경상북도보건환경연구원보, 제31권 pp. 229~237(2018)
Journal of GBIHE, Vol. 31, pp. 229~237(2018)

토양오염실태조사

김영란 · 최현경 · 하경태 · 김숙찬 · 최찬규 · 이은영 · 윤정연 · 손예슬 · 이화성

폐기물분석과

○ 토양오염실태조사를 통하여 오염우려지역을 파악하여 토양오염 사전예방
○ 토양오염관리 및 정화 · 복원을 위한 보전대책 수립을 위한 기초자료 확보

1. 조사개요

○ 조사기간 : 2018년 5월 ~ 12월

○ 조사대상 : 산업단지 및 공장지역, 공장폐수 유입지역, 원광석 · 고철 등의 보관 사용지역 등 토양오염 가능성이 높은 16개 오염원지역

○ 조사항목 : 총 22개 항목

- 토양환경보전법 제2조의 2호 및 동법 시행규칙 제1조의 2 규정에 의한 토양오염물질 22개 항목으로, 중금속류 8개 항목(Pb, Cd, Cu, Cr^{6+}, As, Zn, Ni, Hg)과 Org-P, PCBs, CN, F, Phenols, BTEX(Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene), TPH, TCE, PCE, Benzo(a)pyrene, pH

○ 조사지점 : 23개 시 · 군 250개 지점

- 2018년도 중점오염원은 원광석 · 고철 등의 보관 · 사용지역, 교통관련시설지역으로 선정하여 전년도 총 65개소에서 91개소로 증가되어 전체 조사지점 수의 36.4%를 차지하였다.
- 오염원지역 및 시 · 군별 조사대상은 표 1 및 그림 1, 2와 같으며, 총 250개 지점 중 교통관련시설지역(51개 지점) > 산업단지 및 공장지역(48개 지점) > 어린이놀이시설지역(45개지점) > 원광석 · 고철 등의 보관 사용지역(40개 지점) 으로 전체 조사지점 수의 73.6%를 차지했고, 시 · 군별 조사지점 현황을 살펴보면 포항, 경주, 김천, 구미, 경산시가 각 20개 지점으로 전체 시 · 군 지점 수의 40.0%를 차지하였다.

표 1. 오염원지역 및 시 · 군별 조사지점수

구분	계	포항시	경주시	김천시	안동시	구미시	영주시	영천시	상주시	문경시	경산시	군위군	의성군	청송군	영양군	영덕군	청도군	고령군	성주군	칠곡군	예천군	봉화군	울진군	울릉군
계	250	20	20	20	15	20	15	15	13	13	20	6	6	6	6	6	6	6	6	10	6	6	6	3
산업단지 및 공장지역	48	8	3	4	4	11	2	3	2	1	2			3	1			1		1		2		
공장폐수 유입지역	7		1		3					1	2													
원광석 · 고철 등의 보관 · 사용지역	40	1	2	3	3	2	2	3	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1
금속제련소지역	1						1																	
폐기물처리 및 재활용관련지역	27		1		3	2	3		1		3	2	1			1		1	3	3		1	1	1
지하수 오염지역	2		1								1													
교통관련시설지역	51	6	3	9	1	2	2	2	3	2	2	3	2		2	2	1	2	1	1	2	1	1	1
철도관련시설 및 철도폐침목 사용지역	6		2				1			1	1									1				
산지 등의 복구 및 공유수면 매립지역	1									1														
토양오염 정화 및 정화토양 사용지역	2									1	1													
사고 · 민원 등 발생지역	2		1							1														
산업단지 주변 등의 주거지역	9		1				1	2	2	1							1			1				
어린이놀이시설지역	45	5	4	3	1	3	3	5	3	2	4		1	1	2	2	1		1	1		1	2	
사격장 관련시설지역	0																							
토양오염우려기준 강화 변경지역	0																							
토지개발지역	9		1	1						1	2						2				2			

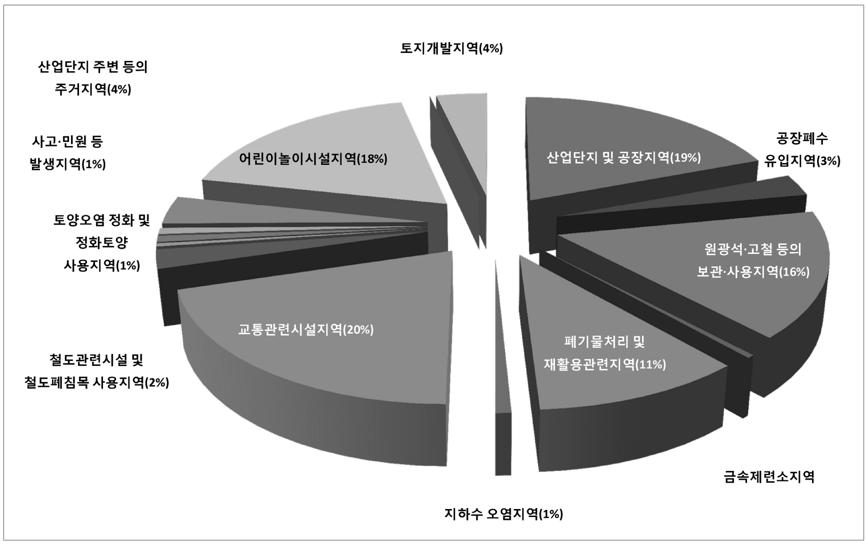

그림 1. 2018년도 오염원 지역별 조사비율

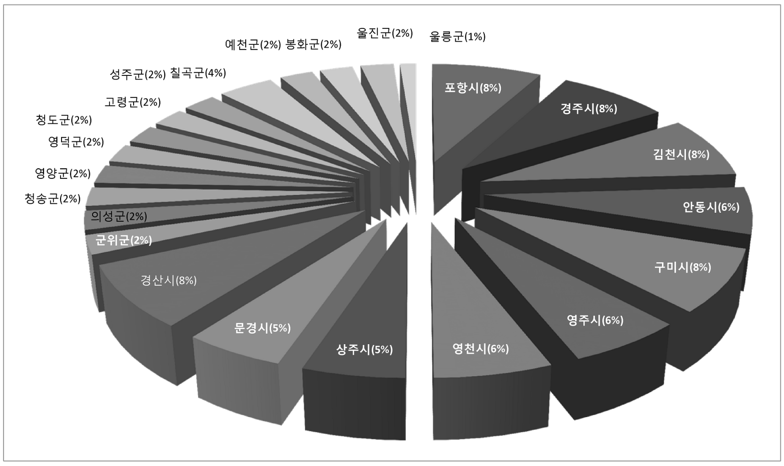

그림 2. 2018년도 시 · 군별 조사지역 비율

- 표 2와 그림 3에 나타낸 지목별 조사지점 수를 살펴보면, 1지역은 답 40개소, 대지 28개소 순으로 총 133개소이며, 전체 250개 지점수의 53.2%를 차지하였다.
- 2지역은 대지 15개소, 잡종지 11개소 순으로 총 37개소, 3지역은 80개소 중 50개소가 공장용지로 조사되었다. 2017년도와 비교하여 1지역에는 답, 전, 공원, 대지 지점이 증가하였고, 2지역에는 대지와 임야 등 지점이 감소하였고, 3지역은 공장용지, 철도용지가 소폭 증가되었다.

표 2. 최근 3년간 지목별 조사지점 수 비교

연도별	지점수	1지역								2지역								3지역						
		소계	답	전	공원	대지	학교용지	과수원	기타	소계	대지	유지	임야	잡종지	창고용지	하천(구거)	기타	소계	공장용지	도로	잡종지	주차장	철도용지	기타
2018	250	133	40	26	19	28	13	2	5	37	15	1	6	11	0	2	2	80	50	2	18	3	6	1
2017	250	118	32	25	18	19	14	2	8	57	20	0	20	11	0	3	3	75	49	0	18	2	5	1
2016	250	112	47	32	9	11	7	4	2	52	13	1	17	17	2	1	1	86	60	1	15	2	5	3

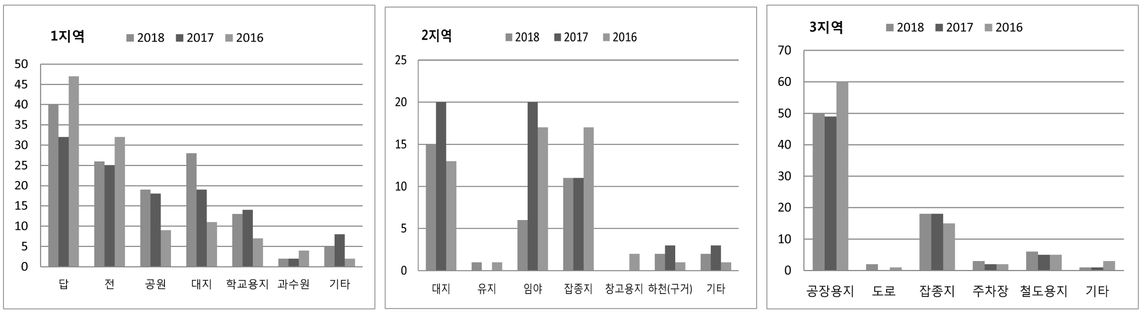

그림 3. 최근 3년간 지목별 조사지점 수 비교

2. 조사방법

○ 토양오염공정시험기준(국립환경과학원 고시 제2018-53호, 2018.12.07) ES07130.c 시료의 채취 및 조제방법에 따라 시료를 전처리하여 토양오염공정시험기준의 항목별 시험방법에 따라 분석

표 3. 분석방법

Item	Method	Instrument
Cd,Cu,Pb,Zn,Ni	염산, 질산 산분해 후 ICP분석	PerkinElmer
As	염산, 질산 산분해 후 환원기화법으로 분석	Varian
Hg	염산, 질산 산분해 후 환원기화법으로 분석	Varian
Cr^{6+}	알칼리분해 후 UV분석	Varian,Cary 300
F	회화한 시료를 증류 후 UV분석	Varian,Cary 300
Phenols	가속용매 추출장치로 용매추출, GC-MS분석	Bruker
BTEX	메탄올 추출 후 Purge&Trap GC분석	Bruker
유기인	생토시료를 전처리 후 GC분석	PerkinElmer
PCBs	생토시료를 용매추출,정제,농축 후 GC분석	Bruker
CN	생토시료를 증류 후 UV분석	Varian,Cary 300
TCE, PCE	메탄올추출 후 Purge&Trap GC분석	Bruker
TPH	디클로로메탄 초음파 추출 후 GC분석	Agilent
Benzo(a)pyrene	n-Hexane 초음파추출 후 GC-MS분석	Agilent
pH	수소이온유리전극법으로 분석	

3. 조사결과

○ 조사대상 250개 지점을 오염원 원인에 따라 16개 지역별로 구분하였으며 토양오염우려기준을 초과한 지점은 없었으며, 우려기준 70%를 초과한 지역은 12개 지점(4.8%)으로 나타났다.

○ 우려기준 70%를 초과한 12개 지점은 교통관련시설이 4개 지점, 어린이놀이시설이 2개 지점, 원광석·고철 등의 보관사용지역이 4개 지점, 산업단지 주변 등의 주거지역이 2개 지점이며, 우려기준 70%를 초과한 항목은 4개 항목으로 Cu(1개 지점), Zn(9개 지점), Cd(1개 지점), F (1개 지점)이었다(표 4).

○ 2018년도 각 항목별 평균농도는 Cd 0.06 ㎎/㎏, Cu 24.4 ㎎/㎏, As 3.77 ㎎/㎏, Hg 0.11 ㎎/㎏, Pb 19.7 ㎎/㎏, Zn 152.4 ㎎/㎏, Ni 12.6 ㎎/㎏, F 171 ㎎/㎏, Phenols 0.06 ㎎/㎏, Toluene 0.2 ㎎/㎏, TPH 77 ㎎/㎏, Benzo(a)pyrene 0.004 ㎎/㎏, pH 7.3이며, Cr^{+6}, Org-P, PCBs, CN, Benzene, Ethylbenzene, Xylene, TCE, PCE 항목은 불검출로 나타났다. 전년도와 비교하여 Cd, Hg, Ni, F, Phenols, pH 항목은 조금 높게 나타났고, Cu, As, Pb, Zn, TPH, Benzo(a)pyrene은 조금 낮게 나타났다(표 5, 그림 4).

표 4. 2018년 토양오염실태조사 결과 중 토양오염우려기준 70% 초과지점 현황

연번	조사지역 종 류	조사지역명	조사지역 위치	토지지목	지역구분 (1/2/3지역)	토양오염우려기준 70% 초과내역		
						항목	오염농도 (mg/kg)	기준
1	교통관련시설지역	○○정류장	경주.안강.산대리	답	1	Zn	233.7	300
2	어린이놀이시설	○○랜드	구미.남통동	공원	1	Cu	123.0	150
3	산업단지 주변 등의 주거지역	○○아파트	상주.외답동	대	1	Zn	223.7	300
4	어린이놀이시설	○○아파트	상주.낙양동	대	1	Zn	231.2	300
5	교통관련시설지역	○○폐차장	군위.군위.금구리	전	1	Cd	3.50	4
6	교통관련시설지역	○○정비공장	의성.의성.원당리	답	1	Zn	216.2	300
7	원광석. 고철 등의 보관, 사용지역	○○자원	의성.의성.원당리	잡종지	2	Zn	550.6	600
8	원광석.고철 등의 보관, 사용지역	○○자원	의성.의성.오로리	잡종지	2	Zn	585.5	600
9	원광석.고철 등의 보관, 사용지역	○○상회	청송.진보.월전리	대	2	Zn	505.8	600
10	산업단지 주변 등의 주거지역	농경지	청도.청도.월곡리	전	1	Zn	286.0	300
11	원광석.고철 등의 보관, 사용지역	○○고물상	청도.청도.원정리	대지	1	Zn	289.6	25
12	교통관련시설지역	○○폐차영업소	봉화.봉화.해저리	전	1	F	363	400

표 5. 최근 3년간 항목별 토양오염실태조사 평균농도 결과

(단위 : mg/kg, pH제외)

항목 / 연도	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Zn	Ni	F	Phenols	TPH	Benzo(a) pyrene	pH
2018	0.06	24.4	3.77	0.11	19.7	152.4	12.6	171	0.06	77	0.004	7.3
2017	0.03	26.4	5.00	0.07	33.3	175.7	11.9	97	0.00	109	0.032	6.6
2016	0.00	21.2	9.68	0.09	23.2	120.5	12.5	–	–	96	0.081	6.9

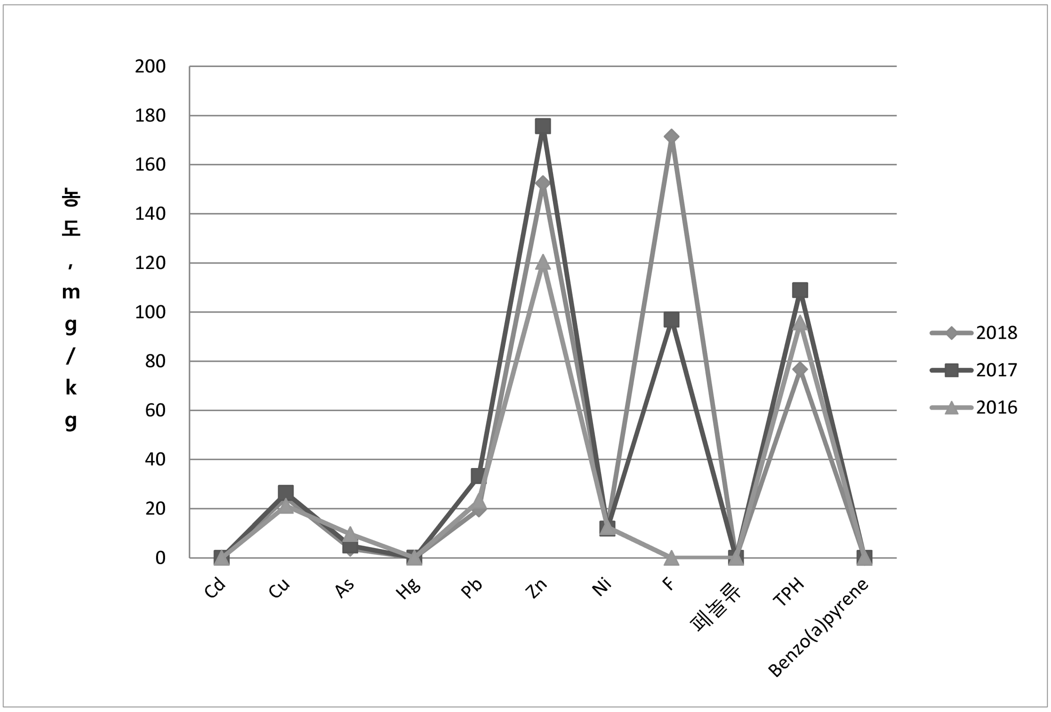

그림 4. 최근 3년간 항목별 토양오염실태조사 평균농도 결과 비교

○ 16개 조사지역의 중금속 항목별 농도를 살펴보면, 산업단지 및 공장지역에서는 Cu, Pb, Zn, Ni 등 대부분 중금속의 평균농도가 높게 나타났고, 원광석 · 고철 등의 보관 · 사용지역, 산업단지 주변 등의 주거지역에서도 Cu, Pb, Zn의 평균농도가 높게 나타났다. 교통관련시설지역에서는 Cd 평균농도가 비교적 높게 나타났으며, 공장폐수유입지역, 지하수 오염지역은 As 평균농도가, 폐기물처리 및 재활용 관련지역은 Ni의 평균농도가, 사고· 민원 등 발생지역에서는 As와 Ni의 평균농도가 높게 나타났다(그림 5).

○ 중금속 항목별 최고농도를 조사지역별로 살펴보면 Cu, Pb, Zn, Ni은 폐기물처리 및 재활용지역에서, As는 산업단지 및 공장지역에서, Cd은 교통관련시설지역에서 최고농도를 나타내었다. 중금속 항목 중 항목별 조사지역 최고농도와 오염우려기준 비교를 그림 6에 나타내었다.

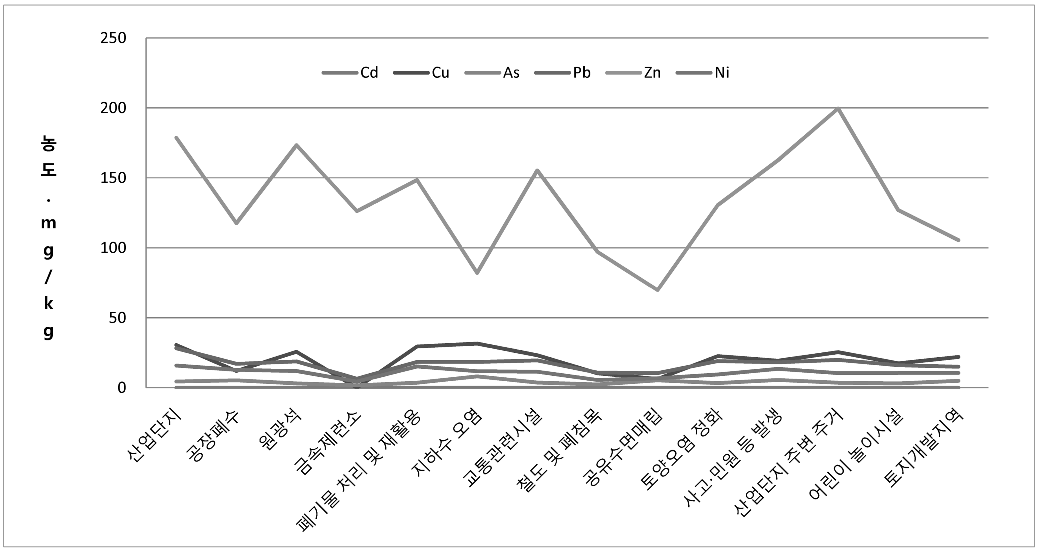

그림 5. 오염원 조사지역별 평균농도 변화

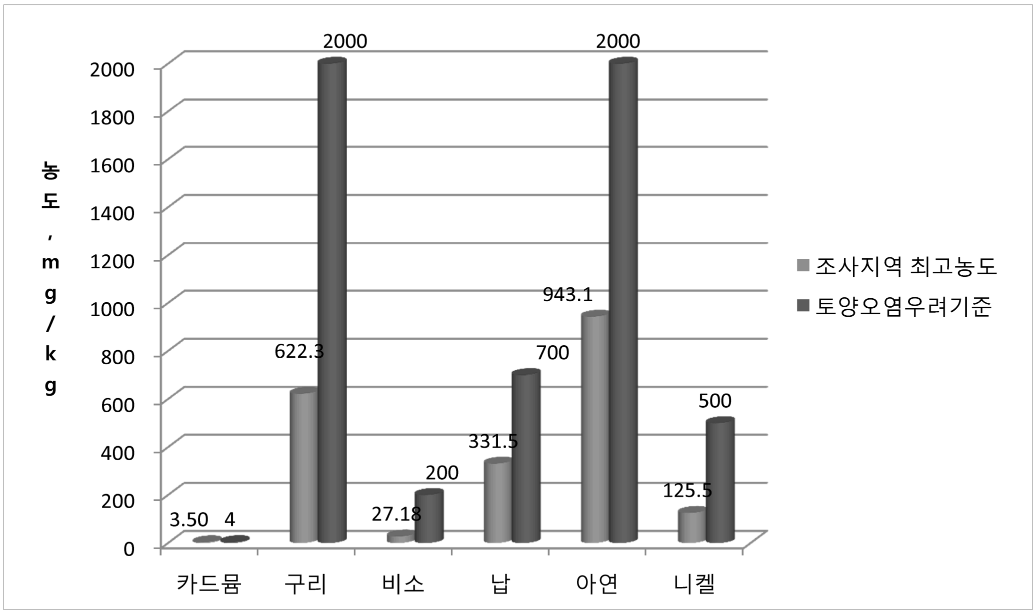

그림 6. 항목별 오염우려기준과 조사지역 최고농도 비교

○ 전체적으로 중금속의 경우 Zn, Cu, Pb, Ni 순으로 오염농도가 높은 것으로 나타났으며, 특히 산업단지 및 공장지역, 폐기물처리 및 재활용지역, 산업단지 주변 등의 주거지역이 중금속 농도가 상대적으로 높게 나타났다.

표 6-1. 2018년 토양오염실태조사결과 토양오염도 총괄현황(1)

조사지역	조 사 지역수	조 사 항목수	조사 결과	조사항목별 토양오염 오염도 현황(mg/kg)								
				Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr^{+6}	Zn	Ni	F
전체토양오염도	250	22	평균	0.06	24.4	3.77	0.11	19.7	0.0	152.4	12.6	171
			최소	0.00	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	33.1	1.0	35
			최대	3.50	622.3	27.18	0.85	331.5	0.9	943.1	125.5	363
산업단지 및 공 장 지 역	48	20	평균	0.04	30.6	4.50	0.16	28.3	0.0	178.8	15.9	129
			최소	0.00	0.0	0.05	0.00	2.7	0.0	50.3	2.1	35
			최대	0.65	369.7	27.18	0.71	198.5	0.0	608.5	112.8	235
공장폐수 유입지역	7	17	평균	0.00	11.9	5.30	0.13	17.1	0.0	117.6	12.8	–
			최소	0.00	0.0	0.95	0.03	8.8	0.0	53.5	3.4	–
			최대	0.00	23.4	21.55	0.44	33.6	0.0	204.2	28.1	–
원광석 · 고철 등의 보관 · 사용지역	40	18	평균	0.07	25.7	3.13	0.10	18.8	0.1	173.5	12.0	151
			최소	0.00	0.0	0.00	0.00	1.6	0.0	49.2	2.5	117
			최대	0.70	148.0	8.69	0.85	69.6	0.9	585.5	43.1	184
금속제련소지역	1	9	평균	0.00	0.0	1.75	0.00	6.4	–	126.2	4.5	–
			최소	0.00	0.0	1.75	0.00	6.4	–	126.2	4.5	–
			최대	0.00	0.0	1.75	0.00	6.4	–	126.2	4.5	–
폐기물처리 및 재활용관련지역	27	18	평균	0.04	29.5	3.64	0.09	18.4	0.0	148.4	15.3	218
			최소	0.00	0.0	0.15	0.00	0.0	0.0	33.1	1.4	218
			최대	1.60	622.3	20.51	0.56	331.5	0.0	943.1	125.5	218
지하수 오염지역	2	15	평균	0.00	31.6	8.18	0.12	18.4	–	82.2	11.8	–
			최소	0.00	23.1	6.99	0.00	16.1	–	64.2	7.5	–
			최대	0.00	41.5	8.79	0.29	20.0	–	107.7	16.7	–
교통관련 시설지역	51	19	평균	0.13	23.3	3.75	0.14	19.5	0.0	155.4	11.5	273
			최소	0.00	0.0	0.35	0.00	2.4	0.0	36.5	2.3	183
			최대	3.50	104.6	8.29	0.72	82.3	0.0	387.4	31.6	363
철도관련시설 및 철도폐침목사용지역	6	17	평균	0.00	10.4	2.40	0.10	10.9	–	97.3	5.6	–
			최소	0.00	0.0	0.75	0.00	6.7	–	34.0	1.3	–
			최대	0.00	29.8	5.24	0.48	14.7	–	171.2	11.0	–
산지등의복구 및 공유수면매립지역	1	9	평균	0.00	6.3	5.29	0.00	10.5	–	69.9	6.8	–
			최소	0.00	6.3	5.29	0.00	10.5	–	69.9	6.8	–
			최대	0.00	6.3	5.29	0.00	10.5	–	69.9	6.8	–
토양오염정화 및 정화토양사용지역	2	15	평균	0.00	22.6	3.33	0.05	19.1	–	130.5	9.5	–
			최소	0.00	3.9	1.40	0.00	7.1	–	68.7	4.9	–
			최대	0.00	43.8	5.30	0.08	32.5	–	183.4	12.3	–
사고 · 민원 등 발생지역	2	11	평균	0.00	19.3	5.51	0.11	18.2	0.6	162.7	13.5	–
			최소	0.00	18.7	2.15	0.03	8.2	0.6	147.1	7.9	–
			최대	0.00	19.9	8.88	0.18	28.2	0.6	178.4	19.1	–
산업단지 주변 등의 주거지역	9	16	평균	0.04	25.5	3.58	0.10	19.9	–	199.7	10.5	–
			최소	0.00	0.0	1.05	0.00	3.7	–	46.7	2.9	–
			최대	0.35	66.4	5.58	0.36	62.5	–	394.8	15.0	–
어린이놀이 시설지역	45	18	평균	0.03	17.5	3.14	0.06	16.1	0.0	127.0	10.6	144
			최소	0.00	0.0	0.00	0.00	4.0	0.0	37.4	1.3	124
			최대	0.40	123.0	10.28	0.36	57.8	0.0	385.7	64.4	171
사격장관련 시설지역	0	0	평균	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최소	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최대	–	–	–	–	–	–	–	–	–
토 양 오 염 우 려 기준강화변경지역	0	0	평균	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최소	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최대	–	–	–	–	–	–	–	–	–
토지개발지역	9	17	평균	0.02	22.0	4.89	0.19	15.0	0.0	105.6	10.6	–
			최소	0.00	0.0	0.45	0.00	0.0	0.0	45.1	1.0	–
			최대	0.20	60.7	12.68	0.42	28.9	0.0	162.1	29.7	–

표 6-2. 2018년 토양오염실태조사결과 토양오염도 총괄현황(2)

조사지역	조사 지역수	조사 항목수	조사 결과	조사항목별 토양오염 오염도 현황(mg/kg)												
				Org-P	PCBs	CN	Phenols	유류					TCE	PCE	Benzo (a) pyrene	pH
								Benzen	Toluene	Ethyl benzen	Xylene	TPH				
전체토양오염도	250	22	평균	0.00	0.00	0.0	0.06	0.0	0.2	0.0	0.0	77	0.0	0.0	0.004	7.3
			최소	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	28	0.0	0.0	0.000	4.0
			최대	0.00	0.00	0.4	0.15	0.0	5.3	0.4	0.9	289	0.0	0.1	0.026	9.3
산업단지 및 공 장 지 역	48	20	평균	0.00	0.00	0.0	0.06	0.0	1.2	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.3
			최소	0.00	0.00	0.0	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	4.1
			최대	0.00	0.00	0.4	0.15	0.0	5.3	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	9.3
공장폐수 유입지역	7	17	평균	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.8
			최소	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	5.8
			최대	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	8.5
원광석 · 고철 등의 보관 · 사용지역	40	18	평균	0.00	–	0.0	–	0.0	0.1	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.1
			최소	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	5.0
			최대	0.00	–	0.0	–	0.0	0.6	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	9.0
금속제련소지역	1	9	평균	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
			최소	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
			최대	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
폐기물처리 및 재활용관련지역	27	18	평균	0.00	–	0.0	–	0.0	0.3	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.1
			최소	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	4.2
			최대	0.00	–	0.0	–	0.0	1.3	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	9.2
지하수 오염지역	2	15	평균	0.00	–	–	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.3
			최소	0.00	–	–	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	6.3
			최대	0.00	–	–	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	8.1
교통관련 시설지역	51	19	평균	0.00	–	0.0	–	0.0	0.1	0.0	0.0	76	0.0	0.0	–	7.5
			최소	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	28	0.0	0.0	–	4.0
			최대	0.00	–	0.0	–	0.0	1.9	0.4	0.9	289	0.0	0.1	–	9.0
철도관련시설 및 철도폐침목사용지역	6	17	평균	0.00	–	–	–	0.0	0.1	0.0	0.0	82	0.0	0.0	0.004	6.9
			최소	0.00	–	–	–	0.0	0.0	0.0	0.0	42	0.0	0.0	0.000	6.1
			최대	0.00	–	–	–	0.0	0.3	0.0	0.0	164	0.0	0.0	0.026	7.5
산지등의복구 및 공유수면매립지역	1	9	평균	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.4
			최소	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.4
			최대	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.4
토양오염정화 및 정화토양사용지역	2	15	평균	0.00	–	–	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.5
			최소	0.00	–	–	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	6.9
			최대	0.00	–	–	–	0.0	0.1	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	8.0
사고 · 민원 등 발생지역	2	11	평균	0.00	–	0.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.5
			최소	0.00	–	0.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	5.4
			최대	0.00	–	0.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7.7
산업단지 주변 등의 주거지역	9	16	평균	0.00	–	0.0	–	0.0	1.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.1
			최소	0.00	–	0.0	–	0.0	0.8	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	5.5
			최대	0.00	–	0.0	–	0.0	1.3	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	8.5
어린이놀이 시설지역	45	18	평균	0.00	–	0.0	–	0.0	0.3	0.0	0.1	–	0.0	0.0	–	7.2
			최소	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	4.1
			최대	0.00	–	0.0	–	0.0	1.1	0.4	0.7	–	0.0	0.0	–	9.0
사격장관련 시설지역	0	0	평균	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최소	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최대	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
토 양 오 염 우 려 기준강화변경지역	0	0	평균	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최소	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
			최대	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
토지개발지역	9	17	평균	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	7.5
			최소	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	5.8
			최대	0.00	–	0.0	–	0.0	0.0	0.0	0.0	–	0.0	0.0	–	8.7

4. 활용방안

○ 토양오염실태조사를 통한 오염우려지역을 파악하여 토양오염을 사전예방

○ 토양 환경 관리 및 보전대책 수립을 위한 기초자료 확보