

유해폐기물 처리기술의 과제와 전망



배 우 권 (국립환경연구원 폐기물연구부)

- '74. 2 영남대학교 토목공학과(학사)
- '85. 5 University of Illinois(Urbana) 환경공학(석사)
- '92. 5 University of Illinois(Urbana) 환경공학(박사)
- '76-'80 문교부 교육시설국 토목기좌
- '80-'91 국립환경연구원 공업연구관
- '91-'94 국립환경연구원 특정폐기물과장
- '94-현재 국립환경연구원 일반폐기물과장

1. 유해폐기물 관리의 중요성

1950년대 일본의 조그만 어촌 미나마타에서 발생한 수은중독사건 (일명 미나마타 사건)은 중금속 폐기물의 환경위해를 일깨우는 계기가 되었다. 이 사건으로 43명이 사망하고 130명이 치유불능의 마비증상이나 기형 증상을 나타내게 되었다[1]. 그로부터 약 20년후 미국 나이아가라폭포 근처의 소도시 Love Canal에서 원인을 알 수 없는 또 다른 유형의 괴질이 발생했는데 조사결과 수십년전 이지역에 함부로 버려진 PCB, 다이옥신, 염화용매, 농약등의 물질을 함유한 유기화학폐기물 때문인 것으로 밝혀 졌다. 이 사건 (일명 Love Canal 사건)으로 수십명의 아이가 사산하거나 선천성 기형질환을 가지게 되었으며 이 지역 일대는 환경 재난 지역으로 선포되어 사람이 살지 못하는 죽음의 땅으로 변했다[1]. Love Canal 사건은 1980년 Superfund법 제정의 직접적인 동기가 되었으며 그로부터 미국은 100억불이 넘는 돈을 과거의 유해폐기물 오염정화에 썼으며 그 작업은 아직도 계속되고 있다.

이상의 두 사건은 유해폐기물 관리의 중요성을 일깨우는 매우 중요한 계기가 되어 세계여러나라가 60년대 이후는 중금속 폐기물의 관리에, 그리고 80년대 이후는 유기성 유해폐기물의 관리에 많은 관심을 기울이도록 만들었다.

이와같이 유해폐기물은 사람의 건강에 치명적인 위해를 가져다 줄 뿐아니라 환경중에서 잔류하는 성질이 있어 한번 오염된 땅이나 지하수는 오래도록 자정되지 못함은 물론 주변으로 확산되

어 환경을 망가뜨리게 된다. 오염된 토지, 지하수 혹은 생태계는 정화가 매우 어려울 뿐아니라 정화작업에 엄청난 경비와 시간이 필요하게 된다. 즉 환경을 파괴하면서 얻은 이익보다는 이를 복구하는데 드는 비용이 훨씬 커지므로 경제적으로도 큰 손실을 가져온다. 그러므로 유해폐기물의 적절한 관리는 환경적, 경제적으로 매우 중요한 관심사항이 아닐 수 없다.

2. 유해폐기물의 특성 및 분류

2.1 유해폐기물의 정의

물질의 유해성은 인간이나 환경에 악영향을 줄 수 있는 성질로 정의되며 그 내용으로 독성, 반응성 및 기타 환경중에서의 바람직하지 못한 성질을 포함한다[2]. 이 중 독성 (toxicity)은 인간 및 동식물에 해로운 성질 혹은 상해를 입히는 능력

으로서 급만성 독성, 발암성, 변이원성, 알레르기성 등을 포함한다. 반응성은 다시 부식성, 인화성, 폭발성, 기타 자연상태에서 격렬한 화학반응을 일으키는 성질 (협의의 반응성)등 화학적 혹은 물리적인 성질을 일컫는다[3]. 한편 환경중에서의 바람직하지 못한 성질은 난분해성이거나 생태계 축적 등을 말한다. 따라서 유해폐기물이라 함은 사람이나 환경에 악영향을 끼칠 수 있는 것으로 위에 언급한 바와 같은 성질을 가진 폐기물로 정의 될 수 있을 것이다.

2.2 우리나라의 유해폐기물 분류

유해폐기물의 관리를 담당하는 실무자에게는 앞서서와 같은 사전적 정의는 너무 막연하여 분별이 어려우므로 다음에 언급하는 바와 같이 육안으로 명확히 구분되는 성상이나 간단한 실험으로 판정된 성질에 근거하여 유해폐기물 여부를 확인하도록 하고 있다.

표 1. 우리나라의 특정폐기물 분류체계

폐기물의 종류	판정 기준	비고 (특성)
○ 폐 산	pH 2.0 이하	부식성
○ 폐알카리	pH 12.5 이상	"
○ 폐유기용제 - 할로젠족(디클로로메탄등 15종) - 비할로젠족(벤젠등 43종)		독성 또는 인화성
○ 폐 유 ○ 폐합성 고분자 화합물 (제조공정에서 발생하는 것)	기름성분 5% 이상	주로 난분해성
○ PCB 함유폐기물	50mg/l 이상	독성
○ 폐농약		"
○ 폐석면		"
○ 광 재	납등 10항목에 대해 허용 용출농도 이상인 것	용출독성
○ 분 진	"	"
○ 폐주물사 및 샌드블라스트페사	"	"
○ 폐내화물 및 도자기 편류	"	"
○ 소각잔재물	"	"
○ 안정화 또는 고형화처리물	"	"
○ 폐촉매	"	"
○ 폐흡착제 및 폐흡수제	"	"
○ 오 니 (장관이 지정고시한 사업장에서 발생된 것	"	"

또한 실무적으로는 유해폐기물 대신 특정폐기물이란 법적 용어를 쓰며 이는 사업활동에 수반하여 발생하는 환경 및 국민보건에 유해한 폐기물로 규정하고 있다.

특정폐기물은 표 1의 17종으로 구분되는데 비고에 나타난 바와 같이 독성, 용출독성 및 부식성 폐기물이 주류를 이루고 있고 폐유와 같이 환경중에서 쉽게 분해되지 않는 물질을 포함하고 있다. 용출독성은 폐기물이 매립되었을 때 폐기물중에 함유된 독성물질이 환경중으로 얼마나 녹아나올 수 있는지의 여부로써 판정되며 표 2와 같은 항목과 기준(용출액중의 농도가 이 기준치를 초과하면 특정폐기물로 분류)을 사용하고 있다.

표 2. 우리나라 용출시험 분석항목 및 기준

항 목	기 준 (mg/l)
납 또는 그 화합물	3.0
구리 또는 그 화합물	3.0
비소 또는 그 화합물	1.5
수은 또는 그 화합물	0.005
카드뮴 또는 그 화합물	0.3
6가크롬화합물	1.5
시안화합물	1.0
유기인화합물	1.0
테트라클로로에틸렌	0.1
트리카프로에틸렌	0.3

표 1의 특정폐기물중 폐산, 폐알카리, 폐유, PCB 함유폐기물 및 용출독성폐기물 (9종) 등에 대해서는 유해성분의 농도를 측정하여 특정폐기물 여부를 가리도록 되어 있고 폐유기용제류는 법으로 58종을 지정하여 이러한 물질을 사용하는 사업장에서 발생한 유해폐기물은 자동적으로 특정폐기물로 분류하고 있다. 폐농약, 폐석면, 폐합성 고분자화합물은 별다른 시험법이 제시되어 있지 않으며 따라서 육안으로 식별하고 있다. 또한 오니 (슬러지)는 장관이 지정고시 하는 사업장에서 발생된 것에 국한시키고 있다.

그외 성질상 특정폐기물로 분류되는 폐기물일 지라도 그 배출량이 종류에 따라 월간 50kg 혹은 500kg 이하이면 배출 신고 및 운반처리 신고와 같은 의무가 면제된다.

3. 유해폐기물 배출현황 및 처리실태

3.1 배출현황 및 처리주체

지난 '94. 4. 1 기준으로 특정폐기물의 분류내용이 변경되면서 (이때 폐석고, 폐석회, 동물성고형잔재물과 대부분의 폐합성고분자화합물 및 오니가 일반폐기물로 전환 됨) 폐기물 관련 통계작성에 큰 어려움을 겪고 있다. 아직 개정된 특정폐기물의 발생량에 대한 통계자료가 없는 형편이어서 '93 환경처 통계[4]에 근거하되 '94 개정 분류체계에 따라 자료를 정리하였다 (표 3).

표 3은 대부분의 특정폐기물이 액상상태로 배출됨을 나타내고 있다. 고상폐기물은 근래까지 유해폐기물의 대명사처럼 되어 왔던 중금속 함유폐기물을 나타내는 것인데 량적으로는 그다지 많지 않은 것을 알 수 있다. 폐산 및 폐알카리는 부식성 폐기물로 유해성이 단순하고 중화에 의해 비교적 쉽게 처리될 수 있어 그 량에 비해 문제가 덜 된다. 그러나 폐유기용제는 독성이 높은 경우가 많을 뿐 아니라 보통의 소각시설에는 소각할 수 없는 할로젠화 유기용제가 상당량 함유되

표 3. 특정폐기물의 발생량 및 위탁처리율 (1993)

폐기물명	발생량 (천톤/년)	위탁처리율 (%)	비고(성상)
폐 산	518	93.7	대부분 액상
폐알카리	243	88.8	"
폐 유	263	87.5	"
폐유기용제	188	80.0	"
폐석면	13	98.8	고 상
광 재	1	85.5	"
분 진	127	82.8	"
폐주물사	3	52.7	"
폐내화물	3	6.7	"
소각잔재물	5	91.0	"
폐촉매	0.6	95.6	"
폐흡착제	0.2	84.1	"
폐농약	0.3	95.6	액상 또는 고상
PCB 함유물	0.016	75.0	대부분 액상
오 니	226	86.9	고 상
계	1,591	-	

어 있어 그 관리가 매우 까다롭다.

표 3은 우리나라의 유해폐기물 처리에 대한 관심의 방향이 지금까지의 중금속 위주에서 폐유기 용제등 유해유기화학물질로 전환될 필요가 있음을 시사하고 있다.

한편 처리주체를 보면 대부분의 특정폐기물이 위탁처리 되고 있음을 알 수 있는데 이것은 유해 폐기물에 대한 처리책임이 배출자에서부터 영세

한 위탁처리업자에게로 전가되고 있음을 나타내는 것으로 유해폐기물의 적정관리 측면에서 매우 우려되는 부분이다.

3.2 처리기술

3.2.1 폐기물관리법의 처리기준

폐기물 관리법에서 정하는 특정폐기물의 처리

표 4. 특정폐기물의 법적 처리기준

종 류	성 상	치 리 방 법
폐산 및 페알카리	액 상	- 무독화 (중화, 산화, 환원) - 분리 (응집, 침전, 여과, 탈수) - 부피감소 (증발, 농축) - 정제 (분리, 증류, 추출, 여과)
	고 상	- 관리형 매립시설에 매립 (서서히 중화 될 수 있는 방식으로)
폐 유	액 상	- 소각 분리후 소각 - 분리 (유수분리, 응집침전) - 부피감소 (증발, 농축) - 정제 (분리, 증류, 추출, 여과)
	고 상	- 소각 - 매립
폐유기용제	할로젠족 - 액상	- 고온열분해 - 정제 - 무독화
	할로젠족 - 고상	- 고온 열분해
	비할로젠족 - 액상	- 소각 - 정제 - 무독화
	비할로젠족 - 고상	- 소각
폐 석 면	비입자상	- 관리형 매립지에 매립
	입자상	- 포대에 담아 관리형 매립
광재, 분진, 폐주물사, 폐사, 폐내화물, 도자기 편류, 소각잔재물, 폐촉매, 폐흡수제 또는 폐흡착제		- 관리형 매립시설에 매립 - 분진의 경우는 PE 포대에 담아 매립 - 안정화 또는 고정화 처리
폐농약		- 고온열분해 - 차단형 매립시설에 매립
PCB함유 폐기물		- 고온열분해
오 니		- 소각 - 고정화 - 탈수후 안정화 - 탈수후 관리형 매립시설에 매립

기준 및 방법을 보면 우선 공통사항으로

- 특정폐기물 처리시설에서만 처리할 수 있되 다만 액상의 특정폐기물은 수질오염방지시설에 직접 유입시켜 처리할 수 있고,
- 시멘트고형화의 경우 시멘트량은 150kg/m³ - 콘크리트 이상이어야 하며
- 소각잔재물의 강열감량은 일반소각 (출구온도 700℃ 이상)시는 15% 이하, 고온열분해 (출구온도 1100℃ 이상)시는 5% 이하이어야 하는 것으로 규정하고 있고 폐기물 별로는 표 4와 같은 개별기준을 두고 있다.

3.2.2 처리실태 및 기술

다음 표 5는 특정폐기물 처리실태를 처리방법별로 나타낸 것이다. 소각방식이 시설수나 처리량 면에서 대종을 이루고 있지만 이 통계는 플라스틱, 합성섬유등을 소각하는 시설을 포함하고 있어 순수한 특정폐기물만을 소각하는 경우는 소수일 것으로 판단된다. 반응등 중간처리 시설은 폐산, 폐알카리의 중화처리 및 슬러지의 고형화 시설등을 말하며 일반슬러지의 탈수시설도 포함된 것으로 생각된다. 매립시설에서 처리되는 특정폐기물량의 통계는 나타나 있지 않다.

표 5. 특정폐기물의 처리방법별 처리실태 (1993)

구 분	업소수 (개소)	처리량 (천톤/년)	비 고
소 각	812	3,291	플라스틱 및 합성섬유 폐기물 소각로 포함
고온열분해	32	193	
중간처리(반응, 중발, 농축, 탈수, 고형화등)	97	2,176	
매 립	8	미 상	

우리나라의 특정폐기물 처리기술은 위 표에 나타난 바와 같이 소각, 고온열분해, 중화, 고형화, 매립등인데 이중 중화를 제외하고는 모두 기술개발의 여지가 많다. 소각시설은 그숫자에 비해 완

벽한 대기오염방지가 실현되지 않고 있는 것으로 알려져 있고 할로겐화합물 등을 소각하는 고온열분해 (1100℃ 이상에서의 소각을 말하며 Pyrolysis가 아님)의 경우도 2차 오염물질의 발생이 충분히 제어되는지에 대한 확신이 없는 형편이다. 고형화의 경우 고형화물의 강도증진에 대해 기술개발 여지가 있고 매립의 경우도 침출수나 발생가스의 제어 및 처리기술이 부족한 형편이다.

4. 기술개발의 과제와 전망

4.1 기술의 개발 및 개선 과제

흔히 폐기물 관리기술의 우선순위로 발생원 감량, 재활용, 중간처리(소각, 무독화등), 최종매립을 들고 있다. 발생원 감량은 유해폐기물의 발생을 원천적으로 예방하는 기술로서 대단히 중요하고 앞으로 많은 기술개발 여지가 있는 부분이다. 발생원 감량의 기술로는 투입원료 또는 공정을 변경 혹은 개량하여 유해폐기물의 발생을 막거나 줄이는 방법, 운전관행이나 생산관리를 개선하여 불필요한 폐기물 발생을 막는 방법, 비유해성의 수용성 페인트 생산과 같은 상품변경이 있으며 그외 사업장내에서의 폐기물 순환재이용 기술이 포함된다.

재활용 기술개발도 유해폐기물 문제해결을 위해 매우 중요한 기술개발 분야이다. 유해용매들은 독성이 크지만 간단한 관리 및 정제기술의 개발로 거의 전량 회수재사용이 가능한데도 기술개발이 이루어지지 못하고 있다. 전기로분진은 다량의 중금속을 함유하고 있어 대부분 유해폐기물로 분류되지만 유가금속의 추출기술을 개발하므로써 재이용과 폐기물 처리 효과를 동시에 거둘 수 있는데도 아직 이렇다할 기술이 개발되어 있지 않다. 폐산, 폐알카리의 경우 현재는 상호 중화제로 재활용하고 있으나 향후는 산, 알카리를 정제 재사용하는 고부가가치의 재활용 기술개발이 요구되고 있다. 그외 폐촉매, 폐흡착제 등도 발생량은 적으나 유해성과 함께 유가물의 함유량이 높은

경우가 많으므로 재생이용 기술을 개발할 필요가 있는 폐기물이다.

발생원 감량이나 재활용은 환경적으로 매우 바람직한 기술이지만 여건이나 경제성이 충족되지 않아 쉽게 개발, 이용되기 어려운 경우가 많다. 때문에 폐기물의 부피나 무게를 줄이고 독성을 감소시키는 중간처리기술은 당장 유해폐기물을 처분해야 할 입장에 있는 배출자나 처리업자에게 대단히 중요한 기술이다.

부피나 무게 감소기술로 액상폐기물의 증발, 농축 또는 유해성분의 분리기술을 들 수 있고 고상폐기물의 소각도 무독화와 함께 유력한 부피감소 기술이다. 액상폐기물의 증발 농축기술은 최근 적용사례가 증가하고 있으나 적용대상 폐기물의 확대, 타처리방법과의 연계 등에 개선의 여지가 있는 것으로 생각된다. 유해성분의 분리기술은 무기물이나 입자상 물질에 대해서는 상당한 기술개발이 이루어져 있으나 유기성 물질 혹은 무기성과 유기성 유해물질의 혼합액에 대한 분리 무독화 기술은 아직 초보단계에 있어 장래 많은 기술개발 노력이 요구되는 분야이다. 한편 소각을 비롯한 열적처리 기술은 비유해성 폐기물에 대해서는 상당한 기술 진보가 있었으나 유해성 폐기물 특히 염소화합물에 대한 소각기술은 다이옥신등 유해 2차오염물질 생성여부 및 그 제어에 대해 아직 확신이 서지 않은 상태에 있다. 따라서 소각기술과 관련해서는 2차오염물질 생성을 최소화하는 처리기술 (고온 Plasma 등), 후처리기술 및 측정 기술 등의 개발이 요구되고 그의 레이저등을 이용하는 첨단처리 기술도 장래 중요한 연구개발 과제가 될 것으로 보인다.

매립기술로 대표되는 최종처분 기술도 향후 많은 발전이 기대되는 분야이다. 최근 매립기술의 개념과 중요성에 대한 인식은 많이 향상 되었으나 여전히 많은 연구 및 기술개발이 요구되고 있다. 구체적으로 살펴보면 우선 매립폐기물의 성상별로, 단독매립과 혼합매립의 장단점이 연구되어야 하고 혼합매립의 경우 유해성을 저감시킬 수

있는 혼합방식도 연구개발 되어야 한다. 매립지에서 침출수의 발생은 불가피하므로 침출수의 발생량을 저감시키고 발생된 침출수를 효과적으로 집수, 이송하여 처리하는 기술의 개발이 필요하다. 최근 합성차수막에 의한 침출수 제어기술에 상당한 기술진전을 보고 있으나 시공의 확실성, 구조 및 재질의 안정성, 지하수 오염여부 등을 확인하는 기술이 거의 개발되어 있지 않아 향후 많은 노력이 필요한 분야이다.

또한 침출수의 집수 및 배수기술 분야도 기술의 난이도가 높지 않고 관련 토목기술이 이미 개발되어 있는데도 불구하고 기술발전이 매우 느리다. 외국에서 유해폐기물의 매립에 대한 표준단면 등이 제시 되어 있으나 과도한 설계로 경제성이 결여된 경우가 많은 것으로 생각되므로, 환경에의 위해를 피할 수 있는 범위내에서 경제적인 설계가 될 수 있도록 기술개발 할 필요가 있다[5].

4.2 기술개발 현황 및 장래전망

지난 '92년 시작된 환경분야 선도기술개발사업 (일명 G-7)은 우리나라의 환경공학 기술개발연구 활성화의 전기가 되었다. 금년도에 수행되고 있는 연구비만도 300억에 달하고 있는데 이중 유해폐기물 처리와 관련된 연구를 보면 표 6과 같다.

그의 국립환경연구원에서 인쇄회로기판제조업 분야의 발생원 감량 기술에 대해 2년간 연구하였으며[3] 중금속 폐기물의 매립과 관련하여 단독 및 혼합매립시의 유해물질 용출특성을 3년에 걸쳐 연구한 바 있다[5]. 매립기술은 아직 G-7 과제로는 연구되지 않고 있지만 연구분야의 중요성에 비추어 장래에 여러경로로 연구될 가능성이 크다.

한편 1994년 과학기술정책관리연구소 (STEPI)가 향후 20년 동안 우리나라에서 개발될 것으로 전망한 환경기술중 유해폐기물과 관련된 것을 간추리면

- 1차 및 2차 산업에서의 무공해 공정개발
- CFC 및 염소화합물의 회수장치 개발

표 6. 선도기술개발사업중 유해폐기물 관련 과제

구 분	개 발 과 제
발생원 감량	- 스테인레스강의 청정 산세기술 - 인쇄회로기판 식각폐액 재생 및 구리회수 기술 - 니트로화 반응의 클린프로세스화
재 활용	- 폐용매 재활용 기술 - 폐전지중의 중금속/유가금속 분리회수 기술 - 도금공정으로부터의 유가금속 회수기술 - Plasma를 이용한 유해분진중 유가금속 회수기술
소각·열처리	- 특정폐기물 소각로 (Rotary Kiln 방식) - 특정폐기물의 유동층 소각기술 - Plasma를 이용한 유기성 유해폐기물 처리
중간처리	- 유독성 폐액처리를 위한 복합분리매질 개발 - 중금속 함유 폐액의 생물학적 처리기술 - 유해침출수 처리기술 - 유해폐기물 고형화 기술

- CFC 대체품의 실용화
- 유해오니의 안정화 및 자원화
- 유해폐기물의 2차공해 없는 무해화
- 전염성 폐기물의 종합적이고 안전한 관리 시스템
- 난분해성 오염물질의 고온산화공정
- 매립부지를 재활용 할 수 있는 안전 매립기술 등이다.

선진국에서 경험으로 미루어 볼 때 산업이 발달할 수록 유해폐기물의 발생이 많아지고 또 환경에 대한 보전의지가 높아지므로 우리나라에서도 시간이 갈 수록 유해폐기물 문제가 더욱 두드러지고 이의 해결을 위한 기술개발 수요가 증가할 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] 이두호, 박석순 “지구촌 환경재난”, 도서출판 따님, 1994
- [2] OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), "Chemicals Control Legislation: An International Glossary of Key Terms," OECD Publications Office, Paris, 1982.
- [3] 이길철, 배우근외 5인 “유해폐기물 관리기술 개발에 관한 연구(1)”, NIER No. 93-19-388, 국립환경연구원, 1993
- [4] 환경처 “전국 폐기물 발생 및 처리현황(’93)”, 12000-67502-26-6, 환경처, 1994
- [5] 이길철, 배우근외 5인 “사업장폐기물 매립지 관리의 최적화 방안에 관한 연구 (최종보고서)”, NIER No. 93-18-387, 국립환경연구원, 1993