

경기북부 산업단지 주변 농지의 토양오염도 조사연구

박진호 · 권경안 · 정은희 · 김재광 · 김지영 · 오조교[†]

경기도보건환경연구원 북부지원

A Study on Soil Contamination Investigation of Farmland Around Industrial Areas in Northern Gyeonggi Province

Jin-Ho Park, Kyung-Ahn Kwon, Eun-Hee Jung, Jae-Kwang Kim, Ji-Young Kim, and Jo-Kyo Oh[†]

Gyeonggi-do Institute of Health & Environment, Gyeonggi-do, 16205, Korea

ABSTRACT

This study was investigated on pH, heavy metals, oils and solvents in 34 surface soil samples and the samples are collected at two times for 17 farmland sites around 7 industrial areas in Northern Gyeonggi Province. As a result of pH for soil contamination monitoring network, the range of pH showed 4.4~8.4 and average was 6.3. The range of pH for Agricultural land around industrial area was 6.7~7.5 and average indicated 7.1 that mostly showed neutral condition in this area. The average concentrations of Cu, Pb, Ni, As and Cr⁶⁺ are lower than Korea soil contamination worrisome levels at region 1 and the mean levels of farmland from the soil quality monitoring network. The average concentrations of Zn, Cd and Hg didn't exceed the soil contamination worrisome levels at region 1 but slightly higher than the mean levels of farmland from the soil quality monitoring network. The heavy metal levels of all samples are within Korea soil contamination worrisome levels at region 1. The results showed that the detected heavy metal concentrations ranged from N.D. to ~32.7% of Korea soil contamination worrisome levels at region 1. BTEX, TPH, TCE and PCE were not detected in all samples and thus the farmland around the industrial areas were free from oils and solvents contamination.

Keywords: Soil contamination, Industrial areas, farmland, Korea soil contamination worrisome levels

I. 서 론

산업의 발달과 인구증가는 다양한 오염물질의 생성을 불러왔으며 급격한 성장 우선정책은 국민의 물질적 부를 어느 정도 충족시켜 주었으나, 지나친 인구의 도시집중과 비대화 등은 도시환경의 질적 저하를 초래하였다.¹⁾ 특히 산업단지 및 공장지역 주변토양은 각종 생산 활동이 활발한 산업단지의 특성상 주변 토양이 오염 될 소지가 높다. 토양오염은 토양 내에 특정 화학물질의 농도가 높아져 사람의 건강이나 생태계에 피해를 주는 상태를 말하며, 물이나 공

기와 같은 이동성이 없기 때문에 오염물질이 토양에 흡수되면 쉽게 노출되지 않고 흡착되어 장기간에 걸쳐 토양에 잔류하는 것으로 알려져 있다(Ha *et al.*, 2004).²⁾

이러한 토양오염을 야기 시키는 토양오염물질들은 토양오염공정시험기준에서 정하는 pH와 21개 항목이 있으며, pH는 산성 또는 알칼리성으로 토양의 다른 많은 인자에 대한 토양의 주된 특성을 결정하며, 다양한 화학적 및 생물학적 특성에 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다. 중금속은 As, Cd, Cu, Cr⁶⁺, Pb, Ni, Zn 및 Hg 등 8개 항목이 설정되어 있

[†]Corresponding author: Gyeonggi-do Institute of Health & Environment, Gyeonggi-do, 16205, Korea, Tel: +82-31-8030-5952, Fax: +82-31-8030-5959, E-mail: pjho@gg.go.kr

Received: 22 August 2017, Revised: 25 September 2017, Accepted: 13 October 2017

다.³⁾ 이들 중금속들은 휘발이나 자연정화 등으로 분해되지 않고 토양 중에 축적되는 특성이 있으며 토양환경으로 유입되는 원인도 매우 다양하다. 중금속을 함유한 천연광물의 풍화로 인하여 자연적인 유입과 산업화와 도시화에 따라 인위적으로 유입되는 경우가 있다. 특히 각종 산업시설이 집중되어 있는 산업단지는 산업시설에서 배출되는 오염물질 뿐만 아니라 원료나 제품 등을 수송하기 위해 운행하는 자동차 등에서도 토양오염물질들이 많이 배출되는 것으로 알려져 있다(Lee and Hoh, 2003; Lee et al., 2005).^{4,5)}

또한 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene (BTEX) 및 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE) 등 휘발성 유기화합물은 유독성이 상당히 강한 유기용제들로 피부에 묻으면 지방질을 통과해 체내에 흡수된다. 대부분 중독성이 강해 뇌와 신경에 해를 끼치는 독성물질이며 토양에서 상대적으로 이동성이 크며 발암성물질로 알려져 있다.

트리클로로에틸렌(TCE)은 대기 환경에 악영향을 미치는 오존층파괴, 지구온난화, 광학스모그 발생 원인물질로서 몬트리올 의정서에서도 제한되는 유해화학물질이다. 그러나 아직도 산업현장에서 많은 작업자가 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE) 등에 무방비로 노출되고 있는 경우도 많다.

2014년도 토양오염 실태조사 결과 총 2,460개 조사지점 중 65개 지점에서 토양오염우려기준을 초과하여 기준초과지역 발생율은 2.6%로 2013년 대비 (2.5%) 소폭 증가한 것으로 나타났다. 또한 초과지점 중 21개 지점은 토양오염대책기준도 초과하는 것으로 나타났으며, 토양오염우려기준을 초과한 65개 지역을 오염원지역 별로 봤을 때 산업단지 및 공장지역이 12개소로 18.5%로 나타났다.⁶⁾

경기도의 경우 2013년 현재 전국 17개 시도 산업단지 중 11.9%, 면적기준으로는 17.2%를 차지하고 있어 다른 시도에 비해 특히 관심을 기울일 필요가 있다.⁷⁾

본 연구는 경기북부 산업단지 주변 농경지(답)의 토양오염을 조사함으로써 토양오염도 추세를 파악하여 토양오염 예방 및 토양보전정책 수립의 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 조사대상 및 방법

1. 조사대상

본 연구에서 사용된 토양시료는 동두천지방산업단지(가죽제조) 3개 지점, 상봉암지방산업단지(식품제조) 2개 지점, 검준지방산업단지(염색 및 도금 가공) 3개 지점, 남면지방산업단지(금속가공) 3개 지점, 파주출판문화정보산업단지(출판 인쇄) 1개 지점, 양문지방산업단지(섬유가공) 3개 지점 및 파주LCD일반산업단지(LCD 제조) 2개 지점 등 7개 산업단지의 주변에 있는 농경지(답) 표토 17개 지점에 대해서 시료채취를 2회 실시하여 총 34개 시료를 조사하였다.

2. 시료채취 방법

시료채취는 토양오염공정시험기준⁸⁾에 준하여 농경지의 대상지역을 대표할 수 있는 토양시료를 채취하기 위해 대상지역 내에서 지그재그 형으로 5~10 개 지점을 선정하였고, 대상지역에 시설물 등이 있어 각 지점간의 간격이 불충분할 경우 간격을 적절히 조절하여 채취하였다. 시료 채취 시 토양표면의 잡초나 이물질을 제거한 후 토양시료 채취기나 플라스틱 재질의 기구를 사용하여 표토층 흙을 채취하였으며, 채취한 시료중 약 500 g을 분취하여 폴리에틸렌 봉투와 입구가 넓은 유리병 및 휘발성유기화합물 분석용 시료는 바이알에 넣어 실험실로 운반하여 분석하였다.

본 연구에서 토양시료는 산업단지 주변에 있는 농경지 표토를 시료로 선정하였고 시료채취는 상반기와 하반기로 각각 나누어 토양오염공정시험기준에 따라 채취하였다.

3. 분석시료 조제 및 조사 항목

채취한 토양시료는 범랑제 또는 폴리에틸렌제 바트(vat)위에 직사광선이 닿지 않는 장소에서 통풍이 잘 되도록 균일한 두께로 헤쳐 놓고 풍건시킨 후 10 mesh(눈금간격 2 mm) 표준체로 체거름한 시료를 다시 100 mesh(눈금간격 0.15 mm) 표준체로 체거름하여 균일하게 혼합 후 토양을 중금속 분석용 시료로 하였다.

조제된 토양시료는 pH 및 Pb, Cd, Cr⁶⁺, As, Zn, Cu, Hg, Ni과 같은 중금속 8개 항목과 유류인 TPH, BTEX 5항목, 용제류인 TCE, PCE 2개 항목에 대하여 토양환경보전법 토양오염공정시험기준에서 규정

Table 1. The substances and instruments of analysis

Substances	Analytical instruments
Cu, Pb, Ni, Zn, As, Cd	ICP-AES, PERKIN ELMER OPTIMA 5300DV
Hg	Mercury-cold vapor AAS, VARIAN AA240FS
Cr ⁶⁺	UV/Visible Spectrometry, BEKMAN DU800
TPH	GC/FID, Agilent 7890
BTEX	GC/FID, Agilent 7890
TCE, PCE	GC/ECD, Agilent 6890

한 방법 중 Table 1의 장비를 이용하여 분석하였다.

4. 전처리 및 기기분석

pH는 시료 5 g을 무게로 달아 50 mL 비이커에 취하고 정제수 25 mL를 넣어 유리막대로 저어주면서 1 시간 방치 후 SS220-K Compact pH meter로 분석하였으며, Pb, Cd, Cr⁶⁺, As, Zn, Cu, Hg, Ni 등은 토양오염공정시험기준에 의하여 전처리 한 후 Hg를 제외한 중금속 분석을 위하여 ICP-AES PERKIN ELMER OPTIMA 5300DV 와 Hg 분석을 위해서는 Mercury-cold vapor AAS, VARIAN AA240FS을 이용하였다.

TPH는 토양시료 10~25 g을 비이커에 넣고 무수황산나트륨을 넣어 분말형태로 만들어 디클로로메탄 100 mL를 넣은 다음 초음파추출기로 2회 반복 추출하고 추출액을 여지(5B)로 여과한 뒤 2 mL가 될

때까지 농축하여 농축된 추출액을 실리카겔로 정제한 뒤 상층액 2 mL를 바이알에 옮겨 시료용액으로 분석하였다. 휘발성 유기화합물은 토양시료가 실험실에 도착하면 즉시 메틸알코올이 들어 있는 시험관 전체 무게를 정확히 재어 전체무게에서 미리 측정하여 놓은 메틸알코올이 담긴 시험관의 무게를 뺐값으로 부터 수분이 함유된 토양의 무게를 구한 후, 이어서 시험관에 내부표준용액 100 µg을 넣고 무수황산나트륨을 토양시료의 양만큼 넣어 수분을 제거한 다음 메틸알코올에 담긴 토양시료를 2분간 세계 흔들어 섞은 후 정지한 후 이를 시료 용액으로 사용하였다.

5. 기기분석 정도관리

분석 결과에 대한 신뢰성 확보를 위해 ICP-AES 5300과 AAS AA240FS 직선성(R²), 정량한계(Limit of quantification), 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision)를 각각 측정하여 Table 3에 나타내었다. 검정곡선 작성을 위해 4개 이상의 농도를 사용하였고 정량한계는 해당 중금속의 정량한계 부근의 농도가 되는 표준용액을 첨가한 시료를 7회 이상 측정하여 구하였으며, 정확도와 정밀도를 산정하기 위해 같은 농도의 시료를 5개 이상 분석하여 평균값과 표준편차를 구하였다.⁸⁾ 모든 절차는 토양오염공정시험기준에 의해 진행되었으며, 결과는 직선성(R²)은 0.9989~0.9999, 정량한계 0.002 mg/kg~0.95 mg/kg, 정확도는 102.71%~105.82%, 정밀도는 0.25%~2.31%의 값으로 이는 토양오염공정시험기준에서 제시한 정도

Table 2. The wavelengths for analyzing Heavy metal

Element	Cd	Zn	Ni	Pb	Cu	As	Hg
Wavelength(nm)	228.8	206.2	231.6	220.3	324.7	193.6	253.7

Table 3. Quality control of ICP and AAS analysis by heavy metal

Element	Linearity (R ²)	Limit of quantification (mg/kg)	Accuracy (%)	Precision (%)
Cd	0.9998	0.03	105.25	0.41
Zn	0.9998	0.05	102.71	0.47
Ni	0.9999	0.2	103.17	0.38
Pb	0.9998	0.6	103.09	0.25
Cu	0.9999	0.1	103.54	0.36
As	0.9998	0.95	103.57	0.59
Hg	0.9989	0.002	105.82	2.31

Table 4. Sampling sites and pH

	Dongdu Cheon	Sangbongam	Gum jun	Nam myun	Yangmun	Paju LCD	Paju publication company
	7.2	7.4	7.1	7.0	7.2	6.8	6.9
	7.2	7.3	7.3	7.0	7.4	6.7	
	7.5		7.0	7.2	7.2		
Ave.	7.3	7.4	7.1	7.1	7.3	6.8	6.9
Max.	7.5	7.4	7.3	7.2	7.4	6.8	6.9
Min.	7.2	7.3	7.0	7.0	7.2	6.7	6.9

Table 5. Heavy metal concentrations and pollution index in this study

Unit : mg/kg

Basic statistics	Cu	Pb	Ni	Zn	As	Cd	Cr ⁶⁺	Hg	PIk	NIPI
Korea soil worrisome levels (region 1)	150	200	100	300	25	4	5	4	-	-
Mean	15.814	13.246	8.407	98.205	1.019	0.457	ND	0.064	0.165	0.5
Min.	1.132	2.931	1.033	21.448	ND	ND	ND	ND	0.022	0.22
Max.	68.851	35.056	27.619	274.41	7.296	1.332	ND	0.88	0.552	0.86
Standard Deviation	16.775	9.111	7.363	67.24	1.674	0.408	0	0.18	-	-

관리 기준에 모두 만족한다.

3. 결과 및 고찰

1. 토양 pH

토양오염우려기준에 없지만 토양의 일반적인 pH 기준은 3.0~9.0 정도의 범위를 가지며, pH는 7을 기준으로 낮은 수의 값은 산성토양, 높은 숫자의 값은 염기성토양이라고 한다. 토양측정망오염실태조사(답)의 pH는 4.4~8.4의 범위이고 평균 pH 6.3 나타났으며, 산업단지 주변 농경지(답) 토양오염도 조사대상의 토양 pH는 6.7~7.5의 범위이고 평균 pH 7.1 조사되었다. 결과 값은 Table 4같이 나타내었다. 송희일 등⁹⁾이 조사한 경기북부 어린이활동공간 토양 조사 결과와 비교하면 pH가 6.7~7.2로 전체적으로 중성의 범위를 나타내는데 이준복 등¹⁰⁾이 조사한 서울 시내 어린이놀이터 토양의 pH가 중성에서 약알칼리성의 범위로 조사된 것과는 다른 양상을 나타내었다. G.W.Thmmas¹¹⁾는 pH가 나타내는 단순한 산성 또는 알칼리성은 토양의 다른 많은 인자에 대한 토양의 주된 특성을 결정하며 pH는 토양의 다양한 화학적 및 생물학적 특성에 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다.

2. 중금속

우리나라의 토양오염기준은 토양오염우려기준과 토양오염대책기준으로 나누어져 있다. 토양오염우려기준은 “사람의 건강, 재산 및 동식물의 생육에 지장을 초래할 정도는 아니나 토양오염방지를 위한 예방조치가 필요한 기준”, 토양오염대책기준은 “사람의 건강, 재산 및 동식물의 생육에 지장을 초래할 수 있는 기준으로 오염토양의 개선사업이 요구되는 기준”으로 정의되어 있다.¹²⁾ 조사결과는 지목이 전답 등으로 분류된 토양오염우려기준 1지역 기준을 사용하였다.

산업단지 주변 농경지(답)의 표토에서 7개 산업단지의 17지점에 대해서 시료채취를 2회 실시하였고 총 34개 지점에서 시료를 채취하여 중금속 농도를 조사한 결과는 Table 5에 나타내었다. Table 5와 같이 Cu, Pb, Ni, As, Cr⁶⁺의 조사된 평균농도(답)는 토양우려기준(1지역) 및 토양 측정망 평균농도(답)보다 낮게 조사 되었으며, Zn, Cd, Hg은 토양우려기준(1지역)을 초과 하지 않았으나 토양 측정망 평균농도(답)보다 미세하게 높은 것으로 조사 되었으며 전체 조사 지점에서 토양오염우려기준 1지역기준 이내로 적합한 것으로 조사되었다. 조사항목별 평균 중금속 오염도와 토양오염우려기준(1지역)을 비교하면 평균 중금속 오염도 조사결과 토양오염우려기준

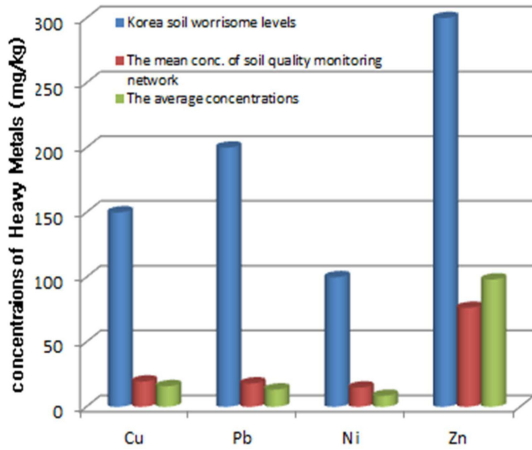


Fig. 1. Comparison of mean concentration between soil quality monitoring network and measured values compared to Korea soil worrisome levels(Cu, Pb, Ni, Zn)

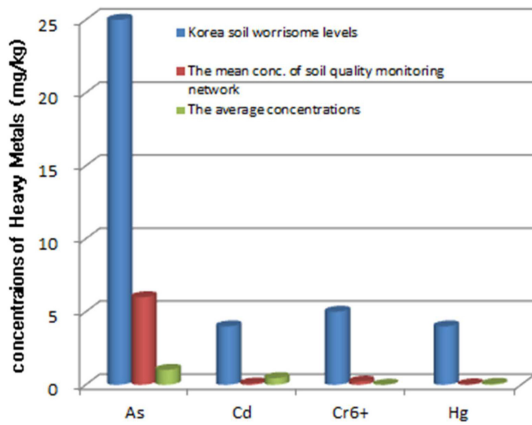


Fig. 2. Comparison of mean concentration between soil quality monitoring network and measured values compared to Korea soil worrisome levels(As, Cd, Cr⁶⁺, Hg)

대비 0~32.7%로 기준에 훨씬 못 미치게 조사되었다. 조사지역평균농도(답) 결과와 오염우려기준, 토양측정망평균(답)을 각각 비교하여 Fig. 1, Fig. 2와 같이 나타내었다.

또한 본 연구에서 조사한 중금속 농도 분포는 Zn, Cu, Pb, Ni, As, Cd, Hg, Cr⁶⁺ 순이며 토양측정망 실태조사 결과(2014)와 흡사한 결과를 보이며 Fig. 3와 같이 나타냈다.

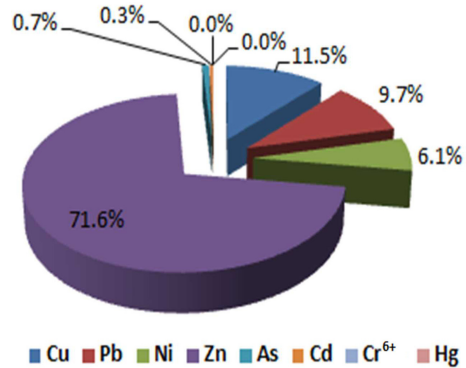


Fig. 3. Concentration distributions of heavy metals in this study

김유학 등¹³⁾의 연구에서는 2015년 공단인근 농경지의 중금속 함량이 일반 농경지보다 오히려 낮거나 비슷한 것으로 나타났으며, 고태윤 등¹⁴⁾의 경기지역 산업단지 인근 농경지의 중금속 조사에서는 아연을 제외하고는 본 연구 결과보다 높은 것으로 나타났다.

Table 5에 나타난 오염지수(Pollution Index)는 토양오염의 정도를 평가하는 방법 중에서 농경지 내 농작물을 재배하여 인간과 동물이 섭취할 경우 건강이나 질병에 영향을 줄 수 있는 중금속의 허용한계치를 이용하여 오염정도를 평가하는 방법이다. 오염지수 평가방법 중 Nemerow가 제안한 Nemerow Intergrated Pollution Index(NIPI, Yang *et al.*, 2011)¹⁵⁾와 Kloke(1979)가 제안한 중금속의 허용한계치(Cd3, Cu100, Pb100, Zn300, As20, Ni50 mg/kg)¹⁶⁾를 근거로 하여 오염지수를 각각 평가하였다.

NIPI의 환산식은 다음과 같다.

$$NIPI = \sqrt{\frac{PI_{iave}^2 + PI_{imax}^2}{2}}, PI = C_i/S_i$$

PI_{iave}: 각 중금속의 평균 PI 값

PI_{imax}: 각 중금속의 최대 PI 값

C_i: 중금속 측정결과, S_i는 배경 중금속 농도

Kloke의 오염지수의 환산식은 다음과 같다.

PI_k = [Σ (토양의 중금속 농도/허용한계치)/중금속 원소의 수]

NIPI 계산시 배경 중금속 농도는 토양오염측정망에서 배경농도로 사용되는 자연의 평균 중금속농도를 사용하였다. NIPI는 non-pollution (NIPI≤0.7),

Table 6. Heavy metal concentrations of soil quality monitoring network by land use(2014)

	Cu	Pb	Ni	Zn	As	Cd	Hg	Cr ⁶⁺	PIk
Korea soil worrisome levels(region 1)	150	200	100	300	25	4	4	5	
Nation	22.629	24.172	15.642	92.56	6.121	0.153	0.039	0.097	0.24
Natural	19.822	24.573	16.003	76.276	6.975	0.144	0.065	0.07	0.24
Farmland	19.405	17.914	14.764	76.352	6.001	0.089	0.026	0.216	0.21

Table 7. The measurement results of VOCs Unit : mg/kg

	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	TPH	TCE	PCE
soil quality monitoring network(region 1)	1	20	50	15	500	8	4
Nation	ND	0.006	ND	0.034	80.5	ND	ND
Farmland	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

warning line of pollution($0.7 < NIPI \leq 1$), low level of pollution($1 < NIPI \leq 2$), moderate level of pollution ($2 < NIPI \leq 3$), high level of pollution($NIPI > 3$)으로 분류한다. 조사결과 평균중금속 농도에 의한 NIPI는 0.50으로 배경농도를 기준으로 했을 때 오염이 되지 않은 토양상태를 보이고 있다. 또한 KIoKe의 오염지수를 평가에서 보면 PIk가 1보다 클 때 오염상태로 판단하나 이번 조사에서 평균중금속 농도로 계산한 오염지수는 0.165로 양호한 상태로 나타났다. 그러나 오염지수를 결정할 때 기준농도를 배경농도 또는 허용한계치를 사용하느냐에 따라 지수가 많은 차이를 나타내므로 오염지수 평가 목적에 따라 오염지수 방법을 달리해야 할 것으로 사료된다.

본 조사 결과와 2014년 토양측정망 중금속 조사 결과와 비교하면 Cr⁶⁺과 As가 각각 전국토양측정망 대비 각각 0%, 16.7%로 낮게 조사되었으나 Cu, Pb, Ni은 각각 69.9%, 54.8%, 53.7%로 다소 높은 경향으로 조사되었으며 Zn, Hg, Cd은 106.1%, 164.1%, 291.1%로 높은 결과를 나타내었다. 이러한 경향은 토지이용도별 토양측정망 결과(농경지)와 유사한 경향으로 조사되었으며, Zn, Hg, Cd에서 다소 높게 나타났다. 산업단지 주변지역 농경지와 기타 지역 농경지를 비교할 때 산업생산활동에 의한 토양오염 뿐만 아니라 산업단지의 도로 운행차량 등 기타 부수적인 활동 또한 고려해야 할 것이다. 또한 토양측정망의 토지이용도별 오염지수는 약 0.2로 전국농도평균이 배경농도로 사용되는 자연 및 농경지와 유사한 결과

를 보여 토양측정망은 용도별 오염지수에서 차이가 없음을 Table 6에서 보여주고 있다.

3. 유류 및 용제류 조사결과

산업단지 주변 농경지(답) 토양오염도 조사에서 유류나 용제류에 오염된 토양을 이용하여 작물을 재배하고 있는 곳은 없었고 농경지(답)의 표토를 7개 산업단지에서 17지점에 대해서 시료채취를 2회 실시하였고 총 34개 지점에서 시료 채취하였으며 조사 결과는 Table 7와 같다. 토양측정망오염실태조사 결과에서 나타난 평균오염도는 벤젠, 에틸벤젠, TCE, PCE는 불검출로 톨루엔, 크실렌, TPH는 토양오염우려기준(1지역) 이내로 검출되었다. 본 연구에서 조사한 토양오염도 조사결과와 유류 및 용제류는 산업단지 주변 농경지(답)를 대상으로 시료 채취하여 조사한 결과 모두 검출되지 않아 경기북부 산업단지 주변의 농경지(답)는 유류 및 용제류 오염원으로부터 안전한 것으로 나타났다.

IV. 결 론

경기북부의 산업단지 주변 농경지(답)의 표토를 대상으로 한 토양오염도 조사연구 결과는 다음과 같다. 산업단지 주변 농경지(답)의 표토에서 토양측정망 오염실태조사에서는 pH는 4.4~8.4의 범위이며 평균 pH 6.3 나타났으며, 산업단지 주변 농경지(답) 토양오염도 조사대상의 토양 pH는 6.7~7.5의 범위 이

며 평균 pH 7.1 조사되었으며, 대체적으로 중성인 것으로 조사되었다.

중금속 농도를 조사한 결과 Cu, Pb, Ni, As, Cr⁶⁺의 조사지역평균농도(답)는 토양오염우려기준(1지역) 및 토양 측정망 평균농도(답) 보다 낮게 조사 되었으며, Zn, Cd, Hg은 토양오염우려기준(1지역)을 초과 되지 않았으나 토양 측정망 평균농도(답) 보다 미세할 정도로 높게 조사 되었다. 또한 전 조사 지점에서 토양오염우려기준(1지역) 기준 이내로 적합한 것으로 조사되었으며, 조사항목별 평균 중금속 오염도와 토양오염우려기준(1지역)을 비교 하면 평균 중금속 농도는 기준대비 0~32.7%로 기준에 훨씬 못 미치는 양호한 조사결과를 나타내었다.

토양측정망오염실태조사에서 살펴보면 벤젠, 에틸벤젠, TCE, PCE는 검출되지 않았고 톨루엔, 크실렌, TPH는 토양오염우려기준(1지역) 이내로 검출되었다. 그러나 이번엔 조사대상 지점으로 선정된 경기북부 지역 산업단지의 연구에서는 유류(TPH, BTEX) 및 용제류(TCE, PCE)는 모두 검출되지 않아 경기북부 산업단지 주변의 농경지(답)는 유류 및 용제류 오염원으로 부터 우려할 정도는 아닌 것으로 판단 된다.

NIPI는 non-pollution ($NIPI \leq 0.7$), warning line of pollution ($0.7 < NIPI \leq 1$), low level of pollution ($1 < NIPI \leq 2$), moderate level of pollution ($2 < NIPI \leq 3$), high level of pollution ($NIPI > 3$)으로 분류하며, 조사평균중금속 NIPI는 0.50으로 오염이 되지 않은 것으로 보이며, PIk가 1보다 클 때 오염상태로 판단하나 0.165로 양호한 상태로 나타났다. 경기북부 산업단지 주변 농경지의 토양오염도 조사한 결과 전조사 지점에서 토양오염으로 부터 비교적 안전한 것으로 보인다. 본 연구를 시작으로 경기도 주민건강과 밀접한 관련이 있는 산업단지주변 농경지를 중심으로 토양오염실태를 정기적으로 조사하여 토양오염 예방 및 토양보전정책 수립의 기초자료로 활용하데 기여하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 국립환경과학원의 시도보건환경연구원 국고보조사사업의 일환으로 진행되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

References

1. Kim WS, Song IS, Shin JH, Oh CH, Kim JS, Choi YH. A Study on Soil Contamination of Children's Parks within Gyeonggi-do Area, *Korean Journal of Environmental Health Sciences*, 2017; 43(3): 233-239.
2. Ha, D. Y., Moon, S. H., & Lee, Y. J. Effect of pH, humic acid and metal concentration on adsorption of Pb, Hg, and Cd in the soil. *Journal of Korea Society Waste Management*, 2004; 21(6): 535-544.
3. The Korean Society of Environmental Agriculture(2015), Soil Contamination of Heavy Metals in National Industrial Complexes, Korea pp.69-71
4. Lee, B. K., & Hoh, I. H. Analysis on heavy metal contamination in soils of the Ulsan area. *Journal of Korea Society of Environmental Engine*, 2003; 25(11): 1436-1447.
5. Lee, B. K., Koh, I. H., & Kim, H. A. The partitioning characteristics of heavy metals in soils of ulsan by sequential extraction procedures. *Journal of Korea ociety of Environmental Engine*, 2005; 27(1): 25-35.
6. Results of soil pollution and soil pollution survey in 2014, pp. 11-21, 91-93(printed in Korean).
7. Korea Industrial Complex Corporation, Korea's industrial complex in statistics during the 10 years, pp. 34-37(printed in Korean).
8. Ministry of Environment. Soil Pollution Act, 261, 2015.
9. Song HI, Kwon KA, Jung EH, Kim GH, Lee JB. A Study on Parasites and Heavy metals of Childrens activity space, *The Report of Gyeonggi-do Institute of Health & Environment*, 2014: 27; 267-273
10. Lee JB, Kim GB, Jung K, Kim MY. The Evaluation on the Pollution Level of Playgrounds for Children in Seoul Metropolitan, *Korean Journal of Environmental Health Sciences*, 2006; 32(4): 245-253
11. Thomas, G. W. Method of soil analysis. Parts 3. Chemical methods-soil pH and Acidity, SSSA Book Series, 1996
12. Journal of KoSSGE Vol. 10, No. 4, pp.12, 2005
13. Kim Y. H. Roh A. H. and Kim Y. S.(2016). Comparison heavy metal changes of paddy soil in the vicinity of the the industrial complex to the other paddy soil. Korean Society of Soil Science and Fertilizer Fall Conference, PE-07.
14. Ko T. Y., Oh, S. J., Lee, B. Y. and Lee, S. P.(2015). Characteristic of Heacy metal contamination in agricultural soil nearby industrial complex area,

- Gyeonggi province. Korean Society of Soil Science and Fertilizer Fall Conference, PE-16.
15. Yang, Z. P., Lu, W. X., Long, Y. Q., Bao, X. H., and Yang, Q.C.: Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China, *J. Geochem. Explor.*, 2011; 108: 27-38.
16. Kim, M. K, *et al.*, Assessment of heavy metal contamination of paddy soils at downstream of abandoned metal mine, *Korean J. Environ Agric.* 2015; 34 (1): 6-13. (printed in Korean)