

KEI/1998
기본과제 연구보고서

유해폐기물 재활용산업의 활성화 방안 - 고형폐기물을 중심으로 -

1998. 12

이희선



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

序 言

산업이 발전함에 따라 유해폐기물의 발생이 매년 큰 폭으로 증가하고 있습니다. 유해폐기물은 일반폐기물과는 달리 유해한 물질을 다량 함유하고 있으므로, 환경오염을 방지하기 위해 철저한 안정화처리가 필수적이지만, 국내기술 수준상 철저한 안정화처리가 어려우며, 산성비 등에 의한 국내의 자연적인 용출조건의 악화로 2차오염의 가능성이 높습니다. 그러나, 적절히 회수되어 처리되면 자원으로 재활용될 가능성이 높아 폐기물의 자원으로의 재활용은 사회 전체의 폐기물처리비용 절감과 생산업체에 대한 자원절약효과라는 이중의 효과를 가지게 됩니다.

이에 본 연구에서는 폐기물의 감량, 2차오염의 방지 및 유용 자원의 절약을 달성하고자 고품폐기물을 중심으로 침체되어 있는 유해폐기물을 이용한 재활용산업을 활성화시킬 수 있는 방안을 모색하여, 재활용기술 개발, 재활용원료의 경제성 및 재활용단지 확보를 위한 방안이 제시되었습니다. 그리고 본 연구의 결과가 정부에서 추진하는 폐기물재활용정책에 효율적으로 활용되었으면 하는 바램입니다.

끝으로 본 연구를 맡아 수행한 李熙宣 博士와 자료정리 및 편집을 맡아준 具滋貞 研究員에게 감사를 표합니다. 그리고 바쁘신 와중에도 불구하고 본 연구의 검토와 조언을 해주신 朴庚鎬 博士, 李承熙 博士, 李昊重 事務官, 張基福 博士, 全仁洙 博士, 朱眩洙 博士의 노고에 감사를 표합니다. 아울러 본 연구의 내용은 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해를 밝히 드립니다.

1998 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	2
II. 폐기물의 유해성	4
1. 유해폐기물의 피해 실례	4
2. 유해폐기물의 정의	4
3. 유해성분의 유해성과 저해사례	6
3.1. 납 또는 그 화합물	6
3.2. 구리 또는 그화합물	7
3.3. 비소 또는 그 화합물	9
3.4. 수은 또는 그화합물	10
3.5. 카드뮴 또는 그 화합물	12
3.6. 6가 크롬화합물	14
3.7. 시안화합물	15
3.8. 유기인화합물	16
3.9. 테트라클로로에틸렌	16
3.10. 트리클로로에틸렌	16
4. 재활용의 중요성	17
III. 재활용산업 현황	21
1. 국내 유해폐기물의 현황	21
1.1. 발생현황	21
1.2. 처리현황	21
1.3. 재활용현황	22
2. 국내의 품목별 고품 유해폐기물의 세부현황	29
2.1. 분진	29
2.2. 폐주물사	31
2.3. 폐석면	34
2.4. 폐촉매	35
3. 외국의 품목별 고품 유해폐기물의 세부현황	37
3.1. 분진	38
3.2. 폐주물사	39
3.3. 폐석면	40
3.4. 폐촉매	41
4. 국내 재활용 업체의 현황	42
4.1. 폐기물 재활용 업체현황	42
4.2. 폐기물 재생처리허가 및 신고업체 세부현황	44
IV. 유해폐기물 재활용의 저해요인	48
1. 유해폐기물 재활용의 저해요인	48

1.1. 재활용 기술의 수준저하	48
1.2. 재활용 자원의 시장성	51
1.3. 재활용 용지의 확보	52
2. 유해폐기물 재활용의 문제점	56
2.1. 기술상의 문제점	56
2.2. 재활용 원료상의 문제점	57
2.3. 용지확보의 취약성	60
2.4. 경영상의 문제점	61
V. 고품질 유해폐기물 시험방법 및 재활용 기술	62
1. 유해폐기물의 관리체계	62
2. 용출시험 방법	62
2.1. 국내의 폐기물 공정시험법	62
2.2. 미국의 용출시험방법	63
3. 용출시험방법의 비교	67
4. 가용 기술	68
4.1. 단순 재활용 기술 (저급기술)	68
4.2. 유용성분 회수기술 (고급기술)	69
4.3. 고품질화 기술	72
4.4. 재활용기술의 혼용사용 예	73
5. 국내 재활용 기술현황	74
VI. 품목별 특성 및 재활용 기술 현황	76
1. 분진	76
1.1. 분진의 유해성	76
1.2. 분진의 특성	76
1.3. 발생 및 처리시 문제점	77
1.4. 재활용의 필요성	78
1.5. 재활용 기술	78
1.6. 국내의 재활용 기술	82
1.7. 외국의 재활용 기술	83
1.8. 재활용 기술상의 문제점	87
2. 폐주물사	87
2.1. 폐주물사의 유해성	87
2.2. 폐주물사의 특성	88
2.3. 발생 및 처리상의 문제점	91
2.4. 재활용의 필요성	91
2.5. 재활용 기술	92
2.6. 국내의 재활용 기술	94
2.7. 외국의 재활용 기술	94
2.8. 재활용상의 문제점	98
3. 폐석면	100
3.1. 폐석면의 유해성	100

3.2. 석면의 특성	103
3.3. 발생 및 처리상의 문제점	106
3.4. 재활용의 필요성	106
3.5. 재활용 기술 현황	107
4. 폐촉매	107
4.1. 폐촉매의 유해성	107
4.2. 폐촉매 발생	107
4.3. 촉매공업의 동향	108
4.4. 촉매의 특성	110
4.5. 폐촉매의 발생 및 처리상의 문제	113
4.6. 재활용의 필요성	113
4.7. 재활용 기술	114
4.8. 외국의 재활용 기술(RDS폐촉매 처리업체 현황)	115
4.9. 재활용 기술상의 문제	117
VII. 고품 유해폐기물의 유통체계 분석	118
1. 폐기물의 순환	118
1.1. 소순환시스템과 대순환시스템	118
1.2. 각 시스템의 장단점	118
2. 국외 폐기물 교환제도 현황 및 문제점	119
2.1. 일본의 현황, 시사점 및 문제점	119
2.2. 미국의 현황 및 시사점	122
2.3. 필리핀의 현황 및 시사점	123
2.4. 독일의 현황 및 시사점	124
2.5. 프랑스의 현황 및 시사점	125
2.6. 각국의 폐기물 교환정보 등록·알선 및 교환실적	126
2.7. 각국의 폐기물 교환제도의 문제점	126
3. 국내 폐기물 교환제도의 현황 및 문제점	127
3.1. 폐기물 교환제도의 현황	127
3.2. 각 부분별 문제점	127
VIII. 재활용단지 조성	129
1. 단지조성을 위한 법제 및 절차	129
1.1. 단지설치 근거 및 절차 등 준거법(準據法)	129
1.2. 부지 취득을 위한 법제	129
1.3. 시설의 설치에 관한 법제	130
2. 입지선정에 관련되는 법제	131
2.1. 재활용 사업장 설치시 제약이 되는 법률	131
2.2. 법제의 문제점	132
3. 재활용단지 조성의 필요성	133
3.1. 사회·경제적 측면	133
3.2. 환경적 측면	135
4. 재활용 단지 입지 여건	135

4.1. 기본여건	135
4.2. 폐기물의 분리시설	136
4.3. 처리시설	137
IX. 고품폐기물 재활용 지원정책	138
1. 국내의 폐기물 재활용 산업정책	138
1.1. 재활용 촉진정책	138
1.2. 재활용산업 지원제도	138
2. 선진국의 폐기물 재활용 산업정책	141
2.1. 각국의 관련법규 및 정책 분석	141
X. 재활용산업 활성화 방안	145
1. 재활용기술 개발의 적극 추진	145
1.1. 정부주도의 공동기술 개발 추진 및 조정	145
1.2. 신기술지정제도의 도입 및 지원강화	146
1.3. 폐기물의 종류별 분리·배출의 강화	147
1.4. 재활용 용도 및 자원대책 수립	147
1.5. 현실적으로 사용가능한 재활용기술의 적극적인 권장	147
1.6. 유해폐기물의 매립기준 강화	148
1.7. 국내에 적용가능한 기술의 도입	148
1.8. 작업자의 교육강화	148
1.9. 재활용 사업계획의 의무화	149
1.10. 공공구매제도의 확대	149
1.11. 재활용제품의 품질관리 강화	149
2. 재활용자원의 경제성 향상	150
2.1. 폐기물교환제도의 주체선정	150
2.2. 환경부과금의 지원	150
2.3. 자원재활용의 경제성 보장	151
2.4. 재활용원료의 원활한 수급	151
3. 재활용 부지확보난 해소	151
3.1. 재활용단지의 발생지 부근의 설립	152
3.2. 특정기술의 분화에 따른 재활용단지 조성	152
3.3. 입지수용을 위한 지원	153
4. 재활용업체에 대한 금융 및 세제지원의 강화	154
4.1. 금융지원의 확대	154
4.2. 세제지원의 확대	154
XI. 결론
<참고문헌>
부록 I : 분진의 매립처리시 고품화에 대한 용출실험	159
부록 II : 시멘트 경화체와 열화에 관한 이론	161

부록Ⅲ: 아스콘 채움재에 대한 국내·외	166
부록Ⅳ: 주형법의 종류와 특성	173
부록Ⅴ: 폐주물사 재활용에 관한 연구	175
부록Ⅵ: 석면으로 인한 질병(진폐증)	176
부록Ⅶ: 석면시멘트	178
부록Ⅷ: 축매의 종류와 용도	182
부록Ⅸ: CATnap Process	189

< 표 목 차 >

<표Ⅱ- 1> 미국의 유해폐기물 분류체계	5
<표Ⅱ- 2> 우리 나라 지정폐기물의 종류	6
<표Ⅱ- 3> 납화합물의 종류와 용도	8
<표Ⅱ- 4> 구리화합물의 종류와 용도	8
<표Ⅱ- 5> 무기수은화합물의 종류와 용도	11
<표Ⅱ- 6> 유기수은화합물의 종류와 용도	11
<표Ⅱ- 7> 카드뮴화합물의 종류와 용도	13
<표Ⅱ- 8> 크롬산화합물의 종류와 용도	15
<표Ⅱ- 9> 시안화합물의 종류와 용도	15
<표Ⅱ-10> 우리 나라 폐기물관리법상의 고형화 기준	19
<표Ⅲ- 1> 지정 폐기물 발생량 현황	23
<표Ⅲ- 2> 지정 폐기물 처리 현황	24
<표Ⅲ- 3> 지정 폐기물 처리주체별 현황	25
<표Ⅲ- 4> 시도별 재활용 현황	26
<표Ⅲ- 5> 관리청별 재활용 현황	28
<표Ⅲ- 6> 국내 전기로제강용 고철소비량 및 제강분진 발생량 현황	29
<표Ⅲ- 7> 국내의 지역별 주물생산 기업체 현황	31
<표Ⅲ- 8> 우리 나라 폐주물사 장래 발생량 추정	31
<표Ⅲ- 9> 마천주물공단내 폐주물사 일반현황	33
<표Ⅲ-10> 국내 년도별 수입량	34
<표Ⅲ-11> 국가별 수입량	34
<표Ⅲ-12> 국내에서 사용되는 석면제품 현황	35
<표Ⅲ-13> 국내 정유사의 중질유 경질화 설비 규모	36
<표Ⅲ-14> 중질유 경질화공정에서 발생하는 폐촉매의 양	36
<표Ⅲ-15> 일본 산업폐기물의 최종처분량, 감량화량, 재생이용량의 추이	37
<표Ⅲ-16> 2000년도의 석탄회 발생량 예측	38
<표Ⅲ-17> 유효이용 상황	39
<표Ⅲ-18> 1995년 국가별 석면 생산량 및 소비량	40
<표Ⅲ-19> 1995년 캐나다의 수출량	41
<표Ⅲ-20> 폐기물 재활용 처리 허가 및 신고업체 현황	42
<표Ⅲ-21> 폐기물 재활용업체 현황	43
<표Ⅲ-22> 재활용업체의 연도별 변화 현황	43
<표Ⅲ-23> 시·도별 재생제품 제조업체 현황	44
<표Ⅲ-24> 시·도별 수거·운반업체 현황	45
<표Ⅲ-25> 시·도별 폐기물 재활용업체의 세부현황	46
<표Ⅲ-26> 폐기물별 재생처리업체 현황	47

<표IV- 1> 산업폐기물 재활용기술 보유현황	48
<표IV- 2> 보유 특허건수	49
<표IV- 3> 산업폐기물 재활용기술의 입수경로	49
<표IV- 4> 기술입수원	50
<표IV- 5> 기술개발과 관련한 관심도	50
<표IV- 6> 재활용원료의 사용비율	51
<표IV- 7> 신원료대비 재활용원료의 구입가격비	52
<표IV- 8> 입지유형	52
<표IV- 9> 입지지역	53
<표IV-10> 재활용단지 입주회사(업종별)	53
<표IV-11> 재활용단지 입주회사(매출액규모별)	54
<표IV-12> 재활용단지 입주조건에 대한 만족도	54
<표IV-13> 정부의 금융지원 전반에 대한 평가	55
<표IV-14> 정부의 금융지원 종류별 만족도	55
<표IV-15> 정부의 세제지원 개별시책에 대한 만족도	57
<표IV-16> 국산 재활용원료 이용시 애로사항(업종별)	58
<표IV-17> 국산 재활용원료 이용시 애로사항(품목별)	68
<표V- 1> 각 용출 시험방법의 비교	75
<표V- 2> 주요 폐기물처리기술 분야별 국내기술 개발동향	77
<표VI- 1> 탄소강 제조시 발생분진의 화학조성 분석결과	77
<표VI- 2> 제강분진의 아스콘 채움재료의 재활용 현황	82
<표VI- 3> 전기로 제강분진의 처리산물 화학조성	85
<표VI- 4> 상용화된 처리방법별 장·단점	86
<표VI- 5> 국내 대표적 폐주물사 화학성분	89
<표VI- 6> 국내에서 사용되고 있는 주물사의 종류	91
<표VI- 7> 조형(造型) 프로세스와 재생난이도	92
<표VI- 8> 폐주물사 재활용 연구동향	93
<표VI- 9> 폐주물사의 건식재생법	93
<표VI-10> 주물사 중 지하수 오염발생 가능 물질	97
<표VI-11> 석면, 암면, 유리면의 유·무해성 관련비교	101
<표VI-12> 한국산업규격상 석면함유제품	103
<표VI-13> 석면의 화학조성비	105
<표VI-14> 사용에 따른 분류	105
<표VI-15> 세계 촉매시장 추이 및 전망	109
<표VI-16> 주요국가의 촉매시장구조	109
<표VI-17> 1987년의 미국촉매시장의 세부구조	109
<표VI-18> 국내 촉매제조회사 현황	110
<표VI-19> 국내 촉매시장의 수급추이와 전망	110
<표VI-20> 주요한 촉매와 그 용도	112
<표VI-21> 폐촉매 처리업체 현황	113
<표VI-22> 폐촉매 재활용 기술	115

<표VI-23> 주요 회사의 처리공정 비교	117
<표VII- 1> 각국의 교환정보 등록·알선 및 교환실적	126
<표VII- 2> 각국의 폐기물 교환제도의 문제점	126
<표VII- 3> 자원재생공사의 폐기물 유통제도의 실적	127
<표VIII- 1> 재활용폐기물 자원화에 따른 에너지 절약효과	135
<표IX- 1> 재활용산업육성 자금지원 현황	141
<표X- 1> G-7프로젝트의 핵심기술 대상과제 및 투자액	146
<표X- 2> 수도권내 공장 신·증설 허용범위	153

< 그림 목 차 >

<그림Ⅲ-1> 제강 분진의 발생 위치도	30
<그림 V-1> 국내의 폐기물 공정 시험법	63
<그림 V-2> EPT 시험법	64
<그림 V-3> TCLP 시험법	66
<그림 V-4> MEP시험법	67
<그림 VI-1> 전기로 제강분진 처리	78
<그림 VI-2> 주물공장내 주물사의 처리공정도	90
<그림 VI-3> 석면의 종류와 구성성분	104
<그림 VII-1> 산업폐기물의 순환시스템	118

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

산업이 발전함에 따라 유해폐기물의 발생이 매년 큰 폭으로 증가하고 있다. 즉, '94년부터 '96년 사이에 '94년을 100으로 기준할 때, 각각 120.1, 141.5로 증가하였다. 유해폐기물은 일반폐기물과는 달리 유해한 물질을 다량 함유하고 있으므로, 환경에 배출되어 그대로 방치될 경우 수질과 토양오염, 그리고 대기오염 및 악취 등으로 환경에 심각한 영향을 미치게 되며, 이를 처리하는 데 막대한 비용과 시간이 소요되게 된다.

OECD 및 바젤협약의 가입으로 유해폐기물의 처리를 위한 국가간이동이 금지됨에 따라 국내에서의 처리가 필수적이다. OECD는 폐기물을 3종류로 분류하여 유해폐기물로 분류되는 재활용목적의 황색 및 적색폐기물은 OECD회원국에서 비OECD회원국으로의 국가간이동에 대해 규제한다. 그러나, 바젤협약에서는 규제를 더욱 강화하여 2종류로 분류하여 유해폐기물로 분류되는 목록 A에 속하는 폐기물에 대해서는 재활용목적이라 하더라도 부속서Ⅶ 국가로부터 그 외의 국가로의 국가간이동을 전면 금지한다. 더군다나, 국내의 「폐기물의 국가간이동 및 그 처리에 관한 법률」에 고시된 황색 및 적색품목의 유해폐기물은 수출과 수입이 전면 금지된다.

유해폐기물의 소각처리는 처리비용이 많이 들고 대기오염 등의 2차오염의 문제가 있으며, 매립처리는 제한된 토지와 수질 및 토양오염 등의 2차오염 문제를 안고 있다. 게다가 이러한 폐기물 처리시설을 혐오시설로 인식하여 폐기물 처리시설의 설치를 반대하는 NIMBY현상의 팽배로 시설의 설치가 매우 어려운 형편이다. 또한, 유해폐기물은 환경오염을 방지하기 위해 철저한 안정화처리가 필수적이지마는, 국내기술 수준상 철저한 안정화처리에는 많은 비용이 소요될 뿐만 아니라 철저한 안정화도 어려우며, 산성비 등에 의한 국내의 자연적인 용출조건의 악화로 2차오염의 가능성이 높다.

이러한 유해폐기물은 환경에 배출되어 그대로 방치될 경우 환경에 심각한 영향을 미치게 되지만, 적절히 회수되어 처리되면 자원으로 재활용될 가능성이 높아 폐기물의 자원으로의 재활용은 사회 전체의 폐기물 처리비용 절감과 생산업체에 대한 자원절약 효과라는 이중의 효과를 가지게 된다. 유해폐기물의 배출억제를 위해서는 청정생산기술 개발을 통한 폐기물발생 억제와 자원재활용을 통한 감량화의 방법이 있는데, 현재 우리기업의 기술수준에서 청정생산기술체제로의 이행은 상당히 장기간의 준비기간을 필요로 하고 있어 현재로서는 재활용을 통한 감량화가 현실적으로 실천가능한 방안일 것이다.

따라서, 폐기물문제에 대한 현실적이고 효과적인 해결책으로 제시되는 것이 폐기물의 재활용을 통한 원천적인 감량화방안이다. 폐기물의 재활용은 폐기물과 관련된 세가지 문제, 즉 자원부족, 매립지 부족, 소각에 따른 대기오염 등의 문제를 가장 효과적으로 해결할 수 있는 것으로, 자원절약과 환경오염방지의 두가지 효과를 동시에 기대할 수 있는 길이다.

유해폐기물의 재활용이 가져다 주는 경제적 이익은 첫째, 사회 전체가 부담하는 환경오염비용의 절감효과이다. 우리나라와 같이 국토가 협소한 국가에 있어서는 폐기물 매립지 확보가 지극히 어려운 실정이다. 또한 폐기물의 소각처리는 2차오염 가능성이 크며, 무공해상태의 소각처리는 현재 우리의 기술수준으로는 엄청난 비용이 요구되기 때문에 실질적인 한계에 부딪혀 있다. 이러한 상황에서 폐기물의 재활용을 통한 폐기물배출량의 원천적 감량화는 우리

사회가 부담하여야 할 막대한 환경오염비용을 절감하게 한다. 특히 폐기물로 인한 오염비용의 절감은 직접적으로 기업의 경영비용을 줄임으로써 기업이윤을 향상시키게 된다. 둘째, 폐기물의 재활용은 원자재공급량을 늘려서 원자재의 가격하락을 유도하게 되며, 이것은 생산업체에 대한 재료비 절감과 제조원가 인하로 이어지게 된다. 원자재 수입의 감소에 따른 국제수지상의 이득이나 원자재산업에 투입되는 생산요소의 이익률이 보다 높은 타산업에의 전환으로 인하여 기대되는 경제적 이득은 부차적인 산물이다. 결국 폐기물 재활용의 증대는 국가경제적으로 생산성향상이라는 경제효율상의 이득을 가져다 준다. 셋째, 폐기물의 재활용을 통한 감량화는 기업의 생산수율을 높이는 데 기여한다. 생산과정에 투입되는 원자재 중 생산물로 전환되지 못하고 버려지는 폐기물은 생산과정에서 손실로 나타나게 되며, 이러한 폐기물의 발생량은 생산수율과 직접적인 관계가 있다. 생산과정의 부산물로 발생하는 폐기물은 생산수율과는 직접적인 관계는 없지만, 기술의 내용에 따라 생산효율과 간접적인 관계가 있다. 즉, 생산시설내의 폐기물의 누적은 생산시설의 공간활용에 제약을 주게 되어 생산효율을 떨어뜨리게 되는데, 폐기물의 재활용은 기업의 이러한 공간효율을 높이는 데 기인할 뿐만 아니라 자체 발생폐기물을 사업장 내에서 활용하게 됨으로써 자원의 수송, 보관에 따른 경비절감을 통한 생산효율의 향상에 기여하게 된다. 이와 같이 폐기물의 재활용은 자원부족, 매립지와 소각장 확보의 어려움, 소각과 매립에 의한 2차오염 등의 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 해결책이다.

유해폐기물 중 폐산, 폐알칼리, 폐유기용제 및 폐유 등의 액상계 유해폐기물은 60~70% 정도 재활용이 되어 소각이나 매립비율보다 크다. 그러나, 분진, 폐석면, 폐주물사 및 폐촉매 등의 고형 유해폐기물은 일반폐기물에 비하여 성상이 비교적 일정하고 수거가 용이하여 재활용 가능성이 높으나, 실제로는 10~30%로 낮다. 이와 같이 고형 유해폐기물의 재활용이 낮은 이유는 많은 이유가 있겠지만, 재활용산업의 규모가 영세하고 재활용기술이 낙후되었으며, 발생처와 사용처를 연결시켜주는 유통체계가 확립되지 않아 대부분이 위탁처리업체를 통하여 최종처리하며, 폐기물 처리시설이 부족하여 재활용하지 못하기 때문이다.

그러나, 폐기물 재활용산업의 장기적 전망은 밝은 편이다. 앞으로 환경에 대한 국내외적 수요가 증가하고 환경기준이 강화되면 폐기물 처리에 대한 사회적비용이 증가하게 되고 이러한 폐기물 처리비용이 신규자원을 이용한 제품생산비용으로 포함되면 재활용자원의 경제성이 향상될 것이다. 또한, 자원의 무분별한 사용으로 자원고갈현상이 나타나게 되어 재활용자원에 대한 수요증가가 일어나 재활용산업의 수익성이 증대되고 이윤을 추구하는 기업의 참여로 폐기물 재활용산업은 성장을 할 것이다. 따라서, 일정기간에 걸친 적절하고도 적극적인 지원이 되면, 유해폐기물 재활용산업은 크게 성장하여 기간산업으로 자리를 잡을 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구는 폐기물의 감량, 2차오염의 방지 및 유용 자원의 절약을 달성하고자 고형 폐기물을 중심으로 침체되어 있는 유해폐기물을 이용한 재활용산업을 활성화시킬 수 있는 방안을 모색하고자 하였다.

2. 연구의 범위

폐기물관리법에서는 폐기물을 생활폐기물과 사업장폐기물로 대분류하여 발생원별 관리에 효율을 기하고 있다. “생활폐기물”이라 함은 사업장 폐기물외의 폐기물을 말하며 “사업장 폐기물”은 공업배치 및 공장설립에 관한 법률 제2조 제1호의 규정에 의한 공장으로서 대기환경보전법·수질환경보전법 또는 소음·진동규제법의 규정에 의하여 배출시설을 설치·운영하는

사업장 및 그 외에 지정폐기물을 배출하는 사업장, 폐기물을 1일 평균 300kg 이상 배출하는 사업장, 폐기물을 1회 1톤이상 배출하거나 일련의 공사·작업등으로 인하여 폐기물을 1주에 1톤이상 배출하는 사업장에서 발생하는 폐기물을 말한다.

사업장폐기물은 일반 및 지정폐기물로 분류된다. 사업장 일반폐기물은 가연성과 불연성으로 나뉘고, 가연성은 종이류, 나무류, 폐합성고분자화합물(폐합성수지, 폐합성섬유, 폐합성고무, 폐합성피혁, 기타 폐합성고분자화합물), 오토류(정수장오니, 폐수처리오니, 공정오니), 동식물성 잔재물, 동식물성 폐식용유로 분류된다. 또한 불연성은 광재, 연소재, 분진류, 금속·초자류, 건축물폐재류, 모래류, 폐석회·폐석고로 분류된다.

지정폐기물은 사업장폐기물 중 폐유·폐산 등 주변환경을 오염시킬 수 있는 유해한 물질로서 대통령령이 정하는 폐기물을 말한다. 현재의 국내 지정폐기물 분류체계를 보면, 목록·명명화된 것이 2종(폐유기용제류, 폐석면), 발생원에 따른 것이 2종(폐합성고분자화합물, 오토), 특성에 의한 것이 4종(폐산, 폐알칼리, 폐유, 폐농약), 용출시험에 의한 독성물질에 관한 것이 9종(광재, 분진, 폐주물사 및 샌드블라스트폐사, 폐내화물 및 도자기편류, 소각잔재물, 안정화 또는 고형화처리물, 폐촉매, 폐흡착제 및 폐흡수제, PCB), 그리고, 기타가 1종(환경부장관이 지정·고시하는 유해한 폐기물)이다.

이와 같은 유해폐기물 전부를 대상으로 하기에는 품목이 다양하고 특성이 크게 다르므로 성상이 비교적 일정하고 수거가 용이하여 재활용 가능성이 높은 고형폐기물을 대상으로 하였다. 위에서 살펴본 바와 같이 고형폐기물도 그 범위가 넓고 품목이 많아서 시간상 그리고 비용상 전부를 다룰 수 없으므로 위해성이 크거나 재활용이 미미한 품목인 분진, 폐석면, 폐주물사 및 폐촉매에 대해 중점을 두어 연구하고자 하였다.

유해폐기물 재활용사업을 활성화시키기 위해서는 경제적인 측면, 사회적인 측면, 기술적인 측면 그리고 제도적인 측면 등의 다양하고 종합적인 측면을 모두 고려하여야 한다. 그러나, 이를 모두 포함시키기에는 시간상, 비용상 제약이 있으며, 경제적인 측면과 사회적인 측면에 대해서는 많은 연구가 진행되어 왔다. 따라서, 본 연구에서는 그 동안 많은 연구가 되어 오지 않았으며, 깊게 고려되지 않은 기술적인 측면과 제도적인 측면에 대해 중점을 두고 연구하고자 하였다.

II. 폐기물의 유해성

유해폐기물의 부적정처리시 발생하는 사고는 환경이나 인간에게 미치는 피해가 크고 치명적이기 때문에, 그 피해를 회복시키는 데는 엄청난 시간과 재정을 필요로 하게 된다. 유해폐기물은 거의 모든 산업공정으로부터 발생된다. 즉, 가죽, 피혁 제품으로부터 최첨단 전자제품에 이르기까지 유해폐기물을 발생시키고 있으며, 그 발생량 또한 해마다 증가하고 있다.

1. 유해폐기물의 피해 사례

1978년 미국의 Love Canal 사건으로, 화학폐기물 매립장으로부터 인근지역에 여러 가지 공해문제를 발생시켜, 1978년 8월 초등학생이 토양 및 수질오염으로 사망하게 되었다. 미국 정부에서 이 Love Canal의 정화작업에만 약 1억 달러를 지출하게 되었으며 국가의 비용부담하에 그곳 지역 주민들을 다른 지역으로 이주시켰다.

일본의 도야마 현에서 발생한 이따이이따이병은 허리, 사지 등 전신이 매우 쭈시고 아프며, 더욱 진행되면 다리를 펴거나 오므릴 수 없게 되고 기침을 하거나 물체에 부딪히면 뼈가 부스러지거나 변형을 일으키며, 전신이 아픈 병으로 카드뮴의 만성중독에 의하여 신장장애가 일어나고 다음에 골연화증을 가져오며, 임신, 수유, 내분비의 변화, 노화 및 영양성분으로서 칼슘 등의 부족이 원인이다. 우리 나라에서도 1988년 6월 아연도금공장에서 근무하던 작업자가 온몸에 기운이 빠지고 치아가 누렇게 변색되는 증세를 보여 오다가 카드뮴이 농축되어 이따이이따이병 증세를 나타내며 사망하였다.

일본의 구마모토현 미나마타시에서 발생한 미나마타병은 손발이 마비되고 말을 할 수 없으며, 시야가 망원경을 거꾸로 들여다 보이는 것 같이 좁게 보이는 시력장애를 일으키는 병으로 신일본질소비료공장에서 내보낸 메틸수은이 어패류에 축적되어 그 어패류를 먹어서 발생한 것이다.

우리나라에서 발생한 비중격천공(코의 통로를 2개로 분리하는 연골이 뚫리는 현상)은 6가크롬에 의해 일어나는 것으로 1988년 경인지역의 도금공장에서 24명의 중독환자가 발생하였고 1985년 울산공단의 한 도금공장에서 일하던 작업자에게도 발생하였다.

2. 유해폐기물의 정의

철저한 유해폐기물 관리시스템을 운영하고 있는 미국의 경우, RCRA(Resource Conservation and Recovery Act)에서 유해폐기물을 정의하고 있다. 유해폐기물이란 고형 폐기물로서 양, 농도, 물리적, 화학적 특성 또는 전염성 때문에, ① 치명적인 사망률의 증가나 회복불가능한 질병을 일으키는 것 또는, ② 부적절하게 처리되거나, 저장, 운송 또는 처분될 때, 인체나 환경에 잠재적인 유해성을 제공하는 것으로 정의하고 있으며, 규제대상 유해폐기물목록으로 약 850종에 걸쳐서 제시되고 있다. 또한, 인화성, 부식성, 반응성, 용출시험(TCLP)에 의한 독성 중 한가지 이상의 특성을 갖는 폐기물을 유해폐기물이라고 정의하고 있다. 그리고 독성에 의해서 나타나는 증상으로 ① 치사(Excess mortality: 치명적 죽음), ② 발병성(Morbidity: 병에 걸림), ③ 발암성(Oncogenicity: 종양을 발생시킴), ④ 기형성(Teratogenicity: 다음 세대의 기형적 출생), ⑤ 변이성(Mutagenicity: 3세대이후에도 계속해서 기형적 획득 성질이 나타남) 등을 제시하고 있다. 이러한 유해폐기물들은 <표II-1>에 나타내었다.

그러나, 우리나라 폐기물관리법에서는 사업장폐기물 중에 환경이나 인간에게 유해성을 가지는 폐기물에 한정시켜서 지정폐기물을 유해폐기물로 명시하고 있다. 폐기물관리법에 나타난 정의는, ‘지정폐기물이라 함은 대기환경보전법, 수질환경보전법, 소음진동 규제법의 규정에 의하여 배출시설을 설치, 운영하는 사업장 및 기타 대통령령이 정하는 사업장에서 발생하는 사업장폐기물중 폐유, 폐산등 주변환경을 오염시킬 수 있는 유해한 물질로서 대통령령이 정하는 폐기물’이라고 규정하고 있다. 이러한 물질들은 폐산, 폐알카리, 폐유, 폐유기용제, 폐합성 고분자 화합물, 폐석면, 광재, 분진, 폐주물사 및 샌드브라스트 폐사, 폐내화물 및 도자기편류, 소각잔재물, 안정화 또는 고형처리물, 폐축매, 폐농약, 폴리클로리네이티드비페닐 함유 폐기물, 오니의 17종과 기타 주변환경을 오염시킬 수 있는 유해한 물질로서 환경부장관이 지정·고시하는 물질이다. 이러한 지정폐기물의 종류는 18종으로 분류되어 제시되고 있으며, 이를 <표II-2>에 나타내었다.

<표II-1> 미국의 유해폐기물 분류체계

대분류	중분류	분류기준		종류수
유해폐기물 (Hazardous Waste)	지정폐기물 (Listed Waste)	발생원	불특정발생원 F code	28종
			특정발생원 K code	95종
		폐화학물질	급성 유해폐기물 P code	122종
			독성폐기물 U code	240종
		기타		390종
	특성폐기물 (Characteristic Waste)	<ul style="list-style-type: none"> • 인화성 : 화점이 60℃ 이하인 액체, 알콜농도가 24%이하의 수용액은 제외 • 부식성 : pH 2 이하 12.5 이상인 액체, 강철 부식율이 연간 6.35mm 이상 부식시키는 액체 • 반응성 : 물과 반응하여 폭발 또는 폭발성반응을 일으키는 물질, 물과 반응하여 유해가스, 증기 등을 발생시키는 물질 • 독 성 : 용출시험 TCLP에 의해 기준치를 초과하여 유해물질을 용출하는 폐기물 - 39종 		

<표 II-2> 우리 나라 지정폐기물의 종류

지정폐기물		구	분
폐 산		pH 2.0 이하인 것	
폐알칼리		pH 12.5 이상인 것	
폐 유		기름성분 5%이상 함유한 것 (PCB함유 폐기물 및 동식물성 폐식용유 제외)	
폐유기 용제	할로겐족	디클로로메탄 등 염소 불소계 화합물 15종	
	비할로겐족	벤젠 등 43종	
폐합성 고분자 화합물	폐합성수지	합성수지 제조업의 제조공정에서 발생하는 것	
	폐합성고무	합성고무 "	
	폐 페인트 및 페락카		
폐 석 면		석면의 개조, 가공시 또는 공작물·건축물의 제 거시 발생하는 것	
광 재 분 진		환경부령이 정하는 유해물질을 함유한 것 <환경부장관이 정하는 유해물질 함유기준>	
폐주물사 및 샌드블라스트폐사		항목	농도(mg/l)
폐내화물 및 도자기편류		Pb	3
소각잔재물		Cu	3
안정화 또는 고형화처리물		As	1.5
폐 축 매		Hg	0.005
폐 흡착제 및 폐 흡수제		Cd	0.3
		Cr ⁺⁶	1.5
		유기인	1
		TCE	1
		ThCE	1
폐 농 약		농약제조, 판매시 발생하는 것에 한함	
PCB	액 상	PCB를 50 mg/l 이상 함유한 것	
	액 상 이외의 것	PCB 용출시험결과 50mg/l 이상 함유한 것	
오 니	폐수처리 오 니	수분함량이 95%미만이거나 고형물 함량이 5% 이상인 것중 환경부령이 정하는 물질을 함유한 것으로 환경부장관이 지정,고시하는 사업장에서 발생되는 것	
	공정오니		
기타 환경부장관이 지정·고시하는 유해한 폐기물			

3. 유해성분의 유해성과 저해사례

국내 폐기물 관리법에 의하면 유해폐기물의 종류는 18종이며, 이들에 함유된 유해물질을 보면, 납 또는 그 화합물, 구리 또는 그 화합물, 비소 또는 그 화합물, 수은 또는 그 화합물, 카드뮴 또는 그 화합물, 6가크롬 화합물, 시안화합물, 유기인 화합물, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌의 10종이 있다. 이들 각각의 유해성, 저해사례 및 산업적인 용도를 자세히 설명하고자 한다.

3.1. 납 또는 그 화합물

3.1.1. 유해독성

인화성·폭발성의 경우를 보면, 화합물 자체는 화재, 폭발의 위험성이 없으나 화재시에 분해되어 산소를 방출한다. 인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도는 무기납화합물 0.15mg/m³(납으로서), 비산납 0.15mg/m³(Pb₃(AsO₄)₂로서), 크롬산납 0.05mg/m³(크롬으로서), 납화합물 0.1mg/m³이며, 1일에 0.5mg이상 흡수하면 축적되어 독성을 나타내고 0.5g 흡수하면 치명적이다.

급성중독의 증상은 사지의 마비와 산통이 특징이며 안면 창백, 구토, 설사, 혈변, 신장장애를 일으켜서 1~2일에 사망한다. 만성증상으로는 피로, 두통, 사지의 감각장애, 경련, 배뇨장애 등을 일으킨다.

3.1.2. 저해사례

- 강제압연공장에서 연도료가 칠해져 있는 스크랩강재의 재생압연작업에 종사하고 있던 작업자가 중독되어 권태, 위장장애, 빈혈 등의 증상을 호소하였다.
- 화학공장에서 염비안정제인 스테아린산납을 분상에서 입상으로 하는 설비로 변경했는데 잔류 비산분진을 흡입하여 작업자 2명이 권태, 빈혈을 일으켰다.
- 콘덴사 제조공장에서 용접작업에 의하여 만성납중독이 발생되었다.
- 윤활유 제조공장에서 광물유의 첨가제인 산화납의 투입작업에 종사하는 작업자가 만성납중독에 걸렸다.
- 납의 용해, 정제, 주조 및 납축전지의 해체작업에 종사한 작업자가 납만성중독에 걸렸다.
- 인쇄소에서 23년간 문서작업에 종사한 작업자가 만성납중독을 일으켰다.

3.1.3. 납화합물의 종류와 용도

주요 화합물로는 금속납, 산화납, 질산납, 황산납, 비소납 등 16종이 있으며 주로 합금용, 안료, 염료, 납유리용에 사용되며, 살충제, 농약에도 사용된다. 화합물들과 각각의 용도는 <표II-3>과 같다.

3.2. 구리 또는 그화합물

3.2.1. 유해독성

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도가 흡 0.1mg/m³, 분진과 미스트 1mg/m³이며, 피부에 접촉하면 피부염을 일으키고, 모발과 피부의 변색을 일으킨다. 눈, 코를 자극하고 고농도의 구리

가루로 인하여 기도자극이 일어나며, 염증발생, 치아의 착색, 소화관 천공, 간과사, 위장장애, 요독증, 경련, 혼수상태 등의 증상이 일어난다. 또한 혈색소 합성에 관여하며 그 외에 철 흡수, 성장촉진, 색소침착, 조직방어 등의 작용을 하고 부족할 때에는 빈혈을 일으킨다.

<표 II-3> 납화합물의 종류와 용도

물 질 명	화 학 식	용 도
금속납	Pb	합금용, 활자용, 땀질, 수도관
일산화납	PbO	납유리용, 고무가황제
이산화납	PbO ₂	축전지용
4산화 3납 (연단, 땀명단)	Pb ₃ O ₄	납유리, 방청페인트
질산납	Pb(NO ₃) ₂	각종 연염제조용
황산납	Pb(SO ₄)	안료
비소산납	Pb ₃ (AsO ₄) ₂	살충제, 농약용
크롬산납	PbCrO ₄	안료
수산화납	Pb(OH) ₂	안료
염화납	PbCl ₂	
탄산납(연백)	PbCO ₃	
규산납	PbSiO ₃	납유리
티탄산납	PbTiO ₃	그림도구
붕산납	Pb(BO ₂) ₂	페인트건조제
아세트산납	(CH ₃ CO ₂) ₂ Pb	안료, 염료
스테아린산납	(C ₁₇ H ₃₅ CO ₂) ₂ Pb	염화비닐의 안정제

자료: 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.

3.2.2. 저해사례

- 하역작업에서 구리분진을 흡입하여 비안후염과 설사를 일으켰다.
- 구리가루의 하역 중 두통, 토기, 현기증상을 일으킨다.

3.2.3. 화합물의 종류와 용도

무기동염류, 초산구리, 질산구리, 황산구리, 염화제일구리의 5종의 주요 화합물이 있으며 이들 각각은 <표 II-4>와 같이 살충제, 분석시약, 산화제, 촉매 등에 주로 사용되고 있다.

<표 II-4> 구리화합물의 종류와 용도

물 질 명	화 학 식	용 도
무기동(구리)염류	Cu(CH ₃ COO) ₂ , Cu(NO ₃) ₂ , Cu(SO ₄) ₂ , CuCl	안료, 전지용, 도금용, 탄닝제(피혁), 매염제, 의약품, 살충제, 산화제, 분석시약, 페인트, 방부제
초산구리	C ₄ HeCuO ₄	섬유공업, 날염제, 살충제, 분석시약
질산구리	CuN ₂ O ₆ , Cu(NO ₃) ₂	촉매, 매염제, 살충제, 분석시약, 동염류의 제조
황산구리	CuO ₄ S, Cu(SO) ₂	의약품, 도금용, 매염제, 살충제, 분석시약, 산화제
염화제일구리	ClCu	염소화 촉매, 살충제, 프타로시아닌부류의 원료

자료: 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.

3.3. 비소 또는 그 화합물

3.3.1. 유해독성

치사량은 120mg으로 되어 있으나 20mg에서 사망한 경우도 있다. 분진, 흙을 흡입하였을 경우 유독하며 두통, 권태, 오심, 구토, 호흡곤란을 일으키며 심할 경우 폐수종, 급성신부전을 일으키고 사망할 수도 있다. 피부에 묻었을 경우 피부염, 궤양, 피부비후, 소톱변질 등이 유발되며, 눈에 들어갔을 경우 점막을 자극하여 결막염을 일으킨다. 접촉에 의해 피부나 코에 중증을 일으키고 경구 급성중독시는 위와 심장 등에 심한 자극과 회복이 힘들 정도의 장애를 준다. 공업적 중독은 아비산, 비산연 등의 분진과 비소화합물 증기흡입에 의해 탈모증, 피부염, 점막염증, 신경염, 운동마비 등을 일으킨다.

3.3.2. 저해사례

- 일본에서는 과거에 아비산, 구리 등의 광석을 채굴하고 이를 제련하던 미야자키현 도로쿠 광산 및 시마네현 세곡 황산지대에서 비소에 의한 만성 중독 환자가 발생하여 조사해본 결과, 광산주변에는 비소가 함유된 폐석, 광재 등이 널려져 있어 지하수, 우물, 하천, 토양이 오염되어 있었으며 제련시 굴뚝을 통해 연기와 함께 퍼져 나간 먼지속에 비소가 포함되어 광산에서 일하던 사람이나 광산 주변 지역에서 오래 살던 주민 7명이 만성중독환자로 판명되었다. 그외 아비산 공장에서 나온 폐수에 의해 우물이 오염되어 92명의 만성 중독환자가 발생하였고 농업용 비산석회가 간장에 오염되어 417명의 급성중독 환자가 발생한 사건도 있었다.
- 1900~1901년 영국에서는 6,000명이 비소에 중독되었고, 그 중 70명이 사망한 사건이 발생하였는데, 조사결과 비소로 오염된 맥주 때문인 것으로 밝혀졌고 맥주 중에 15ppm의 비소가 포함되어 있었다. 사고원인은 맥주발효원료인 포도당이 비소로 오염되었기 때문이며 포도당은 설탕이나 전분을 산으로 가수분해하여 제조하는데, 이때 사용되는 황산이 아비산을 함유하고 있었으므로 결국 포도당에 비소가 혼입되었고 이 황산은 비소를 함유한 활철광을 사용하여 제조되었기 때문인 것이다.
- 1991년 일본에서는 우유를 마시던 어린 아이들이 집단적으로 열이 나고 식욕을 잃으며 심하게 토하거나 설사를 할 뿐만아니라, 종기가 나거나 피부가 검게 변하는 증상을 나타내고 임상적으로 빈혈과 간이 커지는 것을 발견할 수 있었다. 조사결과 모리나가 유업주식회사의 도쿠시마 공장에서 만들어낸 우유중에 비소가 들어있음이 밝혀졌다. 사고원인은 우유제품의 유질 안정제로 사용하던 제2인산나트륨에 비산나트륨이 불순물로 들어있었다. 이 사고로 12,131명의 중독환자 발생, 그 중 131명이 사망하였으며 아직도 그 당시의 중독으로 인해 후유증으로 고생하고 있다.

3.3.3. 용도

합성첨가원소(저순도), 반도체(고순도), 의약품의 원료, 특수유리나 납의 경화제, 살충제 등에 사용된다.

3.4. 수은 또는 그화합물

3.4.1. 수은

(1) 유해독성

수은 자체는 폭발성이 없지만, 아세틸렌·암모니아와 반응하여 폭발성이 있는 수은 아세틸리드나 수은과 질소의 화합물을 생성한다.

인체에 미치는 영향을 보면, 주로 경피 흡수되는데 수은증기를 흡입하면 식욕부진, 두통, 두중, 전신권태, 경미한 몸떨림, 불안 기타 정신이상 등이 일어난다. 피부를 통해서 흡수되기도 한다.

(2) 저해사례

- 질산 6~7cc를 칼럼에 주입하여 수은아말감을 소제하고 있었는데 1분후에 반응하여 폭발을 일으켰다.
- 수은화합물의 제조공장에서 중간시험에 종사하고 있던 자가 두통, 잇몸염증 등의 중독증상을 일으켰다.
- 계기제조공장에서 계기에 수은을 봉입하는 작업을 9년간 계속한 작업자가 수은중독으로 진단되었다.
- 화학공장에서 염화비닐프렌트의 해체작업에 종사한 용접공 12명이 수은중독을 일으켰다.
- 아세톤 수용액제 조정조(수은이 들어있는 것)의 해체작업 중 용접의 열로 증발한 수은 증기를 마셔 중독되었다.

(3) 용도

전해용전극, 금·은의 추출용, 수은염류의 제조, 수은등, 의약품·안료·농약의 제조, 아말감, 촉매

3.4.2. 무기수은화합물

(1) 유해독성

퇴산제2수은은 발화성, 폭발성이 있다. 특히 건조한 것은 가열, 충격, 마찰로 극히 단시간에 발화한 후 폭발한다. 이외 기타 화합물에서는 발화성, 폭발성이 없다.

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도 0.1mg/m³이고, 경피흡수된다. 식욕부진, 발열, 중추신경병, 불안과 정신이상 및 경미한 몸떨림, 전신권태, 시야협착 등의 증상이 나타난다.

(2) 화합물의 종류와 용도

<표II-5>와 같이 산화수은, 질산수은, 티오시안산수은, 퇴산수은, 황화수은 등의 화합물이 있으며, 주로 촉매, 의약품, 시약의 용도로 사용되고 있다.

3.4.3. 유기수은화합물

(1) 유해독성

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도는 아킬화합물이 0.01mg/m³이고, 경피흡수된다. 작업장(또는 농약살포)에서 발생하는 유기수은중독은 각종 수은화합물의 증기, 분진 또는 용액 미스트의 흡입에 의하여 일어나고 있다. 유기수은은 체내에서 혈구와 결합하는 것이 많고 그 증상의 특징은 중추신경의 침해, 또는 피로감, 사지·수족·혀의 마비 등의 증상이 수주간 잠복후에 나타난다.

<표 II-5> 무기수은화합물의 종류와 용도

물 질 명	화 학 식	용 도
산화 제2수은 (황색산화수은)	HgO	의약품, 시약
산화 제2수은 (적색산화수은)	HgO	수은전지, 산화제, 의약품, 시약
질산 제1수은	Hg ₂ (NO ₃) ₂	
질산 제2수은	Hg(NO ₃) ₂	
황산 제1수은	Hg ₂ SO ₄	축전지, 촉매
황산 제2수은	HgSO ₄	촉매
티오시안산 제2수은	Hg(SCN) ₂	화화
퇴산 제2수은(퇴광)	Hg(ONC) ₂	점화약, 점폭약
황화 제2수은 (적색황화수은, 진사)	HgS	적색안료, 의약품

자료: 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.

(2) 재해사례

일본에서는 1953~1972년 미나마따만 주위 및 1964~1965년의 당해 하천유역에서 공장폐수 중의 유기수은이 어패류를 통하여 인체에 침입하여 다수의 중독자 및 사망자를 내어 큰 사회 문제가 되었다.

(3) 화합물의 종류와 용도

주요 화합물과 그 용도는 <표 II-6>과 같으며, 기타 페닐 페네틸수은, 디나프틸메탄디술폰 산수은, 페닐수은, 디메틸디티올칼바민산페닐수은 등 20여종이 있으며 농약과 의약품에 사용된다.

<표 II-6> 유기수은화합물의 종류와 용도

물 질 명	화 학 식	용 도
아세트산페닐수은	C ₆ H ₅ HgOCOCH ₃	농약(도열병)
메톡시에틸염화수은	CH ₃ OCH ₂ CH ₂ HgCl	농약(중자소독, 살포용)
인산에틸수은	(C ₂ H ₅ Hg) ₂ HPO ₄	농약(중자소독, 살포용)
염화페닐수은	C ₆ H ₅ HgCl	농약(중자소독, 살포용)
페닐수은파라톨루엔 술폰아니리드		농약(중자소독, 살포용)
에틸수은파라톨루엔 술폰아니리드		농약(중자소독, 살포용)

자료: 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.

3.4.4. 아킬수은

(1) 유해독성

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도가 $0.01\text{mg}/\text{m}^3$ (수은으로서)이며, 주로 경피흡수되며 피부로 흡수되기도 한다. 사업장(또는 농약살포)에서 발생하는 유기수은 중독은 각종 수은화합물의 증기흡입 및 용액의 미스트흡입으로 일어난다. 유기수은은 체내에서 혈구와 결합하는 것이 많고 그 증상의 특징은 중추신경을 침해한다. 또한 다리, 수족, 혀, 입술의 마비 등의 증상이나 피로감이 수주간 잠복기를 두고 나타난다.

(2) 저해사례

- 항만하역작업 중에 드럼에서 에틸수은이 누설되어 중독을 일으켰다.
- 에틸염화수은을 사용하여 왁센 등의 방부제 제조에 종사하고 있던 근로자에게서 뇨중 수은함량이 높게 나타났다.
- 수은계 농약의 제조에 종사하고 있던 근로자 4명이 두통, 식욕부진, 변비를 호소해와 이 중 1명은 손이 떨리고 필서곤란의 상태였다.
- 메틸수은의 경우는 미나마타병으로서 많은 사람이 피해를 받고 있다.

(3) 종류와 용도

메틸수은, 에틸수은, 에틸염화수은이 있으며, 시약, 의약품, 농약 등에 사용된다.

3.5. 카드뮴 또는 그 화합물

3.5.1. 카드뮴 화합물

(1) 유해독성

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도는 카드뮴분진과 그 염의 경우 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 이고, 마시면 급성위장염의 증상을 일으킨다. 분진이나 흙을 흡입하면 기침, 가슴압박, 호흡곤란이 되어 기관지염과 폐염을 일으키는 수가 있으며, 두통, 현기, 식욕부진, 체중감소를 수반하는 경우도 있다. 2년 이상의 장기폭로의 경우는 만성중독으로 되며, 폐부종, 신장해, 골변화, 단백뇨가 보인다.

(2) 저해사례

- 테레프탈산합성반응조에서 카드뮴촉매가 부착된 부분의 가스절단중 카드뮴흙을 흡입하여 8명이 중독되었고, 또한 이와 유사한 작업에서도 3명이 중독되었고 그중 1명이 사망했다.
- 아연도금 작업자가 발생된 카드뮴연무를 흡입하여 중독을 일으켜 입원했다.
- 카드뮴으로 오염된 농작물을 장기간 섭취한 사람이 만성중독을 일으켰다.
- 연합금제조작업 중 원재료에 함유되었던 카드뮴의 흙을 흡입하여 급성폐염과 기관지염을 일으켰다.
- 폐기처분된 카드뮴합금 취급장치를 가스용단으로 해체작업중 발생한 카드뮴 흙으로 기관지염을 일으켰다.
- 이따이이따이병으로 많은 사람이 피해를 받고 있다.

(3) 화합물의 종류와 용도

주요 화합물로 금속카드뮴, 황산카드뮴, 질산카드뮴, 탄산카드뮴, 염화카드뮴, 스테아린산카드뮴 등이 있으며 이들 각각의 용도는 <표II-7>과 같으며, 주요 용도로는 전지용 촉매와 카드뮴화합물의 제조원료가 있다.

<표II-7> 카드뮴화합물의 종류와 용도

물 질 명	화 학 식	용 도
금속카드뮴		축합금용과 금속피복용, 고순도 카드뮴은 전자공업·원자로재료
황산카드뮴	Cd(SO ₄)	전지용, 도금, 분석용시험·카드뮴정동의 중간생성물
질산카드뮴	Cd(NO ₃) ₂	안료, 사진유제, 전지촉매, 기타카드뮴화합물의 원료
탄산카드뮴	CdCO ₃	염화비닐안정제, 황화카드뮴 제조 원료
염화카드뮴	CdCl ₂	
스테아린산카드뮴	Cd(C ₁₇ H ₃₅ COO) ₂	

자료: 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.

3.5.2. 산화 카드뮴

(1) 유해독성

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도가 카드뮴 흡수로서는 0.05mg/m³, 산화카드뮴제품으로서 0.05mg/m³, 카드뮴으로서 0.05mg/m³이다. 카드뮴 중독은 아연, 카드뮴 정련, 합금경련시에 산화카드뮴의 흡수 흡입함으로서 일어나는 경우가 많고, 기침, 재채기, 구토, 현기, 발열, 호흡곤란을 일으키며, 심할 때에는 폐염으로 사망하는 경우가 있다. 카드뮴로의 煙塵(카드뮴화합물 24%, 아연화합물 3%, 연화합물 3.6%, 비소 0.06% 정도)은 점막을 자극하고, 재채기, 위통, 구토를 일으킨다.

(2) 재해사례

테레프탈산 합성반응조에 카드뮴촉매가 부착된 부분을 가스용단 중 산화카드뮴 흡수 흡입하여 중독을 일으켜 3명이 중독되고 그 중 1명이 사망했다.

(3) 용도

카드뮴 도금용, 도자기의 유약, 카드뮴화합물의 제조원료로서 사용된다.

3.5.3. 황화카드뮴

(1) 유해독성

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도가 0.05mg/m³(카드뮴으로서)이고 불용성으로 인하여 경구폭로 및 호흡기 폭로에서의 체내흡수 여부는 비검토상태이며, 분진폭로에 의한 호흡기 증상은 거의 없다.

(2) 용도

플라스틱안료, 그림물감, 종이, 고무착색료, 유리·도자기·법랑용, 안료, 페인트, 인쇄잉크 등에 사용된다.

3.6. 6가 크롬화합물

3.6.1. 크롬

(1) 유해독성

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도가 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 이며, 기타 크롬화합물에 비해 중 크롬산 등의 6가 크롬의 장해가 큰데, 장기적으로는 규명되어 있지 않으나 불순물과 반응부산물에 주의할 필요가 있다. 크롬 및 크롬분진의 흡입으로 폐장해의 염려가 있으며, 용해성 크롬화합물은 피부병을 일으키고, 기타 눈과 소화기관에 염증을 일으킨다.

(2) 저해사례

- 크롬도금공에게 비중격천공이 발생되었다.
- 5~6년정도 크롬도금작업에 종사한 근로자가 피부염증상이 생겼다.
- 1989년 김해의 비행기 정비공장에서 페인트 제거작업중 페인트에 함유된 크롬성분에 의하여 비중격천공이 발생되었다.

(3) 화합물의 종류와 용도

금속크롬, 크롬명반, 염화제2크롬 등이 있으며, 크롬은 특수강 등의 합금·도금에 사용되고 화합물로서는 산화제, 촉매, 사진, 안료, 피혁무두질 등에 사용된다.

3.6.2. 크롬산염

(1) 유해독성

강산화제이므로 각종 유기물이나 환원제와 접촉되게 되면 심하게 반응하여 발화 또는 폭발을 일으키는 경우가 있다.

인체에 미치는 영향을 보면, 허용농도는 $0.05\text{mg}/\text{m}^3$ 이고, 6가 크롬은 강한 산화성을 가지며 피부·점막을 강력히 부식시키고 피부염 및 크롬과민을 일으키고, 분진이나 미스트를 흡입하면 염증이나 과민 또는 비중격천공을 일으킨다. 크롬으로 인한 폐암의 발생 위험도 있다.

(2) 저해사례

일본에서는 크롬산 제조공장의 유소견자 1,780명중 폐암환자 27명(사망자 22명) 그리고 크롬제련회사의 유소견자 1,204명 중에서 폐암환자 15명이 발견되었다. 이 사람들의 근속연수는 9~35년 이었다.

(3) 화합물의 종류와 용도

주요 화합물로는 <표Ⅱ-8>과 같이 크롬산, 크롬산나트륨, 크롬산칼륨, 중크롬산, 중크롬산나트륨, 중크롬산칼륨 등이 있으며 이들은 주로 산화제, 촉매, 안료로서 사용되며, 도금, 사진, 피혁무두질, 석판인쇄 등의 과정에서도 사용된다.

<표 II-8> 크롬산화합물의 종류와 용도

물 질 명	화 학 식	용 도
크롬산	H_2CrO_4	산화제, 도금, 촉매, 사진, 안료, 어망염색, 피혁무두질, 석판인쇄
크롬산나트륨	Na_2CrO_4	
크롬산칼륨	K_2CrO_4	
중크롬산	$H_2Cr_2O_7$	
중크롬산나트륨	$Na_2Cr_2O_7$	
중크롬산 칼륨	$K_2Cr_2O_7$	

자료: 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.

3.7. 시안화합물

(1) 유해독성

분진, 증기를 흡입했을 경우 중추신경을 마비시키고 HCN은 혈액중의 헤모글로빈과 결합하여 헤모시아닌을 생성, 헤모글로빈의 산소 운반 작용을 저해하여 질식증상을 일으킨다. 두통, 폐의 자극, 의식상실을 서서히 일으키며, 심할 경우 폐수종, 호흡억제, 혈압감퇴, 반사억제, 동공확대 등의 증상이 나타난다. 피부로 흡수될 경우 전신독성을 나타낼 수도 있다.

(2) 화학물의 종류와 용도

주요 화합물과 각각의 용도는 <표 II-9>와 같다. 시안화나트륨, 시안화아연, 시안아세트산에틸, 시안아미드 등 11종이 있으며, 이들은 주로 살충제, 도금약품, 안료, 분석시약, 유기합성원료로서 사용되며, 화학전 독가스, 각종 제품의 원료로도 사용되고 있다.

<표 II-9> 시안화합물의 종류와 용도

물질명	화학식	용도
시안화나트륨	CNNa	도금약품, 환원제, 금의 청화정련, 그목의 소입, 살충제, 비닐리텐수지, 안료, 분석용 시약, 사진약품, 메니오닌
시안화아연	C_2N_2Zn	살충제, 의약품, 도금약품, 분석시약
시안아세트산에틸	$C_5H_7NO_2$	의약품, 유기합성원료, 안료, 순간접착제
시안아미드	H_2NCN	비료, 메라민 원료, 티오요소, 구아니딘 원료
시안화칼륨	CNK	살균제, 금속처리, 금속착색, 코팅, 용접, 전기도금
시아노겐	$(CN)_2$	유기합성용, 화학전 독가스
브롬시안	BrCN	금 검출용
염화시아노겐	CNCl	유기용제합성
메틸이소시아	CH_3NCO	각종 제품의 원료
네이트	CH_3NCS	살충제
시안화수소	HCN	유기합성원료, 야금용, 형광염료원료, 훈증제, 농약·취약의 원료, 광업용

자료: 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.

3.8. 유기인화합물

(1) 유해독성

마라티온의 경우는 인화성이 있다. 인체에 미치는 영향을 보면, 파라티온의 허용농도는 0.1 mg/m³이며, 파라티온, 메틸파라티온, 메틸디메톤의 경우는 주로 경피흡수된다. 유기인제의 독성은 화합물에 의해서 차이가 있으나 특히 독성이 강한 것은 TEPP, 파라티온, 메틸파라티온, 메틸디메톤, EPN 등이 있다. 피부에 묻으면 피부염을 일으키는 것이 있으며, 피부에서 흡수되어 독성을 나타내는 것이 있다. 머스트, 분말, 액 등을 마시면 토기, 구토, 호흡곤란, 경련, 맥박증가, 현기증 등의 증상을 보이며 장시간 수면상태에서 사망에 이르는 경우도 있다.

(2) 저해사례

- 청소작업자가 지하실내에서 바퀴벌레 퇴치를 위하여 유기인제(수화제)를 4시간동안 살포한 후, 취침했는데 5명중 4명이 급성중독증상이 나타났다. 마스크를 사용하지 않았기 때문이다.
- 등에 메는 동력살포기를 이용하여 벼의 병해충 구제를 위한 농약 살포작업을 하고 있던 자가 권태감, 토지, 약감정 등의 중독증상을 일으켰다.

(3) 화합물의 종류와 용도

파라티온(C₁₀H₁₄NO₅PS), 메틸 파라티온, 메틸디메톤, TEPP, 마라티온, EPN등이 있으며, 살균제, 살사제에 주로 사용된다.

3.9. 테트라클로로에틸렌

(1) 유해독성

다량의 증기, 액체 등에 폭로되었을 경우 눈, 코, 목을 자극하고 중추신경계의 기능을 자극하여 두통, 현기증, 메스꺼움, 구토, 불규칙적인 심장박동, 졸림, 무력감, 시야의 혼동, 술에 취한 상태가 된다. 심한 경우에는 무의식에 이어 사망하기도 한다. 피부에 액체가 묻었을 경우는 접촉부위를 자극하여 피부병을 일으키고, 눈에 들어가면 약상(藥傷)을 일으키나 회복 불가능 상태는 아니다.

(2) 용도

금속기계부품 등의 탈유지세정용제, 냉매 프레온가스의 제조, 살충제, 드라이크리닝, 양모의 탈지세정, 유지·수지 등의 용제, 유기합성중간체(글리콜산, 모노클로로초산 등), 건조제, 마취제, 진정제, 훈증제, 살균제, 도료의 락스, 박리제, 영화필름의 크리너 등에 사용된다.

3.10. 트리클로로에틸렌

(1) 유해독성

증기를 흡입하였을 경우, 두통, 메스꺼움, 졸림, 현기증의 증세를 나타내고 눈, 코, 목, 얼굴 부위를 자극하며 얼굴을 붉게 변색시킨다. 황달과 짙은 색깔의 뇨가 배출되는 간장애가 나타나며 이런 증상은 폭로후 수주일간 계속된다. 장기폭로시 피부의 자극과 건조, 각화현상이 나타나고 간장, 신장장애가 일어난다.

(2) 용도

금속의 세척제, 드라이클리닝 용매, 살충제, 각종 화합물의 중간원료, 고무·도료·직물의 용제, 건조제 등에 사용된다.

4. 재활용의 중요성

최근 중금속을 함유한 유해폐기물의 급격한 증가는 그 처리 및 처분이 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 특히, 유해폐기물은 그대로 매립처분될 경우 주변의 토양과 지하수를 유해중금속으로 오염시킬 가능성이 크므로 적당한 방법으로 고화처리한 후 매립하고 있다.

유해폐기물 중 무기물질은 중금속이 대부분인데 중금속은 일반적인 처리방법으로 더 이상 분해되지 않는 원소상태로 존재하므로, 중금속이 함유되어 있는 유해폐기물을 그대로 매립할 경우, 상당량의 무기물과 유해물질이 함유되어 있어 처분후에도 계속적인 분해과정이 일어날 수가 있고 동시에 중금속 용출로 인한 2차적 환경오염을 야기시킨다. 이러한 중금속의 특성을 감안하여, 최종처분시 고형화 방법을 선택하며, 국내의 폐기물관리법에서도 특정 유해폐기물은 시멘트로 고형화한 후 매립지에 매립하도록 하고 있다.

이는 밀봉작용(physical encapsulating) 등에 의한 주위 환경과의 접촉을 차단하는 것이다. 시멘트의 높은 pH로 인해 급속히 경화된 물질구조 내에 불용성 수산화물 탄산염의 형태로 존재하는데 납, 구리, 아연, 주석, 카드뮴은 화학적인 고정에 의해 불용성 화합물을 형성하여 결합되기 쉬운 반면, 수은은 주로 물리적인 미세포집에 의해서 고정된다.

우리 나라의 폐기물관리법에서는 최종처분장에서 유해한 물질의 용출기준을 설정하여 시행하고 있고, 고형화 처리기준은 시멘트로 고형화하는 경우 고화물 1m³당 150kg 이상의 시멘트를 혼합하도록 규정하고 있다. 폐기물관리법상 폐기물 고형화와 관련된 사항은 <표II-10>에 나타내었으며, 환경에 대한 영향은 용출시험으로 평가된다.

유해폐기물을 안정화 및 고형화시키는데 있어서 가장 중요한 것은 고화체가 외부의 환경에 잘 견뎌야 하며, 특히 산성비에 의한 유해물질의 용출을 억제할 수 있어야 한다. 그러나, 이 방법은 특정 환경 즉, 산성우나 해수로 인해 고형시편에 함유되어 있는 유해중금속이 용출될 수가 있으며, 금속이온이 존재할 경우 시멘트 수화반응을 지연시켜 시편의 경화반응을 저해하여 압축강도를 감소시키는 등의 문제점이 있다. 무엇보다도 지하수가 산성이고, 시멘트는 산성조건하에서 구조 붕괴를 일으키는 등의 치명적인 영향을 받을 수 있다.

이와 같이 유해폐기물의 고형화처리도 불완전하여 매립시 수질 및 토양오염을 야기시켜 3절에서 살펴 본 바와 같이 유해성분으로 인한 피해가 발생하는 등 우리의 건강을 위협한다. 따라서, 유해폐기물을 보다 안전하게 처리하면서 유해폐기물에 포함된 중금속 등을 회수하여 자원절약을 달성할 수 있는 재활용을 활성화하여야 한다.

환경부는 「국가폐기물관리종합계획」('96년 수정발표)을 통하여 자원순환형 경제사회 기반 구축을 위하여 폐기물로 인한 환경부하를 줄임으로써 자연환경을 보전하고 모든 국민이 쾌적한 국토환경속에서 살아갈 수 있도록 하는 것을 폐기물정책의 궁극적 목표로 하고 있다. 그리고, 정책의 목표를 효과적으로 달성하기 위하여 폐기물관리정책을 ① 폐기물발생의 최소화, ② 폐기물의 자원화, ③ 폐기물의 안전관리라는 세가지의 역점추진분야로 나누어 구체적인 실천목표를 설정하여 추진하고 있다.

<표 II-10> 우리 나라 폐기물관리법상의 고형화 기준

항 목	세 부 사 항	폐기물 관리법 관련조항
고형화할 수 있는 지정폐기물의 종류	폐사 및 폐알카리 처리후 잔재물, 광재, 분진, 폐주물사, 폐내화물, 도자기편류, 조각잔재물, 폐촉매, 폐흡수제, 폐흡착제 및 오니	제6조 제1항관련 별표4
지정폐기물의 고형화기준	지정폐기물을 시멘트로 고형화하는 경우에는 시멘트의 양이 1m ³ 당 150kg 이상이어야 한다.	제6조 제1항관련 별표4
폐기물 중간 및 종합 처리업 고형화시설기준	고형화 또는 안정화 처리대상 폐기물: 1일 처리능력 5톤 이상의 고형화 또는 안정화 처리시설	제17조 제1항관련 별표6
폐기물처리시설 (고형화시설)의 설치기준	시멘트·물·용출방지제 등을 고르게 혼합할 수 있는 장치 및 배합비율을 조절할 수 있는 장치를 갖추어야 한다. 혼합물을 양생할 수 있는 시설 등을 갖추어야 하며, 혼합물이 빗물 등에 의하여 유실되지 아니하는 구조이어야 한다.	제20조 관련 별표7
폐기물처리시설 (고형화시설)에 대한 기술관리대행 계약에 포함될 점검항목	혼합장치의 정상가동 여부, 배합비율(시멘트·물 및 고화제 등) 양생시설로부터의 혼합물의 유실여부, 혼합기 등의 청소실시 여부	제33조 제2항관련 별표11

4.1. 재활용 기술

폐촉매는 자원재생과 환경오염 방지의 관점에서 산업화된 국가들에서 금속계 폐기물의 재활용을 위한 중요한 연구과제로 현재도 연구개발이 진행되고 있고 확립된 기술은 실제로 응용되고 있다. 석유탄황 폐촉매는 발생시에 많은 기름이 함께 unloading 작업시 폐수를 다량 발생시키는 문제점이 있다. 또한 보관시에도 악취를 발생시킨다. 따라서 일본에서는 이를 방지하고자 CATnap process를 사용하고 있으며, 국내에서도 이를 도입하여 사용하고 있다. 이에 대한 자세한 설명을 <부록IX>에 나타내었다.

미국의 AMAX사, 일본의 太陽鑛工(株), 대만의 Full-Yield Industry사 등에서는 석유화학 폐촉매로부터 유가금속을 회수하는 상업화 공정을 가동 중에 있다.

현재 우리 나라에서는 폐촉매가 일반폐기물로 분류되어 폐기물처리업자에게 처리를 위탁하고 있고 업체에서는 폐촉매의 안전한 처리에 적극적이지 않다. 이러한 실정에서는 매립지에서 중금속의 용출들의 문제가 발생되며 그로 인한 환경의 복원에 막대한 재원이 미래에 소요될 것이라 예상된다. 또한 유동접촉분해 폐촉매가 다량 발생되어 매립지의 부족을 가속시킬 것이다. 따라서 촉매의 수명을 연장하거나, 재생하여 다시 사용함으로써 폐촉매의 발생을 줄이는

방안의 개발이나 폐촉매로부터 유용한 물질을 회수하거나, 폐촉매 자체를 건축자재 등으로 재 활용하는 방안의 연구가 심도있게 이루어지고 있다.

4.1.1. 일반적인 기술

폐촉매 재활용 기술은 <표VI-22>에서 보는 바와 같이 전성분을 분리·회수하는 방법과 일부 성분만을 분리·회수하는 방법으로 나눌 수 있다.

<표VI-22> 폐촉매 재활용 기술

재활용방법	내 용	기술난이도	회 사
Total Recycling	폐촉매중의 모든 금속성분(V, Ni, Co, Mo 등)을 각각 분리, 회수	· 환경적으로 가장 안전 · 비용이 많고 기술적으로 비교적 어려움 · Metal 가격이 높고 환경규제가 엄격할 때 경쟁력있음	· CRI-MET (미국)
Partial Treatment	V, Mo 등 귀금속 성분만을 선택적으로 분리 회수하고 잔류물은 매립 또는 재사용	· 비교적 간단 · 처리비용이 작음 · 잔류물의 매립, 재사용은 환경규제법규제 제한을 받음	· TAIYO KOKO (일본) · SHINKO CHEMICAL (일본) · GC & MC (미국)

금속회수기술은 액상법과 제련법으로 나눌수 있다.

액상법(Hydrometallurgical Technique)은 석유산업 폐촉매(RHDS 폐촉매)와 Fly Ash를 대상 원료로하여 다음의 절차로 금속을 회수한다.

- ① Burn-off and Grinding : H/C, Sulfur를 제거한다
- ② Leaching : Caustic과 산을 부가하여 Mo와 V를 회수한다.
- ③ Purification and Separation : V (90~95%), Mo (95~99%)
- ④ Leaching : Aluminum 화합물로부터 Ni, Co성분을 분리한다.
Co + Ni (99.9%), Aluminum (75~90%)

제련법(Pyrometallurgical Technique)은 금속함유 폐기물(Plastic Sludge, Pickling Solution, Specialty Steel waste, 폐촉매)를 대상원료로하고 다음 절차로 금속을 회수한다.

- ① Feed Preparation, Blending, Agglomerating and Pelletizing.
- ② H/C, Sulfur 제거 (by Roasting), Metal Reduction
- ③ Melting in Furnace, Metal Units의 추출, Lime, Silica, Alumina, Magnesia 성분함유 Slag 생성
- ④ Metal Casting or Further Refining

4.2. 외국의 재활용 기술(RDS폐촉매 처리업체 현황)

4.2.1. 일본

(1) Taiyo Koko Mining & Industrial Co. Ltd.

1949년에 설립된 회사로 RDS 폐촉매 처리용량은 13,000톤/년 이다. 주요 생산제품은 Mo(몰리브데늄)와 V(바나듐)으로 몰리브데늄 광산을 보유하고 있으며 RDS 폐촉매로부터는 몰리브데늄과 바나듐을 회수하고 있다. 금속회수공정은 GCMC와 유사한 Pyro-Metallurgy(건식법)로 V2O5와 MoO3를 선택적으로 회수하고 있고 몰리브데늄 생산에 주력하고 있으며 국내 SK사의 RDS 폐촉매를 위탁처리하고 있다. 처리용량이 10,000톤/년인 대만 Full Yield사에 기술을 제공한 바 있다.

일본내 RDS 폐촉매 처리비는 수송비 포함하여 약 2~3만엔/톤이며, 국내 SK사의 RDS 촉매는 대보공업에서 8.5만원/톤(폐촉매 포장, 육상수송, 해상수송)에 일본까지 운송하여 위탁처리 한다. Taiyo Koko는 일본항에 도착한 RDS 폐촉매를 1.5만엔/톤(하역비+수송비)에 구입하며 몰리브데늄과 바나듐을 회수하고 있다.

(2) Shinko Chemical Co. Ltd.

1938년도에 설립되었으며 RDS 폐촉매로부터 바나듐 회수 경험은 없으나 발전소에서 발생 하는 Fly Ash로부터 바나듐을 회수하고 있으며 처리용량은 12,000톤/년이다.

4.2.2. 미국

(1) Cri-Met Co.

1986년 8월에 가동하였으며 시설용량은 30,000톤/년이다. 금속회수공정은 가압 산/염기 용출을 기본으로 하는 Hydro-Metallurgy(습식법) Process로 폐촉매에 함유된 모든 금속을 회수할 수 있는 공정으로 시설 투자비가 많이 소요되나 환경규제 강화나 금속 가격 상승시에는 유리한 공정이다. 주요 생산품은 V2O5, MoO3, Al(OH)3, Ni-Co 등으로 매우 다양하며 북미와 남미에서 발생하는 RDS 폐촉매를 처리한다. 1997년도에는 기존공정보다 금속회수 성능이 우수한 신공정을 개발하여 사업화 단계에 있다.

Cri-Met은 Cri Metal Products(CRIMP)의 자회사이며, CRIMP는 CRI International(CRI)의 100% 출자회사이다. CRI는 Criterion Catalyst Co. 와 Partner 회사이며 Royal Dutch ShellGroup의 계열사이다.

1997년도 이후 접촉한 결과에 의하면 Cri-Met은 기존사업(습식금속회수) 영역에서 벗어나 사업 다각화를 모색했으나 CRIMP의 강력한 금속회수사업 유지권고에 의해 현 금속회수사업을 수행 중에 있다. CRIMP는 Shell과 외부 연구소와 공동으로 "Improved Metal Recovery Process"를 개발하여 미국내 Partner를 선정중이다.

(2) Gulf Chemical and Metallurgical Co.(GCMC)

1945년에 Hydroformer 폐촉매로부터 금속회수를 시작하여 현재 처리용량은 30,000톤/년으로 북미와 남미에서 발생하는 폐촉매를 주로 처리하며 축적된 기술을 많이 보유하고 있다.

금속회수 공정은 폐촉매를 고온에서 가열/반응시켜 금속을 회수하는 Pyro-Metallurgy(건식법) Process로 V2O5, MoO3만을 선택적으로 분리·회수하며 금속회수율이 습식법보다 낮아 시설투자비가 저렴하나 잔사처리 등의 문제가 있다.

III. 재활용산업 현황

1. 국내 유해폐기물의 현황

급격한 경제성장과 산업구조의 변화로 다양한 유해폐기물이 다량 발생되고 있으며, 이에 대한 처리·처분 및 발생폐기물의 효율적인 재활용문제가 사회적인 문제로 대두되고 있다. 자원의 효율적인 이용이란 측면에서 산업폐기물의 재활용에 대한 연구는 세계적으로 환경의 보존과 자원의 재활용이란 측면에서 활발히 수행되고 있으며 산업화에 이미 응용되고 있는 실정이다.

우리나라의 경우 유해산업폐기물에 대한 분류는 두차례에 걸친 폐기물 관리법의 개정에 따라 바뀌었고, 산업폐기물중 Fly Ash 등은 상당량 재활용되고 있으나 지정폐기물인 제강회사의 전기로 제강 더스트의 경우에는 저조한 형편이다.

고형 유해폐기물 중 본 연구의 주 관심대상인 분진, 폐석면, 폐주물사 및 폐촉매를 중심으로 살펴보고자 한다.

1.1. 발생현황

국내의 지정폐기물의 발생량은 <표III-1>에서 보는 바와 같이 1994년 1,351,140톤, 1995년 1,622,256톤, 1996년 1,912,335톤으로 매년 큰폭으로 증가하여 '96년의 총 발생량은 '94년과 비교하여 약 40% 증가되었다. 특히 고형유해폐기물인 분진, 폐주물사, 폐석면, 폐촉매의 경우를 보면 폐촉매를 제외하고는 모두 증가되고 있다.

분진의 경우, 1994년 128,550톤, 1995년 169,530톤, 1996년 237,892톤으로 '94년에서 '96년까지 발생량이 약 30% 증가되었으며, 폐석면의 경우도 발생량이 1994년 3,622톤/년, 1995년 4,427톤/년, 1996년 4,760톤으로 약 20% 증가되었다. 한편 폐주물사는 1994년 1,742톤, 1995년 350톤/년, 1996년 3,164톤으로 불규칙하고, 폐촉매의 경우는 1994년 212톤, 1995년 174톤/년, 1996년 88톤으로 '96년의 발생량은 '94년에 비해서 약 58% 감소되었다.

1.2. 처리현황

1.2.1. 처리방법별

1994년~1996년 동안의 고형유해폐기물의 처리현황을 보면 <표III-2>와 같다. 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. 폐주물사의 경우도 전체발생량의 90%이상이 재활용되거나 기타방법으로 처리되었고 소각과 매립의 방법으로는 거의 처리되지 않았다. 반면 폐석면은 주로 매립(약 60%)처리되었고 재활용과 소각의 방법으로는 1~20%정도 처리되었는데 점점 그 비율이 감소되어 1%미만으로 처리된 경우도 있다. 한편 폐촉매는 매립 및 기타의 방법으로 각각 30%씩 처리되었고 재활용이 약 10%이고 소각으로는 전혀 처리되지 않았다.

1.2.2. 처리주체별

폐기물의 처리주체는 재생처리업, 처리업, 공공위탁, 공동위탁, 해양투기에 의해서 처리하는 위탁처리와 자가처리로 분류할 수 있다. 1994년~1996년 사이의 고형유해폐기물의 처리현황을 주체별로 보면 <표Ⅲ-3>과 같은데, 대부분이 위탁처리되고 있다.

분진의 경우, 주로 위탁처리되고 있는데 그 비율을 보면 '94년 60%에서 '96년 78%로 점차 증가하고 있으며, 반면에 자가처리의 경우는 35%에서 19%로 감소하는 추세이다. 위탁처리 중에서도 재생처리업의 비율이 약 40%로 가장 높으며, 공공위탁 비율도 약 20%정도로 높게 나타났다. 반면 해양투기와 공동위탁으로는 전혀 처리하고 있지 않다.

폐석면의 경우도 위탁처리의 비율이 1994년 96%, 1995년 65%, 1996년 81%로 높게 나타났는데, 주로 최종처리업(30%~50%) 및 공공위탁(30~40%)에 의해서 처리되었다. 한편 폐주물사와 폐촉매의 경우도 80~90%의 범위로 발생량의 대부분이 위탁처리에 의해서 처리되었고 반면 자가처리로는 거의 처리되지 않았다. 특히 '96년의 자가처리량은 0 이었다.

1.3. 재활용현황

1.3.1. 시도별

고형유해폐기물의 시도별 현황을 보면, 발생과 재활용이 각 품목별로 특정 시·도에서 이루어지고 있는데 이는 <표Ⅲ-4>에 나타내었다. 표에서 보는 바와같이 최근 2년(1994~1995년) 사이에 분진은 인천에서 전체발생량 중 35~50%로 가장 많이 발생되었고, 경북(약 25%), 경남(약 15%), 전북(약 5%) 등에서도 주로 발생되었다. 재활용의 경우도 이들 지역에서 주로 이루어지고 있는데, 특히 경북의 재활용량이 전체 재활용량 중 60~70% 정도로 가장 많았다.

폐주물사의 경우는 인천, 경기, 경남에서 주로 발생(각각 전체 발생량 중 20% 이상씩 발생)되었고, 재활용 또한 이들 지역에서 주로 행해지고 있다. 폐석면의 경우는 경기도에서 전체 발생량 중 30%로 가장 많이 발생되었고 경남, 대전에서도 발생되었으며, 이중 대전에서 가장 많은 양이 재활용되었다. 폐촉매는 경남의 발생량(전체 발생량 중 50% 이상)과 재활용량이 가장 많으며, 전남, 충남 등에서도 소량 발생되었으나, 재활용은 거의 하고 있지 않다.

1.3.2. 관리청별

고형 유해폐기물의 경우, 지방환경관리청별 발생 및 재활용은 특정환경청에서 발생되고 재활용되고 있는데 이는 <표Ⅲ-5>와 같다.

분진의 경우는 인천, 대구, 낙동강, 금강 관리청에서 주로 발생되며, 대구관리청에서의 재활용율이 50% 이상으로 가장 높고 한강, 인천, 전주관리청 등에서도 재활용이 이루어지고 있다. 폐주물사의 경우 한강, 인천 관리청에서 주로 발생되고 있으며 재활용 또한 90%이상 이들 관리청에서 이루어지고 있다. 한편 폐석면은 한강, 낙동강, 금강 관리청에서 주로 발생되었고, 이중 금강관리청에서 주로 재활용이 되고 있다. 폐촉매은 낙동강, 영산강 관리청에서 주로 발생되었고, 낙동강관리청에서 주로 재활용되고 있다.

<표Ⅲ-1> 지정 폐기물 발생량 현황

(단위: 톤/년)

지정 폐기물	1994	1995	1996
폐 산	377,722 (28.0% : 28.0)	454,678 (28.0% : 33.7)	549,665 (28.7% : 40.7)
폐 알 카 리	300,216 (22.2% : 22.2)	314,685 (19.4% : 23.3)	301,651 (15.8% : 22.3)
폐 합 성 수 지	23,461 (1.7% : 1.7)	29,706 (1.8% : 2.2)	40,414 (2.1% : 3.0)
폐 합 성 고 무	1,178 (0.1% : 0.1)	1,335 (0.1% : 0.1)	8,273 (0.4% : 0.6)
폐페인트 및 페락카	25,898 (1.9% : 1.9)	31,883 (2.0% : 2.4)	35,844 (1.9% : 2.7)
폐 수 처 리 오 니	80,236 (5.9% : 5.9)	74,489 (4.6% : 5.5)	72,485 (3.8% : 5.4)
공 정 오 니	15,050 (1.1% : 1.1)	13,766 (0.8% : 1.0)	10,323 (0.5% : 0.8)
할로젠 유기용제	12,607 (0.9% : 0.9)	21,338 (1.3% : 1.6)	44,113 (2.3% : 3.3)
비할로젠 유기용제	221,348 (16.4% : 16.4)	331,855 (20.5% : 24.6)	380,299 (19.9% : 28.1)
광 재	4,276 (0.3% : 0.3)	6,721 (0.4% : 0.5)	8,170 (0.4% : 0.6)
분 진	128,550 (9.5% : 9.5)	169,530 (10.5% : 12.5)	237,892 (12.4% : 17.6)
소 각 잔 재 물	2,958 (0.2% : 0.2)	1,671 (0.1% : 0.1)	7,875 (0.4% : 0.6)
폐 석 면	3,622 (0.3% : 0.3)	4,427 (0.3% : 0.3)	4,760 (0.2% : 0.4)
폐 주 물 사	1,742 (0.1% : 0.1)	350 (0.02% : 0.03)	1,508 (0.1% : 0.1)
			1,656 (0.1% : 0.1)
폐 내 화 물	3,799 (0.3% : 0.3)	4,625 (0.3% : 0.3)	
폐 유	147,664 (10.9% : 10.9)	159,572 (9.8% : 11.8)	206,387 (10.8% : 15.3)
안 정 화 물	39 (0.003% : 0.003)	472 (0.03% : 0.03)	48 (0.003% : 0.004)
폐 축 매	212 (0.02% : 0.02)	174 (0.01% : 0.01)	88 (0.005% : 0.01)
폐 흡 착 제	94 (0.01% : 0.01)	274 (0.02% : 0.02)	400 (0.02% : 0.03)
폐 농 약	445 (0.03% : 0.03)	611 (0.04% : 0.05)	484 (0.03% : 0.04)
PCB 함유 폐기물	23 (0.002% : 0.002)	94 (0.01% : 0.01)	
합 계	1,351,140 (100% : 100)	1,622,256 (100% : 120.1)	1,912,335 (100% : 141.5)

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1997.

<표Ⅲ-2> 지정 폐기물 처리 현황

(단위: 톤/년)

		분진	폐주물사		폐석면	폐촉매
배출량	'94	128,550 (100%)	1,742 (100%)		3,622 (100%)	212 (100%)
	'95	169,530 (100%)	350 (100%)		4,427 (100%)	174 (100%)
	'96	237,892 (100%)	1,508 (100%)	1,656 (100%)	4,760 (100%)	88 (100%)
재활용	'94	49,387 (38.4%)	249 (14.3%)		0	17 (8.0%)
	'95	70,669 (41.7%)	290 (82.9%)		973 (22%)	28 (16.1%)
	'96	93,532 (39.3%)	0	1,655 (99.9%)	13 (0.27%)	10 (11.4%)
소각	'94	626 (0.5%)	0		540 (14.9%)	0
	'95	1,572 (0.9%)	0		166 (3.7%)	0
	'96	0	0	0	0	0
매립	'94	54,416 (42.3%)	17 (1.0%)		2,960 (81.7%)	182 (85.9)
	'95	12,300 (7.3%)	0		2,714 (61.3%)	86 (49.4%)
	'96	14,297 (6.0%)	0	0	3,090 (64.9%)	29 (33.0%)
해양투기	'94					
	'95					
	'96	0	0	0	0	0
기타	'94	24,121 (18.8%)	1,476 (84.7%)		122 (3.4%)	12 (5.7%)
	'95	84,988 (50.1%)	61 (17.4%)		574 (13.0%)	60 (34.5%)
	'96	123,736 (52.0%)	1,468 (97.3%)	0	1,278 (26.8%)	30 (34.1%)
보관	'94					
	'95					
	'96	6,326 (2.7%)	40 (2.7%)	0.1 (0.01%)	380 (8.0%)	18 (20.5%)

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1997.

<표 III-3> 지정 폐기물 처리주체별 현황

(단위: 톤/년)

		분진	폐주물사		폐석면	폐촉매		
배출량	'94	128,550 (100%)	1,742 (100%)		3,622 (100%)	212 (100%)		
	'95	169,530 (100%)	350 (100%)		4,427 (100%)	174 (100%)		
	'96	237,892 (100%)	1,508 (100%)	1,656 (100%)	4,760 (100%)	88 (100%)		
위탁처리	소계	'94	78,183 (60.8%)	622 (35.7%)		3,492 (96.4%)	208 (98.1%)	
		'95	113,873 (67.2%)	293 (83.7%)		2,876 (65.0%)	169 (97.1%)	
		'96	185,829 (78.1%)	1,468 (97.3%)	1,655 (99.9%)	3,862 (81.1%)	70 (79.5%)	
	재생 처리업	'94	48,515 (37.7%)	0		0	17 (8.0%)	
		'95	68,993 (40.7%)	290 (82.9%)		2 (0.05%)	28 (16.1%)	
		'96	92,930 (39.1%)	0	1,655 (99.9%)	13 (0.3%)	10 (11.4%)	
	처리업	'94	2,057 (1.6%)	622 (35.7%)		1,928 (53.2%)	169 (79.7%)	
		'95	5,825 (3.4%)	3 (0.9%)		1,532 (34.6%)	129 (74.1%)	
		'96	중간	21,084 (8.9%)	1,468 (97.3%)	0	396 (8.3%)	22 (25%)
			최종	11,381 (4.8%)	0	0	1,829 (38.4%)	13 (14.8%)
	위탁처리	공공	'94	27,611 (21.5%)	0		1,564 (43.2%)	22 (10.4%)
			'95	39,055 (23.0%)	0		1,342 (30.3%)	12 (6.9%)
'96			60,434 (25.4%)	0	0	1,569 (33.0%)	23 (26.1%)	
공동		'96	0	0	0	55 (1.2%)	2 (2.3%)	
해양 투기		'94	0	0		0	0	
		'95	0	0		0	0	
		'96	0	0	0	0	0	
자가 처리	'94	45,929 (35.7%)	249 (14.3%)		8 (0.2%)	0		
	'95	53,218 (31.4%)	0		976 (22.0%)	0		
	'96	45,737 (19.2%)	0	0	519 (10.9%)	0		
보관량	'94	4,439 (3.5%)	872 (50.1%)		122 (3.4%)	4 (1.9%)		
	'95	2,439 (1.4%)	57 (16.3%)		574 (13.0%)	4 (2.3%)		
	'96	6,326 (2.7%)	40 (2.7%)	0.1 (0.01%)	380 (8.0%)	18 (20.5%)		

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1997.

<표 III-4> 시도별 재활용 현황

(단위:톤/년)

		분진			폐주물사		
		'94	'95	'96	'94	'95	'96
서울	발생량	2.25	5.23	300	0	0	1,508
	재활용	0	0		0	0	
부산	발생량	6,631	6,412	7,793	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
대구	발생량	7	11	19.5	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
인천	발생량	55,133	83,941	85,601	397.2	293	1,320
	재활용	3,652	24,556		0	290	
광주	발생량	16.9	42	56.5	0	0	
	재활용	3.3	1.2		0	0	
대전	발생량	0	0	-	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
강원	발생량	10.2	0	-	0	0	
	재활용	9.9	0		0	0	
경기	발생량	4,513	5,165	7,336	502	57.5	335.4
	재활용	2,142	2,364		230	0	
충북	발생량	4	112	65.7	0	0	
	재활용	0	103		0	0	
충남	발생량	0	354	24,254	20	0	
	재활용	0	26.5		0	0	
전북	발생량	6,881	11,247	8,110	0	0	
	재활용	5,226	2,925		0	0	
전남	발생량	23.1	27.2	2,273	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
경북	발생량	40,283	42,412	48,473	0	0.37	0.1
	재활용	38,353	39,967		0	0	
경남	발생량	15,046	19,800	53,610	823	0	
	재활용	0	727		19	0	
제주	발생량	0	0	-	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
합	발생량	128,550	169,530	237,892	1,742	350.9	3,163.5
	재활용	49,387	70,669	93,532	249	290	1,655.4

<표 III-4> 시도별 재활용 현황(계속)

(단위:톤/년)

		폐 석 면			폐 축 매		
		'94	'95	'96	'94	'95	'96
서울	발생량	1.0	0	0.4	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
부산	발생량	59.7	165	156.7	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
대구	발생량	0	28	107.1	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
인천	발생량	22.6	16	64.3	0	42	
	재활용	0	0		0	0	
광주	발생량	23.1	8	12.3	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
대전	발생량	901	1,942		0	7.3	
	재활용	0	965		0	0	
강원	발생량	5.3	0.04	0.6	0	0	
	재활용	0	0.04		0	0	
경기	발생량	1,130	1,346	1,521	2.0	4.2	1.9
	재활용	0	6		1.1	4.2	
충북	발생량	1.2	1.8	0.2	0	0	
	재활용	0	1.8		0	0	
충남	발생량	0	0	6.2	8.0	6.9	7.2
	재활용	0	0		0	0	
전북	발생량	0.4	6.2	550.3	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
전남	발생량	145.8	209.6	29.9	6.3	9.8	28.3
	재활용	0	0		0	0	
경북	발생량	15.1	0	0.2	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
경남	발생량	1,317	704	2,310.7	196	104	50.4
	재활용	0	0		16	24	
제주	발생량	0	0		0	0	
	재활용	0	0		0	0	
합	발생량	3,622	4,427	4,760	212	173.9	87.7
	재활용	0	972.8	12.6	17.3	28.2	10.0

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1997.

<표 III-5> 관리청별 재활용 현황
(단위: 톤/년)

		분진			폐주물사		
		'94	'95	'96	'94	'95	'96
한강	발생량	59,326.9	4,761.4	6,179	899.2	57.5	1,508
	재활용	5,524.2	2,033.8		230.0	0	
낙동강	발생량	21,676.6	26,211.9	61,403	823.0	0	
	재활용	0	727		19	0	
금강	발생량	4.0	363.3	24,271	20.0	0	
	재활용	0	26.5		0	0	
영산강	발생량	40.0	68.8	2,330	0	0	
	재활용	3.3	1.2		0	0	
원주	발생량	331.7	502.6	86.7	0	0	
	재활용	280.4	433.0		0	0	
대구	발생량	40,290.3	42,423.7	48,493	0	0.37	0.1
	재활용	38,353.2	39,966.8		0	0	
인천	발생량		83,950.2	87,020		293.0	1,655
	재활용		24,555.8			290.0	
전주	발생량	6,881	11,246.7	8,110	0	0	
	재활용	5,226	2,925.0		0	0	
합	발생량	128,550	169,530	237,892	1,742	350.9	3,163.5
	재활용	49,387	70,669	93,532	249	290.0	1,655.4
한강	발생량	1,153.1	1,169.2	1,420	1.96	4.2	1.9
	재활용	0	0		1.11	4.2	
낙동강	발생량	1,376.4	869.2	2,467	195.8	104.3	50.4
	재활용	0	0		16.2	24.0	
금강	발생량	902.4	1,943.7	6.4	8.01	14.2	7.2
	재활용	0	966.8		0	0	
영산강	발생량	168.9	217.3	41.1	6.3	9.8	28.3
	재활용	0	0		0	0	
원주	발생량	5.8	0.21	0.9	0	0	
	재활용	0	0.04		0	0	
대구	발생량	15.1	27.9	108.4	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
인천	발생량		193.0	166.2		41.5	
	재활용		6.0			0	
전주	발생량	0.4	6.2	550.3	0	0	
	재활용	0	0		0	0	
합	발생량	3,622	4,426.6	4,760	212	173.9	87.7
	재활용	0	972.8	12.6	17.3	28.2	10.0

자료: 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1997.

2. 국내의 품목별 고품 유해폐기물의 세부현황

2.1. 분진

2.1.1. 발생현황

전기로 분진은 발생량 중 101천톤인 66.1%가 위탁 또는 처리업자에 의해 처리되고 있어 재활용기술의 개발이 시급한 실정이다.

(1) 전기로 제강분진

우리 나라에서는 1960년대 말부터 전기로 제강법을 사용하여 왔으며, 1992년도에는 전기로 제강 생산량이 1,165만톤에 이르고 이에 따른 전기로분진의 발생량은 약 14~17만톤으로 추정되고 있다.

국내 전기로 제강분진의 발생량은 <표III-6>에 나타낸 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 고철보시량이 약 1,900만톤에 달할 것으로 예상되어 제강분진 발생량은 약 30만톤에 이를 것으로 추정된다.

인천 제철 및 기타 10여개 업체에서는 전기로를 이용한 제강 생산량을 계속 증대시키고 있으므로 향후에는 더욱 많은 양의 전기로 분진이 계속 발생될 전망이다. 이러한 전기로 분진은 전기집진기를 사용하여야 하는 정도로 미세 분말입자이며 사용하는 고철의 종류 또한 다양화되기 때문에 분진의 화학성분 조성이 매우 다양하다.

<표III-6> 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.

(2) 석탄회

국내에서의 Fly Ash는 보령, 삼천포, 영월, 삼척 등의 화력발전소에서 생산되며, 1981년 70만톤에서 최근에 연간 200여만톤으로 크게 증가하고 있는 추세이고, 2000년 경에는 약 500만톤으로 예상된다.

2.1.2. 처리현황

(1) 제강분진

고철의 종류에 따라 다르지만 유해중금속이 함유되어 있고, 또 유해중금속의 용출농도가 폐기물관리법에서 정한 기준치를 초과하는 것들이 있어 특정폐기물로 분류되어 있다. 따라서 국내 환경관련규정은 전기로 제강분진에 대한 처리를 엄격히 관리해야 하지만 매립 또는 임시

적인 방법의 고용화처리에 의한 매립이 부분적으로 실시되고 있어 현재에는 처리를 제대로 하지 못하고 있는 형편이다.

안전매립이나 불용화처리에도 불구하고 매립처리에 따른 중금속용출의 불안정성 우려 때문에 선진국에서는 매립처리에 대한 규제를 더욱 강화하고 있다. 동시에 고품화에 관한 기술 연구도 활발히 진행되고 있다. 전기로 분진을 고품화하기 위해서는 일반적으로 시멘트를 이용한다. 전기로 분진에 대한 시멘트 고화법은 중금속을 시멘트와 반응시켜 경화하게 한 다음 중금속의 용출량을 최소화 시킬 수 있어 최종 매립할 때에도 주변환경과 차단시키므로 안전하게 처분될 수 있다는데 근거를 두고 있다. 그러나 전기로 분진을 시멘트로 고화시키더라도 중금속의 용출은 어느정도 발생된다는 것이 시멘트 고화법의 문제로 거론되어 왔다.

이와 같은 주된 원인은 국내에는 분진을 활용할 수 있는 설비가 아직 없기 때문으로, 이는 금속 Zn을 얻을 수 있는 후속설비가 없을 뿐만아니라 강종의 다양화와 고급화 추세에 따른 합금원소의 첨가량 증가 등으로 인하여 분진의 성분이 계속 변하고 있기 때문에 분진처리 프로세스의 국내 도입시 많은 제한 조건들이 있기 때문이다.

따라서 전기로 분진은 현재 부분적으로 매립에 의하여 폐기 처분되고 있으나 그 일부는 Drum에 장입하여 야적시키는 실정이다.

국내에서 발생하는 전기로 제강분진의 발생위치는 <그림Ⅲ-1>과 같고, 전량을 폐기물 처리업계에 위탁하여 매립하거나 제강사 자체적으로 화학적 불용화 처리후 매립하고 있다.

이와 같이 전기로 제강분진에 대한 안전매립의 어려움과 매립지 확보의 어려움 때문에 제강분진을 매립으로 처리할 수도 없는 실정이다. 제강분진이 적절한 방법으로 처리되지 아니하고 생산현장에 적체될 경우 제강산업 가동에 큰 문제를 야기시킬 수 있는 요소가 되기도 한다. 따라서 이러한 점을 감안할때 제강분진의 재활용은 그 어느 때보다 더 필요하다고 보여진다.

(2) 석탄회

국내 발생하는 대부분의 Fly Ash는 매립처분되고 있으며, 레미콘제조용 및 기타 콘크리트 제품용 등에 Fly Ash를 이용하고 있으나 이용실적은 미미한 상태이다. 그러나 영국, 서독, 프랑스 등은 생산된 Fly Ash의 50% 정도를 유효하게 사용하고 있다.

<그림Ⅲ-1> 제강 분진의 발생 위치도

2.2. 폐주물사
2.2.1 발생현황

1960년 이후 선박, 자동차, 기계 등 금속 산업의 급격한 발전에 따라 주물공업은 양적으로 매우 성장하였다. 국내 주물생산업체는 <표III-7>과 같이 크고 작은 것을 합하여 약 700(92년)개에 이르고 있다. 신사 사용량은 생형법이 주물생산량의 34.4%, CO2법에 의한 경우가 67.7%, 자경성 후란은 18.0%로 482,160톤/년이 필요하다. 이러한 업체의 주물생산량은 계속 증대하고 있으므로 그에 따른 폐주물사의 발생량은 연간 63만톤(94년)으로 추산되고 있으며, <표III-8>과 같이 계속 증가될 것으로 예상된다.

<표III-7> 국내의 지역별 주물생산 기업체 현황

지 역	기 업 체 수	구 성 비(%)
서울	45	6.3
인천	112	15.6
경기	111	15.5
강원	4	0.6
충북	12	1.7
대전	28	3.9
충남	6	0.8
전북	23	3.2
광주	16	2.2
전남	16	2.2
대구	81	11.3
경북	43	6.0
부산	153	21.3
경남	67	9.3
제주	1	0.1
계	718	100

자료: 한국자원재생공사, 『주물사 재활용 기술개발에 관한 연구』, 1995.

<표III-8> 우리 나라 폐주물사 장래 발생량 추정

년 도	1996	1997	1998	1999	2000	2001
년간 발생량 (톤)	711,2290	735,571	763,913	790,255	816,597	842,938

자료: 한국자원재생공사, 『주형종류별 폐주물사의 환경유해성 검토 및 적정 관리방안 연구』, 1997.

(1) 주형방법별 발생현황

폐주물사 발생량은 3개의 주물공단 및 공단외 지역(경인(34개업체),다산(17업체), 마천(15업체): 95년), 그외 주물공단과 공단외 지역(8개업체))의 74개 주물업체를 대상으로 조사한 결과(한국자원재생공사, 1997)를 보면 다음과 같다. 적용업체수(조사대상의 48%) 및 주물생산량(조사대상의 70%)이 가장 많은 생형의 경우 폐주물사의 발생량도 가장 많고, 조사대상업체 주물생산량의 20%를 점유하는 유기자경성주형(후란형)의 경우가 폐주물사의 발생량이 가장 적다.

주철소 주물공장의 경우 생형사, 중대형물의 경우 후란주형사를 거의 대부분의 공장에서 사

용하고 있고 일부 업체에서만 주철대형물에 CO2주형을 적용하고 있으며, 주강공장의 경우도 CO2형사를 사용하는 공장이 대부분이다. 주철공장의 경우 대부분 자동조형설비 및 자경성 조형설비를 갖추고 있는 편이어서 주물사를 회수하여 재사용하고 있다.

생형주형의 경우, 중자는 대부분 Shell, 펄셋, 콜드박스 등으로 만들어지기 때문에 모래의 회수 순환시스템에서 중자사 만큼이 배출되고 각 업체에 따라서는 순환주물사의 관리를 위하여 5% 정도의 신사를 첨가하는 곳도 있으므로 추가되는 모래는 주물공장 밖으로 배출된다.

후란주형의 경우, 중자도 후란중자를 쓰기 때문에 추가되는 모래가 없어서 회수시의 분진만 폐사로 배출되는 편이다.

CO2주형은 재생이 어렵고 대부분의 공장에서 재생시설을 갖추고 있지 않기 때문에 대부분 전량 폐사로 배출된다.

폐주물사의 발생현황은 양적인 면에서는 규모가 큰 주철공장에서의 발생량이 절대적이며 발생비율 측면에서는 CO2형을 주로 쓰는 주강공장의 폐주물사 발생비율이 가장 높다.

동합금 주물공장 및 알루미늄 주물공장은 금형주조비중이 높고 업체가 비교적 영세하기 때문에 폐주물사의 발생비중은 철계 주물공장 만큼 크지 않다.

(2) 주물공단별 발생현황

국내의 전체적인 주물생산업체수는 700여개(92년)이다. 한국 주물전문공단 조성계획은 우선 인천시 경서동에 '85년 44개 업체가 입주할 시작하고 다음으로 부산 사상지역에 '84년 주물단지 추진위원회를 구성하여 '90년부터 입주를 시작하였다.

국내 주물업체들은 경인주물공단을 중심으로 한 수도권에 38%, 마천주물공단을 중심으로 한 부산 경남권에 30%, 다산주물공단을 중심으로 한 대구 경북권에 18%, 기타 지역에 14%가 분포하고 있다.

주물 수요공업의 발달에 따른 주물생산량 증대로 환경저해 요인이 증가되어 분진, 유해가스 등을 제거하기 위한 작업환경개선비가 많이 들고, 폐주물사, 슬래그 등의 산업폐기물의 발생량 증대로 폐기물 처리비가 날로 증대되고 있는 실정이다. 특히 계속 상승하고 있는 폐주물사 처리 비용은 주물업체의 주물원가를 상승시키고 처리업체의 처리지연으로 넓은 면적으로 차지하는 폐주물사를 상당수 업체가 공장내부에 쌓아놓고 있는 실정이기도 하다.

주물공단 및 공단외 지역 주물업체의 폐주물사 발생량은 소규모 주물공장이 집단화되어 있는 경인주물공단과 업체수는 적지만 대규모 공장이 많은 마천주물공단의 발생량이 상대적으로 많고 규모가 비교적 크지만 자동라인 설치비율이 높은 다산공단의 폐주물사 발생량이 가장 적었다.

주철 1톤 생산에 필요한 폐사발생량은 공단별로는 경인, 다산, 마천 공단별로 각각 0.37톤, 0.24톤, 0.42톤이며, 종류별로는 생형 0.33톤, CO2형 1.25톤, 후란형 0.13톤으로 평균 폐주물사 발생량은 0.35톤이다.

(3) 각 공장별 세부발생현황

① 진해 마천주물단지

진해 마천주물단지내 업체의 폐주물사 발생현황을 살펴보면 '97년도 기준으로 19개의 주물업체에서 39,380톤의 폐주물사를 발생시켰다. <표Ⅲ-9>에는 마천주물공단의 폐주물사 일반현황을 나타내고 있다. 표에서 보는 바와같이, 생형주형의 폐주물사가 8개 업체로부터 30,360톤/년으로 가장 많이 발생되었고, 다음으로 후란주형 폐주물사가 5,700톤/년, CO2 주형 폐주물사가 3,320톤/년 발생되었다. 이렇게 발생한 폐주물사는 모두 성토, 복토로서 처리하였다.

<표 III-9> 마천주물공단내 폐주물사 일반현황

주형종류	업체수	발생량(ton/year)	처리
CO ₂	6	3,320	성토, 복토
생형	8	30,360	
후란형	5	5,700	
계	19	39 380	

자료: 한국자원재생공사, 『주물사 재활용 기술개발에 관한 연구』, 1995.

마천주물단지내 업체들의 폐주물사 발생현황을 주형종류별로 정리하면 다음과 같다.

□ 생형주형

업체명: A 공장

제품: 자동차부품

주물크기: 소물(5kg~10kg)

폐주물사 발생량: 350ton/월

폐주물사 발생과정:

- ㉠ 용융금속을 주형에 주입시 용융금속과 점토분(벤토나이트, 씨콜)을 함유한 주형표면이 고온에 의해 점토분이 사점토화되어 탈사과정에서 집진설비를 통해 미분 형태로 공정 밖으로 배출된다.
- ㉡ 그리고 유기자경성 주형인 Shell중자도 고온에 의해 Resin성분이 타없어지고 Shell사 형태로 남는다.
- ㉢ 제품과 분리된 고사와 Shell형사는 철판 분리과정을 거쳐 일부는 폐주물사 형태로 공정 밖으로 배출되고 그외 대부분 폐주물사는 회수사로 순환재생 사용한다.
- ㉣ 공정 밖으로 배출된 폐주물사 양만큼 주형제작시 사용되는 Shell중자에 의해 보충되므로 주물사 관리를 위해 별도 신사를 투입하지 않고 있다.
- ㉤ 공정 밖으로 배출된 폐주물사는 원료사로 재생하지 않고 폐기물처리업자에게 위탁처리한다.

□ 후란수지형

업체명: B 공장

주물제품: 산업기계부품

주물크기 : 중, 대형주물

폐주물사 발생량: 500 ton/월

폐주물사 발생과정:

주형과 중자(소량사용)를 후란수지주형으로 제작하기 때문에 용융금속온도에 의해 탈사과정에서 쉽게 붕괴되며 탈사 및 철판 분리과정 및 순환과정에서 고사의 노후화로 발생하는 미분 및 점결체가 집진설비를 통해 밖으로 배출되며 적절한 주물사 관리를 위해 소진되는 양만큼 신사를 투입한다. 90% 이상 회수된다.

2.2.2. 처리현황

국내의 경우 주형종류별, 재생처리용도별, 매립방법별로 주물사가 분리 처리되지 않고 업체

별로 사용하고 있는 모든 종류의 폐주물사를 함께 섞어 폐기하고 있다.

60여만톤 중 75% 정도는 위탁매립되고 나머지 25%정도는 자가처리되는 것으로 알려져 있으나 그 처리방법이 불투명한 실정이다. 위탁처리시 처리비용은 다산주물공단의 경우, 공단을 조성할 때 전용주물사 매립장을 확보하여 비교적 저렴한 처리비(17,400원/톤)로 매립하고 있고, 경인주물공단의 경우 수도권 매립지에서 반입을 시켜주지 않아 단순매립(30% 이하) 보다 도로기층재 및 벽돌재료 등 타용도로의 활용율이 높기 때문에 위탁업체를 통한 처리비(15,400원/톤)가 가장 저렴하다. 마천주물공단의 경우 전용매립장이나 타용도로의 활용율이 낮아 공단중에서는 가장 비싼 위탁처리비(22,300원/톤)를 주고 있으며 공단의 지역은 위탁처리비가 상당히 비싸다.

2.3. 폐석면

2.3.1. 발생현황

(1) 석면의 수입현황

우리 나라에서는 석면을 전량 수입에 의존하고 있으며 <표Ⅲ-10>과 같이 매년 조금씩 증가하고 있는 추세이다. 표에서 보는 바와 같이 국내에서 사용되는 석면의 양은 일정하게 유지되고 있었으나 1997년을 고비로 급격히 감소되었다. 이러한 감소 추세가 IMF위기의 영향으로 계속 유지될지 또는 96년 이전의 일정 사용량으로 회복될지의 여부는 현재로서는 판단하기 어렵다.

국내에는 백석면만 수입 사용되고 있고, 청석면과 갈석면은 전혀 수입 사용되고 있지 않으며, 노동부에 신고되어 있는 업체에서만 사용하고 있어 노동부 및 환경부의 기준에 의거하여 안전하게 관리되고 있다.

<표Ⅲ-10> 국내 년도별 수입량

년도	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
수량(톤)	88,800	89,200	82,900	83,300	87,900	77,100	45,000

자료: 한국석면협회, 『국내석면시장』, 1998.

국내로 수입되는 석면의 대부분은 <표Ⅲ-11>에서 보는 바와 같이 캐나다, 남아프리카공화국, 그리스, 짐바브웨로부터 수입되고 있으며, 그외 러시아, 중국, 미국, 브라질 등의 국가에서 소량씩 부정기적으로 수입 판매되고 있다. 세계 백석면 생산량의 22%를 차지하는 캐나다는 러시아에 이어 세계에서 두 번째 큰 생산국으로 국내에 가장 큰 수입량을 차지하고 있다.

<표Ⅲ-11> 국가별 수입량 (1997년 기준)

구 분	캐나다	남아프리카공화국	그리스	짐바브웨	기타	계
수량(톤)	26,000	10,000	6,400	2,500	250	45,150
%	57.6	22.2	14.2	5.5	0.5	100

자료: 한국석면협회, 『국내석면시장』, 1998.

(2) 석면의 사용현황

현재 연간 약 8만톤의 백석면만을 사용하며 이는 건축자재 생산용으로 90%, 브레이크 및 방적제품용 등으로 10% 소비되며, 단열내화에는 거의 사용되지 않았으며 대체품인 암면, 질석스프레이 등이 1970년대 중반에 도입되어 건설현장에서 사용되고 있다. 국내에서 생산되는 건축자재로는 1960년대 중반부터 슬레이트, 1980년대 이후에 밤라이트, 압출성형시멘트보드가 있으며 이 자재들은 85%이상의 시멘트와 혼합된 고품제품이다. 국내에서 사용되는 석면제품들은 <표III-12>와 같다.

<표III-12> 국내에서 사용되는 석면제품 현황

업종	품명	구분	석면 함유률	제조회사	비고
석면시멘트 제품 (건축자재용)	석면시멘트	골판, 평판	8~14%	(주)금강, (주)벽산	시멘트와 결합하여 Caking화 됨
	천정재	석고시멘트	3~6%	(주)금강, (주)벽산	
석면 마찰제품	라이닝	승용차용	35%	한국브레이크	페놀수지와 결합, 고온열 처리로 경화됨.
가스켓류	가스켓류	자동차류 기계류	60~65%	제일화학 극동가스켓	고무와 결합, Rubberlump 상태
방적제품	방적제품	석면포, 석면사, 패키징	85~95%	제일화학 동양Asbestos	분진을 억제하는 Coating 처리됨.

자료: 서울특별시, 『재건축 사업등과 관련 건축물철거에 따른 폐석면 관리 대책』, 1998.

2.4. 폐촉매

2.4.1. 발생현황

우리 나라의 경우 대부분의 촉매는 정유, 고분자, 석유산업에 사용되며, 거의 수입에 의존하고 국내 생산량은 수요의 0.1%로 극미한 실정이다. 석유화학공업의 발달로 촉매의 수요량이 급증(1983년 2,200만달러, 1990년 8,800만달러, 1995년에는 2억달러)하였고, 명커C유와 같은 중질유는 높은 유황함량으로 인해 소비가 급속히 감소되었으며, 반면 경질유 제품의 소비가 크게 증가되고 있다. 따라서 국내 정유사들의 대부분이 이와 같은 석유수급 구조의 경질화 및 석유제품의 저유황화 추세에 대처하기 위해 최근 중질유 분해 및 탈황설비를 도입하여 가동중에 있거나 건설 중에 있다. 중질유의 경질화 공정으로는 상압잔사유 수소화탈황공정(AR-HDS), 감압잔사유 수소화탈황공정(VR-HDS), 잔사유의 유동접촉분해공정(R-FCC), 등·경유 수소화분해공정(VGO-HC) 등이 있다.

유공에서는 VR-HDS와 VGO-HC공정이 93년부터 가동중에 있고, AR-HDS와 R-FCC도 시운전상태에 있다. 유공의 경우, 진공증류탑, VR-HDS, VGO-HC, AR-HDS 및 R-FCC와 같은 모든 설비를 보유하고 있다.

쌍용정유도 유공과 유사한 구조의 중질유 경질화 설비를 계획하였으나 AR-HDE공정의 신

설은 취소되어 생략된 상태이고 VR-HDS공정이 가동중에 있고 '97년 말에 FCC공정이 완공되었다.

중질유 경질화공정을 가동하고 있는 현대정유에서는 상압잔사유의 진공증류로 상부에서 얻어진 진공정유는 수소화 분해공정을 거쳐 고품질의 등·경유로 전환되며, 하부에서 얻어진 진공잔사유는 열분해공정인 Delayed Coking에서 처리되고 생성된 유분은 진공정유와 함께 수소화분해공정의 원료유가 되며 부산물로 코크스가 발생된다.

LG정유에서는 AR-HDS공정과 R-FCC공정으로 휘발유를 생산하고 있으며, 한화에너지는 LG정유와 유사한 중질유 경질화공정을 채택하였으며, 황성분이 높은 중질유는 수출하고 있다.

각 정유사별 폐촉매별 발생량은 정확히는 알 수 없으나, SK 경우 50개 이상의 촉매가 사용되어 폐촉매로 약 10,000톤/년 정도가 발생되며, SK 경우 R-FCC폐촉매와 RDS폐촉매 발생량이 전체 폐촉매 발생량의 80%를 차지하고 있다. R-FCC폐촉매는 현재 국내 시멘트사에 의해 재활용 되고 있어 큰 문제는 없다. <표Ⅲ-13>에 국내 각 정유사의 중질유 경질화설비의 규모 및 현황을 나타내었다. 이러한 중질유 경질화공정이 본격적으로 가동되면 많은 양의 촉매가 사용될 것이며, 필연적으로 막대한 양의 폐촉매가 발생하게 된다. 국내 정유회사의 각 공정으로부터 매년 발생하는 폐촉매의 현황 및 발생 예상량을 <표Ⅲ-14>에 나타내었다.

<표Ⅲ-13> 국내 정유사의 중질유 경질화 설비 규모

회사명	설비	기술도입선	규모
유공(SK)	Hydrocracker	Unocal	30,000
	VR-HDS	Chevron	30,000
	Ar-HDS	Chevron	60,000
	R-FCC		40,000
쌍용	Hydrocracker	IFP	30,000
	VR-HDS		30,000
	R-FCC		40,000
LG	AR-HDS		50,000
	R-FCC	S & W	70,000
현대	Hydrocracker	UOP	22,500
	Delayed Coker	Fpster Wheeler	19,500

자료: 통상산업부, 「석유정제 폐촉매의 처리, 재생 및 수명연장」, 『석유정제 폐촉매의 처리, 재생 및 수명연장에 관한 중간보고서(2차년도)」, 1996.

<표Ⅲ-14> 중질유 경질화공정에서 발생하는 폐촉매의 양
(단위: 톤)

공정	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
VR-HDS	1,300	1,300	1,300	1,300	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600
AR-HDS	0	0	0	0	3,000	5,500	5,500	5,500	5,500
R-FCC	0	0	2,000	10,000	16,000	20,000	20,000	20,000	20,000

자료: 통상산업부, 「석유정제 폐촉매의 처리, 재생 및 수명연장」, 『석유정제 폐촉매의 처리, 재생 및 수명연장에 관한 중간보고서(2차년도)」, 1996.

2.4.2. 처리현황

석유화학업체에서 발생하는 폐촉매는 산업폐기물로 분류되어 발생 당사자가 자체보관하거나 폐기물처리업자에게 처리의뢰하는 경우가 많은데, 폐기물업자들은 대개 귀금속류 폐촉매들은 따로 모아두었다가 수요자가 나타날 경우 판매하거나 매립하고, 일반 유가금속 폐촉매들은 대부분 매립하는 것으로 추정된다. 또, 어떤 촉매는 외국의 촉매제조업체에서 회수해 가는 경우도 있다. 국내의 촉매관련 연구보고서(통상산업부, 1996)에서도 국내의 폐촉매는 위탁처리에 의해서 가장 많이 처리되는 것으로 보고되고 있다. 이 보고에 따르면 폐촉매 발생업체들을 대상으로 총 48건의 폐촉매 처리방법을 조사한 결과 위탁처리 29건, 자체처리 10건, 생산자반송 9건의 순으로 나타났다. 이들 처리방법들 중 폐기물이 재활용될 수 있는 것은 생산자반송의 경우이고, 자체처리나 위탁처리의 경우는 매립이 주된 처리방법이다.

정유공장에서 발생하는 RDS폐촉매는 1970년대초까지 대부분 매립처리되었으나 환경법규의 강화와 자원재활용에 대한 인식 확대로 매립보다는 유가금속회수를 통하여 재활용되고 있다.

국내의 SK사에서는 RDS폐촉매를 일본의 Taiyo Koko사에 수출하여, 동사에서 유가금속회수(V, Mo 등) 방식으로 재활용/자원화하고 있다.

RFCC 폐촉매는 일반폐기물로 간주되며, 현재 시멘트회사에 제품의 부원료로 재활용되고 있다.

3. 외국의 품목별 고품형 유해폐기물의 세부현황

일본의 경우 '90년 산업폐기물 총 배출량이 395,000천톤으로 한국의 약 18배이었으며, '87년~'90년 연평균 증가율은 5.3%로 한국의 약 1/3배이었다.

'90년 산업폐기물 총 배출량 중 중간처리가 전체의 63%(247,000천톤), 재생이용이 전체의 22%(88,000천톤), 최종처리는 전체의 15% (60,000천톤)이었다.

최종 처분량, 감량화량 및 재생이용량은 <표Ⅲ-15>와 같다. 표에서보는 바와 같이 '90년의 경우 중간처리에 의한 감량이 155,000천톤, 재생이용이 151,000천톤, 최종처분이 89,000천톤으로 분리되는데, 총 배출량의 높은 증가에도 불구하고 최종 처분량은 크게 증가하지 않고 있다. '85년과 '90년 통계치를 비교해 보면, 총 배출량은 16.6% 증가하였는데 그중 재생이용량은 17.1%가 증가, 감량화량은 68.5% 증가하여 최종 처분량은 오히려 2.2% 감소하였다. 한편 '75년의 최종 처분량에 비해서도 15년간 겨우 6.0% 증가하였을 뿐이다. 이는 일본 산업폐기물처리의 효율성을 시사하고 있다.

<표Ⅲ-15> 일본 산업폐기물의 최종처분량, 감량화량, 재생이용량의 추이

연도 내역	1975년		1980년		1985년		1990년	
	처리량 (천톤)	구성 비 (%)	처리량 (천톤)	구성 비 (%)	처리량 (천톤)	구성 비 (%)	처리량 (천톤)	구성 비 (%)
재생 이용량	74,000	31.3	124,000	42.5	129,000	41.3	151,000	38.2
감량화량	78,000	35.1	100,000	34.2	92,000	29.5	155,000	39.2
최종 처분량	84,000	35.6	68,000	23.3	91,000	29.2	89,000	22.5
총 계	236,000	100	292,000	100	312,000	100	395,000	100

자료: 이영우, 「일반산업폐기물의 관리현황 고찰」, 『첨단환경기술』, 1994.

3.1. 분진

3.1.1. 일본의 전기로 분진

전기로 분진은 특정 폐기물로 포집과 운반 그리고 매립처리시 특별 규제되고 있다. 매립방법은 우선적으로 분진의 용출실험(<부록 I > 참고)을 통해서 유해물질(Pb+2, Cr+6, Cd+2, As+2 등)이 함유되어 있다고 판정되는 경우에는 차단형 매립을 해야하며, 유해원소 용출 폐기물은 무해공정을 거쳐 처리하고 난 후 계속적으로 관리형 매립을 해야한다. 여기서 차단형 매립은 시멘트 혹은 아스콘 등을 이용하여 미분말의 더스트를 고형화하고, 고형화물로의 유입수를 방지하면서도 일부 생성될 수 있는 주변 유출수를 모아서 폐수처리하는 공정 등을 갖춘 복합관리 시스템이다. 또한 관리형 매립은 물의 유입과 용출을 방지하여 침출수가 항상 규정에 만족되도록 처리하는 것이다. 이러한 처리에도 불구하고 일본의 특정지역에서는 무해화 처리후의 매립도 금지되고 있는 실정이다.

특히 경제성이 없는 분진은 어떠한 방법으로라도 처리하여야 하지만, 환경오염문제를 야기하므로 미국, 일본 등의 선진국에서는 여러 가지 방법으로 감량화 또는 무해화 처리 후 그대로 매립하거나 차단형 매립을 실시하고 있다.

한편 고형화 처리후의 유출수에서도 시간이 경과함에 따라(1년 이하) 다시 유해성분(Pb, Cd)의 유출 가능성이 있기 때문에 단순한 고형화 처리만으로는 완전히 차단할 수 없으므로 여타의 화학약품처리로 엄밀한 차단을 실시하여야 한다는 주장도 있다(일본 특허 64-90082, 58-1637).

3.1.2. 일본의 석탄회

석탄 이용확대에 수반해서 배출되는 석탄회의 양은 다음 <표Ⅲ-16>에 나타난 바와 같이 2000년도에는 연간 10,000천톤을 초과할 것으로 예측된다.

<표Ⅲ-16> 2000년도의 석탄회 발생량 예측

(단위: 천톤)

	2000년	1994년	
	발생량예측	발생량	유효이용량
전기사업	8,794	4,725	2,716 (57.5%)
일반사업	2,200	1,801	1,499 (83.2%)
합 계	10,994	6,526	4,215 (64.6%)

일본의 에너지 대책으로서 석탄 이용확대의 중요성은 말할 것도 없고 장래에 있어서 청정, 고효율 이용기술개발을 추진해야 한다. 석탄회의 유효이용율은 <표Ⅲ-17>에 나타난 바와 같이 '94년의 예로 약 59%이고, 이 유효이용 중에서도 시멘트 원료용이 약 64%로 큰 비중을 점하고 있다.

<표 III-17> 유효이용 상황('94)
(단위 : 천톤/년)

유효이용합계	유효이용량(%)
	4,215 (100%)
시멘트 분야	2,684 (63.7%)
토 목 분야	427 (10.1%)
건축 분야	320 (7.6%)
농림·수산분야	165 (3.9%)
기 타	619 (14.7%)

: ()내는 전유효이용에 대한 비율
전유효이용에 차지하는 시멘트 원료용의 비율 : 52.2%

3.1.3. 미국의 분진

1980년부터 적용되는 RCRA(The Resource Conservation and Recovery Act)에 의해서 전기로 분진을 유해성 물질로 규정하고 있기 때문에 규정된 기술에 의해서 처리되어야만 한다. 이의 주원인은 분진속에 함유된 1.5%이상의 납(Pb)성분이다.

미국에서 발생하는 전기로 분진의 양은 500천톤/년 이상이며, 유해특성으로 인해서 Steel mill에는 분진 포집장치가 설치되어 있고, Steel mill과 전기로의 사용자는 분진의 제거, 처리, 처분을 위해서 1,000천달러를 지불하고 있다.

수년동안 대부분의 분진은 열처리와 땅속으로의 처분을 위해서 Pennsylvania로 이송되어 왔는데, 최근에는 대부분이 화학처리가 되고, 매립비용이 톤당 100달러 이상인 유해폐기물 매립장으로 이송되고 있다.

3.2. 폐주물사

3.2.1. 일본

일본의 통계자료에 의한 주물생산량 500만톤은 일본 전체의 주물생산량을 700만톤으로 추측할 때 70%정도가 되므로 조사되지 않은 업체를 포함하여 일본 전체 폐주물사 발생량은 161만톤(1992년) 정도이다.

일본의 경우 주철제품 1톤에 대한 폐사발생량은 생형법 0.30톤, 유기자경성(후란형) 0.20톤, 무기자경성(CO2형) 0.53톤으로 전체평균이 0.32톤이며, 이는 우리 나라의 전체 평균 0.35톤보다 조금 낮은 편이다. 폐사를 재활용하지 않는 경우, 철강 제품 1톤을 생산하기 위해서는 약 1.4톤의 폐사가 발생하고, 또 0.21톤의 슬래그가 발생된다. 반면에, 폐사를 재이용하는 경우 폐사 0.66톤, 슬래그 0.15톤이 발생된다.

폐주물사는 60%가 매립되고 나머지 40%는 유효이용되고 있다. 유효이용은 재생사로 약 69%, 시멘트 및 아스팔트 원료로 폐사발생량이 많은 선철주물, 주강을 중심으로 17.6%, 기타 도로공사 등의 토목건설에 10%씩 이용된다. 그 외 비철정련의 Flux, 안료, 융설제(隆雪濟) 등에 3%정도만 이용되고 있어 타업종에서의 용도활용에 어려움을 나타내고 있다.

매립처분은 파쇄, 분리 등의 사전처리를 행하는 공장이 8%이고 나머지 공장은 미처리 상태로 매립하고 있는 실정이며, 대부분 전문업자에 의한 위탁처리(59%)와 자가처리(28%)되고 있다. 폐사처리비용은 계속 상승하는 추세로 1992년 기준 과거 3년간 자가처리의 경우 25%, 위탁처리의 경우 37% 증가되었다.

3.2.2. 미국

미국의 전체 폐사발생량은 1990년 기준으로 650만톤으로 추정되고 있다. 미국의 주물업체들은 그들이 쓰고 남은 폐주물사의 처분에 관한 새로운 비용을 부담하게 되었고, 이를 해결하기 위해서 폐주물사의 처리비용 감소에 초점을 맞추게 되었다. 위스콘신 주의 경우, '92년 기준으로 폐주물사 1톤당 처리비용이 약 10~20달러이지만, 향후 10년 이내에 이러한 처리비용이 5배 이상 높아질 것으로 예상되고 있다.

3.3. 폐석면

석면 주요생산국은 캐나다, 남아프리카, 러시아 등이며 이중 캐나다 퀘백탄광이 서구에서 제일 주요한 백석면의 생산지인데, 전세계에서 상업적으로 생산되는 석면의 70%를 생산하고 있다(윤임중, 1998). 남아프리카는 갈석면과 백석면의 주생산지이다. 러시아는 전세계적으로 석면을 가장 많이 생산하고 있고, 이 곳에서 생산되는 백석면은 대부분 동구권에서 사용된다. 소량의 백석면이 미국(주로 버몬트주), 이탈리아, 키프로스, 중국, 남아메리카, 짐바브웨에서 생산되고 있고, 백석면은 호주에서 생산되고 있다. 직섬석은 핀란드에서만 생산된다. 현재 주요 생산국의 연간 생산량은 캐나다 160만톤, 남아프리카 78만톤, 러시아 260만톤이다. 그 외의 나라들은 총 620만톤의 전세계 생산량의 16% 정도를 생산하고 있으며 15만톤이 미국에서 생산된다. 국가별 석면 생산량 및 소비량은 <표Ⅲ-18>과 같다.

<표Ⅲ-18> 1995년 국가별 석면 생산량 및 소비량

국 가	생산량(톤)	국 가	소비량(톤)
러 시 아	1,000,000	러 시 아	700,000
캐 나 다	510,800	중 국	220,000
중 국	250,000	일 본	195,000
브 라 질	180,000	브 라 질	190,000
짐바브웨	145,000	태 국	164,000
남 아 공	100,000	인 도	123,000
그 리 스	50,000	한 국	85,000
스 위 스	30,000	이 란	65,000
인 도	25,000	프 랑 스	44,000
미 국	9,000	인도네시아	43,000
콜롬비아	5,000	맥 시 코	38,000
루마이나	3,000	콜롬비아	30,000
유고슬라비아	1,000	스 페 인	29,000
		미 국	29,000
합 계	2,308,800	합 계	1,955,000

자료: 한국석면협회, 『국내석면시장』, 1998.

3.3.1. 캐나다

퀘벡에서 매년 생산되는 백석면 중 대부분인 500천톤이 국외로 수출된다. <표III-19>는 1995년 캐나다로부터 수출된 석면의 양을 보여주고 있는데, 주로 일본, 태국, 한국 등이 속한 아시아에서 수입하고 있으며 이외의 34개국에서도 석면을 수입하고 있다.

캐나다는 매년 약 6,000톤의 백석면을 소비한다. 마찰재, 혼합재료, 석면사는 캐나다 국내시장에서 중요한 위치를 차지한다. 대부분의 국가와는 달리 캐나다는 석면시멘트제품을 생산하지 않는다. 북아메리카 주택시장이 원재료의 유용성 때문에 목재로 바뀌었고, 석면시멘트파이프로 만들어지는 상수도관을 포함하는 지하구조의 작업은 사실상 마무리되었기 때문이다. 퀘벡에서는 석면시멘트제품을 생산하지 않으므로 매년 2,000~3,000톤의 석면시멘트 제품을 수입하여 건축현장에서 사용한다.

<표III-19> 1995년 캐나다의 수출량(대륙별 최대 소비국)

아시아	수입량(톤)	아메리카	수입량(톤)
일본	85,202	콜롬비아	22,383
태국	75,898	미국	21,779
한국	44,422	멕시코	15,533
인도	42,936	브라질	14,700
말레이시아	47,327	칠레	8,033
인도네시아	26,296	베네주엘라	4,760
스리랑카	4,940	페루	4,256
파키스탄	3,821	아르헨티나	2,424
태국	3,779		
호주	1,397		
아프리카/중동	수입량(톤)	유럽	수입량(톤)
터키	5,348	프랑스	29,978
나이지리아	3,944	스페인	13,800
이스라엘	1,646	벨기에	6,936
아랍에미리트	3,218	영국	8,430
모로코	2,776	포르투갈	4,185
튀니지	920	아일랜드	2,970

자료: M. Meldrum, 『Review of fibre toxicology(섬유독성 연구고찰)』, 1998.

3.4. 폐촉매

3.4.1. 일본 및 미국

수소화탈황(HDS)폐촉매의 처리에는 재생, 유가금속 회수 및 안정적처리의 세가지 방법이 있으며 어느 한가지 방법으로는 HDS폐촉매의 전부를 처리할 수 없고 이 모든 방법을 다 동원해야 한다. 외국에서는 폐촉매의 30%정도를 재생하며, 40%정도 유가금속을 회수하며 나머지는 폐촉매에 함유된 중금속의 용출을 최소화하여 매립하고 있다. Silica alumina와 Zeolite가 주성분인 유동집촉분해(FCC)촉매는 중금속의 함량이 수천 ppm 정도로 낮아서 환경문제는 크지 않으나 발생량이 HDS폐촉매보다 월등하게 많아서 시멘트의 원료 등 대규모로 재활용되고 있다.

4. 국내 재활용 업체의 현황

4.1. 폐기물 재활용 업체현황

4.1.1. 폐기물 재활용처리 허가 및 신고업체 일반현황

(1) 허가 및 신고업체 현황

전체 재활용업체는 <표Ⅲ-20>과 같이 2,052개소인데 이중 허가업체가 483개소로 23.5%를 차지하고 있으며 신고업체는 1,569개소로 76.5%이다. 한편 이들 업체중 미가동업체의 비율을 보면, 허가업체가38개소로 7.8%이고, 신고업체가 219개소로 14%를 차지하고 있어 신고업체중 미가동업체가 월등히 많은 것으로 나타났다.

(2) 일반폐기물 및 지정폐기물 재생처리업체 현황

<표Ⅲ-21>을 보면, 전체 재활용업체 중 일반폐기물의 재활용업체는 1,785개소로 87% 차지하고 있는데, 이는 '95년 2,177개소에 비해 18% 감소한 것이다. 지정폐기물 재활용업체의 경우는 '95년에 비해 3.9% 증가한 267개소로 전체의 13%를 차지하고 있다. 한편 두 경우 모두 재생제품 제조업체의 비율이 월등히 높다.

일반폐기물 재활용업체 중 미가동업체는 216개소로 12%, 지정폐기물 재활용업체 중 미가동업체는 20개소로 7.5%에 해당되어 일반폐기물 재활용업체의 경우가 미가동율이 월등히 높은 것으로 나타났다.

<표Ⅲ-20> 폐기물 재활용 처리 허가 및 신고업체 현황

구 분	총 계			허가업체			신고업체		
	계	재생 제품 제조 업체	기타 재생 처리 업체*	계	재생 제품 제조 업체	기타 재생 처리 업체*	계	재생 제품 제조 업체	기타 재생 처리 업체*
계	2,052	1,750	302	483	458	25	1,569	1,292	277
가 동 업체수	1,795	1,516	279	445	422	23	1,350	1,094	256
미가동 업체수	257	234	23	38	36	2	219	198	21

* : 연료이용, 성토재이용, 수출용, 유가물회수 등으로 재생처리하는 업체임
 자료: 한국자원재생공사, 『96 전국 폐기물 재생처리 허가 및 신고업체 현황』, 1997.

(3) 연도별 재활용업체 비교

1994년~1996년 사이의 재활용업체의 현황을 보면, <표Ⅲ-22>와 같다. 경기침체로 인한 기업전반의 성장 둔화로 재활용업체의 수가 '94년 2,331개, '95년 2,434개, '95년 2,052개로 감소되고 있지만 이중 지정폐기물 재활용업체의 경우는 매년 증가하여 '96년에는 '94년 에 비해 약 30% 증가되었다.

<표Ⅲ-21> 폐기물 재활용업체 현황

구 분	총 계			*일반폐기물			지정폐기물		
	계	재생 제품 제조 업체	기타 재생 처리 업체	계	재생 제품 제조 업체	기타 재생 처리 업체	계	재생 제품 제조 업체	기타 재생 처리 업체
계	2,052	1,750	302	1,785	1,491	294	267	259	8
가 동 업체수	1,795	1,516	279	1,548	1,275	273	247	241	6
미가동 업체수	257	234	23	216	216	21	20	18	2

* : 연료이용, 성토제이용, 수출용, 유가물회수 등으로 재생처리하는 업체임
 자료: 한국자원재생공사, 『96 전국 폐기물 재생처리 허가 및 신고업체 현황』, 1997.

<표Ⅲ-22> 재활용업체의 연도별 변화 현황

	1994년		1995년		1996년	
	업체수	변화지수 (94/94)	업체수	변화지수 (95/94)	업체수	변화지수 (96/94)
계	2,331 (100%)	1	2,434 (100%)	1.04	2,052 (100%)	0.88
일반 폐기물	2,122 (91%)	1	2,177 (89.4%)	1.03	1,785 (87.0%)	0.84
지정 폐기물	209 (9%)	1	257 (10.6%)	1.23	267 (13.0%)	1.28

자료: 한국자원재생공사, 『96 전국 폐기물 재생처리 허가 및 신고업체 현황』, 1997.

4.1.2. 시·도별 재활용업체 현황

(1) 시·도별 재활용업체 (재생제품 제조업체) 현황

<표Ⅲ-23>에서 보는 바와 같이 전체적으로 재생제품 재활용업체 수는 '92년 1,315개에서 '95년 1,853개로 매년 증가하지만, 이중 미가동업체의 수도 '92년 177개에서 '95년 303개로 함께 증가하고 있다. 이중 일반폐기물 재생제품 제조업체와 지정폐기물 재생제품 제조업체의 수를 비교해보면, '94년 이후부터는 일반폐기물의 경우가 '94년 1,350개, '95년 1,620개로 지정폐기물의 '94년 193개, '95년 233개에 비하여 더 많은데 이는 폐기물분류시 이전의 지정폐기물 중의 많은 품목이 일반폐기물로 분류되었기 때문이다. 재생제품 제조업체는 경기도에 20%, 경상남도에 17%, 경상북도에 15% 정도씩 이들 3지역에 주로 위치하고 있으며, 반면 제주도와 광주시에는 거의 위치하고 있지 않다.

(2) 시·도별 재활용업체 (수거·운반업체) 현황

<표Ⅲ-24>에서 보는 바와 같이 1992년~1995년 사이의 전체적인 폐기물 수거·운반업체의 수는 감소하고 있으며, 더불어 미가동업체의 수도 감소하고 있다. 일반폐기물 수거·운반업체의 수와 지정폐기물 수거·운반업체의 수를 비교해보면, 일반폐기물의 경우가 지정폐기물의 경우보다 많으며, 특히 '94년 이후에는 그 수가 현격하게 증가하여 '95년의 경우 일반폐기물 수거·운반업체의 수는 557개인 반면 지정폐기물 수거·운반업체의 수는 24개이었다. 이는 폐기물분류시 이전의 지정폐기물을 담당업체가 일반폐기물 담당업체로 전환되었기 때문이다. 재활용 수거·운반업체의 경우도 경기, 경남, 경북 각각의 지역에 전체 업체수의 10~20%씩 위치하고 있으며 반면 제주도에 1개의 업체도 없는 것으로 나타났다.

4.2. 폐기물 재생처리허가 및 신고업체 세부현황

4.2.1. 시·도별 재활용업체의 처리현황

시·도별 재활용업체의 처리현황은 <표Ⅲ-25>와 같다. 총 1,795개의 가동업체에 대한 업체당 평균 종업원수는 30명 정도이며 업체당 평균 판매액은 12억원/년 정도인데, 경기도의 경우 업체당 판매액이 약 85억원/년으로 가장 많다. 또한 전라남도과 충청북도의 업소들의 경우도 판매액이 꽤 많은 것으로 나타났다.

한편 종업원 1인당 평균 판매액은 약 40,000천원/톤인데, 이 경우도 경기도가 1억원/톤으로 가장 많았으며, 다음으로 충청남도, 충청북도에서도 높게 나타났다.

4.2.2. 주요 폐기물별 재생처리 현황

<표Ⅲ-26>에서 보는 바와 같이 분진 재활용업체 중 41개의 가동업체의 경우 업체당 연간 수입액(판매총액)은 7.6억원이며, 이중 허가업체는 12개소로 업체당 연간 수입액은 2.8억원이고, 신고업체는 29개로 업체당 약 9.6억원이다.

폐주물사 재활용업체 중 가동업체는 33개로 업체당 연간 수입액(판매총액)은 1.2억원이며, 이중 허가업체는 1개로 연간수입액은 약 25백만원이고, 신고업체수는 32개소로 업체당 연간수입액은 1.3억원이다.

폐석면과 폐촉매의 경우는 가동되고 있는 업체가 없는 것으로 나타났다.

<표Ⅲ-23> 시·도별 재생제품 제조업체 현황

구분	총 업체수				일반폐기물 업체수				지정폐기물 업체수			
	92	93	94	95	92	93	94	95	92	93	94	95
계	1315 (177)	1476 (179)	1543 (265)	1853 (303)	580 (104)	480 (79)	1350 (238)	1620 (274)	735 (73)	996 (100)	193 (27)	233 (29)
서울	35 (6)	39 (3)	23 (3)	21	12 (3)	8 (1)	22 (3)	18	23 (3)	31 (12)	1	3
부산	105 (12)	96 (9)	52 (6)	89 (11)	28 (3)	8 (3)	40 (6)	76 (11)	77 (9)	88 (6)	12	13
대구	53 (1)	64 (6)	84 (2)	92 (14)	12 (1)	7	79 (2)	77 (13)	41	57 (6)	5	15 (1)
인천	99 (22)	69 (7)	62 (8)	85 (15)	60 (17)	27 (5)	44 (6)	64 (15)	39 (5)	42 (2)	18 (2)	21
광주	15 (1)	17 (1)	17	24	6	7	14	21	9 (1)	13 (1)	3	3
대전	27 (3)	40 (3)	16	18 (2)	7	8 (1)	11	12	20 (3)	32 (2)	5	6 (2)
경기	273 (40)	311 (23)	335 (42)	382 (49)	101 (12)	104 (6)	278 (33)	316 (39)	172 (28)	207 (17)	57 (9)	66 (10)
강원	34 (2)	39 (7)	95 (55)	61 (29)	15 (2)	21 (4)	93 (54)	60 (29)	19	18 (3)	2 (1)	1
충북	38 (2)	62 (14)	88 (17)	145 (25)	10 (1)	20 (4)	84 (16)	139 (23)	28 (1)	42 (10)	4 (1)	6 (2)
충남	71 (10)	97 (21)	120 (18)	166 (23)	43 (5)	52 (12)	111 (13)	154 (20)	28 (5)	45 (9)	9 (5)	12 (3)
전북	67 (27)	43 (3)	63 (14)	74 (20)	46 (25)	11 (1)	60 (14)	69 (18)	21 (2)	32 (2)	3	5 (2)
전남	50 (6)	83 (10)	103 (14)	106 (15)	28 (5)	42 (5)	94 (11)	97 (14)	22 (1)	41 (5)	9 (3)	9 (1)
경북	200 (16)	196 (24)	226 (42)	280 (46)	98 (15)	46 (8)	210 (42)	261 (44)	102 (1)	150 (16)	16	19 (2)
경남	242 (27)	314 (18)	254 (43)	304 (54)	109 (14)	119 (29)	208 (38)	253 (48)	133 (13)	195 (8)	46 (5)	51 (6)
제주	6 (2)	3 (1)	5 (1)	6	5 (1)	-	2	3	1 (1)	3 (1)	3 (1)	3

'94년부터는 현 폐기물 분류방법에 준함, ()안은 미가동 업체수임
 '93년 일반 폐기물업체수는 '93년 9월 9일부터 신고대상 13개품목에 해당
 자료: 환경부, 『전국 지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1996.

<표 III-24> 시·도별 수거·운반업체 현황

구분	총 업체수				일반폐기물 업체수				지정폐기물 업체수			
	92	93	94	95	92	93	94	95	92	93	94	95
계	828 (170)	1044 (256)	788 (154)	581 (104)	566 (125)	684 (140)	772 (150)	557 (99)	262 (45)	360 (116)	16 (4)	24 (6)
서울	125 (48)	184 (53)	51 (9)	48 (1)	95 (37)	148 (36)	49 (8)	48 (1)	30 (5)	36 (16)	2 (1)	-
부산	101 (58)	49 (23)	83 (23)	63 (4)	135 (42)	9 (3)	83 (23)	63 (4)	66 (16)	40 (20)	-	-
대구	59 (3)	48 (4)	33 (9)	61 (5)	30 (3)	16	33 (8)	61 (5)	29	32 (4)	-	-
인천	46 (12)	123 (40)	25 (1)	38 (20)	36 (11)	99 (27)	22 (8)	35 (17)	10 (1)	24 (13)	3 (1)	3 (3)
광주	7	21 (2)	22 (1)	-	6	17 (2)	22 (1)	-	1	4	-	-
대전	35 (4)	40 (11)	36 (1)	24	21 (1)	25 (6)	35 (1)	23 (1)	14 (3)	15 (5)	1	1
경기	93 (13)	223 (51)	173 (17)	86 (12)	67 (9)	129 (8)	168 (16)	81 (12)	26 (4)	94 (43)	5 (1)	5
강원	4 (1)	13	4	18 (5)	1	2	4	12 (5)	3 (1)	11	-	6
충북	26 (6)	78 (23)	84 (25)	56 (11)	1	35 (16)	83 (25)	52 (11)	25 (6)	43 (7)	1	4
충남	22 (5)	52 (12)	47 (11)	27 (9)	14 (4)	41 (10)	47 (11)	27 (9)	8 (1)	11 (2)	-	-
전북	3	3	9 (1)	15 (2)	-	-	8 (1)	14 (2)	3	3	1	1
전남	20 (5)	16 (5)	14	16 (3)	18 (5)	12 (5)	14	16 (3)	2	4	-	-
경북	87 (9)	76 (7)	114 (24)	58 (18)	73 (8)	63 (5)	111 (23)	56 (17)	14 (1)	13 (2)	3 (1)	2 (1)
경남	104 (12)	118 (26)	93 (25)	71 (14)	67 (5)	88 (22)	93 (25)	69 (12)	37 (7)	30 (4)	-	2 (2)
제주	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

'94년 부터는 현 폐기물 분류방법에 준함, ()안은 미가동업체수임
 '93년 일반폐기물 업체수는 '93년 9월 9일부터 신고대상 13개품목에 해당
 자료: 환경부, 『전국지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1996.

<표 III-25> 시·도별 폐기물 재활용업체의 세부현황

시·도	전 체				
	가동업체수 (개)	종업원 수 (명)	처리대상 폐기물량 (톤/년)	생산량 (톤/년)	판매총액 (천원/톤)
계	1,795	53,504	24,550,993	35,289,472	2,119,970,717
서울	20	119	21,316	20,574	1,101,531
부산	117	1,013	429,080	458,529	30,360,061
대구	90	955	78,707	87,192	16,683,764
광주	23	384	42,642	34,706	15,046,548
대전	13	111	18,183	16,828	941,319
인천	103	1,914	1,162,600	1,006,376	33,573,620
강원	395	9,700	1,959,359	1,577,975	304,683,247
경기	39	3,164	1,183,708	9,780,908	329,804,424
충북	140	7,864	3,278,057	2,871,129	534,434,552
충남	118	1,567	829,299	748,774	154,956,714
전북	85	2,096	391,950	339,975	13,093,765
전남	94	10,575	8,221,170	9,638,920	312,006,354
경북	271	6,190	4,360,500	5,297,108	234,872,557
경남	284	7,850	2,569,926	3,406,737	137,700,958
제주	3	13	4,497	3,740	711,303

<표 III-25> 시·도별 폐기물 재활용업체의 세부현황 (계속)

시도	업체 1개소당 현황				종업원 1인당 현황		
	종업원 수 (인/개)	처리대상 폐기물량 (톤/개)	생산량 (톤/개)	판매 총액 (천원/톤 · 개)	폐기물 량 (톤/인)	생산량 (톤/인)	판매 총액 (천원/톤 · 인)
계	29.8	13677.4	19659.9	1181042	458.9	659.6	39623
서울	6.0	1065.8	1028.7	55077	179.1	172.9	9257
부산	8.7	3667.4	3919.1	259488	423.6	452.6	29970
대구	10.6	874.5	968.8	185375	82.4	91.3	17470
광주	16.7	1854.0	1508.9	654198	111.0	90.4	39184
대전	8.5	1398.7	1294.5	72409	163.8	151.6	8480
인천	18.6	11287.4	9770.6	325958	607.4	525.8	17541
강원	24.6	4960.4	3994.9	771350.	202.0	162.7	31411
경기	81.1	30351.5	250792.5	8456524	374.1	3091.3	104237
충북	56.2	23414.7	20508.1	3817390	416.8	365.1	67960
충남	13.2	7027.9	6345.5	1313192	532.6	480.9	99523
전북	24.6	4611.2	3999.7	154044	187.1	162.3	6250
전남	112.5	87459.3	102541.7	3319217	777.4	911.5	29504
경북	22.8	16090.4	19546.5	866688	704.4	855.8	37944
경남	27.6	9049.0	11995.6	484863	327.4	434.0.	17542
제주	4.3	1499.0	1246.7	237101	345.9	287.7	54716

자료: 한국자원재생공사, 『96 전국 폐기물 재생처리 허가 및 신고업체 현황』, 1997.

<표 III-26> 폐기물별 재생처리업체 현황

재생처리 폐기물 종류		분진	폐석면	폐주물사	폐촉매
총계	가동업체수	41	0	33	-
	처리대상폐기물량 (톤/년)	299,735	-	390,844	-
	생산량 (톤/년)	506,849	-	914,246	-
	판매총액 (천원/년)	31,273,811	-	4,149,713	-
업체 1개 소당 현황	처리대상폐기물량 (톤/년/개)	7,311	-	11,844	-
	생산량 (톤/년/개)	12,362	-	27,704	-
	판매총액 (천원/년/개)	762,776	-	125,749	-
허가 업체	가동업체수	12	-	1	-
	처리대상폐기물량 (톤/년)	87,859	-	3,000	-
	생산량 (톤/년)	99,359	-	9,382	-
	판매총액 (천원/년)	3,435,068	-	25,574	-
업체 1개 소당 현황	처리대상폐기물량 (톤/년/개)	7,322		3,000	
	생산량 (톤/년/개)	8,280		9,382	
	판매총액 (천원/년/개)	286,256		25,574	
신고 업체	가동업체수	29	-	32	-
	처리대상폐기물량 (톤/년)	211,876	-	387,844	-
	생산량 (톤/년)	407,4901	-	904,864	-
	판매총액 (천원/년)	27,838,743	-	4,124,139	-
업체 1개 소당 현황	처리대상폐기물량 (톤/년/개)	7,306		12,120	
	생산량 (톤/년/개)	140,514		28,277	
	판매총액(천원/년/개)	959,957		128,879	

자료: 한국자원재생공사, 『96 전국 폐기물 재생처리 허가 및 신고업체 현황』, 1997.

IV. 유해폐기물 재활용의 저해요인

1. 유해폐기물 재활용의 저해요인

1.1. 재활용 기술의 수준저하

재활용기술의 수준이 낮음에 따라 발생하는 문제는 재활용을 통하여 회수되는 자원의 경제적 가치를 저수준에 머물도록 하거나, 재활용과정에서 2차적인 공해문제를 야기시키기도 한다.

1.1.1. 보유기술 현황

국내기업들이 폐기물을 재활용하는 데 있어 가장 어려움을 겪고 있는 사항은 기술부족이다. 627개 기업을 대상으로 조사한 결과는 <표IV-1>과 같다. 표에서 보는 바와 같이 재활용 기술을 보유하고 있는 기업은 겨우 36개 기업으로 전체 응답률(89.0%)을 감안하면 불과 6.4%의 기업만이 산업폐기물 재활용기술을 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.

보유기술은 단순기술과 특정기술로 나눌 수 있다. 단순기술로는 분쇄기술, 선별처리, 집진시설(bag filter/EP), 압출자석으로 HP드럼마개 수집, 소각(폐열이용) 등이 있으며, 특정기술로는 슬래그 재생기술, 석회질 비료화, 화학, 폐산 처리, 폐주물사 재생, flux재생, 윤활유/절삭유 재생 등이 있다.

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

재활용제품 생산업체의 자사보유 특허건수는 <표IV-2>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.

<표IV-1> 산업폐기물 재활용기술 보유현황

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

자료: 대한상공회의소, 『산업폐기물 재자원화 확대방안』, 1992.

<표 IV-2> 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
겸업체	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: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

1.1.2. 기술입수경로

국내 재활용업체에서 보유하고 있는 기술은 다양한 양상을 보이고 있다. 이러한 상황은 <표IV-3>에 나타내었다. 필요한 기술의 확보는 자체개발(27.8%)이 가장 많은 부분을 차지하며, 국내의 타기업으로 부터의 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.

산업폐기물이 고부가가치를 가지는 상품으로서 재활용되기 위해서는 고도의 기술이 요구되는데, 국내의 기술수준이 선진국에 비하여 많이 낙후되어 있으므로 자체 개발기술의 비중이 높다는 것은 오히려 국내 산업폐기물 재활용의 전반적인 기술수준을 낙후시키는 원인이 되기도 한다.

<표 IV-3> 산업폐기물 재활용기술의 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.

품목별 기술도입상황은 <표IV-4>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 어느 품목이나 자체기술개발이 압도적으로 많다. 기술도입의 경우 종이류(35%)와 철강(금속)류(30.4%), 비철금속류(27.2%) 제조업체에서 외부기술을 도입하는데 보다 적극적이었으며, 기술의 모방은 섬유류업체에서 21%로 높은 편이었다.

<표 IV-4> 기술입수원(품목별)

(단위: %)

구 분	자체 개발	기술도입		기술모방		계
		국내 기업기술	외국기술	국내기술	외국기술	
종이류	58.3	21.7	13.3	5.5	1.7	100.0
철강(금속)류	69.6	8.7	21.7	-	-	100.0
비철금속류	68.2	13.6	13.6	-	4.6	100.0
요업류	70.0	20.0	5.0	5.0	-	100.0
플라스틱류	70.4	14.8	3.7	9.9	1.2	100.0
섬유류	68.4	5.3	5.3	21.0	-	100.0
기타	60.0	18.1	7.9	12.3	1.7	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994

1.1.3. 기술개발 추진현황

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 우선 구매정책(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.

기술개발에 관련한 관심도는 재활용산업 활성화의 필수요인 기술개발에 큰 영향을 미치는 데, 이는 <표IV-5>에 나타내었다. 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 있음이 반영되어 있다.

<표 IV-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: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

1.2. 재활용 자원의 시장성
1.2.1 재활용원료의 사용비율

재활용제품제조업체 및 겸업업체가 생산과 관련하여 투입하는 재활용원료의 비율을 보면 50%이상의 원료를 사용하는 업체가 64.2%이고, 그 중 91%이상 사용하는 경우가 41.3%에 달한 반면, 재활용원료의 사용비율이 50%미만에 불과한 업체도 상당하여 전체의 35.8%나 되었다.

업종별 재활용원료의 사용실태는 <표IV-6>과 같이, 제조업체(66.3%)의 경우 겸업업체(59.6%)보다 재활용원료의 사용비율이 51%이상인 업체의 비중이 상대적으로 높았다. 특히 품목별로 보면 철강(금속)류(52.0%)와 플라스틱류(48.1%), 섬유류(47.4%) 생산업체에서의 재활용률이 높아 91%이상으로 거의 전량의 재활용원료를 사용하는 업체가 과반수에 달하는 것으로 나타났다.

<표IV-6> 재활용원료의 사용비율(품목별)
(단위: %)

원료비율 생산품목	50% 초과				50% 미만		계
	91-100 %	81-90 %	71-80 %	51-70 %	31-50 %	1-30 %	
종이류	38.1	12.7	14.3	7.9	6.4	20.6	100.0
철강(금속)류	52.0	4.0	8.0	4.0	16.0	16.0	100.0
비철금속류	39.1	13.0	4.4	13.0	4.4	26.1	100.0
요업류	17.4	4.4	-	8.7	13.0	56.5	100.0
플라스틱류	48.1	2.5	6.2	6.2	6.2	30.8	100.0
섬유류	47.4	5.3	5.3	10.5	10.5	21.0	100.0
기타	45.3	-	10.7	8.9	8.5	26.4	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

1.2.2 신원료와 재활용원료의 가격비

재활용업체에서 구입하는 재활용 원료의 가격수준이 신원료의 50%미만인 업체가 57.6%로 가장 많았는데(50-100%미만이 37.3%, 100%이상 5.1%), 이중 재활용제품 제조업체(53.9%)보다는 선별·수거업을 겸업하는 제조업체(64.5%)에서 비중이 높아 경제성면에서 상대적인 우세를 보였다.

품목별 신원료에 대한 재활용원료의 구입가격비는 <표IV-7>에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 요업(76.5%)을 비롯하여 플라스틱류(57.8%), 종이류(53.2%) 제조업체에서 재활용원료를 신원료가격의 50%미만으로 구입하는 업체가 과반수이상을 차지하여 다른 업종에 비해 경제성이 높음을 보여주고 있다.

이에 비해, 철강(금속)류·비철금속류·섬유류 등의 제조업체는 업체별로 구매가격이 다양하게 나타나고 있는데, 이는 이들 품목의 경우 국내 재활용원료 유통시장이 아직 체계화되지 못하고 있음을 반증하는 것이다.

<표 IV-7> 신원료대비 재활용원료의 구입가격비(품목별)
(단위: %)

원료비용 \ 생산품목	50% 미만		50% 초과			계
	30% 미만	31-50% 미만	51-70% 미만	71-10% 미만	100% 이상	
종이류	38.3	14.9	25.5	14.9	6.4	100.0
철강(금속)류	20.0	26.7	13.3	33.3	6.7	100.0
비철금속류	15.8	21.0	26.3	31.6	5.3	100.0
요업류	35.3	41.2	-	11.8	11.8	100.0
플라스틱류	35.9	21.9	20.3	20.3	1.6	100.0
섬유류	37.5	6.3	25.0	25.0	6.3	100.0
기타	45.6	31.2	12.5	3.6	7.1	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

1.3. 재활용 용지의 확보

1.3.1 입지 현황

재활용산업체의 입지현황을 보면 우선 유형별로는 개별입지(63.9%)에 위치하고 있는 경우가 가장 많았으며, 다음으로 공업단지(30.1%)와 농공단지(6.0%) 순으로 나타났다. 또한 지역별로는 대도시(37.8%)와 지방도시(25.6%) 등 도시지역에 주로 위치하고 있으며 시군교(27.3%)에 위치한 공장도 상당수에 달했다.

재활용업체의 업종별 입지유형상황은 <표IV-8>에 나타내었다. 또한 재활용업체의 업종별 입지지역현황은 <표IV-9>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 선별·수거업체의 경우를 보면, 개별입지(91.7%) 형태로 대도시지역(75.5%)에 집중분포하고 있는데, 이는 경제성이 있는 폐기물은 대체로 대도시의 가정 및 일반 산업체에서 다량 발생함에 따라 수거의 용이성, 수송 비용 등의 측면에서 대도시내에 위치하는 것이 보다 유리하기 때문인 것으로 풀이된다.

<표 IV-8> 입지유형(업종별)

(단위: %)

구 분	공업단지	농공단지	개별공장입지	계
제조업체	37.6	6.5	55.9	100.0
선별·수거업체	2.1	6.2	91.7	100.0
검업업체	29.4	4.7	65.9	100.0
전체평균	30.1	6.0	63.9	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

<표 IV-9> 입지지역(업종별)

(단위: %)

구 분	대도시	지방도시	시군교	기타	계
제조업체	31.9	29.0	30.2	8.9	100.0
선별·수거업체	75.5	7.5	15.1	1.9	100.0
검업체	26.7	30.0	28.9	14.4	100.0
전체평균	37.8	25.6	27.3	9.3	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

1.3.2. 재활용단지의 선호도

최근 정부가 용지난 해소책의 일환으로 추진중인 재활용단지 조성과 관련하여 재활용업체의 반응은 대체로 이를 환영하면서도 세부적인 입주조건에 대해서는 불만이 큰 것으로 나타났다. 업종별 재활용단지 입주의사는 <표IV-10>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 선별·수거업체 73.2%, 검업체 59.2%, 재활용제품 제조업체 55.2%로서 선별·수거업체에서의 입주의사가 가장 적극적인 것으로 나타났다.

매출액규모별 재활용단지 입주의사는 <표IV-11>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 3,600만원 미만이 89.5%, 3,600만원-5,000만원 미만이 66.7%, 5,000만원-1억원 미만이 77.3%, 1억원-10억원 미만이 69.2%, 10억원-100억원 미만이 44.9%, 100억원 이상이 33.9%로 나타나 대체로 중소기업일수록 재활용단지의 선호도가 높은 것으로 나타났다. 이는 중소기업일수록 재원이 부족하여 스스로 재활용단지를 구하기 어려우므로 정부가 마련하는 일에 더욱 적극적이기 때문이다.

<표 IV-10> 재활용단지 입주의사(업종별)

(단위: %)

구 분	있 다	없 다	계
제조업체	55.2	44.8	100.0
선별·수거업체	73.2	26.8	100.0
검업체	59.2	40.8	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

<표 IV-11> 재활용단지 입주의사(매출액규모별)

(단위: %)

매출액 입주의사	3,600 만원 미만	3,600- 5,000만 원 미만	5,000만원 - 1억원 미만	1 -10 억원 미만	10-100 억원 미만	100 억원 이상
있다	89.5	66.7	77.3	69.2	44.9	33.9
없다	10.5	33.3	22.7	30.8	55.1	66.1
계	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

재활용단지의 입주조건에 대한 업체의 만족도는 <표IV-12>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 업체의 만족도는 전반적으로 낮은 편이었는데, 특히 부지분양가(67.7%)와 정부자금지원(69.7%)에 대해서 불만이 크고, 기타 인력수급(66.3%)이나 지원서류 및 절차(54.2%), 사회간접시설(48.6%)이나 시장접근성(47.1%), 집단화를 통한 시설의 공동이용(36.3%)과 같은 부대조건에 대해서도 강한 불만을 표시하고 있다.

<표IV-12> 재활용단지 입주조건에 대한 만족도 (단위:%)

제조업체	불만족		보통	만족		계
	매우 불만족	불만족		만족	매우 만족	
부지분양가	40.2	27.5	30.7	0.8	0.8	100.0
정부자금지원	40.2	29.7	26.9	2.0	1.2	100.0
인력수급	37.4	28.9	30.1	2.8	0.8	100.0
시장접근성	22.3	24.8	45.8	5.0	2.1	100.0
사회간접시설	21.6	27.0	42.9	6.9	1.6	100.0
지원서류 및 절차	24.8	29.4	41.2	3.4	1.2	100.0
집단화를 통한 시설의 공동이용	19.6	16.7	44.9	11.4	7.4	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

1.4. 재활용산업체의 경영조건

1.4.1 자금조달

재활용업체들은 금융비용의 과다로 인한 부담이 크게 가중되고 있으며 현재 소요자금을 조달하는데 있어서도 상당한 애로를 겪고 있는 것으로 나타났다. 즉 정부의 금융지원(63.8%)이나 은행자금 (48.8%), 사채(51.3%) 등의 이용과 관련하여 불만을 표시한 기업이 거의 과반수에 달하거나 그 이상이었다.

특히 정부의 금융지원에 대한 불만은 <표IV-13>에서 보는 바와 같이 대체로 종업원 수가 10인 미만인 업체의 경우 83.0%인 반면 300인 이상인 경우는 46.4%로 영세기업일수록 크게 나타났다.

<표IV-13> 정부의 금융지원 전반에 대한 평가(종업원규모별) (단위: %)

인원수	불만족		보통	만족		계
	매우 불만족	불만족		만족	매우 만족	
10인 미만	69.6	13.4	16.1	0.9	-	100.0
10-20인 미만	49.3	18.3	28.2	4.2	-	100.0
20인-50인 미만	21.2	28.8	45.5	4.5	-	100.0
50인-100인 미만	28.1	21.9	46.9	-	3.1	100.0
100인-200인 미만	12.9	35.5	45.2	3.2	3.2	100.0
200인-300인 미만	7.7	46.2	46.2	-	-	100.0
300인 이상	10.7	35.7	50.0	3.6	-	100.0
전체평균	40.8	23.0	33.1	2.5	0.6	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

또한 정부 금융지원의 종류별 업계의 만족도를 보면 <표IV-14>와 같다. 표에서 보는 바와 같이 공업기반기술개발사업금(68.3%), 공업발전기금(66.6%), 에너지이용합리화기금(64.3%), 중소기업 구조조정기금(62.6%) 전반에 걸쳐 불만이 많은 것으로 나타나 이러한 지원들이 현재 기업의 수요에는 크게 미치지 못하고 있음을 보여주고 있다.

한편 정부의 금융지원을 활용하는데 있어 재활용업체들이 겪고 있는 애로사항을 보면 첫째, 자금 및 지원대상이 특정범위에 제한(70.7%)되어 있고 담보설정기준이 까다로우며(59.4%) 둘째, 금리 및 상환기간 등 대출조건이 불리(46.3%)하고 셋째, 기업규모가 작아 신용도가 낮다(44.1%)다. 한편 구비서류 및 절차의 복잡성(69.4%)이나 홍보부족으로 인해 지원내용의 파악이 어려운 점(48.5%) 등이 있다.

<표IV-14> 정부의 금융지원 종류별 만족도
(단위: %)

기금종류 \ 만족도	불만족		보통	만족		계
	매우 불만족	불만족		만족	매우 만족	
공업발전기금	46.3	20.3	30.4	2.7	0.3	100.0
공업기반기술개발사업금	46.9	21.4	27.7	3.3	0.7	100.0
중소기업 구조조정기금	38.7	23.9	31.0	5.8	0.6	100.0
에너지이용합리화기금	42.0	22.3	30.8	4.9	-	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

1.4.2 세제지원

정부의 현행 세제지원에 대해서 기업의 요구에 미치지 못한다는 부정적인 반응(69.7%)이 지배적인 것으로 나타났다.

정부의 세제지원 개별시책에 대한 만족도는 <표IV-15>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 세액공제(59.3%) 및 소득공제(54.6%), 부가가치세(54.0%), 준비금(51.8%), 특별상각(49.2%) 등 각종시책에 대해 불만을 표시한 업체가 과반수 이상을 차지하였다.

한편 재활용업체들이 세제혜택을 받는 데 있어 겪게 되는 애로사항으로는 복잡한 서류 및 절차(60.8%), 제한된 대상범위(45.3%), 이용방법에 대한 무지(43.0%), 서면신고기준에 의한 성실도 판정에 따른 일정소득금액 이상인 경우의 신고의무부과(41.7%) 등이 나타났다.

<표IV-15> 정부의 세제지원 개별시책에 대한 만족도
(단위: %)

시책 \ 만족도	불만족		보통	만족		계
	매우 불만족	불만족		만족	매우 만족	
세액공제	37.1	22.2	35.5	4.3	0.9	100.0
소득공제	31.8	22.8	43.3	1.5	0.6	100.0
부가가치세	34.0	20.0	41.0	3.8	1.2	100.0
준비금	27.7	24.1	45.6	2.0	0.6	100.0
특별상각	30.1	19.1	43.4	6.1	1.3	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

2. 유해폐기물 재활용의 문제점

2.1. 기술상의 문제점

우리의 재활용 기술이 단순기술과 자체기술 개발에 치중하고 있어 기술개발에 관한 문제는 분위기 및 여건에 관한 문제와 기술 그 자체의 문제로 나누어 생각할 수 있다.

2.1.1. 기술개발을 하는 분위기 및 여건의 취약성

재활용 기술에 대한 경제적 요구가 아직은 미흡하고 기술개발을 해도 그 성과에 대한 장래의 수요전망이 확실하지 않기 때문에 사업자의 기술개발 유인을 끌어내지 못하는 실정이다. 재활용 사업자의 기술개발력이 취약한 것도 문제이지만 그나마 개발된 기술의 실용화가 제대로 이루어지지 못하는 것이 더 큰 문제이다.

기술의 도입도 기술도입의 성과에 대한 보장이 없기 때문에 부진할 수밖에 없으며 현재로는 재활용기술 도입을 촉진하기 위한 지원이나 장려시책도 마련되어 있지 않는 실정이다. 1.1.2절에서 본 바와 같이 정부나 공공기관으로부터의 기술개발에 대한 지원도 매우 빈약하다.

2.1.2. 기술 자체상의 취약성

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. 그러나 우리의 현재체계는 아직 이러한 종합적인 기술관리 시스템을 위한 기본방향이 마련되어 있지 않은 실정이다.

2.1.3. 보유기술, 시설 및 전문인력의 취약성

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, 그로 인하여 시설설치확충 및 기술개발투자가 미흡한 실정이다.

기술개발투자가 부진함에 따라 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 시설 확충을 위한 제반여건이 개선되지 않고 있는 실정이다.

재활용업체는 인력 확보면에서 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.

2.1.4. 재활용 사업체의 영세성

산업폐기물은 본래 배출자 스스로 처리하는 것이 효과적이거나 배출업자가 기술이나 시설, 인력부족으로 곤란한 경우 전문대행업체에서 처리하는 것이 경제성이 있는 경우도 있다. 또 산업폐기물의 위탁처리는 다종다량으로 발생하는 폐기물을 종류별로 적정처리하기 위한 경제규모를 보장할 경우 전문업체의 특화를 통한 능률성이나 기술성 측면에서 유리한 점이 많다.

국내 산업폐기물은 대부분 자체처리되고 그 나머지는 위탁처리되고 있어 처리업체의 비중이 크다. 발생한 산업폐기물 중 위탁처리되는 비율은 크게 문제되지 않으나, 국내 위탁처리업체는 대부분이 규모가 작고 영세하다는 점과 위탁처리를 담당하는 대행업체가 전문화가 되어 있지 않다는 점이 큰 문제이다. 우리 나라 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 부족하다는 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.

2.2. 재활용 원료상의 문제점

국내에서 발생하는 재활용가능 폐기물을 원료로 사용할 때의 업종별 애로사항은 <표IV-16>에서 보는 바와 같이 전반적으로 원료수급의 불안정성(44.5%)을 지적하는 업체가 가장 많았으며, 다음으로 저품질(23.5%), 고가격(19.8%), 기술적 요인(12.2%) 등으로 나타났다.

품목별로 대부분 원료수급의 불안정성을 애로요인으로 나타내고 있으며 이는 <표IV-17>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 서로 약간의 차이를 보여 종이류 업계에서는 원료의 저품질(55.0%)로 인해, 섬유류(29.4%)와 비철금속(26.3%)의 경우에는 고가격으로 인해, 그리고 플라스틱류(13.4%)와 철강(금속)류(13.0%)는 기술부족으로 인한 어려움이 타품목에 비해 상대적으로 큰 편이었다.

<표IV-16> 국산 재활용원료 이용시 애로사항(업종별)

(단위: %)

구 분	고가격	저품질	원료수급의 불안정성	기술적 요인	계
제조업체	19.5	24.3	44.4	11.8	100.0
검업체	20.5	21.8	44.9	12.8	100.0
전체평균	19.8	23.5	44.5	12.2	100.0

자료: 상공회 의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

<표IV-17> 국산 재활용원료 이용시 애로사항(품목별)

(단위: %)

구 분	고가격	저품질	원료공급 불안정	기술 부족	기타	계
종이류	11.7	55.5	26.7	6.7	-	100.0
철강(금속)류	21.7	8.7	56.5	13.1	-	100.0
비철금속류	26.3	10.5	57.9	5.3	-	100.0
요업류	21.0	26.3	42.1	5.3	5.3	100.0
플라스틱류	22.4	13.4	50.8	13.4	-	100.0
섬유류	29.4	11.8	41.2	11.8	5.9	100.0
기타	19.5	12.2	51.2	17.1	17.1	100.0

자료: 상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.

이와 같이 산업폐기물은 발생이 근본적으로 배출업체의 일상 통제범위 내에 있지 않고 수요도 변동적이기 때문에 재생자원이 수요와 공급의 양측면에서 불안정한 요소를 가지고 있다. 이로 인하여 재활용 자원의 가격은 변동폭이 심하고 이것이 다시 수요자와 공급자와의 장기적인 전망을 불가능하게 함으로써 더욱 재활용 제품의 수요와 공급을 불안정하게 만든다. 특히 국내의 재활용 사업자는 대부분 규모가 영세하고 또 노동집약적이라는 특성으로 인해 갈수록 그 수익성이 떨어지고 있어서 공급이 계속 감소되고 있는 실정이다.

2.2.1. 수요상의 문제

재활용원료에 대한 수요는 신규자원에 비하여 안정적이지 못하다. 일반적으로 재활용자원을 원료로 하는 상품은 신규자원을 원료로 하는 상품에 비하여 품질이 떨어지고 규격화도 제대로 되어 있지 않기 때문에 수요가 많지 않고 사회정책이나 분위기에 따라 매우 변동적이다. IMF 지원체제에서 재활용원료의 수요가 공급을 넘는 경우에는 재활용원료가격이 상승하여 재활용업체의 원가를 상승시켜 수익성을 더욱 떨어뜨리게 되므로 어려움이 가증된다.

2.2.2. 공급상 문제

재활용자원의 공급도 신규자원에 비하여 덜 안정적이다. 재활용제품은 일반적으로 신규자원 제품에 비하여 원료가 잡다한 것을 포함하고 있고 원재료가 되는 유용한 폐기물을 분별하는 비용 등으로 인하여 가격면에서 불리한 경쟁위치에 있게 된다. 또 재활용 제품의 품질을 균일하게 유지하거나 규격화하는 것도 어렵다. 산업폐기물은 그 자체가 생산목적이 아니고 상품생산의 부산물로 나타나기 때문에 그 수요량의 변동에 따라 배출량의 조절이 근본적으로 되지 않는다.

따라서 유용하게 재활용 할 수 있는 가격의 폐기물은 변동이 심하고 양적으로도 안정적인 확보가 곤란하여 폐기물의 지속적인 공급에 지장을 초래한다.

2.2.3. 유통체계의 취약성

국내에서 수거·활용되고 있는 재활용자원의 경쟁력이 약화되고 있다. 폐기물은 그 특성상

제품의 생산량과 밀접한 관련이 있어 발생량이 시기별로 차이가 있고, 국내 민간 수거업체들의 비활성화로 인해 폐자원의 수거 및 유통체계 그리고 가격체계가 정비되어 있지 않아 수급이 불안정하다. 특히 국내수거 폐자원을 수입폐자원과 비교할 때 가격면에서도 큰 차이가 없을 뿐만 아니라 품질·수급안정성 등에서도 열세에 있는 실정이다.

우리 나라의 산업폐기물 재활용 산업의 발전을 저해하는 중대한 요인의 하나는 산업폐기물의 발생처와 사용처를 연결하여 주는 유통체계가 확립되어 있지 않다는 것이다. 대부분의 산업폐기물 배출업체는 폐기물을 필요로 하는 재활용 업체에 대한 정보가 없으며 배출업체와 수요업체를 전문적으로 연결시켜주는 유통기관이 없어서 대부분이 위탁처리업체를 통하여 종말처리하고 있는 실정이다. 따라서 국내에서도 산업폐기물이 다량 발생되고 있음에도 불구하고 현재 재활용업체들은 외국으로부터 산업폐기물을 수입하고 있는 실정이다.

국내기업에서 배출되는 산업폐기물 중 재활용이 가능한 폐기물이 재활용되지 못하고 있는 주요한 이유는 유통체계의 미비(사용처 부재 또는 불명)이다.

이와 같은 유통기관의 부재는 근본적으로 산업폐기물의 유통이 수익성이 없다는데 원인이 있지만 산업폐기물의 종류와 발생량 그리고 대량 발생처 등에 대한 정보가 부족한 데도 원인이 있다. 또 산업폐기물에 대한 획일적 규제에 의한 재활용 가능한 폐기물의 엄격한 처리지침으로 인하여 재생업체에게 판매하지 못하고 처리업체에게 위탁처리할 수 밖에 없는 경우도 많다.

산업폐기물에 대한 유통체계에 대한 확립을 위해서는 근본적으로 폐기물자원이 경제적인 가치를 견지하도록 하는 가격구조의 변혁이 있어야 하지만, 부가적으로 폐기물의 재활용 용도에 대한 기업홍보와 재활용기술의 보급, 그리고 폐기물 배출업체 및 재활용업체에 대한 정보가 배출업체와 재활용업체 간에 상호교환 될 수 있는 정보종합관리체계의 마련과 전문적인 유통기관의 육성이 시급하다고 하겠다. 그러나 아직 우리 나라에는 산업폐기물의 유통체계 확립을 위한 기초단계에 있다.

2.2.4. 재활용자원의 경제성의 취약성

국내에서 재활용이 부진한 주요 이유로서 배출업체와 처리업체의 재생자원의 경제성 결여를 꼽고 있다. 재활용이 부진한 다른 이유도 따지고 보면 재활용비용이 신규자원 구입가격보다 더 높다는 데 있다. 재활용자원은 신규자원에 비하여 일반적으로 품질이 떨어짐에도 불구하고 재활용비용은 신규자원의 생산이나 수입비용보다 높은 것이 오늘의 현실이다.

이것은 폐기물의 회수 및 처리에 인력이 많이 소요되는데 최근 들어 현저하게 높아진 임금 수준으로 인해 그 비용이 크게 상승한 탓이다. 또 기술수준도 재활용부문의 기술개발이 늦어서 신규자원개발에 비하여 더욱 노동집약적이 되게 하고 이것이 추가적으로 재활용자원의 경제성을 상실시키는 요인이 되고 있다.

재활용자원의 경제성이 신규자원에 비하여 떨어지는 것은 재활용이 가져오는 편익이 재대로 반영되지 않는 가격구조 탓이다. 자원의 재활용은 자원절약의 편익에 국한되지 않고 폐기물이 환경에 방치됨으로써 일어날 수 있는 오염비용과 배출된 폐기물의 처리에 소요되는 비용을 절약하게 해주는 편익이 있는데, 이 환경적 편익이 바로 외부경제가 되며 이것이 거래가격에 반영되지 않기 때문이다.

이것은 바꾸어 말하면 신규자원의 사용은 사용자 전체로 볼 때는 자원생산비용에 결과적으로 그 자원사용이 가져오는 환경오염비용까지는 함께 지급하고 있음에도 그 사실을 우리가

모르고 있기 때문이다. 결국 재생자원이 가지고 있는 편익이 충분히 고려되거나 신규자원에 지불되는 실제비용이 제대로 파악될 때 재생자원의 신규자원에 대한 상대적 경제성은 회복되게 된다.

따라서 재생자원의 경제성을 회복하기 위해서는 재생자원의 사용에 대하여 환경오염의 잠재 피해자인 소비자나 소비자를 대신한 정부가 환경오염방지비용을 보조해 주거나 아니면 신규자원 사용에 대하여 환경오염방지비용을 부과하는 방법으로 이루어져야 할 것이다. 즉 재생자원과 신규자원이 모두 사회적 기회비용을 반영하도록 가격구조가 개편되면 재생자원의 신규자원에 대한 경제적 열위성은 사라지게 된다.

또 재활용 제품에 대해서는 일반적으로 정보가 부족하고 재활용 제품에 대한 소비자의 이해가 부족한 것도 재활용 상품에 대한 수요감소의 한 원인이다.

이것은 재활용 상품에 대한 수요를 감소시키고 또 불안정적인 것으로 만든다. 이러한 현상은 소득의 증가에 따라 소비자의 고품질에 대한 수요증가로 인하여 경제성장과 더불어 더욱 심하게 된다.

또 재활용의 대상이 되는 유용한 폐기물 중에는 그 성분조성이 복잡 다양한 것이 혼입되어 있는 것이 많으며, 동일용도 제품에 있어서도 형상 등이 각양각색이기 때문에 재활용 제품의 제조공정에 그대로 투입하기가 어려운 경우가 많다. 이러한 재생자원의 특성은 결과적으로 재활용 자원 제품의 품질을 저하시키는 주원인이 되고 이러한 품질저하는 결국 재활용 제품에 대한 수요감소와 재활용 자원에 대한 파생적 수요감소를 야기시키게 된다.

따라서 정부나 사회제도가 인위적으로 재활용 자원 제품에 대한 안정적인 수요처를 확보해 놓지 않으면 재활용 자원에 대한 안정적인 수요는 기대하기 어렵게 된다. 현재 우리사회는 재활용 제품에 대한 인위적인 고정수요의 확보가 이루어져 있지 않아서 재활용 기업이 장기적으로 사업계획을 세우지 못하게 되고 따라서 투자나 기술개발이 제대로 이루어지지 못하고 있다.

2.3. 용지확보의 취약성

현행법은 재활용사업자에 대하여 국가 또는 지자체가 공급하는 공장용지에 우선 입주할 수 있도록 필요한 조치를 강구하도록 규정하고 있다. 즉, 국토이용관리법시행령 제14조 제1항에 의하여 준농림지역에 재활용시설(30천㎡이내)의 입지를 허용하고 있으며, 공매법시행령 제34조에 의하여 재생재료 가공처리업 및 재활용제품 제조업을 현지 근린공장으로 지정, 수도권지역내의 입지를 허용하고 있다. 또한 건축법 시행령 제65조 제1항에 의하여 자연·생산 녹지지역(보전녹지제외)에의 재활용시설의 입지를 허용하고, 도시계획법 시행규칙 제17조 제1항 제3호에 의하여 개발제한구역(GB)내 지방자치단체의 집하선별장 및 민간 건축폐제 재활용시설(10,000㎡)의 설치(시·군별 3개소 이내)를 허용하고 있다.

그러나, 재활용업체의 용지부족난이 더욱 심각해지고 있다. 현재 수도권의 인구집중으로 인한 택지개발 등으로 기존 재활용업체들도 도시외곽으로 밀려나고 있는 실정이며, 특히 선별·수거업체의 경우 폐자원의 원활한 수거·집하를 위해 폐기물발생지와 근접한 입지 그리고 수거 폐기물의 보관을 위한 충분한 저장확보가 필수적이지만, 현실적으로 이들 업체가 필요로 하는 용지의 확보가 어려운 실정이다. 정부에서는 수도권의 자원재활용 촉진과 재활용업체의 부지난 해결을 위해 시화공단내에 13만 6천평에 이르는 자원재활용단지를 조성·분양 중에 있다. 하지만, 재활용단지의 입주를 희망한 재활용업체들도 저장지 확보, 공동기술개발 등 동업종간의 집단화이익을 고려하여 입주를 원하고 있으나 부지분양가, 자금지원, 재활용단지의

위치, 사회간접시설, 지원서류 및 절차 등 구체적인 입주조건에 대해서는 대체로 불만이 크다.

2.4. 경영상의 문제점

2.4.1. 비효율적인 자금지원과 세제지원

재활용산업의 육성을 위해 설비자금, 연구·기술개발자금 등 정부의 각종 재원 또는 기금에서 우선 지원토록 하고 있으나, 이러한 지원은 담보능력을 갖춘 중견기업에만 해당되어 실제로 지원이 필요한 영세 소기업은 이러한 혜택수여에서 제외되고 있는 실정이다. 특히 이들 업계에서는 정부의 홍보부족으로 지원내용을 제대로 파악하지 못하고 있을 뿐만 아니라, 지원서류 및 절차가 까다롭고 지원대상이 제한되는 등 엄격한 대출요건으로 인해 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 또한 재활용업체들은 대부분 설비기기나 공장을 근저당 설정하여 운전자금을 대부 받아 사용하고 있으나, 무등록 공장은 담보가치가 없어 운전자금조차도 이용하기가 불가능한 형편이다.

한편, 세제지원과 관련해서도 재활용업체들은 혜택을 받기 위한 이용방법을 아예 모르고 있거나 안다고 하더라도 이를 위한 서류 및 절차가 복잡한 데에 애로를 느끼고 있으며, 특히 영세수거업자들은 법인전환 없이 개인사업자로 남아 있는 경우가 다수여서 세제혜택을 받기가 어려운 실정이다. 또한 재활용설비 또는 오염방지설비의 확충시에도 정부의 자금지원 및 관세감면 혜택을 받지 못하고 있으며, 세제혜택을 받는 데 근거가 되는 거래자료의 확보 또한 영세한 수집체계 등으로 인해 사실상 어려우며 더욱이 현재 일반화되어 있는 무자료법래(無資料法來) 관행도 중과세 대상 및 세무감사 등의 불안요인을 내재하고 있다는 점에서 재활용품의 수거율 제고 및 재활용산업의 활성화에 장애가 되고 있다.

V. 고형 유해폐기물 시험방법 및 재활용기술

1. 유해폐기물의 관리체계

고형유해폐기물은 현행 폐기물관리법상 다음의 유해물질의 종류와 기준에 나타난 바와 같이 납, 구리 등 유해물질을 함유한 것은 지정폐기물로, 기타 유해물질을 함유하지 않은 것은 일반폐기물로 규정하고 그 보관, 처리, 처분방법을 정하여 적정하게 관리하도록 하고 있다.

유해폐기물의 종류 및 기준은 ① Pb, Cu (용출기준 3.0mg/l), ② As, Cr⁶⁺ (용출기준 1.5mg/l), ③ CN, 유기인 (용출기준 1.0mg/l), ④ Cd, 트리클로로에틸렌 (용출기준 0.3mg/l), ⑤ 테트라클로로에틸렌 (용출기준 0.1mg/l), ⑥ Hg (용출기준 0.005mg/l)이다.

보관관리 방법은 ① 유해물질을 함유한 주물사와 일반 주물사는 구분 보관하여야 한다. 또한 재사용이 가능한 것은 따로 보관해야 한다. ② 보관장소에는 외부로부터 지표수가 흘러들지 않도록 그 주변에 배수로 등을 설치하여야 한다. ③ 지정 폐기물의 경우 보관기일은 120일 (배출량이 연간 1톤 미만의 경우 240일)을 초과해서는 안되며, 보관장소에는 지정폐기물의 종류, 양 및 보관기간 등을 설치한 표시판을 설치하여야 한다고 규정되어 있다.

수집, 운반 방법은 ① 수집, 운반 장비로부터 흘날리거나 흘러나오거나 악취 등이 발생하지 않아야 한다. ② 지정 폐기물의 경우, 수집, 운반 차량은 황색으로 도색하고 환경관리청장이 발행하는 차량증을 부착하고 회사명 전화번호를 부착 또는 표기하여야 한다. 글씨의 크기는 가로 100cm 이상, 세로 50cm 이상이어야 하며 글씨의 색깔은 검은색으로 해야 한다고 규정되어 있다.

납 및 구리 등 유해물질을 함유한 지정폐기물에 대한 처리기준 및 방법은 지정폐기물 관리형 매립시설에서 처리하거나 또는 시멘트, 합성고분자 화합물 등으로 고형화 처리하도록 하고 있으며, 일반 폐기물은 관리형 또는 안전형 매립시설에서 매립처리 하도록 하고 있다. 납 및 구리 등 유해물질을 함유한 지정 폐기물의 불법 투기는 2년 이하의 징역, 1천만원 이하의 벌금(폐기물 관리법 제61조)이 주어진다.

2. 용출시험 방법

고형유해폐기물의 지정 또는 일반 폐기물로 분류하는 기준을 결정하는 데는 용출시험방법이 사용되고 있으며, 이는 국내와 국외의 시험방법에 차이가 있다. 따라서 이에 대한 정확한 이해와 적용방법을 고찰하고자 국내와 국외의 용출시험방법을 상술하였다.

2.1. 국내의 폐기물 공정시험법

2.1.1. 시료액 조제

(1) 육상 매립 처분용 폐기물

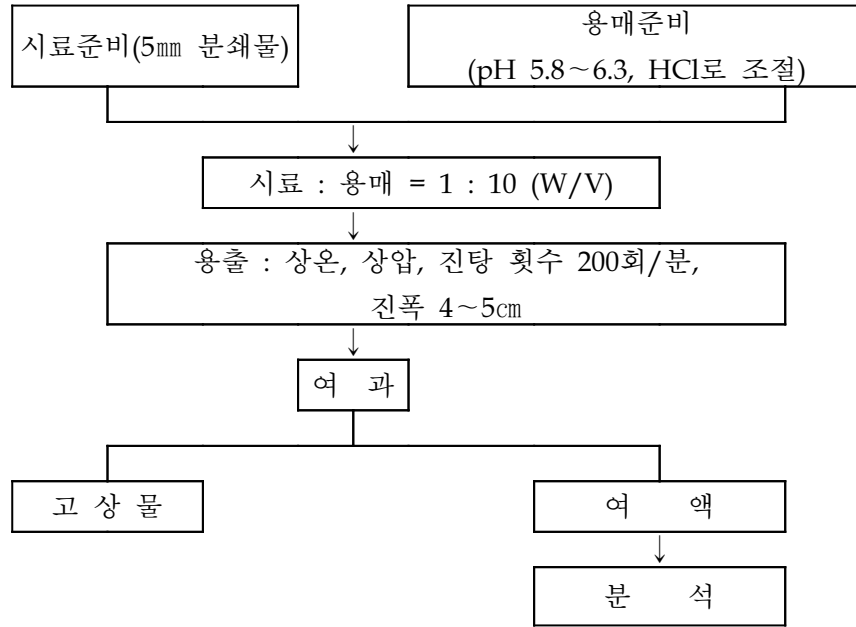
시료 적당량(단위, g)을 정밀히 달아 증류수에 염산을 가하여 pH 5.8~6.3으로 한 용매(단위, ml)를 1:10(W:V)의 비율로 혼합하여 혼합액이 500ml 이상 되도록 한다.

(2) 공유수면 매립 처분용 폐기물

시료 적당량(단위, g)을 정밀히 달아 증류수에 수산화나트륨을 가하여 pH 7.8~8.3으로 한 용매(단위, ml)를 1:10(W:V)의 비율로 혼합하여 혼합액이 500ml 이상 되도록 한다.

2.1.2. 용출조작

상온 상압에서 진탕 횟수가 매분 약 200회, 진폭이 4~5cm인 진탕기를 사용하여 6시간 연속 진탕한 후 여과하여 여과액을 적당량 취하여 분석한다. 이를 도표로 나타내면 <그림 V-1>과 같다.



<그림 V-1> 국내의 폐기물 공정 시험법

2.2. 미국의 용출시험방법

2.2.1. EPT(Extraction Procedure Toxicity Test Method and Structural Integrity Test: EPA SW-846-Method 1310)

(1) 범위 및 응용

이 방법은 Extraction Procedure Toxicity의 특징을 나타내고 있으며, 위생학적 매립시 폐기물의 용출 여부를 검사하는 방법이다.

(2) 시료액조제

- ① 시료(고형물질)의 크기가 9.5mm보다 크면, 파쇄하여 9.5mm체를 통과하도록 해서 시료를 준비한다.
- ② 시료 100g을 추출 용기에 넣고 증류수를 16배(중량기준) 첨가한다.

(3) 용출조작

- ① 재료(고형물)와 증류수를 추출용기에 넣은 후 교반을 시작하고 추출기내의 용액의 pH를 측정한다. pH >5.0 이면 용액의 pH를 0.5N 초산을 사용하여 5.0±0.2로 감소시키고, pH ≤5.0이면, 초산을 넣어서는 안된다. 용액의 pH는 추출과정 동안 관찰되어야 하며, 만일 pH가 5.2이상으로 증가하면, 0.5N 초산을 가하여 pH를 5.0±0.2로 조절해야 한다. 그러나 어떠한 경우에도 용액에 가해지는 산의 총량이 4ml of acid/g of solid를 넘어서는 안된다.

다. 혼합물은 24시간 교반되어야 하며, 이 동안의 온도는 20~40℃(68~104°F)로 유지되어야 한다. 추출과정 동안 용액의 pH를 관찰하여, 필요하다면 0.5N 초산을 사용하여 pH를 5.0±0.2로 조정한다. 이때 용액의 pH는 15분, 30분, 60분 간격으로 조절되어야 하며, 조절과정은 최소 6시간 동안 계속되어야 한다.

- ② 만일 24시간 추출 끝에 용액의 pH가 5.2이하가 아니고 산의 최대량(4ml of acid/gr of solid)이 가해지지 않았다면 pH는 5.0±0.2로 조절되어야 하며, 추출은 4시간을 부가적으로 계속해야 하며, 그 동안에 pH는 1시간 간격으로 조절되어야 한다.
- ③ 추출 끝에 증류수는 다음 식에 따라 결정된 양을 추출 용기에 첨가해야 한다.

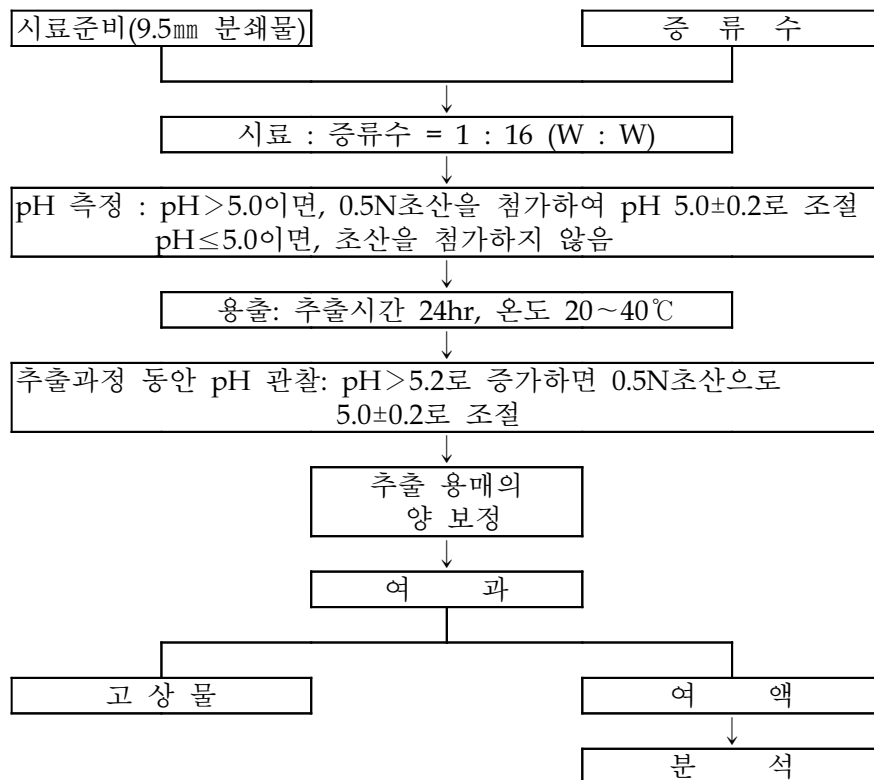
$$V = 20(W) - 16(W) - A$$

V: 부가된 증류수의 부피(ml)

W: 추출용기에 넣어진 고형물의 무게 (g)

A: 추출 과정 동안 부가된 0.5N 초산의 부피

- ④ 추출물을 규정에 의하여 액상과 고상으로 분리하여 여과액을 적당량 취하여 분석한다. 이를 도표로 나타내면 <그림 V-2>와 같다.



<그림 V-2> EPT 시험법

2.2.2. TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)

(1) 범위 및 응용

액체, 고체, 그리고 다상 폐기물에서 유기물 및 무기물 오염물질의 이동성을 결정하기 위하여 고안되었다.

(2) 시약

1.0 N 염산(HCl), 1.0 N 질산(HNO₃), 1.0 N 수산화나트륨(NaOH),
빙초산이 사용된다. 추출용액 종류에 따라 2가지로 제조한다.

① Extraction fluid #1 : pH 4.93±0.05

500ml의 증류수에 5.7ml 빙초산을 넣고, 64.3ml의 1.0N NaOH를 가한 뒤, 1ℓ의 부피로
희석한다.

② Extraction fluid #2 : pH 2.88±0.05

증류수에 5.7ml 빙초산을 가하여 1ℓ로 희석하여 제조한다.

(주의) 추출 용액은 매일 신선하게 제조되어야 하며, pH는 정확한지를 실험하기 전에 측
정해야 하고, 이러한 용액은 불순물에 대해 종종 검사를 해야한다.

(3) 시료액 준비

① 시료의 크기가 9.5mm보다 크면 파쇄하여, 9.5mm체를 통과하도록 해서 시료를 준비한다.

② 사용 추출액 결정

폐기물의 고상의 작은 부 표본을 측정하고 필요하다면 고상을 지름이 약 1mm정도로 입
자 크기를 감소시키고, 500ml의 비이커나 삼각 플라스크에 5g을 넣는다.

(4) 용출조작

① 증류수 96.5ml를 가한 뒤, 시계 접시로 달고 자석 교반기를 이용해 5분 동안 격렬하게
교반한 후, pH를 측정하여 기록한다.

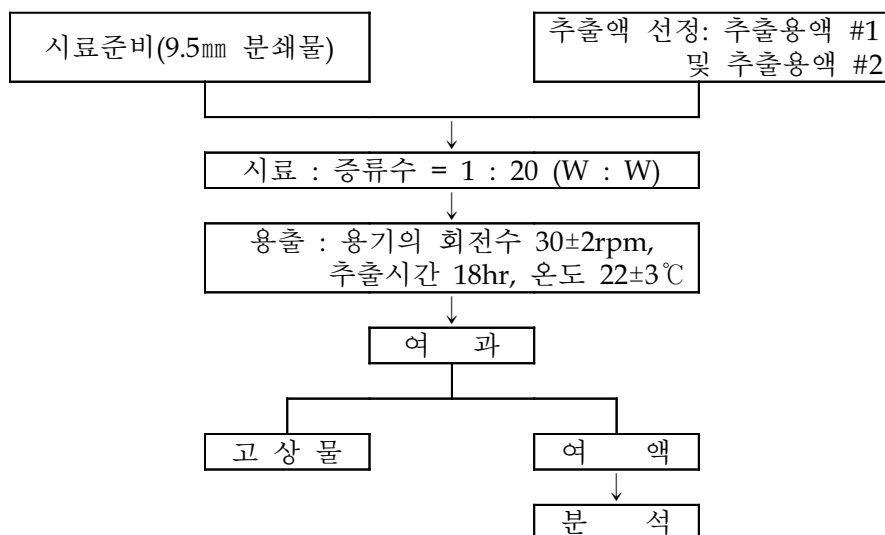
② pH≤5.0이면 추출용액 #1이 사용되고, pH>5.0이면 1.0N HCl 3.5ml를 가하고, 30초 동안
시계 접시를 덮고 50℃로 가열하고, 10분동안 방치한다. 용액을 실온에서 냉각시키고,
pH를 측정하여 pH≤5.0이며, 추출용액 #1이 사용되고, pH>5.0이면 추출용액 #2가 사용
된다.

③ 시료(고상물) 100g을 추출용기에 넣고 고상무게의 20배에 해당하는 추출액을 가한다.

④ 추출용기에 뚜껑을 완전히 닫고, 30±2rpm으로 회전되는 회전 추출장치에서 18시간 동안
추출을 행한다. 이때 온도는 22±3℃로 유지되어야 한다.

⑤ 추출이 완료되면, 규정된 유리 여과기를 통하여 고상과 액상으로 분리하여 분석을 실시
한다.

이를 도표로 나타내면 <그림 V-3>과 같다.



<그림 V-3> TCLP 시험법

2.2.3. MEP(Multiple Extraction Procedure)법 (EPA SW-846-Method 1320)

(1) 범위 및 응용

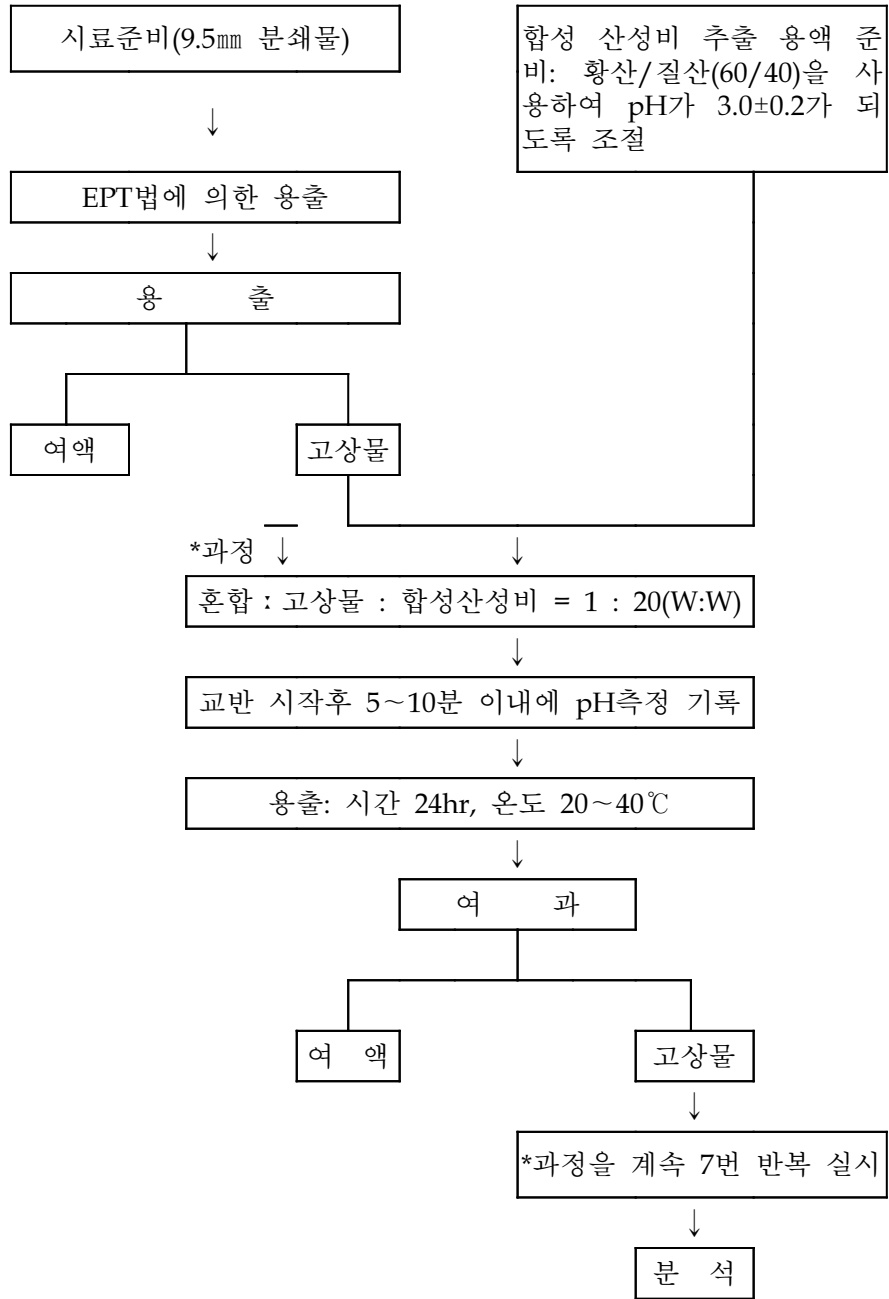
MEP는 부적절하게 설계된 위생학적 매립시 반복적인 산성 강우로 인한 침출을 모사하도록 설계된 시험법이다. 반복적인 용출은 자연환경에서 침출되는 것과 같으므로 각각의 성분이 가장 높은 농도를 나타내준다. 이 방법은 액체, 고체 및 다상의 시료에 모두 응용할 수 있다.

(2) 시약

황산:질산을 30:40으로 혼합한다.

(3) 방법

- ① 먼저 고형화된 폐기물을 EPT방법에 의하여 용출시험을 실시한다.
 - ② 관심 성분에 대해 추출 용액을 분석한다.
 - ③ 합성 산성비 추출 용액 준비: 황산과 질산의 중량비가 60:40 비율로 첨가해서 pH가 3.0±0.2가 되도록 조절한다.
 - ④ ①의 과정에서 분리된 시료의 고상 무게를 측정하여 고상 시료의 20배에 해당하는 합성 산성비 추출용액을 ①의 과정에서 사용한 추출용기에 고상시료와 함께 넣고 교반을 시작한다. 교반 후 5~10분 이내에 pH를 기록한다.
 - ⑤ 혼합물을 20~40℃(68~104°F)에서 24시간 동안 교반한 후, pH를 기록한다.
 - ⑥ 추출물을 액상과 고상으로 분리하여, 관심성분에 대해 여과액을 분리 분석한다.
 - ⑦ ④,⑤,⑥의 과정을 7번 더 반복한다.
 - ⑧ 만일 9번의 합성 산성비 추출을 완료한 후, 관심의 성분 농도가 7번과 8번째 추출에서 보다 증가하였다면, 추출물에서 관심 성분의 농도 증가가 끝날 때까지 합성 산성비를 가지고 계속해서 추출한다.
 - ⑨ 각각의 추출에서 초기와 말기 pH 및 관심 성분의 농도를 기록한다.
- 이를 도표로 나타내면 <그림 V-4>와 같다.



<그림 V-4> MEP시험법

3. 용출시험방법의 비교

2절에서 설명한 각 시험방법을 비교·분석하였다. 이는 <표VI-1>에 나타내었다. 표에서 보는 바와같이 국내의 용출시험방법이 다소 미국의 용출시험방법에 비하여 용매의 pH, 용매와 시료의 비율, 용출시간 등의 용출조건이 순하다.

<표 V-1> 각 용출 시험 방법의 비교

시험법 항목	국 내	미 국		
	폐기물 공정시험법	EPT	TCLP	MET
적 용	유해특정 폐기물 분류	매립시 폐기 물의 용출여부	오염물질의 이동성 결정	산성비에 의한 침출모사
시료사용량	50g 이상	100g	100g	100g
시료의 입도	5mm 이하	9.5mm 이하	9.5mm 이하	9.5mm 이하
용출장치	수평왕복 진탕기	교반기	회전식 진탕기	교반기
용출용매	증류수 + HCl	증류수 + 0.5N 초산	추출용액 #1: 증류수+빙초산 +1.0N+NaOH 추출용액 #2: 증류수+빙초산	증류수 + 황산/ 질산 (60/40)
용매의 pH	5.8~6.3	5.0±0.2 (시료와 용매 혼합시)	추출용액 #1 : 4.93±0.05	3.0±0.2
용매와 시료의 비율	1:10(W:V)	1:20	1:20	1:20
용출 온도	상온	20~40℃	22±3℃	20~40℃
용출 시간	6시간	24시간	18시간	24시간 (9회 반복 실시)
교반 조건	진탕횟수: 매분 200회 진폭:4~5cm	충분한 교반	30±0.2rpm	충분한 교반

자료: 한국자원연구소, 『아스콘 채움재료의 제강 Dust의 사용 특성에 관한 연구』, 1995.

4. 가용 기술

재활용은 다음 3가지 방법으로 분류된다.

- ① 물질회수: 폐기물로부터 특정 2차물질의 회수(예: 스크랩에서 금속회수 등)
- ② 물질전환: 폐기물의 타용도로의 이용(예: 스크랩의 도로용 포장재료·건재(建材)의 이용 등)
- ③ 에너지 전환: 폐기물로부터 에너지 회수(열이용, 발전 등) 또는 에너지원의 회수(핵연료 등)

일본 및 유럽의 여러 선진공업국에서는 산업폐기물의 재활용, 소각 등에 의한 감량화 및 에너지 회수 등을 적극적으로 시행하고 있고 환경측면과 경제·사회적 측면을 고려하여 종합적으로 산업폐기물을 관리한다. 따라서 경제발전에 따라 산업구조가 선진공업국화 되어 가고 있는 우리 나라도 산업폐기물의 효율적인 관리를 위하여 현재 선진공업국에서 이용되고 있는 재활용기술, 감량화기술 및 에너지회수기술 등을 검토하여 관련기술의 개발에 박차를 가해야 한다.

4.1. 단순 재활용 기술 (저급기술)

4.1.1. 분쇄

분쇄의 목적은 고체표면적을 크게 하여 반응, 용해, 추출정도 등을 조정하거나 용도에 적합

한 입도와 형상을 부준 하기도 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 고품폐기물의 재활용에 있어서 분쇄공정은 필수적이며, 거의 모든 처리계통에 분쇄기가 이용되고 있다. 이것의 목적은 분쇄로 폐기물의 크기 및 용적을 작게하여 그 후에 이어지는 소각, 매립, 유기물회수, 선별 재자원화, 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 4개 항목으로 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, 설비를 간단히 하는 등의 이점이 있다.

4.1.2. 사분기술

사분은 망목(網目)을 사용하여 이를 통과하는 입자나 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 등이 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 않으며, 이와 같은 경우는 회전사를 사용하면 경사원통형의 사면회전에 따라 내부의 폐기물은 층이 형성되지 않아 효과적으로 분리가 가능하다. 회전사의 공급측에서 배출측을 향하여 공기를 불어 넣으면 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 불어넣으면 이 폐기물은 휘날려 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.

4.2. 유용성분 회수기술 (고급기술)

폐기물로부터 특정 2차 물질을 회수하기 위한 물질회수 방법이다.

4.2.1. 자계를 이용한 선별기술

고구배자기분리(HGMS: high gradient magnetic separation)는 전자석으로 만든 자장공간내에 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 밑쪽(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.

지금까지는 어려웠던 각종 금속간의 비중차에 의한 상호분리를 실현할 수 있다. 자성유체는 액 중에 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, 희토류 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 건설 잔토 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 건설현장에 재 공급한다. 이 분쇄, 분급, 재파쇄의 공정 중에 자선기와 금속검출기를 설치하여 잔토에 섞여져 있는 모든 금속물을 분리·제거한다.

폐주물사의 재활용을 위해서는 모래 중에 혼입되는 미세한 철분이 많아지면 철물표면의 마무리가 나빠져 불량품이 많이 발생하게 되므로, 철분의 제거를 위해 풍력 선별기, 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.

4.2.2. 분체의 특성평가법

얻어진 입자의 특성을 아는 것은 재활용율을 높이거나 고부가가치 재활용품을 생산하는 데 필수적이며, 분체의 특성을 평가할 수 있는 방법 아래와 같다.

(1) 화학조성

원료조성의 균일성은 X선 회절, 전자현미경, 물성 측정 등에 의하여 종합적으로 판단하며, 본래 단일상인 화학조성이면 조성의 균일성은 이상(異相)이 존재하는지의 여부를 판단한다. 상을 판정하는 데는 X선 회절이 가장 간단한 방법이고, 또한 전자현미경, 분석전자현미경 등은 혼합상태에 대한 정보가 얻어지나, 정량적으로는 측정이 곤란하다.

(2) 입도·입자형태

① 전자현미경

입도, 입도분포, 입형, 미세구조 등 동시에 다량의 정보를 얻을 수 있다.

② 침강법

어느 매체중의 입자가 중력에 의하여 침강하는 속도는 입자의 크기와 관계되므로, 이 침강 속도를 측정함으로써 입도를 평가하는 방법이며, 미립자이면 침강에 시간이 걸리고 또한 브라

운 운동에 의한 영향이 현저해지므로 원심법이 쓰여진다.

③ X선 회절법

X선 회절의 회절선으로 구하는 방법으로 이 방법에 의하여 $0.1\mu\text{m}$ 이하인 결정자의 크기를 측정할 수 있으며, 결정자와 단일 입자는 반드시 일치하지 않으나, 다른 측정법과 비교하여 입자구조를 평가하는 경우에는 효과적이다.

④ 비표면적법

비표면적을 측정하여 평균입경을 구하는 방법인데, 비표면적 측정법으로 흡착법, 침지열법, 투과법이 있으나, 일반적으로는 흡착법, 특히 BET법이 널리 이용되고 있다.

⑤ 레이저 광에 의한 방법

최근 입도 분포 측정법으로 등장하여 시판되고 있는 것으로 마이크로트랙 입도 분석계가 있다. 이것은 입자에 의한 광의 회절이 입경에 따라 다른 점을 이용한 것이며, 단시간에 측정이 가능하고 입도의 측정범위는 $0.1\mu\text{m}$ 이상으로 되어 있다.

4.2.3. 플라즈마 분리

전기 에너지가 전자를 재개하여 이온 혹은 중성입자의 열에너지로 변환될 때, 상압에 가까운 분위기로 형성되는 플라즈마는 입자간의 충돌빈도가 높고, 입자간의 에너지 교환이 잘 행하여져 열평형에 가까운 상태가 되는 데 이를 평형플라즈마 또는 열플라즈마라고 부르며, 자원분리, 회수와 같은 대량의 물질처리 공정에 적용된다.

전기가열에 의한 플라즈마에는 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 플라즈마를 이용한 조업이 스웨덴의 SKF사에 의해 개발되었다. 粉狀의 분진은 석탄분과 혼합하여 샤프트爐의 플라즈마 입구에 붙여넣는다. 샤프트爐는 코크스로 충전되어 있어서 爐내전체가 플라즈마로부터의 입열로 1200°C 이상 유지된다. 입구 근처에서 금속산화물은 환원되고, 아연 및 연은 플라즈마 고온에 기화하여 CO가스와 함께 코크스의 틈을 통하여 로내의 응축기를 통한 CO가스는 세정되어 일부는 플라즈마 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 플라즈마 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.

4.2.4. 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 기관 폐기물의 재활용에 이용되며, 유해성분은 슬래그로 고정하고, 유가금속은 매트

회수한다. 연료에 있어서도 가능한 폐유로부터 얻은 재생유를 사용한다.

4.2.5. 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 따라서 황산 또는 염산을 사용하는 산침출법, 가성소다 또는 암모니아를 사용하는 알칼리침출법 및 물을 사용하는 수침출법으로 나누어진다.

4.3. 고형화 기술

고형화 기술은 폐기물을 타용도로 이용하기 위한 물질전환기술로서, 유해폐기물의 최종처분을 위하여 적당한 형태의 폐기물로 전환시키는 단위조작이다. 따라서 폐기물의 물리적 특성 및 취급을 향상시키고 어떤 물질을 첨가하여 유해성분의 이동이나 독성을 최소화시켜 준다

고형화는 원래 방사성 폐기물을 처리하는데 사용되어 왔으며, 주요 목적은 쉽게 운반할 수 있고, 오랫동안 저장하기 위한 적당한 고형물을 만들어 내는데 있다. 이러한 물질은 오염물 노출의 가능성을 감소시키고, 분해되지 않아야 하며, 또한 값이 싸고 쉽게 생산되어야 한다.

유해폐기물이 자연상태에 노출되면 여러 경로를 통하여 인간 및 자연에 심각한 영향을 미친다. 이중 가장 심각한 영향을 미치는 경로는 Dusting과 Leaching으로 이는 유해폐기물을 고형화시킴으로써 충분히 완화시킬 수 있다. 즉, 폐기물의 고화시 물리적, 화학적 작용이 동시 또는 단독으로 발생하여 취급을 용이하게 하고, 폐기물의 물리적 성질을 개선시키거나 화학적 변화에 의하여 폐기물의 용해도를 감소시킨다. 또한 폐기물의 침출용액과의 접촉을 감소시켜 폐기물로부터 오염물질이 쉽게 용출되는 것을 방지할 수는 있으나 유해성분을 완전 분해시키지는 못한다.

현재 사용하고 있는 유해폐기물의 S/S process(Solidification/Stabilization process)는 고형화제(solidification agent)의 종류와 유해폐기물의 성질에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다.

4.3.1. 포틀랜드 시멘트법(Portland Cement-based System)

포틀랜드 시멘트는 다른 Inorganic binder에 비해 안정한 구조체를 형성할 수 있다. 따라서 여러 가지 폐기물 처리에 이용되고 있으며, 포틀랜드 시멘트 단독으로 사용하는 경우와 폐기물의 성질에 따라 포틀랜드 시멘트에 Lime, Clay, Solvent, Soluble silicate 등과 같은 첨가제를 사용하는 경우가 있다.

포틀랜드 시멘트는 방사성 폐기물이나 유해 물질을 함유하는 폐기물을 고화처리 하여 육상 매립 또는 해양 매립하는데 이용되고 있다. 이때, 폐기물 자체에 존재하는 물은 시멘트와 반응하여 수화 생성물을 형성하고, 폐기물 중의 고상은 콘크리트를 형성하는 골재로 작용하기도 한다.

폐기물과 시멘트의 최적 물성은 폐기물의 형태와 조성에 의존하며, 시멘트의 수화와 작업성을 부여하기 위해 첨가되는 물의 양, 즉 W/C (Water/Cement ratio)도 폐기물 자체의 물성에 의존한다. 몇몇 고상폐기물은 많은 물을 흡수하여 고화과정에 필요한 물량을 감소시키며, W/C가 높으면 고화체 내부에 많은 기공이 형성되어 해양 투기나 육상 매립에 의해 자연환경에 노출되는 경우, 유해폐기물이 용출될 수 있기 때문에 유해 폐기물을 고화처리 할 때는 각각의 폐기물의 성질에 따라 배합비와 W/C를 조절하여야 한다.

4.3.2. 석회 기초법(Lime-Based System)

석회기초법은 Lime 단독으로 또는 Lime에 첨가제로 Fly ash, Ground blast-furnace slag, Clay 등을 첨가하여 포졸란 반응을 이용하여 안정화하는 방법이며 다음과 같은 장점을 갖고 있다.

첫째, 고화재의 가격이 매우 싸고 널리 이용 가능하다.

둘째, 공정에 요구되는 운전이 간단하고 널리 이용된다.

셋째, 석회-포졸란 반응의 화학성은 간단하고 잘 알려져 있다.

넷째, 폐기물의 탈수는 물의 응결(setting)반응에 요구되지 않기 때문에 필요하지 않다. 반면에 석회와 그 밖의 첨가제는 운반되거나 매립되어질 무게와 부피를 증가시키고, 코팅되지 않는 석회기초 제품은 시멘트 기초법의 경우와 같이 매립을 위해 잘 설계된 매립장이 요구되는 등의 단점을 갖고 있다.

4.3.3. 피막보호법 (Surface Encapsulation System)

이 공정은 폐기물을 100℃ 정도에서 건조시킨 후 플라스틱성 재료(Asphalt bitumen, paraffin, polyethylene 등)와 혼합시키는 방법으로, 냉각시 고형화되어 폐기물 입자가 플라스틱으로 피복된다. 이러한 이음매가 없는 피복된 입방체는 자연환경에 의한 열화나 물에 특별한 저항을 가지며, 큰 stress에도 저항감을 가질 수 있다. 이로써 폐기물이 염화나트륨과 같은 용존물질이나 물과 접촉되지 않도록 피복될 수 있다.

특히 이 방법은 포졸란 및 시멘트 고형화로는 처리할 수 없는 용해성이 높은 독성물질을 효과적으로 고형화 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 피막보호 수지가 비싸며, 특별한 장비와 숙련된 기술이 필요하고, 폐기물 건조와 플라스틱 용융에 에너지가 많이 소모되고 초기 시설 투자비가 비싼 점 등 여러 가지 단점을 가지고 있다.

4.3.4. 기타

이외에 유해폐기물을 고형화시키기 위한 여러 가지 방법들이 연구되고 있다. 예를 들면 소다, 석회와 폐기물을 혼합한 후 열을 가하여 고형화시키는 유리 질화법, 폐기물에 점토 등을 첨가한 후 소결하는 소결 고형화법 그리고 플라즈마를 이용해 유해폐기물을 고형화시키는 플라즈마 용융법 등이 있다. 이러한 방법들은 안정적으로 유해폐기물을 고화처리 할 수 있는 장점이 있으나 고가의 처리비용, 고도로 숙련된 기술 및 고가의 장비들이 요구되는 단점을 가지고 있다.

4.4. 재활용기술의 혼용사용 예

저급기술과 고급기술을 혼용한 예로써 알루미늄 드로스를 재활용하는 경우를 설명하면 다음과 같다.

알루미늄 드로스를 재활용하기 위해서는 다음의 5단계 공정이 필요하다.

① 분쇄·선별 공정

드로스 중의 알루미늄 금속과 산화물을 분리하기 위한 분쇄·선별 공정이 구성되어 분쇄하기 어려운 금속이 망상산물(網上産物)로 회수된다.

② 침출·탈(脫)가스에 의한 고액현탁액의 제조

잔회의 조성은 산화물이 주체이고, 산화물은 대부분이 알루미늄 산화물이며, 생산하는 합금 종류에 따라서는 실리콘, 마그네슘 산화물이 함유된다. 잔회와 집진회는 세정수와 혼합되어 침출조로 운반된다. 침출조에는 교반기 장착 탱크가 사용되며, 온도 80~90℃로 유지하여 약 3시간 체류된다.

③ 공정가스의 분리와 무해화

침출공정 및 여과공정의 흡인가스는 가스 무해화 공정으로 보내지며, 잔회로부터 발생하는 가스는 가연성 가스이므로 연소처리가 적합하다. 연소로의 온도는 암모니아의 분해온도인 600~800℃로 설정되어 있다.

④ 고액분리에 의한 청정액과 여과에 의한 잔재 회수

침출로 얻어진 고액현탁액은 여과되고 여액은 청정한 염 용액으로 되어 농축공정으로 보내진다. 잔사는 이 단계에서는 아직 염농도가 높기 때문에 염농도가 시멘트 회사의 허용규격에 적합하게 세정한다.

⑤ 청정액의 농축, 정석(晶析), 원심분리에 의한 용융염의 재생

염용액의 농축 정석은 일반적으로는 열교환기, 진공증발 및 결정을 조합하여 행하는데, 배기가스처리에 연소법을 채용하기 때문에 열의 재이용을 고안한 플래시 이베퍼레이터를 채용하고 있는 것이다. 여기서는 사이클론으로 기액분리가 행하여지고 농축액은 숙성조에 보내진다. 기체는 여과의 수세액으로 스크러빙 하면 무해화 되어 대기중에 배출되고 가스 세정액은 용해에 되돌려지며 숙성된 결정은 원심분리되어 모액은 농축공정에 순환되고, 분리된 결정은 그대로 혹은 건조시켜 재생 용융염이 된다. 마지막으로 NaCl, KCl의 비율이 조정되어 최종제품이 된다.

①과 ④단계는 저급기술에 해당하며, ②, ③ 및 ⑤단계는 고급기술에 해당하므로, 유해폐기물로부터 고부가가치 제품으로 재활용하기 위해서는 재활용기술의 고급화가 이루어져야 한다.

5. 국내 재활용 기술현황

우리 나라 기업들이 폐기물을 자원화 하는데 있어 가장 어려움을 겪고 있는 점은 기술부족이다. 국내 재활용기술 보유현황을 보면, III장에서 본 바와 같이 불과 6.4%의 기업만이 산업폐기물 재활용기술을 보유하고 있으며 보유기술의 내용도 대부분 단순처리기술이 차지하였고 유가자원을 회수하는 고급기술은 30%에도 미치지 못하는 것으로 조사되었다.

처리기술 축적 또한 앞III장에서 본 바와 같이 주로 산업계 자체에서의 개발이나 해외기술 도입으로 이루어지고 있는 반면, 정부나 공공기관으로부터의 기술입수는 극히 저조한 양상을 보이고 있다.

이러한 기술상의 문제는 재활용을 통하여 회수되는 자원의 경제적 가치를 낮은 수준에 머물도록 하거나 또는 재활용과정에서 2차적인 공해문제를 야기시키기도 한다. <표V-2>는 '92년 생산기술연구원에서 조사한 공업기술 수요조사 현황으로 환경기술분야에서 평가한 환경산업부문 핵심기술의 기술수준이다. 주요 폐기물 처리기술의 기술개발단계를 선진국과 비교해보면 유해폐기물 처리기술은 약 20정도 낮아 도입기 정도에 해당되지만, 재활용기술은 이보다 더욱 낮아서 약 10정도로 개발중인 단계이다.

이와 같이 현재 국내의 경우는 보유하고 있는 기술수준의 낙후와 자체의 기술개발이나 기

술도입 등 기업의 기술축적을 위한 노력이 부족하다는 심각한 문제를 가지고 있다.

<표 V-2> 주요 폐기물처리기술 분야별 국내기술 개발동향

핵심소요기술	기술수준 (최고기술 보유국의 수준을 100으로 기준)		개발단계					
			미 개 발	개 발 중	도 입 기	성 장 기	성 숙 기	쇠 퇴 기
폐기물의 자원화 기술	미국	80				○		
	일본	100				○		
	EC	100					○	
	한국	10		○				
유해폐기물 처리 기술	미국	90					○	
	일본	90					○	
	EC	100					○	
	한국	20			○			

자료: 박봉찬, 박현서, 「산업폐기물의 고부가소재화」, 『월간폐기물』, 6월호, 1996.

VI. 품목별 특성 및 재활용 기술 현황

1. 분진

1.1. 분진의 유해성

1.1.1. 제강분진

최근 급격한 산업의 발전에 따른 유해폐기물 발생량의 증가로 인하여 그 처리문제가 환경오염면에서 매우 중요시되고 있다. 이들 유해폐기물 중 제강산업에서 발생하는 전기로 제강분진(Electric Arc Furnace Dust : EAF Dust)도 어려운 처리문제 중 하나이다. 전기로 분진(EAF Dust)이란 전기로에서 고철, 합금철, 생석회 등을 용융시키는 과정에서 발생하는 일종의 극히 미세한 먼지로서, 장입 고철의 1.2~1.5wt% 정도인 먼지가 발생하게 되는데, 여러 단계의 백필터(Bag filter)에서 포집된다. 이 먼지는 다른 종류의 먼지와는 달리 유해성 물질로 분류된다. 전기로 분진은 유해중금속을 다량 함유하고 있어 용출시험에서 중금속 농도가 폐기물관리법에서 정한 기준치를 초과하는 경우가 있어 지정폐기물로 분류된다.

1.1.2. 석탄회

석탄회는 석탄을 원료로 하는 화력발전소에서 미분탄을 1,400~1,500℃ 고온으로 연소시켰을 때 회분(Ash)이 고온의 연소가스와 더불어 생성되는 미세한 분말이다.

이러한 폐기물은 빗물이나 지하수 등에 의하여 유해 중금속이 침출될 수 있고, 이들이 환경에 노출될 경우 사람과 생태계에 유해한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 발생원으로부터 최종처분과 사후관리에 이르기까지 특별한 관리가 요구된다. 즉, 고온 처리하여 유가자원을 회수하거나 경제성이 없는 경우에는 차단형 매립을 통하여 침출수에 의한 환경오염을 최소화하여야 한다.

1.2. 분진의 특성

1.2.1. 제강분진

전기로 분진은 여러 종류의 웨라이트 및 기타 산화물들로 구성되어 있는, 물리·화학적으로 복잡한 미세입자들이 응집되어 배출되기도 하며, 전기 집진기로 포집하여야 하는 정도로 미세한(1.0 μ m이하 크기의 입자를 90wt%이상 함유함) 입자로 구성되어 있다.

분진들의 화학조성은 주원료인 고철의 조성에 주로 영향을 받으며 로의 크기, 화학반응, 집진시스템 등과 같은 다른 요인과는 관계가 없다. 최근에는 강의 부식을 방지하기 위하여 비철을 코팅한 강의 사용이 증가함에 따라 분진의 Zn, Pb함량도 증가하는 추세이다.

분진들은 일반적으로 구형이며 10~0.1 μ m정도의 크기를 갖으나 대부분 1 μ m이하이다. 이 분진 입자들 중 약 25%정도(6~60%까지 변할 수 있음)는 자성을 나타낸다. 제강분진의 주 Phase는 Fe₃O₄또는 ZnFe₂O₄이며 극히 일부 MnFe₂O₄도 존재한다고 알려져 있다.

국내 dust의 경우, 아연(Zn)과 그 화합물로서 20~35wt%, 철(Fe)과 그 화합물은 20~30wt%, 납(Pb)과 그 화합물로서 1~8wt%, 카드뮴(Cd), 크롬(Cr) 등도 소량 함유되어 있으며,

염소(Cl₂) 및 그 화합물로서 2~6.5wt% 함유되어 있다.

탄소강 제조시 발생하는 분진의 전형적인 화학조성 분석치는 <표VI-1>와 같다.

<표VI-1> 탄소강 제조시 발생분진의 화학조성 분석결과

성 분	함 량(wt%)
ZnO	13~30(Typically 18~26)
Fe	28~38
Pb	1~6(Usually 1)
CaO	4~14(Typically 4)
Mn	4~5
Cl	1~7
F	1.3 Max
Cd	200~500 ppm
Cr	<0.025
Mg	2

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

1.2.2. 석탄회

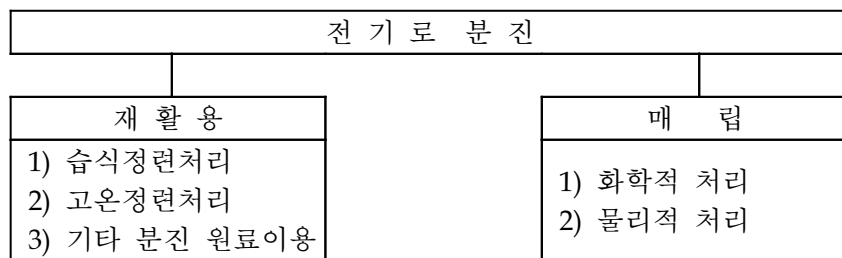
석탄회는 주로 화력발전소에서 발생하는 부산물이므로 원탄의 성분에 크게 좌우될 뿐만 아니라 나라별, 지역별, 제조공장 및 시기에 따라 다소 다르다. 일반적인 Fly Ash 성분들은 SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃의 순으로 구성되어 있고 silica가 전체의 50%정도 이상 차지한다.

석탄회는 분말의 입자크기에 따라서 대개 두 가지로 분류된다. 입자크기가 100 μ m이하인 경우에는 Fly Ash(날아다니는 회분)이고, 그 이상인 입자를 Bottom Ash(떨어지는 회분)로 분류가 된다. Fly Ash의 비중은 2.0~2.2범위이고 회백색의 것이 많으며 대부분 구모양으로 되어 있다. 한편, 보일러爐底에 낙하하는 석탄회를 “클링커애시”, 이코노마이저 하부에서 채취한 것을 “신더애시”, 전기집진기의 하부에서 포집된 것을 “EP회”라하며, 보통 신더애시와 EP회를 함께 플라이애시라 총칭한다. 이 경우 석탄회의 발생비율은 클링커애시 10~25%, 신더애시 5%, EP 회가 70~85%이고, 플라이애시가 석탄회의 80~90%를 차지한다.

1.3. 발생 및 처리시 문제점

전기로 제강분진의 국내 발생량은 약 18만톤(1993) 정도이며 2000년에는 30만톤에 이를 것이다. 이러한 발생량 중 66.1%가 위탁 또는 처리업자에 의해 매립처리 되고 있다.

전기로 제강공정의 분진발생에 가장 큰 영향을 주는 것은 용해하는 고철 중에 들어있는 휘발성물질이다. <그림VI-1>에서 보는 바와 같이 재활용과 매립 측면이 고려되고 있으며 각국마다 실정에 맞도록 적절한 방법을 선택하여 분진을 처리하고 있는 실정이다.



<그림 VI-1> 전기로 제강분진 처리(Tree of EAF dust treatment)

한편 석탄회는 최근 연간 200여만톤 발생되고 있으며, 2000년경에는 약 500만톤 발생될 것으로 추정된다. 석탄회 또한 발생량의 대부분을 매립처리하고 있다.

전기로 분진은 지정 폐기물로 매립처리지 특별규제 되고 있다. 매립방법은 우선 분진의 용출실험을 통해서 유해물질의 함유가 확인되는 경우에는 차단형 매립을 해야하며, 유해원소 용출 폐기물은 무해공정 처리 후 계속 관리형 매립을 해야한다. 이러한 처리에도 불구하고 일본의 경우 특정지역에서는 무해화 처리를 하여 매립하는 것도 금지하고 있다.

이와 같이 전기로 제강분진은 엄격히 관리해야 하지만, 국내에서는 매립 또는 임시적인 방법의 고용화 처리에 의한 매립이 부분적으로 실시되고 있어 현재에는 처리를 제대로 하지 못하고 있는 형편이다.

1.4. 재활용의 필요성

최근 각종 산업의 발전에 따라 유해폐기물이 다량으로 배출되면서 환경오염문제를 유발시키게 되므로 무해화 시키거나 안전하게 처리되는 것이 시급한 문제이다. 대부분의 경우 매립의 방법을 사용하지만 유기성 독성 물질을 그냥 매립하면 지하수로 침출될 가능성이 높으므로 처분되기 전에 적절한 처리를 통하여 자연계로의 유출을 차단하는 안전매립방식을 이용하여야 한다.

분진을 처리하는 방법으로는 전처리(화학적 안정화) 후 매립하는 방법이 있다. 전처리의 가장 일반적인 방법은 시멘트를 이용하여 고형화하는 것이다. 고형화 메카니즘은 시멘트입자가 물과 수화반응을 일으키면 중금속 이온이 시멘트의 알카리 분위기에서 불용성의 Carbonate와 Hydroxide를 만들어 시멘트 고화체내의 기공에 갇히거나 또는 유해물질이 시멘트의 수화반응에 관여하여 고분자 화합물, 특히, Chilate화합물을 생성하여 화학적 고정화를 일으킨다. 그러나 시멘트의 강도발현과 경화가 불안정하여 용출될 가능성이 크므로 시멘트만을 이용한 고형화 공정은 지하수를 오염시킬 가능성이 있어 이상적인 처리방법이 될 수가 없다.

분진은 안전매립이나 고형화 처리에도 불구하고 매립시 중금속 용출의 불안정성 때문에 선진국에서는 매립처리에 대한 규제강화와 고형화기술 및 유해중금속 회수기술개발을 적극 시행하고 있다.

이와 같이 제강분진에 대한 안전매립 기술확보의 어려움과 매립지 확보의 어려움 때문에 매립처리만 할 수도 없는 실정이며, 또한 제강분진이 적절한 방법으로 처리되지 않고 생산현장에 적체될 경우 제강산업 가동에 큰 문제를 야기 시킬 수도 있다. 따라서 제강분진의 재활용이 절실히 요구된다.

1.5. 재활용 기술

분진을 재활용하는 방법은 분진 중에 포함되어 있는 유가자원을 회수하지 않고 재활용하는

방법과 유가자원 회수가 따르는 재활용방법으로 크게 나누어 볼 수 있다.

1.5.1. 유가자원을 회수하지 않고 처리하는 방법

유가자원을 회수하지 않고 재활용하는 방법으로는 고행화 방법 또는 Beneficial use 방법 등을 들 수 있다. Beneficial use 방법은 다른 물질에 분진을 일부 첨가시켜 그 물질을 유용하게 사용하는 방법으로써, 그 대표적인 예로는 비료에 Zn 첨가제로 분진을 일부 섞어 사용하는 것과 도로 포장용 자갈을 사용할 때 미분의 석회석 대신에 분진으로 일부 대체하는 것 등이 제안되고 있으나 그 사용가능성은 매우 제한될 수 밖에 없다. 고행화란, Fly Ash, 제강분진, 중금속함유 슬러지를 Potland Cement와 Urichem와 혼합하여 콘크리트를 만들어, 콘크리트의 성질을 개선하면서 폐기물을 재활용하는 기술이다

선진국에서는 분진의 고행화/안정화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이러한 폐기물 재활용 콘크리트는 경량골재, 구조물 충전재, 성토재, 도로포장 등으로 쓰이고 있다. 또한 아스팔트 혹은 플라스틱과 같은 유기 고화체에 의해 처분하는 방법이 연구되고 있다.

(1) 시멘트 고행화

최근에는 시멘트 고행화 방법을 개선하기 위하여 포졸란 반응을 이용한다. 포졸란 물질은 대부분 Reactive Silica물질로 구성되어 있으며 시멘트 수화 반응시 생성된 석회(Lime)와 상온에서 서서히 반응을 일으켜 불용성 화합물을 안정화하는 성질을 가지고 있다. 포졸란 물질로는 화산재 등의 자연 포졸란 물질도 있지만 인공적 포졸란도 이용된다.

Fly Ash는 이러한 포졸란의 대표적인 예이다. Fly Ash의 비중은 2.0~2.2범위이고 회백색의 것이 많으며 대부분 구모양으로 되어있다. 이러한 점이 다른 Pozzolan에서 발견할 수 없는 특징에 해당되며, Fly Ash가 workability를 개선하는 가장 큰 요인이 된다. 또한 주성분인 SiO₂와 Al₂O₃은 시멘트가 수화할 때 생성되는 Ca(OH)₂와 반응하므로 콘크리트의 강도 증가에 효과가 있다. 그러나 Fly Ash 조성의 차이가 크기 때문에 시멘트와 혼합할 경우 수화과정에서 pozzolan반응에 차이가 있으며 시멘트와의 혼합시에 혼합량이 과잉 존재할 경우 강도발현은 낮아진다.

이와 같이 분진을 시멘트 경화체로 사용하고자 하는 연구가 진행되고 있으며 그에 대한 확고한 이론이 정립되어 있지 못한 상태로 이에 대한 연구가 활발하다. 여기서는 경화체가 연류되는 여러 가지 이론에 대해 연구가 진행되고 있으므로, 조만간 이의 실용화가 도래하리라 예상된다. 따라서 이 이론의 비교를 <부록II>에 나타내었다.

(2) 아스콘 채움재

한국산업규격 KSF 3501(역청포장용채움재)의 규정에 의하면, 아스팔트콘크리트에 사용되는 채움재(아스콘채움재)는 600 μ m(No. 30)표준체에 완전히 통과되며, 75 μ m(No. 200) 표준체에 70%이상 통과되어야 하는 미세한 분말이어야 한다. 이에 대한 자세한 설명을 비롯해서 그밖에 아스콘 채움재에 관한 국내외 규정들은 <부록III>에 나타내었다. 채움재 중 굵은 입자인 경우에는 골재의 일부로서 공극을 채워 안정도를 높이며 미세입자인 경우에는 아스팔트와 Filler bitumen을 이루어 아스팔트페이스트 상태로 골재를 피복하여 감온성을 적게하고 내구성을 향상시키며 아스팔트의 점성을 개선하여 여름철 고온에서의 유동을 방지하고 겨울철 한랭시 취성을 적게하는 기능을 가지고 있어 아스팔트 콘크리트에서는 없어서는 안될 중요한

재료이다.

채움재는 석회석분, 포틀랜드 시멘트, 소석회, 플라이애쉬 및 기타 광물성 물질의 분말이어야 한다. 사용할 때에는 먼지, 진흙, 유기물, 덩어리진 미립자 등의 해로운 물질이 함유되어 있지 않는 것이어야 한다. 기타 산업폐기물로서 역청포장용 채움재로는 전기로 제강 환원슬래그, 각종 소각재, 주물더스트, 세광설 등이 포함된다.

1.5.2. 유가자원을 회수하는 재활용 방법

분진으로부터 유가자원을 회수하는 방법은 경제적 측면에서 볼 때 분진 중에 유가금속함량이 높은 경우에 선택할 수 있으며 전기로 제강분진의 경우 Zn함량이 최소한 15%이상은 되어야 한다고 알려져 있다. 이러한 처리방법은 다음과 같이 구분하여 볼 수 있다.

(1) 유가금속 농축을 위한 분진 재순환(Recycling to Upgrade: RTU)

전기로 제강분진 중의 Zn함량을 증가시키기 위한 방법 중의 하나는 분진을 전기로 내로 재투입하는 방법이 있으며 이러한 공정을 RTU공정이라고 부른다. 응집된 분진과 고철을 함께 전기로에 투입하여 용융하는 경우에 발생하는 분진의 중금속 함량은 고철만을 용융할 때 발생하는 분진보다 더 높게 된다. 이 중금속 함량의 증가는 장입된 고철 및 분진의 양과 조성에 따라 결정된다. 만일, 고철이 용융된 후 용강 안으로 분진을 투입할 경우에는 분진 투입후 발생하는 분진은 거의 중금속들만의 fume으로 구성되어 Zn함량이 매우 높은 분진을 얻게 된다.

이러한 RTU공정은 과거 US steel, Bethlehem steel, Armco사, 캐나다의 LASCO steel 등에서 시험되었으나, 비경제적일 뿐만 아니라 분진 투입형태 및 시기, 분진 재순환에 따른 강질의 저하 등에 관한 기술적 문제도 해결되지 못하였고 아울러 공정 중의 Zn에 대한 물질정산도 정확히 얻을 수 없는 어려움 등의 많은 문제점이 있다.

(2) 유가금속을 선택, 제한적으로 처리 회수하는 방법

이 방법은 분진 중의 일부 성분들을 선택 및 제한적으로 분리, 회수 또는 제거하고자 하는 처리방법으로써 크게 습식법과 건식법으로 나눌 수 있다. 습식법의 경우는 황화 배소 또는 염화배소한 후 침출하는 법 등이 있으며, 건식법의 경우는 주로 환원, 휘발의 원리를 이용하고 있다.

(3) 철(Fe)까지 회수하는 처리방법

이 방법은 Fe를 고상으로 회수하는 방법과 액상으로 회수하는 방법으로 구분할 수 있다.

① Fe를 고상으로 회수하는 방법

Zn, Cd, Pb 및 산화물들의 공통적인 특성은 고온에서 CO나 H₂가스 및 고체 C에 의하여 금속으로 환원된다는 것이다. 열역학적 계산에 의하면 1100℃이상의 온도에서는 Zn의 환원 및 휘발이 동시에 또는 연속해서 Fe 산화물의 고상환원이 일어난다. 이와 같은 원리를 이용하여 분진을 처리하는 대표적인 방법이 로타리 킬른로를 사용하는 Waelz법이다.

이 법의 장점은 사용원료에 대한 제한이 적다는 것이며 처리후 얻는 산물은 약 60%정도의 Zn을 함유하므로 Zn Smelter에서 Zn금속으로 처리하기에 적당한 원료로 사용될 수 있다. 단점은 경제성과 열효율 측면에서 볼 때 처리규모가 대단히 커야만 하고 처리후 얻어지는 산물의 Zn함량은 높지만 Zn금속을 처리를 위해서 반드시 제거해야 되는 Cl을 약 5%이상 함유한

다는 치명적인 문제가 있다.

이 방법은 현재까지 미국, 일본, 독일 등 세계적으로 Zn을 함유하는 모든 물질에 대하여 시험되어 왔으며 기술성, 경제성 조건이 잘 알려져 있다.

② Fe를 액상으로 회수하는 처리방법

전기로 제강분진에 C를 첨가하여 고온에서 처리하면 Zn증기와 액상의 Fe를 얻을 수 있다. 고상환원에 비해서 액상으로 얻어지는 Fe는 슬래그와 분리가 용이하므로 만약에 Cu, S 등의 불순물이 매우 적다면 회수되는 금속 Fe는 재활용이 가능하다. 이 방법의 대표적인 방법으로는 Cupola법 및 프라즈마법을 들 수 있다.

- 프라즈마법은 고집적 에너지를 갖는 고온의 프라즈마를 사용하여 분진과 C의 혼합물을 용융, 환원, 휘발하여 유가금속을 회수하는 방법이다. 프라즈마법에 의한 제강분진 처리기술은 국외에서 최근에 상업화된 신기술로써 분진 처리시 공해발생의 문제가 적고 분진 중에 함유된 유가금속도 회수, 재활용할 수 있는 장점이 있어 제강업계의 관심을 끌고 있다.
- 현재 국외에서 개발, 사용되고 있는 프라즈마법의 경제적, 기술적 문제점은 다음과 같다.

□ 전력소모량 과다

프라즈마법에 의하여 전기로 제강분진을 처리시 전력소모량은 1,800~2,000kwh/t Dust 정도로 전력소모가 매우 높아 분진처리단가가 높다는 단점이 있다.

□ Zn응축조에서의 Hard Zinc 생성

프라즈마로 내에서 환원, 휘발된 Zn증기는 응축조에서 액상의 금속Zn으로 응축된다. 이때 프라즈마 로내로부터 미세한 전기로 제강분진이 응축조에 혼입되어 Fe성분이 4~8%정도 함유된 Hard Zinc가 다량 생성되는데 이는 응축조에서 조업을 어렵게 하여 조업이 자주 중단되는 문제점을 발생시킨다. 또한 이렇게 발생된 Hard Zinc는 프라즈마로 내의 원료로 재투입되므로 전력소모증가의 원인이 된다.

□ Zn 응축조 조업의 낮은 회수율

응축조에서의 Zn증기의 응축, 회수율은 응축조에 들어오는 가스 중의 Zn증기 함량에 관계되며 즉, 가스 중의 Zn증기 함량이 높을수록 액상의 금속Zn 회수율은 증가한다. 프라즈마로 내로 전기로 제강분진을 직접투입시에는 분진 중의 Zn함량이 20%정도 이므로 프라즈마 로내 발생가스 중의 Zn 증기의 함량이 낮아 결과적으로 금속Zn 회수율은 70%미만으로 낮아진다. 따라서 금속Zn은 회수되지 못하고 응축조를 빠져나가는 Zn증기는 bag house에서 재산화되어 조산화 Zn으로 회수되어 프라즈마로 내로 재투입되므로 전력소모량을 증가시킨다.

□ 낮은 금속Zn의 순도

프라즈마법에서 얻어지는 금속Zn의 순도는 약 98.5%정도로 낮으며 주로 Pb, Cu, Fe 등의 불순물을 함유하고 있다. 이러한 불순물들은 전기로 분진 중에 함유되었던 성분들로서 프라즈마로 내 조업시 증기상으로 환원, 휘발되어 Zn증기와 함께 응축조 내로 들어와 응축됨으로써 금속 Zn중에 함유되게 된다. 특히 불순물 응축조에서의 Pb제거는 불가능하다. 이와 같이 낮은 순도의 금속 Zn은 그 사용용도가 불확실하여 판매가격이 불안정하거나 낮은 원인이 된다.

□ 프라즈마 공장의 용량

현재 세계적으로 가동되고 있는 프라즈마 공장(Tetronics법)의 상용화 용량은 약 2만 t/year정도이다. 이러한 용량은 국내 주요 전기로 제강업체들의 단위공장당의 연간 분진 발생량 4~5만톤 보다 작다. 따라서 단위 공장에서 발생하는 분진만을 처리하기 위하여도

2~3개의 프라즈마로가 건설, 운영되어야 하는 문제점이 있다. 이러한 문제점은 공장 건설을 위해 막대한 투자비가 소요된다는 것이다.

1.6. 국내의 재활용 기술

1.6.1. 아스콘 채움재로서의 재활용 기술

KS3501에 규격화된 이래 아스콘 채움재에 대한 연구 검토가 활발히 이루어져 왔다. 각종 유해 중금속을 함유하고 있는 폐기물을 아스콘 채움재로 사용하였을 때는 제조된 아스콘에서의 중금속 용출특성 등을 고려하기 위하여 용출시험을 실시해야 한다.

제강분진과 Fly Ash 등을 아스콘 채움재로 사용할 경우 아스콘의 안정도가 향상되며, 아스콘의 물성이 양호하며 함유된 중금속의 용출이 기준치(한국 폐기물 공정 시험법)를 초과하지 않았다. <표VI-2>에는 제강분진을 아스콘 채움재로 재활용한 실적을 지역별로 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 사용실적이 증가하고 있으며, 연간 약 80천톤 정도가 재활용되고 있다.

<표VI-2> 제강분진의 아스콘 채움재로의 재활용 현황
(지역별 제강분진 사용현황)
(단위: 톤)

	1995년	1996년	1997년	1998년 8월	합계
수도권	6,592.24	32,877.27	41,178.18	14,586.86	95,234.55
충청권	0.00	288.48	6,661.10	3,645.05	10,594.63
호남권	944.20	10,312.24	15,159.56	8,538.38	34,954.38
영남권	1,175.09	8,200.66	25,647.73	14,418.65	49,442.13
합계	8,711.53	51,678.65	88,646.57	41,188.94	190,225.69

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

국내에서 행한 몇몇 실험 결과는 서로 상반된 결과를 나타내고 있다. 긍정적인 결과를 보인 것(상원리싸이클링, 1997)은 채움재로 석회분과 제강분진을 시험한 결과 Mashall 안정도, 후루우값, 포화도, 공극율까지도 석회분을 사용했을 때와 비슷하며, 또한 국내 폐기물관리법에 따라 행한 용출실험결과 제강분진을 중량비로 15%까지 혼합하여도 용출이 미미하고 지하수 및 토양에 영향을 미치지 않는다. 또한 Fly Ash나 제강분진을 아스팔트 콘크리트에 채움재로 적용하였을 경우, 그 Mashall안정도가 석분 분말을 채움재로 적용하였을 경우보다 훨씬 높은 안정도를 보였고 제강분진을 중량비로 4%까지 사용한 아스콘에 대하여 중금속 용출실험결과 어떠한 중금속도 용출되지 않았다.

그러나 부정적인 결과를 나타낸 것(한국자원연구소, 1995)은 제조된 아스콘 시편을 국내 시험법에 의하여 용출한 결과 국내 음용수기준법(먹는물 관리법 시행규칙)을 약간 초과하며, 미국의 EPT법과 TCLP법에 의하면 Pb성분은 용출규제치를 크게 초과하였고 여타의 중금속 성분 또한 모두 검출되었다.

또한 산성비에 의한 환경에의 영향을 평가하기 위한 MET방법의 경우는 초기에 EPT에 의한 용출후에도 합성 산성비에 의하여 계속 용출되는 현상을 나타내었다.

1.6.1. 유가금속 회수 기술

우리 나라는 일본, 대만과 함께 국토가 좁고 인구가 많은 나라이기 때문에 지정 폐기물인 전기로 제강분진을 매립처분하는 것이 다른 처리방법보다 더 어렵고 비싼 방법이 될 수 있다. 따라서 값싸게 효율적으로 처리할 수 있는 기술을 확보하는 것이 가장 중요한 과제이다.

우리 나라에서의 아연 생산량은 '97년 기준으로 345천톤이었고 수입은 95천톤으로 총수요는 440천톤 이었다. 1998년 현재에는 일부 아연제련소의 폐쇄로 우리 나라 아연 생산량은 상당한 수준으로 감소하였으나 생활수준의 향상과 함께 아연수요는 꾸준히 증가하고 있다.

이런 상황에서 매년 발생하는 약 30만톤의 전기로 제강분진 중에서 약 20%의 아연이 포함되어 있으므로 이를 재활용 할 수 있다면 6만톤의 아연을 얻을 수 있다.

국내 전기로 제강분진을 활용하는 연구는 주로 분진의 특성에 대한 연구검토가 이루어지고 있고 아연을 회수하는 공정은 열 야금학적인 방법이 학술적인 관점에서 연구되고 있지만 상용화실적은 아직 없다.

1.7. 외국의 재활용 기술

미국을 비롯한 구미 여러 나라에서는 분진(도시 소각로 고품폐기물 잔재, 전기로 집진분진, Fly Ash 등)에 대한 응용분야로서 도로포장, 건축자재, 인공골재 등이 있으며, 이러한 부분에 적용되었을 아스콘 채움재로서 물리적 성질을 양호하게 하고 폐기물에 함유된 중금속이 용출되지 않았거나 각 국가가 지정하는 기준치를 초과하지 않았다고 보고되고 있다.

1.7.1. 전기로 분진

전기로 제강분진은 유가금속을 다량 함유하고 있으므로 이러한 유가금속을 경제적으로 회수하는 방법이 연구되고 있다. 현재 미국은 70%이상, 유럽은 65%이상, 일본은 68% 수준의 dust량을 여러 가지 방법을 이용하여 자원화하고 있다.

외국에서 주로 사용되고 있는 전기로 제강분진의 처리기술로는 Waelz법과 플라즈마법을 들 수 있다. Waelz법은 분진처리 후 얻어지는 산물인 조산화 아연 및 Clinker 등의 처리가 문제되고 있다. 특히 조산화 아연은 Cl 및 Pb 등의 불순물의 함량이 높아 ISP(Imperial Smelting Process) 등과 같은 건식 아연 정련공정을 갖추지 못하고 있는 국내의 경우 재처리의 문제가 있어 국내의 분진처리 기술로 채택되지 못하고 있다.

그리고 플라즈마 아크로 용융하여 환원처리 하는 플라즈마법은 1980년대 말쯤에 주로 미국에서 상용화 가동이 시작되었다. 그러나 전력 소모 과다에 따른 분진처리의 단가가 높고 Hard Zinc생성에 따른 응축조 작업의 어려움, 회수되는 금속아연의 낮은 순도, 회수율, 상용화 용량 제한 및 설비투자비 과다 등 여러 가지 문제점들 때문에 중단된 상태이고 특수강 분진 처리에만 허용되고 있다.

최근에는 전기로 제강분진을 암모니아 용액 중에서 침출, 전해, 채취하여 고순도(99.9%) 금속아연을 회수하는 습식처리법이 이태리에서 상업화 가동되고 있는데 이 방법은 고순도 금속아연을 회수할 수 있는 장점이 있는 반면에 분진으로부터 아연성분의 침출율이 낮고 침출잔사의 처리가 매우 어려운 단점이 있다.

(1) 일본

① Rotary Kiln Process 중 HTR법(상업화가동공정)(유가금속회수법 중 Fe까지 회수하는 공정: 고상으로 회수)

HTR법은 일본의 Himeji Tekko Refine사에 의하여 개발된 공정으로써 Waelz Kiln 공정을 변형한 방법이다. 이 방법이 Waelz법과 다른 점은 Waelz법에서 보다 약한 환원성 분위기에서 더 높은 온도로 전기로 제강분진 펠렛을 처리함으로써 분진 중의 Fe산화물의 극히 일부만 금속 상태의 Fe(<5%금속 Fe)로 환원하는 selective reduction process라는 점이다. 따라서 HTR공정은 Waelz공정보다 환원제의 소모량이 적어 경제적이라는 장점이 있는 반면, Waelz법에 비하여 처리 후의 클링커 내에 잔유하는 Pb, Zn, Cl 등의 함량이 상당히 높아 이 클링커를 매립시 환경규제의 대상이 될 수 있다는 문제가 있다.

(2) 미국

① 아스콘 채움재로서의 재활용(유가금속 회수하지 않는 방법)

아스팔트콘크리트 채움재로서 US IRI에서는 제강공장 전기로 제강분진을 적용하여 용출시험을 실시한 결과 중금속이 용출되지 않았다.

② 벽돌제조용, 유가금속(Zn과 Pb)의 분리회수:

Ohio 주의 CMB(Consolidated Materials Brokers)사는 Dust로부터 중금속을 제거하고, 나머지 불활성물질을 벽돌 제조용 재료로서 이용할 수 있는 공정을 개발하였고, 미국, 영국, 캐나다, 멕시코, 프랑스, 독일에서 특허를 받았다.

이 공정을 보면, 납, 카드뮴, 아연은 모두 물질 밖으로 휘발되어 빠져나간 뒤 응축되어 Baghouse에 안전하게 포집되고, 순수한 아연, 순수한 납, 순수한 카드뮴의 제작을 위한 feed stock으로서 아연생산자에게 판매되고, 남아있는 불활성물질(철성분 다량 함유)은 분쇄한 후 일반 shale 원료와 혼합하여 벽돌로서 제작된다.

이 시스템은 Ohio에 설치되어 있으며 1997년 10월 이후부터 가동되고 있고 EPA에 의해서 승인을 받았다. 제작된 벽돌은 순수한 shale만으로 만들어진 것보다 품질이 더 우수하다. 이 시스템의 장점은 매우 간단하고 매우 효과적이며, 아연과 납의 회수율은 97% 이상이고, 공정의 설치비용이 다른 공정들보다 저렴하다는 것이다. 한편 Ohio주의 EPA로부터 벽돌제조용으로 활용되는 전기로 분진은 무해한 것으로 인정받았으며 이러한 공정을 통해서 생산된 벽돌은 모든 방법에서 정상적이고 안전한 것으로 시험되었다. 그리고 전기로 분진을 현재 유해폐기물 운송, 저장, 처분(TSD) 시설에 의한 처리비용을 지불하는 Steel mill보다 저렴한 비용으로 재활용할 수 있다.

(3) 독일

① Rotary Kiln Process 중 Waelz법(Fe까지 회수하는 공정: 고상으로 회수)

Waelz법은 분진을 코크스 breezes와 혼합하여 Rotary Kiln노 내에서 환원하여 조산화 Zn을 회수하는 방법이다. 독일 Uisburg에 위치한 Waelz 공장에서 사용하고 있는 방법이며, 낮은 농도의 Zn과 Pb 성분을 함유하고 있는 분진으로부터 농축된 Zn 및 산화물을 얻어 ISP(Imperial Smelting Process) 공정에서 금속상태의 Zn과 Pb를 얻고 있다.

전기로 제강분진을 이 공정을 통하여 처리시 회수되는 조산화 Zn에는 Pb, Cl, Na, K, Fe 등의 분순물의 함량이 매우 높다. 이러한 낮은 순도의 조산화 Zn은 ISP와 같은 건식 Zn정련 공정의 원료로 일부 혼합 사용할 수는 있지만 습식법의 원료로는 사용하기 곤란하다. 따라서 습식 Zn 정련공장만을 갖고 있는 국내에서는 이러한 조산화 Zn의 처리가 곤란한 문제가 있다.

(4) 스웨덴

① Plasma 공정 중 Plasma dust법 (Fe까지 회수하는 방법: 액상으로 회수)

이 방법은 스웨덴의 SKF Steel Engineering사에 의하여 1970년대부터 연구개발이 시도되어 1984년에 상업화 공장이 완성, 가동되기 시작한 방법으로 non-transfer type의 플라즈마토치

를 사용하여 샤프트로 내에서 분진을 용융, 환원시켜 유가금속을 회수하고 무해 슬래그를 만드는 방법이다.

(5) 영국

① Plasma 공정 중 Tetronics 법 (Fe까지 회수하는 방법: 액상으로 회수)

Tetronics법은 영국의 Tetronics Research & Development Co. Ltd.에서 개발, 시험되었으며 현재 Multiserv International Ltd.를 통하여 보급되고 있다. 이 처리법은 transferred 아크 플라즈마를 사용하여 노내에 장입된 슬래그로 열을 전달하면서 분진과 C를 슬래그 위에 공급함으로써 분진 중의 산화물을 고온에서 환원, 용융시켜 Zn, Cd등의 금속을 휘발시키고 Fe, Cr, Ni, Mo 등은 금속상태의 합금으로 회수하는 방법이다.

전기로 제강분진을 이 방법으로 처리할 경우 경제성을 고려해볼 때 Selective reduction공정과 Total reduction공정의 두 종류의 처리공정을 생각할 수 있다.

Selective reduction 공정은 FeO는 슬래그 중에 남기고 Zn 산화물(및 Cd, Pb산화물)만 선별적으로 환원하는 공정으로 Fe는 금속으로 회수되지 않는다. Total reduction 공정은 Fe를 포함한 모든 금속산화물을 금속으로 환원하는 공정이다. 플라즈마법의 에너지 효율은 70~80% 정도로 보고되고 있고 전기로 제강분진 1톤을 처리시 전력소비량은 1,600~2,000kwh이다. <표VI-3>은 플라즈마법에 의하여 전기로 제강분진을 처리하였을 때 얻어지는 산물(Zn금속, Fe금속, 슬래그)들의 일반적인 화학성분을 보여주고 있다. Zn금속은 "Prime Western Grade"의 순도를 가지며 잉고트로 주조, 판매된다.

(6) 네덜란드

① 아스콘채움재로서 재활용(유가금속회수하지 않는 방법)

도로교통부에서 전기로 제강분진, Slag 및 Fly Ash 등을 도로포장용 채움재로 사용하였는데, 환경에 큰 영향을 끼치지 않는으나 다량(25~75%) 사용시에는 약간의 취약성이 있다.

(7) 상용화된 처리방법의 비교

앞에서 살펴본 전기로 제강분진의 처리방법을 비교분석하였다. 상용화된 처리방법별 장단점을 보면 <표VI-4>와 같다.

<표VI-3> 전기로 제강분진의 처리산물 화학조성
(단위: wt%)

Zn 금속		Fe 금속		슬래그	
Zn	98.5	C	4~6	CaO	32~36
Pb	1.0~1.1	Cr	0.6~1.5	SiO ₂	32~38
Cd	0.06~0.085	Ni	0.4~1.1	Al ₂ O ₃	5~8
Fe	0.02~0.03	Mo	0.1~0.4	MgO	8~14
Sn	0.03	Mn	2~3.5	V ₂ O ₅	<0.01~0.016
Cu	0.05	P	0.25~0.49	Fe	0.5~4.0
		S	0.020~0.080	Cr	0.2~1.2
		Cu	0.4~0.7	Ni	0.02~0.1
		Si	0.2~1.9	Mo	<0.01~0.05
		Ti	0.04~0.15	Cu	0.001~0.150
		V	0.02~0.05	Mn	2.0~6.5
		Fe	balance	P	0.02~0.10
				S	0.6~1.5

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

<표 VI-4> 상용화된 처리방법별 장·단점

구분	처리방법	장점	단점	처리가격	
스크랩의 표면처리	아연이 코팅되어 있는 적정한 크기의 스크랩을 적절히 절단, 뜨거워서 시킨 후 회수하는 방식	공정이 비교적 간단하고 액도를 화학물질을 사용하지 않으며 스크랩을 전기로로 해진다.	이 방법은 수소가스를 방출하므로 폭발의 위험성이 크다. 가스 배출 하 ventilation을 써야 한다.	공장부지: 4,500m ² 투자비: 9백만DM 비용 및 이자와 감가상각비: 90-110DM	
열악금속처리	Im met co 공정 (터널로식)	환원제인 탄소와 제강분진이 1200℃에서 아연 증기 발생하는데 CO:CO ₂ 의 비율을 조정하여 산화아연을 회수하는 방식	성형 즉 펠레타이징에 필요한 탄소의 원료로서 석탄을 사용할 수 있으므로 환원제의 비용을 낮출 수 있다. · 증착법을 사용하므로 산화아연의 순도를 높일 수 있다. · 기존의 터널로를 사용하므로 설비투자비의 부담을 줄일 수 있다. · 일부 습식법에서 처리가 곤란한 아연 페라이트의 처리가 용이하다.		
	로타리킬른	로의 모양은 터널로와 다르나 열을 이용하여 산화하는 방식은 비슷함	· 처리비가 저렴하다.	· 55~60% 순도의 산화아연 회수 · 저순도의 산화철 회수	· 설비비: 3000DM · 인력비 등: 110DM
	프라즈마법	제강분진을 플라즈마아크나, Flame 형상으로 고온, 고에너지 밀도 용융 용융 환원 처리	· Dust 폐가스 적다. · 청정한 고온분위기 가능	· 전력소모 큼 · 회수된 아연의 순도가 낮고, 상용화 용량 제한 및 설비투자비 과다	
습식아금속처리	산성습식공정	황산, 염산 등의 강산을 이용하여 아연을 전기분해법으로 얻는다. 알카리 습식법과 유사하다.	· 용액의 온도가 낮아도 되므로 연료비가 적게 든다.	· 시설설치비가 많이 든다. · 철의 용해가 많다.	
	알카리습식공정	NaOH 수용액에 제강분진을 시킨 다음 분진은 철의 양이 높기 때문에 회수된 용액에서 해로 회수하는 방식	· 산성 습식공정보다 부식이 적으므로 설비들의 가격이 저렴하다. · 폐수처리 비용이 적다. · 철분이 녹아나지 않으므로 효과적이다. · 수명이 비교적 길다	· 제강분진내 아연 함유량이 20% 이하인 경우는 경제성이 없다. · 시설 투자비: 3백만 \$ (1200t분진/년) · 운전비: 140 \$ /t분진	

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

1.7.2. 석탄회

일반적인 재활용기술은 아래와 같다.

미처리 및 분선에 의한 활용 석탄회를 그대로 이용하는 것은 시멘트 원료, 시멘트 밀크, 아스팔트충진재, 노반재, 노상재 등이 있고, 분급에 의해서 석탄회를 조립과 세립으로 나누어 이용하는 것은 시멘트혼합재, 생콘크리트혼화재, 콘크리트 2차제품 등이 있다. 타물질과의 혼합·처리에 의한 자원화로 석탄회를 이용하는 시멘트혼합재, 생콘크리트혼화재, 콘크리트 2차제품 등이 있다.

(1) 일본

현기술을 보면, 시멘트 생산량의 장래 예측은 큰 신장을 기대할 수 없고, 더욱이 시멘트 원료로서의 혼합율(현재 2.5%)을 높인다 하더라도 2000년 시점에서 시멘트 분야용은 양적으로는 약 400만톤 정도로 예상이 되어, 큰 기대는 할 수 없다. 2000년 이후에는 연간 10,000천톤 이상의 석탄회가 배출될 것으로 예상되어 석탄회의 유효 이용기술의 개발이 시급한 과제로 대두되고 있다.

고도 재활용기술을 보면, 일본에서는 (財)석탄기술연구소, (주)신호제련소, 소야전 시멘트(주)의 공동연구로 마그네타이트의 회수와 그 후의 화학적 처리에 의한 Si, Al, Fe, Ti 회수기술을 개발하고 있다. 석탄회의 고도이용기술중 하나는 파인세라믹스화 기술로서, 석탄회로부터 열적특성, 내식성, 인성 등이 우수한 멀라이트를 제조하는 것이다. 이 공정은 석탄회로부터 고구배자력 선별기로 철분을 제거하고, 분쇄와 동시에 Al₂O₃분을 포집하여 전체의 화학조성을 멀라이트로 하여 최고 1500~1600℃에서 소결하여 제조한다.

1.8. 재활용 기술상의 문제점

현재 세계적으로 주로 사용되고 있는 전기로분진 처리기술로는 Waelz법 및 프라즈마법을 들 수 있다. Waelz법은 분진처리 후 얻어지는 산물인 조산화 Zn 및 Clinker 등의 처리가 문제가 되고 있다. 특히 조산화 Zn은 Cl 및 Pb 등의 불순물의 함량이 상당히 높아 ISP(Imperial Smelting Process)등과 같은 건식Zn정련공정을 갖추지 못하고 있는 국내의 경우 재처리의 문제가 있어 국내의 분진처리 기술로 채택되지 못하고 있다. 따라서 현재의 실정에 비추어 볼 때 국내에서는 전기로 분진으로부터 직접 금속Zn을 얻을 수 있는 분진처리기술이 관심의 대상으로 떠오를 수밖에 없으며 이러한 처리기술로는 건식법으로 프라즈마 법, 습식법으로는 적당한 용매로 침출후 전해정련법 등이 있다. 그러나 습식법은 세계적으로 대용량이 아닌 소규모 공장들이 가동되고 있을 뿐이며 폐수 등 제2차 공해발생의 우려 때문에 국내 업체들에게는 주로 건식법에 관심이 집중되어 왔다.

이와 같은 주된 이유는 국내에는 분진을 활용할 수 있는 설비가 아직 없기 때문인데, 이는 분진내의 회수 가능한 금속을 얻을 수 있는 후속설비가 없을 뿐만 아니라 강종의 다양화와 고급화 추세에 따른 합금원소의 첨가량 증가 등으로 인하여 분진의 성분이 계속 변하고 있기 때문에 분진처리 프로세스의 국내 도입시에는 많은 제한 조건들이 있기 때문이다.

2. 폐주물사

2.1. 폐주물사의 유해성

국내에서 사용하는 주형종류별 주물사를 재질별로 다시 분류하여 용출시험을 하여 분석해 본 결과, 신사첨가 없이 주물사를 계속 반복 사용하는 등 주물공장의 샘플에서 구리 및 화합물의 함량이 일반 폐기물 허용기준을 초과하는 것을 제외하고는 그 이외의 전 시료에서는 일반 폐기물 허용기준보다 아주 낮은 값의 일부 중금속과 트리클로로에틸렌만 미량 검출되었다.

2.1.1. 생형 폐주물사

주철공장, 알루미늄 주물공장에서 사용하는 생형주물사를 채취하여 폐기물 용출시험한 결과, 미량의 중금속만 일부 검출되었지만 일반 폐기물 허용기준에 비하여는 아주 낮은 함량이다.

동주물공장의 생형주물사의 경우는 다른 검사항목들은 일반 폐기물 허용기준 이내에 모두 들었으나 구리 및 화합물 항목의 시험값이 일반 폐기물 허용기준을 초과하는 경향을 보인다. 그러나 이는 신사를 투입하지 않고 주물사를 계속 반복 재사용하는 동합금 주물공장에서 샘플을 채취하였기 때문에 특성상 구리가 주물사에 농축된 결과로 생각되며 주물사를 자주 교체하는 공장에서는 문제가 되지 않을 것으로 생각된다.

2.1.2. 후란수지형 폐주물사

주철공장에서 사용하는 후란수지 주물사를 채취하여 용출시험한 결과, 미량의 중금속 성분만 검출이 되고 나머지 항목들은 검출되지 않았다. 검출된 중금속의 함량은 일반 폐기물 허용기준보다 아주 적은 값을 나타내고 있다.

2.1.3. CO₂형 폐주물사

주철공장, 주강공장, 주물공장에서 채취한 CO₂형 주물사를 채취하여 용출시험한 결과, 일반 폐기물 허용기준보다 훨씬 적은 함량의 중금속만 일부 검출되었다. 동주물 공장의 경우도 구리 및 화합물의 함량이 일반 폐기물 허용함량보다 훨씬 적은 미량으로만 검출되었는데, 이는 CO₂형 주물사의 경우 대부분 한번 쓰면 버리기 때문에 구리가 농축되지 않기 때문이다.

2.2. 폐주물사의 특성

2.2.1. 폐주물사의 성분

폐주물사는 주물제조업의 제품조형 공정에서 사용되고 조형물 탈사 과정에서 발생되는데 그 주요성분을 보면 <표VI-5>와 같다. 표에서 보는 바와 같이 일반적으로 폐주물사는 85% 이상이 Silica(SiO₂)성분으로 구성되어 있다.

Silica는 지구상에 그 어느 성분보다도 산업적인 이용성이 광범위하다고 볼 수 있으며 고부가가치를 창출할 수도 있는 아주 중요한 원료이다. 그러나 silica라는 중요한 성분을 가지는 폐주물사일지라도 그 재활용이 극히 미비한 실정은 무엇보다도 폐주물사에 대한 기술개발 부족 등이 근본적인 이유이다. 그 외에 성분으로는 Al₂O₃가 소량 함유되어 있고 기타 성분은 매우 미비한 정도이다.

<표 VI-5> 국내 대표적 폐주물사 화학성분

성 분	%
SiO ₂	87.91
Al ₂ O ₃	4.70
Fe ₂ O ₃	0.94
CaO	0.14
MgO	0.30
SO ³	0.09
Na ₂ O	0.19
K ₂ O	0.25
TiO ₂	0.15
P ₂ O ₅	0.00
Mn ₂ O ₃	0.02
SrO	0.03
LOI	5.15
TOTAL	99.87

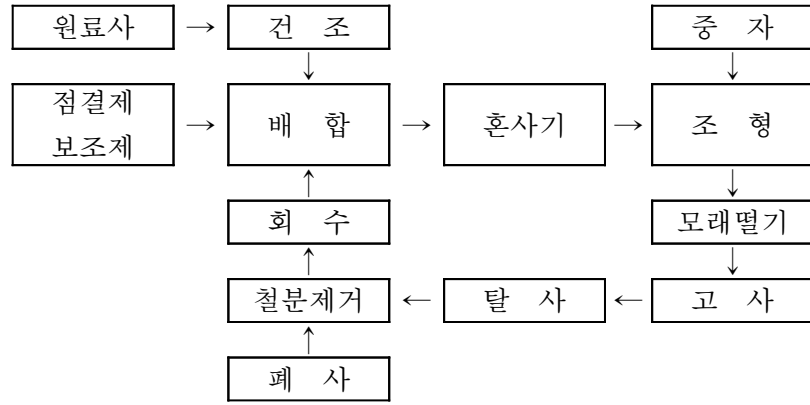
자료: 한국자원재생공사, 『주형종류별 폐주물사의 환경성 검토 및 적정관리 방안 연구』, 1997.

2.2.2. 폐주물사 발생과정

폐주물사는 주물공장에서 <그림 VI-2>와 같은 주물사의 처리과정중에서 발생된다.

건조 공정에서는 생형주형일 경우 주물사의 수분 분배를 적당하게 하고, CO₂ 및 후란주형, Shell주형일 경우는 화학점결제 첨가를 위해 수분제거를 목적으로 하며 체질고정은 원료사에 있는 각종 불순물을 제거하고 적절한 입도분포를 조절함을 목적으로 한다.

그리고 혼련공정에서는 주물사와 각종 점결제 등을 혼련하여 주물사 표면을 피복시킨다. 일반적인 주물사 재생처리 공정에서 모래떨기(탈사)는 응고가 끝난 주형된 제품과 주물사를 분리하기 위해 셰이크 아웃머신을 가동하여 분리된 모래를 격자형 그레이트를 통해 밑으로 떨어뜨려 컨베이어로 이송하는 공정이고 모래덩이 부수기공정은 주물사와 분리된 주형덩어리를 사립형태로 파쇄시키는 공정이다. 그리고 철분제거 공정에서는 주형이나 코어에 사용된 철사, 주입시 발생하는 철선, 쇼트처리공정에서 발생하는 철분을 자기분리기로 분리한다.



<그림 VI-2> 주물공장내 주물사의 처리공정도

2.2.3. 주물사

주물사는 모래입자(원료사)를 주체로 하여, 여기에 점결제가 자연상태 및 인위적으로 첨가되어 주형성질을 가지고 있는 것을 말한다. 국내에서는 모래의 공급이 많지 않아 호주나 영국으로부터 수입해서 쓰는 경우도 있는데 호주산 모래의 경우 규소성분이 많아 경도가 강하여 상품의 주물사로 인정되고 있다. 이러한 주물사는 보통주형, 특수주형, 기타주형 등의 주형에 원료로 사용되어 각종 소재생산에 이용된다.

(1) 주물사의 조건

이상적인 주물사는 성형성이 양호하며 모래의 형리가 좋고, 충분한 강도를 가지며 적절한 통기성이 있는 주형을 조형할 수 있어야 하며 용탕과 접한 주물사 표면은 열충격에 의해 급격한 열팽창을 하지 않는 성분이어야 한다. 그리고 주물사 중 사립성분이 85~95%정도 있어야 양호하며 사립의 모양은 구형에 가까운 것이 좋다고 알려져 있다. 또한 용이하게 입수할 수 있도록 염가여야 할 것이다.

그러나 실제에는 이러한 여러 성질을 겸비한 것은 없으며 또한 이러한 성질 중에는 서로 상반되는 것도 있기 때문에 주물사의 4대 구성요소인 사립, 점결제, 첨가제 및 수분 사이의 관계를 적당히 조절하여 각각의 사용목적에서 어느 성질에 주안점을 두는 가를 충분히 검토한 후에 비로소 조제에 착수하여야 할 것이다.

(2) 주물사의 종류

국내에서 사용되는 주물사는 <표VI-6>에서 보여주듯이 주로 하천사가 주종을 이루고 있으나 지역의 사정에 따라 풍화사를 이용하기도 한다. 주물용으로는 하천사가 내열충격면에서 양호하기 때문에 업계에서는 선호를 하고 있지만 자원의 고갈이라는 면에서 볼 때 그 사용량은 점차적으로 감소되리라고 예상된다.

주물사는 보통주형, 특수주형, 기타주형 등의 주형에 원료로서 각종 소재생산에 사용되며, 주물사형에 따라 폐사 중의 함유물이 다르다. 즉, 보통주형은 주로 벤토나이트가 함유되어 있지만, 특수주형은 수지가 골재부착물로서 주된 혼합물이다. 주형법에 따른 주형법의 종류와 특성은 <부록IV>에 자세히 설명하였다.

<표 VI-6> 국내에서 사용되고 있는 주물사의 종류

지 방	주물사명	산 지	사 종	이용 공장	사용 도시
서울 지방	뚝섬A	서울뚝섬유원지부근	하천사	다수	서울
	뚝섬B		하천사		
	염창A	경기도 김포군 염창동 염창리	풍화사		인천 천안
	염창B 김포		하천사		
중부 지방	동면 봉강교 천안	대전동방 8km도면강변 천안부근	하천사 풍화사 산사	2 3 1	대전 천안
	대구 지방	팔달교	대구남방 4km 낙동강지류 금호강하류	하천사	5
부산 지방	영도A	청산영도	풍화사	7	부산
	영도B		하천사	10	마산 진해
	수영 울산	수산대학부근 울산부근	하천사 풍화사	1 1	진주
	김해	김해락동강 부근	하천사	2	부산
전남 지방	영산포	영산강변	하천사	4	목포
	산동교	광주지방	하천사	5	광주 송정 리
전북 지방	대장촌	이리동방 8km익산강과 만경강 합류지	하천사	12	군산 이리 전주

자료: 한국자원재생공사, 『주형종류별 폐주물사의 환경성 검토 및 적정관리 방안 연구』, 1997.:

2.3. 발생 및 처리상의 문제점

국내의 경우 금속산업의 급격한 발전에 따른 주물공업의 성장과 함께 폐주물사의 발생량도 계속 증대하여 연간 63만톤으로 추정되고 있다. 특히 규모가 가장 크고, 생형사를 쓰고 있는 주철공장에서 가장 많은 양이 발생되고 있으며, 공장당 발생비율은 CO2형사를 주로 쓰고 있는 주강공장이 가장 높다.

Mould용 주물사를 더 이상 사용할 수 없어 폐기처리 하여야 할 경우 모래에 첨가된 결합제를 사전처리하지 않고 매립하면, 폐주물사에 부착된 화학성 결합제로부터 토양이나 지하수에 오염을 일으킬 수도 있다. 그러한 환경적인 위험을 내포하고 있음에도 불구하고 위탁처리나 자가처리 어느 방법이든지 폐주물사 전체의 약 90%가 매립에 의존하고 있고 약 10%가 재활용이 되고 있고 1996년 2월의 환경부 고시로 성토재 및 도로기층재 등으로 활용할 수 있는 폐주물사를 생형사로만 제한하고 있는 상태이다.

2.4. 재활용의 필요성

자동차, 산업기계, 선박, 철도 등의 핵심산업부품은 수요가 75%를 차지할 정도로 국가의 수출산업발전에 기여도가 큰 업종이다. 한때 전형적인 3D업종으로 주물은 완제품의 성능, 품질, 납기를 좌우하는 핵심기반기술부품으로서 생활소비재 업종과 달리 수입품으로 대체가 곤란한 국내 조달부품 업종이다. 그러나 주물은 시장생산이 아닌 주문생산 업종이므로 대기업 종속형

영세 중소기업집단이 주류를 이루고 있기 때문에 독자적인 기술개발 및 환경개선이 어려워 정부지원 대상업종이다.

주물수요공업의 발달에 따른 주물생산량 증대로 환경저해요인이 증대되어 분진, 유해가스 등을 제거하기 위한 작업환경개선비가 많이 들고 폐주물사, 슬래그 등의 산업폐기물의 발생량 증대로 인하여 폐주물사를 상당수 업체가 공장 내부에 쌓아 놓고 있는 실정이기도 한다.

더욱이 IMF 지원체제로 전환되고 나서 국내 모든 산업이 총체적인 위기를 맞고 있는 시점에서 주물공장들의 어려움은 가중되고 있다. 특히 환경법규의 강화로 인한 폐주물사 처리 등의 환경비용이 경영에 큰 어려움을 주고 있으므로 이를 극복하기 위하여 환경비용을 줄일 수 있는 폐주물사 재생 및 재활용을 활발히 시행하여야 한다.

2.5. 재활용 기술

모래를 주물 Mould 용으로 사용하기 위해서는 모래에 적절한 결합제(Binder)를 첨가하여야 하는데, 그 대표적인 결합제로는 Sodium Silicate, Furan, 페놀, 우레탄, 벤토나이트 등을 꼽는다. <표VI-7>에는 각 공정에 따른 재생의 난이도를 나타내었으며, 이에 나타난 바와 같이 주물사를 일단 사용 후 재생을 어느 정도 할 수 있는지의 여부는 결합제의 성질에 따라 좌우된다.

<표VI-7> 조형(造型) 프로세스와 재생난이도

분 류	점결제	대표예	재생 난이도
생 사 형	벤토나이트	생사, 고압, 정압조형	△
열경화성 주형	유기계	셀몰드법 핫박스법, 워박스법	◎ ◎
	무기계	규산소다 N프로세스, 캄레스법	△
자경성 주형	후란계	후란법	◎
	유기계	웍셋트·리노키아법 알파셋트법	◎ ○
	무기계	규산소다 CO ₂ 법	△
가스경화 주형	우레탄계	콜드박스법	○
	유기계	핫트박스법	◎
	페놀계	베타셋트법	○

(◎: 용이함, ○: 충분가능, △: 어려움, ×: 재생불가)

그러나 용융공정을 이용한 연구나 폐주물사를 담체로 이용하는 연

구(<부록V>에 설명)가 진행중이며, 일반적으로 건축, 토목용으로 재활용하기 위하여 많은 연구가 수행중에 있으며, 이는 <표VI-8>에 나타내었다. 또한 폐주물사를 재생하는 방법은 건식법, 습식법 및 가열 또는 연소법 등 여러 가지 방법이 사용되고 있으며, 대체로 많이 사용되고 있는 건식법은 충격식, 마찰식 및 연마식으로 나눌수 있으며, 이에 대한 자세한 설명은 <표VI-9>에 나타내었다.

<표Ⅵ-8> 폐주물사 재활용 연구동향

재활용 용도	주요 내용
콘크리트 2차 제품	시멘트 벽돌
콘크리트용 골재	콘크리트용 모래 대체연료
시멘트 원료	포틀랜드 시멘트의 킬른용 원료
레미콘	레미콘용 골재
아스팔트	아스팔트용 골재
록울	록울용 원료
유리질화	유해폐기물의 용융화를 위한 원료
매립재	매립재, 토양의 필터재
콘크리트용 첨가제	미분을 열처리하여 혼화재로 사용
아스팔트 필러	미분을 아스팔트의 석분 대체재로 사용
글라스	유리의 원료
원예재료	원예재료
기포콘크리트	ALC 등의 기포 콘크리트의 원료
원적외선 재료	원적외선 방사재료

자료: 한국자원재생공사, 『주형종류별 폐주물사의 환경성 검토 및 적정관리 방안 연구』, 1997.

<표Ⅵ-9> 폐주물사의 건식재생법

재 생 원 리		재 생 방 식
충격식	입자간 충돌 + 타기트와 충돌	① 원심력 충돌법 모래입자를 원심력에 의하여 가속시켜 입자간 충돌과 타기트와 충돌에 의하여 표면 부착물을 박리한다.
		② 분기류 충돌법 모래입자를 제트 공기로 가속시켜 입자간 충돌과 타기트의 충돌에 의하여 표면 부착물을 박리한다.
마찰식	입자간 마찰	③ 교반 마찰법 회전날개나 드럼에서 교반 이동하여 입자간 마찰 및 날개 등의 습동에 의하여 표면 부착물을 마멸한다.
		④ 원심력 마찰법 추적되어 있는 모래입자와 원심력에 의하여 가속된 모래와 입자간 마찰에 의하여 표면 부착물을 마멸한다.
연마식	사입연마	⑤ 쇼트 브ラスト법 쇼트 브ラスト배사(쇼트볼의 투사에 의하여 표면 부착물을 박리)를 철분을 제거하고 사용한다.
		⑥ 저석 연마법 회전자석에 사입을 낙하·연삭하여 표면 부착물을 박리한다.

자료: 한국자원리사이클링학회, 『폐주물사 리사이클링 특별심포지움』, 1998.

2.6. 국내의 재활용 기술

우리 나라에서는 생형사의 고사를 회수사용 하였으나, 규산소오다를 점결제로 한 Dical 주형법이 도입되어 고사의 회수재생설비를 설치 운영함으로써 1970년대 이후 재생에 대한 관심을 갖기 시작하였다.

그러나, 재활용의 기술이 외국에 비해 낙후되어 있으며 동시에 천연자원이 풍부하기 때문에 폐주물사의 재이용이 미진하다.

재활용 수준은 극히 초보단계이며, 폐주물사의 석분, 석탄회, 연탄재, 폐타일, 탄광폐석, 폐석회석, 폐유리 등을 추가하여 주로 벽돌, 블록 등을 생산하고 있다.

생형사를 이용한 재활용수준은 탈흑처리기술이 개발되지 않아 극히 소량이 처리되고 있다. 가스공법에 의하여 발생된 폐주물사의 경우만 콘크리트 업자들의 수거에 의해서 일반모래와 혼합 후 벽돌과 블록을 생산하는데 사용되고 있다.

2.7. 외국의 재활용 기술

최근 여러 국가에서 주물사의 재생기술에 대하여 많은 관심을 갖고 연구가 진행되고 있다. 미국에서는 1991년 International Sand Recleanation Conference를 개최하였으며, 일본에서는 1992년에 '주물공장에서 산업폐기물의 처리와 이용'에 관하여 연구발표를 하였고, 영국에서도 1996년 'Waste Not-Want Not'으로 Conference와 전시회를 개최하였다. 또한 국제 주물기술 위원회(CIATF)의 제4기술분과 위원회에서는 'Recycling of Waste in Foundries'의 연구보고서를 통하여 회원국의 주물사의 재생과 활용기술의 현황에 대하여 발표하였다.

따라서 고사의 회수재생기술은 재생사를 주물사의 원료사로서의 재활용과 더불어 타산업의 원료로서의 활용 등 주물사의 리사이클링화가 증가될 것으로 기대된다.

2.7.1. 일본

일본에서는 오래전부터 고사를 회수이용을 하였으나 실제 재생을 고려한 것은 1970년 이후부터이며, 현재 생형사의 경우 건식-연소 방법이 개발되어 사용되고 있다.

일본에서 유효 이용되고 있는 폐주물사의 용도는 매립(60%) 처리되는 것을 제외하면, 재생사(28%)의 주물사 이외의 타용도(12%)로 재활용된다. 주물사 이외의 타용도로 재활용되는 예로서는 시멘트회사 주변의 몇몇 주물업체에서 발생하는 생형폐주물사를 시멘트의 실리카 원료나 점토대용으로 사용하거나 저급 아스팔트재, 벽돌재로의 활용 및 슬래그와 혼합하여 도로 기층재로의 활용 등을 들 수 있다.

(1) 콘크리트용 골재

콘크리트는 일반적으로 시멘트, 물, 골재(자갈, 모래)로 이루어 지는데, 주물공장에서 발생하는 폐사는 규사분(실리카)의 함량이 높은 모래로서 골재로 이용 가능하다.

폐주물사를 콘크리트용 골재로 이용하기 위한 몇 가지의 연구와 실험이 진행되었고 특허도 몇 건 출원하고 있다. 폐주물사를 콘크리트용 잔골재(모래)와 시멘트 혼화재로 사용하는 방법이 주로 검토되고 있다. 연구결과를 보면, 콘크리트 잔골재로서 표준사 40% 범위에서 폐사와 치환한 경우, 치환율 30%까지는 강도에 영향이 없는 것으로 나타났다.

(2) 주물사 더스트의 아스팔트 필러재 및 골재

폐주물사를 재생이용하면 미분이 약 10~20% 분리되고, 더스트가 약 60만톤 포집되므로 100만톤 이상의 폐주물사 더스트가 배출된다. 일반적으로 폐주물사 더스트는 아스팔트 콘크리트의 필터재로서 탄산칼슘에 대응할 수 있다.

일반 아스팔트 혼합물의 모래, 탄산칼슘 필터의 배합에 대해 폐주물사를 활용하는 연구가 진행되어 시험 시공과 실제 공사에도 적용되고 있다. 1976년의 주조 폐기물 도로포장재 연구위원회를 주조학회내에 설치하여 지속적인 연구와 기술개발을 하고 있다.

(3) 건축용 골재

폐주물사는 흑연, 석탄분, 규산소다 외에도 유기물의 바인더나 무기물의 벤토나이트 등의 첨가제를 함유하고 있다. 폐사를 회전시키면 점결재와 수분의 상승작용으로 필요한 강도를 갖는 모래가 생산되는데, 이렇게 생산된 주물사는 레미콘 등의 대응으로서 사용할 수 있다.

폐주물사 중의 이물질을 제거하고 고속 회전하는 혼련기에 투입한 후 여기에 폐주물사의 전중량비로 1~3%의 시멘트를 투입하여 약 1분간 혼합한다. 그 후 폐사의 무게비로 8.0~15.0%의 물을 첨가하여 교반한 후 필요한 골재로 만들게 된다.

(4) 원예자재로의 활용

시판되고 있는 원예자재의 조건은 고흡수율(15%이상), 압축강도 10kgf/cm² 이상, pH 7이하, 수용성 이온이 적어야 된다. 흡수율, 수용성 이온, pH 및 압축강도에 관한 시험 결과, 폐주물사는 원예자재로서 활용이 가능한 것으로서 조사되었다.

(5) 원적외선 방사재료

주물폐사 중의 미분사는 SiO₂, ZrO₂, Cr₂O₃, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO 등을 주성분으로 하는데, 이러한 미분사의 원적외선 방사율을 측정된 결과, 고효율의 원적외선 방사체임이 밝혀졌다. 폐주물사의 원적외선 방사물질은 가열분야(가열, 난방, 건조 등의 기기)나 히터, 건강기구, 노면 동결방지 등의 광범위한 분야에 응용되고 있고, 응용범위도 점점 넓어지고 있다.

(6) 양산설비에 이용한 슺이우라(土浦) 공장(이바라기현)에서 행한 실용 사례.

분말상의 주물폐사를 기공율 35%의 미세한 구성을 갖는 세라믹스로 변화시킴으로써 관통된 무수한 구멍에 박테리아가 번식해, 배수성, 통기성, 보수성에 뛰어나기 때문에 수질의 악화를 억제할 뿐만 아니라, 농약에 대체되는 토양의 개량제로서 이용될 수 있다.

그 공정은 다음과 같다. 폐사에 물을 가해 이를 혼합, 일정한 입자상이 되게 만든 다음 약 900℃의 고온으로 소고시킨다. 그후 1~10mm의 범위에서 임의의 크기로 조립되는 자사 개발의 일괄 설비로 수요에 따라 능력이 서로 다른 설비가 제작되도록 하고 있다.

설비현황은 4억엔을 투자, 폐사로부터 다공질 세라믹스를 만들어내는 일괄 생산 설비를 도입, 3월부터 본격 가동에 들어갔다. 현재 월 50톤의 시험 생산설비가 갖추어져 있으며, 현재 월 약 1000톤이 발생하는 폐사의 반 이상을 자사의 관리형 산업 시설에 돌리고 있으나, 양산 설비가 가동되면 처리 시설의 수명을 연장시킬 수 있다. 앞으로 다른 주물공장 두 곳에 대해서도 이와 같은 설비를 도입할 계획이며, 양산 설비를 도입하여 시판 세라믹스 재에 비해 약 1/10의 저가로 판매할 계획이다.

생산물의 용도를 보면, 경마장의 잔디를 위한 시험 판매가 시작되었고, 골프장 잔디의 토양 개량 등에도 수요가 예상된다.

2.7.2. 미국

1990년 초에 미국주물협회(AFS)에서 폐주물사를 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 기초 연구를 수행한 정도이며, 규사자원이 풍부하고 매립장소 또한 많기 때문에 폐사 재생사업이나 재활용 연구는 일본이나 독일에 비하여 미진하나 다양한 재활용 용도가 개발되고 있다.

(1) 포틀랜드 시멘트 킬른용 원료

시멘트 원료는 칼슘 옥사이드, 실리카, 알루미늄, 산화철 등의 적절한 배합비를 구성하고 있어야 하는데, 기본 성분이 부족하면 부가적으로 실리카나 알루미늄 등을 공급해주어야 한다.

AFS에 의한 폐주물사를 포틀랜드 시멘트의 원료로 사용하기 위한 연구 수행 결과 회주철을 만들 때 발생한 폐주물사를 13.36%까지 혼합한 경우 기존의 포틀랜드 시멘트와 거의 유사한 화학적 조성을 나타내었다.

(2) 콘크리트용 골재

AFS의 연구 수행 결과 CO₂공정에서 발생된 폐주물사만을 콘크리트 구조물에 직접 사용할 수 있으며, 반면 시멘트 벽돌이나 블록, 슬래브 등의 저장도 콘크리트용으로는 모든 폐주물사를 사용할 수 있다.

(3) 아스콘용 골재

아스콘에는 전체 골재 중에서 8~15%의 잔골재가 필요하다. 골재는 건조된 것으로 먼지 등의 미입경의 불순물이 제거된 것을 사용해야 하고, 안정성, 내구성, 미끄럼 저항성 등을 확인해야 한다.

(4) 록 울의 원료

록울은 글라스 섬유와 같은 광물질 섬유로서 다른 재료의 보강용으로 사용되며 주성분이 슬래그로서, 슬래그에 부족한 실리카나 알루미늄 등이 첨가되어야 한다. 대부분의 폐주물사에 90% 이상의 실리카가 함유되어 있으므로 폐주물사를 실리카의 첨가재로 대체시킬 수 있다.

(5) 유해폐기물의 유리질화

최근 미국에서는 유해폐기물을 캡슐로 보호하기 위해서 실리카를 사용하거나, 유리질화 또는 유해성분을 중화하는 방법 등이 사용되고 있다. 폐주물사는 실리카질 성분이 높기 때문에 유해폐기물의 처리를 위한 재료로 재활용하면 그 가능성이 높다. 따라서 이러한 분야에 이용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

(6) 매립재

건설공사에는 각종 공사 후에 성토재, 매립재, 뒷채움재 등의 많은 흙이 필요한데, 주로 자연적인 흙(점토, 모래, 물로 구성됨)이 사용되고 있다. 폐주물사는 자연 흙의 성분과 거의 같은 3~7%의 점토를 함유하고 있으므로 많은 건설공사 현장에서 사용되어 왔으며 매립재로서 재활용 가능한 품목으로 사용된다.

2.7.3. 독일

독일에서는 폐주물사를 환경보호관점에서 두가지로 구분하고 있다. 즉 사용된 주물사와 사용되지 않은 주물사이다. 사용된 주물사는 주조시에 열을 받아 거의 타버린 사용된 주물사로써 이것은 일반 무해한 광물성 매립지에 매립할 수 있다. 그러나 사용되지 않은 주물사는 점결제가 혼련된 상태로 열을 받지 않은 폐주물사로서 파괴된 중자사, 사용기간이 지난 중자사 등이며 이것은 독일에서 특수폐기물로 분류된다.

사용된 주물사를 재활용하거나 폐기하기 위해서는 폐주물사의 유해성분을 최소로 하는 노력이 있어야 하고 재활용 시험시 얻어졌던 성질을 지속적으로 유지할 수 있어야 한다.

독일에서 개발된 회수재생법은 건식-연소-건식방법의 3단계 공정으로 구성된 방법으로 실용화되고 있다.

1980년경부터 재생설비의 주류는 점토점결사 및 유기점결사의 재생을 위한 기계식 및 열가열식 재생설비이다.

폐주물사를 열식으로 재생하는 경우 발생분진에는 유기물이 없으므로 광물분진과 거의 같이 여러모로 활용할 수 있다.

(1) 토목분야의 재활용

침출수시험 등 포괄적인 시험결과로 보면, 사용된 주물사의 무해성이 입증되어 오래 전부터 토목분야(도로건설, 방음벽 충전제 등)에 쓰이고 있다.

사용된 주물사가 지하수를 조금이라도 오염시킬 위험이 있는 물질은 <표VI-10>에 나타내었으며, 자세한 설명은 다음과 같다. 주물사의 침출수에 함유된 물질로는 Phenol과 PAH가 있는데, Phenol의 경우 통상 0.1mg/ℓ 이하로 검출되며, PAH의 경우는 통상 0.0005mg/ℓ 이하로 검출된다. 이는 건축폐기물에 대한 제한 값에는 미치지 못하는 값이다.

<표VI-10> 주물사 중 지하수 오염발생 가능 물질

7항 목	사용된 주물사 (침출수)	건축폐기물에 대한 제한
Phenol	통상수치 < 0.1mg/ℓ	0.1mg/ℓ
PAH (6종류 물질)	통상수치 < 0.0005mg/ℓ	0.003mg/ℓ

주) 59th world foundry congress (1992), Horst Wolff, Germany.

자료: 한국자원재생공사, 『주형종류별 폐주물사의 환경성 검토 및 적정관리 방안 연구』, 1997.

① Phenol

2중 폐기물인 건축폐기물의 허용한계치 내에 있음을 알 수 있다. 또한 주물사내의 Phenol은 비교적 빨리 분해한다.

② PAH(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)

PAHs는 여러 가지의 Polycyclic aromatic hydrocarbon 물질을 말하며 benzo-a-pyrene과 같은 것은 암을 유발하고, naphtalene과 같은 것은 물에 불쾌한 냄새를 일으킨다.

(2) 아스팔트 생산

수년동안의 조사결과 아스팔트에 섞는 모래중 일부는 상용된 주물사로 대체할 수 있음이

입증되었다. 사용된 주물사가 수지 점결제인 경우는 약간의 배출(emission)증가가 있으나 충분히 허용치 이내에 있다.

(3) 시멘트 생산

시멘트 공장에 폐주물사를 그대로 사용하면 배출(emission)량이 평소보다도 약간 증가한다. 이러한 양은 허용치 내에 들긴 하지만 배출량을 줄이고 시멘트의 품질을 올리기 위하여 다음과 같은 전처리를 행할 수 있다.

① 폐주물사를 갈아서 Kiln 고온부에 직접 분사하는 법: 한 시멘트 공장에서 성공적으로 적용되고 있다.

② 추가적인 로타리로에서 시멘트킬른에서 나오는 고온가스(1100℃)로 전처리하는 법: 비교적 많은 투자가 요구되고 폐주물사 공급공장과 긴밀한 협조가 필요하다.

③ 주물공장에서 폐주물사를 기계적으로 전처리하여 미분과 잔류유기점결제량을 줄이는 법: 현재 시험중이다.

(4) 벽돌제조

벽돌제조시 첨가되는 강 모래대신에 일부를 폐주물사로 대체할 수 있다. 모래의 크기가 1mm 이하여야 하고 주물사 덩어리나 철분이 없어야 한다. 벽돌 소성로에서 폐주물사의 유기성분(잔류 점결제, 석탄가루, 광택카본첨가제)으로부터의 공해배출을 방지하기 위하여 소성실로부터의 폐가스를 다시 킬른 연소실로 넣어야 한다.

(5) 광산분야에서의 활용

사용된 주물사는 광산에서 폐갱구를 안전하게 저급 콘크리트로 메꿀 때에 사용되기도 한다. 폐주물사의 침출수내에 0.1mg Phenol/ℓ 이하이어야 하고, 짧은 기간(1~2주)에 많은 양(15000톤)의 사용된 주물사가 필요하므로 적기에 현장에 운반 저장하는 것이 문제이다.

또한 광산의 지하공간을 메꿀 때에 폐주물사를 다져서 넣기도 한다. 이때에 발생하는 침출수의 농도를 조사하기 위하여 염소농도가 150g/ℓ 인 염수를 사용하여 침출시험을 한 결과, 금속함량이 매우 낮았고 지방족 탄수화물이 항상 무시할 정도였으며 PAH도 증류수에 녹아 나오는 것보다 훨씬 적게 녹아 나왔으며, 그 양은 제2종 규제치(0.003mg/ℓ)보다 두자리 이하였다. 이와 같이 지하수 보호에는 문제가 없으나 폐주물사를 갱도까지 운반하는 경비가 상당하다.

2.8. 재활용상의 문제점

재활용은 여러 가지 장애요인이 잠재하고 있으므로 다음과 같은 많은 어려움이 있다.

① 처리비용이 높아 재생사의 가격이 신사의 가격보다 높은 실정이다. 현재 마천주물공단의 (주)D 공장에서 폐주물사를 재생처리하고는 있지만 폐주물사 재생비용(LPG, 분진처리비, 운영경비 등)이 높아 재생사의 판매가격이 신사구입비 보다 월등히 높은 문제점을 안고 있다.

② 재생제품의 기피현상이 높고, 재생제품을 활용해 보려는 노력이 부족하다

③ 주물공장에서 배출되는 폐주물사는 조형방법에 따라 품질이 다르고 불균일한 상태로 나오므로 이를 적절하게 대응하기가 어렵다.

④ 건설재료로서 재활용될 때, 재활용제품에 대한 신뢰성이 낮고 유기물, 카본 등의 함유에 따른 제품의 색상에 문제가 되고 있다. 그외 폐주물사 발생업체에서는 주형종류별 분리수거가

이루어지지 않고 재생을 하더라도 재생사에 대한 업체 선호도가 낮아 사용기피 현상이 있다.

2.8.1. 용도별 발생하는 문제점

(1) 도로기층재로의 재활용 방안

중금속 함유시 주변지하수의 오염과 입경이 너무 작아 기층재 사용할 때 전처리가 필요하다.

(2) 매립지 복토용 흙으로 재활용하는 방안

악취발생방지, 쓰레기의 비산 및 유출문제, 해충 및 야생동물의 번식방지, 화재의 발생 방지 그리고 주변경관의 향상을 위한 복토를 폐주물사를 이용하였을 경우 다음과 같은 문제점이 있다.

- ① 폐주물사의 입경이 너무 작아 우수 및 강풍시 유실된다.
- ② 중금속이 함유되었을 경우 안정화 저해 및 침출수의 처리가 곤란해 진다.
- ③ 빗물이 그대로 유입되어 처리해야 할 침출수가 다량으로 발생한다.

(3) 폐주물사의 신사화

폐주물사의 신사화의 측면에서 보면, 국내에서 가장 많이 발생하는 생형별에 의한 폐주물사는 점결제로 쓰이는 벤토나이트로 인해 신사화가 불가능하고 CO₂, Shell 사, 후란사 등 일부의 폐주물사가 열을 가해 다시 신사로 만드는데 이 또한 고비용으로 재활용 신사나 일반 신사의 가격차가 없어 단점으로 지적되며, 발생 업체 또한 발생과정에서 생형폐주물사와 구분하여 보관하지 않으므로 재활용하여 신사가 가능한 CO₂, Shell사, 후란사 등을 단순매립하고 있다.

2.8.2. 폐주물사의 발생 과정상의 문제점

주물공장에서 배출되는 폐주물사는 점토점결 폐주물사와 화학점결 폐주물사, 슬래그가 비교적 분리가 잘되고 있으나 생형폐주물사와 후란형 등 색깔이 같은 점토물이 들어가는 것은 공정상 분리가 가능하지만 현장 작업자의 낮은 인지도로 인하여 사실상 분리가 불가능한 형태이다. 따라서 같은 폐주물사나 후란형은 열을 가해서 충분히 재활용 할 수 있음에도 불구하고 성토복토용이나 단순매립되고 있는 실정이다.

폐기물 발생과정에서 미분리로 인한 각종 쓰레기가 혼합되어 수집과정에 문제가 발생된다. 폐기물 처리 담당자의 의식 부족으로 폐기물을 재활용하면 소중한 자원이 됨에도 불구하고 일부 영세업체에서는 쓰레기로 간주하여 각종 잡쓰레기와 함께 보관하는 경우가 있어 재활용 과정에서 분리해야 하는 어려움이 있어 폐기물 담당자의 의식전환이 필요하다.

대부분의 주물공장들이 원가를 낮추기 위해 성토복토로의 재활용이 안되고 정해진 매립장

으로만 가야하는 주물공정상의 분진을 폐주물사에 섞고 있으며 이로 인하여 수집과정에서 미세먼지가 더욱 많이 발생되고 있으며, 재활용 공장에서도 종종 시비가 일어난다.

2.8.3. 폐주물사의 수집·운반 과정상의 문제점

폐기물 발생업체에서 곧바로 폐기물 처리업소로 운반하는 형태로 이루어져 있어 수집·운반업의 폐기물 수집은 제대로 이루어지지 않으며 운반만 이루어지는 실정이다. 또한 수집이 이루어진다 해도 운반비의 2중 부담으로 현실적으로 어려움이 있다.

재활용업체 및 처리업체의 영세성으로 시설 낙후 및 보관장소의 협소, 기술부재 등으로 인하여 폐기물 반입이 일정치 않아 운반과정에 많은 문제점이 발생하며 또한 영세업체의 난립으로 과당 경쟁으로 인한 부작용이 속출하여 폐기물의 적정처리가 위협받고 있는 실정이다.

3. 폐석면

3.1 폐석면의 유해성

석면은 자연계에서 산출되는 섬유상의 규산염 광물질이 수산화된 것으로 솜같이 부드러워 가공이 용이하며, 화학약품에 견디는 성질이 강할 뿐만 아니라, 불연성, 단열성, 내구성 및 절연성 등이 뛰어나 공업상 중요한 원자재로 사용되고 있다.

석면은 미세한 섬유의 형태를 가지고 있어서 공기중에서 오래 체류하고 공기의 흐름에 따라 이동하면서 생체의 호흡기에 흡입되어 석면폐증, 폐암과 중피종과 같은 질병(<부록VI>참고)을 유발한다. 그러므로 석면을 취급하는 산업체에서는 이에 대한 특별관리를 법으로 규제하고 있다.

3.1.1. 크기에 따른 유해성

석면의 섬유크기와 모양은 질병 유발가능성의 큰 요인이 된다고 판단되고 있다. 200 μm 이상의 길이를 가진 비교적 긴 섬유들은 인체의 호흡기관에서 걸러지나, 그 보다 작은 섬유들 중 지름이 2 μm 이하인 것은 호흡기관을 뚫고 폐속으로 잠입할 수 있다. 석면은 암면이나 유리면과 같은 인공섬유와는 크기 및 성질에서 차이를 보이고 있으며, 이는 <표VI-11>에 나타내었다.

인체에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 섬유의 크기는 길이가 5~10 μm 이고 지름이 1.5~2 μm 이다. 하지만 섬유의 모양이나 형태에 대해서는 정확하게 밝혀진 기준이 없다. 또한 길이가 1 μm 이나 2 μm 인 비교적 짧은 섬유들은 전혀 인체에 해를 미치지 않으나, 발암의 원인이 될 수 있는 섬유질에 대한 최저 지름에 대한 근거는 없다.

<표 VI-11> 석면, 암면, 유리면의 유·무해성 관련비교

항목	석면	암면	유리면	비고
구분	천연무기질 섬유	인공 무기질 섬유		
명칭	Asbestos	Rock Wool	Glass Wool	
구조	결정질 (체액에 녹지않음)	비결정질 (체액에 녹음)		
화학 조성	· Chrysotile: 3MgO·2SiO ₂ · 2H ₂ O · Crocidolite: NaF(SiO ₂) ₂ , FeSiO ₂ ·H ₂ O · Amosite: (Fe, Mg)SiO ₂ ·H ₂ O	· SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO계	· SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , CaO, MgO 계	암면과 유리면은 불활성 물질이며 더 이상 쪼개지거나 다른 유해한 반응을 일으킬 수 있는 물질이 아님.
주 용도	보강재, 결합재료 사용	산업용 보온 단열재	건축용 보온 단열재	
사용 온도	1,200℃ 이하	700℃ 이하	350℃ 이하	
섬유 크기	0.1~1μm	3~7μm	4~7μm	1μm 이하만 폐에 흡입되고 수가 흡입되지 않고 인체 밖으로 방출됨.
비표면적	편모상(흡착이 큼) 9.7m ² /g	원형(내수코팅) 0.22m ² /g		석면은 비표면적이 매우 커서 표면 흡착력이 커지므로 폐에 침착되기 쉬움.
구조	중공관형(내부에 관 존재)	원주형(내부에 기공 및 이물질 없음)	유리원석이나 유리를 녹여서 인공으로 섬유를 만들	원주형은 피부 용착이 곤란함.
제법	사문암 등 변성암층에서 천연으로 존재하는 섬유	현무암 등 화성암으로 녹여서 인공으로 만든 섬유	유리원석이나 유리를 녹여서 인공으로 섬유를 만들	
개요	석면은 가늘며 흡입이 용이하고 분화되어 인체에 흡입되었을 때 체내에 쌓여 질병을 유발시킬 수 있음.	유리면 섬유, 암면 섬유는 흡입이 어려우며 세분화되지 않고 특히 인체내에서 녹기 쉽기 때문에 배설되지 않고 축적되지 않고 유해성분이 없음. 세계보건기구(WHO)에서는 무기질 섬유의 노출에 대하여 전혀 해가 없음을 확인.	유리원석이나 유리를 녹여서 인공으로 섬유를 만들	세계보건기구(WHO) 산하 국제 암연구기관(IARC)은 무기질 섬유를 커피와 같이 2B로 분류했음.
석면제품을 쓰는데 이유	석면은 다른 대체제품보다 어느정도 강도가 필요한 일부 제품에 극히 소량을 투입하고 있다. 하지만 석면이 제품에 들어있다고 해서 결코 위험한 것은 아님. 극히 소량의 양과 강력한 포집성으로 다른 물질과 결합되어 있기 때문에 날린다는 등 밖으로의 노출이 되지 않기 때문임.	제품보다 어느정도 강도가 필요한 일부 제품에 극히 소량을 투입하고 있다. 하지만 석면이 제품에 들어있다고 해서 결코 위험한 것은 아님. 극히 소량의 양과 강력한 포집성으로 다른 물질과 결합되어 있기 때문에 날린다는 등 밖으로의 노출이 되지 않기 때문임.	유리면 제품은 석면이 들어있지 않음.	

자료: 서울특별시, 『재건축 사업등과 관련 건축물 철거에 따른 폐석면 관리 대책』, 1998.

3.1.2. 종류에 따른 유해성

석면 중에서 공업용으로 가장 많이 이용되고 있는 것은 유해성이 가장 적은 백석면이며, 청

석면, 갈석면 및 직섬석이 일부 사용되고 있다. 백석면은 청석면나 갈석면과는 달리 인체 내에서 용해되는 것으로 밝혀져 유해성이 덜한 것으로 알려져 있다. 그러나 유해성이 가장 큰 투각섬석과 양기석은 거의 사용되지 않고 있다. 골석면 슬레이트 등의 건축자재에 사용되는 석면은 백석면이다.

국제과학적 판단에 의거 백석면은 앰피볼 각섬석 석면류보다 덜 위험하다는 것이다. 이는 백석면이 물리적 특성상 분진 발생이 적고, 인체에 흡입된다 하더라도 체내분리가 쉽게 된다는 것이다. 반면, 각섬석 석면형태는 분진 발생성이 크고 폐에 흡입되면 오랫동안 지속된다. 이러한 확증은 동물실험 및 인체조사에서 밝혀지고 있다.

3.1.3. 제품에 따른 유해성

석면함유제품은 <표VI-12>에서 나타난 바와 같이 매우 다양하며, 석면시멘트 건축자재, 자동차 마찰재, 가스켓트 및 기타 플라스틱 혼합물 등에 사용된다. 이중 가장 사용량이 많은 석면시멘트에 대해서는 부록VII에 자세히 설명하였다. 1988년 12월에 소집된 국제화학안전협회(IPCS) 전문가 단체회의에서도 위의 사업용 제품들을 일반 사람들에게 유해하지도 않으며 환경적으로도 위험요소를 나타내지 않는다고 했다. 반면에 손으로 만져 부스러질 수 있는 저밀도 부유성 단열제품사용에 대해서는 작업자에 노출될 수 있는 위험성으로 계속 그 사용이 금지될 수 있도록 촉구되었다. 석면분진이 날리는 단열시공제품들은 1970년대부터 대부분의 나라에서 금지시켜왔다.

3.1.4. 산업별 유해성(폭로 위험)

미국에서 석면 폭로 위험이 가장 높은 근로자들은 석면제품을 이용하는 건설업, 자동차 산업, 선박제조 및 수리 산업 등이다. 건설업에서는 해체업체와 보수업체를 포함해서 18만에서 40만 8천명 정도의 근로자가 석면에 폭로된 것으로 추산된다. 자동차 산업은 브레이크와 클러치 정비업체, 마모 부속품 수리·보수업체를 포함하는데 2백만명의 근로자가 석면에 폭로되어 있다. 선박 제조 및 수리 산업에서는 3800명 정도가 석면에 폭로될 수 있다.

현재 총 230만에서 250만명의 근로자가 석면에 폭로되어 있다. 그러나 석면에 의한 질환은 긴 잠복기(20~30년)를 거쳐야 임상적으로 증상이 나타나기 때문에 과거에 석면취급산업에 종사했던 근로자들도 위험군으로 보아야 한다. 과거에 석면을 취급했던 근로자 중 많은 수에서 잠복기가 끝나고 석면 관련 질환이 나타날 위험에 처해 있다.

<표 VI-12> 한국산업규격상 석면함유제품

규격번호	제 품 명	석면배합 (무게비 %)
KS L 5114	골석면슬레이트	20%
5115	석면시멘트관	15~30%
5116	석면시멘트관	14%
5123	미장석면 규회관	-
5202	석면포	80~99% 이상
5203	석면제조패킹	80~99% 이상
5209	석면규회관	20%
5212	산업기계용 석면 브레이크라이닝	-
5213	물전해용 석면격막	-
5215	석면단열시멘트	-
5301	석면사	80~99% 이상
5302	석면시멘트질 압력관	-
5304	석면패킹끈	80~99% 이상
5311	석면판	50% 이상
5314	석면시멘트질하수관(무압력)	-
5406	압축석면판	65% 이상

자료: 한국폐기물학회, 『대전·충청지역, 벽산구대전 공장부지에 매립된 폐기물의 물리, 화학적 특성 및 유해성 평가에 대한 조사』, 1997.

3.2 석면의 특성

3.2.1 폐석면의 범위

(1) 미국

미국은 폐석면을 크게 3종류로 나누어 관리하고 있다.

① Category I nonfriable asbestos-containing material (ACM):

석면함유 패킹, 가스켓, 탄력있는 마루덮개, 아스팔트 지붕재

② Category II nonfriable asbestos-containing material (ACM):

Category I 을 제외한 nonfriable ACM

③ Regulated asbestos-containing material (RACM)

- friable asbestos material

- Category I nonfriable ACM이 friable로 된 것

- Category I nonfriable ACM 제품이 Sanding, Grinding, C

Abrading(연마)등의 작업으로 발생된 것

- Category II nonfriable ACM 제품을 뺀고, 가루가 되고, 폭파등으로 발생된 것

(2) 일본

일본 후생성의 「폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률」에는 석면폐기물에 대하여 구체적으로 정리되어 있다. 이 법에서는 비산되기 쉬운 폐석면과 이에 해당되지 않는 석면 함유폐기물로 구분하여 전자는 특별관리 산업폐기물로 관리하고 후자는 통상 산업폐기물로 관리하고 있

다.

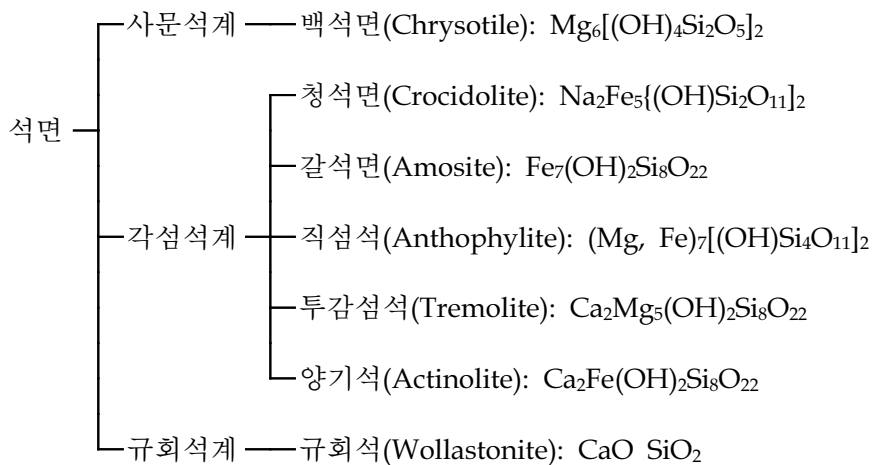
이 법의 시행규칙 제1조의 2, 제6항에는 특별관리 산업폐기물에 해당되는 「폐석면」의 범위를 다음과 같이 정하고 있다.

- ① 건축물에 사용되는 재료로서 석면을 분사시킨 것을 석면건재사업이 제거한 석면
- ② 건축물에 사용되는 재료로서 석면함유물중 석면건재사업에 의해 제거된 다음의 것
 - 석면보온재
 - 구조토 보온재
 - 펄라이트 보온재
 - 사람의 접촉, 기류 및 진동 등에 의해서 ①~③에 게시된 것 이상으로 석면이 비산될 우려가 있는 보온재
- ③ 석면건재 제거사업에서 사용되고 폐기되는 플라스틱, 방진마스크, 작업복, 기타용구 또는 기구로서 석면이 부착되어 있을 우려가 있는 것
- ④ 영 별표 3의 1항에 게시된 시설에서 발생된 석면으로서 집진시설에 의해 포집된 것
- ⑤ 위 항에 게시된 특정분진 발생시설 또는 집진시설을 설치한 공장 또는 사업장에서 사용되고 폐기된 방진마스크, 집진필터, 기타용구 또는 기구로서 석면이 부착되어 있을 우려가 있는 것

3.2.2 석면의 종류

석면은 <그림 VI-3>과 같이 구분할 수 있으며 모두 $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_2$ 가 주성분으로 되어 있고 석면의 종류에 따라 물리적 또는 화학적 성질이 다르다. 석면의 지질, 광물학적으로 생성된 과정을 보면 출발물질을 SiO_2 로 하여 사문석계(Serpentine)는 물을 흡수함으로써 변형된 것이고 각섬석계(Amphibol)은 물을 잃어버림으로써 변형된 것이다.

석면은 크게 각섬석계와 사문석계 석면으로 분류한다. 상업적으로 사용되는 각섬석계 석면(청석면, 갈석면)은 매우 위험하다. 화학적 구조와 끈고 날카로운 섬유 때문에 각섬석계는 분진이 많이 발생하고 인체내에서 지속력이 크다. 사람의 몸속에 들어간 이들 섬유는 폐포에 남을 수 있고 암 및 중피종을 유발할 수 있다. 가장 일반적인 사문석계 석면인 백석면은 각섬석계의 여러 종류의 석면보다 위험이 상당히 적다. 매끈한 조직, 구불구불한 섬유를 가진 사문석계 석면은 공기중에 떠다니지 않는다. 그렇기 때문에 흡입되는 경우가 적고 폐에 오랫동안 남아있지 않는다. 이들의 화학성분을 나누면 <표 VI-13>과 같다.



<그림 VI-3> 석면의 종류와 구성성분

<표 VI-13> 석면의 화학조성비

구 분	백석면	청석면	갈석면	비 고
유리규산(SiO ₂)	40.75	52.00	49.70	
알루미나(Al ₂ O ₃)	3.37	-	0.40	
삼산화철(Fe ₂ O ₃)	0.44	16.05	0.03	
산화철(FeO)	0.28	17.65	39.70	
산화망간(MnO)	0.03	trace	0.22	
산화마그네슘(MgO)	41.28	4.28	6.44	
산화칼슘(CaO)	0.35	1.20	1.04	
산화나트륨(Na ₂ O)	0.07	6.21	0.09	
산화칼륨(K ₂ O)	0.04	0.06	0.63	
수화물(H ₂ O) ⁺	12.86	2.43	1.83	
수화물(H ₂ O) ⁻	0.78	0.26	0.09	

자료: 일본환경위생센터, 『석면·제오라이트의 전부』, 1987.

3.2.4. 용도

높은 인장력, 단열성, 방부성, 절연성, 방직성 등 여러 가지 우수한 성질을 가지고 있는 물질이기 때문에 시멘트, 섬유, 건축재료, 조선 및 자동차 산업등 매우 광범위하게 이용된다.

주로 파이프, 널빤지, 판 등을 제작하는 석면-시멘트 산업에서 경화제, 직물, 제지산업에서 발화제, 브레이크와 클러치 내면의 마찰장치, 비닐 바닥제의 마모 방지제, 아스팔트 도로의 점착제, 합성수지, 플라스틱, 밀폐제의 충전제, 전지의 산과 알칼리, 패키징, 애시드 펌프, 밸브, 가스켓의 저항제, 화학,약품, 식품 산업의 여과제, 파이프와 보일러, 빌딩에서 절연체로 쓰인다. 오늘날 이들 건축자재 생산에 사용되는 양은 <표VI-14>에서 보는 바와 같이 전체 백석면 사용량의 약 90%를 차지하고 마찰재가 나머지 7%를 차지하며 3%는 플라스틱과 기타 물질에 사용된다.

석면의 90%가 빌딩재료에 사용되고 있는데 이 비율은 전세계 석면 사용국의 비율과도 거의 동일하며 앞으로도 크게 변하지 않을 것으로 추정된다. 주요상품은 다음과 같다.

- ① 석면시멘트 제품: 스투트, 밤라이트, 나무라이트, 아스텍스(천정재) 등
- ② 석면브레이크 제품: 화물차용 라이닝, 블록 등
- ③ 석면가스켓 제품: 자동차용가스켓, 엔진기관용가스켓, 산업용가스켓 등
- ④ 석면방직 제품: 석면사, 석면박킹, 석면포 등

<표 VI-14> 사용에 따른 분류

	석면 시멘트	석면 브레이크	석면 가스켓	석면 방직	기타	계
수량(톤)	41,600	2,300	850	350	50	45,150
%	92.1	5.1	1.9	0.8	0.1	100

자료: 한국석면협회, 『국내석면시장』, 1998.

3.3. 발생 및 처리상의 문제점

국내의 경우 석면을 전량 수입에 의존하고 있으며, 주로 백석면이 이용되고 있다. 수입된 석면의 양은 매년 증가하여 '96년에 77천톤이었으며 '97년에 급격히 감소되어 45천톤이었다. 이들은 대부분(90%정도) 석면시멘트와 같은 건축자재 생산용으로 사용되고 있다.

석면 폐기물은 점점 비싼 비용으로 처리되고 있고 까다롭게 규제되어오고 있다. 이런 여건에서 가장 좋은 해결책은 생산기술을 향상시켜 손실량을 가능한 범위까지 최소화시키고 폐기량을 줄이는 것이다. 대개의 경우 고품질분은 생산과정에서 재사용될 수 있다. 그렇지 않을 경우 국내·외 규정에 따라 폐기처분해야 할 것이다.

북미지역에서는 바람에 날릴 우려가 없는 석면 폐기물 즉, 고형화된 석면제품은 유해한 물질이라고 간주하지 않는다. 유해폐기물이 아닌 것으로 규정된 non-friable 석면폐기물(바람에 날려지지 않는 고품질 석면 폐기물)은 아무 장소에나 매립하면 된다. 매일 매일 나오는 가정폐기물을 수도권 매립지에 보낼 때 같이 포함시켜 보내도 된다.

반면, Friable waste(바람에 날릴 수 있는 폐기물)의 경우는 말라서 부서지거나 손으로 눌러 가루상태가 될 수 있는 폐기물을 의미하는데, 석면 원료포장을 풀 때 발생하는 미세분진, 원료를 옮길 때나 배합할 때 생기는 분진, 짜를 때나 갈거나 가공할 때 발생하는 분진, 자동차 브레이크 정비수리시 브레이크장치 속에 남아 있는 분진, 공장 집진실에서 나오는 폐기물 등이다.

이 부유성 물질(Friable waste)은 적절히 경고문구를 부착한 투명포장백(polyethylene 최소 6mm 두께)에 담아야 한다. 담은 후에는 즉시 봉합하여 찢어지거나 터지지 않을 장소에 보관하여 잘 관리하도록 한다. 노출허용한계치를 넘을 수 있는 분진 처리장 등에서 개인적인 방진작업 보호구를 갖추도록 한다. 부유성 석면폐기물을 특정장소에 별도 매립할 곳이 없다면, 특별허가를 받아 일반 산업폐기물장에 별도 석면포장 폐기물로 매립하는 절차도 좋은 방법일 것이다. 이 같은 방법으로 불충분하다면 석면포장 폐기물 처리법에 부합되도록 제조건을 맞추고 허가를 받아 위험폐기물 처리장소를 이용해 보는 것도 좋을 것이다.

한편 물에 젖은 폐기물인 경우를 보면, 대부분의 제조공정상의 물은 사일로에 집결되어 잠깐 정수한 후 재사용 되는데, 이때 생겨나는 침전고형물이 문제가 된다. 제조공정과정에서 이러한 침전물을 되돌려 사용할 수 없다면 다음의 처리절차에 따라 폐기하도록 한다. 이는 매립지에 확실한 방법으로 처리함을 뜻한다.

물에 젖은 이들 폐기물은 막힐 때, 특히 작업자에게 문제가 된다. 따라서 처리담당자들은 잘 훈련되어야 하고 적절한 방진보호구와 의복을 갖추어야 할 것이다. 공정중 폐수를 버려야 한다면 공장주변의 땅이나 수질에 오염되지 않도록 주의해야 한다. 이들 폐수를 모아 가라앉히고 침전물을 걸러내어 매립지로 보내야 할 것이다. 이와 같은 일도 유해물질을 잘 분리하는 훈련된 담당자에 의해 수행될 수 있도록 조치한다.

3.4. 재활용의 필요성

Friable 폐석면과 물에 젖은 폐석면은 매우 유해하므로 매립시 주의를 해야하며 매립시에도 불안정하여 용출가능성이 있으므로 가능하다면 재활용하는 것이 필요하다.

3.5. 재활용 기술 현황

3.5.1. 미국

폐석면 재활용에 관한 신기술인 Asbestos Recycling, Inc.의 실례는 다음과 같다.

Asbestos Recycling, Inc.(ARI)업체에서 사용중인 Asbestos Conversion Unit(ACU)는 불리
는 독립적이고 운송가능한 시스템으로서 모든 석면폐기물 형태를 열화학적으로 완전히 전환
(변경)시킬 수 있다. 이는 ARI의 독점적인 특허 시스템으로서 석면의 섬유상 형태를 무독성의
비섬유상 형태의 무해한 무기물질로 전환시킨다. 또한 소요비용이 저렴하여 매립처리시 소요
되는 비용과 비슷하다.

ARI는 이 시스템을 U.S. Department of Energy's Handford Site에 소개하여 시험 가동하
였으며, Handford's commercial privatization program(Handford site의 정화를 위해서 새롭고
혁신적인 기술을 적용하는 프로그램)에 참여하고 있다. 또한 ARI는 앞으로 보다 큰 용량(석면
함유물질 처리량 25~50ton/day)의 ACU를 생산할 계획이고, PCB 또는 방사성 물질로 오염된
석면폐기물을 처리할 수 있는 ACU에 관한 연구를 수행하고 있다.

이 시스템의 장점은 다음과 같다. 부서지기 쉬운 석면 함유 폐기물의 양을 약 80%정도 감
소시키고, 전체 처리용량을 감소시킨다. 또한 석면의 섬유상 형태를 완전히 파괴할 수 있는
유일한 상업적인(상업화가 가능한) 기술이다. 폐기물이 전혀 발생하지 않고, 환경적으로 건전
한(환경친화적인) 공정이며, 최종 부산물은 비반응성이고, 밀집하게 구성되어 있으며, 석면의
섬유상 조직이 전혀 없는 유리질의 검은 돌 같은 물질이므로 상업적으로 노반재 또는 콘크리
트 집결재로서 이용 가능하므로 매립처분할 필요가 없다. 최종 생산물은 방사성 폐기물 저장
box의 포장재로써, 1톤에 100달러정도 하는 포장재의 대체물로서 이용할 수 있다.

4. 폐촉매

4.1. 폐촉매의 유해성

폐촉매에는 중금속이 높은 함량으로 포함되어 있으므로 폐촉매를 처리하지 않고 폐기하게
되면 중금속의 용출에 의한 지하수의 오염 등 심각한 환경문제가 야기된다. 한편 수소화공정
에서 발생하는 폐촉매에는 Ni, Co, Mo 및 W 등의 촉매성분금속 외에도 잔사유로부터 V 및
Ni와 같은 금속성분이 촉매에 침적되어서 상당량의 중금속이 포함된다. 또한 FCC공정에서 발
생되는 폐촉매는 중금속의 함량은 많지 않으나 막대한 양이 발생되므로 대규모의 처리방안이
강구되어야 한다.

4.2. 폐촉매 발생

촉매는 어떤 반응계에서 그 자신은 반응하지 않고 전체반응을 빨리 일어나도록 활성화시켜
주는 물질로서 반응종료 후 반응물질의 양적 변화에는 관여하지 않고, 자신은 반응전과 같은
상태로 존재할 수 있는 물질을 말한다. 이러한 촉매는 활성이 높고, 목적생성물의 선택성이
높고, 내구성이 우수하고, 회수·재생이 용이해야 한다.

그러나 촉매는 화학반응공정에서 사용 도중에 성능이 처음에 비해 점차 감소되는 현상이
나타나는데 이를 '열화'라 한다. 촉매의 열화는 반응원료로부터 유래하는 경우와 촉매자체의
변질로부터 유래하는 경우로 나뉜다. 전자의 경우 반응물 중 함유된 불순물 등에 의해 반응물
의 흡착저해, 촉매피독현상을 야기하고, 후자는 신터링, 相전이, 相분리, 고상반응, 성분조성변

화 등에 의해 촉매의 활성을 저하시킨다. 이러한 촉매열화에 대한 대책에는 각 열화원인에 따라 물리적, 화학적 방법이 있다.

예를 들면, 촉매의 비활성화는 주로 화학적인 피독(chemical poisoning), 코킹으로 인한 촉매의 기공 막힘(fouling), 금속이나 무기물질의 흡착으로 인한 촉매의 활성점의 감소 및 촉매 금속의 소결(sintering)이나 상변화(phase transformation) 등이 개별적으로 일어나거나 동시에 일어나기 때문에 초래된다. 수소화탈황 촉매의 비활성화의 경우 위의 거의 모든 현상이 동시에 일어나는 것으로 알려져있다. 그중에서 특히 Ni, V 및 Fe 등과 같이 중질유에 포함된 금속의 흡착이 비활성화의 주 요인이다.

비활성화는 초기에 급격히 일어나는데, 이렇게 촉매가 점진적으로 비활성화되는 동안 Ni, V 및 Fe 등과 같이 중질유에 포함된 금속의 유기화합물이 촉매 표면에서 분해되면서 금속황화물로 전환, 촉매 표면에 일정한 속도로 침적된다. 이들 금속성분의 침적은 반응원료유가 촉매의 활성점에 접근하는 것을 막아서 촉매의 활성을 저하시키는 결과를 초래한다.

이들 금속의 황화물도 수소화 탈황반응의 촉매활성을 어느 정도 가지고 있으나 원래의 촉매보다는 활성이 현저히 낮다. 따라서 이들 금속의 침적으로 인해 원래 촉매의 활성이 완전히 감소되지는 않지만, 침적이 계속되어 촉매의 기공을 완전히 막으면(fouling), 촉매반응에 필요한 활성점의 수가 급격히 감소하여 더 이상 촉매작용을 할 수 없게 되고 폐촉매가 된다.

원료반응물 중 촉매독제거, 반응조건변경, 촉매재생 등의 방법이 있다. 이중 촉매의 재생이란, 열화된 촉매의 활성, 선택성을 되살리기 위해 적절한 처리에 의해 재활성화 시키는 것으로서 보통 산화재생법에 의해 촉매상의 석출탄소질을 공기(또는 산소)로 연소 제거한다. 이와 같이 촉매를 반복하여 재생 사용하다 보면 어떤 시기에는 재생처리를 하여도 제 기능을 발휘하지 못하게 되어 폐촉매로 발생된다.

4.3. 촉매공업의 동향

4.3.1. 국제적 동향

세계의 촉매시장규모는 <표VI-15>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 촉매의 시장규모는 1985년에 25억 달러이었으며, 2000년에는 65억 달러로 예측되고 있다. 1987년의 경우 전세계촉매시장의 약 60%를 미국이, 약 25%를 일본이, 약 15%를 유럽이 각각 점유하고 있었다.

용도면에서 촉매의 사용량은 <표VI-16>에 나타난 바와 같이 석유정제용, 석유화학제품용, 공해방지용 등에 고르게 나누어지고 있으나, 일본의 경우는 약 60%가 공해방지용(주로 자동차 배가스 정화용)인 것이 특징이다.

일본은 1967년 '촉매공업협회'의 발족과 함께 초기에는 석유화학공업용촉매를 중심으로 발전해 왔으나 화학공업 고도성장의 여파로 대두된 공해문제의 해결에 적극적으로 대처한 결과, 현재 일본은 대기정화 기술분야에서는 세계적으로 선도적 위치를 점하고 있다. 공해규제는 각국에서도 보다 엄격해지고 있는 추세이므로 이 분야의 촉매수요는 계속 증가할 것으로 보인다.

석유정제용 촉매에서는 <표VI-17>과 같이 가장 중요한 비중을 차지하는 것이 접촉분해촉매인데, 특히 가솔린의 세계적 무연화 경향과 원유가격의 저락(低落)으로 보다 부가가치가 높은 가솔린제조의 움직임이 강하고, 유동상접촉분해(FCC) 장치의 신·증설이 계속되고 있어 이 촉매의 수요도 앞으로 증가할 것으로 예측된다.

<표 VI-15> 세계 촉매시장 추이 및 전망
(단위: 억달러)

구 분	1985	1987	1990	1992	1994	2000
미 국	15.3	16.5	18.5	20.0	22.0	28.0
유 럽	3.3	4.0	5.0	6.0	7.2	12.5
일 본	3.6	6.3	9.0	11.5	12.4	15.0
기 타	2.8	3.4	4.3	5.1	6.0	10.0
계	25.0	30.0	37.0	43.0	48.0	65.0

자료: 산업연구원, 『정밀화학산업』, 1989.

<표 VI-16> 주요국가의 촉매시장구조(1987년)
(단위: 억달러, %)

구 분	미 국	유 럽	일 본
석유정제용	5.9 (36.4%)	1.5 (37.5%)	0.8 (12.7%)
석유화학제품용	5.3 (32.7%)	0.8 (20.0%)	1.4 (22.2%)
공해방지용	4.8 (29.6%)	1.5 (37.5%)	3.89 (61.9%)
기타	0.2 (1.3%)	0.2 (5.0%)	0.2 (3.2%)
계	16.2 (100.0%)	4.0 (100.0%)	6.3 (100.0%)

주: ()안의 수치는 비중임

자료: 산업연구소, 『정밀화학산업』, 1989.

<표 VI-17> 1987년의 미국촉매시장의 세부구조

석유정제		석유화학제품	
접촉분해	2.70	고분자중합	2.50
알킬화	1.70	유기합성	0.90
수소화처리	0.75	산화	0.85
수소화분해	0.40	합성가스	0.55
접촉개질	0.20	수소화	0.40
이성화	0.10	탈수소	0.09
계	5.85	계	5.20

자료: 산업연구소, 『정밀화학산업』, 1989.

4.3.2. 국내동향

세계적으로 사용되고 있는 촉매의 대부분이 미국, 독일, 일본 등 몇 개국에서 개발한 촉매이고 이들 촉매를 사용하는 다른 나라에서는 석유화학 생산시설을 들여올 때 이들 촉매도 필수품으로 같이 수입해 들여와 사용하기 때문에 사용촉매에 대한 성능만을 확인할 수 있고 그

성분이나 제조법 등은 잘 모르는 실정이다.

<표VI-18>과 같은 두 개의 자동차용촉매제조회사가 1980년대 중반에 설립된 것을 제외하면 화학공정과 관련한 국내의 촉매전문제조업체는 없는 실정이며, 소요촉매의 전량을 거의 수입에 의존하고 있으며 수입현황은 <표VI-19>와 같다.

국내에서도 촉매개발에 대한 움직임이 활발히 싹터 관련업계와 학계의 대표들이 모여 1989년 11월 ‘한국촉매개발연구조합’을 설립하였다. 이 조합에서는 촉매에 대한 기초연구와 장기 국산화 기술개발을 공동연구하여 국내 촉매공업의 활성화에 기여하고 있다.

<표VI-18> 국내 촉매제조회사 현황(합작회사)

업 체 명	합작지분	설립일자	생산품목
(주) 오텍	동양화학 (50%) (서독)Degussa (50%)	1985.9	자동차배기가스 정화용 촉매
한국 Engel hard	현대 (20%) LG (40%) (미) Engel hard (40%)	1983.4	자동차배기가스 정화용 촉매

자료: 산업연구원, 『정밀화학산업』, 1989.

<표VI-19> 국내 촉매시장의 수급추이와 전망

(단위: 억원)

년 도	1980	1984	1987	1990	1994	2000
생 산	-	-	-	462	716	1,500
수 입	99	177	247	312	581	998
내 수	99	177	247	784	1,277	2,498
수 출	-	-	-	-	-	-

자료: 산업연구원. 『정밀화학산업』, 1989.

4.4. 촉매의 특성

1970년대의 두차례의 석유위기로부터 화학공업은 자원절약, 에너지절약, 원료전환, 프로세스의 무공해화의 방향으로 나아가고 있으며, 이 과정에서 촉매역할의 중요성이 재인식되고 있다. 오늘날 촉매는 화학공업분야 뿐 아니라 공해방지(자동차 배가스 정화, 발전소의 배연탈질) 신에너지원의 개발(연료전지, 수소), 가정용 생활기기(조리용 오븐, 스토브 등)에 이르기까지 그 응용분야가 확대되고 있다. 촉매의 성분은 귀금속류와 전이금속이 각각 25.8%, 34%로 구성되어 있어 재활용 가능성이 높고 특히 국내에서는 생산되지 않는 금속들이 포함되어 있다.

4.4.1. 촉매의 작용과 분류

촉매는 근본적으로 반응물 간의 반응에 필요한 에너지장벽을 낮춤으로써 에너지면에서 유리한 반응경로를 가능하게 한다. 기상(氣相)촉매반응의 경우 그 반응기구는 반응물의 경계막으로의 확산, 촉매표면에 반응물질의 흡착, 촉매활성점에서의 반응, 생성물의 탈리, 생성물의 경계막 외로의 확산 등의 단계를 밟는다.

촉매는 반응계에 따라 균일촉매와 불균일촉매로 나뉘며, 균일촉매란 반응물과 촉매가 동일

상일 때, 불균일촉매란 반응물과 촉매가 불균일상일 때를 말한다. 균일촉매에는 액체산·염기 촉매, 금속이온(염), 금속담체, 산소 등이 있고 대부분 소모성인 반면 불균일 촉매에는 고체산·염기촉매, 고정화촉매 등이 있으며 다시 소모성과 비소모성으로 분류할 수 있다. 불균일계 촉매 반응에 있어 촉매는 고체이고 반응물질은 기체 또는 액체이다.

촉매의 사용량은 불균일계 촉매가 균일계에 비해서 훨씬 많고, 비균일계 촉매 중에서는 비소모성 촉매의 사용이 소모성 촉매보다 더 많아서 불균일계 비소모성 촉매의 사용이 전체 촉매 사용량의 약 57% 정도를 차지하고 있다. 비소모성 촉매에는 V, Ni, Co, Mo 등을 5~10% 함유하는 희유금속류가 있으며 1년 이하의 촉매수명을 갖고 있다. 또한 알루미늄이나 실리카와 같은 담체에 촉매 역할을 하는 금속원소들을 분산시켜서 일정한 형상과 크기로 만들어져 사용된다.

4.4.2. 촉매 제조

촉매의 성능은 반응인자에 의해 결정되는데, 반응인자는 온도, 압력, 농도 등의 반응조건이고, 구조인자는 촉매의 제조법과 제조조건에 밀접한 관련이 있다. 촉매제조는 일반적인 수순(手順)은 촉매활성성분선택, 담체 선택, 담체상에 활성성분의 함침(제조법선택), 세정, 건조, 성형, 소성의 단계를 거치며, 제조법으로는 함침법, 침전법, 혼련법, 이온교환법 등이 있으며 촉매의 성질과 사용목적에 따라 신중히 선택해야 한다.

촉매담체는 촉매체(촉매활성물질+담체+조촉매)를 구성하는 성분의 하나로 주촉매의 촉매적 특성을 높이고 촉매활성물질과 조촉매 성분을 담지(擔持)하는 비표면적이 큰 다공성체이다. 촉매의 역할은 촉매활성, 선택성, 기계적 강도 등을 증대하고 촉매의 수명을 연장하는 것이며, 담체를 선정할 때는 담체와 촉매활성물질간의 친화성, 담체의 화학적조성, 반응물 및 생성물과 담체와의 상호작용, 담체의 비표면적, 세공구조, 형상, 기계적 강도, 내열성, 내피독성 등을 고려해야 한다. 촉매담체로 자주 사용되는 것에는 알루미늄, 실리카, 티타니아, 마그네시아, 제올라이트, 활성탄 등이 있으며 자동차 배가스 정화용 촉매의 담체로는 내열충격성이 우수한 코디어라이트가 많이 사용된다.

4.4.3. 촉매의 구조와 기능

촉매의 기능을 결정하는 제 1요인은 촉매물질의 표면화학적 성질이지만 그 기능을 최고도로 발휘하게 하는 것은 촉매의 구조(형상, 크기, 세공, 비표면적 등)이다. 촉매의 형상과 크기는 촉매층의 압력손실과 촉매유효계수에 관계하고, 촉매세공은 비표면적과 함께 촉매활성에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 세공경(細孔徑), 세공용적, 세공상호간의 연결상태라는 3요소로 구성된다. 세공은 그 크기에 따라 micro공, meso공, macro공으로 나뉘며, 각각의 세공구조는 반응물 및 생성물분자의 세공내외로의 확산, 복합반응의 선택성, 열전도도, 기계적강도 등에 관계한다. 이러한 세공의 성인(成因)으로는 결정구조에 의한 것, 조제·성형시 생기는 미립자간의 공극에 의한 것이 있으며, 세공의 크기는 조제시 유기물첨가, 성형압 조절, 소성온도의 변화 등에 의해 어느 정도 제어할 수 있다.

4.4.4. 공업용도별 촉매

촉매는 공업용도별로 보면 <표VI-20>에서 보는 바와 같이 크게 석유정제용, 화학공업프로세스용, 공해방지용으로 나눌 수 있다. 이에 대한 자세한 설명을 <부록VIII>에 나타내었다.

석유정제용에는 접촉분해, 접촉개질, 수소화분해, 수소화탈황, 아킬화촉매가 있으며, 이중 아킬화 촉매는 최근 무연 하이옥탄가솔린 수요의 증가와 함께 설비능력의 증대로 촉매수요가 증가하는 경향이 있다.

화학공업 프로세스용에는 석유화학품제조, 고분자중합, 가스제조, 유지가공, 의약·식품제조, 무기화학품 및 분위기가스제조용 촉매가 있다.

공해방지용에는 자동차배기가스정화, 고정발생원탈질, 완전산화형 공기정화용 촉매가 있으며, 이들 분야에 대한 촉매는 세계 각국의 대기오염의 규제강화와 함께 그 수요가 급증할 것으로 보인다.

4.4.5. 촉매반응기와 반응시험

촉매반응시험의 목적은 공업플랜트에 있어 목적생성물을 가장 경제적으로 수확할 수 있는 촉매를 얻기 위해서 촉매의 성능을 시험하는 것이다. 촉매시험반응기는 반응기형식에 따라 회분식반응기, 반회분식반응기, 유통식반응기로 분류되며, 기고계(氣固系)고정상반응기에는 폐쇄순환반응기, 관형유통식반응기, 완전혼합형 반응기가 있고, 기액고계(氣液固系)시험반응기에는 슬러리형 반응기, 바스켓형 반응기, Trickle Bed 반응기가 있다. 반응시험을 행함에 있어 가능한 한 물리적인자(환경저항, 입자내확산)의 영향을 최소로 줄이고(유량, 입경 등을 변화시킴으로써) 온도, 농도, W/F의 변화에 의해 활성시험을 행한다. 촉매반응시험을 신속·정확히 수행하기 위해서는 궁극적으로는 전자동반응시스템이 요망된다.

<표VI-20> 주요한 촉매와 그 용도

촉매의 분류		용도
석유정제	석유정제용촉매	접촉분해, 접촉改質, 수소화분해, 수소화탈황, Sweetening
	중유탈황촉매	
화학공업프로세스	석유화학품제조용촉매	수소화, 선택수소화, 탈수소화, 산화, 할로젠화, 탈할로젠화, 알킬화, 탈알킬화, 이성화, 암옥시테이션, 메탄올합성, 중합
	고분자중합용촉매	府加중합, 축합중합, 重중합, 開環중합, 中附加, 附加중합
	가스제조용촉매	도시가스제조용, 탈황(흡착, 水添), 탄화수소수증기改質, 일산화탄소轉化, 메타네이션
	유지가공용촉매	硬化油용수소화, 고급알콜 용수소화
공해방지	의약·식품제조용촉매	각종합성화학반응용 '다품종소량생산형'
	무기화학품 및 분위기가스제조용 촉매가스	암모니아합성, 황산합성, 질산합성, 기타
공해방지	공해방지용촉매	자동차배기가스정화용, 고정발생원탈질용, 완전산화형공기정화용

4.5. 폐촉매의 발생 및 처리상의 문제

1991년부터 대산 석유화학단지를 비롯하여 기투자된 국내 석유화학단지가 가동되고 있다. 또한 1994년도부터 국내 정유업체들에서 중유 및 벙커C유를 정제하여 양질의 기름을 생산하는 공정을 가동하기 시작하였고, 이 경우 원유에 존재하는 황 성분을 제거하는데 필요한 촉매 사용량의 증가에 따라 석유탈황 폐촉매의 발생량이 많아져서 1997년도에는 10,000톤에 달하는 석유탈황 폐촉매가 발생되어 해당 업체에서는 이의 처리에 많은 고심을 하고 있다.

향후에는 정부의 지원하에 폐기물 처리업이 활성화 될 것이며, 관련산업에 참여하는 기업들이 늘어날 것으로 기대되는데, 현재 국내의 폐기물 처리업체 또는 이 사업에 참여하고자 하는 업체들은 중소기업이 대부분이므로 독자적인 기술개발에 어려움이 예상된다. 또한 VRDS 폐촉매로부터 회수되어지는 고가금속(V, Mo)의 점차적인 가격하락 경향으로 폐촉매 처리업체들은 원료(폐촉매) 공급자 발굴에 소극적이다. 또한 폐촉매 처리업체는 단순히 폐촉매만을 처리하는 것이 아니라 기존의 금속업체로서 광석 등으로부터 고가금속을 회수하는 것을 주요사업으로 하는데 원료구입 다각화차원에서 폐촉매를 활용하는 것 뿐이다.

한편, 미국, 일본 등 선진국에서는 폐촉매가 일반폐기물로 분류되고 있으나 중금속의 용출로 인한 장애의 소송 등의 문제에 대비하여 특정폐기물로 간주하고 안전한 처리를 원칙으로 하고 있다. 미국, 일본의 경우는 <표VI-21>과 같이 자사공장에서 배출되는 폐촉매를 전문처리업체 의뢰하여 처리하거나 금속회사와 합작하여 설립한 회사를 통해서 처리한다.

4.6. 재활용의 필요성

폐촉매는 화학공업의 발달 및 자동차 보급확대로 인한 배기가스 정화용 촉매 사용이 증가하면서 그 발생량이 증가하고 있다. 더우기 최근들어 각국이 환경문제에 대하여 높은 관심들을 나타내면서 폐기물의 재활용 방안에 대하여 많은 연구와 노력을 집중하고 있다.

정유사들은 정부의 환경정책 동향에 따라 RDS촉매가 사용되는 공정의 신·증설이 불가피하게 되었고 따라서 RDS폐촉매 발생량이 지속적으로 늘어날 전망이다. 또한 RDS촉매의 수명은 약 12개월 정도로서 매년 fresh 촉매로 교체하여야 하며, 발생하는 폐촉매 양은(SK, HOU공장기준), 촉매 Unloading방법에 따라 다소 차이는 있으나, 대략 Fresh촉매의 약 1.4배 정도가 발생되고 있다.

<표VI-21> 폐촉매 처리업체 현황

(단위: MTA)

지역	회사명	용 량	여유용량	주요제품	비 고
일본	TAIYO KOKO	11,000 + 14,000 (93년증설)	-	V ₂ O ₅ , MoO ₃	
	SHINKO CHEMICAL	12,000	2,000~4,000	V ₂ O ₅	폐촉매처리 경험 없음
	CCIC	5,000 (94년신설)	-	-	
미국	GC & MC	30,000	5,000	V ₂ O ₅ , MoO ₃ , Ni-Co conc.	SK사 VRDS 폐촉매 처리 가능
	CRI-MET	30,000	약간 있음	V ₂ O ₅ , MoO ₃ , NiCo conc. Al(OH) ₃	T o t a l Recycling 기술을 보유하고 있음.

자료: SK 정유사 내부자료, 1992

Feed Stock 성분(황, 금속 함유량 등)에 따라 폐촉매 성분이 달라지나, RDS 폐촉매 성분은 대략 V(0.2~16%), Mo(0.1~7.2%), Ni(1.1~2.7%), S(6~16%), C(9.0~33.2%) 정도이다.

폐촉매의 유가금속 함량은 투자비와 함께 사업의 경제성을 좌우하는 가장 큰 Factor이다. 열화된 촉매가 더 이상 재생이 불가능하여 폐촉매가 된 때에는(촉매로서의 수명이 끝남) 그냥 버리기보다는 자원적, 환경보호적 측면에서 이들 중 경제적 가치가 있는 성분(주로 귀금속)을 적당한 처리방법에 의해 회수하여 다른 산업용도로서 재이용하는 것이 바람직하다. 고가의 금속 성분 때문에 “RDS 폐촉매로 부터의 금속회수 공정”은 실험실 규모로도 여러 공정이 개발되었으며 지난 50년간 금속처리업체나 정유업체에서 많은 관심을 가져왔다.

이와 같이 폐촉매에는 Platinum(Pt)과 같은 귀금속 또는 Cobalt (Co), Molibdenum(Mo), Vanadium(V)과 같은 희유금속들이 상당량 잔존하고 있으므로 자원빈국인 우리나라에서 폐촉매로부터 유가금속을 회수하는 것은 환경보존의 측면뿐만 아니라 발생된 폐자원을 재생자원으로 이용한다는 점에서 대단히 중요한 일이다.

4.7. 재활용 기술

폐촉매는 자원재생과 환경오염 방지의 관점에서 산업화된 국가들에서 금속계 폐기물의 재활용을 위한 중요한 연구과제로 현재도 연구개발이 진행되고 있고 확립된 기술은 실제로 응용되고 있다. 석유탄화 폐촉매는 발생시에 많은 기름이 함께 unloading 작업시 폐수를 다량 발생시키는 문제점이 있다. 또한 보관시에도 악취를 발생시킨다. 따라서 일본에서는 이를 방지하고자 CATnap process를 사용하고 있으며, 국내에서도 이를 도입하여 사용하고 있다. 이에 대한 자세한 설명을 <부록IX>에 나타내었다.

미국의 AMAX사, 일본의 太陽鑛工(株), 대만의 Full-Yield Industry사 등에서는 석유화학 폐촉매로부터 유가금속을 회수하는 상업화 공정을 가동 중에 있다.

현재 우리나라에서는 폐촉매가 일반폐기물로 분류되어 폐기물처리업자에게 처리를 위탁하고 있고 업체에서는 폐촉매의 안전한 처리에 적극적이지 않다. 이러한 실정에서는 매립지에서 중금속의 용출들의 문제가 발생되며 그로 인한 환경의 복원에 막대한 재원이 미래에 소요될 것이라 예상된다. 또한 유동접촉분해 폐촉매가 다량 발생되어 매립지의 부족을 가속시킬 것이다. 따라서 촉매의 수명을 연장하거나, 재생하여 다시 사용함으로써 폐촉매의 발생을 줄이는 방안의 개발이나 폐촉매로부터 유용한 물질을 회수하거나, 폐촉매 자체를 건축자재 등으로 재활용하는 방안의 연구가 심도있게 이루어지고 있다.

4.7.1. 일반적인 기술

폐촉매 재활용 기술은 <표VI-22>에서 보는 바와 같이 전성분을 분리·회수하는 방법과 일부 성분만을 분리·회수하는 방법으로 나눌 수 있다.

<표 VI-22> 폐촉매 재활용 기술

재활용방법	내 용	기술난이도	회 사
Total Recycling	폐촉매중의 모든 금속성분(V, Ni, Co, Mo 등)을 각각 분리, 회수	· 환경적으로 가장 안전 · 비용이 많고 기술적으로 비교적 어려움 · Metal 가격이 높고 환경규제가 엄격할 때 경쟁력있음	· CRI-MET (미국)
Partial Treatment	V, Mo 등 귀금속 성분만을 선택적으로 분리 회수하고 잔류물은 매립 또는 재사용	· 비교적 간단 · 처리비용이 작음 · 잔류물의 매립, 재사용은 환경규제법규제 제한을 받음	· TAIYO KOKO (일본) · SHINKO CHEMICAL (일본) · GC & MC (미국)

금속회수기술은 액상법과 제련법으로 나눌수 있다.

액상법(Hydrometallurgical Technique)은 석유산업 폐촉매(RHDS 폐촉매)와 Fly Ash를 대상 원료로하여 다음의 절차로 금속을 회수한다.

- ① Burn-off and Grinding : H/C, Sulfur를 제거한다
- ② Leaching : Caustic과 산을 부가하여 Mo와 V를 회수한다.
- ③ Purification and Separation : V (90~95%), Mo (95~99%)
- ④ Leaching : Aluminum 화합물로부터 Ni, Co성분을 분리한다.
Co + Ni (99.9%), Aluminum (75~90%)

제련법(Pyrometallurgical Technique)은 금속함유 폐기물(Plastic Sludge, Pickling Solution, Specialty Steel waste, 폐촉매)를 대상원료로하고 다음 절차로 금속을 회수한다.

- ① Feed Preparation, Blending, Agglomerating and Pelletizing.
- ② H/C, Sulfur 제거 (by Roasting), Metal Reduction
- ③ Melting in Furnace, Metal Units의 추출, Lime, Silica, Alumina, Magnesia 성분함유 Slag 생성
- ④ Metal Casting or Further Refining

4.8. 외국의 재활용 기술(RDS폐촉매 처리업체 현황)

4.8.1. 일본

(1) Taiyo Koko Mining & Industrial Co. Ltd.

1949년에 설립된 회사로 RDS 폐촉매 처리용량은 13,000톤/년 이다. 주요 생산제품은 Mo(몰리브데늄)와 V(바나듐)으로 몰리브데늄 광산을 보유하고 있으며 RDS 폐촉매로부터는 몰리브데늄과 바나듐을 회수하고 있다. 금속회수공정은 GCMC와 유사한 Pyro-Metallurgy(건식법)로 V2O5와 MoO3를 선택적으로 회수하고 있고 몰리브데늄 생산에 주력하고 있으며 국내 SK사의 RDS 폐촉매를 위탁처리하고 있다. 처리용량이 10,000톤/년인 대만 Full Yield사에 기술을

제공한 바 있다.

일본내 RDS 폐촉매 처리비는 수송비 포함하여 약 2~3만엔/톤이며, 국내 SK사의 RDS 촉매는 대보공업에서 8.5만원/톤(폐촉매 포장, 육상수송, 해상수송)에 일본까지 운송하여 위탁처리 한다. Taiyo Koko는 일본항에 도착한 RDS 폐촉매를 1.5만엔/톤(하역비+수송비)에 구입하며 몰리브데넘과 바나듐을 회수하고 있다.

(2) Shinko Chemical Co. Ltd.

1938년도에 설립되었으며 RDS 폐촉매로부터 바나듐 회수 경험은 없으나 발전소에서 발생하는 Fly Ash로부터 바나듐을 회수하고 있으며 처리용량은 12,000톤/년이다.

4.8.2. 미국

(1) Cri-Met Co.

1986년 8월에 가동하였으며 시설용량은 30,000톤/년이다. 금속회수공정은 가압 산/염기 용출을 기본으로 하는 Hydro-Metallurgy(습식법) Process로 폐촉매에 함유된 모든 금속을 회수할 수 있는 공정으로 시설 투자비가 많이 소요되나 환경규제 강화나 금속 가격 상승시에는 유리한 공정이다. 주요 생산품은 V₂O₅, MoO₃, Al(OH)₃, Ni-Co 등으로 매우 다양하며 북미와 남미에서 발생하는 RDS 폐촉매를 처리한다. 1997년도에는 기존공정보다 금속회수 성능이 우수한 신공정을 개발하여 사업화 단계에 있다.

Cri-Met은 Cri Metal Products(CRIMP)의 자회사이며, CRIMP는 CRI International(CRI)의 100% 출자회사이다. CRI는 Criterion Catalyst Co. 와 Partner 회사이며 Royal Dutch ShellGroup의 계열사이다.

1997년도 이후 접촉한 결과에 의하면 Cri-Met은 기존사업(습식금속회수) 영역에서 벗어나 사업 다각화를 모색했으나 CRIMP의 강력한 금속회수사업 유지권고에 의해 현 금속회수사업을 수행 중에 있다. CRIMP는 Shell과 외부 연구소와 공동으로 "Improved Metal Recovery Process"를 개발하여 미국내 Partner를 선정중이다.

(2) Gulf Chemical and Metallurgical Co.(GCMC)

1945년에 Hydroformer 폐촉매로부터 금속회수를 시작하여 현재 처리용량은 30,000톤/년으로 북미와 남미에서 발생하는 폐촉매를 주로 처리하며 축적된 기술을 많이 보유하고 있다.

금속회수 공정은 폐촉매를 고온에서 가열/반응시켜 금속을 회수하는 Pyro-Metallurgy(건식법) Process로 V₂O₅, MoO₃만을 선택적으로 분리·회수하며 금속회수율이 습식법보다 낮아 시설투자비가 저렴하나 잔사처리 등의 문제가 있다.

이들 회사들이 사용하고 있는 건식 및 습식방법에 대한 비교는 <표VI-23>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 공정의 난이도 및 경제성에서 각각 장단점을 가지고 있다.

<표VI-23> 주요 회사의 처리공정 비교

(GCMC/Taiyo Koko vs. Cri-Met)

구 분	GCMC Taiyo Koko(건식법)	Cri-Met (습식법)
공정 개요	세라믹 불 제거후, 소다회와 RDS폐촉매를 혼합하고 킬른내에서 2~3시간 Roasting (850℃)하여 유가금속(V, Mo)을 선택적으로 분리·회수하고 잔사는 매립 및 재활용한다.	불순물을 제거하고 염기성 용액과 RDS폐촉매를 혼합하여 분쇄한 후 산화조건(175℃, pH 8.5)에서 2회 가압 용출을 통해 포함된 모든 금속(V, Ni, Co, Mo)을 회수함
난이도	비교적 낮고 간단	공정이 복잡하고 어려움
운전 비용	낮음	높음
회수 대상	폐촉매, 도금 슬러지, 금속폐기물, Pickling Solution	RDS폐촉매, Fly Ash
경제성	공정이 간단하여 초기 투자비가 낮고 운전비용이 낮아 습식법보다 경제적임.	초기투자비와 운전비용이 높아, 금속가격이 높고 환경규제가 엄격할 경우 경쟁력이 있음 작년에 경제성이 우수한 신공정을 개발하여 상업성을 검토중에 있음
검토 종합	경제성 측면상 초기 투자비와 운전비용이 적은 선택적 금속회수공정인(Taiyo Koko) 건식법이 효율적임 환경관리측면상 Sour Gas 및 Sour Water처리시설이 필수적이므로 투자비 증가에 따른 경제성 확보가 어려운 실정임. 금속회수후 발생하는 잔사의 처리는 시멘트 원료나 재생연료(R/F)로 재활용하는 방안을 검토하여야 함.	

자료: SK 정유사 내부자료, 1992.

4.9. 재활용 기술상의 문제

최근 환경보존과 자원재활용에 대하여 사회적으로 널리 인식되고 있으며, 1992년 12월부터는 자원재활용에 관한 법률이 시행되기 시작하였는데, 아직까지는 재활용 가능한 폐기물들에 대한 구체적인 처리대책 마련이 확립되어 있지 않다. 또, 국내 폐기물 처리업체들은 그 수가 많지 않을 뿐더러 이 산업에 참여하고 있는 업체들의 규모가 영세하여 아직까지는 효과적인 기술축적이 이루어지지 않은 실정이다.

VII. 고품 유해폐기물의 유통체계 분석

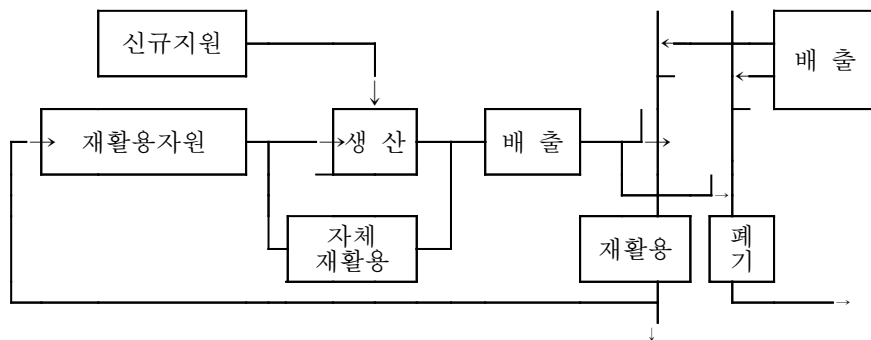
1. 폐기물의 순환

1.1. 소순환시스템과 대순환시스템

산업폐기물의 재활용을 위한 순환체계는 <그림VII-1>과 같이 배출기관 내에서 이루어지는 소순환체계(자체순환체계)와 다수의 배출기관과 재활용업체를 포함하는 대순환체계로 구분된다.

소순환시스템은 산업폐기물을 배출하는 공장이나 사업장 단위로 또는 그러한 다수의 사업장을 포괄하는 하나의 경영조직 단위로 하나의 사업장 또는 같은 경영조직에 속하는 다수의 사업장으로부터 발생하는 산업폐기물을 수거, 집합하여 재활용하는 체계이며 자체순환체계로 배출자와 재활용업자가 동일기관이다.

반면 대순환시스템은 한 경제체계 내에 속하는 모든 재활용업체로 순환되는 체계이며, 폐기물교환제도의 대상체계로 배출자와 재활용업자는 원칙적으로 별개의 조직이다(배출자는 재활용되는 산업폐기물의 공급자, 재활용업자는 수요자 역할을 함).



<그림VII-1> 산업폐기물의 순환시스템

1.2. 각 시스템의 장단점

1.2.1 소순환체계의 장단점

(1) 장점

배출자와 재생업자를 연결할 별도의 유통기구나 특별한 정보기구를 필요로 하지 않으며, 기존의 생산조직을 활용할 수 있기 때문에 관리운영비용이 적게 든다. 또한 시스템에서의 관리실패 등에 따른 문제가 다른 시스템에 영향을 미치지 않기 때문에 그 피해가 사회 전체에 확산되지 않는다.

(2) 단점

자체에서 발생하는 폐기물 양만을 재활용하게 되므로 재활용원료 생산량의 최적규모를 유지하기 어렵다.

1.2.2 대순환체계의 장단점

(1) 장점

자체순환체계에 비하여 폐기물재활용의 경제적 가치를 보다 극대화할 수 있다. 즉, 대순환 체계에서의 폐기물 재활용용도는 자체순환체계의 모든 용도를 포함하게 되므로 재활용용도의 극대치가 적어도 자체순환체계에서의 최적용도보다 높게 되므로 자원재활용의 경제적 효율성이 높아지게 된다.

또한 재활용사업에서 규모의 경제를 살림으로써 재활용비용을 최소화할 수 있다. 즉, 여러 배출업체에서 공급되는 처리물량을 집적하여 처리할 수 있기 때문에 재활용처리량을 최적규모로 유지할 수 있게 됨으로써 대량처리에 따른 비용절감을 기대할 수 있다. 그리고 대량처리에 따라 시설투자나 기술개발도 장기적인 경제성이 보장되기 때문에 재활용기술 개발이나 자원화시설이 용이하게 이루어지게 된다.

산업폐기물의 공급자나 수요자가 다수이기 때문에 시장의 안정성이 유지된다. 즉, 개별 배출자나 재생업자로 볼 때는 폐기물의 공급이나 수요가 심하게 변할 수 있지만, 사회전체로는 개별적인 무작위적 변화를 평균치적인 것에 포용할 수 있게 되므로 공급자나 수요자 모두가 안정적인 장기전망이 가능하고 그러한 장기전망하에서 기업을 운영하기 때문에 산업폐기물 시장이 장기적으로 안정된다.

(2) 단점

장점들은 대순환체계가 전체적으로 균형이 이루어져야 한다는 것을 전제로 할 때 기대가 가능한 것이며, 이러한 균형이 이루어지지 못하는 경우 수급불균형의 문제가 확대되어 나타나게 된다. 또한 산업폐기물의 배출자와 재생업자가 다른 주체에 속하기 때문에 이들을 연결시켜 주는 유통기관이 필수적으로 요청되며 이러한 유통기관의 형성, 유지는 사회 전체의 폐기물 순환비용을 증가시키게 되고, 소순환시스템에 비하여 산업폐기물의 발생과 재활용에 대한 정보를 수집, 전파하지 않으면 안되기 때문에 이러한 정보의 관리에 따른 사회적 비용이 많이 요구된다.

2. 국외 폐기물 교환제도 현황 및 문제점

2.1. 일본의 현황, 시사점 및 문제점

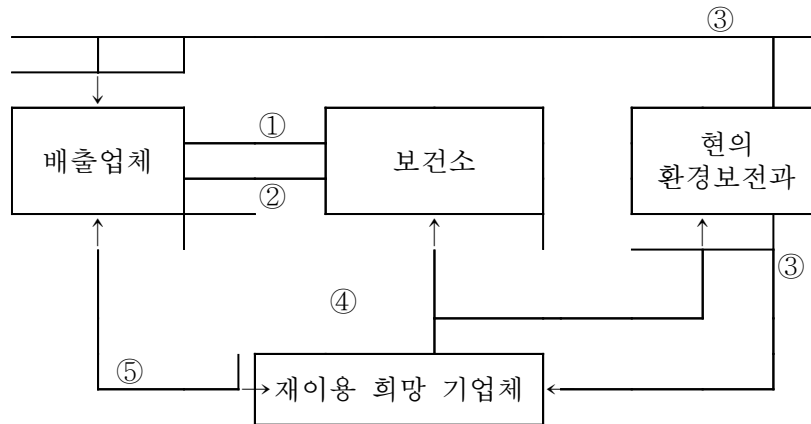
2.1.1 폐기물교환제도의 현황

산업폐기물 교환제도는 (재)크린재팬센터가 통산성의 보조를 받아 제조업체들끼리 폐기물을 교환하는 형태로 1978년부터 1989년까지 시행되었으며, 현 단위로 단독적으로 실시하였으나 1983년부터 1987년까지 5개의 광역권을 대상으로 추진되었다.

1975년에서 1976년까지 제조업, 전기업을 중심으로 현조사를 실시하여 유효 이용 가능한 폐기물 존재를 확인하였으며, 이 조사를 기초로 하여 1976년 폐기물 다량배출 기업체 137사에 대해 폐기물처리 계획을 제출토록 하여 산업폐기물 등록제를 실시, 등록 데이터를 제공하도록 하였다.

1979년에는 여러 업종을 대상으로 산업폐기물의 교환의향, 수급폐기물 유무 등의 의식 조사

를 실시하여 산업폐기물 뉴스지를 통해 정보를 제공함으로써 제도를 확충하였으며, 1980년에는 수급정보가 많아지면서 교환정보 내용이 공급정보 쪽으로 치우치는 경향을 보여 이미 교환제도를 실시하고 있던 다른 현들과 함께 광역교환추진협의회를 설치하여 광역교환제도를 실시하였다. 또한 1981년 이후에는 광역교환제도가 더욱 확충되었다. 이러한 교환제도의 조직은 다음과 같다.



- ① 양케이트 배포 (대상은 종업원 20명 이상의 제조업 1,000사)
- ② 양케이트 회수 (회수는 약 300사, 원장은 보건소가 보관)
- ③ 정보를 집계한 후 산업폐기물 뉴스에 공개 (평균 년 1회 발행, 배포대상은 양케이트 대상에 준하며 1990년 3월호에는 공급정보 130건, 수요정보 11건)
- ④ 재이용을 희망하는 기업체는 환경보전과 혹은 각 지방공공단체의 보건소에 문의 (환경보전과에 문의는 연간 10건 정도)
- ⑤ 재이용 희망기업체는 배출기업체의 정보를 보건소에서 제공받아 직접 배출기업체와 교섭하며 그 이후는 행정이 관여하지 않는다.

그 이후 통산성의 보조금이 중단됨에 따라 사업을 중지하게 되었으며, 후생성 산하의 (재)일본산업폐기물처리진흥센터로 이관되었다.

후생성은 일본 전역의 폐기물 교환정보를 통합, 유통시키려는 계획 아래 전산시스템의 개발을 완성하였고 (재)일본산업폐기물처리진흥센터(이하 폐기물센터라 칭함)를 통해 전국의 각 현을 대상으로 하여 교환정보의 전산화를 추진 중에 있다.

폐기물센터는 1991년부터 전국적인 범위에서의 산업폐기물 재생이용에 관한 정보를 수집, 제공할 수 있는 체제를 정비하여 정보공개사업을 추진시키는 일을 실시하며, 종래의 제도를 활용한 시스템의 네트워크화 및 정보의 갱신과 신규정보의 신속한 제공이 가능한 시스템구축을 목표로 한 것이다.

최근 전국적인 범위의 정보수집처리가 가능한 퍼스널 컴퓨터용 소프트웨어를 개발해 내어 정보수집처리에 관한 일괄적인 포맷을 정할 수 있게 되었고 나아가 일괄적인 정보수집 처리가 가능하게 되었다. 일본 전역의 교환정보를 통합하여 일괄관리함으로써 지방자치단체를 중심으로 한 지역적인 폐기물 교환제도의 특성을 계속 활성화함과 동시에 전국적인 교환정보의 네트워크를 구축하여 정보를 교환함으로써 폐기물 교환제도의 효과를 극대화 할 방침이다.

교환제도의 실시주체는 현, 공사, 상공회의소 및 이들의 복합형의 4가지로 분류되지만 일부

의 사례를 제외하고는 대부분의 실시주체에서 실시후 수년이 경과되면 점차로 쇠퇴되어 교환 실적이 거의 없는 상황에 이르고 있다. 이는 실시주체의 인원과 예산상의 제약때문이다.

2.1.2. 주요 시사점

현의 환경보전과가 주체가 되어 지방공공단체의 보건소와 협력하여 사업을 추진한다. 교환 정보의 내용이 공급정보 쪽으로 치우치는 경향을 보이자 광역교환을 추진하여 수급균형을 도모하고, 폐기물의 공급처를 발굴함으로써 현의 특정산업(시멘트 제조업)에 맞추어 폐기물 재활용을 활성화 시킬 수 있었다. 광역교환은 폐기물 확인작업이 어렵고 각 현마다 다른 형식을 취하고 있어서 통합이 어려운 등의 문제점이 발생하며, 전담인원이 모자라 정보관리가 제대로 이루어지지 않는 문제점도 있다.

전국적인 범위에서 교환정보를 통합하기 위하여 교환정보의 전산화를 추진하고, 초보자가 쉽게 익힐 수 있는 단순한 메뉴방식의 프로그램을 개발하였다. 플로피디스크로 모든 정보를 교환할 수 있으며 일반적인 컴퓨터 환경에서 활용할 수 있도록 하였고, 소량의 배출폐기물도 이용할 수 있도록 집하장의 설치가 필요하다. 또한 폐기물 처리가격 정보나 매립장 정보 등 다양한 정보를 제공하려 하고 있다.

사업폐기물 배출업자들이 스스로 설립한 협의회에 이 폐기물 교환제도를 이관함으로써 관련 기업체들이 스스로 폐기물교환과 재생이용을 주도하도록 유도하고 있다.

2.1.3. 폐기물 교환제도 시행의 문제점

(1) 정보의 내용면에서의 문제점

첫째, 폐기물의 특성상 공급정보가 많다. 정보유통의 광역화에 따라 수요정보가 증가했으나 시멘트 제조업에 한정되어 고정화되어 있고, 시멘트 제조업의 분진류 이용은 물량도 커서 비교적 안정적으로 교환이 이루어졌으나 그 이외의 정보는 건수, 교환량 모두 미미한 실정이다.

둘째 어떤 정보가 필요한지 확인이 되지 않는다. 광역화에 따라 교환정보의 폐기물을 실제로 보고 확인하는 일이 어려워졌고, 제공정보의 내용이 각 현마다 달라서 광역정보유통을 어렵게 하고 있다.

셋째, 정보의 관리가 잘 되지 않는다. 대장의 관리가 완비되어 있지 않아서 정보의 갱신, 추가, 삭제가 잘 이루어지지 않고, 또한 양케이트는 이미 교환을 하고 있는 기업체도 대상으로 하고 있기 때문에 이미 교환이 끝난 정보도 게재되는 경우가 있으며 정보수집이 년 1회밖에 이루어지 질 않아 수급시기가 맞지 않는 경우도 있다.

(2) 이용형태면에서의 문제점

첫째, 이용자가 고정되어 있다. 광역교환에서는 운반비용을 충당할 수 있을 만큼의 분량이 필요하기 때문에 대상기업체는 대기업체로 한정되고, 대기업체의 수급은 포화상태가 되어 있기 때문에 앞으로의 재이용 활성화를 위해서는 배출, 이용량이 적은 기업체가 이용할 수 있도록 정보유통 뿐만 아니라 집하장을 설치하여 폐기물 자체를 확보할 필요가 있다.

둘째, 지역편차가 생긴다. 같은 폐기물이 배출되어도 지역에 따라 교환실적이 다르므로 교환실적이 적은 지역에 대해서는 좀더 수요를 개발할 필요가 있다.

(3) 이용방법면에서의 문제점

첫째, 정보의 관리가 되지 않는다. 교환정보제도에 관련된 현 단위의 담당자는 3명이며 불법투기에 대한 업무도 담당해야 하므로 교환정보를 관리할 시간이 없다. 년 1회의 정보수집과 집계만으로도 일손이 모자라 제공하는 정보내용에 문제가 발생하고 있다.

(4) 교환정보시스템의 활용에 있어서 문제점

첫째, 광역적으로 폐기물을 교환하려고 하면 폐기물 수송이 이루어져야 하고 이를 위해서는 폐기물 처리허가가 필요해지는데 각 현, 시, 지방마다 폐기물 취급에는 각각의 허가요건을 요구하고 있어서 폐기물 수송에 많은 어려움이 따른다.

둘째, 기업체 및 사업자에게 정보를 제공할 때에는 정보의 내용에 관해 지방자치단체의 확인이 필요하며 잘못이 발생할 경우 지방자치단체의 책임이 된다.

셋째, 폐기물을 자기 현으로 반입하거나 다른 현으로 반출하는 것을 규제하고 있어서 정보 제공을 꺼리고 있으며, 폐기물은 처리처분까지 포함하여 자기 현 내에서 혹은 가까운 현 내에서 재생이용되어야 함을 원칙으로 하고 있다.

넷째, 재생이용되는 것이라 하여도 이용자에게 도착하기 전까지는 폐기물로 취급되므로 폐기물처리업에 관한 허가의 유무를 확인하는 작업이 필요하다.

다섯째, 지방자치단체는 예산, 조직면에서 제약이 있기 때문에 사업자에게 적극적으로 정보 제공 활동을 하는데에는 한계가 있다.

2.2. 미국의 현황 및 시사점

2.2.1. 폐기물교환제도의 현황

50개처 이상의 폐기물 교환제도를 실시하는 기관들이 있어 배출업체들을 발굴해 내고 이 폐기물을 원료로서 이용할 수 있는 잠재적인 시장개척을 위해 노력하고 있다.

정부로부터 보조를 받아 설립된 전국적인 네트워크를 가진 정보시스템이 완성되었기 때문에 폐기물 교환제도를 실시하는 기관들이 많이 생겨나고, 이로 인하여 다양한 종류의 폐기물들이 여러 가지 통로를 통해 활발히 교환되고 있다. 대부분의 폐기물 교환알선기관은 EPA의 보조를 받아 완성된 전국적인 전산화 목록시스템인 NMEN(National Materials Exchange Network)에 가입하고 있는데, NMEN은 1993년 초에 완성되어 이용되기 시작했으며 여기에 입력된 폐기물 교환목록에는 폐기물 이용자와 공급자들이 직접 거래할 수 있도록 회사명과 담당자, 전화번호가 기재되어 있다.

폐기물 교환제도는 폐기물 판매나 이동을 촉진시키기 위해, 가장 일반적인 방법으로, 카탈로그나 폐기물목록을 발간함으로써 이를 통하여 많은 사업체로 하여금 서로가 활용할 수 있는 폐기물 정보를 수집한다. 이런 방법은 인력과 비용이 적게 들기 때문에 실제로 많은 폐기물 교환제도의 실시기관은 전일근무의 담당자 1~2명으로 이러한 폐기물 교환업무를 담당하게 하고 있는데, 특정한 지역에 한정되어 소극적으로 폐기물 교환업무를 수행하는 소규모의 기관들도 있고 전 지역을 대상으로 넓은 지역에 걸쳐서 폐기물 정보를 제공하고 지원을 받는 기관도 있다. 예를 들면 과거에 시러쿠스에 거점을 둔 NIWE(Northeast Industrial Waste Exchange)는 북동지역의 대부분의 주정부로부터 지원을 받아 정보를 제공하였으나 현재에는 주정부의 예산삭감으로 인해 14개의 주정부 가운데 4개주만이 폐기물 교환제도를 지원하고 있다.

1994년 CALMAX(California Materials Exchange)는 지역재료교환 프로그램을 개발함으로써 운영방향을 바꿔 많은 소규모의 재료교환알선기관이 가입하여 자신들의 목록을 등록시키고 교환알선업무를 수행하도록 하였다. 필요성은 재료교환이 실시되고 있는 지역이 넓으면 소규모의 기업체는 수송비용 때문에 CALMAX를 이용할 수가 없으므로 지역 재료교환 프로그램은 소규모의 재료의 수송에 비용과 시간이 절약되므로 훨씬 이상적이다. 이 프로그램의 장점은 아래와 같다.

- ① 폐기물 수송이 지역단위로 한정되어 있으므로 배출물량의 대소에 관계없이 더 많은 폐기물이 교환될 수 있다.
- ② 지역주민들은 해당지역의 폐기물만 기재되어 있는 목록을 받아보기 때문에 전국적인 단위의 엄청난 양의 목록을 찾아 볼 필요가 없다.
- ③ 지역단위의 간단한 형식의 목록은 쉽게 갱신되어 최신의 정보를 제공할 수 있다.
- ④ 지역단위 특정산업에 초점을 맞출 수 있다.
- ⑤ 지역 폐기물 교환의 실시 주체는 그 지역의 폐기물 수요, 공급사정을 잘 알기 때문에 보다 효과적으로 교환업무를 수행할 수 있다.
- ⑥ 지역폐기물 교환알선기관은 지역사회와 기업체에게 폐기물 관리정보를 제공해 줄 수 있다

지역 재료교환 프로그램을 발전시키려면 인원과 시간, 자원의 지원이 필요하다. CALMAX 데이터베이스 시스템으로부터 지역재료의 목록을 지역재료교환기관에 제공하고 이 목록은 인쇄되어 배포됨으로써 지역의 재료목록을 수집하는데 도움을 줄 뿐만 아니라 마케팅 수단으로 활용할 수 있다. CALMAX는 카탈로그 정보의 약어 사용, 텍스트 포맷과 데이터 포맷, 그리고 DB에의 데이터 입력에 대한 가이드라인을 제공함으로써 지역재료교환 정보들이 유사한 형태로 출력되고 데이터 교환에 시간이 절약된다. 따라서 지역재료교환기관은 CALMAX DB의 신규 혹은 갱신 목록에 쉽게 접근할 수 있다. 폐기물 이용자와 공급자는 폐기물 교환제도를 이용하는 동기가 서로 다르므로, 폐기물의 매립처분 비용이 비싸다는 점을 강조하며, 폐기물교환은 이용하기 쉽고 편리하며 즉시 폐기물을 교환할 상대가 있다는 점을 상기시킨다.

2.2.2. 주요 시사점

특정지역 단위의 지역교환프로그램과 전국단위의 CALMAX기능이 결합되어 교환기능을 극대화하려 한다. 궁극적으로 지역교환제도를 육성, 발전시키고, CALMAX는 최종적으로 기술지원과 훈련, 네트워크 시스템 관리자의 역할만 수행하려 하고 있다.

2.3. 필리핀의 현황 및 시사점

2.3.1. 폐기물교환제도 현황

캐나다의 국제개발연구센터의 보조금을 받아 환경자원국 환경관리과(EMB)에서 IWEP(Industrial Waste Exchange Program)를 실시하였으나, 1991년 보조금의 중단으로 중단되었다가 1993년 필리핀 환경사업국(PBE)에 의해 다시 시행되었다.

주요업무는 폐기물 이용자와 공급자의 정보가 입력될 데이터베이스의 운용, 필리핀 환경관리과(EMB)에 의해 제공되는 연구 및 실험시설에 대한 기술 지원, 현재의 NEW-IWEP 목록 정보를 널리 배포하기 위해 PBE에서 격월로 발행하는 Business and Environment라는 잡지를 격월로 5,000부씩 출판, 산업폐기물의 적정취급과 처리, 특정 산업폐기물의 잠재적 이용용

도의 연구 및 필리핀에서 허가된 폐기물 재처리업자나 수송업자의 목록에 대한 정보 제공 등이다.

교환목록을 수집하고 있는데, 팩스로 폐기물 목록을 접수한 후 전화나 공장방문에 의해 목록내용을 확인하고 NEW-IWEP 데이터베이스에 입력한다. 이 목록은 격월로 5,000부가 발생되는 PBE의 잡지에 소개되며 이 잡지는 무료로 전국의 기업체 경영자, 환경관리인, 환경관련 관공서에 배포된다. PBE는 데이터베이스에 등록되는 폐기물 목록에 대한 비용은 무료로 하며 단지 PBE의 잡지에 게재되는 폐기물 목록에 대해 1줄당 1.2불의 광고료를 받을 예정이다.

지난 2년 6개월 동안 500개처 이상의 기업체와 1,000건 이상의 목록이 등록되었음에도 불구하고 알선성립 실적은 낮은 데 그이유는 다음과 같다. 폐기물이 이용은 될 수 있으나 생산품의 규격에 맞추질 못하고 있기 때문이며, 폐기물의 거래가격이 서로 맞지 않기 때문이다.

NEW-IWEP활성화를 위해 PBE에서는 전국적인 범위로 상공회의소와 현재의 각종 산업협회들이 서로 공동협력하도록 유도하고 있다. 1995년 3/4분기에 PBE는 파시강(Pasig River) 주변에 있는 산업체를 조사하였는데 이는 NEW-IWEP를 통해 근처 지역의 폐기물을 이용할 가능성이 있는 잠재적 수요자를 발굴하기 위한 것이다. NEW-IWEP는 참여하고 있는 500개처의 기업체들로부터 지원을 이끌어 내고, 1,000건 이상의 폐기물 목록을 NEW-IWEP에 등록시키며, 장래전략으로 NEW-IWEP를 통해 거래정보네트워크를 설립하려고 한다. 이를 통해 기업체나 산업시설에 대하여 다른 산업공장에서 재활용 혹은 재이용될 수 있는 폐기물에 대한 필요한 정보를 제공하려고 한다.

2.3.2. 주요 시사점

필리핀의 27개 주요회사가 주축이 되어 설립위원으로 참가하고 있으며 정부에서 협력하고 있다. 폐기물 처리업자, 수송업자의 정보도 제공하며, 운영주체가 전국적인 범위에서 상공회의소, 각종 산업협회와 공동협력을 유도한다. 또한 컴퓨터 네트워크를 계획한다.

2.4. 독일의 현황 및 시사점

2.4.1. 폐기물교환제도의 현황

독일상공회의소(DIHT)에서 시작되어 서독전역의 69개 지역상공회의소(IHK)를 통해 재활용 거래소로 운영된다. 통일후 독일전역에 83개처의 IHK를 통해 재활용을 위한 폐기물의 교환거래가 이루어졌다. 목록의 서식은 수급구분, 폐기물 종류, 화학조성, 물량, 발생빈도, 운반조건 등이 기록되고, 목록갯수는 1980년 이후부터 유럽 전역이 참여함으로써 폐기물 목록은 1990년 말 100만건을 초과했으며, 1996년 현재에는 수백만 건에 달하고 있다. 등록비용은 무료이며 카탈로그도 무료로 받아볼 수 있다. 137,000개처의 회사 (수요처: 81,000회사, 공급처: 56,000회사, 1974년~1995년)가 참여하고 있다.

IHK를 통해 자신의 폐기물 목록에 대한 타기업의 관심과 문의 사항을 알 수 있으며 IHK에서 발행한 광고지를 통해 관심있는 폐기물의 광고회사 주소도 얻을 수 있다. 1992년 현재 등록된 전체 폐기물의 25% 이상이 교환되었고 폐기물 공급자의 25%, 폐기물 수요자의 30% 이상이 원하는 폐기물을 인도, 인수한다. BTX(비디오 텍스)를 통해 폐기물을 직접 눈으로 확인할 수도 있고, 알선 결과가 좋지 못할 때에는 상공회의소가 폐기물 제공업체와의 회의를 주선하기도 한다.

광고지의 부수는 독일내 56,000부 (공급: 40,000부, 수요: 16,000부, 1974년~1995년)이며, 유럽

내 28,000부 (1975년~1993년) 제작, 배포되었으며 독일중앙 DIHT도 격월로 광고지(목록지) 발행하고 있다.

2.4.2. 주요 시사점

유럽지역의 높은 환경보전의식에 힘입어 독일지역에서 지역적으로 발전해 온 기존의 83개 IHK의 제도를 충분히 활용하고 있다. 단순한 폐기물 교환정보의 제공에 그치지 않고 항상 지역 기업체와 접촉하여 폐기물 문제의 해결을 위해 조언과 정보를 제공해주며 신뢰관계를 형성하고, 협회의 모임이나 이벤트, 세미나, 각종 행사에 환경보호의 일환으로 항상 참여하여 이 폐기물 교환제도를 꾸준히 홍보하며 광고지를 배포하고 있다.

유럽 각국의 폐기물 교환정보를 통합하여 각 폐기물 종류별로 수급구조를 조정하여 배분하고 있다. 폐기물에 대한 조언과 자문역할을 해주는 GIV(정보서비스 협회)의 협조를 받고 있으며 폐기물 정보검색에 인터넷과 BTX(바이오텍스)를 활용하고 있다.

폐기물교환제도를 위해 따로 조직한 기관은 없으며 기존의 조직 위에 폐기물교환업무를 추가하였고, 교환정보목록이 입력된 시스템도 DIHT산하의 컴퓨터시스템을 활용한 것이다. 폐기물교환제도는 그 지역특성에 맞는 새로운제도를 개선하여 적용할 수 있어야 하며, 그 지역사정에 밝은 지역기관이 맡아 주관하여 발전을 가져올 수 있다.

2.5. 프랑스의 현황 및 시사점

2.5.1. 폐기물교환제도의 현황

폐기물 교환제도는 1977년 프랑스 국립 폐기물처리 자원화공사(ANRED)에 의해 제안된 후 1977년부터 1987년에 걸쳐 폐기물 교환사업을 수행하는 지역폐기물조합이 탄생하였다. 지역폐기물조합은 상공회의소와의 협력활동에 의해 발전하여 1988년 22개 지역내에 15개의 지역 폐기물조합이 활동하고, ANRED는 1992년 환경에너지관리국(Ademe)으로 다시 설립되었다. Ademe는 3개처의 센터(Paris, Angers, Valbonne)와 유럽연합 1개처, 지방위원회 26개처, 해외사무소 3개처로 조직되어 있으며 폐기물 관련업무는 Angers에 소재하고 있는 센터에서 총괄하고 있다.

주요 업무로는 폐기물 목록이 게재된 카달로그 발간 및 폐기물 교환알선 사업, 지역의 산업특색에 맞는 폐기물 처리방법 연구, 높은 실적을 보이는 재활용 기업에 대한 세금감면 혜택, 폐기물 관리를 위한 기업 보조, 폐기물 문제에 대한 지역 활동이 있다. 카달로그는 년 1회~6회에 걸쳐 2,500~7,500부를 발행하여 무료로 배포하며, 게재목록은 1개의 카달로그에 50~120여건의 목록 수록 (공급 80%, 수요 20%)한다.

대부분의 지역 폐기물조합은 수요 및 공급폐기물 목록을 전산화하고 있으며 이러한 전산화는 비디오텍스 서비스로 전환되고 있다.

2.5.2. 주요 시사점

지역폐기물조합이 따로 설립되어 상공회의소나 협회, 지방의회의 후원을 받고 있으며 Ademe가 보조금을 지원하고 있다. 또한 지역의 산업특색에 맞는 폐기물 처리방법을 연구하고 있고, 재활용 실적이 좋은 기업체에 세금감면 혜택을 주고 있다.

2.6. 각국의 폐기물 교환정보 등록·알선 및 교환실적

각국의 폐기물 교환정보의 등록·알선 및 교환실적은 <표VII-1>에 나타나 있다. 각국마다 등록 및 알선을 주선하는 기관이 다르며, 교환실적은 독일을 제외하고는 저조한 실정이다.

2.7. 각국의 폐기물 교환제도의 문제점

<표VII-2>는 각국의 폐기물 교환제도를 분석하였을 때의 문제점을 나타낸 것이다. 보는 바와 같이 각국마다 본 제도를 시행함에 있어서 많은 문제점을 가지고 있다.

<표VII-1> 각국의 교환정보 등록·알선 및 교환실적

국가	교환정보 등록 및 알선	교환실적
일본	현의 환경보전과 지방자치단체 보건소 등	특정지역을 제외하면 전반적으로 저조
미국	운영주체와 이용자	운영주체에 따라 다르나 전국적인 교환정보의 전산화에 따라 교환량은 증가
독일	지방상공회의소	집계되어 있지는 않으나 25~35%의 높은 알선 성립률
필리핀	필리핀 환경사업국	전반적으로 저조

<표VII-2> 각국의 폐기물 교환제도의 문제점

항목	일본	미국	독일	필리핀
인력	·인원부족으로 정보관리 불충분	·정보관리인력의 부족		·인력부족
비용		·교환정보목록의 출판비용 증가 ·홍보비용의 증가 ·운영비용의 부족		·출판비용 증가 및 교환정보유동이 불충분 ·보조금의 중단
기술	·재활용 기술이 없음 ·폐기물 자체가 재활용되기 어려움	·재활용 기술의 부족	·재활용 기술의 부족	
정보 및 자료	·공급정보가 많음 ·제공정보가 단순함 ·홍보활동이 부족	·중앙에서는 각 지역의 폐기물 사정을 잘 파악할 수 없음 ·교환정보등록 실적의 저조 ·홍보활동, 교환촉진책의 부족	·거리문제로 폐기물 확인이 어려움	·제공정보 내용이 불충분
공급	·폐기물 배출량이 소량이거나 불안정함	·폐기물 수송이 지역단위로 한정되어 있음	·취급대상지역이 유럽전역으로 확대됨	
실적	·성립실적이 저조함	·성립실적이 저조함		·교환실적이 저조함

3. 국내 폐기물 교환제도의 현황 및 문제점

3.1. 폐기물 교환제도의 현황

3.1.1. 한국자원재생공사

기술정보과에서 담당하고 인원은 부장 1명, 연구직 1명, 기술직 2명, 사무직 2명, 사무보조 1명으로 총 7명이다. 주요 업무는 폐기물 유통정보제도의 실시, 기술정보 및 자료의 수집·관리·보급, 해외협력 관련업무, 각종 정보지(폐기물 자원화 정보지, 폐기물 처리기계장치 정보지, 재활용제품 정보지 등) 발간, 자료실의 설치, 운영 등이다.

예산은 약 3억원이며, 실적(폐기물 유통정보제도)은 <표VII-3>과 같다.

<표VII-3> 자원재생공사의 폐기물 유통제도의 실적

항목 년도	신청건수		알선 회수 (증감%)	교환성립		교환량(톤) (증감%)
	업체수 (증감%)	폐기물 건수 (증감%)		건수 (증감%)	비율(%)	
1992	302	371	324	25	6.7	140
1993	840 (+178)	891 (+140)	539 (+66)	86 (+244)	9.7	718 (+413)
1994	385 (-54)	414 (-9)	488 (-9)	101 (+17)	24.4	1,455 (+103)
1995	344 (-11)	345 (-39)	299 (-39)	144 (+43)	41.7	2,203 (+51)

자료: 한국자원재생공사, 『폐기물 정보기능 활성화 방안에 관한 연구』, 1996.

3.2. 각 부분별 문제점

3.2.1. 자원재생공사의 문제

(1) 홍보

폐기물 자원화 정보지 및 협조공문을 통하여 폐기물 유통정보제도를 대외적으로 소개하고 있으나 홍보면에서 미흡하다. 본 연구에서 조사된 외국의 폐기물 교환제도 실시기관은 자체 제작한 홍보용 팜플렛을 배포하고 있었으며 폐기물 교환제도에 있어서 홍보기능은 결정적인 역할을 하고 있는 것으로 인식하고 있다.

(2) 인력

현재 재생공사내에서 유통정보제도를 담당하고 있는 인력은 2~3명 정도이며 주로 폐기물 교환알선 및 실적을 확인하고 각종 정보지 제작 및 보급역할을 담당하고 있다.

(3) 조사활동

담당인력은 부서내의 다른 업무를 겸임하고 있어 폐기물의 수요처 발굴과 재활용 기술사례 조사 등 폐기물 재활용과 교환실적을 높일 수 있는 여러가지 조사활동을 못하고 있다.

(4) 외부 관련기관과의 협력

2~3명의 제한된 인력으로 전국을 대상으로 폐기물 교환알선업무를 수행하고 있어 폐기물

교환제도와 관련한 외부기관의 협조가 부족하다.

3.2.2. 배출업체의 문제점

(1) 폐기물 배출정보의 유출 기피

자사의 폐기물 배출정보가 외부에 노출되어 정부의 규제나 문제가 발생할 것을 두려워 하기 때문에 폐기물 정보의 제공을 기피한다.

(2) 폐기물 관리 부실

폐기물이 쉽게 재활용 될 수 있도록 분리 보관하거나 관리하지 않는다.

(3) 재활용업체의 불신

자사의 폐기물이 적정하게 재활용되고 있는지에 대해 재활용업체를 신뢰하지 못한다.

(4) 재생이용을 기피

재생이용이 폐기물 처리비용보다 커질 경우에 시장성, 원료확보 등 여러가지 면에서 불리하므로 재생이용을 기피하고 있다.

3.2.3. 재활용업체의 문제

(1) 영세성

대부분의 재활용업체가 자본이나 기술면에서 영세하여 단순한 재생기술만을 보유하고 있는데 비해 배출되는 폐기물은 고도의 재생기술을 필요로 하므로 제한된 폐기물만이 재활용되고 있다.

(2) 시장성

재생제품 자체가 가격면이나 품질면에서 경쟁력을 갖질 못하고 있으며 재생 중간재의 판로가 없어서 재생이용을 기피하고 있다.

(3) 부당한 운반비 요구

재생업체이면서 운반비나 처리비 요구가 관행화되어 있다.

3.2.4. 폐기물의 문제

폐기물 자체의 성상이 현시점에서는 재활용이 불가능한 폐기물로 간주되고 있다. 운송거리가 멀어 과도한 운송비가 소요되고 물량이 소량이거나 공급시기가 일정하지 않아 인위적인 원료공급이 어렵다. 또한 재이용을 위한 분리, 보관 및 관리가 어렵다.

VIII. 재활용단지 조성

단지조성을 위한 법제 및 절차, 입지선정에 관련되는 법제에 대해서는 한국자원재생공사에서 발간한 “재활용단지의 타당성 연구, 1998”를 발췌하였다.

1. 단지조성을 위한 법제 및 절차

1.1. 단지설치 근거 및 절차 등 준거법(準據法)

자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률(이하 “재활용법”이라 한다) 제32조가 기본적인 준거법이다. 그러나 이 조문에서는 단지의 설치근거와 주체만을 규정하고 그 조성, 관리, 운영에 대해서는 대통령령에 위임하였다. 재활용법 시행령 제33조에 단지조성을 위하여 필요한 사이지만 여기에 규정되지 아니한 절차 방법에 관한 사항은 산업입지 및 개발에 관한 법(이하 “입지법”이라 한다)과 공업배치 및 공장 설립에 관한 법(이하 “배치법”이라 한다)에 의한 공업단지 조성절차 및 방법에 관한 규정을 준용하게 되어 있다. 그러나 재활용법 시행령 33조 1항에 재활용 단지가 아파트형 공장에 설치되는 경우에는 배치법에 따르도록 되어 있다.

따라서 이 법의 의도는 재활용단지를 규모, 사업시행주체 등의 차이에 따라 국가공단 또는 지방공단에 준하는 것으로 보고있다.

1.2. 부지 취득을 위한 법제

부지 취득을 위한 일반적인 방법은 계약에 의한 토지 등의 매수임차이며 이것이 여의치 않을 때 수용(收用)이 고려될 수 있다. 그외 국공유지의 무상 양여에 의한 취득도 가능하다.

1.2.1. 계약에 의한 취득

한국자원재생공사법 제23조는 공사가 단지를 조성하기 위하여 토지를 매입 또는 매각할 수 있음을 규정하고 있다. 물론 이 규정이 없더라도 공사는 법인격에 부여되어 있으므로 토지를 매수할 수 있을 것이지만 무자본특수법인이라는 특성상 주의적 규정이라 하겠다.

매수의 경우 문제될 수 있는 것은 국토이용관리법 제21조 제3항 및 제21조 제7항이 규정하는 거래허가제 또는 신고제, 그 토지가 임야일 경우 산림법 제111조의 임야매매증명(林野賣買證明), 농지의 경우 농지 개혁법 제19조 제2항에 의한 소재지 관서의 농지매매증명이다.

공사가 이 토지 등을 매수하는 경우 공특법의 규정이 적용되느냐이다. 동법의 적용범위는 토지수용이 가능한 사업이고 이에 의하면 토지수용법 제3조와 각 개별법이 토지수용권을 인정하는 사업이다. 토지수용법등에 달리 규정이 없기 때문에 문제는 입지법 제22조의 토지수용에 관한 근거조항이 재활용단지의 조성에도 적용되느냐이다.

1.2.2. 수용에 의한 취득의 能否

공사에 단지조성을 위한 수용권이 부여되는가는 입지법 제22조의 적용여부의 문제이다.

1.2.3. 무상양여에 의한 취득

입지법에 의한 단지조성에서의 특례이다.

1.3. 시설의 설치에 관한 법제

1.3.1. 단지에 설치되는 시설의 종류

단지는 폐기물을 종합적이고 경제적으로 관리하기 위하여 주요 재활용 가능 폐기물의 수집 보관 및 재생시설과 폐기물 처리시설 등 기반시설이 상호 연계되도록 수용하려는 것이 설치 목적이므로, 단지내에 설치하는 시설은 재활용제품 생산공장 외에 수집한 폐기물의 보관시설, 폐기물처리시설이 포함된다. 이 중 공장설립은 배치법, 건축법 등의 법률에 의한 절차에 따라 되어져야 한다.

폐기물처리시설에 대한 두가지 규제가 있는데, 첫째는 폐기물 배출자가 직접 처리하는 경우의 시설이며, 이는 배출자가 개별적으로 시설하여 처리할 수도 있지만 공동으로 처리시설을 설치 운영할 수도 있다. 공업단지에서 배출되는 폐기물을 단지 입주업체가 공동으로 처리하기 위한 시설은 입지법에서 예정하는 단지의 공공시설에 포함되므로(동법 제32조, 시행령 제31조), 도로등 기반시설과 함께 상술한 단지조성절차에서 해당될 수 있는 문제이다. 둘째는 처리를 業으로 하는 자가 처리시설을 설치하는 경우이며, 이때는 폐기물관리법상의 특별한 허가를 받아야 한다. 수집 운반업도 역시 폐기물관리법상의 규율대상이다.

1.3.2. 공장의 설립에 관련되는 법제

배치법상 공장 설립의 절차는 공업단지 내에서의 설립절차와 개별공장의 설립으로 나누어 볼 수 있다.

단지에서의 공장설립은 크게 3단계로 이해할 수 있다. 즉 설립신고 및 공장의 신·증설승인(배치법 제13조), 건축법상의 허가(건축법 제8조) 및 사용검사(동 제18조), 설립완료 보고와 공장등록(배치법 제13조), 건축법상의 허가(건축법 제8조) 및 사용검사를 받은 경우에 의제되는 다른 법률상의 허가, 인가, 신고, 검사 또는 승인사항은 배치법 제14조 제1항 각호가 규정하고 있다.

1.3.3. 폐기물의 수집, 운반, 처리시설의 설치에 관련되는 법제

폐기물관리법은 폐기물을 일반폐기물과 특정폐기물로 나누어 그 수집 운반 보관 및 처리에 관한 규정을 두고 있다.

(1) 처리업자에 의한 폐기물의 처리시설 등

폐기물의 수집·운반·보관 또는 처리를 業으로 하고자 하는 자는 폐기물관리법 시행규칙이 정하는 기준에 의한 시설, 장비, 기술능력 등 요건을 갖추어 업종별로 허가를 받아야 한다.(법 제17조, 26조). 지정폐기물처리업의 경우는 환경부장관이 허가권자이다.

그러므로 처리 등을 業으로 하는 자가 하는 폐기물처리시설의 설치절차는 위 허가에 승體되어 있다고 할 것이다(제20조, 28조 참조).

(2) 처리시설 주변영향지역의 지원 등

폐기물관리법 시행령 제9조가 정하는 폐기물처리시설을 설치하는 경우, 국가 및 지방자치단체는 당해 폐기물처리시설의 설치 운영으로 인하여 환경상 영향을 받게 되는 주변지역의 주민에 대하여 소득증대, 복리증진, 생활의 보전 등을 위하여 필요한 지원을 하도록 되어 있다(제29조). 이는 입지법 제36조가 규정하는 단지 인근주민의 입주업체에의 우선고용(優先雇

用)보다 강화된 지원이며, 이른바 NIMBY 현상을 배경으로 혐오시설이라 할 폐기물처리시설의 원활한 설치 및 운영을 도모하기 위한 제도라 할 것이다.

일반폐기물 처리시설의 규모여하에 관계없이 특정폐기물 처리시설이 단지에 포함된다고 보아야 하기 때문에 이 사업에도 적용이 있다고 보여진다.

한편, 폐기물처리시설의 입지 결정과 주변영향지역 주민에 대한 지원을 하고자 하는 경우 주민의 의견을 수렴하도록 하고 있다(제31조). 이 경우 필요한 공고 공담과 함께 공청회 또는 설명회를 개최할 수 있다(동 시행규칙 제42조).

또한 환경부장관 또는 시·도지사는 폐기물처리시설의 설치, 운영으로 인하여 주변 영향지역에 미치는 환경상 영향을 시행규칙이 정하는 바에 따라 정기적으로 조사하여 이를 주민에게 공개하여야 한다.

2. 입지선정에 관련되는 법제

2.1. 재활용 사업장 설치시 제약이 되는 법률

단지를 조성할 부지를 선정할 때 고려되어야 할 필요한 허가 승인 협의 등 법률상 제한과 부담은 수 많은 단행(單行)법률들에 산재해 있다. 여기에서는 이것들을 국토이용관리법상의 용도지역지정 변경에 따른 제한 및 일반적인 행위 제한 외에 부지가 국토이용관리법상의 어떠한 용도지역에 해당되는가에 따라 다음과 같이 예시하여 볼 수 있다. 이러한 제한들은 후술(後述)하는 입지법이 규정하는 절차에 따라 단지의 지정을 받고, 이어 실시계획의 승인을 받음으로써 허가 등이 의제(擬制)된다.

2.1.1. 국토이용관리법상의 제약

제7, 8조(용도지역변경과 관련한 협의 제출등 제한), 제15조(용도지역안에서의 행위제한)에 의해 제한을 받는다. 단, 일정한 공공시설을 설치하는 경우 이 제한을 받지 않는 바(제20조), 토지형질변경 제한을 받지 않고 설치할 수 있는 공공시설에는 동법 시행령 제21조 제2항 제5호가 규정하는 바에 따라 폐기물 처리시설 및 자원재활용시설이 포함된다. 따라서 단지 선정에 있어 제15조의 제한은 문제가 없다. 다만 공사는 이 입지 선정을 위해 시·도지사의 승인을 받아야 한다(권한위임: 동법 시행령 제58조).

그리고 이 입지정정이 되어지면 아래 농지의 보전 및 이용에 관한 법률 제4조 제1항, 제2항 및 제5조 제1항, 산림법 제62조 및 제90조와 사방사업법 제14조의 규정은 이를 적용하지 않는다(제27조 제1항). 이 경우 다른 법률인 자원재생법에 의한 인가를 받았다면 시장, 군수 등에 대한 신고의무가 면제된다(동조 제2항).

2.1.2. 도시지역에의 입지

도시계획구역 안에서 단지를 조성하는 경우 도시계획법에 의한 一團의 공업용지조성(동법 제2조 제1항 1호 다목)도 문제될 수 있지만, 재활용법은 이것은 준용하지 아니하고 있다.

한편 국토이용관리법 제13조에 의하면 입지법 제6조 또는 7조에 의한 공업단지 지정의 고시와 함께 지정지역은 도시지역으로 고시된 것으로 보게된다. 그리하여 단지가 국가공단 또는 지방공단에 상응하는 것이라면 산업입지법이 적용된다. 그러나 재활용단지의 규모가 15만 평

방미터가 못되는 경우에는 준공업지역의 시설용지지구(시행령 제7조 제1항 제1호 라)에 해당하는 것으로 볼 수 있다(시행규칙 제2조의 4, 제4호).

2.1.3. 농림지역에의 입지

농지의 보전 및 이용에 관한 법률에 의하면, 농지 전용의 경우 농수산부장관의 허가, 협의(제4조 제1, 2항)와 공공용시설 등의 설치협의(제5조 제1항)는 상술한 바와 같이 입지지정이 있는 것을 전제로 적용이 없지만, 농지를 전용(轉用)하는 경우 대체농지조성금을 납부하여야 한다(동법 제4항).

농어촌 발전특별조치법에 의하면, 농업진흥지역에서는 농수산업과 직접 관련되지 아니한 토지이용을 할 수는 없다(제44조)

산림법 제62조(보안림(保安林)안에서의 벌채(伐採)등의 제한) 및 제90조(산림안에서의 입목벌채(立木伐採)등의 제한)와 사방(砂防)사업법 제14조(사방지(砂防地)안에서의 벌채등 제한)의 규정은 입지지정으로 적용되지 아니하므로 (국토이용관리법 제27조 제1항) 특별한 문제는 없다.

초지법(草地法)에 의하면, 초지조성지구 및 초지조성을 위한 단지조성지구에서는 토지의 형질변경 또는 공작물의 설치가 제한된다(제8조).

2.1.4. 자연환경보전지역과의 관계

자연경관, 수자원 해안, 생태계 및 문화재의 보전과 수산자원의 보호 육성을 위하여 필요한 지역에 지정하는 용도지역이므로 단지의 입지가 자연공원법상의 공원단지이나 공원보호구역이 아닐 것, 수도법상의 상수보호구역으로 지정되어 있지 아니하고 취수원으로부터도 일정거리 이상 떨어져 있을 것(제5조), 문화재보호법상의 사적(史蹟) 명승(名勝) 또는 천연기념물이나 그 보호구역으로 지정되지 않은 지역이어야 할 것이 당연하다.

2.1.5. 준도시지역 및 준농림지역

준도시지역 및 준농림지역에 대한 행위제한이 국토이용관리법 시행령 제13조와 14조에 규정되어 있다.

2.1.6. 군사시설보호구역

군사시설보호법상의 군사시설보호구역에 입지 또는 지원시설이 관련되는 경우 사업주체는 국방부장관 또는 부대장과 협의하여야 한다(제4조, 10조).

2.2. 법제의 문제점

2.2.1. 재활용단지의 성격 불명확에 따른 문제

입지선정에 있어 재활용단지는 법률에 특별규정이 없는 경우가 많고, 국토이용관리법 시행령 제21조에서와 같이 특례를 두고 있는 것은 예외에 속한다. 때문에 각 법령의 적용과 관련하여 재활용공단의 성격이 분명하지 않다. 재활용법 시행령에 따라 단지조성에 입지법의 절차방법을 준용한다는 규정만으로 재활용단지가 바로 국가공단이나 지방공단 또는 농공단지로

된다고는 볼 수 없기 때문이다. 예를들면 단지지정의 효과로 타법상의 제한이 해제된다는 규정의 適(또는 準)用이 있다는 해석은 상당한 무리가 있다.

입지법의 절차 방법등을 준용한다는 취지는 후발법인 재활용법이 간소한 규정에 의해 단지 조성을 원활하게 하려 했다고 이해할 수 있겠지만, 엄격히 문언을 해석한다면 재활용법 시행령에서의 준용은 단지조성의 절차 방법 뿐이기 때문에, 입법자의 의도와는 달리 단지조성에 있어 불명확한 점과 어려움이 있다.

2.2.2. 공사에 대한 특례규정의 결여로 인한 문제

사업시행주체인 공사에 대한 특례규정의 결여로 예를들면 농림지역에서 농지전용이 문제될 경우, 공사는 정부투자기관이 아니며(정부투자기관관리기본법 제2조에 의하면, 정부투자기관은 정부가 자본금의 5할이상을 출제한 기관인데 공사는 무자본 특수법인이므로) 따라서 공사가 시행하는 단지조성은 대체농지조성금 감면 대상사업이 아니라는 해석이 나온다는 것도 불합리하다.

거래허가제 및 거래신고제를 규정하는 국토이용관리법, 매매증명을 요구하는 산림법에서는 동시에 국가 지방자치단체 또는 대통령령이 정하는 공공단체가 공공사업을 위하여 하는 매수에 대해서는 그 제한을 풀고 있다. 여기에 재활용단지를 조성하는 공사도 포함되어야 한다는 것은 당연하다. 그러나 국토이용관리법 제21조의 9와 동 시행령 제29조, 산림법 시행령 제109조에 의하면 공사는 여기에서 의미하는 정부투자관리기관이 아니므로 문제이다.

2.2.3. 효과적인 단지조성지원의 미흡

자원재활용이 갖는 중요성과 재활용산업의 채산성부실, 입주업체의 영세성 등을 고려할 때 단지조성을 위한 지원에 입지법이 준용된다 하더라도 일반 공단조성에서의 수준일 수 밖에 없어 매우 미흡하다. 재활용법에 의한 폐기물관리기금의 용도도 현재 개별 재활용시설의 설치에 대한 보조를 규정하는 것이지 단지조성에 대한 것은 아니다.

3. 재활용단지 조성의 필요성

재활용단지 조성시 부지 및 시설확보에 많은 예산이 소요되기 때문에 단지조성에 따른 경제적 수익과 비용에 대하여 엄밀한 평가가 이루어져야 하나 재활용산업의 공익성을 고려해볼 때 사적 수익차원에 국한되지 않고 재활용폐기물 자원화 촉진에 따른 사회·경제적 및 환경적 측면도 충분히 고려되어야 한다.

3.1. 사회·경제적 측면

3.1.1. 투자효과 증진

재활용산업의 활성화와 육성을 위해 지역별 또는 자치단체별로 재활용시설을 각각 설치한다면 처리시설 건설을 위한 부지를 각기 선정할 때마다 어려움을 겪게 될 뿐만 아니라 각각의 재활용폐기물 처리시설의 개별적 운영과 인력투입, 비용의 중복투자에 의한 재정적인 낭비를 초래하므로 권역별 재활용단지를 조성하여 한정된 재원의 투자효과를 증진시킨다.

3.1.2. 자원의 절약과 수입대체효과

재활용폐기물로 배출되는 품목중 상당품목(펄프, 고무, 플라스틱 등)의 원료가 수입에 의존하고 있는 실정이므로 전국에 산재되어 있는 재활용폐기물업체를 단지에 유치하여 안정된 생산기반을 구축함으로써 폐기물자원화에 따른 자원의 절약과 수입대체효과가 기대된다.

3.1.3. 재활용산업 육성기반 마련 및 시너지효과

재활용품목 중 국내에서 수거되는 일부 재활용폐기물은 수거비용이 비싸 상당량을 수입하고 있는 실정이었으나 최근 환율급등에 따라 수입원가가 높아짐에 따라 국내 재활용폐기물의 수요가 커지고 있으며 최근 국민들 사이에서 근검절약 정신에서 파생되는 분리수거 노력을 지속적으로 유도하고 재활용단지 조성에 따른 재활용사업 육성기반을 구축하여 자생력있는 산업으로 도약할 수 있는 시너지 효과를 기대할 수 있다.

3.1.4. 단지내 지원시설이용을 통한 시설운영비 절감 및 품질향상

재활용단지 내에 공동으로 이용할 수 있는 중간처리시설을 설치하여 재활용사업자의 시설설치비와 운영비를 절감하고 재활용폐기물의 원료순도를 높여 재활용제품의 이미지 제고 및 판매를 촉진하여 재활용산업을 자생력있는 산업으로 발전시킬 수 있는 기반구축을 한다.

3.1.5. 재활용기반시설 건설비용 절감

재활용폐기물 처리능력 향상에 따른 재활용폐기물 적체현상을 해소시킴으로써 비축시설등과 같은 재활용 기반시설의 건설에 소요되는 비용을 절감할 수 있다.

3.1.6. 고용파급효과

재활용단지 조성에 따라 생산기반이 안정화되어 재활용산업이 활성화될 경우 기존의 폐기물처리방법으로 이용되고 있는 매립이나 소각처리시설업에 비해 고용효과가 훨씬 커 재활용단지 유치지역의 고용파급효과와 증가되고 있는 실업인력의 구직난 해소를 기대할 수 있다.

3.1.7. 재활용제품 생산에 따른 사회적 편익

폐기물의 재활용을 통한 자원화는 폐기물배출량을 원천적으로 감량화시켜 우리사회가 부담해야 할 막대한 환경오염비용을 절감하게 하며, 직접적으로 기업의 비용부담을 줄임으로써 기업이윤을 향상시킨다. 다시말하면 재활용산업은 자원회수기능과 폐기물처분기능을 가지고 있다.

재활용의 편익으로서 재활용폐기물 재활용시 생산되는 제품의 판매로 인해 재활용업체에게 귀속되는 재활용 자원회수 이익(수익성)이외에 자원화폐기물을 재활용하지 않고 폐기처분시킬 때(매립 또는 소각) 소요되는 비용과 재활용원료 사용에 따른 에너지 비용 절약액을 포함해 사회가 얻게 되는 사회적 편익이 있다.

평균적으로 볼 때 대부분의 재활용폐기물에 있어서 재활용사업의 사적 수익성이 높지 않은 경우가 많아 국가적 지원이 필요한 것으로 나타나고 있다. 이러한 차원에서 사적 활동영역에 대한 무조건적 지원이 아니라 재활용에 따라 국가가 이득을 보는 부분에 대한 대가의 지급체

계를 마련하는 것이 필요하다. 즉, 재활용 결과 재활용사업자가 입은 손실을 보조해주는 것이 아니라 재활용에 대한 폐기물처리 기능을 인정하고 이에 대한 대가를 재활용단지 조성에 따른 부지확보지원과 같은 간접자원으로 재활용산업 활성화를 통해 폐기물처리 기능을 강화한다.

3.2. 환경적 측면

3.2.1. 폐기물처리량 감소에 따른 환경개선

재활용종합단지를 조성하여 부지확보 등의 간접지원을 통해 재활용산업을 활성화시켜 재활용율을 높힘으로써 폐기물처리량이 감소됨에 따라 소각시설과 매립장건설에 소요되는 예산이 절감됨은 물론 폐기물처리시 발생하는 오염물질의 배출량을 감소시켜 환경개선 효과를 얻을 수 있다.

3.2.2. 에너지 절감효과에 따른 환경개선

재활용원료는 신원료에 비해 제품생산시 전처리단계가 필요없거나 전처리단계가 용이하기 때문에 에너지 절약효과가 크며 이에 따라 오염물질의 배출량도 이에 비례하여 저감된다. <표 IX-1>에는 재활용 폐기물 자원화에 따른 에너지 절약 효과를 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 비철금속의 경우 그 효과는 다른 품목에 비해 높다.

<표VIII-1> 재활용폐기물 자원화에 따른 에너지 절약효과
(단위: 원/톤)

구 분	종이	고철	알루미늄	파유리	플라스틱	유리병
에너지 절약액	47,044	15,987	462,579	28,316	24,183	40,913

자료: 한국자원재생공사, 『재활용품목별 기술성, 경제성 평가에 관한 연구』, 1997.

3.2.3. 환경오염물질 통합처리에 따른 환경개선

종합단지조성시 재활용업체로부터 발생하는 폐수 및 폐기물을 통합처리함으로써 자유입지의 경우보다 비용절감은 물론 오염물질을 보다 효과적으로 관리하여 환경보전에 기여할 수 있다.

4. 재활용 단지 입지 여건

재활용 시범단지 예정지역은 사업시설 설치공사의 시행, 공장의 관리·운영, 제품의 원만한 수급, 인력의 확보, 재활용품 판매망에 관련된 아래와 같은 여러 가지 주변여건 등의 파악이 선행되어야 한다.

4.1. 기본여건

4.1.1. 동력

재활용 처리시설 가운데, 여러 재활용 시설과 중간 파쇄 및 선별시설, 대기오염 방지시설(전

기집진), 폐수처리시설 등의 부대시설에서 많은 전력소요가 예상되므로 정확한 송전루트의 조사와 소요전력량을 파악해야 한다.

4.1.2. 용수

단지의 운영에 소요되어지는 용수는 공정 및 생활용수로 사용되어진 후 하수 및 공업배수로서 배출된다. 물론 각 공정을 거친 기사용 용수는 배출수 수질에 적합하도록 철저한 폐수처리를 실시하겠지만 폐수의 발생량이 많든지, 고농도의 오염물질을 함유한다든지, 미량이나마 유해, 유독물질이 함유되어 발생될 여지가 있는 폐수배출 시설은 가능한한 피하는 것이 바람직하다. 또한 폐기물 처리 공정상 용수사용이 비교적 적고 다량의 폐수가 발생되지 않는 처리 시스템을 선별한다.

또한 용수확보문제 및 폐수의 처리, 또는 배출문제를 종합적으로 충분히 고려해야 하므로, 각 재활용처리 시설로부터 소요되어지는 공정용수의 양과 관리 및 운전인원 등에 의해 소요되는 생활용수의 양, 부대시설에 의한 용수량 및 외부인 및 유동인구에 의한 용수의 요구량을 추정하고 이로 인해 발생되어질 폐수의 수질 및 수량을 파악해야 한다.

용수의 확보방안은 다음 몇 가지를 들 수 있다.

- ① 인근 호수로부터 관리시설을 설치하여 용수를 확보하는 방안
- ② 인근 저수지로부터 용수를 확보하는 방안

용수확보를 위한 공사비가 적게 소요되고, 시설 및 관거 등의 관리가 불필요한 장점이 있으나, 소규모 저수지의 경우 유량 및 수질변동이 심하여 안정적인 수자원의 확보가 어렵고, 용수사용을 위한 수처리 비용부담이 크다. 또한 수자원의 고갈, 오염, 용수부족 등에 직면할 경우 또다른 공사비가 소요되며 재활용 단지의 가동에 큰 타격을 입을 수 있다.

- ③ 지하수의 개발로 용수를 확보하는 방안

안정적인 수원확보의 가능성, 깨끗한 수질의 보장, 용수확보시설 관리의 용이, 낮은 지하수 개발 소요 비용, 특별한 정수처리 시설의 불필요 등의 장점이 있다. 반면에 필요에 따라서 연수화시설과 약품의 투입이 필요하고, 지하수개발을 실패할 수 있으며 지질에 따라 지반 침하의 우려가 있다.

4.1.3. 폐수

단지내에서 사용되어진 용수량이 전량 폐수로 발생되어지는 것은 아니며, 음용수, 중간 누출수, 증발산량, 공정회석수, 냉각수 등으로 전용 또는 소실되어지는 양이 상당량에 이르기때문에 용수사용량에 의해 정확한 폐수의 발생량을 잠정적으로나마 추정한다는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 실제 발생되어지는 폐수의 양에 가까운 근사치를 추정해 내기 위해서 각 공정의 특성 및 기능, 용수의 사용처, 사용방법등을 정확히 파악해야 한다.

특히 폐수의 처리에 있어서 중요한 요인은 수량과 수질이므로, 재활용 단지로부터 발생될 수 있는 폐수의 수질을 파악하는 것이 선행되어야 한다.

4.2. 폐기물의 분리시설

4.2.1. 수거운반

효율적인 단지의 선정 및 재활용센터의 관리 운영을 위해 재활용 폐기물의 장기적인 수거

계획을 수립할 필요가 있다. 이를 위해서 기본적으로 산출해 내어야 할 항목은 각 지역에 대한 재활용 가능 폐기물의 발생량 및 시기별 변화량, 장래 추이 등의 관정 및 예측이 시도되어 정확한 자료의 산출 및 통계자료의 확보가 선행되어야 하며, 이러한 발생량의 실제 수집 비용을 산출하는 즉 재활용 폐기물 원료공급 단가 계산을 위해 수거, 운반비용의 산정 및 톤당 운송단가 비용이 파악되어야 한다.

4.2.2. 폐기물 선별 및 중간 처리시설

대개의 재활용폐기물은 분리 선별된 상태에서 매립장이나 중간기지 및 비축시설, 재활용수거 산업체로부터 공급받아 재활용품을 생산할 것으로 여겨지나 일부의 폐기물 중에는 재활용시설의 보호 및 재처리 효율을 높이기 위해 재선별, 재분리가 요구되어 질 수 있을 것으로 판단된다. 이러한 목적을 수행하기 위해 주요 부대시설의 하나로서 반드시 설치되어야 한다.

4.3. 처리시설

4.3.1. 소각시설 및 대기오염 방지시설

각 처리장 재활용시설로부터 발생되어진 소각처리물이나 유해화합물의 무해화, 재활용 분리 등 폐기물의 감량과 매립을 유도하기 위해 소각시설이 필요하며 대기오염을 방지하기 위해 습식 세정시설(scrubber)이나 습식 전기집진기 등을 설치하여 완벽하게 대기오염을 방지해야 한다.

4.3.2. 폐수처리 시설

전체 plant 및 시설물에서 발생되어진 각 공정 배수, 폐수 및 관리 등 부속시설, 편의시설 등으로부터 배출되는 하수에 이르기까지의 종합적인 관거시설을 갖추어 완벽한 폐수처리를 해야 한다. 또한 일부의 공정수 및 세차시설, 청소수, 화장실 세척수 등과 같은 저급 수질용수 등은 상수와 저급용수로 구분하여 용수 사용량을 절약하는 시스템인 중수도를 도입함으로써 수자원을 폐쇄시스템(closed system)으로 구축, 설계하는 것도 인근 상수원의 보호, 보전을 위해 추천할 만한 시스템이다.

4.3.3. 매립시설

재활용 폐기물의 재생처리과정 및 분별, 파쇄 등으로부터 나오는 오니, 잔사, 무기성 고형물 또는 불연성 폐기물 등의 최종처분을 위해 매립시설을 단지내에 유치하거나 위탁처리업자에게 대행처리하는 방법을 택해야 한다.

위탁처리할 경우, 폐기물 재활용 시범단지의 특성상 반입되어지는 폐기물의 많은 양이 중간 처리장이나 집하장의 분리 선별과정을 거쳐오기 때문에 대부분이 재활용 되고 일부 소량만이 최종 폐기대상물로서 남는다는 점을 고려하면, 대규모 매립장을 건설할 필요가 없을 뿐만 아니라 경제적인 면을 고려할 때에도 위탁처리하는 것이 더 높은 경제적 효과를 얻을 수 있다. 또한 인근의 위탁처리업자 및 관련업계의 연계성 향상 및 활성화 등의 부대효과를 기대할 수 있다는 장점이 있다.

반면 매립할 경우, 최종 매립장을 년차별로 매립기간을 설정하여 연차적으로 추진하고, 침출수의 지하수침투 및 유출을 막기 위해 차수막, 또는 차수벽시설을 반드시 설치해야 하며 우수의 배수시설과 침출수 처리시설을 별도로 갖추거나 관리시설을 통해 하수에 합병처리해야 한다. 또한 매립시설에서 발생될 수 있는 악취문제, 비산분진 등에 관하여 충분한 대책을 마련하고 이를 위해 복토나 분진차단막을 설치해야 한다.

IX. 고품폐기물 재활용 지원정책

1. 국내의 폐기물 재활용 산업정책

1.1. 재활용 촉진정책

폐기물 재활용은 최종처리해야 할 폐기물의 양을 줄임으로써 폐기물처리비용을 절감하고 폐자원의 이용으로 천연자원을 절약하는 등 여러 효과를 거둘 수 있으므로 정부에서는 재활용산업을 육성하기 위하여 폐기물재활용촉진을 위한 각종 지원 정책을 추진하고 있다.

1.1.1. 재활용제품 생산업체와 수요업체 간의 연계도모

재활용위주의 폐기물 관리방식을 중심으로 자원순환형 경제사회기반의 구축을 위하여 환경부는 1993년에 「국가폐기물관리종합계획」을 수립하였고 1996년 7월에는 이를 수정·발표하였다. 「국가폐기물관리종합계획」은 재활용 폐기물 배출업체, 재활용제품 생산업체와 재활용품 수요기관의 연계를 도모하는 방편으로 재활용제품 생산업체와 재활용품 다량 수요처간에 연간 공급계약체결과 재활용폐기물배출업체와 재활용제품 생산업체간에 재활용가능폐기물과 재활용제품의 교환사용의 유도를 제시하고 있다.

1.1.2. 재활용 제품의 홍보강화

재활용제품 홍보강화를 위하여 공공기관 등 제품구매기관에 재활용제품정보지를 매년 제작·배포하여 재활용제품 다량 사용 기관을 선정, 언론 등에 홍보하는 것을 제시하고 있다. 현황을 보면, 한국자원재생공사는 재활용제품의 판매촉진을 위한 정보제공을 목적으로 국내에서 생산되고 있는 각종 재활용제품의 현황을 수록한 재활용 제품정보지를 1996년에 총 3만부 발간하여 정부기관, 사회단체, 기업체 등에 배포하였다.

1.1.3. 감량화 정책

생산단계에서의 최소화를 위한 정책으로서 사업장폐기물의 감량화와 폐기물부담금제도를 시행하고 있다. 사업장폐기물 발생량은 산업규모에 따라 매년 지속적인 증가(년 평균 약 10% 증가)추세를 보이고 있어 사업장에서 발생하는 폐기물처리로 인한 사회적 비용이 증가함에 따라 산업활동과정에서 발생하는 폐기물을 근원적으로 줄이거나 무해화시키고 재이용·재활용 등을 촉진시킴으로써 최종처리해야 할 폐기물을 최소화시킬 수 있는 발전된 정책적 노력이 절실하게 요구되고 있다.

따라서 기업체 자율적으로 제품 생산단계에서부터 폐기물 발생량 감소를 유도함과 동시에 재이용·재활용을 촉진케하기 위하여 「폐기물관리법」 제24조에 근거한 사업장폐기물 감량화지침(환경부고시 제96-171호, 통상산업부고시 제96-441호)을 제정 시행하고 있다.

1.2. 재활용산업 지원제도

국내의 재활용 산업은 그 여건이 매우 열악하고 장래 전망도 그리 밝지 않은 않기 때문에

당분간 정부지원이 뒷받침되지 않을 경우 재활용 산업의 성장은 어려운 실정이다.

더우기 유해폐기물이 환경에 미치는 해가 심각하므로 환경문제를 해결하여야 하며, 동시에 경제를 환경조화체제로 순조로이 이행하기 위해서는 재활용 산업의 육성이 필수적인 과제이며, 이에 대한 정부의 지원이 시급히 요망된다. 그러나 이러한 정부지원의 기본방향은 재활용 산업에 자발적으로 참여할 수 있도록 유도하는 방향이 되어야 한다.

현재 정부에서 시행하고 있는 재활용 산업에 대한 지원시책은 다음과 같다.

1.2.1. 지원법규에 따른 지원

재활용 산업을 지원하는 환경법규로는 ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’이 있다.

(1) 예치금제도

자원절약과 재활용 촉진에 관한 법률 제18조 제1항에 규정하고 있는 폐기물회수처리비 예치금제도는 환경에 유해한 폐기물 또는 다량의 폐기물이 배출되는 제품을 제조, 수입하는 자에 대하여 동 폐기물에 대한 회수·처리의무를 부과하고, 이 의무의 이행을 보증하기 위하여 회수·처리비용을 사전에 예치하도록 하여 회수·처리 의무자가 폐기물을 적정한 방법으로 회수·처리하는 경우에 예치금을 반환해 주는 제도이다.

(2) 부담금제도

폐기물 부담금제도는 제품에 유해물질을 함유하고 있거나 회수·재활용이 곤란한 제품·용기에 대해 폐기물의 처리비용에 상당하는 비용을 부과하여 제품의 가격에 환경비용을 내재화시키는 제도이다. 오염을 야기한 자가 오염방지비용 뿐만 아니라 그 피해복구비용에 대한 책임까지 지도록 하는 원인자부담원칙을 확대 적용하여야 한다.

(3) 설비연구 및 기술개발 자금

자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’ 제26조와 제7조에 의하면, 각 주무부처에서 재활용 사업자에 필요한 설비자금, 연구, 기술개발자금 등은 공업발전기금 또는 공업기반기술개발사업자금, 중소기업 구조조정기금, 에너지 이용합리화기금 등으로 지원하도록 하고 있으며, 국가 또는 지방자치단체는 자원재활용을 위하여 필요한 경우에는 재활용 사업자에게 차관 및 전대알선등의 조치를 할 수 있도록 하고 있다.

1.2.2. 행정지원

폐기물 재활용을 지원하기 위한 행정제도는 예산회계별 시행령 제104조 제3항의 규정에 따라 일정비율 이상의 폐자원을 원료로 사용하는 제품에 대하여 수의계약을 허용하는 것 이외에는 이렇다 할 지원제도가 마련되어 있지 않다.

한편 산업폐기물 처리에 대한 현행의 행정제도는 배출업자에 대하여 발생된 폐기물을 환경에 유해하지 아니한 방법으로 적정하게 처리할 것만을 의무 규정하고 있어, 재활용을 촉진하기 보다는 재활용을 억제하는 효과가 더 크다고 할 수 있다.

1.2.3. 금융지원

현재 폐기물 재활용에 대한 금융지원은 대부분 처리업위주로 이루어지고 있고, 폐기물의 재

활용 및 재활용업체에 대한 직접지원은 거의 빈약한 실정이라고 할 수 있다.

(1) 국민투자기금에 의한 지원

이 용자지원은 폐기물처리시설에 대한 용자로서 폐기물의 재생에 대한 직접용자는 폐기물관리법 시행규칙 제45호 제1항의 규정에 의한 산업폐기물 재활용, 이용시설을 설치하고자 하는 자로서 지방환경청장이 인정하는 자로서 제한되어 있다.

(2) “에너지 자원 특별 회계법”에 의한 지원

‘석유사업기금’이 개정된 것으로서, 산업폐기물을 이용하여 에너지로 사용할 경우 대체에너지개발사업으로 인정하여 소요자금의 50%(대기업)에서 90%(중소기업, 개인, 공공기업체)까지 기술개발자금과 시설용자금으로 나누어 에너지관리공단과 산업자원부에서 관리하고 있다. 시설용자금의 경우 최장 3년 거치 5년 분할상환, 이율 7%의 조건으로 융자하여 주고 있다. 그러나 이 지원 역시 원래가 대체에너지 개발을 지원하는 것을 목적으로 하고 있어 폐기물자원화는 부차적인 것에 지나지 않는다.

(3) 재활용산업 육성지원

‘폐기물관리기금’에 의한 지원이 ‘환경개선특별회계’로 편입되면서 이를 재원으로하여 '94년부터 ‘재활용산업육성지원’에 의해 용자지원을 하고 있다. 이는 시설자금과 기술개발자금으로 구분되며 3년거치 7년상환(10년이내)의 조건으로 지원된다.

시설자금의 경우는 재활용가능지원 또는 재활용제품을 제조, 가공, 조립, 수집, 운반하는데 사용하는 장치, 장비, 설비 등을 설치하고자 하는 자 또는 사업자단체, 폐기물을 원료, 재료, 연료 등으로 재활용하기위하여 폐기물 재생처리업허가를 받거나 재생처리신고를 한 자를 용자대상으로 하고 있으며 소요자금의 100%이내에서 제조시설은 15억원 이하, 수집운반장비는 1억원 이하로 지원한도를 정해놓고 있다. 기술개발자금의 경우는 소요자금의 100%이내에서 2억원이하로 지원한도를 정해놓고 있다. 94년부터 98년까지의 지원현황은 <표IX-1>과 같다.

1.2.4. 세제지원

조세감면규제법 제102조에 의하여 고철, 폐지, 폐유리병, 폐합성수지, 폐합성고무, 폐금속캔, 폐건전지, 폐유, 폐섬유, 폐비철금속류, 폐타이어 이상 11종의 폐자원을 수집하는 업자에 대해서는 부가가치세 매입 세액이 공제되고 있다. 또한 관세법 제28조 7에 의하여 국내 생산이 곤란한 아스팔트재생기, 협잡물제거기, 흡입장치, 자동선별기, 세척기, 여과기, 탈수기 등 24종의 재활용 기계·기구의 수입시 관세가 50% 감면된다.

현행 폐기물 재활용 산업에 대한 세제지원은 산업폐기물처리시설에 대한 세제감면에 포함, 규정되어 있으나 아주 제한적이며 그나마도 재활용을 포함한 폐기물처리에 대한 지원임을 감안할 때, 사실상 폐기물 재활용을 전적으로 지원하는 시책은 거의 없다.

<표 IX-1> 재활용산업육성 자금지원 현황

	1994	1995	1996	1997	1998	비고	
지원규모 (억원)	100	190	300	450	480		
지원 한도액 (억원)	10이하	10이하	10이하	15이하	15이하		
조 건	이율 (%)	7	7	6.5	6	8	
	상환 기간	3년거치, 5년상환	3년거치, 5년상환	3년거치, 7년상환	3년거치, 7년상환	3년거치, 7년상환	
	융자 한도액 (억원)						기술개 발자금 2억원 이하
지원분야	시설설치, 기술개발 등	시설설치, 기술개발 등	시설설치, 기술개발 등	시설설치, 기술개발 등			

2. 선진국의 폐기물 재활용 산업정책

선진 각국은 발생된 폐기물의 처리보다는 폐기물 발생자체의 사전 억제에 중점을 두고 있다. 이를 위한 방안으로 크게 생산공정에서 폐기물 발생자체를 감소시키는 감량화방법과 발생된 폐기물을 자원으로 환원시켜 폐기물의 감량화와 재활용을 촉진하기 위해 다양한 정책수단을 도입, 시행하고 있다.

2.1. 각국의 관련법규 및 정책 분석

2.1.1. 미국

폐기물 정책에 대한 새로운 방향을 설정하여 매립을 줄이고 재활용을 늘리는 새로운 관리 목표를 설정하게 되었다. 즉 1988년의 경우 매립이 80%, 소각이 9%이며 재활용이 11%이었으나, 1992년에는 매립 55%, 소각 20%, 재활용을 25%를 목표로 하였다.

(1) 관련법규

1976년에 「자원보존 및 재생법(RCRA)」을 제정하여 폐기물의 회수 및 처리에 관한 구체적인 기준은 연방정부의 법적 범위 내에서 주정부의 독자적인 폐기물 관련법에 의해 마련되어 실행되고 있다.

예를들면 뉴멕시코주는 1990년 3월 6일 ‘환경적으로 건전한’ 폐기물 처리 시스템을 확립하는 세부계획을 확정하였다. 이 계획에 의하면 매립지로 가는 폐기물의 양을 다른 용도로 전환하여 95년 7월 1일까지 25%, 2001년까지 50%까지 반입량을 줄이는 목표를 설정하였다. 이 법은 폐기물재활용 활성화를 위한 재정확보를 위해 환경오염에 대한 과세권을 지방자치단체에 부여하였으며, 폐기물의 성분조사, 처분용량의 평가, 처분시설의 입지에 관한 규정 및 주민교육 프로그램에 관한 규정을 두고 있다.

이를 통해 유해폐기물의 취급자와 배출자 등의 활동을 허가제로 하고, 처리시설의 안정성 감시강화 등을 하게 되었다. 1988년에는 「포괄적환경대처보증책임제」가 제정되어 유해폐기물 대처책임기금을 설립하고 유해폐기물의 정화를 촉진하게 되었다. 그리고 1986년에 대처책임기금을 85억달러 증액하는 동시에 유해폐기물 정화를 한 단계 촉진한다는 취지하에 「대처기금수정법」을 개정하게 되었다.

(2) 정부정책

폐기물재활용에 대하여는 정부의 특별한 개입없이 시장기구에 의존하고 있으며 폐기물 재활용산업의 육성을 위해 금융, 세제상의 재정적인 지원제도를 도입하고 있는 주도 상당수에 이른다. 또한 사업자의 제품 설계 및 생산단계에 대한 감량화와 재활용 촉진은 상품의 생산과 포장에 포함된 유해물질에 대한 규제, 폐기물을 발생시키지 않는 설계와 생산에 대한 세제지원, 폐기물감사제도 등 간접적인 유인책에 의해 추진되고 있다.

① 세제지원

폐기물재활용을 위한 경제활동을 촉진하는 목적으로 다양한 세금혜택제도가 실시되고 있다. 대표적인 예는 세금감면, 세금면제, 세율인하와 같은 제도라 할 수 있다. 세금면제는 재활용활동과 관련된 수거, 분리, 재활용과정에 대하여 세금을 면제하는 제도로 대부분의 지역에서 재활용제품 생산활동에 대한 세금을 면제하고 있다. 특히 플로리다, 뉴저지, 위스콘신주에서는 재생 가능한 폐기물 수거활동은 물론 재활용제품 구입시 세금을 면제하여 판매를 촉진하고 있다. 뉴저지, 오클라호마, 오레곤주에서는 폐기물재활용 재생제조업에 필요한 기계설비와 건물과 같은 고정자산에 대한 투자시 세금혜택을 실시하고 있다. 재산세면제는 재활용활동에 참여하는 기업의 건물, 기계설비, 대지에 대하여 적용되고 있다. 인디애나, 켄터키, 노스캐롤라이나, 위스콘신주가 대표적인 지역이다.

② 금융지원

재생된 물건이 상품화되어 소비자에게 판매가 촉진되어 자생력 있는 산업으로 발전하기 위해서는 우선 재활용상품의 가격이 신원료로 생산된 상품에 대하여 가격 경쟁력을 가져야 한다. 이를 위하여 정부는 여러 가지 재정지원을 제공하고 있다.

· 폐기물재활용 보조금

많은 주정부들은 폐기물재활용을 위한 폐기물 수거, 처리, 재활용과정에 필요한 자금을 보조하고 있다. 폐기물재활용을 위한 보조금은 기계설비 구입비, 운영비, 재활용 활동계획비와 같이 다양하게 지원된다.

· 폐기물재활용 대여금

정부가 특정목적을 위하여 반대급부 없이 재정적인 지원을 하는 보조금 제도와는 달리 대여금은 사기업에게 재정지원을 하고 일정기간 후에 원금을 반환하게 하는 제도이다. 따라서 대여금은 경제성이 있는 품목에 대하여 초기설비/운영자본을 대여하여 재활용산업의 기반을 마련하는데 중요 목적이 있다. 일리노이, 미네소타, 뉴저지, 뉴욕주가 대표적인 대여금제도를 실시하는 지역이다. 대여받은 기업들은 10년이상의 기간동안 원금과 함께 저금리에 해당하는 금액을 상환하게 된다. 대여금 지원은 공정성을 고려하여 대여금 총액수 중 하나의 기업에 대한 대여 액수가 20%를 넘지 못하도록 규정하고 있다.

2.1.2. 일본

(1) 정부정책

후생성에서는 1994년부터는 폐기물순환형 사회기반시설 정비사업으로서 위치를 굳혀가고 있으며, 재생이용을 위한 시설(재이용 관련시설), 폐기물 발전시설, 폐기물 연료화(RDF)시설 등에 대하여 적극적으로 보조를 실시하고 있다. 1996년에 「제8차 폐기물처리시설 정비 5개년 계획(1996~2000년)」을 실시하여 폐기물의 발생억제와 배출시 분별축진 및 폐기물을 재활용하고 폐기물 소각시 열이용축진을 위한 ‘재이용형 사회로의 전환 추진계획’ 일명 ‘recycle go go’ 계획을 5년간 500억엔을 투자하여 사업을 추진중에 있다.

(2) 정부지원

① 세제지원

세제상의 지원조치로 국세상의 지원(각종 설비취득에 대한 특별 상각)과 지방 세제상의 지원(고정자산세 및 업소세의 경감)이 있다. 현재 강구되는 세제상의 지원은 국세로는 재활용 설비관계(재상품화 설비, 특정재생자원 이용제품 제조설비, 재생자원 이용제품 제조설비, 재생자원 분별회수설비)의 취득에 수반하는 특별상각조치이고, 지방세로는 폐기물 재생처리용 설비의 고정자산세 경감(1998년 3월 31일까지 취득한 것에 관해 취득후 3년분의 상각자산에 관한 고정자산세의 과세표준이 되어야 하는 가격의 2/3) 및 용기포장 재활용시설에 관한 사업소세의 경감(자산을 및 신증설에 대해서는 3/4공제, 종업자율에 대해서는 1/2 공제)이다.

② 금융지원

일본에서는 폐기물의 처리·재활용을 위한 금융상의 보조금제도와 저리용자에 의한 융자제도가 있다. 보조금제도는 주로 새로운 기술개발에 대한 보조이고, 융자제도는 주로 재활용을 촉진하기 위해 특정한 설비구입에 대한 융자이다. 현재 폐기물처리·재활용에 관해서 통상산업성의 경우 보조금제도는 중소기업 기술개선비용 보조금제도 및 지역산업 기술개선비 보조금제도가 있다. 또 정부계 금융기관의 융자제도에는 폐기물처리·재활용하기 위한 시설을 취득할 시 필요로 하는 자금의 일부를 장기 저리로 대출해주는 제도가 있다. 구체적 기관명은 중소기업금융공고(公庫), 국민금융공고, 일본개발은행, 북해도동북공고가 있다.

2.1.3. 독일

(1) 관련법규

1996년 개정된 「폐기물발생억제 및 관리법」은 폐기물의 발생억제와 재활용 처리가 우선된다는 점을 명백히 하였으며, 폐기물의 수집, 운반, 재이용, 재활용, 처리, 처분에 대해 연방정부 및 지방자치단체의 책무와 권한, 개별 경제주체들의 책임에 대하여 포괄적으로 규정하고 있다. 또한 연방정부에 대하여 폐기물의 감량화, 재이용, 재활용 촉진을 위한 전국적인 가이드라인을 제정할 권한을 부여하고 있으며 유해물질, 포장재를 포함한 특정제품을 생산하거나 유통하는 사업자의 책임에 대하여 포괄적인 규정과 함께 연방정부에 관련된 법률의 제정권을 부여하는 것이 특징이다.

특정제품의 생산자나 유통업자에게 이들 제품과 관련한 폐기물의 회수 및 처리에 대한 일차적인 책임을 부여하고 있으며 이들 업체들은 회수 및 처리와 관련하여 전문처리업자나 제3자에게 위탁처리할 수 있도록 규정하고 있다. 배출된 폐기물의 사후 처리보다는 가능한 폐기

물을 배출하지 않는 사전예방이 바람직하므로 기업의 협력체계를 갖추는 방법을 택하였다.

(2) 정부정책

폐기물 관리의 기본방향은 배출원에서의 감량화, 재회수(recycle), 재사용의 순으로 되어 있다. 재활용폐기물의 발생 원인과 각각의 경제주체의 역할 및 책임을 부과함으로써 생산단계에서부터 폐기물발생을 줄이기위해 경량화, 재활용이 쉬운 재료로의 전환과 표준화를 통해 자원의 절약은 물론 재생비용의 최소화를 유도하여 수익성 있는 산업으로 기반을 구축함으로써 재활용산업의 발전을 기대하고 있다. 또한 일부 제품의 판매업자에 대하여 소비자예치금제도를 의무화하고 있다. 예치금 납입자는 해당제품의 생산업자나 수입업자가 아니라 소비자가 되고 예치금 징수자는 정부가 아니라 판매업자라는 점에서 국내의 예치금 제도와 근본적으로 차이가 있으며, 예치금의 환불조건면에서도 독일의 경우가 해당폐기물의 단순반환이라면 국내 폐기물예치금제도는 해당 폐기물의 회수 및 재활용처리라는 점이 다르다. 또한 독일의 예치금 제도는 해당제품의 생산자와 유통업자에 대한 해당제품과 관련한 폐기물의 회수처리 의무를 법적으로 부과한 상태에서 이를 보다 효율적으로 추진하도록 하기 위해 추가적으로 도입한 보조적 수단인데 비해, 국내 폐기물예치금 제도는 회수처리에 대한 법적 의무조치가 없는 상태에서 예치금제도 자체만으로 해당제품의 생산자 및 수입자로 하여금 해당제품의 회수와 재활용처리를 유도하기 위한 경제적 유인책이라는 점에서 근본적으로 성격을 달리한다.

2.1.4. 프랑스

(1) 관련법규

1975년에 「폐기물의 처리 및 회수에 관한 법률」, 1977년에는 「유해폐기물의 정보제공에 관한 명령」 등이 제정되었고, 1985년에 「유해폐기물의 처분방법에 관한 시행령」, 「유해폐기물의 적하목록제도에 관한 시행령」 등을 제정하였고, 1987년에는 「PCB 시장인수, 이용 및 처분에 관한 법령」을, 1988년에 「유해폐기물의 처분에 관한 법률」을 제정하였다.

(2) 정부정책

프랑스의 폐기물관리 주요시책은, 폐기물의 감량화 및 친환경적 제품생산을 위한 기술개발과 보급, 제조공정에서의 폐기물의 유효이용 및 재자원화 제품시장의 확대, 폐기물의 적정처리와 처분 등이다.

X. 재활용산업 활성화 방안

선진국에서는 유해폐기물의 경우 더욱 철저히 폐기물발생원에서부터의 발생을 최소화하고, 적정처리·처분이 이루어지는 방향으로 정책이 추진되고 있다. 폐기물 발생의 최소화는 폐기물 자체의 규모를 감소시키는 감량화와 발생된 폐기물을 다시 자원으로 환원시켜 폐기물로서 처리되는 양을 감소시키고 재활용하는 방법이 있다.

그러나, 감량화는 우리에게 있어서 가시적인 실적을 갖기에는 재정의 투자가 크고 시일이 오래 걸린다. 우리에게 보다 접근하기 쉽고 큰 효과를 가질 수 있는 것이 재활용이다. 이러한 폐기물 재활용은 국가의 환경보호정책과 기업의 이윤추구 목적이 일치하는 정책으로 발생원인자는 처리비용, 환경피해비용의 보상, 폐기물 정책과 관련된 규제 등에 따른 부담감을 줄일 수 있다.

국내의 유해고형폐기물을 이용하는 재활용산업을 활성화시키기 위한 실천방안으로, 지금까지 논의된 주제들을 바탕으로, 다음의 몇가지를 제시하고자 한다.

1. 재활용기술 개발의 적극 추진

현재 재활용업체의 보유기술수준이 빈약하고, 특히 대부분이 단순공정처리기술이므로 재활용제품의 질적 향상과 재생원료의 효율적 이용을 위해서는 재활용기술의 개발이 시급하다. 이를 위해서 다음의 방안들을 제시하고자 한다.

1.1. 정부주도의 공동기술 개발 추진 및 조정

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

폐기물 재활용기술은 개발되면 동종의 제품을 생산하는 재활용업체에서 공동이용이 가능하기 때문에 정부주도의 공동기술개발로서 정부의 지원을 통하여 기업의 재활용기술 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 <표X-1>에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이, 과제대상은 처리중심으로 되어 있고 일반폐기물에 중점을 두고 있다. 환경기술

과 관련하여 정부주도하에 추진하고 있는 G7프로젝트를 정부의 재활용 중심의 시책에 부응되게 하기 위해서는 일반폐기물 뿐만 아니라 유해폐기물의 재활용을 위한 기술개발에도 많은 재원을 투자되도록 조정이 필요하다.

<표 X-1> G-7프로젝트의 핵심기술 대상과제 및 투자액

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

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

1.2. 신기술지정제도의 도입 및 지원강화

재활용기술에 대한 신기술지정제도를 도입함으로써 재활용업체의 기술개발의욕을 고취시켜 보다 고부가가치를 가지는 재활용기술의 발전을 도모할 수 있다.

1.2.1. 신기술지정 신청대상 및 조건

지정신청대상은 국내에서 최초로 개발한 재활용기술 또는 외국에서 도입하여 소화, 개량한 기술로 국내에서 신규성, 유일성, 진보성이 있다고 판단되는 기술에 대하여, 당해기술 개발자의 요청이 있을 때, 당해 기술의 보급이 필요하다고 인정되는 기술을 대상으로 한다.

지정 조건은 국내에서 신규성(새롭게 개발되었거나 개량된 기술), 유일성(동일한 기술이 존재하지 않는 기술), 진보성(기존의 기술에 비해 안전성, 경제성 등의 상당한 향상이 이루어진 기술로 파급효과가 우수한 기술)이 있다고 판단되는 기술이어야 하며, 개량된 기술의 경우는 기술적 독창성 및 자립도가 분명해야 한다.

1.2.2. 신기술보호

신기술의 기술수준 및 개발정도에 따라 일정 기간 동안 보호기간을 주고 보호내용으로는 신기술을 사용하고자 하는 자로부터 기술사용료를 받을 수 있게 한다. 유사한 외국기술이 있을 경우 국가, 지방자치단체 또는 정부투자기관의 장은 당해 기술을 우선 사용하도록 권고하여야 한다.

권고된 신기술이 결과가 우수한 경우에는 정부 또는 지방자치단체의 재활용 관련시설의 설치시 당해기술과 관련되는 공정에 참여할 수 있게 하여야 하며, 금융관련 관계기관에 개발자금, 신기술사업자금, 기술신용보증 등의 신기술개발자금을 지원요청을 할 수 있도록 하여야 한다.

1.2.3. 활용지원 대책

당해기술이 적극 활용될 수 있도록 정부는 일정 기간동안 홍보를 실시해 주고, 당해기술 개발자는 당해기술을 계속 발전시킬 수 있도록 기술개발을 지원하기 위하여 보호기간동안 당해기술의 활용실적을 환경부장관에게 제출하도록 하여야 한다.

1.3. 폐기물의 종류별 분리·배출의 강화

발생되는 유해폐기물이 모두 재활용될 수 있는 것은 아니다. 그러나, 재활용가능성이 큰 것들을 재활용가능성이 아주 미약한 것들과 혼합하여 배출함으로써 재활용 가능성을 감소시키지 않아야 한다.

유해폐기물의 발생에 따른 대상품목을 따로 분리·배출토록하여 재활용이 간단하고 재활용 기술을 단순하게 적용할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서 발생폐기물을 다음과 같이 나누어 배출토록 하여야 한다.

- ① 재활용할 성분이 미약하거나 성분이 매우 복잡하여 재활용할 가치가 없는 경우
- ② 사용하지 않거나, 유용성분을 많이 포함하고 있어 재활용가치가 큰 경우
- ③ 유해성분이 적어 일반폐기물로 분류가 가능한 경우

폐기물 종류별, 업체별로 별도 수거하고 별도 재활용하여야 하며 양적으로 소량이거나 질적으로 재활용에 문제가 있는 것은 도로기층재나 성토재 등으로 일반토사와 혼합하여 사용하도록 하는 것이 현재로서는 하나의 대안이다.

1.4. 재활용 용도 및 자원대책 수립

우리 나라에서는 그동안 유해폐기물의 발생과 처리경로에 따른 환경유해성여부, 발생량 저감대책 및 재활용 등에 대한 구체적인 연구와 조사가 거의 없었으므로 실제적인 유해성 여부가 검증되지 않았다. 또한, 유해폐기물의 처리방법이나 처리시의 지원대책이 마련되지 않은 상태에서 재활용에 관한 규제를 강화하는 것은 재활용을 약화시키는 것이다. 따라서 유해폐기물의 실제적인 정의와 구체적인 유해성 여부, 폐기물의 발생원인, 유해성분의 발생원인, 매립시의 문제점과 환경오염여부, 재활용시의 문제점 등을 조사분석하여 향후 유해폐기물에 대한 재활용 용도 및 지원대책을 수립하여야 한다.

1.5. 현실적으로 사용가능한 재활용기술의 적극적인 권장

국내에서 발생하는 고품유해폐기물이 수집·운반과정을 거쳐 재활용 공장에서 일반폐기물

과 혼합되어 도로용, 시멘트용 그리고 벽돌용으로 재활용될 때, 그 원성분에 대한 유해성을 강조할 것이 아니라, 재활용제품으로 재생산된 제품을 가지고 유해성 평가를 하여야 한다.

고형유해폐기물이 재활용되지 못하고 그대로 자연에 방치되거나 불완전처리 상태로 매립이 될 때에는 더 큰 환경상에 유해성이 있으므로 현 상태에서 완전한 처리·처분방법이 없다면 현재 현실적으로 사용가능한 재활용기술을 사용하여 발생폐기물의 양도 줄이고 유해성도 줄이는 방안을 권장하여야 한다.

이 경우에 재활용을 적극 권장하여 폐기물 기피현상인 주민민원의 근원을 차단해야 할 것이며, 이를 위한 정부차원의 지원책이 마련되어야 하며 재활용기술도 다양한 방법으로 개발되어야 하여야 한다. 일반 행정관서에서 원성분이 유해한 폐기물이라 하여 민원이 발생할 때, 무해성에 대해서 보다 적극적인 주민설득도 하여야 한다.

1.6. 유해폐기물의 매립기준 강화

일본의 매립기준은 우리 나라의 일반폐기물 판정기준과 거의 같은 조건으로서 우리 나라보다 알킬 수은, PCB가 추가 설정되어 있는 반면 동의 함량은 빠져있고, 해양투입의 경우는 매립처분보다 유해물질 함량을 더 제한하고 있으며 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌의 함량은 규제를 하지 않는 반면 유기염소화합물, 동, 아연, 불화물 등의 함량을 규제하고 있다.

따라서, 특정제품의 제조나 사용을 금지하는 것이 아니라 제품사용 후 매립기준을 강화시킴으로써 다른 폐기물과 구별하여 처리할 수 있도록 규제하는 조치를 강화하여 해당제품의 재활용을 촉진시켜야 한다. 예를 들면, 자동차타이어, 플라스틱용기, 건전지는 현재 매립을 잠정적으로 허용하고 있지만, 매립을 더욱 강화함으로써 이러한 폐기물을 위한 재활용시장을 형성시키는 것이다.

그러나, 폐기물을 재활용하는데 있어서는 환경적인 유해성이 크지 않은 경우에는 재활용 용도상 물성을 악화시키지 않도록 하기 위하여 재활용업체에서 자체적인 품질기준을 설정하도록 하는 것이 필요하다.

1.7. 국내에 적용가능한 기술의 도입

현재 외국에서 상용화된 재활용기술이라 하더라도 국내에 적용하기에는 적절치 못한 단점들을 가지고 있는 경우가 많으므로, 이에 대한 철저한 분석을 하여 국내실정에 맞는 기술을 도입하여야 한다.

1.8. 작업자의 교육강화

고형유해폐기물인 분진, 폐주물사, 폐석면, 폐촉매는 발생과정에서 분리·배출되면 성상이 일정하여 이물질이 섞이지 않으면 재활용을 보다 쉽게 할 수 있다. 그러나, 현장 작업자의 낮은 인지도로 인하여 사실상 분리가 원활하게 이루어지지 않아 고부가가치제품으로 재활용할 수 있음에도 불구하고 단순재활용이나 매립처분되고 있다.

폐기물 발생과정에서 미분리로 인한 각종 쓰레기가 혼합되어 수집과정에 문제가 발생된다. 폐기물 처리 담당자의 의식 부족으로 폐기물을 재활용하면 소중한 자원이 될 수 있음에도 불구하고 일부 영세업체에서는 쓰레기로 간주하여 각종 잡쓰레기와 함께 보관하는 경우가 있어 재활용 과정에서 분리해야 하는 어려움이 있으므로 폐기물 담당자의 교육이 강화되어야 한다.

1.9. 재활용 사업계획의 의무화

유해폐기물의 경우는 일반폐기물보다 환경에 미치는 유해성이 크므로 보다 강력한 재활용 방안의 시행이 필요하다. 유해폐기물 발생자로 하여금 폐기물재활용 사업계획을 수립하여 시행하도록 의무화하여야 한다. 일반적으로 사업계획에 포함되는 내용으로는 재활용시장 형성을 위한 방안, 주요 재활용 대상품목의 설정, 장·단기간의 재활용률 목표의 수립, 재활용 정책의 전반적인 방향제시 등을 포함시켜야 한다.

이는 기업으로 하여금 제품의 설계, 원료의 조달, 생산공정에서부터 판매, 유통 및 폐기과정까지 제품의 환경부하를 배려하는 환경친화적 사고를 유도하는 효과를 가져와 폐기물재활용과 재사용비율을 높이는 노력을 스스로 하게 된다.

재활용사업계획의 의무화에 따라 폐기물 재활용이 보다 원활하게 이루어질 수 있도록 체계적인 폐기물 분리·배출계획도 포함되어야 한다.

1.10. 공공구매제도의 확대

폐기물 재활용활동은 재활용 가능한 폐기물의 지속적인 공급이 있어야 가능하고 일단 재활용된 제품은 시장수요에 의하여 판매되어 재사용되어야 한다. 고형유해폐기물을 원료로 사용하여 재활용제품을 생산한 경우에는 정부의 보다 강력한 경제유인이 필요하다. 따라서 정부는 폐기물의 수거와 재활용과정을 원활히 하기 위한 정책뿐만 아니라 재활용 제품에 대한 수요를 확대하고 안정화하여 폐기물재활용을 촉진하기 위하여 유해폐기물 재활용제품에 대한 공공구매제도의 확대를 강력히 시행하여야 한다.

정부는 공공기관의 제품구입시 유해폐기물을 재활용한 제품의 구매를 권장하기 위하여 구매절차나 관계법규를 개정하여야 한다. 이러한 공공분야에서의 구매는 재활용제품의 수요를 증가시켜 재활용시장의 형성과 발전을 도모하여 보다 많은 폐기물을 재활용할 수 있게 할 수 있다.

공공구매제도는 단순히 공공기관이 재활용된 제품을 구입하여 재활용활동에 참여한다는 의미 뿐만 아니라 재활용 시장의 초기 형성단계에서 재활용시장을 보호 육성하는 역할을 하게 된다. 따라서, 일반폐기물 뿐만 아니라 유해폐기물을 이용한 재활용제품도 공공구매에 포함시켜야 한다.

재활용제품에 대한 정부의 구매를 구체화하는 대표적인 정책은 가격차등제와 정율구매의무화제라고 할 수 있다. 가격차등제는 공공기관이 물품을 구매할 때 재활용제품에 대하여 일정비율의 가격차등을 둬으로서 신원료를 사용한 동종제품에 대하여 가격경쟁력을 갖게 하는 정책이다. 반면 정율구매의무화제는 제품구매시 일정비율에 해당하는 양은 재활용된 제품을 구입하도록 의무화하는 제도이다.

1.11. 재활용제품의 품질관리 강화

공공구매제도의 확대와 더불어 강력히 시행하여야 할 사항이 재활용제품에 대한 품질의 강화이다. 유해폐기물의 경우에는 환경에 미치는 영향이 일반폐기물보다 크므로 품질관리를 통해 재활용제품의 품질향상을 촉진함으로써 소비확대를 도모하기 위한 품질인증제도를 시행하여야 한다. 또한, 유해폐기물을 이용한 재활용제품에 대해서도 KS규격을 확대하고 인증기간을 단축하여 인증품목을 확대하는 방안을 고려해야 한다.

한편 일정한 품질요건을 갖추지 못한 재활용제품 공급업자에 대하여는 재활용제품의 엄격한 품질관리를 위해 더욱 강력한 지도가 필요하다.

2. 재활용자원의 경제성 향상

최근 재활용산업은 인건비와 물류비 등의 상승으로 수거비용 부담이 급격히 증가하고 있을 뿐만 아니라 재활용원료의 수요가 줄어들고 있음에 따라 재활용업계의 채산성이 크게 악화되고 있는 실정이다. 또한 폐기물의 발생량은 주생산제품의 생산량 변동에 크게 의존하는 특성이 있기 때문에 폐기물시장과는 상관없이 공급량 및 가격의 변동폭이 심한 기복을 보이고 있다.

이와 같은 이유가 가격이나 품질 및 수급의 안정성 면에서 재활용산업을 활성화시키는 데 또다른 하나의 저해요인으로 작용하고 있다.

2.1. 폐기물교환제도의 주체선정

폐기물 관리법, 폐기물관리법시행령, 폐기물관리법시행규칙에 규정된 환경부령이 정하는 사업장폐기물 배출자는 분진, 폐주물사, 폐촉매의 경우는 출량이 각각 월 50kg이상이거나 그 합계가 월 100kg이상인 폐기물로, 폐석면의 경우는 배출량이 각각 월 100kg이상이거나 그 합계가 월 200kg이상인 폐기물을 배출하는 자로 정의되어 있다. 이 사업장폐기물 배출자는 사업장 폐기물의 종류·발생량 등을 환경부령이 정하는 바에 따라 시장·군수·구청장에게 신고해야 하며, 시장·군수·구청장은 신고받은 사항중 지정폐기물에 관한 사항은 환경부령이 정하는 바에 따라 시·도지사를 거쳐 환경부장관에게 보고하도록 되어 있다.

또한, 사업장폐기물 배출자는 매년의 폐기물의 발생·처리 및 재활용에 관한 사항을 다음년도 1월 31일까지 보고서를 작성하여 당해 허가·등록·승인·신고기관의 장에게 보고하도록 되어 있다.

이와 같이 지정폐기물의 경우는 의무적으로 각 지방환경청에 폐기물의 종류, 발생량 그리고 그 폐기물의 처리 및 재활용에 관한 사항을 보고서를 작성하여 보고토록 되어 있다.

그러나, 재활용 관련정보는 관련협회나 조합, 사업추진관련단체 등을 통해서 수집할 수 있으나, 폐기물 정보는 배출업체의 수도 많고 폐기물 정보자체를 수집하기가 어려울 뿐만 아니라 내용도 부정확하여 폐기물 교환제도를 활성화시키는데 큰 장애요인으로 작용하고 있다.

따라서, 일반폐기물과는 달리 지정폐기물은 환경에 미치는 유해성이 커서 적절한 관리를 하여야 하므로 유해폐기물의 경우는 다소 강제성을 가져 각 지방환경청에 보고할 때, 그 양식을 보다 강화하여 제반 필요한 사항을 보고하도록 하여야 한다. 즉, 유해폐기물의 경우는 환경에 미치는 유해성이 큰 점을 고려하여 강제성을 가지고 보고를 보다 상세하게 하도록 하여, 필요한 정보가 상세하게 보고됨에 따라 수요자가 분명하게 그 폐자원을 활용할 수 있는지의 여부를 판단할 수 있도록 하여야 한다.

이에 따라 환경부와 각 지방환경청을 연결하여 폐기물에 대한 DB를 구축하고 각 지방환경청이 폐기물교환제도의 주체가 되어 자세한 폐기물의 정보를 가져 수요자와 공급자를 확실하게 연결시켜야 한다.

2.2. 환경부과금의 지원

환경비용을 고려한 가격체계의 확립으로 재활용제품의 소비를 유도해야 한다. 즉 처녀상품 및 원자재의 가격에 환경비용이 반영되도록 하여 재활용가능자원 및 재활용제품의 가격이 원자재나 처녀상품보다 저렴하도록 가격구조를 조정하여 환경오염절감효과, 환경오염 청정비용의 절감, 자원 및 에너지의 절감효과를 반영할 필요가 있다. 유해폐기물의 경우 발생자에게

처리의무가 부여되어 있지만, 위탁처리하는 경우가 많으며, 위탁처리업체에서는 매립을 위주로 한다. 따라서, 매립위주의 처리보다 재활용을 활성화시키기 위하여 폐기물을 발생시키는 제품생산시 일정요율의 처리부담금을 부가하여 재활용원료로 사용할 때 지원을 하여야 한다. 즉, 신제품을 생산하는 업체들에게 재활용제품산업 촉진비를 부담하게 한 다음, 이를 재활용원료로 사용하여 재활용제품을 생산하는 업체에 환경보조금으로 지원하는 것이다.

2.3. 자원재활용의 경제성 보장

재활용자원의 경제성유지를 위한 현실성있는 가격체계의 조정을 위해서는 먼저 기업이 재생자원으로서의 폐기물에 대한 경제적 가치를 인식시켜 건전한 폐기물 회수체계를 갖추도록 해야 하며, 상품의 생산단계에서부터 유통·소비 그리고 소비후의 폐기단계에 이르기까지의 모든 관리책임을 져야한다.

그러나, 기업의 역할이 중요하면 할수록 기업이 보다 적극적으로 재활용산업에 참여할 수 있도록 국가와 사회가 적극적으로 뒷받침하여 자원재활용의 경제성을 보장해주어야 한다.

일반국민(소비자)은 재활용제품을 선호하는 소비형태의 변화로 소비형태를 변화시켜 재활용 중심의 사회구조로의 전환이 전개되도록 하여 재활용제품에 대한 안정적 수요시장을 확보해주어야 한다. 또한 정부는 이러한 폐기물수급을 원활히 조절하기 위하여 폐기물처리 부담금을 신설·활용하여 물량조절 기능을 확충시킬 필요가 있으며, 이러한 인위적인 방법을 통하여 정부가 폐기물의 안정적 공급을 보장해 줄 때 재활용업체들이 장기계획을 세우고 투자나 기술개발을 적극 수행할 수 있게 될 것이다.

2.4. 재활용원료의 원활한 수급

재활용가능자원의 회수가 늘어나는 것에 대비하여 선별·분류 및 비축·파쇄·재생처분·처리를 위한 시설이 대대적으로 확충되어야 한다. 이에 따라 수집·선별된 폐기물의 1차 가공과 비축을 위한 시설을 확충하여 폐기물관리의 효율성을 제고하여야 한다.

환경부는 공급에 있어서 계절에 민감하고 수요에 있어서는 경기변동에 민감한 재활용 폐기물의 비축산업을 1997년부터 실시하기로 하였던 데, 일반폐기물 뿐만아니라 재활용 가능한 유험폐기물에 대해서도 재활용원료를 비축할 수 있는 시설을 설치하여야 한다.

또한, 재활용품의 수거 및 분류비용을 포함하는 중간비용을 절감하여 수거된 재활용 가능자원의 사적 수익성을 확보할 수 있는 방안이 고려되어야 하며, 조달청의 비축자금을 활용하여 비축물량을 확대해 원료수급에 따른 안전성을 확보해야 한다.

3. 재활용 부지확보난 해소

재활용업체들은 업종의 특성상 폐기물의 수거 및 재활용제품생산의 효율성을 기하기 위해 폐기물의 발생지 및 원료공급지와 안정성을 유지하는 것이 바람직하지만, 현재 이들은 비도시형산업으로 분류되어 점차 시외로 밀려나가고 있다. 또한 농지나 공한지 등을 임대해 수거폐기물의 야적과 제품생산을 위한 원료저장지 등으로 사용하고 있는 업체들도 대다수는 현행법규상 그린벨트 등 특정용도의 토지를 불법이용하고 있는 형편이며, 특히 야적지 등을 구입할 의사가 있는 일부업체들도 토지초과이득세 등의 문제로 용지확보에 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

따라서, 재활용산업의 특성을 고려한 재활용전용공단 조성 등을 통해 재활용업계의 용지난을 해결하는 것이 재활용산업의 활성화를 위해 중요하다.

3.1. 재활용단지의 발생지 부근의 설립

정부는 수도권안에서 중소기업의 공장 신·증설 허용범위가 크게 확대되고 반도체 등 7개 첨단 업종에 한해 대기업의 공장증설도 가능케하는 공업배치 및 공장설립에 관한 법률시행령을 개정하였다. 또한, 과밀억제 및 자연보전 권역에 있는 중소기업과 31대 이하 대기업 그룹은 공장을 성장관리권역으로 자유롭게 옮길 수 있도록 하였다.

이 시행령에 의하면 수도권 입지 제한의 기준이 되는 도시형 업종은 2백52개의 비도시형 업종을 지정하고, 나머지는 모두 도시형 업종으로 간주되어 있다. 이밖에 현재 제조업만 입주 가능한 공단내에 소프트웨어산업, 폐기물처리업 등 제조업을 직접 지원하는 연관 서비스 업종도 들어갈 수 있게 하고 여유 공장시설의 임계범위도 현행 3분의 1에서 2분의 1까지 늘려주기로 했다. 이를 요약하여 표로 나타내면 <표 X-2>와 같다.

재활용업계에서는 집단화의 이익 및 공해방지시설의 공동이용 그리고 비용의 공동부담 등을 이유로 입주를 강력히 원하고 있으면서도, 현실성없는 부지분양가, 정부의 자금지원 미흡, 폐기물발생지로부터 원거리에 위치하는데 따른 물류비 및 인건비 증대 등의 문제를 우려하고 있다.

따라서 재활용전용공단은 폐기물발생지를 고려하여 도시근교에 조성하는 한편, 현실성있는 부지분양가 책정, 입주재활용업체에 대한 부지구입지에 대한 장기분할용자 그리고 사회간접시설의 확충 등에 대해서도 전반적으로 재검토하여야 한다.

3.2. 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.

<표 X-2> 수도권내 공장 신·증설 허용범위
(공업배치 및 공장설립에 관한 법률)

구 분	시행령개정내용
과밀 억제권역 (법 제26조) [별표 1]	<공업단지> - 중소기업 신·증설 허용 <공업지역> - 도시형공장: 3,000㎡ 이내 신·증설 - 기존공장: 3,000㎡ 이내 증설 <기타지역> - 현지 근린공장: 1,000㎡ 이내 신설 - 도시형업종: 1,000㎡ 이내 증설 - 첨단업종: 3,000㎡ 이내 증설 - 법정 의무화된 공장 증설 - 건축자재공장: 1,000㎡ 이내 (한시적) - 부대시설(창고는 1,000㎡ 이내) 증설
성장 관리권역 (법 제27조) [별표 2]	<공업단지> - 중소기업 신·증설 허용 - 아산공단: 현행대로 대기업 이전허용 <공업지역> - 중소기업: 3,000㎡ 이내 신·증설 - 기존공장: 3,000㎡ 이내 증설 (첨단) 업종의 경우 기존면적의 50% 까지 추가허용 <기타지역> - 도시형 및 현지 근린공장: 3,000㎡ 이내 신·증설 - 기존공장: 3,000㎡ 이내 증설 (첨단업종의 경우 제한된 범위에서 추가허용)
자연 보전지역 (법제27조의 2) [별표 3]	<공업단지 공업지역> - 현행도시형 업종 3,000㎡ 이내 신·증설) <기타지역> - 현행 수준유지

자료: 한국자원재생공사, 『자원화대상폐기물의 관리체계개발』, 1994.

재활용산업의 수익성은 폐기물 재활용 공정별로 다르게 나타나기 때문에 지원정도를 차별할 필요가 있다. 즉 지원재원을 모든 폐기물재활용공정에 전반적으로 지원하기 보다 기술적용이 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.

3.3. 입지수용을 위한 지원

재활용원료의 원활한 수급과 재활용제품의 용이한 보급을 위하여 재활용원료를 사용하여 제품을 생산하는 사업장인 경우와 특히 재활용업종의 특성상 소음과 분진의 발생소지가 많아 민원이 많이 발생하여 생산업무에 지장이 많은 가공업종인 경우는 별도의 부지를 수용하여 재활용업체를 집단으로 수용할 수 있는 재활용단지 조성방안이 지원되어야 한다.

이를 위하여 지역적으로 유치를 기피하는 시설의 설치를 촉진하기 위하여 유치자치단체에 환경보조금 또는 개발보조금 등과 연계하여 예산을 편성하는 방식을 적극적으로 추진할 필요가 있다.

4. 재활용업체에 대한 금융 및 세제지원의 강화

재활용업체들은 다수가 규모에 있어 영세성을 벗어나지 못하고 있으며, 각종 금융지원 및 세제지원 혜택을 적절히 활용하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 재활용산업의 활성화를 위해서 재활용시설 및 오염방지시설 설치시 장기저리융자·정부지불보증·담보요건 완화, 재활용기술 개발자금에 대한 벤처금융에 준하는 지원, 재활용업체의 수거 및 제조활동에 적용되는 부가가치세율의 하향조정, 재생처리시설 공동출자분에 대한 세액공제 등의 방안을 적극 검토할 필요가 있다.

4.1. 금융지원의 확대

환경관련 지원제도인 환경오염방지기금이나 대체에너지 보급사업자금의 금리, 상환액수, 상환조건과 비교할 때 열악하며, 신기술을 개발하기 위한 기술지원이나 시설설치를 위한 자금으로 2억원 이하의 자금은 너무 적은 규모이다. 그리고 1994년의 경우 신청총액이 239억원으로 예산총액 100억원의 2.39배에 해당하며, 1995년의 경우에는 신청총액이 629억원으로 예산총액 190억원의 3.31배에 해당하였으며, 1996년에는 신청총액이 716억원으로 예산총액 300억원의 2.28배에 해당하는 등 매년 신청총액이 예산총액을 크게 초과하였다. 따라서 향후 지원건당 용자규모의 상환을 확대할 뿐만아니라 용자 총액도 상향 조정하여야 하며 이를 위해 환경개선특별회계의 규모를 증액시킬 필요가 있다. 또한 공업발전기금, 에너지이용합리화기금, 중소기업구조조정기금 등 관계부처의 산업지원기금 중 재활용산업에 대한 지원확대의 유도가 필요하다.

4.2. 세제지원의 확대

현재 세제지원은 유통 및 생산과정에만 한정되어 있으나 이를 다양화하여 소비과정에 있어서의 세제지원이 재활용제품 생산비의 절감을 유도한다면, 소비과정에서의 세제지원은 재활용제품 구매의 가격을 인하시켜 재활용제품에 대한 안정적인 수요층을 확보하는 효과를 기대할 수 있다. 예를들어, 강제적으로 우선구매제도를 실시하기 어려운 비공공기관중 일정규모 이상의 민간기업, 학교, 병원 등의 대규모시설에 재활용제품 총구매액에 따라 세금을 감면하는 방안을 고려할 수 있다.

XI. 결론

유해폐기물의 발생이 매년 큰 폭으로 증가하고 있지만, 유해폐기물의 부적정처리시 발생하는 피해가 어떻고 얼마나 치명적인지를 깨닫지 못하고 있으며, 그 피해를 회복시키는 데는 얼마나 엄청난 시간과 재정을 필요로 하는 지를 이해하지 못하고 있다.

중금속의 용출특성을 감안하여, 국내의 폐기물관리법에서도 특정 유해폐기물은 시멘트로 고형화한 후 매립지에 매립하도록 하고 있다.

그러나, 이 방법은 특정 환경 즉, 산성우나 해수로 인해 고형시편에 함유되어 있는 유해중금속이 용출될 수가 있으며, 금속이온이 존재할 경우 시멘트 수화반응을 지연시켜 시편의 경화반응을 저해하여 압축강도를 감소시키는 등의 문제점이 있다.

이와 같이 유해폐기물의 고형화처리도 불완전하여 매립시 수질 및 토양오염을 야기시켜 유해성분으로 인한 피해가 발생하는 등 우리의 건강을 위협한다. 따라서, 최선의 길은 유해폐기물을 보다 안전하게 처리하면서 유해폐기물에 포함된 중금속 등을 회수하여 자원절약을 달성할 수 있는 재활용산업을 활성화시키는 것이다.

유해폐기물의 재활용은 자원절약과 환경오염방지의 두가지 효과를 동시에 기대할 수 있는 길이다. 분진, 폐석면, 폐주물사 및 폐촉매 등의 고형 유해폐기물은 재활용 가능성이 높으나, 실제로는 10~30%로 낮다. 그 이유는 첫째, 재활용기술상의 취약성으로 1)기술개발을 위한 분위기 및 여건이 약하며, 2)개발된 기술 자체상의 취약성으로 종합적인 시스템의 개발부족이다. 둘째, 재활용 원료의 경제성의 취약성으로 1)원료수급의 불안정성이며, 발생이 근본적으로 배출업체의 일상 통제범위 내에 있지 않고 수요도 변동적이기 때문에 재생자원이 수요와 공급의 양측면에서 불안정적인 요소를 가지고 있는 것이며, 2)유통체계가 미약하여 배출업체와 수요업체를 전문적으로 연결시켜주는 유통기관이 취약하여 대부분이 위탁처리업체를 통하여 종말처리하고 있으며, 3)재활용자원의 비경제성으로 재활용자원의 구입가격이 신규자원 구입가격보다 높다는 것이다. 셋째, 용지확보의 취약성으로 1)재활용업은 비도시형 업종으로 분류되어 대부분 수도권내의 공장신설이 제한되고 있고, 2)폐기물 발생지와 근접한 입지의 확보가 어렵다. 넷째, 비효율적인 자금지원과 세제지원이다.

유해폐기물을 사용하여 제품을 생산하는 재활용산업을 활성화시키기 위해서는 첫째, 재활용기술 개발을 적극 추진하는 것이며, 이를 위해서는 1)정부주도의 공동기술 개발을 추진하고, 이에 유해폐기물 재활용기술 개발 부분을 증가시켜야 하며, 2)신기술지정제도의 도입하여 지원을 강화함으로써 재활용업체의 기술개발의욕을 고취시켜 보다 고부가가치를 가지는 재활용기술의 발전을 도모해야 하며, 3)재활용 사업계획의 의무화시켜 사업계획에 재활용시장 형성을 위한 방안, 주요 재활용 대상품목의 설정, 장단기간의 재활용률 목표의 수립, 재활용 정책의 전반적인 방향제시 등을 포함시켜야 하며, 4)공공구매제도의 확대하여 유해폐기물 재활용제품에 대한 공공구매제도를 강력히 시행하여야 한다. 둘째, 재활용원료의 경제성을 높이는 것으로 1)폐기물교환제도의 주체가 환경부와 각 지방환경청되어 유해폐기물에 대한 DB를 구축하고 각 지방환경청이 폐기물교환제도의 주체가 되어 자세한 폐기물의 정보를 가져 수요자와 공급자를 확실하게 연결시켜야 하며, 2)유해폐기물에도 환경부과금을 신설하여 신제품을 생산하는 업체들에게 재활용제품산업 촉진비를 부담하게 한 다음, 이를 재활용원료로 사용하여 재활용제품을 생산하는 업체에 환경부과금으로 지원하는 것이다. 셋째, 재활용 부지 확보난을 해소하는 것으로 1)재활용단지를 발생지 부근에 설립하여 물류비 등을 감소시키며,

2)재활용단지 조성시에 특정기술을 분화시켜 이주케 하는 것으로, 이 경우에 정부는 재활용 기술에 대한 투자를 보다 효율적으로 할 수 있으며, 기술개발도 가시적인 효과를 얻을 수 있으리라 사료된다. 넷째, 재활용업체에 대한 금융 및 세제지원의 강화하는 것으로 1)금융지원의 확대하고, 2)세제지원을 확대하는 것이다.

< 참고 문헌 >

- 김오식, 『환경독성학』, 동화기술, 1991.
- 대한상공회의소, 『산업폐기물 재자원화 확대방안』, 1992.
- 대한상공회의소, 『폐기물 재활용산업의 현황과 과제』, 1994.
- 두진산업, 「지정폐기물 재활용 처리방법 및 환경에 미치는 영향에 대한 연구」, 『월간폐기물』, 12월호, pp 70~89, 1997.
- 류한길, 『EAF Dust상의 중금속과 포졸란 합성 시멘트 몰탈의 내구성에 관한 연구』, 중앙대학교 건설대학원, 석사학위논문, 1996.
- 류한길 외 2명, 「전기로 분진(EAF Dust)상의 유해중금속 고정에 있어서 포졸란 효과」, 『한국폐기물학회춘계학술연구발표회요약집』, pp135-139, 1996.
- 박봉찬, 박현서, 「산업폐기물의 고부가소재화」, 『월간폐기물』, 6월호, pp 100~111, 1996.
- 방극진, 『환경오염 유해화학물질 편람』, 성안당, 1997.
- Sadayuki Shinozaki, 「일본의 석탄회 재활용 현황」, 『월간폐기물』, 9월호, pp 102~111, 1996.
- M. Meldrum, 『Review of fibre toxicology(섬유독성 연구고찰)』, 한국석면협회, 1998.
- 산업기술정보원, 『산업폐기물의 처리와 자원화 기술동향』, 1991.
- 산업연구원, 『정밀화학산업』, 1989.
- 상원리싸이클링(주) 내부자료, 『제강분진 재활용 기술안내』, 1997.
- 서울특별시, 『재건축 사업등과 관련 건축물철거에 따른 폐석면 관리대책』, 1998.
- 신희덕, 「폐주물사의 재활용 기술동향」, 『월간신기술』, 8월호, pp 38~56, 1997.
- 안미희 외 2인, 「매립용 EAF Dust에 대한 시멘트의 고정화 효과」, 『한국폐기물학회지』, 14권, 3호, pp221~225, 1997.
- 안순옥, 「폐주물사를 담체로 재활용한다」, 『월간폐기물』, 7월호 pp 217~219, 1997.
- SK 정유사 내부자료, 1992.
- 유성환, 「건물내의 석면 및 비석면 섬유 오염현황」, 『첨단환경 기술』, 5권 4호, pp 8~16, 1997.
- 윤임중, 『진폐증의 최신지견』, 1998.
- 이영우, 손재익, 「일본산업폐기물의 관리현황 고찰」, 『환경기술』, 7월호, pp 14~20, 1994.
- 이영우, 「일반산업폐기물의 관리현황 고찰」, 『첨단환경기술』, 2권, 8호, pp 71~79, 1994.
- 이환노, 박현서, 「전기로 분진의 특성 및 자원화기술」, 『월간폐기물』, 4월호, pp 42~51, 1996.
- 장성길, 『사업장폐기물 교환정보제도의 경제적 효과 및 활성화 방안 연구』, 서울대학교 환경대학원, 석사학위논문, 1996.
- 중앙대학교 건설기술연구소, 『폐주물사를 이용한 세라믹 floor Tile제조에 관한 과제』, 1996.
- 진해마천주물공단사업협동조합, 『폐주물사 발생현황 및 재생연구보고』, 1996.

- 통상산업부, 「석유정제 폐촉매의 처리, 재생 및 수명연장」, 『석유정제 폐촉매의 처리, 재생 및 수명연장에 관한 중간보고서(2차년도)』, 1996.
- 한국산업안전공단, 『석면취급 근로자의 건강보호대책 세미나』, 1997.
- 한국석면협회, 「폐기물 관리법 개정」에 관한 내부자료, 1998.
- 한국석면협회, 『국내석면시장』, 1998.
- 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.
- 한국자원재생공사, 『폐기물 재활용 시범단지 타당성 조사』, 1994.
- 한국자원재생공사, 『주물사 재활용 기술개발에 관한 연구』, 1995.
- 한국자원재생공사, 『폐기물 재활용 정보기능 활성화 방안에 관한 연구』, 1996.
- 한국자원재생공사, 「폐기물 유통정보제도 운영」, 『폐기물자원화정보』, 12월호, 1996.
- 한국자원재생공사, 「주물사 재활용 기술개발에 관한 연구」, 『폐기물자원화정보』, 8월호, 1997.
- 한국자원재생공사, 『주형종류별 폐주물사의 환경유해성 검토 및 적정 관리방안 연구』, 1997.
- 한국자원재생공사, 『재활용품목별 기술성·경제성 평가에 관한 연구』, 1997.
- 한국자원재생공사, 『재활용 종합단지의 타당성 조사 연구』, 1998.
- 한국자원재생공사, 『96 전국 폐기물 재생처리 허가 및 신고업체 현황』, 1997.
- 한국자원리사이클링학회, 『자원리사이클링의 실제』, 1994.
- 한국자원리사이클링학회, 『폐주물사 리사이클링 특별심포지움』, 1998.
- 한국폐기물학회, 『폐기물처리기술과 재활용』, 동화기술, 1995.
- 한국폐기물학회, 『대전·충청지역, 벽산구대전 공장부지에 매립된 폐기물의 물리, 화학적 특성 및 유해성 평가에 대한 조사연구』, 1997.
- 환경관리공단, 『유해폐기물의 안전처분』, 1991.
- 환경부, 국립환경연구원, 『G-7 환경공학기술개발사업』, 1996.
- 환경부, 『전국 지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1996.
- 환경부, 『지정폐기물 발생 및 처리현황』, 1997.
- Clean Japan Center, 『Recycling of Industrial Waste in Japan』, 1992.
- EPA, 『A Rview of Industrial Waste Exchanges』, 1994.
- Herbert F. Lund, 『The McGraw-Hill Recycling Handbook』, McGraw-Hill, New York, 1993.
- Hongo, K., 「촉매재생사업의 사회적 역할」, 『촉매』, Vol.35, No.4, pp 245~249, 1993.
- Kazuhiro, U., 「리사이클의 경제학」, 『化學工業』, Vol.43, No.6, pp 9~14, 1992.
- Pratt, E., 「U.S. EPA on Recycling」, 『Waste Age』, 1991. 12.
- 安田八十五, 「리사이클의 경제학」, 『廢棄物』, Vol.20, No.2, pp 90~96, 1994.
- 安田八十五, 「미국의 리사이클링 현황」, 『廢棄物』, Vol.19, No.214, pp 100~108, 1993.

부록 I : 분진의 매립처리시 고형화에 대한 용출실험

중금속의 용출정도가 매립처분에 타당한가를 알아보기 위하여 전기로 제강분진(EAF Dust: 국내 K제강회사의 분진)은 일차적으로 TCLP법에 의해 중금속을 용출한 시료(RED: Residual EAF Dust)와 용출을 거치지 않은 시료(OED: Original EAF Dust) 두가지를 준비하였다. 고화를 위해서 이들 시료를 일반적으로 사용하고 있는 시멘트(OPC: Ordinary Portland Cement)를 KSL 5102 '수경성 시멘트의 표준 주도 시험방법'에 따라 <표A I -1>과 같이 무게비로 10~80%까지 혼합하였다. 한편 공시체의 제작과 양생은 KSF 1403에 따라 균일하게 혼합한 시료에 물을 첨가하면서 완전 혼합하여 제작하였고, 성형 후 28일간 양생실에서 양생시켰다.

제작된 시편에 대한 중금속 용출시험은 미국의 용출방법인 TCLP(Toxicity Characteristic Leaching Procedure)방법에 따라 시행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

OED에 OPC를 혼합한 시편들의 중금속 용출량은 <표A I -2>와 같다. 표에서 보는 바와같이 Pb의 경우, 시멘트를 80%까지 혼합하여도 29.6ppm으로 기준치인 3.0ppm 보다 무려 10배가 많은 양이 초과한 것으로 나왔으며 Cr+6, Cd 역시 각각 기준치를 초과한 것으로 나타났다. 그러나 Cu의 경우에는 OPC를 80%까지 첨가해서야 비로서 기준치 이하인 2.6ppm이 용출되었다. 따라서 시멘트를 80%까지 전기로 제강분진에 혼합하여 양생시켜도 Cu를 제외한 다른 중금속들은 기준치를 훨씬 초과하였으므로 전기로 제강분진의 시멘트 고형화 처리 후 최종 매립법은 환경안전상 매우 큰 문제를 일으킬 수 있다.

RED에 OPC를 혼합한 시편의 중금속 용출량은 <표A I -3>에 나타내었다. 표에서 보는 바와같이 Pb의 경우, OPC를 최고 80%까지 혼합했을 때도 16.7ppm까지 용출되었는데 이는 OED의 경우와 비교하여 상당한 고정율을 보였으나 여전히 기준치를 5배정도 초과하였다. Cd의 경우도 모든 경우에 기준치를 초과한 양이 용출되었다. Cr+6의 경우에는 OPC를 80%까지 혼합한 경우에는 중금속이 용출되지 않았으나 40%까지 혼합하였을 때에는 5.75ppm이 용출되어 기준치를 초과하였다. 반면 Cu의 경우는 시멘트를 혼합하지 않았을 때, 즉 일차로 중금속을 제거한 후도 2.83ppm이 용출되어 기준치 이하에 해당하였으며, 그 후 시멘트양을 증가시켜도 용출결과는 크게 변화지 않았다. 따라서 TCLP법으로 일차 중금속을 제거하고 난 뒤 다시 시멘트 고화를 해도 Pb의 완전 고정은 불가능하였다.

결론적으로 전기로 제강분진상에 중금속의 용출전·후, 두가지 형태 모두 시멘트로 고화시키더라도 각 중금속은 용출된다. 따라서 전기로 제강분진을 안전 매립하기 위해서는 시멘트 고형화 처리방법만으로는 그 효과가 부정적이다.

<표A I -1> 시멘트와 시료의 혼합방법

(무게, %)

No.*	OPC	OED	RED
1	100	-	-
2	90	10	-
3	80	20	-
4	60	40	-
5	20	80	-
6	100	-	-
7	90	-	10
8	80	-	20
9	60	-	40
10	20	-	80

자료: 안미희 외 2인, 「매립用 EAF Dust에 대한 시멘트 고정화 효과」, 『한국폐기물 학회지』, 1997.

<표A I -2> OED와 OPC 혼합시편의 용출결과

N°.	Mixture (%)		Concentration of heavy metal (ppm)			
	OED	OPC	Pb	Cr ⁺⁶	Cd	Cu
1	100	-	1330.3	30.9	23.5	29.4
2	90	10	725.0	23.7	14.0	21.0
3	80	20	209.3	15.1	3.83	12.1
4	60	40	142.0	6.48	3.13	10.4
5	20	80	29.6	8.99	0.62	2.60

기준치: Pb < 3.0 ppm, Cr⁺⁶ < 1.5 ppm

Cd < 0.3 ppm, Cu < 3.0 ppm

자료: 안미희 외 2인, 「매립用 EAF Dust에 대한 시멘트 고정화 효과」, 『한국폐기물 학회지』, 1997.

<표A I -3> RED와 OPC 혼합시편 용출결과

N°.	Mixture (%)		Concentration of heavy metal (ppm)			
	RED	OPC	Pb	Cr ⁺⁶	Cd	Cu
6	100	-	930.3	24.6	15.3	2.83
7	90	10	475.0	17.0	7.9	2.50
8	80	20	42.5	9.96	0.57	2.26
9	60	40	39.5	5.75	0.70	2.76
10	20	80	16.7	N.D	0.49	0.22

기준치: Pb < 3.0 ppm, Cr⁺⁶ < 1.5 ppm

Cd < 0.3 ppm, Cu < 3.0 ppm

자료: 안미희 외 2인, 「매립用 EAF Dust에 대한 시멘트 고정화 효과」, 『한국폐기물 학회지』, 1997.

부록II: 시멘트 경화체와 열화에 관한 이론

시멘트 경화체의 내구성은 동결융해, 한서, 건조습윤 등이 반복적으로 작용하는 기상작용을 비롯하여 황산염, 산류 등의 화학물질에 의한 침식작용, 차륜과 유수, 유사 등에 의한 마모작용, 중성화, 철근의 부식, 반응성 골재 등에 의한 화학작용, 기타 시멘트 경화체상 발생하는 여러 종류의 성능저하작용에 장기간 걸쳐 저항하는 성질로 정의되고 있다. 즉 시멘트 경화체에 손상을 미치는 환경이나 사용조건에 의하여 장기간 성능저하 없이 견딜 수 있는 시멘트 경화체의 성능을 내구성이라 부른다.

시멘트 경화체는 제조때부터 사용기간 동안 외력과 환경에 의해 끊임없이 영향을 받아 내구성이 저하(열화:劣化)되게 되는데, 이에 영향을 미치는 인자는 매우 많고 복합적으로 작용하며 그 증상도 다양하다.

1. 시멘트 경화체 열화의 내부적인 요인

1.1. 용해과정 및 화학변화

시멘트 경화체는 용해과정이나 화학변화에 의해서 또는 이 두가지가 동시에 발생함으로써 침식되는 경우가 있다. 침식의 정도는 작용물질의 특성과 농도 또는 용액중에 존재하는 다른 이온 등에 의존하고 있으며 경화체와 작용물질이 접촉하는 시간의 길이나 그 접촉의 형태(예를 들면 연속적인가 또는 주기적인가)에 의존한다. 또한 온도와 압력과 같은 환경조건도 침식의 정도에 영향을 미친다. 한편 침식의 정도는 작용물질의 특성에 관계없이 경화체의 기공성에 상당히 좌우된다. 밀실(密實)한 경화체에 있어서 침식은 시간의 경과에 따라 내부로도 진행되지만 기본적으로는 표면에 한정되어 있다. 다공질의 경화체에서는 작용용액의 침투를 허용하여 그 결과 침식이 전체에 걸쳐 일어나므로 더욱 더 파괴적이다.

1.2. 투수성과 흡수성의 변화

투수성(Permeability) 및 흡수성(Absorption)은 시멘트 경화체의 화학저항성과 관련하여 논의되는 기공성과 관련된 특성이다. 그러나, 이들 두 개의 특성은 반드시 관련성이 있는 것은 아니다. 흡수성은 습윤상태의 경화체의 함수량을 건조한 경화체의 중량에 대한 백분율로 나타내는 것이 일반적이다. 그렇기 때문에 흡수성은 경화체의 기공성, 즉 물이 들어갈 수 있는 세공의 체적을 측정하는 것이다. 투수성은 어느 압력 및 온도에서 경화체를 통과하는 물의 속도를 측정하는 것이다. 따라서 투수성은 기공성 뿐만 아니라 세공계의 연속성이나 세공분포 등에 좌우된다.

경화체의 화학저항성은 경화체의 투수성과 관련되어 있다. 용액 중의 작용물질의 농도는 적정조건하에서는 화학반응이 진행성에 따라 감소하므로 침식의 정도는 서서히 완화될 것이다. 그러나 그 용액이 경화체내에 흘러가는 경우에는 작용물질의 농도가 일정하기 때문에 침식의 정도도 완화되지 않고 일정하게 된다. 침식이 용해과정을 수반하는 경우에도 이와 동일하다. 용액의 유동 때문에 포화용액이 이동하여 끊임없이 이와 같은 과정이 계속된다. 이러한 관점에서 경화체가 화학적 침식을 건조와 습윤의 반복작용을 받는 경우에 가장 극심한 침식을 받을 것이다. 그와 같은 함수율의 변화에 의해서 경화체는 되풀이하여 새로운 용액과 접촉하여 침식의 정도가 연속적으로 유지된다.

2. 시멘트 경화체 열화의 외부적인 요인

2.1. 기상조건

시멘트 경화체에서 체적변화에 의한 균열을 발생시키는 요인은 크게 두가지로 건습에 의한 것과 온도변화에 의한 것으로 구분된다. 이중 건습에 의한 균열은 온도가 높은 여름철에 가장 심하게 나타나지만, 습도가 낮고 바람이 심한 봄, 가을에 지속적으로 발생하고 있기 때문에 이를 억제하기 위해서는 건조수축을 억제하는 다양한 방법이 사용되고 있다.

습윤팽창과 건조수축은 수화에 의해 생긴 시멘트 겔이 수분을 흡수하여 팽창되고, 건조에 의해 수축되는데 기인된다. 시편제조 후 수중에서 양생하면 팽창한다. 이 현상은 완만하게 일어나며 구속을 받는 부재의 팽창에 의한 응력은 압축응력이며 그 값도 작으므로 특히 문제가 되지 않는다. 이에 대해 완전히 건조하면 수화를 지연시키거나 심한 경우에는 수화를 완전히 정지시키는 경우도 있다. 이때 경화체는 어느 정도 수축한다. 실제의 구조물에서는 단면치수, 건조조건 등이 공시체인 경우와 다르나 건조수축에 의한 인장응력에 의해 균열이 생기기 쉽다.

이러한 수분손실에 영향을 미치는 요인인 온도, 습도, 바람 등 기상조건은 정량화가 어려운 변수들이며, 이들 상호간의 연계작용으로 인하여 건조수축이 일어난다. 기상조건 중 온도는 시멘트의 수화반응 속도에 영향을 미치고 있으므로 경화체의 강도발현에 중대한 영향을 주고 있다. 양생초기의 높은 온도는 일반적으로 경화체의 조기강도를 증진시키는 효과는 있으나, 장기적으로는 좋지 않은 영향을 미치고 있다. 다만 대개의 경우 외부의 기상조건은 경화체의 표면에만 주로 영향을 미치고 내부에는 그리 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 알려져 있다.

또한 이러한 경화체의 건조수축으로 생긴 균열을 통하여 투수가 일어나게 된다. 이와 같은 흡수나 투수현상은 재령에 따라 변화하고 습윤상태에서는 감소하나 건조상태에서는 증대하는 등 환경조건에 의해 끊임없이 변화하는데 이런 물의 이동으로 말마암아 경화체에 공극이나 균열 등은 더욱 커져서 투수를 더욱 조장하게 되고 결국 경화체의 내구성에 영향을 끼치게 된다. 시멘트 수화시 장기간에 걸쳐서 시멘트와 물의 수화작용과정에서 일부는 새로운 생성물로 채워지는 경우도 있다. 이와같이 경화체 내부의 공극조직은 일정치 않으며 투수는 단순히 공극률만의 함수로 표현할 수 없고 함유하는 공극의 크기, 분포상태 및 이들의 연속성에 지배된다.

건조수축에 영향을 미치는 요인은 시멘트의 품질로서 경화체의 건조수축에 약간의 영향을 미친다. 시멘트 품질의 영향은 C3A가 많을수록, SO₃가 적을수록 분말도가 가늘수록 수축량은 커진다.

또한, 온도변화에 의한 체적변화에서 시멘트 경화체의 열팽창계수는 사용재료, 배합에 따라 다소 다르나 100℃이하에 있어서는 1℃당 $1.5 \sim 1.8 \times 10^{-5}$ 정도이다.

2.2. 산성환경

자연히 발생하는 산성용액은 황산염을 함유하는 용액의 발생비율과 비교하면 한정되어 있다. Peat지반에 있어서 물은 산성이 되는 경우가 있다. 피트의 부패물에는 유기산이 포함되어 있으나 이것은 통상 토양에 존재하고 있는 석회에 의하여 중화된다. 대부분의 경우 피트토양은 황철광(Pyrites)이나 백철광(Marcasite)과 같은 황화철을 함유하고 있으며, 이들이 산화하면 유리(遊離)의 황산이 생성된다. 다시 이 산은 통상 황산염을 생성하는 토양에 존재하고 있는 염기(鹽基)에 의하여 중화된다. 그러나 황산의 일부가 수중에서 유리한 상태로 남을 정도

의 빠른 속도로 황산의 생성이 일어나는 경우도 있으며, 그 때문에 용액이 산성이 된다. 이와 같은 과정은 산소가 존재하지 않으면 일어나지 않는다. 그렇기 때문에 항시 물에 잠겨있는 토양에서는 이러한 과정은 일어나지 않는다.

일반의 가정오수(汚水)는 알칼리성이다. 그러나, 어떠한 경우에는 유황이 포함되어 있는 화합물에 혐기성 박테리아가 활동하면 황화수소가 상당량 방출된다. 황화수소 자체는 시멘트 경화체를 침식하지 않으나 이것이 산화하여 황산이 되면 손상을 일으킨다. 그러므로, 황산의 생성을 방지함으로서 하수구에 있어서 침식조건을 피할 수 있다. 이를 위하여 염소에 의한 살균이 유효하게 이루어지고 있다. 시멘트의 종류가 오수 침식에 대한 저항성에 영향을 미치지 않는다. 그러나, 골재로 석회석을 사용하면 황산침식에 대한 포틀랜드시멘트의 저항성이 개선된다고 한다.

대부분의 산은 경화체의 성분을 가용성염으로 화학변화시켜 시멘트 경화체를 침식한다. 예를들면 염산(HCl)에 의한 침식에 의하여 염화칼슘(CaCl_2), 염화알루미늄(AlCl_3) 및 염화철(FeCl_3)이 생기지만 이들은 모두 물에 용해되므로 용이하게 경화체로부터 이탈한다. 황산이나 질산과 같은 대부분의 강산에 의해서도 이와 동일한 작용이 일어난다.

침식성 용액의 pH가 6이하면 시멘트 생성물에 손상을 미치는 효과가 있다고 예상된다. pH 값이 6.5정도의 용액에서도 포틀랜드 시멘트의 수화생성물이 손상을 입는 경우도 있다.

일반적으로 시멘트 수화생성물중에서 가장 산과 반응하기 쉬운 물질은 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)이며, Calcium Aluminate 수화물($\text{Ca}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]_3 : \text{C-A-H}$), Calcium Silicate 수화물($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} : \text{C-S-H}$)순으로 되어있다. Calcium Aluminate Ferrite수화물의 경우는 비교적 산과 반응하지 않지만 어느 경우라도 산과 반응하여 분해되는 것을 피하기는 어렵다.

일반적으로 황산에 의한 시멘트 팽창과괴(破壞)기구를 SO_3^{2-} 이온의 침투로 설명하고 있으므로 황산에 있어서의 H^+ 이온은 산의 세기를 결정하는데 기여하고 SO_3^{2-} 이온은 시멘트의 수화생성물과 반응을하여 시멘트 경화체를 열화시키는 것으로 황산에 의한 열화기구를 설명할 수 있다.

2.3. 해수

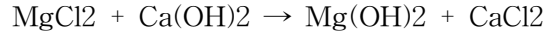
해수에 있어서 염류의 함유량과 그 화학조성은 장소에 따라 약간씩 다르다. 그러나, 해수는 일반적으로 3.6-4.0%의 염류를 함유하고 있으며, 그중 약 90%가 염화물이고, 10%가 황산염이다.

해수의 황산염 농도는 약 $35\text{g}/\ell$ 이며 이것을 SO_3 량으로 환산하면 $2,000\text{mg}/\ell$ 이상이 된다. 황산염의 농도가 $500\text{mg}/\ell$ 정도에서도 경화체에 어느 정도의 손상을 일으킬 수 있는 것이다. 따라서 해수에 노출된 경화체는 상당한 손상을 입게 될 것이 예상된다. 그럼에도 해수중에 있어서 시멘트수화생성물의 열화정도는 해수중의 SO_3 농도로부터 예상되는 것보다 훨씬 작게 나타난다. 이는 염소를 포함하는 용액중에서는 석고나 Ettringite가 높은 용해도를 나타내어 이것이 황산염의 작용과 관련된 체적증가의 영향을 감소시킨다.

시멘트 경화체의 해수에 의한 침식기구(侵蝕機構)는 재령초기의 Cl^- 이온의 침식작용에 지배되므로, 염화물에 의한 열화기구는 근본적으로 Cl^- 이온의 침투(浸透)에 좌우된다고 볼 수 있다. Cl^- 이온이 침투하면 경화체는 시멘트수화물과 반응하여 생성된 가용성의 CaCl_2 의 용출에 따른 다공화현상에 의해 열화되며 일부는 침식성이 없는 Friedel's염으로 고정된다.

염화물 중 대부분은 경화체와 반응하지 않지만 MgCl_2 는 수산화칼슘과 반응하여 가용성

CaCl₂를 생성한다.



CaCl₂는 용해도가 높고 여과됨으로서 용이하게 소실된다. Mg(OH)₂에 의한 침전은 수화생성물이 밀실하면 완만하게 되기 쉽지만 다공질이거나 혹은 침투성이 있는 수화생성물에 있어서는 그와 같은 지연효과가 나타나지 않는다.

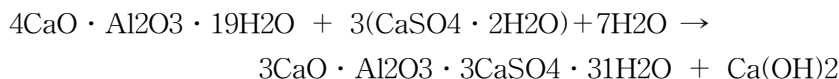
이와같이, 시멘트 경화체 내부로 Cl⁻이온이 침투하면 수화물인 Ca(OH)₂와 반응하여 결정이 석출되면서 용적팽창을 수반하여 열화하며 일부는 Friedel's염(3CaO · Al₂O₃ · CaCl₂ · 10H₂O)으로 고정된다. 그러므로, 염화물에 의한 열화기구는 Cl⁻이온의 침투로 인한 경화체의 다공화현상에 열화요인을 두고 있다.

2.4. 황산염

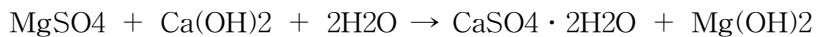
황산염에 의한 침식의 정도는 많은 인자와 관련되어 있다. 그러나, 황산염의 작용에 의하여 일어나는 손상은 일반적으로 대단히 심하며 극도로 가혹한 조건하에서는 시멘트 경화체가 완전히 열화된다. 사실상 상당한 양의 황산염이 토양이나 지하수에 존재하는 경우가 종종 있다. 또 황산염은 해수 중에도 존재한다. 한편으로는 황산염이 비교적 광범위하게 존재한다는 점과 다른 한편으로는 이것이 경화체에 극심한 손상을 일으킬 수 있다는 점에서 이러한 종류의 침식이 실제적으로 중요하다.

대부분의 황산염은 경화경화체를 극심하게 침식한다. 황산염은 유리의 Ca(OH)₂이나 C-A-H와 반응한다. 이 반응은 고체의 체적증가를 수반하고 있으며, 팽창을 유발시키는 것이지만 이것이 연속적이고 더구나 극심한 경우에는 팽창에 의하여 균열이 발생하며 경화경화체를 완전히 열화시켜 버린다. 황산염에 의한 침식은 SO₃의 양이 500mg/ℓ 정도의 미량인 경우에도 무시할 수 없는 경우가 있다.

석고는 C-A-H와 반응하여 Ettringite로 알려져 있는 거의 불용성인 Calcium Sulfur Aluminate를 생성한다. 즉,

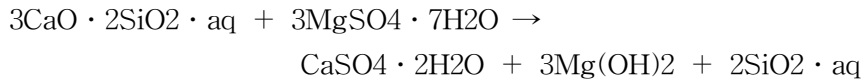


황산마그네슘(MgSO₄)은 Ca(OH)₂과 반응한다.



이 결과 생성된 수산화마그네슘(Mg(OH)₂)은 용해도가 낮으며, 그 포화용액의 pH값은 대개 10.5이다. 이것은 NaOH나 Ca(OH)₂의 각각의 포화수용액의 pH값인 14.0이나 12.4에 비교하면 비교적 낮은 값이다. 10.5라는 pH값은 C-S-H수화물을 안정시키는데 요구되는 pH값보다 작다. 그 결과 pH평형을 유지하기 위하여 규산은 석회를 용액속에 용탈시킨다. 그러나 MgSO₄은 유리된 Ca(OH)₂과 반응하며, 그 반응에 의하여 생긴 Mg(OH)₂은 바로 용액으로부터 분리되어 다시 pH값을 10.5로 감소시킨다. 그렇게되면 석회가 또 다시 용해되어 규산칼슘의 분해가 일어난다. MgSO₄이 충분히 있는 경우에는 이 과정에 의하여 규산칼슘이 완전히 분해된

다. 즉,



더욱이 생성된 실리카겔은 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 과 대단히 완만한 속도로 반응하여, 그 조성이 대개 $4\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 8.5\text{H}_2\text{O}$ 인 규산마그네슘수화물을 생성한다. 규산마그네슘은 고화성이 없으므로 경화체의 강도는 그 때문에 더욱 저하된다. 따라서 MgSO_4 은 포틀랜드 시멘트 수화물에 대하여 특히 침식적이다. 수화생성물중에서 C-A-H와 SO_3^{2-} -이온의 경화체 내부로 침투하여 생성된 석고($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)가 반응하여 Ettringite($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)가 생성되었으며, Ettringite의 팽창(膨脹)이 열화(劣化)의 주원인이라는 것이 지배적인 이론이다.

시멘트는 다공질이기 때문에 팽창을 일으키지 않고 고상의 체적증가가 일어난다. 즉 경화체 내에 유효한 세공체적이 있기 때문에 팽창압을 발생시킴이 없이 반응생성물의 적출이나 결정화가 일어난다. 화학반응이 용액을 통해 일어나면 여기에 따라 반응생성물들이 분산되도록 촉진하기 때문에 전술한 바와 같은 일이 일어날 것이다. 그러나, 황산염이 존재하는 경우의 반응은 액체-고체반응으로서 C-A-H의 표면에서 직접 일어나는 즉, 토포케미칼한 반응(Topochemical reaction)이라고 말해지고 있다. 표면이라고 하는 국부적인 유효공간만으로는 새롭게 생성된 고체를 수용하기에는 충분치 않다. 그 때문에 체적구속(體積拘束)에 의한 압력이 발생하여 이것이 팽창을 유발시키는 것이다.

오늘날 황산염의 침식에 의한 시멘트 경화체의 팽창과 붕괴는 토포케미칼한 반응에 의하여 Ettringite가 형성될 때에 수반되는 팽창에 의한 것이라고 일반적으로 말해지고 있다. 그렇다면, 황산염에 대한 포틀랜드 시멘트의 침식도는 시멘트에 포함되어 있는 C3A의 양이 감소함에 따라 완화될 것이다.

부록Ⅲ: 아스콘 채움재에 대한 국내·외 관련 규정

아스콘 채움재는 관련 아스팔트 혼합물의 밀도, 점도, 내구성, 차수성 및 작업성 향상을 위한 중요한 재료로서 사용되고 있으며, 채움재의 물리·화학적 특성 및 사용량 등에 따라 아스팔트 혼합물의 물성이 민감하게 변화하기 때문에 각국에서는 이에 대한 규정이 엄밀히 사용되고 있다.

1. 국내의 규정

1.1. 한국산업규격(KSF 3501-1995: 역청 포장용 채움재)

1.1.1 적용범위

이 규격은 역청 포장 혼합물에 사용하는 별도의 재료로 첨가하는 광물성 채움재에 대하여 규정한다.

1.1.2 품질

채움재는 석회석분, 포틀랜드 시멘트, 소석회, 플라이 애쉬, 회수 더스트, 전기로 제강 더스트, 주물 더스트, 각종 소각회 및 기타 적당한 광물성 물질의 분말이어야 한다. 사용할 때에는 먼지, 진흙, 유기물, 덩어리진 미립자 등 해로운 물질이 함유되어 있지 않아야 한다. 또한 수분함량은 1.0% 이하이어야 하고, 입도는 <표AⅢ-1>에 나타난 규정에 맞는 것이어야 한다.

<표AⅢ-1>

체의 공칭 치수	통과무게 백분율, %
600 μ m (No. 30)	100
300 μ m (No. 50)	95 이상
150 μ m (No. 100)	90 이상
75 μ m (No. 200)	70 이상

석회석분, 시멘트, 소석회 이외의 재료를 채움재로 사용할 경우는 <표AⅢ-2>에 나타난 규정에 맞는 것이어야 한다.

<표AⅢ-2>

항 목	기 준
소성지수	6 이하
흐름시험	50% 이하
침수팽창	3% 이하
박리 저항성	1/4 이하

1.2. 도로포장 설계 시공 지침(건교부, 1991: 광물성 채움재)

1.2.1. 적용범위

광물성 채움재(석분)는 석회암분말, 시멘트 또는 화성암류를 분쇄한 것으로서 먼지, 진흙, 유기물, 덩어리진 미립자가 함유되어 있지 않는 것이어야 한다.

1.2.2. 품질

석분의 품질은 <표AⅢ-3>에 나타난 규격에 적합한 것이어야 한다.

<표AⅢ-3>

구 분	체 (mm)	통과중량 백분율 (%)
입 도	0.60mm (No. 30)체	100
	0.30mm (No. 50)체	95~100
	0.15mm (No. 100)체	90~100
	0.075mm(No. 200)체	70~100
수 분 비 중		1% 이하
		2.60 이상

2. 외국의 규정

2.1. 일본

2.1.1 일본공업규격(JIS A 5008-1976: 포장용 석회석분)

(1) 포장 범위

이 규격은 주로 역청 포장에 사용하는 석회석(돌로마이트를 포함)의 석분에 관하여 규정한다.

※ 이유설명

포장용으로 사용되고 있는 석회석분의 대부분은 역청 포장(아스팔트 포장외에 타르 포장 등 역청 재료를 이용한 것)에 사용되고 있으므로, 주로 역청포장에 사용된 것에 대해 규정했다. 물론 포장이라는 것은 단지 역청을 사용한 표층 부분만을 지시한 것이 아니라 그 밑의 기층이나 노반도 포함해서 정의되어 있으므로 그 어느 부분에 사용된 경우도 역청 포장용으로 사용하는 것이라고 할 수 있다.

돌로마이트가 포함된 것이라는 규정도 있고, 또 규정내용도 수분, 입도, 비중에 한정되어 있으므로, 다른 석분(화성암류의 석분이나 부산석회, 플라이애쉬 등)도 적용범위에 포함될 수 있으나, 그들의 사용도가 낮고, 뒷받침 자료가 되는 화학성분이나 품질이 복잡하게 되어 실험방법도 복잡하게 되므로 실제적으로는 사용이 어렵다는 것, 이들에 대한 실험방법이 확립되어 있지 않다는 것 등으로부터 유사암으로 돌로마이트는 포함시키는 것으로 했지만, 석회석분에 한정했다.

(2) 품질

석회석분은 석회석을 분쇄한 것으로서 쓰레기, 흙, 유기물, 미립자의 입단 등의 유해량을 함유하고 있지 않아야 한다. 또한 수분은 1.0% 이하이어야 하고 입도는 <표AⅢ-4>에 나타난 규격에 적합하여야 하며, 비중은 2.60 이상으로 한다.

	체의 치수, μm	체 통과 중량 백분율
<표AⅢ-4>	590	100
	149	90 이상
	74	70 이상

※ 이유설명

원석으로의 표토 등이 혼입이나 제품 취급의 부주의 등을 막기 위한 규정이 필요하므로 유해물질에 관한 규정을 제정했다.

수분의 경우 실제로는 0.2~0.4%정도의 범위에 있지만, 이러한 성질의 것은 보관, 포장 등에 의해 크게 좌우되므로 출하되어서부터 사용까지의 최악조건 등을 고려하고 더욱 사용상 특별한 지장도 없으므로 최대 1.0%로 했다.

입도의 경우, 74 μm 체의 통과량은 일본에서 사용되고 있는 아스팔트 포장 요강의 규정이 70% 이상으로 되어있고, ASTM D246-66에의 규정에도 70% 이상으로 되어 있으므로 70% 이상으로 했다.

비중은 품질의 좋고 나쁨을 판정하는 기준이 되는 것은 아니지만, 사용자 측에서는 비중의 측정치를 필요로 하고 있으므로 규정한다. 석회석분으로 고려되어 타당한 수치 하한으로서 비중은 2.60을 부여했지만 상한치에 대해서는 필요를 인정하지 않으므로 규정해 놓지 않았다.

2.1.2. 아스팔트 포장 요강 (일본 도로 협회 발생, 1992: 채움재)

(1) 적용범위

채움재에는 석회암이나 그 밖의 암석을 분쇄한 석분, 소석회, 시멘트, 회수 더스트 및 플라이애쉬 등을 사용한다.

(2) 품질

① 석회암을 분쇄한 석분

석회암을 분쇄한 석분은 수분 1.0% 이하로 한다. 또한 입도 규격은 <표AⅢ-5>와 같다.

<표AⅢ-5>

체눈 크기	통과 중량 백분율, %
600 μm	100
150 μm	90~100
75 μm	70~100

※ 이유설명

석분은 수분이 1.0%를 넘으면 로터리 피이더를 흘러내리지 않는 경우 등과 같이 사용이 곤란하므로, 석분의 취급이나 저장에 있어서는 사이로 등에 빗물이 침입하지 않도록 충분히 배려해야 한다.

② 그 밖의 채움재

채움재로 소석회, 시멘트, 회수 더스트, 플라이 애쉬 및 석회암 이외의 암석을 분쇄한 석분 등을 사용할 경우에는 그의 성상을 파악하고 나서 사용한다.

※ 이유설명

· 소석회 및 시멘트

박리 방지를 위하여 채움재로 사용하는 수가 있으나, 그의 품질은 석회, 시멘트 규격에 적합해야 한다.

· 회수 더스트

아스팔트 플랜트에서 가열 아스팔트 혼합물을 제조할 때 드라이어에서 가열된 골재로부터 발생하는 분말 상태의 것을 말하며, 2차 집진 장치에서 포집하여 혼합물의 채움재로 환원 사용하는 것이다. 회수 더스트를 채움재의 일부로 사용할 경우에는 다른 채움재와 75 μ m 통과분의 혼합비율에 따라 혼합된 것은 <표AⅢ-5> 및 <표AⅢ-6>의 성상에 맞아야 한다. 다만 석회암을 분쇄한 것을 사용하는 경우에는 <표AⅢ-6>의 시험을 생략해도 좋다.

<표AⅢ-6>

항 목	목표치
PI	4 이하
흐름시험(%)	50 이하

주: 이 시험은 75 μ m 통과분에 대하여 실시한다. 다만 회수 더스트를 포함하는 채움재가 2종류 이상으로 되는 경우는 75 μ m 통과분의 혼합비율에 따라 혼합한 것으로 시험한다.

또한 회수 더스트를 많이 사용하면, 가열 아스팔트 혼합물에 나쁜 영향을 미칠 수 있으므로 전체 채움재 량의 50%이하로 한다. 이 경우에도 회수 더스트의 사용량이 전체 채움재에 대하여 30% 이상으로 되는 경우는 <표AⅢ-7>의 박리시험에 합격하는 것이 좋다.

· 플라이 애쉬

화력발전소 등의 석탄 보일러에서 발생하는 미소 분진을 전기 집진기 등으로 회수한 것으로 채움재로 사용하는 수가 있다. 플라이애쉬를 채움재로 사용할 경우, “JIS A 6201 플라이 애쉬”의 규격에 맞지 않는 것일 때는 <표AⅢ-5> 및 <표AⅢ-7>의 규격에 적합한 것이 바람직하다. 플라이 애쉬는 생산지가 한정되어 있어, 입수가 곤란한 지역도 있다. 따라서 사용에 있어서는 입수 방법이나 경제성에 대하여 검토해야 한다.

· 석회암 이외의 암석을 분쇄한 석분

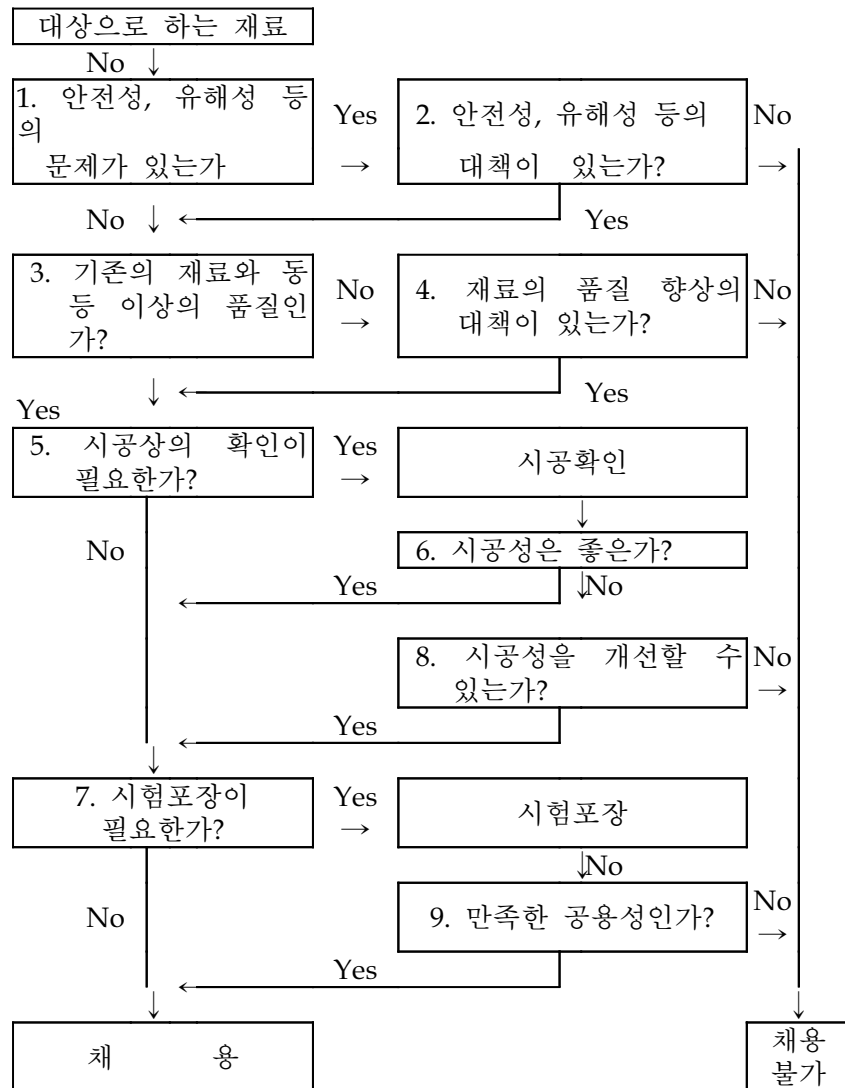
이 경우에는 <표AIII-5>에 맞는 동시에 <표AIII-7> 적합한 것이 바람직하다.

· 회수더스트와 플라이애쉬 채움재 이외의 부산물

이 경우는 <그림AIII-1>의 “부산물 등 채움의 고려방안”을 기초로 검토하여 그 결과를 근거로 채용여부를 결정한다. 이와같은 부산물에는 전기로 제강 환원 슬래그 더스트, 각종 소각재, 주물 더스트, 세광설 등의 세립분이 있다.

<표AIII-7>

항 목	목 표 치
P	4 이하
흐름시험 (%)	50 이하
침수팽창 (%)	3 이하
박리시험 (%)	합 격



<그림AIII-1> 석회분 이외의 부산물 등을 아스콘 채움재로 채용시 고려하는 방법

2.2. 미국

2.2.1. ASTM D 242-85 Reapproved 1990(역청포장 혼화재로서 광물성 채움재에 관한 표준)

(1) 적용범위

이 규격은 역청포장 혼합물에 사용하는 별도의 재료로 첨가하는 광물성 채움재에 대하여 규정한다.

(2) 일반사항

광물성채움재는 미세하게 분립된 암석분말, 슬래그 더스트, 소석회, 수경성, 플라이애쉬, 풍적황토, 기타 적당한 광물질로 구성된다. 사용할 때에 충분히 건조되어 유동성이 좋아야 하며, 반드시 덩어리가 형성되지 않아야 한다.

(3) 품질

광물성 채움재는 다음 <표AⅢ-8>에 나타난 입도에 맞아야 한다.

<표AⅢ-8>

체눈 크기	통과 중량 백분율, %
600 μ m (No. 300)	100
300 μ m (No. 50)	95~100
75 μ m (No. 200)	70~100

암석 분말, 슬래그 더스트, 풍적 황토 및 유기물이 없는 유사 물질로된 광물성 채움재는 소성지수가 4이하이어야 한다(주의: 소성지수는 소석회나 시멘트에는 적용하지 않는다).

3. 국내 · 외 관련 규정 비교

국내외 관련 규정을 비교하여 <표AⅢ-9>에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 아스콘 채움재중 석회석 분말, 시멘트, 소석회 등은 각국 공히 광범위하게 사용되고 있으나, 일본의 경우 플라이 애쉬, 회수 더스트 및 각종 산업부산물(전기로 제강 더스트, 주물 더스트, 각종 소각회 등) 등의 사용시 별도의 규정을 두어 관리하고 있다. 이는 토목적 측면에서의 안전성 및 환경적 측면에서의 유해성 검증을 위한 것으로 회수 더스트의 경우 사용량을 전체 채움재량의 50% 이하로 규정하고 있으며, 전기로 제강 환원 슬래그, 각종 소각재, 주물 더스트, 세광설 등은 안전성, 유해성 등의 검증 및 품질이 기존 제품과 동등 이상이어야 하며, 시험 시공 및 시험 포장 등을 거쳐 만족시에만 채용이 가능토록 규정하고 있다.

<표AIII-9> 국내·외 관련 규정의 비교

	한 국		미 국
	한국산업규격	도로포장설계 시공지침	ASTM
사용물질	석회석분, 포틀랜드시멘트, 소석회, 플라이애쉬, 회수더스트, 전기로 제강더스트, 주물 더스트, 각종 소각회	석회암 분말, 시멘트 화성암류 분말	암석분말, 슬래그더스트, 소석회, 수경성시멘트, 플라이애쉬, 풍적황토, 기타 적당한 물질
품질요건	<p>먼지, 진흙, 유기물, 덩어리진 미립자 등이 유되지 않아야 함.</p> <p>수분: 1.0%이하</p> <p>입도 600μm 100% 300μm 95%이상 150μm 90%이상 75μm 70%이상</p> <p>소성지수 6이하 흐름시험 50%이하 침수팽창 3%이하 박리저항성 1/4이하</p>	<p>먼지, 진흙, 유기물, 덩어리진 미립자 등이 함유되지 않아야 함.</p> <p>수분: 1.0%이하</p> <p>소성지수 6이하 흐름시험 50%이하 침수팽창 3%이하 박리저항성 1/4이하</p>	<p>· 입도 600μm : 100% 150μm : 90~100% 75μm : 70~100%</p> <p>소성지수 4이하(소성지수는 소석회나 시멘트에는 적용치 않음.)</p>
사용물질	석회석분(돌로마이트 포함)	석회암 분말, 석분, 소석회, 시멘트, 회수 더스트, 플라이애쉬	
품질요건	<p>쓰레기, 흙, 유기물, 미립자 등의 유해물이 유되지 않아야 함.</p> <p>수분: 1.0%이하</p>	<p>· 석회석분 수분: 1.0%이하 입도: 600μm 100%, 150μm 90~100%</p> <p>· 소석회, 시멘트 석회, 시멘트 품질규정에 적용</p> <p>· 회수더스트 전체 채움재량의 50%이하 사용 입도: 600μm 100%, 150μm 90~100%, 75μm 70~100%</p> <p>전체 채움재량의 30% 이하 사용 PI 4 이하, 흐름시험 50% 이하</p> <p>전체 채움재량의 30%이상 사용 PI 4 이하, 흐름시험 50% 이하 침수팽창 3%이하, 박리시험 합격</p> <p>· 플라이애쉬, 석분 (석회석이외의 암석) 입도 600μm 100%, 150μm 90~100%, 75μm 70~100% PI 4 이하, 흐름시험 50% 이하 침수팽창 3% 이하, 박리시험 합격</p> <p>· 전기로 제강환원슬래그, 각종 소각재, 주물더스트, 세광설 - 안전성, 유해성 확인 - 기존 재료와 동등이상의 품질이어야 함 - 시험시공 및 시험포장이 필요</p>	

자료: 한국자원연구소, 『아스콘 채움재료의 제강 Dust의 사용 특성에 관한 연구』, 1995.

부록IV: 주형법의 종류와 특성

1. 생형법의 생형주형사(Clay Bonded Sand)

모래에 점토분을 넣고 수분을 첨가함으로써 점결력을 갖게된다. 주물의 미려한 표면을 얻기 위하여 석탄분 종류(씨콜)를 통상 첨가한다. 자연상태에서 일정 함량의 점토분을 함유하고 있는 자연사(산사)를 주형사로 쓰기도 한다.

용탕과 접촉한 주형표면의 점토분은 점결력을 잃어버리는 사점토가 되므로 사점토를 제거하고 통상 5~10%정도의 일정비율의 신사를 순환사에 첨가한다. 엄격한 주물사 관리를 하면 신사를 첨가하지 않아도 되지만 관리상의 어려움 때문에 통상 이 방법을 많이 쓴다. 결국 폐사로 배출되는 모래는 표면의 사점토만 제거하면 신사나 중자사의 대응으로 재활용이 가능하다.

2. 자경성 주형법의 후란수지 주형사 (Furan Resin Bonded Sand)

모래에 후란수지를 넣고 혼련한 다음 경화촉매제로 강산(PTS 또는 H3PO4)을 첨가하면 경화하게 된다. 회수재생이 용이하고 신사첨가가 적고 중자까지 후란수지형으로 제작하기 때문에 공장밖으로 배출되는 폐주물사는 미분이나 점결제의 일부이다. 90% 이상의 회수가 가능하고, 열을 받은 점결제는 분해되기 때문에 재생이 쉽고 잔류수지량이 낮아진다. 국내 중대형물 주철공장에 가장 많이 보급되어 있는 것이 유기 자경성 주형법이다.

3. CO₂법의 CO₂ 주형사

규소소다 점결제(물유리)와 모래를 혼합한 다음 CO₂ 가스를 통과시켜 주면 경화하게 된다. 1950년대부터 각국에 보급되어 급속히 사용이 증대되게 되었다. 별로 특별한 시설이 없고 수작업이 가능하므로 우리나라에서 널리 보급되어 있다. 주강공장이나 주철이나 알루미늄 주물, 동주물 등의 대형물을 생산하는 공장에서 많이 이용되고 있다. 단 열을 받으면 CO₂형사는 gel화 되어 더욱 단단해지므로 붕괴성이 극히 나쁘고 회수재생이 어렵다는 단점이 있다.

4. a 셋형 주형사(a-set Sand)

Alkine Phenolic/resol resin 에 ester를 첨가하여 경화시키는 유기자경성 주형법으로 후란주형법의 단점인 냄새문제와 결함발생문제 등을 많이 개선할 수 있는 주형법이며 국내에는 일부 주강업체에서 사용하고 있고 재생설비 등이 국산화되어 있지 않아 설비비가 많이 들고 점결제가 비싼 단점이 있다.

5. Shell 형사 (Resin Coated Sand)

Phenol-Novolak + Hexamethylenetetramin을 모래에 코팅한 다음 약 300℃ 정도로 가열하면 열경화하게 된다. 주형이나 중자를 성형하기 위해서는 금형에 코티드 샌드를 넣고 가열하여야 하므로 양산용으로 적합하다. 열을 받은 부위만 경화하여 Shell을 형성하고 표면부 이외에는

성형후 dumping하면 중공부를 형성하므로 통상 Shell형이라 부른다. 우리나라에서는 주로 중자용으로 대부분 사용되고 중자중 사용비율이 가장 높다. 페놀수지를 점결제로 사용하므로 성형하지 않은 상태의 코티드 샌드는 환경에 유해할 것으로 생각되나 열을 받으면 쉽게 타버리기 때문에 열을 받은 Shell형사는 유해성분이 거의 없어진다.

6. 펩셋 형사 (Pep-set Sand)

우리나라에서는 주로 중자용으로 사용되며 페놀레진 또는 아미노포리올과 촉매인 Pyridine에 포리이소시아네이트를 반응시킨 주형법으로 상온자경성이다.

7. Cold Box형사 (Cold Box Sand)

페놀레산과 포리이소시아네이트에 아민가스를 취입하여 경화시키는 가스경화성이다. 중자용으로 이용되며 양산에 적합하다.

부록 V: 폐주물사 재활용에 관한 연구

1. 용융공정을 이용한 폐주물사의 용융에 대한 연구

분리수거를 할 필요가 없으며 모든 폐기물을 가장 안정한 상으로 바꾸어 주기 때문에 매립이 안전하다. 고체에서 액체로 변할 시 부피감소가 따르기 때문에 전체의 부피비로 보면 약 50% 이상 감소하고 일반 폐주물사 뿐만 아니라 폐 CO₂주형사 및 폐 후란사의 처리도 가능하고 폐주물사중 구리, 납 등의 유해금속을 함유한 특정폐기물의 처리도 가능하다는 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 용융에 따르는 에너지가 많이 든다는 것과 용융시 연소가스에 의한 2차 공해 등의 단점을 가지고 있다.

2. 폐주물사를 담체로 재활용(실용사례)

생물막 공정은 담체에 부착되어 성장하는 미생물막에 의해 폐수가 처리되기 때문에 담체에 미생물이 잘 부착되어야 처리효율이 향상된다. 폐주물사를 이용, 이러한 폐수처리에 사용되는 담체를 만드는 기술로서 주물제조업의 제품조형공정에서 사용된 후 버려지는 폐주물사를 주원료로 사용하여 폐수처리를 위한 미생물의 지지매체(담체)를 제조한다.

종래의 공정은, 활성탄, 모래 및 다공성의 유리구슬 등이 담체로 사용되어 왔으나 입자상 활성탄은 미생물이 잘 고정될 수는 있지만 연간 5% 이상이 마모되고 파쇄된 입자들이 부유고형물이 되어 유출수에 섞여 유출되므로 유출수를 혼탁시켰다. 더욱이 담체에는 과도 성장한 잉여 미생물이 생기므로 역세척의 빈도가 잦아지나 이러한 방법으로 잉여 미생물을 제거하기는 어렵다. 모래는 구하기가 쉽고 내구성이 강하나 미생물의 부착시간이 길고, 부착된 미생물이 탈리되기 쉬어 활성탄의 다공성과 모래와 같은 충분한 내구성을 가지는 담체의 개발이 요구된다.

새로운 공정의 경우는, 미생물이 부착되기 쉬우면서도 기계적 내구성을 가지는 담체를 연구하기 시작하였는데, 폐주물사의 구성이 세라믹 담체의 성분과 유사하고 미생물 부착능이 뛰어나다는 점을 착안하였다.

폐주물사만으로는 담체의 내구성이 떨어지기 때문에 다른 입자들과 혼합비율을 달리하여 담체를 제조, 비교한 후 기계적 강도와 다공성이 좋은 물질과 각 물질의 혼합비율을 연구하였다. 폐주물사를 주원료로 하고(약 70%), 점착성 물질로서는 활석 제올라이트, 덕유점토, 고령토 및 제우스백토 등의 점토성 물질을, 또한 다공성을 주기 위한 물질로는 폐톱밥이나 전분 등을 사용하여 담체를 제조하였다.

부록 VI: 석면으로 인한 질병(진폐증)

과거 수십년동안의 석면산업이 어떤 분야에서는 석면농도가 200f/cc까지 측정되었음을 알 수 있다. 특히 석면분무 시공현장을 예로 들 수 있다(sprary-on application). 작업현장에서는 분진발생이 너무 심해서 작업자끼리도 가까운 거리에서 서로를 분간하기가 어려웠고, 불행스럽게도 이러한 것이, 특히 조선소 근로자 사이에서 석면관련 질병의 유래가 되었다.

석면노출에 관련된 호흡질환의 3가지 유형은 석면폐증, 폐암, 석면중피증이 있다. 이 질병들과 관련된 잠복기간은 석면에의 첫 노출로부터 10년에서 40년이 지나야 파악될 수 있다. 이와 같은 폐질환은 담배를 피우는 석면작업자들 사이에서 특히 많이 발견된다. 1977년 국제암 연구협회는 모든 종류의 석면을 발암성 물질로 분류하여 Class 1로 지정하였다.

진폐증이란 분진의 흡입으로 발생하는 진단 가능한 폐질환으로서 여기서 ‘분진’이란 고체 상태의 무생물 입자이다. 보편적인 진폐증의 정의는 지금까지도 정립되지 않았으며 시간이 지남에 따라 변하고 있다. 1971년의 제4차 국제 진폐회의 연구그룹에서는 진폐증을 폐에 침착된 분진에 대한 조직의 반응이라고 재정의하였다.

1. 진폐증의 종류

병리학적 측면에서 진폐증은 편이상 교원성과 비교원성으로 나눌 수 있다. 비교원성 진폐증은 비섬유성 분진이 일으킨다. 순수한 산화주석(주석폐증), 황산바륨(바륨폐증) 분진 등이 이러한 비교원성 진폐증을 일으킨다.

교원성 진폐증은 섬유성 분진 또는 비섬유성 분진에 대한 조직반응에 의해 일어난다. 섬유성 분진에 의한 예는 규폐증, 석면폐증 등이 있고 비섬유성인 분진에 대한 조직반응의 예는 탄광부 진폐증과 진행성 괴사성 섬유화가 있다.

2. 진폐증의 유발

규산(SiO_2)은 지표면에 다량으로 분포된 결정성 고형물이다. 석영은 규산의 결정체 중 하나이고 규산염은 규산의 복합체이다. 규폐증이 잘 일어나는 작업장은 광산, 채석장과 터널 공사장 등이고 그외에 석재 연마, 유리, 도자기, 에나멜 제조, 규사가 함유된 모래를 사용하는 주물공장, 내화벽돌 공장 등이다.

석면폐증은 석면 섬유 흡입으로 발생한다. 크기가 중간 정도 크기의 분진 섬유는 코와 호흡기도에서 제거되므로 가장 크기가 작은 섬유만이 폐포 깊숙히 들어간다. 섬유가 일단 폐포 깊숙이 들어가면 신체의 자연방어 기작이 작동하여 대식세포가 입자를 탐식하여 소화하기 시작한다. 최근의 연구에 따르면 어떤 섬유(백석면)는 시간이 지나면 용해되지만 어떤 것(청석면, 갈석면)들은 계속 잔존한다.

3. 병의 특성

석면폐증은 매우 작은 석면분진을 흡입하여 이것들이 폐에 침착하여 반흔조직(섬유화)을 형성한 것이다. 첫 폭로로부터 첫증상이 나타나기까지는 평균 15~20년이 걸린다.

석면폐증의 중요한 병리소견은 폐실질의 미만성 간질성 섬유화, 석면 소체와 섬유, 흉막판

이다. 또한 피사성 섬유화, 만성 흉막비후도 보일 수 있으며 합병증으로 기관지암과 중피종도 발생할 수 있다. 석면에 노출된 근로자들은 기관지암이 발생할 위험이 높다. 이러한 위험은 폭로량 뿐만아니라 석면의 종류에 관계가 있는데 청석면과 갈석면에 노출된 사람이 백석면이나 직섬석에 노출된 경우보다 더 높다. 또한 석면폭로와 흡연의 상관 관계도 있는 것으로 보인다.

4. 각국의 발생사례

1979년 NIOSH에서는 취급자의 호흡기질환 이환율에 대한 연구결과를 발표하였다. 이 연구에서는 흉부 엑스선 검사, 폐기능 검사, 임상 증상 등 다양한 방법을 통해 질병 양상을 측정하였다. 그러나 대부분의 나라에서는 석면폐증의 이환율과 발생률에 대해서 추측만을 하고 있다.

1988년 제7차 국제 진폐회의에서 보고한 각국의 석면폐증 및 석면 관련 질환의 이환율은 다음과 같다. 1987년 태국에서 흉부엑스선 검사를 통해 조사한 석면폐증 및 석면관련 질환의 이환율은 5.2%(35/60)였고 평균 폭로기간은 8.5년이였다. 서독의 전 내화 시멘트 산업(10개의 공장)에서 5년이상 근로했던 325명의 사망자를 대상으로 사망원인을 조사한 결과 21명에서 석면폐증이 발견되었다. 22명에서 폐암이 발견되었는데 그중 2명이 석면과 관련된 것으로 추정되었다. 프랑스에서는 9년에서 44년 동안 석면-시멘트 공장에서 일한 92명의 근로자를 대상으로 조사한 연구 결과 폐·흉막 병변과 기관지염이 발견되었다. 핀란드에서 40명의 중피종 환자를 조사한 결과, 22명(55%)이 조선, 건설업 등에 종사하여 석면에 노출된 과거 경력이 있었다. 중국 베이징의 석면 생산업체(공기중 석면농도가 $2\text{mg}/\text{m}^3$ 이하)에서 40년 동안 일한 532명의 근로자를 대상으로 조사한 결과에서는 유병률이 20%였고 발생률이 연 1.5%였다.

중국에서 후향성 코호트 연구를 한 결과 모든 질환의 표준사망률 중 백석면 광산 근로자들의 악성 종양과 폐암 사망률이 대조군보다 유리하게 높았다. 오스트리아에서 석면-시멘트 산업을 대상으로 유사한 연구를 한 결과 근로자들의 폐암과 중피종이 증가하였고 생명표 분석에서는 흡연이 폐암 발생에 미치는 영향이 확인되었다. 스웨덴에서는 석면-시멘트 근로자들의 원인별 사망률과 암 사망률에 대해 용량반응관계를 조사한 결과 흉막 중피종, 대장암, 직장암으로 인한 사망률이 유의하게 증가하였다.

부록Ⅶ: 석면시멘트

세계에서 생산되는 백석면의 90%이상이 석면시멘트 제품을 만드는데 사용된다. 이 제품들은 비용절감과 내구성의 효과 때문에 높게 평가되고 있으며, 약 60여개의 국가에서 사용되고 있다. 생산은 소량 사용되는 석면만을 수입에 의존하고 나머지 주요 원재료는 자국내에서 쉽게 구입할 수 있으며 제조기술은 다른 대응제품에 비해 적은 자본투자와 낮은 에너지 소비만이 필요하다.

석면시멘트는 골판슬레이트, 압축시트, 형판을 이용한 여러 가지 모양의 부품 등을 생산하는데 사용된다. 골판슬레이트는 주로 지붕이나 벽에 사용되며, 국내에서 생산되는 슬레이트 제품은 수출에 비중을 많이 두고 있다. 기타 재료의 두께는 압축력에 따라서 달라질 수 있는데, 반압축된 납작한 시트는 약 1200kg/m^2 의 비중을 가지고 있으며, 완전히 압축된 시트는 1600kg/m^2 의 비중을 가진다. 반압축되거나 완전 압축된 납작한 시트는 대부분 판넬벽이나 칸막이로 사용되며, 압축된 정도에 따라서 재료의 강도가 달라진다.

또한 석면시멘트는 고압과 저압의 변화에 적용할 수 있는 상·하수 배관과 관개 배관에 사용되는 파이프를 만드는 데에도 사용되며, 모든 종류의 산업에서 배선의 덮개 또는 덕트용으로 석면파이프가 사용되기도 한다.

1. 석면시멘트의 제조방법

습식방법을 사용하며, 이 방식은 환망식 제지기와 유사한 Wet Machine에 의해 백석면시멘트 슬러리(Chrysotile-Cement Slurry)로부터 얇은 막을 떼어내어 이것을 소정의 두께로 초조 및 성형하여 양생하는 방법이다.

- ① 배합: 규정된 원료(시멘트, 백석면, SP)를 물과 혼합하여 Slurry 상태로 만드는 공정
- ② 초조: 혼합된 Slurry로부터 얇은 판상형(두께 3~5mm)의 Sheet를 만드는 공정
- ③ 성형: 초조기에서 형성된 생판(Green Sheet)을 일정한 형태로 성형하는 공정
- ④ 압착: 강도의 증가 및 표면의 평활화를 위하여 초조기에서 형성된 생판을 규정된 압력 및 시간으로 압착하는 공정
- ⑤ 재단: 정해진 규격 및 칫수에 맞게 절단하는 공정
- ⑥ 적재: 동일한 규격의 제품을 양생 및 보관에 편리하도록 적층하는 공정
- ⑦ 양생: 소정의 강도를 발현시키기 위해 일정조건, 기간동안 양생하는 공정
 - 자연양생(15~35℃ 습도 75~80%)은 7~10일
 - 증기양생(60~80℃ 습도 70%)은 3~7일

습식방법에 의한 석면 시멘트의 제조에는 백석면과 시멘트의 슬러리를 만들어 초조기에 의해 석면과 시멘트의 혼합된 박막을 취하여 적층하여 만들며, 그 때 여과탈수의 과정을 행한다. 백석면과 시멘트는 그 표면에 대한 흡착현상에 의해 결합하고 있으므로 시멘트 입자가 석면의 주변을 피복하게 된다.

2. 석면시멘트 내에서의 석면의 형태와 역할

석면시멘트에 함유된 석면은 시멘트의 주형이 단단하게 붙어있기 때문에 물리적인 손상이나 낚아서 파손되지 않는다면 석면을 유출하지 않는다. 특히 석면 시멘트는 색을 칠했을 때

가볍게 긁히거나 힘을 가해도 잘 손상되지 않는다. 석면시멘트는 낮은 석면함유량과 단단한 주형을 가지고 있기 때문에 석면 래깅, 석면단열보드, 석면스프레이 보다 사용기간 중 훨씬 적은 양의 분진을 유출한다. 석면 시멘트제품이 외부에서 사용될 경우 풍화작용에 의해서 서서히 석면을 유출하나 그 양이 적기 때문에 큰 위험은 없다.

석면시멘트(백석면시멘트)제품에 있어서 석면의 역할은 제품에 강도를 부여하고 제품 생산을 쉽게 하는 등 여러 가지 특성을 가지고 제조공정상에 영향을 주며, 시멘트의 입자를 지지해주기도 한다.

백석면과 시멘트의 혼합능력이 물과 합쳐져서 부드러운 Gel상으로 만들어 주는 것이고 여수성은 Sieve Cylinder와 Felt에 관계되는 것이다. 또한 기계적인 성질 예를들어 유연강도(Flexural Strength), 충격강도(Impact Strength), 분쇄강도(Crushing Strength) 등은 백석면 함유의 기본 보강강도에 따른다. 보강강도란 섬유자체에 내재하는 섬유의 인장강도, 유연성, 섬유의 길이와 직경, 충격하에서 끊어지거나 끌어당기는 섬유의 인장강도, 유연성, 섬유의 길이와 직경, 충격하에서 끊어지거나 끌어당기는 섬유의 성질 등과 밀접한 관계가 있다.

3. 건축자재에서 시멘트와 석면의 결합상태

석면-시멘트-물(水)의 현탁액에 있어서 Ca^{++} , OH^{-} , SO_4^{--} , Mg^{++} 등의 이온들이 용해되어 있어 상호작용을 하고 있으며, 석면섬유는 우선 그 표면에 해리된 이온중 SO_4^{--} 및 OH^{-} 잡아당겨 $CaSO_4$, $Mg(OH)_2$ 를 형성하는 한편 과잉의 SO_4^{--} 를 잡아당겨 이것이 시멘트중의 Ca^{++} , OH^{-} 의 해리를 촉진시킨다. 즉, 석면섬유표면의 활성화된 Mg^{++} 이 시멘트 입자를 흡착하여 반응을 일으킨다.

시멘트 화학조성: $3CaO \cdot SiO_2$, $3CaOAl_2O_3$, $2CaOSiO_2$, $4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$

석 고 화학조성: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

석 면 화학조성: $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$

이와같이 건축자재 생산에 사용된 석면은 시멘트와 물리·화학적으로 강하게 결합되게 되고, 이때 석면섬유는 시멘트입자에 의해 피복되어지며, 시간이 경과되어도 계속 수화반응을 일으키는 시멘트의 특성에 의해 상호간의 결합상태는 더욱 강하게 된다. 석면섬유는 유기섬유류와는 달리 단순히 혼합되어 있는 상태가 아니고 시멘트입자와 물리·화학적으로 강하게 결합되어 있어 석면입자의 기본적인 성질을 상실하게 된다.

4. 석면시멘트 업계의 취급현황

석면 수입시부터 물에 녹는 종이백에 포장하여 컨테이너에 안전하게 운반하여 배합탱크로 시멘트 등과 같이 포대 전체를 투입하여 석면의 비산을 막고 있으며 또한 배합실은 모두 분리 밀폐되었으며, 작업시에는 안전보호구 등을 착용하여, 배합실에는 국소배기장치가 설치되어 비산분진을 포집하고 있다. 배합실 이후에는 양생실에서 양생을 시키며 수분과 시멘트를 결합하여 Caking 화 되어 분진의 염려가 없습니다.

이후 제품을 포장할 시 비닐로 Wrapping 하여 분진 비산을 방지하였으며 출고시에 제품포장에 경고표지를 부착하여 출하하고 있다.

5. 석면시멘트 제품과 위해성

연구에 의하면 석면시멘트로 만들어진 건물주위의 섬유농도는 다른재질로 만들어진 건물주위보다 높지 않다. 1988년초 IPCS (International Program of Chemical Safety)에 속한 전문가들은 고농도의 석면제품(석면시멘트관, 석면판넬을 포함)은 일반적인 사용환경에서는 당면한 위험이 없다고 결론지었다. 그러나 시공 및 유지하는 동안 먼지방출을 통제하는 예방조치가 있어야 한다.

5.1. 석면 시멘트파이프의 사용으로 물속에서의 석면 영향

연구결과에 의하면 석면파이프의 사용으로 인한 석면은 물속에 이미 천연적으로 존재라는 수준보다 상대적으로 적은양이다. WHO에 의하면, 높은 농도의 석면을 함유한 물을 마신 사람들에게 대한 연구결과 석면의 섭취가 암을 유발한다는 증거는 없다고 한다(Guidelines for Drinking Water Qualit. World Health Organization Report, 1993).

5.2. 작업장에서의 위험

석면 시멘트와 같은 현대 제품은 폐암 또는 중피증(늑막 또는 복막의 암)이 과다하지 않게 나타난 공장보다 높은 분진농도에 노출된 작업자를 연구한 결과 폐암 또는 중피증으로부터 안전하다고 나타났다.

현재의 기술은 발견되지 않을 정도로 낮은, 있어도 없을 정도의, 위험을 가진 분진의 수준(500~1,000 fiber/liter) 유지할 수 있다. 이러한 수준을 특별히 threshold라 부른다. 이러한 수준에서는 석면관련질병은 다만 지나간 일이 될 것이다.

현재의 석면시멘트제품은 습식공법에 기초해서 만들어지고, 기본적인이고 단순한(cleaning, vaccuming, wetting) 통제기술을 사용한다. 새로운 제품의 설계, 새로운 시공기술은 절단, 드릴링을 없애는데 도움을 줄것이고, 이것은 분진의 첫 번째 원인을 막는 것이다. 절단, 드릴링 시 저속 또는 수동의 기구를 사용하고 젖은 상태에서 작업하면 분진수준을 현재의 노출기준보다 낮게 할 수 있을 것이다.

5.3. 섬유 방출과 폐기물

미국은 대기청정법중 규제대상 방출원 목록에서 석면시멘트를 제외시켰다. 팩킹재를 포함한 석면시멘트제품으로부터 발생하는 모든 고체, 액체 물질은 재활용 및 생산공정으로 재투입될 수 있다. 대부분의 국가는 비산하지 않는 석면시멘트 폐기물을 비활성인물질이라고 인정하고 있다. 이것은 지하수 및 토양의 오염을 일으키지 않으므로 지방 및 산업체의 매립장에 매립처리할 수 있다는 의미이다. 현대의 석면 시멘트 산업은 환경통제 및 산업위생의 모델로 연구될 수 있다. 프랑스, 나이지리아, 볼리비아, 파키스탄에서 몇 개의 산업체는 환경보호에 공헌해 수상하기도 했다.

5.4. 작업자 건강의 보호

작업자를 보호하기 위해 현재 시행되고 있는 규칙의 한부분으로서 세계의 주요 백석면 생산자와 수출입자는 책임있는 사용지침을 개발하고 있다. 그것의 목적은 국제적인 안전규정을 가지고 있거나 준수하는 생산업체에 대해서만 석면섬유를 공급하기 위함이다. 대부분의 많은 나라에서는, 백석면섬유를 엄격한 모니터와 방지조치를 갖춘 고도의 자동화설비를 가진 공장

에서 가공하고 있다. 이런 조치들로는 적절한 분진조절, 환기장치, 작업자교육 및 훈련 등이 있다. 35개국이 속해있는 석면국제연합의 정기보고서에 따르면, 작업자교육 및 훈련 등이 있다. 35개국이 속해있는 석면국제연합의 정기보고서에 따르면 작업자의 87%가 평균 0.5f/ml 미만에 노출되고 있으며 오직 1.3%만이 2 f/ml 이상 노출되고 있는 것으로 나타나고 있다.

5.5. 건설현장에서의 취급사항

시공시, 작업자들의 주요 노출요인인 석면시멘트의 절단을 절대적으로 막아야 한다. 자르기나 천공이 필요한 경우에는 최대한으로 먼지를 줄이기 위해 물을 묻혀서 지속 또는 수동공구로 작업한다.

6. 석면시멘트 사용시 문제점

6.1. 발생 질병의 장기간의 잠복기

건물의 석면단열제와 관계된 질병의 위험을 경고한 보고서는 비산되는 석면을 사용한 북미, 유럽에서 결렬한 논쟁의 대상이 된다. 모든 석면관련 질병은 폭로로부터 20~40년 정도의 긴 잠복기를 가진다. 과거의 열악한 조건에서의 작업, 70년대까지 각섬석의 무분별한 사용, 긴 잠복기를 가지는 특징 때문에 새로운 석면관련질환이 계속 관찰되는 것은 놀라운 일이 아니다. 비산되는 석면단열제를 시공했던 선박과 건물의 근로자는 많은 영향을 받아왔다. 이들 근로자들은 기준보다 100~200배 이상의 분진에 노출되었다. 이러한 일은 70년대부터 각섬석을 규제하고 공장환경의 기준을 만들기 오래전에 일어났다.

6.2. 석면시멘트 사용금지

석면시멘트의 사용금지는 건물의 비산되는 석면단열제에 대한 문제를 풀지못할 것이다. 이는 부적절한 대중의 동요를 이끌고 불필요하고 위험한 제거작업을 시작하게 할 것이다. 석면 제거는 매우 특수한 작업자에 의해 이루어져야 하는 매우 고비용의 작업이다. 이러한 긴급한 석면 단열제의 제거는 적절한 통제가 이루어지지 않을 것이고, 따라서 작업자와 주거자의 위험요인을 증가시킬 것이다. 석면의 제거는 다른 새로운 위험을 유발할 것이다. 그리고 천연, 합성섬유를 포함한 대체물질도 매우 위험할 수 있다. 몇 개의 나라에서는 이들 대체물질에 대해서도 백석면과는 다른 적절한 관리기준을 만들어 놓았다.

6.3. 통제되는 사용

사회의 안녕에 공헌한 산업발전은 우리에게 매일 사용하는 백석면보다 더 위험하며 수 많은 잠재위험을 가지고 있는 물질을 가져다 주었다. 이들 물질을 안전하게 사용하기 위해 우리는 기준을 만들고 기술을 개발하고 통제된 사용이라고 불리우는 작업방법을 발전시켰다. 이러한 원칙은 통제될 수 없는 제품이 유해할 때는 그것을 계속 사용하지 못하게 한다. 각섬석계 석면과 비산되는 석면제품의 사용금지는 이러한 원칙에서 이루어진 것이다. 반대로 백석면과 백석면의 비산되지 않는 제품, 석면시멘트 같은 제품은 사용기간동안 적절히 통제하면 완전히 안전하게 사용할 수 있다. 이러한 입장은 캐나다와 퀘벡정부에 의해 결정되었다. 백석면 뿐만 아니라 모든 미네랄과 금속에 대해 적용된다.

부록Ⅷ: 촉매의 종류와 용도

1. 석유정제용 촉매

1.1. 접촉분해용 촉매(Catalytic Cracking Catalyst)

FCC(유동상접촉분해, Fluid Catalytic Cracking)로 대표되는 접촉분해는 주로 감압경유, 중질유로부터 가솔린 및 경유를 제조하는 프로세스이다. 촉매로는 활성화천연점토(1936년 Houdry 공정층분해장치에서 사용한 벤토나이트계점토질의 분쇄입자), 알루미나 함량이 약 13%인 합성실리카, 알루미나 분쇄입자(1942년 Exxon사에서 사용한 최초의 FCC)를 거쳐 현재는 분해활성 및 선택성이 높은 제올라이트계촉매(1964년 Mobil 사에서 사용)로 이행하고 있다.

FCC촉매는 대표적인 고체산촉매로서 제올라이트(RE-Y)와 합성SiO₂·Al₂O₃로 구성되어 있다. 근년 공급원료중 금속성분(V, W, Mo, Ni 등), 아스팔텐함량이 많은 중질유의 비율이 증가함에 따라 내마모성, 내금속성, 내열성이 우수하고 가솔린의 수율이 높은 極微球狀의 합성 제올라이트(HY형, HSY형)가 주류를 점하고 있다. 한편 제올라이트의 주성분(실리카, 알루미나) 중 실리카성분을 높힌 (보통의 2배이상) Y형 제올라이트가 산강도가 높고, 크랙킹활성이 극히 우수한 것으로 알려져 현재 이에대한 개발이 진행되고 있다. RFCC(Fluidized Catalytic Cracking)공정에서 매일 사용되는 촉매는 미립자 형태로서 발생하는 폐촉매는 일반폐기물이다.

1.2. 접촉개질용 촉매(catalytic Reforming Catalyst)

접촉개질은 탄화수소의 방향족화 및 이성화반응에 의해 저옥탄가의 나프타를 개질하여 고옥탄가의 가솔린을 제조하는 프로세스이다. 개질촉매는 기본적으로 탈수소능을 갖는 백금족금속과 이성화능을 갖는 고체산으로 구성된 대표적인 2원기능 촉매이다. 즉 백금의 분산에 유효한 알루미나담체에 백금, 할로젠화합물을 담지시킨 기본형으로부터 현재는 백금에 레늄(Re) 등 제2금속성분을 첨가한 2원촉매(Bimetallic Catalyst)로 이행하고 있다.

고온점의 Re를 첨가하는 효과로는 촉매열화원인인 백금입자의 응집을 방지하여 백금의 분산도를 높이고, 백금상의 분리수소의 이동에 의한 분해 및 코크 생성을 억제함으로써 촉매의 활성을 높이고 수명을 연장시킨다. 또한 이로인해 장치의 저온·저압화가 가능하고 옥탄가 및 수소수율이 향상된다. Re대신 Ir, Sn, Pb를 첨가하기도 한다.

1.3. 수소화분해용 촉매(Hydrocracking Catalyst)

수소화분해는 상압 또는 감압류출유로부터 灯·輕油를 제조하는 프로세스로서 촉매로는 합성실리카·알루미나에 키켈, 몰리브덴, 텅스텐, 코발트 또는 백금계를 담지한 것이 사용된다.

1.4. 수소화탈황용 촉매(Hydrotreating Catalyst)

수소화탈황은 나프타의 전처리프로세스로서 촉매로는 알루미나담체에 Co-Mo, Ni-Mo, Ni-Co-Mo를 담지한 것이나 또는 실리카·알루미나담체에 Ni, Co, Mo를 담지한 것이 사용된다. 공급원료유가 중금속 등 촉매독을 함유하지 않고 또 운전조건이 마일드 하기 때문에 촉매

수명은 수년에 이르므로 촉매수요의 신장은 거의 없는 편이다.

1.5. 알킬화촉매(Alkylating Catalyst)

알킬화는 고옥탄가솔린의 基材로서 알킬레이트를 제조하는 프로세스로서 촉매로는 황산, 불산이 사용된다. 최근 무연하이옥탄가솔린수요의 증가로 인하여 설비능력의 증대와 함께 촉매수요가 증가하고 있다.

2. 중유탈황용촉매

중유의 탈황은 상압잔사유(AR)의 탈황(직접탈황), 감압잔사유(VR)의 탈황, 감압경유(VGO)의 탈황(간접 탈황) 등 3가지로 분류된다. 촉매로는 몰리브덴, 니켈, 코발트계가 사용되며 담체로서는 주로 알루미늄이 사용되고 있지만 조촉매로서 인 및 희토류 등의 산화물의 첨가도 검토되고 있다.

중유(잔사유)중에는 다량의 금속, 아스팔텐이 함유되어 있기 때문에 이들의 피독에 의해 유출유처리용촉매와는 다른 격심한 활성열화 및 촉매상의 閉塞 등 많은 문제가 발생하고 있다. 그 때문에 중유탈황촉매의 개발에 있어서는 최대의 과제로 되어 있다. 또 최근에는 종래의 저유황중유의 생산으로부터 접촉분해장치 및 코커(Coker) 등 분해장치용 원료유의 전처리 또는 탈황장치 자체에서의 분해로 옮겨감에 따라 요구되는 촉매의 성능도 변화하고 있다. 요컨대 tailor-made 촉매가 점차 개발되고 있으며 중유탈황촉매는 종합적으로 불 때 탈황기능에 덧붙여 탈금속능, 탈질소능, 분해기능이 부가·조합된 촉매가 요구된다.

한편 중유의 반응에서는 반응물의 촉매입자내부에의 확산이 律速되기 때문에 촉매입자의 크기, 형상 및 세공분포가 촉매의 활성 및 수명에 큰 영향을 미친다. 이 때문에 실제장치에서는 0.8mm이하의 촉매는 거의 사용되지 않는다. 이러한 문제의 해결을 위해 통상의 원통형이외 여러 가지 異形촉매가 개발되고 있다.

2.1. R(VR/RH)DS 촉매

정유공장에서 쓰이는 촉매로서 중질유를 경질유로 전환하는 공정에(RHDS, VRDS 등) 사용되는 촉매를 일컬으며, Grading 촉매(Feed중의 고형 이물질 Organic Fe, compound 및 Salt제거), HDM촉매(Hydro-demetalization: Feed중 Ni, V등 금속성분제거), HDS촉매(Hydro-desulfurization: Feed 중 Sulfur 성분 제거) 및 Support Materials(Ceramic or Alumina Balls)로 구성되어 있다. RDS촉매는 모체인 알루미늄과 선택적 반응 촉진 물질인 니켈, 코발트 및 몰리브덴 산화물로 만들며, 중질유에 포함된 황(sulfur)은 HDS촉매에 의해, 금속성분(Ni, V 등)은 HDM촉매에 의해 각각 제거된다.

원유에는 다양한 분자량의 탄화수소와 소량의 황, 질소 및 산소가 여러 형태의 유기화합물로 존재하고, 극소량의 바나듐(V)과 니켈(Ni)이 porphyrin의 형태로 존재한다. 원유 중 유기황의 함량은 원산지에 따라 크게 변하는데 낮게는 0.2%에서 최고 5%까지이다. 원유의 분자량이 증가함에 따라 황의 농도가 증가하고, 따라서 잔사유(Residue)부분에 황의 함량이 상대적으로 높다. 그러나 Ni와 V 등의 중금속은 거의 전부가 잔사유에 포함되어 있다.

황이 포함된 연료를 연소할 때 발생하는 황산화물(SOx)이 산성비의 원인이므로 대기오염방지 차원에서 법적으로 연료에 포함된 황의 함량을 규제하고 있다. 석유는 연료의 황함량을 낮추기 위해 포함된 황을 주로 촉매를 이용하여 황화합물을 수소와 반응시켜 H₂S로 전환시켜

제거하는데 이를 수소화탈황(hydrodesulfurization: HDS)이라고 한다. 국내 정유사의 대부분이 상압잔사유의 직접탈황공정을 채택하고 있으며 이 공정에서 생산된 중유는 유동접촉분해공정의 원료유로 사용된다. 유공과 쌍용정유의 경우, 진공잔사유의 직접탈황공정도 채택하였고 유공에서는 93년부터 저유황연료유를 생산하고 있다. 중질유중에 니켈, 바나듐 및 철과 같은 금속들은 분자직경이 약 15Å 이상인 유기금속화합물(porphyrin)에 존재한다. 탈황반응 시 금속과 탄소의 화학결합의 분해는 빨리 일어나고 이들 금속은 황화물(sulfide)의 형태로 전환되어 촉매 세공 내에 고착, 촉매의 비활성화를 초래한다. 따라서 금속의 함량이 높은 원료유의 경우, 탈금속(HDM: Hydrometallization) 목적으로 제조된 촉매를 사용한 guard reactor를 탈황반응기 앞부분에 두어 미리 금속을 어느 정도 제거함으로써 탈황촉매의 수명을 연장시킨다.

3. 석유화학품제조용촉매

석유화학품은 기초화학품으로부터 각종 유도품에 이르기까지 다중에 걸쳐 있으며, 사용되는 촉매도 다양하다. 반응별 사용되는 촉매를 보면, 수소화반응(니켈, 코발트, 몰리브덴, 구리, 철, 귀금속계 촉매), 탈수소화반응(산·염기, 철, 크롬, 동계촉매), 산화반응(Bi, Mo, V의 산화물, 헤테로폴리산계 촉매), 알킬화반응(산형촉매, 철계촉매), 탈알킬화반응(크롬계촉매), 염소화반응(수은, 동계 촉매), 이성화반응(실리카, 알루미늄, 백금계촉매), 암옥시데이션반응(Mo-Bi, Fe-Sb계 촉매), 옥시클로리네이션반응(CuCl₂계 촉매), 산화적부가반응(Pb-KOAc계 촉매), 옥소반응(Rh, Pt계 촉매)으로 크게 나누어진다.

4. 고분자중합용촉매

각종 합성수지와 합성고무는 자동차부품, 전기부품, 의료용품, 생활용품재료로서 널리 현대 사회에서 이용되고 있다. 이들 고분자는 슬러리, 벌크, 용액 등의 중합법을 이용해 부가중합, 중축합 등의 방법에 의해 제조된다. 사용되는 촉매는 중합의 양태에 따라 라디칼중합촉매, 카치온중합촉매, 아니온중합촉매, 배위아니온중합촉매로 분류된다.

라디칼중합촉매는 저밀도 폴리에틸렌, 폴리염화비닐, 폴리스티렌 등을 제조하는 촉매로 라디칼중합開始劑로도 불리며, 용매로는 과산화물, 아조화합물에 사용된다. 카치온중합촉매는 중합端末이 카치온을 형성하는 화합물의 중합촉매로서 부틸고무, 폴리부텐-1, 석유수지 등의 제조에 이용되며 촉매로는 프로톤산의 황산, 염산, 루이스산의 염화알루미늄, 삼불화붕소로서 주로 노말부틸리튬이 사용된다. 아니온중합촉매는 용액중합법의 합성고무의 제조용촉매로서 주로 노말부틸리튬이 사용된다. 배위아니온중합촉매는 지글리촉매로서 유명하며 고밀도폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리부타디엔, EPDMBR, IR 등의 중합촉매이다. 촉매로는 전이금속화합물과 유기금속화합물의 조합에 의해서 만들어진다. 전이금속은 마그네슘화합물 및 실리카에 담지된 형태로 사용되기도 한다. 최근에는 이들 담지형촉매를 사용하여 중합활성을 높이고 있으며 프로필렌의 중합에서 입체규칙성이 극히 높은 중합체를 얻고 있다.

5. 가스제조용 촉매

가스제조용촉매는 탈황(합성가스중 황화합물제거), 수증기개질(메탄, LPG, 나프타 등을 수증기 및 탄산가스에 의해 수소와 일산화탄소로 개질), 일산화탄소轉化(CO를 수증기와 반응시켜 수소와 CO₂로 전환), 메타네이션(CO와 CO₂를 수소화시켜 메탄으로 변환)에 사용되는 촉매이다.

6. 유지가공용 촉매

유지가공은 공업용硬化油, 식용경화유, 경화지방산, 화장품유지, 고급알콜의 제조로 대별되며, 관련반응기술로는 수소첨가, 에스테르화, 에스테르교환, 분별, 가수분해 등이 있다. 이중 분별을 제외하면 대부분 촉매를 이용하는 것이 보통이다. 유지의 水添목적은 유지를 구성하는 불포화지방산의 3중결합을 수소화함으로써 불포화도를 감소시켜 유지의 융점상승, 산화안정성의 증대, 가소성의 변화 등 유지의 화학적, 물리적 성질을 변화시키는데 있다. 水添된 유지, 지방산을 水添유지, 水添지방산, 또는 경화유, 경화지방산이라 한다. 촉매로는 환원니켈촉매, 라니-니켈촉매, 중금속촉매, 銅크롬산화물촉매가 있다. 유지의 에스테르화는 알콜과 지방산의 반응이 주이고 알콜로는 글리세롤, 프로필렌글리콜, 솔비탄, 폴리글리세린 등이 사용된다. 단순가열에 의해서도 반응이 진행되지만, 보통은 각종 산화물, 산, 알칼리, 알콕시드 등의 촉매를 사용한다. 에스케르교환반응은 유지와 알콜(또는 지방산, 유지)의 반응으로 무촉매 또는 산촉매반응에서도 진행되지만 보통은 알칼리, 알콕시드(나트륨메톡시드)촉매를 사용하여 저온에서 반응시킨다. 또 유지는 가수분해에 의해서 글리세롤과 지방산으로 되는데, 공업적으로는 Twitchel 법(알킬벤젠술폰산촉매, 소규모공정), Batch식 autoclave 법(소석회, CaO, ZnO 촉매, 소규모공정), 고압연적분해법(무촉매, 대규모고온고압반응), 산소분해법(리파아제, 제한적용도의 상온상압반응)과 같은 방법이 있다.

7. 무기화학품제조용촉매

이 분야의 대표적인 촉매로는 암모니아합성용, 황산 및 질산제조용촉매가 있으며, 이들 촉매는 대체로 수명이 길어(보통 3~15년) 교환수요가 적은 편이다.

7.1. 황산제조용 촉매

SO₂ 轉化器의 초기 管狀轉化器는 생산량증가에 따라 4층단열2단급수방식으로 변화하고 있으며, 전화율도 99.8% 까지 향상하고 있다. 반응율속은 해리흡착한 산소와 SO₂의 표면반응이다. 촉매조성은 V₂O₅ 6~8%, K₂O/V₂O₅ mol 비 2.5~3.5, SO₃ 10~15%이고 나머지는 실리카겔 및 규조토 등의 담체이다. 촉매형상은 보통 직경 6mm의 펠리트가 사용되어 왔으나, 최근 촉매저항을 줄이기 위해 ring형(외경 10, 내경 4mm)이 사용되기 시작해 종래의 저항을 1/2로 줄임으로써 에너지절감에 큰 공헌을 하고 있다.

7.2. 암모니아합성용 촉매

촉매는 현재까지도 鐵系破碎型(3~20mm)이 400~500℃, 130~1000 기압에서 사용되고 있으며, 촉매조성은 Fe₃O₄ 93%, K₂O 0.5~1%, Al₂O₃ 2~3%, CaO 0.7~4%, SiO₂ 0.5%이다. 신촉매로서 Ru계가 주목되며, 활성탄-Ru-Ba(Rb) 및 알루미늄-Ru-K가 Brit Petro사에서 시험가동중이다.

7.3. 질산제조용 촉매

稀, 농질산제조에는 많은 방식이 있지만 어느 경우도 NH₃의 산화(감압)·흡수(가압) 과정을 거친다. 촉매는 백금계로서 백금증발방지를 위해 Rh 10%를 함유한 가제狀의 백금망을 중첩해 사용한다. 촉매의 개발은 백금사용량을 감소하는 방향으로 연구되고 있으며 현재 Pt-Rh

5%-Pd 5%가 저가격의 양호한 편이다. 증발 백금회수필터는 Ceramic, Au-Pd 흡착망, Pt-Au 흡착망 등이 있다.

7.4. 습식유황제조용 촉매

코크스불가스 등 H₂S 함유가스의 탈황액으로부터 S를 제조하는 습식Redox법에 대한 프로세스별 반응촉매가 있다. CO₂가 많은 천연가스, 석탄가스, 지열발전배가스의 처리에 있어서는 CO₂의 함유량이 Takahax법에서는 30%까지, Stretford법에서는 20%까지 S의 선택율에 영향을 미치지 않는다.

8. 공해방지용촉매

배연탈황·탈질 및 자동차배가스처리를 위한 공해방지용촉매는 최근 10여년간 최고의 성장을 기록해왔으며, 일본의 경우 현재 전공업촉매의 약 60%를 점하고 있다. 특히 최근 수년간 대기오염이 인체에 미치는 영향이 현저하고, 또 산성비등이 자연파괴에 심각한 영향을 미치는 등 큰 문제로 등장하자 각국에서는 대기오염에 대한 관심이 고조되고, 그 규제도 강화되고 있다.

8.1 .자동차배기가스정화용촉매

자동차보급의 증가와 함께 필연적으로 대기오염의 정도가 심화되어감에 따라 미국, 일본에서는 배가스규제가 실시되어 1975년부터 가솔린자동차에 대해 배가스 정화촉매(주로 CO, HC의 산화촉매)가 채용되었다. 그 후 CO, HC에 덧붙여 NO_x에도 엄격한 규제가 적용되어 이 3성분을 동시에 정화하는 삼원촉매방식(산화환원촉매)이 확립되어 현재는 거의 모든 승용차에 삼원촉매가 탑재되어 있다. 세계적으로도 이들 배가스의 규제실시지역이 증가하고, 규제수준도 강화되어가는 경향에 있어, 금후 이들 촉매수요는 계속 증가할 것으로 보인다. 이 삼원촉매시스템은 엔진을 이룬 空燃比(Air/Fuel ration=14.6)에서 제어해 CO, HC, NO_x를 정화하는 것으로 이 중에서도 NO_x의 정화능이 촉매개발의 포인트가 되고 있다. 자동차용촉매는 일반화학프로세스용촉매와는 달리 사용조건이 수시로 변하기 때문에 거기에 잘 작동할 수 있는 것이어야 한다. 즉 자동차는 아이들링, 가속, 정속, 감속을 반복하면서 주행하기 때문에 그때그때 상황에 따라 배가스의 온도, 조성, 유량이 변화한다.

촉매의 활성물질로서는 삼원촉매(Pb, Pt, Rh), 卑금속류(Na, Ca, Ti, Fe, Zr, Sn, Ba), 희토류, 페로브스카이트구조체 등이 있다. 이중 귀금속류는 주활성물질로서 필수원소로 되어 있지만(CO 산화능력이 우수한 Pb, 탄화수소의 흡착력이 우수한 Pt, NO_x의 흡착력이 우수한 Rh), 세계적으로 생산량이 극히 제한된 자원이므로 수년내 공급부족과 가격상승이 예견되고 있다. 특히 삼원촉매에서 불가결한 성분인 Rh은 Pt의 약 1/17 정도밖에 생산되고 있지 않아 이의 대책으로 Rh 사용량의 감소, 사용한 촉매의 귀금속회수, 귀금속 대체촉매의 개발이 강력히 요망되고 있으며, 현재 이러한 노력으로 Rh과 Pb의 사용비율이 10:1에서 5:1까지 저하되고 있다.

촉매담체로는 고결정알루미나, 코디어라이트 등이 사용되며, 촉매형상으로는 펠리트형과 하니컴형이 있다. 하니컴형은 가스의 흐름과 평행한 다수의 셀로 구성된 코디어라이트기재에 백금 등이 분산담지된 모노리스형촉매로서 펠리트형촉매에 비해 경량, 콤팩트하고, 압손실이 적어 현재는 하니컴형이 주류를 이루고 있다. 금후는 고성능촉매기재로서 금속제의 모노리스촉

매가 주목되고 있다.

한편 디젤자동차는 연비효율은 우수하지만 NO_x 정화 곤란 및 그을음발생 등의 문제로 가솔린자동차만큼 효율적인 배가스대책이나 규제기준이 마련되고 있지 않다. 현재 연구·검사되고 있는 것 중에서 촉매를 사용한 연소법이 가장 유력한 수단으로 생각되고 있다. 또 메탄올 연료자동차도 실용화되어 있긴 하지만, 배가스중 할데히드의 알취문제가 있어 이에 대해서도 CO, HC의 대책과 겸해 촉매정화법이 최적으로 알려져 있다.

8.2. 탈질촉매

화력발전소 등의 연소배가스에 대한 NO_x 대책은 암모니아를 환원제로 하는 건식 접촉촉매 환원법이 주류이고, 각종의 탈질촉매가 사용된다. 촉매로서는 V, W, Mo의 산화물 또는 그들 혼합물을 Ti계 화합물에 분산한 형태(예, TiO₂-V₂O₅)로 사용되며, 처리조건에 따라 다르지만, 일반적으로 반응온도는 300~400℃, SV는 2,000~10,000 hr⁻¹의 범위이다. 또 배가스중에 첨가하는 암모니아의 농도는 NO_x의 제거정도에 따라 결정되기 때문에 화력발전소의 경우 NH₃/NO_x 몰비를 0.3~0.8이 되도록 암모니아를 첨가해 30~80%의 NO_x제거하고 있다. 탈질촉매에 요구되는 성능으로서 탈질반응과 동시에 일어나는 SO₂의 산화를 가능한 적게 할 것, 배가스중 더스트에 의한 촉매의 마모를 적게 할 것 등이다.

8.3. 산업용배가스처리촉매

산업용배가스처리촉매는 기본적으로는 자동차용촉매와 같으며, CO, HC 등을 완전산화해 배가스를 무취, 무해화시킬 목적으로 사용된다. 사용되는 분야는 塗裝, 인쇄공장, 화학공장 등 넓은 분야에 걸쳐 있으며, 처리대상배가스의 양, 성상도 다양하다. 촉매성분은 자동차용촉매와 같이 귀금속류와 卑금속류로 대별되지만, Pb, Pt 등의 귀금속촉매쪽이 처리성능이 우수하기 때문에 배가스처리촉매의 주류를 점하고 있다. 촉매의 형상은 사용하는 담체에 따라 입상, 하니컴상 등이 있다.

8.4. 폐수처리와 촉매

폐수처리에는 현재 활성오니법이 일반적으로 사용되고 있으나 이 방법만으로는 처리불가능한 성분이 폐수중에 있으므로 활성탄을 병용하기도 하나 경제성에 문제가 있다. 요컨대 오수의 산화·환원에 의해 탈색, BOD저하 등 처리정도를 향상하고 설비·운반비를 저감하기 위해서는 촉매기술이 기대되는 분야이다.

8.5. 폐기물처리와 촉매

폐플라스틱의 처리기술중 분해처리법에 의한 재자원화에 촉매활용기술이 기대되고 있다. 미국에서 칼륨촉매를 사용하여 야채부스러기 등으로부터 액체유를 제조하듯이, 촉매를 사용함으로써 소각·매립외에는 적절한 처리법이 없던 폐기물로부터 경제성이 높은 자원을 회수할 가능성이 많다.

8.6. 악취방지와 촉매

악취제거에는 이미 각종의 방법이 시행되고 있지만, 그중에서도 촉매법은 악취물질의 산화분해에 의한 안전처리가 가능하며 또 제거효과도 확실하다. 촉매수명만 보장된다면 가장 효율적이고, 완전무독화방법으로 평가되고 있다.

8.7. 무공해프로세스의 개발과 촉매

장래에 있어 산업의 발전에는 환경문제의 해결이 전제되고 있고 공해방지기술의 확립과 아울러 근본적으로 무공해프로세스의 개발이 절실히 요망되고 있다. 이러한 노력의 예로, 종래 아세틸렌을 원료로 해서 수은염을 촉매로 한 아세트알데히드, 염화비닐, 초산비닐 등의 제조법을 배수중에 유해한 수은화합물을 배출해왔지만, 현재에는 독성이 거의 없는 금속 또는 그 화합물을 촉매로 해서 에틸렌을 원료로하는 방법으로 치환되었다. 또 비스머스·몰리브덴을 촉매로 한 아크릴로니트릴의 초기 제조법은 대량의 硫酸을 副生했지만 근년에 개량된 촉매에 의해서는 이것이 현저히 감소되었다.

요컨대 공해방지기술에는 물리적, 화학적, 생물학적 각종의 기술이 있고, 환경오염물질의 종류, 농도에 따라 단독 또는 복합적으로 사용되어 왔다. 여기에 촉매기술은 희박한 극미량의 환경오염물질까지도 완전히 또 신속히 무공해성분으로 분해 또는 반환할 수 있는 가능성을 갖고 있으며, 다른 공해방지기술과 일체가 되어 환경보전을 위해 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

부록IX: CATnap Process

국내 SK주식회사에서 일본의 SOFTARD IND Co., LTD로부터 도입한 기술로서 중질유탈황공정(VRDS 및 RHDS 공정)을 적용대상으로 하며, 중질유탈황공정의 shut-down(S/D) 기간 단축 및 작업안정성 확보, 폐수발생량 및 처리비용 최소화를 통한 환경오염 유발 가능성의 최소화, 폐촉매내 산화로 인한 악취 제거를 목적으로 한다

1. 기존 촉매하역 작업(Hydro-Drilling)상의 문제점

중질유탈황공정은 약 400℃의 높은 온도로 운전되어 Coke의 생성 및 이물질의 축적으로 반응기내에서 탄소가 서서히 결정화되어 굳어지게 되며, 중질유에 포함되어 있는 전이 금속성분(Ni, V, Mo 등)이 촉매내에 축적되어 자체재생이 불가능하므로 1년에 1회 교환해야 한다. 또한 폐촉매가 공기와 접촉하게 되면 촉매중의 유화물이 산화되어 H₂S를 발생시키며 악취가 발생된다.

따라서 공기와의 접촉을 방지하기 위해 N₂분위기에서 촉매하역 작업을 수행하여야 하며, 촉매하역 이후에도 지속적인 물분사를 실시하여 자연발화를 방지해야 한다.

1.1. 촉매하역 방법

반응기내의 고형화된 촉매를 자연발화 현상을 방지하면서 하역하기 위해 N₂ 분위기에서 고압수를 사용해 촉매를 분쇄하는 Hydro-drilling 공법을 사용중이다. Hydro-drilling 공법은 현재까지 알려진 중질유탈황공정의 촉매하역 방법 중 촉매하역 기간측면에서는 가장 빠른 방법 중의 하나로 알려져 있으나 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

- ① 공정 Shut-down시간이 과다 소요된다. 즉 물을 사용하므로 촉매하역작업이 어렵고 시간이 많이 소요되며 악취발생으로 공중에게 피해를 줄 소지가 있으며, 유분성분 제거의 어려움이 있다.
- ② 폐수(1회: 약 8000ton : CHEVRON 산정) 및 폐수처리비용이 과다 발생된다.
- ③ N₂ 분위기에서 작업해야 하므로 질식사고 위험이 있다.
- ④ 폐촉매처리가 곤란하다. 즉, 공기접촉시 자연발화를 방지하기 위해 지속적인 물분사를 실시하면서(약 4개월간) 점진적으로 산화시킨 후 폐기물처리업체에게 위탁처리해야 하므로 폐촉매 보관기간중 H₂S에 의한 악취가 발생된다.

2. CATnap Process도입의 필요성

중질유탈황공정(RHDS) 다음과 같이 S/D기간 단축 및 작업안정성 확보를 통해서 RHDS 경쟁력을 제고하게 해준다.

RHDS S/D Procedure중 촉매로부터 Light Hydrocarbon Liquid 제거 작업인 H₂ Hot Stripping이 용이하여 S/D 기간이 단축된다. 그리고 폐촉매에 CATnap피막을 형성시켜 자연발화를 방지하고 유해 Dust를 없앴은 물론 Air분위기에서의 작업이 가능하므로 작업안정성이 확보된다. 한편 폐수발생량 최소화를 통한 환경오염 유발 가능성을 최소화할 수 있고, 폐촉매 산화시 냄새를 없애므로써 냄새없는 공장을 추구할 수 있다.

3. CATnap Process의 특징

3.1. CATnap solvent (주성분: light hydrocarbon) 사용

공정 Shut-down 중에 diesel유분에 CATnap solvent를 주입(0.1%이하)하여 반응기내 Circulation 시켜 굳어진 heavy 유분(주로 asphalt 입)을 녹여내고 촉매에 피막을 형성시킴으로써 촉매의 고형화를 방지하고 촉매표면과 공기가 직접 접촉되지 않으므로 자연발화를 방지하여 Air분위기에서의 작업이 가능하다.

3.2. Vacuum공법 사용

CATnap solvent에 의해 피막이 형성된 촉매는 고압의 H₂가스로 Blowing하여 잔류유분을 제거함으로써 푸석푸석한 상태로 만들어지게 된다. 이때 촉매 표면에 묻어있는 유분은 대부분 제거되며 촉매공극에 일부 유분이 남게된다.

표면의 유분이 제거된 촉매는 자연발화가 일어나지 않아 Air 분위기 작업이 가능함에 따라 Vacuum Car를 이용하여 푸석푸석한 상태로 촉매를 하역함으로써 폐수발생이 전혀 없다.

3.3. 폐촉매 수송/처리 용이

CATnap solvent로 폐촉매의 공극에 있는 light hydrocarbon은 완전히 제거하고 asphalt 성분보다 더 무거운 carbon만 남아 있어 자연발화가 일어나지 않고 인화점이 약 450℃에 가까워 폐촉매 수송/처리가 용이하다.

3.4. 공정 Shut-down 기간 단축 촉매하역 작업기간

공정 S/D기간의 단축으로 총 정기보수기간은 약 1.5일 단축된다.

3.5. CATnap 도입상업화 사례

CATnap Process는 일본 정유공장의 약 80%가 사용하고 있고 상용화된 것이다.