

낙동강 중류 준설공사 시 발견된 폐기물 성분 조사 및 재활용 연구

강성원 · 이태윤

한국건설기술연구원 환경연구실 · 부경대학교 환경공학과

Characterization and Recycling of Submerged Wastes Found at Nakdong River

Sungwon Kang and Taeyoon Lee

Department of Environmental Engineering, Korea Institute of Construction Technology, Ilsan 411-712, Korea
Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Received December 9, 2011/Accepted March 20, 2012

This study was performed to evaluate characteristics of illegally dumped construction wastes in the riverbanks of Nakdong river. We tried to determine whether these construction wastes contained toxic compounds and stabilized. Wastes were found at 4 sampling points and these wastes were not classified as toxic wastes. Instead, these wastes were classified as construction wastes. In addition, these construction wastes were not contaminated by toxic heavy metals, anions, and organic compounds according to soil pollution guidelines. Thus, these construction wastes can be recycled or treated as construction wastes according to the guideline provided by Korea Ministry of Environment.

Key words: Heavy metals, Sediments, Construction wastes, Soil pollution, Recycled aggregates

1. 서 론

기후변화로 인한 홍수방지, 수자원 확보, 및 기후변화에 대한 적절한 대응을 위해 현재 국내에서는 한강, 낙동강, 영산강, 금강의 4대강 살리기 사업이 진행되고 있다. 위 목적을 달성하기 위해 퇴적토 준설과 일부 지역의 경우 고수부지를 굴착하여 하천단면으로 만드는 공사가 포함되어 있다. 준설토의 경우 낙동강에서만 약 4억 4천만 m³의 방대한 양이 발생할 것으로 예상된다.¹⁾

하천 준설 시 발생하는 준설토는 산업활동에 따른 영향으로 영양염류, 중금속과 난분해성 유기물질로 오염되어 있는 경우가 있다. 이러한 오염 준설토는 준설과정에서 부유하여 수질 및 생태계에 악영향을 주기 때문에, 오염준설토의 적절한 관리는 필수적인 사항이다.²⁾ 이러한 준설토의 처리는 해양투기^{3,4)} 혹은 재

활용²⁾하는 방안이 제안되었고, 재활용을 위한 오염도 평가도 수행이 되었다.⁵⁾

위의 선행연구들은 하천과 항만에 퇴적된 준설토를 대상으로 한 연구이기 때문에, 본 조사에서처럼 준설구간에 포함된 지역이 불법매립된 폐기물을 포함하는 경우에는 적용하기 어려운 상황이다. 또한, 현재 국내에는 현장에서 발생하는 준설토의 적절한 처리 및 재활용을 위한 적절한 지침이 부재한 상황이어서 전체 공사의 원활한 진행을 어렵게 하고 있다. 또한 과거에 불법으로 매립된 폐기물이 공사 중 발견되어 이에 대한 처리가 필요하나 발견된 폐기물의 종류, 유해성 여부, 매립량에 대한 정보가 부족하여 신속하고 적절한 폐기물 처리에 많은 문제점이 발생하고 있다. 특히, 경상남도 밀양시 낙동강 사업 15공구에서 다량의 건설폐기물이 불법 매립되어 있는 것이 확인되어 사회적 이슈가 되고 있다. 이구간은 준설구간에 포함이 되어 있는데,

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail:

일반 퇴적토가 아닌 건설폐기물의 불법매립으로 준설 시 수질오염을 일으킬 가능성이 크다고 할 수 있다.

낙동강 15공구는 원래 육지에 속한 고수부지였으나, 각종 치수사업 등으로 인해 낙동강 수로가 변경되어 하천으로 바뀐 지역이다. 본 연구에서는 낙동강 15공구에 불법으로 매립된 지역을 불량매립지로 규정하고 환경부의 사용종료 매립지 정비지침에 따라 매립폐기물 조사 및 분석을 실시하였다. 위의 정비지침은 사용종료매립지의 합리적인 정비 및 토지의 효율적인 활용을 유도하기 위해 제정되었으며, 대상 지역에 대해 매립지 안정화 조사를 실시한 후 안정화가 되지 않았고 또한 정비가 필요한 경우 비위생매립지 정비계획을 수립하도록 규정하고 있다.

또한, 일부 매립된 폐기물을 제외한 나머지 준설토는 대부분이 깨끗한 모래 및 자갈로 구성이 되어 있다면 이들 준설토를 건설자재로 재활용하기 위한 방안도 마련할 필요가 있다.

본 연구에서는 낙동강 15공구에 대해 폐기물 매립지역을 조사하여 매립된 폐기물을 채취한 후 성분조사를 통해 오염여부를 조사함으로써 폐기물을 분류 및 선별한 후, 나머지 준설토의 재활용 가능성을 파악하고자 하였다.

2. 조사 및 분석방법

2.1. 시료채취 및 연구범위

낙동강 사업 15공구는 경상남도 밀양시에 위치하고 있다. 이 구간에 대한 조사는 정비 사업 시작 전 주민의 제보를 통해 건설폐기물이 과거에 매립이 되었다는

사실에 근거하여 실제 건설폐기물의 매립유무, 매립량, 환경위해성 등을 평가하기 위해 시작되었다. 준설 구간을 고려하여 총 36개 지점을 선정하였으며, 24개 구간은 50×50 m 구획으로 나머지 12개 구간은 100×200 m 구획으로 조사지점을 격자형식으로 나누었다(Fig. 1).

매립폐기물 조사는 기존에 설정한 격자의 중간에서 바지선에 설치된 포크레인을 이용하여 하천바닥을 굴착하였으며, 굴착과정에서 발생하는 굴착토를 육안으로 조사하여 건설폐기물이 발견되면 채취하여 토양 및 폐기물 분석을 실시하였다.

매립폐기물의 경우 Pb, Cu, As, Hg, Cd, Cr⁶⁺, CN⁻, 유기인, 테트라클로로에틸렌(PCE), 트리클로로에틸렌(TCE), 기름성분, 삼성분(수분, 가연분, 회분) 및 원소분석(C, H, O, N, S, Ash)에 대한 분석을 실시하였고, 토양오염 여부를 파악하기 위해 폐기물 주변 토양을 대상으로 토양오염공정시험법에 따라 Cd, Cu, Pb, Hg, As, Cr⁶⁺, Zn, Ni, F⁻, CN⁻, 유기인, PCB, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 석유계총탄화수소(TPH), 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE), 벤조피렌에 대해 분석하였다.

2.2. 실험방법

본 연구에서는 폐기물에 대한 토양 pH, 강열감량, 원소분석, 용출실험을 실시하였다. 토양 pH는 토양오염공정시험방법⁶⁾에 따라 실시하였고, 강열감량과 용출실험은 폐기물공정시험법⁷⁾에 따라 실시하였다. 원소분석은 건조, 분쇄와 같은 전처리를 한 후 Vario Macro and Micro Elemental Analyzer(Elementar, Germany)를

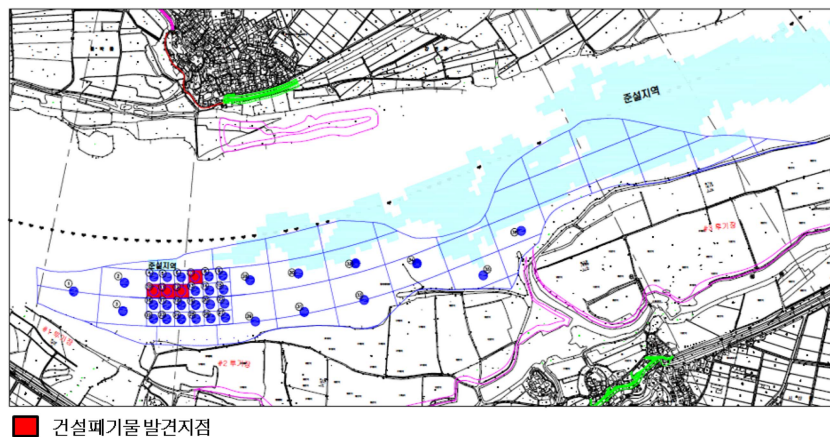


Fig. 1. Map of studying areas at district of Nakdong river (dimension of 24 points is 50×50m and the other 12 points has a dimension of 100×200 m)

사용하여 분석을 실시하였다. 토양분석은 토양오염공정 시험법에 따라 분석을 실시하였다.

2.2.1. 폐기물 용출시험

고상 또는 반고상 폐기물에 대하여 국내 폐기물관리법에서 규정하고 있는 지정폐기물의 판정 및 지정폐기물의 중간처리방법 또는 매립방법을 결정하기 위한 실험으로 각 시료 100 g을 3차 증류수(pH 6.3)와 1:10의 비율(100 g 시료 : 1L 증류수)로 2L 시료병에 넣어 혼합한다. 혼합액을 상온, 상압에서 진탕횟수는 매분당 약 30회, 진폭 4-5 cm의 수평 진탕기를 사용하여 6시간 연속 진탕한 후 0.45 μ m 여과지로 거른 후 양이온, 음이온 및 유기물질을 분석하였다.

2.2.2. 토양 분석

건설폐기물 주변토양에 포함된 오염물질의 총합량 측정은 폐기물공정시험법에서 제시한 추출방법을 사용하였다. 국내 토양환경보전법에 의해 폐기물을 재활용 시 토양 오염도를 평가하기 위해 시료 10 g을 삼각플라스틱에 넣고 0.1N 염산용액 50 ml를 넣은 후 수평 진탕기(100회/분, 진폭 10 cm)를 사용하여 30°C를 유지하면서 1시간 동안 진탕시킨 다음, 0.45 μ m 여과지로 거른 후 양이온, 음이온 및 유기물질을 분석하였다. 분석항목은 Cd, Cu, Pb, Hg, As, Cr⁶⁺, Zn, Ni, F⁻, CN⁻, 유기인, PCB, Phenol, TCE, PCE, TPH, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌이었다. 폐기물 용출실험 및 컬럼 용출실험의 중금속 성분들(As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)은 Elan 6100 inductively coupled plasma mass spectrometer (ICP-MS)을 이용하여 분석하였다. 플라즈마 파워는 2.0 kW, 냉각수 유속은 15 L/min, 분무(nebulizer) 가스 유속은 1.0 L/min, 압력은 22 kPa로 고정시킨 후 분석하였다. 검량선을 작성하기 위한 표준용액은 Aldrich Chemical Co. (Milwaukee, WI)에서 구입하여 사용하였다. 분석 시 시료에 포함된 불순물에 의한 간섭효과를 배제하기 위해 표준첨가법(standard addition)을 사용하였다. Cr⁶⁺은 자외선 흡광광도법을 사용하여 분석하였고, 수은(Hg)의 경우 수은분석기(flow injection mercury system)를 사용하여 별도로 분석하였다(FIMS 400, Perkin elmer). 토양오염공정시험법과 폐기물공정 시험방법에 의해 용출된 시료에 포함된 유기인화합물은 FPD 검출기를 장착한 Shmadzu GC-17A를 이용하여 분석하였다. TCE와 PCE는 FID 검출기를 장착한 Perkin Elmer ATD400 GC를 이용하여 분석하였다.

석유계총탄화수소(TPH)는 속슬렛 추출장치(soxhlet extraction device)를 이용하여 시료에서 TPH를 추출한 후 FID 검출기를 장착한 Perkin Elmer ATD400 GC를 이용하여 분석하였다. 토양오염공정시험법에 명시된 BTEX 화합물은 Tekmar 3100 Purge & Trap 을 이용하여 농축한 후 Perkin Elmer ATD400 GC를 이용하여 분석하였다.

2.2.3. 성토용 순환골재의 품질시험

준설된 매립폐기물은 외부처리업체로 반출이 되며, 나머지 준설토양에 대해서는 성토용 골재로 사용이 가능한지에 대한 평가를 실시하였다. 시료채취는 잔여 준설토가 있는 야적장에서 6개 지점을 선정하여 시료를 채취한 후 혼합하여 1개의 대표시료를 만들어 분석하였다. 평가항목은 최대치수, 시방다짐(California Bearing Ratio), 5.0 mm 및 0.08 mm 체 통과율, 소성치수, 다짐 후 건조밀도, 이물질 함유량(유기이물질)이며, 이들 기준을 만족하지 못하면 성토용 골재로 사용이 불가하다.

2.3. 폐기물 분류 방법

낙동강 준설사업 중 발견된 매립폐기물에 대한 분류는 Fig. 2와 같은 순서에 따라 분류를 수행하였다. 먼저 배출량에 따라 5톤이상이면 사업장폐기물로 분류하고 용출실험을 실시하여 기준치를 초과하면 지정폐기물로 분류한다. 기준치 이하인 경우는 종류에 따라 사업장 일반폐기물과 건설폐기물로 분류한 후 폐기물관리법에 따라 처리한다.

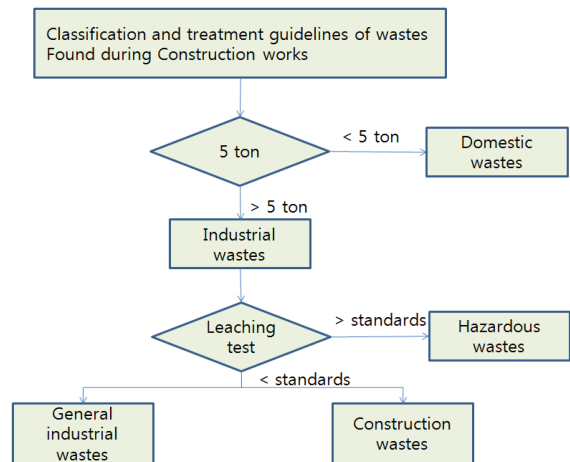


Fig. 2. Characterization of Wastes found at Nakdong River.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 매립폐기물 발생지점

매립폐기물 조사를 통해 발견된 폐기물은 대부분이 육안으로 종류를 구분할 수 있었으며, 발견된 대표적 폐기물의 종류는 폐블록, 폐사석 등 이었다. 폐기물이 발견된 지점은 총 4개 지점으로 Fig. 1에 표시가 되었으며, 폐기물로 의심되는 시료는 모두 채취하여 실험실로 운반한 후 지정폐기물 여부를 확인하기 위해 폐기물공정시험법에 따라 폐기물분석을 수행하였다.

3.2. 매립폐기물 특성

지정폐기물 여부를 확인하기 위해 폐기물 공정시험법에 따라 용출시험을 실시하였고 그 결과는 Table 1에 요약되어 있다. 건설폐기물로 확인된 A-07, A-10, A-11, A-12 구역에서 채취된 시료에 대해 분석하였고, 오염도가 심하다고 판단된 A-11에서는 총 3개의 시료를 채취하여 용출시험을 하였으며, 시험결과 모든 시료는 지정폐기물에 해당되지 않았다. 폐기물 용출시험의 경우 대부분의 시료에서 오염물질이 발견되지 않았고, 일부 시료의 경우 중금속 항목이 검출이 되었으나 기준치에 비해 낮아 환경오염 가능성은 낮다고 판단할 수 있다. Cu의 경우 6개 시료 모두에서 검출이 되었는데, 비록 기준치보다는 낮지만 존재가 확인되었으므로, 처리에 주의가 필요하다. Pb의 경우에는 4개 시료에서 검출이 되었고 기준치 이하로 판명되었지만 처리에 주의가 필요하다. 유기인, TCE, PCE와 같은 난분해성 유기물질은 전혀 검출이 되지 않았고, 기름성분(기준

치 5%)의 경우 최대 0.007%에서 불검출의 범위까지 다양하게 검출되었다. 위 용출시험 결과를 토대로 판단할 때 15공구에서 발견된 폐기물의 경우 지정폐기물로 분류되지 않으므로, 폐기물의 분류는 폐건설자재, 폐석, 폐콘크리트 등이 다량 포함된 건설폐기물로 분류하였다.

3.3. 폐기물 안정화 평가 및 물성 분석

매립폐기물에 대한 안정화 평가는 매립폐기물 토사 성분 중의 가연물 함량이 5% 미만이거나 C/N비가 10 이하일 경우와 매립폐기물을 용출시험하여 나온 용출액의 수질이 침출수 배출허용기준에 적합할 경우를 고려하여 수행하였다. 15공구 시료에 대한 가연물 함량 및 C/N는 Table 2에 정리되어 있다. 가연물 함량이 5% 혹은 C/N비 10을 초과하는 시료는 없어 본 조사 구역은 안정화 된 것으로 판단된다. 폐기물 용출시험 결과를 침출수 배출허용기준과 비교했을 때, 모든 결과 값이 허용기준 이내에 존재하여 안정화 기준을 만족하였다.

채취된 시료에 대한 토양 pH 측정 결과는 Table 2에 요약되어 있다. 대부분의 시료는 pH 5.8-6.7의 범위에 존재하였다. 이는 건설폐기물이 하천수와 오래 접촉하여 하천수와 거의 흡사한 pH 값을 나타내는 것으로 판단된다.

3.4. 토양오염 분석결과

건설폐기물이 발견된 A-07, A-10, A-11, A-12 지역 시료에 대한 토양오염 조사 결과가 Table 3에 요약되

Table 1. Results of waste leaching tests for wastes detected at A district of Nakdong river

Compounds	Standards	A-07	A-10	A-11	A-11(1)	A-11(2)	A-12
Cu	3 mg/L	0.029	0.014	0.016	0.094	0.007	0.017
Pb	3 mg/L	0.070	0.104	0.047	0.155	N.D.	N.D.
Cd	0.3 mg/L	N.D.*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
As	1.5 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.180
Cr ⁶⁺	1.5 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Hg	0.005 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
TCE	0.3 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
PCE	0.1 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Organic Phosphate	1 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
CN ⁻	1 mg/L	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Oil	5%	0.004	0.002	N.D.	0.007	N.D.	N.D.
Characterization of Wastes		Construction Wastes	Construction Wastes	Construction Wastes	Construction Wastes	Construction Wastes	Construction Wastes

*N.D. = Non-Detectable

Table 4. Results of quality analyses for recycling aggregates when used as materials for raising ground levels

Items for quality control guidelines	Shallower than 100 cm from ground	Deeper than 100 cm from ground	Site A	Site B
Maximum diameter (mm)	<100	<100	2.0	2.0
Modified CBR	>10	2.5	13.0	13.6
% passing of 5.0 mm sieve	25~100	-	100	100
% passing of 0.08 mm sieve	0~25	-	5.8	5.2
Plastic index	<10	-	N.P.	N.P.
Dry density after densification (t/m ³)	-	>1.5	1.693	1.700
Organic content (%)		<1.0	0.0	0.0

는 지점은 없었으므로, 잔여 준설토를 성토재로 활용할 수 있는 것으로 판명되었다.

서 성토재로 활용할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구의 결과는 낙동강 준설 작업 시 발생할 수 있는 불법매립 건설폐기물 처리와 관련하여 불법폐기물에 대한 체계적인 조사와 관리의 기초자료로 활용하고자 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

발견된 폐기물에 대한 지정폐기물 여부 판독은 폐기물공정시험법에 따라 수행되었으며, 15공구에서 발견된 모든 폐기물은 지정폐기물로 분류가 되지 않았고, 건설폐기물로 분류되었다. 15공구의 경우 총 36개 조사 지점 중 A-07, A-10, A-11, A-12와 같이 총 4개 지역에서 건설폐기물이 발견되었다.

건설폐기물의 안정화 여부를 판정하기 위해 가연물 함량, C/N비, 그리고 침출수 배출허용기준을 적용하였다. 침출수 배출허용기준과 가연물함량, C/N비를 적용하였을 때에도 모두 안정화 기준을 만족하였다. 이는 매립된 폐기물이 건설폐기물이므로 유기물함량이 적어 미생물에 의한 분해는 없기 때문이다.

건설폐기물이 발견된 4개 지역 시료에 대해 토양오염 여부를 조사하였으나, 어떠한 시료도 기준치를 초과하지 않아 오염은 없는 것으로 판단된다.

건설폐기물의 경우 재활용 목적으로 외부반출되었으며, 건설폐기물 선별 후 남은 잔여 준설토도 성토용 순환골재의 품질시험항목을 모두 만족하였으므로 현장에

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 일반연구지원사업(2010-0024598)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 윤길림, 배운신 : 준설토 활용을 위한 환경기준 고찰, 한국지반환경공학회지, Vol. 26, No. 4, pp. 16~27 (2010)
- 안재환, 김석구, 김소정, 강성원, 이미경 : 준설토적분을 이용한 여재의 하천수질 정화 특성, 대한환경공학회 추계학술연구발표회, 2005, 11.3-11.5, pp. 1412-1417 (2005)
- 이대인, 박달수, 엄기혁, 김귀영, 조현서, 김종규, 서영교, 백근육 : 연안준설 및 준설토 해양투기 해양환경평가 개선방안, 환경영향평가, Vol. 18, No. 3, pp. 131-141 (2009)
- 엄기혁, 이대인, 박달수, 김귀영 : 우리나라 연안준설 및 준설토 해양투기 현황 진단, 환경영향평가, Vol. 18, No. 3, pp. 185-193 (2009)
- 윤길림, 정우섭 : 항만준설토사 유효활용을 위한 오염도 평가, 한국지반공학회, Vol. 24, No. 5, pp. 15-25 (2008)
- 토양오염공정시험법: 토양환경보전법 시행 규칙, 환경부 (2009)
- 폐기물공정시험방법 : 수소이온농도, 환경부, Ch. 4, pp. 107-111 (2007)