

군기지 오염토양의 정화 방법에 대한 연구

양혁수* · 김임순* · 강선홍* · 장윤영* · 박세규** · 고재욱** · 김연정*** · 박철환*[†]

*광운대학교 환경대학원
139-701 서울시 노원구 광운로 20
**광운대학교 화학공학과
139-701 서울시 노원구 광운로 20
***숭의여자대학교 자연과학부
100-751 서울시 중구 소파로 2길 10

(2014년 3월 4일 접수, 2014년 4월 3일 수정본 접수, 2014년 4월 12일 채택)

A Study on Remediation Methods of Contaminated Soils at Former Military Bases

Hyuksoo Yang*, Im Soon Kim*, Seon-Hong Kang*, Yoon Young Chang*, Sehkyu Park**, Jae Wook Ko**, Yujung Kim*** and Chulhwan Park*[†]

*Graduate School of Environmental Studies, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea

**Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, 20 Kwangwoon-ro, Nowon-gu, Seoul 139-701, Korea

***Soongyei Women's College, Division of Natural Sciences, 10 Soparo 2-gil, Jung-gu, Seoul 100-751, Korea

(Received 4 March 2014; Received in revised form 3 April 2014; accepted 12 April 2014)

요 약

대량의 유류 취급과 사격, 폭발훈련으로 인한 피탄지에 중금속 물질의 발생, 많은 인원이 사용 후 발생하는 폐기물, 노후화된 시설물(구조물 포함) 등으로 인해 군부대는 환경오염사고를 야기할 수 있는 가능성을 지니고 있다. 경기도 의정부시에 위치한 5개의 반환미군기지를 대상으로 오염도를 분석하였으며, 그 결과 TPH (Total Petroleum Hydrocarbons), BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene), 중금속에 의한 토양오염과 지하수 오염을 확인할 수 있었다. 군기지 오염토양의 정화를 위하여 토양증기추출법, 슬러핑공법, 토양경작법 및 토양세척법이 적용되었으며, 적용된 5개의 부지 모두 법적 기준에 적합하도록 정화되었다.

Abstract – Handling of the large quantity of oil, generation of heavy metals at the military blasting range and outworn facilities could cause the environmental accidents. Pollution levels of the former five U.S military bases located in Uijeongbu, Gyeonggi-do were measured. Soil contamination by TPH (Total Petroleum Hydrocarbons), BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene), and heavy metals and groundwater contamination were detected. In order to purify contaminated soil, a variety of technologies including soil vapor extraction, slurping, landfarming and soil washing were applied. Contaminated soils of five target bases were purified and the results were suitable for the legal standards.

Key words: Soil Remediation, Military Bases, Pollution Level, Oil, Heavy Metal

1. 서 론

한미연합토지계획(Land Partnership Plan)에 의거 반환되는 주한 미군기지 중 대부분의 기지가 주둔한지 오래되어 시설물(구조물 포함)들이 노후되었으며, 비전문가에 의한 유류 취급 등으로 인한 환경 오염사고가 발생할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 정비시설 및 유류저장시설 주변의 TPH (Total Petroleum Hydrocarbons) 오염범위

와 농도가 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있으며, 이는 취급자의 부주의로 인해 정비과정 또는 유류 저장 관리 시 유류가 유출되어 발생된 것이 대부분이다[1,2].

또한, 노후화된 구조물로 인해 국부적으로 오랜 시간 유출된 흔적이 있었고, 대량의 유류가 유출된 경우도 있었으며, BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene) 오염지역은 TPH 오염지역과 대부분 일치하였다. 사격장이나 폭발시험을 하였던 장소에서는 중금속에 의한 오염현상을 보였으며, 아연(Zn), 납(Pb), 니켈(Ni), 카드뮴(Cd), 구리(Cu), 불소(F) 등의 항목이 기준치를 초과하였다. 지하수모델링 분석 결과 유류 성분이 용존되어 있는 지하수가 인근 하천으로의 유출이 진행 중인 것으로 보고되기도 하였다[1-4]. 군내에서 발생한 다양한 환경오염 사고를 줄이기 위해서는 오염의 원인을 파악하여 문제의

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: chpark@kw.ac.kr

‡이 논문은 서울대학교 윤인섭 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

근원을 해결하고 환경정화를 적극적으로 수행할 필요성이 요구되고 있다[1,5].

본 연구에서는 기존 국방시설본부 등에서 수행된 캠프별 환경오염 실태조사 결과를 기반으로 하여, 부대별 토양오염 특성 분석, 적합한 정화공법 선정 및 합리적인 정화방법을 제시하였으며, 향후 군 기지의 오염토양 정화를 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 정화공법 선정 및 오염토양 현황 파악

2-1. 정화공법의 선정

정화공법의 선정을 위하여, 1단계에서는 사례연구 및 문헌고찰을 통해 각 매체별로 적용가능한 모든 정화기술의 그룹을 설정(생물학적 처리방법, 물리·화학적 처리방법, 열적 처리방법 등)하고, 2단계에서는 각 오염물질별로 특성화된 정화기술(토양경작공법, 토양세척공법, 열탈착공법 등)에 적합한 단위 정화공정을 선별하였다. 3단계 과정에서는 2단계 선정 단위기술의 최적의 공정조합의 절차를 수행하였다. 최적의 정화공정을 선정하기 위하여, 아래의 4가지 사항을 고려하였다. (1) 적용방법의 기술적 관점에서 오염 물질별 적용 방법 및 정화 농도 검토, (2) 법적기준치에 만족하는 토양정화 방법, (3) 정화비용을 최소화하기 위한 방법, (4) 부지 활용의 목적을 고려 및 토양환경보전법 개정에 의한 “토양환경평가” 기준에 따라 향후 부대 이전 및 부지 활용 등을 감안한 정화공법을 제시하였다[6-9].

2-2. 오염토양 현황 파악

의정부에 위치한 5개의 반환미군기지에 대한 기지의 위치 및 적용된 정화공법을 Fig. 1 및 Table 1에 나타내었다. 대부분의 기지에서 50년 이상 미군이 주둔하였으며, 시설물(구조물 포함)이 지어진지 50, 60년이 되었다. 대부분의 건물에는 개별난방을 위한 유류저장탱크 및 발전실 등 부속시설이 설치되었으며, 유류저장탱크의 규모는 600갤런(2,252 L)에서 약 5,000갤런(18,770 L)으로 다양하였다. 유류

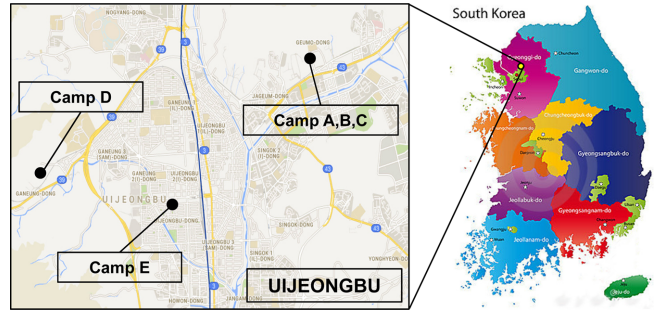


Fig. 1. Location of target sites.

저장탱크 및 부속배관에서 누출된 유류는 토양 및 지하수의 가장 중요한 오염원으로써, 탱크와 배관의 부식 및 배관 연결부위 이격으로 인하여 누유가 발생되어 토양 및 지하수의 오염을 유발시켰다. 기본 환경정보(BEI, Basic Environmental Information)에 의하면 과거 몇 차례에 걸쳐 유류 누출사고가 있었던 것으로 확인되었으나 배관 또는 유류탱크의 교체 및 보수를 진행하였고 별도의 오염토의 정화는 실시되지 않은 것으로 확인되었다. 또한 유류저장탱크의 누출검사를 시행한 결과 일부 유류저장탱크에서 누출이 있었음을 확인하였고 이에 교체가 필요한 배관을 보수하면서 오염토양을 제거하였다고 보고되기도 하였다[1,2,10,11].

3. 결과 및 고찰

3-1. 대상지역의 기초자료 조사 및 분석 결과

조사대상 오염물질 항목 중 토양오염 우려기준을 초과한 항목은 유류성분으로써 TPH와 BTEX, 중금속으로써 카드뮴, 구리, 납, 아연, 불소, 니켈로 나타났다.

캠프 A의 경우, 유류성분에 의한 오염은 0~9 m 심도에서 확인되

Table 1. General information of target sites

Division	Camp A	Camp B	Camp C	Camp D	Camp E	
Location	Geumo-dong, Uijeongbu-si			Ganeung-dong, Uijeongbu-si	Uijeongbu-dong, Uijeongbu-si	
Area (m ²)	136,473	113,989	207,644	135,607	27,873	
Use	Weapon company, Battalion of maintenance	TKP terminal	Combat unit	Helicopter force	Facilities maintenance unit corps of engineers	
Pollutant	Soil	TPH	TPH, BTEX, Zn, Pb	TPH, BTEX, Zn, Ni	TPH, BTEX, Zn, Ni, Cu, Pb	
	Underground water	-	TPH, Benzene, Xylene, Phenol	TPH, Benzene, Xylene	-	TPH
Methods for soil treatment	Land farming	○ 15 m×100 m, 9block	○ 15 m×100 m, 6block 15 m×70 m, 1block	○ 15 m×100 m, 3block	○ 15 m×100 m, 2block	○ Transfer process (Camp C)
	Soil washing	○ 25 m ³ /hr	○ Transfer process (Camp A)	○ 24 m ³ /hr	○ Transfer process (Camp A)	○ Transfer process (Camp C)
Underground water pollution purify	○ 300 m ³ /day	○ 300 m ³ /day	○ 460 m ³ /day	○ 100 m ³ /day	○ 80 m ³ /day	
Pre-stabilization	Soil vapor extraction	-	-	○	-	-
	Slurping	○	○	-	○	-

○: The methods for soil purification were applied.

었으나, 3~5 m 심도에 주로 집중되어 있었으며, 최고 수준의 오염은 11,545 mg/kg이었다. TPH가 기준을 초과하는 오염면적은 전체면적의 39.4%에 해당하였다. BTEX 성분은 부지 전체 중 1개 지점에서 기준을 초과하였으며, 최고수준의 오염도는 90.58 mg/kg으로 나타났다[10-12].

캠프 B의 경우, 유류성분에 의한 오염은 0~8 m 심도에서 확인되었으나, 2~5 m 심도에 주로 집중되어 있었으며, 최고 수준의 오염은 36,781 mg/kg이었다. TPH가 기준을 초과하는 오염면적은 전체면적의 38.5%에 해당하였다. BTEX에 의한 오염면적은 1,658 m², 오염토량은 1,943 m³에 달하는 것으로 조사되었다[10,11,13].

캠프 C의 경우, 유류성분에 의한 오염은 0~8 m 심도에서 확인되었으나, 2~5 m 심도에 주로 집중되어 있었으며, 최고 수준의 오염은 32,713 mg/kg이었다. TPH가 기준을 초과하는 오염면적은 전체면적의 38.8%에 해당하였다. BTEX 최고농도는 719 mg/kg이었으며, 오염범위는 TPH로 오염된 범위를 포함하였다. 불소는 분석시료의 약 85%가 오염기준을 초과하였으나 전체지역에 고르게 분포하고 있어 인위적인 오염이 아닌 것으로 판단된다[10,11,14].

캠프 D의 경우, 유류성분에 의한 오염은 0~4 m 심도에서 확인되었으나, 0~3 m 구간엔 오염이 주로 집중되었으며, 최고 수준의 오염은 6,297 mg/kg이었다. TPH가 기준을 초과하는 오염면적은 전체면적의 7.97%에 해당하였다. BTEX 최고농도는 958.74 mg/kg이었다[10,11,15].

캠프 E의 경우, 유류성분에 의한 오염은 0~4 m 심도에서 확인되었으며, 최고 수준의 오염은 16,427 mg/kg이었으며, TPH가 기준을 초과하는 오염면적은 전체면적의 69.4%에 해당하였다. BTEX 최고농도는 170.77 mg/kg이었다[10,11,16].

전 지지 공통적으로, 기준을 초과하여 검출된 중금속 성분들은 1~2개 지점에서 기준을 초과하였지만 제한된 영역에서의 오염이었고, 부지 전체의 평균 함량 등을 고려하였을 때, 우려할 만한 수준은 아니었다. 또한 위에 거론된 TPH와 BTEX, 중금속 이외에 다른 토양오염물질들의 검출수준은 전국 토양오염측정망 및 의정부 지역 측정망의 결과와 비교해 볼 때 유사하거나 낮은 수준으로 기준치 이하의 값을 보였다. 부지 전체적으로 TPH 성분을 제외한 토양 오염물질의 오염도는 안전한 수준이라 할 수 있으며 특정성분에 대해 기준을 초과하는 지점이 확인되지만 정황상 국부적인 오염으로 판단할 수 있다. 부지 내 토양 오염물질 분포현황은 Table 2와 같다.

지하수의 시료를 채취하여 분석한 결과 공통적으로 두께 2.0~12.9 cm에 이르는 자유상 유류의 존재가 확인되었고 TPH가 고농도로 검출된 관측정에서는 최고 78 cm 이상 존재하는 지점도 있었다. 관측공의 설치 및 시료채취과정에서 취가가 감지되거나 시료에서 유류의

번들거림(Oilsheen)이 관찰되었으며, 부지 중앙부의 배수로에서 유류 누출 흔적이 확인되기도 하였다. BTEX 성분의 경우 다수의 관정에서 검출한계 이상의 수준으로 검출되고 있었는데, 지하수 수질기준(생활용수 기준)을 초과하여 검출되지는 않았다[10-16].

3-2. 오염도양 정화 결과

토양공극 사이에 존재하는 VOCs (Volatile Organic Compounds) 가스와 지하수위 상부에 존재하는 자유상 유류를 굴착 전에 제거하여, 굴착 시 유류 가스로 인한 작업자의 안전 확보 및 민원 예방 그리고 자유상 유류 확산에 의한 추가오염을 방지하기 위하여 토양증기추출법(Soil Vapor Extraction)과 슬러핑공법(Slurping)으로 사전안정화를 실시하였으며, 그 결과 사전안정화 실시시간 중 유입 및 유출에 따른 평균 VOCs 가스의 제거량은 85% 이상이었다.

기지별 정화결과를 Table 3에 요약하여 나타내었다[2]. 캠프 A의 경우, 자유상 유류 지역 발견 지역의 지하수위 경계부 포화대를 기준으로 3,000 m²의 대상면적(관정설치 27개소)에 적용되어 총 296일 운영하였으며, 운영 중 총 1,752회 VOCs 추출량을 27개의 슬러핑 관정에서 모니터링하였다. 1일 추출 VOCs 가스량은 최저 23.9 kg, 최고 3802.2 kg, 총 추출 VOCs 가스량은 109,580.5 kg이었다.

캠프 B의 경우, 5,200 m²의 대상면적(관정설치 28개소)에 적용되어 총 195일 운영하였으며, 운영 중 총 776회 VOCs 추출량을 모니터링한 결과 1일 추출 VOCs 가스량은 최저 2.88 kg, 최고 156.1 kg, 총 추출 VOCs 가스량은 8,476.13 kg이었다.

캠프 C의 경우, 사전안정화 적용구역은 TPH 2,000 mg/kg 이상 고농도 오염구역 중에서 주변 민가와 인접하여 민원 발생우려가 높은 지역을 대상으로 1,793 m²(관정설치 16개소)가 적용되었다. 총 166일 운영하였고 VOCs 추출량을 모니터링한 결과 1일 추출 VOCs 가스량은 최저 22.6 kg, 최고 175.8 kg이고 총 추출 VOCs 가스량은 25,454 kg으로 나타났다.

캠프 D의 경우, 714.2 m²의 대상면적(관정설치 26개소)에 적용되어 총 90일 운영하였으며, 운영 중 총 738회 VOCs 추출량을 모니터링한 결과 1일 추출 VOCs 가스량은 최저 120.2 kg, 최고 731.5 kg, 총 추출 VOCs 가스량은 25,788.1 kg이었다.

캠프 E의 경우, 공간이 협소하며 굴착해야 할 오염부지가 지지 대부분을 차지하여 시설물 설치 가능부지가 없어서 사전안정화시설 설치가 제한되며 오염된 토양 또한 캠프 C로 반출하여 정화하였다.

토양경작법(Landfarming)과 토양세척법(Soil Washing)의 공법에 현장에 적용한 결과, 전체적인 오염농도 저감율은 평균 65.5~96.1%를 보였다. 또한 기지별 지하수 오염정화를 위해 평균 80~460 m³/day의 양수를 처리하였다.

캠프 A의 경우, 토양경작 및 토양세척의 적용범위는 TPH 1,500 mg/kg 미만의 유류 오염 토양으로 토양경작의 경우 115,259 m³(조대토사 제외)를 운영하였으며, 반입 오염도의 평균농도는 1,119 mg/kg, 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 오염 농도는 평균 268 mg/kg으로 전체적인 오염농도 저감율은 76.1%로 분석되었다. 토양세척의 경우 원지반 토양을 기준으로 94,406 m³를 운영하였으며 반입농도(TPH)는 최대 8,351 mg/kg, 최소 463 mg/kg, 평균 2,634 mg/kg이었으며, 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 오염농도(TPH)는 최대 464 mg/kg, 최소 불검출, 평균 174 mg/kg으로 전체적인 오염농도 저감율은 평균 93.39%였다.

캠프 B의 경우, 토양경작 및 토양세척의 적용범위는 TPH 2,000

Table 2. Distribution status of soil pollutant

Pollutant	Detection density scope (mg/kg)		Average density (mg/kg)
	Min	Max	
TPH	ND	36,781	674.75
BTEX	ND	958.74	2.926
Cd	ND	1.77	0.04
Cu	ND	1,069	4.78
Pb	ND	423.77	9.675
Zn	0.53	2,553.52	79.365
F	4.16	601.43	69.53
Ni	0.31	255	25.19

Table 3. Operation result of target sites

Division		Slurping		Soil vapor extraction	Slurping	
		Camp A	Camp B	Camp C	Camp D	Camp E
Pre-stabilization (VOCs)	Area (m ²)	3,000	5,200	1,793	714.2	-
	Number of installed tubes (a place)	27	28	16	26	-
	Total conc.	109,580.5	8,476.13	25,454	25,788.1	-
	Min conc.	23.9	2.88	22.6	120.2	-
	Max conc.	3,802.2	156.1	175.8	731.5	-
Land farming (TPH)	Block batch	9 (10~12)	7 (9~11)	3 (5)	2 (12~14)	1 (5)
	Total batch	100	69	15	26	5
	Purification quantity (m ³)	115,259	79,504	39,300	33,997	9,429
	Carry pollution soil average density (mg/kg)	1,119	1,084	1,128	1,042	960
	Purification out of average density (mg/kg)	268	211	218	242	312
	Contamination density reduction rate (%)	76.1	80.5	80.4	76.8	65.5
	Note	-	-	-	-	Transfer process (Camp C)
Soil washing (TPH)	Purification quantity (m ³)	96,406	34,805	81,265	296	13,105
	Carry pollution soil average density (mg/kg)	2,634	2,572	2,469	529.5	2,181
	Purification out of average density (mg/kg)	174	216	182	57.6	84
	Contamination density reduction rate (%)	93.39	91.6	92.1	89.12	96.1
	Note	-	Transfer process (Camp A)	-	Transfer process (Camp A)	Transfer process (Camp C)

mg/kg 미만의 유류 오염 토양으로 토양경작의 경우 79,504 m³(조대 토사 제외)를 운영하였으며, 반입 오염토의 평균농도는 1,084 mg/kg 였으며 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 오염 농도는 평균 211 mg/kg으로 전체적인 오염농도 저감율은 80.5%로 분석되었다. 토양세척의 경우 원지반 토양을 기준으로 34,805 m³를 캠프 A 에서 운영하였으며 반입농도(TPH)는 최대 8,115 mg/kg, 최소 788 mg/kg, 평균 2,572 mg/kg이었으며, 정화가 완료되어 반출될 때 검증 기관에서 분석한 오염농도(TPH)는 최대 463 mg/kg, 최소 28 mg/kg, 평균 216 mg/kg으로 전체적인 오염농도 저감율은 평균 91.60%로 나타났다.

캠프 C의 경우, 토양경작 및 토양세척의 적용범위는 TPH 1,000 mg/kg 미만의 유류 오염 토양으로 토양경작의 경우 39,300 m³(조대 토사 제외)를 운영하였으며, 반입 오염토의 평균농도는 1,128 mg/kg 이었으며 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 오염 농도는 평균 218 mg/kg으로 전체적인 오염농도 저감율은 80.4%로 분석되었다. 토양세척의 경우 원지반 토양을 기준으로 81,265 m³를 운영하였으며, 반입농도(TPH)는 최대 3,615 mg/kg, 최소 1,481 g/kg, 평균 2,469 mg/kg이었으며, 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 오염농도(TPH)는 최대 302 mg/kg, 최소 32 mg/kg, 평균 182 mg/kg으로 오염농도 저감율은 92.1%로 분석되었다.

캠프 D의 경우, 토양경작 및 토양세척의 적용범위는 TPH 1,500 mg/kg 미만의 유류 오염 토양으로 토양경작의 경우 33,997 m³를 운영하였으며, 반입 오염토의 평균농도는 1,042 mg/kg이었으며 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 오염 농도는 평균 242 mg/kg 으로 전체적인 오염농도 저감율은 76.8%로 분석되었다. 토양세척의 경우 원지반 토양을 기준으로 296 m³를 운영하였으며 캠프 A로 이송하여 처리하였다. 반입농도(TPH)는 최대 652.7 mg/kg, 최소 406.3 mg/kg, 평균 529.5 mg/kg이었으며, 반출 시 검증기관에서 분석한 결과 최대 60.1 mg/kg, 최소 55.1 mg/kg, 평균 57.6 mg/kg으로 전체적인 오염농도 저감율은 평균 89.12%였다.

캠프 E의 경우, 토양경작 및 토양세척의 적용범위는 TPH 1,000 mg/kg

미만의 유류 오염 토양으로 캠프 C에 이송하여 처리하였다. 토양경 작의 경우 9,429 m³를 운영하였으며, 반입 오염토의 최대 농도는 1,668 mg/kg, 최소 농도는 702 mg/kg, 평균농도는 960 mg/kg이었으며 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 최대 농도는 396 mg/kg, 최소 농도는 247 mg/kg, 평균농도는 312 mg/kg으로 전체적인 오염농도 저감율은 65.5%로 분석되었다. 토양세척의 경우 원지반 토양을 기 준으로 13,105 m³를 운영하였다. 반입농도(TPH)는 최대 2,770 mg/kg, 최소 1,630 g/kg, 평균 2,181 mg/kg이었으며, 정화가 완료되어 반출될 때 검증기관에서 분석한 오염농도(TPH)는 최대 109 mg/kg, 최소 45 mg/kg, 평균 84 mg/kg으로 오염농도 저감율은 96.1%로 분석되었다.

위의 결과는 정화가 완료되어 반출될 때 토양정화검증기관((재)대 한토양환경연구소 등 6개 기관)에서의 완료검증 결과로 토양 및 지하수 등 모두 '적합' 판정을 받았다[2].

4. 결 론

한미연합토지계획(Land Partnership Plan)에 의거 반환된 주한미 군기지 중 5개 부지에 대해 오염토양을 조사한 결과, 유류를 취급하는 과정에서의 부주의와 기지 내 차량 또는 장비를 운용하는 과정에서 대부분의 오염이 발생하였다. 토양오염의 범위는 토양의 성질과 지하수의 흐름, 지하에 매립된 구조물 등에 따라 다양하게 나타났다. 미래에 조성될 부지의 성격에 따라 정화기준을 설정한 후, 그 기준에 적합한 정화공법을 선정하고 정화하여 지역주민을 대상으로 다양하고 적극적인 홍보를 통해 목적을 달성할 수 있었다. 정화기준치 이하로 정화된 토양은 현장 내 또는 인근 기지로 반입되어 퇴매우기 후 다음에 조성될 사업에 활용되었으며, 수처리된 물은 현장 내에서 비산먼지 방지를 위한 살수 및 현장을 출입하는 차량의 세륜용으로 사용되었다. 반환미군기지의 토양정화에 대한 연구는 군내에서 발생하고 있는 다양한 오염현장을 효과적으로 정화할 수 있는 방안을 마련한 계기가 되었다.

감 사

본 논문은 환경부의 지식기반 환경서비스 전문인력 양성사업으로 지원되었습니다. 본 논문 작성과 데이터는 반환미군기지이전사업단과 한국환경공단 자료를 인용하였으며, 자료 제공과 활용 수락에 감사드립니다.

References

1. Oh, C. G., "Study on the Soil Contamination Characteristics According to the Functions of the Returned U.S. Military Base," *J. Environ. Impact Assess.*, **22**(5), 481-489(2013).
2. MND, KRC, KECO, Environmental pollution restoration project a white paper of returned U.S. military base, Ministry of National Defense (MND), Korea Rural Community Corporation (KRC), Korea Environment Corporation (KECO)(2012).
3. Park, J. S., In, B. H. and Namkoong W., "Toxicological Evaluation for Bioremediation Processes of TNT-Contaminated Soil by Salmonella Mutagenicity Assay," *Korean J. Chem. Eng.*, **29**(8), 1074-1080(2012).
4. Kim, D.-H., Hwang, B.-R., Her, N., Jeong, S. and Baek, K., "Environmental Impact of Soil Washing Process Based on the CO₂ Emissions and Energy Consumption," *Korean Chem. Eng. Res.*, **52**(1), 119-125(2014).
5. <http://newhamgil.cafe24.com/xe/12174>.
6. You, U. J., "A Study on the Effect of Soil Texture for the Efficiency of Landfarming and Chemical Oxidation in the Remediation of Field Soil Contaminated with Petroleum Oil;" MS Dissertation, Kwangwoon University, Seoul, Korea(2011).
7. Lee, J. H., "Case Study on Soil Purification Process of Multipolluted Site Contains Oil and Heavy Metal;" MS Dissertation, Chung-Ang University, Seoul, Korea(2008).
8. Lee, Y. M., Oh, C., Kim, G., Lee, C. and Sung, K., "Changes in the Physicochemical Properties of Soil According to Soil Remediation Methods;" *J. Soil & Groundwater Env.*, **17**(4), 36-43(2012).
9. Ju, W. H., "A Study on the Soil Remediation Efficiency and Application Evaluation of Oil-degrading Microorganisms;" Ph.D. Dissertation, Kwangwoon University, Seoul, Korea(2009).
10. KECO, Returned U.S. military base environmental pollution Restoration project working design report, Korea Environment Corporation (KECO)(2009).
11. MND, Army environmental pollution investigation standard procedure, Ministry of National Defense (MND)(2005).
12. DIA, Camp A Environmental pollution investigation report, Defense Installations Agency (DIA)(2005).
13. DIA, Camp B Environmental pollution investigation report, Defense Installations Agency (DIA)(2005).
14. DIA, Camp C Environmental pollution investigation report, Defense Installations Agency (DIA)(2005).
15. DIA, Camp D Environmental pollution investigation report, Defense Installations Agency (DIA)(2005).
16. DIA, Camp E Environmental pollution investigation report, Defense Installations Agency (DIA)(2005).