J. Soil Groundw. Environ. Vol. 21(3), p. 58~63, 2016
http://dx.doi.org/10.7857/JSGE.2016.21.3.058
ISSN 1598-6438 (Print), ISSN 2287-8831 (Online)

≪ **Research Paper** ≫

# 소화기 사격장의 중금속 오염 양상

**이광렬 · 현재혁***
충남대학교 환경공학과

# Modality of Heavy Metal Contamination of Soil in Military Rifle Shooting Range

**Kwang-Lyeol Lee · Jae-Hyuk Hyun***
*Department of Environment Engineering, Chungnam University Daejeon, Korea*

**ABSTRACT**

The study examined the level of heavy metal contamination by dividing military rifle shooting ranges into the three areas, i.e firing, trajectory, and target. The target area was found to be contaminated at a level higher (Cu 845 mg/kg, Pb 30,487 mg/kg) than the Worrisome Level of Soil Contamination (hereinafter referred to as the "Worrisome Level") The trajectory area was predicted to be free from contamination, but it did indicate contamination although it was pretty much lower (Cu 23 mg/kg, Pb 99 mg/kg) than Worrisome Level. This is attributed to the contamination spread when rearranging the soil of the target area during the maintenance of the shooting range. The firing area was also predicted to be free from heavy metal contamination, but the results analyzed indicated a contamination higher (Cu 201 mg/kg, Pb 2,286 mg/kg) than Worrisome Level. This is attributed to the fragments of the broken bullet scattering due to the pressure generated as the bullet leaves the muzzle. An examination of heavy metal contamination in the discharge area as well as gutters to prevent the intrusion of rain water from perimeter revealed a high level of contamination (Cu 298 mg/kg, Pb 6,497 mg/kg), which makes it necessary to take measures.

**Key words :** Heavy metal contamination, Military rifle shooting range, Worrisome level

## 1. 개 요

토양환경오염에 대한 관심이 증가하면서 사격장의 토양오염에 대한 일반시민들의 관심도 점차 증가되고 있다.

사격장에 인접하여 거주하는 많은 주민들이 관련 군부대에 민원을 제기하고 대책을 요구하는 실정이며, 이들은 주야간으로 이어지는 소음의 고통과 중금속 오염에 의한 인체영향의 우려 속에 거주하고 있다.

사격장의 중금속에 의한 식수 오염의 우려는 주변 주민들에게 발암의 위협, 신경계통의 장애 등 건강문제에 많은 우려를 가지게 한다. 더구나 광산 주변 농경지에 대한 중금속 오염 확산 문제, 장항제련소 주변 농경지 오염에 대한 소식 등은 이러한 우려를 더욱 크게 하는 효과를 가지게도 되었다.

이러한 점을 고려해 볼 때 사격장과 그 주변 오염에 대한 명확한 자료를 공개하고 필요하다면 명확한 정책대안을 제시하고 수행할 필요성을 가지게 된다.

그러나 사격장 관련 자료는 사격장으로서의 존재 및 관련 자료의 폐쇄성으로 인해 자료접근이 쉽지 않다. 이런 연유로 관계자료도 많지 않은 석 · 박사 학위 논문과 국방부 및 군 기관의 연구용역, 그리고 GAIA과제로 추진되는 사격장 연구자료 등으로 제한된다.

이와 같이 제한된 자료에 의해 수행된 연구는 전체를 대표하는 것이 아닌 일부로서 전체를 대표하는 듯한 왜곡된 내용으로서의 오류를 가지게 된다.

우리나라에서 사격장과 관련한 토양환경오염 연구는 국방부에서 위탁 연구한 The Research of Contaminated Soil Examine and Pollution Diffusion at Military

*Corresponding author : jayhh@cnu.ac.kr
Received : 2016. 3. 7 Reviewed : 2016. 3. 21 Accepted : 2016. 4. 19
Discussion until : 2016. 8. 31

Shooting Range(2002)가 그 시작이라 할 수 있으며, 이후 The Research of Soil Environment Management at Military Shooting Range(2010)가 육군본부에서 수행되었으며, 이후 GAIA 연구사업의 연구과제로 사격장연구단에서 비교적 큰 규모의 연구사업이 진행되고 있다. 그리고 일부 석·박사 과정의 연구원들이 논문을 통해 사격장의 중금속 오염에 관련된 연구를 진행된 바 있다.

이들의 연구를 분류해 보면 중금속 오염부지에 대한 정화방법을 위주로 연구와 화약류에 의한 오염에 대한 조사 및 정화방법을 연구하는 것으로 분류할 수 있다.

그러나 이와 같은 연구들의 문제점은 사격장 부지 전체가 오염된 것으로 인식할 수 있는 우려가 있다. 즉 사격장 부지 전체를 정화 대상으로 해야 할 것인지 아니면 사선(포진)지역, 탄두(포탄) 비과지역, 피탄지 지역 등 모두 포함하는 넓은 사격장의 어느 부분을 조사 및 정화해야 하는 것인지를 판단하기 어려운 문제점을 가지게 된다.

환경부의 토양정밀조사지침에도 사격장 조사부분이 명시되어 있다(KMOE, 2014). 지침에서는 조사대상 지역을 10,000 $m^2$ 이하일 경우와 그 이상인 경우로 구분하여 이하일 경우 500 $m^2$당 1개 이상 지점의 시료를 채취하고, 그 이상일 경우 1,000 $m^2$ 당 1개 지점을 선정하여 시료를 채취하는 것으로 되어 있다. 그 의미가 사격장 부지 전체를 대상으로 하는 것인지, 아니면 피탄지 지역만을 제시한 것인지 불분명하므로 이를 구체화하여 제시할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 사격장의 구성을 크게 세 지역으로 구분하여 연구할 것이다. 사격장은 사격을 실시할 때 탄두가 총구(포구)를 떠나 발사되는 사선(포진) 지역과 탄두가 비과하는 지역, 그 탄두가 목표지점에 도달하는 피탄지로 구분할 수 있다. 이와 같이 구분되는 세 지역은 그 오염양상이 각각 상이하다. 즉 사선(포진) 지역에서는 총구를 떠날 때는 중금속에 의한 오염은 크게 없을 것이다. 그리고 탄두가 비과하는 지역에서는 중금속은 물론 화약류의 오염도 크게 없을 것으로 추정된다. 그리고 탄두가 도착하는 피탄지에서는 탄두에 포함된 중금속 알갱이들이 파편으로 분산되는 지역으로 중금속의 오염이 가장 많이 우려되는 지역이다. 대구경화기 사격장에서는 이 부분에서 또 다른 폭발이 발생하게 되므로 화약류에 의한 오염이 예상되고, 포탄 탄두의 성분으로 포함된 성분의 오염이 예상된다.

이와 같이 사격장을 구성하는 부분별로 상이한 오염이 예상되므로 소화기사격장을 사선지역, 탄두 비과 지역과 피탄지 지역으로 구분하고, 지역별 오염여부와 오염범위를 추정하여 오염 부분을 파악하며, 이를 소화기 사격장 중금속 오염지역은 조사 및 정화대상 지역으로 제시하고 사격장 관리지침의 적정성을 확인 해 보려 한다.

본 연구를 수행하게 되면 토양오염 현장에서는 사격장의 모든 범위가 중금속 오염 우려가 있는 것이 아니라는 것을 판단할 수 있을 것이다. 그리고 이를 토대로 사격장 부지의 토양오염 부지 판단을 위한 기초자료를 제공하고, 또 이를 기초로 사격장 부지 토양오염정밀조사 관련규정을 구체화하여 발전시킬 수 있으며, 사격장 주변 시민들에게는 사격장 모든 지역이 위험한 지역이 아니라는 것도 홍보할 수 있을 것이다. 또한 군에서는 이를 기초로 토양오염 조사 및 정화대상 물량을 축소시킬 수 있고, 소요되는 토양오염 정화예산을 절감할 수 있을 것이다. 또한 정책적으로 사격장 중금속 오염을 논의 할 경우에는 피탄지를 중심으로 오염도에 대한 논의를 진행하는 기준을 제시할 수 있을 것이다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 연구대상지역

본 연구는 전국의 많은 군 부대 중 국방개혁2020 계획에 의해 부대이전을 하여 폐쇄되는 사격장을 대상으로 하여 파악하였다. 그 중에서도 일반시민들이 많이 접할 수 있는 소구경화기를 주로 사격하는 부지를 대상으로 선정하였다.

### 2.2. 시료 채취

토양시료채취는 토양오염 공정시험방법 중 시료채취방법에 의하여 채취하였다.

사격장의 시료채취대상지역은 사선 지역, 비과 지역, 피탄지역의 구분은 Fig. 1에서와 같이 구분하였다.

일반적인 소구경화기 사격장의 구성을 보면 피탄 지역

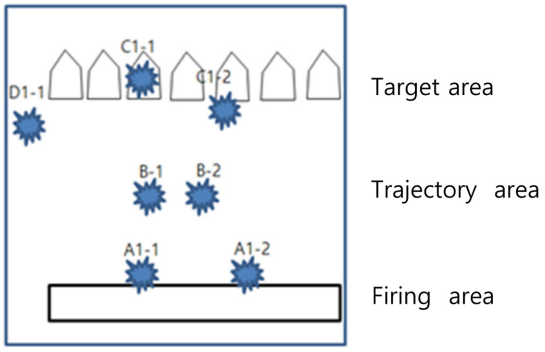


**Fig. 1.** Scheme of shooting range.

**Table 1.** Concentration of heavy metals in background area & target area

| Soil (mg/kg) | Cu | Cd | Pb | Zn | $Cr^{6+}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| C1-1 | 845 | 2 | 30,487 | 232 | NC |
| C1-2 | 924 | 2 | 24,174 | 165 | NC |
| B.G (D1) | 11 | 2 | 47 | 80 | NC |
| worrisome level (level 1) | 150 | 4 | 200 | 300 | 5 |

에서 중금속 오염이 예상되며, 사선지역(A), 탄두 비과 지역(B)에서는 오염은 예상되지 않는다. 이에 따라 시선지역은 2개 지점(A1-1, A1-2)에서, 탄두 비과 지역은 2개 지점(B1-1, B1-2)에서 시료를 채취하였다. 시료채취방법은 토양오염공정시험방법에 기초하여 채취하였다. 토양오염공정시험방법에서 시료채취는 중앙지점을 중심으로 하여 4 방위의 5 m 지점에서 각각의 시료를 채취한 후 혼합하여 한 개의 시료를 판단하는 것으로 하고 있으나 소화기 사격장의 특성상 사선지역에서는 사선지역이 3 m를 초과하지 아니하므로 사선의 중앙을 기준으로 약 2 m 내외의 지점으로 하는 4방위 지점의 시료를 채취하고 이를 혼합하여 1개 지점으로 판단하였다. 피탄지역(C1, C2)에서도 탄두의 집속이 예상되는 중앙지점에서 4방위의 주변 약 1 m 지점에서 시료를 채취하여 혼합하고 이를 한 개 지점으로 판단하였다. 그리고 사격장 좌측으로 형성된 우수 배제용 수로에 의해 오염물질의 확산을 예상할 수 있어 좌측 수로지역에서 표토(D-1)와 약 30 cm 하부 지점에서 동일한 방법으로 시료를 채취(D2)하였다. 한편 배경시료는 사격장과 이격한 약 300 m 이격한 지점의 동일한 토양특성을 가지는 지점에서 채취하여 분석하였다.

### 2.3. 분석

실험대상 토양은 풍건을 실시한 후 표준체 No.18(1.0 mm)를 사용하였다. 체를 통과한 토양에 대하여 물리화학적인 분석을 하였다.

대상 시료의 분석물질은 시료의 분석물질은 소화기탄두에 많이 사용되는 구리(Cu), 납(Pb)과 사용될 것으로 우려되는 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 6가크롬($Cr^{6+}$)을 대상으로 분석을 하였다.

대상시료 내 납의 농도는 토양오염공정시험법을 따라 100 mL 삼각플라스크에 토양 10 g과 0.1 N HCl 50 mL를 넣어 항온수평진탕기에서 1시간 동안 진탕하고 5B 여과지로 여과한 후 여과액을 ICP-OES(Perkin Elmer Optima 2000 DV, USA)를 이용하여 분석하였고, 토양내 중금속 전함량은 EPA Method 3050B로 전처리하여 분석하였다.

## 3. 연구결과

### 3.1. 배후지역과 피탄지의 비교

사격장의 배후지역(D1)과 피탄 지역(C1-1, C1-2)을 비교해 본 결과는 Table 1과 같다.

예상했던 바와 같이 Cu와 Pb의 오염은 2개의 시료 모두가 우려기준을 초과하여 나타났다. 특징적인 것은 Zn의 오염이 우려기준(300 mg/kg)에는 못 미치나, Table 1에서 보듯이 배경농도(80 mg/kg)를 초과하는 것(232 mg/kg, 165 mg/kg)으로 나타났다. 이는 Table 5에서와 같이 소화기 탄두에 Zn이 사용된다는 것으로, 이에 대한 대비가 필요하다는 것을 알려준다. 물론 우려기준 농도(300 mg/kg)에는 미치지 아니하나, 지속적으로 방치하였을 경우 배경농도보다 높게 된다면, 인체에 위해를 줄 수도 있으므로, 위해도를 판단하고 정화사업을 한다면 Zn의 농도 저감을 위한 조치를 적용해야한다는 점을 제시해 주는 것이다. 특징적인 점은 피탄지에서 소화기 탄두에 사용되지 아니하는 Cd가 나타나고 있다는 점과 발암물질로서 함유가 우려되는 $Cr^{6+}$는 포함되지 아니하는 것으로 나타났다. 그러나 Zn, Cd 등의 물질이 나타나는 원인에 대하여 그 원인을 고찰해 볼 필요가 있다.

### 3.2. 사선지역의 오염도

사선지역은 탄두가 총구에서 출발하는 지역으로 중금속 검출이 되지 아니할 것으로 예상된다.

이러한 예상을 기초로 사선지역의 중금속오염도를 분석해보면 Table 2와 같다. 먼저 구리(Cu)의 경우 사선지역의 2개소 중 1개소에서 우려기준(150 mg/kg)을 초과하는 농도로 검출(201 mg/kg)되고 있다. 또한 납(Pb)의 경우도 우려기준(200 mg/kg)에는 미치지 아니하나, 배경농도(80 mg/kg)를 상회하는 농도(143 mg/kg, 156 mg/kg)로 검출되고 있음을 볼 수 있다. Zn의 경우도 우려기준(300 mg/kg)에는 미치지 아니하나, 배경농도(80 mg/kg)를 상회하여 나타나므로 이에 대한 원인을 고찰해 볼 필요가 있다. 특징적으로 Cd의 경우 배경농도와 유사하게 나타나고 있어 Cd의 오염우려는 없는 것으로 나타났다.

**Table 2.** Concentration of heavy metals in firing area

| Soil (mg/kg) | Cu | Cd | Pb | Zn | $Cr^{6+}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| A1-1 | 101 | 2 | 1,250 | 141 | NC |
| A1-2 | 201 | 2 | 2,286 | 156 | NC |
| Worrisome level (level 1) | 150 | 4 | 200 | 300 | 5 |

**Table 3.** Concentration of Heavy Metals in Trajectory area

| Soil (mg/kg) | Cu | Cd | Pb | Zn | $Cr^{6+}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| B1-1 | 23 | 1 | 99 | 103 | NC |
| Worrisome level (level 1) | 150 | 4 | 200 | 300 | 5 |

**Table 4.** Concentration of Heavy Metals in Gutters area

| Soil (mg/kg) | Cu | Cd | Pb | Zn | $Cr^{6+}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| D1-1 | 292 | 2 | 6,497 | 135 | NC |
| D1-2 | 298 | 2 | 6,071 | 132 | NC |
| Worrisome level (level 1) | 150 | 4 | 200 | 300 | 5 |

**Table 5.** Heavy metals contained in each Ammunition (Army Consolidated Logistics School, 2009)

| | Bullet total weight (g) | Weight / Ratio | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pb (g/%) | Cu (g/%) | Zn (g/%) | Fe (g/%) |
| 5.56 mm normal ammunition | 3.55 | 2.46 / 69 | 0.98 / 27 | 0.11 / 4 | – |
| 5.56 mm new ammunition | 4.02 | 2.02 / 50 | 1.20 / 29 | 0.13 / 3 | 0.67 / 17 |
| 57.62 mm normal ammunition | 9.56 | 7.37 / 77 | 0.30 / 3 | 0.03 / 0.3 | 1.86 / 19 |

### 3.3. 탄두비과 지역의 중금속오염도

탄두비과 지역은 탄두가 목표를 향하여 궤적을 그리며 날아가는 지역으로 중금속은 검출이 되지 아니할 것으로 예상된다.

이러한 예상을 기초로 탄두 비과 지역의 오염도를 분석한 결과, 예상과는 달리 구리(Cu), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 아연(Zn) 모두 검출되고 있다. 다만 카드뮴만 배경농도에 못 미치게 나타나고 있다. 물론 크롬은 검출되지 아니하였다.

이와 같이 탄두 비과 지역에서 중금속 오염이 발생하는 원인에 대하여는 구체적으로 그 원인을 분석하고, 이를 기초로 소화기 사격장을 관리해야 할 것이다.

### 3.4. 배수로 지역 토양의 중금속 오염분석결과

본 연구를 진행하는 소화기 사격장은 피탄지 지역의 앞으로 작게 흐르는 배수로가 형성되어 있었다. 본 사격장의 배수로는 하절기 우기에만 우천으로 형성되는 건천으로서 피탄지에서 부서진 알갱이로 존재하는 탄두의 중금속이 우기 배수로를 따라서 유출될 수 있는 우려가 있었다.

이에 배수로를 형성한 지역에 대하여 시료를 채취하여 분석한 결과는 Table 4와 같다. 이를 분석해 볼 때 피탄지의 부서진 중금속 알갱이들이 우천시 배수로를 따라 빗물에 흘려 유출되고 있는 것으로 판단할 수 있다.

## 4. 고 찰

### 4.1. 피탄 지역

사격장은 그 특성상 중금속에 의한 오염이 불가피한 지역이다. 다만 그 오염과 그로 인한 영향을 최소화하기 위한 노력을 해야 할 것이다. 본 연구는 사격장의 모든 부분이 오염이 되는 것이 아니라 피탄지를 중심으로 하는 지역이 주오염지역이라는 것을 전제하기 위한 연구이다. 연구목적과 같이 피탄 지역에서는 현저하게 높은 수준의 중금속 오염농도가 검출되었다. 다만 카드뮴과 아연의 농도가 예상 외로 높게 나타났다. 현장에서 부대원들과 함께 원인을 분석한 결과 소화기사격장 피탄지가 붕괴하는 것을 방지하기 위하여 폐타이어를 피탄지 붕괴 방지벽으로 사용하고 있는 것을 확인하였다(Fig. 2). 피탄 지역에서 중금속류(Zn, Cd 등)를 포함하는 폐타이어로 구성하면

**Fig. 2.** Target of rifle shooting.

탄두와 폐타이어가 부딪치게 되며, 이에 폐타이어는 부서지면서 물질 파편들로 나타나게 되고 이때 나온 물질들의 일부가 본 연구 분석 시에 검출된 것으로 판단된다. 따라서 사격장 피탄지를 정비하면서 폐타이어를 사용하는 것은 지양되어야 할 것이다.

### 4.2. 사선 지역

소화기사격장의 사선지역에서 발생된 중금속 오염의 원인을 판단해 보았다. 구리(Cu)는 탄두 외부의 주요 구성성분으로 추진제가 연소하면서 발생하는 온도는 매우 높고, 이로 인해 포강내부 표면과 탄두의 금속은 연화된다. 이 연화된 금속은 총열의 강선을 따라 이동하면서 회전운동을 하면서 총구를 출발하게 된다. 총구를 출발하면서 공기 중으로 방출되면서 지표면으로 축적되어 나타나는 것으로 판단된다. 따라서 이는 멀리 까지 오염영향을 주지는 않을 것으로 예상되지만 오랜 기간 축적된다면 토양의 중금속 오염에 영향을 주는 것으로 볼 수 있다. 따라서 토양오염 조사 및 정화사업 시에는 사선에 대하여도 일정부분 조사 및 정화사업에 포함해야 할 것으로 사료된다. 물론 정비를 지속적으로 수행한 소화기 사격장이라면 사격장 면적 전체를 대상으로 정밀한 오염도 조사를 수행해야 할 것이다.

### 4.3. 탄두 비과 지역

소화기사격장의 탄두 비과 지역은 중금속 오염이 우려되지 아니하는 지역이다. 그러나 본 연구결과 Table 3과 같이 오염이 나타나고 있다. 이 원인을 분석한 결과 사격장을 관리하는 부대 장병들로부터 중요한 사항을 청문하게 되었다.

각 부대에서는 상급부대 지침에 따라 3년에 한 번씩 소화기사격장을 정비하고 있다. 소화기사격장 정비는 피탄지역에서 탄두를 수거하고, 불규칙해진 피탄지를 평평하게 정비하는 등의 활동을 하게 된다. 이때 탄두는 집중수거하여 폐기물로 처리하고, 불규칙하게 파여진 피탄지를 평평하게 하는 활동이 주로 이루어지게 된다. 피탄지 토양과 폐타이어를 활용하여 미관상 보기 좋게 적상하여 피탄지로 활용할 수 있도록 관리하고, 또 남는 피탄지 토양은 소화기사격장 부지 전체로 넓게 평탄작업을 한다는 것이다. 이는 기존 문헌연구 중 Hyun and Hong(2014)의 연구에서 제시, 검토된 바와 동일한 내용으로 판단된다.

이같이 소화기 사격장 면적 전체부분에 펼쳐진 중금속 오염토양으로 인해 피탄지 뿐만 아니라 사선지역, 탄두 비과 지역도 오염되는 것으로 판단된다. 사격장관리를 위해 피탄지 토양을 활용하는 것은 사격장 중금속 오염을 확산시키는 주요원인의 하나가 될 수 있는 것이다.

따라서 사격장을 관리하는 입장에서는 미관상 폐타이어 적상작업과 평탄작업이 필요할 지는 모르지만, 사격장 부지 토양환경의 적정한 관리를 위하여 피탄지의 오염토양을 다른 부분으로 넓게 펴서 희석하는 행위는 금지되어야 할 것이다.

사격장 피탄지 토양은 가능한 한 피탄 지역에서 재활용해야 하고, 사격장 정비의 주요 추진과제로 피탄 지역 토양을 주기적(예 : 3년 또는 5년 주기)으로 모아서 적정량(예 : 5톤 / 10톤 또는 50 $m^3$ / 100 $m^3$ 등)이 모아진다면 외부로 반출하여 정화하는 방안을 강구한다면, 운용중인 사격장의 정화방안도 강구 할 수 있을 것으로 사료된다.

### 4.4. 배수로 지역

소화기 사격장은 규모가 크지 않은 경우가 많다. 그리고 사격장에 위치하는 하천은 대부분 건기에는 물이 흐르지 아니하는 건천으로 구성되고 있다. 본 연구를 실시한 소화기 사격장도 건천이 있었고, 물은 흐르지 아니하였다. 시료를 채취한 11월은 우기가 지나 배수로에 물이 없었으나 하절기 장마 등의 우기에는 사격장 피탄지의 중금속 성분과 오염된 토양이 동시에 외부로 유출될 수 있는 환경이었다.

이러한 환경적 특성에 연유하여 Table 4와 같이 매우 높은 농도의 오염토양이 유출되고 있는 것으로 나타났다. 카드뮴과 아연의 경우는 우려지역기준보다 높지 않았으나, 구리와 납의 경우는 우려지역기준을 초과하여 검출되고 있으며, 표토와 심토 모두 기준을 초과하고 있었다. 이는 사격장 내부 피탄지의 토양이 외부로 이송되면서 유출되어 오염이 확산되는 것으로 분석할 수 있었다.

군에서는 지침을 통해 소화기사격장 하류부분의 사격장과 배수로가 만나는 지점에 인공침사지 또는 인공저류지를 설치할 것을 권장하고 있다(MND, 2006). 본 연구에

서도 소화기사격장 피탄지의 하류 부분에 인공침사지 또는 인공저류지를 설치해야 필요성을 확인할 수 있었다. 그리고 이 인공침사지 또는 저류지는 어느 정도의 침사물이 침적된다면 월류되어 확산될 수 있으므로 주기적인 정비가 필요하다는 것을 제시해 준다. 또 가능하다면 반응벽체를 설치하여 정비기간을 조정할 수 도 있을 것이다.

## 5. 결 론

본 연구는 사격장을 구성하는 지역에 따라 그 오염물질이 상이할 것이라는 점에 착안하여 진행하였다.

연구목적에 따라 사격장을 사선 지역, 탄두 비과 지역, 피탄지 지역으로 구분하여 각 지역의 중금속오염정도를 분석하였다. 그 결과 각 지역별로 오염물질과 오염농도가 상이함을 확인할 수 있었다.

또한 현재 각 부대에서 소화기사격장을 정비하면서 발생하고 있는 문제점을 발견할 수 있었으며, 하류지점에 인공저류지 등을 설치하여 오염 확산을 방지해야 하는 필요성을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서는 사격장 오염토양의 중금속 성분이 사격으로 인해 발생한 것인지 또는 배경농도에 의한 것인지를 구분하여 그 원인을 규명하고 원인에 따라 정화방안이 제시되어야 할 것이다. 또한 소화기 사격장의 화약류에 의한 오염양상도 연구되어야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 대전녹색환경지원센터의 2014년도 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

## References

Ministry of Environment, 2014, Standard Procedure in Assesment of Soil Pollution.

Ministry of National Defense, 2002, The Research on Contaminated Soil Pollution Dispersion at Military Shooting Range.

Ministry of National Defense, 2006, Guide to Principle on Contaminated Soil Pollution at Military Shooting Range.

Republic of Korea Army, 2010, The research on soil environment management at military shooting range.

Hyun, J.H., Hong, S.T., 2014, The comparison of the relationship between the gunfire shut and its resulting heavy metal pollution rate, *J. Soil Groundw. Environ*., **19**(6), 1-5.

Hyun, J.H., 1999, Charaterstics of heavy metals in contaminated soil-metal binding mechanism through sequential extraction in soils with lead and copper, *J. Soil Groundw. Environ*., **4**(3), 77-84.

Kim, J.E., Kim, J.G., Bae, B.H., and Kim, Y.H., 2013.11 Characterization of heavy metal-enriched particles from contaminated soils in a military shooting range, *J. Korea Geo-Environ. Soc*., **14**(11), 25-31.