

# 폐주물사 페놀 용출특성 조사연구

하현섭, 곽완순, 강희규, 추완종, 김현주, 김기문, 박홍경\*, 황수연  
인천보건환경연구원 토양환경과

## Research on the dissolution of phenol in waste foundry sand

Hyun-sup Ha, Wan-soon Kwack, Hee-gyu Kang, Wan-jong Chu, Hyun-ju Kim,  
Ki-mun Kim, Hong-kyung Park\*, Su-yeon Hwang

Division of Soil Environment, Incheon Institute of Health and Environment

### ABSTRACT

Since the 1960s, automobiles, ships, machinery, metal casting industry, the rapid development of the foundry industry was growing in quantity production is highly increased, and thus gradually increased the amount of Waste Foundry Sand. Focusing on the western industrial complex in Incheon Korea, according to the data of the casting industry cooperative combination of companies registered in the country of 228 cast, and the distribution of which 34 companies in Incheon, is about 47% of the capital of the casting company is distributed and processed in Incheon being. In particular, a thermosetting molding process of the mold method is used primarily in the use of the phenolic binder of the shell mold process Waste Foundry Sand and generates the high phenol content. However, due to waste management law the sand is classified as designated waste, as defined in Table 1 of the Enforcement Rule of law matter less than or equal to the reference value is not specified, the waste material is prescribed in the case of Waste Foundry Sand 8 items (oil, lead, copper, arsenic, mercury, cadmium, hexavalent chromium, cyanide) of phenol and test methods are not included. Phenolic substances are regulated by the Basel Convention hazardous wastes specified in international management trends in active combat it will require. In this study, phenol contamination concerns of Incheon in vitro target of Waste Foundry Sand sampling experiments and the dissolution of the phenol test method, considering the total amount of waste in the future Regulation on the basis of additional data sets and test methods utilized in this study to become was carried out.

## 1. 서론

1960년대 이후 자동차, 선박, 기계 등 금속 산업의 급격한 발전으로 주물 공업이 양적으로 매우 성장하여 주물생산량도 증가하였고, 이에 따른 폐주물사의 발생량도 점차 증가하였다. 인천서부산업단지를 중심으로 한국주물공업협동조합의 자료에 의하면 조합에 등록된 국내 주물업체 수는 228개 이고 그중 34개 업체가 인천에 분포, 즉 수도권 주물업체의 약 47%가 인천에 분포되어 있으며 처리되고 있다.<sup>1),2)</sup>

2012년 10월 울산 울주군 회야강<sup>1)</sup>에서는 폐기물 재활용 업체인 K사 야적장에서 폐주물사로 인해 폐놀 함유 침출수가 발생하여 폐놀로 인해 주변 회야강 및 토양이 오염되는 사고가 일어났으며 2011년 강화군<sup>2)</sup>에서 폐주물사가 불법 매립되어 토양오염기준을 초과하여 오염된 토양을 제거하여 재처리하는 사건이 발생하였다.

특히 주조공정 중 주로 사용되는 열경화성 주형방법은 폐놀계 점결제를 사용하는 셀몰드법으로 폐놀함량이 높은 폐주물사를 발생

시킨다. 그러나 폐기물관리법에 의한 폐주물사는 지정폐기물로 분류되어있지만, 동법 시행규칙 별표 1에 규정된 물질이 기준치 이하면 일반폐기물로 처리할 수 있다. 폐주물사의 경우 규정 물질은 8항목(기름성분, 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 6가 크롬, 시안)으로 폐놀 기준 및 시험 방법은 포함되어 있지 않다.

폐놀은 바젤 협약 유해폐기물 규제 대상 물질로 지정 되어 있어 국제적 관리 동향에 적극적인 대처가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 인천광역시 관내의 폐놀 오염 우려가 있는 폐주물사를 대상으로 표본 조사하여 폐놀의 용출실험 및 총함량 시험방법 등을 고려하여 향후 폐기물 규제항목 추가와 시험방법 설정에 기초 자료로 활용되고자 본 연구를 수행하였다.

## 2. 조사대상

2월 시, 군구 청소과에 공문을 통해 인천 관내 주물업체 현황 자료 받아 폐주물사를 배출하는 주물업체를 2~3월에 걸쳐 전수 조사 하여 시료를 채취 하였다. 실제 주물업체를 방문하여 사용하고 있는 공법을 직접 조사하고 폐놀의 오염 우려가 있는 주물업체의 경우 폐기물 및 토양공정시험 기준으로 조사하기 위해 각각 같은 시료에 대해 폐기물시험을 위해서 유리병에 토양공정시험법을 위해서는 각각 유리병, 폴리에틸렌 봉투, 메탄올병에 대상 시료를 채취하였다.

아래 <그림 1>는 이번 조사에서 채취한 폐

- 1) 2012년 10월 울산 울주군 온산읍 강양리 폐기물 재활용업체인 K사 야적장에서 흘러나온 침출수에서 폐놀의 함량이 1.991~9.961mg/L가량 검출. 이는 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률상 폐놀기준치 3mg/L를 3배이상 초과한 것이다. 이 업체의 야적장에서 비가 내리면서 폐주물사에서 폐놀 성분이 빗물에 섞여 회야강 하구쪽으로 흘러나와 회야강 850여m 구간을 붉은 폐수로 오염시킨 것으로 울주군은 추정함.
- 2) 2011년 강화군에 폐주물사를 불법 매립하여 폐놀 및 TPH 항목에서 토양오염기준 초과로 토양 오염이 우려되어 오염된 토양을 제거하고 토양정화처리를 실시함.

주물사이다. 왼쪽은 사용되어진 노란색의 셸 주형이며 오른쪽은 슬래그, 분진, 내화물 잔재, 도가니 잔재 등 고온에서 사용된 후 검은색으로 변화된 폐주물사로 주로 두가지 형태가 혼합되어 배출되어진다. 본 연구에서는 입자 크기의 차이가 큰 입자의 혼입으

로 인한 시료채취량에 의한 오차를 줄이기 위해 셸주형으로 배출되는 폐주물사를 막자와 막자사발을 사용하여 분쇄한 다음 눈금 간격 0.15mm의 표준체(100mesh)로 체걸음한 후 분석 시료로 사용하였다.



< 그림 1> 주물업체에서 발생하는 폐주물사

표 1.과 같이 관내 총 135업체 중 폐놀오염이 우려되는 공법을 사용하는 업체는 37업체이며 비폐놀 공법 사용 업체는 34곳 이였다. 타 지역으로 이전하거나 폐업한곳은 64 곳이나 되어 주물업체 현황파악을 다시 해야 할 것으로 판단된다.

주물 산업 자체가 중소기업 비율이 90%이상인 전형적인 중소기업형 산업으로 관내 주물업체의 현황을 자세히 파악하는데 어려움이 있다.

폐놀오염 우려 폐주물사는 배출하는 업체들은 폐놀수지를 직접 사용하는 업체와 코티드 샌드③를 이용한 셸몰드 공법을 주로

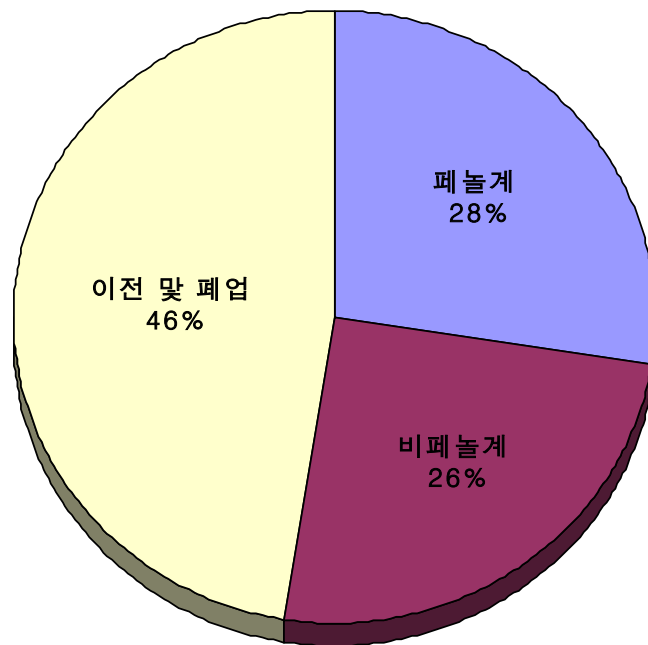
사용하는 업체가 현재 조업 중인 주물업체 52%를 차지하였다. 나머지 48%를 차지한 폐놀오염 우려가 없는 비폐놀 공법을 사용하는 업체들은 주로 CO<sub>2</sub>를 가스를 이용하는 가스형법, 후란수지를 사용하는 후란법, 모래-규산소다를 이용하여 주물을 생산하고 있었다.

3) 코티드 샌드 (coated sand) : 액상 합성수지(폐놀계 수지)를 피복시킨 모래 입자. 셸몰드법에서 쓰인다. 셸몰드의 모래는 규사와 분말 모양의

수지를 혼합하여 만들어지는 수도 있지만 코티드 샌드 쪽이 각부 균질의 주형을 만들어낼 수 있으며, 혼합시키는데 수고가 생략되므로 이런 모래가 널리 이용되고 있음

표 1. 인천시 주물업체 현황

	총 업체수	페놀오염 우려 공법 사용 업체	비페놀 공법 사용 업체	이전 및 폐업
남동구	17	4	8	5
남구	2	2	0	0
동구	1	1	0	0
서구	115	30	26	59
총 업체수	135	37	34	64



<그림 2> 인천관내 주조 공법에 따른 분포도

표. 2는 폐놀 오염이 우려되는 공법을 사용하는 업체로 이번 조사 대상 주물업체

로 선정되어 토양 조사 및 폐기물 조사를 실시하였다.

<표. 2> 조사대상 주물업체

1	C 산업(주)	19	S 산업
2	B 공장	20	J.H 실업
3	L 캐스팅	21	D 산업
4	H 특수금속	22	B 특수금속
5	D 산업(주)	23	J 실업
6	Y 테크	24	H 주공
7	T 금속(주)	25	D 공업(주)
8	H 셀코아	26	D 공장
9	D 실업	27	K 산업
10	S 공업(주)	28	D 셀테크
11	Y 정밀(주)	29	Y 기공
12	J 공업(주)	30	K 금속
13	S 공업(주)	31	H 금속
14	(주)S 주공	32	B 금속
15	D 주공	33	S 기업
16	H 금속	34	D 금속
17	J 금속	35	Y 금속
18	S 주공	36	W 정공

### 3. 분석 항목 및 분석 방법

#### 3.1 폐기물

폐주물사는 지정폐기물로 규정된 8항목(기름성분, 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 6가크롬, 시안)에 대하여 조사하였다.

분석방법은 『폐기물공정시험기준』에 따라 분석하였으며, 분석항목별 분석방법 및 분석기기는 다음과 같다.

##### 3.1.1 납, 구리, 비소, 카드뮴, 6가크롬

#### 분석방법

용출액 25mL을 질산5mL를 주입하여 마이크로웨이브로 유기물 분해한 후 50mL로 mass up한 시료를 원자흡광광도계(AA280F S, Varian)를 이용하여 측정한다. 6가크롬의 경우 원자흡광광도계(AA)를 이용해서 분석 후 검출 시 3가크롬을 선택적으로 침전하여 제거한 후 6가크롬을 환원, 침전시켜 전처리한 시료를 직접 불꽃으로 주입하여 원자화하여 원자흡광광도법으로 분석한다.

### 3.1.2 수은 분석방법

위 납 등 분석방법의 최종 여액을 수은분석기(MA-2, Nippon Instrument)에서 분석한다.

### 3.1.3 시안 분석방법

용출액 100mL을 pH 2이하의 산성에서 EDTA-2Na 넣고 가열증류하여 시안화물 및 시안착화합물의 대부분을 시안화수소로 유출시키고 수산화나트륨용액에 포집한다. 포집된 시안이온을 중화하고 클로라민T를 넣어 염화시안으로 하여 피리딘·피라졸론 혼합액을 넣어 나타나는 청색을 620nm에서 흡광광도계로 측정한다.

### 3.1.4 기름성분 분석방법

폐유(0.2~2.5g) 또는 용출액 15mL를 산성화시킨 후 노말헥산으로 추출물질을 포집한 다음 노말헥산으로 추출하고 80℃에서 가열방냉 후 잔류물의 무게를 기록하여 측정한다.

### 3.1.5 페놀 분석방법

용출액 10mL를 수질자동분석기(AA3. Bran Luebbe)를 이용하여 510nm에서 측정하였다.

## 3.2 토양

분석항목은 20항목(카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납, 6가크롬, 아연, 니켈, 불소, 유기인화합물, 폴리클로리네이티드비페닐, 시안, 페놀, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 석유계 총탄화수소(TPH), 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌)에 대하여 조사하였다.

분석방법은 『토양오염공정시험기준』에 따라 분석하였으며, 분석항목별 분석방법 및 분석기기는 다음과 같다.

### 3.2.1 카드뮴, 구리, 비소, 납, 아연, 니켈의 분석방법

토양을 풍건하여 100메쉬 표준체로 체걸음한 후, 시료 3g을 질산 3.5mL, 염산 10.5mL를 가하고, 상온에서 2시간, 105℃에서 2시간 반응시켜 여과 후, 여액 100mL를 원자흡광광도계(AA280FS, Varian)를 이용하여 측정한다.

### 3.2.2 수은

위 카드뮴 등 분석방법의 최종 여액을 수은분석기(MA-2, Nippon Instrument)에서 분석한다.

### 3.2.3 6가 크롬 분석방법

생토 2.5g을 분해용액, 무수염화마그네슘, 인산완충액을 넣고 1시간 분해 여과 후 pH를  $7.5 \pm 0.5$ 로 조정, 디페닐카르바지드용액을 넣어 반응시킨 후 다시 pH  $2.0 \pm 0.5$ 로 조정하고, 5~10분 후 흡광광도계(UV-2550, Shimadzu Corporation)로 측정한다.

### 3.2.4 불소 분석방법

건조토 1g과 CaO 5g을 완전혼합하여 500℃, 5시간 후 2시간동안 800℃까지 승온하면서 회화하고 회화된 시료를 증류하여 지르코닐산-SPADNS로 발색하여 흡광광도계(carry3000)로 570nm에서 측정한다.

### 3.2.5 유기인 화합물 분석방법

생토 20g을 염산용액(1N) 10ml - 혼합 Hexane 40ml, 10min 격렬 진탕하여 추출 후 IPS로 여과해서 농축하여 헥산층을 대부분 휘산하여 잔류물에 Aceton으로 10ml를 정확히 넣어 녹인 후 검액 시료로 하여

Varian3800 GC로 정량하였다

### 3.2.6 폴리카로리네이티드비페닐

생토 30~100g에 노말헥산 50mL를 넣어 혼합 후 초음파 추출 한 후 다층실리카겔컬럼 정제하여 모든 용출액을 받아 1mL 로 농축하여 GC/ECD(carry 3000) 분석 한다

### 3.2.7 시안 분석방법

시료 10~20g을 pH 2이하의 산성에서 EDTA-2Na 넣고 가열증류하여 시안화물 및 시안착화합물의 대부분을 시안화수소로 유출시키고 수산화나트륨용액에 포집한다. 포집된 시안이온을 중화하고 클로라민T를 넣어 염화시안으로 하여 피리딘·피라졸론 혼합액을 넣어 나타나는 청색을 620nm에서 흡광광도계로 측정한다.

### 3.2.8 페놀 분석방법

약 10g을 고속용매추출기(ASE, Dionex)를 이용하여 N-hexna:Aceton(1:1)으로 추출한 후 IPS 여지로 물을 제거하고, 진공농축기로 1~2ml로 농축한다. Methanol로 10ml mass up하여 vial에 옮긴 후 검액 시료로 하여 Agilent 6890N GC FID로 정량하였다.

### 3.2.9 TPHs 분석방법

약 20g을 고속용매추출기(ASE, Dionex)를 이용하여 디클로로메탄으로 추출한 후 IPS 여지로 물을 제거하고, 진공농축기로 2ml로 농축한다. 유기물을 제거하기 위해 농축액에 실리카겔 0.3g을 넣고 30초간 진탕(Speed control)하여 5분 간 정치시킨 후 상등액을 시료로 하여 Agilent 6890N GC FID로 정량하였다.

### 3.2.10 BTEX, TCE, PCE 분석방법

시료 약10g을 10ml 메탄올에 넣어 상층액이 혼탁하거나 이물질이 혼입되어 있을 경우, 2분간 세게 흔들 시료(in MeOH)를 원심 분리한 후 상층액을 취한다. Purge & Trap을 이용하여 Agilent 6890N GC, 5973 N MSD로 분석하였다.

## 4. 구조 방법에 따른 폐주물사 특성 및 재활용 현황

국내 이용되고 있는 일반적인 주형공정은 크게 4가지 종류로 구분할수 있고, 이는 생형법, 가스형(CO<sub>2</sub>)법, 후란법과 셀몰드법이다. 생형법은 주물사와 점토분인 벤토나이트를 혼합하고 석탄분을 첨가한 후에 점결제를 넣어 구조형을 형성하는 방법이고, 가스형법은 규산소다 점결제와 주물사를 혼합한 다음 CO<sub>2</sub> 가스를 통과 시켜 경화되는 것을 이용하는 방법이다. 후란법과 셀몰드법은 합성 수지 배합사를 이용하는 방법으로 후란 법은 후란수지를 셀몰드 법은 별도의 경화제 없이 열을 가하면 경화되는 주형으로 주로 중자의 제조에 많이 사용되고 있으며 점결제로 Novorak Resin(Phenol+Form Aldehyde)이 사용되고 있다. <sup>3-4)</sup>

또한 주물제품 1톤 당의 산업폐기물의 발생량은 약 0.54톤이며, 이 중 가장 많은 것은 폐주물사로 선철주물제품 1톤당 폐사 발생량은 0.33톤이며, 슬래그, 분진, 내화물 잔재, 도가니 잔재 등의 산업폐기물이 배출되고 있는데, 0.54톤 중 0.32톤은 유효이용이 가능하고, 나머지 0.22톤은 폐기되고 있는 실정이다. <sup>4)</sup>

폐기물 관리법에 의해 폐주물사는 지정폐

기물로 분류되어 있지만, 동법 시행규칙 별표1에 규정된 물질이 기준치 이하로 포함되어 있으면 지정폐기물이 아니다. 현재의 주물업체에서 발생하는 폐주물사는 소각이 불가능하기 때문에 재활용 방법과 매립처분에 의해 처리되는 것이 현실이어서 폐주물사 감량화를 비롯한 재활용 방법이 연구되었으나 대부분 매립처분에 의존하고 있다.<sup>5)</sup>

현재 국내 폐주물사의 재활용방법은 매우 단순하다. 경기 인천지역에는 5개의 폐주물사 위탁처리업체가 있는데 이중 한 업체는 중자사를 재생하는 업체이며 생형사를 처리하는 업체는 4개업체이다. 이들 업체들은 주로 폐주물사와 건설폐기물을 비롯한 다른 무기성폐기물을 함께 취급하고 있으며, 폐주물사를 순환골재와 혼합하여 성토재로 재활용하거나 콘크리트, 아스팔트, 레미콘, 벽돌 또는 블록을 생산하기 위한 재료의 일부로 사용하고 있는데 이러한 현상은 전국적으로 비슷하다. 폐주물사를 재활용하는 방법으로는, 별도의 공정이 필요없이 단순히 성토재나 벽돌, 콘크리트 등과 같은 건축자재의 일부로 활용하는 것에서부터 새로운 모래의 성질과 유사한 성질을 갖도록 재생하는 재생사가 있다. 그리고 열경화성 주형에서 페놀계 점결제를 사용하는 셀몰드법은 화학사 폐주물사를 발생시키며 고온으로 가열하여 화학물질인 페놀 성분을 완전 연소하면 주물사를 재생할 수 있으나 고온으로 가열하는데 드는 비용이 높아 재생사의 가격이 신사의 가격보다 높게 나타나는 경향이 있어 경제성이 적어 별도의 공정 없이 단순 성토재로의 이용이나 매립하고 있다.<sup>6)</sup>

## 5. 결과 및 고찰

### 5.1 폐주물사 용출 특성 평가

우리나라의 용출대상 유해물질 항목은 미국 40항목(매립제한 유해폐기물의 판단기준 250 항목), 일본 26항목 오스트리아 31항목으로 다른 선진국에 비해 검사 항목이 적은 편이다.

분석법 검토를 위해 페놀의 기준이 있는 나라의 용출시험법과 우리나라의 용출 시험법을 통해 대상 폐주물사를 분석하였다. 아래는 각국의 폐기물에서의 페놀 기준과 용출시험법을 나타내었다.<sup>7),8),9)</sup>

- 미국 : 매립 제한 유해폐기물의 판단기준  
pentachlorophenol : 7.4 (mg/L TCLP or mg/kg), phenol : 6.2 (mg/L TCLP or mg/kg)

#### ■ 미국·캐나다 TCLP

- 시료:용매(1:20) 혼합
- 시료 pH 5미만인 경우는 pH 4.93 ±0.05로 조절된 초산 +NaOH 용매 사용하며 pH 5이상인 경우는 pH 2.88 ±0.05로 조절된 초산 용매사용
- 회전진탕기(30rpm) 18시간 연속으로 진탕한 후 여과액을 적당량 취하여 분석
- 오스트리아 : 유해물질 함유 유해물질의 용출 및 함량 기준  
phenols : 100 mg/ L (용출), 1000 mg/kg(함량법)

#### ■ 오스트리아 용출 시험

- 시료:중류수(1:10) 혼합액 24시간 6rpm으로 진탕
- 진탕한 후 0.45μm 여과 후 상등액 취하여 분석

전반적인 시험방법을 검토하기 위해 미국, 오스트리아, 국내 용출법으로 시험하였다.



토양공정시험법으로 실험한 결과와 각국의 용출법을 실험한 결과의 상관도를 분석하여 폐놀의 폐기물 시료 적용성 여부를 파악하였다. 토양공정시험법을 통해 토양우려기준을 초과한 시료 13개를 선정 토양공정시험법을 통한 data와 국내용출법 및 TCLP<sup>4)</sup>, 오스트리아 용출시험을 통해 비교하여 상관도 파악하여 <그림 3>에 나타내었다. 국내용출법 및 TCLP, 오스트리아의  $R^2$ 값이 0.9457, 0.5616, 0.9273로 국내용출법과 오스트리아 용출법으로 한 실험에서 상관도가 높게 나타났으며 증류수로 용출한 국내 용출법과 오스트리아 용출법의 상관도가 초산 용매를 사용한 TCLP보다 높게 나타났다. 토양공정시험법으로 분석한 함량 농도(mg/kg)과 오스트리아 및 국내 용출 농도(mg/L)를 비교해보면 대략 1/10정도의 농도를 나타냈다. 이는 용출시험방법에서 시료와 용매의 혼합비율이 1:10으로 실험한 영향으로 판단된다. 또한 용출시험법에서 TCLP법의 경우 초산 용매를 사용하면서 액상, 고상 및 다상 폐기물 중 유기물 및 무기물의 이동성을 결정하기위한 목적이 강한 용출법이어서 중금속에는 적합하여도 다른 용출법에 비해 폐놀의 분석법을 적합하지 않음을 나타내었다. 국내법과 오스트리아 용출법의 상관도에서 큰 차이는 없으나 우리나라에는 국내 용출법으로 실험을 하는 것이 향후 신규 항목으로 선정될 경우 실험의 편의성면에서 더 적합할 것으로 판단된다.

본 연구 결과를 근거로 하여 상관도가 높은 분석방법이 신뢰성 있는 분석 결과를 확

보할 수 있다고 본다.

## 5.2 폐기물 항목별 평가

지정폐기물로 선정된 폐주물사의 경우 8개 항목(기름성분, 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 6가크롬, 시안)을 분석하여 기준치 이하면 일반폐기물로 처리된다.

매립 처분되는 폐기물 중에 함유되어 있는 유해물질이 매립지로부터 지하수 및 공공수역으로 침출하는 물에 용출되는 정도가 문제시 되어, 폐기물은 용출 시험에 의해 그 유해성을 판단하고 관리 하고 있다. 이에 국내용출시험을 통해 아래 <그림. 4>과 같이 시험 결과를 얻었다.

Pb은 불검출~2.36mg/L 검출되었다. Pb의 기준은 3mg/L이상이며 모든 대상 시료에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Cu는 0.024~3.388mg/L 검출되었다. K금속의 Cu가 3.388mg/L로 기준인 3mg/L를 초과하였고 k금속을 제외하고는 0.024~0.868mg/L로 기준을 만족하였다.

As는 불검출~0.046mg/L 검출되었다. As의 기준은 1.5mg/L이상이며 모든 대상 시료에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

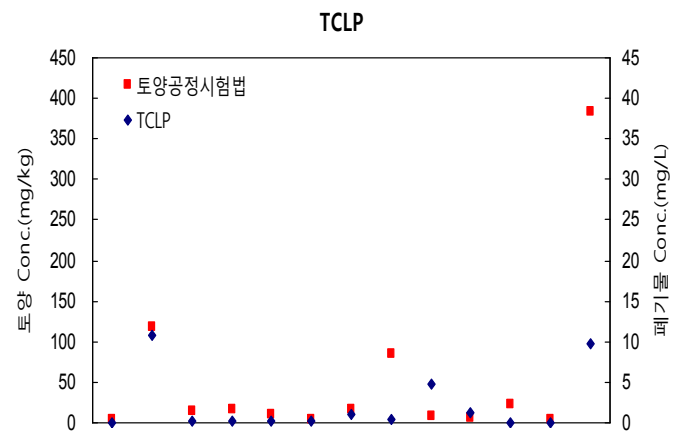
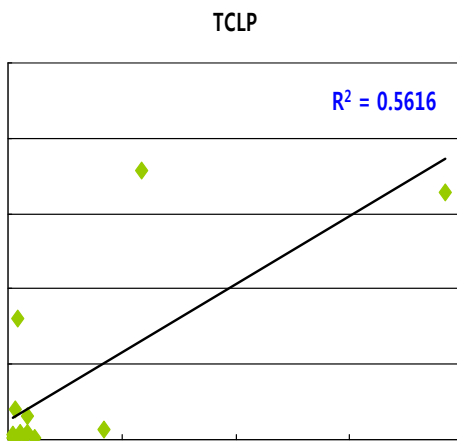
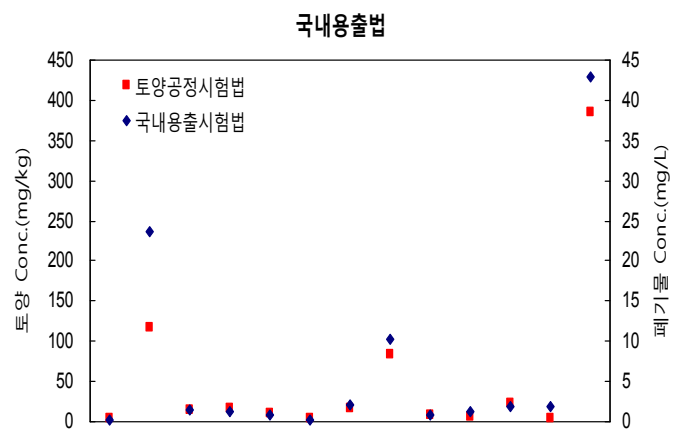
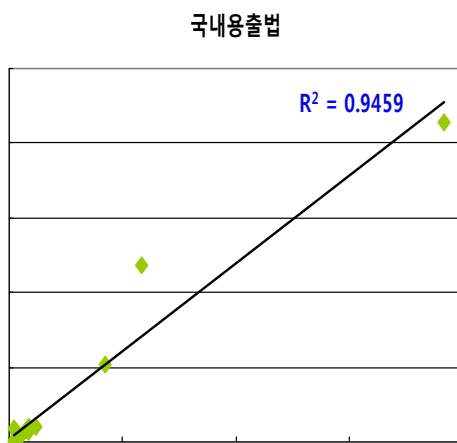
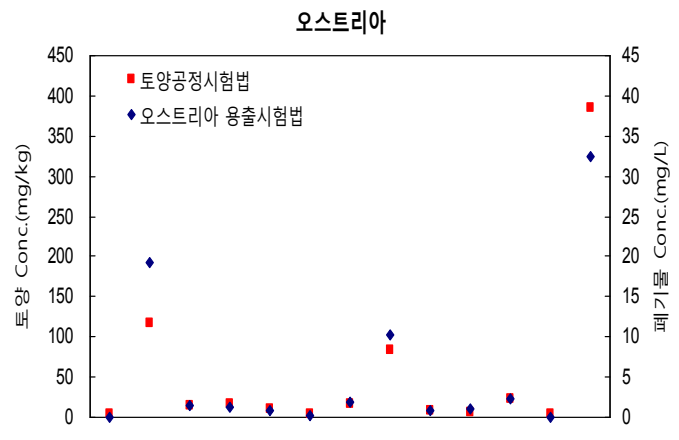
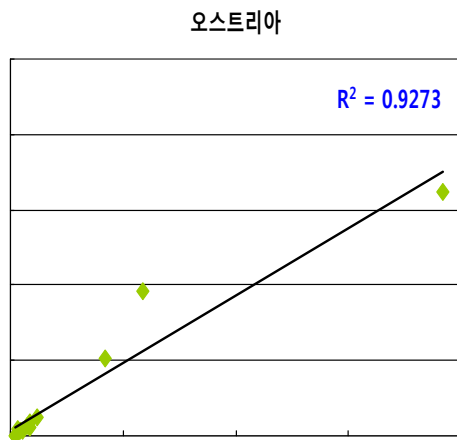
Cd은 0.016~0.046mg/L 검출되었다. Cd의 기준은 0.3mg/L이상이며 모든 대상 시료에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Cr<sup>6+</sup>은 모든 대상 시료에서 불검출로 나타났다. Cr<sup>6+</sup>의 기준은 1.5mg/L이상으로 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

CN은 불검출~0.02mg/L 검출되었다. CN의 기준은 1mg/L이상이며 모든 대상 시료에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

기름성분 또한 모든 대상 시료에서 불검출

4) TCLP : Toxicity Characteristic Leaching Procedure의 약자로 미국·캐나다 폐기물 용출시험법으로 사용됨

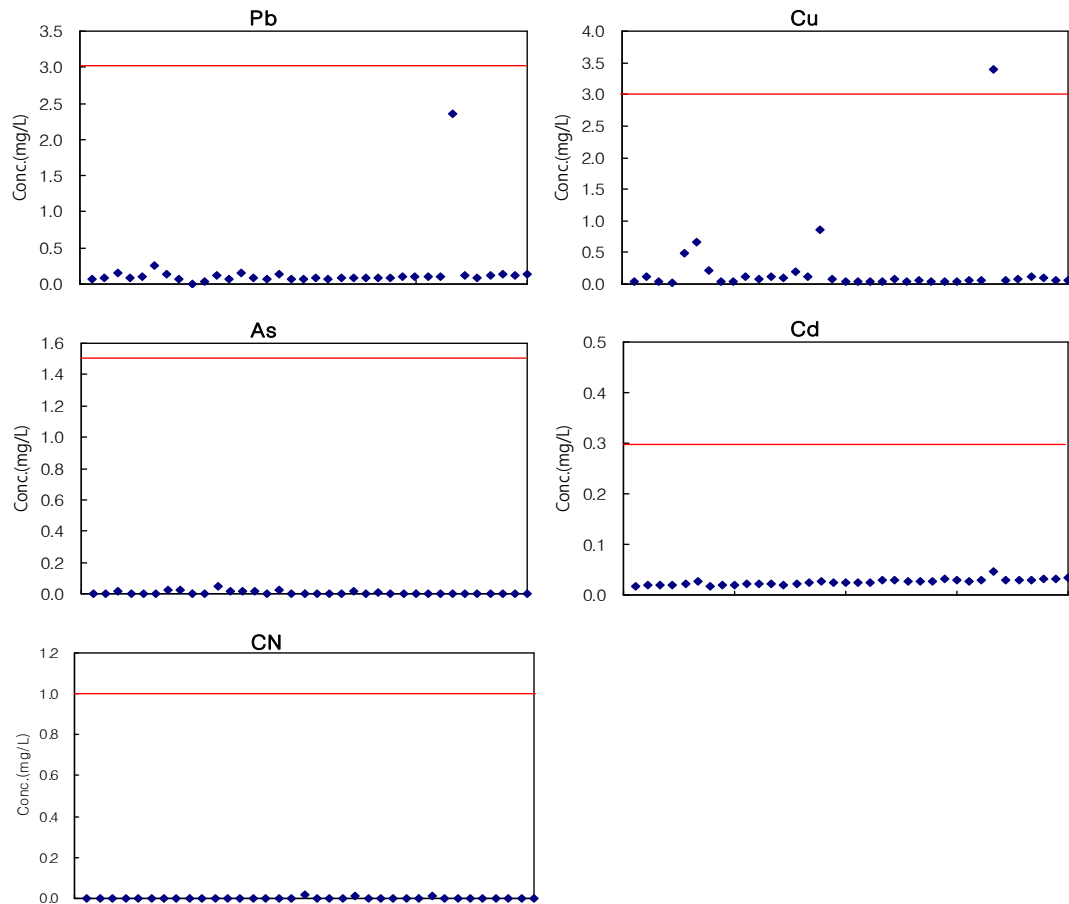


<그림 3> 페놀의 용출방법에 따른 토양 함량 농도와 용출 농도의 상관도

로 나타나 기준(5%)을 만족하는 것으로 나타났다.

아래 결과를 보면 k금속에서 Cu를 제외한 나머지 모든 항목은 모두 기준 이내로 나타

난 것을 알 수 있다. 이는 k금속을 제외한 대부분의 폐주물사는 지정폐기물 기준을 만족하여 일반폐기물로 처리 가능한 것을 알 수 있다.



<그림 4> 지정폐기물 기준 대비 폐기물오염 분포도

### 5.3 토양 항목별 평가

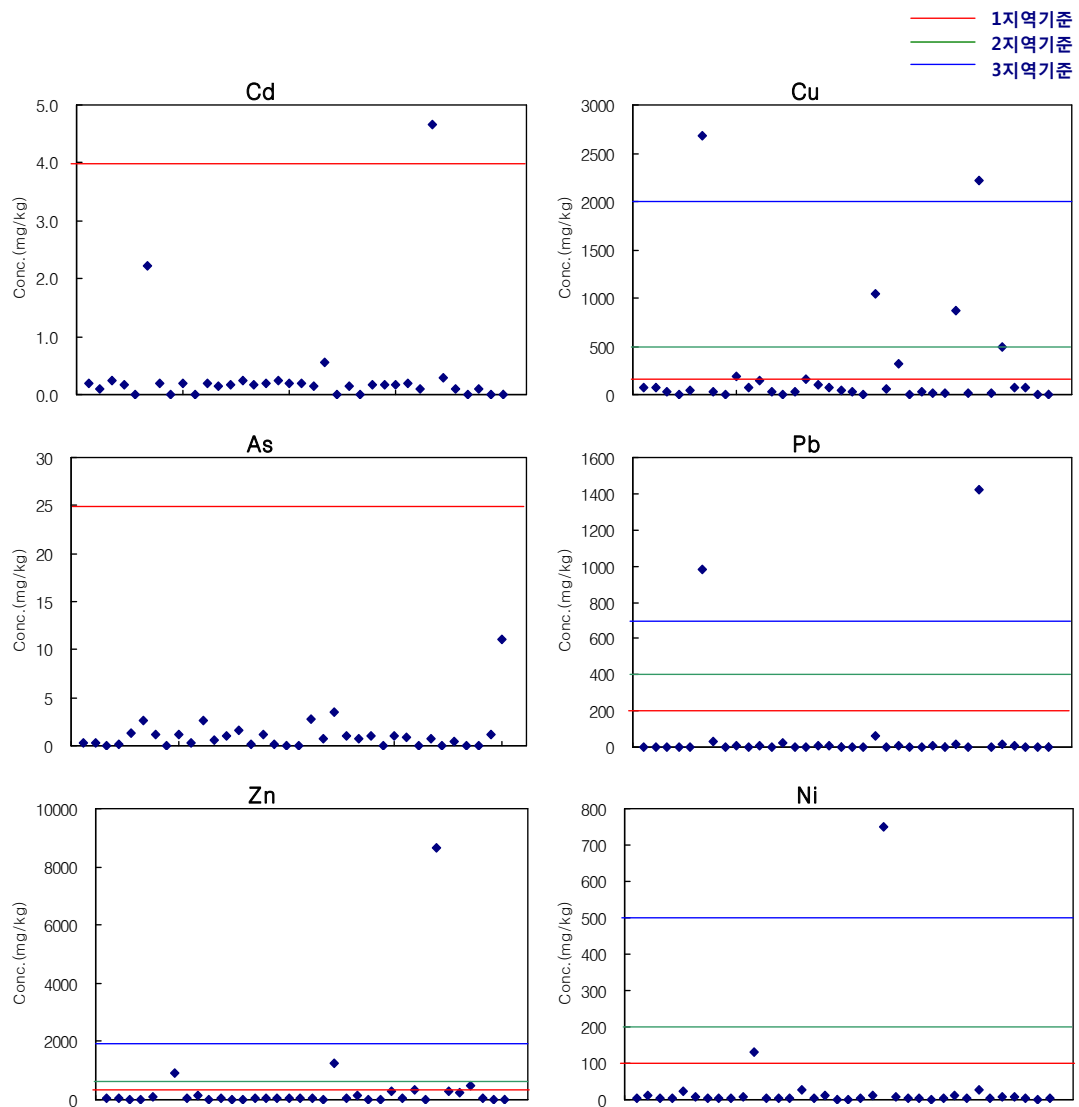
토양에서는 토양우려기준을 준수해야 토양으로 활용 가능하다. 토양검사항목은 20 항목(카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납, 6가크롬, 아연, 니켈, 불소, 유기인화합물, 폴리크로리

네이티드비페닐, 시안, 페놀, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌, 석유계총탄화수소, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌)을 분석하였다.

<그림 5>은 토양 중 중금속 분석 결과를 나타냈다.

Cd은 불검출~4.659mg/kg 검출되었다. k금속이 1지역기준(4mg/kg)을 초과하였으며 나머지 시료에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Pb은 불검출~1,421.716mg/kg 검출되었다. Y테크, K금속에서 3지역기준(700mg/kg)을 초과하였으며 나머지 시료에서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.



<그림 5> 토양오염우려기준 대비 중금속 토양오염 분포도

Cu은 1.333~2,687.117mg/kg 검출되었다. D  
실업, D주공, J실업, B금속에서 1지역기준  
(150mg/kg)을 초과하였고, D산업, D셀테크  
에서 2지역기준(500mg/kg)을 초과하였고, Y  
테크, K금속에서 3지역기준(2,000mg/kg)을  
초과하였으며 나머지 시료에서 기준을 만족  
하는 것으로 나타났다.

Zn은 4.566~10,197.47mg/kg 검출되었다 D  
셀테크, S기업은 1지역기준(300mg/kg)을 초  
과, T금속(주), D산업은 2지역기준  
(600mg/kg)을 초과하였고 Y테크, K금속은 3  
지역기준(2,000mg/kg)을 초과하였다.

Ni은 불검출~750.808mg/kg 검출되었다. Y  
정밀(주)이 1지역기준(100mg/kg)을 초과하였  
고, B특수금속은 3지역기준(500mg/kg)을 초  
과하였으며 나머지 시료에서 기준을 만족하  
는 것으로 나타났다.

As(1지역기준 25mg/kg), 6가크롬(1지역기준  
5mg/kg)은 모든 시료가 기준 이내로 나타났  
다.

중금속의 경우 12개 시료에서 토양우려기  
준을 초과하는 것으로 나타났다.

<그림 6>은 토양 중 휘발성유기화합물(벤젠,  
톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌 및 TCE, PCE) 분  
석 결과를 나타낸 것이다.

벤젠은 불검출~3.712mg/kg 검출되었다. D  
산업(주), S공업(주)이 1지역기준(1mg/kg)을  
초과하였고, J공업(주), S공업(주), H금속은 3  
지역기준(3mg/kg)을 초과하는 것으로 나타  
났으며 나머지 폐주물사 대상 시료에서는  
기준을 만족하는 것으로 나타났다.

톨루엔은 불검출~7.388mg/kg으로 검출되어  
토양우려기준(1지역기준 20mg/kg)을 만족하

는 것으로 나타났으며, 에틸벤젠 또한 불검  
출~1.957mg/kg으로 검출되어 토양우려기준  
(1지역기준 50mg/kg)을 만족하였다.

크실렌은 불검출~113.994mg/kg 검출되었  
다. J공업(주), S주철공업(주), (주)S주공, H금  
속이 1지역기준(15mg/kg)을 초과하였고, B  
공장, D주공은 3지역기준(45mg/kg)을 초과  
하였으며 나머지 대상 시료에서는 기준을  
만족하였다.

TCE(1지역기준 8mg/kg), PCE(1지역기준  
4mg/kg)는 모든 시료에서 불검출로 나타나  
기준을 만족하였다.

B.T.E.X 및 TCE, PCE의 경우 8개 대상 시  
료에서 토양오염우려기준을 초과하는 것으  
로 나타났다.

<그림 7>은 토양 중 시안, 불소, 석유계총  
탄화수소(TPH) 분석 결과를 나타낸 것이다.

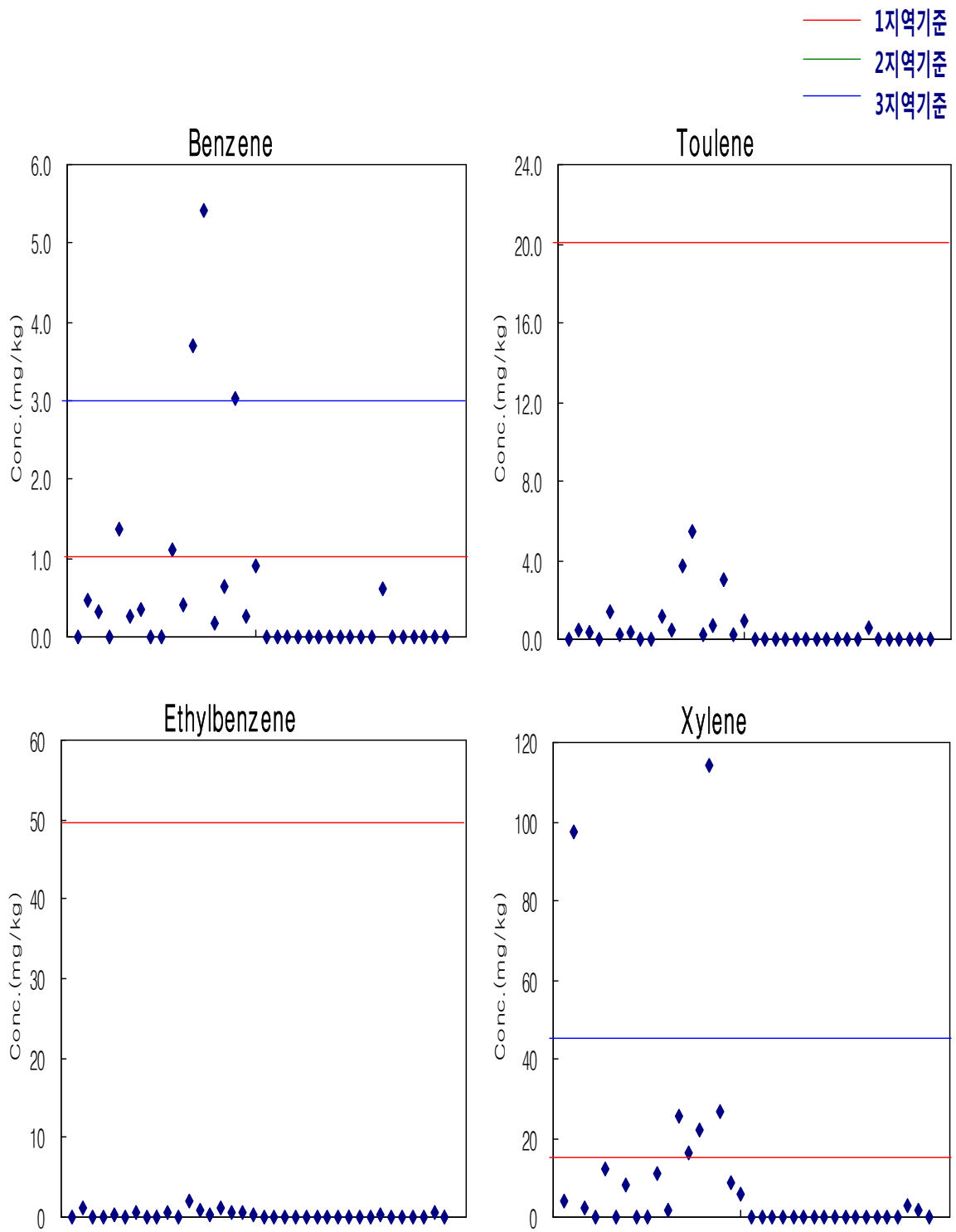
CN은 0.014~0.340mg/kg 검출되어 토양우  
려기준(1지역기준 2mg/kg)을 만족하였다.

F은 1.7~339.0mg/kg 검출되어 토양우려기  
준(1지역기준 400mg/kg)을 만족하였다.

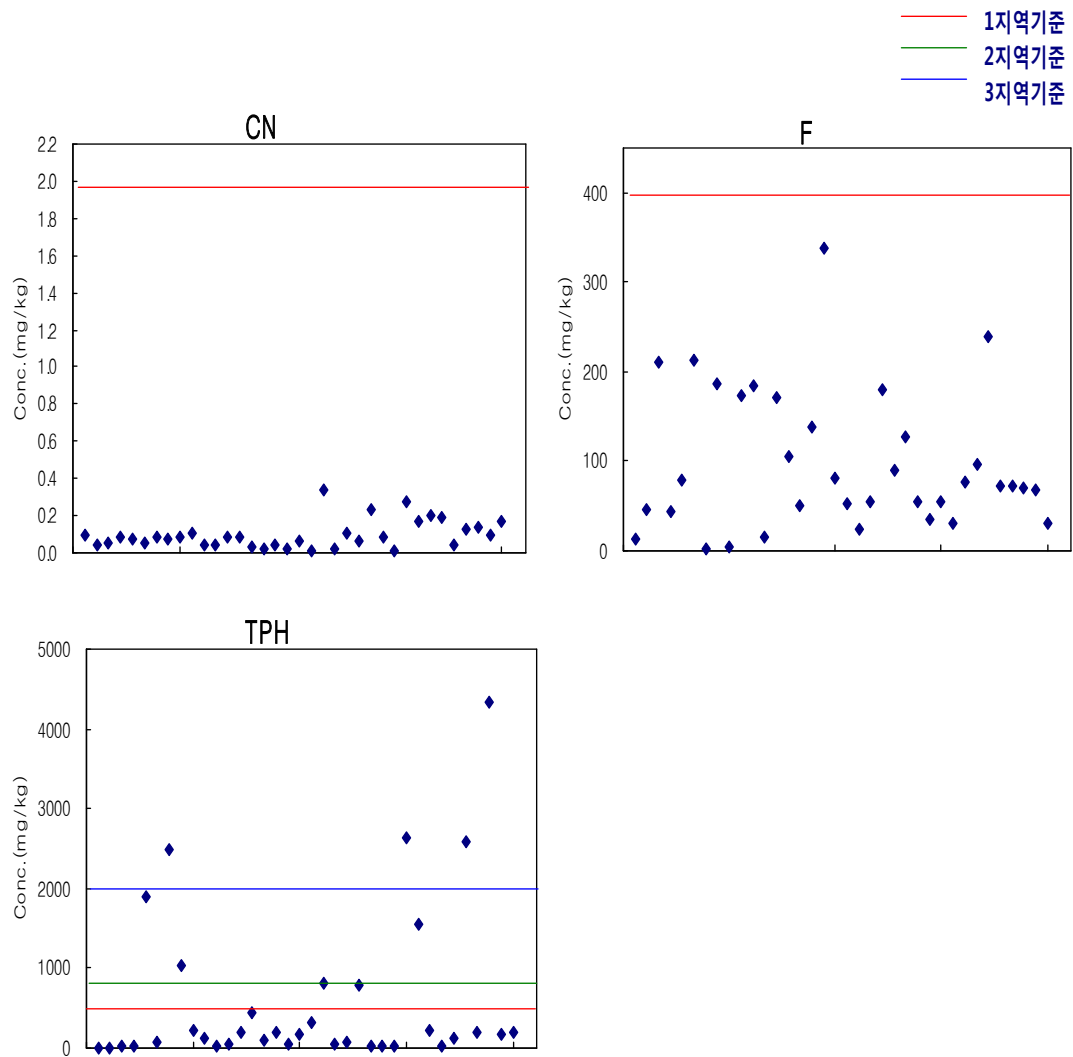
TPH는 불검출~4,337mg/kg 검출되었다. J실  
업이 1지역기준(400mg/kg)을 초과하였고, D  
산업(주), H셀코아, D셀코아, J.H 실업에서  
2지역기준(500mg/kg)을 초과하였고, T금속  
(주), K산업, B금속, D금속에서 3지역기준  
(2,000mg/kg)을 초과하였으며 나머지 시료에  
서 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

TPH의 경우 9개 대상 시료에서 토양오염우  
려기준을 초과하는 것으로 나타났다.

유기인, 수은, PCB(폴리클로리네이티드비  
페닐)는 모든 시료에서 불검출로 나타나 기  
준을 만족하는 것으로 나타났다.



<그림 6 > 토양오염우려기준 대비 휘발성유기화합물(B.T.E.X) 토양오염 분포도

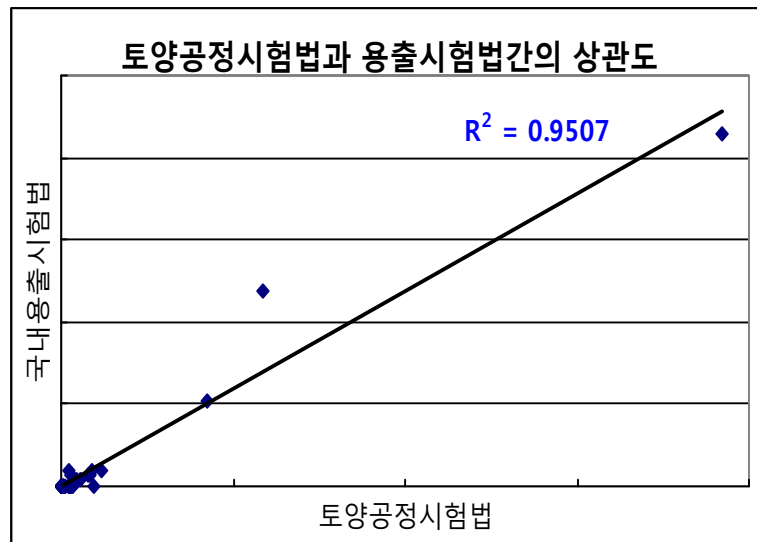


<그림 7> 토양오염우려기준 대비 시안, 불소 및 TPH 토양오염 분포도

## 5.4 폐놀 분석 비교 결과

토양공정시험법으로 분석한 폐놀과 국내 용출법을 통해 용출하여 분석한 결과는 다음과 같다. <그림 8>과 같이 전체 시료에서의 폐놀의 상관도를 보면 앞서 용출법 선정

을 위해 실시한 실험에서의 국내용출법과의 상관도 0.9459보다 전체 시료를 대상으로 하였을 때 상관도가 0.9507로 더 높게 나타나 국내용출법으로의 폐놀 분석이 신뢰할 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 8> 폐놀의 토양공정시험법과 국내용출시험법간의 상관도

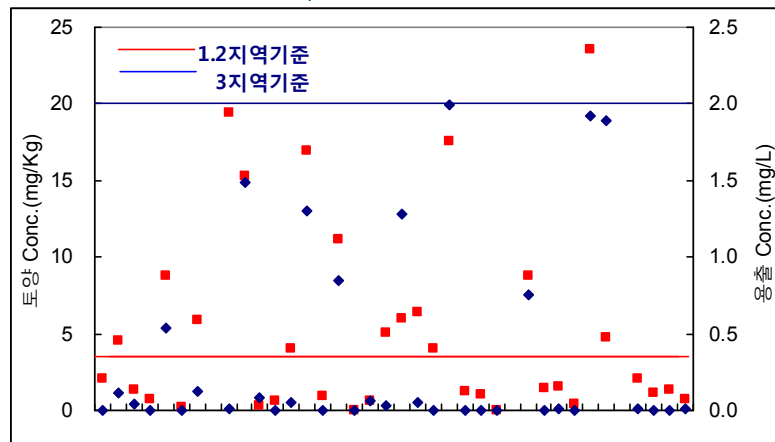
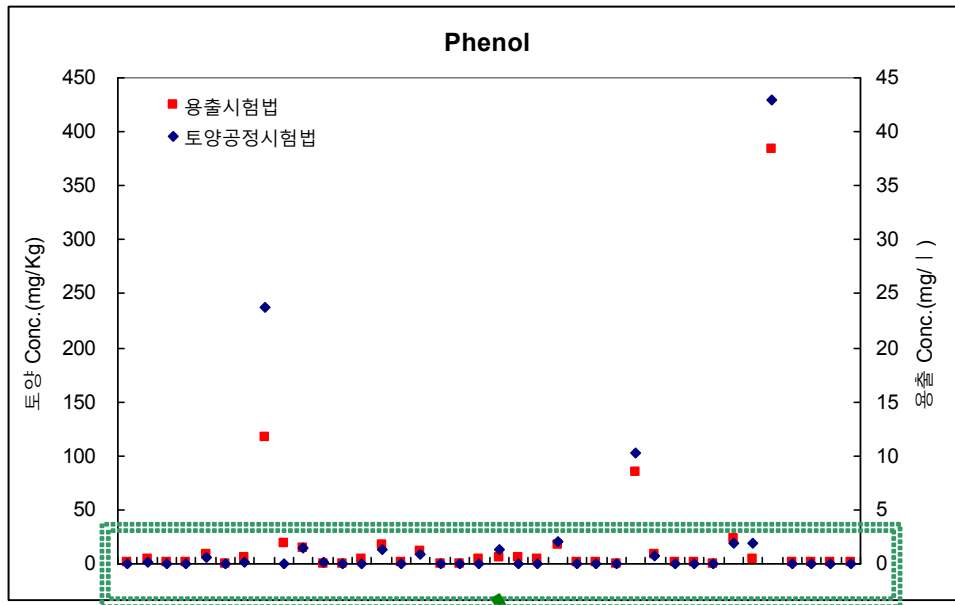
토양공정시험법으로 조사대상 폐주물사의 폐놀을 분석한 결과 인천시 관내 주물업체에서 채취한 총 36개 시료 중 19개의 시료가 토양오염우려기준을 초과하는 것으로 나타났다. 약 53%의 대상 시료에서 토양오염우려기준(1지역 4mg/kg)을 초과하였고 9개의 대상 시료는 토양오염대책기준(1지역 10mg/kg)을 초과하였다. <그림 9>을 보면 전반적으로 용출 농도(mg/L)는 함량농도(mg/kg)의 1/10의 비율로 비슷한 경향을 보이고 있다. 아래 그래프는 토양우려 기준 근처의 data를 더욱 자세히 보기위해 나타낸 것으로 폐놀의 토양의 함량농도(mg/kg)와 용출농도(mg/L)의 차이를 나타내었다.

또한 폐놀의 토양오염우려기준을 초과한 19개의 시료 모두 중금속 및 유류오염유발물질의 토양오염우려기준이 초과한 업체와 겹치는 것으로 나타났다.

현행 폐기물법에서는 지정된 8항목으로 검

사하여 일반폐기물로 처리될 경우 인·허가된 건축·토목공사의 성토재·건축·토목공사의 성토재·보조기층재·도로기층재 및 매립시설의 복토용 등으로 이용되거나 시·도지사가 별도로 인정하는 경우에는 농지·저지대·연약지반 등에 이용 가능하고 차후에 오염우려로 인한 토양검사에서 토양오염우려기준을 초과할 경우 토양을 걷어내는 등 토양정화사업을 실시하고 있어 사전에 오염을 방지하지 못하고 있다. 이번 연구 결과를 보면 폐주물사를 폐기물법에 지정된 8항목의 검사결과 1곳을 제외하고 모두 기준 이내로 일반폐기물로 처리가능하나 토양공정시험법을 통한 함량시험에서는 대부분의 폐주물사가 토양으로 이용되는 것이 부적합한 것으로 나타났다. 또한 몇 차례의 사건을 통해 폐주물사의 폐놀에 의한 토양과 지하수의 오염 사례를 통해 사전에 오염을 방지하는 것이 타당하다고 판단된다.





<그림 9> 페놀의 용출방법에 따른 토양 함량 농도와 용출 농도 비교

페놀의 경우 바젤협약 유해폐기물의 규제 대상 물질이면서 런던 협약의 하수슬러지 해양배출기준의 항목이기도 하다

미국의 경우 매립 제한 유해폐기물의 판단

기준은 250항목으로 처리 잔재물이나 폐기물에 함유된 모든 유해성분이 제시된 기준 미만인 경우에만 매립가능하며 pentachloro-phenol과 phenol을 포함하고 있다. 또한 기준은 용출시험 뿐만 아니라 함량시험도 가

능하도록 제시하고 있다. 오스트리아의 경우 폐기물의 유해성을 판단하기 위해 폭발성, 산화성, 가연성, 독성, 용출특성 등 15종의 특성으로 분류하여 폐기물을 관리하고 있으며 유해물질을 판단하기 위해 항목별 용출기준과 함량기준을 정하여 관리하고 있다.

본 연구에서 제시한 신규항목인 페놀과 동일 한 시험방법으로 기준을 두어 관리 하는 곳은 없으며 유사한 오스트리아의 용출시험 방법에서는 phenol의 모든 종류를 포함하고 있어 우리가 분석한 기본 phenol과는 시험 방법이 달라 기준의 직접 비교는 어려웠다. 또한 미국의 TCLP에 의한 기준 또한 우리나라 용출시험방법과 외국의 TCLP 시험법 간의 상관성이 낮아 미국과 오스트리아의 기준을 직접 비교하기 보다는 참고하는 것이 나을 듯 하다. 인천 관내만의 자료로 본 연구에서 기준의 수치를 제시하는 것은 적절치 않다고 판단되며 본 연구를 토대로 향후 추가적인 실태조사 실시, 국내 전체의 폐주물사 발생, 처리 방안 등을 더 추가적으로 검토하여 향후 페놀의 폐기물 신규 항목 추가에 밑바탕이 되는 기초 자료로 제공 되고자 하였다.

## 6. 결론

폐주물사는 지정폐기물로 지정되어있지만 기준에 적합하면 일반폐기물로 처리가능하다. 성토재 · 보조기층재 · 도로기층재 및 매립시설의 복토용 등으로 이용된다. 하지만 2011년 강화도 불법 매립 사건과 울주군의 야적장의 폐주물사로 인해 주변 토양과 강이 페놀로 오염되는 사건 등이 종종 발생

하였다. 주물의 주조과정 중에 주로 사용되는 셸몰드 공법은 페놀수지를 사용하는 공법이어서 폐주물사에 페놀의 함량이 높게 나타났다. 페놀은 토양우려기준에는 포함되어있으나 폐기물의 용출시험법에서는 기준 및 실험방법이 있지 않아 일반폐기물로 처리 되었을때 추가적인 토양 오염 및 지하수 오염이 우려되었다. 이에 외국의 폐기물에서의 페놀 기준과 용출시험법과 우리나라 용출시험법을 통해 페놀을 분석하여 가장 토양오염공정시험법과의 상관도가 높은 시험법으로 분석하여 우리나라 실정에 맞는 폐기물의 페놀의 시험방법을 제안하였다.

본연구의 결과를 보면 1곳을 제외한 다른 모든 시료에서 폐기물 기준을 만족하여 일반폐기물로서 재활용이 가능하였다. 그러나 토양우려기준을 통해 분석한 결과 기준을 초과하는 경우가 많았다. 특히 페놀의 경우 총 36개의 시료중 19개의 시료에서 토양우려기준을 초과하고 있으며 폐기물에서 재활용 및 매립을 할 경우 페놀의 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 오스트리아 용출시험법, 미국·캐나다의 TCLP법 및 국내용출시험법과 국내토양공정시험법으로 분석한 페놀의 함량농도와의 상관도를 비교한 결과 국내 용출시험법과 가장 높은 상관도를 나타냈다. 페놀의 폐기물 분석에 적합하고 선정된 국내용출시험법으로 모든 시료에 대해 분석하였다. 분석된 페놀의 결과값이 0~42.891mg/L으로 나타났으며 토양공정시험법으로 분석한 페놀 함량농도와의 상관도 또한 0.9507로 높게 나타나 신뢰성 있는 분석법으로 판단되어 향후 페놀의 신규항목 추가 시 페놀의 폐기물 시험법으로 적합할 것으로 판단된다.

추후 선진국의 규제동향을 파악하여 우리나라 실정에 맞는 기준 설정이 필요할 것으로 판단된다. 인천관내만의 자료로 본 연구에서 기준을 정확히 제시하는 것은 적절하지 않으며 국외의 시험법과 본 연구에서 분석한 시험법이 달라 국외의 기준을 직접 비교하는 것보다 참고하고자 하였다. 본 연구가 향후 폐슬 규제 기준을 설정하고 국제적 관리 동향에 적극 대처하기 위한 기초 자료로 제공될 것으로 판단된다. 향후 추가적인 폐기물 실태조사 실시, 국내 폐주물사 발생, 처리 및 관리 방안 등을 종합적으로 검토하여 최종 규제기준 및 시험방법을 설정하는 것이 바람직할 것이다.

## 7. 참고문헌

- 1) 이승희 등, 폐주물사 종류별 소결공정에 따른 세라믹 담체 특성, 한국폐기물학회지, Vol.25, No.8 (2008)
- 2) 한국주물공업현동조합,
- 3) 전주용 외 2인, 슬래그와 폐주물사를 이용한 아스팔트 혼합물의 소성변형 특성에 관한연구, 한국폐기물학회지, Vol.19, No.5 (2000)
- 4) 현장기술자를 위한 주조공학 기초 교재, 한국주조공학회
- 5) 이승희 등, 주조공정별 폐주물사의 물리화학적 성상과 용출특성에 대한 연구, 한국폐기물학회지, Vol.21, No.8 (2004)
- 6) 김영준 등, 폐주물사의 재활용 활성화 방안에 관한 연구, 유기물자원화, 제 18권, 제 4호(2010)
- 7) 신성경 외 6인, 지정폐기물 중 신규유해물질의 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구(Ⅰ), 국립환경과학원(2004)
- 8) Basel convention, Technical Guidelines on Hazardous Wastes, 2000.
- 9) 신성경 외 6인, 지정폐기물 중 신규유해물질의 항목설정 및 시험방법 확립에 관한 연구(Ⅱ), 국립환경과학원(2005)

## 부록

표 1. 페놀의 토양함량농도(mg/kg)와 국내외 용출시험 농도(mg/L) 비교

번호	시료명	토양공정시험법 (mg/kg)	오스트리아 (mg/L)	미국(TCLP) (mg/L)	우리나라 (mg/L)
1	B 공장	4.501	0.101	0.09	0.11
2	H 쉘코아	117.182	19.251	10.727	23.673
3	S 공업(주)	15.257	1.422	0.162	1.491
4	(주)S 주공	16.953	1.17	0.237	1.3
5	H 금속	11.175	0.741	0.259	0.85
6	B 금속	4.005	0.11	0.182	0.281
7	J 실업	17.557	1.793	0.959	1.997
8	K 산업	84.443	10.327	0.408	10.290
9	D 쉘테크	8.784	0.774	4.852	0.755
10	J 실업	5.986	0.965	1.182	1.285
11	B 금속	23.577	2.388	0.055	1.925
12	S 기업	4.803	0.041	0.045	1.894
13	D 금속	384.198	32.345	9.849	42.891

표 2. 폐기물 분석 결과 1

	시료명	Pb	Cu	As	Cd	Cr6+
		결과(mg/L)	결과(mg/L)	결과(mg/L)	결과(mg/L)	결과(mg/L)
1	C 산업(주)	0.06	0.036	ND	0.016	ND
2	B 공장	0.08	0.118	ND	0.020	ND
3	L 캐스팅	0.16	0.048	0.012	0.020	ND
4	H 특수금속	0.08	0.024	ND	0.020	ND
5	D 산업(주)	0.10	0.494	ND	0.022	ND
6	Y 테크	0.26	0.654	ND	0.028	ND
7	T 금속(주)	0.14	0.216	0.027	0.018	ND
8	H 셀코아	0.06	0.030	0.026	0.020	ND
9	D 실업	ND	0.044	ND	0.020	ND
10	S 공업(주)	0.04	0.114	ND	0.022	ND
11	Y 정밀(주)	0.12	0.084	0.046	0.022	ND
12	J 공업(주)	0.06	0.110	0.013	0.022	ND
13	S 공업(주)	0.16	0.102	0.019	0.020	ND
14	(주)S 주공	0.08	0.202	0.019	0.022	ND
15	D 주공	0.06	0.124	ND	0.024	ND
16	H 금속	0.14	0.868	0.022	0.026	ND
17	J 금속	0.06	0.080	ND	0.024	ND
18	S 주공	0.06	0.044	ND	0.024	ND
19	S 산업	0.08	0.038	ND	0.024	ND
20	J.H 실업	0.06	0.042	ND	0.024	ND
21	D 산업	0.08	0.048	ND	0.030	ND
22	B 특수금속	0.08	0.082	0.019	0.030	ND
23	J 실업	0.08	0.048	ND	0.028	ND
24	H 주공	0.08	0.054	0.006	0.028	ND
25	D 공업(주)	0.08	0.046	ND	0.028	ND
26	D 공장	0.10	0.048	ND	0.032	ND
27	K 산업	0.10	0.046	ND	0.030	ND
28	D 셀테크	0.10	0.068	ND	0.028	ND
29	Y 기공	0.10	0.052	ND	0.030	ND
30	K 금속	2.36	3.388	ND	0.046	ND
31	H 금속	0.12	0.050	ND	0.030	ND
32	B 금속	0.08	0.080	ND	0.030	ND
33	S 기업	0.12	0.112	ND	0.030	ND
34	D 금속	0.14	0.090	ND	0.032	ND
35	Y 금속	0.12	0.058	ND	0.032	ND
36	W 정공	0.14	0.060	ND	0.034	ND

표 3. 폐기물 분석 결과 2

	시료명	Hg	CN	기름성분
		결과(mg/L)	결과(mg/L)	%
1	C 산업(주)	ND	0.0	ND
2	B 공장	ND	0.0	ND
3	L 캐스팅	ND	0.0	ND
4	H 특수금속	ND	0.0	ND
5	D 산업(주)	ND	0.0	ND
6	Y 테크	ND	0.0	ND
7	T 금속(주)	ND	0.0	ND
8	H 셀코아	ND	0.0	ND
9	D 실업	ND	0.0	ND
10	S 공업(주)	ND	0.0	ND
11	Y 정밀(주)	ND	0.0	ND
12	J 공업(주)	ND	0.0	ND
13	S 공업(주)	ND	0.0	ND
14	(주)S 주공	ND	0.0	ND
15	D 주공	ND	0.0	ND
16	H 금속	ND	0.0	ND
17	J 금속	ND	0.0	ND
18	S 주공	ND	0.02	ND
19	S 산업	ND	0	ND
20	J.H 실업	ND	0	ND
21	D 산업	ND	0	ND
22	B 특수금속	ND	0.01	ND
23	J 실업	ND	0	ND
24	H 주공	ND	0	ND
25	D 공업(주)	ND	0	ND
26	D 공장	ND	0	ND
27	K 산업	ND	0	ND
28	D 셀테크	ND	0.01	ND
29	Y 기공	ND	0	ND
30	K 금속	ND	0	ND
31	H 금속	ND	0	ND
32	B 금속	ND	0	ND
33	S 기업	ND	0	ND
34	D 금속	ND	0	ND
35	Y 금속	ND	0	ND
36	W 정공	ND	0	ND

표 5. 토양 B.T.E.X 및 TCE, PCE 분석

(단위 : mg/kg)

	시료명	benzene	Toluene	ethyl- benzene	xylene	TCE	PCE
1	C 산업(주)	ND	0.188	ND	4.176	ND	ND
2	B 공장	0.463	0.767	1.049	97.295	ND	ND
3	L 캐스팅	0.325	0.352	ND	2.21	ND	ND
4	H 특수금속	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	D 산업(주)	1.382	2.117	0.395	11.942	ND	ND
6	Y 테크	0.254	0.249	ND	ND	ND	ND
7	T 금속(주)	0.35	1.608	0.561	8.235	ND	ND
8	H 헬코아	ND	ND	ND	ND	ND	ND
9	D 실업	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10	S 공업(주)	1.103	3.588	0.682	10.925	ND	ND
11	Y 정밀(주)	0.406	0.88	ND	1.71	ND	ND
12	J 공업(주)	3.712	8.63	1.957	25.599	ND	ND
13	S 공업(주)	5.431	7.388	1	16.115	ND	ND
14	(주)S 주공	0.181	2.009	0.351	21.747	ND	ND
15	D 주공	0.654	1.952	1.211	113.994	ND	ND
16	H 금속	3.029	5.949	0.532	26.884	ND	ND
17	J 금속	0.248	0.66	0.568	8.452	ND	ND
18	S 주공	0.913	2.827	0.391	5.639	ND	ND
19	S 산업	ND	0.449	ND	ND	ND	ND
20	J.H 실업	ND	ND	ND	ND	ND	ND
21	D 산업	ND	ND	ND	ND	ND	ND
22	B 특수금속	ND	0.404	ND	ND	ND	ND
23	J 실업	ND	0.194	ND	ND	ND	ND
24	H 주공	ND	ND	ND	ND	ND	ND
25	D 공업(주)	ND	0.233	ND	ND	ND	ND
26	D 공장	ND	ND	ND	ND	ND	ND
27	K 산업	ND	ND	ND	ND	ND	ND
28	D 헬테크	ND	0.304	ND	ND	ND	ND
29	Y 기공	ND	ND	ND	ND	ND	ND
30	K 금속	0.601	2.243	0.403	ND	ND	ND
31	H 금속	ND	0.331	ND	ND	ND	ND
32	B 금속	ND	0.314	ND	ND	ND	ND
33	S 기업	ND	ND	ND	ND	ND	ND
34	D 금속	ND	ND	ND	2.683	ND	ND
35	Y 금속	ND	0.612	0.457	1.687	ND	ND
36	W 정공	ND	ND	ND	ND	ND	ND

표 6. 토양 오염 분석

(단 : mg/kg)

	시료명	Hg	F	유기인	PCB	CN	TPH
1	C 산업(주)	ND	13.6	ND	ND	0.092	12
2	B 공장	ND	45.2	ND	ND	0.039	ND
3	L 캐스팅	ND	210.4	ND	ND	0.056	27
4	H 특수금속	ND	44.6	ND	ND	0.089	13
5	D 산업(주)	ND	79.9	ND	ND	0.078	1,895
6	Y 테크	ND	213.5	ND	ND	0.051	80
7	T 금속(주)	ND	1.7	ND	ND	0.085	2,499
8	H 웰코아	ND	186.6	ND	ND	0.078	1,045
9	D 실업	ND	3.7	ND	ND	0.088	219
10	S 공업(주)	ND	173.5	ND	ND	0.107	130
11	Y 정밀(주)	ND	184.6	ND	ND	0.046	15
12	J 공업(주)	ND	14.3	ND	ND	0.043	41
13	S 공업(주)	ND	171.2	ND	ND	0.082	206
14	(주)S 주공	ND	105.7	ND	ND	0.089	437
15	D 주공	ND	49.7	ND	ND	0.027	93
16	H 금속	ND	137.5	ND	ND	0.019	185
17	J 금속	ND	339.0	ND	ND	0.046	37
18	S 주공	ND	81.8	ND	ND	0.025	182
19	S 산업	ND	52.7	ND	ND	0.064	331
20	J.H 실업	ND	25.1	ND	ND	0.014	802
21	D 산업	ND	54.5	ND	ND	0.340	61
22	B 특수금속	ND	179.2	ND	ND	0.020	83
23	J 실업	ND	89.9	ND	ND	0.107	780
24	H 주공	ND	127.0	ND	ND	0.060	31
25	D 공업(주)	ND	55.5	ND	ND	0.228	35
26	D 공장	ND	34.8	ND	ND	0.090	25
27	K 산업	ND	54.7	ND	ND	0.014	2,637
28	D 웰테크	ND	30.7	ND	ND	0.273	1,551
29	Y 기공	ND	76.8	ND	ND	0.167	226
30	K 금속	ND	97.6	ND	ND	0.202	23
31	H 금속	ND	238.7	ND	ND	0.190	126
32	B 금속	ND	71.9	ND	ND	0.039	2,596
33	S 기업	ND	72.4	ND	ND	0.126	188
34	D 금속	ND	69.9	ND	ND	0.139	4,337
35	Y 금속	ND	68.3	ND	ND	0.100	171
36	W 정공	ND	31.4	ND	ND	0.168	208



표 7. 페놀 분석 결과

번호	시료명	토양분석법 (mg/kg)	용출시험법 (mg/L)	번호	시료명	토양분석법 (mg/kg)	용출시험법 (mg/L)
1	C 산업(주)	2.020	0.000	19	S 산업	5.100	0.035
2	B 공장	4.501	0.110	20	J.H 실업	5.986	1.285
3	L 캐스팅	1.335	0.042	21	D 산업	6.456	0.055
4	H 특수금속	0.743	0.000	22	B 특수금속	4.005	0.001
5	D 산업(주)	8.821	0.540	23	J 실업	17.557	1.997
6	Y 테크	0.184	0.002	24	H 주공	1.192	0.004
7	T 금속(주)	5.897	0.120	25	D 공업(주)	1.023	0.000
8	H 셀코아	117.182	23.673	26	D 공장	0.000	0.000
9	D 실업	19.443	0.007	27	K 산업	84.443	10.290
10	S 공업(주)	15.257	1.491	28	D 셀테크	8.784	0.755
11	Y 정밀(주)	0.297	0.080	29	Y 기공	1.470	0.003
12	J 공업(주)	0.618	0.004	30	K 금속	1.529	0.012
13	S 공업(주)	4.009	0.050	31	H 금속	0.395	0.001
14	(주)S 주공	16.953	1.300	32	B 금속	23.577	1.925
15	D 주공	0.891	0.003	33	S 기업	4.803	1.894
16	H 금속	11.175	0.850	34	D 금속	384.198	42.891
17	J 금속	0.000	0.002	35	Y 금속	2.020	0.013
18	S 주공	0.630	0.066	36	W 정공	1.178	0.004