



잔류성 유기오염물질(POPs)의 관리현황과 대응방향(6)

- 부산물을 중심으로 -

한국환경정책·평가연구원 박정규, 이희선

목 차

I. 서론

1. 연구의 목적
2. 연구의 내용 및 방법

II. POPs 부산물 관리의 필요성

1. POPs 부산물의 정의
2. 국제적인 규제강화
3. 발생원 대체방법의 부재
4. 기존 관리정책의 미흡
5. 심각한 물질독성 및 환경위해
 - 5.1 다이옥신/퓨란
 - 5.2 HCB

III. 선진국의 POPs 부산물 관리동향

1. 다이옥신과 퓨란
 - 1.1 국가별 배출원
 - 1.2 국가별 오염현황
 - 1.3 국가별 규제현황
2. HCB
 - 2.1 국가별 배출원
 - 2.2 국가별 오염현황
 - 2.3 국가별 규제현황

IV. POPs 부산물의 국내 배출현황과 문제점

1. 다이옥신과 퓨란
 - 1.1 배출원 및 배출현황
 - 1.2 오염현황

- 1.3 국내 관리상의 문제점

2. HCB

- 2.1 배출원 및 배출현황
- 2.2 오염현황
- 2.3 국내 관리상의 문제점

V. POPs 부산물의 효율적 관리방안

1. 배출원 및 배출량 조사
2. 오염현황 및 위해성 확인사업 실시
3. 규제기준 선정
 - 3.1 환경매체별 허용기준
 - 3.2 주요 배출원별 배출기준
4. 최적가용기술 개발 및 적용
 - 4.1 다이옥신/퓨란의 저감방안
 - 4.2 HCB의 저감방안
5. POPs 부산물의 통합관리를 위한 특별법 제정

VI. 결론

VII. 참고 문헌

부록 I. 약어정리

부록 II. 각국의 HCB 규제기준

부록 III. 소각시설에서의 다이옥신/퓨란 저감기술



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

RCRA는 유독성 고형폐기물의 취급, 저장, 처리, 처분을 규제하기 위해 1976년 제정되었다. RCRA에서 제정한 유해 폐기물은 비특정배출원 폐기물(non-specifics F-listed), 특정배출원 폐기물 (specific K-listed) 등 몇 가지로 나누는데, 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/L 이다(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 좀 더 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 6염화 다이옥신(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 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 specifically 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 threshold reporting quantity of 0.1 g/year (64FR 58666)

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



<표 III-25> 미국의 다이옥신/퓨란 규제법규 및 관련조항

법규	관련조항
FIFRA and TSCA	FIFRA : Sale of Silvex and 2,4,5-T canceled all uses (USEPA 1998) ; PCP use allowed only for wood on restricted basis (52FR 2282-22930)
<p><약어설명></p> <p>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</p>	

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

부문	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	23,78-TCDD <15pg/l 23,78-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 작성했다. 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 모니터링 하고 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 27 다음 페이지)

1.3.4 EU 국가

EU 국가중 독일과 네덜란드의 다이옥신/퓨란 규제기준은 표 28과 같다.



<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 이상	1			5
	0.2~2ton/hr 이상	5			10
제강용 전기로	0.5	20		5	
철강업 소결시설	0.1	2		1	
아연회수시설	1	40		10	
알루미늄합금 제조시설	1	20	5		

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

② 연방배출규제법(Federal Emission Control Act) : 이 법은 독일의 환경전반에 대한 법률로서, 폐기물 소각에 대한 다이옥신의 배출기준으로 0.1ngTEQ/Nm³을 제시하고 있다. 또한 독일에서는 대기오염방지 및 관련하여 쓰레기 소각 및 연소시설뿐 아니라 자치단체가 신규공장의 조업을 허가할 때 구조기준으로서 반드시 최적이용관리 기술(Best Available Control Techniques, BACT)의 적용을 따르도록 규정되어 있다. 한편 산업에 대한 배출기준의 경우, 폐기물종류와 업종의 구별없이 일괄적으로 배가스량 5,000m³/hr 이상의 시설에 대해서는 주(州) 환경장관회의(UMK)의 결정에 의해서

(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 0.1ngTEQ/Nm³이나, 기존 소각로에 대해서는 1994년 3월 1일(일부는 1996년 12월 1일)까지 신규기준에 대한 유예기간을 두었다. 하수슬러지에 대한 규제는 1992년 7월 1일 개정되었으며, 농지에 이용되는 슬러지의 다이옥신 기준치는 100 ngTEQ/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.

<표 III-28> 독일의 다이옥신 대한 법적 규제기준

대상	시행시기	규제 기준
화학물질	1989년	Pentachlorophenol(PCP) 금지
	1989년	Polychlorinated biphenyls(PCB) 금지
	1990년	다이옥신류의 종류에 따라 함유량 1.5 또는 100µg/kg 규제
폐기물 소각시설	1990년	00.1ng I-TEQ/m ³
자동차용 Scavenger	1992년	유연휘발유에 Scavenger 첨가 금지
하수슬러지	1992년	농업용, 원예용, 산림용 퇴비로 사용되는 하수슬러지에 대하여 100ngITEQ/kg
화장장	1997년	00.1ngITEQ/m ³

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

0.1ngTEQ/Nm³을 따르도록 제시하고 있다.

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 17ngI-TEQ/kg-건조중량이 권고되었다. 토양의 경우, 농업용 토양은 다이옥



신 농도를 5ngI-TEQ/kg으로 저감시키고 이 농도를 초과할 경우 음식물 재배를 금지시키도록 권고하였다. 놀이터나 주거지역의 토양은 각각 100ngI-TEQ/kg, 1,000ngI-TEQ/kg이상인 경우 교체 또는 조치를 취하도록 권고하고 있다. 또한 우유 및 유제품에 대해서는, 우유 중 최대 다이옥신 농도가 5.0pgI-TEQ/g-유지방을 초과할 수 없도록 권고하고 있으며, 유제품은 3pgI-TEQ/g-지방의 기준과 0.9pgI-TEQ/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 2회의 사업자에 의한 "지주적인 측정"을 시행하여야 하며, 만약 목표기준치를 달성하지 못하는 경우에는 소각시설의 조정정지 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-건조중량, 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 제안되

어 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 염소화 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 염소계 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 배출

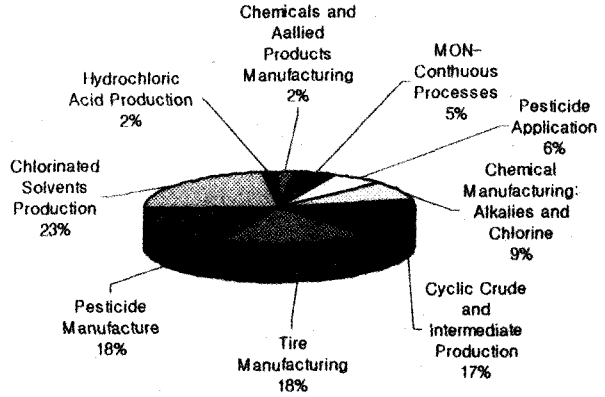
자료: ECE & UK DETR, Compilation of EU Dioxin Exposure and Health Data Task2-



원별로 대기배출량을 추정하지는 못하고 있다.

주요 HCB 배출원은 1990년 배출목록 자료를 통해 확인하였고, 그 외 대기배출을 일으키는 오염원은 발표된 관련문헌을 통해 조사하였다. 물이나 토양으로의 HCB 배출은 EPA의 TRI를 참조하였으며, EPA의 Permit Compliance System과 RCRA의 Biennial Reporting System을 통하여도 HCB의 수계배출을 확인한 바 있다. 미국 EPA의 지속적인 환경 모니터링 연구를 통해서 호수와 강의 퇴적물이 HCB로 오염되었음을 알 수 있었다. 이와 같은 자료에 의해서 확인된 미국 내 환경매체별 HCB의 배출원 및 오염원은 다음과 같다.

<표 III-19> 일본의 혼합류에 함유된 다이옥신 농도



자료 : '90년 미국 TRI 참조

(1) 대기 배출

미국의 TRI에 기록된 자료를 살펴보면 HCB의 모든 발생 가능한 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 증류 과정을 통해 최종산물로부터 HCB를 분리해내기도 한다.

따라서 HCB의 발생량을 저감하기 위하여 염소계 용매생산업체에서는 정기적으로 증류기구(distillation apparatus)

를 청결히 하는 것이 가장 중요하다. (그림 참조)

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, dimethyltetrachlorotetraphthalate(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).

다음호에 계속...

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