과정 중 HCB로 오염된 염화산화철⁴⁶⁾ 사용에 의해서 발생되고 있다(Benazon, 1999; WLSSD, 1998).

⑮ 기타 배출원

앞에서 언급된 HCB 배출원 이외에 철이나 강철생산, 목재 및 생물자원(biomass)의 소각, 석탄생산, 도료제조, pyrotechnic, 생활용품생산, 비누생산, 펄프 및 종이제조, 직물제조 공정 등에서 발생하는 것으로 보고되고 있다.

(2) 수계 배출

미국 TRI 보고서에 따르면 농약과 염소계 용매를 통해 주기적으로 HCB가 수계로 배출된다고 보고되어 있다. 1997년에는 250파운드의 HCB가 알칼리와 염소 산업 분야로부터 수계로 배출되었으며, 농업 화학분야에서는 26파운드가 배출되었다고 보고되었다. 이는 HCB의 대기배출량과 비교해 볼 때 약 5%에 해당되는 수준으로, 대부분 부산물로 발생하는 HCB는 대기로 방출됨을 알 수 있다.

(3) 토양배출 및 유독폐기물

HCB는 유독폐기물로 분류되어 있어, 미국의 자원보존·회복법(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)에 의해 규제되고 있다. 특히 염소계 용매, 반도체 및 살충제 제조과정 중에 포함되어 있는 염소계 화학물질 처리과정에서 HCB가 함유된 타르(tar)와 염화 알칼리물질이 발생되고 있다. 과거에는 이러한 폐기물을 매립하거나 자치단체의 하수 처리시설에서 처리 또는 소각하였다. 그러나 이런 매립장의 관리가 허술하면 HCB가 환경으로 배출될 가능성이 매우 높다.

그 대표적인 사례로 캐나다 온타리오주에 위치한 다우케미칼(주) 매립지에서 인근의 St. Clair강으로 HCB가 배출되는 사건이 발생한 바 있다. 현재 다우케미칼사는 이 매립지를 복원하고 있으며, HCB 배출량을 최소화하는 방법을 강구하고 있다. 그러나 이전에 염화알칼리, 염소계 용매, 살충제 제조에서 발생한 HCB 폐기물을 처리하였던 다른 매립지에서 이와 같은 복원의 필요성이 어느 정도인지는 알려진 바가 없다. 현재 미국내에서 발생하는 HCB의 토양배출량은 아직 조사된 바가 없다.

(4) 미국내 HCB 배출현황

<표 III-30>의 미국내 산업분야별 HCB 배출량을 살펴보면 TRI에 의해 보고된 HCB의 총 배출량은 점차 감소하고 있는 것으로 나타났다. HCB가 발생가능한 산업분야 중 가장 배출량이 많은 세 분야에 대한 환경매체별 배출량은 <표 III-31>과 같다. 염소나 알칼리 물질 생산과정 중 부산물로 배출되는 HCB는 주로 대기나 인근 수계로, 농약에 포함된 HCB는 처리지역 이외의 생태계로 확산되는 경향을 보이고

46) Ferric chloride(염화산화철)는 폐수처리시 입자의 침전을 용이하게 하고 악취를 제거하기 위해 사용됨

있다.

한편 <그림 III-2>는 HCB의 모든 배출원에 대해서 1990년부터 1997년까지 TRI에 보고된 대기 및 수계로의 배출 경향을 나타낸다. 대기중으로 배출된 HCB의 양이 1992년에 현저히 증가했다가 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 염소 및 알칼리물질 생산공정에서 생성된 HCB가 증가하는데 기인하고 있다.

<표 III-30> 미국내 산업분야별 HCB 배출량(단위: lb)

산업분야	SIC Code	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
염소 및 알칼리 물질	2812	530	1,176	7,129	628	1,324	5,169	518	768
농업용 화학제품 등	2879	12,063	23,470	7,335	940,744	648,006	28,619	1,065,57	34,091
Cyclic Crudes 및 중간생성물	2865	14	14	15	12	0	4	22	830
중단, 변형, 미상	2800	--	--	--	--	--	80	209	115
산업 유기 화학물질 등	2869	0	0	0	0	340	0	0	--
Cement, Hydraulic	3241	0	--	--	23	--	--	--	--

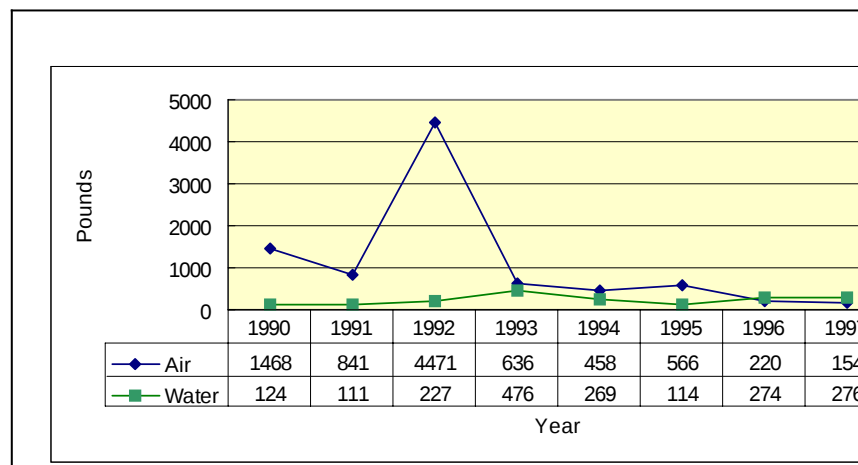
자료 : '97년 미국 TRI 자료참조

<표 III-31> TRI에 보고된 산업별 분류에 따른 HCB 배출량(단위:lb)

산업별 분류	SIC Code	대기배출	대기퇴적	지하유입	off-site Transfers	수계배출
염소 및 알칼리	2812	106	29	139	6	250
농업용 화학제품 등	2879	5	-	-	12,032	26
Cyclic Crudes 및 중간생성물	2865	14	-	-	-	-

자료 : '97년 미국 TRI 자료참조

<그림 III-2> 전체 오염 배출원에 대한 HCB의 대기 및 수계 배출경향 (1990-1997, TRI)



2.1.2 캐나다

캐나다는 1999년 1월 POPs 물질중 부산물로 발생하는 다이옥신, 퓨란, HCB에 대한 배출목록을 작성한 바 있다. 그러나 대부분은 다이옥신과 퓨란에 관한 자료들이며, HCB에 관한 대기 중 배출목록은 다음 <표 III-32>과 같다. C4(Canadian Chlorine Coordinating Committee)에서 조사한 캐나다내 HCB는 주로 소각을 통해 발생하는 것으로 밝혀졌다. 특히 시멘트화로에서 가장 많이 발생하고 하수슬러지, 도시쓰레기, 유해폐기물, 병원폐기물 소각시 발생되고 있다. 또한 농약사용으로 인해 HCB가 발생되고 있으며, 이는 미국의 HCB 발생현황과 유사하다. 그러나 미국의 경우 소각을 통한 HCB 발생량은 현재 거의 전무한 실정이며, 주로 농약사용과 염소 및 알칼리 물질 생성시에 HCB가 주로 발생되고 있다. 캐나다내 HCB의 대기방출 목록 이외에 다른 환경매체를 통한 HCB 배출원 및 배출량은 아직 조사되지 않았다.

<표 III-32> 캐나다의 대기중 HCB 배출량(kg/년)

배출원	C4 분석결과			Inventory Information	Assessment Report
	최저	평균	최고		
시멘트 화로	23	161	1132		
살충제 사용	83	83	83		410
하수슬러지 소각	7	66	655	0.62	
바이오매스 연소	4	48	637		
도시 소각	3	35	318	25.10	
유해폐기물소각	4	26	181	0.02	0
Teepee 버너 (도시폐기물)				26	
석탄 연소	1	4	14		
병원 소각	0	3	24	0.02	
사용중인 Utility Poles(대기)				2.2	
사용중인 철도 침목				3.5	
2차 구리공정	0	2	4		
철 당화공정	0	1	3		
염소계 용매사용		0.05		0.1	
목재방부제가 처리된 목재(고체)				1.1	
화학적 생산물(대기)				0.1	
폐수처리시설의 배출물					0
장거리 이동					510
유해폐기물 매립					0
기타산업의 배출					0
총계	124	429	3051	59	920

C4 = Canadian Chlorine Coordinating Committee, Assessment Report의

“0”은 “unknown”

자료 : ‘99년 Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene Inventory of Releases, Environment Canada

2.2 국가별 오염현황

HCB의 오염현황에 대한 연구는 다이옥신과 퓨란화합물에 비해 상대적으로 적게 수행되어 왔다. 향후 이에 대한 중점연구가 요구되며, 주로 캐나다의 자료를 근거로 살펴본 HCB의 잔류성 및 생물농축성은 다음과 같다⁴⁷⁾.

우선 HCB는 대기중으로 기체상과 고체상으로 분배되어 배출된다. 기체상 HCB의 직접적인 광분해에 의한 반감기는 대략 80일 정도이고, 광산화작용에 의한 반감기는 156.5일에서 4.2년까지로 추정된다. Mackay et al.(1992)에 의하면 대기 중 HCB의 반감기는 2년에서 6년으로 알려져 있다. HCB는 대기중에서 장거리 이동이 가능하여 북극의 대기나 눈, 해수, 초목, 생물군 등에서 검출되고 있으며, 그 외 북태평양 등지에서도 다수 검출되고 있다.

토양내 HCB의 잔류성을 알아본 Mackay et al.(1992)의 연구결과에 의하면 HCB의 토양내 반감기는 6년 이상으로 밝혀졌고, 다른 연구결과에서는 토양내 호기성 생분해에 의한 HCB 반감기는 2.7 ~ 5.7년으로 밝혀졌다. 한편 HCB를 포함한 곡물종자처리용 살충제를 사용한 지 10년 내지 15년 후에도 토양에서 HCB가 검출되는 되는 것으로 나타났다.

그 외 수질중에서 HCB의 반감기는 6년 이상으로 추정되며 호기성분해의 조건에서 반감기는 2.7 ~ 5.7년, 지하수에서의 반감기는 5.3 ~ 11.4년이었다.

한편 퇴적물 내 HCB의 잔류를 조사하기 위해 fugacity model과 반응속도를 이용한 결과 반감기는 6년 이상인 것으로 나타났다.

HCB의 생체내 생물농축 정도를 표시하는 생물농축계수(BCF, bioconcentration factors)를 조사한 결과, 담수조류 24,800, worm 106,840, 녹색개복치(green sunfish) 21,900 등으로 매우 높은 수치를 나타냈다. 해양 생물내 생물농축계수는 새우의 경우 11,458, sheephead minnows는 6,692, pinfish는 21,000이었다. 이와 같은 HCB의 생물농축은 먹이사슬을 통해 이루어지며, 농축 정도는 열대지방에 사는 생물일수록 커졌다⁴⁸⁾.

캐나다에서는 1960년대부터 무척추동물, 어류, 파충류, 조류, 포유류 등 다양한 생물종에서 HCB가 검출되고 있으나 1970년대 중반에 최고 농도를 나타난 후 점차 감소추세를 나타내고 있다.

2.3 국가별 규제현황⁴⁹⁾

2.3.1 미국

미국에서 해충방제의 목적으로 사용되는 HCB에 대해서는 이미 1984년에 FIFRA⁵⁰⁾에 의해 사용이 금지되었다. 그러나 농약이나 염소계 용매 생산공정, 소각 등에 의해 발생하는 부산물로서의 HCB에 대한 규제는 <표 III-33>과 같이 6개의 관련법에 의해 규제되고 있다. 또한 이러한 물질을 제조하는 업체들은 EPA의 TRI에 의해 보고하여야만 한다. 다음은 미국내 HCB 관련법의 규제내용을 정리한 것이다.

47) Environment of Canada, Priority Substances List Assessment Report(1993) 참조

48) Environment of Canada, Toxic Substances Management Policy(1997.3) 참조

49) 세부적인 규제기준은 부록 II를 참조

50) Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, 연방살충·살균·살서제법

(1) 대기청정법(Clean Air Act, CAA)

미국내의 모든 대기오염을 규제하는 CAA는 EPA, 주 정부, 지역내 대기질 관련국 등이 모두 이 법의 시행에 관여되어 있다. CAA의 주요 규제요건은 유해대기오염물질의 배출기준(National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants, NESHAPS)과 최대수행가능규제기술(Maximum Achievable Control Technology, MACT) 등이며, 미국내 유해 대기오염물질을 대분류 및 소분류하여 관리하고 있다. 그러나 CAA에는 현재 부산물로 대기질로 배출되는 HCB에 대한 직접적인 규제기준은 마련되어 있지 않으나, 다음과 같이 간접적으로 규제할 수 있는 제도를 수행하고 있다.

우선 EPA는 농약활성물질에 대한 대기독성물질규칙(Air Toxics Rule for Pesticide Active Ingredient Production)⁵¹⁾을 제정하여 농약제조시 유해물질의 대기배출을 규제하고 있다.

따라서 미국에서 운영되는 농약 제조공장은 이 기준을 준수하기 위하여 대기오염물질배출 억제장치나 대체오염방지기술 등을 도입하고 있다. 이 규제로 인해 불순물로서 HCB를 포함하고 있는 농약인 Chlorothalonil와 Dacthal의 생산시 유해대기오염물질이 약 65% 정도 감소하였다고 미국 EPA가 보고한 바 있다.

한편 합성유기화학물질 제조산업(Synthetic Organic Chemical Manufacturing Industry, SOCMI)의 VOC(Volatile Organic Compounds)의 배출에 대한 수행 기준은 CAA의 40 CFR 60.489(7/1/97)에 의해 규제되고 있다. 또한 부산물로 배출되는 HCB에 대한 규제는 합성유기화학물질 제조산업에서 배출되는 유해유기화학물질 대기배출기준(Synthetic Organic Chemical Manufacturing Industry Hazardous Organic NESHAP, SOCMI HON)(40 CFR 63.100)에 의해 이루어지고 있다. 이는 합성유기화학물질 제조 산업체에서 화학제품의 제조 중 발생하는 유해한 유기물질에 대한 기준이다.

도시폐기물이나 의료폐기물 소각시 발생하는 유기화학물질에 대해서는 최대수행규제기술(MACT)에 근거한 배출한계가 규정되어 있다. 이와 유사하게 유독 폐기물을 소각하는 소각로, 시멘트 화로, 경량재(lightweight aggregate) 화로에 대한 유해물질 배출기준이 있으며, 이 규제로 인해 소각로에서 발생가능한 HCB의 배출이 억제되고 있다.

51) Clean Air Act 112조에 의해 제정됨

<표 III-33> 미국의 HCB관련 규제법규 및 관련조항

법규	관 련 조 항
CCA	§112(b): Designated a HAP; Major source categories identified under §112(c)(6); NESHAPS established for SOCM(40CFR 63.100); other MACT standards to be promulgated. Air toxic rule for pesticide active ingredient production(62 FR 60566)
CWA	CWA Priority: Listed Priority pollutant(40 CFR 423);subject to NODES effluent limitations under §04(b)(40 CFR 122) and general pretreatment(40 CFR403) Bioaccumulative Chemical of Concern(BCC) under the Great Lakes Water Quality Guidance
SDWA	NPDWR/MCL: 0.001 mg/L(enforceable) MCL goal is zero
RCRA	Subtitle C: HCB-containing substances are characterized as(D032) hazardous wastes-many as F&K wates(40 CFR 261.24 and 261.32); subject to hazardous waste regulations(40CFR261.1) HCB is also listed as a Toxic Commercial Pesticide Product(U127)(40CFR 261.33) Universal treatment standards for HCB in waste(40CFR 268.48;some F, K, and U wastes with HCB as a regulated treatment performance constituent prior to disposal can be found in CFR 268.40)
SARA/EPCRA	§13: Releases (by facilities with 10 or more employees and that process 25,000 lbs., or otherwise use 10,000 lbs.) must be reproted to TRI(40CFR 372.65)
SARA/EPCRA (계속)	Jan. 5, 1999 Federal Register proposed reduction of TRI reporting threshold to 10 lbs. per year (64CFR687)
CERCLA	§03: Spills of HCB > 10 lbs. must be reported to the National Response Center
< 약어설명 > CAA: Clean Air Act CERCLA: Comprehensive Environmental Response, Comensation, and Liability Act CWA: Clean Water Act HAP: Hazardous Air Pollutant MCL: Maximum Contaminant Level (drinking water standard) NESHAPS: National Emissions Standards for Hazardous Air pollutants(HAPs) NPDES: National Pollutant Discharge Elimination System NPDWR: National Primary Drinking Water Regulations RCRA: Resource Conservation and Recovery Act DWA : Safe Drinking Water Act SOCMI: Synthetic Organic Chemical Manufacturing Industry SARA/EPCRA: Superfund Amendment Reauthorization Act/Emergency Planning and Community Right-to-Know Act TRI : Toxics Release Inventory	

(2) 수질청정법(Clean Water Act, CWA)

CWA는 지표수의 화학적, 물리적, 생물적 보전을 유지하고 복원하기 위한 목적으로 미국내 지표수에 대한 오염물질의 배출을 규제하는 법이다. 미국 EPA는 점오염원의 배출을 방지하기 위해서 CWA 조항에 산업체의 배출규모에 따라 배출조건이나 폐수를 제안하는 국가적 오염배출저감시스템(National Pollution Discharge Elimination System, NPDES)을 규정·운영하고 있다.

오염배출저감시스템에 의하면 도시의 폐수처리 시설이나 하수처리 시설을 통한 유해물질의 간접적인 배출은 반드시 EPA의 전처리(pretreatment) 요건을 만족하여야만 한다. 이들 시설로부터 수계로의 직접 배출과 전처리 기준에 대한 폐수정책 규정은 각 관련 산업체별로 구분되어 있다. 또한 오염된 유거수(runoff)의 위해성을 다루기 위해서, 산업활동과 관련된 모든 강수의 배출(storm water discharge-중소도시의 storm sewer system, 혹은 EPA나 주정부가 수질을 오염시킬 수 있다고 판단되는 배출수, 혹은 중대한 수질오염을 일으킬 수 있다고 판단되는 것)은 NPDES의 강수(storm water) 허가가 요구된다.

(3) 음용수관리법(Safe Drinking Water Act, SDWA)

SDWA는 음용수의 오염으로부터 인체 건강을 보호하고 지하수 공급의 오염을 방지하기 위하여 1974년 제정되었다. SDWA의 기본적인 음용수 기준에는 최대오염수준(Maximum contaminant levels, MCLs)과 'Non-enforceable maximum contaminant level goals (MCLGs)'이 규정되어 있으며, 이 규정에 의한 HCB의 최대오염 농도는 0.001mg/L(1ppm)이며 MCLGs의 목표는 무배출로 명시되어 있다.

(4) 자원보전·회복법(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)

RCRA는 유독성 고체 폐기물의 취급, 저장, 처리, 배출에 대한 규제법이다. 이중 RCRA의 Subtitle C에는 점오염원에서 배출되는 유독 폐기물의 발생에서부터 처리까지를 모두 다루고 있다. HCB를 함유하는 고형폐기물은 RCRA법 40 CFR 261.24에 정해진 방법에 따라 독성실험을 수행하여야 하며, 만약 독성이 있다고 인정되면 유해폐기물로 분류·관리되고 있다. 또한 동법의 40 CFR 261.33 조항에 의해 HCB가 포함된 어떠한 상업적 화학제품 또는 제조 중간산물은 반드시 연방정부/주정부의 유해폐기물 규정에 따라서 관리되어야 한다. 그러나 이러한 폐기물을 소량 배출하는 배출업자들의 경우 동법 40 CFR 261.5 조항에 따라 부분적인 면제를 받을 권리가 있다.

(5) CERCLA⁵²⁾ 보고량

52) Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act

HCB는 CERCLA 또는 Superfund 관련규정에는 배출을 보고해야 하는 유해물질의 목록에 포함되어 있다. 따라서 HCB의 환경내 배출량이 10파운드(또는 4.54kg)을 초과할 경우 즉시 배출량을 국립대책센터(National Response Center)에 보고하여야 한다.

(6) Superfund Amendment and Reauthorization Act (Emergency Planning and Community Right-to-Know Act)

미국내에서 사용되고 유해화학물질은 SARA Title III(Superfund Amendment and Reauthorization Act)와 EPCRA(Emergency Planning and Community Right-to-Know Act)에 의해 이들 물질에 대한 정보를 보고 및 통보를 해야만 한다. 즉, EPCRA의 주요 규제내용으로는 유해물질에 대한 비상시계획(emergency planning), 배출량통보, 지역사회에 대한 알권리를 충족시키는 보고⁵³⁾, 유해물질배출량보고(TRI) 등이 포함되어 있다.

(7) 주정부 법

미국내 모든 주는 연방정부의 환경기준과 더불어 자체적인 환경규제 기준을 갖추고 있으며, 현재 몇몇 주에서는 이미 HCB에 대한 규제기준이 마련되어 있다.

HCB에 대한 수질기준 및 지침서는 인디애나, 미시간, 미네소타, 뉴욕, 오키오, 위스콘신 등에서 마련되어 수행 중에 있다(ATSDR, 1999). 인디애나, 미시간, 뉴욕, 펜실바니아주의 경우 HCB에 대한 평균적으로 수용가능한 대기 농도를 구한 바 있다. 한편 일리노이, 미네소타, 펜실바니아주는 HCB에 대한 유해폐기물의 독성학적 특성을 규정한 바 있고, 미시간과 미네소타주는 유해폐기물의 무단소각을 엄격히 규제하여 HCB의 발생을 억제하고 있다.

2.3.2 캐나다

(1) POPs 물질의 규제

캐나다 연방정부는 1995년 독성물질관리정책(Toxic Substance Management Policy, TSMP)을 수립하여 관리 대상물질을 Track 1 물질과 Track 2 물질로 구분하였다. 다음 <표 III-34>의 4가지 특징을 갖고 있는 물질은 캐나다 환경내에서 완벽히 제거되어야 할 Track 1 물질로 선정·관리되고 있다.

Track 1 물질은 UNEP의 12개 POPs 물질과 동일한 물질이 선정되어 있어, HCB도 여기에 속한다 <표 III-35>. Track 1 물질 이외의 독성물질과 유해한 영향이 우려되는 물질을 Track 2 물질로 구분하여 환경내로의 배출을 최소화하도록 관리하고 있다. <표 III-34>의 선정기준에 적합하지 않은 물질들이 Track 2 물질에 해당되며, 현재 이들 물질의 오염방지, 오염제어 및 복원 등을 위한 프로그램이 활발히 수행중에 있다.

53) Community right-to-know reporting

〈표 III-34〉 캐나다의 Track 1 물질 선정기준

잔류성		생체축적성	독성	주요배출원
매체	반감기			
대기	2일	BAF $\geq$ 5,000 or BCF $\geq$ 5,000 or log Kow $\geq$ 5.0	CEPA-toxic or CEPA-toxic Equivalent	대부분 인간의 활동 에 의해 환경으로 배출됨
물	182일			
퇴적물	365일			
토양	182일			

BAF : Bioaccumulation Factor

BCF : Bioconcentration Factor

한편 Track 1 물질에 대한 캐나다 정부의 오염방지전략은 배출원에서 Track 1 물질이 검출한계 이상으로 배출되는 것을 방지하고, 2개 국가간 또는 여러 국가간의 협약을 통해 국외의 배출원에서 Track 1 물질이 배출되는 것을 방지하고자 하는 것이다. 이러한 목표는 배출원 자체를 관리하거나 이미 환경에 배출된 경우 물질을 제거하거나 관리함으로써 달성될 수 있다.

연방정부는 우선 12개 물질을 Track 1 물질로 선정하여 정책을 수행중이며, 이들 물질 이외의 13개 염소계 탄화수소류(short-chain chlorinated paraffin)는 현재 심의중이다. 12개 Track 1 물질에 대해 캐나다 내에서는 이미 엄격한 기준을 마련하여 생산이나 사용, 배출을 금하고 있다.

〈표 III-35〉 캐나다 Track 1 물질의 종류 및 배출원

물 질		배출원		관리전략
		과거	현재	
살충제	Aldrin, mirex, chlordane, dieldrin, DDT, endrin, heptachlor, HCB(활성물질)	살충제, 쥐약, 살균제,	캐나다 내에서 사용되고 있지 않음	- 배출 저감을 위한 국제협상을 주도 - 대체물질의 개발촉진 - 기존 배출물의 안전한 제거
다이옥신/퓨란		펄프 및 제지산업	상업적으로 제조되지 않고 부산물로만 배출됨.	- 배출 저감을 위한 국제협상을 주도 - 기준을 마련하여 기준 달성을 위한 계획 실시중.
HCB(부산물)		염소계 용매의 제조나 사용시 부산물	산업 부산물로 배출되고 용매나 살충제에 의해 오염됨	- 배출 저감을 위한 국제협상 주도 - 다이옥신과 퓨란의 공동 대응 - 용매와 살충제 중 포함된 HCB의 관리
PCBs		페인트, 열교환액, 복사용지, 플라스틱, 전기관련 제품	수입·생산되지 않음, 일부 변압기에서 사용되어 배출될 가능성이 있음	- 배출저감을 위한 국제협상 주도 - 2008년까지 전면사용금지 - CEPA의 규제기준강화

(2) HCB의 규제

1994년 배출 후 즉시 혹은 장기적으로 환경과 인간의 건강에 유해한 영향을 주는 HCB가 상당량 환경에 배출되는 것으로 밝혀졌다. HCB는 캐나다 환경보호법의 11조⁵⁴⁾(a)항과 (c)항에서 정의한 독성물질에 해당된다.

캐나다에서 HCB는 살충제와 부산물로서 Track 1 물질로 구분되어 관리되고 있다. 과거에는 염소계 용매의 제조시에 배출되었고 현재는 폐기물 소각로, 시멘트 화로, 철탕화공정(iron sintering plants), 강철공정(steel plants)과 목재 연소시에 배출된다. 또한 일부 용매와 살충제의 화학조성중의 오염물질로 존재하기도 한다.

환경내의 HCB 농도를 저감하고 제거하기 위하여 캐나다는 국제적으로 2000년까지 배출저감을 위한 국제협상을 주도하고 있다. 또한 캐나다 내에서는 배출원이 유사한 다이옥신, 퓨란과 더불어 저감계획을 실시중이며, 용매중에 포함되어 있는 HCB의 관리를 위한 계획과 살충제중에 포함된 HCB를 위해 Pest Management Regulation Agency(PMRA)의 계획도 실시중이다.

54) 캐나다 환경법의 11조 내용은 다음과 같다 : 11조. 어떤 물질이 환경내에 다음과 같은 조건으로 배출될 때 그 물질은 독성을 갖는다.

- a) 환경에 즉시 혹은 장기적으로 유해한 영향을 주거나 줄 가능성이 있을 때
- b) 인간의 생활환경에 위험을 초래하거나 가능성이 있을 때
- c) 캐나다 내에서 인간의 생활과 건강에 위험을 초래하거나 가능성이 있을 때

IV. POPs 부산물의 국내 배출현황과 문제점

다이옥신과 퓨란은 우리나라에서 국민들이 가장 관심을 갖는 유해화학물질 중 하나일 것이다. 그러나 국민적인 관심도에 비해 아직 관련연구는 초기 단계라 배출이나 오염현황에 대한 기초자료가 턱없이 부족한 실정이다. 향후 이에 대한 적극적인 관심과 투자가 요구되며, 본 보고서에서는 지금까지 부분적으로 수행된 자료를 중심으로 국내 관리현황을 다음과 같이 살펴보았다.

1. 다이옥신과 퓨란

1.1. 배출원 및 배출현황

국내에서 발생하는 다이옥신과 퓨란화합물의 배출원은 명확히 규명되어 있지 않으나, 앞장에서 살펴본 외국의 경우와 거의 유사할 것으로 추측된다. 즉, 국내 다이옥신의 주요 배출원은 소각과정이며, 이중 도시 폐기물 소각로에서 가장 많이 발생된다<표 IV-1>. 소각공정 이외에는 비철금속 용해 및 제련 공정이 주요 배출원으로 확인되었으며, 펄프/제지산업에서도 발생되었다. 그 외 유기염소계 화합물 제조공정이나 chlor-alkali 산업 중 흑연전극 제조공정 등 다양한 산업 및 화학물질 생산공정의 부산물로 다이옥신이 발생될 것으로 예상되므로, 이에 대한 배출원 목록작성이 요구된다.

우리나라의 도시폐기물 소각로에서 발생하는 다이옥신 배출현황은 <표 IV-2>와 같다. 일부 소각로에서의 다이옥신 배출량은 '97년에 비해 '98년에 감소하는 경향을 나타내는데 이는 다이옥신 배출을 저감하기 위한 공정의 변경 또는 기술의 적용으로 인한 것으로 생각된다.

한편 환경부에서 “1999년 내분비계장애물질 조사·연구사업”의 일환으로 추진된 다이옥신 배출실태 결과, 폐기물 유형별에 따른 다이옥신 배출량은 큰 차이가 없었다<표 IV-3>. 그러나 소각장 시설규모에 따라 배출되는 다이옥신의 수준이 달라, 시간당 0.2톤 이하를 소각하는 소규모 시설에서의 다이옥신 배출량은 평균 65.589ngTEQ/Nm으로 가장 높았고 0.2 ~ 2톤/hr 시설의 다이옥신 값이 가장 낮았다. 0.2 ~ 2톤/hr 규모의 중소형 소각시설에서의 다이옥신 평균값이 낮은 이유는 후단 방지시설에 BF를 적용한 시설이 많아 다이옥신 배출을 저감한 때문으로 추정된다.

<표 IV-1> 국내 대기 중 다이옥신 배출량('95년)

발 생 원	배 출 량 (gTEQ/년)
도시 폐기물 소각	303.1
유해 폐기물 소각	0.5
하수 슬러지 소각	-
병원 폐기물 소각	2.2
펄프/종이 생산 공정	4.7
비철금 용해 및 제련 공정	113.8
총 계	424.3

자료 : 신동천, 다이옥신의 유해성과 안전관리를 위한 시민토론회, "다이옥신의 유해성과 인체노출 허용기준", 1998

〈표 IV-2〉 우리나라의 도시쓰레기 소각로의 다이옥신 배출 현황

(단위: ngTEQ/Nm³)

소각시설	1997년 배출농도			1998년	최근 배출농도 ^a
	97년 ^a	6월 ^b	11월 ^c	2~5월 ^d	
일 산	2.86	2.86	19	0.82	0.045('99)
평 촌	0.99	0.99			0.435('98)
의 정 부	8.68	9.68			폐쇄('97)
중 동	23.12	23.12	21	4.54	0.001('99)
목 동	0.06	0.06			0.028('98)
상 계	0.17	0.17			0.114('99)
성 서	20.24	13.46	8.2	1.94	0.05(2호기)('98) 0.018(3호기)('98)
창 원	1.04	1.28			0.024('99)
성 남	4.02	12.92	10		폐쇄('98)
다 대	0.32	0.32			0.163('99)
해 운 대	0.75	0.75			0.466('99)

자료 : a : 국립환경연구원, "다이옥신은 어떤 물질일까요?", 1999

b : 도갑수, '생활폐기물 소각로에 의한 다이옥신의 영향과 제어방안
중 "정부발표자료", 한국폐기물학회지, 14권 6호, p501-506, 1997

c : 환경부와 포항공대가 발표, 중앙일보, 1997

d : 환경부발표, 중앙일보, 1998

〈표 IV-3〉 국내 소각시설에서의 다이옥신 배출량

(단위 : ngTEQ/Nm³)

규모별 (톤/hr)	생활폐기물 소각시설	사업장폐기물 소각시설			평 균
		일반	지정	평균	
4 이상	0.051*	-	48.620	48.620	24.336
2 ~ 4	-	15.837	-	15.837	15.837
0.2 ~ 2	20.633	7.263	8.530	7.896	12.142
0.2 미만	89.367	84.011	23.388	53.700	65.589
평 균	36.684	35.704	26.846	31.513	33.078

*환경부, '99 운영기관 측정자료

자료 : 환경부, 국립환경연구원, "'99 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과보고서", 2000

1.2 오염현황

1.2.1 토양

다이옥신은 소각장 주변 토양에서도 다량 검출되었다. 포항공대 장윤석 교수의 연구결과(1997년)에 따르면 경기도 의정부, 경남 온산 소각장 등 두 지역의 반경 1km내 토양시료의 다이옥신 잔류농도는 청정지역보다 최고 11배 높게 검출되었다. 온산 소각장 주변 토양은 일반지역(0.35ng)보다 11배 높은 3.76ng의 다이옥신이 검출되었다. 이는 외국의 도시 소각로 주변 권장평균농도(0.57ng)보다 7배 높은 것이다. 의정부 소각장도 최고 3.22ng이 검출되었는데, 이 소각장은 1997년 소각장 다이옥신 농도가 환경권장치(0.5ng) 보다 17배 높게 검출되어 시설은 폐쇄되었다.

1.2.2 음식물

(1) 어패류

마산과 포항 등 국내 연안 17곳에 서식하는 굴과 도다리 등 5종의 어패류를 대상으로 한 한국해양연구소의 연구(1996~1998)결과에 의하면, 전남 동부 해역의 광양만에서 채취한 어패류의 경우 여천 굴에서 10.01pg, 광양 도다리와 잡어에서 각각 0.49pg과 0.52pg의 다이옥신이 검출되었다.

경남대 민병윤 교수팀의 고등어, 갈치, 조기, 대구 등 국내에서 많이 소비되는 4대 어류에 대한 연구(1999년 6월) 결과에 의하면, 생선 g당 평균 2.1pg의 다이옥신을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 즉, 고등어가 3.6pg/g으로 가장 많았고 갈치 2.1pg/g, 조기 1.5pg/g, 대구 0.6pg/g의 순으로 나타났다. 한편 같은 연구팀에 의해 실시된 마산만의 어패류의 다이옥신 농도는 바지락에서 3100ppt, 홍합에서 500ppt, 가자미와 숭어 등에서 20~100ppt 가 각각 검출되었다.

(2) 모유

연세대 신동천 교수와 포항공대 장윤석 교수의 연구결과(1998년 9월), <표 IV-4>에 나타낸 바와 같이 서울과 인천에 사는 산모 10명의 모유에서 모유 지방 1g당 평균 18pg의 다이옥신이 검출되었다. 유아가 이 모유를 매일 800g씩 먹으면 체중 1kg당 하루 평균 52pg의 다이옥신이 축적되는 셈이다.

한국과학기술연구원 김명수 박사팀이 수행한 서울 강남 지역 산모 59명의 초유 분석의 결과(1999년 7~9월)에 의하면 평균 31.78pgTEQ/g fat의 다이옥신이 모유에서 검출되었다. 이와 같은 수치는 아기의 몸무게(3kg), 우유중 포함된 지방분의 비율, 아기가 하루에 먹는 모유량(300~600cc) 등을 감안하면 다이옥신의 1일 섭취허용량(TDI)인 체중 1kg당 4pg⁵⁵⁾의 24~48배에 달하는 양이다. 이는 분유와 우유 중 다이옥신 잔류 수준이 각각 0.002, 1.41 pgTEQ/g fat인 것에 비해서도 크게 높은 수치이다.

55) 국내에서는 다이옥신의 TDI가 아직 최종결정되지 않았으나, 식품의약품안전청에 의해 잠정적인 TDI값으로 4pg이 사용되고 있음

〈표 IV-4〉 서울 및 인천 거주 산모의 모유 중 다이옥신 농도

다이옥신농도 (pgTEQ/g fat)	서 울		인 천	
	평균	SD*	평균	SD*
PCDD	6.70	1.89	3.77	1.45
PCDF	17.36	10.71	6.07	1.38
합계 (PCDD/PCDF)	24.06		9.84	

자료: 신동천, 다이옥신의 유해성과 안전관리를 위한 시민토론회, "다이옥신의 유해성과 인체노출 허용기준", 1998

*SD : Standard Deviation

1.2.3 인체

경남대 민병운 교수의 연구결과(1998년)에 의하면 1995년부터 1996년까지 서울, 마산, 진주 지역 병원에서 수집된 36명의 인체 지방세포를 분석한 결과 서울지역 0.784ppb(평균), 마산 0.329ppb, 진주 0.265ppb씩 검출되었다. 이는 일본인 2.56ppb, 캐나다 1.6ppb, 스페인 1.81ppb의 평균 검출량에 비해 훨씬 낮은 수준이나, 서울에서 수집한 일부 세포에서는 1.2ppb가 검출되었다. 다이옥신 수치는 특히 여자에게서 더 낮게 나타났는데, 성인여자의 경우 출산 때 60~70%의 체내 오염물질이 태아에게 전달되기 때문이라는 견해도 있다.

1.3 국내 관리상의 문제점

국내 다이옥신의 관리규정으로는 국립환경연구원에서 1996년 4월에 배출가스중의 다이옥신 측정·분석 공정시험방법을 제정·운영하고 있으며, 환경부에서는 1일 50톤 이상인 생활 폐기물 소각시설의 경우 배출가스중의 다이옥신 농도를 관리토록 1997년 7월에 폐기물관리법 시행규칙을 개정하였다. 동법에는 신설시설 0.1ngTEQ/Nm³, 기존시설 0.5ng-EQ/Nm³로 다이옥신의 배출기준을 선정하였고, 기존시설에 대한 기준은 2003년 7월부터 0.1ngTEQ/Nm³으로 저감하도록 하였다.

그러나 국내 다이옥신의 관리정책에는 다음 몇 가지 문제점이 있다.

첫째, 다양한 배출원 및 배출량이 확인되고 있지 않다. 우리나라에서 다이옥신의 주요 배출원이라 하면 대다수는 소각로를 연상하고 있다. 물론 소각과정에서 다이옥신이 가장 많이 발생하지만, 앞에서 살펴본 바와 같이 다양한 산업공정에서 발생되고 있는 현상에는 아직 관리의 손길이 미치지 못하고 있다. 다이옥신의 관리가 제대로 되기 위하여는 반드시 정확한 배출원을 확인하는 것이 급선무일 것이다. 이를 바탕으로 배출원별 배출량을 실측 또는 추정하기 위한 관련연구의 수행도 강도있게 추진되어야 할 것이다.

둘째, 관련법규가 제한적이다. 현재 다이옥신은 소각로에서 발생할 경우에 한해 배출기준이 정해져 있으며, 이 또한 대형소각시설 위주의 기준이라 소형소각로에 대한 규제는 없는 실정이다. 한편 금속제련공정이나 펄프공정 등의 다른 배출원에서 발생하는 다이옥신 관리는 현재 유해화학물질 관리의 사각지대에 놓여있다. 따라서 다이옥신에 대한 환경 매체별 기준설정과 함께 배출원별 배출기준도 조속히 설정되어야 할 것이다.

셋째, 분석장비와 기술이 부족하다. 다이옥신은 다른 유해화학물질과는 달리 분석이 어렵고 비용도 많이 든다. 특히 국내에서 제대로 다이옥신을 분석할 수 있는 기관이 별로 없어, 관련 기초자료가 많지 않다. 이에 대한 정부의 관심과 투자가 요구된다. 현재 정부의 각 부처별 또는 기관별로 별도예산을 투입하여 다이옥신류 화합물을 분석할 수 있는 시설을 갖추어가고 있으나, 예산의 효율적 사용과 엄격한 관리를 위하여 대형화된 전문분석기관의 육성도 고려해 볼 필요가 있다.

2. HCB

UNEP에서 조사한 자료에 의하면 1995년 현재 전세계적으로 사용되고 있는 HCB 포함 농약은 100,000톤 이상이며 그 중 부산물로 생산되는 HCB의 양은 600 - 6,000톤에 이른다.

국내에서는 HCB가 함유된 살충제 또는 살균제가 아직 제조·수입·사용된 적은 없다. 그러나 HCB가 부산물 또는 불순물로 발생가능한 산업공정이 국내에서도 다수 가동되고 있으며, 특히 소각로를 통해 HCB가 발생할 가능성이 매우 높다. 따라서 우리나라도 HCB에 안전하다고 확신할 수 없는 현 시점에서 이에 대한 국내 발생현황과 오염현황, 관리상 문제점 등을 다음과 같이 정리하였다.

2.1 배출원 및 배출현황

다음 <표 IV-5>은 선진국에서 조사된 HCB 배출원을 중심으로 국내 생산량과 수입량을 정리한 것이다. 국내에서도 HCB의 발생가능한 산업공정이 다수 운영되고 있으며 그 원료물질의 상당량이 생산 또는 수입되고 있는 것을 알 수 있다. 외국의 경우 HCB와 같은 부산물의 발생현황은 주로 TRI 제도, 배출계수 및 관련 기법, 다양한 실측자료 등을 통해 추정하고 있으나, 현재 국내에서는 HCB의 발생현황을 파악할 만한 기초자료가 거의 전무한 실정이다. 최근 환경부에서 TRI제도를 국내에 도입하기는 하였으나 아직 초기 단계라 활용가능한 관련 산업체에서의 배출량 자료는 거의 없다. 또한 소각시 배출되는 부산물의 경우 주로 다이옥신과 퓨란에 국한되어 연구 및 조사사업이 진행되고 있어 소각시 발생가능한 HCB 수준은 그 추정조차 어려운 실정이다.

그러나 <표 IV-5>에서와 같이 외국에서 분류하고 있는 HCB 배출원의 원료물질 대부분이 국내에서 생산 또는 사용되고 있다는 사실에 비추어볼 때 국내에서 발생하는 HCB의 양도 상당할 것으로 추측할 수 있다. 따라서 HCB의 배출원 및 발생현황을 파악하는 구체적인 조사연구사업이 빠른 시일내에 진행되어야 할 것을 사료된다.

2.2 오염현황

지금까지 국내의 HCB 오염에 대한 조사는 간헐적으로 수행되었으며, 본격적인 실태조사 사업은 『내분비계장애물질 중·장기 연구사업계획(1999년 ~ 2008년)』가 처음이다.

조사사업의 규모는 모든 오염가능한 환경매체를 대상으로 한 것으로 수질시료 43개, 저질시료 11개, 토양시료 35개, 대기시료 24개를 각각 채집하여 HCB의 농도를 분석하고 있다. 조사결과, 환경매체 중 대기시료에서만 HCB가 검출되었으며 범위는 ND⁵⁶⁾ ~ 0.749ng/Nm³이었다. 현재까지 국내에서 농약으로 사용된 HCB는 없으므로, 검출되고 있는 대기중의 HCB는 각종 산업공정 및 소각로에서 발생하는 부산물로 추정된다.

56) 검출한계 0.03 ng/Nm³

〈표 IV-5〉 국내 HCB 배출원별 원료물질의 생산량/수입량

배출원	CAS No.	국내생산량 (ton)*	국내수입량 (ton)*
1) 염소계 용매			
Chlorine	7782-50-5	gas 629,985.133	gas 3,006.188
Carbon tetrachloride	56-23-5	6.879	7,360.000
Perchloroethylene	127-18-4	141.100	183.880
Trichloroethylene	79-01-6	329.142	5,705.350
ethylene dichloride	107-06-2	347,153.760	315,719.261
1,1,1-trichloroethane	71-55-6	60.865	3,775.110
Hexachloroethane	67-72-1	27.000	3.550
1,1,2-Trichloro-1,2,2-trifluoroethane	76-13-1	1.812	31.812
1,1,2-Trichloroethane	79-00-5	0	(사용량)1.300
Ethylene dichloride	107-06-2	347,153.760	315,719.261
Chlorinated biphenyls	1336-36-2	-	-
Chlorinated naphthalene	70776-03-3	-	-
Chlorobenzenes	108-90-7	1.090	89.838
Dichloropropenes	26952-23-8	-	-
2) 염소계 화합물			
Vinyl chloride monomer	75-01-4	gas874,531.840	gas37,761.789
2-Chlorobutadiene	126-99-88	2.500	27.800
Phosgene	75-44-5	gas67,710.000	0
Hexachlorocyclopentadiene	77-47-4	0	680.960
Allyl chloride	107-05-1	0	10.100
Cyanuric chloride	108-77-0	0	1,048.800
Tetrachlorophthalicanhydride	117-08-8	0	7.257

* 가스의 단위는 루베

자료 : '99년 환경부 화학물질유통량조사자료 (**의 자료는 산업자원부 담당 부서에서 제공한 자료임)

<표 IV-5> 국내 HCB 배출원별 원료물질의 생산량/수입량(계속)

배출원	CAS No.	국내생산량 (ton)*	국내수입량 (ton)*
3) 기타 화학물질			
Sodium metal	7440-23-5	0	12.570
Sodium chlorate	7601-89-0	132.523	4,772.000
Titanium dioxide	1346367-7	0.800	82.500
Toluene diisocyanate	26471-72-5	33,649.509	212.317
Reactive azodyes form cyanuric chloride	108-77-5		
Phthalocyaninedyes and pigments			
4) 살충제 제조 및 살포			
atrazine	1912-24-9	-	-
lindane	58-89-9	0	(사용량)0.084
simazine	122-34-9	0.300	17.040
chlorothalonil	1897-45-6	1,521.330	2.550
dimethyl tetrachloro- terephthalate	1861-32-1	-	-
pentachloronitrobenzene	82-68-8	-	-
picloram	1918-02-1	-	-
5) 타이어 제조**			764,593.000
배출원	CAS No.	국내생산량 (ton)*	국내수입량 (ton)*
6) Cyclic Crude and intermediate production			
7) 알칼리와 염소의 제조			
benzyltrimethylammonium chloride	56-93-9	0	2.800
carbonyl sulfide	463-58-1	-	-
ethylidene norbornene	16219-75-3	9.411	2,714.174
hydrazine	302-01-2	3.500	20.322
symmetrical tetrachloro- pyridine	33752-16-8	-	-
chelating agent explosive production photographic chemicals rubber chemicals paints and adhesives miscellaneous organic chemicals			
8) 2차 알루미늄공정 가스 제거시**		308,578.000(관) 94,940.000(박) 180,249.000 (샷시)	

<표 IV-5> 국내 HCB 배출원별 원료물질의 생산량/수입량(계속)

배출원	CAS No.	국내생산량 (ton)*	국내수입량 (ton)*
9) 폐기물소각 및 시멘트 화로			
10) 무단소각행위			
11) 목재보존(pentachloro- phenol)**	608-93-5 87-86-5	사용금지	사용금지
12) 하수처리시설			
13) 기타 배출원**			
철 및 강철 생산		41,042,000.000	-
석탄생산		420,000.000	-
도료제조		659,392kl	-
pyrotechnic		-	-
생활용품 생산		-	-
비누 생산		세탁비누; 46,473.000(고체) 294.000(분말) 화장비누; 42,269.000	-
펄프 및 종이 제조		8,874,702.000	-
직물제조		2,982,000.000	-

2.3 국내 관리상의 문제점

그동안 HCB는 국내에서 농약 및 기타 다른 원제로 사용된 적이 없다는 이유로 유해화학물질 관리 및 조사연구대상에서 제외되어 왔다. 그러나 외국의 경우 HCB는 다양한 산업공정에서 부산물로 발생하고 있다는 사실이 확인됨에 따라서, 우리나라에서도 부산물로서의 HCB가 상당량 발생되고 있을 것으로 추정된다. 내분비계 장애물질 연구의 일환으로 실시된 환경생태조사(1999 ~ 2000년 조사)에서 상업 및 주거지역을 포함한 다양한 지역에서 대기중의 HCB가 관측되었다. 이러한 조사결과로 미루어 보아 HCB가 부산물로 발생하는 산업공정을 운영하는 산업체 주변의 생태계에는 이보다 훨씬 많은 양의 HCB가 관측될 것으로 쉽게 추정된다. 따라서 발암성 물질로 알려진 HCB는 배출원 주변의 생태계, 산업체 근로자 및 인근 주민들의 건강을 위협하고 있는 물질일 것으로 예측된다.

이와 같이 HCB의 위해성에도 불구하고 우리나라에서 부산물로 발생하는 HCB의 관리는 제대로 이루어지고 있지 않아 다음과 같은 문제점이 안고 있다.

첫째, HCB의 명확한 배출원 및 배출현황이 파악되지 않았다. 앞의 <표 IV-5>에서 확인한 바와 같이 국내에서도 부산물로 HCB의 발생이 예상되는 산업공정이 다수 운영되고 있으므로, 우선 HCB의 배출원을 확인하는 것이 시급하다. 또한 부산물로 발생하는 유해화학물질의 배출현황을 파악하는 것은 쉽지 않으나, 선진국에서와 같이 산업공정별 배출계수 등을 개발·적용하여 각 배출원별 배출량을 예측하여야 할 것이다.

둘째, 배출원 주변의 환경매체에 대한 HCB의 오염현황이 파악되지 않았다. 이미 환경부에서 추진중인 특히 내분비계 장애물질 실태조사의 1차년도 연구결과, HCB 배출원인 산업체가 위치하지 않은 상업지역 또는 주거지역의 대기중에서도 HCB가 검출되었다. 이는 HCB의 배출원으로 의심되는 산업체 주위의 환경에는 이보다 많은 HCB로 오염되어 있을 가능성이 매우 높음을 의미한다. 따라서 우선 HCB의 배출원을 확인한 후, 배출원 주변의 환경매체를 대상으로 한 오염실태를 조사하여야 할 것이다. 특히 다이옥신이나 퓨란화합물과는 달리 HCB는 분석기법이 용이하므로, 저비용으로 환경매체별 오염현황을 파악할 수 있을 것이다.

셋째, 부산물로 발생하는 HCB에 대한 규제기준이 없다. 현재 HCB와 관련된 국내 환경법규는 대기환경보전법으로 벤젠화합물(C_6H_6)의 배출허용기준이 제시되어 있다. 즉, 모든 배출시설에서의 벤젠화합물의 적용기간 및 배출허용기준은 50ppm으로 명시되어 있으나('99. 1. 1이후), HCB에 대한 구체적인 배출허용기준은 아직 마련되어 있지 않다. 또한 대기 이외의 수질과 토양 등 환경매체에서의 HCB 허용기준도 마련되어 있지 않다. 외국의 경우 부록 I과 같이 다양한 매체별 HCB의 규제기준이 마련되어 있으므로, 우리도 이를 시급히 마련하여야 할 것이다. 이와 선행하여 HCB의 규제기준 마련을 위한 환경위해성 평가도 수행되어야 할 것이다.

V. POPs 부산물의 효율적 관리방안

지금까지 살펴본 바와 같이 2001년 체결을 목표로 하는 POPs 규제협약의 관리예정 물질 중 부산물은 우리가 관리를 시급히 서둘러야 할 물질이다.

POPs 협약 초안에는 부산물의 배출을 저감하거나 제거하기 위한 수단을 첫째, 신속한 배출원의 감소, 둘째, 부산물의 발생과 배출을 저감하기 위한 물질/제품/공정의 개발 및 적용, 셋째, 부산물의 신규배출원에 대해 최적가용기술을 적용할 것 등을 명시하고 있다. 이들 수단을 수행하기 위해 각국은 배출원 목록 개발과 배출량 평가, 배출관리와 관련된 적절한 법률 및 정책의 개발, 산업체와 국민들에 대한 관련정책의 교육과 훈련, 지속적인 모니터링과 이에 대한 보고서를 제출하도록 권고하고 있다.

따라서 선진국과 UNEP등 국제기구에서 진행중인 부산물에 대한 규제동향과 국내 관리현황에 비추어 볼 때 POPs중 부산물에 대한 대응전략을 다음과 같이 제안하고자 한다.

1. 배출원 및 배출량 조사

지금까지 다이옥신과 퓨란은 주요 배출원인 소각로에 중점을 두고 연구를 수행하여 왔으며, 부산물로서의 HCB는 배출원조차 확인되지 않고 있다. 물론 부산물은 소각시설에서 가장 많이 발생되나, 이들 부산물이 배출되는 발생원은 매우 다양하며 특히 산업공정에서 발생되는 양은 고려되고 있지 않다. 따라서 부산물의 효율적인 관리를 위해 무엇보다도 가장 시급한 것은 다양한 배출원을 확인하고, 각 배출원별 배출량을 파악하는 것이다. 현재 국내에서 화학물질 배출량보고제도가 시행되고 있으며, 이 제도를 부산물에 적용한다면 배출량을 확인할 수 있을 것이다.

화학물질 배출량 보고제도는 유해화학물질관리법 제14조 제2항 및 동법 시행규칙 제9조 제4항 규정에 의하여 “화학물질의 배출량 조사 및 산정계수에 관한 규정”에 고시⁵⁷⁾되어 있다. 본 규정에 의하여 1999년부터 “유해화학물질 환경배출량 조사” 제도가 시행되고, 석유정제업과 화학업종은 2000년 2월, 기타 제조업은 2001년 2월부터 사업장내의 화학물질에 대해 환경배출량 및 이동량을 산정⁵⁸⁾하여 보고하여야 한다<표 V-1>.

<표 V-1> 국내 산업체에 대한 배출량보고제도 시행현황

시행년도	대상물질	대상업종
1999	벤젠 등 80종	종업원수 100인 이상인 석유·정제화학업종
2000	벤젠 등 80종	종업원수 100인 이상인 화학등 23개 업종
2001이후	매년 60종씩 확대	종업원수 50인 이상인 화학등 23개 업종

자료 : 환경부, 유해화학물질관리기본계획(안), 2000. 10

57) 환경부 고시 제 1998-155호, 1999년 1월 6일

58) 산정방법은 ① 직접측정에 의한 방법, ② 물질수지에 의한 방법, ③ 배출계수에 의한 방법, ④ 공학적 계산에 의한 방법 등이 제시되어 있음

2000년 12월 현재 조사대상 화학물질은 다음에 해당하는 총 80여 개이며, 이를 연간 50톤 이상 제조 또는 사용하는 사업장이 보고대상에 해당된다.

- ① 사업장에서 생산하는 화학물질 및 제품
- ② 사업장에서 사용하는 원료 및 첨가제(보조원료, 반응가스 등 직접 또는 화학적 변화를 통해 제품 속에 함유되는 모든 물질을 포함)
- ③ 사업장에서 사용하는 공정보조물질(제품에 함유되지는 않지만, 제품생산과정에 사용되는 물질)
- ④ 기타 사업장에서 사용되는 화학물질(폐수처리 등 사업장의 시설 및 장치의 유지·보수에 사용되는 물질을 포함)

그러나 현재의 제도에서는 원료물질만을 배출량 조사대상으로 선정하였기 때문에 부산물은 제외되어 있다. 또한 본 제도는 제조 또는 생산량이 연간 50톤 이상인 사업장에만 적용되기 때문에, 이와 같은 기준치는 주로 소량으로 발생하는 부산물에는 적합하지 않다.

미국의 경우는 부산물로 발생하는 다이옥신, 퓨란, HCB가 TRI 대상물질에 포함되어 있다. 이는 EPA가 1999년 10월 29일에 EPCRA(Emergency Planning and Community Right-to-Know Act)의 313조에 따라 유해화학물질을 보고하는 대상물질 목록에 다이옥신과 다이옥신류의 화합물을 포함하는 최종 법률(64 FR 58666)을 확정·공표함으로써 시행되고 있다. 일반적인 TRI제도에서는 매년 10명 이상의 작업자가 근무하는 산업체 중 이들 물질을 25,000파운드 생산 또는 10,000파운드를 사용하는 산업체는 배출량을 보고하도록 규정되어 있다.

그러나 미국 EPA는 환경중에 저농도로 존재하여도 분해가 되지 않아 인간이나 생태계에 위해를 미칠 가능성이 큰 POPs 물질⁵⁹⁾은 다음 <표 V-2>와 같이 생산량 또는 사용량의 기준을 일반 유해화학물질과 달리 지정하고 있다. 다이옥신 또는 다이옥신류 화합물같이 소량 배출되는 부산물에 대해 ① 다이옥신의 제조, ② 다이옥신의 사용, ③ 다른 화학물질 제조시 다이옥신의 발생, ④ 다른 화학물질에 오염물질 등으로 0.1g 이상 제조, 사용 또는 배출될 경우 반드시 그 양을 보고하여야만 하며, HCB의 배출보고기준은 10파운드(4.5kg)일 경우에 해당한다.

미국의 TRI제도와 같이 POPs 물질을 국내 『화학물질의 배출량 조사 및 산정계수에 관한 규정』에 적용하는 방안은 다음 몇 가지로 나누어 생각해 볼 수 있다.

첫째, 조사대상물질의 “사업장에서 사용 또는 생산되는 물질”을 “사업장에서 사용, 생산 또는 배출되는 물질”로 확대한다. 이 경우 각종 산업공정에서 발생되어 외부로 배출되는 다양한 부산물이 모두 이 기준에 적용되므로, 보고대상 산업체에 막대한 업무부담이 된다.

둘째, 조사대상물질에 “잔류성 유기오염물질”을 포함시킨다. 그러나 부산물을 제외한 유기염소계 농약은 이미 국내에서 사용하지 않으므로 배출량을 조사할 필요가 없다. 향후 국제적으로 규제대상이 되는 POPs 물질의 종류가 늘어날 경우 적용가능하다.

셋째, 조사대상물질에 “사업장에서 발생하는 POPs중 부산물”을 포함시키고, 이에 대한 기준을 다른 화학물질(연간 50톤)보다 낮게 책정한다. 그러나 부산물에 해당하는 POPs 물질은 유해화학물질관리법에 의해 관리되는 물질이 아니므로, 원료물질만을 대상으로 하는 유해화학물질관리법상의 관련규정을 수정하여야 하는 번거로움이 있다.

따라서 기존의 관련법으로는 부산물의 배출원 및 배출량 조사를 규정하는 것이 현실적으로 어려우므로, 부산물에 관한 관리법을 별도로 제정하여 이를 명시하는 것이 가장 효과적일 것이라 생각된다.

59) 미국에서는 PBT(persistent, bioaccumulative and toxic chemicals)이라는 용어를 사용함

〈표 V-2〉 미국 TRI의 POPs 기준치

	다이옥신/다이옥신 유사화합물	잔류성·생물농축성·독성이 매우 강한 POPs 물질	그 외 POPs 물질
제조·사용·배출량	0.1g	4.5kg (10파운드)	45.5kg (100파운드)

자료 : <http://www.epa.gov/tri>

2. 오염현황 및 위해성 확인사업 실시

UNEP에서 지정한 12종 POPs중 부산물을 포함한 몇몇 화학물질은 이미 내분비계 장애물질로 구분되어, 환경부의 『내분비계 장애물질 중·장기연구사업계획』에 따라 해당 물질들의 기초오염실태 조사가 수행되고 있다. 그러나 부산물을 현행과 같이 내분비계 장애물질의 일환으로 국한시켜 오염실태 및 영향조사, 위해성평가 및 관리연구 등을 수행한다면 POPs협약에 능동적으로 대처하기 어려울 가능성이 매우 크다.

POPs중 내분비계 장애물질로 밝혀진 유기염소계 농약은 이미 국내 사용이 금지되어 있으므로, 협약이 체결된다 해도 우리가 대처해야 할 사항은 기존의 사용으로 인한 잔류성을 파악하고 지속적인 모니터링을 실시하는 것이다. 이와 같은 연구는 『내분비계 장애물질 중·장기연구사업계획』에 따라 수행 가능하고, POPs 협약에서 요구하는 기초자료 생산에 큰 문제는 없을 것이다.

그러나 부산물에 대해서는 아직 배출원조차 명확히 파악되지 않은 상황에서, 국제협약이 요구하는 엄격한 규제내용 및 절차를 원활히 대응하기 위하여는 협약체결 내용에 따른 집중적인 연구가 요구된다. 만약 일반적인 내분비계 장애물질의 중장기연구계획에 따라 부산물의 관련연구를 수행할 경우 자칫 POPs 협약을 대응하기 위한 연구결과가 시기적절하게 생산되지 못할 수도 있다.

따라서 POPs 중 부산물에 대하여는 다른 내분비계 장애물질과는 구별하여 주요 배출원과 배출량을 파악한 후, 오염이 심각할 것으로 예상되는 배출원별로 오염실태조사를 병행하여 수행할 수 있는 가칭 『POPs 통합관리를 위한 오염실태조사(안)』를 수립하는 것이 필요하다. 이에는 부산물의 위해성평가도 함께 포함되어야 할 것이며, 이를 부산물 관리를 위한 특별법을 제정하여 명시하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

3. 규제기준 선정

앞에서 살펴본 바와 같이 다이옥신과 퓨란은 소각시설에 대한 배출허용기준만 제시되어 있으며, HCB에 대해서는 아무런 기준이 마련되어 있지 않다. 향후 부산물의 적절한 관리를 위하여는 반드시 규제기준이 요구되며, 이는 환경매체별 허용기준과 주요 배출원별 배출기준으로 나눌 수 있다.

3.1 환경매체별 허용기준

POPs는 생물농축이 쉽게 일어나고 환경에 오래 잔류하는 난분해성 물질이므로, 환경매체간 통합관리가 필요하다. 현재 외국에서도 모든 환경매체별 허용기준이 설정되어 있지는 않으나, 각국마다 인체나 생태계에 특히 위해가 클 것으로 예상되는 환경매체에 대해서는 부분적으로 기준이 설정되어 있다<표 V-3, 표 V-4>. 아직 규제기준이 없는 환경매체에 대해서는 관련연구가 진행되고 있으며, 2001년 POPs 협약체결과 함께 규제가 강화되면 주요매체별 허용기준은 조만간 설정될 가능성이 크다. 따라서 부산물에 대한 국내 오염실태 조사의 결과를 바탕으로, 특히 오염이 심각한 주요매체별 부산물의 허용기준은 반드시 마련되어야 할 것이다.

<표 V-3> 환경매체별 다이옥신 허용기준

국가	매체별 규제기준
미국	○ 수질 1.3×10^{-8} ug/l ○ 음용수 0.3pg/l(MCL)
일본	○ TDI 4pg/kg/일
독일	○ 농지용 슬러지 100ngTEQ/kg ○ 퇴비 17ngTEQ/kg ○ 우유 5pgTEQ/g ○ 유제품 3pgTEQ/g지방 ○ TDI 10pgTEQ/kg
네덜란드	○ 하수슬러지 190ngTEQ/kg ○ 퇴비 63ngTEQ/kg ○ 토양 1,000ngTEQ/kg ○ TDI 10pgTEQ/kg

자료 : 본 보고서 제 III장에 정리한 각국의 규제내용 참조

<표 V-4> 환경매체별 HCB 허용기준

국 가	매체별 허용기준
미 국	○ 수질 0.13mg/l
캐나다	○ 공정배출기준 0.0005mg/l
영 국	○ 음식물 0.01 - 0.2mg/kg ○ 지표수 0.03ug/l
독 일	○ 음용수 0.001mg/l ○ 음식물 0.01 - 0.5mg/kg
E U	○ 사료 0.01mg/kg

자료 : 본 보고서 제 III장에 정리한 각국의 규제내용 참조

3.2 주요 배출원별 배출기준

최근 미국은 다이옥신의 주요 배출원별 배출기준을 수립중이며, 이중 도시폐기물연소(MWCs⁶⁰⁾시설, 병원/의약/감염성 폐기물 소각로(HMIWIs⁶¹⁾), 유해폐기물연소시설(HWCs⁶²⁾) 등에서의 배출기준을 일부 수립하였거나 의회에 상정중이다. 우리나라는 아직 다이옥신 배출원이 파악되지 않은 실정이라 소각로에서의 다이옥신 배출기준만이 설정되어 있다. 향후 배출원이 파악되면, 각 배출원별 배출기준을 설정하

60) Municipal Waste Combustors

61) Hospital/Medical/Infectious Waste Incineraors

62) Hazardous Waste Combustor

여야 할 것이다.

한편 국내에서 다이옥신의 배출원별 배출기준은 대형생활폐기물 소각시설(처리용량 일일 50톤 이상)에 대해서만 신설시설 0.1ngTEQ/Nm³, 기존시설 0.5ngTEQ/Nm³이 선정되어 있으나, 일부 개선되어야 부분이 있다.

우선 앞장의 <표 IV-3>과 같이 소각로에서의 다이옥신은 처리시설 규모가 4톤/hr인 대형소각시설 뿐 아니라 중소형 소각시설에서도 다량의 다이옥신이 발생되고 있다. 그러나 현재의 다이옥신 배출기준은 대형시설에만 국한되어 있어, 중소형 소각시설에서 발생하는 다이옥신에 대한 규제는 이루어지고 있지 않다.

대부분의 선진국은 소각시설의 수가 적고, 중소형 소각에 의한 폐기물처리가 거의 없어 대부분의 소각로가 대형(4톤/hr)이다. 따라서 모든 소각시설에서 배출되는 다이옥신에 대한 동일한 기준치를 적용하고 있으며, 이는 우리의 규제실정과도 차이가 있다<표 V-5>. 그러나 선진국 중 일본은 <표 III-28>과 같이 중소형 소각시설이 운영되고 있으며, 소각시설의 규모별로 배출기준을 차별화하고 있다.

최근의 국내 관련연구⁶³⁾에서는 중소형 소각시설에 대해 일본과 같은 배출기준을 적용하자는 결론이 도출되었다. 즉, 신설시설의 경우 4톤/hr 이상은 0.1ngTEQ/Nm³, 2 ~ 4톤/hr은 1ngTEQ/Nm³, 0.2 ~ 2톤/hr은 5ngTEQ /Nm³의 기준치를 제안하였다. 기존시설에 대해서는 긴급대책단계, 항구대책 1단계, 항구대책 2단계 등 3단계로 나누어 배출기준을 설정하여, 단계별 다이옥신 배출량 저감효율이 긴급대책 38.5%, 항구대책 1단계 78.6%, 항구대책 2단계 86.4%을 기대할 수 있도록 제안하였다.

따라서 현재 부산물의 배출별 규제기준 중 가장 시급히 서둘러야 할 사항은 기존의 소각시설에 대한 배출기준을 국내의 관련연구 결과를 바탕으로 개정하여야 할 것이다. 또한 국내 주요 배출원이 파악된 후에는 이에 대한 배출기준 수립을 위한 연구가 함께 수행되어야 할 것이다.

<표 V-5> 각국의 소각시설의 다이옥신 배출 기준치

국 명	배 출 기 준	
	신규시설(ngTEQ/Nm ³)	기존시설(ngTEQ/Nm ³)
독 일	0.1	0.1
네덜란드	0.1	0.1
스웨덴	0.1	0.5~2
오스트리아	0.1	
덴마크	0.1	
노르웨이	2	
영국	1	
캐나다	0.14	
미국	0.3~0.9 (97년 11월 이전시설) 0.1~0.3 (97년 11월 이후시설)	0.3~3.6(250톤/일 미만)
일본	0.1~5	1~10 80(긴급대책)

자료: 환경부, 국립환경연구원, “'99 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과보고서”, 2000

63) 1999년도 환경부 용역과제 『중소형 소각시설에 대한 다이옥신 및 대기오염물질 배출특성 조사』, ‘99 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과보고서

4. 최적가용기술 개발 및 적용

부산물의 효율적인 규제는 신속한 배출원의 감소와 함께 주요 배출원별 최적가용기술(Best Available Technique, BAT⁶⁴)을 개발·적용함으로써 가능하다. BAT란 다이옥신, 퓨란, HCB, PCBs 등 부산물의 배출 또는 환경에 미치는 영향을 저감하거나 방지하기 위해 적용하는 기술 중 가장 효과적이며 가장 최신단계의 기술을 의미한다⁶⁵. 이때 BAT의 개념은 어떠한 특정 기술에 대해 규정하는 것이 아니라, 설치와 관련된 기술적 특성, 지리학적 위치, 지역적 환경조건 등을 모두 포함한 개념이다.

UNEP는 협약체결 후 당사국간 회의를 통해 POPs 물질에 대한 최적가용기술에 대한 지침을 마련할 예정이며, 현재는 다음의 요인을 고려하여 BAT를 결정하도록 권고하고 있다.

- ① 관리하고자 하는 배출의 특성, 효과 및 배출량: 이는 BAT가 배출원의 크기에 따라 좌우되기 때문이다
- ② 신규배출원 또는 기존배출원의 설치시기
- ③ BAT를 도입하는데 요구되는 기간
- ④ 부산물이 발생하는 산업공정에 사용되는 원료물질의 특성, 사용량 및 에너지 효율
- ⑤ 배출되는 물질이 환경에 미치는 위해성 및 전체 영향을 저감 또는 방지해야만 하는 필요성
- ⑥ 사고를 방지 또는 사고가 환경에 미치는 영향을 저감하는지의 여부
- ⑦ 작업장에서 근로자의 건강과 안전을 보호하는지를 확인
- ⑧ 산업공정에서 BAT의 성공적 적용을 위한 방법, 설비, 공정 등
- ⑨ 과학적 지식과 이해를 근거로 한 기술적인 최신성 여부

만약 BAT로도 배출원에서 배출되는 POPs 물질을 제거하기 어려울 경우 UNEP는 다음의 저감방안을 적용하도록 권고하고 있다.

- ① 가스도관을 청소하는 개선된 방법을 이용 ; 열적 산화, 용매를 이용한 산화, 분진침강 또는 분진흡수 등을 적용
- ② 잔류물, 폐수, 폐기물, 슬러지 등을 환경에 무해하게 처리 ; 열적, 화학적 또는 불활성처리 방법을 적용
- ③ 배출을 저감시킬 수 있게 공정을 변화 ; 공정을 폐쇄시스템으로 변환
- ④ 부산물의 형성을 방지하고 소각효율을 개선하기 위한 공정변화 ; 소각온도나 잔류시간 등을 효율적으로 관리

현재 국내에서는 부산물 중 다이옥신/퓨란의 소각시설에서의 저감방안은 비교적 많이 연구되어 있으나 다른 배출원에서의 저감방안은 거의 알려져 있지 않다. 따라서 각 배출원별 BAT 및 저감방안 개발을 서둘러야 할 것이다. 또한 각 배출원별 규제기준은 이와 같이 적용가능한 BAT를 충분히 고려한 후 결정되

64) 미국은 MACT(Maximum Achievable Control Technology)라는 용어를 사용함

65) UNEP POPs 협약안에서 정의한 BAT는 “the most effective and advanced stage in the development of activities and their methods of operation which indicate the practical suitability of particular techniques providing in principle the basis for release limitations designed to prevent and, where that is not practical, generally to reduce releases of chemicals listed in Part I of Annex C and their impact on the environment as a whole”임

어야 할 것이다.

최근 외국에서 개발·적용되고 있는 부산물의 BAT 정보를 수집하는데는 한계가 있어⁶⁶⁾ 구체적인 방안은 제시하지 못하고, 단지 선진국에서 적용하고 있는 주요 배출원별 저감방안 또는 BAT를 다음과 같이 소개하고자 한다. 향후 국내에서 이에 대한 구체적인 연구가 반드시 수행되어야 할 것이다.

4.1 다이옥신/퓨란의 저감방안

다음은 미국 EPA에서 각 배출원에서의 다이옥신/퓨란 배출을 저감하기 위해 수행하는 저감방안들이다.

첫째, 의료폐기물의 소각시 발생하는 다이옥신을 저감하기 위해 autoclave를 사용한다.

둘째, 도시폐기물 소각시 소각시설을 intensive recycling system으로 대체한다.

셋째, 펄프/제지공정에서 표백제로 과산화수소나 오존을 사용하는 TCF(totally chlorine-free) 공정을 도입한다.

넷째, 시멘트 킬른에서 연료를 재래식 연료인 석탄으로 대체한다.

이중 소각시설에서의 다이옥신/퓨란 저감방안은 국내에서 많이 연구가 되어 있으며, 이는 부록 III에서와 같이 소각 전, 소각 중, 소각 후인 3단계로 나누어 각 단계별 저감방안을 정리하였다.

우선 첫째, 소각 전에 적용가능한 저감방안은 투입되는 폐기물 성상, 폐기물의 사전분리방법, 폐기물의 균질화 여부에 따라 다이옥신/퓨란의 발생량이 달라지므로 이에 대한 방안을 제시하였다.

둘째, 폐기물의 소각 중의 저감방안으로는 연소조건, 배가스 상태, 비산 유출입자의 최소화, 산소와 일산화탄소 측정에 의한 연소최적화, 조업상태 관점, 연소실의 최적 운전관리와 기준 등이 있다.

셋째, 폐기물의 소각 후 저감방안으로는 백 필터에서의 제거대책, 습식제거, 촉매에 의한 제거, 활성탄에 의한 제거 등이 있다.

넷째, 대체기술로는 RDF(고형 연료화기술)을 제안하였다.

4.2 HCB의 저감방안⁶⁷⁾

HCB의 배출을 저감하기 위한 BAT는 많이 개발되어 있지 않으며, 소각중의 HCB 저감방안은 부록 II의 다이옥신/퓨란화합물과 유사하다. 본 보고서에서는 HCB의 발생원별로 미국 EPA가 제시하고 있는 저감방안을 다음과 같이 소개하고자 한다.

1) 농약제조

66) 본 연구와 관련된 자료수집은 주로 인터넷과 연구논문을 중심으로 이루어 졌는데, 각 회사는 공정별 BAT의 외부 누출을 지극히 꺼려 관련자료 수집에 많은 어려움이 있음

67) <http://www.epa.gov/glnpo/bns/baphcb/HCB-rdcn.pdf>

농약 제조과정에서 HCB의 배출을 저감할 수 있는 가장 대표적인 방법은 생산자나 산업계가 농약 중의 HCB의 함유량을 줄이는 것이다. 이는 생산공정의 개선, 발생하는 폐기물의 적절한 관리 및 투입되는 원료물질의 순도를 강화시킴으로서 얻을 수 있다. 그러나 이러한 방법들은 정부의 규제에 의한 것이 아닌 자발적인 수단이므로 전과정에 걸친 비용과 편익의 분석이 요구된다.

세계적인 농약회사 중 하나인 Zeneca사는 농약 클로르타로닐(Chlorothalonil)에 포함되는 HCB의 농도를 최고 500ppm에서 평균 22ppm까지 저감함으로써, 수질로 배출되는 HCB의 양을 '97년 - '98년 사이에 26bs - 4lbs 수준으로 낮추었다.

2) 알칼리와 염소 제조과정

우선 HCB의 배출원이 금속성 음극인지 아니면 흑연성 음극인지를 확인하는 절차가 필요하다. 그리고 TRI 또는 다른 자료를 통해 HCB의 배출이 확인된 산업체를 중심으로 저감방안을 수립해 나간다. 미국의 경우 대형화학회사인 다우케미칼(Dow Chemical Company)⁶⁸⁾은 2005년까지 HCB의 배출량을 75% 감축하는 것을 목표로 설정한 바 있다. TRI의 대상업체가 아닌 소형산업체의 경우 배출저감에 대한 교육과 함께 소형업체도 HCB 배출량을 보고할 수 있는 제도적 장치를 마련한다.

3) 2차 알루미늄 공정

이 공정에서 발생하는 가스를 제거하기 위해 HCE(hexachloroethane)를 사용하는데, 이는 HCB의 배출원인이 된다. 따라서 HCE 대신 아르곤이나 질소가스를 사용하도록 유도한다.

4) 농약의 살포

농약의 사용단계에서도 다음과 같은 방법에 의해 HCB의 배출을 저감할 수 있다.

첫째, 비농업용 농약의 사용을 지역별로 저감할 수 있는 프로그램을 운영한다. 미국의 경우 미네소타, 위스콘신 등 오대호주변 주(州)의 통합프로그램인 “Green Thumb Project”를 통해 오대호에 미치는 농약의 위해성에 대한 인식을 주민들에게 고취시켰다. 그 결과 비농업용으로 가정 등에서 사용되는 농약의 양이 감소하였다.

둘째, “연방 Pesticide Environmental Stewardship Program”과 연계하여 농민들과 농약에 대한 정보를 공유하고 농업용·비농업용 농약의 위해를 저감하는 방법이다.

셋째, 가정에서 사용하고 남은 농약과 농업적 유해폐기물의 수집⁶⁹⁾을 촉진하는 것이다. 이에 의해 DDT와 같이 사용 금지된 농약뿐 아니라, 현재 사용하고 있는 HCB를 포함한 농약의 수집도 가능하게 되어 부적절한 처분이나 남용에 의해 배출되는 HCB의 양을 저감할 수 있다.

5) 고리화합물 원료 및 중간물질 제조시⁷⁰⁾

1997년 TRI에 보고된 고리화합물 원료 및 중간물질 제조에 의한 HCB의 배출량은 매우 낮으므로,

68) 다우케미칼사에서 수립한 구체적인 HCB 저감방안은 파악되지 않음

69) 통상 Clean Sweep이라 칭함

70) Cyclic crude and intermediate production

TRI에 보고되는 HCB 배출량의 변화를 주목하는 것만으로 충분하리라 생각된다.

6) 염화수소산 생산

HCl 생산시 배출되는 HCB는 SOCMH HON에 의해 대부분 제거된다.

7) 폐기물 소각 및 시멘트 제조시

HCB의 배출을 저감하기 위해 폐기물의 저감과 재활용을 증진시키는 국가적인 자발적 프로그램인 “Waste Wise Program”을 확대한다. 주민과 산업체 등을 대상으로 물질의 재활용 및 재사용 방법, 재활용된 제품의 구입방법 등에 대한 교육을 실시한다. 또한 가정과 상업지역, 사업장에서 폐기물이 발생되기 전에 감량할 수 있도록 공정의 개선을 추진한다.

8) 소각시설

이는 부록 II의 다이옥신/퓨란과 동일한 저감방안을 적용한다.

9) 목재 보존

HCB의 오염이 의심되는 목재방부제에 대해서는 재등록절차를 거치도록 한다. 현재 EPA는 FIFRA에 의해 PCP의 재등록 평가절차를 수행중에 있으며, 향후 “재등록자격결정지침(Re-registration Eligibility Decision Document)”을 출판할 예정이다. 이는 HCB를 포함한 농약으로 인한 오염방지와 배출량 저감에 많은 영향을 주리라 예상된다.

5. POPs 부산물의 통합관리를 위한 특별법 제정

POPs 협약체결이 바로 몇 달 앞으로(2001년 5월) 다가 왔다. 따라서 지금까지 제안된 부산물의 국내 대응방향을 포함한 POPs 협약에 대한 광범위한 국가 대응전략이 요구된다. 그러나 앞서 지적한 바와 같이 본 보고서에서 제안된 부산물의 대응방안을 기존의 국내관련법에 의해 수행하기에는 많은 제약이 있다. 이와 같은 문제점은 비단 우리나라에서만 발생하는 것이 아니라 일본을 위시한 다른 국가에서도 발생되고 있다.

이를 해결하기 위해 일본은 1999년에 『다이옥신류 특별대책조치법(‘99 법률 제105호)』을 공포하였으며, 그 내용은 다음과 같다. 이때 다이옥신류란 PCDD, PCDF, coplanar PCBs 등의 화합물을 의미한다.

- ① 다이옥신의 일일섭취허용량 ; 2,3,7,8 TCDD를 기준으로 4pg/kgb.w.
- ② 환경기준 설정 ; 대기, 수질 및 토양에 대한 환경기준을 설정
- ③ 배출가스 및 배출수에 관한 규제
- ④ 폐기물 소각로에 대한 비산재 처리 등
- ⑤ 오염현황에 대한 조사
- ⑥ 오염된 토양 복원
- ⑦ 국가의 대응계획

- ⑧ 주민의 참여
- ⑨ 인체건강 피해현황 및 식품을 통한 다이옥신 축적을 조사
- ⑩ 소형소각로에 대한 검토 및 규제

우리나라도 이와 같은 특별법(가칭 『다이옥신 등 특정유해화학물질 관리에 관한 법률』)을 제정한다면 다이옥신을 포함한 부산물 관리가 훨씬 효율적으로 진행될 수 있을 것이다. 이에 환경부에서는 이와 같은 특별법을 국내에서 조속한 시일내에 제정하기 위한 기초연구에 이미 착수하였다. 그러나 국내의 다이옥신 특별법은 일본의 관련법률과 비교하여 다음의 몇 가지 차별을 두어야 할 것이다.

우선 첫째, 대상물질을 POPs 부산물 전체로 확대하여야 한다. 일본은 다이옥신 특별법의 대상물질을 다이옥신, 퓨란, coplanar PCBs 등 다이옥신류 화합물로 국한하고 있으나, 이를 UNEP에서 부산물로 지정하고 있는 다이옥신, 퓨란, HCB, coplanar PCBs로 확대하는 것이 바람직하다. UNEP의 POPs협약안에는 HCB가 부산물로 발생하는 산업공정이 다이옥신류 화합물과 동일하다고 규정하고 있으므로, 이를 다이옥신과 통합하여 관리하는 것이 바람직하다. 만약 특별법의 대상물질을 부산물로 확대할 경우, 향후 추가로 POPs 협약의 대상물질로 예상되는 물질⁷¹⁾중 부산물인 PAH(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)도 포함시키는 것이 타당할 것으로 사료된다.

둘째, POPs 부산물의 각 배출원별 BAT의 개발과 적용을 강조하여야 할 것이다. 일본의 경우 다이옥신류의 배출기준은 저감가능한 기술수준을 감안하여 정한다고만 명시되어 있으며, 구체적인 BAT의 개발 및 적용에 대한 언급은 생략되어 있다. 현재 국내에서 부산물의 배출을 저감 또는 방지하기 위해 적용가능한 BAT는 그리 많지 않다. 2001년 POPs 협약이 체결되면 2000년대 후반에는 모든 신규배출원에 의무적으로 BAT를 적용하여야 할 것이다. 따라서 지금부터라도 국내 부산물 배출원에 적용가능한 BAT 개발에 정부의 투자와 관심이 요구된다.

셋째, 그 외 배출량조사, 환경오염실태 조사, 매체별 규제기준 등을 명시하고, 이를 구체적으로 수행하기 위해 요구되는 관련 연구추진계획 및 조직도 함께 명시하여야 할 것이다.

71) 추가로 협상대상이 되리라 예상되는 물질은 살충제인 chlordecone과 HCH(lindane), 방염제인 hexabromobiphenyl, 부산물인 PAH 등이다

Ⅶ. 결론

2000년 12월 제5차 INC 회의를 마지막으로 POPs 협약을 위한 최종안이 확정되었으며, 내년 5월 스웨덴 스톡홀름에서 개최될 외교회의에서 협약이 채택될 예정이다. 따라서 우리는 POPs 물질의 관리를 더 이상 미룰 시간적 여유가 없다. 이미 환경부를 중심으로 POPs 물질의 효율적인 관리를 위한 일부 사업이 추진 또는 계획중이나, 아직 완벽한 대응방안이 마련되어 있지는 못하다. 이에 POPs 규제협약안, 선진국의 규제동향, 국내관리동향 및 문제점 등을 바탕으로 POPs 물질 중 산업공정에서 발생가능한 부산물의 적절한 관리를 위해 다음과 같은 대응전략을 제안하고자 한다.

첫째, POPs 부산물의 물질별 배출원 종류와 배출량을 조사하여야 한다. 이는 기존의 화학물질 배출량 보고제도를 활용하는 것보다는, 이 제도를 부산물의 특성에 적합하게 수정하여 실시하는 것이 적합할 것이다. 또한 원료물질이 아닌 부산물에 적합한 배출신고기준을 설정하는 것이 요구된다.

둘째, POPs 부산물의 환경상 오염현황 및 위해성을 확인하여야 한다. 이 역시 기존의 환경부에서 실시 중인 『내분비계 장애물질 중·장기연구사업계획』에 의해 오염실태조사가 수행되기보다는 별도의 연구계획을 수립하는 것이 바람직하다. 즉, 다른 내분비계 장애물질과는 구별하여 주요배출원과 배출량을 파악한 후, 오염이 심각할 것으로 예상되는 배출원별로 오염실태조사를 수행할 수 있는 가칭 『POPs 통합관리를 위한 오염실태조사(안)』를 수립하는 것이 필요하다. 이 조사계획에는 부산물의 위해성평가도 함께 포함되어야 할 것이며, 이를 부산물 관리를 위한 특별법을 제정하여 명시하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

셋째, POPs 부산물에 대한 규제기준을 설정하는 것이 시급하다. 현재 국내에서는 다이옥신과 퓨란의 소각시설에 대한 배출허용기준만 제시되어 있으며, HCB에 대해서는 아무런 기준이 마련되어 있지 않다. 향후 부산물의 적절한 관리를 위하여는 반드시 규제기준이 요구되며, 이는 환경매체별 허용기준과 주요 배출원별 배출기준으로 나누어 설정되는 것이 적절할 것이다.

넷째, POPs 부산물의 각 배출원별 최적가용기술의 개발을 촉진하고, 이를 주요 배출원에 적용할 수 있는 방안을 마련한다. 부산물의 효율적인 규제를 위하여는 주요 배출원별로 최적가용기술을 개발·적용하는 것이 반드시 요구되며, UNEP에서도 각 회원국이 BAT에 근거하여 규제기준을 설정하도록 권고하고 있다. 현재 국내에서는 부산물 중 다이옥신/퓨란의 소각시설에서의 일부 BAT는 연구되어 있으나 다른 배출원에 적용할 수 있는 BAT는 거의 알려져 있지 않다. 따라서 각 배출원별 BAT 및 저감방안 개발을 서둘러야 할 것이며, 각 배출원별 규제기준은 이들 BAT를 충분히 고려한 후 결정되어야 할 것이다.

다섯째, POPs 부산물의 효율적 관리를 위한 특별법 제정이 요구된다. 부산물과 관련된 국내 법률로는 『유해화학물질관리법』과 『폐기물관리법』을 들 수 있다. 그러나 이들 관련법만으로 POPs 물질을 관리하기에는 많은 문제점이 있어, 외국과 같이 부산물관리를 위한 특별법 제정이 시급하다.

VII. 참 고 문 헌

1. 국내문헌

- 국립환경연구원, 1999, 다이옥신은 어떤 물질일까요
- 김재형, 2000, 유럽국가의 다이옥신류 규제기준, 첨단환경기술
- 도갑수, 1997, '생활폐기물 소각로에 의한 다이옥신의 영향과 제어방안, 한국폐기물학회지, 14권 6호, p501-506
- 도서출판 신기술, 1999, 다이옥신류 저감대책과 방법
- 서울시 청소사업본부 시설 2부, 1993, 다이옥신대책, 1993
- 신동천, 1998, 다이옥신의 위해성과 인체노출 허용기준, 다이옥신의 유해성과 안전관리를 위한 시민토론회 자료
- 일본 후생성 수도환경부 환경정비과, 1999, 일반폐기물소각시설의 배출가스 중의 다이옥신류 농도 등에 대하여
- 한국과학기술연구원 외1, 1997, 다이옥신 핸드북
- 환경부, 1998, 중앙일보
- 환경부, 1999, '99년 환경부 화학물질유통량조사자료
- 환경부, 1999, 환경부 고시 제 1998-155호
- 환경부, 2000, 유해화학물질관리기본계획(안)
- 환경부, 국립환경연구원, 2000, 99 내분비계장애물질 조사·연구사업 결과 보고서
- 환경부, 포항공대, 1997, 중앙일보
- 官田秀明, 1997, 다이옥신·PCB 등 유기염소화합물의 환경리스크 평가에 관하여, 지구환경시스템공학연구소 강연자료
- 官田秀明, 1997, 다이옥신·PCB 등 유기염소화합물의 환경리스크평가에 관해서, 지구환경시스템공학연구소 강연자료
- 후생성생활위생국 河村成彦, 1997, 다이옥신류의 성질과 인체에 미치는 영향에 관하여, 産業と環境
- 瀧澤行雄, 1993, "다이옥신의 의학", 브라이유 주식회사, 동경, 일본

2. 국외문헌

- Ahmad, N., D. Benoit, L. Brooke, D. Call, A. Carlson, D. DeFoe, J. Huot, A. Moriarity, J. Richter, P. Shubat, G. Veith, and C. Walbridge, 1984, Aquatic toxicity tests to characterize the hazard of volatile organic in water : A toxicity data summary - Part I and II, Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Duluth, Minnesota
- Arnold, D.L., C.A. Moodie, S.M. Charbonneau, H.C. Grice, P.F. McGuire, F.R.

Bryce, B.T. Collins, Z.Z. Zwadzka, D.R. Krewski, E.A. Nera, and I.C. Munro, 1985, Long-term toxicity of hexachlorobenzene in the rat and the effect of dietary vitamin A, Food Chem. Toxic. 23, pp779-pp793

Benazon Environmental Inc., 1999, Hexachlorobenzene Emission/Releases Inventory for the Province of Ontario, 1988, 1998, and 2000 Draft Report. Submitted to Toxics Prevention Division, Environmental Protection Branch, Environment Canada

Benazon Environmental Inc., 1999, Hexachlorobenzene Emissions/Releases Inventory for the Province of Ontario, 1988, 1998, and 2000 Draft Report, Submitted to Toxic Prevention Division, Environmental Protection Branch, Environment Canada

Bibineau, K.A., A.Singh, J.F. Jarrell, and D.C. Villeneuve, 1991, Surface epithelium of the ovary following oral administration of hexachlorobenzene to the monkey, J.Submicrosc. Cytol. Pathol. 23

Boersma, D.C., J.A. Ellenton, and A. Yagminas, 1986, Investigation of the hepatic mixed-function oxidase system in herring gull embryos in relation to environmental contaminants, Environ. Toxicol. Chem. 5, pp309-pp318

Borzelleca, J.F., and R.A. Carchman, 1982, Effects of selected organic drinking water contaminants on male reproduction, Health Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, Research Triangle Park, North Carolina, U.S. Environmental Protection Agency

C.R. Morris and J.R.P. Cabral, 1985, Hexachlorobenzene : proceedings of an international symposium held at IARC

Calamari, D., S. Galassi, F. Setti, and M. Vighi, 1983, Toxicity of selected chlorobenzenes to aquatic organism, Chemosphere 12, pp47-51

Call, D.J., L.T. Brooke, N. Ahamd, and J.E. Richter, 1983, Toxicity and metabolism studies with EPA priority pollutants and related chemicals in freshwater organisms. Center for Lake Superior Environmental Studies, University of Wisconsin-Superior, Environmental Research Laboratory, Duluth, Minnesota, U.S. Environmental Protection Agency

Carbral, J.R.P., T.Mollner, F. Raitano, and P.Sjubok, 1979, Carcinogenic activity of hexachlorobenzene in mice

Carbral, J.R.P., and P. Shubik, 1986, Carcinogenic activity of hexachlorobenzene in mice and hamster, In: C.R. Morris, and J.R.P. Cabral, eds. Hexachlorobenzene: Proceeding of an International Symposium, International Agency for Research on Cancer, IARC Scientific Publications No. 77, Lyon, France, pp411 - pp480

den Tonkelaar, E.M., H.G. Verschureren, J. Bankovska, T. De Vries, R. Kroes, and G. van Esch, 1978, Hexachlorobenzene toxicity in pigs, Toxicol. Appl. Pharmacol. 43, pp137-pp145

ECE & UK DETR, 1999, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data

- ECE & UK DETR, 1999, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data Task2-Environmental Levels
- Elissalde, M.H., and D.E. Clark, 1979, Testosterone metabolism by hexachlorobenzene-induced hepatic microsomal enzymes, *Am. J. Vet. Res.* 40, pp1762-pp1766
- Environment of Canada, 1993, Canadian Environmental Protection Act Priority Substances List Assessment Report Hexachlorobenzene
- Environment Canada, 1999, Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene Inventory of Releases
- Environment Canada, 1999, Dioxins and Furans and Hexachlorobenzene Inventory of Releases
- Environment of Canada, 1993, Priority Substances List Assessment Report
- Environment of Canada, 1997, Toxic Substances Management Policy
- Geike, F., and C.D. Parasher, 1976, Effect of hexachlorobenzene on some growth parameters of *Chlorella pyrenoidosa*, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 15, pp670-pp677
- Geike, F., and C.D. Parasher, 1976, Effect of hexachlorobenzene(HCB) on growth of *Tetrahymena pyriformis*, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 16, pp347-pp354
- Goldstein, J.A., M. Friesen, T.M. Scotti, P. Hickman, J.R. Hass, and H. Bergman, 1978, Assessment of the contribution of chlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans to hexachlorobenzene-induced toxicity, porphyria, changes in mixed function oxygenases, and histopathological changes, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 46, pp633-pp649
- Gralla, E.J., R.W. Fleischman, Y.K. Luthra, M. Hagopian, J.R. Baker, H. Esber, and W. Marcus, 1977, Toxic effects of hexachlorobenzene after daily administration to beagle dogs for one year, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 40, pp227-pp239
- Grant, D.L., W.E.J. Phillips, and G.V. Hatina, 1977, Effect of hexachlorobenzene on reproduction in the rat, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 5, pp207-pp216
- H. Miyata, et al., 1994, "Survey on Pollution of Dioxin and Related Compounds Monitored by Blue Mussel as a Biological Indicator at 24 Coastal Areas in Japan, Organohalogen Compounds, Vol. 20, pp187-pp190
- Health Canada, 1998, Summary : Persistent Environmental Contaminants and the Great Lakes Basin Population: An Exposure Assessment
- Hill, E.F., R.G. Heath, J.W. Spann, and J.D. Williams, 1975, Lethal dietary toxicities of environmental pollutants to birds, United States Fish and Wildlife Service, Washington D.C., Special Scientific Report - Wildlife No. 191
- Kimbrough, R.D., and R.E. Linder, 1974, The toxicity of technical hexachlorobenzene in the Sherman rat strain. A preliminary study, *Res. Commun. Chem. Pathol. Pharmacol.*, 8, pp653-pp664

Kitchin, K.T., R.E. Linder, T.M. Scotti, D. Walsh, A.O. Curley and D. Svendsgaard, 1982, Offspring mortality and maternal lung pathology in female rats fed hexachlorobenzene, *Toxicology* 23, pp33-pp39

Kitchin, K.T., R.E. Linder, T.M. Scotti, D. Walsh, A.O. Curley, and D. Svendsgaard, 1982, Offspring mortality and maternal lung pathology in female rats fed hexachlorobenzene, *Toxicology* 34, pp33-pp39

Koning, J. de, A.A. Sien, L.M. Troost, and h.j. Bremmer, 1994, Source of Dioxin Emissions in the Netherlands. *Organohalogen Compounds*, vol. 14, 315

Laseter, J.L., C.K. Bartell, A.L. Laska, D.G. Holmquist, D.B. Condie, and R.L. Evans, 1976, An ecological study of hexachlorobenzene(HCB), Department of Biological Sciences, University of New Orleans, prepared for Office of Toxic Substances, Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency

McDonal, Randall, 2000, personal communication

Mendoza, C.E., B. Collins, J.B. Shields, and G.W. Laver, 1977, Hexachlorobenzene residues and effects on esterase activities in pre-weanling rats after a reciprocal transfer between HCB-treated and control dams, *Arch. Toxicol.* 38, pp191-pp199

Mendoza, C.E., B. Collins, J.B. Shields, and G.W. Laver, 1978, Effects of hexachlorobenzene or hexabromobenzene on body and organ weights of preweaning rats after a reciprocal transfer between the treated and control dams, *J. Agric. Food Chem.* 26, pp941-pp945

Mendoza, C.E., J.B. Shields, and G.W. Laver, 1979, Comparison of the porphyrinogenic activity of hexabromobenzene and hexachlorobenzene in primiparous Wistar rats, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 21, pp358-pp364

Ministry of Environment, 2000, New Zealand inventory of dioxin emissions to air, land and water, and reservoir sources

Nebecker, A.V., W.L. Griffis, C.M. Wise, E. Hopkins, and J.A. Barbitta, 1989, Survival, reproduction and bioconcentration in invertebrates and fish exposed hexachlorobenzene, *Environ. Toxicol. Chem.* 8, pp601-pp611

Ohsaki, Y., et al., 1994, "Chemosphere"

Parrish, P.R., G.H. Cook, and J.M. Patrick Jr, 1974, Effects on several estuarine animals, Proceedings of the 28th Annual Conference, White Sulphur Springs, West Virginia, 17-20 November, 1974. W.A. Rogers, ed. Southeastern Association of Game and Fish Commissioners, Sulphur Springs, West Virginia

Persoone, G., and G. Uyttersprot, 1975, The influence of inorganic and organic pollutants on the rate reproduction of a marine hypotrichous ciliate : *Euplotes vannus* Muller. *Rev. int. d'oceanog, med.* 37-38., pp125-151

Schechter et al., 1989, Levels of polychlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans in cow's milk and in soy bean derived infant formulas sold in the United States and other countries, *Chemosphere*, *Chemosphere*

- Simon, G.S., R.G. Tardiff, and J.F. Borzelleca, 1979, Failure of hexachlorobenzene to induce dominant lethal mutations in the rat, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 47, pp415-pp419
- Singh, A., D.E. Sims, J. Jarrell, and D.C. Villeneuve, 1991, hexachlorobenzene toxicity in the monkey ovary II. Ultrastructure induced by high (10mg/kg) dose exposure, *Proc. 49th Ann. Meet*
- U.S. EPA, 2000, Hexachlorobenzene(HCB):Reduction Option
- U.S. EPA, 1998. "The Inventory of Sources of Dioxin in the United states(External Review Draft)", EPA/600/P-98/002Aa
- U.S. EPA, 2000, Exposure and Human Health Reassessment of TCDD and Related Compounds
- U.S. EPA, 2000, '99 Great lakes binational Toxics Strategy : PCDD(dioxin) and PCDF(furans) sources and Regulations
- U.S. EPA, 2000, '99 Great lakes binational Toxics Strategy : PCDD(dioxin) and PCDF(furans) sources and Regulations
- Vos J.G., G.M.J. Brouwer, F.X.R. van Leeuwen, and S.J. Wagenaar, 1983, Toxicity of hexachlorobenzene in the rat following combined pre- and post-natal exposure : comparison of effects on the immune system, liver and lung. In: D.V. Parke, G.G. Gibson, and R. Hubbard, eds. *Immunotoxicology*, Academic Press, London, pp219-pp235
- Vos J.G., M.J. van Logten, J.G. Kreeftenberg, and W. Kruizinga, 1979, Hexachlorobenzene-induced stimulation of the humoral immune response in rats, *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 320, pp535-pp550
- Western Lake Superior Sanitary WLSSD, 1998, "Zero Discharge Pilot Project," Final Report

3. 인터넷 자료

- <http://europa.eu.int/comm/environment/dioxin/task7.pdf>
- <http://europa.eu.int/comm/environment/dioxin/task8.pdf>
- <http://irptc.unep.ch/pops/indxhtmls/manexp3.html>
- <http://irptc.unep.ch/pops/newlayout/infopopsalt.htm>
- <http://toxnet.nlm.nih.gov>
- <http://www.ec.gc.ca/cceb1/eng/tsmp.htm>
- <http://www.epa.gov/earth1r6/6en/w/cwa.htm>
- <http://www.epa.gov/glnpo/bns/baphcb/HCB-rdcn.pdf>
- http://www.epa.gov/glnpo/bns/dioxin/PCDD_OF_regs.PDF
- http://www.epa.gov/grtlakes/bns/baphcb/HCBSteps_web_1.PDF
- <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/dioxin>
- <http://www.epa.gov/oar/caa/contents.html>
- <http://www.epa.gov/tri>
- <http://www.greenpeace.org>
- <http://www.irptc.unep.ch/pops>
- <http://www2.ec.gc.ca/dioxin/download/dioxine.doc>

부록 I. 약어정리

- BACT : Best Available Control Technology, 최적가용관리기술
- BAF : Bioaccumulation Factors
- BAT : Best Available Technology, 최적가용기술
- BCF : Bioconcentration Factor
- CAA : Clean Air Act, 대기청정법
- CEG : Criteria Expert Group, 규제대상 추가물질 선정을 위한 전문가 그룹
- CERCLA : Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act
- CWA : Clean Water Act, 수질청정법
- DCPA : Dimethyltetrachloro-tetephthalate
- EPCRA : Emergency Planning and Community Right-to-Know Act
- EPRI : The Electric Power Research Institute
- FIFRA : Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act, 연방살충 제 · 살균제 · 살서제법
- HAP : Hazardous Air Pollutant, 유해대기오염물질
- HCB : Hexachlorobenzene
- HMIWI : Hospital/Medical/Infectious Waste Incinerators
- HWC : Hazardous Waste Combustors
- IFCS : Intergovernmental Forum on Chemical Safety, 화학물질 안전에 관한 정부간 포럼
- INC : Intergovernmental Negotiating Committee, POPs 국제협약화를 위한 정부간 협상회의
- IOMC : Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, 화학물질 관리기구간 프로그램
- IPCS : International Programme on Chemical Safety, 국제화학안전계획
- LOELs : Lowest Observed Effect Levels
- LRTAP : The Convention on Long-Range Transboundary AirPollution, 장거리 국경간 대기오염에 관한 협약
- MAC : Maximum Allowable Concentration, 최대허용농도
- MACT : Maximum Achievable Control Technology, 최대수행가능규제 기술
- MCL: Maximum Contaminant Level, 최대오염농도
- MCLGs : Maximum Contaminant Level Goals
- MSDS : Materials Safety Data Sheet, 물질안전자료
- MWC : Municipal Waste Combustors
- NESHAPS : National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants, 유해대기오염물질의 배출기준
- NOAEL : No Observed Adverse Effect Level
- NOELs : No Observed Effect Levels

NPDES : National Pollution Discharge Elimination System, 국가오	염배출 저감시스템
NPDWR : National Primary Drinking Water Regulations	
NTI : National Toxics Inventory	
NTP : National Toxicology Program	
PCB : Polychlorinated biphenyls	
PCDD : Poly Chlorinated Dibenzo-p-Dioxin	
PCDF : Poly Chlorinated Dibenzo Furan	
PCNB : Pentachloronitrobenzene	
PCP : Pentachlorophenol	
PIN : Product Identification No	
PMRA : Pest Management Regulation Agency	
POPs : Persistent Organic Pollutants, 잔류성 유기오염물질	
RAM : Rubber Manufacturers Association	
RCRA : Resource Conservation and Recovery Act, 자원보전·회복법	
RQ : Reportable Quantity	
SARA/EPCRA : Superfund Amendment Reauthorization Act/ Emergency Planning and Community Right-to-Know Act	
SDWA : Safe Drinking Water Act, 음용수관리법	
SIC : Standard Industrial Code	
SOCMI : Synthetic Organic Chemical Manufacturing Industry	
TDI : Tolerable Daily Intake, 일일 섭취허용량	
TPC : Temporary Permitted Concentration, 일시적 허가농도	
TRI : Toxics Release Inventory	
TSCA : Toxic Substances Control Act, 유해물질관리법	
TSEL : Tentative Safe Exposure Level, 임시 노출 안전한계	
TSMP : Toxic Substance Management Policy, 독성물질관리정책	
UNCED : The United Nations Conference on Environment and Development	
UN/ECE : Economic Commission for Europe	
UNEP : United Nations Environment Programme	
VOC : Volatile Organic Compounds	
WHMIS : Workplace Hazardous Materials Information System, 작업장 유해물질 정보체계	
WIG : Waste Incineration Guideline, 폐기물 소각지침	

부록 II. 각국의 HCB 규제기준

1. 미국

1) 대기청정법, 112 - 유해대기오염물질에 대한 국가배출표준

subject	specification	description
대기	배출	요구

① 내용요약

유해한 것으로 판단되는 오염물질에 대한 배출기준을 정함

② 발효 : 1985

2) CFRUS : 유해물질의 목록 및 보고가 요구되는 양

subject	specification	description
폐기물	산업	요구
대기	배출	요구
수질	배출	요구

① 내용요약

○ 10(4. 54) ; 보고가 요구되는 양(RQ⁷²⁾)보다 많은 양의 본 물질이 배출될 때 『comprehensive environmental response, comprehension, and liability act』에 의해 National Responsible Center에 보고해야 한다.

② 발효 : 1990

3) 수질청정법(1987년 수질청정법 자료 및 지침)

subject	specification	description
수질	-	요구

① 내용요약

○ 본 물질은 EPA의 CWA 304조의 일일최대배출량의 기준이 요구되는 전통적인 오염물질 목록에 포함되어있다.

② 발효 : 1981

72) reportable quantity

4) 『지표수 모니터링지침』의 유해성분 목록(LIST 1) : 지표수 보호를 위한 최대농도 포함

subject	specification	description
수질	지표	최고농도
모니터링	-	-

① 내용요약

○ RCRA 지역의 폐기물처리시설의 모니터링시 인근 지표수에 대한 HCB 오염이 관측되었을 때, 지표수에 대한 분석을 실시한다. 분석은 40 CFR 264에 의해 지표수의 오염이 최초로 감지되었을 때 실시하며, 그 후 매년 모니터링을 수행하여야 한다.

② 발효 : 1987

5) RCRA : 화학적 제품의 폐기, 용기중의 잔류물, 버려지는 잔류물 등

subject	specification	description
폐기물	산업	분류
저장	-	요구
운송	제거 및 처분	요구

① 내용요약

○ 본 화학물질의 잔류물은 모두 급성 유해물질로 표기되어 폐기시 급성유해물질로 처리되어야 한다 (40 CFR 261. 33 E).

② 발효 : 1980

6) RCRA : 오염물질의 최대농도

subject	specification	description
폐기물	-	최대허용농도
수질	-	최대허용농도
수질	지표	최대허용농도

① 내용요약

○ 최대농도 - 0.13 mg/ℓ

○ 본 화학물질은 40 CFR 261 APP II에 의한 방법에 의거해 추출되었을 때 주어진 농도이하로 존재해야 한다.

② 발효 : 1990

7) Superfund Amendment and Reauthorization Act Title III

subject	specification	description
대기	배출	요구
토양	배출	요구
수질	배출	요구
제조 및 생산	배출	요구

① 내용요약

- 본 물질을 25,000 lbs 이상 제조, 수입하거나 10,000 lbs 이상의 화학물질을 사용하는 시설은 반드시 EPA에 대기, 토양, 수질, 지하수유입이나 외부배출 등의 화학물질 배출을 보고해야 한다. 본 규정은 표준산업분류(SIC) CODES 20-39에만 적용된다.

② 발효일 : 1988

8) HCB에 대한 노출분석 : 농약·독성물질국(Office of Pesticide and Toxic Substances)

subject	specification	description
사용 및 취급	농약	금지

① 내용요약

- 규제수단 : 본 물질은 등록자에 의해 자발적으로 취소되었다. EPA는 HCB가 식품에 의한 섭취나 피부노출에 의해 발암성이 있고 기타 건강에 영향을 주는 것으로 검토하였고, 그 결과 1984년 등록자들이 자발적으로 HCB를 포함한 제품을 취소하였다.
- 주요 사용분야 : 밀의 흑수병의 구제에 이용됨
- 허용된 사용분야 : HCB를 활성물질로 이용하는 농약은 없으나 등록된 5개의 농약에 HCB가 오염물질의 형태로 존재하고 (chlorthalonil, PCNB, dacthal, picloram, pentachloro-phenol), 일부 다른 농약에도 포함되어 있을 것으로 추정된다.
- 이유 : 동물실험결과 1985년 EPA는 HCB를 인체발암물질로 규정하였고, 환경에의 잔류성이 매우 커서 수서생물이나 인간을 포함한 육상동물에서 발견되고 있다.
- 부가적 정보 : HCB는 농약의 5개 활성물질에서 오염물질로 발견된 바 있는데, 만약 존재한다면 EPA는 이러한 화합물들에 대한 규제를 실시할 것이다. 이러한 규제는 1984년 HCB를 활성물질로 사용하는 등록자들이 자발적으로 등록을 취소한 것과는 별개로 진행된다.

② 발효 : 1986

2. 캐나다

1)

subject	specification	description
운송	-	분류
라벨링	-	요구
포장	-	-

① 내용요약 :

- Schedule II, List II - 폭발물 이외의 위험물질 : PIN(Product Identification No.) : UN2729. Class(6.1) : Poisonous Packing group III, (I=매우 위험, III=약간 위험). Passenger Vehicles : 60L
- 위험물질법의 위험물질 운송규칙⁷³⁾(교통부에 의해 관리)에 의해 규정된다. 상기법과 규칙은 캐나다를 통과하는 모든 종류의 운송수단에 적용되는 포괄적인 규칙을 제공할 뿐만 아니라 캐나다 내에서 위험물질 운송의 안전을 도모하고 있는데 이들은 UN의 권고를 바탕으로 한다.

② 발효 : 1993. 12. 2

2)

subject	specification	description
사용 및 취급	직업상	요구
저장	-	-
라벨링	-	-

① 내용요약

- 성분표시 목록(Ingredient Disclosure List) - 농도 : 1% 중량/중량.
- 작업장 유해물질 정보체계(WHMIS)⁷⁴⁾는 작업장에서 사용되는 유해물질에 대한 정보를 제공하는 국가적인 체계이며, HCB에 대한 사용 및 취급시 물질안전자료(MSDS)⁷⁵⁾를 작성하여야 한다.

② 발효 : 1988. 12. 31

3)

subject	specification	description
폐기물	배출	지침
수질	-	-

① 내용요약

- 물리적, 화학적, 생물학적 공정에서의 권고배출기준은 최고농도 0.0005 mg/ℓ 이다. 본 규정은 지방 및 연방정부에 의해 이용되며 유해화학물질에 대한 물리적, 화학적, 생물학적 처리시설의 기초설계, 운전 및 작업의 기준에 대한 참고자료를 제공한다.

② 발효 : 1989. 8

73) Transportation of Dangerous Goods Regulations under the Transportation of Dangerous Goods Act

74) Workplace Hazardous Materials Information System

75) Materials Safety Data Sheet

4)

subject	specification	description
-	-	예방적안전수준

① 내용요약

○ HCB는 우선순위물질 그룹1에 속하는 물질로 HCB에 대한 평가 보고서는 1993년 완성되었다. 이 보고서에 의해 환경청과 National Health and Welfare 장관은 캐나다 환경중의 HCB가 인간과 환경에 유해하고 독성을 띄고 있는 것으로 결론지었다. 따라서 캐나다 환경보호법에 의해 환경을 오염시키고 인간건강에 유해한 영향을 주는 물질에 대해 광범위한 조사를 실시하였으며 이들 물질에 대한 저감계획을 동시에 실시할 수 없으므로 물질에 대한 우선 순위를 정하여 목록을 작성하였다. 물질은 (a) 인체건강이나 환경에 유해한 영향을 주거나 줄 가능성이 있는 경우, (b) 대기나 수질, 토양, 퇴적물, 세포내에 특정농도 이상 축적되거나 축적될 가능성이 있는 경우, (c) 환경내에 일정양이나 일정농도 이상 배출되는 경우 등에 해당되면 목록의 대상물질로 선정된다. 그 결과 HCB는 우선물질목록의 그룹 1에 선정되었다.

② 발효 : 1992. 1.21

3. 유럽경제공동체(European Economic Community)

1) 사료중 유해물질의 최대농도를 규정하기 위한 지침 (74/63/EEC)

subject	specification	description
사료	-	최대 허용농도

① 내용요약

○ 모든 사료 중 HCB의 최대허용농도는 0.01 mg/kg, 지방을 제외한 상태로 0.2 mg/kg이다

② 발효 : 1990. 12. 3

2) 작업중 발암물질에 노출되는 작업자를 보호하기 위한 지침 (90/394/EEC)

subject	specification	description
사용 및 취급	직업상	금지
안전	직업상	요구
모니터링	직업상	요구

① 내용요약

○ 본 물질은 발암성을 띄고 있다. 직업상의 발암물질에 노출되거나 노출될 가능성이 있는 작업자의 건강과 안전에 대한 유해한 영향은 평가되어야 한다. 고용주는 작업장에서 발암성 물질의 사용을

감축하고 덜 유해한 물질로 대체하여야 할 의무가 있다. 발암물질의 대체물질이 없을 경우 작업자를 보호하고 노출을 저감하는 방법을 채택해야 한다. 고용주는 자료를 요구받았을 때 적절한 자료를 제시하여야 한다. 작업자나 작업자들의 대표는 인체에 유해한 영향이나 작업위생상의 필요조건, 주의사항 등에 대한 자료를 통지받아야 하고, 본 지침이 이행되고 있는지에 대해 점검해야 하며 작업자의 건강에 관련된 점검도 요구된다. 건강검진 등의 의료기록은 최소한 40년이상 보관해야 한다.

② 발효 : 1992. 12. 31

3) 위험물질과 관련된 회원국의 법률 및 규제, 행정상의 관리기준등에 관한 지침 (76/769/EEC)

subject	specification	description
제품	-	최대 농도
판매	-	금지
라벨링	-	요구

① 내용요약

○ 본 물질은 발암물질 분류 중 제2군으로 구분된다. 일정 농도이상을 포함한 물질은 일반인에게 판매될 수 없으며 이러한 물질들의 포장재에는 알아보기 쉽게 “직업적인 사용으로만 제한됨, 주의 -노출을 피할 것-, 사용전 주의사항을 숙지”라고 표시해야 한다.

② 발효 : 1995. 6. 20

4) 위험물질의 분류와 포장, 라벨링에 관련된 법률과 규제, 행정적 관리 등에 관한 지침

subject	specification	description
분류	-	분류
라벨링	-	요구
포장	-	요구

① 내용요약

○ 분류 :

- CARC.CAT.2 - CARCINOGENIC CAT.2 : 암을 유발(R 45)
- T : 독성, 장기간 노출되거나 복용시 심각한 손상의 위험이 있음(R 48/25)

○ 라벨링 :

- T : 독성, 암을 유발(R 45)
- 독성 : 장기간 노출되거나 복용시 심각한 손상의 위험이 있음(R 48/25)
- 노출을 피할 것 - 사용전 주의사항을 숙지할 것(S 53)
- 응급상황시 즉시 의사의 진료를 받을 것(S 45)

② 발효 : 1994. 1

5) 과일이나 야채 등에 잔류되는 농약의 최대농도에 관한 지침 (90/642/EEC)

subject	specification	description
음식	농약	최대잔류농도

① 내용요약

○ 차(tea) : 0.01 mg/ℓ

② 발효 : 1998. 12. 31

6) 곡류 중 잔류농약의 최대농도 등에 관한 지침 (86/362/EEC)

subject	specification	description
음식	농약	최대잔류농도

① 내용요약

○ 곡류 : 0.01 mg/ℓ

② 발효 : 1998. 12. 31

7) 동물용 사료중 최대 잔류농약 농도 등에 관한 지침 (86/363/EEC)

subject	specification	description
음식	농약	최대잔류농도

① 내용요약

○ 육류, 찌꺼기, 동물지방 : 지방 중 0.2 mg/ℓ

○ 소의 우유 : 0.01 mg/ℓ

○ 계란 : 0.02 mg/ℓ

② 발효 : 1998. 12. 31

8) 특정 활성물질을 포함한 식물보호제의 판매나 사용의 금지 등에 관한 지침 (79/117/EEC)

subject	specification	description
판매	농약	금지
사용 및 취급	농약	금지

① 내용요약

○ 회원국은 본 활성물질이나 화합물을 포함한 식물보호제의 판매 또는 사용을 금지해야한다.

② 발효 : 1995. 1. 1

9) 지침 76/464/EEC에 포함된 위험물질의 배출농도 등에 관한 지침 (86/280/EEC)

subject	specification	description
수질	배출	최대허용농도
폐기물	산업	제한
모니터링	ambient	요구

① 내용요약

○ 산업체내의 폐수중 HCB의 제한농도 :

- HCB 생산과 공정 월평균 농도는 폐수 중 1 mg/ℓ 혹은 10 g HCB/HCB 생산용량(t), 일일평균 2 mg/ℓ 혹은 20 g HCB/HCB 생산용량(t)이어야 한다.
- Perchloroethylene(PER) 및 사염화탄소(CCl₄) 생산시 월평균농도는 폐수중 1.5 mg/ℓ 혹은 1.5 g HCB/PER+CCl₄ 생산용량(t), 일일평균농도는 폐수중 3 mg/ℓ 혹은 3 g HCB/PER+CCl₄ 생산용량(t)
- 모든 공정에서 트리클로로에틸렌과 perchloroethylene을 생산할 때 현재로서는 한계농도를 적용하는 것이 불가능하다. 회원국은 유해물질의 배출시 수질에 대한 영향을 모니터링해야 한다. 배출에 의한 수질에 대한 목표는 규정되어 있고 이의 분석방법은 전자포획검출기를 장착한 GC를 이용한다.

② 발효 : 1995. 12. 31

10) 76/464/EEC 지침의 List I 에 포함된 유해물질의 배출시 허용농도 및 환경질 목표 등에 관한 지침 (86/280/EEC)

subject	specification	description
수질	ambient	최대허용농도
폐기물	산업	제한
모니터링	ambient	요구

① 내용요약

○ 내륙 지표수와 강어귀, 해안수 중 HCB의 허용농도는 0.03 μg/ℓ 이다. 퇴적물과 연체동물, 갑각류, 어류 중 HCB 농도는 시간에 따라 급격히 증가해서는 안 된다.

② 발효 : 1995. 12. 31

4. 영국

1) 하수, 슬러지 중 유기염소 살충제 · PCB, 수질 중 유기염소 살충제 · PCB의 농도 결정

subject	specification	description
수질	측정방법	요구
모니터링	농약	-

① 내용요약

○ 하수, 슬러지, 담수 중 본 물질의 농도를 결정하기 위한 방법을 기술한다. 전자포획감지형 GC 및 LC에 의한 측정방법을 제시한다.

② 발효 : 1984

2) 수질 중 클로로벤젠, turbid water 중 유기염소계 농약 및 PCB, 하수 슬러지 및 수질중 할로젠화 용매 및 관련 화합물

subject	specification	description
수질	측정방법	요구
모니터링	농약	-

① 내용요약

○ 본 물질의 농도를 결정하기 위해 추출하는 방법과 전자포획감지형 GC 측정방법을 기술한다.

② 발효 : 1985

3) 농약 관련 규칙 (곡류나 음식물, 사료중 최대잔류농도)

subject	specification	description
음식물	농업	최대잔류농도
사료	농약	-
판매	-	-

① 내용요약

○ 특정 과일이나 야채, oil seeds, 곡류, 동물제품 중 HCB의 최대잔류농도는 0.01 - 0.20 mg/kg이며, 우유는 heptachlor의 형태로 0.004 mg/kg이다. 동물사료 및 관련 제품에 잔류물이 기준치 이상으로 존재하는 경우 유럽연합내에서의 유통을 금지한다. 본 규정은 93/57/EEC와 93/58/EEC에 의해 개정된 EC Directive 90/642/EEC에 의한다.

② 발효 : 1994, 7

4) Trade effluents (규정된 공정 및 물질)규제, 1989

subject	specification	description
수질	배출	제한
수질	산업	요구

① 내용요약

○ HCB를 일정농도 이상 배출하여 공공하수도 등에 유입되거나 trade effluent를 단속한다. 하수처리업자는 배경농도 이상의 HCB가 배출되는 경우 관리자에게 이를 보고해야 한다.(본 규정은 EC DIRECTIVE 76/464/EEC를 실행한 것이다.)

② 발효 : 1989. 9. 1

5) 지하수(유해물질, 분류)에 대한 규제, 1989

subject	specification	description
수질	표면	분류

① 내용요약

- 내륙의 지표수는 DS1 등급으로 연간 평균농도가 $0.03 \mu\text{g}/\ell$ 를 넘지 않아야 한다. 이러한 분류는 1989년의 지하수 규제에 의해 부가된 것으로 EC DIRECTIVES 88/347/EEC에 의거한다.

② 발효 : 1990. 1. 1

6) 지하수(유해물질, 분류)에 대한 규제, 1989

subject	specification	description
수질	해양	분류

① 내용요약

- 연안수와 육수는 DS2 등급으로 분류되어 연간평균농도가 $0.03 \mu\text{g}/\ell$ 를 넘지 않아야 한다. 이는 EC DIRECTIVES 88/347/EEC에 의거한다.

② 발효 : 1990. 1. 1

7) 사료에 대한 규제, 1991

subject	specification	description
사료	농약	최고잔류농도
판매	농약	제한
사용 및 취급	농약	제한

① 내용요약

- 사료중 수분 포함시 $0.01-0.2 \text{ mg}/\text{kg}$ 이상을 포함하는 경우 판매나 사용을 금지한다. 이는 91/132/EEC에 최종 개정된 EC DIRECTIVES 74/63/EEC에 의거한다.

② 발효 : 1991. 1. 22

8) 환경보호(공정 및 물질)에 대한 규제, 1991

subject	specification	description
제조 및 생산	산업	요구
대기	배출	제한

① 내용요약

- 규정된 기일(England와 Wales는 1991년 4월 1일, Scotland는 1992년 4월1일) 이후 schedule 1에 규정된 바에 따라 당국에 의한 규제가 실시된다. 규제는 오염제어와 관련된 EC DIRECTIVES(예를들면 산업체에서의 대기오염방지에 관련된 84/360/EEC등)의 기초를 제공한다.

② 발효 : 1991. 4. 1

9) 환경보호(공정 및 물질)에 대한 규제, 1991

subject	specification	description
수질	배출	금지
제조 및 생산	산업	제한

① 내용요약

- HCB는 red list에 규정된 물질로 수질로의 배출이 금지되거나 제한된다. 지역적인 규제에 의해 전기적 추출이나 알루미늄 회수시설, 제지나 펄프제조공정, 방직처리, 목재처리, 동물 혹은 식물의 처리공정, 안티몬 · 비소 · 베릴륨 · 갈륨 · 인디움, 탈리움 혹은 그 화합물 처리공정이나 회수공정은 허가를 받아야 한다. 이는 EC DIRECTIVES 84/360/EEC에 의거한다.

② 발효 : 1991. 4. 1

10) 오염제어(유해물질의 공급 및 사용, 1986)와 환경보호(유해물질에 대한 단속, 1992)

subject	specification	description
사용 및 취급	농약	금지

① 내용요약

- 농약으로의 사용금지 (잔류성 유기염소)

② 발효 : 1992. 1. 1

5. 독일

1) 대기질 관리를 위한 기술적 지침, 1986

subject	specification	description
대기	배출	제한

① 내용요약

- 대기질 관련 법령(TA Luft, 대기질을 위한 기술적 지침)에 기초한 POPs 배출시설을 허가한다.

② 발효 : 1986. 1. 3

2) 음용수 관리법 (TRINKWASSERVERORDNUNG), 1990

subject	specification	description
수질	음용	최대허용농도
-	농약	-

① 내용요약

- 음용수에 개별물질의 경우 0.0001 mg/ℓ, 농약 중에 포함된 물질의 총량이 0.0005 mg/ℓ 이하로 제한한다.

② 발효 : 1993. 3. 13

3) 발병률에 대한 법률 (Stoerfall-Verordnung)

subject	specification	description
안전	산업	요구

① 내용요약

- 본 규칙은 해당 물질이 존재하거나 생산될 수 있는 특정산업체에 적용된다. 작업자는 유해물질의 배출이나 화재, 폭발로 인하여 인명이나 환경에 중대한 위해를 유발하는 사고의 발생을 예방하기 위해 안전수칙을 지켜야한다. 보관중인 물질목록을 보관해야 하고 법적 관리자는 사고발생시 즉시 이를 보고받아야 한다. 역치농도 이상의 물질이 배출되었을 경우 시설에 대한 안전분석이 필요하고, 작업자는 사고시 인접 시설과 시설의 일반인에게 이를 알리고 적절한 행동을 취해야 한다.

② 발효 : 1993. 1. 11

4) 식물보호제에 관한 법률

(Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung)

subject	specification	description
사용 및 취급	농약	금지
수입	-	금지

① 내용요약

- 본 물질을 포함하는 식물보호제의 사용과 수입을 금한다.

② 발효 : 1997. 1. 2

5) 작업장에서의 최고농도와 작업물질에 대한 생물학적 내성한계 (Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte)

subject	specification	description
대기	직업상	작업물질의 생물학적 내성한계

① 내용요약

- 혈장/혈청에서의 농도 : $150 \mu\text{g}/\ell$

② 발효 : 1997. 7. 1

6) 잔류물의 최고농도에 대한 법률

(Rueckstands-Hoechstmengeverordnung)

subject	specification	description
음식물	농약	최대잔류농도

① 내용요약

- 향신료, 차 등의 생산품 : 0.1 mg/kg
- 야채, oil seeds, 커피 : 0.05 mg/kg
- 기타 식물 생산품 : 0.01 mg/kg

② 발효 : 1996. 3. 19

7) 잔류물의 최고농도에 대한 법률

(Rueckstands-Hoechstmengeverordnung)

subject	specification	description
음식물	농약	최대잔류농도

① 내용요약

- 어류, 갑각류, 연체동물 : 0.5 mg/kg lipid weight
- 우유, 유제품 : 0.25 mg/kg lipid weight
- 육류, 육류가공품, 동물성 식용지방, 계란 및 가공품 : 0.2 mg/kg lipid weight
- 꿀 : 0.01 mg/kg

② 발효 : 1996. 3. 19

8) 잔류물의 최고농도에 대한 법률

(Rueckstands-Hoechstmengeverordnung)

subject	specification	description
제품	농약	최대잔류농도

① 내용요약

- 담배 : 0.3 mg/kg

② 발효 : 1996. 3. 19

9) 수질에 유해한 물질에 관련된 행정적 규칙

(Verwaltungsvorschrift wassergefaehrdende Stoffe)

subject	specification	description
수질	-	분류
사용 및 취급	산업	요구

① 내용요약

- 본 물질은 수질에 매우 유해한 물질로 분류된다 (수질 유해 등급 :WHC 3, 이때 WHC 3=매우 유해, WHC 2=유해, WHC 1=약간 유해, WHC 0= 일반적으로 유해하지 않음).

② 발효 : 1996. 5. 1

10) 식물보호제의 사용에 관한 법률

(Pflanzenschutz-Anwendungsverordnung)

subject	specification	description
사용 및 취급	농약	금지
수입	-	금지

① 내용요약

- 본 물질에 의해 구성되거나 본 물질을 포함한 식물보호제의 사용과 수입을 금한다.

② 발효 : 1997. 2. 1

6. 리투아니아

1) 농약의 제한 및 금지, 1996

subject	specification	description
사용 및 취급	농약	금지
제조 및 생산	농약	금지
수입	농약	금지

① 내용요약

- 리투아니아 내에서 HCB의 사용, 생산, 수입을 금함.(유해 화학물질의 생산, 무역, 운송 및 보관에 관한 정부규칙)

② 발효 : 1997. 4. 1

2) 유해물질 - 소비를 위한 물의 최고허용농도 및 일시적 허용수준, 1994

subject	specification	description
수질	소비자	최대허용농도

① 내용요약

○ 최대허용농도 (MAC⁷⁶⁾) : 0.05 mg/m³

② 발효 : 1995. 2. 1

3) 유해물질 - 토양중 최고허가농도 및 일시적 허가수준, 1996

subject	specification	description
토양	-	최대허용농도

① 내용요약

○ 일시적 허가농도(TPC⁷⁷⁾) : 0.03 mg/m³

② 발효 : 1996. 6. 1

4) 유해물질 - 주거지역의 화학물질에 의한 대기오염의 최고허용농도, 1993

subject	specification	description
대기	ambient	최대허용농도

① 내용요약

임시 노출 안전한계(TSEL⁷⁸⁾) : 0.013 mg/m³

② 발효 : 1994. 10. 1

5) 유해물질 - 작업장의 대기오염에 대한 최고허용농도

subject	specification	description
대기	직업상	최대허용농도

① 내용요약

○ 최대허용농도 (MAC⁷⁹⁾) : 0.9 mg/m³

② 발효 : 1994. 3. 1

76) maximum allowable concentration

77) temporary permitted concentration

78) tentative safe exposure level

79) maximum allowable concentration

부록 III. 소각시설에서의 다이옥신/퓨란 저감기술⁸⁰⁾

1. 폐기물의 소각전 저감방안

(1) 투입폐기물 성상

소각시설에 투입되는 폐기물 자체도 다이옥신 생성의 영향인자 중 중요한 인자로 볼 수가 있는데, 다이옥신류 및 PVC, PCB, 클로로페놀류, 유기염소계 화합물과 같은 다이옥신류 기원물질, NaCl과 같은 무기물 형태의 염소화합물, 후연소공정에서 다이옥신 생성에 촉매역할을 하는 Cu나 Fe와 같은 금속성분 등이 폐기물 내에 포함되어 소각로에 들어가면 다이옥신 생성을 조장하게 된다.

(2) 폐기물의 사전분리방법

소각대상이 되고 있는 폐기물의 조성을 분석하여 연소 후 발생하는 유해물질과의 관계를 검토한 후, 주원인이 될 수 있는 쓰레기 종류를 사전분리하는 방법이다. 일상주변에서 다이옥신 생성원인이 되는 물질들로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다. 상하수도배관, 전선피복, 벽지, 카펫, 접착제, 랩 등의 PVC류, 유기염소계 화합물이 포함되어 있는 방충제, 향진균제, 불연처리된 의복, 목제품, 피혁, 건재, 가전류, PCB가 함유된 축전지를 사용하고 있는 소형 중고 TV나 라디오, 헥사클로로펜을 함유한 비누, 화장품, 표백분 등을 들 수 있다. 따라서 쓰레기를 소각로에 투입하기 전에 위와 같은 물질들을 사전에 분리하여 다이옥신 생성을 미연에 방지하는 것이다.

일상생활에서 사용되고 있는 캔류, 전선, 전등, 건전지 등도 소각로내에서 유해한 중금속 배출의 원인을 제공할 뿐만 아니라, 다이옥신 생성의 촉매효과를 나타내므로, 이런 것들을 사전에 분리, 제거하는 것도 다이옥신 배출을 줄일 수 있는 하나의 방법이 된다.

(3) 폐기물의 균질화

소각시설 내로 공급되는 폐기물의 균질화는 두 가지로 해석할 수 있는데, 하나는 소각로로 투입되는 폐기물의 양과 크기를 일정하게 한다는 것이고, 또 하나는 조성, 발열량, 수분함유량, 휘발분 함유량 등의 폐기물 특성을 일정하게 한다는 것이다.

투입되는 폐기물 양이 달라지면 화격자상의 부하상태가 달라지고, 폐기물의 크기가 다르면 국부적으로 연소환경이 달라지게 되기 때문에, 바람직한 노내 환경을 유지하기가 힘들어진다. 공급되는 폐기물의 특성이 변하게 되면 노내 온도 및 온도 분포가 변하기 때문에 공기 공급량이라든가 폐기물 공급량도 적절한 노내 조건이 되도록 바꾸어 주어야 한다. 이러한 상황들이 소각로 제어에 어려움을 가져다 주고 급격한 부하변동에 따라 각 공정에 충격을 줌으로써 시설의 훼손을 가져오게 된다. 따라서 소각로로 폐기물을 투입하기 전에 충분히 섞어주고, 소각하기 적합한 일정한 조성의 폐기물이 되도록 수거관리면에서도 신중을 기하여 소각하기에 좋은 균질의 폐기물을 만들어 주어야 한다.

80) 도서출판 신기술의 “다이옥신류 저감대책과 기술(1999)”을 참조

2. 폐기물의 소각 중 저감방안

(1) 연소조건 관점

소각시설 내에서 발생하는 유기물질은 화염 내에 존재하는 반응성이 큰 화학종의 화학반응 및 열분해 반응을 통해서 파괴되기 때문에 화염구역에서 유기물질과 산화제가 충분히 혼합되도록 해야 하고, 화염과 직접 접촉하지 않은 물질을 분해시키기 위해서는 가스체류시간과 연소온도를 충분히 높게 유지해 주어야만 노 내에서 독성유기물질을 파괴시킬 수 있다. 특히 연소온도는 소각시설 내에서 다이옥신류의 생성과 파괴에 중요한 인자중의 하나이다.

다이옥신류와 PCB 및 염화벤젠류 등과 같은 다이옥신류 전구물질들의 열분해가 640~740℃의 온도에서 일어나는 것이 보통이다. 그러므로 비록 연소과정에서 다이옥신류가 생성되더라도 온도가 국부적으로 740℃ 정도보다 높아지면 연료에서 생성된 독성유기물질들은 열적으로 쉽게 분해시킬 수 있다는 것이 정설이다.

또한, 효과적인 연소를 달성하기 위해서는 온도 이외에도 양호한 혼합을 위해 높은 난류를 제공해야 할 뿐만 아니라 유기물질을 최대로 파괴시키기 위해서는 산소가 적절하게 공급되어야만 한다. 연소로 내에 공기가 과량 공급되면 연소구역에서의 온도가 낮아지게 되고 공기량이 부족하면 저산소 혹은 열분해 상태가 된다. 따라서 연소로의 형태, 연소기법, 폐기물의 상태 등을 고려하여 적정량의 연소공기를 결정하고 효과적인 혼합을 위해 소각로의 형태, 공기노즐의 크기 및 배열 등을 감안하여 공기가 적절히 배분되어 분사되도록 하여야 한다.

적절한 혼합과 유기물질의 파괴를 위해서는 투입되는 공기공급량 조절이 중요하기 때문에 소각로로 공급되는 연소공기의 양과 분포, 그리고 배가스 중의 CO 및 산소를 모니터링할 수 있는 장치를 설치하는 것이 선행되어야 한다.

(2) 연소조건

유럽 공동체의 지침에 의하면 최근의 기술로 소각로에서의 다이옥신류 수준을 0.1ngTEQ/m³ 이하까지 낮출 수 있다. 이러한 수준을 만족하기 위한 기술은 연소개선과 여러 형태의 건조, 반건조 및 습식 세정에 기본을 둔다. 연소조건으로는 1) 850℃ 이상의 온도, 2) 전형적인 체류시간 2초(Time), 3) 소각로의 geometry와 2차 공기주입에 의한 난류개선(Turbulence)등의 “3T”이다. 즉 이와 같은 연소조건을 잘 조절 유지함으로써 연소가스 중의 미연탄, 탄화수소 특히 다이옥신류로 변화기 쉬운 전구물질인 클로로벤젠, 클로로페놀, 폴리크로리네티드비페닐 등의 물질 생성을 줄일 수 있다.

로내 온도와 다이옥신류 사이의 상관관계를 보면, 아주 저온영역에서는 온도가 증가함에 따라 다이옥신의 배출수준은 급격히 감소되다가 최소값을 보인 후 다시 온도의 증가와 함께 증가하는 경향을 나타내는 것이 일반적인 경향이다. 폐기물 소각로의 경우는 그 특성상 연소시스템 내 가스온도가 시간상, 공간상 변화가 심하게 나타나는데 일반적으로 다이옥신류는 750℃ 이상에서 파괴가 시작된다고 알려지고 있다.

결국 반응은 온도와 반응시간 두 가지의 함수로 표현될 수 있는데, 온도 이외에 독성유기물질이 충분히 파괴될 수 있는 체류시간을 주어야 한다. 충분한 온도와 체류시간을 주어도 폐기물과 공기가 적절하게

혼합되지 않으면 부분적으로 저온구간이 생기고 이것으로 말미암아 불완전연소의 원인이 되어 다이옥신류의 파괴가 제대로 일어나지 않게 된다. 따라서 온도, 가스체류시간, 혼합 등의 연소조건을 적절히 제어하지 못하면 불완전 연소의 원인을 제공하게 되며 다이옥신류 및 다이옥신류 전구물질의 생성을 가져오게 된다.

(3) 배가스 상태

폐기물이 연소되어 발생하는 배가스 상태도 역시 다이옥신 생성에 커다란 영향을 미치게 된다. 비산재는 후연소공정에 들어가면 다이옥신 생성에 적합한 분위기가 될 때 촉매 작용을 하게 된다. 따라서 비산재가 많이 포함된 상태로 배출되면 그 만큼 많은 다이옥신이 생성되게 된다.

폐기물 수분함량은 다이옥신 배출에 강한 상관성을 보이는데, 이는 수분과 과잉공기(혹은 산소농도)가 화염온도를 결정하는 주요 요인이기 때문이다. 수분함량이 높으면 온도와 산소농도 모두가 떨어지는 경향을 보이므로 궁극적으로는 효과적인 연소를 달성시킬 수 없게 된다. 산소농도가 7~9%범위를 벗어날수록 다이옥신류의 농도는 증가하는 것이 일반적인 경향이다. 총 다이옥신류의 농도와 CO간의 관계도 강한 상관성을 가지며, 산소의 경우와 비슷하게 어느 일정구간을 벗어날수록 총 다이옥신류의 생성량이 증가한다.

(4) 비산 유출입자의 최소화

폐기물 소각로에서 배출되는 비산재는 다이옥신류의 생성을 조장하는 금속류 및 유기오염물질 배출에 영향을 미치기 때문에 과잉 공기량, 부적절한 연소공기 분포 또는 과도한 부하 등과 같이 입자 유출량의 증가를 초래할 수 있는 상황이 나타나지 않도록 운전에 주의하여야 한다. 이를 위해서는 배가스 내에서 입자의 비산유출량을 연속적으로 측정하는 기술이 필수적이다. 그러나 이 기술은 아직 확립되어 있지 않으므로 연소가스 중의 산소농도, 연소공기의 분포, 운전부하 등과 같이 간접적인 지표가 될 수 있는 인자들을 연속적으로 감시함으로써 비산재 배출량에 영향을 줄 수 있는 연소공기량과 운전조건 등을 제어 조절하여야 한다. 그리고 소각로 형상도 비산재 배출에 영향을 줄 수 있기 때문에 소각로 설계에 신중을 기하여야 한다.

(5) 산소와 일산화탄소 측정에 의한 연소최적화

여러 형태의 소각로에서 폐기물을 연소시킬 때 어떤 규칙성이 있는 것으로 판단되어지고 있는데, CO와 PCDD와 PCDF의 생성량이 최소로 되는 최적의 산소와 온도 범위가 존재한다는 것이다. 이는 산소와 일산화탄소는 다이옥신 생성량과 아주 밀접한 상관관계가 있음을 보여주는 것으로 산소함량이나 일산화탄소의 농도로서 간접적으로 다이옥신류의 배출상태를 파악할 수 있다.

산소에 의한 소각로의 제어는 일반화 되어가고 있다. 산소함량은 연소화된 화합물의 생성 혹은 분해에 크게 영향을 미치는데, 현대적으로 우수하게 제어되고 있는 소각로에서 통상적으로 유지되는 8%정도의 산소농도에서는 다이옥신류의 생성이 억제되면서 분해가 일어나기 시작하는 것으로 알려지고 있다.

일산화탄소의 농도로서도 다이옥신 배출이 최소가 되는 상태를 알 수 있는데, 신뢰성있고 감도가 좋은 CO측정기기의 사용이 일반화되면서 CO를 측정하여 최적연소 수준을 찾아서 유지시키는 것이 훨씬 용이해졌다.

결국 산소와 일산화탄소는 다이옥신 배출의 지표가 될 수 있기 때문에 지속적인 측정, 감시체계를 만들어 최적의 산소농도나 일산화탄소 배출수준이 유지되도록 하는 제어시스템을 구축함으로써 다이옥신류의 배출을 줄일 수 있다.

(6) 조업상태 관점

소각로 가동개시나 조업중단과 같은 비정상적인 운전상태에서 다이옥신류의 배출이 많아지는데, 가동개시의 경우 소각로내 온도를 빨리 올림으로써 다이옥신의 배출을 줄일 수 있다. 왜냐하면 가스가 300°C 부근에 머무는 시간을 최대한 짧게 할 수 있고, 불완전 연소된 가스의 생성을 줄일 수 있기 때문이다. 따라서 가동개시를 할 경우는 버너를 이용하여 되도록 빨리 적정온도까지 승인시킴으로써 다이옥신생성을 줄일 수 있다.

조업중단 사태의 경우는 다음의 가동개시를 위한 에너지절약 차원에서 소각로내 온도를 높게 유지하려고 하는데, 이 경우 그레이트(grate)위의 잔류 폐기물에서 계속적으로 연기가 발생해 이 불완전연소 가스가 다이옥신 생성의 원인이 된다. 따라서 다이옥신 저감의 측면에서는 일단 조업중단시에 소각로내에 남아 있는 것들은 완전연소의 방향으로 이끌어가는 것이 바람직하다.

정상조업 상태에서 소각시설을 잘 조절하여 운전상태를 양호하게 함으로써 전체 다이옥신 배출량의 70% 정도를 줄일 수 있다는 보고가 있는데, 결국 소각로가 정지하거나 불안정한 운전상태가 되지 않도록 폐기물 투입에서부터 전공정이 끝나는 순간까지 운전에 신중을 기하며, 소각시설의 유지관리에 보다 많은 투자가 있어야 한다.

(7) 연소실의 최적 운전관리와 기준

연소개선에 의한 다이옥신류의 발생억제를 위해서는 Temperature (온도: 로내를 고온으로 유지), Time (시간: 충분한 체류시간, Turbulence (난류: 가스의 충분한 혼합)를 지키는 것이 중요하며, 노 출구 가스온도는 800°C 이상에서 1~10ngTEQ/Nm³, 체류시간은 1.5sec 이상에서 0.5~10ngTEQ/Nm³, 산소농도는 6~13%에서 약 2~10ngTEQ/Nm³ 조건에 있어서 CO 농도를 20~30ppm으로 유지하면 약 2ngTEQ/Nm³, CO농도가 100ppm 정도이면 약 10ngTEQ/Nm³으로 되어 있다.

0.1ngTEQ/Nm³의 배출농도를 목표치로 한 경우의 연소개선에 의한 다이옥신류의 발생억제에 대해서는 3T 조건을 적절하게 확보하여야 하며, 연소실의 최적 운전관리 및 기준의 도출 결과는 다음과 같다.

- 소각로 운전온도는 800°C 이하가 되어서는 안되며, 운전시에는 항상 800°C 이상을 유지하도록 하여야 하며, 다이옥신 등 유해물질의 연소과정에서 배출 억제를 위하여 소각실 출구온도는 850°C 이상을 달성할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

- 소각로 운전온도를 항상 800°C 이상으로 달성하려면, 산소농도는 최소 5~최대 11%를 유지해야 한다.

- 1차 공기량을 적정조절에 의하여 산소농도에 의한 공기비 1.3~2.1로 하며, 산소농도 지표수준을 만족시키고 로내에서의 미연분 체류 확보를 충분히 하여 미연분 배출억제와 열분해 효과 증대를 유지하도록 한다.

- 운전중의 일산화탄소(CO) 농도는 다이옥신 측정시간(4시간)에서 5~100ppm 이하이며, 300ppm 이상을 10회 이상 초과해서는 안된다.

3. 폐기물의 소각 후 저감방안

(1) 백 필터에서의 제거대책

1990년 이후에 착공한 플랜트에서는 집진장치는 대부분이 BF로 되어 있으며, BF 입구의 배기가스 온도에 대해서는 130-220℃ 범위에서의 시험한 사례가 보고되어 있으며, 배기가스 온도를 저온화하는 것에 의해 BF출구의 다이옥신류 농도가 저하하는 것이 보고되어 있다. 여과속도의 조건에도 영향이 있으며, 여과속도에 대해서는 명시되어 있지 않는 문헌이 많으나, 여과 속도를 파라미터로서 시험을 실시한 예에서는 1m/min에서 1.5m/min으로 올리면 다이옥신류의 제거율이 95%이상에서 93%까지 저하된 것으로 보고되어 있다. 여포에 대해서는 사용재질을 명시하고 있는 문헌에서는 직포와 펠트의 2종류가 보고되어 있으나, BF출구의 다이옥신류 농도, 다이옥신류 제거율 등에 있어서 같은 차이는 확인되어 있지 않다. BF의 사용은 다음과 같다.

- 배기가스중의 다이옥신류의 대부분을 백필터에서 제거하도록 계획한다. 따라서 백 필터의 설계에 있어서는 특히 여과속도에 유의하고 지나친 유속으로 되지 않도록 고려하지 있다.

- 더욱이 백필터에서의 다이옥신 제거효율을 높이기 위해 백 필터의 저온화(150℃)를 도모함과 동시에, 활성탄의 취입에 의한 흡착제거도 함께 실시한다.

(2) 습식제거

<표 1>에서 보는 바와 같이 습식 세정장치에서 다이옥신의 제거율은 더스트 제거율과 비슷하게 보고되었다. 백 필터의 하류에 2단의 습식 세정장치가 있는 시설에서 다이옥신류 농도는 습식 세정장치의 내면에 사용된 폴리프로필렌에 의한 다이옥신류의 흡착과 탈착(배출)에 영향이 있다.

<표 1> 습식 세정장치에서 다이옥신류의 제거

	Inlet	Outlet	η
Dust [mg/Nm ³]	24.8	7.2	71.0%
HCl[mg/Nm ³]	1126	5.9	99.5%
HF[mg/Nm ³]	7.6	0.2	97.0%
PCDD/F[mg/Nm ³] (평균)	6.3-66.5 21.4	1.9-18.6 6.3	71.0%

자료: 도서출판 신기술, “다이옥신류 저감대책과 방법”, 1999

습식 세정장치 입구의 다이옥신(PCDBs)농도가 높은 경우(PCDDs=100-1000ng/Nm³)에는 대체로 50% 이상의 제거율을 나타내어, 습식 세정장치에서 제진과 마찬가지로 다이옥신류의 제거가 이루어진다.

(3) 촉매에 의한 제거

촉매를 이용한 다이옥신의 분해방법은 다이옥신을 함유한 가스와 공기를 촉매층에 흘려보내 산화분해시켜 다이옥신을 제거하는 방법이다. 촉매표면에 다이옥신과 산소가 흡착되고 반응물 사이에 산화반응이 일어나 다이옥신이 분해되면 생성물이 촉매로부터 탈취되는 사이클로 반응이 일어난다. 따라서 분해반응을 효과적으로 일으키기 위해서는 적절한 촉매의 선정과 반응조건(온도, 공간속도, 산소량 등)의 유지가

필요하다.

촉매로는 금속 산화물(V_2O_5 , TiO_2 등), 귀금속(Pt, Pd)이 사용되고 있으며 분해효율을 높이기 위해 Pt, Pd 등을 TiO_2 나 SiO_2 등에 담지시켜 사용하기도 한다. 귀금속 촉매는 비록 고가이나 금속산화물 등이 염소에 의해 쉽게 피독이 되는 것에 비해 피독이 잘 일어나지 않기 때문에 많이 사용되고 있다.

다이옥신류의 저감율은 촉매의 종류, 조작온도, SV, 촉매탑 입구의 다이옥신류 농도 등에 따라서 다르나, 대략 66~99%로 높다. 연소개선 및 상류에서의 백 필터 설치와 조합에 의해 촉매탑 출구의 다이옥신류 농도를 $0.1ngTEQ/Nm^3$ 이하로 내리는 것이 가능하다고 하는 보고가 많다. SV가 작아짐에 따라서 저감률이 높아지는 경향은 확인되나, 경제성 등도 고려하여 3000 I/hr 정도의 SV가 타당하다고 보고하고 있으며, 적절한 촉매탑 조건을 선정하면 기술적으로 넓은 온도범위에 걸쳐서 70% 이상의 저감률을 달성할 수 있다고 보고하고 있다.

(4) 활성탄에 의한 제거

제진 후의 배기가스 활성탄계 흡착재의 충전탑에 통과시켜서 다이옥신류를 흡착 제거하는 방법은, 확실한 다이옥신류 제거방법으로 유럽에서는 사용실적이 많다. 일본에서도 구보화, 일본강관(NKK), 고베제철소, 미쓰이조선에서 실제 배기가스를 사용한 시험장치 또는 실제 플랜트에서의 제거성능 데이터가 공표되어 있다.

흡착제에는 활성 코크스가 많이 사용되며 일부에 활성탄계 흡착제의 사용보고가 있다. 흡착제의 종류와 성상을 <표 2>에 나타낸다.

<표 2> 활성탄계 흡착제의 종류와 성상

	종 류	치 수(mm)	비표면적(m^2/g)
구보타	활성코크스	-	150~400
일본강관	활성탄계 흡착재	$\Psi 5 \times 5$	300
고베제철소	활성코크스	$\Psi 10 \times 10$	201
미쓰이조선	활성코크스	$\Psi 5 \times 8$	-

자료: 도서출판 신기술, “다이옥신류 저감대책과 방법”, 1999

처리온도는 흡착제거의 원리에서 낮을수록 바람직하지만, 경로등에 의한 장치의 부식이 우려되기 때문에 $130 \sim 180^\circ C$ 정도에서 운전되는 경우가 많다. 또 처리유출(SV: 공간속도)은 제거성능과 흡착탑 안에서의 붙어빠져 나가는 것을 고려하여 500~1500 I/hr 정도를 조작되는 예가 많다. 흡착제는 처리시간의 경과와 함께 흡착능력이 소실되기 때문에 배기가스 도입부의 장치 하부에서 차례로 조금씩 잘라내고 상부에서 신재료를 공급하는 방법이 채용된다. 사용이 끝난 흡착제는 소각로 안에 투입하여 소각처리한다.

이상 이 방법의 이점으로는

- 흡착제 충전탑을 사용하기 위해 장치입구에서의 다이옥신류 농도에 변동이 있더라도 장치출구에서 $0.1ng-TEQ/Nm^3$ 이하로 확실하게 저감 가능
- 사용이 끝난 흡착제는 소각로 안에 투입하여 소각처리가 가능하다.
- 수은 등의 유해물질도 동시에 제거된다(단, 중금속은 계외로 제거할 필요가 있다).

등을 들 수 있다.

4. 대체기술 (RDF:고형 연료화기술)

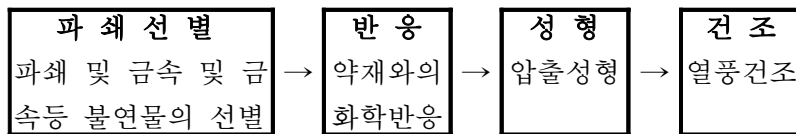
폐기물 소각은 다이옥신류 배출 억제대책이 실시된 전연속형의 소각시설에서 소각열의 유효이용을 도모하여 실시되어야 할 것이다. 그러나 폐기물 처리에 있어서는 수송비용이 처리비용의 반 이상을 차지하기 때문에 광역화에서는 수송비용에 대한 폐기물처리비용의 증대를 억제할 필요가 있다.

이와 같은 상황에 대응하는 시스템으로 소규모의 폐기물 수집지역에서 폐기물의 고형연료화를 실시하고, 몇 개의 고형연료화 시설에서의 RDF를 집약하여 대규모 소각발전시설로 가지고 들어가는 시스템이 고려된다. 이 경우에는 고형연료화 시설에서 감용화에 의해 대규모 소각발전시설로의 수송비용이 저감되며, 광역에서 수집하여 직접 소각을 하는 경우보다 총비용이 저감되는 것이 시스템의 성립조건으로 된다.

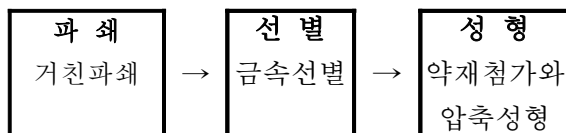
<그림 1>에 종래형의 고형 연료화의 흐름과 간이형의 고형연료화의 흐름을 나타낸다. 종래형을 RDF의 장기보존성을 중시한 시멘트 원료 등의 용도에 대응하는 것이며, 간이형은 소각발전을 전제로 반응장치의 생략이나 성형의 간소화에 의해 총비용의 저감을 중시한 것이다.

소각발전으로서 가스화 용융 시스템과 조합하는 것에 의해 총비용 삭감과 환경부하 저감의 양립을 도모하는 시스템으로 그 보급이 기대된다.

고체연료화 시스템



간이시스템



<그림 1> 고형연료화 시스템 플로우