

## 몽골 버러지역 토양의 중금속 오염 현황 조사

박주현\* · 박제현 · 김탁현 · 연규훈

한국광해관리공단 광해기술원

## A Study on Heavy Metal Pollution in Mongolia Boroo Soil

Juhyun Park\* · Jayhyun Park · Takhyun Kim · Gyuhun Yeon

*Institute of Mine Reclamation Technology, Mine Reclamation Corporation*

### ABSTRACT

The Boroo area in Mongolia is known to have been contaminated with heavy metals due to irregular gold mining activities and the release of mercury from gold extraction process. Soil and mine tailings were collected to analyze contamination patterns of heavy metals in the Boroo area. Analyses revealed that mercury, arsenic and cadmium concentrations exceeded the regulatory standard of the nation (Mongolia National Standard). In case of mercury, about 80% of the survey area was over the limit and the concentration distribution heavily influenced by influx of mercury through water transport. Soil contamination by arsenic was most severe that the concentration exceeded the regulatory limit in almost entire survey area, showing peak concentrations at nearby streams and river along with ore processing facilities. For cadmium, about 20% of the survey area was over the limit with the concentration distribution similar to that of arsenic.

**Key words :** Boroo area, Mercury, Heavy metals, Concentration distribution, Water transport

### 1. 서 론

과거 금 광산에서는 금을 추출하기 위한 아말감법(Amalgam)의 주원료로 수은을 사용하여 왔다. 아말감법은 석금 등 기계적인 방법으로 금의 추출이 어려운 미세 사금에 효과적인 여러 가지 금 추출 방법 중 하나로서 금이 수은과 혼합되면 화합물인 아말감을 형성하는 원리를 이용하여 금을 추출하는 방법이다. 수은과 대부분의 수은 화합물들은 독성이 매우 크며 피부와 점막으로 흡수될 수 있고, 수은 증기는 호흡을 통해 체내로 들어가서 수은 중독을 일으킬 수도 있다. 가장 독성이 큰 수은 화합물은 다이메틸수은( $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ )과 메틸수은( $\text{CH}_3\text{HgX}$ ; X는 보통 Cl)인데 국내에서는 수은으로 오염된 광산지역의 광물 찌꺼기와 주변 토양 토양을 대상으로 수은의 존재형태를 규명하고 환경에서의 영향을 분석한 적이 있다(Jung et al., 2008). 이러한 수은이 인간에게 미치는 영향을 평가하기 위해 국내에서는 폐금속광산 주변 주민들의 수은을 포

함한 중금속의 혈중 농도 및 건강영향조사 연구가 수행된 적이 있다(Jung et al., 2005). 또한 광산 주변에서 수확한 농산물 중의 수은을 포함한 중금속의 함량을 조사하여 수은 등의 중금속의 인체 축적 경로에 대해서도 연구가 수행되었다(Park and Lee, 2002).

수은과 더불어 폐금속 광산 주변에서는 다양한 중금속이 토양 오염을 야기하는 것으로 알려져 있는데 국내의 휴폐광산 인근 농경지 중 중금속으로 오염된 지역은 약 39.1% 정도를 차지하며 오염물질별로는 아연(33.3%), 비소(29.4%), 카드뮴(16.2%), 납(10.8%) 순으로 토양오염 우려기준을 초과하는 것으로 조사되었다(MIRECO, 2011a). 특히 국내의 폐금속 광산 중에서 높은 비율을 차지하고 있는 금, 은 광산 주변에서는 다른 중금속과 더불어 비소의 오염이 주로 높게 나타나고 있는 실정이다.

몽골의 경우 전체적인 광산의 분포 현황 및 개략적인 광해 현황에 대해 조사된 적이 있으나(MIRECO, 2011b) 국토가 넓고 전문적인 조사인력이 부족하여 광산으로 인

\*Corresponding author : pjh3816@mireco.or.kr

Received : 2018. 10. 15 Reviewed : 2018. 10. 18 Accepted : 2018. 10. 22

Discussion until : 2018. 12. 31



Fig. 1. The location and foreground of Boroo area in Mongolia.

한 정밀한 토양 오염에 대한 조사는 이루어지고 있지 않다. 또한 몽골의 경우 금 광화대 지역에서는 난자라 불리는 소규모 불법 광산 개발자들에 의해 금 광산들이 무분별하게 개발되어 왔으며 이로 인해 토양 내 수은 및 중금속 오염이 높을 것으로 예상되어 왔다. 몽골의 토양 내 수은오염에 대해서는 Jung(2012)이 몽골 울란바타르의 오염 배출원에 의한 토양 및 대기 내 수은 오염을 연구한 적이 있으며, Park(2012)은 울란바타르의 토양 내 중금속의 오염 정도를 분석한 사례가 있다. 또한 몽골의 사막화 방지를 위한 토양 특성 조사 사례가 있으나(Kim et al., 2010, Jung et al., 2013) 특정 오염지역에 대해 정밀하고 체계적인 조사가 이루어진 사례는 찾기 힘든 실정이다.

본 연구에서는 몽골의 대표적인 금 광산 개발지역 중 하나인 버러(Boroo) 지역에 대해 수은 및 기타 중금속의 오염현황을 체계적으로 조사하여 향후 토양복구사업의 추진방향에 대한 기초자료로 활용하고자 하였다. 또한 오염 분포도 분석을 통해 중금속의 오염양상 및 이동경로에 대해서도 분석하고자 하였다. 토양 오염 조사위치인 버러(Boroo) 지역은 몽골 수도 울란바타르에서 북서쪽으로 약 120 km 떨어진 셀렌게(Selenge) 아이막 바양골(Bayagol) 솜과 만달(Mandal)솜에 걸쳐서 위치한다(Fig. 1). 버러 지역은 구체적인 자료는 남아있지 않으나 주민들 탐문결과 2000년대 이전까지 매년 300명 이상의 사람들이 불법적으로 수은을 사용하여 사금을 채취해 왔으며 이 과정에서 반복적으로 수은을 선풍장 주변 토양 및 수계로 유출시킨 것으로 알려져 있다. 또한 1950년대에는 금 선풍공장에서 수은 유출사고가 발생한 적이 있는 것으로 조사되었다. 이러한 복합적인 원인들로 인해 과거 버러 지역 공장 및 광물찌꺼기적치장 주변이 수은으로 오염되었으며, 현재는 이러한 오염 지역들이 가축들의 방목지로 변하였고 오염 지역 인근에서는 밀, 감자 등 농작물이 경작되고 있다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 조사지역 현황

본 조사지역은 과거 금을 선풍하던 곳으로 오래된 선풍 구조물이 2동 방치되어 있으며, 선풍구조물을 중심으로 지형은 평탄하며 버러 강 수계가 여러 갈래 지류로 나뉘어 광물찌꺼기적치장(선풍장)을 관통하여 흐르고 있다. 광물찌꺼기적치장은 육안으로는 그 영역의 구분이 어려우며 일부 광물찌꺼기들이 광물찌꺼기적치장을 관통하는 버러 강 수계의 토양 침식으로 인해 수계를 따라 노출되어 있다. 본 지역은 광물찌꺼기와 토양이 호층(alternation of strata)으로 분포하고 있는 상태이며, 광물찌꺼기층은 대략 지표하 20~40 cm 지점에 분포하고 있다. 광물찌꺼기층의 두께는 최대 20 cm 정도이며 색상은 황토색으로 입자가 작은 점토질이다. 또한, 광물찌꺼기층은 선풍장 및 하천에 가까울수록 층의 두께가 최대 20 cm 정도로 두껍고 선풍장에서 멀어질수록 두께가 얇아지는 양상을 나타내고 있다. 이는 선풍장 주변에 쌓여 있던 광물찌꺼기가 홍수 등으로 선풍장 주변 평지로 유실되어 발생한 현상으로 판단된다.

광물찌꺼기적치장 상부에는 초목이 자라고 있으며 소, 돼지 및 말 등의 가축들이 방목되어 광물찌꺼기적치장에서 자라는 풀과 고인 침출수를 음용하고 있다. 광물찌꺼기적치장에서 자라는 풀과 침출수를 식용하는 이러한 가축들은 체내에 수은 및 기타 중금속이 축적되어 있을 가능성이 높을 것으로 판단된다. 광물찌꺼기적치장 하류에는 하천을 따라 솜(마을)이 소수 분포하고 있으며, 대부분 가축을 방목하여 기르고 있으나 일부 농경지(밀, 감자 경작)도 분포하고 있다. 광물찌꺼기적치장 및 버러 강 수계 주변 탐문조사 결과(하류 6 km) 인근에 거주하는 주민의 수는 약 50명 정도이다.

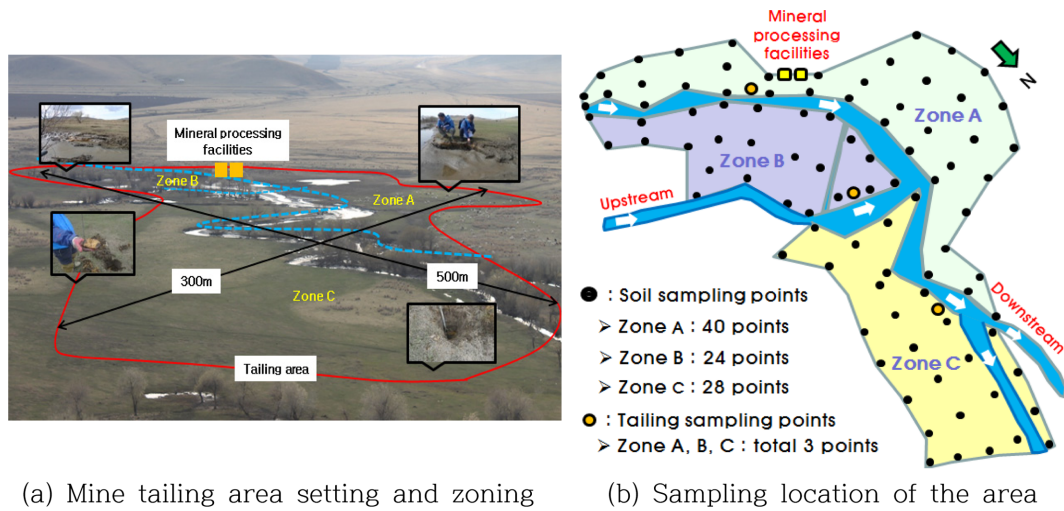


Fig. 2. Sampling concept of survey area.

Table 1. Soil and mine tailing sampling results in survey area

Zone	Point	Sample Quantity (top soil)	Sample Quantity (bottom soil)	Sample Quantity (mine tailing)	Sample Number
A	40	40	40	1	A1~A40
B	24	24	24	1	B1~B24
C	28	28	28	1	C1~C28
Total	92	92	92	3	187

## 2.2. 토양시료 채취

본 조사지역은 광물찌꺼기가 지표에 노출되어 분포하지 않고 선광 후 오랜 시간 경과로 인해 광물찌꺼기적치장 영역이 명확하지 않아 수계로 인한 침식으로 노출된 광물찌꺼기 확인 및 트랜치 조사를 통해 정확한 광물찌꺼기적치장 영역 확인을 선행하였다. 트랜치 조사는 광물찌꺼기가 지표에 노출되어 있지 않아 경계 확인이 필요한 지역에서 수행되었으며 트랜치를 최대 60 cm 정도로 굴착한 후 광물찌꺼기층의 존재 유무를 확인하였다.

조사결과, 광물찌꺼기는 선광시설을 중심으로 타원의 형태로 장축 약 500 m, 단축 약 300 m 정도로 분포하고 있으며 그 면적은 약 75,000 m<sup>2</sup>(7.5 ha) 정도이다. 본 조사지역은 광물찌꺼기적치장을 관통하는 버려 강 수계(푸른선)를 경계로 크게 3개의 구역(A, B, C)으로 구분되며 그러한 3개의 구역별로 토양 및 광물찌꺼기 시료를 채취하였다. 또한, 각각의 구역은 40 m × 40 m 격자로 나누어 격자의 포인트에 대해 표토(0~30 cm) 및 심토(30~60 cm)를 채취하였으며 그 현황은 Fig. 2와 같다.

광물찌꺼기적치장에서는 총 187점의 토양 및 광물찌꺼기 시료를 채취하였으며 각 구역별 채취된 표토, 심토 및

광물찌꺼기 시료의 현황은 Table 1과 같다. 총 187점의 시료는 격자점 중심 1개 지점과 중심에서 5~10 m 거리에 위치한 주변 4방위 지점에서 시료를 채취하여 혼합한 후 약 500 g 정도 무게의 각 격자점 대표시료를 만들었다. 광물찌꺼기 시료의 경우 분포 형태 등으로 미루어 보아 광물찌꺼기의 이동에 하천이 영향을 미친 것으로 판단되어 토양 내 중금속 농도와 비교 등을 위해 선광장에서 하류방향 하천 인접 지점에서 대표시료를 채취하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 토양 중금속 분석 결과

몽골은 ISO 15799:2003 「토양질-토양 및 토양 환경 유해물질의 Guideline」 등 국제기준을 준용하여 「토양 질, 토양을 오염시키는 물질의 최대허용량」이라는 토양 오염 기준을 수립하였다. 여기서는 토양을 오염시키는 물질 및 요소를 “토양에 지속적으로 오랫동안 함유되어 있으며 유기체에 해로운 영향을 미치는, 그리고 용해성이 적으며 쉽게 분해되지 않는 중금속 및 유기물질”로 정의한다. 그리고 총 42개 중금속 중 수은(Hg), 비소(As), 카드

**Table 2.** Standard value of soil contamination in Mongolia

(Unit : mg/kg)

Standard value	Hg	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Precaution value	2	6	3	100	100	300
Trigger value	10	30	10	500	500	600
Action value	20	50	20	1,000	1,200	1,000

**Table 3.** Concentration value range of heavy metals in survey area

(Unit : mg/kg)

Concentration value	Hg	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Average	2.15	261.61	3.51	21.99	18.07	23.90
Maximum	14.19	3298.33	50.93	68.53	105.37	54.53
Minimum	0.05	2.50	0.02	8.90	4.42	11.24
Median	1.97	44.37	0.79	19.56	8.93	21.40

뮴(Cd), 구리(Cu), 아연(Zn), 납(Pb) 등은 유해중금속에 해당하고, 토양을 오염시키는 최대허용량은 ‘Precaution value’, ‘Trigger value’, ‘Action value’로 크게 3단계 기준으로 분류하고 있다.

먼저, Precaution value는 사람이 사는 지역, 농경지 및 방목지에서의 토양오염 최대허용량이다. 두 번째로 Trigger value는 특별허가를 받은 공장 및 광산지역의 오염물질 및 요소의 토양오염 최대허용량으로 이를 초과하면 인근 지역 유기체 및 수계 등에 해로운 영향을 미친다. 마지막으로 Action value는 토양오염을 조속히 복구하고 제거해야 하는 기준으로 오염토양의 중성화, 이동 및 격리, 토지사용 금지 및 지역주민 이주 등의 적극적 조치를 요구하는 최대허용량이다. 몽골의 토양오염 기준은 Table 2에 나타내었다.

채취된 토양 시료는 몽골 MNS(Mongolia National Standard) 인증기관인 몽골 광물청 분석실에 의뢰하여 수은(Hg) 및 기타 중금속(As, Cd, Cu, Pb, Zn)의 오염도 분석을 실시하였다. 광물찌꺼기적치장 토양 오염도 분석 결과 구리(Cu), 아연(Zn) 및 납(Pb)을 제외한 3가지 항목(Hg, As, Cd)의 중금속에서 몽골의 Trigger value를 초과하는 중금속 농도가 검출되었다. 이중 수은과 비소의 경우에는 광물찌꺼기적치장 전체에 걸쳐 그 오염범위가 광범위하게 나타났다. 광물찌꺼기를 포함한 토양 내 중금속 농도의 분포 값은 Table 3과 같다.

### 3.2. 토양 중금속 오염 분포

오염된 3가지 중금속 각각의 중금속 오염분포 양상을 분석하기 위해 Surfer 8.0 프로그램을 이용하여 중금속 오염분포도를 작성하였다. 오염분포도는 각 시료 채취지점의 중금속 오염농도를 기반으로 Krigging 기법을 이용하여 작성하였다. 먼저 수은의 경우 전체 광물찌꺼기적치장

면적 중 Trigger value를 초과하는 면적(붉은색 countor)은 약 5% 정도(약 0.4 ha)인 것으로 나타났다(Fig. 3). 하지만 Precaution value를 기준으로 하였을 때에는 전체 면적의 약 80% 정도(약 6.0 ha)가 오염(노란색 countor)된 것으로 나타났다. 표토 및 심토를 비교하였을 경우 Precaution value를 초과하는 면적의 경우에는 크게 차이가 나지 않았으나 Trigger value를 초과하는 면적의 경우 심토에서 훨씬 넓게 나타났다. 이는 과거 유출된 수은에 의해 오염된 토양 상부로 홍수 등으로 토양이 퇴적되어 나타나는 현상으로 판단된다.

구역별로는 표토 및 심토 모두 A 구역에서만 Trigger value를 초과하는 것으로 나타났으며 B, C 구역에서는 Trigger value를 초과하는 지점이 나타나지 않았다. 또한, 수은 농도 Countor가 A 구역에서는 붉은색의 고오염원에서 멀어질수록 점점 감소하고 있으나(화살표 방향) 하천을 경계로 B, C 구역에서는 저농도의 토양이 거의 일정한 농도로 분포하는 것을 볼 수 있다. 이는 광물찌꺼기적치장 수은 오염원이 A 구역 인근에 위치하고 있었거나 또는 A 구역 방향에서 유입되었을 가능성을 나타내고 있다. 수은의 분포 형태로 볼 때 광물찌꺼기적치장을 관통하고 있는 하천이 B, C 구역으로의 수은 이동을 차단한 것으로 판단된다. 주민탐문 결과 본 지역 인근에서는 1956년 선풍공장의 수은 저장소 폭발로 인해 수은이 유출된 사례가 있는 것으로 파악되었으며, 이때의 수은 저장소 폭발로 인해 고농도 수은의 일부가 광물찌꺼기적치장으로 유입되었을 가능성이 있는 것으로 판단된다. 또한 A 구역 주변에 과거 또 다른 형태의 광물찌꺼기 적치가 이루어졌을 가능성도 있는 것으로 판단된다. 전체적으로 토양 및 광물찌꺼기 내 수은의 함량은 Trigger value 이하로 농도 차이가 크게 나지 않았다.

본 지역 토양 내에는 광물찌꺼기에 포함된 수은 농도

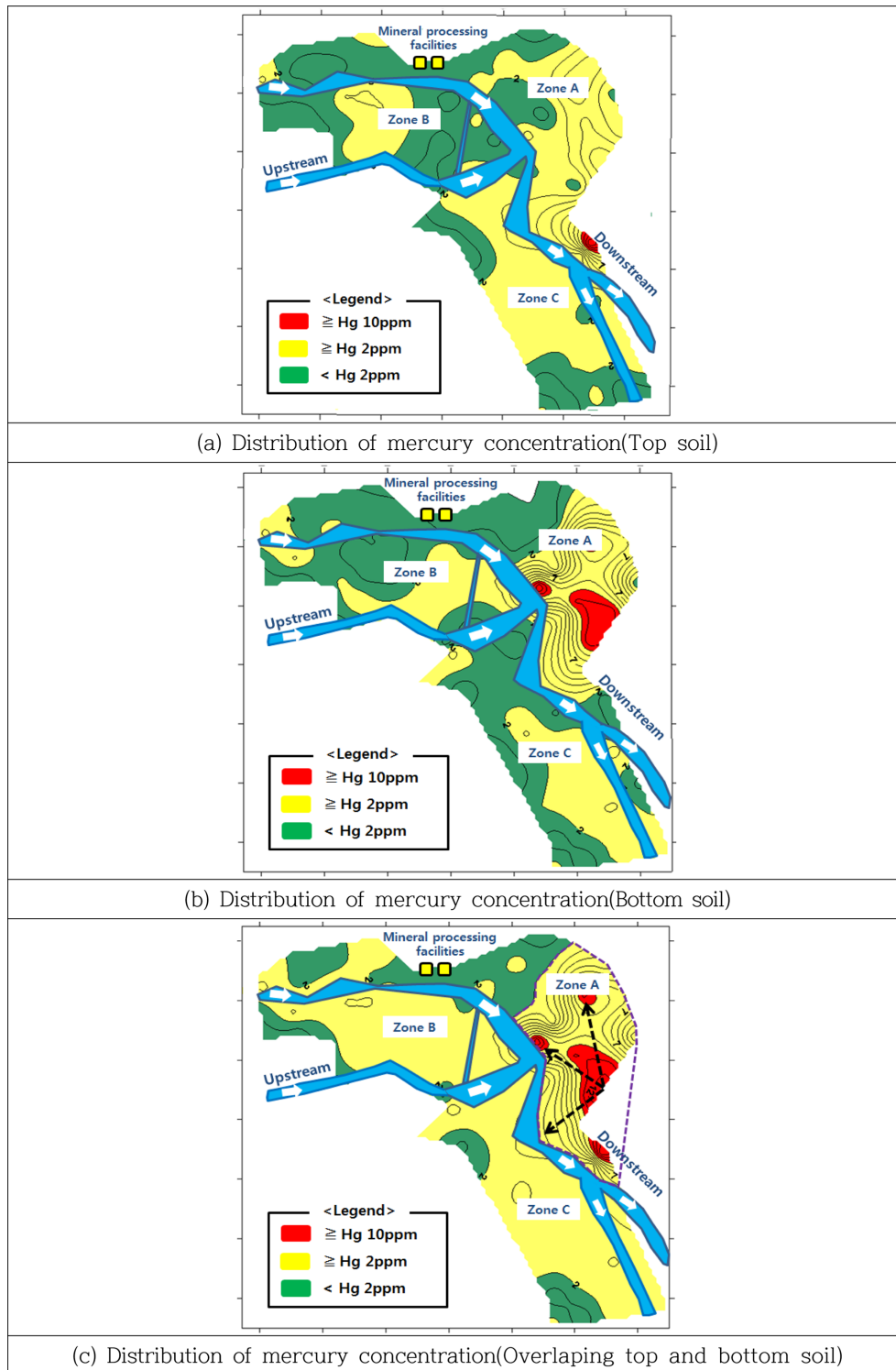
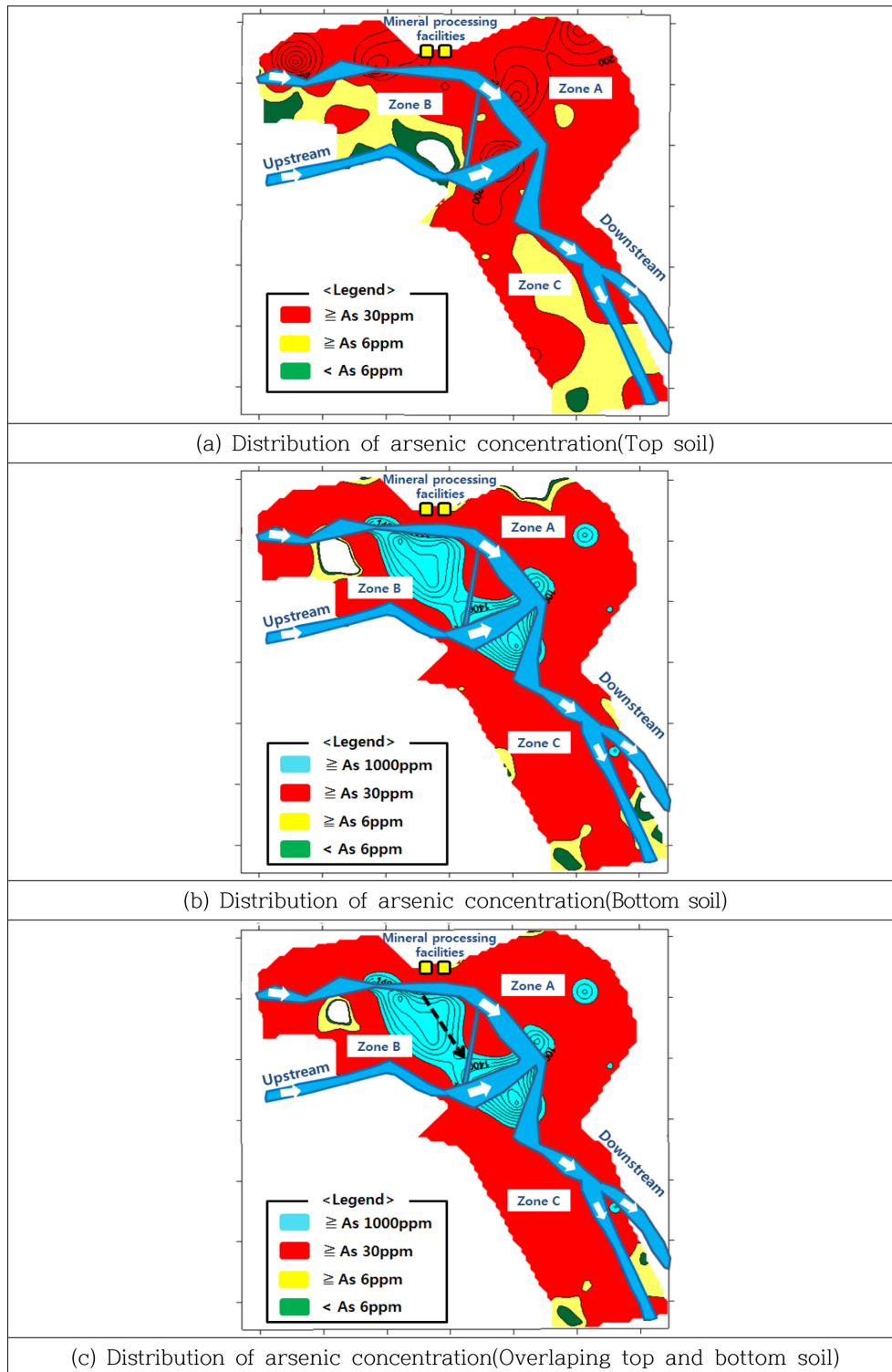


Fig. 3. Mercury contamination results of sampling soil.

정도와 비슷한 농도의 토양이 분포하고 있었을 것으로 판단되며 오랜 기간 동안 수은의 증발 및 유실로 인해 수은의 농도는 초기보다 더 낮아졌을 것으로 판단된다. 전

체적인 수은의 복구가 필요한 광물찌꺼기적치장의 면적은 A 구역의 Trigger value를 초과하는 지역을 중심으로 약 1.8 ha(18,000 m<sup>2</sup>) 정도(점선구역)이며 현장 조사 시 적용





**Fig. 4.** Arsenic contamination results of sampling soil.

한 심토의 최대 심도 0.6 m까지 복구한다고 가정할 경우 복구량은 약 10,800 m<sup>3</sup> 정도로 평가되었다.

비소의 경우 전체 면적 중 Trigger value를 초과하는

면적(붉은색 counter)은 약 95% 정도(약 7.1 ha) 인 것으로 나타났다(Fig. 4). 표토 및 심토를 비교하였을 경우 Precaution value를 초과하는 면적의 경우 표토는 약

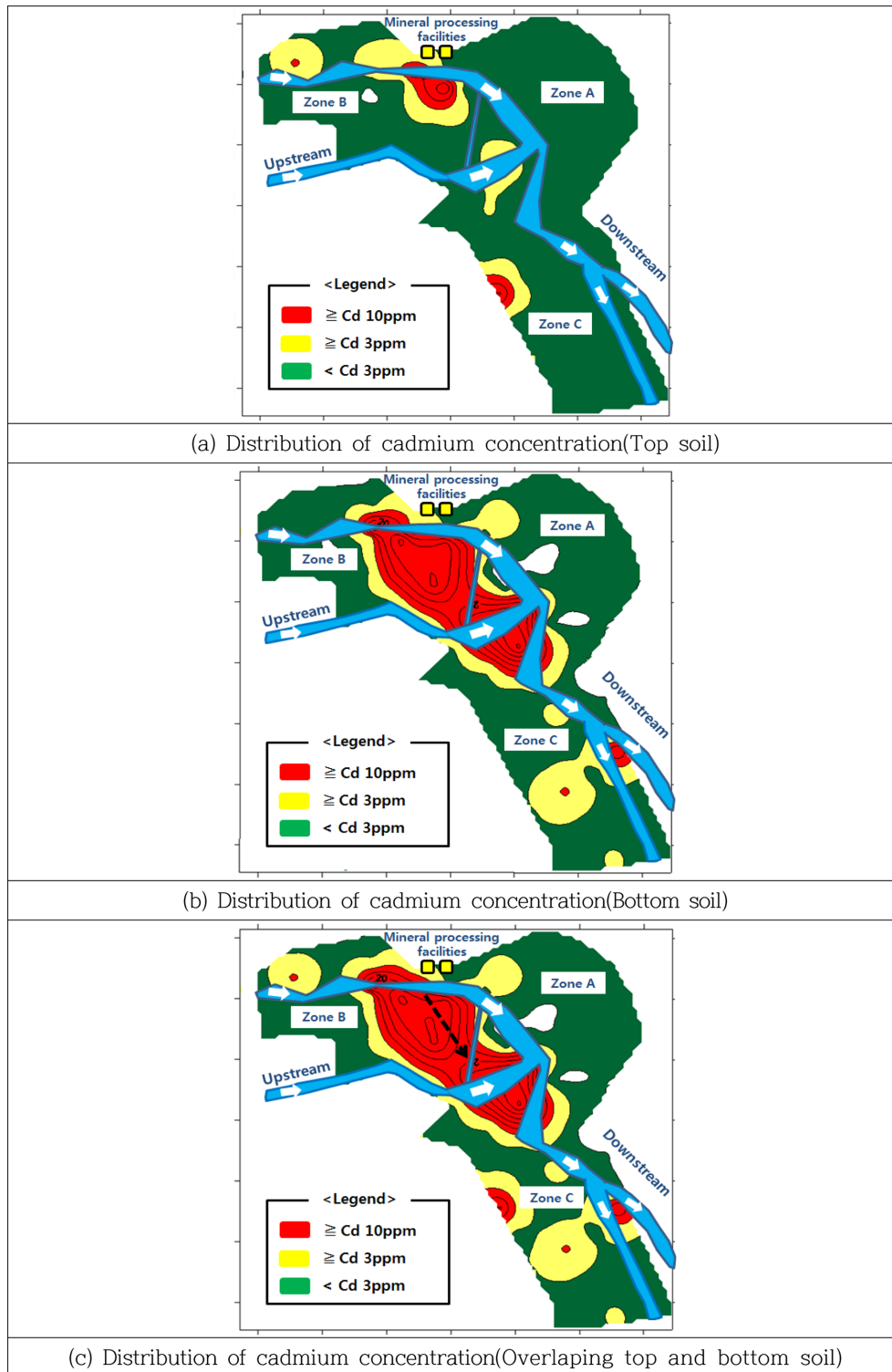


Fig. 5. Cadmium contamination results of sampling soil.

70% 정도(약 5.3 ha)이나 심토의 경우 약 95% 정도가 오염된 것으로 나타났다. 표토의 경우 A 구역보다 B, C

구역에서 상대적으로 Trigger value를 초과하는 면적이 작은 것으로 나타났으며 심토의 경우에는 거의 모든 곳에서

고농도로 나타났다. 본 지역은 금 광화대로 모암 내 비소가 다량 함유되어 있을 가능성이 높으며 이러한 지역적 특성이 오염양상에 반영되어 나타나는 것으로 판단된다.

비소의 농도가 1,000 ppm을 초과하는 지역은 푸른색의 Countor로 나타내었으며 Countor 내 토양 중 비소의 최대 농도는 약 2,715 ppm으로 광물찌꺼기 내 평균 비소의 농도 2,950 ppm에 거의 근접하고 있어 아주 고농도의 오염 양상을 나타내고 있다. 푸른색의 고농도 비소 오염 토양의 분포양상을 살펴보면 선광시설에서 수계를 따라 하류방향(화살표 방향)으로 고농도의 비소오염 토양이 분포하고 있는 양상을 나타내고 있는데 이는 선광시설 앞쪽에 분포하고 있던 광물찌꺼기가 홍수 등으로 수계를 따라 유실되면서 생긴 양상으로 판단된다.

또한, 수은의 경우와는 반대로 고농도의 비소오염 토양은 B, C 구역에 주로 분포하며 A 구역에는 거의 분포하지 않는데 이는 광물찌꺼기적치장을 관통하는 하천이 A 구역으로의 고농도 비소의 이동을 차단하여 생긴 현상으로 판단된다. 이는 수은과 마찬가지로 중금속의 지역적 오염 양상에 수계의 분포 등 지형적 요소가 중요한 역할을 함을 나타내고 있다. 전체적인 비소의 복구가 필요한 광물찌꺼기적치장 면적은 전체면적 중 Trigger value를 초과하는 7.1 ha(71,000 m<sup>2</sup>)이며, 이를 현장 조사 시 적용한 심토의 최대 심도 0.6 m까지 복구한다고 가정할 경우 복구량은 약 42,600 m<sup>3</sup> 정도로 평가되었다.

카드뮴의 경우 전체 면적 중 Trigger value를 초과하는 면적(붉은색 countor)은 약 20% 정도(약 1.5 ha) 인 것으로 나타났다(Fig. 5). 표토 및 심토를 비교하였을 경우 Precaution value를 초과하는 면적의 경우 표토는 약 5% 정도(약 0.4 ha)이나 심토의 경우 약 20% 정도 오염된 것으로 나타났다. 표토 및 심토의 경우 A 구역보다 B, C 구역에서 상대적으로 Trigger value를 초과하는 면적이 넓게 나타났다.

카드뮴의 농도가 Trigger value인 10 ppm을 초과하는 지역의 분포 양상을 살펴보면 비소의 고농도 분포양상과

거의 유사한 분포 형태를 나타내고 있다. 카드뮴의 최대 농도는 약 42 ppm으로 광물찌꺼기 내 평균 비소의 농도 45 ppm에 거의 근접하고 있다. 카드뮴 오염 토양의 분포 양상을 살펴보면 선광시설에서 수계를 따라 하류방향(화살표 방향)으로 상대적으로 고농도의 카드뮴 오염 토양이 분포하고 있는 양상을 나타내고 있으며 이는 비소와 마찬가지로 선광시설 앞쪽에 분포하고 있던 광물찌꺼기가 홍수 등으로 수계를 따라 유실되면서 생긴 양상으로 판단된다. 또한, 비소의 경우와 마찬가지로 고농도의 카드뮴 오염 토양은 B, C 구역에 주로 분포하며 A 구역에는 거의 분포하지 않는데 이는 광물찌꺼기적치장을 관통하는 하천이 A 구역으로의 고농도 카드뮴의 이동을 차단하여 생긴 현상으로 판단된다. 전체적인 카드뮴의 복구가 필요한 광물찌꺼기적치장의 면적은 전체면적 중 Trigger value를 초과하는 1.5 ha(15,000 m<sup>2</sup>)이며, 이를 현장 조사 시 적용한 심토의 최대 심도 0.6 m까지 복구한다고 가정할 경우 복구량은 약 9,000 m<sup>3</sup> 정도로 평가되었다.

### 3.3. 광물찌꺼기 중금속 분석 결과

광물찌꺼기의 경우 Table 4와 같이 비소 및 카드뮴이 Trigger value를 모든 시료에서 초과하였으며, 특히 비소의 경우 평균 농도가 2,950 ppm으로 매우 높은 오염도를 가지고 있는 것으로 나타나 광물찌꺼기에 대한 적절한 오염복구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 납과 수은은 일부 시료에서 Precaution value를 초과하였으나 모두 Trigger value 이하의 낮은 농도로 검출되었다. 수은의 경우 광물찌꺼기 내 수은 농도가 A 구역에서 검출된 수은의 농도보다 평균적으로 낮은 경향을 나타내고 있다. 따라서 A 구역의 높은 수은 농도는 외부의 고농도 수은의 유입이 주원인으로 추정된다. 따라서 광물찌꺼기적치장 뿐만 아니라 수은 농도가 높은 A 구역 인근 지역도 수은으로 오염되었을 가능성이 있는 것으로 판단되며 이러한 수은의 오염양상 파악은 추가적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

**Table 4.** Heavy metal concentration of mine tailing (Unit : mg/kg)

Category	Hg	As	Cd	Cu	Pb	Zn
Precaution value	2	6	3	100	100	300
Trigger value	10	30	10	500	500	600
Zone A	3.77	3298.33	50.93	68.53	103.00	38.33
Zone B	0.71	2261.67	34.10	33.90	55.40	15.49
Zone C	3.26	3289.67	50.77	48.40	77.53	33.16
Average	2.58	2949.89	45.27	50.28	78.64	28.99



#### 4. 결 론

본 연구에서는 몽골 버려지역의 수은 등 중금속 오염에 대한 현장 정밀조사 및 중금속 분포 현황에 대해 분석하였다. 현장 정밀조사에서는 광물찌꺼기적치장 구역 확인, 토양 및 광물찌꺼기 오염도 조사를 실시하였고 이러한 결과를 바탕으로 수은 등 중금속 오염토양의 복구면적 및 복구량을 산정하였다.

먼저 오염양상을 분석한 결과 수은 및 기타 중금속의 오염원은 다른 것으로 분석되었다. 몽골의 기준치를 초과하는 비소 및 카드뮴의 경우 선풍의 부산물인 광물찌꺼기로 인해 토양 오염에 영향을 미친 것으로 분석되었다. 하지만 수은의 경우 일부 지역(A 구역) 토양 내에서 광물찌꺼기 내 수은 농도를 크게 초과하여 고농도 수은 오염의 원인이 외부적 요인에 의한 것일 확률이 높은 것으로 분석되었는데 이는 과거 광물찌꺼기적치장 주변 수은 유출 사고로 인한 영향으로 추정된다. 또한 수은 및 중금속의 오염 분포 양상은 수계의 영향을 크게 받는 것으로 나타났는데 수계를 경계로 고농도의 수은 및 중금속의 이동이 차단되는 양상을 나타내었다.

수은 오염토양의 복구면적은 약 1.8 ha(18,000 m<sup>2</sup>) 정도이며 복구량은 심토의 최대 심도 0.6 m를 기준으로 약 10,800 m<sup>3</sup>이다. 복구면적은 몽골의 수은오염 기준치인 Trigger value를 초과하는 면적 및 주변 오염토양을 기준으로 산정하였다. 수은과 마찬가지로 본 지역에서는 비소와 카드뮴의 오염도가 기준치를 초과하였으며 특히 비소의 경우 약 95% 이상의 면적 7.1 ha(71,000 m<sup>2</sup>)에서 Trigger value를 초과하여 비소의 오염이 상당히 심각한 것으로 나타났다. 따라서 비소의 경우는 향후 수은과 함께 적절한 복구를 위한 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

또한 광물찌꺼기적치장 내 하천퇴적토의 경우도 오랜 기간 동안 주변의 오염된 토양이 퇴적되어 수은 및 비소 등 중금속의 오염 농도가 높을 가능성이 있다. 또한 오염된 하천퇴적토가 하천을 따라 이동하여 하류 지역 토양이 하천을 중심으로 오염되었을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 향후 하천을 중심으로 하천퇴적토 및 주변 농경지에 대한 정밀조사도 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.

#### 사 사

본 논문은 한국광해관리공단의 자체사업비로 수행되어 작성되었습니다.

#### References

- Jung, J.H., Kang, B.S., Kim, C.Y., Lee, K.S., Hwang, T.Y., Kim, G.T., Park, J.S., Park, S.Y., Kim, D.S., Lim, U.T., and Sagong, J., 2005, Blood Pb, urine Cd and health assessment of residents in the vicinity of abandoned mines in Gyeongsangbuk-do, *Korean J. Prev Med*, **17**(3), 225-237.
- Jung, M.C., Kim, J.U., Kim, Y.G., and Kim, H.S., 2008, Chemical presence of mercury contaminated soil, *Korea Society of Waste Management Autumn Conference Proceedings*, p.170-172.
- Jung, S.W., 2012, Assessment of the level of mercury contamination from some anthropogenic sources in Ulaanbaatar Mongolia, Master of Science Thesis, *Department of Energy Resources Engineering, Seoul National University*.
- Jung, Y.J., Yun, T.K., Han, S.R., and Son, Y.H., 2013, Soil analysis and demonstration site design of soil improvement experiment for combatting desertification in Mongolia, *Korean Institute of Forest Recreation Conference Proceedings*, p.375-378.
- Kim, D.R., Kim, J.S., and Ban, S.j., 2010, A study on the characteristics of soil in the asian dust source regions of Mongolia, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, **26**(6), 606-615.
- MIRECO (Mine Reclamation Corporation), 2011a, Development of physical, chemical and biological purification technology of heavy metal contaminated agricultural land.
- MIRECO (Mine Reclamation Corporation), 2011b, Mongolia mine hazard investigation and information construction project.
- Park, J.B., 2012, Analysis of heavy metal contamination in Ulaanbaatar, Mongolia, *Korean Geosynthetics Society Spring Conference Proceedings*, p.91-96.
- Park, J.S. and Lee, M.K., 2002, A study on contents of heavy and trace metal of the agricultural products around mines located in Chollanam-Do -with Yeongam, Boseong, Gokseong, Yecheon Gun in the center-, *Korean J. Food Nutr*, **15**(1), 64-69.