

난지도 육상 폐기물매립층에서 황산염환원균 및 중금속의 분포와 역할

폐기물공학팀, *岐阜대학 농학부 생물자원이용학과

정 권 · 강미혜 · 김은숙 · 전은미 · 배일상 · 신재영 · 장용철*

Vertical Distribution and Behavior of Heavy Metal Ions in the Layer of Nanjido Landfill Site

Waste Engineering Team

* Department of Bioprocessing, Faculty of Agriculture, Gifu University

Kweon Jung, Mi-hye Kang, Eun-sook Kim, Eun-mi Jeon, Il-sang Bae,
Jae-young Shin and Young-chul Chang*

Abstract

Distribution of sulfate-reducing bacteria (SRB) along with the depth, and correlation between sulfur and heavy metal in the layer of an open-dumping landfill site (95 m depth), Nanjido, Seoul, Korea, were investigated. It was found that SRB were widely distributed in all layers of the Nanjido landfill site with range 10^3 to 10^6 MPN/ml. Sulfur values were highly correlated with heavy metals concentrations of the landfill site in accordance with depth. Number of SRB, quantities of sulfur and total metal in suspended solids (SS), were $10^6 \sim 10^9$ MPN/ml, 2.71% and 3.15%, respectively. Moreover, values of those in sediment form the bottom of leachate catchment basin were recorded as $10^5 \sim 10^8$ MPN/ml, 2.60% and 3.29%, respectively. Therefore, it was assumed that heavy metals move as SS (floc) form from upper layer to the bottom. Form these results it is deducible that formation of metal sulfide by SRB in presence of higher sulfur, may play an important role in insolubilization of heavy metals in Nanjido landfill site.

Key Words: landfill site, sulfate-reducing bacteria (SRB), insolubilization, vertical distribution, heavy metals

서 론

매립폐기물층의 유기, 무기오염물질은 강우에 의해 침출수와 폐기물층의 수분에 따라 침출수와 함께 상층부에서 하층부로 이동하면서 외부로 배출되어진다. 이 과정에서 폐기물매립지내의 유기, 무기오염물질은 매립층

내에서 일어나는 물리, 화학, 생물학작용등에 의해 용출, 분해, 제거, 안정화되어지고 있다. 이 때문에 폐기물매립지를 하나의 커다란 반응조로 볼 수 있겠다. 일반적으로 이들의 작용은 매립폐기물층의 깊이에 크게 좌우된다고 보고되고 있다. 폐기물매립지에서의 중금속은 염혹은 금속고체로서 존재한다. 폐기물매립지에서의 중금

속의 이동형태는 이로부터 용해되어진 중금속이온으로의 이동과 생성된 불용성물질의 일부분이 침출수에 따라 상층부에서 하층부로의 이동에 의한 것이라 사료된다. 이때 중금속안정화는 금속이온의 흡착과 침전에 의한 것이지만 토양, 휴민물질등에 의한 흡착은 흡착량이 포화에 달하거나 흡착한 것이 분해나 탈착한 경우 다시 침출수와 함께 이동할 가능성이 있다. 그러므로 매립지에 있어서 중금속불용화는 침전에 의한 불용화가 주요한 과정이라고 할 수 있겠다. 이와같은 과정중에서 중금속의 불용화에 미치는 황산원환원균(SRB)의 역할이 주목된다. SRB의 황산원환원반응에 의해 형성되어진 금속황화물의 침전물은 금속산화물, 금속수산화물, 탄산화물이고 이들의 용해도가 극히 낮기 때문에 일단 황화물로서 침전되면 매우 안정해서 재용출되어지기 어렵게 된다. 용존물질(SS) 및 침전물중에 함유되어져 있는 미량 금속은 산화조건으로는 주로 금속산화물, 금속수산화물, 탄산화물의 형태로서 존재하고 환원조건에서는 금속황화물로서 존재한다. 호기성조건에서는 대부분의 중금속은 재용출되기 어렵지만 혐기성조건에서는 중금속의 대부분은 H_2S 로 반응하여 금속황화물을 형성하는 것이 보통이다. 또한 수산화물, 탄산화물의 형태로는 잘 침전할 수 없는 Mn, Zn, Al, 등의 금속까지도 안정적인 금속황화물로서 불용화할 가능성이 있다. 폐기물 매립지에 있어서 SRB의 중금속불용화의 역할을 실험하여 매립층내의 중금속불용화 메카니즘에 관한 지금까지의 연구는 매립모형층과 깊이 10m정도의 폐기물매립지에 있어서의 중금속류 조사에 미치고 있어 대규모적인 폐기물 매립층내의 SRB 및 중금속류의 수직분포 및 거동에 관해서는 아직까지 명확히 밝혀지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 폐기물 매립층내의 중금속불용화에 관여하는 SRB에 의한 금속황화물 생성에 주목하여 매립높이 95m에 달하는 난지도 육상폐기물 매립지를 대상으로 하여 깊이별 SRB생육분포 S와 중금속의 상관관계등을 검토하고 폐기물 매립층내에 있어서의 중금속불용화 메카니즘에 대하여 고찰하였다.

조사 및 분석방법

1. 난지도 폐기물매립지의 개요^{6,19)}

난지도 육상매립지는 한국의 수도서울의 중심부를 흐르

는 한강의 하류부의 마포구상암동에 위치하고 강을 따라 2개로 나뉘어진 사다리꼴을 하고 있다. 매립기간은 1978년 3월-1993년 12월까지로 미복토 및 미치수의 open dumping형 매립을 하고 있으며 매립지 면적은 2,715,000m², 매립면적 1,904,000m², 매립량 91,972,000m³, 높이 95m로 매립물은 일반폐기물 97.6%, 하수슬러지 및 산업폐기물 2.3%이다.

2. 시료채취 및 분석방법

시료채취지점을 Fig.1에 나타냈다. 매립폐기물은 1999년 3월-9월로 Hammer Grab을 이용하여 4개의 지점에서 매립전체깊이 60m에 대해 6m마다 채취하여 폴리에틸렌백에 넣어 이동했다. 3성분(수분, 회분, 가연분) 분석되는 페비닐, 폐목, 돌 등의 이물을 제거한 시료를 이용했다. 원인은 불링파이프내에 침전물과 짐수조의 침전물을 시료로 이용했다. 모든 조사에 있어서 채취한 시료는 즉시 냉장하여 운반하여 측정하였다. 또한 세균 측정용 시료는 별도멸균병에 채취하였다. 채취한 시료는 필요에 따라서 진처리한 후 유기물, 금속류, 원소분석, 황산원환원균을 측정하였다. 측정에 사용한 시약은 모두

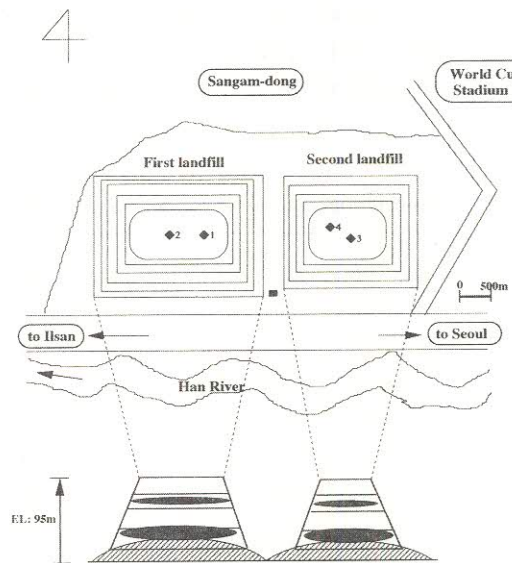


Fig. 1. Sampling sites in Nanjido landfill

Sampling points;

- ◆ sampling was performed along with the depth(every 6m) in the layer of this landfill site(95m)
- effluent leachate catchment basin
- internal leachate
- 〰 underground water

특급품을 이용했다. 분석방법은 아래와 같다.

1) 금속류

폐기물은 풍건한 것을, 침출수는 GFC여지(pore size 1.2 μ m)로 여과한 시료에 대해서 적당량을 취해 CEM사제 Microwave(MDS-2000형)로 질산을 가해 전처리한 후 원자흡광광도계(Varian사제 SpectrAA-880형)로 분석했다.

2) 원소분석

풍건한 시료적당량을 Fisons사제 EA1109형의 CHNS/O Elemental Analyzer로 분석하였다. 검출기는 TCD를 이용하였고 반응온도는 1800~2000 $^{\circ}$ C이었다.

3) 물리적 성상과 삼성분 분석

물리적 성상은 4개소에서 매립깊이 60m에 대해서 6m 간격으로 채취한 시료를 원추사분법으로 축분한 것을 공정시험방법에 의해서 가연성과 비가연성으로 분석하고 가연분, 수분, 회분은 JIS의 방법에 준하여 분석하였다.

4) 황산염환원균 : 침출수의 황산염환원균수의 계측에는 탄소원으로서 유산, 초산, 에탄올, 환원제로서는 아스코르빈산을 이용하여 비교적 다량의 철염을 첨가한 배지를 이용했다. 우선 수산화나트륨용액으로 조제한 황산염환원균 생육배지에 산소가 침입하는 것을 방지하기

위해 0.3%의 환천을 첨가하여 반고체배지로 했다. 배지는 시험관에 약 10ml씩 분주하고 스크류캡 혹은 부틸고무마개로 밀봉했다. 배양온도는 30, 50 $^{\circ}$ C로하고 약 2주간 정치배양했다. 황산염환원균수의 계수는 MPN (Most Probable Number)법으로했다. 30 $^{\circ}$ C와 50 $^{\circ}$ C의 2단계로 각시료의 황산염환원균를 측정했는데 이것은 30 $^{\circ}$ C는 외부침출수, 50 $^{\circ}$ C는 내부침출수의 수온에 가까운 것으로 설정했다. 매립폐기물시료의 SRB수의 측정에 대해서는 이물을 제거한 것을, SS는 침출수를 3000rpm에서 7분간 원심분리한 것을 1g을 시험관에 넣고 9ml의 멸균희석수를 가해 초음파파쇄기로 2-3분간 처리한 후 N₂가스를 충전하면서 10배씩 단계희석하여 침출수와 같은 방법으로 했다.

결과 및 고찰

1. 폐기물매립지의 심도별특성

난지도 육상매립지의 경우 지하수위가 상부에서 60m-70m정도로 형성되어있어 20m-30m에 정체침출수층이, 50m-60m에서 기저침출수층이 존재했다. 난지도 육상폐기물 매립지의 4개소의 심도에 의하여 3성분 및 원소분석결과(최대-최소값)을 Table1에 나타냈다. 폐기물매립층의 온도범위는 17-67 $^{\circ}$ C, 수분은 11.9-

Table 1. Physical property and elemental analysis of Nanjido landfill waste

Depth (m)	Temp.	Moist.	Com.	Ash	Carbon	Hydrogen	Nitrogen	Sulfur
	Min.-Max.	Min.-Max.	Min.-Max.	Min.-Max.	Min.-Max.	Min.-Max.	Min.-Max.	Min.-Max.
0-6	17-24	17.4-22.5	0.1-0.2	80.2-82.5	0.34-10.3	0.24-0.79	0.04-0.39	< 0.01
6-12	27-28	11.9-16.4	6.0-8.1	72.3-85.8	1.27-12.1	0.47-1.23	0.06-0.49	< 0.01
12-18	48-54	42.7-44.3	6.3-11.2	48.4-55.2	1.41-14.9	0.30-2.39	0.06-2.10	0.10-1.40
18-24	58-67	22.4-48.6	35.1-46.9	29.8-34.4	1.40-10.0	0.41-1.55	0.04-0.82	0.23-0.81
24-30	57-65	32.5-36.6	34.5-41.2	23.5-32.3	3.02-9.99	0.68-1.38	0.16-1.24	0.40-0.81
30-36	52-59	28.5-34.8	23.6-28.5	38.5-44.7	3.85-10.1	0.55-1.31	0.15-0.68	0.47-1.20
36-42	49-55	22.8-26.7	17.5-24.8	52.5-56.6	1.15-12.4	0.53-1.43	0.07-0.73	0.24-0.47
42-48	38-45	21.2-22.9	2.9-4.7	69.3-77.8	0.89-11.0	0.36-1.71	0.07-1.22	0.10-0.47
48-54	34-42	19.5-21.2	2.5-3.5	69.8-79.4	1.46-9.88	0.33-0.71	0.08-0.21	< 0.01
54-60	34-39	18.5-20.8	1.7-2.0	77.5-85.3	1.62-16.5	0.43-0.68	0.08-0.21	< 0.01

Unit of temp. is $^{\circ}$ C, other units given are in%.
 Dry samples were used for the elemental analysis.
 Moist.: Moisture
 Com.: Combustible matter

48.6%, 가연분은 0.1-46.9%, 회분은 23.5-85.8%이었다. 연탄재, 나무조각, 플라스틱류, 섬유, 건설폐자재, 고무, 오니 등이 특히 불규칙적으로 분포하고 있었다. 가연성물질은 18-42m에 집중해 있었고 전체의 20-50%를 차지하고 거의가 비닐, 목재류, 종이였다. 또한 비가연성물질의 54%는 토사였다. 즉 침출수에 관한 투수계수는 평균 1.21×10^{-5} m/sec였다. 온도는 12-48m로 40℃이상 이었고 18-30m층에서 가장 높았다. 이 층에서는 수분과 가연분도 높았다. 연소분석의 결과 C, H, N, S의 농도는 4개지점의 깊이에 따라 그 차이가 컸다. 또한 이들 중에서 C성분이 상대적으로 많았고 N성분이 적었다. S의 농도는 0-12m, 48-60m층에서는 0.01% 이하, 18-42m층에서는 0.23-1.20%를 나타냈고 일정한 깊이에 집중적으로 분포하고 있음을 확인할 수 있었다. 특히 Site1에서는 S농도가 낮은 곳에서는 온도 및 유기물 함량이 낮고 회분량이 높은 특징을 나타냈다.

2. 매립층내의 중금속의 이동

난지도 매립지의 외부침출수, SS 오니중의 SRB, S, 중금속농도의 비교결과를 Table2에 나타냈다. 외부침출수의 SRB는 2.3×10^3 MPN/ml, SS중의 SRB는 2.6×10^6 MPN/ml, S은 2.71%, 금속량은 3.15%였다. 오니중에서 SRB는 2.3×10^5 MPN/ml, S은 2.60%, 금속량은 3.29%였다. 외부침출수 중에는 거의 중금속이 검출되지 않은 것에 비해 침출수 중의 SS중에는 %함량의 중금속이 포함되어져 있다. 즉 내부침출수중의 SRB는 4.3×10^4 MPN/ml, SS중에는 1.1×10^9 MPN/ml, 오니에는 SRB는 4.3×10^8 MPN/ml였다. 모형매립조를 이용한 경우 조각재의 매립처분에 따라 미량중금속의 거동

에 관한 실험에서도 거의 중금속이 모형매립조의 하부층에 집중적으로 존재하고 있는 것을 알았다. 그리고 모형매립조실험에 있어서도 중금속의 이동은 SS형태로서 이동하게되고 침출수중의 SS로서 유출되어진 금속은 전체 중금속함유량에 대해 1%이하로서 거의가 폐기물 매립층에 채류하게된다고 보고하고 있다. 따라서 난지도 매립지에서도 같은 현상이 일어나고 침출수중에 용해되어진 금속류가 침출수와 함께 SS의 형태로서 하부로 이동하면서 침전등의 기전을 통해 일정층으로 정착 혹은 용출을 반복하거나 일부가 외부로 유출하는 것과 같은 일련의 반응이 일어나고 있다고 생각되어진다.

SS 및 오니중에 다량의 SRB와 S이 확인되어진 것은 생성된 SS가 중금속과 SRB를 함유한 Floc을 형성한 것으로 사료된다. 호수 혹은 해양에 존재하는 저질과 SS는 크롬, 카드뮴, 구리, 망간등의 미량중금속의 중요한 저장고이고 산화환원전위에 의해 존재형태는 다르지만 대체 금속황화물로서 존재하고 있는 것이나 SRB에 의해 생성된 금속황화물주체의 SS는 floc이 크게되어 침전물로서 저층으로 이동한다고 보고하고 있다. 이들 보고에서 매립지내에서는 SS와 SRB도 함께 이동하는 것이라고 사료된다.

3. 폐기물매립지층내에 있어서 S, SRB, 중금속의 수직분포

Fig.2에 매립층별 SRB, S 및 Site1에서의 온도, 수분, 유기물의 수직분포를 나타냈다. SRB의 경우 지점 및 층에 따라 그 농도는 불규칙적이었지만 전층에서는 10^3 MPN/ml이하로 존재하고 있었다. S은 Site1에서는 12-42m, Site2에서는 12-48m, Site3에서는 18-

Table 2. Comparison of sulfate-reducing bacteria number(SRB), sulfur content(S) and metal concentrations in the leachate in Nanjido landfill

	SRB (MPN/ml)	S (%)	Cu	Cd	Cr	Fe	Mn	Zn	Pb	Hg	Total metals (%)
Leachate	2.3×10^3	-	0.02	ND	0.28	5.54	1.36	1.05	ND	ND	-
SS	2.6×10^6	2.71	213	9.22	85.3	26400	1110	3650	89.4	0.55	3.15
Sediment	2.3×10^5	2.60	112	8.10	53.6	30100	941	1580	60.3	0.11	3.29

Unit of heavy metals:mg/l in leachate, mg/kg in SS and sediment(dry base).

SRB: in Nanjido landfill effluent leachate

SS was taken in effluent leachate catchment basin.

Sediment was taken from the bottom of leachate catchment basin.

ND: not detectable(<0.01mg/l)

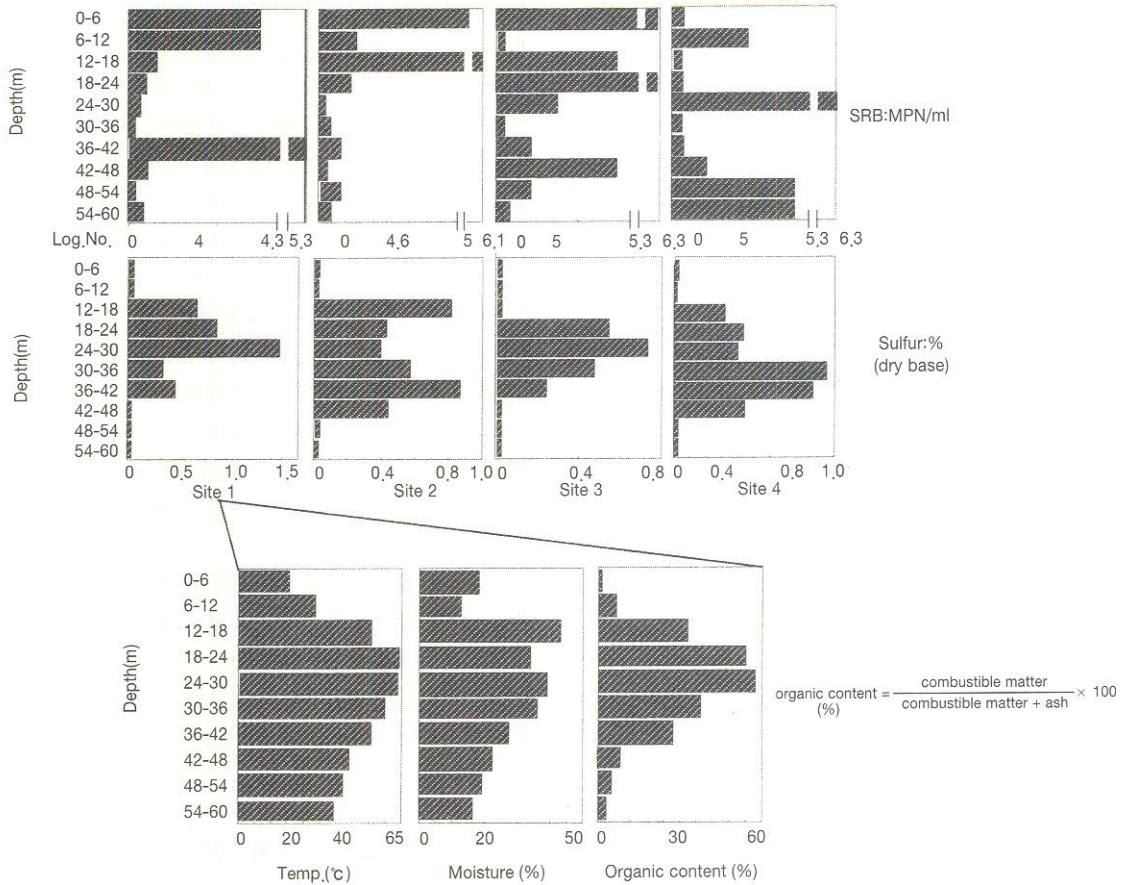


Fig. 2. Distributions of SRB and sulfur with depth in Nanjido landfill and physical property at Site 1

42m, Site4에서는 12-48m의 범위에서 집중적으로 검출되었지만 다른 깊이에서는 미량밖에 검출되어지지 않았다. 특히 Site 1에서는 S와 함께 12-42m의 범위에서 온도, 수분, 유기물도 높은 값을 나타내었다. 저자들은 매립지 침출수에서의 SRB의 분포와 매립지에서의 SRB의 역할을 실험적으로 보고했는데 매립지 침출수중의 SRB의 증금속과의 관계를 보고했다. 그러나 본 조사에서는 SRB와 S농도와와의 상관성은 직접확인할 수 없었다. 본조사를 행하기 앞서 S이 다량존재하고 있는 곳에 SRB는 반드시 S농도에 의존하는 것은 아니고, 전 매립층내에 광범위하게 분포되어있는 것을 알 수 있었다. Fig.3에는 Hg, Pb, Cd, Cu의 결과를 Fig.4에는 Zn, Cr, Fe, Mn의 결과를 각각 나타냈다. Hg, Pb, Cd, Cu, Cr등의 매립층에서의 수직농도분포는 지점에 따라 다르고 S와 같이 12-42m의 일정층 집중하고 이 범위에

서 최고농도를 나타냈다. 이 결과와 Fig.2의 결과를 합하여 그들의 증금속들이 금속황화물로서 존재할 수 있는 가능성이 있다고 사료된다. 한편 아연, 철, 망간의 경우 상기 금속과 같이 집중적인 분포는 관찰할 수 없었지만 (Fig.4) 이와 같이 비교적 다량 존재하는 금속의 경우도 매립지에서 금속황화물로서 존재할 수 있다고 볼 수 있다. 상세히 기술했지만 그 이유는 금속황화물이 생성되어 수중의 침전물은 거의 흑색을 나타내며 이것은 FeS가 생성되어지기 때문이고 실제로 본 조사에서도 매립지에서 흑수가 관찰되었다. 이 흑수의 주원인이 황화철 때문이라고 생각되어지며 다른 금속과 황화물을 형성할 가능성이 높았다. 이 확인은 X회절에 의해 분석할 필요가 있다. 그러나 X선회절분석을 시도해보았지만 농도가 매우 낮기 때문에 아직은 분석은 성공하지 못하였지만 향후 계속 검토할 것이다. 본 조사에서 아연, 철, 망간의

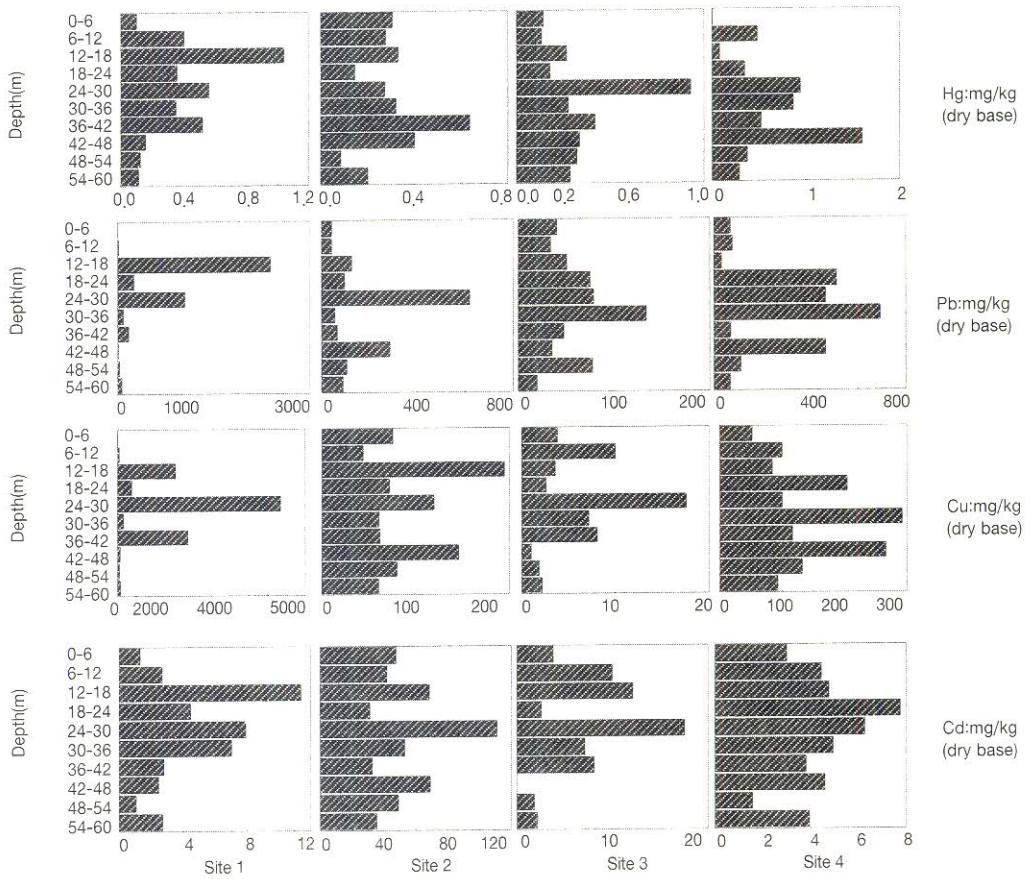


Fig. 3. Distributions of Hg, Pb, Cu and Cd with depth in Nanjido landfill

농도가 높았던 것은 철의 경우 총합유량이 많은 황화물과 반응하지 않고 남아있었기 때문이고 철, 망간의 경우 용해도가 비교적 높기 때문이라고 사료된다. 즉 복토 등으로 유래한 것도 배제할 수 없다. 금속의 존재유형은 황산환원조건에 의해 좌우되지만 환원상태에서는 금속형은 금속황화물로서 존재한다. 이와 같은 현상은 대부분이 매립지 내부에 있어서도 적용할 수 있다. 즉 황산염환원균에 의해 황산염은 황화물로 환원되고 이 환원조건에서는 침전물중에 존재하는 금속은 주로 금속황화물의 형태로 존재한다고 사료된다.

4. 폐기물매립층에 있어서의 황과 다른 성분과의 상관관계

4개 장소에서의 심도별 황과 중금속과의 상관관계를 Fig. 5에 나타냈다. 장소에 따라 다소 차이는 있었지만

황이 특히 낮은 농도로 존재하는 Site, 즉 깊이 1-12m와 48-60m의 그룹 A와 황이 집중적으로 높은 농도로 존재하는 그룹 B로 나누어 생각할 수 있었다. 황농도가 비교적 낮은 A의 경우 불용화는 금속황화물 형성을 제외한 반응에 의해 침전때문이라고 사료된다. 그룹 B는 중금속과 양의 상관관계를 나타내고 r 은 0.650($n=21$, $p<0.01$)로 현장조사자료로서는 명확한 상관관계로 유의성을 얻을 수 있었다. 특히 Site 1 상관관계는 $r=0.873$ ($n=4$, $p<0.01$)로 특히 높았다. 또한 철과 망간을 제외한 금속의 상관관계는 $r=0.454$ ($n=21$, $p<0.05$)이고 황과 망간을 보면 황과의 상관관계는 $r=0.604$ ($n=21$, $p<0.01$)였다. 즉 미생물에 필요한 수분, 온도 및 가연분(유기물)과도 유의성을 나타내었다. 황농도가 상대적으로 높은 수치를 나타낸 층과 침출수에는 SRB가 일정수준이상으로 존재(Fig. 2)였고 그 층 중금

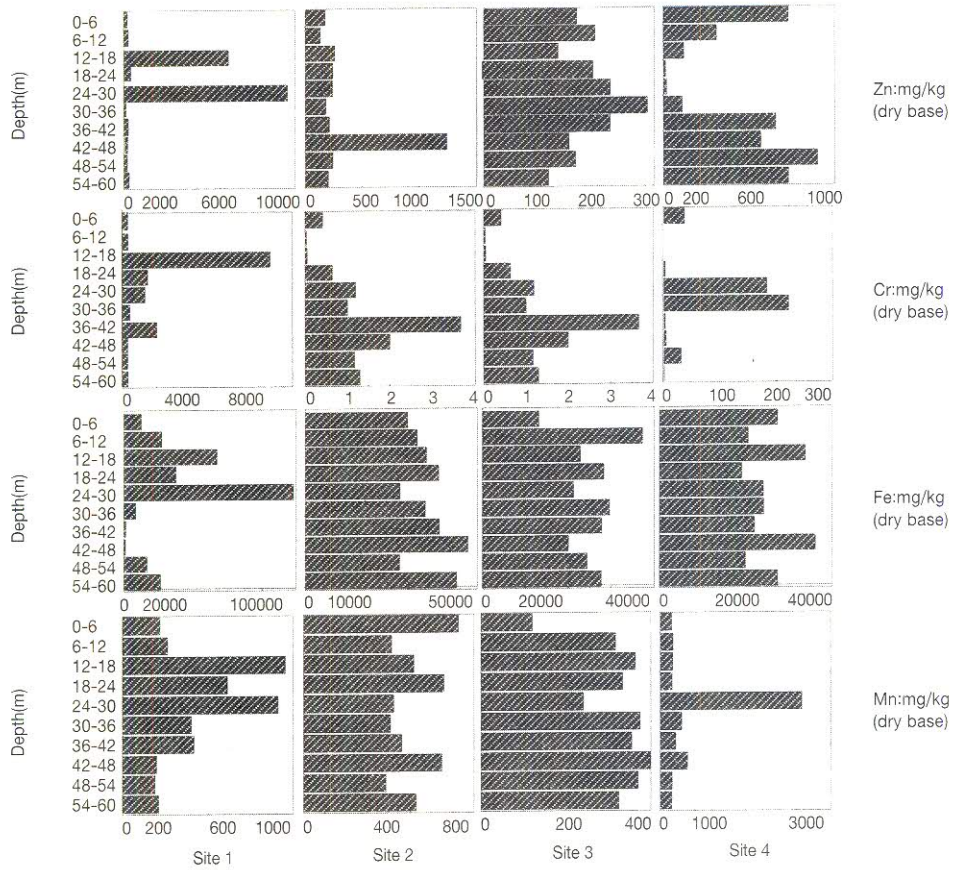


Fig. 4. Distributions of Zn, Cr, Fe and Mn with depth in Nanjido landfill

속과 상층부로 용출되어진 침출수가 하층부로 이동했다. 그 다음으로 황산염환원조건이 형성되어진 층에는 그 중 금속은 금속황화물의 형태로 된다고 사료된다. 따라서 심도별 황과 중금속거동에 있어서 높은 상관관계를 나타냈다(Fig 5). 이것으로부터 불용화메카니즘은 SRB에 의해 금속황화물 형성에 의한 것으로 사료된다. 폐기물 매립지에서의 중금속의 형태는 금속단체로서 존재한다. 이것으로부터 용출한 중금속은 이온상태로 존재한다. 또한 이 이온상태의 중금속 불용화 Process는 흡착과 침전이고 흡착은 흡착량이 포화에 달하고 흡착물자체가 탈착, 분해하여 다시 이동할 가능성이 있다. 따라서 매립지에서의 중금속 불용화는 침전에 의한 불용화가 주요한 process라고 사료된다. 많은 매립지의 경우 황산염 환원 상태에서는 매립지침출수 중의 중금속 농도는 거의 검출한계이하의 경우라고 보고되고 있고 또한 Senior는 매

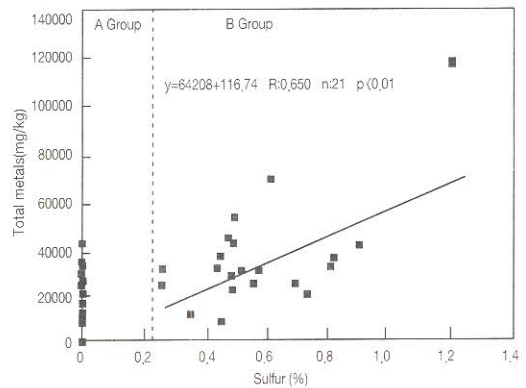


Fig. 5. Correlation between sulfur content and total metal concentrations at all depths and sites in Nanjido landfill

립지에서의 중금속 불용화는 폐기물 흡착에 의한 것에 생화학적 반응에 의한 금속황화물과 탄산염침전이 주요 구성이라고 보고하고 있다. 따라서 매립지에서의 중금속 불용화는 폐기물자체에 의한 흡착보다는 황화물과 탄산염침전이 주요한 기전이고 매립지의 안정화에 작지만 20년 이상의 장기간을 요하는 특성을 고려한 경우 금속 황화물 침전물 이외의 침전물은 재이동할 가능성이 있다. 이들 이온은 용해도적(K_{sp})가 특히 낮은 금속황화물 침전물질을 형성하고 최종적으로 안정화되어진다고 판단할 수 있다.

이번과 같이 매립지에서의 심도별 조사를 자세히 하여 황과 중금속과의 상관관계를 직접적으로 한 적이 없다. 황농도가 비교적 낮았던 그룹 A의 경우 중금속 불용화는 SO_4^{2-} 가 적었기 때문에 SRB에 의한 H_2S 의 발생도 적어 황화물침전이 생성되지 않아 황화물 침전에 의한 것보다는 탄산염 침전이 주요한 기전일 가능성이 높았고 그룹 B의 경우와 같이 낮은 산화환원전위, 적당한 유기물, 수분, 온도, SRB 등이 유지하고 있는 조건에서는 황산환원에 의한 중금속 불용화의 중요한 mechanism 이라고 판단된다.

결 론

폐기물매립층내에 있어서 중금속불용화 메커니즘을 알아보기 위해 SRB에 의한 금속황화물 생성에 주 목적으로 하여 매립높이 95m에 달하는 한국난지도 육상폐기물 매립지를 대상으로 심도별 SRB 생육분포, 황과 중금속과의 상관관계등을 조사했다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 폐기물매립층에 있어서 10^3 에서 10^6 MPN/ml의 범위로 진층에 광범위하게 존재하는 것으로 확인할 수 있었다.
2. 난지도 매립지 침출수 SS중의 SRB는 10^6 에서 10^9 MPN/ml, 황은 2.71%, 총금속 3.15%, 오니에서의 SRB는 10^5 에서 10^6 MPN/ml, S는 2.6%, 총금속 3.29%를 나타내어 중금속과 SRB는 SS(floc)의 형태로서 이동한다고 사료된다.
3. 매립층별 황과 중금속은 site에 따라 농도차는 있었지만 12-48m간에 집중적으로 분포하고 있고 매립층별 황과 중금속 농도와의 관계는 높은 상관관

계로 유의성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Christensen T. H., Cossu R., Stegmann R. : Landfilling of Waste Leachate, 473-479, Elsevier Science (1992)
2. 寺島奉 : 都市廢棄物埋立地における汚染物舉動, 廢棄物學會誌, 7:148~167 (1996)
3. 花嶋正孝 : 廢棄物埋立場における有害物質の舉動, 水質汚濁研究, 13:18~22 (1990)
4. Qasim S. R. and Chiang W. : Sanitary Landfill Leachate, 240~241, Technomic Publishing Co. Inc. (1994)
5. Tchobanoglous G., Theisen, H., Vigil, S. : Integrated Solid Waste Management, 381~540, McGraw-Hill Inc. (1993)
6. 丁權, 張 喆, 俞榮植, 高見澤一裕 : 韓國におけるオープンタンピング型陸上廢棄物埋立地 浸出水の特性, 日本水處理生物學會誌, 35:143-155 (1999)
7. 立藤綾子, 松藤康司, 花嶋正孝 : 無機類が埋立層内の微生物分解過程におよぼす影響, 廢棄物學會論文誌, 6: 105-114 (1995)
8. 大迫政浩, 井上雄三, 古市徹, 田中勝 : 焼却殘渣埋立層内における重金類移動特性に關する實態調査, 第4回廢棄物學會研究發表會講演論文集, 575-578(1993)
9. 大迫政浩, 田中勝 : 焼却殘渣埋立地における重金類類の分布特性に關する研究, 第3回廢棄物 學會研究發表會講演論文集, 411-414(1992)
10. 土手, 田中信壽, 神山桂一 : 模擬埋立實驗による廢棄物埋立層内におけるカドミウムの化學的舉動に關する研究, 衛生共學研究會論文集, 25: 21~27 (1989)
11. 田中信壽, 松藤敏彦, 東條安匡, 松尾孝之 : 廢棄物埋立層内における浸出水中有機物と重金類の安定化・不溶性に關する研究, 北海道大學工學部衛生工學科清掃工學講座 (1996)
12. Takamizawa K., Shammoto H., Horitsu H., Kawai K., Suzuki T., Fukunaga I., and Iida

- H.: Distribution of S-reducing bacteria at a sea-based solid waste disposal site and their role on insolubilization of heavy metal ions in leachate, *J. Waste Management Experts*, 5: 89~97 (1994)
13. 高見澤一裕：廃棄物埋立地における重金類安定への硫酸還元菌の役割に関する研究, 平成6年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書(研究課題番号04650495), 28 (1995)
 14. 宮脇健太郎, 田中信壽, 松藤敏彦：焼却灰溶出液中における硫酸還元反応への影響因子に関する研究, *廃棄物學會論文誌*, 6: 95-104(1995)
 15. Stoner D. L.: *Biotechnology for the Treatment of Hazardous Waste*, 32~33, CRC Press, Inc. (1994)
 16. Manahan S. E.: *Environmental Chemistry*, Sixth Edition, CRC Press, Inc. (1994)
 17. Larry L. B.: *Sulfate-Reducing Bacteria*, Plenum Press, New York and London. (1995)
 18. 韓國環境部：Development of the technology for treatment and recovery of heavy metal containing wastewater, G7 課題第3次年度最終報告書 (1998)
 19. 서울特別市：蘭芝島埋立地安定化工事地盤および水理調査報告書 (1996)
 20. 東和技術：韓國水質, 廢棄物, 土壤汚染公定試験法 (1997)
 21. 日本環境測定分析協會：産業廢棄物分析マニュアル (1996)
 22. *Standard Method for the Examination of Water and Wastewater*, 18th edition, American Public Health Association, New York (1992)
 23. 竹内準一, 田口幸夫, 佐竹研一, 森忠洋：硫酸還元菌の計數法および硫酸還元活性の測定法, *水質汚濁研究*, 11: 38~49 (1988)
 24. 松藤康司, 花嶋正孝, 柳瀬龍二, 田中勝, 池口孝, 島岡隆行：焼却灰の埋立處分の伴う微量重金類の挙動に関する實驗的研究, *都市清掃*, 39: 37-49(1986)
 25. 渡洋一, 須貝敏英, 小野雄策, 増田武司, 小林進：黒い水の生成過程と處理, *埼玉縣公害センター研究報告*, 16: 121-129(1989)
 26. 福永勳, 山本攻, 高見澤一裕, 井上善介：廢棄物埋立處分場浸出水における重金類類の挙動, *水處理技術*, 34: 113~118 (1993)
 27. Senior E.: *Microbiology of Landfill sites*, Second Edition, Lewis Publisher, 121-122 (1995)