

잔류성 유기오염물질(POPs)의 관리현황과 대응방향(7)

- 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

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 292파운드에 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 나타났다으며, 이는 전체 대기 방출량의 18%에 이르는 양이다. 그러나 RAM³⁸⁾은 1999년 7월 자체내에서 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.

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

유효성분명	상 품 명	효 능	주 요 사 용 처
Chlorothaloni	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, 중자처리제	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 멤피스시에 위치한 한 화학회사에서는 1997년 약 14파운드의 HCB를 배출하였다고 보

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

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

고한 바 있으며, 이보다 규모가 작은 회사는 TRI에 보고 할만한 수준의 HCB를 배출하지는 않는 것으로 추정하고 있다.

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 배출기준이다.

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 미국내 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 스크러머(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 화력발전소에서 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 검출한계치(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 배출특성화연구(45)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 폐기물

을 처리하고 있는 실정이다.

⑬ 목재 보존

목재방부제인 PCP(pentachlorophenol)에도 HCB가 포함되어 있어 처리된 목재를 통해 환경이나 인체건강에 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 10파운드의 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 처리공정 중에 휘발되거나 폐수에서 물 표면으로 배출된다. 또한 토양에 투기된 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), 처리공정 중 HCB로 오염된 염화산화철 사용에 의해서 발생되고 있다(Benazon, 1999; WLSSD, 1998).

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

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

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 26 파운드가 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 처리공정에서 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 몬타리오주

에 위치한 다우케미칼(주) 매립지에서 인근의 St. Clair 강으로 HCB가 배출되는 사건이 발생한 바 있다. 현재 다우케미칼사는 이 매립지를 복원하고 있으며, HCB 배출량을 최소화하는 방법을 강구하고 있다. 그러나 이전에 염화 알칼리, 염소계 용매, 살충제 제조에서 발생한 HCB 폐기물을 처리하였던 다른 매립지에서 이와 같은 복원의 필요성이 어느 정도인지는 알려지지 않은 바 있다. 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 생산공정 중 부산물로 배출되는 HCB는 주로 대기나 인근 수계로, 농약에 포함된 HCB는 처리지역 이외의 생태계로 확산되는

〈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

경향을 보이고 있다.

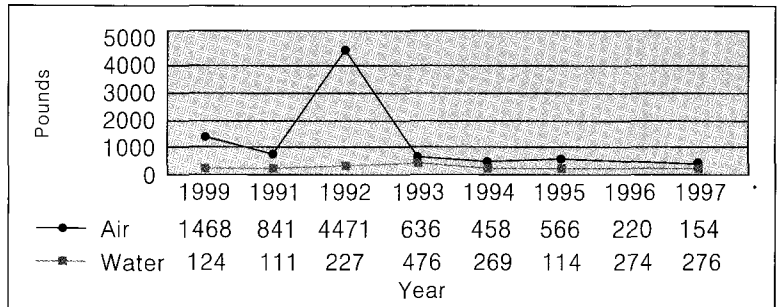
한편 <그림 III-2>는 HCB의 모든 배출원에 대해서 1990년부터 1997년까지 TRI에 보고된 대기 및 수계로의 배출 경향을 나타낸다. 대기중으로 배출된 HCB의 양이 1992년에 현저히 증가했다가 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 염소 및 알칼리물질 생산공정에서 생성된 HCB가 증가하는데 기인하고 있다.

<표 III-30> 미국내 산업분야별 HCB 배출량(단위: lb)

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> 전제 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 Informatio	Assessment Report
	최저	평균	최고		
시멘트 화로	23	161	1132		
살충제 사용	83	83	83		410
하수슬러지 소각	7	66	655	0.62	
바이오메스 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 탕화공정	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

다음호에 계속...