

廢棄物の 危害性 評價 및 管理對策

Risk Assessment and Management of Wastes

都 甲 守*
Doh, Kap Soo

1. 序 論

廢棄物은 인간의 일상생활과 사업활동에 필연적으로 生成되는 것으로 고도의 生産技術의 발달에 수반하여 발생하는 廢棄物은 양적으로 증가하며 질적으로 다양화되는 傾向이 있다. 이와 같은 폐기물은 여러가지 危害(Risk)를 일으킨다. 이를 크게 분류하면 첫째가 發生원에서의 生活環境의 危害이고, 다음은 이들 廢棄物 처리에 수반되어 발생하는 汚染물질에 의한 地域環境의 危害이고, 마지막으로 이들 汚染물질에 의한 地球環境의 危害이다. 최근 地球環境(Global Environment)문제는 오존층파괴, 온난화 현상, 有害廢棄物의 洩露이동에서부터 최근 걸프전쟁의 大量원유 유출에 이르기까지 심각한 국제문제로 대두되고 있으며, 이들은 전인류가 함께 고민하고 함께 해결해야 할 문제로서 이들과 廢棄物 處理와의 關係를 整理하여 효율적인 廢棄物 危害管理(Risk Management) 방안을 모색하여야 할 것이다. 특히 廢棄物 管理法 改正案이 임시국회를 통과(91. 2. 9)하여 시행만을 앞두고 있다. 이 改正案의 주요내용은 효율적인 管理를 위하여 廢棄物을 一般廢棄物과 特定廢棄物로 분류하고 特定廢棄物에 대하여는 中央政府가 집중적으로 管理하며, 廢棄物의 減量화, 再活用(Recycling)을 적극 추진하도록 제도적 조치를 마련한 것이다. 미국에서도 1978년 Love Canal事件과 1986년 Islip Garbage Barge 등으로 生活쓰레기와 有害廢棄物의 안전성 평가를 통한 효율적인 管理

에 노력을 집중하고 있고, 일본에서도 平成元年(1989)을 廢棄物 元年으로 정하여 점점 심각해지는 環境汚染을 최소화하기 위하여 有害廢棄物의 處理處分에 따른 효율적인 管理對策을 서두르고 있다.

국내외적으로 廢棄物에 의한 環境影響의 重要性을 인식하고 있는 지금이야말로 發生者(가정, 生産業소등), 處理業所, 學界 등이 이에 대한 올바른 지식, 인식과 자세가 필요하다고 본다. 따라서 여기서는 廢棄物에 의한 危害의 種類, 그 內容을 소개하고 특히 燒却 및 埋立에 따른

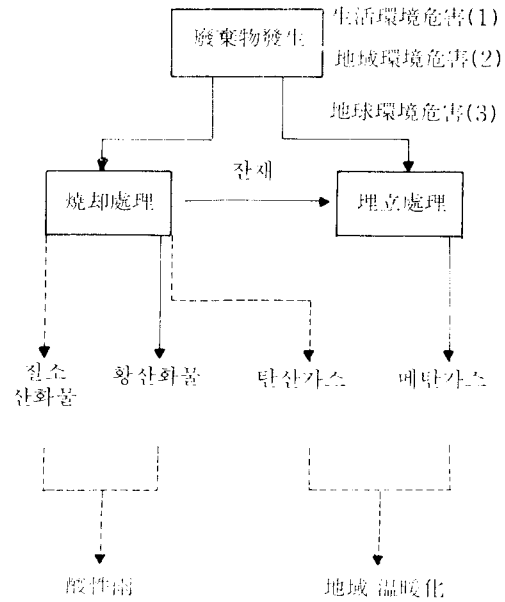


그림 1 廢棄物 處理에 관여되는 各種 危害

* 化工技術士(化學裝置 및 設備), 環境技術士(水質管理), 崇實大學校教授

危害성을 평가함과 동시에 外國의 對策을 비교분석하였다.

2. 廢棄物에 의한 危害

廢棄物에 依하여 야기되는 危害의 개념을 廢棄物의 處理와 연관지워 나타내면 그림 1 과 같다.

(1) 生活環境 危害

廢棄物은 그 자체를 보관, 점유를 하는 동안 公害發生源이 되어 公衆 위생상의 문제를 야기시키게 된다. 그러나 「폐기물=자원」과 「폐기물의 재활용」이란 의미는 시간경과에 따른 상품의 가치가 個人的 評價에 따라서 달라질 수 있으며 이들을 통하여 성립되는 市場價格이 형성되므로 成立될 수 있게 된다. 廢棄物은 個人價格이 0이 되는 시간부터 發生될 수 있으나 이들의 再活用은 이 시간부터 市場價格이 0이 되는 시간까지 이루어진다. 이들 각각의 가격은 개개인의 인생관, 가치관과 상품의 질과 량, 장소 및 시간 등에 따라서 결정된다. 廢棄物의 危害性 評價는 國家에 따라 다르고 시대적 변천에 따라 다르다. 즉 이에 따라 廢棄物의 分類도 달라진다. 미국의 경우는 有害廢棄物(Hazardous Waste)과 固形廢棄物(Solid Waste)로 分類하고 ① 일정 수준이상의 可燃性(Ignitable), 腐蝕性(Corrosive), 反應性(Reactive) 및 毒性(Toxic)이 있는 물질, ② 불특정 발생원에서의 指定物質, ③ 100여개 지정 발생원에서의 廢棄物, ④ 350여 指定化學物質을 有害廢棄物로 定하고 있으며 이들의 業種別 發生량을 表 1에 나타내었다. 이에 반하여 일본의 경우는 수은 및 그 화합물, 카드뮴 및 그 화합물, 납 및 그 화합물, 유기인 화합물, 시안화합물, 6가크롬 화합물, 비소 및 그 화합물, PCB, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene 의 10 가지 물질(埋立處分規則)과 유기염소화합물, 동 및 그 화합물, 이연 및 그 화합물, 불소화합물의 4가지 물질(海洋投入規則) 총 14 가지 물질을 포함한 廢棄物이다. 우리나라의 경우 廢棄物管理法(改正)에 의하면 特定廢棄物을 事業活動

表 1 미국의 산업별 유해폐기물 발생현황

산 업	공장의수	발생량(MMT/Y)	상 태
화 학	700	218	오염된 폐수, 폐용제, 증류관 출액, 처리오니, 여재등
조립금속	200	4	전기도금 폐기물, 금속오니, 탈지용제
전기장비	240	1	탈지용제
석유정제	100	20	API분리오니, 오일분산고체, DAF 부상액등
1차금속	150	4	세척액, 금속오니
수송장비	150	3	탈리용매, 금속, 오니
안 전 기 타	100	1	모든 형태
	1,360	24	모든 형태
총 계	3,000	275	

表 2 우리나라의 特定産業廢棄物 종류별 발생현황 (1989)

中分類	小分類	發生量	%
특정유해	구 리	26,881	(45.4)
	6가크롬	15,452	(26.1)
	시 안	4,209	(7.1)
	PCP	1,752	(3.0)
	기 타	10,942	(18.5)
	소 계	59,236	7.0 (100)
폐 유	폐운활유	54,287	
	탈피치계	23,447	
	운 활 유 용 제 류	21,598	
	기 타	21,012	
	소 계	158,502	18.8
폐합성수지	합성수지	127,833	
	합성섬유	43,623	
	합성고무	38,276	
	합성피혁	7,444	
	기 타	31,889	
	소 계	249,065	29.5
폐산·폐알카리	페소다액	106,465	
	페 황 산	66,731	
	페 염 산	66,124	
	페 질 산	3,200	
	기 타	133,844	
	소 계	376,364	44.7
총 계		843,167	100

에 수반하여 발생하는 汚泥, 廢油, 廢酸, 廢알카리, 廢고무, 廢合成樹脂 등 環境과 國民保健에 有害한 物質로 정의하고 그 구체적인 종류를 大統領 令으로 정하게 되어 있다. 現法에는 特定産業廢棄物로 特定有害物質, 廢油, 廢酸, 廢알카리, 廢合成樹脂로 分類하고 이것을 26종으로 小分類하고 있다. 일본의 경우 有害廢棄物의 發生量은 약 85.5萬톤/년으로 미국의 국민 1인당 發生量의 1/100 이하이다. 이에 반하여 한국의 경우는 表 2와 같이 特定産業廢棄物의 경우 일본보다 약 3배 많고 特定有害廢棄物로는 일본의 1/5 정도이다.

(2) 地域環境危害

上記한 廢棄物을 處理하는 過程에서 많은 오염 물질이 發生하여 環境質이나 生물의 健康장애를 일으키는데 이들은 공기, 물, 토양의 매체를 통하

여 전달하게 된다. 現 廢棄物의 發生에서 排出→收集→運搬→中間處理→最終處分에 이르는 폐기물 처리흐름 가운데 汚染發生 可能性은 ① 收集運搬時의 事故 ② 不法投棄 ③ 處理에 있어서 環境基準을 초과하는 경우로 燒却등의 中間處理施設에서의 大氣汚染, 最終處理 環境에서의 水質汚染 등이 있다. 重金屬 廢棄物에 대한 有害性은 溶出試驗(EP test)의 結果에 의존하는데 이 試驗 방법이나 基準도 各國마다 다소 차이가 있는데 미국, 일본과 우리나라와를 비교하면 表 3과 같다.

燒却施設이나 埋立場에서 야기되는 大氣 및 水質汚染은 大氣環境保全法, 水質環境保全法 및 有害化學物質管理法에 의하여 規制를 받도록 되어 있다.

表 3 溶出 試驗方式 및 判定基準

방법 및 대상물질		나라		
		한 국	일 본	미 국
용출 실험	고체 : 액체 (고체무게)	10 : 1 (-)	10 : 1 (100g)	20 : 1 (100g)
	용출액	HCl	HCl, NaOH	0.5N HAc
	pH	5.8~6.3	5.0~9.0	4.8~5.2
	교반시간	8시간	6시간	24시간
Hg	유기수은		불검출	
	수은 및 화합물	0.005 mg / 1 미만	0.005 mg / 1 이하	0.2 mg / 1
	Pb(화합물)	1 mg / 1 미만	3 mg / 1 이하	5.0 mg / 1
	Cd(화합물)	0.1 mg / 1 미만	0.3 mg / 1 이하	1.0 mg / 1
	유기인화합물	1 mg / 1 미만	1 mg / 1 이하	
	Cr(VI)화합물	0.5 mg / 1 미만	1.5 mg / 1 이하	5.0 mg / 1
	As(화합물)	0.5 mg / 1 미만	1.5 mg / 1 이하	5.0 mg / 1
	CN(화합물)	1 mg / 1 미만	1 mg / 1 이하	* Ba : 100 mg / 1 Se : 1.0 mg / 1 Ag : 5.0 mg / 1 Endrin : 0.02 mg / 1 Lindane : 0.4 mg / 1 Methoxychlor : 10 mg / 1 Toxaphene : 0.5 mg / 1 2,4-D : 10 mg / 1 2,4,5-TP : 1.0 mg / 1 ** 추가성분(TCLP) Heptachlor : 0.8 mg / 1 -- Cresol : 200 mg / 1(25종)
	Cu(화합물)	3 mg / 1 미만	(해양투입)	
	PCB	0.003 mg / 1 미만	0.003 mg / 1 이하	
	Trichloroethylene	-	0.3 mg / 1 이하	
	Tetrachloroethylene	-	0.1 mg / 1 이하	
	Zn	-	(해양투입)	
	불소화물	-	(해양투입)	
	전유기염소	-	(해양투입)	

表 4 지역별 대기오염물질(SO₂)과 산성우 현황(1990)

도시 월	서울		부산		대구		울산	
	SO ₂	산성우	SO ₂	산성우	SO ₂	산성우	SO ₂	산성우
1월	0.096	4.2	0.060	5.0	0.073	5.2	0.035	5.1
2월	0.082	4.3	0.055	5.0	0.079	5.0	0.036	5.3
3월	0.063	4.1	0.050	4.9	0.047	5.3	0.033	5.6
4월	0.050	5.6	0.039	5.3	0.036	5.9	0.032	5.4
5월	0.035	5.3	0.036	5.2	0.029	5.8	0.030	5.7
6월	0.024	5.6	0.028	5.2	0.028	5.7	0.022	5.4
7월	0.016	5.4	0.019	5.2	0.024	5.8	0.027	5.8
8월	0.017	5.6	0.016	5.6	0.022	5.7	0.023	5.7
9월	0.024	5.3	0.023	5.5	0.021	5.6	0.023	5.8
10월	0.049	-	0.036	4.8	0.035	5.8	0.025	6.0
11월	0.069	5.6	0.049	5.0	0.054	5.8	0.035	5.9
12월	0.085	4.4	0.055	-	0.068	6.4	0.045	-
평균	0.051	5.0	0.039	5.2	0.043	5.7	0.030	5.6

(3) 地球環境危害

現在 廢棄物 處理와 연관된 地球環境 문제는 오존층 파괴, 地球溫暖化, 酸性雨 등으로 이들 서로가 밀접한 관계가 있다. 工業先進國은 대량 의 資源을 소비하면서 많은 량의 廢棄物을 發生 하여 왔으며, 또 한편으로 開發途上國에서는 人口의 급증으로 處理대상 廢棄物이 점점 증가되 어 가고 있는 現況이다. 이들의 處理와 地球環境 사이의 關係를 요약하면 다음과 같다.

① 오존층 파괴

현재 그 원인물질로 Freon, Halon 등이 있다. Freon 가스는 열적, 化學的으로 대단히 안정한 化學物質로 냉매, 발포제, 세척제, 분사제 등 다용도로 사용되고 있다. 이들의 방출량은 1,500 萬톤으로 추정되고 있으며 이들의 대체물질의 개발과 이들이 환경 및 폐기물 처리에 미치는 영향을 검토하여야 할 것이다.

② 地球溫暖化

廢棄物 處理에 내놓을 수 없는 燒却이나 埋立 이 地球溫暖化를 일으키는 負荷源으로 지적받고 있다. 그 기여도로는 탄산가스로는 수 %, 메탄가 스로는 30~40%로 추정된다. 동시에 오존층의 파괴를 일으키는 Freon 가스도 地球溫暖化에

상당히 기여하는 것으로 평가되고 있다.

③ 酸性雨

酸性雨는 pH 5.6 이하로 이에 의한 피해가 조림피해, 호소의 산성화, 재산피해의 형태로 나타나고 있으며, 특히 우리나라에서는 表 4와 같이 전국 각지에서 이 現象이 나타나며 그 피해도 심화되어 가고 있다. 이의 주요원인물질은 유황산화물, 질소산화물 및 염화수소 가스로 廢棄物 燒却處理過程에서도 발생되고 있다. 그러나 廢棄物 燒却, 餘열을 이용하므로 化石燃料의 사용량이 감소되므로 인한 긍정적인 효과도 있다 는 사실도 있어서는 안된다.

④ 熱帶林의 감소

大量生産과 消費에 의하여 天然資源이 감소되 고 있으며 그 중 熱帶林의 감소가 두드러진다. 熱帶林은 임산물, 식료, 公業원료 등의 供給源이 다. 통계에 의하면 廢紙 1톤을 回收·再活用하 므로 立木 20本の 林木이 절약된다고 한다. 또한 廢紙의 回收率을 높임으로서 熱帶林을 보호할 뿐만 아니라 地球溫暖化를 일으키는 탄산가스 의 量을 감소시킨다. 직접 에너지 次元에서도 廢紙 에서 펄프를 생산하는 것이 나무에서 處女펄프를 生産하는데 소모하는 에너지의 1/3로도 充分하 다.

⑤ 海洋汚染

廢棄物 등의 海洋投棄에 대한 런던條約에 의하면 海洋投棄處分은 최소화되도록 조치를 취하고 있다.

⑥ 有害廢棄物의 圓境이동

先進國의 有害廢棄物의 不適正管理에 기인하는 것으로 國家內의 문제가 國際的 문제로 확산되었다. 이에 대한 처리가 복잡하므로 汚染者

負擔原則(PPP)을 철저히 이행하여 廢棄物 排出者가 汚染者로 그 처리에 모든 책임을 수행하며 발생원의 自治體內에서 원활한 조치가 곤란한 경우에는 주변 自治體 협력과 합의에 의하여 처리하여야 한다. 1989년에 UNEP는 유해폐기물의 圓境이동 및 그 처분규제에 관한 바젤협약을 스위스 바젤에서 채택하였다. 이 협약에는 사람의 건강과 환경에 유해한 영향을 미치는 廢棄物(有害廢棄物)로 表 5와 같이 18個의 경로에서 배출되는 廢棄物과 27個의 有害成分含有 廢棄物 및 14個의 有害特性이 한가지 이상 지니고 있는 폐기물로 定하였다.

表 5 바젤 協約에서 정한 有害廢棄物

(a) 폐기경로 지정 폐기물

Y ₁	병원, 의료센타 및 진료소에서의 의료행위에 의한 의료계 폐기물
Y ₂	의료제품 제조에 의한 폐기물
Y ₃	不用 의약품 및 약제
Y ₄	살생물제 및 식물약제의 제조, 조합 및 사용에 의한 폐기물
Y ₅	목재보존화학품의 제조, 조합 및 사용에 의한 폐기물
Y ₆	유기용제의 제조, 조합 및 사용에 의한 폐기물
Y ₇	열처리 작업에 의한 시안화물을 포함한 폐기물
Y ₈	본래 의도된 사용에 적합하지 않는 폐광물유
Y ₉	불용인 기름과 물 또는 탄화수소와 물의 혼합물 또는 유탁물
Y ₁₀	PCB _s , PCT _s 또는 PPB _s 을 포함하거나 그것에 오염된 폐기물
Y ₁₁	정제, 증류 및 열분해처리에 의해 생긴 불용인 타르상 잔사
Y ₁₂	잉크, 염료, 안료, 도료, 락카, 바니시의 제조, 조합 및 사용에 의한 폐기물
Y ₁₃	유지, 라텍스, 가스제 및 집착제의 제조, 조합 및 사용에 의한 폐기물
Y ₁₄	연구, 개발 또는 교육활동에 의해 생긴 화학물질 및 미확인된 신규물질로서 사람이나 환경에의 영향에 알려져 있지 않는 물질
Y ₁₅	어떤 법률로 규제되지 않는 폭발성 폐기물
Y ₁₆	사진용 약품 및 규제되지 않는 폭발성 폐기물
Y ₁₇	금속 및 플라스틱의 표면처리에 의해 생성된 폐기물
Y ₁₈	산업폐기물 처리조작에 의해 생긴 잔사

(b) 유해성분 함유물질

Y ₁₉	금속 카르보닐
Y ₂₀	베리움, 베리움 화합물
Y ₂₁	6가 크롬 화합물
Y ₂₂	구리화합물
Y ₂₃	아연화합물
Y ₂₄	비스, 비소화합물
Y ₂₅	세렌, 세렌화합물
Y ₂₆	카드뮴, 카드뮴화합물
Y ₂₇	안티몬, 안티몬화합물
Y ₂₈	테르븀, 테르븀화합물
Y ₂₉	수은, 수은화합물
Y ₃₀	타리움, 타리움화합물
Y ₃₁	연, 연화합물
Y ₃₂	불화칼슘을 제외한 무기불소화합물
Y ₃₃	무기시안화합물
Y ₃₄	산성용액 혹은 고체상 산
Y ₃₅	염기성 용액 및 고체상 염기
Y ₃₆	아스베스트(분진 및 섬유질)
Y ₃₇	유기인 화합물
Y ₃₈	유기시안 화합물
Y ₃₉	플로르류, 크로르 플로르를 함유한 플로르 화합물
Y ₄₀	에테르
Y ₄₁	할로젠화 유기용제
Y ₄₂	할로젠화 용제를 제한 유기용제
Y ₄₃	폴리 염화 디벤질 푸란유
Y ₄₄	폴리 염화 디벤질-P-다이옥신류
Y ₄₅	분표 게제분을 제한 유기할로젠 화합물

(c) 유해특성폐기물

H1	폭발성물질
H3	인화성액체
H4.1	인화성고체
H4.2	자연연소하기 쉬운 물질
H4.3	물과 접촉해서 인화성가스를 발생하는 물질
H5.1	산화성물질
H5.2	유기과산화물
H6.1	급성독성물질
H6.2	병독을 일으키기 쉬운 물질
H8	부식성물질
H10	공기 또는 물과의 접촉에 의해서 독성가스를 발생하는 물질
H11	지발성 또는 만성독성물질
H12	생태독성물질
H13	처리후 상기의 어떤 성질을 나타내는 물질

우리나라는 아직 채택하고 있지는 아니하나 현행 特定有害廢棄物의 종류와는 상당한 차이가 있으므로 새로운 施行令이나 施行規則에서는 이 점을 유념하여야 할 것이다. 이와 같이 廢棄物處理는 地球環境保全에 관한 여러가지 문제를 야기시키므로 이에 대한 國際的인 共同勞力 즉, 科學的인 原因과 有效한 對策의 구명이 이루어져야 한다. 문제의 해결을 위해 기여할 내용을 정리하면 다음과 같다.

① Freon 가스 함유 廢棄物의 適正處理를 통해 오존층을 보호한다.

② 發生量의 減量化로 廢棄物處理에 수반되는 탄산가스 등의 발생량을 감소시켜 地球溫暖化를 줄인다.

③ 에너지 회수로 메탄가스 發生量을 줄이고 화석연료 소비량을 삭감하며 酸性雨 發生量을 억제한다.

④ 再活用을 추진하여 化石燃料의 소비량을 삭감하여 熱帶林을 보호한다.

⑤ 管理를 철저히 하여 海洋汚染을 방지함과 동시에 有害廢棄物 濺及이동도 억제한다.

특히 地球環境을 보호하기 위하여 전 인류가 공동보조를 맞추어 國際間 情報交換을 促進하고 共同研究를 통하여 기술개발을 추진함과 동시에

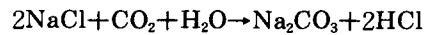
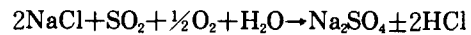
廢棄物處理 선택과 환경영향 사이의 定量的 관계를 유도하여야 할 것이다. 구체적인 處理施設의 危害性 管理(Risk Management)에 대하여는 燒却과 埋立의 경우 구체적으로 기술하겠다.

3. 廢棄物 燒却에서 危害性 評價 및 對策

廢棄物 燒却에서 발생하는 有害廢棄物은 유황산화물, 질소산화물, 염화수소, 유기염소 화합물, 중금속 등으로 前者 3種은 비교적 빨리 유해한 排出物을 인식되어 적절한 조치가 취하여져 왔으나 後者는 그 대책이 늦었으나 그 독성면에서는 더욱 심각하다 하겠다. 각국의 廢棄物(쓰레기) 燒却時 이들 오염물질에 대한 배출허용농도를 表 6에 나타내었다.

(1) 유황산화물, 염화수소

가연성 물질 가운데 포함된 원소는 탄소, 수소, 산소, 질소, 유황 및 염소 등이 있다. 이들 가운데 유황이나 염소의 연소과정에서 반응생성물로 유황산화물과 염화수소가 생성한다. 이들 연소생성가스는 일부는 배기가스로, 일부는 회분 속의 알카리 및 알카리토금속에 고정되어 배출된다. 염화수소의 경우는 폐기물 중의 PVC나 염소 화합물의 연소에 의하여 생성되거나 한편 금속의 염화물도 배기가스 중의 포함된 SO₂나 CO₂와 반응하여 황산염이나 탄산염이 되고 HCl이 생성되는 것으로 알려지고 있다. 염화나트륨(NaCl)의 경우로 예를 들면 다음과 같은 반응이 일어난다.



유황산화물과 염화수소의 제거방법으로 다음의 3가지가 있다.

- ① 물이나 알카리액으로 흡수시키는 습식법
- ② 알카리액으로 흡수시켜 알카리 고형물로 회수하는 반건식법
- ③ 알카리 분말로 흡수시켜 고체로 회수하는 건식법

表 6 各국의 쓰레기 燒却爐 대기오염 排出許容濃度(30분 평균)

*ppm
(단위: mg/m³)

성분	나라	ROK	Austria	France	Sweden	Switzer-land	Nether-lands	U.S.A(1시간)
TSP		*100(12)**	15	50	20	50	5	22.5
HCl		*80(12)	10	50	100	30	10	30*
HF(F ⁻)		*5	0.7	4	-	5	1	
SO ₂		*300(12)	50	200	-	500	40	30*
CO		*600(12)	50	100	-	250	50	300*
NO ₂		*200	100	400	-	500	70	200*
H.C.		-	20	-	-	20	10	30*
Pb, Zn, Cr,		10,30,1.0	2	1	-	5	1	0.005~1.8×10 ⁻⁵ lb/Ton
As, Co, Ni,		3, -20	0.5	-	-	1	-	-
Cd		1.0	0.05	0.1	-	0.2	0.05	-
Hg		5.0	0.05	0.1	0.8	0.2	0.05	4.5×10 ⁻⁴ lb/Ton

()** O₂%, Dioxins : USA(5×10⁻⁷ lb / Ton=22ng / kg), Sweden(0.1ng / Nm³)

表 7 질소산화물(NO_x) 제거방법

區分	方法	藥劑	生成物
연소제어법	저산소연소법	-	
	노내물분사법	물	
	배기가스 재순환법	-	
건식법	고온무촉매 환원법	암모니아수 및 뇨수	N ₂ , H ₂ O
	촉매환원법	암모니아가스	N ₂ , H ₂ O
	습식법	산화흡수법	산화제(O ₃) 알카리제 (가성소다등)

최종 배출농도가 100~400 ppm 정도로는 건식법을 사용하고 50~100 ppm 정도에는 반건식법, 30 ppm 이하에는 습식법을 주로 사용한다. 수질오염의 이차 오염을 방지하고 유기염소화합물을 억제하는 관점에서 반건식과 건식법이 최근 주목되고 있다.

(2) 질소산화물

연소에 수반되는 질소산화물에는 연료 중의

질소의 산화에 의한 연료질소산화물(Fuel NO₂)와 공기 중의 질소의 산화에 의한 열적 질소산화물(Thermal NO₂)이 있다. 연료 중의 질소분의 전환율은 5~90%로 보고되고 있으며 소각조작에 따라 크게 좌우된다. 쓰레기 속에는 1.5~4%(석탄 0.7~2.5%, 벙터 C유 0.2~0.4%)가 포함되어 있다. 이 질소산화물의 제거방식은 表 7에 나타내었으나 암모니아 환원 2단연소법이 건식법으로 많이 활용된다.(배출농도를 100ppm으로 제거가능하다.) 더 많은 제거가 필요할 경우에는 촉매분해법이나 습식흡수법을 사용한다.

(3) 有機鹽素化合物

최근 廢棄物 燒却爐에서 발생되는 有害物質로 Dioxin류와 같은 有機鹽素化合物에 관심이 집중되고 있다. Dioxin이라 칭하는 물질은 그림 2와 같은 구조식을 가진 것으로 (a)가 75종 (b)가 135종의 동족체를 가지고 있다. Dioxin문제는 1957년부터 야기되다가 1977년 Olie가 쓰레기 소각로 Fly ash가운데 Dioxin류가 검출된 사실을 발표한 이래 미국, 캐나다, 유럽등지에서 이 사실을 확인하기에 이르렀다. 스웨덴에서는

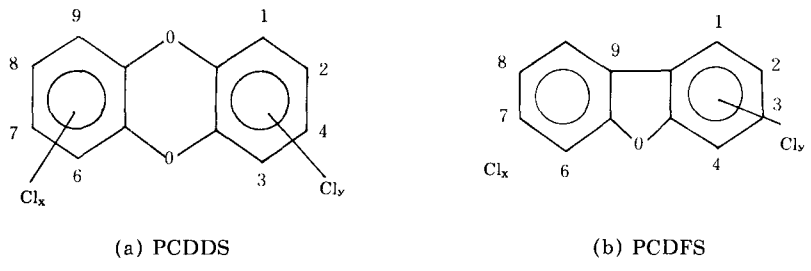
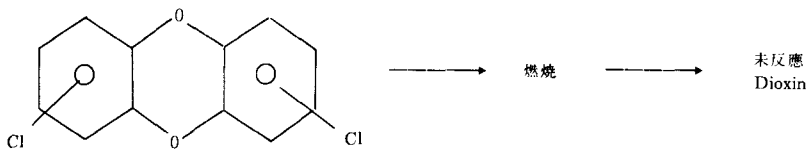
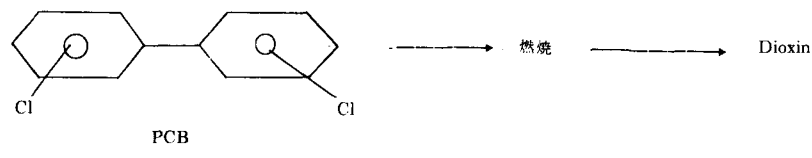
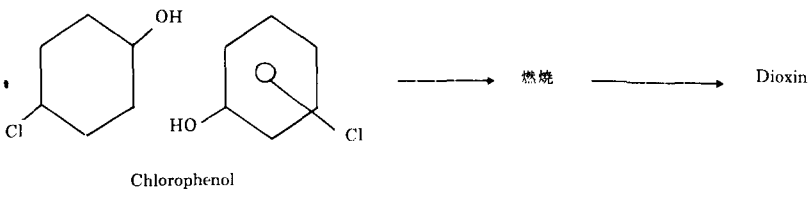


그림 2 PCDDS(a)와 PCDFS(b)의 구조

(1) 쓰레기 중의 Dioxin



(2)



(3) PVC+염소공여체 → Dioxin
NaCl, HCl, Cl₂

(4) Fly ash+염소공여체 → Dioxin

그림 3 Dioxin의 生成經路

1985년부터 신설소각로에 대하여 0.1ng / Nm³의 배기가스 허용기준을 정하고 있다(기존로에 대하여는 1992년부터 적용). Dioxin 류의 毒性에 대하여는 분명하지는 않으나 극미량이라도 인체에 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

LD₅₀(半數 死亡濃度)으로 經口섭취의 경우 작은 쥐에는 0.6μg / kg 큰 쥐(Hamster)에는 5mg / kg 정도로 조사되고 있다.

맹독성인 청산카리(수 mg / kg), 파라티온(10mg / kg) 이상의 급성독성이 있는 것으로 알려져 있다. 만성독성에 대하여는 자료를 얻기가 곤란하나 적은 양의 2, 3, 7, 8 TeCDD(Tetrachloro Dibenzo Para Dioxin)에 대하여도 발암성, 면역독성, 간독성 등을 확인할 수 있었다.

폐기물소각에서 Dioxin 류의 생성경로는 그림 3과 같이 4가지 경로를 생각할 수 있다.

- ① 廢棄物 中에 존재하는 Dioxin 류가 分解하지 않고 排出
- ② 폐기물에 포함되어 있거나 소각과정에서 생성한 유기염소화합물이 소각과정에서 Dioxin 으로 변화
- ③ 소각과정에서 유기물에 염소공여체가 작용하여 Dioxin 이 생성

④ Fly ash와 염소공여체와 반응하여 Dioxin 을 생성

많은 조사결과 Dioxin 을 300℃ 전후의 온도에서 생성되므로 이 온도를 피하는 것이 첫 대응책이고 다음은 초기단계에서 염소공여체를 제거하는 것으로 칼슘분말을 배기가스에 송입하여 염화수소를 흡수시켜 Bag filter 로 이들을 분리하는 것이다.

국내에서는 아직 Dioxin 에 대한 조사나 대책이 미비하나 독일, 스위스, 스웨덴 등 유럽에서는 이에 대한 상당한 연구가 진행 중에 있다. 최근 발표된 여러나라의 소각로의 Dioxin 배출농도의 평균치를 表 8에 나타내었으며 이 보고서에서는 연소조건의 최적화로 전체농도의 1/10 이하로 낮추는 것이 가능하고 배기가스 세정처리로 1/10~1/100까지 감소시키는 것이 가능하므로 전체적으로 1/100~1/1000의 감소가 가능하다는 결론을 얻고 있다.

(4) 重金屬

廢棄物 燒却爐로부터의 重金屬 문제는 沸點이 낮기때문에 소각과정에서 기화하여 배기가스 중으로 포함된 重金屬과 沸點이 비교적 높아 固相으로 재로 남아 재처분지에서 용출되는 重金屬

表 8 일본의 燒却爐 Dioxin 測定 結果 例

場 所	燒却工程	平均濃度(ng / m ³)
Umea 1	MSW cross-grate incinerator	10
Umea 2	MSW cross-grate incinerator	5.6
Avesta 1	MSW cross-grate incinerator	80
Avesta 2	NSW cross-grate incinerator	2.0
Boras	MSW cross-grate incinerator	38
Sundsvall	NSW fluidized bed incinerator	1.8
SAKAB, Norrtorp	HW rotary kiln, afterburner	1~6*
Nyborg Denmark	HW rotary kiln, afterburner	3~10
Stenungsund	Lurgi incinerator	<1
Degerhamn, Sweden	Cement kiln(PCB oil)	0.1~2
Norcem, Norway	Cement kiln(PCB oil)	<1.5
Rönnskär	Industrial copper smelter	11
Avesta	Industrial steel mill	0.8ng / g dust

*42ng / m³ as maximum emission(TEQ)

表 9 우리나라의 廢棄物 管理 現況(1989)

(單位: 千噸/年)

區分	生活쓰레기	産業廢棄物	特定廢棄物
總發生量(%)	28,478(100)	21,041(100)	843(100)
埋立	一般	自家	
	衛生	委託	
處理(%)	小計		
燒却	簡易		
處理(%)	衛生		
	小計		
再活用			
未收集			
		其他	

屬으로부터 야기된다.

前者의 대표적인 것이 수은과 카드뮴으로 배기 가스에는 염화수소가 있으므로 금속염화물로 변화하고 일반적으로 금속염화물의 平衡蒸氣壓이 높으므로 응축하여 집진기에 포집된다.

현재 수은은 건전지, 형광등, 채운계 등이 발생 원이 되며, 일본 동경의 측정결과에 의하면 분진(Dust)중 수은은 $0.15 \sim 0.3 \mu\text{g} / \text{Nm}^3$, 중기성분은 $2.95 \sim 6.47 \mu\text{g} / \text{Nm}^3$ 으로 상당히 높았다. 배기가스 중의 수은농도를 감소시키기 위하여 건전지 등을 분리수거하여 수은을 회수하는 근원적인 대책이 필요하다. 배기가스 중의 수은에 대한 대책으로 습식세정폐수 중에서 수은을 회수하는 방법은 알카리와 환원제를 첨가하여 수은화합물을 금속수은으로 환원하고 금속수은을 함유한 폐수를 80℃ 정도로 가온하여 포기를 행하여 수은을 증발시켜 이를 2단응축기(1단 25℃, 2단 5℃)로 냉각응축시키며, 응축기를 나가는 가스는 아연화합물로 Coating 한 활성탄 탑을 통과시켜 잔여수은을 포집한다.

배기가스 중의 수은은 건식염화수소제거법과 Bag filter를 조합하여 포집한다. 카드뮴중에 대한 대책은 분진포집효율을 향상시켜 배출농도를 감소시키는 방법이다. 스웨덴의 경우 현행 배출농도가 $0.05 \sim 0.1 \text{mg} / \text{Nm}^3$ 인데 입자상 물질의 배출을 $10 \text{mg} / \text{Nm}^3$ 에서 $0.01 \sim 0.02 \text{mg} / \text{Nm}^3$ 으로 저하시키고 있다.

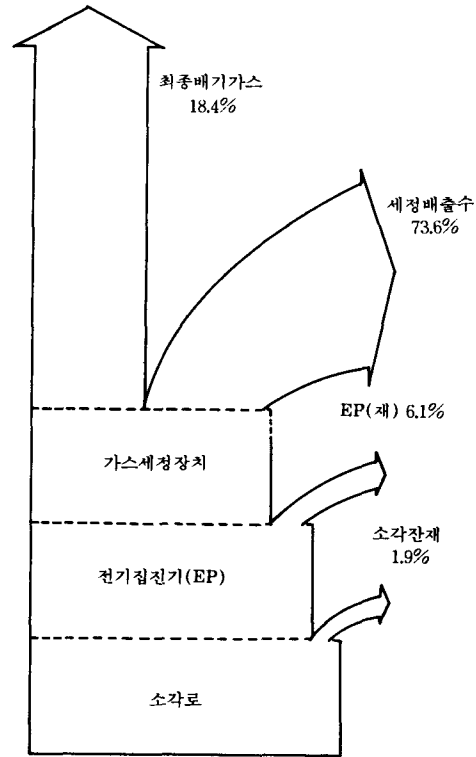


그림 4 소각장내의 수은의 거동

4. 廢棄物 埋立에서의 危害性 評價 및 對策

1989년도 현재 우리나라의 廢棄物의 管理를 表 9에 나타내었다. 쓰레기의 경우 약 95%, 産業廢棄物의 경우 29.4%를 매립에 의존하고 있으나 매립에 필요한 지침서도 급년에 겨우 만들었으며 衛生埋立도 쓰레기의 경우 불과 14.4%에 지나지 않아 불법투기, 매립지 확보난 등으로 심각한 사회문제가 되고 있다. 특히 새로운 廢棄物 管理法에 의하면 특정폐기물 이외의 폐기물은 일반폐기물로 분류되어 쓰레기나 산업폐기물을 동시에 매립할 수 있게 되어 있으므로 이들의 危害性, 安全性 評價에 신중을 기하여야 하겠다.

일본의 경우는 廢棄物 管理現況을 表 10에 나타낸 바와 같이 中間處理(燒却, 破碎等)를

효율적으로 수행하여 최대한 감량화한 이후에 철저한 衛生埋立을 실시한다. 미국의 경우 1984 HSWA(Hazardous and Solid Waste Amendment Act)에 의한 매립억제 정책에 의하여 유해 폐기물의 매립을 억제하여 왔다. 그림 5는 1986년 CMA(Chemical Manufacturers Association)가 회원업체에 조사한 有害固形廢棄物(전체 有害廢棄物의 2.0%)에 대한 管理 및 處理現況을 나타낸 것인데 전체의 7%만 埋立하고 있는 실정이다(Solid Waste(쓰레기)는 약 80%가 衛生埋立, 9%가 소각, 11%가 再活用이다).

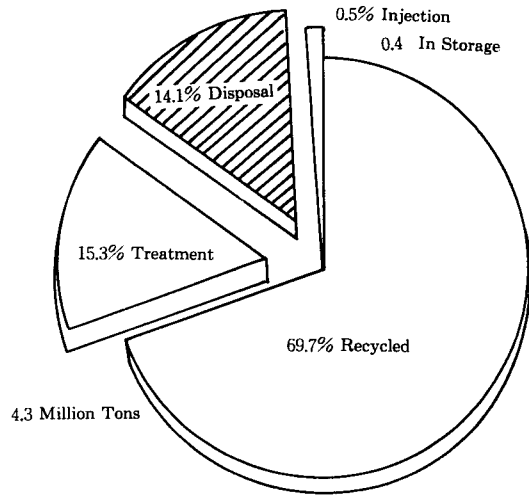


그림 5 미국의 有害固形廢棄物 管理現況(1986)

(1) 埋立處分에 수반되는 有害物質의 거동

重金屬과 有機염소化合物 등의 有害物質은 여러 제품의 제조 과정의 안료, 촉매, 안정제 등의 용도로 사용되므로 각종 廢棄物 속에 포함된다.

表 10 日本의 廢棄物 管理現況(1986)

區 分	生活쓰레기(톤/일)	産業廢棄物(천톤/년)	有害廢棄物(톤/년)
總發生量(%)	117,690(100)	312,271(100)	854,820(100)
埋立 處理	直接	29,008(24.6)*	71,873(23)*
	中間處理	13,803	17,791
	기 타	1,079	661(해양투입)
	小 計	43,889(37.3)	90,325(29)
燒却 處理	量	84,548(71.9)*	*中間處理 135,592(44.0)*
	감량	70,745(60.1)	감량 92,734(30)
再 活 用		直接	103,806(33)*
		中間處理	25,405
		小 計	129,212(41)
其 他	3,974(3.4)		12,880(1.5)*
			93,454
			106,334(12.4)

이들 有害物質은 直接 埋立이나 燒却시 Fly ash 나 Bottom ash를 埋立할 때 埋立場으로 반입된다. Fly ash 나 Bottom ash 중의 重金屬의 含有量의 예는 表 11과 같이 상당한 양이 함유되어 있는 것을 알 수 있다.

우리나라에서의 경우 埋立場에서의 浸出水의 濃度를 年次的으로 조사하여 經年變化(年平均)

로 나타낸 것이 거의 없으므로 최근 일본의 자료를 이용하여 검토해 보겠다. 완전히 소각잔사만 매립할 경우와 불연성물을 주체로 매립한 경우의 년도별 침출수의 농도변화는 그림 6과 같으며, 소각잔사만을 매립할 경우에는 매립 1년, 2년까지 높은 중금속이 검출되었으며 매립 3년에는 대부분의 중금속이 검출되지 않거나 환경기준이

하이였다. 불연성물질을 주체로 매립한 경우는 Hg, Cd, Pb, Cu는 검출되지 않거나 환경기준이 하이었고, Zn은 매립 1년 이후에도 환경기준이 상이었다. Fe와 Mn은 3년이 경과하여도 상당량 유출하는 경향을 나타내었다. 미국이나 캐나다, 유럽 등의 조사에 따르면 소각잔사 중에 나프탈렌이 Fly ash 중에 270~9,300 ng/g, Bottom ash 중에 570~580 ng/g 을 포함한 것을 비롯하여 20여종의 성분이 검출되는 것으로 보고되고 있다.

(2) 埋立場에서의 有害物質 流出防止 對策

埋立場의 有害物質, 특히 重金屬의 유출특성은 다음과 같다.

表 11 燒却灰, EP 灰中の 重金屬 含有量 (단위: $\mu\text{g/g}$)

廢棄物	T-Hg	Cd	Cu	Pb	Zn
燒却灰	<0.005 ~5.4	<0.001 ~165	490 ~1,287	177 ~10,670	385 ~25,200
EP灰	0.023 ~41.4	10 ~422	210 ~2,450	649 ~12,000	1,380 ~48,000

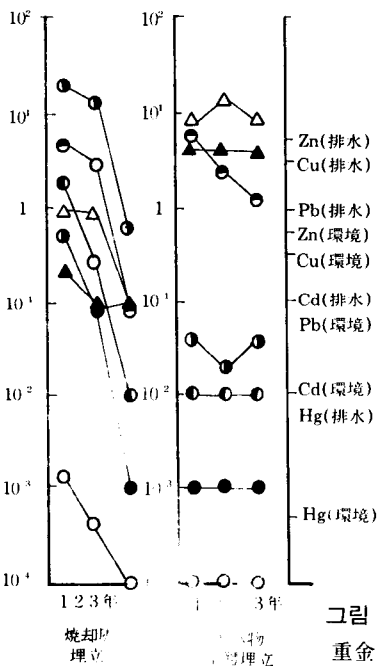


그림 6 浸出水 中の 重金屬의 經年變化

① 쓰레기 중에 포함된 重金屬 함유량은 가연 쓰레기 < 불연쓰레기 < 소각잔사순으로 많다.

② 소각잔사를 매립할 경우에는 SS에 의한 重金屬의 流出이 많으므로 SS의 제거는 重金屬의 유출을 크게 줄일 수 있다.

③ 침출수로의 重金屬 流出量은 소각잔사매립장의 경우 전체 重金屬의 약 1%에 해당하고 나머지는 埋立場내에 잔존한다.

④ 쓰레기 층별 침출수 중의 重金屬 농도는 Cu, Pb, Zn 등은 상층부 일부에서 나타나나 하층부에서는 쓰레기의 흡착, 여과 등에 의하여 나타나지 않는 경향이 있다.

⑤ Fe, Mn 및 Cl은 하층부로 갈수록 높은 농도를 나타냈다.

이러한 점을 감안하여 중금속의 유출을 방지하기 위한 대책으로는 다음을 고려할 수 있다.

① 침출수 중 重金屬은 SS속에 존재하는 경우가 많으므로 침출수의 처리시설은 1차처리후 여과하므로 침출수중 重金屬부하를 경감시킨다.

② 埋立場 内部에서 重金屬의 流出을 막기 위하여는 吸着여과층을 만들어 억제한다.

그러나 가장 根本的인 것은 有害한 상태의 物質에 대하여는 埋立場을 통제하는 조치가 바람직하다고 본다.

5. 結 論

廢棄物은 그 자체 危害性을 내포하는 경우도 많으나 소각과 같은 中間處理나 埋立場과 같은 最終 處理過程에서도 많은 有害物質의 발생으로 인한 危害性이 있음을 알았다. 이들에 대한 효율적인 危害性 管理를 위하여는 첫째 廢棄物의 特性에 맞는 處理技術을 선택하여 그 處理效率을 높이며 둘째 最終處理場의 경우에는 環境保全 정도에 따라 處理程度나 基準이 달라지므로 最終 處理場의 여건에 맞추어 수용가능 廢棄物(Acceptable Waste) 목록을 작성하고 이를 엄격히 실행하며, 마지막으로 處理場에 대한 엄격한 環境影響評價를 실시하며 경미한 環境影響도

쉽게 인지하여 이에 대한 적절한 處理 및 事後對策을 강구하여야 한다.

최근 廢棄物 문제는 모든 국가가 당면한 가장 심각한 環境 및 資源문제로 각기 적극적인 자세로 制度的, 技術的, 觀念的 해결방안을 강구하고 있다. 더욱이 地球環境에도 이들이 미치는 영향이 크므로 이의 해결을 위한 國際的 相互協力體制도 한단계 높은 次元에서 이루어지도록 모두가 勞力하여야 할 것이다.

참 고 문 헌(무순)

1. U.S. EPA, The Waste System, November 1988.
2. Porter, J.N., Hazardous Waste Clean-up Programs: A Critical Review, Chemical Engineering Progress, April, 16(1989).
3. Jones, F.R., Islip, New York Recycling Situation, EPA Journal, 15(2), 22(1989)
4. U.S. EPA, Waste Minimization, EPA / 530-SW-087-026
5. Nakatani, T., General Information on Japanese Waste Recycling Activities, Proceedings of International Symposium in Seoul '89(KSWES), 99(1989)
6. 環境處, 中基環境管理對策, 1991
7. 環境處, 89 산업폐기물 발생 및 처리실적보고, 1990.
8. 環境處, 廢棄物 管理法(改正), 1991
9. U.S. EPA, Hazardous Waste Incineration Guidance(series II), EPA / 625 / 6-89 / 019
10. Lee, C.C. and Huffman, G.L., Regulatory Framework for Combustion By-Products from Incineration Sources, 10(1990).
11. Marklund, S., Dioxin Emissions and Environmental Immissions, Doctor Thesis of Umea University, 17(1990)
12. 産業廢棄物と 安全工學 特輯號, 安全工學, vol 2 9, 1990.
13. 도갑수, 산업폐기물 처리, 처분대책, 90 환경오염방지기술에 관한 세미나(환경관리공단), 28(1990)
14. 도갑수, 지방공단조성에 따른 산업폐기물 처리애로 해소방안연구, 지역균형발전기획단(국토개발연구원), 1989.
15. CMA, 1986 CMA Hazardous Waste Survey, May 1988.