

KEI/1999
기본과제 연구보고서

폐기물 자원화 기술의 고급화 방안

- 유해 폐기물을 중심으로

1999. 12

이희선
김강석
공성용
구현정



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

序 言

산업이 발전함에 따라 유해폐기물의 발생이 매년 큰 폭으로 증가하고 있어, 이를 자원으로 재활용할 때 사회가 지불해야 하는 폐기물 처리비용 절감과 생산업체에 대한 자원절약이라는 이중의 효과를 가지게 됩니다.

선진국에서는 자국의 실정에 맞는 고부가가치를 갖는 자원화기술을 개발하여 상용화하고 있을 뿐만 아니라 이러한 기술의 외국으로의 유출을 방지하고 있습니다. 그러나, 우리 나라의 유해폐기물 자원화기술은 노동집약적인 형태로 유지되고 있으며, 자원화과정에서 인체 및 환경에 심각한 위해를 야기시키는 등 선진국에 비해 크게 떨어져 있습니다.

본 연구에서는 외국에서 상용화된 자원화기술을 우리 나라에서 발생되는 전기로 제강분진 및 폐유를 사용하여 국내 적용의 가능성을 분석하였습니다. 국내에서 발생되는 대상폐기물은 특성이 다르고, 기존 공정에 대한 특허사용 등의 문제를 해결하기 위하여 기존의 기술을 그대로 적용하기보다는 이를 개량하거나 변형하여야 하며, 이를 위해서 새로운 기술의 개발이 이루어져야 합니다.

이를 바탕으로 유해폐기물을 재활용하는 자원화기술의 향상을 통하여 회수자원의 경제적 가치를 향상시키며, 강화되는 유해폐기물에 관한 환경규제에 산업체가 적절히 대응할 수 있도록 재활용된 제품이 고부가가치를 가지면서 환경친화적이도록 자원화기술을 고급화하기 위한 방안을 모색하여 크게 세가지 방향으로 고급화방안이 제시되었습니다.

첫째는 대상폐기물을 중심으로 한 지원정책을 강화하는 것으로 매립기준의 강화, 재활용을 통한 발생자 책임의 강화, 활성화를 위한 조치강화 및 국내적용 방안의 강구의 네가지 방안이 제시되었습니다.

둘째는 정부가 주도하여 지원을 강화하는 정책을 시행하는 것으로 정부주도의 추진 및 조정, 협력을 바탕으로 한 진행, 특정기술의 분화에 따른 재활용단지의 조성 및 I/A적용을 위한 기준설정의 네가지 방안이 제시되었습니다.

셋째는 기술혁신을 위한 지원정책으로 자원화 기술의 개발과 사용 증진, 허가과정의 체계화, 협조자 입장에서 자금제공 및 상업화 계획 시행의 네가지 방안이 제시되었습니다.

이와 같이 제시된 본 연구의 결과가 정부에서 추진하는 폐기물 재활용정책에 효율적으로 활용되었으면 하는 바램입니다.

본 연구를 맡아 수행한 李熙宣 博士, 金康碩 博士, 孔成鎔 博士와 자료정리 및 편집을 맡아 준 具滋貞 研究員에게 감사를 표합니다. 그리고 바쁘신 와중에도 불구하고 본 연구의 검토와 조언을 해주신 외부자문위원이신 白奎錫 課長, 成耆雄 博士, 宋榮憲 社長, 崔勳根 博士의 노고에 감사를 표합니다. 또한 내부자문위원으로 수고하신 金光任 博士, 鄭會聲 博士, 朱肱洙 博士, 崔相基 博士의 노고에 감사를 표합니다. 아울러 본 연구의 내용은 연구자 개인의 견해로서 본 연구원의 공식적인 입장과는 다를 수 있음을 밝혀 둡니다.

1999 年 12 月
韓國環境政策・評價研究院
院長 李 相 垠

목 차

I. 서론	1
1. 연구배경 및 목적	1
2. 연구의 범위	1
II. 자원화 현황	3
1. 유해폐기물 발생현황	3
1.1. 전체 발생현황	3
1.2. 시도별	4
1.3. 관리청별	9
2. 유해폐기물 처리현황	11
3. 유해폐기물 재활용현황	13
3.1. 시도별	13
3.2. 관리청별	14
4. 유해폐기물 자원화의 필요성	15
4.1. 전기로 제강분진	16
4.2. 폐유	17
4.3. 오니	17
III. 폐기물 자원화 기술의 동향과 국내 수준 분석	18
1. 자원화 기술의 분류에 대한 고찰	18
1.1. 저급 자원화 기술	18
1.2. 고급 자원화 기술	19
2. 국내 자원화기술 현황	22
3. 국내 자원화 기술의 낙후 요인	24
3.1. 기존 기술 수준의 낙후	24
3.2. 기술개발 분위기 및 여건의 취약	25
3.3. 관련 기술의 종합적 활용 체계 미흡	26
IV. 주요 유해폐기물의 자원화 기술 비교 및 진단	28
1. 전기로 제강분진	28
1.1 발생현황	28
1.2. 제강산업의 발전추이	28
1.3. 자원화 기술	29
1.4. 자원화기술의 비교	31
1.5. 선진국의 자원화기술 현황	33
2. 폐유	34
2.1. 발생 현황	34
2.2. 폐유 관리제도의 발전 추이	36
2.3. 자원화기술	37

2.4. 자원화기술의 비교	38
2.5. 선진국의 자원화기술 현황	43
3. 오니	46
3.1. 발생현황	46
3.2. 오니의 성상	46
3.3. 자원화기술	49
V. 자원화기술의 선정 및 적용사례	55
1. 1차폐기물 자원화기술	55
1.1. 제강분진	55
1.2. 폐유	69
2. 2차폐기물 환경성 검토	75
2.1. 제강분진	75
2.2. 폐유	78
VI. 자원화기술의 고급화 방안	81
1. 대상폐기물에 대한 지원정책	81
1.1. 매립기준의 강화	81
1.2. 재활용을 통한 발생자 책임의 강화	81
1.3. 활성화를 위한 조치 강화	82
1.4. 국내 적용방안의 강구	83
2. 정부주도의 지원정책	85
2.1. 정부주도의 공동기술 개발 추진 및 조정	85
2.2. 정부부처 및 관련당사자들의 협력을 바탕으로 진행	86
2.3. 특정기술의 분화에 따른 재활용단지 조성	87
2.4. 대체 및 혁신제도(I/A)의 적용기준 설정	88
3. 기술혁신을 위한 지원정책	92
3.1. 자원화기술 개발 및 사용 증가를 위한 프로그램의 개선 및	92
3.2. 허가과정의 체계화 및 확인시스템의 개선	94
3.3. 기술개발자들에 대한 자금제공	95
3.4. 상업화 계획 수립 및 시행	96
VII. 결론	99
 참고문헌	 101
부록 I. 미국의 환경기술전략	103

표 목 차

<표Ⅱ-1> 지정 폐기물 발생량 현황	3
<표Ⅱ-2> 시도별 지정폐기물 발생량	5
<표Ⅱ-3> 관리청별 재활용 현황	9
<표Ⅱ-4> 처리방법별 처리현황	11
<표Ⅱ-5> 시도별 지정폐기물 재활용 현황 (97년)	13
<표Ⅱ-6> 관리청별 지정폐기물 재활용 현황	15
<표Ⅲ-1> 산업폐기물 자원화기술 보유현황	23
<표Ⅲ-2> 주요 폐기물처리기술 분야별 국내기술개발동향	23
<표Ⅲ-3> 보유 특허건수	24
<표Ⅲ-4> 산업폐기물 자원화기술의 입수경로	25
<표Ⅲ-5> 기술개발과 관련한 관심도	25
<표Ⅳ-1> 국내 전기로제강용 고철소비량 및 제강분진 발생량 현황	28
<표Ⅳ-2> 현재와 25년전의 철강공업의 위치	29
<표Ⅳ-3> 상용화된 공정별 장,단점 조사	33
<표Ⅳ-4> 최근 개발되어 상용화되고 있는 기술	34
<표Ⅳ-5> 연도별 폐윤활유 회수 및 정제실적	35
<표Ⅳ-6> 연도별 윤활유 판매 현황	36
<표Ⅳ-7> Texaco사의 정제연료유 사양과 선박 디젤유(MDO)의 기술비교	38
<표Ⅳ-8> 정제기술의 비교	42
<표Ⅳ-9> 국내 정제 설비의 경제성 분석	43
<표Ⅳ-10> 산업체별 발생오니의 성분분석	47
<표Ⅳ-11> 산업공단내 하수처리장에서 발생하는 오니의 일반적인 특성	48
<표Ⅳ-12> 하수슬러지의 물리·화학 분석	49
<표Ⅳ-13> 오니 처리 방법(alternative)에 대한 에너지 수지	51
<표Ⅴ-1> ICP 분석에 의한 제강분진(EAF duast)의 분석치	55
<표Ⅴ-2> 가성소다를 사용한 침출 실험 조건들	56
<표Ⅴ-3> 가성소다를 사용한 분진A의 침출 결과	56
<표Ⅴ-4> 분진 B의 가성소다액에서의 침출 결과	57
<표Ⅴ-5> 염산을 사용한 침출실험	58
<표Ⅴ-6> 염산용액에서의 침출 결과	59
<표Ⅴ-7> 황산 50%용액을 사용한 침출실험	60
<표Ⅴ-8> 황산용액을 사용한 침출 결과	61
<표Ⅴ-9> Musprat Solution을 사용한 침출	61
<표Ⅴ-10> Musprat solution의 침출 결과	61
<표Ⅴ-11> 뜨거운 염화암모늄용액에서의 침출	62
<표Ⅴ-12> 뜨거운 염화암모늄 용액에서의 침출 결과	62
<표Ⅴ-13> 염산을 사용한 제강 분진의 침출 결과	65

<표 V-14> 황산을 사용한 제강 분진의 침출 결과	66
<표 V-15> 국내 폐유 정제공정의 정제유 분석	73
<표 V-16> 잔사의 유해성 평가를 위한 침출을 시험결과	76
<표 V-17> EP toxicity test와 그 결과치	76
<표 V-18> 침출잔사의 조성표 (<표 V-14>의 실험번호 4)	78
<표 V-19> Solid Ash Cake의 시험 분석결과	79
<표 V-20> 액상 슬러지 시험 분석 결과	79
<표 VI-1> 선박디젤유와 고온열분해유의 비교	84
<표 VI-2> 엔바이로-디젤유의 성상	85
<표 VI-3> G-7프로젝트의 핵심기술대상과제 및 투자액	86

그 립 목 차

<그림Ⅳ-1> 이온정제법의 공정도	39
<그림Ⅳ-2> 감압증류식 공정도	40
<그림Ⅳ-3> 고온열분해식 공정도	41
<그림Ⅴ-1> 염산을 사용한 제강분진의 처리 방법	68
<그림Ⅴ-2> 정제유의 백토처리 공정	74
<그림Ⅵ-1> 혁신 및 대체기술의 일반화된 분류체계	89
<그림Ⅵ-2> 혁신 및 대체 기술 결정 방법론	90

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

산업이 발전함에 따라 유해폐기물의 발생이 매년 큰 폭으로 증가하여 '94년부터 '97년 사이에 '94년을 100으로 기준할 때, 각각 120, 142, 164로 증가하였다. 유해폐기물은 환경에 배출되어 그대로 방치될 경우 환경에 심각한 영향을 미치게 되지만, 적절히 회수되어 처리되면 자원으로 재활용될 가능성이 높다.

유해폐기물을 자원으로 재활용할 때 사회 전체의 폐기물 처리비용 절감과 생산업체에 대한 자원절약이라는 이중의 효과를 가지게 된다. 즉, 유해폐기물의 재활용이 가져다주는 경제적 이익은 사회 전체가 부담하는 환경오염비용을 절감하게 하며, 원자재 공급량을 늘려서 원자재의 가격하락을 유도하게 되어 생산업체에 대한 재료비 절감과 제조원가 인하로 이어지게 되고, 기업의 생산수율을 높이는 데 기여하는 것이다.

환경기준이 강화되어 폐기물 처리에 대한 사회적비용이 증가하게 되고, 자원고갈현상이 나타나게 되면 재활용자원에 대한 수요증가가 일어나 재활용산업의 수익성이 증대되고 이윤을 추구하는 기업의 참여로 폐기물 재활용산업은 성장하여 기간산업으로 자리를 잡을 수 있을 것이다.

선진국에서는 자국의 실정에 맞는 고부가가치를 갖는 자원화기술을 개발하여 상용화하고 있을 뿐만 아니라 이러한 기술의 외국으로의 유출을 방지하고 있다. 그러나, 우리 나라의 유해폐기물 자원화기술은 노동집약적인 형태로 유지되고 있으며, 자원화과정에서 인체 및 환경에 심각한 위해를 야기시키는 등 선진국에 비해 크게 떨어져 있다. 즉, 재래식 정제설비나 환경법에 부응하지 못한 설비에서 질이 낮고 환경오염을 유발시킬 수 있는 제품의 재생이 주를 이루고 있다.

보다 심각한 것은 자원화기술의 대부분이 수거나 선별과 같은 기계 및 장비의 운영에 한정된 단순기술이 많아 자원화를 통해 회수되는 폐자원의 경제적 가치를 높이지 못하고 있다는 것이다. 자원화기술 보유현황을 보면, 자원화기술을 보유하고 있는 기업은 10%미만이며, 이중 고부가가치를 갖는 원자재로 회수하는 기술을 가진 기업은 30%미만에 머무르고 있다.

또한 환경기술분야에서 평가한 바에 따르면, 유해폐기물 처리기술은 선진국의 20%인 기술 도입기로 평가되고 있으며, 특히 재활용 기술은 이보다 더 낮은 10% 정도인 개발중인 단계로 평가되고 있어 폐기물 자원화기술의 개발과 고급화가 시급한 실정이다.

이러한 배경하에서 본 연구는 유해폐기물을 재활용하는 자원화기술의 향상을 통하여 회수 자원의 경제적 가치를 향상시키며, 강화되는 유해폐기물에 관한 환경규제에 산업체가 적절히 대응할 수 있도록 재활용된 제품이 고부가가치를 가지면서 환경친화적이도록 자원화기술을 고급화하기 위한 방안을 모색하고자 한다.

2. 연구의 범위

폐기물관리법에 의하면, 유해폐기물은 사업장폐기물의 일부분으로 지정폐기물로 불리우고 있으며, 사업장폐기물 중 폐유·폐산 등 주변환경을 오염시킬 수 있는 유해한 물질로서 대통령령이 정하는 폐기물을 말한다. 현재의 국내 지정폐기물 분류체계를 보면, 총 18종으로 목

록·명명화된 것이 2종, 발생원에 따른 것이 2종, 특성에 의한 것이 4종, 용출시험에 의한 독성물질에 관한 것이 9종, 기타가 1종이다.

이와 같은 유해폐기물 전부를 대상으로 하기에는 품목이 다양하고 특성이 크게 달라 시간상 그리고 비용상 전부를 다룰 수 없다. 유해폐기물은 성상에 따라 자원화기술이 크게 달라질 수 있으므로 액상, 고상 및 반고상의 폐기물로 나누고 이중 위해성이 크거나 발생량이 많은 품목을 대상으로 한다.

따라서, 액상폐기물에서는 발생량이 많으나 자원화기술이 낮은 폐유를 상세히 분석하고자 하며, 고상폐기물에서는 발생량이 많고 위해성이 큰 분진을 대상으로 하고, 반고상에서는 발생량이 많은 오니에 대해 중점을 두어 연구하고자 한다.

유해폐기물 자원화기술을 고급화하기 위해서는 기술적인 측면, 제도적인 측면, 사회적인 측면, 그리고 경제적인 측면 등의 다양하고 종합적인 측면을 모두 고려하여야 한다. 그러나, 이를 모두 포함시키기에는 시간상, 비용상 제약이 있으므로, 본 연구에서는 유해폐기물이 가지는 시급성에 따라 기술적인 측면과 제도적인 측면에 대해 중점을 두고 연구하고자 한다.

II. 자원화 현황

급격한 경제성장과 산업구조의 변화로 다양한 유해폐기물이 다량 발생되고 있으며, 이에 대한 효율적인 자원화가 사회적인 문제로 대두되고 있어, 자원화기술은 환경보존과 자원회수 측면에서 활발히 연구가 수행되고 있으며 산업화에 이미 응용되고 있는 실정이다.

1. 유해폐기물 발생현황

1.1. 전체 발생현황

국내의 지정폐기물의 발생량은 <표 II-1>에서 보는 바와 같이 '94년 1,351,140톤, '95년 1,622,256톤, '96년 1,912,335톤, '97년 2,217,215톤으로 매년 큰 폭으로 증가하여 '97년의 총 발생량은 '94년과 비교하여 약 64% 증가되었다.

폐유의 경우, '94년 147,664톤, '95년 159,572톤, '96년 206,387톤, '97년 256,569톤으로 '94년에서 '97년까지 발생량이 약 70% 이상 증가되었으며, 분진의 경우, '94년 128,550톤, '95년 169,530톤, '96년 237,892톤, '97년 271,888톤으로 '94년에서 '97년까지 발생량이 약 100% 이상 증가되었다. 폐수처리오니(슬러지)경우도 발생량이 '94년 80,236톤, '95년 74,489톤, '96년 72,485톤, '97년 102,082톤으로 약 27% 증가되었다. 반면 공정오니의 경우는 '94년 15,050톤, '95년 13,766톤, '96년 10,323톤, '97년 14,791톤으로 '96년까지 감소하다가 '97년에 다시 증가되었으나, '94년에 비하면 약간 감소되었다.

<표 II-1> 지정 폐기물 발생량 현황

(단위: 톤/년)

지정 폐기물		1994	1995	1996	1997
폐 산		377,722 (28.0%:28.0)	454,678 (28.0%:33.7)	549,665 (28.7%:40.7)	638,634 (28.8%:47.3)
폐알카리		300,216 (22.2%:22.2)	314,685 (19.4%:23.3)	301,651 (15.8%:22.3)	427,087 (19.3%:31.6)
폐 유		147,664 (10.9%:10.9)	159,572 (9.84%:11.8)	206,387 (10.8%:15.3)	256,569 (11.6%:19.0)
폐 유기용제	할로젠 유기용제	12,607 (0.93%:0.93)	21,338 (1.34%:1.58)	44,113 (2.31%:3.26)	54,844 (2.47%:4.06)
	비할로젠 유기용제	221,348 (16.4%:16.4)	331,855 (20.5%:24.6)	380,299 (19.9%:28.1)	339,666 (15.3%:25.1)
폐 합성 고분자 화합물	폐합성수지	23,461 (1.74%:1.74)	29,706 (1.82%:2.20)	40,414 (2.11%:2.99)	51,054 (2.3%:3.78)
	폐합성고무	1,178 (0.09%:0.09)	1,335 (0.08%:0.10)	8,273 (0.43%:0.61)	04,452 (0.20%:0.33)
	폐페인트 및 폐락카	25,898 (1.92%:1.92)	31,883 (1.97%:2.36)	35,844 (1.87%:2.65)	34,491 (1.56%:2.55)
폐 석 먼		3,622 (0.27%:0.27)	4,427 (0.27%:0.33)	4,760 (0.25%:0.35)	1,770 (0.08%:0.13)
광 재		4,276 (0.32%:0.32)	6,721 (0.41%:0.50)	8,170 (0.43%:0.60)	6,823 (0.31%:0.50)
분 진		128,550 (9.51%:9.51)	169,530 (10.5%:12.5)	237,892 (12.4%:17.6)	271,888 (12.3%:20.1)
폐주물사 및 샌드블라스트폐사		1,742 (0.13%:0.13)	350 (0.02%:0.03)	1,508 (0.08%:0.11)	3,580 (0.21%:0.34)
				1,656 (0.09%:0.12)	
폐내화물		3,799 (0.28%:0.28)	4,625 (0.29%:0.34)		4,564 (0.17%:0.34)

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

<표 II-1> 지정 폐기물 발생량 현황 (계속)

(단위: 톤/년)

지정 폐기물	1994	1995	1996	1997
소각잔재물	2,958 (0.22%:0.22)	1,671 (0.10%:0.12)	7,875 (0.41%:0.58)	3,798 (0.17%:0.28)
안정화물	39 (0.003%:0.003)	472 (0.03%:0.03)	48 (0.003%:0.004)	435 (0.02%:0.03)
폐 축 매	212 (0.02%:0.02)	174 (0.01%:0.01)	88 (0.005%:0.01)	42 (0.002%:0.003)
폐 흡착제	94 (0.01%:0.01):	274 (0.02%:0.02)	400 (0.02%:0.03)	284 (0.01%:0.02)
폐 농 약	445 (0.03%:0.03)	611 (0.04%:0.05)	484 (0.03%:0.04)	362 (0.02%:0.03)
PCB 함유 폐기물	23 (0.002%:0.002)	94 (0.01%:0.01)		
폐수처리 오 니	80,236 (5.94%:5.94)	74,489 (4.59%:5.51)	72,485 (3.79%:5.36)	102,082 (4.60%:7.56)
공정오니	15,050 (1.11%:1.11)	13,766 (0.85%:1.02)	10,323 (0.54%:0.76)	14,791 (0.67%:1.09)
합 계	1,351,140 (100%:100)	1,622,256 (100%:120)	1,912,335 (100%:142)	2,217,215 (100%:164)

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

1.2. 시도별

전체 지정폐기물의 연간 발생량을 살펴보면, 경기도 39만6천톤, 경상북도 37만톤, 울산 33만톤의 순으로 높았으며 발생량이 적은 곳은 제주 2천톤, 강원 6천톤, 광주 6천6백톤 이었다.

폐유, 분진, 오니의 경우는 <표II-2>에서 보는 바와 같다. 폐유의 경우 울산과 경기지역에서 연간 4만톤과 3만8천톤이 발생하여 가장 높게 나타났으나 전국에서 고른 발생량 분포를 보이고 있다. 분진은 제강업체가 많이 위치하고 있는 인천과 경북지역에서 각각 연간 9만톤과 6만6천톤의 발생량을 보이고 있어서 이 두지역에서의 발생량이 '97년 전국 총발생량의 58% 이상을 차지한다.

한편 오니의 경우, 폐수처리오니는 경기와 인천에서의 발생량이 각각 연간 3만2천톤, 3만톤으로 가장 높게 나타났으며 두지역 합계가 '97년 전국 총발생량의 61%를 차지하며, 공정오니는 경북과 경기지역에서 연간 발생량이 각각 5천6백톤과 4만톤으로 가장 높게 나타났으며 두지역의 발생량 합계가 '97년 전국 총발생량의 65%로 나타났다.

<표 II-2> 시도별 지정폐기물 발생량

(단위: 톤/년)

	폐 유							
	'94		'95		'96		'97	
	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리
서울	4,301	1,802	4,735	2,152	10,287	5,463	12,614	5,304
부산	7,322	1,372	6,861	2,509	14,267	4,870	7,811	4,577
대구	3,636	340	5,891	322	7,545	908	11,706	3,301
인천	11,058	1,490	10,690	1,777	13,624	1,874	19,461	5,620
광주	1,320	199	1,934	520	2,193	784	3,296	631
대전	1,008	339	1,328	472	2,457	1,055	11,764	4,483
울산	-	-	-	-	-	-	40,753	14,051
강원	2,029	1,149	2,679	1,838	5,492	1,829	4,397	2,650
경기	19,415	4,356	22,668	4,428	30,228	12,331	37,860	12,296
충북	3,011	1,439	3,230	994	3,772	1,409	7,020	1,507
충남	7,489	5,771	3,122	967	5,302	1,678	12,964	5,174
전북	4,883	559	4,843	573	6,177	678	7,224	1,828
전남	12,606	2,679	15,303	5,857	17,643	1,763	23,206	2,913
경북	16,072	1,882	21,100	2,061	25,122	6,013	26,679	7,713
경남	53,371	5,647	54,934	9,252	61,960	4,070	27,827	5,662
제주	143	136	254	188	318	202	1,986	1,637
합	147,664	29,160	159,572	33,910	206,387	44,927	256,568	79,346

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

(단위: 톤/년)

	분진							
	'94		'95		'96		'97	
	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리
서울	2	0	5	0	300	0	18	0
부산	6,631	0	6,412	0	7,793	2	7,218	1,502
대구	7	0	11	0	19.5	7	14	0
인천	55,133	3,652	83,942	24,556	85,601	17,045	92,456	36,807
광주	17	0.5	42	0.4	57	0	4	0
대전	0	0	0	0	0	0	4	0
울산	-	-	-	-	-	-	1,219	350
강원	10	0.7	0	0	0	0	0	0
경기	4,513	1,282	5,166	1,420	7,336	2,868	6,513	1,719
충북	4	0	112	103	66	16	81	14
충남	0	0	354	0	24,254	15,152	21,668	19,468
전북	6,881	5,226	11,247	2,925	8,110	1,343	6,741	2,432
전남	23	0	27	0	2,273	0	32,555	0
경북	40,283	38,353	42,412	39,967	48,473	45,175	66,363	60,031
경남	15,046	0	19,800	22	53,610	11,322	37,036	26,627
제주	0	0	0	0	0	0	0	0
합	128,550	48,515	169,530	608,993	237,892	92,930	271,890	148,950

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

(단위: 톤/년)

	폐 수 처 리 오 니							
	'94		'95		'96		'97	
	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리
서울	2,205	20	1,964	4	2,546	18	917	69
부산	3,947	0	5,735	0	4,170	0	12,849	0
대구	6,481	1,112	4,268	0	4,063	0	7,330	0
인천	29,029	31	20,196	41	22,395	2,953	30,044	2,503
광주	578	0	815	0	1,146	3	679	0
대전	1,733	0	1,124	0	1,042	0	1,251	0
울산	-	-	-	-	-	-	592	0
강원	136	0	68	0	275	0.2	57	0
경기	26,663	219	29,691	122	28,046	4,255	32,399	5,896
충북	1,073	112	891	40	1,012	0	8,559	31
충남	1,545	0	1,746	0	2,133	0	722	3
전북	2,187	0	2,796	0	3,085	0	4,825	0
전남	2	0	5	0	0	0	2	0
경북	970	115	637	0	785	0	872	0
경남	3,685	18	4,553	53	1,787	113	984	0
제주	0	0	0	0	0	0	0	0
합	80,236	1,627	74,489	260	72,485	7,342	102,082	8,502

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

(단위: 톤/년)

	공 정 오 니							
	'94		'95		'9-6		'97	
	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리	발생량	재생 처리
서울	0	0	26	0	222	158	9	0
부산	600	20	260	25	595	25	744	35
대구	91	0	88	0	207	0	39	0
인천	292	0	465	0	954	134	570	0
광주	2,009	1,388	1,556	1,491	223	123	313	88
대전	6,563	1,470	1,890	1,885	1,217	0	0	0
울산	-	-	-	-	-	-	2,212	77
강원	250	0	320	0	0	0	0	0
경기	1,786	196	2,062	0	1,514	0	3,958	717
충북	140	0	76	53	0	0	12	0
충남	112	0	0	0	168	0	271	0
전북	24	3	35	6	44	15	30	19
전남	0	0	0	0	0	0	0	0
경북	1,840	1,352	5,468	1,670	3,056	2,108	5,590	2,368
경남	1,343	436	1,520	500	2,123	523	1,042	548
제주	0	0	0	0	0	0	0	0
합	15,050	4,865	13,766	5,630	10,323	3,086	14,790	3,852

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

1.3. 관리청별

전체 지정폐기물 발생량이 가장 높은 곳은 대구와 낙동강 환경관리청 관할지역으로 '97년 전국 총발생량의 56%를 차지한다.

폐유, 분진, 오니(슬러지)의 경우를 보면, <표 II-3>에서 보는 바와 같다.

폐유는 전국의 각 환경관리청 관할지역들에서 비교적 고르게 발생하고 있으나 낙동강과 한강 환경관리청 관할지역에서 각각 7만6천톤과 5만톤으로 가장 높게 나타났다. 분진의 경우는 인천과 대구 환경관리청 관할지역에서 각각 9만2천톤과 6만6천톤으로 높은 발생량을 보였으며 이 두지역 발생량의 합은 '97년 전국 총발생량의 58% 이상을 차지한다.

한편 오니의 경우를 보면, 폐수처리오니는 '97년에 한강과 인천 환경관리청 관할지역에서 발생하는 양이 각각 3만2천톤과 3만천톤으로 가장 높았으며 이 두지역의 발생량은 '97년 전국 총발생량의 62%에 해당한다. 공정오니는 대구지방환경관리청과 낙동강환경관리청 관할지역에서 가장 많은 발생량을 보였으며 '97년에 이 두지역에서 발생한 공정오니의 양은 '97년 전국 총발생량의 65%를 차지한다.

<표 II-3> 관리청별 재활용 현황

(단위: 톤/년)

	폐 유							
	'94		'95		'96		'97	
	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리
한강	33,861	7,522	26,087	6,277	43,171	17,909	49,492	17,930
낙동강	60,687	7,014	61,787	11,755	76,153	9,013	76,363	24,265
금강	10,050	7,039	6,029	2,059	9,802	3,550	29,695	10,436
영산강	14,074	3,018	17,499	6,571	20,148	2,749	28,516	5,206
원주	4,411	1,794	5,051	2,297	6,408	2,162	6,883	2,835
대구	19,708	2,223	26,991	2,384	32,577	6,867	38,385	11,013
인천	-	-	11,293	2,002	11,950	2,000	20,012	5,832
전주	4,874	550	4,835	565	6,178	677	7,224	1,828
합	147,665	29,160	159,572	33,910	206,387	44,927	256,570	79,345
	분 진							
	'94		'95		'96		'97	
	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리
한강	59,327	4,921	4,761	1,420	6,179	1,424	6,509	1,719
낙동강	21,676	0	26,212	22	61,403	11,324	45,474	28,479
금강	4	0	363	0	24,271	15,168	21,692	19,481
영산강	40	0.5	69	0.4	2,330	0	32,559	0
원주	332	13	504	103	87	0	60	0
대구	40,290	38,353	42,424	39,967	48,493	45,182	66,376	60,031
인천	-	-	83,950	24,556	87,019	18,489	92,477	36,807
전주	6,881	5,226	11,247	2,925	8,110	1,343	6,741	2,432
합	128,550	48,514	169,530	68,993	237,892	92,930	271,888	148,949

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

(단위: 톤/년)

	폐 수 처 리 오 니							
	'94		'95		'96		'97	
	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리
한강	57,898	270	30,078	116	29,376	4,273	32,089	5,965
낙동강	7,632	18	10,288	53	5,957	113	14,425	0
금강	4,219	0	3,709	0	3,458	0	9804	34
영산강	580	0	820	0	1,146	3	681	0
원주	268	112	120	40	998	0	785	0
대구	7,452	1,227	4,905	0	4,848	0	8,202	0
인천	-	-	21,773	51	23,611	2,953	31,271	2,503
전주	2,187	0	2,796	0	3,091	0	4,825	0
합	80,236	1,627	74,489	260	72,485	7,342	102,082	8,502
	공 정 오 니							
	'94		'95		'96		'97	
	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리	발생량	재생처리
한강	976	0	1,055	0	856	158	2,978	717
낙동강	1,943	456	1,780	525	2,718	548	3,998	660
금강	6,801	1,470	1,943	1,938	1,385	0	283	0
영산강	2,008	1,388	1,556	1,491	223	123	314	88
원주	1,367	196	1,368	0	873	0	959	0
대구	1,932	1,352	5,556	1,670	3,262	2,108	5,629	2,368
인천	-	-	473	0	962	134	602	0
전주	24	3	35	6	44	15	30	19
합	15,051	4,865	13,766	5,630	10,323	3,086	14,793	3,852

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

2. 유해폐기물 처리현황

'97년 현재 지정폐기물 총발생량의 51%가 재활용되고 있으며 94년의 49%에 비교해 볼 때 약 2.5% 증가하였다. 재활용되는 양은 '97년 현재 약 110만톤으로 94년의 66만톤에 비해서 약 48만톤이 증가하였다.

'94년~'97년 동안의 고형 유해폐기물의 처리현황을 보면 <표 II-4>와 같다. 폐유의 경우, 전체 발생량 중 50% 이상이 소각되었으며, 재활용과 기타의 방법으로 40% 정도 처리되었다. 분진의 경우, 전체 발생량 중 약 40%가 재활용되었으며, 반면 소각이 1% 미만, 매립이 10% 미만('94년 제외)으로 적은 비율로 처리되었다. 한편 그외 기타 방법으로 처리된 경우가 50% 정도로 많은 양을 차지하였다. 단, '97년의 경우는 재활용과 매립이 각각 60%와 36% 정도로 대부분을 차지하여 이전까지와 다르게 나타났다.

폐수처리오니의 경우는 주로 매립(약 60%이상)처리되었고 재활용과 소각의 방법으로는 1~15%정도 처리되었다. 한편 공정오니는 재활용이 30% 정도로 나타나고 있는데 점차 감소되고 있으며, 반면 소각의 비율이 15%에서 55%까지 증가되었다. 특히 '97년의 경우를 보면 '96년에는 기타 방법으로 34%나 처리되었으나 '97년에는 기타 방법으로는 전혀 처리되지 않고 대신 소각의 비율이 급격히 증가하였다.

<표 II-4> 처리방법별 처리현황

(단위: 톤/년)

	폐 유			
	'94	'95	'96	'97
배출량	147,664 (100%)	159,572 (100%)	206,387 (100%)	256,569 (100%)
재활용	29,939 (20.3%)	34,867 (21.9%)	45,028 (21.8%)	90,583 (35.3%)
소각	88,520 (60.0%)	93,637 (58.7%)	108,746 (52.7%)	145,377 (56.7%)
매립	2,242 (1.5%)	6,030 (3.8%)	8,439 (4.1%)	14,123 (5.5%)
해양투기			0	0
기타	26,964 (18.3%)	25,038 (15.7%)	35,262 (17.1%)	442 (0.17%)
보관			8,912 (4.3%)	6,043 (2.36%)
	분 진			
	'94	'95	'96	'97
배출량	128,550 (100%)	169,530 (100%)	237,892 (100%)	271,888 (100%)
재활용	49,387 (38.4%)	70,669 (41.7%)	93,532 (39.3%)	165,918 (61.0%)
소각	626 (0.5%)	1,572 (0.93%)	0	
매립	54,416 (42.3%)	12,300 (7.3%)	14,297 (6.0%)	99,040 (36.4%)
해양투기			0	
기타	24,121 (18.8%)	84,988 (50.1%)	123,736 (52.0%)	7,216 (2.65%)
보관			6,326 (2.7%)	-285 (-0.10%)

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

(단위: 톤/년)

	폐수처리오니			
	'94	'95	'96	'97
배출량	80,236 (100%)	74,489 (100%)	72,485 (100%)	102,082 (100%)
재활용	1,658 (2.1%)	278 (0.4%)	7,342 (10.1%)	9,375 (9.2%)
소각	11,324 (14.1%)	6,564 (8.8%)	163 (0.22%)	15,537 (15.2%)
매립	39,288 (49.0%)	45,049 (60.5%)	49,739 (68.6%)	73,901 (72.4%)
해양 투기			0	
기타	27,966 (34.9%)	22,597 (30.3%)	10,391 (14.3%)	1 (< 0.01%)
보관			4,850 (6.7%)	3,267 (3.2%)
	공정오니			
	'94	'95	'96	'97
배출량	15,050 (100%)	13,766 (100%)	10,323 (100%)	14,791 (100%)
재활용	4,865 (32.3%)	5,630 (40.9%)	3,091 (29.9%)	3,884 (26.3%)
소각	2,726 (18.1%)	5,816 (42.2%)	1,457 (14.1%)	8,064 (54.5%)
매립	4,663 (31.0%)	1,650 (12.0%)	1,922 (18.6%)	2,566 (17.4%)
해양 투기			0	
기타	2,796 (18.6%)	669 (4.9%)	3,481 (33.7%)	
보관			372 (3.6%)	276 (1.9%)

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

3. 유해폐기물 재활용현황

3.1. 시도별

전체 지정폐기물 재생처리량을 기준으로 볼 때 경북지역이 34%의 재활용률로 가장 높았으며 그 다음이 경기지역으로 18%의 재활용율을 보였다.

폐유, 분진, 오니의 경우는 <표II-5>에서 보는 바와 같다. 폐유는 울산과 경기지역에서 전체 폐유 재생처리량의 18%와 16%가 재활용되고 있어서 이 두 지역이 전국에서 가장 높은 폐유 재생율을 보였다. 분진은 경북과 인천지역에서 가장 높은 재생율을 보이는데 각각 전국 재생처리량의 40.3%와 25%가 이 두 지역에서 재생처리되고 있다.

오니의 경우를 보면, 폐수처리오니는 경기지역에서 전국재생처리량의 69%이상이 재생처리되고 있어서 가장 높은 재활용율을 보이고 있으며, 공정오니의 경우는 경북지역에서 가장 높은 재생율을 보이는데 전국 재생처리량의 62% 정도가 이 지역에서 재활용되고 있다.

<표 II -5> 시도별 지정폐기물 재활용 현황 (97년)

(단위; %)

지 역	폐 유		분 진	
	지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율	지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율
서 울	42.0	6.7	0	0
부 산	58.6	5.8	20.8	1.0
대 구	28.2	4.2	0	0
인 천	28.9	7.1	39.8	24.7
광 주	19.1	0.8	0	0
대 전	38.1	5.6	0	0
울 산	34.5	17.7	28.7	0.2
강 원	60.3	3.3	0	0
경 기	32.5	15.5	26.4	1.2
충 북	21.5	1.9	17.3	0.01
충 남	39.9	6.5	89.8	13.1
전 북	25.3	2.3	36.1	1.6
전 남	12.6	3.7	0	0
경 북	28.9	9.7	90.5	40.3
경 남	20.3	7.1	71.9	17.9
세 주	82.4	2.1	0	0
전 체	30.9	100.0	54.8	100.0

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

(단위: %)

지 역	폐수처리오니		공정오니	
	지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율	지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율
서 울	7.5	0.8	0	0
부 산	0	0	4.7	0.9
대 구	0	0	0	0
인 천	8.3	29.4	0	0
광 주	0	0	28.1	2.3
대 전	0	0	0	0
울 산	0	0	3.5	2.0
강 원	0	0	0	0
경 기	18.2	69.3	18.1	18.6
충 북	0.4	0.4	0	0
충 남	0.4	0.04	0	0
전 북	0	0	63.3	0.5
전 남	0	0	0	0
경 북	0	0	42.4	61.5
경 남	0	0	52.6	14.2
제 주	0	0	0	0
전 체	8.3	100.0	26.0	100.0

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

3.2. 관리청별

전체 지정폐기물 재생처리량을 기준으로 하였을 때 대구환경관리청 관할지역에서 가장 높은 38%의 재활용율을 보였고 그 다음이 한강 환경관리청 지역의 19%, 낙동강 환경관리청 관할지역의 18% 순으로 나타났다.

폐유, 분진, 오니(슬러지)의 경우를 보면, <표Ⅱ-6>에서 보는 바와 같다.

폐유의 경우 전국재생처리량의 31%가 낙동강 환경관리청 관할지역에서 재생되고 있어서 가장 높은 재활용지역으로 나타났다. 분진은 전국재생처리량의 40%에 해당하는 양이 대구환경관리청 관할지역에서 재생되고 있어서 가장 높은 재활용지역으로 나타났다.

한편 오니(슬러지)의 경우를 보면, 폐수처리오니는 한강환경관리청 지역에서 전국재생처리량의 70%이상이 재활용되고 있고, 공정오니는 대구환경관리청 관할지역에서 전국재생처리량의 62% 정도가 재생되고 있어서 가장 높은 재활용지역이다.

<표 II-6> 관리청별 지정폐기물 재활용 현황

(단위: %)

	폐 유		분 진	
관리청	관리지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율	관리지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율
한강	36.2	22.6	26.4	1.2
낙동강	31.8	30.6	62.6	19.1
금강	35.1	13.2	89.8	13.1
영산강	18.3	6.6	0	0
원주	41.2	3.6	0	0
대구	28.7	13.9	90.4	40.3
인천	29.1	7.4	39.8	24.7
전주	25.3	2.3	36.1	1.6
전체	30.9	100.0	54.8	100.0
	폐수처리오니		공정오니	
관리청	관리지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율	관리지역 발생량대비 재생율	전체 재생량대비 재생율
한강	18.6	70.2	24.1	18.6
낙동강	0	0	16.5	17.1
금강	0.3	0.4	0	0
영산강	0	0	28.0	2.3
원주	0	0	0	0
대구	0	0	42.1	61.5
인천	8.0	29.4	0	0
전주	0	0	63.3	0.5
전체	8.3	100.0	26.0	100.0

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1998.

4. 유해폐기물 자원화의 필요성

유해폐기물은 환경에 노출될 경우 인간과 생태계에 다양하고 복잡한 위해를 야기할 가능성이 높은 폐기물이다. 따라서, 유해폐기물을 경제성이 높게 재활용하여 자원화하는 것은 환경위해의 감소 뿐만 아니라 경제적으로도 이득이 될 수 있다. 이러한 이유로 미국의 경우 아예 법으로 특별한 유해폐기물에 대해서는 자원화할 것을 의무화하고 있다.

앞서의 현황에서 나타난 바와 같이 국내의 경우 아직도 유해폐기물의 자원화율이 낮다. 특히, 폐유와 같은 경우 '97년 기준으로 자원화율이 50% 정도이고, 분진의 경우 40%만 자원화되고 있으며, 폐수처리오니와 공정오니의 경우에는 거의 매립과 소각에 의하여 처리되고 있다.

폐유의 경우 선진국에서는 고급화된 자원화 기술을 이용하여 경유로 자원화하는 경우도 있으며, 제강 분진에 함유된 금속을 자원화하는 경우 경제적 이익이 크며, 오니의 경우 갈수록 발생량이 증대될 것으로 예측되며 매립과 소각에 의한 처리 방식은 환경오염의 증가와 매립지 부족의 한계를 극복하기 어려운 실정이다.

이러한 맥락에서 유해 폐기물의 환경 위해를 저감하고 경제적 이익을 극대화하기 위한 고급화된 자원화 기술의 개발과 보급 노력이 절실히 요구된다. 자원화 대상이 되는 유해폐기물의 종류는 매우 다양하지만 연구 목적상 제강분진, 폐유, 오니의 경우를 예로 들어 필요성에 대한 부연 설명을 하면 다음과 같다.

4.1. 전기로 제강분진

1988년 미환경청(EPA)에 의해서 전기로 제강분진은 RCRA (Resource Conservation and Recovery Act) (K061)에 따라 유해폐기물로 규정되어 매립하기 전에 전처리를 해야 하는 것으로 되어있다. 이때 만일 아연의 함량이 15% 이상이면 고온 금속 회수(High Temperature Metals Recovery)에 의해 아연을 회수하고, 15% 미만이면 안정화처리하여 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)에 만족하면 매립하는 것이 허용되었다. 그러나, 1995년 7월에 EPA는 모든 제강 분진에 대해 안정화하여 14개 원소에 대해 TCLP 기준을 만족하면 아연 함량에 관계없이 매립을 하는 것이 허용되도록 하였다.

분진을 안정화처리하는데 있어서 분진이 갖고 있는 높은 알칼리성때문에 pH를 조절하는데 산의 양이 많이 소모되므로 산을 사용한 안정화는 처리비용을 증대시킨다. 법적으로 매립의 기준들이 강화되는 상황에 있으며 앞으로도 더 강화될 예정이어서 안정화 방법은 매력을 갖고 있지 않다.

분진을 폐기하는 비용은 여전히 다른 폐기물에 비해 높은 상태이다. 이것은 안정화 처리하는 데 비용이 많이 들고 일반 매립장과는 구별되는 지정된 장소에만 매립하여야 하기 때문이다. 분진 처리에 관련한 설비는 투자비가 많이 들고 투자비 회수기간도 길기 때문에 앞으로의 변화를 수용할 수 있는, 즉 수명이 긴 방법이어야 할 것이다. 사업성의 문제는 각 나라의 사정마다 다르고 적용되는 법규 또한 달라서 나름대로 맞는 해답을 찾도록 해야 할 것이다.

제강사들은 생산 단가를 줄이기 위해 반드시 적은 비용이 드는 처리 방향을 선택할 것이다. 유가금속의 회수는 제강사의 관점에서 보면 별 이득이 없는 것이 사실이나 국가적으로 자원회수와 환경보존의 관점에서는 가장 바람직한 방안인 것이다. 따라서 선진 각국에서는 경제적인 부담을 지움으로써 동기 부여를 하고 있다.

대략 일년에 650,000~700,000톤이 제강분진이 미국에서 그리고 600,000톤 이상의 분진이 유럽에서 발생되고 있고 이 중에 100,000~160,000톤의 아연이, 200,000~260,000톤의 철이 함유되어 있으며, 또한 카드뮴, 납, 크롬, 니켈 등 상당한 유가 자원이 포함되어 있다. 아연의 연간 소모량은 전세계적으로 일인당 1.4 kg에 달한다. 제강분진은 환경문제를 발생하는 이유에서 뿐 아니라 이러한 유가 자원 회수의 관점에서도 재활용되는 것이 바람직하다.

아연의 경우 한국에서는 매년 막대한 양을 수입하고 있음에도 불구하고 회수하여 활용하는 경우가 많지 않다. 아연의 회수는 대부분 제강분진으로부터 이루어지고 있으므로 이에 대한 기술개발이 필요한 시점이다.

4.2. 폐유

기유(Base Oil)에 각종의 첨가제를 배합하여 만들어진 윤활유가 산업과 자동차의 내연기관에서 사용된 후 초기의 윤활 기능을 잃거나 변질되어 교체된 후 남은 것을 폐윤활유(폐유)라 한다.

이들 폐유는 자체 기름의 분해 또는 외부의 오염으로 Pb, Cd, Cr, Cu, Zn 등 중금속 화합물과 Cl, Br 등 염소화합물, 유황화합물 등이 있어 이렇게 사용된 윤활유가 자연계에 버려질 경우, 수면위의 유막형성으로 수생생물의 사멸, 폐유의 산화에 따른 카르복실산 형성으로 토양의 산성화 촉진, 토양층의 유막형성으로 인한 토양의 황폐화, 그리고 지하수의 오염 등으로 생태학적 재난을 초래할 수 있다. 또한 폐윤활유를 적절하게 처리하지 않거나 적절한 대기오염 방지시설 없이 폐윤활유를 연소시키는 경우 윤활유중에 함유되어 있는 각종 중금속 및 첨가제로 인한 심각한 대기오염을 일으킬 수 있다.

폐유의 발생량은 생산 판매되는 판매량의 65% 정도로 잡고 있으며 이들은 일반적인 연료유와는 달리 소모성 물질이 아니므로 유용한 자원으로 활용될 수 있어 일찍부터 이의 효율적인 활용방법에 관하여 연구되어 왔고 현재 상당 부분이 연료유로 재활용되고 있다.

4.3. 오니

현재 하·폐수 처리장에서 발생하는 오니는 매립, 해양투기 등으로 처리되고 있으며 일부가 소각에 의한 처리를 하고 있다. 매립은 대부분의 오니를 처리하는 방법으로써 침출수의 처리 및 지하수 유입 등을 방지하기 위한 시설만 갖추고 있으면 현재로서 가장 손쉬운 처리 방법이다. 그러나 침출수의 처리 등 위생매립에 따른 비용이 상승하여 매립율은 해마다 감소하고 있으며, 특히 새로운 매립지의 확보는 인근 주민들의 반대 등의 여러 가지 문제를 안고 있다.

해양 투기는 오물관리, 저장, 운반, 감시, 기상조건 등에 의해 처리비용이 증가하는 추세이며, 특히 런던협약에 의해 1996년부터 전세계적으로 폐기물의 해양투기가 금지되고 있다.

직매립이 금지되는 하·폐수 오니 처리의 한 방법으로 이용될 수 있는 소각의 경우 대기오염과 막대한 시설투자를 위한 재원확보의 문제가 있으며 소각장 설치에 인근 주민들의 심한 반대로 곧바로 시행하기 어려운 방안이다. 더구나 국내 하수종말처리장에서 발생하는 오니는 우기에 강우 유입 등에 의하여 유기성분 농도가 낮아 고온·고압하에서 자연발화가 잘 되지 않아 경유등 보조연료를 사용하여 소각해야 하는 경우가 많다. 재자원화가 가능한 유기성 오니를 경유 같은 보조연료까지 사용해 가면서 소각시켜 재와 연기로 만드는 것은 비경제적이며 환경친화적이지 못한 방법이다.

오니를 적절한 처리를 통해 유용한 자원으로 활용하는 연구는 일본을 비롯하여 캐나다, 미국, 독일 등에서 활발히 진행되고 있다. 오니에 포함된 유기물은 에너지원으로 활용 가능성이 높을 뿐만 아니라 수분 함량이 많은 오니의 매립이 법으로 규제되고 있기 때문에 오니의 처리에 의한 에너지 회수 또는 재활용 기술의 개발에 많은 비용과 노력을 투자하고 있다. 미국과 유럽의 경우 하·폐수 오니의 재활용을 통한 자원화를 꾸준히 진행시켜 왔으며 많은 성공 사례가 보고되고 있다.

Ⅲ. 폐기물 자원화 기술의 동향과 국내 수준 분석

1. 자원화 기술의 분류에 대한 고찰

선진공업국에서는 산업폐기물의 재활용, 소각 등에 의한 감량화 및 에너지 회수 등을 적극적으로 시행하고 있고 환경측면과 경제사회적 측면을 고려하여 종합적으로 산업폐기물을 관리한다. 따라서 경제발전에 따라 산업구조가 선진공업국화되어 가고 있는 우리나라도 산업폐기물의 효율적인 관리를 위하여 현재 선진공업국에서 이용되고 있는 재활용 기술, 감량화 기술 및 에너지회수기술 등을 검토하여 관련기술의 개발에 박차를 가할 필요가 있다.

1.1. 저급 자원화 기술

폐기물로부터 목적물이 아닌 전단계의 물질을 얻기 위한 물질회수 방법이다.

1.1.1. 분쇄

분쇄의 목적은 고체표면적을 크게하여 반응, 용해, 추출정도 등을 조정하거나 용도에 적합한 입도와 형상을 부존하기도 하며, 분체(粉體)로 함으로써 유동성을 부여하여 취급을 용이하게 하고, 피복성(被覆性), 균일성(均一性)을 개선하며, 또한 성형성을 높이는 것 등이다. 최근에는 분쇄조작에 입자의 정형(整形), 복합화, 메커니컬 얼로잉 등의 목적이 추가되고 있다. 자원회수 기술을 보면 각종 산업으로부터 배출되는 폐기물 혹은 도시폐기물 중 고형폐기물의 재활용에 있어서 분쇄공정은 필수적이며, 거의 모든 처리계통에 분쇄기가 이용되고 있다. 이것이 목적으로 하는 것은 분쇄로 폐기물의 크기 및 용적을 작게하여 그 후에 이어지는 소각, 매립, 유가물회수, 선별재자원화, 비료화, 포장, 수송에 도움을 주기 위한 것이다.

최근의 분쇄기술은 ① 밀(mill)의 초대형화에 의한 효율화, ② 롤러 밀(roller mill)의 대두(擡頭)와 다양화, ③ 초미분쇄기술의 발전, ④ 초미분쇄기술에 의한 입자 가공과 다기능화의 4개항으로 요약할 수 있다.

Roller mill에 의한 고로슬래그 분쇄는 비교적 소규모의 석탄분쇄에서 출발하여 시멘트 원료의 분쇄에 이용되었고, 이것은 분쇄효율이 높아 전력소비가 적고 분쇄·분급(分級)·건조를 동시에 함으로써, 설비가 간단화 되는 등의 이점이 있다.

1.1.2. 사분기술

사분은 망목(網目)을 사용하여 이를 통과하는 입자와 통과하지 않는 입자로 나누는 것으로 거의 모든 산업분야에서 이용되고 있다. 사분의 목적은 대입자 또는 미분의 제거, 정립(整粒) 외에 여과, 탈수, 세척, 분산과 혼합, 미분의 충전 상태의 개선 등에도 이용되고 있다.

얇고 표면적이 큰 필름 및 고지 등을 함유한 폐기물을 보통의 체로 처리하면 망상(網上)에 층을 이루게 되어 유리 및 토사 등의 미립자가 그 사이에 막혀 충분한 분리가 되지 않는다. 이와 같은 경우는 회전사를 사용하면 경사원통형의 사면회전에 따라 내부의 폐기물은 층이 형성되지 않아 효과적으로 분리가 가능하다. 회전사의 공급측에서 배출측을 향하여 공기를 불어넣으면 가벼운 필름 및 고지가 배출측으로 이동하므로 회전사의 전반부에서 토사 등의

불연물, 후반부에서 목편 등의 가연물이 망하(網下)산물로 되고, 플라스틱 필름, 고지 등이 망상(網上)산물로 된다.

처리원료인 폐기물을 미리 일정 입도 이하로 분쇄하고 분리에 지장이 없는 정도로 함수율을 대략 45% 이하로 조정하여, 일정량씩 광형(橫型)분리기에 공급한다. 이때 낙하중의 blower로부터 수평기류를 불어 넣으면 이 폐기물은 휘날려져 중량물(금속, 자갈류), 중중량물(中重量物: 목편, 경질, 플라스틱류), 경량물(輕量物: 플라스틱 필름, 고지류)로 분리된 후 각각 진동 스크린에 공급되어 대소의 두가지 종류로 사분되며, 분류된 것은 각각 다시 수직형 지그재그 풍력분리기에 보내져 유기물과 무기물로 분리된다.

1.2. 고급 자원화 기술

폐기물로부터 특정 2차 물질을 회수하기 위한 물질회수 방법이다.

1.2.1. 자계를 이용한 선별기술

고구배자기분리(HGMS: high gradient magnetic separation)는 전자석으로 만든 자장공간 내에 자성세선을 충전하여, 그 자성세선의 자화에 의해서 주위에 생성하는 고자장구배를 입자 포착력으로 유효이용하는 것으로 포착대상이 강자성입자에서 상자성입자에 이르기까지 광범위하다.

자성유체 선별은 수직상방으로 향하여 자계가 감소하는 자장 내에 놓인 자성유체는 그 자계구배에 의해서 밀쪽(高磁界側)으로 자기적 부력을 받게 된다. 이 힘은 자성유체의 비자성체 위치에서의 자화 및 자계구배에 비례하기 때문에 형성자장을 변화시킴으로써 각종 비중의 입자 상호분리가 가능하게 된다. 지금까지 곤란시 되었던 각종 금속간의 비중차에 의한 상호분리를 실현할 수 있다. 자성유체는 액중에 강자성체 미립자를 분산시킨 것으로 고가이나 저렴한 자성유체 제조법이 개발되면 폐기물 처리에 크게 쓰일 것이다.

이 기술이 실제 적용된 예는 다음과 같다. 파쇄된 조립 폐기물, 불연폐기물로부터 자선기를 이용하여 철분이 회수되나, 철분 회수율을 높이려면 반드시 비자성물의 혼입이 뒤따르므로, 회수된 철분을 다시 몇 단계의 자선(磁選)을 행함으로써 철분 품위를 높인다. 또한 철분을 회수한 후에 알루미늄을 회수할 목적으로 비철금속 분리장치가 사용되는 데, 이 장치는 과전류선별이라 하며, 회토류 자석의 출현으로 강력한 과전류를 발생시킬 수 있어 알루미늄의 품위도 향상된다.

고로슬래그는 몇 단계의 파쇄·분쇄 공정을 거친 후 미세입자를 각종 자선기로 분리·제거한 후, 노반재, 콘크리트 골재로 재이용하기도 하고, 고로 시멘트 원료로 이용된다.

일본 동경부(東京部)가 건설한 건설잔토 토질개선 플랜트는 파낸 건설잔토를 분쇄하여 석회 등을 혼합한 후에 조립(造粒), 분급(分級)하여 재사용 가능한 강도를 지닌 산모래와 동질인 흙으로 개량하여 다시 건설 현장에 재공급한다. 이 분쇄, 분급, 재파쇄의 공정 중에 몇 대고 간에 행강 자선기와 금속검출기를 설치하여 잔토에 섞여져 있는 모든 금속물을 분리·제거한다.

폐주물사의 재활용을 위해서는 모래 중에 혼입하는 미세한 철분이 많아지면 철물표면의 마무리가 나빠져 불량품이 많이 발생하게 되므로, 철분의 제거를 위해 풍력선별기, 자선기, 와전류 선별기 및 정전 선별기 등의 선별기술이 중요하다. 알루미늄 합금주물 및 사금 등의

동합금 주물공정에서 발생하는 폐주물사의 재활용에서도 알루미늄, 동은 비자성체이기 때문에 과전류 선별기가 쓰인다.

1.2.2. 플라스마 분리

전기 에너지가 전자를 재개하여 이온 혹은 중성입자의 열에너지로 변환될 때, 상압에 가까운 분위기로 형성되는 플라스마는 입자간의 충돌빈도가 높고, 입자간의 에너지 교환이 잘 행하여져 열평형에 가까운 상태가 되는 데 이를 평형플라스마 또는 열플라스마라고 부르며, 자원분리, 회수와 같은 대량의 물질처리 공정에 적용된다. 전기가열에 의한 플라스마에는 목적에 맞는 가스의 선택으로 산화성, 환원성, 불활성 등의 분위기를 높은 순도로 만들 수 있고, 그 결과 처리물의 순도와 회수율을 높게 유지하기가 용이하다.

이 기술이 실제 적용예는 다음과 같다. 제강전기로 분진의 재활용을 위해 플라스마를 이용한 조업이 스웨덴의 SKF사에 의해 개발되었다. 粉狀의 분진은 석탄분과 혼합하여 샤프트爐의 플라스마 입구에 불어 넣는다. 샤프트로는 코크스로 충전되어 있어서 로내전체가 플라스마로부터의 입열로 1200℃ 이상 유지된다. 입구 근처에서 금속산화물은 환원되고, 아연 및 연은 플라스마고온에 기화하여 CO가스와 함께 코크스의 틈을 통하여 로내의 응축기를 통한 CO가스는 세정되어 일부는 플라스마 가스로 재순환하지만, 다른 것은 연료가스로 가열 혹은 발전에 사용된다. 그밖에 샤프트爐의 밑에 놓인 철, 니켈, 크롬 등은 용융상태로 회수된다.

자동차배기가스 촉매로부터 백금을 회수하기 위해 백금이 코팅된 촉매담체는 분쇄기로 분쇄하여 석회석과 주철괴와 함께 플라스마 용해로에 장입된다. 이때 석탄석은 세라믹스의 용점을 저하시키므로 주철은 백금속을 용해하여 농축시키는 컬렉터의 역할을 맡고, 용융상태가 된 세라믹스와 금속은 분리하여 회수되고, 백금속(白金屬)을 용해하는 주철은 또 다시 분쇄·응고되어 습식법으로 백금속만이 분리된다.

1.2.3. 용융분리

용융공정은 감용(減容)효과 및 안전성이 높아 중금속 등의 유해물질의 용출을 방지할 수 있다. 슬래그를 용융처리하여 수냉슬래그와 공냉슬래그로 재생할 수 있으며, 전자는 급격한 냉각에 의하여 생성된 유리질의 사상(砂狀) 슬래그이고, 후자는 서냉 중에 결정성장이 일어나므로 강도가 큰 암석상 슬래그로 부가가치가 큰 제품이 된다. 도금 슬래그, 폐수처리 오니, 프린트 기판 폐기물의 재활용에 이용되며, 유해성분은 슬래그로 고정하고, 유용금속은 매트로 회수한다. 연료에 있어서도 가능한 폐유로부터 얻은 재생유를 사용한다.

1.2.4. 침출·용해

침출은 목적성분을 선택적으로 용해하는 공정을 말하며, 보통 상압에서 행하여지나 높은 가스 분압 및 비점 이상의 고온을 요하는 경우에는 가압침출이 행하여진다. 침출은 사용하는 용매에 따라 황산 또는 염산을 사용하는 산침출법, 가성소다 또는 암모니아를 사용하는 알칼리침출법 및 물을 사용하는 수침출법으로 나누어진다.

1.2.5. 증발법

폐용제 혼합용액이나 물을 포함한 슬러지로부터 용제를 증기상태로 제거하는 방법이다. 교반식 박막증발 방식은 증발성이 큰 구성물질의 분리를 촉진시키기 위하여 표면적이 큰 장치에서 폐기물을 가열, 증발시킨다. 폐액은 블레이드(blade) 등에 의하여 실린더형이나 경사형의 튜브벽에 분산시키고 통의 외벽을 가열하여 폐액의 온도를 상승시킨다. 폐액은 시스템 상부에서 투입되어 내부벽을 타고 내려와서 하부로 빠져나간다. 증발된 물질은 상부로 빠져나가 응축기로 들어가게 된다. 이 장치는 벽을 통해 순환하는 스팀이나 고온오일에 의해 가열된다.

가열자켓의 스팀압력은 200psig이고 오일의 온도는 340℃ 정도이다. 폐액의 체류시간은 3~100초로 제어된다. 와이퍼블레이드를 사용하여 폐액을 교반하는데는 두가지 주요이점이 있다. 첫째, 액체내에 난류를 만들어 폐액의 열전달을 촉진시키고 폐액표면으로 증발물질의 전달을 촉진시켜 증발시킨다. 둘째, 와이퍼 블레이드는 표면막을 더욱 일정하게 하고 장치를 통하는 액의 흐름을 고르게하기 때문에 특히 폐액의 점도가 높거나 고체물질을 포함하고 있을 때 중요하다.

이 박층증발장치를 이용하여 용제를 비휘발성 고체물질과 고비점 유기물질로부터 분리하게 된다. 장치상부로 나오는 증발분은 재이용전에 증류, 수분추출 등의 과정을 재차 거치는 경우가 많다. 용제를 함유하는 하부물질은 보조연료로 사용될 수도 있다. 이를 위해서 하부물질은 소각할 수 있는 상태이어야 한다.

박층증발장치는 액상폐기물과 고체함유량이 비교적 적은 슬러지 처리에 사용될 수 있다. 폐액의 점도는 일반적으로 100poise를 초과하지 않아야 되며 슬러지중의 고체성분의 크기는 교반 블레이드 간격(예, 2.5mm)에 의해서 제한된다. 중합반응을 일으키는 반응성 폐기물은 박층증발장치를 사용하여 처리할 수 없는데 이것은 처리온도가 높기 때문이다. 그러나, 어떤 증발장치에서는 이 문제를 해소하기 위하여 폐액 체류시간을 최대한 줄이도록 설계하고 있다.

이러한 증발장치의 원리는 드라이클리닝에서 사용되는 용제를 정제할 때에서도 응용되며 회수용제성분이 단순하거나 회수된 용제의 규격이 까다롭지 않은 경우에 많이 응용된다.

1.2.6. 분별 증류법

분별증류는 액상 혼합물 성분을 기화에 의하여 분리해 내는 기술이다. 기화된 성분은 응축하여 회수되고 비휘발성 잔류물만 남게 된다.

상부로 배출하며, 응축되는 물질의 순도는 사용하는 증류기의 종류에 따라 다르다.

단순증류장치에서는 폐용제가 가열되고 증기가 응축되는 것이 한 단계에서 이루어지고 액체와 장치를 빠져나오는 증기간에 평형이 존재하게 된다. 폐액중 저비점 성분들 모두 응축액에 포함되어 있고 만일 상부에서 주로 배출되는 성분과 하부에서 배출되는 성분사이에 휘발성에 큰 차이가 없을 경우, 상·하부에는 증류가 된 후에도 상당량의 다른 성분들이 섞여 있게 된다.

상부와 하부간의 물질분리를 더욱 잘하기 위해서 분별증류장치를 사용하게 된다. 폐액의 공급은 장치의 가운데에서 하게 되어 있다.

원액 공급지점인 윗부분에서는 휘발성 성분이 점점 고농도로 되며, 반면에 그 하부에서는

휘발성이 낮은 성분이 점점 높아지게 된다. 응축된 상부물질의 일부분은 생성물질의 순도를 높이기 위하여 재순환류로 증류탑 상부로 되돌아가게 된다.

증류시스템에서 고체성분함량은 고체물질에 의해 증류탑이나 재가열기의 코일을 막히게 하는 원인이 된다. 따라서 폐용제 재처리용 공장에서 분별증류를 하기전에 고체물을 분리하기 위하여 박층증발기를 사용하고 있다.

1.2.7. 용매추출법

용매 추출법은 액체나 고체상에 녹아 있거나 흡착된 물질을 선별적으로 녹이는 용매로 추출하는 공정을 말한다.

처리하고자 하는 폐기물이 액체일 때(주로 오염된 물), 이 공정은 액체-액체 추출이라고 한다. 이 과정에서 전달되는 물질을 용질(solute)이라고 하고 처리된 후의 흐름을 raffinate라고 하며 용질의 농도가 높은 상을 extract라고 한다. 이 공정이 효과적인 추출용매는 원액과 혼합되지 않는 것이어야 하고 밀도가 서로 달라 중력분리가 가능하여야 하며 raffinate와 추출용매의 오염이 서로 최소화되어야 한다.

용매추출은 회분식으로 될 수 있으며 또는 용매를 원폐액과 증상으로 또는 연속적으로 접촉시키는 장치를 사용할 수도 있다. 용매와 폐액은 하나의 용기(혼합기)에서 교반되어 다른 용기(침전기)로 옮겨지고 여기서 비중차이에 의해서 상분리가 이루어진다. 이런 공정은 다단계 혼합기-침전기 과정을 거치면서 여러번 이루어질 수 있다.

용매추출법은 raffinate나 extract를 더 처리해야 하기 때문에 한계성이 있는 기술이다. 이 방법은 다른 기술에 의한 재생처리가 비경제적이거나 불가능할 때 특별히 쓰이는 방법이다. 용매추출의 제거효율은 용매의 종류, 추출하는 용질성분, 원폐액 및 단위조작 설계에 따라 다르며, 제거 효율은 거의 80% 이상이다.

용매추출법은 유해폐기물 처리에 응용된 경우는 적지만, 정유공장 폐수로부터 폐놀제거, 증류기 하부물질로부터 다이옥신제거, 목재가공 폐액으로부터 크레오소트제거 및 토양세정등에 응용된다.

용매추출공정에서 사용된 용제는 재사용하는 것이 바람직하며, 이를 위해서는 증류탑을 사용하여 용질을 용매로부터 분리하여 고농도로 제거하여야 한다. 용매추출법은 초기 용매비용, 증류 및 추출된 물질의 처리비용과 같은 추가처리비용 때문에 다른 재생처리기술에 비하여 상대적으로 비싼 편이다.

2. 국내 자원화기술 현황

국내기업들이 폐기물을 자원화 하는데 있어 가장 어려움을 겪고 있는 점은 기술부족이다. 627개 기업을 대상으로 조사한 결과를 <표Ⅲ-1>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 자원화기술을 보유하고 있는 기업은 겨우 36개 기업으로 전체 응답률(89.0%)을 감안하면 불과 6.4%의 기업만이 산업폐기물 자원화기술을 보유하고 있는 것으로 나타났다. 보유기술의 내용도 대부분이 수거나 선별, 또는 열회수와 같은 단순처리기술이 대부분을 차지하여 자원의 경제적 가치가 매우 낮으며 고부가가치를 갖는 특정한 유가의 원자재를 회수하기 위한 기술은 응답업체를 기준으로 할 때 30%에도 미치지 못한다.

<표 III-1> 산업폐기물 자원화기술 보유현황

기술보유기업수	36개(조사대상기업수: 627개)
총 보유기술의 수	36개
단순재활용기술	26개
특정재활용기술	10개

자료: 대한상공회의소, 『산업폐기물 재자원화 확대방안』, 1992.

표에서 보는 바와 같이 보유기술은 단순기술과 특정기술로 나눌수 있다. 단순기술은 분쇄 기술, 선별처리, 집진시설(bag filter/EP), 전기집진, 압출자석으로 HP드럼마개 수집, 소각(폐 열이용) 등으로 부가가치가 낮은 기술이다. 반면에 특정기술은 슬래그재생기술, 석회질 비료화, 폐산처리, 폐주물사재생, flux재생, 윤활유/절삭유 재생 등으로 부가가치가 높은 제품을 생산하는 기술이다.

이와 같이 국내의 경우 독자적인 기술보다는 특정한 기계나 장비에 부착된 기술, 즉 기계나 장비의 운용에 한정된 기술이 많고 그러한 기술도 종류가 매우 제한적이고 기술수준도 많이 낙후되어 있다.

이러한 기술상의 문제는 재활용을 통하여 회수되는 자원의 경제적 가치를 낮은 수준에 머물도록 하거나 또는 재활용과정에서 2차적인 공해문제를 야기시키기도 한다.

<표 III-2>는 '92년 생산기술연구원에서 조사한 공업기술 수요조사현황으로 환경기술분야에서 평가한 환경산업부문 핵심기술의 기술수준으로, 주요 폐기물 처리기술의 기술개발단계를 선진국과 비교한 것으로 유해폐기물 처리기술은 약 20 정도로 낮아 도입기 정도에 해당되지만, 자원화기술은 이보다 더욱 나빠서 약 10 정도로 개발중인 단계이다.

이와같이 현재 국내의 경우는 보유하고 있는 기술수준의 낙후와 자체의 기술개발이나 기술도입 등 기업의 기술축적을 위한 노력이 부족하다는 심각한 문제를 가지고 있다.

<표 III-2> 주요 폐기물처리기술 분야별 국내기술개발동향

핵심소요기술	기술수준 (최고기술 보유국의 수준을 100으로 기준)		개발단계					
			미개발	개발중	도입기	성장기	성숙기	쇠퇴기
폐기물의 자원화 기술	미국	80				○		
	일본	100				○		
	EC	100					○	
	한국	10		○				
유해폐기물 처리 기술	미국	90					○	
	일본	90					○	
	EC	100					○	
	한국	20			○			

자료: 반봉찬, 박현서, 『산업폐기물의 고부가소재화』, 월간폐기물, 1996. 6.

3. 국내 자원화 기술의 낙후 요인

3.1. 기존 기술 수준의 낙후

국내의 경우 근본적으로 자원화 기술 수준이 선진국에 비하여 낙후되어 있는데 이와 같이 자원화 기술 수준이 낮음에 따라 재활용을 통하여 회수되는 자원의 경제적 가치도 낮으며 재활용과정에서 오히려 2차적인 환경 위해 문제를 야기시키기도 한다. 다음은 국내 자원화 기술 수준의 낙후 원인이다.

(1) 보유특허건수의 저조

재활용제품 생산업체의 자사보유 특허건수는 <표Ⅲ-3>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 대다수(80.8%)의 업체에서는 전무한 상태였고 1건의 기술특허라도 있는 경우는 조사대상업체의 19.2%에 불과하여 재활용기술개발이 아직 미미한 수준임을 나타내고 있다.

<표Ⅲ-3> 보유 특허건수

(단위: %)

구 분	있 다					없다	계
	1건	2건	3건	4건 이상	계		
제조업체	6.7	3.9	2.8	3.3	16.7	83.3	100.0
검업체	12.8	5.8	3.5	2.3	24.4	75.6	100.0
전체평균	8.7	4.5	3.0	3.0	19.2	80.8	100.0

자료: 대한상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

(2) 공공기관의 기술입수 노력의 미흡

국내 재활용업체에서 보유하고 있는 기술은 다양한 양상을 보이고 있는데, 이러한 상황은 <표Ⅲ-4>에 나타내었다. 필요한 기술의 확보는 자체개발(27.8%)이 가장 많은 부분을 차지하며, 국내의 타기업으로부터의 기술도입(22.2%)도 활발한 편이고, 일부업체(9.3%)에서는 국내 및 외국기술을 모방하고 있는 것으로 나타났다. 자체개발이나 위탁개발 그리고 타기업으로부터의 전수 모두를 국내의 산업계 자체의 노력에 의한 기술축적이라고 볼 때 국내 자체능력에 의한 기술축적은 69.4%에 해당하며 이는 해외로부터의 도입실적 19.4%의 3.6배에 달하여 외형상으로는 상당히 높은 수준을 나타내고 있다.

이와 같이 국내 산업계의 산업폐기물 재활용기술 축적은 주로 산업계 자체에서의 개발이나 해외기술의 도입으로 이루어지고 있는 반면 정부나 공공기관으로부터의 기술입수는 극히 저조한 양상을 보이고 있다.

산업폐기물을 고부가가치를 가지는 상품으로 재활용하기 위해서는 일반적으로 고도의 기술을 요하며, 국내의 기술수준이 선진국에 비하여 많이 낙후되어 있다. 그러므로 자체 개발 기술의 비중이 높다는 것이 오히려 국내 산업폐기물 재활용의 전반적 기술수준을 낙후시키는 원인이 되기도 한다.

<표 III-4> 산업폐기물 자원화기술의 입수경로

(단위: %)

구 분	자체 개발	위탁 개발	타기업 전 수	해외 기술	정부 및 공공 기관	기 타	계
구성비	27.8	19.4	22.2	19.4	2.8	8.3	100.0

자료: 대한상공회의소, 『산업폐기물 재자원화 확대방안』, 1992.

(3) 기술개발 관련 공조 노력의 미흡

현재 재활용산업에서 자사제품의 경쟁력제고를 위해 가장 역점을 두는 분야는 품질수준이며, 특히 기술개발의 필요성을 경영자들이 크게 인식하고 있다. 제품의 판매와 관련하여 기업들은 가격경쟁력(32.3%)이나 소비자의 인식수준(29.3%), 정부의 재생제품 우선구매정책(30.0%), 환경마크획득(30.4%)보다는 품질수준(50.9%)이 중요하다는 점을 더욱 강조하고 있으며, 기술개발에 대한 경영자의 관심이 높다고 응답한 업체가 56%로서 과반수 이상인 것으로 나타났다.

기술개발과 관련된 관심도는 자원화기술의 고급화를 달성하는 데 매우 중요한 요소로서, 이는 <표 III-5>에 나타내었다. 반면, 관련 기술정보(24.4%)를 비롯해서 정부의 기술개발지원(22.4%), 대학연구기관과의 공동개발(6.6%), 관련업계간 공조체계(17.0%)에 대한 관심은 대부분의 업체에서 낮은 것으로 나타나 아직 재활용업계의 기술개발 노력이 본격적으로 이루어지지 않고 있다.

<표 III-5> 기술개발과 관련한 관심도

(단위: %)

구 분	낮 다		보통	높 다		계
	매우 낮다	낮다		높다	매우 높다	
관련기술정보	23.3	8.6	43.7	14.7	9.7	100.0
경영자의 인식	6.5	6.1	31.4	25.3	30.7	100.0
기술개발지원	33.3	11.0	33.3	13.6	8.83	100.0
대학연구기관과의 공동개발	58.6	17.6	17.2	3.3	3.3	100.0
관련업계간 공조체계	34.1	16.7	16.7	12.3	4.7	100.0

자료: 대한상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

3.2. 기술개발 분위기 및 여건의 취약

재활용 기술에 대한 경제적 요구가 아직은 미흡하고 기술개발을 해도 그 성과에 대한 장래의 수요전망이 확실하지 않기 때문에 사업자의 기술개발 유인을 끌어내지 못하고 있다. 재활용 사업자의 기술개발력이 취약한 것도 문제이지만 그나마 개발된 기술의 실용화가 제대로 이루어지지 않는 풍토가 더 문제인 것이다.

3.3. 관련 기술의 종합적 활용 체계 미흡

재활용을 위한 개개의 기술개발에 못지않게 중요한 것은 관련기술을 전체적으로 종합하여 활용하는 종합적인 시스템의 개발인데 이러한 개발이 상당히 미흡하다. 즉, 특정 폐기물의 재활용을 위한 기술개발이 이루어졌다고 하더라도 이 재활용 기술은 동시에 공해방지를 위한 기술개발과 병행되어 이루어져야 하기 때문에 개개의 특정기술과 함께 사회의 전반적인 재활용 및 환경보전 기술체계의 마련이 동시에 이루어져야 한다.

(1) 보유기술, 시설 및 전문인력의 취약

유해폐기물을 이용한 재활용산업은 환경적, 사회·경제적으로 사회에 편익이 큰 산업으로써 국가적으로 완성시켜야 할 산업으로 분류하고 있지만, 현실적으로 우리나라에서는 재활용업체의 75%가 종업원 10인 미만의 소규모 영세기업으로서 자금부족과 인력난으로 경영상 애로를 겪고 있으며, 이로 인하여 시설설치확충 및 기술개발투자가 미흡한 실정이다.

기술개발투자가 부진함에 따라서 재활용업체의 기술특허 보유건수는 극히 미미한 상태이며, 기술개발을 위한 정보입수체계, 경영자의 인식, 정부지원 등 제반여건도 열악한 상태에 있다. 가령 영세업체의 경우 기술개발을 위한 자금조달이 가장 큰 장애요인으로 작용하고 있으나, 일정규모 이상의 업체에서는 오히려 기술인력과 정보입수가 기술개발을 위한 관건이 되고 있는 실정이다.

공장 등 재활용시설을 설치하는데 있어 업종의 특성상 하나의 시설이 관계법령에서 정하고 있는 여러 가지 요건을 동시에 구비해야 하는 경우가 대부분이어서 동일한 시설에 대하여도 환경부, 지방환경청, 시청, 도청 등 여러 관청에 인·허가를 얻어야 되는 등 재활용관련 시설확충을 위한 제반여건이 개선되지 않고 있는 실정이다.

재활용업체는 인력확보면에서 여타산업에 비해 열악한 환경에 처해 있다. 재활용산업은 현재 3D업종의 하나로 인식되고 있을 뿐만 아니라 영세기업이 대다수를 차지하는 업종특성상 고임금화 추세에 적극 대처할 수 없어 숙련 및 미숙련 인력 확보에 어려움이 가중되고 있다.

(2) 재활용 사업체의 영세성

국내의 산업폐기물은 자체처리가 높고 그 나머지는 위탁처리하고 있어서 처리업체의 비중이 크지만, 산업폐기물 발생량이 어느정도 위탁처리되느냐 하는 자체는 크게 문제될 것이 없다. 문제는 국내 위탁처리업체는 대부분이 규모가 작고 영세하다는 데 있으며, 더 큰 문제는 위탁처리를 담당하는 대행업체가 우리나라의 경우 전문화가 되어 있지 않다는 데 있다.

우리나라 산업폐기물 처리업체의 연간 매출액규모를 보면 43개 업체 평균 14억원 정도이며 종업원수도 평균 46명에 불과할 뿐 아니라 자본금규모에 있어서도 5억원 미만의 업체가 전체의 88%를 점유하고 있는 실정이다.

이러한 처리업체의 영세성과 비전문화, 그로 인한 처리업체의 기술수준 낙후는 결과적으로 폐기물의 종류별 적정처리를 불가능하게 하고 있으며, 가장 큰 문제는 재활용의 능력이 부족

하다는 것이다.

그 중에서도 유용한 배출물을 회수·운반하고 중간가공 및 재활용과정을 통하여 제품의 제조를 수행하는 재활용 사업자는 종사자도 적고 대부분이 소규모이며 자금면에서도 영세성을 면치 못하여 경영체질이 약하다. 또한 조직화, 공동화의 면에서도 자립력이 미약하기 때문에 재활용의 대상이 되는 유용한 배출물의 양적 변동이나 가격의 변동에 충분히 대응하지 못하여 안정적이고 지속적인 사업활동 수행에 어려움을 겪고 있다.

IV. 주요 유해폐기물의 자원화 기술 비교 및 진단

1. 전기로 제강분진

1.1. 발생현황

국내 전기로 제강분진의 발생량은 <표Ⅳ-1>에 나타난 바와 같이 국내 전기로 제강 업체별 고철 소비량의 약 1.5wt%로 추정가능하며, 1991년에 약 12만톤, 1992년에 14만톤, 1993년에 18만톤 정도로 연간 수만톤씩 증가하여 왔다. 또한 2,000년에는 전기로 제강용 고철 소비량이 약 1,900만톤에 달할 것으로 예상되어 제강분진 발생량은 약 30만톤에 이를 것으로 추정된다.

<표Ⅳ-1> 국내 전기로제강용 고철소비량 및 제강분진 발생량 현황

(단위: 천톤)

구분 \ 년도	1991	1992	1993	2000
고철 소비량	8,158,	9,185	11,970	18,889
분진발생량 (추정)	120	140	180	300

자료: 한국신철강기술연구조합, 『전기로 제강 Dust 처리기술 개발연구』, 1997.

1.2. 제강산업의 발전추이

1.2.1. 종합플랜트(Integrated plant)에서 미니밀(minimill)로

제강 산업은 과거 거대한 종합 플랜트에서 전기 제강로를 중심으로 한 소규모의 미니밀 시스템으로 바뀌어 가고 있다. 단위 생산량 당 훨씬 적은 투자비로서 생산이 유연하고 부대 비용이 적은 미니밀은 높은 경쟁력으로 말미암아 앞으로 대부분의 철강생산의 역할을 담당하게 될 것이다. 유럽에서도 연간 4천만 톤의 제강을 EAF에서 생산하고 있다. 이것은 유럽 전체의 제강생산의 30%에 해당하며 이 비율은 2000년이 되면 더 증가하여 35%에 달할 것으로 전망한다.

<표Ⅳ-2>에 철강산업의 변화에 대해 요약하였다. Man-hour당 강의 생산 능력도 점차 향상되면서 80년대까지만 해도 200 lb이던 것이 2천년 경에는 2000 lb로 그리고 자동화가 실현되면 5000 lb까지도 도달할 수 있다.

종합 플랜트에서는 환경오염을 방지한 시설(green field plant)을 하자면 강 톤당 \$120~150 정도 소요되므로 강의 출고가인 톤당 \$400을 생각하면 매우 불리한 부담이다. 그러나 미니밀에서는 이러한 시설을 하는데 톤당 \$30~40 범위이므로 부담이 많지 않다.

현재로서도 약 15%의 자본비가 환경관련 설비이다. 미국의 철강공장들은 1980년대부터 환경관련 설비에 막대한 투자를 하여왔고 이것은 정부의 규제에 의한 것이지만 현재까지도 제강공장들을 설립할 때 가장 중요한 인자가 바로 환경에 관련한 것이며, 이 비율은 점차 더 증가할 것이다. 폐기물을 버리는데 드는 비용은 종합 플랜트에서는 강 톤당 약 \$20정도이나

미니밀에서는 약 \$10이고 이것은 대부분 전기로 제강분진(EAF)이다.

1.2.2. 깨끗하고 저렴한 철강원료

미니밀의 사용이 점차 증대됨에 따라 철 스크랩의 가격이 상승하고 있다. 초기에는 톤당 \$70~80 하던 것이 이제는 \$140까지도 하고 있다. 게다가 EAF에서 사용하는 스크랩에는 많은 불순물들이 있어서 나중에 이것들의 처리문제가 따른다. 그래서 좀 더 순도 높은 깨끗한 철을 사용할 필요가 높아졌는데 그것이 DRI(directly reduced iron)이다.

<표 IV-2> 현재와 25년전의 철강공업의 위치

The status of steel industry at present and 25 years ago		
	1970s	1990s
- 강 생산(연간 백만톤)	600	720
- 주도하는 기술	Integrated plants	Mini-mills
- 주 생산국들	미국, 서유럽, 소련 (일본)	소련, 일본, 미국 (중국, 한국, 인도)
- 환경문제	안 중요함	매우 중요함
- 에너지 요구조건(GJ/t)	35-40*	9-15**
- 소요인력(man-h/t steel)	6-12*	0.5-1.5**
- 투자비(\$/연간 톤 용량)	1200-1500*	300-400**
- 철강가격(\$/t)	400	300-400
* Integrated, ** Minimills		

자료: Julian Szekely and Gerado Trapaga, 『Some Perspectives on New Steelmaking Technologies』, Metallurgical Plant and Technology International [4], 1994.

철강 스크랩의 가격이 계속 상승한다면 (분진의 발생으로 인한 부담금까지 고려하여) 이러한 DRI나 탄화철을 EAF원료로서 사용하는 추세가 증가할 것이다.

1.3. 자원화 기술

1.3.1. 열야금학적 방법

(1) 로터리 킬른

이 공정은 미국, 일본, 유럽에서 대부분 사용하고 있는 것으로서 연간 백만톤 정도를 처리하고 있다. 유럽에서는 45% 이상이 이 공정에 의해 처리되고 있다. 제철 제강의 분진들과 슬러지, 납 처리로의 슬래그, 부유선풍법과 화학야금법의 찌꺼기로부터 아연을 회수하는 것이 목적이다. 이 공정의 생산물들을 Waelz 산화물이라고 한다.

완전한 Waelz Process공장을 세우는데 연간 규모가 분진 펠렛 80,000 톤이면 약 3천만 DM이다. 근무를 교대하면서 일하는 인력은 42명 정도가 요구되고 운영비는 인건비와 운전비를 모두 포함하여 110DM/ton (분진 톤 당 200 DM)이다. 정상적인 조업조건에서는 아연과 납의 함량이 20%이상 되어야 경제성이 있다고 할 수 있다.

(2) Inmetco 공정 (Inmetco direct reduction process)

독일의 Duisburg에 있는 Mannesman Demag AG에서 채택하여 현재 가동중인 Inmetco process는 분진을 탄소와 혼합하여 펠렛으로 만든 후 회전식 hearth furnace에서 1250℃로 가열한 후 아연, 납, 카드뮴을 완전 기화시켜서 별도로 응축하여 모은다.

증발하고 남은 철은 스펀지 형태를 하고 있으며 90% 이상이 금속이다. 회전식 hearth furnace에서 나오는 1100℃의 가스는 豫熱을 하는데 사용한다. 남아있는 스펀지형의 철 펠렛은 슬래그와 함께 아크로에서 용융하여 황 성분이 적은 철을 만들어 낸다.

일년에 30만톤의 분진을 처리하는 로의 투자비는 60~120 mil. DM (336~672억원)이며 처리비는 용융철 1톤 당 320 DM 그리고 펠렛 1톤당 170 DM이다. 에너지 비용도 다른 공정에 비해 많이 드는 편이지만 장소를 적게 차지한다는 장점이 있다.

(3) PLASMA 법

이 방법은 스웨덴의 SKF Steel Engineering 사에 의하여 1970년대부터 개발이 시도되어 1984년에 상업화 공장이 완성, 가동되기 시작한 방법으로 non-transfer type의 플라즈마 토치를 사용하여 샤프트로 내에서 분진을 용융, 환원시켜 유가금속을 회수하고 무해 슬래그를 만드는 기술이다.

현재 세계적으로 가동되고 있는 Plasma 공장의 상용화 용량은 약 2만톤/년 정도이다. 이러한 용량은 국제 주요 전기로 제강업체들의 연간 분진 발생량보다 작은 문제점이 있다. 그리고 전력소모량이 과다하여 분진의 처리비용이 높고, 낮은 금속아연의 순도를 가지기 때문에 회수된 금속아연의 사용용도가 불확실하다.

1.3.2. 습식야금학적 방법

습식법은 적당한 용매로 침출후 전해정련하는 방법이며, 용매의 종류에 따라 크게 산성 습식공정과 알칼리 습식공정으로 나뉜다.

(1) Hoogovens 철 스크랩 처리기술

제강로에 투입되는 scrap 표면에 코팅되어 있는 아연은 전기로의 조업과 환경상의 문제를 일으킨다. 그래서 아연 투입하는 scrap을 깨끗하게 아연을 제거한 후에 투입한다.

공정이 비교적 간단하고 부식액도 가성소다를 사용하므로 화학물질에 의한 환경문제도 없으며 깨끗한 스크랩을 넣으므로 전기로에서의 조업이 편리해진다. 분진의 양도 줄어들고 모아진 분진은 전기로에 다시 투입해서 재 용융해도 되고 도로를 포장하는 용도로 사용이 가능하다.

이 경우에 아연이 용해된 가성소다 수용액으로부터 전기 분해법으로 금속아연을 추출할 수 있는데 48V의 직류전압에 철로 된 양극전극, 그리고 마그네슘으로 된 음극전극을 사용한다.

이 공장에서는 매달 4500톤을 생산하는데 전체 부지 면적은 스크랩 야적 장소를 포함하여 4500㎡이고 투자비는 대략 9백만 DM이다. 아연을 회수하는데 드는 비용은 이자와 감가상각을 포함하여 스크랩 톤 당 90~110 DM이다. 즉 50 US\$ 정도인데 스크랩의 가격이 100~150 US\$ 정도인 것을 감안하면 큰 부담이다. 이 공정에서 처리하는 스크랩(자동차) 1톤 당 얻을 수 있는 아연은 10~15 kg에 불과하다. 아연 회수에 의한 비용만으로는 수지를 맞출 수 없지만 제강사에서는 정제되고 일정 크기로 잘라 낸 스크랩을 처리하므로 편리하다.

(2) REZEDA 공정

분진 속에 있는 산화아연으로부터 전해 아연을 얻는 방법이다. 300g/ℓ NaOH 용액에서 약 90℃에서 용해시키면, Zn, Pb, Cu, Cd가 용해된다. 이 용액에 아연 분체를 추가적으로 넣으면 아연은 더 용해되고 납과 구리, 카드뮴은 석출하게 되는데 이것은 금속 시멘트 형태로 얻어진다. 양극에서는 아연이 수지상(dendrite)으로 발달하고 이 아연 분체는 세척후 건조된다. 가성소다는 음극에서 재생성되고 전해액은 다시 부식조로 투입된다.

이 공정의 경제성은 다음 4가지에 의해 결정된다.

- 아연의 가격
- 제강분진의 아연 함량(18~30%)
- 한 단위설비의 처리 규모(최소 연간 1000 톤의 분진)
- 투자비

1.3.3. 고형화법

고형화란 첨가제를 첨가함으로써 고형화 과정이 진행되는 동안 폐기물의 물리적 성질(장력, 압축성, 투수성)을 변화시키는 공정을 말한다. 폐기물을 고형화하고 안정화하는 기술로서는 폐기물을 단단하게 한 다음 그 주위를 콘크리트로 피복하는 밀폐방식, 폐기물에 고화제를 혼합하여 상온에서 딱딱한 블록으로 만드는 고화 방법, 폐기물을 유리나 점토등과 함께 고온으로 가열하는 소결 방법 등이 있다. 유해성 폐기물 고형화의 영향 인자는 폐기물량, Water/Cement, 고화기간이 강도에 영향을 주고, 중금속 용출에 있어서는 pH, Area/Volume 이다.

유해폐기물을 고형화하는 방법으로는 시멘트 고형화, 아스팔트 고형화, 플라스틱 고형화, 석회 고형화, 물유리 고형화 및 소결법 등이 있으나, 우리나라에서 가장 현실적으로 알맞은 방법은 시멘트 고형화법이다.

1.4. 자원화기술의 비교

1.4.1. 각 공정의 특성

(1) scale-up의 용이성

습식 공정은 비교적 적은 생산량을 가지고도 경제성이 있으므로 규모가 작은 것에서 출발할 수 있다. 예를 들어 습식 공정은 대개 연간 10,000톤 이상을 처리할 수 있으면 된다. 그러나 열야금법은 50,000톤 이상이 되어야 경제성을 보장받을 수가 있다. 그 이상이 되어야만 에너지 효율 특히 코크스의 에너지를 충분히 활용할 수가 있기 때문이다. 또한 열야금법은 고온을 사용하기 때문에 scale-up이 여간 어렵지 않는 데, 이는 물질과 에너지 수지가 규모의 증가에 따라 크게 변하기 때문이다.

(2) 경제성

로타리 킬른법에 의해 만들어진 아연산화물, 즉 Waelz Oxides의 가격이 톤 당 \$164이고 제강 분진을 사오는 경우는 톤 당 \$50을 처리비로서 받는다. 제강사의 입장에서 아연의 함량이 많은 분진을 만들면 처리비가 적게 들게 되므로 유리한 것은 당연하다. 그런데 분진의 질도 문제가 된다. Reflux를 많이 해서 아연의 함량이 철의 함량보다 많아지면 그만큼 아연

페라이트의 양이 적어지므로 수율이 높아서 보다 유리한 가격을 재처리회사에게 요구할 수 있다.

처리 후 잔여찌꺼기의 처리도 문제가 되는데 습식공정은 묽은 황산을 사용한다. 특히 철을 용해하여 Jarosite를 생산하는데 이것이 환경오염을 일으키는 성분이다. 그러므로 이 재처리 설비는 당연히 철 성분이 적은 Waels Oxide를 선호할 것이다.

묽은 황산을 사용하는 Zincex공정은 아연페라이트를 완전히 용해시키는데는 역부족이다. 아연페라이트의 함량이 많으면 수율도 떨어지게 된다. 현재까지 열야금법이 우세하였던 이유 중 하나는 쉽게 분해가 되지 않는 아연 페라이트의 존재 때문이다. 그러나 환원제의 소모량이 크고 운영비를 고려하면 처리비가 높다.

반면에 이 습식야금법에서 얻은 아연과 납은 순도가 높기 때문에 응용후의 수익성이 훨씬 높으므로 비교적 장기간 사용될 수 있는 공정이라고 하겠다.

유가 금속 회수 공장에서도 품위가 낮은 원료를 정제할 수 있는 능력이 증대되면 굳이 Waels 공정 같은 중간 공정이 필요하지 않을 것이다. 그러므로 습식 처리 공장의 기능은 더 확대되고 기존의 열야금화적인 설비들은 감소할 것이다. 그런데 용도에 따라서 Blast furnace 방법 같은 것은 품위는 낮지만 금속 아연을 얻을 수 있으므로 적절한 저 순도의 합금을 만드는 데 사용될 수도 있을 것이다.

재처리 공장을 가동할 때의 경제성에 대한 데이터는 공정에 따라 약간씩 다르지만 대략 다음의 범위에 있다.

- 버리는 비용 (Tipping fees): -\$50 ~ -100/ton of dust
- 운반비용 (Transportation costs): \$15 ~ 50/ton of dust
- 운전비용 (Operating costs): \$100 ~ 200/ton of dust

또 회수된 재료에 따라 가격도 다른데 다음과 같다.

- 금속 아연: \$1000/ton
- 금속 철: \$100 ~ 125/ton
- 조 산화아연(납이 약간 함유된): \$300/ton
- 조 산화철: \$40~50/ton
- 산화 아연혼합물(Waels oxide): \$164/ton

생산품이 고순도 금속인 경우의 판매 수입이 분진 톤 당 200~300\$ 범위에 있고, 조 산화아연과 조 산화철을 얻는 경우는 제품의 순도에 따라 다르지만 분진 톤당 50~80\$범위이다. 그렇다면 열야금법에는 경제적인 한계가 있다.

습식법의 경우 공정의 복잡성과 많은 시설 투자비가 문제인데 저렴한 설비로서 산화아연을 얻는 공정을 설치하는 것도 고려해 볼 대상이다. 만일 산화아연의 순도가 높은 경우는 그만큼 높은 가격을 받을 수 있기 때문에 산화아연의 순도를 높이는 능력이 경제성을 좌우할 것이다.

(3) 각 공정의 장단점

<표Ⅳ-3>에 상용화된 각 공정의 장단점을 나타내었다.

1.5. 선진국의 자원화기술 현황

1.5.1. 미국

EPA는 RCRA법에 따라 각종 산업에서 발생하는 폐기물들을 Reuse, Recycling하여 폐기물 발생량을 줄일 수 있는 기술개발이 이루어지도록 관계법령을 새로 제정하거나 개정하였다.

이와 같은 정부의 움직임은 다량의 폐기물을 발생할 수밖에 없는 철강산업계에 큰 부담을 갖게 하였다. 이에 따라 철강업계는 새로운 환경법에 대응하기 위해서 많은 노력을 기울인 결과, 현재는 90-100%의 재활용률을 달성하고 있다.

80년대 말까지, 미국 전체 EAF 분진중 85% 이상이 Waelz Kiln Process에 의해 처리되었다. 이 기간중 미국 EPA는 HTMR Process가 EAF 분진을 처리하는 최선의 방법으로 믿고 있었다. 그러나 EAF 분진의 재활용 처리가 Waelz Process를 채택한 회사에 의해 독점되는 상황이 계속되면서 '90년대 초반까지 분진 처리 위탁비가 급격하게 상승하는 폐단이 나타나게 되었다.

이러한 상황에 EPA는 '96년 1월부터 새롭게 발효되는 Land Disposal Restricting - Supplemental Rule을 제정하고, Solid Waste의 정의를 새로이 폭넓게 확대하였다. 새로운 법에 따라 종전까지는 매립이 허용되지 않던 고체 폐기물들도 적정한 처리공정에 의해 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)를 만족하기만 하면 매립이 가능하게 되었다.

<표 IV-3> 상용화된 공정별 장,단점 조사

구 분		처 리 방 법	장 점	단 점
스크랩의 표면처리		아연이 코팅되어져 있는 스크랩을 적당한크기로 절단, 뜨거운 가성소다 용액에서 아연을 용해시킨후 전해법으로 금속아연을 회수하는 방식	공정이 비교적 간단하고 부식액도 가성소다를 사용함으로 화학물질에 의한 환경문제도 없으며 깨끗한 스크랩을 얻으므로 전기로에서 조업도 편리해진다.	이 방법은 수소가스를 방출하므로 폭발의 위험성이 크다. 따라서가스를방출하는 ventilation을 신경 써야한다.
열야금학적처리	Inmetco 공정 (터널로식)	환원제인 탄소와 제강분진이 반응하여 1200℃이상에서 아연 증기를 발생하는데, 증착실에서 CO:CO ₂ 의 비율을 조정하여 산화아연을 회수하는 방식	·성형 즉 펠레타이징에 필요한 탄소의 원료로서 석탄을 사용 할 수 있으므로 환원제의 비용을 낮출수 있다. ·증착법을 사용하므로 산화아연의 순도를 높일수 있다. ·기존의 터널로를 사용하므로 설비 투자비의 부담을 줄일 수 있다. ·일부 습식법에서 처리가 곤란한 아연페라이트의 처리가 용이하다.	
	로타리 킬른	로의 모양은 터널식과는 다르나 열을 이용하여 산화아연을 회수하는 방식은 비슷함	·처리비가 저렴하다	·55-60%순도의 산화아연 회수 ·저순도의 산화철회수
	플라즈마법	제강분진을 플라즈마 아크나,플라즈마 Flame형상으로 고온,고에너지밀도를얻 용융환원 처리.	·Dust폐가스가 적다. ·청정한 고온분위 가능.	·전력소모 큼(경제성無) ·회수된 아연의 순도가 낮고, 상용화용량 제한및설비투자비 과다
습식야금학적처리	산성 습식 공정	황산, 염산등의 강산을 이용하여 아연을 전기분해로 얻는다. 방법은 알카리 습식법과 유사하다.	용액의 온도가 낮아도 되므로 연료비가 적게든다.	·시설설치비가 많이든다 ·알카리공정보다 폐수처리도 용이하지 않고 철분이 녹아나므로 비효과적이다. ·처리후 공해를 유발.
	알카리 습식 공정	NaOH 수용액에 제강분진을 용융시킨 다음 제강분진은 철의 함량이 높아 제강로로 재투입하고 회수된 가성소다 용액에서 전기분해로 유가금속을 회수하는 방식이다.	·산성 습식공정보다 부식 이 적으므로 설비들의 가격이 저렴 ·폐수처리 용이 ·철분이 녹아나지 않으므로 효과적이다. ·수명이 비교적 길다	· 제강분진내 아연함유량이 20%이하이면 경제성이 없다.

이에 따라 95년 이전까지의 EAF 분진 처리방법과 '96년부터의 처리방법은 크게 달라지게 되었다. 즉, '95년까지는 15% Zn 이상의 EAF Dust는 반드시 HTMR에 의한 Recycling 처리를 하여야 하고 15% Zn 이하의 분진은 안정화처리 하여 매립할 수 있었다.

그러나 '96년부터는 분진 중 Zn함유량에 관계없이, 어떤 방법으로든 안정화 처리하여 TCLP를 만족한 경우 매립이 가능하게 되었고 HTMR에 의한 Recycling 의무는 폐지되었다.

<표Ⅳ-4>에 미국의 최근 새로이 개발되어 상업화되고 있는 EAF Dust 재활용 신기술을 나타내었다.

<표Ⅳ-4> 최근 개발되어 상용화되고 있는 기술

Process	ZnO로 회수	Zn으로 회수
Pyrometallurgical Process	· Ausmelt · Metwool	· EnviroPlas · AllMet
Hydrometallurgical Process	· Cashman · Terra Gaia(ZnS)	· Modified ZINCEX · Rezada
Hybrid Process	· IBRD - ZIPP	

자료: 고인용, 「전기로 Dust 처리현황과 향후 추진 방향」, 『철강보』, 9월호, 1998.

1.5.2. 일본

폐기물 처리 및 청소에 관한 법률이 제정됨에 따라 전기로 공정으로부터 발생하는 더스트가 유해폐기물로 지정되었다. 이에 따라 일반 매립이 불가능하게 되었고, 따라서 고온처리 또는 상온에서의 무해화 처리가 불가피하게 되었다. 이로써 분진 중의 아연, 납 등의 유가금속을 회수하는 프로세스의 사업화가 실현되었다.

이 법은 '92년에 개정되면서 분진의 수집, 운반, 처리과정이 더욱 엄격하게 관리되도록 하였다. 전기로 제강회사들에 대한 설문조사 결과에 의하면 응답회사들의 더스트 발생량 중 65%가 유효하게 처리되고 있고, 나머지 35%는 매립하는 것으로 응답하였다.

아연 회수후 잔사가 철클링커의 형태로 투입 더스트의 70~80%만큼 발생한다. 현재 이들은 대부분이 매립되고 있고, 일부가 시멘트 원료로 이용되고 있다. 이 철클링커 잔사중에는 30~40%정도의 철이 포함되어 있어 이의 적절한 활용이 중요한 문제가 되고 있다. 그러나 이 중에는 아연이 3~5% 정도 남아 있어서 고로의 철 원료로는 사용할 수 없다.

2. 폐유

2.1. 발생 현황

폐윤활유는 자동차 정비업체, 선박, 군부대, 산업체등 윤활유를 사용하는 모든 업체에서 발생하고 있으며 폐윤활유 발생량은 '90년 8월부터 '96년까지 윤활유 판매량의 65%로, 97년도에는 70%를 기준으로 산정하고 있다.

폐윤활유 회수율은 <표Ⅳ-5>과 같이 매년 증가 추세를 보여 왔으며 '97년도의 경우 폐윤활유는 윤활유 판매량 1,696,457드럼의 70%인 1,187,520드럼이 발생하고 1,131,530드럼이 회수되어 95.3%의 높은 회수율을 보이고 있다.

<표 IV-5> 연도별 폐윤활유 회수 및 정제실적

연도	윤활유 판매량	폐유 발생량	폐유 회수량	회수율(%)	폐유 처리량	정제유현황	
						생산량	판매량
91	1,144,016	743,610	177,551	23.9	85,143	74,448	63,715
92	1,410,305	916,698	311,398	34.0	282,486	248,576	247,777
93	1,414,927	919,703	458,802	50.0	510,489	469,483	472,972
94	1,514,065	984,142	602,079	61.2	636,233	594,702	600,736
95	1,586,729	1,031,374	738,677	71.6	790,564	733,504	720,205
96	1,635,090	1,062,809	874,511	82.3	866,681	789,244	789,259
97	1,696,457	1,187,520	1,131,530	95.3	1,121,422	995,436	1,001,600

자료: 한국 윤활유 공업 협회

표에서 보는 바와 같이 윤활유 판매량의 지속적인 증가에 따라 폐윤활유 발생량도 계속하여 증가하고 있다. 또한 회수율도 '91년에 23.9%이던 것이 '97년에 95.3%까지 회수되어 처리되고 연료유로 재활용되고 있음을 알 수 있다. 이것은 높은 발열량을 가진 폐윤활유 정제유의 연료유로서의 활용과 정부가 윤활유 생산업체 및 수입업자에게 부과한 폐기물 예치금(25원/리터)을 폐윤활유 위탁 처리업자에게 처리비용으로 보조하는 것 등에 기인하여 재활용이 활성화된 것으로 추산된다. 그 결과 폐윤활유 처리시설 업체가 90년 초 6개 업체에서 현재 20여개 업체로 증가하였다.

폐윤활유 발생량의 기준이 되는 윤활유의 판매량을 살펴보면 <표IV-6>와 같고 '97년 윤활유 총내수 판매량은 956,912kl로서 '96년 대비 0.35%감소 되었으며 이를 유종별로 살펴보면 자동차용은 343,335kl로 96년 대비 3.92%감소되었다. 이는 과거 4년간 평균 2.15%에 대비하여 증가율이 크게 감소한 것으로 에너지 절약의 의지에 따른 교환주기 장기화, 차량운행 자체 등에 따라 감소된 것으로 보여진다. 또 선박용 윤활유의 소비도 수출입 화물량의 감소 및 가격상승등으로 공급물량이 감소된 것으로 판단되고 물론 향후에도 자동차 엔진오일 고급화 및 교환주기 연장, 자동차 회전을 감소 등에 따라 윤활유 수요도 감소 될 것으로 판단된다.

<표 IV-6> 연도별 윤활유 판매 현황

연도 유종	'94년 판매량	'95년 판매량	'96년 판매량	'97년 판매량
자동차용	322,105	333,934	357,331	343,335
선박용	84,275	88,935	109,767	115,802
공업용	190,827	207,569	212,284	208,668
금속가공유	66,092	76,222	84,409	88,349
절연유	31,224	40,735	34,096	34,496
그리이스	26,718	26,715	26,683	26,456
기타	80,587	92,011	135,691	139,806
합계	801,828	866,121	960,261	956,912

자료: 한국윤활유공업협회

2.2. 폐유 관리제도의 발전 추이

2.2.1. 폐유 회수 관계법령의 제정

수입 자유회 물결을 타고 정부의 기유정책도 변화되어 점차 수입비율이 높아지다가 1989년 7월 1일을 기하여 전면 수입개방이 되었고, 기유가격은 국산, 외산 공히 평준화됨으로써 재생 윤활유업체는 폐유를 이용하지 않게 되고 따라서 배출업체의 폐유는 과잉이 되어 처리비를 주면서 처리업자에게 인도되는 양상으로 바뀌었으며, 일부 부도덕한 배출업자는 하수구에 흘려버리는 일까지 벌어졌다.

이에 따라 환경차원에서 사회문제화가 되자 환경부(당시 환경처)가 폐유 회수, 처리 방안을 강구하기에 이르렀다. 그 결과 마련된 것이 고시 제90-12호(1990년 6월 19일)로 폐유는 윤활유 제조, 수입사의 책임 하에 회수, 처리하도록 의무를 부여하였고 정제 처리된 폐유(정제연료유로 명함)는 화력발전소 또는 산업체의 연료로 공급 할 수 있도록 규정하였다.

2.2.2 회수처리체계 구축

업무를 위탁한 제조업체는 처리비로 리터당 25원(1991년 5월 ~ 1996년 8월까지 35원 이었음)을 처리업체에 지급하였는데 처리업체들이 회수한 폐유중 처리비를 산정하기 위하여 제조사가 제품을 출하할 때 제품에 자기 회사명이 표기된 회수처리증을 부착, 삽입하여 유통시키고 폐윤활유와 함께 그에 상당한 회수처리증을 수집해와 사별로 분류 집계하여 해당사의 회수물량을 확인시키고 그에 상응한 처리비를 청구하였다. 이 회수처리증 첨부제도는 시간이 지나면서 다소의 모순점이 발견되었고 회수자에 의한 위조처리증이 나타나면서 1996년 9월 폐지되었다.

그 후 새로이 도입된 제도는 정제연료유의 판매 실적으로 처리물량을 확인하고 처리비용

부담은 각 제조사의 전년도 출하량 비율로 배분하고 있다. 종전에는 회수시점에서 처리비를 지불하였고 이후에는 회수된 폐윤활유를 처리하여 판매한 시점에서 지급되고 있다.

2.2.3. 예치금 졸업제도

이 제도는 일정을 이상의 회수율을 달성한 폐기물은 일단 예치금부과에서 제외시키지만 일정을 이하로 실적이 다시 감소하면 다시 부과시키는 것이다. 환경부는 최근에 기업활동규제심의위원회의 의결로 이 제도의 시행을 권고 받고 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률” 개정안을 2000년에 시행할 계획이다.

예치금을 전년도 판매량을 기준 하여 100% 초과하고 회수처리실적에 따라 반환하여 주는 이 예치금제도에 있어서 커다란 모순은 미반환 예치금은 국고로 환입되고 해당 품목의 회수, 처리에 활용되지 못하고 있다는 데 있다. 따라서 졸업제도와 함께 개선되어야 할 점은 품목의 특성을 보아 당해년도의 재활용 적정 목표율을 정하여 초과하고 목표를 달성하지 못하였을 때 범칙금을 부과한다면 국고로 환입되는 등의 기업부담은 줄일 수 있을 것이다. '92년도부터 '97년도까지 6년동안 77억원 예치금을 국고에 환입시켰으므로 한해 10억원이 넘는다.

2.3. 자원화기술

2.3.1. 윤활유 재생 방법

폐윤활유는 기술적으로 기존의 정유공정에서 재활용될 수 있다. 그러나 폐윤활유에는 중금속과 같은 오염물질이 함유되어 있어 정유공정에서 사용되는 촉매가 이들 오염물질에 피독되어 촉매 성능을 떨어뜨릴 수 있다. 더욱이 폐유는 첨가제의 다양성 등으로 인하여 화학조성이 불균일하므로 폐유처리를 고려하여 원유 정제시설을 설계하고 운전하는 것은 비경제적이다. 따라서 폐유를 고급 윤활기유로 재생시키는 일은 정유산업이 아닌 윤활유 재생산업(re-refining industry)의 범주로 분류하지만 그 규모는 매우 적다.

미국에서는 1960년에 150개의 회사들이 폐윤활유를 처리하여 연간 3억 갤론이상의 재생 윤활유를 생산하였지만 1988년에는 단지 4개의 폐윤활유 재생공장이 운전되어 생산량이 6천7백만 갤론으로 감소하였다. 이것은 재생윤활유는 원유로부터 제조된 윤활유보다 품질이 떨어지고 경제적이지 못한데 기인한 것으로 판단된다. 그러나 최근에는 효율적이고 환경친화적인 공정들이 개발 채택되어 재생윤활유도 품질면에서 원유에서 제조된 윤활유 못지 않게 고품질의 윤활유로 재생할 수 있어 점차적으로 재생윤활유 산업이 활발해지는 추세이다.

그 동안 박막 감압증류(thin-film vacuum distillation)/활성백토 접촉법(active clay contact finishing)을 사용하여 재생윤활유를 생산하여 왔고 현재에도 전세계적으로 일부 업체가 이용하고 있지만, 증류된 재생기유(base oil)의 방향과 색도를 향상시키기 위하여 사용한 활성백토의 이용은 유분슬러지를 발생시켜 이의 처리에 따른 환경적 문제가 있고, 또 이 기술에 의해서는 폐유 중에 있을 수 있는 암유발 물질인 다핵 방향족물질(polynuclear aromatics, PNA)을 효율적으로 처리할 수 없는 기술상의 난점을 가지고 있다.

근래에는 박막증류법 다음의 활성백토 처리법 대신에 수소처리(hydrotreating)법이 개발되어 높은 품질의 기유를 생산할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 폐유의 재생과정 중에 발생할 수 있는 2차 환경문제를 완전히 제거할 수 있게 되었다.

2.3.2. 감압증류법

감압증류 기술은 본래 원유에서 윤활유를 분리하기 위하여 사용해 온 방법으로 미국의 Texaco사는 선박 디젤유를 제조할 목적으로 도입하였다. 이 공정은 상압증류 공정과 감압증류 공정을 조합한 공정으로서 당초에는 감압증류 공정 후 최종처리 공정으로 수소처리(hydrofinishing)공정을 거치도록 설계되었으나 수소처리 공정 없이도 당초 목표인 선박 디젤유 사양을 충족시킬 수 있어 수소처리 공정을 도입하지 않았다. <표Ⅳ-7>은 Texaco사가 발표한 폐유, 정제연료유, 선박디젤유의 비교 사양서이다.

Texaco사는 기존 석유화학 시설을 활용하기 위하여 Louisiana의 Marrero에 3500 BPD 규모로 세웠으며 부식 문제없이 10년 이상의 운전 목표로 재질을 스테인레스 스틸(SS 316L, SS347)을 사용하도록 하였다.

이 공장의 운전을 위해 15~20명의 인원이 필요하였고 폐윤활유를 5~10%의 폐수, 5~10%의 경질 연료유(light ends), 65~80%의 중질연료유(medium/heavy distillates), 12~15%의 잔사유(vacuum residue)와 미량의 불용가스(insoluble gases)로 분리하도록 설계하였다. 여기서 경질 연료유는 공장자체의 연료로, 그리고 폐수와 미량의 가스는 소각 처분하도록 하였다.

<표Ⅳ-7> Texaco사의 정제연료유 사양과 선박 디젤유(MDO)의 기술비교

Property	Used Oil	Reprocessed Used Oil	MDO (ISO-8217)
API Gravity	25~30	28	25(Min)
Viscosity, sss@100°F	40~140	100	100(Max)
Water, vol%	2~10	0	0.30(Max)
Sulfur, wt%	0.15~0.35	0.2	0.2(Max)
Ash, wt%	0.2~1.5	0.01	0.01(Max)
Pour point °F	10~20	5	32(Max)
Flash point °F	100	200+	140(Min)

자료: 배재흠, 「폐윤활유 재활용 현황과 최신기술」,

『화학공업과 기술』, 16권, 1호, pp30~40, 1997.

2.3.3. 가열법(coking process)

미국의 Mobil사는 폐유를 Coker로 보내어 400~525℃까지 가열시킨 후 delay-coker drum에 주입시켜 금속 오염물, 황 및 질소 함량이 낮은 탄화수소 연료 생성물로 열분해시켜 연료유를 생산하는 방법을 개발하였다. 이 공정은 기존의 delay coking process를 활용한 것으로 기존의 정유 공장 시설을 활용하고자 할 경우 일부 보완이 필요하다.

2.4. 자원화기술의 비교

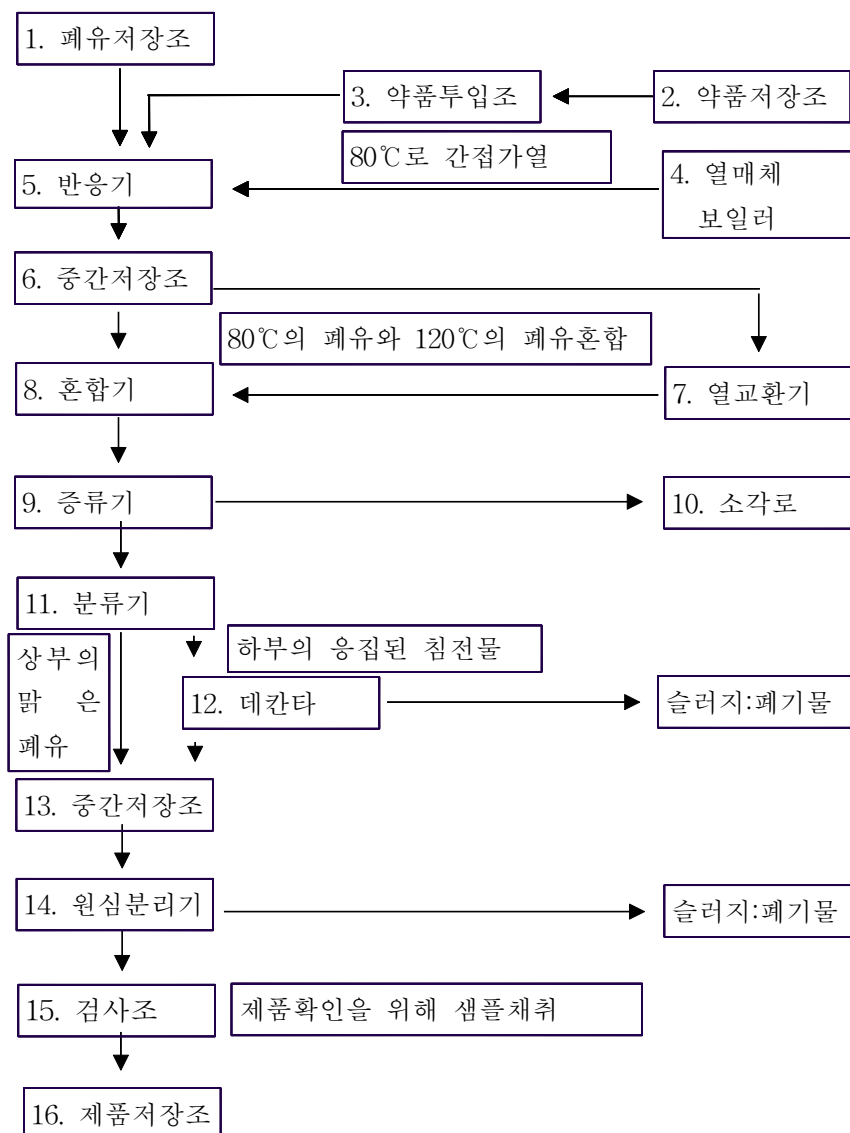
2.4.1. 이온정제법

이온정제법은 폐윤활유 속의 금속이온을 반응시켜 금속이온을 불용성 금속염으로 만든다. 금

속염은 큰 비중을 갖게 되고 정체에 의해 침전하게 된다. <그림IV-1>의 공정에서 음이온의 선택은 양이온의 양과 종류에 따라 달라지게 되는데 이는 상당한 경험과 실험을 요구한다.

단순한 침전에 의해 금속염을 제거할 경우 음이온의 수용액과 Oil의 에멀전층이 존재하고 침전시간이 길어짐에 따라 생산성이 없어지게 되므로 온도를 120℃이상 올려 수분을 증류하고 원심분리기에 의해 금속염 등의 각종 침전물을 분리하여 양질의 연료유를 얻게 된다.

이온 정제 공정에서 금속염의 형성과 침전을 원활하게 하게 위하여 윤활유 입자의 장력과 점도를 낮게 할 필요가 있다. 이를 위해서 온도를 높이게 되고, 아울러 증류를 막기 위해서 압력을 높여야 할 필요가 있다. 이러한 이온 정제 방법은 대체로 감압 증류 정제의 전처리 공정으로 이용하던 것으로 연료유의 품질기준을 맞추는다는 어렵지 않으나, 미정제된 회분과 중금속이 연료로서의 품질에 부적당할 경우가 있다. 이온정제공정은 시설투자비가 낮은 반면 고정의 정제약품비가 투입되므로 소규모 시설에 적합하다.



<그림 IV-1> 이온정제법의 공정도

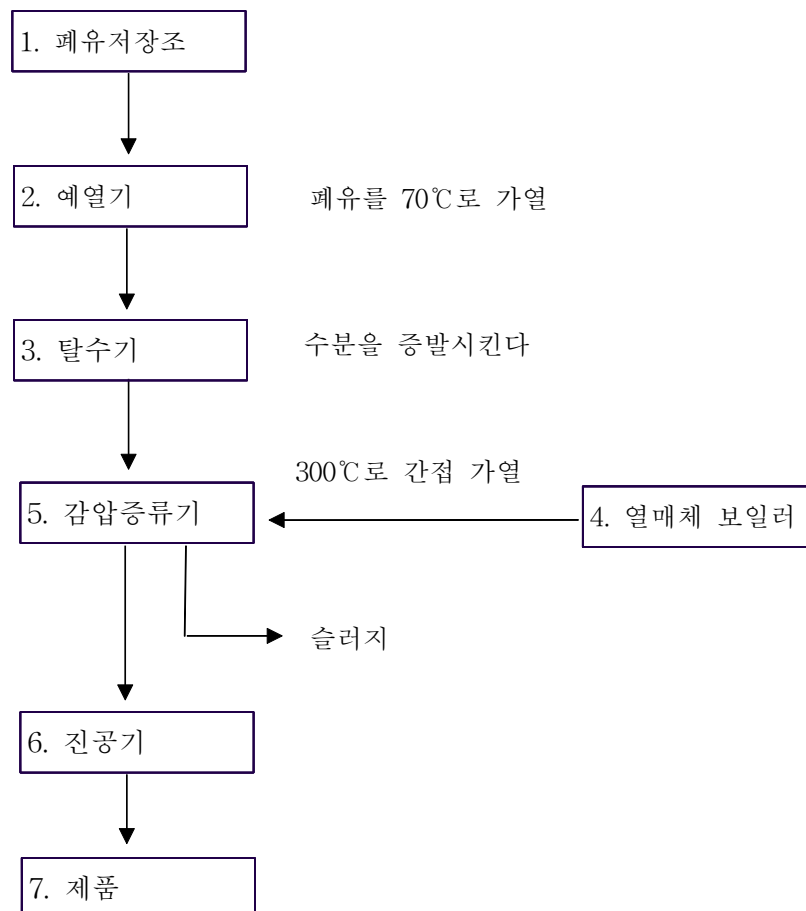
2.4.2. 감압 증류법

감압증류정제는 T.F.E. (Thin Film Evaporator) 가 회전날개에 의해 폐유허유를 얇은 박막으로 만들어서 전열효과를 극대화시키고 압력은 낮추어 폐유허유가 최소의 시간에 증류에 이르게 하는 방법이다.

공정도는 <그림 IV-2>와 같다. 순간 증류가 이루어지게 하기 위해서는 전처리 공정으로 수분, 경질유분을 제거하여야 한다. 전처리가 되지 않을 경우는 T.F.E. 내부에서 증류가 일어나기 전에 비산 현상에 의해 폐유허유가 벽면을 흘러 내리지 않고 바로 T.F.E. 의 바닥으로 떨어지게 된다.

요구하는 제품이 윤활용이라면 수분과 경질유분을 제거하기 위한 전처리 공정에서도 압력을 100 torr이하로 하여 기화온도를 낮추어야 한다. 폐유허유를 250℃ 이상에서 30분 이상 방치하게 되면 제품의 품질은 물론 Bottom Oil의 증가로 인해 진공도가 1 torr상태에서 350℃의 온도를 주어도 85%이상의 수율은 얻기 어렵다. 증류 정제 방법은 제품의 품질이 일정하고 특히 환경오염물질의 제거라는 측면에서 아주 좋은 결과를 얻을 수 있다.

그러나, 설비투자비가 높아 규모가 작을 경우는 제조원가중 설비투자비의 이자와 감가상각비가 차지하는 비율이 커져 경쟁력을 잃게 되고, 아울러 Bottom Oil의 자가처리가 어려워 위탁 처리할 경우는 2차 폐기물처리비용이 높아 문제가 있다. 감압증류 공정이 경쟁력을 갖기 위해서는 Bottom Oil을 자가 처리할 수 있는 소각로를 설치하고 소각로의 폐열은 회수하여 증류의 열원으로 사용하는 등 합리적인 공정조정이 필요하다.



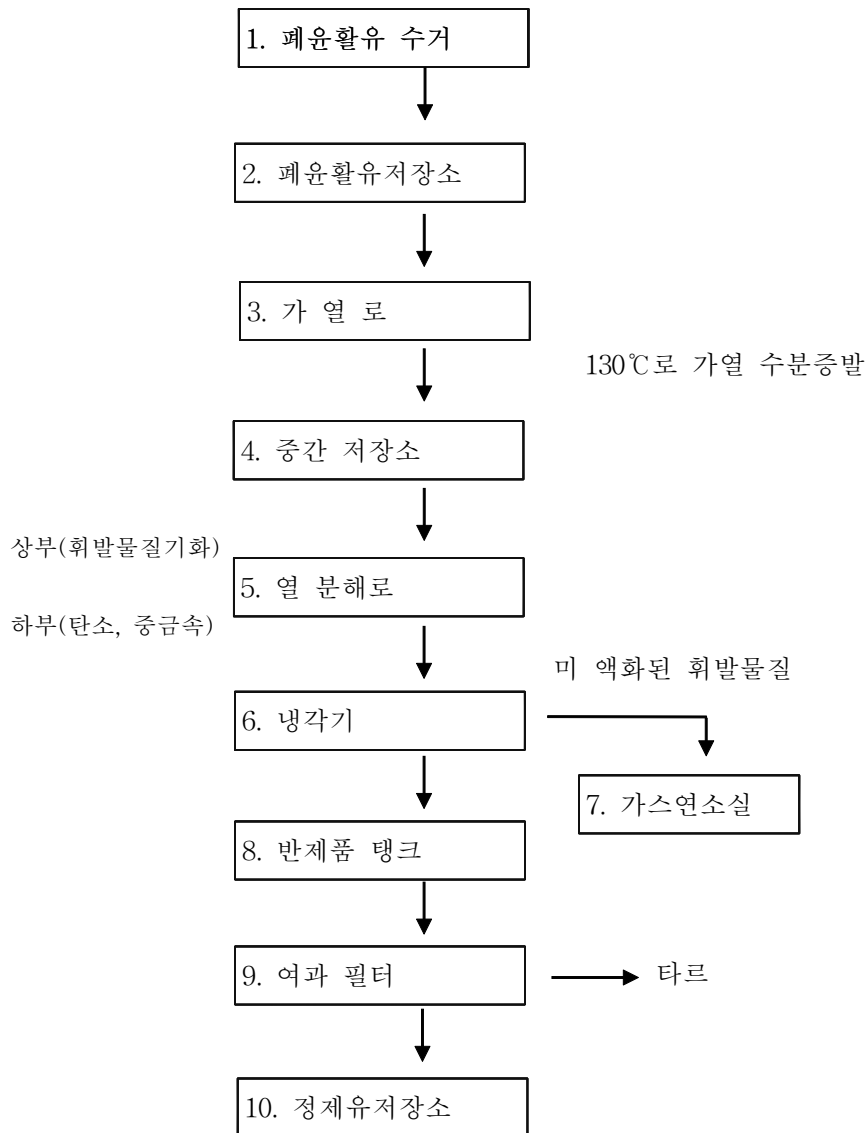
<그림 IV-2> 감압증류식 공정도

2.4.3. 고온 열분해법

폐윤활유의 고온 열분해 기술은 폐윤활유를 고온으로 가열시켜 탄소고리가 긴 파라핀계 탄화수소의 탄소결합을 절단하여 경질 연료유로 생산하는 기술로 기존의 물리·화학적 처리 기술에 비하여 고품질의 연료유를 생산하고 폐기물 발생을 최소화하거나 무해처리하는 기술이다.

이 장치는 폐유를 열분해로에 주입시킨 후 오일버너로 600~800°F로 가열시켜 증발하거나 분해되어 발생하는 가스오일을 공냉식 열교환기를 거치면서 응축되어 경유 대체유에 상당하는 고품질의 연료유를 제조하도록 설계 제작하였다.

이 공정의 특징으로서는 고급 연료유를 제조할 수 있다는 이점 이외에 공정이 단순하며 슬러지를 완전 고형화시켜 Solid Ash Cake의 형태로 만들어 회분 및 중금속이 함유되어 있지 않은 일반폐기물로 분리되어 처리할 수 있고 기존의 폐윤활유의 연료유 제조공정에 비하여 폐윤활유를 처리함에 따른 2차 환경오염물질을 발생시키지 않는 장점이 있다. 현재 삼성정유, 성림유화, 대우정유, 금유환경에서 이 공정을 도입하여 열분해유를 생산하고 있다. 공정도는 <그림 IV-3>과 같다.



<그림 IV-3> 고온열분해식 공정도

2.3.4. 각 기술의 장단점

정제 기술을 비교하면 <표Ⅳ-8>에서 보듯이 정제방법에 관해서는 앞장에서 설명하였고, 연료의 품질면에서는 감압증류와 고온열분해유가 청정연료로 지정되어 서울시를 포함한 전국에 사용할 수 있도록 되어 있다.

정제설비의 경제성을 분석해 보면 현재 국내에서 가동 생산중인 설비는 크게 3가지로 나누어지는데, 고온열분해법, 감압증류법, 이온정제법이 그것이다. 설비들의 가장 큰 비중을 가지고 있는 시설비 부분을 비교하여 보면 이온정제법에는 시설비가 2~3억에서 10억까지 다양하게 분포되어 있다. 감압증류법 또한 15억에서부터 수십억에 이르는 고가까지 종류가 다양하고 거의 대부분 외국에서 수입한 기술이다. 고온 열분해법은 10~13억대로 비교적 중간 가격을 형성하고 있고 국내 업체에서 특허설비되어 제작이 가능하다.

회수, 수송비는 평균적으로 드럼당 1만5천원에서 2만5천원사이로 일정하다. 정제처리비는 업체별로 인건비, 약품비, 감가상각비등의 차이에 따라 다소 차이가 있다. 부산물 처리비는 이온정제와 감압증류는 액상슬러지를 처리하는 관계로 고비용을 유지하고 있다. 일반관리비 역시 다소의 차이는 있지만 비슷하다. 정제유 판매수입은 제품별로 차이가 크다 이온정제유는 2만5천원에서 3만3천원을 유지하고 있고, 감압증류유는 5만5천원에서 6만3천원을 유지하고 있고 고온열분해유는 6만원에서 7만원의 가격을 유지하고 있다. 회수처리비는 일정하다.

<표Ⅳ-9>에서 보듯이 생산량의 차이는 다소 있지만 설비의 경제성에서는 고온열분해법이 다소 경쟁력이 있다. 앞으로 우리나라 폐유 정제 산업의 방향은 고온열분해법의 고품질의 방향으로 나아가야 할 것이다.

<표Ⅳ-8> 정제기술의 비교

구분	이온정제법	감압증류법	고온 열분해법
정제 방법	-단순분리(유수) -원심분리 -약품투여 (영세업체 방식)	- 감압 증류탑을 이용하여 증류하는 방식.	- 상압 고온 열분해 방식으로 고분자를 저분자로 잘라서 경질의 연료유를 생산하는 방식.
연료의 질	병커C유 대체유	경유대체유	경유대체유
설치 비용	재래식설비로써 설치비 낮음	아주 높음	약간 높음
경제성	-판매가가 낮다 -2차 폐기물 발생 : 특정 폐기물 처리로 고비용 발생.	- 판매가 높음. - 생산량이 투자 비용에 비교하여 낮음. - 2차 폐기물 발생 : 특정 폐기물 처리로 고비용 발생.	-판매가가 높음. -2차 폐기물 발생치 않음 : 폐유의 슬러지분에 함유된 유해물질은 고온에서 처리되고 Cake 형태로 배출되어 유분이 전혀 없는 일반 폐기물로 분류되므로 후처리 비용 저렴.
장래 전망	-2차 폐기물발생으로 인한 오염. -기업 채산성 악화로 점차 사양 장치화 됨. -2차 폐기물 처리 비용 과다.	- 2차 폐기물 발생으로 인한 오염. - 2차 폐기물 처리 비용 발생.	- 2차 폐기물 처리 비용 없음. - 2차 폐기물 불분출 설비화와 고품질의 정제유 생산으로 인한 소요 확대
종합 평가	-연료유의 환경법 강화로 인해 생산 범위 축소 가능.	- 설비비 과다 투자로 인해 채산성 문제 대두	- 정부의 청정연료유 정책에 부합되는 설비임.

<표 IV-9> 국내 정제 설비의 경제성 분석

(단위 : 원)

구 분	이온정제법	감압증류법	고온 열분해법
시설비	700,000,000	1,800,000,000	1,200,000,000
회수,수송비	20,000	20,000	20,000
정제처리비	8,300	11,000	10,000
부산물처리비	900	850	500
일반관리비	4,300	5,300	5,500
정제유판매수입	30,000	60,000	65,000
회수처리비	7,000	7,000	7,000

※ 시설비는 폐유정제설비와 탱크의 비교가격임.
시설비를 제외한 항목은 드럼당 비교가격임.

2.5. 선진국의 자원화기술 현황

2.5.1. 북미

미국과 캐나다는 연간 682 million US Gal 을 수거한다. 2005년에는 1,288 million US Gal 에 이를 것이고 회수율은 50%에서 90%에 이를 것이다. 각 주와 지방에는 폐유를 유해 폐기물로 규정하고 수거율을 높이고 있다. 미국의 폐유 처리의 85%는 버너의 연료용이고 버너 연료 생산은 매년 5~8% 감소되고 기존의 공장들은 새로운 ASTM 버너 연료의 사양으로 경제적으로 버너 연료를 생산할 수 없고 천연가스로 대체 되고 있다.

1996년 캐나다 사람 1인당 21.1barrel의 기름을 소비했는데, 이는 인도의 0.62barrel에 비해 34배나 높은 소비량이다. 북미에서 소비된 윤활유나 산업유는 소비된 원유의 약 1% 이었다. 기름이 생산자로부터 가장 낮은 가격과 가장 큰 자원으로 공급이 계속되는 한 기름의 소비 증가는 과거 10년에 걸쳐 증가한 비율로 증가할 것이다.

폐유의 이용은 캐나다와 미국의 폐유 수거 단체에 따라 매우 다양한 데이터를 가지고 있다. 캐나다에는 단지 Alberta, Saskatchewan과 Monitoba 만이 공식적인 폐유 수거 계획을 가지고 있다. 미국에서는 캘리포니아를 폐유수거의 선두주자로 인식하고 있고 최고의 폐유 통계를 가지고 있다고 믿는다. 캘리포니아는 폐유를 유해폐기물로 분류하고 있다.

어떤 보고서에 따르면 캘리포니아는 판매된 오일의 50%가 폐유로 발생되고 판매된 산업유와 윤활유의 27%를 수거한다. 1998년에 판매된 전체 윤활유, 산업유는 1,098million liters이고 이중 50%는 사용중에 소비됐고 수거 가능한 양은 50%이다. 수거 가능한 양 중에서 303 million liters (50%)가 수거 됐다. 수거된 55%의 폐유는 판매된 총 윤활유, 산업유의 27%와 일치된다.

북미에서 1인당 판매한 윤활유는 9 US Gal(34.0liter)이며, 미국의 폐유처리 85%는 버너 연료로 생산되어 진다. 윤활유는 사용 중에 50%가 소모되어 사라지므로 수거된 폐유는 대체로 50%로 가정한다.캘리포니아는 수거가 55%이고 5년안에 90%까지 수거가 될 것으로 기대하고 있다. 점진적으로 폐윤활유 처리를 다루는 엄격한 규격은 폐유의 재활용율을 증가시켰다.

정부의 정책과 폐유헌유 의 상업성 은 잠재적인 공급을 증가 시켰고 또한 개인과 단체 의 환 경에 대한 지각은 재활용 의 수요를 증가 시켰다. 더불어 재활용 시설의 설립은 처리할 수 있는 폐유 량을 훨씬 늘린 것으로 기대된다. 폐유 의 90% 수거율은 현재 유럽에서 달성되었고 향후 5년 이내에 북미에서도 실현될 것이다.

대부분 율활유는 산업용 기계나 내부연소에 사용되고 대부분 엔진오일은 카센터나 정비소에서 교체된다. 정부와 개인 기업은 더 많은 양의 폐유를 수집하려는 다양한 과정의 단계에 있다. 따라서 폐유는 재정제를 위해 합리적으로 접근할 수 있다. 이 접근성은 향후 더 향상될 것이다. 폐유가 주로 발생하는 곳은 폐유 취급자, 트럭 운송회사, 시운영자, 비행기, 철도, 선박회사, 정유공장과 주유소, 군대, 각지역 카센터, 광산과 제조업자, 항구와 터미널 시설 등이다.

현재 북미의 폐유처리 현황을 보면, 캐나다에 7개 폐유처리 공장이 연간 약 260 million liters를 생산하고, 미국에는 다양한 공정으로 수백개의 공장들이 있고 연간 수십억 리터의 재생유를 생산한다. 고온 열분해 처리시설은 캐나다가 6개회사, 미국에 10여개 회사가 있다. 더 많은 주와 지방에서 더 엄격한 폐유회수 정책을 채택할 때 더 많은 폐유가 수거될 것으로 기대되어 진다. 수거된 폐유 처리율은 현재 50%에서 5년 후에 90%로 증가될 것이다.

2.5.2. 일본

(1) 폐유 의 처리

폐유 의 집하, 회수는 수집운반업의 허가를 받은 업자에게 위탁하며, 폐유 의 재생, 처리는 처분업의 허가를 받은 업자에게 위탁한다.

(2) 폐유 회수처리용 예치금 제도

현에 따라서 폐유 회수시 1ℓ 당 5~20¥의 회수료를 징수한다.

- 폐유 배출업자가 부담.
- 재생비율 1ℓ 당 15~20¥, 재생 연료유 1ℓ 당 15¥.

(3) 폐유헌유 재생실적(1991년도 조사량)

- 율활유 판매량: 247만 kl/년
- 폐유 판매량: 127만 kl/년
- 처리량:

△ 수분, 불순물	△ 19만 kl
△ 공업용 폐유처리량	△ 17만 kl
△ 목욕탕, 농업용 연료	△ 10만 kl
△ 금속가공유, 그리스, 재생연료	△ 19만 kl(산업폐기물처리)
△ 백토, 프레스 월타 처리	△ 62만 kl

2.5.3. 네덜란드

(1) 발생 및 처리현황

1995년 네덜란드에서는 37,400톤(잠재 발생량: 70,000톤)의 폐유가 발생되었고 이중 27,000톤이 분리수거 되었다. 발생한 폐유 의 99%가 다시 회수되었고, 1%만이 소각처리 되었다.

폐유의 주된 처리방법은 물, 침전물, 기름부분을 연료로부터 분리시키는 것이며, 이를 위한 허가업체로는 6개의 수거업체와 5개의 처리업체가 있다. 수출은 전혀 이루어지지 않았으며, 수입된 양은 2,300톤이다.

네덜란드에서는 폐유의 정의를 유해폐기물 지정법령(Hazardous Waste Designation Decree: Baga)에 나타내고 있으며, 재생가능성과 관련된 관점에서 기타(유해)폐기물과 분리하여 보관하도록 하고 있다. 또한 폐유의 인간과 환경에 미치는 유해성을 제거하고 이에 대한 확신을 줄 수 있도록 다음과 같은 필수처치(requisite measures)를 마련하고 있다.

- ① 수거 구조를 개량한다.
- ② 화학 전처리와 함께 원심분리에서부터 증류과정까지의 폐유의 처리/가공에 관한 최소 기준을 높인다.
- ③ 연료의 유기 할로겐 함량에 관한 법령을 개정하여 연료를 사용 후 폐유를 처리/가공할 때 다이옥신의 생성을 억제시킨다.

(2) 수거 및 저장

개인은 도시 또는 지역 창고, 화학물 수집 차량을 통해서 폐유를 위탁할 수 있고 업체는 다음의 3가지에 따라 선택적으로 폐유를 처리하고 있다.

- ① 소량의 폐유는 면허를 가지고 있는 municipal 또는 regional 창고에 위탁할 수 있다.
- ② 폐유가 적절하고 누출이 방지된 packaging 내에 소규모의 폐유 수거업자에 의해서 수집될 수 있도록 조정할 수 있다.
- ③ 폐유가 폐유수거업자에 의해서 bulk 내에 수집될 수 있도록 조정할 수 있다. 여기에는 vacuum 차량이 요구된다.

도시 또는 지역 창고는 처리에 대한 다음의 2가지 선택권을 가진다.

- ① 폐유가 적절하고 누출이 방지된 packaging 내에 소규모의 폐유 수거업자에 의해서 수집될 수 있도록 조정할 수 있다.
- ② oil tank내에서 폐유를 packaging과 bulk로 분리할 수 있고, oil tank는 폐유 수거업자가 비워야 한다.

소규모 유해폐기물 수거업자는 폐유 200ℓ 이하의 packaging 수집만을 허가 받으며, 폐유 저장에 대한 허가도 받을 수 있다. 6개의 위탁 지역으로 된 현재의 수집 구조는 bulk waste로 계속되고 있고, 수집 지역은 네덜란드 전체로 결정되었다. Bulk 수집은 폐유의 수집을 200ℓ 이하로 규정하고 있으며 따라서 Bulk 수집의 수량은 증가하지 않고 있다.

소규모 유해폐기물 수거업자에 대한 허가기간은 5년이며, 그에 대한 허가는 다음과 같다.

- ① packaging내의 폐유 수거는 소규모 유해폐기물 수거업자들에 대해서 허가된다. 그러므로 이는 소규모 유해폐기물 수거업자들에게 수거에 대한 권리(right)를 네덜란드 전체에 부여하고 그들에게 의무(소규모 유해폐기물에 대한 현재의 강제(필수) 수거지역과 같은 의무)를 위임한다.
- ② packaging 내의 폐유의 저장은 소규모 화학 폐기물/소규모 유해 폐기물 저장소(창고, depot) 및 소규모 유해폐기물 수거업자에 대해서 허가된다. 게다가 그들은 폐유로부터 packaging을 분리하는 것을 허락(인정) 받는다.

- ③ 독립된 활동으로서 bulk 내의 폐유 저장의 연장은 이미 허가된 상황에서만 허락되며, bulk 수거업자들의 수는 증가되지 않는다.
- ④ extra 저장 장소는 bulk 수거업자 및 처리업자/가공업자를 위해서 허락된다.

(3) 처리/가공

폐유의 처리/가공에 대한 최소 기준은 화학적 전처리를 이용한 증류법에 의해서 가스 오일로 향상(upgrade)시키는 것이다. 최소기준은 유기할로젠 화합물, 금속함유 첨가물, 침전물들이 적정 규모로 폐유로부터 제거되는 것을 보증한다. 개정된 수입 및 수출정책, 그리고 처리/가공에 대한 용량규정의 삭제를 고려하여, 허가는 다른 시설(폐유를 적어도 최소 기준만큼 정교한(sophisticated) 기술을 이용해서 가스 오일, 유사한 연료, 또는 윤활유로 향상시키는 시설)에 부여될 수도 있다. 유사한(comparable) 연료란, 가스오일의 질과 비슷한 질의 연료를 뜻한다. 재생을 위하여 폐유의 소각은 허가하지 않을 것이다.

bulk 수거업자는 폐유의 전처리를 허가 받는다. 전처리는 free water의 분리로서 정의되며, 원심분리와 같은 침전물의 처리는 현행의 허가가 폐지된 후에는 더 이상 허용되지 않는다.

처리/가공에 대한 허가는 다음과 같다.

- ① bulk 수거업자에 대해서 폐유 전처리에 대한 허가를 해준다.
- ② 폐유의 처리/가공에 대한 최소 기준: 주요(central) 가공 공정 또는 화학처리와 함께 증류와 같은 정교한 기술에 의하여 폐유를 가스 오일, 유사한 연료 또는 윤활유(basic lubricant)로 향상시키는 기타 설비들
- ③ 전처리에 대한 허가기간은 최고 5년으로 하고, 최소 기준당으로서 가공에 대한 허가기간은 최고 10년으로 한다.

3. 오니¹⁾

3.1. 발생현황

지정폐기물로 분류되는 오니의 경우 '97년 총발생량은 116,874 톤/년으로써 전체 지정폐기물의 약 5.3%를 차지하고 있는데, 이는 전체오니류 폐기물(지정폐기물+일반폐기물) 발생량의 약 1.6%에 해당된다. 지정폐기물 오니는 다시 폐수처리오니와 공정오니로 구분하여 집계되는데 폐수처리오니가 102천톤으로써 대부분을 차지하고 있고 공정오니는 약 14.8천톤이 발생되고 있다.

3.2. 오니의 성상

오니를 재활용하기 위해서는 우선 오니의 성분분석을 알아야만 한다. 오니는 발생원에 따라 크게 3가지로 분류할 수 있는데, 산업폐수처리오니, 하수처리오니 그리고 정수오니로 구분된다. 발생원에 따라 성분이 다른 것은 처리설비 내로 유입되는 폐수의 성분이 다르기 때문에 이를 처리하여 발생되는 오니의 성분도 다를 수밖에 없기 때문이다.

1) 전관수, 『슬러지 처리기술 및 처리시설(I)』, 1997 와 이호태, 『슬러지 처리기술 및 처리시설(II)』, 1997의 내용을 요약한 것임.

3.2.1. 산업폐수 오니의 물리화학적 특성

산업체에서 발생하는 유기성오니는 ‘폐기물관리법’에 의한 용출실험결과에 따라 지정폐기물과 일반폐기물로 분류하게 되고 각각의 관리방법에 따라 차등관리를 하게 된다. 분류방법에서도 알수 있듯이 오니는 대부분의 성분이 유기성분(탄소성분)이기는 하지만 일부 포함된 미량의 물질(중금속, CN, 유기인, TCE 등)이 독성을 가지거나 환경적으로 유해한 영향을 끼치기 때문에 매립이나 소각시 엄격한 관리를 받게 될뿐만 아니라 재활용을 제한하게 되는 중요한 요인이 되는 것이다.

특히 산업폐수 오니의 경우에는 폐수가 유발되는 공정이 같은 산업군내에서 뿐만 아니라 같은 공정내에서도 운전조건의 변화 등에 따라서 성상이 바뀌기 때문에 도시하수나 정수를 처리할 때 발생하는 오니에 비해서 조성의 안정성이 떨어지는 점 역시 재활용의 장애가 되고 있다. 이러한 이유로 유기성 오니의 특성분석이나 재활용에 관한 연구는 비교적 유해성분의 함유량이 적고 조성이 안정적인 하수나 정수 오니에 집중되고 있으며 산업폐수 오니에 대한 연구는 드문 형편이다.

<표IV-10>는 국내 주요 산업체를 대상으로 하여 조사한 오니의 성분분석결과이다. 먼저 가연성분은 8.1%~22.1%의 범위에 있었는데 피혁제조업과 석유정제업의 경우가 가장 높아 소각이 가능한 것으로 판정되었고, 섬유산업과 산·알카리업체의 경우에는 회분성분이 높고 가연성분도 적어 소각시 에너지가 많이 소모될 뿐만 아니라 소각재의 처리에도 문제가 있는 것으로 보인다.

한편 용출실험 결과를 보면, 섬유산업과 석유정제업의 경우에는 용출값이 모두 지정폐기물의 기준치 이하로 나타나 일반폐기물로 분류되었고, 피혁제조업과 산·알카리제조업의 경우에는 Cr^{+6} 의 농도가 기준치를 초과하는 경우가 있었다.

<표 IV-10> 산업체별 발생오니의 성분분석

(단위:%, mg/l)

	섬유	피혁제조	석유정제	산·알카리제조
수분	81.5	73.4	74.4	71.4
가연분	8.1	22.1	21.9	15.3
회분	10.4	4.5	3.7	13.3
Pb	0.013±0.020	0.088±0.263	0.004±0.004	0.411±0.811
Cu	0.191±0.500	0.030±0.077	0.014±0.009	0.256±0.790
As	0.002±0.004	0.004±0.006	0.003±0.002	0.011±0.020
Hg	n.d	-	-	0.001±0.001
Cd	0.009±0.019	0.011±0.012	0.009±0.006	0.019±0.026
Cr^{+6}	0.017±0.041	0.551±1.000	0.005±0.005	0.180±0.476
CN	-	0.005±0.004	0.011±0.007	0.007±0.013
O-P	-	-	-	0.001±0.001
TCE	-	-	0.008±0.004	0.007±0.027
TeCE	-	-	0.018±0.007	0.005±0.010

주)유해물질의 농도는 용출실험결과임(평균±표준편차)

자료: 도갑수외, 『산업폐기물의 발생원에 따른 물리화학적 특성』, 한국폐기물학회지, 제14권 제3호, 1997.

또 다른 자료로는 다량의 공장폐수와 소량의 하수를 함께 처리하는 하수처리장 오니 분석 결과인데 <표Ⅳ-11>과 같다. 먼저 가연성분이 9.2~14.5%로써 고른 분포를 보이지만 비교적 낮고, 회분함량은 5.8~14.3%의 범위에 있으나 10% 미만이 많다. 용출실험결과 1개 처리장에서만 중금속 기준을 초과하였고 나머지 6개 처리장의 경우에는 모두 기준이내인 것으로 나타났다.

<표Ⅳ-11> 산업공단내 하수처리장에서 발생하는 오니의 일반적인 특성

분	류	함수율 (%)	유기물함량		회분함량
			wet base	dry base	
산업공단	처리장 1	75.5	11.0	45.0	13.4
	처리장 2	81.1	13.0	68.9	5.8
	처리장 3	81.6	10.5	57.4	7.8
	처리장 4	80.4	9.2	47.3	10.2
	처리장 5	72.0	13.5	48.4	14.3
	처리장 6	77.4	14.1	62.9	8.3
	처리장 7	78.0	14.5	65.9	7.4
합	중간값	72.0	9.2	45.0	5.8
	최대값	81.6	14.5	68.9	13.4
	평균값	77.8	12.1	55.7	9.9

자료: 배재근외, 『하수슬러지의 성상분석에 의한 적정처리방안의 검토』, 한국폐기물학회지, 제15권, 제3호, 1998.

3.2.2. 하수오니의 물리화학적 특성

하수처리장의 경우 지역의 특성에 따라 발생오니의 성상도 차이를 보인다. <표Ⅳ-12>은 대구지역의 하수처리장에 대한 오니분석 결과인데, 이 처리장에는 도시하수만 처리하고 있는 것이 특징이다. 건조상태에서의 가연성분이 약 64%를 보이고 있고, 용출실험결과 조사된 항목에 대해서는 특별히 지정폐기물의 기준을 초과하지는 않고 있다.

<표 IV-12> 하수슬러지의 물리·화학 분석

		도 시 하 수		
		평균	S.D	범위
수분함량(wt% of WS)		79.8	3.3	73.7~85.4
가연성분(wt% of DS)		63.7	7.1	52.5~73.5
고위발열량 (kcal/kg of DS)		3715	492	2839~4485
중금속 함량 (mg/kg of DS)	Cr	230	13.8	215~243
	Cd	1.4	0.2	1.1~1.6
	Zn	361	66.4	265~451
	Pb	48.5	5.4	44~57
	Cu	69.8	5.7	62~76
	Fe	4839	461	4277~5563
용출시험에 의한 침출수의 중금속 농도 (mg/ℓ)	Cr	0.03	0.02	0.01~0.06
	Cd	0.01	0.01	0.00~0.02
	Zn	0.03	0.02	0.01~0.04
	Pb	0.02	0.03	
	Cu	0.01	0.00	0.01~0.02
	Fe	0.23	0.17	0.02~0.38

주)WA : Wet Sludge Basis; DS : Dry Solid Basis

하수오니에 대한 또 다른 자료는 1994년 환경처에서 발간한 「하수처리장 슬러지 광역처리 방안에 대한 타당성조사연구」와 1997년 한국자원재생공사에서 발간한 「쓰레기 퇴비화시설의 설계, 운영지침 및 모델개발(III)」이 있다. 이 자료에 대한 분석은 1998년 KEI의 연구보고서 「하·폐수처리장 슬러지의 합리적 관리방안」에 자세히 언급되어 있으므로 여기서는 간략히 그 결과만 서술하고자 한다.

위 자료에 의하면 하수처리장의 위치에 따라 중금속 농도의 차이가 많았는데, 일반적으로 공단형>도시형>농촌형의 순서로 검출되었고 국내 비료기준을 초과하는 경우가 상당히 있는 것으로 분석되었다. 특히 수은의 농도가 기준을 초과하는 경우가 가장 빈번하였고 크롬, 구리, 카드뮴의 농도도 기준을 초과하는 경우가 많았다.

3.3. 자원화기술

3.3.1. 에너지 이용 기술

하·폐수 처리장에서 탈수기를 거친 오니는 80% 정도의 수분을 함유하고 있으나 건조시켰을 경우 2,000~4,800 kcal/kg의 발열량을 갖고 있다. 이 중의 일부는 국내 무연탄의 발열량과

비슷한 수준으로 적절한 처리를 거치면 공정의 에너지원은 물론 발전 및 난방용 연료로 전환이 가능하다. 일본의 경우 Suzuki 등에 따르면 하수처리 슬러지(75% 함수율) 100톤을 처리할 경우 총 7.4톤의 기름이 얻어지며, 이중 3.2톤은 공정의 에너지로 사용되고 나머지 4.2톤의 기름이 회수 가능하다고 보고하고 있다.

이와 같이 오니로부터 에너지를 회수하는 방법은 건조 등의 방법으로 수분을 제거한 후 직접 고체연료를 생산하는 기술, 용매 등에 의해 유용한 화학물질을 추출하는 추출법, 건조 오니를 고온에서 열분해하여 액체연료로 전환하는 기술, 함수 오니를 고온·고압 하에서 반응하여 액체연료로 전환하는 등의 연료 전환기술, 오니를 탈수하기 전에 혐기성 소화의 방법으로 메탄가스를 얻는 소화법, 그리고 소각으로 열 에너지를 얻는 방법 등으로 구분할 수 있다.

(1) 고체연료화 기술

국내 무연탄과 비슷한 수분의 발열량을 갖는 건조된 오니를 활용하기 위한 기술로써 고체연료화 기술은 에너지의 회수라는 측면에서 바람직한 기술이다. 그러나 80% 가량의 수분을 효율적으로 제거하는 것이 이 기술의 핵심을 이루고 있다. 실제로 오니의 처리에서 건조에 소요되는 에너지가 가장 많기 때문에 건조를 제외한 고압탈수 후 유동층 소각이 초기 투자비 및 운전비용이 가장 적게 든다는 보고도 있다.

일본의 경우 1982년부터 이에 대한 연구를 해왔으며, 동경시는 효율적인 건조방법을 개발하여 오니의 연료화의 가능성을 입증하였다. 그 결과 1989년 Nambu Sludge Plant에 탈수 오니를 하루에 250톤 처리할 수 있는 시험시설을 건설하여 가동 중에 있다. 이 공정은 다목적 증발장치를 이용하여 오일을 순환시키면서 건조시키기 때문에 많은 에너지를 사용하지 않고도 수분을 제거할 수 있는 장점이 있으며, 생성된 고체 연료는 발열량 4,000~4,500 kcal/kg으로 발열용 연료로 사용이 가능하다.

(2) 액체연료화 기술

○ 오니 열분해 기술

오니의 열분해는 석탄의 열분해 기술과 같이 비교적 낮은 압력에서 오니 중에 포함된 고분자 유기물을 열에 의하여 분해시킴으로 저분자의 오일을 얻는 방법으로 온도는 350~800℃ 범위에서 가동되고 있다.

오니의 열분해에 대한 연구는 독일의 Tubingen University에서 하수 오니를 오일과 char로 전환하는 간단한 공정을 개발한 이후 각국에서 관심을 갖고 연구에 참여하게 되었다. 이 연구는 건조된 오니를 300~350℃에서 30분간 산소가 없는 분위기에서 가열하였을 때 고분자 유기물이 분해되어 오일을 얻는 방법으로, 이때 얻어진 오일의 경우 수율은 18~27%, 발열량은 9,300 kcal/kg 이며, char의 경우 수율은 50~60%, 발열량은 3,600 kcal/kg임을 보고하였다. 이 공정의 가장 큰 장점은 상압보다 약간 높은 압력과 첨가하는 물질이 없다는 점이다.

Bridle과 Campbell²⁾은 회분식 실험과 연속식 공정을 가동하였으며, 독일 공정의 타당성 검토 및 공정설계의 자료를 수집하였다. 실험결과 1차 및 2차 오니를 혼합하였을 때 오일의 수율은 20.8~24.1%, 에너지 회수율은 77.7~83.2%, 생성되는 오일의 평균 발열량은 8,000~

2) Bridle, T.R. and Campbell, H.W., "Low Temperature Conversion of Sludge and Waste to Oil", Proceeding of the International Recycling Congress, Berlin, West Germany (1982)

9,000 kcal/kg, char의 발열량은 2,400~2,600 kcal/kg 임을 보였다. 오니의 처리방법에 대한 에너지 효율을 비교한 결과는 <표IV-13>와 같으며, 표에서 보는 바와 같이 오니를 탈수, 건조 후 오일을 전환하는 것이 가장 에너지 회수 효율이 좋은 것으로 보고하고 있다.

국내의 연구로는 아주대학교에서 캐나다의 Bridle과 Campbell의 연구결과를 기초로 하여 1989년부터 국내 하수처리장에서 발생하는 오니에 대한 열분해 연구를 수행한 바 있으며 용인 하수처리장에 시험 설비를 건설하여 가동한 바 있다.

○ 오니 액화기술

오니의 액화에 대한 연구는 일본, 미국 등에서 시작하였다. 미국의 경우는 Bettelle Pacific Northwest 연구소에서 1971년부터 연구에 착수하여 DOE 산하 BES(Basic Energy Science)의 지원 하에 기초 과학적인 연구를 시작하여 액화반응 조건 및 반응기구를 규명하였고, EPA의 지원으로 STORS (Sludge to Oil Reactor System) Process가 1983/84년에 세워져 가동되었다. STORS 공정의 생성물이 고점도인 단점을 보완하여 점도를 줄이고, 연소성 등의 연료 특성을 증가시키는 연구로서 STORS-II 공정의 개발에 착수하여 현재 진행 중에 있다. STORS는 오니를 폐기물이라는 개념을 떠나 연료유를 얻는 것이 목적이며, 생성오일은 검은 점성 물질로 디젤유의 90% 발열량을 갖고 있다. 부산물로 char, 가스(대부분 CO₂), 폐수가 있는데, 이중 char는 건조되어 공정의 열을 위하여 연소되고 생성가스는 char 연소기를 통과하여 냄새 및 유해물질을 제거한 후 방출되며, 오일은 냄새제거 및 품질향상을 위하여 upgrading한 후 발전 및 스팀생산연료로 사용이 가능하다. 이때의 에너지 회수율은 72%에 달하는 것으로 보고하고 있다.

<표IV-13> 오니 처리 방법(alternative)에 대한 에너지 수치

방 법	A	B	C	D
생 오니의 이용가능한 총 에너지 (10 ³ kcal/h)	4,065	4,065	4,065	4,065
생산물 에너지				
메탄(10 ³ kcal/h)	1,000	1,000	1,000	0
오일(10 ³ kcal/h)	0	0	0	1,980
Char + NCG + H ₂ O (10 ³ kcal/h)	0	0	0	1,220
소화 오니 (10 ³ kcal/h)	0	1,290	1,290	0
에너지 요구량 반응기/건조기/소각로/연소실 (10 ³ kcal/h)	0	3,050	1,800	415
순 에너지* (10 ³ kcal/h)	1,000	-760	490	2,785
(kcal/kg 생 오니)	960	-730	470	2,674
에너지 회수** (%)	24.8	0	12.1	68.5
Note * 순 에너지 = 총 에너지 - 총 에너지 요구량 ** 에너지 회수 = (순 에너지/생 오니 에너지) × (100) A : 소화 & 토양처리 B : 소화, 탈수 & 소각 C : 소화, 탈수, 건조 & 소각 D : 탈수, 건조, 전환(conversion) \$ dsuth				

자료: 전관수, 『슬러지 처리기술 및 처리시설(I)』, 1997.

일본의 오가노 주식회사에서 설치한 연속공정의 경우는, 75%의 수분함량 하수 오니를 100톤 처리할 경우 7.4톤의 기름을 얻을 수 있으며, 이중 3.2톤은 가열에 소요되어 결과적으로 물질수지에서 4.2톤의 기름을 생산할 수 있고, 이때의 열회수율은 56.7%임을 보이고 있다. 이 공정의 가동결과 오니 외에도 각종 산업폐수의 생물처리 오니, pulp, 알코올 증류잔사, 식품 오니 등과 같이 광범위한 유기성 오니전반에 적용이 가능할 것으로 보고하고 있다.

오가노 공정과 관련하여 Suzuki 등은 오니의 종류, 촉매의 영향, 반응온도의 영향, 압력의 영향 등 다각적인 실험을 수행하여 오니는 1차 오니가 2차 오니보다 오일 생성량이 많음을 보였으며, 오니의 무기물 중에 촉매성분을 함유하고 있는 경우 촉매의 첨가는 오히려 오일 수율의 감소를 보였다.

국내의 연구로는 에너지기술연구소에서 서울 난지 종말처리장의 1차 오니에 대한 회분식 액화실험을 수행하였다. 이 연구에서 350~450℃의 온도범위에서 온도증가에 따라 오일수율이 증가하며 반응시간은 10분에서 최대임을 보였다. 그러나 단일 종류의 슬러지에 대한 실험만 수행하였다. 또한 에너지기술연구소에서는 대체에너지 연구자금으로 염색공단에서 발생하는 오니에 대한 오일 회수연구를 수행한 결과 60% 가량의 에너지 회수율을 얻을 수 있었다.

오니의 열분해는 열에 의해 고분자의 유기물이 분해되어 저분자의 기름과 가스가 생성되지만 액화는 물에 의한 분해반응에 의해 저분자 물질로 전환되는 것으로 알려져 있다. 이에 대한 정확한 반응 기구는 알려져 있지 않으나, 265~350℃의 온도에서 알칼리 소화반응에 의해 오니가 가압하에서 용해되면서 저분자 물질로 분해되고 다시 Aldole routr에 의해 방향족 구조로 재결합하는 반응경로를 거치며, 용해/재결합 과정 중에서 물과 이산화탄소가 분리되고 고발열량의 오일을 형성하는 것으로 알려지고 있다.

(3) 소각에 의한 열 회수기술

오니의 소각은 슬러지의 80%이상이 수분이기 때문에 소각하기 전에 탈수의 과정을 거치거나 오니 자체의 발열량이 낮은 경우에는 별도의 폐기물과 혼합하여 처리하기도 한다. 오니 소각은 오니의 특성에 따라 오염물질의 배출염려가 있고, 소각로 벽면에 녹아 붙는 등의 문제가 있기 때문에 세심한 주의를 필요로 한다. 그러나 오니의 부피를 1/100로 줄일 수 있다는 장점 때문에 일본이나 독일의 경우에 오니 발생량의 80% 이상을 소각으로 처리하고 있으며, 소각회를 다양하게 활용하는 방안 또한 연구되고 있다.

일본의 경우, 소각기술의 발달로 발생하는 오니의 대부분을 소각으로 처리하고 있다. 동경의 葛西 하수처리장의 경우 자체 처리시설에서 발생하는 오니와 주변의 다른 하수 처리장으로부터 관을 통하여 이송된 농축 오니를 탈수하여 소각처리하고 있으며, 일부는 다른 방법으로 처리를 위한 소규모 연구 설비에 활용하고 있다.

일본 동경의 남부 오니 처리장의 경우에도 인근 하수처리장에서 파이프라인을 통해 이송된 농축 오니와 육상운송수단을 이용해 운송된 탈수 오니를 직접 소각하거나 고체연료화 등의 과정을 거쳐 발전에 활용하기도 한다.

神戸市の 경우에는 東部 오니 센터에서 소각로를 가동하고 있으며 폐열을 이용하여 오니의 건조 및 소각용 공기의 예열에 사용하고 있으며, 온수의 생산에 활용하여 에너지를 최대로 절약하는 시스템을 채택하고 있다.

그러나 이상에서 살펴본 일본의 소각 시스템의 경우에는 대부분이 보조연료를 사용하고 있으며, 에너지를 회수하여 자체 건조에너지로 사용하기 때문에 외부로의 에너지 공급원으로서의 역할은 담당하고 있지 못하다.

독일의 경우에는 오니 자체의 발열량 부족을 도시쓰레기와 혼합하여 소각함으로써 해결하고 있는데, Krefeld 지역의 경우에는 하수처리장에 오니 및 도시쓰레기 소각 시스템을 갖추고 있어 소각열을 이용하여 발전과 스팀의 생산을 병행하고 있다. 이 소각시스템은 연간 210,000 톤의 쓰레기와 12,000 톤의 건조 오니를 연소하여 12 MW의 전기를 생산하며, 이와 동시에 시간당 40톤의 스팀을 생산한다. 생산된 스팀과 전기를 절반정도는 시스템의 에너지로 사용되고 나머지는 주변 지역에 판매하고 있다.

(4) 소화법에 의한 에너지 회수기술

오니 소화법은 슬러지의 안정화 및 탈수효율을 향상시키기 위한 공정이다. 이 방법은 미생물을 이용한 발효법을 많이 사용하며 공기의 유무에 따라 혐기성 소화와 호기성 소화로 구분된다. 혐기성 소화는 유기물 농도가 높을 경우에 장점이 있으며, 호기성 소화는 초기 반응속도가 빠른 점이 특징이다. 소화공정에서는 유기물의 약 50%가 가스와 물로 분해되기 때문에 오니의 발열량이 감소하며, 오니를 에너지로 이용하는 공정에서는 소화조 없이 탈수공정을 거치는 것이 바람직하다.

혐기성 소화조는 오니에 포함된 유기물이 혐기성 미생물의 작용에 의하여 분해되는 생화학적 공정이며, 일반적으로 가스교반식 소화공정과 유사한 중온 2단 소화법이 채용되고 있다.

3.3.2. 비료화 기술

오니는 수분과 유기물이 혼합된 고형분이기 때문에 예전에는 녹지대 또는 농지에 환원되어 퇴비로 사용되었다. 그러나 오니를 비료로 사용하기 위하여는 토양에 대한 전문지식의 필요와 하수 오니로부터의 퇴비라는 사용자들의 인식, 현재 국내의 일부 하·폐수 중에 중금속이 포함되어 그 유독성의 인체의 유해 여부 등의 문제가 해결되어야 한다. 일부 산업체중 음식 폐기물에서 발생하는 오니를 처리할 경우에는 이를 긍정적으로 검토하고 있으며, 축산이나 식품폐수, 폐식용유 처리에 의한 오니는 사료 및 비료의 이용이 가능한 것으로 알려져 있으며, 처리하는 기업도 있다. 그러나 오니를 비료나 토양 개량제로 사용하기 위하여는 먼저 비료에 대한 인식부터 바꾸어야 할 필요가 있다. 오니를 이용하여 제조한 비료는 소비자들의 인식 때문에 농작물에 사용할 수는 없지만 도심의 녹지대나 황무한 땅을 개량하는 토양개량제로서의 활용은 가능할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 관련법규의 보완이 필요하며, 특히 비료에 등급을 두어 녹지대용, 녹지용 등의 구별이 필요하다.

일본의 경우 1976년부터 연구개발에 착수하여 상용화 기술, 농작물에 대한 영향 및 안정성 등을 검토하였다. 현재 하루 2~3 톤/일의 시설을 Minami Tama Wastewater Treatment Plant에 건설하여 가동 중에 있으며, Minami Tama Odei라는 상품명으로 시판되고 있다. 생산되는 비료는 75%가 도시 녹지역(공원 및 도로변)의 비료로 사용되고 있다.

미국의 경우 톱밥이나 덩불 조각 등과 혼합하여 처리하는 오니 퇴비화 시설이 200개가 넘으며, 일반 가정의 정원용 및 공공시설용 비료로 공급되고 있다.

독일의 경우에는 Aachen 지역의 하수처리장에는 발생한 오니를 퇴비화하는 소규모의 시험설비가 설치되어 가동되고 있으며, 주변의 농지에 적용하고 있다.

국내에서는 음식물 쓰레기와 폐목재를 혼합하여 퇴비를 만드는 시험시설이 난지 하수처리장내에 설치되어 가동중에 있으며, 오니의 혼입도 계획중으로 있다.

3.3.3. 무기물의 활용기술

오니의 회분은 30~40%의 silicic, 15~20%의 alumina, 5~10%의 iron, 7~20%의 phosphoric acid 그리고 10% 정도의 calcium 등으로 구성되어 있기 때문에 오니의 무기물을 활용하는 기술은 경량골재 등의 건축자재 제조 등에 활용되고 있으며, 현재 일본에서 가장 활발히 연구가 진행되고 있다.

(1) 경량골재 생산기술

오니를 연소한 후 발생한 회분은 보통 연소열에 의해 부풀어 있는 상태이기 때문에 그 자체가 경량 골재로서의 충분한 가치를 지니고 있다. 오니 회분을 이용하여 경량골재를 제조하는 기술은 일본에서 1974년부터 연구를 시작하여 현재 하루 3톤 규모의 경량골재 생산시설이 가동되고 있으며, Sludgelight 라는 이름으로 생산되고 있다. 이 공정은 오니 회분을 알코올 발효 폐수와 혼합하고, 축축한 상태에서 입자화기에 넣고 0.6~3.5mm 직경의 펠렛으로 만든 후 고온으로 소성하여 제조한다. 이때 생성된 펠렛은 규격별로 분류되어 출하되는데 경량골재와 거의 비슷하여 많은 용도로의 사용이 가능하며 특히 하수처리장의 여과재료로 사용이 가능하다.

(2) 벽돌의 생산기술

오니의 연소 후 생성되는 회분을 이용하는 또 다른 연구로서 일본에서는 고압으로 성형한 후 소성하여 벽돌을 생산하는 연구가 타당성을 갖고 있음을 입증한 후 Nambu Sludge Plant에 10 톤/일 규모의 시설이 건설되어 가동 중에 있다. 이 공정은 오니 회분을 금속 몰드에 넣고 1000기압으로 벽돌모양으로 가압 성형하고, 가압 성형된 회분은 연소로에서 1,050℃에서 3시간 동안 소성시키면 부피가 22~28% 감소되면서 보도 블록용 벽돌을 생산하게 된다. 그러나 일본의 경우도 폐기물로부터 생산된 제품이라는 인식 때문에 일반의 판매는 어려움이 있어 동경시에서 전량 구매하여 자체 공사에 조달하는 방식을 사용하고 있으며, 특히 제조원가가 일반 제조벽돌보다 비싸기 때문에 국가 보조금을 받는 형식을 취하고 있다.

(3) 용융 슬래그 활용기술

용융 슬래그화의 장점은 중금속 등으로 오염되어 있는 오니의 안정적 처리가 가능하고, 오니 감량 효율이 가장 높다는 점이다. 또한 용융시킨 후 냉각과정에 따라 다양한 제품을 얻을 수 있다. 먼저 물로 급냉 시킬 경우 미세한 입자를 얻을 수 있으며, 적당한 바인더와 혼합하여 성형할 경우 투수성 블록이나 보도블록을 제조할 수 있다. 또한 서서히 냉각하면서 결정화시킬 경우 강도가 높은 골재를 얻을 수도 있다. 이에 대한 연구는 1979년부터 시작되어 1988년부터 Nambu Sludge Plant에 건설을 시작하여 1990년부터 가동되고 있다.

V. 자원화기술의 선정 및 적용사례

본 장은 위탁용역의 결과³⁾로 여러 전기로 제강분진의 자원화기술을 대상으로, 그리고 여러 폐유 자원화기술을 대상으로 1차폐기물로부터 얻어지는 결과를 바탕으로 평가하였으며, 1차 폐기물 처리후 다시 얻어지는 2차폐기물을 대상으로 환경성을 검토하여 우리의 사정에 적합한 고급화된 자원화기술을 선정하였다.

1. 1차폐기물 자원화기술

1.1. 제강분진

1.1.1. 분진의 종류

실험에 사용된 제강 분진은 독일 모회사의 자동차 스크랩만을 용융한 후 얻어진 분진과 한국의 제강회사 분진이며, 이들 분진의 성분은 <표 V-1>에 나타내었다.

<표 V-1> ICP 분석에 의한 제강분진(EAF duast)의 분석치

원 소	분진-A	분진-B	분진-C	분진-D	분진-E
Zinc(Zn)	39.93	15.97	27.43	20.38	21.89
Iron(Fe)	24.86	40.73	18.88	30.19	36.32
Lead(Pb)	5.13	1.85	3.16	2.60	1.32
Manganese(Mn)	2.69	1.16	0.94	1.07	1.75
Calcium(Ca)	3.12	14.28	13.63	12.10	12.59
Silicon(Si)	0.95				
Chromium(Cr)	0.59	0.28	0.11	0.17	0.21
Magnesium(Mg)	0.59	4.35	4.96	5.16	4.70
Copper(Cu)	0.33	0.30	0.20	0.32	0.21
Nickel(Ni)	0.07	0.03	0.01	0.03	0.02
Cadmium(Cd)	0.06	0.02	0.03	0.03	0.01
Sodium(Na)	0.90				
Potassium(K)	0.99				
Chloride(Cl ⁻)	1.95				
Sulfate(SO ₄ ²⁻)	1.36				

※ 분진-A : Dust from German automobile scrap

분진-B : D사, 분진-C : H사(70톤)

분진-D : H사(80톤), 분진-E : H사(90톤)

3) '상원이엔씨', '유토피아 코리아'에 위탁한 용역 보고서의 일부를 발췌한 것이다.

1.1.2. 침출실험

(1) 가성소다

가성소다를 물에 녹인 다음, 온도를 90℃까지 상승시키고 교반을 하면서 제강분진을 투입하였다. 가성소다 용액의 농도는 물 250ml에 가성소다를 첨가한 것으로 <표 V-2>에 나타난 바와 같다.

매시간 5ml씩 취하여 여과지에서 걸러낸 다음 성분 분석을 하였고, 마지막 4시간이 경과한 후에 전체를 여과하였다. 걸러낸 잔유 고형분은 건조 후 무게를 달아서 무게의 감량을 측정하였고 고형분과 용액에서의 성분을 조사하였다. 조사한 성분은 Zn, Pb, Cd, Cr, Fe였다.

침출 후 분석 결과는 <표 V-3>과 <표 V-4>에 나타내었다.

<표 V-2> 가성소다를 사용한 침출 실험 조건들

No.	분진	wt. dust (g)	vol. H ₂ O (ml)	wt. NaOH (g)	leach. temp. (°C)	leach. time (hr.)	% of wt. loss
1	A	25	250	12.5	90	4	7.45
2	A	25	250	25	90	4	15.34
3	A	25	250	50	90	4	34.52
4	A	25	250	75	90	4	38.84
5	A	25	250	100	90	4	45.14
6	B	25	250	12.5	90	4	8.54
7	B	25	250	25	90	4	9.29
8	B	25	250	50	90	4	12.5
9	B	25	250	75	90	4	16.54
10	B	25	250	100	90	4	16.57

<표 V-3> 가성소다를 사용한 분진A의 침출 결과

No.	weight of NaOH used for leaching (g)	Concentration of elements in leaching solutions(mg/ℓ)					Zn /Fe
		Zn	Pb	Cd	Fe	Cr	
1	12.5	1850	1306	0.00	3.50	10.20	529
2	25	6069	1500	0.00	3.72	10.51	1632
3	50	24090	1665	1.25	4.58	8.23	5256
4	75	26159	1878	5.38	16.79	5.77	1558
5	100	26944	2341	10.75	5.63	5.38	4790

※ 분진 25 g, 물 250 ml, 90℃, 4 hrs.

<표 V-4> 분진 B의 가성소다액에서의 침출 결과

No.	time (h.)	Concentration of elements in leaching solutions(mg/ℓ)					Zn/Fe
		Zn	Pb	Cd	Fe	Cr	
6	1	1395	900	n.d.	5.5	<0.5	253.6
	2	1457	809	n.d.	4.5	<0.5	323.8
	3	1475	746	n.d.	3.2	<0.5	460.9
	4	1431	1147	n.d.	3.37	0.38	425.1
7	1	2576	1077	n.d.	11.5	0.5	224
	2	2552	1153	n.d.	14	0.5	182.3
	3	2630	1152	n.d.	15.4	0.5	170.8
	4	2469	1325	n.d.	18.32	0.89	134.8
8	1	4604	1163	2.9	6.1	0.7	754.8
	2	4290	971	2.3	8.1	0.7	529.6
	3	4735	993	1.8	6.8	0.9	696.3
	4	4436	439	0.56	5.89	1.0	753.4
9	1	4335	512	3.5	5.7	1.1	760.5
	2	4472	785	4.9	8	1.5	559.0
	3	4270	674	3.9	9.1	1.5	469.2
	4	4320	470	3.2	11.73	2.4	368.2
10	1	3301	278	2.8	9	0	366.8
	2	3897	464	5	20.1	0	193.9
	3	3991	503	5	55.2	0.8	72.3
	4*	3277	919	5	2.81	0	1165

※ n.d. : not detected.

(2) 염산

○ 침출방법 1 - 적정

염산 37% 용액을 뷰렛에 채운 뒤 제강 분진을 증류수가 채워진 용기에 넣고 염산을 추가하여 pH 값이 3과 4 사이에 오도록 조절하였다. 반응은 상온에서 행하였다. 용해 반응이 진행됨에 따라 pH 값은 증가하였고 4 이상이 되면 몇 방울 떨어뜨려 3에 근접한 값이 되도록 하고 방치하여 다시 4에 도달하면 염산을 떨어뜨렸다.

이 과정을 반복하면 반응이 완결될 시점에 이르러 pH 값이 더 이상 상승하지 않는 상태가 되는데 이 때 여과를 하여 용액을 걸러 내었다. 반응이 종결될 시점의 pH는 대략 3.6~4.0정도였다. 걸러낸 잔유 고형분은 건조 후 무게를 달아서 무게의 감량을 측정하였고 고형분과 용액에서의 성분을 조사하였다. 조사한 성분은 Zn, Pb, Cd, Cr, Fe였다.

○ 침출방법 2

염산용액을 만든 후 비이커에 넣고 교반 중에 분진을 투여한다. 2시간 동안 교반을 하고 나서 최종 1개를 측정하고 여과한다.

<표 V-5>, <표 V-6>에 침출 결과를 나타내었다.

<표 V-5> 염산을 사용한 침출실험

No.	Dust	wt. dust (g)	vol. H ₂ O (ml)	vol. acid	leach. temp. (°C)	leach. time (hr.)	% of wt. loss
11	B	50	500	11.5	20	5	17.86
12*	B	50	500	11.5	20	4	18.58
13	A	25	250	17.9	20	4	43.42
14	B	50	250	10.2	20	4.5	16.39
15	B	75	250	15	20	4.5	15.73
16	B	100	250	21	20	4	15.63
17*	B	100	250	23	20	2	16.65
18*	B	100	235	15	20	3	12.23
19*	B	100	230	20	20	3	15.21
20*	B	100	225	25	20	6	17.75
21*	B	100	220	30	20	6	19.36
22*	B	100	215	35	20	6	19.00
23*	B	100	210	40	20	6	20.93
24*	A	25	250	18	20	6	43.46
36*	B	100	280	20	80	1	13.62
37*	B	100	280	20	80	1	15.92

※ 염산 37% 용액을 사용, 상온

<표 V-6> 염산용액에서의 침출 결과

No.	dust	weight of dust(g)	weight of HCl used for leaching of 100g dust	Concentration of elements in leaching solutions(mg/ ℓ)					Zn /Fe
				weight of elements leached in solutions per 100 g of dusts(g)					
				Zn	Pb	Cd	Fe	Cr	
11	B	25	8.510	5621	159.0	15.69	1471	3.52	3.8
				5.750	0.163	0.016	1.505	0.004	
13	A	25	26.49	31176	631.2	37.12	93.57	0.18	333.2
				33.41	0.68	0.04	0.101	0.000	
14	B	50	7.548	11221	311.0	30.40	2229	4.30	5.0
				5.840	0.162	0.016	1.158	0.002	
15	B	75	7.400	16061	385.1	45.65	2460	5.21	6.5
				5.675	0.136	0.016	0.868	0.002	
16	B	100	7.770	21029	729.8	59.09	3681	8.24	5.7
				5.699	0.198	0.016	1.023	0.002	
17	B	100	8.510	23461	964.6	63.61	5084	1.01	4.6
				6.405	0.263	0.017	1.383	0.000	
24	A	25	26.64	24891	634.4	36.88	8.13	0	3064
				26.68	0.68	0.04	0.01	0	

※ HCl 37%. 20-25 ℃

<표 V-6> 염산용액에서의 침출 결과(계속)

No.	weight of HCl used for leaching (g)	Concentration of elements in leaching solutions(mg/ℓ)					Zn/Fe
		weight of elements leached in solutions per 100 g of dusts(g)					
		Zn	Pb	Cd	Fe	Cr	
18	15	16330	286.8	64.61	1241	0.79	13.2
		4.08	0.072	0.016	0.310	n.d.	
19	20	22458	905.9	74.41	3415	0.29	6.6
		5.61	0.226	0.019	0.854	n.d.	
20	25	18226	783.1	58.31	5212	0.65	3.5
		4.56	0.196	0.015	1.303	n.d.	
21	30	21366	998.7	63.11	7901	21.89	2.7
		5.34	0.25	0.016	1.98	0.005	
22	35	22814	1626.6	74.53	12494	46.25	1.8
		5.70	0.407	0.019	3.12	0.012	
23	40	21225	1277.9	58.97	13962	81.62	1.5
		5.31	0.319	0.015	3.49	0.02	

※ HCl 37%. 20-25 ℃, 100 g of dust B in 250 ml HCl solutions

(3) 황산

<표 V-7>은 50%농도를 갖는 황산을 채운 뷰렛을 사용하여 염산으로 침출하는 적정 방식과 같은 방식으로 침출한 결과이다.

<표 V-8>은 황산 수용액에 의한 침출 실험 결과이다.

<표 V-7> 황산 50%용액을 사용한 침출실험

No.	Dust	wt. dust (g)	vol. H ₂ O (ml)	vol. acid(ml)	final pH	leach. time (hr.)	% of wt. loss
29	B	25	250	4	3.9	2	15.29
31	B	50	250	9.1	3.5	3	14.44
30	B	100	250	15	3.8	2.5	12.27

<표 V-8> 황산용액을 사용한 침출 결과

No.	Zn	Fe	Pb	Zn/Fe
29	5.61	1.26	0.0042	4.45
30	4.86	1.29	0.0011	3.77
31	4.96	1.86	0.0006	2.66

※ 아연의 무게는 100 g 분진당 침출되어 나온 양이다.

(4) 염화 암모늄과 암모니아 용액

<표 V-9>, <표 V-10>에서 보는 바와 같이 Musprat solution, 즉 70g 염화 암모늄과 농축된 암모니아수 280ml(25% NH₃) 그리고 700 ml 증류수로 구성된 용액을 사용하여 분진을 침출하였다. 이 용액의 1/4 분량에 25g의 분진을 넣고 상온에서 2시간 침출하였다. 암모니아의 손실을 줄이기 위해 냉각콘덴서와 유리 scrubber를 설치한 둥근바닥 플라스크를 사용하였고 자석을 사용하여 교반을 하였다.

<표 V-9> Musprat Solution을 사용한 침출

No.	Dust	wt. dust (g)	vol. H ₂ O (ml)	vol. NH ₄ OH 25% NH ₃	wt. NH ₄ Cl	leach. temp. (°C)	leach. time (hr.)	% of wt. loss
25	B	25	175	70	17.5	20	2	11.66
26	A	25	175	70	17.5	20	2	33.62
27	B	100	175	70	17.5	20	2	10.38

<표 V-10> Musprat solution (17.5 g NH₄Cl, 170 ml water, 70ml 25% NH₄OH solution)의 침출 결과

번호	분진의 양(g) 및 종류	농도 (mg/ℓ)					아연의 수율(%)
		Zn	Pb	Cd	Fe	Cr	
25	25, B	3742	7.58	14.19	n.d.	0.32	3.67
26	25, A	20264	5.47	31.89	n.d.	0.00	19.86
27	100, B	13621	0.00	53.65	n.d.	0.96	3.34

※ Leaching at 25°C, 2hrs.

(5) 염화암모늄

<표 V-11>과 같이 뜨거운 염화암모늄 용액을 사용하여 침출을 하였고, 그 결과는 <표 V-12>에 나타내었다.

<표 V-11> 뜨거운 염화암모늄용액에서의 침출

No.	Dust	wt. dust (g)	vol. H ₂ O (ml)	wt. NH ₄ Cl	% of wt. loss
35	B	25	250	12.5	9.7
32	B	25	250	25	12.26
33	B	25	250	50	13.64
34	B	25	250	75	13.76
38	B	50	250	50	13.34
45	B	100	250	50	11.53
46	D	50	250	50	24.78

※ 80℃, 침출 시간:2 hours

<표 V-12> 뜨거운 염화암모늄 용액에서의 침출 결과

No.	Dust, wt.	Zn	Fe	Pb
35	B, 25	0.709	n.d.	n.d.
32	B, 25	1.4308	n.d.	n.d.
33	B, 25	4.264	0.005	0.418
34	B, 25	4.505	0.018	0.689
38	B, 50	4.654	n.d.	0.244
45	B, 100	3.798	0.013	0.075
46	D, 50	8.839	n.d.	0.242

※ 금속의 무게는 분진 100 g 당 침출된 양이다.

1.1.3. 결과에 대한 고찰

(1) 침출 결과의 비교

한국분진 B의 무게 감량은 일반 물에 대한 용해성이 있는 성분이 7~8%나 되는데, 이는 KCl, NaCl, ZnCl₂, S, F 등으로 추정된다. B의 경우 최대 17~18%의 감소가 있지만 가성소다에 의해 용출된 아연의 경우 5%를 넘지 못한다는 것이 <표 V-4>에 나타나 있다. 분진 A의 경우는 무게 감량이 무려 43% 정도이다. 대부분이 아연인데 타 연구자들의 자료에 의하면 이 분진의 경우 아연 함량의 60%가 용출이 된다고 한다. <표 V-3>에서 나타난 바와 같이 분진 A의 경우 가성소다를 사용하였을 때 아연의 침출량은 분진 100g당 24~27g에 달한다. 그러나 <표 V-6>에서 염산을 사용했을 때 나타나 있는 결과는 27~33%의 아연 회수율을 보이고 있다. 이 실험에서는 분진 A의 경우 60~80%에 해당하는 아연이 용출되고 있다.

반면, 분진 B의 경우 가성소다를 사용하면 3~5%, 염산을 사용한 경우는 4~6%로서 모두

염산을 사용한 경우가 보다 높은 회수율을 보이고 있다.

그러나 분진 B의 경우는 분진에서의 아연 함량이 16%라고 가정 할 때 단지 30%만이 침출된다는 것이다. 이 양은 가용성 아연의 함량이라고 보면 정확하고 나머지는 불용성 아연 페라이트로서 존재하는 것이다. 즉 분진에서의 아연 함량이 낮을수록 상대적으로 철의 함량이 높아지므로 아연과 철의 화합물인 아연 페라이트의 양이 증대하는 것이다.

그러므로 경제적인 측면에서 분진 B는 처리비용에 비해 매우 적은 아연의 회수율을 보이게 되므로 좋지 않다. 분진 B의 경우 전해법으로 얻는 아연의 양은 분진 1 톤당 50kg 미만이 될 것이다. 그러면 나머지 아연은 불용성 아연 페라이트($ZnFe_2O_4$)로 존재하므로 이것을 얻기 위해서는 고가의 공정이 필요하게 된다. 품위가 낮은 분진의 경우에는 전혀 경제성이 없다. 남이 1% 정도이고 나머지는 규소, 칼슘, 철 등이다.

흥미로운 사실은 염산의 소모량과 용출량이 거의 정확하게 비례한다는 것이다. 이것은 현장에서 작업할 때 분진의 아연함량에 따라 염산의 양이 조절되므로 불필요한 염산의 소모가 없다는 것이다. 참고로 독일 분진 A의 경우는 25g에 대해 무려 17.9ml의 염산이 소모되었는데 여기에 그만큼 가용성 아연이 많이 존재한다는 것을 증명한다. 분진 B는 25g에 대해 5.7 ml가 소모될 뿐이다. 따라서 저 품위의 분진을 사용하는 경우 그만큼의 보상의 효과가 있다는 사실이다.

(2) 염산을 사용한 결과

매우 고무적인 결과는 염산을 사용한 경우이다. 적은 양의 염산 즉 분진 무게의 8% 정도가 소요되는데(가성소다의 경우 분진 무게의 2배에 해당하는 가성소다가 소요된다), 용출량은 가성소다를 사용한 경우보다 더 높다. 더군다나 용액의 점도 증가가 크게 없으므로 여과에 어려움이 없다는 점이다. 그것은 용액의 색깔을 보고 판단한 것인데 철에 의해 나타나는 색깔이 전혀 없이 매우 깨끗한 용액이 얻어진다는 것이다. 따라서 고형분의 양을 늘여보자는 것이 착안점인데 25g에서 100g까지 늘려보았으나 정상적인 여과와 교반이 이루어졌으며 용출시간의 변화도 없었다.

분진 A의 경우는 33.6g/l의 아연이 용해되어 있고 분진 B의 경우 A에 비해 4배의 고형분을 침출하였을 때 25.5g/l의 아연이 용해되어 있다.

고형분의 양을 늘임으로써 우리는 용액에서의 아연의 농도를 높일 수 있는데 원하는 농도인 50g/l를 달성하기 위해서는 여러 번의 반복적인 침출을 하면 비교적 쉽게 얻어질 것으로 보인다. 분진 B의 경우 침출을 세 차례 하면 60g/l 이상을 달성할 수가 있다. 단지 불리한 것은 용해시간인데 대신 반응용기에 넣을 수 있는 고형분의 양이 가성소다 침출에 비해 4배로 증가하므로 이로 인해 동일한 효과를 갖는다. 용해시간을 줄이기 위해 염산 침출 방법 2를 선택하면 더 유리하다. 실험 번호 12, 17번이 그 가능성을 증명한다.

N.R. Mandre et al.의 연구 결과에 의하면 pH 4에서 철의 용해량은 극히 적으며 초기에 염산과 $FeCl_3$ 를 첨가하였지만 pH가 높아짐에 따라 철의 용해량은 감소하였다. 즉 적정하는 동안의 pH 값보다도 최종 pH값이 더 중요하다는 것이다. 17번 실험의 경우 염산용액을 만든 후 분진을 투입하여 2시간 후 용출량을 측정한 것으로 다른 실험에 비해 철이 많이 용해되었다는 증거가 없다. 깨끗한 용액이 얻어졌으며 용출량도 높게 나타났다. 초기의 반응열로 인한 약간의 온도 상승이 있는데 이것은 반응속도를 높이는데 도움이 된다.

<표 V-6>의 결과를 보면 우선 염산의 양에 따라 철의 용해가 증가함을 알 수 있다. 아연

에 대한 비율도 증가하고 있다. 염산을 사용하는 경우 이제 철의 제거는 매우 중요한 문제임이 확실하다. 염산의 양이 증가한다 하더라도 아연의 용출량은 별로 증가하지 않으며 5%에 불과하다. 오히려 번호 17번에 비해 더 적은 양이 침출되었는데 아마도 물의 양이 감소했기 때문일 수도 있다. 따라서 고형분의 양을 더 이상 늘리는 것은 도움이 되지 않을 것이다. 그러므로 적절한 고형분의 양은 용액 250ml당 분진 70~90 g 정도인 것으로 판단된다.

(3) 중금속의 침출 효과

가성소다 침출시의 <표V-3>과 <표V-4>를 보면 납은 우선적으로 아연보다도 더 잘 용해되는 것으로 보이며 카드뮴은 잘 용해되지 않는다. 높은 가성소다 농도에서 일부 카드뮴이 용해되지만 충분치 않을 것이다. 참고로 <표V-5>에 나타난 염산을 사용한 경우와 비교하여 보면 1ℓ당 17mg의 카드뮴이 용출되는 것을 고려해 볼 때 가성소다를 사용한 경우는 아주 적은 양이 용출되는 것이다. 이것이 가성소다법의 약점중의 하나이다.

염산을 사용한 경우 가성소다를 사용한 경우에 비해 카드뮴과 크롬의 용해가 두드러지게 증가하였다. 번호 8번과 11번을 비교해보면 이 원소들의 용해량이 3배 이상임을 알 수가 있다.

그러나 납의 경우는 용해량이 적어져서 1/5 이하임이 보여진다. 이 실험에서 가장 중요한 인자중의 하나는 투입된 염산의 양인데 분진에 대해 투입된 염산의 중량이 pH 못지않게 중요한 역할을 할 것이다. 또한 Pb의 경우에 있어서도 염산의 양이 증가함에 따라 용해량이 증가함을 알 수 있다. Cd의 경우는 침출량이 일정한 것을 보여 준다. 분진 A의 경우 0.06%의 Cd가 존재하는데 이 중 0.04%가 침출되었다. 즉, 2/3의 Cd가 제거된 것이다. Pb의 경우 5.13% 중 0.68%만이 제거되었는데 이는 13%에 해당하는 양이다.

염산을 사용할 때 납의 용해가 충분치 않을 가능성이 있다. 그렇다면 침출후 고형분의 유독성이 문제가 될 수 있는데 납의 용해에 대해서는 염산의 양에 따라 어느 정도 용해되는지를 조사해 볼 필요가 있다.

따라서 염산의 투입량을 증가시키면서 납의 용해도를 조사하였는데 최대 0.4% 정도가 회수되었다. 이것은 2/5 정도가 회수된 것으로 보인다.

(4) 고온 산 침출(HAL)에 의한 침출 효과와 침출 잔사의 종류

현재까지 황산 및 염산을 사용하여 상온에서만 침출을 하였다. 산을 사용하는 경우에 아연 페라이트도 약간은 침출이 된다는 것을 알 수 있었다. 열역학적으로 아연 페라이트는 산에 의해 분해되게 되어있다. 다만 속도론적인 문제 즉 시간과 온도의 문제이다. 문제는 침출 잔사의 상이 어떤 것인가 하는 것인데 hematite나 goethite는 여과가 수월하며 폐기도 용이하다.

황산을 사용하는 경우 jarosite 의 형성을 피하기 위해 높은 온도와 압력을 필요로 하는데 jarosite 의 형성을 피할 수 있는 온도는 230℃ 이상이다. 상용화된 AMAX 공정도 autoclave를 사용하여 270℃까지 올려서 침출을 한다. 이 때 압력은 20기압 이상이 요구된다. 만일 jarosite의 형성이 없다면 120℃ 부근에서도 hematite가 형성이 된다. 따라서 염산을 사용한 공정은 훨씬 낮은 온도에서 침출을 할 수 있으므로 사용 압력도 3 기압 이하에서 할 수 있다. goethite는 폐기는 가능하나 다른 곳에 사용하는 원료로 쓰기에는 적합지 않다. 수분함량이 높으므로 에너지 효율이 감소하게 되어 있다. 그리고 여과에 보다 더 많은 시간이 소요된다.

<표 V-14>는 염산을 사용한 침출 조건에 따라 침출된 원소들의 양을 보여주고 있다. 실험 번호 1은 침출 전의 분진이고 2는 상온에서 titration에 의해 산화아연만을 제거한 경우, 3, 4는 80℃에서 침출한 경우들이다.

실험번호 4에서 AAS분석에 따른 결과는 아연의 침출율을 93%라고 하지만 실제로 침출되지 않고 남은 아연 페라이트의 양은 0.51g (분진 100g 중)이다. 여기에 존재하는 아연의 양은 0.14g으로서 98.6%의 침출율을 보인다. AAS 분석의 결과는 아연 측정치가 오차가 크며 또한 분진의 잔사를 세척하는 중에 완전히 씻기지 않은 염화아연이 존재하기 때문이다.

황산을 사용한 경우는 침출율이 훨씬 낮게 나타났는데 침출 능력이 그만큼 낮다는 것을 의미한다. <표 V-13>과 <표 V-14>의 실험번호 2번들은 적정(titration, 즉 염산에 의한 침출방법 1)에 의해 얻어진 값이며 이것은 주로 쉽게 용출할 수 있는 산화아연의 양과 관련된다.

침출잔사는 <표 V-13>에 나타난 실험 번호 4에 해당하는 것으로 대부분 silicate glass(비정질: 이는 제강로에서 순간적으로 액적이 되어 부유하다가 응결된 것으로 추정됨, XRD 분석 결과 $2\theta=20\sim40$ 에서 amorphous halo가 관찰되므로 glass임을 알 수 있다.)와 magnetite, 아연 페라이트이다. 잔존하는 아연은 2.59%인데 이는 침출 잔사의 무게가 18% 밖에 되지 않은 것을 고려하면 매우 적은 양(전체의 1.7%)이 잔사에 남아 있는 것이다.

<표 V-13> 염산을 사용한 제강 분진의 침출 결과

실험 번호	1(분진)	2	3	4
초기염산의 농도(N)	0	1.94	3.88	5.82
침출 조건(온도)		25℃	80℃	80℃
여과후				
고형분 양(g)	100	64.5	41.0	17.5
여과액 중의 금속 양(g)				
Zn		18.97(69%)	21.5(78%)	25(93%)
Fe		0.08(0.4%)	18(68%)	21(80%)
Pb		1.31(41%)	0.67*	0.84*
Cu		0.05(25%)	0.17(85%)	0.23(100%)
Cd		0.03(97%)	0.03(100%)	0.03(100%)
Mn		0.55(58%)	0.54(57%)	0.88(94%)
침출잔사의 조성(g)	(분진 100g당)			
ZnFe ₂ O ₄ ** (g)	52.2	48	10.9	0.5
그 외 相	ZnO magnetite Quartz(low) Glass	PbCl ₂ magnetite glass	PbCl ₂ magnetite hematite geothite glass	PbCl ₂ magnetite hematite geothite glass
Zn 침출 수율(XRD)	0%	76%	87.9%	98.3%

※ 제강분진의 조성 : Zn 27.43%, Fe 26.40%, Pb 3.16%, Ca 13.63%, Cd 0.03%, Mn 0.94%, Cu 0.2%, Ni 0.01%,

소요된 제강분진의 양 : 100 g

염산 수용액의 부피 : 300ml

침출시간 : 2시간.

* 약 1~1.5g 의 납이 냉각중에 염화 납(PbCl₂)의 형태로 석출

** Swanson, Wissner, de Wolff법에 의한 아연 페라이트 잔존 량의 분석치. 초기 분진의 양에 대한 비교치.

일부 존재하는 납과 염소는 세척이 완벽하지 못했기 때문이다. (세척수를 30ml만을 사용하였기 때문이다.) XRD 분석 결과 $PbCl_2$ 로서 존재하는 것을 알 수 있었다. Ca은 대부분 $CaCl_2$ 로서 침출되어 나온 상태이므로 적은 양이 검출되었다. Ca으로 인한 염산의 소모량을 줄이기 위해 황산을 일부 섞은 침출제를 사용하는 것이 바람직하다.

이 조건에서는 산의 농도가 높고 대신 많은 양의 분진을 투여하였다. 즉 300ml에 100g의 분진을 투여하였는데 다른 실험에서는 100g의 분진에 1,000ml의 용액을 사용하였고 이것이 1N 이상의 농도를 가진 경우 동일한 결과를 보인다. 즉 분진에 대한 염산의 소요량이 더 결정적인 인자다.

표에서 보듯이 황산을 사용한 경우에도 80℃에서 낮은 pH 조건에서 침출하면 jarosite의 형성을 방지하면서 아연을 침출할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 염산의 경우와 비교하여 아연의 수율이 보다 낮다. 다만 온도를 100℃이하로 유지하여야 하므로 hematite 대신 geothite의 형성이 일어난다. 이것은 여과의 문제 그리고 잔사의 처리시 수분함량이 많은 geothite를 만들어 내므로 사용처가 많지 않다는 것이 단점이다.

아연 페라이트를 분해하는 데 있어서 산을 사용한 HAL이 가장 경제적이고 효과적인 방법이 된다. 에너지가 적게 들 뿐 아니라 재현성도 높다. 또한 기술적인 조절에 의해 1~2N HCl의 묽은 산에서도 충분히 침출이 된다. 다만 물의 양이 많으면 반응기의 크기가 커지고 물의 온도를 올리는데 에너지가 더 든다는 단점이 있을 뿐이다. 이것이 침출에 있어서는 코크스를 사용한 고온의 처리 기술에 비해 유리함을 말해준다.

<표 V-13>과 <표 V-14>의 실험번호 3과 4에서는 여과액의 pH가 낮고 용액 안에 철이 많으므로 그 다음 중성침출 단계가 필요하다. 이 용액에 제강분진을 투여한 후 pH를 증가시키면서 산소 혹은 과산화수소수를 주입하면 철이 용액으로부터 제거되고 이 용액 1 리터에 아연 분체를 1~5g 첨가한 후 교반하면 아연과 망간을 제외한 중금속 성분들은 1ppm 이하가 된다.

<표 V-14> 황산을 사용한 제강 분진의 침출 결과

실험번호	1(분진)	2	3	4
초기염산의 농도(N)	0	0.92	1.84	2.76
침출 조건(온도)		25℃	80℃	80℃
여과후				
고형분 양(g)	100	73.7	55.1	35.8
여과액 중의 금속 양(g)				
Zn		14.89(54.3%)	20.4(74.4%)	21.6(78.8%)
Fe		0.11(0.41%)	9.0(34.1%)	11.7(44.1%)
Pb		0.01(0.33%)	0.01	0.02
Cu		0.07(33.5%)	0.15(80%)	0.22(90%)
Cd		0.02(66.3%)	0.02	0.03(100%)
Mn		0.17(17.95%)	0.40	0.75
침출잔사의 조성(중량g)				
ZnFe ₂ O ₄ ** (g)	52.2	50.4	22.7	15.44
그 외 相	ZnO magnetite Quartz(low) Glass	PbSO ₄ CaSO ₄ · 0.5H ₂ O jarosite magnetite glass	PbSO ₄ CaSO ₄ · 0.5H ₂ O jarosite magnetite geothite glass	PbSO ₄ CaSO ₄ · 0.5H ₂ O magnetite hematite geothite glass
Zn 수율(XRD)	0%			84%

※ 제강분진의 조성 : Zn 27.43%, Fe 26.40%, Pb 3.16%, Ca 13.63%, Cd 0.03%, Mn 0.94%, Cu 0.2%, Ni 0.01%,
소요된 제강분진의 양 : 100 g , 황산 수용액의 부피 : 300ml , 침출시간 : 2시간.

이 때 산소를 불어 넣어줌으로서 수산화철을 석출시킨다. 고온 강산 침출후 여과액의 pH를 낮추기 위해 새 분진을 투입하여 pH를 4 ~5로 조절하고 공기, 산소, 과산화수소수를 사용하여 용액 안의 철 이온을 산화하여 석출시킨다. 이 때의 철의 농도는 1ppm 이하이다.

그 다음 잔여 여과액은 cementation 공정을 통해 정제된다. 용액 안에 존재하는 금속이온 Cu, Cd, Pb의 당량의 100~200%에 해당하는 고순도 아연 분말을 첨가하여 석출된 금속 불순물들을 걸러낸다. 침출 잔사에는 Cu, Cd, Pb의 유해 중금속이 90% 이상 제거된 상태이며 그 유해도는 현저히 낮다.

1.1.4. 염산에 의한 공정개발

(1) 개요

앞에서 염산을 사용한 공정에 대한 이점들을 부각하였다. 그러나 결정적인 단점은 산이 회수되는 것이 경제적, 기술적으로 불리하다는 것이다.

사실, 리사이클링 공정에서는 기본적으로 침출과 전해 공정 모두가 실용화를 위한 조건들을 만족시켜야한다. 모든 시약들이 경제적으로 높은 수율로서 회수되어야하고 생산물들은 환경적으로 해로운 물질들을 최소화하면서 처리비를 상쇄할만한 높은 수율과 부가가치가 있어야 한다. 또한 시스템 자체가 안전하고 면적을 많이 차지하지 않는 것이어야 한다. 본 장에서는 염산을 사용한 공정에 대해 전체적인 균형과 시약의 회수문제 그리고 전착의 기술적/경제적 문제들을 종합적으로 고려해본다.

고온 산 침출(Hot acid leaching)은 제강분진에 있는 아연 페라이트로부터 아연을 침출하는 매우 효과적인 방법이다. 이 중 황산을 사용한 경우는 시약이 저렴하면서도 아연 페라이트를 잘 분해하여 실용화되어 있다. 그러나 jarosite의 형성을 방지하기 위해 높은 온도와 압력을 가해야 한다. 다른 단점은 납, 구리 카드뮴등 대부분의 중금속을 침출하지 못해서 잔사의 유해성이 유지된다는 데 있다. 제강 분진은 보통 염분을 많이 포함하고 있으므로 황산을 사용하는 전해 공정을 사용하기 위해서는 염분을 제거하기 위해 세척을 해야 한다는 불편함이 따른다.

염산은 매우 효과적인 침출제로 알려져 왔고 아연 페라이트를 보다 더 쉽게 분해할 뿐 아니라 jarosite 같은 환경폐기물도 만들지 않는다는 장점이 있다. Nunez 와 Vinals은 염산을 사용한 아연 페라이트의 non-stoichiometric leaching 에 대해 보고하였다. 침출 속도를 결정짓는 것은 산의 농도(활동도)와 온도이다. 그의 보고에 따르면 90~100 °C에서 0.5~1N HCl을 사용하여 아연의 선택적인 침출이 가능하였고 철의 침출이 매우 적으면서 90% 이상이 아연 페라이트로부터 얻어질 수 있었다. 그럼에도 불구하고 염소 가스 발생과 염산의 손실에 대한 문제는 아직도 해결되지 못한 채로 남아 있다.

두 개의 멤브레인을 장착한 셀에서는 pH가 비교적 안정되고 anolyte의 염소이온 농도를 극히 낮게 할 수 있었다는 것이다. 이러한 전기투석(EED) 셀은 금속과 염산을 동시에 회수할 수 있게 한다. 그러나 회수 물질이 가져다주는 경제적인 이득에 비해, 높은 운전비와 설치비 때문에 많은 양을 처리하는 상업적인 플랜트는 실용화되어 있지 않다.

어쨌거나 전체 공정을 단순화함으로서 전해 공정에서 일어나는 비용 상승을 상쇄하여 처리비의 상승을 막을 수가 있다.

이 실험에서는 염화아연을 전해하는 기본적인 실험으로부터 한 개의 양이온 멤브레인을 장

착한 셀이 선택되었다. 멤브레인 설치비용의 감소 그리고 멤브레인 추가설치에 따른 전압의 상승을 피하기 위해서이다. 또한 침출과 정제, 전해와 같은 요소들을 포함하는 일련의 공정들을 조사함으로써 기술적인 타당성을 평가하고자 하였다.

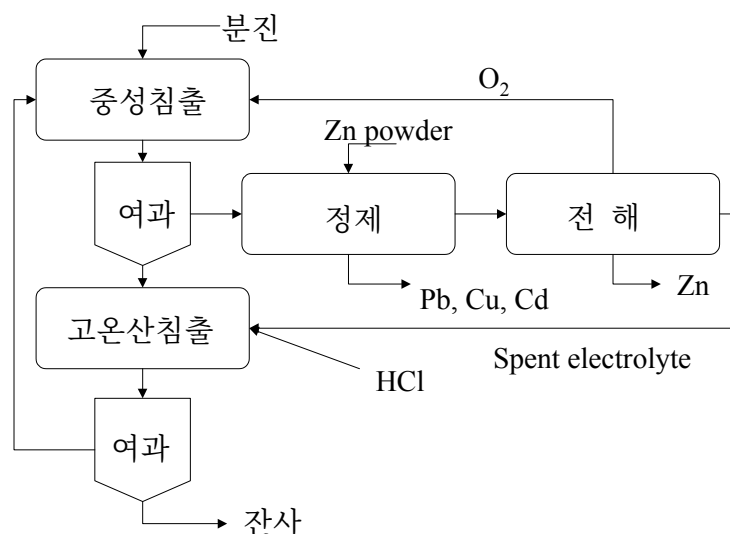
(2) 공정의 개념

본 연구에서는 제강분진의 리사이클링 공정에서, 일반 다른 공정들과 마찬가지로, 두 단계 침출을 고안하였는데(그림 V-1 참조) 분진이 침출시약과 서로 반대 방향으로 흐르면서 침출을 하게 되어 있다.

전해에서 나오는 염산을 회수하여 분진을 다시 침출하는데 사용하는 것은 중요한 문제이다. HAL에서는 염산 용액이 중성침출에서 나온 아연페라이트를 함유하는 침출 잔사가 반응을 하게 된다.

고온 산 침출에서 나온 잔사에는 철이 많이 포함되어 있는데 hematite 와 geothite 형태를 하고 있다. 이 여과액은 낮은 pH 와 높은 철 농도를 갖고 있는데 염화 철 역시 침출에 사용된다. 이 용액은 새 분진을 침출하는데 사용되며 침출 후에는 pH가 4.0 정도로 높아지게 된다.

철을 용액으로부터 완전히 제거하기 위하여 용액에 산소 혹은 공기를 불어 넣어준다. 이 여과액은 산화아연, 그리고 아연 금속 분체를 가지고 정제한 후에 전해셀로 보내어진다. 전해셀은 양이온 멤브레인이 장착된 것으로서 염소가스의 발생을 최소화하면서 염산을 생성한다.



<그림 V-1> 염산을 사용한 제강분진의 처리 방법

(3) 공정의 흐름에 대한 전반적인 검토

○ 전착에서의 경제성

에너지 소모도 황산계에 비해 불리하지 않으며 염산의 손실도 2%이내이다. 현재까지 사용한 전극은 백금이 코팅된 티타늄이었으나 산화물을 코팅한 DSA를 사용하면 산소 과전압이

낮아지므로 더 낮은 전압 즉 전력소모가 감소될 것이다. 염산의 회수율이 높으므로 시약의 소모가 적다. 발생한 소량의 염소가스는 활성탄 혹은 가열하여 제거 후 중화하여 처리될 수 있다. 90~100℃에서 염소가스는 용액으로부터 완전 제거될 수 있다. 염소의 발생량은 anolyte로 이동하는 염소이온의 양보다 적은 양일 것인데 이 양을 측정하여 보면 1% 정도가 이동하여 손실이 된다.

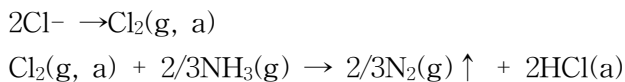
○ 공정의 경제성

염산을 사용한 침출과 염산과 아연을 동시에 회수하는 전해 추출공정의 결합은 제강분진을 처리하는 데에 있어서 매우 효율적인 공정이다. 염산과 염화아연을 혼합한 용액은 수소 활동도가 수용액에서 감소하지 않으므로 불리하지 않다.

이 공정에서 cementation 중에 생산되는 금속 시멘트는 Pb, Cd, Cu 가 주성분이며 납과 카드뮴을 생산하는 업체에 판매가 가능하다. 제강 분진의 무게에 대해 약 5~8%의 금속 cement 가 생산되는데 판매가 매우 수월하므로 폐기하는 경우는 없다.

이 공정에서는 전해 셀에서 직접 회수할 수 있는, 그리고 안전하면서도 아연 페라이트를 완전히 침출할 수 있는 37g/l ~ 74g/l 의 염산농도를 사용한다. 따라서 침출제로서 높은 염화아연 농도는 여과의 문제가 없다면 허용될 수 있다. 침출 잔사를 분석해 본 결과, 90 %이상 아연이 침출되는 경우, 다른 중금속들 즉, 납, 구리, 카드뮴 등도 90% 이상 침출됨이 확인되었다.

약 2~4% 염소 가스가 나머지 산소(98~96%)와 함께 전해 셀에서 생성된다. 시약의 손실은 전해셀에서는 1~2%만이 염소로서 손실되므로 다른 경쟁적인 공정들에 비해 적다. 황산을 기본으로 하는 시스템의 경우, 황산의 손실은 황산화물 즉, CaSO₄, PbSO₄, jarosite가 많이 생성되어 손실이 크다. Ezinex와 같은 염화 암모늄을 기본으로 하는 시스템의 경우 양극에서 발생하는 염소가스를 중화하기 위해 다량의 암모니아가 소요되어 그 비용이 많이 든다. 즉, 아래와 같은 반응에 의해 암모니아가 사용된다.



결론적으로 염산을 기본으로 하는 시스템의 유일한 단점인 이온 교환 멤브레인으로 인한 비용상승은 높은 전류밀도를 멤브레인에 적용함으로써 해결할 수 있다. 이 공정의 매우 유리한 점은 전해에 의해 염산과 아연을 직접 회수하는 간편성에 있다.

1.2. 폐유

열거된 정제기술을 바탕으로 국내에서 발생하는 폐유를 채취하여 이온정제법, 감압 증류법과 고온 열분해법으로 실험을 실시하여 국내에서 생산되는 정제유의 품질을 알아보고 비교 분석하였다.

1.2.1. 이온정제법

(1) 실험개요

이온정제방법을 이용하여 국내에서 발생하는 폐유를 재정제하여 재생 연료유를 생산하는 과정으로 각 장치에 들어가는 설비를 설명하고 재생 연료유를 분석하였다.

(2) 실험장치 및 준비물

반응기, 열매체 보일러, 혼합기, 열교환기, 증류기, 데칸타, 원심분리기, 필터, 폐유 저장탱크, 중간 저장조, 제품 저장탱크, 폐유.

(3) 실험공정

○ 폐유 저장탱크

카센타, 공업사, 각 산업체등에서 수집해온 폐유를 성분별로 분석하여 폐유 저장탱크에 저장한다. 각 성분별로 저장된 폐유는 폐유 성분에 따라 가열온도, 유화제 투입 등이 다르기 때문에 성분별로 저장한다.

○ 가열

반응기에 투입된 폐유에 약품을 투입한 후 열매체보일러를 이용하여 반응기속의 폐유를 80℃로 간접 가열하여 폐유를 유화 시킨다. 이 가열된 폐유를 120℃의 가열된 폐유와 혼합하여 진공펌프를 이용하여 수증기와 Light Ends를 빨아내어 수증기는 응축기에서 응축되고 Light Ends는 소각로로 보내어져서 소각된다.

○ 오물 분리기: 상부의 폐유는 중간저장조로 넘어가고 하부의 응집된 찌꺼기는 데칸타를 이용하여 제거되고 폐기물 처리된다. 중간저장조를 넘어간 기름은 다시 원심분리기와 필터를 거쳐 제품탱크로 보내어지고 찌꺼기는 수집되어 폐기물 처리된다.

○ 완제품

이온정제공정을 거쳐서 나온 정제유는 샘플을 채취하여 검사하고 출하한다.

○ 실험공정

앞 장의 이온정제 공정도와 같다.

(4) 실험결과

이온정제공정을 거쳐 생산된 재생연료유의 성상은 <표 V-15>와 같다. 표에서 보듯이 먼저 이온정제공정은 타공정의 증류라는 개념보다는 적당히 온도를 올려 수분을 제거하고 화공 약품을 투입하여 금속염을 응집하여 중금속을 제거하여 재생연료유를 생산한다.

이온정제법에는 잔류탄소, 회분, 황분 및 중금속 함유량이 높게 나타나 저급 연료유로 사용되고 있음을 알 수 있고 환경부 고시에 의거하여 사용 가능지역의 제한을 받고 있을 뿐 아니라 상기의 중금속 및 회분, 잔류탄소를 감소시키기에는 설비의 한계가 있다고 판단된다. 현재 이 재생연료유는 병커C유 대체유로 사용되고 있다.

1.2.2. 감압 증류법

(1) 실험개요

감압증류방법을 이용하여 국내에서 발생되는 폐유를 재정제하여 재생 연료유를 생산하는 과정으로 각 장치에 들어가는 설비를 설명하고 재생 연료유를 분석하였다.

(2) 실험장치 및 준비물

반응기, 열매체 보일러, 혼합기, 열교환기, 증류기, 데칸타, 원심분리기, 필터, 폐유 저장탱크, 중간 저장조, 제품 저장탱크, 폐유, 진공펌프.

(3) 실험공정

○ 폐유 저장탱크

카센타, 공업사, 각 산업체등에서 수집해온 폐유를 폐유 저장탱크에 저장한다. 폐유는 폐유저장탱크에서 수분증발을 위한 반응기로 보내어진다.

○ 수분증발

반응기에 투입된 폐유에 약품을 투입한 후 열매체보일러를 이용하여 반응기속의 폐유를 120℃로 간접 가열하여 폐유속의 수분을 증발시킨다. 이때 진공펌프를 이용하여 수증기와 Light Ends를 빨아내어 수증기는 응축기에서 응축되고 Light Ends는 소각로로 보내어져서 소각된다.

○ 오물 분리기

상부의 폐유는 증류기로 넘어가고 하부의 응집된 찌꺼기는 테칸타를 이용하여 제거되고 폐기물 처리된다.

○ 증류장치

증류기에서 열매체 보일러에 의해 300℃까지 가열되어 유지된다. 이때 진공펌프에 의해 빨아 당기면 증류기내에 감압이 걸려 폐유는 끓는점 이하에서 증류되고 증류된 가스는 열교환기로 넘어가서 냉각되어진다. 이때 냉각된 기름이 정제연료유이다.

○ 여과

이때 증류되어진 정제유는 필터장치에 의해 여과되어 제품탱크로 이송된다.

○ 제품탱크

여과된 정제유를 저장하고 이곳에서 제품출하가 이루어진다.

○ 실험공정

앞 장의 감압증류 공정도와 같다.

(4) 실험결과

감압증류공정을 거쳐 생산된 재생연료유의 성상은 <표 V-15>와 같다. 감압증류공정은 수분증발공정을 거쳐서 감압증류공정으로 넘어가게 되는데 증류기의 온도를 300℃를 유지하면서 증류를 하기 때문에 일정한 기름의 성상을 생산할 수 있다.

이러한 공정을 거쳐 생산된 정제유는 잔류탄소와 회분의 함량이 낮고 중금속이 검출되지 않은 고급정제유를 생산할 수 있다. 감압증류유는 청정연료유로 지정되어 서울시를 포함한 전지역의 보일러에 사용할 수 있다. 하지만 공정 중에 발생된 액상슬러지는 지정폐기물로 간주되어 처리해야 하는데, 이는 유분 함량이 높고 Ca, Cr, Pb등의 중금속을 함유하고 있기 때문이다.

1.2.3. 고온 열분해법

(1) 실험개요

고온열분해 방법을 이용하여 국내에서 발생되는 폐유를 재정제하여 재생 연료유를 생산하는 과정으로 각 장치에 들어가는 설비를 설명하고 재생 연료유를 분석하였다.

(2) 실험장치 및 준비물

수분증발기, 열분해로, 버너, 열교환기, Light Ends 분리기, Flare Stack, 원심분리기, 필터, 안정화탱크, 폐유저장탱크, 중간저장조, 제품저장조, 폐유, 펌프, 블로와.

(3) 실험공정

○ 폐유 저장탱크

카센타, 공업사, 각 산업체등에서 수집해온 폐유를 폐유 저장탱크에 저장한다. 폐유는 폐유저장탱크에서 수분증발을 위한 수분증발기로 보내어진다.

○ 수분증발

수분증발기에 투입된 폐유는 버너를 이용하여 120℃로 가열하여 폐유속의 수분을 증발시킨다 이때 터보팬을 이용하여 수증기와 Light Ends를 빨아내어 수증기는 응축기에서 응축되고 Light Ends는 Flare Stack으로 보내어져서 소각된다.

○ 열분해로

수분이 증발된 폐유는 데이탱크로 보내어진 후 펌프를 통해 열분해로로 보내어진다. 열분해로에서 폐유는 가열되어 약 340℃ 전후에서 상압으로 증류가 된다. 상압증류이기 때문에 내부의 압력 변동에 큰 영향을 받지 않고 안전한 작업이 이루어진다. 상압증류에 의해 고품질의 정제연료유를 생산할 수 있다. 현재 고온열분해 방법은 배치(batch)방식으로 배치가 완료되면 하부의 찌꺼기는 705℃로 5시간 동안 베이킹공정을 거쳐 환경에 무해한 Solid Ash Cake으로 검출되어 처리된다.

○ 냉각장치

열분해로에서 증류된 기름가스는 냉각장치로 넘어와 냉각되어 정제연료유가 된다. 이때 냉각기에서 정제연료유와 Non condensate ends로 분류된다. 이때 정제연료유는 안정화 탱크로 넘어가게 되고 Non condensate ends는 경질유 분류장치를 거쳐 Flare Stack을 통하여 소각된다. 소각장치는 미응축 가스를 완전 연소시키고 공장내의 잔류가스도 모아서 소각시킨다.

○ 여과

안정화 탱크에서 안정화된 정제유는 다시 필터장치로 넘어가 여과되어 제품탱크로 이송된다.

○ 제품탱크

여과된 정제유를 저장하고 이곳에서 제품 출하가 이루어진다.

○ 실험공정

앞 장의 고온열분해 공정도와 같다.

(4) 실험결과

고온열분해공정을 거쳐 생산된 재생연료유의 성상은 <표V-15>와 같다. 고온열분해공정은 수분증발공정을 거쳐서 열분해로 넘어가 상압 증류 공정으로 넘어가게 되는데 열분해로의 온도를 약 340℃로 유지하면서 증류를 하기 때문에 일정한 조성의 기름을 생산할 수 있다.

이러한 공정을 거쳐 생산된 정제유는 잔류탄소와 회분의 함량이 낮고 중금속이 검출되지 않은 고급정제유를 생산할 수 있다. 고온 열분해유는 청정연료유로 지정되어 서울시를 포함한 전지역의 보일러의 연료로 사용할 수 있다. 감압증류유도 청정연료로 사용할 수 있는데, 고온열분해유의 점도가 더 낮다.

석유제품은 점도가 낮을수록 고급연료유로 취급되고 있고, B.C유, 경유, 휘발유의 가장 큰 차이는 비등점의 높고 낮음의 차이지만 실제로 비등점의 차이 만큼 점도의 차이도 크게 난다. 따라서 정제연료유에서도 점도가 가장 낮은 고온열분해유가 가장 고품질의 연료유로 각 정제유 사용업체에서 선호되고 있다. 또 이온정제와 감압증류의 경우에는 잔류 액상슬러지가 발생되어 처리비용이 많이 소요된다. 그러나 고온열분해유는 폐유중에 함유되어 있는 회분 및 기타 금속성분을 고형화시키기 위한 베이크공정을 통해 열분해로의 온도를 약 705℃로 5시간 유지시켜 최종 폐유에 함유된 각종 환경유해 물질을 베이킹해서 무공해 Solid Ash Cake로 발생되고 일반 폐기물로 취급되어 낮은 처리비용이 소요된다. 따라서 고온열분해법으로 폐유정제를 할 경우 환경성과 경제성면에서 가장 유리하다고 판단된다.

<표 V-15> 국내 폐유 정제공정의 정제유 분석

구분 \ 정제유	이온정제법	감압증류법	고온 열분해법
잔류탄소(w/w)	1.5% 이하	0.01%	0.01%
수분 및 침전물(v/v)	1% 이하	0.01% 이하	0.01%이하
회분(w/w)	0.76% 이하	0.02%	0.01%이하
황분(w/w)	0.5% 이하	0.2%	0.2%
카드뮴 및 그 화합물(w/w)	1pm 이하	불검출	불검출
납 및 그 화합물(w/w)	4ppm 이하	불검출	불검출
크롬 및 그 화합물(w/w)	3ppm 이하	불검출	불검출
비소 및 그 화합물(w/w)	불검출	불검출	불검출
발열량(cal/g)	10,200	10,880	10,920
점도 (cst,40℃)	18	15	6.5
슬러지 형태	액상	액상	고상

※ 폐기물 공정시험방법에 따라 검출한계(카드뮴: 0.004, 납:0.04, 크롬: 0.007, 비소: 0.05ppm)미만은 불검출로 표기함.

1.2.4. 정제유의 고부가가치화

(1)실험목적

국내에서 생산되는 정제유의 품질을 고부가가치화하기 위한 실험의 일환으로 정제유와 활성백토를 교반하여 정제유의 불안정성을 개선하고 산화 안정도를 높이기 위한 실험이다. 고온 열분해 공정을 통한 정제유는 열분해로에서 고온으로 증류되어 열교환기를 지나면서 냉각되는데 이때의 정제유 색깔은 담황색을 띠고 있다. 하지만 점점 공기와 불활성금속과 접촉하고 자체의 불안정성에 의해 산화되는데 이 산화의 과정을 거치면서 검은 갈색으로 변하고 또 타르를 생성시킨다. 이러한 정제유의 불안정성을 해결하고 고부가가치화를 실현하려는 실험이다.

(2) 실험개요

정제유와 백토를 교반탱크에 넣고 교반기를 이용하여 서로 교반하면서 백토를 규조토 필터를 이용하여 제거하는 방법으로 정제유의 산화안정성을 높이고 품질을 고부가가치화 한다. 백토 입자의 크기가 미세할수록 흡착효과는 좋으나 기름의 저항을 증가시켜 여과 속도를 저하한다. 정제유는 통상 100℃이내의 온도에서 여과하는 것이 좋다.

(3) 실험장치 및 준비물

교반기, 규조토 필터, 백필터, 정제유, 백토, 규조토, 알코올, D.M.F., 가성소다, 샘플병, 필터판, 동점도 측정기, 인화점 측정기, 정제유

(4) 실험공정

○ 백토 교반

가성소다로 처리한 정제유(10m³)와 백토(3포)를 교반탱크에 투입하고 교반기를 가동시켜 교반을 한다. 교반시 효과는 불안정한 물질을 흡착하고 색상을 개선한다.

○ 규조토 필터

충분히 교반된 정제유와 백토의 혼합액은 기어펌프를 통하여 규조토 필터로 이송되어 여과된다. 여과하기 전에 규조토 필터판에 규조토 코팅을 하여 이 코팅층을 여재로 사용한다. 규조토 코팅층 위에 백토가 쌓이면서 여과된다.

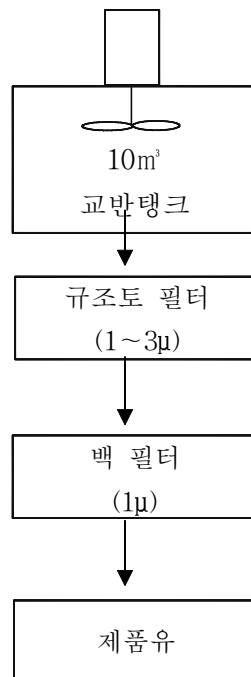
○ 백필터

규조토층을 통과하여 정제유와 함께 빠져나간 미세백토를 여과한다.

○ 제품

백필터를 통과한 정제유가 완제품이 된다.

(5) 실험 공정도



<그림 V-2> 정제유의 백토처리 공정

(6) 실험결과

다공성 물질인 백토가 불안정한 물질을 흡착하여 산화안정도를 높여서 정제유의 산화 반응은 억제할 수 있었다. 또한 정제유를 장기간 보관하여도 산화의 공정이 매우 느리고 안정적이다.

정제유의 산화안정성을 높이면 제품의 고부가가치의 실현으로 가격 경쟁력을 갖게 될 것이다. 정제유에 있어서 불안정성은 폐유가 증류될 때 증류온도 범위가 약 90℃의 용제에서 약 390℃의 고분자 화합물까지 증류되어 혼합되어 있기 때문에 정제유의 불안정성이 발생된다. 이 실험에서 중요한 부분은 백토의량을 최소 3~5% 가량 사용을 하고 정제유의 온도를 높여서 정제유와 백토가 잘 혼합되어야 백토의 흡착 효율이 올라간다. 이처럼 원유속의 올레핀을 제거하는 방법으로써 백토 처리법을 도입하여 사용하고 있다. 불안정한 정제유를 산화 안정시키는 방법으로 백토처리하는 경제적이고 효율적인 방법이 될 것이다.

2. 2차폐기물 환경성 검토

2.1. 제강분진

2.1.1. 침출실험

분진 B와 C를 각각 50 g 씩 준비하여 황산, 염산, 염화암모늄, 가성소다를 사용하여 상용화에 사용되는 적절한 농도로 1시간 침출한 후 침출 잔사는 Pb, Cd, Cr, Ag에 대하여 EP Toxicity test를 하였고 용액과 잔사는 금속성분을 AAS로써 분석하여 Zn, Fe, Mn을 포함하는 각 성분의 침출율을 계산하였다. 그 결과는 <표 V-16>, <표 V-17>과 같다. 잔사는 왕수(aqua regia)에 1% 불산을 첨가한 용액에 용해시킨 후 AAS를 사용하여 분석하였다.

침출 잔사의 유해성을 평가하기 위한 실험 방법은 간단한 방법으로서 10g의 시료를 200ml 비커에 넣고 물 160ml를 부은 상태에서 교반하면서 0.5N 초산 용액 40ml를 서서히 떨어뜨리면서 pH를 관찰하였다. 제강 분진과 산을 사용하여 침출 하지 않은 일부 침출 잔사들은 pH 5.0에서 유지하면서 24시간 유지하였다. 교반은 magnetic stirrer를 사용하였다. 산으로써 침출한 시료들은 pH가 5 이하였으므로 pH 3 이상에서 40ml를 모두 소모하였다.

<표 V-16> 잔사의 유해성 평가를 위한 침출율 시험결과

침출 시약 (500ml)	분진 B (50g) 침출율(%)		분진 C (50g) 침출율(%)	
황산 1.5N	Zn	85.8	Zn	82.2
	Fe	30.0	Fe	27.4
	Mn	59.3	Mn	59.0
	Cr	18.7	Cr	41.5
	Pb	0.59	Pb	0.45
	Cd	93.4	Cd	96.1
염산 1.5N	Zn	84.8	Zn	88.1
	Fe	32.2	Fe	51.3
	Mn	60.6	Mn	72.2
	Cr	24.8	Cr	48.9
	Pb	94.1	Pb	97.2
	Cd	91.0	Cd	97.1
염화암모늄 100g	Zn	52.2		
	Fe	0		
	Mn	11.4		
	Cr	11.4		
	Pb	39.5		
	Cd	100.0		
가성소다 150g	Zn	68.6		
	Fe	0		
	Mn	1.28		
	Cr	4.78		
	Pb	34.8		
	Cd	51.0		

※ 침출 조건은 90℃에서 1시간이다.

<표 V-17> EP toxicity test와 그 결과치

(단위: ppm)

침출 잔사	Cd	Cr	Pb	Ag
EPA허용치	1	5	5	5
한 국	0.3	1.5(Cr ⁺⁶)	3.0	-
EAFD-1	9.0	0.15	72.6	0.01
EAFD-2	13.0	0.27	88.0	0.03
황산 1.5N/EAFD-1	0.05	0.5	3.6	0.01
염산 1.5N/EAFD-1	0.03	0.2	0.3	0.01
염화암모늄/EAFD-1	0.38	<1.0	93.7	0.04
가성소다/EAFD-1	2.24	<1.0	4.5	0.02
황산 1.5N/EAFD-2	0.04	0.26	3.7	0.02
염산 1.5N/EAFD-2	0.01	0.33	1.2	0.01

<표 V-17>에서 보듯이 제강분진들은 이미 많은 양이 기준치를 초과하였고 이것은 분진의 입도가 매우 미세하고 화학적으로 불안정하다는 것을 의미한다. 산으로써 침출한 경우는 입도가 커지면서 화학적인 활성이 적어지고 따라서 침출되어 나오는 금속의 양도 매우 줄어든다.

한국의 기준은 염산을 사용한 침출 잔사가 쉽게 통과하였으나 황산의 경우는 남이 초과함량을 갖게 되었고 염화암모늄은 납과 카드뮴이, 가성소다의 경우는 카드뮴이 통과하지 못하였다. 가성소다의 경우 슬러리의 점도가 지나치게 높으므로 세척이 완벽하지 못하고 염화암모늄의 경우는 세척 중 납과 아연 등 일부 금속들이 분해하여 잔사에 남아 있는 양이 많다고 판단되었다. 반면 염산을 사용한 경우는 세척 중에 석출하거나 잔존하는 양이 적으므로 편리하였다.

그러나 환경적인 표준이 국제화되고 엄격해지므로 단순한 침출 처리만으로 앞으로 지속적으로 통과할 수 있을지는 회의적이다. 또 한가지 심각한 문제는 매립장의 감소이다. 제강분진의 경우는 처리량이 많으므로 국내에서 많은 양을 처리해야하는데 국토가 작다보니 매립은 더욱 어려워진다. 따라서 분진으로부터 유가 금속을 회수하고 나서 유해도가 현저히 낮아진 침출 잔사를 제강로에 재투입하거나 다른 안정화처리 즉, 아스콘 채움재나 시멘트 부원료로서 사용하는 것도 좋은 방법들이라고 판단된다.

2.1.2. 침출 시약의 종류와 침출 잔사의 무해성

(1) 분진 B의 경우 아연 함량이 16%라면 가용성 아연은 이중 30%미만이다. 자동차 스크랩 분진 A의 경우 아연 함량이 40%이며 가용성 아연은 이 중 60%이다. 따라서 스크랩을 종류별로 수거하여 처리할 필요가 있다.

(2) 한국의 분진을 경제적으로 처리하기 위해서는 염산 혹은 황산을 사용한 침출법이 적합한 것으로 판단된다. 한국의 低 품위 분진에는 불용성 아연 페라이트가 대부분이므로 이것을 처리하기 위해서는 열야금적인 공정이 필요하나 환원제의 비용을 고려할 때 경제성이 없으므로 아연 및 중금속들을 저렴한 방법으로 침출해 내는 염산 및 황산을 사용한 공정이 효과적이다.

(3) 산을 사용한 침출의 경우 철의 용해가 높지 않도록 하기 위해서 침출시 공기 및 산소의 주입과 침출용액의 pH를 높이는 것이 반드시 필요하다. Ferrous ion이 ferric ion으로 산화하는 반응이 철의 석출에 결정적인 역할을 한다. 철을 제거하기 위해서는 산화아연 혹은 과산화수소와 같은 산화제를 사용하는 것이 효과적인 방법이다.

(4) 침출 잔사의 유해성은 산으로써 침출한 경우 일부 원소만을 측정하였지만 TCLP 규정을 만족하였고 특히 염산을 사용한 경우 가장 유해도가 적은 것으로 판명되었다.

(5) 습식 야금법에 의한 침출 잔사는 HTMR법에 의한 규정을 만족시키지는 못하므로 TCLP 나 EP Toxicity Test를 통해 기준치 이하의 폐기물은 지정 매립장에 매립하여야 한다.

2.1.3. 침출잔사의 활용방안

침출잔사의 성분을 알기 위해 <표 V-14>의 실험번호 4의 잔사를 분석하여 그 결과를 <표 V-18>에 나타내었다.

<표 V-18> 침출잔사의 조성표 (<표 V-14>의 실험번호 4)

element	wt %
As	0.00
Al	0.80
Si	27.89
P	0.05
S	0.04
Cl	2.37
K	0.04
Ca	0.10
Fe	14.83
Zn	2.59
Mg	0.26
Mn	1.35
Pb	8.51
Cd	0.17
O	41.01
sum	100.00

유가금속을 회수하고 남은 잔사는 건설부원료(골재, 노반재, 벽돌, 시멘트, 아스콘 채움재 등)으로 활용할 수 있을 것이다.

2.2. 폐유

2.2.1. 침출실험

고온열분해법의 공정 중에 발생된 고상슬러지에 대해 그리고 감압증류법의 공정 중에 발생된 액상슬러지에 대해 용출실험을 실시하였으며, 그 결과는 각각 <표 V-19> 및 <표 V-20>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 고온 열분해법의 경우 발생되는 solid ash cake은 용출실험결과 일반폐기물로 분류될 수 있어 처리비용도 낮다. 반면에 감압증류시 발생되는 슬러지는 유분 함량이 높고 Ca, Cr, Pb 등의 중금속을 함유하고 있어서 지정폐기물로 분류된다.

액상슬러지는 지정폐기물이므로 고가의 처리비가 소요되며, 이는 집진시설을 갖춘 대규모 소각로에서 태워진다. 반면에 solid ash cake은 일반 폐기물이므로 대부분 매립된다.

2.2.2. 부산물의 재활용 방안

폐유의 정제시 필수적으로 발생되는 부산물로는 유화폐수, 액상슬러지, 고상슬러지, Light end gas등이 있다. 여기에서 유화폐수와 액상슬러지는 폐기물 처리업체에 위탁처리하고 있다. 발생되는 소량의 폐수를 재생하려 한다면 유수분리 시스템을 설치해야 하는데 많은 비용이 발생되므로 위탁처리하는 방법이 저비용으로 폐수를 처리하는 것이다. 액상슬러지 또한 폐유의 1% 미만이 발생하므로 소각로를 건설하여 자체소각을 할 수가 없다. 이에 반해 고상슬러지와 Light end gas는 재사용을 검토할 수 있다.

고온열분해 방법의 고상슬러지는 일반폐기물로 판정되어 처분되어지고 있다. 국내 화력발전소나 시멘트 회사에 미분탄 형식으로 고체연료로의 사용이 연구되어지고 있다. 중금속이 함유되지 않는 탄소덩어리로써 파쇄하여 미분탄을 만들어서 화력발전소등의 고체보일러 연료로 사용된다면 최대의 재활용이 될 것이다.

하지만 이 또한 투입되는 폐유의 3%미만으로 발생되므로 매우 적은양이 발생한다. 현재 고온 열분해 업체에서 발생하는 Solid Ash Cake은 많은 양이 아니므로 이를 수거하여 미분화하는 과정도 많은 투자가 있어야 하므로 연료화를 못하고 있다.

<표 V-19> Solid Ash Cake의 시험 분석결과

시험 항목		성 적	비 고
유분 함량(무게%)		46.6	
금속분 (ppm)	Ca	3	
	Cr	300	
	Pb	116	
	As	불검출	
	K	불검출	
	Hg	불검출	
	P	불검출	

<표 V-20> 액상 슬러지 시험 분석 결과

시험 항목	기 준(ml/ℓ)	성 적	비 고
납 또는 그 화합물	3	불검출	
구리 또는 그 화합물	3	불검출	
비소 또는 그 화합물	1.5	불검출	
수은 또는 그 화합물	0.005	불검출	
카드뮴 또는 그 화합물	0.3	불검출	
6가크롬 화합물	1.5	불검출	
시안 화합물	1	불검출	
유기인 화합물	1	불검출	
테트라클로로에틸렌	0.1	불검출	
트리클로로에틸렌	0.3	불검출	

※ 금속분 비소(As), 칼륨(K),수은(Hg), 인(P)의 불검출은 기기검출 한계 0.005, 0.2, 0.0005, 0.05ppm 미만을 의미함.

더 많은 고온열분해회사가 설립되어 많은 양의 고상슬러지가 발생하게 되면 이를 수거하여 미분화하는 과정을 전문적으로 하는 업체도 탄생하게 되어 또 하나의 재생업이 탄생하게 될 것이다. 고상슬러지가 미세하게 염소성분을 함유하고 있어 시멘트의 부식 원인으로 인하여 시멘트회사의 연료로는 사용이 기피되기도 했다.

경질분 가스는 Flare Stack에서 소각하는 것이 일반화된 과정이지만, 에너지 회수의 개념을 도입하면 폐열회수 시스템을 구상할 수 있다. 공장내의 난방을 폐열회수를 통해 저비용으로 할 수 있을 것이다. 일반적으로 사용되는 폐열보일러 시스템은 구조가 복잡하지 않아 사용이 가능하다. 현재까지 시행이 되지 않은 이유는 폐열회수에 대한 사용자의 인식부족이 가장 큰 문제이고, 설치비용이 들고 또 매시간당 발생하는 가스량의 불균일성도 문제가 된다.

가스량은 각 배치의 시작과 중간과 끝부분이 성분과 양이 서로 다르다. 하지만 중요한 것은 공장운영자의 에너지 절약에 대한 인식에 있다. 간단한 스텐 코일을 이용하여 공장작업자가 사계절 따뜻한 온수를 사용할 수 있는 것은 커다란 이득이 될 수 있다. 모든 냉·난방기를 포함한 모든 기계장치의 가동에는 여러 가지의 에너지의 공급이 필요하지만 경질가스를 태워 폐열을 대기중으로 발산시키는 행위는 엄격히 말하면 커다란 에너지의 손실이다.

현재 우리나라는 대체에너지 개발에 많은 연구를 하고 있지만 재활용 분야 또한 과감한 정부의 지원으로 활성화해야 할 것이다.

Ⅶ. 자원화기술의 고급화 방안

급격한 경제성장과 산업구조의 변화로 다양한 유해폐기물이 다량 발생되고 있지만, 현재 이용되는 자원화기술로는 재활용제품의 고부가가치화 및 환경보전을 동시에 추구하는 데 부적합한 경우가 많다. 지속적인 경제성장에 필요한 요구 사항들과 환경보호의 목표를 조화시키기 위해서는 기존의 자원화기술에 대한 의존보다 기존 기술의 개량 및 새로운 기술의 개발을 통한 고급화가 이루어져야 한다. 앞에서 분석된 자료들을 바탕으로 자원화기술을 고급화할 수 있는 방안을 제시하였다. 이는 크게 3부분으로 나누어 고려하였다.

1. 대상폐기물에 대한 지원정책

1.1. 매립기준의 강화

일반적으로 전기로 제강분진의 발생량에 가장 큰 영향을 주는 것은 용해하는 고철중에 들어 있는 휘발성물질이다. 따라서 전기로 분진 발생량을 줄이기 위해서는 우선적으로 도금물질, 유기물질, coating물질, 유분, 수분 및 기타 각종 찌꺼기등의 물질을 최소화하는 방법이 가장 좋다. 그러나, 고철의 종류가 다양하고 강종 역시 고급화 추세에 있기 때문에 용해 고철의 선별이나 사후 처리로 분진 발생량을 최소화하기는 어려운 실정이다. 그러므로 이와 같이 발생하는 분진을 가장 경제적이고, 환경에 무해하고, 자원화할 수 있도록 처리하는 것이 최선의 방법이다.

그러나 우리나라의 제강분진은 거의 대부분이 매립되고 있는 실정이다. 이것은 향후 환경오염을 유발할 수 있으므로 지정폐기물인 전기로 제강분진을 매립함에 있어서 적절하게 처리를 하고 있는지 지속적인 지도가 있어야 하겠다. 지금 전기로 제강분진의 매립비용은 운반비를 포함하여 68,000 ~ 80,000원 정도에 지정폐기물 매립장에 매립된다. 지정폐기물은 관리형 매립이나 차단형 매립을 하게 되어 있는데 위의 매립비용으로는 제대로 사후관리를 철저히 할 수 없어 침출수등 2차 토양오염의 문제를 야기시킬 수 있다. 일본 어느 특정지역에서는 무해화 처리를 하여 매립하는 것도 금지되어 있는데, 무해화 처리를 하지도 않고 매립을 하는 우리나라의 실정에서는 매립에 대한 정확한 환경영향평가가 이루어져야 할 것이며, 매립과정에서 규정을 준수하였는지도 조사하여야 할 것이다.

1.2. 재활용을 통한 발생자 책임의 강화

제강분진의 발생은 그 시발점이 제강사이므로 기본적으로 제강사에서 저감대책이 있어야 할 것이다. 이를 촉진하기 위해 환경부담에 해당하는 세금을 강화하여야 할 것이다. 또한 제강로의 구조개선이나 새로운 저 분진 발생의 제강로를 사용함으로써 분진의 발생을 줄여야 할 것이다.

또, 전기로 제강분진의 아연함량이 20%이상이면 회수를 하도록 하는 법적인 근거 마련이다. 국내에 수입되고 있는 아연은 2000년에 100백만톤을 예상하고 있다. 제강분진에는 아연, 철등의 유가금속을 50%이상 함유하고 있는데 이것을 회수한다면 막대한 수입대체 효과를 거둘 수 있을 것이다. 유럽과 미국, 일본등의 국가에서는 현재 전기로 제강분진은 대부분 유가금속을 회수하는 방법을 70%이상 선택하고 있다.

국내의 전기로 제강분진 적정처리 방법에 대한 현실적이고 효과적인 해결책은 제강분진의 재활용을 통한 원칙적인 감량화 방안이다. 제강분진의 재활용은 자원절약과 환경오염방지의 두가지 효과를 동시에 기대할 수 있다. 따라서 국내 전기로 제강분진의 처리는 다음과 같은 요구조건을 만족하여야 할 것이다.

- 2차 폐기물의 발생이 없는 기술
- 발생 현장에서 처리할 수 있는 기술
- 고품위 금속아연을 회수 할 수 있는 기술
- 공정비용이 낮은 기술
- 장기간의 조업이 가능한 안정성이 보장된 기술
- 처리용량의 제한이 적은 기술

1.3. 활성화를 위한 조치 강화

현재 국내 정제유 시장은 많은 요인에 의해 침체 일로에 있다. 특히 IMF이후 폐유의 구매 가격 상승 및 폐유 발생량의 감소등으로 더욱 심각한 운영난에 봉착해 있다. 이러한 침체 분위기가 먼저 제거되어야만 선진기술의 도입이 용이해진다고 본다.

1.3.1. 국내 정제시장의 침체

국내 정제시장의 침체이유는 세가지 로 요약할 수 있으며, 이에 대한 설명은 다음과 같다.

첫째, 미등록사 포함 32개 정도의 정제회사가 가동되고 있으나 폐유 즉, 원료가 부족하여 원료는 실제 신고된 정제공장의 정제능력에 훨씬 못 미친다. 이런 이유로 90년 초 오히려 배출자로 부터 처리자가 드럼당 5천원에서 만원까지 처리비를 받고 처리했으나 최근에는 보통 드럼당 2만원에서 2만 6천원까지 배출자나 중간수거상에게 원료비를 지불하고 있는 실정이다.

둘째, 중간수집상이 폐유의 품귀 현상을 악용하여 일부 저질의 원료를 판매하는 관계로 유통질서를 흐리고 폐유의 질을 떨어뜨려서 좋은 정제유 생산이 불가하며 고온열분해 설비도 적정 회수율을 달성치 못하고 기계의 수명만 단축되는 현상이 계속된다. 이것은 또한 정제유의 고부가 가치화의 실험 실패의 원인이기도 하다.

셋째, 현재의 정제업체의 숫자로도 원료(폐유)가 부족한 형편이나 정제업의 신규허가가 현실적인 검토나 규제 없이 남발되고 있어 폐유의 구독난과 고가화를 부채질하고 있다.

1.3.2. 정부의 활성화 조치 강화

고급 정제유시장을 활성화시키기 위해서 정부는 아래의 조치를 취해야 한다.

첫째, 폐유의 수집이나 발생은 전국적으로 운용되나 지자체의 시행으로 정제사의 신규허가는 자치정부가 주관하므로 신중한 검토를 바탕으로 허가를 주어야 하며, 허가를 한 곳에서 일괄적으로 관장토록 하는 것이 바람직하다. 또한, 신규 허가시 신청사가 수거능력이 없을 경우엔 허가를 불허해야 한다.

둘째, 기존의 32개 정제사 (이온정제설비(미등록포함): 약20개사, 감압증류 설비: 6개사,

유사 고온열분해 설비 : 2개사, 유토피아 고온열분해 설비 : 4개사)들이 상기의 이유로 채산성이 악화되어 상당수의 회원사가 부도위기에 봉착된 바 정부가 적극 개입하여 시설 및 품질 기준에 못 미치는 회사는 타사업으로 유도하고 유도에 필요한 자금 지원을 적극적으로 실시해야 한다.

셋째, 민간(회원사 및 연구기관), 학계, 기술사(제작사) 및 정부(환경부)가 참여하는 폐유 원스톱 검사팀을 상시 운용하여 1개사 당 최소 1주일씩 상주 점검하여 회사별 정제능력, 정제유의 질, 원료수거실태 등을 파악해서 허위 생산능력 보고와 불법유통을 차단하고 원료 구득난을 해소 할 수 있어야 한다.

1.4. 국내 적용방안의 강구

1.4.1. 제도적 근거 마련 및 검증을 통한 설비도입

앞에서 상용화되었고 연구중인 선진국의 전기로 제강분진 처리기술을 국내에 적용하기 위해 이 보고서를 토대로 많은 연구와 실험이 이루어져야 할 것이다. 외국의 제강분진과 국내의 제강분진의 성상이 조금씩 달라서 우리나라 실정에 맞는 처리공정을 개발하여야 할 필요성이 있어 지금까지의 연구결과를 토대로 전기로 제강분진의 국내적용 방안을 제시하고자 한다.

첫째, 제강분진 재활용의 인식부족에서 오는 문제점을 해결해야 한다. 환경의 중요성이 많이 대두되었다고는 하나 아직 미흡한 실정이다. 앞에서 거론되었듯이 선진국은 대부분의 제강분진에서 유가금속을 회수하고 있다. 그러나 자원이 부족한 우리나라에서는 실험적인 연구 단계에 있다. 빨리 여기에 관한 법적, 제도적 근거를 마련하여 연구의 활성화를 시켜야 할 것이다.

둘째, 실험실적인 검증을 통하여 설비도입화가 이루어져야 한다. 외국의 많은 처리기술들중 우리나라의 실정에 맞는 처리 설비를 도입하여야 한다. 그러기 위해서는 소규모 Scale의 일정 기간 연구를 통한 기술성 및 경제성을 확인하여야 한다. 실제경험에 의한 기술의 확인, 실제적 문제점 발견 및 기술협의를 통한 해결방안 확인, 검토에 따른 투자부담감 격감등의 잇점이 있으며 아울러 기술개선 방향도 제시할 수 있는 가능성을 가진다.

셋째, 설비화추진을 위한 설비화팀의 구성이 우선적으로 이루어 져야 할 것이다. 예상되는 문제점은 선행-해결-협조체제가 빠른 시일에 이루어져야 해결된다는 것이다. 설비화추진을 위해서는 부지선정 문제, 처리업체의 선정, 선정업체에 따른 분진공급의 우선권등의 문제에 대한 해결이 선행되어야 하며 각전기로 업체의 적극적인 협조가 필요하다.

1.4.2. 선박 연료유로의 적용 방안

국내에서 생산되는 정제 연료유는 주로 목욕탕 및 산업용 보일러의 연료로 사용하고 있는게 현실이다. 국제 유가의 지속적인 상승으로 인하여 경유와 병커유의 대체연료유를 개발하는 것은 우리 나라의 당면 과제라 할 수 있다. 내륙의 대체연료유로는 병커유의 대체연료로 이온정제유를 사용하고 있고 경유대체유로는 감압증류유와 고온열분해유를 사용하고 있다. 하지만 해양선박의 경우 선박용 디젤유와 병커유를 그대로 연료로 사용하고 있다. 물론 선주들이 재생연료유에 대한 인식이 부족한데 기인한다고 본다. 세제혜택을 받아 육상용 경유에 비해 저가를 형성하고 있는 장점도 있다. 향후에는 선박용 연료도 지금까지의 연료의 저질화 경향에서 탈피하여 고품질의 대체연료를 사용하여 해양

의 대기를 오염시키는 선박의 연소계통을 청정화 할 필요성이 있다.

고온열분해유를 선박연료유로 사용이 가능한 이유는 다음과 같다.

첫째, 선박용 디젤유와 고온열분해유를 비교하면 <표 VI-1>과 같다. 비교하여 보면 선박용 디젤유에 비해 손색이 없으며 잔류탄소, 회분과 황분에서 더 좋은 성상을 보이고 있어 고온 열분해유는 선박연료유로의 사용이 가능하다.

<표 VI-1> 선박디젤유와 고온열분해유의 비교

분 류	선박용디젤유	고온열분해유
인 화점(℃)	40이상	64
유동점(℃)	-10이하	-10
10%잔류탄소(%)	0.2이하	0.01
회분(%)	0.02이하	0.01이하
동점도(37.8℃,cst)	2.0 ~ 5.8	5.419
황분(%)	1.0이하	0.2

둘째, IMO 대기오염방지 협약(98.11.)에서도 강조했듯이 질소산화물(NOx)과 황산화물(SOx)의 배출규제를 위한 협약이 있었는데 특히, 황산화물(SOx)의 일반요건은 선박에서 사용하는 연료유는 황 함유량이 4.5%를 초과할 수 없고, 연료 중에 포함된 황함유량의 전세계 평균치는 IMO에서 개발된 지침에 따라 Monitoring 되어지고, 특히 SOx 배출통제 지역 내에서의 운항요건인 황함유량 1.5%미만의 연료유 사용 및 총배출량 6.0g/kwh 이하이어야 한다. 이와 같이 날이 갈수록 황 함유량의 규제가 강화되는 시점에서 고온열분해유는 좋은 대안이 될 수 있으리라 판단된다.

고온 열분해유를 선박연료유로의 적용 방안은 다음과 같다.

첫째, 항구의 선주들을 상대로 정제연료유의 품질을 적극 홍보, 인식시켜야 한다. 선원들의 재생연료유 개념은 이온정제법 즉, 원심 분리기와 산업용 필터를 이용한 물리적 분리를 생각하고 있다. 하지만 물리적 분리만으로는 재생연료유의 품질을 높이는데 한계가 있고 이보다 진보된 기술인 고온열분해법으로 품질을 높여야한다. 고온열분해유를 선박용 디젤유나 A중유를 사용하는 각종 선박의 발전기용 디젤기관에 사용하면 많은 고부가가치를 창출 할 수 있을 것이다.

둘째, 불법 혼합유의 음성적인 유통을 엄단하는 법제의 정비가 필요하다. 불법혼합유의 유통은 유통질서를 문란하게 할뿐만 아니라 저급연료의 유통으로 내연기관에 사용시 기관에 손상을 입히고 불완전 연소등으로 대기오염을 일으킨다.

1.4.3. 디젤엔진의 연료유로의 적용방안

고온열분해법으로 정제된 정제유를 선진국에서는 디젤의 대체유로서 널리 보급되고 있다. 특히, 호주나 북미의 경우엔 일정량의 경유와 혼합하여 자체 브랜드를 만들어 공장에서 직접 디젤엔진을 장착한 자동차에 판매하며 또한 각자 유통망을 통해서 공급한다. 참

고로 당사의 고온열분해 설비가 호주에서 운용되면서 생산된 고온열분해유와 디젤을 50:50으로 혼합하여 자체 브랜드“엔바이로-디젤유”(ENVIRO - DIESEL)를 생산하여 판매하고 있다. 엔바이로-디젤유의 성상은 <표 VI-2>와 같다.

이처럼 고온열분해유와 디젤을 50:50으로 혼합하여 새로운 브랜드를 만들면 디젤유 속에 함유되어 있는 첨가제가 연료유와 섞여 희석되어 진다. 이때 정제유는 점도가 좋아지고 산화안정성을 갖게 되어 좋은 새로운 가치를 가지게 된다.

<표 VI-2> 엔바이로-디젤유의 성상

분 류	성 상	비 고
점도 (40℃,cst)	3.4 - 3.6	ASTM 445
밀도 (15℃kg/l)	0.82 - 0.84	ASTM 4042
황(wt%)	0.03 - 0.45	IP 336
잔류탄소(wt%)	0.14 - 0.16	ASTM 0524
세탄지수	56.0	ASTM 0976
발열량(MJ/kg)	42.5 - 43.0	ASTM 04868
수분 및 침전물(vol%)	< 0.05	ASTM 01796

또한 스페인의 경우엔 스페인의 대형선박엔진 및 디젤 엔진 제작사가 직접 디젤 발전소를 IPP(개별사업자)로 투자하여 1리터당 6kw의 전기를 발생하여 고부가가치를 실현한다. 우리 나라의 자원상의 특수성과 에너지 수입의 막대함을 고려할 때 법개정을 통해서라도 공용부분에서부터 적용해서 에너지 자원의 현실화와 폐기물 재활용 정책의 극대화에 기여하여야 한다.

2. 정부주도의 지원정책

2.1. 정부주도의 공동기술 개발 추진 및 조정

재활용업체는 현실적으로 기술개발을 위한 여력과 의지가 부족한 상태이며, 재활용업체의 자발적인 기술개발은 투자비용에 비하여 기대수익성이 크지 않으므로 국가적 지원이 필수적이다.

폐기물 자원화기술은 개발되면 동종의 제품을 생산하는 재활용업체에서 공동이용이 가능하기 때문에 정부주도의 공동기술개발로서 정부의 지원을 통하여 기업의 자원화기술 개발을 유인하는 것이 현실적 방안이 될 것이다.

정부주도로 추진되고 있는 G7 프로젝트를 살펴보고자 한다.

G7 프로젝트의 목적은 환경공학기술의 선진화로 국내 환경기준의 조기달성을 도모하고 국내

환경산업을 수출전략산업으로 육성하는 것이다. 환경기술 중 폐기물 분야의 사업추진 기본방향은 폐기물 자원화기술, 유해폐기물 처리기술, 저공해 소각시스템 개발 및 매립신기술로 이루어져 있다.

이를 자세히 살펴보면, 첫째, 폐기물 자원화기술은 유가물질을 선별 회수, 정제하는 기술을 개발하는 데, 주로 일반폐기물을 대상으로 하고 있다. 둘째, 유해폐기물 처리기술은 유해폐기물을 무해화하거나 유해특성을 감소시켜 최종처분의 안전성 및 경제성을 확보하기 위한 것이다. 셋째, 저공해 소각시스템 개발은 폐기물 소각 확대정책에 입각하여 폐기물의 저공해 소각 및 에너지회수 시스템을 자체개발하고 부품을 국산화하는 것이다. 넷째, 폐기물의 매립신기술은 폐기물의 안전매립기술과 관련한 재료개발, 시공 및 관리기술을 개발하는 것이다.

이에 따른 폐기물 분야의 핵심기술대상과제와 투자액은 <표VI-3>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이, 과제대상은 처리중심으로 되어 있고 일반폐기물에 중점을 두고 있다. 환경기술과 관련하여 정부주도하에 추진하고 있는 G7프로젝트를 정부의 재활용 중심의 시책에 부응되게 하기 위해서는 일반폐기물 뿐만아니라 유해폐기물의 재활용을 위한 기술개발에도 많은 재원을 투자되도록 조정이 필요하다.

<표VI-3> G-7프로젝트의 핵심기술대상과제 및 투자액

대분류	과제명	과 제 내 용	'92~'95 투자액 (단위: 백만원)	비고
폐기물 처리 기술	폐기물 자원화 기술	○ 자원화 대상 폐기물의 관리체계 개발 ○ 폐기물의 재생 및 재활용 기술개발	6,374	1992년 착수 과제
	저공해 소각 기술	○ 저공해 소각로 개발 및 폐열회수 이용기술 ○ 건류 및 고온열분해 기술 개발	12,121	1992년 착수 과제
	유해 폐기물 처리 기술	○ 물리적, 화학적 처리기술 개발 ○ 생물학적 처리기술 개발	3,851	1994년 이후 착수
	폐기물 매립 기술	○ 토지 절약형 매립 기술개발 ○ 쓰레기 인공섬 조성기술	855	1995년 신규 사업

자료: 환경부, 국립환경연구원, 『G-7 환경공학기술개발사업』, 1996.

2.2. 정부부처 및 관련당사자들의 협력을 바탕으로 진행

2.2.1. 정책, 규정 및 허가안 채택

정부가 담당하는 모든 분야에서 그에 해당하는 규정, 승인, 허가, 그리고 강화 프로그램의 테두리 안에서의 개발에 따른 보강을 강화하고 비타협적인 환경보호책이 있는 프로그램에서 발견되는 최신기술개발의 장애 요인을 찾아내어 제거해서 최신 기술의 개발과 채택을 촉진해야 한다.

최신 기술을 개발하는데 있어서 모든 민간 기업은 무엇보다도 감지된 시장수용에 영향을 받는다. 환경시장은 고객의 선호도에 의해 주도되지 않고 법규와 정부 규정, 정책, 그리고 그러한 것들의 시행에 의해 이끌어진다. 즉, 최신기술을 만들어내는데 있어서 민간부분은 감지된 시장 수요에 반응을 보이고 있으나, 환경 생산품과 서비스에 대한 수요는 법규, 정부정책, 규정 그리고 실행과정에서 주로 발생한다.

환경기술에 대한 수요를 창출해내고 있는 것은 강력한 환경 규제의 지속적인 시행이다. 단지 법규와 규정이 새로운 기술의 개발과 확산속도를 감소시키느냐 혹은 가속화시키느냐 하는 방법에 따라 만들어져서 운영되어질 수 있다.

일반적으로 정부는 최신의 기술을 검토하여 정규기관의 모든 직원들에게 그러한 최신기술이 성취할 수 있는 단계까지 그들의 성능을 키울 것을 요구한다. 그러나, 이는 기술의 성능을 바탕으로 하고 있으면서 특별한 기술 설치 사항이 요구되지 않는데도 불구하고, 기술단체와 정규 업체는 기준이 되고 통제 기술지침서에서 설명하고 있는 기술을 사용하는 것을 꺼리는 기술고정(technology lock-in)은 심각하다.

그러므로 훨씬 절약적이고 효과적인 기술을 가지고 있는 개발자는 시장을 파악하는 것이 어려우며, 잠재고객과 그들의 조언자들은 일반적으로 비교적 알려지지 않고 증명되지 않은 기술사용에 따른 미승인의 결과라는 위험을 원치 않는다. 담당 공무원들도 마찬가지로 최신 기술을 승인하는데 있어서 환경적 결과를 위태롭게 하는 일은 하려고 하지 않는다.

현재뿐만 아니라 미래에까지 국가의 야심찬 환경 목표에 대한 성취는 단순히 기존의 환경 기술을 계속 시행하는 것 이상의 것을 요구하고 있다. 최신 기술의 개발과 사용에 따른 보상이 유지되고 강화될 것을 보증하기 위해 환경관리안이 채택되어야만 한다.

이런 전략은 정부가 기술개발에 따른 보상을 책정하고 규정책정, 승인, 시행활동 가운데 불필요한 장애물을 줄일 수 있는 기존의 행정 권한을 발휘할 것을 요구하는 것이다. 장기간의 계획에는 더욱 강화된 보상을 제시하고 기술개발에 있어서 불필요한 장애를 줄여나가기 위한 법규 개정을 확정 발표하기 위한 지속적인 법정 노력이 포함되어 있어야 한다.

2.2.2. 정부부처의 협력 강화

정부는 기술적인 해결책을 권장하고 개발해야 하는 책임이 있다. 정부시설은 기술과 접근 방법의 개발 및 응용을 위한 기회를 제공하며, 환경부 및 다른 정부 부처, 사설기관을 수반하여 기술 혁신을 위한 공동노력을 할 수 있는 기회를 제공할 수 있다.

기술개발에는 정부, 공공기관 그리고 산업체 사이에서의 협력이 요구되므로 환경부는 환경 기술의 응용과 상업화에 영향을 미치는 규정과 제도상의 요구를 극복하기 위해서 다른 정부 부처와 관련당사자들(stakeholder)과 함께 활동해야 한다.

환경부는 혁신환경기술의 개발을 위한 실험과 시험센터로서 정부시설의 이용을 권장하고 촉진해야 하며, 이를 위해 다음과 같은 정책이 필요하다.

- 환경기술에 영향을 미치는 정부 정책 및 기술개발과 실험을 위한 프로젝트를 수행하는 시설을 지지하고 관련이 되는 관련당사자들을 적극적으로 찾는다.
- 기술의 상업화, 직업 개발, 경제적인 성장의 향상 및 미래 오염의 예방과 현재의 정화를 위한 실제 적용과 현장작업을 강조하는 사설기관에 대한 관심을 집중시킨다.

2.3. 특정기술의 분화에 따른 재활용단지 조성

재활용단지를 조성함에 있어서 입주를 원하는 대부분의 재활용업체는 영세하므로 독자적인 기술개발도 어렵고, 또 기술개발을 원한다고 하여도 재활용제품을 생산할 수 있는 전 공정에 대한 기술개발을 하기는 매우 어려운 실정이다.

그러나, 각각의 재활용업체가 일부 공정에 대한 기술개발에 대해서는 가능할 수 있으므로 각각의 재활용업체가 공동으로 기술개발에 투자하여 각 공정에 대한 특화를 유도하는 것이 바람직하다.

특히, 재활용단지를 조성하고 재활용업체들을 입주시키고, 기술개발의 중요성을 강조하기 위해서는 비슷한 성상의 폐기물을 재활용하는 재활용단지 입주사업체를 각각의 사업체가 특화할 수 있는 기술을 선정하여 이를 재활용단지에 수용하는 것이 바람직하다. 이 경우에 정부는 재활용기술에 대한 투자를 보다 효율적으로 할 수 있으며, 기술개발도 가시적인 효과를 얻을 수 있다.

재활용산업의 수익성은 폐기물 재활용 공정별로 다르게 나타나기 때문에 지원정도를 차별할 필요가 있다. 즉 지원재원을 모든 폐기물재활용공정에 전반적으로 지원하기 보다 기술적 용이 어렵고 공정이 복잡한 재활용폐기물 업체에 대하여 집중 지원하는 것이 더 효율적이다. 따라서 정책적 지원원칙은 핵심공정으로 공헌도가 크나 수익성이 낮은 공정을 담당하는 업체에 우선 지원하여야 한다.

2.4. 대체 및 혁신제도(I/A)의 적용기준 설정

2.4.1. I/A 적용

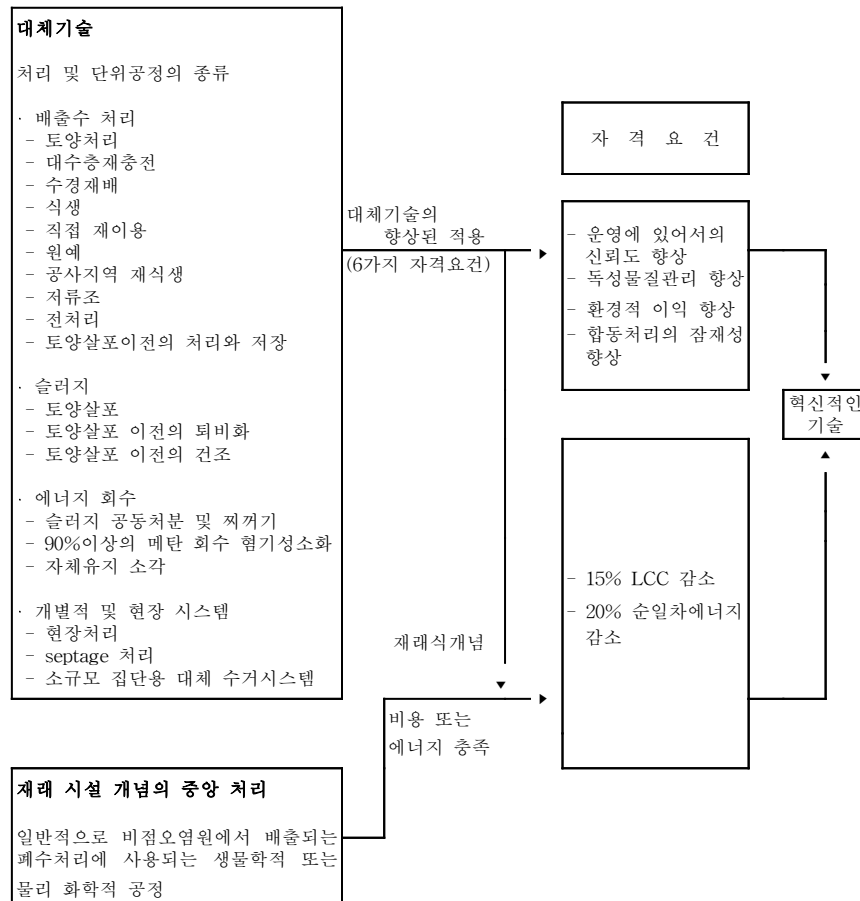
(1) 목적

이 제도의 목적은 비용효율적인 도시의 처리방법(환경 및 공공위생의 측면에서 피해를 주는 사항들은 최소화시키는 반면 물, 영양물질, 에너지의 재활용 및 개선을 최대화시키는 처리방법)의 계획, 디자인, 건설을 권장하는 것이다.

(2) 일반적 분류와 심사방법

<그림 VI-1>은 계획들의 검토와 분석을 위해서 일반화된 분류 체계를 나타내고 있다. 이를 참조하여 잠재적으로 모든 혁신 및 대체 기술이 사용된 시설설계는 대체기술이나 재래시설 개념으로 분류되어 있다. 대체 기술로 분류된 설계는 6개의 자격요건 중 하나를 충족시킬 경우 혁신기술로 격상될 수 있다. 재래 시설 개념으로 분류된 설계는 혁신기술이 되기 위해서는 비용이나 에너지 표준 중 하나 이상을 충족시켜야 한다.

대체기술은 완전한 검증이 이루어진 방법을 말하며 수자원의 재생·재활용과 생산적 폐수의 재활용 또는 오염원의 제거나 에너지 재생 등을 위해 활용된다.



<그림 VI-1> 혁신 및 대체기술의 일반화된 분류체계

자료: EPA, 『Innovative and Alternative Technology Assessment Manual』, 1978.

(3) 기술결정의 방법론

<그림 VI-2>는 시설설계의 분석과 평가(1단계)와 혁신 및 대체 기술 자격 심사(2단계)를 위해 제출된 계획과 설계에서 사용되는 기초적인 결정방법론을 나타내고 있다. 대상 프로젝트의 분류와 국고지원 여부를 결정하기 위한 간소화된 3단계 절차가 대체기술과 재래시설 개념으로 나누어져 설명되어 있다.

대체기술 심사과정은 다음과 같다.

- 사용하고자 하는 부분의 환경에서 제안된 대체기술이 검증여부를 결정한다.
 - 그렇다 - C로 간다
 - 그렇지 않다 - B로 간다
- 혁신기술의 6가지 자격표준 중 하나라도 충족시키고 있는가의 여부를 판단한다.
 - 그렇다 - C로 간다
 - 그렇지 않다 - 재정 지원 없음
- 기술비용이 비용최대 효율적인 다른 기술 비용의 115% 한도내에 있는가의 결정한다.
 - 그렇다 - 85% 재정지원
 - 그렇지 않다 - 재정 지원 없음

재래 시설 개념에 대한 절차는 다음과 같다.

- 사용하고자 하는 부분의 환경에서 제안된 기술의 검증이 되었는가를 결정한다.
 - 그렇다 - C로 간다

그렇지 않다 - B로 간다

B. 대상기술이 15%의 수명 비용 절감이 있거나 20%의 주요 에너지의 순 절감 표준을 충족시키는가를 결정한다.

그렇다 - D로 간다

그렇지 않다 - 재정지원 하지 않음

C. 대상 기술이 최대 비용 효율적인가를 결정한다.

그렇다 - 75% 재정지원

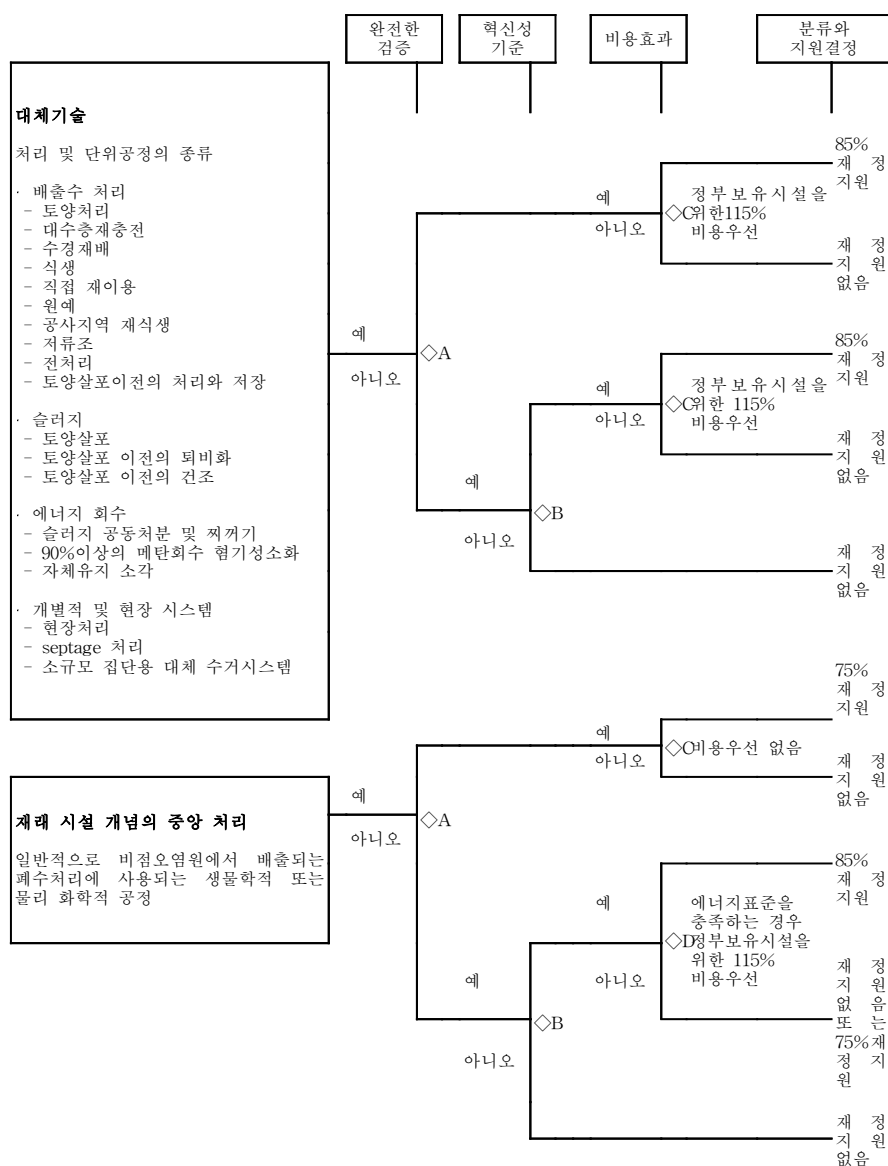
그렇지 않다 - 재정지원 하지 않음

D. 에너지 표준을 충족하는 기술의 경우 그 기술이 최대 비용효율적인 대체기술의 115% 내에 있는가를 결정한다.

그렇다 - 85% 재정지원

그렇지 않다 - 재정지원 하지 않음

15% 수명 비용절감을 이루면서 항목을 만족시키는 기술은 이미 비용 효율적인 것을 보여주고 있다.



<그림 VI-2> 혁신 및 대체 기술 결정 방법론

자료: EPA, 『Innovative and Alternative Technology Assessment Manual』, 1978.

2.4.2. 기준의 설정

I/A제도를 적용하여 고급화된 자원화기술을 갖기 위해서는 다음과 같은 기준을 만족시켜야 한다.

(1) 운영상의 신뢰도 향상

운영상의 신뢰도 향상에 기여하기 위해서는 최소한 다음의 조건을 만족시켜야 한다.

- 1) 기계장치에 대한 신뢰도 향상
- 2) 고유의 물리적, 화학적 공정의 안정성 향상
- 3) 개선된 시스템 디자인
- 4) 대체(standby 또는 backup) 시설의 향상
- 5) 실패나 방해에 대한 민감도의 감소
실패는 요구치를 계속해서 만족시킬 수 있는 시스템의 능력이 감소되는 것을 의미하며, 방해는 시스템 내에서 내부적으로 발생하는 강요되는 조건의 영향을 의미한다.
- 6) 부적정한 처리에 의한 배출의 감소
- 7) 운영자의 주의와 기술에 대한 요구의 수준 감소

(2) 독성물질 관리의 향상

독성물질의 관리 향상에 기여하는 것은 독성물질이 인간에게 직접 또는 간접적으로 노출됨을 감소시키는 것을 말하며, 노출의 감소는 매체 내에서 또는 사이에서 독성물질을 감소 또는 제거하는 화학적, 물리적 메카니즘에 의해서 이루어질 수 있다.

독성물질의 향상된 관리 기준의 의도는 특정 노출 감소 메카니즘을 권장하기 위한 것이다. 독성물질 관리를 향상시키기 위해서는

- 1) 특정 시스템에 대한 주요 노출경로를 밝혀야 한다.
- 2) 향상된 관리의 메카니즘을 상세히 기록해야 한다.
- 3) 감소된 특정 독성 화합물 또는 유기 화합물의 분류를 밝혀야 한다.

(3) 환경적인 이익의 증진

증가된 환경상의 이득이란 환경적인 효과와 평가기준 사이의 균형(trade-off)을 고려해야 할 필요성을 인정하는 것이다. 고급화된 자원화기술에 의한 환경상의 이익에 대한 분석은 전체 환경상 평가 및 분석 활동의 관계 내에서 동시에 수행되어야 한다.

환경적인 효과는 대체 디자인, 평가(evaluation), 계획 선택을 고려해야 한다. 이러한 환경적인 평가(assessment)는 재활용에 대한 상대적인 기여뿐만 아니라 기타 관계된 일차 및 이차 환경적인 영향을 포함해야 한다. 일반적으로 환경적인 영향은 프로젝트 부지(siting), 규모, 상태(phasing), 건설 방법 및 재료, 처리 및 처분 선택, 제안된 가동 및 유지의 방법과 관련된다.

3. 기술혁신을 위한 지원정책

급격한 경제성장과 산업구조의 변화로 다양한 유해폐기물이 다량 발생되고 있지만, 현재 이용되고 있는 기술로는 현재의 문제를 해결하는 데는 부적합한 경우가 많다. 지속적인 경제성장에 필요한 요구사항들과 환경보호의 목표를 조화시키기 위해서는 기존의 기술에 대한 의존보다 새로운 기술의 개발이 요구되며, 이를 위해 미국에서는 환경기술 전략을 세워 시행하고 있으며, 주정부에서도 이를 지원하고 있다. 이에 대해서는 부록 I에 자세히 설명하였다.

정부의 정책은 산업체가 새로운 기술의 중요한 창조자이며 지속적인 경제성장의 주요 원동력임을 알고 새로운 기술개발에 힘쓸 수 있도록 도와주어야 한다. 즉, 최신기술의 개발 및 사용에 따른 적절한 보상이 이루어지도록 하여야 한다. 이를 위해서 다음에 자세히 설명하였다.

3.1. 자원화기술 개발 및 사용 증가를 위한 프로그램의 개선 및 능력 강화

자원화기술에 대한 수요를 창출하는데 있어서 소각이나 매립에 대한 강력한 환경규정에 대한 지속적인 시행이 중요하다. 그러나 새로운 기술의 개발과 확산의 정도를 줄이거나 혹은 가속화시키는 방법에 따라 규정이 개발되어지고 발휘되어질 수 있다.

3.1.1. 기술혁신을 위한 프로그램 제작

자원화기술 개발을 위한 개발주기는 길어서 종종 10년 이상이 걸리기도 한다. 그 결과 요구된 것 이상으로 제한된 기술 범위 내에서 규칙들이 정해진다. 기술개발자들은 개발자금을 얻기가 어려우며, 다른 더 나은 기대도 없다는 것을 알고 있으면서도 새로운 기준에 따라서 혹은 그 기준을 초과하는 기술을 개발하는 위험을 감수하고 있다.

그러나, 현재는 사업체들이 새로운 기술을 시도해보는 것에 대한 혜택이나 실패에 대한 보호를 받을 수 없다. 또한 환경기준을 맞추기 위해서 변형된 방법을 사용하도록 법적으로 승인받은 경우라고 하더라도 알려지지도 않고 증명되지도 않은 기술을 이행함으로써 환경기준을 만족시킬 수 없게되는 위험에 대해서 대부분 시도하려 하지 않고 있다. 따라서, 오래된 기술이라도 같은 기술을 매년 되풀이하여 사용하고 있으며 새롭고 보다 효과적인 기술이라도 이에 대한 사용은 기피되고 있다.

또 다른 문제는 규정개발과정에서의 예측 불가능의 특성이다. 환경기준은 수년동안 개정되어 오고 있지만 그 결과에 대한 예측이 불가능하다. 이와 같이 기술혁신을 방해하는 장애물들의 주된 원인 중의 하나가 관계규정이다.

그러므로, 정부는 기술혁신을 위해 보다 친숙한 프로그램을 제작하기 위해서 노력하여야 하며, 이를 위해 다음의 수단들을 고려하여야 한다.

- 규칙제정(rulemaking) 협상기간 동안의 규정된 과정과 기타 규정된 개발과정에 대한 예측 가능성을 향상시켜야 한다.
- 승인을 위해 받아주는 기술의 범위를 확대하여야 한다.
- 최소한의 환경기준에만 만족시키는 것이 아니라 환경기준치보다 매우 낮은 값을 만족시키는 기술을 사용하는 사업장에 대해 혜택을 주기 위한 경제적인 인센티브를 사용하여 이

러한 기술개발을 장려하여야 한다.

- 혁신기술을 조장하기 위한 허가과정과 시행관례를 간소화하여야 한다.
- 개발된 기술이 보다 많은 분야에서 사용될 수 있도록 하는 허가 규칙을 만들기 위해서 정부는 협의된 규칙제정과 같은 것에 영향을 받은 기업의 참여를 늘리는 개발절차의 규정 활용을 확대해야 한다.

3.1.2. 기술개발자들과 수요자들의 능력 강화

환경기술분야에서 규제받지 않고 있는 시장 비효율성과 실패의 원인을 파악하고 이를 조사하고 분석하기 위해서 공공기관 및 민간기관과 공동으로 연구하고 활동한다. 가장 우선적으로 다루어야 할 환경기술 차이에 대한 정보를 적절하게 작성하고 알린다. 파트너를 정하고 실험실·분석장비·기술적 지원 등을 제공하고 최신기술에 대한 운영 데이터의 신뢰도를 강화하기 위한 시험장치들을 표준화함으로써 해서 다른 기관들의 기술개발과 상업화 노력에 촉매 역할을 한다.

정부는 새로운 기술의 사용을 시험할 수 있는 장소를 늘려나가야 한다. 개발자와 투자자들에게 더욱 빠른 리드 타임(기획에서 제품화까지의 소요시간: 발주에서 배달까지의 시간: 기획에서 실시까지의 준비기간)을 제공하며 국가의 환경 요구사항들과 그 요구들을 충족시킬 기술사이의 차이를 좁히는데 일익을 할 수 있도록 또한 환경적 규제 경향과 관련된 기술적 요구사항들을 더욱 효과적이고 신속하게 알려주어야 한다.

환경기술시장은 복잡하다는 것과 새로운 환경기술의 개발자들이 그들의 기술을 세계시장으로 확대하는데 필요한 정보, 기술, 능력, 장비 그리고 시설들이 부족하다는 기초적인 인식에서 전제된다. 새로운 기술을 필요로 하는 정규회사나 기관이 대책안의 상대적인 이익을 구별해내는 분석장비를 가지고 있지 않을 수도 있다.

더욱이 금융기관, 규제기관, 그리고 대중들은 가끔 시행, 시행비용, 적용범위에 대해 독립적으로 개발되었거나 혹은 증명된 믿을만한 데이터도 없이 최신기술에 대한 결정을 내릴 수 있는 능력이 결여되곤 한다. 따라서 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

(1) 믿을만한 성능 데이터의 결여

환경기술시장은 비용, 성능, 그리고 새롭고 혁신적인 기술의 적용범위에 대한 자료의 부족으로 인해 약화되어졌다. 자료들은 투자가, 예상 수요자, 공공기관, 승인기관과 시행 담당 공무원 등이 이용할 수 있고 이해할 수 있으며 믿을만한 것이어야 한다.

(2) 테스트 장소의 부족

기술개발과 사업화를 방해하고 기술테스트의 비용과 위험요인을 증가시키는 주요 원인은 pilot-scale 과 demonstration-scale의 최신기술을 테스트할 만한 장소의 부족이다. 이것은 위에 제시한 믿을 만한 데이터 부족의 중요한 원인이다. 이런 장소는 합법적으로 승인 받아야 하며, 운영 요소의 전 영역에 걸쳐 엄격한 테스트에 따라 결정된다. 왜냐하면 그 기술들이 폭넓게 사용되기 전에 반드시 규정 검열에 합격해야 하기 때문이다. 그러한 규정승인은 종종 믿을만한 데이터에 의존하여 결정된다.

(3) 환경기술산업에 대한 정부의 부적절한 이해

정부는 오염감소, 환경적으로 관련되어 있는 자본투자, 그리고 운영비용을 위한 국가적 지출에 대한 자료를 수집하고 분석한다. 이것은 공무원이 기업체에 의해 지원 받고 있는 허가 비용과 같이 공급측면이 아닌 소비자의 수요측면을 이해하도록 해주어야 한다.

기술공급에 부딪혀 발생한 강압적 요인을 이해하고 도와주려는 정부의 노력이 없다면, 최신기술은 필요한 만큼 개발되지 않을 것이며 관심의 대상이 되고 있는 허가 비용도 감소되지 않을 것이다. 만약 정부가 환경기술산업을 위해 더욱 효과적인 파트너가 된다면 정부는 이들 문제들을 다루기 시작할 수 있다.

개발과 환경기술의 테스트를 관할하고 기술선택시 잠재고객이 선택할 수 있는 궁극적인 선택을 제한하는 정부의 규정과 시행과정에 대한 민간기업의 이해의 한계가 이 문제의 또 다른 모습이다.

3.2. 허가과정의 체계화 및 확인시스템의 개선

3.2.1. R&D, 테스트, 평가, 최신 기술의 사용을 위한 허가과정의 체계화 및 개선

기술 R&D, 테스트, 평가를 위한 특별화된 승인정책과 절차를 만들고 보완해야 한다. 이들 정책은 환경과 국민건강보호를 손상시키지 않는다는 것을 확인하고 실행요인을 결정하는 기술개발자들을 위해 충분한 가능성을 두기 위한 것이다.

중앙 정부와 지방 정부에서 최신기술을 승인하고 사용하기 위하여 경험있는 담당자들이 승인 절차를 주관하여 새로운 방법을 시험해야 하며, 또한 이 분야에서 진행을 저해하는 어떠한 기초적인 법률적 제한적 장애도 해결하도록 하여야 한다.

또한 기술을 승인한 사람들이 최신기술의 사용을 추진하는 방법과 인센티브를 모두 관리하도록 하여야 하며, 훈련, 기술지원, 승인 직원에 대한 수행보상 등을 제공하여야 한다.

3.2.2. 기술성능 데이터를 개발하고 확인하는 시스템의 개선

표준화를 달성하려는 목표는 테스트와 demonstration을 수행하고 테스트 자료를 수집 분석하고 예상모델을 만들고, 품질을 보증하고 성능 및 비용자료를 포함하고 있는 결과를 보고하는데 이용되는 방법과 약정에 대한 계약 체결과 연관이 있다. 따라서, 국책연구소 및 연합조직이 시행하는 테스트나 demonstration과 연관되어 기술성능에 대한 신뢰성 있는 자료를 수집하고, 검토하고, 만들고, 보고하는 업무를 확대해야 하며, 이를 위해서 다른기관이나 사람들이 정립해 놓은 신뢰성 있는 정보의 수집에 중점을 두어야 한다.

이를 위해서 새로운 파트너를 찾을 뿐만 아니라 산업체, 정부, 비영리단체 그리고 기타 기관과의 파트너십을 강화하여야 한다. 또한, 협회, 개인회사, 장비공급업자들을 포함해서 폭넓은 기반을 형성하고 있는 민간부분 참여를 촉구해야 한다. 즉, 협조적인 환경기술 R&D 계획과정을 설정하고 강화해야하며, 이를 위해서 이들 파트너십은 산업체, 중앙 및 지방정부, 비영리기관, 그리고 기타 여러 기관과 연관될 수 있다.

3.3. 기술개발자들에 대한 자금제공

정부는 기술개발자들이 개발단계에서부터 최신기술을 만들어내는데 도움을 줄 수 있는 기관들이 후원이나 지원을 할 수 있도록 도와주어야 한다.

3.3.1. 정부의 기술선정 능력 강화

계획, 연구, 개발, 테스트, 사업화 등을 포함한 R&D 싸이클의 어떠한 단계에서도 정부의 재정적 지원은 해당 프로젝트에 제공될 수 있어야 한다. 이를 바탕으로 민간분야와의 협조능력을 확대해 나가야 한다.

또한, 정부는 R&D 자금을 결정하는데 평가장치를 개발하고 적용시킴으로 해서 자신들의 기술투자에 대한 효율성을 증가시켜야 한다. 즉, 정부는 R&D 자금을 위해 전략적으로 유망한 기술을 선정하기 위해서는 자신들의 능력을 강화해 나가야 한다.

이러한 것들은 생활주기(life-cycle) 분석과 환경과 생산성 결정을 통합하는 환경방안을 위한 설계서 같은 방안을 포함할 수 있다. 중요한 환경기술의 차이를 좁혀나가는데 있어서 특히 다른 기술개발자들에 의해서 만들어지고 있지 않은 첨단기술을 만들어 낼 수 있는 잠재력을 가지고 있는 기술, 다른 정부기관이나 혹은 민간분야로부터의 재정적 지원을 유도해낼 수 있는 잠재력을 가진 기술, 시장에서 상업적 성공을 보여주고 있는 기술 등을 분석하여 유망한 기술을 선정하기 위한 기준을 개선하고 적용할 수 있는 능력을 갖춰가야 한다.

3.3.2. 기술의 개발과 사업화를 위한 기금투자

중요한 환경적 요구사항들을 충족시키기 위해 개발되고, 기술혁신을 위한 높은 가능성을 제시하고, 적절한 성공을 위해 공공자금의 지원을 필요로 하는 기술을 개발하고 사업화하기 위해서 정부는 기금을 직접 제공하여야 한다.

현재 또는 앞으로의 법규와 환경적 요구사항들을 충족시키는 성공적인 개발이 될 최신 기술을 확인하도록 한다. 이러한 필요사항이 확인되었는데 가능성을 가지고 있는 기술 해결책에 대한 민간투자가 적절하지 못한 경우에, 정부의 자금은 성공을 위한 기회를 제공할 수 있다. 정부기금은 민간부분의 기금을 대치하느니 그것을 가지고 차입금으로 투자하게 할 것이며 중요한 개발단계에 사용될 것이다. 정부는 민간소유나 정부소유의 실험실뿐만 아니라 민간 및 공공기관과 합동으로 수행되고 있는 개발과 사업화에 자금을 투자하거나 지원해야 한다.

일반적으로 기술개발자들은 일련의 개발단계의 한시점에서 환경기술시장이 위험하고 불확실하다고 간주하고 있다. 그들은 투자위험요인을 조사하고 기술들을 허용기준까지 제한하는데 어려움을 겪고 있다. 환경기술시장은 환경정책과 프로그램에 의해 운영되지는 않는다. 거의 모든 새로운 환경기술은 한 단계 이상에서 승인을 거쳐 규제검열에 통과해야 한다. 여러가지의 규제사항과 절차, 승인에 대한 불확실함, 그리고 특별한 새로운 기술이 승인조건에 부합할 수 있다는 것을 보여주는 자료의 부족과 신뢰성에 대한 고려때문에 투자위험은 부분적으로 측정하기 어렵다. 그래서, 시험적인 기본모델형의 scale-up 단계에 자금을 지원할 수 있는 개발가들의 능력을 강요하면서 투자자들은 개발단계의 마지막까지 환경기술을 지지하려고 하지 않는다.

단지 새로운 환경기술이 두드러진 환경적 이익을 가져다줄 수 있다는 이유만으로 새로운 환경기술이 투자자들에게 좋은 투자가 되지는 않는다. 몇몇 환경적으로 이익이 되는 기술개발이 유익하지 않은 방법을 통해 환경시장을 형성했다. 이런 경우 기술의 사회적 이익이 민간투자자들에게 의해 적절하게 확보되었기 때문에, 그 기술의 성공에 있어서 투자단계가 부적절할 수 있으며, 정부에 의한 공공투자가 더 공정할 수도 있다.

3.4. 상업화 계획 수립 및 시행

3.4.1. 기술이전 프로그램의 강화

프로그램의 홍보임무 확대를 위한 더욱 강력한 지원을 제공하기 위해 정부는 민간기관에 의해 수행되었던 기존 프로그램의 효율성을 평가할 수 있어야 한다. 이것은 이들 프로그램의 성공의 척도를 정의하고 최신기술의 개발과 수용뿐만 아니라 환경보호를 관리하는 기관의 범위에 대해 수요자들과 협의하려는 두가지 임무와 연관이 있다.

확산 프로그램에 대한 정부의 평가를 실시하면서, 정부는 그 프로그램들을 강화시키고 보완하기 위한 통합된 전략을 개발해야 한다. 이런 전략은 규제받고 있는 업체의 다양한 품목 요구와 다중 매체 접근을 강조해야 한다. 이는 정부가 어떻게 가장 효과적으로 신뢰성 있는 기술정보를 보급할 것인지, 또한 어떻게 이 일에 관여하고 있는 다른 기관과 최상의 파트너 관계를 유지할 수 있는가와 같은 많은 문제를 해결하는 데 도움을 줄 수 있다.

3.4.2. 상업화계획의 추진

어떠한 기술들이 개발되는 것이 연속될 수 있을가에 관한 결정들은 각각의 결정 포인트에 적합하게 맞춘 기준에 기초를 두고 있다. 기술들이 실험실 규모(bench)에서 파이롯트 규모 그리고, 상업화 규모의 개발로 갈 때, 개발자는 그것들이 결정을 위해 요구되는 모든 인자들이 고려되었다는 것을 설명해야 한다.

상업화 계획은 진행중이며 진전적인 과정이다. 계획과정은 기술개발을 관리하고, 상업분야(commercial sector)로 이전하기 위한 조직적인 시도로 구성된다. 초기 단계 기술들을 위한 계획들이 불완전하고 대략적인 반면, 후반기의 계획들은 좀더 자세하고 정확하게 되어 있어야 한다.

상업화 계획은 확장된 감각에서, 프로젝트 관리자에게 가장 유용한 정보를 포함한다. 프로젝트 관리자가 자금지원 또는 공동의 제안을 위한 정보를 필요로 할 때, 관리자는 기초 정보의 부족이나 독자의 요구를 충족시켜 주는 것으로부터 벗어날 수 있다. 전체적인 계획은 다음을 포함한다.

- ① 프로젝트의 개요
- ② 프로젝트의 상태
- ③ 내부 요소
- ④ 외부 요소

기술 개발의 어떠한 단계이든 간에, 계획은 프로젝트의 목적에 대한 저자의 이해와 배경(context)에서의 목적들을 반영해야 한다. 상업화 계획은 과거의 기록과 현재의 평가, 그리고 미래의 계획을 포함하는 작업문서(working document)이다.

상업적 개발은 상업적 계획이 상업적 전개 내에서 그들의 참여를 가져오는 이러한 집단들의 여러 가지 종류의 질문들에 답하기 위해서 여러 종류의 집단, 흥미, 관련당사자들(stakeholders)의 참여가 요구된다.

좋은 상업화 계획은 상업적 기술개혁 과정의 필요성을 반영한다.

- ① 기술개혁 과정은 관리되어야만 한다.
- ② 기술개혁은 3가지 활동들(기술, 시장, 사업)을 포함한다.
- ③ 기술개혁은 개발의 3가지 단계(혁신적인, 기업적인, 관리의)를 통해 이동한다.
- ④ 상업적 기술개혁과정은 사용자의 요구를 기초로 한 상품 정의와 함께 시작한다.
- ⑤ 산업과 시장 분석들은 어떠한 기술들이 개발되고, 어떻게 이전하는가에 대해 결정되어야 한다.
- ⑥ 상업적 이전은 예상된 시장 크기, 통과되는 능력, 그리고 다른 시장의 요소들을 기초로 하여 이루어 진다.

3.4.3. 최신 기술의 확산 추진

국내외 시장의 요구사항과 이용가능성, 성능 그리고 최신 기술의 비용에 대한 정보를 교환하는 공공기관과 민간기관의 정보망의 능력과 효율성을 강화한다. 환경기술분야에서 더욱 효율적인 시장을 지원하기 위해 기술적 원조, 훈련, 교육, 정보관리를 제공한다.

최신 기술의 사업화 적용시 방해가 되는 장애를 극복하고 나서, 환경보호기술의 가능성이 현실화되고 그 기술의 개발자가 정당하게 보상을 받게 된다면 그 기술은 폭넓게 적용되어야만 한다. 파트너쉽과 최신 기술에 대한 정보를 수집하고 홍보하는 정보망을 강화시키면서 정부는 주요 고객에게 유용한 선택사항을 늘리고 기술개발자들이 그들 생산품의 질을 기반으로 해서 경쟁할 수 있다고 판단되는 국내 시장을 형성하도록 해야 한다. 정부는 최신 기술을 선호하는 자체 프로그램과 정부구매 프로그램의 사용을 장려해서 국내 수요를 촉진한다.

최신기술에 대한 시장수요가 높다면, 정보교환을 위해 강화된 파트너쉽과 메카니즘은 최신 기술의 확산을 부추길 것이다. 정부는 자발적으로 프로그램을 사용할 것을 장려하고 최신기술을 선호하는 프로그램의 구매를 통해 국내 수요를 촉진한다.

기술개발자들, 기술 공급자, 수요자, 정부기구, 고객들에게 정보를 알려주는 기타 후견인들 사이에서의 불충분한 정보교환은 환경기술시장의 효율성을 제한한다. 부분적으로 새로운 기술의 성능이 보통 사용되고 있는 기술보다 우수하지 않고 사용도 어렵기 때문에 새로운 기술 불완전한 시장에서 고전을 면치 못하고, 종종 여러 지역에서 활용되지 못하고 있다. 이들 시장의 비능률성은 환경문제를 다루기 위한 제도에 제한을 두게 되며, 기대에 미치지 못하는 보호효과를 가져올 수 있다.

규정단체에서는 일반적으로 감시위원들과의 불필요한 접촉을 피하고 있다. 왜냐하면 새로운 최신 기술의 성능에 대한 정부의 지식이 규제사항의 강화를 가져올 수도 있다는 걱정 때문이다. 이들 요인들은 정부가 기술확산에 있어서 중요한 역할을 하고 있다고 보여주고 있으나, 여러 경우에서 정부는 기업체들이 협력관계를 유지하고 있는 기관들과의 공조를 통해 일을 진행함으로써 해서 더욱 긍정적이고 적극적인 요인을 소유할 수 있어야 한다.

3.4.4. 중소기업에 대한 실질적인 지원

중소기업에 대한 지원은 다음 분야에서 실질적으로 이루어져야 한다.

(1) 기술지원(technical assistance)

정부는 중소기업에 한해서 기술의 확산을 위한 협조적이고 적합하게 계획된 지원을 해 주어야 한다. 이는 유망한 수요자들이 이해할 수 있는 형태로 확실한 기술적 정보를 확산시키기 위해 설계되어야 하며, 기존 기관의 전문가와 확산 조직망을 이용해야 한다.

정해진 지원을 위해 우선순위를 가지고 있는 산업부분을 확인하고, 중소기업이 단기간의 기술향상을 이해하고 사용할 수 있도록 지원하며, 민·관 파트너십을 조성하도록 하여야 한다. 이러한 기술지원 노력은 기술을 효과적으로 사용할 수 있는 능력을 배양시켜나가도록 하여야 하며, 기술지원장비를 적절히 사용할 수 있는 정보를 제공해주어야 한다.

(2) 공동연구의 수행(joint research with industry)

공기업, 대기업 그리고 비영리 연구단체로 구성되어 있는 연합체에 적극적으로 참여하게 하여 대상 산업에서 필요한 사항들에 적합한 기술적, 상업적 그리고 환경적 결정요인들을 이용할 수 있도록 하여야 한다.

또한, 중소기업에 한정하는 기술을 찾아내어 개발하는 민·관 파트너십을 위한 재정적 기술적 지원을 제공하여야 한다.

VII. 결론

산업이 발전함에 따라 매년 큰 폭으로 발생이 증가하는 유해폐기물은 환경에 배출되어 그대로 방치될 경우 환경에 심각한 영향을 미치게 되지만, 적절히 회수되어 처리되면 폐기물처리비용 절감과 생산업체에 대한 자원절약이라는 이중의 효과를 가지게 된다.

선진국에서는 자국의 실정에 맞는 고부가가치의 제품을 생산하는 자원화기술을 개발하여 상용화하고 있지만, 우리나라에서는 자원화기술의 대부분이 수거나 선별과 같은 기계 및 장비의 운영에 한정된 단순기술이 많아 자원화를 통해 생산되는 제품의 경제적가치를 높이지 못하고 있다. 따라서, 유해폐기물로부터 회수된 제품의 경제적가치를 높이고 강화되는 환경규제에 대응하기 위해서는 환경친화적인 자원화기술을 고급화하는 것이 필요하다.

그러나, 시간상 그리고 비용상 유해폐기물 전부를 다룰 수는 없지만, 유해폐기물 자원화기술은 성상에 따라 크게 분류할 수 있으므로 액상, 고상 및 반고상의 폐기물로 분류하여 이중 위해성이 크거나 발생량이 많은 품목을 대상으로 하였다. 이를 위해서 액상폐기물로는 폐유를 대상으로, 고상폐기물로는 분진을 대상으로, 그리고 반고상으로는 오니를 대상으로 하여 고급화방안을 도출하였다.

국내의 자원화기술이 낙후된 이유로 첫째는 기존 기술수준의 현저한 낙후성으로 1)보유특허건수가 매우 저조하며, 2)공공기관의 기술입수노력이 미흡하고 3)기술개발에 관련된 공조노력이 미흡하다는 것이다.

둘째는 기술개발을 위한 분위기 및 여건의 취약성이다.

셋째는 관련기술의 종합적 활용체계의 미흡으로 1)보유기술, 시설 및 전문인력이 취약하고, 2) 재활용사업체가 영세하다는 것이다.

외국에서의 자원화기술은 환경보전과 자원회수를 고려한 연구가 상당히 진전되고 있으며, 산업화에 이미 응용되고 있다. 외국에서 상용화된 자원화기술을 우리나라에서 발생하는 전기로 제강분진 및 폐유를 사용하여 국내적용의 가능성을 분석하였다. 국내에서 발생하는 대상폐기물은 특성이 다를 뿐만 아니라 기존 공정에 대한 특허사용 등의 문제를 가 있으므로 이를 해결하기 위하여는 기존의 기술을 그대로 적용하기보다는 이를 개량하거나 변형하여야 하며, 이를 위해서 새로운 기술의 개발이 이루어져야 한다.

이를 위해서 미국의 환경기술전략, 대체 및 혁신기술의 적용 현황을 살펴보았으며, 기술혁신을 위한 정부의 역할을 분석한 결과는 1) 정책, 규정 및 허가안을 적절하게 채택하는 것이며, 2) 기술개발자들과 수요자들의 능력을 강화시키는 것이며, 3) 기술의 개발과 사업화를 위해서 기금을 적절히 투자하는 것이며, 4) 새로운 기술이 확산될 수 있도록 적극 추진하는 것이다.

이를 바탕으로 유해폐기물을 재활용하는 자원화기술의 향상을 통하여 회수자원의 경제적가치를 향상시키며, 강화되는 유해폐기물에 관한 환경규제에 산업체가 적절히 대응할 수 있도록 재활용된 제품이 고부가가치를 가지면서 환경친화적이도록 자원화기술을 고급화하기 위해서 세부분으로 나누어 살펴보았다.

첫째, 대상폐기물을 중심으로 한 지원정책을 강화하는 것으로 1) 매립기준을 강화하고, 2) 재활용을 통한 발생자 책임을 강화해야 하며, 3) 국내 실정에 맞는 적용방안의 강구로 ① 재활용에 대한 인식부족을 해결하고 ② 실험실적인 검증을 거쳐 설비도입화가 이루어져야 하며, ③ 신규허가 기준을 강화하고 ④ 선박연료유나 디젤엔진의 연료유로의 적용을 확대시켜야 한다.

둘째, 정부가 주도하여 지원을 강화하는 정책을 시행하는 것으로 1) 정부주도로 공동기술의 개발을 추진하고 조정하여야 한다. 즉, G7 프로젝트를 정부의 재활용 중심의 시책에 부응되게 하기 위해서는 유해폐기물의 자원화를 위한 기술개발에도 많은 재원이 투자되도록 하는 조정이 필요하다. 2) 정부부처 및 관련당사자들의 협력을 바탕으로 진행되어야 한다. 즉, 기술개발에는 정부, 공공기관 그리고 산업체 사이에서의 협력이 요구되므로 환경기술의 응용과 상업화에 영향을 미치는 규정과 제도상의 요구를 극복하기 위해서 다른 정부부처와 관련당사자들(stakeholder)과 협력이 필요하다. 3) 특정기술의 분화에 따른 재활용단지를 조성해야 한다. 즉, 각각의 재활용업체가 일부 공정에 대한 기술개발은 가능하므로 각각의 재활용업체가 공동으로 기술개발에 투자하여 각 공정에 대한 특화를 유도하는 것이다. 4) I/A제도를 적용하기 위한 개선된 적용 기준의 설정이 필요하다. 즉, 이를 위해서 ① 운영상의 신뢰도가 향상되어야 하며, ② 독성물질의 관리가 향상되어야 하며, ③ 환경적인 이익이 증진되어야 한다.

셋째, 기술혁신을 위한 지원정책으로 1) 자원화기술의 개발과 사용을 증가시키기 위한 규정과 자발적인 프로그램을 개선하여야 한다. 즉, 정부는 기술혁신을 위해 보다 친숙한 프로그램을 제작하기 위해서 노력하여야 한다. 2) 허가과정을 체계화하고 확인하는 시스템을 개선하여야 한다. 이를 위해서 ① R&D, 테스트, 평가, 최신 기술의 사용을 위한 허가과정을 체계화하여야 하며, ② 기술성능 데이터를 개발하고 확인하는 시스템을 개선하여야 한다. 3) 기술개발자들에 대하여 협조하는 자세로 자금을 제공하여야 한다. 이를 위해 정부는 R&D 자금을 위해 전략적으로 유망한 기술을 설정하기 위해서는 자신들의 능력을 강화해 나가야 한다. 4) 기술개발 이후의 상업화를 위한 계획을 수립하고 강력히 시행하여야 한다. 상업화 계획은 기술개발을 관리하고, 상업분야(commercial sector)로 이전하기 위한 조직적인 시도로 이루어져야 하며, 중소기업에 대한 실질적인 지원이 있어야 한다. 이를 위해서 ① 정해진 지원을 위해 우선순위를 가지고 있는 산업부분을 확인하고, 중소기업이 단기간의 기술향상을 이해하고 사용할 수 있도록 지원하며, 민·관 파트너십을 조성하도록 하여야 하며, ② 공기업, 대기업 그리고 비영리 연구단체로 구성되어 있는 연합체에 적극적으로 참여하게 하여 대상 산업에서 필요한 사항들에 적합한 기술적, 상업적 그리고 환경적 결정요인들을 이용할 수 있도록 하여야 한다.

참고문헌

- Al-Ahmad, M. I. and Al-Mataz, I.S., 『Resources, Conservation and Recycling』, 6, 71
- Binkman, D. W., 『Lubrication Engineering』, 324
- Carol M. Browner, 『EPA's Technology Innovation Strategy』, EPA Journal, Fall 1994.
- Charles A. Wentz, 『Hazardous Waste Management』, Mc.Graw- Hill, 1995.
- Clean Japan Center, 『Recycling of Industrial Waste in Japan』, 1992.
- EPA, 『Innovative and Alternative Technology Assessment Manual』, 1978.
- EPA, 『Report to Congress on the Effectiveness of the Innovative and Alternative Wastewater Treatment Technology Program』, 1989.
- EPA, 『EM's Fundamentals of Technology Transfer』.
- EPA, 『Used Oil Analysis and Waste Oil Furnace Emissions Study』, EPA-456/95-001
- Herbert F. Lund, 『The McGraw-Hill Recycling Handbook』, McGraw-Hill, New York, 1993.
- J.A.T. Jones, 『New Steel Melting Technologies』, I&SM, Jan, 1999.
- Julian Szekely and Gerado Trapaga, 『Some Perspectives on New Steelmaking Technologies』, Metallurgical Plant and Technology International [4], 1994.
- Karl-Heinz Bauer, et. al., 『Recycling of Iron and Steelworks Wastes Using the Inmetco Direct Reduction Process』, Metallurgical Plant and Technological International [4], 1990.
- Karvelas, D.E. and Daniels E. J., 『Used Oil Disposal and Recycling in the United States』, ANL/ESD/TM-52
- MacEwen, S., 『Motor Oil and Antifreeze in Pollution Prevention Handbook』, Ed. by T. E. Higgins, Lewis Publishers (1995)
- Mckeagan, D., 『Lubrication Engineering』, 418
- Pieter W. van Rij, et. al., 『Dezincing of Steel Scrap』, Iron and Steel Engineer, 4, 1997.
- Pratt, E., 『U.S. EPA on Recycling』, 『Waste Age』, 1991. 12.
- Tomas E. Higgins, 『Hazardous Waste Minimization Handbook』, Lewis Publishers, 1989.
- Siemon, D. M. et al., 『Conservation & Recycling』, 3. 25
-
- 安田八十五, 「리사이클의 經濟學」, 『廢棄物』, Vol.20, No.2, pp 90~96, 1994.
- 安田八十五, 「미국의 리사이클링 現況」, 『廢棄物』, Vol.19, No.214, pp 100~108, 1993.
-
- 고인용, 「전기로 Dust 처리현황과 향후 추진 방향」, 『철강보』, 9월호, 1998.
- 김주원, 『耐流動對策用 아스콘 채움재로서 제강더스트의 활용에 관한 연구시험보고서』, 1994.
- 대한상공회의소, 『산업폐기물 재자원화 확대방안』, 1992.
- 대한상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.
- 도갑수 외, 『산업폐기물의 발생원에 따른 물리화학적 특성』, 한국폐기물학회지, 제14권 제3호, 1997.

반봉찬, 박현서, 『산업폐기물의 고부가가치화』, 월간폐기물, 1996.

박선기, 『석유와 윤활유』, 1996

배재흠, 「폐윤활유 재활용 현황과 최신기술」, 『화학공업과 기술』, 16권, 1호, pp30~40, 1997.

배재근 외, 『하수슬러지의 성분분석에 의한 적정처리방안의 검토』, 한국폐기물학회지, 제15권, 제3호, 1998.

산업기술정보원, 『산업폐기물의 처리와 자원화 기술동향』, 1991.

상원리싸이클링(주) 내부자료, 『제강분진 재활용 기술안내』, 1997.

안미희 외 2인, 「매립用 EAF Dust에 대한 시멘트의 고정화 효과」, 『한국폐기물학회지』, 14권, 3호, pp221~225, 1997.

이환노, 박현서, 「전기로 분진의 특성 및 자원화기술」, 『월간폐기물』, 4월호, pp 42~51, 1996.

이호태, 『슬러지 처리기술 및 처리시설(Ⅱ)』, 1997.

전관수, 『슬러지 처리기술 및 처리시설(Ⅰ)』, 1997.

정선모, 『윤활공학』, 동명사

한국신철강기술연구조합, 『전기로 제강 Dust 처리기술 개발연구』, 1997.

한국자원연구소, 『아스콘 채움재로의 제강 Dust의 사용 특성에 관한 연구』, 1995.

한국자원재생공사, 『외국의 폐기물관리 및 재자원화 관계법』, 1992.

한국자원재생공사, 『자원화대상폐기물의 관리체계개발』, 1994.

한국자원리싸이클링학회, 『자원리싸이클링의 실제』, 1994.

한국폐기물학회, 『폐기물처리기술과 재활용』, 동화기술, 1995.

환경부, 『환경기술발전 촉진 업무처리 요령』, 1999.

환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1997.

환경부, 국립환경연구원, 『G-7 환경공학기술개발사업』, 1996.

부록 I. 미국의 환경기술전략

기술의 혁신은 미국의 국가적 환경 목표뿐만 아니라 국제적인 환경 목표를 성취하는데 필수적인 것으로 인식하고 있다. 따라서 현재와 앞으로 다가올 21세기에는 국가의 환경 목표 성취를 위해 기존의 기술에 대한 지속적인 의존보다 더 많은 것이 필요하다. 이를 위한 미국의 전략은 새로운 기술의 개발과 사용에 따른 보상을 강화할 것을 보증하며, 이를 위해 행정기관의 노력을 요구하고 있다.

EPA에서는 장기적인 환경기술전략을 디자인하고 수행하기 위해서 다음의 3가지 측면에서 노력하고 있다.

- 강력하고 현실에 민감한(sensible) 환경정책 개발
- 환경기술에 대한 투자와 혁신 조장
- 미국 보유 기술의 수출 증가

I-1. 강력한 환경정책

행정기관에서는 환경정책을 수행하기 위해서 중요한 동반자관계(Partnership)를 형성하고 있으며, 최소한의 비용으로 최대한의 공공위생과 환경보호를 보장할 수 있는 “재발명(reinventing)” 환경보호의 임무를 떠맡고 있다. 따라서 오염이 발생되기 전에 새로운 오염 방지법을 찾아서 전체 생태계를 관리해야 한다. 이러한 접근을 위한 대표적인 예가 상식적 주도계획(Common Sense Initiative)으로서 환경전체에 미치는 결과에 초점을 둔 환경정책을 기본으로 디자인한 프로그램이다.

상식적 주도계획은 1994년 7월에 착수되었으며, 오염원 하나하나를 관리하는 환경보호시스템과는 기본적으로 다르다. 즉, 6개 산업체(자동차산업, 제강·제철산업, 전기와 컴퓨터 산업, 금속도금산업, 인쇄산업, 기름정유산업)의 환경에 대한 영향 전체를 분석하며, 각 산업체에 대한 성공, 실패, 문제점, 환경규정에 대한 만족도 등을 분석한다.

I-2. 환경기술에 대한 주도적 역할

현재 미국이 보유한 기술만으로는 오늘날의 많은 환경문제를 해결하기에는 부적절하므로 공공위생적인 측면과 환경적인 측면 두 가지 모두를 고려하기 위해서는 보다 경제적이고 향상된 새로운 기술이 요구된다.

따라서 EPA에서는 환경신기술의 진보를 위한 대규모 프로그램을 착수하여 기술혁신전략(Technology Innovation Strategy: TIS, 1994년 1월 공식적으로 유포됨)을 마련하였다. 이는 미국의 환경기술산업을 자극하고 수출능력을 키워서 미국과 해외에서 환경보호를 위한 여러 가지 방안을 증가시키려는 노력이 통합된 계획안이다.

기술혁신전략은 EPA가 선봉이 되어서 혁신기술의 개발과 판매를 위해서 사업장에게 오염 방지기술을 사용하도록 권장함으로써 미국의 경쟁력을 증가시키고 빠른 기술시장을 장악할 수 있도록 한다. 또한 환경기술연구와 프로그램 개발을 책임지고 조정하는 일을 한다.

I-3. 수출조장

환경기술에 대한 세계시장은 현재 3,000억 달러이며, 2000년경에는 6,000억 달러 가까이 증

가될 것으로 예상된다. 미국의 사업자들은 이러한 세계시장에 대한 경쟁력을 키워 놓고 있으며, 생산품에 대한 보다 많은 거래를 형성함으로써 기술자들을 위한 일자리(환경기술개발 업체)도 많이 형성하고 있다.

환경기술의 수출을 조장함으로써 경제적인 이득을 얻을 수 있도록 하는 전략을 마련하기 위해서 EPA에서는 환경관련 업체에게 기술적인 조언을 해주고, 환경 프로젝트에 대한 수출 자금 조달을 확장시키고 있다.

I -4. 텍사스주의 사례

혁신기술 프로그램은 유용하고 혁신적인 기술의 이용을 판정하고 권장하는 것이며, 지정된 (designated) 기술들의 list, 혁신기술과 관련된 허가 또는 프로젝트의 기술적인 검토에 대한 지원이나 우선권, 규칙검토, 관련직원(staff) 교육, 국가지원 등을 통해서 수행된다.

1) 조직

혁신기술프로그램은 책임엔지니어(Chief Engineer) 사무실에서 담당하고 있으며, 정부기관에서 규정된 모든 매체(대기, 수질, 고형폐기물, 유해폐기물 등) 프로그램내에서 혁신기술정책의 수행을 조정한다.

또한 정부기관에서 허가한 프로그램을 대표하는 15개의 그룹회원으로 구성된 혁신기술위원회가 있다. 이 위원회는 혁신기술목록으로의 포함 여부 결정과 프로그램의 방향 설정 등을 위하여 매달 1회 소집된다.

2) 혁신기술로서의 지정

혁신기술로서 지정하는 과정으로는 필기재료(written material), 관련직원 검토, 기술판매자의 기술소개(프리젠테이션), 총평(comment) 준비, 혁신기술위원회의 검토 등이 수반된다.

또한 이 과정의 처음 3사항은 정부기관에 소개하기 위한 기술판매자들의 대한 예비접촉으로서도 이용된다. 프로그램 관련직원들은 적정프로그램이 정부기관에 알려져 있고 기술에 대한 설명도 되었음을 확인하기 위하여 검토사항을 조정한다.

3) 허가과 프로젝트 검토

일단 지정이 되면, 혁신기술정책은 혁신기술과 관련되는 모든 프로젝트와 허가신청이 기술검토에서 우선되어질 것을 요구한다. 이로써 기술관계자로부터 그 기술에 대한 즉각적인 관심을 받게 된다. 또한 신기술과 표준 정부기관 허가업무에 혁신기술프로그램 관련직원은 관심을 가지고 도움을 주기 위해서 프로젝트를 지켜본다.

정부기관에 의하여 혁신기술로서 지정되고 기술검토가 우선적으로 된다고 해서, 허가가 바로 되는 것은 아니다. 모든 허가과 승인은 해당 프로그램 관련직원에 의해서 검토되어야 하며, 모든 정부기관의 규칙들과 법규가 혁신기술에 대해 적용된다.