



잔류성 유기오염물질(POPs)의 관리현황과 대응방향(4)

- 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



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 측정된 대기 중 PCDD/PCDF 평균농도는 도시지역은 3.5pg/m³, 전원지역은 2.2pg/m³으로 나타났다(Ohio주 EPA, 1994). 도시지역의 경우 오하이오주의 콜럼버스시 인근지역의 대기중 다이옥신 농도가 특히 높게 나타났다.

Maisel and Hunt(1990)는 로스앤젤레스와 캘리포니아에서의 다이옥신과 퓨란의 대기농도를 측정하였는데 평균 0.12pg/m³으로 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/m³이었다.

캐나다는 1996년 가을부터 캐나다 전지역을 대상으로 대기중의 다이옥신/퓨란의 농도를 측정하기 시작하였다. 펄프회사 인근의 대기중 PCCD/PCCF농도의 범위는 0.006 - 0.067pgI-TEQDF/m³이었으며, 이는 캐나다 도시지역의 농도(0.01 - 0.08pgI-TEQDF/m³)와 유사한 수준이나 인근의 다른 공업지역의 농도(0.01 - 0.4pgI-TEQDF/m³)보다는 낮은 수준이었다.

(2) 토양

토양에서의 다이옥신 농도는 주로 산업화된 지역이 전원 지역보다 훨씬 높게 나타났다. 캐나다 몬타리오주와 미국의 중서부지역의 토양을 대상으로 다이옥신을 분석한 결과, 전원지역은 73±50ppt, 도시지역은 2,075 - 3,608ppt, 산업화된 지역은 8,314 - 9,955ppt으로 나타났다. 같은 전원지역이라도 중서부의 산업화된 지역보다 남부의 농업지역에서의 다이옥신 농도가 낮게 나타나, 미시시피 남쪽의 전원 지역에서의 토양내 다이옥신/퓨란의 농도가 0.16 - 22.9 ppt로 측정되었다(Rappe et al.).

한편 캐나다 북서부의 브리티시 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 0-3.2ppt 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 북극 지역의 토양에 다이옥신/퓨란 화합물이 평균 0.2 - 0.9ppt 정도 함유되어 있었다.

<표 III-9> 캐나다 British Columbia주 토양내의 다이옥신/퓨란의 농도

배출원	다이옥신/퓨란 농도(pg/gb)	
	범위	평균
background soil		
2,3,7,8-TCDD	ND ¹	ND(53)
2,3,7,8-TCDF	ND-320	3.2(53)
primary soil(모든 배출원)		
2,3,7,8-TCDD	ND-850	5.2(31)
2,3,7,8-TCDF	ND-5200	47.9(31)

27) 자원회수시설이 위치한 6개 지역을 대상으로 대기농도를 측정



배출원	다이옥신/퓨란 농도(pg/g)b	
	범위	평균
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 5.3ppt였다<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 2년 간 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

장 소	I-TEQDE(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 - '83
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

배출원	다이옥신/퓨란 농도(pg/g)b		I-TEQDFS(pg/g)	
	범위	평균	범위	평균
background 퇴적물 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8-TCDF	NDd 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)



배출원	다이옥신/퓨란 농도(pg/g)b		I-TEQDFS(pg/g)	
	범위	평균	범위	평균
2차 퇴적물 (화학물질 배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8-TCDF	ND-27 ND-330	0.2(14) 3.8(14)	0.0-1720	42.1(4)
2차 퇴적물 (연소배출원) 2,3,7,8-TCDD 2,3,7,8-TCDF	ND-1.1 ND-120	0.2(7) 3.0(7)	0.0-636	132(7)

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

a: Background 시료는 환경중의 다이옥신 농도를 나타내며, 2차 시료는 일차배출원으로부터 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

위치	채집기간	어종	측정수/시료수	농도 pg/g(ppt)
Erie 호수	1980	fish	5/17	1.4~2.6
Erie와 Superior 호수	1981~1983	fish	0/16	ND
Superior 호수	1980	송어	1/1	10
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	4~696
	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	6/3	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", 브라이언 주식회사, 동경, 일본, 1993

(5) 음식물

캐나다는 식품안전프로그램을 통해 토론토와 몬트리올에서 유통중인 여러 식품에 포함되는 다이옥신과 퓨란의 농도를 분석하였다. 육류에서는 소고기와 내장류, 유제품에서는 치즈와 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>는 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 0.38~1.67pg-EQ/m³(평균 1.00pgTEQ/m³), 대도시지역(6개 지점)에서는 0.30~1.65(평균 1.02), 중소도시지역(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 평가



로서는 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 산업 활동이 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-14> 미국 미시시피 남부의 음식물내의 다이옥신/퓨란 농도

음식물시료	관측시료수	pg/g 시료
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-13> 캐나다의 음식물내 다이옥신/퓨란의 농도

음식물 분류	시료	PCDD/PCDF(ppb)	
		토론토	몬트리올
육류	소고기	0.32	0.32
	소고기스테이크	0.18	0.17
	소고기구이	0.087	0.14
	돼지고기	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
어류	버터	0.5	0.33
	담수	0.26	0.16
	해수	0.033	0.013
	조리용 기름 및 셀러리유	0.42	0.28

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

<표 III-15> 일본의 대기중 다이옥신 농도('96)

	측정지점	평균	여름1	여름2	겨울1	겨울2	비고
공업지역 근방의 주택지역	이바라키縣 카시마郡神栖町	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	
	평균	1.00	0.55	0.49	1.49	1.45	
대도시지역	미야기縣 샌다이市(仙台市)	0.30	0.09	0.15	0.91	0.04	94년 대도시 평균 0.37 pg/m ³
	도쿄都 新宿區	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	
	평균	1.02	0.36	0.57	1.70	1.44	
중도시지역	오오사카府 枚方市	1.36	0.43	0.17	3.21	1.61	94년 중도시 평균 0.2 pg/m ³
	오카야미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	



	측정 지점	평균	여름1	여름2	겨울1	겨울2	비고
중도시지역	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	
	평균	0.82	0.43	0.54	1.20	1.00	
배경지역	오오사카府 南河内郡 千早赤坂村	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	
	평균	0.07	0.04	0.07	0.11	0.06	
평균							

자료: 후생성생활위생국 河村成彦, "다이옥신류의 성질과 인체에 미치는 영향 에 관하여", 産業と環境, 1997. 10.

〈표 Ⅲ-16〉 일본의 흑송 침엽에서 검출된 다이옥신 농도

지역	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: 菅田秀明, "다이옥신·PCB 등 유기염소화합물의 환경리스크 평가에 관 하여", 지구 환경시스템공학연구소 강연자료, 1997.

다음호에 계속...

원고를 모집합니다.

· 어려운 현실에서도 환경보전을 위한 작은 실천 내용을 나누고 싶습니다.

· 주위의 따뜻하고 진솔한 삶의 소리를 듣고 싶습니다.

· 열심히 공부하고 모은 기술자료를 공유하고 싶습니다.

· 좋은 것은 나누고 슬픔은 함께 했으면 합니다.

· 자격: 회원 및 가족

· 접수: E-mail 및 우편

· 문의: 852-2291(편집국)

· 마감: 매월 10일까지

※ 채택된 원고에는 소정의 상품권을 드립니다.

월간 『환경관리인』을 읽으면 국가의 환경보전이 빨라집니다.