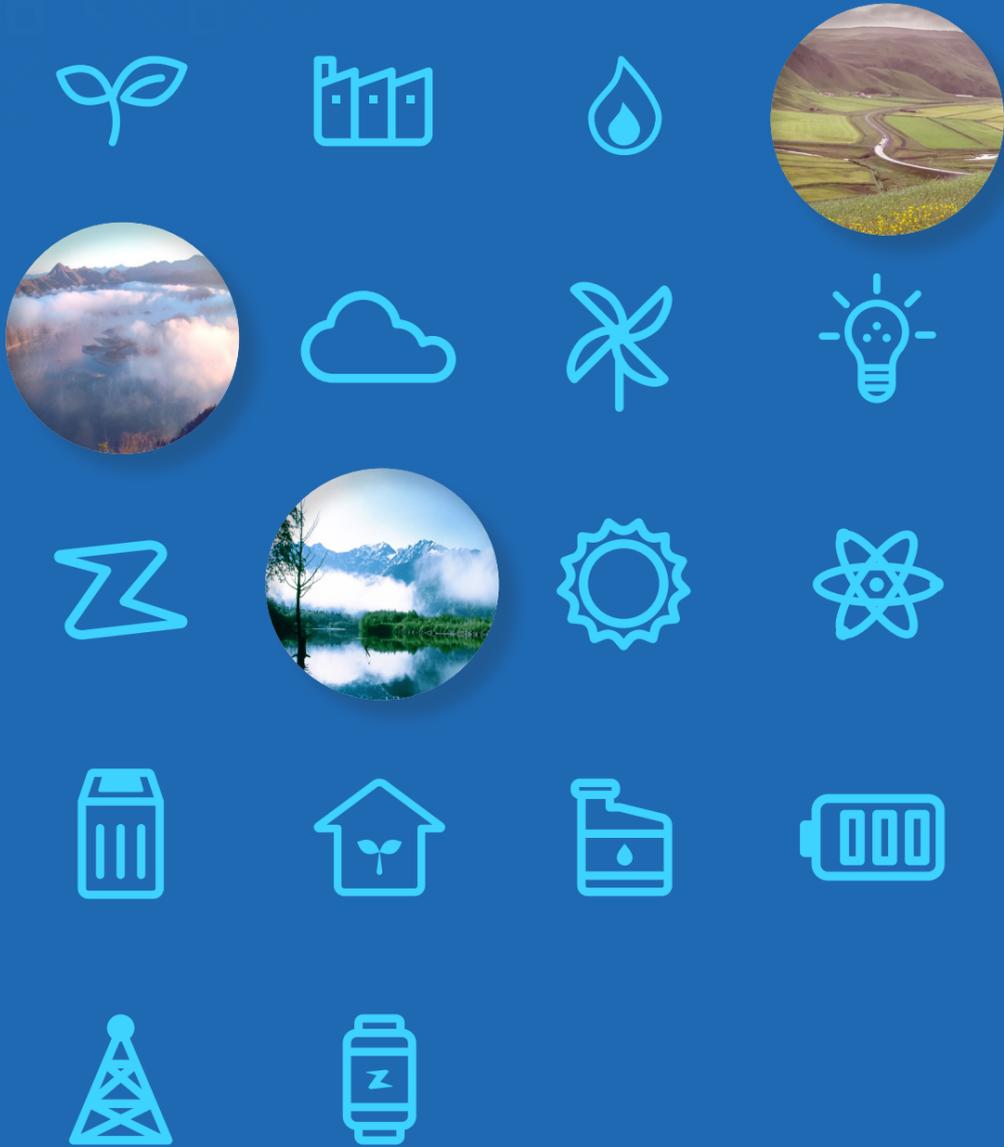


# 2017년도 잔류성유기오염물질측정망 운영결과 보고서

2017년도 잔류성유기오염물질측정망 운영결과 보고서



---

2017년도

잔류성유기오염물질측정망

**운영결과 보고서**

---





본 『잔류성유기오염물질 측정망 운영결과 보고서 (2017)』는  
환경부 “잔류성유기오염물질 측정망 역무대행사업”의 일환으로  
한국환경공단이 수행한 결과를 바탕으로 작성하였습니다.

“잔류성유기오염물질 측정망 설치·운영계획 (환경부 고시 제2016-247호  
(2016.12.29.)” 에 따라 국립환경과학원에서 정도관리를 수행하고, 측정망  
운영결과 보고서를 검토하였습니다.

2018. 12.

한국환경공단 이사장



## 요약문





# 요 약 문

## 1 사업개요

- 사 업 명 : 잔류성유기오염물질측정망 설치·운영사업
- 사업기간 : 2017. 1. 1 ~ 12.31

## 2 배경 및 필요성

- '01년 5월 스톡홀름협약에 의해 총 12종의 잔류성유기오염물질이 규제대상물질로 등재된 이후 '04년 5월에 협약이 발효됨에 따라 전 세계적으로 잔류성유기오염물질의 생산과 사용이 금지되거나 제한되었다.
- 이후 '09년에 펜타클로로벤젠 등 9종, '11년에는 엔도설판 1종, '13년에는 헥사브로모사이클로도데칸 1종, '15년에는 염화나프탈렌 등 3종, '17년에는 데카브로모디페닐에테르 등 2종의 신규물질이 지속적으로 금지 물질로 등재되어 쏠세계의 관심을 받고 있다.
- 우리나라는 잔류성유기오염물질의 생산과 사용을 규제하기 위해 '07년 1월에 『잔류성유기오염물질관리법』을 제정·공포하였으며, 잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획을 제정·고시하여 '08년부터 대기·토양·수질·퇴적물 등 환경매질 시료를 매년 채취하여 분석하고 있다.

## 3 잔류성유기오염물질 측정망 농도평가

- 2017년에는 대기 38개 지점(2회/년 봄, 가을), 토양 61개 지점(1회/년 봄), 하천/호소수 36개 지점(1회/년 봄)과 퇴적물 36개 지점(1회/년 봄) 등 전국 171개 지점에 대해 시료채취 및 분석과정을 거쳐 다이옥신 등 잔류성유기오염물질 전반에 대하여 조사·평가를 수행하였다.

## ● 공정부산물

### II 총 합

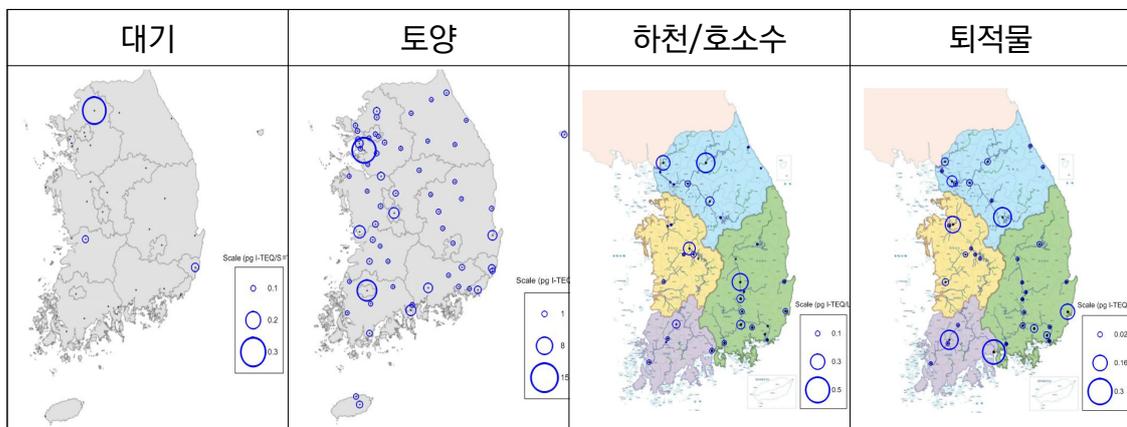
- 공정부산물은 다이옥신/푸란류, 폴리클로리네이티드비페닐 (코플라나 폴리클로리네이티드비페닐, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐), 공정부산물인 동시에 유기염소계농약류인 펜타클로로벤젠 그리고 헥사클로로벤젠 등 총 5종에 대해 조사하였다.
- 조사대상 매질은 대기, 토양, 하천/호소수와 퇴적물이며, 다만 '17년은 대기 매질에 대해서만 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐을 조사하였다. 다만, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐은 잔류성유기오염물질 측정망 설치·운영계획에 따라 대기 연1회(봄) 측정하였다.

\* 토양, 하천/호소수, 퇴적물은 대표시료(각 4개 지점)에 대해서만 조사<sup>1)</sup>

### II 다이옥신/푸란류

- 환경매질 중 대기의 농도는 연평균 0.012 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 토양은 연평균 0.490 pg I-TEQ/g, 하천/호소수는 연평균 0.010 pg I-TEQ/L, 퇴적물은 연평균 0.042 pg I-TEQ/g으로 조사되었다.
- 대기 중 다이옥신/푸란류는 우리나라 대기환경기준인 0.6 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>에 비해 매우 낮은 수준인 것으로 확인되었다.

그림 1. 환경매질별 다이옥신/푸란류의 공간 농도분포



1) 잔류성유기오염물질 측정망 설치·운영계획(환경부 고시 제2016-247호)

## II 폴리클로리네이티드비페닐

- 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐은 대기, 토양, 하천/호소수, 퇴적물에 대해서, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐은 토양, 하천/호소수, 퇴적물에 대해서 조사를 실시하였다.
- 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 경우 대기에서의 연평균 농도가 0.002 pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup> 수준으로 총 37개 지점 중 6개 지점에서만 검출되었다.
- 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐은 잔류성유기오염물질 공정시험기준이 변경(측정기기 변경: HRGC/LRMS → HRGC/HRMS('17년))됨에 따라 기존의 방법검출한계가 0.001 ng/g으로 낮아지면서 '17년 시료의 경우 방법검출한계 이상의 값으로 검출되었다.

## III 펜타클로로벤젠 및 헥사클로로벤젠

- 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 연평균 농도는 대기에서 각각 100.184 pg/Sm<sup>3</sup>, 164.434 pg/Sm<sup>3</sup>, 토양 0.138 ng/g, 0.349 ng/g, 하천/호소수 0.035 ng/L, 0.228 ng/L, 퇴적물은 0.085 ng/g, 0.287 ng/g으로 조사되었다.
- 하천/호소수 중 헥사클로로벤젠은 우리나라 환경정책기본법에서 정한 하천 중 사람의 건강보호기준인 40 ng/L와 비교할 경우 상당히 낮은 수준인 것으로 파악되었다.

그림 2. 환경매질별 펜타클로로벤젠의 공간 농도분포

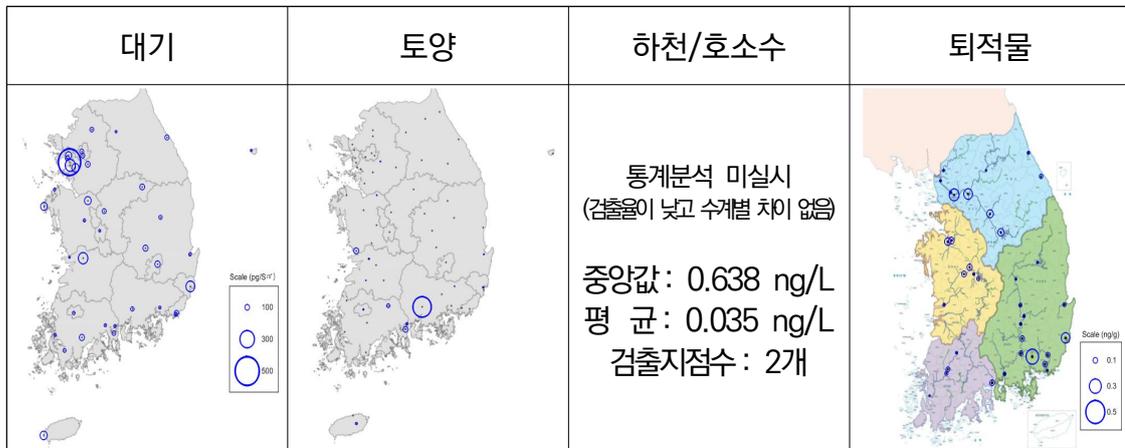
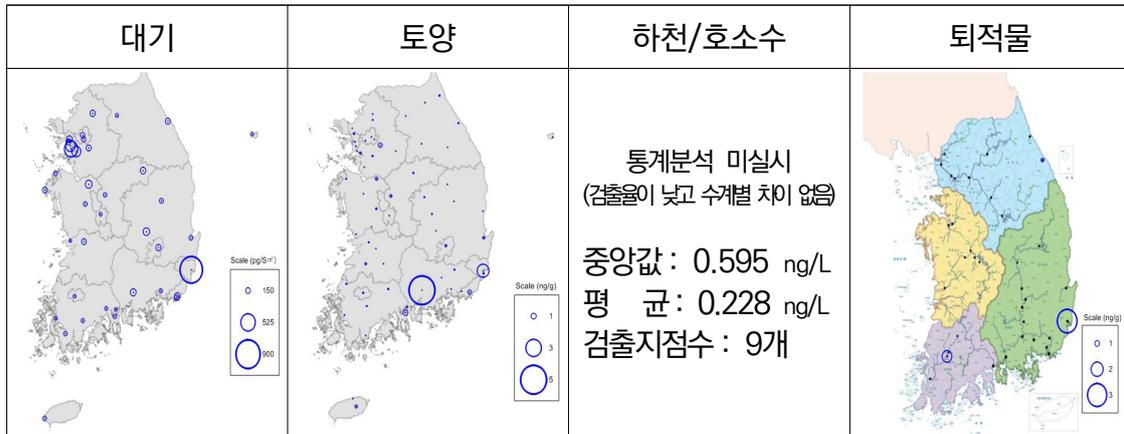


그림 3. 환경매질별 헥사클로로벤젠의 공간 농도분포



## ● 유기염소계농약류

### II 종합

- 유기염소계농약류는 알드린, 디엘드린, 엔드린, 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티( $\Sigma$  DDT), 알파헥사클로로사이클로헥산( $\alpha$ -HCH), 베타헥사클로로사이클로헥산( $\beta$ -HCH), 린단( $\gamma$ -HCH), 엔도설판 총 12종에 대하여 조사를 수행하였다.
- '17년도에는 환경매질 중 대기에 대해서만 조사를 실시하였으며, 그 외 환경매질에 대해서는 유기염소계농약류 중 가장 최근에 등재된 엔도설판 항목에 대해서만 조사를 실시하였다.

### II 알드린, 디엘드린, 엔드린

- 대기 중 알드린(1개 지점에서 검출)과 디엘드린(14개 지점에서 검출)은 각각 연평균 0.027 pg/S $m^3$ , 0.679 pg/S $m^3$ 으로 조사되었으며, 엔드린은 모두 방법검출한계 미만의 수준으로 나타났다.

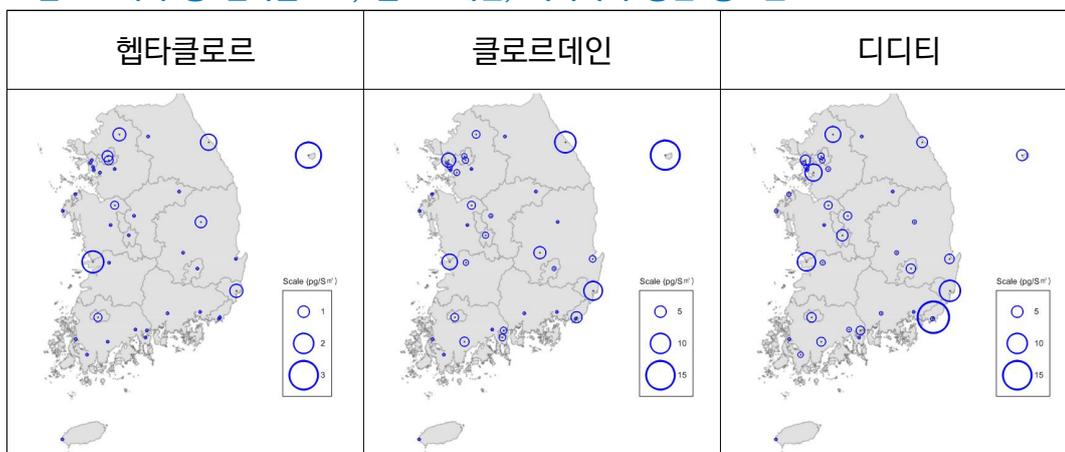
### II 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티

- 독사펜은 '08년 실태조사를 시작한 이후 지금까지 검출 이력이 없어 '16년부터 매질별 대표지점\*에 대해서만 분석을 실시하였으며, '17년에도 조사대상 대표지

점에서 모두 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

- \* 대기(6지점), 토양(7지점), 하천/호소수/퇴적물(수계별 각 4지점)
- 미렉스는 그간 일부 지점에서 검출되었으나, '17년도에는 조사대상 매질(대기) 37개 지점에서 모두 방법검출한계 미만으로 조사되었다.
- 대기 중 헵타클로르, 클로르데인 및 디디티의 연평균 농도는 각각 0.315 pg/S m<sup>3</sup>, 2.274 pg/Sm<sup>3</sup>, 2.785 pg/Sm<sup>3</sup>로 조사되었다.

**그림 4. 대기 중 헵타클로르, 클로르데인, 디디티의 공간 농도분포**



## ■ α-HCH, β-HCH, 린단(γ-HCH)

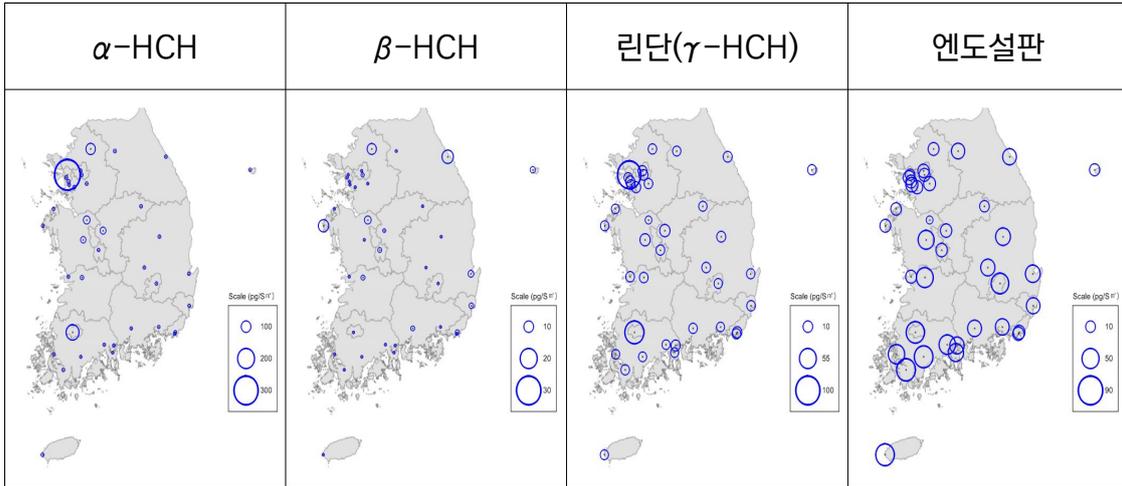
- 대기 중 알파헥사클로로사이클로헥산, 베타헥사클로로사이클로헥산 및 린단(γ-HCH)의 연평균 농도는 각각 21.761 pg/Sm<sup>3</sup>, 1.260 pg/Sm<sup>3</sup> 및 8.117 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 조사되었다.

## ■ 엔도설판

- 엔도설판의 환경매질별 연평균 농도는 대기가 29.443 pg/Sm<sup>3</sup>, 토양이 2.072 ng/g, 하천/호소수가 0.801 ng/L, 퇴적물이 0.361 ng/g 수준으로 각각 조사되었다.
- 2017년도 엔도설판의 토양 매질 중에서의 농도가 '16년도에 비해 상대적으로 높게 검출된 것으로 파악되었으나, 이는 '16년 이후 측정지점을 이전하는 과정에서 충남지역의 일부 지점에서 이상치로 의심이 되는 농도값이 포함되어 연평균 농도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 이상치 판단기준에 대한 근거

- 를 마련하여 국가통계치로서의 사용여부를 결정하여야 할 것으로 판단된다.
- 국내 측정망 조사결과를 다른 국외자료와 비교해본 결과, 전반적으로 유사하거나 낮은 수준인 것으로 조사되었다.

그림 5. 대기 중  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단( $\gamma$ -HCH), 엔도설판의 공간 농도분포



## ● 산업용물질

### ▮ 종합

- 산업용 물질은 브롬화난연제 3종과 과불화화합물 2종에 대해 조사하였다.
- 브롬화난연제는 폴리브롬화디페닐에테르( $\Sigma$  PBDEs) 중 테트라브로모디페닐에테르와 펜타브로모디페닐에테르(tetra-/penta-BDE), 헥사브로모디페닐에테르와 헵타브로모디페닐에테르(hexa-/hepta-BDE) 및 헥사브로모비페닐(HBB)에 대해 조사하였으며,
- 과불화화합물은 과불화옥탄술폰산(PFOS)과 과불화옥탄산(PFOA)에 대해 실태 조사를 수행하였다.

### ▮ 브롬화난연제(폴리브롬화디페닐에테르, 헥사브로모비페닐)

- 브롬화난연제 중 tetra-/penta-BDE와 hexa-/hepta-BDE의 각 환경매질별 연평균 농도는 대기가 2.197 pg/Sm<sup>3</sup>과 0.747 pg/Sm<sup>3</sup>, 토양이 0.451 ng/g과 0.372 ng/g, 하천/호소수가 0.006 ng/L과 0.006 ng/L, 퇴적물이 0.164 ng/g과 0.056 ng/g으로 조사되었다.

- 헥사브로모비페닐의 연평균 농도수준은 숲 환경매질에서 검출한계 미만인 것으로 확인되었다.

그림 6. 환경매질별 tetra-/penta-BDE 농도의 공간분포

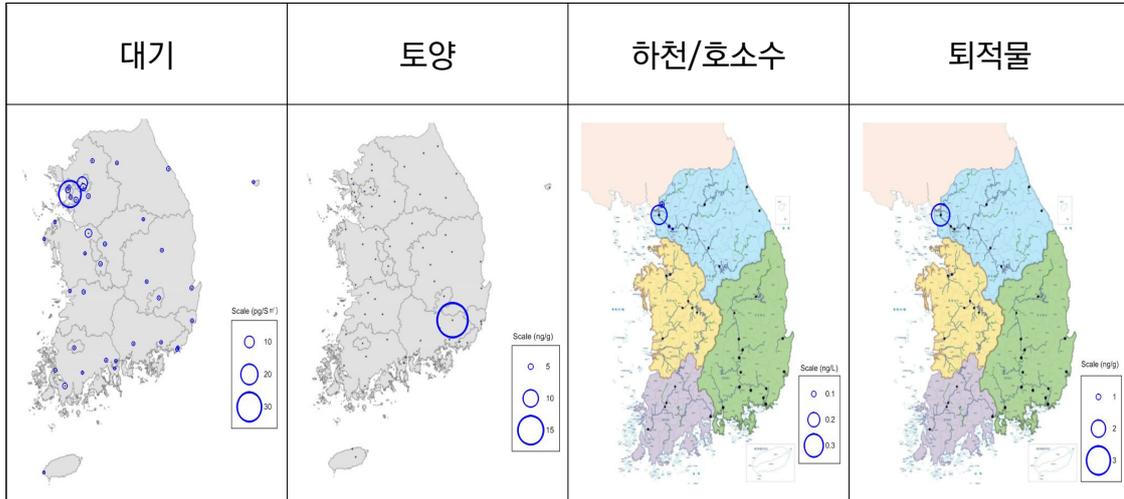
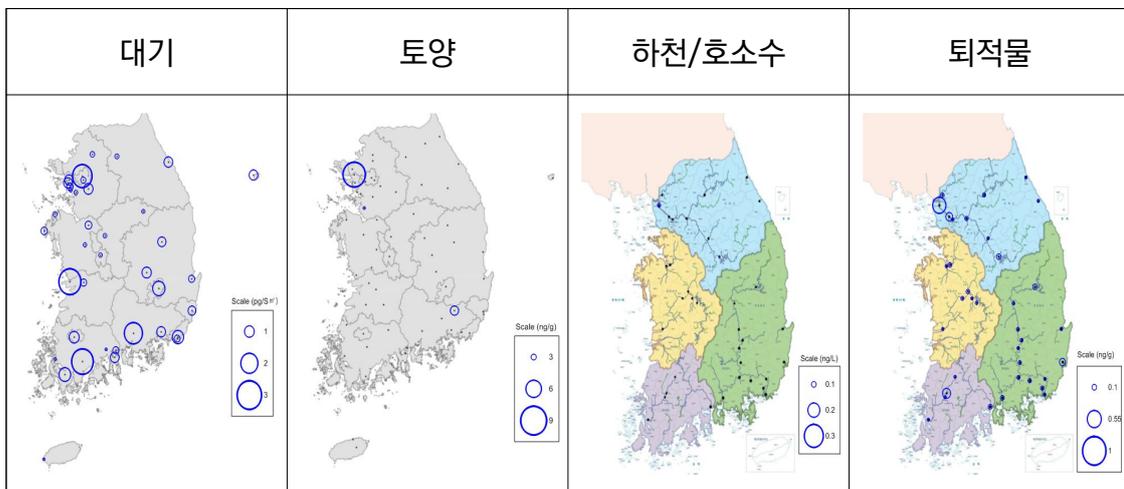


그림 7. 환경매질별 hexa-/hepta-BDE 농도의 공간분포



## 과불화화합물(과불화옥탄술폰산, 과불화옥탄산)

- 환경대기 중 과불화옥탄술폰산 및 과불화옥탄산의 연평균 농도는 숲 측정지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.
- 그 외 환경매질 중에서 과불화옥탄술폰산 및 과불화옥탄산의 연평균 농도는 토양에서 각각 0.085 ng/g, 0.079 ng/g, 하천/호소수에서 각각 불검출(N.D.) 및

35.447 ng/L, 퇴적물에서 각각 0.015 ng/g 및 불검출(N.D.)로 조사되었다.  
 - 여러 수계 중에서도 금강 및 낙동강수계의 하천/호소수에서 과불화옥탄산이 주로 검출된 것으로 파악되었다.

그림 8. 환경매질별 과불화옥탄술폰산의 농도분포 특성

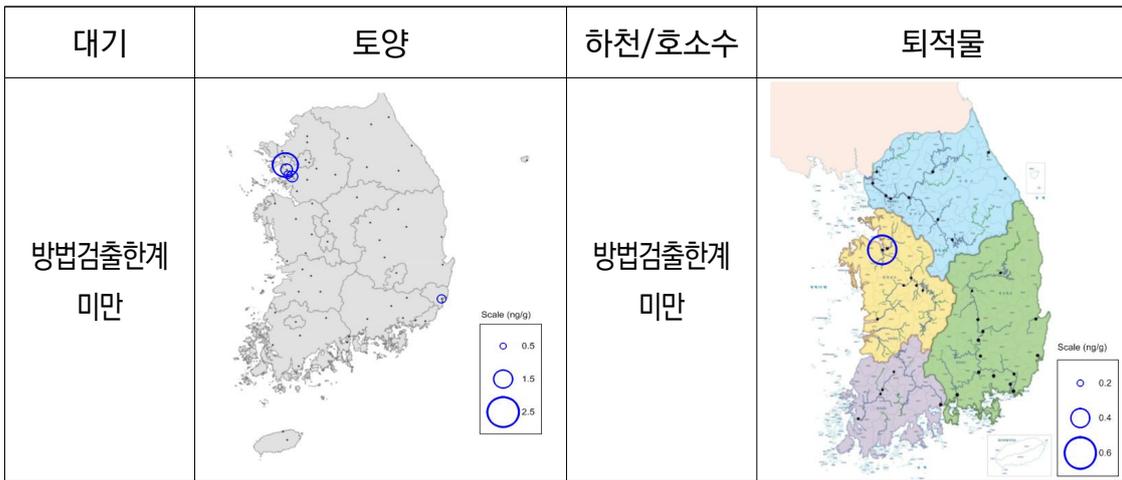
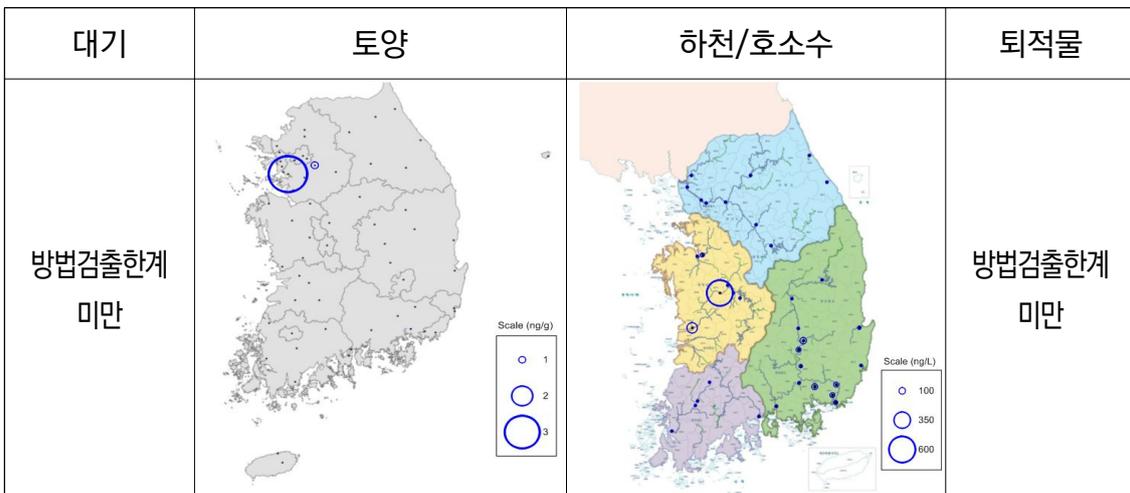


그림 9. 환경매질별 과불화옥탄산의 농도분포 특성



# 목차





# 목 차

I. 서 론 .....	1
1. 추진배경 및 목적 .....	3
2. 추진개요 .....	6
II. 측정망 조사내용 및 방법 .....	7
1. 잔류성유기오염물질 측정망 운영현황 .....	9
2. 조사지점별 현황 .....	10
2.1. 시료채취지점 .....	10
2.2. 시료채취 .....	13
2.2.1. 대기시료 .....	14
2.2.2. 토양시료 .....	15
2.2.3. 수질시료 .....	16
2.2.4. 퇴적물시료 .....	17
3. 분석항목 및 분석방법 .....	28
3.1. 분석항목 .....	28
3.2. 분석방법 .....	35
3.2.1. 추    출 .....	35
3.2.2. 정    제 .....	41
3.3. 기기분석 .....	51
III. 측정망 정도관리 결과 .....	57
1. 측정망 분석기관의 정도관리 개요 .....	59
2. 측정망 분석기관의 내부 정도관리 .....	59

2.1. 분석기기 검정곡선 점검결과 .....	59
2.2. 방법검출한계 .....	63
2.3. 정량한계 .....	68
2.4. 바탕시료 측정 .....	72
2.4.1. 현장 바탕시료 (Field Blank) .....	72
2.4.2. 유리 기구류 바탕시료 (Glassware Blank) .....	72
2.4.3. 실험실 바탕시료 (Laboratory Method Blank) .....	72
2.5. 정확도 확인 .....	73
2.6. 정밀도 확인 .....	76
<b>3. 측정망 분석기관의 외부 정도관리 .....</b>	<b>80</b>
3.1. 인증표준물질 분석결과 .....	80
3.1.1. 공정부산물 .....	80
3.1.2. 유기염소계농약류 .....	82
3.1.3. 산업용 물질 .....	83
3.2. 환경매체별 중복시료의 교차분석 결과 .....	84
3.2.1. 공정부산물 .....	84
3.2.2. 유기염소계농약류 .....	86
3.2.3. 산업용 물질 .....	87
<b>IV. 측정망 실태조사 결과 .....</b>	<b>89</b>
1. 공정부산물 .....	91
1.1. 다이옥신/푸란류 .....	93
1.1.1. 환경대기 중 다이옥신/푸란류 농도 .....	93
가) 환경대기 중 연간, 계절별 다이옥신/푸란류 농도 .....	93
나) 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 지역별 농도분포 .....	95

다) 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 용도별 농도 ..... 97

라) 환경대기 중 다이옥신/푸란류 농도수준비교 ..... 99

1.1.2. 토양 중 다이옥신/푸란류 농도 ..... 101

가) 토양 중 연간 다이옥신/푸란류 농도 ..... 101

나) 토양 중 다이옥신/푸란류 지역별 농도 ..... 102

다) 토양 중 다이옥신/푸란류의 용도별 농도 ..... 105

라) 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도수준 비교 ..... 106

1.1.3. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류 농도 ..... 108

가) 하천/호소수 중 연간 농도 ..... 108

나) 하천/호소수 중 수계별 농도 ..... 109

다) 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도 수준 비교 ..... 111

1.1.4. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류 농도 ..... 112

가) 퇴적물 중 다이옥신/푸란류 연간 농도 ..... 112

나) 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 수계별 농도 ..... 113

다) 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도 수준 비교 ..... 116

1.2. 폴리클로리네이티드비페닐 ..... 117

1.2.1. 환경대기 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도 ..... 117

가) 환경대기 중 연간, 계절별 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 농도 ..... 117

나) 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 지역별 농도 ..... 120

다) 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도수준 비교 ..... 122

1.2.2. 토양 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도 ..... 123

1.2.3. 하천/호소수 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도 ..... 124

1.2.4. 퇴적물 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도 ..... 125

1.3. 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 ..... 126

1.3.1. 환경대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도 ..... 126

가) 개요 .....	126
나) 환경대기 중 연간, 계절별 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도 .....	126
다) 환경대기 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 지역별 농도분포 .....	130
라) 환경대기 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 용도별 농도분포 .....	134
마) 환경대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도수준비교 .....	136
1.3.2. 토양 중 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 농도분포 .....	137
가) 토양 중 연간 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 농도 .....	137
나) 토양 중 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 지역별 농도분포 .....	139
다) 토지 용도별 농도비교 .....	142
라) 토양 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도수준 비교 .....	145
1.3.3. 수계 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도분포 .....	145
가) 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도분포 .....	145
나) 퇴적물 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도분포 .....	148
다) 퇴적물 중 수계별 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도분포 .....	152
다) 수계별 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도수준비교 .....	155
<b>2. 유기염소계농약류 .....</b>	<b>157</b>
2.1. 환경대기 중 유기염소계 농약류 농도 .....	159
2.1.1. 환경대기 중 드린류 (알드린, 디엘드린, 엔드린) 농도 .....	159
가) 개요 .....	159
나) 환경대기 중 알드린, 디엘드린, 엔드린의 연간, 계절별 농도분포 .....	159
다) 환경대기 중 알드린, 디엘드린, 엔드린의 지역별 농도분포 .....	163
라) 대기 중 용도지역별 농도 .....	168
마) 환경대기 중 드린류의 국가별 농도수준비교 .....	169
2.1.2. 환경대기 중 톡사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티 농도 .....	171
가) 개요 .....	171

나) 최근 3년간 환경대기 중 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티의 연간, 계절별 농도 ..... 172

다) 환경대기 중 지역별 농도 ..... 178

라) 환경대기 중 용도지역별 농도 ..... 184

마) 환경대기 중 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티 국가별 농도수준비교 .. 186

2.1.3. 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산 농도 ..... 188

가) 개요 ..... 188

나) 대기 중 연간, 계절별 농도 ..... 188

다) 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 지역별 농도 ..... 193

라) 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 용도지역별 농도분포 ..... 200

마) 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 국가별 농도수준 비교 ..... 203

2.1.4. 환경대기 중 엔도설펜 농도 ..... 204

가) 개요 ..... 204

나) 대기 중 연간, 계절별 농도 ..... 204

다) 환경대기 중 지역별 농도 ..... 206

라) 환경대기 중 용도별 농도 ..... 208

마) 환경대기 중 엔도설펜의 국가별 농도수준비교 ..... 209

2.2. 토양 중 유기염소계농약류 농도 ..... 211

2.2.1. 토양 중 엔도설펜 농도 ..... 211

가) 토양 중 엔도설펜 연간농도 ..... 211

나) 토양 중 엔도설펜 지역별 농도 ..... 212

다) 토지 용도별 엔도설펜 농도비교 ..... 215

라) 토양 중 엔도설펜의 농도 수준 국내외 비교 ..... 216

2.3. 수계 중 유기염소계농약류 농도 ..... 217

2.3.1. 수계 중 엔도설펜 농도 ..... 217

가) 하천/호소수 중 엔도설판 농도 .....	217
나) 퇴적물 중 엔도설판 농도 .....	220
다) 수계 중 엔도설판 농도수준비교 .....	223
<b>3. 산업용물질 .....</b>	<b>225</b>
3.1. 브롬화난연제 농도 .....	227
3.2.1 환경대기 중 브롬화난연제 농도 .....	227
가) 개요 .....	227
나) 최근 3년간 환경대기 중 브롬화난연제 농도분포 .....	228
다) 환경대기 중 브롬화난연제 지역별 농도 .....	231
다) 대기 중 용도별 농도 .....	236
라) 대기 중 브롬화난연제 농도수준비교 .....	238
3.2.2. 토양 중 브롬화난연제 농도 .....	240
가) 토양 중 브롬화난연제 농도 .....	240
나) 토양 중 브롬화난연제 지역별 농도 .....	242
다) 토지 용도별 농도비교 .....	246
라) 토양 중 브롬화난연제의 농도 수준 국내외 비교 .....	247
3.2.3. 수계 중 브롬화난연제 농도 .....	249
가) 하천/호소수 중 브롬화난연제 농도 .....	249
나) 하천/호소수 중 브롬화난연제의 농도 수준 국내외 비교 .....	253
3.2.4. 퇴적물 중 브롬화난연제 농도 .....	255
가) 퇴적물 중 브롬화난연제 농도 .....	255
나) 퇴적물 중 브롬화난연제의 농도 수준 국내외 비교 .....	262
3.2. 과불화화합물 농도 .....	264
3.2.1 대기 중 과불화화합물 농도 .....	264
가) 개요 .....	264

나) 최근 3년간 환경대기 중 연간, 계절별 과불화화합물 농도 .....	264
3.2.3. 토양 중 과불화화합물 농도 .....	266
3.2.4. 수계 중 과불화화합물 농도 .....	269
3.2.5. 환경매질 중 과불화화합물 농도수준 국내외 비교 .....	273
VI. 참고문헌 .....	277
VII. 부    록 .....	307
1. 공정부산물 .....	309
2. 유기염소계 농약류 .....	319
3. 산업용물질 .....	329
4. 시료채취정보 .....	341

## 표 목차

### I. 서 론

표 I-1-1. 잔류성유기오염물질관리법 .....	4
표 I-1-2. 스톡홀름협약에 등재된 잔류성유기오염물질 현황 .....	5
표 I-1-3. 잔류성유기오염물질 측정망 운영체계 .....	6

### II. 측정망 내용 및 방법

표 II-1-1. 조사내용 .....	9
표 II-2-1. 대기 및 토양 매체의 시도별 조사지점 현황 .....	10
표 II-2-2. 수질 및 퇴적물 매체의 수계별 조사지점 현황 .....	10
표 II-2-3. 측정지점 변경 및 조정 내역 .....	11
표 II-2-4. 토양매체의 측정지점명 변경내역 .....	11
표 II-2-5. 대기 천안지점 측정소 현황 .....	13
표 II-2-6. 잔류성유기오염물질측정망 대기 조사지점(38개소) .....	18
표 II-2-7. 잔류성유기오염물질측정망 토양 조사지점(61개소) .....	21
표 II-2-8. 잔류성유기오염물질측정망 수질·퇴적물 조사지점(36개소) .....	25
표 II-3-1. 잔류성유기오염물질관리법 시행령 제2조 및 별표 1 .....	30
표 II-3-2. 측정항목(다이옥신/푸란) 세부사항 .....	31
표 II-3-3. 측정항목(코플라나 폴리클로리네이티드비페닐) 세부사항 .....	32
표 II-3-4. 측정항목(인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐) 세부사항 .....	32
표 II-3-5. 측정항목(펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠) 세부사항 .....	33
표 II-3-6. 측정항목(유기염소계농약류)에 대한 세부사항 .....	33
표 II-3-7. 측정항목(브롬화난연제)에 대한 세부사항 .....	34
표 II-3-8. 과불화화합물에 대한 세부사항 .....	34
표 II-3-9. 항목별 적용분석방법 및 분석기기 .....	51
표 II-3-10. HRGC/HRMS 기기분석조건 (다이옥신/푸란) .....	52
표 II-3-11. HRGC/HRMS 기기분석조건 (코플라나 폴리클로리네이티드비페닐) .....	52
표 II-3-12. HRGC/LRMS 기기분석조건 (인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐) .....	53
표 II-3-13. HRGC/HRMS 기기분석조건 (유기염소계농약류) .....	53
표 II-3-14. HRGC/HRMS 기기분석조건 (엔도설판) .....	54

표 II-3-15. HRGC/LRMS 기기분석조건 (독사펜) .....54  
 표 II-3-16. LC/MS/MS 기기분석조건 (PFOS, PFOA) .....55  
 표 II-3-17. HRGC/HRMS 기기분석조건 (PBDEs, HBB) .....55

### III. 측정망 정도관리 결과

표 III-2-1. 분석자료 검증항목별 세부내용 .....60  
 표 III-2-2. 공정부산물(다이옥신/푸란, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐)의  
 HRGC/HRMS 및 검정곡선 점검결과 .....61  
 표 III-2-3. 공정부산물(인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐)의 HRGC/LRMS 및  
 검정곡선 점검결과 .....61  
 표 III-2-4. 유기염소계농약류(독사펜 제외)의 HRGC/HRMS 및 검정곡선 점검결과 .....61  
 표 III-2-5. 유기염소계농약류(독사펜)의 HRGC/LRMS 및 검정곡선 점검결과 .....62  
 표 III-2-6. 산업용물질 (과불화화합물)의 LC/MS/MS 및 검정곡선 점검결과 .....62  
 표 III-2-7. 산업용물질 (PBDEs, HBB)의 HRGC/HRMS 및 검정곡선 점검결과 .....62  
 표 III-2-8. 다이옥신/푸란 방법검출한계 .....64  
 표 III-2-9. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 방법검출한계 .....65  
 표 III-2-10. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐 방법검출한계 .....65  
 표 III-2-11. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 방법검출한계 .....66  
 표 III-2-12. 유기염소계농약류 방법검출한계 .....66  
 표 III-2-13. 유기염소계농약류(독사펜) 방법검출한계 .....67  
 표 III-2-14. 브롬화난연제 방법검출한계 .....67  
 표 III-2-15. 과불화화합물 방법검출한계 .....67  
 표 III-2-16. 다이옥신/푸란 정량한계 .....68  
 표 III-2-17. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 정량한계 .....69  
 표 III-2-18. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐 정량한계 .....69  
 표 III-2-19. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 정량한계 .....70  
 표 III-2-20. 유기염소계농약류 정량한계 .....70  
 표 III-2-21. 유기염소계농약류(독사펜) 정량한계 .....70  
 표 III-2-22. 브롬화난연제 정량한계 .....71  
 표 III-2-23. 과불화화합물 정량한계 .....71  
 표 III-2-24. 다이옥신/푸란의 분석 정확도 .....73

표 III-2-25. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 분석 정확도	74
표 III-2-26. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(7종)의 분석 정확도	74
표 III-2-27. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠의 분석 정확도	74
표 III-2-28. 유기염소계농약류의 분석 정확도	75
표 III-2-29. 유기염소계농약류(독사펜)의 분석 정확도	75
표 III-2-30. 브롬화난연제 분석 정확도	75
표 III-2-31. 과불화화합물 분석 정확도	76
표 III-2-32. 다이옥신/푸란의 분석 정밀도	76
표 III-2-33. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 분석 정밀도	77
표 III-2-34. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(7종)의 분석 정밀도	77
표 III-2-35. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠의 분석 정밀도	77
표 III-2-36. 유기염소계농약류의 분석 정밀도	78
표 III-2-37. 브롬화난연제 분석 정밀도	79
표 III-2-38. 과불화화합물 분석 정밀도	79
표 III-3-1. 2017년 다이옥신/푸란 및 코플라나폴리클로리네이티드비페닐 인증표준물질 분석결과	81
표 III-3-2. 2017년 유기염소계 농약류 인증표준물질 분석결과	82
표 III-3-3. 2017년 폴리브로모디페닐에테르 인증표준물질 분석결과	83

## IV. 측정망 실태조사 결과

### 1. 공정부산물

표 IV-1-1. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 계절 및 연평균 농도	94
표 IV-1-2. 환경대기 시료 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('08~'17)	95
표 IV-1-3. 시도별 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 평균농도	96
표 IV-1-4. 환경대기 시료 중 연도별 용도별 다이옥신/푸란류의 평균농도	98
표 IV-1-5. 외국의 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 농도	100
표 IV-1-6. 토양 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도현황 ('08~'17)	102
표 IV-1-7. 시도별 토양 중 다이옥신/푸란류의 평균농도	103
표 IV-1-8. 외국의 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도	107
표 IV-1-9. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류 수계별 농도 ('15~'17)	108
표 IV-1-10. 외국의 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도수준 비교	111

표 IV-1-11. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류 수계별 농도 .....112

표 IV-1-12. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도수준 비교 .....116

표 IV-1-13. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 계절 및 연평균 농도 .....118

표 IV-1-14. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도현황 ('08~'17) .....118

표 IV-1-15. 대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 시·도별 연평균 농도 .....120

표 IV-1-16. 대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도수준 비교 .....122

표 IV-1-17. 토양 중 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17) .....123

표 IV-1-18. 하천/호소수 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17) ·124

표 IV-1-19. 하천/호소수 중 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17) ·124

표 IV-1-20. 퇴적물 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17) ·125

표 IV-1-21. 퇴적물 중 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17) ·125

표 IV-1-22. 환경대기 중 연도별 펜타클로로벤젠의 계절 및 연평균 농도분포 .....127

표 IV-1-23. 환경대기 중 연도별 헥사클로로벤젠의 계절 및 연평균 농도분포 .....128

표 IV-1-24. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('13~'17) .....128

표 IV-1-25. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17) .....128

표 IV-1-26. 시도별 대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 평균농도 .....130

표 IV-1-27. 최근 3년간 대기 시료 중 연도별 용도지역별 펜타클로로벤젠의 평균농도 .....134

표 IV-1-28. 최근 3년간 대기 시료 중 연도별 용도지역별 헥사클로로벤젠의 평균농도 .....134

표 IV-1-29. 외국의 대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도수준 비교 .....136

표 IV-1-30. 토양시료 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('13~'17) .....137

표 IV-1-31. 토양시료 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17) .....137

표 IV-1-32. 시도별 토양 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 평균농도 분포 .....139

표 IV-1-33. 토양 시료 중 연도별 용도별 펜타클로로벤젠의 평균농도 .....143

표 IV-1-34. 토양 시료 중 연도별 용도별 헥사클로로벤젠의 평균농도 .....143

표 IV-1-35. 외국의 토양 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도분포 현황 .....145

표 IV-1-36. 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠의 수계별 평균농도분포 현황 .....146

표 IV-1-37. 하천/호소수 중 헥사클로로벤젠의 수계별 평균농도분포 현황 .....147

표 IV-1-38. 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('13~'17) .....147

표 IV-1-39. 하천/호소수 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('08~'17) .....147

표 IV-1-40. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 수계별 농도분포 현황 .....149

표 IV-1-41. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 수계별 농도분포 현황 .....149

표 IV-1-42. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('13~'17) .....150  
 표 IV-1-43. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('08~'17) .....150  
 표 IV-1-44. 외국의 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도분포 현황 .....156  
 표 IV-1-45. 외국의 퇴적물 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도분포 현황 .....156

## 2. 유기염소계농약류

표 IV-2-1. 알드린, 디엘드린, 엔드린의 주요용도 및 규제현황 .....159  
 표 IV-2-2. 환경대기 중 알드린의 농도 ('15~'17) .....160  
 표 IV-2-3. 환경대기 중 디엘드린의 농도 ('15~'17) .....160  
 표 IV-2-4. 환경대기 중 엔드린의 농도 ('15~'17) .....161  
 표 IV-2-5. 시도별 환경대기 중 드린류의 연평균 농도분포 .....163  
 표 IV-2-6. 최근 3년간 환경대기 시료 중 연도별 용도지역별 드린류의 평균농도 .....168  
 표 IV-2-7. 환경대기 중 드린류의 국가별 농도수준 비교 .....170  
 표 IV-2-8. 알드린, 디엘드린, 엔드린의 주요용도 및 규제현황 .....171  
 표 IV-2-9. 환경대기 중 독사펜의 농도분포 현황 .....173  
 표 IV-2-10. 환경대기 중 헵타클로르의 농도분포 현황 .....174  
 표 IV-2-11. 환경대기 중 미렉스의 농도분포 현황 .....175  
 표 IV-2-12. 환경대기 중 클로르데인의 농도분포 현황 .....176  
 표 IV-2-13. 환경대기 중 디디티의 농도분포 현황 .....177  
 표 IV-2-14. 시도별 환경대기 중 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티의 연평균 농도분포 현황 ...178  
 표 IV-2-15. 환경대기 시료 중 헵타클로르, 클로르데인, 디디티의 용도지역별 연평균 농도분포 현황 184  
 표 IV-2-16. 환경대기 중 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티의 국가별 농도수준 비교 .....187  
 표 IV-2-17. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 농도분포 현황 .....189  
 표 IV-2-18. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 농도분포 현황 .....189  
 표 IV-2-19. 환경대기 중 린단의 농도분포 현황 .....190  
 표 IV-2-20. 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산류( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단의 합)의 농도분포 현황 ..190  
 표 IV-2-21. 시도별 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 연평균 농도분포 .....193  
 표 IV-2-22. 환경대기 시료 중 헥사클로로사이클로헥산의 용도지역별 연평균 농도분포 .....200  
 표 IV-2-23. 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 국가별 농도수준 비교 .....203  
 표 IV-2-24. 환경대기 중 엔도설판의 농도 .....205  
 표 IV-2-25. 시도별 환경대기 중 엔도설판의 연평균 농도분포 .....206

표 IV-2-26. 환경대기 시료 중 엔도설판의 용도지역별 연평균 농도분포 .....209

표 IV-2-27. 환경대기 중 엔도설판의 국가별 농도수준 비교 .....210

표 IV-2-28 토양 중 엔도설판의 농도 .....211

표 IV-2-29. 시도별 토양 중 엔도설판의 연평균 농도분포 .....214

표 IV-2-30. 외국의 토양 중 엔도설판의 농도 .....216

표 IV-2-31. 수계별 하천/호소수 중 엔도설판의 연평균 농도분포 .....217

표 IV-2-32. 퇴적물 중 엔도설판의 수계별 평균농도분포 .....220

표 IV-2-33. 하천/호소수 중 엔도설판의 국가별 농도수준 비교 .....223

표 IV-2-34. 국가별 엔도설판의 수질기준 .....224

표 IV-2-35. 퇴적물 중 엔도설판의 국가별 농도수준 비교 .....224

### 3. 산업용물질

표 IV-3-1. 환경대기 중 브롬화난연제(tetra-/penta-BDE)의 농도분포 .....230

표 IV-3-2. 환경대기 중 브롬화난연제(hexa-/hepta-BDE)의 농도분포 .....230

표 IV-3-3. 환경대기 중 브롬화난연제(HBB)의 농도분포 .....231

표 IV-3-4. 시도별 환경대기 중 브롬화난연제의 연평균 농도분포 .....234

표 IV-3-5. 용도지역별 환경대기 중 브롬화난연제의 연평균 농도분포 .....236

표 IV-3-6. 환경대기 중 브롬화난연제의 국가별 농도수준 비교 .....239

표 IV-3-7 토양 중 브롬화난연제 연평균 농도분포 현황 .....240

표 IV-3-8. 시도별 토양 중 브롬화난연제의 연평균 농도분포 .....244

표 IV-3-9. 토양 중  $\Sigma$ PBDEs의 국가별 농도수준 비교 .....248

표 IV-3-10. 수계별 하천/호소수 중 tetra-/penta-BDE 수계별 연평균 농도분포 .....249

표 IV-3-11. 하천/호소수 중 hexa-/hepta-BDE의 수계별 평균농도 .....250

표 IV-3-12. 하천/호소수 중 HBB의 수계별 평균농도 .....250

표 IV-3-13. 하천/호소수 중 브롬화난연제의 국가별 농도수준 비교 .....254

표 IV-3-14. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 연평균 농도분포 .....255

표 IV-3-15. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 연평균 농도분포 .....256

표 IV-3-16. 퇴적물 중 HBB의 연평균 농도분포 .....256

표 IV-3-17. 퇴적물 시료 중 폴리브롬화디페닐에테르의 국가별 농도수준 비교 .....262

표 IV-3-18. 캐나다 수질 및 퇴적물 중  $\Sigma$ PBDEs 가이드라인 .....263

표 IV-3-19. 환경대기 중 과불화옥탄술폰산 (PFOS) 농도분포 .....265

표 IV-3-20. 환경대기 중 과불화옥탄산 (PFOA) 농도 .....265  
 표 IV-3-21. 토양 중 과불화화합물(PFOS, PFOA) 농도분포 .....266  
 표 IV-3-22. 하천/호소수 중 과불화화합물의 연평균 농도분포 .....269  
 표 IV-3-23. 퇴적물 중 과불화화합물의 연평균 농도분포 .....270  
 표 IV-3-24. 환경 매질별 과불화화합물의 국가별 농도수준 비교 .....274  
 표 IV-3-25. 국가별 과불화화합물의 수질 관리기준 .....275

## VI. 부 록

### 1. 공정부산물

표 VI-1-1. 대기 중 다이옥신/퓨란의 지점별 농도 .....311  
 표 VI-1-2. 대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 지점별 농도 .....312  
 표 VI-1-3. 대기 중 펜타클로로벤젠의 지점별 농도 .....313  
 표 VI-1-4. 대기 중 헥사클로로벤젠의 지점별 농도 .....314  
 표 VI-1-5. 토양 중 공정부산물의 지점별 농도 .....315  
 표 VI-1-6. 하천/호소수 중 공정부산물의 지점별 농도 .....317  
 표 VI-1-7. 퇴적물 중 공정부산물의 지점별 농도 .....318

### 2. 유기염소계농약류

표 VI-2-1. 대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 엔드린)의 지점별 연평균 농도 .....321  
 표 VI-2-2. 대기 중 독사펜, 헵타클로르, 미렉스의 지점별 연평균 농도 .....322  
 표 VI-2-3. 대기 중 클로르데인, 디디티, 엔도설판의 지점별 연평균 농도 .....323  
 표 VI-2-4. 대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 지점별 연평균 농도 .....324  
 표 VI-2-5. 토양 중 독사펜, 엔도설판 지점별 농도 .....325  
 표 VI-2-6. 하천/호소수 중 독사펜, 엔도설판의 지점별 연평균 농도 .....326  
 표 VI-2-7. 퇴적물 중 독사펜, 엔도설판의 지점별 연평균 농도 .....327

### 3. 산업용물질

표 VI-3-1. 대기 중 브롬화난연제의 지점별 연평균 농도 .....331  
 표 VI-3-2. 대기 중 과불화화합물의 지점별 연평균 농도 .....332  
 표 VI-3-3. 토양 중 브롬화난연제 지점별 농도 .....333  
 표 VI-3-4. 토양 중 과불화화합물 지점별 농도 .....335  
 표 VI-3-5. 하천/호소수 중 브롬화난연제의 지점별 농도 .....336

표 VI-3-6. 하천/호소수 중 과불화화합물의 지점별 농도 .....337

표 VI-3-7. 퇴적물 중 브롬화난연제의 지점별 농도 .....338

표 VI-3-8. 퇴적물 중 과불화화합물의 지점별 농도 .....339

**4. 시료채취정보**

표 VI-4-1. 봄 대기 시료채취기간 중 기상정보 .....343

표 VI-4-2. 가을 대기 시료채취기간 중 기상정보 .....346

표 VI-4-3. 대기 시료채취기간 중 일반대기오염물질 정보 (봄) .....349

표 VI-4-4. 대기 시료채취기간 중 일반대기오염물질 정보 (가을) .....351

표 VI-4-5. 토양 시료채취정보 .....353

표 VI-4-6. 하천/호소수 시료채취정보 .....355

## 그림목차

### II. 측정망 내용 및 방법

그림 II-2-1. 잔류성유기오염물질 측정망 대기 조사지점도	20
그림 II-2-2. 잔류성유기오염물질 측정망 토양 조사지점도	24
그림 II-2-3. 잔류성유기오염물질 측정망 수질·퇴적물 조사지점도	27
그림 II-3-1. 대기시료의 잔류성유기오염물질 추출방법	36
그림 II-3-2. 토양/퇴적물 시료의 잔류성유기오염물질 추출방법	39
그림 II-3-3. 하천 및 호소수 시료의 잔류성유기오염물질 추출방법	40
그림 II-3-4. 다이옥신/푸란 시료 정제방법	42
그림 II-3-5. 폴리클로리네이티드비페닐 시료 정제방법	44
그림 II-3-6. 유기염소계농약류 시료 정제방법	46
그림 II-3-7. 유기염소계농약류(독사펜) 시료 정제방법	47
그림 II-3-8. 과불화화합물 시료 정제방법	48
그림 II-3-9. 브롬화난연제(PBDEs, HBB) 시료 정제방법	50

### III. 측정망 정도관리 결과

그림 III-3-1. 다이옥신/푸란의 매체별 시료 교차분석결과 비교 그래프 ('17)	85
그림 III-3-2. 코플라나폴리클로리네이티드비페닐의 대기시료 교차분석결과 비교 그래프 ('17)	85
그림 III-3-3. 유기염소계농약류의 대기시료 교차분석결과 비교 그래프 ('17)	86
그림 III-3-4. 폴리브로모디페닐에테르의 매체별 교차시료 분석결과 비교 그래프 ('17)	87
그림 III-3-5. 과불화화합물의 매체별 교차시료 분석결과 비교 그래프 ('17)	88

### IV. 측정망 실태조사 결과

#### 1. 공정부산물

그림 IV-1-1. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('08~'17)	94
그림 IV-1-2. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17)	95

그림 IV-1-3. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 ('17) .....97

그림 IV-1-4. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 용도지역별 농도분포 ('17) .....98

그림 IV-1-5. 토양 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('08~'17) .....101

그림 IV-1-6. 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17) .....102

그림 IV-1-7. 토양 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 ('17) .....104

그림 IV-1-8. 토양 중 다이옥신/푸란류의 용도별 농도비교 ('17) .....105

그림 IV-1-9. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('14~'17) .....109

그림 IV-1-10. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17) .....110

그림 IV-1-11. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 ('17) .....110

그림 IV-1-12. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('14~'17) .....113

그림 IV-1-13. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 수계별 농도분포 ('17) .....114

그림 IV-1-14. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17) .....114

그림 IV-1-15. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 ('17) .....115

그림 IV-1-16. 환경대기 중 코플라나 폴리크로리네이티드비페닐의 농도분포 ('08~'17) .....119

그림 IV-1-17. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도분포 ('15~'17) .....119

그림 IV-1-18. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 공간분포 ('17) .....121

그림 IV-1-19. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('13~'17) .....129

그림 IV-1-20. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('08~'17) .....129

그림 IV-1-21. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 공간 농도분포 ('17) .....131

그림 IV-1-22. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 공간 농도분포 ('17) .....132

그림 IV-1-23. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17) .....133

그림 IV-1-24. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17) .....133

그림 IV-1-25. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17) .....135

그림 IV-1-26. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17) .....135

그림 IV-1-27. 토양시료 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('13~'17) .....138

그림 IV-1-28. 토양시료 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('08~'17) .....138

그림 IV-1-29. 토양 중 펜타클로로벤젠 농도의 공간분포 ('17) .....140

그림 IV-1-30. 토양 중 헥사클로로벤젠 농도의 공간분포 ('17) .....141

그림 IV-1-31. 토양 중 펜타클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17) .....142

그림 IV-1-32. 토양 중 헥사클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17) .....142

그림 IV-1-33. 토양 중 펜타클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17) .....144

그림 IV-1-34. 토양 중 헥사클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17) .....144  
 그림 IV-1-35. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('13~'17) .....151  
 그림 IV-1-36. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('08~'17) .....151  
 그림 IV-1-37. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠 농도의 공간분포 ('17) .....152  
 그림 IV-1-38. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠 농도의 공간분포 ('17) .....153  
 그림 IV-1-39. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 수계별 농도분포 ('17) .....154  
 그림 IV-1-40. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 수계별 농도분포 ('17) .....154

## 2. 유기염소계농약류

그림 IV-2-1. 환경대기 중 알드린의 농도분포('15~'17) .....161  
 그림 IV-2-2. 환경대기 중 디엘드린의 농도분포('15~'17) .....162  
 그림 IV-2-3. 환경대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 앤드린)의 농도분포('15~'17) .....162  
 그림 IV-2-4. 환경대기 중 알드린 농도의 공간분포 ('17) .....164  
 그림 IV-2-5. 환경대기 중 디엘드린 농도의 공간분포 ('17) .....165  
 그림 IV-2-6. 환경대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 앤드린 합) 농도의 공간분포 ('17) .....166  
 그림 IV-2-7. 환경대기 중 알드린의 농도분포 현황('15~'17) .....167  
 그림 IV-2-8. 환경대기 중 디엘드린의 농도분포 현황('15~'17) .....167  
 그림 IV-2-9. 환경대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 앤드린 합)의 농도분포 현황('15~'17) .....168  
 그림 IV-2-10. 환경대기 중 용도지역별 드린류의 농도분포('17) .....169  
 그림 IV-2-11. 환경대기 중 헵타클로르의 농도분포('15~'17) .....174  
 그림 IV-2-12. 환경대기 중 미렉스의 농도분포('15~'17) .....175  
 그림 IV-2-13. 환경대기 중 클로르데인의 농도분포('15~'17) .....176  
 그림 IV-2-14. 환경대기 중 디디티의 농도분포('15~'17) .....177  
 그림 IV-2-15. 환경대기 중 헵타클로르 농도의 공간분포 ('17) .....179  
 그림 IV-2-16. 환경대기 중 클로르데인 농도의 공간분포 ('17) .....180  
 그림 IV-2-17. 환경대기 중 디디티 농도의 공간분포 ('17) .....181  
 그림 IV-2-18. 환경대기 중 헵타클로르의 농도분포('15~'17) .....182  
 그림 IV-2-19. 환경대기 중 미렉스의 농도분포('15~'17) .....182  
 그림 IV-2-20. 환경대기 중 클로르데인의 농도분포('15~'17) .....183  
 그림 IV-2-21. 환경대기 중 디디티의 농도분포('15~'17) .....183  
 그림 IV-2-22. 환경대기 중 헵타클로르의 용도지역별 농도분포('17) .....185  
 그림 IV-2-23. 환경대기 중 클로르데인의 용도지역별 농도분포('17) .....185

그림 IV-2-24. 환경대기 중 디디티의 용도지역별 농도분포 ('17) .....186

그림 IV-2-25. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 농도분포 ('15~'17) .....191

그림 IV-2-26. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 농도분포 ('15~'17) .....191

그림 IV-2-27. 환경대기 중 린단의 농도분포 ('15~'17) .....192

그림 IV-2-28. 환경대기 중  $\Sigma$ HCH( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단의 합) 농도분포 ('15~'17) .....192

그림 IV-2-29. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH 농도의 공간분포 ('17) .....194

그림 IV-2-30. 환경대기 중  $\beta$ -HCH 농도의 공간분포 ('17) .....195

그림 IV-2-31. 환경대기 중 린단 농도의 공간분포 ('17) .....196

그림 IV-2-32. 환경대기 중  $\Sigma$ HCH( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단의 합) 농도의 공간분포 ('17) .....197

그림 IV-2-33. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 농도분포 ('15~'17) .....198

그림 IV-2-34. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 농도분포 ('15~'17) .....198

그림 IV-2-35. 환경대기 중 린단의 농도분포 ('15~'17) .....199

그림 IV-2-36. 환경대기 중  $\Sigma$ HCH( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단의 합)의 농도분포 ('15~'17) .....199

그림 IV-2-37. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 용도지역별 농도분포 ('17) .....201

그림 IV-2-38. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 용도지역별 농도분포 ('17) .....201

그림 IV-2-39. 환경대기 중 린단의 용도지역별 농도분포 ('17) .....202

그림 IV-2-40. 환경대기 중 린단의 용도지역별 농도분포 ('17) .....202

그림 IV-2-41. 환경대기 중 엔도설판의 농도분포 ('15~'17) .....205

그림 IV-2-42. 환경대기 중 엔도설판 농도의 공간분포 ('17) .....207

그림 IV-2-43. 대기 중 엔도설판의 농도분포 ('15~'17) .....208

그림 IV-2-44. 환경대기 중 엔도설판의 용도지역별 농도분포 ('15~'17) .....209

그림 IV-2-45. 토양 중 엔도설판의 연도별 농도분포 ('15~'17) .....212

그림 IV-2-46. 토양 중 엔도설판 농도의 공간분포 ('17) .....213

그림 IV-2-47. 토양 중 엔도설판의 농도분포 ('15~'17) .....214

그림 IV-2-48. 토양 중 엔도설판의 용도지역별 농도분포 ('17) .....215

그림 IV-2-49. 하천/호소수 중 엔도설판의 연도별 농도분포 ('15~'17) .....218

그림 IV-2-50. 하천/호소수 중 엔도설판의 수계별 농도분포 ('14~'16) .....218

그림 IV-2-51. 하천/호소수 중 엔도설판의 공간분포 ('17) .....219

그림 IV-2-52. 퇴적물 중 엔도설판의 연도별 농도분포 ('15~'17) .....221

그림 IV-2-53. 퇴적물 중 엔도설판의 수계별 농도분포 ('17) .....221

그림 IV-2-54. 퇴적물 중 엔도설판 농도의 공간분포 ('17) .....222

### 3. 산업용물질

그림 IV-3-1. 환경대기 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('15~'17)	229
그림 IV-3-2. 환경대기 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('15~'17)	229
그림 IV-3-3. 환경대기 중 tetra-/penta-BDE농도의 공간분포 ('17)	232
그림 IV-3-4. 환경대기 중 hexa-/hepta-BDE농도의 공간분포 ('17)	233
그림 IV-3-5. 대기 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)	235
그림 IV-3-6. 대기 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)	235
그림 IV-3-7. 용도지역별 환경대기 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포('17)	237
그림 IV-3-8. 용도지역별 환경대기 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포('17)	237
그림 IV-3-9. 연도별 토양 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포('15~'17년)	241
그림 IV-3-10. 연도별 토양 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포('15~'17년)	241
그림 IV-3-11. 토양 중 tetra-/penta-BDE 농도의 공간분포('17)	242
그림 IV-3-12. 토양 중 hexa-/hepta-BDE 농도의 공간분포 ('17)	243
그림 IV-3-13. 토양 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)	245
그림 IV-3-14. 토양 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)	245
그림 IV-3-15. 토지용도지역별 tetra-/penta-BDE 농도 ('17)	246
그림 IV-3-16. 토지용도지역별 hexa-/hepta-BDE 농도 ('17)	247
그림 IV-3-17. 하천/호소수 중 tetra-/penta-BDE의 농도 ('15년~'17년)	251
그림 IV-3-18. 하천/호소수 중 hexa-/hepta-BDE의 농도 ('15년~'17년)	251
그림 IV-3-19. 하천/호소수 중 tetra-/penta-BDE농도의 공간분포 ('17)	252
그림 IV-3-20. 하천/호소수 중 hexa-/hepta-BDE농도의 공간분포 ('17)	253
그림 IV-3-21. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 농도 ('15~'17)	257
그림 IV-3-22. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 농도 ('15~'17)	257
그림 IV-3-23. 퇴적물 중 $\Sigma$ PBDE의 농도 ('15~'17)	258
그림 IV-3-24. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 공간분포 ('17)	259
그림 IV-3-25. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 공간분포 ('17)	260
그림 IV-3-26. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 수계별 농도분포 ('17)	261
그림 IV-3-27. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 수계별 농도분포 ('17)	261
그림 IV-3-28. 토양 중 PFOS의 공간분포 ('17)	267
그림 IV-3-29. 토양 중 PFOA의 공간분포('17)	268
그림 IV-3-30. 하천/호소수 중 PFOA의 공간분포 ('17)	271
그림 IV-3-31. 퇴적물 중 PFOS의 공간분포 ('17)	272

## 용어 설명





# 1. 용어설명

ANOVA : Analysis of Variance (일원배치분산분석)

BDE : Brominated Diphenyl ether (브롬화디페닐에테르)

HRGC : High Resolution Gas Chromatograph (고분해능기체크로마토그래프)

HRMS : High Resolution Mass Spectrometer (고분해능질량분석기)

I-TEQ : International Toxic Equivalence (국제독성등가환산계수)

WHO : World Health Organization (세계보건기구)

## 2. 통계용어설명

### 2.1. 박스 플롯

박스 플롯은 기술통계학에서 수치적 자료를 표현하는 그래프이며, 이를 통해 측정자료가 정규분포를 따를 때 표준편차와의 관계를 알 수 있다. 박스 플롯은 수집된 자료를 바탕으로 아래와 같이 총 여섯 가지 요약된 수치로 표현된다.

1. 이상치를 제외한 최소값 : 제1사분위 - 1.5 IQR\*

\* IQR (Interquartile range, 사분위 간 범위) : Q3 - Q1

2. 이상치를 제외한 최대값 : 제3사분위 + 1.5 IQR
3. 이상치 : 제1사분위와 제3사분위의 1.5배를 벗어난 값
4. 제1사분위 (Q1) : 25% 위치
5. 제2사분위 (Q2) : 50% 위치 (중앙값-흑색, 산술평균-적색)
6. 제3사분위 (Q3) : 75% 위치

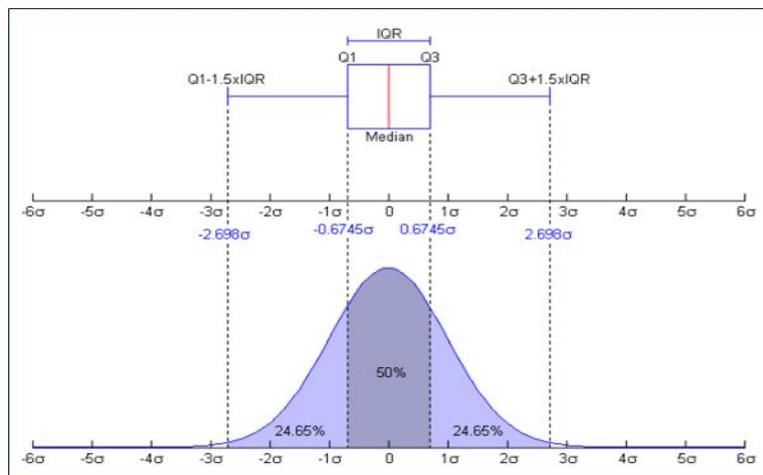


그림 1. 박스플롯(Box plot)과 정규분포와의 관계

## 2.2. 일원배치분산분석 (ANOVA)

분산분석은 1919년 로널드 피셔(R.A. Fisher, 1890~1962)에 의해 고안된 통계 방법으로, 주로 세 개 이상 정규 모집단(통계조사 대상)의 모평균에 요인별로 차이가 있는지를 검정할 때 사용된다.

이때, 평균에 영향을 주는 요인의 수가 1개인 경우 일원 배치 분산분석(One-way ANOVA; Analysis of variance), 요인의 수가 2개인 경우 이원배치 분산분석(two-way ANOVA)이라고 한다. 이는 관측된 변동량을 분산개념으로 파악하여 각 변화요인에 의한 부분과 우연히 발생된 부분을 비교 구분함으로써 각 요인의 영향력 유무에 대한 판정을 시도하는 것이다.

어떠한 가설의 신빙성에 대한 척도를 나타내는 유의확률(p값)이 사용되며, 이 유의확률이 설정한 유의수준(99%, 95%, 90%)보다 작은 경우 귀무가설\*을 기각하고, 클 경우 귀무가설을 채택하게 된다.

\* 귀무가설 (null hypothesis) : 자신이 입증하고자 하는 가설이 기각(부정)되기 바라는 가설

예를 들어, 95% 유의수준에서 가설의 신빙성을 검토할 경우, 분산분석 결과 p 값이 0.067이면  $p > 0.05$ 이므로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 차이가 없는 것이고, p 값이 0.043인 경우  $p < 0.05$ 이므로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 차이가 있는 것으로 해석할 수 있다.

본 결과보고서에서는 영향요인이 1개인 일원배치 분산분석(ANOVA)을 이용하여 통계검정을 실시하였으며, 유의수준은 95%로 설정하였다.

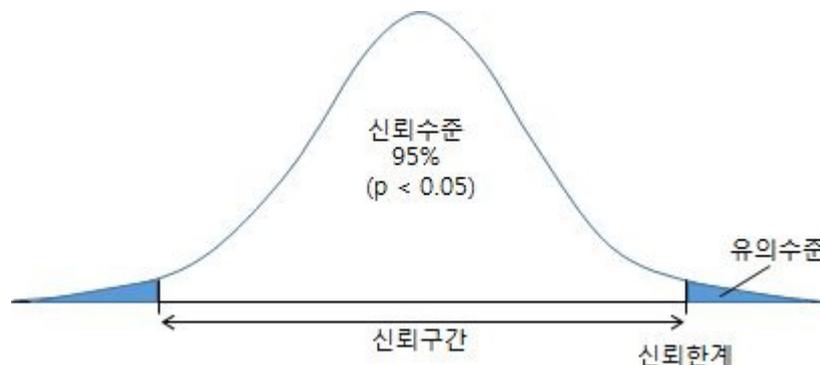
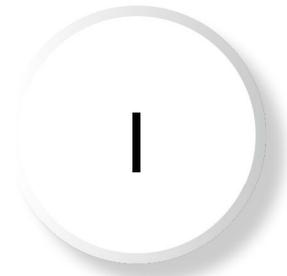
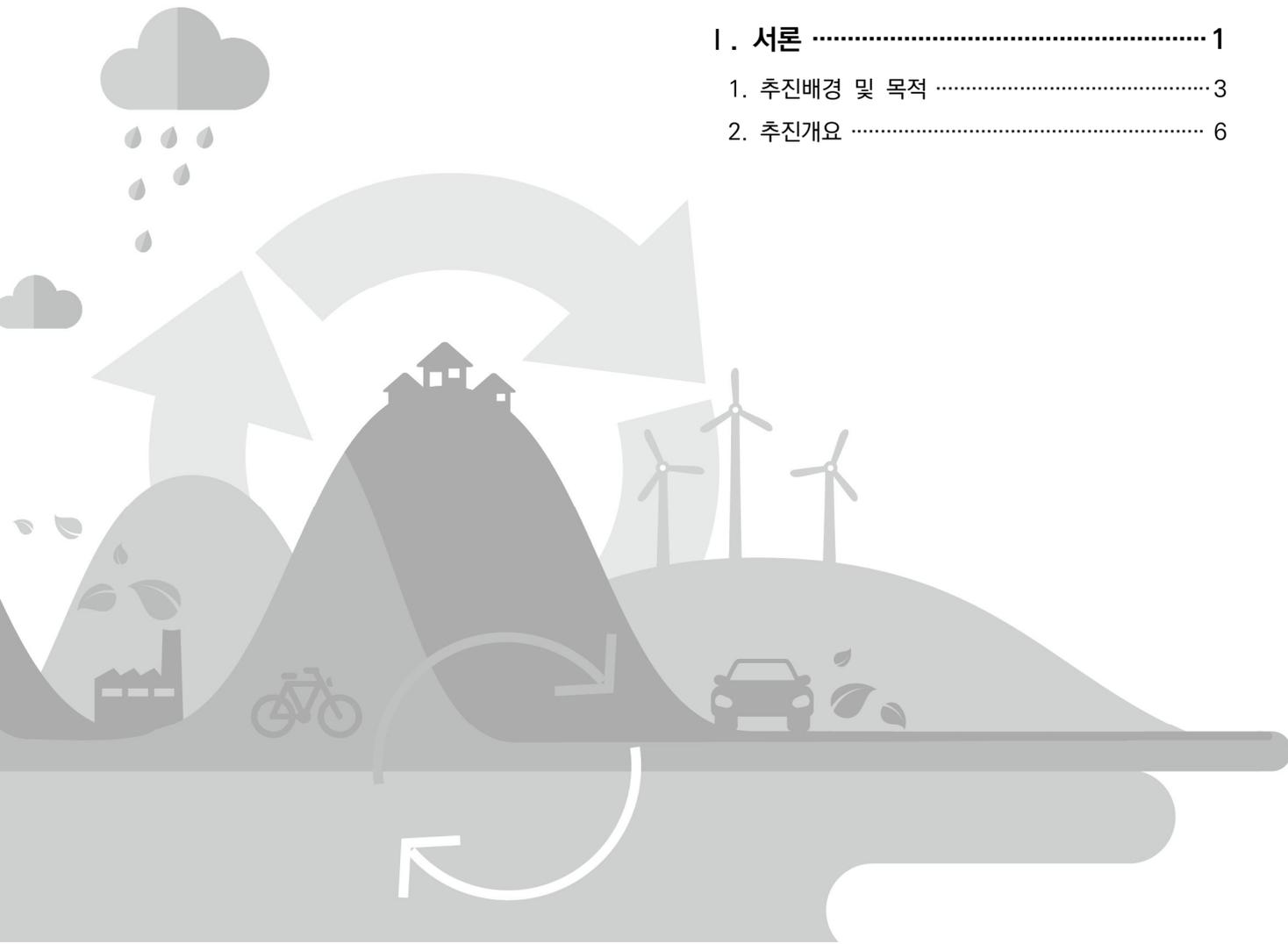


그림 2. p값을 이용한 가설검정



<b>I. 서론</b> .....	1
1. 추진배경 및 목적 .....	3
2. 추진개요 .....	6





# I. 서론

## 1. 추진배경 및 목적

“잔류성유기오염물질 (POPs, Persistent Organic Pollutants)” 이란 독성·잔류성·생물농축성 및 장거리이동성 등의 특성을 지니고 있으며, 주로 유기염소계 농약류 및 산업용 물질로서 의도적으로 사용되거나 연소공정에서 배출되는 비의도적인 부산물의 일종으로 수십 년 이상 환경 중으로 배출되어왔다. 환경 중으로 배출된 잔류성유기오염물질은 대기·물·토양·퇴적물에 오랫동안 잔류하여 국경을 넘어 장거리 이동한다. 생태계에 지속적으로 노출되는 잔류성오염물질은 여러 단계의 먹이사슬을 거쳐 동물 및 인간에게 고농도로 축적되어 생태계를 교란하거나 건강상의 위해를 일으키는 것으로 알려져 있다.

잔류성유기오염물질에 의한 생태계 및 인체 피해사례가 확인됨에 따라 1972년 스톡홀름에서 유엔 인간환경회의를 개최하여 인간 환경의 보전과 향상에 대한 공동 인식과 일반 원칙을 천명하였고, 국제 환경문제를 효과적으로 대처하기 위한 방안 마련을 논의하기 시작하였다. 이에 따라 2001년 5월에 스톡홀름협약이 공식적으로 채택되어 2004년 5월에 발효되었으며, 우리나라는 2007년 1월에 공식적으로 가입하였다.

스톡홀름협약의 제11조에 따르면 잔류성유기오염물질, 그 대체물질 및 후보물질에 대한 국가 차원의 적절한 연구·개발·감시 및 협력 등을 권장 또는 수행하도록 규정하고 있다.

우리나라는 스톡홀름협약을 이행하기 위해서 2007년 1월에 “잔류성유기오염물질관리법”을 제정·공포하였고, 같은 법 11조 및 시행규칙 4조에 따라 2008년 1월부터 환경 중 잔류성유기오염물질의 오염실태를 파악하기 위하여 측정망 설치·운영을 시작하였다.

표 I-1-1. 잔류성유기오염물질관리법 (법률 제156562호, 2018. 12. 13.)

**제2조(정의)** ① “잔류성유기오염물질이라 함은 독성·잔류성·생물농축성 및 장거리이동성 등의 특성을 지니고 있어 사람과 생태계를 위태롭게 하는 물질로서 다이옥신 등 「잔류성유기오염물질에 관한 스톡홀름협약」(이하 “스톡홀름협약“이라 한다)에서 정하는 것을 말하며, 그 구체적인 물질은 대통령령으로 정한다.

**제11조(측정망의 설치·운영)** ① 환경부장관은 전국의 대기·물·토양·하천 퇴적물·생물의 잔류성유기오염물질 오염실태를 파악하기 위하여 잔류성 유기오염물질 측정망(이하 “측정망“이라 한다)을 설치하고 오염도를 측정하여야 한다.

② 시·도지사 및 시장·군수·구청장(자치구의 구청장을 말한다. 이하 같다)은 관할 구역 안의 잔류성유기오염물질 오염실태를 파악하기 위하여 측정망을 설치하고 오염도를 측정할 수 있다.

③ 환경부장관은 제1항의 규정에 따른 측정망의 위치·구역·측정항목·측정시기 및 측정횟수 등을 구체적으로 밝힌 측정망 설치계획을 수립하여 고시하여야 한다.

④ 제3항의 규정은 제2항의 규정에 따라 시·도지사 또는 시장·군수·구청장이 측정망을 설치하는 경우에 관하여 이를 준용한다.

⑤ 환경부장관은 제2항의 규정에 따라 시·도지사 또는 시장·군수·구청장이 측정망을 설치·운영하는 경우에는 예산의 범위 안에서 재정적·기술적 지원을 할 수 있다.

현재 스톡홀름협약에 등재된 잔류성유기오염물질은 공정부산물 5종, 유기염소계농약류 13종, 산업용물질 10종으로 총 28종이며, 자세한 내용은 아래 표 I-1-에 나타내었다.

표 I-1-2. 스톡홀름협약에 등재된 잔류성유기오염물질 현황 ('18년 6월 기준)

구 분	물 질 명	계
공 정 부산물	다이옥신/푸란, 폴리클로리네이티드비페닐 <sup>a</sup> (인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐), 헥사클로로벤젠 <sup>b</sup> , 펜타클로로벤젠 <sup>b</sup>	5
유 기 염소계 농약류	알드린, 엔드린, 디엘드린, 헵타클로르, 톡사펜, 미렉스, 클로르데인, 디디티, 클로르데콘, 린단, 알파헥사클로로사이클로헥산, 베타헥사클로로사이클로헥산, 엔도설판	13
산업용 물 질	과불화옥탄술폰산 및 그 염류와 과불화옥탄술폰닐플로라이드, 테트라브로모디페닐에테르와 펜타브로모디페닐에테르, 헥사브로모디페닐에테르와 헵타브로모디페닐에테르, 헥사브로모비페닐, 헥사브로모사이클로도데칸, 펜타클로로페놀, 폴리염화나프탈렌 <sup>c</sup> , 헥사클로로부타디엔 <sup>c</sup> , 데카브로모디페닐에테르, 단쇄염화파라핀	10

a : 폴리클로리네이티드비페닐은 산업용물질에도 포함됨

b : 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠은 유기염소계농약류에도 포함됨

c : 폴리염화나프탈렌, 헥사클로로부타디엔은 공정부산물에도 포함됨

## 2. 추진개요

가. 추진근거 : 잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획

- 환경부 고시 제2016-247호(2016.12.29.)

나. 사업기간 : 2017. 1. 1. ~ 12. 31.

다. 추진체계

『잔류성유기오염물질 측정망』은 환경부 주관으로 국립환경과학원과 한국환경공단에서 운영체계(표 I-1-3)에 따라 수행하고 있다.

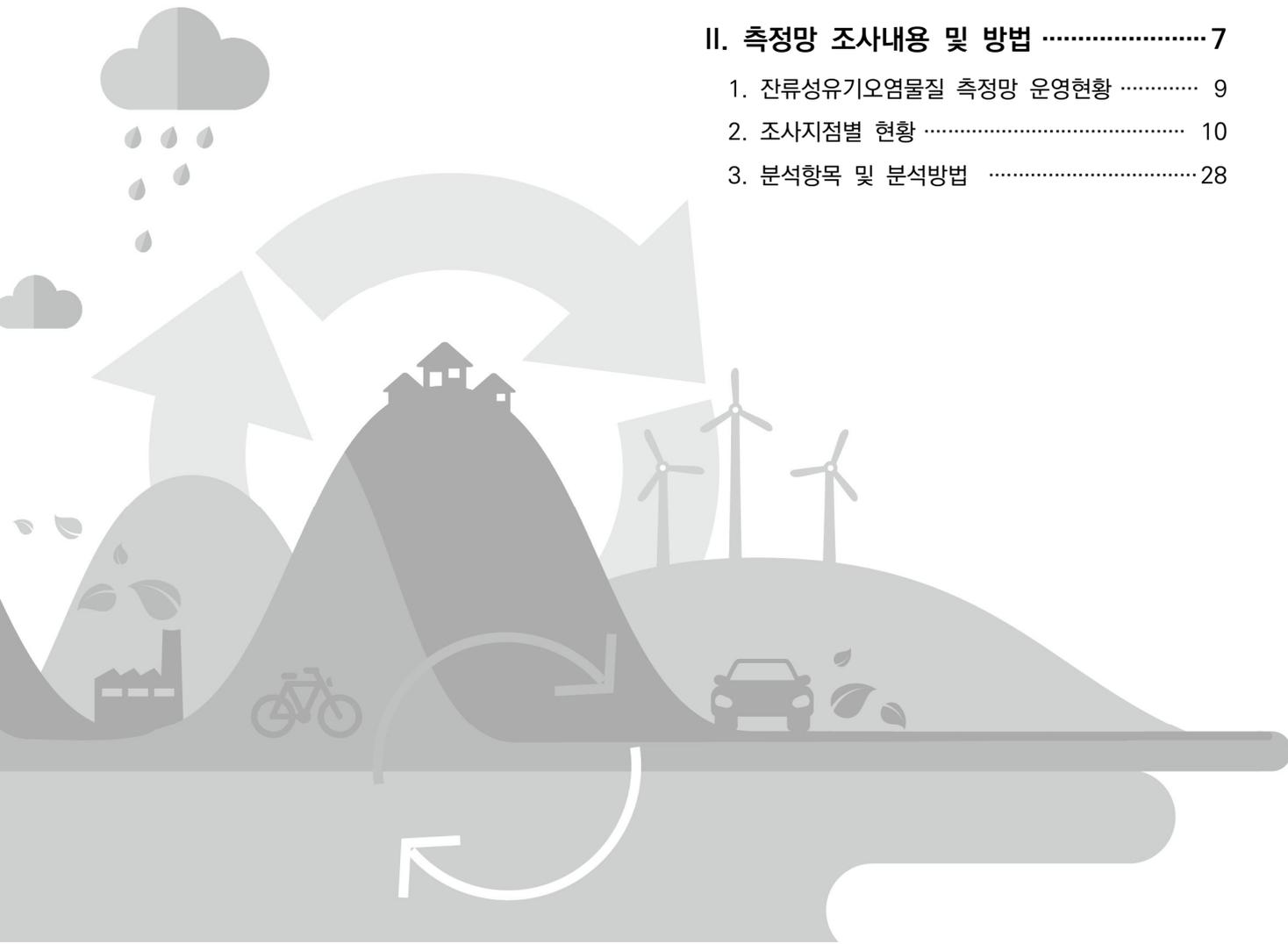
환경부는 측정망 설치·운영 계획수립 및 평가단 운영 등 측정망 운영을 총괄하고 있으며, 국립환경과학원은 잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획의 정도보증 시행지침에 따라 분석자료 검증, 인증표준물질분석 및 교차실험 등의 정도관리를 수행하고 있다. 또한 한국환경공단은 잔류성유기오염물질측정망 운영을 통해 전국의 잔류성유기오염물질을 측정하고, 그 운영결과 전반에 대한 보고서를 작성하여 환경부로 제출하고 있다.

표 I-2-1. 잔류성유기오염물질 측정망 운영체계

기관명	임무
환경부	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 측정망 운영총괄</li> <li>• 측정망 설치운영 계획수립 및 측정기관 지도·감독</li> <li>• 측정망 평가단 운영</li> <li>• 측정망 자료 대외공표 및 홈페이지 정보제공</li> <li>• 잔류성유기오염물질공정시험기준 제·개정</li> </ul>
국립환경과학원	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 분석기법의 개발 및 표준화</li> <li>• 측정자료 정도관리 및 분석요원 정도향상 교육 실시</li> <li>• 측정망 운영결과 보고서 검토</li> </ul>
한국환경공단	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 잔류성유기오염물질의 측정</li> <li>• 측정망 운영결과 보고서 작성</li> <li>• 측정분석장비 정도관리 및 운영</li> </ul>

II. 측정망 조사내용 및 방법 ..... 7

- 1. 잔류성유기오염물질 측정망 운영현황 ..... 9
- 2. 조사지점별 현황 ..... 10
- 3. 분석항목 및 분석방법 ..... 28





## II. 측정망 조사내용 및 방법

### 1. 잔류성유기오염물질 측정망 운영현황

환경 중 잔류성유기오염물질 실태 및 오염 추이를 파악하기 위해 『잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획』 환경부 고시 제2016-247호(2016.12.29.)에 따라 잔류성유기오염물질 측정망 지점에서 대기·토양·수질·퇴적물 시료를 채취하여 분석하였다. 매체별 지점 수, 조사 횟수 및 측정항목은 표 II-1-1에 정리하였다.

표 II-1-1. 조사내용

구 분	대 기	토 양	수 질	퇴 적 물
지 점 수	38	61	36	36
조사횟수	2회/연	1회/연	1회/연	1회/연
조사계절	봄, 가을	봄	봄	가을
조사항목	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 공정부산물 (5종)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다이옥신/푸란, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐<sup>a</sup>(12개 이성체)</li> <li>인티케이터 폴리클로리네이티드비페닐<sup>a</sup>(7개 이성체)</li> <li>펜타클로로벤젠<sup>b</sup>, 헥사클로로벤젠<sup>b</sup></li> </ul> </li> <li>○ 유기염소계농약류 (12종)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 알드린, 엔드린, 디엘드린, 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, DDT, 린단, α-HCH, β-HCH, 엔도설판</li> </ul> </li> <li>○ 산업용 물질 (5종)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 테트라브로모디페닐에테르와 펜타브로모디페닐에테르</li> <li>헥사브로모 디페닐에테르와 헵타브로모디페닐에테르, 헥사브로모비페닐</li> <li>과불화옥탄술폰산(PFOS), 과불화옥탄산(PFOA)<sup>c</sup></li> </ul> </li> </ul>			

a : 폴리클로리네이티드비페닐은 산업용물질에도 포함됨

b : 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠은 유기염소계농약류에도 포함됨

c : 과불화옥탄산(PFOA)는 스톡홀름협약 등재 후보물질이며, 환경부 고시 제2015-25호 (2015.3.2.)에 따라 2015년부터 조사 실시

잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획에 따라 조사항목 중 코플라나 및 인디케이터폴리클로리네이티드비페닐은 대기 매체에 대해서 조사를 실시하였고, 그 외 매체는 대표시료<sup>1)</sup>에 대해서만 조사하였다. 또한, 유기염소계농약류 중 독사펜은 2008년 측정망 운영 개시 이후 전 매체, 전 지점에서 모두 방법검출한계 미만으로 파악되어, 측정망 운영의 효율성 향상을 위해서 매체별 대표시료에 대해서만 조사를 수행하였다.

1) 대기(6지점, 여름철1회), 토양(7지점, 봄철 1회), 수질/퇴적물(각 4지점, 가을철 1회)

## 2. 조사지점별 현황

### 2.1. 시료 채취지점

잔류성유기오염물질측정망의 측정지점은 배출원, 지역적 분포 및 매체 간 상호 연관성 등을 고려하여 선정하였으며, 대기 및 토양 매체의 시도별 지점 현황은 표 II-2-1에, 수질 및 퇴적물 매체의 수계별 지점 현황은 표 II-2-2에, 조사 매체별 세부지점 현황은 표 II-2-3~표 II-2-5에 나타내었다.

표 II-2-1. 대기 및 토양 매체의 시도별 조사지점 현황

구 분	대 기	토 양	비 고
서울특별시	2	3	
부산광역시	2	2	
대구광역시	1	1	
울산광역시	1	2	
광주광역시	1	1	
대전광역시	1	1	
인천광역시	3	3	
경 기 도	4	9	
강 원 도	2	6	
충청북도	2	2	
충청남도	4	6	
경상북도	4	8	
경상남도	2	4	
전라북도	2	4	
전라남도	6	7	
제주특별자치시	1	2	
<b>계</b>	<b>38</b>	<b>61</b>	

표 II-2-2. 수질 및 퇴적물 매체의 수계별 조사지점 현황

구 분	수질, 퇴적물	비 고
한 강 수계	8	
낙동강 수계	9	
금 강 수계	5	
영산강 수계	4	
기 타 수계	10	하천수 8지점, 호소수(습지) 2지점
<b>계</b>	<b>36</b>	

‘08년도 이후 10년간 잔류성유기오염물질측정망을 설치·운영한 결과, 측정지점의 주변여건 변화 등으로 시료의 대표성을 확보할 수 없는 지점이 다수 발생하여 ‘16년 잔류성유기오염물질측정망 평가단회의를 거쳐 시료의 대표성을 확보할 수 있는 측정지점으로 변경 및 조정하였다. 상세한 내역은 표 II-2-3에 나타내었다.

표 II-2-3. 측정지점 변경 및 조정 내역

구 분	매질	지점 수	지점명		사유
			변경 전	변경 후	
변경 (3개소)	대기	1	천안 백석동	천안 성성동	기존지점 시료채취 불가
	토양	2	제주 조천읍	제주 고산리	사유지로 대표성 결여
			부산 강서	부산 부민동	복토 등으로 인한 대표성 결여
조정 (20개소)	대기	2	창원 가음정동	좌동	특정배출원 영향에 따른 대표성 결여
			포항 장흥동	좌동	종합대기측정소 신축이전
	토양	18	여주 흥천 등	좌동	대표성 확보 가능한 인근 지점으로 조정

※ 정점 변경 : 시료 채취 정점을 측정망 목적에 부합되는 곳으로 변경

※ 지점 조정 : 정점은 유지하되, 시료 채취의 대표성이 없거나 농작물 재배 등에 의해 오염 우려가 있는 지점을 적절한 주변 지역으로 조정

토양 측정지점은 그간 특정 건물명 또는 상호 등을 지점명으로 사용하고 있어서 지점명으로 인한 혼선을 막기 위해 그 지역을 대표할 수 있는 지점명으로 변경하였으며, 변경된 자세한 측정지점명은 아래 표 II-2-4에 나타내었다.

표 II-2-4. 토양매체의 측정지점명 변경내역

연번	지역	변경 전	변경 후	비고
1	서울	한강시민공원	서울 잠실동	
2		구로중학교	서울 구로동	
3		성동금호	서울 금호동	
4	부산	부산강서	부산 부민동	
5		부산진초교	부산 범천동	
6	대구	달성공원	대구 달성동	
7	울산	울산산단	울산산단	변경 없음
8		온산산단	온산산단	변경 없음

표 II-2-4. 토양매체의 측정지점명 변경내역 (계속)

연번	지역	변경 전	변경 후	비고
9	광주	광주	광주 화정동	
10	대전	남선근린공원	대전 탄방동	
11	인천	동남디아망아파트	인천 왕길동	
12		인천기계공단	인천기계공단	
13		인천남동공단	인천남동공단	
14	경기	양주덕계	양주 덕계동	
15		뉴서울CC	광주 탄벌동	
16		화성장안	화성 매곡리	
17		동두천상패	동두천 상패동	
18		여주흥천	여주 흥천면	
19		마송초교	김포 마송리	
20		영흥자연공원	수원 영통동	
21		시화공단	시화공단	변경없음
22		반월공단	반월공단	변경없음
23		강원	정선복실	정선 정선읍
24	횡성우천		횡성 우천면	
25	강릉초교		강릉 흥제동	
26	춘천후평		춘천 후평동	
27	속초설악		속초 설악동	
28	인제초교		인제 합강리	
29	충북	충주공단	충주공단	변경없음
30		청주산단	청주산단	변경없음
31	충남	성동개척	논산 성동면	
32		마서계동	서천 마서면	
33		중동초교	공주 중동	
34		예산초교	예산 예산읍	
35		대호지면	당진 대호지면	
36		영일차학원	천안 성환읍	
37	경북	상주낙동	의성 낙정리	
38		문경불정	문경 불정동	
39		안동용상	안동 용상동	
40		구미공단	구미공단	변경없음
41		영덕남산	영덕 남산리	
42		포항철강산단	포항철강산단	변경없음
43		영주휴천	영주 휴천동	
44		울릉도	울릉도	변경없음
45	경남	밀양교동	밀양 교동	
46		진주상봉서	진주 옥봉동	
47		창녕남지하천	창녕 남지읍	
48		성산패총	창원 외동	

표 II-2-4. 토양매체의 측정지점명 변경내역 (계속)

연번	지역	변경 전	변경 후	
49	전북	정읍시	정읍 복면	
50		임실초교	임실 성가리	
51		덕진공원	전주 덕진동	
52		익산주현	익산 마동	
53	전남	여천공단	여천공단	변경없음
54		곡성군	곡성 압록리	
55		영광군	영광 무령리	
56		장흥대덕	장흥 대덕읍	
57		목포상동	목포 상동	
58		남광주 CC	화순 양곡리	
59		광양산단	광양산단	변경없음
60	제주	제동목장	제주 교래리	
61	제주	조천읍	제주 고산리	

## 2.2. 시료채취

잔류성유기오염물질 시료채취는 전국 171개 측정망 지점에서 대기·토양·수질·퇴적물을 대상으로 잔류성유기오염물질 공정시험기준(환경부 고시 제2013-117호, 2013.9.25.)의 정해진 절차에 따라 수행하였다.

대기시료 채취지점 중 천안 백석동의 경우 기존 대기측정소의 건물 옥상에 지붕이 설치되어 있어 고용량 대기시료 채취장치를 설치할 수 없어 불가피하게 인근의 천안 성성동 지점으로 시료채취지점을 변경하였다. 하지만 천안 성성동의 경우도 대기측정소 인근에 대규모 아파트 공사가 진행 중이어서 특정오염원으로 인한 시료의 대표성 문제가 제기되어 2017년도 시료채취는 잠정 중단하는 것으로 결정하였다.

표 II-2-5. 대기 천안지점 측정소 현황



## 2.2.1. 대기시료

### 가) 여지 전처리

대기 시료의 경우 입자상과 가스상으로 나누어서 시료를 채취하였으며, 입자상 및 가스상 시료는 각각 석영섬유필터(Quartz Fiber Filter, Whatman, 203x254mm)와 폴리우레탄폼(Polyurethane foam, SIBATA, 8013-0941A)/활성탄 펠트(Activated Carbon Felt, SIBATA, 080130-056A)를 이용하였다.

석영섬유필터는 시료채취 전 회화로에서 600 °C로 6시간 가열하여 유기물을 분해 제거하였으며, 알루미늄 호일에 개별 포장한 후 지퍼백에 밀봉하여 시료 채취 전에 개봉해서 사용하였다.

폴리우레탄폼은 온수 증류수로 3회 이상 반복 세정한 후 아세톤을 이용해 수분을 제거하였으며, 아세톤 1000 mL와 톨루엔 1000 mL를 이용해 각각 16시간 동안 속슬레(soxhlet extraction) 추출하였다. 추출이 완료된 폴리우레탄폼은 감압건조기를 이용하여 용매를 건조시킨 후, 알루미늄 호일에 개별 포장한 후 지퍼백에 밀봉·보관하였다.

활성탄 펠트는 각각 속시렛에서 톨루엔 400 mL로 16시간, 아세톤 400 mL로 1시간 추출하였으며, 감압건조기를 이용하여 용매를 건조시킨 후 알루미늄 호일에 개별 포장한 후 지퍼백에 밀봉·보관하였다.

### 나) 시료채취

시료채취는 고용량 대기시료 채취장치(High Volume Air Sampler, SIBATA, HV-1000F, HV-1000R)을 이용하였다. 시료 채취 전 장치 내부의 분진 등을 고압 질소로 제거하였으며, 시료가 접촉하는 모든 부분은 시료 채취 전 증류수와 아세톤을 이용해서 세정하였다.

또한, 시료 카트리지가인 셔틀 글래스, 셔틀 케이스 및 그 구성품은 모두 사용 전 세제와 증류수로 세척 후 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인, 다이클로로메테인 용매 순서로 세척하여 사용함으로써 교차오염을 방지하였다.

시료채취 전 시료채취용 표준물질 (EPA-8280CS, 200 ng/mL x 10  $\mu$ L = 2 ng, Wellington, Canada)을 폴리우레탄폼에 주입하였으며, 시료채취유량은 750 L/min으로 24시간(1,006.2 Sm<sup>3</sup>) 단위로 3일간 연속 채취하여 3018.6 Sm<sup>3</sup>를 채취하였다. 여지(석영섬유필터, 폴리우레탄폼, 활성탄펠트)는 24시간마다 교체하였으며, 여지 교체 전·후에 대기시료 채취장치에 표시된 대기 온도, 대기압, 적산시간 등을 기록하였다. 또한 시료채취기간 중 기상정보시스템(NAMIS 및 AWS)상의 기상요소(온도, 습도, 기압, 풍향, 풍속 등)도 별도의 기록지에 기록하였다.

시료채취 완료 후 여지는 일회용 폴리글러브를 착용하여 알루미늄 호일에 개별 포장하였고, 지퍼백에 밀봉하여 얼음을 채운 후, 차광이 되는 아이스박스에 담아 실험실로 이송 후 추출하였다.

## 2.2.2. 토양시료

### 가) 전처리

시료채취병은 빛을 차광할 수 있는 갈색 경질 유리병(1 L, Wheaton Amber Glass Bottle, W216950, USA)을 사용하였고, 마개는 Polypropylene(PP) 재질에 마개 안쪽은 Polytetrafluoroethylene(PTFE)로 라이닝된 것을 사용하였다. 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인 그리고 다이클로로메테인 용매 순서로 시료채취병을 세척하여 사용하였다.

### 나) 시료채취

토양 시료는 5개 지점 혼합방식에 따라 중심 1개 지점과 주변 4방위의 5~10 m 까지 그 안쪽의 각각 1개 지점씩 총 5개 지점에서 지름 5 cm, 깊이 5 cm 이상의 주상시료를 채취하여 혼합하였다. 혼합시료는 체거름(청계상공사, 스테인리스 스틸 와이어, 체눈 크기 2.0 mm, 선의 굵기 0.9 mm)을 한 후 나뭇가지, 자갈 등 불순물은 버리고 체거름을 통과한 시료만을 시료 보관병에 빈 공간이 없도록 가득 채워 건중량(dry weight) 기준으로 약 200g 이상 담았다.

시료채취 후 시료채취병은 차광이 되는 얼음이 담겨져 있는 아이스박스에 담아 4 °C 를 유지하면서 실험실로 이송하여 냉장 보관하였다.

시료채취 직후 사용한 시료채취기구는 현장에서 3차 증류수를 휴대용 고압 분사기로 분사하여 채취기구에 남아 있는 잔여 토양을 모두 제거하였고, Wash bottle에 담긴 아세톤으로 세척·건조한 후 알루미늄으로 포장하여 추후 발생할 수 있는 교차오염을 방지하였다.

또한 시료채취 당시의 주변현황과 기상상황은 물론 시료채취 1주일 전까지의 강우량 등을 상세히 기록하였으며, 8방향의 주변 전경을 사진으로 남겼다.

### 2.2.3. 수질시료

#### 가) 전처리

시료채취병으로는 빛을 차광할 수 있는 갈색 경질 유리병(4 L, 테플론 라이너)을 시료채취 전 실험실에서 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인, 다이클로로메테인 용매 순서로 세척한 후 사용하였으며, 과불화화합물은 폴리프로필렌 재질의 스크류 뚜껑이 달린 채취병(1 L, Thermo, Wide-Mouth Bottle(PP), 2105-0032, USA)을 시료채취 전 실험실에서 증류수, 메탄올, 아세톤을 이용하여 세척한 후 사용하였다.

#### 나) 시료채취

시료채취는 하천의 단면에서 수심이 가장 깊은 수면 지점과 그 지점을 중심으로 좌우 수면 폭을 2 등분하고, 각 지점에서 수면을 기준으로 수심 2 m 미만 일 경우 수심의 1/3 지점에서, 수심이 2 m 이상일 경우 수심 1/3 지점과 2/3 지점에서 각각 시료를 채취하였다. 현장 상황에 따라 교량 위에서 또는 선박을 이용하여 시료를 채취하였으며, 수심이 얇을 경우 시험자가 직접 들어가서 채취하였다. 시료채취병은 현장에서 하천수 또는 호소수로 3~4회 헹군 후 채취하였고, 시료채취량은 과불화화합물의 경우 2 L, 그 외의 항목의 경우 32 L를 기

포가 발생하지 않도록 주의하면서 채취병에 가득 채워 담았다.

채취된 수질 시료의 경우 현장에서 수온, pH, 전기전도도를 측정하였으며, 시료채취 당시의 주변현황과 기상상황은 물론 시료채취 1주일 전까지의 강우량 등을 상세히 기록하였으며, 8방향의 주변 전경을 촬영하였다.

채취된 시료는 냉장트럭에 적재한 후 즉시 4 ℃ 이하로 유지하면서 실험실로 이송하였다.

## 2.2.4. 퇴적물시료

### 가) 전처리

시료채취병은 빛을 차광할 수 있는 갈색 경질 유리병(1 L, Wheaton amber glass bottle, W216950, USA)을 이용하였고, 마개는 Polypropylene(PP) 재질로 안쪽 면이 PTFE(polytetrafluoroethylene)로 라이닝된 것을 사용하였다. 시료채취병은 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인, 다이클로로메테인 용매 순서로 세척하여 사용하였다.

### 나) 시료채취

퇴적물 시료는 하천 및 호소수 시료채취지점과 동일한 지점에서 그랩 채취기 (Petite Ponar Grab Sampler (1728-G40), Wildlife Supply Co. USA)를 이용해서 채취하였다. 시료는 5회 이상 채취하여 혼합한 후 건중량(dry weight) 기준으로 약 200g 이상 시료 채취병에 빈 공간이 없도록 가득 채웠다.

시료채취 당시의 주변현황과 기상상황은 물론 시료채취 1주일 전까지의 강우량 등을 상세히 기록하였으며, 8방향의 주변 전경을 촬영하였다.

채취된 시료는 냉장트럭에 적재한 후 즉시 4 ℃ 이하로 유지하면서 실험실로 이송하였다.

표 II-2-6. 잔류성유기오염물질측정망 대기 조사지점 (38개소)

시·도	시·군·구	위 치	지점명칭	분류	분류번호
서울	서초구	서초구 반포2동 4-15, 반포2동주민센터 (위도 37°30'16.5"N, 경도 126°59'40.2"E)	서울 반포동	주거	11-PA-01
	중구	중구 서소문동 37 서울특별시청 서소문청사 3동 (위도 37°33'51.8"N, 경도 126°58'32.2"E)	서울 서소문동	상업	11-PA-02
부산	중구	중구 신창동 1가 9, 광복동주민센터 (위도 35°05'59.7"N, 경도 129°01'49.5"E)	부산 광복동	도로변	26-PA-01
	동구	동구 초량동 1170번지 (위도 35°07'35.4"N, 경도 129°02'46.5"E)	부산 초량동	도시대기	26-PA-02
대구	수성구	수성구 만촌2동 934, 동원초등학교 (위도 35°51'55.3"N, 경도 128°38'24.2"E)	대구 만촌동	주거	27-PA-01
울산	남 구	남구 여천동 250-1, 비앤지스틸 (위도 35°30'56.4"N, 경도 129°21'38.5"E)	울산 여천동	공업	31-PA-01
광주	광산구	광산구 송정1동 756-1, 송정1동사무소 (위도 35°08'26.9"N, 경도 126°47'55.7"E)	광주 송정동	주거	29-PA-01
대전	유성구	유성구 구성동 21-1, 대전보건환경연구원 (위도 36°22'21.2"N, 경도 127°22'26.1"E)	대전 구성동	녹지	30-PA-01
인천	서구	서구 석남동 573, 석남2동주민센터 (위도 37°30'10.2"N, 경도 126°40'28.6"E)	인천 석남동	주거	28-PA-01
	남동구	남동구 고잔동 637번지 66블럭 한국산업단지공단 (위도 37°24'17.7"N, 경도 126°41'49.8"E)	인천 고잔동	공업	28-PA-02
	남구	남구 송의동 131-1, 남구의회 (위도 37°27'49.7"N, 경도 126°38'59.5"E)	인천 송의동	주거	28-PA-03
경기	안산시	안산시 단원구 원고잔로 34 수도권대기환경청 (위도 37°19'12.7"N, 경도 126°49'41.8"E)	안산 고잔동	주거	41-PA-01
	시흥시	시흥시 정왕동 시화공단 2다 401 (위도 37°20'12.2"N, 경도 126°43'28.3"E)	시흥 정왕동	공업	41-PA-02
	성남시	성남시 분당구 정자1동 147, 정자동주민센터 (위도 37°21'41.7"N, 경도 127°06'41.3"E)	성남 정자동	주거	41-PA-03
	포천시	포천시 신읍동 59-4, 포천시청 (위도 37°53'42.4"N, 경도 127°12'01.3"E)	포천 신읍동	주거	41-PA-04
강원	춘천시	춘천시 석사동 322-1, 석사소방파출소 (위도 37°51'25.5"N, 경도 127°44'58.2"E)	춘천 석사동	녹지	42-PA-01
	강릉시	강릉시 옥천동 327-2, 옥천동주민센터 (위도 37°45'36.6"N, 경도 128°54'10.6"E)	강릉 옥천동	상업	42-PA-02
충북	청주시	청주시 상당구 사똬로 61번길 88-14, 청주청원도서관 (위도 36°39'58.4"N, 경도 127°28'29.7"E)	청주 사천동	주거	43-PA-01
	단양군	단양군 매포읍 매포리 261, 도담역 (위도 37°01'27.9"N, 경도 128°19'35.3"E)	단양 매포리	공업	43-PA-02

(계속)

시·도	시·군·구	위 치	지점명칭	분류	분류번호
충남	서산시	서산시 대산읍 독곶리 123-20, 농협지소 (위도 36°59'30.1"N, 경도 126°22'05.7"E)	서산 독곶리	공업	44-PA-01
	태안군	태안군 소원면 파도리 840-1, 대기오염측정소 (위도 36°44'10.9"N, 경도 126°07'55.8"E)	태안 파도리	배경	44-PA-02
	천안시	천안시 서북구 성성동 135-4 (위도 36°50'23.8"N, 경도 127°07'57.2"E)	천안 성성동	공업	44-PA-03
	공주시	공주시 사곡면 고당리 270, 사곡중학교 (위도 36°31'35.5"N, 경도 127°01'51.0"E)	공주 고당리	주거	44-PA-04
경북	구미시	구미시 공단2동 256-18, 근로자종합복지회관 (위도 36°06'18.8"N, 경도 128°23'02.5"E)	구미 공단동	공업	47-PA-01
	포항시	포항시 남구 장흥동 1821, 공단 정수장 (위도 35°58'49.2"N, 경도 129°22'29.2"E)	포항 장흥동	공업	47-PA-02
	안동시	안동시 남문동 189-5, 안동초등학교 (위도 36°33'52.2"N, 경도 128°43'41.2"E)	안동 남문동	상업	47-PA-03
	울릉군	울릉군 서면 태하리 산99-3, 태하등대 (위도 37°31'21.2"N, 경도 130°47'48.2"E)	울릉 태하리	배경	47-PA-04
경남	창원시	창원시 성산구 사파동 106-1, 사파민원센터 (위도 35°13'19.6"N, 경도 128°41'53.4"E)	창원 사파동	공업	48-PA-01
	진주시	진주시 대안동 11-10, IBK기업은행 (위도 35°11'36.9"N, 경도 128°05'04.3"E)	진주 대안동	주거	48-PA-02
전북	군산시	군산시 문화동 919-2, 신풍동주민센터 (위도 35°58'23.0"N, 경도 126°42'03.0"E)	군산 문화동	상업	45-PA-01
	익산시	익산시 팔봉동 850, 익산소방서 (위도 35°57'44.7"N, 경도 127°00'18.5"E)	익산 팔봉동	공업	45-PA-02
전남	광양시	광양시 중동 1312-2, 광양소방서 (위도 34°56'25.0"N, 경도 127°41'51.7"E)	광양 중동	상업	46-PA-01
	여수시	여수시 중흥동 274-9, 환경시설관리공사 (위도 34°50'00.6"N, 경도 127°40'30.1"E)	여수 중흥동	공업	46-PA-02
	목포시	목포시 용당1동 1053, 용당1동주민센터 (위도 34°48'16.2"N, 경도 126°23'36.5"E)	목포 용당동	주거	46-PA-03
	해남군	해남군 해남읍 성내리 4번지, 해남군청 (위도 34°34'24.3"N, 경도 126°35'56.0"E)	해남 성내리	상업	46-PA-04
	장흥군	장흥군 장평면 용강리 27-1, 장평면사무소 (위도 34°46'24.2"N, 경도 126°58'31.3"E)	장흥 용강리	상업	44-PA-05
	순천시	순천시 장천동 53-1, 순천시청 (위도 34°57'02.3"N, 경도 127°29'14.4"E)	순천 장천동	상업	44-PA-06
제주	제주시	제주시 한경면 고산리 3769, 대기오염측정소 (위도 33°17'33.1"N, 경도 126°09'44.5"E)	제주 고산리	배경	49-PA-01



그림 II-2-1. 잔류성유기오염물질 측정망 대기 조사지점도

표 II-2-7. 잔류성유기오염물질측정망 토양 조사지점(61개소)

시·도	시·군·구	위 치	지점명칭	용도구분	분류번호
서울	송파구	송파구 잠실동 잠실한강공원 (위도 37°31'07.1"N, 경도 127°05'20.5"E)	서울 잠실동	공원	11-PS-01
	구로구	구로구 구로6동 90번지 구로중학교 (위도 37°29'42.1"N, 경도 126°53'26.2"E)	서울 구로동	학교용지	11-PS-02
	성동구	성동구 금호2가 511 금호초등학교 (위도 37°33'10.0"N, 경도 127°01'12.4"E)	서울 금호동	학교용지	11-PS-03
부산	강서구	서구 부민동3가 54-79 (위도 35°06'13.6"N, 경도129°00'48.6"E)	부산 부민동	임야	26-PS-01
	부산진구	부산진구 범천2동 1010 부산진초등학교 (위도 35°09'01.6"N, 경도 129°03'21.6"E)	부산 범천동	학교용지	26-PS-02
대구	중 구	중구 달성동 294 달성공원 (위도 35°52'22.5"N, 경도 128°34'39.0"E)	대구 달성동	공원	27-PS-01
울산	남 구	남구 성암동 산11-17 (위도 35°29'42.8"N, 경도 129°20'33.3"E)	울산산단	공장용지	31-PS-01
	울주군	울주군 온산읍 이지리 180-2 (위도 35°25'57.2"N, 경도 129°21'28.9"E)	온산산단	공장용지	31-PS-02
광주	서 구	서구 화정동 532-12, 남하이파트 (위도 35°08'53.3"N, 경도 126°52'59.9"E)	광주 화정동	대지	29-PS-01
대전	서 구	서구 탄방동 1084 남서근린공원 (위도 36°20'42.7"N, 경도 127°23'52.4"E)	대전 탄방동	공원	30-PS-01
인천	동 구	동구 송림동 297-2 동구어린이교통공원 (위도 37°28'40.2"N, 경도 126°40'08.6"E)	인천기계공단	공장용지	28-PS-01
	서 구	서구 왕길동 633-2 동남디이망아파트 (위도 37°36'10.5"N, 경도 126°39'04.3"E)	인천 왕길동	공원	28-PS-02
	남동구	남동구 고잔동 626-7 남동공단 1호공원 (위도 37°24'33.0"N, 경도 126°41'19.8"E)	인천남동공단	공장용지	28-PS-03
경기	양주시	양주시 덕계동 365 (위도 37°48'43.8"N, 경도 127°02'46.9"E)	양주 덕계동	임야	41-PS-01
	광주시	광주시 탄벌동 산 93-3 (위도 37°24'39.8"N, 경도 127°13'33.4"E)	광주 탄벌동	임야	41-PS-02
	화성시	화성시 팔탄면 매곡리 179-25 (위도 37°06'54.1"N, 경도 126°52'59.9"E)	화성 매곡리	임야	41-PS-03
	동두천시	동두천시 상패동 61 상패주공아파트 (위도 37°54'17.7"N, 경도 127°02'51.0"E)	동두천 상패동	대지	41-PS-04
	시흥시	시흥시 정왕동 1358 희망공원 (위도 37°20'12.7"N, 경도 126°42'46.9"E)	시화공단	공장용지	41-PS-05
	여주시	여주시 흥천면 하다리 104-4 (위도 37°20'49.2"N, 경도 127°31'45.2"E)	여주 흥천면	임야	41-PS-06
	김포시	김포시 통진읍 마송리 1-2 마송초등학교 (위도 37°41'04.4"N, 경도 126°36'23.7"E)	김포 마송리	학교용지	41-PS-07
	수원시	수원시 영통구 영통동 산86 (위도 37°15'48.1"N, 경도 127°04'05.2"E)	수원 영통동	공원	41-PS-08
	안산시	안산시 단원구 원시동 58 (위도 37°18'44.8"N, 경도 126°47'00.0"E)	반월공단	공장용지	41-PS-09

(계속)

시·도	시·군·구	위 치	지점명칭	용도구분	분류번호
강원	정선군	정선군 정선읍 굴암리 산 200-6 (위도 37°21'45.0"N, 경도 128°38'11.5"E)	정선 정선읍	임야	42-PS-01
	횡성군	횡성군 우천면 오원3리 639-4 (위도 37°26'32.2"N, 경도 128°05'48.9"E)	횡성 우천면	임야	42-PS-02
	강릉시	강릉시 홍제동 38 강릉초등학교 (위도 37°45'12.7"N, 경도 128°53'16.4"E)	강릉 홍제동	학교용지	42-PS-03
	춘천시	춘천시 후평3동 899 석사주공2단지아파트 (위도 37°52'20.9"N, 경도 127°45'22.3"E)	춘천 후평동	대지	42-PS-04
	속초시	속초시 설악동 산 26-3 (위도 38°10'29.9"N, 경도 128°29'27.7"E)	속초 설악동	임야	42-PS-05
	인제군	인제군 인제읍 합강리 316 인제초등학교 (위도 38°04'32.6"N, 경도 128°10'42.5"E)	인제 합강리	학교용지	42-PS-06
충북	충주시	충주시 칠금동 산 1-1 (위도 37°20'42.2"N, 경도 127°31'49.4"E)	충주공단	공원	43-PS-01
	청주시	청주시 흥덕구 송정동 산84 솔밭공원 (위도 36°38'43.2"N, 경도 127°25'57.3"E)	청주산단	공장용지	43-PS-02
충남	논산시	논산시 성동면 우곡리 47-1 (위도 36°11'50.5"N, 경도 127°00'41.8"E)	논산 성동면	임야	44-PS-01
	서천군	서천군 마서면 옥산리 190-1 (위도 36°03'44.6"N, 경도 126°39'54.5"E)	서천 마서면	대지	44-PS-02
	공주시	공주시 중동 244-3 중동초등학교 (위도 36°27'09.7"N, 경도 127°07'29.4"E)	공주 중동	학교용지	44-PS-03
	천안시	천안시 성환읍 매주리 산24-20 (위도 36°54'36.4"N, 경도 127°07'51.2"E)	천안 성환읍	임야	44-PS-04
	예산군	예산군 예산읍 예산리 107 (위도 36°41'02.0"N, 경도 126°50'59.8"E)	예산 예산읍	학교용지	44-PS-05
	당진시	당진시 대호지면 조곡리 7-10 (위도 36°54'23.4"N, 경도 126°30'43.2"E)	당진 대호지면	임야	44-PS-06
경북	의성군	의성군 단밀면 낙정리 산 117-4 (위도 36°21'26.2"N, 경도 128°18'12.9"E)	의성 낙정리	농지	47-PS-01
	문경시	문경시 불정동 산 71-1 (36°37'19.1"N, 경도 128°08'21.3"E)	문경 불정동	임야	47-PS-02
	안동시	안동시 용상동 산 79-1 (위도 36°33'25.4"N, 경도 128°46'06.0"E)	안동 용상동	임야	47-PS-03
	구미시	구미시 공단동 267 구미창업보육센터 (위도 36°06'04.2"N, 경도 128°22'43.6"E)	구미공단	공장용지	47-PS-04
	영덕군	경상북도 영덕군 영덕읍 남산리 209-66 (위도 36°23'33.3"N, 경도 129°22'13.9"E)	영덕 남산리	농지	47-PS-05
	포항시	포항시 남구 장흥동 산29 공단정수장 뒤편 (위도 35°58'52.9"N, 경도 129°22'34.1"E)	포항철강산단	공장용지	47-PS-06
	영주시	영주시 휴천동 산7-1 (위도 36°49'00.6"N, 경도 128°37'51.0"E)	영주 휴천동	임야	47-PS-07
	울릉군	울릉군 울릉읍 도동리 586-2 (위도 37°29'07.8"N, 경도 130°53'52.5"E)	울릉도	임야	47-PS-08

(계속)

시·도	시군구	위 치	지점명칭	용도구분	분류번호
경남	밀양시	밀양시 교동 1033-1 (위도 35°30'20.7"N, 경도 128°44'54.8"E)	밀양 교동	공원	48-PS-01
	진주시	진주시 옥봉동 473 (위도 35°11'49.8"N, 경도 128°05'19.2"E)	진주 옥봉동	대지	48-PS-02
	창녕군	창녕군 남지읍 남지리 961 남지고수부지 (위도 35°23'27.1"N, 경도 128°29'11.4"E)	창녕 남지읍	공원	48-PS-03
	창원시	창원시 외동 성산패총 종합전시관앞 (위도 35°12'32.1"N, 경도 128°40'47.1"E)	창원 외동	공원	48-PS-04
전북	정읍시	정읍시 북면 태곡리 938-2(캐스코 정면 숲) (위도 35°36'36.2"N, 경도 126°54'21.5"E)	정읍 북면	공장용지	45-PS-01
	임실군	임실군 임실읍 성가리 202 임실초등학교 (위도 35°36'25.4"N, 경도 127°16'15.4"E)	임실 성가리	학교용지	45-PS-02
	익산시	익산시 마동 산 33-10 (위도 35°56'20.4"N, 경도 126°57'54.5"E)	익산 마동	공장용지	45-PS-03
	전주시	전주시 덕진동 덕진공원 연못인근 (위도 35°50'50.8"N, 경도 127°07'21.4"E)	전주 덕진동	공원	45-PS-04
전남	여수시	여수시 월내동 280-32 (위도 34°51'18.3"N, 경도 127°43'24.6"E)	여천공단	공장용지	46-PS-01
	곡성군	곡성군 오곡면 압록리 397-1 (위도 35°13'02.3"N, 경도 127°22'17.5"E)	곡성 압록리	임야	46-PS-02
	영광군	영광군 영광읍 무령리 178-1 (성산 정상) (위도 35°16'57.9"N, 경도 126°30'34.0"E)	영광 무령리	임야	46-PS-03
	장흥군	장흥군 대덕읍 연지리 920-3 (위도 34°30'54.8"N, 경도 126°54'06.9"E)	장흥 대덕읍	임야	46-PS-04
	목포시	목포시 상동 1014-1 하당 현대아파트 (위도 34°48'02.2"N, 경도 126°25'35.2"E)	목포 상동	대지	46-PS-05
	화순군	화순군 춘양면 양곡리 산 57-1 (위도 34°56'55.4"N, 경도 126°55'57.1"E)	화순 양곡리	임야	46-PS-06
	광양시	광양시 태인동 1653-4 (위도 34°56'31.0"N, 경도 127°45'15.3"E)	광양산단	공장용지	46-PS-07
제주	제주시	제주시 조천읍 교래리 129 (위도 33°25'49.94"N, 경도 126°42'04.11"E)	제주 교래리	임야	49-PS-01
	제주시	제주시 한경면 고산리 3769 (위도 33°17'33.2"N, 경도 126°09'44.4"E)	제주 고산리	임야	49-PS-02

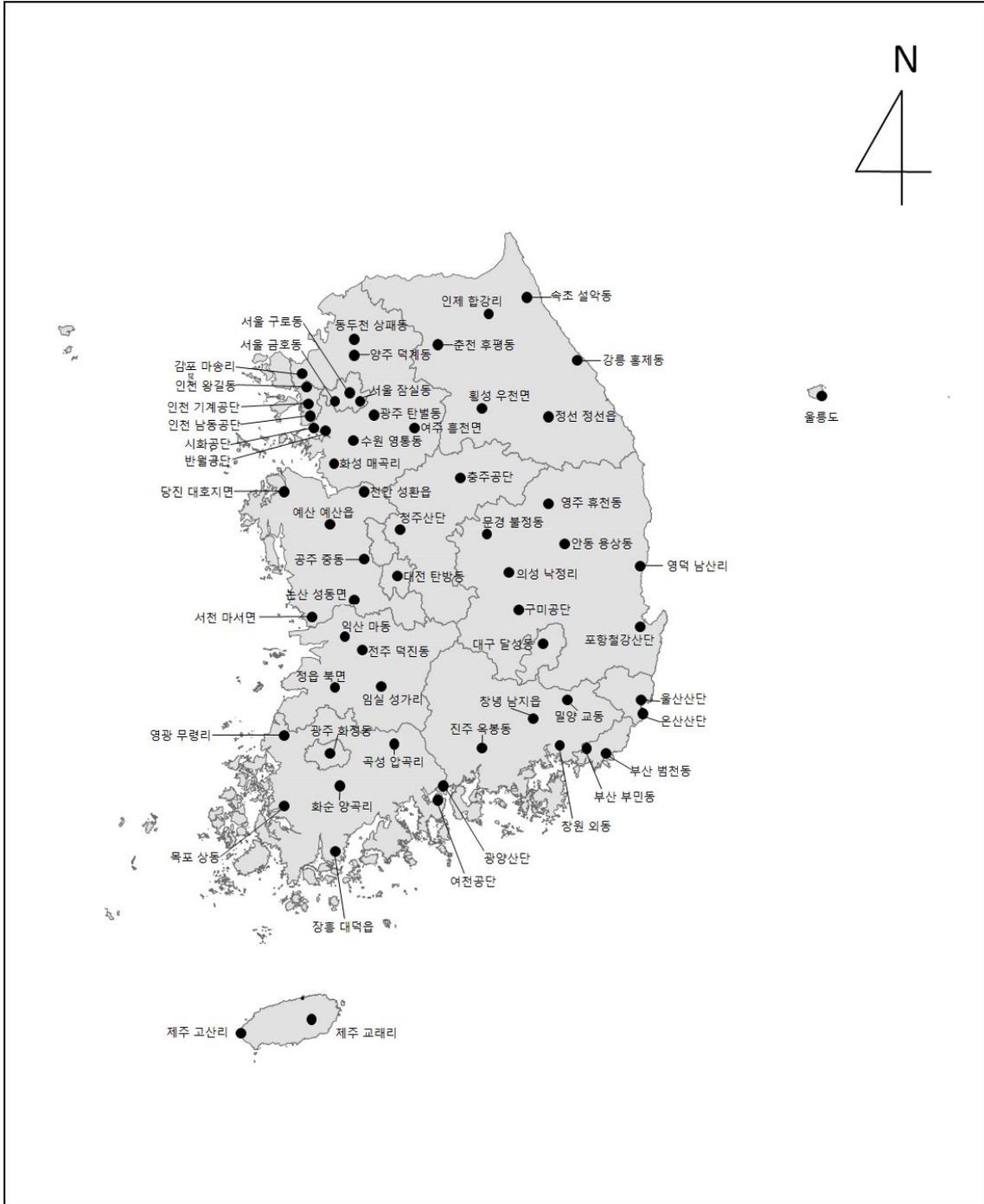


그림 II-2-2. 잔류성유기오염물질 측정망 토양 조사지점도

표 II-2-8. 잔류성유기오염물질측정망 수질·퇴적물 조사지점 (36개소)

수계	시도	위 치	용도	지점명칭	수 질 분류번호	퇴적물 분류번호
한강	강원	춘천시 신동면 의암리(신연교) (위도 37°50'15.3"N, 경도 127°40'37.9"E)	호소수	의암댐	H-PW-01	H-PD-01
	서울	서울 동작구 분동(한강대교) (위도 37°30'58.8"N, 경도 126°57'21.3"E)	하천수	한강대교	H-PW-04	H-PD-04
	경기	남양주시 조안면 능내리(댐앞) (위도 37°31'29.3"N, 경도 127°16'50.5"E)	호소수	팔당댐	H-PW-03	H-PD-03
		고양시 덕양구 행주외동(행주대교) (위도 37°35'46.2"N, 경도 126°48'45.9"E)	하천수	행주대교	H-PW-05	H-PD-05
		파주시 탄현면 낙하리 (위도 37°50'56.6"N, 경도 126°45'02.4"E)	하천수	임진강 하구언	H-PW-06	H-PD-06
		여주시 강천면 부평리(섬강교) (위도 37°14'32.6"N, 경도 127°44'50.8"E)	하천수	섬강 하류	H-PW-07	H-PD-07
		김포시 하성면 전류리 (포구) (위도 37°42'03.0"N, 경도 126°40'21.7"E)	하천수	한강 하구언	H-PW-08	H-PD-08
	충북	충주시 종민동 (댐앞) (위도 37°00'01.3"N, 경도 127°59'50.1"E)	호소수	충주댐	H-PW-02	H-PD-02
낙동강	경북	안동시 성곡동(댐앞) (위도 36°35'02.0"N, 경도 128°46'37.3"E)	호소수	안동댐	N-PW-01	N-PD-01
		칠곡군 왜관읍 (왜관대교) (위도 36°00'01.4"N, 경도 128°23'36.0"E)	하천수	왜관대교	N-PW-03	N-PD-08
		고령군 성산면 삼대리 (고령교) (위도 35°45'09.5"N, 경도 128°23'13.9"E)	하천수	고령교	N-PW-04	N-PD-09
		상주시 낙동면 낙동리(낙단교) (위도 36°21'28.0"N, 경도 128°18'02.2"E)	하천수	상주	N-PW-07	N-PD-02
	경남	양산시 물금읍 물금리(물금취수장) (위도 35°18'45.6"N, 경도 128°58'25.7"E)	하천수	물금취수장	N-PW-05	N-PD-04
		의령군 지정면 마산리 (송도교) (위도 35°21'42.5"N, 경도 128°24'55.1"E)	하천수	남강 하류	N-PW-08	N-PD-06
	대구	달서구 파호동(강창교) (위도 36°24'37.4"N, 경도 128°14'42.3"E)	하천수	금호강	N-PW-02	N-PD-03
	부산	사하구 하단동 (방조제 앞) (위도 35°06'50.9"N, 경도 128°57'14.3"E)	하천수	낙동강 하구언	N-PW-06	N-PD-05
		강서구 강동동(강동교) (위도 35°11'31.7"N, 경도 128°54'19.9"E)	하천수	서낙동강 하구언	N-PW-09	N-PD-07
	금강	대전	동구 추동 대청댐(취수탑) (위도 36°22'25.0"N, 경도 127°29'52.0"E)	호소수	대청댐	K-PW-01
유성구 구죽동(신구교) (위도 36°26'15.2"N, 경도 127°23'36.7"E)			하천수	갑천하류	K-PW-05	K-PD-04
충북		청원군 강외면 궁평리 (미호천교) (위도 36°37'23.0"N, 경도 127°21'02.2"E)	하천수	미호천	K-PW-02	K-PD-02
충남		공주시 금성동(금강교) (위도 36°28'01.7"N, 경도 127°07'29.1"E)	하천수	금강교	K-PW-03	K-PD-05
		서천군 마서면 당선리 (방조제앞) (위도 36°01'02.3"N, 경도 126°44'55.5"E)	하천수	금강 하구언	K-PW-04	K-PD-03

(계속)

수계	시도	위 치	용도	지점명칭	수 질 분류번호	퇴적물 분류번호
영산강	전남	담양군 금성면 대성리 (담양) (위도 35°22'40.0"N, 경도 126°59'44.9"E)	호소수	담양댐	Y-PW-01	Y-PD-01
		목포시 옥암동 (방조제앞) (위도 34°48'01.4"N, 경도 126°26'32.4"E)	호소수	영산호	Y-PW-02	Y-PD-02
		나주시 삼도동 (나주교) (위도 35°02'01.0"N, 경도 126°44'04.9"E)	하천수	나주교	Y-PW-03	Y-PD-03
	광주	서구 서창동(서창교) (위도 35°06'43.5"N, 경도 126°49'14.6"E)	하천수	서창교	Y-PW-04	Y-PD-04
기타	강원	양양군 양양읍 남문리(양양교) (위도 38°04'16.8"N, 경도 128°37'23.2"E)	하천수	양양남대천	Z-PW-01	Z-PD-09
		강릉시 내곡동 (내곡교) (위도 37°44'50.9"N, 경도 128°53'15.4"E)	하천수	강릉남대천	Z-PW-02	Z-PD-10
	경기	평택시 현덕면 권관2리 아산호(방조제앞) (위도 36°54'47.5"N, 경도 126°54'39.4"E)	하천수	안성천 하구언	Z-PW-03	Z-PD-02
	충남	아산시 인주면 문방1리 (방조제) (위도 36°53'09.6"N, 경도 126°49'54.0"E)	하천수	삽교천 하구언	Z-PW-04	Z-PD-03
	경북	포항시 남구 송도동(섬안대교) (위도 36°00'13.0"N, 경도 129°21'41.0"E)	하천수	형산강 하구언	Z-PW-05	Z-PD-04
	울산	남구 삼산동(학성교) (위도 35°32'58.0"N, 경도 129°20'25.1"E)	하천수	태화강 하구언	Z-PW-06	Z-PD-05
	경남	하동군 금성면 고포리 (포구) (위도 34°57'36.5"N, 경도 127°46'18.1"E)	하천수	섬진강 하구언	Z-PW-07	Z-PD-06
		사천시 축동면 가산리 (가산교) (위도 35°04'41.4"N, 경도 128°02'06.9"E)	하천수	가화천 하구언	Z-PW-08	Z-PD-01
		창녕군 이방면, 대합면, 유어면 (위도 35°32'57.2"N, 경도 128°24'51.9"E)	습지	우포습지	Z-PW-09	Z-PD-07
		창원시 동읍 죽동·산남리 일원 (위도 35°18'32.3"N, 경도 128°40'32.9"E)	습지	주남저수지	Z-PW-10	Z-PD-08

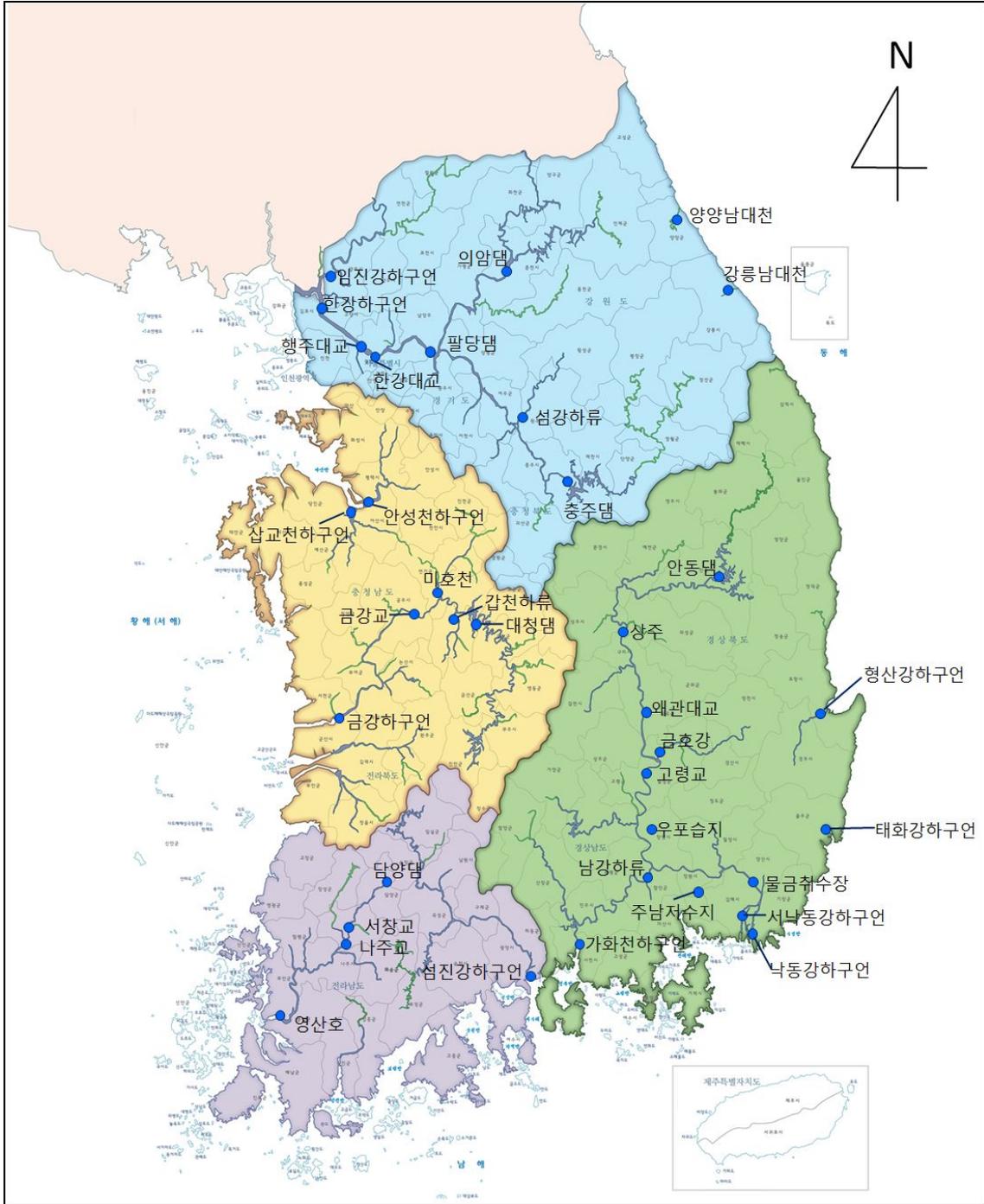


그림 II-2-3. 잔류성유기오염물질 측정망 수질·퇴적물 조사지점도

### 3. 분석항목 및 분석방법

#### 3.1. 분석항목

잔류성유기오염물질 측정망에서는 공정부산물 5종, 유기염소계농약류 12종 그리고 산업용물질 5종 등 총 22개 항목을 분석대상 항목으로 선정하였다.

세부적으로 살펴보면, 공정부산물은 다이옥신/푸란, 폴리클로리네이티드 비페닐(코플라나 폴리클로리네이티드비페닐, 인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐), 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠을 포함한 5종이며, 이 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠은 공정부산물이면서 유기염소계농약류로 분류된다. 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 분석은 유기염소계농약류와 동시에 분석을 수행하였으며, 보고서 작성 시에는 공정부산물로 분류하여 작성하였다.

다이옥신은 각각의 이성체를 국제독성등가환산계수 (I-TEF, 1994)를 적용한 후, 이를 더한 값을 I-TEQ로 표현하였으며, **보고서에는 다이옥신/푸란으로 표현하였다.** 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐은 각각의 이성체를 세계보건기구독성등가환산계수 (WHO-TEF, 2005)를 적용한 후, 이를 더한 값을 WHO-TEQ로 정리하였다.

유기염소계농약류는 알드린, 엔드린, 디엘드린, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 클로르데칸, 디디티류, 알파헥사클로로사이클로헥산, 베타헥사클로로사이클로헥산, 린단, 엔도설판, 독사펜 포함한 총 13종으로, 이 중 공정시험기준이 마련되어 있지 않은 클로르데칸은 분석에서 제외하였다.

또한, 여러개의 이성체의 합으로 이루어진 물질인 헵타클로르는 2개 이성체(heptachlor, Heptachlor-epoxide), 디디티는 6개의 이성체(*o,p'*-DDT, *p,p'*-DDT, *o,p'*-DDD, *p,p'*-DDD, *o,p'*-DDE, *p,p'*-DDE), 클로르데인은 5개의 이성체(*cis-/trans*-chlordane, *cis-/trans*-nonachlor, oxychlordane), 독사펜은 3개의 이성체(parlar-26,-50,-62), 엔도설판은 3개 이성체(endosulfan- $\alpha$ / $-\beta$ , endosulfan sulfate)의 합으로 표현하였으며, 이후 보고서에서 언급하는 헵타클로르, 디디티, 클로르데인, 독사펜, 엔도설판은 모두 이성체의 합을 의미한다.

산업용물질은 과불화화합물인 과불화옥탄술폰산(PFOS), 과불화옥탄산(PFOA), 브롬화난연제인 테트라브로모디페닐에테르와 펜타브로모디페닐에테르, 헥사브로모디페닐에테르와 헵타브로모디페닐에테르, 헥사브로모비페닐을 포함해서 총 5종이다.

이 중 테트라브로모디페닐에테르와 펜타브로모디페닐에테르, 헥사브로모디페닐에테르와 헵타브로모디페닐에테르는 편의상 보고서에 각각 tetra-/penta-BDE, hexa-/hepta-BDE로 그리고 헥사브로모비페닐은 HBB로 표현하였다. (표 II-3-1)

각 분석항목별 등가계수 및 이성체 등 세부사항에 대해서는 표 II-3-2에서 표 II-3-8에 나타내었다.

표 II-3-1. 잔류성유기오염물질관리법 시행령 제2조 및 별표 1

**잔류성유기오염물질(제2조 관련)**

1. 알드린(Aldrin)
2. 엔드린(Endrin)
3. 디엘드린(Dieldrin)
4. 독사펜(Toxaphene)
5. 클로르데인(Chlordane)
6. 헵타클로르(Heptachlor)
7. 미렉스(Mirex)
8. 헥사클로로벤젠(Hexachlorobenzene)
9. 폴리클로리네이티드비페닐(Polychlorinated biphenyls, PCBs)
10. 디디티(1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane, DDT)
11. 다이옥신(Polychlorinated dibenzo-p-dioxins, PCDD)
12. 푸란(Polychlorinated dibenzofurans, PCDF)
13. 클로르데칸(Chlordecone)
14. 린단(Lindane)
15. 알파헥사클로로사이클로헥산(Alpha hexachlorocyclohexane)
16. 베타헥사클로로사이클로헥산(Beta hexachlorocycloHexane)
17. 테트라브로모디페닐에테르와 펜타브로모디페닐에테르  
(Tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether)
18. 헥사브로모디페닐에테르와 헵타브로모디페닐에테르  
(Hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether)
19. 헥사브로모비페닐(Hexabromobiphenyl)
20. 펜타클로로벤젠(Pentachlorobenzene, PeCB)
21. 과불화옥탄술폰산(Perfluorooctane sulfonic acid, PFOS), 그 염류와 과불화옥탄술폰닐  
플로라이드(Perfluorooctane sulfonyl fluoride, PFOS-F)
22. 엔도설판 및 그 이성체(Technical endosulfan and its related isomer)
23. 헥사브로모사이클로도데칸(Hexabromocyclododecane)
24. 펜타클로로페놀과 그 염 및 에스테르(Pentachlorophenol and its salts and esters, PCP)
25. 헥사클로로부타디엔(Hexachlorobutadiene, HCBd)
26. 염화나프탈렌(Chlorinated naphthalenes, PCN)
27. 수은 및 수은화합물(Mercury and mercury compounds)
28. 그 밖에 스톡홀름협약 또는 미나마타협약에 등재된 물질 중 환경부장관이 관계  
중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 물질

\* 대통령령 제27965호 2017.3.27. 일부개정, 제24호부터 제28호까지는 미나마타  
협약이 국내에 발효된 경우 적용됨

표 II-3-2. 측정항목(다이옥신/푸란) 세부사항

측정항목	구 분	이성체	독성등가환산계수 (I-TEF, 1994)	
다이옥신/푸란	다이옥신	4염화물	2,3,7,8-TCDD	1
		5염화물	1,2,3,7,8-PeCDD	0.5
		6염화물	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1
			1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1
			1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1
		7염화물	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01
		8염화물	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0.001
		푸란	4염화물	2,3,7,8-TCDF
	5염화물		1,2,3,7,8-PeCDF	0.05
			2,3,4,7,8-PeCDF	0.5
	6염화물		1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1
			1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1
			1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1
			2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1
	7염화물		1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	
8염화물	1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0.001		

표 II-3-3. 측정항목(코플라나 폴리클로리네이티드비페닐) 세부사항

측정항목	구 분	이성체 (IUPAC No.)	세계보건기구독성등가환산계수 (WHO-TEF, 2005)
코플라나 폴리클로리네이티드비페닐	4염화물	3,3',4,4'-T4CB (#77)	0.0001
		3,4,4',5-T4CB (#81)	0.0003
	5염화물	2,3,3',4,4'-P5CB (#105)	0.00003
		2,3,4,4',5-P5CB (#114)	0.00003
		2,3',4,4',5-P5CB (#118)	0.00003
		2',3,4,4',5-P5CB (#123)	0.00003
		3,3',4,4',5-P5CB (#126)	0.1
	6염화물	2,3,3',4,4',5-H6CB (#156)	0.00003
		2,3,3',4,4',5'-H6CB (#157)	0.00003
		2,3',4,4',5,5'-H6CB (#167)	0.00003
		3,3',4,4',5,5'-H6CB (#169)	0.03
	7염화물	2,3,3',4,4',5,5'-H7CB (#189)	0.00003

표 II-3-4. 측정항목 (인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐) 세부사항

측정항목	구 분	이성체 (IUPAC No.)
인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐	3염화물	2,4,4'-trichlorobiphenyl (#28)
	4염화물	2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl (#52)
	5염화물	2,2',4,5,5'-pentachlorobiphenyl (#101)
		2,3,4,4',5-pentachlorobiphenyl (#118)
	6염화물	2,2',3,4,4',5-hexachlorobiphenyl (#138)
		2,2',4,4',5,5'-hexachlorobiphenyl (#153)
	7염화물	2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphenyl (#180)

표 II-3-5. 측정항목 (펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠) 세부사항

측정항목	구 분	이성체
펜타클로로벤젠	5염화물	1,2,3,4,5-Pentachlorobenzene
헥사클로로벤젠	6염화물	1,2,3,4,5,6-Hexachlorobenzene

표 II-3-6. 측정항목(유기염소계농약류)에 대한 세부사항

측정항목	이성체	비고
알드린	Aldrin	
디엘드린	Dieldrin	
엔드린	Endrin	
알파헥사클로로사이클로헥산	$\alpha$ -hexachlorocyclohexane(HCH)	
베타헥사클로로사이클로헥산	$\beta$ -hexachlorocyclohexane(HCH)	
린단	Lindane ( $\gamma$ -HCH)	
헵타클로르	Heptachlor	Heptachlor, Heptachlor-epoxide의 합
	Heptachlor-epoxide	
디디티	p,p'-DDE	p,p'-DDE, o,p'-DDE, p,p'-DDD, o,p'-DDD, p,p'-DDT, o,p'-DDT의 합
	o,p'-DDE	
	p,p'-DDD	
	o,p'-DDD	
	p,p'-DDT	
	o,p'-DDT	
클로르데인	trans-Chlordane	trans-Chlordane, cis-Chlordane, trans-Nonachlor, cis-Nonachlor, Oxychlordane의 합
	cis-Chlordane	
	trans-Nonachlor	
	cis-Nonachlor	
	Oxychlordane	
엔도설판	Endosulfan- $\alpha$	Endosulfan- $\alpha$ , Endosulfan- $\beta$ , Endosulfan sulfate의 합
	Endosulfan- $\beta$	
	Endosulfan sulfate	
미렉스	Mirex	-
톡사펜	Parlar-26	Parlar-26, Parlar-50, Parlar-62의 합
	Parlar-50	
	Parlar-62	

표 II-3-7. 측정항목(브롬화난연제)에 대한 세부사항

측정항목	물질명	이성체 IUPAC No.	이성체
tetra-/penta-BDE	Tetrabromodiphenylether	#47	2,2',4,4'-Tetrabromodiphenylether
		#49	2,2',4,5'-Tetrabromodiphenylether
		#66	2,3',4,4'-Tetrabromodiphenylether
		#71	2,3',4',6-Tetrabromodiphenylether
		#77	3,3',4,4'-Tetrabromodiphenylether
	Pentabromodiphenylether	#85	2,2',3,4,4'-Pentabromodiphenylether
		#99	2,2',4,4',5-Pentabromodiphenylether
		#100	2,2',4,4',6-Pentabromodiphenylether
		#119	2,3',4,4',6-Pentabromodiphenylether
		#126	3,3',4,4',5-Pentabromodiphenylether
hexa-/hepta-BDE	Hexabromodiphenylether	#138	2,2',3,4,4',5-Hexabromodiphenylether
		#153	2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphenylether
		#154	2,2',4,4',5,6'-Hexabromodiphenylether
		#156	2,3,3',4,4',5-Hexabromodiphenylether
	Heptabromodiphenylether	#183	2,2',3,4,4',5',6-Heptabromodiphenylether
		#184	2,2',3,4,4',6,6'-Heptabromodiphenylether
HBB	Hexabromobiphenyl	#153	2,2',4,4',5,5'-Hexabromobiphenyl
		#154	2,2',4,4',5,6'-Hexabromobiphenyl
		#155	2,2',4,4',6,6'-Hexabromobiphenyl
		#156	2,3,3',4,4',5'-Hexabromobiphenyl
		#169	3,3',4,4',5,5'-Hexabromobiphenyl

표 II-3-8. 과불화화합물에 대한 세부사항

측정항목	물질명	IUPAC명
과불화옥탄술폰산(PFOS)	Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	1,1,1,2,2,2,3,3,4,4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,8-heptadecafluoro-1-octanesulfonic acid
과불화옥탄산(PFOA)	Perfluorooctanic Acid (PFOA)	perfluorooctanoic acid

## 3.2. 분석방법

전국의 잔류성유기오염물질 측정망 시험분석은 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」 제6조에 따라 환경매체별 잔류성유기오염물질 및 비의도적 잔류성유기오염물질 등을 시험·검사를 함에 있어서 시험·검사의 정확 및 통일을 유지하기 위하여 필요한 제반사항에 대하여 규정하고 있는 「잔류성유기오염물질 공정시험기준」(환경부 고시 제2013-117호, 2013.9.25.)에 따라 실시하였다.

### 3.2.1. 주 출

#### 가) 대 기

채취된 시료를 추출하기 전 추출에 사용되는 유리 기구류의 세척은 매우 중요하다. 잘못 세척된 유리 기구류는 추출과정 중 시료를 오염시킬 수 있으며, 유리표면에 대상물질이 흡착될 경우 손실의 우려가 있으므로 추출 전 반드시 세척하여 사용해야 한다. 따라서 추출 전 속슬레 추출장치를 둥근플라스크와 냉각수가 순환되는 콘덴서와 결합한 후 다이클로로메테인으로 8시간 이상 추출하여 깨끗한 상태의 유리 기구류를 준비하여야 한다. 유리 기구는 여지 크기에 따라 폴리우레탄폼의 경우 500 mL 속슬레와 1L 둥근플라스크, 석영섬유필터와 활성탄 펠트의 경우 300 mL 속슬레와 500 mL 둥근플라스크를 이용하여 추출과정을 수행하였다.

채취된 시료는 시료별로 속슬레에 삽입하여 다이클로로메테인으로 24시간 이상 추출하였으며, 폴리우레탄폼과 석영섬유필터로 채취한 시료 중 톨루엔 성분은 아세톤으로 24시간 이상 추출하였다. 또한 활성탄 펠트는 아세톤으로 1시간 이상 속슬레 추출하고, 용매를 톨루엔으로 교체하여 16시간 이상 속슬레 추출하였다. 각각의 시료로부터 추출된 용액은 무수황산나트륨으로 탈수하고, 회전식 감압농축기(Rotavapor R-215, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)를 이용하여 대략 1 mL까지 농축하였다. 농축된 추출액은 20 mL 용량플라스크에 옮겨 노말-헥세인으로 채운 후 분석항목에 따라 일정 비율로 분취하여 정제를 실시하였다.

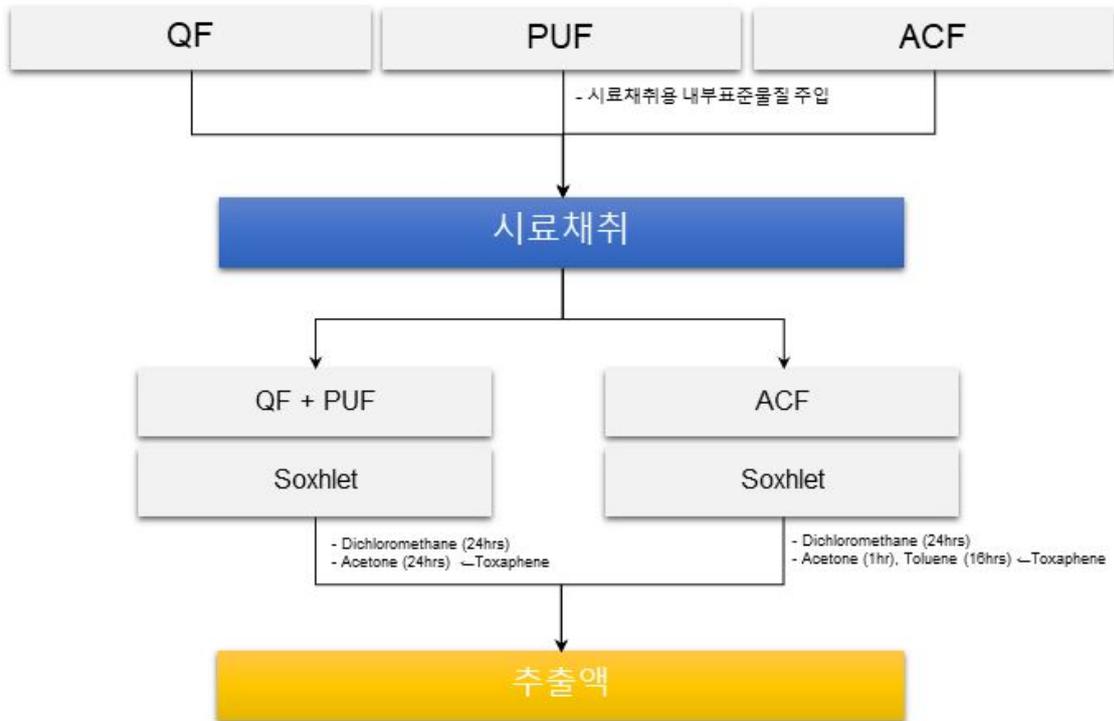


그림 II-3-1. 대기시료의 잔류성유기오염물질 추출방법

## 나) 토양/퇴적물

현장에서 채취한 시료는 실험실로 이동하여 먼지 등의 혼입을 방지하기 위해 아세톤으로 세정된(2~3회) 알루미늄 호일 등으로 쌓아 때때로 혼합하면서 실내에서 수일간 방치하여 풍건(風乾)한다. 풍건한 시료는 막자사발로 분쇄하였고, 이 중 10 g은 수분 함량을 계산하고 건조중량에 대한 농도 값으로 계산하였다. 별도로 100 g을 분취하여 추출용으로 사용하였다.

풍건된 시료를 추출하기 전, 유리 여과조(Glass Microfiber Thimbles, High Purity, 43 x 123 mm, 2814-432, Whatman, UK)를 300 mL 속슬레 안에 넣고 딘스탁 트랩(Dean Stark Trap), 둥근플라스크(500 mL), 냉각수가 순환되는 콘덴서와 서로 결합한 후, 톨루엔으로 8시간 이상 추출하여 유리 기구에 흡착되어 있을 수 있는 미량의 오염물질을 제거한 후 추출과정에 이용하였다.

토양(또는 퇴적물) 시료 100 g과 무수황산나트륨 30 g을 유리재 여과조

안에 순서대로 넣은 후, 그 유리재 여과조를 다시 속슬레(300 mL용)에 넣었다. 시료채취용 표준물질 (EPA-8280CS, Wellington, Canada)은 200 ng/mL의 농도로 2 ng을 주입하였다.

시료와 표준물질이 주입된 속슬레는 수분 제거를 위하여 덩스탁과 500 mL 둥근플라스크, 냉각수 순환을 위한 콘덴서와 서로 결합하고, 톨루엔을 이용하여 매 1초당 한 방울의 낙하 속도로 추출이 되도록 하였다.

추출과정 중에 덩스탁 유리 기구에 모인 수분은 수시로 제거하였으며, 추출된 용액은 무수황산나트륨으로 탈수하여 회전식 감압농축기 (Rotavapor R-215, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)로 대략 1 mL가 될 때까지 농축하였다. 농축된 추출액은 20 mL 용량플라스크에 옮겨 담고 아세톤으로 채운 후, 분석항목에 따라 일정 비율로 분취하여 정제과정을 수행하였다.

유기염소계농약류 중 독사펜 성분의 추출을 위해서 토양(또는 퇴적물) 시료 10 g과 무수황산나트륨 10 g을 마개가 달린 원심관에 취하여 1 mg/L 농도 수준의 정제용 내부표준물질 25  $\mu$ L을 첨가하고 충분히 혼합하여 1시간 동안 방치하고, 다시 아세톤 25 mL를 넣어 10분간 진탕 추출한 후 초음파 추출기를 사용하여 10분간 추출하였다.

원심분리기(Combi R-515, Hanil, Korea)를 이용하여 5,000 rpm에서 10분간 원심분리과정을 거친 후 상등액을 취하였고, 추출 분리조작을 3회 반복하였다. 추출액을 합하여 5% 염화나트륨 수용액 250 mL를 넣어둔 분별깔때기(500 mL)에 옮긴 후 노말-헥세인 50 mL를 넣고, 5분간 진탕 추출하였다. 추출 조작을 2회 반복하고, 노말-헥세인층을 합하여 무수황산나트륨으로 탈수하고 회전식 감압농축기를 사용하여 약 1 mL로 농축하고, 이를 시료의 추출액으로 사용하였다.

산업용물질 중 과불화화합물의 경우 매우 복잡한 시료 추출/정제과정을 거쳐야 한다.

① : 풍건된 토양(또는 퇴적물) 시료 5 g을 폴리프로필렌 시험관(15 mL용)에 넣고 수산화나트륨 용액 (1 M) 5 mL를 첨가한 후 혼합하고, 혼합액은 약 40 °C의 온도를 유지하면서 초음파 추출기를 이용하여 30분간 추출하였다.

② : “①”의 추출액에 염산용액(1 M) 5 mL를 첨가하여 중화시켰으며, 다시 원심분리기(Combi R-515, Hanil, Korea)를 이용하여 3,000 rpm의 속도로 2분간 원심분리과정을 거친 후 그 상등액을 폴리프로필렌 재질의 50 mL용 원심분리관에 옮겨 담았다.

③ : “①”과 “②”의 과정을 거친 폴리프로필렌 시험관(15 mL용)의 상등액은 50 mL용 원심분리관에 옮겨 담고, 폴리프로필렌 시험관(15 mL용)에 남아 있는 토양(또는 퇴적물) 시료에 50:50 비율의 아세트니트릴과 메탄올 혼합용매 7.5 mL를 넣어 1시간 동안 혼합하였다. 이 혼합액은 다시 원심분리기를 이용하여 3,000 rpm으로 2분간 원심분리과정을 거치고, 그 상등액을 ②의 과정을 거친 동일한 50 mL용 원심분리관으로 옮겨 담았다. 필요에 따라 이러한 추출과정을 반복할 수 있다.

④ : “③”의 과정을 거친 폴리프로필렌 시험관(15 mL용)에 남아 있는 토양(또는 퇴적물) 시료에 다시 아세트산용액(1%) 10 mL를 첨가하여 시험관에 흡착되어 있을지 모를 미량물질까지 깨끗하게 세정한 후, 그 혼합액을 동일한 50 mL용 원심분리관으로 옮겨 담았다. 최종적으로 50 mL용 원심분리관에는 “①+②+③+④”의 과정을 거친 추출액을 모두 합한 혼합액이 담겨져 있다.

불순물 제거를 위한 고체상추출법을 수행하기 전, 부유물에 의한 카트리지 막힘 현상을 줄이기 위하여 50 mL용 원심분리관을 4,000 rpm의 속도로 30분간 원심분리하고, 그 상등액을 고체상추출 용기로 옮겨 담았다. 고체상추출용 카트리지를 통과시킨 혼합액은 3차 증류수를 첨가하여 총 부피가 250 mL가 되도록 하였다.

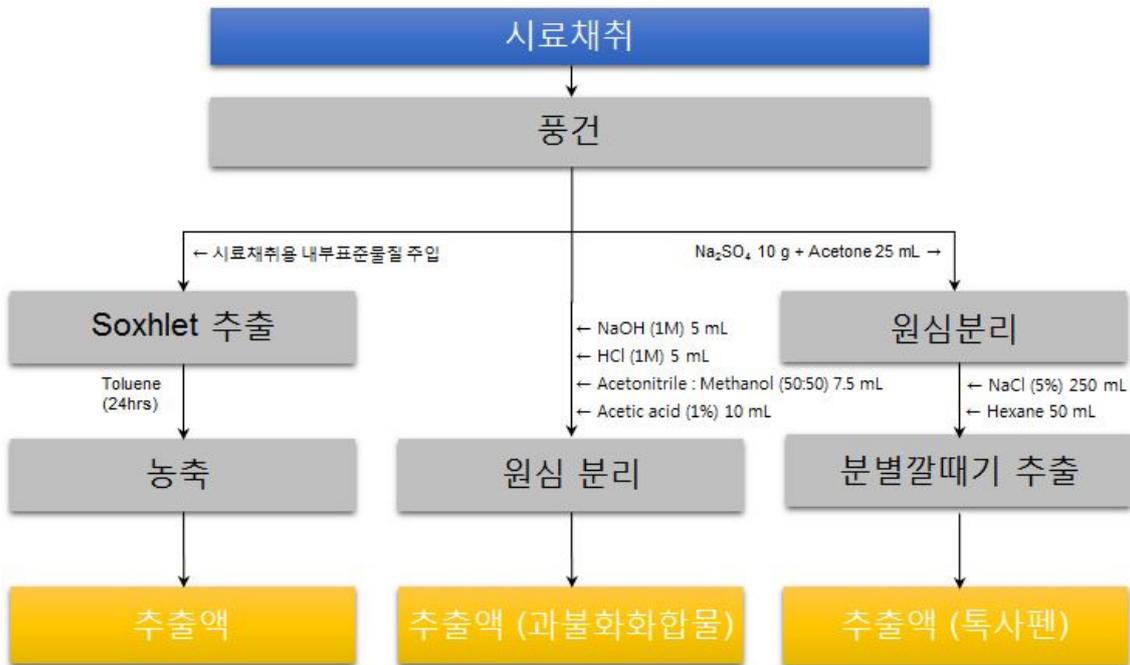


그림 II-3-2. 토양/퇴적물 시료의 잔류성유기오염물질 추출방법

#### 다) 하천 및 호소수

시료채취방법의 신뢰성을 확보하기 위해 채취한 물 시료에 200 ng/mL 농도 수준의 시료채취용 표준물질 (EPA-8280CS, Wellington, Canada)을 1 ng 주입하였다.

수질 시료의 전처리를 위해서 2L 분별깔때기에 시료 1L를 넣고, 염석(鹽析) 효과를 주기 위해 염화나트륨 30g을 첨가하고 시료마다 다이클로로메테인 150 mL를 넣어 10분간 진탕하여 3회 이상 추출하였다. 추출조작 후 다이클로로메테인층을 합하고, 에멀전(emulsion) 층은 별도로 모아 다이클로로메테인 100 mL로 한번 더 추출하였다.

추출액은 무수황산나트륨으로 탈수하고, 부유물이 많은 시료의 경우 GF/C 여지(150 mm)를 뷰흐너(büchner) 깔때기의 여과면에 밀착시키고 감압장치를 이용하여 여과과정을 수행하였으며, 여과지는 건조 후 300 mL 속슬레로 추출 과정을 수행하였다.

채취된 시료를 속슬레 추출하기 전, 수분 제거를 위하여 덩스탁과 500 mL 둥근플라스크, 냉각수 순환을 위한 콘덴서와 서로 결합하고, 다이클로로메테인

용매로 8시간 이상 추출하여 유리 기구에 흡착되어 있는 미량의 오염물질을 제거하였다. 수분을 제거한 일체의 유리 기구 중 속슬레에 여과지를 삽입한 후 다이클로로메테인 용매를 이용하여 24시간 동안 매 1초당 한 방울의 낙하 속도로 추출이 되도록 하였다. 추출과정 중에 된스탁 유리 기구에 맺힌 수분은 수시로 제거하였으며, 추출된 용액은 무수황산나트륨으로 탈수하여 회전식 감압농축기 (Rotavapor R-215, BÜCHI Labortechnik AG, Switzerland)를 사용하여 최종액량을 1 mL까지 농축하였다. 농축된 추출액은 20 mL 용량플라스크에 옮겨 담고 아세톤으로 채운 후, 분석항목에 따라 일정 비율로 분취하여 정제 과정을 수행하였다.

유기염소계농약류 중 독사펜은 1 L 분액깔대기에 시료 500 mL을 넣고 염석(鹽析)효과를 주기 위해 염화나트륨 30 g 및 정제용 내부표준물질(1 mg/L) 25  $\mu$ L를 첨가하고 충분히 녹인 다음, 노말-헥세인 50 mL를 넣어 10분간 진탕하여 추출하였다. 추출조작을 2회 반복하고, 노말-헥세인층을 합하여 무수황산나트륨으로 탈수하고 회전식 감압농축기를 사용하여 최종액량을 1 mL까지 농축하였다.

산업용물질 중 과불화화합물은 하천수/호소수 시료 500 mL를 원심분리기를 이용하여 4,000 rpm 속도로 10분간 원심분리하고 상등액과 부유물을 분리한 후, 그 상등액은 고체상추출법(SPE)을 통해 추출을 실시하였다.

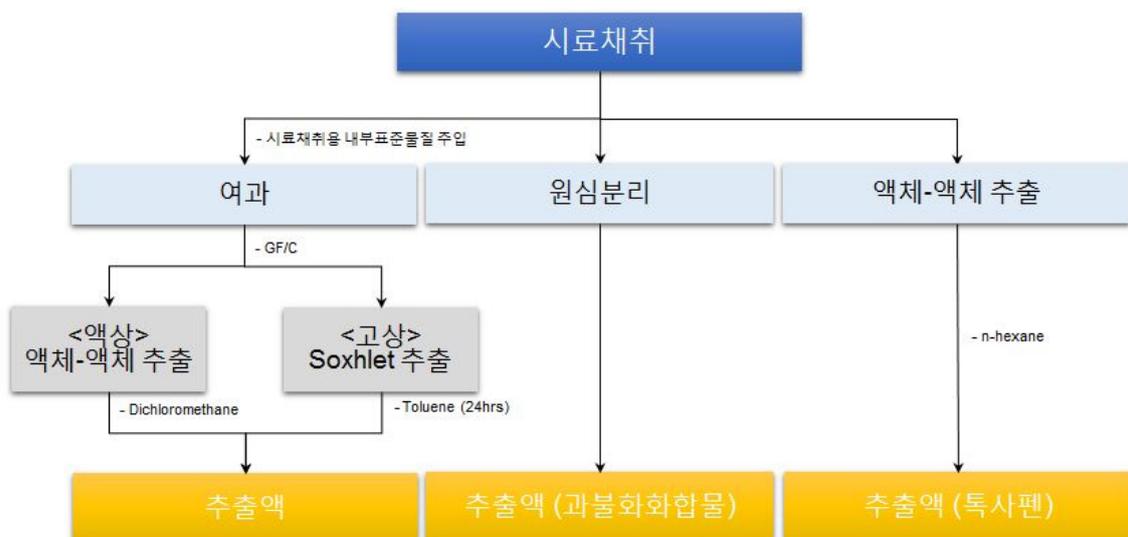


그림 II-3-3. 하천 및 호소수 시료의 잔류성유기오염물질 추출방법

### 3.2.2. 정 제

#### 가) 다이옥신/푸란

적정 비율로 분배된 추출액을 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인, 다이클로로메테인 순서로 용매세척한 시험관에 옮겨 담아 파스퇴르피펫과 질소농축기 (N-Evap 112, Organomation Associates Inc., USA, 99.999% 고순도 질소)로 농축하며 노말-헥세인을 넣어 용매를 전환하였다. 이후 정제용 표준물질 (EPA-1613LCS, 100 ng/mL x 10  $\mu$ L = 1 ng, Wellington, Canada)을 주입하였다.

용매로 세정한 안지름 15 mm, 길이 300 mm 정제용 칼럼에 유리솜, 무수황산나트륨 1 g, 중성실리카겔 0.9 g, 2 % KOH 실리카겔 3 g, 중성실리카겔 0.9 g, 44 % 황산실리카겔 4.5 g, 22 % 황산실리카겔 6 g, 중성실리카겔 0.9 g, 질산은 실리카겔 3 g, 구리분말 0.4 g, 무수황산나트륨 6 g을 하단부터 순차적으로 충전하였다.

충전칼럼 사이의 공극을 없애주기 위해 노말-헥세인 용매를 채우고, 정제용 표준물질이 주입된 전처리 과정을 거친 추출액(하천/호소수 시료)을 충전칼럼 상부에 조심스레 주입하였다. 다음 단계로 분액여두에 담긴 노말-헥세인 150 mL를 충전칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 둥근플라스크에 용출시켰다.

둥근플라스크의 용출액은 회전식 감압농축기로 약 5 mL로 농축한 다음 질소 가스를 불어넣어 약 1 mL까지 농축하여 알루미늄 정제용 시료로 준비하였다.

알루미늄 정제를 위해서 우선 알루미늄을 600  $^{\circ}$ C에서 24시간 활성화시킨 후 데시케이터에서 방냉한 것을 사용하였다. 용매로 세정한 안지름 15 mm, 길이 300 mm의 정제용 칼럼에 유리솜, 무수황산나트륨 1 g, 알루미늄 6 g, 무수황산나트륨 9 g을 하단부터 순차적으로 채웠다. 충전칼럼 사이의 공극을 없애주기 위해 노말-헥세인 용매를 채우고, 정제를 마친 농축시료를 충전칼럼 상부에 조심스레 주입하였다.

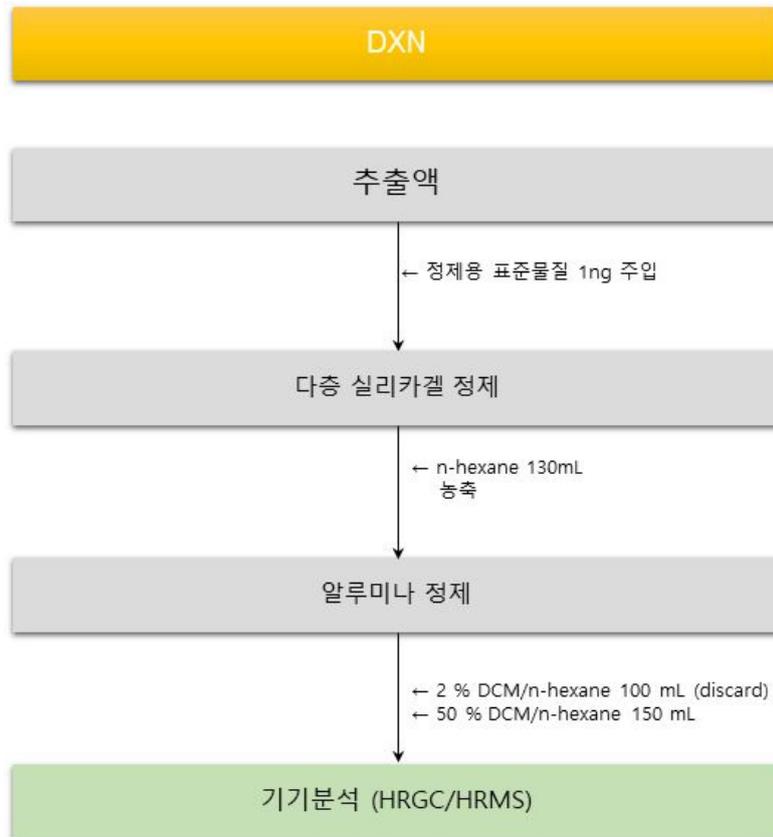


그림 II-3-4. 다이옥신/푸란 시료 정제방법

다음 단계로 방해물질 제거를 위해 분액여두에 담긴 2% 다이클로로메테인 함유 노말-헥세인 100 mL를 충전칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 용출시킨 후 버렸으며, 이어서 50% 다이클로로메테인 함유 노말-헥세인 150 mL를 충전 칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 등근플라스크에 용출시켰다.

알루미나 정제를 마친 시료는 회전식 감압농축기와 질소를 불어넣어 최종 액량을 약 1 mL까지 농축한 후 노말-노난으로 용매를 전환하였다. 이후 200 ng/mL 농도 수준의 실린지 첨가용 내부표준물질 (EPA-1613 ISS, Wellington, Canada)을 1 ng 주입하고, 질소 농축기로 약 100  $\mu$ L까지 농축하여 HRGC/HRMS 분석 장비를 이용하여 분석을 실시하였다.

## 나) 폴리클로리네이티드비페닐

적정 비율로 분배된 추출액은 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인 다이클로로메테인 용매 순서로 세척하여 시험관에 옮겨 담고, 파스퇴르 피펫과 질소농축기 (N-Evap 112, Organomation Associates Inc., USA, 99.999% 고순도 질소)로 농축하여 노말-헥세인으로 용매를 전환하였다. 이후 정제용 표준물질 (코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 : WP-LCS,  $10 \text{ ng/mL} \times 50 \text{ } \mu\text{L} = 0.5 \text{ ng}$ , 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐 : EC9605-SS,  $2 \text{ ng/mL} \times 10 \text{ } \mu\text{L} = 20 \text{ ng}$ , Wellington, Canada)을 주입하였다.

용매로 세정한 안지름 15 mm, 길이 300 mm 정제용 칼럼에 유리솜, 무수황산나트륨 1g, 중성실리카겔 0.9g, 2% KOH 실리카겔 3g, 중성실리카겔 0.9g, 44% 황산실리카겔 4.5g, 22% 황산실리카겔 6g, 중성실리카겔 0.9g, 질산은 실리카겔 3g, 무수황산나트륨 6g을 순차적으로 충전하여 다층실리카겔 정제를 실시하였다.

충전칼럼 사이의 공극을 없애주기 위해 노말-헥세인 용매를 채우고, 정제용 표준물질이 주입된 전처리 과정을 거친 추출액을 충전칼럼 상부에 조심스레 주입하였다. 다음 단계로 분액여두에 담긴 노말-헥세인 130 mL를 충전칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 둥근플라스크에 용출시켰다.

둥근플라스크의 용출액은 회전식 감압농축기와 질소가스를 불어넣어 약 1 mL까지 농축하였으며, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 항목은 필요한 경우 알루미나 정제를 추가로 실시하였다.

알루미나 정제를 위해서 우선 알루미나를 600 °C에서 24시간 활성화시킨 후 데시케이터에서 방냉한 것을 사용하였다. 용매로 세정한 안지름 15 mm, 길이 300 mm의 정제용 칼럼에 유리솜, 무수황산나트륨 1g, 알루미나 6g, 무수황산나트륨 9g을 순차적으로 채웠다. 충전칼럼 사이의 공극을 없애주기 위해 노말-헥세인 용매를 채우고, 정제를 마친 농축시료를 충전칼럼 상부에 조심스레 주입하였다.

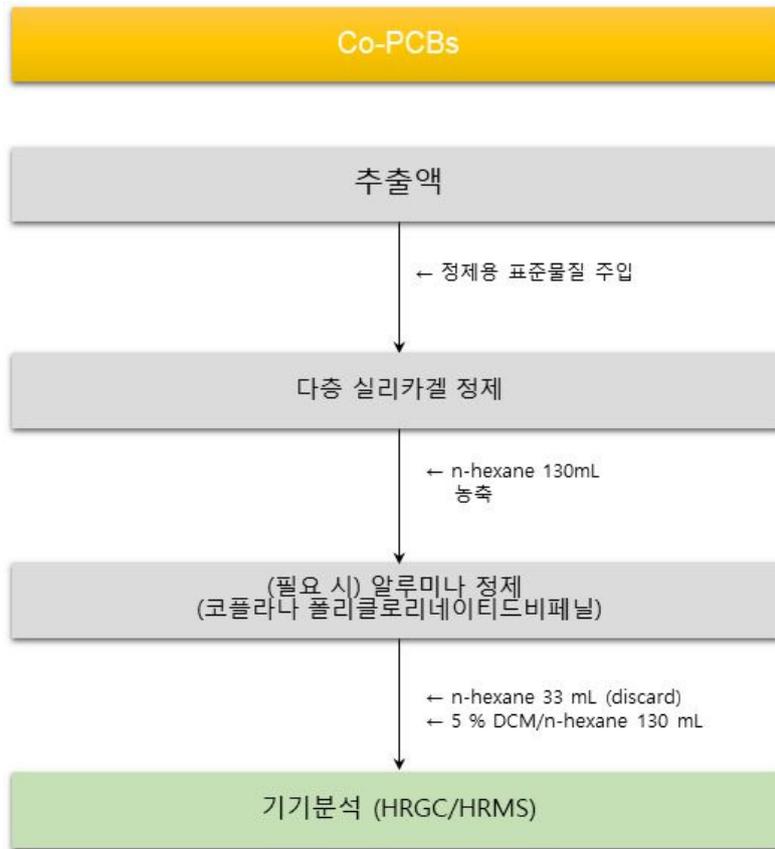


그림 II-3-5. 폴리클로리네이티드비페닐 시료 정제방법

다음 단계로 방해물질 제거를 위해 분액여두에 담긴 노말-헥세인 33 mL를 충전칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 용출시킨 후 버렸으며, 이어서 5% 다이클로로메테인 함유 노말-헥세인 130 mL를 충전칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 둥근플라스크에 용출시켰다.

알루미나 정제를 마친 시료는 회전식 감압농축기와 질소를 불어넣어 최종 액량을 약 1 mL까지 농축한 후 노말-노난으로 용매를 전환하였다. 이후 실린지 첨가용 내부표준물질 (코플라나 폴리클로리네이티드비페닐: WP-ISSS, 10 ng/mL x 50  $\mu$ L = 0.5 ng, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐: EC9605-RS, 2 ng/mL x 10  $\mu$ L = 20 ng, Wellington, Canada) 주입 후 질소 농축기로 약 100  $\mu$ L까지 농축하여 HRGC/HRMS 분석 장비를 이용하여 분석을 실시하였다.

### 다) 유기염소계농약류 (특사펜 제외)

적정 비율로 분배된 추출액은 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인, 다이클로로메테인 용매 순서로 세척한 시험관에 옮겨 담고, 파스퇴르 피펫과 질소농축기 (N-Evap 112, Organomation Associates Inc., USA, 99.999% 고순도 질소)로 농축한 후 노말-헥세인으로 용매를 전환하였다.

이후 정제용 표준물질 (Expanded POPs Pesticides Cleanup Spike w/Endosulfan Sulfate, 100 ng/mL x 10  $\mu$ L = 1 ng, ES-5465-A-5X, 500 ng/mL x 4  $\mu$ L = 2 ng, CIL, USA)을 주입하였다.

정제는 고체상추출 카트리지 (Solid Phase Extraction Cartridge) 5 g/20 mL를 이용하였으며, 카트리지 상부에 무수황산나트륨 1 g을 채운 후, 카트리지 사이의 공극을 없애주기 위해 용매를 채우고, 정제용 표준물질이 주입된 추출액을 카트리지 상부에 조심스레 주입하였다.

이후 분액여두에 담긴 노말-헥세인 100 mL로 용출하여 1분획 시료로 받고, 이어서 25% 다이클로로메테인 함유 노말-헥세인 100 mL를 용출하여 2분획 시료로 받았다. 2분획 용출액은 필요 시 활성탄 정제를 실시하였으며, 활성탄 카트리지에 주입 후 15 mL 노말-헥세인으로 용출하였다.

정제를 마친 용출액은 모두 모아서 회전식 감압농축기와 질소농축기를 이용하여 최종액량을 1 mL까지 농축하고, 다시 실린지 첨가용 내부표준물질 (POPS Pesticides HRMS (PCB) Syringe Spike, 100 ng/mL, 0.4~1 ng, CIL, USA)을 주입하였다.

이후 노말-노난으로 용매를 전환한 후 질소 농축기로 약 100  $\mu$ L까지 농축하여 HRGC/HRMS로 분석하였다.

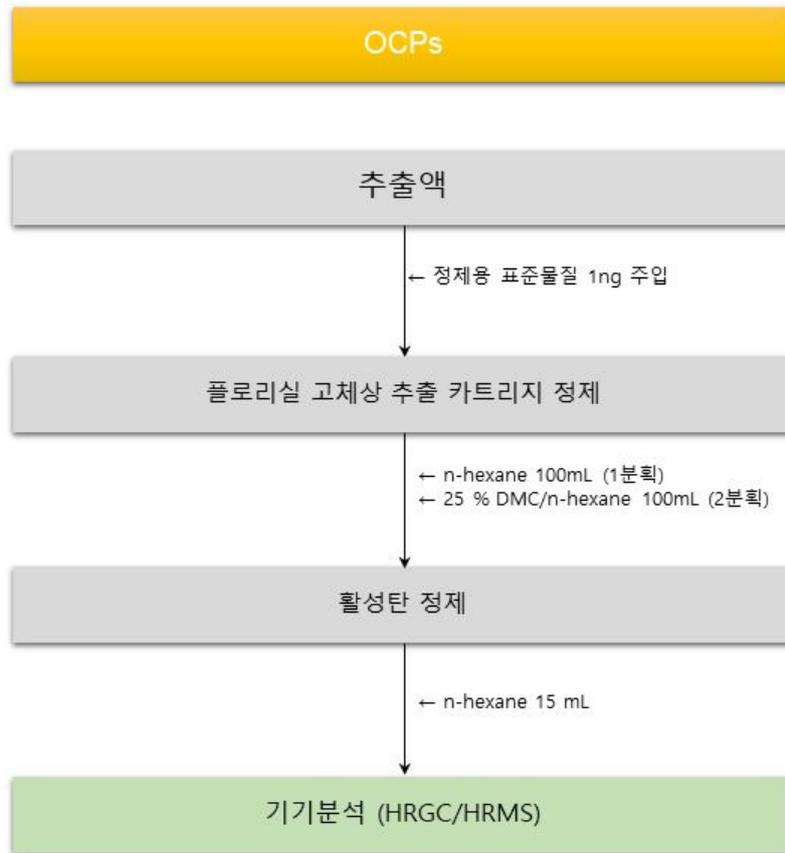


그림 II-3-6. 유기염소계농약류 시료 정제방법

### 라) 유기염소계농약류 (톡사펜)

적정 비율로 분배된 추출액을 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인, 디클로로메테인 순서로 용매세척한 시험관에 옮겨 담아 파스퇴르피펫과 질소농축기 (N-Evap 112, Organomation Associates Inc., USA, 99.999% 고순도 질소)로 농축하며 노말-헥세인으로 용매를 전환하였다. 이후 정제용 표준물질 (ES-5352-L, 1 ng/μL x 10 μL = 10 ng, CIL, USA) 주입하였다.

정제는 고체상추출 카트리지 (Solid Phase Extraction Cartridge) 1 g/ 6 mL를 이용했으며, 카트리지 충전시약 상부에 무수황산나트륨 1 g을 채운 후 노말-헥세인 10 mL로 활성화 시킨 후 정제용 표준물질이 주입된 추출액을 충전시약 상부에 조심스레 주입하였다.

이후 대기의 경우 5 % 에테르/노말-헥세인 100 mL로 용출한 1분획 시료와 20 % 에테르/노말-헥세인 100 mL로 용출한 2분획 시료를 합쳤으며, 수질, 토양/퇴적물 시료의 경우 15% 에틸아세테이트/노말-헥세인 20 mL로 분석대상물질을 용출한다. 정제를 마친 용출액은 합하여 회전증발농축기와 질소농축기를 이용해 1 mL까지 농축한 후 실린지 첨가용 내부표준물질 (MBP-153 (13C-2,2',4,4',5,5-Hexachlorobiphenyl), 2.5 ng/μL x 10 μL = 25 ng, CIL, USA)을 주입하였다. 이후 노말-노난으로 용매를 전환한 후 질소 농축기로 약 0.5 mL까지 농축하여 HRGC/LRMS-NCI로 기기분석을 실시하였다.

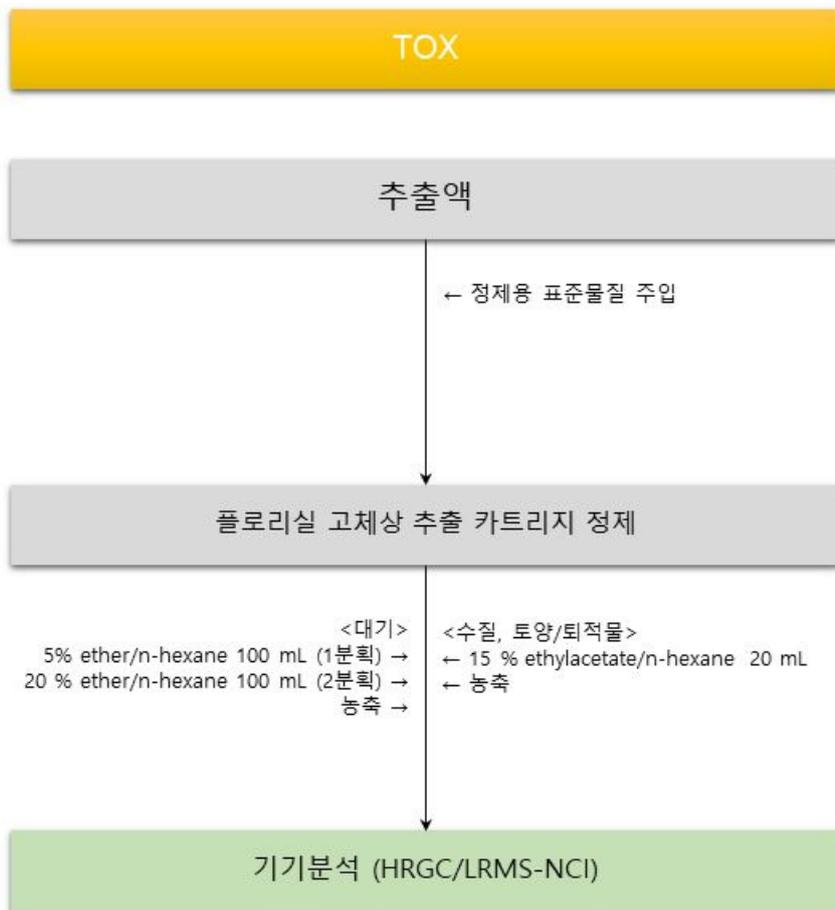


그림 II-3-7. 유기염소계농약류(독사펜) 시료 정제방법

## 바) 과불화화합물 (PFOS, PFOA)

적정 비율로 분배된 추출액은 메탄올로 용매 세척한 폴리프로필렌 시험관에 옮겨 담고, 질소농축기 (N-Evap 112, Organomation Associates Inc., USA, 99.999% 고순도 질소)로 농축하였다. 이후 정제용 표준물질 (MPFHxS/MPFHxA, 0.1 ng/μL x 50 μL = 5 ng, Wellington, Canada)을 주입하였다.

정제는 고체상추출 카트리지 (Solid Phase Extraction Cartridge) 200 mg/6 cc를 이용하였으며, 카트리지의 정제 및 활성화를 위해 각각의 카트리지를 메탄올 4 mL 및 증류수 4 mL로 씻어 내렸다. 표준물질이 주입된 시료는 10 mL/min~15 mL/min의 유속으로 카트리지를 통과시켰다.

시료 주입 종료 후 30초간 진공상태를 유지한 후 12 mL의 증류수와 6 mL 메탄올 용액(20%)으로 카트리지를 세척하였다. 이후 카트리지에 남아 있는 수분을 완전히 제거하기 위해서 10분간 진공상태를 유지면서 0.1% 암모니아 용액이 포함된 5 mL의 메탄올로 분석대상물질을 2회 용출하여 15 mL 폴리프로필렌 시험관에 담았다.



그림 II-3-8. 과불화화합물 시료 정제방법

정제를 마친 용출액은 모두 합쳐서 질소농축기를 이용하여 1 mL까지 농축한 후, 실린지 첨가용 내부표준물질 (MPFOS/MPFOA, 0.1 ng/μL x 50 μL = 5 ng, Wellington, Canada)을 주입하였다. 이후 질소 농축기로 약 0.5 mL까지 농축하여 LC/MS/MS 분석장비로 분석을 수행하였다.

### 사) 브롬화난연제 (PBDEs, HBB)

적정 비율로 분배된 추출액은 아세톤, 톨루엔, 노말-헥세인, 다이클로로메테인 용매 순서로 세척한 시험관에 옮겨 담고, 파스퇴르 피펫과 질소농축기 (N-Evap 112, Organomation Associates Inc., USA, 99.999% 고순도 질소)로 농축하여 노말 헥세인으로 용매를 전환하였다. 이후 정제용 표준물질 (MBDE-MXG, 100 ng/mL x 10 μL = 1 ng, 200 ng/mL x 10 μL = 2 ng, MBB-MXA, 200 ng/mL x 5 μL = 1 ng, CIL, USA)을 주입하였다.

용매로 세정한 안지름 15 mm, 길이 300 mm 정제용 칼럼에 유리솜, 무수황산나트륨 1 g, 중성실리카겔 2 g, 2% KOH 실리카겔 1 g, 중성실리카겔 4 g, 44% 황산실리카겔 3 g, 22% 황산실리카겔 1 g, 중성실리카겔 3 g, 10% 질산은실리카겔 1 g, 중성실리카겔 4 g, 무수황산나트륨 1 g을 순차적으로 충전하였다.

충전칼럼 사이의 공극을 없애주기 위해 노말-헥세인 용매를 채우고, 정제용 표준물질이 주입된 추출액을 충전칼럼 상부에 조심스레 주입하였다. 다음 단계로 분액여두에 담긴 노말-헥세인 250 mL를 충전칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 둥근플라스크에 용출시켰다.

다층 실리카겔 정제를 마친 시료는 회전식 감압농축기와 질소농축기를 이용하여 1 mL까지 농축한 후, 알루미나 정제를 실시하였다.

알루미나 정제는 알루미나를 190 °C에서 18시간 활성화시킨 후 테시케이 터에서 방랭시킨 것을 사용하였으며, 용매로 세정한 안지름 12 mm, 길이 150 mm 정제용 칼럼에 유리솜, 무수황산나트륨 2 g, 알루미나 6 g, 무수황산나트륨 2 g을 순차적으로 채웠다.

충전칼럼 사이의 공극을 없애주기 위해 노말-헥세인 용매를 채우고, 정제를 마친 추출액을 충전칼럼 상부에 조심스레 주입하였다. 이후 분액여두에 담긴 노말-헥세인 30 mL를 정제용 칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 용출시킨 후 버렸으며, 이어서 5% 다이클로로메테인 함유 노말-헥세인 40 mL를 충전칼럼과 결합하여 매초 1방울의 속도로 등근플라스크에 용출시켰다.

알루미나 정제를 마친 시료는 회전식 감압농축기와 질소농축기를 이용하여 1 mL까지 농축한 후, 노말-노난으로 용매 전환하였다. 이후 실린지 첨가용 내부 표준물질 (MBDE-ISS-G, 200 ng/mL x 5  $\mu$ L = 1 ng, CIL, USA)을 주입 후 질소농축기로 약 100  $\mu$ L까지 농축하여 HRGC/HRMS 분석장비를 이용하여 분석을 실시하였다.

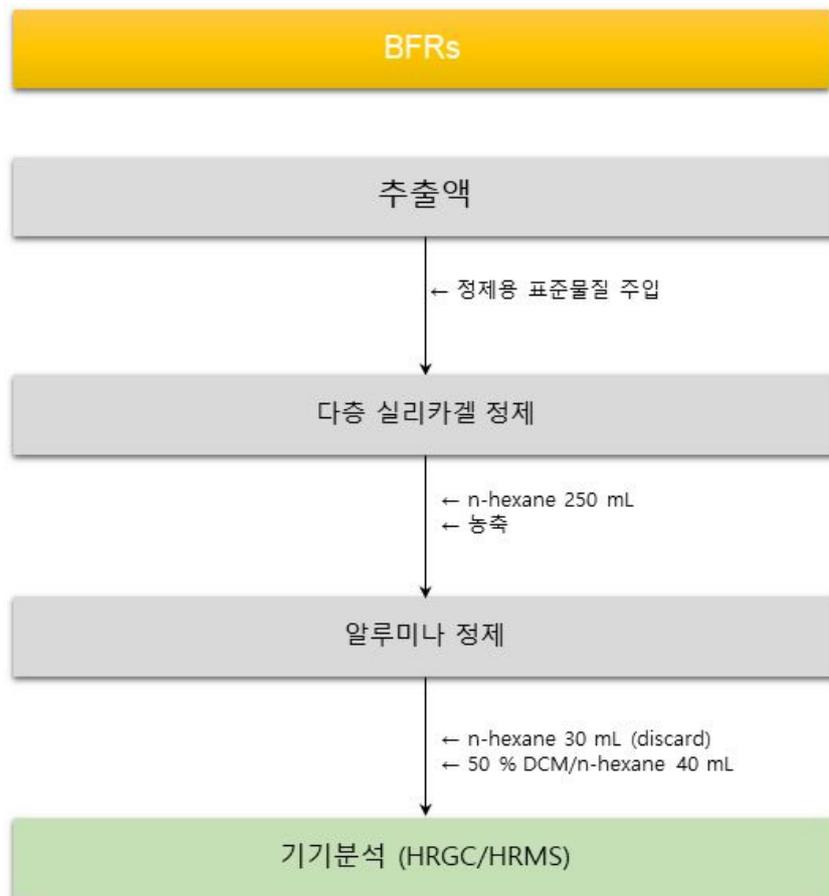


그림 II-3-9. 브롬화난연제(PBDEs, HBB) 시료 정제방법

### 3.3. 기기분석

다이옥신류 등 대부분의 대상물질들은 GC/HRMS로 분석하였으며, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐은 GC/LRMS, 산업용물질 중 과불화화합물(PFOS, PFOA)은 LC/MS/MS로 분석하였다. 항목별 적용분석방법 및 분석기기를 표 II-3-9에 나타내었으며, 분석항목별 기기분석의 세부조건은 표 II-3-10~표 II-3-17에 나타내었다.

표 II-3-9. 항목별 적용분석방법 및 분석기기

항목	공정시험방법	분석기기		
		GC/HRMS	GC/LRMS	LC/MS/MS
공정 부산물	다이옥신/푸란 코플라나폴리클로리네이티드비페닐(12개 이성체) 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(7개 이성체)	ES 10901.1 ES 10904.1 ES 10907.1	○	
유기 염소계 농약류	알드린 엔드린 디엘드린 헵타클로르 미렉스 클로르데인 디디티 헥사클로로벤젠 펜타클로로벤젠 헥사클로로사이클로hex산	ES 10900.1 ES 10903.1 ES 10906.1	○	
	엔도설판	ES 10315.1 ES 10375.1 ES 10435.1	○	
	독사펜	ES 10307.1 ES 10367.1 ES 10427.1		○
산업용 물질	과불화옥탄술폰산(PFOS) 과불화옥탄산(PFOA)	ES 10314.1 ES 10374.1 ES 10434.1		○
	폴리브롬화디페닐에테르	ES 10312.1 ES 10372.1 ES 10432.1	○	
	폴리브롬화비페닐	ES 10313.1 ES 10373.1 ES 10433.1	○	

표 II-3-10. HRGC/HRMS 기기분석조건 (다이옥신/푸란)

항 목	조 건
분석장비	HRGC/HRMS, JMS-800D, JEOL, Japan
컬럼	SP-2331(capillary column, (60 m, 0.32 mm ID, 0.2 μm film thickness) DB-5MS UI(capillary column, (60 m, 0.25 mm ID, 0.25 μm film thickness)
운반 기체	He (99.9999%) at 1.0 ~ 1.2 mL/min
주입부 온도	260 ~ 280 °C
주입방식	비분할방식(splitless)
승온조건	SP 2331 : 120 °C(1분) → 200 °C(3분, 20 °C/분) → 260(25분, 5 °C/분) DB-5MS UI : 150 °C(1분) → 235 °C(11분, 15 °C/분) → 310(8분, 8 °C/분)
연결부 온도	260 ~ 280 °C
이온원 온도	260 ~ 280 °C
이온화 전압	38 eV
이온화 전류	500 μA
가속전압	8 ~ 10 kV
이온화 방식	전자충격이온화방식(EI)
검출방식	선택이온검출방식(SIM)
질량분해능	10,000(10 % valley)

표 II-3-11. HRGC/HRMS 기기분석조건 (코플라나 폴리클로리네이티드비페닐)

항 목	조 건
분석장비	HRGC/HRMS, JMS-800D Ultra Focus, JEOL, Japan
컬럼	DB-5MS, capillary column (60 m, 0.25 mm ID, 0.25 μm film thickness_
운반 기체	He (99.9999%) at 1.0 mL/min
주입부 온도	280°C
주입방식	비분할방식(splitless)
승온조건	150°C (1 min) → 20°C/min → 185°C (3 min) → 2°C/min → 245°C (3 min) → 10°C/min → 300°C (3.75 min)
연결부 온도	280 °C
이온원 온도	280 °C
이온화 전압	38 eV
이온화 전류	500 μA
가속전압	10 kV
이온화 방식	전자충격이온화방식(EI)
검출방식	선택이온검출방식(SIM)
질량분해능	10,000

표 II-3-12. HRGC/LRMS 기기분석조건 (인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐)

항 목	조 건
분석장비	HRGC/LRMS, DSQ-II, Thermo, USA
컬럼	DB5-MS UI (60 m, 0.25 mm ID, 0.25 μm film thickness_
운반 기체	He (99.9999%) at 1.0 mL/min
주입부 온도	270°C
주입방식	비분할방식(splitless)
승온조건	100°C (3 min) → 20°C/min → 180°C (0 min) → 2 °C/min → 270 °C (5 min)
연결부 온도	280°C
이온원 온도	260°C
이온화 전압	70 eV
이온화 전류	100 μA
이온화 방식	전자충격이온화방식(EI)
검출방식	선택이온검출방식(SIM)
질량분해능	2,000 or more

표 II-3-13. HRGC/HRMS 기기분석조건 (유기염소계농약류)

항 목	조 건
분석장비	HRGC/HRMS, JMS-800D Ultra Focus, JEOL, Japan
컬럼	CLPesticides2, capillary column (30 m, 0.25 mm ID, 0.2 μm film thickness_
운반 기체	He (99.9999%) at 1.0 mL/min
주입부 온도	260°C
주입방식	비분할방식(splitless)
승온조건	100°C (1 min) → 20°C/min → 180°C (5 min) → 0.5°C/min → 186.5°C (20 min) → 10°C/min → 250°C (24 min) → 40°C/min → 300°C (30 min)
연결부 온도	260°C
이온원 온도	260°C
이온화 전압	38 eV
이온화 전류	500 μA
가속전압	10 kV
이온화 방식	전자충격이온화방식(EI)
검출방식	선택이온검출방식(SIM)
질량분해능	10,000

※ 헥사클로로벤젠과 펜타클로로벤젠은 유기염소계농약류 동시시험법으로 기기분석 수행

표 II-3-14. HRGC/HRMS 기기분석조건 (엔도설판)

항 목	조 건
분석장비	HRGC/HRMS, Waters Autospec premier, USA
컬럼	DB-CLP1, capillary column (30 m, 0.32 mm ID, 0.25 $\mu$ m film thickness_
운반 기체	He (99.9999%) at 1.0 mL/min
주입부 온도	280°C
주입방식	비분할방식(splitless)
승온조건	150°C (4 min) $\rightarrow$ 5°C/min $\rightarrow$ 235°C (21 min) $\rightarrow$ 2.5°C/min $\rightarrow$ 300°C (30 min)
연결부 온도	270 °C
이온원 온도	250 °C
이온화 전압	35 eV
이온화 전류	400~500 $\mu$ A
가속전압	8 kV
이온화 방식	전자충격이온화방식(EI)
검출방식	선택이온검출방식(SIM)
질량분해능	10,000

표 II-3-15. HRGC/LRMS 기기분석조건 (특사펜)

항 목	조 건
분석장비	HRGC/LRMS, JMS-Q1500GC, JEOL JAPAN
컬럼	Ultra-2 (50 m, 0.2 mm ID, 0.33 $\mu$ m film thickness_
운반 기체	He (99.9999%) at 1.0 mL/min
주입부 온도	210 °C
주입방식	비분할방식(splitless)
승온조건	100°C (0 min) $\rightarrow$ 20°C/min $\rightarrow$ 300°C (10 min)
연결부 온도	250°C
이온원 온도	150°C
이온화 전압	150 eV
이온화 전류	100 $\mu$ A
이온화 방식	Negative Chemical ionization (NCI)
검출방식	선택이온검출방식(SIM)
질량분해능	2,000 or more

표 II-3-16. LC/MS/MS 기기분석조건 (PFOS, PFOA)

항 목	조 건		
분석장비	LC/MS/MS, XEVO TQMS, Waters, USA		
컬럼	Waters Acquity UPLC BEH C18 (2.1×50mm, 1.7μm)		
컬럼 온도	40°C		
주입량	3μL		
이동상	(A) 10 mM AA <sup>1)</sup> (in DIW <sup>2)</sup> ), (B) ACN <sup>3)</sup>		
유량	0.3 mL/min		
농도 구배	Time (min)	A (%)	B (%)
	Initial	60	40
	4	10	90
	5	10	90
	7	60	40
총 운전 시간	7min		
질량분석기	Waters Xevo TQ-S		
이온 소스	Electron Spray Ionization negative: ESI (-)		
분무 가스	N <sub>2</sub>		
가스 유량	800L/h		
기화기 온도	400°C		
검출 방법	Multiple Reaction Monitoring (MRM)		

1) Ammonium Acetate, 2) Deionized Water, 3) Acetonitrile

표 II-3-17. HRGC/HRMS 기기분석조건 (PBDEs, HBB)

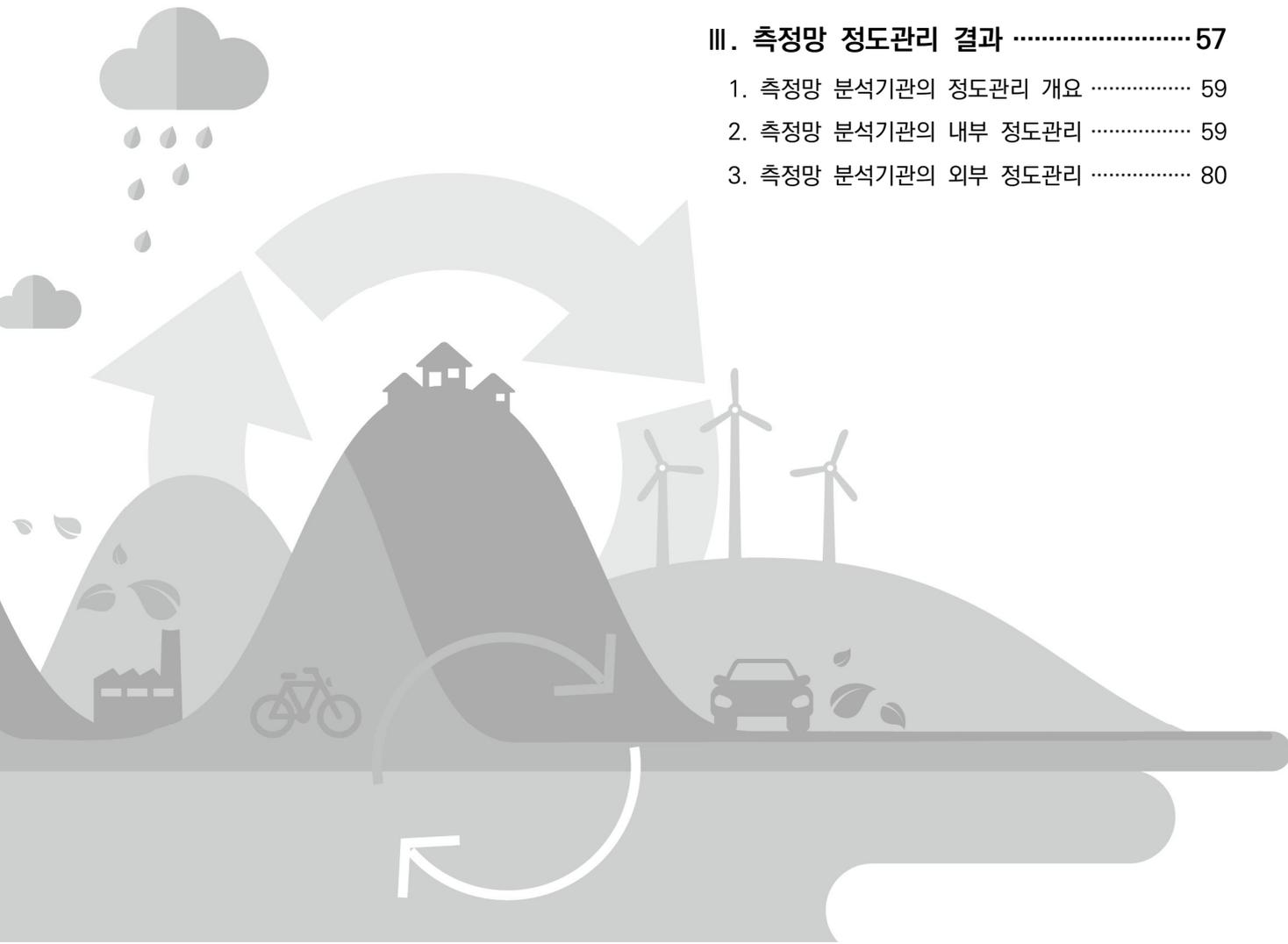
항 목	조 건
분석장비	HRGC/HRMS, Waters Autospec premier, USA
컬럼	DB-5MS, capillary column (15 m × 0.25 mm ID × 0.10 μm film thickness)
운반 기체	He (99.9999%) at 1.0 mL/min
주입부 온도	280 °C
주입방식	비분할방식(splitless)
승온조건	110 °C(5 min) → 40 °C/min → 200 °C(4min) → 12 °C/min → 320 °C (3.75 min)
연결부 온도	320 °C
이온원 온도	250 °C
이온화 전압	35 eV
이온화 전류	400~500 μA
가속전압	8 kV
이온화 방식	전자충격이온화방식(EI)
검출방식	선택이온검출방식(SIM)
질량분해능	10,000



III

III. 측정망 정도관리 결과 ..... 57

- 1. 측정망 분석기관의 정도관리 개요 ..... 59
- 2. 측정망 분석기관의 내부 정도관리 ..... 59
- 3. 측정망 분석기관의 외부 정도관리 ..... 80





## III. 측정망 정도관리 결과

### 1. 측정망 분석기관의 정도관리 개요

잔류성유기오염물질측정망 분석결과의 정도보증 및 정도관리를 위하여 『잔류성유기오염물질 측정망 설치·운영 계획(환경부 고시 제2016-247호)』 별표 2의 “잔류성유기오염물질 측정분석 정도보증 시행지침”에 따라 분석기관인 공단에서 수행한 내부정도관리 및 Audit 기능을 가진 국립환경과학원으로부터 외부정도관리를 수검하였다.

분석기관인 공단은 분석자의 분석능력을 평가하고, 분석장비 및 실험실의 운영 조건 등을 평가하기 위하여 분석항목별 방법검출한계 도출, 정확도 및 정밀도 확인, 바탕시료 분석을 통한 오염도 평가 등 내부정도관리를 수행하였으며, 또한 국립환경과학원에 의한 외부정도관리는 분석결과의 정확도 및 정밀도 평가를 위하여 국립환경과학원과 공동으로 인증표준물질을 분석하고, 분석항목별로 환경매체별 시료의 10% 이내의 중복시료를 취하여 교차분석을 실시하고, 그 결과를 비교하는 방법으로 수행하였다.

### 2. 측정망 분석기관의 내부 정도관리

분석결과의 정밀도 및 정확도를 확보하기 위하여 『POPs 측정분석 정도보증 시행지침』의 절차에 따라 정도관리를 수행하였다. 정도보증 시행지침의 대표적인 검증항목으로 HRGC/HRMS 운전조건, 검정곡선, 실험실 내부정도관리, 회수율 등이 포함된다. 분석자료 검증항목의 세부내용은 표 III-2-1에 요약정리하였다.

#### 2.1. 분석기기 검정곡선 점검결과

분석자료의 정도관리 검증항목 중 HRGC/HRMS와 검정곡선의 세부항목에 대한 점검결과는 표 III-2-2 ~ 표 III-2-7에 나타내었으며, 모든 시료는 정도보증 시행지침을 준수하여 수행하였다.

표 III-2-1. 분석자료 검증항목별 세부내용

검증항목	세부항목	기준 및 방법	비고
바탕시료	현장바탕시료	- 세척 후 시료채취에 사용된 적이 없는 유리기구에 수집	시료채취과정의 오염 여부 확인
	유리기구 바탕시료	- 실험 배치에 들어있는 모든 유리기구류의 마지막 세척용매를 모아 분석	유리기구에 의한 오염여부 확인
	실험실 바탕시료	- 실험대조 표준시료를 실제 시료의 분석과 같은 절차로 전처리하여 분석 - 매 시료 배치 당 하나 이상 분석	실험실 내부의 오염 여부 확인
회수율	대기시료	- HCB : 40~120% - 알드린 : 30~120% - 기타 : 50~120%	정제용 내부표준물질의 회수율
	대기 시료 외	- 50~120%	정제용 내부표준물질의 회수율
검정곡선	검정곡선의 범위	- 시료 정량 범위	시료군 마다 작성
	직선성	- 결정계수 0.99이상	
	상대감응계수값의 상대표준편차	- ±15% 이내 - 분석종료 후 검정곡선 중간농도 ±20% 이내	CS1 ~ CS5 CS3로 검증
HRGC/HRMS	분해능	- 10% Valley 10,000 이상	
	PFK 질량검정	- 이론 및 실측의 차 5 ppm이하	
	동위원소 치환체 피크의 자연존재비	- ±15% 이내	정량기준
	잠금질량	- 초기값에서 ±20% 이내	기준 초과 시 재정제
실험실 내부정도관리	방법검출한계	- 인증표준물질 또는 표준물질 등을 이용하여 7회 이상 반복 실험하여 계산되는 표준편차에 3.14를 곱하여 구함	
	정확도	- 측정값과 참값의 차이 - 회수율로 표현	
	정밀도	- 반복된 측정값들의 일치정도 (재현성) - 분석방법 검출한계 이상의 농도로 표준시약을 해당매질에 첨가 후 반복측정하여 상대 표준편차나 편차계수로 표현	

표 III-2-2 공정부산물(다이옥신/푸란, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐)의 HRGC/HRMS 및 검정곡선 점검결과

검증항목	세부항목	기준 및 방법	점검결과
HRGC/HRMS	분해능	10,000 이상	만족
	S/N 비	2.5배 이상	만족
	PFK 질량검정	5 ppm 이하(이론값-실측값)	만족
	잠금질량	±20% 이내	만족
	동위원소 치환체 피크의 자연 존재비	±15% 이내	만족
검정곡선	검정곡선의 범위	정량 범위 내 5개 농도	만족
	직선성	결정계수 0.99 이상	만족
	상대감응계수값의 상대표준편차	±15% 이내	만족
	Verification STD	±20% 이내	만족

표 III-2-3. 공정부산물(인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐)의 HRGC/LRMS 및 검정곡선 점검결과

검증항목	세부항목	기준 및 방법	점검결과
HRGC/LRMS	분해능	2,000 이상	만족
	S/N 비	2.5배 이상	만족
검정곡선	검정곡선의 범위	정량 범위 내 5개 농도	만족
	직선성	결정계수 0.99 이상	만족
	상대감응계수값의 상대표준편차	±15% 이내	만족
	Verification STD	±20% 이내	만족

표 III-2-4. 유기염소계농약류(독사펜 제외)의 HRGC/HRMS 및 검정곡선 점검결과

검증항목	세부항목	기준 및 방법	점검결과
HRGC/HRMS	분해능	10,000 이상	만족
	S/N 비	2.5배 이상	만족
	PFK 질량검정	5 ppm 이하(이론값-실측값)	만족
	잠금질량	±20% 이내	만족
	동위원소 치환체 피크의 자연 존재비	±20% 이내	만족
검정곡선	검정곡선의 범위	정량 범위 내 5개 농도	만족
	직선성	결정계수 0.99 이상	만족
	상대감응계수값의 상대표준편차	±15% 이내	만족
	Verification STD	±20% 이내	만족

표 III-2-5. 유기염소계농약류(독사펜)의 HRGC/LRMS 및 검정곡선 점검결과

검증항목	세부항목	기준 및 방법	점검결과
HRGC/LRMS	분해능	2,000 이상	만족
	S/N 비	2.5배 이상	만족
검정곡선	검정곡선의 범위	정량 범위 내 5개 농도	만족
	직선성	결정계수 0.99 이상	만족
	상대감응계수값의 상대표준편차	±15% 이내	만족
	Verification STD	±20% 이내	만족

표 III-2-6. 산업용물질 (과불화화합물)의 LC/MS/MS 및 검정곡선 점검결과

검증항목	세부항목	기준 및 방법	점검결과
LC/MS/MS	S/N 비	2.5배 이상	만족
	시료군평균대비 내부표준물질 피크면적	50% 이내	만족
검정곡선	검정곡선의 범위	정량 범위 내 5~8개 농도	만족
	직선성	결정계수 0.99 이상	만족

표 III-2-7. 산업용물질 (PBDEs, HBB)의 HRGC/HRMS 및 검정곡선 점검결과

검증항목	세부항목	기준 및 방법	점검결과
HRGC/HRMS	분해능	10,000 이상	만족
	S/N 비	2.5배 이상	만족
	PFK 질량검정	5 ppm 이하(이론값-실측값)	만족
	잠금질량	±20% 이내	만족
	동위원소 치환체 피크의 자연 존재비	±15% 이내	만족
검정곡선	검정곡선의 범위	정량 범위 내 5개 농도	만족
	직선성	결정계수 0.99 이상	만족
	상대감응계수값의 상대표준편차	±15% 이내	만족
	Verification STD	±20% 이내	만족

## 2.2. 방법검출한계

“방법검출한계(MDL, Method Detection Limit)”는 어떠한 매질에 분석대상물질이 포함된 시료를 시험기준에 따라 테스트한 결과가 99% 신뢰수준에서 0보다 분명히 큰 최소 농도로 정의할 수 있다. 분석자는 최소 1년마다 정기적으로 사용하는 시험방법과 분석장비에 대한 분석자의 방법검출한계를 도출 및 확인하여야 한다. 또한 실험실 정도 보증/정도관리에 중요한 변경사항(분석자의 교체, 분석장비의 교체, 시험기준 변경 등)이 발생할 때, 방법검출한계를 재도출하여야 한다.

측정기관에서 수행한 방법검출한계 산정절차는, 대기의 경우 용매로 환류 세척 및 건조된 시료채취용 여지(폴리우레탄폼, 석영섬유여과지, 활성탄 펠트)에 분석항목별로 표준물질(Native, 시료채취용)을 주입하였고, 이후 분석항목별로 실제시료와 동일한 방법으로 추출 및 정제과정을 거쳐 최종적으로 기기분석을 실시하였다.

토양/퇴적물은 시료별로 바다모래(Sea Sand) 20g을 톨루엔으로 24시간 속슬레 추출하여 건조시킨 후 다시 500℃에서 5시간 가열하여 식힌 후 분석항목별로 표준물질(Native, 시료채취용)을 주입하였고, 이후 분석항목별로 실제시료와 동일한 방법으로 추출 및 정제과정을 거쳐 최종적으로 기기분석을 실시하였다.

하천 및 호소수는 시료별로 증류수 6L에 분석항목별로 표준물질(Native, 시료채취용)을 주입하였고, 이후 실제시료와 동일한 방법으로 추출 및 정제과정을 거쳐 최종적으로 기기분석을 실시하였다.

매체별 분석대상물질의 방법검출한계는 잔류성유기오염물질 공정시험기준에서 제시하고 있는 검출한계를 모두 준수하였으며, 항목별, 매체별로 산출한 방법검출한계와 잔류성유기오염물질 공정시험기준에서 제시하고 있는 항목별 방법검출한계와의 비교결과를 표 III-2-8 ~ 표 III-2-15에 제시하였다.

표 III-2-8. 다이옥신/푸란 방법검출한계

측정항목	구 분		대기( $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ )		수질( $\mu\text{g}/\text{L}$ )		토양퇴적물( $\mu\text{g}/\text{g}$ )	
			자 체	공정시험기준	자 체	공정시험기준	자체	공정시험기준
다이옥신/푸란	다이옥신	2,3,7,8-TCDD	0.002	0.05	0.123	0.5	0.055	0.1
		1,2,3,7,8-PeCDD	0.020	0.05	0.095	0.5	0.055	0.1
		1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.013	0.05	0.090	0.5	0.033	0.1
		1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.006	0.05	0.067	0.5	0.033	0.1
		1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.008	0.05	0.091	0.5	0.039	0.1
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.007	0.05	0.108	0.5	0.023	0.1
		OCDD	0.016	0.05	0.490	0.5	0.038	0.1
	푸란	2,3,7,8-TCDF	0.003	0.05	0.040	0.5	0.043	0.1
		1,2,3,7,8-PeCDF	0.006	0.05	0.043	0.5	0.041	0.1
		2,3,4,7,8-PeCDF	0.013	0.05	0.104	0.5	0.026	0.1
		1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.012	0.05	0.153	0.5	0.040	0.1
		1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.009	0.05	0.084	0.5	0.026	0.1
		2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.009	0.05	0.059	0.5	0.048	0.1
		1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.015	0.05	0.052	0.5	0.023	0.1
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.013	0.05	0.073	0.5	0.043	0.1
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.012	0.05	0.058	0.5	0.028	0.1
		OCDF	0.015	0.05	0.186	0.5	0.062	0.1

표 III-2-9. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 방법검출한계

측정항목	구 분	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )		수질(pg/L)		토양퇴적물(pg/g)	
		자 체	공정시험기준	자 체	공정시험기준	자체	공정시험기준
코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐	3,4,4',5-T4CB	0.015	0.05	0.422	0.5	0.098	0.1
	3,3',4,4'-T4CB	0.013	0.05	0.381	0.5	0.099	0.1
	2,3,3',4,4'-P5CB	0.014	0.05	0.489	0.5	0.069	0.1
	2,3,4,4',5-P5CB	0.014	0.05	0.470	0.5	0.075	0.1
	2,3',4,4',5-P5CB	0.015	0.05	0.487	0.5	0.089	0.1
	2',3,4,4',5-P5CB	0.010	0.05	0.497	0.5	0.092	0.1
	3,3',4,4',5-P5CB	0.014	0.05	0.426	0.5	0.092	0.1
	2,3,3',4,4',5-H6CB	0.014	0.05	0.491	0.5	0.058	0.1
	2,3,3',4,4',5'-H6CB	0.014	0.05	0.366	0.5	0.095	0.1
	2,3',4,4',5,5'-H6CB	0.012	0.05	0.471	0.5	0.093	0.1
	3,3',4,4',5,5'-H6CB	0.013	0.05	0.479	0.5	0.093	0.1
	2,3,3',4,4',5,5'-H7CB	0.013	0.05	0.411	0.5	0.098	0.1

표 III-2-10. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐 방법검출한계

측정항목	구 분	수질(pg/L)		토양퇴적물(pg/g)	
		자 체	공정시험기준	자체	공정시험기준
인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐	2,4,4'-T3CB	0.751	1	0.582	1
	2,2',5,5'-T4CB	0.702	1	0.272	1
	2,2',4,5,5'-P5CB	0.784	1	0.576	1
	2,3',4,4',5-P5CB	0.459	1	0.079	1
	2,2',4,4',5,5'-H6CB	0.741	1	0.572	1
	2,2',3,4,4',5'-H6CB	0.635	1	0.789	1
	2,2',3,4,4',5,5'-H7CB	0.675	1	0.826	1

표 III-2-11. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 방법검출한계

측정항목	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )		수질(ng/L)		토양퇴적물(ng/g)	
	자체	공정시험기준	자체	공정시험기준	자체	공정시험기준
헥사클로로벤젠	0.045	1	0.015	0.5	0.019	0.02
펜타클로로벤젠	0.052	1	0.043	0.5	0.018	0.02

표 III-2-12. 유기염소계농약류 방법검출한계

측정항목	이성체	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )		수질(ng/L)		토양퇴적물(ng/g)	
		자체	공정시험기준	자체	공정시험기준	자체	공정시험기준
알드린	Aldrin	0.080	1	0.036	0.5	0.011	0.02
디엘드린	Dieldrin	0.130	1	0.045	0.5	0.014	0.02
엔드린	Endrin	0.125	1	0.113	0.5	0.019	0.02
알파헥사클로로사이클로헥산	α-HCH	0.072	1	0.042	0.5	0.017	0.02
베타헥사클로로사이클로헥산	β-HCH	0.115	1	0.024	0.5	0.013	0.02
린단	Lindane (γ-HCH)	0.096	1	0.039	0.5	0.014	0.02
헵타클로르	Heptachlor	0.193	1	0.104	0.5	0.021	0.02
	Heptachlor-epoxide	0.089	1	0.038	0.5	0.010	0.02
디디티	o,p'-DDE	0.045	1	0.017	0.5	0.018	0.02
	p,p'-DDE	0.038	1	0.028	0.5	0.012	0.02
	o,p'-DDD	0.037	1	0.031	0.5	0.005	0.02
	p,p'-DDD	0.072	1	0.052	0.5	0.012	0.02
	o,p'-DDT	0.164	1	0.061	0.5	0.014	0.02
	p,p'-DDT	0.254	1	0.078	0.5	0.019	0.02
클로르데인	Oxychlordane	0.137	1	0.057	0.5	0.020	0.02
	trans-Chlordane	0.092	1	0.046	0.5	0.015	0.02
	cis-Chlordane	0.128	1	0.024	0.5	0.017	0.02
	trans-Nonachlor	0.085	1	0.056	0.5	0.013	0.02
	cis-Nonachlor	0.063	1	0.013	0.5	0.011	0.02
엔도설판	Endosulfan-α	0.091	1	0.047	0.5	0.019	0.02
	Endosulfan-β	0.209	1	0.104	0.5	0.018	0.02
	Endosulfan-sulfate	0.107	1	0.099	0.5	0.018	0.02
미렉스	Mirex	0.023	1	0.009	0.5	0.020	0.02

표 III-2-13. 유기염소계농약류(특사펜) 방법검출한계

측정항목	이성체	대기(ng/Sm <sup>3</sup> )		수질(ng/L)		토양퇴적물(ng/g)	
		자 체	공정시험기준	자 체	공정시험기준	자체	공정시험기준
특사펜	parlar 26	0.001	0.2	0.069	5	0.017	0.5
	parlar 50	0.001	0.2	0.029	5	0.019	0.5
	parlar 62	0.002	0.2	0.174	5	0.071	0.5

표 III-2-14. 브롬화난연제 방법검출한계

측정항목	물질명	이성체	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )		수질(ng/L)		토양퇴적물(pg/g)	
			자 체	공정 시험기준	자 체	공정 시험기준	자체	공정 시험기준
tetra-/penta -BDEs	Tetrabromodiphenylether	2,2',4,4' (#47)	0.008	0.1	0.008	0.02	0.580	2
		2,2',4,5' (#49)	0.020	0.1	0.006	0.02	0.382	2
		2,3',4,4' (#66)	0.010	0.1	0.013	0.02	0.856	2
		2,3',4',6' (#71)	0.015	0.1	0.014	0.02	0.481	2
		3,3',4,4' (#77)	0.009	0.1	0.008	0.02	0.636	2
	Pentabromodiphenylether	2,2',3,4,4' (#85)	0.023	0.1	0.018	0.02	0.965	2
		2,2',4,4',5' (#99)	0.023	0.1	0.010	0.02	0.747	2
		2,2',4,4',6' (#100)	0.016	0.1	0.019	0.02	0.760	2
		2,3',4,4',6' (#119)	0.027	0.1	0.019	0.02	0.771	2
		3,3',4,4',5' (#126)	0.014	0.1	0.018	0.02	0.510	2
hexa-/hepta -BDEs	Hexabromodiphenylether	2,2',3,4,4',5' (#138)	0.050	0.1	0.017	0.02	0.753	2
		2,2',4,4',5,5' (#153)	0.041	0.1	0.018	0.02	0.519	2
		2,2',4,4',5,6' (#154)	0.027	0.1	0.015	0.02	0.514	2
		2,3,3',4,4',5' (#156)	0.059	0.1	0.014	0.02	0.917	2
	Heptabromodiphenylether	2,2',3,4,4',5',6' (#183)	0.027	0.1	0.016	0.02	1.345	2
		2,2',3,4,4',6,6' (#184)	0.064	0.1	0.019	0.02	0.555	2
		2,3,3',4,4',5',6' (#191)	0.039	0.1	0.019	0.02	1.166	2
HBB	Hexabromobiphenyl	2,2',4,4',5,5' (#153)	0.025	1.0	0.006	0.5	0.610	20
		2,2',4,4',5,6' (#154)	0.012	1.0	0.011	0.5	0.745	20
		2,2',4,4',6,6' (#155)	0.024	1.0	0.015	0.5	0.674	20
		2,3,3',4,4',5' (#156)	0.020	1.0	0.021	0.5	0.703	20
		3,3',4,4',5,5' (#169)	0.012	1.0	0.024	0.5	0.849	20

표 III-2-15. 과불화화합물 방법검출한계

측정항목	물 질 명	대기(µg/Sm <sup>3</sup> )		수질(ng/L)		토양퇴적물(ng/g)	
		자 체	공정시험기준	자 체	공정시험기준	자체	공정시험기준
과불화옥탄술폰산 (PFOS)	Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	0.000 000 222	1	0.824	20	0.022	0.5
과불화옥탄산 (PFOA)	Perfluorooctanic Acid (PFOA)	0.000 000 292	1	1.304	20	0.031	0.5

### 2.3. 정량한계

정량한계(LOQ, limit of quantification)는 시험분석 대상을 정량화할 수 있는 측정값으로서, 제시된 정량한계 부근의 농도를 포함하도록 시료를 준비하고, 이를 7~10회 반복 측정하여 얻은 결과의 표준편차(s)에 10배한 값을 사용한다.

$$\text{정량한계} = 10 \times S (\text{표준편차})$$

매체별 분석대상물질의 정량한계 산출결과는 표 III-2-16 ~ 표 III-2-23에 나타내었다.

표 III-2-16. 다이옥신/푸란 정량한계

측정항목	구 분	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )	수질(pg/L)	토양·퇴적물(pg/g)	
다이옥신/푸란	다이옥신	2,3,7,8-TCDD	0.001	0.039	0.017
		1,2,3,7,8-PeCDD	0.006	0.030	0.018
		1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.004	0.029	0.011
		1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.002	0.021	0.010
		1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.003	0.029	0.012
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.002	0.034	0.007
		OCDD	0.005	0.156	0.012
	푸란	2,3,7,8-TCDF	0.001	0.013	0.014
		1,2,3,7,8-PeCDF	0.002	0.014	0.013
		2,3,4,7,8-PeCDF	0.004	0.033	0.008
		1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.004	0.049	0.013
		1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.003	0.027	0.008
		2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.003	0.019	0.015
		1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.005	0.016	0.007
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.004	0.023	0.014
		1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.004	0.018	0.009
		OCDF	0.005	0.059	0.020

표 III-2-17. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 정량한계

측정항목	구 분		대기(pg/Sm <sup>3</sup> )	수질(pg/L)	토양·퇴적물(pg/g)
코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐	4염화물	3,4,4',5'-T4CB	0.047	1.344	0.313
		3,3',4,4'-T4CB	0.041	1.213	0.316
	5염화물	2,3,3',4,4'-P5CB	0.046	1.556	0.221
		2,3,4,4',5'-P5CB	0.045	1.497	0.240
		2,3',4,4',5'-P5CB	0.047	1.550	0.284
		2',3,4,4',5'-P5CB	0.032	1.582	0.292
		3,3',4,4',5'-P5CB	0.045	1.358	0.292
	6염화물	2,3,3',4,4',5'-H6CB	0.046	1.563	0.184
		2,3,3',4,4',5'-H6CB	0.044	1.166	0.302
		2,3',4,4',5,5'-H6CB	0.038	1.501	0.297
		3,3',4,4',5,5'-H6CB	0.043	1.526	0.295
	7염화물	2,3,3',4,4',5,5'-H7CB	0.041	1.310	0.313

표 III-2-18. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐 정량한계

측정항목	구 분		수질(pg/L)	토양·퇴적물(pg/g)
인디케이터 폴리클로리네이티 드비페닐	3염화물	2,4,4'-T3CB	2.390	1.854
	4염화물	2,2',5,5'-T4CB	2.235	0.867
	5염화물	2,2',4,5,5'-P5CB	2.495	1.834
		2,3',4,4',5'-P5CB	1.460	0.251
	6염화물	2,2',4,4',5,5'-H6CB	2.360	1.821
		2,2',3,4,4',5'-H6CB	2.020	2.511
	7염화물	2,2',3,4,4',5,5'-H7CB	2.150	2.629

표 III-2-19. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 정량한계

측정항목	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )	수질(ng/L)	토양·퇴적물(ng/g)
헥사클로로벤젠	0.142	0.047	0.061
펜타클로로벤젠	0.165	0.136	0.057

표 III-2-20. 유기염소계농약류 정량한계

측정항목	이성체	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )	수질(ng/L)	토양·퇴적물(ng/g)
알드린	Aldrin	0.256	0.114	0.035
디엘드린	Dieldrin	0.413	0.142	0.046
엔드린	Endrin	0.397	0.360	0.060
알파헥사클로로사이클로헥산	$\alpha$ -HCH	0.229	0.133	0.055
베타헥사클로로사이클로헥산	$\beta$ -HCH	0.367	0.075	0.041
린단	Lindane ( $\gamma$ -HCH)	0.305	0.125	0.045
헵타클로르	Heptachlor	0.614	0.333	0.068
	Heptachlor-epoxide	0.284	0.120	0.033
디디티	<i>o,p'</i> -DDE	0.144	0.055	0.058
	<i>p,p'</i> -DDE	0.120	0.089	0.037
	<i>o,p'</i> -DDD	0.117	0.099	0.017
	<i>p,p'</i> -DDD	0.229	0.165	0.040
	<i>o,p'</i> -DDT	0.522	0.196	0.044
	<i>p,p'</i> -DDT	0.808	0.250	0.061
클로르데인	Oxychlordan	0.436	0.183	0.063
	<i>trans</i> -Chlordan	0.293	0.148	0.047
	<i>cis</i> -Chlordan	0.409	0.076	0.054
	<i>trans</i> -Nonachlor	0.272	0.177	0.042
	<i>cis</i> -Nonachlor	0.201	0.042	0.034
엔도설판	Endosulfan- $\alpha$	0.289	0.150	0.059
	Endosulfan- $\beta$	0.666	0.331	0.056
	Endosulfan-sulfate	0.341	0.316	0.056
미렉스	Mirex	0.074	0.028	0.065

표 III-2-21. 유기염소계농약류(독사펜) 정량한계

측정항목	이성체	대기(ng/Sm <sup>3</sup> )	수질(ng/L)	토양·퇴적물(ng/g)
독사펜	parlar 26	0.00292	0.219	0.054
	parlar 50	0.00292	0.029	0.060
	parlar 62	0.00775	0.174	0.226

표 III-2-22. 브롬화난연제 정량한계

측정항목	물질명	이성체 IUPAC No.	대기(pg/Sm <sup>3</sup> )	수질(ng/L)	토양퇴적물(pg/g)
tetra-/penta-BDE	Tetrabromodiphenylether	2,2',4,4' (#47)	0.025	0.025	1.846
		2,2',4,5' (#49)	0.063	0.020	1.217
		2,3',4,4' (#66)	0.032	0.040	2.727
		2,3',4',6 (#71)	0.049	0.044	1.533
		3,3',4,4' (#77)	0.029	0.025	2.027
	Pentabromodiphenylether	2,2',3,4,4' (#85)	0.073	0.057	3.073
		2,2',4,4',5 (#99)	0.074	0.031	2.378
		2,2',4,4',6 (#100)	0.051	0.061	2.421
		2,3',4,4',6 (#119)	0.085	0.060	2.455
		3,3',4,4',5 (#126)	0.043	0.057	1.625
hexa-/hepta-BDE	Hexabromodiphenylether	2,2',3,4,4',5' (#138)	0.157	0.055	2.397
		2,2',4,4',5,5' (#153)	0.130	0.057	1.654
		2,2',4,4',5,6' (#154)	0.086	0.048	1.637
		2,3,3',4,4',5 (#156)	0.189	0.044	2.920
	Heptabromodiphenylether	2,2',3,4,4',5',6 (#183)	0.085	0.052	4.285
		2,2',3,4,4',6,6' (#184)	0.202	0.062	1.767
		2,3,3',4,4',5',6 (#191)	0.124	0.060	3.713
HBB	Hexabromobiphenyl	2,2',4,4',5,5' (#153)	0.078	0.020	1.941
		2,2',4,4',5,6' (#154)	0.037	0.035	2.373
		2,2',4,4',6,6' (#155)	0.077	0.047	2.145
		2,3,3',4,4',5 (#156)	0.063	0.066	2.238
		3,3',4,4',5,5' (#169)	0.037	0.078	2.705

표 III-2-23. 과불화화합물 정량한계

측정항목	물질명	대기(µg/Sm <sup>3</sup> )	수질(ng/L)	토양퇴적물(ng/g)
과불화옥탄술폰산(PFOS)	Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	0.000 000 706	2.625	0.071
과불화옥탄산(PFOA)	Perfluorooctanic Acid (PFOA)	0.000 000 930	4.153	0.100

## 2.4. 바탕시료 측정

잔류성유기오염물질 측정망 설치·운영계획의 POPs 측정분석 정도보증 시행 지침에 따르면, 시료채취 과정에서의 바탕시료 분석은 시약, 유리 기구, 장치 등으로부터 시료가 오염되지 않았음을 입증하는데 필요한 조치이다. 따라서 시료의 오염 여부를 확인하기 위해서 현장 바탕시료, 유리 기구류 바탕시료, 실험실 바탕시료 각각에 대해서 확인시험을 실시하였다.

### 2.4.1. 현장 바탕시료 (Field Blank)

현장 바탕시료는 대기(2회/연), 수질(1회/연), 토양(1회/연), 퇴적물(1회/연) 각각의 대상매체에 대하여 채취기간별로 1개의 현장 바탕시료를 채취하여 확인시험을 실시하였다. 현장에서 채취한 현장 바탕시료를 실제 시료와 동일한 방법으로 시료채취용 표준물질을 주입하고, 추출 및 정제과정을 거쳐 최종 확인시험을 실시하였으며, 확인 시험 결과, 모두 방법검출한계 미만으로 검출되어 현장에서의 시료 오염은 없는 것으로 조사되었다.

### 2.4.2 유리 기구류 바탕시료 (Glassware Blank)

유리 기구류 바탕시료는 시료를 담는데 사용하는 시료채취 장치의 유리 기구류와 실험실에서 사용하는 유리 기구류에 대하여 오염 여부를 확인하기 위해 실시하였다. 사용한 모든 유리 기구류의 마지막 세척 용매를 모아서 분석과정을 수행하였다.

각 대상매체의 시료채취를 위해 사용된 기구는 대기시료의 경우 Shuttle Glass를 사용하였고, 수질/토양/퇴적물 시료는 갈색 유리병을 사용하였다. 속슬레 추출장치, 피펫, 둥근바닥 플라스크 등 실험실에서 추출, 정제 등 전처리를 위해 사용한 유리 기구류를 바탕 시료로 사용하였다. 시료채취용 유리 기구와 실험실용 유리 기구로 구분하여 세척하고, 각각의 세척 용매에 분석항목별로 정제용 표준물질을 주입하여 별도의 정제과정을 거치지 않고 분석한 결과, 모두 방법검출한계 미만으로 검출되었다.

### 2.4.3. 실험실 바탕시료 (Laboratory Method Blank)

시료 균(batch)마다 1개 이상의 실험실 바탕시료를 채취하여 실제 시료와동일한 전처리 및 분석방법으로 분석한 결과, 대상물질 모두 방법검출한계 미만으로 검출됨을 확인하였다.

## 2.5. 정확도 확인

정확도(accuracy)는 시험분석 결과가 참값에 얼마나 근접하는가를 나타내는 것으로써, 동일한 매질의 인증시료를 확보할 수 있는 경우에는 표준절차서에 따라 인증표준물질을 분석한 결과값( $C_M$ )과 인증값( $C_C$ )과의 상대백분율로 구한다. 인증시료를 확보할 수 없는 경우에는 해당 표준물질을 첨가하여 시료를 분석한 분석값( $C_{AM}$ )과 첨가하지 않은 시료의 분석값( $C_S$ )과의 차이를 첨가농도( $C_A$ )의 상대백분율 또는 회수율로 구한다.

$$\text{정확도 (\%)} = \frac{C_M}{C_C} \times 100 = \frac{C_{AM} - C_S}{C_A} \times 100$$

본 측정기관에서는 다이옥신/푸란, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐, 유기염소계농약류, 독사펜, 브롬화난연제 및 과불화화합물에 대하여 분석기기별로 정확도 실험을 실시하였다.

정확도 산출결과, 공정부산물의 정확도는 다이옥신/푸란 60.6~86.9 %, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 80.2~104.9 %, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐 84.6~103.1 %, 헥사클로로벤젠 및 펜타클로로벤젠 63.7~76.7 %, 유기염소계농약류의 정확도는 HRGC/HRMS로 분석하는 물질 67.8~111.8 %, HRGC/LRMS 분석물질(독사펜) 90.6~117.0 %, 산업용물질의 정확도는 브롬화난연제 38.0~54.7%, 과불화화합물은 78.7~104.9 %로 나타났다 (표 III-2-24~31).

표 III-2-24. 다이옥신/푸란의 분석 정확도

측정항목	구분	이성체	대기 (%)	수질 (%)	토양퇴적물 (%)
다이옥신/푸란	다이옥신	<sup>13</sup> C-2,3,7,8-TCDD	74.3	83.0	74.1
		<sup>13</sup> C-1,2,3,7,8-PeCDD	86.9	73.4	69.7
		<sup>13</sup> C-1,2,3,4,7,8-HxCDD	83.4	78.9	76.7
		<sup>13</sup> C-1,2,3,6,7,8-HxCDD	85.7	77.7	83.0
		<sup>13</sup> C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	82.3	75.5	79.5
		<sup>13</sup> C-OCDD	80.0	69.8	80.1
	푸란	<sup>13</sup> C-2,3,7,8-TCDF	79.0	74.7	67.9
		<sup>13</sup> C-1,2,3,7,8-PeCDF	81.0	73.9	68.4
		<sup>13</sup> C-2,3,4,7,8-PeCDF	84.3	69.7	65.6
		<sup>13</sup> C-1,2,3,4,7,8-HxCDF	83.7	73.7	77.3
		<sup>13</sup> C-1,2,3,6,7,8-HxCDF	86.7	75.7	86.5
		<sup>13</sup> C-2,3,4,6,7,8-HxCDF	81.5	72.0	78.8
		<sup>13</sup> C-1,2,3,7,8,9-HxCDF	77.6	60.6	72.1
		<sup>13</sup> C-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	84.5	76.0	76.8
	<sup>13</sup> C-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	82.9	70.8	86.1	

표 III-2-25. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 분석 정확도

측정항목	이 성 체	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐	<sup>13</sup> C-3,4,4',5-T4CB	90.9	86.0	93.3
	<sup>13</sup> C-3,3',4,4'-T4CB	97.3	93.9	104.9
	<sup>13</sup> C-2,3,3',4,4'-P5CB	88.4	85.0	90.3
	<sup>13</sup> C-2,3,4,4',5-P5CB	90.4	86.6	91.3
	<sup>13</sup> C-2,3',4,4',5-P5CB	88.8	86.3	92.2
	<sup>13</sup> C-2',3,4,4',5-P5CB	87.0	82.7	87.9
	<sup>13</sup> C-3,3',4,4',5-P5CB	83.1	80.2	83.4
	<sup>13</sup> C-2,3,3',4,4',5-H6CB	89.3	86.9	92.7
	<sup>13</sup> C-2,3,3',4,4',5'-H6CB	88.1	84.3	94.5
	<sup>13</sup> C-2,3',4,4',5,5'-H6CB	89.8	87.6	95.4
	<sup>13</sup> C-3,3',4,4',5,5'-H6CB	86.9	81.5	89.8
	<sup>13</sup> C-2,3,3',4,4',5,5'-H7CB	85.2	82.5	86.9

표 III-2-26. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(7종)의 분석 정확도

측정항목	이 성 체	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐	<sup>13</sup> C-2,4,4'-trichlorobiphenyl	90.4	90.4
	<sup>13</sup> C-2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl	103.1	97.5
	<sup>13</sup> C-2',2,4,5,5'-pentachlorobiphenyl	88.9	88.8
	<sup>13</sup> C-2,3,4,4',5-pentachlorobiphenyl	84.6	85.9
	<sup>13</sup> C-2,2',3,4,4',5-hexachlorobiphenyl	90.1	90.5
	<sup>13</sup> C-2,2',4,4',5,5-hexachlorobiphenyl	89.2	90.3
	<sup>13</sup> C-2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphenyl	87.0	90.4

표 III-2-27. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠의 분석 정확도

측정항목	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
헥사클로로벤젠	68.0	66.8	76.7
펜타클로로벤젠	66.7	63.7	68.7

표 III-2-28. 유기염소계농약류의 분석 정확도

측정항목	이성체	대기 (%)	수질 (%)	토양퇴적물 (%)
알드린	Aldrin	79.0	72.5	82.4
디엘드린	Dieldrin	80.2	78.3	88.8
엔드린	Endrin	80.0	94.8	101.0
알파헥사클로로사이클로헥산	$\alpha$ -HCH	70.7	70.5	78.5
베타헥사클로로사이클로헥산	$\beta$ -HCH	74.2	71.5	88.5
린단	Lindane ( $\gamma$ -HCH)	75.2	72.7	86.5
헵타클로르	Heptachlor	79.5	91.7	104.3
	Heptachlor-epoxide	88.7	86.2	107.9
디디티	<i>o,p'</i> -DDE	88.2	76.7	90.5
	<i>p,p'</i> -DDE	85.8	77.4	90.2
	<i>o,p'</i> -DDD	92.9	90.0	105.7
	<i>p,p'</i> -DDD	91.7	85.0	104.9
	<i>o,p</i> -DDT	87.4	93.8	111.8
	<i>p,p'</i> -DDT	88.4	90.4	106.7
클로르데인	<i>trans</i> -Nonachlor	78.7	73.9	103.4
	<i>cis</i> -Nonachlor	82.7	76.6	100.4
	Oxychlordane	85.8	86.9	109.4
	<i>trans</i> -Chlordane	77.7	76.0	100.9
엔도설판	Endosulfan- $\alpha$	74.0	78.7	75.0
	Endosulfan- $\beta$	67.8	74.5	70.7
	Endosulfan sulfate	72.5	70.9	74.0
미렉스	Mirex	80.5	74.5	82.3

표 III-2-29. 유기염소계농약류(톡사펜)의 분석 정확도

측정항목	이성체	대기 (%)	수질 (%)	토양퇴적물 (%)
톡사펜	parlar 26	98.6	114.3	97.3
	parlar 50	103.5	117.0	103.9
	parlar 62	102.1	103.6	90.6

표 III-2-30. 브롬화난연제 분석 정확도

측정항목	이성체	대기 (%)	수질 (%)	토양퇴적물 (%)
PBDEs	<sup>13</sup> C-BDE-47	43.5	38.3	50.5
	<sup>13</sup> C-BDE-99	47.8	40.1	53.7
	<sup>13</sup> C-BDE-154	47.4	41.4	54.7
	<sup>13</sup> C-BDE-153	46.9	41.0	51.7
	<sup>13</sup> C-BDE-183	44.6	38.0	49.7
HBB	<sup>13</sup> C-BB-153	45.3	40.2	52.0

표 III-2-31. 과불화화합물 분석 정확도

측정항목	물 질 명	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
과불화옥탄술폰산 (PFOS)	Perfluorooctane sulfonate (PFOS)	101.2	104.9	92.4
과불화옥탄산 (PFOA)	Perfluorooctanic Acid (PFOA)	91.4	80.3	78.7

## 2.6. 정밀도 확인

정밀도(precision)는 참값에는 상관없이 반복된 측정값들의 일치 정도로서 인증 표준물질, 표준물질 또는 대상매체에 방법검출한계 이상의 농도로 표준 시약을 대상 매체에 첨가한 후 7회 반복측정을 통해 얻어지며, 정밀도는 상대표준편차(RSD, Relative Standard Deviation)나 편차계수(CV, Coefficient of Variation)로 나타낸다.

$$RSD = CV = \frac{S}{x'} \times 100 \quad (x' = \text{평균측정값}, S = \text{편차})$$

측정기관에서 실시한 다이옥신/푸란, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐, 유기염소계농약류, 과불화화합물 및 브롬화 난연제의 정밀도는 대체로 0.097 ~ 14.6 %의 범위를 나타내었다. (표 III-2-32~38)

표 III-2-32. 다이옥신/푸란의 분석 정밀도

측정항목	구분	물 질	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
다이옥신/푸란	다이옥신	2,3,7,8-TCDD	1.526	2.036	1.394
		1,2,3,7,8-PeCDD	4.105	0.272	0.270
		1,2,3,4,7,8-HxCDD	2.506	0.258	0.162
		1,2,3,6,7,8-HxCDD	1.157	0.191	0.158
		1,2,3,7,8,9-HxCDD	1.611	0.258	0.193
		1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	1.357	0.308	0.124
		OCDD	1.485	0.654	0.097
	푸란	2,3,7,8-TCDF	2.219	0.546	0.983
		1,2,3,7,8-PeCDF	1.100	0.123	0.206
		2,3,4,7,8-PeCDF	2.490	0.296	0.128
		1,2,3,4,7,8-HxCDF	2.465	0.438	0.198
		1,2,3,6,7,8-HxCDF	1.732	0.239	0.131
		2,3,4,6,7,8-HxCDF	1.687	0.160	0.225
		1,2,3,7,8,9-HxCDF	2.677	0.148	0.103
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2.394	0.211	0.197		
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	2.310	0.167	0.165		
OCDF	1.399	0.246	0.178		

표 III-2-33. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 분석 정밀도

측정항목	이성체 (IUPAC No.)	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
코플라나 폴리클로리네이티드비페닐	3,3',4,4'-T4CB (#77)	3.44	0.19	0.22
	3,4,4',5-T4CB (#81)	3.17	0.18	0.23
	2,3,3',4,4'-P5CB (#105)	3.23	0.21	0.15
	2,3,4,4',5-P5CB (#114)	3.33	0.21	0.17
	2,3',4,4',5-P5CB (#118)	3.30	0.22	0.21
	2',3,4,4',5-P5CB (#123)	2.36	0.22	0.21
	3,3',4,4',5-P5CB (#126)	3.14	0.18	0.20
	2,3,3',4,4',5-H6CB (#156)	3.25	0.22	0.13
	2,3,3',4,4',5'-H6CB (#157)	3.07	0.16	0.21
	2,3',4,4',5,5'-H6CB (#167)	2.82	0.21	0.21
	3,3',4,4',5,5'-H6CB (#169)	2.99	0.21	0.20
	2,3,3',4,4',5,5'-H7CB (#189)	2.81	0.18	0.21

표 III-2-34. 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(7종)의 분석 정밀도

측정항목	이성체 (IUPAC No.)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
인디케이터 폴리클로리네이 티드비페닐	2,4,4'-trichlorobiphenyl (#28)	0.434	1.638
	2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl (#52)	0.406	0.752
	2',2,4,5,5'-pentachlorobiphenyl (#101)	0.393	1.470
	2,3,4,4',5-pentachlorobiphenyl (#118)	0.234	0.203
	2,2',3,4,4',5-hexachlorobiphenyl (#138)	0.372	1.465
	2,2',4,4',5,5'-hexachlorobiphenyl (#153)	0.325	1.995
	2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphenyl (#180)	0.354	2.207

표 III-2-35. 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠의 분석 정밀도

측정항목	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
헥사클로로벤젠	2.5	1.5	5.2
펜타클로로벤젠	2.7	4.5	4.6

표 III-2-36. 유기염소계농약류의 분석 정밀도

측정항목	이성체	대기 (%)	수질 (%)	토양퇴적물 (%)	비고
알드린	Aldrin	4.7	4.0	3.3	
디엘드린	Dieldrin	7.0	4.9	3.9	
엔드린	Endrin	6.7	12.4	5.1	
알파헥사클로로사이클로헥산	$\alpha$ -HCH	3.8	4.7	4.9	
베타헥사클로로사이클로헥산	$\beta$ -HCH	6.0	2.5	3.5	
린단	Lindane ( $\gamma$ -HCH)	5.3	4.3	4.1	
헵타클로르	Heptachlor	11.0	12.6	6.5	
	Heptachlor-epoxide	5.2	4.1	3.0	
디디티	<i>o,p'</i> -DDE	2.7	1.9	5.3	HRGC /HRMS
	<i>p,p'</i> -DDE	2.1	3.1	3.4	
	<i>o,p'</i> -DDD	2.2	3.7	1.6	
	<i>p,p'</i> -DDD	4.2	5.9	3.7	
	<i>o,p</i> -DDT	9.6	7.0	4.3	
	<i>p,p'</i> -DDT	14.3	8.6	5.5	
클로르데인	<i>trans</i> -Nonachlor	5.0	6.1	3.9	
	<i>cis</i> -Nonachlor	3.6	1.5	3.1	
	Oxychlordane	8.2	6.1	5.7	
	<i>trans</i> -Chlordane	5.2	5.2	4.5	
	<i>cis</i> -Chlordane	7.3	2.6	5.1	
엔도설판	Mirex	1.3	1.0	6.1	
미렉스	Endosulfan- $\alpha$	5.0	5.7	5.0	
	Endosulfan- $\beta$	11.8	12.0	4.6	
	Endosulfan sulfate	5.6	10.3	4.8	
톡사펜	parlar 26	3.6	2.5	2.2	HRGC /LRMS
	parlar 50	3.4	1.1	2.3	
	parlar 62	9.2	6.9	10.0	

표 III-2-37. 브롬화난연제 분석 정밀도

구분	분석물질	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
Tetra -BDEs	2,2',4,4' (#47)	3.57	3.71	7.71
	2,2',4,5' (#49)	9.36	3.11	5.58
	2,3',4,4' (#66)	4.34	5.72	11.2
	2,3',4',6' (#71)	7.02	7.03	7.73
	3,3',4,4' (#77)	4.03	3.55	8.06
Penta -BDEs	2,2',3,4,4' (#85)	10.66	10.84	13.88
	2,2',4,4',5' (#99)	11.08	4.82	10.94
	2,2',4,4',6' (#100)	7.99	10.18	12.44
	2,3',4,4',6' (#119)	13.39	8.98	10.24
	3,3',4,4',5' (#126)	6.95	9.61	7.78
Hexa -BDEs	2,2',3,4,4',5' (#138)	13.89	8.71	7.98
	2,2',4,4',5,5' (#153)	10.51	5.95	4.22
	2,2',4,4',5,6' (#154)	6.8	3.82	4.46
	2,3,3',4,4',5' (#156)	14.14	5.7	8.37
Hepta -BDEs	2,2',3,4,4',5',6' (#183)	6.67	5.06	11.4
	2,2',3,4,4',6,6' (#184)	14.6	4.92	4.73
	2,3,3',4,4',5',6' (#191)	8.61	4.05	10.74
Hexa -BBs	2,2',4,4',5,5' (#153)	10.51	5.95	4.22
	2,2',4,4',5,6' (#154)	6.8	3.82	4.46
	2,2',4,4',6,6' (#155)	11.75	7.25	9.88
	2,3,3',4,4',5' (#156)	14.14	5.7	8.37
	3,3',4,4',5,5' (#169)	4.58	9.56	11.89

표 III-2-38. 과불화화합물 분석 정밀도

물 질	대기 (%)	수질 (%)	토양·퇴적물 (%)
과불화옥탄술폰산	4.3	3.9	3.3
과불화옥탄산	5.2	5.1	4.0

### 3. 측정망 분석기관의 외부 정도관리

잔류성유기오염물질 측정망 분석결과의 신뢰성 제고를 위하여 인증표준물질 및 중복시료의 교차분석을 통한 외부정도관리를 수행하였다. 국립환경과학원은 분석항목 별로 토양/퇴적물 인증표준물질을 측정망 운영기관인 한국환경공단에 배포하고, 이를 공동으로 분석하여 두 기관의 분석능력을 확인하였으며, POPs측정망에서 채취한 모든 매체의 시료 중에서 10% 이내의 범위에서 중복시료를 채취하여 두 기관에서 교차 분석을 실시하고, 그 결과를 비교·분석하였다.

#### 3.1. 인증표준물질 분석결과

##### 3.1.1. 공정부산물

공정부산물 중 다이옥신/푸란(이성질체 17종)과 코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐(이성질체 12종)에 대한 분석능력 검증을 위하여 고농도의 인증표준물질(퇴적물)을 분석하여 그 결과를 표 III-3-1에 나타내었다. 인증표준물질(퇴적물)을 다이클로로메테인으로 속슬레 추출한 후 다이옥신은 다층실리카겔, 알루미늄칼럼을 이용하여 정제하였으며, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐은 다층실리카겔로 정제한 후 분석과정을 수행하였다. 두 기관의 측정값 모두 인증값 대비 기준값의 범위 내에 있는 것으로 파악되었다(표 III-3-1).

표 III-3-1. 2017년 다이옥신/푸란 및 코플라나폴리클로리네이티드비페닐 인증표준물질 분석결과  
(단위 : pg/g)

측정항목	이성체	인증값	기준값	국립환경과학원	한국환경공단
다이옥신 /푸란	2,3,7,8-TCDF	52.5	52.5±16.0	40.9	46.2
	1,2,3,7,8-PeCDF	12.6	12.6±5.0	15.9	17.4
	2,3,4,7,8-PeCDF	18.5	18.5±6.1	16.1	15.2
	1,2,3,4,7,8-HxCDF	67.3	67.3±24	51.2	50.0
	1,2,3,6,7,8-HxCDF	20.3	20.3±8.7	19.9	18.4
	2,3,4,6,7,8-HxCDF	16.0	16.0±8.0	20.4	12.4
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	2.68	2.68±4.0	4.5	2.8
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	299	299±73	238.5	248.2
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	15.1	15.1±4.6	17.7	17.7
	OCDF	509	509±157	397.2	402.8
	2,3,7,8-TCDD	17.7	17.7±5.6	18.9	16.6
	1,2,3,7,8-PeCDD	7.96	7.96±2.8	10.1	6.4
	1,2,3,4,7,8-HxCDD	8.66	8.66±2.7	7.0	11.2
	1,2,3,6,7,8-HxCDD	20.8	20.8±4.8	18.7	16.9
	1,2,3,7,8,9-HxCDD	17.3	17.3±8.0	18.3	13.5
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	293	293±63	271.2	230.3
	OCDD	1899	1899±456	1634.8	1466.8
	코플라나 폴리클로 리네이티 드비페닐	3,4,4',5'-TeCB_81	75	75±79	41.7
3,3',4,4'-TeCB_77		1717	1717±520	1547.2	1238.9
2,3,3',4,4'-PeCB_105		3998	3998±951	4046.7	3061.7
2,3,4,4',5'-PeCB_114		207	207±128	226.9	144.1
2,3',4,4',5'-PeCB_118		8115	8115±1663	8253.3	6461.8
2',3,4,4',5'-PeCB_123		209	209±191	213.3	242.3
3,3',4,4',5'-PeCB_126		84.9	84.9±35	85.8	72.6
2,3,3',4,4',5'-HxCB_156		715	715±248	751.4	514.9
2,3,3',4,4',5'-HxCB_157		186	186±81	183.1	133.4
2,3',4,4',5,5'-HxCB_167		330	330±85	371.9	248.5
3,3',4,4',5,5'-HxCB_169		7.97	7.97±5.3	10.3	6.2
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB_189		85.2	85.2±17.8	89.8	68.2

### 3.1.2. 유기염소계농약류

유기염소계농약류 17종은 토양 인증표준물질을 활용하여 분석능력을 검증하였고, 인증표준물질은 다이클로로메테인으로 속슬레 추출한 후, 플로리실 SPE-Cartridge 및 활성탄 SPE-Cartridge로 정제하여 분석하였다. 분석결과는 표 III-3-2에 상세하게 기술하였다. 두 기관의 인증표준물질 측정값은 아래 표의 기준값 범위 내에 있는 것으로 파악되었다.

표 III-3-2. 2017년 유기염소계 농약류 인증표준물질 분석결과

(단위 : ng/g)

측정항목	이성체	인증값	기준값	국립환경과학원	한국환경공단
알드린	Aldrin	164	71.7-172	114.3	125.2
디엘드린	Dieldrin	116	56.8-129	87.5	92.5
엔드린	Endrin	244	116-298	177.9	182.3
알파헥사클로로사이클로헥산	$\alpha$ -HCH	423	168-457	284.4	304.1
베타헥사클로로사이클로헥산	$\beta$ -HCH	402	165-446	296.1	320.8
린단	$\gamma$ -HCH(Lindane)	86.2	35.3-94.8	65.7	73.1
헵타클로르	Heptachlor	367	161-411	256.1	289.0
	Heptachlor-epoxide	239	115-261	179.3	191.9
디디티	<i>p,p'</i> -DDD	381	175-446	294.6	332.5
	<i>p,p'</i> -DDE	388	189-442	279.7	342.6
	<i>p,p'</i> -DDT	281	117-334	216.8	233.1
클로르데인	<i>cis</i> -Chlordane	52.9	25.0-58.2	39.2	47.5
	<i>trans</i> -Chlordane	101	48.4-111	70.5	84.1
엔도설판	Endosulfan- $\alpha$	374	95.7-374	208.7	247.9
	Endosulfan- $\beta$	70.3	18.9-70.3	43.4	59.6
	Endosulfan sulfate	94.3	39.0-109	73.7	81.4

### 3.1.3. 산업용 물질

테트라브로모디페닐에테르 4종, 펜타브로모디페닐에테르 3종, 헥사브로모디페닐에테르 3종 및 헵타브로모디페닐에테르 1종에 대한 분석능력 검증을 위하여 저농도의 퇴적물 인증표준물질을 분석하였다. 다이클로로메테인으로 속슬레 추출한 후 다층실리카겔, 알루미나컬럼 정제를 하였고 분석결과를 표 III-3-3에 나타내었다.

표 III-3-3. 2017년 폴리브로모디페닐에테르 인증표준물질 분석결과

(단위 : pg/g)

	분석물질	인증값	기준값	국립환경과학원	한국환경공단
폴리 브로모 디페닐 에테르	2,2',4,4'-Tetra-BDE_47	94.7	94.7±218	22.2	107.4
	2,2',4,5'-Tetra-BDE_49	14.5	14.5±34.8	3.3	14.7
	2,3',4,4'-Tetra-BDE_66	32.0	32.0±112	3.5	22.4
	3,3',4,4'-Tetra-BDE_77	106	106±66.6	106	115.7
	2,2',3,4,4'-Penta-BDE_85	14.4	14.4±45.0	3.4	17.7
	2,2',4,4',5-Penta-BDE_99	95.1	95.1±206	20.9	85.1
	2,2',4,4',6-Penta-BDE_100	17.6	17.6±38.0	4.3	16.9
	2,2',3,4,4',5-Hexa-BDE_138	12.2	12.2±40.6	8.5	14.5
	2,2',4,4',5,5'-Hexa-BDE_153	22.4	22.4±59.4	9.6	27.4
	2,2',4,4',5,6'-Hexa-BDE_154	25.3	25.3±73.8	3.2	19.3
	2,2',3,4,4',5,6-Hepta-BDE_183	43.3	43.3±82.8	24.8	44.8

## 3.2. 환경매체별 중복시료의 교차분석 결과

잔류성유기오염물질 측정망 분석결과의 신뢰성 제고를 위하여 분석항목별로 10% 이내의 매체별 시료를 두 기관이 나누어 교차분석을 수행하였다.

대기, 수질/퇴적물 및 토양을 포함한 대상매체별로 다이옥신/푸란, 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐, 유기염소계농약류, 폴리브로모디페닐에테르, 헥사브로모비페닐, 과불화옥탄술폰산 및 과불화옥탄산에 대하여 교차분석을 수행하였다.

대기시료는 고용량 대기시료 채취장치(High Volume Air Sampler)를 이용하여 24시간 간격으로 총 3일간 시료를 채취하였으며, 중복시료를 채취하기 위하여 두 기관이 동일 장소, 동일시간대에 각각의 대기 시료를 채취하여 분석하였다.

토양, 수질/퇴적물 시료의 경우, 매체의 특성상 시료의 불균질성이 크게 나타나므로, 이를 최소화하기 위하여 채취한 측정망 시료를 일부 분취하여 중복시료로 활용하였다. 중복시료는 잔류성유기오염물질 공정시험기준에 따라 추출 및 정제과정을 거쳐 최종적으로 분석하였으며, 분석결과는 두 기관에서 각각 검토한 후, 상관성 분석을 수행하였다.

### 3.2.1. 공정부산물

공정부산물 중 다이옥신/푸란의 경우 두 기관에서 교차 분석한 측정값을 독성등가 환산계수로 환산한 후, 그 값을 이용하여 상관분석을 수행하였고, 그 결과는 그림 III-3-1에 나타내었다. 2017년 외부정도관리 시료 중 독성등가 환산농도 기준으로 대기 5개, 수질 2개, 토양/퇴적물 각각 2개 시료에서 Zero(0) 값이 나온 것으로 조사되었다.

공정시험기준에서 제시하고 있는 다이옥신/푸란의 회수율은 50~120% 수준으로 회수율의 변화 폭이 상대적으로 크다. 그림 III-3-1에 나타난 것처럼, 모든 매체에 대하여 두 기관의 교차분석 결과의 상관성( $r=0.61$ )은 강한 양(+)의 상관을 보이는 것으로 나타났다.

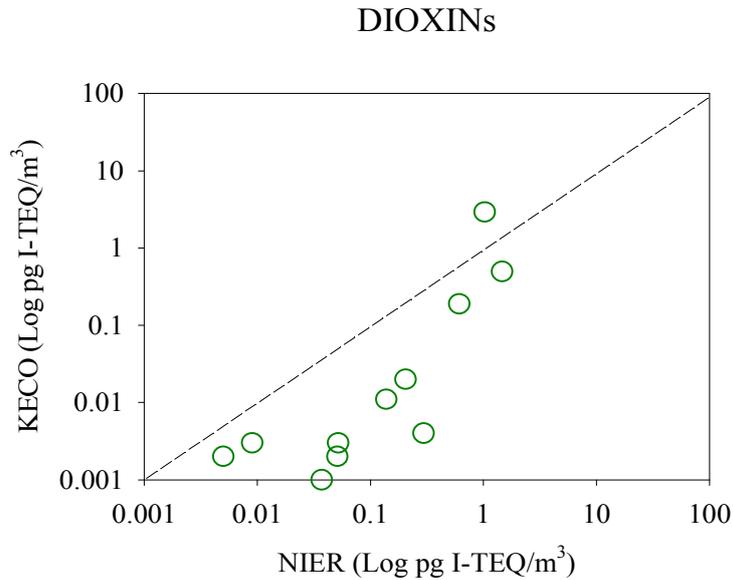


그림 III-3-1. 다이옥신/푸란의 매체별 시료 교차분석결과 비교 그래프 ('17)

코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 매체별 교차분석 결과는 그림 III-3-2에 나타내었다. 상기 물질은 연 2회(봄, 가을) 채취하는 대기 시료 중 봄철 시료에서만 중 복시료를 채취하여 분석에 활용하였다.

코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 역시 2017년 외부정도관리 시료 중 독성 등가 환산농도 기준으로 대기 8개 시료 중 3개 시료에서 Zero(0) 값이 나온 것으로 조사되었으며, 높은 양(+)의 상관성을 나타내었다.

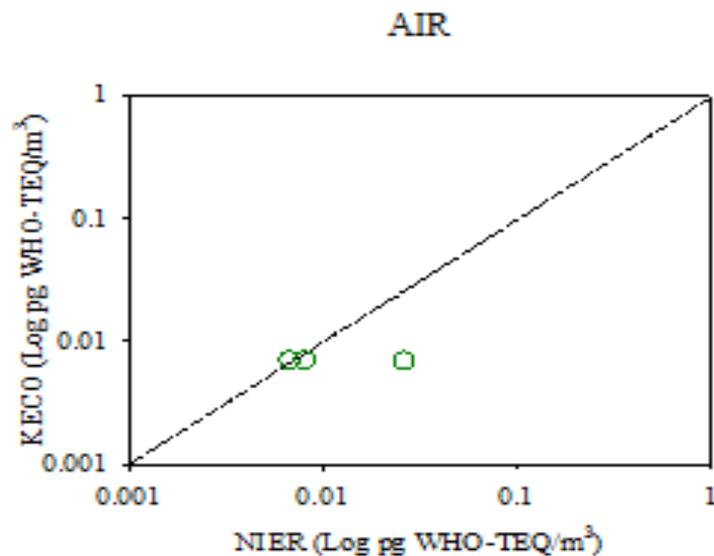


그림 III-3-2. 코플라나폴리클로리네이티드비페닐의 대기시료 교차분석결과 비교 그래프 ('17)

### 3.2.2. 유기염소계농약류

환경대기 중 유기염소계농약류인 헥사클로로벤젠, 드린류(알드린, 디엘드린, 엔드린의 합), 디디티, 클로르데인, 헵타클로르, 미렉스, 펜타클로로벤젠,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단, 엔도설판의 교차분석 결과를 그림 III-3-3에 나타내었다.

헥사클로로벤젠과 펜타클로로벤젠은 공정부산물이기도 하지만 유기염소계 농약류에도 포함되며, 유기염소계농약류와 함께 분석하였다.

환경대기 시료(12개) 중에서 모두 방법검출한계 이상의 농도로 검출된 물질은 헥사클로로벤젠과 펜타클로로벤젠, 알파헥사클로로사이클로헥산으로 파악되었으며, 그 다음은 엔도설판(10개) > 린단(9개) > 디디티(6개) > 클로르데인(4개) > 드린류(알드린, 디엘드린, 엔드린의 합)(1개)의 순으로 검출되었다. 헵타클로르와 미렉스,  $\beta$ -HCH는 모두 방법검출한계 이하(1 pg/m<sup>3</sup>)로 검출되었다.

방법검출한계 이상으로 검출된 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠,  $\alpha$ -HCH의 상관관계수(r)는 각각 0.98, 0.74, 0.55의 강한 양(+)의 상관을 보였고, 엔도설판과 린단 상관관계수(r) 역시 0.70와 0.99의 높은 양(+)의 상관성으로 보였다.

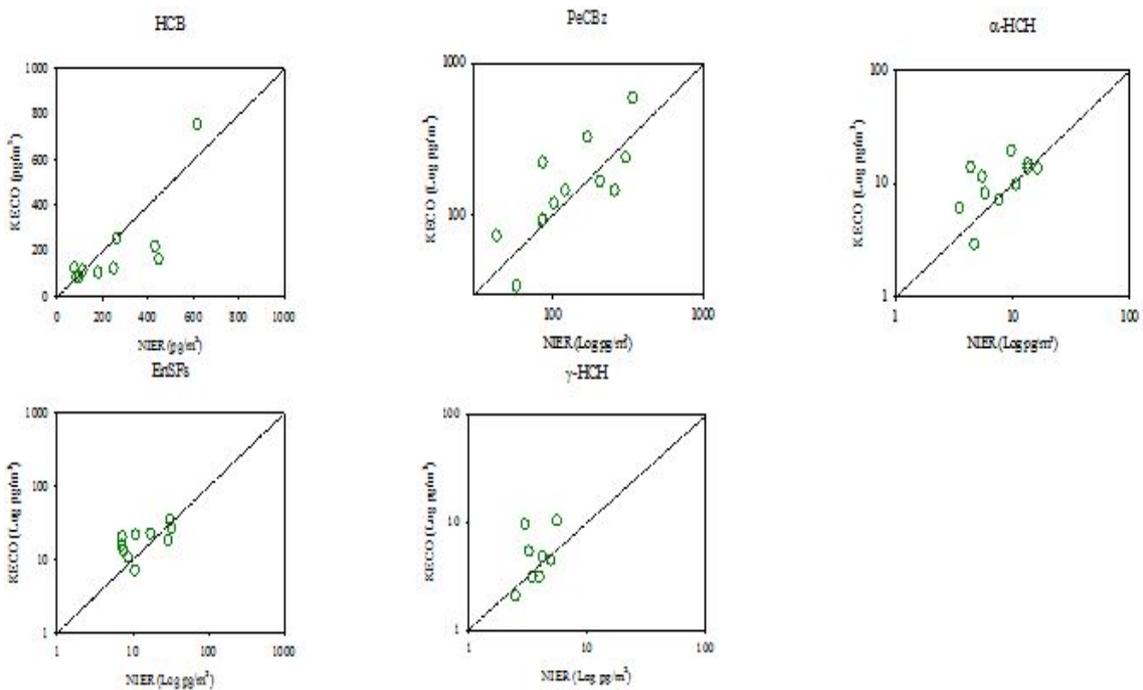


그림 III-3-3. 유기염소계농약류의 대기시료 교차분석결과 비교 그래프 ('17)

### 3.2.3. 산업용 물질

#### 가) 폴리브로모디페닐에테르

산업용 물질 中 폴리브로모디페닐에테르의 교차분석 결과를 그림 III-3-4에 나타내었으며, 폴리브로모디페닐에테르는 tetra-/penta-BDE와 hexa-/hepta-BDE의 합으로 표현하였다.

두 기관의 교차분석 결과에 따르면, 총 10개의 대기 시료 중 8개의 시료에서 방법검출한계(1 pg/m<sup>3</sup>) 이상의 값을 보였으며, 두 측정값의 상관관계수(r)는 0.9 이상으로 강한 양(+)의 상관성을 보였다. 수질 시료는 총 4개 시료 중 국립환경과학원에서는 모두 방법검출한계 미만으로 검출, 한국환경공단에서는 4개 중 2개가 방법검출한계(20 pg/L)를 다소 상회하는 수준, 나머지 2개가 방법검출한계 미만으로 검출된 것으로 조사되었다.

두 기관에서 교차 분석한 토양시료는 6개 시료 모두 방법검출한계(2 ng/kg) 이상으로 나타났으며, 상관관계수는 0.9로 강한 양(+)의 상관성을 보였다. 총 4개의 퇴적물 시료는 한국환경공단에서 3개의 시료에서, 국립환경과학원에서 4개의 시료에서 방법검출한계(2 ng/kg) 이상의 값을 보였으며, 상관관계수는 0.9로 강한 양(+)의 상관성을 보였다.

헥사브로모비페닐은 모든 매체에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

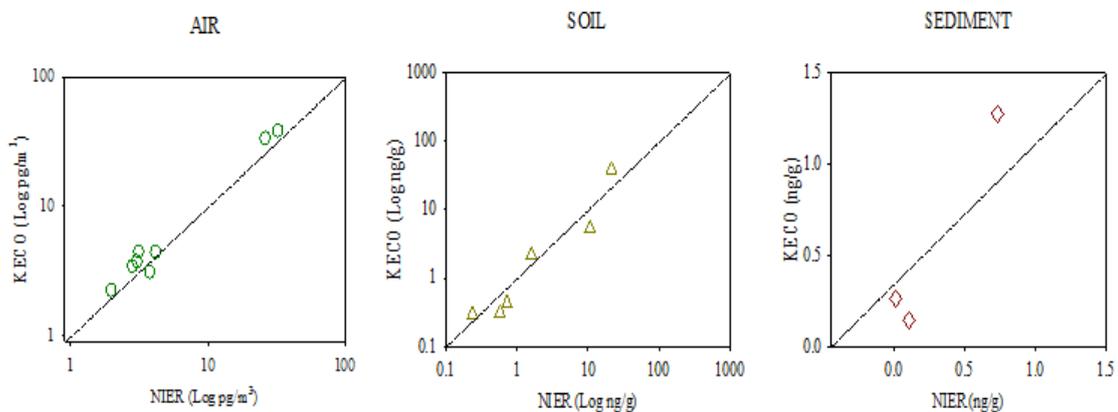


그림 III-3-4. 폴리브로모디페닐에테르의 매체별 교차시료 분석결과 비교 그래프 (17)

## 나) 과불화옥탄술폰산 및 과불화옥탄산

과불화옥탄술폰산과 과불화옥탄산의 교차분석결과는 그림 III-3-5에 나타내었다. 두 기관에서 교차분석한 대기 중복시료는 모두 방법검출한계( $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 이하로 검출되었다. 토양시료 中 과불화옥탄술폰산은 국립환경과학원의 경우 모두 불검출, 한국환경공단의 경우 전체 6개 시료 중 4개 시료에서 검출되었다. 과불화옥탄산은 두 기관 모두 1개의 시료에서 방법검출한계( $0.5 \text{ ng}/\text{g}$ ) 이상의 값으로 검출되었다. 수질 시료는 과불화옥탄술폰산의 경우 두 기관 모두 방법검출한계( $20 \text{ ng}/\text{L}$ ) 이하로 검출되었고, 과불화옥탄산의 경우 1개 지점에서 방법검출한계( $20 \text{ ng}/\text{L}$ ) 이상으로 검출되었다. 퇴적물 시료는 두 항목 모두 방법검출한계 ( $0.5 \text{ ng}/\text{g}$ ) 미만으로 조사되었다.

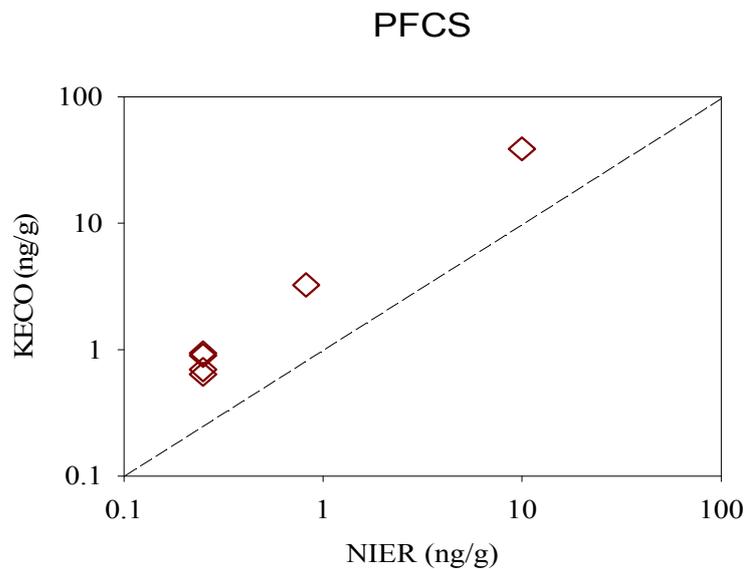
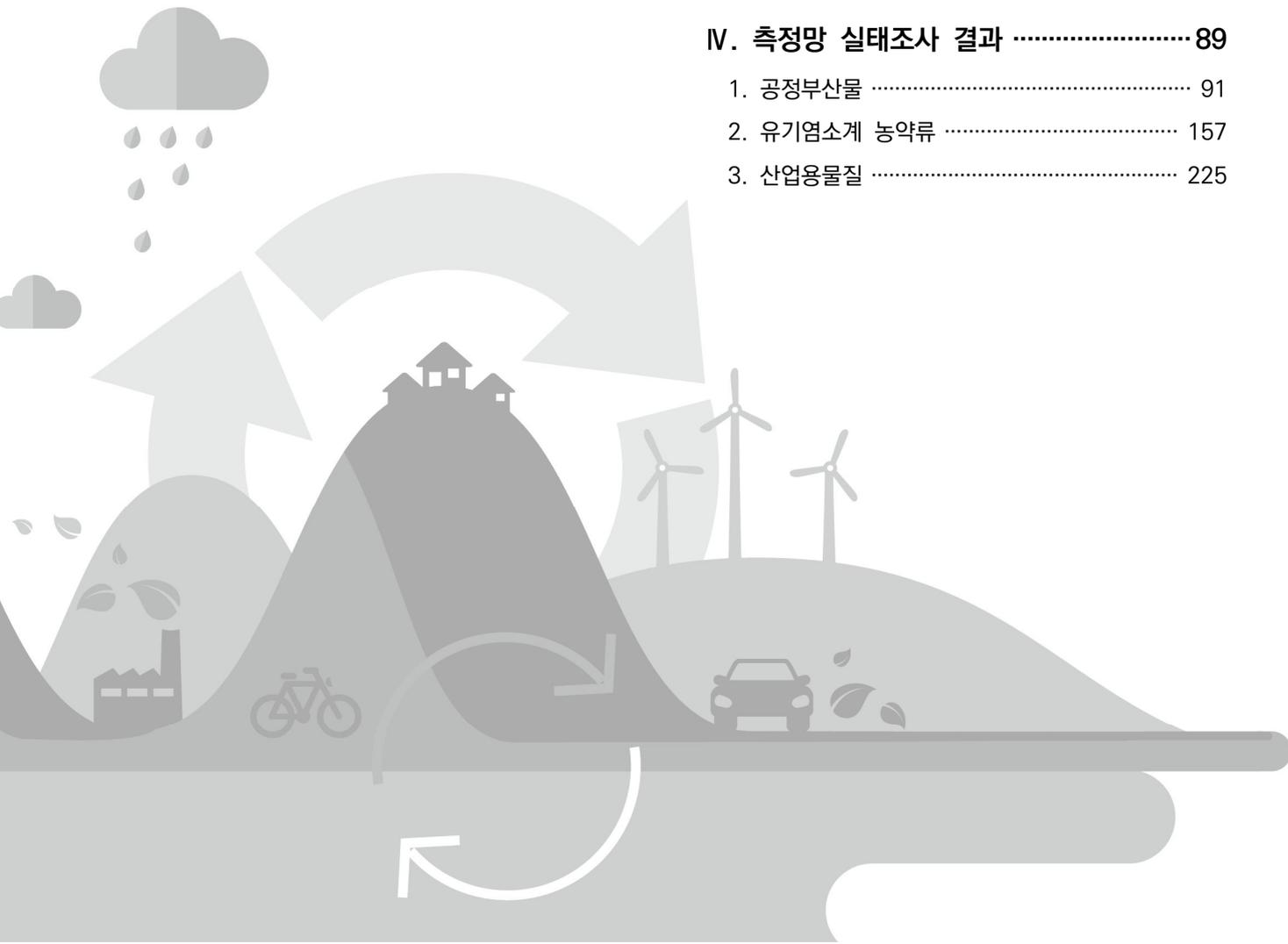


그림 III-3-5. 과불화합물의 매체별 교차시료 분석결과 비교 그래프 (‘17)

# IV

## IV. 측정망 실태조사 결과 ..... 89

- 1. 공정부산물 ..... 91
- 2. 유기염소계 농약류 ..... 157
- 3. 산업용물질 ..... 225







#### IV. 측정망 실태조사 결과

---

### 1. 공정부산물





## IV. 측정망 실태조사 결과

### 1. 공정부산물

전국 171개 지점의 잔류성유기오염물질 측정망을 중심으로 대기, 수질, 퇴적물, 토양 등 다양한 환경매체에서 총 5종의 공정부산물을 조사하였다. 공정부산물의 조사 항목으로는 다이옥신/푸란류(PCDD/PCDFs), 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐(Co-PCBs), 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(PCBs), 헥사클로로벤젠(HCB), 펜타클로로벤젠(PeCB)을 들 수 있다.

공정부산물 중 매체별 다이옥신 농도를 요약하면, 대기시료의 중앙값이 0.001 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 연평균이 0.014(최소 0.000, 최대 0.149) pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup> 수준이며, 토양 시료는 중앙값이 0.000 pg I-TEQ/g, 연평균이 0.490(최소 0.000, 최대 9.842) pg I-TEQ/g 수준이다. 하천/호소수의 경우 중앙값이 0.000 pg I-TEQ/L, 연평균이 0.010(최소 0.000, 최대 0.276) pg I-TEQ/L 수준이며, 퇴적물은 중앙값이 0.005 pg I-TEQ/g, 연평균이 0.042(최소 0.000, 최대 0.276) pg I-TEQ/g 수준으로 조사되었다. 잔류성유기오염물질 관리법 제16조와 관련하여 <별표 3>에서 규정하고 있는 다이옥신의 우리나라 대기환경기준인 연간 평균치 0.6 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup> 이하의 수준에는 크게 못 미치는 수준(약 2%)인 것으로 조사되었다.

#### 1.1. 다이옥신/푸란류

##### 1.1.1. 환경대기 중 다이옥신/푸란류 농도

###### 가) 환경대기 중 연간, 계절별 다이옥신/푸란류 농도

2017년도 기준 전국의 잔류성유기오염물질 측정망의 환경대기 시료채취지점은 전국 38개 지점 중 천안 성성동 1개 지점을 제외한 37개 지점에 대하여 연 2회(봄, 가을) 측정하였고, 측정지점별로 검출수, 최소값, 최대값, 평균, 표준편차 등 간단한 기술통계량은 표 IV-1-1에 요약 정리하였다.

다이옥신/푸란류의 전체적인 농도수준을 보면, 중앙값이 0.001 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 연평균이 0.014(최소 0.000, 최대 0.149) pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup> 수준으로 파악되었으며, 계절별로는 봄철의 중앙값이 0.000 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 평균이 0.015 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup> 수준, 가을철의 중앙값이 0.000 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 평균이 0.010 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup> 수준인 것으로 조사되었다. 이는 우리나라 다이옥신 대기환경기준인 연간 평균치 0.6 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup> 보다 매우 낮은 농도 수준으로서 2008년 이후 환경대기 중 연평균 농도는 지속적으로 감소하고 있는 추세이다.

표 IV-1-1. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 계절 및 연평균 농도

구분	PCDD/DFs(pg I-TEQ/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	34	31	26	9	-
	최소	0.000	0.000	0.000	0.000	-
	최대	0.411	0.277	0.592	0.292	-
	중앙값	<b>0.003</b>	<b>0.002</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	-
	평균	<b>0.025</b>	<b>0.036</b>	<b>0.021</b>	<b>0.017</b>	-
	표준편차	0.070	0.065	0.096	0.054	-
2016 (38지점)	검출수	33	31	-	15	19
	최소	0.000	0.000	-	0.000	0.000
	최대	0.343	0.851	-	0.097	0.679
	중앙값	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	-	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
	평균	<b>0.024</b>	<b>0.042</b>	-	<b>0.007</b>	<b>0.025</b>
	표준편차	0.070	0.140	-	0.021	0.111
2017 (37지점)	검출수	24	-	17	-	14
	최소	0.000	-	0.000	-	0.000
	최대	0.149	-	0.295	-	0.295
	중앙값	<b>0.001</b>	-	<b>0.000</b>	-	<b>0.000</b>
	평균	<b>0.014</b>	-	<b>0.018</b>	-	<b>0.010</b>
	표준편차	0.035	-	0.053	-	0.049

PCDD/DF in Air

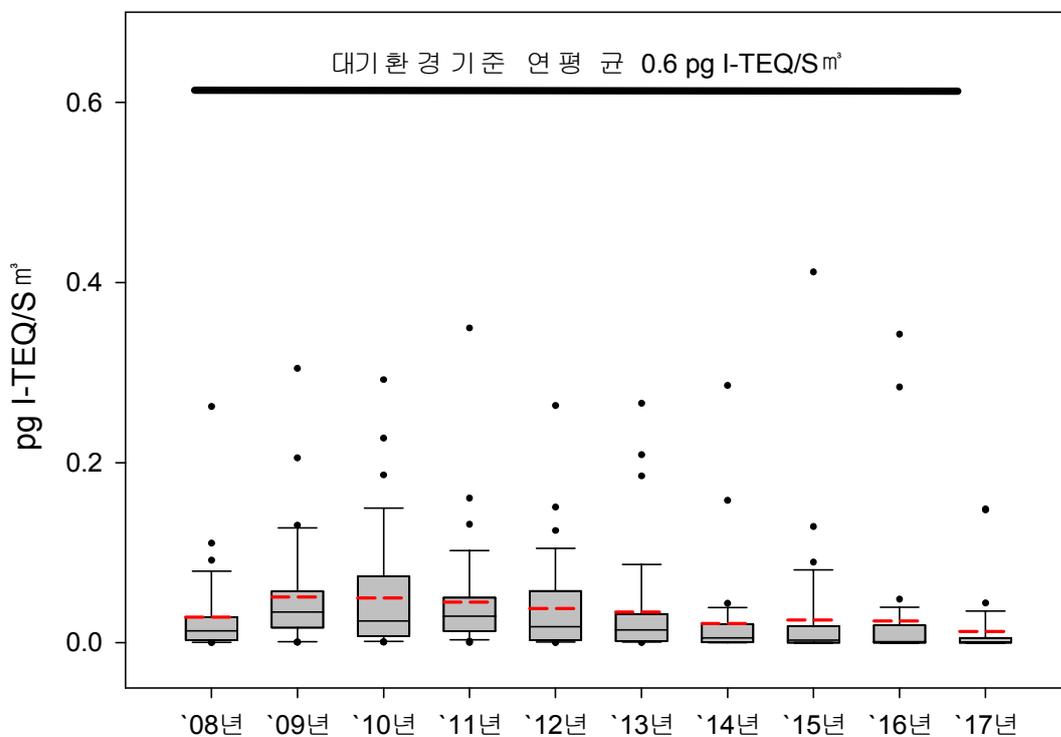


그림 IV-1-1. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('08~'17)

표 IV-1-2. 환경대기 시료 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('08~'17)  
(pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
지 점 수	37	37	37	38	38	38	38	38	38	37
검 출 수	37	37	37	38	38	38	31	34	33	24
최 소	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최 대	0.262	0.304	0.292	0.349	0.263	0.266	0.190	0.387	0.343	0.149
중 양 값	<b>0.014</b>	<b>0.034</b>	<b>0.025</b>	<b>0.030</b>	<b>0.018</b>	<b>0.014</b>	<b>0.004</b>	<b>0.003</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>
평 균	<b>0.028</b>	<b>0.051</b>	<b>0.050</b>	<b>0.045</b>	<b>0.038</b>	<b>0.034</b>	<b>0.017</b>	<b>0.025</b>	<b>0.024</b>	<b>0.014</b>
표준편차	0.048	0.060	0.067	0.062	0.053	0.059	0.039	0.066	0.070	0.035

'17년도의 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 농도분포를 살펴보면, 대부분 0.001 pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup> 이하의 농도범위에 집중되어 있는 것으로 나타났다.

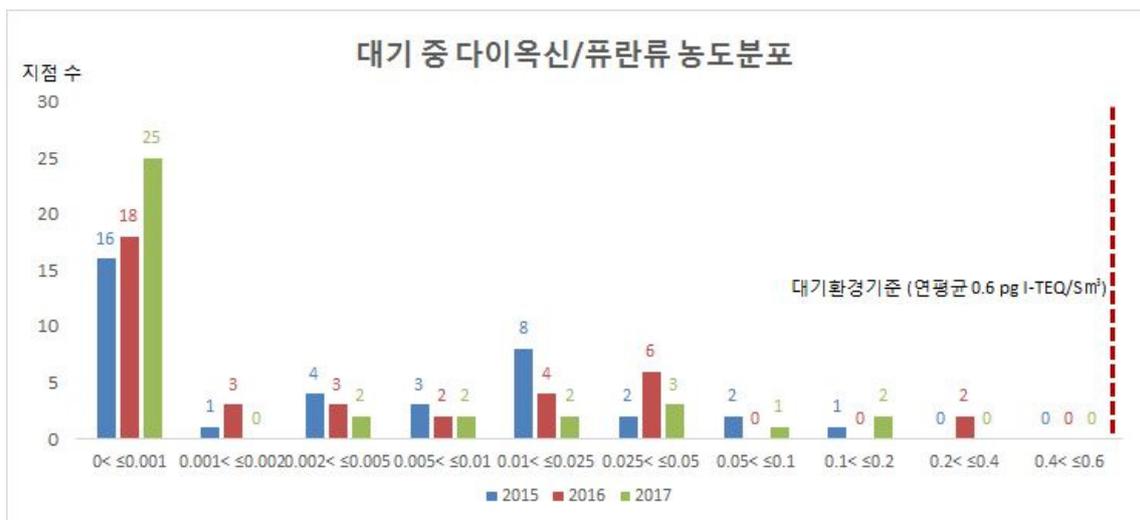


그림 IV-1-2. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17)

### 나) 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 지역별 농도분포

전국에 분포되어있는 38개 대기 측정지점을 전국 16개 시도별로 구분하여 그 농도분포를 비교·분석하였다. 지역별 연평균 농도를 살펴보면, 전북 > 전남 > 경기 지역 순으로 나타나고 있다.

시도별 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 농도와 공간분포를 표 IV-1-3과 그림 IV-1-3에 나타내었다.

표 IV-1-3. 시도별 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 평균농도

(단위 : pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

지역	2015	2016	2017
서울	0.006	0.008	0.000
부산	0.000	0.000	0.000
대구	0.005	0.001	0.001
울산	0.003	0.343	0.003
광주	0.003	0.005	0.001
대전	0.007	0.001	0.001
인천	0.099	0.021	0.011
경기	0.120	0.098	0.035
강원	0.015	0.007	0.000
충북	0.008	0.000	0.000
충남	0.004	0.005	0.003
경북	0.006	0.001	0.002
경남	0.001	0.003	0.001
전북	0.021	0.014	0.074
전남	0.003	0.006	0.029
제주	0.000	0.000	0.000

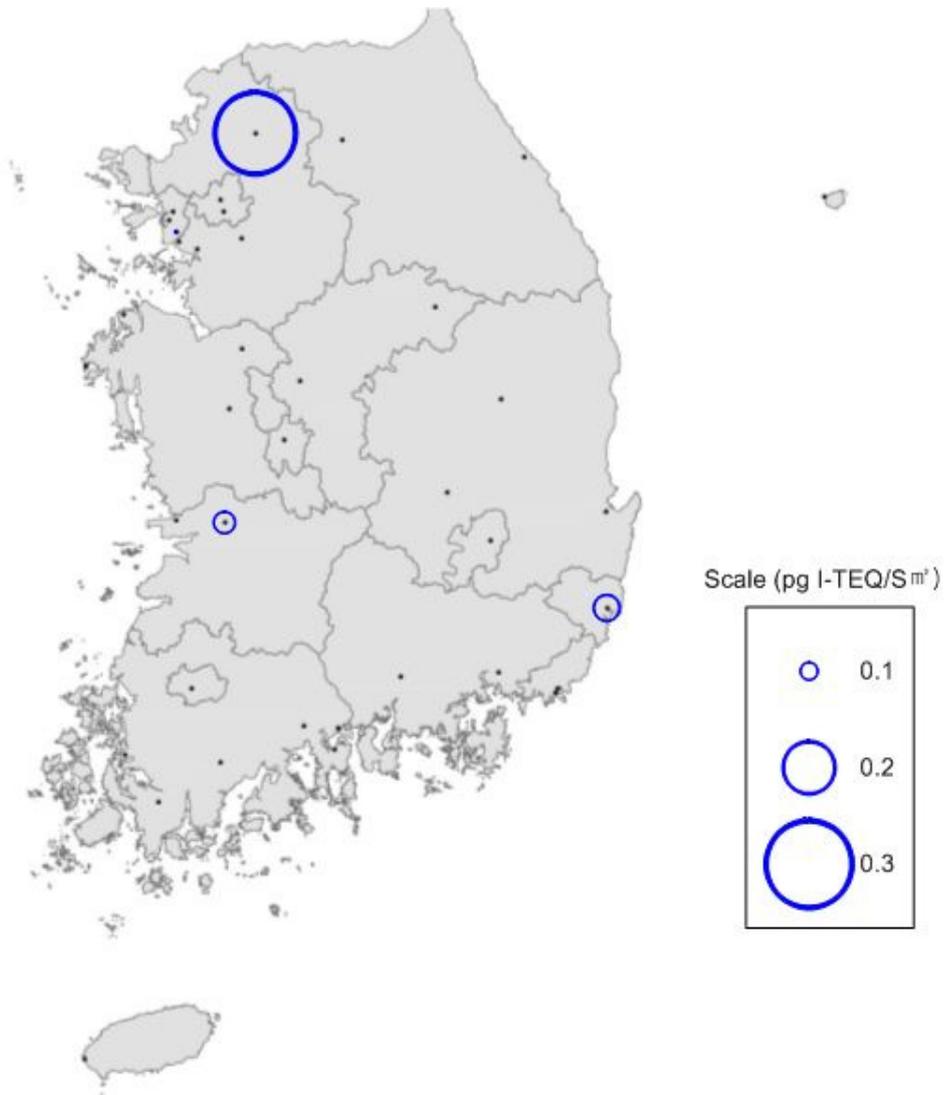


그림 IV-1-3. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 ('17)

#### 다) 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 용도별 농도

전국에 분포되어있는 38개 환경대기 측정지점을 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』 제36조(용도지역의 지정) 제1항에 따라 도시지역을 다시 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 세분하여 통계분석을 실시하였다. 환경측정 자료는 정규성을 만족하지 못하는 경우가 많으므로 임의의 다른 표본에 대해 분산이 동일한지를 검정하는 Levene Test를 실시하였다. 검정결과, Levene 통계량은 1.790으로 1.96을 넘지 않았고, 유의확률이 0.141로 모든 집단간 분산의 차이가 없으므로, 집단간 일원배치

분산분석을 실시할 수 있는 표본임을 확인할 수 있었다.

용도별 차이를 확인하기 위한 통계분석으로는 평균값에 영향을 주는 요인이 1개(용도)이므로 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용하였다. 그 결과 유의 확률(p값)이 0.627 ( $p > 0.05$ )로 95 % 신뢰수준에서 통계적으로 용도지역에 따른 평균 농도 차이는 없는 것으로 확인되었다. 따라서 용도지역 구분에 따라 2017년도 조사 자료에서 상업, 주거, 공업 지역이 다른 용도지역에 비해 다소 높은 것으로 보이나 통계분석 결과에 의하면 차이가 있다고 보기는 어렵다.

표 IV-1-4. 환경대기 시료 중 연도별 용도별 다이옥신/푸란류의 평균농도  
(단위 : pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

구 분	2015	2016	2017
공업 (n=11)	0.020	0.041	0.026
상업 (n=12)	0.013	0.007	0.131
주거 (n=10)	0.055	0.039	0.044
녹지 (n=2)	0.017	0.007	0.003
배경 (n=3)	0.000	0.000	0.000

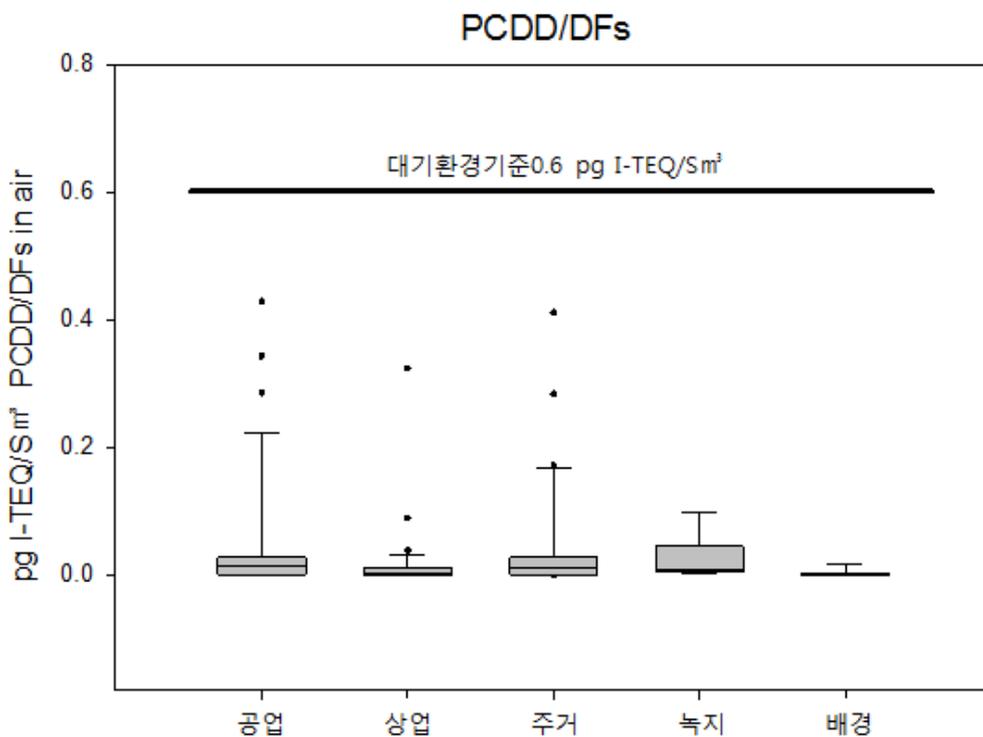


그림 IV-1-4. 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 용도지역별 농도분포 ('17)

## 라) 환경대기 중 다이옥신/푸란류 농도수준비교

표 IV-1-5는 우리나라 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 농도 수준을 파악하기 위하여 외국의 다이옥신/푸란류의 농도 자료와 비교한 것이다. 2017년도에 조사된 전국 대기 중 다이옥신/푸란류의 연평균 농도는  $0.012 \text{ pg I-TEQ/Sm}^3$  수준으로, 우리나라 대기환경기준의 연간 평균치  $0.6 \text{ pg I-TEQ/m}^3$ 에 비해 매우 낮은 농도 수준이다.

일본의 전국 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 연평균 농도는  $0.021\sim 0.027 \text{ pg I-TEQ/Sm}^3$  수준으로 우리나라 전국 다이옥신/푸란류의 연평균 농도와 유사한 수준이다. 측정지점에 따라 다이옥신/푸란류의 농도 수준이 다를 수 있으나, 중국은  $0.003\sim 0.644 \text{ pg I-TEQ/Sm}^3$ , 홍콩은  $0.001\sim 5.791 \text{ pg I-TEQ/Sm}^3$ , 대만은  $0.008\sim 0.723 \text{ pg I-TEQ/Sm}^3$  농도 수준으로 조사되었다.

다양한 측정지점에서 조사된 유럽지역의 자료를 살펴보면, 독일에서는  $0.014\sim 0.35 \text{ pg I-TEQ/Sm}^3$  농도 수준이며, 벨기에, 영국, 크로아티아, 포르투갈 등 다른 국가의 경우는 N.D. $\sim 0.306 \text{ pg I-TEQ/Sm}^3$  농도 수준인 것으로 조사되었다.

외국의 사례와 우리나라 환경대기 중에서 조사된 다이옥신/푸란류의 농도 수준을 전반적으로 살펴보면, 다이옥신/푸란류의 농도가 거의 비슷한 수준이거나 낮은 수준인 것으로 파악되었다.

표 IV-1-5. 외국의 환경대기 중 다이옥신/푸란류의 농도

국가	농도 (pg TEQ/m <sup>3</sup> )	기간	지역구분	참고문헌
일본	0.0042~0.49 (0.021)	2015	전국	일본환경성 2017
	0.0036~0.42 (0.021)	2014	전국	일본환경성 2016
	0.0029~0.20 (0.023)	2013	전국	일본환경성 2015
	0.0047~0.58 (0.027)	2012	전국	일본환경성 2014
중국	0.091~0.202	2012	Urban	GMP (Asia-Pacific), 2015
	0.009~0.043	2012	Rural	
	0.143	-	Commercial	Li et al., 2008
	0.144~0.497	-	Industrial	
	0.289	-	Urban	
	0.006~0.119	2008		Li et al., 2010
	0.003~0.247	2009		
0.018~0.644	2006		Li et al., 2008	
홍콩	0.008~0.182 (0.044)	2013	-	GMP (Asia-Pacific), 2015
	0.0073~0.154	2004 ~2005	Tap Mun	Maggie et al., 2008
	0.001~5.791		Yuen Long	
	0.0074~0.312		Tsuen Wan	
미국	0.09~0.45	1996	-	Riggs et al., 1996
독일	0.014~0.027	-	Rural	Wallenhorst et al., 1997
	0.048~0.064	-	Suburban	
	0.053~0.099	-	Urban	
	0.048~0.085	-	Multi type impact area	
	0.07~0.35	1993	-	Rappe et al., 1993
영국	N.D.~1.8	1994	-	Duarte et al. 1994
대만	0.056~0.348	1999~2000	School zone	Chang et al., 2004
	0.0474	2004	Changhua County	Lee et al., 2009
	0.0319~0.256	2005	Kaohsiung	Wang et al., 2009
	0.0244~0.493	2004	-	Shih et al., 2008
	0.00824~0.723	2004	-	
터키	0.0233~0.563	2002	Rural	Bakoglu et al., 2005
호주	0.02~0.06	1992	-	Taucher et al., 1992
벨기에	0.02~0.59	1993	-	Wevers et al., 1993
크로아티아	0.009~0.306	1997~2000	Urban site	Krauthacker et al., 2006
포르투갈	0.147~0.151 (0.149)	2002	Suburban	Coutinho et al., 2007
	0.019~0.039 (0.034)		Suburban	
	0.004~0.025 (0.015)		Rural & forest	
이탈리아	0.00543~0.734 (0.0654)	2002	Urban	Menichini et al., 2007
	0.00148~0.00657 (0.00295)		Background	

### 1.1.2. 토양 중 다이옥신/푸란류 농도

#### 가) 토양 중 연간 다이옥신/푸란류 농도

2017년도 기준 잔류성유기오염물질 측정망의 토양 시료채취지점은 전국 61개 지점으로 연 1회 측정하였고, 2008년부터 2017년까지 조사된 측정지점별 검출 수, 최소값, 최대값, 중앙값, 평균, 표준편차 등 간단한 기술통계량은 표 IV-1-6에 요약 정리하였다.

토양 중 2017년도 다이옥신/푸란류의 농도 수준을 보면, 중앙값이 0.000 pg I-TEQ/g, 연평균이 0.490 pg I-TEQ/g인 것으로 조사되었다. 최근 3년간의 연도별 검출 빈도를 살펴보면, 2015년에 61개 쏠지점, 2016년에 59개 지점, 2017년에 41개 지점에서 검출되었으며, 매년 검출빈도는 점점 낮아지고 있는 추세이다.

2008년부터 2017년까지 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도 추이를 보면, 2016년까지 거의 비슷한 농도 수준을 보이고 있으나, 2017년도엔 거의 절반 수준으로 감소됨을 알 수 있다. 이는 일본의 다이옥신 토양환경기준인 1,000 pg TEQ/g과 비교시 매우 낮은 수준(1/2000 이하)이다.

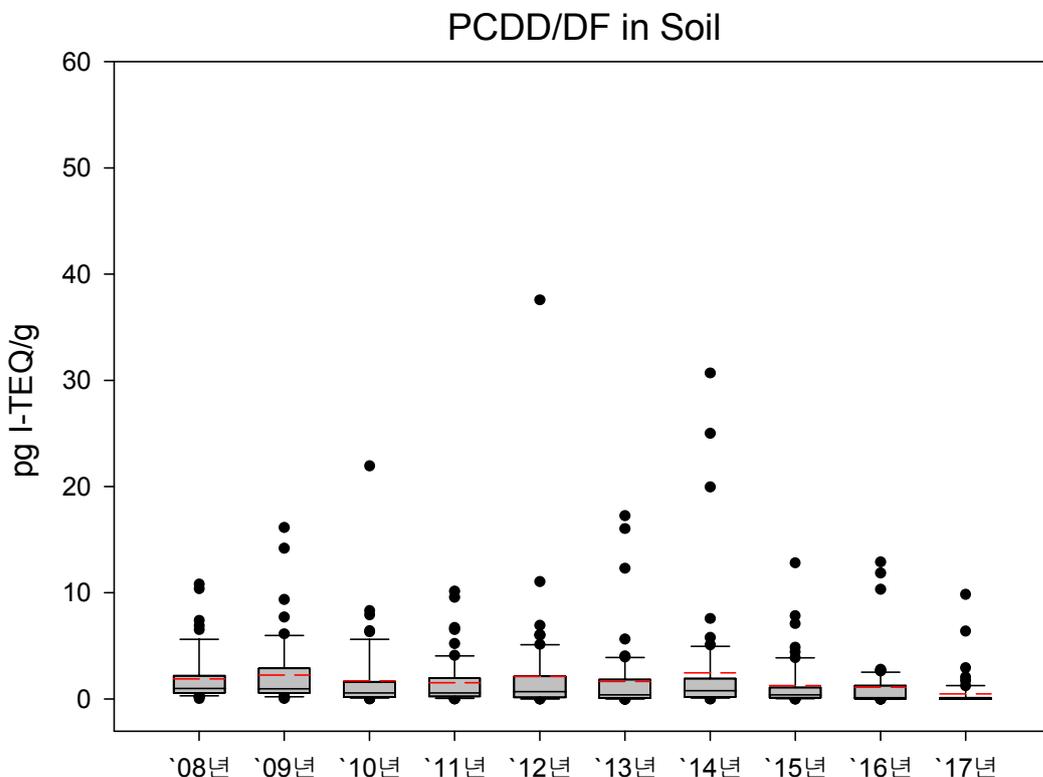


그림 IV-1-5. 토양 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('08~'17)

표 IV-1-6. 토양 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도현황 ('08~'17)

(단위 : pg I-TEQ/g)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	57	57	57	61	61	61	61	61	61	61
검 출 수	57	57	57	61	61	57	61	61	59	41
최 소	0.039	0.041	0.013	0.006	0.007	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000
최 대	10.814	16.149	21.941	10.141	37.572	17.267	15.339	12.822	12.904	9.842
중 양 값	<b>0.986</b>	<b>0.965</b>	<b>0.589</b>	<b>0.558</b>	<b>0.697</b>	<b>0.385</b>	<b>0.519</b>	<b>0.405</b>	<b>0.142</b>	<b>0.000</b>
평 균	<b>1.903</b>	<b>2.280</b>	<b>1.725</b>	<b>1.529</b>	<b>2.145</b>	<b>1.660</b>	<b>1.307</b>	<b>1.282</b>	<b>1.117</b>	<b>0.490</b>
표준편차	2.369	3.166	3.368	2.181	5.106	3.384	2.766	2.256	2.559	1.550

### 나) 토양 중 다이옥신/푸란류 지역별 농도

전국에 분포되어있는 61개 토양 측정지점을 전국 16개 시도별로 구분하여 그 농도분포를 비교하였다. 지역별 연평균 농도를 살펴보면, 연도별 차이는 있으나, 대체로 광주, 대전, 경기, 인천 지역이 타 지역에 비해 다소 높게 조사되었으며, 2017년도엔 광주, 경남 지역이 타 지역에 비해 다소 높게 나타난 것으로 파악되었다.

최근 3년간 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도분포를 보면, 아래 그림처럼, 0.5 pg I-TEQ/g 이하의 농도 구간에서 절반(30~38개) 이상의 분포를 차지하고 있음을 알 수 있다.

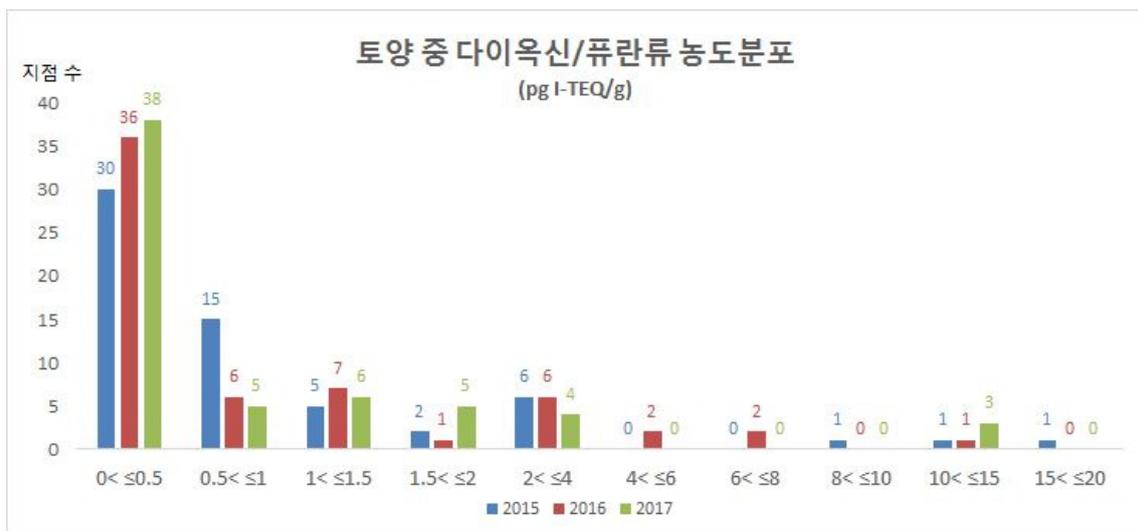


그림 IV-1-6. 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17)

표 IV-1-7. 시도별 토양 중 다이옥신/푸란류의 평균농도

(단위 : pg I-TEQ/g)

시도구분	2015	2016	2017
서울	0.276	0.018	0.028
부산	2.531	0.150	0.000
대구	0.405	0.031	0.000
울산	1.820	1.515	0.082
광주	4.866	12.904	6.373
대전	0.028	11.864	0.035
인천	1.900	0.354	0.315
경기	2.111	1.655	0.613
강원	0.154	0.039	0.004
충북	0.535	0.238	0.097
충남	1.238	0.897	0.518
경북	0.643	0.823	0.020
경남	2.223	0.879	2.515
전북	0.540	0.541	0.020
전남	1.621	0.333	0.335
제주	0.851	1.639	0.401

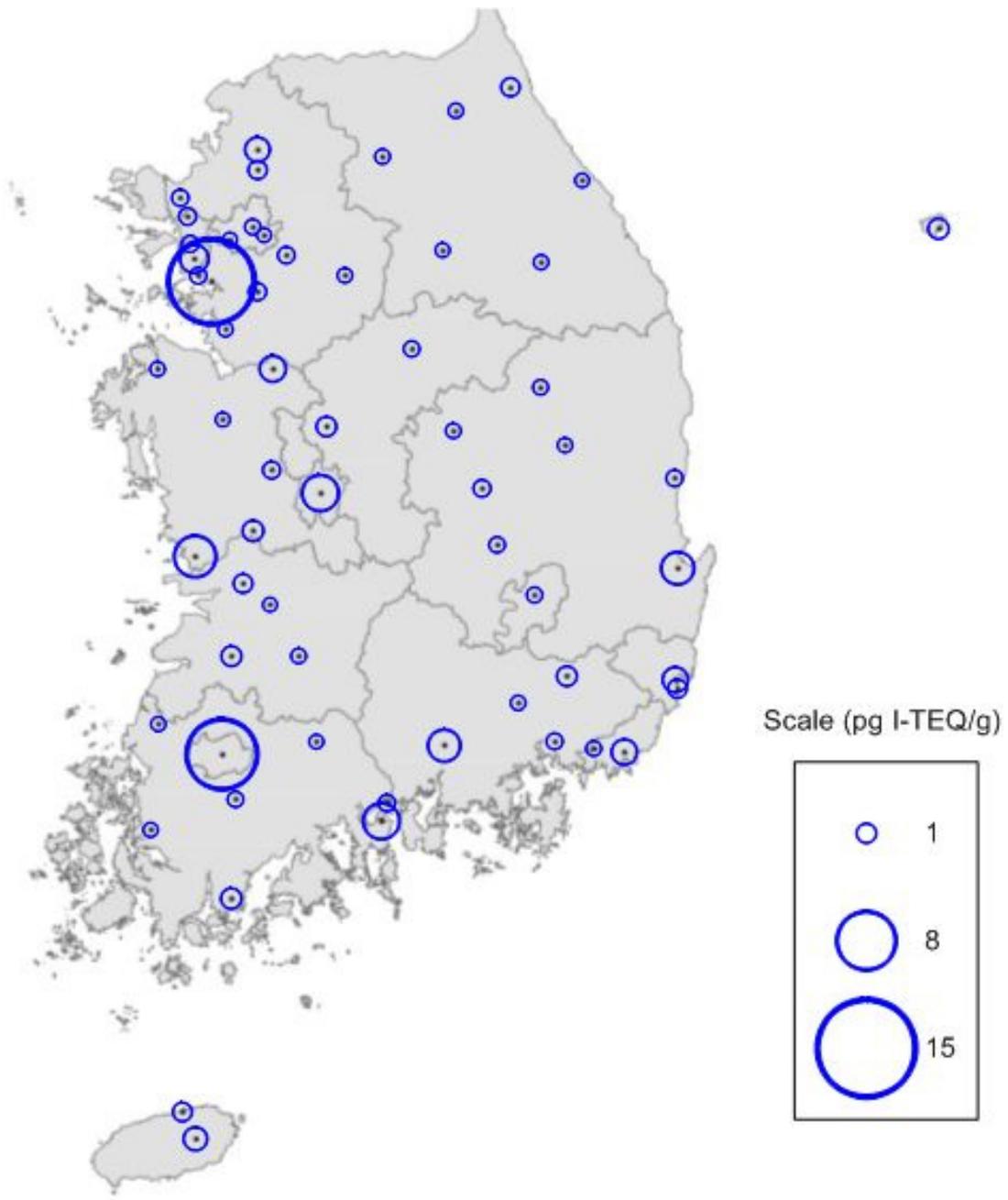


그림 IV-1-7. 토양 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 ('17)

### 다) 토양 중 다이옥신/푸란류의 용도별 농도

전국에 분포되어있는 61개 토양 측정지점을 공원, 공장용지, 농지, 대지 등 토지 용도별로 분류하여 농도수준을 정리하였다.

임의의 다른 표본에 대한 분산의 동질성 검정결과 Levene 통계량은 5.446, 유의 확률은 0.000이므로 집단간 일원배치분산분석을 실시할 수 있는 표본으로 보기는 어렵다. 따라서 비모수검정인 Kruskal-Wallis H 검정으로 용도별 차이를 확인한 결과, 유의수준 0.024 ( $p < 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도별 차이가 있는 것으로 확인되었다.

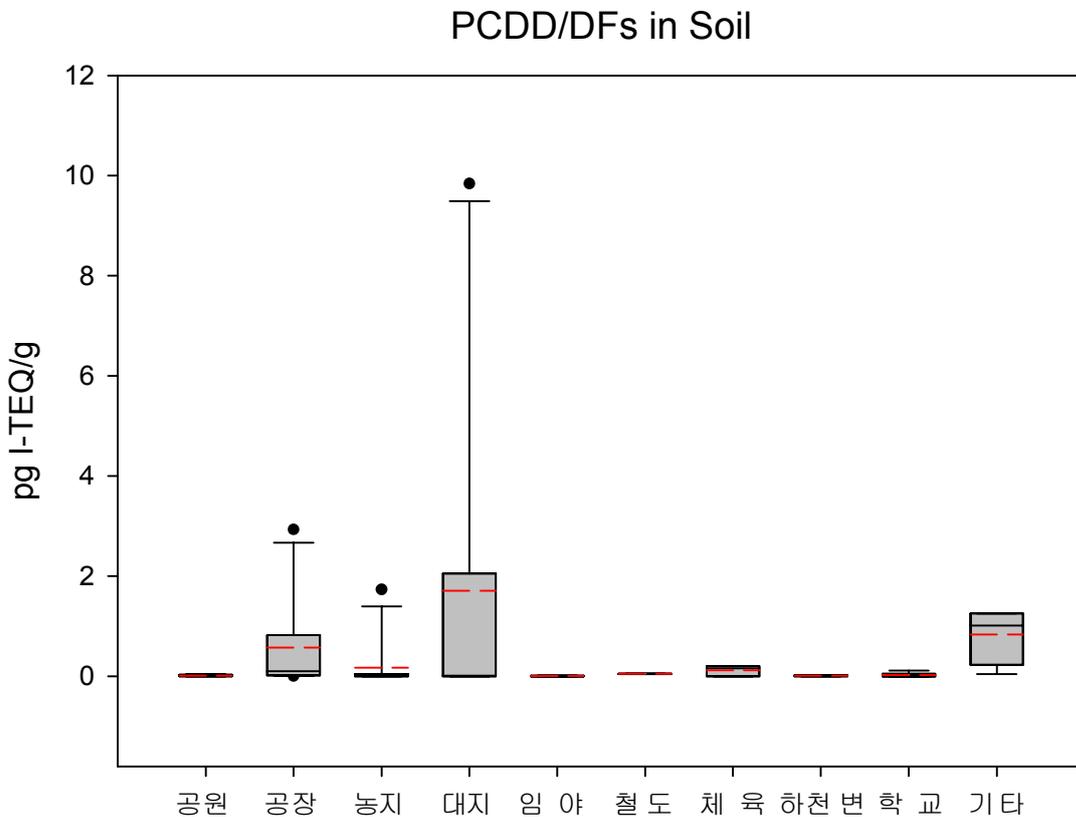


그림 IV-1-8. 토양 중 다이옥신/푸란류의 용도별 농도비교 ('17)

## 라) 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도수준 비교

표 IV-1-8는 우리나라 토양 중 '15~'17년도의 다이옥신/푸란류의 농도 수준을 파악하기 위하여 외국의 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도 자료와 비교한 것이다. 2017년도에 조사된 우리나라 전국 토양 중 다이옥신/푸란의 연평균 농도는 0.490 pg I-TEQ/g 수준이며, 2008년 이후 지속적으로 감소하는 추세이다.

일본의 전국 토양 중 다이옥신/푸란의 연평균 농도는 2.3~9 pg I-TEQ/g 수준으로 우리나라 다이옥신/푸란의 연평균 농도보다 다소 높은 수준이다. 동아시아 지역 중 중국은 주거지역 평균 4.36 pg I-TEQ/g, 산업지역 평균 5.14 pg I-TEQ/g, 외곽지역 평균 5.47 pg I-TEQ/g, 배경지역 평균 2.21 pg I-TEQ/g으로 검출되어 전반적으로 우리나라에 비해 높은 수준인 것으로 조사되었다(Zhang et al 2009). 대만은 농지와 도심지역에 따라 농도 수준이 2.94~14.9 pg I-TEQ/g인 것으로 조사되었다.

유럽국가의 경우 스페인은 숲, 공장지역 등 다양한 측정지점에 따라 0.09~34.28 pg I-TEQ/g, 러시아는 0.15~3.69 pg I-TEQ/g, 독일과 영국 역시 다양한 측정지점에 따라 각각 0~112 pg I-TEQ/g과 0.78~1911 pg I-TEQ/g으로 조사되었다.

북미지역의 경우 미국의 연평균이 2.5~9.4 pg I-TEQ/g, 캐나다가 도시지역, 전원 지역, 농지지역, 배경지역 등 다양한 지점에서 0.1~101.8 pg I-TEQ/g 농도 수준으로 조사되었다.

외국의 사례와 우리나라 토양 중에서 조사된 다이옥신/푸란류의 농도 수준을 종합하면, 우리나라와 외국의 다이옥신/푸란 농도가 비슷한 수준이거나 다소 낮은 수준인 것으로 파악되었다.

표 IV-1-8. 외국의 토양 중 다이옥신/푸란류의 농도

국가	PCDD/Fs (pg TEQ/g)	기간	지역구분	참고문헌
일본	0-100 (2.6)	2015	전국	일본환경성 2017
	0-100 (2.3)	2014	전국	일본환경성 2016
	0-230 (3.6)	2013	전국	일본환경성 2015
	0-150 (2.6)	2012	전국	일본환경성 2014
	0.016-0.68	-	Paddy soil	Kiguchi et al., 2007
	0.3-9.4 (3.1)	1992-1998	Rural Paddy soil	Seike et al., 2001
	0.17-67 (9)		Urban	Ono et al., 2001
	2.53	1993	Industrial area	Sakurai et al., 1996
중국	0.565-1.69	2004	Control area	Wong et al., 2007
	13.2-28.4		Rural	
	2.3-45 <sup>a</sup>	2006	Taizhou	Shen et al., 2009
	0.45-2.63	2007	Plant	Li et al., 2010
	0.94-5.78	2008		
	0.69-3.54	2009		
	0.30-8.22 (4.36)		Residential/Commercial area	Zhang et al., 2009
	1.44-8.23 (5.14)		Industrial area	
	1.19-15.9 (5.47)		Suburban	
	0.36-2.87 (2.21)		Remote mountains	
7.18±0.56 <sup>a</sup>	-	Eastern China	Liu et al., 2009	
대만	2.94-14.9 <sup>a</sup>	2001-2002	Agricultural region	Jou et al., 2007
	10.3	2004	Changhua County	Lee et al., 2009
스페인	0.33-15.08	2003-2004	Industrial landfill	Karell et al., 2006
	0.37-0.90		Forest	
	0.27-2.24	1996	Control site	Eljarrat et al., 2001
	0.1-34.28	1993-1999	Plant site	
0.09-1.08	1995	Industrial		
독일	0-26 (1)		Rural	Umweltbundesamt, 2002
	0-112(3)		High density urban area	
	0-88 (2)		Urbanized area	
	0-72 (4)		Industrial areas	
러시아	0.15-1.95		Background Rural area	Amirova et al., 2002
	1.19-3.69	2002	Urban	
영국	0.78-17.5 (5.2)		Rural area	HMIP, 1995
	6-1911		Industrial urban areas	Vizard et al., 2003
	3-20	1990	Suburban/urban sites	Stenhouse et al., 1990
	4.9-87 (28.4)		Urban	HMIP, 1995
미국	0.1-6.0 (2.5)		Background	US EPA, 2000
	2-21 (9.4)		Urban	
	0.083-22.6 (3.0)	1994	Rural	Rappe et al., 1997
	1.77-5.51 (2.88)	2001	Agriculture fields	Petreas et al., 2003
캐나다	0.73-5.9 (3.58)		Background	Tewhey Associates, 1997
	0.16-0.22		Rural	Birmingham et al., 1990
	0.1-78.5		Urban	
	1.7-101.8		Industrial sites	

a : pg WHO-TEQ/g, ( )안은 평균값임

### 1.1.3. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류 농도

#### 가) 하천/호소수 중 연간 농도

2017년도 기준 잔류성유기오염물질 측정망의 하천/호소수 시료채취지점은 전국 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있으며, 시료채취는 연 1회 봄철에 실시하였다.

2017년도 조사한 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도는 중앙값이 0.000 pg I-TEQ/L, 연평균이 0.010(최소 0.000, 최대 0.253) pg I-TEQ/L로 조사되었다. 2008년 이후 중앙값이 0.000~0.231 pg I-TEQ/L, 평균이 0.072~0.272 pg I-TEQ/L 수준으로 검출되었다. 검출빈도는 2015년에 35개 지점, 2016년에 11지점, 2017년 14개 지점에서 각각 검출되었다. 이들 지점에 대한 검출수, 최소값, 최대값, 평균, 표준편차 등 간단한 기술 통계량은 표 IV-1-9에 요약정리하였다.

표 IV-1-9. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류 수계별 농도 ('15~'17)

(단위 : pg I-TEQ/L)

수계별 평균	지점 수	'15	'16	'17
한 강	8	0.096	0.027	0.033
낙동강	9	0.011	0.004	0.007
금 강	5	0.006	0.027	0.000
영산강	4	0.011	0.059	0.001
기 타	10	0.012	0.004	0.003
검출 수 (전체 36지점 중)		35	11	14
최 소		0.000	0.000	0.000
최 대		0.678	0.171	0.253
중 앙 값		<b>0.008</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
평 균		<b>0.029</b>	<b>0.018</b>	<b>0.010</b>
표준편차		0.112	0.044	0.043

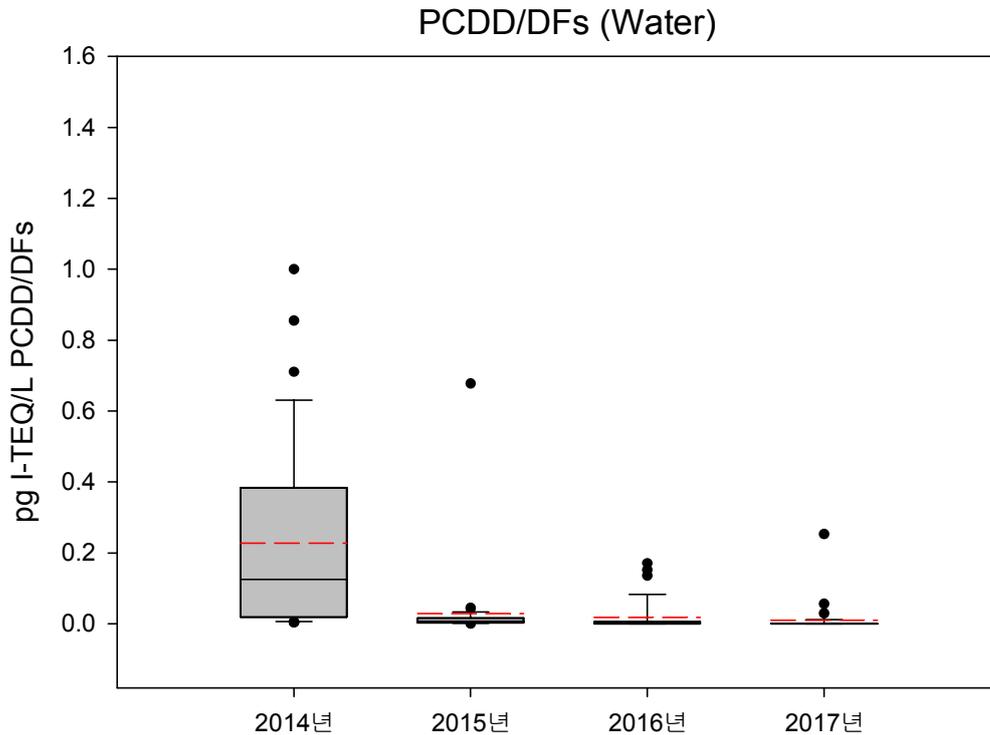


그림 IV-1-9. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('14~'17)

#### 나) 하천/호소수 중 수계별 농도

수계별 연평균 농도를 살펴보면, 한강수계가 0.033 pg I-TEQ/L, 낙동강수계가 0.007 pg I-TEQ/L, 금강수계가 0.000 pg I-TEQ/L, 영산강수계가 0.001 pg I-TEQ/L, 기타 수계가 0.003 pg I-TEQ/L로 조사되었으며, 수계별 농도순위를 보면, 낙동강 > 기타 > 영산강 > 금강수계 순으로 조사되었다.

임의의 다른 표본에 대한 분산의 동질성 검정결과, Levene 통계량은 3.673, 유의확률은 0.015로 모든 집단간 분산의 차이가 없으므로 ( $p > 0.05$ ), 집단간 일원배치 분산분석을 실시할 수 있는 표본임을 확인할 수 있었다. 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용해 통계분석을 실시한 결과, 유의확률( $p$ 값)이 0.581 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 수계별 차이가 없는 것으로 확인되었다.

하천/호소수의 2017년도 다이옥신/푸란류 농도분포를 보면, 0.001 pg I-TEQ/L 이하의 농도 구간에서 대부분(29개) 분포하는 것으로 알 수 있다. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도분포는 그림 IV-1-10에, 공간 분포는 그림 IV-1-11에 각각 나타내었다.

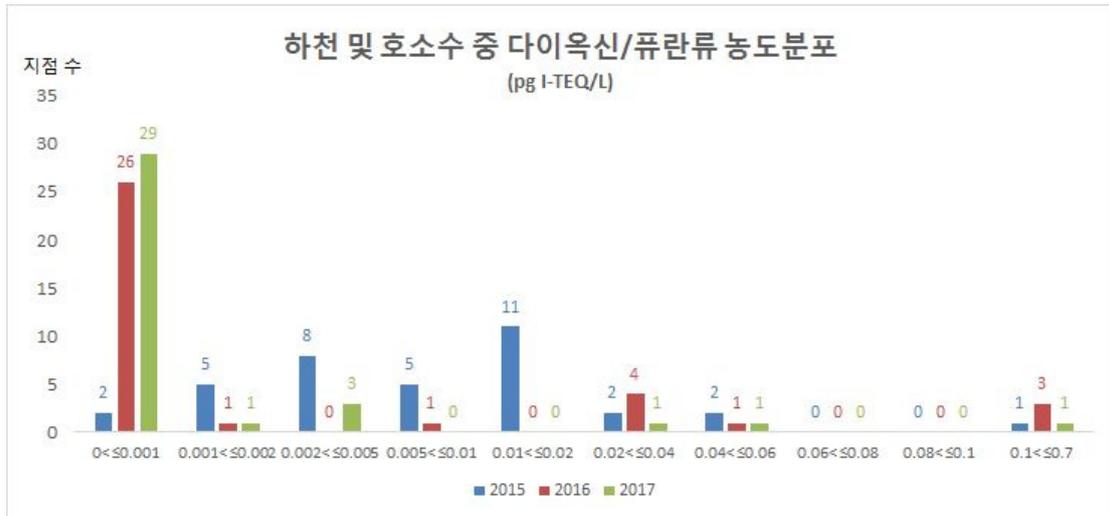


그림 IV-1-10. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17)

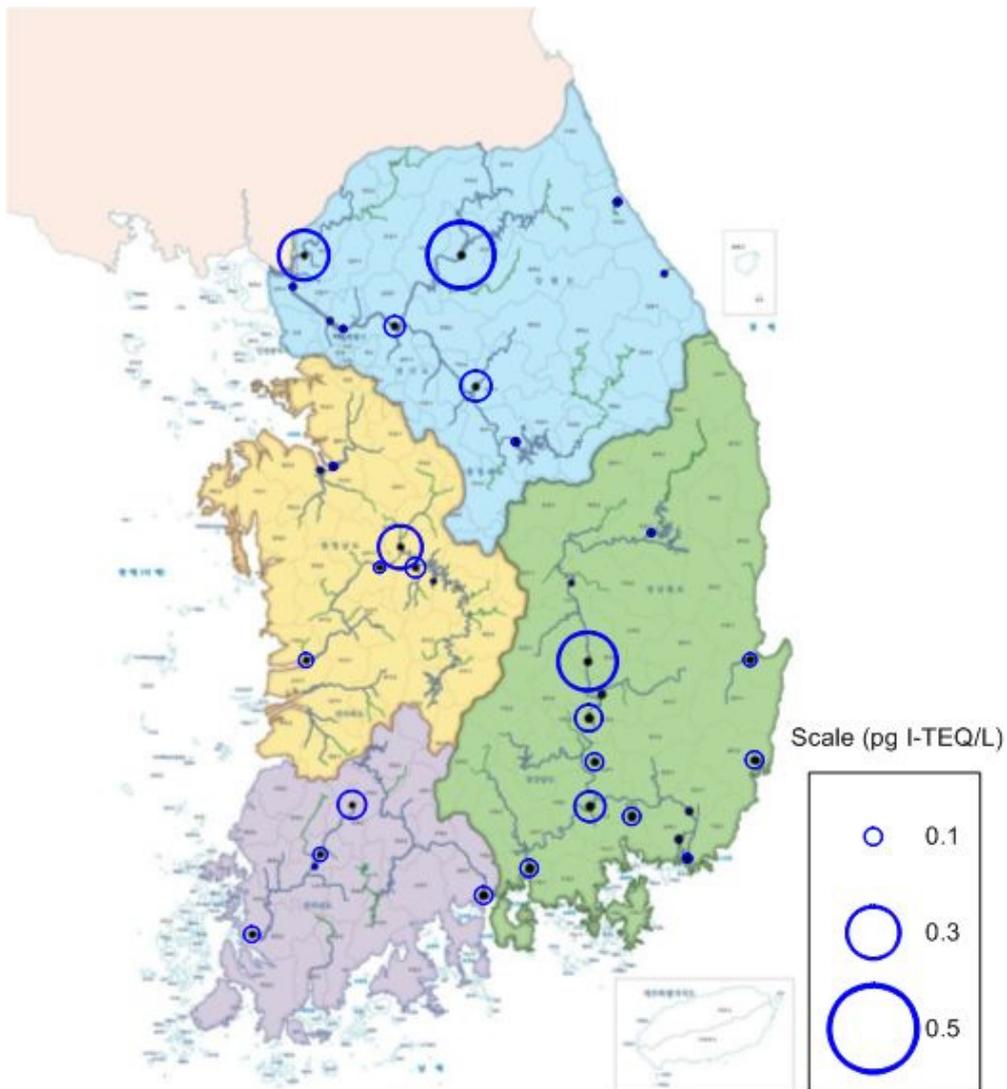


그림 IV-1-11. 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 ('17)

### 다) 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도 수준 비교

표 IV-1-10은 우리나라 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도 수준을 파악하기 위하여 외국의 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도 자료와 비교한 것이다. '15~'17년까지 우리나라 전국 하천/호소수의 연평균 농도는 0.010~0.029 pg I-TEQ/L 수준으로 나타났다.

일본의 전국 수계 중 연평균 농도는 0.18~0.20 pg I-TEQ/L로 우리나라 전국 평균 농도에 비해 높은 수준이다. 그 외 국가에서는 중국이 0.009~0.050 pg I-TEQ/L, 덴마크가 0.001 pg I-TEQ/L, 독일이 0.004 pg I-TEQ/L, 미국이 N.D.~1.6 pg I-TEQ/L, 북아일랜드가 1.2~1.3 pg TEQ/L 수준인 것으로 조사되었다.

외국의 사례와 우리나라 하천/호소수에서 조사된 다이옥신/푸란류의 농도를 보면, 우리나라의 다이옥신/푸란류 농도가 아주 낮은 수준임을 알 수 있었다.

표 IV-1-10. 외국의 하천/호소수 중 다이옥신/푸란류의 농도수준 비교

국 가	PCDD/DFs (pg TEQ/L)	기간	지역	참고문헌
일 본	0.011~4.9 (0.18)	2015	전국	일본 환경성, 2017
	0.012~2.1 (0.18)	2014	전국	일본 환경성, 2016
	0.013~3.2 (0.19)	2013	전국	일본 환경성, 2015
	0.0084~2.6 (0.20)	2012	전국	일본 환경성, 2014
중 국	0.009	2005	Xijiang river	Liu et al., 2008
	0.020-0.050	2006		
덴마크	0.001	1991	Baltic sea	Broman et al., 1991
독 일	0.004	1994	River Elbe	Götz et al., 1994
미 국	0.017	2000	Hudson River	Lohmann et al., 2000
	N.D.~1.6	2006	Houston Ship Channel	Suarez et al., 2006
북아일랜드	1.2~1.3	1996	Lake Rotorua	Gifford et al., 1996

### 1.1.4. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류 농도

#### 가) 퇴적물 중 다이옥신/푸란류 연간 농도

2017년도 기준 잔류성유기오염물질 측정망의 퇴적물 시료채취지점은 하천/호소수와 동일한 지점으로, 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 전국에 36개의 지점으로 구성되어 있으며, 시료채취는 연 1회 봄철에 이루어졌다.

퇴적물 중 다이옥신/푸란류는 중앙값을 기준으로 '15년 0.094 pg I-TEQ/g, '16년 0.053 pg I-TEQ/g, '17년 0.005 pg I-TEQ/g, 연평균을 기준으로 '15년 0.315 pg I-TEQ/g, '16년 0.719 pg I-TEQ/g, '17년 0.042 pg I-TEQ/g으로 조사되었으며, 검출 빈도는 '15년이 34개 지점, '16년이 33개 지점, '17년이 21개 지점으로 점차 감소하고 있는 추세이다. 검출 수, 최소값, 최대값, 중앙값, 평균 및 표준편차 등 간단한 기술 통계량은 표 IV-1-11에 요약정리하였다.

표 IV-1-11. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류 수계별 농도

(단위 : pg I-TEQ/g)

수계별 평균	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.526	0.268	0.056
낙동강	9	0.137	0.048	0.011
금 강	5	0.334	0.321	0.013
영산강	4	0.097	0.167	0.054
기 타	10	0.382	2.104	0.068
검출 수 (전체 36지점 중)		34	33	21
최 소		0.000	0.000	0.000
최 대		1.445	16.344	0.276
중 앙 값		<b>0.094</b>	<b>0.053</b>	<b>0.005</b>
평 균		<b>0.315</b>	<b>0.719</b>	<b>0.042</b>
표준편차		0.417	2.741	0.072

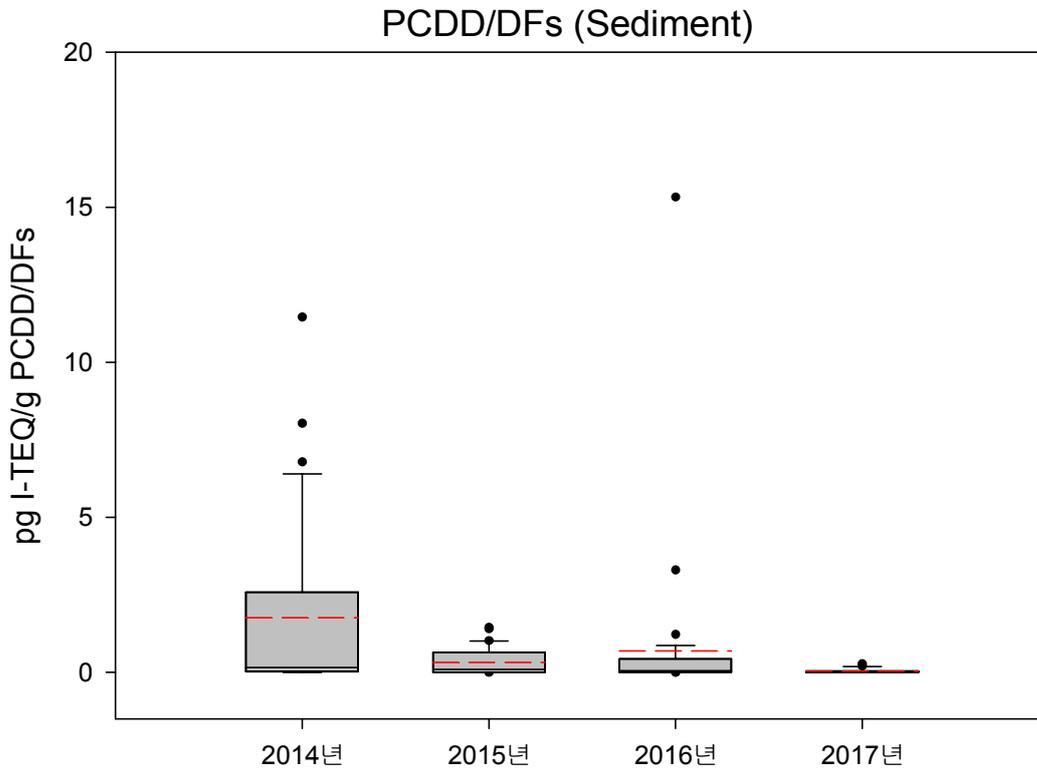


그림 IV-1-12. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 연도별 농도분포 ('14~'17)

#### 나) 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 수계별 농도

수계별 연평균 농도를 살펴보면, 한강수계가 0.056 pg I-TEQ/g, 낙동강수계가 0.011 pg I-TEQ/g, 금강수계가 0.013 pg I-TEQ/g, 영산강수계가 0.054 pg I-TEQ/g, 기타 수계가 0.068 pg I-TEQ/g 수준으로 수계별 농도순위를 보면, 기타 > 한강 > 낙동강 > 금강 > 영산강 수계 순으로 조사되었다.

임의의 다른 표본에 대한 분산의 동질성 검정결과, Levene 통계량은 4.943, 유의확률은 0.003 ( $p < 0.05$ )로 동질성이 있다고 보기 어렵다. 따라서 비모수검정인 Kruskal-Wallis H 검정으로 수계별 차이를 확인한 결과, 유의수준 0.453 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 수계별 차이가 없는 것으로 확인되었다.

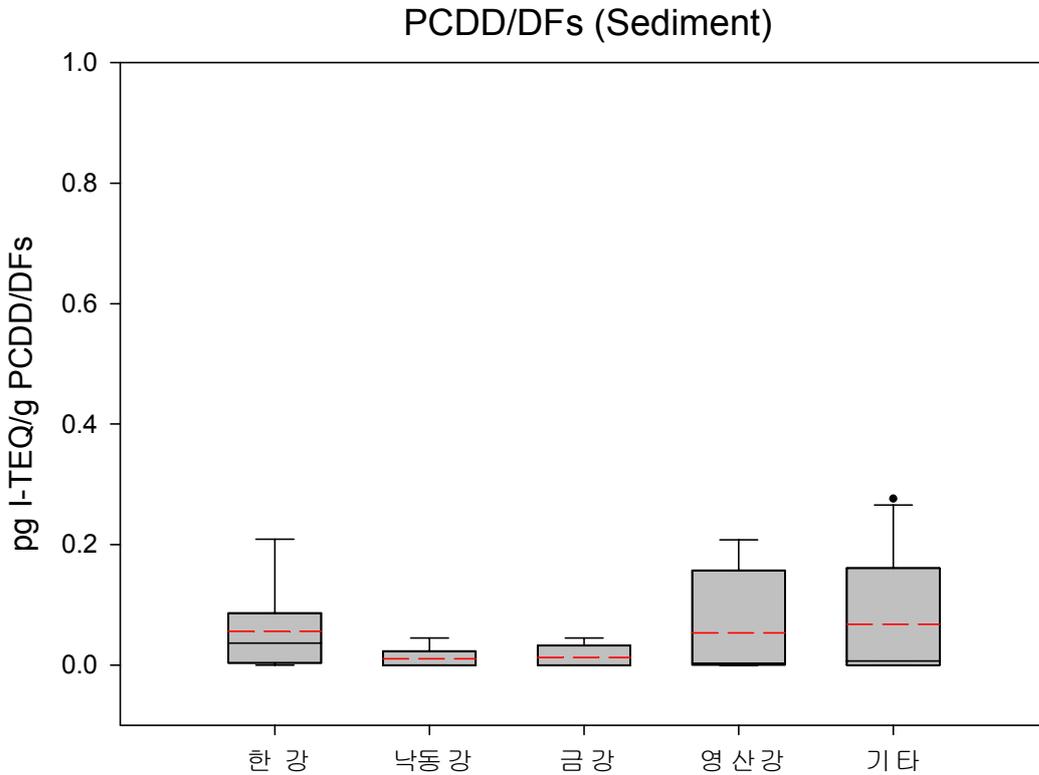


그림 IV-1-13. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 수계별 농도분포 ('17)

최근 3년간의 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도분포를 보면, 0.0~0.2 pg I-TEQ/g 이하의 농도 구간에서 대부분(18~31개)이 분포하고 있으며, 2017년에 조사된 모든 토양 시료는 0.3 pg I-TEQ/g 이내에 분포하는 것으로 파악되었다.

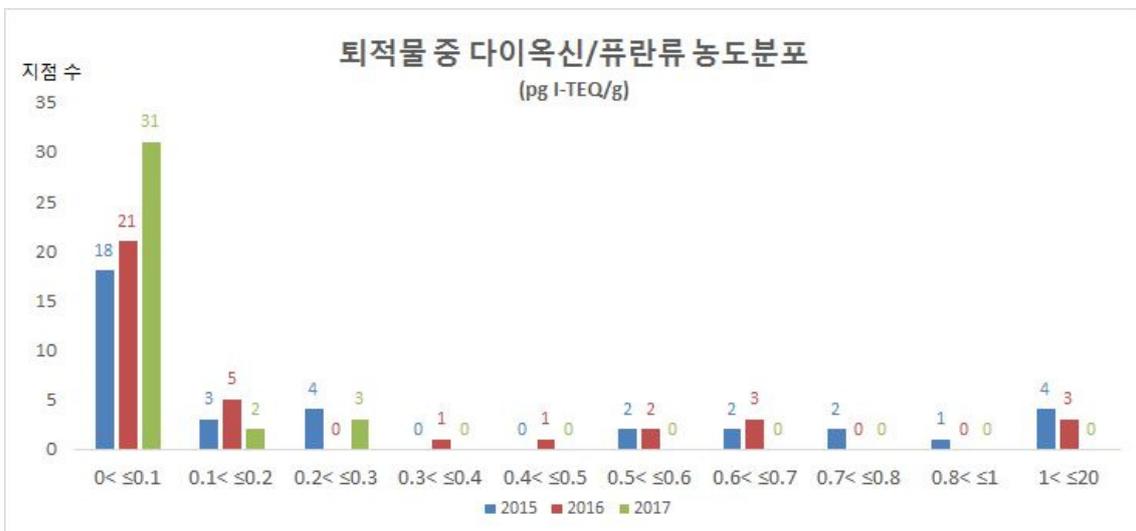


그림 IV-1-14. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도분포 ('15~'17)

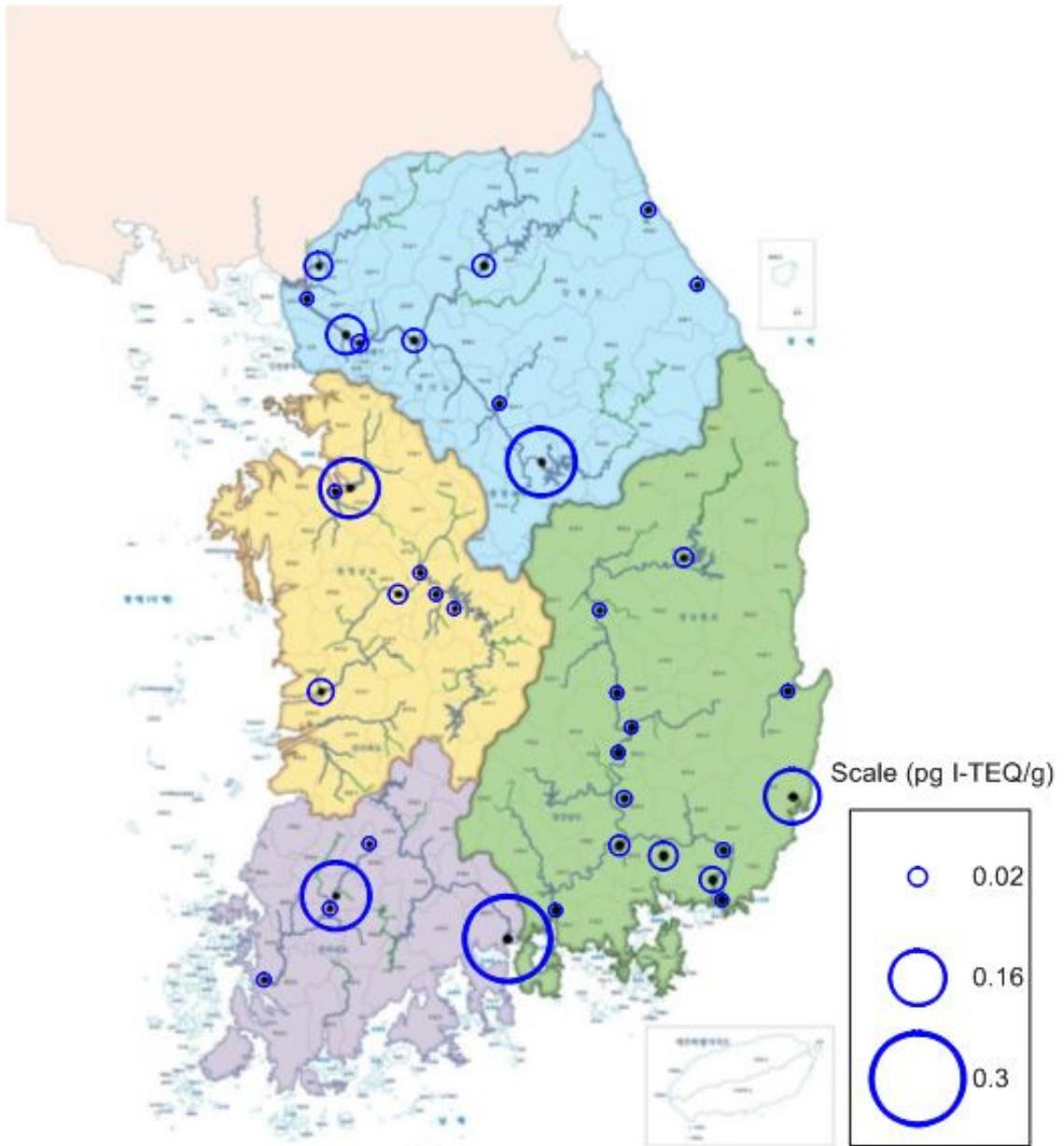


그림 IV-1-15. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 공간분포 (17)

### 다) 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도 수준 비교

표 IV-1-12는 우리나라 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도 수준을 파악하기 위하여 국내·외 농도 자료를 비교한 것이다. 최근 3년간('15년~'17년) 퇴적물 중 다이옥신/푸란류 농도를 측정한 결과를 보면, 연평균 농도가 0.042~0.723 pg I-TEQ/g 수준인 것으로 조사되었다.

일본의 전국 수계별 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 연평균 농도는 6.4~7.1 pg I-TEQ/g 수준이며, 중국이 Pearl River 등 다수의 지역에서 조사한 결과를 보면 0.28~30.0 pg I-TEQ/g 농도 수준인 것으로 조사되었다. 대만은 호소수에서 1.04~4.10 pg WHO-TEQ/g, 호주는 퀸즐랜드 지역에서 0.163~27 pg I-TEQ/g 농도 범위로 조사되었다.

외국의 사례와 우리나라 퇴적물에서 조사된 다이옥신/푸란류의 농도를 비교해보면, 우리나라의 다이옥신/푸란류 농도가 아주 낮은 수준임을 알 수 있었다.

표 IV-1-12. 퇴적물 중 다이옥신/푸란류의 농도수준 비교

국 가	PCDD/DFs (pg I-TEQ/g)	기간	지역	참고문헌
일 본	0.059~1,100 (7.1)	2015	전국	일본 환경성, 2017
	0.068~660 (6.4)	2014	전국	일본 환경성, 2016
	0.056~640 (6.7)	2013	전국	일본 환경성, 2015
	0.042~700 (6.8)	2012	전국	일본 환경성, 2014
중 국	0.6~17.5	2001	Pearl River	Zheng et al., 2001
	3.1~9.5	2002		Zhang et al., 2009
	0.7~11	2004	Dongting Lake	Gao et al., 2008
	2.4~9.1 <sup>a</sup>	2007	East river	Ren et al., 2009
	0.11~0.80 <sup>a</sup>	-	Shandong peninsula	Pan et al., 2010
	1.91~30.0 <sup>a</sup>	-	-	Liu, et al., 2009
0.28~29.01	2005	Daliao river basin	Zhang et al., 2008	
대 만	1.04~4.10 <sup>a</sup>	2006	Sun Moon Lake	Chi et al., 2009
호 주	0.18~2.8	2001	Queensland	Gaus et al., 2001
	0.163~27	2002		Joelle et al., 2002
홍 콩	3.0~33	2002	mudflats	Jochen et al., 2002
스페인	0.1~48	2005	Beso's and Llobregat rivers	Eljarrata et al., 2005

a : WHO-TEQ

## 1.2. 폴리클로리네이티드비페닐

폴리클로리네이티드비페닐은 코플라나폴리클로리네이티드비페닐과 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐로 분류하여 조사하였다. 코플라나폴리클로리네이티드비페닐은 대기, 토양, 하천/호소수, 퇴적물 등 4개의 대상매체에 대하여 조사하였으며, 인디케이터폴리클로리네이티드비페닐은 대기를 제외한 토양, 하천/호소수 및 퇴적물 3개 대상매체에 대하여 조사하였다. 조사대상 매체 中 토양, 하천/호소수, 퇴적물은 그간의 조사에서 대부분 방법검출한계 이하의 농도로 검출됨에 따라 매체별로 대표시료에 한하여 조사를 수행하였다.

따라서 본 보고서에서는 토양, 하천/호소수, 퇴적물의 대표시료 분석결과에 대해서만 간략하게 언급하였다.

인디케이터폴리클로리네이티드비페닐은 잔류성유기오염물질 공정시험기준이 개정됨에 따라 2017년부터 기존에 사용했던 기체크로마토그래피/저(低)분해능 질량분석기(HRGC/LRMS)를 기체크로마토그래피/고(高)분해능질량분석기(HRGC/HRMS)로 변경하여 분석을 수행하였다. 분석기기 변경에 따라 방법검출한계를 새로 산출한 결과, 기존의 분석 결과치(0.013-0.024 ng/g)보다 더 낮은 농도(0.001 ng/g)로 검출되었으며, 방법검출한계 이상으로 검출되는 시료의 갯수도 더 증가한 것으로 조사되었다.

### 1.2.1. 환경대기 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도

#### 가) 환경대기 중 연간, 계절별 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 농도

2017년도 잔류성유기오염물질 측정망의 대기 시료채취지점은 전국 38개 지점으로 연 1회(봄) 측정하였고, 측정지점별 검출 수, 최소값, 최대값, 중앙값, 평균 및 표준편차 등 간단한 기술통계량은 IV-1-13에 요약 정리하였다.

최근 3년간 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도수준을 보면, 중앙값이 '15년 0.002, '16년 0.000, '17년 0.000 pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup>, 연평균 농도가 '15년 0.004, '16년 0.002, '17년 0.002 pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup>로 조사되었다.

표 IV-1-13. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 계절 및 연평균 농도

구분		코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 (pg WHO-TEQ/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	20	15	8	9	-
	최소	0.000	0.000	0.000	0.000	-
	최대	0.035	0.045	0.038	0.023	-
	중앙값	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	-
	평균	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>	<b>0.003</b>	<b>0.003</b>	-
	표준편차	0.007	0.009	0.007	0.006	-
2016 (38지점)	검출수	11	7	-	5	4
	최소	0.000	0.000	-	0.000	0.000
	최대	0.037	0.084	-	0.019	0.031
	중앙값	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	-	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
	평균	<b>0.002</b>	<b>0.003</b>	-	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>
	표준편차	0.006	0.014	-	0.003	0.005
2017 (37지점)	검출수	6	-	6	-	-
	최소	0.000	-	0.000	-	-
	최대	0.030	-	0.030	-	-
	중앙값	<b>0.000</b>	-	<b>0.000</b>	-	-
	평균	<b>0.002</b>	-	<b>0.002</b>	-	-
	표준편차	0.005	-	0.005	-	-

2008년부터 2017년까지의 환경대기 중 코플라나폴리클로리네이티드비페닐의 조사결과는 표 IV-1-14 및 그림 IV-1-16에 요약정리하였으며, 과거 10년간 환경대기 중 코플라나폴리클로리네이티드비페닐의 연평균 농도 기준으로 보면, 0.001~0.004 pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup> 농도 수준으로 조사되었으며, 대부분 극미량 수준인 것으로 파악되었다.

표 IV-1-14. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도현황 ('08~'17)

(pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

구분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지점수	37	37	37	38	38	38	38	38	38	37
검출수	17	25	29	14	20	21	13	20	11	6
최소	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최대	0.007	0.012	0.029	0.016	0.018	0.054	0.034	0.035	0.037	0.030
중앙값	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
평균	<b>0.001</b>	<b>0.002</b>	<b>0.004</b>	<b>0.002</b>	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	<b>0.002</b>	<b>0.002</b>
표준편차	0.002	0.003	0.006	0.004	0.005	0.009	0.007	0.007	0.006	0.005

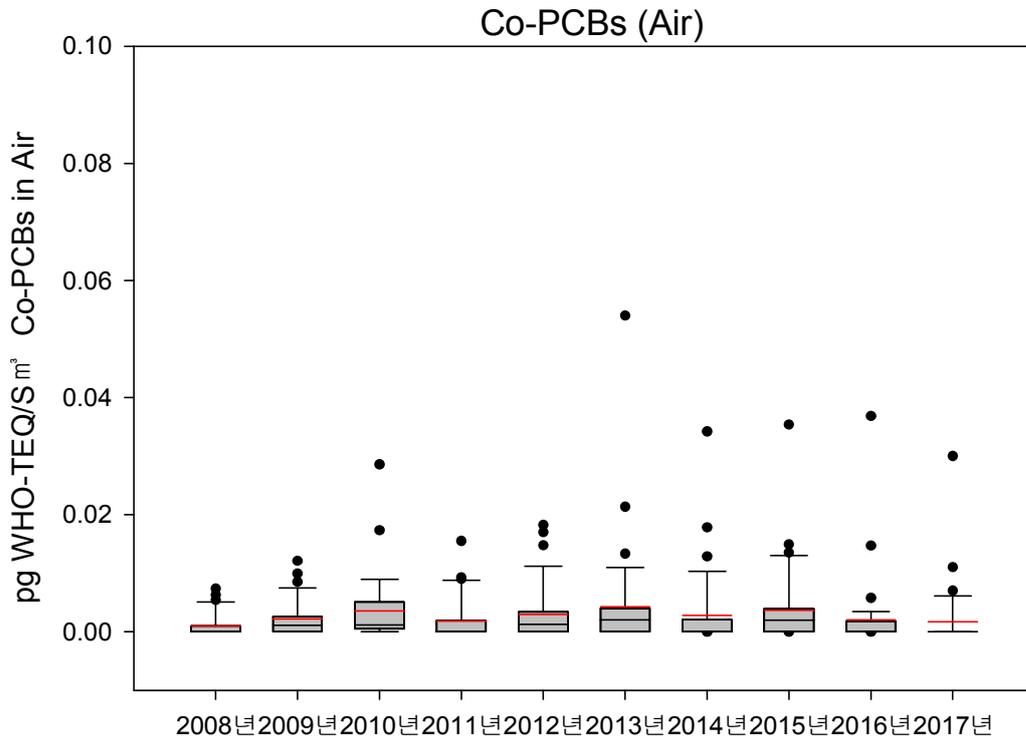


그림 IV-1-16. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도분포 ('08~'17)

최년 3년간 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도분포를 살펴 보면, 0.001 pg WHO-TEQ/S<sup>3</sup> 이하의 매우 낮은 극미량 수준의 농도분포를 보이고 있어 별도의 용도별 통계분석은 실시하지 않았다.

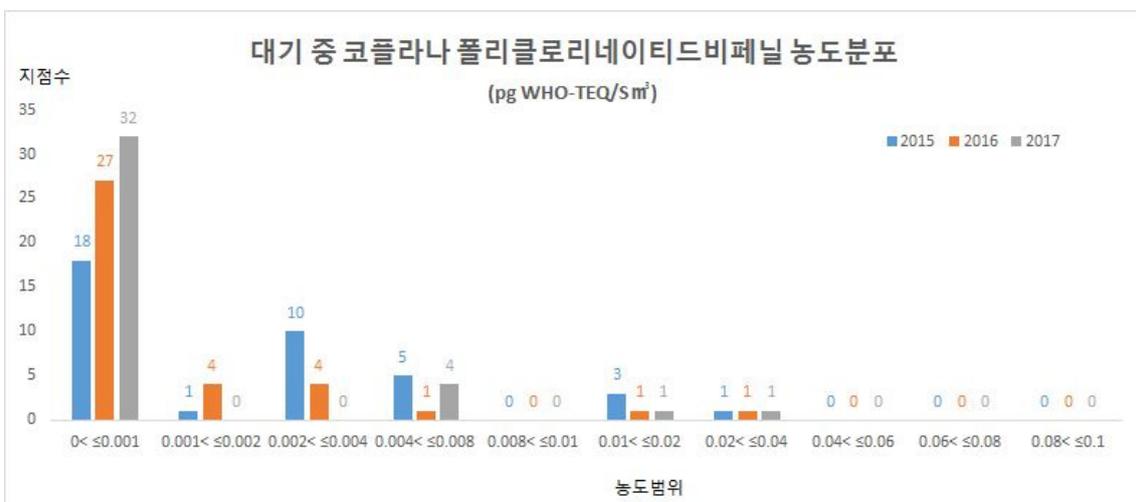


그림 IV-1-17. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도분포 ('15~'17)

## 나) 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 지역별 농도

전국에 분포되어있는 대기 측정지점 38개소를 전국 16개 시도별로 구분하여 그 농도분포 현황을 비교하였다. 2017년도 지역별 연평균 농도의 경우 전라북도가 0.015 pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup> 수준으로 다른 지역에 비해 가장 높게 나타났으며, 그 다음이 경기도 > 인천광역시 > 충청남도 순으로 조사되었다

표 IV-1-15. 대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 시·도별 연평균 농도  
(단위 : pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

지역	2015	2016	2017
서울	0.004	0.000	0.000
부산	0.000	0.000	0.000
대구	0.002	0.000	0.000
울산	0.003	0.037	0.000
광주	0.000	0.000	0.000
대전	0.000	0.000	0.000
인천	0.014	0.003	0.004
경기	0.012	0.005	0.005
강원	0.001	0.000	0.000
충북	0.002	0.000	0.000
충남	0.002	0.000	0.001
경북	0.002	0.000	0.000
경남	0.000	0.001	0.000
전북	0.005	0.002	0.015
전남	0.000	0.001	0.000
제주	0.000	0.000	0.000

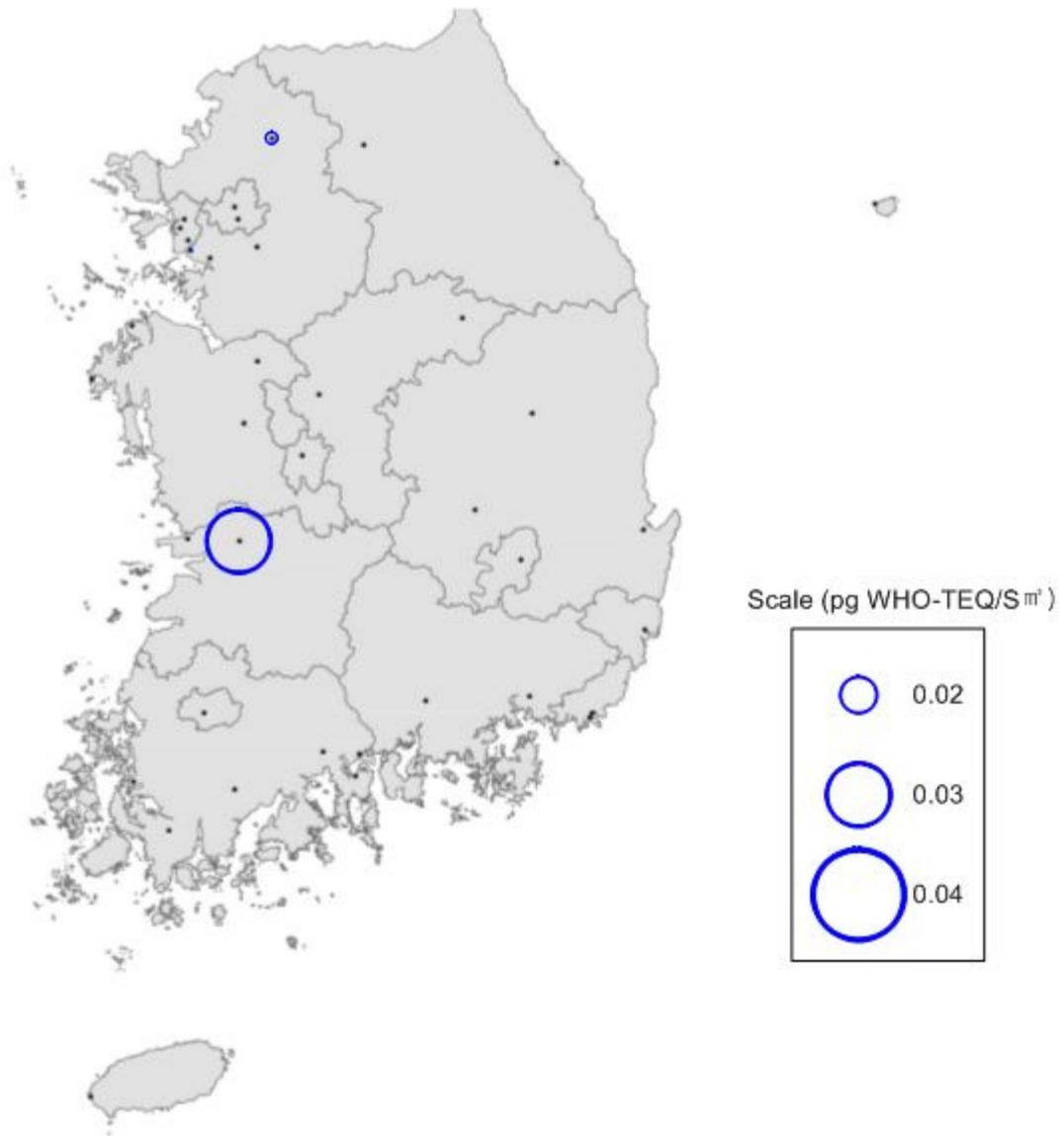


그림 IV-1-18. 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 공간분포 ('17)

### 다) 환경대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도수준 비교

표 IV-1-16은 우리나라 환경대기 중 최근 3년간의 코플라나폴리클로리네이티드비페닐의 농도수준을 파악하기 위하여 외국의 농도 자료와 비교한 표이다. 최근 3년간 우리나라 전국 환경대기 중 코플라나폴리클로리네이티드비페닐의 연평균 농도는 0.002~0.004 pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup> 수준이다. 아래 표에 나타난 것처럼, 홍콩, 중국, 이탈리아 등 다른 나라의 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도 수준 역시 우리나라와 거의 유사한 수준인 것으로 조사되었다.

표 IV-1-16. 대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 농도수준 비교

국가	Co-PCBs (pg WHO-TEQ/m <sup>3</sup> )	기간	지역구분	참고문헌
홍콩	0.002~0.008 (0.003)	2013	-	GMP Asia-Pacific, 2015
	0.002~0.028 (0.006)	2011		
	0.00061-0.016	2004 -2005	Tap Mun	Maggie et al., 2008
	0.00253-0.0365		Yuen Long	
	0.00179-0.0166		Tsuen Wan	
중국	0.0068~0.0142 (0.0102)	2012	Urban	GMP Asia-Pacific, 2015
	0.0009~0.0037 (0.0021)		Rural	
	0.001-0.008	2008		Li et al., 2010
	0.001-0.018	2009	-	
이탈리아	0.00066-0.00728 (0.00244)	2002	Urban	Menichini et al., 2007

### 1.2.2. 토양 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도

2017년 기준 잔류성유기오염물질 측정망의 토양 시료채취지점은 전국 61개 지점이지만, 2017년엔 7개의 대표지점(서울 잠실동, 부산 범천동, 속초 설악동, 논산 성동면, 안동 용상동, 정읍 북면, 영광 무령리)에 대해서만 연 1회 조사를 진행하였다. 최근 3년간 조사한 코플라나폴리클로리네이티드비페닐의 농도 수준을 보면, 중앙값이 '15년 0.067 pg WHO-TEQ/g, '16년 0.047 pg WHO-TEQ/g, '17년 0.001 pg WHO-TEQ/g, 연평균 '15년 0.239 pg WHO-TEQ/g, '16년 0.192 pg WHO-TEQ/g, '17년 0.022 pg WHO-TEQ/g으로 조사되었다. 또한 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐은 '17년부터 고분해능질량분석기로 분석을 함에 따라 방법검출한계가 낮아져 조사대상 대표지점 7개 지점에서 모두 검출되었으며, 중앙값 0.029 ng/g, 평균 0.039 ng/g으로 조사되었다. '08년 이후 측정망에서 조사된 현황을 표 IV-1-17에 요약하였으며, '17년은 대표지점에 대해서만 조사를 함에 따라 공간분포 그림은 생략하였다.

표 IV-1-17. 토양 중 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17)

구 분		'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐 (pg WHO-TEQ/g)	지점수	57	57	57	61	61	61	61	61	61	7
	검출수	52	55	46	50	54	44	49	50	43	4
	최 소	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	최 대	1.974	3.562	1.301	2.966	10.293	2.177	4.614	3.678	3.210	0.091
	중앙값	<b>0.113</b>	<b>0.084</b>	<b>0.046</b>	<b>0.051</b>	<b>0.060</b>	<b>0.049</b>	<b>0.061</b>	<b>0.067</b>	<b>0.047</b>	<b>0.001</b>
	평 균	<b>0.235</b>	<b>0.246</b>	<b>0.122</b>	<b>0.193</b>	<b>0.363</b>	<b>0.213</b>	<b>0.270</b>	<b>0.239</b>	<b>0.192</b>	<b>0.022</b>
	표준편차	0.372	0.541	0.254	0.430	1.353	0.419	0.758	0.625	0.481	0.034
인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐 (ng/g)	지점수	57	57	57	61	61	61	61	61	61	7
	검출수	2	2	0	0	0	0	0	0	0	7
	최 소	N.D.	0.004								
	최 대	13.586	5.921	N.D.	0.087						
	중앙값	<b>7.087</b>	<b>3.230</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.029</b>						
	평 균	<b>0.249</b>	<b>0.113</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.039</b>						
	표준편차	9.190	3.805	-	-	-	-	-	-	-	0.032

\* N.D.: 방법검출한계 미만, '17년은 대표지점(7개소)에 대해서만 분석 실시

### 1.2.3. 하천/호소수 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도

잔류성유기오염물질 측정망의 하천/호소수 시료채취지점은 전국 36개 지점으로 한강 수계 8개 지점, 낙동강 수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있다. 2017년의 경우 토양과 마찬가지로 수계별 대표지점인 4개 시료(한강대교, 낙동강하구언, 금강하구언, 영산호)에 대해서만 연 1회(봄) 조사를 실시하였다.

2008년 이후 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐 및 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(7종)의 수계별 연평균 농도는 표 IV-1-18~표 IV-1-19에 나타내었다. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐은 중앙값이 0.000~0.001 pg WHO-TEQ/L, 연평균이 0.000~0.006 pg WHO-TEQ/L 수준으로 조사되었고, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐은 중앙값이 N.D.~0.219 ng/L, 연평균이 N.D.~0.081 ng/L 수준으로 조사되었다.

표 IV-1-18. 하천/호소수 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17)

(단위 : pg WHO-TEQ/L)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	36	36	36	36	36	36	36	36	36	4
검 출 수	9	7	4	6	2	3	11	7	3	2
최 소	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최 대	0.051	0.075	0.045	0.061	0.153	0.066	0.010	0.003	0.003	0.005
중 양 값	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>								
평 균	<b>0.004</b>	<b>0.005</b>	<b>0.002</b>	<b>0.006</b>	<b>0.004</b>	<b>0.003</b>	<b>0.001</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.002</b>
표준편차	0.013	0.016	0.008	0.015	0.025	0.012	0.002	0.001	0.001	0.002

\* '17년은 대표지점(4개소)에 대해서만 분석 실시

표 IV-1-19. 하천/호소수 중 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17)

(단위 : ng/L)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	36	36	36	36	36	36	36	36	36	4
검 출 수	1	1	1	0	0	0	0	0	7	4
최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.030
최 대	0.151	0.119	0.162	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.921	0.179
중 양 값	<b>0.151</b>	<b>0.119</b>	<b>0.162</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.219</b>	<b>0.058</b>
평 균	<b>0.004</b>	<b>0.003</b>	<b>0.004</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.068</b>	<b>0.081</b>
표준편차	-	-	-	-	-	-	-	-	0.267	0.067

\* N.D.: 방법검출한계 미만, '17년은 대표지점(4개소)에 대해서만 분석 실시

### 1.2.4. 퇴적물 중 폴리클로리네이티드비페닐 농도

잔류성유기오염물질 측정망의 하천/호소수 시료채취지점은 전국 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있다. 2017년엔 토양과 마찬가지로 수계별 대표지점인 4개 시료(한강대교, 낙동강하구언, 금강하구언, 영산호)에 대해서만 연 1회(봄) 조사를 수행하였다.

수계별 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐과 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐(7종)의 연평균 농도는 표 IV-1-20~표 IV-1-21에 나타내었다. 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐은 중앙값이 0.000~0.042 WHO-TEQ/g, 연평균이 0.013~0.083 WHO-TEQ/g 수준으로 조사되었고, 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐은 2016년까지 수계 대부분의 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다. 그 후 2017년에 고분해능 질량분석기로 분석장비가 변경되면서 중앙값과 평균이 각각 0.061 ng/g, 0.204 ng/g 수준으로 검출되었다.

표 IV-1-20. 퇴적물 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17)  
(단위 : pg WHO-TEQ/g)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	36	36	36	36	36	36	36	36	36	4
검 출 수	25	20	17	16	24	20	16	22	23	2
최 소	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
최 대	0.984	0.572	0.215	0.508	0.382	0.343	0.139	1.581	0.333	0.181
중 앙 값	<b>0.040</b>	<b>0.042</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.033</b>	<b>0.015</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.003</b>	<b>0.019</b>
평 균	<b>0.075</b>	<b>0.065</b>	<b>0.034</b>	<b>0.045</b>	<b>0.065</b>	<b>0.040</b>	<b>0.013</b>	<b>0.083</b>	<b>0.034</b>	<b>0.055</b>
표준편차	0.186	0.115	0.056	0.097	0.095	0.071	0.030	0.265	0.066	0.086

\* '17년은 대표지점(4개소)에 대해서만 분석 실시

표 IV-1-21. 퇴적물 중 인디케이터 폴리클로리네이티드비페닐의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17)  
(단위 : ng/g)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	36	36	36	36	36	36	36	36	36	4
검 출 수	3	3	1	1	0	0	0	0	0	4
최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.002
최 대	5.022	2.351	0.762	0.512	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.693
중 앙 값	<b>2.296</b>	<b>0.679</b>	<b>0.762</b>	<b>0.512</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.061</b>
평 균	<b>0.222</b>	<b>0.100</b>	<b>0.021</b>	<b>0.014</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.204</b>
표준편차	2.199	1.000	-	-	-	-	-	-	-	0.329

\* N.D.: 방법검출한계 미만, '17년은 대표지점(4개소)에 대해서만 분석 실시

### 1.3. 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠

#### 1.3.1. 환경대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도

##### 가) 개요

펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠은 1970년대 이전까지는 작물의 곰팡이 제거제와 소화약제, 탄약, 합성고무 등의 원료로 사용되었으며, 그 이후 사용 및 생산이 금지된 물질이다. 염소계 유기용매 및 농약류의 합성과 같은 열(熱) 공정 등에서 불완전연소 또는 화학반응으로 인해 비의도적으로 발생·배출되어 환경 중에 존재하게 된다 (Office of Environmental Health Hazard Assessment California Environmental Protection Agency, 2003, Stockholm Convention on POPs, 2009). 이들 물질은 염소함유 물질을 사용하는 표백공정이나 펄프공정, 또는 구리, 알루미늄, 아연을 생산하는 공정, 철강 소결로와 같은 금속산업공정, 폐기물 소각시설이나 유해 폐기물을 사용하는 시멘트 소성로 등에서 배출될 가능성이 크다.

펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 경우 스톡홀름 부속서에 의하면, 유기 염소계농약류인 동시에 공정부산물로서 부속서 A(근절)와 부속서 C(비의도적 생산)에 등재되어있는 사용이 금지된 물질이다. 우리나라에서도 생산·사용이 금지되어 있으며, 현재 잔류성유기오염물질관리법에 의해 관리되고 있으며, 국내 생산 및 사용 이력이 전무하다.

한편 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠은 연소, 소각 과정 등에서 다이옥신과 같이 비의도적으로 생성이 되며, 현재 국내에서는 배출원에서 발생하는 배출량을 별도 측정하고 있다.

##### 나) 환경대기 중 연간, 계절별 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도

잔류성유기오염물질 측정망의 대기 시료채취지점은 전국 38개 지점 중 천안 성성동 1개 지점을 제외한 37개 지점이며, 봄철과 가을철로 나누어서 연 2회 측정하고 있다. 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 측정지점별 검출 수, 최소값, 최대값, 평균 및 표준편차 등 간단한 기술통계량은 표 IV-1-22~표 IV-1-23에 비교·정리하였다.

2017년도 환경대기 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도수준을 보면, 중앙값이 각각 83.921 pg/Sm<sup>3</sup>, 131.923 pg/Sm<sup>3</sup> 수준이며, 평균은 각각

100.184 pg/Sm<sup>3</sup>, 164.434 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 조사되었다. 계절별 농도 수준을 보면, 봄철 펜타클로로벤젠의 평균농도가 100.151 pg/Sm<sup>3</sup> 이고, 가을철 평균 농도는 100.217 pg/Sm<sup>3</sup> 수준이다. 헥사클로로벤젠의 봄철 평균 농도는 178.773 pg/Sm<sup>3</sup> 이고, 가을철 평균 농도는 150.095 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 조사되었다.

측정망 설치사업 이후 과거 10년간 측정망에서 생산된 측정 결과를 종합적으로 살펴보면, 헥사클로로벤젠의 연평균 농도는 2008년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있으며, 2013년부터 측정을 시작한 펜타클로로벤젠의 농도는 90~130 pg/Sm<sup>3</sup> 수준에서 등락하는 것으로 파악되었다.

표 IV-1-22. 환경대기 중 연도별 펜타클로로벤젠의 계절 및 연평균 농도분포

구분		펜타클로로벤젠 (pg/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	38	38	38	38	-
	최소	12.036	5.078	16.079	11.143	-
	최대	701.617	415.058	783.031	906.763	-
	중앙값	<b>102.050</b>	<b>81.051</b>	<b>107.119</b>	<b>101.014</b>	-
	평균	<b>114.656</b>	<b>87.153</b>	<b>119.197</b>	<b>137.617</b>	-
	표준편차	105.820	68.116	120.913	147.209	-
2016 (38지점)	검출수	38	38	-	38	38
	최소	42.893	7.197	-	34.849	50.768
	최대	260.561	271.833	-	257.634	328.951
	중앙값	<b>83.651</b>	<b>60.440</b>	-	<b>91.586</b>	<b>85.311</b>
	평균	<b>91.210</b>	<b>74.540</b>	-	<b>96.943</b>	<b>102.146</b>
	표준편차	42.424	46.563	-	48.363	51.879
2017 (37지점)	검출수	37	-	37	-	36
	최소	35.656	-	18.714	-	34.725
	최대	461.929	-	328.970	-	594.887
	중앙값	<b>83.921</b>	-	<b>70.181</b>	-	<b>73.885</b>
	평균	<b>100.184</b>	-	<b>100.151</b>	-	<b>100.217</b>
	표준편차	75.766	-	73.412	-	95.308

\* N.D.: 방법검출한계(1 pg/Sm<sup>3</sup>) 미만

표 IV-1-23. 환경대기 중 연도별 헥사클로로벤젠의 계절 및 연평균 농도분포

구분	헥사클로로벤젠 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	38	38	38	38	-
	최소	79.571	25.588	61.063	90.402	-
	최대	456.275	976.107	501.864	507.256	-
	<b>중앙값</b>	<b>217.448</b>	<b>132.190</b>	<b>216.099</b>	<b>256.410</b>	-
	<b>평균</b>	<b>223.412</b>	<b>161.551</b>	<b>234.644</b>	<b>274.039</b>	-
	표준편차	78.312	151.195	81.022	111.155	-
2016 (38지점)	검출수	38	38	-	38	38
	최소	105.684	15.761	-	73.069	99.991
	최대	586.971	384.142	-	837.071	724.998
	<b>중앙값</b>	<b>166.428</b>	<b>124.907</b>	-	<b>190.992</b>	<b>176.285</b>
	<b>평균</b>	<b>187.087</b>	<b>141.003</b>	-	<b>225.755</b>	<b>194.503</b>
	표준편차	84.955	61.686	-	140.192	103.427
2017 (37지점)	검출수	37	-	37	-	37
	최소	66.875	-	42.145	-	67.980
	최대	832.673	-	1321.208	-	489.201
	<b>중앙값</b>	<b>131.923</b>	-	<b>134.346</b>	-	<b>121.415</b>
	<b>평균</b>	<b>164.434</b>	-	<b>178.773</b>	-	<b>150.095</b>
	표준편차	137.749	-	212.010	-	96.431

\* N.D.: 방법검출한계(1 pg/Sm<sup>3</sup>) 미만

표 IV-1-24. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('13~'17)

구분	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지점수	38	38	38	38	37
검출수	38	38	38	38	37
최소	21.622	32.464	12.036	42.893	35.656
최대	300.764	462.862	701.617	260.561	461.929
<b>중앙값</b>	<b>70.555</b>	<b>86.706</b>	<b>102.050</b>	<b>83.651</b>	<b>83.921</b>
<b>평균</b>	<b>104.573</b>	<b>136.887</b>	<b>114.656</b>	<b>91.210</b>	<b>100.184</b>
표준편차	71.660	119.520	105.820	42.424	75.766

표 IV-1-25. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17)

구분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지점수	37	37	37	38	38	38	38	38	38	37
검출수	37	37	37	38	38	38	38	38	38	37
최소	83.795	101.091	136.696	140.367	118.454	86.607	79.487	79.571	105.684	66.875
최대	1044.350	740.353	991.373	480.193	1632.180	597.950	617.282	456.275	586.971	832.673
<b>중앙값</b>	<b>312.224</b>	<b>316.881</b>	<b>223.187</b>	<b>225.021</b>	<b>248.722</b>	<b>215.278</b>	<b>177.175</b>	<b>217.448</b>	<b>166.428</b>	<b>131.923</b>
<b>평균</b>	<b>333.108</b>	<b>318.450</b>	<b>264.103</b>	<b>260.192</b>	<b>284.668</b>	<b>236.855</b>	<b>206.626</b>	<b>223.412</b>	<b>187.087</b>	<b>164.434</b>
표준편차	176.356	140.243	161.331	90.788	240.177	101.024	98.090	78.312	84.955	137.749

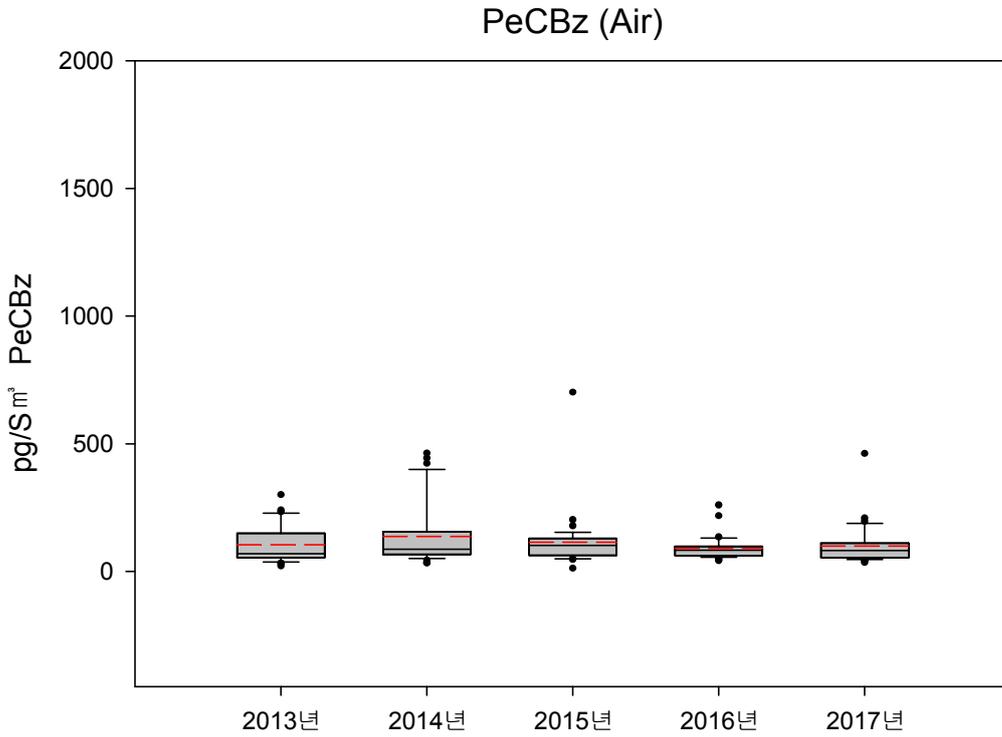


그림 IV-1-19. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('13~'17)

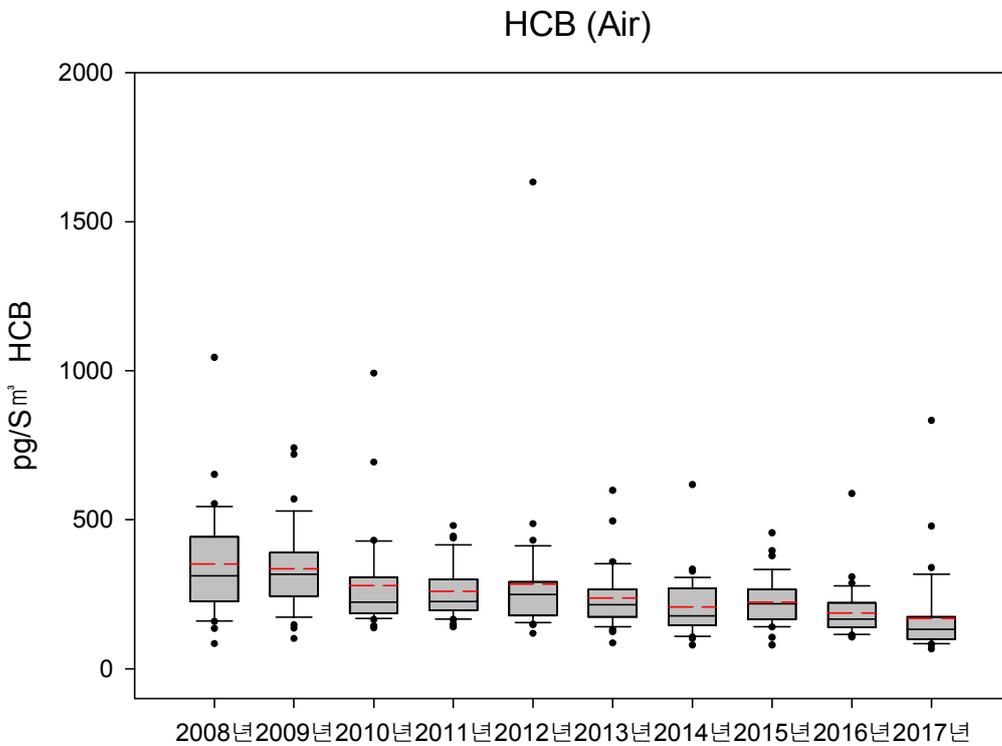


그림 IV-1-20. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('08~'17)

### 다) 환경대기 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 지역별 농도분포

전국에 분포되어있는 대기 측정지점 38개소를 전국 16개 시도별로 분류하여 그 농도분포 현황을 비교하였다. 전국 16개 시도별 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 농도분포를 보면, 인천>울산>경기 순으로 높게 검출되었으며, 헥사클로로벤젠의 경우 울산>경기>인천 순으로 높게 검출되었다. 최근 3년간의 자료를 보면, 연도별로 다소 차이는 있으나, 전반적으로 대도시 및 산업단지 소재 지역이 다른 지점에 비해 상대적으로 높은 농도 수준을 나타내었다.

표 IV-1-26. 시도별 대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 평균농도

(단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

지역	펜타클로로벤젠			헥사클로로벤젠		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
서울	92461	77684	84442	191876	160128	136677
부산	85079	88196	78340	262118	273476	165827
대구	104284	87355	112188	456275	155480	167859
울산	145751	260561	186240	279491	586971	832673
광주	89047	83701	60548	161266	152852	84604
대전	118538	86421	48077	213427	177516	87255
인천	151033	121869	224071	253307	220303	223912
경기	274060	141379	157526	298332	238587	279535
강원	76198	61551	66951	183501	129128	129346
충북	101820	77186	93739	292027	162703	145165
충남	125421	71729	61431	238618	177296	97859
경북	73720	71292	70355	141315	143974	135836
경남	124546	83994	64186	249688	207518	145463
전북	76301	98786	116007	227711	172595	108819
전남	63971	64797	69064	168798	131955	95243
제주	56774	81143	148780	79571	133330	117406

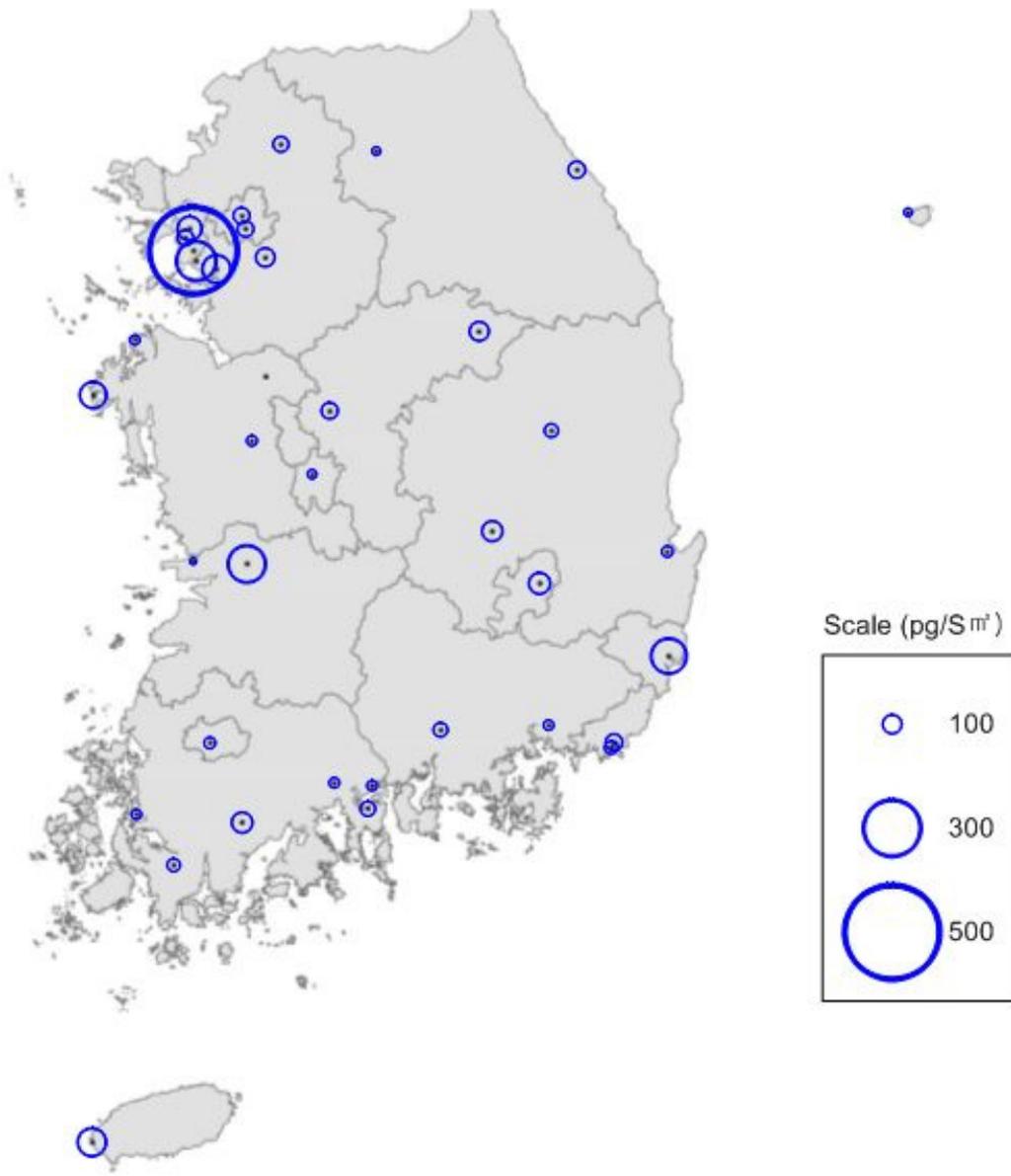


그림 IV-1-21. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 공간 농도분포 ('17)

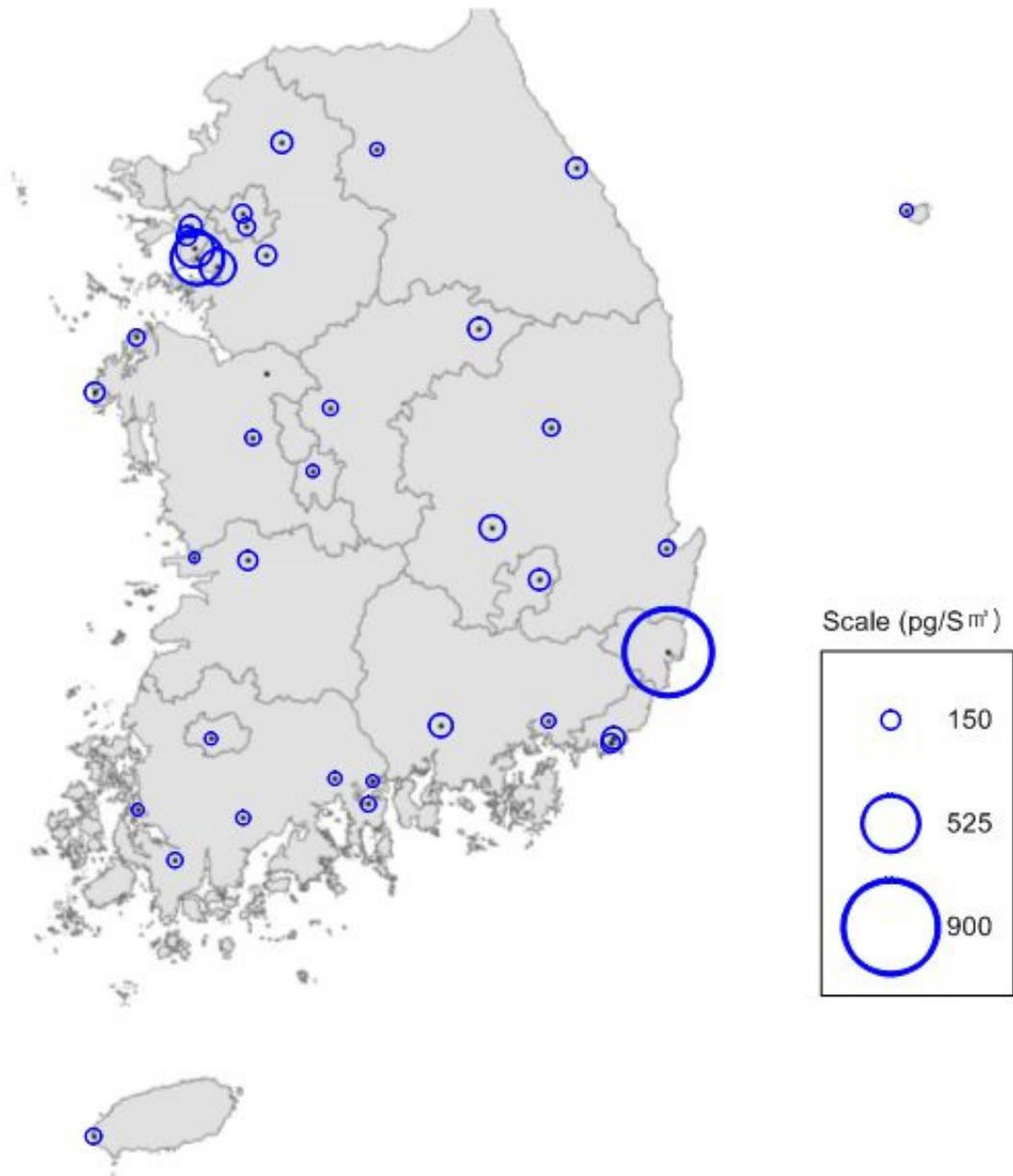


그림 IV-1-22. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 공간 농도분포 ('17)

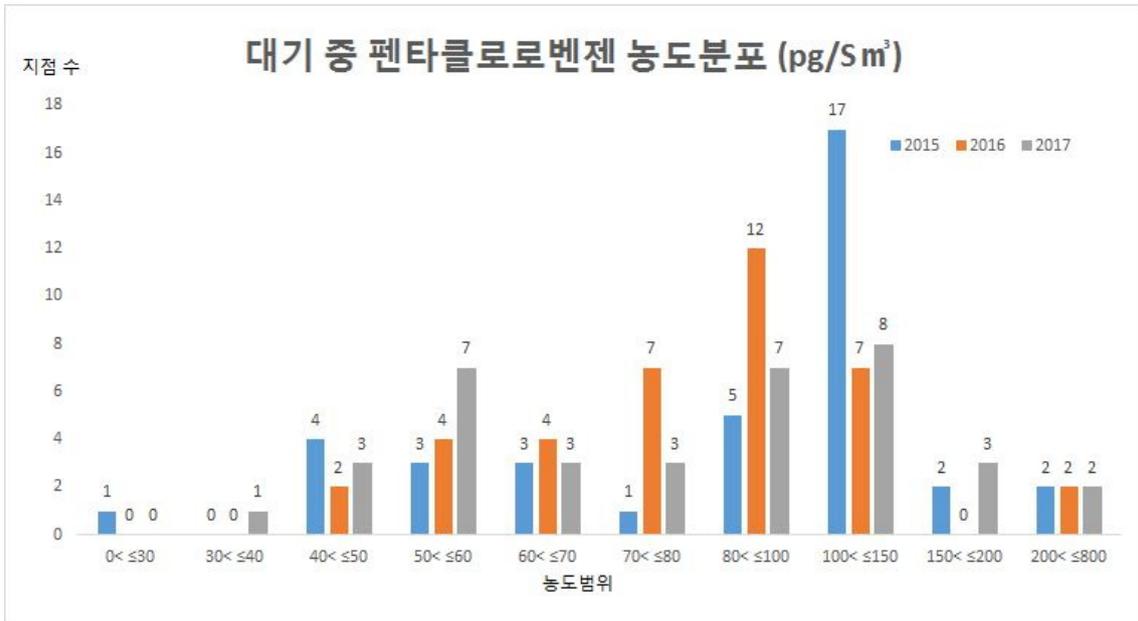


그림 IV-1-23. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17)

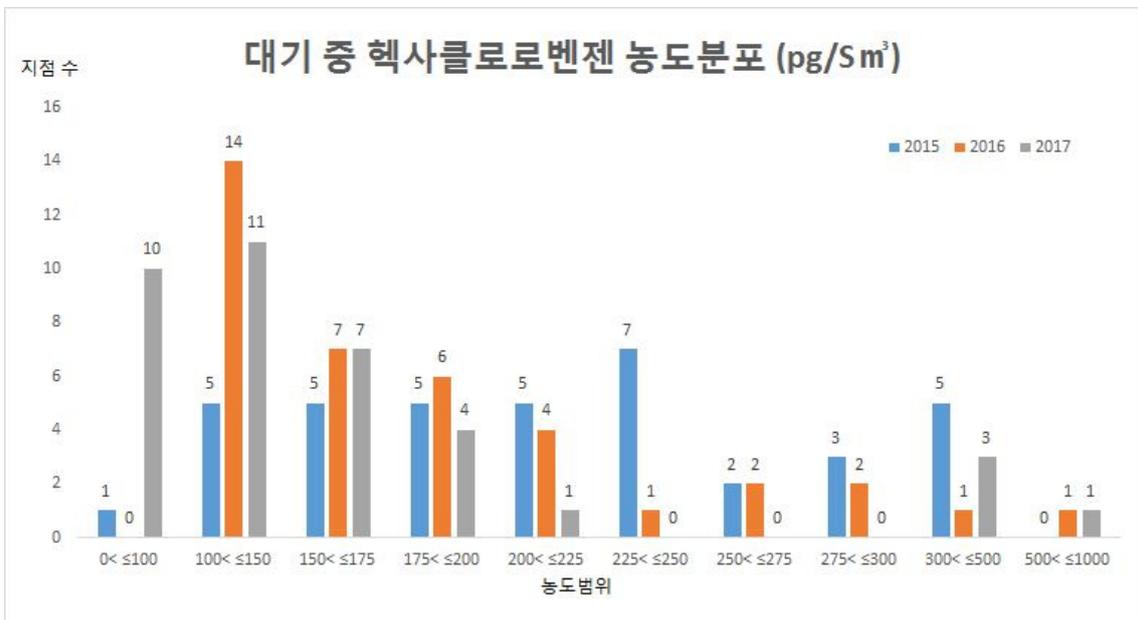


그림 IV-1-24. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17)

\* '17년은 1개 지점 미 운영(천안 백석동)에 따라 총 지점수가 37지점임

### 라) 환경대기 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 용도별 농도분포

전국에 분포되어있는 38개 대기 측정지점을 공업지역, 상업지역, 주거지역, 녹지지역 및 배경지역으로 분류하여 용도별 특성을 파악하기 위하여 통계분석을 실시하였다. 임의의 다른 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, Levene 통계량은 각각 4.748, 5.225, 유의확률은 각각 0.004, 0.002 ( $p < 0.05$ )로 나타나 동질성이 있다고 보기 어려웠다. 따라서 비모수 검정인 Kruskal-Wallis H 검정으로 용도별 차이를 확인한 결과, 유의수준이 각각 0.109, 0.080 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도별 차이가 없는 것으로 확인되었다. 결론적으로 2017년도 측정 자료의 통계분석 결과에 따르면, 주거 및 공업 지역이 다른 용도지역에 비해 다소 높은 농도 수준인 것으로 보이나 용도별 차이가 있다고 보기는 어려울 것으로 판단된다.

표 IV-1-27. 최근 3년간 대기 시료 중 연도별 용도지역별 펜타클로로벤젠의 평균농도  
(단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구 분	2015	2016	2017
공 업	108.462	113.372	123.247
상 업	90.350	74.141	78.883
주 거	164.160	98.663	118.283
녹 지	90.579	80.726	72.648
배 경	85.631	60.368	85.592

표 IV-1-28. 최근 3년간 대기 시료 중 연도별 용도지역별 헥사클로로벤젠의 평균농도  
(단위 :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구 분	2015	2016	2017
공 업	239.737	237.814	239.290
상 업	204.262	165.605	163.586
주 거	261.986	180.823	201.339
녹 지	187.448	159.684	145.944
배 경	135.544	126.166	127.324

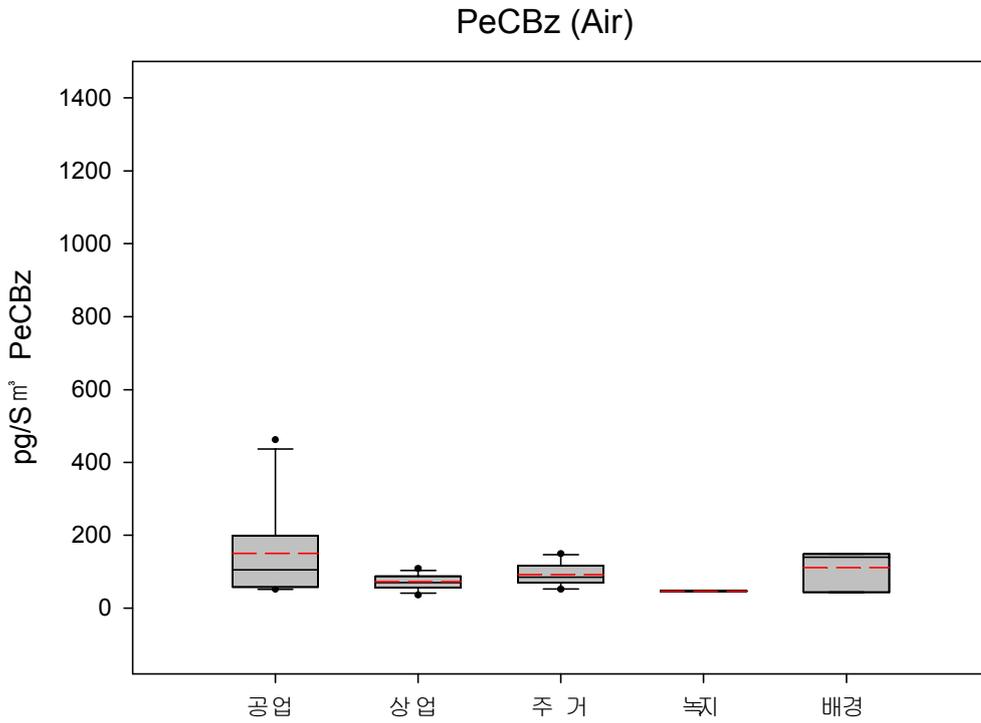


그림 IV-1-25. 환경대기 중 펜타클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17)

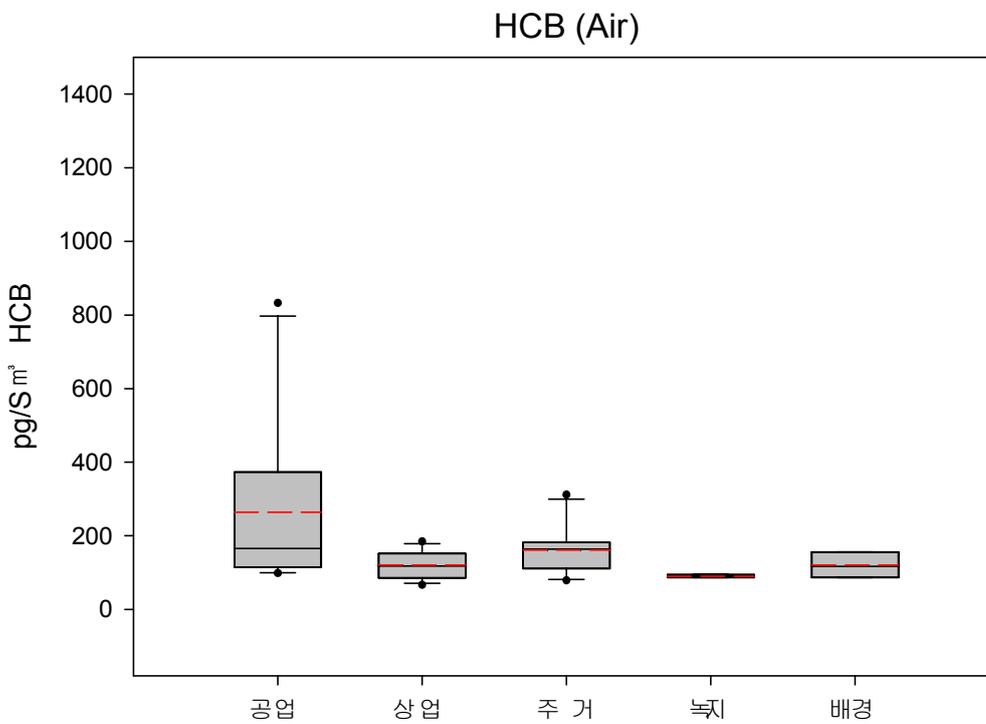


그림 IV-1-26. 환경대기 중 헥사클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17)

### 마) 환경대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도수준비교

표 IV-1-29는 우리나라 환경대기 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도 수준을 파악하기 위하여 외국의 측정자료와 비교한 표이다. 최근 3년간 국내 측정망의 조사결과에 따르면, 펜타클로로벤젠의 연평균 농도가 91~115 pg/Sm<sup>3</sup> 수준이며, 2011년부터 2015년까지 측정한 일본의 펜타클로로벤젠의 농도 수준은 25~210 (평균 49~83) pg/m<sup>3</sup> 로 조사되었다. 또한 독일 및 스웨덴의 펜타클로로벤젠 농도는 각각 0.31~26.6 pg/m<sup>3</sup>, 33 pg/m<sup>3</sup> 수준으로 조사되었다.

최근 3년간(2015~2017년) 국내 헥사클로로벤젠의 연평균 농도는 164~223 pg/Sm<sup>3</sup> 로, 일본 전역(2014~2015년)에서 측정한 헥사클로로벤젠 농도 수준인 74~240 (평균 108~150) pg/m<sup>3</sup> 에 비해 다소 높은 것으로 조사되었다.

표 IV-1-29. 외국의 대기 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도수준 비교

국가명	펜타클로로벤젠 (pg/m <sup>3</sup> )	헥사클로로벤젠 (pg/m <sup>3</sup> )	기간	지역	참고문헌
일본	31~79 (49)	76~157 (108)	2011	Hedo (배경)	GMP Asia-Pacific, 2015
	25~109 (51)	75~177 (108)	2012		
	54~70 (63)	91~139 (119)	2013		
	34~170 (67)	74~170 (120)	2015	전국	일본 환경성, 2016
	39~210 (83)	84~240 (150)	2014	전국	일본 환경성, 2015
베트남	-	122~387 (209)	2009	Tam Dao (배경)	GMP Asia-Pacific, 2015
	-	66~340 (171)	2010		
	42~295 (149)	73~358 (184)	2012		
라오스	-	238	2011	배경농도	GMP Asia-Pacific, 2015
독일	5.7~28.6	-	-	도시, 공업	Wenzel et al., 2006
	0.31	-	-	교외	
	-	300~2500 (600)	1986~1987	함부르크	IPCS, 1997
	-	58~520 (210)	1986~1990	독일남부	
스웨덴	33	-	2003	남부지역	Kaj and Palm et al., 2004
	-	54~165 (67)	1984	Aspvreten	IPCS, 1997
	-	54~130 (70)	1983~1985	Stockholm	
스페인	-	300~35000	1989~1992	공장지역	IPCS, 1997
동유럽	-	37~336	2006~2008	배경농도	Petra et al, 2012
	-	23~115	2006	-	Halse et al, 2011
미국	-	50~110 (75)	1984	포틀랜드, 오레곤	IPCS, 1997
	-	N.D.~4400 (500)	1975~1979	도시지역	
캐나다	-	N.D.~440 (130)	1987~1990	온타리오	IPCS, 1997
	-	N.D.~340 (150)	1988~1989	Walpole Island	
북극	-	40		배경농도	IPCS, 1997
남극	-	600		배경농도	IPCS, 1997

( ) 안은 평균값

### 1.3.2. 토양 중 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 농도분포

#### 가) 토양 중 연간 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 농도

잔류성유기오염물질 측정망 중 토양 시료채취지점은 전국 61개 지점으로 연간 1회 측정하였고, 2013년부터 2017년까지 조사된 측정지점별 검출 수, 최소값, 최대값, 중앙값, 평균, 표준편차 등 간단한 기술통계량을 표 IV-1-30~IV-1-31에 요약정리하였다.

2017년도 기준 펜타클로로벤젠의 중앙값과 평균은 각각 0.093 ng/g, 0.138 ng/g이고, 헥사클로로벤젠의 중앙값과 평균은 각각 0.193 ng/g, 0.349 ng/g으로 조사되었다. 여기서 헥사클로로벤젠의 분석은 2013년부터 기체크로마토그래피/저분해능질량분석기(HRGC/LRMS)에서 기체크로마토그래피/고분해능질량분석기(HRGC/HRMS)로 분석기기가 변경됨에 따라 방법검출한계가 0.5 ng/g에서 0.02 ng/g으로 낮아졌다. 분석기기의 변경으로 방법검출한계가 낮아짐에 따라 저농도 수준의 측정값이 다소 상승한 것으로 파악되었다. 2013년 이후 연평균 농도가 2016년까지 증가 추세를 보이다가 2017년에 다시 감소한 것으로 조사되었다.

표 IV-1-30. 토양시료 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('13~'17)

구 분	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	61	61	61	61	61
검 출 수	35	60	61	61	60
최 소	N.D.	N.D.	0.030	0.054	0.026
최 대	1.948	1.003	0.733	2.390	1.454
중 앙 값	<b>0.073</b>	<b>0.081</b>	<b>0.080</b>	<b>0.117</b>	<b>0.093</b>
평 균	<b>0.115</b>	<b>0.115</b>	<b>0.122</b>	<b>0.228</b>	<b>0.138</b>
표준편차	0.367	0.157	0.120	0.377	0.191

\* N.D.: 방법검출한계 (0.02 ng/g) 미만

표 IV-1-31. 토양시료 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 현황 ('08~'17)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	57	57	57	61	61	61	61	61	61	61
검 출 수	4	1	0	0	1	58	61	61	61	61
최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.042	0.039	0.078	0.050
최 대	2.362	4.898	N.D.	N.D.	0.819	2.425	3.038	1.438	1.724	4.987
중 앙 값	<b>1.375</b>	<b>4.898</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.819</b>	<b>0.122</b>	<b>0.098</b>	<b>0.119</b>	<b>0.170</b>	<b>0.193</b>
평 균	<b>0.101</b>	<b>0.086</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.013</b>	<b>0.252</b>	<b>0.189</b>	<b>0.176</b>	<b>0.269</b>	<b>0.349</b>
표준편차	0.729	-	-	-	-	0.443	0.384	0.202	0.297	0.685

\* N.D.: 방법검출한계 ('12년까지 0.5 ng/g, '13년부터 0.02 ng/g) 미만

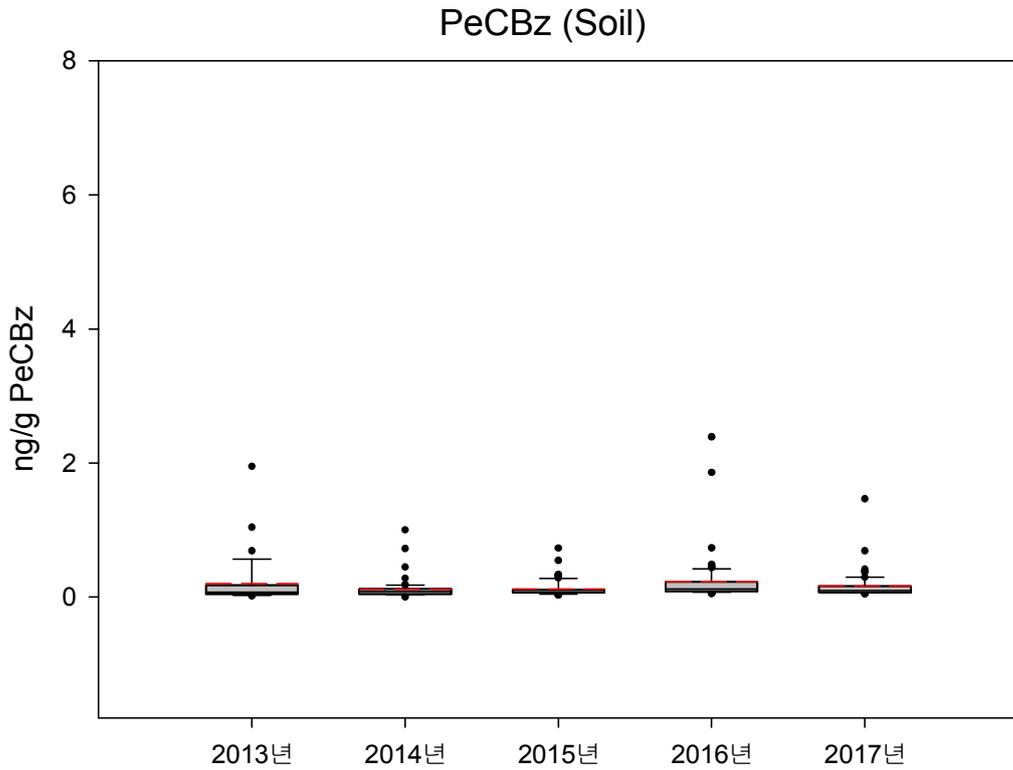


그림 IV-1-27. 토양시료 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('13~'17)

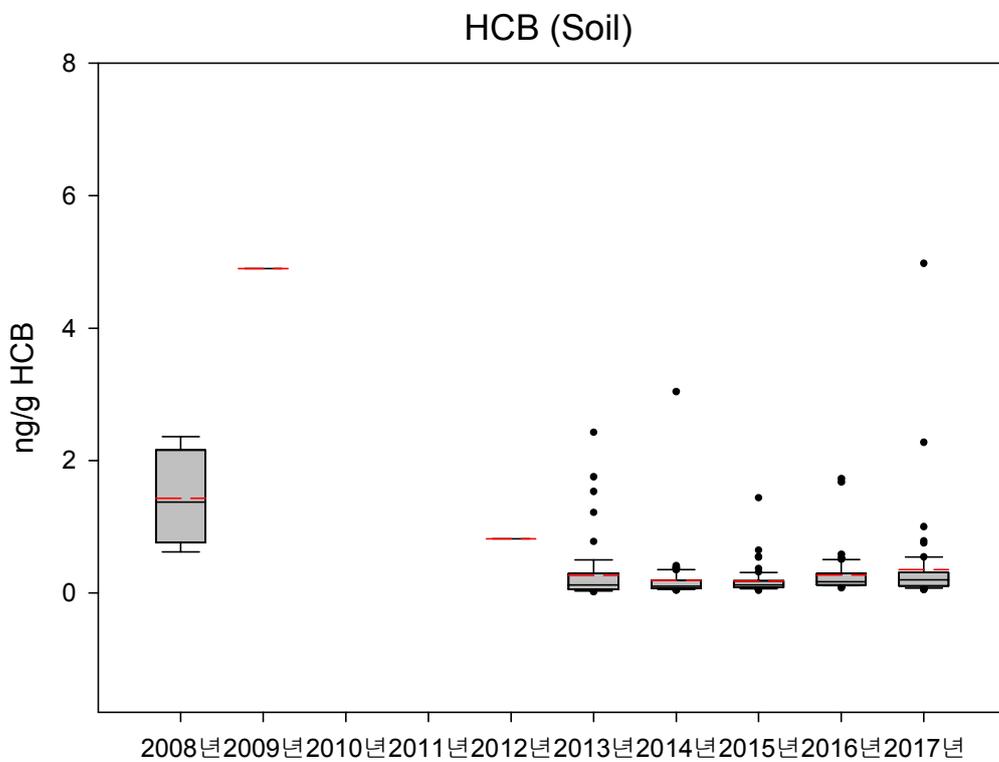


그림 IV-1-28. 토양시료 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('08~'17)

### 나) 토양 중 헥사클로로벤젠, 펜타클로로벤젠 지역별 농도분포

전국에 분포되어있는 61개 토양 측정지점을 전국 16개 시·도별로 구분하여 그 농도분포를 비교·정리하였다. 펜타클로로벤젠의 지역별 연평균 농도를 살펴보면, 경남과 광주가 타지역에 비해 다소 높게 나타났으며, 헥사클로로벤젠은 울산과 경남지역이 타지역에 비해 농도가 높은 것으로 조사되었다.

특히, 제주의 경우 2015년과 2016년에 펜타클로로벤젠의 연평균 농도가 타지역에 비해 높게 나타나 사유지(목장) 내에서의 토양 시료채취 및 주변 환경에 대한 영향조사가 원활하지 않아 부득이 2017년부터는 주변영향조사가 용이하고, 외부요인에 의한 영향이 없는 대표성을 확보할 수 있는 곳으로 시료채취지점을 이전하여 측정을 진행하였다.

표 IV-1-32. 시도별 토양 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 평균농도 분포  
(단위 : ng/g)

지역	펜타클로로벤젠			헥사클로로벤젠		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
서울	0.060	0.101	0.069	0.099	0.128	0.100
부산	0.098	0.085	0.110	0.129	0.138	0.440
대구	0.071	0.119	0.050	0.097	0.150	0.425
울산	0.169	0.219	0.160	0.387	1.021	1.297
광주	0.336	0.449	0.222	0.240	0.382	0.312
대전	0.045	0.096	0.098	0.067	0.132	0.099
인천	0.081	0.079	0.103	0.113	0.108	0.220
경기	0.108	0.153	0.107	0.159	0.254	0.243
강원	0.085	0.122	0.076	0.130	0.163	0.155
충북	0.092	0.162	0.088	0.137	0.153	0.386
충남	0.097	0.264	0.081	0.159	0.368	0.240
경북	0.088	0.137	0.085	0.134	0.234	0.178
전남	0.413	0.719	0.433	0.578	0.324	1.354
전북	0.122	0.139	0.132	0.146	0.153	0.208
전남	0.168	0.229	0.230	0.317	0.389	0.336
제주	0.415	0.986	0.191	0.202	0.224	0.338

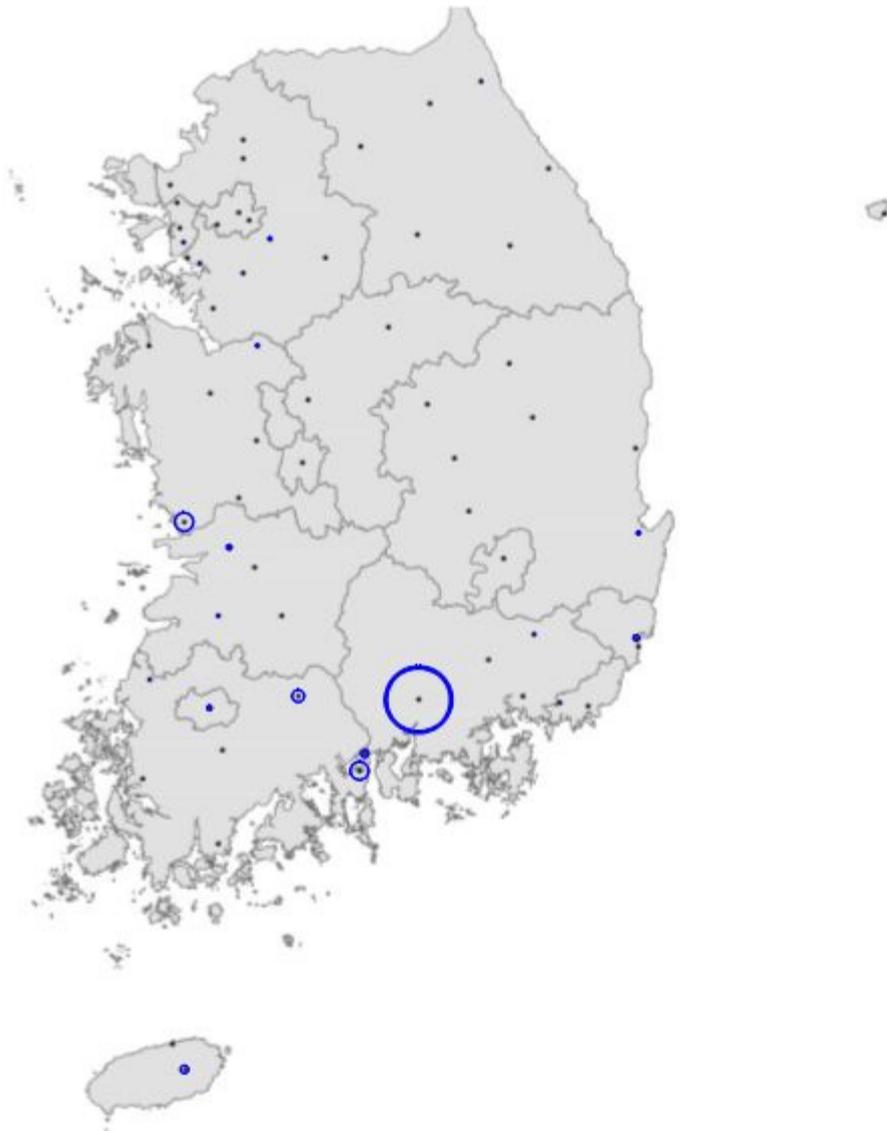


그림 IV-1-29. 토양 중 펜타클로로벤젠 농도의 공간분포 ('17)

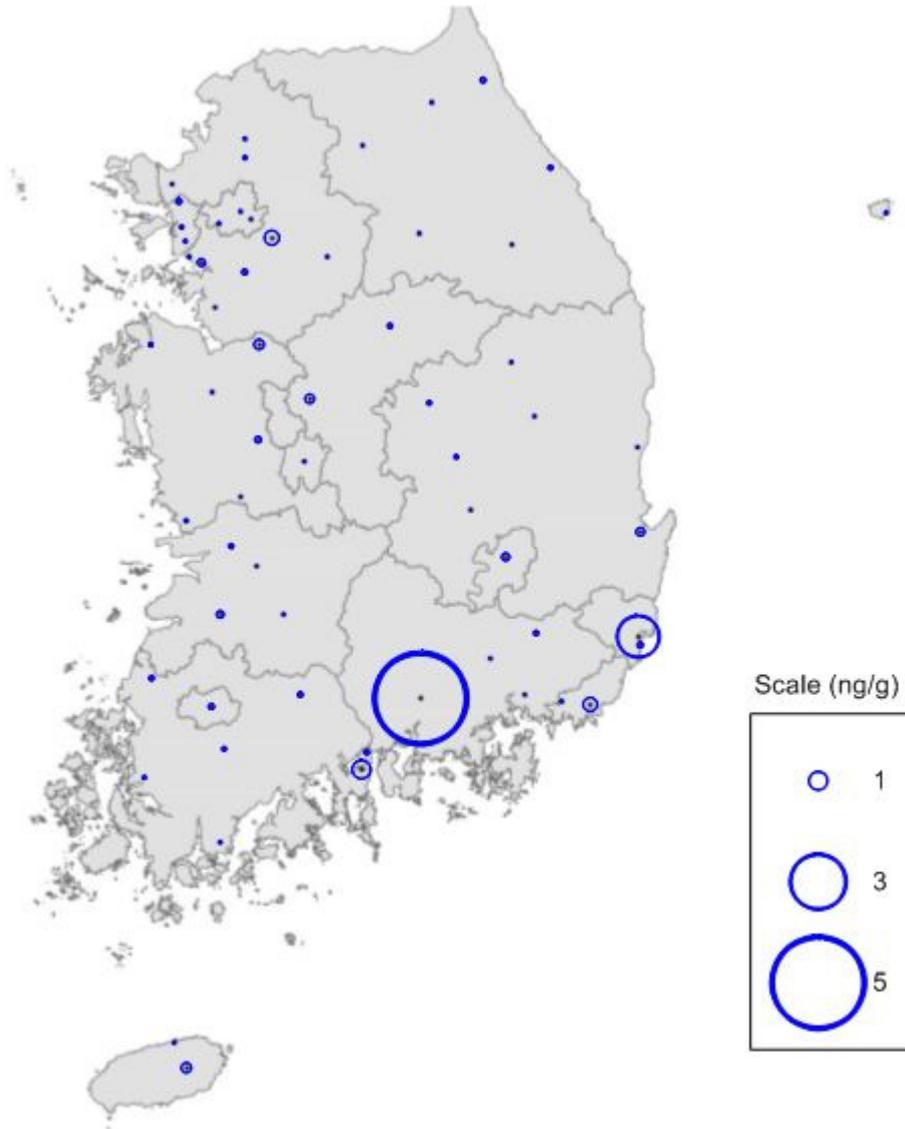


그림 IV-1-30. 토양 중 헥사클로로벤젠 농도의 공간분포 ('17)

토양 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도분포를 살펴보면, 대부분 0.3 ng/g이하의 농도구간에 대부분 분포하고 있는 것으로 나타났다.

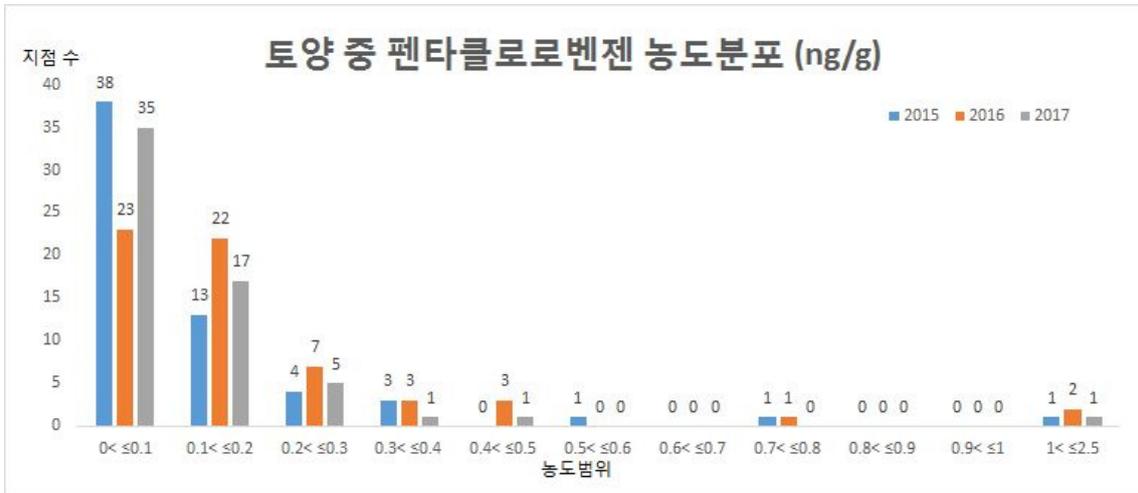


그림 IV-1-31. 토양 중 펜타클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17)

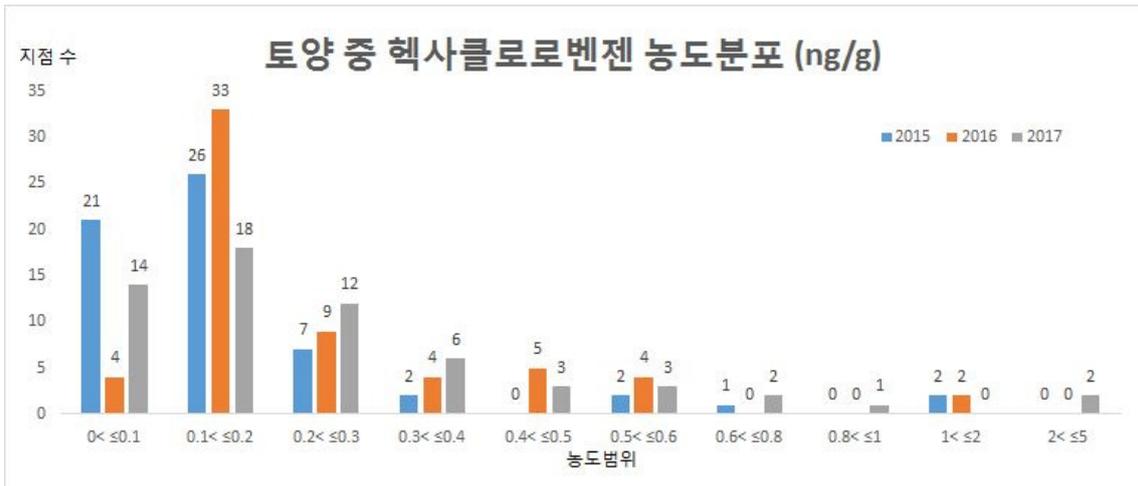


그림 IV-1-32. 토양 중 헥사클로로벤젠의 농도분포 ('15~'17)

#### 다) 토지 용도별 농도비교

전국에 분포되어있는 61개 토양 측정지점을 공원, 공장용지, 농지, 대지 등 용도지역별로 구분하여 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도분포 현황을 정리하였다.

2017년 기준으로 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, 펜타클로로벤젠의 Levene 통계량은 2.324, 유의확률은 0.028 ( $p < 0.05$ )로 동질성이 없는 것으로 나타났으며, 헥사클로로벤젠의 Levene 통계량은 1.680, 유의확률은 0.118 ( $p > 0.05$ )로 동질성이 있는 것으로 파악되었다.

따라서 분산의 동질성 검정결과를 토대로 펜타클로로벤젠은 비모수검정인 Kruskal-Wallis H 검정을 실시하였고, 헥사클로로벤젠은 일원배치분산분석

법(one way ANOVA)을 실시하였다. 펜타클로로벤젠은 유의수준이 0.025 ( $p < 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 적어도 1개의 용도지역별 차이가 있는 것으로 확인되었고, 헥사클로로벤젠은 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용하여 통계분석을 실시한 결과, 유의수준이 0.837 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도별 차이가 없는 것으로 확인되었다.

표 IV-1-33. 토양 시료 중 연도별 용도별 펜타클로로벤젠의 평균농도

(단위 : ng/g)

구 분	2015	2016	2017
공 원	0.070	0.567	0.157
공 장	0.165	0.219	0.433
농 지	0.087	0.188	0.183
대 지	0.136	0.173	0.362
임 야	0.083	0.152	0.204
철 도	0.175	0.108	0.177
체 육	0.082	0.106	0.238
하천변	0.596	0.173	0.338
학 교	0.067	0.108	0.150
기 타	0.303	0.592	0.336

표 IV-1-34. 토양 시료 중 연도별 용도별 헥사클로로벤젠의 평균농도

(단위 : ng/g)

구 분	2015	2016	2017
공 원	0.090	0.220	0.241
공 장	0.304	0.492	0.197
농 지	0.126	0.229	0.119
대 지	0.191	0.205	0.199
임 야	0.128	0.256	0.126
철 도	0.192	0.155	0.153
체 육	0.136	0.155	0.120
하천변	0.743	0.173	0.289
학 교	0.099	0.185	0.086
기 타	0.287	0.323	0.363

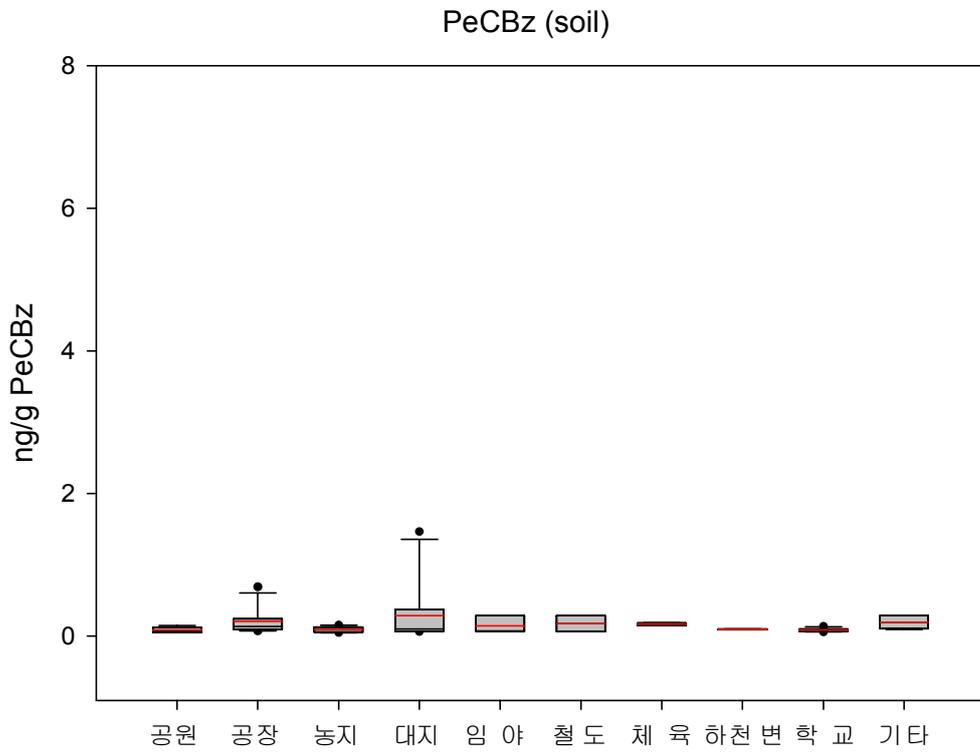


그림 IV-1-33. 토양 중 펜타클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17)

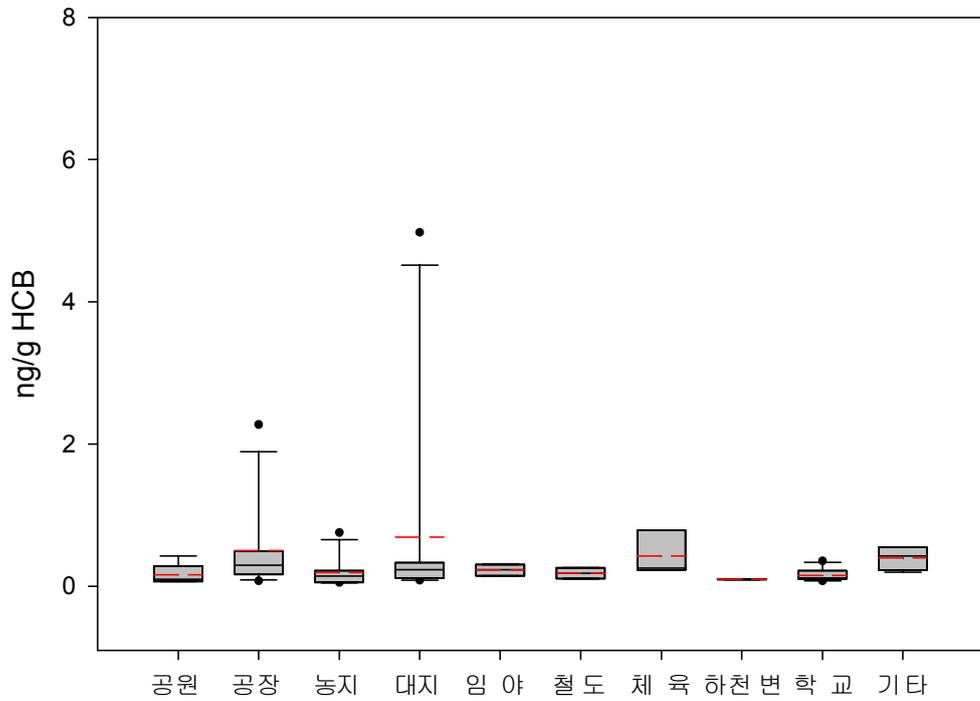


그림 IV-1-34. 토양 중 헥사클로로벤젠의 용도지역별 농도분포 ('17)

## 라) 토양 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도수준 비교

표 IV-1-35는 토양에서 검출된 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 국내·외 농도 수준을 파악하기 위하여 비교한 자료이다. 최근 5년간('13~'17년) 국내 측정망의 토양 측정지점에서 조사한 펜타클로로벤젠의 농도 범위는 N.D.~2.390 ng/g 수준으로 조사되었으며, 헥사클로로벤젠의 농도 범위는 N.D.~4.987 ng/g 수준으로 조사되었다.

두 물질에 대한 외국 문헌 사례가 많지 않았으나, 캐나다 이리호 인근에서 조사한 자료에 따르면, N.D.~1.7 ng/g 수준으로 국내의 펜타클로로벤젠 농도와 대체로 유사한 수준인 것으로 조사되었다. 1997년에 스위스와 스웨덴에서 조사된 헥사클로로벤젠의 농도는 각각 0.3 ng/g과 5.1 ng/g 수준인 것으로 조사되었다.

표 IV-1-35. 외국의 토양 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도분포 현황

국가명	펜타클로로벤젠 (ng/g)	헥사클로로벤젠 (ng/g)	기간	지역	참고문헌
스위스	-	0.3	1997	-	IPCS 1997
스웨덴	-	5.1	1997	교외	IPCS 1997
캐나다	N.D.~1.7	-	-	이리호	Ding et al., 1992, Gawlik et al., 2000
에스토니아	N.D.~0.10	-	2010	도심, 공업	Root et al., 2010

### 1.3.3. 수계 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도분포

#### 가) 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도분포

2017년 기준 잔류성유기오염물질 측정망의 하천/호소수 시료채취지점은 전국 총 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있으며, 시료채취는 연1회 봄철에 수행하였다.

2017년도 조사한 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠의 중앙값은 0.638 ng/L, 평균은 0.035 ng/L 수준으로 조사되었고, 헥사클로로벤젠의 중앙값과 평균은 각각 0.595 ng/L과 0.228 ng/L 수준으로 나타났다. 검출빈도를 보면, 펜타

클로로벤젠이 2개 지점, 헥사클로로벤젠이 9개 지점에서 검출되었다.

표 IV-1-36~표 IV-1-37은 최근 3년간 하천/호소수 中 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠에 대한 연평균 농도, 검출수 등 간단한 기술통계량을 요약정리하였다.

또한 표 IV-1-38~표 IV-1-39에 2008년~2017년까지 조사한 하천/호소수의 지점수 및 중앙값, 평균 등 간단한 기술통계량을 요약정리하였다. 2008년부터 조사를 실시한 헥사클로로벤젠의 경우 모든 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었으나, 2013년부터 분석기기를 기체크로마토그래피/저분해능질량분석기(HRGC/LRMS)에서 기체크로마토그래피/고분해능질량분석기(HRGC/HRMS)로 변경함에 따라 방법검출한계 산정결과가 5 ng/L에서 0.5 ng/L 수준으로 10배가량 낮아졌다. 이에 따라 방법검출한계 이상으로 검출된 측정값으로 인해 연평균 농도가 상승하는 효과를 나타내었다.

하천/호소수의 경우 검출빈도가 낮고 수계별 큰 차이를 보이지 않아 별도의 통계분석은 수행하지 않았다.

표 IV-1-36. 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠의 수계별 평균농도분포 현황  
(단위 : ng/L)

수 계	지점수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.033	0.089	N.D.
낙동강	9	N.D.	N.D.	0.142
금 강	5	N.D.	N.D.	N.D.
영산강	4	N.D.	N.D.	N.D.
기 타	10	N.D.	0.071	N.D.
검출 수 (전체 36지점 中)		1	2	2
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		0.261	0.710	0.712
중 앙 값		<b>0.261</b>	<b>0.709</b>	<b>0.638</b>
평 균		<b>0.007</b>	<b>0.039</b>	<b>0.035</b>
표준편차		-	0.001	0.105

\* N.D.: 방법검출한계(0.5 ng/L) 미만

표 IV-1-37. 하천/호소수 중 헥사클로로벤젠의 수계별 평균농도분포 현황

(단위 : ng/L)

수 계	지점수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.058	0.158	0.252
낙동강	9	N.D.	N.D.	0.612
금 강	5	N.D.	N.D.	0.135
영산강	4	N.D.	0.200	N.D.
기 타	10	0.043	0.082	N.D.
검출 수 (전체 36지점 中)		2	4	9
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		0.464	0.821	3.290
중 앙 값		<b>0.445</b>	<b>0.783</b>	<b>0.595</b>
평 균		<b>0.025</b>	<b>0.080</b>	<b>0.228</b>
표준편차		0.026	0.150	0.897

\* N.D.: 방법검출한계(0.5 ng/L) 미만

표 IV-1-38. 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('13~'17)

(ng/L)

구 분	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
검 출 수	0	0	1	2	3
최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
최 대	N.D.	N.D.	0.261	0.710	0.712
중 앙 값	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.261</b>	<b>0.709</b>	<b>0.638</b>
평 균	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.007</b>	<b>0.039</b>	<b>0.035</b>
표준편차	-	-	-	0.001	0.105

\* N.D.: 방법검출한계 (0.5 ng/L) 미만

표 IV-1-39. 하천/호소수 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('08~'17)

(ng/L)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
검 출 수	0	0	0	0	0	0	5	2	4	9
최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.						
최 대	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.654	0.464	0.821	3.290
중 앙 값	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.441</b>	<b>0.445</b>	<b>0.783</b>	<b>0.595</b>
평 균	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.060</b>	<b>0.025</b>	<b>0.080</b>	<b>0.228</b>
표준편차	-	-	-	-	-	-	0.140	0.026	0.150	0.897

\* N.D.: 방법검출한계 ('12년까지 5 ng/L, '13년부터 0.5 ng/L) 미만

## 나) 퇴적물 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠 농도분포

2017년 기준 잔류성유기오염물질 측정망의 퇴적물 시료채취지점은 수질 시료채취지점과 동일하게 총 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있으며, 시료채취는 연 1회 봄철에 수행하였다.

2017년 기준 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 중앙값은 0.070 ng/g, 평균은 0.085 ng/g 수준으로 조사되었으며, 헥사클로로벤젠의 중앙값과 평균은 각각 0.124 ng/g과 0.287 ng/g 수준으로 조사되었다. 검출빈도를 보면, 펜타클로로벤젠이 33개 지점, 헥사클로로벤젠이 36개 지점에서 검출되었다.

표 IV-1-40~표 IV-1-41은 최근 3년간 퇴적물 중 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠에 대한 연평균 농도, 중앙값, 검출수 등 간단한 기술통계량을 요약정리하였다.

표 IV-1-42~표 IV-1-43은 현재까지 측정된 퇴적물 시료 농도에 대한 간단한 기술통계량을 요약정리한 것이다. 연평균 농도 기준으로 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도 범위는 각각 0.035~0.110 ng/g과 N.D~0.259 ng/g 수준으로 조사되었다.

2008년부터 조사를 실시한 헥사클로로벤젠의 경우 모든 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었으나, 2013년부터 분석기기를 기체크로마토그래피/저분해능질량분석기(HRGC/LRMS)에서 기체크로마토그래피/고분해능질량분석기(HRGC/HRMS)로 변경함에 따라 방법검출한계 산정결과가 0.5 ng/L에서 0.02 ng/L 수준으로 낮아졌다. 이에 따라 방법검출한계 이상으로 검출된 측정값으로 인해 연평균 농도가 상승하는 효과를 나타내었다.

표 IV-1-40. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 수계별 농도분포 현황

(단위 : ng/g)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.063	0.103	0.106
낙동강	9	0.051	0.071	0.052
금 강	5	0.088	0.104	0.074
영산강	4	0.080	0.143	0.043
기 타	10	0.108	0.135	0.122
검출 수 (전체 36지점 中)		36	36	33
최 소		0.022	0.032	N.D.
최 대		0.210	0.392	0.317
중 양 값		<b>0.067</b>	<b>0.097</b>	<b>0.070</b>
평 균		<b>0.077</b>	<b>0.110</b>	<b>0.085</b>
표준편차		0.039	0.076	0.069

\* N.D.: 방법검출한계(0.02 ng/g) 미만

표 IV-1-41. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 수계별 농도분포 현황

(단위 : ng/g)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.096	0.153	0.172
낙동강	9	0.077	0.088	0.086
금 강	5	0.129	0.209	0.130
영산강	4	0.111	0.238	0.551
기 타	10	0.140	0.177	0.509
검출 수 (전체 36지점 中)		36	36	36
최 소		0.034	0.040	0.021
최 대		0.221	0.518	3.064
중 양 값		<b>0.102</b>	<b>0.121</b>	<b>0.124</b>
평 균		<b>0.109</b>	<b>0.160</b>	<b>0.287</b>
표준편차		0.044	0.118	0.558

\* N.D.: 방법검출한계(0.02 ng/g) 미만

표 IV-1-42. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('13~'17)

(단위 : ng/g)

구 분	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	36	36	36	36	36
검 출 수	18	33	36	36	33
최 소	N.D.	N.D.	0.022	0.032	N.D.
최 대	0.190	0.151	0.210	0.392	0.317
중 앙 값	<b>0.054</b>	<b>0.042</b>	<b>0.067</b>	<b>0.097</b>	<b>0.070</b>
평 균	<b>0.035</b>	<b>0.050</b>	<b>0.077</b>	<b>0.110</b>	<b>0.085</b>
표준편차	0.046	0.032	0.039	0.076	0.069

\* N.D.: 방법검출한계 (0.02 ng/g) 미만

표 IV-1-43. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도현황 ('08~'17)

(단위 : ng/g)

구 분	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년
지 점 수	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
검 출 수	0	0	0	0	1	33	35	36	36	36
최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.034	0.040	0.021
최 대	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	9.317	3.799	0.260	0.221	0.518	3.064
중 앙 값	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<b>9.317</b>	<b>0.073</b>	<b>0.071</b>	<b>0.102</b>	<b>0.121</b>	<b>0.124</b>
평 균	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<b>0.259</b>	<b>0.194</b>	<b>0.082</b>	<b>0.109</b>	<b>0.160</b>	<b>0.287</b>
표준편차	-	-	-	-	-	0.651	0.053	0.044	0.118	0.558

\* N.D.: 방법검출한계 ('12년까지 0.5 ng/g, '13년부터 0.02 ng/g) 미만

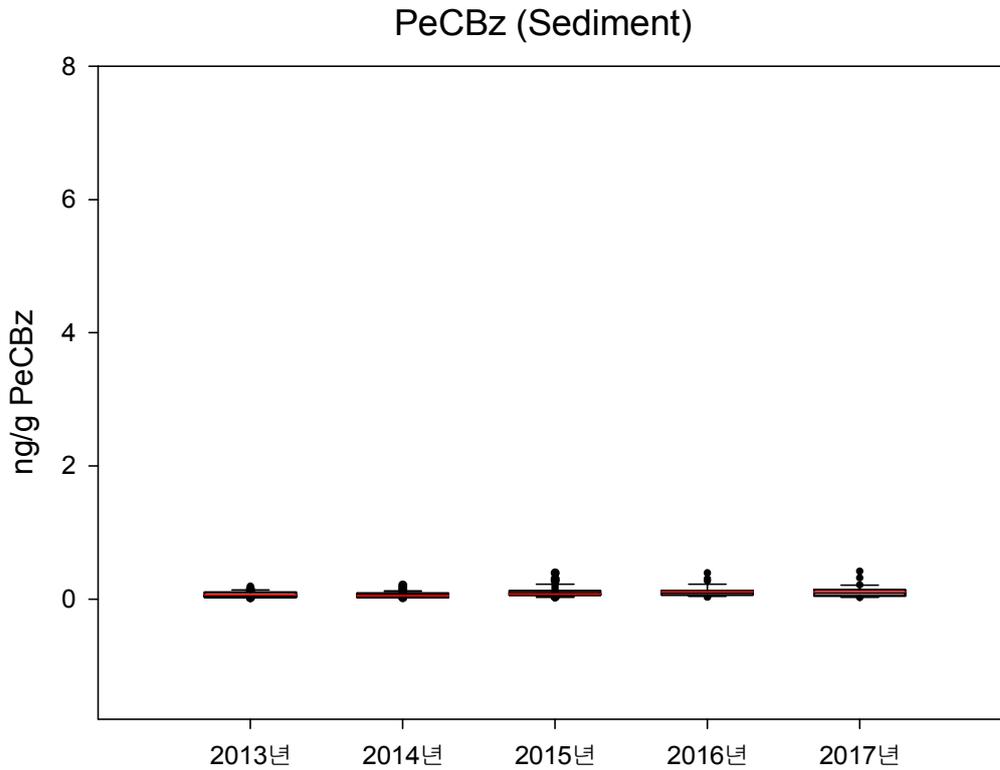


그림 IV-1-35. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('13~'17)

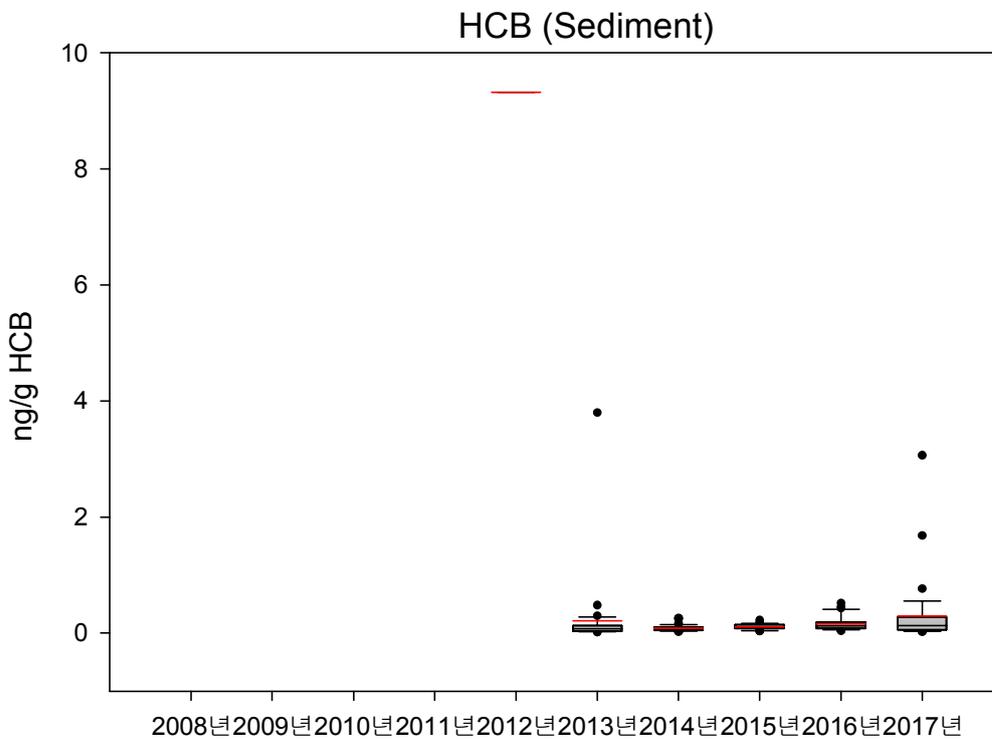


그림 IV-1-36. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 연도별 농도분포 ('08~'17)

### 다) 퇴적물 중 수계별 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 농도분포

2017년 조사결과를 토대로 수계별 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, 펜타클로로벤젠의 Levene 통계량은 1.652, 유의확률은 0.190( $p>0.05$ )로 동질성이 있는 것으로 나타났으며, 헥사클로로벤젠 역시 Levene 통계량이 2.923, 유의확률이 0.037 ( $p>0.05$ )로 동질성이 있는 것으로 파악되었다.

따라서 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용하여 통계분석을 수행한 결과, 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 유의확률(p값)이 각각 0.661, 0.451 ( $p>0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 수계별로 농도 차이는 없는 것으로 파악되었다.

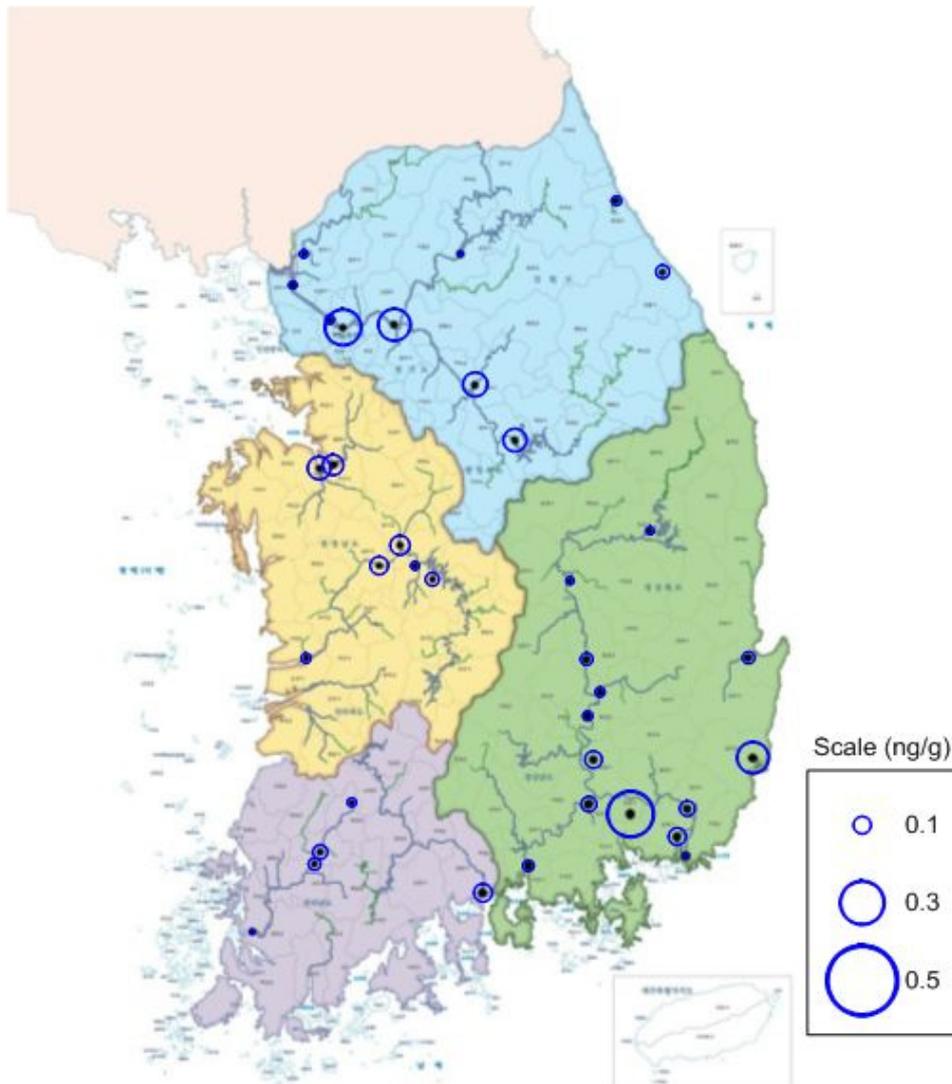


그림 IV-1-37. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠 농도의 공간분포 (17)

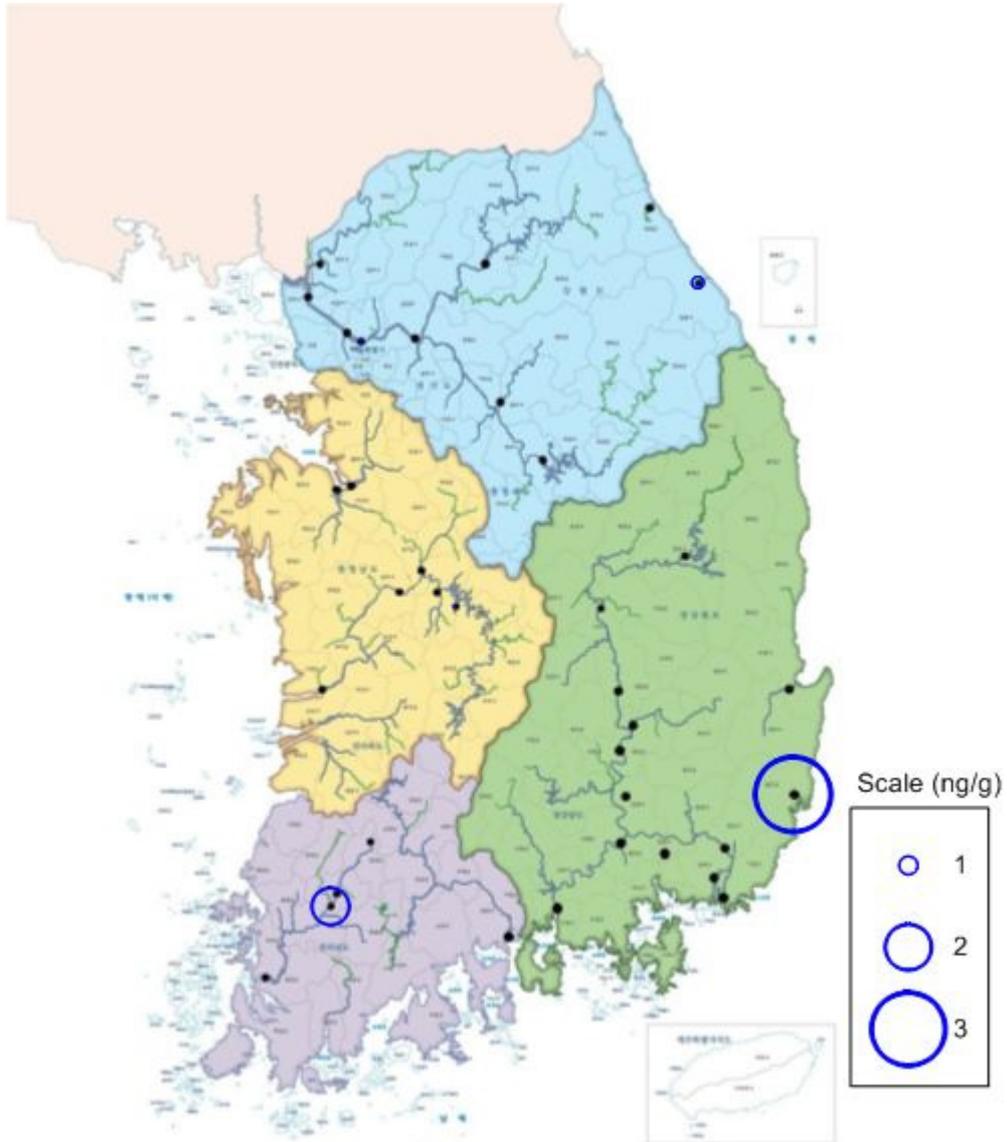


그림 IV-1-38. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠 농도의 공간분포 ('17)

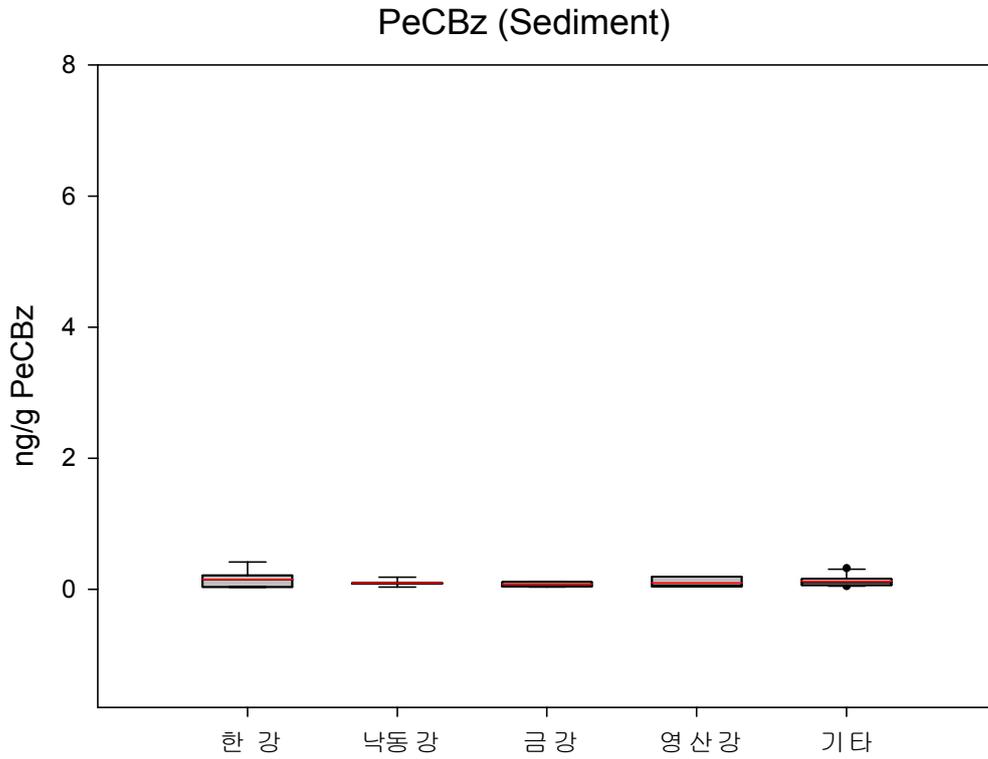


그림 IV-1-39. 퇴적물 중 펜타클로로벤젠의 수계별 농도분포 ('17)

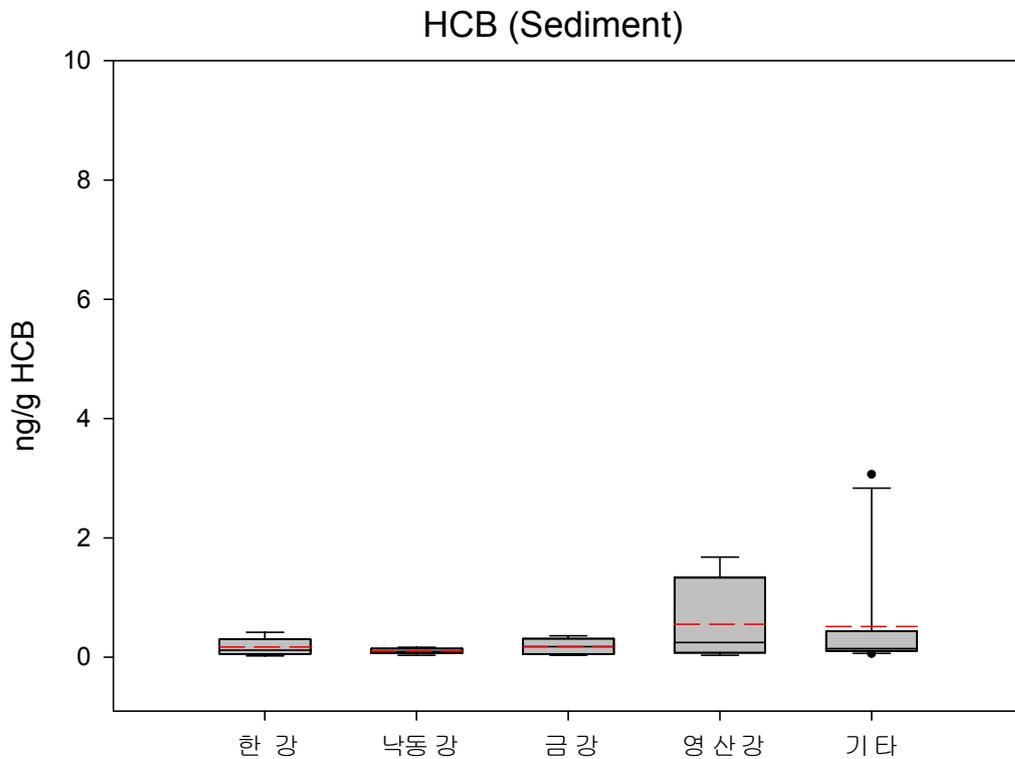


그림 IV-1-40. 퇴적물 중 헥사클로로벤젠의 수계별 농도분포 ('17)

### 다) 수계별 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도수준비교

표 IV-1-44와 표 IV-1-45에는 우리나라 수계별 펜타클로로벤젠과 헥사클로로벤젠의 국내·외 농도 수준을 파악하기 위하여 하천/호소수 및 퇴적물에 대한 외국사례를 조사하여 나타낸 자료이다.

최근 3년간('15~'17년) 국내 하천/호소수의 펜타클로로벤젠 연평균 농도는 0.007~0.039 ng/L 수준으로 검출되었으며, 직접적인 비교는 어렵겠지만 2014년~2015년도에 일본 전역에서 조사한 자료에 의하면, 펜타클로로벤젠의 연평균 농도가 0.01~0.013 ng/L 수준으로 조사되었다. 캐나다의 경우 다양한 지점에서 수년간에 걸쳐 조사한 자료에 의하면, 펜타클로로벤젠의 농도가 대략 0.015~6.4 ng/L 수준인 것으로 조사되었다.

헥사클로로벤젠의 경우 우리나라 환경정책기본법에서 하천 중 사람의 건강보호기준으로 40 ng/L (0.00004 mg/L, 환경정책기본법 시행령 별표 1)로 정하고 있다.

국가별 헥사클로로벤젠의 농도 수준을 살펴보면, 일본 전역에서 2014년~2015년에 조사된 자료에 의하면, 헥사클로로벤젠의 연평균 농도가 0.012~0.015 ng/L 수준이고, 기타 스페인이 0.041 ng/L, 독일이 12 ng/L, 캐나다가 0.018~0.260 ng/L, 네덜란드가 N.D~100 ng/L, 미국이 0.01~26 ng/g 수준으로 조사되었다. 이는 최근 3년간('15~'17년) 국내의 하천/호소수에서 조사한 농도 수준(0.025~0.228 ng/L)과 사람의 건강보호기준에 비해 대체로 낮은 농도 수준인 것으로 조사되었으나, 독일과 네덜란드의 경우 국내 건강보호기준보다 낮거나 상회하는 농도 수준도 있는 것으로 파악되었다.

최근 3년간('15~'17년) 국내 측정망에서 측정한 퇴적물 시료 중 펜타클로로벤젠의 연평균 농도는 0.077~0.110 ng/g 수준이며, 2014년~2015년에 일본 전역에서 측정한 퇴적물 시료 중에 펜타클로로벤젠의 연평균 농도는 0.065~0.07 ng/g 수준으로 조사되었다.

최근 3년간('15~'17년) 국내 측정망에서 측정한 퇴적물 시료 중 헥사클로로벤젠의 연평균 농도는 0.109~0.160 ng/g 수준이며, 2014년~2015년에 일본 전역에서 측정한 퇴적물 시료 중 헥사클로로벤젠의 연평균 농도는 0.1~0.95 ng/g 수준으로 조사되어 국내 측정망의 퇴적물 시료의 농도 수준이 외국에 비해 대체로 낮은 농도 수준인 것으로 파악되었다.

표 IV-1-44. 외국의 하천/호소수 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도분포 현황

국 가 명	펜타클로로벤젠 (ng/L)	헥사클로로벤젠 (ng/L)	기간	지역	참고문헌
일 본	0.003~0.18 (0.013)	0.004~0.14 (0.015)	2015	전국	일본 환경성, 2016
	0.003~0.18 (0.01)	0.003~0.2 (0.012)	2014	전국	일본 환경성, 2015
캐 나 다	0.34~6.4 (1.3)	-	1981~1983	나이아가라강	Oliver and Nicol, 1984
	0.093~0.351	-	1987~1997	온타리오호	Williams et al., 2000
	0.015~0.024	-	1987~1997	나이아가라강	Chan, 1993
	-	0.06~0.2 (0.1)	1980	온타리오호	IPCS, 1997
	-	0.018~0.260	1986	오대호	IPCS, 1997
스 페 인	-	N.D.~1.0 (0.041)	1985~1986	Ebre Delta	IPCS, 1997
독 일	-	3~62 (12)	1990	Elbe 강	IPCS, 1997
네덜란드	-	10	1993	-	IPCS, 1997
	-	N.D.~100 (10)	1987	-	IPCS, 1997
미 국	-	0.01~0.61 (0.24)	1980	텍사스	IPCS, 1997
	-	0.1~26	-	연안	IPCS, 1997
중 국	0.4	-	1998	양쯔강	Jiang et al., 2000

표 IV-1-45. 외국의 퇴적물 중 펜타클로로벤젠, 헥사클로로벤젠의 농도분포 현황

국 가 명	펜타클로로벤젠 (ng/g)	헥사클로로벤젠 (ng/g)	기간	지역	참고문헌
일 본	0.002~2.6 (0.065)	0.004~17 (0.1)	2015	전국	일본 환경성, 2016
	0.001~3.6 (0.07)	0.004~5.6 (0.95)	2014	전국	일본 환경성, 2015
캐 나 다	2~32	-	1983	나이아가라강	Kaminsky et al., 1983 Oliver and Bourbonniere, 1985
	0.01~0.73	-	1995	캐나다 북부 알래스카 지역	Kaj and Palm et al., 2004
독 일	64~71	-	1998	Elbe 강	Witter et al., 1998 Schwarzbauer et al., 2001
	0.47~4.4	-	1987	Elbe 강 하류	Eder et al., 1987
	10000~76000	-	1994	베를린 Spree, Havel 강	Schwarzbauer et al., 2001



IV. 측정망 실태조사 결과

---

## 2. 유기염소계농약류





## 2. 유기염소계농약류

### 2.1. 환경대기 중 유기염소계 농약류 농도

#### 2.1.1. 환경대기 중 드린류 (알드린, 디엘드린, 엔드린) 농도

##### 가) 개요

알드린, 디엘드린, 엔드린은 살충제 성분 등으로 사용되고 있는 유기염소계농약류로서 잔류성이 매우 크고 물에 잘 녹지 않으며, 토양 中에 수년 이상 잔류하면서 먼지 입자 등에 흡착되어 환경대기 중으로 거동하는 특성을 지니고 있다. 이들 물질은 현재 스톡홀름협약 「부속서 A(근절)」에 등재되어 있으며, 사용이 금지된 물질이다. 이들 물질에 대한 주요용도 및 규제현황은 아래 표에 상세하게 나타내었다.

표 IV-2-1. 알드린, 디엘드린, 엔드린의 주요용도 및 규제현황

물질명 (CAS 번호)	주요용도	규제현황
알드린(Aldrin) (309-00-2)	흰개미, 애벌레, 메뚜기 등의 해충 방제를 위한 살충제	농약관리법 : 금지('72) 유해화학물질관리법 : 금지('99)
디엘드린(Dieldrin) (60-57-1)	나무좀, 흰개미, 병균매체 및 농작물 해충 방제를 위한 살충제	농약관리법 : 금지('70) 유해화학물질관리법 : 금지('99)
엔드린(Endrin) (72-20-8)	농작물 해충 방제를 위한 살충제, 살서제	농약관리법 : 금지('70) 유해화학물질관리법 : 금지('99)

현재 이들 물질은 잔류성유기오염물질관리법 및 화학물질관리법에 의해 관리되고 있으며, 국내 생산은 물론 사용 이력도 전무한 상황이다. 특히, 환경 中에 노출된 알드린은 태양과 박테리아의 작용으로 디엘드린으로 전환되는 특성을 지니고 있다.

##### 나) 환경대기 중 알드린, 디엘드린, 엔드린의 연간, 계절별 농도분포

잔류성유기오염물질 측정망의 대기 시료채취지점은 전국 38개 지점 中 천안 성성동 1개 지점을 제외한 37개 지점으로 연 2회 봄철과 가을철에 측정하였고, 측정지점별로 검출빈도, 최소값, 최대값, 평균 및 표준편차 등 간단한 기술통계량은 표 IV-2-2~표 IV-2-4에 요약 정리하였다.

2017년 기준 환경대기 中 각 성분의 검출빈도를 보면, 알드린은 1개 지점, 디엘드린은 14개 지점에서 검출되었고, 엔드린은 쉰 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다. 2017년도 알드린과 디엘드린의 연평균 농도는 각각 0.027 pg/Sm<sup>3</sup>와 0.679 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 조사되었다. 계절별 검출빈도를 보면, 알드린의 경우 가을철 1개 지점에서 검출되었으며, 디엘드린은 봄철에 6개 지점, 가을철에 10개 지점에서 검출되었다.

표 IV-2-2. 환경대기 중 알드린의 농도 ('15~'17)

구분	알드린 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	14	1	2	13	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	1.295	1.225	1.276	3.467	-
	중앙값	<b>0.509</b>	<b>1.225</b>	<b>1.236</b>	<b>1.514</b>	-
	평균	<b>0.242</b>	<b>0.032</b>	<b>0.065</b>	<b>0.630</b>	-
	표준편차	0.309	-	0.057	0.790	-
2016 (38지점)	검출수	14	0	-	14	1
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	1.968	N.D.	-	3.477	2.427
	중앙값	<b>0.649</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>1.946</b>	<b>2.427</b>
	평균	<b>0.281</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>0.780</b>	<b>0.064</b>
	표준편차	0.405	-	-	0.743	-
2017 (37지점)	검출수	1	-	0	-	1
	최소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최대	1.018	-	N.D.	-	2.037
	중앙값	<b>1.018</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>2.037</b>
	평균	<b>0.027</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>0.054</b>
	표준편차	-	-	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-2-3. 환경대기 중 디엘드린의 농도 ('15~'17)

구분	디엘드린 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	27	2	6	26	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	1.719	1.246	1.865	3.667	-
	중앙값	<b>0.541</b>	<b>1.147</b>	<b>1.187</b>	<b>1.585</b>	-
	평균	<b>0.486</b>	<b>0.060</b>	<b>0.204</b>	<b>1.192</b>	-
	표준편차	0.298	0.140	0.330	0.517	-
2016 (38지점)	검출수	28	5	-	20	16
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	1.747	2.268	-	2.764	3.084
	중앙값	<b>0.735</b>	<b>1.310</b>	-	<b>1.645</b>	<b>1.565</b>
	평균	<b>0.580</b>	<b>0.200</b>	-	<b>0.841</b>	<b>0.698</b>
	표준편차	0.337	0.451	-	0.495	0.491
2017 (37지점)	검출수	14	-	6	-	10
	최소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최대	6.308	-	6.706	-	9.781
	중앙값	<b>1.016</b>	-	<b>2.163</b>	-	<b>2.159</b>
	평균	<b>0.679</b>	-	<b>0.454</b>	-	<b>0.905</b>
	표준편차	1.673	-	1.938	-	3.045

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-2-4. 환경대기 중 엔드린의 농도 ('15~'17)

구분	엔드린 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	0	0	0	0	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	중앙값	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	평균	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	표준편차	-	-	-	-	-
2016 (38지점)	검출수	0	0	-	0	0
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	중앙값	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	평균	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	표준편차	-	-	-	-	-
2017 (37지점)	검출수	0	-	0	-	0
	최소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최대	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	중앙값	N.D.	-	N.D.	-	-
	평균	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	표준편차	-	-	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만

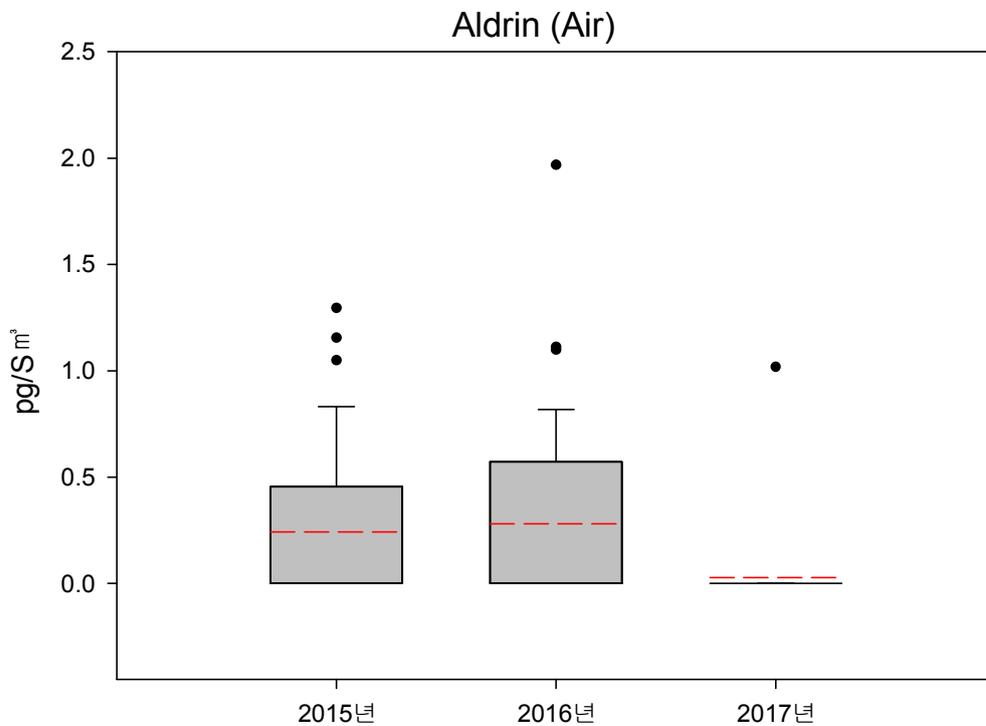


그림 IV-2-1. 환경대기 중 알드린의 농도분포 ('15~'17)

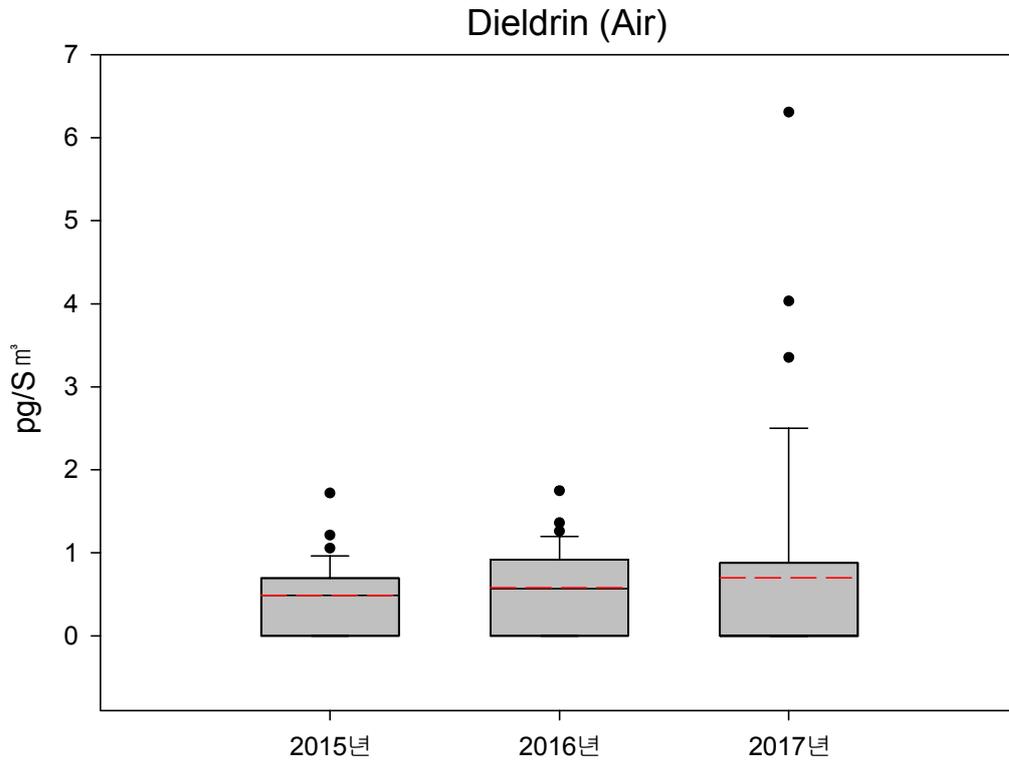


그림 IV-2-2. 환경대기 중 디엘드린의 농도분포 ('15~'17)

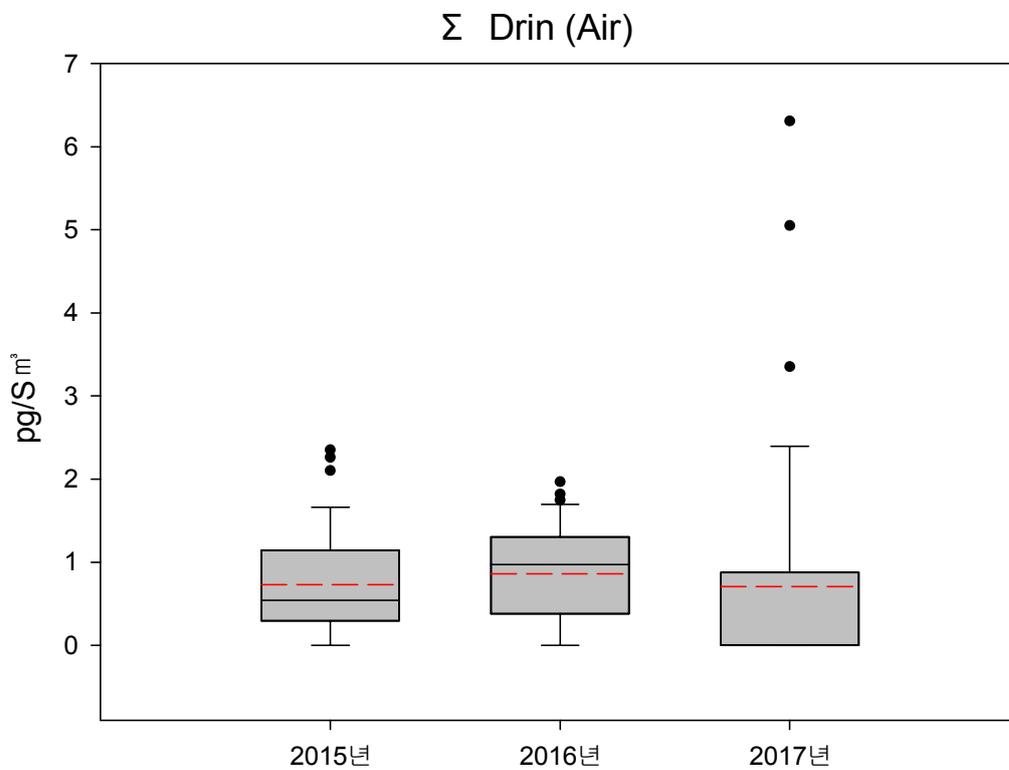


그림 IV-2-3. 환경대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 엔드린)의 농도분포 ('15~'17)

### 다) 환경대기 중 알드린, 디엘드린, 엔드린의 지역별 농도분포

전국에 분포되어있는 38개 대기 측정지점을 전국 16개 시·도별로 구분하여 그 농도분포를 비교·분석하였다. 2017년도 기준 지역별 환경대기 중 드린류의 연평균 농도를 보면, 강원 > 전북 > 경북 > 부산이 타(他) 도시에 비해 다소 높게 조사되었으나, 대체로 미량농도 수준이어서 도시별 차이가 있다고 보기는 어렵다.

2017년도 조사한 지점별 드린류 농도에 대한 자세한 공간적 분포 현황은 그림 IV-2-4~그림 IV-2-6에 각각 도식화하였다.

표 IV-2-5. 시도별 환경대기 중 드린류의 연평균 농도분포

(단위: pg/Sm<sup>3</sup>)

시도 구분	알드린			디엘드린			드린류 (Σdrin)		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
서울	0.888	0.280	N.D.	0.776	1.504	0.317	1.664	1.784	0.317
부산	0.443	0.394	N.D.	0.766	0.387	1.098	1.209	0.781	1.098
대구	N.D.	N.D.	N.D.	0.678	1.191	N.D.	0.678	1.191	N.D.
울산	N.D.	N.D.	N.D.						
광주	0.368	0.662	N.D.	0.714	0.777	0.876	1.081	1.439	0.876
대전	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.379	N.D.	N.D.	0.379	N.D.
인천	0.821	0.832	N.D.	0.899	0.596	0.687	1.720	1.428	0.687
경기	0.522	0.925	N.D.	0.469	0.542	0.776	0.991	1.467	0.776
강원	N.D.	N.D.	0.509	0.576	1.122	2.015	0.576	1.122	2.525
충북	N.D.	0.472	N.D.	0.248	0.270	0.569	0.248	0.741	0.569
충남	N.D.	0.116	N.D.	0.304	0.660	N.D.	0.304	0.777	N.D.
경북	0.202	N.D.	N.D.	0.280	0.668	1.713	0.481	0.668	1.713
경남	0.221	0.304	N.D.	0.402	0.454	N.D.	0.623	0.757	N.D.
전북	N.D.	N.D.	N.D.	0.264	0.843	2.123	0.264	0.843	2.123
전남	0.064	0.078	N.D.	0.605	0.210	N.D.	0.669	0.288	N.D.
제주	N.D.	N.D.	N.D.	0.458	N.D.	0.673	0.458	N.D.	0.673

\* N.D.: 방법검출한계 미만

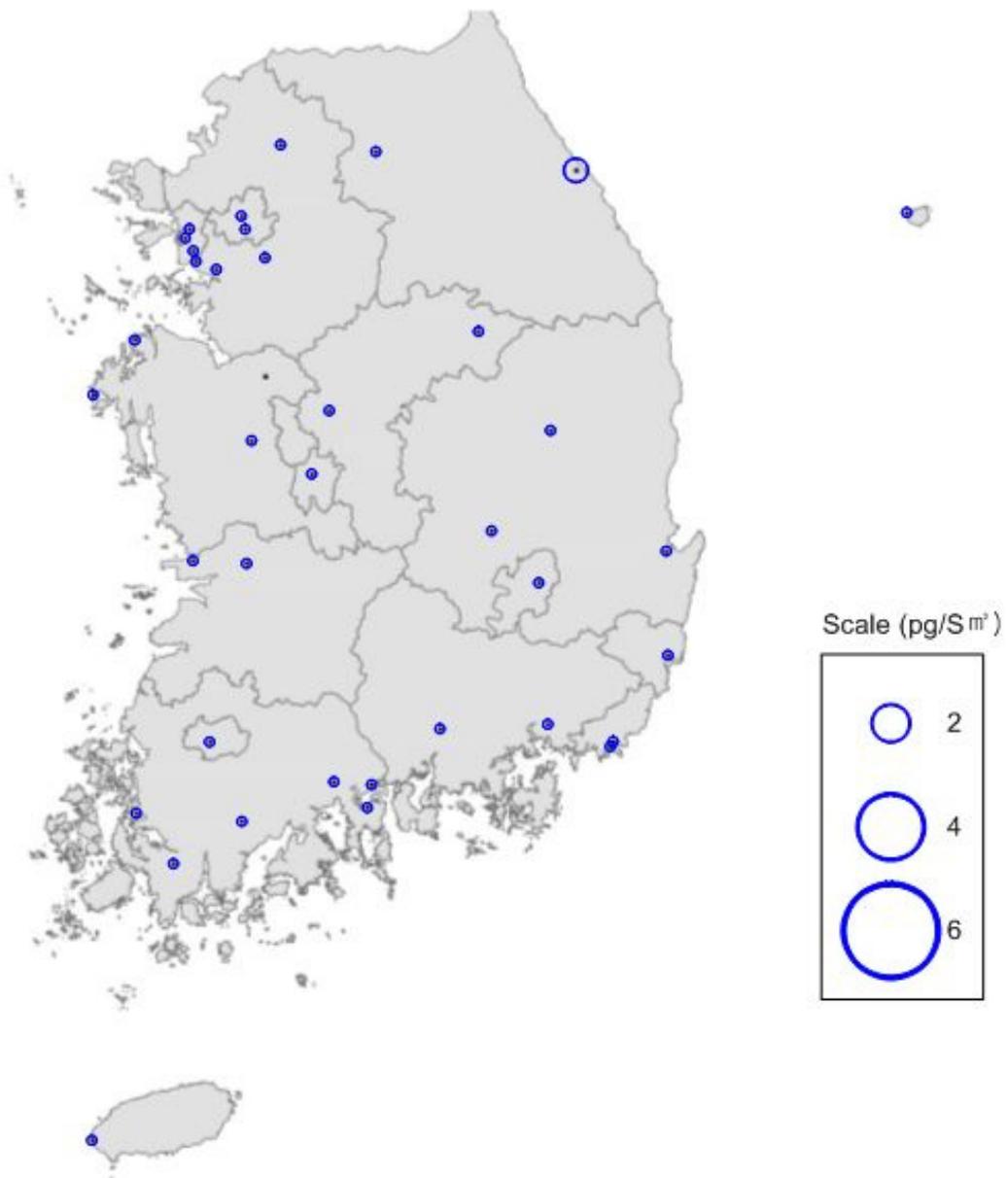


그림 IV-2-4. 환경대기 중 알드린 농도의 공간분포 ('17)

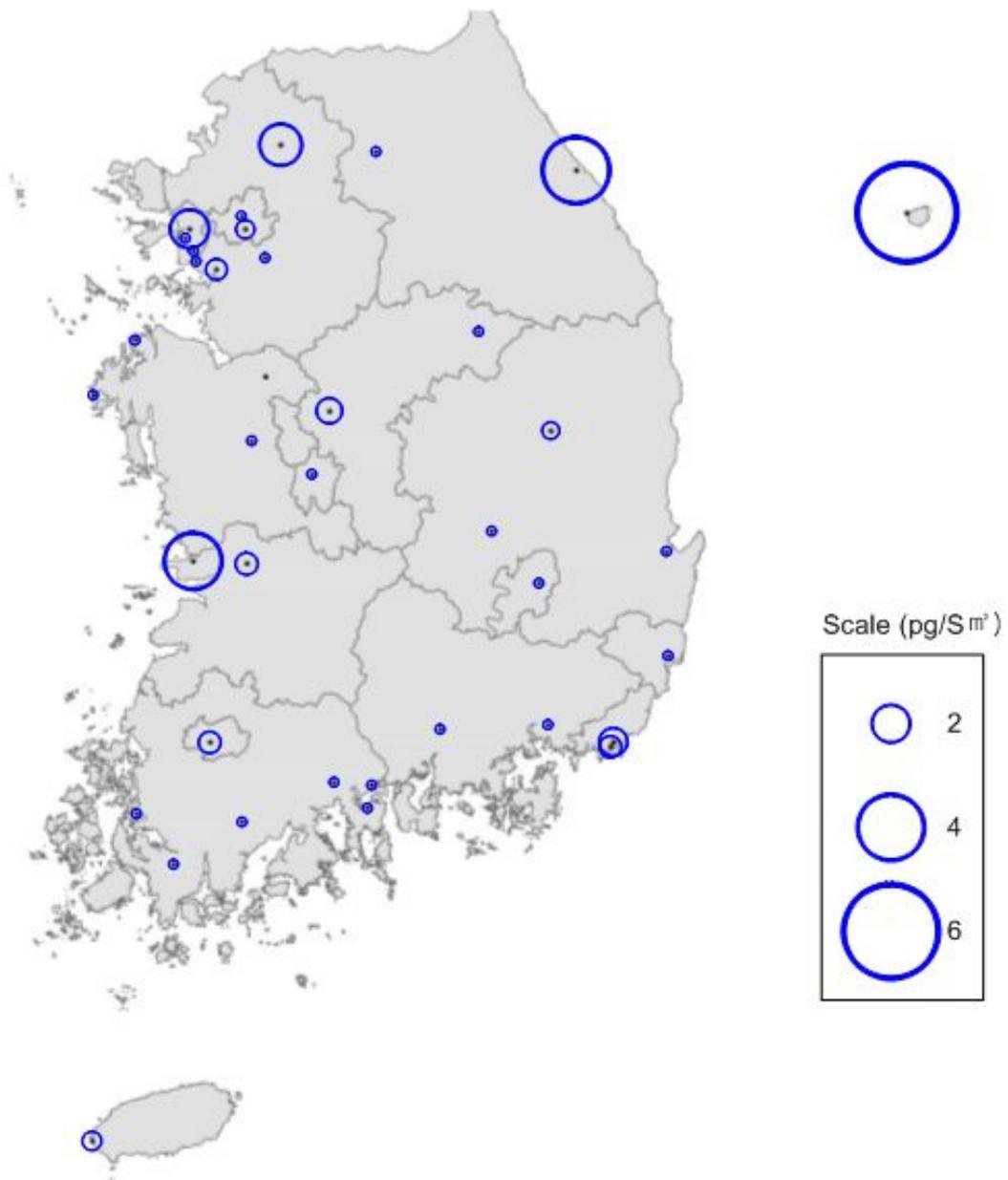


그림 IV-2-5. 환경대기 중 디엘드린 농도의 공간분포 ('17)

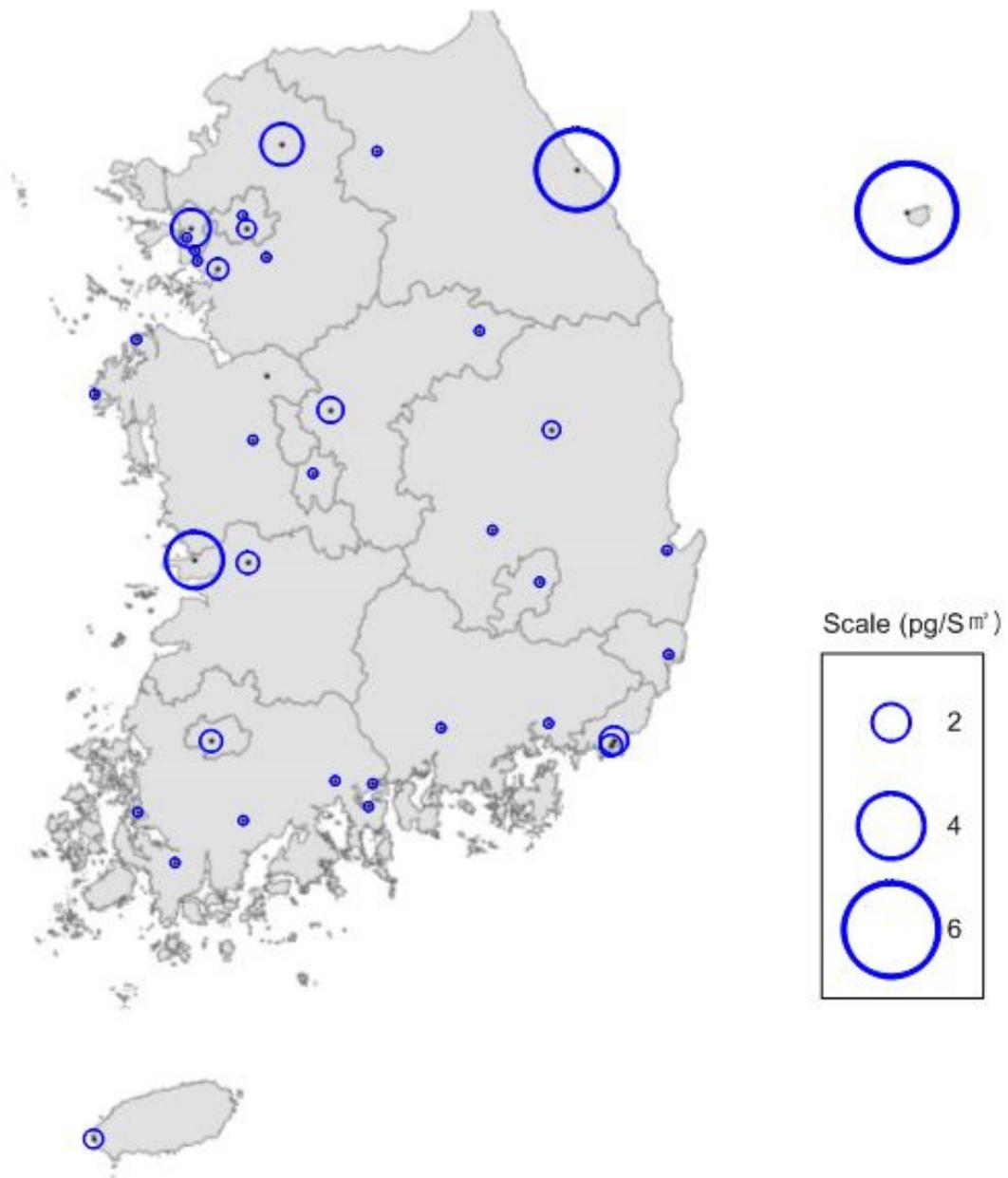


그림 IV-2-6. 환경대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 엔드린 합) 농도의 공간분포 ('17)

환경대기 중 드린류의 농도분포를 살펴보면, 그림 IV-2-7~그림 IV-2-9에서 처럼 0.4~1.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  구간에 대체로 분포하는 것으로 확인할 수 있었다.

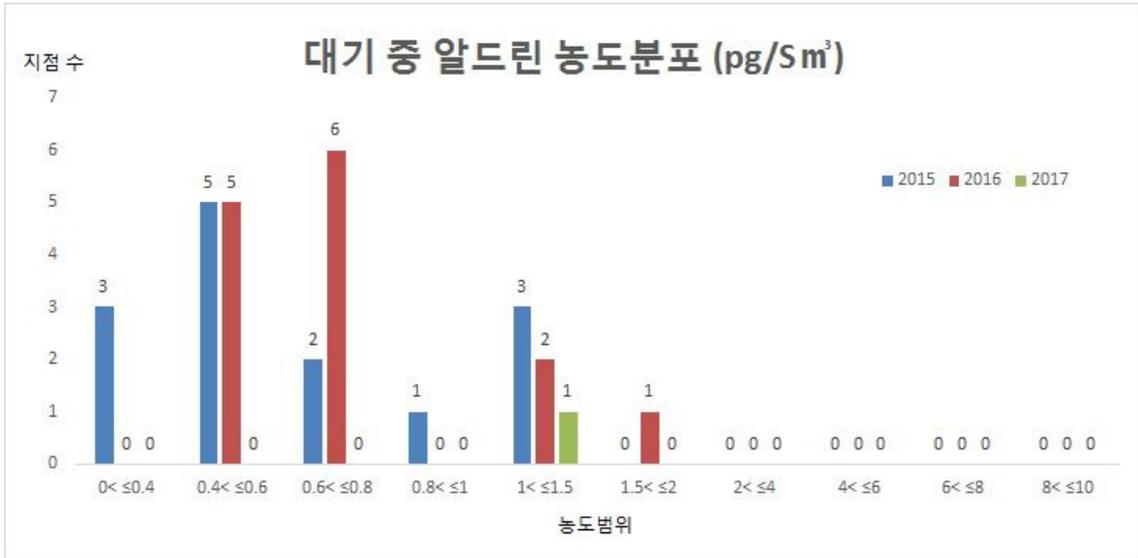


그림 IV-2-7. 환경대기 중 알드린의 농도분포 현황('15~'17)

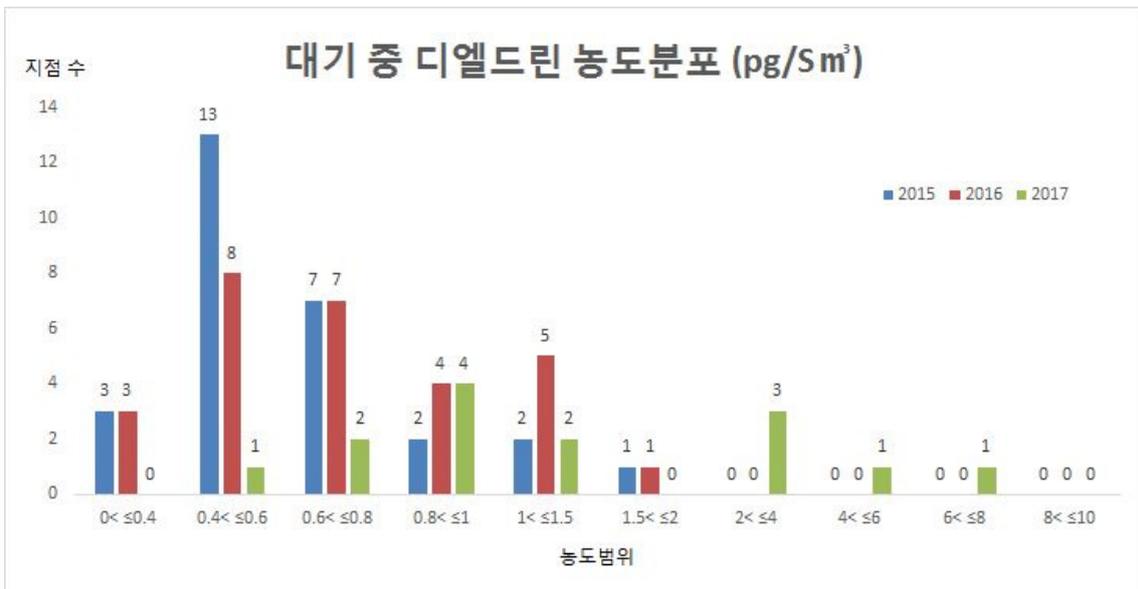


그림 IV-2-8. 환경대기 중 디엘드린의 농도분포 현황('15~'17)

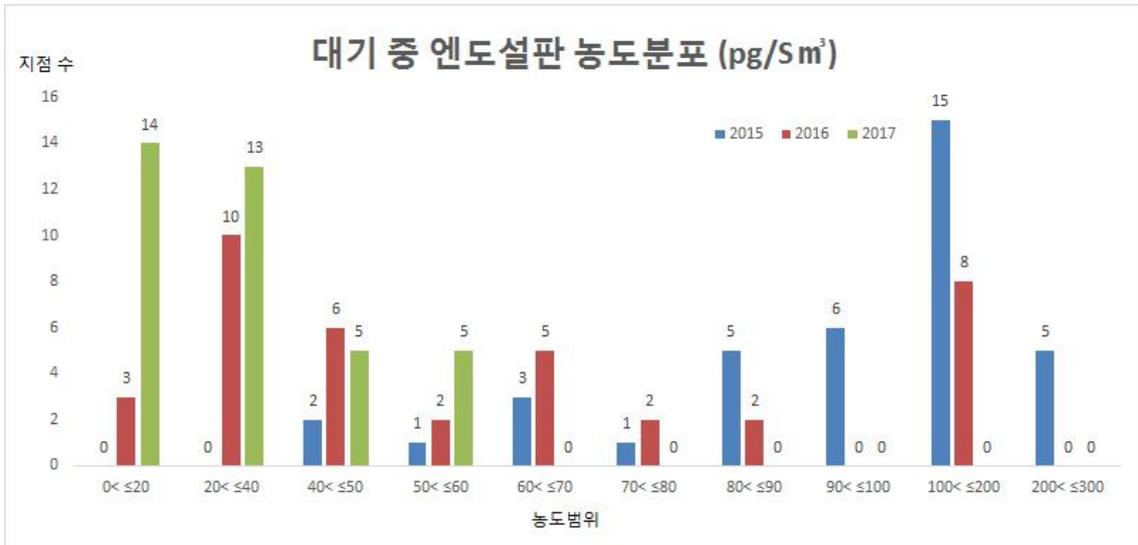


그림 IV-2-9. 환경대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 엔드린 합)의 농도분포 현황('15~'17)

### 라) 대기 중 용도지역별 농도

전국에 분포되어있는 대기 측정지점을 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제36조(용도지역의 지정) 제1항에 따라 도시지역을 공업, 상업, 주거, 녹지지역으로 구분하고, 기타 배경지역을 포함하여 용도지역별로 통계분석을 실시하였다. 드린류의 조사결과를 바탕으로 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, Levene 통계량은 7.290, 유의확률은 0.000으로 동질성이 있다고 보기 어려워 비모수검정인 Kruskal-Wallis H 검정으로 용도별 차이를 확인하였다. 그 결과, 유의수준이 0.163 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도별 차이가 없는 것으로 확인되었다.

표 IV-2-6. 최근 3년간 환경대기 시료 중 연도별 용도지역별 드린류의 평균농도 (단위: pg/Sm³)

평 균	2015	2016	2017
공 업	0.676	0.893	0.089
상 업	1.111	0.715	1.001
주 거	0.854	0.796	0.694
녹 지	0.000	0.488	0.000
배 경	0.000	0.618	2.327

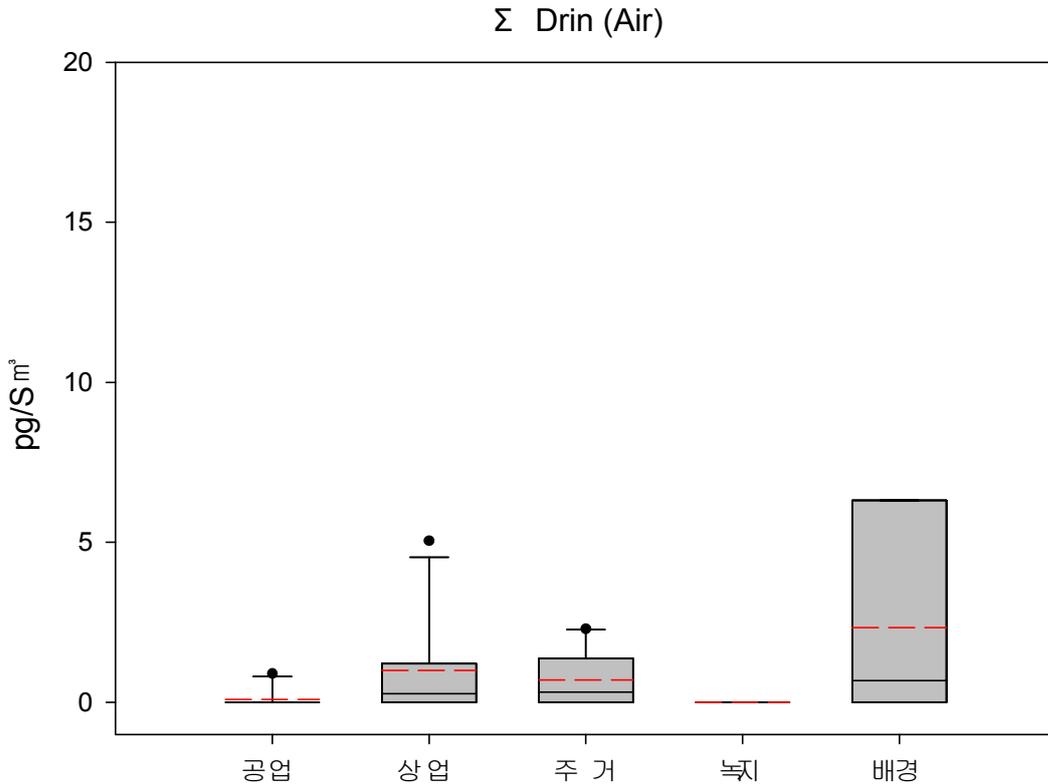


그림 IV-2-10. 환경대기 중 용도지역별 드린류의 농도분포 ('17)

### 마) 환경대기 중 드린류의 국가별 농도수준비교

표 IV-2-7은 우리나라 환경대기 중 알드린, 디엘드린, 엔드린의 농도 수준을 파악하기 위하여 국가별 농도수준을 비교한 표이다. 최근 3년간('15~'17) 국내 측정망에서 조사한 알드린의 연평균 농도 범위는 0.027~0.281 pg/S m³ 수준으로 나타났으며, 일본, 중국, 홍콩 등 다른 국가의 연평균 농도 수준은 각각 N.D.~100 pg/m³, 3.9 pg/m³, N.D.~111 pg/m³로 우리나라의 알드린 농도 수준보다 대체로 높게 나타났다.

최근 3년간('15~'17) 디엘드린의 연평균 농도 역시 0.486~0.679 pg/S m³ 수준으로 일본, 홍콩의 11~12.35 pg/m³, N.D.~46.9 pg/m³보다는 매우 낮은 농도 수준인 것으로 파악되었다. 국내 측정망에서 엔드린의 경우 2014년~2016년까지 연평균 농도가 모두 방법검출한계 미만으로 검출되었으나 일본, 홍콩의 경우 연평균 농도가 각각 0.039~0.485 pg/m³와 N.D.~42.6 pg/m³ 수준으로 검출되었다.

표 IV-2-7. 환경대기 중 드린류의 국가별 농도수준 비교

국가명	알드린 (pg/m <sup>3</sup> )	디엘드린 (pg/m <sup>3</sup> )	엔드린 (pg/m <sup>3</sup> )	기간	지역	참고문헌
일 본	0.06~0.24 (0.13)	0.30~1.90 (0.89)	N.D.~0.15 (0.05)	2012 ~2013	Hedo (Background)	GMP, Asia-Paific, 2015
	N.D. (N.D.)	0.89~160 (11)	N.D.~2.9 (0.039)	2014	전국	일본 환경성, 2015
	<0.02~3.2 (0.03)	0.2~220 (11)	<0.03~2.5 (0.22)	2005	전국	일본 환경성, 2006
	0.012~17.45 (1.025)	1.46~185 (12.35)	0.0615~4.15 (0.485)			
	<50~13500 (100)	0.955~178 (11.25)	0.051~4.2 (0.435)			
중 국	N.D.	N.D.	N.D.	2013	Background	GMP, Asia-Paific, 2015
	3.9	-	-	2005 ~2006	광저우	Yang et al., 2008
인도네시아	-	0.92	<0.07	2012	Background	GMP, Asia-Paific, 2015
라오스	0.87	2.0	0.60	2011		
말레이시아	11	6.5	0.96	2010		
홍콩	N.D.~53.0	N.D.~8.78	N.D.~4.24	2008	Background	Choi et al., 2009
	N.D.~111	N.D.~31.1	N.D.~20.9		Residential area	
	N.D.~80.6	N.D.~46.9	N.D.~42.6		Urban& Industrial	

\* ( )안의 값은 평균값임

## 2.1.2. 환경대기 중 톡사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티 농도 가) 개요

톡사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인은 스톡홀름협약서 부속서 A(근절)에 등재되었으며, 생산 및 사용 또한 모두 금지되어 있다. 이들 물질에 대한 국내에서의 주요용도 및 규제 현황은 아래 표에 상세하게 기술하였다.

표 IV-2-8. 알드린, 디엘드린, 엔드린의 주요용도 및 규제현황

물질명 (CAS 번호)	주요용도	규제 현황
톡사펜 (Toxaphene) (8001-35-2)	진딧물 등의 농작물과 가축의 해충 방제를 위한 살충제	유해화학물질관리법:금지(91) 농약관리법: 등록취소(83)
헵타클로르 (Heptachlor) (76-44-8)	흰개미, 메뚜기 등의 농작물 해충 및 병균매개체의 방제를 위한 살충제	유해화학물질관리법:취급제한(91)→금지(99) 농약관리법: 등록취소(79)
미렉스(Mirex) (2385-85-5)	개미, 진딧물 등의 방제를 위한 살충제 플라스틱, 고무, 전기제품 등에서 방염제로 사용	국내에 도입되지 않은 물질
클로르데인 (Chlordane) (57-74-9)	흰개미와 농작물 해충 방제를 위한 살충제	유해화학물질관리법:취급제한(91)→금지(99) 농약관리법: 등록취소(69)
디디티 (DDT) (50-29-3)	말라리아, 발진티푸스 등의 병원매체와 농작물 해충 방제를 위한 살충제	유해화학물질관리법:금지(91) 농약관리법: 등록취소(71)

현재 이들 물질은 잔류성유기오염물질관리법 및 화학물질관리법에 의해 관리되고 있으며, 국내 생산은 물론 사용 이력도 전무한 상황이다.

디디티는 1940년대에 알려지기 시작하여 농약 및 말라리아 매개체(모기 등) 구제용으로 과거 한국전쟁 등을 비롯해 1950~1960년대까지 국내 및 전 세계적으로 상당량이 사용된 것으로 추정되며, 환경에 노출되면 햇빛 및 박테리아 등에 의해 분해산물(DDE, DDD)로 분해되며, 일반적으로 디디티( $\Sigma$ DDT)라고 하는 것은 디디티와 디디이 그리고 디디디 세가지 물질의 총합을 의미한다. 이하 보고서에는 세가지 물질의 총합인  $\Sigma$ DDT를 “디디티”로 표현하였다.

국내에서 검출되는 디디티는 과거 국내에서 사용된 것이 토양에 침적되었거나 분해산물이 먼지 등에 흡착되어 환경대기 중으로 비산 또는 장거리 이동에 기인한 것으로 예측할 수 있으나, 정확한 이동경로 및 거동 규명은 추가적인 연구가 더 필요한 상황이다.

현재 디디티는 스톡홀름협약 부속서 B(제한)에 따라 사용이 금지되었고, 우리나라의 경우는 농약관리법에 의해 1969년에 등록취소 및 금지되었고, 유해화학물질관리법에서는 1991년에 생산 및 사용이 모두 금지하였다. 하지만 2000년 이후 중국, 인도, 북한 등 3개국에서 디디티를 생산하고, 매년 약 5,000 톤의 디디티가 20여 개국에서 사용되고 있는 것으로 알려져 있다(van den Ber, 2009). 세계 디디티 총사용량의 약 20%가 인도에서 내장리슈만편모충증(*visceral leishmaniasis*)의 전염 매개체인 모기구제에 사용되었으며, 북한에서는 스톡홀름협약에도 불구하고 생산된 디디티의 대부분은 농약으로 사용된 것으로 알려져 있다(정희경, 2015).

## 나) 최근 3년간 환경대기 중 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티의 연간, 계절별 농도

잔류성유기오염물질 측정망의 대기 시료채취지점은 전국 38개 지점 중 천안 성성동 1개 지점을 제외한 37개 지점으로 연 2회 봄철과 가을철에 실시하였고, 환경대기 중 유기염소계농약류인 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티의 조사결과는 표 IV-2-9~표 IV-2-13에 요약 정리하였다.

독사펜은 2008년부터 측정을 시작한 이래, 아직 한 번도 검출된 이력이 없으며, 이러한 결과에 따라 국내 측정망의 효율적인 운영을 위하여 2016년부터는 매체별 대표시료를 선정·조사하였다. 대기 시료는 6개 대표 지점에서 채취하여 분석하였다. 표 IV-2-9에서처럼, 최근 3년간 대기 시료 중 독사펜은 모두 방법검출한계 미만으로 조사되었기 때문에 계절별, 지역별 검출특성 평가는 별도로 수행하지 않았다.

2017년도 환경대기 중 헵타클로르의 연평균 농도는 0.315 pg/Sm<sup>3</sup>(검출횟수 9), 미렉스는 방법검출한계 미만(검출횟수 0)으로 검출, 클로르데인은 2.274 pg/Sm<sup>3</sup>(검

출회수 21), 디디티는 2.785 pg/Sm<sup>3</sup> (검출회수 29)로 조사되었다. 계절별 농도분포를 보면, 헵타클로르의 경우 봄철이 0.168 pg/Sm<sup>3</sup>, 가을철이 0.462 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 나타났다. 미렉스의 경우 봄철과 가을철 모두 방법검출한계 미만으로 검출되었다.

표 IV-2-9. 환경대기 중 독사펜의 농도분포 현황

구분		독사펜 (ng/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	0	0	0	0	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	중앙값	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	평균	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	표준편차	-	-	-	-	-
2016 (38지점)	검출수	0	-	-	0	-
	최소	N.D.	-	-	N.D.	-
	최대	N.D.	-	-	N.D.	-
	중앙값	N.D.	-	-	N.D.	-
	평균	N.D.	-	-	N.D.	-
	표준편차	-	-	-	-	-
2017 (37지점)	검출수	0	-	0	-	-
	최소	N.D.	-	N.D.	-	-
	최대	N.D.	-	N.D.	-	-
	중앙값	N.D.	-	N.D.	-	-
	평균	N.D.	-	N.D.	-	-
	표준편차	-	-	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만, '16년 이후 연 1회 대표지점 6개소에 대해서만 분석 실시

표 IV-2-10. 환경대기 중 헵타클로르의 농도분포 현황

구분	헵타클로르 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	24	0	6	24	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	1.731	N.D.	2.305	3.143	-
	중앙값	<b>0.520</b>	<b>N.D.</b>	<b>1.868</b>	<b>1.493</b>	-
	평균	<b>0.428</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.276</b>	<b>1.010</b>	-
	표준편차	0.392	-	0.500	0.512	-
2016 (38지점)	검출수	21	0	-	21	3
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	1.696	N.D.	-	3.681	2.090
	중앙값	<b>0.615</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>1.791</b>	<b>1.927</b>
	평균	<b>0.410</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>1.111</b>	<b>0.119</b>
	표준편차	0.348	-	-	0.653	0.879
2017 (37지점)	검출수	9	-	2	-	7
	최소	N.D.	-	2.011	-	1.229
	최대	2.633	-	4.365	-	5.265
	중앙값	<b>1.161</b>	-	<b>3.188</b>	-	<b>2.322</b>
	평균	<b>0.315</b>	-	<b>0.168</b>	-	<b>0.462</b>
	표준편차	0.678	-	1.665	-	1.367

\* N.D.: 방법검출한계 미만

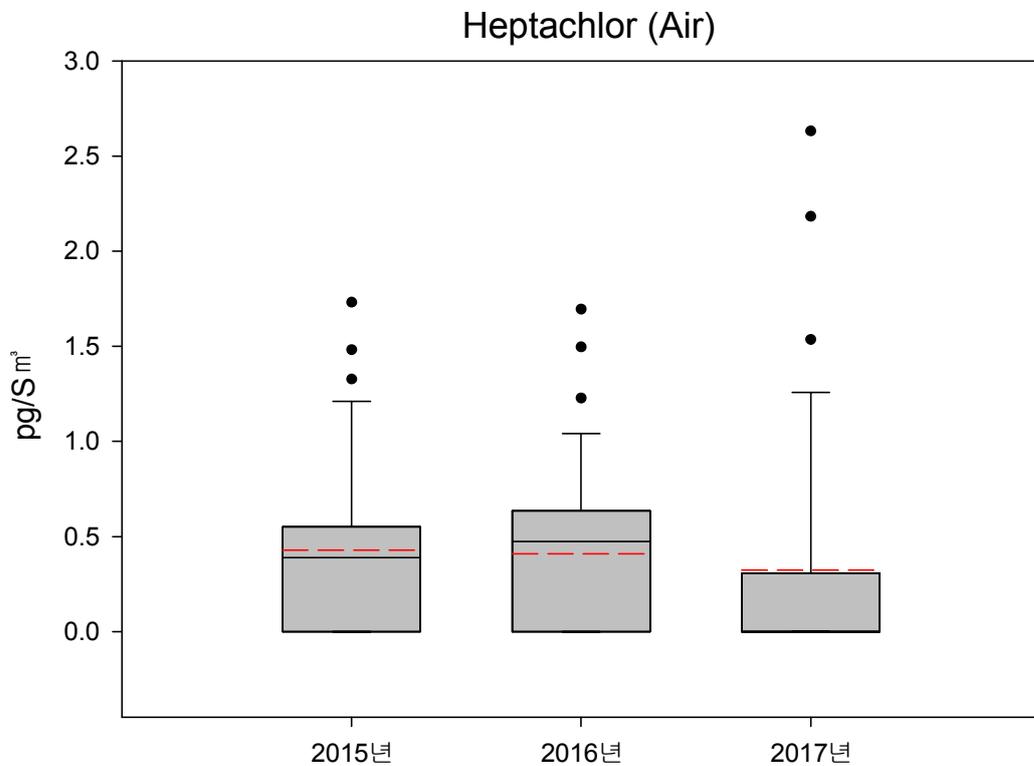


그림 IV-2-11. 환경대기 중 헵타클로르의 농도분포 ('15~'17)

표 IV-2-11. 환경대기 중 미렉스의 농도분포 현황

구분	미렉스 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출 수	10	2	7	4	-
	최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최 대	1.860	1.491	2.823	3.436	-
	중 앙 값	<b>0.598</b>	<b>1.277</b>	<b>1.543</b>	<b>1.636</b>	-
	평 균	<b>0.200</b>	<b>0.067</b>	<b>0.326</b>	<b>0.207</b>	-
	표준편차	0.435	0.303	0.565	1.009	-
2016 (38지점)	검출 수	11	3	-	9	3
	최 소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최 대	2.345	2.114	-	4.389	1.472
	중 앙 값	<b>0.632</b>	<b>1.295</b>	-	<b>1.895</b>	<b>1.352</b>
	평 균	<b>0.251</b>	<b>0.123</b>	-	<b>0.526</b>	<b>0.103</b>
	표준편차	0.614	0.481	-	0.974	0.194
2017 (37지점)	검출 수	0	-	0	-	0
	최 소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최 대	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>
	평 균	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>
	표준편차	-	-	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만

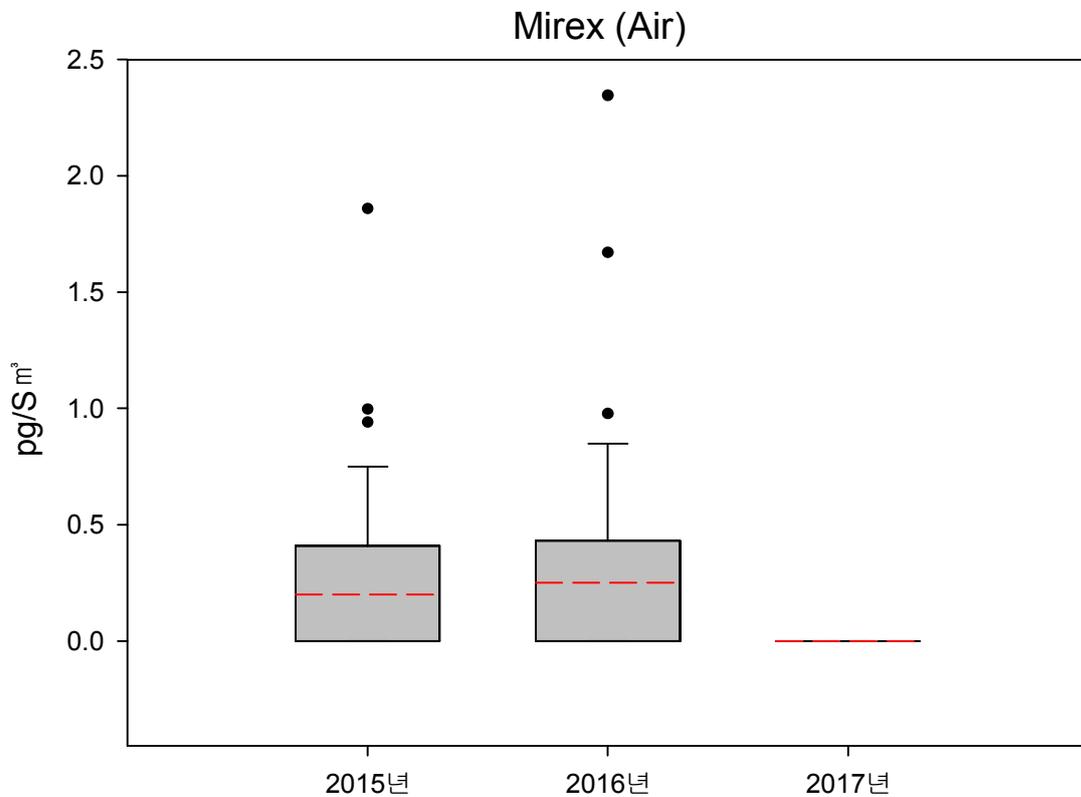


그림 IV-2-12. 환경대기 중 미렉스의 농도 분포('15~'17)

표 IV-2-12. 환경대기 중 클로르데인의 농도분포 현황

구분	클로르데인 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	37	1	19	36	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	5.791	2.276	4.704	14.795	-
	중앙값	<b>2.681</b>	<b>2.276</b>	<b>2.594</b>	<b>6.737</b>	-
	평균	<b>2.674</b>	<b>0.060</b>	<b>1.292</b>	<b>6.669</b>	-
	표준편차	1.399	N.D.	1.036	3.554	-
2016 (38지점)	검출수	35	5	-	33	20
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	4.679	6.239	-	8.822	6.149
	중앙값	<b>1.749</b>	<b>5.854</b>	-	<b>4.024</b>	<b>1.665</b>
	평균	<b>1.822</b>	<b>0.717</b>	-	<b>3.716</b>	<b>1.032</b>
	표준편차	1.196	1.142	-	2.794	1.188
2017 (37지점)	검출수	21	-	12	-	14
	최소	N.D.	-	1.385	-	1.090
	최대	15.325	-	14.599	-	23.911
	중앙값	<b>2.266</b>	-	<b>4.208</b>	-	<b>3.313</b>
	평균	<b>2.274</b>	-	<b>1.733</b>	-	<b>2.815</b>
	표준편차	3.767	-	3.923	-	8.108

\* N.D.: 방법검출한계 미만

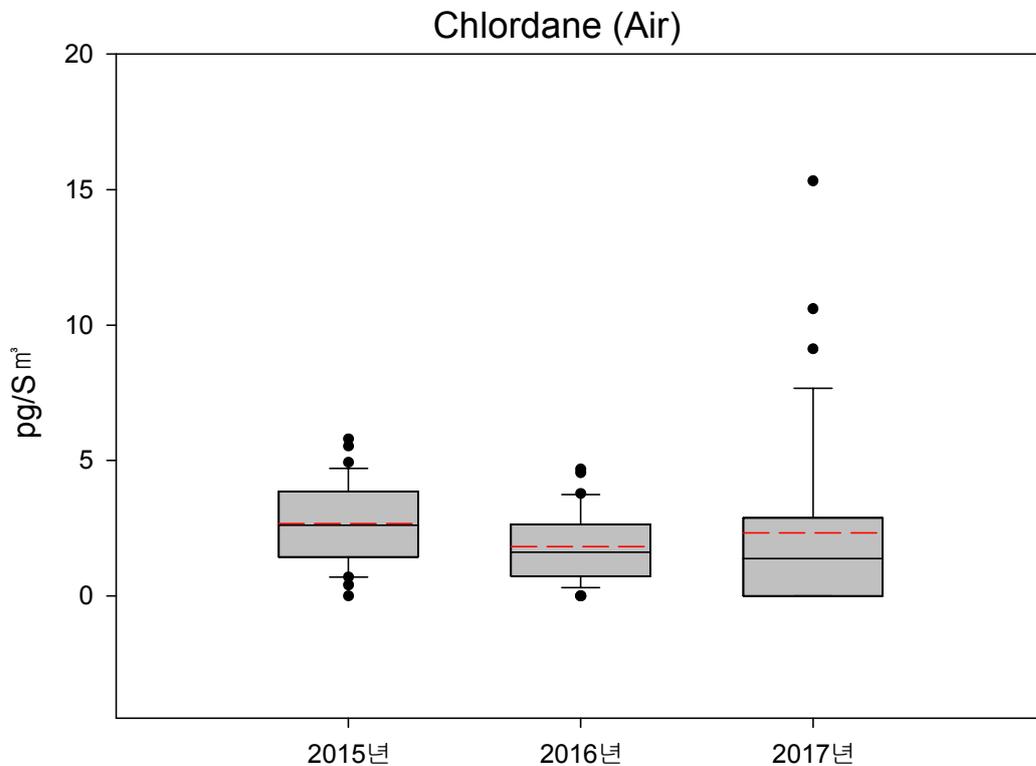


그림 IV-2-13. 환경대기 중 클로르데인의 농도분포 ('15~'17)

표 IV-2-13. 환경대기 중 디디티의 농도분포 현황

구분	디디티 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	38	14	34	35	-
	최소	0.485	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	18.082	21.946	7.862	47.954	-
	중앙값	<b>2.494</b>	<b>1.412</b>	<b>3.083</b>	<b>4.213</b>	-
	평균	<b>3.908</b>	<b>1.737</b>	<b>2.865</b>	<b>7.124</b>	-
	표준편차	3.903	6.786	1.608	10.363	-
2016 (38지점)	검출수	37	13	-	32	27
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	11.246	5.614	-	27.491	12.802
	중앙값	<b>1.731</b>	<b>1.818</b>	-	<b>3.872</b>	<b>2.015</b>
	평균	<b>2.555</b>	<b>0.665</b>	-	<b>4.890</b>	<b>2.110</b>
	표준편차	2.504	1.239	-	5.566	2.422
2017 (37지점)	검출수	29	-	16	-	21
	최소	N.D.	-	1.082	-	1.059
	최대	16.631	-	16.516	-	33.261
	중앙값	<b>3.079</b>	-	<b>3.014</b>	-	<b>3.081</b>
	평균	<b>2.785</b>	-	<b>2.300</b>	-	<b>3.269</b>
	표준편차	3.691	-	5.099	-	7.806

\* N.D.: 방법검출한계 미만

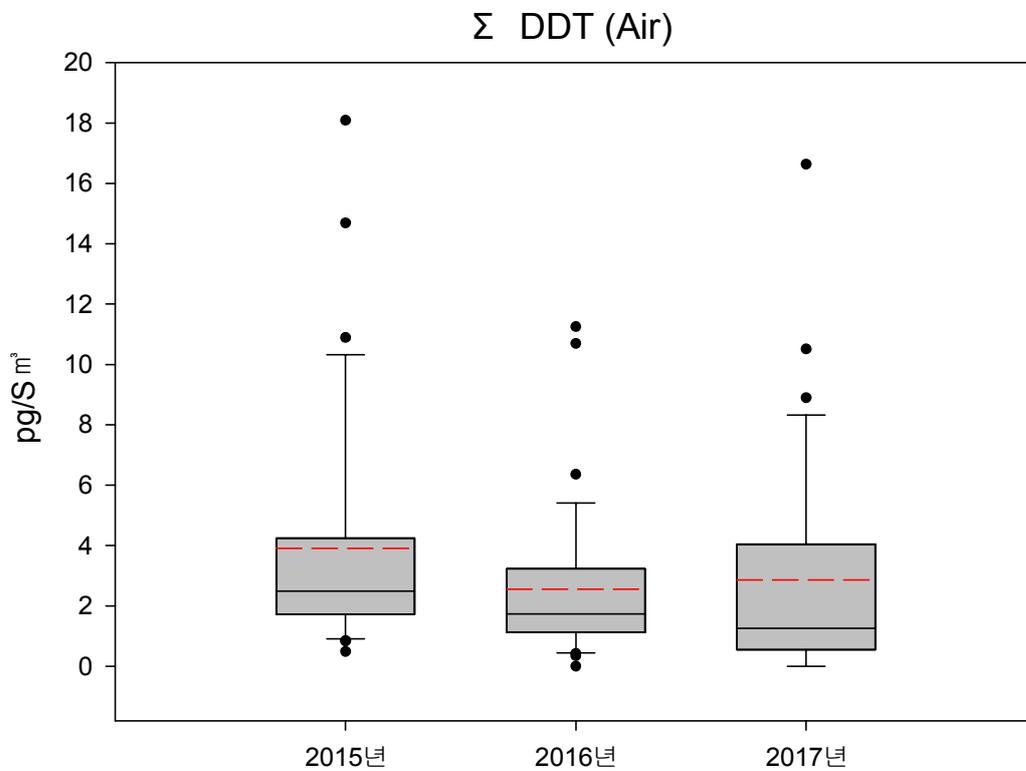


그림 IV-2-14. 환경대기 중 디디티의 농도분포('15~'17)

### 다) 환경대기 중 지역별 농도

전국에 분포되어있는 38개 대기 측정지점을 전국 16개 시·도별로 분류하여 그 농도분포를 비교·분석하였다. 2017년 기준 지역별 환경대기 중 각 물질의 농도순위를 살펴보면, 헵타클로르가 울산 > 전북 > 경북 > 서울 > 강원 > 광주 순이며, 클로르데인은 울산 > 경북 > 강원 > 전북 순으로, 디디티는 울산 > 부산 > 전북 > 대전 > 경기 > 광주 순으로 조사되었다. 특히 배경지역인 울릉 태하리의 경우 가을철 헵타클로르와 클로르데인의 농도가 다소 높게 검출되어 장거리 이동에 의한 영향으로 추정되며, 별도의 추가적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

표 IV-2-14. 시도별 환경대기 중 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티의 연평균 농도분포 현황 (단위: pg/Sm<sup>3</sup>)

시도 구분	헵타클로르			미렉스			클로르데인			디디티		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
서울	0.573	0.328	0.819	1.400	1.384	N.D.	4.170	3.471	1.657	6.675	6.927	1.751
부산	0.185	N.D.	N.D.	0.236	0.489	N.D.	3.952	1.373	2.387	10.622	4.913	8.653
대구	0.479	0.529	N.D.	0.514	N.D.	N.D.	2.850	0.733	0.724	18.082	11.246	3.825
울산	0.372	0.356	1.188	N.D.	N.D.	N.D.	2.681	1.357	9.121	0.851	0.779	10.512
광주	1.197	0.721	0.615	N.D.	N.D.	N.D.	5.527	1.749	2.960	5.381	2.191	3.819
대전	0.550	0.761	N.D.	N.D.	0.458	N.D.	1.457	1.414	1.942	2.873	1.484	4.889
인천	1.116	0.345	N.D.	0.535	0.488	N.D.	4.413	3.058	2.609	3.818	3.569	2.025
경기	0.560	0.578	0.290	0.182	0.732	N.D.	2.812	3.167	1.157	4.037	3.118	4.192
강원	0.622	0.888	0.768	N.D.	N.D.	N.D.	1.797	3.242	5.300	2.340	1.871	2.294
충북	0.426	0.803	N.D.	N.D.	0.283	N.D.	0.973	1.229	0.350	2.361	1.189	1.539
충남	0.249	0.285	N.D.	0.125	0.091	N.D.	1.968	1.398	N.D.	2.226	1.123	0.356
경북	0.135	0.139	0.910	N.D.	N.D.	N.D.	1.822	1.300	5.713	1.292	1.737	2.473
경남	N.D.	N.D.	N.D.	0.295	N.D.	N.D.	1.026	0.365	N.D.	2.685	0.968	0.265
전북	0.930	1.025	1.091	N.D.	N.D.	N.D.	3.366	1.554	4.415	6.574	1.355	5.063
전남	0.181	0.195	N.D.	0.065	N.D.	N.D.	3.144	0.855	1.358	2.528	1.716	1.580
제주	N.D.	0.906	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3.743	N.D.	1.970	2.021	N.D.

\* N.D.: 방법검출한계 미만

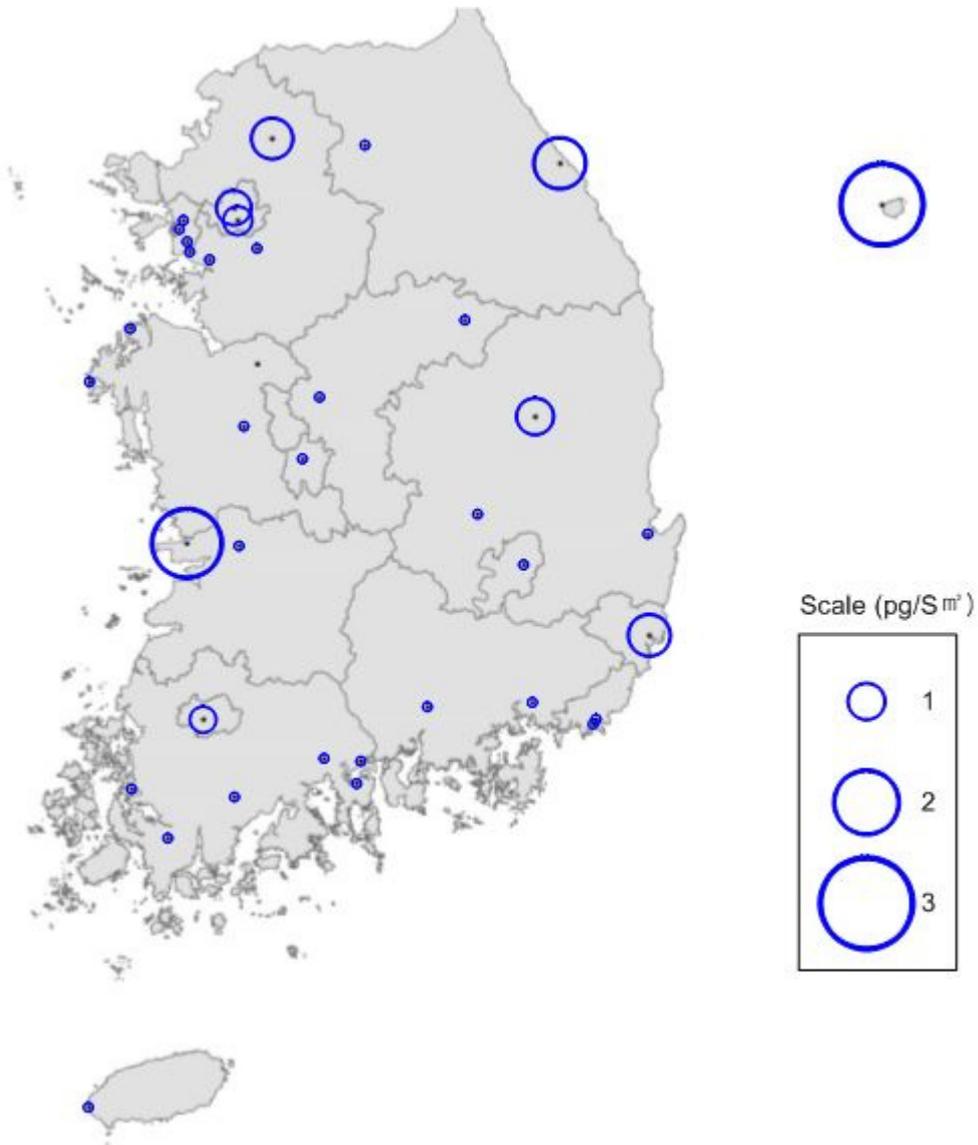


그림 IV-2-15. 환경대기 중 헵타클로르 농도의 공간분포 ('17)

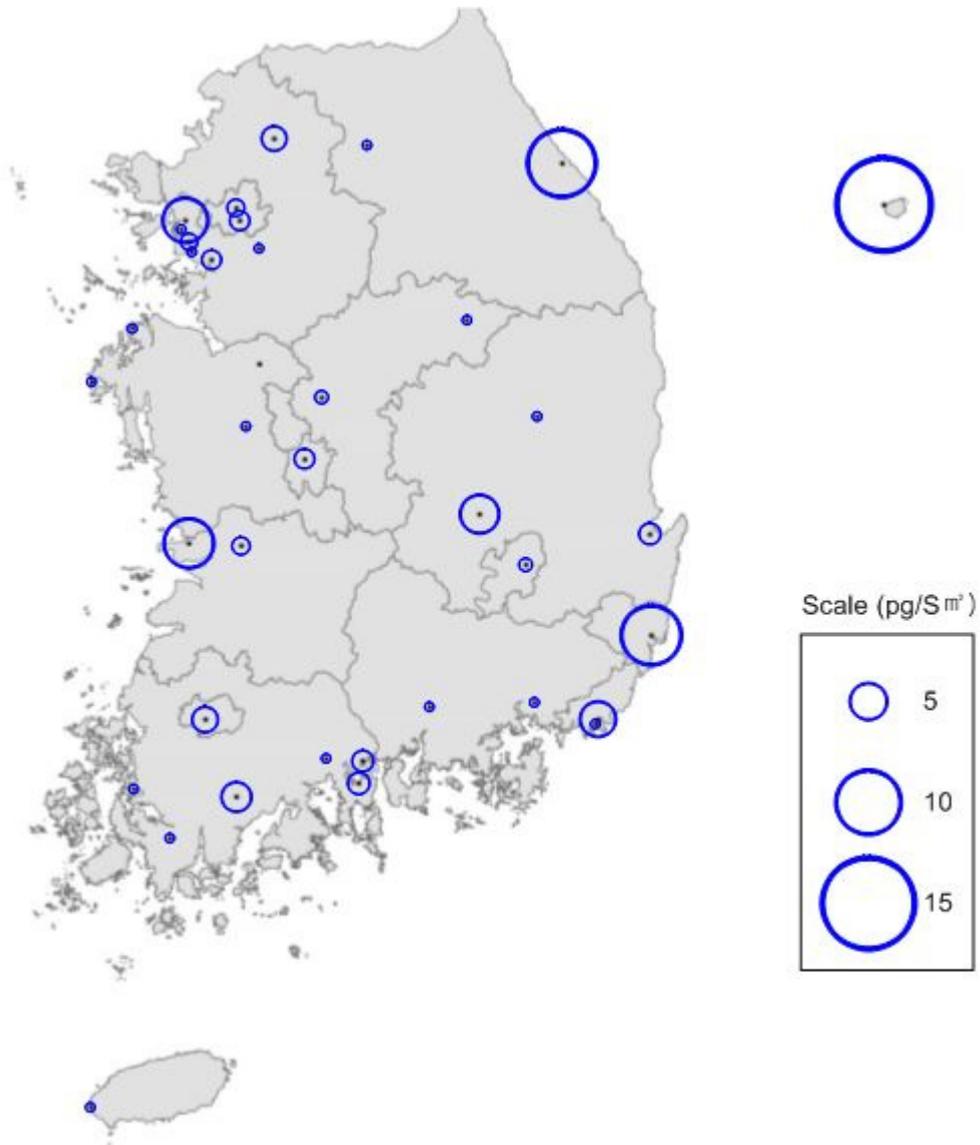


그림 IV-2-16. 환경대기 중 클로르데인 농도의 공간분포 ('17)

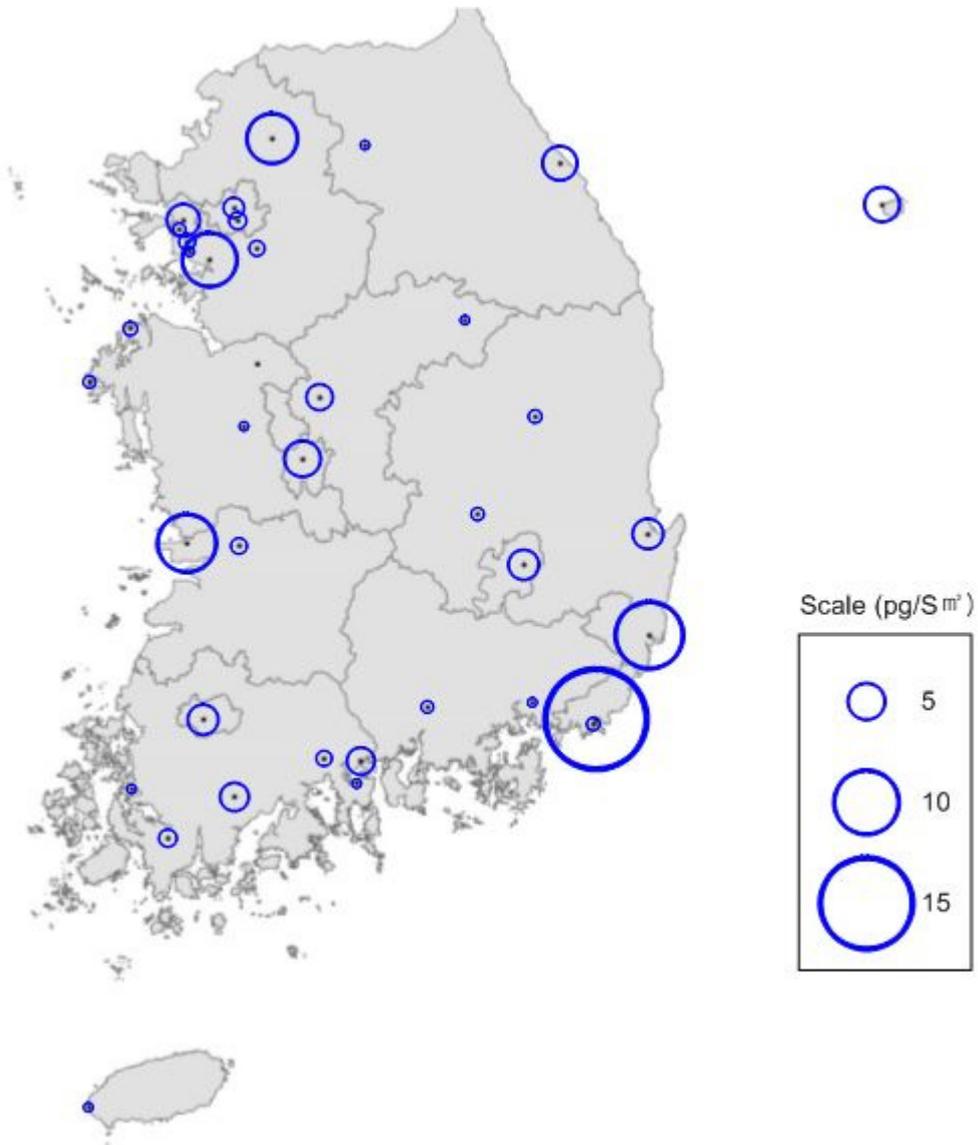


그림 IV-2-17. 환경대기 중 디더티 농도의 공간분포 ('17)

환경대기 중 각 물질의 농도분포를 살펴보면, 헵타클로르와 미렉스는 대부분 2 pg/Sm<sup>3</sup> 이하에 분포하고 있으며, 클로르데인은 0.5~4 pg/Sm<sup>3</sup>, 디디티는 0.5~4 pg/Sm<sup>3</sup> 구간에 주로 분포하는 것으로 조사되었다.

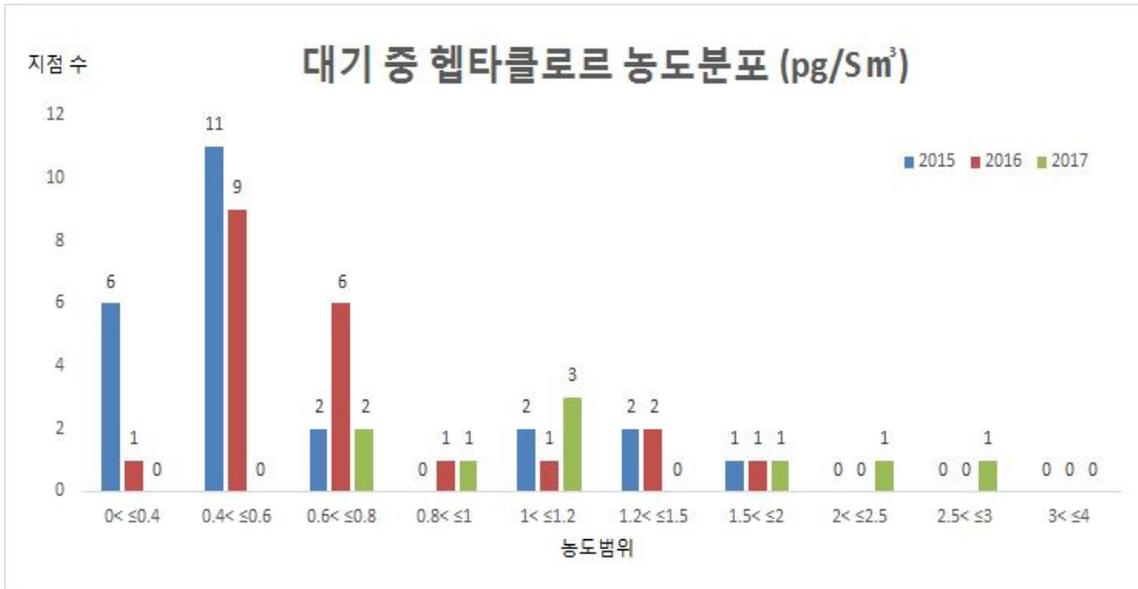


그림 IV-2-18. 환경대기 중 헵타클로르의 농도분포 ('15~'17)

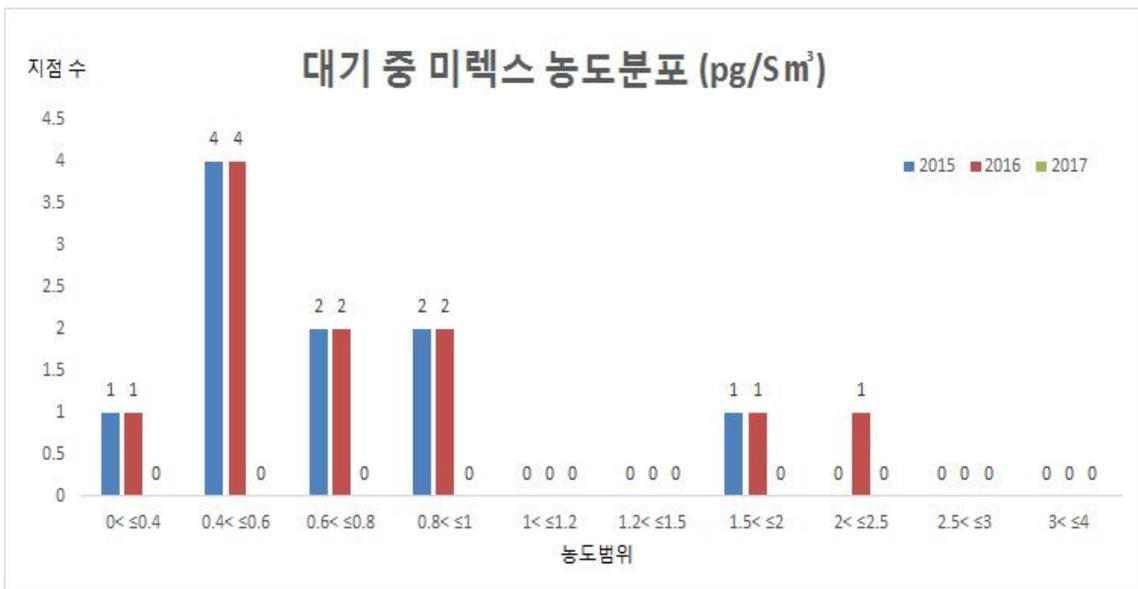


그림 IV-2-19. 환경대기 중 미렉스의 농도분포 ('15~'17)

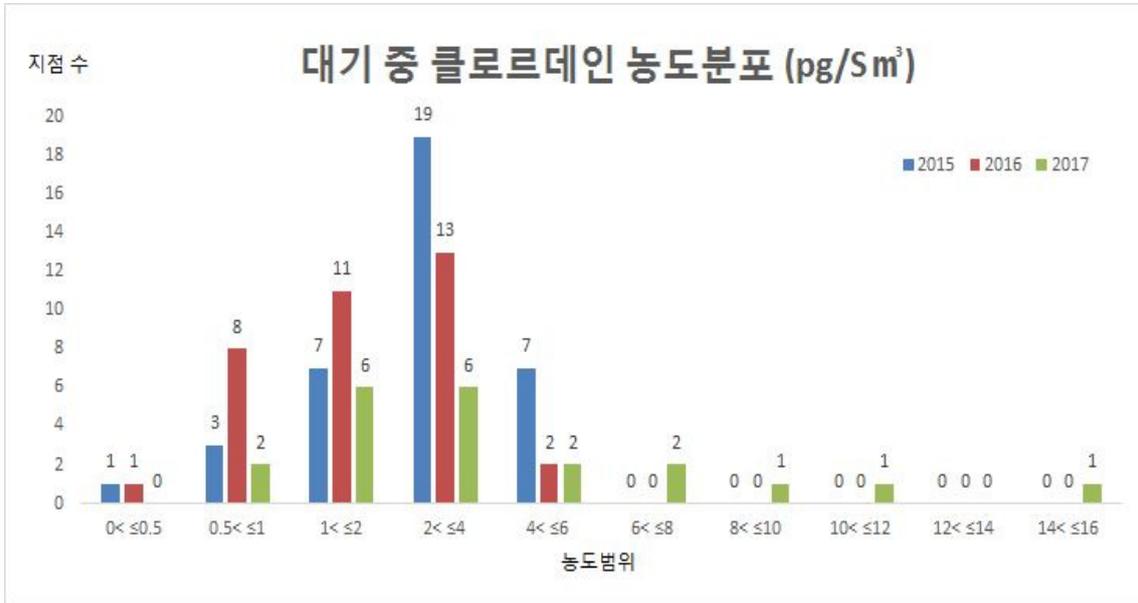


그림 IV-2-20. 환경대기 중 클로르데인의 농도분포 ('15~'17)

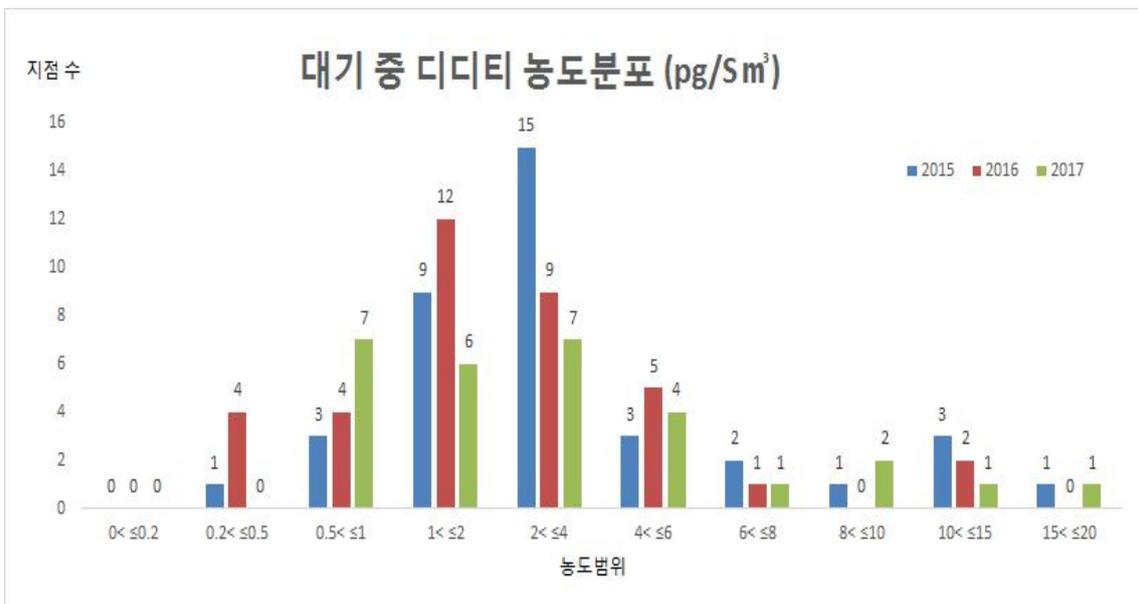


그림 IV-2-21. 환경대기 중 디디티의 농도분포 ('15~'17)

## 라) 환경대기 중 용도지역별 농도

전국에 분포되어있는 대기 측정지점을 공업, 상업, 주거, 녹지지역으로 구분하고, 기타 배경지역과의 비교를 위하여 용도지역별로 통계분석을 수행하였다. 임의의 다른 표본에 대해 분산이 동일한지를 검정하는 Levene Test를 실시한 결과, 헵타클로르와 클로르데인의 유의확률이 각각 0.000과 0.003으로 나타나 동질성이 없는 것으로 파악되었고, 반면에 디디티는 유의확률이 0.914로 동질성이 있는 것으로 확인되었다.

동질성 유무에 따라 헵타클로르와 클로르데인은 비모수검정인 Kruskal-Wallis H 검정을 실시하였으며, 디디티는 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용해 통계분석을 실시하였다. Kruskal-Wallis H 검정결과, 헵타클로르와 클로르데인은 유의수준이 각각 0.427과 0.953 ( $p > 0.05$ )으로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도지역별로 차이가 없는 것으로 나타났으며, 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 실시한 디디티는 유의확률이 0.712 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도지역별로 차이가 없는 것으로 확인되었다.

표 IV-2-15. 환경대기 시료 중 헵타클로르, 클로르데인, 디디티의 용도지역별 연평균 농도분포 현황  
(단위:  $\text{pg}/\text{Sm}^3$ )

구분		2015	2016	2017
헵타클로르	공업	0.051	0.278	0.119
	상업	0.099	0.306	0.522
	주거	0.077	0.399	0.187
	녹지	0.000	0.573	0.000
	배경	0.000	0.512	0.878
클로르데인	공업	2.015	1.571	2.182
	상업	3.468	1.869	2.746
	주거	2.889	1.896	1.439
	녹지	2.010	1.610	0.971
	배경	1.632	2.450	5.108
디 디 티	공업	2.381	1.287	1.834
	상업	5.282	3.342	3.952
	주거	4.665	3.490	2.993
	녹지	3.275	1.861	2.445
	배경	1.915	1.400	1.748

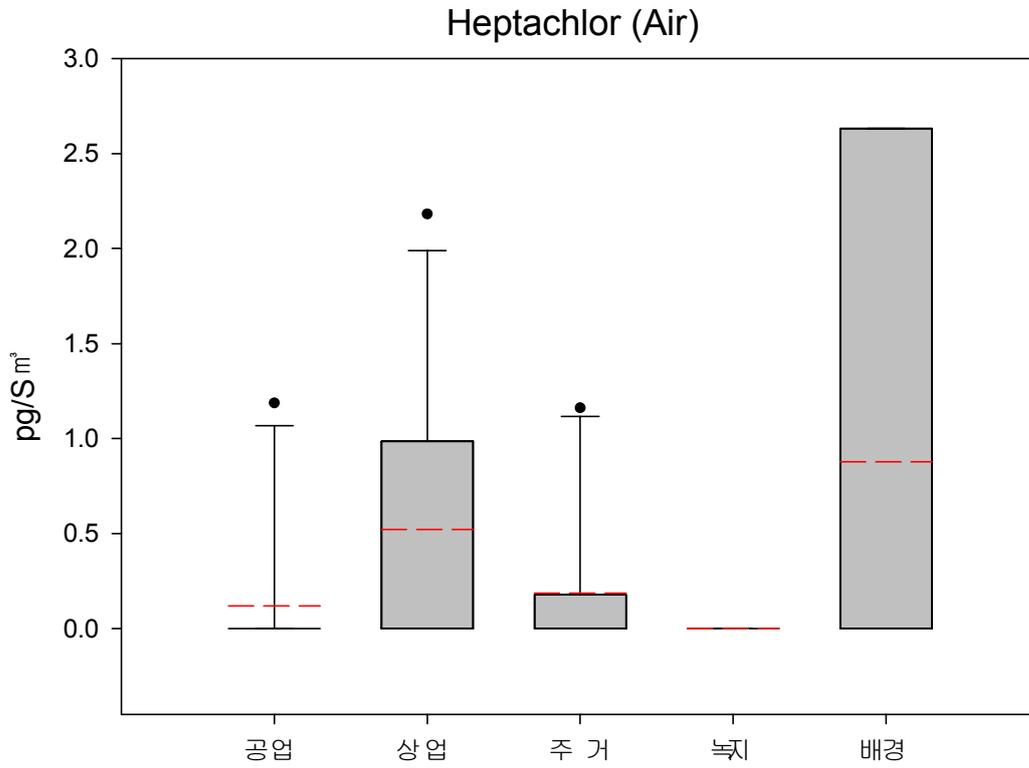


그림 IV-2-22. 환경대기 중 헵타클로르의 용도지역별 농도분포('17)

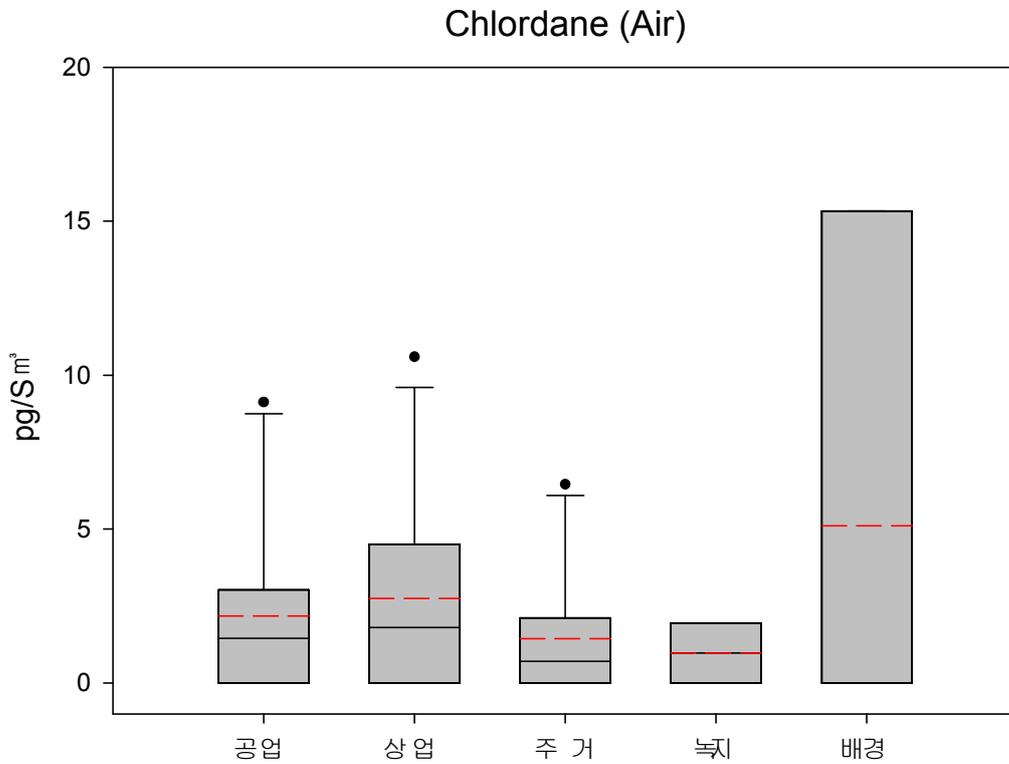


그림 IV-2-23. 환경대기 중 클로르데인의 용도지역별 농도분포('17)

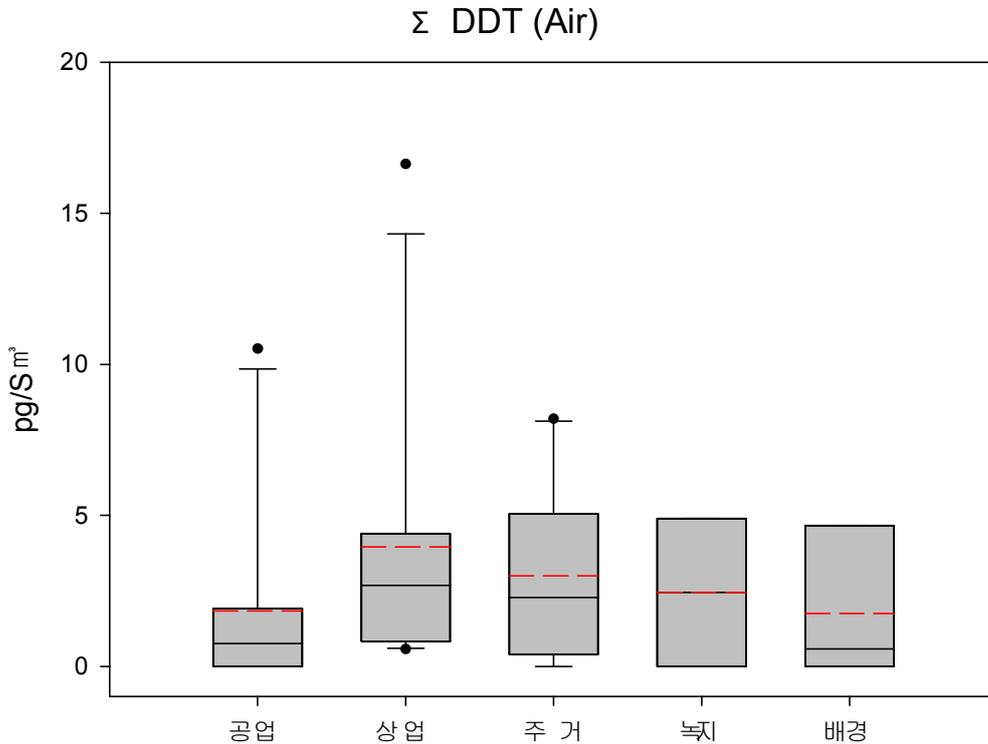


그림 IV-2-24. 환경대기 중 디디티의 용도지역별 농도분포 ('17)

### 마) 환경대기 중 독사펜, 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티 국가별 농도수준비교

표 IV-2-16은 우리나라 환경대기 중 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인과 디디티의 농도 수준을 파악하기 위하여 국가별 농도수준을 비교한 표이다. 국내 측정망에서 방법검출한계 미만으로 조사된 독사펜과 미렉스는 비교 대상에서 제외하였다.

최근 3년간('15~'17) 국내 측정망에서 조사한 헵타클로르의 연평균 농도는 0.315~0.428 pg/Sm³ 수준으로, 일본 전역에서 조사한 연평균 농도 11~20 pg/Sm³ 수준에 비하면 매우 낮은 농도 수준이다. 클로르데인 역시 1.822~2.674 pg/Sm³ 수준으로, 일본의 9~218 pg/m³, 미국의 79~518 pg/m³, 홍콩의 9~11 pg/m³ 수준에 비하면 매우 낮은 농도 수준이라 할 수 있다. 디디티도 마찬가지로 0.255~3.908 pg/Sm³ 수준으로, 일본의 3.1~14.425 pg/m³, 미국의 25~237 pg/m³, 홍콩의 61~955 pg/m³ 수준에 비하면 매우 낮은 농도 수준임을 알 수 있다.

표 IV-2-16. 환경대기 중 헵타클로르, 미렉스, 클로르데인, 디디티의 국가별 농도수준 비교

국가명	헵타클로르 (pg/m <sup>3</sup> )	클로르데인 (pg/m <sup>3</sup> )	디디티 (pg/m <sup>3</sup> )	지역	참고문헌
일본	1-51 (11)	-	0.91-51 (8.3)	전국	일본 환경성, 2016
	0.2-220 (11)	2.191-2110 (9.51)	1.33-100.11 (7.76)	전국	일본 환경성, 2006
	1.248-169.997 (20.9345)	13.45-2874.1 (218.035)	2.4855-82.62 (14.425)		
	1.24-158.64 (19.15)	5.5885-2114.85 (188.2)	1.7505-118.985 (12.27)		
	-	1.7-1800 (Warm 180) (Cold 34)	0.68-62 (Warm 9.5) (Cold 3.1)	Background	Takazawa et al., 2016
베트남	0.09~1.34 (0.50)	1.22~3.59 (2.07)	11.41~29.68 (17.47)	Background	GMP Asia-Pacific, 2015
인도네시아	0.67	3.48	3.03		
라오스	1.64	11.16	26.62		
말레이시아	7.7	25.53	76.62		
몽골	0.85	2.53	1.83		
필리핀	2.66	14.36	1.67		
미국	-	518 <sup>a</sup>	133	Camden	Gioia et al., 2005
	-	119 <sup>a</sup>	39	Delaware Bay	
	-	111 <sup>a</sup>	25	Jersey city	
	-	474 <sup>a</sup>	237	New Brunswick	
	-	127 <sup>a</sup>	31	Pinelands	
	-	79 <sup>a</sup>	42	Sandy Hook	
홍콩	-	N.D.-9.26	N.D.-137	Background	Choi et al., 2009
	-	N.D.-15.5	N.D.-61.7	Residential area	
	-	N.D.-11.4	N.D.-955	Urban& Industrial	
멕시코	-	12±5 <sup>b</sup>	547±176	Suburban	Henry et al., 2008
	-	5.8±2.8 <sup>b</sup>	2360±593	Rural, high elevation	
	-	12±4 <sup>b</sup>	1200±488	Urban	
	-	7.2±1.5 <sup>b</sup>	239±245	Rural	

a: *trans*-chlordane, *cis*-chlordane, *trans*-nonachlor, *cis*-nonachlor의 합

b: *trans*-chlordane, *cis*-chlordane, *trans*-nonachlor의 합

( ) 안의 값은 평균값임

### 2.1.3. 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산 농도

#### 가) 개요

2009년 5월 제4차 당사국총회에서 기존의 12종 POPs 물질 이외에 9종의 물질을 POPs 목록에 추가되면서, 2010년 5월부터 정식 발효되었다. 9종의 물질 중 헥사클로로사이클로헥산(Hexachlorocyclohexane, 이하 HCH)은 알파헥사클로로사이클로헥산( $\alpha$ -HCH), 베타헥사클로로사이클로헥산( $\beta$ -HCH), 린단(Lindane,  $\gamma$ -HCH)으로 「스톡홀름협약 부속서 A(근절)」에 등재된 물질이며, 우리나라에서도 생산 및 사용이 금지되어 있다. HCH는 1825년 Faraday가 발견하였으며, 1940년대 특허로 등록되어 1941년 Colorado Beetle 살충제로 처음 사용되었다는 보고가 있다(국립환경과학원, 2009).

실제로 사용되는 제품은 크게 「테크니컬헥사클로로사이클로헥산(technical-HCH)」과 「린단」으로 구분된다. 기술적으로 합성되는 테크니컬헥사클로로사이클로헥산(technical-HCH)은  $\alpha$ -HCH (60~70%),  $\beta$ -HCH (5~12%),  $\gamma$ -HCH (10~12%),  $\delta$ -HCH (6~10%),  $\epsilon$ -HCH (3~4%)로 구성되어 있으며(U.S. Dept. of Health and Human Services, Report on Carcinogens, 4th edition, RoC profile; Lindane, 2016), 발암성 유발 등의 문제로 인해 미국 등을 포함해 최근 20년간 사용되지 않고 있다 (U.S. Dept of Health and Human Services-Toxicological Profile for HCH, 2005).

린단은 99% 가량이 감마헥사클로로사이클로헥산( $\gamma$ -HCH)으로 구성되어 있으며(Iwata et al., 1993; Li et al., 2000), 머릿니, 진드기 제거제 등으로 사용되어 왔다. HCH는 생물농축성, 잔류성, 장거리이동성 등의 특징을 지니고 있고, 상대적으로 높은 증기압으로 인해 토양에서 대기로 쉽게 휘발되어 대기로의 이동성이 큰 물질로 알려져 있다.  $\alpha$ -HCH와 린단의 대기 중 반감기는 각각 약 120일과 96일인 것으로 보고되고 있다(Brubaker et al. 1998; Kucklick et al. 1991).

#### 나) 대기 중 연간, 계절별 농도

잔류성유기오염물질 측정망의 대기 시료채취지점은 전국 38개 지점 중 천안 성성동 1개 지점을 제외한 37개 지점으로 봄철과 가을철에 연 2회 측정하고 있다. 최근 3년간 유기염소계농약류인  $\alpha$ -HCH과  $\beta$ -HCH, 린단의 농도분포 현황은 표 IV-2-17~표 IV-2-20에 비교·정리하였다.

표 IV-2-17. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 농도분포 현황

구분		$\alpha$ -HCH (pg/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	38	36	38	38	-
	최소	7.107	N.D.	11.108	7.234	-
	최대	147.614	23.799	347.980	97.191	-
	중앙값	<b>17.986</b>	<b>4.858</b>	<b>15.729</b>	<b>27.751</b>	-
	평균	<b>24.489</b>	<b>5.049</b>	<b>36.485</b>	<b>31.933</b>	-
	표준편차	27.561	3.912	74.106	21.297	-
2016 (38지점)	검출수	38	36	-	38	38
	최소	6.543	N.D.	-	6.284	5.091
	최대	53.768	79.885	-	99.817	27.653
	중앙값	<b>12.892</b>	<b>4.260</b>	-	<b>21.169</b>	<b>12.444</b>
	평균	<b>15.985</b>	<b>9.308</b>	-	<b>25.435</b>	<b>13.212</b>
	표준편차	9.381	17.784	-	18.690	4.947
2017 (37지점)	검출수	37	-	34	-	36
	최소	1.965	-	N.D.	-	N.D.
	최대	321.497	-	18.333	-	642.993
	중앙값	<b>8.048</b>	-	<b>9.118</b>	-	<b>7.074</b>
	평균	<b>21.761</b>	-	<b>8.681</b>	-	<b>34.841</b>
	표준편차	55.886	-	3.098	-	114.505

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-2-18. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 농도분포 현황

구분		$\beta$ -HCH (pg/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	26	0	10	24	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	3.377	N.D.	4.581	7.128	-
	중앙값	<b>1.095</b>	<b>N.D.</b>	<b>2.024</b>	<b>3.068</b>	-
	평균	<b>0.888</b>	<b>N.D.</b>	<b>0.593</b>	<b>2.072</b>	-
	표준편차	0.712	-	1.014	1.714	-
2016 (38지점)	검출수	10	0	-	9	1
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	2.965	N.D.	-	8.894	3.266
	중앙값	<b>1.032</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>2.924</b>	<b>3.266</b>
	평균	<b>0.331</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>0.906</b>	<b>0.086</b>
	표준편차	0.701	-	-	2.224	-
2017 (37지점)	검출수	12	-	11	-	3
	최소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최대	12.252	-	24.503	-	4.729
	중앙값	<b>2.383</b>	-	<b>4.703</b>	-	<b>4.654</b>
	평균	<b>1.260</b>	-	<b>2.173</b>	-	<b>0.346</b>
	표준편차	3.691	-	7.040	-	0.533

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-2-19. 환경대기 중 린단의 농도분포 현황

구분	린단 (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	38	24	38	38	-
	최소	1.780	N.D.	2.333	2.232	-
	최대	49.409	8.196	111.912	36.314	-
	중앙값	<b>6.309</b>	<b>3.141</b>	<b>6.815</b>	<b>9.370</b>	-
	평균	<b>9.110</b>	<b>2.032</b>	<b>12.903</b>	<b>12.394</b>	-
	표준편차	9.222	1.636	22.882	9.009	-
2016 (38지점)	검출수	38	32	-	38	29
	최소	1.936	N.D.	-	2.711	N.D.
	최대	22.065	23.429	-	42.891	16.982
	중앙값	<b>7.317</b>	<b>2.875</b>	-	<b>10.977</b>	<b>7.515</b>
	평균	<b>7.790</b>	<b>3.634</b>	-	<b>13.675</b>	<b>6.062</b>
	표준편차	4.471	5.409	-	9.060	3.699
2017 (37지점)	검출수	32	-	24	-	22
	최소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최대	94.783	-	9.878	-	188.193
	중앙값	<b>4.095</b>	-	<b>4.971</b>	-	<b>7.567</b>
	평균	<b>8.117</b>	-	<b>3.389</b>	-	<b>12.844</b>
	표준편차	19.468	-	2.019	-	44.576

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-2-20. 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산류( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단의 합)의 농도분포 현황

구분	$\Sigma$ HCH (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	38	36	38	38	-
	최소	10.161	N.D.	13.441	11.367	-
	최대	199.347	31.995	459.892	139.743	-
	중앙값	<b>25.212</b>	6.831	23.839	38.473	-
	평균	<b>34.487</b>	<b>7.080</b>	<b>49.981</b>	<b>46.400</b>	-
	표준편차	36.769	5.663	96.746	31.163	-
2016 (38지점)	검출수	38	36	-	38	38
	최소	9.679	N.D.	-	14.132	5.091
	최대	75.833	103.161	-	146.497	44.635
	중앙값	<b>20.147</b>	<b>6.497</b>	-	<b>33.117</b>	<b>18.567</b>
	평균	<b>22.474</b>	<b>12.942</b>	-	<b>40.016</b>	<b>19.360</b>
	표준편차	13.166	22.933	-	28.196	8.684
2017 (37지점)	검출수	37	-	35	-	37
	최소	1.965	-	ND	-	2.933
	최대	416.280	-	46.585	-	831.186
	중앙값	<b>13.003</b>	-	<b>14.145</b>	-	<b>9.328</b>
	평균	<b>31.138</b>	-	<b>14.244</b>	-	<b>48.032</b>
	표준편차	73.600	-	8.834	-	148.719

\* N.D.: 방법검출한계 미만

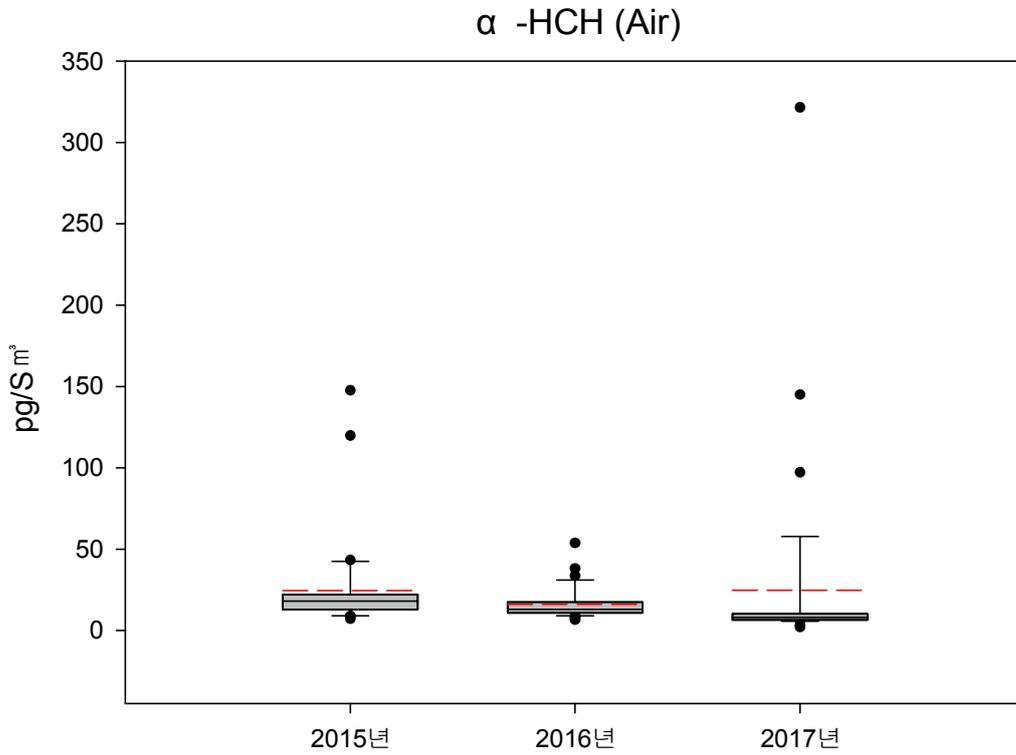


그림 IV-2-25. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 농도분포 ('15~'17)

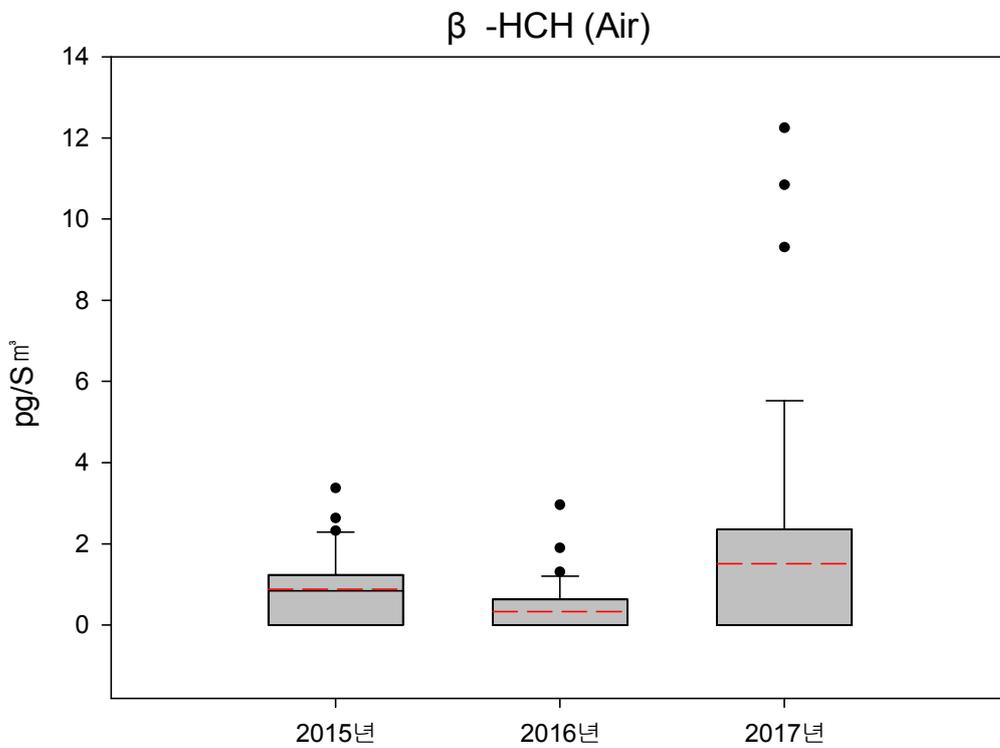


그림 IV-2-26. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 농도분포 ('15~'17)

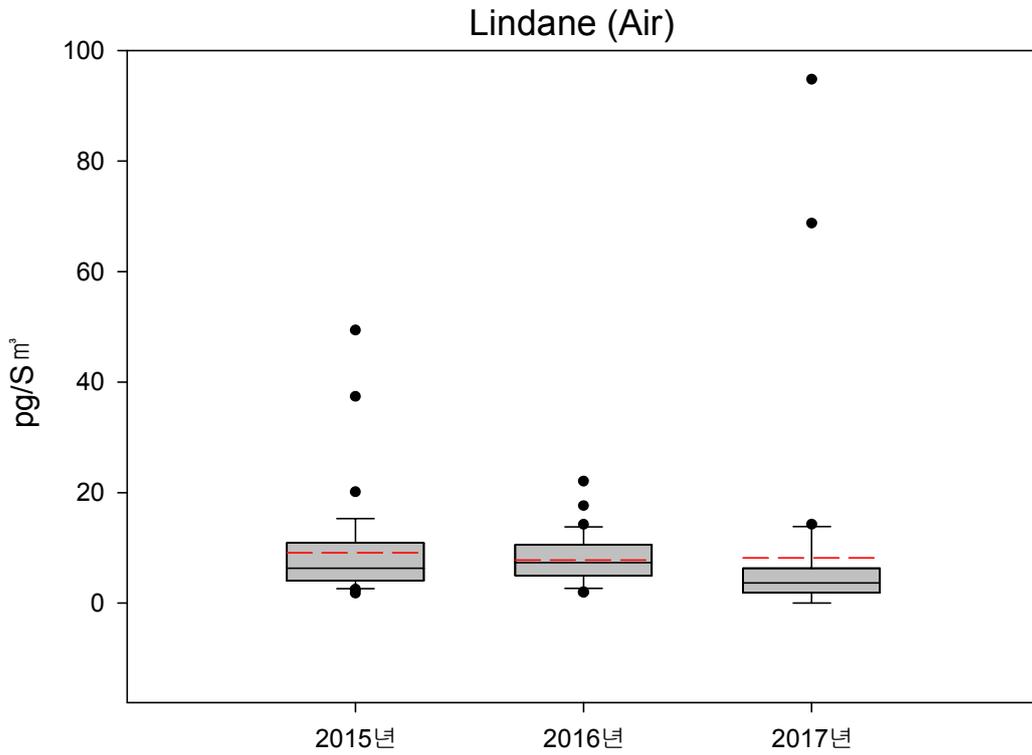


그림 IV-2-27. 환경대기 중 린단의 농도분포 ('15~'17)

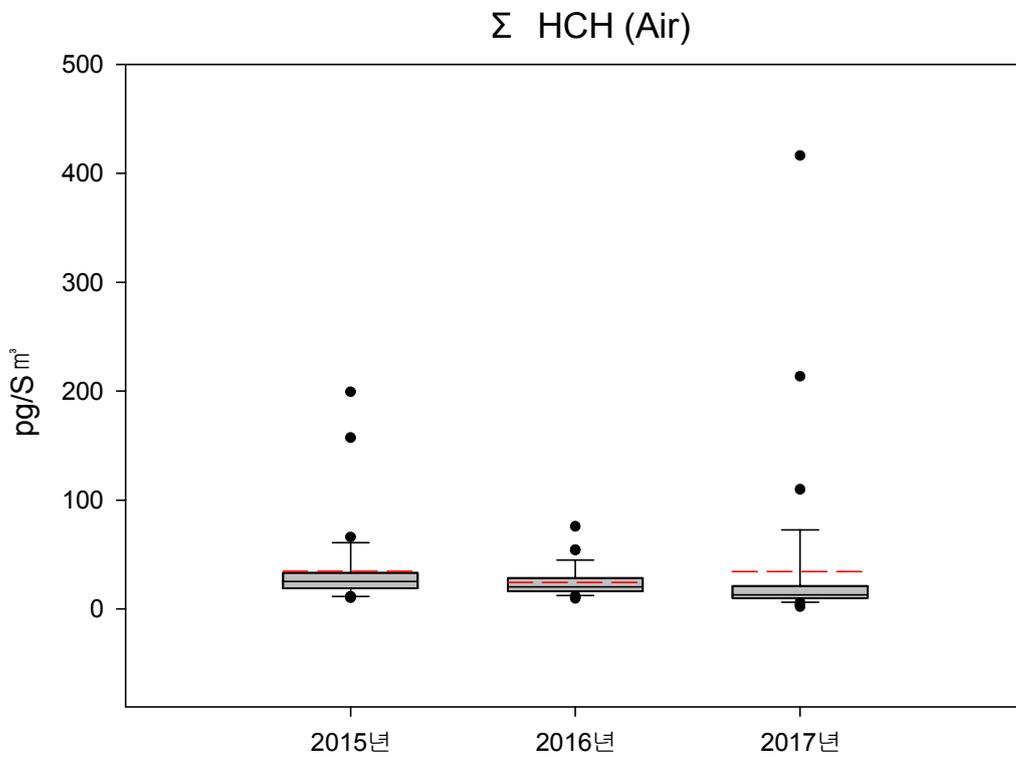


그림 IV-2-28. 환경대기 중 ΣHCH(α-HCH, β-HCH, 린단의 합) 농도분포 ('15~'17)

### 다) 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 지역별 농도

전국에 분포되어있는 38개 대기 측정지점을 전국 16개 시·도별로 분류하여 그 농도분포를 비교·분석하였다. 2017년 기준 지역별 환경대기 중 각 물질의 농도순위를 살펴보면, α-HCH가 광주 > 인천 > 경기 > 충북 순이며, β-HCH가 강원 > 울산 > 강원 > 충남 > 대전 순으로, 린단이 광주 > 인천 > 충북 순으로 조사되었다. 특히 광주와 인천지역의 α-HCH 농도가 타도시 보다 상당히 높은 수준으로 검출되었다.

표 IV-2-21. 시도별 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 연평균 농도분포  
(단위: pg/Sm<sup>3</sup>)

시도 구분	α-HCH			β-HCH			린단		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
서울	18391	14560	9868	0.593	0.486	0.687	11.017	10256	4870
부산	13961	33330	7836	0.403	N.D.	1.182	10296	14516	6398
대구	119757	10007	7626	N.D.	N.D.	N.D.	37376	7635	1896
울산	11958	9679	6690	N.D.	N.D.	3.101	4.025	1936	4.044
광주	13200	11280	144884	N.D.	0.674	N.D.	6218	8034	68738
대전	24492	13248	6391	1.593	N.D.	2.345	7820	5740	3.585
인천	27429	14587	114677	1.805	N.D.	N.D.	13.398	9945	34.886
경기	23667	21464	30810	0.778	0.985	2.328	9.505	12672	3.843
강원	28331	17773	9209	1.651	1.253	6.126	10.544	8025	3.881
충북	18331	11441	28516	1.004	N.D.	0.487	5.091	6217	8.147
충남	18114	13425	14247	0.832	0.155	2.711	5.114	3994	4.035
경북	12450	17906	7799	0.403	0.475	2.129	4.934	6966	4.372
경남	81221	15386	5862	1.378	N.D.	1.176	26.573	6215	1.720
전북	26395	15792	11443	2.246	0.431	1.200	7.848	6662	4.179
전남	13599	13137	5607	0.594	N.D.	N.D.	4.521	5958	2.022
제주	7.107	12893	10320	0.583	1.089	N.D.	2.471	8.790	1.195

\* N.D.: 방법검출한계 미만

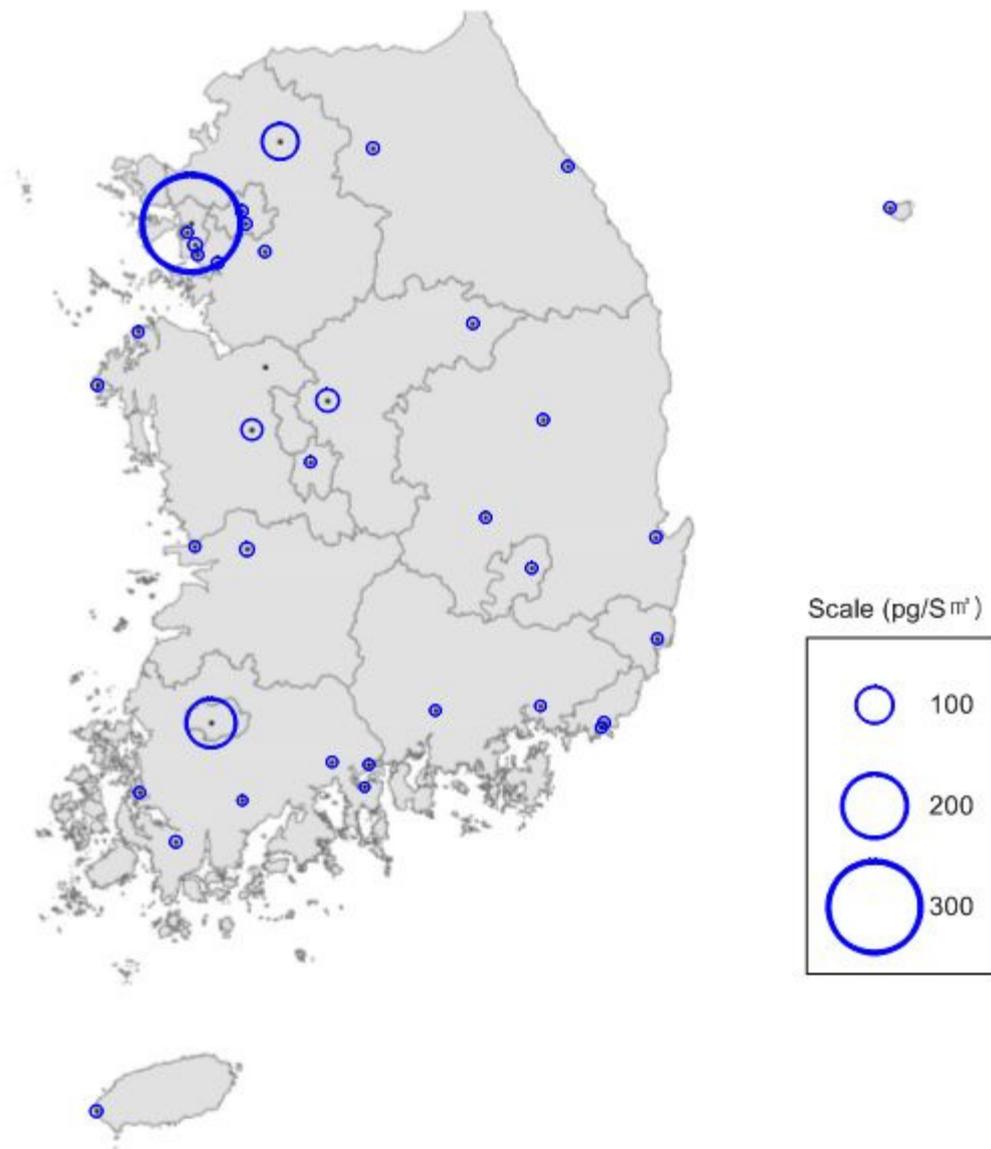


그림 IV-2-29. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH 농도의 공간분포 ('17)

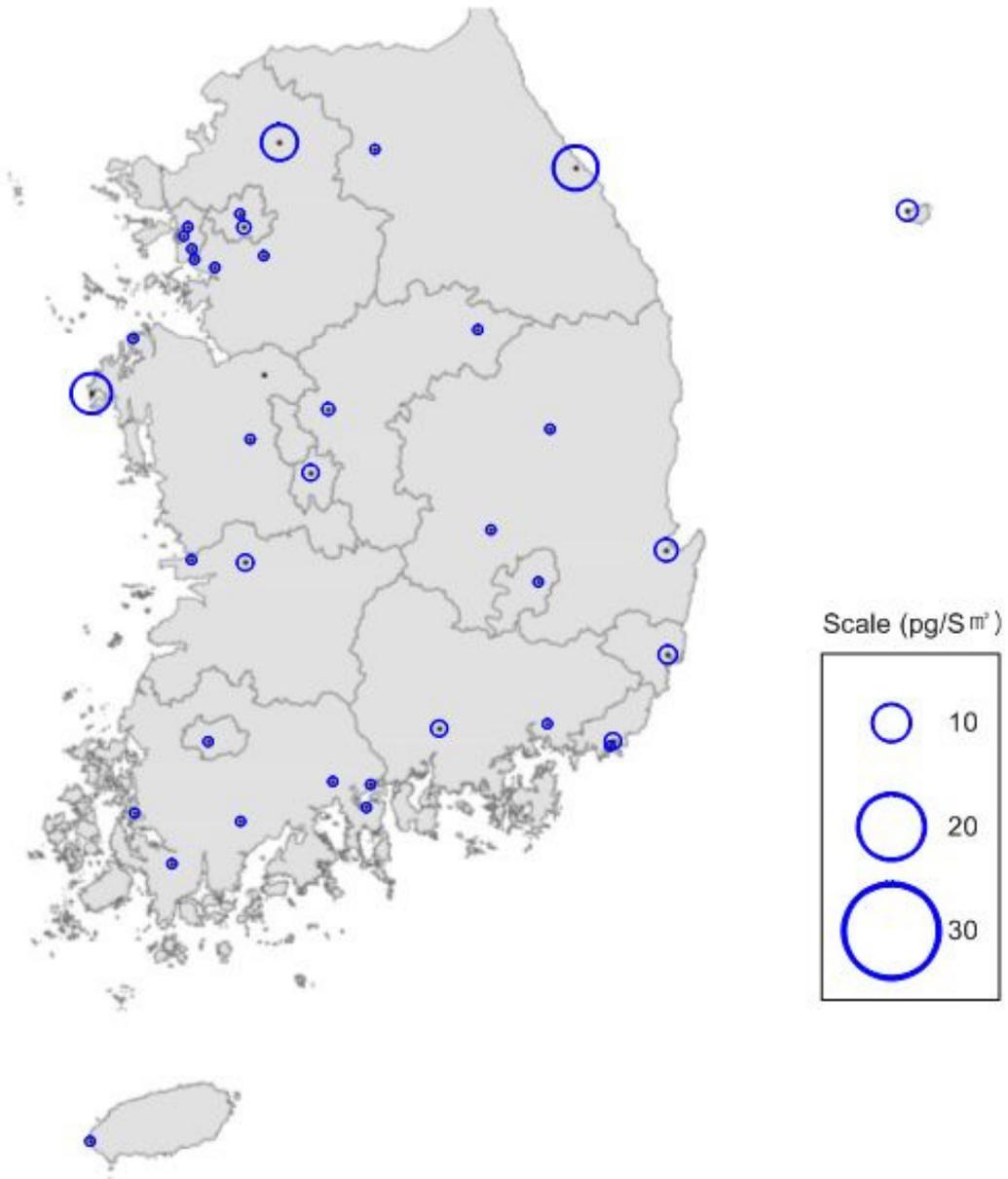


그림 IV-2-30. 환경대기 중  $\beta$ -HCH 농도의 공간분포 ('17)

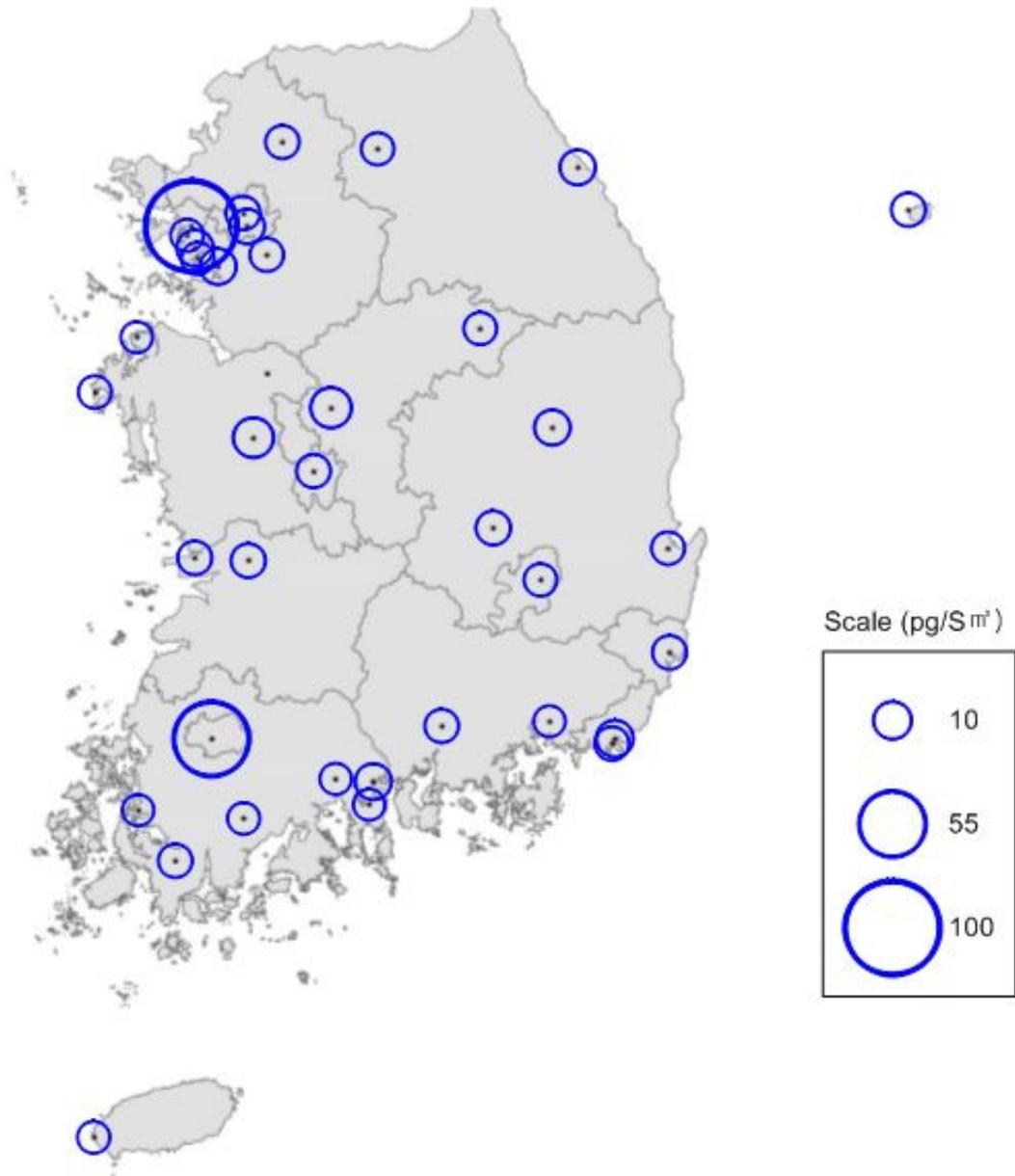


그림 IV-2-31. 환경대기 중 린단 농도의 공간분포 ('17)

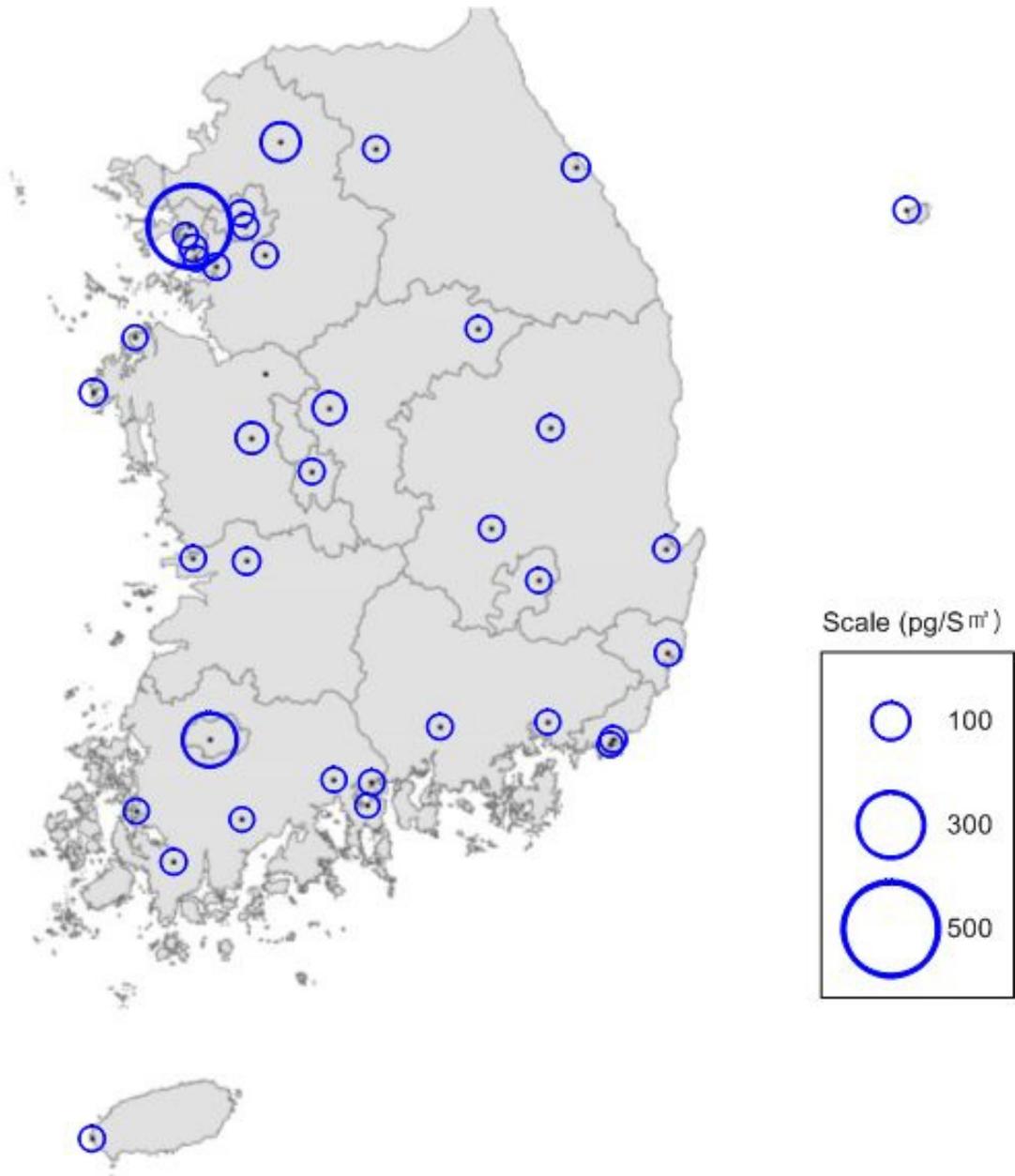


그림 IV-2-32. 환경대기 중  $\Sigma$ HCH( $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단의 합) 농도의 공간분포 ('17)

환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 농도분포를 살펴보면, 알파헥사클로로사이클로헥산은 5~20 pg/Sm<sup>3</sup> 구간에, 베타헥사클로로사이클로헥산은 5 pg/Sm<sup>3</sup> 이하 구간에 그리고 린단은 2~20 pg/Sm<sup>3</sup> 구간에 분포하는 것으로 나타났다.

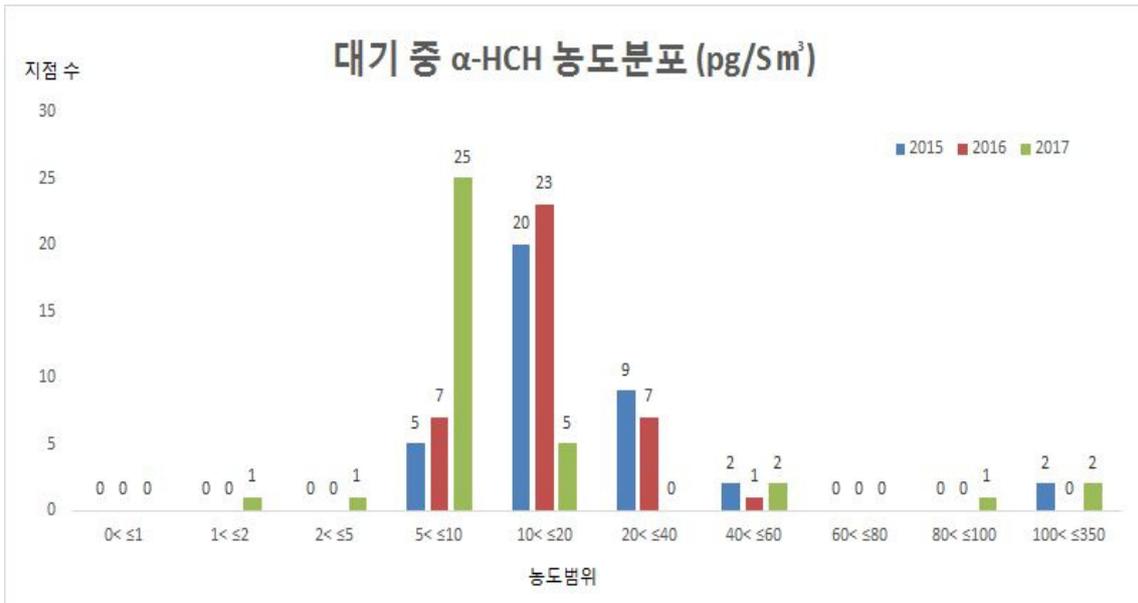


그림 IV-2-33. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 농도분포 ('15~'17)

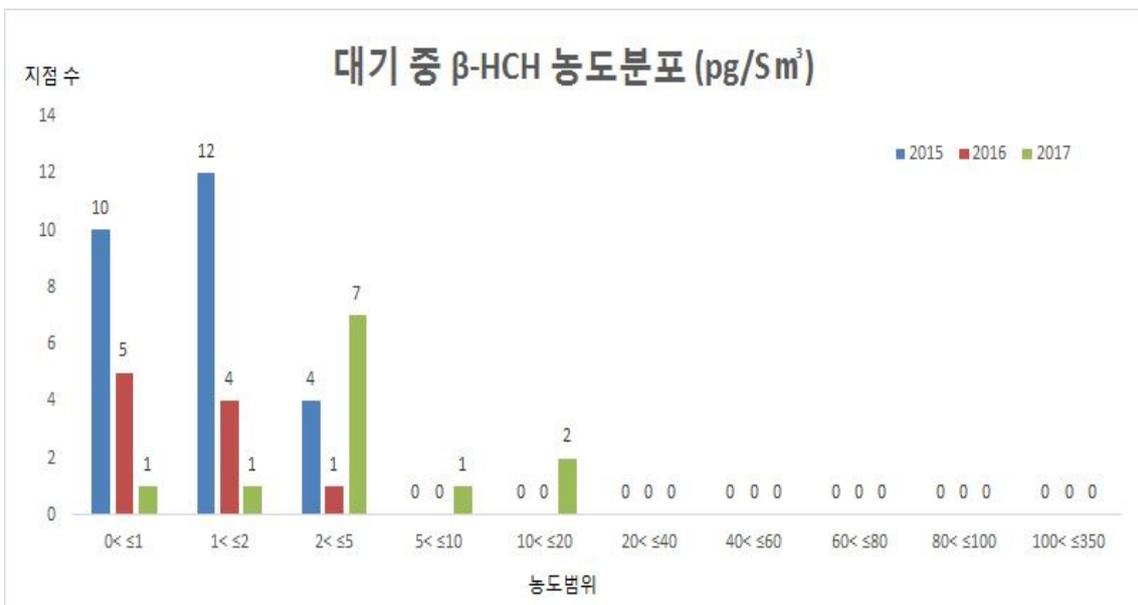


그림 IV-2-34. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 농도분포 ('15~'17)

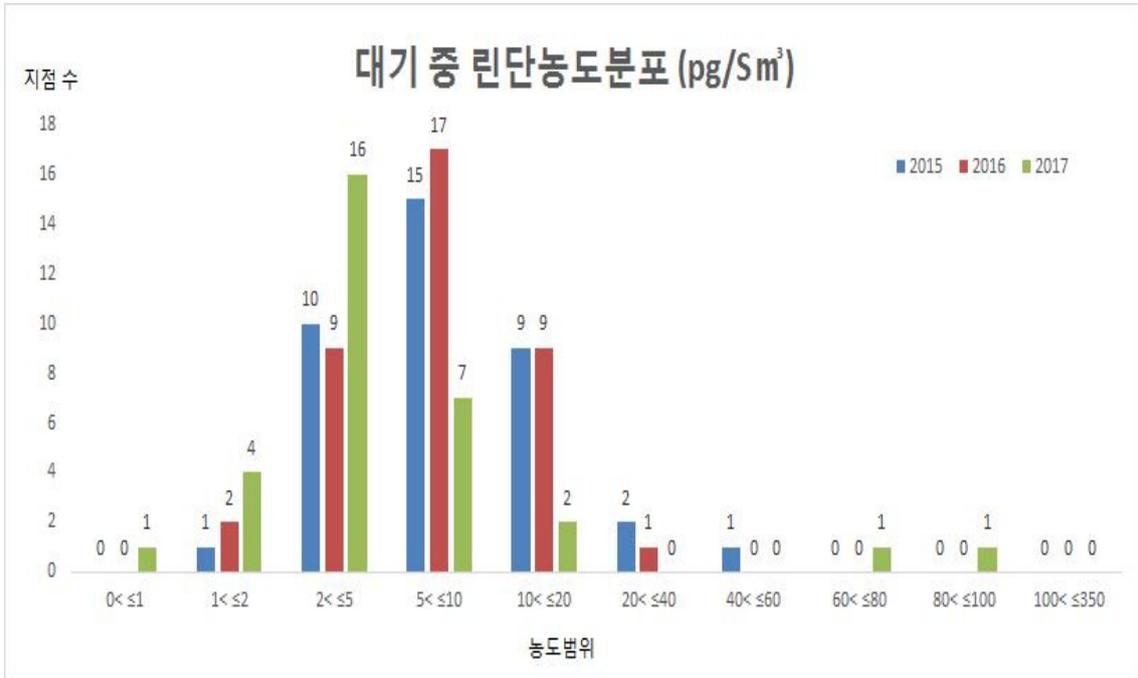


그림 IV-2-35. 환경대기 중 린단의 농도분포 ('15~'17)

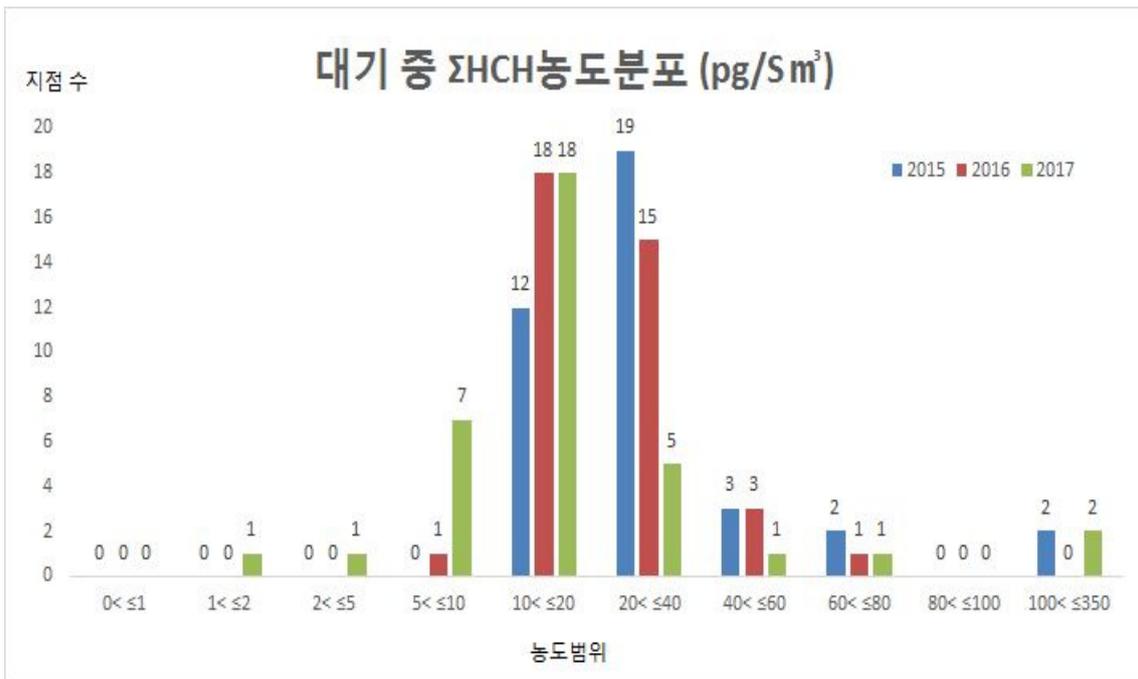


그림 IV-2-36. 환경대기 중 ΣHCH(α-HCH, β-HCH, 린단의 합)의 농도분포 ('15~'17)

### 라) 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 용도지역별 농도분포

전국에 분포되어있는 대기 측정지점을 공업, 상업, 주거, 녹지지역으로 구분하고, 기타 배경지역과의 비교를 위하여 용도지역별로 통계분석을 수행하였다. 임의의 다른 표본에 대해 분산이 동일한지를 검정하는 Levene Test를 실시한 결과,  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단 그리고  $\Sigma$ HCH의 F값은 각각 2.771, 0.858, 1.380 그리고 2.281이었으며, 유의확률은 각각 0.044, 0.499, 0.263, 0.082 ( $p>0.05$ )로 모두 동질성이 있는 것으로 파악되어 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용하여 통계분석을 수행한 결과, 유의확률(p값)이 각각 0.384, 0.408, 0.632, 0.451 ( $p>0.05$ )로 95 % 신뢰수준에서 통계적으로 차이가 없는 것으로 확인되었다.

표 IV-2-22. 환경대기 시료 중 헥사클로로사이클로헥산의 용도지역별 연평균 농도분포  
(단위:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

구분		2015	2016	2017
$\alpha$ -HCH	공업	15.459	16.095	8.471
	상업	21.518	17.264	18.674
	주거	43.101	15.145	55.765
	녹지	18.979	18.771	8.546
	배경	11.115	11.410	8.979
$\beta$ -HCH	공업	0.767	0.173	1.009
	상업	1.181	0.228	1.218
	주거	0.725	0.491	1.401
	녹지	1.304	0.656	1.173
	배경	0.431	0.570	4.926
린단	공업	4.534	6.517	2.722
	상업	9.651	8.388	9.701
	주거	15.726	9.390	14.729
	녹지	7.073	8.114	2.667
	배경	3.029	4.517	2.461
$\Sigma$ HCH	공업	20.759	22.784	12.201
	상업	32.350	25.879	29.593
	주거	59.552	25.027	71.896
	녹지	27.355	27.541	12.385
	배경	14.576	16.497	16.366

\*  $\Sigma$ HCH:  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ -HCH, 린단( $\gamma$ -HCH)의 합

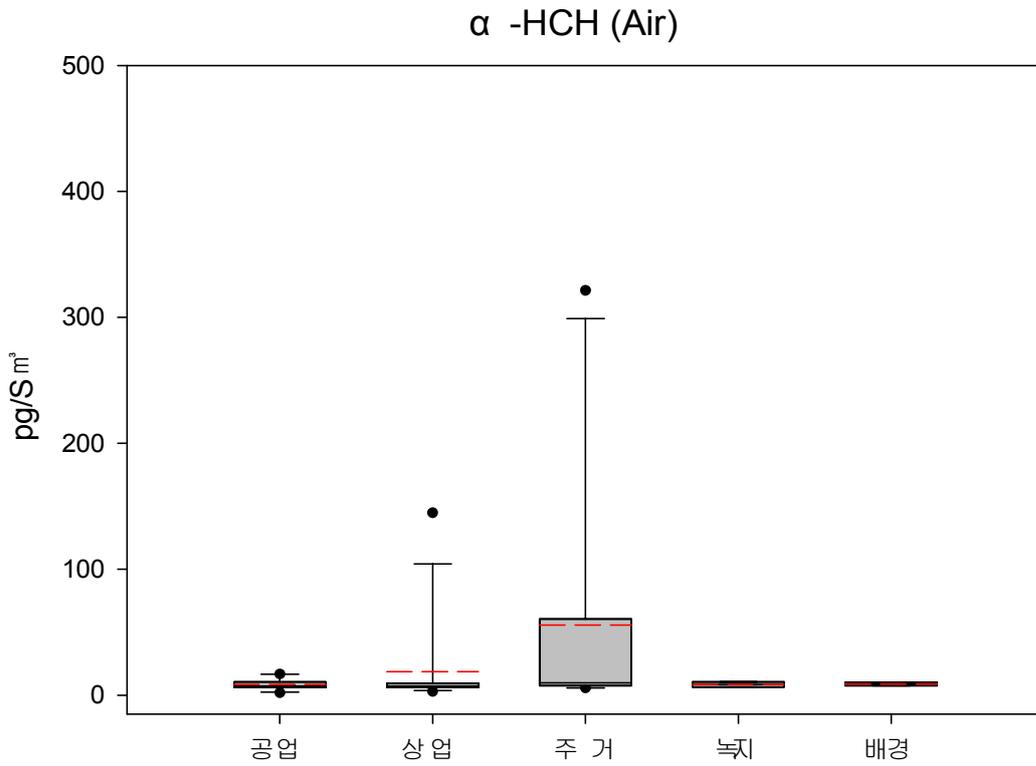


그림 IV-2-37. 환경대기 중  $\alpha$ -HCH의 용도지역별 농도분포 ('17)

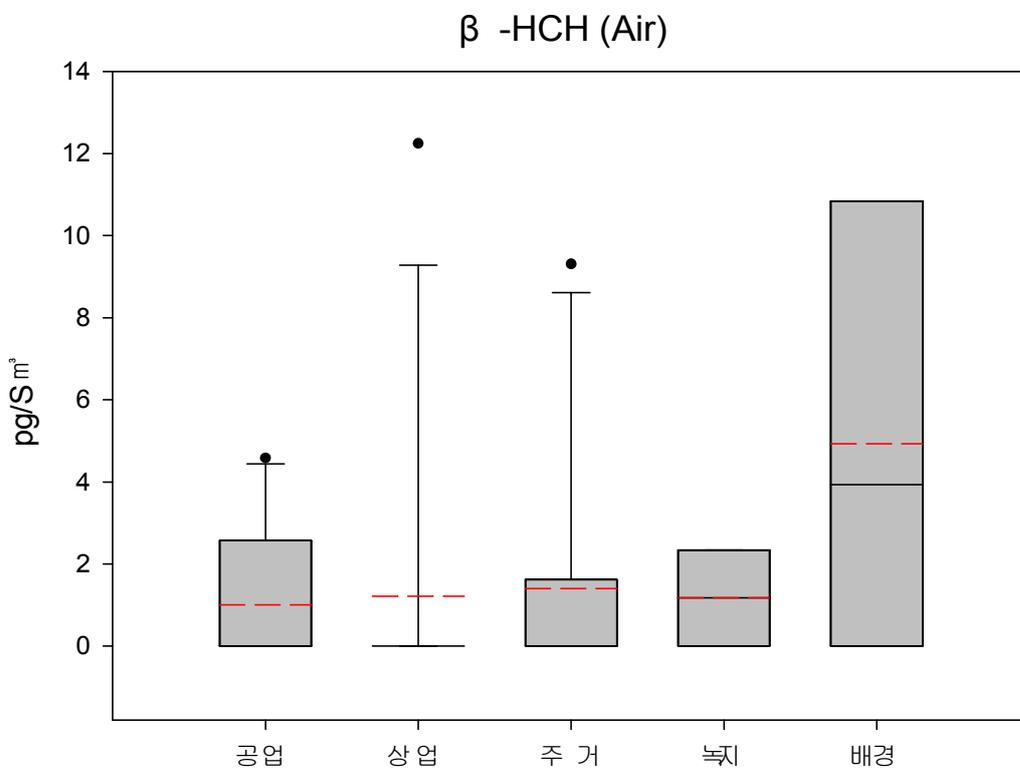


그림 IV-2-38. 환경대기 중  $\beta$ -HCH의 용도지역별 농도분포 ('17)

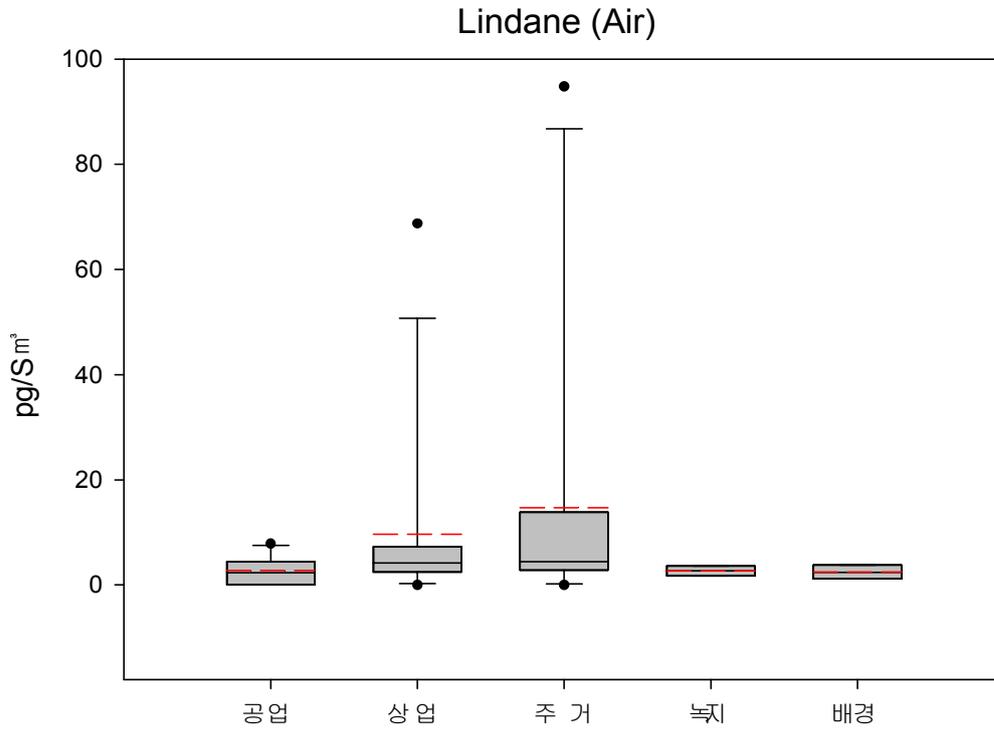


그림 IV-2-39. 환경대기 중 린단의 용도지역별 농도분포 ('17)

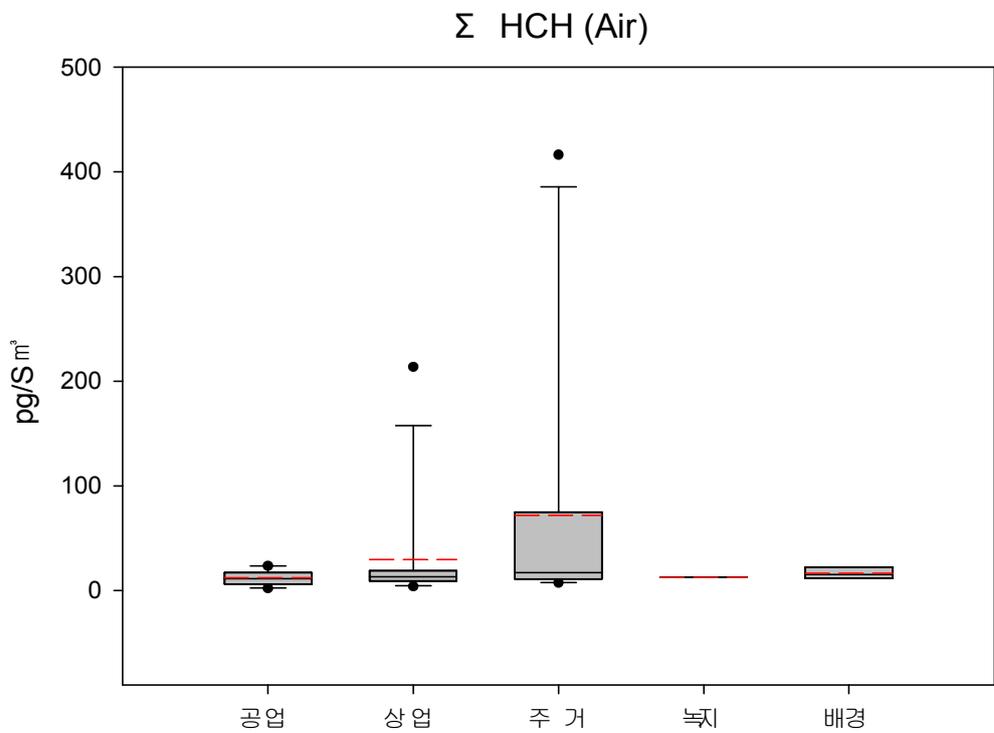


그림 IV-2-40. 환경대기 중 린단의 용도지역별 농도분포 ('17)

### 마) 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 국가별 농도수준 비교

표 IV-2-23은 우리나라 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 농도 수준을 파악하기 위하여 국가별 농도수준을 비교한 표이다. 최근 3년간('15~'17) 국내 측정망에서 조사한 ΣHCH의 연평균 농도는 22.474~34.487 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 일본 전역에서 조사한 14~44 pg/m<sup>3</sup> 평균농도와 비슷한 수준인 것으로 조사되었으며, 홍콩과 중국 각각의 농도 수준인 97~103 pg/Sm<sup>3</sup>과 369~666 pg/Sm<sup>3</sup>에 비해서는 낮은 수준이다. 그 외 미국, 독일, 프랑스 등에 비해서도 다소 낮은 수준인 것으로 조사되었다.

표 IV-2-23. 환경대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 국가별 농도수준 비교

국 가 명	ΣHCH (pg/m <sup>3</sup> )	지역	참고문헌
일 본	10.56~385 (44.3)	전국	일본 환경성, 2016
	1.714~100.724 (14.049)	전국	일본 환경성, 2015
	15-56	Background	Takazawa et al., 2016
인도네시아	12.27	Background	GMP, Asia-Pacific, 2015
라 오 스	47.7		
말레이시아	80.3		
몽 골	24.87		
필 리 핀	46.95		
미 국	142.00*	Agriculture	Jantunen et al., 2000
독 일	95.00-520.00*	Background	P. Popp et al., 2000
프 랑 스	1820.00*	Rural	Sanusi et al., 2000
영 국	478.00*	Rural	Harrad and Mao, 2004
터 키	265.8	Agriculture	S.Siddik, Cindoruk, 2010
	309.80	Rural	
	68.00-1759.00	Mountain	
홍 콩	23.00~691* (103.00)	Suburban	Jun Li et al., 2007
	10.00-370.00* (97.00)	Rural	
	113.00-238.00	Background	
중 국	33.00-1902.00* (369.00)	Suburban	Jun Li et al., 2007
	46.00-2981.00* (666.00)	Rural	
그린란드	12.16-77.77*	Rural	R. Bossi et al., 2008
에베레스트	11.30-51.40	Background	J. Li et al., 2006

\* α-HCH, β-HCH의 합, 그 외 ΣHCH는 α-HCH, β-HCH, 린단(γ-HCH)의 합  
 \* ( ) 안의 값은 평균값임

## 2.1.4. 환경대기 중 엔도설판 농도

### 가) 개요

엔도설판(Endosulfan)은 1956년 독일에서 개발된 유기염소계 농약으로서 국내에서는 「지오릭스(Thiolix)」라는 상품명으로 판매되었으며, 기술적으로 합성된 엔도설판은 Endosulfan I (64~67%) 및 Endosulfan II (29~32%)으로 구성되어 있다. 주로 과일, 채소, 차, 옥수수, 담배, 배추, 토마토, 커피, 뽕나무 등의 식용 작물의 해충 제거용 살충제 및 목재 보존제로 사용되었다. 엔도설판은 다른 잔류성유기오염물질과 마찬가지로 잔류성이 강하고 장거리 이동을 하며, 먹이사슬을 통해 인체에 축적된다.

2011년 제5차 스톡홀름협약 당사국총회에서 부속서 A(근절)에 등재된 물질이고, 우리나라는 2004년에 엔도설판을 농약관리법 대상 물질에 포함하여 식용작물에 대해 사용하는 것을 전면 금지하였으며, 2011년 농약관리법 개정을 통하여 제조, 수입 및 사용을 전면 금지하였다. 2014년 12월에 개정된 잔류성유기오염물질관리법 및 화학물질관리법에 의해서도 관리되고 있다.

농약류인 엔도설판은 일반적으로 기온이 높으면 지표 환경매체에서 대기 중으로 휘발되고, 기온이 낮거나 강우 시에는 대기에서 지표로 침적되기 때문에 계절이나 기상조건에 따른 매체별 농도 변화에 관한 연구 수행 사례도 보고되고 있다(최민규 등, 2002 ; 정예표 등, 2001).

### 나) 대기 중 연간, 계절별 농도

2017년 기준 환경대기 중 엔도설판의 연평균 농도는  $29.443 \text{ pg/Sm}^3$  (검출횟수 37)로 조사되었다. 계절별 검출현황을 보면, 봄철이  $33.850 \text{ pg/Sm}^3$  수준이고, 가을철이  $25.036 \text{ pg/Sm}^3$  수준으로 조사되었다.

최근 3년간('15~'17) 환경대기 중 엔도설판의 연평균 농도를 살펴보면, 2015년부터 2배 이상 지속적으로 감소( $128.604 \text{ pg/Sm}^3$  ('15) →  $66.401 \text{ pg/Sm}^3$  ('16) →  $29.345 \text{ pg/Sm}^3$  ('17))하고 있는 추세를 보이고 있다.

표 IV-2-24. 환경대기 중 엔도설판의 농도

구분		엔도설판 (pg/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	38	38	38	38	-
	최소	44.445	2.886	50.142	44.132	-
	최대	283.455	38.049	299.779	537.346	-
	중앙값	<b>110.764</b>	<b>16.581</b>	<b>95.937</b>	<b>194.114</b>	-
	평균	<b>128.604</b>	<b>16.870</b>	<b>128.846</b>	<b>240.096</b>	-
	표준편차	62.537	7.081	65.312	136.573	-
2016 (38지점)	검출수	38	38	-	38	38
	최소	9.948	1.185	-	10.148	8.507
	최대	186.355	22.716	-	505.109	131.818
	중앙값	<b>52.943</b>	<b>6.631</b>	-	<b>115.018</b>	<b>27.652</b>
	평균	<b>66.401</b>	<b>7.880</b>	-	<b>149.316</b>	<b>42.007</b>
	표준편차	46.887	4.966	-	130.799	34.000
2017 (37지점)	검출수	37	-	37	-	37
	최소	8.224	-	7.429	-	3.765
	최대	60.492	-	113.543	-	89.512
	중앙값	<b>30.613</b>	-	<b>29.602</b>	-	<b>20.305</b>
	평균	<b>29.443</b>	-	<b>33.850</b>	-	<b>25.036</b>
	표준편차	15.206	-	19.825	-	19.750

\* N.D.: 방법검출한계 미만

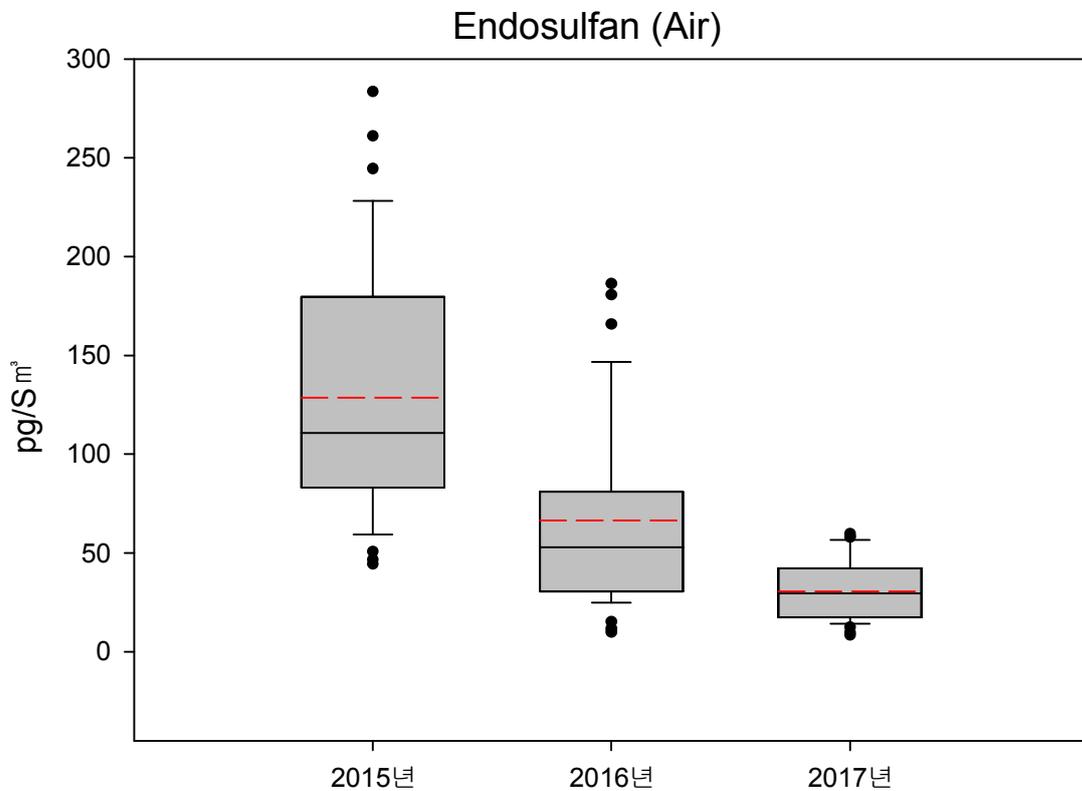


그림 IV-2-41. 환경대기 중 엔도설판의 농도분포 ('15~'17)

## 다) 환경대기 중 지역별 농도

전국에 분포되어있는 38개 대기 측정지점을 전국 16개 시·도별로 분류하여 그 농도분포를 비교하였다. 지역별로 2015년부터 지속적으로 농도가 감소하는 추세를 보이고 있으나 제주 지역의 경우 2015년보다 오히려 농도가 증가한 것으로 조사되었다. 2017년도 전국 지역별 환경대기 중 엔도설판 농도순위를 보면, 제주 > 광주 > 대구 > 전남 순으로 높게 검출되었다.

표 IV-2-25. 시도별 환경대기 중 엔도설판의 연평균 농도분포

(단위: pg/Sm<sup>3</sup>)

시도 구분	엔도설판		
	2015	2016	2017
서울	90.567	52.943	17.842
부산	151.323	37.127	19.708
대구	60.415	144.707	52.642
울산	140.741	25.892	31.288
광주	147.048	63.905	56.397
대전	261.103	59.133	19.170
인천	79.793	24.247	15.425
경기	92.304	41.424	19.936
강원	97.524	28.998	30.681
충북	83.910	50.921	14.323
충남	139.704	74.015	18.797
경북	137.743	42.564	30.591
경남	241.461	98.037	32.797
전북	143.733	173.287	32.946
전남	149.630	102.446	47.779
제주	44.445	27.548	57.967

\* N.D.: 방법검출한계 미만

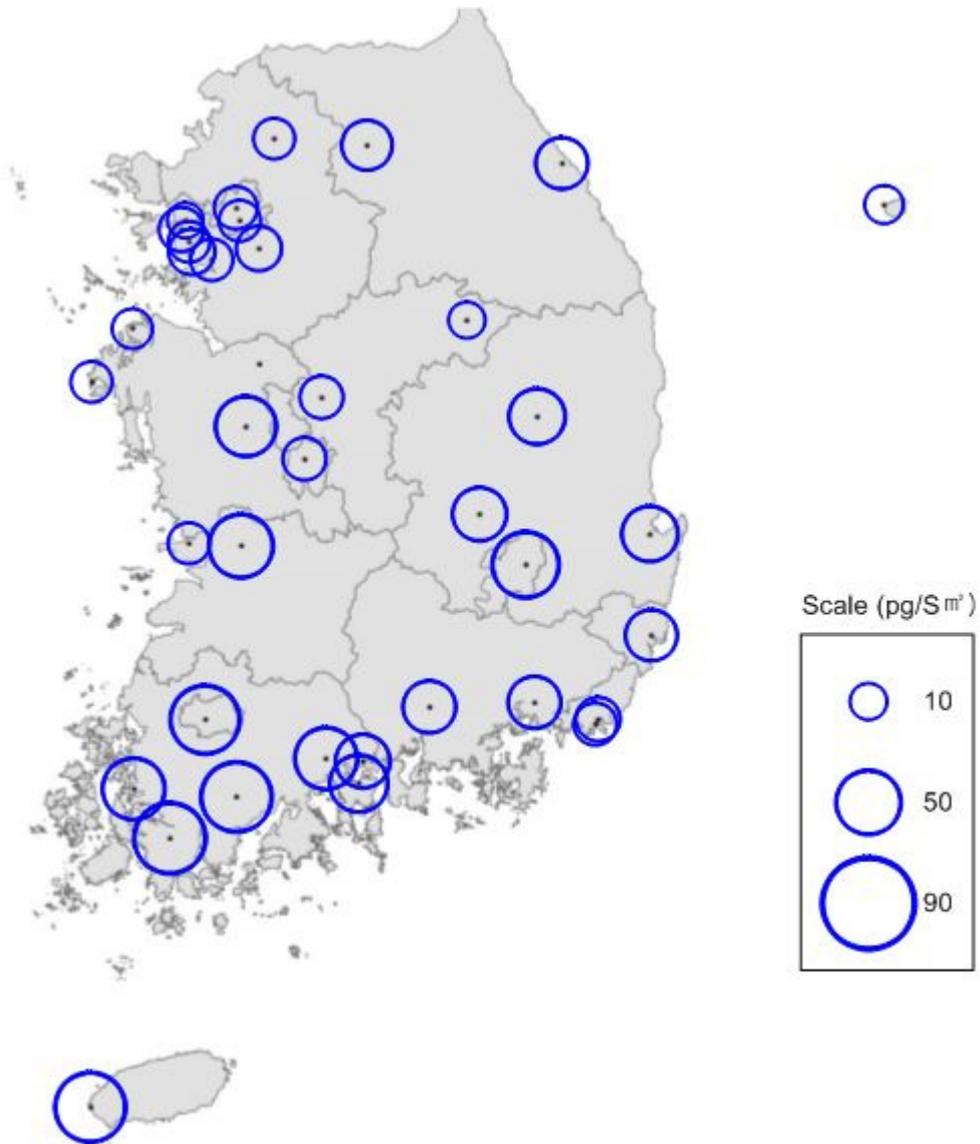


그림 IV-2-42. 환경대기 중 엔도셀판 농도의 공간분포 (‘17)

환경대기 중 엔도설판의 농도분포를 살펴보면, 그림 IV-2-43에서처럼 대부분 150 pg/Sm<sup>3</sup> 이하의 농도 구간에 분포하고 있으며, 2017년에 조사한 자료의 대부분은 50 pg/Sm<sup>3</sup> 이하의 농도 구간에 분포하는 것으로 조사되었다.

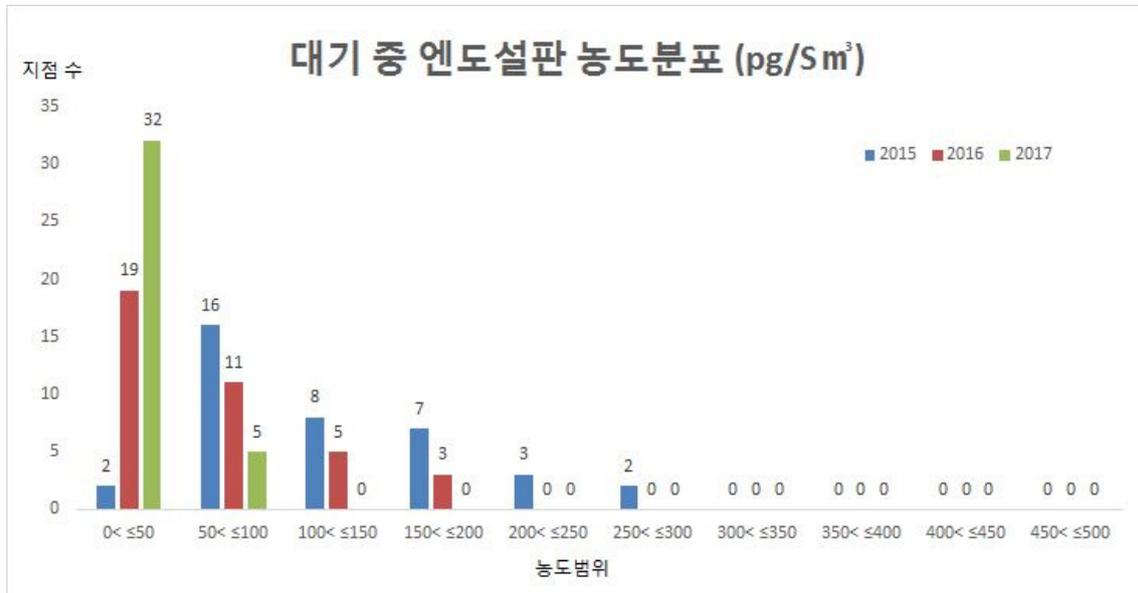


그림 IV-2-43. 대기 중 엔도설판의 농도분포 ('15~'17)

### 라) 환경대기 중 용도별 농도

전국에 분포되어있는 대기 측정지점을 공업, 상업, 주거, 녹지지역으로 구분하고, 기타 배경지역과의 비교를 위하여 용도지역별로 통계분석을 수행하였다. 임의의 다른 표본에 대해 분산이 동일한지를 검정하는 Levene Test를 실시한 결과, Levene 통계량은 1.610으로 1.96을 넘지 않았고, 유의확률이 0.196으로 동질성이 있는 것으로 확인되어 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용하여 통계분석을 수행하였다. 그 결과 유의확률(p값)이 0.765 (p>0.05)로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도지역에 따른 평균농도 차이가 없는 것으로 확인되었다.

표 IV-2-26. 환경대기 시료 중 엔도설판의 용도지역별 연평균 농도분포

(단위: pg/Sm<sup>3</sup>)

구분		2015	2016	2017
엔도설판	공업	122.370	64.006	29.000
	상업	132.926	72.244	35.202
	주거	122.899	71.437	27.662
	녹지	172.164	43.335	24.319
	배경	124.152	50.403	28.878

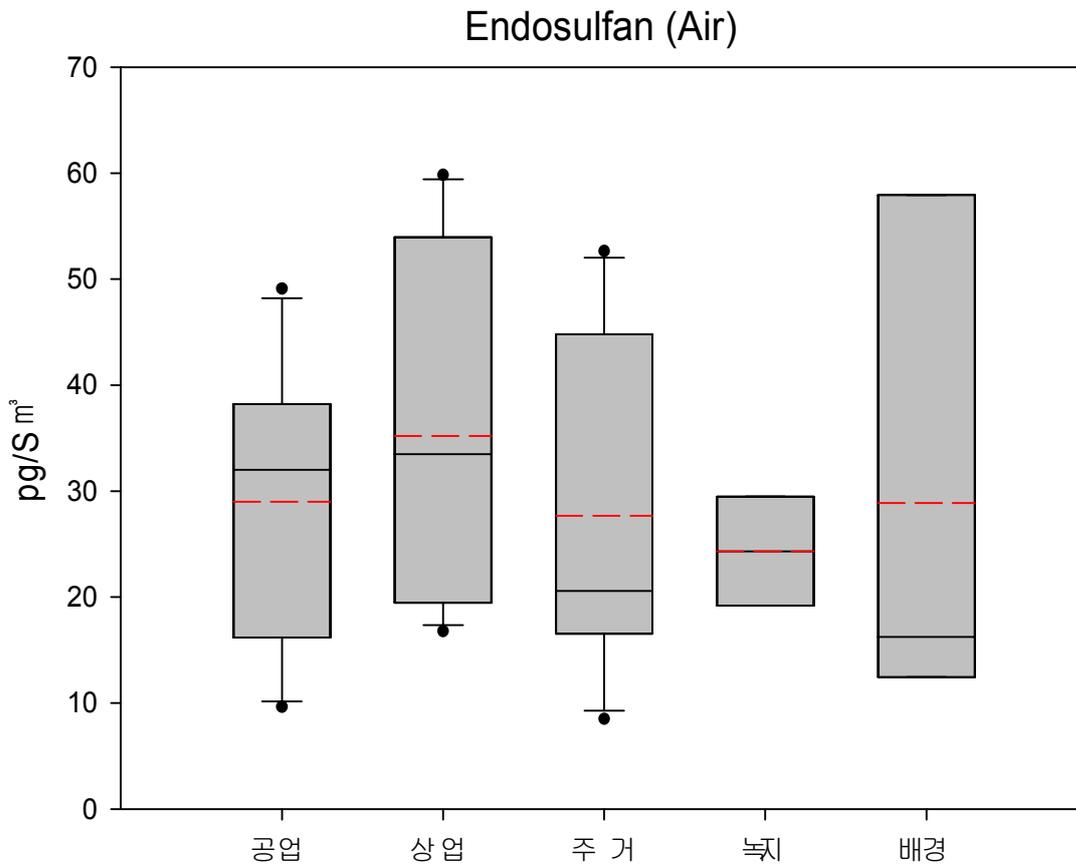


그림 IV-2-44. 환경대기 중 엔도설판의 용도지역별 농도분포 ('15~'17)

### 마) 환경대기 중 엔도설판의 국가별 농도수준비교

표 IV-2-27은 우리나라 환경대기 중 엔도설판의 농도 수준을 파악하기 위하여 국가별 농도 수준을 비교한 표이다. 최근 3년간('15~'17) 국내 측정망에서 조사한 엔도설판의 연평균 농도 범위는 29.581~128.604 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 2014년~2015년에 일본 전역에서 조사한 연평균 농도 11~22 pg/m<sup>3</sup>에 비해 다소 높은 수준으로 조사되었다.

다양한 지점에서 조사한 자료이기는 하지만 미국, 인도, 터키 등 다른 국가에서 조사한 자료(미국 17~181.6pg/m<sup>3</sup>, 인도 59.75~139.3 pg/m<sup>3</sup>, 터키 112.1~980 pg/m<sup>3</sup>)의 경우 국내 측정망에서 조사한 엔도설판 농도 수준과 비슷하거나 더 낮은 농도인 것으로 나타났다.

표 IV-2-27. 환경대기 중 엔도설판의 국가별 농도수준 비교

국가명	Endosulfan- α (pg/m <sup>3</sup> )	Endosulfan- β (pg/m <sup>3</sup> )	Endosulfan sulfate (pg/m <sup>3</sup> )	ΣEndosulfan (pg/m <sup>3</sup> )	기간	지역	참고문헌
일본	-	-	-	1.9~180 (11)	2015	전국	일본 환경성, 2016
	-	-	-	2.9~95 (22)	2014	전국	일본 환경성, 2015
피지	<LOQ	0.2	<LOQ	0.2	2013	Background	GMP, Asia-Pacific, 2015
인도	29.25	24.5	6	59.75	2009	Imphal	Devi et al., 2011
	84.8	45.5	9	139.3		Thoubal	
	81.8	37.8	15.3	134.9		Waitout	
터키	380	90	510	980	2006 -2007	Konya	Ozcan et al., 2009
	92.7	16.2	3.2	112.1	2005	Horozgedigi	Odabasi et al., 2012
미국	104	6	1.7	111.7	2000 -2001	Camden	Gioia et al., 2005
	13.98	3.5	0.81	18.29		Jersey City	
	32.84	2.3	1	36.14		Delaware Bay	
	15	2	-	17		Sandy Hook	
	59.89	12.2	1.4	73.49		Pinelands	
	168.5	12.1	1	181.6		New Brunswick	

\* ( ) 안의 값은 평균값임

\* LOQ : 정량한계미만 (Less than the limit of quantification)

## 2.2. 토양 중 유기염소계농약류 농도

### 2.2.1. 토양 중 엔도설판 농도

#### 가) 토양 중 엔도설판 연간농도

잔류성유기오염물질 측정망 中 토양 시료는 전국 61개 지점으로 연 1회 측정하였다. 유기염소계농약류 중 가장 최근에 스톡홀름협약에 등재된 엔도설판 외 알드린, 디엘드린, 디디티, 클로르데인, 헵타클로르, 알파HCH, 베타HCH, 린단 등 8종의 유기염소계농약류는 『잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획』 환경부 고시 제2016-247호(2016.12.29.)에 따라 3년 주기로 측정을 하여 2017년은 조사대상에서 제외되었다.

토양 중 엔도설판에 대한 측정지점별 검출횟수, 최소값, 최대값, 평균 및 표준편차 등 간단한 기술통계량은 표 IV-2-28에 요약 정리하였다.

2017년 기준 토양 중 엔도설판의 중앙값은 0.260 ng/g, 평균은 2.072 ng/g 수준으로 조사되었다. 그간 연도별 검출빈도를 살펴보면, '15년 45지점, '16년 54지점 그리고 '17년 46지점에서 검출되었다.

표 IV-2-28 토양 중 엔도설판의 농도

구 분		'15년	'16년	'17년
엔도설판 (ng/g)	지 점 수	61	61	61
	검 출 수	45	54	46
	최 소	N.D.	N.D.	0.033
	최 대	12.710	7.681	66.121
	중 앙 값	<b>0.348</b>	<b>0.243</b>	<b>0.260</b>
	평 균	<b>0.743</b>	<b>0.567</b>	<b>2.072</b>
	표준편차	2.152	1.412	10.467

\* N.D.: 방법검출한계 (0.02 ng/g) 미만

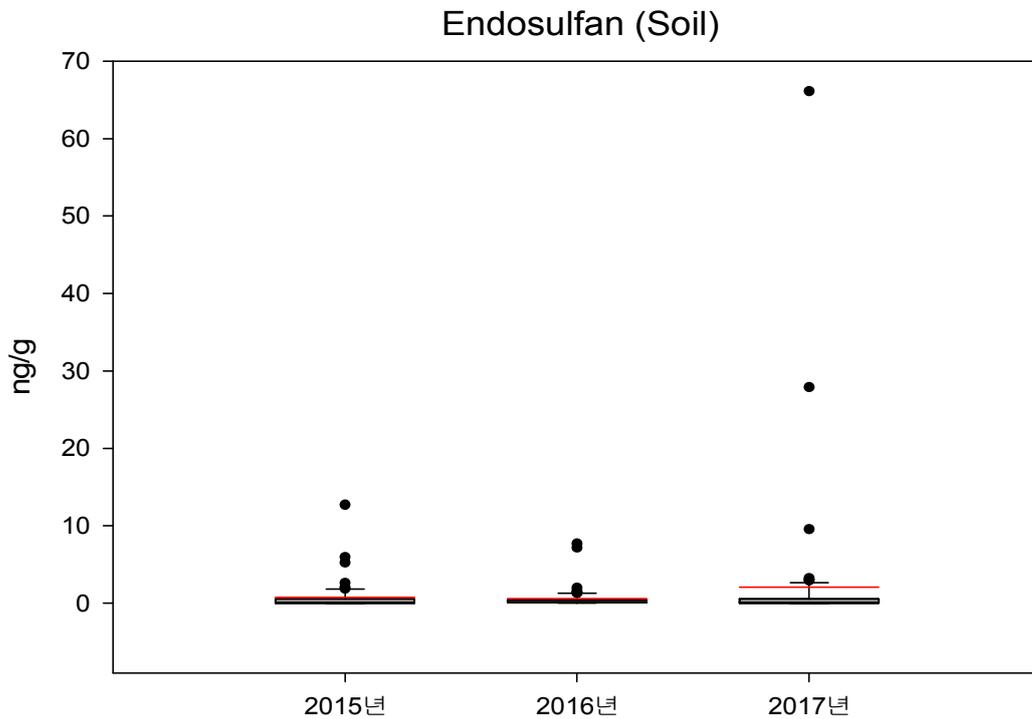


그림 IV-2-45. 토양 중 엔도설판의 연도별 농도분포 ('15~'17)

#### 나) 토양 중 엔도설판 지역별 농도

전국에 분포되어있는 61개 대기 측정지점을 전국 16개 시·도별로 분류하여 그 농도분포를 비교하였다. 최근 3년간 토양 중 엔도설판 농도는 2015년과 2016년에 비해 2017년에 충남, 경남 지역이 훨씬 높게 조사되었다.

특히, 2017년 조사결과에 의하면, 서천 마서면(충남)지점에서 엔도설판의 농도가 매우 높게 검출되었는데, 이는 2016년에 측정지점을 이전하는 과정에서 발생한 이상치로 판단되며, 단순비교는 어려울 것으로 판단된다.

향후 이러한 이상치에 대한 처리문제는 추가적인 협의가 필요할 것으로 판단된다. 이상치를 제외한 토양 중 엔도설판의 농도는 대체로 0.06 ng/g 이하의 농도 구간에 분포하는 것으로 파악되었다.

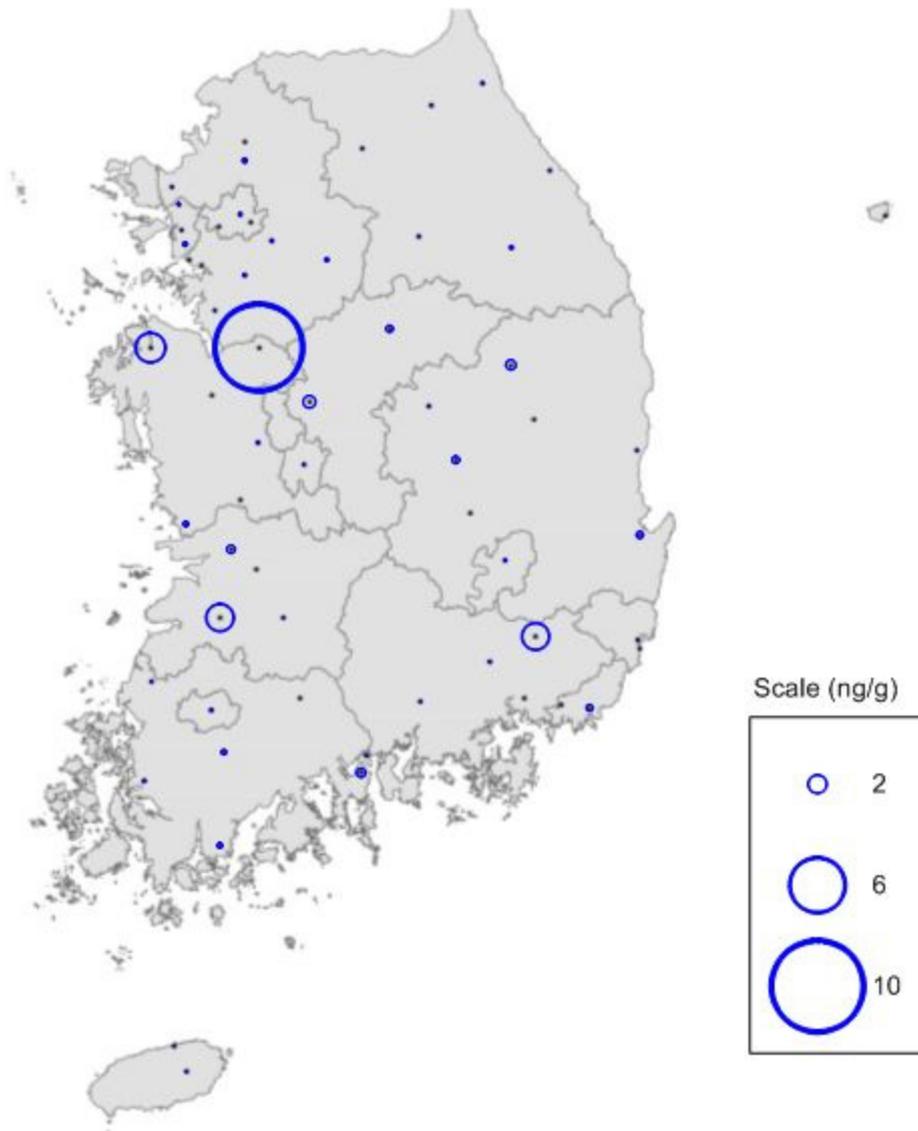


그림 IV-2-46. 토양 중 엔도셀판 농도의 공간분포 (17)

표 IV-2-29. 시도별 토양 중 엔도설판의 연평균 농도분포

(단위: ng/g)

시도 구분	엔도설판		
	2015	2016	2017
서울	0.173	0.297	0.090
부산	2.978	0.780	0.361
대구	N.D.	N.D.	0.197
울산	0.517	0.337	0.026
광주	0.540	0.207	0.259
대전	N.D.	0.127	0.080
인천	0.101	0.060	0.237
경기	0.252	0.191	0.168
강원	0.031	0.053	0.136
충북	0.050	0.584	1.061
충남	1.217	1.545	13.195
경북	2.087	1.387	0.359
경남	1.221	0.207	7.748
전북	0.271	0.710	0.994
전남	0.463	0.344	0.360
제주	0.613	0.644	0.079

\* N.D.: 방법검출한계 미만

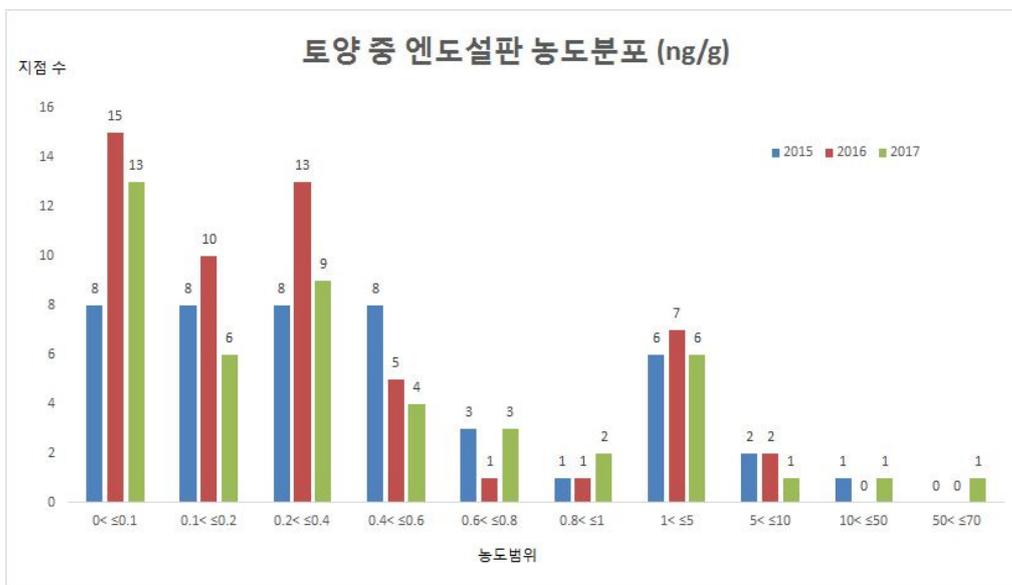


그림 IV-2-47. 토양 중 엔도설판의 농도분포 ('15~'17)

### 다) 토지 용도별 엔도설판 농도비교

전국에 분포되어있는 61개 토양 시료채취지점을 공원, 공장용지, 농지, 대지 등 토지 용도지역별로 분류하여 물질별 농도 수준을 요약정리하였다.

표본에 대한 분산의 동질성 검정결과, Leneve 통계량은 1.806, 유의확률은 0.090로 집단간일원배치분산분석을 실시할 수 있는 표본으로 보기는 어려워 비모수검정인 Kruskal-Wallis H 검정으로 용도별 차이를 확인하였다. 그 결과, 유의수준이 0.061 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도별로 차이가 없는 것으로 파악되었다.

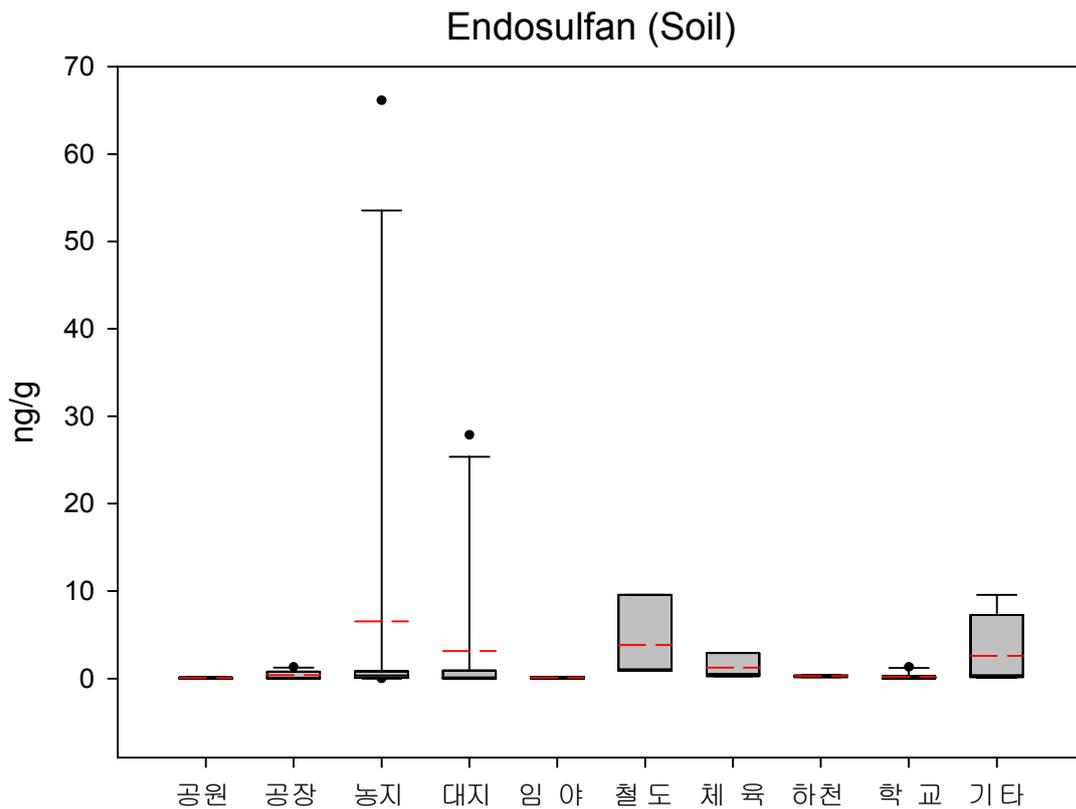


그림 IV-2-48. 토양 중 엔도설판의 용도지역별 농도분포 ('17)

## 라) 토양 중 엔도설판의 농도 수준 국내외 비교

최근 3년간('15~'17) 국내 측정망의 토양 시료에서 엔도설판의 연평균 농도는 0.543~0.743 ng/g 수준으로 검출되었다. 국가별 사례를 보면, 중국 샤오덴(Xiaodian)에서 1.507 ng/g, 캐나다 로키산(Rocky Mountain)에서 1.725 ng/g, 브라질 상파울로(Sao Paulo)에서 1.507 ng/g으로 검출되었으며, 특히 에티오피아 Arsi와 탄자니아에서는 각각 154.5 ng/g와 40~37,000 ng/g 수준의 상당히 높은 농도 수준으로 검출된 사례도 있다.

우리나라의 엔도설판의 농도는 전반적으로 다른 국가와 비슷하거나 낮은 수준으로 파악되었다. 국내 선행연구(Kim and Smith, 2001)에서는 국내 측정망에서 조사한 결과와 유사한 수준이었으며, 다만, 농약이 직접 살포된 농경지를 대상으로 조사한 선행연구(박, 2013)에서는 국내 측정망에서 조사된 것보다 높은 농도 수준을 나타내었다.

표 IV-2-30. 외국의 토양 중 엔도설판의 농도

국 가 명	엔도설판(ng/g)	기간	지역	참고문헌
브 라 질	0.64	2005	Sao Paulo	Rissato, 2006
캐 나 다	3.68	2003-2004	Rocky Mountain	Becker, 2011
중 국	1.38	2010	Xiaodian	Zhang, 2013
에티오피아	154.5	2003-2004	Arsi	Westbom, 2008
우 간 다	2.6	2009	Kihiihi	Ssebugere, 2010
탄자니아	40-37,000	2004-2005	Contaminated Sites	Mahugija, 2014
대한민국	0.15	1996	전라북도	Kim and Smith, 2001
	2~3,383	203~2006	전국(시설재배지 등)	Park, 2013

\* Endosulfan- $\alpha$ , Endosulfan- $\beta$ , Endosulfan sulfate의 합

## 2.3. 수계 중 유기염소계농약류 농도

### 2.3.1. 수계 중 엔도설판 농도

잔류성유기오염물질 측정망 中 수계별 측정대상 매체는 수질 및 퇴적물을 대상으로 수행하였으며, 하천/호소수, 퇴적물의 시료채취지점은 공통적으로 전국 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있으며, 시료는 연 1회 봄철에 수행하였다.

유기염소계농약류 중 가장 최근에 스톡홀름협약에 등재된 엔도설판의 알드린, 디엘드린, 디디티, 클로르데인, 헵타클로르, 알파HCH, 베타HCH, 린단 등 8종의 유기염소계농약류는 『잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획』에 따라 3년 주기로 측정을 하여 2017년은 조사대상에서 제외되었다.

#### 가) 하천/호소수 중 엔도설판 농도

표 IV-2-31에는 수계별 엔도설판 농도의 연평균 농도, 검출빈도 등을 요약정리하여 나타내었다. 2017년 기준 하천/호소수 中 엔도설판의 중앙값은 1.015 ng/L, 평균은 0.801 ng/L(검출횟수 20)으로 조사되었다.

표 IV-2-31. 수계별 하천/호소수 중 엔도설판의 연평균 농도분포  
(단위 : ng/L)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.983	1.668	0.773
낙동강	9	2.712	10.883	1.056
금 강	5	1.556	2.504	0.431
영산강	4	5.038	7.062	1.690
기 타	10	1.358	1.869	0.423
검출 수 (전체 36지점 中)		34	27	20
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		8.531	58.256	5.598
중 앙 값		<b>1.696</b>	<b>3.772</b>	<b>1.015</b>
평 균		<b>2.050</b>	<b>4.743</b>	<b>0.801</b>
표준편차		1.864	10.900	1.156

\* N.D.: 방법검출한계(0.5 ng/L) 미만

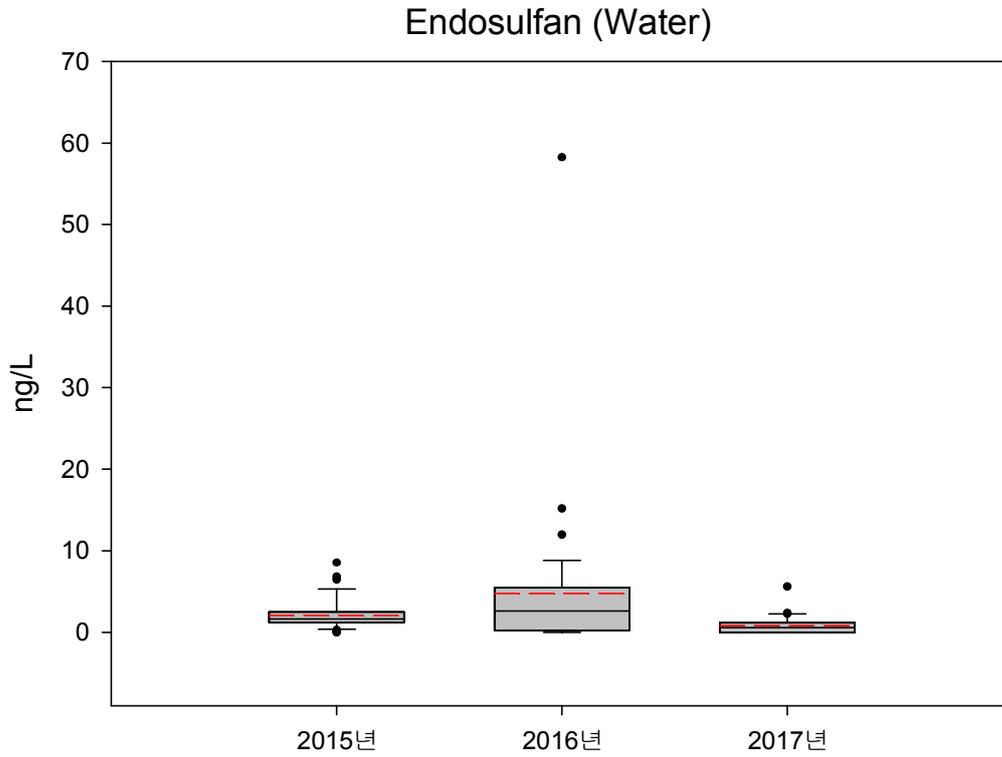


그림 IV-2-49. 하천/호소수 중 엔도설판의 연도별 농도분포 ('15~'17)

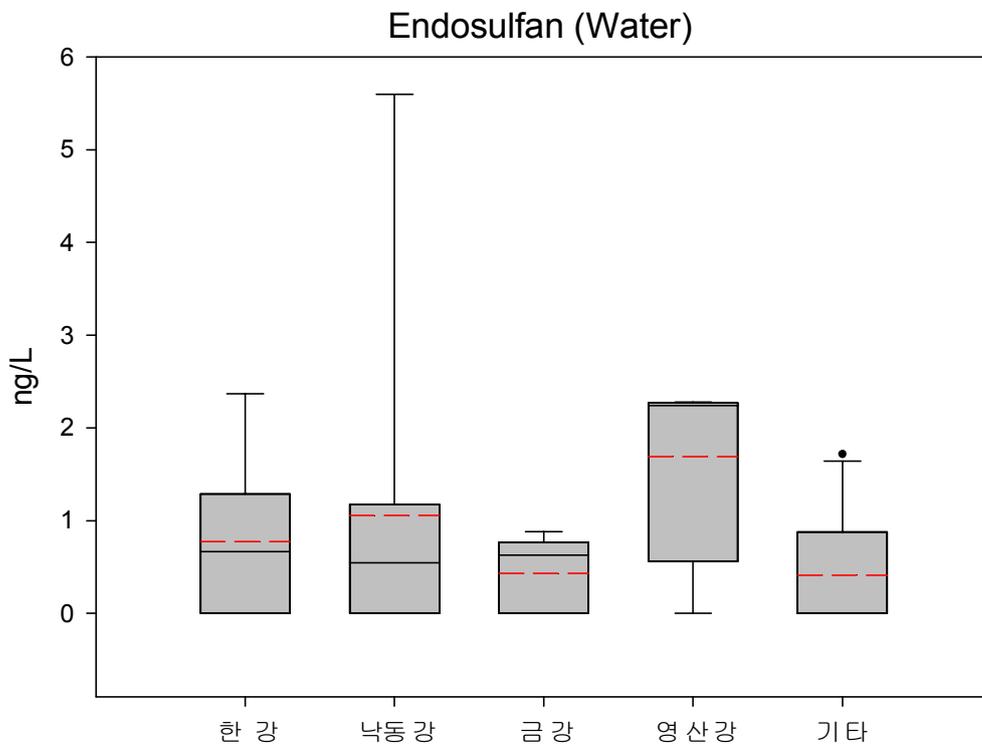


그림 IV-2-50. 하천/호소수 중 엔도설판의 수계별 농도분포 ('14~'16)

분석 결과 값을 표본으로 한 분산의 동질성 검정결과 Levene 통계량은 1.005, 유의확률은 0.420로 동질성이 있으므로( $p > 0.05$ ), 집단 간 일원배치 분산분석을 실시할 수 있는 표본으로 확인할 수 있다. 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용해 통계분석을 실시한 결과 유의확률(p값)이 0.324 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 수계별 차이는 없는 것으로 확인되었다.

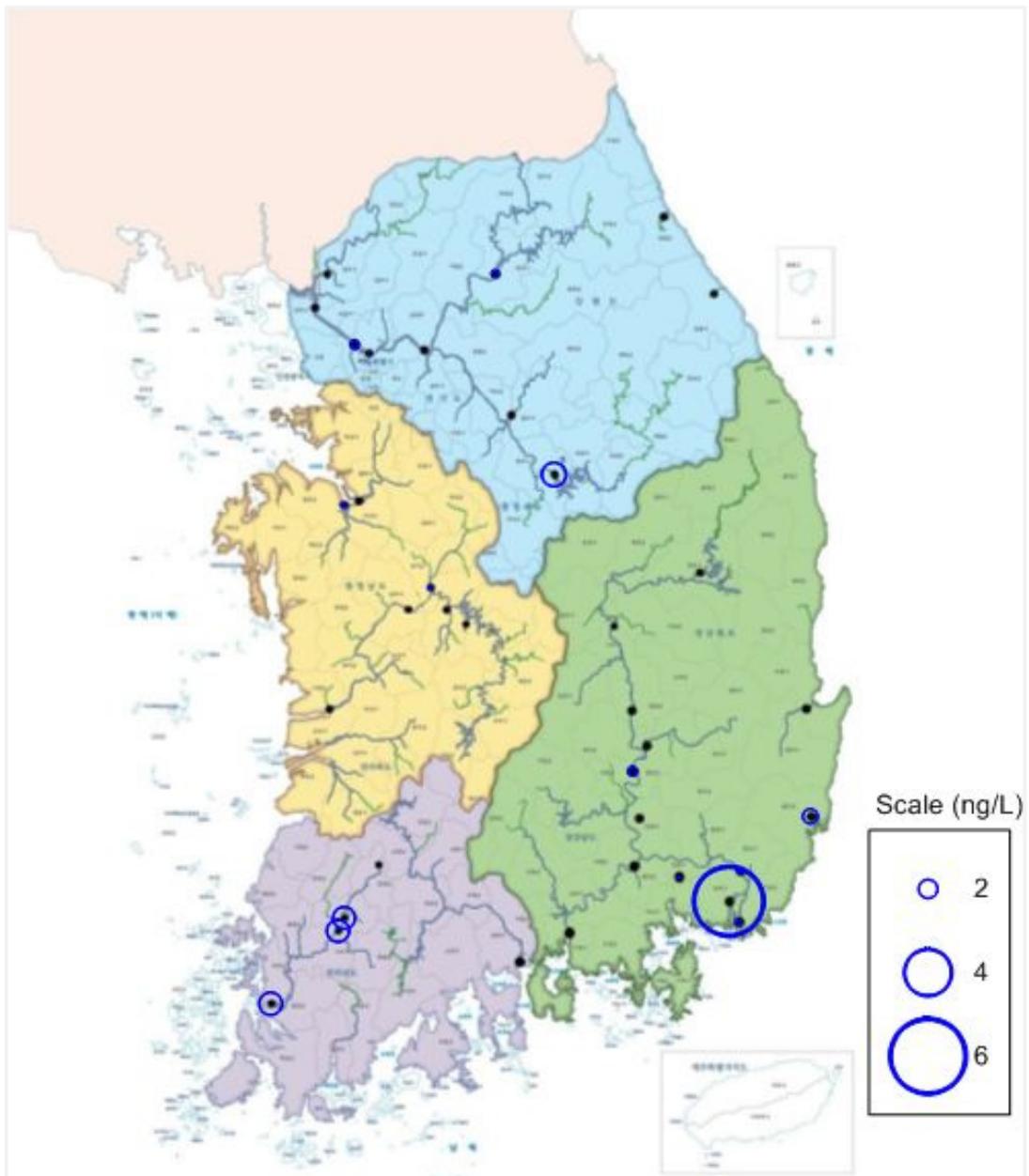


그림 IV-2-51. 하천/호소수 중 엔도선펜의 공간분포 ('17)

## 나) 퇴적물 중 엔도설판 농도

잔류성유기오염물질 측정망에서 퇴적물 시료채취지점은 수질시료와 동일하게 총 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강 및 영산강 수계 각각 5개와 4개 지점 그리고 기타 수계 10개 지점으로 되어있다. 이들 지점에 대한 엔도설판의 수계별 연평균 농도를 표 IV-2-32에 나타냈다.

‘17년 퇴적물 중 엔도설판의 농도는 중앙값 0.242, 연평균 0.361 ng/g으로 조사되었다.

표 IV-2-32. 퇴적물 중 엔도설판의 수계별 평균농도분포

(단위 : ng/g)

수 계	지점 수	‘15년	‘16년	‘17년
한 강	8	0.175	0.742	0.134
낙동강	9	0.150	0.766	0.268
금 강	5	0.093	0.248	0.043
영산강	4	0.109	0.218	0.378
기 타	10	0.049	0.274	0.785
검출 수 (전체 36지점 中)		17	35	23
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		0.999	5.087	5.577
<b>중 앙 값</b>		<b>0.141</b>	<b>0.142</b>	<b>0.242</b>
<b>평 균</b>		<b>0.112</b>	<b>0.489</b>	<b>0.361</b>
표준편차		0.267	1.081	1.140

\* N.D.: 방법검출한계 미만

퇴적물 시료의 조사결과를 토대로 엔도설판 농도의 수계별 차이를 확인하기 위하여 통계분석을 실시하였으며, 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, Levene 통계량은 1.913, 유의확률이 0.133 ( $p > 0.05$ )으로 동질성이 있는 것으로 확인되어 일원배치분산분석법(one way ANOVA)을 이용하여 통계 분석을 실시하였다. 그 결과, 유의확률 (p값)이 0.547 ( $p > 0.05$ )로 95 % 신뢰수준에서 통계적으로 수계별 차이는 없는 것으로 확인되었다.

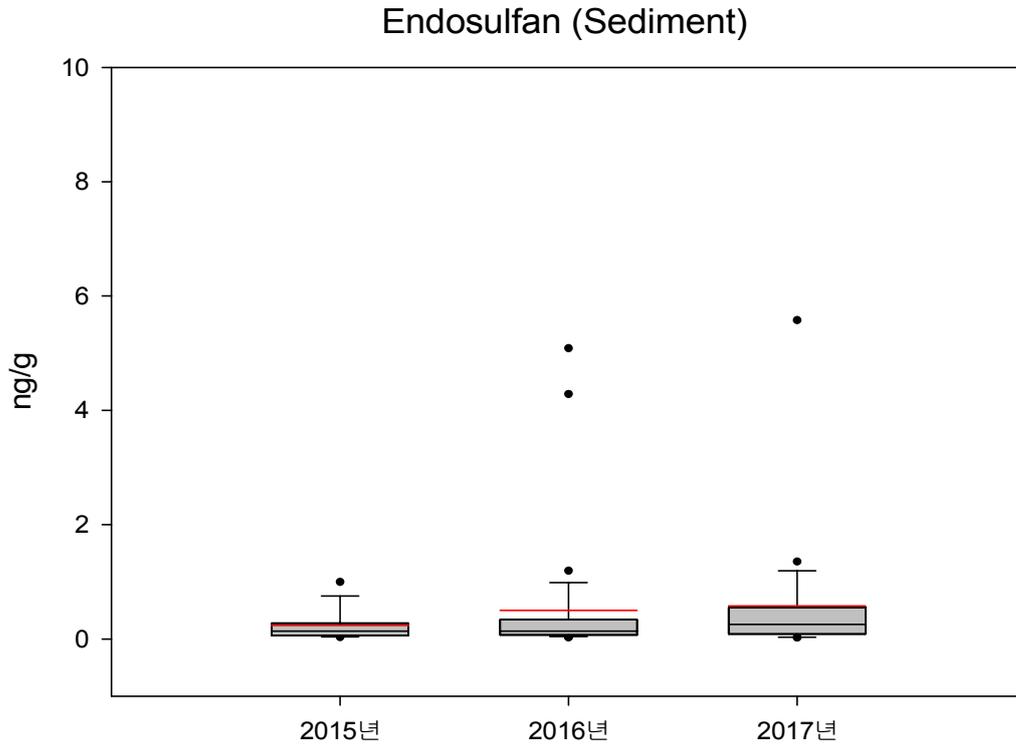


그림 IV-2-52. 퇴적물 중 엔도설판의 연도별 농도분포 ('15~'17)

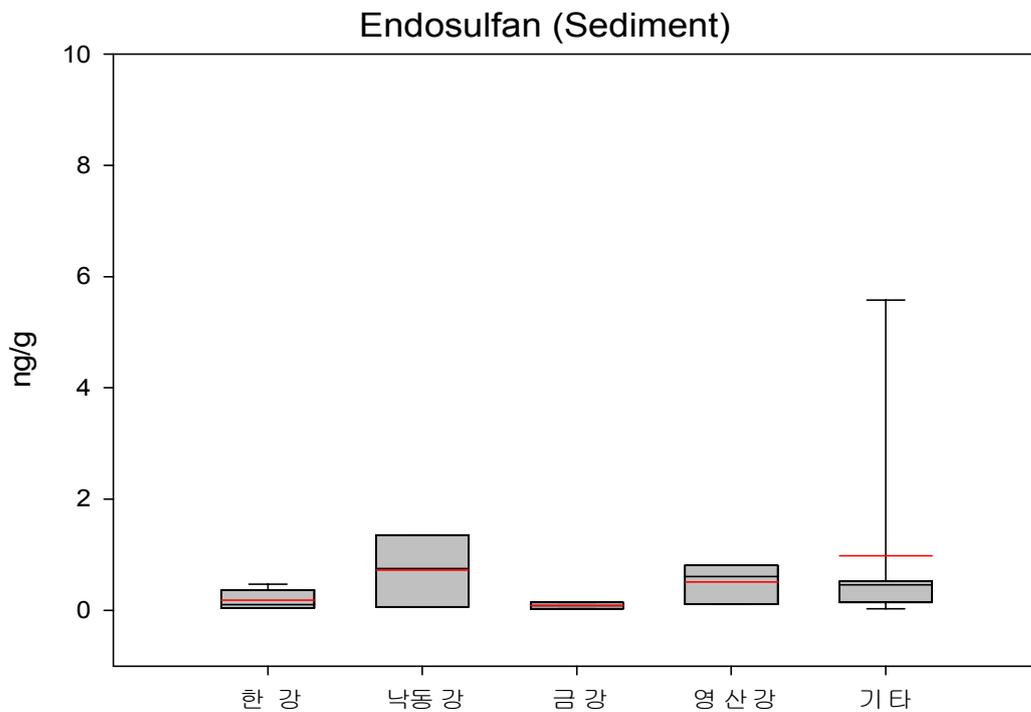


그림 IV-2-53. 퇴적물 중 엔도설판의 수계별 농도분포 ('17)

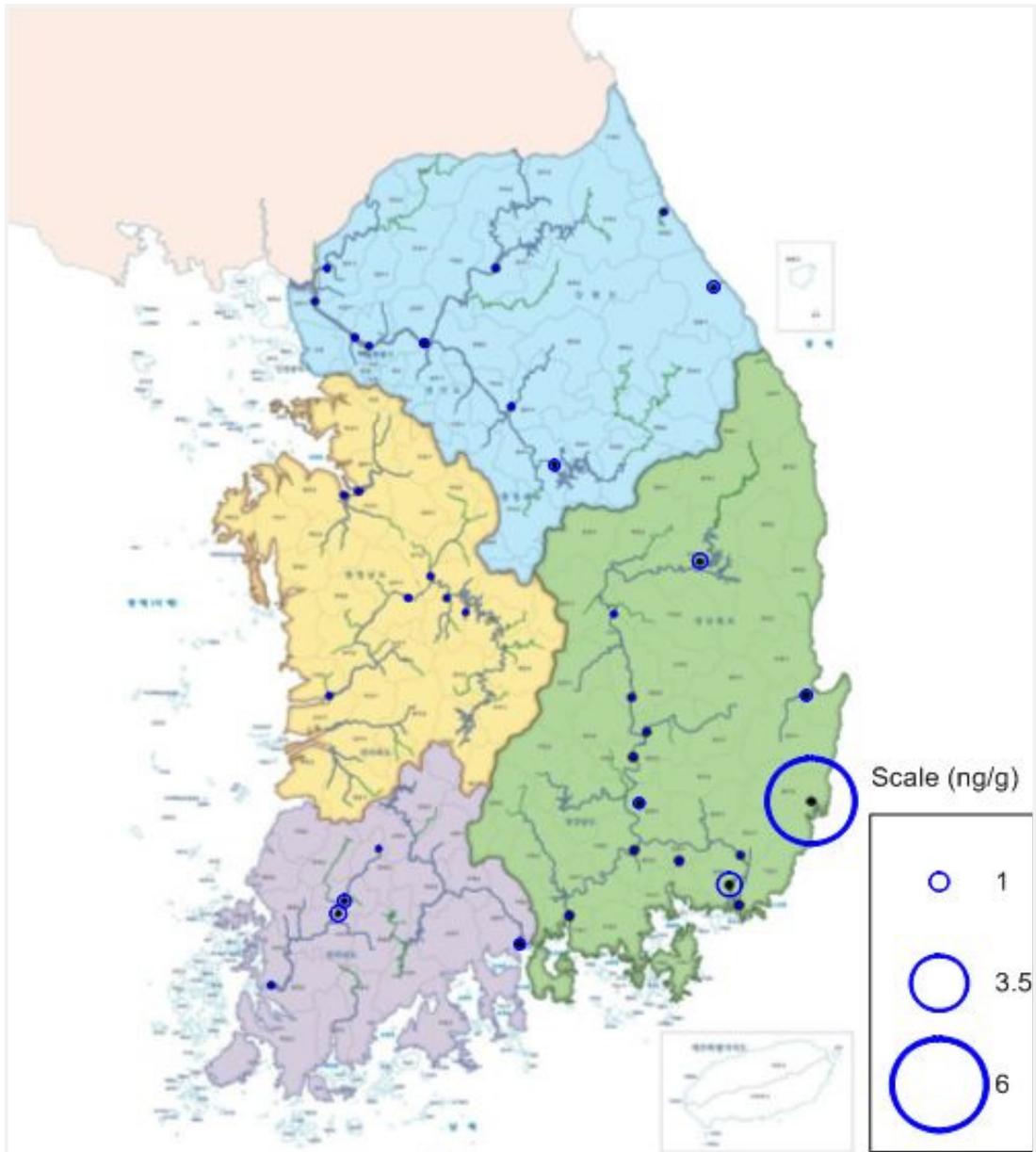


그림 IV-2-54. 퇴적물 중 엔도선펜 농도의 공간분포 ('17)

### 다) 수계 중 엔도설판 농도수준비교

표 IV-2-33에서 표 IV-2-35는 우리나라 수계(하천/호소수, 퇴적물) 중 엔도설판 농도수준을 파악하기 위하여 국가별 농도수준을 비교한 표이다.

최근 3년간('15~'17) 국내 측정망에서 조사한 엔도설판은 하천/호소수에서 연평균 0.801~4.743 ng/L 범위로 검출되었으며, 다양한 측정지점에서 측정된 다른 국가의 엔도설판 농도 수준과 비교하면, 중국 베이징이 3.89~80.77 ng/L, 브라질 상파울루가 59.5 ng/L, 미국 플로리다가 25.4 ng/L 수준으로 조사되었다.

한편 엔도설판에 대한 수질기준을 정하고 있는 캐나다의 경우 수질기준(CWQG)이 담수 기준으로 단기 60 ng/L와 장기 3 ng/L로 구분하여 관리하고 있으며, 호주는 국립보건연구위원회(NHMRC)에서 식수기준을 500 ng/L 이하로 설정해 관리하고 있다. 우리나라 하천/호소수에서 검출된 엔도설판의 농도는 수질기준을 정하고 있는 캐나다와 호주에 비해 상당히 낮은 농도 수준임을 알 수 있다.

표 IV-2-33. 하천/호소수 중 엔도설판의 국가별 농도수준 비교

국가명	Endosulfan- $\alpha$ (ng/L)	Endosulfan- $\beta$ (ng/L)	Endosulfan sulfate (ng/L)	$\Sigma$ Endosulfan (ng/L)	기간	지역	참고문헌
중 국	13.75	67.02	N.D.	80.77	2002	Beijing	Zhang et al. (2004)
	0.19	0.63	3.07	3.89	2010	Xiaodian	Zhang et al. (2013)
브라질	34.5	19	6	59.5	2005	Sao Paulo	Rissato et al. (2006)
그리스	6	0.69	12	18.69	1996-1998	Northern	Golfinopoulos et al. (2003)
터 키	5	12	70	87	2000-2002	Aegean	Turgut et al. (2003)
미 국	8.3	13.85	3.25	25.4	2004-2006	Florida	Potter et al. (2014)

표 IV-2-34. 국가별 엔도설판의 수질기준

국가명	기준명	기준 (ng/L)	비고
캐나다	수질기준	단기 : 60 장기 : 3	캐나다 수질환경기준 (Canadian Water Quality Guidelines for the protection of Aquatic life)
호주	먹는물 수질기준	500	호주국립보건의료연구위원회 (National Health and Medical Research Council)

최근 3년간('15~'17) 국내 측정망에서 조사한 엔도설판의 연평균 농도는 0.112~0.489 ng/g 수준인 것으로 파악되었으며, 국가별 엔도설판 농도 수준을 보면, 싱가포르 남서부 해안지역이 1.30 ng/g, 타이완 우시강 하구언이 3.27 ng/g, 우간다의 빅토리아호가 6.00 ng/g 수준으로 국내 측정망에서 조사한 엔도설판의 농도가 다른 국가에 비해 상대적으로 낮은 수준임을 알 수 있었다.

표 IV-2-35. 퇴적물 중 엔도설판의 국가별 농도수준 비교

국가명	Endosulfan- $\alpha$ (ng/g)	Endosulfan- $\beta$ (ng/g)	Endosulfan sulfate (ng/g)	$\Sigma$ Endosulfan (ng/g)	기간	지역	참고문헌
중 국	0.02	0.09	N.D.	0.11	2002	Tonghui River	Zhang et al. (2004)
	0.04	0.20	0.64	0.88	2003	Daya Bay	Wang et al. (2008)
	0.15	0.02	0.73	0.90	2006	Taihu Lake	Zhao et al. (2010)
타이완	1.21	0.56	1.50	3.27	1997-1998	Wu-Shi River estuary	Doong et al. (2002)
싱가포르	0.44	0.24	0.62	1.30	2003	Southwestern coast	Wurl et al. (2005)
	0.13	0.2	0.16	0.49		Northeastern coast	
우간다	3.73	0.10	2.17	6.00	2003-2007	Lake Victoria	Wasswa et al. (2011)



IV. 측정망 실태조사 결과

---

### 3. 산업용물질





### 3. 산업용물질

#### 3.1. 브롬화난연제 농도

##### 3.2.1 환경대기 중 브롬화난연제 농도

###### 가) 개요

난연제는 가연성 제품에 화재 위험을 방지하기 위하여 첨가하는 물질로서, 플라스틱, 자동차, 항공기, 선박, 전자제품, 각종 섬유, 건축자재, 페인트 등에 첨가하여 광범위하게 사용되고 있다. 난연제의 종류로는 염소계, 브롬계, 인계, 멜라민 유도체계, 무기계 등이 있으며, 이 중 브롬화 난연제는 저렴하고 난연 효과가 우수하여 세계 난연제 시장에서의 50% 이상을 차지하고 있다(환경부, 2005).

브롬화난연제는 생산/가공 과정 및 함유제품의 사용과 소각, 화재 등에 의해 환경으로 배출되어 쉽게 분해되지 않고 먹이사슬을 통해 인체에 축적된다(McDonald, 2002). 일부 브롬화 난연제는 간 독성, 생식 독성, 신경독성 등의 인체 유해성을 가지고 있다(Giordano et al., 2008).

브롬화 난연제 중 폴리브로모디페닐에테르<sup>1)</sup>(이하 PBDEs)는 209종의 이성질체를 가지고 있으며, 2009년 제4차 스톡홀름협약 당사국총회에서 테트라/펜타브로모디페닐에테르<sup>2)</sup>(이하 tetra-/penta-BDE), 헥사/헵타브로모디페닐에테르<sup>3)</sup>(이하 hexa-/hepta-BDE), 폴리브롬화비페닐(PBBs) 중 헥사브로모비페닐<sup>4)</sup>(이하 HBB)이 신규 잔류성유기오염물질로 지정되었다.

PBDEs는 주로 유럽, 이스라엘, 미국, 일본 등에서 tetra-/penta-BDE가 생산되었으며, 이들 물질은 폴리우레탄 폼(가정용, 차량용, 항공업), 에폭시 수지와 페놀수지, 건축자재 등에 사용되었다(McDonald, 2005; Morland 2005). 특히, BDE-47과 BDE-99는 다른 이성질체에 비해 독성이 강하고 생물 축적성이 높은 것으로 알려져 있다(환경부, 2005).

모든 이성질체에 대한 독성이 명확히 규명되지 않았지만, penta-BDE는

1) PolyBrominatedDiphenylEthers (PBDEs)

2) tetra-BromoDiphenylEther/penta-BromoDiphenylEther (tetra-/penta-BDE)

3) hexa-BromoDiphenylEther/hepta-BromoDiphenylEther (hexa-/hepta-BDE)

4) HexaBromoBiphenyl (HBB)

생식 독성과 신경발달 독성을 지니고 있으며, 갑상선 호르몬에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(McDonald, 2002).

PBBs는 hexa-BB, octa-BB, deca-BB가 주로 생산되었으며, 이 중 hexa-BB (HBB) 스톡홀름협약의 관리대상물질이다(UNEP, 2009). 1970년 초 미국, 영국, 독일 등에서 사용되기 시작했으며, 2009년 스톡홀름협약에 금지물질로 등재되어 관리되고 있다. 이들 물질은 주로 ABS, 열가소성 수지, 폴리우레탄폼, 전자제품의 난연제로 사용되었으며, 지속적으로 노출될 경우 간독성, 생식 독성, 갑상선 손상을 일으키는 것으로 알려져 있다(환경부, 2005).

## 나) 최근 3년간 환경대기 중 브롬화난연제 농도분포

잔류성유기오염물질 측정망의 환경대기 시료채취지점은 전국 38개 지점 중 천안 성성동 1개 지점을 제외한 37개 지점에 대해 봄철과 가을철에 연 2회 측정하였다.

환경대기 중 브롬화난연제인 tetra-/penta-BDE, hexa-/hepta-BDE 및 HBB의 조사결과를 표 IV-3-1 ~ 표 IV-3-3에 비교·정리하였다.

2017년 기준 환경대기 중 브롬화난연제 조사결과를 보면, tetra-/penta-BDE의 연평균 농도가 2.197 pg/Sm<sup>3</sup> (검출횟수 37), hexa-/hepta-BDE의 연평균 농도가 0.747 pg/Sm<sup>3</sup> (검출횟수 34) 수준으로 조사되었다. 계절별로는 tetra-/penta-BDE의 봄철 농도 수준이 1.929 pg/Sm<sup>3</sup>, 가을철이 2.465 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 조사되었으며, hexa-/hepta-BDE는 봄철이 0.760 pg/Sm<sup>3</sup>, 가을철이 0.735 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 조사되었다. HBB는 모든 지점에서 방법검출한계 미만으로 나타났다.

최근 3년간('15~'17) 환경대기 중 브롬화난연제의 연평균 농도를 살펴보면, tetra-/penta-BDE의 경우 환경대기 중의 농도가 지속적으로 감소되고 있으며 (8.365 pg/Sm<sup>3</sup> ('15) → 6.553 pg/Sm<sup>3</sup> ('16) → 2.197 pg/Sm<sup>3</sup> ('17)), hexa-/hepta-BDE 역시 농도(1.763 pg/Sm<sup>3</sup> ('15) → 1.289 pg/Sm<sup>3</sup> ('16) → 0.747 pg/Sm<sup>3</sup> ('17))가 점차 감소하는 추세이다.

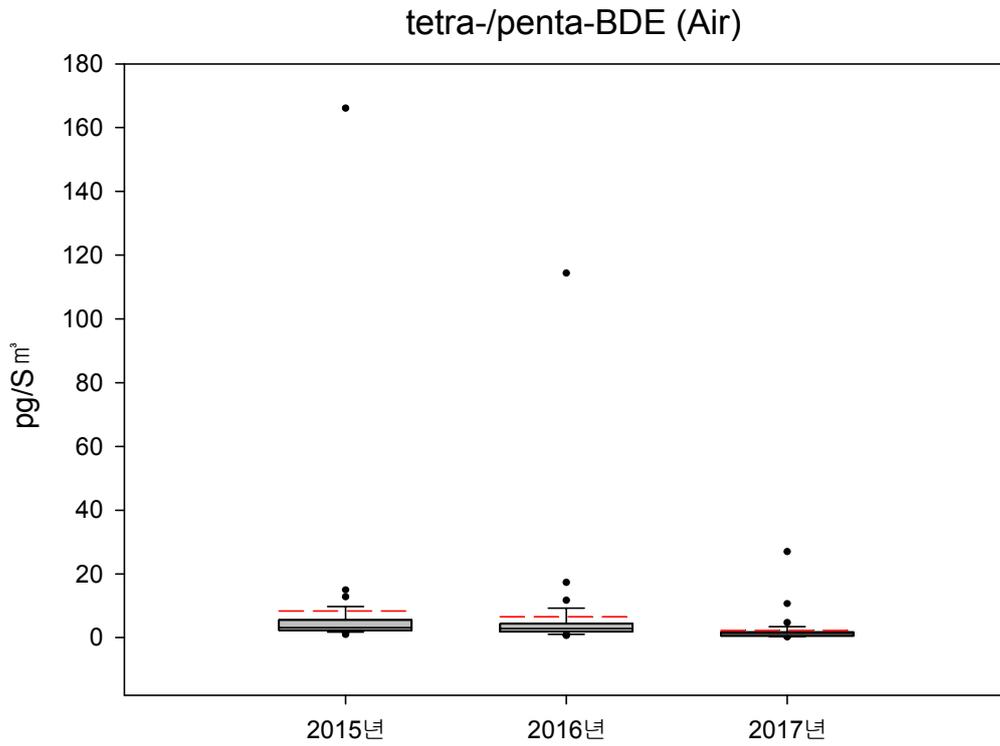


그림 IV-3-1. 환경대기 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('15~'17)

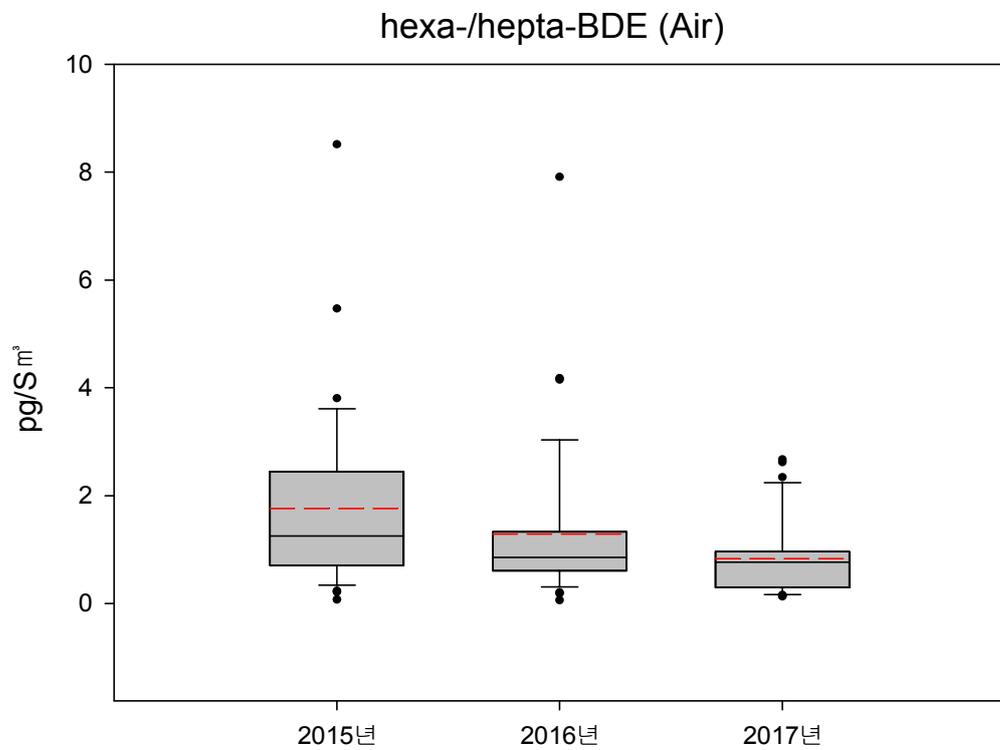


그림 IV-3-2. 환경대기 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('15~'17)

표 IV-3-1. 환경대기 중 브롬화난연제(tetra-/penta-BDE)의 농도분포

구분		tetra-/penta-BDE (pg/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	38	38	38	38	-
	최소	0.979	0.929	0.488	0.773	-
	최대	166.058	172.762	154.030	171.382	-
	<b>중앙값</b>	<b>3.137</b>	<b>2.740</b>	<b>3.010</b>	<b>3.953</b>	-
	<b>평균</b>	<b>8.365</b>	<b>7.616</b>	<b>8.536</b>	<b>8.944</b>	-
	표준편차	26.432	27.573	24.954	27.326	-
2016 (38지점)	검출수	38	38	-	38	38
	최소	0.693	0.233	-	1.270	0.479
	최대	114.312	32.291	-	195.401	115.245
	<b>중앙값</b>	<b>2.834</b>	<b>1.323</b>	-	<b>4.173</b>	<b>2.169</b>
	<b>평균</b>	<b>6.553</b>	<b>2.404</b>	-	<b>10.850</b>	<b>6.403</b>
	표준편차	18.236	5.238	-	31.147	18.550
2017 (37지점)	검출수	37	-	37	-	37
	최소	0.245	-	0.169	-	0.104
	최대	26.946	-	24.157	-	29.734
	<b>중앙값</b>	<b>1.302</b>	-	<b>1.022</b>	-	<b>1.074</b>
	<b>평균</b>	<b>2.197</b>	-	<b>1.929</b>	-	<b>2.465</b>
	표준편차	4.539	-	4.074	-	5.106

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-3-2. 환경대기 중 브롬화난연제(hexa-/hepta-BDE)의 농도분포

구분		hexa-/hepta-BDE (pg/Sm <sup>3</sup> )				
		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	검출수	38	38	37	32	-
	최소	0.074	0.223	N.D.	N.D.	-
	최대	8.513	8.452	13.262	8.574	-
	<b>중앙값</b>	<b>3.137</b>	<b>1.605</b>	<b>1.101</b>	<b>0.419</b>	-
	<b>평균</b>	<b>1.763</b>	<b>2.348</b>	<b>2.187</b>	<b>0.752</b>	-
	표준편차	1.652	2.159	3.061	1.515	-
2016 (38지점)	검출수	38	36	-	38	35
	최소	0.061	N.D.	-	0.182	N.D.
	최대	7.909	4.574	-	6.464	15.462
	<b>중앙값</b>	<b>2.834</b>	<b>0.923</b>	-	<b>0.604</b>	<b>1.278</b>
	<b>평균</b>	<b>1.289</b>	<b>1.107</b>	-	<b>0.989</b>	<b>1.772</b>
	표준편차	1.447	0.990	-	1.267	2.721
2017 (37지점)	검출수	34	-	27	-	30
	최소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최대	2.672	-	4.965	-	4.154
	<b>중앙값</b>	<b>0.767</b>	-	<b>0.626</b>	-	<b>0.684</b>
	<b>평균</b>	<b>0.747</b>	-	<b>0.760</b>	-	<b>0.735</b>
	표준편차	0.690	-	1.117	-	0.835

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-3-3. 환경대기 중 브롬화난연제(HBB)의 농도분포

구분	HBB (pg/Sm <sup>3</sup> )					
	연평균	겨울	봄	여름	가을	
2015 (38지점)	검출수	0	0	0	0	-
	최소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최대	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	중앙값	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	평균	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
2016 (38지점)	검출수	0	0	-	0	0
	최소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최대	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	중앙값	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	평균	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
2017 (37지점)	검출수	0	-	0	-	0
	최소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최대	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	중앙값	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	평균	N.D.	-	N.D.	-	N.D.

\* N.D.: 방법검출한계 미만

## 다) 환경대기 중 브롬화난연제 지역별 농도

전국 16개 시도별 환경대기 중 브롬화난연제의 농도 분포를 보면, tetra-/penta-BDE의 경우 인천 > 서울 > 경기, hexa-/hepta-BDE의 경우 측정연도에 따라 순위는 다소 상이하나 전반적으로 인천 > 경기 > 대구 > 서울 등 대도시 소재 지역이 다른 지역에 비해 상대적으로 높게 나타났으며, 2017년도 브롬화난연제의 농도는 2015년과 2016년에 비해 상대적으로 낮아진 것으로 조사되었다.

브롬화난연제는 주로 폴리우레탄폼, 에폭시 수지, 페놀수지, 건축자재, 난연제 등에 첨가제(Alaee et al. 2003)로 사용되고 있으며, 특히 전자제품을 비롯한 각종 생활용품에 첨가됨에 따라 연관산업이 밀집된 공업지역이나 인구밀도가 상대적으로 높은 주거지역에서 브롬화난연제의 농도가 상대적으로 높게 조사된 것으로 추정된다.

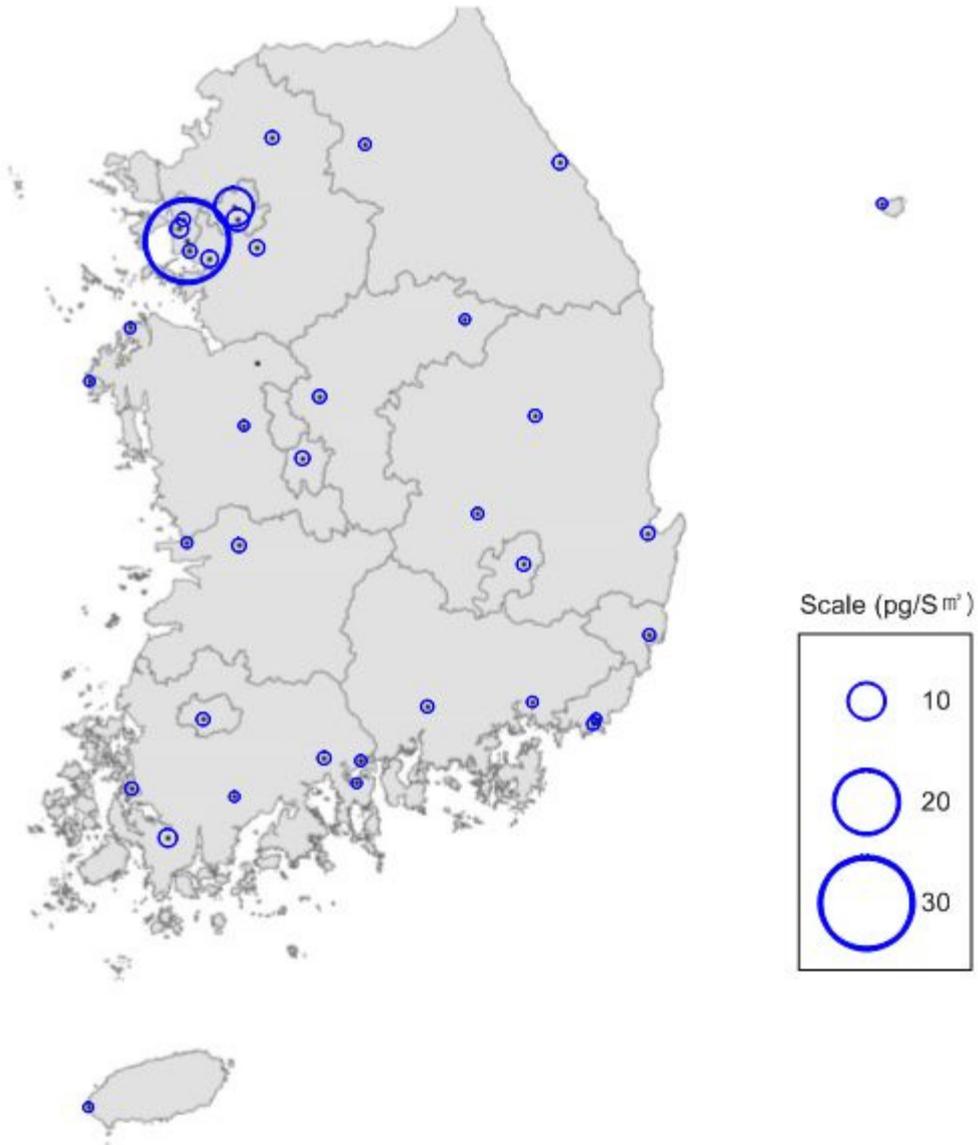


그림 IV-3-3. 환경대기 중 tetra-/penta-BDE농도의 공간분포 ('17)

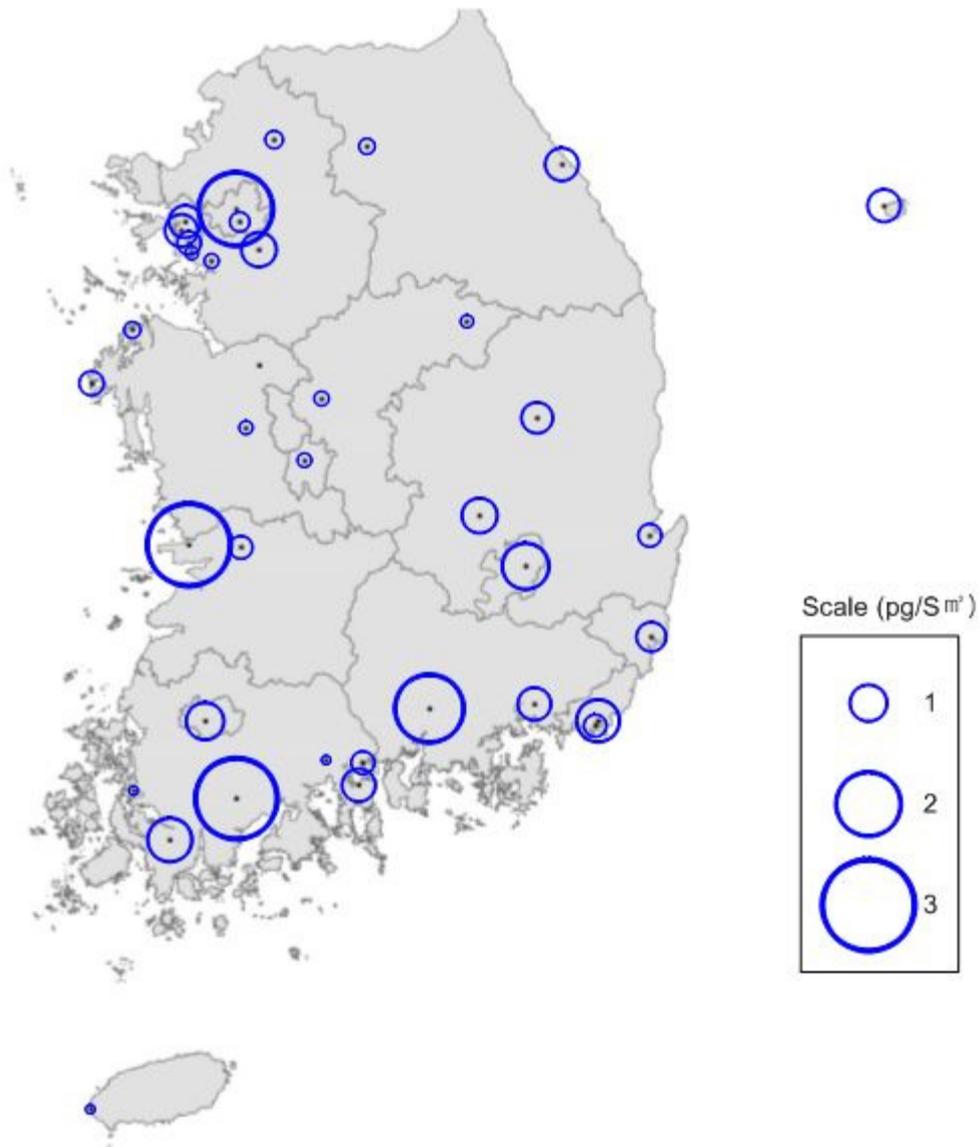


그림 IV-3-4. 환경대기 중 hexa-/hepta-BDE농도의 공간분포 ('17)

표 IV-3-4. 시도별 환경대기 중 브롬화난연제의 연평균 농도분포

(단위: pg/Sm<sup>3</sup>)

지역	tetra-/penta-BDE			hexa-/hepta-BDE		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
서울	12.170	14.482	7.658	0.923	1.238	0.897
부산	4.618	3.704	0.796	1.999	0.747	0.163
대구	1.965	2.520	1.458	3.588	1.752	0.505
울산	2.316	1.501	1.008	0.803	0.962	0.378
광주	3.136	2.789	1.345	3.498	1.385	0.929
대전	3.138	8.978	1.760	1.311	1.307	0.000
인천	57.780	40.906	10.529	3.527	2.000	1.150
경기	5.267	4.188	1.973	2.309	1.593	1.267
강원	2.978	3.000	1.341	1.031	0.751	0.751
충북	2.459	1.623	0.936	3.044	1.445	1.577
충남	2.457	1.980	0.370	1.420	0.674	1.118
경북	2.771	2.624	0.998	0.600	1.391	0.657
경남	4.382	1.986	0.898	1.973	0.724	0.337
전북	1.887	4.888	1.119	0.402	4.506	0.521
전남	4.922	2.487	1.205	1.741	0.659	0.414
제주	5.489	1.040	0.245	0.697	0.184	0.000

\* N.D.: 방법검출한계 미만

환경대기 중 tetra-/penta-BDE, hexa-/hepta-BDE의 농도분포를 살펴보면, 대부분 4 pg/Sm<sup>3</sup> 이하의 농도 구간에 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 특히, hexa-/hepta-BDE의 농도가 tetra-/penta-BDE 보다 낮은 농도 구간에 집중되어있는 것을 확인할 수 있었다. 전반적으로 시간이 지남에 따라 저농도 구간의 비율이 커지는 경향을 나타내고 있다.

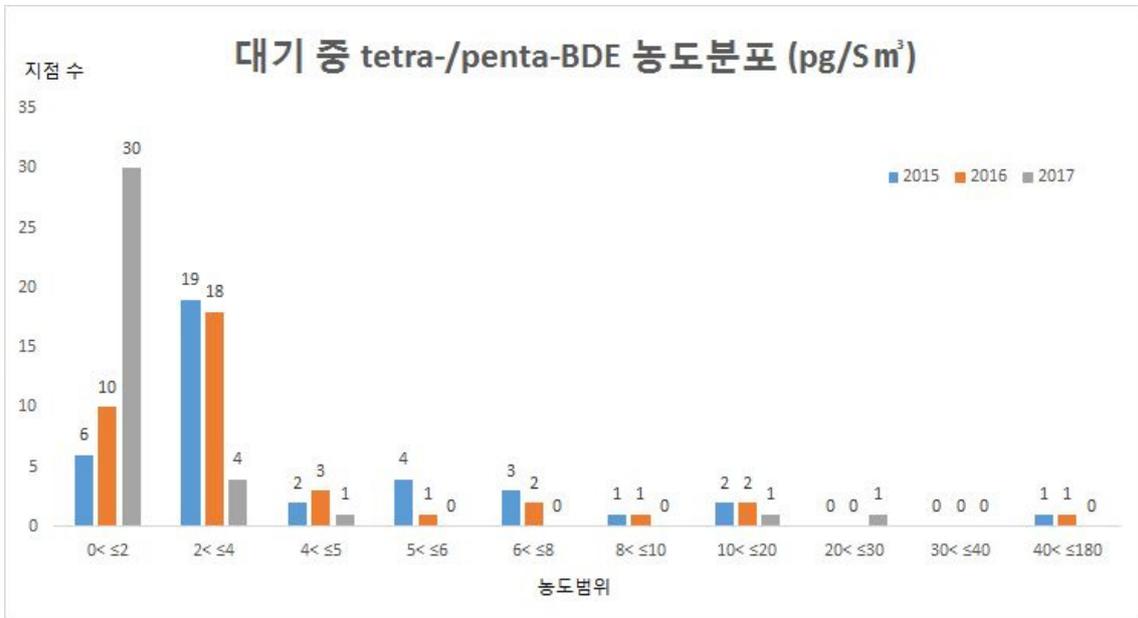


그림 IV-3-5. 대기 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)

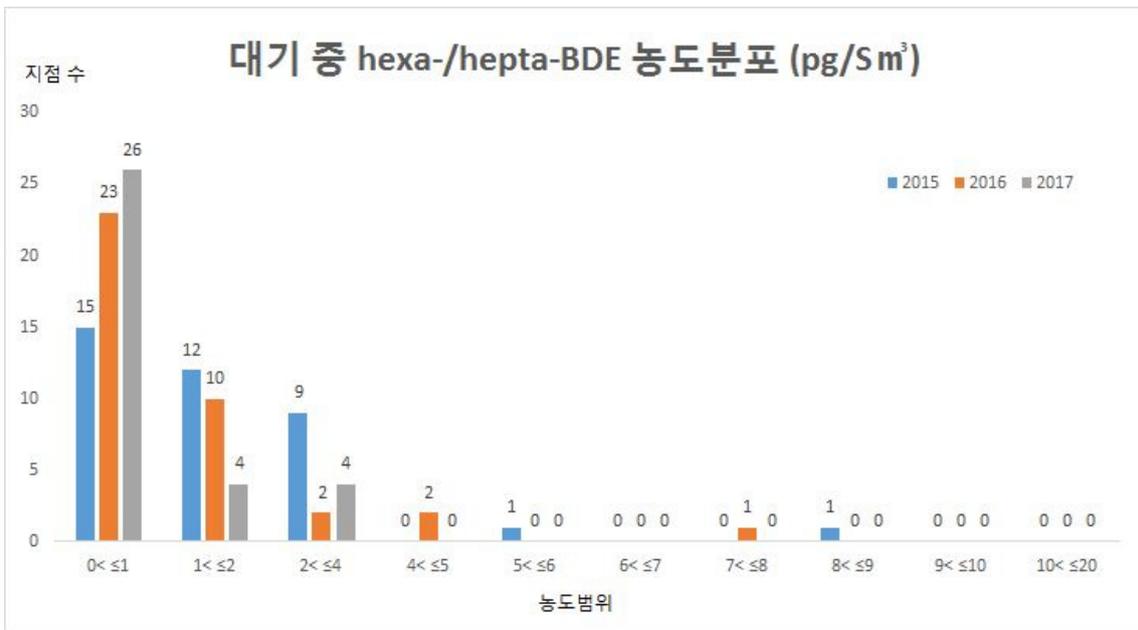


그림 IV-3-6. 대기 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)

## 다) 대기 중 용도별 농도

IV-3-5는 전국에 분포되어있는 37개 대기 측정지점을 전국 16개 시·도별로 분류하여 그 농도분포를 비교한 표이다. 용도지역별 분석결과, tetra-/penta-BDE의 연평균 농도가 공업 > 주거 > 상업 > 녹지 > 배경지역 순으로 높게 나타나긴 했으나, 그 차이는 별로 크게 나타나지 않았다. hexa-/hepta-BDE의 연평균 농도는 공업지역과 주거지역이 가장 높았으며, 나머지 녹지 > 상업 > 배경지역 농도 순이었다.

용도지역별 농도분포 현황을 보다 객관적으로 비교하기 위하여 2017년도에 조사한 대기 시료를 공업, 상업, 주거, 녹지, 배경지역으로 구분하여 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, Levene 통계량은 tetra-/penta-BDE와 hexa-/hepta-BDE 각각 1.832, 3.921, 유의확률이 각각 0.147, 0.011 ( $p > 0.05$ )로 동질성이 있는 것으로 판단되어 집단간 일원배치분산분석을 수행하였다.

일원배치분산분석(one way ANOVA)의 통계기법을 실시한 결과, 유의확률(p값)이 각각 0.841, 0.231 ( $p > 0.05$ )로 95 % 신뢰수준에서 통계적으로 용도지역에 따른 평균농도 차이는 없는 것으로 확인되었다.

표 IV-3-5. 용도지역별 환경대기 중 브롬화난연제의 연평균 농도분포  
(단위:  $\text{pg}/\text{Sm}^3$ )

구분		2015	2016	2017
tetra-/penta-BDE	공업	17.791	12.933	3.555
	상업	5.009	4.085	2.158
	주거	4.403	4.134	1.827
	녹지	3.274	6.171	1.333
	배경	3.830	1.342	0.371
hexa-/hepta-BDE	공업	1.795	2.025	0.907
	상업	1.399	0.784	0.401
	주거	2.536	1.421	1.064
	녹지	1.511	1.220	0.632
	배경	0.688	0.222	0.874

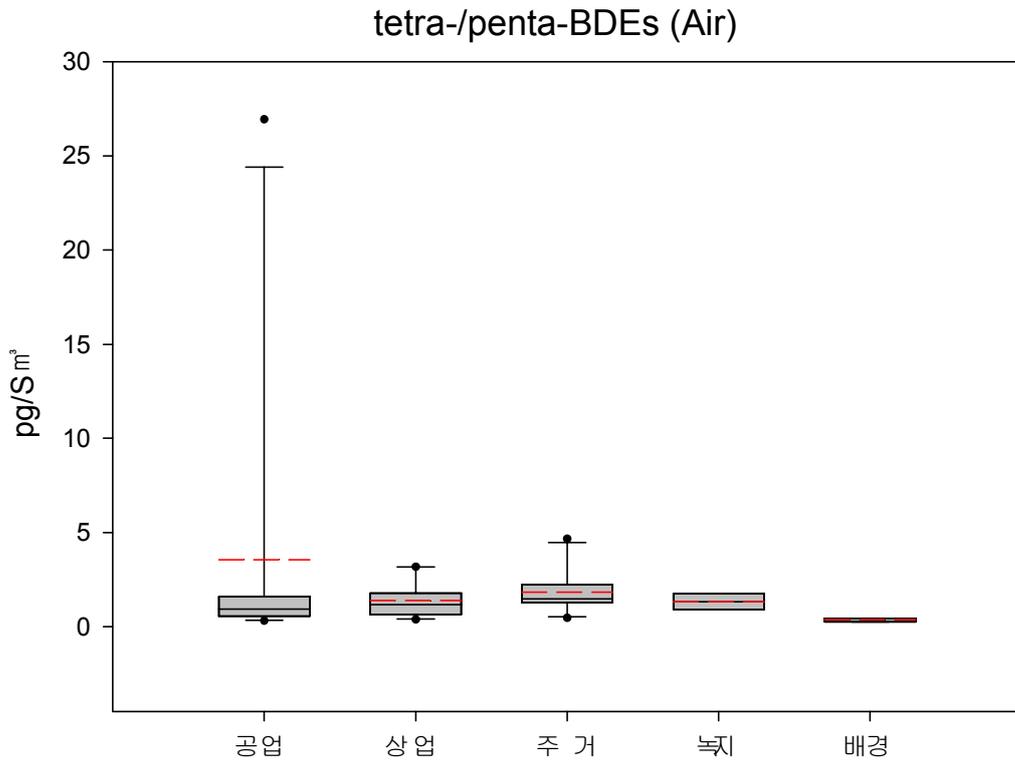


그림 IV-3-7. 용도지역별 환경대기 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('17)

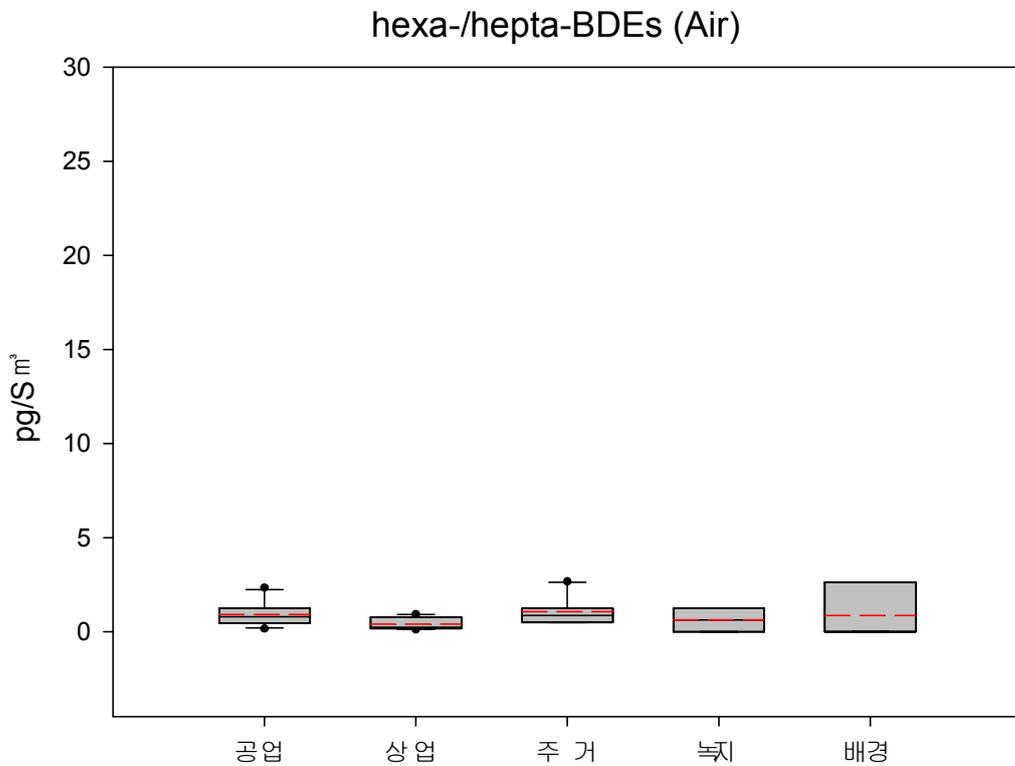


그림 IV-3-8. 용도지역별 환경대기 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('17)

## 라) 대기 중 브롬화난연제 농도수준비교

표 IV-3-6은 우리나라 환경대기 중 브롬화난연제의 농도수준을 파악하기 위하여 국가별 농도 수준을 비교한 표이다. 최근 3년간('15~'17) 국내 측정망에서 조사한 브롬화난연제의 연평균 농도를 보면, tetra-/penta-BDE가 2.197~8.365 pg/Sm<sup>3</sup>, hexa-/hepta-BDE가 0.747~1.763 pg/Sm<sup>3</sup> 농도 수준이고, tetra-/penta-BDE와 hexa-/hepta-BDE의 합인  $\Sigma$ PBDE의 연평균 농도는 2.945~10.128 pg/Sm<sup>3</sup> 수준으로 조사되었다.

국내 측정망에서는  $\Sigma$ PBDE 중 스톡홀름협약 등재물질인 총 17개 이성체 (tetra-BDE 5개, penta-BDE 5개, hexa-BDE 4개, hepta-BDE 3개)에 대해서만 조사를 수행하였고, 국가별로 조사한  $\Sigma$ PBDEs의 농도는 조사대상 이성체가 서로 상이하기 때문에 단순히 모든 이성체를 더한 총합으로 비교하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단되어 대략적인 농도 수준에 대해서만 비교하였다.

일본 전역에서 조사한 브롬화난연제의 평균농도는 6.3~6.7 pg/m<sup>3</sup> 수준으로 조사되었으며, 중국의 경우 측정지점에 따라 방법검출한계 미만~29,793 pg/m<sup>3</sup> 농도 수준으로 조사되었다. 기타 터키와 미국은 각각 11~149 pg/m<sup>3</sup>과 65~87 pg/m<sup>3</sup> 농도 범위인 것으로 조사되었다.

브롬화난연제의 국내 농도수준은 일본에 비해 다소 높은 수준이며, 다른 국가에서 조사한 자료보다는 전반적으로는 비슷하거나 대체로 낮은 농도 수준임을 알 수 있었다. HBB의 경우 국내 측정망에서 2014년 1개 지점에서만 실측한 자료만 있어 비교 대상에서 제외하였다.

표 IV-3-6. 환경대기 중 브롬화난연제의 국가별 농도수준 비교 (단위: pg/S m<sup>3</sup>)

국가	농도	이성체 수	시료 수	기간	지역구분	참고문헌
일본	N.D.~80 (6.7)	tetra-BDE ~deca-BDE	35	2015	전국	일본 환경성 2016
	N.D.~71 (6.3)		36	2014	전국	일본 환경성 2015
중국	N.D.~23.6 (6.16)	7 <sup>1)</sup>	N.A	2009-2010	Industrial (Beijing)	Shi et al., 2013
	220	33 <sup>2)</sup>	N.A	2004-2005	Taihu Lake	Qiu et al., 2010
	24-196	22 <sup>3)</sup>	30	2004	Hong Kong	Deng WJ et al., 2007
	3,357-29,793 (16,575)	22 <sup>3)</sup>	30	2004	Electronic waste (Guiyu)	
	105.2-3673	11 <sup>4)</sup>	8	2004	Urban (Guangzhou)	Chen et al., 2006
터키	11-149	7 <sup>5)</sup>	60	2004-2005	Suburban, urban, Industrial	Cetin et al., 2008
지중해 동부	2-11 (3.9)	15 <sup>6)</sup>	26	2006	Marine Background	Iacovidou et al., 2009
극동아시아	2.25- 198.9 (58.3)	11 <sup>5)</sup>	49	2003	Oceanic atmosphere	Wang et al., 2005
그린란드	0.33- 1.95 (1.14)	11 <sup>6)</sup>	N.A	2004-2005	Remote	Bossi et al. 2008
미국	65	35 <sup>7)</sup>	N.A	2005-2006	Urban (Chiago)	Venier et al., 2008
	87	35 <sup>7)</sup>	N.A	2005-2007	Urban (Cleveland)	
동남아시아	N.D~6.6	10 <sup>8)</sup>	20	2010-2011	Oceanic atmosphere	Mollar et al., 2012

\* N.A: Not Available

1) BDE-28, 47, 99, 100, 153, 154, 183

2) BDE-17, -28, -30, -47, -49, -66, -85, -99, -100, -118, -119, -126, -138, -139, -140, -153, -154, -156, -169, -171, -180, -183, -184, -191, -196, -197, -201, -203, -204, -206, -207, -208, -209

3) BDE-3, -7, -15, -17, -28, -49, -71, -47, -66, -77, -100, -119, -99, -85, -126, -154, -153, -138, -156, -184, -183, -191

4) BDE-28, -47, -66, -100, -99, -85, -154, -153, -138, -183, -209

5) BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -209

6) BDE - 15, -17, -25, -39, -28, -35 + 20, -62, -49, -47, -66, -100, -99, -154, -153, -209

7) BDE-1, -3, -7, -10, -15, -17, -28, -30, -47, -49, -66, -71, -77, -85, -99, -100, -119, -126, -138, -139, -140, -153, -154, -156, -169, -171, -181, -183, -184, -191, -196, -197, -201, -203, -209

8) BDE-28, -47, -66, -85, -99, -100, -153, -154, -183, 209

### 3.2.2. 토양 중 브롬화난연제 농도

#### 가) 토양 중 브롬화난연제 농도

잔류성유기오염물질 측정망 中 토양 시료채취지점은 전국 61개 지점으로 연 1회 측정하였고, 측정지점별 브롬화난연제의 검출횟수, 최소값, 최대값, 평균 및 표준편차 등의 간단한 기술통계량은 표 IV-3-7에 요약정리하였다.

2017년 기준 토양 中 tetra-/penta-BDE의 중앙값이 0.049 ng/g, 평균이 0.451 ng/g, hexa-/hepta-BDE의 중앙값이 0.096 ng/g, 평균이 0.372 ng/g 수준으로 조사되었으며, HBB는 모든 측정지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

표 IV-3-7 토양 중 브롬화난연제 연평균 농도분포 현황

(단위: ng/g)

구 분		'15년	'16년	'17년
tetra-/penta-BDE (61 지점)	검 출 수	61	61	57
	최 소	0.008	0.009	0.002
	최 대	23.212	26.883	17.464
	중 앙 값	<b>0.069</b>	<b>0.102</b>	<b>0.049</b>
	평 균	<b>0.706</b>	<b>0.712</b>	<b>0.451</b>
	표준편차	3.272	3.479	2.324
hexa-/hepta-BDE (61 지점)	검 출 수	60	61	61
	최 소	N.D.	0.002	0.003
	최 대	27.460	55.073	7.971
	중 앙 값	<b>0.061</b>	<b>0.077</b>	<b>0.096</b>
	평 균	<b>0.891</b>	<b>1.153</b>	<b>0.372</b>
	표준편차	3.944	7.053	1.148
HBB (61 지점)	검 출 수	0	0	0
	최 소	N.D.	N.D.	N.D.
	최 대	N.D.	N.D.	N.D.
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
	평 균	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
	표준편차	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만

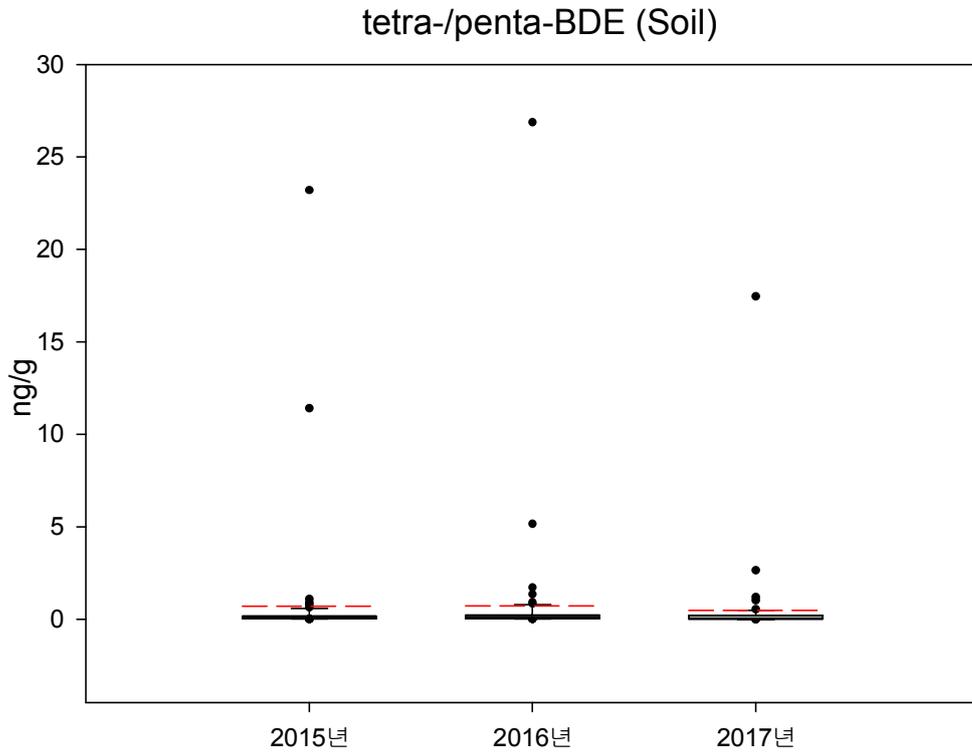


그림 IV-3-9. 연도별 토양 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)

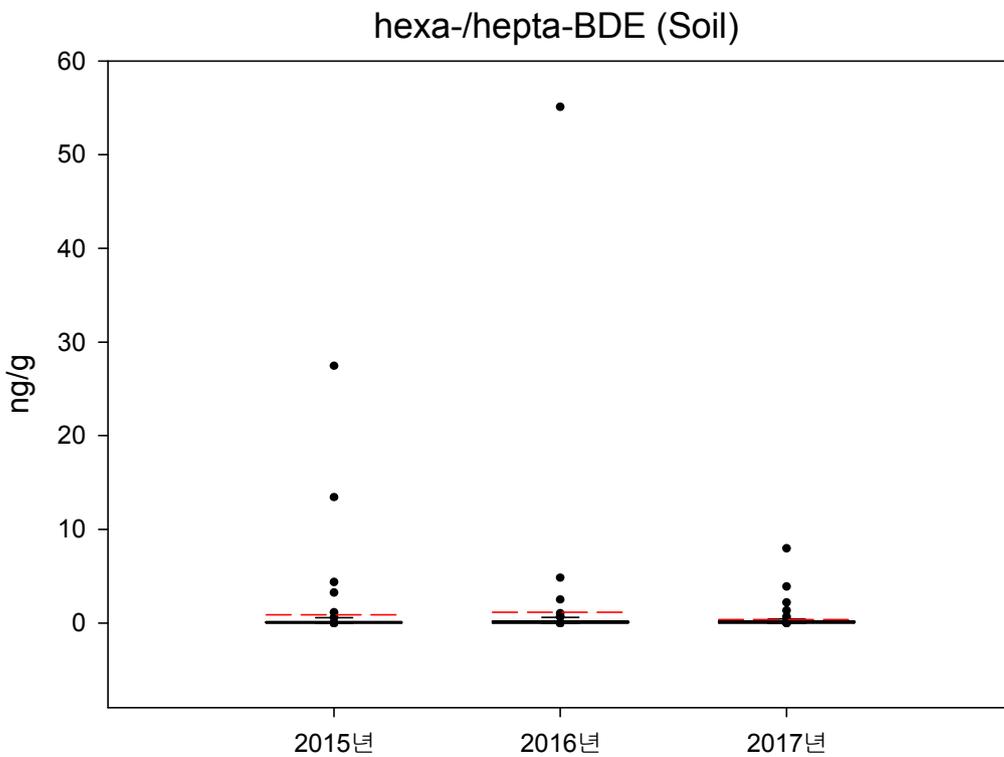


그림 IV-3-10. 연도별 토양 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)

## 나) 토양 중 브롬화난연제 지역별 농도

전국에 분포되어있는 61개의 토양 측정지점을 전국 16개 시·도별로 구분하여 그 농도 분포를 비교하였다. 산업단지가 다수 분포하고 있는 울산, 경기, 경남 지역의 브롬화난연제 농도가 상대적으로 높았으며, 특히 경남의 밀양 교동지점에서 tetra-/penta-BDE의 농도가 타 지점에 비해 높았으며, hexa-/hepta-BDE는 경기 지역의 반월공단 지점에서 높은 농도를 나타내었다. 그 외 지역은 대체로 비슷한 농도 수준인 것으로 조사되었다.

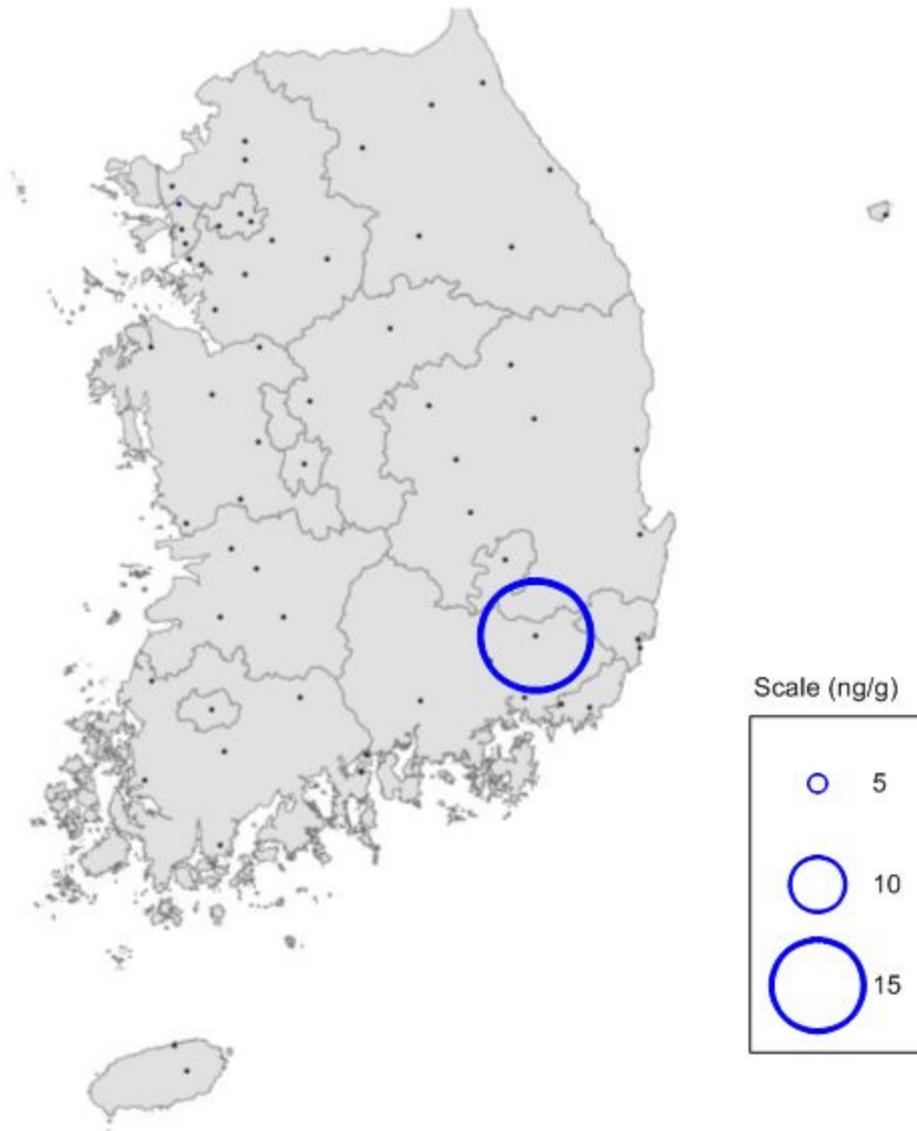


그림 IV-3-11. 토양 중 tetra-/penta-BDE 농도의 공간분포('17)

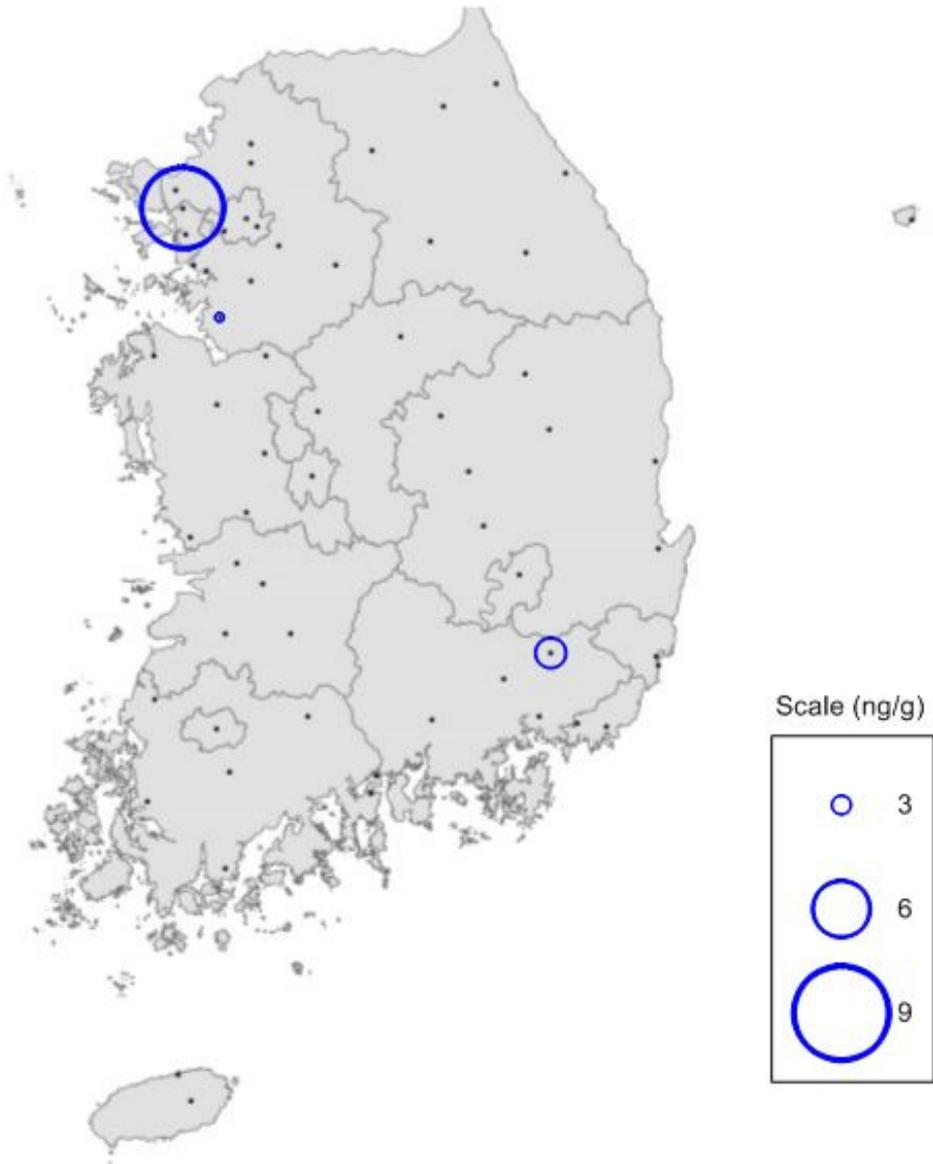


그림 IV-3-12. 토양 중 hexa-/hepta-BDE 농도의 공간분포 (17)

표 IV-3-8. 시도별 토양 중 브롬화난연제의 연평균 농도분포

(단위: ng/g)

시도 구분	tetra-/penta-BDE			hexa-/hepta-BDE		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
서울	0.021	0.127	0.213	0.009	0.071	0.075
부산	0.321	0.091	N.D.	0.076	0.079	0.026
대구	0.046	0.068	N.D.	0.067	0.045	0.018
울산	1.133	0.291	0.910	4.844	6.788	1.410
광주	0.260	0.147	N.D.	0.071	0.048	0.068
대전	0.044	0.044	N.D.	0.021	0.128	0.034
인천	0.549	0.877	0.345	0.131	0.358	0.182
경기	1.198	1.406	3.339	2.806	3.127	6.341
강원	0.029	0.051	0.052	0.009	0.034	0.086
충북	0.078	0.066	0.058	0.095	0.104	0.092
충남	0.077	0.119	0.140	0.079	0.083	0.094
경북	0.060	0.054	0.137	0.030	0.033	0.071
경남	2.976	5.882	N.D.	0.518	0.882	0.291
전북	0.049	0.095	N.D.	0.134	0.337	0.230
전남	0.037	0.075	0.071	0.253	0.681	0.758
제주	0.173	N.D.	N.D.	0.052	0.087	0.147

\* N.D.: 방법검출한계 미만

토양 중 tetra-/penta-BDE, hexa-/hepta-BDE의 농도 분포를 보면, 대부분 0.4 ng/g 이하의 농도 구간에 분포하고 있는 것으로 나타났으며, 토양 중 tetra-/penta-BDE과 hexa-/hepta-BDE의 농도 분포는 대기 매질과 달리 큰 차이를 보이지 않았다.

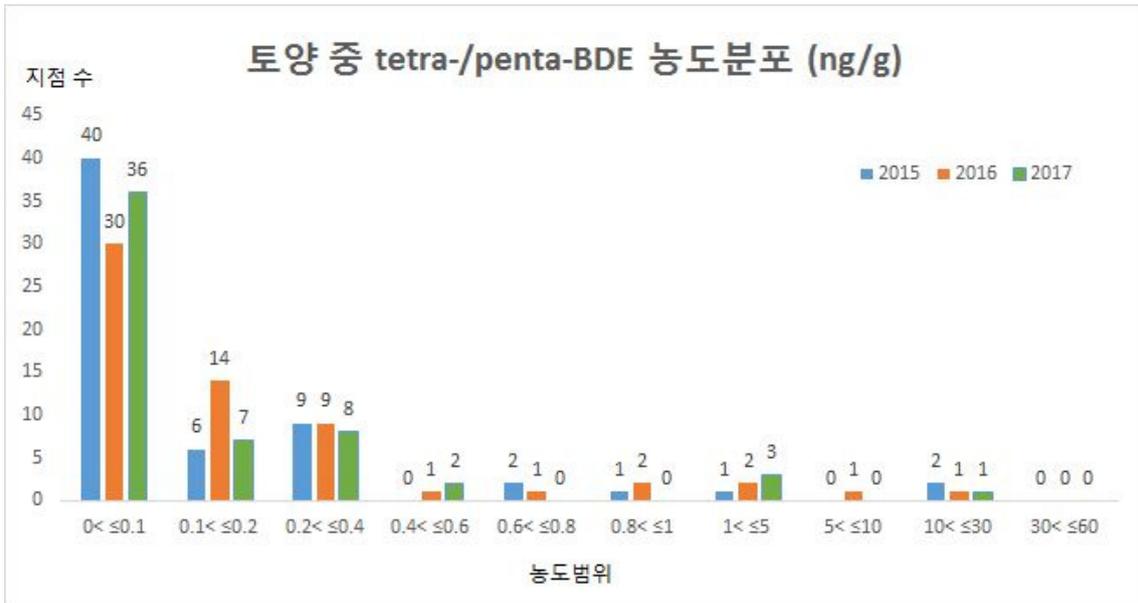


그림 IV-3-13. 토양 중 tetra-/penta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)

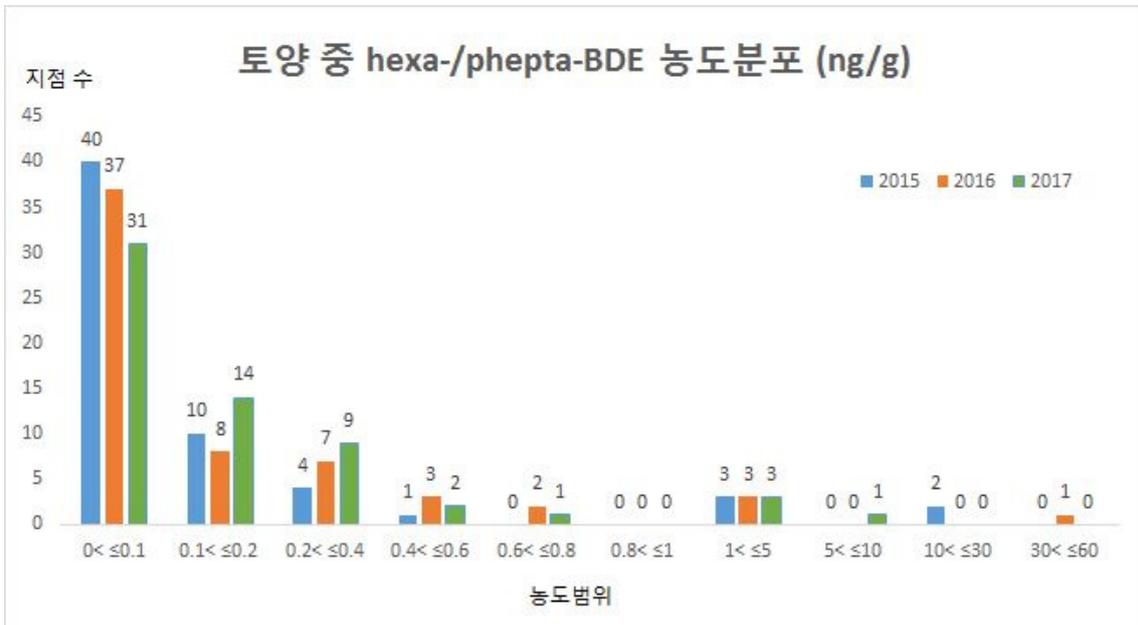


그림 IV-3-14. 토양 중 hexa-/hepta-BDE의 농도분포 ('15~'17년)

### 다) 토지 용도별 농도비교

전국에 분포되어있는 61개의 토양 측정지점을 전국 16개 시·도별로 구분하여 그 농도 분포를 비교하였다. 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, Levene 통계량은 tetra-/penta-BDE와 hexa-/hepta-BDE 각각 34.065과 3.437, 유의확률이 각각 0.000와 0.002 ( $p < 0.05$ )로 집단간 일원배치분산분석을 실시할 수 있는 표본으로 보기가 어려워 비모수검정인 Kruskal-Wallis H 검정으로 용도별 차이를 확인하였으며, 그 결과, 유의수준이 tetra-/penta-BDE가 0.018 ( $p < 0.05$ ), hexa-/hepta-BDE가 0.017 ( $p < 0.05$ )로 95 % 신뢰수준에서 통계적으로 용도별 차이가 있는 것으로 확인되었다.

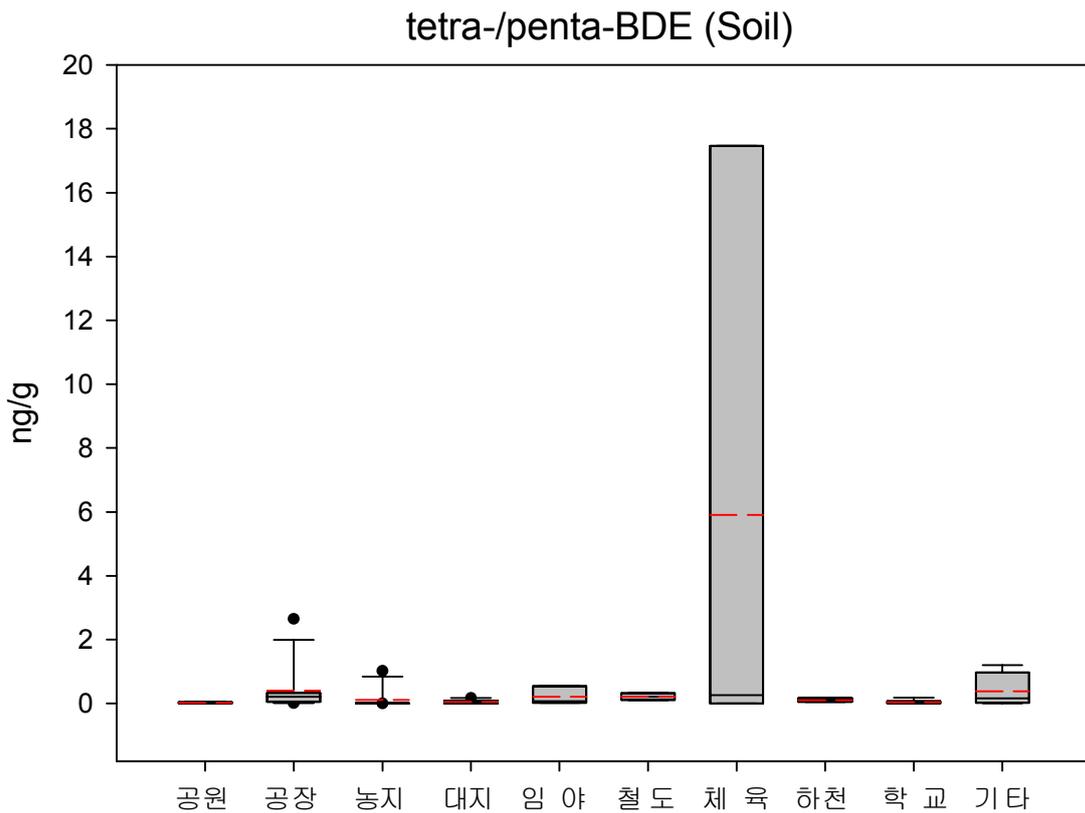


그림 IV-3-15. 토지용도지역별 tetra-/penta-BDE 농도 ('17)

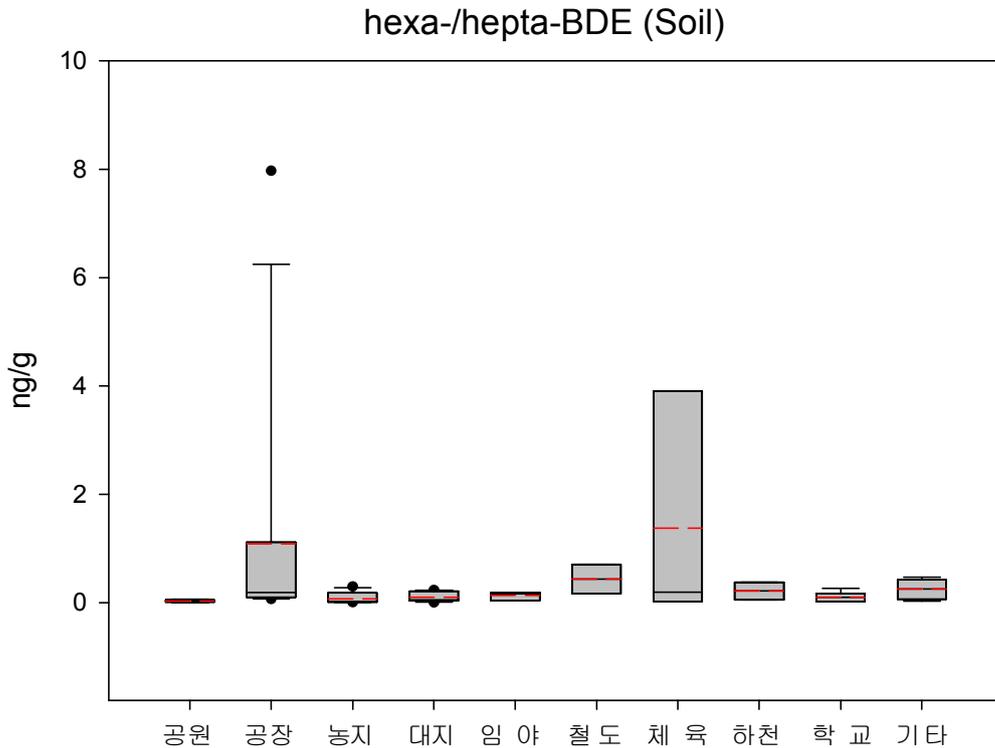


그림 IV-3-16. 토지용도지역별 hexa-/hepta-BDE 농도 ('17)

## 라) 토양 중 브롬화난연제의 농도 수준 국내외 비교

표 IV-3-9는 토양에서 검출된  $\Sigma$ PBDEs의 농도 수준을 파악하기 위하여 국가별 농도 수준을 비교한 표이다. 문헌에서 보고된  $\Sigma$ PBDEs의 이성질체가 다양하고, 시료채취 시기가 달라 국가별  $\Sigma$ PBDEs의 농도 수준을 대략적으로 비교하였다.

국내 측정망의 토양에서 검출된  $\Sigma$ PBDEs의 연평균 농도는 1.161~1.865 ng/g 수준이고, tetra-/penta-BDE와 hexa-/hepta-BDE의 연평균 농도는 각각 0.487~0.712 ng/g과 0.674~1.153 ng/g 수준으로 나타났다. HBB의 경우 모든 측정지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

중국에서 측정된  $\Sigma$ PBDEs의 농도가 다른 국가에 비해 상대적으로 매우 높은 수준이었고, 특히, 중국 귀유(Guiyu) 지역 등에서 1,052~4,250 ng/g 수준으로 매우 높게 검출되었다. 기타 영국, 노르웨이, 스페인의  $\Sigma$ PBDEs의 농도는 각각 0.065~12 ng/g, 0.97 ng/g, 20.7~689 ng/g 수준으로 조사되었으며, 우리나라는 다른 나라와 비슷하거나 낮은 수준으로 파악되었다.

HBH의 경우 토양 시료에서 모두 방법검출한계 미만으로 조사되었고, 토양 매질에 대한 외국자료를 확인할 수 없어 비교 대상에서 제외하였다.

표 IV-3-9. 토양 중 ΣPBDEs의 국가별 농도수준 비교

(단위: ng/g)

국가	농도	이성체 수	시료 수	기간	지역구분	참고문헌	
중국	Guiyu	1,140-1,169	20 <sup>1)</sup>	7	2004	Electronic plant	Anna Leung et al., 2006
	Guiyu (Shantou)	1,052-4,250	24 <sup>2)</sup>	15	2006	Surface	Leung et al., 2007
	Hong Kong	858-991	9 <sup>3)</sup>	6	2006	Surface; electronic waste disposal site	Cai and Jiang, 2006
	Pearl River Delta	0.13-381	10 <sup>4)</sup>	33	2002	surface	Zou et al., 2007
		1.93-19.5	21 <sup>5)</sup>			Point source contaminate	
	Qingyuan	121.7- 3159	22 <sup>6)</sup>	29	2005-2006	roadsoils; e-wasteregion	Yong Luo et al., 2009
2.9-207		22 <sup>7)</sup>	18	2005-2007	farmland; e-wasteregion		
유럽	영국	0.065-12	23 <sup>8)</sup>	-	2004	Surface background	Ashraf Hasanin et al., 2004
	노르웨이	0.97	15 <sup>9)</sup>	-	2004	Woodland	Hassanin et al. 2004
	스페인	20.7-689		120	2003-2005	Pujalt	Eljarrat et al. 2008
	슬로바키아	0.086-0.6		21	2009	Urban; surface soil	Thorenz et al. 2010

1) BDE-3, -7, -15, -17, -28, -71, -47, -49, -66, -77, -85, -99, -100, -119, -126, -154, -153, -139, -138, -183  
 2) BDE-17, -28, -32, -35, -37, -47, -49, -66, -71, -75, -77, -85, -99, -100, -119, -138, -153, -154, -166, -181, -183, -190  
 3) BDE-3, -15, -28, -47, -99, 139, -153, -154, -183  
 4) BDE-28, -47, -66, -99, -100, -154, -153, -138, -183, -209  
 5) BDE-2, -17, -28, -47, -49, -66, -75, -99, -100, -138, -153, -154, -155, -183, -190, -196, -197, -203, -206, -207, -208  
 6) BDE-17, -28, -32, -35, -37, -47, -49, -66, -71, -75, -77, -85, -99, -100, -119, -138, -153, -154, -166, -181, -183, -190  
 7) BDE-17, -28, -32, -35, -37, -47, -49, -66, -71, -75, -77, -85, -99, -100, -119, -138, -153, -154, -166, -181, -183, -190  
 8) BDE-28, -47, -49, -66, -85, -99, -100, -119, -138, -139, -140, -153, -154, -155, -183, -194, -196, -197, -203, -206, -207, -208, -209  
 9) BDE-3, -17, -28, -71, -47, -66, -100, -99, -85, -154, -153, -138, -183, -190, -209

### 3.2.3. 수계 중 브롬화난연제 농도

#### 가) 하천/호소수 중 브롬화난연제 농도

잔류성유기오염물질 측정망에서 수계별 측정대상 매체는 수질 및 퇴적물을 대상으로 수행하였으며, 수질 지점은 총 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있으며, 시료채취는 봄철에 연 1회에 수행하였다.

표 IV-3-10~표 IV-3-12에는 tetra-/penta-BDE, hexa-/hepta-BDE 및 HBB의 연평균 농도, 검출빈도 등의 간단한 기술통계량을 요약정리한 표이다.

'17년 하천/호소수 중 tetra-/penta-BDE는 중앙값 0.089 ng/L, 평균 0.006 ng/L(검출 수 3), hexa-/hepta-BDE는 중앙값 0.043 ng/L, 평균 0.006 ng/L(검출 수 5)으로 검출되었으며, HBB는 전 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

하천/호소수에서는 일부 지점에서만 검출이 되어 수계별 검출수준에 대한 통계분석은 별도로 실시하지 않았다.

표 IV-3-10. 수계별 하천/호소수 중 tetra-/penta-BDE 수계별 연평균 농도분포

(단위 : ng/L)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.063	0.060	0.016
낙동강	9	0.006	N.D.	0.010
금 강	5	0.025	N.D.	N.D.
영산강	4	0.021	N.D.	N.D.
기 타	10	0.010	N.D.	N.D.
검출 수 (전체 36지점 中)		16	4	3
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		0.373	0.256	0.092
중 앙 값		<b>0.028</b>	<b>0.084</b>	<b>0.089</b>
평 균		<b>0.024</b>	<b>0.013</b>	<b>0.006</b>
표준편차		0.086	0.093	0.029

\* N.D.: 방법검출한계(0.02 ng/L) 미만

표 IV-3-11. 하천/호소수 중 hexa-/hepta-BDE의 수계별 평균농도

(단위 : ng/L)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	N.D.	0.020	0.004
낙동강	9	0.006	N.D.	0.013
금 강	5	0.014	N.D.	0.016
영산강	4	0.003	N.D.	ND
기 타	10	0.008	N.D.	ND
검출 수 (전체 36지점 中)		15	3	5
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		0.035	0.081	0.082
중 앙 값		<b>0.013</b>	<b>0.045</b>	<b>0.036</b>
평 균		<b>0.006</b>	<b>0.005</b>	<b>0.006</b>
표준편차		0.006	0.024	0.020

\* N.D.: 방법검출한계(0.02 ng/L) 미만

표 IV-3-12. 하천/호소수 중 HBB의 수계별 평균농도

(단위 : ng/L)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	N.D.	N.D.	N.D.
낙동강	9	N.D.	N.D.	N.D.
금 강	5	N.D.	N.D.	N.D.
영산강	4	N.D.	N.D.	N.D.
기 타	10	N.D.	N.D.	N.D.
검출 수 (전체 36지점 中)		0	0	0
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		N.D.	N.D.	N.D.
중 앙 값		<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
평 균		<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
표준편차		-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계(0.5 ng/L) 미만

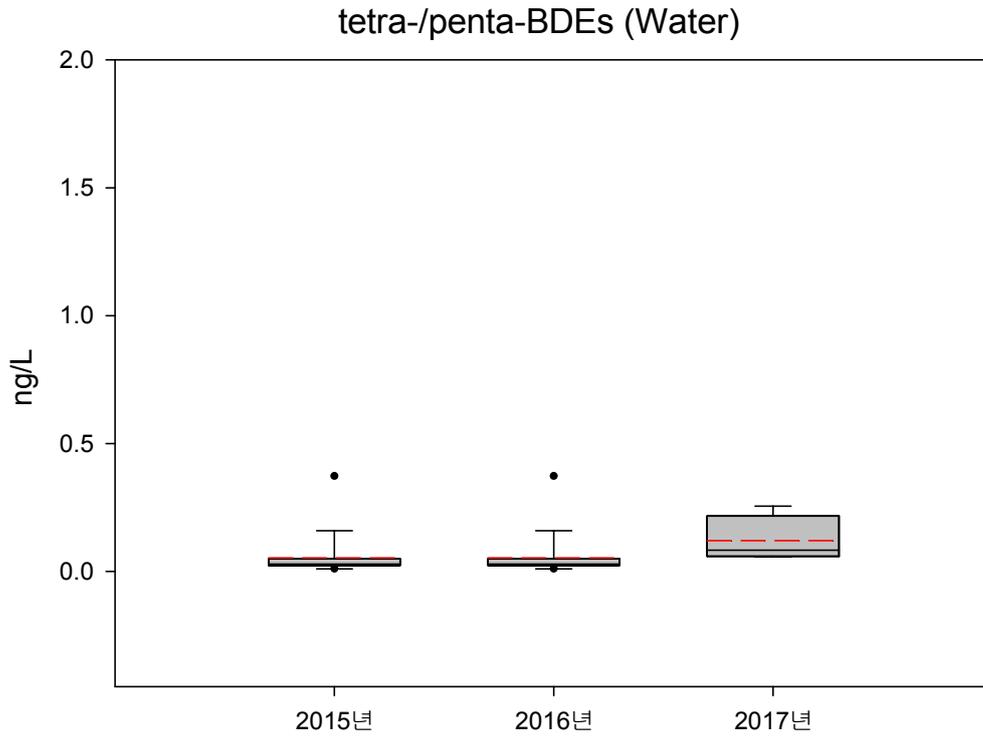


그림 IV-3-17. 하천/호소수 중 tetra-/penta-BDE의 농도 ('15년~'17년)

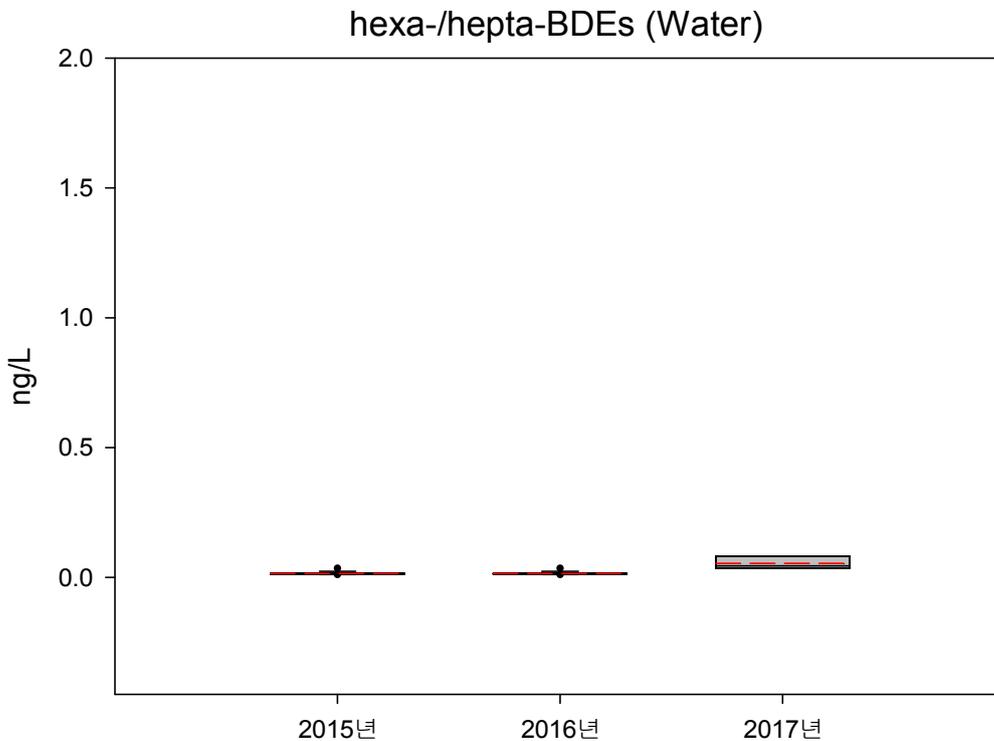


그림 IV-3-18. 하천/호소수 중 hexa-/hepta-BDE의 농도 ('15년~'17년)

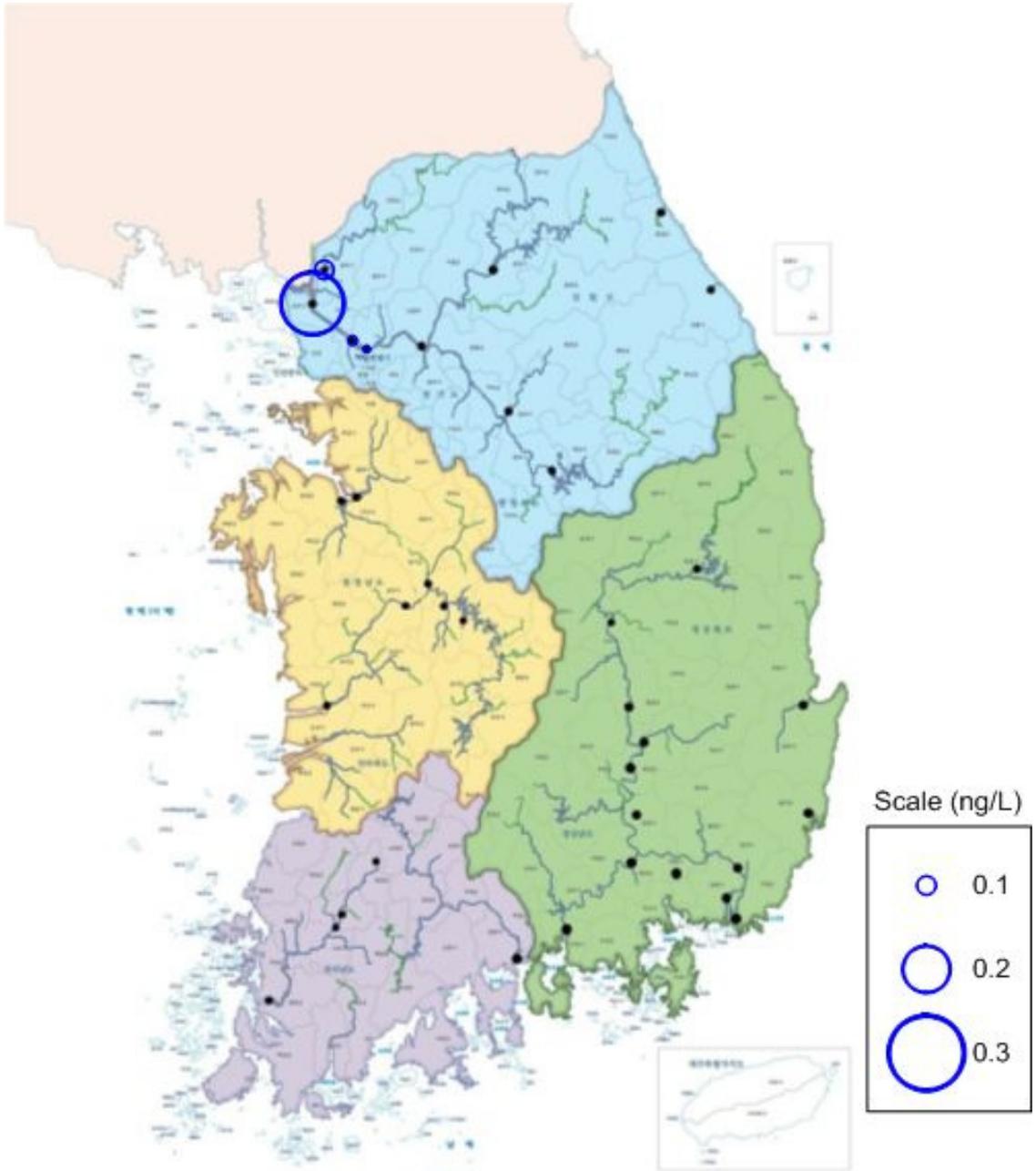


그림 IV-3-19. 하천/호소수 중 tetra-/penta-BDE농도의 공간분포 ('17)

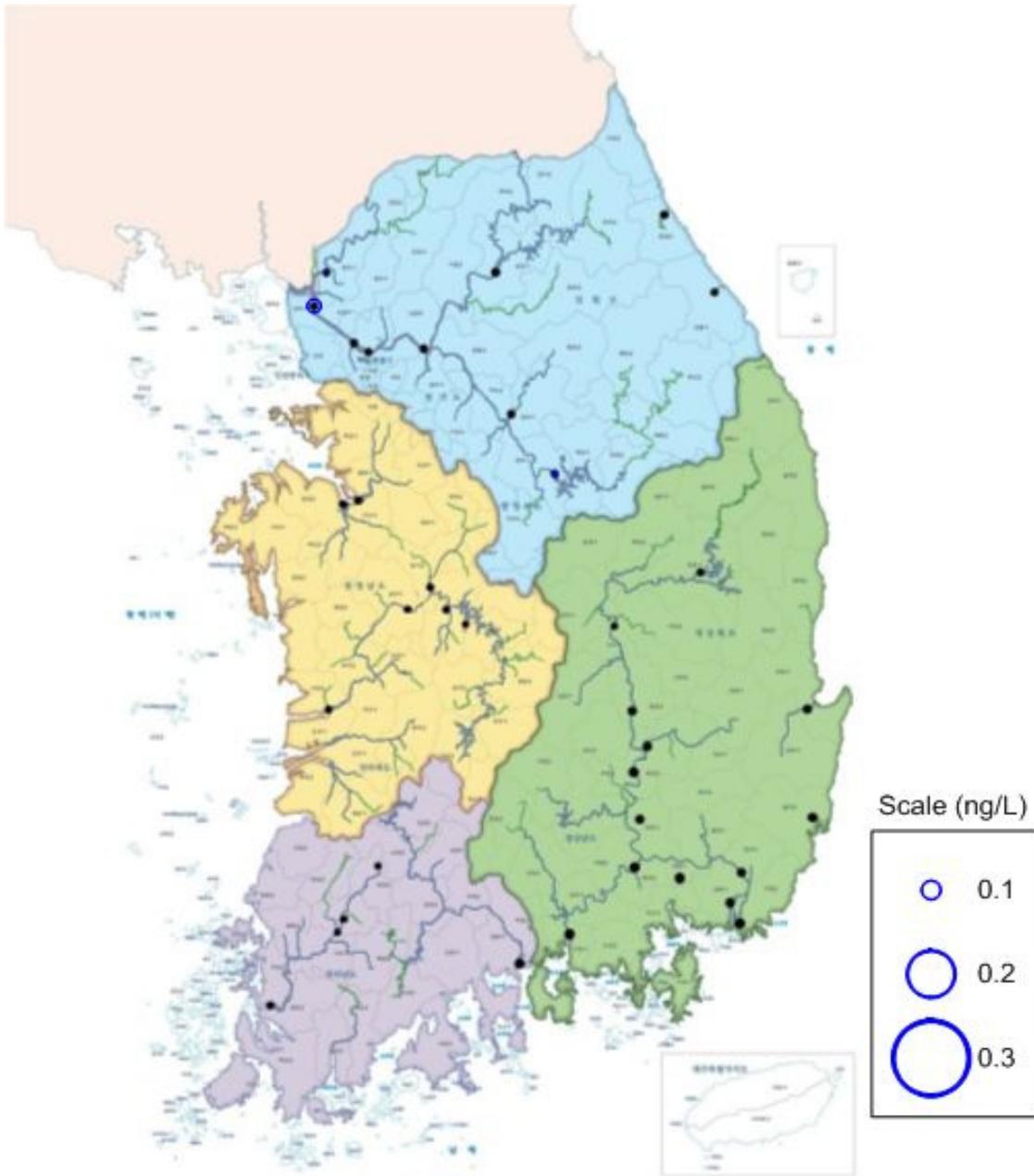


그림 IV-3-20. 하천/호소수 중 hexa-/hepta-BDE농도의 공간분포 ('17)

### 나) 하천/호소수 중 브롬화난연제의 농도 수준 국내외 비교

표 IV-3-13은 우리나라 수계별 브롬화난연제의 농도 수준을 비교하기 위하여 국가별 농도 수준을 비교한 표이다. 브롬화난연제는 수년간 많은 연구가 진행되었으나, 강한 소수성을 지니고 있어서 수계에서 진행된 연구 사례가 많지가 않다. 연구사례 대부분이 대기 및 토양 매질에 대한 모니터

링을 위주로 하고 있어 비교할만한 자료가 그리 많지 않은 실정이다.

최근 일부 연구 보고에 의하면, 국내 측정망의 시료채취방법(그랩 방식)과는 다르지만, 수동형 장기시료채취법을 이용한 연구 보고가 일부 존재하나 자료의 직접적인 비교는 어려울 것으로 판단된다. 또한  $\Sigma$ PBDEs의 이성질체가 다양하기 때문에 국가별  $\Sigma$ PBDEs의 농도 수준을 대략적으로 비교하였다.

최근 3년간('15~'17) 국내 측정망의 하천/호소수에서 조사한  $\Sigma$ PBDEs의 연평균 농도는 0.013~0.030 ng/L 수준으로, 일본 전역의 수계에서 2014년~2015년에 조사한  $\Sigma$ PBDEs의 연평균 농도 0.025~0.77 ng/L에 비해 다소 낮은 수준이다. 기타 중국의 0.09~24.4 ng/L, 미국의 0.02~0.10 ng/L 농도 수준에 비해서도 낮거나 비슷한 수준인 것으로 나타났다. 한편 HBB는 국내 측정망의 모든 지점에서 검출되지 않았다.

표 IV-3-13. 하천/호소수 중 브롬화난연체의 국가별 농도수준 비교

국가	농도 (ng/L)	이성체 수	시료 수	기간	지역	참고문헌
일본	0.16-13 (0.77)	7	48	2015	전국	일본환경성 2016
	N.D.-6.2 (0.25)	7	48	2014	전국	일본환경성 2015
중국	1.07	10	96	2005-2006	Pearl River Delta	Guan et al., 2009
	0.09	8	5	2005	HongKong's coastal	Wurl et al 2006
	24.4	18	-	2006	Qingyuan City	Wu et al. 2008
	2.85	14	-	2006-2007	Dongguan and Shunde	Zhang et al. 2010
	1.2	10	-	2004-2005	Northern shore of Taiho Lake	Qiu et al. 2010
	0.90	8	-	2005-2006	Pearl River Estuary	Chen et al. 2011
미국	0.02	6	7	2004	Lake Michigan	Streets et al., 2006
	0.10	22	28	2002	San Francisco Estuary	Oros et al. 2005
남아공	2.91	8	-	2010-2011	Cape Town	Daso et al. 2013

### 3.2.4. 퇴적물 중 브롬화난연제 농도

#### 가) 퇴적물 중 브롬화난연제 농도

잔류성유기오염물질 측정망에서 수계별 측정대상 매체는 수질 및 퇴적물을 대상으로 수행하였으며, 수질 지점은 총 36개 지점으로 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계가 10개 지점으로 구성되어 있으며, 시료채취는 봄철에 연 1회에 수행하였다.

표 IV-3-14~표 IV-3-16에는 tetra-/penta-BDE, hexa-/hepta-BDE 및 HBB의 연평균 농도, 검출빈도 등의 간단한 기술통계량을 요약정리한 표이다.

2017년 기준 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 중앙값이 0.083 ng/g, 평균이 0.164 ng/g(검출횟수 30) 수준이고, hexa-/hepta-BDE의 중앙값이 0.043 ng/g, 평균이 0.056 ng/g(검출횟수 27) 수준으로 조사되었다. 헥사브로모비페닐은 모든 측정 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

표 IV-3-14. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 연평균 농도분포

(단위: ng/g)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.184	0.521	0.426
낙동강	9	0.043	0.047	0.109
금 강	5	0.336	0.248	0.058
영산강	4	0.045	0.048	0.026
기 타	10	0.135	0.047	0.116
검출 수 (전체 36지점 중)		36	36	30
최 소		0.002	0.003	N.D.
최 대		1.204	3.151	2.411
중 양 값		<b>0.045</b>	<b>0.036</b>	<b>0.083</b>
평 균		<b>0.132</b>	<b>0.173</b>	<b>0.164</b>
표준편차		0.261	0.532	0.435

\* N.D.: 방법검출한계(0.002 ng/g) 미만

표 IV-3-15. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 연평균 농도분포

(단위: ng/g)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	0.047	0.109	0.118
낙동강	9	0.014	0.037	0.027
금 강	5	0.084	0.146	0.023
영산강	4	0.022	0.032	0.066
기 타	10	0.104	0.025	0.044
검출 수 (전체 36지점 中)		25	34	27
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		0.511	0.594	0.510
중 양 값		<b>0.042</b>	<b>0.026</b>	<b>0.043</b>
평 균		<b>0.055</b>	<b>0.060</b>	<b>0.056</b>
표준편차		0.115	0.125	0.107

\* N.D.: 방법검출한계(0.002 ng/g) 미만

표 IV-3-16. 퇴적물 중 HBB의 연평균 농도분포

(단위: ng/g)

수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
한 강	8	N.D.	N.D.	N.D.
낙동강	9	N.D.	N.D.	N.D.
금 강	5	N.D.	N.D.	N.D.
영산강	4	N.D.	N.D.	N.D.
기 타	10	N.D.	N.D.	N.D.
검출 수 (전체 36지점 中)		0	0	0
최 소		N.D.	N.D.	N.D.
최 대		N.D.	N.D.	N.D.
중 양 값		<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
평 균		<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
표준편차		-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계(0.02 ng/g) 미만

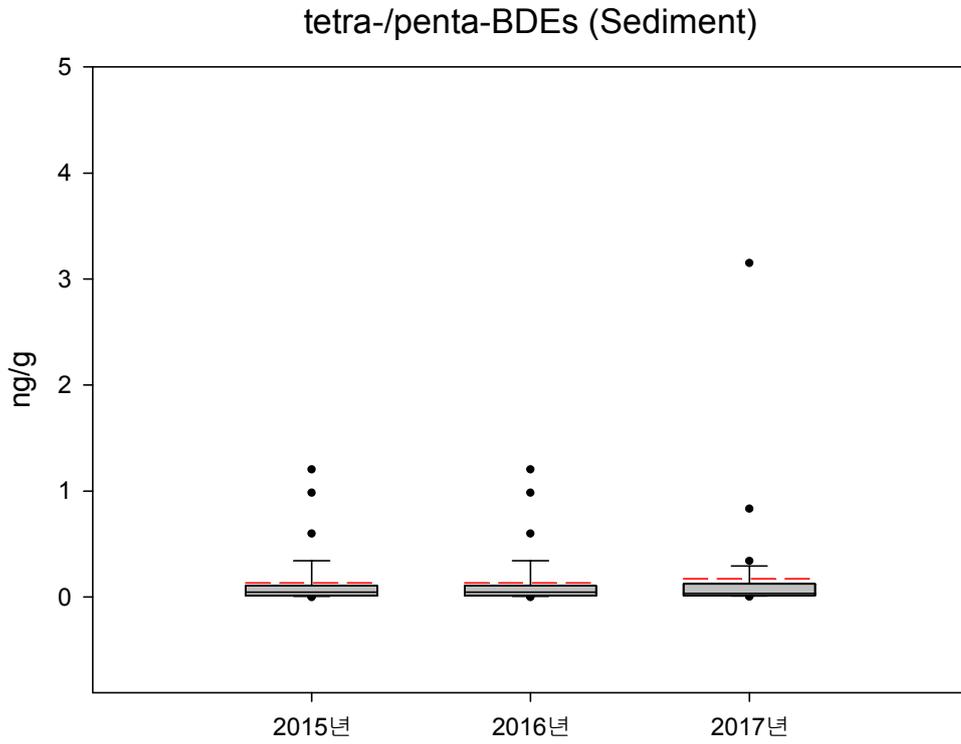


그림 IV-3-21. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 농도 ('15~'17)

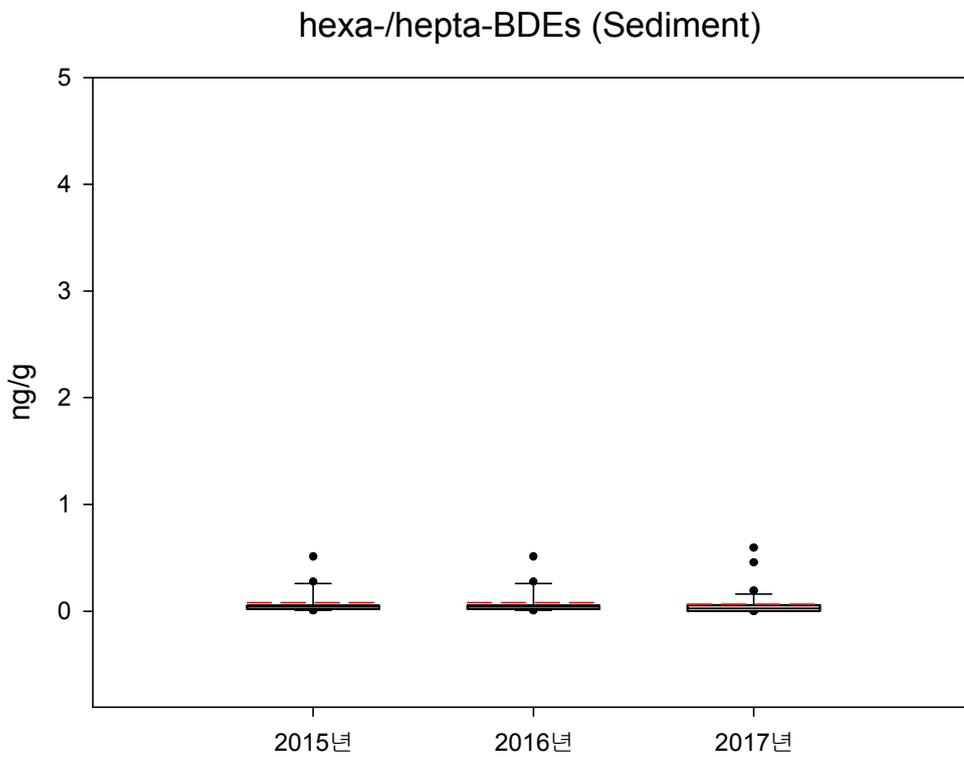


그림 IV-3-22. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 농도 ('15~'17)

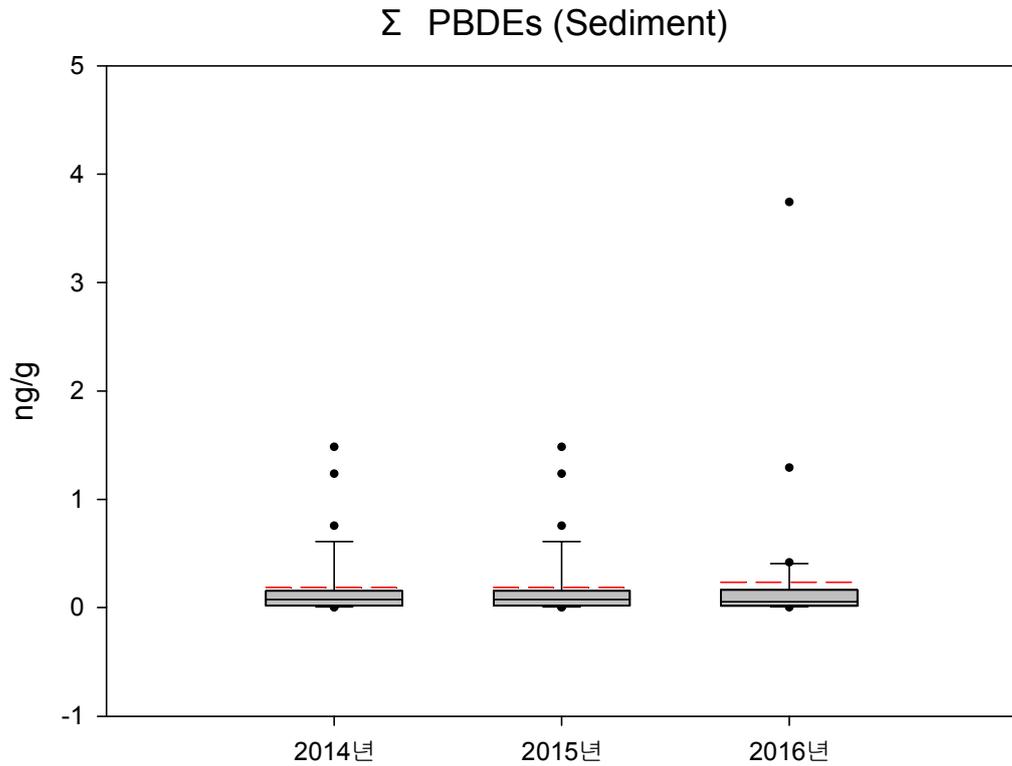


그림 IV-3-23. 퇴적물 중  $\Sigma$ PBDE의 농도 ('15~'17)

국내 측정망의 퇴적물 시료에 대한 조사결과를 토대로 브롬화난연제 농도의 수계별 차이를 확인하기 위하여 표본에 대한 분산의 동질성을 검정한 결과, Levene 통계량은 tetra-/penta-BDE과 hexa-/hepta-BDE 각각 3.105과 4.189, 유의확률이 각각 0.029와 0.008 ( $p > 0.05$ )로 동질성이 있는 것으로 확인되어 집단간 일원배치분산분석을 실시하였으며, 그 결과, 유의확률 ( $p$ 값)이 각각 0.350와 0.311 ( $p > 0.05$ )로 95% 신뢰수준에서 통계적으로 용도지역에 따른 평균농도 차이는 없는 것으로 확인되었다.

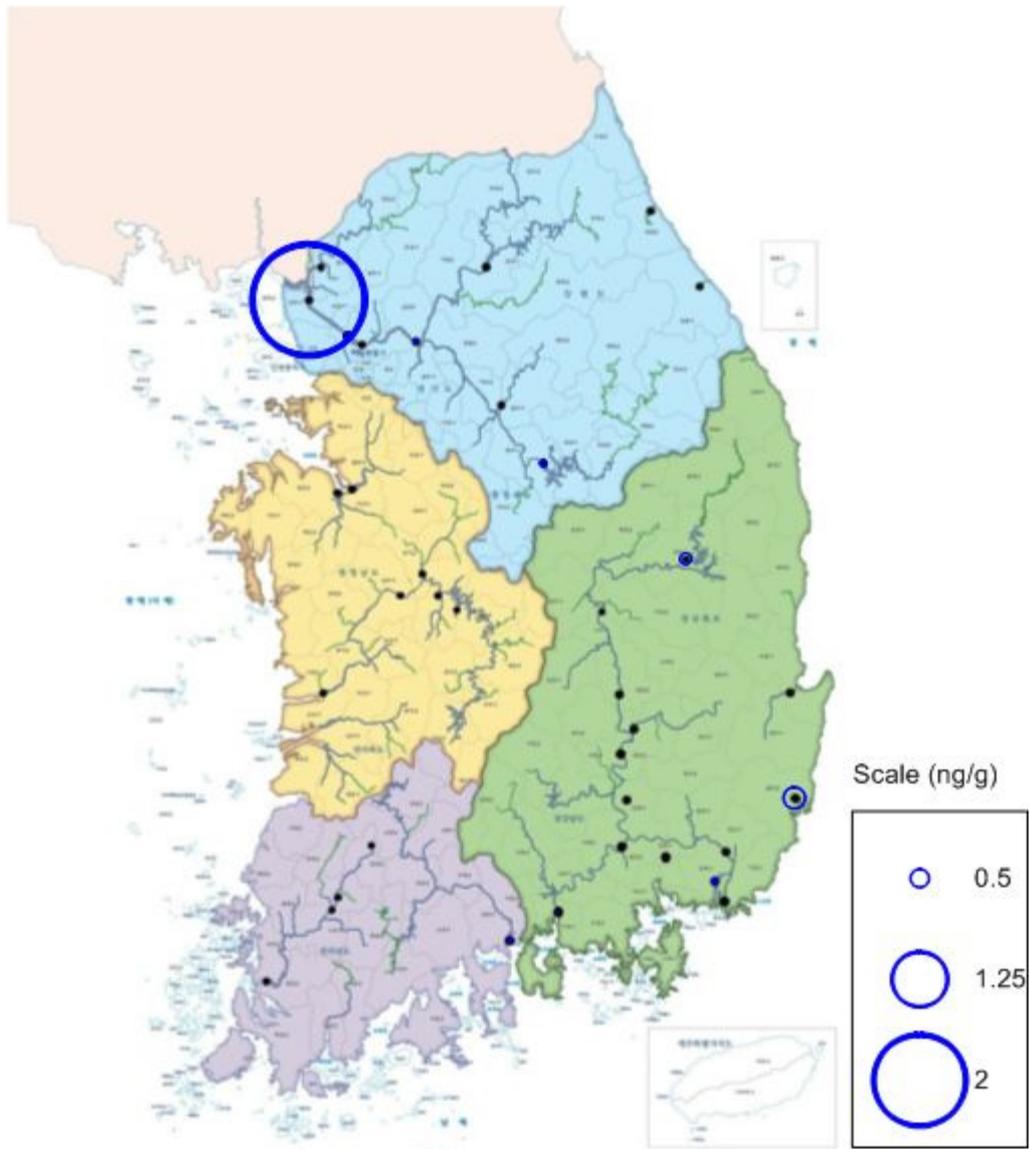


그림 IV-3-24. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 공간분포 ('17)

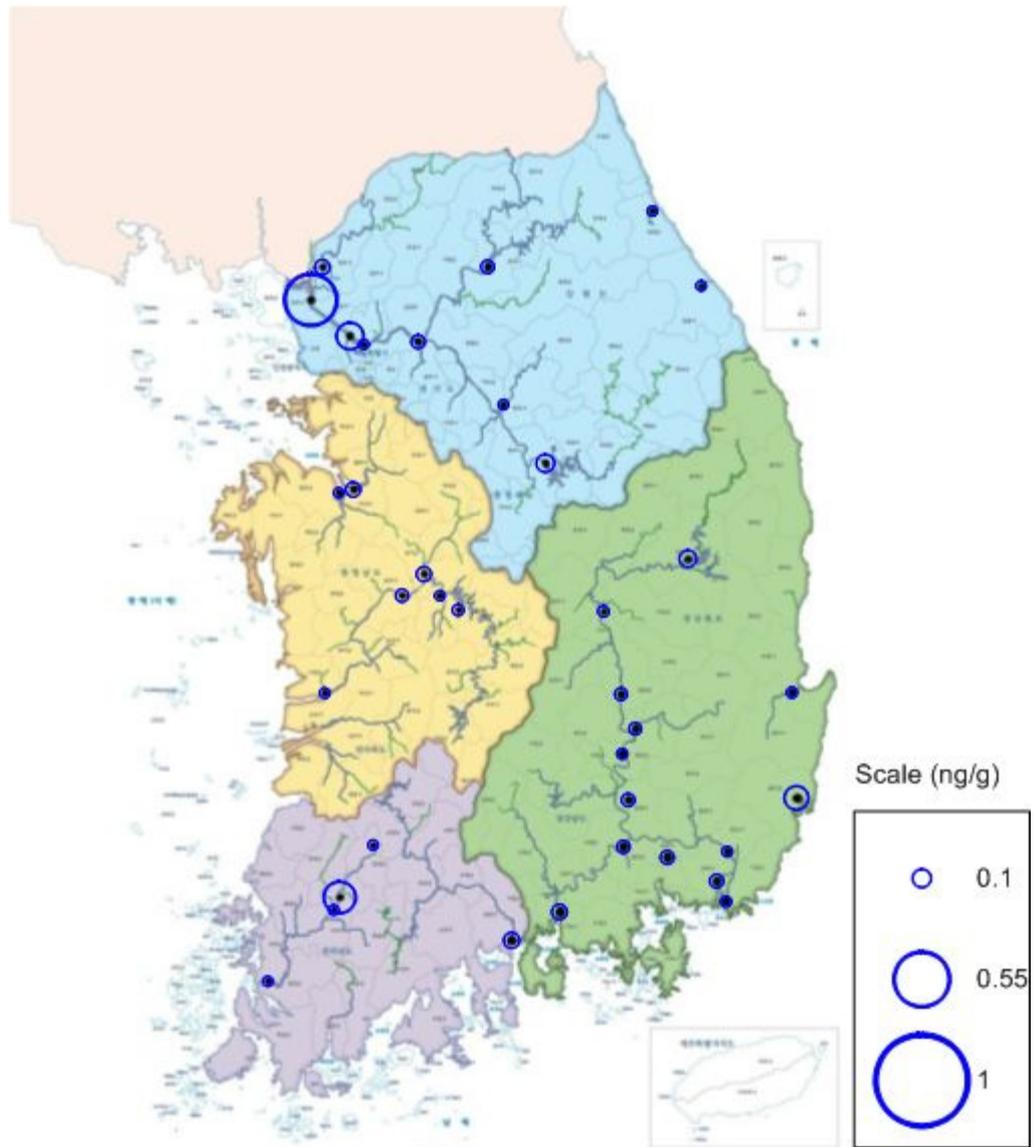


그림 IV-3-25. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 공간분포 ('17)

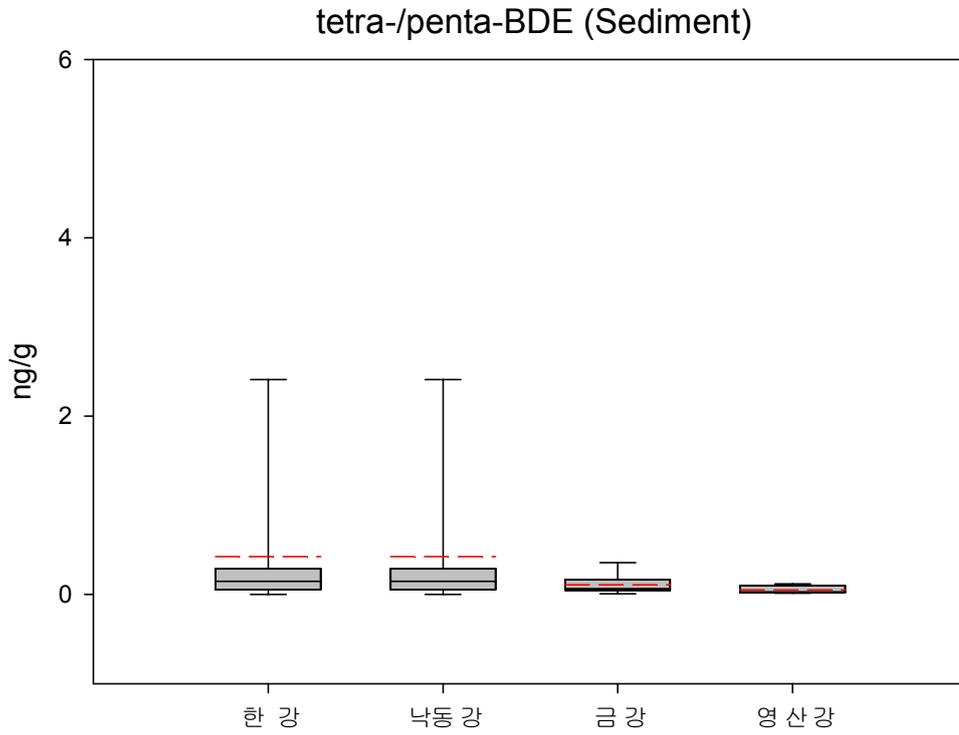


그림 IV-3-26. 퇴적물 중 tetra-/penta-BDE의 수계별 농도분포 ('17)

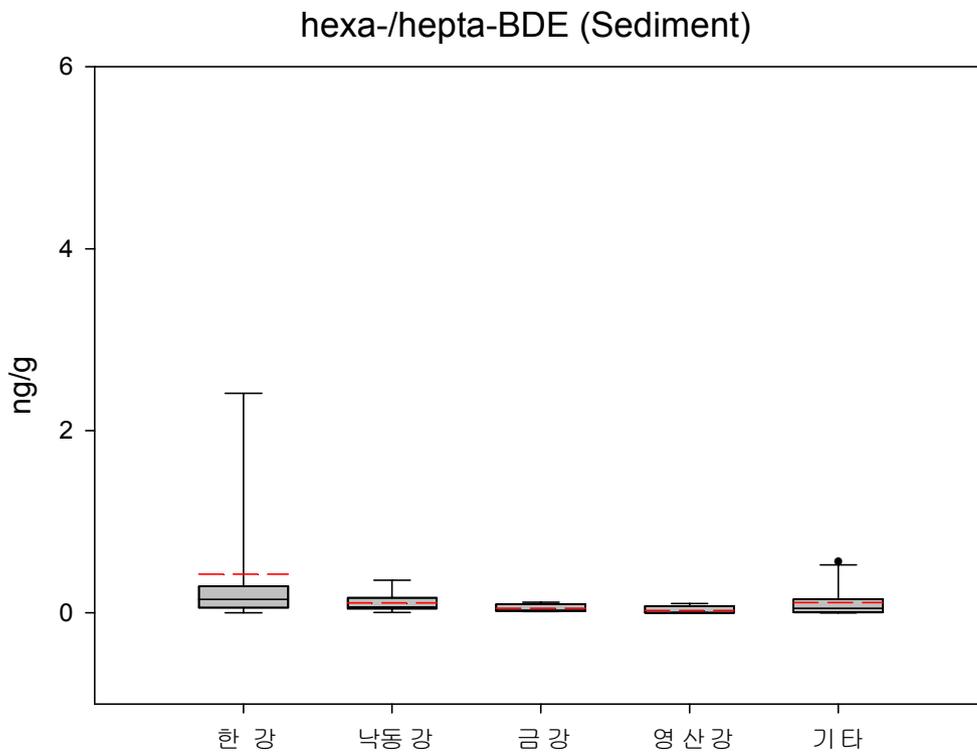


그림 IV-3-27. 퇴적물 중 hexa-/hepta-BDE의 수계별 농도분포 ('17)

## 나) 퇴적물 중 브롬화난연제의 농도 수준 국내외 비교

표 IV-3-17은 국내 측정망의 퇴적물 중 ΣPBDEs 농도 수준을 파악하기 위하여 국가별 농도 수준을 비교한 표이다. 퇴적물 역시 보고된 ΣPBDEs의 이성질체가 문헌마다 상이하여 다양하여 국가별 ΣPBDEs의 농도 수준을 대략적으로 비교하였다.

최근 3년간('15~'17) 국내 측정망의 퇴적물 중 ΣPBDEs의 연평균 농도는 0.186~0.234 ng/g, tetra-/penta-BDE의 연평균 농도는 0.132~0.173 ng/g, hexa-/hepta-BDE의 연평균 농도는 0.055~0.060 ng/g 수준으로 조사되었다.

일본 전역에서 2014년~2015년에 조사한 연평균 농도 6.4~7.2 ng/g에 비해 상당히 낮은 수준임을 확인할 수 있었다.

표 IV-3-17. 퇴적물 시료 중 폴리브롬화디페닐에테르의 국가별 농도수준 비교

국 가	농도 (ng/g)	이성체 수	기간	지역	참고문헌
일 본	0.05-500 (7.2)	7	2015	전국	일본 환경성 2016
	N.D.-1000 (6.4)	7	2014		일본 환경성 2015
	21.47	10 <sup>1)</sup>	2002	Tokyo Bay	Minh et al. 2007
중 국	2.6	27 <sup>2)</sup>	2007	Daliao River Estuary	Zhao et al. 2011
	42.72	25 <sup>3)</sup>	2010	Taihu Lake	Zhou et al. 2012
	0.30-4.62	20 <sup>4)</sup>	2014	Beijing River	Xiong et al. 2016
미 국	4.79	10 <sup>5)</sup>	2007	San Francisco Bay	Klosterhaus et al. 2012
	1.0-4.0	9 <sup>6)</sup>	2002	Lake Michigan, Huron	Song et al., 2005
	<212	22 <sup>7)</sup>	2007	San Francisco Estuary	Oros et al., 2005
베 트 남	1.27	14 <sup>8)</sup>	2010	Thi Nai Lagoon	Romano et al. 2013
네덜란드	14-22	14 <sup>9)</sup>	2001	Scheldt estuary	Verslycke et al., 2005
스 페 인	0.4- 34.10	6 <sup>10)</sup>	2002	Ebro River	Eljarrat et al., 2004

1) BDE-3, -15, -28, -47, -99, -153, -154, -183, -197, -207, -209

2) BDE-3, -7, -15, -17, -28, -47, -49, -66, -71, -77, -85, -99, -100, -119, -126, -138, -153, -154, -156, -183, -184, -191, -196, -197, -206, -207, -209

3) BDE-7, -10, -12, -13, -15, -17, -18, -25, -28, -30, -35, -37, -47, -49, -66, -77, -99, -100, -118, -119, -138, -153, -154, -183, -190, -209

4) BDEs-17, -28, -71, -47, -66, -100, -99, -85, -154, -153, -138, -183, -190, -197, -203, -196, -208, -207, -206, -209

5) BDE-47, -99, -100, -153, -154, -183, -196, -197, -207, -209

6) BDE-28, -47, -66, -85, -99, -100, -153, -154, -183

7) BDE-17, -28, -33, -47, -66, -82, -85, -99, -100, -138, -153, -154, -166, -183, -190, -203, -204, -205, -206, -207, -208, -209

8) BDE-17, -28, -47, -66, -71, -85, -99, -100, -138, -153, -154, -183, -190, -209

9) BDE-28, -47, -66, -71, -75, -77, -85, -99, -100, -119, -138, -153, -154, -190

10) BDE-47, -100, -118, -154, -153, -183

최근 스톡홀름협약에 등재된 신규 잔류성유기오염물질은 아직 국내에서 모니터링 자료가 부족할 뿐만 아니라 규제기준치 및 가이드라인이 설정되어 있지 않다. 따라서 매체별 검출수준에 대한 비교를 위하여 캐나다 환경청에서 제시하고 있는 수질 및 퇴적물에 대한 연방환경 가이드라인 (Federal Environmental Quality Guideline, FEQG)과 비교하였으며, 매체별 가이드라인 값은 아래 표 IV-3-18에 제시하였다.

$\Sigma$ PBDEs는 국내 측정망의 수질 및 퇴적물 측정자료를 연방 환경규제기준 가이드라인 값과 비교할 경우 해당 수치를 초과하는 사례는 관측되지 않았으며, 대개 수십에서 수백 배 이상 낮은 농도 수준으로 파악되었다.

HBBs의 경우 국제적으로 규제기준치 및 가이드라인이 마련되어 있지 않고, 국내 측정망 자료에서도 모든 지점에서 검출한계 미만으로 조사되었다.

표 IV-3-18. 캐나다 수질 및 퇴적물 중  $\Sigma$ PBDEs 가이드라인

구분	이성체	수질 (ng/L)	퇴적물 <sup>1),2)</sup> (ng/g dw)
TrBDE	total	46	44
TeBDE	total	24	39
PeBDE	total	0.2	0.4
HxBDE	total	120	440
HeBDE	total	17 <sup>3)</sup>	-
OcBDE	total	17 <sup>3),5)</sup>	6700 <sup>5)</sup>
NoBDE	total	-	-
DeBDE	total	-	19 <sup>4),5)</sup>

Federal Environmental Quality Guidelines for Polybrominated Diphenyl Ethers (출처: Environment Canada 2010)

1) TrBDE, TeBDE, HxBDE, HeBDE, NoBDE and DeBDE는 BDE-28, BDE-47, BDE-153, BDE-183, BDE-206, BDE-209에 근거

2) 퇴적물 시료의 농도는 유기탄소의 1% 수준으로 표준화 한 값으로, Screening Assessment Report의 값이 다르게 나타남

3) 해당농도는 HeBDE 와 OcBDE의 합에 해당하는 값

4) DeBDE 와 소량의 NoBDE의 혼합용액 사용

5) Screening Assessment Report로부터 차용된 값 (Environment Canada, 2006).

## 3.2. 과불화화합물 농도

### 3.2.1 대기 중 과불화화합물 농도

#### 가) 개요

과불화화합물은 탄화수소의 기본 골격 중 수소가 불소로 치환된 형태의 물질로서, 대표적인 물질로는 과불화옥탄술폰산(Perfluorooctane sulfonate, 이하 PFOS)과 과불화옥탄산(Perfluorooctanoic acid, 이하 PFOA)이며, 그 외에도 환경 중에서 검출되는 과불화화합물로는 PFBS(Perfluorobutane sulfonate), PFHxS (Perfluorohexane sulfonate), PFHxA(Perfluorohexanoic acid), PFNA(Perfluorononanoic acid), PFDA(Perfluorodecanoic acid) 등이 있다.

과불화화합물은 계면활성제의 특성을 지니고 있으며, 안정한 구조로 인해 열에 강하고 가수분해, 광분해, 생분해, 대사분해에 저항하는 독특한 성질이 장점으로 활용되어 산업계에 널리 사용되어왔다(신, 2009).

주로 의류, 카펫, 가구, 신발, 마루 광택제, 소방 약제, 세척제, 페인트, 니스, 왁스, 인화지, 반도체 및 LCD 제조, 컬러프린터·복사기, 항공기, 금속도금, 살충제, 석유생산 등에 사용되어왔으며, 프라이팬, 냄비 등에 사용되는 불소수지 제조 시 보조제로 사용되기도 한다.

과불화화합물은 잔류성, 독성, 장거리 이동성, 생물 농축성 등의 특성으로 인해 2009년 스톡홀름협약 제4차 당사국총회에서 과불화옥탄술폰산(PFOS)이 잔류성 유기오염물질로 등재(부속서 B)되었다. 과불화옥탄산(PFOA)은 현재 스톡홀름협약의 잔류성유기오염물질 검토위원회(POPRC)에서 등재 후보물질로 논의 중이다.

#### 나) 최근 3년간 환경대기 중 연간, 계절별 과불화화합물 농도

국내 측정망에서는 2013년부터 환경대기 중 과불화옥탄술폰산(PFOS)을 측정하기 시작하였으며, 과불화옥탄산(PFOA)은 2015년부터 측정을 시작하였다. 최근 3년간('15~'17) 국내 측정망의 대기 매체에서 조사한 과불화화합물의 농도 수준은 표 IV-3-19에서 IV-3-20에 요약정리 하였다. 환경대기 중 과불화화합물은 모든 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

표 IV-3-19. 환경대기 중 과불화옥탄술폰산 (PFOS) 농도분포 (단위:  $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ )

구분		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최 대	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-
	평 균	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-
2016 (38지점)	최 소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최 대	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
	평 균	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
2017 (37지점)	최 소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최 대	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>
	평 균	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>

\* N.D.: 방법검출한계 미만

표 IV-3-20. 환경대기 중 과불화옥탄산 (PFOA) 농도 (단위:  $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ )

구분		연평균	겨울	봄	여름	가을
2015 (38지점)	최 소	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	최 대	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-
	평 균	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-
2016 (38지점)	최 소	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	최 대	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
	평 균	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
2017 (37지점)	최 소	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	최 대	N.D.	-	N.D.	-	N.D.
	중 앙 값	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>
	평 균	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>	-	<b>N.D.</b>

\* N.D.: 방법검출한계 미만

### 3.2.3. 토양 중 과불화화합물 농도

잔류성유기오염물질 측정망에서 조사한 토양 시료채취지점은 전국 61개 지점으로 연 1회 측정하였으며, 과불화화합물의 검출횟수, 최소값, 최대값, 평균, 표준편차 등 간단한 통계량은 표 IV-3-21에 요약정리 하였다.

2017년도 토양 중 과불화옥탄술폰산(PFOS)의 평균농도는 0.085 ng/g(검출 수 5지점) 수준으로 조사되었으며, 과불화옥탄산(PFOA)의 평균농도는 0.079 ng/g(검출 수 3지점) 수준으로 일부 지점에서만 검출된 것으로 조사되었다.

표 IV-3-21 토양 중 과불화화합물(PFOS, PFOA) 농도분포

(단위: ng/g)

구 분		'15년	'16년	'17년
과불화옥탄술폰산 (PFOS) (61지점)	검 출 수	10	10	5
	최 소	N.D.	N.D.	0.637
	최 대	5.166	11.249	2.011
	중 앙 값	<b>0.930</b>	<b>0.818</b>	<b>0.900</b>
	평 균	<b>0.298</b>	<b>0.319</b>	<b>0.085</b>
	표준편차	1.841	3.294	0.560
과불화옥탄산 (PFOA) (61지점)	검 출 수	16	11	3
	최 소	N.D.	N.D.	0.540
	최 대	3.119	1.796	3.248
	중 앙 값	<b>0.735</b>	<b>0.860</b>	<b>1.022</b>
	평 균	<b>0.287</b>	<b>0.178</b>	<b>0.079</b>
	표준편차	0.772	0.425	1.445

\* N.D.: 방법검출한계 미만



그림 IV-3-28. 토양 중 PFOS의 공간분포 ('17)

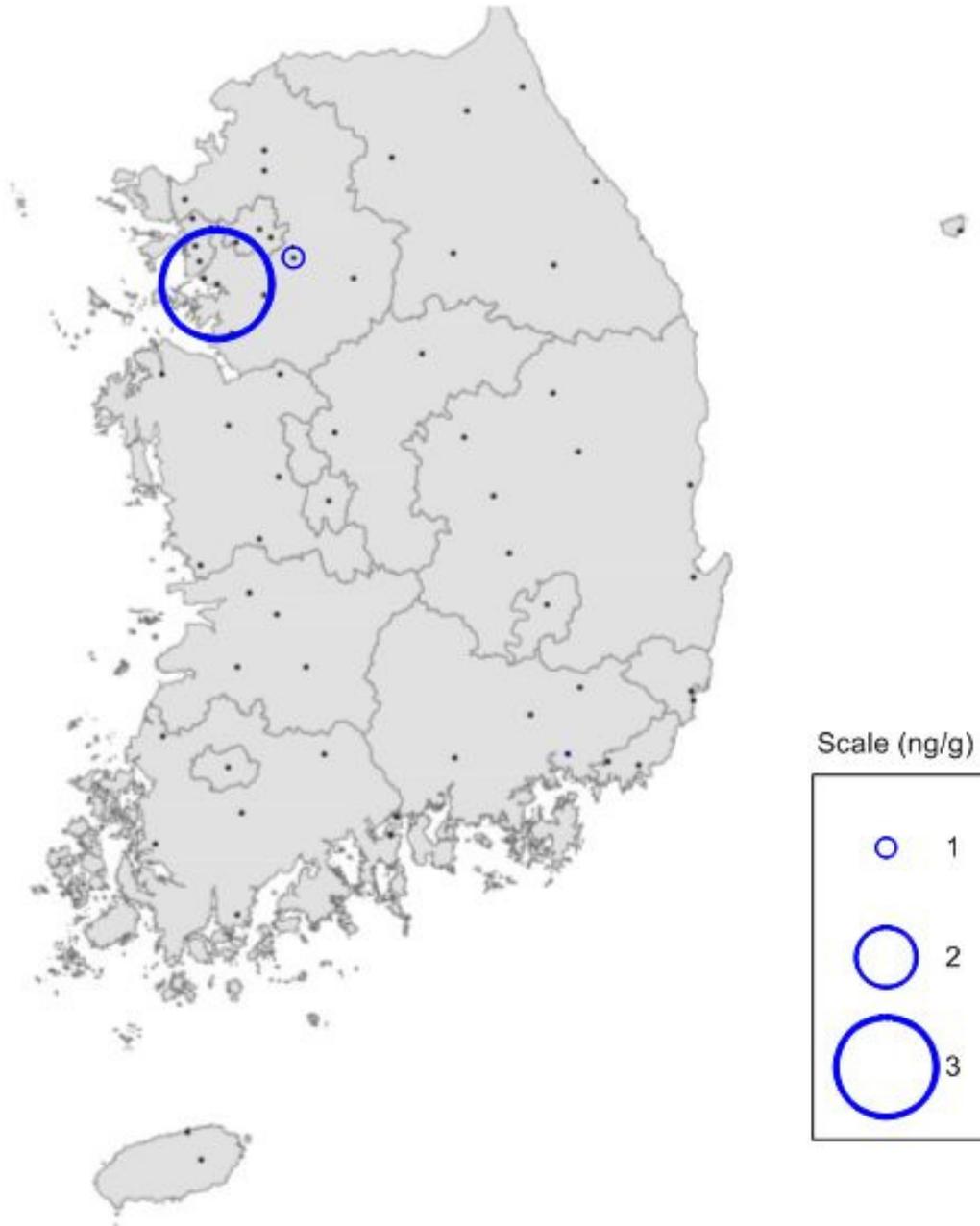


그림 IV-3-29. 토양 중 PFOA의 공간분포('17)

### 3.2.4. 수계 중 과불화화합물 농도

잔류성유기오염물질 측정망의 하천/호소수 및 퇴적물의 시료채취지점은 동일한 지점으로 총 36개 지점이며, 수계별 분포를 보면, 한강수계 8개 지점, 낙동강수계 9개 지점, 금강수계 5개 지점, 영산강수계 4개 지점, 기타 수계 10개 지점으로 구성되어 있다. 측정항목별 검출수, 최소값, 최대값, 평균, 표준편차 등 과불화화합물 분석결과에 대한 간단한 기술통계량은 표 IV-3-22과 표 IV-3-23에 요약정리 하였다.

최근 3년간('15~'17) 하천/호소수의 조사결과를 보면, 과불화옥탄술폰산(PFOS)은 2015년에 각 1지점(안성천 하구언)에서만 검출되었고, 그 외 지점에서는 모두 방법검출한계 미만으로 검출되었다. 과불화옥탄산(PFOA)은 주로 금강과 낙동강수계에서 검출되었다. 퇴적물 중의 과불화옥탄술폰산(PFOS)은 2017년 삼교천하구언(0.555 ng/g)에서 검출된 것을 제외하고는 모두 방법검출한계 미만으로 조사되었으며, 과불화옥탄산(PFOA)은 모든 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

표 IV-3-22. 하천/호소수 중 과불화화합물의 연평균 농도분포 (단위: ng/L)

구 분	수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년
과불화옥탄 술폰산 (PFOS)	한 강	8	N.D.	N.D.	N.D.
	낙동강	9	N.D.	N.D.	N.D.
	금 강	5	N.D.	N.D.	N.D.
	영산강	4	N.D.	N.D.	N.D.
	기 타	10	1.060	N.D.	N.D.
	검출 수 (전체 36지점 中)		1	0	0
	최 소		N.D.	N.D.	N.D.
	최 대		10.605	N.D.	N.D.
	중 양 값		<b>10.605</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
	평 균		<b>0.295</b>	<b>N.D.</b>	<b>N.D.</b>
과불화옥탄산 (PFOA)	한 강	8	N.D.	N.D.	N.D.
	낙동강	9	36.938	11.743	35.122
	금 강	5	72.697	47.124	157.886
	영산강	4	N.D.	N.D.	N.D.
	기 타	10	18.693	3.067	17.057
	검출 수 (전체 36지점 中)		11	9	11
	최 소		N.D.	N.D.	N.D.
	최 대		201.876	152.012	590.404
	중 양 값		<b>51.635</b>	<b>17.778</b>	<b>60.253</b>
	평 균		<b>24.524</b>	<b>10.333</b>	<b>35.447</b>
표준편차		63.555	47.751	164.799	

\* N.D.: 방법검출한계(20 ng/L) 미만

표 IV-3-23. 퇴적물 중 과불화화합물의 연평균 농도분포

(단위: ng/g)

구 분	수 계	지점 수	'15년	'16년	'17년	
과불화옥탄 술폰산 (PFOS)	한 강	8	N.D.	N.D.	N.D.	
	낙동강	9	N.D.	N.D.	N.D.	
	금 강	5	N.D.	N.D.	N.D.	
	영산강	4	N.D.	N.D.	N.D.	
	기 타	10	N.D.	N.D.	0.056	
	검출 수 (전체 36지점 中)			0	0	1
	최 소			N.D.	N.D.	N.D.
	최 대			N.D.	N.D.	0.555
	중 앙 값			N.D.	N.D.	0.555
	평 균			N.D.	N.D.	0.015
	표준편차			-	-	-
	과불화옥탄산 (PFOA)	한 강	8	N.D.	N.D.	N.D.
낙동강		9	N.D.	N.D.	N.D.	
금 강		5	N.D.	N.D.	N.D.	
영산강		4	N.D.	N.D.	N.D.	
기 타		10	N.D.	N.D.	N.D.	
검출 수 (전체 36지점 中)				0	0	0
최 소				N.D.	N.D.	N.D.
최 대				N.D.	N.D.	N.D.
중 앙 값				N.D.	N.D.	N.D.
평 균				N.D.	N.D.	N.D.
표준편차				-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만

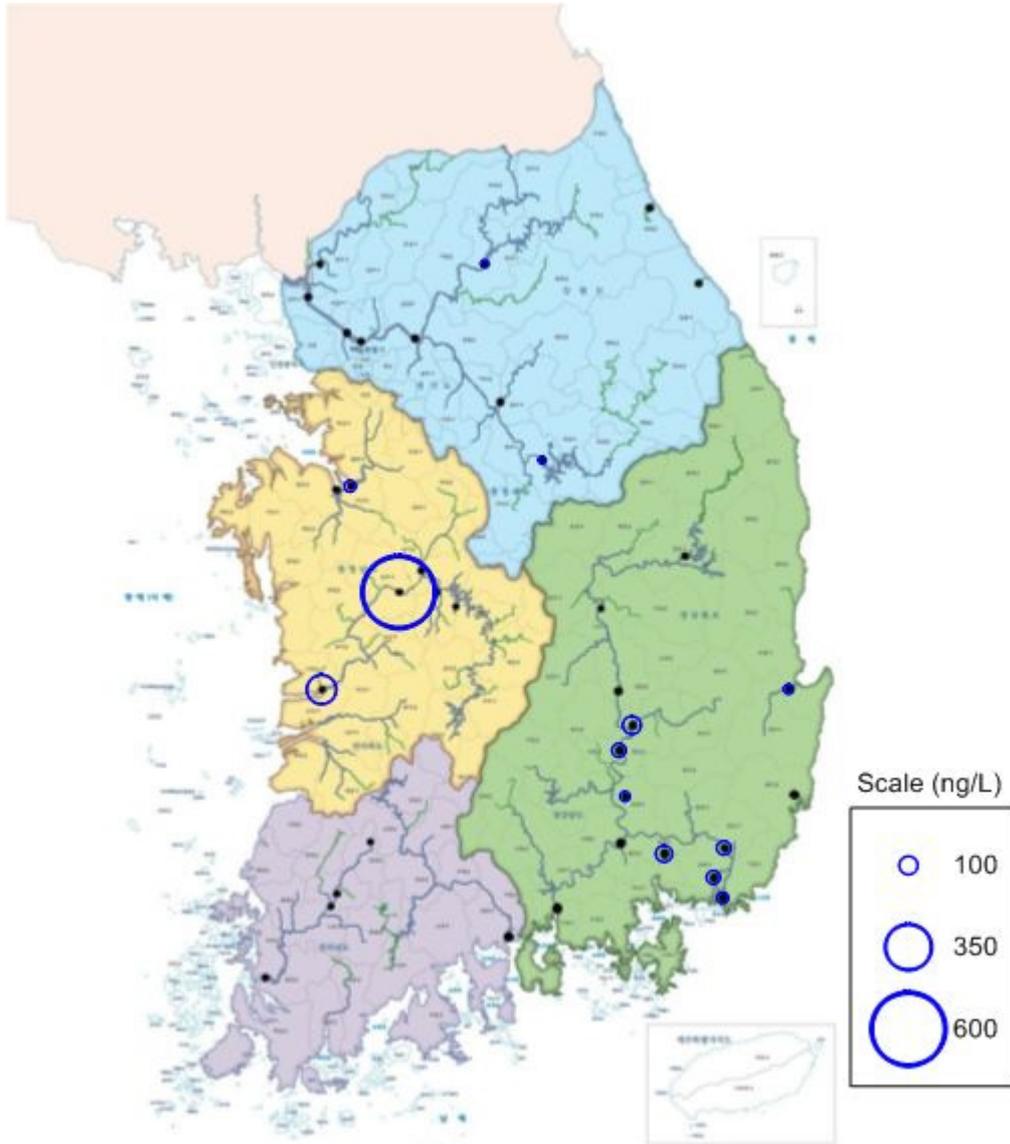


그림 IV-3-30. 하천/호소수 중 PFOA의 공간분포 (17)

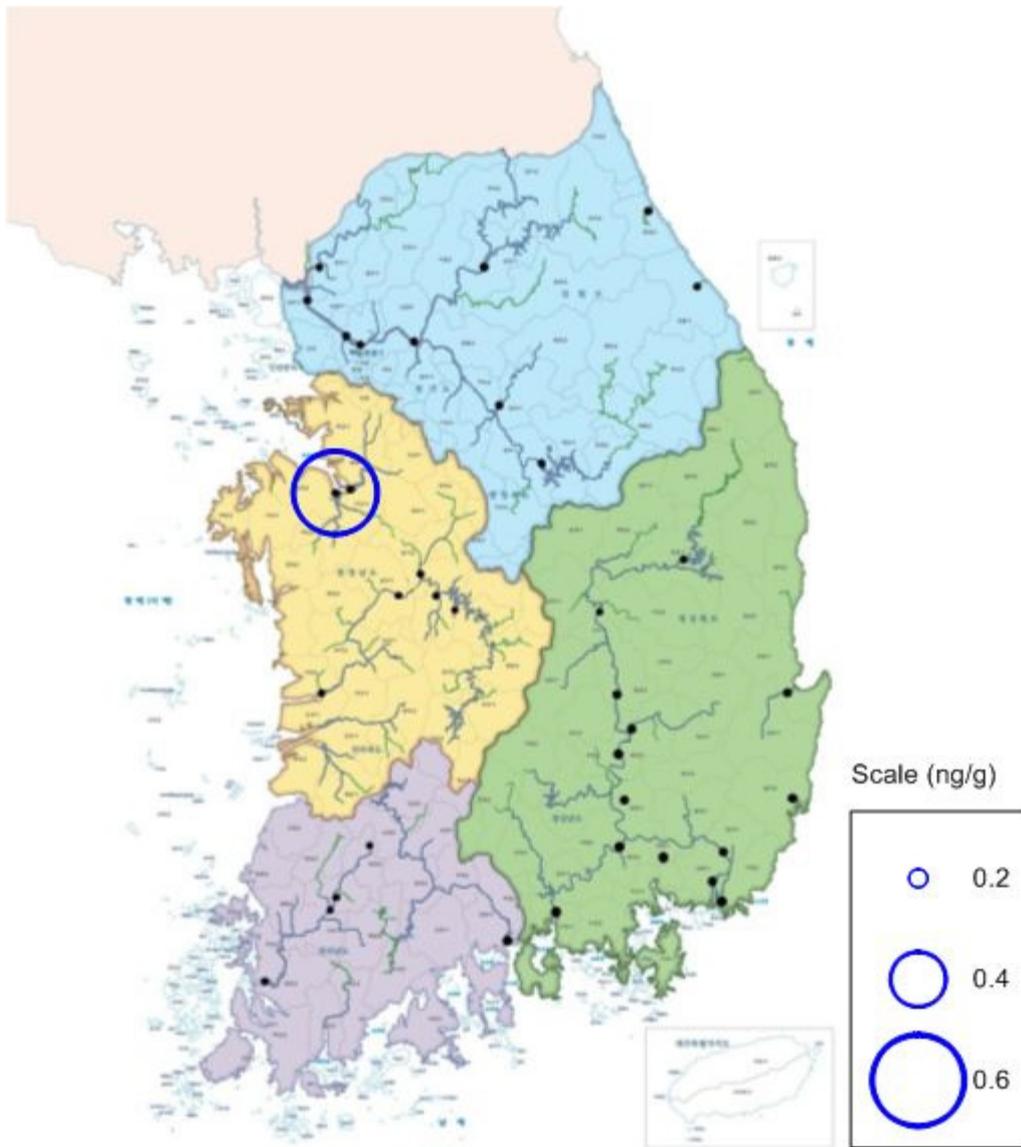


그림 IV-3-31. 퇴적물 중 PFOS의 공간분포 ('17)

### 3.2.5. 환경매질 중 과불화화합물 농도수준 국내외 비교

표 IV-3-24는 우리나라 환경매질 중 과불화화합물의 농도 수준을 파악하기 위하여 국가별 농도 수준을 비교한 표이다. 국내 측정망에서 조사한 결과를 요약하면, 연평균 농도 기준으로 과불화옥탄술폰산(PFOS)의 경우 대기는 모든 지점에서 방법검출한계 미만으로 검출되었으며, 토양, 하천/호소수 및 퇴적물은 각각 0.085~0.319 ng/g, 방법검출한계 미만~0.295 ng/L 및 방법검출한계 미만~0.015 ng/g 수준으로 검출되었다. 과불화옥탄산(PFOA)의 경우 대기는 모든 지점에서 방법검출한계 미만, 토양 0.178~0.287 ng/g, 하천 및 호소수는 10.333~35.447 ng/L, 퇴적물은 모든 지점에서 방법검출한계 미만으로 조사되었다.

환경매질별 과불화옥탄술폰산(PFOS)의 국가별 농도 수준은 대기의 경우 2014년~2015년 일본에서 조사한 연평균 농도가 0.003~2.80 pg/m<sup>3</sup> 수준이며, 다양한 지점에서 조사한 영국과 중국의 농도 수준은 각각 0~46 pg/m<sup>3</sup>와 0.2~1.6 pg/m<sup>3</sup>로 조사되었다. 토양의 경우 미국과 중국이 각각 0.6 ng/g과 2~6 ng/g 수준이며, 하천/호소수의 경우 다양한 지점에서 조사한 일본과 중국의 농도 수준이 각각 방법검출한계 미만~123 ng/L과 0.1~99 ng/L로 검출되었다. 일본의 다양한 지점에서 측정된 퇴적물의 PFOS 농도는 방법검출한계 미만~2.2 ng/g 수준으로 검출되었다.

과불화옥탄산(PFOA)의 경우 대기는 지점별 측정결과 기준으로 일본의 농도 수준이 방법검출한계 미만~919 pg/m<sup>3</sup>, 영국이 15.7~552 pg/m<sup>3</sup> 수준이며, 하천/호소수의 경우 지점별 측정결과 기준으로 일본에서 0.14~26 ng/L 수준으로 검출되었다. 퇴적물은 지점별 측정결과 기준으로 일본에서 0.006~0.27 ng/g 수준으로 조사되었다.

표 IV-3-25에서처럼, 과불화화합물과 관련한 국가별 환경가이드라인을 살펴보면, PFOS의 경우 미국이 70 ng/L(먹는 물, PFOS, PFOA의 합), 캐나다가 200 ng/L(PFOS, 먹는 물)과 600 ng/L(PFOA, 먹는 물), 독일이 300~5,000 ng/L(먹는 물, PFOS, PFOA의 합) 수준인 것으로 조사되었다.

표 IV-3-24. 환경 매질별 과불화화합물의 국가별 농도수준 비교

매질	국가	지역	PFOS	PFOA	단위	참고문헌
대기	일본	전국	0.59~8.8 (2.8)	3.7~260 (19)	pg/m <sup>3</sup>	일본 환경성 2016
		전국	0~0.009 (0.003)	N.D.~7.5 (0.46)	pg/m <sup>3</sup>	일본 환경성 2015
		Oyamazaki	2.51~9.80	72~919	pg/m <sup>3</sup>	K. Harada et al., 2004
		Kyoto	2.5~8.0	72~407	pg/m <sup>3</sup>	K. Sasaki et al., 2004
	영국	Manchester	7.1~46	15.7~341	pg/m <sup>3</sup>	Jonathan L. Barber et al., 2007
		Hazellgg	0~1.6	101~552	pg/m <sup>3</sup>	Jonathan L. Barber et al., 2007
	중국	Shenyang	0.2~1.6	2.3~15	pg/m <sup>3</sup>	K. Sasaki et al., 2004
	토양	미국	Georgia	0.6	-	ng/g
중국		Beijing	2~6	-	ng/g	W Xiaofei et al., 2008
베트남		-	6~9	-	ng/g	Thao et al., 1993
수질	중국	Dalian	0.1~0.96	0.27~2.12	ng/L	Ju et al., 2008
		Guangzhou	0.9~99	0.85~13	ng/L	So et al., 2007
		Nanjing	0.33~0.39	2~2.6	ng/L	So et al., 2007
		Shanghai	0.62~14	22~260	ng/L	So et al., 2007
	일본	전국	0.12~4.7 (0.63)	0.31~17 (1.4)	ng/L	일본 환경성 2016
		전국	N.D.~7.5 (0.46)	0.14~26 (1.4)	ng/L	일본 환경성 2015
		Tokyo Bay	8~59	1.8~192	ng/L	Taniyasu et al., 2003
		Osaska Bay	4~21	-	ng/L	Taniyasu et al., 2003
		Lake Biwa	4~7.4	-	ng/L	Taniyasu et al., 2003
		Ariake Bay	9~11	-	ng/L	Taniyasu et al., 2003
		Kyoto Area	7.9~110	5.12~10	ng/L	Senthilkumar et al., 2007
Todo lake	0.4~123	4.2~2,600	ng/L	Lein et al., 2008		
퇴적물	일본	전국	0.007~2.2 (0.091)	0.008~0.27 (0.048)	ng/g	일본 환경성 2016
		전국	N.D.~0.98 (0.059)	0.006~0.19 (0.044)	ng/g	일본 환경성 2015
	중국	Guangzhou	0~3.1	-	ng/g	Jia Bao et al

※ 괄호( ) 안의 값은 평균 값

표 IV-3-25. 국가별 과불화화합물의 수질 관리기준

국 가 명	PFOS (ng/L)	PFOA (ng/L)	세부내용	출처
일 본	검토항목		기준치 없음	일본 후생노동성
미 국	70 <sup>a)</sup>		먹는물	US EPA, Drinking Water Health Advisories
캐 나 다	200	600	먹는물	Health Canada, Drinking Water Screening Value
독 일	300 <sup>a)</sup>		먹는물 건강기반 기준값	Umwelt Bundesamt
	5,000 <sup>a)</sup>		먹는물 예방적 조치 기준값 (유아의 경우 500)	
영 국	Tier 2 : > 300 Tier 3 : > 1,000 Tier 4 : > 9,000	Tier 2 : > 300 Tier 3 : > 5,000 Tier 4 : > 45,000		UK Drinking Water Inspectorate, 2009
호 주	70	560	먹는물, 권고치	Australian Government, Department of Health
스 웨 덴	90 <sup>b)</sup>			National Food Agency, Sweden

a) PFOS와 PFOA의 합

b) Perfluorbutansulfonat (PFBS), Perfluorhexansulfonat (PFHxS), Perfluoroktansulfonat (PFOS), Fluortelomersulfonat (6:2 FTS), Perfluorbutanoat (PFBA), Perfluorpentanoat (PFPeA), Perfluorhexanoat (PFHxA), Perfluorheptanoat (PFHpA), Perfluoroktanoat (PFOA), Perfluormonanoat (PFNA), Perfluordekanoat (PFDA)의 합

※ 영국의 단계별 Action

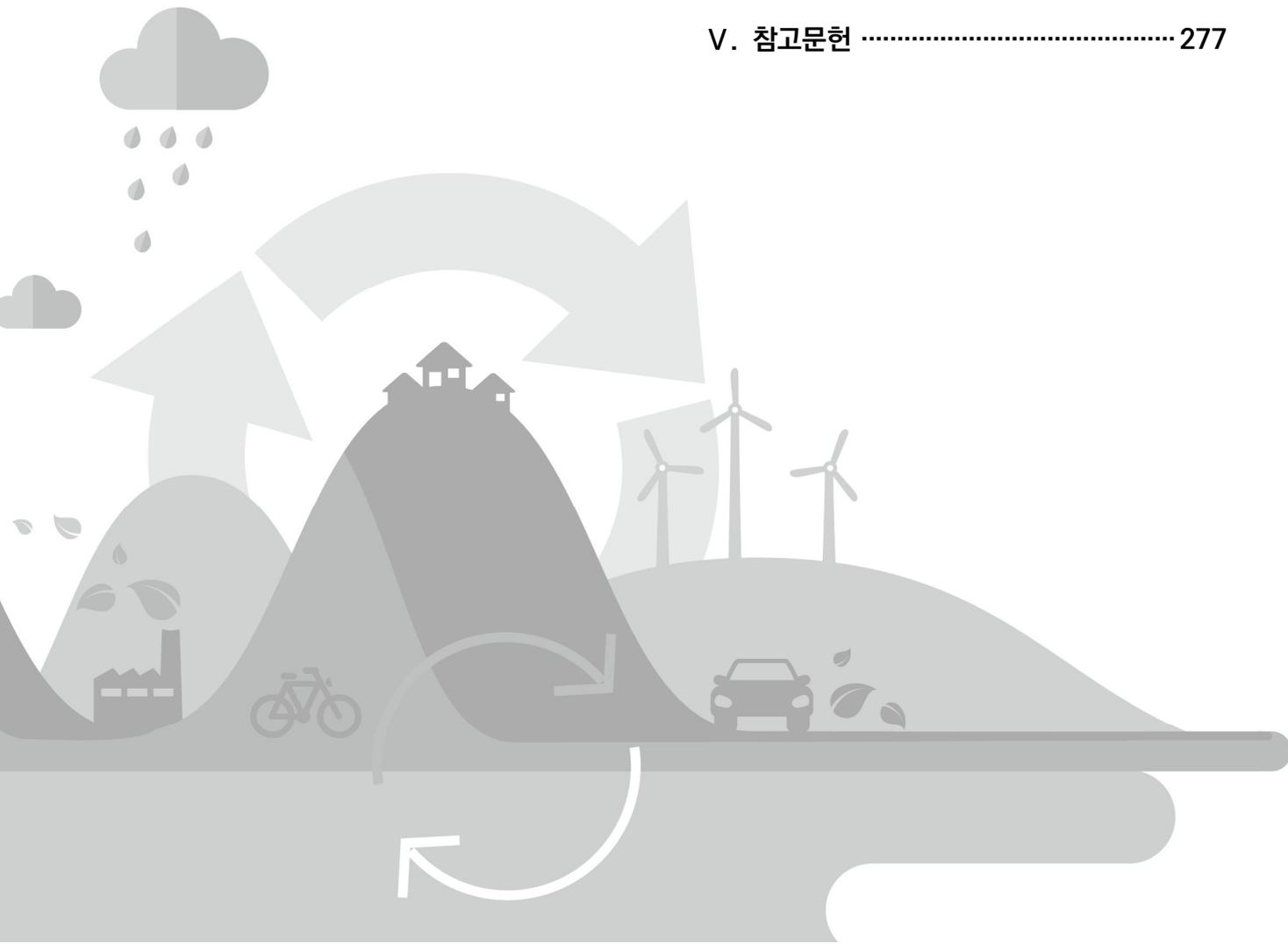
- Tier 2 : 모니터링 수행 및 전문가 컨설팅
- Tier 3 : Tier 2 + 현실적 방안으로 PFOS 1 µg/L 이하, PFOA 5 µg/L 이하로 저감
- Tier 4 : Tier 3 + 7일 이내 먹는물 노출 감소방안 수립 및 긴급 전문가 컨설팅



V

---

V. 참고문헌 ..... 277





## V. 참고문헌

### [국내 참고문헌]

- 국립환경과학원, 내분비계장애물질 조사연구사업 결과보고서, 2000
- 국립환경과학원, 내분비계장애물질 조사연구사업 결과보고서, 2001
- 국립환경과학원, 내분비계장애물질 조사연구사업 결과보고서, 2002
- 국립환경과학원, 내분비계장애물질 조사연구사업 결과보고서, 2003
- 국립환경과학원, 내분비계장애물질 조사연구사업 결과보고서, 2004
- 국립환경과학원, 내분비계장애물질 조사연구사업 결과보고서, 2005
- 국립환경과학원, 내분비계장애물질 환경 중 잔류실태조사, 2006
- 국립환경과학원, 대기환경 중 다이옥신/퓨란류 및 프탈레이트류 등 내분비계 장애물질 잔류실태조사(VIII)
- 국립환경과학원, 신규 POPs의 환경 중 시·공간적 분포조사(II), 2011
- 국립환경과학원, 신규 잔류성유기오염물질의 분석방법 연구(II), 2009
- 국립환경과학원, 토양 중 잔류성유기오염물질(POPs) 관리 방안 마련 연구, 2007
- 국립환경과학원, 2008년도 잔류성유기오염물질 측정망 실태조사, 2009

국립환경과학원, 2009년도 잔류성유기오염물질(POPs) 측정망 실태조사 최종 보고서, 2010

국립환경과학원, 하천 퇴적물 중 POPs 축적도 모니터링사업[ I ] -한강수계, 2006

국립환경과학원, 하천 퇴적물 중 POPs 축적도 모니터링사업[ II ] -낙동강수계, 2007

국립환경과학원, 하천 퇴적물 중 POPs 축적도 모니터링사업[ III ] -금강수계, 2008

국립환경과학원, 하천 퇴적물 중 POPs 축적도 모니터링사업[ IV ] -영산강·섬진강수계, 2009

김태승, 신선경, 오정근, 박종은, 퇴적물 중 브롬화난연제 농도분포 특성에 관한 연구, 분석과학회지, 25, 242-249, 2012

신미연, 임종권, 고영림, 최경식, 조정덕, 서울시 하수처리장 방류수 및 한강 내 PFOA와 PFOS의 과불화화합물 모니터링 연구, 한국환경보건학회지, 35(4), 334~342, 2009

이민진, 토지 이용형태별 잔류성유기오염물질의 오염특성, 대한환경공학회지, 208~216, 2009

일본환경성, 평성 16년도 다이옥신/퓨란류 조사결과 보고서, 2005

일본환경성, 평성 27년도 다이옥신/퓨란류 조사결과 보고서, 2015

일본환경성, 평성 28년도 다이옥신/퓨란류 조사결과 보고서, 2015

정예표, 최민규, 여현구, 천만영, 대기중 난분해성 유기염소계 농약의 계절별 농도변화, 한국환경농학회지, 20, 79-85, 2001

정희경, DDT와 후성유전학, 분자세포생물학뉴스레터, 2015

최민규, 여현구, 천만영, 김태욱, 선우영, 교외지역에서 대기 중 유기염소계 살충제의 농도분포, 대한환경공학회지, 24, 1091-1103, 2002

최민규, 천만영, 대기 중에서 가스상 유기염소계 농약의 농도변화 패턴, 환경독성보건학회지, 22, 111-118, 2007

해양수산부, 2014년 해양생태계 내 잔류성유기오염물질(POPs) 조사, 2016

환경부, 브롬화난연제의 국제적 규제동향과 대응방안 연구, 2005

환경부, 잔류성유기오염물질측정망 설치·운영계획, 2016

## [국외 참고문헌]

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, regulations, Advisories, and Guidelines Applicable to Endosulfan, 2013

Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological Profile for Endosulfan. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), U.S. Department of Health and Human Services, Washington, DC., 2000

Amirova, Z. Monitoring of PCDD/Fs and PCBs in soils of Russian cities from Bryansk to Vladivostok, *Organohalogen Compds.* 57, 281-284, 2002

AMAP(Artic Monitoring and Assessment Programme) assessment 2002: Persistent organic pollutants in the Artic, 2004

Andersson, M., Levels of dioxins and furans in urban surface soil in Trondheim, Norway, *Environmental Pollution*, 152, 553-558, 2008

Australian Government, Australian and new Zealand guidance for fresh and Marine water quality default guideline values for toxicants perfluorooctane sulfonate-Draft, 2015

Australian Government, Department of Health, Health Based Guidance Values for PFAS For use in site investigations in Australia, 2016

<http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/ohp-pfas-hbgv.htm>

Australian Government, Commonwealth Environmental Management Guidance on Perfluorooctane Sulfonic Acid (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA), 2016

AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND GUIDELINES FOR FRESH AND MARINE WATER QUALITY DEFAULT GUIDELINE VALUES FOR TOXICANTS PERFLUOROOCTANE SULFONATE (PFOS) – FRESH SEPTEMBER 2015 – DRAFT

Bakoglu, M., Evaluation of PCDD/Fs levels in ambient air and soils and estimation of deposition rates in Kocaeli, Turkey, *Chemosphere*, 59, 1373-1385, 2005

Batterman S.A., Organochlorine pesticides in ambient air in Durban, South Africa, *Science of the total environment*, 397, 119-130, 2008

Beeman, R.W., Matsumura, F., 1981. Metabolism of cis- and trans-chlordane by a soil microorganism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 29, 84.89.

Bernhard F. A. Bruckmeier, Ingrid Jtittner, Karl-Werner Schramm, Raimund Winkler, Christian E. W. Steinberg, Antonius Kettrup, PCBs and PCDD/Fs In Lake Sediments of Gro ß er Arbersee, Bavarian Forest, South Germany, *Environmental Pollution* 95, 19-25, 1997

- Bidleman T.F., Alegria H., Ngabe B. and Green C., Trends of chlordane and toxaphene in ambient air of Columbia, South Carolina, *Atmospheric Environment*, 32, 1849-1856, 1998
- Bidleman T.F. , Jantunen L.M.M. , Helm P.A. , Brorström-Lundén E. and Junnto S., Chlordane Enantiomers and Temporal Trends of Chlordane Isomers in Arctic Air, *Environ. Sci. Technol.*, 36, 539-, 2002
- Birmingham, B., Analysis of PCDD and PCDF patterns in soil samples: use in the estimation of the risk of exposure, *Chemosphere* 20, 807-814, 1990
- Bossi R., Atmospheric concentrations of organochlorine pesticides, polybrominated diphenyl ethers and polychloronaphthalenes in Nuuk, South-West Greenland, *Atmospheric Environment*, 42, 7293-7303, 2008
- Bright, D.A., Healey, N., Contaminant risks from biosolids land application: Contemporary organic contaminant levels in digested sewage sludge from five treatment plants in Greater Vancouver, British Columbia. *Environ. Pollut.* 126, 39-49. 2003.h
- Broman D., Naf C., Zebuhr Y., Occurrence and dynamics of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans and polycyclic aromatic hydrocarbons in the mixed surface layer of remote coastal and offshore waters of the Baltic, *Environ. Sci. Technol.*, 25, 1850-1864, 1991
- Bromine Science and Environmental Forum (BSEF), Brussels, Belgium. Data reported at [http://205.232.112.21/bsef/docs/Major\\_Brominated.doc](http://205.232.112.21/bsef/docs/Major_Brominated.doc), 2000
- Brubaker, W. W. J., Hites, R. A., OH Reaction Kinetics of Gas-Phase  $\alpha$ - and - Hexachlorocyclohexane and Hexachlorobenzene, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 766-769., 1998
- Buckland, S.J., Organochlorines in New Zealand : ambient concentrations of selected organochlorines in soils. Ministry for the Environment, Wellington, 1998
- Buser, H.-R., Muller, M.D., Enantioselective determination of chlordane components, metabolites, and photoconversion products in environmental samples using chiral high-resolution gas chromatography and mass spectrometry. *Environ. Sci. Technol.* 27, 1211-1220. 1993.
- A. Cabrerizol, J. Dachs<sup>1</sup>, K. C. Jones<sup>2</sup>, and D. Barceló, Soil-Air exchange controls on background atmospheric concentrations of organochlorine pesticides, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 12799-12811, 2011
- Canada Health, PFOS in Drinking Water, 2016

(<https://www.canada.ca/en/health-canada/programs/consultation-perfluorooctane-sulfonate-pfos-in-drinking-water/document.html>)

Cai, Z., Jiang, G., Determination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Soil from E-waste Recycling Site, *Talanta*, 70, 88-90, 2006

Caixiang Z., Xiaoping L., Jiale L., Liang X., Ming L., Bin D., Yanxin W., Influence of long-term sewage irrigation on the distribution of organochlorine pesticides in soil-groundwater systems, *Chemosphere*, 92, 337-343, 2013

C. Turgut, The contamination with organochlorine pesticides and heavy metals in surgence water in Küçük Menderes River in Turkey, 2000-2002, *Environ. Int.*, 29, 29-32, 2003

Cetin B., Odabasi M., Atmospheric Concentrations and Phase Partitioning of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Izmir, Turkey, *Chemosphere*, 71(6), 1067-1078, 2008

Chakraborty P, Zhang G, Li J, Xu Y, Liu X, Tanabe S, et al. Selected organochlorine pesticides in the atmosphere of major Indian cities: levels, regional versus local variations, and sources. *Environ Sci Technol* 2010;44:8038-43.

Chan, C.H., St. Clair River head and mouth water quality monitoring, 1987-1989. *Water Pollut. Res. J. Can.* 28, 451-471. 1993.

Chang M. B., Measurement of PCDD/Fs congener distributions in MWI stack gas and ambient air in northern Taiwan, *Atmospheric Environment*, 38 2535-2544, 2004

CHEN Jiawei, LIU Chen, YANG Zhongfang, WANG Jiyuan, Residues and Characteristics of Organochlorine Pesticides in the Surface Water in the Suburb of Beijing, *Earth Science Frontiers*, 15(5): 242-247, 2008

Chen, L. G., Mai, B. X., Bi, X. H., Chen, S. J., Wang, X. M., Ran, Y., Chen, L. G., Luo, X. J., Sheng, G.Y., Fu, J. M., Zeng, E. Y., Concentration Levels, Compositional Profiles, and Gas-Particle Partitioning of Polybrominated Diphenyl Ethers in the Atmosphere of an Urban City in South China, *Environ. Sci. Technol.*, 40, 1190-1196, 2006

Chen, L., Huang, Y., Peng, X., Xua, Z., Zhang, S., Ren, M., Ye, Z., Wang, X., PBDEs in sediments of the Beijiang River, China: Levels, distribution, and influence of total organic carbon, *Chemosphere*, 76(2), 226-231, 2009

Chen, M. Y., Yu, M., Luo, X. J., Chen, S. J., and Mai, B. X., The factors controlling the partitioning of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated biphenyls in the water-column of the Pearl River Estuary in South China, *Marine Pollution Bulletin*, 62, 29-35, 2011

- Chen, Z., Background levels of PCDD/Fs in soil of Beijing area China, *Organohalogen Compds.* 62, 495-498, 2003
- Cheng, H., Lin, T., Zhang, G., Liu, G., Zhang, W., Qj, S., Jones, K.C., Zhang, X., DDTs and HCHs in sediment cores from the Tibetan Plateau. *Chemosphere* 94, 183-189, 2014
- Chi K.H., Luo S., Hsu S.C., Kao S.J., Tsai Y.J., Chang M.B., Historical trends of dioxin-like Compounds and heavy metals in sediments buried in a reservoir in central Taiwan, *Chemosphere* 76, 286-292, 2009
- Chlordane: Its Effects on Canadian ecosystems and Its Chemistry, 1974. NRCC No. 14094, National Research Council of Canada, Ottawa, Ont., Canada.
- Choi M.P.K., Kang Y.H., Peng X.L., Ng K.W., Wong M.H., Stockholm Convention organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in Hong Kong air, *Chemosphere*, 77, 714-719, 2009
- Cortes D.R. , Basu I., Sweet C. W., Brice K. A., Hoff R.M., and Hites R.A. , Temporal Trends in Gas-Phase Concentrations of Chlorinated Pesticides Measured at the Shores of the Great Lakes, *Environ. Sci. Technol.*, 32, 1920-, 1998
- Coutinho, M., Monitoring of ambient air PCDD/F levels in Portugal, *Chemosphere*, 67, 1715-1721, 2007
- Darnerud, P. O., Eriksen, G. S., Jóhannesson, T., Larsen, P. B., Viluksela, M., Polybrominated diphenyl ethers: occurrence, dietary exposure, and toxicology, *Environmental Health Perspectives*, 109(1), 49, 2001
- de Wit, C. A., An overview of brominated flame retardants in the environment. *Chemosphere*, 46(5), 583-624, 2002
- Deng, W. J., Zheng, J. S., Bi, X. H., Fu, J. M., Wong, M. H., Distribution of PBDEs in Air Particles from an Electronic Waste Recycling Site Compared with Guangzhou and Hong Kong, South China, *Environ. Int.*, 33(8), 1063-1069, 2007
- Ding, W.-H., Aldous, K.M., Briggs, R.G., Valente, H., Hilker, D.R., Connor, S., Eadon, G.A., Application of multivariate statistical analysis to evaluate local sources of chlorobenzene congeners in soil samples. *Chemosphere* 25, 675-690. 1992.
- Dongmei, H., Matthew, J. C., Review-Persistent organic pollutants in China's surface water systems, *Science of the total Environment* 580, 602-625, 2017

Doong R., Sun Y., Liao P., Peng C., Wu S., Distribution and fate of organochlorine pesticide residues in sediments from the selected rivers in Taiwan, *Chemosphere* 48, 237-246, 2002

Doong R., Lee S., Lee C., Sun Y., Wub S., Characterization and composition of heavy metals and persistent organic pollutants in water and estuarine sediments from Gao-ping River, Taiwan, *Marin Pollution Bullentin* 57, 846-857, 2008

Duarte-Davidson, R., PCDDs and PCDFs in British urban air and deposition, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 1, 262-270, 1994

Dutch National Institute for Public Health and the Environment, RIVM (National Institute for Public Health and the Environment). 2010. Environmental Risk Limits for PFOS: A Proposal for Water Quality Standards in Accordance with the Water Framework Directive. Report 601714013/2010, 2011

Eder, G., Sturm, R., Ernst, W., Chlorinated hydrocarbons in sediments of the Elbe River and Elbe Estuary. *Chemosphere* 16, 2487-2496. 1987.

Eljarrat E., Level of polychlorinated dibenzo-p-dioxins dna dibenzofurans in soil samples from Spain, *Chemospher*, 44, 1383-1387, 2001

Eljarrat, E., de la Cal, A., Raldua, D., Duran, C., Barcelo, D., Occurrence and Bioavailability of Polybrominated Diphenyl Ethers and Hexabromocyclododecane in Sediment and Fish from the Cinca River, a Tributary of the Ebro River(Spain), *Environ. Sci. Technol.*, 38(9), 2603-2608, 2004

Eljarrata, E., Cal, A.D.L., Larrazabal, D., Fabrellas, B., Fernandez-Alba, A.R., Borrulld, F. Marced, R.M., Barcelo, D, Occurrence of polybrominated diphenylethers, polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls in coastal sediment from Spain, *Environmental Pollution* 136, 493-501, 2005.

Eljarrat, E., Marsh, G., Labandeira, A., Barcelo, D., Effect of Sewage Sludges Contaminated with Polybrominated Diphenylethers on Agricultural Soils, *Chemosphere*, 71, 1079-1086, 2008

Environment Canada, Federal environmental quality guideline (FEQG), 2010

Environment Canada, Canadian water quality guidelines (CWQG), 2010

Environmental Monitoring Report on Persistent Organic Pollutants (POPs) in Japan 2002-2004

European Commission, CIRCABC, PFOS EQS Dossier, 2011

Luo, Y., Luo, X. J., Lin, Z., Chen, S. J., Liu, J., Mai, B. X., Yang, Z. Y., Polybrominated

- Diphenyl Ethers in Road and Farmland Soils from an E-waste Recycling Region in Southern China: Concentrations, Source Profiles, and Potential Dispersion and Deposition, *Environ. Sci. Technol.*, 407(3), 1105-1113, 2009
- Falandysz J, Brudnowska B, Kawano M et al., Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in soils from the southern part of Poland. *Arch Environ Contam Toxicol*, 40, 173-178, 2001
- Fendick, E.A., Mather-Mihaich, E., Houck, K.A., St. Clair, M.B., Faust, J.B., Rockwell, C.H., Owens, M., 1990. Ecological toxicology and human health effects of heptachlor. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 111, 61.142.
- Finizio A., emission of chiral pesticides from an agricultural soil in the Fraser Valley, British Columbia, *Chemosphere*, 36, 345-355, 1998
- Fu, S., Organochlorine pesticide residue in soils from Tibet, China, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 66, 171-177, 2001
- Gao L.R., Zheng M.H., Zhang B., Liu W.B., Zhao X.R., Zhang Q.H., Declining polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans levels in the sediments from Dongting Lake in China, *Chemosphere* 73, S176-S179, 2008
- Gaus C., Pöpke O., Dennison N., Haynes D., Shawa G.R., Connell D. W. and Müller J. F., Evidence for the presence of a widespread PCDD source in coastal sediments and soils from Queensland, Australia *Chemosphere* 43, 549-558, 2001
- Gaw S.K., Trace element and  $\Sigma$ DDT concentrations in horticultural soils from the Tasman, Waikato and Auckland regions of New Zealand, *Science of the Total Environment*, 355, 31-47, 2006
- Gawlik, B.M., Martens, D., Schramm, K.W., Kettrup, A., Lambert, A., Muntau, H., On the presence of PCDD/Fs and other chlorinated hydrocarbons in the second generation of the European Reference Soil Set - the EUROSOLS. *Fresen. J. Anal. Chem.* 368, 407-411. 2000.
- Gifford J.S., Buckland S.J., Judd M.C., MaFarlane P.N., anderson S.M., Pentachlorophenol (PCP), PCDD, PCDF and pesticide concentrations in a freshwater lake catchment, *Chemosphere*, 32, 2097-2113, 1996
- Giordano, G., Kavanagh, T. J., and Costa, L. G., Neurotoxicity of a polybrominated diphenyl ether mixture (DE-71) in mouse neurons and astrocytes is modulated by intracellular glutathione levels, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 232, 161-168, 2008

Gioia R., Atmospheric concentrations and deposition of organochlorine pesticides in the US Mid-Atlantic region, *Atmospheric Environment*, 39, 2309-2322, 2005

Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants under the Stockholm Convention Article 16 on Effectiveness Evaluation, 2<sup>nd</sup> Global Monitoring Report, UNEP, Stockholm Convention, UNEP/POPS/COP.8/INF/38, 2017

Global Monitoring Plan under the Stockholm Convention, The 2<sup>nd</sup> POPs monitoring Report Asia-Pacific Region, Stockholm Convention, 2015

Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants under the Stockholm Convention Article 16 on Effectiveness Evaluation, 2<sup>nd</sup> Regional Monitoring Report Central and Eastern European (CEE) and Central Asian Region, Stockholm Convention, 2015

Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants under the Stockholm Convention Article 16 on Effectiveness Evaluation, 2<sup>nd</sup> Regional Monitoring Report Western Europe and other Group (WEOG) Region, Stockholm Convention, 2015

Global Monitoring Plan for Persistent Organic Pollutants, Pursuant to Article 16 on the Effectiveness Evaluation of Stockholm Convention, Second Regional Monitoring Report, GRLAC Region, Stockholm Convention, 2014

Gong, Z.M., Residues of hexachlorocyclohexane isomers and their distribution characteristics in soils in the Tianjin area, China, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 46, 432-437, 2004

Gong Z.M., Level and distribution of DDT in surface soils from Tianjin, China, *Chemosphere*, 54, 1247-1253, 2004

Götz R., Enge P., Friesel P, Roch K., Kjeller L.O., Kulp S.E., Rappe C., Sampling and analysis of water and suspended particulate matter of the River Elbe for polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs), *Chemosphere*, 28, 63-74, 1994

Guan, Y. F., Sojinu, O. S., Li, S. M., Zeng, E. Y., Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers in the Environment of the Pearl River Estuary, South China, *Environ. Pollut.*, 157(7), 2166-2172, 2009

Grundy, S.L., Dioxin and furan signatures in Northern Canadian soils: correlation to source signatures using multivariate unmixing techniques, *Chemosphere* 34, 1203-1219, 1997

Halsall, C.J., Bailey, R., Stern, G.A., Barrie, L.A., Fellin, P., Muir, D.C.G., Rosenberg, B., Rovinsky, F.Y., Kononov, E.Y., Pastukhov, B., 1998. multi-year observations of organohalogen pesticides in the Arctic atmosphere. *Environmental Pollution* 102, 51.62.

- Halse, A.K., Schlabach, M., Eckhardt, S., Sweetman, A., Jones, K.C., Breivik, K., 2011. Spatial variability of POPs in European background air. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, 1549-1564.
- Harner T., Residues of organochlorine pesticides in Alabama soils, *Environmental Pollution*, 106, 323-332, 1999
- H.B. Zhang, Y.M. Luo, Q.G. Zhao, M.H. Wong, G.L. Zhang, Residues of organochlorine pesticides in Hong Kong soils, *Chemosphere* 63, 633-641, 2006
- Hassanin, A., Breivik, K., Meijer, S. N., Steinnes, E., Thomas, G. O., Jones, K. C., PBDEs in European background soils: levels and factors controlling their distribution, *Environ. Sci. Technol.*, 38(3), 738-745, 2004
- Hemming, J.M., Brim, M.S., Jarvis, R.B, A survey of dioxin and furan Compounds in sediments of Florida Panhandle Bay systems Baseline, *Marine Pollution. Bullentin* 46, 512-521, 2003.
- Henry A. A., Organochlorine pesticides and PCBs in air of southern Mexico (2002-2004), *Atmospheric Environment*, 42, 8810-8818, 2008
- Hinckley D.A., Bidleman T.F., Foreman W.T., Tuschall J.R., Determination of vapor pressures for nonpolar and semipolar organic Compounds from gas chromatographic retention data, *J. Chem. Eng. Data*, 35, 232-237, 1990
- HMIP, A Review of Dioxin Emissions in the UK. Research Report No. DOE/HMIP/RR/95/004, 1995
- Hoai P.P., Ngoc N.T., Minh N N.H., Viet P.H., Berg M., Alder A.C., Giger W., Recent levels of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in sediments of the sewer system in Hanoi, Vietnam, *Environmental Pollution*, 158, 913-920, 2010
- Hoff R.M., Muir D.C.G., Grift N.P., Annual cycle of polychlorinated biphenyls and organohalogen pesticides in air in southern Ontario. 2. Atmospheric transport and sources, *Environ. Sci. Technol.*, 26, 276-283, 1992
- Hong S. H., Nationwide monitoring of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in sediments from coastal environment of Korea, *Chemosphere*, 64, 1479-1488, 2006
- Hua L., Zhang G., Zheng B., Qin Y., Lin T., Guo Z., Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (OCPs) in surface sediments of the Bohai Sea, China, *Chemosphere* 77, 663-672, 2009
- Iacovidou, E., Mandalakis, M., & Stephanou, E. G, Occurrence and Diurnal Variation of Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Diphenyl Ethers in the Background

Atmosphere of Eastern Mediterranean, *Chemosphere*, 77(9), 1161-1167, 2009

Im S.H., Concentrations and Profiles of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins and Dibenzofurans in Soils from Korea, *Environ. Sci. Technol.*, 36, 3700-3705, 2002

International Programme on Chemical Safety (IPCS), Environmental Health Criteria 162, Brominated diphenyl ethers. World Health Organization, Geneva. Available from <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc162.htm>, 1994

IPCS, Hexachlorobenzene. Geneva, World Health Organization, International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria 195, 1997

Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Tatsukawa, R., Distribution of persistent organochlorines in oceanic air and surface seawater and role of ocean on their global transport and fate, *Environ. Sci. Technol.*, 27, 1080-1098., 1993

Iwata, H., Tanabe, S., Ueda, K., Tatsukawa, R., Persistent organochlorine residues in air, water, sediments, and soils from the Lake Baikal region, Russia. *Environ. Sci. Technol.* 29, 792-801, 1995

Iwata, H., Tanabe, S., Sakai, N., Nishimura, A., Tatsukawa, R., Geographical distribution of persistent organochlorines in air, water, and sediments from Asia and Oceania, and their implications for global redistribution from lower latitudes. *Environ. Pollut.* 85, 15-33, 1994

Jana Kláňová, Nina Matykiewiczová, Zdeněk Mačka, Pavel Prošek, Kamil Láňka, Petr Kláň, Persistent organic pollutants in soils and sediments from James Ross Island, Antarctica *Environmental Pollution* 152, 416-423, 2008

Jantunen L.M.M. , Bidleman T.F., Harner T., and Parkhurst W.J., Toxaphene, Chlordane, and Other Organochlorine Pesticides in Alabama Air, *Environ. Sci. Technol.*, 34, 5097-5105, 2000

Jaward F. M., Zhang G., Nam J. J., Sweetman A. J., Obbard J. P., Kobara Y., Jones K. C., Passive air sampling of polychlorinated biphenyls, organochlorine Compounds and polybrominated diphenyl ethers across Asia, *Environ. Sci. Technol.*, 39, 8638-8645, 2005

Jing, M., Seongjin, H., Tieyu, W., Qifeng, L., Seo, J. Y., Yonglong, L., John, P. G., Jong, S. K., Traditional and new POPs in environments along the Bohai and Yellow Seas: An overview of China and South Korea, *Chemosphere* 169, 503-515, 2017

Jiang, X., Martens, D., Schramm, K.-W., Kettrup, A., Xu, S.F., Wang, L.S., Polychlorinated organic compounds (PCOCs) in waters, suspended solids and sediments of the Yangtze River. *Chemosphere* 41, 901-905. 2000.

- Jiang Y., Occurrence, distribution and possible sources of organochlorine pesticides in agricultural soil of Shanghai, China, *Journal of Hazardous Materials*, 170, 989-997, 2009
- Jochen F. Müller, Caroline Gausa, Joelle A. Prangea, Olaf Pöpkec, Ka Fai Poond, M. H. W. Lamd and Paul K. S. Lamd, Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in sediments from Hong Kong, *Marine Pollution Bulletin* 45, 372-378, 2002
- Joelle A. Prange, Caroline Gausa, Olaf Pöpkec and Jochen F. Müllera, Investigations into the PCDD contamination of topsoil, river sediments and kaolinite clay in Queensland, Australia *Chemosphere* 46, 1335-1342, 2002
- John W., Bernard K., Peter N., Jolocam M., Patrick S., Organochlorine pesticide residues in sediments from the Uganda side of lake victoria, *Chemosphere*, 82, 130-136, 2011
- Jong-Hun K., Alistair S., Distribution of organochlorine pesticides in soils from South Korea, *Chemosphere*, 43, 137-140, 2001
- Jou J., Soil dioxins levels at agriculture sites and natural preserve areas of Taiwan, *Journal of Hazardous Materials*, 147, 1-7, 2007
- Kaj, L., Palm, A., Screening av hexaklorbutadien (HCBD) i miljöen. IVI Rapport B1543. IVI Svenska Miljöinstitutet AB. 2004.
- Kaminsky, R., Kaiser, K.L.E., Hites, R.A., Fates of organic compounds from Niagara Falls dumpsites in Lake Ontario. *J. Great Lakes Res.* 9, 183-189. 1983.
- Kannan, K., Battula, S., Loganathan, B.G., Hong, C.-S., Lam, W.H., Villeneuve, D.L., Sajwan, K., Giesy, J.P., Aldous, K.M., Trace organic contaminants, including toxaphene and trifluralin, in cotton field soils from Georgia and South Carolina, USA. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 45, 30-36, 2003
- Karell M., Surveillance programme on dioxin levels in soils in the Campo de Gibraltar (Southwest Spain), *Chemosphere*, 65, 382-389, 2006
- Kiguchi O., Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in paddy soils and river sediments in Akita, Japan, *Chemosphere*, 67, 557-573, 2007
- Kim D. G., Ambient air monitoring of PCDD/Fs and co-PCBs in Gyeonggi-do, Korea, *Chemosphere*, 67, 1722-1727, 2007
- Klanova, J., Matykiewiczova, N., Macka, Z., Prosek, P., Laska, K., Klan, P., persistent organic pollutants in soils and sediments from James ROSS Island, Antarctica. *Environ. Pollt.* 152, 416-423, 2008

- Klánová J., Are the residents of former Yugoslavia still exposed to elevated PCB levels due to the Balkan wars Part 1: air sampling in Croatia, Serbia, Bosnia and Herzegovina, *Environment International*, 33, 719-726, 2007
- Korea Food and Drug Administration, Information on adverse drug reactions, 44, 120-121., 2009
- Krauthacker, B., PCDD/Fs in ambient air collected in Zagreb, Croatia, *Chemosphere*, 62, 1829-1837, 2006
- Kucklick, J. R., Hinckley, D. A., Bidleman, T. F., Determination of Henry's law constants for hexachlorocyclohexanes in distilled water and artificial seawater as a function of temperature, *Marine Chem.*, 34, 197-209., 1991
- Lifei Zhang, Liang Dong, Shuangxin Shi, Li Zhou, Ting Zhang, Yeru Huang, Organochlorine pesticides contamination in surface soils from two pesticide factories in Southeast China, *Chemosphere* 77, 628-633, 2009
- Lee K.T., Distribution of organochlorine pesticide in sediments from Kyeonggi Bay and nearby areas, Korea, *Environmental pollution*, 114, 207-213, 2001
- Lee W., Shih S., Li H.W., Lin L.F., Yu K.M., Lu K., Wang L.C., Chang-Chien G.P., Fang K., Lin M., Assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans contribution from different media to surrounding duck farms, *Journal of Hazardous Materials* 163, 1185-1193, 2009
- Lee W.J., Shih S.I., Li H.W., Lin L.F., Yu K.M., Lu K., Wang L.C., Chang-Chien G.P., Fang K., Lin M., Assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans contribution from different media to surrounding duck farms, *Journal of Hazardous Materials* 163, 1185-1193, 2009
- Leung, A., Cai, Z. W., Wong, M. H., Environmental contamination from electronic waste recycling at Guiyu, southeast China, *J Mater Cy Waste Manag*, 8(1), 21-33, 2006
- Leung, A. O., Luksemburg, W. J., Wong, A. S., Wong, M. H., Spatial distribution of polybrominated diphenyl ethers and polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in soil and combusted residue at Guiyu, an electronic waste recycling site in southeast China, *Environ. Sci. Technol.*, 41(8), 2730-2737, 2007
- Li H., The PCDD/Fs and PBDD/Fs pollution in the ambient atmosphere of Shanghai, China, *Chemosphere*, 70, 576-583, 2008
- Li J., Zhu T., Observation of organochlorine pesticides in the air of the Mt. Everest region, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 63, 33-41, 2006

- Li T., Mengchang H., Bin M., Chunye L., Distribution and sources of organochlorine pesticides in water and sediments from Daliao River estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China), *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 84, 119-127, 2009
- Li X., Contamination of soils with organochlorine pesticides in urban parks in Beijing, China, *Chemosphere* 70, 1660-1668, 2008
- Li, X.H., Distribution of HCHs and DDTs in Soils from Beijing City, China, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 51, 329-336, 2006
- Li Y., Wang P., Ding L., Li X., Wang T., Zhang Q., Yang H., Jiang G., Wei F., Atmospheric distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and dioxin-like polychlorinated biphenyls around a steel plant Area, Northeast China, *Chemosphere* 79, 253-258, 2010
- Li, Y. F., Scholtz, M. T., van Heyst, B. J. J., Global gridded emission inventories of  $\alpha$ -hexachlorocyclohexane, *Geophys. Res.*, 105, 6621-6632., 2000
- Li Y., Jiang G., Wang Y., Cai Z., Zhang Q., Concentrations, profiles and gas-particle partitioning of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the ambient air of Beijing, China, *Atmospheric Environment* 42, 2037-2047, 2008
- Linus B., Martin S., Urs S., Konrad H., Assessment of the environmental persistence and long-range transport of endosulfan, *Environ. Pollut.*, 159, 1737-1743, 2011
- Liu Y., Peng P., Li X., Zhang S., Ren M., Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in water and suspended particulate matter from the Xijiang River, China, *Journal of Hazardous Materials* 152, 40-47, 2008
- Liu J., Distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDDs/Fs) and dioxin-like polychlorinated biphenyls (dioxin-like PCBs) in the soil in a typical area of eastern China, *Journal of Hazardous Materials*, 163, 959-966, 2009
- Liu Y., Peng P., Li X., Zhang S., Ren M., Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in water and suspended particulate matter from the Xijiang River, China, *Journal of Hazardous Materials*, 152, 40-47, 2008
- Li X.D., Yan M., Chen T., Lu S.Y., Yan J.H., Cen K.F., Levels of PCDD/Fs in soil in the vicinity of a medical waste incinerator in China: The temporal variation during 2007-2009, *Journal of Hazardous Materials* 179, 783-789, 2010
- Lohmann R., Nelson E., Eisenreich S.J., Jones K.C., Evidence for dynamic air-water

exchange of PCDD/Fs: a study in the Raritan Bay/Hudson River Estuary, *Environ. Sci. Technol.*, 34, 3086-3093, 2000

Long Zhao, Hong Hou, YouYa Zhou, NanDong Xue, HuiYin Li, FaSheng Li. Distribution and ecological risk of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in surficial sediments from Haihe River and Haihe Estuary Area, China. *Chemosphere* 78, 1285-1293, 2010

Louie P. K. K., A preliminary investigation of persistent organic pollutants in ambient air in Hong Kong, *Chemosphere*, 52, 1397-1403, 2003

Luo, Y., Luo, X. J., Lin, Z., Chen, S. J., Liu, J., Mai, B. X., Yang, Z. Y., Polybrominated Diphenyl Ethers in Road and Farmland Soils from an E-waste Recycling Region in Southern China: Concentrations, Source Profiles, and Potential Dispersion and Deposition, *Environ. Sci. Technol.*, 407(3), 1105-1113, 2009

Lu, M., Zeng, D.C., Liao, Y., Tong, B., Distribution and characterization aof organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbones in surface sediment from Poyang Lake, China. *Sci. Total environ.* 433, 491-497, 2012

Ma, L.L., Organic contamination in the greenhouse soils from Beijing suburbs, China, *J. Environ. Monit.*, 5, 786-790, 2003

Mahugija J., Henkelmann B., Schramm K., Levels, compositions and distributions of organochlorine pesticide residues in soil 5-14 years after cleanup of former storage sites in Tanzania, *Chemosphere* 117, 330-337, 2014

Mai, B., Chen, S., Luo, X., Chen, L., Chen, L., Yang, Q., Sheng, G., Peng, P., Fu, J., Zeng, E. Y, Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments of the Pearl River Delta and Adjacent South China Sea, *Environ. Sci. Technol.*, 39, 3521-3527, 2005

Maggie P.K. Choi, PCDD/Fs and dioxin-like PCB in Hong Kong air in relation to their regional transport in the Pearl River Delta region, *Chemosphere*, 71, 211-218, 2008

McConnell L. L., Bidleman T. F., Cotham W. E. and Walla M. D., Air concentrations of organochlorine insecticides and polychlorinated biphenyls over Green Bay, WI, and the four lower Great Lakes, *Environment Pollution*, 101, 391-399, 1998

McDonald T. A., A perspective on the potential health risks of PBDEs, *Chemosphere*, 46, 745-755, 2002

McDonald, T.A., Polybrominated diphenyl ether levels among United States residents: Daily intake and risk of harm to the developing brain and reproductive organs. *Integrated*

- Environmental Assessment and Management, 1: 343-354, 2005
- Menichini, E., Atmospheric pollution by PAHs, PCDD/Fs and PCBs simultaneously collected at a regional Background site in central Italy and at an urban site in Rome, Chemosphere, 69, 422-434, 2007
- McDonald, T. A., A perspective on the potential health risks of PBDEs. Chemosphere, 46(5), 745-755, 2002
- Minh N.H., Minh T.B., Kajiwara N., Kunisue T., Iwata H., Viet P.H., Tu N.P.C., Tuyen B.C., Michigan Department of Environmental Quality (MI DEQ), Rule 57 Water Quality Values, Surface Water Assessment Section, 2013
- Minnesota Department Health US (revised values May 2017)  
(<http://www.health.state.mn.us/divs/eh/risk/guidance/gw/table.html>)  
(<http://www.health.state.mn.us/divs/eh/hazardous/topics/pfcshealth.html>)
- Minh, N. H., Isobe, T., Ueno, D., Matsumoto, K., Mine, M., Kajiwara, N., Takahashia, S., Tanabe, S., Spatial distribution and vertical profile of polybrominated diphenyl ethers and hexabromocyclododecanes in sediment core from Tokyo Bay, Japan, Environ Pol., 148(2), 409-417, 2007
- Ministry of the Environment of Japan, Environmental Monitoring Report on Persistent Organic Pollutants (POPs) in Japan 2002-2004, 2006
- Ministry of Environment and Food of Denmark, Perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser), incl. PFOA, PFOS og PFOSA, 2015
- Mishra K, Sharma RC, Kumar S. Contamination levels and spatial distribution of organochlorine pesticides in soils from India. Ecotoxicol Environ Saf 2012;76:215-25.
- Moon, H. B., Kannan, K., Choi M. K., Choi H. G., Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in marine sediments from industrialized bays of Korea, Mar. Pollut. Bull., 54(9), 1402-1412, 2007
- Moon, H. B., Choi, M. K., Yu, J., Jung, R. H., Choi, H. G., Contamination and Potential Sources of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Water and Sediment from the Artificial Lake Shihwa, Korea, Chemosphere, 88(7), 837-843, 2012
- Moon, H. B., Kannan, K., Lee, S. J., Choi, M. K., Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediment and bivalves from Korean coastal waters, Chemosphere, 66(2), 243-251, 2007
- Möller, A., Xie, Z., Cai, M., Sturm, R., Ebinghaus, R., Brominated flame retardants and dechlorane plus in the marine atmosphere from southeast Asia toward Antarctica, Environ.

Sci. Technol., 46(6), 3141-3148, 2012

Morland, K.B., Landrigan, P.J., Sjodin, A., Gobeille, A.K., Jones, R.S., McGahee, E.E., Needham, L. L., Patterson, D.G.Jr. Body burdens of polybrominated diphenyl ethers among urban anglers. *Environmental Health Perspectives*, 113: 1689-1692, 2005

Muir, D.C.G., Grift, N.P., Lockhart, W.L., Wilkinson, P., Billeck, B.N., Brunskill, G.J., Spatial trends and historical profiles of organochlorine pesticides in Arctic lake sediments. *Sci. Total Environ.* 160 (161), 447-457. 1995.

Muller J., Dioxins in Soil in Australia, National Dioxins Program Technical. Report No. 5, Australian Government Department of the Environment and Heritage, Canberra, 2004

Mustafa O., Banu C., Determination of octanol-air partition coefficients of organochlorine pesticides (OCPs) as a function of temperature: Application to air-soil exchange, *J. Environ. Manage.*, 113, 432-439, 2012

Nakata H., Concentrations and compositions of organochlorine contaminants in sediments, soils, crustaceans, fishes and birds collected from Lake Tai, Hangzhou Bay and Shanghai city region, China, *Environmental Pollution*, 133, 415-429, 2005

National Food Agency, Sweden, Risk Management-PFAS in Drinking water and fish, 2018 (<http://www.livsmedelverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-poly-och-perfluorerade-alkylsubstanser/riskhantering-pfaa-i-dricksvatten/>)

Nhan, D.D., Am, N.M., Carvalho, F.P., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Organochlorine pesticides and PCBs along the coast of North Vietnam. *Sci. Total Environ.* 237/238, 363-371, 1999

Nhana D.D., Amb N.M., Carvalhoc F.P., Villeneuvec J., Cattinic C., Organochlorine pesticides and PCBs along the coast of north Vietnam, *The Science of the total environment* 237-238, 363-371, 1999

Nieuwoudt C., Dioxin-like chemicals in soil and sediment from residential and Industrial areas in central South Africa, *Chemosphere*, 76, 774-783, 2009

Ningombam D., Shihua Q., Paromita C., Gan Z., Ishwar Y., Passive air sampling of organochlorine pesticides in a northeastern state of India, Manipur, *J. Environ. Sci.*, 23(5), 808-815, 2011

Nomeir, A.A., Hajjar, N.P., 1987. Metabolism of chlordane in mammals. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 100, 1.22.

Offenberg J.H., Nelson E.D., Gigliotti C.L. , Eisenreich S.J. , Chlordanes in the Mid-Atlantic

- Atmosphere: New Jersey 1997–1999, *Environ. Sci. Technol.*, 38, 3488–3497, 2004
- Oliver, B.G., Nicol, K.D., Chlorinated contaminants in the Niagara River, 1981–1983. *Sci. Total Environ.* 39, 57–70. 1984.
- Oliver, B.G., Charlton, M.N., Durham, R.W., Distribution, redistribution, and geochronology of polychlorinated biphenyl congeners and other chlorinated hydrocarbons in Lake Ontario sediments. *Environ. Sci. Technol.* 23, 200–208. 1989.
- Oliver W., Jeffrey O., Organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in Singapore's coastal marine sediments, *Chemosphere*, 58, 925–933, 2005
- Ono, Y., PCDD/Fs concentration in soil of a Japanese local city: possible PCDD/Fs sources and relationship with land utilisation, *Organohalogen Compds.*, 51, 163–166, 2001
- Oregon Department of environmental quality division 045 regulations pertaining to NPDES and WPCF permits, 2011
- Oros, D. R., Hoover, D., Rodigari, F., Crane, D., & Sericano, J, Levels and Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers in Water, Surface Sediments, and Bivalves from the San Francisco Estuary *Environ. Sci. Technol.*, 39(1), 33–41, 2005
- Ozcan S., Polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in urban air of Konya, Turkey, *Atmospheric Research*, 93, 715–722, 2009
- Pan J., Yang Y., Geng C., Yeung L.W.Y., Cao X., Dai T., Polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in marine and lacustrine sediments from the Shandong peninsula, China, *Journal of Hazardous Materials* 176, 274–279, 2010
- Patrick S., John W., Jolocam M., Steven N., Bernard K., John M., Organochlorine pesticides in soils from south-western Uganda, *Chemosphere*, 78, 1250–1255, 2010
- Petreas, M., Potential roles of fertilizer and micronutrient supplement applications on PCDD/Fs and trace elements in California agricultural soils, *Organohalogen Compds.*, 62, 487–490, 2003
- Pettigrew, A., Halogenated flame retardants. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 4th ed. New York, NY: John Wiley and Sons, 10, 954–976, 1993
- Qiu, X., Zhu, T., Hu, J., Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Other Flame Retardants in the Atmosphere and Water from Taihu Lake, East China, *Chemosphere*, 80(10), chemosphere, 1207–1212, 2010
- Rappe, C., Environmental concentrations and ecotoxicological effects of PCDDs, PCDFs and

- related Compounds., *Organohalogen Compd.* 12, 595-600, 1993
- Rappe, C., PCDDs and PCDFs in soil and river sediment samples from a rural area in the United States of America, *Chemosphere* 34, 1297-1314, 1997
- Ren M., Peng P., Chen D., Chen P., Li X., Patterns and sources of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs in surface sediments from the East River, China, *Journal of Hazardous Materials* 170, 473-478, 2009
- Roots, O., Roose, A., Kull, A., Holoubek, I. Cupr, P., Klanova, J., Distribution pattern of PCBs, HCB and PeCB using passive air and soil sampling in Estonia, *Environ Sci Pollut Res*, 17, 740-749, 2010
- Romano, S., Piazza, R., Mugnai, C., Giuliani, S., Bellucci, L. G., Huu, C. N., Vecchiato, M., Zambon, S., Hoai, N. D., and Frignani, M., PBDEs and PCBs in sediments of the Thi Nai Lagoon (Central Vietnam) and soils from its mainland, *Chemosphere*, 90, 2396-2402, 2013
- Rongbing Zhou, Lizhong Zhu., Kun Yang, Yuyun Chen, Distribution of organochlorine pesticides in surface water and sediments from Qiantang River, East China, *Journal of Hazardous Materials A137*, 68-75, 2006
- Rosalinda G., John O., Cari G., Lisa T., Songyan D., Steven E., Atmospheric concentrations and deposition of organochlorine pesticides in the US mid-atlantic region, *Atmos. Environ.*, 39, 2309-2322, 2005
- Rosciolia L.G.C., Vigano L., Sahab M., Sarkarb S.K., Bhattacharyab A., Evaluation of the concentration of HCH, DDT, HCB, PCB and PAH in the sediments along the lower stretch of Hugli estuary, West Bengal, northeast India, *Environ International* 31, 523-534, 2005
- Rossi, L. A., Reregistration eligibility decision for endosulfan. EPA 738-R-02-013. Reregistration Report. US Environmental Protection Agency, Washington, DC., 2002
- Rotard, W., Background levels of PCDD/Fs in soils of Germany, *Chemosphere* 29, 2193-2200, 1994
- Ruey-an Doong, Shih-hui Lee, Chun-chee Lee, Yuh-chang Sun, Shian-chee Wu, Ruey-an Doong, Shih-hui Lee, Chun-chee Lee, Yuh-chang Sun, Shian-chee Wub, *Marine Pollution Bulletin* 57, 846-857, 2008
- Rui-qiang Yang, Gui-bin Jiang, Qun-fang Zhou, Chun-gang Yuan, Jian-bo Shi, Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (HCH and DDT) in sediments collected from East China Sea, *Environment International* 31, 799-804, 2005

- Petra P., Radovan K., Jana B., Pavel C., Roman P., Jiri K., Ivan H., Jana K., Levels of persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air of Central and Eastern Europe, *Atmospheric Pollution Research*, 3, 494-505, 2012
- Richardson B.J. and Zheng G.J., Chlorinated hydrocarbon contaminants in Hong Kong surficial sediments, *Chemosphere* 39, 913-923, 1999
- Riggs, K.B., Ambient PCDD/PCDF levels in Montgomery County, Ohio. Comparison to previous data and source attribution, *Organohalogen Compd.* 28, 128-133, 1996
- Rikard W., Ahmed H., Negussie M., Negussie R., Lennart M., Erland B., Assessment of organochlorine pesticide pollution in upper awash ethiopian satate farm soils using selective pressurised liquid extraction, *Chemosphere*, 72, 1181-1187, 2008
- Rissato S.R., Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soil and water samples in the Northeastern part of Sa?o Paulo State, Brazil, *Chemosphere*, 65, 1949-1958, 2006
- Ruey-An D., Chin-Kai P., Yuh-Chang S., Pei-Lin L., Composition and distribution of organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Wu-Shi river estuary, Taiwan, *Mar. Pollut. Bull.*, 45, 246-253, 2002
- Sakurai, T., Polychlorinated dibenzo-pdioxins and dibenzofurans in sediment soil fish and shrimp from a Japanese freshwater lake area, *Chemosphere*, 33, 2007-2020, 1996
- Sandra R., Mario G., Valdecir X., Rita A., Jandira T., Marcelo L., Marcos A., Benhard A., Aline C., Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soil and water samples in the northeastern part of São Paulo state, Brazil, *Chemosphere*, 65, 1949-1958, 2006
- Sandra R. Rissato, Mario S. Galhiane, Valdecir F. Ximenes, Rita M.B. de Andrade, Jandira L.B. Talamoni, Marcelo Libanio, Marcos V. de Almeida, Benhard M. Apon, Aline A. Cavallari, Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soil and water samples in the Northeastern part of São Paulo State, Brazil, *Chemosphere*, 65, 1949-1958, 2006
- Sarkar A., Nagarjan R., Contamination of Organochlorine Pesticides in Sediments from the Arabian sea along the west coast of India, *Water Research* 31, 195-200, 1997
- Schwarzbauer, J., Ricking, M., Franke, S., Francke, W., Organic compounds as contaminants of the Elbe River and its tributaries. Part 5. Halogenated organic contaminants in sediments of the Havel and Spree Rivers (Germany). *Environ. Sci. Technol.* 35, 4015-4025. 2001.
- Seike, N., Seasonal concentrations and compositions of PCDD/Fs in atmospheric environment. *Organohalogen Compd.* 33, 169-174, 1977

Seike, N., Distribution and congener patterns of PCDD/Fs in environmental components from Matsuyama, Japan, *Organohalogen Compds.* 51, 92-95, 2001

Senar O., Mehmet A., Polycyclic aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in urban air of Konya, Turkey, *Atmos. Res.*, 93, 715-722, 2009

Shegunova P., Residues of organochlorinated pesticides in soils from the Czech Republic, *Environmental Pollution*, 146, 257-261, 2007

Shen C., Chen Y., Huang S., Wang Z., Yu C., Qiao M., Xu Y., Setty K., Zhang J., Zhu Y., Lin Q., Dioxin-like Compounds in agricultural soils near e-waste recycling sites from Taizhou area, China: Chemical and bioanalytical characterization, *Environment International* 35, 50-55, 2009

Shen L., Wania F., Lei Y.D., Teixeira C., Muir D.C.G. , and Bidleman T.F., Atmospheric Distribution and Long-Range Transport Behavior of Organochlorine Pesticides in North America, *Environ. Sci. Technol.*, 39, 409-420, 2005

Shi, S., Huang, Y., Wan, K., Dong, L., Yang, Y., Levels and Seasonal Variations of Polybrominated Diphenyl Ethers in the Urban Atmosphere of Beijing, China, *B. Environ. Contam. Tox.*, 90, 296-301, 2013

Shih S.I., Lee W.J., Lin L.F., Huang J.Y., Su J.W., Chang-Chien G.P., Significance of biomass open burning on the levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in the ambient air, *Journal of Hazardous Materials* 153, 276-284, 2008

Song, W., Li, A., Ford, J. C., Sturchio, N. C., Rockne, K. J., Buckley, D. R., Mills, W. J., Polybrominated Diphenyl Ethers in the Sediments of the Great Lakes. 2. Lakes Michigan and Huron, *Environ. Sci. Technol.*, 39(10), 3474-3479, 2005

Spyros G., Anastasia N., Maria K., Nikos X., Maria V., Dimitris L., Organochlorine pesticides in the surface waters of northern Greece, *Chemosphere*, 50, 507-516, 2003

Spyros K. Goufopoulos, Anastasia D. Nikolaou, Maria N. Kostopoulou, Nikos K. Xilourgidis, Maria C. Vagi, Dimitris T. Lekkas, Organochlorine pesticides in the surface waters of Northern Greece, *Chemosphere* 50, 507-516, 2003

State of New Jersey, Department of Environmental Protection, Division of water supply and geoscience, Recommendations for maximum contaminant levels, 2017

Strachan, W.M.J., Burniston, D.A., Williamson, M., Bohdanowicz, H., Spatial differences in persistent organochlorine pollutant concentrations between the Bering and Chukchi seas

- (1993). *Mar. Pollut. Bull.* 43, 132-142. 2001.
- Stenhouse, I.A., PCB, PCDD and PCDF concentrations in soils from the Kirk Sandall/Edenthorpe/Barnaby Dun Area, *Chemosphere* 21, 563-573, 1990
- Streets, S. S., Henderson, S. A., Stoner, A. D., Carlson, D. L., Simcik, M. F., Swackhamer, D. L., Partitioning and Bioaccumulation of PBDEs and PCBs in Lake Michigan, *Environ. Sci. Technol.*, 40(23), 7263-7269, 2006
- Su Y. ; Hung H., Blanchard P., Patton G. W., Kallenborn R., Konoplev A., Fellin P., Li H., Geen C., Stern G., Rosenberg B. and Barrie L. A., A circumpolar perspective of atmospheric organochlorine pesticides (OCPs): Results from six Arctic monitoring stations in 2000-2003, *Atmospheric Environment*, 42, 4682-4698, 2008
- Suarez M.P., Rifai H.S., Palachek R., Dean K., Koenig L., Distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in suspended sediments, dissolved phase and bottom sediments in the Houston Ship Channel, *Chemosphere*, 62, 417-429, 2006
- Sun. Y., Yuan G., Li, J., Tang, J., Wang, G., High-resolution sedimentary records of some organochlorine pesticides in 古姆错 Yumco Lake of the Tibetan Plateau: Concentration and composition, *Science of the Total Environment*, 615. 469-475, 2018
- Suzuki, N., Nakanishi, J. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in sediment soil fish and shrimp from a Japanese freshwater lake area. *Chemosphere* 33, 2007-2020, 1996.
- Takazawa Y., Takasuga T., Doi K., Saito M., Shibata Y., Recent decline of DDTs among several organochlorine pesticides in background air in East Asia, *Environmental Pollution* 217, 134-142, 2016
- Tan L., He M., Men B., Lin C., Distribution and sources of organochlorine pesticides in water and sediments from Daliao River estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84, 119-127, 2009
- Tanabe S., Pollution sources and occurrences of selected persistent organic pollutants (POPs) in sediments of the Mekong River delta, South Vietnam, *Chemosphere* 67, 1794-1801, 2007
- Taucher, J.A., Levels of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in ambient urban air in Sydney, Australia, *Chemosphere* 25, 1361-1365, 1992
- Tewhey Associates, Letter to Maine Department of Environmental Protection Concerning Soil Sampling Data Collected from the Yarmouth Pole Yard Site in November, 1996., 1997

Thao, V.D., Kawano, M., Tatsukawa, R., Persistent organochlorine residues in soils from tropical and subtropical Asian countries. *Environ. Pollut.* 81, 61-71, 1993

Thomas L. Potter, Cathleen J. Hapeman, Laura L. McConnell, Jennifer A. Harman-Fetcho, Walter F. Schmidt, Clifford P. Rice, Bruce Schaffer, Endosulfan wet deposition in Southern Florida (USA), *Sci. Total Environ.*, 468-469, 505-513, 2014

Thomas P., Cathleen H., Laura M., Jennifer H., Walter S., Clifford R., Bruce S., Endosulfan wet deposition in southern Florida (USA), *Sci. Total Environ.*, 468-469, 505-513, 2014

Thorenz, U. R., Musa Bandowe, B. A., Sobocka, J., Wilcke, W., Method Optimization to Measure Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Concentrations in Soils of Bratislava, Slovakia, *Environ. Pol.*, 158(6), 2208-2217, 2010

Turgut C., The contamination with organochlorine pesticides and heavy metals in surge water in Küçük Menderes river in Turkey, 2000-2002, *Environ. Int.*, 29, 29-32, 2003

Umwelt Bundesamt, Dioxine Daten aus Deutschland: Daten zur Dioxinbelastung der Umwelt. 3. Bericht der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE, in Umweltbundesamt, Berlin. 2002

Umwelt Bundesamt, Statement by the Drinking Water Commission (Trinkwasserkommission) of the German Ministry of Health at the Federal Environment Agency, 2006

UK Drinking Water Inspectorate, Guidance on the Water Supply (Water Quality) Regulations 2001 Specific to PFOS (perfluorooctane sulphonate) and PFOA (perfluorooctanoic acid) Concentrations in Drinking Water. SW1A2EY. London, UK, 2009

U.S. Dept. of Health and Human Services, Report on Carcinogens, 4th edition, RoC profile; Lindane, 2016

U.S. Dept of Health and Human Services-Toxicological Profile for HCH, 2005

U.S. EPA, Draft Dioxin Reassessment: Last Updated on Tuesday, December 30, 2003 (<http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm>)

U.S. EPA, 2018 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, EPA 822-F-18-00, 2018

van den Gerg, H., Global status of DDT and its alternatives for use in vector control to prevent disease. *Environ Health Perspect*, 117(11):p.1656-63, 2009

Verslycke, T. A., Vethaak, A. D., Arijs, K., Janssen, C. R., Flame retardants, surfactants and organotins in sediment and mysid shrimp of the Scheldt estuary (The Netherlands),

- Environ. Pol., 136, 19-31, 2005
- Venier, M., Hites, R. A., Flame Retardants in the Atmosphere Near the Great Lakes, Environ. Sci. Technol., 42(13), 4745-4751, 2008
- Vermont Department of Health, Perfluorooctanoic acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) Vermont Drinking Water Health Advisory, 2016
- Vizard, C., Identifying PCDD/F sources in soil in an Industrial urban setting: toxicity equivalents, congener patters and historic land-uses, Organohalogen Compds., 62, 456-459, 2003
- Wallenhorst, Th., PCDD/Fs in ambient air and deposition in Baden-Wismemberg, GERMANY, Chemosphere, 34, 1369-1378, 1997
- WANG Fang, JIANG Xin., BIAN Yong-rong, YAO Fen-xia, GAO Hong-jian, YU Gui-fen<sup>1</sup>, Jean Charles MUNCH<sup>2</sup>, Reiner SCHROLL, Organochlorine pesticides in soils under dierent land usage in the Taihu Lake region, China, Journal of Environmental Sciences 19, 584-590, 2007
- Wang J.B., Chang-Chien G.P., Lin W.Y., Yeh J.H., Hung C.H., A seasonality study of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in ambient air in Kaohsiung (Taiwan) clustered with metallurgical industries, Journal of Hazardous Materials 162, 103-110, 2009
- Wang, P., Zhang, Q., Wang, Y., Wang, T., Li, X., Li, Y., Ding, L., Jiang, G., Altitude Dependence of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Surface Soil from Tibetan Plateau, China, Chemosphere, 76(11), 1498-1504, 2009
- Wang, X. M., Ding, X., Mai, B. X., Xie, Z. Q., Xiang, C. H., Sun, L. G., Sheng, G.Y., Fu, J. M., Zeng, E. Y., Polybrominated Diphenyl Ethers in Airborne Particulates Collected During a Research Expedition from the Bohai Sea to the Arctic, Environ. Sci. Technol., 39(20), 7803-7809, 2005
- WANG Xiaofei, WANG Dianzhong, QIN Xiaofei, XU Xiaobai, Residues of organochlorine pesticides in surface soils from college school yards in Beijing, China, Journal of Environmental Sciences, 20, 1090-1096, 2008
- Wang Z., Yan W., Chi J., Zhang G., Spatial and vertical distribution of organochlorine pesticides in sediments from Daya Bay, South China, Marin Pollution Bullentin 56, 1578-1585, 2008
- Wenzel, K.-D., Hubert, A., Weissflog, L., Kuhne, R., Popp, P., Kindler, A., Schuurmann, G., Influence of different emission sources on atmospheric organochlorine patterns in Germany.

Atmos. Environ. 40, 943-957. 2006.

Wevers, M., Concentrations of PCDDs and PCDFs in ambient air at selected locations in Flanders. *Organohalogen Compd.*, 12, 123-126, 1993

Williams, D.J., Neilson, M.A.T., Merriman, J., L'Italian, S., Painter, S., Kuntz, K., El-Shaarawi, A.H., The Niagara River upstream/downstream program 1986/87-1996/97. Concentrations, Loads, Trends. Report No. EHD/ECB-OR/00-01/I. Environmental Conservation Branch/Ontario Region, Ecosystem Health Division, Environment Canada. 2000.

Wilson, V. S., LeBlanc, G. A., Endosulfan elevates testosterone biotransformation and clearance in CD-1 mice. *Toxicology and applied pharmacology*, 148(1), 158-168, 1998

Wong, M.H., Export of toxic chemicals. a review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling, *Environ. Pollut.*, 149, 131-140, 2007

Wong F., Concentrations and chiral signatures of POPs in soils and sediments: A comparative urban versus rural study in Canada and UK, *Chemosphere*, 74, 404-411, 2009

Wu, J. P., Luo, X. J., Zhang, Y., Luo, Y., Chen, S. J., Mai, B. X., Yang, Z. Y., Bioaccumulation of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Wild Aquatic Species from an Electronic Waste (e-waste) Recycling Site in South China, *Environ. Int.*, 34(8), 1109-1113, 2008

Wu, W.Z., Schramm, K.W., Henkelmann, B., Xu, Y., Yediler, A., Kettup, A., PCDD/Fs, PCBs, HCHs and HCB in sediments and soils of Ya-Er Lake area in China: results on residual levels and correlation to the organic carbon and the particle size. *Chemosphere*, 34, 191-202, 1997.

Wurl, O., Lam, P. K. S., Obbard, J. P., Occurrence and Distribution of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in the Dissolved and Suspended Phases of the Sea-surface Microlayer and Seawater in Hong Kong, China, *Chemosphere*, 65(9), 1660-1666, 2006

Xiaofei W., Residues of organochlorine pesticides in surface soils from college school yards in Beijing, China, *Journal of Environmental Sciences*, 20, 1090-1096, 2008

Xiaoqin Xu, Huanghao Yang, Qingling Li, Baijuan Yang, Xiaoru Wang, Frank S.C. Lee, Residues of organochlorine pesticides in near shore waters of LaiZhou Bay and JiaoZhou Bay, Shandong Peninsula, China, *Chemosphere* 68, 126-139, 2007

Yang Y., Li D., Mu D., Levels, seasonal variations and sources of organochlorine pesticides in ambient air of Guangzhou, China, *Atmospheric Environment*, 42, 677-687, 2008

- Yeo H., Choi M., Sunwoo Y., Seasonal variations in atmospheric concentrations of organochlorine pesticides in urban and rural areas of Korea, *Atmospheric Environment*, 384, 779-4788, 2004
- Yong, S., Guo-Li, Y., Jun, L., Jianhui T., Gen-Hou, W., High-resolution sedimentary records of some organochlorine pesticides in Yamzho Yumco Lake of the Tibetan Plateau: Concentration and composition, *Science of the total Environment* 615, 469-475, 2018
- Youfeng Zhu, Hui Liu, Zhiqun Xi, Hangxing Cheng, Xiaobai Xu, Organochlorine pesticides (DDTs and HCHs) in soils from the outskirts of Beijing, China, *Chemosphere* 60, 770-778, 2005
- Zhang, H., Classification and ordination of DDT and HCH in soil samples from the Guanting Reservoir, China, *Chemosphere*, 60, 762-769, 2005
- Zhang H., Ni Y., Chen J., Su F., Lu X., Zhao L., Zhang Q., Zhang X., Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in soils and sediments from Daliao River Basin, China, *Chemosphere* 73, 1640-1648, 2008
- Zhang H.B., Residues of organochlorine pesticides in Hong Kong soils, *Chemosphere*, 63, 633-641, 2006
- Zhang S., Peng P., Huang W., Li X., Zhang G., PCDD/PCDF pollution in soils and sediments from the Pearl River Delta of China, *Chemosphere* 75, 1186-1195, 2009
- Zhang, B. Z., Ni, H. G., Guan, Y. F., and Zeng, E. Y., Occurrence, bioaccumulation and potential sources of polybrominated diphenyl ethers in typical freshwater cultured fish ponds of South China, *Environmental Pollution*, 158, 1876-1882, 2010
- Zhang S M, Ma X F, An Q et al., BHC residues in paddy soil and its pollution to rice[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 20, 79-84, 1983
- Zhang Z.L., Hong H.S., Zhou J.L., Huang J., Yu G., Fate and assessment of persistent organic pollutants in water and sediment from Minjiang River Estuary, Southeast China, *Chemosphere* 52, 1423-1430, 2003
- Zhao, Y.W., A study on the residue of the organochloride pesticides in soils and rice. *Zhejiang Pre. Med.*, 14, 1-3, 2002
- Zheng, M.H., Chu, S.G., Sheng, G.Y., Min, Y.S., Bao, Z.C., Xu, X.B, Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in surface sediments from the Pearl River Delta in China, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 66, 504-507, 2001.
- Zheng X., Dazhou Chen, Liu X., Zhou Q., Liu Y., Yang W., Jiang G., Spatial and seasonal

variations of organochlorine Compounds in air on an urban-rural transect across Tianjin, China, *Chemosphere*, 78, 92-98, 2010

Zhao Z., Zhang L., Wu J., Fan C., distribution and bioaccumulation of organochlorine pesticides in surface sediments and benthic organisms from Taihu Lake, China. *Chemosphere* 77, 1191-1198, 2009

Zhao Z., Zhang L., Wu J., Fan C., Shang J., Assessment of the potential mutagenicity of organochlorine pesticides (OCPs) in contaminated sediments from Taihu Lake, China, *Mutation Research*, 696, 62-68, 2010

Zhiyuan W., Wen Y., Jisong C., Gan Z., Spatial and vertical distribution of organochlorine pesticides in sediments from Daya Bay, South China, *Mar. Pollut. Bull.*, 56, 1578-1585, 2008

Zhonghua Z., Lu Z., Jinglu W., Chengxin F., Jingge Sh., Assessment of the potential mutagenicity of organochlorine pesticides (OCPs) in contaminated sediments from Taihu lake, China, *Mutat. Res.*, 696, 62-68, 2010

Zhou R., Zhu L., Yang K., Chen Y., Distribution of organochlorine pesticides in surface water and sediments from Qiantang River, East China, *Journal of Hazardous Materials* 137, 68-75, 2006

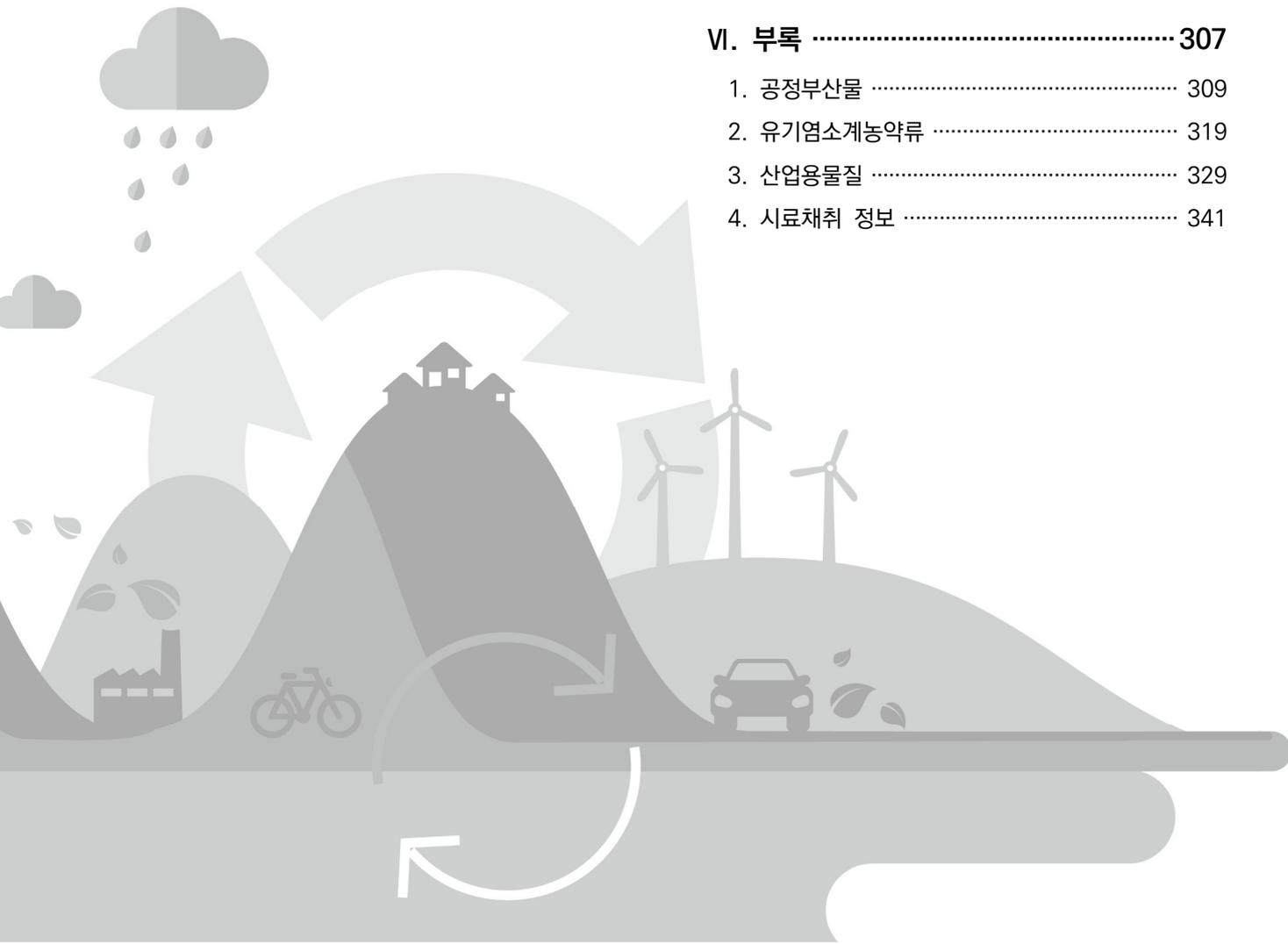
Zou, M. Y., Ran, Y., Gong, J., Mai, B. X., Zeng, E. Y., Polybrominated Diphenyl Ethers in Watershed Soils of the Pearl River Delta, China: Occurrence, Inventory, and Fate, *Environ. Sci. Technol.*, 41(24), 8262-8267, 2007

Zulin Z., Jun H., Gang Y., Huasheng H., Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui river of Beijing, China, *Environ. Pollut.*, 130, 249-261, 2004

# VI

---

<b>VI. 부록</b> .....	<b>307</b>
1. 공정부산물 .....	309
2. 유기염소계농약류 .....	319
3. 산업용물질 .....	329
4. 시료채취 정보 .....	341







VI. 부록

---

## 1. 공정부산물





## 1.1. 대기

표 VI-1-1. 대기 중 다이옥신/퓨란의 지점별 농도

(단위 : pg I-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

지점명		연평균	봄	가을
서울	서울 반포동	0.001	0.000	0.001
	서울 서소문동	0.000	0.000	0.000
부산	부산 초량동	0.000	0.000	0.000
	부산 광복동	0.000	0.000	0.000
대구	대구 만촌동	0.001	0.000	0.001
울산	울산 여천동	0.003	0.005	0.000
광주	광주 송정동	0.001	0.001	0.000
대전	대전 구성동	0.001	0.001	0.000
인천	인천 석남동	0.005	0.009	0.000
	인천 고잔동	0.023	0.044	0.001
	인천 송의동	0.007	0.014	0.000
경기	안산 본오동	0.033	0.066	0.000
	시흥 정왕동	0.044	0.087	0.001
	성남 정자동	0.001	0.001	0.000
	포천 신읍동	0.003	0.115	0.006
강원	춘천 석사동	0.000	0.000	0.000
	강릉 옥천동	0.000	0.000	0.000
충북	청주 내덕동	0.001	0.001	0.000
	단양 매포리	0.000	0.000	0.000
충남	서산 독곶리	0.011	0.020	0.001
	태안 파도리	0.001	0.001	0.000
	천안 성성동	-	-	-
	공주 고당리	0.000	0.000	0.000
경북	구미 공단동	0.001	0.001	0.001
	포항 장흥동	0.007	0.007	0.006
	안동 남문동	0.001	0.000	0.001
	울릉 태하동	0.000	0.000	0.000
경남	창원 가음정동	0.000	0.000	0.000
	진주 대안동	0.001	0.001	0.001
전북	군산 신흥동	0.000	0.000	0.000
	익산 팔봉동	0.149	0.295	0.002
전남	광양 중동	0.001	0.000	0.002
	여수 중흥동	0.026	0.000	0.051
	목포 용당동	0.000	0.000	0.000
	해남 성내리	0.001	0.001	0.000
	장흥 용강리	0.148	0.000	0.295
	순천 장천동	0.000	0.000	0.000
제주	제주 고산리	0.000	0.000	0.000
검출수		24	18	14
최소		0.000	0.000	0.000
최대		0.149	0.295	0.295
중앙값		0.001	0.001	
산술평균		0.014	0.018	0.010
표준편차		0.035	0.053	0.049

※ 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

표 VI-1-2. 대기 중 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐의 지점별 농도

(단위 : pg WHO-TEQ/Sm<sup>3</sup>)

지점명		연평균	봄	가을
서울	서울 반포동	0.000	0.000	-
	서울 서소문동	0.000	0.000	-
부산	부산 초량동	0.000	0.000	-
	부산 광복동	0.000	0.000	-
대구	대구 만촌동	0.000	0.000	-
울산	울산 여천동	0.000	0.000	-
광주	광주 송정동	0.000	0.000	-
대전	대전 구성동	0.000	0.000	-
인천	인천 석남동	0.003	0.006	-
	인천 고잔동	0.003	0.006	-
	인천 송의동	0.000	0.000	-
경기	안산 본오동	0.000	0.000	-
	시흥 정왕동	0.004	0.007	-
	성남 정자동	0.000	0.000	-
	포천 신읍동	0.006	0.011	-
강원	춘천 석사동	0.000	0.000	-
	강릉 옥천동	0.000	0.000	-
충북	청주 내덕동	0.000	0.000	-
	단양 매포리	0.000	0.000	-
충남	서산 독곶리	0.003	0.005	-
	태안 파도리	0.000	0.000	-
	천안 성성동	-	-	-
	공주 고당리	0.000	0.000	-
경북	구미 공단동	0.000	0.000	-
	포항 장흥동	0.000	0.000	-
	안동 남문동	0.000	0.000	-
	울릉 태하동	0.000	0.000	-
경남	창원 가음정동	0.000	0.000	-
	진주 대안동	0.000	0.000	-
전북	군산 신평동	0.000	0.000	-
	익산 팔봉동	0.015	0.030	-
전남	광양 중동	0.000	0.000	-
	여수 중흥동	0.000	0.000	-
	목포 용당동	0.000	0.000	-
	해남 성내리	0.000	0.000	-
	장흥 용강리	0.000	0.000	-
	순천 장천동	0.000	0.000	-
제주	제주 고산리	0.000	0.000	-
검출수		6	6	-
최소		0.000	0.000	-
최대		0.030	0.030	-
중앙값		0.000	0.000	-
산술평균		0.002	0.002	-
표준편차		0.005	0.005	-

※ 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

※ 코플라나 폴리클로리네이티드비페닐은 연1회(봄) 측정 (환경부고시 제2016-247호, '16.12.29)

표 VI-1-3. 대기 중 펜타클로로벤젠의 지점별 농도

(단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

지점명		연평균	봄	가을
서울	서울 반포동	83.921	88.070	79.771
	서울 서소문동	84.963	103.757	66.169
부산	부산 초량동	88.416	102.017	74.815
	부산 광복동	68.265	65.187	71.342
대구	대구 만촌동	112.188	88.005	136.371
울산	울산 여천동	186.240	198.276	174.203
광주	광주 송정동	60.548	51.298	69.797
대전	대전 구성동	48.077	42.210	53.943
인천	인천 석남동	127.453	116.138	138.768
	인천 고잔동	461.929	328.970	594.887
	인천 송의동	82.832	130.939	34.725
경기	안산 본오동	149.275	224.665	73.885
	시흥 정왕동	208.691	196.060	221.322
	성남 정자동	98.936	123.331	74.540
	포천 신읍동	173.204	163.359	183.049
강원	춘천 석사동	45.199	44.496	45.902
	강릉 옥천동	88.703	125.376	52.029
충북	청주 내덕동	85.948	66.608	105.288
	단양 매포리	101.530	99.155	103.905
충남	서산 독곶리	51.432	47.414	55.450
	태안 파도리	139.963	213.049	66.876
	천안 성성동	-	-	-
	공주 고당리	54.328	57.415	51.241
경북	구미 공단동	107.590	82.376	132.803
	포항 장흥동	58.444	51.551	65.337
	안동 남문동	71.804	60.728	82.879
	울릉 태하동	43.583	48.984	38.181
경남	창원 가음정동	53.615	43.242	63.987
	진주 대안동	74.758	70.181	79.335
전북	군산 신흥동	35.656	31.380	39.931
	익산 팔봉동	196.359	292.634	100.083
전남	광양 중동	53.520	40.748	66.291
	여수 중흥동	77.910	65.884	89.935
	목포 용당동	51.776	51.016	52.535
	해남 성내리	68.099	62.335	73.862
	장흥 용강리	108.569	18.714	198.423
	순천 장천동	54.513	58.309	50.717
제주	제주 고산리	148.780	151.879	145.681
검출수		37	37	37
최소		35.656	18.714	34.725
최대		461.929	328.970	594.887
중앙값		83.921	70.181	73.885
산술평균		100.184	100.151	100.217
표준편차		75.766	73.412	95.308

※ 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠점 중지

표 VI-1-4. 대기 중 헥사클로로벤젠의 지점별 농도

(단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

지점명		연평균	봄	가을
서울	서울 반포동	131.923	138.204	125.641
	서울 서소문동	141.432	168.239	114.624
부산	부산 초량동	184.377	201.413	167.341
	부산 광복동	147.276	125.656	168.896
대구	대구 만촌동	167.859	158.858	176.859
울산	울산 여천동	832.673	1321.208	344.138
광주	광주 송정동	84.604	77.497	91.711
대전	대전 구성동	87.255	80.837	93.673
인천	인천 석남동	179.453	149.017	209.888
	인천 고잔동	338.880	247.314	430.445
	인천 송의동	153.404	232.291	74.517
경기	안산 본오동	312.053	445.856	178.249
	시흥 정왕동	478.226	467.251	489.201
	성남 정자동	159.643	204.451	114.835
	포천 신읍동	168.217	197.309	139.124
강원	춘천 석사동	94.145	92.144	96.146
	강릉 옥천동	164.546	248.927	80.165
충북	청주 내덕동	110.661	107.735	113.586
	단양 매포리	179.669	163.777	195.560
충남	서산 독곶리	123.933	113.548	134.317
	태안 파도리	156.470	140.762	172.177
	천안 성성동	-	-	-
	공주 고당리	111.035	112.417	109.652
경북	구미 공단동	214.531	151.355	277.706
	포항 장흥동	116.693	143.746	89.640
	안동 남문동	125.214	120.998	129.429
	울릉 태하동	86.905	101.754	72.056
경남	창원 가음정동	98.731	76.046	121.415
	진주 대안동	192.196	109.651	274.741
전북	군산 신흥동	66.875	65.770	67.980
	익산 팔봉동	150.764	177.508	124.019
전남	광양 중동	81.981	66.822	97.139
	여수 중흥동	109.448	111.449	107.447
	목포 용당동	79.035	80.201	77.868
	해남 성내리	110.729	112.999	108.458
	장흥 용강리	98.620	42.145	155.095
	순천 장천동	91.648	103.880	79.415
제주	제주 고산리	117.406	134.346	100.466
검출수		37	37	37
최소		66.875	42.145	67.980
최대		832.673	1321.208	489.201
중앙값		131.923	134.346	121.415
산술평균		164.434	178.773	150.095
표준편차		137.749	212.010	96.431

※ 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

## 1.2. 토양

표 VI-1-5. 토양 중 공정부산물들의 지점별 농도

지점명		다이옥신/퓨란 (pg I-TEQ/g)	코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐 (pg WHO-TEQ/g)	인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐 (ng/g)	펜타클로로벤젠 (ng/g)	헥사클로로벤젠 (ng/g)
서울	서울 잠실동	0.000	0.001	0.087	0.062	0.072
	서울 구로동	0.000	-	-	0.077	0.125
	서울 금호동	0.085	-	-	0.069	0.102
부산	부산 부민동	0.000	-	-	0.083	0.755
	부산 범천동	0.000	0.000	0.025	0.136	0.125
대구	대구 달성동	0.000	-	-	0.050	0.425
울산	울산산단	0.150	-	-	0.248	2.274
	온산산단	0.013	-	-	0.072	0.319
광주	광주 화정동	6.373	-	-	0.222	0.312
대전	대전 탄방동	0.035	-	-	0.098	0.099
인천	인천 왕길동	0.000	-	-	0.064	0.310
	인천기계공단	0.020	-	-	0.099	0.193
	인천남동공단	0.926	-	-	0.145	0.156
경기	양주 덕계동	1.252	-	-	0.095	0.196
	광주 탄벌동	0.159	-	-	0.186	0.789
	화성 매곡리	0.003	-	-	0.048	0.052
	동두천 상패동	0.610	-	-	0.112	0.131
	여주 흥천면	0.019	-	-	0.094	0.104
	김포 마송리	0.000	-	-	0.067	0.074
	수원 영통동	0.044	-	-	0.127	0.307
	시화공단	0.497	-	-	0.101	0.119
반월공단	2.932	-	-	0.130	0.419	
강원	정선 정선읍	0.007	-	-	0.059	0.052
	횡성 우천면	0.000	-	-	0.079	0.114
	강릉 흥제동	0.003	-	-	0.064	0.261
	춘천 후평동	0.000	-	-	0.066	0.085
	속초 설악동	0.000	0.091	0.080	0.127	0.300
충북	인제 합강리	0.014	-	-	0.059	0.119
	충주공단	0.113	-	-	0.073	0.266
충남	청주산단	0.081	-	-	0.103	0.505
	논산 성동면	0.005	0.030	0.029	0.052	0.050
	서천 마서면	1.730	-	-	N.D.	0.175
	공주 중동	0.110	-	-	0.124	0.354
	예산 예산읍	0.000	-	-	0.038	0.099
	당진 대호지면	0.015	-	-	0.098	0.219
천안 성환읍	1.248	-	-	0.174	0.544	

표 VI-1-5. 토양 중 공정부산물의 지점별 농도 (계속)

지점명		다이옥신/퓨란 (pg I-TEQ/g)	코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐 (pg WHO-TEQ/g)	인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐 (ng/g)	펜타클로로벤젠 (ng/g)	헥사클로로벤젠 (ng/g)
경북	의성 낙정리	0.044	-	-	0.087	0.223
	문경 불정동	0.011	-	-	0.067	0.235
	안동 용상동	0.000	0.000	0.004	0.026	0.084
	구미공단	0.005	-	-	0.077	0.075
	영덕 남산리	0.000	-	-	0.087	0.086
	포항철강산단	0.051	-	-	0.193	0.461
	영주 휴천동	0.046	-	-	0.065	0.109
	울릉도	0.000	-	-	0.077	0.147
경남	밀양 교동	0.204	-	-	0.150	0.258
	진주 옥봉동	9.842	-	-	1.454	4.987
	창녕 남지읍	0.000	-	-	0.061	0.094
	창원 외동	0.012	-	-	0.068	0.076
전북	정읍 북면	0.000	0.031	0.029	0.165	0.398
	임실 성가리	0.000	-	-	0.063	0.106
	전주 덕진동	0.027	-	-	0.069	0.066
	익산 마동	0.053	-	-	0.229	0.261
전남	여천공단	2.062	-	-	0.495	1.000
	곡성 압록리	0.210	-	-	0.373	0.287
	영광 무령리	0.052	0.000	0.018	0.130	0.265
	장흥 대덕읍	0.000	-	-	0.124	0.144
	목포 상동	0.000	-	-	0.088	0.183
	화순 양곡리	0.000	-	-	0.116	0.227
	광양산단	0.018	-	-	0.282	0.249
제주	제주 교래리	0.784	-	-	0.289	0.547
	제주 고산리	0.017	-	-	0.092	0.128
검출수		41	4	7	60	61
최소		0.000	0.000	0.004	0.026	0.050
최대		9.842	0.091	0.087	1.454	4.987
중앙값		0.017	0.001	0.029	0.093	0.193
산술평균		0.490	0.022	0.039	0.138	0.349
표준편차		1.550	0.034	0.032	0.191	0.685

※ 폴리클로리네이티드비페닐은 대표시료만 측정 (환경부고시 제2016-247호, '16.12.29)

※ N.D. : 방법검출한계 미만

## 1.3. 하천/호소수

표 VI-1-6. 하천/호소수 중 공정부산물의 지점별 농도

지점명		다이옥신/퓨란 (pg I-TEQ/L)	코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐 (pg WHO-TEQ/L)	인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐 (ng/L)	펜타클로로벤젠 (ng/L)	헥사클로로벤젠 (ng/L)
한강 (8)	의암댐	0.001	-	-	N.D.	0.545
	충주댐	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	팔당댐	0.000	-	-	N.D.	0.665
	한강대교	0.000	0.005	0.055	N.D.	N.D.
	행주대교	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	임진강 하구언	0.253	-	-	N.D.	0.806
	섬강 하류	0.004	-	-	N.D.	N.D.
	한강 하구언	0.004	-	-	N.D.	N.D.
낙동강 (9)	안동댐	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	금호강	0.001	-	-	0.564	0.595
	왜관대교	0.000	-	-	N.D.	0.550
	고령교	0.000	-	-	N.D.	0.568
	물금취수장	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	낙동강 하구언	0.056	0.000	0.030	0.712	3.290
	상주	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	남강 하류	0.000	-	-	N.D.	0.503
금강 (5)	서낙동강 하구언	0.005	-	-	N.D.	N.D.
	대청댐	0.001	-	-	N.D.	N.D.
	미호천	0.000	-	-	N.D.	0.673
	금강교	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	금강 하구언	0.000	0.001	0.179	N.D.	N.D.
영산강 (4)	갑천하류	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	담양댐	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	영산호	0.000	0.000	0.060	N.D.	N.D.
	나주교	0.001	-	-	N.D.	N.D.
기타 (10)	서창교	0.001	-	-	N.D.	N.D.
	양양남대천	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	강릉남대천	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	안성천 하구언	0.002	-	-	N.D.	N.D.
	삽교천 하구언	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	형산강 하구언	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	태화강 하구언	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	섬진강 하구언	0.001	-	-	N.D.	N.D.
	가화천 하구언	0.000	-	-	N.D.	N.D.
	우포습지	0.029	-	-	N.D.	N.D.
주남저수지	0.001	-	-	N.D.	N.D.	
검출수	14	2	4	2	9	
최소	0.000	0.000	0.030	N.D.	N.D.	
최대	0.253	0.005	0.179	0.712	3.290	
중앙값	0.000	0.001	0.058	0.638	0.595	
산술평균	0.010	0.000	0.081	0.035	0.228	
표준편차	0.043	0.002	0.067	0.105	0.897	

## 1.4. 퇴적물

표 VI-1-7. 퇴적물 중 공정부산물의 지점별 농도

지점명		다이옥신/퓨란 (pg I-TEQ/g)	코플라나 폴리클로리네이티드 비페닐 (pg WHO-TEQ/g)	인디케이터 폴리클로리네이티드 비페닐 (ng/g)	펜타클로로벤젠 (ng/g)	헥사클로로벤젠 (ng/g)
한강 (8)	의암댐	0.035	-	-	N.D.	0.021
	충주댐	0.209	-	-	0.143	0.158
	팔당댐	0.038	-	-	0.212	0.309
	한강대교	0.014	0.181	0.693	0.242	0.414
	행주대교	0.097	-	-	0.037	0.078
	임진강 하구언	0.054	-	-	0.030	0.056
	섬강 하류	0.000	-	-	0.152	0.281
	한강 하구언	0.000	-	-	0.029	0.060
낙동강 (9)	안동댐	0.021	-	-	0.029	0.057
	금호강	0.000	-	-	0.042	0.061
	왜관대교	0.000	-	-	0.061	0.153
	고령교	0.000	-	-	0.042	0.083
	물금취수장	0.005	-	-	0.083	0.104
	낙동강 하구언	0.000	0.000	0.002	N.D.	0.030
	상주	0.000	-	-	0.029	0.067
	남강 하류	0.026	-	-	0.084	0.085
금강 (5)	서낙동강 하구언	0.045	-	-	0.100	0.130
	대청댐	0.000	-	-	0.070	0.361
	미호천	0.000	-	-	0.115	0.174
	금강교	0.020	-	-	0.104	0.258
영산강 (4)	금강 하구언	0.045	0.037	0.104	0.044	0.056
	갑천하류	0.000	-	-	0.033	0.033
	담양댐	0.000	-	-	0.036	0.034
	영산호	0.002	0.000	0.017	N.D.	0.287
기타 (10)	나주교	0.004	-	-	0.060	1.681
	서창교	0.208	-	-	0.077	0.200
	양양남대천	0.005	-	-	0.043	0.058
	강릉남대천	0.000	-	-	0.070	0.764
	안성천 하구언	0.173	-	-	0.124	0.156
	삽교천 하구언	0.000	-	-	0.142	0.120
	형산강 하구언	0.000	-	-	0.061	0.330
	태화강 하구언	0.157	-	-	0.207	3.064
	섬진강 하구언	0.276	-	-	0.105	0.128
	가화천 하구언	0.000	-	-	0.054	0.097
우포습지	0.009	-	-	0.097	0.105	
주남저수지	0.057	-	-	0.317	0.269	
검출수	21	2	4	33	36	
최소	0.000	0.000	0.002	N.D.	0.021	
최대	0.276	0.181	0.693	0.317	3.064	
중앙값	0.005	0.019	0.061	0.070	0.124	
산술평균	0.042	0.055	0.204	0.085	0.287	
표준편차	0.072	0.086	0.329	0.069	0.558	



VI. 부록

---

## 2. 유기염소계농약류





## 2.1. 대기

표 VI-2-1. 대기 중 드린류(알드린, 디엘드린, 엔드린)의 지점별 연평균 농도 (단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

지점명	알드린			디엘드린			엔드린			
	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	
서울	서울 반포동	N.D.	N.D.	N.D.	0.633	N.D.	1.266	N.D.	N.D.	N.D.
	서울 서소문동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
부산	부산 초량동	N.D.	N.D.	N.D.	1.315	N.D.	2.631	N.D.	N.D.	N.D.
	부산 광복동	N.D.	N.D.	N.D.	0.880	N.D.	1.760	N.D.	N.D.	N.D.
대구	대구 만촌동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
울산	울산 여천동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
광주	광주 송정동	N.D.	N.D.	N.D.	0.876	1.751	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
대전	대전 구성동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
인천	인천 석남동	N.D.	N.D.	N.D.	2.061	N.D.	4.121	N.D.	N.D.	N.D.
	인천 고잔동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	인천 송의동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
경기	안산 본오동	N.D.	N.D.	N.D.	0.815	1.631	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	시흥 정왕동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	성남 정자동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	포천 신읍동	N.D.	N.D.	N.D.	2.290	2.538	2.042	N.D.	N.D.	N.D.
강원	춘천 석사동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	강릉 옥천동	1.018	N.D.	2.037	4.031	N.D.	8.062	N.D.	N.D.	N.D.
충북	청주 내덕동	N.D.	N.D.	N.D.	1.138	N.D.	2.276	N.D.	N.D.	N.D.
	단양 매향리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
충남	서산 독곶리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	태안 파도리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-	-	-	-
경북	공주 고당리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	구미 공단동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	포항 장흥동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	안동 남문동	N.D.	N.D.	N.D.	0.544	N.D.	1.087	N.D.	N.D.	N.D.
경남	울릉 태하동	N.D.	N.D.	N.D.	6.308	2.836	9.781	N.D.	N.D.	N.D.
	창원 가음정동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	진주 대안동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
전북	군산 신흥동	N.D.	N.D.	N.D.	3.353	6.706	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	익산 팔봉동	N.D.	N.D.	N.D.	0.894	1.788	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
전남	광양 중동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	여수 중흥동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	목포 용당동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	해남 성내리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	장흥 용강리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
순천 장천동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
제주	제주 고산리	N.D.	N.D.	N.D.	0.673	N.D.	1.345	N.D.	N.D.	N.D.
검출수		1	0	1	14	6	10	0	0	0
최소		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
최대		1.018	N.D.	2.037	6.308	6.706	9.781	N.D.	N.D.	N.D.
중앙값		1.018	N.D.	2.037	1.016	2.163	2.159	N.D.	N.D.	N.D.
산술평균		0.027	N.D.	0.054	0.679	0.454	0.905	N.D.	N.D.	N.D.
표준편차		-	-	-	1.673	1.938	3.045	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만, 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

표 VI-2-2. 대기 중 독사펜, 헵타클로르, 미렉스의 지점별 연평균 농도

지점명	독사펜 (ng/Sm <sup>3</sup> )			헵타클로르 (pg/Sm <sup>3</sup> )			미렉스 (pg/Sm <sup>3</sup> )			
	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	
서울	서울 반포동	-	-	-	0.710	N.D.	1.420	N.D.	N.D.	N.D.
	서울 서소문동	N.D.	N.D.	-	0.928	N.D.	1.855	N.D.	N.D.	N.D.
부산	부산 초량동	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	부산 광복동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
대구	대구 만촌동	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
울산	울산 여천동	N.D.	N.D.	-	1.188	N.D.	2.375	N.D.	N.D.	
광주	광주 송정동	-	-	-	0.615	N.D.	1.229	N.D.	N.D.	
대전	대전 구성동	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
인천	인천 석남동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	인천 고잔동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	인천 송의동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
경기	안산 본오동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	시흥 정왕동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	성남 정자동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	포천 신읍동	-	-	-	1.161	N.D.	2.322	N.D.	N.D.	
강원	춘천 석사동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	강릉 옥천동	-	-	-	1.536	N.D.	3.071	N.D.	N.D.	
충북	청주 내덕동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	단양 매포리	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
충남	서산 독곶리	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	태안 파도리	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-	-	-	
	공주 고당리	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
경북	구미 공단동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	포항 장흥동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	안동 남문동	-	-	-	1.006	2.011	N.D.	N.D.	N.D.	
	울릉 태하동	-	-	-	2.633	N.D.	5.265	N.D.	N.D.	
경남	창원 가음정동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	진주 대안동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
전북	군산 신평동	-	-	-	2.183	4.365	N.D.	N.D.	N.D.	
	익산 팔봉동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	광양 중동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
전남	여수 중흥동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	목포 용당동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	해남 성내리	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	장흥 용강리	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	순천 장천동	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
제주	제주 고산리	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
검출수		0	0	-	9	2	7	0	0	0
최소		N.D.	N.D.	-	N.D.	2.011	1.229	N.D.	N.D.	N.D.
최대		N.D.	N.D.	-	2.633	4.365	5.265	N.D.	N.D.	N.D.
중앙값		N.D.	N.D.	-	1.161	3.188	2.322	N.D.	N.D.	N.D.
산술평균		N.D.	N.D.	-	0.315	0.168	0.462	N.D.	N.D.	N.D.
표준편차		-	-	-	0.678	2.185	1.545	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만, 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

표 VI-2-3. 대기 중 클로르데인, 디디티, 엔도설판의 지점별 연평균 농도  
(단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

지점명	클로르데인			디디티			엔도설판			
	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	
서울	서울 반포동	1.881	N.D.	3.761	1.466	N.D.	2.931	16.677	22.694	10.660
	서울 서소문동	1.433	N.D.	2.865	2.036	N.D.	4.072	18.991	19.546	18.436
부산	부산 초량동	4.773	N.D.	9.546	16.631	N.D.	33.261	21.065	26.125	16.004
	부산 광복동	N.D.	N.D.	N.D.	0.676	N.D.	1.351	18.825	26.744	10.905
대구	대구 만촌동	0.724	N.D.	1.447	3.825	3.523	4.127	52.797	49.979	55.615
울산	울산 여천동	9.121	N.D.	18.242	10.512	N.D.	21.023	34.668	29.166	40.170
광주	광주 송정동	2.960	5.919	N.D.	3.819	7.638	N.D.	56.918	45.123	68.713
대전	대전 구성동	1.942	3.884	N.D.	4.889	9.777	N.D.	19.467	18.628	20.305
인천	인천 석남동	6.452	N.D.	12.904	4.257	1.268	7.245	8.651	7.429	9.872
	인천 고잔동	1.376	1.385	1.367	1.253	2.505	N.D.	17.005	12.530	21.479
	인천 송의동	N.D.	N.D.	N.D.	0.567	N.D.	1.133	21.125	35.596	6.653
경기	안산 본오동	1.807	3.614	N.D.	8.189	16.377	N.D.	17.772	20.113	15.431
	시흥 정왕동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	23.687	28.024	19.350
	성남 정자동	N.D.	N.D.	N.D.	1.135	1.082	1.188	12.926	17.605	8.246
	포천 신읍동	2.822	3.360	2.284	7.445	5.081	9.809	30.613	35.819	25.407
강원	춘천 석사동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	29.224	28.991	29.457
	강릉 옥천동	10.599	N.D.	21.198	4.588	1.211	7.964	31.680	39.387	23.972
충북	청주 내덕동	0.699	N.D.	1.398	3.079	1.427	4.730	18.960	31.738	6.181
	단양 매포리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8.224	12.682	3.765
충남	서산 독곶리	N.D.	N.D.	N.D.	0.845	N.D.	1.690	14.785	22.001	7.568
	태안 파도리	N.D.	N.D.	N.D.	0.578	N.D.	1.155	15.332	20.239	10.425
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	공주 고당리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	43.625	78.267	8.983
경북	구미 공단동	5.320	10.640	N.D.	0.657	N.D.	1.313	33.890	40.206	27.573
	포항 장흥동	2.206	1.809	2.602	3.844	7.688	N.D.	35.262	34.983	35.540
	안동 남문동	N.D.	N.D.	N.D.	0.725	N.D.	1.450	36.184	44.132	28.236
	울릉 태하동	15.325	6.738	23.911	4.666	1.585	7.746	12.301	15.526	9.076
경남	창원 가음정동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	32.125	28.705	35.545
	진주 대안동	N.D.	N.D.	N.D.	0.530	N.D.	1.059	31.702	50.160	13.244
전북	군산 신평동	7.300	14.599	N.D.	8.899	16.516	1.281	16.378	20.840	11.916
	익산 팔봉동	1.530	1.969	1.090	1.228	2.456	N.D.	47.491	52.936	42.046
전남	광양 중동	2.174	N.D.	4.348	3.312	N.D.	6.624	33.606	38.251	28.960
	여수 중흥동	2.266	4.531	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	39.109	44.711	33.507
	목포 용당동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	44.842	51.874	37.810
	해남 성내리	N.D.	N.D.	N.D.	1.541	N.D.	3.081	59.557	29.602	89.512
	장흥 용강리	3.710	7.419	N.D.	3.498	6.995	N.D.	58.368	56.268	60.468
	순천 장천동	N.D.	N.D.	N.D.	1.132	2.263	N.D.	44.526	36.149	52.903
제주	제주 고산리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	60.492	113.543	7.440
검출수		21	12	14	29	16	21	37	37	37
최소		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.082	1.059	8.224	7.429	3.765
최대		15.325	14.599	23.911	16.631	16.516	33.261	60.492	113.543	89.512
중앙값		2.266	4.208	3.313	3.079	3.014	3.081	30.613	29.602	20.305
산술평균		2.274	1.733	2.815	2.785	2.300	3.269	29.443	33.850	25.713
표준편차		3.767	4.053	8.058	3.691	5.112	7.722	15.206	19.825	19.750

\* N.D.: 방법검출한계 미만, 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 점정 중지

표 VI-2-4. 대기 중 헥사클로로사이클로헥산의 지점별 연평균 농도  
(단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

지점명	α-HCH			β-HCH			린단			
	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	
서울	서울 반포동	9.869	9.007	10.730	1.374	2.749	N.D.	5.520	4.559	6.481
	서울 서소문동	9.867	9.380	10.354	N.D.	N.D.	N.D.	4.219	N.D.	8.438
부산	부산 초량동	9.092	11.770	6.414	2.365	N.D.	4.729	8.652	7.362	9.942
	부산 광복동	6.579	8.564	4.594	N.D.	N.D.	N.D.	4.145	3.897	4.393
대구	대구 만촌동	7.626	7.934	7.318	N.D.	N.D.	N.D.	1.896	3.791	N.D.
울산	울산 여천동	6.690	6.027	7.353	3.101	6.202	N.D.	4.044	N.D.	8.089
광주	광주 송정동	144.884	9.230	280.539	N.D.	N.D.	N.D.	68.738	9.878	127.599
대전	대전 구성동	6.391	8.711	4.071	2.345	4.690	N.D.	3.585	7.170	N.D.
인천	인천 석남동	321.497	N.D.	642.993	N.D.	N.D.	N.D.	94.783	1.374	188.193
	인천 고잔동	15.628	11.549	19.708	N.D.	N.D.	N.D.	7.862	5.371	10.352
	인천 송의동	6.907	10.882	2.933	N.D.	N.D.	N.D.	2.015	4.029	N.D.
경기	안산 본오동	10.052	14.015	6.089	N.D.	N.D.	N.D.	7.163	9.531	4.794
	시흥 정왕동	7.329	5.502	9.156	N.D.	N.D.	N.D.	1.715	3.431	N.D.
	성남 정자동	8.634	8.565	8.703	N.D.	N.D.	N.D.	3.352	N.D.	6.704
	포천 신읍동	97.225	11.401	183.049	9.313	2.683	15.943	3.141	6.282	N.D.
강원	춘천 석사동	10.700	6.454	14.945	N.D.	N.D.	N.D.	1.749	3.498	N.D.
	강릉 옥천동	7.718	15.436	N.D.	12.252	24.503	N.D.	6.013	6.647	5.379
충북	청주 내덕동	48.046	10.907	85.185	0.974	1.947	N.D.	14.260	3.330	25.191
	단양 매포리	8.987	12.222	5.751	N.D.	N.D.	N.D.	2.034	4.067	N.D.
충남	서산 독곶리	6.206	3.758	8.654	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	태안 파도리	9.029	13.612	4.447	10.843	17.033	4.654	2.404	4.807	N.D.
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	공주 고당리	41.754	6.665	76.843	N.D.	N.D.	N.D.	13.736	N.D.	27.472
경북	구미 공단동	7.117	7.405	6.829	N.D.	N.D.	N.D.	4.658	6.817	2.499
	포항 장흥동	8.048	10.960	5.135	4.583	9.166	N.D.	2.533	5.066	N.D.
	안동 남문동	8.443	8.326	8.561	N.D.	N.D.	N.D.	6.515	4.876	8.153
	울릉 태하동	7.588	7.689	7.487	3.935	4.098	3.771	3.783	N.D.	7.567
경남	창원 가음정동	6.051	7.951	4.152	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	진주 대안동	5.672	7.611	3.733	2.351	4.703	N.D.	3.440	3.669	3.212
전북	군산 신흥동	6.196	7.900	4.493	N.D.	N.D.	N.D.	3.988	6.245	1.731
	익산 팔봉동	16.689	18.333	15.045	2.401	4.802	N.D.	4.370	5.823	2.917
전남	광양 중동	5.415	5.921	4.909	N.D.	N.D.	N.D.	7.588	N.D.	15.176
	여수 중흥동	1.965	N.D.	3.929	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	목포 용당동	7.278	10.827	3.729	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	해남 성내리	9.761	12.940	6.582	N.D.	N.D.	N.D.	3.639	7.278	N.D.
	장흥 용강리	3.011	N.D.	6.023	N.D.	N.D.	N.D.	0.903	N.D.	1.807
	순천 장천동	6.214	9.236	3.192	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
제주	제주 고산리	10.320	13.197	7.444	N.D.	N.D.	N.D.	1.195	N.D.	2.389
검출수		37	34	36	12	11	4	32	24	22
최소		1.965	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
최대		321.497	18.333	642.993	12.252	24.503	15.943	94.783	9.878	188.193
중앙값		8.048	9.118	7.074	2.751	4.703	4.691	4.016	4.971	7.135
산술평균		23.960	8.681	39.239	1.469	2.173	0.766	7.990	3.389	12.592
표준편차		57.198	3.098	116.996	3.884	7.040	5.795	19.500	2.019	45.551

\* N.D.: 방법검출한계 미만, 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

## 2.2. 토양

표 VI-2-5. 토양 중 특사펜, 엔도설판 지점별 농도

(단위 : ng/g)

	지점명	특사펜	엔도설판		지점명	특사펜	엔도설판	
서울	서울 잠실동	N.D.	N.D.	경북	의성 낙정리	-	0.812	
	서울 구로동	-	N.D.		문경 불정동	-	0.141	
	서울 금호동	-	0.269		안동 용상동	N.D.	N.D.	
부산	부산 부민동	-	0.721		구미공단	-	N.D.	
	부산 범천동	N.D.	N.D.		영덕 남산리	-	0.086	
대구	대구 달성동	-	0.197		포항철강산단	-	0.741	
울산	울산산단	-	0.051		영주 휴천동	-	1.089	
	온산산단	-	N.D.		울릉도	-	N.D.	
광주	광주 화정동	-	0.259		경남	밀양 교동	-	2.939
대전	대전 탄방동	-	0.080			진주 옥봉동	-	27.872
인천	인천 왕길동	-	0.202	창녕 남지읍		-	0.179	
	인천기계공단	-	0.055	창원 외동		-	N.D.	
	인천남동공단	-	0.455	정읍 북면	N.D.	2.976		
경기	양주 덕계동	-	0.514	전북	임실 성가리	-	0.108	
	광주 탄벌동	-	0.261		전주 덕진동	-	N.D.	
	화성 매곡리	-	0.033		익산 마동	-	0.891	
	동두천 상패동	-	N.D.	전남	여천공단	-	1.005	
	여주 흥천면	-	0.362		곡성 압록리	-	N.D.	
김포 마송리	-	0.042	영광 무령리		N.D.	0.078		
수원 영통동	-	0.298	장흥 대덕읍		-	0.575		
시화공단	-	N.D.	목포 상동		-	0.233		
반월공단	-	N.D.	화순 양곡리		-	0.534		
강원	정선 정선읍	-	0.361	제주	광양산단	-	0.097	
	횡성 우천면	-	0.100		제주 교래리	-	0.116	
	강릉 홍제동	-	0.041	제주 고산리	-	0.042		
	춘천 후평동	-	0.045	총괄	검출수	0	46	
	속초 설악동	N.D.	0.194		최소	N.D.	0.033	
	인제 합강리	-	0.074		최대	N.D.	66.121	
충남	충주공단	-	0.776		중앙값	N.D.	0.260	
	청주산단	-	1.346		산술평균	N.D.	2.072	
	논산 성동면	N.D.	N.D.	표준편차		-	10.467	
	서천 마서면	-	66.121					
	공주 중동	-	0.258					
	예산 예산읍	-	N.D.					
당진 대호지면	-	3.235						
천안 성환읍	-	9.557						

\* N.D.: 방법검출한계 미만 (특사펜 0.5 ng/g, 엔도설판 0.02 ng/g)

### 2.3. 하천/호소수

표 VI-2-6. 하천/호소수 중 특사펜, 엔도설펜의 지점별 연평균 농도  
(단위 : ng/L)

지점명		특사펜	엔도설펜
한강 (8)	의암댐	-	1.171
	충주댐	-	2.366
	팔당댐	-	N.D.
	한강대교	N.D.	0.769
	행주대교	-	1.318
	임진강 하구언	-	0.561
	섬강 하류	-	N.D.
	한강 하구언	-	N.D.
낙동강 (9)	안동댐	-	N.D.
	금호강	-	0.544
	왜관대교	-	N.D.
	고령교	-	1.330
	물금취수장	-	1.021
	낙동강 하구언	N.D.	1.008
	상주	-	N.D.
	남강 하류	-	N.D.
금강 (5)	서낙동강 하구언	-	5.598
	대청댐	-	0.649
	미호천	-	0.882
	금강교	-	N.D.
	금강 하구언	N.D.	N.D.
영산강 (4)	갑천하류	-	0.626
	담양댐	-	N.D.
	영산호	N.D.	2.277
	나주교	-	2.253
기타 (10)	서창교	-	2.231
	양양남대천	-	N.D.
	강릉남대천	-	N.D.
	안성천 하구언	-	N.D.
	삽교천 하구언	-	0.931
	형산강 하구언	-	N.D.
	태화강 하구언	-	1.719
	섬진강 하구언	-	N.D.
	가화천 하구언	-	N.D.
	우포습지	-	0.722
주남저수지	-	0.860	
검출수		0	20
최소		N.D.	N.D.
최대		N.D.	5.598
중앙값		N.D.	1.015
산술평균		N.D.	0.801
표준편차		-	1.156

\* N.D.: 방법검출한계 미만 (특사펜 5 ng/L, 엔도설펜 0.5 ng/L)

## 2.4. 퇴적물

표 VI-2-7. 퇴적물 중 특사펜, 엔도설펜의 지점별 연평균 농도

(단위 : ng/g)

지점명		특사펜	엔도설펜
한강 (8)	의암댐	-	0.038
	충주댐	-	0.470
	팔당댐	-	0.335
	한강대교	N.D.	N.D.
	행주대교	-	0.102
	임진강 하구언	-	0.042
	섬강 하류	-	0.086
	한강 하구언	-	N.D.
낙동강 (9)	안동댐	-	0.748
	금호강	-	0.242
	왜관대교	-	N.D.
	고령교	-	N.D.
	물금취수장	-	N.D.
	낙동강 하구언	N.D.	N.D.
	상주	-	0.063
	남강 하류	-	N.D.
금강 (5)	서낙동강 하구언	-	1.355
	대청댐	-	N.D.
	미호천	-	N.D.
	금강교	-	0.140
	금강 하구언	N.D.	0.030
영산강 (4)	갑천하류	-	N.D.
	담양댐	-	N.D.
	영산호	N.D.	0.107
	나주교	-	0.804
기타 (10)	서창교	-	0.601
	양양남대천	-	N.D.
	강릉남대천	-	0.532
	안성천 하구언	-	0.127
	삽교천 하구언	-	N.D.
	형산강 하구언	-	0.487
	태화강 하구언	-	5.577
	섬진강 하구언	-	0.457
	가화천 하구언	-	0.026
	우포습지	-	0.463
주남저수지	-	0.177	
검출수		0	23
최소		N.D.	N.D.
최대		N.D.	5.577
중앙값		N.D.	0.242
산술평균		N.D.	0.361
표준편차		-	1.140

\* N.D.: 방법검출한계 미만 (특사펜 0.5 ng/g, 엔도설펜 0.02 ng/g)





VI. 부록

---

### 3. 산업용물질





## 3.1. 대기

표 VI-3-1. 대기 중 브롬화난연제의 지점별 연평균 농도 (단위 : pg/Sm<sup>3</sup>)

지점명		tetra-/penta-BDE			hexa-/hepta-BDE			HBB		
		연평균	봄	가을	연평균	봄	가을	연평균	봄	가을
서울	서울 반포동	4.665	1.318	8.012	0.944	0.801	1.087	N.D.	N.D.	N.D.
	서울 서소문동	10.651	9.989	11.312	0.851	0.619	1.082	N.D.	N.D.	N.D.
부산	부산 초량동	0.465	0.614	0.316	0.188	0.375	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	부산 광복동	1.128	1.181	1.074	0.139	0.277	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
대구	대구 만촌동	1.458	0.990	1.926	0.505	N.D.	1.009	N.D.	N.D.	N.D.
울산	울산 여천동	1.008	1.197	0.819	0.378	0.248	0.507	N.D.	N.D.	N.D.
광주	광주 송정동	1.345	1.601	1.089	0.929	1.035	0.822	N.D.	N.D.	N.D.
대전	대전 구성동	1.760	1.678	1.842	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
인천	인천 석남동	1.523	1.062	1.983	0.797	0.462	1.131	N.D.	N.D.	N.D.
	인천 고잔동	26.946	24.157	29.734	2.343	1.989	2.697	N.D.	N.D.	N.D.
	인천 송의동	3.118	3.098	3.138	0.310	N.D.	0.619	N.D.	N.D.	N.D.
경기	안산 본오동	2.740	2.408	3.071	0.851	0.626	1.075	N.D.	N.D.	N.D.
	시흥 정왕동	1.591	0.610	2.571	1.214	0.550	1.878	N.D.	N.D.	N.D.
	성남 정자동	2.079	1.107	3.051	0.861	1.238	0.484	N.D.	N.D.	N.D.
	포천 신읍동	1.484	1.893	1.074	2.142	3.552	0.732	N.D.	N.D.	N.D.
강원	춘천 석사동	0.905	0.841	0.968	1.263	2.033	0.493	N.D.	N.D.	N.D.
	강릉 옥천동	1.777	2.998	0.555	0.240	0.330	0.149	N.D.	N.D.	N.D.
충북	청주 내덕동	1.401	0.629	2.172	2.672	1.189	4.154	N.D.	N.D.	N.D.
	단양 매폰리	0.472	0.502	0.442	0.482	0.518	0.445	N.D.	N.D.	N.D.
충남	서산 독곶리	0.587	1.048	0.125	1.349	2.698	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	태안 파도리	0.433	0.663	0.203	2.623	4.965	0.280	N.D.	N.D.	N.D.
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	공주 고당리	0.459	0.688	0.230	0.501	0.365	0.636	N.D.	N.D.	N.D.
경북	구미 공단동	0.862	0.700	1.024	0.738	1.287	0.189	N.D.	N.D.	N.D.
	포항 장흥동	1.531	1.559	1.503	1.025	0.407	1.642	N.D.	N.D.	N.D.
	안동 남문동	1.166	0.858	1.474	0.866	0.523	1.209	N.D.	N.D.	N.D.
	울릉 태하동	0.435	0.414	0.455	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
경남	창원 가음정동	0.635	0.804	0.465	0.174	0.348	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	진주 대안동	1.162	1.044	1.280	0.501	0.224	0.777	N.D.	N.D.	N.D.
전북	군산 신평동	0.633	0.836	0.429	0.194	N.D.	0.388	N.D.	N.D.	N.D.
	익산 팔봉동	1.606	1.022	2.189	0.849	N.D.	1.697	N.D.	N.D.	N.D.
전남	광양 중동	0.710	0.873	0.546	0.129	N.D.	0.258	N.D.	N.D.	N.D.
	여수 중흥동	0.315	0.169	0.461	0.519	0.684	0.353	N.D.	N.D.	N.D.
	목포 용당동	1.302	1.747	0.857	0.867	0.898	0.836	N.D.	N.D.	N.D.
	해남 성내리	3.176	1.264	5.088	0.259	N.D.	0.518	N.D.	N.D.	N.D.
	장흥 용강리	0.382	0.365	0.399	0.550	0.639	0.461	N.D.	N.D.	N.D.
	순천 장천동	1.347	0.990	1.704	0.158	N.D.	0.315	N.D.	N.D.	N.D.
제주	제주 고산리	0.245	0.386	0.104	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
검출수		37	37	37	34	27	30	0	0	0
최소		0.245	0.169	0.104	N.D.	0.224	0.149	N.D.	N.D.	N.D.
최대		26.946	24.157	29.734	2.672	4.965	4.154	N.D.	N.D.	N.D.
중앙값		1.302	1.022	1.074	0.767	0.626	0.684	N.D.	N.D.	N.D.
산술평균		2.197	1.929	2.465	0.747	0.760	0.735	N.D.	N.D.	N.D.
표준편차		4.539	4.074	5.106	0.690	1.117	0.835	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만, 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

표 VI-3-2. 대기 중 과불화화합물의 지점별 연평균 농도

(단위 :  $\mu\text{g}/\text{Sm}^3$ )

지점명		PFOS			PFOA		
		연평균	봄	가을	연평균	봄	가을
서울	서울 반포동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	서울 서소문동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
부산	부산 초량동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	부산 광복동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
대구	대구 만촌동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
울산	울산 여천동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
광주	광주 송정동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
대전	대전 구성동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
인천	인천 석남동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	인천 고잔동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	인천 송의동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
경기	안산 본오동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	시흥 정왕동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	성남 정자동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	포천 신읍동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
강원	춘천 석사동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	강릉 옥천동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
충북	청주 내덕동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	단양 매포리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
충남	서산 독곶리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	태안 파도리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-
	공주 고당리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
경북	구미 공단동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	포항 장흥동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	안동 남문동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	울릉 태하동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
경남	창원 가음정동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	진주 대안동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
전북	군산 신흥동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	익산 팔봉동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
전남	광양 중동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	여수 중흥동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	목포 용당동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	해남 성내리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	장흥 용강리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	순천 장천동	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
제주	제주 고산리	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
검출수		0	0	0	0	0	0
최소		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
최대		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
중앙값		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
산술평균		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
표준편차		-	-	-	-	-	-

\* N.D.: 방법검출한계 미만, 천안 성성동(대기)의 경우 조사지점 주변 아파트단지 공사로 인하여 조사 잠정 중지

## 3.2. 토양

표 VI-3-3. 토양 중 브롬화난연제 지점별 농도

(단위 : ng/g)

지점명		tetra-/penta-BDE	hexa-/hepta-BDE	HBB
서울	서울 잠실동	0.036	0.044	N.D.
	서울 구로동	0.035	0.096	N.D.
	서울 금호동	0.182	0.142	N.D.
부산	부산 부민동	0.011	0.033	N.D.
	부산 범천동	0.011	0.017	N.D.
대구	대구 달성동	N.D.	0.003	N.D.
울산	울산산단	0.238	1.353	N.D.
	온산산단	0.007	0.082	N.D.
광주	광주 화정동	0.080	0.154	N.D.
대전	대전 탄방동	0.013	0.009	N.D.
인천	인천 왕길동	0.052	0.046	N.D.
	인천기계공단	0.462	0.153	N.D.
	인천남동공단	0.342	0.231	N.D.
경기	양주 덕계동	1.202	0.179	N.D.
	광주 탄벌동	0.256	0.193	N.D.
	화성 매곡리	0.013	0.011	N.D.
	동두천 상패동	0.124	0.207	N.D.
	여주 흥천면	0.163	0.377	N.D.
	김포 마송리	0.006	0.021	N.D.
	수원 영통동	0.055	0.330	N.D.
	시화공단	0.309	0.407	N.D.
반월공단	2.644	7.971	N.D.	
강원	정선 정선읍	0.008	0.006	N.D.
	횡성 우천면	N.D.	0.012	N.D.
	강릉 흥제동	0.016	0.040	N.D.
	춘천 후평동	N.D.	0.037	N.D.
	속초 설악동	0.539	0.164	N.D.
	인제 합강리	0.054	0.193	N.D.
충북	충주공단	0.177	0.215	N.D.
	청주산단	0.039	0.090	N.D.
충남	논산 성동면	0.012	0.020	N.D.
	서천 마서면	0.002	0.008	N.D.
	공주 중동	0.084	0.114	N.D.
	예산 예산읍	0.018	0.264	N.D.
	당진 대호지면	0.139	0.186	N.D.
	천안 성환읍	0.265	0.465	N.D.

\* N.D.: 방법검출한계(PBDE 0.002 ng/g, HBB 0.02 ng/g) 미만

표 VI-3-3. 토양 중 브롬화난연제 지점별 농도 (계속)

(단위 : ng/g)

지점명		tetra-/penta-BDE	hexa-/hepta-BDE	HBB
경북	의성 낙정리	1.016	0.181	N.D.
	문경 불정동	0.021	0.041	N.D.
	안동 용상동	N.D.	0.005	N.D.
	구미공단	0.084	0.063	N.D.
	영덕 남산리	0.012	0.020	N.D.
	포항철강산단	0.213	0.125	N.D.
	영주 휴천동	0.319	0.161	N.D.
	울릉도	0.073	0.184	N.D.
경남	밀양 교동	17.464	3.908	N.D.
	진주 옥봉동	0.170	0.229	N.D.
	창녕 남지읍	0.047	0.051	N.D.
	창원 외동	0.049	0.059	N.D.
전북	정읍 북면	0.023	0.022	N.D.
	임실 성가리	0.007	0.020	N.D.
	전주 덕진동	0.018	0.027	N.D.
	익산 마동	0.113	0.702	N.D.
전남	여천공단	0.213	2.213	N.D.
	곡성 압록리	0.010	0.221	N.D.
	영광 무령리	0.014	0.011	N.D.
	장흥 대덕읍	0.007	0.298	N.D.
	목포 상동	0.013	0.053	N.D.
	화순 양곡리	0.005	0.021	N.D.
	광양산단	0.032	0.113	N.D.
제주	제주 교래리	0.014	0.026	N.D.
	제주 고산리	0.002	0.038	N.D.
검출수		57	61	0
최소		0.002	0.003	N.D.
최대		17.464	7.971	N.D.
중앙값		0.049	0.096	N.D.
산술평균		0.451	0.372	N.D.
표준편차		2.324	1.148	-

\* N.D.: 방법검출한계(PBDE 0.002 ng/g, HBB 0.02 ng/g) 미만

표 VI-3-4. 토양 중 과불화화합물 지점별 농도

(단위 : ng/g)

	지점명	PFOS	PFOA		지점명	PFOS	PFOA
서울	서울 잠실동	N.D.	N.D.	경북	의성 낙정리	N.D.	N.D.
	서울 구로동	N.D.	N.D.		문경 불정동	N.D.	N.D.
	서울 금호동	N.D.	N.D.		안동 용상동	N.D.	N.D.
부산	부산 부민동	N.D.	N.D.		구미공단	N.D.	N.D.
	부산 범천동	N.D.	N.D.		영덕 남산리	N.D.	N.D.
대구	대구 달성동	N.D.	N.D.		포항철강산단	N.D.	N.D.
울산	울산산단	0.693	N.D.		영주 휴천동	N.D.	N.D.
	온산산단	N.D.	N.D.		울릉도	N.D.	N.D.
광주	광주 화정동	N.D.	N.D.		경남	밀양 교동	N.D.
대전	대전 탄방동	N.D.	N.D.	진주 옥봉동		N.D.	N.D.
인천	인천 왕길동	N.D.	N.D.	창녕 남지읍		N.D.	N.D.
	인천기계공단	2.011	N.D.	창원 외동	N.D.	0.540	
	인천남동공단	0.936	N.D.	정읍 북면	N.D.	N.D.	
경기	양주 덕계동	N.D.	N.D.	전북	임실 성가리	N.D.	N.D.
	광주 탄벌동	N.D.	1.022		전주 덕진동	N.D.	N.D.
	화성 매곡리	N.D.	N.D.		익산 마동	N.D.	N.D.
	동두천 상패동	N.D.	N.D.	전남	여천공단	N.D.	N.D.
	여주 흥천면	N.D.	N.D.		곡성 압록리	N.D.	N.D.
	김포 마송리	N.D.	N.D.		영광 무령리	N.D.	N.D.
	수원 영통동	N.D.	N.D.		장흥 대덕읍	N.D.	N.D.
시화공단	0.637	N.D.	목포 상동		N.D.	N.D.	
반월공단	0.900	3.248	화순 양곡리		N.D.	N.D.	
강원	정선 정선읍	N.D.	N.D.		제주	광양산단	N.D.
	횡성 우천면	N.D.	N.D.	제주 교래리		N.D.	N.D.
	강릉 홍제동	N.D.	N.D.	제주 고산리	N.D.	N.D.	
	춘천 후평동	N.D.	N.D.	검출수	5	3	
	속초 설악동	N.D.	N.D.	최소	0.637	0.540	
	인제 합강리	N.D.	N.D.	최대	2.011	3.248	
충북	충주공단	N.D.	N.D.	충남	중앙값	0.900	1.022
	청주산단	N.D.	N.D.		산술평균	0.085	0.079
충남	논산 성동면	N.D.	N.D.		표준편차	0.560	1.445
	서천 마서면	N.D.	N.D.				
	공주 중동	N.D.	N.D.				
	예산 예산읍	N.D.	N.D.				
당진 대호지면	N.D.	N.D.					
천안 성환읍	N.D.	N.D.					

\* N.D.: 방법검출한계(0.5 ng/g) 미만

### 3.3. 하천/호소수

표 VI-3-5. 하천/호소수 중 브롬화난연제의 지점별 농도

(단위 : ng/L)

지점명	tetra-/penta-BDE	hexa-/hepta-BDE	HBB	
한강 (8)	의암댐	N.D.	N.D.	N.D.
	충주댐	N.D.	N.D.	N.D.
	팔당댐	N.D.	N.D.	N.D.
	한강대교	N.D.	N.D.	N.D.
	행주대교	0.041	N.D.	N.D.
	임진강 하구언	0.089	N.D.	N.D.
	섬강 하류	N.D.	N.D.	N.D.
	한강 하구언	N.D.	0.033	N.D.
낙동강 (9)	안동댐	N.D.	N.D.	N.D.
	금호강	N.D.	0.036	N.D.
	왜관대교	0.092	N.D.	N.D.
	고령교	N.D.	0.082	N.D.
	물금취수장	N.D.	N.D.	N.D.
	낙동강 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	상주	N.D.	N.D.	N.D.
	남강 하류	N.D.	N.D.	N.D.
금강 (5)	서낙동강 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	대청댐	N.D.	N.D.	N.D.
	미호천	N.D.	0.036	N.D.
	금강교	N.D.	0.046	N.D.
	금강 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
영산강 (4)	갑천하류	N.D.	N.D.	N.D.
	담양댐	N.D.	N.D.	N.D.
	영산호	N.D.	N.D.	N.D.
	나주교	N.D.	N.D.	N.D.
기타 (10)	서창교	N.D.	N.D.	N.D.
	양양남대천	N.D.	N.D.	N.D.
	강릉남대천	N.D.	N.D.	N.D.
	안성천 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	삽교천 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	형산강 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	태화강 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	섬진강 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	가화천 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
우포습지	N.D.	N.D.	N.D.	
주남저수지	N.D.	N.D.	N.D.	
검출수	3	5	0	
최소	N.D.	N.D.	N.D.	
최대	0.092	0.082	N.D.	
중앙값	0.098	0.036	N.D.	
산술평균	0.006	0.006	N.D.	
표준편차	0.029	0.020	-	

\* N.D.: 방법검출한계 미만 (PBDE 0.02 ng/L, HBB 0.5 ng/L)

표 VI-3-6. 하천/호소수 중 과불화화합물의 지점별 농도

(단위 : ng/L)

	지점명	PFOS	PFOA
한강 (8)	의암댐	N.D.	N.D.
	충주댐	N.D.	N.D.
	팔당댐	N.D.	N.D.
	한강대교	N.D.	N.D.
	행주대교	N.D.	N.D.
	임진강 하구언	N.D.	N.D.
	섬강 하류	N.D.	N.D.
	한강 하구언	N.D.	N.D.
낙동강 (9)	안동댐	N.D.	N.D.
	금호강	N.D.	97.311
	왜관대교	N.D.	N.D.
	고령교	N.D.	60.253
	물금취수장	N.D.	62.206
	낙동강 하구언	N.D.	38.372
	상주	N.D.	N.D.
	남강 하류	N.D.	N.D.
금강 (5)	서낙동강 하구언	N.D.	57.958
	대청댐	N.D.	N.D.
	미호천	N.D.	N.D.
	금강교	N.D.	590.404
	금강 하구언	N.D.	199.027
영산강 (4)	갑천하류	N.D.	N.D.
	담양댐	N.D.	N.D.
	영산호	N.D.	N.D.
	나주교	N.D.	N.D.
기타 (10)	서창교	N.D.	N.D.
	양양남대천	N.D.	N.D.
	강릉남대천	N.D.	N.D.
	안성천 하구언	N.D.	38.719
	삽교천 하구언	N.D.	N.D.
	형산강 하구언	N.D.	24.273
	태화강 하구언	N.D.	N.D.
	섬진강 하구언	N.D.	N.D.
	가화천 하구언	N.D.	N.D.
우포습지	N.D.	24.106	
주남저수지	N.D.	83.475	
	검출수	0	11
	최소	N.D.	N.D.
	최대	N.D.	590.404
	중앙값	N.D.	60.253
	산술평균	N.D.	35.447
	표준편차	-	164.799

\* N.D.: 방법검출한계 (20 ng/L) 미만

### 3.4. 퇴적물

표 VI-3-7. 퇴적물 중 브롬화난연제의 지점별 농도

(단위 : ng/g)

지점명	tetra-/penta-BDE	hexa-/hepta-BDE	HBB	
한강 (8)	의암댐	0.089	0.037	N.D.
	충주댐	0.263	0.094	N.D.
	팔당댐	0.190	0.043	N.D.
	한강대교	N.D.	N.D.	N.D.
	행주대교	0.300	0.204	N.D.
	임진강 하구언	0.109	0.058	N.D.
	섬강 하류	0.045	N.D.	N.D.
	한강 하구언	2.411	0.510	N.D.
낙동강 (9)	안동댐	0.358	0.083	N.D.
	금호강	0.105	0.026	N.D.
	왜관대교	0.065	0.029	N.D.
	고령교	0.058	0.007	N.D.
	물금취수장	0.007	0.004	N.D.
	낙동강 하구언	0.034	0.006	N.D.
	상주	0.059	0.012	N.D.
	남강 하류	0.069	0.034	N.D.
금강 (5)	서낙동강 하구언	0.229	0.044	N.D.
	대청댐	0.028	0.015	N.D.
	미호천	0.117	0.055	N.D.
	금강교	0.077	0.033	N.D.
	금강 하구언	0.016	0.003	N.D.
영산강 (4)	갑천하류	0.021	N.D.	N.D.
	담양댐	N.D.	N.D.	N.D.
	영산호	N.D.	N.D.	N.D.
	나주교	N.D.	N.D.	N.D.
기타 (10)	서창교	0.102	0.262	N.D.
	양양남대천	N.D.	N.D.	N.D.
	강릉남대천	0.010	N.D.	N.D.
	안성천 하구언	0.046	0.056	N.D.
	삽교천 하구언	N.D.	N.D.	N.D.
	형산강 하구언	0.117	0.009	N.D.
	태화강 하구언	0.564	0.167	N.D.
	섬진강 하구언	0.188	0.069	N.D.
가화천 하구언	0.135	0.062	N.D.	
우포습지	0.048	0.036	N.D.	
주남저수지	0.054	0.043	N.D.	
검출수	30	27	0	
최소	N.D.	N.D.	N.D.	
최대	2.411	0.510	N.D.	
중앙값	0.083	0.043	N.D.	
산술평균	0.164	0.056	N.D.	
표준편차	0.435	0.107	-	

\* N.D.: 방법검출한계(PBDE 0.002 ng/g, HBB 0.02 ng/g) 미만

표 VI-3-8. 퇴적물 중 과불화화합물의 지점별 농도

(단위 : ng/g)

지점명		PFOS	PFOA
한강 (8)	의암댐	N.D.	N.D.
	충주댐	N.D.	N.D.
	팔당댐	N.D.	N.D.
	한강대교	N.D.	N.D.
	행주대교	N.D.	N.D.
	임진강 하구언	N.D.	N.D.
	섬강 하류	N.D.	N.D.
	한강 하구언	N.D.	N.D.
낙동강 (9)	안동댐	N.D.	N.D.
	금호강	N.D.	N.D.
	왜관대교	N.D.	N.D.
	고령교	N.D.	N.D.
	물금취수장	N.D.	N.D.
	낙동강 하구언	N.D.	N.D.
	상주	N.D.	N.D.
	남강 하류	N.D.	N.D.
금강 (5)	서낙동강 하구언	N.D.	N.D.
	대청댐	N.D.	N.D.
	미호천	N.D.	N.D.
	금강교	N.D.	N.D.
영산강 (4)	금강 하구언	N.D.	N.D.
	갑천하류	N.D.	N.D.
	담양댐	N.D.	N.D.
	영산호	N.D.	N.D.
기타 (10)	나주교	N.D.	N.D.
	서창교	N.D.	N.D.
	양양남대천	N.D.	N.D.
	강릉남대천	N.D.	N.D.
	안성천 하구언	N.D.	N.D.
	삽교천 하구언	0.555	N.D.
	형산강 하구언	N.D.	N.D.
	태화강 하구언	N.D.	N.D.
	섬진강 하구언	N.D.	N.D.
	가화천 하구언	N.D.	N.D.
우포습지	N.D.	N.D.	
주남저수지	N.D.	N.D.	
검출수	1	0	
최소	N.D.	N.D.	
최대	0.555	N.D.	
중앙값	0.055	N.D.	
산술평균	0.015	N.D.	
표준편차	-	-	

\* N.D.: 방법검출한계 (0.5 ng/g)미만





VI. 부록

---

## 4. 시료채취정보





## 4.1. 대기

표 VI-4-1. 봄 대기 시료채취기간 중 기상정보

측정지점		측정일자	구분	온도 (°C)	풍속 (m/s)	주풍향	강수량 (mm)
서울	서울 반포동	2017.3.27~3.30	평균	8.6	1.1	SSW	1.9
			최대	16.2	5.6		
			최소	3.7	0.3		
	서울 서소문동	2017.3.27~3.30	평균	8.1	1.3	ENE	1.9
			최대	14.8	5.1		
			최소	3.8	0.3		
부산	부산 초량동	2017.4.11~4.14	평균	16.1	1.4	S	15.5
			최대	21.7	4.1		
			최소	10.0	0.3		
	부산 광복동	2017.4.11~4.14	평균	15.2	0.8	NW	15.5
			최대	20.1	2.1		
			최소	10.5	0.1		
대구	대구 만촌동	2017.4.4~4.7	평균	16.0	1.2	WSW	9.0
			최대	22.8	4.3		
			최소	9.6	0.0		
울산	울산 여천동	2017.4.3~4.6	평균	16.6	3.4	S	43.8
			최대	23.0	8.7		
			최소	10.0	0.4		
광주	광주 송정동	2017.4.11~4.14	평균	13.3	1.4	NNW	11.0
			최대	20.4	4.5		
			최소	5.6	0.1		
대전	대전 구성동	2017.4.10~4.13	평균	12.3	1.8	S	14.3
			최대	20.7	4.7		
			최소	4.2	0.3		
인천	인천 석남동	2017.3.27~3.30	평균	7.6	2.2	WSW	-
			최대	12.3	6.4		
			최소	4.7	0.3		
	인천 고잔동	2017.3.27~3.30	평균	7.3	1.6	WSW	-
			최대	12.2	6.3		
			최소	4.0	0.4		
인천 송의동	2017.3.27~3.30	평균	7.7	2.0	SSW	-	
		최대	12.5	5.1			
		최소	5.0	0.1			
경기	안산 고잔동	2017.3.27~3.30	평균	8.1	1.8	WSW	-
			최대	15.0	5.0		
			최소	2.8	0.4		
	시흥 정왕동	2017.3.27~3.30	평균	7.6	1.6	W	-
			최대	13.3	4.7		
			최소	3.2	0.2		
	성남 정자동	2017.3.27~3.30	평균	8.4	0.7	W	-
			최대	19.1	2.5		
			최소	2.4	0.2		
	포천 신읍동	2017.3.21~3.24	평균	6.1	1.6	W	-
			최대	13.7	5.2		
			최소	-2.7	0.3		

\* 강수량은 측정기간 중 누적 강수량임

표 VI-4-1. 봄 대기 시료채취기간 중 기상정보 (계속)

측정지점		측정일자	구분	온도 (°C)	풍속 (m/s)	주풍향	강수량 (mm)
강원	춘천 석사동	2017.4.3~4.6	평균	13.1	0.9	E	29.9
			최대	22.6	3.5		
			최소	3.0	0.2		
	강릉 옥천동	2017.4.3~4.6	평균	16.5	2.7	NW	5.0
			최대	23.5	8.7		
			최소	8.3	0		
충북	청주 사천동	2017.4.11~4.14	평균	12.8	2.0	NNW	16.1
			최대	20.5	6.0		
			최소	5.2	0.3		
	단양 매폰리	2017.3.27~3.30	평균	6.1	20.6	WNW	3.6
			최대	19.2	81.0		
			최소	-2.0	6.8		
충남	서산 독곶리	2017.4.3~4.6	평균	11.2	3.2	N	24.6
			최대	18.8	8.8		
			최소	7.1	0.4		
	태안 파도리	2017.4.3~4.6	평균	9.7	1.2	S	24.6
			최대	14.8	3.8		
			최소	3.3	0.0		
	천안 성성동	측정안함	평균	-	-	-	-
			최대	-	-		
			최소	-	-		
	공주 고당리	2017.4.4~4.7	평균	12.8	0.8	N	41.5
			최대	21.8	5.3		
			최소	5.7	0.0		
경북	구미 공단동	2017.3.28~3.31	평균	10.9	0.7	NNW	4.6
			최대	19.4	2.2		
			최소	3.7	0.2		
	포항 장흥동	2017.4.3~4.6	평균	16.8	1.9	W	5.4
			최대	24.3	4.3		
			최소	11.1	0.1		
	안동 남문동	2017.3.27~3.30	평균	9.0	60.0	SSW	0.9
			최대	22.3	60.0		
			최소	0.6	60.0		
	울릉 태하리	2017.4.23~4.26	평균	15.1	0.2	S	0.5
			최대	18.5	0.3		
			최소	11.9	0.2		
경남	창원 사파동	2017.4.10~4.13	평균	14.1	3.0	NW	10.6
			최대	20.8	4.4		
			최소	9.1	0.2		
	진주 대안동	2017.4.17~4.20	평균	15.5	1.5	SW	16.7
			최대	23.4	5.7		
			최소	9.5	0.3		

\* 강수량은 측정기간 중 누적 강수량임

표 VI-4-1. 봄 대기 시료채취기간 중 기상정보 (계속)

측정지점		측정일자	구분	온도 (°C)	풍속 (m/s)	주풍향	강수량 (mm)
전북	군산 문화동	2017.4.10~4.13	평균	12.9	2.1	SSW	9.2
			최대	21.3	5.8		
			최소	5.7	0.3		
	익산 팔봉동	2017.4.10~4.13	평균	12.2	0.4	WNW	9.2
			최대	21.4	0.7		
			최소	4.9	0.4		
전남	광양 중동	2017.4.17~4.20	평균	16.8	2.5	W	7.7
			최대	22.2	6.2		
			최소	12.3	0.4		
	여수 중흥동	2017.4.17~4.20	평균	16.0	3.0	W	7.3
			최대	21.1	7.2		
			최소	11.7	0.1		
	목포 용당동	2017.4.11~4.14	평균	13.1	2.3	NW	12.2
			최대	19.7	6.2		
			최소	7.9	0.1		
	해남 성내리	2017.4.10~4.13	평균	10.7	2.7	WNW	8.8
			최대	18.5	7.5		
			최소	-0.3	0.0		
	장흥 용강리	2017.4.10~4.13	평균	12.4	2.9	NNW	8.7
			최대	20.3	8.4		
			최소	1.5	0.0		
	순천 장천동	2017.4.18~4.21	평균	14.9	2.5	NW	2.1
			최대	22.5	6.7		
			최소	0.0	0.0		
제주	제주 고산리	2017.5.15~5.18	평균	5.2	1.4	NNW	-
			최대	22.3	9.5		
			최소	0.0	0.0		

\* 강수량은 측정기간 중 누적 강수량임

표 VI-4-2. 가을 대기 시료채취기간 중 기상정보

측정지점		측정일자	구분	온도 (°C)	풍속 (m/s)	주풍향	강수량 (mm)
서울	서울 반포동	2017.10.23~10.26	평균	14.7	0.8	SSW	-
			최대	20.1	3.2		
			최소	10.6	0.0		
	서울 서소문동	2017.10.23~10.26	평균	14.4	1.3	ENE	-
			최대	18.0	3.3		
			최소	10.6	0.4		
부산	부산 초량동	2017.11.13~11.16	평균	11.5	1.5	WSW	-
			최대	18.4	3.8		
			최소	4.6	0.3		
	부산 광복동	2017.11.14~11.17	평균	10.2	0.8	NW	0.3
			최대	18.4	2.5		
			최소	4.7	0.0		
대구	대구 만촌동	2017.10.31~11.3	평균	12.5	0.9	N	-
			최대	20.7	4.8		
			최소	5.1	0.0		
울산	울산 여천동	2017.10.30~11.2	평균	13.9	2.5	N	-
			최대	21.0	5.1		
			최소	7.7	0.3		
광주	광주 송정동	2017.10.30~11.2	평균	11.2	0.7	NNW	-
			최대	19.2	3.5		
			최소	3.6	0.1		
대전	대전 구성동	2017.11.13~11.16	평균	6.0	1.0	WNW	-
			최대	13.4	4.1		
			최소	-2.9	0.3		
인천	인천 석남동	2017.10.24~10.27	평균	15.1	1.4	NE	-
			최대	18.7	4.4		
			최소	11.4	0.3		
	인천 고잔동	2017.10.30~11.2	평균	12.3	2.3	S	0.5
			최대	17.7	5.1		
			최소	4.0	0.4		
인천 송의동	2017.10.30~11.2	평균	10.9	1.5	SW	0.5	
		최대	15.1	3.9			
		최소	5.8	0.3			
경기	안산 고잔동	2017.10.30~11.2	평균	9.5	1.7	ENE	0.5
			최대	15.5	4.7		
			최소	2.7	0.4		
	시흥 정왕동	2017.10.30~11.2	평균	8.8	1.5	SW	0.5
			최대	14.8	4.1		
			최소	2.1	0.2		
	성남 정자동	2017.10.23~10.26	평균	13.4	0.5	WSW	-
			최대	20.4	2.3		
			최소	8.6	0.2		
	포천 신읍동	2017.10.10~10.13	평균	11.9	1.5	NE	12.6
			최대	22.3	4.4		
			최소	3.1	0.0		

\* 강수량은 측정기간 중 누적 강수량임

표 VI-4-2. 가을 대기 시료채취기간 중 기상정보 (계속)

측정지점		측정일자	구분	온도 (°C)	풍속 (m/s)	주풍향	강수량 (mm)
강원	춘천 석사동	2017.10.10~10.13	평균	18.0	0.9	NNE	32.6
			최대	26.3	3.2		
			최소	13.5	0.2		
	강릉 옥천동	2017.11.13~11.16	평균	7.5	2.0	NNE	-
			최대	14.2	6.8		
최소			0.0	0.0			
충북	청주 사천동	2017.11.14~11.17	평균	6.6	2.1	NE	0.6
			최대	12.4	5.3		
			최소	1.6	0.5		
	단양 매폰리	2017.11.13~11.16	평균	8.3	1.1	NW	0.3
			최대	12.2	3.8		
최소			2.5	0.3			
충남	서산 독곶리	2017.11.21~11.24	평균	6.2	2.7	W	8.5
			최대	11.6	6.5		
			최소	3.1	0.1		
	태안 파도리	2017.11.20~11.23	평균	5.7	1.3	NW	8.5
			최대	12.0	5.5		
			최소	-0.3	0.2		
	천안 성성동	측정안함(공사)	평균	-	-	-	-
			최대	-	-		
			최소	-	-		
공주 고당리	2017.11.20~11.23	평균	2.2	0.9	SSW	0.2	
		최대	10.1	3.5			
		최소	-4.5	0.0			
경북	구미 공단동	2017.11.06~11.09	평균	12.9	0.8	NNW	-
			최대	20.6	2.1		
			최소	4.2	0.4		
	포항 장흥동	2017.10.31~11.03	평균	9.4	0.9	N	-
			최대	20.5	3.7		
			최소	0.0	0.0		
	안동 남문동	2017.11.06~11.09	평균	12.0	1.0	WSW	-
			최대	21.5	4.6		
			최소	0.0	0.0		
	울릉 태하리	2017.11.06~11.09	평균	16.6	1.8	N	-
			최대	16.8	2.5		
			최소	16.4	1.4		
경남	창원 사파동	2017.11.13~11.16	평균	10.3	1.4	WNW	-
			최대	18.8	5.4		
			최소	2.5	0.2		
	진주 대안동	2017.11.13~11.16	평균	9.7	1.1	SSW	-
			최대	20.0	4.3		
최소			1.1	0.5			

\* 강수량은 측정기간 중 누적 강수량임

표 VI-4-2. 가을 대기 시료채취기간 중 기상정보 (계속)

측정지점		측정일자	구분	온도 (°C)	풍속 (m/s)	주풍향	강수량 (mm)
전북	군산 문화동	2017.11.13~11.16	평균	6.3	1.9	SSW	0.2
			최대	12.3	5.5		
			최소	-1.4	0.3		
	익산 팔봉동	2017.11.13~11.16	평균	7.5	1.3	S	0.2
			최대	13.4	4.5		
			최소	0.0	0.1		
전남	광양 중동	2017.10.30~11.02	평균	13.8	1.3	N	-
			최대	21.1	4.5		
			최소	6.1	0.4		
	여수 중흥동	2017.10.30~11.02	평균	13.5	1.9	W	-
			최대	19.8	5.4		
			최소	0.0	0.0		
	목포 용당동	2017.11.06~11.09	평균	14.7	1.0	NNW	-
			최대	19.8	2.6		
			최소	10.7	0.1		
	해남 성내리	2017.11.06~11.09	평균	13.5	1.4	NNW	-
			최대	19.4	5.7		
			최소	7.2	0.2		
	장흥 용강리	2017.11.06~11.09	평균	13.6	1.4	NNW	-
			최대	19.4	5.7		
			최소	7.2	0.2		
	순천 장천동	2017.10.30~11.02	평균	11.2	2.4	WNW	-
			최대	20.5	6.9		
			최소	2.3	0.2		
제주	제주 고산리	2017.10.30~11.02	평균	12.5	1.0	S	-
			최대	17.2	3.0		
			최소	8.8	0.0		

\* 강수량은 측정기간 중 누적 강수량임

표 VI-4-3. 대기 시료채취기간 중 일반대기오염물질 정보 (봄)

측정지점		SO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	PM-10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
서울	서울 반포동	0.005	0.59	0.028	0.049	0.013	0.036	71	46
	서울 서소문동	0.004	0.660	0.025	0.067	0.020	0.047	66.132	46.365
부산	부산 초량동	0.011	0.549	0.051	0.031	0.005	0.027	85.204	30.798
	부산 광복동	0.007	0.439	0.044	0.059	0.022	0.037	71.090	26.204
대구	대구 만촌동	0.004	0.398	0.038	0.027	0.005	0.022	37.975	20.317
울산	울산 여천동	0.029	0.711	0.046	0.000	0.000	0.037	57.383	-
광주	광주 송정동	0.003	0.379	0.045	0.025	0.006	0.019	78.235	25.553
대전	대전 구성동	0.002	0.332	0.049	0.010	0.003	0.007	61.327	20.282
인천	인천 석남동	0.008	0.670	0.024	0.028	0.010	0.018	67.275	50.395
	인천 고잔동	0.007	0.862	0.032	0.046	0.016	0.030	58.139	33.188
	인천 송의동	0.009	0.510	0.025	0.053	0.011	0.043	76.778	-
경기	안산 고잔동	0.007	0.482	0.024	0.061	0.020	0.041	65.587	-
	시흥 정왕동	0.010	0.658	0.026	0.062	0.022	0.040	63.773	49.052
	성남 정자동	0.005	0.780	0.017	0.084	0.033	0.052	64.226	-
	포천 신읍동	0.006	0.430	0.035	0.033	0.010	0.022	67.537	40.600
강원	춘천 석사동	0.003	0.951	0.024	0.029	0.006	0.023	57.262	34.689
	강릉 옥천동	0.003	0.358	0.049	0.014	0.003	0.012	68.768	42.337
충북	청주 사천동	0.003	0.419	0.044	0.025	0.007	0.018	75.768	31.129
	단양 매포리	0.005	1.140	0.026	0.081	0.050	0.031	61.663	42.771
충남	서산 독곶리	0.003	0.263	0.054	0.013	0.001	0.012	35.676	27.747
	태안 파도리	0.001	0.282	0.067	0.005	0.001	0.005	49.370	-
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-	-	-
	공주 고당리	0.002	0.427	0.050	0.008	0.001	0.007	39.166	-

표 VI-4-3. 대기 시료채취기간 중 일반대기오염물질 정보 (봄) (계속)

측정지점		SO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	PM-10 (µg/m <sup>3</sup> )	PM-2.5 (µg/m <sup>3</sup> )
경북	구미 공단동	0.002	0.394	0.043	0.030	0.006	0.025	56.292	-
	포항 장흥동	0.004	0.406	0.049	0.026	0.005	0.021	45.768	30.120
	안동 남문동	0.003	0.649	0.034	0.026	0.004	0.022	56.362	-
	울릉 태하리	0.002	0.169	0.064	0.011	0.008	0.002	359.616	32.316
경남	창원 사파동	0.005	0.417	0.047	0.022	0.005	0.017	57.391	-
	진주 대안동	0.003	0.437	0.036	0.022	0.008	0.014	70.910	-
전북	군산 문화동	0.003	0.313	0.036	0.018	0.010	0.021	52.449	28.601
	익산 팔봉동	0.004	0.807	0.048	0.026	0.007	0.019	72.493	33.460
전남	광양 중동	0.007	0.401	0.044	0.022	0.005	0.017	57.429	17.780
	여수 중흥동	-	-	0.039	0.022	0.005	0.017	65.960	17.624
	목포 용당동	0.004	0.426	0.029	0.015	0.003	0.012	56.741	15.384
	해남 성내리	-	-	-	-	-	-	-	-
	장흥 용강리	-	-	-	-	-	-	-	-
	순천 장천동	0.004	-	0.047	0.020	0.003	0.017	75.709	19.426
제주	제주 고산리	0.002	0.267	0.063	0.005	0.002	0.003	40.204	14.750

표 VI-4-4. 대기 시료채취기간 중 일반대기오염물질 정보 (가을)

측정지점		SO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	PM-10 (µg/m <sup>3</sup> )	PM-2.5 (µg/m <sup>3</sup> )
서울	서울 반포동	0.003	0.603	0.010	0.080	0.037	0.043	35.503	17.756
	서울 서소문동	0.003	0.548	0.016	0.067	0.024	0.044	35.283	20.483
부산	부산 초량동	0.004	0.389	0.027	0.034	0.012	0.022	137.804	20.815
	부산 광복동	0.005	0.400	0.021	0.045	0.018	0.027	52.301	17.759
대구	대구 만촌동	-	-	-	-	-	-	-	-
울산	울산 여천동	0.009	1.377	0.017	0.049	0.014	0.043	49.839	-
광주	광주 송정동	0.002	0.428	0.016	0.038	0.014	0.024	37.852	23.555
대전	대전 구성동	0.002	0.265	0.026	0.015	0.007	0.009	36.711	16.565
인천	인천 석남동	0.006	0.399	0.019	0.047	0.024	0.023	51.753	26.446
	인천 고잔동	0.008	0.494	0.021	0.048	0.018	0.030	34.684	22.309
	인천 송의동	0.006	0.383	0.026	0.041	0.011	0.029	29.303	17.275
경기	안산 고잔동	0.004	0.455	0.014	0.058	0.026	0.033	40.345	-
	시흥 정왕동	0.008	0.542	0.019	0.066	0.027	0.039	46.111	42.721
	성남 정자동	0.004	0.600	0.008	0.098	0.053	0.045	37.513	-
	포천 신읍동	-	-	-	-	-	-	-	-
강원	춘천 석사동	0.004	0.572	0.018	0.013	0.004	0.009	15.718	8.846
	강릉 옥천동	0.003	0.543	0.031	0.012	0.003	0.009	29.059	15.183
충북	청주 사천동	0.003	0.342	0.017	0.037	0.017	0.020	79.236	24.704
	단양 매포리	0.005	0.681	0.019	0.045	0.025	0.020	38.185	18.581
충남	서산 독곶리	0.004	0.286	0.017	0.018	0.004	0.014	26.837	16.581
	태안 파도리	0.002	0.324	0.043	0.009	0.001	0.007	41.925	-
	천안 성성동	-	-	-	-	-	-	-	-
	공주 고당리	0.003	0.453	0.016	0.034	0.016	0.018	43.606	29.102

표 VI-4-4. 대기 시료채취기간 중 일반대기오염물질 정보 (가을) (계속)

측정지점		SO <sub>2</sub> (ppm)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)	PM-10 (µg/m <sup>3</sup> )	PM-2.5 (µg/m <sup>3</sup> )
경북	구미 공단동	0.004	0.498	0.021	0.052	0.018	0.034	69.165	-
	포항 장흥동	0.008	0.374	0.027	0.039	0.017	0.021	49.146	30.259
	안동 남문동	0.004	0.811	0.018	0.037	0.015	0.023	56.412	38.928
	울릉 태하리	0.001	0.229	0.045	0.005	0.002	0.003	56.560	16.239
경남	창원 사파동	0.005	0.478	0.023	0.035	0.014	0.021	44.702	-
	진주 대안동	0.004	0.410	0.021	0.034	0.023	0.011	46.580	-
전북	군산 문화동	0.002	0.465	0.015	0.032	0.015	0.018	41.563	27.512
	익산 팔봉동	0.005	0.524	0.015	0.041	0.017	0.024	51.405	-
전남	광양 중동	0.010	0.577	0.017	0.048	0.015	0.033	22.328	16.906
	여수 중흥동	-	-	0.026	0.026	0.005	0.021	35.868	-
	목포 용당동	0.002	0.497	0.030	0.019	0.003	0.016	54.231	24.425
	해남 성내리	0.002	0.407	0.029	0.021	0.004	0.017	47.988	26.353
	장흥 용강리	0.002	0.406	0.029	0.021	0.005	0.017	47.959	26.420
	순천 장천동	0.005	0.607	0.032	0.013	0.003	0.010	27.063	-
제주	제주 고산리	0.001	0.153	0.038	0.015	0.003	0.012	-	-

## 4.2. 토양

표 VI-4-5. 토양 시료채취정보

지점명		시료채취일자	강우기록 (mm)	기온 (°C)
서울	서울 잠실동	2017-03-30	-	10.6
	서울 구로동	2017-03-28	-	7.1
	서울 금호동	2017-03-29	-	8.8
부산	부산 부민동	2017-04-13	-	15.0
	부산 범천동	2017-04-13	-	15.0
대구	대구 달성동	2017-04-05	4.0	14.6
울산	울산산단	2017-04-05	8.7	14.2
	온산산단	2017-04-05	8.7	14.2
광주	광주 화정동	2017-04-13	-	13.7
대전	대전 탄방동	2017-04-13	-	13.2
인천	인천 왕길동	2017-03-31	0.8	9.2
	인천기계공단	2017-03-31	-	9.2
	인천남동공단	2017-03-31	-	9.2
경기	양주 덕계동	2017-04-04	-	12.8
	광주 탄벌동	2017-03-29	-	7.8
	화성 매곡리	2017-03-29	-	7.8
	동두천 상패동	2017-04-03	-	12.8
	여주 흥천면	2017-03-30	-	9.6
	김포 마송리	2017-03-28	-	4.3
	수원 영통동	2017-03-29	-	7.8
	시화공단	2017-03-27	-	6.5
	반월공단	2017-03-27	-	6.5
강원	정선 정선읍	2017-04-05	10.5	10.8
	횡성 우천면	2017-04-05	4.5	12.8
	강릉 홍제동	2017-04-05	3.0	15.0
	춘천 후평동	2017-03-17	-	6.7
	속초 설악동	2017-04-04	-	15.9
	인제 합강리	2017-04-04	-	15.9
충북	충주공단	2017-03-30	-	9.5
	청주산단	2017-04-11	16.1	12.7

\* 강수량은 시료채취 전 1주일간 누적 강수량임

표 VI-4-5. 토양 시료채취정보 (계속)

	지점명	시료채취일자	강수량 (mm)	기온 (°C)
충남	논산 성동면	2017-04-13	-	11.1
	서천 마서면	2017-04-13	-	11.1
	공주 중동	2017-04-04	-	14.2
	예산 예산읍	2017-04-14	-	13.7
	당진 대호지면	2017-04-03	-	8.6
	천안 성환읍	2017-04-05	11.1	12.6
경북	의성 낙정리	2017-04-24	-	15.3
	문경 불정동	2017-04-29	-	17.3
	안동 용상동	2017-03-27	0.9	4.8
	구미공단	2017-03-28	-	8.2
	영덕 남산리	2017-03-29	-	10.7
	포항철강산단	2017-04-04	-	17.8
	영주 휴천동	2017-03-28	-	6.5
	울릉도	2017-04-24	-	14.1
경남	밀양 교동	2017-04-12	-	14.0
	진주 옥봉동	2017-04-19	-	14.6
	창녕 남지읍	2017-04-12	-	14.0
	창원 외동	2017-04-11	10.6	12.5
전북	정읍 북면	2017-04-12	-	11.0
	임실 성가리	2017-04-12	-	9.1
	전주 덕진동	2017-04-13	-	13.2
	익산 마동	2017-04-11	9.2	10.4
전남	여천공단	2017-04-18	-	14.7
	곡성 압록리	2017-04-20	2.1	11.3
	영광 무령리	2017-04-12	-	10.3
	장흥 대덕읍	2017-04-12	-	13.2
	목포 상동	2017-04-13	-	12.5
	화순 양곡리	2017-04-12	-	13.3
	광양산단	2017-04-18	-	14.5
제주	제주 교래리	2017-05-16	-	17.8
	제주 고산리	2017-05-16	-	16.4

\* 강수량은 시료채취 전 1주일간 누적 강수량임

## 4.3. 하천/호소수

표 VI-4-6. 하천/호소수 시료채취정보

	지점명	시료채취일자	강우기록 (mm)	기온 (°C)	수온 (°C)	pH	전기전도도 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )
한강 (8)	의암댐	2017.3.17	-	5.9	8.0	7.9	80.0
	충주댐	2017.3.30	12.4	9.5	16.2	7.64	450.0
	팔당댐	2017.3.31	1.5	8.1	16.8	7.44	350.0
	한강대교	2017.3.29	-	9.8	16.5	6.34	690.0
	행주대교	2017.3.29	0.5	8.4	16.5	6.42	1118.0
	임진강 하구언	2017.3.28	0.1	5.2	16.9	7.25	21.4
	섬강 하류	2017.3.30	1.0	9.5	16.6	7.5	795.0
	한강 하구언	2017.3.28	3.0	6.3	17.2	5.5	23.7
낙동강 (9)	안동댐	2017.4.27	0.8	12.2	19.0	8.36	1.3
	금호강	2017.4.28	3.5	16.7	18.7	7.36	4.3
	왜관대교	2017.4.24	2.0	15.8	18.6	7.55	1.8
	고령교	2017.4.27	2.5	12.5	18.7	9.71	4.3
	물금취수장	2017.4.25	-	17.6	19.1	7.56	12.1
	낙동강 하구언	2017.4.26	1.5	14.7	18.9	7.14	2.3
	상주	2017.4.24	21.6	16.1	18.5	7.46	1.5
	남강 하류	2017.4.26	-	15.0	18.6	7.51	14.3
	서낙동강 하구언	2017.4.26	8.5	14.7	18.8	7.41	3.2
금강 (5)	대청댐	2017.4.14	12.0	13.0	14	7.34	0.4
	미호천	2017.4.14	16.1	15.1	16.3	6.97	1.8
	금강교	2017.4.13	24.0	11.2	17.6	8.87	1.1
	금강 하구언	2017.4.13	19.0	10.4	15.7	8.09	110.0
	갑천하류	2017.4.14	14.3	15.7	15.7	6.62	1.1
영산강 (4)	담양댐	2017.4.12	52.5	10.4	14.2	7.12	0.2
	영산호	2017.4.11	24.5	12.2	14.3	7.53	5.3
	나주교	2017.4.11	27.5	13.4	13.6	7.42	0.8
	서창교	2017.4.12	40.2	13.6	15.2	6.75	0.8
기타 (10)	양양남대천	2017.4.06	20.0	15.2	11.9	6.99	2.7
	강릉남대천	2017.4.5	14.1	13.9	13.8	6.72	132.0
	안성천 하구언	2017.3.27	-	7.5	17.1	8.11	2.2
	삽교천 하구언	2017.3.27	-	7.5	16.2	5.22	185.3
	형산강 하구언	2017.4.25	3.7	20.3	18.1	7.21	13.2
	태화강 하구언	2017.4.25	0.7	18.8	17.9	7.34	61.3
	섬진강 하구언	2017.4.11	73.0	15.2	14.4	7.53	106.0
	가화천 하구언	2017.4.10	43.0	15.6	16.5	7.29	85.5
	우포습지	2017.5.31	3.0	23.9	23.1	6.30	251.0
	주남저수지	2017.4.26	-	14.7	18.5	9.17	47.0

\* 강수량은 시료채취 전 1주일간 누적 강수량임



---

## 잔류성유기오염물질 측정망 운영 보고서 (2017)

---

발 행 일 : 2018. 12.

발 행 처 : 환경부 화학물질정책과 (044-201-6778)  
(우 : 30103) 세종특별자치시 도움6로 11 정부세종청사 6동

작 성 : 한국환경공단 POPs측정망팀 (032-590-4830)  
(우 : 22689) 인천광역시 서구 환경로 42 종합환경연구단지

검 토 : 국립환경과학원 화학물질연구과 (032-560-7204)  
(우 : 22689) 인천광역시 서구 환경로 42 종합환경연구단지

---