

## 구조물의 해체 공정별 오염농도 변화 및 비점오염원 관리 방안

주경훈<sup>1)</sup>, 유성수<sup>1)</sup>, 김효진<sup>2)</sup>, 이경희<sup>1,3)</sup>, 고광백<sup>1)\*</sup>

### Variations of the Pollutant Concentration by Explosive Demolition of a Building and Management Plan of Non-point Source Pollution

Kyoung-Hoon Chu, Sung-Soo Yoo, Hyo-Jin Kim, Kyoung-Hee Lee and Kwang-Baik Ko

**Abstract** In this study, the pollutants contained in water and soil samples taken from the explosive demolition site were examined to investigate the effects on environment, and management plan of non-point source pollution in the demolition site was suggested through characterizing the movement of the pollutant with time. As results, pH value of the water and soil samples after the demolition work was 8.5~9.3 which exceeds the Korean environmental criterion of water and soil range due to calcium hydroxide compounds in the concrete. The concentration level of heavy metals caused by the explosive demolition doesn't exceed the environmental criterion of water and soil doesn't exceed the environmental criterion of water and soil quality, and the influence of water and soil pollution on the environment was not considered. The concentration of the heavy metals was analyzed and that of Cr, Cu, Zn and Hg among the heavy metals increased after the drilling and explosive demolition. This says that concentration of the heavy metals during explosive demolition works needs to be monitored. The most pollutants with time or rain dilution into the demolition site decreased and this means that the pollutants caused by the explosive demolition might have influenced to vicinity of the demolition sites as non-point pollution.

**Key words** Drilling, Blasting, Water pollution, Soil pollution, Non-point source pollution

**초 록** 본 연구는 실제 발파해체가 진행된 현장을 대상으로, 해체공정 중 천공과 발파작업시 발생하는 수질 및 토양오염의 농도변화를 통해 환경오염 정도를 조사하였고, 시간 경과에 따른 오염물질의 거동특성을 파악하여 해체현장에서의 비점오염원 관리방안의 필요성을 제시하였다. 그 결과 천공과 발파작업 이후 수질 및 토양의 pH는 콘크리트의 수산화칼슘에 의해 8.5~9.3으로 기준치를 초과하였다. 천공과 발파작업으로 인한 중금속의 농도는 대부분이 기준치 이내였으며, 수질과 토양오염에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다. 하지만 천공과 발파작업 전후의 오염물에 대한 증감률을 통해, 중금속 중 Cr, Cu, Zn 및 Hg의 농도가 증가된 것을 확인하였으며, 발생한 오염물의 처리방안이 필요하다고 판단되었다. 해체현장에서 시간의 경과와 우기에 따른 오염물질의 농도는 대부분 감소하는 경향을 보였으며, 이는 발생한 오염물질이 비점오염원으로 주변 환경에 영향을 줄 것으로 보인다.

**핵심어** 천공, 발파, 수질오염, 토양오염, 비점오염원

## 1. 서론

최근 우리나라는 급속한 경제성장으로 인해 대량으로 지어진 각종 구조물들의 노후화가 진행되면서 재개발과 재건축이 크게 증가하고 있다. 이러한 재개발과 재건축 등의 활성화로 인하여 도심지 해체공사가

<sup>1)</sup> 연세대학교

<sup>2)</sup> 대한토지구택공사

<sup>3)</sup> 도명 E&C

\* 교신저자 : kbko@yonsei.ac.kr

접수일 : 2011년 6월 7일

심사 완료일 : 2011년 6월 21일

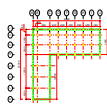
게재 승인일 : 2011년 6월 25일

증가함에 따라 건설폐기물의 발생량이 증가하고 있는 실정이다(김과 김, 2006). 2002년 기준으로 하루에 발생하는 건설폐기물량은 120,141톤이며, 2003년도에는 145,420톤(국립환경과학원, 2004)으로 1년 동안 약 25,279톤이 증가하였고, 이는 매년 증가할 것으로 예상된다. 발생하는 건설폐기물은 현재 매립, 소각, 재활용, 해역배출 등으로 처리되고 있으며(Roussant et al., 2008), 대부분 도로공사 등에서 기초잡석 등으로 재활용되고 있는 상황이다.

하지만 건설폐기물은 매립이나 재활용되는 과정에서 파쇄되어 작은 알갱이나 가루 형태로 발생되며, 구조물 해체공사 시 발생하는 페콘크리트, 페아스팔트, 건설토사, 폐목재, 건설 오니 등의 각종 분진형태의 건설폐기물과 함께 주변 환경에 심각한 영향을 끼칠 수 있다(안지환, 2004; Trankler et al., 1996). 이렇게 형성된 분진형태의 오염물질은 해체 현장 인근의 토양에 잔존하여 주변 토양을 오염시키고, 강수 시 우수에 용해되어 주변하천이나 지하수까지 영향을 미치는 요인으로 작용한다. 특히 중금속류는 노후화된 페콘크리트에서 비교적 많은 농도로 용출되며, 해체 현장에서 분진제어를 위해 사용된 살포수에도 이러한 중금속 및 각종 오염물질이 내포될 가능성이 매우 크다. 이것은 자연수를 매개로 주변 수계 및 생태계에 중금속 오염원으로서 작용하게 될 것이며, 궁극적으로는 자연의 순환계에 먹이사슬을 두고 있는 인간에게까지 피해를 끼치게 될 것이다(채와 전, 2004; 나춘기 외, 1997)

대부분의 해체공사에서 다뤄진 환경위해요인으로 는 소음, 진동, 분진 및 비석 등이 주류를 이루었지만, 대상 현장의 광범위한 관리측면에서 수질, 토양 오염 등에 대한 영향은 간과되고 있는 실정이다. 더욱이 최근 사회 전반적인 삶의 질적 향상에 따른 사회의 환경논리는 환경위해 요인을 많이 발생시키는 해체공사에서도 그 기준을 준수하도록 압력을 가하고 있다. 발파해체의 경우 환경오염 허용기준이 발생 민원을 객관적이고 명쾌하게 해결해주기 위한 기준으로서 미흡하여, 이로 인한 민원 발생의 가능성이 상당히 높다. 게다가 발파해체를 통해 발생하는 오염물질은 대부분 배출장소와 배출량이 불안정하고, 주변 수질 및 토양 환경에 미치는 영향에 대한 연구가 미흡한 것이 사실이다. 따라서 이러한 구조물 해체에 의한 주변 환경으로의 오염물질 거동 특성 파악이 필요한 시점이다.

선행연구를 통해 발파를 통한 구조물에서 발생하는 분진의 특성을 알아보았고(Lee et al., 2011), 전반적인 해체공사에서 발생하는 분진에 의한 토양 및 수질 오염에 대해 비교·분석하였다(Chu et al., 2011). 하지만 전반적인 해체 과정에 따른 오염도의 파악과 시간경과에 따른 오염물의 거동 특성을 통한 비점오염원(오염원이 특정장소에 한정되어 있지 않고 분산되어 나타나는 경우의 오염) 관리방안이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 해체공정 중 환경오염의 영향이 비교적 크다고 판단되는 천공과 발파작업으로 인한 수질 및 토양오염의 농도변화를 통해 전반적인 해체공정에서의 환경오염 정도를 보다 정확히 파악하고자



(a) C 고등학교 평면도



(b) C 고등학교 시료 채취지점

그림 1. C 고등학교 평면도와 시료채취 지점.

한다. 또한 시간 경과에 따른 오염물질의 거동특성을 파악하고, 앞으로 해체현장에서의 비점오염원 관리방안의 필요성을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구는 서울 성동구 하왕십리동에 위치한 C 고등학교의 해체현장을 대상으로 하였으며, 대상건물의 구조는 RC 라멘조로 층수는 옥탑층을 포함해 9층이고, 총 연면적은 4,250m<sup>2</sup>으로 ‘ㄱ’자 형태인 구조물이다. 해체현장 내 수질 오염도를 측정하기 위해 해체 구조물 중심 1개소와 4방위 지점 등 총 4개소에서 외부 요인에 의한 영향을 배제하고자, 살포수가 지면에 도달하기 전에 시료를 채취하였다. 시료 채취지점과 구조물의 평면도는 그림 1을 통해 나타내었다.

배출허용기준 적합여부를 판정하기 위하여 대상 시료는 시료의 성상, 유량, 유속 등의 시간에 따른 변화를 고려하여 해체현장의 특성을 대표할 수 있도록 채취하였으며 복수 채취를 원칙으로 하였다. 특히 해체 공사 현장의 경우 채취위치에 따라 오염물질의 성상이나 농도가 달라지므로 여러 장소에서 시료를 채취

하여 혼합함으로써 대표성을 확보하였다. 토양오염의 경우 해체 구조물 중심 1개소와 4방위 지점 등 총 4개소를 선정하였고, 대상지역 시설물이 있어 각지점간의 간격이 불충분할 경우에는 간격을 적절히 조절하는 방법으로 채취하였다. 또한 구조물 해체가 토양오염에 미치는 영향을 파악하기 위해 해체 전후 시료를 각각 채취하였다. 유기물과 잡풀을 제거한 표토층(0-15cm)의 토양 시료를 채취하였으며 채취된 토양을 25℃에서 자연 건조시킨 후, 10mesh(<2mm)로 경 체질 하였다. 채취한 시료가 대상지역 토양의 대표성을 가지도록 약 100g을 분취하여 혼합하였다. Hg 이외의 중금속 시료는 폴리에틸렌봉지에 보관하였으며 Hg 시료는 입구가 넓은 유리병에 보관하였다. 분석 대상 항목은 pH, Fe, Cr, Cr<sup>6+</sup>, Cd, Pb, As, Zn, Ni, Hg, BETX, TPH, TCE, PCE, 이다. pH는 공정시험법에 의거하여 측정하였으며, 중금속류 중 Hg는 CV/AAS (Quicktrace mercury analysis M-7500, USA), 그 밖에 중금속은 ICP-AES (Thermo IRIS Interpid II, UK)이용 하였다. 또한 유류성분의 오염 여부를 판단하기 위해, BTEX는 GC-MS (Clarus 600T, USA), TPH는 GC-FID (Agilent 7890 gas chromatography,

표 1. 천공작업과 발파작업 전후의 수질 오염농도 변화

(단위 : mg/L)

유해물질	천공 전	천공 후	발파 전	발파 후	수질오염배출허용기준 (‘나’지역)
pH	8.25	8.58	7.47	9.33	5.8~8.6
Fe	0.01	5.51	5.61	10.58	10
Cr	ND <sup>주2)</sup>	0.03	1.17	1.26	2 이하
Cr <sup>6+</sup>	ND	ND	ND <sup>주3)</sup>	ND	0.5 이하
Cd	ND	ND	ND	ND	0.1 이하
Cu	ND	0.13	0.05	0.10	3 이하
Pb	ND	ND	0.04	0.07	0.5 이하
As	ND	ND	ND	ND	0.25이하
Zn	0.16	0.07	0.11	0.22	5 이하
Ni	ND	ND	ND	ND	-
Hg	ND	ND	0.022	0.024	0.005이하
TPH	ND	ND	ND	ND	-
TCE	ND	ND	ND	ND	0.3 이하
PCE	ND	ND	ND	ND	0.1 이하
BTEX	0.0047	ND	0.0010	0.0024	0.1 이하

주1) 오염물질 배출허용기준(나지역) : 수질환경보전법에 따른 환경 수질 3,4,5 등급을 유지하도록 하는기준

주2) ND : 불검출

USA)을 이용하여 분석하였고, 염소계 화합물인 TCE와 PCE는 GC-ECD(Varian star 3600ex, Australia)를 사용하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 공정별 수질 및 토양 오염도 분석

##### 수질 오염도 분석

C 고등학교에서 수행한 천공작업과 발파작업을 통해 발생된 오염물이 수계에 직접적인 영향이 있는지에 대해 알아보기 위해 농도변화를 표 1을 통해 나타내었다. 현재 건물 해체현장 등 건설지는 비점오염원으로 간주되어 수질오염물질 배출기준이 존재하지 않기 때문에 천공작업과 발파작업 전후의 측정된 값은 수질오염물질 배출기준 '나' 지역에 의거하였다.

천공작업을 통해 발생된 오염물의 경우 수계에 미량만 유출되어도 치명적인 영향을 미칠 수 있는 중금속인 Hg, Ni, Cd, Pb, As와 유기화합물인 TPH, TCE, PCE는 검출되지 않았다. 다만 Fe과 Cr의 농도가 각각 5.51, 0.03mg/L 발생하였으며, 이는 수질오염물질 배출기준 '나' 지역의 기준치 이내였다. BTEX와 Zn의 경우 천공작업 전에 비해 천공작업 후의 농도가 감소하는 것으로 측정되었으며 이와 같은 결과로 미루어 볼 때 천공작업은 수계에 많은 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 발파작업을 통해 발생된 오염물의 경우 천공작업과 마찬가지로 다수의 오염물질이 미검출되었다. 다만 Fe, Zn, Cu, Pb이 각각 10.58, 0.22,

0.10, 0.07mg/L 발생하였으며, 이 또한 수질오염물질 배출기준 '나' 지역의 기준치를 만족하였다. Hg은 발파 후 0.024mg/L으로 증가하여 수질오염물질 배출허용 기준 '나' 지역의 기준치(Hg: 0.005mg/L)를 초과하는 값을 나타냈으나, 발파 전 측정값이 0.022mg/L로 이미 기준치 이상의 값이었다. 따라서 발파작업을 기준치 초과 의 원인으로 보기 어렵고, 증가량 또한 0.002mg/L로 매우 적은 양이었으므로 발파작업은 주변 수질오염에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

천공작업과 발파작업을 통해 발생된 오염물이 수질오염에 미치는 영향은 미흡하지만, 일부 오염물질들이 기준치 범위 내에서 증가하는 경향을 보이는 것을 확인하였다. 따라서 C 고등학교에서의 각각의 공정별 발생된 수질 오염물의 증감률에 대해 그림 2를 통해 나타냈다.

천공작업을 통해 발생된 오염물질 중 Fe의 경우는 초기에는 미량으로 존재하다가 천공작업 이후 급격하게 증가하여 약 55,000배의 증가율을 보였다. 또한 Cu와 Cr은 천공 전 미검출되었기 때문에 천공 후 각각 0.13mg/L와 0.03mg/L로 증가되었어도 그래프에는 나타나지 않았으며, Zn과 BTEX는 각각 55.25%, 100%의 감소율을 보였다. 발파작업 전, 후 수질의 중금속 오염농도 변화 추이를 보면 Fe, Cr, Cu, Pb, Zn, Hg 등의 오염물질이 발파 후에 증가하는 경향을 보였으며, 그 밖에 pH와 BTEX 성분도 증가하는 경향을 보였다. 이와 같은 중금속 농도 및 pH의 증가는 기준치에 비해 매우 적은 양으로 환경에 미치는 영향은 크

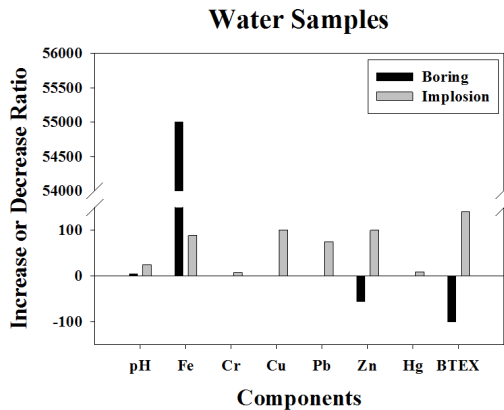


그림 2. 천공작업과 발파작업 전후 발생된 수질 오염물질의 증감률.

지 않겠지만, 발파작업으로 인해 발생하는 오염물질 대부분이 증가하는 경향을 나타내기 때문에 그에 대한 처리방법 모색이 필요하다고 생각된다.

**토양 오염도 분석**

표 2는 C 고등학교에서의 천공작업과 발파작업 전후의 토양에 대한 모든 오염물질의 검출량을 나타낸 것이다. 토양오염물질 배출기준 또한 존재하지 않기 때문에 천공작업과 발파작업 전후의 측정된 값은 토양오염우려기준 ‘가’ 지역에 의거하였다.

천공작업에 의한 토양의 오염물질 중 Fe는 천공작업 전 보다 520mg/kg만큼 감소하였고, Zn은 6.57mg/kg 만큼 감소하였다. Cu, Pb, Ni의 농도 또한 천공작업 후 그 양이 감소하는 경향을 나타냈으며, 기준치를 초과하지 않았다. 또한 Cr은 1.03mg/kg, Cd은 0.03mg/kg, Hg은 0.038mg/kg만큼 미량 증가하는 경향을 보였으나, 천공작업 후 발생한 오염물의 농도는 토양오염 우려기준 ‘가’ 지역의 기준치보다 현저히 낮은 양이었다. 다만 As의 경우는 8.49mg/kg으로 검출되어 기준치 (As:6mg/kg)를 넘는 수준이었다. 하지만 천공작업 전 8.07mg/kg 검출되어 이미 기준치를 넘은 상태였고,

As의 증가율은 Cd, Pb 등의 증가율 보다 낮은 5.20%를 나타냈다. 따라서 천공작업이 수계와 마찬가지로 토양에 미치는 환경영향은 크지 않다는 것을 판단할 수 있다. 발파작업에 의해 발생된 Fe는 17,903.33mg/kg에서 18,140.00mg/kg으로 미세하게 증가하였고, Zn, Cu, Cr, As, Ni, Cd, Pb의 농도증가는 각각 74.57, 47.72, 11.33, 0.54, 2.15, 0.04, 6.93mg/kg 임을 알 수 있었다. Cu와 As의 경우는 각각 기준치인 50mg/kg과 6mg/kg을 넘는 77.37mg/kg, 6.83mg/kg이 측정되었지만, Cu와 As를 제외한 모든 중금속 오염물질은 토양오염 우려기준 ‘가’ 지역의 기준치 이내로 측정되었고, 기타 유기화합물질은 검출 되지 않았기 때문에 발파작업이 토양오염에 미치는 영향은 크지 않다고 판단된다.

수질오염과 마찬가지로 천공작업과 발파작업을 통해 발생된 오염물이 토양오염에 미치는 영향 또한 미흡하지만, 일부 오염물질들이 기준치 범위 내에서 증가하는 경향을 보이는 것을 확인하였다. 따라서 C 고등학교에서의 각각의 공정별 발생된 토양 오염물의 증감율에 대해서도 그림 3을 통해 알아보았다.

토양오염의 증감율을 통해 천공작업보다 발파작업

표 2. 천공작업과 발파작업 전후의 토양 오염농도 변화

(단위 : mg/kg)

유해물질	천공 전	천공 후	발파 전	발파 후	토양오염 배출허용기준 ('가' 지역)
pH	8.67	8.72	8.75	9.04	-
Fe	16853.33	16333.33	17903.33	18140.00	-
Cr	24.77	25.80	13.29	24.62	-
Cr <sup>6+</sup>	ND <sup>주2)</sup>	ND	ND	ND	4 이하
Cd	0.32	0.35	0.25	0.29	1.5 이하
Cu	71.73	42.57	29.65	77.37	50 이하
Pb	49.90	43.43	35.40	42.33	100 이하
As	8.07	8.49	6.29	6.83	6 이하
Zn	204.30	197.73	137.80	212.37	300 이하
Ni	7.65	5.76	4.84	6.99	40 이하
Hg	0.201	0.239	0.155	0.347	4 이하
TPH	ND	ND	ND	ND	-
TCE	ND	ND	ND	ND	8 이하
PCE	ND	ND	ND	ND	4 이하
BTEX	ND	ND	ND	ND	-

주1) 토양오염 우려기준(가지역) : 토양환경보전법에 따른 전·답·공원·학교용지 등에 적용되는 토양오염 규제기준

주2) ND : 불검출

에 의한 영향이 뚜렷함을 볼 수 있었다. 천공작업의 경우, 오염물질의 증가율은 대부분 미약하며 Cu, Pb, Ni 등 몇몇의 중금속 성분은 감소하는 경향을 나타냈다. 하지만 발파작업으로 인한 모든 오염물질들은 증가하는 경향을 나타냈고, 특히 Cr, Cu, Zn, Ni, Hg의 성분이 약 50% 이상의 증가율을 보였다. 이 또한 수계와 마찬가지로 천공작업이나 발파작업에 의해 발생된 오염물질이 주변 토양에 미치는 영향은 미흡하지

만, 대부분의 항목에서 오염물질이 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 발파작업에 의해 증가된 오염물질의 처리에 대한 모색이 필요하다고 판단된다.

**발파해체로 인한 다른 현장과의 오염도 비교**

앞서 발파작업에 의해 발생된 수질 및 토양 오염물질의 증가가 천공작업 보다는 큰 것을 확인하였다. 그리하여 그림4를 통해, C 고등학교 발파작업으로 발생

**Soil Samples**

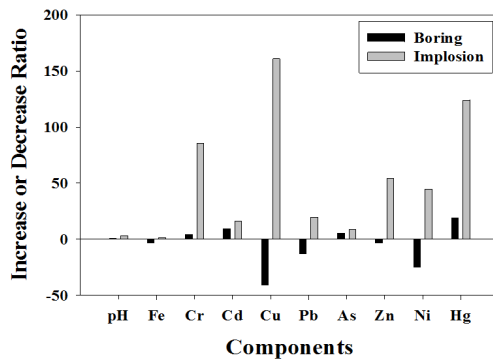
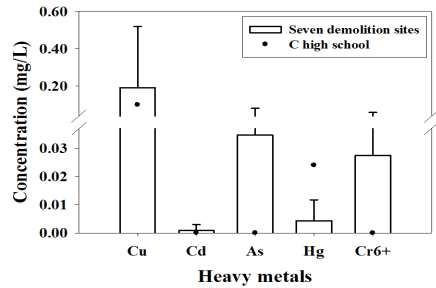
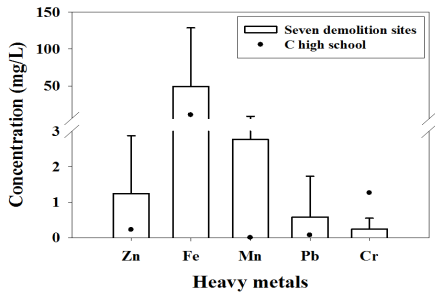
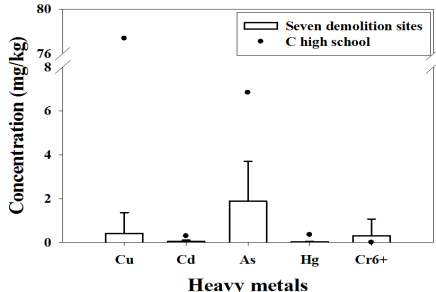
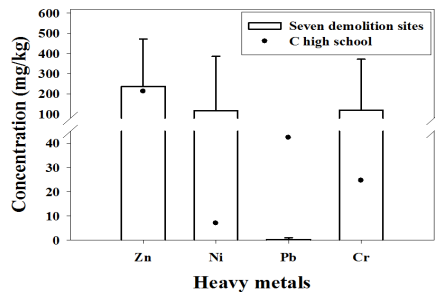


그림 3. 천공작업과 발파작업 전후 발생된 토양 오염물질의 증감률.



(a) 수질



(b) 토양

그림 4. 수질 및 토양의 중금속 오염농도에 대한 다른 해체현장과의 비교.

되는 수질 및 토양오염에 대해 Chu 등(2011)에서 다루었던 다른 해체현장과 비교하여 그 수준을 평가하였다. 기존 수행하였던 7개의 발파지역에서 발생한 수질 및 토양의 중금속 항목을 대상으로 평균과 95% 신뢰구간(상계(upper))을 취하여 나타내었고, C 고등학교를 발파하여 발생하는 수질 및 토양 농도를 점(dot)로 표시하여 비교해 보았다.

C고등학교에서 발생한 중금속의 농도는 수질에서 Cr과 Hg를 제외하고 대부분의 다른 현장과 비슷한 경향을 보였지만, 토양에서는 Pb, Cu, Cd, As, Hg 등의 농도가 다른 해체현장에 비해 매우 높게 검출되었다. 수질 항목에서 Cr과 Hg의 경우는 다른 해체지역의 평균 농도보다 각각 5.3, 5.5배 높았으며, 토양 항목에서 Pb, Cu, Cd, As, Hg의 경우는 다른 해체지역의 평균 농도보다 각각 141.9, 186.4, 7.9, 3.6, 15.9배 높게 나타났다. 이를 통해서 해체 대상 지역의 수질 및 토양 오염도는 해체 대상 구조물의 특성이나 용도, 건축 재료의 재질에 따라 주변 환경에 끼치는 영향이 다른 것으로 판단된다. 따라서 구조물 해체 시에는 해당 건물의 이력을 면밀히 파악하여 사전 작업 시 중금속 등의 오염이 예상되는 자재를 선별하여 사전에 제거하는 것이 필요하다고 판단된다.

### 3.2 비점오염원 평가

#### 공정별 시간경과에 따른 오염도 분석

건물 해체공정 이후 주변의 환경적 영향을 파악하기 위해 천공, 발파작업 직후의 수질 및 토양 오염도와 우기로 인한 20일(천공작업과 발파작업의 공백기)이 경과된 시점의 오염물질 농도를 비교하여 측정하

였다. 시료의 채취방법은 건물의 해체공정에 따른 환경오염물질의 오염농도 변화 추이 실험과 동일하게 하였다. 그림5와 그림6은 천공작업 및 발파작업의 직후와 우기로 인한 시간경과에 따른 중금속의 농도변화를 나타낸 것이며, 이를 통해서 우수로 인한 오염물질 감소율을 알 수 있다.

그림 5의 (a)는 천공작업 직후와 20일 경과 후 수질의 중금속 오염농도를 비교한 그래프이고 (b)는 같은 공법과 기간 동안 토양의 중금속 오염농도를 비교하여 그래프로 나타내었다. 20일이 경과된 시점에서의 수질 내 중금속 농도는 Fe, Zn, Cr, Hg, Pb이 각각 0.1, 0.04, 1.14, 0.022, 0.04 mg/L 증가 하는 등 Cu를 제외한 대부분의 측정항목에서 증가하는 경향을 보였으며, 이는 산성비로 인한 중금속이 용출되어 영향을 받은 것으로 판단된다. 하지만 수질오염 배출허용기준 '나' 지역의 배출 농도보다 낮아 환경적으로 큰 영향은 없을 것이라 판단된다. 토양에서의 오염물질 농도는 대부분 감소하였다. Cd, Hg, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, As의 경우 각각 0.1, 0.084, 59.93, 12.92, 12.51, 8.03, 0.92, 2.2 mg/kg으로 감소하였으며, 감소 후 잔존 오염물질의 농도가 토양오염 우려기준 '가' 지역의 배출 기준을 만족해 수계에서와 마찬가지로 토양에서의 환경적 영향 또한 미비한 것으로 판단된다. 특이하게 Fe만 감소하지 않고 1,570 mg/kg 증가하였는데, 이는 천공작업 이후 계속된 주변에서의 폐 콘크리트 파쇄작업으로 인한 산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)성분에 의한 것으로 판단된다.

그림 6의 (a)는 발파작업 직후와 20일 경과 후 수질의 중금속 오염농도를 비교한 그래프이고 (b)는 같은

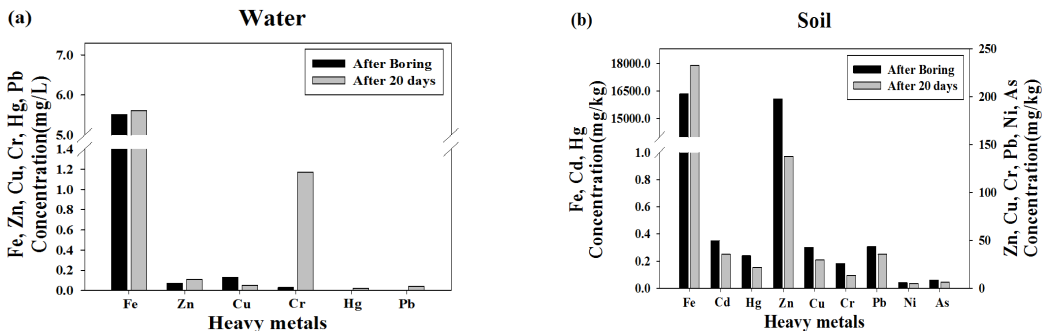


그림 5. 천공작업 직후와 시간경과 후의 수질과 토양의 중금속 오염농도.

공법과 기간 동안 토양의 중금속 오염농도를 비교하여 그래프로 나타내었다. 수질에서의 오염물질 농도 변화 추이를 살펴보면 발파 직후 검출되었던 Zn, Cu, Hg, Pb는 20일 경과 후 검출되지 않았고, Fe은 99.72%, Cr은 98.41% 감소되었다. 토양의 오염물질 농도변화 추이 또한 현저한 감소를 보였으며, Fe, Cd, Hg, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, As의 경우 각각 14.87, 44.83, 94.81, 70.29, 90.90, 69.29, 52.45, 45.35, 10.54%의 감소율을 보였다. 이와 같이 발파 후 20일이 경과된 시점에서의 수질 및 토양의 오염물질 농도는 모두 감소하는 경향을 보이며, 감소 후 잔존 오염물질농도 역시 배출 허용 기준 이내로 측정되어 환경에 크게 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다. 하지만 잔존 오염물질이 해체현장 인근의 토양을 오염시키고 강수 시 우수에 용해되어 주변하천이나 지하수까지 영향을 끼칠 가능성을 배제 할 수는 없다. 또한 해체 대상건물에 따른 오염물질의 발생량이 다르기 때문에 우기 시 비점오염원에 대한 규제는 해체현장에서도 필요할 것으로 판단되며, 다음과 같이 해체현장의 비점오염원 관리방안을 제안해 보았다.

**해체현장에서의 비점오염원 관리방안 제안**

현재 비점오염원 관리를 위해 수질 및 수생태계 보전법에서는 환경영향 평가 대상 사업에 대해 비점오염원 방지 시설 설치를 의무화하고 있다. 하지만 비점오염원에 대한 규제는 공사 이후 도로 및 단지 내에서의 비점오염원 처리에만 국한되어있으며, 해체현장에서의 비점오염원에 대한 규제는 매우 미비한 실정이다. 따라서 다음을 통해 해체현장에서의 비점오염원 관리를 보다 면밀하게 제안하였다.

- 해체현장의 비점오염원은 해체단계에 따라 부유분진의 발생량에 직접적으로 연관되어 있으며, 해체지역에서 강우강도 및 살수량의 변화에 의해 매우 많은 영향을 받는 것으로 확인되었다. 따라서 구조물 해체 시에는 해당 건물의 이력을 면밀히 파악하여 사전 작업 시 중금속 등의 오염물질 발생이 예상되는 자재를 선별하여 사전에 제거하는 것이 필요하며, 특히 특수한 용도로 사용된 구조물에 대해서는 보다 세밀한 분리선별 작업을 실시한 후 해체가 진행되어야한다.

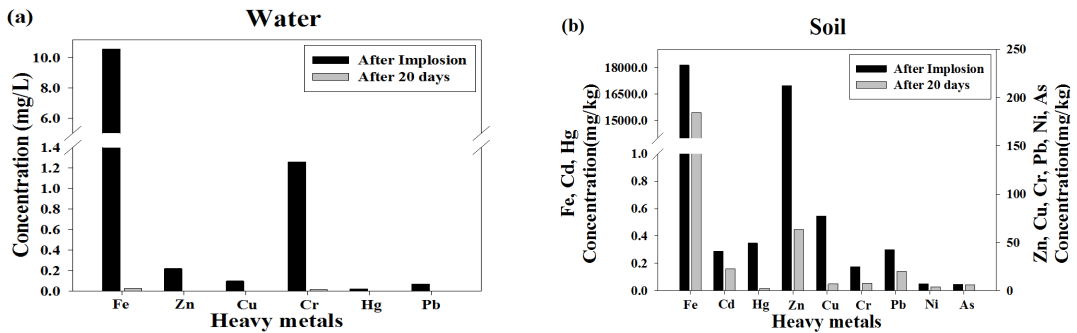


그림 6. 발파작업 직후와 시간경과 후의 수질과 토양의 중금속 오염농도.

표 3. 도시적인 토지이용형태에서 적용가능 할 것으로 고려되는 관리기술

적용기술 유형	최적 관리 기술
저류형	연못, 저류지, 이중연못저류조(우수지 활용), 인공습지 등
침투형	침투조, 침투도랑, 침투성포장 등
식생형	식생여과대, 식생수로
여과장치형	강우여과조(Stromfilter), 모래여과조(Sand Filter)
관거연결형	회전농축분리기, 부유침전물 분리장치(Vortex Solids Separators), 유물 오일분리기, Stormceptor, Stormgate, Wilson 시스템
하수처리형	초고속응집-침전시설, 생물학적 처리시설접촉안정법, 폭기식라군법, 살수여상법, 회전원판법)등



- 해체현장에서 쉽고 경제적으로 적용할 수 있는 비점오염원 처리시설로서 토양의 유실을 원천적으로 제어하는 기술이 비점오염원 유출저감에 가장 효과적이다. 또한 유실로 인한 빗물 내 침사물을 제거하는 경우, 충분한 체류시간을 확보하는 것이 중요하다.
- 토양의 유실을 제어하는 비점오염원 처리시설만으로 해체현장 비점오염원 관리가 매우 제한적이며, 추가적으로 수질 저감이 가능한 장치형 여과시설을 적용하는 경우, 비점 오염원 배출량을 현저하게 감소시킬 수 있다. 그 밖에 도시적인 토지이용형태에서 적용가능 할 것으로 고려되는 관리기술을 표3(이와 배, 2002)에 나타내었다.
- 해체현장에서 비점오염원 배출 부하량을 효과적으로 감소하기 위해서는 부유분진의 저감시설을 통해 발생하는 부하량을 최대한 감소시키고, 장치형 시설 또는 그와 상응하는 높은 효율의 처리시설과 연계하여, 인근 수계오염을 방지할 수 있는 연계처리 방안이 모색되어야 한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 구조물의 해체를 통한 주변 환경의 수질 및 토양에 미치는 영향을 파악하기 위해 천공작업과 발파작업 전후의 토양 및 수질오염을 비교·분석하였고, 시간경과에 따른 오염물의 거동 특성을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 천공작업과 발파작업의 해체공정에 따른 수질 및 토양의 pH는 8.5-9.3으로 기준치인 5.8-8.6보다 높게 측정되었으며, 이는 구조물의 설립에 사용되는 콘크리트의 수산화칼슘 성분이 주변 토양 및 수계에 내포되어 pH 상승에 기인한 것으로 판단된다.
- 2) 토양에는 수질보다 많은 중금속을 함유하고 있기 때문에 수질에 노출된 모든 오염물질이 토양으로 유입된다고 하더라도 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단되며, 천공작업으로 인해 발생된 수질 및 토양 오염물질은 대부분 기준치를 초과하지 않아서 인근지역의 수계나 토양오염에 미치는 환경영향은 크지 않은 것으로 판단된다.

- 3) 발파작업으로 인해 발생된 수질 및 토양 오염물질은 대부분 현저하게 증가하였고, 수질에서의 Hg과 토양에서의 Cu, Pb, As는 기준치를 초과하는 것으로 나타났다. 그러나 Hg과 As의 경우는 발파 전부터 기준을 초과하였기 때문에 발파에 의한 영향으로 판단하기는 힘들며, 대부분의 오염물질들이 기준치 이내로 나타났다. 결과적으로 발파작업에 의해 오염물질이 급격하게 증가하는 것은 사실이나, 오염물질의 기준치 초과 원인을 단순히 발파에 의한 것으로 결론짓는 것은 무리가 있다.
- 4) 다른 해체 현장에서의 수질 및 토양의 중금속 오염 분석 결과를 통해서 발생 가능한 농도 범위를 예상하였고, C 고등학교의 발파해체로 인한 중금속의 오염 농도는 수질에서보다 토양에서 발생 가능한 농도 범위를 초과한 항목이 많이 나타났다. 특히 Pb, Cu, As의 항목이 다른 현장보다 현저히 높게 나타났으며, 결국 해체 대상 지역의 수질 및 토양 오염도는 해체 대상 구조물의 특성이나 용도, 건축 재료의 재질에 따라 주변 환경에 끼치는 영향이 다른 것으로 판단된다.
- 5) 천공작업에서의 시간경과와 우기로 인한 농도변화에 있어서, Fe 농도의 증가는 천공작업 시 시행하는 페 콘크리트 파쇄 작업으로 인한 산화철( $Fe_2O_3$ ) 성분에 의한 것으로 판단된다. 하지만 Fe 이외의 모든 오염물질은 천공작업과 발파작업에서 대부분 감소하는 경향을 보였으며, 이는 해체현장의 오염물질이 비점오염원으로서 주변 환경에 영향을 줄 것으로 판단하였다.
- 6) 해체현장에서 비점오염원 배출 부하량을 효과적으로 감소하기 위해서는 토양유실의 원천적 제어 및 부유분진의 저감시설 등을 통해 발생하는 오염물을 최대한 감소시키고, 장치형 시설 또는 그와 상응하는 높은 효율의 처리시설과 연계하여 인근 수계오염을 방지할 수 있는 연계처리 방안이 모색되어야 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호 : 06건설핵심B04)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 국립환경과학원, 2004, 전국 폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부.
2. 김창학, 김효진, 2006, 건설해체공사의 폐기물 통합관리 시스템의 개발, 대한토목공학회 논문집, Vol. 26, No. 1, pp. 627-634.
3. 나춘기, 이무성, 김옥배, 박희열, 박정용, 1997, 공업단지 주변 토양의 중금속 오염에 관한 환경 지화학적 연구, 한국자원공학회지, Vol. 34, No. 1, pp. 1-10.
4. 안지환, 2004, 건설폐기물 발생원인 및 재활용을 위한 분별 해체, 한국폐기물학회, Vol. 21, No. 8, pp. 902-912.
5. 이현동, 배철호, 2002, 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, 한국물환경학회, Vol.18 No.6, pp. 569-576.
6. 채희문, 전석원, 2004, 축소모형실험과 입자결합모델 해석을 통한 철근 콘크리트 구조물의 발파해체 거동에 관한 비교 분석, 대한화약발파공학회, Vol. 22, No. 1, pp. 33-43.
7. Chu, K.H., K.H. Lee, H.J. Kim, S.H. Ham and K.B. Ko, 2011, Comparison and analysis of the dust, water, and soil pollution in explosive demolition sites, Science and Technology of Energetic Materials, Vol. 72, No. 1, pp. 36-43.
8. Lee, K.H., H.J. Kim, K.H. Chu, and K.B. Ko, 2011, The generation characteristics of instant dusts at the time of structure demolition by explosion, Science and Technology of Energetic Materials, Vol. 72, No. 1, pp. 26-35.
9. Roussant, N., J. Mehu, M. Abdelghafour and P. Brula, 2008, Leaching behavior of hazardous demolition waste, Waste Management, Vol. 28, No. 11, pp. 2032-2040.
10. Trankler, J.O.V., I. Walker and M. Dohmann, 1996, Environmental impact of demolition waste - An overview on 10 years of research and experience, Waste Management, Vol. 16, No. 1-3, pp. 21-26.



주 경 훈

연세대학교  
토목·환경공학과 박사과정

Tel: 02-362-3013  
E-mail: foreverchu@yonsei.ac.kr



유 성 수

연세대학교 토목·환경공학과 석사과정

Tel: 02-362-3013  
E-mail: poongwoong@yonsei.ac.kr



이 경 희

도명 E&C

Tel: 02-571-1780  
E-mail: khlee1975@nate.com



김 효 진

한국토지주택공사

Tel: 031-738-4715  
E-mail: hyojin@lh.or.kr



고 광 백

연세대학교 토목·환경공학과 교수

Tel: 02-2123-2892  
E-mail: kbko@yonsei.ac.kr