

소화기 사격장의 사격에 따른 중금속 오염도 비교(I)

홍성태 · 현재혁*

충남대학교 환경공학과

The Comparison of the Relationship between the Gunfire Shot and Its Resulting Heavy Metal Pollution Rate

Sung Tae Hong · Jae Hyuk Hyun*

Department of Environmental Engineering Chungnam University Daejeon, Korea

ABSTRACT

The following research was initiated in order to compare the relationship between the amount of gunfire shot and its resulting heavy metal pollution rate. The research was conducted at two firing ranges located inside a military unit stationed in the rear strategical area, where one full distance firing range is used by soldiers in active service, and the other is used by recruits and reserves. The heavy metal pollution rate was measured also on water sample collected from the target zone while raining. Based on values such as the real amount of gunshot fired, amount of heavy metal in the soil of the target zone, and the degree of heavy metal pollution for each firing range, the research showed that although pollution rate was higher when more gunshots were fired, there was no close correlation between the two. The water samples showed that this might result from the soils containing heavy metals eroded and transported by rain due to the target zone having no vegetation.

Key words : Heavy metal, Firing range

1. 개 요

유해 중금속은 유기오염물질과는 달리 분해되지 않고 생태환경 내에서 잔류하며, 특히 토양지하수 등 오염매질의 특성에 기인한 지구화학적 반응에 의해 이동 및 분산되어 주변 생태계에 광역적이고 치명적인 환경문제를 일으킨다. 국내의 오염 분포는 공장 및 산업지역, 폐기물 매립소각지역, 금속광산 및 제련소지역, 기타 토지개발지역 등으로 매우 다양한 지역에서 발생하고 있어 사회적인 큰 문제로 부각되고 있다(Park et al., 2008). 특히, 납 탄환을 사용하는 사격장 주변토양은 주성분인 납(Pb)을 비롯하여 구리(Cu), 아연(Zn) 및 안티모니(Sb) 등의 중금속에 심각하게 오염되는 것으로 알려져 있고, 국내의 경우 이에 대한 철저한 관리와 폐사격장 오염토양에 대한 조치가 부족한 실정이다(Ministry of Environment, 2005). 국내

에서는 약 60여 곳의 주요 군 사격장이 있으나, 사격장에서 배출되는 오염물질의 종류에 의한 토양 및 지하수의 오염상태 및 거동에 대한 연구는 드물게 보고되었다. 일반적으로 사격장에서 가장 많이 자연계로 유출되는 오염물질은 탄두 및 뇌관에 사용되는 중금속과 화약물질이다(Jenkins et al., 1998). 사격장 토양오염을 야기하는 중금속은 사용하는 포탄 탄두의 재질과 종류 등에 따라 다르다(Pennington, 2001). 예를 들어, 소총사격장에서는 총탄 내부 충전물질인 납의 오염이 심각하고 화약물질이 검출되지 않는 반면, 대규모 포사격장에서는 중금속과 화약류의 복합오염이 일반적이다(Ministry of National Defense, 2002). 군 소화기 사격장 중금속 오염원은 사격 후에 발사되는 소총, 권총 등의 탄두에 의해 발생하게 된다. 탄두는 5.56 mm M16 보통탄두가 Pb 69%, Cu 28%, 기타 3%, 권총탄두가 Pb 85%, Cu 14%, 기타 1%로 구성되

*Corresponding author : jayhh@cnu.ac.kr

Received : 2014. 11. 20 Reviewed : 2014. 12. 5 Accepted : 2014. 12. 5

Discussion until : 2015. 2. 28

어 있어 소화기 사격장의 주 오염원인 중금속은 납과 구리이다. 군 사격장에서 토양 중 중금속의 존재형태는 여러 가지로 나타날 수 있는데, 일반적으로 탄두의 작은 파쇄 알갱이 형태인 중금속 분말형태와 탄두로부터 용출되어 토양입자에 흡착 또는 침전물 형태의 복잡한 화합물로 존재한다(Ju, 2011). 군은 현재 운용하고 있는 사격장 및 폐쇄사격장의 피탄지 주변 중금속 오염토양 확산 방지 및 효율적인 관리를 위해 ‘친 환경 사격장 유형별 관리 방안’ 모델을 제시하고 현재 사격중인 사격장은 피탄지 주변 오염토양이 폭우, 기상변화로 주변 및 하부지역으로 이동 확산을 방지토록 노력하고 있다(Republic of Korea Army, 2013). 이에 따라 소규모 사격장이 많이 있는 후방 지역의 부대들이 관리하는 영점사격장 및 예비군사격장과 현역병이 주로 사용하는 실거리사격장을 선정하여 년(年)간 사격량을 확인하고, 현재 오염도를 확인하여 사격장 구분에 의해 오염도 차이가 있는지 확인하여 보았다.

2. 실험대상 선정 및 실험방법

본 실험에 사용된 사격장은 후방지역에 위치한 소화기 사격장으로 현역사격장은 실거리 사격장으로 피탄지가 100 m, 200 m, 250 m로 나뉘어져 있으며 현역병들의 사격 수준 유지를 위해 사용하는 사격장이다. 피탄지는 깎풀로 덮여 있고 근처에 민가는 없으며 옆으로 실개천이 있으나 평상시에는 피탄지로부터 유입되는 물은 없으며 우천 시에만 유입되고 있다. 신병사격장은 신병들의 영점 및 사격훈련을 위해 주로 사용하며, 현역병들도 영점을 위해 사격을 하는 사격장으로써 피탄지에 배수로는 형성이 되어 있으나 우천 시에만 물이 흐르고 있다. 예비군훈련장은 도시 외곽에 위치한 부대에 있는 사격장으로써 예비군 교육 시 사격을 실시하며 피탄지에 배수로는 형성이 되어 있으나 우천 시에만 물이 흐르고 있다.

실험 분석을 위하여 선정된 세 곳 사격장 토양은 피탄지 지역에서 오염의 개연성이 높은 지점인 탄두에 의해 표토가 일부 유실된 부분 1개소를 선정하여 30 cm 깊이

에서 모종삽을 이용하였으며, 1개 지점에서는 가운데를 중심으로 1 m 이내에서 4방위로 5개 시료를 접시에서 혼합하여 폴리에틸렌비닐에 시료명을 기입하고 토양이 약 500 g 정도가 되도록 채취하였다. 초기강우에 의한 중금속 유출을 확인하기 위해 강우가 시작된 지 2시간 후에 피탄지를 거쳐 포장이 되지 않은 배수로를 통해 흘러내리는 우수를 폴리에틸렌 용기를 이용 각 1 L씩 채수하였고 채취한 토양은 풍건 후 2 mm 체선별 한후 토양 5 g을 원심분리(HA1000-6, 5000 rpm, 10 min) 후 분리된 고형시료를 105°C로 건조하고 방냉한 후 지퍼백에 시료를 담아 ICP처럼 정밀하고 정확한 측정 결과를 얻을 수는 없으나, 시료의 전처리 과정이 필요 없거나 매우 간단하여 빠른 실험결과를 얻을 수 있는 휴대용 XRF로 토양 중 중금속 농도를 측정하였으며 실험과정은 Fig. 1과 같다. 강우 내 중금속 오염도는 수질오염공정시험기준 제2014-163호에 의거하여 실험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. XRF 측정

오염지역에 대한 굴토작업이 적절하게 수행되었는지 그리고 각 공정별로 발생하는 처리대상 토양의 농도를 확인하는 모니터링 작업은 정화작업을 수행하는데 중요한 일과이다. 오염범위가 넓고, 처리해야할 오염토양이 많을 경우 매일 발생하는 시료를 채취하고, 풍건과 전처리 작업을 걸쳐 기기분석 후 결과를 도출하는 데는 상당한 시간과 비용이 수반된다(Choi, 2008). 본 연구에서는 신속한 결과 값을 파악하기 위한 목적으로 사용하는 장비로서 체질에 의한 시료의 균질화와 간단한 전처리 후 지퍼 백에 담아 습윤 상태로 측정하였다.

3.2. 사격장별 토양 및 수질시료의 중금속 농도 실험결과

사격장별 토양의 중금속 및 수질시료내의 중금속 농도는 Table 1과 같이 검출되었다. 토양에 대한 오염결과는 납(Pb)의 경우는 신병사격장이 2,848 mg/kg, 예비군사격장

Table 1. Heavy metal pollution rate of soil and water samples for each firing range

	Soil (mg/kg)			Water sample (mg/L)		
	Active service firing range	Recruits firing range	Reserves firing range	Active service firing range	Recruits firing range	Reserves firing range
Lead (Pb)	2,848	5,562	4,985	0.074	0.236	1.342
Copper (Cu)	272	435	286	0.044	0.094	0.307
Zinc (Zn)	130	169	204	-	-	0.049

Table 2. Yearly gunshots fired for each shooter type

	Active service firing range	recruits firing range	reserves firing range
Ammunition usage (Rounds)	160,000	369,000	73,000
Shooter type	Firing range	Zero range	Zero range
Target zone	3site	1site	1site

Table 3. Heavy metal containing rate for each ammunition (Army Consolidated Logistics School, 2009)

	Bullet total weight (g)	Weight / ratio contain each heavy metal			
		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
7.62 mm normal ammunition	9.56	7.37 / 77	0.30 / 3	0.03 / 0.3	1.86 / 19
9 mm pistol ammunition	7.45	5.99 / 80	1.39 / 19	0.07 / 1	-
45 Caliber pistol ammunition	14.9	12.7 / 85	2.09 / 14	0.11 / 0.7	-

5,562 mg/kg, 현역사격장 4,985 mg/kg 순으로 오염이 되어 있었고, 구리(Cu)는 신병사격장이 435 mg/kg으로 월등이 높았고 납과 같이 예비군사격장 286 mg/kg, 현역사격장 272 mg/kg 순으로 오염이 되어 있었으며 아연은 큰 차이 없이 오염이 되어 있었는데 사격량이 가장 많은 신병사격장이 토양내 중금속 오염도가 가장 높은 것으로 확인되었다. 수질시료 분석결과에 의하면 납(Pb)이 예비군사격장에서 1.342 mg/L, 신병사격장 0.236 mg/L, 현역사격장이 0.074 mg/L가 나왔으며, 구리(Cu)는 예비군사격장에서 0.307 mg/L, 신병사격장 0.094 mg/L, 현역사격장이 0.044 mg/L가 나왔으며, 아연(Zn)은 예비군사격장에서만 0.049 mg/L가 나왔다. 수질의 중금속 오염도 결과는 예비군사격장이 가장 높게 나왔고 신병사격장, 현역사격장의 순으로 결과가 나왔다.

3.3. 소화기 사격량과 토양 오염결과

소화기 사격장에서 일반적으로 사용하는 탄약은 5.56 mm 탄과 소량의 권총탄으로서 탄약 사용량은 Table 2와 같이 부대 인원수에 따라 많은 차이가 발생하고 있다. 또한 Table 3의 탄종별 탄두 중금속 함량을 참고하여 가

Table 4. Total amount of heavy metal influx for each firing range / the amount of heavy metal influx for each unit target zone (based on distance and firing pit)

	Active service firing range	Recruits firing range	Reserves firing range
Lead (Pb)	394 / 13.1	908 / 90.8	180 / 18
Copper (Cu)	157 / 5.2	362 / 36.2	72 / 7.2
Zinc (Zn)	17.6 / 0.6	41 / 4.1	8 / 0.8

장 많이 사용하는 5.56 mm 보통탄 으로 사격량을 계산하면 Table 4와 같이 연간 사격장마다 유입되는 중금속의 양은 현역사격장이 약 570 kg, 신병사격장 약 1,311 kg, 예비군사격장이 약 260 kg가 된다. 그리고 현역사격장의 경우는 피탄지가 3곳, 영점사격장 및 예비군사격장은 피탄지가 1곳 이며 피탄지 마다 10개의 사로가 있어서 이 값을 통해 피탄지내 1개 사로당 유입되는 중금속의 양을 확인하였는데 현역사격장이 약 19 kg, 신병사격장 약 131 kg, 예비군사격장이 약 26 kg으로 신병교육장이 가장 많이 유입되고 있었다. 이렇게 확인된 중금속 유입량과 Table 5와 같이 현역사격장을 기준으로 하여 중금속 유입

Table 5. Pollution ratio of soil and water in each firing range (Reference : firing range used by soldiers in active service)

	Amount of heavy metal influx			Degree of heavy metal in the soil			Degree of heavy metal in the water sample		
	Active service firing range	Recruits firing range	Reserves firing range	Active service firing range	Recruits firing range	Reserves firing range	Active service firing range	Recruits firing range	Reserves firing range
Lead (Pb)	1.0	6.9	1.4	1.0	2.0	1.8	1.0	3.2	18.1
Copper (Cu)	1.0	7.0	1.4	1.0	1.6	1.1	1.0	2.1	7.0
Zinc (Zn)	1.0	6.8	1.3	1.0	1.3	1.6	-	-	-

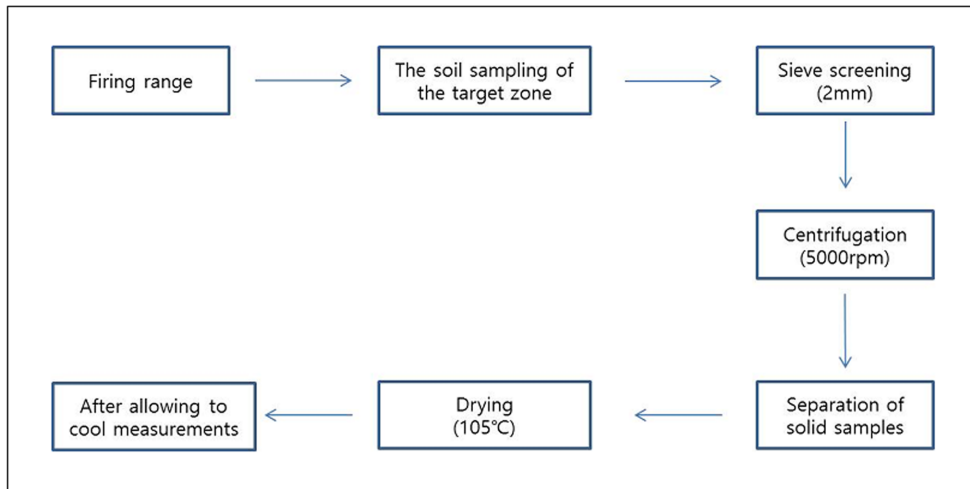


Fig. 1. Process of heavy metal pollution rate experiment.

량, 토양 및 수질 내 오염도 비율을 비교해 보았는데 토양의 중금속 농도는 신병사격장이 현역사격장의 약 7배 예비군사격장의 약 5배 많은 양의 중금속이 유입됨에도 불구하고 중금속 오염농도는 현역사격장의 약 2배 예비군사격장의 약 1.1배였고, 수질속의 중금속 오염 농도는 신병사격장보다 사격량이 많은 현역사격장보다는 약 3배가 높았으나 예비군사격장은 반대로 납(Pb)은 5.7배, 구리(Cu)는 3.3배 높아짐을 확인할 수 있었다. 즉 중금속에 의한 토양오염은 탄두의 작은 파쇄 알갱이 형태인 중금속 분말형태와 탄두로부터 용출되어 토양입자에 흡착 또는 침전물 형태의 복잡한 화합물로 존재하여(Ju, 2011) 사격량과 큰 관계가 없음을 확인하였고 강우는 토양 중 입자성 중금속이나 흡착된 중금속들을 부유토사와 함께 지표상으로 이동시키는데 수질시료 내 중금속 농도는 예비군사격장이 다른 사격장보다 피탄지가 풀이 없어서 강우 초기에 중금속에 의해 오염된 토양의 유실이 많은 것으로 판단되었다.

4. 결 론

이 실험을 통하여 사격량 과 중금속 오염의 상관관계는 크게 나타나지 않았음을 확인하게 되었다. 사격장이나 탄종에 따라 오염도가 결정되는 것 보다는 target zone의 토양특성이나, 식생의 분포 등 풍화와 관련된 항목들에 의해 오염도가 좌우되는 것으로 분석되어 이에 대한 대책을 수립하는 것이 더 필요할 것으로 판단되므로 사격장내 토성과 식생을 면밀히 관찰하여 중금속 오염과의 상관관계를 정립할 필요가 있다.

사 사

본 연구는 대전녹색환경지원센터 2012년도 연구 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Army Consolidated Logistics School, 2009, Supplementation teaching materials of ammunition structural engineering
- Choi, S.-J., 2008, A Study on the Remediation of Lead Contaminated-Soils at Clay
- Pigeon Shooting Range by Soil Washing, M.S. Dissertation, University of Inha, Incheon, Korea.
- Jenkins, T. F., Walsh, M. E., Thorne, P. G., Miyares, P. H., Ranney, T. A., Grant, C. L., and Esparza, J. R., 1988, Site characterization for explosives contamination at a military firing range impact area. U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory. Special Report 98-9
- Ju, E.-S., 2011, A study on the characteristics of contaminated soil and the prevention of soil contamination dispersion of a fire-arms shooting range
- Ministry of Environment, 2005, The development of hybrid electrokinetic remediation technique using solar energy on shooting range soils contaminated by heavy metals, 40
- Ministry of Environment, 2014, Official test method of water pollution 143-2014
- Ministry of National Defense, 2002, The research of contaminated soil examine and pollution diffusion at military shooting range

Pennington, J. C., 2001, Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: Interim Report 1, U.S. Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, ERDC TR-01-13

Republic of Korea Army, 2010, The research of soil environ-

ment management at military shooting range

Seok-hyo Park, Bum-han Bae, Min-kyung Kim, Yoon-young Chang, 2008, Distribution and behavior of mixed contaminants, explosives and heavy metals, at a small scale military shooting range, *J. Kor. Soc. Water Qual.*, **24**(5), 523-532.