

단순 매립지내의 매립가스에 관한 연구

A Study on Landfill Gases in Old Open Dumping Landfill Site

연익준* · 주소영** · 윤철*** · 이명선**** · 김광렬*****

Yeon, Ik-Jun · Ju, So-Young · Yoon, Cheol · Yi, Myoung-Sun · Kim, Kwang-Yul

Abstract

The purposes of this study are the analysis of landfill gases(LFGs) in old open dumping landfill site near middle city and offer the useful data for reusing the landfill site as the residential, commercial and other purposes.

The concentrations of CO₂ and CH₄ were lower as 8.28 vol% and 1,247 ppm but the concentrations of NH₃ and H₂S were 7 times and 12 times higher than TLV-TWA standard. The concentration of CH₄ and other gases were lower than the ACGIH criterion. As the result of the environmental assessment on the open dumping landfill, it appears that this landfill is maturation phase and the formation of LFGs is reduced. If the treatment facility of NH₃ and H₂S gases is prepared, it can be safely used as this landfill site.

Keywords : Landfill, Open dumping, Landfill gas(LFGs), Environmental assessment

요 지

이 연구는 중소도시 외곽에 위치한 오래된 단순매립지의 매립가스를 분석하여 이 매립지를 주거 및 상업, 기타 부지로써의 재이용시에 유용한 자료를 제공하고자 하였다.

매립가스의 분석결과 CO₂와 메탄의 농도는 각각 평균 8.28%와 1,247ppm으로 매우 낮은 값을 나타내어 매립 폐기물중 유기물질들의 분해가 완료단계에 있음을 알 수 있으며 NH₃와 H₂S 농도는 모두 TLV-TWA 기준치를 각각 약 7배와 12배나 초과하였으나 CH₄외 42종의 성분 분석 결과 모두 미량으로 ACGIH 유해도 기준치보다 훨씬 낮은 농도를 나타내었다.

이 같은 연구 결과 본 폐기물 매립지는 안정화 단계에 있어 매립가스의 발생량은 앞으로 현저하게 감소될 것으로 예측된다. 따라서 토지를 재이용하려면 현재 발생되고 있는 매립가스중 NH₃와 H₂S에 대하여 적절한 대책이 필요하다고 사료된다.

주요어 : 매립, 단순매립, 매립가스, 환경평가

1. 서론

폐기물의 매립처분을 하는 목적은 생활환경의 보전상 지장이 생기지 않는 방법으로 폐기물을 적절하게 저류하고, 안정화 및

무해화 하는 것으로 인근의 지하수, 지표수, 토양오염을 방지하기 위하여 철저한 사후관리를 해주어야 한다. 그러나 과거 침출수 및 매립가스 처리시설을 갖추지 않은 비위생 매립으로 인하여 매립지 주변은 지하수, 지표수 및 토양등의 오염이 심각한

* 정회원, 충북대학교 건설기술연구소 연구원

** 정회원, 충북대학교 건설기술연구소 연구원

*** 충북대학교 환경공학과 박사과정

**** 한국에너지기술연구원 인턴연구원

***** 충북대학교 환경공학과 교수

실정이며, 매립지에 매립된 유해물질이 매립가스로 대기중에 방출되어 대기질에 영향을 미치고 있지만, 이에 대한 실태나 현황 조사 파악이 되지 않고 있다. 이러한 비위생 매립지로 인하여 오염된 주변 환경을 복구하기 위해서는 막대한 비용과 시간이 소요된다. 그러므로 매립지의 적절한 관리 체계의 확립은 현재 사회적으로 만연되어 있는 혐오시설에 대한 불신감을 해소시킬 수 있을 것이다(Thibodeaux, 1981).

우리나라의 총매립지는 1999년말 현재 442개소이고 면적은 약 3,000만 m^2 로서 기 매립량은 31만여톤이고 연간 관리 유지비는 3천억원에 이르고 있다(환경백서, 2000). 향후 이들 매립지를 공원조성 및 임야 등으로 사용할 계획에 있으며 건축물 건설 등에 관해서는 그 실현성을 알 수 없는 상태에 있다.

그러나 도시의 팽창 및 무분별한 개발의 확대에 의해 과거 비위생 폐기물 매립지 주변이 주택지로 전환되면서 매립지 이용개발 필요성 논란에 관심이 고조되고 있으며, 택지나 기타 용지 개발시에 노출되는 불량매립지의 처리도 심각한 문제로 대두되고 있다(한국토지개발공사, 1993 ; 김영목 등, 1993). 외국의 경우 매립지 용량 및 수명증진, 과거의 비위생 매립지를 신규 위생매립지로 전환하기 위한 목적으로 매립폐기물을 굴착, 선별, 재매립하는 사례도 보고되고 있다(Kornber 등, 1993 ; LCSWMA, 1994 ; Rettenberger, 1995 ; 김영목 등, 1995). 이런 경우 대부분의 처리방법은 매립폐기물을 굴착 후 위생매립지에 재처분 하는데, 굴착시의 환경문제 이외에도 단순재매립은 매립량이 대량인 경우에는 처리비용이 과다하므로 선별 분류하여 일부를 자원화하거나 감량하는 것이 바람직하다(남궁완 등, 1998).

따라서 본 연구에서는 매립 후 10여년이 경과된 소규모 단순매립지를 대상으로 1999년 6월~8월까지 매립지에의 매립가스를 분석하여 이 매립지를 주거 및 산업, 기타 부지로써 재이용시에 유용한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 매립지내 분해반응

매립된 폐기물성분중 생물학적 분해 가능한 유기물질의 분해율은 물질의 특성과 넓게는 수분함량에 의해 달라진다. 일반적으로 폐기물내 유기물질은 섬유질(cellulose)과 그 화합물을 포함한 유기물, 탄수화물, 지방, 단백질 등 분해가 용이한 유기물과, 플라스틱, 합성섬유, 고무, 피혁류 등 난분해성 유기물 등으로 구분된다(Parker, 1983).

섬유질은 종이, 목재, 자연섬유류가 주 구성물질로서 분해속도가 비교적 느리며 단백질, 탄수화물, 지방 등은 분해속도가 매우 빠른 유기물이다. 제한된 양의 무기염류와 수분은 위의 물질과 결합되어 존재한다(Parker, 1983 ; Tchobanoglous 등, 1993).

위의 폐기물 성분으로부터 혐기성 분해과정을 통하여 생성물의 변화를 그림 1에 나타내었고 또한 매립 후 경과시간에 따른 매립장 생성가스의 농도변화를 표 1에 나타내었다(Tchobanoglous 등, 1993 ; Merz 등, 1970).

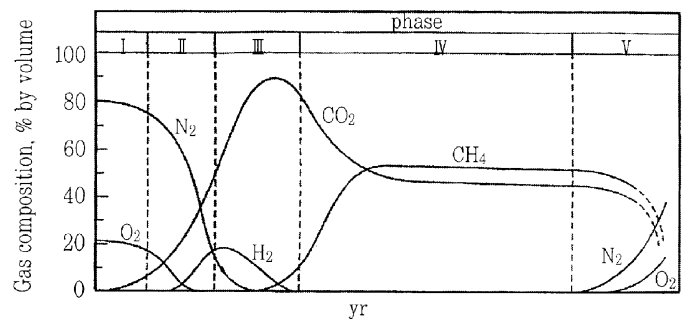


그림 1. Generalized phases in the generation of LFGs.

표 1. The Typical Compositions of LFGs

The time passed after landfill(yr)	Average volume(%)		
	N ₂	CO ₂	CH ₄
0~3	5.2	88	5
3~6	3.8	76	21
6~12	0.4	65	29
12~18	1.1	52	40
18~24	0.4	53	47
24~30	0.2	52	48
30~36	1.3	46	51
36~42	0.9	50	47
42~48	0.4	51	48

매립지내에서는 혐기성 분해가 주요 반응이 되며 매립 2년 후가 되면 대체로 CH₄가 55%, CO₂가 45% 정도를 차지한다. 초기에 CO₂의 함량이 높은 것은 호기성 분해의 결과이다. 산소가 소비되고 나면 혐기성 분해로 이어진다. 일정한 기간이 지나고 나면 가스의 조성이 비교적 일정해지며 CH₄의 양이 CO₂의 양보다 다소 높아지는데 이는 시간이 지남에 따라 CH₄의 발생이 증가하고 CO₂는 매립지 아래층으로 확산되기 때문이다(Pholand, 1987 ; Ehring, 1989).

매립지가스 중 가장 발생량이 크고 생활환경에 영향을 미치는 물질은 CH₄과 NH₃, H₂S이다. CH₄는 독성이 없고 무색무취이나 에너지가 풍부한 가스로(13,300Kcal/kg CH₄) 공기에

비해 무게분율이 0.558 정도로 가볍다(Parker, 1983).

또 공기중에 5.3~14vol.%일 때는 폭발의 가능성이 있다. NH₃는 무색의 자극성 냄새를 갖는 악취성 기체로 인체에 유해하고 TLV-TWA(Threshold Limit Value-Time Weighted Average) 농도가 25ppm 이하이며 H₂S 역시 자극성이 크고 심한 악취를 유발하는 유해가스로 TLV-TWA농도가 10ppm 이하이다(ACGIH, 1988 ; 김오식, 1997).

3. 매립지내의 매립가스 측정

3.1 대상매립지 선정

본 연구조사 대상지인 투기형 비위생매립지는 지방의 중소도시 외곽에 위치하고 있으며 면적은 20,483m²로 이중 약 61.5%에 해당하는 약 12,600m²가 과거 논이었으나 지반성토를 위해 1982년경 부터 생활폐기물을 매립하기 시작하여 1985년경 매립이 완료된 지역으로, 현재는 매립면적중 일부가 시멘트 하치장으로 사용되고 있으며 기타 일부 경작지와 나대지로 되어 있다.

폐기물 매립형태는 단순 투기형 비위생 매립으로 침출수 유출과 관련된 설비나 매립가스 처리를 위한 가스 포집관등 매립과 관계된 부속시설이 전무한 실정이다.

매립 폐기물 굴착시 매립가스의 발생량은 매립된 폐기물이 안정기에 있어 많지 않았으나 악취가 심한 편으로 이것은 매립층 하부의 침출수중에 포함된 유기성분들의 혐기성 분해결과로 이러한 현상은 앞으로도 지속될 것으로 예상된다.

3.2 시료채취방법

폐기물 매립지역을 5개 지점을 선정하여 매립가스 포집관 설치를 위해 폐기물 매립지를 굴착한 결과 폐기물 매립깊이는 5.5~7.5m이었으며 표토층은 0.2~0.5m 정도의 연탄재 또는 흙으로 복토가 되어 있었고 생활폐기물과 연탄재가 혼합된 형태로 매립되어 있었다.

5곳의 굴착지점중 폐기물 매립 깊이가 가장 깊은 1곳을 선정하여 지름 20cm, 길이 8m의 PVC관으로 매립가스 포집관을 제작하여 그림 2와 같이 설치하고 10일 후부터 CO, CO₂, SO₂, NO_x 및 O₂ 가스 분석은 현장에서 실시하였으며, H₂S, NH₃는 습식방법에 의해 흡수액에 흡수시켜 포집하고, CH₄ 및 기타 가스상 물질 등은 공기시료주머니에 각각 포집한 후 실험실에서 분석하였다.

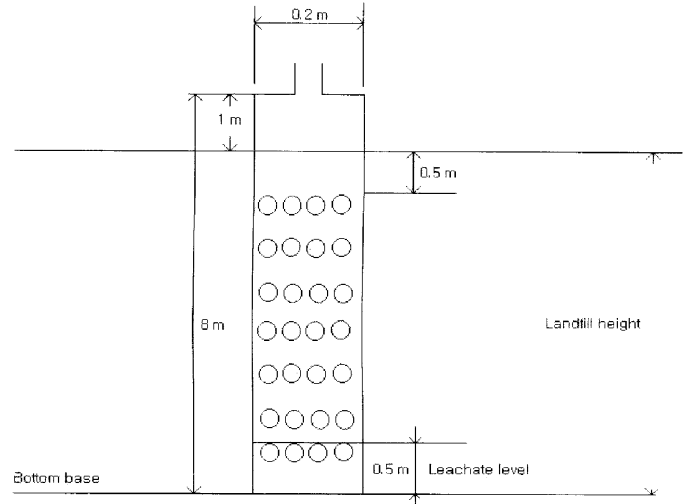


그림 2. Detail drawings of landfill gas collection pipe.

3.3 매립가스 분석

3.3.1 CO, CO₂, SO₂, NO_x, O₂

매립가스중 CO, CO₂, SO₂, NO_x, O₂의 분석은 Bacharach사의 Combustion Gas Analyzer(Model 300 NEX)를 이용하여 매립가스 포집관으로부터 가스를 포집하여 현장에서 1일 1회씩 5회에 걸쳐 실시하였다. CO₂와 O₂는 %로 CO, SO₂, NO_x는 ppm단위로 분석결과를 얻었다.

3.3.2 H₂S, NH₃

매립가스중 H₂S, NH₃는 흡수액을 조제하여 흡수병에 넣고 공기시료채취기로 가스 포집관으로부터 매립가스를 흡입 흡수시킨후 대기 공정시험법에 따라 분석하였으며 1일 1회씩 5회에 걸쳐 실시하였다.

3.3.3 CH₄ 및 기타 가스상 물질

매립가스중 CH₄ 및 기타 가스상 물질의 분석은 매립가스 포집관으로부터 공기시료주머니(PE bag)에 가스를 포집하여 GC/ATD/FID(Perkin Elmer Auto System XL GC)로 분석하였다.

이 때 사용한 GC-FIC의 승온조건은 50~200℃까지 4℃/min의 속도로 하였으며, detector의 온도는 250℃이었으며, carrier gas는 H₂/Air를 1:10으로 하여 사용하였고, GC의 제어는 ATD-400 소프트웨어를 이용하였다.

표 2. The Chemical Analysis of LFGs.

Comp.	1	2	3	4	5	Average
H ₂ S	120.10	118.21	131.05	120.16	128.03	123.51
NH ₃	150.06	160.13	193.84	173.24	180.43	171.54
O ₂ (%)	7.1	10.2	11	7.3	9.7	9.06
CO	7	15	15	13	11	12.20
CO ₂ (%)	7.7	11.7	5.6	8	8.4	8.28
SO ₂	1	2	1	1	1	1.20
NO _x	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Methane	1197.4786	1324.2463	1277.6131	1362.3003	1076.9992	1247.7269
Propylene/Propane	1.7486	1.9913	1.8654	1.8229	1.8458	1.8546
Isobutane	0.4223	0.3908	0.4513	0.4416	0.510	0.4433
1-Butene	4.8022	4.8872	4.5720	4.7631	4.9982	4.8044
Trans-2-Butene	0.0670	0.0680	0.0679	0.0681	0.0692	0.0680
Cis-2-Butene	0.0258	0.0259	0.0259	0.0260	0.0260	0.0259
3-Methyl-1-butene	0.1352	0.1369	0.1373	0.1369	0.1388	0.1370
Isopentene	2.7998	2.8211	2.8198	2.8235	2.8310	2.8190
1-Pentene	0.0504	0.0520	0.0518	0.0518	0.0511	0.0514
n-Pentane	1.0121	1.0125	1.0127	1.026	1.0128	1.0125
Isopropane/Cis-2-Pentene	0.0322	0.0328	0.0324	0.0319	0.0318	0.0322
Cis-2-Pentene	0.0591	0.0598	0.0593	0.0595	0.0595	0.0594
2-Methyl-2-butene	0.0353	0.0325	0.0342	0.0338	0.0316	0.0336
2,2-Dimethylbutane	0.1269	0.1267	0.1274	0.1276	0.1275	0.1272
Cyclopentene/2,3-Dimethylbutane	0.1789	0.1791	0.1802	0.1799	0.1801	0.1796
2-Methylpentane	0.2125	0.2116	0.2093	0.2098	0.2093	0.2105
3-Methylpentane	0.2425	0.2420	0.2419	0.2425	0.2422	0.2422
2-Methyl-1-pentane	0.0238	0.0241	0.0240	0.0239	0.0244	0.0240
n-Hexane*	0.1601	0.1598	0.1607	0.1603	0.1609	0.1603
Methylcyclopentane /2,4-Dimethylpentane	0.6697	0.6692	0.6692	0.6699	0.6697	0.6695
Benzene*	0.1659	0.1659	0.1658	0.1649	0.1644	0.1654
Cyclohexane*	4.9915	4.9910	4.9899	4.9922	4.9911	4.9913
2-Methylhexane	0.4782	0.4785	0.4789	0.4788	0.4787	0.4786
2,3-Dimethylpentane	0.0849	0.0860	0.0863	0.0863	0.0862	0.0859
3-Methylhexane	0.5282	0.5282	0.5286	0.5285	0.5286	0.5284
2,3,4-Trimethylpentane	1.774	1.772	1.770	1.771	1.771	0.1772
n-Heptane*	0.0989	0.0989	0.0990	0.0990	0.0993	0.0991
Methylcyclohexane*	0.2465	0.2463	0.2462	0.2466	0.2460	0.2463
2,3,4-Trimethylpentane	0.0561	0.0561	0.0560	0.0560	0.0560	0.0561
Toluene*	0.1580	0.1581	0.1579	0.1578	0.1578	0.1579
2-Methylpentane	0.0950	0.0951	0.0951	0.0948	0.0951	0.0950
3-Methylpentane	0.0765	0.0766	0.0766	0.0765	0.0772	0.0767
n-Octane	0.683	0.681	0.681	0.683	0.683	0.0682
Ethylbenzene*	0.0602	0.0609	0.0615	0.0625	0.0611	0.0612
m-, p-Xylene	0.2699	0.2630	0.2631	0.2630	0.2631	0.2630
Styrene*	0.0782	0.0782	0.0782	0.0781	0.0781	0.0781
o-Xylene*	0.0231	0.0229	0.0230	0.0230	0.0227	0.0229
n-Nonane	0.0706	0.0706	0.0706	0.0706	0.0710	0.0707
Isopropylbenzene	0.0940	0.0939	0.0939	0.0939	0.0937	0.0939
α-Pinene	0.0769	0.0769	0.0770	0.0771	0.0768	0.0769
n-Propylbenzene	0.0888	0.0889	0.0889	0.0887	0.0886	0.0887
1,3,5-Trimethylbenzene	0.0660	0.0658	0.0658	0.0659	0.0662	0.0660
1,2,4-Trimethylbenzene	0.1700	0.1703	0.1703	0.1703	0.1703	0.1702

표 3. The Hazard Assessment of LFGs by ACGIH

Composition	Average concentration in LFG(ppm)	TLV(Threshold Limit Value)					Result
		TWA (ppm)	TWA (mg/m ³)	STEL (ppm)	STEL (mg/m ³)	Threshold concentration(ppm)	
H ₂ S	123.51	10	14	15	21	0.025~0.1	excess
NH ₃	171.54	25	18	35	27	1~50	excess
CO	12.20	50	55	400	440	-	under
SO ₂	1.20	2	5	5	10	-	"
n-Pentane	1.0125	600	1800	750	2250	3000	"
n-Hexane	0.1603	50	180	-	-	-	"
Benzene*	0.1654	10	30	25	75	10	"
Cyclohexane*	4.9913	300	1050	375	1300	1.4~1000 mg/m ³	"
n-Heptane*	0.0991	400	1600	500	2000	930	"
Methylcyclo-hexane*	0.2463	400	1600	500	2000	-	"
Toluene*	0.1579	100	375	150	560	0.6~153 mg/m ³	"
n-Octane	0.0682	300	1450	375	1800	0.09~713 mg/m ³	"
Ethylbenzene*	0.0612	100	435	125	545	8.7~870 mg/m ³	"
o-Xylene*	0.0229	100	435	150	655	1 mg/m ³	"
m,p-Xylene	0.2630	100	435	150	655	-	"
Styrene*	0.0781	50	215	100	425	-	"
n-Nonane	0.0707	200	1050	250	1300	-	"
1,3,5-Trimethyl-benzene	0.0660	25	125	35	170	-	"

*toxic gas

4. 결과 및 고찰

4.1 매립가스

매립가스에 대한 분석결과는 표 2와 같으며 매립가스 성분들의 유해도를 판정하기 위하여 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서 규정한 TLV-TWA값과 TLV-STEL(Threshold Limit Value-Short Term Exposure Limit) 값을 참고로 판정하여 표 3에 나타내었다.

4.1.1 CO, CO₂, O₂, SO₂, NO_x

CO 및 CO₂는 매립폐기물중의 생분해성 유기물질들이 호기성 또는 준호기성 상태에서 생물학적 분해시 발생되며 이중 CO는 독성이 있으나 매립가스중 농도가 평균 12.2ppm으로 TLV-TWA값 50ppm보다 훨씬 낮은 것으로 판명되었으며 CO₂ 역시 매립가스중 평균 8.28%로 매우 낮은 값을 나타내고 있어 매립된 폐기물이 이미 분해되어 충분히 안정화 되었음을 알 수 있다.

O₂는 매립지에서 발생하는 매립가스중에 일반적으로 들어 있지 않으며 매립가스의 포집과정에서 공기가 유입된 결과이거나 매립 가스 포집관 내에 잔류하는 공기의 영향 때문인 것으로 추정된다.

SO₂는 호기성 상태에서 황화합물이 분해되거나 H₂S가 산화될 경우 발생되는데 이 경우 H₂S의 일부가 산화된 것으로 생각되며 역시 TLV-TWA값보다 낮은 농도를 보이고 있어 유해성 문제는 없을 것으로 판단된다. 반면, 호기성 상태일때 발생하는 NO_x는 전혀 검출되지 않았다.

4.1.2 H₂S와 NH₃

H₂S는 폐기물 매립지에서 발생하는 전형적인 성분으로 눈, 호흡기 등의 자극과 매우 심한 악취를 내는 가스이다. 후각으로 냄새를 감지할 수 있는 하한농도인 TLV값이 0.025~0.1ppm으로 TLV-TWA값은 10ppm이며 본 매립가스 중 H₂S는 평균 123.51ppm으로 TWA값을 12.3배나 초과함을 알 수 있다.

NH₃는 무색 특유의 자극성 냄새를 갖는 기체로 냄새를 감지할 수 있는 하한농도인 TLV는 1~50ppm이며, 400~1000 ppm의 농도에서 눈, 인후, 점막, 호흡기 증의 심한 자극과 2000ppm일 경우 경련성 기침, 폐수종, 피부발진, 혈담, 호흡장애 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.

본 매립지의 매립가스 경우 NH₃의 농도는 평균 171.54ppm으로 냄새를 맡을 수 있는 TLV값을 크게 초과할 뿐만 아니라, TWA 기준치인 25ppm(18mg/m³)의 약 6.8배가 되는 것으로 나타났다.

매립지에서 발생하는 매립가스중 H₂S와 NH₃의 배출농도에 대한 환경보전법상의 규정은 마련되어 있지 않으나 분석결과에서 나타났듯이 H₂S와 NH₃ 모두 TWA값을 크게 초과하므로 인체에 대한 환경적 피해가 예상된다.

4.1.3 CH₄ 및 기타 가스상 물질

CH₄는 CO₂와 함께 매립된 폐기물중 생분해성 유기성분들이 혐기성 상태에서 미생물에 의해 분해될 때 생성되는 가스로 부채취취이나 공기중에 5~15% 존재시 폭발 및 인화성이 매우 높은 특성을 가지고 있다. CH₄의 농도는 평균 1,247ppm으로 매우 낮은 값을 나타내고 있어 이는 매립된 폐기물 중 CH₄ 가스 생성 원인이 되는 생분해성 유기성분들이 모두 분해되어 안정화되었기 때문인 것으로 판단된다.

앞에서 CO₂의 농도가 낮았던 이유를 고려할 때 저농도의 CH₄ 배출 역시 매립된 폐기물이 매우 안정화 되었음을 의미한다.

CH₄외에 42가지 가스성분들에 대해서도 분석을 한 결과 인체에 대한 유해성을 나타내기에는 너무 미량농도들이므로 나타남으로써 환경적인 영향을 미치지 않는 것으로 예측된다.

5. 결론

지방의 중소도시 외곽에 위치한 단순투기형 비위생 매립지내

의 매립가스를 분석한 연구결과 결론은 다음과 같다.

- (1) 본 부지내 쓰레기는 생활폐기물로 단순 투기형 비위생 매립되었을 뿐만 아니라 이것에 대한 구체적인 자료가 없고 또한 총괄적인 조사자료등도 없어서 매립가스의 총발생량과 향후 발생량에 대한 예측등이 매우 어려운 실정이다.
- (2) CO₂와 CH₄의 농도는 각각 평균 8.28%와 1,247ppm으로 낮은 값을 나타내어 매립 폐기물중 유기물질들의 분해가 완료 단계에 있음을 알 수 있었다.
- (3) 매립가스의 총 53개 항목에 대한 분석결과 H₂S와 NH₃을 비롯한 CH₄의 경우를 제외하고는 styrene외 7종의 유해가스가 ACGIH 유해도 기준치보다 낮은 농도를 나타내었으며, 인체의 유해성을 나타내기에는 너무 미량이므로 환경적인 영향이 적을 것으로 판단된다.
- (4) NH₃와 H₂S 농도는 모두 TLV-TWA 기준치를 각각 약 7배와 12배나 초과하는 171.54ppm, 123.51ppm으로 우리나라 대기보전법에 명시하고 있는 배출기준치를 상회하고 있었다.

이상의 연구 결과 본 폐기물 매립지는 안정화 단계에 있어 매립가스의 발생량은 앞으로 현저하게 감소될 것으로 예측되며, 현재 발생되고 있는 매립가스중 NH₃와 H₂S에 대하여 지속적인 모니터링과 분석을 통하여 지속적인 감시 등 적절한 대책이 필요할 것으로 판단된다. ☹

참 고 문 헌

1. Thibodeaux, L. J.(1981), Estimating the air emissions of chemicals from hazardous waste landfills, J. of Haz. Mat., Vol.4, pp.235~244.
2. 환경백서(2000), 환경부.
3. 한국토지개발공사(1993), 안양, 평촌지구 매립쓰레기에 관한 연구.
4. 김영목 외 3인(1993) 폐기물 매립지반에 대한 동다짐공법 적용평가, 대한토목학회, 제13권, 제5호, pp.209~222.
5. Kornber, J. P. et al.(1993), Landfill mining in th United States, An Analysis of Current Project, Proceedings Sardinia 93, pp.1555~1561.
6. LCSWMA(1994), Assessment of Landfill Reclamation and the Effects of Age on the Combustion of Recovered Municipal Solid Waste.
7. Rettenberger, G. (1995), Result from a Landfill mining Demonstration Project, Proceedings Sardinia 95, Vol.III, pp.927~840.
8. 김영목외 2인(1996), 매립지의 물리화학적 특성에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 12(2), pp.237~247.
9. 남궁완, 이동훈(1996), 폐기물처리공학(上,下), 동화기술.
10. Parker, A.(1983), Practical Waste Management, John Wiley & Sons, Chichester, England.
11. Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S.A.(1993), Intergrated Solid Waste Management, McGraw Hill.
12. Merz, R.C. and R. Stone(1970), Special Studies of a Sanitary Landfill, U.S. Department of Health, Education, and Welfare.
13. Pholand F.G.(1987), Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills, EPA/600/S2-86/073, U.S EPA Hazardous Waste Engineering Reasearch Lab.
14. Ehrling, H.J.(1989), Process, Technology and Environmental Impact, Acafermic Press.
15. ACGIH(1988), Industrial Ventilation 20th ed.
16. 김오식(1997), 환경독성학개론, 동화기술.