

연구논문

비위생매립지 침출수의 안정화 평가

- 노은매립지 사례연구 -

홍 상 표

청주대학교 환경공학과

(2004년 3월 9일 접수, 2004년 6월 8일 승인)

The Assessment of Stabilization of Open-dumping Landfill Leachate

- A Case Study of Noeun Landfill -

Hong Sang-Pyo

Dept. of Environmental Engineering, Chongju University

(Manuscript received 9 March 2004; accepted 8 June 2004)

Abstract

To utilize a closed municipal solid waste landfill site in environmentally secure conditions, it is necessary to verify the stabilization level of landfill leachate. To assess leachate stabilization of an open-dumping municipal solid waste landfill (Noeun Landfill) which is located at the upper drainage basin of Namhan River which flows into Lake Paldang utilized for Seoul Metropolitan water supplies, the surrounding characteristics of the landfill site was surveyed. After then, leachate, groundwater and soil samples from this landfill were chemically analyzed, and the analysis results were evaluated by "The Criteria of Landfill Waste Stabilization(CLWS)", "Discharge Criteria of Landfill Leachate", "The Criteria of Domestic Use in Groundwater Quality", and "Soil Contamination Criteria" promulgated by Korean Ministry of Environment.

The closed open-dumping landfill was equipped with the final soil cover, 3 groundwater monitoring wells and poor landfill gas extraction devices for the post-closure management of the landfill. BOD/COD_{Cr} ratios in leachate were less than or slightly higher than 1/10. This results seemed to imply that the leachate stabilization level of this landfill based on the CLWS was almost completed. Qualities of groundwater sampled from monitoring wells located at outside of landfill were adequate for "The Criteria of Domestic Use in Groundwater Quality".

Finally, concentrations of soil contaminants that were likely to be influenced by this landfill site were adequate to "Soil Contamination Criteria".

Key words : Leachate Stabilization, Open-dumping Landfill, Groundwater, Soil Contamination

I. 서론

우리나라의 경우 매립이 완료된 비위생매립지에는 침출수 처리시설, 최종복토, 매립지 가스 처리설비 같은 환경오염방지시설이 적합하게 갖추어져 있는 곳은 드문 실정이다(한국자원재생공사, 1995). 이러한 상황은 매립지 주변의 지하수, 지표수 및 토양을 오염시킬 수 있으며 이로 인한 문제점이 점차적으로 부각되고 있는 추세이다(Hwang *et al.* 2002).

그리고 수리지질학적 특성을 무시한 매립지 위치선정의 경우도 많아 매립지의 침출수로 인한 지하수 오염의 가능성이 특히 우려된다(Bedient *et al.*, 1999). 사용종료된 비위생매립지의 환경오염분석에 기반한 적절한 사후관리 체계의 정립은 현재 사회적으로 만연되어 있는 환경오염 혐오시설에 대한 불신감을 완화시킬 수 있을 뿐만 아니라 매립지 인근의 지하수, 지표수 등 수자원과 토양의 오염을 최소화 할 수 있어 미래에 발생할 수도 있는 환경적, 사회적 및 경제적 손실을 저감시키는데 기여할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 남한강 수계에 위치하여 팔당호 상수원에 영향을 미칠 수 있는 충북지역의 대표적 비위생매립지로 충주시 노은 매립지를 선정하였다(충북지역환경기술개발센터, 2004). 노은 매립지의 기초자료 수집 및 현장조사를 통하여 매립지의 일반적 특성을 파악하고, 매립지에서 발생하는 침출수의 수질을 분석하고 매립지 주변의 지하수 수질분석으로 침출수에 의한 오염 가능성을 평가했다. 그리고 매립지 주변의 토양 오염도를 분석하여 매립지의 침출수로 인한 토양오염 여부를 평가하여 농촌지역 비위생매립지의 적절한 사후관리체계를 확립하는데 기여하고자 했다.

II. 매립지 안정화

1. 매립폐기물의 생물학적 분해

일반적으로 매립된 생활폐기물의 75-80% 정도는 유기물로 구성되어 있고, 주로 단백질, 지질, 탄수화물(섬유질 및 반섬유질), 그리고 목질(lignin)으로 구성되어 있다. 이 유기물의 2/3 정도는 생분해가능하지만 1/3은 난분해성이다. 생분해가능한 부분은 쉽게 생분해가능한 부분(음식물과 정원쓰레기)과 중간정도로 생분해가능한 부분(종이, 옷감, 나무)로 구분된다(Oweis *et al.*, 1998). 단백질은 아미노산으로 전환되었다가 아세테이트(acetate), 짧은 사슬의 휘발성 산(short-chain volatile acids)을 거쳐서 수소, 이산화탄소 등으로 전환되었다가 최종적으로 메탄가스를 발생시킨다. 탄수화물은 포도당으로 전환되었다가 아세테이트, 짧은 사슬의 휘발성 산을 거쳐서 수소, 이산화탄소 등으로 전환되었다가 최종적으로 메탄가스를 발생시킨다. 지질은 글리세롤 및 긴 사슬의 휘발성 산(long-chain volatile acids)을 거쳐서 아세테이트, 짧은 사슬의 휘발성 산을 거쳐서 수소, 이산화탄소 등으로 전환되었다가 최종적으로 메탄가스를 발생시킨다(Vesilind *et al.*, 2002).

매립지의 생태계는 이질적인 폐기물의 특성과 매립지의 운영 특성 때문에 매우 다양하다. 생태계의 다양성은 안정성을 높여주지만, 매립지 생태계는 온도, pH, 독성물질의 존재, 수분함량, 산화환원전위 같은 환경적 조건에 따라 강력한 영향을 받게 된다. 매립지 환경은 주로 유기물인 전자 공여체(electron donors)가 풍부한 경향이 있다. 주된 전자 수용체(electron acceptor)는 이산화탄소와 황산염이다(McBean *et al.*, 1995). 발효 및 메

표 1. 폐기물 혐기성분해를 촉진시키는 중요한 미생물군

미생물군	기질(substrate)
Amylolytic bacteria	전분(starchs)
Proteolytic bacteria	단백질
Cellulolytic bacteria	Cellulose
Hemicellulolytic bacteria	Hemicellulose
Hydrogen-oxidizing methanogenic bacteria	Hydrogen
Acetoclastic methanogenic bacteria	Acetic acid
Sulfate-reducing bacteria	Sulfate

자료 : Sleats, R., 1989, Activities and Distribution of Key Microbial Groups in Landfills, In Sanitary Landfilling : Process, Technology and Environmental Impact, Academic Press.

탄생성의 안정화단계에 관여하는 7종류의 중요한 미생물군은 표 1과 같다.

많은 매립지의 연구조사 결과에 의하면 폐기물 안정화는 5단계의 연속적인 과정을 거친다. 이 5 과정을 거치면서 매립지로부터 발생하는 침출수와 가스의 양과 특성은 단계별로 상이하며 또한 매립지 내부에서 발생하는 미생물 분해과정을 반영하게 된다. 폐기물 분해단계에서의 침출수 특성은 다음의 표 2에 요약되어 있다.

2. 매립지의 침출수 수질 및 토양 오염

매립지내에서는 화학적, 물리적, 생물학적으로 복잡하게 연관된 현상이 발생하게 된다. 이러한

현상의 결과로 폐기물은 분해되거나 또는 전환된다. 물이 폐기물층을 투과하게 되면 오염물질이 폐기물로부터 침출되어 나온다. 오염물질의 제거 기작(mechanism)에는 용해성 물질의 침출, 용해성의 생분해가능한 물질의 침출, 화학반응에 의한 용해성 물질의 침출, 콜로이드 같은 미세물질의 세척(washout) 등이 있다. 폐기물의 조성, 강수량 및 강수 빈도, 수문학적 특성, 폐기물의 압축 정도, 매립지 표면의 설계, 매립된 폐기물의 매립년수, 침출수의 시료채취 기법, 침출수의 주변환경과의 상호반응, 매립지의 설계 및 운영 등의 특성에 따라 침출수의 성질은 매우 다양하게 나타난다. 침출수 성질에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 요소에는 폐기물의 조성과 압축 정도, 기후, 수문지질학적 특성, 계절, 매립지의 매립년수 등이다. 표 3은 다양한 연구에 의해 밝혀진 침출수 수질이다.

매립지 주변지역의 수질을 오염시킬 수 있는 지표가 산소 소비의 잠재력을 나타내는 BOD (Biochemical Oxygen Demand)이다. 예를 들어, 유입하수(raw sewage)의 BOD는 대략적으로 180mg/L이다. 오염의 잠재력을 나타내는 또 다른 지표가 COD(Chemical Oxygen Demand)인데, COD는 항상 BOD보다 크다. 침출수는 상당히 다양한 종류의 유기물과 무기물을 포함하고 있어 지표수 및 지하수의 오염가능성이 염려된다. 이들 화합물은 석유류(benzene, toluene, xylene같은

표 2. 매립지 안정화 단계에 따른 농도 변화

구분	전이기	산 생성기	메탄 발효기	완숙기
COD(mg/L)	480 - 18,000	1,500-71,000	580 - 9,760	31-900
Total volatile acids(mg/L as acetic acid)	100 - 3,000	3,000-18,800	250-4,000	0
Ammonia(mg/L)	120 - 125	2 - 1,030	6 - 430	6 - 430
pH	6.7	4.7 - 7.7	6.3 - 8.8	7.1 - 8.8
Conductivity(μ S/cm)	2,450 - 3,310	1,600 - 17,100	2,900 - 7,000	1,400 - 4,500

자료 : Pohlands, F.G., and R. Englebrech, 1976, Impact of Sanitary Landfills, N.Y.: Report prepared for the American Paper Institute.

표 3. 미국 매립지의 침출수 수질의 범위

구분	Ehrig, 1989	Qasim and Chiang, 1994	Florida Landfills, 1996 (평균치)	National Database (미국 평균치)
BOD(mg/L)	20 - 40,000	80 - 28,000	0.3 - 4,660(912)	0 - 100,000(3,761)
COD(mg/L)	500 - 60,000	400 - 40,000	7 - 9,300(912)	11 - 84,000(3,505)
철(mg/L)	3 - 2,100	0.6 - 325	-	4 - 2,200
암모니아(mg/L)	30 - 3,000	56 - 482	BDL - 5,020(257)	0.01 - 2,900(276)
염소(mg/L)	100 - 5,000	70 - 1,330	BDL - 5,480(732)	6.2 - 67,000(3,691)
아연(mg/L)	0.03 - 120	0.1 - 30	BDL - 3.02(0,158)	0.005 - 846(0,23)
총인(mg/L)	0.1 - 30	8 - 35	-	0.02 - 7(3.2)
pH	4.5 - 9	5.2 - 6.4	3.93 - 9.6	6.7 - 8.2
납(mg/L)	0.008 - 1.020	0.5 - 1.0	-	0.00 - 2.55(0.13)
카드뮴(mg/L)	0.05- 0.140	< 0.05	-	0.0 - 0.564(0.0235)

* BDL : below detection limit

* 자료 : Reinhart, D.R., and C.J. Grosh, 1997, Analysis of Florida MSW Landfill Leachate Quality Data, Report to the Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management.

방향족 탄화수소 등), 식물의 분해 부산물(페놀 화합물 등), 염소화합물 계통의 유기용매(세탁소의 dry cleaning 등), 농약 등이다. 염려되는 무기 화합물로는 납, 카드뮴인데, 이들은 건전지, 플라스틱, 포장재, 전자제품, 전구 등에서 유래된다(Vesilind *et al.*, 2002).

침출수의 수질은 매립지별로 시간에 따라 매우 다양하기 때문에 생물학적 처리 또는 물리/화학적 처리 단독으로는 높은 처리효율을 얻을 수 없다. 따라서 여러 가지 처리기법을 결합해서 침출수를 처리하는 것이 보다 효과적인 방법이 된다. 매립된지 얼마 안된 침출수는 물리/화학적 처리가 생물학적 처리의 전처리 과정으로 바람직하다. 또한 물리/화학적 처리는 오래된 매립지의 침출수에서 발견되는 몇몇 종류의 난분해성 유기화합물의 가수분해에 도움이 된다. 생물학적 처리는 매립초기나 중기의 침출수에서 발견되는 분해가능한 유기물의 안정화에 주로 이용된다(Shah, 2000).

폐기물에 함유된 유해한 금속은 주로 촉매, 안료 및 전기도금 등에 이용된 것에서 유래된다. As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Ti, V, Zn 등의 폐기물에

함유된 금속은 원소 상태로 존재할 때 보다는 용존 또는 침전염(precipitated salt) 상태로 존재할 때에 투과하는 빗물 등에 의해 쉽게 침출(leaching)이 되어 토양 및 지하수를 오염시키게 된다. 금속은 염의 상태로 존재할 때에 염종(salt species)에 따라서 수용성이 매우 높을 수도 있으나 또한 극단적으로 비수용성이 될 수도 있다. 금속염이 물 속에서 용존(dissolve)되면 이온화되어 물 속에 퍼진다(disperse). 대부분의 금속은 양이온이 되나 일부는 음이온이 되는데, 양이온은 토양내에서 점토에 흡착이 된다. 그러나 음이온(AsO_4^{3-} , CrO_4^{2-} , PbO_6^{8-} , SeO_4^{2-} 등의 oxo anions)은 토양내의 점토 및 수산화물(hydrous oxides)에 극히 적은 부위에 존재하는 양전하를 띤 곳에 상호작용을 하게 된다(Lerr *et al.*, 2002).

III. 연구방법

1. 연구대상 매립지의 특성

충북지역에 위치한 사용종료된 비위생매립지중

에서 한강 팔당호 상수원에 가장 근접한 매립지를 검토한 결과 충주시 노은면의 비위생매립지가 선정되었다. 연구대상 매립지인 노은 매립지는 충주시 신니면과 충주시 노은면의 경계지점인 덕고개의 산골짜기에 위치해 있는 계곡형 매립지이다. 매립지에서 도랑을 타고 1.5km 정도를 유하하여 남한강 지류인 한포천에 합류하여 12km 정도 다시 유하하여 충주 조정지댐 아래인 충주시 양성면 능암리에서 남한강(한강 하구 기점 181km)에 합류된다.

노은 매립지는 계곡형 매립지로 옹벽 아래에 있는 작은 도랑에는 갈수기에는 물이 거의 없는 건천이 되고, 장마철에는 약간의 물이 흐르는 지형적 및 수문학적 특성을 보이고 있다. 물이 거의 흐르지 않는 이유는 매립지 하부의 토양이 조립질 모래가 주성분을 이루고 있어 대부분의 강수가 지하로 침투하기 때문인 것으로 추정된다. 매립지 바로 아래에는 양돈농가(700두 규모)가 있으며, 산골짜기 사이로 약간의 농경지가 펼쳐져 있다.

노은 생활폐기물 매립지는 해당지역의 생활폐기물을 대상으로 1992년 6월부터 1999년 6월까지 운영 되었고, 평균 매립고는 3m, 매립면적은 9,034m², 매립용적은 27,102m³로 매립 되었다. 현재는 최종복토를 마치고 매립가스 배제장치, 지하수 오염 감시정이 설치되어 있고 자연적인 조치로 관리되고 있다.

2. 분석방법

폐기물매립지의 침출수 안정화 정도를 평가하기 위하여 분석된 항목은 표 4와 같다.

침출수 및 지하수는 환경부의 수질오염공정시험방법(환경부 고시 제2001-53호)에 의하여 해당 항목을 채취하여 분석하였다. 토양은 환경부의 토양오염공정시험방법(환경부 고시 제2002-23호)에 의하여 채취 및 분석하였다. 그리고 폐기물매립지로 인한 주변 환경의 오염방지를 위해 폐기물관리법시행규칙 별표8에서 정한 매립시설 침출수 배출허용기준과 침출수로 인한 지하수 오염을 감시하기 위하여 정한 지하수의 수질보전등에 관한 규칙(환경부령 제140호, 2003년6월18일)에 의한 지하수 수질기준에 의하여 노은매립지의 침출수 및 지하수의 오염정도를 평가하였다.

IV. 연구 결과

1. 침출수 및 지하수 분석

표 5는 초여름인 2003년 6월3일(1차) 및 한여름인 7월 8일(2차)에 채취하여 분석한 노은매립지 침출수와 지하수의 수질 분석결과이다. 분석결과 계곡형 매립지인 노은매립지의 옹벽하부로부터 100m 정도 격리된 제3 지하수오염 감시정(지하수 흐름 방향의 하류에 위치한 감시정)은 지하수

표 4. 시료채취 및 분석항목

구분	채 취 지 점	분 석 항 목	관 련 법	분 석 방 법
침출수	매립지 외부로 유출되는 침출수 1개소	pH, BOD, CODMn, CODcr, SS, T-N, T-P, NO ₃ -N, NH ₃ -N, Cl	폐기물관리법시행규칙<별표8>	수질오염공정시험법
지하수	매립지 반경 100m 이내 3개소	pH, CODMn, 대장균군수, 질산성질소, 염소이온, 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, 석유계총 탄화수소(TPH)	지하수의수질보전등에관한규칙<별표3>	지하수공정시험법
주변 토양	매립장 내부 1개소 및 인접지역 1개소	카드뮴, 비소, 수은, 납, 6가크롬, 시안, 페놀, 유류	토양환경보전법시행령<별표1>	토양오염공정시험법

수질기준 생활용수 기준에 적합했다. 매립지에 근접한 지하수 오염 감시정인 1지점(매립폐기물로부터 10m 정도 격리되고 지하수 흐름 방향의 상류에 위치한 감시정)과 2지점(지하수 흐름 방향의 하류에 위치한 감시정으로 매립지 옹벽에서 아래쪽으로 50m 정도 격리)에서 pH, COD, 질산성 질소, 염소이온, 카드뮴, 비소, 수은, 납, 6가크롬, 유기인, 페놀, 시안 등 다른 분석항목은 적합하나, 다만 대장균이 검출되어 지하수 수질기준 생활용수 기준에 미흡한 것으로 보이나, 농업용수 및 공업용수로는 적합한 것으로 분석되었다.

매립지 내부를 관통하여 옹벽 하부로 배출되는 우수 배제구에서 채취한 수질시료는 본 연구에서 분석된 BOD, COD, pH, SS, 총인, 총질소, 암모니

아성 질소 등 전항목이 침출수배출허용기준에 적합한 것으로 평가되었다.

초가을인 8월 29일(3차) 및 초겨울인 11월 18일(4차)에 채취분석한 표 6에서도 표 5와 마찬가지로 분석된 수질 항목은 침출수 배출허용기준에 적합했으나, 지하에서는 대장균이 검출되어 지하수 수질기준 생활용수기준에 미흡한 것으로 평가되었다.

2. 토양오염 분석

우리나라의 토양환경보전법에 의하면 토양오염의 기준항목은 토양오염물질인 11개 항목에 대하여 농경지, 공장·산업지역으로 토양의 용도를

표 5. 지하수 및 침출수 1, 2차 시료 분석 결과

(단위 : pH, 대장균 외는 mg/L)

항목	1차				2차		
	지하수1	지하수2	지하수3	침출수	지하수1	지하수2	침출수
지표면하지하수 심도(m)	16.59	4.67	3.02	-	-	-	-
PH	6.2	6.8	6.3	7.3	5.8	6.2	6.7
SS	-	-	-	0.041	-	-	3.4
CODMn	6.4	1.5	0.2	7.5	1.0	0.2	11.1
CODCr	-	-	-	14.6	-	-	19.7
BOD	-	-	-	0.7	-	-	1.6
T-P	-	-	-	0.145	-	-	0.139
T-N	-	-	-	22.4	-	-	4.7
질산성 질소	1.5	1.0	0.5	2.0	3.8	6.3	4.4
암모니아성 질소	불검출	불검출	불검출	0.01	불검출	불검출	불검출
대장균	검출	검출	불검출	-	검출	검출	-
Cl-	12.3	11.4	11.8	12.8	12.1	12.9	11.5
시안	불검출	불검출	불검출	-	불검출	불검출	-
Cd	불검출	불검출	불검출	-	불검출	불검출	-
As	0.001	0.002	0.001	-	0.002	0.002	-
Hg	불검출	불검출	불검출	-	불검출	불검출	-
유기인	불검출	불검출	불검출	-	불검출	불검출	-
페놀	불검출	불검출	불검출	-	불검출	불검출	-
납	0.053	0.081	0.044	-	0.077	0.011	-
Cr ⁶⁺	불검출	불검출	불검출	-	불검출	불검출	-
TPH	불검출	불검출	불검출	-	불검출	불검출	-

표 6. 지하수 및 침출수 3, 4차 시료분석 결과

(단위 : pH, 대장균 외는 mg/L)

항목	3차			4차		
	침출수	지하수1	지하수2	침출수	지하수1	지하수2
BOD ₅	2.5	-	-	2.7	-	-
BOD ₁₀	-	-	-	2.9	-	-
BOD ₁₅	-	-	-	3.5	-	-
BOD ₂₀	-	-	-	3.8	-	-
COD _{Mn}	10.9	0.9	0.4	11.3	1.2	0.2
COD _{Cr}	21.4	1.9	2.1	20.9	-	-
pH	6.5	5.5	5.8	6.9	5.7	6.6
SS	3.5	-	-	4.2	-	-
T-N	1.76	-	-	2.26	-	-
T-P	0.038	-	-	0.130	-	-
질산성 질소	1.7	4.2	4.2	2.2	3.5	2.4
Cl ⁻	4.9	12.8	12.9	3.8	14.1	11.4
암모니아성 질소	불검출	-	-	불검출	-	-
Cd	-	0.0006	0.0006	-	0.0005	0.0004
Cr	-	0.001	0.001	-	0.001	0.001
As	-	불검출	불검출	-	불검출	불검출
Hg	-	불검출	불검출	-	불검출	불검출
Pb	-	0.011	0.039	-	0.357	0.032
Cr ⁺⁶	-	불검출	불검출	-	불검출	불검출
TCE	-	-	-	-	-	-
유기인	-	불검출	불검출	-	불검출	불검출
페놀	-	불검출	불검출	-	불검출	불검출
시안	-	불검출	불검출	-	불검출	불검출
대장균군	-	검출	검출	-	검출	검출
TPH	-	불검출	불검출	-	불검출	불검출

구분하고 각각에 대하여 오염정도에 따라 토양오염 우려기준과 토양오염 대책기준으로 구분되어 있다. 오염의 정도가 사람의 건강과 동·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있는 토지의 이용 중지, 시설의 설치금지 등 규제조치가 필요한 정도의 오염상태를 토양오염대책기준으로 설정하고, 대책기준의 약 40%정도로 더 이상의 오염이 심화되는 것을 예방하기 위한 오염수준을 토양오염우려기준으로 구분하여 설정해 놓고 있다.

본 연구에서는 토양오염공정시험방법에 따라서 매립장 내부 1곳 및 매립지 침출수 영향을 받을

것으로 보이는 매립지 외부 1곳을 선택하여 시료 채취하여 분석하였다. 측정항목은 카드뮴, 구리, 비소, 납, 6가크롬, 시안, 페놀, 유류 등이다. 분석된 토양 항목 결과는 표 7과 같은데, 토양환경보전법 별표 3의 토양오염 우려기준 가지역을 초과하지 않는 것으로 나타났다.

3. 침출수의 안정화 평가

비위생매립지의 안정화는 자연적으로 진행될 수 있는데, 자연상태로 관리되는 매립지도 생화

표 7. 토양 시료 분석 결과

(단위 : ppm)

항목		1차 (6월 3일)	2차 (7월 8일)	3차 (8월 29일)	4차 (11월 8일)	토양오염우려 기준 가지역
Cd	매립지 내부	0,062	0,046	0,063	0,071	1,5
	매립지 외부	0,079	0,060	0,059	0,074	1,5
Cr	매립지 내부	0,273	0,158	0,142	0,145	기준없음
	매립지 외부	0,108	0,097	0,088	0,108	기준없음
Cr ⁶⁺	매립지 내부	불검출	불검출	불검출	불검출	4,0
	매립지 외부	불검출	불검출	불검출	불검출	4,0
As	매립지 내부	0,142	0,085	0,129	0,155	6,0
	매립지 외부	0,189	0,165	0,180	0,190	6,0
Hg	매립지 내부	0,003	0,002	0,002	0,003	4,0
	매립지 외부	0,005	0,005	0,001	0,002	4,0
Pb	매립지 내부	2,992	2,396	2,923	3,168	100,0
	매립지 외부	5,415	5,105	4,883	5,625	100,0
유기인	매립지 내부	-	-	-	-	10,0
	매립지 외부	-	-	-	-	10,0
페놀	매립지 내부	불검출	불검출	불검출	불검출	4,0
	매립지 외부	불검출	불검출	불검출	불검출	4,0
시안	매립지 내부	불검출	불검출	불검출	불검출	2,0
	매립지 외부	불검출	불검출	불검출	불검출	2,0
PCB	매립지 내부	-	-	-	-	0,0
	매립지 외부	-	-	-	-	0,0
TPH	매립지 내부	불검출	불검출	불검출	불검출	0,0
	매립지 내부	불검출	불검출	불검출	불검출	0,0

학적 반응조(biochemical reactor)로서 폐기물의 분해를 상당히 촉진시킬 수 있다(Reinhart *et al.*, 2002).

매립지의 수평에 따라 진행되는 안정화 정도를 평가하기 위하여 환경부(2001)에서 마련한 사용종료매립지 정비지침에 의한 매립지 안정화 평가 기준인 표8에 따르면, 침출수는 1차시료에서는 BOD/COD_{Cr} 이 1/10이하이나, 2차, 3차 및 4차시료에서는 1/10을 약간 상회하는 것으로 분석되었다. 그리고 4회에 걸친 수질측정 결과 수질변화가 거의 없어 연속 2년간 측정이 되지는 않았지만 향후에도 수질변화가 거의 없을 것으로 판단되고 BOD₅가 0.7-2.7사이로 매립지 침출수로서 매우 낮

은 값을 나타내고 있고, 표 2의 안정화 단계에 따른 농도변화를 고려해 보면 침출수 안정화는 거의 이루어진 것으로 판단된다.

노은 매립지에서 채취한 침출수 및 지하수의 오염물질을 4차에 걸쳐 분석한 결과에 의하면 침출수 배출허용기준 및 지하수 수질기준에 대장균을 제외하고는 모두 적합했다. 따라서 연탄재 등을 매립한 농촌지역 생활쓰레기 매립지인 노은매립지는(충북지역환경기술개발센터, 2004) 토양미생물 등에 의한 생분해, 매립폐기물 및 토사에 의한 화학적 흡착, 그리고 산화-환원 반응 등에 의한 매립지 자체의 생화학적 반응조 기능에 따른 자연적 정화(natural attenuation) 작용에 의해 안

표 8. 매립지 안정화 평가항목

구분	평가항목
침출수 및 지하수	1. 침출수의 수질이 2년 연속 배출허용기준에 적합하고, BOD/COD _{Cr} 이 0.1이하 일 것 2. 단, 침출수 발생이 없을 경우에는 1항목은 제외 3. 지하수의 수질 조사 결과 지하수질기준을 초과하지 아니하거나, 매립지로 인한 오염정후가 나타나지 아니할 것
매립가스	1. 매립가스 발생량이 2년연속 증가하지 않을 것 2. 매립가스중 CH ₄ 농도가 5%이하 일 것
매립폐기물	1. 매립폐기물 토사성분중의 가연물함량이 5%미만이거나 C/N가 10 이하 일것 2. 폐기물의 용출시험 기준항목을 만족할 것
기타	1. 매립지 내부온도가 주변 지중온도와 유사할 것 2. 기타 약취, 구조물 및 지반의 안정도 조사, 지표수의 수질 조사, 토양 조사 결과 매립지로 인한 주변환경영향이 인정되지 아니할 것

자료 : 환경부, 2001, 사용종료매립지 정비지침.

정화가 거의 완결되어가는 과정으로 추정되기 때문에 충주시 노은매립지에는 매립지에서 발생하는 오염물질을 처리하기 위한 특별한 정화(remediation)조치가 필요없는 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 남한강 상류유역에 위치한 충북 농촌지역의 대표적인 비위생매립지인 노은매립지의 침출수, 지하수 및 토양을 화학적으로 분석하고 침출수 안정화 정도를 수질 측면에서 평가하였다.

매립지의 수령에 따라 진행되는 안정화 정도를 평가하기 위하여 환경부에서 작성한 사용종료매립지 정비지침에 의한 매립지 안정화 평가기준에 따르면, 침출수는 안정화가 거의 이루어진 것으로 판단된다. 침출수 및 지하수의 오염물질 분석 결과에 의하면 침출수 배출허용기준 및 지하수 수질기준에 대장균을 제외하고는 적합하기 때문에 매립지의 생화학적 반응조 기능에 따른 자연적 정화 작용에 의해 노은 매립지 침출수의 안정화는 거의 완결되어가는 과정으로 판단된다. 토양오염의 경우에도 중금속, 시안, 페놀, 유류 등의

분석된 항목이 토양환경보전법의 토양오염 우려기준을 초과하지 않는 것으로 나타났기 때문에 농촌형 생활폐기물 비위생매립지로 인한 토양오염우려는 없는 것으로 판단된다.

따라서 이 연구 결과에 의하면 농촌지역의 생활 폐기물을 반입하여 처리한 비교적 소규모의 비위생매립지의 경우에는 매립지 사용종료 후에 5년 정도 경과하면 매립지 침출수의 안정화가 거의 이루어지는 것으로 추정된다. 그러나 본 연구에서는 침출수 등의 환경오염농도 만을 분석하고 매립지 가스, 매립폐기물의 안정화 정도 및 침출수량에 대한 예측분석이 결여되어 매립지의 전반적 안정화에 대한 평가로서는 미흡하기 때문에 향후에 후속 연구를 통하여 심화시킬 필요가 있다.

참고문헌

충북지역환경기술개발센터, 비위생매립지 안정화 및 개선방안에 관한 연구, 2004.
한국자원재생공사, 1995, 사용종료매립지의 적정 사후관리방안, 56-59.
환경부, 2001, 사용종료매립지 정비지침.
ANZECC/NHMRC, 1992, Guidelines for the

- Assessment and Management of Contaminated Sites.
- Bedient, P.B., Rifai, H.S., and Newell, C.J., 1999, Groundwater Contamination, Prentice-Hall, 85.
- Hwang Soon-Hong, Shin Chan-Ki, Kwon Myung-Hee, Lee Kil-Chul, and Chung Il-Rok, 2002, The Variation of Water Quality of Leachate and Neighboring Streamwater According to the Time After Closure and Landfill Amount, APLAS Seoul 2002, 790-794.
- Lerr, J., Hyman, M., Gass, T.E., and Seevers, W.J., 2002, Handbook of Complex Environmental Remediation Problems, Mc-Graw Hill, 2.4-2.17.
- McBean, E.A., Rovers, F.A., and Farquhar, G.J., 1995, Solid Waste Landfill Engineering and Design, Prentice Hall, 59-70.
- Oweis, I.S., and Khera, R.P., 1998, Geotechnology of Waste Management, PWS Publishing, 295-299.
- Pohlads, F.G., and Englebrech, R., 1976, Impact of Sanitary Landfills, N.Y.: Report prepared for the American Paper Institute.
- Reinhart, D.R., and Grosh, C. J., 1997, Analysis of Florida MSW Landfill Leachate Quality Data, Report to the Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management.
- Reinhart, D.R., McCreannor, P.T., and Townsend, T., 2002, The Bioreactor Landfill : It's Status and Future, Waste Management and Research, 20, 172-186.
- Sleats, R., 1989, Activities and Distribution of Key Microbial Groups in Landfills, In Sanitary Landfilling : Process, Technology and Environmental Impact, Academic Press
- Shah, K.L., 2000, Basics of Solid and Hazardous Waste Management Technology, Prentice Hall, 332-335.
- Vesilind, P.A., Worrell, W., and Reinhart, D., 2002, Solid Waste Engineering, Brooks/Cole, 118-131.
- White, R.E., 1997, Principles and Practice of Soil Science, Blackwell Science.