

건설폐토석 재활용 유해성 관리를 위한 미규제 중금속 함량특성에 관한 연구

위성도¹ · 김남석¹ · 황용우² · 최영훈³

¹인하대학교 순환경제환경시스템전공

²인하대학교 환경공학과

³(주)이에스온

A Study on the Content Characteristics of Unregulated Heavy Metals for Recycling Management of Hazardous Substances in Construction Waste Stone

Sung Do Wee¹ · Nam Seok Kim¹ · Yong Woo Hwang² · Young Hun Choi³

¹Program in Circular Economy Environmental System, Inha University, Korea

²Department of Environmental Engineering, Inha University, Korea

³ES-ON Inc.

ABSTRACT: The purpose of this study is to consider the recycling management of hazardous substances through the confirmation of the concentration characteristics of the unregulated heavy metals total content in construction waste stones generated at new construction sites. The total content of Mn, Ba, Sb, Se, Be and V was analyzed in accordance with the current soil contamination test standards in 25 construction earth waste sample. As a result of the analysis, the Mn concentration of the construction waste earth was (174.24~1109.4) mg/kg and Ba concentration was (29.08~609.05) mg/kg, and these detection values were higher than concentration of domestic natural background soil and reference soil. In addition, the Ba concentration was confirmed as closed or exceeded to concentration of the content regulatory standard of overseas waste(500 mg/kg). It is judged that if the analysis evaluation of the environmental impact that may occurred during recycling process is conducted based on chemical and physical characteristics evaluation, it will contribute to improving the quality and utilization of waste earth.

Key words: Waste Earth, Recycling, Content test method, Unregulated Heavy Metals

요약문: 본 연구는 신축 건설현장에서 발생하는 건설폐토석의 미규제 중금속 전함량 농도특성 확인을 통해 재활용 유해성 관리에 대한 고찰을 하는데 그 목적이 있다. 25개 지점의 건설폐토석 시료에서 Mn, Ba, Sb, Se, Be, V 전함량 특성을 현행 토양공정시험기준에 준하여 분석하였다. 분석 결과, 건설폐토석의 Mn 농도는 (174.24~1109.4) mg/kg, Ba 농도는 (29.08~609.05) mg/kg으로, 국내 자연배경토양 일부 및 본 연구의 배경토양 농도보다 상대적으로 높게 검출되었다. 또한 일부 지점에서 Ba의 검출농도는 국외 폐기물 함량규제 기준치(500 mg/kg)에 근접하거나 초과하는 수치로 확인되었다. 이러한 화학적 특성평가와 함께 물리적 특성을 추가로 평가하여, 이를 기반으로 재활용 과정에서 발생할 수 있는 환경영향에 대한 분석평가를 진행한다면 건설폐토석의 품질과 활용도를 높이는 데 기여할 것으로 판단된다.

주제어: 건설폐토석, 재활용, 함량시험법, 미규제 중금속

1. 서론

재개발과 신도시 계획이 늘어남에 따라 건설현장이 많이 생겨나게 되었고, 건설폐기물의 발생량도 늘어나게 되었다. 건설폐기물은 국내 전체폐기물 연 발생량의 44.2%~47.4%를 차지하고 있고, 그중 폐콘크리트, 폐아스팔트콘크리트, 건설폐토석 등으로 구성된 건설폐재류는 약 87%로 대부분을 차지하고 있다.

환경부의 「건설폐기물의 처리 등에 관한 업무지침」에 따르면, 건설현장에서 발생한 폐기물은 재활용을 우선으로 시행하게 되어있고, 재활용 할 수 없을 경우 폐기물처리를 하게 되어 있다. 폐토석을 재활용하기 위해서는 토양

오염공정시험에 따른 22가지 유해물질항목 검사 등을 진행하여 오염우려 기준치 이하로 확인되었을 때, 성·복토재 등으로 재활용이 가능하며, 폐기하고자 하는 경우에는 폐기물공정시험기준에 따른 11가지 유해물질항목을 검사하여 분석결과에 따라 폐기물을 처리한다.

복토는 악취, 냄새, 비산 및 우수침투 방지를 위한 매립 이후의 작업으로, 일일, 중간 및 최종 복토로 구분될 수 있으며, 성토는 구조물공사를 할 때 설계높이까지 흙을 쌓거나 토공사에서 부지조성 및 제방쌓기 등을 위한 흙을 쌓아 올리는 작업이다. 성·복토재 등으로 활용이 되는 이러한 순환토사는 공급량에 비해 수요가 현저히 떨어지는 상황이며, 재활용 용도 또한 성·복토재 외에 뒤채움용 및 되메

Table 1. Mn, Ba, Sb, Se, Be 및 V 함량 농도 검출량 [mg/kg]

항목	Mn	Ba	Sb	Se	Be	V
평균	548.24	226.33	4.05	ND	0.74	38.84
최소	174.27	29.08	0.27	ND	ND	12.44
최대	1109.04	609.05	32.07	ND	1.32	64.51

우기용으로 한정되어 있는데, 이는 활용가능한 용도의 제한성과 부정적인 인식으로 인해 수요가 떨어지는 것으로 선행 연구에서 보고되었다. 또한 이러한 재활용을 하는 과정에서 폐토석이 오염되어 있다면 강수에 의해 토양, 지하수 및 지표수 등 다른 환경 매체로 오염물질이 이동되어 환경을 오염시킬 수 있다. 이에 유해성을 최소화한 양질의 순환토사 활용과 용도개발을 위해서는 세부적인 유해물질 항목분석이 필요하다고 판단된다.

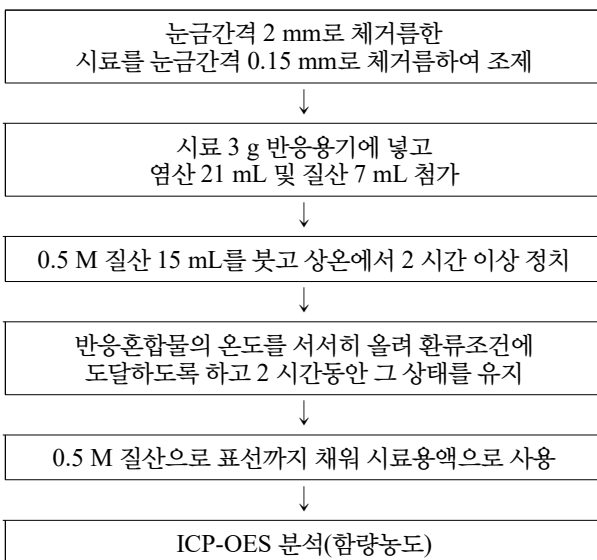
한편 일본, 미국 및 독일 등의 국외에서는 위해성 및 인간에 미치는 독성 등을 고려하여 폐기물 유해물질 검사에 대한 규제기준을 강화하고 항목을 확대하는 실정이며, 국내의 규제기준은 해외 규제기준과 비교하여 한정되어 있기 때문에 국내에서도 다양한 산업군의 슬러지, 소각재, 분진 등과 같은 폐기물 시료군에 대한 국내 미규제 유해물질 농도특성 및 시험방법에 대한 연구가 진행되고 있다.

이에 본 연구는 재활용 목적 건설폐토석을 대상으로, 순환토사 품질개선 및 활용용도의 개발을 위한 미규제 중금속 Mn, Ba, Sb, Se, Be 및 V 함량특성 확인을 하였다. 또한 국외 폐기물 함량 유해기준 및 토양오염기준과 농도비교를 하여 유해수준 확인을 목적으로 하였다.

2. 실험범위 및 방법

2.1 실험범위

토양오염공정시험기준(이하 함량시험법)에 준하여 25

**Fig. 1.** 토양오염공정시험기준-중금속류 분석절차

개 지점의 건설폐토석 내 중금속(Mn, Ba, Sb, Se, Be, V) 검출량을 확인하였다.

2.2 실험방법

함량시험법은 국내 토양오염공정시험기준 중금속에 준한 것으로, 폴리에틸렌제 바트(vat)위에 시료를 펼쳐 통풍이 잘 되도록 하고 직사광선이 닿지 않은 장소에서 풍건시킨 후 파쇄하였다. 이후 10 메쉬(눈금간격 2 mm)표준체와 100 메쉬(눈금간격 0.15 mm) 표준체로 체거름하여 분석용 시료를 조제하였다. 250 mL 반응용기에 제조한 분석용 시료 3 g을 0.5 mL~1 mL 정제수로 적신 후, 염산 21 mL+질산 7 mL를 가하여 섞어주었다. 흡수용기에 0.5 M 질산 15 mL를 첨가 후 환류냉각관과 흡수용기를 반응용기에 연결시킨 후 상온에서 2시간 이상 정치시켰다. 이후 환류 조건까지 온도를 올려 2시간동안 그 상태를 유지시키고, 냉각시킨 후 흡수용기내에 있는 내용물을 반응용기에 첨가하였다. Whatman No.40 여과지를 활용하여 고형분이 상대적으로 적은 위층을 100 mL 부피플라스크에 여과하고, 0.5 M 질산으로 표선까지 채워 시료 용액으로 하였다.

3. 결과

Mn, Ba, Sb, Se, Be 및 V 등 중금속 6종에 대한 함량 농도를 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 검출한계 이하인 농도는 ND(Non-Detected)로 표기하였고 최소값과 최대값, 평균값을 Table 1에 나타내었다. Mn의 함량농도 평균 및 검출농도는 각각 548.24(174.27~1109.04)mg/kg 이었고, Ba 226.33 (29.08~609.05) mg/kg, Sb 4.05(0.27~32.07) mg/kg, Se ND(ND), Be 0.74(ND~1.32)mg/kg, V 38.84 (12.44~64.51) mg/kg 농도가 검출되었다. 또한 본 연구에서 채취한 배경토양에서 검출된 농도와 비교 결과는 Fig. 3과 같다.

일반적으로 Mn의 자연 함유량은 850(100~4000) mg/kg으로 범위가 매우 넓은 것으로 보고되었으며, 본 연구의 배경토양 Mn 농도는 평균 약 140 mg/kg으로 검출되었다. 또한 선행연구에서 왕수분해를 통해 검출된 발전소 근처 표토 토양의 Mn 농도는 평균 502.9 mg/kg, 193.1 mg/kg~1047.4 mg/kg으로 확인되었다. 건설폐토석에서 검출된 Mn의 농도는 본 연구의 배경토양에서 검출된 Mn 농도에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내었고 선행연구에서 확인된 배경토양이나 산업지 근처 토양의 Mn 검출농도와 유사한 농도가 확인되었다. 토양 내 중금속은 형태에 따라

토양 주위 사람 및 생물체에 영향을 미치는 위험도가 변하는데, 탄산염 결합 형태의 중금속과 산성비 조건에서 용출이 일어나는 교환가능 형태의 중금속이 존재할 경우 생물에게 영향을 미칠 가능성이 높다. 중금속이 Mn 산화물형태 등으로 존재할 경우 쉽게 용해되지 않고 불용성 물질로 이동과 축적을 하는 거동을 보여, 토양 내 Mn의 농도에 따라 다른 중금속의 용출 정도가 달라질 것으로 판단된다. 이로 보아 SM&T(Standards, Measurements and Testing program of the European Commission) 등을 활용한 추가 분석을 통해 세부적인 Mn 형태별 농도를 추후 확인할 필

요가 있을 것으로 사료된다.

Ba의 국외(오스트리아)규제기준 및 선행연구에서 제시된 권고 '규제기준(안)'은 500 mg/kg이며, 본 연구에서 검출된 배경토양 Ba 평균농도는 35.88 mg/kg이었다. 또한 선행연구 조사결과 Ba의 지역별 농도는 26.757 mg/kg~489.587 mg/kg, 평균 128.946 mg/kg으로 확인되었다. 일부 지점들의 건설폐토석에서 검출된 Ba의 농도는 규제 기준치에 근접하거나 초과하는 수준이었고, 상대적으로 높은 수준의 농도값으로 확인되었다. Ba의 국외 토양우선관리대상물질 규제기준으로 확인해 본 결과 160 mg/kg~5500

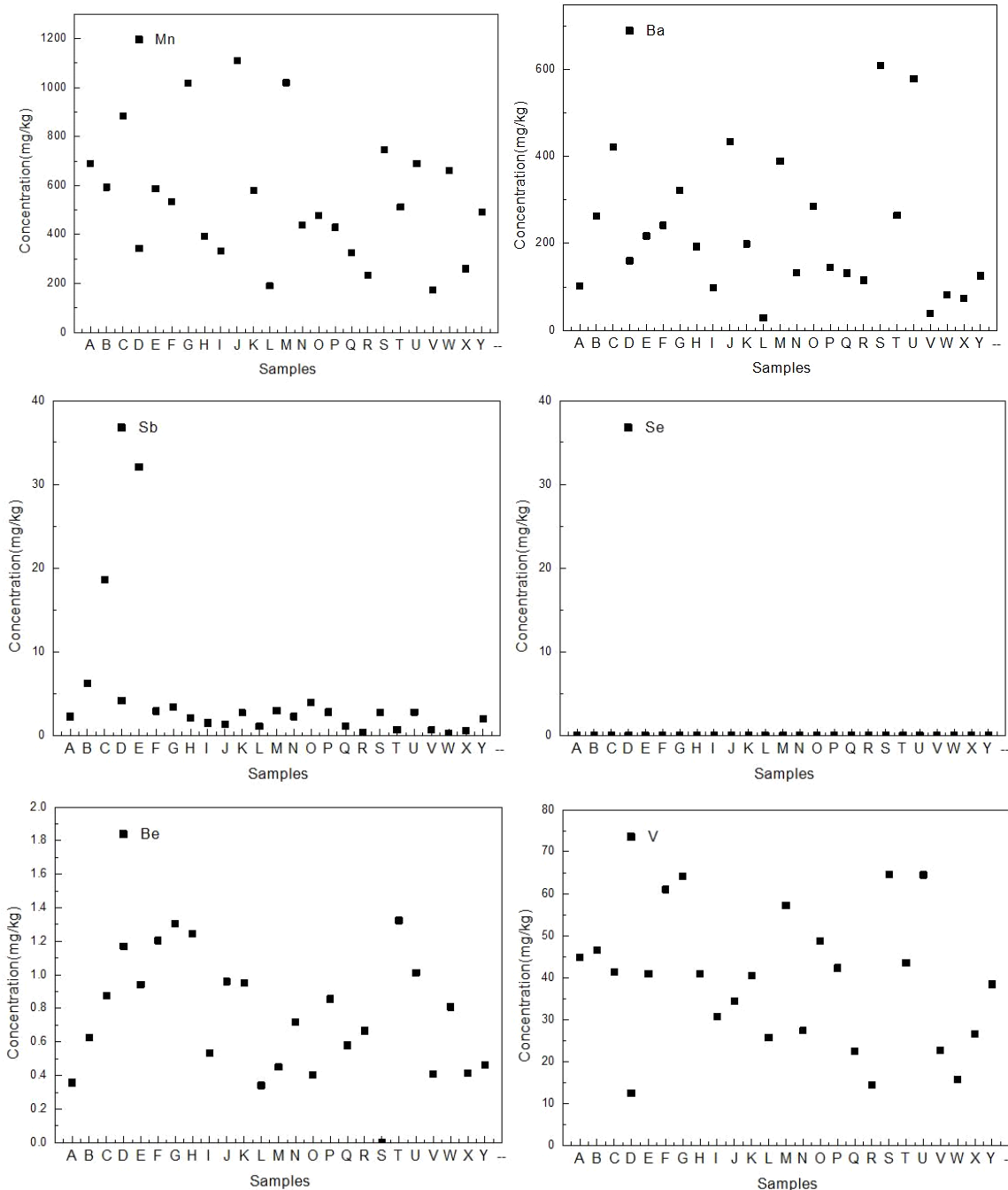


Fig. 2. Mn, Ba, Sb, Se, Be, V 함량농도 검출량

mg/kg으로, 국가별로 편차가 커 국내 토양특성과 가장 유사한 국외 기준을 선정하여 유해수준을 참고해야 할 것으로 보인다.

V의 검출량은 12.44 mg/kg~64.51 mg/kg 으로 배경토양 평균농도(15.16 mg/kg)보다 상대적으로 높은 검출량을 나타냈지만, 폐기물처리(200 mg/kg) 및 토양우선관리대상물질(42~550 mg/kg)에 대한 V의 국외 함량 규제기준과 비교해 보았을 때 건설폐토석에서 검출된 농도는 상대적으로 높지 않은 수준으로 판단된다. Sb와 Be에 대한 폐기물처리 및 토양우선관리대상물질에서 규제하는 기준은 Sb(50 mg/kg, 3~31 mg/kg), Be(5 mg/kg, 7~160 mg/kg)으로 다른 건설폐토석의 함량농도와 비교해 본 결과, 모두 상대적으로 높지 않은 검출량이다.

4. 결론

본 연구는 신축 현장 건설폐토석의 중금속 검출 함량농

도를 국외 폐기물 및 토양오염 규제 기준과 비교하여, 재활용시 유해성 관리를 위한 함량 농도특성을 도출하고자 하였다.

Mn 함량분석 결과, 174.27 mg/kg~1109.04 mg/kg이 검출되었다. 본 연구에서 진행한 배경토양 평균농도(140 mg/kg)보다 상대적으로 높았으나, 일반적으로 토양 내 망간 함량농도는 구조 및 장소에 따라 100 mg/kg~4,000 mg/kg으로 확인되었다. 이로 보아 SM&T등을 활용한 추가분석을 통해 건설폐토석 내 Mn형태 확인 및 중금속 용출 영향의 연관성과 관련된 추가적인 연구가 필요하다.

Ba 함량농도가 29.08 mg/kg~609.05 mg/kg으로, 대부분의 지점에서 배경토양 평균농도(35.88 mg/kg)보다 높게 검출되었음을 확인하였다. 또한 Ba은 국내 선행연구 권고기준(안)(500 mg/kg) 및 국외 폐기물처리(500 mg/kg) 규제기준과 비교 결과 일부 지점들 폐토석에서 규제기준에 근접하거나 초과하는 농도가 검출되었다. 이는 광택제, 증장비 드릴링 오일 첨가제나 페인트 등의 영향 등 인위적

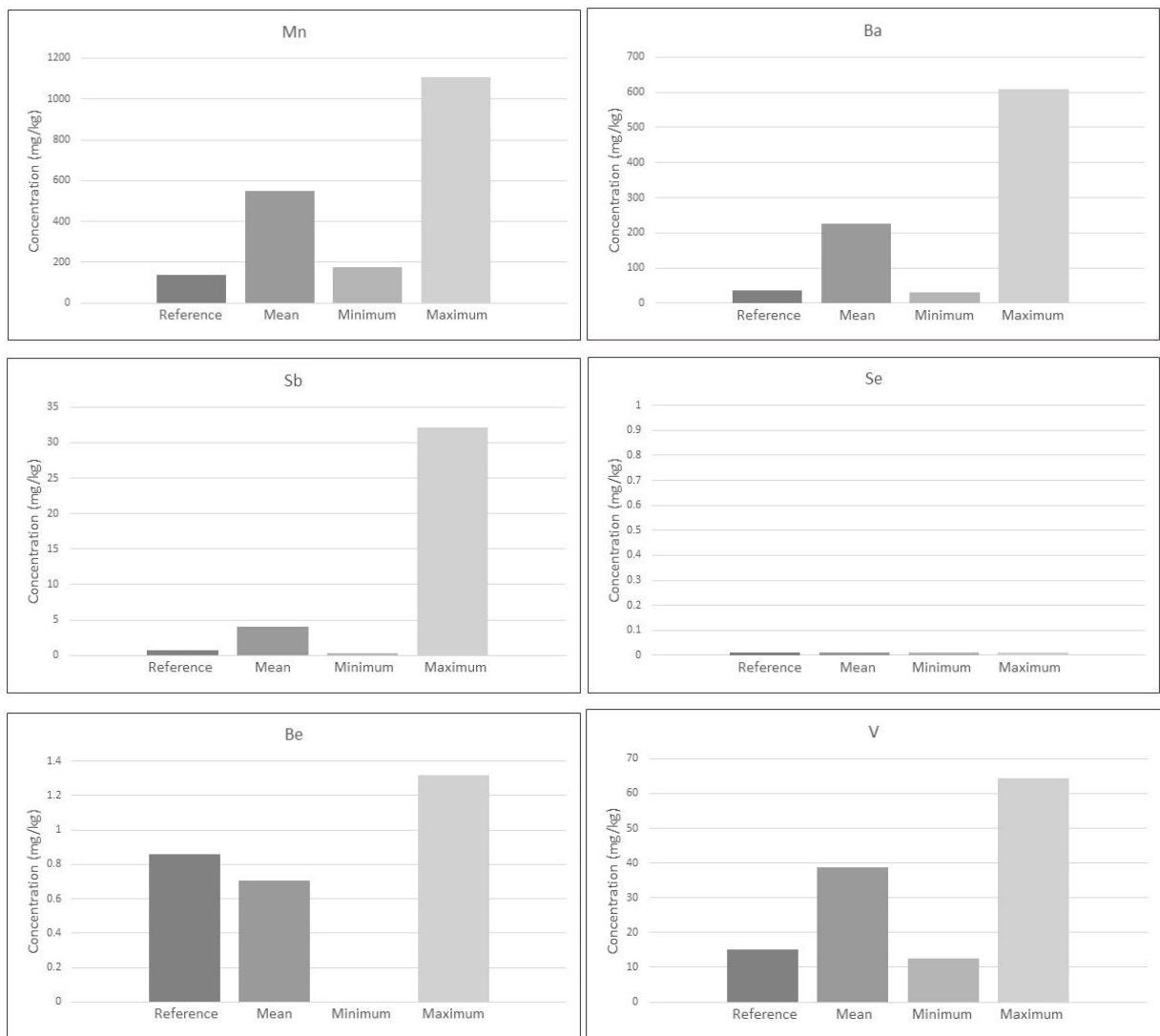


Fig. 3. 배경토양 평균농도와 건설폐토석의 Mn, Ba, Sb, Se, Be, V 평균, 최소, 최대 함량농도 비교

인 유입에 의한 영향일 가능성이 있을 수 있으나, 제주 등 일부 지역에서는 (17.2~1053)mg/kg의 농도가 검출되었다는 선행연구결과가 보고되어 후속 연구를 통해 상관관계 확인이 필요할 것으로 고찰된다.

Sb(0.27 mg/kg~32.07 mg/kg), Se(ND), Be(ND~1.32 mg/kg), V(12.44 mg/kg~64.51 mg/kg)는 국외 폐기물처리 및 토양우선관리대상물질 규제기준보다 전반적으로 낮은 농도를 나타내었다. 하지만 재활용장소의 토양 특성, 지하수 유무 등에 따라 주변 환경매체로의 영향 가능성을 배제할 수 없기 때문에, 더 많은 신축현장 건설폐토석의 중금속 검출농도 조사를 통해 함량농도의 추가 검토가 필요하다.

본 실험의 결과로부터, 적용 기준에 따라 건설폐토석의 일부 중금속 함량 검출농도가 해외 규제 수준까지 나타날 수 있음을 확인하였다. 이러한 검출농도가 인위적인 활동에 의한 오염인지 연관성을 확인하기 위해, 후속연구에서 공사 진행기간별로 발생하는 건설폐토석 추가조사를 통한 중금속 함량농도 특성 추이를 분석해야 할 것으로 고찰된다. 또한 순환토사의 품질관리와 활용용도 적합성 판단을 위해 건설폐토석의 화학적 특성 평가와 더불어 물리적 특성 평가가 추가로 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 미규제 중금속 화학적 특성분석 결과를 통해 재활용 과정에서 발생할 수 있는 환경영향에 대한 분석과정 및 평가를 추가적으로 진행하지 못한 한계점이 있다. 따라서 향후 미규제 중금속을 포함한 물리화학적 특성 평가를 기반으로 순환토사 재활용과정에 대한 환경영향 분석을 진행한다면 순환토사의 품질과 활용도를 높이는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구(지식기반 환경서비스 특성 확대학원사업)임.

REFERENCES

- 1) 환경부, 폐기물관리법(2022).
- 2) 환경부, 폐기물공정시험기준(2021).
- 3) 환경부, 토양오염공정시험기준(2022).
- 4) 환경부, 토양환경보전법(2020).
- 5) 국립환경과학원, 유해폐기물 목록화 및 배출특성 조사연구(III)(2010).
- 6) 전태완, 신선경, 이정아, 김형섭, “지정폐기물 중 미규제 중금속류의 용출 특성”, 대한환경공학회, pp. 213-217(2008).
- 7) 김영운, 김준범, 황용우, 박지형, “국내 기업들의 폐기물자원 순환에 따른 탄소배출량 및 경제성 분석”, 한국청정기술학회, 18(1), pp.111-119 (2012).
- 8) 김세라, “제주도 토양 중 중금속의 농도 및 화학적 형태”, 제주대학교 산업기술대학원 석사학위논문(2008).
- 9) 전태완, 신선경, 이정아, 김형섭, 박종현, 김영식, “사업장 폐기

- 물의 중금속류 배출 특성”, 한국대기환경학회, pp. 1229-1232 (2007).
- 10) 이홍길, 김지인, 노희정, 박정의, 김태승, 윤정기, “농경지 및 공장지역 토양 내 중금속 존재형태와 토양 특성과의 상관성 평가”, 한국지하수토양환경학회, 21(6), pp. 1-10 (2016).
- 11) 국립환경과학원, 지정폐기물 중 신규 유해물질 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구 (I)(2004).
- 12) 국립환경과학원, 순환골재 및 건설폐토석 재활용용도 확대 방안연구(2010).
- 13) DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, p. 3 (2008).
- 14) 금오공과대학교, 순환토사 재활용 확대 방안 연구(2015).
- 15) US EPA, SW-846 CHAPTER SEVEN, CHARACTERISTICS INTRODUCTION AND REGULATORY DEFINITIONS (2020).
- 16) 강석표, 이원표, “건설폐기물 중간처리공정에서 발생하는 순환토사의 재활용 확대방안”, 한국건설순환자원학회, 9(3), 23-30 (2014).
- 17) 국립환경과학원, 지정폐기물의 유해물질 규제항목 확대에 따른 파급효과 평가(2013).
- 18) 이홍길, 노희정, 윤정기, 임중환, 임가희, 김현구, 김지인, “오염원 인근 토양 중 베릴륨(Be), 코발트(Co), 탈륨(Tl), 바나듐(V)의 농도분포 및 오염영향 평가”, 한국지하수토양환경학회, 23(4), pp. 48-59 (2018).
- 19) 국립환경과학원, 폐기물의 신규관리기준 도입을 위한 시험방법 적정성 평가(II)(2013).
- 20) 송창우, 한협조, 이종운, “보령 석탄 화력발전소 인근 토양 내 중금속 분포 특성”, 한국자원공학회지, 56(1), pp. 10-22 (2019).
- 21) 김용희, 노재일, 추완중, 강희수, 김미자, 한지은, 박중수, 최춘석, “인천시 도로변 가로수와 토양의 특성조사”, 한국폐기물자원순환학회, 23(6), pp. 522-533 (2006).
- 22) 윤정기, 김동호, 김태승, 박종겸, 정일록, 김종하, 김 혁, “우리나라 토양의 중금속 자연배경농도 평가”, 한국지하수토양환경학회, 14(3), pp. 32-39 (2009).
- 23) 강석표, 이원표, “건설폐기물 중간처리공정에서 발생하는 순환토사의 재활용 확대방안”, 한국건설순환자원학회, 9(3), 23-30 (2014).
- 24) 강민주, 이평구, “폐광산 지역 폐광석 및 광미에서 비소의 고정 메커니즘과 용출특성”, 대한자원환경지질학회, 38(5), 499-512 (2005).
- 25) 이석민, “서울시 건설폐기물 재활용 촉진방안”, 서울연구포커스 보고서, pp. 15-24 (2006).
- 26) 국립환경과학원, 지정폐기물 중 신규 유해물질 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구 (II)(2005).
- 27) 안진성, 유기현, 남경필, “토양시료의 분쇄가 왕수분해법을 이용한 비소와 납의 전함량 분석 결과에 미치는 영향”, 한국지하수토양환경학회, 23(1), pp. 25-29 (2018).
- 28) 국가통계포털, 토양 측정망 운영결과-연도별 오염도(평균), 2022, https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=106&tblId=DT_106N_20_0200007&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=T_28&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do.
- 29) 국립환경과학원, 새로운 토양오염물질의 기준설정에 관한 연구(I)(2008).
- 30) 정성경, 김우일, 강영렬, 김동운, 조운아, 신선경, 오길중, “국내 도로공정 발생 폐기물 중 미규제 중금속류의 배출특성”, 한국분석과학회, 24(5), pp. 387-394 (2011).