

연구제목: 전주 서신지구 폐기물 매립지역 및 야 적장 주변의 오염 토양 예비 조사

오 창환 (전북대학교 지구환경학과)

1. 국내 폐기물 매립장의 문제점

우리나라와 같이 인구밀도가 높은 나라에서는 산업화와 도시화의 부산물로 산출되는 생활 및 산업폐기물 처분에 따른 토양을 비롯한 주변환경 오염이 대단히 중요한 문제이다. 앞으로 산출될 폐기물의 처리는 차치하고라도 기존에 폐기물 매립이 완료되어 방치해 두었거나 새로운 용도로 사용하고자 개발하고 있는 과거 매립장 부지들에서 나타나는 침출수에 의한 매립장 주변 토양 및 수질의 오염문제의 해결이 시급하다. 그러나 국내 폐기물 매립장으로 부터 누출되는 침출수에 의한 토양 및 지하수를 비롯한 주변 환경오염 문제에 대한 연구는 서울 난지도 매립장에 대한 기초적인 조사외에는 거의 전무한 상태이다. 따라서 폐기물 매립장 주변의 토양을 비롯한 환경오염의 조사와 오염된 환경의 복원에 대한 연구가 매우 시급하다. 특히 최근 개발지역들은 과거 폐기물 처분장이었던 지역이 많고 오염이 복구되어야 할 매립장이 많이 존재한다.

매립지로 부터 발생된 침출수를 차단하기 위하여는 다음과 같은 세가지 방어책을 사용할 수 있다. 제 1 방어책은 폐기물의 고온, 화학적, 물리적 혹은 생물학적 처리과정을 통해 유해물질을 둔화시키거나 감소시킨다. 제2방어책은 거의 불투수성과 높은 흡착능력을 지닌 매립지 지반을 선정하여 지속적으로 유해물질에 대해 저항력을 갖도록 한다. 제 3방어책은 매립지에 기초 차단구조와 표면차단구조를 설치함으로써 유해물질에 의한 환경오염을 막는다. 단순매립에 의한 처리 이후 지하수와 지반이 오염되면 오염된 복원하기 위하여 지하의 오염경로를 파악하여야 하고 그 결과에 근거하여 기초차단구조와 표면차단구조 설치 이외에 매립지 주변을 수직차단막으로 에워싸야 한다. 이를 수행하기 위하여는 앞에 제시한 세가지 방어책에 비해 더 큰 비용이 소요되기 때문에 안전한 매립지 선정 및 시공은 안정성의 측면뿐 아니라 경제적인 측면에서도 중요하다.

독일에서는 매립할 폐기물의 종류에 따라 매립지의 선정기준이 다르며 대부분의

매립지 선정시 다음 사항이 필수적으로 고려되어야 한다. 매립지의 하부가 매립지 지하수위로 부터 최소한 1m 이상 떨어져야 하며 지반의 투수계수가 10^{-9} m/sec보다 작아야한다. 이는 매립장 침출수를 지하수와 격리 시켜 지하수의 오염을 방지하기 위함이다. 그 이유는 지하수가 이동성이 있어 오염을 주변지역으로 확산시키는데 중요한 역할을 하기때문이다. 부지선정에 따른 지하수의 오염정도의 차이는 그림 1에서 잘 보여지고 있다. 그림 1-1에서와 같이 점토질로 이루어진 표토로 덮여진 지역에 처분장이 선정된 경우 불투수성에 의해 지하수로의 침출수의 침투가 방지된다. 반면 그림 1-2에서와 같이 석회암과 셰일로 이루어진 경사진 퇴적암층이 투수성이 높은 사질 및 역질로 이루어진 표토층에 의하여 덮여진 지역에 매립장이 설치된 경우 침출수가 전혀 정화되지 못하고 빠르게 이동되어 지하수를 오염시키고 오염된 지하수는 주변의 토양뿐만 아니라 대수층인 석회암층을 통하여 이동하여 매립장에서 멀리 떨어진 지역까지 오염시키게 된다. 그리고 그림 1-3에서와 같이 균열이 발달된 결정질암을 기반으로 하는 모래와 점토로 이루어진 표토 지역에 매립장이 설치될 경우 침출수가 지하수면으로 이동되어 오는 동안 일부 정화되어 균열이 발달된 결정질암의 일부가 오염된다. 하지만 표토층이 너무 얇고 투수성이 높거나 지하수위가 가까우면 침출수가 지하수면에 도달하는 속도가 빨라 자연정화 능력이 감소하여 균열이 발달된 결정질암내의 지하수가 광범위하게 오염된다. 결론적으로 지하수위가 지표로 부터 깊고 지하수위까지 불투수층 혹은 투수성이 낮은 지하매체로 이루어진 지역을 매립지로 선정하면 매립장의 안정성을 높일 수 있을 뿐 아니라 입지조건이 좋지 않은 위치에다 매립지를 시공하는데 필요한 고도의 전문적 기술적이 방어책이 필요없어 매립지 설치 비용을 감소시키는 경제적인 이점도 있다.

과거 국내의 폐기물 매립장은 대부분 앞에 설명한 지질학적 조사에 기초한 부지선정작업을 거치지 않고 행정편의 위주로 선정되어졌다. 그 결과 대부분의 매립장은 부지 매입이 편리하고 폐기물 운반및 처리가 편리한 계곡이나 하천가에 집중되어 배치되어있다. 계곡이나 하천가는 지하수면이 거의 지표면과 일치할 뿐 아니라 지하수 및 지표수가 모여져 하천으로 이동하는 장소이다 (그림 2). 하천지역의 표토층은 대부분 모래와 자갈로 이루어져 투수성이 매우 높다. 따라서 계곡이나 하천에 설치된 매립장으로 부터 침출수 발생시 침출수의 지하로의 차단구조가 설치되지 않을 경우 직접 지하수를 오염시키고 오염된 지하수는 주변의 토양과 하천등의 환경을 빠른 속도로 오염시킬 것이다. 과거 대부분의 국내 매립장에서는 침출수의 지하로의 침투를 방지하기

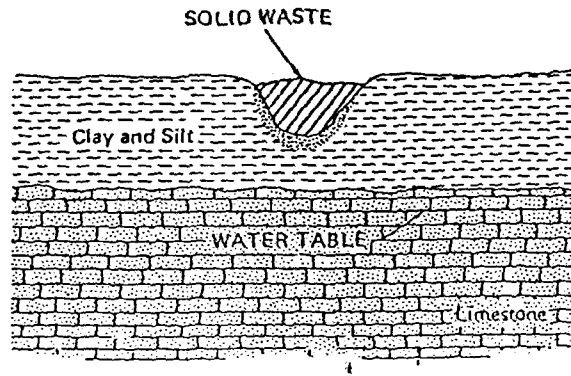


Figure 1-1

Most desirable landfill site in a humid environment. Waste is buried above the water table in a relatively impermeable environment. (After W. J. Schneider, U.S. Geological Survey Circular 601F, 1970.)

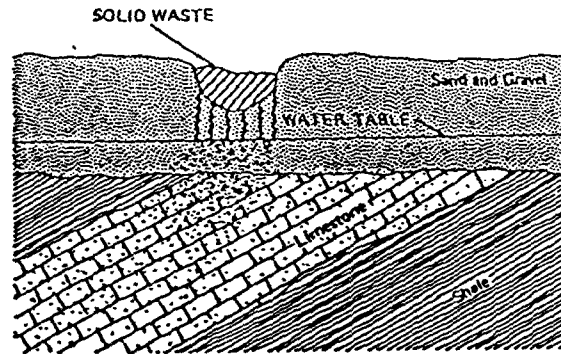


Figure 1-2

Solid-waste disposal site where the waste is buried above the water table in permeable material in which leachate can migrate down to fractured bedrock (limestone). The potential for groundwater pollution may be high because of the many open and connected fractures in the rock. (After W. J. Schneider, U.S. Geological Survey Circular 601F, 1970.)

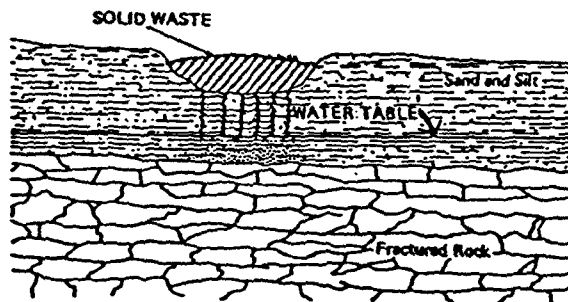


Figure 1-3

Waste-disposal site where the refuse is buried above the water table over a fractured rock aquifer. Potential for serious pollution is low because leachate is partially degraded by natural filtering as it moves down to the water table. (After W. J. Schneider, U.S. Geological Survey Circular 601F, 1970.)

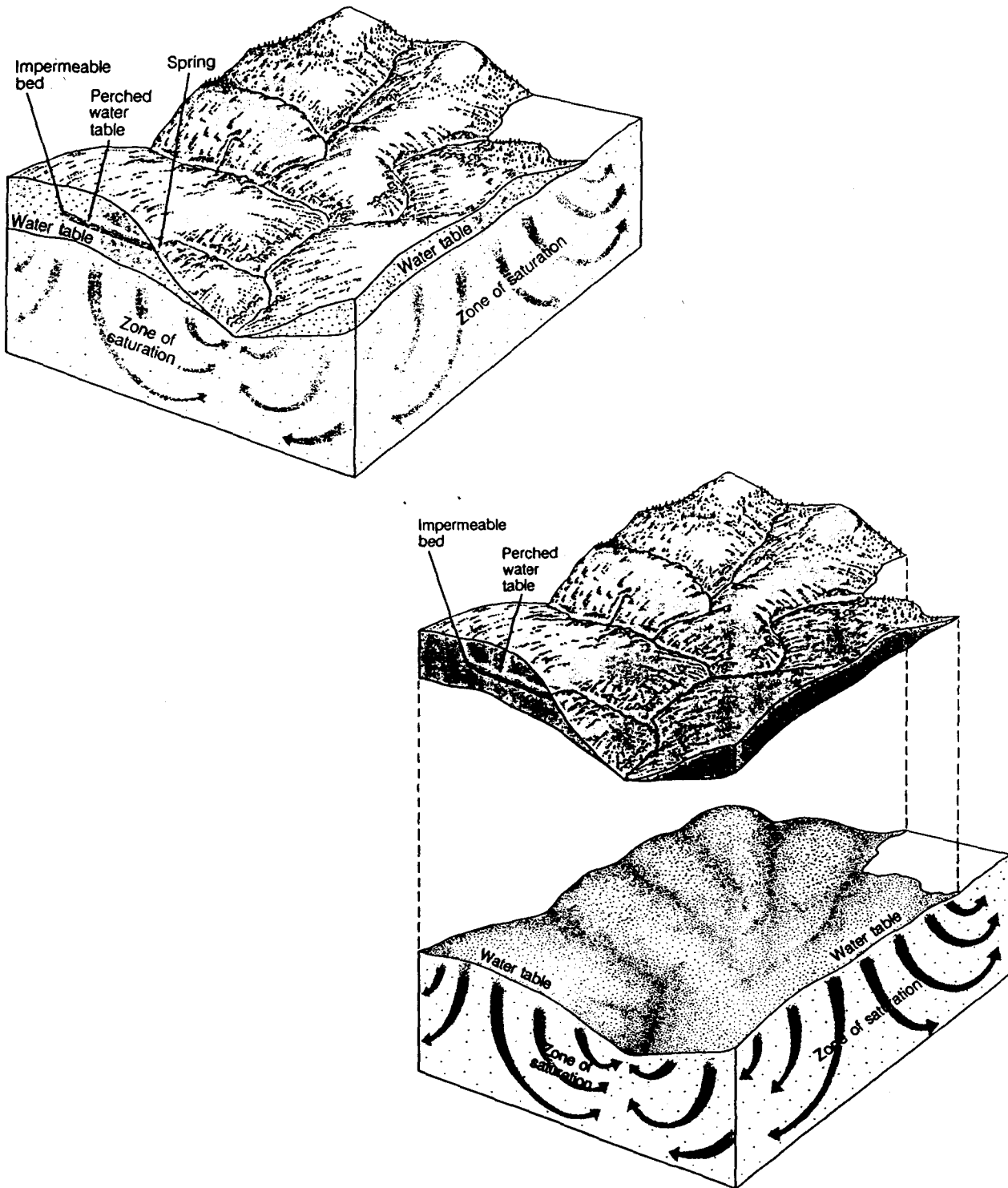


Figure 2

The movement of groundwater is directed toward areas of least pressure. In the idealized system depicted here, groundwater moves downward to the water table (by the pull of gravity) and then moves toward areas of least pressure. The configuration of the water table has a strong influence on the direction of movement. In most areas, the water table is a subdued replica of the topography: the exploded view (B) shows high and low areas in the water table much like the hills and valleys on the surface. Differences in the

height of the water table cause differences in the pressure on water in the saturation zone at a given point. Water thus moves downward beneath the high areas of the water table (because of the higher pressure) and upward beneath the low areas. It commonly seeps into streams, lakes, and swamps, where the table is near the surface. In areas where the water table is low, water from streams and lakes moves downward toward the zone of saturation. A line of springs and seeps commonly occurs where an impermeable rock layer that has formed a perched water table is exposed at the surface.

위한 차단구조를 설치하지 않고 다순매립을 하였기 때문에 이러한 침출수에 의한 지하수의 오염과 이에 따른 주변 토양과 하천의 오염문제가 심각하여 이에 대한 대책이 절실하다.

2 연구대상지역과 그 주변지질

전주시 서신지구에는 대체로 북쪽 방향으로 흐르는 전주천과 삼천천이 만나는 지점에 매립이 완료된 서신동 폐기물 매립장이 위치하고 있으며 두 하천이 만나는 지점에서 삼천천 남쪽 마전리 지역에는 과거 전주 외곽지역으로서 매립이 완료된 산업폐기물 처분장과 일반 폐기물 매립장이 위치하고 있다 (그림 3).

서신지구의 지반은 주로 화강암으로 이루어져있으며 석회암이 소규모 분포한다. 서신동 폐기물 매립장과 마전리 산업 및 일반폐기물 처분장은 화강암 지역에 위치하고 있다. 매립장 주변지역에 대한 시추 자료에 의하면 매립장 주변 지역 표층부로 하천에 의한 퇴적된 호박돌, 잔자갈, 모래등으로 구성된 사력층이 3 - 4 m 두께로 발달되어 있다. 지표에서 암반까지의 깊이는 지역에 따라 다소의 차이를 보이며 대략 7 - 17 m이다. 일부 지역에서는 2 m 정도 두께의 모래질 실트층이 사력층과 함께 나타나기도 한다. 이러한 조사 결과는 본 연구지역이 하천의 대체적으로 상류에 위치함으로서 역을 포함한 투수성이 큰 사력층의 퇴적물이 퇴적 분포하고 있으며 국부적으로 유속이 매우 느려진 부분에서 모래질 실트층이 형성된 것을 지시한다.

마전리 매립장의 서쪽에 높은 지역이 분포하기 때문에 이 지역의 지하수가 매립장 동쪽에 위치한 삼천천으로 흘러들어 가며 마전리 매립장의 하부는 지하수위 보다 낮다. 자연적인 조건만으로 볼때 서신동 매립장으로 삼천천과 전주천 사이 지역의 지하수중 일부가 이동되어져 올 것이며 이들 지하수가 매립장의 침출수와 섞여져서 두 하천으로 이동할 것이다. 하지만 서신동 매립장 남동쪽에 조성된 서신동 대규모 아파트 단지에서 지하수를 상수로 사용하는 관계로 지하수의 이동 방향이 바뀌어 질 수 있다. 마전리와 서신동 매립장의 기저을 이루고 있는 화강암지역에서는 지하수가 절리와 단층과 같은 균열대를 따라 흐르기 때문에 서신동 아파트 단지에서의 대규모 지하수의 사용은 균열대를 확대시켜 주변 하천수는 물론 이들 매립장의 침출수가 아파트 단지로 이동되어질 수 있다. 서신동 매립장의 하부도 지하수위 보다 낮은 위치에 있다.

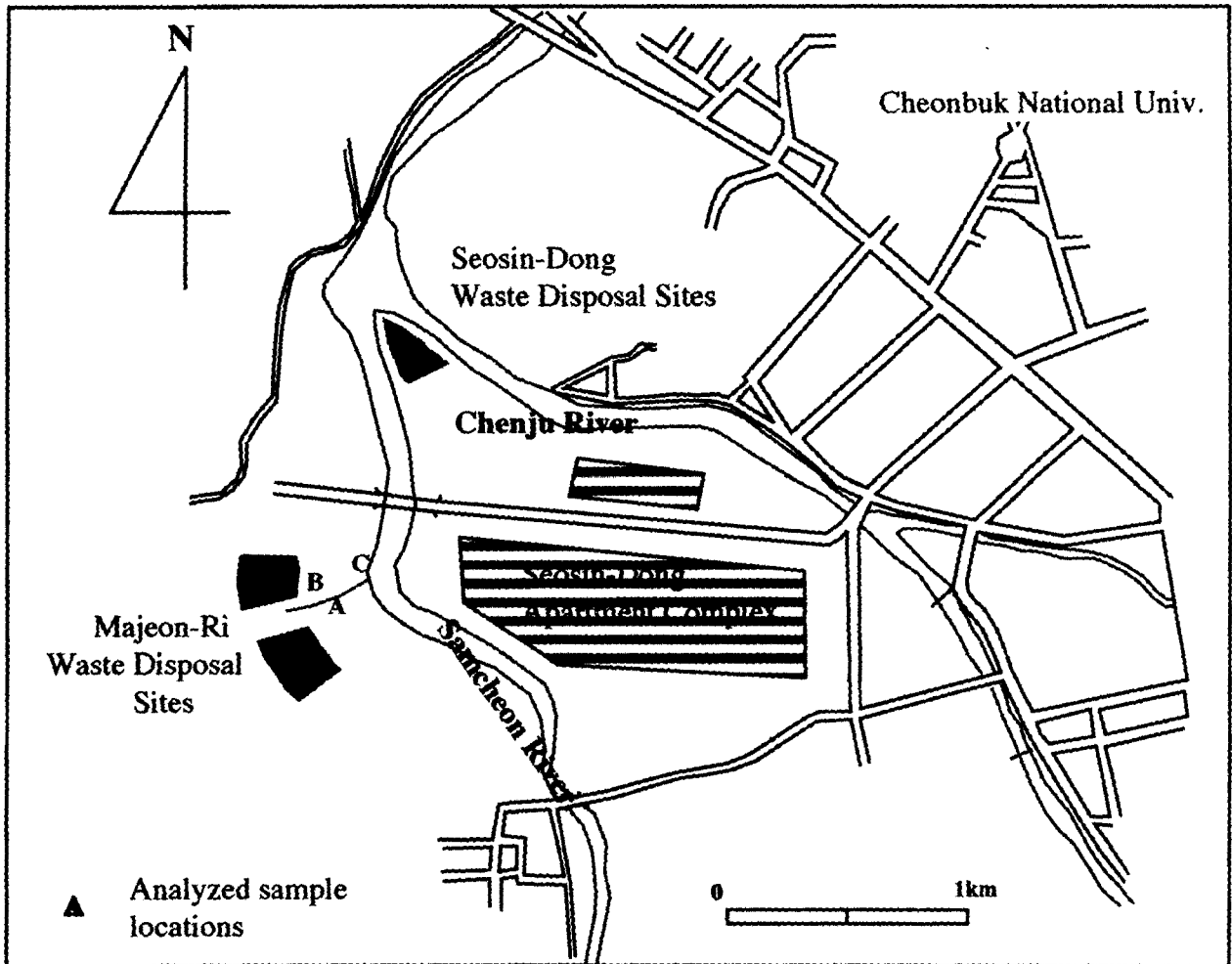


Fig.3 The locations of Waste Disposal Sites.

이들 자료를 종합하여 보면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 서신동과 마전리의 폐기물 매립장에서 지하수위 보다 낮은 매립장 하부와 매립장 하부를 이루고 있는 투수성이 높은 사력층에 의해 매립장에서 발생한 침출수는 직접 지하수를 오염시키며 오염된 지하수는 빠르게 이동하면서 주변의 토양과 하천을 오염시킬 것을 예상 할 수 있다. 또한 서신동 아파트 단지의 대규모 지하수 사용이 계속되면 침출수가 아파트 단지 쪽으로 이동할 가능성이 있다. 마전리 산업 폐기물 매립장은 침출수 차단구조와 침출수 처리 공장이 시설되어 있어 침출수에 의한 주변환경 오염 문제는 없을 것으로 생각되지만 만약 차단구조가 손상되었거나 제대로 시공이 되지 않았을 경우 마전리 산업 폐기물 쓰레기에서 발생된 침출수도 주변의 지하수와 주변토양을 빠르게 오염시킬 것이다.

3. 예비조사 결과

서신동 및 마전리 일반 폐기물 매립장에 대한 침출수, 주변하천수, 그리고 토양에 대하여 5차에 걸친 조사를 실시하였다. 1차와 2차 조사는 각각 1995년 8월과 10월에 실시되었으며 이 때는 3년간 가뭄이 계속된 상태였고 강우량이 매우 적었다. 3차, 4차 그리고 5차 조사는 각각 1996년 2월, 5월 그리고 7월에 실시되었다. 이중 5차 조사는 많은 양의 강우가 내린 후에 실시되었다.

서신동 일반 폐기물 매립장에는 침출수가 발생되고 있고 이들 침출수는 표 1에서와 같은 Cr, Mn, Fe, Cd 등의 중금속 성분에 의하여 오염되어 있으며 중금속양이 먹는물 수질 기준치를 수배 혹은 수십배 까지 초과하는 경우가 있는 것이 확인되었다. 또한 마전리 지역의 일반 폐기물 처분장의 침출수와 지하수가 Mn과 Fe 성분에 의하여 오염되어 있는 사실이 확인되었다. 또한 가뭄의 피해가 컸던 1995년도에 채취된 샘플에서는 서신동 매립장 주변의 하천이 Mn에 의하여 오염되었던 사실이 인지되었다. 그리고 많은 비가 내린 후 채취된 5차 시기의 샘플을 제외하고는 서신동 매립장 근처의 하천내의 Mn 양은 오염상태에 매우 가깝다.

서신동 및 마전리 매립장의 표토에 대한 예비조사 결과는 표 2와 같다. 분석결과를 살펴보면 5차 조사를 제외하고는 서신동 매립지에서 채취된 침출수와 접촉하고 있는 토양내의 중금속의 양이 주변하천내의 중금속의 양보다 높다. 또한 마전리 매립장에서는 지하수와 접하는 토양샘플이 하천으로 부터 채취된 토양보다 높은 Mn양을 함유하고 있다. 이는 침출수에 의하여 매립지 주변 토양이 오염되고 있다는 사실을 지지하고 있다. 5차시기에 매립장 주변의 하천 토양내의 중금속의 양이 매우 높게 나타나고 있으나 현재 이에 대한 이유는 확실치 않다. 매립지의 토양의 Cd에 대한 오염은 농경지, 주거 및 여가 지역으로서의 토양오염 우려기준치를 넘어서서 대책기준에 육박하고 있음을 알 수 있다. 또한 Pb는 농경지로서의 토양오염 우려기준을 초과하는 경우와 Zn은 주거지 및 여가지역으로서 토양오염 기준치를 초과하는 경우가 인지되었다. 이들 토양 샘플들은 지표에서 채취되어 실제로 침출수와 많은 접촉을 하지 않은 토양층으로 생각되기 때문에 토양 샘플을 좀 더 깊은 곳에서 하게 되면 토양의 오염도가 증가되어 나타날 것으로 예상된다.

폐기물 매립장 주변지역의 지하수를 오염시키고 있는 Mn과 폐기물 처분장의 표

토를 오염시키고 있는 중금속들인 Cd, Pb, Zn은 폐기물 매립장의 침출수에서도 중요한 오염 물질임을 고려할 때 이들 매립장 주변의 토양및 지표수 및 지하수의 중금속의 오염은 매립장에서 발생한 침출수에 기인하는 것으로 생각된다. 그리고 이러한 사실은 매립장 주변의 토양을 비롯한 환경이 중금속 뿐만이 아니라 폐기물에서 배출되는 음이온이나 유기물에 의하여 오염되어 있을 가능성을 제시한다.

연구지역에서 이러한 매립장에 의한 주변 토양및 수질의 오염문제가 더욱 심각한 이유는 서신지구에 대규모 아파트 단지가 개발되고 있으나 상수의 부족으로 지하수를 개발하여 상수로 대체 사용되고 있기 때문이다. 이러한 대규모 아파트 단지에서의 지하수 개발과 이용은 매립장으로 부터 누출된 침출수와 오염된 하천수를 지하로 유입시켜 지하수와 지하매체의 오염을 초래할 것이다. 또한 서신지역 매립장의 일부는 택지로 분양되어질 계획이나 이들 지역에서 오염된 토양층은 물론 폐기물도 완전히 제거되지 않았을 뿐 아니라 제거된 폐기물 처리문제도 심각한 과제로 부각되고 있다. 결론적으로 서신지구의 폐기물 매립장의 주변 환경 오염 문제는 전주시의 서신지구 개발과 맞물려 그 문제가 증폭되어지고 있어 이에 대한 환경 오염 방지및 오염제거가 시급한 실정이다.

표 1. 데립장 침출수 및 주변 하천과 지하수의 중금속 성분

(단위: ppm)

		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb	pH	온도
1	1차 (b)	0.080	1.590	5.020	13.120	9.740	0.570	1.860	8.27	30.40
	2차 (a)	1.869	2.261	9.777	7.762	4.341	0.444	10.484	8.03	24.40
	3차 (b)	0.519	0.210	6.630	0.284	0.356	0.000	0.080	8.24	11.40
	4차 (b)	0.035	2.135	1.945	-0.002	0.017	0.005	0.006	7.55	18.60
	5차 (b)	0.070	7.730	0.459	0.004	0.050	0.002	0.039	7.31	31.90
	5차 (b)	1.015	2.510	1.640	0.175	0.270	0.040	0.025	7.79	22.40
2	1차	0.001	0.377	0.916	0.685	0.539	0.018	0.176	7.55	30.40
	2차	0.001	0.772	0.052	0.002	0.014	0.001	0.033	7.13	19.90
	3차	0.005	0.244	0.131	0.003	0.012	0.003	0.007	8.16	7.70
	4차	0.031	0.280	0.173	0.005	0.005	0.000	0.023	7.42	18.70
	5차	0.018	0.060	0.109	0.002	0.009	0.001	0.001	8.15	27.40
3	3차 (a)	0.008	1.185	12.110	0.006	0.007	0.005	0.002	7.74	5.20
	3차 (b)	0.004	3.261	26.160	0.000	0.008	0.010	0.011	7.07	
	3차 (c)	0.008	0.613	0.117	0.004	0.006	0.001	0.001	8.31	7.20
	4차 (b)	0.007	4.071	21.720	0.011	0.005	0.002	0.001	6.99	28.60
	4차 (c)	0.015	0.182	0.100	0.004	0.002	0.001	0.013	7.56	17.90
	5차 (c)	0.010	0.038	0.065	0.002	0.001	0.002	0.009	8.88	29.70

1: 서신동 데립장 침출수 (a), 침출수 + 우수 (b); 2: 서신동 데립장 주변 하천;
 3: 마전리 산업폐기물 데립장 및 일반 데립장 침출수 (a), 지하수 (b), 하천수 (c)

표 2. 매립장과 주변하천의 토양내의 중금속성분

(단위: ppm)

		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Cd	Pb
1	1차	67.632	511.510	30820	28.927	112.830	04.324	104.340
	3차	67.698	452.600	28427	09.843	88.844	04.123	104.670
	5차	73.300	387.000	27400	46.800	156.150	02.850	
2	1차	52.419	284.320	23747	22.450	89.402	03.887	88.541
	1차	47.681	404.420	25668	28.151	127.690	03.531	75.060
	3차	56.987	318.480	27489	29.516	169.130	03.615	84.940
	4차	50.000	260.000	21915	29.050	153.600	02.250	
	5차	100.450	415.000	34900	64.600	293.000	03.450	
3	1차 (A) (소하천 퇴적물)	45.691	488.980	25518	28.648	126.380	03.382	95.902
	3차 (B) (1M지하)	38.875	859.170	24742	19.041	86.722	02.082	65.747
	3차 (C) (1M지하)	46.707	299.590	26724	24.779	136.150	03.284	122.820
	4차 (주하천 퇴적물)	52.250	278.000	25750	41.450	189.250	02.850	
	5차 (하천주변 습지)	64.250	388.000	27700	18.050	131.650	03.250	
	5차 (주하천 퇴적물)	47.600	311.000	22305.	18.950	116.650	02.750	

1. 서신동 매립장 침출수 검측 토양; 2. 서신동 매립장 주변 하천; 3. 마전리 산업폐기물 매립장 및 일반 매립장.