



# 잔류성 유기오염물질(POPs)의 관리현황과 대응방향(5)

## - 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



(2) 토양

일본에서 논, 과수원, 도시의 비농경지, 하천, 연안 해역의 토양 시료를 측정된 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 침적물이나 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 침적물에서도 최고 160ng/g의 총 다이옥신이 검출된 바 있다.

(3) 수계

일본의 환경청이 1986년 실시한 유해화학물질 오염실태 조사결과, 수계에서 검출된 다이옥신 종류는 1,3,6,8-

<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	657
후쿠오카 중도시 주변의 공원	7
후쿠오카 공업도시의 공원	35

자료: 官田秀明, "다이옥신·PCB 등 유기염소화합물의 환경리스크 평가에 관하여", 지구 환경시스템공학연구소 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



TCDD, 1,3,7,9-TCDD, OCDD 등이며 검출률은 약 50%였다. 이는 논 제초제로 사용된 클로로니트로펜(CNP)의 불순물로 발생된 것으로 추정되었다. 한편 다른 연구조사에 따르면 일본의 호수에서의 다이옥신 농도는 N.D~50pgTEQ/L (N.D~10pgTEQ/L), 하천수는 2~33pgTotal/L 라고 보고되어 있다.

(4) 음식물

일본 환경청이 일본 연안에서 잡히는 어패류의 다이옥신의 함량을 조사한 자료에 의하면 1985년 이후로 측정된 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, 인구 밀도 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/m<sup>3</sup>에서 수백 fgI-TEQ/m<sup>3</sup>에 이르고, 특히 영국의 남부웨일즈 지방의 한 지역(Pontyfelin House Site)에서는 14,800fgI-TEQ/m<sup>3</sup>의 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 홍합류에 함유된 다이옥신 농도

위 치	TEQ 다이옥신농도(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
오кина와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/m<sup>2</sup>에서 최고 100ng I-TEQ/m<sup>2</sup>까지 넓게 분포되어 있다<표 III-21>. 네덜란드의 경우 대부분의 토양 시료를 도시폐기물 소각로 부근에서 채취하여 평균 252ngI-TEQ/m<sup>2</sup>로 높게 나타났다. 한편 오염지역의 경우 수백ngI-TEQ/m<sup>2</sup>에서 최고 100,000ng I-TEQ/m<sup>2</sup>에까지 이르는데 이는 국가별로 다이옥신 측정방법에 차이가 있음을 감안하여야 할 것이다.

<표 III -20> EU 회원국의 대기 중 다이옥신 농도

국가	대기환경 (fgI-TEQ/m <sup>3</sup> )				침적 (pg/TEQ/m <sup>2</sup> · 일)	
	불특정 지역	도시	농촌	오염 지역	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/m<sup>2</sup>)

국가	키타	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			

국가	키타	산림	목초지	경지	전원	오염지역
이탈리아	<1					
룩셈부르크	1.8-20				1.4	
네덜란드			<1-43	1.9-3.1	2.2-16	99,000
스페인	<1-24.2	6.0			<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 측정 한 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/kg 이었으며, 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(ngI-TEQ/m<sup>3</sup>)

국가	핀란드	독일	스웨덴	영국
농도	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 예 측하는데 이용된다. 이에 대한 네덜란드와 독일의 연구결 과에 의하면 우유 중 다이옥신의 농도는 고도로 산업화되 고 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 오스트리 아, 프랑스, 아일랜드의 다이옥신 점오염원 인근에 서식하 는 소의 우유중 다이옥신 농도를 조사한 것으로, 오스트리 아의 구리제련 공장 주변에서 서식하는 소의 우유에서 다 이옥신이 가장 많이 검출되었다.

<표 III-23> EU 회원국의 점오염원 부근의 소의 우유 중 다이옥신 농도(ngl-TEQ/m³)

국가	오스트리아	프랑스	아일랜드
배출원	구리 제련공장	도시 폐기물 소각로 부근	점오염원을 제외한 일반 조사
농도	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 목록에 포함되었다. 현재 EPA에서는 다이옥신과 퓨란을 포함한 주요 대기오염물질 배출원을 대상으로 '유해대기오염물질의 배출기준(NESHAPs)이라는 대기배출규제를 실시중이다. 이러한 기준은 CAA의 112조와 129

조를 바탕으로 수립되었으며, 신규 및 기존시설에 모두 적용된다. 다이옥신의 배출과 관련된 연방정부의 대기배출 기준은 일부부문에서 완성되었거나 의회에 상정중인데, 이에 해당하는 배출원은 도시폐기물연소(MWCS)시설, 병원/의약/감염성 폐기물 소각로(HMIWIs), 유해폐기물연소시설(HWCs), 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, 의약품폐기물 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<sup>-8</sup>µg/l로 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).

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

SDWA은 오염된 음용수로부터 건강을 보호하고 지하수의



〈표 Ⅲ-24〉 미국의 도시폐기물 처리시설에 대한 기준

규칙	소각시설		기준·가이드라인 (ng/Nm <sup>3</sup> , O <sub>2</sub> 7% 환산)
	건설시기	규모(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 <sup>3</sup>
40CFR part 60 subpart Eb	94.9.21 ~	>35 톤/일	97.11.20까지 건설개조 최초3 년간의 배출기준: ≤30ng/Nm <sup>3</sup> 그후 배출기준: ≤13ng/Nm <sup>3</sup> 97.11.21이후 건설개조 배출 기준: ≤13ng/Nm <sup>3</sup>
40CFR part 60 subpart Eb	~ 94.9.20	>225 톤/일	EP를 사용하고 있는 시설 가이 드라인: ≤60ng/Nm <sup>3</sup> EP 이외의 처리장치를 사용 하고 있는 시설 가이드라인: ≤30ng/Nm <sup>3</sup>
		35<~ ≤ 225톤/일	가이드라인: ≤125ng/Nm <sup>3</sup>

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

오염을 방지하기 위한 목적으로 1974년 제정되었다. SDWA의 국가적 음용수기준(National Primary Drinking Water Standard)에서는 물질의 기준을 강제적인 오염기준(MCLs)과 비강제적인 오염기준목표(MCLGs)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 국립대응센터(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).

(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 물질 목록(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).

다음호에 계속...