

부산시내 토양의 깊이별 오염도 조사

폐기물분석과

전대영 · 임효상 · 박정옥 · 김정아 · 최유정 · 한상민 · 정인철 ·
김광수 · 빈재훈 · 이상훈

A Study on Soil Contamination with Different Depth in Busan Area

Industrial Waste Analysis Division

Dae-Young Jeon, Hyo-Sang Lim, Jeong-Ok Park, Jeong-A Kim, You-Jeong Choi,
Sang-Min Han, In-Chul Jeong, Kwang-Soo Kim, Jae-Hun Bin and Sang-Hun Lee

Abstract

This study was performed to evaluate the level of soil contamination at 5 sample site in Busan. The contamination of heavy metals(Cd, Cu, Pb, As, Cr⁺⁶ and Hg) were analysed. At the each sampling site we did the sampling at different depth-surface(0~15cm), middle zone(0.5~3.5m), deep zone(1~7m).

For the Ilkwang Mine, Cu in surface soil were 191.400 mg/kg and over the soil measured criteria(125 mg/kg) but 0.5m depth soil show 1/10 level of surface soil, therefore we measure up remediation parts were only 0.5m depth soils. Industrial facilities showed surface soil higher than deeper soils. In conclusion it was hard to find much relationship between the depth of each site where sampling was done and the level of concentration.

Key Words : soil contamination, heavy metals, remediation,

서론

은 종류의 화학물질들이 생성, 소비, 배출되고 있으며, 이들 오염물질들은 물, 대기, 토양 등의 다양한 매체를 통해 이동, 산업의 발달과 경제활동의 증가로 수많 변화, 변형을 하면서 인간을 포함한 자연

생태계에 영향을 미치고 있다. 토양에는 다양한 무기물질과 유기물질이 혼합되어 있으며, 동식물, 미생물 등의 생명체들이 토양생태계를 이루고 있다. 자연적인 토양생태계에서는 무생물과 생물간의 한정된 평형상태가 유지됨으로 인하여, 오염물질의 정화, 홍수의 방지, 토양의 침식방지 등과 같이 인간의 주변 환경을 쾌적하게 보전시켜 준다. 토양은 물, 대기와 접하면서 상호물질교환을 하는 데 이러한 상호물질 교환 중 각종 오염물질이 토양에 유입되어 토양이 오염된다.

토양오염은 환경에 대한 그 영향이 느리게 나타나는 특성으로 인하여 그간 소홀히 다루어져 왔으나 1995년 1월 토양환경보전법이 제정되어 그 보전대책을 강구하였는데 토양측정망이 그 중 하나로 해마다 실시되어 왔으나 매년 지점이 변경되는 등 그 변화가 많으며, 오염도 조사 또한 표토를 중심으로 이루어진 것으로 깊이별 변화를 준 자료는 거의 없는 편이며, 2002년부터는 과거의 오염행위로 인해 잠재되어 있는 오염토양을 찾아

내기 위한 토양오염실태조사로 바뀌어 토양오염 추세파악 등 심도있는 오염현황 파악이 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 부산지역의 5개 지점을 표본지점으로 선정하여 깊이별 오염도를 조사하여 토양오염의 사전예방대책 및 오염토양의 정화 및 복원 등 토양보전대책수립을 위한 기초 자료를 제공하기 위해 본 조사연구를 수행하였다.

연구내용 및 방법

1. 조사기간

2002년 3월 ~ 2002년 10월

2. 분석항목

총 7개 항목 - Cd, Cu, Pb, As, Hg, Cr⁶⁺, 유류(TPH)

3. 조사지점

5개 표본조사지점과 선정사유는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. 5개 조사지점 및 선정사유

번호	지 점 명	선정사유
1	일광광산	금속광산지역으로 토양오염실태조사지점중 토양오염기준 초과지점
2	구)동국제강	슬래그매립지역으로 매립된 슬래그에 의한 토양오염 영향 파악
3	유진화학공업(주)	공장 및 공업지역으로 화학제품제조에 따른 영향 파악
4	한국공항(주)	공장 및 공업지역이며 유류저장시설의 밀집지역으로 유류에 의한 토양오염 영향 파악
5	한국유리공업(주)	공장 및 공업지역으로 제품제조에 따른 영향 파악

4. 시료채취

토양시료는 2002년 4월부터 6월까지 채취하였으며, 채취방법은 토양공정시험법¹⁾에 따라 주변 4방위의 5~10m거리에 있는 1개 지점씩 5개 지점을 선정하여 대표성을 나타낼 수 있도록 하였으며, 표토의 경우는 유기물이 혼입되지 않도록 하였다. 깊이별 시료는 Geoprobe 540M을 이용하여 채취하였다.

5. 분석방법

대상시료는 토양공정시험법에 따라 풍건시켰으며, Cd, Cu, Pb은 0.1N HCl (Merck)을 As는 1N HCl을 이용하여 100ml 삼각플라스크에 각각의 염산용액 50ml와 토양 10g(dry wet)을 넣어 진탕(HB-200S, Cd, Cu, Pb은 30℃에서 1hr, As는 30℃에서 0.5hr) 용출 후 여과(5B, 110mm)하여 분석시료로 하였다. 전처리한 시료는 원자흡광광도계(Varian SpectrAA-220FS)를 이용하여 flame method로 정량분석하였다. Hg는 수은분석기(NIC SP-3)로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 조사지점별 시료채취깊이 현황

본 연구에서는 Table 1과 같이 부산지역내에서 5개 지점을 선정하여 깊이별 시료채취를 하였으며, 5개 조사지점의 시료채취깊이 현황은 Table 2에 나타내었다.

2. 지점별 오염도

2.1 일광광산

부산광역시 기장군 일광면에 위치하고 있는 일광광산은 1930~1940년대 한국에서 구리(Copper)를 생산하는 가장 큰 광산 중의 하나였다. 1937년에 생산을 시작하여 1945년 까지는 한국 최대 규모였으며, 이 기간 중 산출된 채굴량은 구리 3,013 톤, 금 19 kg, 은 10 kg 외에 소량의 중석도 채굴되었으나 현재는 폐광되어진 상태이다²⁾. 최근들어 일광광산 주변 토양의 중금속 오염에 대한 연구가 행해지고 있는데, 부산시에서는 '97년부터

Table 2. 5개 조사지점의 시료채취깊이 현황

번호	지 점 명	소 재 지	시료채취깊이
1	일광광산	기장군 일광면	표토, 중간층(0.5m, 1m), 심토(2.5m)
2	구)동국제강	남구 용호1동	표토, 중간층(0.5m), 심토(1m)
3	유진화학공업(주)	남구 대연동	표토, 중간층(1m), 심토(2m)
4	한국공항(주)	강서구 대저2동	표토, 중간층(3.5m), 심토(7m)
5	한국유리공업(주)	기장군 일광면	표토, 중간층(2.5m), 심토(5m)

현재까지 토양측정망 조사지점으로 선정하여 조사해온 바 주변 농경지에서 구리가 토양오염대책기준을 초과하는 것으로 나타났다. 일광광산은 산업자원부의 지원을 받아 『광해방지사업』을 시행한 바 있으나 농경지에 대한 직접적인 복원은 이루어지지 않아 주변 농경지의 경우 2002년 토양오염실태조사 결과에서도 여전히 기준을 초과하는 것으로 나타났다.

이에 중금속으로 오염된 농경지를 정화

해야할 필요성이 요구되는데 어느 정도의 깊이까지 오염이 되었는지의 조사가 필수적이다. 따라서 표토외 0.5m, 1m와 2.5m 깊이에서 각각 중금속의 농도를 조사하였다. 깊이별 중금속 농도는 Table 3에 나타내었으며, 분포도는 Fig. 1에 나타내었다. 오염도와와의 비교를 위해 토양오염우려기준을 Table 4에 나타내었다.

Fig. 1에 나타난 바와 같이 구리가 표토에서 높은 분포를 보여주고 있다. 표토

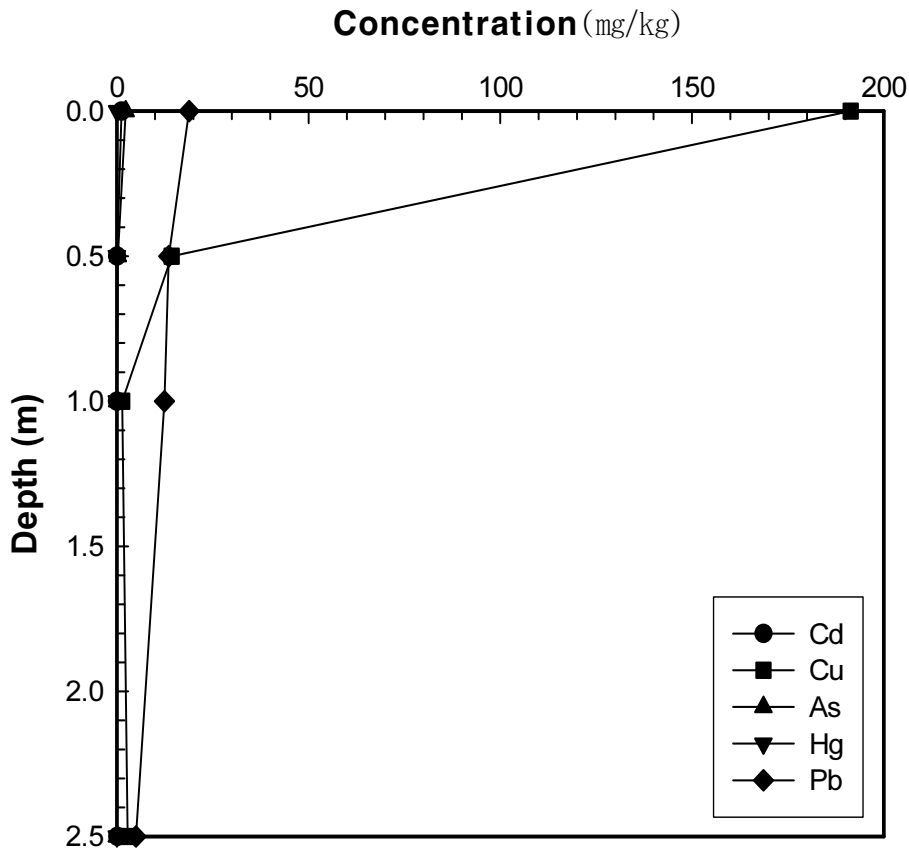


Fig. 1. Distribution of heavy metals in Ilkwang Mine by depth.

Table 3. The concentration of heavy metals in sites by depth (unit : mg/kg)

	항 목	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁺⁶
	depth(m)						
일광광산	0	1.270	191.400	2.320	0.062	18.880	0.000
	0.5	0.059	14.295	0.275	0.048	13.515	0.000
	1	0.015	1.380	0.100	0.046	12.400	0.000
	2.5	0.110	2.830	0.020	0.014	5.000	0.000
	평균	0.364	52.476	0.679	0.043	12.449	0.000
구) 동국제강	0	0.930	53.100	0.130	0.112	44.600	0.000
	0.5	3.190	0.810	0.110	0.098	0.300	0.000
	1	0.053	1.148	0.245	0.066	15.880	0.000
	평균	1.391	18.353	0.162	0.092	20.260	0.000
유진화학	0	0.660	54.390	0.020	0.059	75.500	0.000
	1	0.170	10.310	0.000	0.031	26.600	0.000
	2	0.180	8.060	0.000	0.026	20.700	0.000
	평균	0.337	24.253	0.007	0.039	40.933	0.000
한국공항	0	0.180	1.315	0.200	0.010	7.300	0.000
	3.5	0.154	1.326	0.165	0.003	5.940	0.000
	7	0.122	1.167	0.183	0.007	11.200	0.000
	평균	0.152	1.269	0.183	0.007	8.147	0.000
한국유리	0	0.140	6.400	1.390	0.013	24.200	0.000
	2.5	0.065	3.135	0.452	0.005	20.310	0.000
	5	0.059	3.622	0.456	0.003	20.400	0.000
	평균	0.088	4.386	0.766	0.007	21.637	0.000

Table 4. Criteria for soil contamination in Korea (Unit : mg/kg)

오염물질	토양오염우려기준		토양오염대책기준	
	가지역	나지역	가지역	나지역
카드뮴	1.5	12	4	30
구리	50	200	125	500
비소	6	20	15	50
수은	4	16	10	40
아연	300	800	700	2,000
니켈	40	160	100	400
불소	400	800	800	2,000
납	100	400	300	1,000
6가크롬	4	12	10	30
유기인화합물	10	30	-	-
폴리클로리네이티드비페닐 (PCB)	-	12	-	30
시안	2	120	5	300
페놀	4	20	10	50
유류(동·식물성 제외)	-	-	-	-
-벤젠·톨루엔·에틸벤젠·크실렌(BTEX)	-	80	-	200
-석유계총탄화수소(TPH)	-	2,000	-	5,000
트리클로로에틸렌(TCE)	8	40	20	100
테트라클로로에틸렌(PCE)	4	24	10	60

- “가” 지역 : 지적법 제 5조 제1항의 규정에 의한 전, 답, 과수원, 목장용지, 임야, 학교용지, 하천, 수도용지, 공원, 체육용지(수목, 잔디식생지에 한한다), 유원지, 종교용지 및 사적지
- “나” 지역 : 지적법 제5조 제1항의 규정에 의한 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지

에서 구리 농도는 191.400 mg/kg으로 토양오염대책기준(125 mg/kg)을 초과하는 수준을 나타내었으나 0.5m 깊이에서는 1/10 수준으로 낮게 나타났으며, 1m 이상의 깊이에서는 1/100 수준으로 낮게 나타났다. 카드뮴과 비소도 구리와 유사한 분포를 나타내었으나 수은과 납은 깊이에 따른 변화폭은 크지 않은 것으로 나타났다. 이렇게 표토내 중금속 함량이 높게 나타난 결과는 김 등³⁾, 전 등⁴⁾이 조사한 결과와 같은 것으로 표토내 중금속 함량이 높게 나타나 광산폐수와 광미, 광재의 비산 등에 의한 유입으로 오염이 된 것으로 추측된다. 따라서 일광광산 주변 토양의 경우 50cm 이내의 토양만 복원하면 되는 것으로 판단된다.

농작물의 구리과다 흡수는 성장을 저해하고 철 결핍증과 비슷한 엽맥 사이의 황화현상을 일으킨다⁵⁾. 토양 중에 과량 존재 할 경우 Lind Say⁶⁾의 토양의 화학평형이론에 의해서 pH가 낮아지면 Cu^{+2} 의 농도가 증가되어 더욱 더 토양을 오염시키므로, 석회를 사용하여 pH를 조정하거나 유기물을 환원 촉진시켜 Cu^{+2} 의 활동도를 감소시키거나, 개량제나 객토처리를 하여 Cu를 고정시키는 방법을 사용해야 할 것이다.

구리는 대개의 생물에 필수적인 미량금속 중의 하나이며 구리단백질(Cupro-protein)들이 여러 가지 신진대사 싸이클에 관여하는 것으로 알려져 있다. 오염된 음식물이나 음료로부터 많은 양의 구리를

섭취하게 되면 위장장애가 일어날 우려가 있으나 구리의 만성독성은 알려진 바가 없으며 인간은 유해한 영향없이 상당히 많은 양의 구리를 경구투여하여도 견딜 수 있으며 의학적으로는 피임, 암치료용 약품에도 사용된다⁷⁾.

2.2 구)동국제강

구)동국제강은 1980년 8월부터 1986년 12월말까지 동국제강에서 부산물로 생성되는 슬래그를 매립하였던 지역으로 그 매립량은 약 10만톤으로 추정된다. 남구 용호1동 해안가에 위치하고 있으며 지금은 잡초로 뒤덮혀 있다.

매립된 슬래그에 의한 토양오염의 영향을 파악하기 위하여 매립부지 주위의 방벽 주변토양에 대해 표토의 1m와 2m 깊이에서 시료를 채취하여 각각 중금속의 농도를 조사하였다. 깊이별 중금속 농도는 Table 3에 나타내었으며, 분포도는 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 구리와 납이 표토에서 비교적 높게 나타났으며 비소, 수은은 자연함유량(As: 0.405 mg/kg, Hg : 0.100 mg/kg)⁹⁾ 수준으로 나타났다. 카드뮴은 중간토(0.5m)에서는 3.190 mg/kg으로 다소 높게 나타났으나, 심토(1m)에서는 아주 낮은 오염도를 나타내었다. 따라서 슬래그 매립에 의한 주변 토양에 대한 영향이 다소 있는 것으로 판단되나, 이들 중금속들이 주변으로의 확산이나 이동 등은 일어나지 않은 것으로

사료된다. 그러나 중금속 농도를 중심으로 깊이에 따른 오염도의 감소나 증가에 대한 변화 추이의 일관성은 찾을 수 없었다.

카드뮴은 그림상에는 낮게 표시되었으나 타 지역에 비해 비교적 높게 나타났는데 카드뮴의 주요 발생원은 제련공정으로 금속광의 체련시 부산물로서 발생되기 때문이다. 카드뮴은 인체내에 섭취되면 소화관과 폐를 통해 흡수되는데 소화관으로

들어온 카드뮴 중 6%정도가 흡수되고 폐에서는 $0.1\mu\text{m}$ 입자는 50%, $2\mu\text{m}$ 입자는 20%가 폐에 남아 흡수된다. 카드뮴은 위액에 녹아 위장점막을 강하게 자극하여 오심, 구토, 복통, 설사를 일으킨다. 혈액으로 들어온 카드뮴은 주로 간과 신장에 농축, 저장되고 생물학적 반감기는 13~38년으로 알려져 있으며 흡수된 카드뮴은 태반을 통과하지 못하므로 신생아에 있어서는 거의 존재하지 않는다⁸⁾.

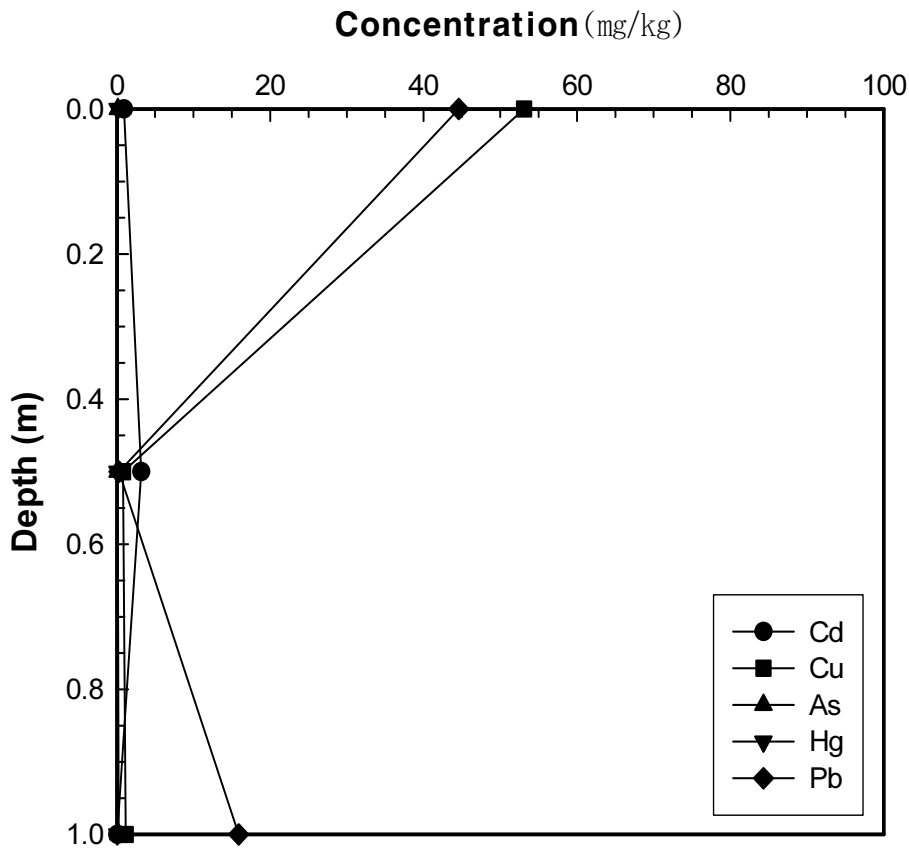


Fig. 2. Distribution of heavy metals in Dongkuk Steel by depth.

2.3 유진화학공업(주)

유진화학공업(주)는 남구 대연동에 소재하고 있으며 주요 생산품목은 페인트 원료인 펜타에리쓰리톨, 헥사민, 의산소다, 포르말린 등으로 토양오염의 개연성이 높다고 볼 수 있다. 화학제품 제조에 의한 토양오염의 영향을 파악하기 위하여 표토의 1m와 2m 깊이에서 시료를 채취하여 각각 중금속의 농도를 조사하였다. 지반이 암반으로 되어있어 2m이상에서의 시료채취는 할 수 없었다. 깊이별 중금속

농도는 Table 3에 나타내었으며, 분포도는 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 구리와 납이 표토에서 비교적 높게 나타났으며 비소, 수은은 자연함유량 수준으로 나타났다. 깊이에 따라 오염도가 낮아짐을 볼 수 있는데 이는 장기간에 걸친 조업에 대한 영향으로 나타난 결과로 추정된다.

여타 중금속에 비해 납이 비교적 높은 분포를 나타내었는데 납은 페인트, 안료, 농약, 제련, 요업, 배터리, 연판 등에서

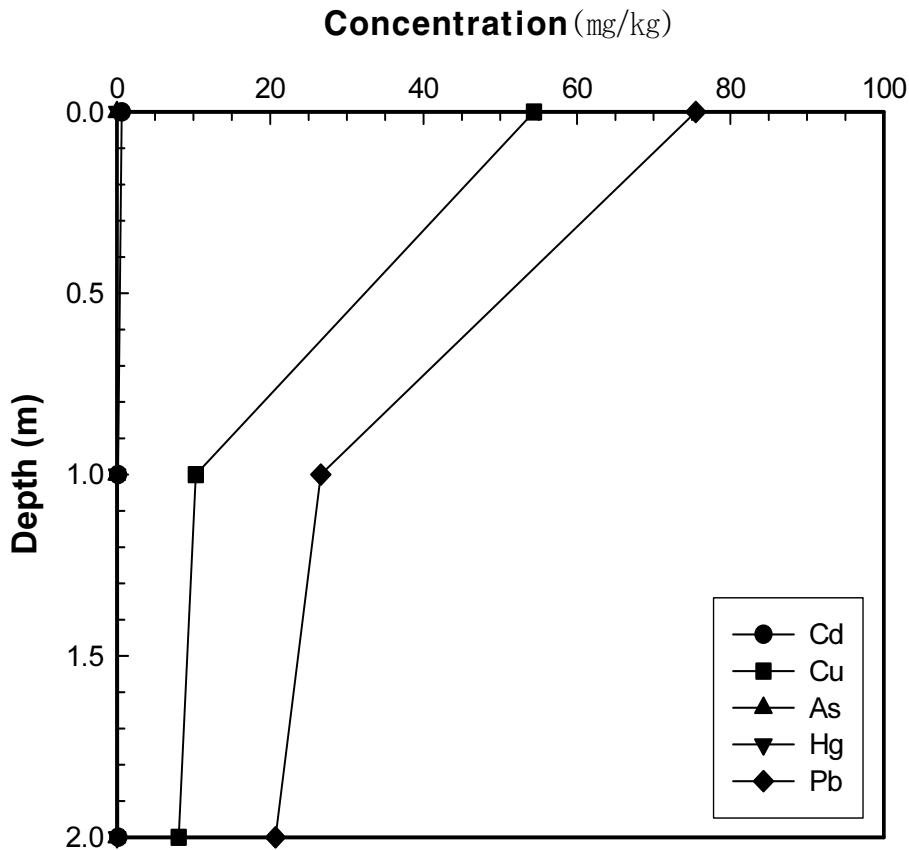


Fig. 3. Distribution of heavy metals in Yujin Chemicals by depth.

주로 배출되기 때문인 것으로 사료된다.¹⁰⁾ 납의 만성중독에 의한 주요 증상은 빈혈과 위장장해를 들 수 있는데 빈혈은 납에 의한 적혈구 수명의 단축과 헤모글로빈 합성의 저해에 의한 것이다. 또 말초신경계 및 운동계 장애와 두통, 어지러움, 불면 특히 시력장애, 청력장애, 월경이상 등의 증상도 보고되어 있다⁸⁾.

2.4 한국공항(주) 부산지점

강서구 대저2동에 소재한 김해공항은 76

년 8월 개항 이래 150여개의 업체가 상주하는 국제공항으로서 항공기 제작 및 수리와 대규모의 항공기 이착륙과 급유 등이 이루어지는 곳으로 대기배출시설로부터 배출되는 오염물질과 비산먼지, 대량의 연료유 사용에 의한 토양오염의 개연성이 높은 지역이라고 할 수 있다. 특히 한국공항 부산지점은 배관을 통해 항공기와 기타 시설 등에 유류를 공급하는 등 총 206 kl의 유류를 저장하고 있다.

중금속 뿐 만 아니라 유류저장시설에

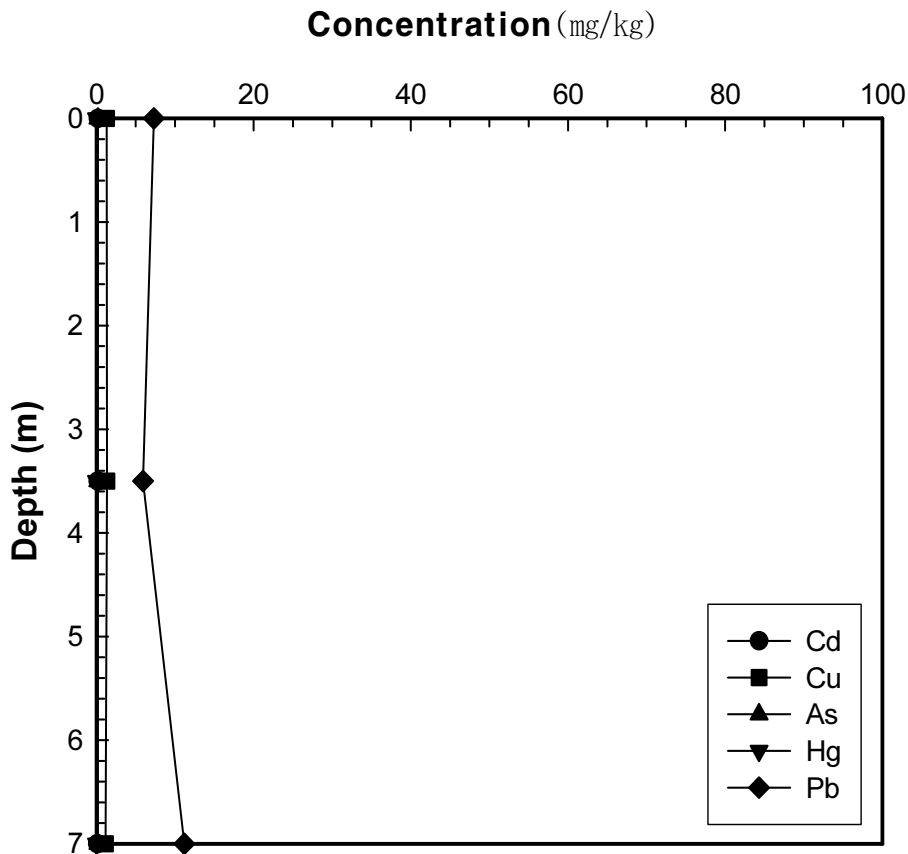


Fig. 4. Distribution of heavy metals in Hankook Airport by depth.

의한 토양오염의 영향을 파악하기 위하여 한국공항(주) 부산지점의 유류저장시설 주변토양에 대하여 조사하였다. 표토 외 지하저장탱크의 중간부인 3.5m, 지하저장탱크의 하부보다 깊은 7m 깊이에서 각각 시료를 채취하였다. 깊이별 중금속 농도는 표 3에 나타내었으며, 분포도는 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 납 이외 깊이에 따른 농도 변화는 나타나지 않았으며, 납 또한 자연함유량(5.375 mg/kg)

수준으로 중금속에 의한 오염은 발생되지 않은 것으로 판단된다. 유류의 경우 지하저장탱크의 중간부인 3.5m에서 석유계총탄화수소(TPH)가 8.400 mg/kg이 검출되었으나 토양오염우려기준인 2,000 mg/kg 보다는 훨씬 낮아 유류에 의한 오염 또한 없는 것으로 추정된다.

2.5 한국유리공업(주)

한국유리공업(주)은 기장군 일광면에 소재한 유리제조업체로 131,368m²의 넓은

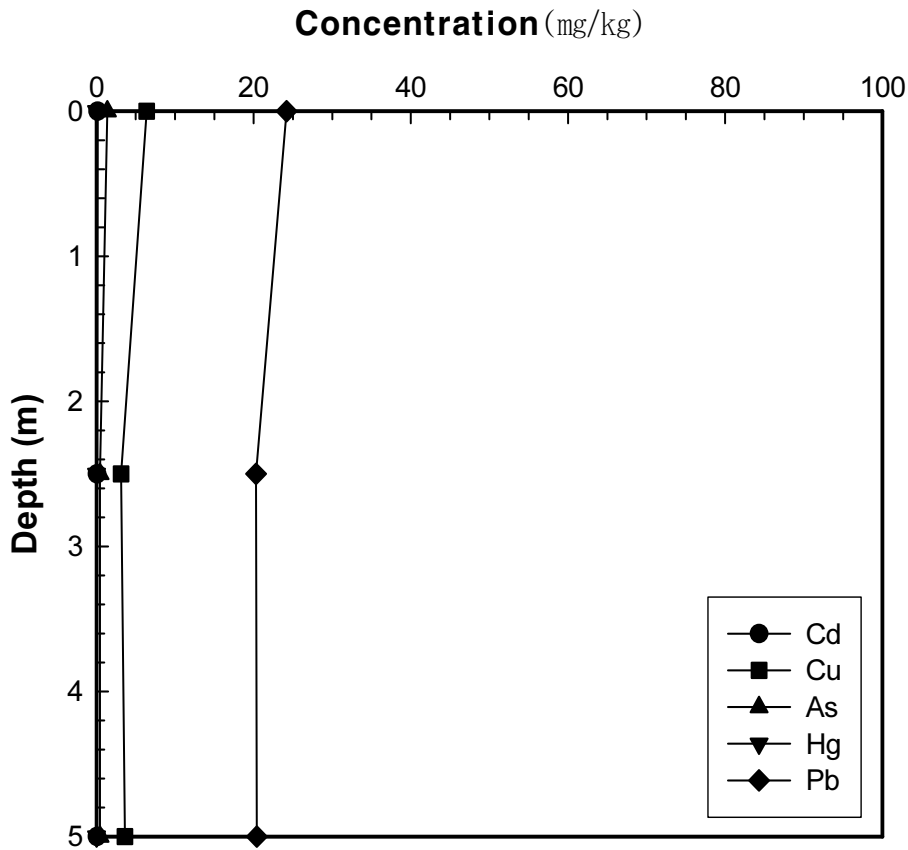


Fig. 5. Distribution of heavy metals in Hankook Glass by depth.

공장부지를 소유하고 있어 제품 제조에 의한 토양오염의 영향을 파악하기 위하여 표토의 1m와 2m 깊이에서 시료를 채취하여 각각 중금속의 농도를 조사하였다. 깊이별 중금속 농도는 Table 3에 나타내었으며, 분포도는 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 5개 중금속의 오염도는 깊이에 따른 변화는 거의 없는 것으로 조사되었으며, 농도 또한 납을 제외하고는 자연함유량 수준을 나타내었다. 한국유리공업(주)의 경우 비교적 토양오염도가 낮은 수준을 나타낸 것은 해안가에 위치하여 대기오염물질 등이 쉽게 확산되기도 하며, 또한 주위에 오염물질을 배출하는 다른 사업장들이 없기 때문인 것으로 사료된다.

결 론

부산지역의 5개 지점을 표본지점으로 선정하여 깊이별 오염도를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일광광산의 경우 표토에서 구리 농도는 191.400 mg/kg으로 토양오염대책기준(125 mg/kg)을 초과하는 수준을 나타내었으나 0.5m 깊이에서는 1/10 수준으로 낮게 나타나, 50cm 이내의 토양만 복원하면 토양의 정화가 이루어질 것으로 판단된다.
2. 유진화학공업(주) 등 3개 지점에서 표

토의 오염도가 높게 나타난 것은 산업 활동 등에 따른 결과로 오염물질 배출시설에 대한 지속적인 관리가 요망된다.

3. 중금속 농도를 중심으로 토양의 깊이에 따른 오염도의 감소나 증가에 대한 변화 추이의 일관성은 찾을 수 없었다.

참 고 문 헌

1. 환경부, 토양오염공정시험방법, pp31~171, 1999.
2. 김정진 외, 경상남도 일광 각력 파이프형 구리-중석 광상을 형성한 열수의 기원 : 안정동위원소 증거, *Jour. Korean Earth Science Society*, Vol. 19. No.3, pp294~301, 1998.
3. 김상현 외, 삼보연-아연-중정석 광산주변에서의 중금속오염 연구, *한국자원 공학회지* V. 30, pp228~237.
4. 전관수 외, 폐광산주변토양 및 하천의 중금속 함량, *한국환경과학회지* 제8권 제2호, pp197~204, 1999.
5. 이은웅 외, 재배학범론, 한국방송대학교 출판부, pp85~89, 1997.
6. 농업환경화학, 동화기술, pp190~194, 207~208, 1992.
7. 승정자, 극미량원소의 영향, 민음사, pp72~340, 1984.
8. Davies, B.E., Heavy metal con-

tamination from base metal
mining and smelting:implications
for man and his environment. *In*
Applied Environmental Geoc he-
mi stry(Ed., I. Thornton), A-
cademic Press, London, pp425~

462, 1983.

9. 환경부, 2001 전국 토양측정망 운영
결과, pp5~13, 2002.
10. 최의소 외, 환경공학, pp369~377,
1994.