

仁川市 衛生埋立地 쓰레기 組成 및 浸出水 특성에 관한 研究

朴 碩 煥 · 鄭 文 植

서울대학교 보건대학원

A Study on Composition of Municipal Solid Wastes and Characteristics of Leachate in In-Cheon Sanitary Landfill Site

Park Suak Hwan · Zong Moon Shik

School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

This study was performed to investigate the seasonal variation of the composition of domestic solid wastes and the characteristics of the leachate sampled in In-Cheon sanitary landfill site.

The results were as follows

1. Combustible part was larger than incombustible part of the domestic solid wastes in spring and summer.
2. The food waste was major source of solid wastes in In-Cheon city as 36.5%, and its variation by seasons was negligible.
3. BOD of the leachate was in the range of 853~7,350mg/l, and fluctuated by seasons.
4. The mean of COD_{Cr} Was 5,044mg/l, the mean of COD_{Mn} was 2,212mg/l. Namely, the method by K₂Cr₂O₇ was more sensitive than the method by KMnO₄.
5. TOC was in the range of 773~3,958mg/l, it was lower than BOD.

I. 緒 論

1990년도 우리나라의 일반폐기물 발생량은 83,962ton/day로 1980년에 비해 약 두 배이며 지난 10년간 해마다 7~8%씩 증가해 왔으며 1인당 쓰레기발생량은 1990년말 2.32kg/인·일(1.69kg/인·일 연탄재 제외)이고, 서울시의 경우는 2.88kg/인·일(2.16kg/인·일 연탄재 제외)이다.¹⁾ 이는 미국의 2.03kg/인·일(1985), 일본의 1.03kg/인·일(1989), 영국 0.80kg/인·일(1985), 독일

1.22kg/인·일(1985) 및 프랑스 0.75kg/인·일(1989)에 비해 큰 수치이다.²⁾ 또한 정상면에서 보면 과거 10년동안 쓰레기 중 가장 높은 비율을 차지하던 연탄재가 주거형태와 사용연료의 변화로 인해 꾸준히 줄어 지난 1981년에 전체 쓰레기의 82.0%를 차지하던 것이 1990년에는 전체 쓰레기의 33.4%로 감소된 반면 인스탄트 식품이나 청량음료 등 1회용 용기 및 종이제품, 포장용 비닐 등의 소비가 증가해 이에 따른 폐비닐, 유리, 금속, 종이류의 쓰레기 발생량이 크게 늘었다.

1990년도 우리나라의 폐기물 처리방법별 현황

은 쓰레기의 대부분인 93.0%를 매립 처분하고 있으며 재활용이 4.6%, 소각 1.8%, 기타가 0.6%를 차지하고 있다. 쓰레기 성분 조성상 연탄재, 음식물 찌꺼기 등을 제외하고 재활용이 가능한 종이류, 플라스틱류, 고철류 공병류 등이 차지하는 비율이 30%를 넘고 또한 가연성 쓰레기가 48.3%임에도 불구하고 대부분의 쓰레기를 매립에 의존하고 있으며 그나마 단순매립방법으로 이루어지고 있는 실정이다.

매립처분의 목적은 생활환경 보존상 지장이 발생하지 않는 방법으로 폐기물을 적절히 저유시켜 자연계의 대사 기능을 이용하여 안정화, 무해화시키는 것이다.

선진국에서는 폐기물 관리가 이미 오래전부터 체계화되어 있어 위생매립³⁾·소각 및 퇴비화 처리 등 위생적인 폐기물 처리에 많은 투자를 하고 있으나, 우리나라에서는 1980년대 후반에 들어와 일부 도시에서 쓰레기를 위생매립 방식으로 처리하기 시작하였지만 아직도 대부분의 도시에서는 이와 같은 복토식 매립에 의존하고 있는 실정이다.^{4,5)} 쓰레기를 안전하게 처리하기 위해서는 쓰레기의 분리수거, 운반체계의 확립, 중간처리 및 최종처분의 선택 등이 고려되어야 한다.

우리나라의 쓰레기 처분은 약 93%가 매립에 의존하고 있으나 우리나라에 실정에 알맞은 쓰레기 매립방법이 확립되어 있지 않은 상태로 단순매립되고 있다. 쓰레기의 최종처분은 매립, 소각 및 퇴비화로 대별되며 그 선택은 경제성, 효율성, 기술적 측면 및 국민의 지지도 등에 따라서 달라질 수가 있다. 우리나라에서도 장래에는 소각 및 퇴비화 쪽으로 선택이 될 수 있으나 당분간은 대부분의 쓰레기가 매립방법으로 처분될 수 밖에 없는 실정이다. 매립방법으로는 위생적인 방법을 선택하여야 하며 매립완료후까지 위생적으로 처리하여야 할 뿐 아니라 매립이 종료된 후에는 침출수에 의한 오염 및 건강상의 위해를 차단하기 위하여 효과적인 사후관리가 이루어져야 한다.^{6,7)} 쓰레기의 위생적인 매립방법에는 여러가지로 연구되고 있다. 이들 연구로는 혐기성 상태의 위생매립^{8,9)} 준호기성 상태의 위생적 매립^{10,11)}, 침출수 재순환식¹²⁻¹⁵⁾ 등이 있다. 이들 연구는 최종적으로 매립지를 위생적으로 조기안정화를 시켜 매립지 이용

의 극대화와 매립장 관리비용의 절감 등을 연구하고 있다.

우리나라에서도 앞으로 폐기물의 처리 방향을 소각 및 재활용쪽으로 정책을 세우고 있지만 여러 가지 산재해 있는 문제점으로 인해 당분간은 대부분이 매립방법으로 처분될 전망이다. 매립방법으로는 위생적인 방법을 선택하여야 하며 매립완료후까지 위생적으로 관리하여야 할 뿐 아니라 매립이 종료된 후에도 침출수에 의한 오염 및 건강상의 위해를 차단하기 위하여 효과적인 사후관리가 이루어져야 하며^{6,7)}, 연구개발도 꾸준히 진행되어야 한다.

따라서 본 연구는 현재 인천시에서 운영중인 인천 위생매립지에 대한 쓰레기 조성 및 침출수의 수질을 조사하여 매립경과에 따른 침출수 변화의 파악과 이에 따른 침출수 처리에 필요한 자료를 제공하고자 하였다.

II. 材料 및 方法

1. 쓰레기 조성

쓰레기 성분 조사는 각 계절별로 매립지에 출장하여 인천시에서 수집되어 운반된 쓰레기를 가능한 행정구역별로 구분하여 대표성을 고려하여 조사하였다. 쓰레기 차에서 하차된 쓰레기를 약 200kg 정도를 별도로 나누어 종이류, 목재류, 음식물류, 플라스틱 및 가죽류, 섬유류, 금속, 유리 및 연탄재의 8성분으로 분류하여 계량하였다.

3성분 조사는 반입되는 쓰레기중 연탄재, 금속, 유리를 제외한 가연성 성분을 따로 수집하여 표본 시료를 만들어 수분은 환경오염공정시험법중 수분시험법(고형분)에 준하여 시험하였으며, 비가연성 쓰레기의 성분은 강열감량시험법으로 실험한 회분과 별도로 제거된 연탄재, 금속, 유리의 무게를 포함하며, 나머지를 가연성 쓰레기로 하였다.

2. 위생매립지 침출수 특성조사

1) 조사대상 매립지

현재 인천시에서 사용중인 경서동 매립지를 대상으로 조사하였다.

2) 조사회수

격주간으로 월 2회 조사를 실시하였으며, 침출수 시료는 지하 3m에 있는 집수조에서 매회 4l를 채취하여 곧바로 실험실로 옮겨 실험하였다.

3) 분석항목

온도, 수소이온농도, 생물화학적산소요구량, 화학적산소요구량(COD_{Cr}, COD_{Mn}), 암모니아성 질소, 질산성 질소, 총인, 총유기물질, 등 9가지 항목을 환경오염공정시험법¹⁶⁾ 및 Standard Method¹⁷⁾에 준하여 시험하였다.

III. 結果 및 考察

1. 인천시의 쓰레기 조성

현재 인천시에서 사용중인 경서동 매립지는 1990년 3월 매립을 시작하여 현재까지 사용하고 있는 매립지이다. 매립지의 면적은 약 67,000평으로 인천시의 쓰레기 약 5,000톤과 부천시의 쓰레기 약 1,700톤이 하루에 반입되고 있다.

매립지에서 발생하는 침출수의 수질은 쓰레기의 조성, 강우량, 매립량, 매립깊이, 복토량, 지하수의 수위 정도 등 여러가지 요인에 의해 변화할 수 있다. 그중에서도 쓰레기 조성변화에 따라 침출수의 수질변화가 크다고 할 수 있다. 또한 쓰레기의 조성 조사는 쓰레기의 자원화 및 재활용에 필요한 정보와 쓰레기 처리 방법의 선택시 즉 매립이나 소각이나를 결정할 때, 소각시 열에너지 회수의 타당성조사에도 활용이 되는 등 쓰레기에 대한 각종 연구에 기본이 되는 중요한 자료라고 할 수 있다. 쓰레기의 조성성분은 물리적 조성, 3 성분 및 화학적 조성 등으로 나눌 수 있다.

물리적 조성으로 환경처에서는 연탄재, 음식물 채소류, 종이류, 나무류, 금속조자류, 기타(폐비닐)류 6가지로 분류하였으나 본 조사에서는 종이류, 음식물류, 채소류, 나무류, 폐합성수지류, 고무피혁류, 섬유류, 유리, 초자류, 연탄재류 8가지로 분류하였다.

쓰레기의 3성분은 가연성, 비가연성, 수분으로 3가지로 조사하는 것으로 쓰레기를 소각할 때 필요한 재료가 된다. 인천시에서 사용중인 경서동 위생매립지에서 반입되는 쓰레기에 대하여 쓰레기 성분조사를 봄(4월), 여름(7월), 가을(10월), 겨울(12월)에 실시하였다. 그 내용은 Table 1 및 Fig. 1과 같다.

인천시에서 발생한 쓰레기 조성중 음식물류가 평균 36.5%로서 제일 많은 비중을 차지하며 계절적 변동의 차이가 적다. 계절별 차이가 많은 것은

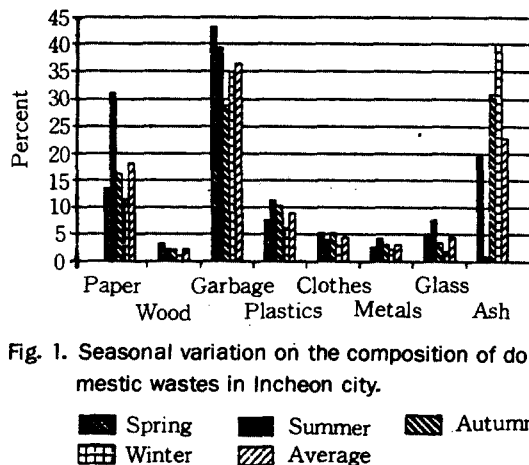


Fig. 1. Seasonal variation on the composition of domestic wastes in Incheon city.

Table 1. Seasonal variation of composition of domestic waste in Incheon city

(Unit : weight, %)

Composition	Spring	Summer	Autumn	Winter	Mean	Korea mean ¹⁶⁾	
Combustible	Paper	13.5	31.1	16.2	11.3	18.0	14.1
	Wood	3.2	2.2	2.1	1	2.1	3.4
	Garbage	43	39.1	28.8	34.9	36.5	27.4
	Plastics	7.6	11.2	10.2	6.2	8.8	16.7
	Clothes	5.3	4.2	5.3	2.8	4.4	
Noncombustible	Metals	2.7	4.2	3.1	2.1	3	
	Glass	5.1	7.6	3.4	1.7	4.5	5
	Ash	19.6	0.4	30.9	40	22.7	33.4

연탄재로서 여름에는 거의 발생하지 않으나 겨울철에는 40%로서 많은 비중을 차지하였다. 여름철에 연탄재 비중이 적은 것은 난방용으로 연탄사용이 적음을 나타내고, 여름을 제외한 계절에는 난방용으로 연탄을 많이 사용하고 있는 것으로 판단된다. 또한 여름철에 비교적 많은 성분은 종이류, 유리류, 금속류가 다른 계절에 비하여 다소 높은 편인데 이는 일회용 음료수 소비량의 증가와 유관한 것으로 판단된다.

인천시 쓰레기 조성중 가연성과 비가연성을 계절별로 비교하면 Table 2와 Table 3과 같다. 가연성 성분에는 수분이 포함되어 있어 순수한 가연성이라 할 수 없으며, 가연성 성분이 봄과 여름에 높으며, 가을과 겨울에 갈수록 그 비율이 적어지고 있다. 이는 가을부터 난방용으로 연탄 사용이 증가한 때문으로 생각된다.

구¹⁹⁾ 등이 발표한 서울시의 가연성 성분은 봄(30%), 여름(80%), 가을(40%), 겨울(27%)로서 양자를 비교하면 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

인천시 쓰레기의 조성분을 보면 회분은 겨울철이 제일 많고 여름이 제일 적게 나타났다.

이는 난방용 연료로서 연탄 사용이 많음을 나타내며 여름철에 수분이 제일 많은 것은 채소와 과일 소비가 많음을 나타낸다.

2. 인천 매립지 침출수의 수질 변화

인천시 경서동 매립지 침출수 원수를 19회 분석한 결과는 Table 4와 같이 본 실험에서 측정된 침출수는 수질의 변동이 심함을 알 수 있다. 이는 강우에 의한 희석 효과에 기인한 것으로 판단된다.

유기물질의 오염도를 평가하는 대표적인 지표로서 BOD, COD_{cr}, COD_{Mn}, TOC 등 4항목을 측정하였으며, 측정결과 침출수의 유기물 농도는 BOD, COD_{cr}, COD_{Mn}, 및 TOC가 대부분 1,000

Table 2. Comparison between combustible and Non-combustible domestic wastes
(Unit : weight, %)

Season	Spring	Summer	Autumn	Winter	Average
Combustible	72.6	87.8	62.6	56.2	69.8
Non-combustible	27.4	12.2	37.4	43.8	30.2

Table 3. Components of Domestic wastes surveyed in Incheon (Unit : weight, %)

Season	Spring	Summer	Autumn	Winter	Average
Remains	30.2	15.3	39.5	45.9	32.7
Combustible	28.2	40.9	29.4	20.5	29.8
Moisture	41.6	43.8	31.1	33.6	37.5

mg/l 이상의 높은 수치를 나타내고 있다. BOD농도는 853~7,350mg/l(평균:2,719mg/l, 표준편차:1,862mg/l)로서 조사 시기에 따라 많은 농도 차이를 나타냈으며, COD_{cr}은 2,341~10,638mg/l(평균 5,044mg/l), COD_{Mn}은 656~5,167mg/l(평균 2,212mg/l)로서 BOD와 마찬가지로 측정시기에 따라 차이가 많았다. 또한 TOC는 773~3,958mg/l의 범위였으며 BOD보다 약간 낮은 농도를 나타냈다.

이와 같은 침출수내 유기물질 오염농도의 차이는 침출수를 생물학적으로 처리할 경우 폭기조와 같은 생물학적 반응조의 오염 부하의 변화가 커서 저류조의 용량을 크게 할 뿐 아니라 침출수 처리장 운전관리에 세심한 주의를 기울여야 할 것으로 나타났다.

또한, BOD/COD_{cr}의 비는 0.3054~0.7778의 범위이고 평균 49.72%로 나타났으며, 이는 미생물의 작용으로 분해하여 처리할 수 있는 피산화성물질이 약 반 정도이며, 나머지는 무기물질과 같이

Table 4. Water quality of Leachate in Incheon land-fill area

Data	pH	Temp. (°C)	BOD (mg/l)	COD _{cr} (mg/l)	COD _{Mn} (mg/l)	TOC (mg/l)	T-P (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)
Avg.	7.8	21	2,719	5,044	2,212	2,052	10.6	1,782	0.30
Min.	7.3	6	853	2,341	656	773	5.5	1,026	0.01
Max.	8.9	28	7,350	10,638	5,167	3,958	19.2	3,282	0.99
SD	0.3	5	1,862	2,403	1,234	787	3.8	581	0.31

미생물의 작용에 의하여 산화되지 못하는 물질인 것으로서 생물학적 공법으로 침출수 처리가 가능하지만, 침출수 처리 배출허용기준에 알맞도록 처리하기 위하여는 수리학적 체류시간(HRT)를 표준생물학적 처리법보다 훨씬 길게 유지하여야 하며, 폭기조의 미생물 농도를 나타내는 MLSS를 높게 운전하여야 할 것으로 사료된다.

특히, 원폐수의 BOD가 최대 7,000mg/l 이상인 경우도 있어 배출허용기준 50~150mg/l을 유지하기 위하여는 BOD 등 피산화성물질의 99% 이상을 처리하여야 하므로 원폐수를 회석하여 처리하거나 고도처리공법이 도입되어야 할 것으로 사료된다.

영양염류중 질소 성분은 암모니아성 질소가 대부분을 차지했으며, 질산성 질소는 거의 존재하지 않았다. 총인 농도는 10mg/l 전후를 나타냈으며, 특히 암모니아성 질소의 농도가 매우 높아서 TOC와 비슷한 결과를 나타냈다. 이는 산업폐기물의 슬러지중 질소화합물이 포함된 것이 매립되었기 때문이라 사료된다.

또한, BOD:NH₃-N:T-P=100:65.6:0.35로 침출수를 생물학적 방법으로 처리하는 경우 질소는 충분하지만, 인이 부족한 상태이므로 BOD:T-P=100:1이 되도록 인을 인위적으로 공급하여야 할 것으로 사료된다.

침출수 중 질소는 대부분이 암모니아성 질소로 존재하며 그 농도는 1,026~3,282mg/l(평균 1,782mg/l)로 아주 높은 농도를 나타내어 생물학적 처리시 암모니아 독성을 나타낼 수 있으며, 충분한 폭기시간으로 질산화 처리를 하지 않고 방류할 경우 배출수계의 산소가 다량 소비되는 수질오염상 문제를 일으킬 수도 있을 것으로 사료된다.

침출수는 폐기물층에 침투된 수분에 의해 물리적, 화학적, 생물학적인 복잡한 여러 과정을 거쳐 폐기물을 구성하는 고형성분이 액상으로 용출됨으로서 발생한다. 특히 매립층내에서 폐기물의 혐기성발효 초기에 pH가 낮아지므로 금속 산화물, 탄산염 등 무기물질의 용해가 촉진되고 유기물과 같이 용해되어 침출수의 오염도를 증가시키게 되는데 침출수의 수질은 매립폐기물의 종류나 매립공법에 따라서 크게 좌우되고 또 수량도 강우나 집수방식에 따라 크게 달라져 간단히 언급할 수는

없는 문제이다.

IV. 結 論

본 연구는 인천시에서 운영중인 인천 위생매립지에 있어서 쓰레기의 계절적 조성의 변화 및 침출수의 특성에 관하여 조사하였다.

그 결과는 다음과 같다.

1. 쓰레기 조성 중 가연성 성분이 봄과 여름에 높았으며, 가을과 겨울로 갈수록 그 비율이 적어졌다.
2. 인천시에서 발생한 쓰레기의 조성 중 음식물류가 평균 36.5%로서 제일 큰 비중을 차지하였으며, 계절적 변동이 적었다.
3. 침출수의 BOD농도는 853~7,350mg/l로서, 조사시기에 따라 큰 농도차이를 나타내었다.
4. 평균 COD_{Cr}은 5,044mg/l, 평균 COD_{Mn}은 2,212mg/l로 K₂Cr₂O₇을 사용한 방법이 더 민감한 것으로 나타났다.
5. TOC는 773~3958mg/l의 범위였으며, BOD보다 약간 낮은 농도를 나타내었다.

參 考 文 獻

- 1) 환경처 : 전국일반폐기물처리시설('90) 및 계획('91), 1991. 3.
- 2) 환경처 : 국내의 주요환경지표, 1991.
- 3) Egeland, Duane R., Land disposal 1: A giant step backward, J. WPCF. **25**, 1465~1488.
- 4) 김수생의 1: 도시폐기물 매립과 환경오염, 동아대학교 부설환경문제 연구소 연구보고, **7**(2), 5~20, 1984.
- 5) 김수생의 1: 도시폐기물 매립장에서의 환경오염조사분석, 대한 환경공학회지, **5**(2), 65~78, 1983.
- 6) Robinson, H. D. & Maris, P. J. : The treatment of leachates from domestic waste in landfill sites, J. WPCF. **57**(1), 30~38, 1985.
- 7) Cameron, R. D. : Toxicity of landfill leachates, J. WPCF. **52**(4), 1980.

- 8) Barlaz, Morton A., Ham, Robert K. & Schaefer, Daniel M., Mass-Balance Analysis of Anaerobically Decomposed Refuse, J. Environmental Eng., **115**(6), 1088~1102, 1989.
- 9) Ham, Robert K. and Bookter, Todd J., Decompositin of solid waste in test lysimeters, ASCE J. EED., **108**(EE6), 1147~1170, 1982.
- 10) 島岡降行, 循環式準好氣性埋立に關する研究, 平成元年2月.
- 11) Hanashima M., Yamasakai, K., Kuroki T. & Onishi, K., Heat and gas flow analysis in semiaerobic landfill, J. EED, EEI, 1~9, 1981.
- 12) 경국현 외1 : 침출수 재순환에 의한 유기물의 안정화, 서울대공대연구보고, 1986.
- 13) Tittlebaum, M.E. : Organic carbon content stabilization through landfill leachate recirculation, J. WPCF, **54**(5), 428~433, 1982.
- 14) Pohland, Frederick G. : Leachete recycle as landfill management option, J. EED, EE6, 1057~1069, 1980. 1.
- 15) 정연규 외5 : 침출수 재순환에 의한 매립지 조기안정화에 관한 연구, 한국환경과학협의회, 1990.
- 16) 환경청고시 : 제86-18호, 환경오염공정시험법 (수질분야), 1986.
- 17) APHA, AWWA, WPCF : Standard methods for the examination of water and wastewater, 17ed., 1987.
- 18) 한국환경연감 : 환경처, 1990.
- 19) 구자공 외8 : 쓰레기의 질적특성 및 처리방법에 관한 연구, 한국환경과학협의회, 1990.