

비위생폐기물매립지의 주변토양 및 지하수 오염분석 사례

한완수, 정수봉, 신미지, 이재영, 최상일*, 한중근**

서울시립대학교 환경공학부, *광운대학교 환경공학과, **중앙대학교 건설환경공학과
hanws@sidae.uos.ac.kr

<요약문>

비위생폐기물매립지 8개소에 대해 주변토양과 지하수에 대해 분석을 실시하였다. 토양환경보전법과 지하수의수질보전등에관한규칙에 규정된 전항목을 분석하여 얻은 결과 주변토양의 경우 휘발성유기화합물질 등은 검출되지 않았으며 중금속류는 대부분 토양오염우려기준치를 만족하였으나 D매립지 주변 토양에서 Cu가 기준치를 초과하였다. 지하수의 경우 COD가 일부 매립지를 제외한 나머지 매립지에서 모두 생활용수기준치를 초과하였으며, 페놀도 기준치 이상의 농도가 검출되었고 J매립지 지하수시료에서는 NO₃-N이 기준치를 약 20배나 초과하였다.

Key word : 비위생폐기물매립지, 주변토양, 지하수

1. 서 론

지속적인 경제개발에 따른 환경보전인식의 미흡으로 인해 토양 및 지하수 오염문제는 심각한 수준에 이르렀으며 유류와 유독물 저장시설 및 송유관에서의 유출사고로 인한 토양 및 지하수오염이 새로운 환경현안으로 부상하고 있는 가운데 비위생폐기물매립지의 침출수로 인한 주변토양 및 지하수오염 또한 심각한 환경문제로 인식되고 있다. 이러한 환경적 영향의 확산방지와 오염원을 제거하기 위해서는 정확한 현장조사와 더불어 적절한 처리방안의 필요성이 요구되고 있다. 본 연구에서는 대표적인 비위생폐기물매립지 8개소를 선정하여 주변토양 및 지하수 분석 사례를 통한 주변환경오염의 정도를 파악하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 조사대상 매립지 현황

본 조사대상 매립지는 현장방문 조사와 문헌자료 등을 통해 선정하였으며 또한 지역별, 매립지 특성별, 주변환경 등을 고려하여 선정하였다. 선정된 매립지 중에 관측정의 설치가 용이한 나대지나 농경지로 이용되고 있는 비위생폐기물매립지 8개소를 최종적으로 선정하여 주변토양 및 지하수 오염분석을 실시하였다. [표 1]에 조사대상 매립지의 일반적인 현황을 나타내었다.

2.2 시료채취 및 분석방법

2.2.1 주변토양

조사대상 매립지의 환경영향권으로 판단되는 매립 부지 경계선으로부터 50m 이내의 범위에서 4개의 채취지점을 선정하였다. 토양시료의 채취 및 보관은 토양오염공정시험방법에 따라 시료를 채취하여 분석항목별 보관방법으로 보관한 후 실험실로 운반하여 토양오염공정시험법 전항목에 대해 분석을 실시하였다. 조사대상 매립지 중에서 C와 D매립지의 경우 지역적인 특성으로 인하여 3개 지점만을 선정하여 시료를 채취하였고 A, C, D, E, F, G매립지의 경우 토양오염공정시험방법개정 이전에 분석함에 따라 추가된 F, Zn, Ni, TCE, PCE 항목은 분석에서 제외되었다. 분석결과는 토양환경보전법의 나지역토양오염우려기준치와 2002년도 토양측정망실태조사결과를 적용하여 검토하였다.

표 1 조사대상 매립지 현황

매립지	매립 종료시기	면적 (천㎡)	매립량 (천톤)	매립고 (m)	토지 이용	지역 특성
A	93년 12월	18.4	46.0	4.0	나대지	내륙, 하천변
B	95년 06월	5.6	56.0	15.0	나대지	계곡형, 농장인근
C	94년 12월	10.9	54.0	5.0	농경지	내륙, 하천변
D	96년 10월	9.0	94.0	10.4	나대지	계곡형, 군부대
E	97년 01월	11.0	30.0	2.7	나대지	내륙, 평지
F	99년 12월	26.0	50.0	2.0	나대지	해안, 국도변
G	92년 05월	27.0	269.0	10.0	나대지	계곡형, 취수지 인근
H	02년 02월	9.5	28.0	1.0	나대지	계곡형, 공장인근

2.2.2 지하수

본 조사를 위해 기존의 설치된 지하수 검사정과 매립지 주변지형 및 지하수 흐름방향 등을 고려하여 신규로 설치한 지하수 검사정을 통해 지하수를 채취하였으며, 채취된 지하수시료는 수질오염공정시험방법의 시료보존방법에 따라 보존하여 보존기간 이내에 지하수의수질보전등에관한규칙[별표 3]의 규정에 의한 생활용수기준항목에 대해 분석을 실시하여 결과를 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 주변토양

매립지 주변토양을 분석한 결과 유기인, PCB, 페놀류, TCE, PCE, BTEX, TPH는 모든 시료에서 검출되지 않았으며 중금속류의 농도는 나지역 토양오염우려기준에 훨씬 미치지 않았다. 그러나 D 매립지의 지점2에서 Cu 농도가 252.95mg/kg으로서 기준치인 200mg/kg을 초과하였으며 Hg은 1.50mg/kg, Pb은 26.54mg/kg로서 기준치를 초과하지는 않았으나 다른 매립지의 토양보다 높은 함량을 나타내었다. D 매립지 경우 비교적 높은 중금속 함량의 분석결과는 매립지에 의한 영향보다는 인근에 존재하는 공장지역에 의한 오염으로 판단된다. 따라서 주변에서 오염물질이 유입되지 않도록 대책을 마련해야 할 것으로 판단된다. 분석결과를 2002년 전국토양망 측정결과와 비교하여 보면 Cd의 경우 D매립지 주변토양의 평균농도는 0.06mg/kg으로서 전국평균 0.096mg/kg 에는 미치지 않으나 약 63%정도의 수준을 나타내었으며, 자연함유량 0.135mg/kg보다는 훨씬 낮은 결과치를 보였다. As는 E와 F매립지 주변토양에서 각각 평균 0.10mg/kg, 0.14mg/kg의 함량을 보여 전국토양As함량 평균치인 0.152mg/kg에 근접한 농도를 나타내었다. Hg은 D, E, F, G매립지 주변토양에서 전국평균농도인 0.051mg/kg를 초과하는 결과를 보였다. Pb은 D매립지 외 G매립지 주변토양에서도 평균 8.62mg/kg으로 기준치에는 미치지 못하나 다른 매립지의 주변토양의 Pb함량보다 높은 분석결과를 보였으며, Cr⁺⁶은 F와 H매립지를 제외한 나머지 매립지 주변토양에서 전국평균농도인 0.011mg/kg보다 높은 분석결과를 보였다. B 매립지와 H 매립지의 주변토양의 경우 토양오염공정시험법 개정에 따라 새로이 추가된 항목인 F, Zn, Ni은 모두 기준치보다 낮은 결과를 보였으며 F의 경우 각각 평균 612.25mg/kg, 47.75mg/kg으로서 B매립지의 주변토

양에서는 평균 612.25mg/kg의 결과를 보여 기준치의 약 77%정도의 수준을 보였고, 전국평균치보다 약 2배 이상 초과한 결과를 보였다. Zn은 B매립지의 주변토양에서 평균 56.25mg/kg, H매립지의 주변토양에서 평균 123.89mg/kg의 분석결과를 보여 H매립지 주변토양에서 전국평균농도를 초과하였다. Ni도 매립지의 주변토양에서 전국평균농도를 초과하였다. H매립지 주변토양에서는 평균 0.22mg/kg의 CN이 검출되었으며, 분석결과치는 기준치에는 훨씬 미치지 못하나 전국평균농도 0.01mg/kg보다 초과하였다. 본 조사에서 분석한 결과를 토대로 판단하였을 때 매립지에 인한 주변환경의 오염영향은 받고 있지 않은 것으로 판단된다.

표 2 주변토양 분석결과

(단위 : mg/kg)

매립지	항목	Cd	Cu	As	Hg	Pb	Cr ⁶⁺	Zn	Ni	F	CN
	우려기준	12	200	20	16	400	12	800	160	800	120
A	1	0.04	3.07	0.05	0.12	7.40	0.63	-	-	-	ND
	2	0.02	2.43	0.04	0.06	2.36	0.24	-	-	-	ND
	3	0.03	1.17	ND	0.03	3.26	0.38	-	-	-	ND
	4	0.00	1.77	0.04	0.04	1.85	0.29	-	-	-	ND
	평균	0.02	2.11	0.03	0.06	3.71	0.38	-	-	-	ND
B	1	ND	1.65	0.01	ND	2.41	ND	71.03	ND	652.48	ND
	2	0.04	0.21	ND	ND	2.30	0.02	82.37	ND	573.20	ND
	3	0.15	0.53	ND	ND	1.08	0.05	26.37	2.35	638.49	ND
	4	ND	1.10	ND	ND	1.83	0.10	45.24	4.22	584.86	ND
	평균	0.05	0.87	ND	ND	1.90	0.04	56.25	1.64	612.25	ND
C	1	ND	1.67	ND	ND	2.62	0.74	-	-	-	ND
	2	0.04	1.80	ND	0.16	4.04	0.68	-	-	-	ND
	3	ND	2.10	ND	0.10	0.90	ND	-	-	-	ND
	평균	0.01	1.86	ND	0.09	2.52	0.47	-	-	-	ND
D	1	ND	1.13	ND	0.11	3.33	0.12	-	-	-	ND
	2	0.18	252.95	0.19	1.50	26.54	0.79	-	-	-	ND
	3	ND	1.67	ND	0.17	2.95	0.14	-	-	-	ND
	평균	0.06	85.25	0.06	0.59	10.94	0.35	-	-	-	ND
E	1	ND	3.25	ND	0.19	4.60	0.86	-	-	-	ND
	2	ND	4.10	0.08	0.17	6.02	0.53	-	-	-	ND
	3	ND	3.02	0.30	0.17	2.43	0.79	-	-	-	ND
	4	0.04	0.00	ND	0.16	ND	ND	-	-	-	ND
	평균	0.01	2.59	0.10	0.17	3.26	0.55	-	-	-	ND
F	1	ND	1.34	0.54	0.11	2.21	ND	-	-	-	ND
	2	ND	0.38	ND	0.09	5.33	ND	-	-	-	ND
	3	0.02	0.38	ND	0.07	4.99	ND	-	-	-	ND
	4	0.03	1.05	0.03	ND	6.00	ND	-	-	-	ND
	평균	0.01	0.79	0.14	0.07	4.63	ND	-	-	-	ND
G	1	0.03	4.51	ND	0.12	14.36	0.26	-	-	-	ND
	2	0.03	2.24	ND	0.10	6.00	0.37	-	-	-	ND
	3	0.02	3.08	ND	0.08	10.00	0.50	-	-	-	ND
	4	ND	1.29	ND	0.14	4.11	0.00	-	-	-	ND
	평균	0.02	2.78	ND	0.11	8.62	0.28	-	-	-	ND
H	1	ND	0.70	ND	ND	7.26	ND	128.32	29.27	ND	0.08
	2	ND	1.17	ND	ND	3.17	ND	117.23	10.83	ND	ND
	3	0.07	0.39	ND	ND	6.96	ND	119.61	26.22	158.00	0.67
	4	0.10	6.76	ND	ND	3.82	ND	130.40	9.42	33.00	0.11
	평균	0.04	2.26	ND	ND	5.30	ND	123.89	18.94	47.75	0.22
2002 전국평균		0.096	3.792	0.152	0.051	5.989	0.011	80.531	13.807	255.065	0.010
자연합유량		0.135	3.995	0.560	0.085	5.375	-	-	-	-	-

3 2 지하수

지하수 시료를 분석하여 지하수의수질보전 등에관한규칙[별표 3] 생활용수 기준을 적용하여 검토한 결과 COD는 0.9~189.4mg/l 범위의 농도를 보여 A와 B매립지를 제외한 나머지 매립지의 검사점에서 대부분 기준치인 6mg/l 를 초과하였다. 또한 NO₃-N는 F매립지 지점4의 지하수시료에서 406.7mg/l가 검출되어 생활용수 기준치인 20mg/l 를 크게 초과한 것으로 나타났다. 이는 침출수에 의해 지하수가 오염되었다는 것을 예상할 수 있고 이에 따라 시급한 대책이 필요한 것으로 판단된다. 특히 G매립지의 경우 인근에 취수장이 위치하고 있어 심각성을 더해주고 있는 실정이다. J매립지의 경우 해안가 근처에 위치하고 있어 Cl이 최고 799.9mg/l의 분석결과를 나타내었다. C, D, F, G매립지에서는 폐놀의 농도가 기준치 이상의 농도를 나타내어 이 또한 매립지 침출수에 의한 영향으로 판단된다. 유기인, PCB, TCE, PCE, CN, As, Cr⁺⁶, Pb, Hg, Cd 등의 기타항목은 검출되지 않았다.

표 3 지하수 분석결과 (단위 : mg/l)

매립지	항목	pH	COD	NO ₃ -N	Cl	대장균	Phenol
	기준치 (생활용수)	5.8-8.5	6	20	250	5000 (MPN/100ml)	0.01
A	1	7.2	3.1	0.01	9.2	<2	ND
	2	7.2	13.0	13.72	19.9	<2	ND
	3	7.0	2.2	1.77	17.8	<2	ND
B	1	7.4	2.06	0.86	4.01	<2	ND
	2	6.7	3.8	0.22	6.12	<2	ND
C	1	7.3	58.4	0.27	68.4	2400	0.01
	2	6.2	72.2	2.71	61.7	61	0.01
	3	6.4	69.5	0.78	23.9	56	0.01
	4	6.2	63.7	0.46	49.4	665	0.01
D	1	7.2	58.9	12.63	53.1	305	0.01
	2	7.1	14.7	0.15	30.9	65	0.01
	3	7.4	189.4	1.33	36.7	55	0.01
	4	7.1	0.9	6.66	23.9	<2	0.01
E	1	6.7	47.2	0.02	39.6	87	ND
F	1	7.5	16.0	0.13	32.1	<2	0.02
	2	6.9	7.7	15.16	36.0	16	0.02
	3	6.2	4.0	0.50	94.4	<2	0.02
	4	6.1	97.2	406.7	799.9	465	0.02
G	1	6.4	9.8	0.52	177.1	55	0.01
	2	6.4	80.0	2.67	196.5	710	0.01
	3	6.5	35.7	0.20	133.0	23	0.01
	4	6.7	13.1	0.02	21.5	18	0.01
H	1	7.6	7.2	4.30	25.0	240	ND
	2	7.7	12.6	5.70	53.7	23	ND
	3	7.7	7.9	5.00	49.5	13	ND

4. 결 론

본 연구에서 조사된 8개소의 비위생폐기물매립지에 대해 주변토양과 지하수를 분석하여 주변환경으로의 오염영향을 조사한 결과 주변토양은 D매립지의 지점2에서 Cu의 농도가 토양환경보전법의 나 지역 오염우려기준을 초과하였으며, Hg과 Pb이 다른 매립지의 주변토양에 비해 높은 함량을 보였다. D매립지의 Cu 항목을 제외한 나머지 매립지의 분석결과는 기준치를 만족하는 것으로 나타났다. 매립지 현장 조사 결과 매립지 복토층의 파손에 의한 오염원의 유출 또는 매립폐기물의 운반·매립 중에 비산된 폐기물은 확인되지 않았으며 침출수의 지표유출 또한 확인되지 않았다. 따라서 조사대상 매립지에 의한 주변토양으로의 영향은 미치지 않는 것으로 판단된다. 그러나 우려지역기준치와 2002년 전국토양망 측정결과를 초과한 토양시료의 분석결과를 볼 때 매립지 주변에 위치한 인근공장에 의해 영향을 받은 것으로 보인다. 지하수 분석결과 일부 매립지를 제외하고는 대부분 지하수에서 COD가 생활용수 기준치를 초과하였으며, F매립지에서 NO₃-N이 기준치를 크게 초과하였고, 5개 매립지 지하수 시료에서 폐놀이 기준치 이상의 분석결과를 나타내었다. 이러한 결과 또한 침출수의 유출로 인한 오염으로 판단된다. 본 조사연구에서 토양시료는 매립지 주변토양의 표토층(0~15cm)을 채취하여 분석한 결과로서 보다 더 정확한 오염영향을 파악하기 위해서는 Geoprobe 등의 시료채취장비를 통해 심도별 분석이 필요할 것으로 판단되며 또한 예비조사 등을 통해 오염개연성이 높은 지역을 중심으로 오염확산범위 파악을 위한 집중적인 분석이 필요할 것이다. 또한 매립지는 토사에 의해 복토가 이루어져 있으므로 강우시 우수의 침투에 의한 침출수 증가에 의해 오염이 확산되었을 가능성도 존재하므로 토양유기물질도 비위생폐기

물매립지 정밀조사시 필요한 분석항목으로 추가되어야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 2003년 6월 지하수의수질보전등에관한규칙이 개정되어 지하수의 수질기준 항목 중 COD가 삭제되고 일반세균과 BTEX 등의 휘발성유기물질 항목이 추가되었다. 따라서 앞으로는 추가된 항목에 대한 분석도 이루어져야 할 것이나 삭제된 COD항목은 폐기물매립지의 진단 및 복원과 침출수의 유출여부를 판단하기 위해 계속적으로 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다. 본 분석사례를 통해 보다 더 정확한 영향파악을 위해서는 폭넓은 오염영향조사와 더불어 오염물질의 제거뿐만 아니라 차단 등의 광범위한 방법에 대한 논의가 필요할 것이다.

5. 참고문헌

- 1) 김동우, 박성원, 이재영, 이평구, 불량폐기물 매립지의 오염에 관한 고찰, 지하수토양환경학회지, Vol6, No2, p32-38, 2001.
- 2) 이재영 외 5인, 사용종료매립지 유형별 정비지침 수립 및 정비사업 추진체계 개선방안에 관한 연구, 서울시립대학교 도시과학연구원, 2002.
- 3) 첨단환경기술, 토양 및 지하수 오염 대책기술. 1997.
- 4) 환경부, 2002년도 토양 측정망 및 실태조사 결과, 2003.
- 5) 환경부, 사용종료매립지 정비지침, 2001.