

국내 특정폐기물의 매립현황

이 동 수

송실대학교 화학공학과
(1992년 6월 10일 접수)

Landfill of Hazardous Wastes in Korea

Dong-Soo Lee

Department of Chemical Engineering, Soong Sil University
(Received June 10, 1992)

Abstract: Although landfill has been heavily relied upon as a final hazardous waste disposal method in Korea, the legal and technical problems associated with the landfill severely hinder proper disposal of hazardous wastes. The single largest legal problem is simply that, in spite of the recent amendments, the law regulating the hazardous waste landfill is yet in its primitive stage that even the lawful landfill sites cannot be regarded safe. The technical problems include improper selection of landfill sites, poor design and construction of landfill facilities, and lack of QA/AC and post-closure cares. These technical problems stem from inexperience and lack of resources. For the reduction of the potential danger from the improper landfills of hazardous wastes, it is an immediate need to further refine the law and to resolve the technical problems.

1. 특정폐기물배출 및 처리 처분 현황

개정된 폐기물 관리법의 분류체계에 따른 특정 폐기물의 공식적인 발생량은 아직 알려져 있지 않다. 따라서 개정이후의 특정폐기물의 발생량 및 처리현황을 예측하기 위해서는 개정이전의 분류 체계상, 현재의 특정폐기물과 그 성상이 가장 비슷한 특정산업폐기물을 중심으로 산업폐기물의 발생 및 처리현황을 살펴볼 필요가 있다. 우선 발생량을 보면, 표 1에^{1, 2)} 나타난대로 특정산업폐기물은 전체 산업폐기물의 약 3% 내지 4%에 이르며 무게를 기준으로 1984년 이래 해마다 약

15% 정도의 증가율을 보여왔는데 이는 같은 기간 동안 전체 산업폐기물이 약 10% 정도 증가한데 비해 상대적으로 빠른 증가를 하고 있음을 나타내 준다. 그 결과 1989년 이후 특정산업폐기물이 차지하는 비중이 전체 산업폐기물의 4%를 넘어 서게 되었으며 그 총 발생량은 1990년의 경우 전체 산업폐기물 발생량 22,425,000톤의 약 4.3%인 968,000톤에 이르게 되었다. 1991년의 폐기물관리법 개정에 따른 분류체계에 의하면, 특정폐기물은 과거의 특정 산업폐기물 대부분과 일반산업폐기물의 일부를 포함하고 있으므로 그 증가경향이 과거의 전체 산업폐기물의 증가경향과 비슷하거나 그를 웃돌아 해마다 10% 이상이 될 것으

표 1. 연도별 산업폐기물 발생현황 단위(톤/일)

구 분		1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
계		31354	33949	37065	40307	51230	57645	61411
특 정 산 업	소 계	909	1020	1558	1505	2013	2310	2652
	특 정 유 해	50	67	87	104	127	162	225
	폐 유	220	228	290	321	434	434	521
	폐 합성 유지	239	189	306	372	546	682	827
	폐산 페알칼리	400	535	875	708	906	1032	1079
일 반 산 업	소 계	30445	32329	35507	33802	49217	55335	58759
	유 기 물 류	6136	6140	6365	7797	15170	15953	17326
	무 기 물 류	24309	26189	29142	31005	34047	39382	41433

로 예측할 수 있으며, 발생량의 경우, 과거의 산업폐기물 중 약 34%가 특정폐기물로 분류될 것으로 예측되어²⁾ 앞으로의 특정폐기물의 발생량은 연간 7,600,000톤을 넘어설 것으로 전망된다.

한편, 산업폐기물의 처리 및 처분현황을 살펴보면, 표 2³⁾에 수록된대로, 1990년의 경우 재생이용이 전체 산업폐기물의 54.4%, 소각이 약 3.1%, 매립이 33.3%, 기타 약 9.2%로서 재생이용과 매립이 주된 처리방법이며, 특정산업폐기물은 재생이용이 전체 발생량 968,000톤 중 547,000톤으로 약 56.5%를 차지하고 있으며,

소각이 27.2%, 매립이 약 2.6%, 기타 13.7%인 것으로 나타나 일반산업폐기물의 처리방법에 비하여 소각의 이용이 높은 반면 매립에 의한 처리의존도가 매우 낮음을 알 수 있다. 그러나 새로운 분류체계에 따른 특정폐기물의 경우, 무게를 기준으로 보면 과거의 일반산업폐기물에 해당하는 것이 대부분으로 보여지며 따라서, 기존의 폐기물 처리관행에 큰 변화가 없다면, 앞으로 특정폐기물의 약 30%가량은 매립에 의하여 처리될 것으로 예측된다.

표 2. 1990년 산업폐기물 발생 및 처리현황 단위(톤/일)

구 분	발 생 량	방법별 처리량				
		재 생 이 용	소 각	매 립	기 타	
계		61411	33406	1874	20474	5657
특 정 산 업	소 계	2652	1499	721	68	364
	특 정 유 해	225	52	132	14	27
	폐 유	521	201	189	19	112
	폐 합성 수지	827	279	400	30	118
	폐산 페알칼리	1079	967	-	5	107
일 반 산 업	소 계	58759	31907	1153	20406	5293
	유 기 물 류	17326	7578	1145	6422	2181
	무 기 물 류	41433	24329	8	13984	3112

2. 특정폐기물 매립 현황

국내의 특정폐기물 매립현황을 알기 위해서

는 먼저 관련법규의 검토가 필요하고, 이들 법규에 따른 자가처리와 위탁처리업소의 매립설비 보유현황, 이들에 의한 폐기물의 실제 매립

관행 등이 연구되어야 할 것이다. 또한 그간의 법제상의 미비점과 법시행상의 여러 문제점으로 인하여 부적절하게 혹은 불법적으로 이루어진 매립에 대한 부분도 논의되어야 할 것으로 보인다. 그러나 처리업소들의 매립설비 보유현황, 실제의 매립관행 등에 대해서는 매우 포괄적으로 조사된 것 이외의 공식적인 자료는 아직 미비한 상태이며, 더우기 부적절한 혹은 불법적인 매립에 대한 공식적인 자료는 전혀 없기 때문에 그간의 특정폐기물 매립의 현황을 정확하게 파악하는 것은 매우 어려운 일로 보인다.

2.1. 특정폐기물 관리법

국내의 폐기물관리법 및 폐기물관리법시행령은 1991년 3월과 9월에 각각 개정되었다. 개정 이전의 경우 산업폐기물의 매립설비와 관련된 부분을 보면, 첫째, 매립설비의 면적은 33,000m², 용량은 100,000m³ 이상이 되도록 규정하고 있으며, 둘째, 매립시 폐기물의 운반 및 살포에 관련된 장비, 압축 및 복토에 필요한 장비 등의 보유를 규정하고, 셋째로는 매립물질 및 침출수로 인한 주변환경 및 지하수의 오염을 방지하기 위한 설비의 필요성, 지하수질 감시용 우물의 설치 등을 매우 개괄적으로 규정하고 있다. 이러한 매립설비는 폐기물의 배출업자나 혹은 처리업자가 사전에 필요한 절차를 마치고 허가를 얻은 후 운용할 수 있도록 되어 있다. 법개정 이후의 경우, 특정폐기물의 최종처리업으로서의 매립설비허가의 일차적 요건으로, 첫째, 면적이 10,000m² 또는 용량이 30,000m³ 이상인 것, 매립에 필요한 장비로 중량 15톤 이상의 불도저 1대 이상, 바켓용량 0.6m³ 이상의 굴삭기 1대 이상 등을 두고 있다. 또한 매립설비의 유형을 차단형, 관리형, 칩전지형, 안정형으로 구분하고 각각의 설비에 대하여, 면적 및 용량, 차수층 및 옹벽의 구조 및 재료, 성능에 대한 매우 기본적인 요건등을 명시하고 있다. 예를 들면, 관리형 매립설비의 경우, 매립가능면적이 1,000m² 이상 또는 용량이 3,000m³ 이상이 되어야 하고, 바닥 및 측면의 차수재료로서 점토 혹은 고밀도 폴리에틸렌(High Density Polyethylene)등의 사용을 권고하고, 투수계수가 1×10⁻⁷cm/sec 이하가 되어야 함을 규정하고 있다. 또한, 침출수

집수, 저장 및 처리시설의 설치, 발생가스의 포집 및 처리시설의 설치 등을 규정하고 있다.

이상에서 간단히 살펴본 바와 같이, 특정폐기물의 매립설비의 건설 및 운용을 위한 구비요건은 법개정 이전에는 매우 개괄적이며 단편적이어서 이에 근거한 매립설비의 건설이나 운용이 특정폐기물을 안전하고 적절하게 매립되도록 하기는 매우 어려웠을 것으로 보인다. 폐기물관리법의 개정을 통하여 구비요건들이 좀더 세분화 및 구체화 되기는 하였지만 여전히 매우 개념적으로 기술되어 있는데 그치고 있는 것이 사실이다. 따라서 특정폐기물의 매립에 의한 자가 및 위탁처리가 안전하고도 적절하게 이루어지기 위해서는 특정폐기물 매립설비에 대한 상세한 시설기준 및 구조지침이 작성되어야 하며 이에 따른 매립설비의 건설 및 운용을 이루게 할 수 있는 법적 정비가 시급히 뒤따라야 할 것으로 보인다.

2.2. 국내의 특정폐기물 매립설비의 현황

각종 사업장에서 발생하는 특정폐기물은 배출업소에서 자체처리하거나 허가를 받은 처리업소에서 위탁처리되고 있다. 이 중 1990년의 경우 위탁처리의 경우만을 살펴보면, 위탁처리되는 산업폐기물량의 약 90.6%가 매립에 의한 것이었다. 한편, 1991년말 현재, 수탁처리업소 중 특정폐기물을 매립할 수 있는 설비를 보유하고 있는 업소의 수는 환경관리공단이 운영하는 화성과 온산의 사업소를 제외하면 전국에 8개소에 지나지 않는다.⁴⁾ 이들 8개의 사설처리업소 중 6개업소가 자본금이 5억 이하인 비교적 소규모 업소이며 이들 대부분이 1991년 1월 이후에 매립설비를 사용하기 시작하여 이들이 보유한 매립설비의 구조 및 성능, 운영현황에 대한 자세한 자료는 알려져 있지 않고 있는 실정이다. 따라서, 지난 1987년 10월 이후 가동이 시작되어 매립설비의 사용기간이 어느정도 경과하였으며, 또한 최근의 기술조사를 통하여 그 매립설비의 구조가 비교적 잘 알려진 화성 사업소의 경우를 살펴보면 우리나라의 매립현황을 간접적으로 파악하는데 도움이 될 듯하다. 여기서 한 가지 고려되어야 할 것은, 이 화성 사업소의 매립설비는 정부차원에서 특정폐기물을

적절하게 관리하기 위하여 건설한 첫번째 매립 설비로서, 그 이전부터 사용되어 온 국내의 대부분의 다른 매립설비보다 우수한 구조를 가진 것으로 보아야 할 것이라는 점이다.

본래 폐기물의 매립설비는 유해한 폐기물이 최종처분된 후 주변환경으로 다시 누출되어 환경을 오염시키고 인체에 나쁜 영향을 주는 것을 장기간에 걸쳐 방지하기 위해 이용된다. 이러한 폐기물 매립지의 이용목적은 달성하기 위해서는 건설의 계획단계에서부터 입지의 선정, 설계 및 시공, 매립완료후의 사후관리 등이 매우 조심스럽고 철저하게 이루어지지 않으면 안된다. 특히 매립될 폐기물의 유해성이 큰 특정폐기물의 경우, 부적절한 매립이 초래할 수 있는 환경오염과 이로 인한 피해는 매우 심각하므로 그 매립설비의 건설 및 이용은 더욱 엄격한 관리를 필요로 한다. 따라서 매립설비의 총체적인 적정성평가는 그 입지선정의 타당성, 설계 및 시공의 적정성, 매립완료후의 사후관리 대책의 치밀함 등의 평가를 통하여 간접적으로 이루어질 수 있으며, 이와 더불어, 매립이 이루어진 후에는 침출수 누출감시용 주변지하수의 분석, 누출감시장비(lysimeter)를 이용하여 채취된 시료의분석 등을 통하여 좀더 직접적인 평가가 이루어질 수 있을 것이다.

2.2.1. 입지선정의 타당성

화성사업소의 경우 매립설비의 적절한 입지 선정 및 설계를 위하여 사전에 조사된 자료로는 첫째로 1985년 9월에 극동기초산업 주식회사에 의해서 실시된 지질조사가 있다.⁵⁾ 그 주요내용은 10개의 시추조사를 통하여 얻어진 지하지질에 관한 정보로서, 지질은 지표로부터 표토, 풍화잔류토, 풍화암, 연암 등의 순서로 구성되어 있는 것이 밝혀졌다. 표토는 세사와 실트가 섞인 퇴적층으로서 유기물이 함유되어 있고 그 두께는 약 0-1.3m이며 풍화잔류토는 모암인 편마암이 풍화작용을 받아 토사화된 풍화대의 상층부로서 두께는 0.2-1.3m에 이르렀다. 다음의 풍화암은 풍화대의 하부로서 지질구조 상태가 보존되어 있으며 그 두께는 0.2-17.5m이고 연암은 기반암으로서 지질분류상 화강편마암에 속하며 두께는 13-20m정도로 균열과 절리가

심한 것으로 관측되었다. 지하수위 및 각층의 투수계수도 측정되었는데 지하수위는 0.1m에서 0.3m에 이르며 투수계수는 모든 층에 걸쳐 $6.5 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 에서 $2.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 인 것으로 판명되었다. 이 밖에도 표준관입시험(S. P. T)을 통하여 각 토층의 지지력과 구조상태, 구성물질등이 파악되었다.

입지 평가와 관련된 두번째 자료로는 롯데기공에서 화성사업소 전반을 위해 실시한 주요환경영향검토⁶⁾가 있는데 이 자료는 매우 초보적이고 간략한 것으로서 이중 매립지와 관련된 부분을 요약하면 다음과 같다.

“강수량이 연 평균 1,118mm으로서 비가 많은 지역에 속하며 6월에서 9월까지 연간 강수량의 약 60%가 집중되어 집중우기시 우수에 의한 침수가 예상된다. 지형적으로도 이 지역은 간척지이기 때문에 저지대로서 우기에 북쪽의 야산으로부터 배출되는 우수로 인한 침수현상을 방지하기 힘들 것으로 판단된다. 또한 지하수위가 지표면으로 부터 약 1m밖에 되지않아 침출수로 인한 지하수오염 가능성이 높은 것으로 예상된다.”

한편 점토 차수층(clay liner)을 이용한 폐기물 매립설비의 입지와 구조는 주변의 지질학적인 환경을 신중히 고려해서 결정되어야 한다. 따라서 매립설비의 설계이전에 그 지역의 인문 사회적 환경에 대한 파악과 더불어, 기후, 입지의 지형(topography), 지하지질(subsurface geology), 수리지질의 파악이 선행되어야 하는데 이를 위해서는 입지에 대한 광범위한 사전 탐사가 필요하다. 입지의 지형지도(topographic map)는 지형조사를 통하여 결정되며 지하지질에 대한 정보는 암반까지의 깊이, 암반의 형태나 종류, 암반의 fracture, cavity, joint등의 여부, 토양의 투수계수, hydrologic pathway의 존재여부 등이 포함되며 boring을 통한 토양의 분석도 필요하다. 토양의 분석에는 Atterberg Limit, 입자크기의 분포, 수축 및 팽창 가능성, 양이온교환능력, 밀도와 수분함량, 강화(consolidation)특성, 유기탄소함량, 분산 및 압축도, shear strength, chemical compatibility, 다짐후의 투수계수 등 광범위한 분석이 바람직하다. 수리지질에 대한 정보에는 지하수위, 지하수의

수평 및 수직방향의 흐름, hydrogeologic pathway, 지하수위의 계절적 변화, aquifer의 위치와 사용정도 등이 포함된다. 일단 입지에 대한 탐사가 완료되면 이로부터 얻어지는 각종 정보 및 자료는 매립설비의 설계 및 시공에 중요한 역할을 한다. 입지의 지형은 매립설비의 크기나 외형의 결정에 영향을 주며 지하지질에 대한 자료는 입지의 토양이 점토차수층을 위해 사용될 수 있는지 혹은 다른 곳에서 채취해야 할지를 결정하기 위해 필요하다. 또한 토양에 대한 정보는 매립설비의 기초(foundation)의 설계에 있어서도 매우 중요하다. 토양의 특성은 폐기물 매립시 가해지는 중량에 의한 지반의 강하(settlement)에 대한 대책과 침출수 누출시 오염물질의 확산방지책을 결정하는데 영향을 준다. 수리지질에 대한 자료는 침출수의 누출감시를 위한 감시정(monitors well)의 위치를 결정하는데 우선적으로 중요하며, fractureTMsand seam과 같은 hydrologic pathway를 파악하여 이에 대한 대책이 전체 매립설비구조에 반영되도록 하기도 한다. 또한 매립지의 깊이의 결정에는 지하수위에 대한 정보가 매우 중요하다.

이상에서 살펴본 바와 같이 적절한 매립지의 선정과 매립설비의 설계를 위해서는 광범위한 사전 조사가 필수적이다. 이러한 점에 비추어 볼 때 화성사업소의 경우 충분한 조사는 이루어지지 않았던 것으로 보인다. 또한 조사된 자료를 보면 매립설비의 입지로서 매우 부적절한 몇 가지 점이 눈에 띈다. 즉, 조사당시의 지하수위가 0.0m-0.3m정도로 지표면에서 매우 가까워 매립설비가 지상형(above ground landfill)으로 하기에 어려운 정도이고(지상형의 경우 토지의 효율적 이용도 제한된다). 이와 같이 높은 지하수위는 부지의 투수계수가 매우 높다는 점과 더불어 침출수 누출시 빠르게 지하수를 오염시켜 입지로서 적절하다고 보기는 어려울 것으로 판단되며 여기에 더하여 저지대, 하절기의 집중호우 등의 지형적, 기후적으로 부적절한 조건도 눈에 띈다. 이러한 부적절한 조건에 대한 적절한 대책이 마련되지 않은 상태에서 매립설비의 설계 및 시공이 진행된 것을 보면 입지로서의 적정성의 여부에 대한 파악 및 평가가 충분히 이루어지지 않은 상태에서 입지로서 선정

된 것으로 보인다.

외국의 경우 매립지로서의 적정성을 체계적으로 평가하기 위한 기법이 많이 개발 사용되고 있다. 이와는 대조적으로 국내자체의 체계적인 평가기법은 개발되어 있지 않다. 따라서 외국의 기법중 미국에서 표준화되어 널리 사용되고 있는 Landfill Site Rating Method(LeGrand-Brown Method)⁷⁾ 중 Waste-Soil-Site Interaction Matrix법을 사용하여 화성사업소 매립설비의 입지에 대한 타당성을 평가해 보는 것은 의미 있는 일일 것이다. 이 방법에서 제일 중요한 수리지질학적인 네 가지 인자는 매립예정지와 가장 가까운 상수원과의 거리, 지하수위, 지하수위의 구배, 지하지질의 투수계수와 이동저하율(Attenuation Capacity)이며 이들과 더불어 매립될 폐기물의 물리화학적, 생물학적 특성, 인체 및 환경에의 유해성 등이 고려되어 최종 결과를 점수로 나타내는데 그 점수는 10가지로 구분되는 군(Class)의 어느 하나에 속하게 되어 타당성의 정도를 나타내는 지표가 된다. 총점이 약 500점 이하일 경우(Class 1-Class 5), 입지로서 타당성이 있고 그 이상이 되는 경우(Class 6-Class 10)는 부적격한 것으로 판정되는데 점수가 높아져 Class 10에 가까이 갈수록 매립지로서는 부적격한 것을 의미한다. 화성사업소의 경우 계산에 필요한 매립지에 관한 자료는 앞에서 언급한 사전조사자료와 1991년 11월에 한서엔지니어링(주)에 의해서 이루어진 화성유해산업폐기물 처분장 수리지질조사⁸⁾의 결과를 사용했으며 상반되는 자료와 불확실한 자료에 대해서는 그 값들의 변화 가능성을 모두 고려하여 범위로서 계산하였다. 자세한 계산 과정 및 결과는 뒤의 표 3에 수록되었다. 이 방법에 따르면 화성사업소 매립지의 경우 총점이 1750-2180정도로 매우 높아 Class 9내지 Class 10에 속하는 최악의 입지로 나타났다. 외국의 판정기준을 기계적으로 국내의 경우에 적용하는 것은 다소 무리가 있지만 외국의 기준으로 보아 거의 최악에 가까운 조건을 가진 매립지가 국내의 경우라해서 좋은 매립지가 된다고는 볼 수 없을 것이다. 따라서 현 화성사업소의 매립설비가 위치한 입지는 특정폐기물 매립지로서의 타당성을 가지고 선정되었다고 보기는 <표 3> Waste

Soil-Site Interaction Matrix

SOIL		Soil group		Hydrology group			Site group		Total	
		Permeability (1-10)	Sorption (1-10)	Water Table (1-10)	Gradient (1-10)	Infiltration (1-10)	Distance (1-10)	Thickness of Porous Layer (1-10)		
WASTE			5	5	10	7	3	3	10	
EFFECTS GROUP	Human Toxicity (1-10)	7	35	35	70	49	21	21	70	301
	Groundwater Toxicity (0-10)	9	45	45	90	63	27	27	90	387
	Disease Transmission Potential (1-10)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BEHAVIORAL GROUP	BEHAVIORAL PERFORMANCE SUBGROUP									
	Chemical Persistence (1-5)	4-5	20-25	20-25	40-50	28-35	12-15	12-15	40-50	172-215
	Biological Persistence (1-5)	3-4	15-20	15-20	30-40	21-28	9-12	9-12	30-40	129-172
	Sorption (1-10)	3-8	15-40	15-40	30-80	21-56	9-24	9-24	30-80	129-344
	BEHAVIORAL PROPERTIES SUBGROUP									
	Viscosity (1-5)	5	25	25	50	35	15	15	50	215
Solubility (1-5)	2-5	10-25	1-25	20-50	14-35	6-15	6-15	20-50	86-215	
Acidity/Basicity (1-5)	1	5	5	10	7	3	3	10	43	
CAPACITY RATE GROUP	Waste Application Rate (1-10)	6.7	33.5	33.5	67	46.9	20.1	20.1	67	288.1
Total										1750.1 2180

자료: Canter, L. W., Ground Water Quality Protection. Lewis Publishers, Chelsea, MI. 1988.

어려울 것이다.

2. 2. 2. 매립설비구조의 타당성

매립설비는 가능한 적절한 입지에 건설되어

야 함은 매우 당연한 일이다. 그러나 어느 이유에서든 매립지로서 결함이 많은 입지에 건설되어야 한다면 최소한 그 결함으로 야기될 문제점을 예측하고 거기에 대처할 수 있는 기술적 대

책을 마련하여 설계시 전체 매립설비의 구조에 반영시키지 않으면 안 될 것이다.

일반적으로 특정폐기물을 위한 매립설비의 주요 구성성분은 차수층(lining system), 침출수집수 설비(leachate collection system), 덮개(cover), 발생기체 포집 및 처리 설비(gas collection and control system), 지표수 제어 설비(run on & run off water control system), 침출수 누출감시 설비(Vadose zone monitoring system & ground water monitoring well)등으로 이루어져 있다. 화성사업소의 특정폐기물 매립설비의 성능도 이들 주요 구성성분의 적정성을 검토함으로써 예측될 수 있을 것이다.

화성사업소의 매립설비의 총 용량은 52,100m³이며, 그 처리대상으로서, 특정폐기물중 환경기준치 이하의 폐기물은 직접 매립되고 기준치 이상의 것은 고형화시켜 용출시험에 의한 기준을 만족시킬 때 매립을 실시하도록 되어 있다. 이와 같은 폐기물의 매립을 위하여 갖추어진 설비의 주요 구성성분은 점토차수층(clay liner), 침출수 집수설비, 침출수 누출감시용 우물(monitoring well)등이다. 이 밖에 덮개, 발생기체 포집 및 처리 설비, 지표수 제어 설비, 불포화지대의 침출수 누출감시 설비(Vadose zone monitoring devices)등은 결여되어 있거나 매우 빈약한 상태에 있다.

2.2.2.1. 덮개, 지표수 제어 설비

매립설비의 구조에 있어서 가장 큰 관심을 끄는 부분중의 하나는 침출수의 저감과 이미 발생한 침출수의 효율적인 집수 및 처리일 것이다. 그 이유는 매립설비로부터의 오염물질누출 및 확산이 주로 침출수를 통해 일어나기 때문이다. 따라서 가능한 침출수의 발생을 억제하여 그 양을 최소화하는 것은 이미 발생한 침출수를 따로 모아서 처리하는 것 이상으로 중요하다. 침출수의 발생원으로는 폐기물자체에 포함되어 있는 수분, 폐기물의 분해시 발생하는 수분 등을 등수 있지만 빗물이나 지표수, 지하수 등 외부로부터 침투한 물이 그 주된 발생원이 된다. 따라서 적절한 매립설비는 이러한 외부로부터의 수분의 침투를 최소화 할 수 있는 구조를 가지고 있어야 한다. 이러한 면에서 볼 때 매립설비의

덮개는 매우 중요한 역할을 한다. 또한 덮개는 매립된 폐기물에서 발생하는 유해기체나 휘발성 유해물질의 대기로의 방출을 억제하는 역할도 한다. 따라서 외국의 경우 덮개는 바닥의 차수층 못지 않은 비중을 두고 설계 및 시공이 이루어진다. 즉, 덮개가 갖추어야 할 요건으로 첫째 바닥의 차수층의 투수계수 이하의 투수계수를 가진 불투수층을 가져야 하며, 둘째 외부로부터 침투한 수분을 모아서 밖으로 배출시키는 집수설비를 갖추어야 하며, 셋째로 자연침식이나 식물의 뿌리, 야생동물의 파헤침 등에 의한 덮개내 불투수층의 손상을 방지하기 위한 보호층을 가지고 있어야 한다. 화성사업소 매립설비의 경우 이러한 의미에서의 덮개는 갖추어져 있지 않으며, 최종매립후의 복도위에 한겹의 합성수지가 덮여 있어 덮개의 역할을 하고 있다. 따라서 비가 올 때 빗물의 침투를 효과적으로 방지하지 못하며 이는 곧 침출수의 양을 증가시키는 원인이 된다.

한편 비가 오는 경우에는 지표수의 흐름 또한 통제되어야 하는데, 매립장 주변에서 매립설비 쪽으로 흐르는 지표수는 매립장 주위를 둘러싸는 도랑 등을 파서 매립설비쪽으로 흐르지 못하게 할 필요가 있으며(이 때 도랑의 내벽은 차수구조를 갖추어야 한다). 매립장으로부터 주변으로 흐르는 지표수는 웅덩이(holding sump)등의 일정한 장소에서 모아 오염여부에 따라 그대로 방류하거나 필요한 경우 처리를 하도록 한다. 이와 같은 지표수의 통제는 특히 많은 비가 내리는 경우, 침출수의 감소뿐만 아니라 덮개나 경사면의 침식도 방지하는 역할을 하기도 한다. 화성사업소의 매립지는 사전 환경영향검토에서 저지대이며 여름의 집중호우에 의한 침수의 가능성 등이 예상되었던 곳이었는데도 불구하고 매립설비 주변에 이러한 지표수의 흐름을 통제하는 수단은 갖추어지지 않았다.

2.2.2.2. 점토 차수층

특정 폐기물의 매립설비의 구조중 가장 핵심이 되는 부분이 바로 차수층이다. 외국의 경우 특정 폐기물을 위한 매립 설비에서는 천연의 점토층을 차수층으로 이용하는 것을 법으로 금지하고 있으며 또한 최소한 이중의 차수층을 바닥

및 옆 경사면에 두도록 하고 있다. 점토층이 차수층으로 사용되는 경우는 이러한 이중 차수구조의 일부로 사용될 때이며 이때에도 점토층의 투수계수가 $1 \times 10^{-7} \text{cm/sec}$ 이하가 되도록 해야 한다. 이와 함께 엄격한 다중 차수구조를 법적 요건으로 하는 이유는 점토차수층만을 사용하는 경우 액상의 폐기물이나 침출수를 장기간 완벽하게 차단시키는 일이 매우 어렵다는 것을 과거의 경험으로부터 잘 인식하고 있기 때문이다. 미국에서는 차수층의 성능에 대한 평가를 위하여 침출수가 점토차수층을 통과하는데 걸리는 시간(transit time)을 예측하는 기법이 많이 개발되어 있는데, 이에 의하면 단일 점토차수층을 사용하는 경우 구조적 결함이 없다하더라도 침출수위가 아주 낮게 유지되지 않으면 transit time이 15년 이상이 되기는 매우 어려워 단일 점토차수층은 근본적으로 한계가 있음을 보여준다. 이들이 특정 폐기물을 매립할 때 폐기물의 물리적 성상을 규제 함에 있어서 특히 자유롭게 흐를 수 있는 액상의 폐기물은 그대로 매립할 수 없으며 반드시 고형화를 시키거나, 흡수제를 첨가시켜 액상의 폐기물이 모두 흡수되어 흐르지 않도록 한 뒤 용기에 담아서 매립하도록 한다는 사실은 그러한 점토차수층의 한계점을 잘 보여주고 있는 한 예라 할 수 있다.

외국의 이러한 법과 관행을 화성 사업소의 경우와 비교하면 우선 단일 점토차수층을 사용했다는 점에서 매우 대조적이라 할 수 있다.

점토 차수층이 합성수지 차수층에 비하여 가지는 장점은 가격이 저렴하고 경우에 따라서 중금속 양이온과 소수성(hydrophobic)유기물질의 이동성을 저하시킬 수 있으며 수명이 길다는 점 등이다. 그러나 낮은 투수계수를 매립장 전지역에 걸쳐 고르게 얻기가 어려우며, 결함이 있는 경우 그것을 발견하기가 어렵고 기후의 변화에 따라 건조, 동결 등이 일어나 차수층을 갈라지게 할 가능성이 있는 등의 결점이 있다. 따라서 빈틈없는 차수층의 조성과 조성이후의 성능에 측을 위해 우선 점토차수층에 사용될 점토에 대한 정확하고 광범위한 분석이 필요하며 차수층의 조성시 매우 엄격한 Quality Assurance/Quality Control을 적용시킨 시공관리가 요구된다. 화성 사업소의 경우 사용된 점토에 대한 분

석으로는 입자크기의 분포, 마른 밀도, 젖은 밀도, Liquid Limit, Plastic Limit, Plastic Index, 함수율에 따른 밀도의 변화, 들밀도, 투수계수 등이 행하여 졌으나 폐기물에 함유된 유해물질과의 chemical compatibility, 중금속이나 유기물질에 대한 이동성 저하능력 등을 평가하기 위한 분석은 이루어지지 않았다. 분석된 자료중 차수층으로서의 성능을 가장 단적으로 보여주는 것이 투수계수인데 실험실의 다짐시험을 통해서 얻어진 투수계수는 $4.3 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ 로서 통상의 점토차수층의 투수계수로서는 매우 낮은 값이라 할 수 있다. 그러나 이는 실험실에서 얻어진 값이며 실제 매립지에서의 투수계수는 통상적으로 실험실값의 1000배 정도까지 높을 수도 있다는 것이 알려져 있다. 그 이유는 실험실과 실제 매립지 사이에는 점토의 균일성, 수분함량의 조절, 다짐질의 정도와 균일성, 다짐기구 등에 있어서 큰 차이가 있으며 그 밖에도 실제 매립지에서는 Desiccation Cracking, Bonding of Lifts, 측면의 다짐질 등의 실험실에서는 통제할 수 없는 요인들이 있기 때문이다. 따라서 실제 매립지의 투수계수를 좀 더 정확히 평가하기 위해서는 차수층의 조성이 끝난 후 현장에서 직접 투수계수를 측정하거나 혹은 매립지 주변에 pilot-scale의 test fill을 동일한 점토층 조성과정을 거쳐 건설하고 그곳에서 측정되는 자료를 이용하는 것이 바람직하다. 화성사업소의 경우 test fill이나 매립장에서의 직접적인 측정은 없었으며 들밀도(field density)를 제외한 거의 모든 자료가 실험실에서 결정된 것이기 때문에 실제 매립장의 성능을 정확하게 평가하기는 어렵다. 들밀도는 다짐의 정도를 나타내며, 차수층의 기계적 강도와 관계있는 인자로서 차수성능을 직접 나타내는 지표라고 보기는 어렵다. 더우기 문제가 되는 점은 현재 매립이 완료된 매립설비의 점토차수층 조성시 sponge현상등의 문제로 인하여 일단 조성되었던 차수층을 모두 제거하고 새로운 점토를 사용하여 점토차수층을 다시 조성하였는데 이때 조성된 새로운 점토층에 대해서는 투수계수 측정도 시행하지 않는 등 차수층의 성능을 예측할 수 있는 가장 기초적인 자료조차 결여되어 있다는 것이다. 이러한 사실에 비추어 볼 때 점토차수층이 잘

계획된 QA/QC하에서 엄격한 시공을 통해 조성되었다고 확신하기는 어렵다. 이는 위에서 지적한 단일점토층 자체의 고유한 한계점과 더불어 현재의 매립설비의 성능에 대한 신뢰감을 떨어뜨리는 요인이 되고 있다.

2.2.2.3. 침출수 누출감시 설비

침출수 누출감시설비로는 매립설비 바닥의 최종 차수층 바로 아래쪽에 설치되는 Vadose zone monitoring device와 지하수의 오염을 감시하는 감시용 우물(ground water monitoring well)이 있는데 이중 첫번째 설비는 매립이 시작되는 시점부터 차수층을 통한 침출수의 누출이 있는지를 감시할 수 있는 것으로서 지하수면 윗쪽에 위치하며 지하수의 오염이 발생하기 전에 침출수의 누출이 지하수의 오염으로 이어지는 기간이 상대적으로 매우 짧아 이러한 감시설비를 두어 누출여부를 가능한 한 빠른 시간내에 감지하여 적절한 대책을 마련해야 할 필요가 있음에도 불구하고 이러한 설비를 두지 않았다는 것은 앞에서 지적한 입지의 결점에서 오는 문제점에 대한 적절한 대책의 결여의 한 예라 할 수 있을 것이다. 한편, 지하수오염 감시용 우물은 통상적으로 한 매립지당 최소한 4개를 두는 것이 바람직하며 이중 하나는 지하수의 흐름방향을 감안하여 매립지를 중심으로 지하수의 상류쪽에 두고 나머지 3개는 하류쪽에 두어 수질을 상호 비교함으로써 지하수의 오염여부를 결정할 수 있도록 하는 것이 바람직하다. 화성사업소의 경우 매립예정지의 주변 전체에 설치된 기존의 지하수 감시용 우물은 총 7개로써 이중 매립이 완료된 매립설비의 주변에는 4개가 있으며 이들은 이 사각형 매립지의 각 꼭지에 해당하는 곳에 위치하고 있어서 처음 설치될 때 지하수의 흐름방향이 고려되었던 흔적은 보이지 않는다.

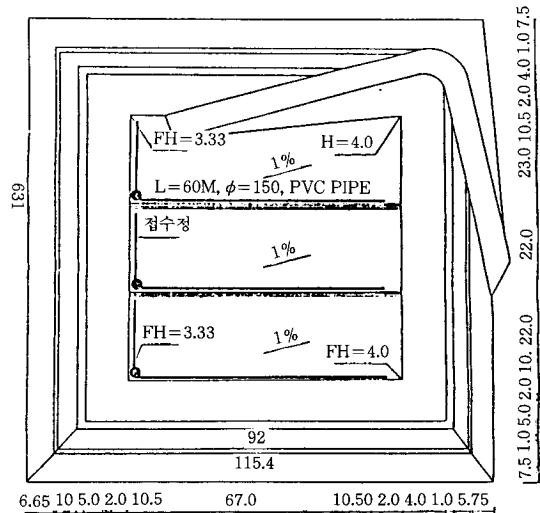
2.2.2.4. 발생기체 포집 및 처리설비

매립설비에서의 기체는 주로 매립된 폐기물 중의 유기물성분이 분해되면서 발생한다. 매립설비의 내부가 혐기성인 경우가 대부분이므로 발생하는 기체도 methane이 주요성분이다. 따라서 이를 적절히 배출시키지 않으면 폭발의 위

험성이 있으며 기타 유해기체에 대한 노출, 악취, 식생에 대한 피해 등의 문제점을 유발시킨다. 화성사업소의 경우 폐기물중의 유기물 함량이 낮은 것으로 간주되어 적절한 기체 포집 및 처리 설비가 갖춰지지 않았다. 실제로 침출수의 분석 결과 COD_{Mn}가 비교적 낮은(대부분 500 mg/L)것으로 나타났지만 다량의 빗물이 침투되어 침출수내의 농도가 희석되었을 가능성을 고려한다면 매립되는 폐기물에 대한 유기물함량에 대한 구체적인 확인과정을 거쳐 위의 설비에 대한 필요성을 결정하는 일이 바람직할 것으로 판단된다.

2.2.2.5. 침출수 집수설비

일반적으로 침출수를 효과적으로 모으기 위한 집수설비는 투수계수가 높은(1×10⁻³cm/sec이상) 집수층(drainage bedding)과 집수관(drain pipe)으로 구성되어 있으며 집수를 효율적으로 하기 위하여 차수층에 경사를 두어 집수관을 경사의 낮은 곳에 둔다. 화성 사업소의 경우 집수층으로서 50cm의 모래가 사용되었고 집수관으로서 직경이 15cm인 구멍뚫린 PVC관이 사용되었다. 매립장 바닥은 크게 3등분되어 하나가 약 67m×22m의 직사각형의 바닥을 이루고 있으며 바닥에는 1%의 경사를 길이 방향으로 두었다(집수관과 집수정의 위치는 그림 1을 참조). 그림 1에서 나타나듯이, 경사가 한쪽



<그림 1> 매립장 집수정 및 집수관의 위치

으로만 주어져 있어서 짧은 집수관은 경사면의 하단에 놓여 있으나 긴 집수관은 경사면의 효과를 이용할 수 없도록 놓여 있다. 또한 전체적으로 집수관사이의 간격이 커서 효율적인 침출수의 집수 및 배출이 어려울 것으로 판단된다. 여기에 불완전한 덮개로 인한 침출수의 과다발생 가능성이 더하여 매립설비내의 침출수위를 낮게 유지하기 어렵게 하는데, 매립설비내의 높은 침출수위는 침출수가 점토차수층의 통과에 소요되는 시간(transit time)을 감소시키는데 직접적인 영향을 미치므로, 결과적으로 폐기물이 환경으로 누출되는 것을 장기간에 걸쳐 방지한다는 본래의 목적을 이루는데 큰 장애요인이 된다.

2.2.3. 매립완료후 관리대책

매립설비는 매립이 완료된 후에도 적절한 사후관리를 해주어야 한다. 통상적인 사후관리로서는, 덮개의 경우, 정기점검과 더불어 비온 후의 지표수나 기타의 원인으로 인한 침식, 매립된 폐기물의 부피감소로 인한 하강(settlement) 여부 등의 검사와 보수 등이 필요하며, 지속적인 침출수 집수 및 처리, 침출수 누출감시설비의 운영 및 감시용 시료분석결과의 검토 등이 있는데 매립완료후 약 1년 내지 1년 반 동안의 기간에는 이러한 사후관리를 자주 행하고(약 1회/월), 그 이후에는 문제점이 발견되지 않는 경우 그 횟수를 줄일 수 있다. 이러한 사후관리 대책은 예상된 매립설비의 수명을 고려하여 장기적인 관점에서 확립되어야 한다. 미국의 경우, 매립완료 후의 30년간의 관리계획을 미리 서면으로 작성하여 관계부서에 제출하도록 되어 있는데, 여기에는 위에서 언급한 사후관리에 대한 구체적인 계획이 포함되어 있어야 하며 제출된 이 계획에 대한 수정이 필요할 때에는 사전에 허가를 받아야 한다.

화성사업소의 경우 매립설비의 점검이나 침출수 집수 및 처리 등의 사후관리는 대체로 수행되고 있으나 그것이 잘 확립된 장기간의 계획에 의한 것이 아니며 그 사후관리의 주기, 여러 점검 및 보수의 결과에 대한 기록과 보고(documentation and reporting)체계의 확립이 미흡한 것으로 보인다.

3. 요약 및 결론

국내의 특정폐기물의 매립현황을 매립되는 총량적인 측면이 아니라 그간 사용되어 온 매립설비 및 매립 관행이라는 측면에서 정확히 파악하고 그에 근거하여 그간 이루어진 매립의 적정성을 평가하기에는 공식적인 자료의 부족으로 인한 어려움이 많다. 따라서 국내의 특정 폐기물 매립설비 중 비교적 우수한 구조를 갖추고 운영되어온 환경관리공단의 화성사업소내 매립설비를 예로 들어 그 적정성을 검토해 봄으로써 국내의 다른 매립설비들의 적정성을 간접적으로 검토하였다. 검토 결과, 화성사업소의 매립설비중 이미 완료된 매립설비는 특정폐기물의 장기간에 걸친 주변환경으로부터의 안전한 차단이라는 본래의 목적을 달성하기에는 그 입지 선정 단계에서부터 설계 및 시공, 사후관리단계까지 미비한 점과 불확실한 점을 많이 내포하고 있는 것으로 보인다. 이와 같은 화성사업소 매립설비의 부적정성은 국내의 다른 특정폐기물 매립설비들에게 있어서도 대부분 예외가 아닐 것으로 판단되며 따라서 그간 이루어져온 특정폐기물의 매립은 불법적으로 이루어진 매립을 논외로 하더라도 안전하고 적절하게 이루어져 왔다고 보기는 어렵다. 부적절하게 이루어진 매립은 광범위한 토양 및 지하수의 오염과 이로 인한 오염의 피해를 일으킬 우려가 있는데, 한번 오염이 되면 그 오염의 제거는 긴 시간을 필요로 하며 경제적 비용도 매우 크다. 그간의 부적절한 매립에 따른 오염정도 및 그로 인한 피해는 관심 및 인식의 부족 등으로 아직은 잘 나타나지 않고 있으나 언젠가는 큰 문제를 일으킬 소지를 필연적으로 안고 있는 것으로 보아야 할 것이다. 따라서 앞으로의 매립은 과거와는 달리 좀더 안전하고 적절한 매립설비를 통하여 이루어지도록 하여야 할 것이며 이를 가능케 하기 위한 기술적 측면의 발전 및 적절한 법적 제도가 시급히 뒷받침 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 환경백서, 1990년, 환경처.
2. 고윤화, "특정폐기물의 분류 및 관리체계",

- 특정폐기물의 안전 및 관리를 위한 교육심포지움, 1991년 10월 18-19일, 숭실대학교.
3. 전국 산업폐기물 발생 및 처리 현황, 1990년, 환경처.
 4. 전국 매립지 사용실태, 1991년, 환경처.
 5. ○○처리장 예정지 지질조사 보고서, 1985년, 극동기초산업주식회사.
 6. 제목미상의 보고서, 제 6절 환경영향검토, 롯데기공.
 7. Canter, L. W. "Ground Water Quality Protection," Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1988.
 8. 화성 유해산업폐기물 처분장 수리지질조사 보고서, 1991년, 한서엔지니어링 주식회사.