

## Octachlorostyrene의 환경중 노출평가에 관한 연구

김용석<sup>1,3)</sup> · 전용배<sup>1)</sup> · 김태형<sup>1)</sup> · 성하정<sup>2)</sup> · 이규승<sup>3)\*</sup>

<sup>1)</sup>한국화학시험연구원 환경독성팀, <sup>2)</sup>호서대학교 융합기술연구소, <sup>3)</sup>충남대학교 농업생명과학대학  
(2009년 4월 23일 접수, 2009년 6월 25일 수리)

**The Exposure Assessment Studies of Octachlorostyrene for Environment Samples**  
Yong-Seok Kim<sup>1,3)\*</sup>, Yong-bae Jeon<sup>1)</sup>, Tae-Hyoung Kim<sup>1)</sup>, Ha-Jung Sung<sup>2)</sup>, Kyu-Seung Lee<sup>3)</sup> (<sup>1)</sup>Environment Toxicity Team Korea Testing & Research Institute, Kimpo, 415-871, Korea, <sup>2)</sup>Institute of Fusion Technology, Hoseo University, Asan, 330-713, Korea, <sup>3)</sup>Department of Bio-Environmental Chemistry Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea)

**ABSTRACT:** Octachlorostyrene(OCS) has been persisted in environment because it has not been decomposed easily. And, it has been known as highly toxic compounds to the environment and human as well as accumulated as high concentrations in a biota through a food chain. Therefore, OCS was monitored for water, soil and fish sampled from the areas where were able to be contaminated with OCS. The recoveries of octachlorostyrene were 93.1~98.6% in water, 90.4~94.8% in soil and 81.5~90.2% in fish and detection limits were 0.0004 mg L<sup>-1</sup> for water, and 0.002 mg kg<sup>-1</sup> for soil and fish, respectively. OCS was not detected in water, sediment, soil and fish samples from Ulsan, Yeosu, Daejeon and Sihwa industrial complex and in soil sampled nearby incineration plants in all parts of the country. Accordingly, we estimated that there is no risk from exposure of OCS.

**Key Words:** Octachlorostyrene, recovery, risk, exposure

### 서 론

Octachlorostyrene은 환경중에서 잔류성이 높아 쉽게 분해되지 않으며 먹이연쇄상의 생물상에 고농도로 축적될 뿐만 아니라 환경 및 인간에 대한 독성이 매우 높은 물질 군 즉, PBTs (Persistent, Bioaccumulative and Toxic Substances) 화합물로 알려져 있다. PBTs 화합물은 기존의 잔류성유기오염물질(POPs ; Persistent Organic Pollutants) 개념을 보다 확장한 것으로 이해할 수 있다. PBTs 화합물은 대기, 수질, 토양으로 쉽게 이동하며 장거리 이동의 특성 때문에 현재 선진국을 비롯하여 OECD, UNEP 등 주요 국제기구는 이들 PBTs를 가장 중요한 환경현안의 하나로 인정하고 이에 대한 국제적인 관리시스템 구축을 위해 노력중이다.

우리나라의 경우 지금까지 UNEP 주관의 POPs에 대해서는 환경부를 중심으로 수질, 토양, 대기 등 환경매체 중에

서의 모니터링사업을 실시하고 있으며 식약청은 식품중의 오염을 평가하기 위한 다이옥신, PCB 모니터링 등 다양한 프로그램을 수행하고 있어 나름대로 적극적인 대처를 하여왔다. 국립환경연구원은 그 중요성을 인식하고 2003년부터 2년간의 연구계획으로 잔류성유해화학물질의 검색 및 평가방안연구 사업을 하였으며 이는 국내 PBTs 물질에 대한 유해정보를 분석함으로써 국내 PBTs 대상 화학물질의 목록작성을 주요 목적으로 하고 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 PBTs 물질의 규제관리를 위한 프로그램이 충분하지 않은 실정이며 특히 일반 유해물질과는 달리 저농도 만성적으로 나타나는 유해작용에 대한 평가와 이를 바탕으로 환경중에서 나타나는 위해성평가기법의 설정 및 평가결과에 근거한 위해저감방안 등 보다 구체적인 체계적인 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다.

Octachlorostyrene은 환경에 대한 독성이 강해 미국에서는 제1관심대상물질목록에 등재되어 있다. Octachlorostyrene은 현재까지 알려진 바로는 상업적으로 유통되거나 생산되는 화학물질은 아니고 다만, dioxin과 마찬가지로 소각장에서 탄소와 염소의 열반응으로 생성되는 것으로 알려져 있으며, 마

\*연락처:

Tel: +82-42-821-6735, Fax: +82-42-821-5781  
E-mail: kslee@cnu.ac.kr

그네슘 생산공정, 유기염소계 용매의 합성과정, 반도체 산업의 알루미늄제련 (판금) 과정, 금속합금공정의 hexachloroethane에 의한 aluminum degassing, titanium의 chlorination, chlor-alkali 생산공정 등에서 생성되는 것이 알려져 있다. 이미 미국에서는 나이아가라 강, 텍사스해안, 오대호 및 오대호에 서식하는 어패류에서 검출이 되었다고 보고 된 바가 있다<sup>1)</sup>. Octachlorostyrene은 화학구조상 hexachlorobenzene (HCB)와 유사하여 그 독성 또한 HCB와 유사할 것으로 추정하고 있다<sup>2)</sup>. Octachlorostyrene은 물에 대한 용해성이 매우 낮아 물속에 잔류하는 것보다는 저니토(sediment)나 부유물질에 부착되는 경향이 있다. 따라서 수계 생물중 저질에서 서식하는 생물 중에 대한 유해작용이 나타나는 것은 필연적이라 할 수 있다. 캐나다의 조사결과에 따르면 온타리오주의 사르니아 지역에서는 산업단지로부터 배출된 것으로 추정되는 octachlorostyrene이 인근지역의 저질에 침적되어 어류에 생물농축된 것으로 조사되었다<sup>3)</sup>. 미국의 조사결과에 따르면 채집된 어류에서의 검출 평균농도는  $1.7 \text{ ng g}^{-1}$ 의 수준이었으며 고농도 검출지역은 이보다 훨씬 높은  $138 \text{ ng g}^{-1}$ ,  $65.3 \text{ ng g}^{-1}$ ,  $50.7 \text{ ng g}^{-1}$ ,  $49.6 \text{ ng g}^{-1}$  정도로 검출된 곳도 있었다.

인체에 대한 검출사례로는 hexachlorobenzene을 사용하는 알루미늄 공장 근로자의 혈액에서 octachlorostyrene이 검출된 예가 보고 되었으며<sup>2)</sup> 직업과는 무관한 출산여성의 모유에서 검출된 사례도 보고되었다. 독일의 조사에 의하면 Schleswig-Holstein 거주지역 주민중 136인의 혈액으로부터 검출되었는데 이는 평균수준  $1.5 \text{ ng L}^{-1}$  농도로 오염된 강물에 서식하는 오염된 물고기를 섭취한 결과인 것으로 판명되었다<sup>4)5)</sup>. 캐나다의 조사에 의하면 사람의 지방조직에서 검출된 사례는 전체 조사 인구의 8%정도에 달하였으며 캐나다인의 지방조직에는 평균  $1 \text{ ng g}^{-1}$  수준으로 검출되었고 whole milk 나 milk fat에서 검출된 사례도 다수 보고되었다<sup>6)7)</sup>.

Octachlorostyrene이 인체에 검출된 것은 비직업적 노출의 경우 주로 식품섭취에 의한 것인데 이는 octachlorostyrene의 생물농축성이 매우 높아 먹이연쇄에 의한 어류에서의 농축효과 때문인 것으로 판단되고 있다. Ontario 호수에 서식하는 무지개송어에 대한 생물농축정도를 조사해본 결과 생물농축계수 (BCF)는 1,400,000인 것으로 조사되었다<sup>8)9)10)</sup>. Octachlorostyrene의 배출에 관한 조사결과를 살펴보면 hexachloroethane

을 사용한 알루미늄 제련공정 산업장의 폐수중에는  $230 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ 가 검출된 것으로 조사된 바 있으며 그 외 알루미늄 처리 공정 압축쓰레기에서는  $560 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$  수준으로 검출된 것이 보고된 바 있다<sup>2)10)</sup>. 산업쓰레기 뿐만 아니라 도시생활쓰레기에서도 octachlorostyrene이 검출된 사례가 보고되었는데 독일의 경우  $12 \sim 2500 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$  수준이 검출된 바 있다. Octachlorostyrene의 환경중 검출사례는 앞에서 언급한 오대호외에도 미국 주요 강이나 호수의 저질에서도 검출된 바가 보고되었다. Lake Erie의 저질은  $0.8 \sim 5.9 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$  수준으로 검출되었으며 그 외 여러 지점에서 이보다 높거나 유사한 수준의 검출사례가 보고되었다.

우리나라의 경우, '99 내분비계장애물질 조사연구사업의 일환으로 일반 수질 모니터링 시료에 대해 octachlorostyrene의 분석이 실시된 바 있으나 조사결과는 불검출로 나타났다<sup>11)</sup>. 그러나 지금까지 우리나라에서 octachlorostyrene의 배출예상지역 (예, hexachloroethane 사용 및 유통지점, 알루미늄제련 공장 인근지역, 마그네슘제조 공장 인근지역, 반도체 제조공장 인근지역, 소형소각로 배출기 및 인근 지역 등)에 대한 정확한 평가가 이루어져 있지 않은 실정이며 octachlorostyrene의 발생 지역의 직업적 노출에 대한 사례 연구도 전혀 이루어져 있지 않은 실정이다. 따라서 octachlorostyrene의 배출이 가능한 지역에 대한 수질, 저질, 토양 및 직업적 노출자에 대한 octachlorostyrene의 분석이 매우 시급한 실정이다.

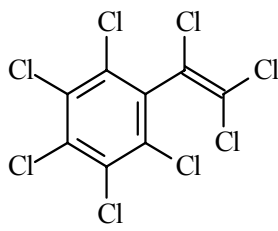
본 연구에서는 octachlorostyrene의 수질, 토양, 어체등 환경시료에 대한 분석법을 확립하고 우리나라에서 octachlorostyrene의 오염 우려지역으로 예상되는 울산, 여수, 대전 및 시화공단 등의 토양, 수질 및 어체시료를 대상으로 octachlorostyrene의 노출량을 평가하고, 또한 octachlorostyrene의 배출 경로로 잘 알려진 소각 시설을 중심으로 전국 주요 소각장 주변의 토양 시료를 채취하여 octachlorostyrene의 오염 여부를 조사하여 향후 진행될 PBTs 화합물의 환경위해성평가에 필요한 연구기반을 확보하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험물질

본 연구에 사용된 octachlorostyrene은 일본 Waco사의

Table 1. Physicochemical properties of octachlorostyrenes

Chemical Name	: Octachlorostyrene[pentachloro (trichloroethenyl)benzene]	
Molecular formula	: $\text{C}_8\text{Cl}_8$ (379.71)	
Solubility	: In water $0.00174 \text{ mg L}^{-1}$	
Vapour pressure	: $0.0018 \text{ Pa}(25^\circ\text{C})$	

표준품(99.0%)을 구입하여 시험에 사용하였고 그 물리화학적 성상은 Table 1.과 같다.

### 환경중 Octachlorostyrene의 측정분석

#### 분석기법 확립

분석에 사용된 시약은 농약잔류분석용 특급시약을 사용하였다. Octachlorostyrene의 정성확인을 위해서는 기체크로마토그래프 질량분석기를 사용하였고<sup>12)</sup>, 연구에 사용된 GC/MSD의 분석조건은 Table 2와 같다.

또한 환경시료에서 octachlorostyrene의 정량을 위한 분석법 확립 시험과 분석법 확립 후 환경시료 즉, 물, 토양 및 어체 분석을 위해서는 GC/ECD를 사용하였으며 연구에 사용된 기기분석 조건은 Table 3과 같다.

Octachlorostyrene의 물중 잔류분석법은 물시료 250 mL을 500 mL 분액여두에 넣고 50 mL의 포화식염수를 가하고 benzene 100, 50 mL로 2회 분배추출한 후 감압농축하고 건조물을 acetonitrile 10 mL로 용해하여 GC/ECD로 분석하였다.

Octachlorostyrene의 토양중 잔류분석법은 토양시료 50 g에 acetone 150 mL 가하여 30 분간 진탕 추출하고 감압여과한 후 용매를 감압유거한 다음 수용액에 50 mL의 포화식염수를 가하고 benzene 100, 50 mL로 2회 분배한 후

무수 sodium sulfate층을 통과시켜 수분을 제거하고 rotary vacuum evaporator를 이용하여 감압농축하여 acetonitrile 10 mL로 용해하여 GC/ECD로 분석하였다. 어체시료 50 g에 sea sand 10 g 및 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhydrous 20 g을 첨가하고 마쇄한 다음 acetone으로 진탕추출한 후 감압여과하고 용매를 감압유거한 후 acetonitrile이 포화된 n-hexane 용액 100, 50 mL로 2 회 분배하고 유기용매층을 2 mL가 남을때까지 감압농축한 후 정제과정에 이용하였다. 정제는 florisil SPE(1 g)<sup>14)</sup>을 n-hexane 5 mL로 활성화시킨 후 앞서에서 2 mL로 농축시킨 시료액을 loading시키고 n-hexane:acetone (90:10, v/v) 10 mL로 용출시킨 후 감압농축하고 건조물을 acetonitrile로 용해하여 GC/ECD로 분석하였다.

#### 환경시료중 Octachlorostyrene의 측정분석

국내화학물질 사용형태 및 업종별 chlorostyrene의 배출 가능성이 있는 우려지점으로서 울산 공단(Table 4), 여수공단(Table 5), 시화(반월)공단(Table 6) 및 대전공단지역(Table 7)을 선정하여 그들 지점 주변의 수계, 토양 및 어체 등 환경시료를 봄, 가을 2 회 시료채취하여 octachlorostyrene의 잔류량을 분석하였다.

여수, 울산, 대전 및 반월, 시화산업단지에서 시료채취지점은 산단내의 주배출우려지점과 산단에서 10 km 이내에 위치한 산단 주변지점으로 설정하여 시료를 채취하였다.

Table 2. GC/MSD conditions for octachlorostyrene

Model	GC 6890
Detector	5973Network Mass
Oven	40°C [8 min]→10°C / min→210°C [7 min]
Inlet	200°C, split ratio 50:1
Column	HP-5(0.25 mm × 30 m × 0.25 μm)
Flow	0.8 mL min <sup>-1</sup>
Injection volume	1 μL
EMvolts	1988
ElecEnergy	70
Limit of Quantification	0.005 ng

Table 3. GC conditions for octachlorostyrene

Model	HP 6890
Detector	ECD
Oven	230°C isothermal
Inlet	250°C, split ratio 10:1
Column	DB-17(0.535 mm × 15 m × 0.25 μm)
Flow	5.0 mL min <sup>-1</sup>
Injection volume	1 μL
Limit of Quantification	0.01 ng

**Table 4. Sampling sites near industrial area in Ulsan**

Site	River Name	Address
US-1	Hoeyagang(Riv.)	Deoksin-ri, Onsan-eup, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do (LG chem, Ltd)
US-2	Hoeyagang(Riv.)	Deoksin-ri, Onsan-eup, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-3	Hoeyagang(Riv.)	Darimal village, Deoksin-ri, Onsan-eup, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-4	Hoeyagang(Riv.)	Deoksin-ri, Onsan-eup, Ulju-gun, K yeongsangbuk-do
US-5	Hoeyagang(Riv.)	Sanghoe-ri, Onsan-eup, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-6	Hoeyagang(Riv.)	Sampyeong-ri, Onsan-eup, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-7	Cheongnyangcheon(Riv.)	Deokjeong-ri, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-8	Cheongnyangcheon(Riv.)	Deokjeong-ri, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-9	Cheongnyangcheon(Riv.)	Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do(Cheongnyang bridge)
US-10	Cheongnyangcheon(Riv.)	Odae village, Daechang-ri, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-11	Cheongnyangcheon(Riv.)	Ocheon village, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do
US-12	Cheongnyangcheon(Riv.)	Ocheon village, Cheongnyang-myeon, Ulju-gun, Kyeongsangbuk-do

**Table 5. Sampling sites near industrial area in Yeosu**

Site	River Name	Address
YS-1	Jungheungcheon(Riv.)	Jungheung-dong, Yeosu City (The Heungguk Temple)
YS-2	Jungheungcheon(Riv.)	Samil-dong, Yeosu City
YS-3	Jungheungcheon(Riv.)	Jungheung-dong, Yeosu City (Heungju Bridge)
YS-4	Jungheungcheon(Riv.)	Jungheung-dong, Yeosu City (The Honam Petrochemical Co.)
YS-5	Jungheungcheon(Riv.)	Jungheung-dong, Yeosu City (Dow chemical Company)
YS-6	Jungheungcheon(Riv.)	Jungheung-dong, Yeosu City (Jungheung Wharf)
YS-7	Sangbongcheon(Riv.)	Yeocheon-dong, Yeosu City
YS-8	Sangbongcheon(Riv.)	Yeocheon-dong, Yeosu City
YS-9	Sangbongcheon(Riv.)	Yeocheon-dong, Yeosu City
YS-10	Sangbongcheon(Riv.)	Yeocheon-dong, Yeosu City (Sangbong bridge)
YS-11	Sangbongcheon(Riv.)	Seonwon-dong, Yeosu City
YS-12	Sangbongcheon(Riv.)	Seonwon-dong, Yeosu City

**Table 6. Sampling sites near industrial area in Sihwa & Banwul**

Site	River Name	Address
SB-1	Sihwa Lake	Jeongwang-dong, Siheung City (The Oido Ferry Terminal)
SB-2	Sihwa Lake	Jeongwang-dong, Siheung City (The Foreshore Experience Field)
SB-3	Okkucheon(Riv.)	Jeongwang-dong, Siheung City (The Sixth Okgu Bridge)
SB-4	Okkucheon(Riv.)	Jeongwang-dong, Siheung City (The fourth Okgu Bridge)
SB-5	Kunjacheon(Riv.)	Jeongwang-dong, Siheung City (The fourth Kunja Bridge)
SB-6	Kunjacheon(Riv.)	Jeongwang-dong, Siheung City (The Second Kunja Bridge)
SB-7	Chongwangcheon(Riv.)	Jeongwang-dong, Siheung City (The Sixth Kunja Bridge)
SB-8	Chongwangcheon(Riv.)	Jeongwang-dong, Siheung City (The Third Kunja Bridge)
SB-9	Siheungcheon(Riv.)	Seonggok-dong, Ansan City (The Third Siheung Bridge)
SB-10	Siheungcheon(Riv.)	Seonggok-dong, Ansan City (The Dlanmal Park)
SB-11	Sihwa Lake	Choji-dong, Ansan City (The Steam Supply and Power Generation Plant)
SB-12	Sihwa Lake	Wonsi-dong, Ansan City (Won Chemical Company)
SB-13	Sihwa Lake	Wonsi-dong, Ansan City
SB-14	Sihwa Lake	Seonggok-dong, Ansan City (681-1, Shinkwang Company)
SB-15	Sihwa Lake	Seonggok-dong, Ansan City (The Sixth Siheung Bridge)
SB-16	Sihwa Lake	Seonggok-dong, Ansan City (The Eighth Siheung Bridge)
SB-17	Sihwa Lake	Jeongwang-dong, Siheung City (The Eighth Jeongwang Bridge)
SB-18	Sihwa Lake	Jeongwang-dong, Siheung City (The Eighth Kunja Bridge)
SB-19	Sihwa Lake	Jeongwang-dong, Siheung City (The Eighth Okgu Bridge)
SB-20	Sihwa Lake	Jeongwang-dong, Siheung City (The Sihwa Tide Embankment)

Table 7. Sampling sites near industrial area in Daejeon

Site	River Name	Address
DJ-1	Gapcheon(Riv.)	Sinil-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City(Waste Incinerating Facility)
DJ-2	Gapcheon(Riv.)	Sinil-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (Hansol Paper Co., Ltd.)
DJ-3	Gapcheon(Riv.)	Sinil-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (Shingu Bridge)
DJ-4	Gapcheon(Riv.)	Munpyeong-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (Yuhan Kimberly., Ltd.)
DJ-5	Gapcheon(Riv.)	Munpyeong-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (Bulwoo Bridge)
DJ-6	Gapcheon(Riv.)	Munpyeong-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (The confluence of the Geum River)
DJ-7	Gapcheon(Riv.)	Seokbong-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (Hankook Tire Co., Ltd.)
DJ-8	Gapcheon(Riv.)	Seokbong-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (The First Geum River)
DJ-9	Gapcheon(Riv.)	Seokbong-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City (Punghan Industrial Co.,Ltd.)
DJ-10	Gapcheon(Riv.)	Seokbong-dong, Daedeok-gu, Daejeon Metropolitan City(Hyundo Bridge)

Table 8. Sampling site near incineration facilities in Korea

Site	Capacity (ton day <sup>-1</sup> )	Address
Yangcheon, Seoul	400(200×2)	900, Mok-dong, Yangcheon-gu, Seoul
Suwon, Gyeonggi-do	600(300×2)	962-3, Yeongtong-dong, Paldal-gu, Suwon City, Gyeonggi-do
Paju, Gyeonggi-do	200	153, Nakha-ri, Tanhyeon-myeon, Paju, Gyeonggi-do
Chungra, Incheon	500(250×2)	Gyeongseo-dong, Seo-gu, Incheon
Cheonan, Chungcheongnam-do	200	531, Baekseok-dong, Cheonan City, Chungcheongnam-do
Daedeok, Daejeon	200	435-7, Sinwon-dong, Daedeok-gu, Daejeon
Sangmu, Gwangju	400(200×2)	1163, Chipyeong-dong, Seo-gu, Gwangju
Seongseo, Daegu	600(300×2)	306-71, Jang-dong, Daegu
Changwon, Gyeongsangnam-do	400(200×2)	172-1, Cheonggok-dong, Changwon City, Gyeongsangnam-do
Myeongji, Busan	400	3226-1, Myeongji-dong, Gangseo-gu, Busan

### 전국 주요 소각장에서 환경시료중 Octachlorostyrene의 측정분석

Dioxin과 마찬가지로 연소과정에서 탄소와 염소의 열반응으로 생성되는 것이 알려져 있는 octachlorostyrene 노출가능성을 평가하기 위해서 전국의 대규모 소각장(Table 8)을 중심으로 토양시료를 채취하여 octachlorostyrene의 잔류량을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 환경중 Octachlorostyrene의 측정분석

#### 분석기법 확립

Octachlorostyrene의 표준품을 GLC/MSD에서 분석한 결과는 Fig 1, Fig 2과 같다.

물중 octachlorostyrene을 benzene으로 분배하여 회수율을 측정된 결과는 Table 9와 같다.

무처리 물에 octachlorostyrene을 0.004 및 0.02 mg

kg<sup>-1</sup>으로 처리하고 앞서에서 언급한 전처리 방법과 기기조건에서 octachlorostyrene을 분석한 결과, 회수율이 93.1~98.6%으로 나타났고 이때 분석법의 검출한계는 0.0004 mg kg<sup>-1</sup>이었다.

토양 중 octachlorostyrene을 benzene으로 분배하여 회수율을 측정된 결과는 Table 10과 같다.

무처리 토양에 octachlorostyrene을 0.02 및 0.1 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하고 앞서에서 언급한 전처리 방법과 기기조건에서 octachlorostyrene을 분석한 결과, 회수율이 90.4~94.8%으로 나타났고 이때 분석법의 검출한계는 0.002 mg kg<sup>-1</sup>이었다.

어체 중 octachlorostyrene을 benzene으로 분배하여 회수율을 측정된 결과는 Table 11.와 같다.

무처리 어체에 octachlorostyrene을 0.02 및 0.1 mg kg<sup>-1</sup>으로 처리하고 앞서에서 언급한 전처리 방법과 기기조건에서 octachlorostyrene을 분석한 결과, 회수율이 81.5~90.2%으로 나타났고 이때 분석법의 검출한계는 0.002 mg kg<sup>-1</sup>이었다

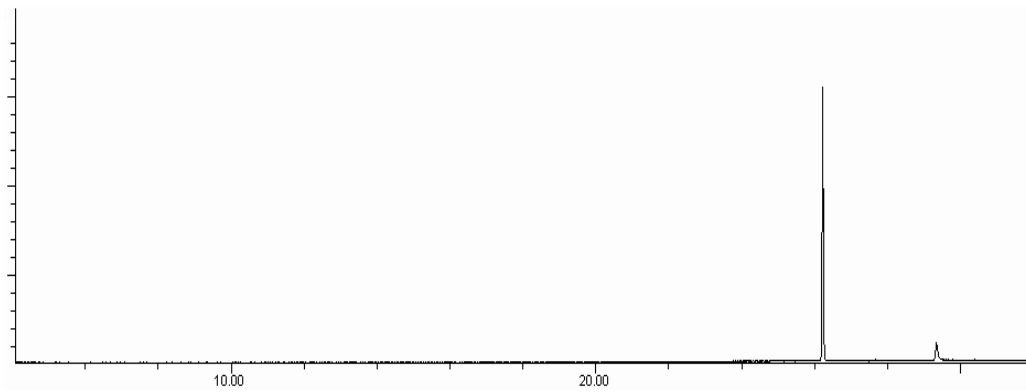


Fig 1. Total ion chromatogram of octachlorostyrene at the SIM mode of GC/MSD.

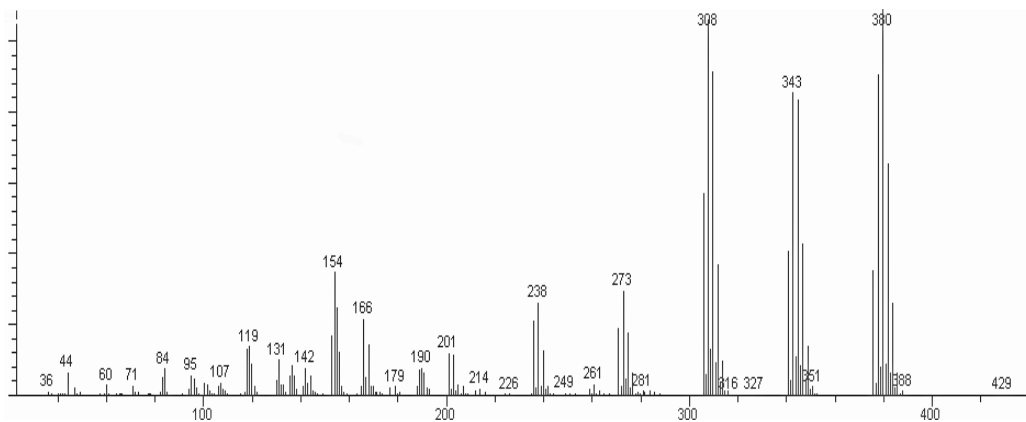


Fig 2. Mass spectrum of octachlorostyrene from GC/MSD.

Table 9. Recovery of octachlorostyrene in water

Sample	Spiked conc. (mg kg <sup>-1</sup> )	Recovery(%)			Average	LOD <sup>a)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	MDL <sup>b)</sup> (ng)
		1	2	3			
Water	0.004	96.2	96.4	97.8	96.8	0.0004	0.01
	0.020	98.6	93.1	97.2	96.3		

a) Limit of detection

b) Minimum detection level

Table 10. Recovery of octachlorostyrene in soil

Sample	Spiked conc. (mg kg <sup>-1</sup> )	Recovery(%)			Average	LOD <sup>a)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	MDL <sup>b)</sup> (ng)
		1	2	3			
Soil	0.02	90.4	94.8	92.4	92.5	0.002	0.01
	0.10	93.6	92.9	91.7	92.7		

a) Limit of detection

b) Minimum detection level

Table 11. Recovery of octachlorostyrene in fish

Sample	Spiked conc. (mg kg <sup>-1</sup> )	Recovery(%)			Average	LOD <sup>a)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	MDL <sup>b)</sup> (ng)
		1	2	3			
Fish	0.02	85.4	88.5	82.6	85.5	0.002	0.01
	0.10	87.2	81.5	90.2	86.3		

a) Limit of detection

b) Minimum detection level

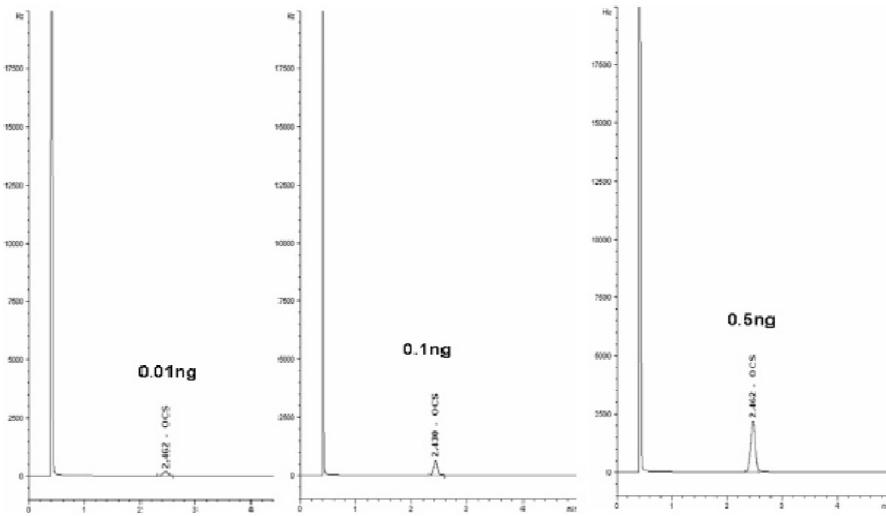


Fig. 3. GC Chromatograms of octachlorostyrene standards.

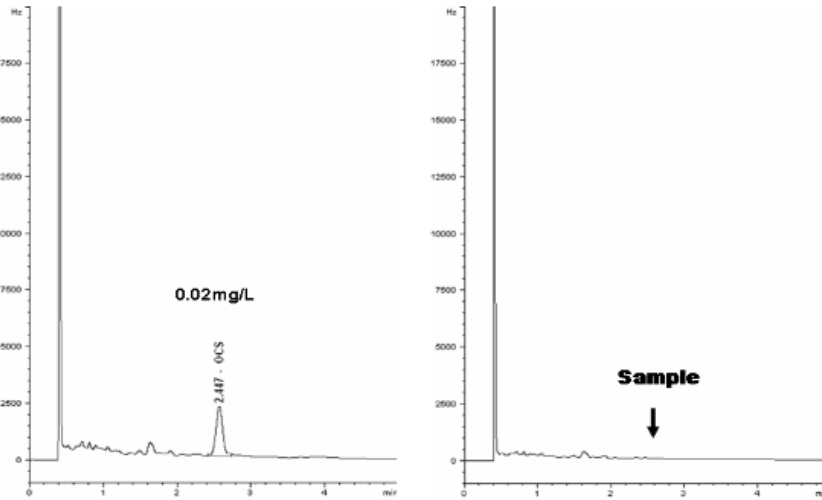


Fig. 4. GC Chromatograms of octachlorostyrene in water.

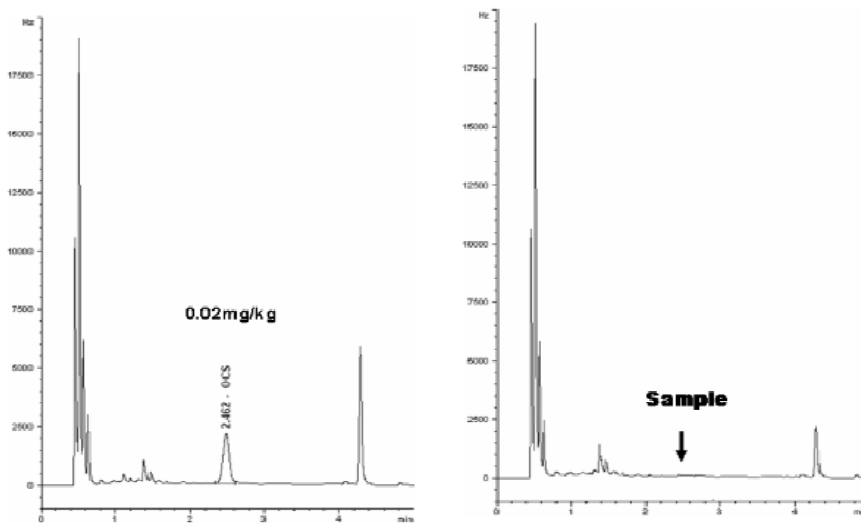


Fig. 5. GC Chromatograms of octachlorostyrene in fish.

### 환경시료중 Octachlorostyrene의 측정분석

울산 및 온산산업단지과 여수산업단지에서 채취한 물시료를 분석한 결과는 Table 12, 13과 같다.

Table 12, 13에서 보논바와 같이 오염우려지점으로 생각된 울산과 여수산단에서 채취한 물시료중에서 octachlorostyrene을 분석한 결과, 모든 지점의 시료에서 분석법의 검출한계인  $0.0004 \mu\text{g L}^{-1}$  이하로 나타났다. 이는 octachlorostyrene의 물질특성상 물에 대한 용해도가 현저하게 낮으므로 물중 노출되어 있는 octachlorostyrene의 성분이 없거나 아니면 아직 우리나라의 환경중에는 chlorostyrene이 노출되지 않은 것으로 판단된다.

일반적으로 octachlorostyrene은 상업적으로 생산되지

않고 주로 다른 물질을 소각하거나 합성하는 과정 중에 생성된다. 무기 염화마그네슘( $\text{MgCl}_2$ )을 흑연전극으로 전기분해시켜 마그네슘을 생산하는 과정에는 높은 온도와 탄소, 염소가 필요하며, 반응 부산물로서 OCS와 같은 유기염소화합물이 발생하는데 이들 반응생성물은 초기에는 공장의 폐수에서만 검출되지만 점차 환경 중으로 확산되어 산업지역 인근의 환경에서도 검출되게 된다<sup>4)8)</sup>. 하지만 본 연구에서 오염우려 지역으로 지목했던 울산이나 여수 산단의 경우 주로 정유 및 화학관련 산업이 집중되어 있어 octachlorostyrene을 생성할 수 있는 공정과는 연관성이 없어 아직까지는 환경중에 노출되지 않은 것으로 판단된다.

Octachlorostyrene의 표준품과 물시료중 크로마토그램

Table 12. Residue of octachlorostyrene in Ulsan industrial area

Site	River Name	Residue(mg kg, L <sup>-1</sup> )		
		Water	Soil	Fish
US-1	Hoeyagang	<0.0004	<0.002	<0.002
US-2	Hoeyagang	<0.0004	<0.002	<0.002
US-3	Hoeyagang	<0.0004	<0.002	<0.002
US-4	Hoeyagang	<0.0004	<0.002	<0.002
US-5	Hoeyagang	<0.0004	<0.002	<0.002
US-6	Hoeyagang	<0.0004	<0.002	<0.002
US-7	Cheongnyangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
US-8	Cheongnyangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
US-9	Cheongnyangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
US-10	Cheongnyangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
US-11	Cheongnyangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
US-12	Cheongnyangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002

Table 13. Residue of octachlorostyrene in Yeosu industrial area

Site	River Name	Residue(mg kg, L <sup>-1</sup> )		
		Water	Soil	Fish
YS-1	Jungheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-2	Jungheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-3	Jungheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-4	Jungheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-5	Jungheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-6	Jungheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-7	Sangbongcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-8	Sangbongcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-9	Sangbongcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-10	Sangbongcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-11	Sangbongcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
YS-12	Sangbongcheon	<0.0004	<0.002	<0.002



은 Fig.6과 같다.

우리나라 중부지방의 대표적인 산업지역 알려진 시화 & 반월 산업과 대전산업에서 채취한 환경시료의 분석한 결과는 Table 14, 15와 같다.

Table 14, 15에서 보는바와 같이 오염우려지점으로 생각된 시화 & 반월 산업 및 대전산업에서 채취한 물, 토양 및 어체중에서 octachlorostyrene을 분석한 결과, 모든 지점의 시료에서 분석법의 검출한계인 0.0004 mg L<sup>-1</sup>(물시료),

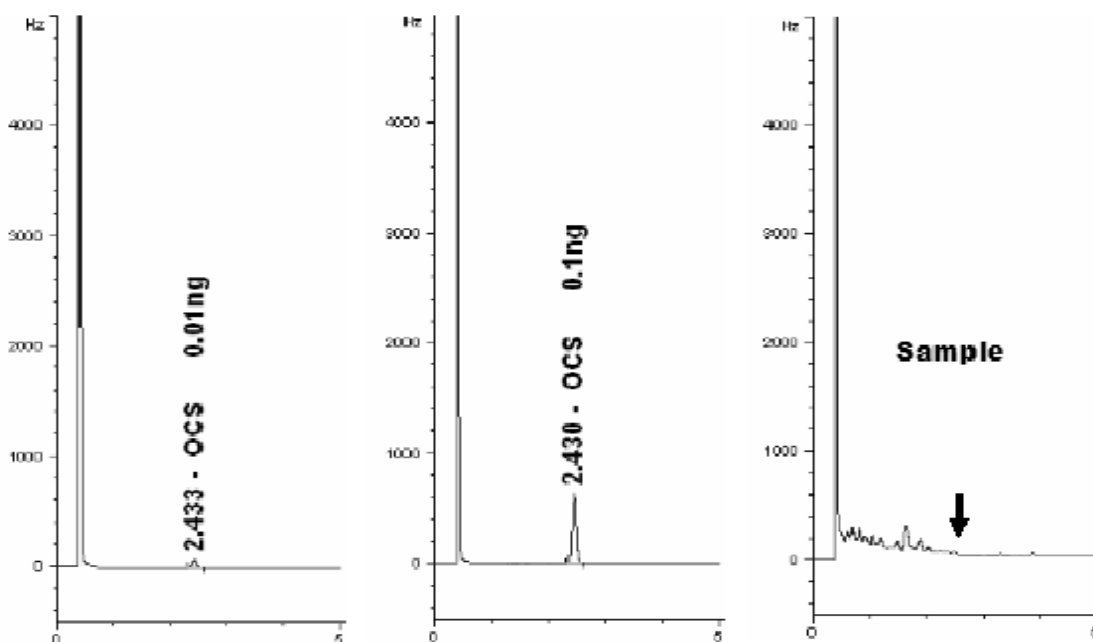


Fig 6. Chromatograms of octachlorostyrene in water from GC/ ECD

Table 14. Residue of octachlorostyrene in Sihwa & Banwul industrial area

Site	River Name	Residue(mg kg, L <sup>-1</sup> )		
		Water	Soil	Fish
SB-1	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-2	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-3	Okkucheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-4	Okkucheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-5	Kunjacheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-6	Kunjacheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-7	Chongwangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-8	Chongwangcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-9	Siheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-10	Siheungcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-11	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-12	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-13	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-14	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-15	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-16	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-17	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-18	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-19	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002
SB-20	Sihwa Lake	<0.0004	<0.002	<0.002

Table 15. Residue of octachlorostyrene in Daejeon industrial area

Site	River Name	Residue(mg kg, L <sup>-1</sup> )		
		Water	Soil	Fish
DJ-1	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-2	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-3	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-4	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-5	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-6	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-7	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-8	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-9	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002
DJ-10	Gapcheon	<0.0004	<0.002	<0.002

Table 16. Residue of octachlorostyrene in soils of incineration facilities

Site	Residue(mg kg <sup>-1</sup> )			
	1	2	3	Average
Seoul	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Suwon	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Paju	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Incheon	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cheonan	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Daejeon	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Gwangju	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Daegu	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Changwon	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Busan	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002

0.002 mg kg<sup>-1</sup>(토양 및 어체) 이하로 나타났다.

Bester et al.(1998)의 보고에 의하면 독일의 Elbe 강에서 하천수중 8 pg L<sup>-1</sup>의 octachlorostyrene이 검출되었고<sup>1)</sup>, 미국의 St. Clair강의 원류인 Edward Port에서 채취한 수질 시료에서도 0.02 ng L<sup>-1</sup>의 octachlorostyrene이 검출되었다고 보고하고 있다<sup>9)</sup>.

우리나라에서 octachlorostyrene의 오염 우려지역이라 판단된 울산, 여수, 대전 및 시화산단에서 채취된 어체 시료의 분석 결과 모든 시료에서 검출한계( 0.002 mg kg<sup>-1</sup>) 미만으로 나타났다. 이는 앞서서 설명한대로 우리나라 수계에 octachlorostyrene이 노출되지 않았으므로 당연한 결과라 할 수 있다. 하지만 다른나라의 경우 여러 가지 모니터링 시험 결과 수계에 서식하는 다양한 어류에서 octachlorostyrene이 검출됨을 보고하고 있다. 1997년부터 2000년까지 미국의 Ontario호에서 채집한 송어 체내에서 octachlorostyrene을 분석한 결과 43.7~281.0 µg L<sup>-1</sup>의 octachlorostyrene이 검출되었고<sup>15)</sup>, 독일의 Elbe강에서 채집한 물고기의 간에는 15

~45 ng g<sup>-1</sup> 수준으로 검출되었다고 보고하고 있다<sup>5)</sup>.

Octachlorostyrene은 물리화학적 특성상 물/옥탄올 분배계수가 200,000~10,000,000 으로 예측되고 물에 대한 용해도가 현저하게 낮으므로 이는 물중 부유물질이나 저질에 강하게 흡착될 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 물중 octachlorostyrene이 노출되었을 경우 물보다는 부유물질이나 저질에서 검출 가능성이 높을 것으로 판단되지만 0.002 mg kg<sup>-1</sup>의 농도에서도 검출되지 않은 것으로 보아 아직까지 우리나라의 수계에는 octachlorostyrene이 노출되지 않은 것으로 판단되며 따라서 토양이나 어체에도 노출 가능성이 희박한 것으로 판단된다.

#### 전국 주요 소각장에서 환경시료중 Octachlorostyrene의 측정분석

전국 각 지역의 소각장에서 채취한 토양시료중 octachlorostyrene을 분석한 결과는 Table 16과 같고 분석 크로마토그램은 Fig 7.과 같다.

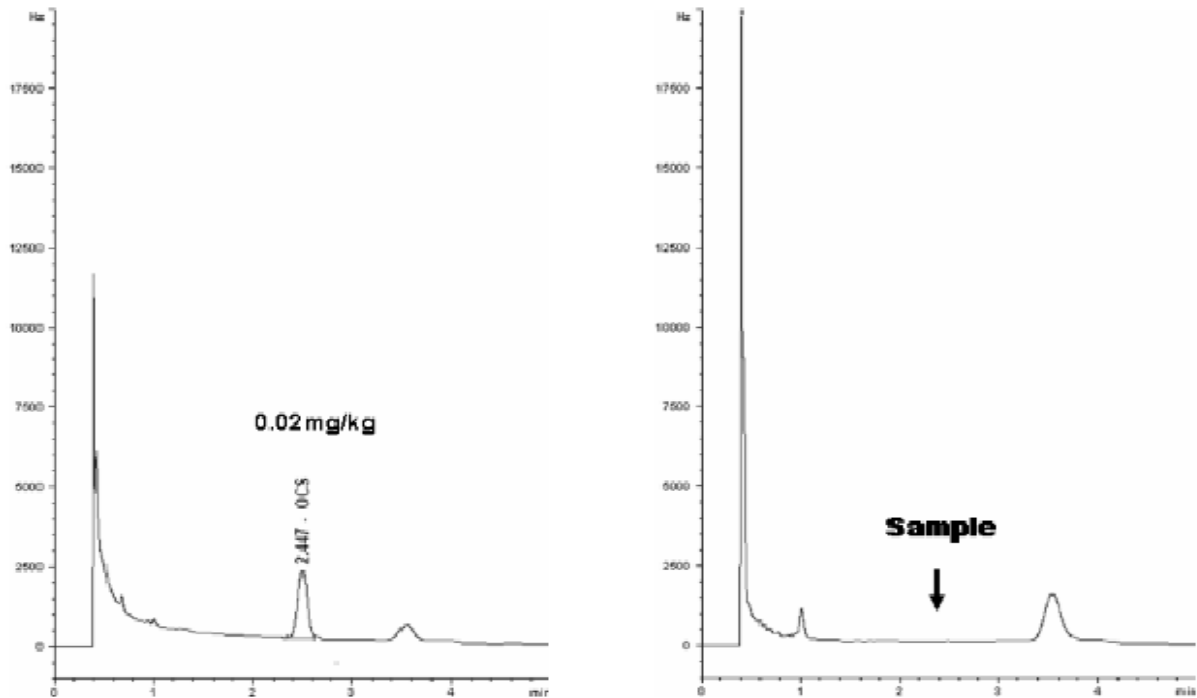


Fig. 7. Chromatograms of octachlorostyrene in incineration facilities soil.

Octachlorostyrene의 배출원은 고온에서 염소와 탄소로부터 마그네슘을 정제하는 공정<sup>4)</sup>, 알루미늄 합금공정시 hexachloroethane을 사용한 기포 제거작업 공정<sup>2),12),16)</sup>, 염소로 광석을 추출하는 공정<sup>12)</sup> 및 염소화합물의 불안전 염소 현상이 일어나는 소각장이 주 배출원으로 알려져 있다.

본 연구에서도 전국 각지의 주요 소각장을 대상으로 소각장 주변에서 채취한 토양시료중 octachlorostyrene을 분석한 결과, 모든 시료에서 octachlorostyrene은 검출되지 않았다. 이탈리아 로마 남부지방에서 채취한 토양시료를 분석 결과, 도시와 농촌지역에서 채취한 토양에서는 octachlorostyrene이 검출되지 않았지만 소각장을 포함하고 있고 화학적으로 오염된 지역 인근의 토양에서는 평균  $1.82 \text{ mg g}^{-1}$ 의 octachlorostyrene이 검출되었다고 보고하고 있다<sup>8)</sup>.

외국의 사례를 볼때 미국, 독일 및 이탈리아등 물, 토양 및 어체등에서 octachlorostyrene의 검출 빈도가 상당수 있었으므로 각종 문헌에서 보고 되고 있는 반면 본 연구에서 조사한 결과 우리나라의 물, 토양 및 어체등의 시료에서는 octachlorostyrene이 전혀 검출이 되지 않은 것으로 보아 아직 우리나라의 환경중에는 chlorostyrene이 노출되지 않은 것으로 판단된다.

## 요 약

옥타클로르스티렌은 환경중에서 잔류성이 높아 쉽게 분해되지 않으며 먹이연쇄상의 생물상에 고농도로 축적될 뿐만

아니라 환경 및 인간에 대한 독성이 매우 높은 물질군으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 옥타클로르스티렌에 대한 노출위험 가능성이 있는 오염 우려지역을 설정하여 그 지역의 수질, 토양 및 어류에 대한 옥타클로르스티렌의 잔류량을 조사하기 위해서 잔류분석법을 확립하고 잔류실태를 조사하였다. 그 결과 옥타클로르스티렌의 물에 대한 회수율은 93.1~토양에 대한 회수율은 90.4~94.8%, 어체에 대한 회수율은 81.5~90.2% 이었고 분석법의 검출한계는 물  $0.0004 \text{ mg L}^{-1}$ 이었고, 토양 및 어체는 각각  $0.002 \text{ mg L}^{-1}$ 이었다. 오염 우려지역으로 선정된 울산, 여수, 대전 및 시화공단에서 옥타클로르스티렌의 잔류량은 물, 토양 및 어체의 모든 시료에서 검출한계 미만이었으며, 전국 각지의 소각장을 대상으로 실시한 토양시료에서도 옥타클로르스티렌은 검출되지 않았다. 따라서 우리나라는 아직 옥타클로르스티렌이 노출로부터 위험성이 없는 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Bester, K., Biselli, S., Ellerichmann, T., Huhnerfuss, H., Moller, T. Rimkus, G. and Wolf, M. (1998)

- Chlorostyrenes in fish and sediment samples from the river Elbe, *Chemosphere*, **37**, 2459-2471.
2. Selden, A., Floderus, Y., Lennart S. B., and Hakan B. W. (1999) Stig Thunell Porphyrin Status in Aluminum Foundry Workers Exposed to Hexachlorobenzene and Octachlorostyrene, *Archives of Environmental Health*, **54**(4), 248-253.
  3. Smith D.W, (1999) A report to the Great Lakes Binational Toxics Strategy, OCS Workgroup.
  4. Lunde, G. and Bjorseth, A. (1977) Human Blood Samples as Indicators of Occupational Exposure to Persistent Chlorinated Hydrocarbons, *Sci. Total Environ*, **8**, 241-246.
  5. Lommel, A., Kruse, H, Muller, E. and O. Wassermann (1992) Organochlorine pesticides, OCS, and mercury in the blood of Elbe River residents, Germany, *Arch. Environ. Contam. Toxicol*, **22**(1), 14-20.
  6. Mes, J., Davies, D.J., Turton, D. and Sun W.F. (1986) Levels and trends of chlorinated hydrocarbon contaminants in the breast milk of Canadian women, *Food Addit. Contam*, **3**(4), 313-322.
  7. Mes, J., Davies, D.J., Doucet, J., Weber, D. and McMullen, E. (1993) Levels of chlorinated hydrocarbon residues in Canadian human breast milk and their relationship to some characteristics of the donors, *Food Addit. Contam*, **10**(4), 429-441.
  8. Chu, S. Covaci, A., Voorspoels, S. and Schepens, P.(2003) The distribution of octachlorostyrene(OCS) in environmental samples from Europe. *J. Environ. Monit.*, **5**, 619-625.
  9. Kaminsky, R., and Hites, R. A. (1984) OCS in Lake Ontario: Sources and Fates, *Environ. Sci. Technol.*, **18**(4), 275-279.
  10. Jaffe, R. and Hites, R. A. (1986) Anthropogenic, polyhalogenated, Organic Compound in Non-migratory Fish from the Niagara River and Tributaries to Lake Ontario, *J. Great Lakes Res.*, **12**(1), 63-71.
  11. 환경부 (1999) '내분비계장애물질 증장기 연구사업계획'.
  12. Vogelgesang, J., Karin, K. H., Rainer, M., Peter, B. and Wolfgang, D. (1986) The origin of a contamination of fish from the river Neckar with hexachlorobenzene, OCS and pentachlorobenzene: Formation in an industrial process, *Z. Lebensm. Unters. Forsch*, **182**, 471-474.
  13. Hong, J. G., Kim, H. Y., Kim, D. G., Seo, J. and Kim, K. J. (2004) Rapid determination of chlorinated pesticides in fish by freezing-lipid filtration, solid-phase extraction and gas chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatogr. A.*, **1038**(1-2), 27-35.
  14. Lunde, G. and Ofstad, E. B. (1976) Determination of Fat-Soluble Chlorinated Compounds in Fish, *J. Anal Chem*, **282**(4), 395-399.
  15. Kuehl D. W., Johnson, K. L., Butterworth, B. C., Leonard, E. N. and Veith, G.D.(2001) Quantification of Octachlorostyrene and Related Compounds in Great Lakes Fish by Gas Chromatophy-Mass Spectrometry, *J. Great Lakes Res.*, **7**(3), 330-335.
  16. Westberg, H. B., Seldén, A. I. and Bellander, T.(1997) Emissions of some organochlorine compounds in experimental aluminum degassing with hexachloroethane, *Appl. Occup. Environ. Hyg*, **12**(3), 178-183.
  17. Ueji, M., Kobayashi, H. and Nakamura K. (2001) Analytical Methods of Pesticide Residues, Tokyo Japan
  18. 환경부 (2004-2007) 'PBTs 규제관리기술로서의 Chlorostyrene 환경위해성 평가'.