

해체공사의 분진발생과 토양, 수질 오염의 특성

The Comparison and Analysis of Dust, Soil and Water Pollution Through the Case Study of Demolition Sites

이 경 희*
Kyoung Hee Lee

김 효 진**
Hyo Jin Kim

박 재 한***
Jae Han Park

주 경 훈****
Kyoung Hoon Chu

고 광 백*****
Kwang Baik Ko

요 약

최근 도심지의 고층건물 해체 수요가 급증하면서 친환경적인 해체공법의 개발 및 실용화가 요구되고 있다. 이를 위해서는 해체 시 발생 할 수 있는 환경오염물질에 대한 계측 및 평가가 선행되어야 하며, 이를 토대로 제어기술 및 대책방안이 개발되어야 한다. 해체현장에서 발생하는 주된 환경위해요인은 소음, 진동, 분진 등이며 현재까지 어느 정도 많은 연구가 이루어졌다. 하지만 최근에는 해체현장에서 발생하는 분진을 제어하기 위해 사용되는 다량의 물에 의한 토양 및 수질오염에 대한 관심이 증대되고 있다. 본 연구에서는 해체현장에서 발생하는 분진 특성을 현장별로 비교 평가 하였고 이를 제어하기위해 사용되는 살포수에 의한 현장의 수질 및 토양오염의 특성을 분석했다. 그 결과 대부분의 오염도는 우려할만한 수준은 아니었으나, 살포수와 대상건물에 따라 특정 오염물질의 농도가 매우 높게 나타났다. 하지만 해체현장에서의 수질 및 토양오염에 대한 연구는 전무한 실정이며, 오염물질의 발생을 최소화하고 사전에 우려되는 유해물질을 선정하기 위한 대책을 수립하는 것이 필요하다. 따라서 본 연구에 포함되어있는 분석 자료는 현재 국내에서 이루어지고 있는 건축물의 해체현장에서 발생하는 환경 위해요인의 현황을 파악하는 좋은 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 해체, 분진, 살포수, 토양오염, 수질오염

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

2000년을 전후로 기존의 중·저층 위주였던 구조물 해체공사는 1970년대 후반 이후 대량 건립된 고층 구조물의 해체공사로 전환되고 있다(건설교통부 2006a). 특히 전반적인 삶의 질 향상으로 인해 환경에 대한 관심이 증대되었고 이에 따라 다양한 환경위해요인을 발생시키는 해체공사도 친환경적인 변화가 요구되고 있다. 따라서 본격적인 중·고층 구조물의 해체시기에 대비하여 친환경적인 해체공법의 개발 및 적용이 필요한 시점이다. 특히 도시공간의 높은 곳에서 작업이 이루어지는 고층건물의 해체공사는 저층건물의 해체에 비해 각종 환경위해요인이 미

치는 영향권이 광범위하다. 또한 도심지에서의 해체공사는 상업지역이나 주거 밀집지역에서 이루어지는 경우가 많아 민원발생의 가능성이 높다. 실제로 우리나라의 경우 2000년 7,480건이던 소음·진동 관련 민원이 2007년 35,568건으로 지난 8년간 5배가량 증가 하였다(환경부 2008a).

해체공사과정에서 발생하는 소음·진동·분진·폐수 등 환경위해요소는 공사가 진행되는 동안뿐만 아니라 공사가 완료된 이후까지 주변 환경에 영향을 미친다. 기존의 해체공사 관련 연구는 공사 과정에서 문제가 되는 소음·진동에 관한 것이 대부분이었다. 근래에 와서 분진에 대해 주목하고 있으나, 수질이나 토양의 오염에 대한 연구는 전혀 이루어지지 않은 실정이다. 해체 현장에는 각종 철거잔재들이 혼재된 상태로 산개하여 존재하며 대부분의 폐기물은 현장 밖으로 반출된다. 그러나 해체과정 중

* 일반회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구원·연세대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정, khlee75@jugong.co.kr

** 일반회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원, hyojin@jugong.co.kr

*** 일반회원, 연세대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정, withpark79@hotmail.com

**** 일반회원, 연세대학교 대학원 토목환경공학과 통합과정, foreverchu@yonsei.ac.kr

***** 일반회원, 연세대학교 토목환경공학과 교수, 공학박사(교신저자), kbko@yonsei.ac.kr

에 발생하는 미·세립분 형태의 분진은 그 자체에 유해물질들을 포함하고 있고, 해체시공 중 분진제어를 위한 살수에 의해 현장 내외의 수질 및 토양의 오염을 가져오기도 한다. 또한 해체시공 중 강우에 의해 미세 철거 잔재들이 현장 토양을 오염시킬 수 있고, 강우에 의해 오염물질들이 주변 하천이나 하천유역과 같이 광범위한 배출경로로 유입되는 비점오염원으로 작용하기도 한다. 뿐만 아니라 절단 과정에서 물을 사용하는 습식공법의 경우 각종 폐수 및 슬러지가 발생하여 현장 토양을 오염시키고 주변 지역 및 하천으로 유입되어 오염원으로 작용하고 있다. 실제 해체현장의 환경영향평가를 수행한 기존의 연구 자료에 따르면 도로나 건물이 밀집된 지역은 강우에 의한 비점오염 우려에 따라 인근 하천 등지의 수질을 조사하도록 되어있으며, 발생분진이 대기에 미치는 영향을 평가하도록 되어있다(DOE 2006).

이와 같이 해체과정에서 발생하는 폐건설 자재의 도로, 마감재 등에 함유된 유해성분의 용출에 의해 광범위한 오염을 유발할 수 있음에도 해체현장에서 이들 오염원을 줄이기 위한 노력은 거의 없었으며 그와 관련된 접근이 이루어지지 않고 있다. 뿐만 아니라 해체현장에서의 수질 및 토양의 오염도를 측정할 자료도 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수질 및 토양 오염과 밀접한 관계가 있는 해체현장의 분진발생 특성 및 폐수와 토양 오염도 분석 결과를 제시하고 이를 토대로 환경기준 및 환경인식에 부응할 수 있는 저공해형 및 민원발생 저감형 해체기술을 개발하기 위한 발판을 마련하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 국내에서 수행되는 해체현장에서 발생하는 환경위해요인(분진, 토양오염, 수질오염)에 대한 기초적 연구를 수행한다. 연구는 기계식 해체현장 외에 분진·수질·토양오염이 짧은 시간에 집중적으로 발생하는 발파해체현장을 대상으로 하여, 현장의 분진 및 수질·토양의 오염도를 측정하였다. 분진의 경우 현장에서 풍향 및 풍속을 고려하여 분진측정기를 활용하여 측정하였고, 수질 및 토양은 해체 지점에서의 거리별로 시료를 채취하여 실험실에서 분석하였다. 이러한 분석 자료는 현재 국내에서 이루어지고 있는 건축물의 해체현장에서 발생하는 환경 위해요인의 현황을 파악하는 좋은 자료가 될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 해체공사 환경위해요인 발생 특성

2.1 분진

해체 시 분진의 발생에 영향을 미치는 요인으로는 콘크리트 수분, 풍속/풍향, 강우-증발지수, 습도 등을 들 수 있으며 측정 당시의 대기상태가 중요한 인자로 작용한다.

입자상 오염물질의 중량농도는 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 단위로 표시하며, 대부분 국가의 부유분진 기준은 PM 10(공기역학적 직경이 $10\mu\text{m}$ 이하의 분진)을 기준으로 하고 있다. 한국도 2001년 이후 환경부의 대기환경 기준에서 총 부유분진 항목이 삭제되고 미세먼지 기준으로 전환되었다. 이후 점차 선진국 수준의 대기환경이 요구되어 2007년 1월 1일부터 연간 $70\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일일 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 연간 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$, 일일 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 상향조정되었다(환경부 2008b). 또한, 최근 천식 및 만성 기관지염 등의 호흡기 질환을 유발하는 것으로 알려져 있는 직경 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 초미세입자에 대한 관심이 급증하고 있지만, 국내에서는 미세먼지(PM10) 외에 아직 초미세먼지에 대한 규정은 없는 실정이다(정종석 2008). 현재 국내의 미세먼지(PM10) 농도는 주요 선진도시의 2~3배에 이르고 있으며, 대기오염으로 인한 사회적 피해비용은 연간 10조원에 달할 정도이며, 수도권 대기환경은 OECD국가 중 최하위 수준이므로 정부로서는 수도권의 대기오염 개선을 위한 대책이 필요하다(경기도보건환경연구원 2007). 각국의 대기환경기준을 비교한 결과를 다음 <표 1>에 나타내었다.

표 1. 각국의 대기환경 기준 비교

항목	기준 시간	한국	미국 (연방)	미국 (Cal주)	일본	영국	호주	홍콩	EU	WHO
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1시간				200					
	24시간	100	150	50	100	50		180	50	50
	1년	50		20		40	50	55	20	20

주) Cal : 캘리포니아주(California)

기계식 해체현장에서 분진은 공사기간 동안 장기간에 걸쳐 발생하는 누적분진이 문제가 될 수 있다. 일반적으로 측정된 분진 발생량은 PM10 기준으로 연간 규제기준인 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 하회하는 수준이다(건설교통부 2006b). 반면 발파식 해체현장에서는 발파 전에 비해 엄청난 양의 분진이 순간적으로 발생했다가 빠르게 감소하는 양상을 보인다. 지속적으로 발생하는 분진에 비해 측정 자료의 수집이 어렵고 일반적인 방진대책의 적용도 어

려워 발파해체 현장에서 가장 제어가 어려운 부분이라 할 수 있다. 따라서 발파해체 현장에서의 분진은 기존의 질량분석법으로 계측하는 것이 큰 의미가 없다고 판단된다.

이와 같은 분진의 물리적 특성 중 질량농도는 대기의 환경학적 관점 및 인체의 건강측면에서 중요한 변수 중 하나인데, 해체 현장에서 발생하는 분진은 분진 자체의 비산으로 인한 주변지역의 직접적인 피해뿐만 아니라 분진 내에 각종 오염물질이 포함된 경우 현장 내외에 침전한 분진의 유해성분이 각종 간접오염을 유발할 수 있다는 측면에서 관리가 중요하다.

2.2 수질/토양

해체현장의 경우 수질오염의 측면에서 비점오염원으로 작용할 뿐만 아니라 현장의 특수성 때문에 전통적인 수질오염의 척도를 기준으로 판단하는 것은 무리가 있다. 왜냐하면 해체과정에서 발생하는 오염물질의 경우 구조물의 건축 재료에 크게 영향을 받기 때문이다.

최근 구조물 신축공사에서 콘크리트의 사용이 많아지고 기존보다 경량재료의 사용이 늘어나면서 카드뮴, 수은, 납, 크롬, 구리, PCB, PAH, 오일 등의 유해화합물도 증가하고 있다. 이와 같은 잠재적 유해물질은 목재, 전기장비, 플라스틱, 접착제, 선단의 밀봉처리 물질, 석면, 형광램프, 타르, 페인트의 납 성분 등에서 기인하며 해체과정에서 유출되는 것이다. 이들 유해화합물은 해체공사 중 비산된 분진에 의해 곧바로 토양계나 수계로 유입될 수 있다. 그리고 더 나아가 분진제어를 위한 살수과정 혹은 강우 등으로 인해 물과 함께 인근 토양계 및 수계로 유입될 가능성이 높다. 따라서 수질 및 토양오염에 대한 연구는 해체과정에서 발생할 수 있는 유해물질의 종류 및 범주를 결정하고 발생 특성을 분석하는 것에서 출발하여야 할 것이다. 해체현장에서 발생할 수 있는 유해화합물의 발생 특성은 다음의 <표 2>와 같다.

표 2. 해체공사에서 발생하는 유해물질의 특성

유해성분	발생원
Cd	Organic bound cadmium Stabilisers in plastics
	Metallic cadmium Surface finishing agents
Hg	Metallic mercury Indications and switches in electrical installations
Pb	Organic lead Additive in plastics
	Metallic lead Sealing in sewer drains
PCB-compounds (Polychlorinated biphenyls)	Sealing compounds, condensers and anti-slip floor covering
CFC-compounds (Chlorofluorocarbons)	Freezing agents and polymeric insulating materials
Oil & PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons)	Oil spill, e.g. from machines, in felt roof, tarry compounds
Chromium	Concrete, mortar
Copper	Wires, copper waste pipes
Phenolic compounds	Insulating materials, adhesives

3. 오염물질의 측정과 결과분석

3.1 현장개요

해체현장에서 발생하는 소음/진동 특성에 관한 연구는 기존에 다루어진 적이 많으므로 본 연구에서는 각 해체현장에서의 분진 발생경향, 수질오염, 토양오염을 중심으로 계측을 실시하였다. 특히 분진이 집중적으로 발생하는 4개 발파해체 현장을 위주로 측정을 실시하였으며, 그 외 기계식 해체현장에서도 분진, 토양, 수질 오염도를 측정하였다. 각 현장의 개요는 다음과 같다.

표 3. 해체현장 개요

	용도	대상 건물 및 개요	적용 공법	주변 지역
발파 해체 현장	C	호텔 · RC-라멘구조 · 지상 10층, 지하 2층	· 점진붕괴공법	대규모 재개발 단지 조성중인 공사장
	Y	화력 발전소 · RC-라멘, 벽식 구조 · 본건물: 8층(높이 45m) · 부속건물: 4층(25m) · 굴뚝 1기(높이 59.5m)	· 본건물: 전도공법 · 부속건물: 점진붕괴공법 · 굴뚝: 전도공법	뒤편에 야산, 양측면부 발전소 부지, 전면부 약 100m에 왕복 2차선 도로 및 하천
	G	화력 발전소 · RC-라멘, 벽식 구조 · 본건물: 12층(높이 54m) · 굴뚝 1기: 높이 70m	· 본건물: 점진붕괴공법 · 부속건물: 점진붕괴공법 · 굴뚝: 전도공법	바닷가 인근, 복합화력소 건립부지
	H	교회 · RC-라멘구조 · 지상 10층, 지하 1층, · 연면적 4,544m ²	· 점진붕괴공법	뒤편 공원, 인근 대규모 신축아파트
기계식 해체 현장	D	운동장	도심지, 도로 및 상가 인접, 발파해체 사전취약화를 위한 기계식 해체	
	K	상업용	현장재활용을 위한 콘크리트 크리셔를 이용한 기계식 해체	
	O	상업용	재건축 단지 조성을 위한 기계식 해체현장	

3.2 측정방법

3.2.1 분진

기계식 해체현장의 분진은 대기오염공정 시험법에 따라 1회 6시간 이상 연속 채취하였으며, 질량분석법에 의한 TSP, PM10 발생량을 측정하였다.

표 4. 분진측정기 제원

	MICRODUST pro	DUST MATE	Mini Volume Air Sampler
측정 대상	PM10	TSP, PM10, PM2.5, PM1	TSP, PM10
비고	· 발파해체 현장 대상 · 최대 측정범위 2,500mg/m ³ · 15,700개 데이터 처리가능 · 광산란방식	· 발파해체 현장 대상 · 분진입경별 4가지 항목 동시측정 가능 · 광산란방식	· 기계식 해체현장 대상 · 공정시험법에 의한 질량 분석법

발파해체 현장의 경우 각 현장별로 3~4지점에서 PM10의 분진발생 최대값을 측정하였고, 그 외 TSP, PM10, PM2.5, PM1

등을 측정하였다. 발파 15~20분전부터 발파 후 20분까지 약 40 분간 1초 간격으로 지속 측정하여 발파전후 시간대별 분진발생량 변화를 측정하였다.

3.2.2 토양

토양시료는 대상지역을 대표할 수 있도록 5개의 지점을 선정하였으며, 대상 지역에 시설물 등이 있어 간격이 불충분할 경우 간격을 적절히 조정하였다. 토양표면의 잡초나 유기물 등 이물질 층을 제거한 후 토양시료 채취기를 이용하여 약 500g의 시료를 채취하였다. 또한 토양오염도 검사를 의뢰하기 위해 표토층 및 일정 깊이 이하의 토양시료를 채취하여 이물질을 제거한 후 체에 걸러 공정시험법에 의거 시험항목별로 적절한 용기에 보관하였다.

채취된 시료는 토양오염 우려기준에 제시된 항목을 위주로 서울대학교 토양오염분석연구단에 의뢰하여 분석하였으며 실험기기의 제원은 아래 표와 같다.

표 5. 토양오염측정 기기 제원
(서울대학교 토양오염분석연구단 의뢰)

유해물질	측정기기 제원
Cd, Cu, Zn, Ni, As, Cr, CN	· ICP Shimadzu, Japan · AA6401F HVG-1 Shimadzu Japan
Hg	· Quicktrace mercury analysis N-7500, U.S.A.

3.2.3 수질

폐수는 각 지점의 성질을 대표할 수 있도록 지점을 선정하여 시료를 복수로 채취하였다. 오염물질의 성상이나 농도를 균일하게 하기 위하여 여러 장소에서 시료를 채취하여 혼합함으로써 대표성을 확보하였다. 해체현장 내부와 인근의 물웅덩이에서 수차례 채취하여 3~5ℓ 가 되도록 하였다. 수질오염분석은 오염물질 배출허용기준, 혹은 먹는물 수질기준에 준하여 해체현장에서 발생할 것으로 예상되는 수질오염 항목들을 선택하여 한국건설기술연구원의 건설품질인증센터에 의뢰하여 분석하였으며 각 항목별 시험방법과 분석기기는 다음과 같다.

표 6. 수질측정항목 시험장비 제원 및 측정방법
(한국건설기술연구원 건설품질인증센터 의뢰)

항목	시험방법
탁도, Cl ⁻ , COD, SS, T-N, T-P	Standard Method
PCE, TCE	Standard Method6232B (Instrument: Varian star 3600cx)
Cu, Fe, Zn, Cd, Pb, Cr ⁶⁺ , As, Hg	Standard Method3120B (Instrument: Thermo IRIS Interpid II X01)
pH	수질오염공정시험방법4-3
노말핵산추출물질	수질오염공정시험방법4-9
BTEX	먹는물 공정시험방법 2-3-2-3 (Instrument: Varian saturn 3)

3.3 측정결과 및 분석

3.3.1 분진

해체현장에서 측정한 분진은 대기환경 기준에서 정하고 있는 미세먼진(PM10)을 기준으로 측정하였으며, 측정결과는 아래 < 표 7>과 같다. 기계식 해체현장에서는 평균 분진 발생량을, 발파 해체 공법을 적용한 현장에서는 각 현장의 측정지점 별 발파 전 평균 분진발생량, 발파 후 최대 분진발생량, 발파 후 평균 분진 발생량을 제시하였다.

발파해체현장의 경우 발파 전에 비해 엄청난 양의 분진이 순간적으로 발생되었다가 수분 후 급격하게 감소하는 양상을 보이며, 지속적인 분진에 비해 발파순간의 집중 분진의 측정이 여의치 않아 측정 자료의 수집도 어려우며, 일반적인 방진대책의 적용도 어려운 실정이다. 아래의 [그림 1]은 각 발파해체 현장에서 순간 분진발생량이 가장 많았던 측정지점의 분진 발생량을 나타낸 것이다.

표 7. 해체현장별 분진 발생량 계측결과

(단위 : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

		측점	발파전	발파후	최대값	측정점 위치	비고
발파 해체 현장	C	P.1	53	225	260,469	건물 좌측 57m	현장 비계막 안쪽
		P.2	37	287	794,836	건물 우측 45m	현장 비계막 안쪽
		P.3	54	202	529,808	건물 우측 55m	현장 비계막 바깥쪽
	Y	P.1	4	40	182,280 -주)	건물 우측 50m	부속건물과 굴뚝 발파 후 시차를 두고 분진물을 발파하여 발파 시차에 의해 첨두값이 2회 나타남.
		P.2	39	980	271,686 1,173,400	건물 정면 48m	
		P.3	31	603	110,244 451,430	건물 정면 70m	
		P.4	25	38	4,384 -주)	건물 정면 110m	
	G	P.1	210	196	286,708	건물 우측 55m	
		P.2	432	313	31,749	건물 우측 63m	바닷가 인접
		P.3	141	193	105,442	건물 후면 90m	
		P.4	151	142	1,415	건물 정면 120m	현장부지 경계
	H	P.1	69	341	167,122	좌측 정면 40m	현장 비계막 바깥쪽
P.2		47	87	24,215	좌측 측면 40m	인근 도로 건너편	
P.3		3	44	2,158	좌측 후면 100m	인근 아파트 단지	
		측점	평균 농도	기상 조건	기류속도	측정점 위치	비고
기계식 해체 현장	D	-	-	-	-	-	분진 측정 하지 않음
	K	P.1	57	온도 24.5°C 습도 45.5%		현장 외곽 주택가 및 상업지역	대기환경 일일 기준치 초과, 연간 기준치 이내
		P.2	64.3				
		P.3	56				
		P.4	72				
		P.5	68.8				
	O	P.1	89	온도 22.3°C 습도 69.6%	0.9m/s 1.1m/s 0.3m/s	건물 동쪽 100m 건물 동남쪽 100m 건물 남쪽 300m	대기환경 일일 기준치 초과, 연간 기준치 이내
		P.2	78				
		P.3	75				

주) 1차발파 후 측정기 방전으로 측정기 미작동

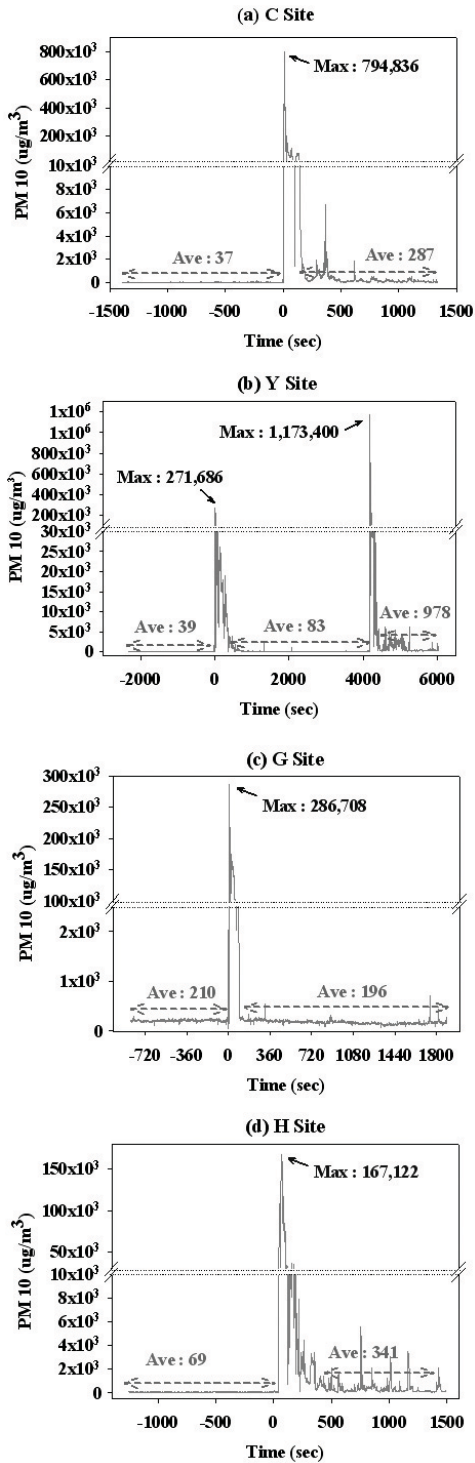


그림 1. 발파해체 현장별 최대 분진 발생량

각 10층 규모의 RC-라멘조 건물인 C와 H해체현장의 경우 유사한 구조특성과 규모에도 불구하고 분진발생 최대값이 약 4.8 배 이상 차이가 발생했다. 이는 C현장의 경우 재개발 중인 공사장에 위치하여 주변의 모래와 흙 등이 산재한 반면, H는 근접 지역이 대부분 아스팔트 포장, 도로, 등으로 분진발생 요인이 적었던 것으로 사료된다. 뿐만 아니라 인근에 대규모 아파트 단지

로 인해 민원에 대응한 사전살수, 방진막 높이 연장 등으로 분진에 대한 대책이 비교적 잘 선행되었기 때문에 판단된다.

본 건물, 부속건물, 굴뚝으로 구성된 화력발전소인 Y현장과 G현장의 경우 분진발생 최대값이 약 4배 이상 차이가 발생하였다. 화력발전소의 경우 장시간 누적된 탄진의 우려로 인해 G현장은 발파 수일 전부터 대상건물을 물로 청소하고, 발파 당일에도 충분한 살수를 통하여 탄진의 상당량을 제거한 반면, Y현장의 경우 인근에 보안건물이 없고, 주택가와 멀리 떨어져있어 분진에 대한 사전조치가 전혀 이루어지지 않았기 때문이다. 또한 측정기의 위치 방향으로 건물의 붕괴가 이루어졌을 뿐 아니라 발파직후 풍향이 측정기 위치 쪽으로 향하여 측정값이 매우 높게 나타났다. 마지막으로 Y현장은 수직으로 중력 낙하시키는 점진붕괴공법에 비해 부지앞쪽으로 대상건물이 그대로 전도되는 전도공법을 적용했기 때문이다.

실제로 이처럼 발파해체 현장에서 각 거리별, 방향별 측정점을 설치하고 분진 발생량을 측정한 결과, 분진의 최대 발생량에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 대상건물의 특성, 적용공법, 건물의 붕괴 방향 및 당시 풍향, 분진저감을 위한 사전조치 등인 것으로 나타났다.

기계식 해체현장의 분진 발생양상은 단시간에 대량의 분진이 발생하는 발파 해체공정과는 큰 차이가 있으며, 일반적으로 저농도의 분진이 공사시간 중 지속적으로 발생한다는 특성이 있다. 공정시험법에 의거하여 분진의 평균농도를 질량분석법에 의하여 측정된 결과, 분진 발생량은 당시의 기상상태, 즉 풍향과 대기습도에 의해 크게 좌우되며, 측정현장에서 모두 일일 기준치를 초과하였으나, 연간 기준치를 하회하였다. 일반적으로 소규모 해체현장의 경우 시공기간이 수일~수주 안에 완료된다는 점을 감안할 때, 규제기준에 대한 대비와 더불어 감정적인 민원을 감안하여 분진 발생을 저감할 수 있는 시공절차를 선택하는 것이 필요하다고 판단된다.

3.3.2 토양

해체 공사 과정에서 발생하는 비석, 폐 콘크리트 분진 등의 오염 발생요소들은 주위 환경에 심각한 영향을 미칠 수 있으며, 해체 공사에 의해 발생된 유기물과 각종 미세 증기속 등은 인근 토양에 침착되어 큰 영향을 끼친다. 이를 정량적으로 분석하기 위하여 해체공사 전후의 토양오염 농도변화를 비교하였다. <표 8>은 각 현장별 해체 전후의 토양오염 측정결과와 토양오염 우려기준(가지역)의 규제기준을 나타낸 것이다.

대부분의 현장에서 해체전후 모두 토양이 강알칼리성인 것으로 나타났다. 일반적으로 콘크리트에는 내부의 철근 부식을 방지하는 기능을 하는 수산화칼슘(Ca(OH)₂)이 함유되어 강알칼리

성(pH 12~13 가량)을 나타내며, 발파 혹은 장비에 의해 콘크리트가 파쇄 되면서 분진의 형태로 비산하다가 살포수 등에 의해 해당지역의 pH를 높이는 것으로 사료된다.

표 8. 해체현장 토양오염 측정 결과

(단위 : mg/kg)

유해물질	토양오염 우려기준 (가지역 주1)	C site		G site		H site		D site	
		해체전	해체후	해체전	해체후	해체전	해체후	해체전	해체후
pH		7.08	11.04 (▲3.97)	9.88	10.44 (▲0.56)	11.23	10.09 (▽1.14)	8.37	10.8 (▲2.43)
Cd	1.5	ND ^{주2)}		0.06	0.07 (▲0.01)	ND	0.15 (▲0.15)	0.02	ND (▽0.02)
Cu	50	0.07	0.14 (▲0.07)	10.18	ND (▽10.18)	ND	2.24 (▲2.24)	2.27	ND (▽2.27)
Zn	300	30.63	122.16 (▲91.53)	100.93	239.16 (▲138.23)	99.21	682.29 (▲583.08)	103.84	78.33 (▽25.51)
Ni	40	2.29	11.43 (▲9.14)	12.48	26.05 (▲13.57)	22.35	17.51 (▽4.84)	3.69	9.3 (▲5.61)
As	6	0.04	0.41 (▲0.37)	0.99	3.85 (▲2.86)	0.77	0.66 (▽0.11)	0.74	2.1 (▲1.36)
Hg	4	ND		ND	0.08 (▲0.08)	ND	0.01 (▲0.01)	0.03	0.04 (▲0.01)
Cr	4			19.28	35.95 (▲16.67)	28.43	36.33 (▲7.9)	7.11	9.73 (▲2.62)
Cr ⁶⁺	4	0.48	0.06 (▽0.42)	1.79	ND (▽1.79)				
Pb	100	1.78	0.16 (▽1.62)	9.93	ND (▽9.93)	0.12	1.63 (▲1.51)	5.56	ND (▽5.56)
CN	2			ND					
페놀	4			ND					
PCB	-			0.04	0.38 (▲0.34)				
BTEX	80	ND		ND					

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

주2) ND : 불검출

발파 후 H현장의 Zn이 규제기준을 약 2.3배 초과한 것을 제외하고는 모든 항목에서 토양오염 우려기준(가지역)의 규제치를 초과하지 않았다. Zn의 경우 건축물의 내외장재로 널리 사용되고 있다. 또한 서울시의 1994년 이전 건축물 가운데 아연도강관이 급수관인 가구가 58만 가구일 정도로 많이 사용되고 있기 때문에 해체현장에서 자연스럽게 많이 발생하게 된 것으로 판단된다.

그러나 [그림 2]에서와 같이 토양오염 항목별로 해체전후를 비교한 결과를 살펴보면, 발파 당시 살포수로 인해 오염물질이 검출되지 않은 것을 제외하면 대부분 해체 후 오염물질의 농도가 증가함을 알 수 있다. 특히 중금속인 Zn, Ni, As의 경우 해체 전에 비해 최대 10.3배까지 증가한 것으로 나타났다. 기계식 해체를 실시한 D현장의 경우 발파 해체공법을 적용한 타 현장과

비교할 때 오염물질의 정량에 있어서는 유의할 수준의 차이가 없었으나, 해체전후의 양상을 비교한 결과 발파해체 공법적용 시 오염물질이 보다 많이 증가함을 알 수 있었다. 하지만 기계식 해체의 경우 발파 해체보다 작업 기간이 길기 때문에 해체 기간 동안 발생하는 오염물질의 총량 기준을 고려하면 두 공법이 비슷한 수준의 오염물질을 배출할 것으로 판단된다.

노후 된 건물의 해체 시에는 비록 규제기준 이하라 하더라도 콘크리트를 비롯한 건물의 내외장재에서 토양을 오염시키는 물질이 배출되고 있으며, 이는 강우 시 비점오염원에 대한 우려 이외에도 장기적으로 해당지역의 중금속 오염으로 인한 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 건축물의 해체 시에는 장기적인 토양오염에 대해 사전에 면밀히 검토하고 오염물질 배출을 최소화 할 수 있는 시공기술을 선택하여야 할 것이다.

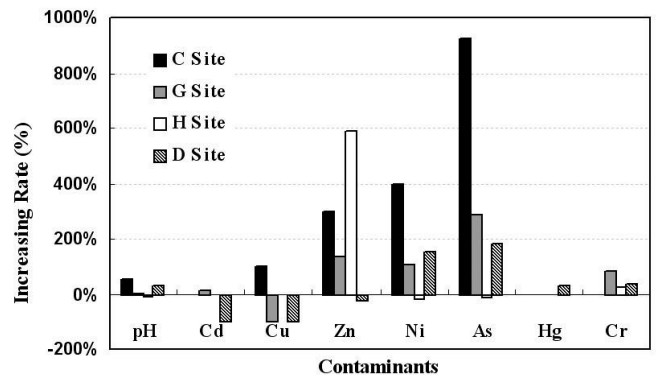


그림 2. 해체 전후의 토양오염물질 증가율

3.3.3 수질

해체 공사 시 현장의 폐 콘크리트 더미 및 폐 목재더미 등의 각종 발생 폐기물이 현장의 수도관 해체과정에서 발생하는 물, 분진 제어를 위한 살포수, 강수에 의해 발생된 물 등과 함께 주변 수질의 위해요인으로 작용한다. 특히 분진의 제어를 위해 시공기간 중 지속적으로 살수를 실시하고 있으며, 살포수에는 분진에 함유된 오염물질과 해체현장에 산재해있는 각종 폐기물에서 용출된 유해물질이 함유되어 있어서 그 유해성이 크다고 할 수 있다. 실제로 물을 다량으로 사용하여 콘크리트 등을 절단하는 워터젯 공법의 경우 교량 해체 시 발생하는 폐수로 인해 물고기가 폐사하는 등의 사고가 발생하고 있으며(강성환 2005), 최근에는 이를 위해 부직포를 이용하여 폐수를 여과한 후 방류하여 SS를 저감하는 방식이 도입되고 있다(Eckenfelder, W. W. 2003). 또한 pH 12.5 가량의 강알칼리성 콘크리트 절단 폐수를 따로 차집 하여 중화하는 방안도 연구되고 있다(여창현 2007). 본 연구에서는 해체현장에 존재하는 물에 포함되어있는 유해물질 분석을 위해 살포수를 채취하여 오염물질 배출허용 기준에 제

시된 항목을 기준으로 분석하였다. 분석 결과는 수질환경보전법 시행규칙 제 8조에 의거 정상가동중인 하수종말처리장 시설에 배수설비를 연결하여 처리하고 있는 배출시설에 대한 배출허용 기준 중 “나”지역의 기준을 적용하였다. 아래의 <표 6>은 각 현장 별 수질오염 농도와 오염물질 배출허용기준을 나타낸 것이다.

표 9. 해체현장 수질 측정 결과

(단위 : mg/L)

유해물질	오염물질배출 허용기준 (나지역)주1)	C site	G site	H site	D site
pH	5.8 - 8.6	10.2 (강염기)	10.0 (염기)	9.02 (염기)	11.03 (강염기)
탁도(NTU)	0.5 주2)	276	3,158	5,544	8310
Fe	10	6,458	42,95	-	46,02
COD	90	57	2,222 (24.7배)	7.8	63,68
SS	80	477 (6.0배)	3,190 (39.9배)	6,310 (78.9배)	9516
T-N	60	4.5	18.3	10.9	17.1
T-P	8	0.39	33.00 (4.1배)	1.8	3.63
Cu	3	0.036	0.154	0.154	0.357
Zn	5	0.224	0.85	-	0.354
Mn	10	-	1,794	-	1,159
Cd	0.1	ND	ND	-	0.003
Pb	0.5	0.03	0.623	0.079	0.128
Cr ⁶⁺	0.5	0.05	0.06	-	1.01
As	0.25	0.008	0.026	0.049	0.002
Cr	2	-	0.085	0.307	0.088
Hg	0.005	0.001	ND	0.018 (3.6배)	0.002
TCE	0.3	-	ND	-	0.295
PCE	0.1	-	ND	-	1.32
BTEX	-	-	0.15	-	0.178
노말헥산추출물	5	7.2 (1.4배)	6.0 (1.2배)	-	211

주1) 오염물질 배출허용기준(나지역) : 수질환경보전법에 따른 환경 수질 3,4,5 등급을 유지하도록 하는 규제기준 (2008.1.17기준)

주2) 먹는물수질기준

pH와 SS가 모든 현장에서 배출허용기준을 초과하였으며 이는 해체 폐기물의 석회 성분 및 분진으로부터 기인한 것으로 판단된다.

C현장에서는 14개 항목 중 총 3개 항목이 배출허용기준을 초과하였다. 유류에 의한 오염을 판단 할 수 있는 노말헥산 추출물질이 광유를 기준으로 허용기준치를 초과하였다. G현장에서는 20개 항목 중 총 5개 항목이 배출허용기준을 초과하였으며, COD가 배출허용기준의 약 25배, 인(T-P)이 약 4배, Fe가 기준치보다 약 4배 높게 나타났다. 또한 유류 중 가솔린에 의한 오염을 나타내는 BTEX가 0.15mg/L 검출되었다. 이는 해당건물이 화력발전소로 사용되었음을 감안할 때 탄진 등에 함유된 오염물질이 배출되었기 때문으로 판단된다. H현장의 경우 10개의 항목 중 총 3개 항목이 배출허용기준을 초과하였다. 특히 Hg가 배출허용기준의 약 4배가량 높은 농도로 검출되었다. D현장의 경우 기계식 해체현장으로 20개 항목 중 4가지 항목이 배출허용기준을 초과하였다. Fe가 기준치보다 약 4배가량 높게 나타났고,

노말헥산 추출물질도 약 40배 높게 나타났다. 아래의 [그림 3]은 각 현장별로 배출허용기준을 초과한 항목들을 도식화한 것이다.

G현장의 경우 화력발전소로 사용되었던 건물이기 때문에 타 현장들과 비교하여 해체 공사 시 오염물질이 상대적으로 많이 배출됨을 알 수 있었다. 따라서 특수 구조물, 산업시설 등의 해체 시에는 건물의 이력, 사용용도 등을 감안하여 오염 예상항목들을 면밀히 검토하여 이에 대한 대책을 마련한 후 해체를 실시하는 것이 필요하다.

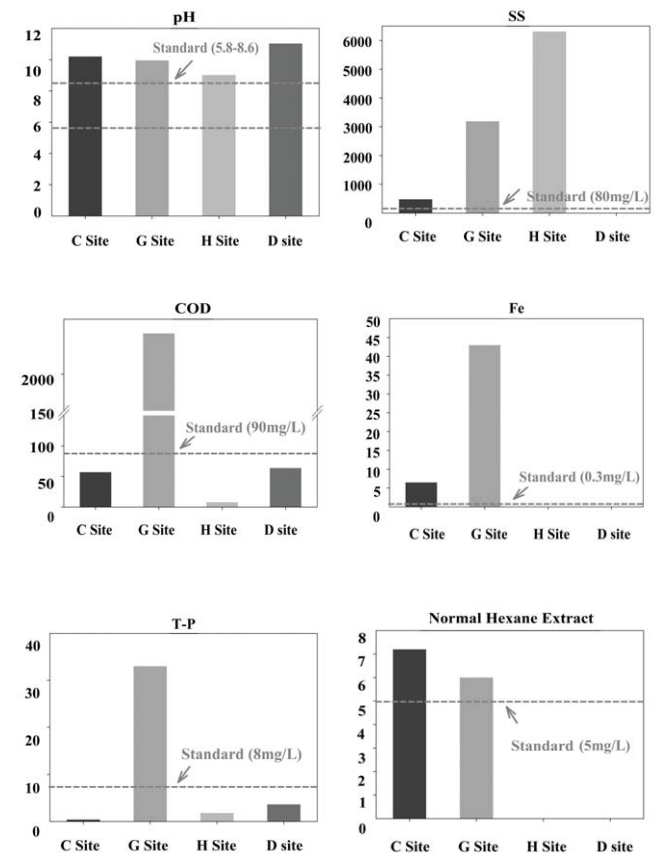


그림 3. 각 현장별 수질배출허용기준 초과 항목

3.4 분진 및 수질/토양오염 저감을 위한 해체 시공 기술 제안

실제로 해체현장에서는 그동안 민원을 예방하고 안전성을 확보하기 위하여 소음, 진동, 비석 등을 저감할 수 있는 각종 방호 방법 및 방음재를 다양하게 적용하여 왔다. 분진의 저감방법으로는 물매트, 대량 살수장치 등을 시험적으로 적용하고 있으나 큰 효과를 거두지 못하고 있다. 특히 분진제어용 살수는 수질/토양 오염과 밀접한 관련이 있어 이를 저감할 수 있는 해체현장 관리방안을 제안하면 다음과 같다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업(06건설핵심 B04)의 일부로 수행되었습니다.

참고문헌

- 강성환 (2005). "Water-Jer을 이용한 노면공사 시 발생하는 콘크리트 폐수 처리방안 연구", 시온환경연구소 연구보고서, pp. 122~125.
- 건설교통부 (2006a). "도심지 건축물 해체기술 연구기획보고서"
- 건설교통부 (2006b). "환경위해요인 최소화를 위한 도심지 고층 건물 유형별 최적 해체기술 개발"
- 경기도보존환경연구원 (2007). "대기환경기준", <<http://air.kihe.re.kr/>> (2007. 12. 04)
- 여창현, 김정규, 송재준 (2007) "워터젯을 이용한 콘크리트 절삭 시 발생하는 폐수의 pH 농도 중화에 관한 연구", 제44권, 제4호, 한국지구시스템공학회지, pp.285~292.
- 정종석, 이재성, 이경희, 전명훈, 배기선 (2008). "현장파쇄시설의 환경민원 발생 저감방안 연구", 건설관리, 제9권, 제5호, 한국건설관리학회, pp. 176~185.
- 환경부 (2008a). "소음·진동 관리시책 시·도별 추진실적 평가"
- 환경부 (2008b). "환경백서", <<http://www.me.go.kr>>
- DOE (2006). "Demolition of Building 51 and the Bevatron Draft Environmental Assessment" US Department of Energy, <<http://www.lbl.gov/Community/construction/b51.html>>
- Eckenfelder, W. W. (2003). "Industrial Water Pollution Control", third Ed., McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, Columbus, USA, pp. 87~93.

논문제출일: 2009.11.13
 논문심사일: 2009.11.20
 심사완료일: 2010.06.16

첫째, 해체시공 전후 충분한 살수를 통해 분진 발생량 최소화하고, 대상 건물의 높이, 규모 등을 파악하여 분진이 미칠 수 있는 범위를 예측하여 적절한 이격거리와 높이로 방진막을 설치한다.

둘째, 해당지역의 폐기물을 철저히 관리하고 철거잔재는 선별하여 반출함으로써 유류, 각종 폐기물, 내장재 등에 의한 오염물질 용출을 최소화한다.

셋째, 살수를 통하여 분진을 저감하고자 할 때에는, 이로 인해 발생하는 폐수에 대한 대책을 함께 검토하여 분진에 함유된 유해물질에 의한 간접오염을 최소화한다.

넷째, 대상건물의 특성에 따라 오염우려 항목을 사전에 선정하고, 살포수는 채집하여 pH중화, 중금속 전처리 등의 적절한 사전처리 후 방류한다.

다섯째, 해체공사가 완료된 후 해당지역의 토양을 수거하여 오염도를 측정한 후 지속적인 모니터링을 통해 관리한다.

여섯째, 특수 구조물, 산업시설 등의 해체시에는 건물의 이력, 사용용도 등을 감안하여 오염 예상항목들을 면밀히 검토하여 이에 대한 대책을 마련한 후 해체를 실시한다.

4. 결론

이상과 같이 해체현장의 분진발생 특성 및 폐수와 토양의 오염도를 통하여 환경기준 및 환경인식에 부응할 수 있는 해체기술 개발을 위한 발판을 마련하고자 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 해체전후 토양은 우려할만한 수준의 오염은 없었으나, 대상 건물에 따라 해체 후 Zn, Ni As 등의 중금속이 최고 10.3배까지 증가하여 이에 대해 사전에 건물 특성 및 이력을 파악하여 오염물질 발생을 최소화 하는 조치가 필요할 것으로 사료된다.
2. 해체현장의 살포수에는 pH, SS와 일부 중금속 항목이 배출허용기준을 초과하였다. 따라서 현장 내 철거잔재의 철거한 관리와 더불어 살수에 의한 분진저감 대책 수립 시에는 폐수에 대한 대책을 함께 검토하여 간접오염을 최소화하여야 한다.
3. 해체현장의 토양, 폐수의 pH는 모두 (강)알칼리성을 나타내었으며, 이는 콘크리트 분진에 기인한 것으로 장기적인 대책이 필요할 것으로 판단된다.
4. 산업시설 등의 특수 구조물 해체 시에는 건물의 이력, 사용용도 등을 파악하여 사전에 우려되는 유해물질을 선정하여 각각에 대한 대책을 수립하는 것이 필요하다.

Abstract

With the rapid economic growth and improvement of living conditions in Korea, rebuilding and redevelopment of existing houses has also been rapidly increasing. As a result, considerable construction and demolition wastes have been produced. Demolition wastes, however, must be given special attention because of the various harmful substances in them. The construction waste has been produced most at demolition phase, but the research into that area has not being to make nearly within the country. The aim of this study was to evaluate and compare the contamination figures of the heavy metals and toxin organic substances in the soil and water caused by flying ashes generated and eventually accumulated in building demolition works. As a result, most of the pollution levels were not worrisome, but some were increased after the demolition with the water used to prevent the dusty air and in the target buildings. However in the vicinity of the demolition sites with explosives there was no report of study in water and soil pollutions, so to minimize pollutions we need to make plans to select the harmful substance in the first place. Thus, this research is expected to be the important materials for future research into the construction waste area.

Keywords : *demolition, dust, sprinkling water, soil pollution, water pollution*
