

P시 K동 매립지는 바닥에 차수막이나 침출수집수시설을 갖추지 않은 비위생매립지 형태로서 '90년부터 매립하기 시작하여 '94년까지 약 4년간 일반폐기물을 매립하였다. 매립면적은 18,205m²이고 매립심도가 약 4.7~5.7m로 조사되어 매립용량은 89,205m³으로 조사되었다. 또한, 매립지내 시설에는 가스포집공이 11개 기설치되어 있고 지하수 검사정이 3개 설치되어 있고 매립지 주변에는 배수로가 설치되어 있다. 현재 매립지는 인근주민들이 텃밭으로 이용하고 있으며 주변지역의 대부분은 농지로 사용되고 있으며 근처에는 하천이 흐르고 있다

2.2 시료채취

P시 K동 매립지의 폐기물은 매립면적을 4등분하여 대표적인 지점 4곳을 채취하였으며 가스는 가스포집공 3지점에서 채취하였다 지하수는 매립지 주변의 3곳, 하천수는 상류 및 하류의 2곳, 침출수는 가스포집공으로 유입된 침출수를 채취하였으며 주변토양은 오염이 우려되는 인접 토양 4지점에서 채취하였다. 또한, 침하 조사를 위해 침하관 2개를 설치하여 레벨측량하였으며 표준관입시험을 실시하였다. 다음 사진은 매립지 시료 채취장면을 나타낸 것이다.



그림 1. 매립지내 폐기물 채취



그림 2. 매립지내 가스채취



그림 3. 매립지내 침출수 채취



그림 4. 매립지주변 하천수 채취



그림 5. 매립지주변 지하수 채취



그림 6. 매립지주변 토양채취



그림 7. 매립지내 침하 계측



그림 8. 매립지내 표준관입시험

3. 정밀조사 결과

3.1 폐기물성상

매립폐기물의 물리적 성상은 크게 가연분 및 비가연분 물질로 나누어 구분하며 매립물질의 조성비뿐만 아니라, 분해정도 및 분해상태 등을 관찰할 수 있는 중요한 척도가 된다.

본 매립지의 4지점에서의 매립폐기물을 채취하여 인력선별에 의해 성상조사를 한 결과, 토사 및 기타류가 45.10~64.68%로 가장 높게 나타났는데 이는 복토재의 영향때문인 것으로 생각되며 생분해성 물질인 음식물류는 대부분 분해되어 거의 검출되지 않아 비교적 매립폐기물의 안정화 단계에 있음을 확인할 수 있었다. 그 밖의 난분해성 물질인 비닐 및 플라스틱류가 13.26~30.74%로 나타났으며 종이류, 목재류, 섬유류, 고무류 등도 일부 검출되어 장기간에 걸친 느린 분해가 예상된다.

3.2 폐기물삼성분

삼성분은 수분, 가연분, 회분으로 나뉘며 폐기물의 화학적 성분을 분석하는데 필요하다. 삼성분은 쓰레기의 조성, 계절, 강우량 등에 따라 값들의 변화가 크게 차이가 날 수 있으므로 시료를 채취할 시에는 반드시 비오기 전에 채취하며 채취 후에는 빠른 시간내에 시료를 분석하도록 한다.

본 매립지의 삼성분 조사는 각 지점별로 시료 채취후 물리적 조성비를 산출한 즉시 가연성 물질에 대하여 수분, 가연분, 회분을 측정하였으며 이를 다음의 표로 나타낸 결과, 삼성분중 회분함량이 평균 47.49%의 가장 높은 비율을 나타냈고 수분이 약 31%, 가연분이 21.19%의 비율로 조사되어 유기물질의

함량이 비교적 적은 것으로 나타났다.

표 1. 매립폐기물의 조성성분

(단위 : 습윤중량비 %)

채취 위치 구분	①		②		③		④	
	상	하	상	하	상	하	상	하
음식물류	0.38	1.04	0.88	0.26	0.79	0.99	0.36	0.16
종이류	6.83	13.18	5.15	1.02	7.00	1.50	6.68	6.12
비닐, 플라스틱류	24.62	19.74	24.34	22.97	28.18	13.26	14.97	30.74
연탄재	0	0	0	0.49	0	0	0	0
유리, 도자기류	8.30	5.71	4.00	2.95	1.88	7.73	7.54	7.52
금속, 알루미늄류	0.54	2.06	8.34	2.03	7.15	4.78	5.41	6.70
나무, 풀류	4.44	0.99	2.96	0.17	2.52	2.97	4.26	0.75
섬유류	3.20	0.82	4.69	2.76	7.05	14.87	8.79	2.76
가죽, 고무류	0	0.78	1.63	2.67	0.29	2.33	0.49	0.15
토사 및 기타	51.69	55.68	48.01	64.68	45.14	51.57	51.50	45.10
합계	100	100	100	100	100	100	100	100

3.3 용출시험

용출시험을 하는 가장 큰 이유는 매립지에서 굴착되어 나오는 폐기물의 침출수 가운데 중금속을 포함한 유독물질의 존재여부를 파악하기 위해서이다.

본 매립지내 매립폐기물에 대한 화학용출농도 성분을 살펴보면, 구리 및 비소, 육가크롬이 저농도로 검출되었고 그 밖의 수은, 납, 시안, TCE 및 PCE 등에 대해서는 모두 검출되지 않았다. 이를 폐기물관리법 시행규칙 별표1의 지정폐기물에 함유된 유해물질 함유기준(제2조 제1항 관련)과 비교해 보면 각 항목들의 유해물질 함유기준치의 농도보다 낮게 검출되어 크게 문제되지 않는 것으로 나타났다.

표 2. 매립폐기물의 용출시험결과

항 목	①	②	③	④	기준치
pH	7.11	7.63	6.63	6.62	-
Cu	0.28	0.3	0.48	0.29	3.0
Cd	ND	ND	ND	ND	0.3
Pb	ND	0.61	ND	ND	3.0
Hg	ND	ND	ND	ND	0.005
As	0.2	0.06	0.04	0.08	1.5
Cr ⁺⁶	0.01	0.01	ND	ND	1.5
CN ⁻	ND	ND	ND	ND	1.0
유기인	ND	ND	ND	ND	1.0
TCE	ND	ND	ND	ND	0.1
PCE	ND	ND	ND	ND	0.3

3.4 원소분석

쓰레기의 원소 조성은 폐기물의 질을 추측할 수 있게 해주므로 화학 원소중 탄소와 수소의 함량이 높을수록 폐기물의 성상이 고질이라고 말할 수 있으며 폐기물의 C/N비가 낮을수록 더욱 안정화된 것으로 판단할 수 있다. 화학적 조성은 주로 C, H, O, N, S 등으로 구성되어 있다.

본 매립지 폐기물의 화학적 조성을 살펴보면 다음의 표와 같다. 평균 조성값을 보면 탄소 50.07%, 산소 25.37%, 수소 7.61%, 질소 3.70%, 황 0.11%의 순으로 탄소의 함유율이 가장 높게 나타났고 질소, 황 등은 미량 검출되어 폐기물을 소각할 경우 질소 및 황화합물의 발생량은 미비할 것으로 판단된다.

표 3. 매립폐기물의 원소분석비

분석항목 군문동	C	H	N	O	S
①-상	49.37±0.18	6.59±0.05	4.47±0.01	29.62±0.45	0.00±0.00
①-하	51.50±0.04	10.69±0.16	2.52±0.04	23.22±0.23	0.32±0.08
②-상	53.34±0.62	7.88±0.27	2.92±0.01	25.44±0.30	0.01±0.01
②-하	49.68±0.61	8.70±0.12	3.86±0.03	13.99±0.62	0.02±0.01
③-상	43.95±0.08	5.21±0.11	3.97±0.01	31.49±0.02	0.00±0.00
③-하	47.21±0.28	6.51±0.29	3.63±0.03	27.30±0.23	0.00±0.00
④-상	45.44±0.55	7.20±0.21	6.76±0.04	26.70±0.04	0.10±0.04
④-하	60.12±0.23	8.14±0.00	1.50±0.03	25.25±0.44	0.43±0.12
평 균	50.07	7.61	3.70	25.37	0.11

3.5 가스분석

본 매립지 가스를 채취하여 조사한 결과, 모든 지점에 걸쳐 질소가 68.63~76.56%로 높게 나타났으며 산소는 16.97~19.19%의 범위로 나타나 주류를 이루고 있다. 그 밖의 메탄 및 이산화탄소는 각각 3.13~10.88%, 2.14~2.99%로 나타났는데, 이는 매립이 활발할 때의 메탄 55%, 이산화탄소 45%의 값보다 훨씬 낮게 나타나고 질소 및 산소의 발생비율이 증가하는 것으로 보아 매립가스의 제V기에 접어 든 것을 알 수 있다. 황화수소는 폐기물 매립지에서 발생하는 전형적인 성분으로 눈, 호흡기 등에 자극을 주고 매우 심한 악취를 내는 가스로서 본 채취지점내 가스에는 모두 불검출되었으며, 암모니아가스는 모두 1ppm 미만으로 악취물질배출허용기준인 2ppm 이하로 나타났다.

표 4. 매립지 가스 발생비 (%)

항목	①			②			③			평균
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	
CH ₄	10.88	7.12	5.02	7.74	7.32	4.41	7.45	3.11	3.13	5.66
CO ₂	2.52	2.94	3.17	2.99	2.22	3.08	2.45	2.14	2.84	2.71
CO	0	0	0	0	0	0	1.00	0	0	-
O ₂	16.97	17.23	16.85	16.99	18.11	16.54	17.67	19.19	18.13	17.52
N ₂	68.63	72.71	74.94	72.27	72.34	75.96	73.43	75.56	76.56	73.60
H ₂ S	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
NH ₃	0.93	0.62	0.21	0.55	0.25	불검출	0.78	0.73	불검출	0.5

3.6 침출수

본 매립지의 경우, 비위생매립 형태로 침출수집수정이 설치되어 있지 않아 가스집수정으로 유입된 매립지내 침출수를 채수하여 분석하였다. 분석결과, pH는 중성으로 나타났으며 BOD 및 COD_{Cr}의 값들이 각각 46~67 mg/L, 368~561 mg/L범위로 나타났으며 다른 항목들은 모두 침출수 허용기준 '나지역'을 만족시키고 있다. BOD와 COD의 비율로 침출수 안정도를 평가하면 일반적으로 BOD/COD_{Cr} 비가 0.05~0.2이면 숙성단계, 0.1이하이면 안정된 것으로 평가되는 바, 군문동 침출수는 0.12 정도로 나타났다.

표 5. 매립지 침출수 수질

분석 항목	1차침출수	2차침출수	3차침출수	배출허용기준 '나'
pH (25℃)	7.13	6.76	7.14	5.8~8.0
BOD	60	67	46	70
COD _{Mn}	126.66	220	95.4	150
COD _{Cr}	385.26	561.2	368	800
크롬 (Cr)	0.024	ND	0.175	2
아연 (Zn)	0.686	1.201	2.628	5
구리 (Cu)	0.02	0.025	0.114	3
카드뮴 (Cd)	0.005	0.001	ND	0.1
수은 (Hg)	0.003	0.002	0.028	0.005
유기인	ND	ND	ND	1
비소 (As)	0.002	ND	0.010	0.5
납 (Pb)	0.723	1.3	0.446	1
6가 크롬 (Cr ⁺⁶)	0.009	0.012	0.003	0.5
암모니아성 질소	50	35	73.8	100
총인	3.42	20.27	6.84	8

3.7 지표수

매립지 주변의 하천에 대하여 지표수 조사를 실시한 결과, 모든 하천의 pH는 중성을 띠었으며 BOD는 3.6~9.4 mg/L의 범위이며 부유물질(SS)은 100mg/L이하로 나타났고 그 밖의 사람의 건강보호를 위한 중금속 및 유해물질의 기준치 이내로 분석되었다.

3.8 지하수

본 매립지 주변 지하수 오염물질 확산여부를 파악하기 위하여 매립지 근처의 지하수를 채취하여 분석하였다. 분석 결과, 지하수의 pH는 6.09~7.0으로 모두 중성을 띠었으며 COD는 ③을 제외하고는 모두 6이하로 생활용수 기준을 만족하였고 매립지 하단 ②의 염소이온은 매우 높게 검출되었는데 이는 매립지 옆 하천으로 방류되는 생활하수의 영향때문인 것으로 생각된다. 그 밖의 특정오염물질은 모두 검출되지 않았으며 침출수로 인한 영향은 없는 것으로 판단된다.

표 6. 매립지 지하수 수질

항 목	①			②			③			지하수 수질기준			
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	생활용수	농업용수	공업용수	
일반 오염 물질	pH	6.45	6.35	6.62	7.00	6.21	7.05	6.09	6.33	6.20	5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0
	COD	3.4	3.5	3.4	2.4	3.5	5.2	6.6	10.0	7.8	6	8	10
	대장균군수	ND	ND	ND	ND	ND	<50	ND	ND	ND	5,000	-	-
	NO ₃ -N	0.7	0.61	ND	0.08	0.05	0.32	0.089	0.66	0.22	20	20	40
	Cl ⁻	42.45	41.34	56.51	994.9	390.48	294.41	68.2	51.35	40.26	250	250	500
특 정 오 염 물 질	카드뮴	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01	0.01	0.02
	비소	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	0.05	0.1
	시아	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.2
	수은	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	페놀	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.005	0.005	0.01
	납	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	0.1	0.2
	6가크롬	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	0.05	0.1
	TCE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	0.06
PCE	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01	0.01	0.02	

3.9 주변토양

본 매립지 주변의 토양오염 여부를 파악하기 위하여 토양공정시험법으로 분석한 결과, Pb 5.78~35.78 mg/kg, Cu 0.58~5.31 mg/kg, Cr⁺⁶ 0.17~1.61mg/kg의 범위로 검출되었으며 폐놀, 유기인, 시안 등은 모든 지점에서 불검출되어 조사 토양 모두가 토양오염 우려기준(가지역)을 만족하는 것으로 나타났으며 침출수로 인한 영향은 없는 것으로 판단된다.

표 7. 매립지 토양 용출

항 목	①			②			③			④			우려기준 가지역
	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	1차	2차	3차	
Cu	5.31	7.09	13.1	5.04	7.75	8.82	1.94	5.57	1.09	0.58	4.51	4.74	50
Pb	5.78	1.04	20.68	19.11	5.76	6.65	6.89	3.3	2.35	35.78	32.09	2.39	100
Cd	0.09	ND	0.41	0.19	ND	0.16	1.15	ND	0.08	0.12	ND	0.12	1.5
Hg	0.02	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	0.05	ND	ND	0.05	ND	4
As	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	ND	0.04	0.01	ND	0.06	0.06	6
Cr ⁺⁶	1.61	0.2	0.02	1.07	0.21	0.02	0.47	0.17	ND	0.38	0.12	0.01	4
CN	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2
폐놀류	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4
유기인	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	10

4. 분석결과 평가

본 매립지에 대하여 환경부의 ‘사용종료매립지 정비지침’의 안정화 조사기법에 따라 폐기물 및 침출수, 가스, 지표수, 하천수, 토양 등의 시료를 채취하여 각각의 공정시험방법에 의거하여 분석을 수행한 결과, 매립폐기물 안정화정도 및 주변환경오염도에 대하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 폐기물

- (1) 매립폐기물의성상조사를 한 결과, 토사 및 기타류가 45.10~64.68%로 가장 높게 나타났으며 음식물류는 거의 검출되지 않아 매립폐기물 자체는 비교적 안정화 단계에 있음을 확인할 수 있었다.
- (2) 삼성분 분석 결과, 회분이 47.49%, 수분 31%, 가연분 21.19%의 비율로 검출되었으며 용출농도 분석 결과, 각 항목들의 유해물질 함유기준치의 농도보다 낮게 검출되었다.
- (3) 원소분석 결과, 탄소 50.07%, 산소 25.37%, 수소 7.61%, 질소 3.70%, 황 0.11%의 순으로 검출되었으며 C/N 비는 약 13.5로 매립폐기물내 유기물질이 거의 분해가 완료되고 있는 것을 알 수 있으며 토사성분중 가연물 함량은 약 1.83%로 낮게 검출되었다.

2) 매립가스

- (1) 매립가스 조사 결과, 질소 68.63~76.56%, 산소 16.97~19.19%, 메탄 3.11~10.88%, 이산화탄소 2.14~2.99%로 검출되어 매립가스의 제V기에 접어 든 것으로 판단되어 진다.
- (2) 눈, 호흡기 등에 자극을 주고 매우 심한 악취를 내는 황화수소(H₂S)는 모두 불검출되었으며, 암모니아가스는 모두 1ppm 미만으로 악취물질배출허용기준인 2ppm 이하로 나타났고 매립종료 후 경과년수에 따른 가스 발생량을 추정하였을 때, 시간이 경과할수록 가스발생량은 줄어들며 매립경과 30년이 지나면 약 1.8 m³/day 정도로 가스가 발생될 것으로 추정된다.

3) 침출수

- (1) 침출수 분석결과, pH는 중성으로 중금속에 의한 오염은 증가하지 않으며 BOD 및 COD_{Cr}의 값들은 각각 46~67 mg/L, 368~591 mg/L범위로 나타났고 다른 항목들은 모두 침출수 허용기준 ‘나지

역'을 만족시키고 있다.

(2) BOD/COD_{Cr} 비는 0.12로 거의 안정화단계에 있음을 알 수 있다.

4) 지반안정도

(1) 시추조사와 표준관입시험을 수행한 결과, 매립층은 지표하 6.1m 범위까지 분포하며 1.5~6.1m에서는 음식물, 비닐·플라스틱류, 나무·폴류, 섬유류, 가죽·고무, 기타 등을 함유하고 있는 것으로 나타났다.

(2) 기준점과 침하판의 레벨을 측량한 결과, 침하는 거의 일어나지 않은 것으로 나타났으나 추후 상부에 구조물이 계획되는 경우에는 보다 정밀한 지반조사가 필요할 것으로 판단된다.

5) 주변환경오염도

(1) 매립지 주변의 안성천 조사 결과, 하천수질환경기준중 IV등급인 농업용수 기준치를 만족하였으며 주변 지하수 분석 결과, pH는 6.09~7.0이며 COD는 대부분 6이하로 생활용수 기준을 만족하였고 특정오염물질은 모두 기준치 이하로 검출되었다.

(2) 주변 토양오염 분석 결과, Pb 5.78~35.78mg/kg, Cu 0.58~5.31mg/kg, Cr⁺⁶ 0.17~1.61mg/kg의 범위이며 페놀, 유기인, 시안 등은 모든 지점에서 불검출되어 조사 토양 모두가 토양오염 우려기준(가지역)을 만족하는 것으로 나타나 침출수에 대한 주변환경오염도의 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 정하익(1998), 지반환경공학, 유림
2. 환경부(2001), 사용종료매립지 정비지침
3. 황대규(2000), "비위생 매립지의 전향적 해법", 토목학회지, Vol48, No.7, pp78~87.
4. 정하익(1999), 위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술, 한국건설기술연구원
5. 정하익(1999), 비위생매립지의 복원기술, 한국건설기술연구원