

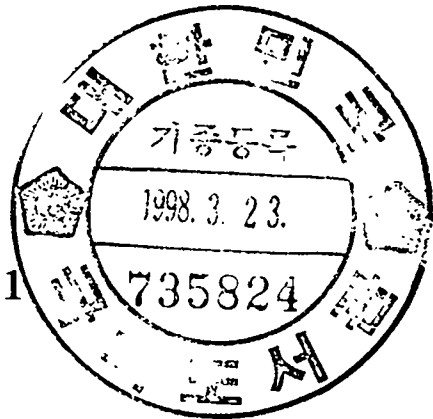
GOVP1199802959

628.44
L293L

최 중
연구보고서

농어촌지역 자원재활용형 쓰레기 매립 기술개발

A Development of Technologies on the Recyclable Type of Solid
Waste Landfills in Rural Areas



1997. 11

연구기관
농어촌진흥공사

농 립 부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농어촌지역 자원재활용형 쓰레기 매립기술 개발
과제의 최종보고서로 제출합니다.

1997년 11월

주관 연구기관명 : 농어촌진흥공사

총괄 연구책임자 : 전 무 갑

연 구 원 : 임 종 완

연 구 원 : 이 강 열

연 구 원 : 이 기 철

연 구 원 : 여 운 식

협동 연구기관명 : 안 양 대 학 교

협동 연구책임자 : 이 남 훈

연 구 원 : 이 채 영

요 약 문

I. 제 목

농어촌지역 자원재활용형 쓰레기매립 기술개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

최근 농촌의 도시형 쓰레기 배출의 급증, 분뇨 및 축산 폐수의 무단 방류, 농약 비료 및 각종 생활 세제의 과용 그리고 농공단지의 산업폐수방류 등은 쾌적한 농촌 생활환경을 위협하는 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 특히 농어촌지역 쓰레기 관리는 쓰레기발생이 넓은 지역에서 소량 및 산발적으로 발생하기 때문에 수집 및 처리에 많은 어려움이 있으며, 쓰레기의 처리에 대한 관심이 도시에 비해 상대적으로 저조하며, 대부분이 매립처분되고 있는 가운데 단순투기 또는 노천투기로 인한 악취, 토양오염, 지하수오염을 야기시켜 왔다.

한편 농어촌 쓰레기의 대부분을 처리하고 있는 매립지는 입지 특성상 매립지 관리 및 침출수 처리장의 운영을 위한 전문인력의 확보가 어렵고, 농어촌에서 발생하는 쓰레기의 질이 도시의 것과 본질적으로 차이가 나며, 주변 토지활용상황이 도시 지역과 다름에도 불구하고 도시형 쓰레기 매립지와 유사한 구조와 관리를 수행하고 있어 매립지 운영에 상당한 문제와 경제적 손실을 초래하고 있다.

본 연구에서는 우리 나라 농어촌지역에서 발생하는 쓰레기에 대해 21세기 자원순환형 사회에 부합되며, 농어촌지역 특성에 적합한 쓰레기매립 시스템으로 자원재활용형 쓰레기 매립공법을 개발하는데 그 목적이 있다. 자원재활용형 쓰레기매립 공법은 기존의 한 번 쓰고 버리는 1회용성 매립지에 대한 개념에서 항구적으로 사용되는 시설로 전환시켜 최근에 많은 어려움을 겪고 있는 매립지 부족난과 매립지

조성비용의 급상승 문제를 상당히 경감시켜줄 것으로 예상된다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 농어촌지역 특성에 맞는 쓰레기 매립지 공법 및 설계기술 개발을 최종목표로, 1차 년도에는 주로 매립지 운영실태 및 시공·운영상의 문제점을 도출하여 우리 나라 농어촌 실정에 맞는 매립시스템으로 “자원재활용형 쓰레기매립공법”을 제안하였다. 최종 년도인 금년에는 “자원재활용형 쓰레기 매립공법”의 운영과 설계를 위한 각종 인자들에 대해 중점적으로 실험 및 자료분석을 통해 검토하였다.

최종연도의 연구개발 내용 및 방법을 정리하면 다음과 같다.

- ① 농어촌 쓰레기 매립지 설계 및 관리 문제점 도출
- ② 자원재활용형 쓰레기매립 공법 개발
 - 자원재활용형 쓰레기 매립지 매립 시스템의 제안
 - 자원재활용형 쓰레기 매립지의 매립 및 조기안정화 방안
 - 자원재활용형 쓰레기 매립지의 굴착시 쓰레기 선별 및 감량화 방안
 - 자원재활용형 쓰레기 매립지의 부숙된 쓰레기의 활용방안
- ③ 자원재활용형 쓰레기 매립지 설계기법 개발

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

농어촌지역 특성에 맞는 쓰레기 매립공법인 자원재활용형 매립지의 운영 및 설계기술 개발에 있어서 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 농어촌지역 쓰레기 매립지의 설계 및 관리 실태를 파악하기 위해 4개 농어촌지

역 쓰레기 매립지를 방문하여 조사한 결과, 농어촌지역에서는 발생하는 쓰레기의 양이나 성상, 토지이용상황 등이 도시지역과 비교해 다름에도 불구하고 지금까지 도시지역의 쓰레기 매립지와 동일한 구조로 설계하고 관리를 하고 있어 매립지 운영에 상당한 문제점과 경제적 손실을 초래하고 있는 실정이다.

- 2) 농어촌지역 쓰레기매립기술로 제안된 자원재활용형 매립공법은 매립부지를 3개의 섹터로 구획하여 매립작업과 2~3년간의 안정화작업, 굴착·자원화 작업을 반복적으로 수행함으로써 매립지를 반영구적인 시설로 사용하는 것으로, 최근의 신규매립지 확보난, 주민 보상비 및 건설비 과다, 침출수 처리에 있어서 기술상의 어려움 등을 해소할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 자원재활용형 매립지를 중심으로 한 쓰레기관리 방안으로서 제안된 농어촌 쓰레기 광역처리 모델과 도시지역 인근 농어촌에서의 자원재활용형 매립지의 운영 모델은 농어촌지역에서 쓰레기처리의 효율성과 경제성을 도모할 수 있을 것이다.
- 4) 자원재활용형 쓰레기매립지로 부터 굴착한 쓰레기의 재활용방안과 감량화 방안 모색을 위하여 매립연한이 다른 매립쓰레기를 현장 굴착 실험을 실시한 결과 매립이 완료된 지 1년 정도만 경과하여도 생활쓰레기 중 가장 높은 조성비를 보이던 음식물이 대부분 토양 미생물에 의해 분해되어 가스화된 반면, 매립 복토제로 사용된 토사와 연탄재가 상대적으로 비율이 높았으며, 이러한 토사는 농어촌지역에서 퇴비나 매립지 복토재로서 활용할 수 있는 재질인 것으로 밝혀졌다.
- 5) 굴착쓰레기중 가연성 쓰레기는 상당히 높은 발열량을 보여 그 자체만으로 소각하기에 부적합하므로 가급적 생쓰레기와 혼합하여 소각하는 것이 바람직하다.
- 6) 자원재활용형 쓰레기매립지에서의 조기안정화 방안으로는 쓰레기층 내부에 공

기를 주입하는 호기성방법과 발생하는 침출수를 재순환시켜 안정화를 도모하는 2가지 방법을 병행하는 방법을 제안하였다.

- 7) 자원재활용형 매립지에서 호기성조건을 유지시키기 위해서는 쓰레기량 1m^3 에 분당 5ℓ 의 공기량을 보내는 것이 타당하다.
- 8) 침출수처리 방안으로는 매립지 상부에 덮개시설을 설치하여 침출수 발생량을 최소화시키고, 그리고 발생한 침출수는 인근 하수처리장으로 이송하여 합병처리 하거나 매립지로 재순환시키는 방안이 가장 바람직할 것으로 판단된다.

2. 연구개발결과의 활용

본 연구에서 개발된 “농어촌지역 자원재활용형 쓰레기매립공법”은 앞으로도 많은 기술적 검토를 요하나, 당면한 쓰레기매립 용지 부족난 해소는 물론 21세기 자원순환형 사회 실현을 위해 분명히 실용화되어야 할 것으로 판단된다.

이상 본 연구에서 개발된 내용은 다음과 같은 분야에 활용할 수 있을 것이다.

- 1) 농어촌지역 소규모 쓰레기 매립지 설계지침서 작성을 위한 기초자료로 활용
- 2) 현재 운영중인 농어촌 쓰레기 매립지에 유지 및 관리에 이용
- 3) 정주권 개발사업에 있어서 쓰레기 매립지 설계에 반영하여 쾌적한 농어촌환경조성에 활용할 계획임.

SUMMARY

The urbanization and industrialization for the economic growth in the country, in spite of the improvements of life, have resulted in various kinds of pollution problems on water, air, ecology, etc. On these environmental problems, the solid waste disposals have been one of the most serious problems to be solved in rural societies. The characteristics of solid wastes produced in rural areas are different from those of urban areas in qualities and volume. For examples, the wastes in rural areas have been produced in wide areas with small volume. The components of the wastes from rural and urban areas are also different. Nevertheless, the facilities of the landfills in both areas have been operated and maintained in similar way wasting goods and labors. These are on account of that the landfills on both areas have been designed with application of same design factors without consideration of the characteristics and the components of the wastes in those areas.

The purpose of the study is to develop a new recyclable type of solid waste landfill systems and technologies in rural areas. By applications of the systems, the life time of the systems can be extended. Accordingly, the number of landfill sites can be decreased with saving lands, costs and labors for operations and maintenances.

The conclusions of the study are as follows:

- 1). 4 landfills are sampled to study components and volume of wastes. The land usages are also surveyed in rural area. By comparisons of the analysis results with those of urban areas, the properties of wastes in both areas are different. The facilities and systems of landfills, however, have been designed,

operated and maintained in similar way wasting costs and labours.

2). The site is divided into 3 sectors in the new recyclable type of landfill system. The first sector is for stabilization process. The mining works on stabilized wastes are carried at the second sector. The separation works of soil from processed wastes are carried out in the third sector. These procedures take 2-3 years interval.

3). The areal wasting treatment model of the new system increases the treatment and economic effectiveness.

4). In the wastes, foods show the highest ratios. The food wastes, however, decomposed in 1 year leaving soil in the landfills. The qualities of soil left can be recycled for covers in the next cycle sector of landfills.

5). It is recommended to mix with unprocessed wastes before incinerating the wastes mined because the wastes mined show high calorification.

6). The recycling reacheates and aerotropic method are recommended to generate the stabilization of landfill wastes.

7). It is analyzed that the $5l/m^3/min$ is adequate as the air volume in the aerotropic method.

8). As the reacheate treatment system in the study, the installations of sheet cover on the landfills to minimize the volume, transportations to near sewage treatment facilities and recycling at the landfills are suggested.

The results of study are applied to draw up design manual, and for operation and maintenance of small size landfills. The results are also contribute to improve the environment of rural societies.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Section 1. Background	1
Section 2. Purpose	2
Section 3. Scope	3
Section 4. Effects and Applications	5
Chapter 2. Problems of Solid Waste Landfills in Rural Areas	6
Section 1. Status of Solid Waste Treatment and Management System	6
Section 2. Problems of Landfill Maintenance System	17
Section 3. Reviews on the Proper Treatment System	22
Chapter 3. Status of Treatment Technologies in Advanced Countries	26
Section 1. Japan	26
Section 2. U. S. A.	39
Section 3. Design Technologies	46
Chapter 4. Recyclable Type of Landfill System	54
Section 1. History of Landfill Function and Treatment Process	54
Section 2. Necessities of Recyclable Landfill System	62
Section 3. Systems of Recyclable Landfill	66
Section 4. Analysis of Physicochemical Properties on Landfill Wastes	73
Section 5. Leachate Treatment System on Recyclable Landfill	89
Chapter 5. Design and Operation Systems of Recyclable Type of Landfill	105
Section 1. Operation Systems	105
Section 2. Environment Protection Measures for Operations	122
Section 3. Major Design Factors for Recyclable Landfill System	134
Chapter 6. Conclusions	151
References	154
Appendix: Geologic Formations and Aquifers on the Sampled Landfills	157

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구배경	1
제2절 연구목적	2
제3절 연구내용	3
제4절 연구의 기대효과 및 활용방안	5
제2장 농어촌지역 쓰레기 매립지 관리상의 문제점	6
제1절 우리나라 쓰레기 관리 및 처리 현황	6
제2절 농어촌 쓰레기매립지 관리상의 문제점	17
제3절 농어촌쓰레기의 적정처리 방안에 관한 검토	22
제3장 선진국의 농어촌 쓰레기 관리 및 매립기술 분석	26
제1절 일본에서의 농어촌 쓰레기 관리사례	26
제2절 미국에서의 농어촌 쓰레기 관리사례	39
제3절 각국의 쓰레기 매립시설계 기술 현황	46
제4장 자원재활용형 쓰레기매립 공법의 개발	54
제1절 쓰레기 처리과정과 쓰레기 매립지의 역할 변천	54
제2절 자원재활용형 매립시스템 개발의 필요성	62
제3절 자원재활용형 쓰레기 매립공법의 제안	66
제4절 굴착쓰레기의 물리화학적 특성 분석	73
제5절 자원재활용형 매립지에서의 침출수 처리 대안	89
제5장 자원재활용형 매립지의 운전 및 설계기법 개발	105
제1절 자원재활용형 매립지의 운전 기법	105
제2절 자원재활용형 매립지 운영에 따른 환경대책	122
제3절 자원재활용형 매립지의 주요 설계요소	134
제6장 결 론	151
참 고 문 헌	154
부 록: 쓰레기매립장기초 및 지질구조, 대수층특성조사	157

표 목 차

<표 2-1> 도시규모별 청소관리 현황 (1995년)	8
<표 2-2> 사업장 일반쓰레기의 물리적 조성	10
<표 2-3> 매립지의 지역별, 면적별 분포	13
<표 2-4> 국내 매립지 침출수 처리 현황	15
<표 2-5> 농어촌 지역 쓰레기 관리체계상의 문제점	18
<표 2-6> 조사대상 지역의 현황 및 매립지 개요 (1995년 현재)	19
<표 2-7> 조사대상 매립지의 침출수 처리시설 현황	20
<표 3-1> 上勝町의 쓰레기 배출량 추계	31
<표 3-2> 소각시설의 가동현황	38
<표 4-1> 우리나라 쓰레기 처리처분상의 문제점	64
<표 4-2> 주요 금속자원의 가채연수(1991)	65
<표 4-3> 조사 대상 매립지의 개요	74
<표 4-4> 도시 생쓰레기의 물리적 조성	81
<표 4-5> 매립쓰레기의 물리적 조성분석 결과	81
<표 4-6> 굴착쓰레기의 삼성분 분석 결과	83
<표 4-7> 굴착쓰레기중 가연성쓰레기의 발열량 분석 결과	84
<표 4-8> 가연성 쓰레기의 원소분석 결과	84
<표 4-9> 농어촌 생활쓰레기의 계절별 평균 원소조성	85
<표 4-10> 선별토사의 용출시험 결과	86
<표 4-11> 선별토사의 중금속농도	87
<표 4-12> 플로리다주의 등급별 퇴비품질기준	88
<표 4-13> 쓰레기매립지 침출수 처리시설의 BOD, COD 및 SS 기준	89
<표 4-14> 침출수 처리시설의 암모니아성 질소 및 무기질소 기준	90
<표 4-15> 호기성 공정에 의한 침출수 처리 사례	96
<표 4-16> 혐기성 처리공정에 의한 침출수 처리 사례	98
<표 4-17> 국내 침출수 처리 문제점	101

<표 5-1> 매립지의 조기안정화 기술	106
<표 5-2> 파쇄기의 종류와 처리가능한 쓰레기	114
<표 5-3> 쓰레기의 발열량 범위 및 소각시설 발열량 설계치	115
<표 5-4> 고형화 기술 특성 비교	117
<표 5-5> 굴착작업시의 안전성 목표(일본)	123
<표 5-6> 굴착시 적용가능한 악취제거 방법의 특징	127
<표 5-7> 유해물질을 함유한 악취의 처리법 비교	128
<표 5-8> 농어촌 생활쓰레기의 원소분석결과	136
<표 5-9> 매립지에서의 침출수 발생 최소화 방안	141
<표 5-10> 침출수 처리방식의 적용성	143

그림 목차

<그림 1-1> 연구범위 및 내용	3
<그림 2-1> 총인구, 1인당 GNP, 생활쓰레기 총발생량, 1인1일당 발생량의 추이	7
<그림 2-2> 도시규모별 생활쓰레기의 물리적 조성	9
<그림 2-3> 도시규모별 생활쓰레기의 처리방법	11
<그림 2-4> 도시규모별 사업장 일반쓰레기의 처리방법	11
<그림 2-5> 매립지의 침출수 발생량 분포	14
<그림 2-6> 국내 매립지 침출수 처리 현황	14
<그림 2-7> 차수시설 설치 현황	16
<그림 2-8> 차수재의 재질별 설치 현황	17
<그림 2-9> 쓰레기 처리비용 비교	22
<그림 2-10> 농촌 쓰레기 분리수거 체계	23
<그림 2-11> 유기성쓰레기의 통합 자원화 시스템의 모식도	23
<그림 2-12> 도시와 농어촌 지역간의 폐기물 통합 자원화 시스템의 모식도	25
<그림 3-1> 일본의 쓰레기배출량의 추이	26
<그림 3-2> 쓰레기매립지의 잔여용량과 잔여년수의 추이	27
<그림 3-3> 일본에서의 쓰레기 순환형 사회기반 시설정비 개념도	29
<그림 3-4> 上勝町에 있어서 물류흐름 모식도	32
<그림 3-5> 上勝町의 리사이클 시스템	34
<그림 3-6> 細江町의 위치	36
<그림 3-7> 細江町의 쓰레기처리 프로세스	37
<그림 4-1> 쓰레기 처리과정의 변천	55
<그림 4-2> 쓰레기 매립지의 기능과 조건	56
<그림 4-3> 쓰레기 매립지에서의 오염물질 분해 메카니즘	57
<그림 4-4> 한국형 폐기물 Biofill system의 개념도	59
<그림 4-5> EQUIFILL 매립 개념의 모식도	61

<그림 4-6> 시계열적 쓰레기매립지의 관리항목	64
<그림 4-7> 자원재활용형 매립공법	67
<그림 4-8> 자원재활용형 매립지의 모식도	67
<그림 4-9> 자원 재활용형 매립시스템의 Flow sheet	69
<그림 4-10> 자원재활용형 매립지를 중심으로한 처리시설 모식도	69
<그림 4-11> 농어촌 쓰레기 광역처리 모델	71
<그림 4-12> 도시지역 인근 농어촌에서의 자원재활용형 매립지의 운영방안	72
<그림 4-13> 굴착쓰레기의 물리화학적 분석 방법	80
<그림 4-14> 매립연한에 따른 쓰레기의 성분변화	82
<그림 4-15> 매립연령별 선별토사의 중금속 함유량	87
<그림 4-16> 매립지 침출수 처리 방법	91
<그림 4-17> 김포 수도권 매립지 침출수 처리 시설	92
<그림 5-1> 자원재활용형 매립지에서의 조기안정화 방법	106
<그림 5-2> 각 처리방법별 분해율의 경시변화	107
<그림 5-3> 매립지의 굴착·자원화 프로세스	108
<그림 5-4> 불연물 및 조대쓰레기 중심 매립지에서의 선별·자원화 방안	111
<그림 5-5> 플라스틱류 중심 매립지에서의 선별·자원화 방안	111
<그림 5-6> 선별기 조합 흐름도	113
<그림 5-7> 고속회형 회전식 충격전단 파쇄기	115
<그림 5-8> 약액세정식 탈취법	128
<그림 5-9> 흡착탈취법	129
<그림 5-10> 직접연소식 탈취법	130
<그림 5-11> 접촉연소식 탈취법	130
<그림 5-12> 미생물탈취법	131
<그림 5-13> 자원재활용형 쓰레기매립지에서의 매립 및 굴착시 작업환경대책	132
<그림 5-14> 자원재활용형 쓰레기매립지의 시설구성	135
<그림 5-15> 자원재활용형 쓰레기매립지에서의 송풍방법	139
<그림 5-16> 종래의 쓰레기매립지 우수배제 개념도	140

<그림 5-17> 일반적인 침출수 처리 프로세스	143
<그림 5-18> 차수공의 종류	146
<그림 5-19> 차수공법의 분류	147
<그림 5-20> 발생가스처리 시설의 구성	149
<그림 5-21> 발생가스처리 시설의 분류	149

사진 목차

<사진 2-1> 하절기 우수배제를 실시한 안성군 매립지 전경	20
<사진 2-2> 우수배제를 위해 하절기 매립작업 공간을 최소화시킨 장면	21
<사진 4-1> 매립쓰레기 굴착 장면	75
<사진 4-2> 굴착된 매립 쓰레기	75
<사진 4-3> 김포 매립지 침출수 처리시설	93
<사진 4-4> 대전 금고동 매립지 침출수 처리 시설	93
<사진 5-1> 매립쓰레기 굴착장면 (미국 Florida주 Naples 매립지)	110
<사진 5-2> 굴착쓰레기 선별장면 (미국 Pennsylvania주 Frey Farm 매립지) ..	110
<사진 5-3> 매립지 선별토사를 활용한 매립지 복토 장면	121
<사진 5-4> 페타이어를 매립지 차수시트 보호재로 활용한 사례	121

제1장 서론

제1절 연구배경

인간활동은 지구환경에서 광물, 석유, 목재 등의 자원을 이용하여 페가스, 폐수, 쓰레기 등의 부하를 주고 있다. 그러나, 자원이 고갈되고, 과도한 부하에 의한 지구환경의 재생산 시스템이 붕괴되면 생물, 인류가 생존한다는 것이 불가능하다. 인류가 존속하기 위해서는 자원의 소비를 억제하고, 환경부하를 작게 하는 생활방식이나 기업활동, 사회경제 시스템을 새롭게 형성하지 않으면 안된다.

쓰레기문제도 지역환경보전의 관점에서 지구환경보전의 시점으로 그 시책의 필요성이 인식되고 있다. 대량생산, 대량소비, 대량폐기라고 하는 사회경제 시스템에 따라 인간활동은 환경의 파괴나 자원고갈의 위기를 가져오고, 환경·자원의 양쪽 모두를 보전하기 위한 리사이클의 역할에 대한 기대가 크다. 쓰레기문제는 지금까지 주로 도시만의 문제로 인식하여 왔으며 농어촌지역에서의 쓰레기관리는 많은 관심을 끌지는 못하였다. 그러나 농어촌지역 주민들의 경제적 수준과 환경에 대한 의식수준이 최근에 와서 많이 향상되었을 뿐 아니라 지방자치제도의 실시에 따른 지역 이기주의 팽배로 인해 쓰레기처리 문제는 이제 농어촌지역에서도 심각한 문제로 부각되고 있다.

농어촌쓰레기에 대한 관리는 쓰레기발생이 넓은 지역에서 소량 및 산발적으로 발생하기 때문에 수집 및 처리에 많은 어려움이 있으며, 쓰레기의 처리에 대한 관심이 도시에 비해 상대적으로 저조하며, 대부분이 매립처분되고 있는 가운데 단순투기 또는 노천투기로 인한 악취, 토양오염, 지하수오염을 야기시켜 왔다.

특히 농어촌 쓰레기의 대부분을 처리하고 있는 매립지는 입지 특성상 매립지 관리 및 침출수 처리장의 운영을 위한 전문인력의 확보가 어렵고, 농어촌에서 발생하

는 쓰레기의 질이 도시의 것과 본질적으로 차이가 나며, 주변 토지활용상황이 도시 지역과 다름에도 불구하고 도시형 쓰레기 매립지와 유사한 구조와 관리를 수행하고 있어 매립지 운영에 상당한 문제와 경제적 손실을 초래하고 있다.

제2절 연구목적

최근 농촌의 도시형 쓰레기 배출의 급증, 분뇨 및 축산 폐수의 무단 방류, 농약 비료 및 각종 생활 폐기의 과용 그리고 농공단지의 산업폐수방류 등은 질적, 양적으로 쾌적한 농촌생활환경을 위협하는 심각한 환경문제로 대두되고 있다.

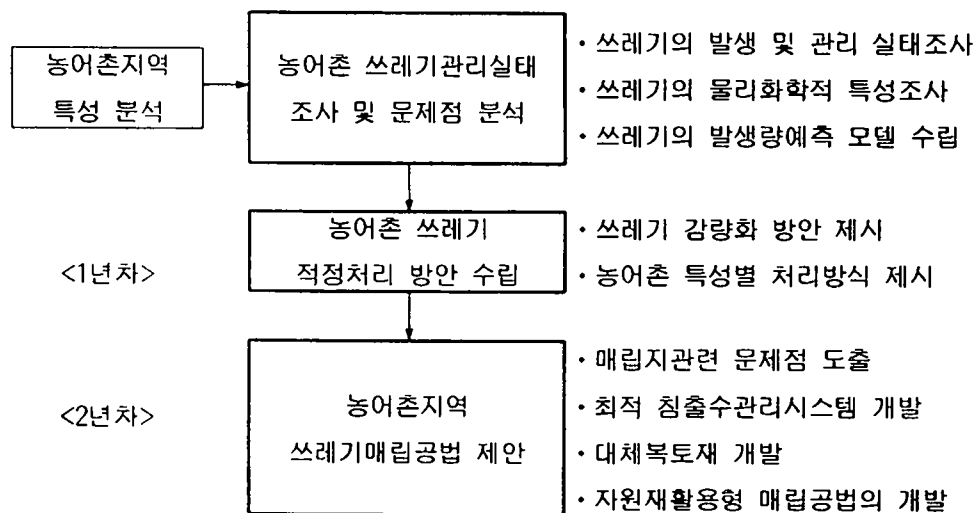
한편 최근에 지구환경과 사회환경이 크게 변화하여 다가오는 2030년에는 지구인구가 85억에 달하고 지구환경의 악화와 동시에 지구에 매장되어 있는 석유, 석탄을 비롯한 에너지 자원 및 금속자원의 고갈이 심각한 문제로 대두될 전망이다. 특히 우리 나라는 자원 수입국으로서 2000년에는 그 사용량이 더욱 증가할 것으로 예상된다. 고도기술산업에 필수적인 이러한 자원의 부족은 국가의 사활이 달린 문제라 할 수 있다. 현재 대량으로 수입되고 있는 이들 자원은 각지에 분산되어 무계획적으로 폐기되고 있는데, 이를 적극적으로 회수·저장하는 것은 다음 세대를 위해서도 중요한 과제라 할 수 있다.

쓰레기의 발생량이 매년 증가하고 있는 가운데 대도시는 물론 농어촌지역에 까지 매립처분에 따른 침출수에 의한 지하수오염 등의 환경오염이 문제시되고 있으며, 쓰레기매립지의 용지확보가 곤란하게 되고 있어 커다란 사회문제가 되고 있다. 그러한 가운데 쓰레기의 매립처분에 있어서 환경보전이 가능하고 매립 처분된 쓰레기가 장래 자원으로서 리사이클 될 수 있는 시스템으로의 전환이 요구되고 있다.

본 연구에서는 우리 나라 농어촌지역에서 발생하는 쓰레기에 대해 21세기 자원순환형 사회실현에 부합되며 농어촌지역 특성에 적합한 쓰레기매립 시스템을 개발하는데 그 목적이 있다.

제3절 연구내용

본 연구는 <그림 1-1>에서 보는 바와 같이 농어촌지역 특성에 맞는 쓰레기 매립지 공법 및 설계기술 개발을 최종목표로 하고 있다. 1차 년도에는 주로 농어촌지역의 쓰레기 발생 특성 및 관리상의 문제점을 분석하였으며, 아울러 매립지 운영실태 및 시공·운영상의 문제점을 도출하여 우리 나라 농어촌 실정에 맞는 매립시스템을 제안하였다. 최종 년도인 금년에는 “자원재활용형 쓰레기 매립지”의 운영과 설계를 위한 각종 인자들에 대해 중점적으로 실험 및 자료분석을 통해 검토하였다.



<그림 1-1> 연구범위 및 내용

최종연도의 연구개발 내용 및 방법을 정리하면 다음과 같다.

① 농어촌 쓰레기 매립지 설계 및 관리 문제점 도출

오늘날 농어촌지역에서 안고 있는 환경문제 중 쓰레기 관리상의 문제점에 대

해 통계자료를 이용하여 정량적으로 분석하였다. 또한 기존의 농어촌 쓰레기 매립지 설계자료를 수집하여 농어촌 매립지에 대한 문제점을 도출하였다. 아울러 선진 농어촌지역의 쓰레기관리 시스템에 대한 자료를 분석하여 21세기 우리나라의 농어촌이 나아가야 할 쓰레기의 관리 시스템을 제시하였다.

② 자원재활용형 쓰레기매립 공법 개발

본 연구는 우리나라의 21세기 농어촌 쓰레기관리 시스템에 있어서 쓰레기 매립지의 역할론을 분명히 하고, 지속 가능한 농어촌 쓰레기매립공법을 제시하고자 한다. 쓰레기 매립공법에서 다룰 주요 내용은 다음과 같다.

- 자원재활용형 쓰레기 매립지 매립 시스템의 제안
- 자원재활용형 쓰레기 매립지의 매립 및 조기안정화 방안
- 자원재활용형 쓰레기 매립지의 굴착시 쓰레기 선별 및 감량화 방안
- 자원재활용형 쓰레기 매립지의 부속된 쓰레기의 활용방안

이상은 우리나라의 농어촌 쓰레기매립공법으로 제안될 자원재활용형 쓰레기 매립지의 효율적인 운영을 위한 핵심내용으로 실험적으로 평가하거나 기간을 상당히 요해 실험이 불가능한 내용은 국내·외 문헌을 수집하여 문헌적으로 검토하였다.

③ 자원재활용형 쓰레기 매립지 설계기법 개발

본 연구는 이상에서 제시된 자원재활용형 쓰레기 매립지의 실제 적용에 필요한 설계구조 지침을 마련하기 위한 기초 연구로, 주로 자원재활용형 매립지에서 요구되는 매립구조(복토설비, 차수설비, 침출수 관리시설 등)에 대해 설계자료를 제시하였다.

제4절 연구의 기대효과 및 활용방안

1. 기대효과

본 연구는 농어촌지역 특성에 맞는 쓰레기 매립공법인 자원재활용형 매립지의 운영 및 설계기술 개발을 함으로써 다음과 같은 기대효과가 예상된다.

가. 기술적인 측면

- 농어촌 쓰레기 매립지 운영 및 유지관리 개선이 가능함.
- 쓰레기매립지 소요부지 저감 및 침출수 처리상의 기술적인 문제 해결
- 국내 기후 및 쓰레기 성상에 맞는 쓰레기매립 기술 확립

나. 경제적인 측면

- 부속토사를 재활용함으로써 자연복토재 구득난 해소
- 농어촌 쓰레기 매립지 건설비 및 운영비 저감
- 농어촌 쓰레기의 효율적인 처리로 처리비용 저감.

다. 사회적인 측면

- 개발도상국의 농어촌 쓰레기 처리에 기술지원 가능
- 매립지 확보난 및 지역주민의 민원문제 해소
- 농어촌 지역의 환경질 개선

2. 활용방안

- 농어촌지역 소규모 쓰레기 매립지 설계지침서 작성을 위한 기초자료로 활용
- 현재 운영중인 농어촌 쓰레기 매립지에 유지 및 관리에 이용
- 정주권 개발사업에 있어서 쓰레기 매립지 설계에 반영하여 쾌적한 농어촌환경조성에 활용할 계획임.

제2장 농어촌지역 쓰레기 매립지 관리상의 문제점

제1절 우리나라 쓰레기 관리 및 처리 현황

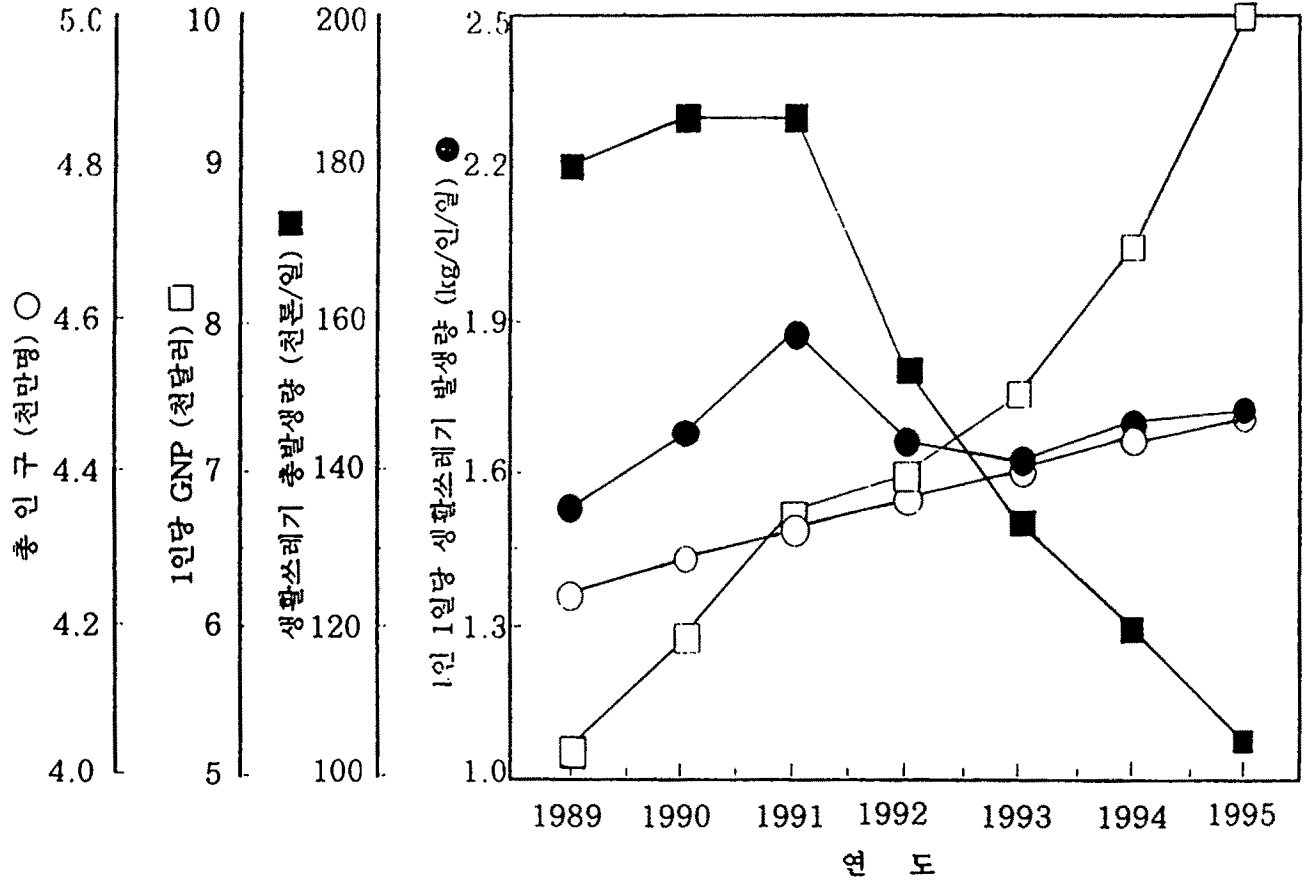
1. 쓰레기 발생특성

<그림 2-1>은 우리 나라 총인구와 국민 1인당 GNP, 생활쓰레기 총발생량, 1인1일당 발생량의 추이를 보여주고 있는데, 총인구는 1995년 현재 44,851천명으로서, 1988년부터 1995년까지의 평균 인구증가율은 약 1.0%, 1인당 GNP성장율은 약 28%이었다. 반면에 쓰레기 총발생량은 1991년도까지는 인구증가율을 훨씬 상회하는 연간 평균 약 8.0%의 증가를 보인 반면, 1992년 이후부터는 조금씩 감소하고 있는데, 이것은 배출원으로 부터의 감량화와 더불어 쓰레기 분리수거 확대, 재활용을 증대 등에 기인한 것으로 판단할 수 있으며, 특히 주방쓰레기 및 연탄재의 발생량 감소가 큰 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

그러나 산업활동의 증가에 따라 사업장쓰레기가 계속 증가하고 또한 건설폐기물의 양이 급증함에 따라 1994년도부터 다시 서서히 늘고 있는 경향에 있다. 한편 1인1일당 생활쓰레기의 발생량은 매년 감소하는 추세를 보이며 1995년도에는 1.07kg/일로, 1994년도에 비해 하루에 0.23kg이 감소하였다.

한편 우리 나라의 생활쓰레기 관리구역은 연차적으로 확대되어 총인구에 대한 청소관리 대상 인구비는 1983년 65.3%이었던 것이 1995년에는 <표 2-1>과 같이 96.98%로 증가하였다. 도시규모별로 보면 서울시는 전체 인구가 청소관리 대상으로, 부산, 대구 등의 5개 광역시의 경우는 99.36%, 시급도시는 96.67%, 군급도시(농어촌지역)는 89.23%로 농어촌지역으로 갈수록 청소행정 수준이 저하되는 것으로 나타났다.

1인 1일당 쓰레기 발생량을 도시규모별로 살펴보면 대도시일수록 소득수준이 높



<그림 2-1> 총인구, 1인당 GNP, 생활쓰레기 총발생량, 1인1일당 발생량의 추이

고 생활문화의 다양함과 복잡함으로 인해 발생량이 많으며, 군급도시에서는 1995년에 1일 1인당 0.88kg으로 서울시민 배출량의 약 2/3 수준에 지나지 않았다.

<표 2-1> 도시규모별 청소관리 현황 (1995년)

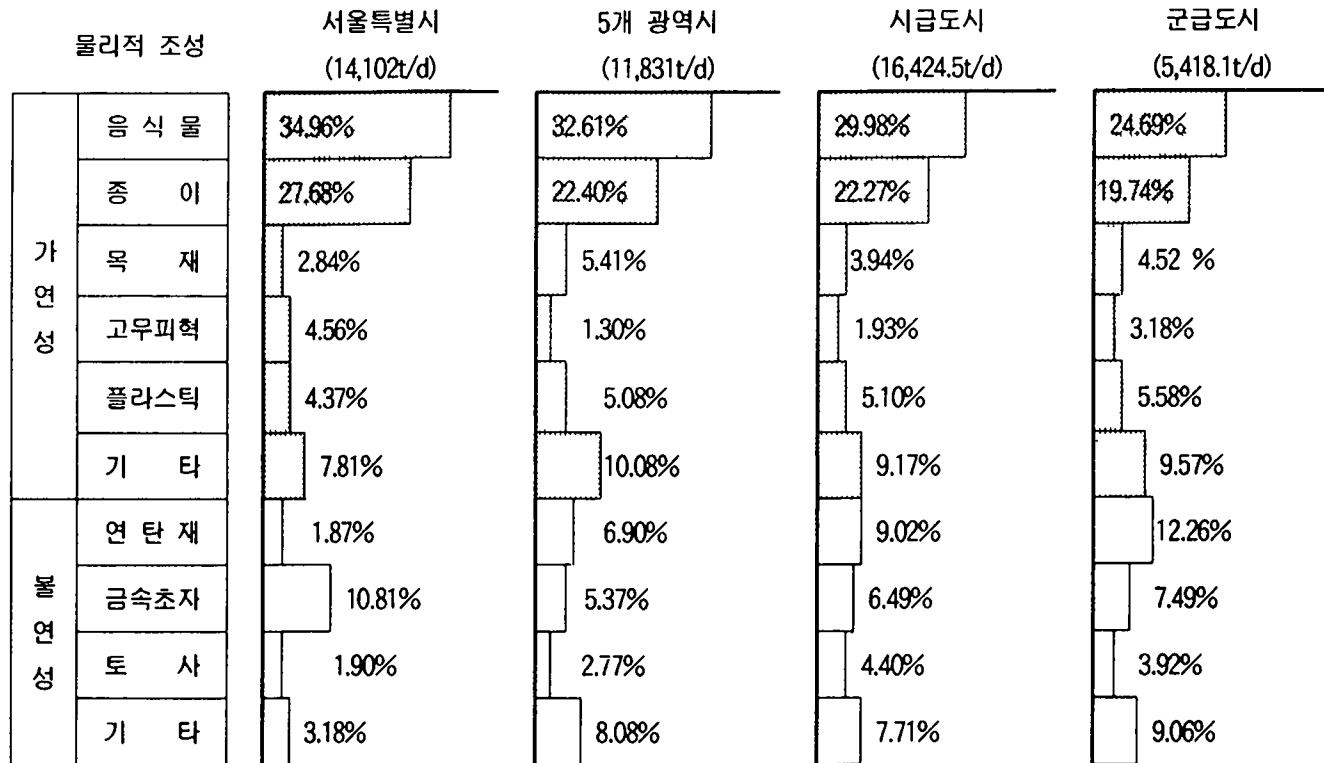
	면적 (km ²)		인구 (명)		청소관리 대상인구율 (%)	1인1일당 쓰레기발생량 (t/d,인)
	전체 행정구역	생활쓰레기 관리구역	전체인구	관리구역내 거주민구		
전 체	99,408.24	69,556.82	45,978,231	44,590,600	96.98	1.07
서울특별시	605.75	605.75	10,595,943	10,595,943	100.0	1.33
5개 광역시	3,629.34	2,581.22	11,299,478	11,226,686	99.36	1.05
시급 도시	32,741.48	22,113.38	17,179,681	16,607,133	96.67	0.99
군급 도시	62,431.67	44,256.47	6,904,169	6,160,838	89.23	0.88

2. 쓰레기의 물리적 조성 특성

생활쓰레기의 조성별로 살펴보면 <그림 2-2>와 같이 도시규모가 클수록 음식류나 종이류 같은 가연성 쓰레기가 많이 차지하고 있는데, 서울특별시에서는 전체의 82.23%, 광역시에서는 76.88%, 시급 도시에서는 72.22%, 군급 도시에서는 67.26%를 차지하고 있다.

특히 가연성 쓰레기중 음식물류나 종이류는 도시규모가 클수록 조성비율이 높은 것으로 나타났는데 서울시의 경우에는 음식물류가 34.96%, 종이류가 27.68%로 전체의 절반을 넘게 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 한편 농어촌지역에서는 음식쓰레기의 퇴비화나 가축의 사료로 사용되는 경우가 많기 때문에 음식물 쓰레기의 발생량이 적은 것으로 추정된다.

1980년대 우리나라의 대표적인 쓰레기였던 연탄재는 거의 10%로 미만으로 줄었



<그림 2-2> 도시규모별 생활쓰레기의 물리적 조성

으며, 특히 도시규모가 클수록 적게 발생하고 있는데, 이는 우리 나라의 연료 전환 정책이 큰 실효를 거두고 있는 것으로 판단된다. 사업장 일반쓰레기의 경우에는 <표 2-2>에서 보는 바와 같이 우리나라 전체에서 75%가량은 불연성이며, 광재류가 39%로 높은 비중을 차지하고 있다.

군급도시의 사업장 일반쓰레기의 조성을 보면 가연성 쓰레기는 62.41%로 가연성이 많았으며, 특히 폐합성수지류가 많이 차지하고 있는 것으로 나타났다.

도시규모별로 보면 전체 사업장 일반쓰레기중 약 70%는 시급도시에서 많이 발생하는 것으로 나타났는데, 이는 최근 많은 산업시설들이 대도시에서 외곽이나 소도시로 이전한 영향이라 판단된다.

<표 2-2> 사업장 일반쓰레기의 물리적 조성

	총계 (t/d)	가연성(%)					불연성(%)					
		종이류	목재류	합성수지	오니류	동식물성 잔재물	광재류	연소재 분진류	금속, 초자류	건축폐 재류	모래 류	폐석회 폐석고
전 국	95,648.4	2.80	1.30	6.00	2.40	12.00	39.3	11.2	13.2	3.2	1.8	6.8
서울 특별시	9,233.8	-	-	0.80	19.17	0.02	-	0.01	80.80	-	-	-
5개 광역시	9,397.7	7.84	2.64	13.62	7.10	4.57	12.69	3.21	3.32	27.16	7.63	0.22
시급 도시	66,680.2	1.52	1.22	2.83	9.17	1.98	53.71	12.32	3.45	3.06	1.24	9.63
군급 도시	10,336.7	8.76	1.21	29.83	16.59	6.02	6.26	22.03	3.76	3.89	0.72	0.94

3. 쓰레기 처리실태

우리 나라의 생활쓰레기의 72.3%는 <그림 2-3>과 같이 매립처분에 의존하고 있으며, 재활용율은 23.7%, 그리고 소각처리는 4.0%에 지나지 않는 것으로 조사되었

전 체	매립(72.3%)	재활용(23.7%)	소각(4.0%)
(47771.6t/d)			
특 별 시	매립(70.15%)	재활용(29.34%)	소각(0.51%)
(14,102t/d)			
광 역 시	매립(76.17%)	재활용(20.85%)	소각(2.98%)
(11,827t/d)			
시급도시	매립(72.58%)	재활용(21.07%)	소각(6.35%)
(16,424.5t/d)			
군급도시	매립(68.59%)	재활용(22.85%)	소각(8.56%)
(5,418.1t/d)			

<그림 2-3> 도시규모별 생활쓰레기의 처리방법

전 체	매립(32.6%)	재활용(61.5%)	소각(5.9%)
(95,648.4t/d)			
특 별 시	매립(100.0%)		
(9,233.8t/d)			
광 역 시	매립(55.91%)	재활용(35.96%)	소각(8.13%)
(9,397.7t/d)			
시급도시	매립(21.49%)	재활용(72.84%)	소각(5.67%)
(66,680.2t/d)			
군급도시	매립(22.39%)	재활용(67.13%)	소각(10.56%)
(10,336.7t/d)			

<그림 2-4> 도시규모별 사업장 일반쓰레기의 처리방법

다. 도시규모별로 보면 대도시일 수록 매립처분에 의존하는 비중이 크며, 군급도시로 갈수록 소각에 의존하는 비율이 높은 것으로 나타났다.

한편 사업장 일반쓰레기의 경우에는 <그림 2-4>와 같이 32.6%를 매립처분에 의존하고 있으며, 재활용되는 비율은 61.5%로 생활쓰레기보다 재활용율이 높은 것으로 조사되었다. 이를 도시규모별로 살펴보면 서울시에서는 전량을 매립에 의존하고 있으며, 광역시는 55.91%, 시급이하의 약 20%정도를 매립처분하는 것으로 조사되었다. 재활용율은 광역도시가 35.96%, 시급도시가 72.84%, 군급도시가 67.13%인 것으로 나타났다.

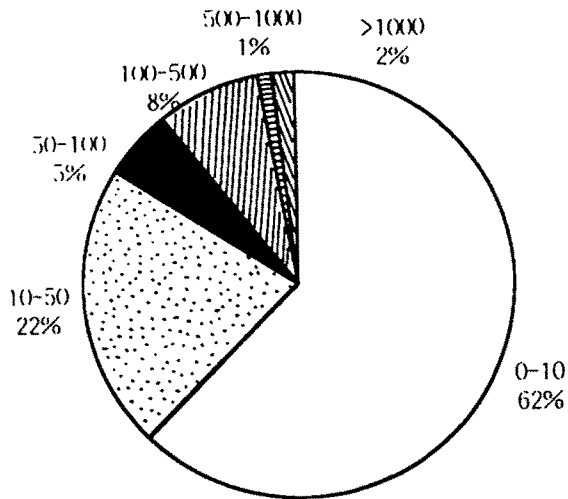
1997년 현재 국내 사용중인 매립지는 <표 2-3>에서 보는 바와 같이 496개에 달하며, 서울특별시, 부산, 대구, 인천, 광주 및 대전광역시가 차지하는 비율은 9개소로 약 1.8% 해당된다. 그러나 이들 매립지용량은 국내 매립지 전체 용량인 190,088천 m^3 중 115470.3천 m^3 으로 60.7%를 차지하고 있다. 즉 국내 매립지의 경우 특별시 및 광역시에 산재한 매립지는 대규모 광역매립지이나 대부분 지역에 산재한 매립지의 경우 매립년한이 짧은 소규모 매립지가 대부분이다. 특히 소규모 매립지로 구분할 수 있는 매립용량 10,000 m^3 미만의 매립지가 차지하는 비율은 전체 매립지 중 34.7%를 차지하여 매립지 관리상 많은 문제점이 있는 실정이다. 즉 매립년한이 광역 매립지에 비해 상대적으로 짧을 뿐만 아니라 발생되는 침출수, 가스, 비산먼지 및 악취 등의 2차 오염문제를 해결하기가 경제적으로 매우 어렵다.

<그림 2-5>는 국내 매립지의 침출수 발생량 분포를 제시하고 있다. 침출수 발생량은 0~12 m^3/d 가 62%로 제일 많은 것으로 조사되었으며, 10이상 50 m^3/d 미만이 22%로 나타났다. 즉 국내 매립지의 경우 소규모 매립지가 광범위하게 산재되어 있으며, 이들 침출수로 인한 인근 환경오염을 방지하기 위해 자체 처리시설을 설치하는 것은 매우 비경제적인 것으로 나타나고 있다. 침출수는 일반적으로 매립년한에 따라 농도분포의 변화가 크며, 이로 인한 환경오염을 예방하기 위해서는 물리화학적 처리와 생물학적 처리 공정이 동시에 필요한 실정이다. 뿐만 아니라 최근에는

<표 2-3> 매립지의 지역별, 면적별 분포

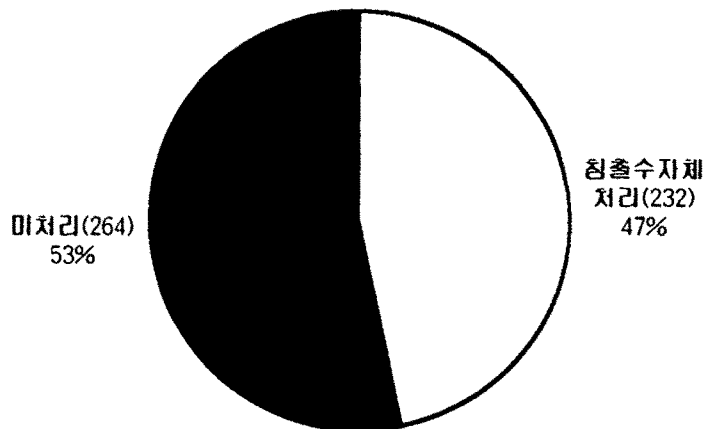
	계	1,000m ³ 미만	1,000- 5,000m ³ 미만	5,000- 10,000m ³ 미만	10,000- 20,000m ³ 미만	20,000- 50,000m ³ 미만	50,000m ³ 이상
서울특별시	0						
부산광역시	1						1
대구광역시	1						1
인천광역시	5			2	1	1	1
광주광역시	1						1
대전광역시	1						1
경기도	14			1	1	1	11
강원도	61	1	4	6	13	23	14
충청북도	31		1	4	7	6	13
충청남도	90	1	20	20	18	14	17
경상북도	127	2	20	23	27	25	30
경상남도	34		1	3	6	8	16
전라북도	27			3	5	7	12
전라남도	91	1	39	17	15	7	12
제주도	12			3	2	5	2
계	496	5	85	82	95	97	132

개정된 「폐기물관리법」에서는 질소류에 대한 규제와 더불어 2001년 7월 이후에는 색도에 대한 규제가 아울러 추가됨으로 이들 법규를 준수하기 위해서는 고정비와 운전비의 과다하게 소요가 예상된다. 그러므로 보다 경제적이고 환경에 대한 이차오염을 예방하기 위해서는 발생하는 침출수의 매립지로의 재순환을 통해 초기 고농도의 유기물을 안정화시키거나 또는 인근 하수처리장에 합병처리하는 방안이 가장 효과적인 것으로 판단된다.



<그림 2-5> 매립지의 침출수 발생량 분포

<그림 2-6>은 국내 매립지 침출수 처리 현황을 제시하고 있으며, 전체 매립지의 54%가 아무런 처리없이 인근 수계나 토양으로 배출되고 있어 환경에 대한 이차오염이 매우 심각한 실정이다.



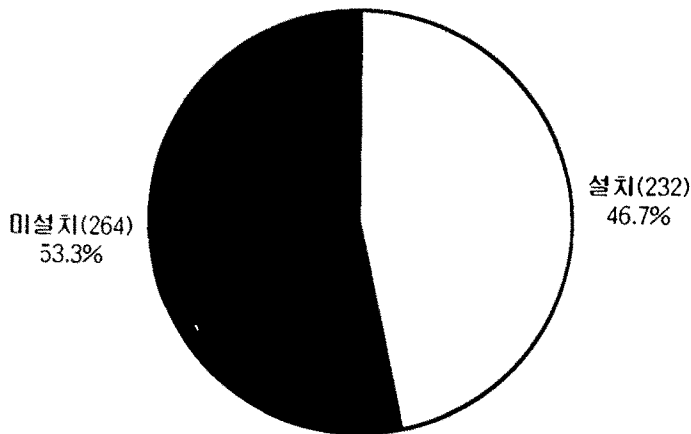
<그림 2-6> 국내 매립지 침출수 처리 현황

<표 2-4> 국내 매립지 침출수 처리 현황

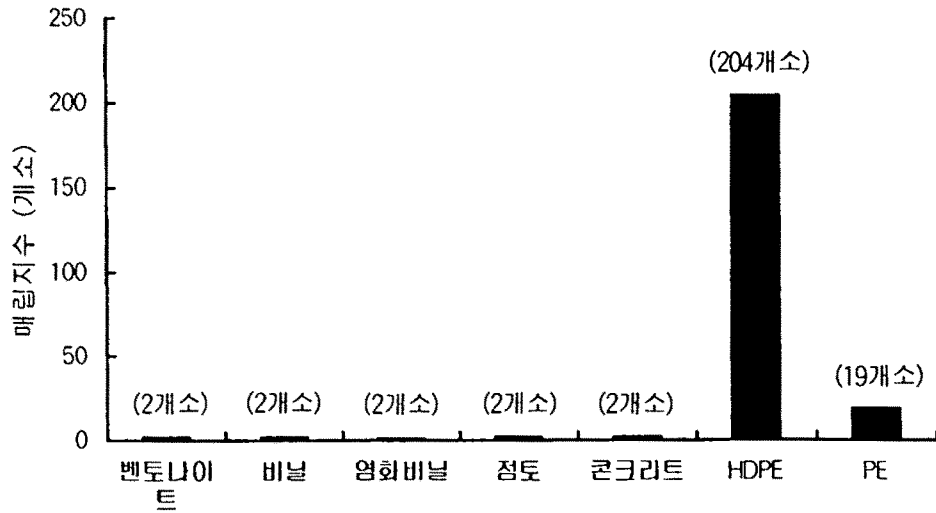
처리방법	매립지 수	비 고
집 수 시 설	13	유공관식 집수 1개소 포함
1 차 처 리	5	
2 차 처 리	3	
3 차 처 리	3	
가 압 부 상	1	
간 이 처 리	18	간이정화 3개소 포함
매립지 재살포	49	1차처리+재살포 3개소, 정화조+재살포 1개소 포함
물리+화학+생물학적 처리	9	
물리학적 처리	19	
활성탄 여과	7	
화학적 처리	19	1차 화학처리 1개소 포함
물리+생물학적 처리	1	
물리+화학적 처리	16	
생물+화학적 처리	13	화학 + RBC 1개소 포함 생물학적처리+오존 1개소 포함
삼 조 식	3	
생물학적 처리	35	호기성 처리 1, 현수 미생물막 1 폭기식 라구운 5 활성오니 6 접촉산화 7, 장기폭기 1 간이살수 여상 2, 살수여상 1개소 포함
역삼투 처리	1	
접촉산화+약품	1	
HBC	1	
화학+생물+고도	1	
화학+생물+물리	4	화학+생물+여과 2개소 포함
화학+생물+화학	2	화학+생물+오존 1개소 포함
화학적(3차처리)	2	
침 전 여 과	1	
접 촉	1	
혐 기 성	1	
위 탁	1	
이 송	1	
자연정화	1	
소 계	232	

침출수 처리 현황에 관한 구체적인 조사결과는 <표 2-4>에 제시되어 있다. 침출수 처리시설은 집수시설만 설치된 곳이 13개소, 생물학적 단독처리가 35개소 및 매립지 재살포 49개소로 조사되었다. 이와 같이 매립지 재살포가 많은 이유는 <그림 2-5>에서 제시된 것과 같이 침출수 발생량이 10m³/d 이하의 매립지가 상대적으로 많은 부분을 차지하여 전체 처리설비를 설치하기가 어려운데 기인한다. 그러나 질소류 및 색도 등을 규제하는 경우 이를 효과적으로 처리할 수 있도록 공정이 설치된 경우는 극히 적으며, 향후 이로 인한 문제점이 예상된다. 그러므로 이와 같은 문제점을 저감하기 위해서는 인근의 하수처리장으로의 합병처리에 대한 검토가 필요한 실정이다.

침출수로 인한 매립지 하부로의 이동을 저감시켜 지하수 오염을 방지하기 위해 설치되는 차수시설의 경우 <그림 2-7>과 같이 전체 매립지 중 46.7%만이 설치되었다. 설치된 경우는 <그림 2-8>에 제시된 것과 같이 HDPE(high density polyethylene) 시트가 89.4(204개소)%로 가장 많이 설치되었으며, PE(polyethylene) 시트는 8.2%(19개소)로 조사되었으며, 벤토나이트, 점토 및 콘크리트를 각각 2개소의 매립지에 차수제로 사용되고 있었다.



<그림 2-7> 차수시설 설치 현황



<그림 2-8> 차수재의 재질별 설치 현황

제2절 농어촌 쓰레기매립지 관리상의 문제점

1. 쓰레기관리상의 문제점

일반적으로 쓰레기의 처리는 도시지역 내지는 유해한 산업쓰레기의 처리만이 문제시 되었으며, 농어촌 쓰레기에 대한 일반적 인식은 자연의 자체정화작용에 의존하는 소극적인 쓰레기 관리대상이 최근까지도 계속되어 왔다고 할 수 있다. 우리나라 농어촌 지역 쓰레기의 문제성이 가시화되기 시작한 시기는 새마을운동이 성공적으로 전개되어 왔던 1970년대로 볼 수 있는데, 농촌의 근대화가 쓰레기처리라는 사회적 비용 증대를 동시에 가져왔다.

농어촌 지역 쓰레기 관리상의 문제점으로는 지역적 공간의 광범위성으로 인해 관리하기가 어려울 뿐만 아니라 쓰레기 량이 적어서 경제적인 처리가 곤란하다는 점을 들 수 있다. 또한 농어촌지역에서도 생활수준의 향상과 영농방식의 전환에 따라 깡통, 공병 등이나 도시형쓰레기가 다량 발생되고 폐비닐, 농약빈병 등 신종 쓰레

레기가 급증하고 있음에도 쓰레기 매립지이나 수거장비등 관계시설이 부족하고 인력확보가 곤란하여 능동적으로 대처하지 못하고 있다는 점을 들 수 있다. 그리고 주민의 환경에 대한 의식부족으로 마을주변, 하천변 등에 쓰레기가 무단투기 또는 방치되고 있는 실정인데, 이상과 같은 농어촌 쓰레기 관리상의 문제점을 정리하면 <표 2-5>와 같다.

<표 2-5> 농어촌 지역 쓰레기 관리체계상의 문제점

관리체계	문제점	문 제 요 소
발 생	발생량 증가	- 비용의 증대 - 환경오염
수 거	비능률적인 수거시스템	- 분리수거의 실효미흡 - 수거작업체계의 비효율성 (대상지역 광범위) - 수거장비의 낙후성
처리/처분	중건처리시설 미비 비위생 매립지에 의존 신규매립지 확보난	- 감량 및 감용효율 저하 - 매립지 규모의 영세 및 비위생적 매립지 관리 - NIMBY현상에 따른 지역이기주의 팽배 - 행정기관에 대한 신뢰도 저하
관리행정		- 낮은 재정지립도 - 쓰레기문제 미온적 대처

2. 농어촌 쓰레기 매립지 현장조사

농어촌지역 쓰레기매립자의 설계 및 관리 실태를 파악하기 위해 충청남도 서천군 매립지와 경기도 안성군 매립지, 연천군 매립지, 여주군 매립지를 1997년 7월 21일~24일까지 실제 방문하여 매립지 설계보고서와 관리실태를 조사하였다. <표 2-6>은 각 조사대상의 지역의 일반현황 및 매립지의 현황을 나타내고 있다.

설계상의 문제점으로는 여주군 매립지를 제외한 나머지 매립지는 모두 계획단계에서 쓰레기 발생량을 과다하게 추정하였다는 점을 들 수 있는데, 이는 과거의 부

<표 2-6> 조사대상 지역의 현황 및 매립지 개요 (1995년 현재)

		충청남도 서천군	경기도 안성군	경기도 연천군	경기도 여주군
일 반 현 황	행정구역면적(km ²)	364	553	734	609
	청소구역면적(km ²)	364	553	697	609
	청소구역인구(인)	87,207	123,094	54,640	96,596
	쓰레기발생량(t/d)	24	124	46	77
매 립 시 설 현 황	위 치	서천군 비인면 관리 3리 97-1	안성군 양성면 장서리 산 58-5	연천군 청산면 대전리 산 224	여주군 정동면 사곡리 416-2
	매립지 종류	산간매립	산간매립	산간매립	평지매립
	매립지면적(m ²)	15,100 (2차매립지)	20,000	37,500	48,000
	매립용량(m ³)	134,400(2차매립지)	321,773	650,000	144,000
	완 공 년 도	1997.4	1994.12	1994.4	1988.6
	사업비(억원)	14.81 (2차매립지)	20.15	35.9	25.06

피 톤단위로 추정된 행정자료를 근거로 산출하기 때문인 것으로 판단된다.

예로 서천군의 경우 설계당시 1인당 쓰레기 발생량을 1.42kg으로 추정하여 향후 7년간의 매립용량으로 계산하여 주민과의 7년간만 사용하기로 합의하였으나, 1995년에 조사한 실제 쓰레기 발생량은 1인당 0.28kg/일, 1일 매립지 반입량은 약 20t으로 매립밀도, 복토제 사용을 감안할 경우 최소한 13년간은 사용할 수 있는데 향후 주민과의 마찰이 예상된다.

침출수 처리시설에 대해서는 특히 많은 문제점을 가지고 있는데, 운영상의 어려움은 접어두더라도 <표 2-7>에서 보는 바와 같이 여주군 매립지를 제외하고는 모두 자체 침출수 처리시설을 확보하고 있으며, 우리 나라에서 가장 규모가 큰 수도권매립지도 침출수 처리시설은 3,500m³의 규모인 것에 비하면 침출수 처리용량도 침출수 발생량을 훨씬 초과 설계하여 예산을 낭비하고 있으며, 또한 생물학적 시설

까지 갖추고 있어 처리상의 어려움도 예상된다.

<표 2-7> 조사대상 매립지의 침출수 처리시설 현황

	서천군 매립지	안성군 매립지	연천군 매립지	수도권 매립지
1일 쓰레기 반입량(t)	20	53	25	24,430
매립지 면적 (천 m^2)	44.1 (1,2매립지)	20	37.5	4,088
침출수 발생량 (m^3)	10	자료없음	30	4,536
침출수 처리시설용량(m^3)	200	50	72	3,500
침출수 처리방법	활성오니법	폭기식 라군법 +이송처리	화학+생물 +물리	물리+화학 +생물



<사진 2-1> 하절기 우수배제를 실시한 안성군 매립지 전경



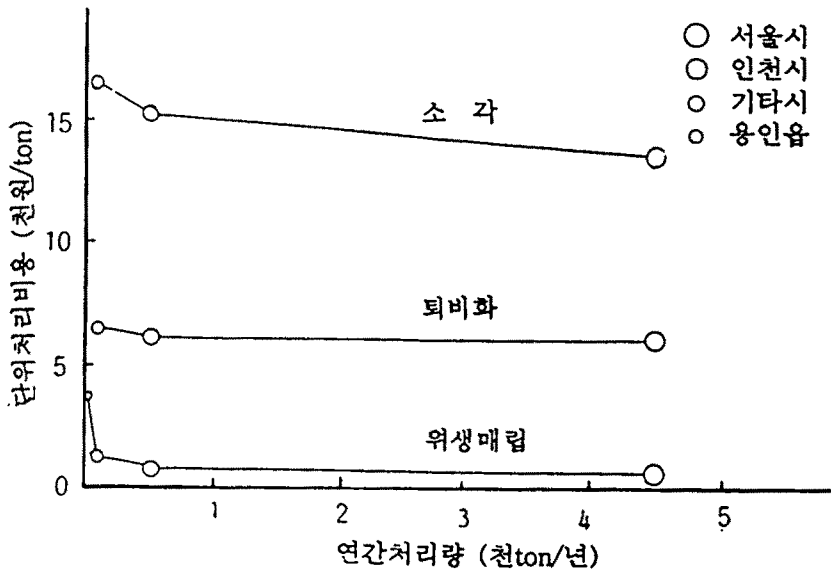
<사진 2-2> 우수배제를 위해 하절기 매립작업 공간을 최소화시킨 장면

그러나 안성군 매립지의 경우는 우수배제를 위한 매립작업 방식과 복토방식을 특이하게 하고 있고 좋은 귀감이 되고 있는데, 향후 이러한 운영기술은 농어촌지역 쓰레기 매립지는 물론 도시지역 쓰레기 매립지까지 파급될 것으로 예상된다. 즉 매립작업 방식을 하절기와 기타 계절로 나누어, 집중강우가 시작되는 5월부터 매립작업 공간을 최소화시키고, 중간 복토를 1m가량 두껍게 포설하여 우수의 쓰레기층으로의 침투를 최소화시키고, 한편으로는 방수시트를 매립지 상부에 포설하여 침출수 발생량을 최소화시켜 침출수 처리비용도 절감하고, 악취나 지하수 오염문제로 인한 민원문제가 거의 없는 것으로 조사되었다. (<사진 2-1>, <사진 2-2>참조)

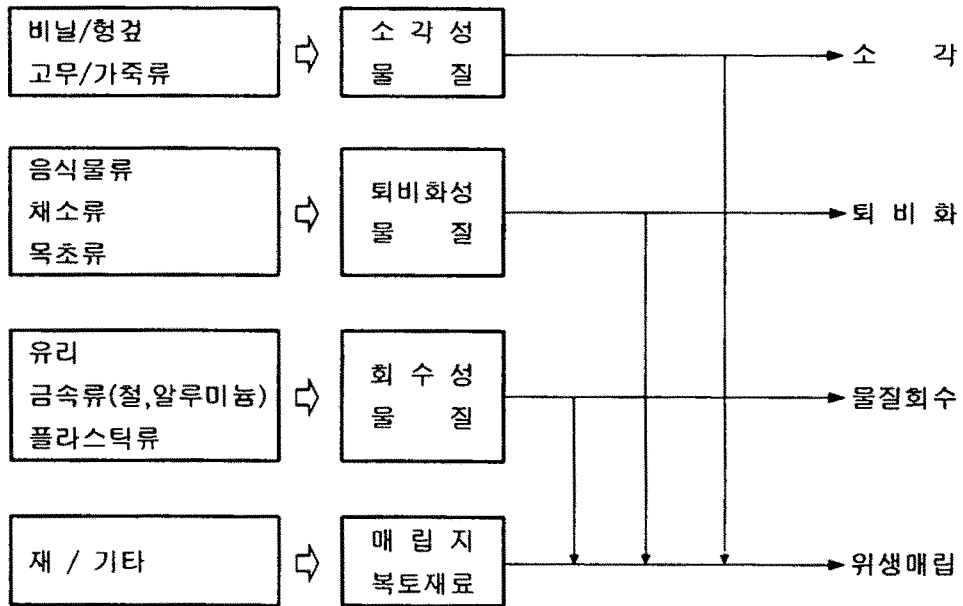
한편 별도로 안성군 매립지와 여주군 매립지에 대해서는 지표지질조사 및 지하수위조사, 전기수직탐사 등의 기초지질조사를 실시한 결과 매립지 침출수 누출로 인한 지하수 오염은 확인되지 않았다. (자세한 조사 결과는 부록에 수록)

제3절 농어촌쓰레기의 적정처리 방안에 관한 검토

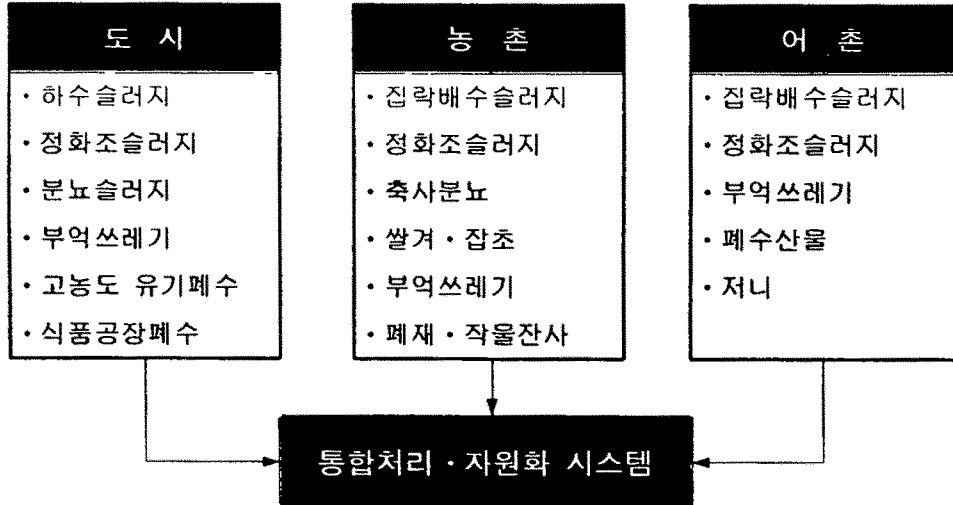
쓰레기의 처리방법은 매립, 퇴비화, 소각, 열분해, 재활용, RDF(쓰레기 고체연료화) 및 메탄회수 방법 등이 있는데, JICA에서는 도시쓰레기 처리에 있어서의 경제적인 처리방법의 순위를 매립, 퇴비화, 소각, 물질회수 순으로 제시한 바 있다. 그러나 쓰레기 연간처리량과 쓰레기 단위 처리비용과의 관계를 <그림 2-9>에서 보면 처리규모가 작은 농어촌지역에서는 단위 처리비용이 급격히 상승하여 농어촌지역에서는 쓰레기 매립법이 적합한 처리기술로 적용될 수 없다는 지적도 있다. 따라서 농어촌지역 쓰레기 처리를 위해서는 소각성 물질, 퇴비화성 물질, 회수성 물질 및 매립복토재 등으로 <그림 2-10>과 같은 철저한 분리수거를 전제로 하여 쓰레기 처리에 대한 경제성을 평가하였을 때 위생매립이 가장 경제적인 대안인 동시에 음식물류나 채소류 등과 같은 퇴비화성 물질의 퇴비화 처리가 차선의 처리대안으로 제시된 바 있다.



<그림 2-9> 쓰레기 처리비용 비교

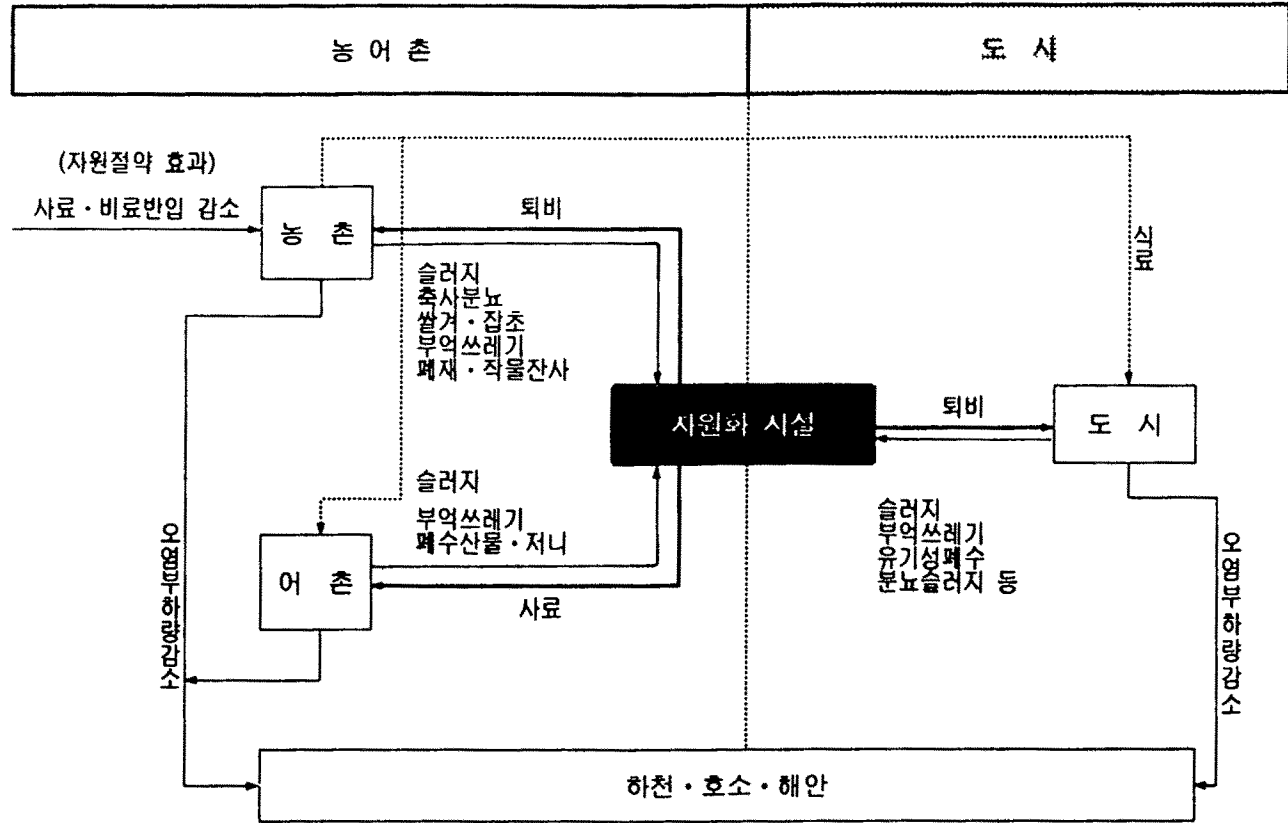


<그림 2-10> 농촌 쓰레기 분리수거 체계



<그림 2-11> 유기성쓰레기의 통합 자원화 시스템의 모식도

한편 대도시지역에서 쓰레기 매립지를 구하기가 점점 어려워지고 보다 나은 삶의 질에 대한 요구가 높아질수록 농어촌 쓰레기 관리계획은 점점 중요해져 가고 있다. 따라서 한정된 자원을 가지고 늘어나는 쓰레기 수요에 대처하기 위해서는 도시와 농촌을 통합하는 농촌쓰레기 처리체계의 확립이 요청되고 있다. 즉 한정적인 자원의 효율적인 사용을 도모하기 위한 자원순환형 사회를 준비하는 좀더 적극적인 차원에서 농어촌 쓰레기관리의 이상적인 모델을 정립할 필요성이 대두되고 있다. 일 예로 농어촌 지역 쓰레기는 산업폐기물의 혼입 우려가 적어 제품화된 퇴비의 신뢰도가 높고 또한 농어촌지역에 퇴비수요처가 풍부하므로 <그림 2-11>과 <그림 2-12>와 같이 도시와 농어촌간의 유기성 슬러지와 쓰레기를 상호보완적으로 통합적 처리하는 시스템과 같이 농어촌지역의 특성을 충분히 활용할 수 있는 매립시스템 개발이 절실히 필요하다.



<그림 2-12> 도시와 농어촌 지역간의 폐기물 통합 자원화 시스템의 모식도

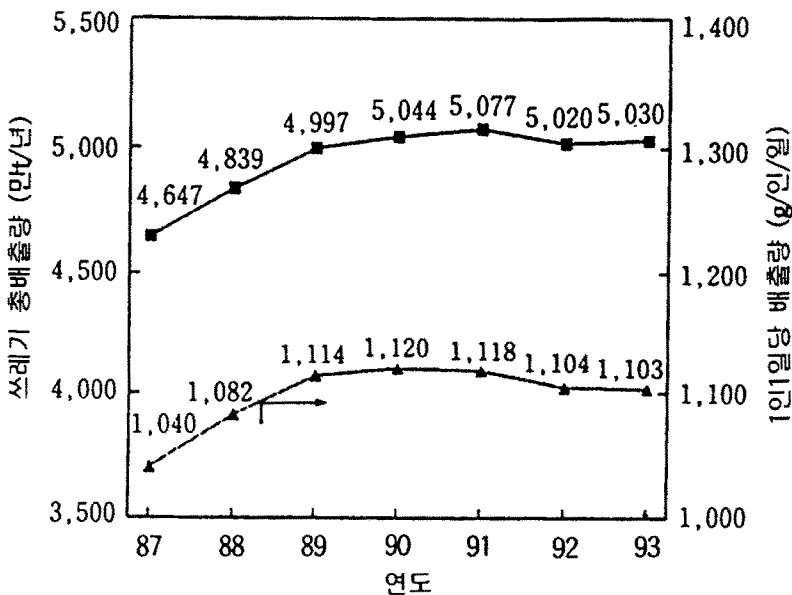
제3장 선진국의 농어촌 쓰레기 관리 및 매립기술 분석

제1절 일본에서의 농어촌 쓰레기 관리사례

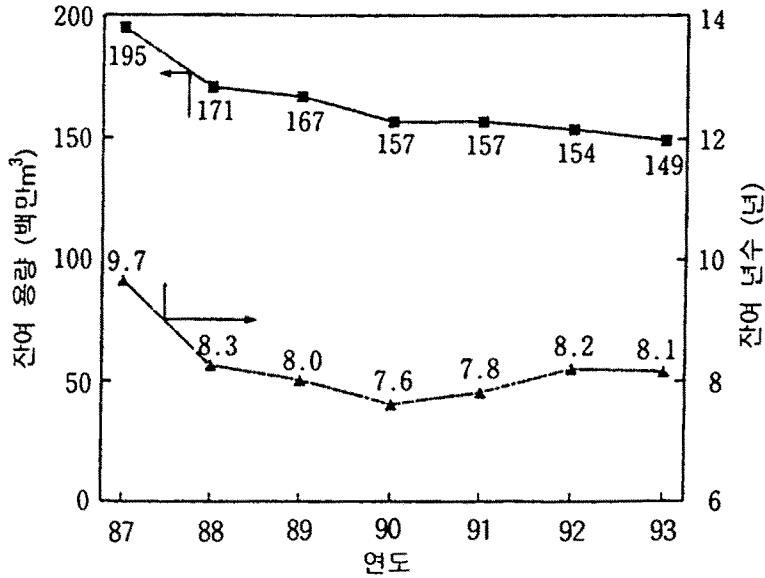
1. 일본의 쓰레기관리 현황

일본의 쓰레기 총배출량은 <그림 3-1>에서 보는 바와 같이 1993년에 5,030만톤으로, 국민 1인 1일당 쓰레기 배출량으로 환산하면 1,103g이 된다. 쓰레기의 총배출량은 1985년경부터 급격하게 증가하여 매년 3%이상 증가하고 있다. 1991년부터는 쓰레기 총배출량의 전년도에 대한 증가율은 0.6%에 그쳤지만 계속 증가하는 경향을 보이고 있다.

쓰레기의 감량처리율(소각, 파쇄 등의 중간처리를 거친 쓰레기량의 수집량에 대한 비율)은 매년 증가하고 있으며, 1993년에는 85.6%(1990년도 79.6%)이었다. 또한



<그림 3-1> 일본의 쓰레기배출량의 추이



<그림 3-2> 쓰레기매립지의 잔여용량과 잔여년수의 추이

직접매립의 비율이나 절대량이 감소되고 있으며, 쓰레기 처리시설의 정비가 진행되고 있다.

중간처리에 따른 자원화량 (자원 쓰레기 등을 처리하거나 알루미늄 등을 회수·자원화하는 양)은 169만톤/년 (쓰레기의 계획 수집량에 차지하는 비율은 3.4%)이며, 자원화량, 자원화율과도 별 변동이 없다. 집단회수에 의한 자원회수량은 141만톤/년으로 1990년도의 99만톤/년에 비해 대폭 증가하고 있다.

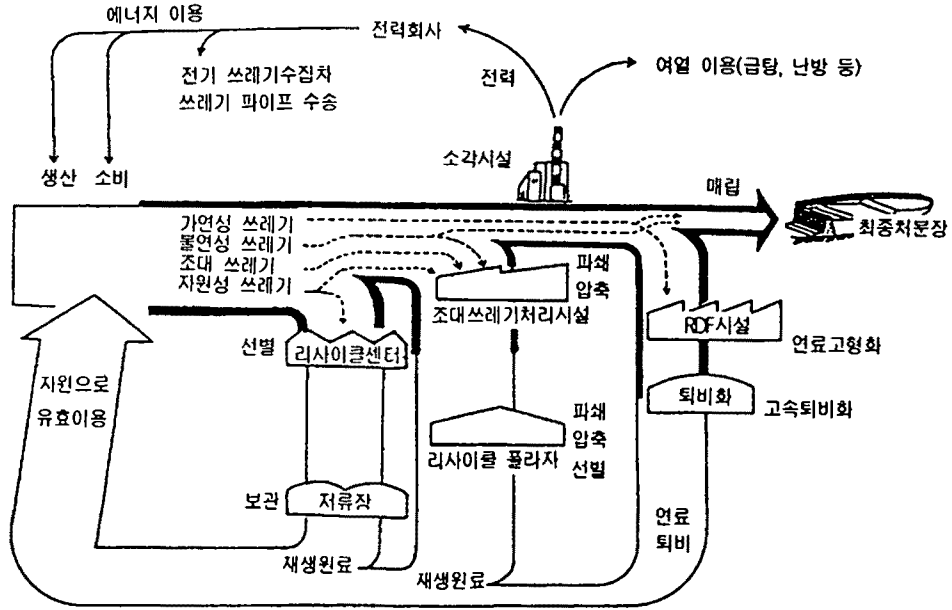
쓰레기 매립지는 <그림 3-2>와 같이 전국에 2,321개소가 있고, 잔여용량은 1억 4,931만m³ (1990년도는 1억 5,670만m³)이다. 일반쓰레기의 배출량 증대, 용지의 확보난 등으로 인해 일반쓰레기 매립지의 잔여년수는 1993년도에 8.1년으로 아주 긴박한 실정이다.

시정촌이 처리하기 힘든 쓰레기, 예를 들면 상품의 대형화로 인해 시정촌이 보유하고 있는 수집차로는 수집이 곤란하다든지, 시정촌의 시설로는 파쇄가 곤란한 쓰레기에 대해서는 제조업자 등의 협력을 얻어 광역적으로 처리하는 것이 합리적이

다. 이를 위해 시정촌에 있어서 적정처리가 곤란한 일반쓰레기의 지정은 후생성장관이 하며, 시정촌은 제조업자 등의 협력을 얻어 이들을 처리하게 된다. 또한 후생성장관은 제품의 소관 장관에게 제품의 제조업자 등의 협력에 대해서 필요한 조치를 요청하는 것이 가능하도록 하고 있다. 1994년 3월 14일에는 폐대형냉장고, 폐대형TV, 페스프링 매트리스, 폐고무타이어가 지정된 바 있다.

후생성에서는 쓰레기의 감량화·리사이클의 촉진을 도모하기 위하여 1991년 10월에 새로운 「폐기물의 감량화·리사이클」을 중점 추진사항의 하나로 「폐기물 처리법」을 개정하였다. 또한 1994년부터 쓰레기의 감량화에 도움이 되는 기술의 보급계몽활동, 그 시스템이나 시설정비 등을 일체적으로 추진하는 「쓰레기 감량화 종합전략」을 개발하고 있다. 시정촌에 있어서 분리수집이나 주민단체에 의한 집단수집 등에 보조를 하여 모든 지역에서의 쓰레기 감량화·재생이용을 추진하는 것으로 불용품의 보수, 재생품의 전시를 합쳐서 행하는 시설(리사이클 플라자)이나 자원 쓰레기로 분리수거하는 깡통, 병 등을 선별하여 재생하는 시설(리사이클 센터)의 정비를 진행시키고 있다. 또한 쓰레기의 배출억제 및 재생이용의 사회시스템 만들기에 가담하고 있는 선진적인 시정촌을 「Clean Recycle Town」으로 지정해 주므로써 쓰레기의 감량화를 적극적으로 추진하고 있다. 1994년에는 이들의 더욱 발전시켜 <그림 3-3>에서 보는 바와 같이 쓰레기의 배출억제에 노력하고, 리사이클이 가능한 것은 적극 리사이클을 행하고, 그 후에 배출될 가능성이 있는 것은 소각처리 등을 통해 적극적인 열회수(폐열이용 등)를 도모하는 「폐기물순환형 처리」에 의해 쓰레기가 적은 폐적한 폐기물 순환형 사회의 구축을 기본방침으로 하여 종합적인 시책을 추진하고 있다.

쓰레기의 감량화·재생이용의 추진을 위하여 1992년 이후 「생활환경심의회 폐기물처리부회 폐기물감량화·재이용전문위원회」, 「경제적 수법의 활용에 의한 폐기물감량화 연구회」 등에서는 쓰레기를 감량화하여 경제적 메리트를 만들어 가는 사회경제 시스템의 구축을 제창하였다. 1994년 10월에 수립된 「공공투자기본계



<그림 3-3> 일본에서의 쓰레기 순환형 사회기반 시설정비 개념도

획」에 있어서도 21세기초의 쓰레기 제로사회를 목표로 하여 순환형의 쓰레기처리로의 전환을 제창하고 있다. 이들의 배경을 근거로 하여 생활환경심의회 폐기물처리부회 폐기물감량화·재이용전문위원회에서 1994년 10월에 보고서가 완성되었다.

보고서의 내용은 폐기물의 감량화·재생이용의 추진을 위한 기본적인 사고 방법으로서 쓰레기의 처리에 관한 책임이나 비용 이외에, 적절한 것에 대해서 사업자, 소비자 및 시정촌 등 사이에서 협력하여 제품의 개발에서부터 재생이용에 이르는 각 경로에서 쓰레기를 감량화하고, 재생이용(열회수를 포함한다.)을 추진하는 것으로 하고 있다. 구체적인 방법으로서 포장폐기물에 대해서는 시정촌과 사업자의 협력에 의한 회수·재생이용시스템의 도입이 적당하다고 하여

- 시정촌은 포장폐기물의 분리수집 철저.
- 포장폐기물의 분리수집 추진을 위해 포장폐기물 이외의 일반폐기물에 대해

서는 종량제에 의한 처리수수료의 징수를 추진.

- 시정촌이 분리수집한 포장폐기물에 대해 제조·판매사업자는 수거와 재생이용(또는 이를 위한 비용부담)을 실시를 제창하고 있다.

대형쓰레기에 대해서도 사업자의 협력에 의한 회수 시스템이나 deposit 제도 등의 새로운 대책에 대해서 검토하고 있으며, 이외에 주방쓰레기, 사업계 일반폐기물, 산업폐기물의 감량화·재생이용을 추진하고 있다. 또한 공동·횡단적인 대책으로서 제품 영향평가의 실시와 소비자로의 정보제공, 기술의 개발과 보급, 재생품, 재생자원의 수요확대, 계발보급·교육연수 등을 추진하고 있다. 쓰레기 매립지의 확보를 위한 방법으로는 공공시설의 정비 등에 의한 지역주민의 이해의 촉진, 광역적인 대응 등을 제안하고 있다.

2. 上勝町の 쓰레기처리 사례

가. 쓰레기 관리현황

上勝町은 일본 徳島縣의 내륙부에 위치하고 있으며, 면적이 109.68km²이다. 약간 평탄한 지역이 있지만, 대부분은 급경사의 산지로 되어 있으며 표고 100m~700m의 사이에 크고 작은 55개의 집락이 있는 농산림지역이다.

上勝町의 인구는 1991년 3월 31일 현재, 약 2,700명, 910세대이다. 이 上勝町의 인구는 1955년 6,265명, 1965년 5,003명, 1975년 3,587명, 1985년 2,712명, 1990년 2,450명으로 급격하게 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나, 町에서는 공업, 상업, 농림어업을 활성화하는 산업정책 및 젊은 층의 정주를 위한 주택정책을 적극적으로 추진하여, 2000년에 2,479명 이상을 목표인구로 하고 있다. 산업별 취업자 인구의 변화를 살펴보면, 인구의 감소에 따라 취업자인구는 감소하는 경향이 있지만, 1980년에서 1985년에는 제1차 산업취업자 인구가 증가하고 있다.

일본의 1인 1일당 배출량은 1982년 1,028(g/인·일)에서 1991년 1,118(g/인·일)로 연평균 0.84%씩 증가하고 있다. 上勝町도 일본평균과 같이 발생 쓰레기가 증가한다고 예상하면, <표 3-1>에서 보는 바와 같이 15년간에 발생원단위는 12.4% 증가하게 되지만, 15년사이에 인구의 감소가 17%이므로, 町 전체의 가정 쓰레기 발생량은 약간 감소할 것으로 예측하고 있다.

사업계 쓰레기에 대해서는 향후 사업의 확대를 예상하여 균상시킨 재배 및 굴류의 가공업에 의한 쓰레기의 양이 각각 2배인 600(톤/년), 700(톤/년)증가한다고 가정하고 있다.

<표 3-1> 上勝町の 쓰레기 배출량 추계

년 도		가정 쓰레기			사업계 쓰레기	합 계 (톤/년)
		원 단 위 (g/인·일)	인 구 (인)	발 생 량 (톤/년)	발 생 량 (톤/년)	
1994	제 1 기	753.0	2,592	712	3,967	4,679
1996		765.7	2,567	717	5,267	5,984
1997	제 2 기	772.1	2,525	712	5,267	5,979
2001		798.4	2,440	711	5,267	5,978
2002	제 3 기	805.1	2,402	706	5,267	5,973
2008		846.6	2,185	675	5,267	5,942

上勝町の 쓰레기 발생량은 가정쓰레기가 연간 약 700톤, 사업계쓰레기가 약 4,000톤이다. 가정쓰레기와 사업계쓰레기를 합하면, 가연쓰레기는 자가처리와 히비케타니 처리장에서 처리하는 것이 반반 정도, 불연쓰레기는 약 70%가 히비케타니 처리장에서 처리되고 있다. 가정쓰레기 중에서 가연쓰레기의 약 60%, 불연쓰레기의 약 6%가 자가처리되고 있으며, 히비케타니 처리장에서 처리되고 있는 것은 가연 쓰레기의 약 30%, 불연 쓰레기의 50%정도이다. 재자원화되고 있는 것은 폐지

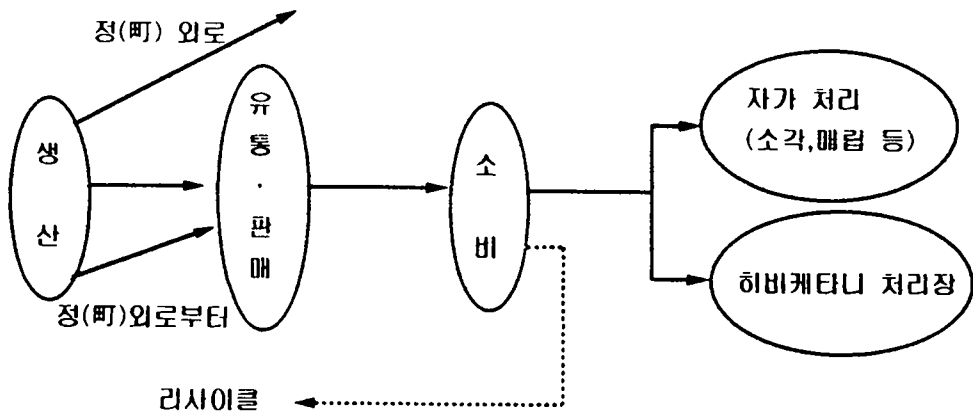
류를 중심으로 한 가연쓰레기의 7%, 빈 병을 중심으로 한 불연쓰레기의 45%이다.

가정 쓰레기의 7배정도 발생하고 있는 사업계 쓰레기에 대해서는 가연 쓰레기의 51%, 불연 쓰레기의 19%가 자가 처리되고, 가연 쓰레기의 47%, 불연 쓰레기의 80%가 히비케타니 처리장에서 처리되고 있다. 자원화되고 있는 것은 가연쓰레기가 0.4%, 불연 쓰레기가 1.4%로 낮은 편이다.

上勝町는 현재 町내에 리사이클·쓰레기처리시스템을 정비하는 사업과 합하여, 사회에 새로운 가치관·시스템을 제안하고, 사회경제시스템을 구축하는 “리사이클 타운” 구축에 심혈을 기울이고 있다. 목표로 하는 “리사이클 타운”의 이미지는 다음과 같다.

나. 리사이클·쓰레기처리 시스템

上勝町에서는 현재 소각시설 등 쓰레기처리를 위한 시설이 없고, 각 가정 및 히비케타니 처리장에서 쓰레기를 처리하고 있다. 쓰레기를 적정하게 처리하기 위한 시설의 정비가 급선무이지만 전제로서 발생억제, 리사이클의 추진에 의해 처리하지 않으면 안되는 쓰레기를 가능한 한 감량할 필요가 있다.



<그림 3-4> 上勝町에 있어서 물류흐름 모식도

<그림 3-4>에는 上勝町에 있어서 현상의 물류흐름을 모식적으로 나타내고 있는데, 이와 같은 물류시스템에 있어서 문제점을 정리하면 다음과 같다.

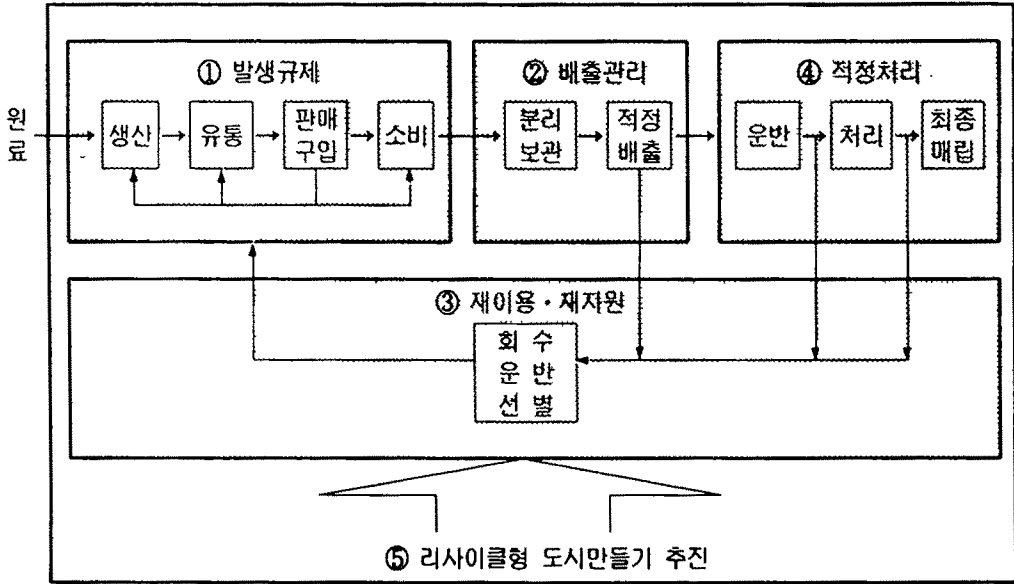
- ① 생산, 유통·판매단계에서는 각각의 단계에서 경비절감 또는 소비자의 요구를 만족시키는 것을 주목적으로 활동하고 있으며, 쓰레기처리에 대해서는 그다지 배려하고 있지 않다. 리사이클·쓰레기처리에 드는 비용은 내부화되어 있지 않은 체 외형적인 효율화를 추구하고 있다.
- ② 소비활동은 욕구를 만족시키기 위해 행해지고 있으며, 리사이클이나 쓰레기처리에 비용이 든다고 하는 의식이 부족하다. 쓰레기량을 줄일 수 있는 물품의 매매 방법이나 생활양식을 실천하려 하는 움직임은 아직 적다..
- ③ 쓰레기처리는 소비된 물건의 마지막 단계로서 행해지고 있는 경우가 많고, 소비자나 판매점에 협력을 구하여도 기대한 만큼의 성과는 오르지 않는다.
- ④ 리사이클에 관한 의식은 향상되고 있지만 회수량이 증가하면 증가하는 만큼 자원으로서의 가치는 저하되거나, End Use로 되는 메이커에 값이 깎이든지 거두어들이는 것을 거부당하는 등 사업으로서 채산이 맞지 않을 경우가 생긴다.

다. 새로운 사회경제 시스템 도입

지금까지 쓰레기 문제에 대해서는 나오는 쓰레기를 어떻게 감량화하고, 처리하는가 하는 수동적인 관점에서의 대책이었다. 그러나 쓰레기량의 증가, 쓰레기질의 변화, 회수자원의 과잉 등, 이와 같은 자세에서 맞붙는 것은 대응되지 않은 문제가 산적해 있다. 결국, 현상의 사회경제 시스템의 수조를 초월하는 계획에서의 대응이 필요로 되고 있다.

한편 국가의 시책도 「폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률」의 개정이나, 「재생자원의 이용의 촉진에 관한 법률」의 제정 등 물류의 보다 상류쪽에서의 작용하도록 하는 방향으로 전환되고 있다. 이와 같은 움직임과 제휴하여, 주민·사업자·행

정이 일체가 되어, 새로운 사회경제 시스템 만들기에 구체적인 행동을 전개하지 않으면 안된다. 이와 같은 상황에서 上勝町으로서도 町내에 리사이클형의 사회기반 및 사회경제시스템을 만들어 쓰레기문제의 해결에 마음을 기울여 환경비용의 내부화등 제조자가 더욱 큰 역할을 완수하는 움직임이 필요하다.



<그림 3-5> 上勝町의 리사이클 시스템

더욱이 上勝町은 임야면적이 町의 8할을 초과하고, 대기나 물의 정화라고 하는 환경자원의 재생산에 있어서 공헌하고 있다고 생각된다. 향후, 이와 같은 작용이 개발행위등으로 파괴되지 않도록 도시에서 부하의 정화 효과에 대한 응분의 부담을 하는 등 재생산의 기능을 백업하는 사회경제시스템의 형성도 만들어져야 한다.

上勝町내에는 ① 발생억제, ② 배출관리, ③ 재이용·재자원화, ④ 적정처리의 4개 시스템을 정비하여 쓰레기의 발생을 억제하고 배출원에 대한 감량·리사이클을 철저하게 함으로서 쓰레기로 처리·처분되는 것을 최소한으로 하고, 동시에 가능한

한 유효활용하는 것을 목표로 한다.

이러한 시스템을 안정적, 효율적으로 운영하기 위하여 추진주체인 사람만들기·조직만들기·제도만들기를 진행하는 것이 중요하다. 리사이클은 회수자원을 원료로 하여 생산되고 있는 제품의 수요가 확보되어야 초기에 정착된다. 이러한 시스템의 관계를 모식적으로 나타낸 것이 <그림 3-5>이다.

① 발생억제

不用物로 되는 것의 발생을 억제하기 위하여 쓰지 못하게 되는 양이 적게 되어 환경에 대한 부하가 작은 상품을 선택하도록 하고, 구입한 상품은 신중하게 사용하게 하는 등의 배려를 하도록 하여 구매하고 있다. 시장경제에 있어서 소비자는 상품의 선택권을 가지고 있다는 의미에서 시장의 주권자이다. 따라서, 발생억제책은 생산·유통단계에 대해, 제조자는 제품이 쓰지 못하는 경우에도 책임을 묻고, 쓰레기가 적게 나오는 상품을 개발하는 움직임이 있도록 하는 것을 목표로 한다.

② 배출관리

리사이클을 추진함으로써 발생하는 불용물중에서 쓰레기로 배출되는 것의 양을 억제한다. 쓰레기로 배출된 것도 퇴비화나 열이용 등의 유효이용을 도모하기 위하여 배출원에서의 분별이 중요하다.

③ 재이용·재자원화

재이용가능한 것이 필요한 사람에게, 또는 재자원화가 가능한 것이 리사이클사업자에게 원활하게 유통되는 구조를 정비한다. 어느 쪽의 구조에서도 上勝町 단독으로 추진한다는 것은 어렵지만, 주변 자치체와 협력체제를 만듦으로써 해서 효율적인 실사가 되게 하는 것을 목표로 한다.

④ 적정처리

재이용·재자원화의 대상이 되지 않는 쓰레기에 대해서는 유효이용·적정처

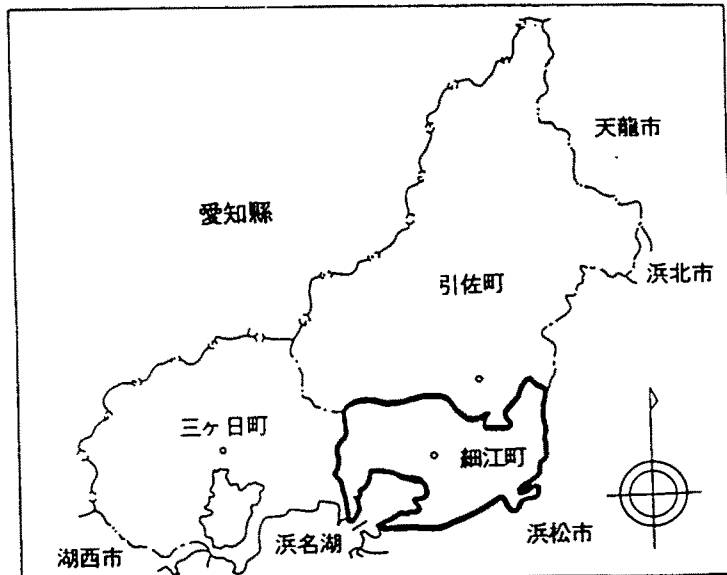
리의 구조를 정비한다. 구체적으로는 생쓰레기등의 유기물을 퇴비화하거나 소각열의 유효이용 등을 도모한다.

3. 細江町の 쓰레기처리 사례

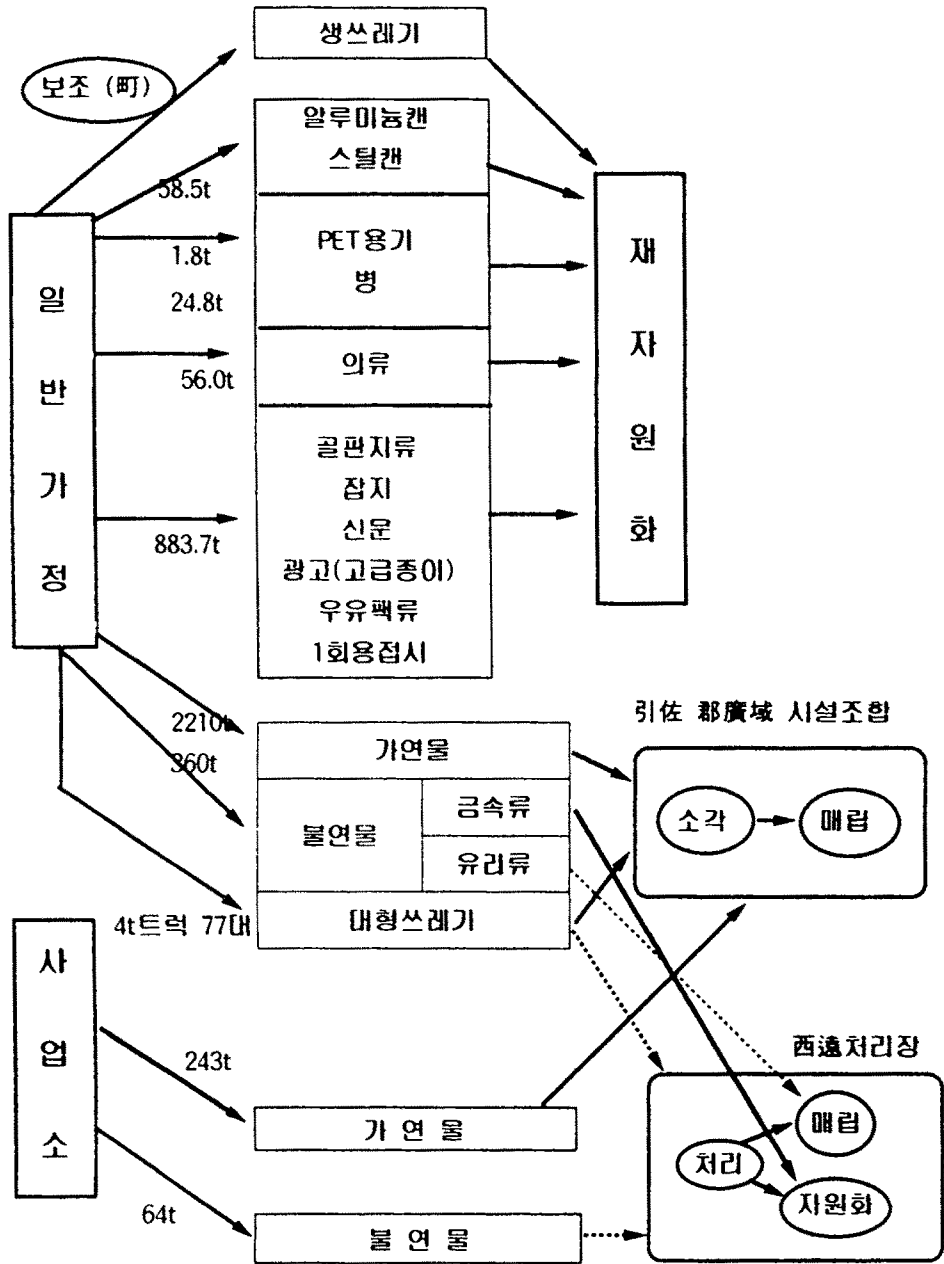
가. 쓰레기 처리현황

細江町은 <그림 3-6>에서 보는 바와 같이 靜岡縣 서쪽끝에 위치하고 있다. 면적은 34.18km², 북쪽은 引佐町, 남쪽은 浜松市, 서쪽은 三ヶ日町, 남서쪽은 浜名湖에 접해 있다. 細江町의 인구는 1995년 현재, 20,533명, 세대수는 6,148세대이다. 최근 인구증가의 신장은 전년에 대한 증가수가 거의 정지되어 있다. 또한 1세대당 사람수는 1991년 이후에 현저한 감소경향을 보이고 있다.

細江町의 쓰레기분리 수거체계는 가정 쓰레기와 사업소 쓰레기로 나누고 있으며, 각 쓰레기별로의 처리 프로세스는 <그림 3-7>과 같다.



<그림 3-6> 細江町の 위치



<그림 3-7> 細江町の 쓰레기처리 프로세스

가연쓰레기는 引佐郡 광역시설조합(소각공장), 불연쓰레기는 町の 위탁업소에서 각각 처리되고 있다. 또한 자원리사이클에 대해서는 주민단체를 주체로 한 폐지류나 병, 강통의 회수활동이 활발히 전개되어 쓰레기 감량에 크게 기여하고 있다.

배출원에 따른 쓰레기감량, 리사이클 활동의 주된 것은 이하와 같다.

- 집단회수(신문, 종이박스 등의 폐지류, 의류, 병 등)
- 공민관 등을 통한 회수(병, PET 병)
- 판매점(회수협력점포)의 회수(1회용 용기, 우유팩)
- 생쓰레기의 퇴비화

3町(細江町·引佐町·三ヶ日町)의 쓰레기 중간처리 현황을 <표 3-3>에서 살펴보면, 현재 가동중인 소각로는 1993년부터 가동 시작하였으며, 하루에 20톤(소각시간 8시간/일)의 처리능력을 가지고 있다. 그러나 가동직후부터 1일당 처리량은 소각시설의 처리능력을 위협하는 정도의 수준으로 추이되며, 최근에는 가동일수를 대폭 증가시켜 1일당 처리량을 20톤 이하로 억제하고 있는 상태이다. 또한 이 수치는 이때까지 연간 평균치이며, 쓰레기량이 많은 달이나 소각로가 정기점검에 들어가는 기간에는 이미 쓰레기량이 소각능력을 초과하고 있다고 할 수 있다. 이와 같은 상황에 있어서는 시설의 노화(수명의 단축)나 처리비용의 증대가 염려된다.

<표 3-2> 소각시설의 가동현황

년 도	가연 쓰레기 투입량(톤/년)		가동 일수 (일)	평균가동 시간 (시간/일)	1일 평균 소각량(톤/일) (가동일 평균)	소각 잔사량 (톤/년)	소각잔 사율(%)
	3町 計	細江町 (구성비%)					
1991	4353	2247(51.6)	195	10.0	22.3	436	10.02
1992	4609	2331(50.6)	203	11.6	22.7	461	10.00
1993	4557	2310(50.7)	195	9.3	23.4	562	12.33
1994	4736	2384(50.3)	250	9.6	18.9	692	14.61
1995	4998	2453(49.1)	264	10.3	18.9	819	16.39

나. 쓰레기처리 기본계획

① 기본계획의 위치부여

본 기본계획은 「폐기물처리법」에 의거하여 책정된 것이지만, 細江町の 행정계획전체중에서는 細江町 신종합계획의 하위계획으로서 위치를 부여받는다. 또한 細江町에 있어서 쓰레기나 생활폐수의 감량·리사이클사업이나 분별수집사업 등에 관계하는 시설계획은 기본계획에 의거하여 실시되는 것이다. 더욱이, 細江町은 三ヶ日町 및 引佐町과 함께 引佐郡 광역시설조합을 구성하고 있기 때문에 계획을 추진할 때는 三ヶ日町, 引佐町의 계획과의 조화를 충분히 도모하고 있다.

② 목표로 하는 쓰레기처리 시스템

본 기본계획에 있어서 목표로 하는 쓰레기 처리 시스템은 가능한 한 민간에서의 자원회수나 민간처리시설에 있어서 자원화를 목표로 하지만, 그것에서도 배출되는 쓰레기에 대해서는 引佐郡 광역시설조합의 쓰레기처리시설에 적정처리한다. 현재의 중간처리는 소각처리이지만, 향후의 기술동향을 근거로 하여 대체처리기술의 도입을 도모하고자 한다.

제2절 미국에서의 농어촌 쓰레기 관리사례

1. 미국의 쓰레기관리 현황

1960년대 이전만 하더라도 미국 농촌지역에 있어서의 고�형폐기물관리는 비교적 간단하였다. 대부분의 읍면은 주거지역에 가까운 편리한 곳에 노천 투기를 하고 있었다. 이외에도 각자의 토지위에 묻거나 소각하든지 또는 도로변의 계곡 등을 찾아서 처분하는 것이 일반적 방법이었다. 따라서 운반 및 처리비용은 미미하였다. 그러나 1960년대에 들어와 고�형폐기물 처리장은 지표수 및 지하수오염과 대기오염을 불러 일으켰다. 또한 이러한 고�형폐기물 처리장은 전염병을 옮기는 곤충과 쥐의 서

식지를 제공해 주민의 건강을 위협하게 되었다.

결국 위생과 환경문제에 경관문제까지 덧붙여져 고형폐기물 관리를 위한 입법을 서둘게 되었다. 1967년의 「고형폐기물의 처리 및 하천투기 금지법」과 Ohio주 환경보호 국(OEPA)의 「노천소각기준」 설정으로 1,300개 이상의 농촌 읍면에서 노천투기가 금지되었다.

1976년에 「자원보존 및 재생법」이 의회를 통과되어 위생매립의 허가와 사업에 대해 보다 강력한 규제를 하게 되었다. 이 법은 자원의 재생, 재활용을 강조하고 있으며, 고형폐기물 자원재생의 매립에 대한 경제적 이점을 증대시키게 되었다. 정부에서 규제한 결과 매립지의 수는 감소하게 되었으나, 평균 쓰레기운반 거리가 길어졌으며, 매립지의 운영비가 증가하게 되었다.

그리고 정부의 강력한 규제로 인해 고형폐기물 관리에 따른 직접적 화폐비용이 증가하는 한편으로 경관파괴나 환경오염과 같은 비금전적 비용이나 간접적 화폐비용은 많이 감소하였으나, 농촌지역에 있어서의 도로변의 쓰레기투기는 몇몇 군에서는 여전히 문제로 남아 있었다. 법적인 고형폐기물 관리방법이 비용의 증가로 인해 매력적인 방법이 되지 못한 것이다.

농촌지역의 고형폐기물 계획의 중요성은 몇 가지 이유로 하여 커지게 되었다. 일반적으로 위생매립(또는 자원재생시설)을 위한 톤당 처분비용(또는 재생비용)은 일일 톤수로 보아 시설규모에 반비례하고 처분비용은 감소하는 것이다. 결국 운반비용과 처분비용간에는 경제적 trade-off 관계가 성립하고 있다.

2. Ohio주 Cuyahoga군의 쓰레기처리 사례

가. 쓰레기 관리 현황

Cuyahoga군은 1990년도 자료에 의하면 140만명의 인구가 1년에 420만톤의 쓰레기를 배출하고 있다. 전체 420만톤의 쓰레기중 60%는 산업쓰레기, 20%는 상업용

· 공공기관의 쓰레기, 20%는 가정용 쓰레기이다. Cuyahoga군에 있는 매립지는 현재 5개소 밖에 없기 때문에 발생하는 쓰레기의 약 60%이상은 군밖으로 내보내져서 22개군의 27개소 매립지에서 처리되고 있는 실정이다. 쓰레기 처리시설 이외에 군내에는 약 60여개소의 리사이클 시설이 있으며 전체 쓰레기의 약 20%인 597,900톤을 리사이클하고 있다. 또한 정원쓰레기의 약 31%는 24개 퇴비화시설에서 퇴비로 생산되고 있다.

Cuyahoga군내의 매립지 용량이 빠르게 감소되고 있으며, 또한 1996년 말까지 연방기준을 만족하지 못한 매립지는 폐쇄하지 않으면 안된다. 따라서 앞으로 약 5년 이내에 새로운 매립지의 확보가 그 군내에서 해결되지 않는다면, 그 지역의 쓰레기 군밖으로 운반하여 처리할 수 밖에 없을 것이다.

나. 쓰레기 감량화 전략

① 감량화 목표

Ohio EPA는 Ohio주의 모든 폐기물 관리구역에서 쓰레기 감량과 리사이클링에 관한 프로그램을 개발하여 매립되는 쓰레기 양을 최소화시키기를 추구하고 있다. 그 지역은 이미 정착된 자발적인 리사이클링 노력이 결실을 거두고 있기 때문에 쓰레기 감량 목표를 달성할 수 있도록 비강제적인 프로그램을 제공하고 있다. 1990년에는 Cuyahoga군의 가정이나 사업체, 공공기관 그리고 산업체들이 쓰레기의 약 20%만을 리사이클링했으나, 1994년 6월 현재 과거 3년보다 쓰레기 감량 효과가 크게 향상되어 재자원화율이 Ohio주의 목표인 25%를 달성하였다. 그러나 매립지의 존율을 줄이고 효과적인 쓰레기 관리와 천연자원의 보존을 위하여 매립지로부터 쓰레기 전환을 계속 증가시켜야 함을 중요하게 인식하여 Cuyahoga군은 2002년까지 리사이클링 목표를 46%로 설정하고 있다.

② 가정쓰레기의 감량화

시민단체가 행정기관에 리사이클링에 대한 기회를 요구하고, 행정관청mds 군의 59개 마을중 56개 마을에서 리사이클링 프로그램들을 실시함으로써 지난 2년에 걸쳐, 리사이클링 비율이 145%나 증가하는 효과를 거두었다. 이러한 프로그램들의 지속적인 성과는 발전된 시민의식, 회수된 자원의 마케팅 확장, 비용편익 프로그램 등의 3가지 요소에 달려 있다고 할 수 있다. 따라서 행정기관은 시민들의 자각과 마케팅 개발 그리고 기술적인 지원 프로그램들을 시행하면서 사회단체에 리사이클링의 중요성을 적극 홍보하고 있다.

- 시민 홍보 : 쓰레기 감량, 리사이클링, 리사이클링이 가능한 제품구매에 대해 시민들을 교육하기 위해서, 행정기관은 시민홍보 프로그램을 만든다. 이러한 프로그램으로는 전화 정보서비스, 교육책자, 캠페인, 그리고 그밖의 관련 프로그램들을 들 수 있다. 또한 초등학교 학교교육에 자원절약 및 쓰레기 리사이클에 관한 특별 교육과정을 마련하고, 훈련된 강사진과 관련 서적을 대출해주는 대출문고를 제공하는 등 시민홍보에 힘쓴다.
- 시장 개발 : 리사이클링이 가능한 제품을 증가시키기 위해서 현재 존재하는 시장을 확장하고, 리사이클링 제품을 위한 새로운 시장을 개발하기 위한 적극적인 프로그램을 도입할 것이다. 또한 기존의 신문과 잡지들의 협조적인 마케팅 프로그램 확장을 통해 재활용품의 시장을 지원해 준다. 행정기관의 목표는 그 지역의 리사이클링의 긍지를 고취시키기 위해 사업체와 산업체에서는 수거된 재활용품들을 사용함으로써 마케팅 프로그램 개발을 경제적인 발전과 결부시킨다.
- 기술 지원 : 지자체는 리사이클링 프로그램들을 보완하고, 확대하고, 시행함으로써 주민들에게 도움을 줄 것이다. 이것은 다양한 리사이클링 방법에 대한 비용편익을 분석하고, 시민 각자의 욕구를 최대한으로 만족시킬 수 있는 프로그램을 설계한다.

③ 상업·산업계 쓰레기의 감량화

사업체, 공공물, 산업체가 Cuyahoga군 쓰레기의 80%를 차지하기 때문에, 이러한 곳에 쓰레기 감량 프로그램이 집중 개발되어야 한다. 리사이클링하는 사업체의 주요한 인센티브는 충분한 비용절감이다. 사업체가 이를 성취하기 위해서 행정기관은 쓰레기의 감량과 리사이클링 프로그램의 설계에 있어서 실질적인 도움을 주고, 사업체들 사이에 네트워크 구축을 장려함으로써 리사이클링 연합을 형성할 수 있도록 하여 리사이클링의 효과를 인식시킨다. 또한 행정기관은 쓰레기를 무해한 상업·산업쓰레기로 바꾸는 기술을 개발하고, 영세사업체들을 위해 협조적인 리사이클링과 리사이클링 물품의 조달 프로그램을 개발한다.

④ 유해성 가정쓰레기

많은 보통 가정쓰레기는 제대로 처리되지 않으면 환경과 인간에게 위협을 주는 유독성 물질이 포함되어 있다. Cuyahoga군에서는 주민들은 해마다 약 10파운드의 유독성 물질을 배출하고 있는 것으로 추정하고 있다. 유독물질의 안전한 관리를 위하여 주민들에게 가정의 독성 물질의 안전한 처리방안에 대해 시민 교육 프로그램을 철저하게 시행한다. 시민자각을 위한 활동은 전화서비스, 교육잡지, 면담, 매체 캠페인 등이 있다. 이러한 교육 프로그램 이외에 행정기관은 사용한 자동차 오일이나 페인트, 그리고 건전지와 같은 가장 흔한 유해성 가정쓰레기에 대한 리사이클링이나 재이용 프로그램도 시행한다.

⑤ 정원쓰레기

풀이나 나뭇가지와 같은 정원쓰레기는 가정과 상업쓰레기의 20%를 차지한다. 매립지의 용량을 일정하게 유지하기 위해서 Ohio EPA는 1993년 12월에 정원쓰레기의 매립지 처리와 소각을 금지시키는 것을 주 규정에 채택하였다. 이러한 규제를 따르기 위해서 행정기관은 교육을 통해서 깎은 풀은 잔디밭에 버리고, 다른 정원쓰

레기는 뒷마당에서 퇴비화시키도록 함으로써 정원쓰레기 처분에 대한 필요성을 줄일 수 있을 것이다. 또한 지역사회는 행정기관은 퇴비화 시설을 이용한 정원쓰레기 관리 프로그램을 시행하고, 필요하다면 추가적으로 퇴비화 장소를 개발하기 위해 노력한다.

⑥ 폐타이어

매년 Cuyahoga군에서 약 450만개의 폐타이어가 처분되고 있다. 환경의 위험요소가 타이어의 매립처분과 관련되어 있어서 Ohio EPA는 매립지내의 분리된 공간에서의 처리가 불가능할 경우에는 매립지에서의 타이어 처리를 금지시켰으며, 1995년부터는 파쇄된 타이어의 매립지 반입을 금지하고 있다.

타이어의 적절한 처분을 도모하기 위해서 행정기관은 타이어가 리사이클링과 처분가능한 지정된 지역에 안전하게 보관되고 운반될 것을 타이어 소매업자들에게 주지시키고, 주민들로부터 타이어 수집을 위한 프로그램을 만들고, 타이어 리사이클링 시설들을 제공하기 위한 민간 사업화도 추진해갈 것이다. 만약 폐타이어 처리에 민간 사업화가 제대로 진행이 안될 경우 관에서 직접 처리시설을 건설하여 운영할 계획도 가지고 있다.

다. 쓰레기 처리 정책

계획 노력의 결과로써, 현재 이 지역에서는 군의 쓰레기 처분에 더 이상의 새로운 시설이 필요하지 않다고 결정하였다. 그러나 지역의 쓰레기의 충분한 처리용량을 확보하기 위해서 Ohio EPA는 처리시설들이 군의 쓰레기를 충분히 수용하고, 군내에서 10년 정도의 저장 용량을 가지도록 매립시설 지정해 둘 필요가 있다.

매립지 운영자들에 의해 승인된 처리시설지정과 용량확보를 통하여 최고의 기술을 만족하는 시설에 매립처분된 쓰레기에 지불되는 최대액은 톤당 42\$이며, 최고의 기술을 갖추지 못한 매립지의 경우는 톤당 32\$이상은 지불받을 수 없다. 이러

한 가격선은 불가피한 처리비용의 증가와 밀접한 매립지의 쓰레기처리의 비용을 통제하여 지역사회와 사업체에게 도움이 될 것이다.

3. California주 Ventura군의 쓰레기처리 사례

가. 쓰레기 취급과 처분 서비스

Ventura군에서 단독주택지구의 쓰레기는 현재 3개의 시지역과 12개의 개인운반업자들에 의해서 수집되고 있다. 다른 지역들과 연합하지 않은 군들은 개인운반업체를 이용하는 반면에 옥스널드, 포트 휴네임, 산타 파울라와 같은 도시들은 직접 생활쓰레기를 수집하고 있다. 대부분의 가정 쓰레기는 반자동이나 완전 자동 시스템을 사용하여 주 단위로 수집되고 있다.

Ventura군에서 10개의 도시들 중 9개의 도시와 연합되지 않은 공동체들은 단독주택지에 대한 주택가 재활용 프로그램을 추진 중에 있다. 이 프로그램은 일정량의 알루미늄, 스틸 캔, 유리, 신문지, PET, HDPE 플라스틱과 판지와 같은 물질들을 수거한다. 그리고 이 프로그램은 단일 컨테이너에서 재생가능한 물품들을 혼합한다. 이 물질들은 재생가능한 물품들이 분류되어 시장화를 위한 골드 코스트 리사이클링 또는 운송업체 야적장으로 이송된다.

재활용품 수집 프로그램은 군의 대부분의 비연합 지역과 캄마리오, 필모어, 오자이, 산타 파울라, 시미 벨리, 벤투라와 같은 도시에서 시행되고 있다. 대부분의 다른 관할권들은 50%의 전환 목표를 달성하기 위해서 시범적인 프로그램을 수행하고 있거나 준비를 하고 있다.

나. 쓰레기 처리 및 재활용 시설

벤츄라시에 위치하는 Gold Coast Recycling은 주거와 상업의 리사이클링 프로그램에 의해 분리된 440톤을 분리 및 처리를 하며, 일부 상업 쓰레기에서 재활용물질

을 분류한다. Gold Coast는 시설 확장 계획중에 있으며, 1996년 중반에 추가적으로 적환시설을 설치하였다. 옥스날드시는 이와 비슷하게 그 도시내에서 물질을 이동하고 분류할 수 있는 시설을 설치하고 있다. 이 시설은 Baildard Landfill의 폐쇄에 앞서 1996년 중반기에 운영할 예정이다. 또한 그 군에서 운영되는 여러 가지의 “환경 자원(green resoure)” 재활용시설이 있다. California Wood Recycling은 오자이시, 벤투라시, Simi Valley landfill 등 여러 장소에서 실시되고 있다.

다. 고품 폐기물 매립시설

Ventura군에서는 3곳의 위생 매립지가 있다. Ojai, Ventura, Camarillo, Oxnard, Port Hueneme, 기타 주변 비조합 군으로 구성된 서부지역은 현재 VRSD사가 운영하고 있는 Bailard 매립지에 매립처분되고 있다. Bailard 매립지는 하루에 1200~1500톤의 쓰레기가 반입되며, 1997년 10월에 인가가 만료가 되지만 1996년에 용량이 포화에 달할 것으로 예상된다. Ventura군의 중부 지역은 역시 VRSD사가 운영하고 있는 Toland Road 매립지에서 처리되고 있다. Toland 매립지에는 하루에 약 135톤이 반입되며, 앞으로 수십년간 사용이 가능할 것으로 예상하고 있다. 군의 동부지역은 캘리포니아의 폐기물관리에 의해 운영되고 있는 Simi Valley 매립지에서 처분되고 있다. Simi Valley 매립지는 현재 하루 약 900톤의 쓰레기가 유입되며, 하루 한계용량은 300톤으로 제한되어 있다. 그리고 2004년까지 처리하도록 계획되어 있다.

제3절 각국의 쓰레기 매립지설계 기술 현황

1. 미국

미국은 연방규칙으로 「고형폐기물 매립지 기준」을 만들어 적용하고 있다. 이

법이 적용되는 대상 쓰레기는 가정, 호텔, 관광지 등에서 발생하는 쓰레기와 상업계 쓰레기, 슬러지류, 사업장 고형폐기물이다.

미국에서 운영중인 6,000개의 도시쓰레기 매립지중에서 약 50%가 매립량이 1일 20톤이하, 처리구역내의 인구가 10,000명 이하인 소규모 매립지로서 이 기준을 적용함에 따른 비용문제를 고려하여 지역설정에 따라 적용을 배제할 수 있도록 하고 있다. 여기에 해당하는 지역으로는 연간 강우량이 635mm이하이고, 지하수 오염문제가 없는 지역이며 운영중에 지하수 오염이 발견되면 예외규정은 적용하지 않는다.

가. 입지선정

미국환경보호청(EPA)은 6가지의 입지제한규정을 만들어 적용하고 있으며 이 규정에 적합하지 않은 매립지는 1996년 10월까지 폐쇄하도록 하였다.

- ① 공항지역(Airports) : 제트엔진타입의 비행기가 이착륙하는 공항은 활주로 끝에서 3km, 피스톤엔진타입의 비행기가 이착륙하는 공항은 1.5km이내에 매립지가 위치하여야 한다.
- ② 홍수범람지역(Flood plains) : 범람지역안에 위치한 매립지는 100년 빈도의 홍수 흐름에 방해가 되거나 폐기물유실에 따른 인간의 건강과 자연환경에 유해하지 않아야 한다.
- ③ 습지지역(Wetlands) : 습지지역에 설치하거나 확장할 수 없다.
- ④ 단층지역(Faultareas) : 단층지역에서 60m이내에 위치할 때 매립지는 구조적으로 안정하고 인간과 자연환경에 위협이 없어야 한다.
- ⑤ 지진영향지대(Seismic Impact Zones) : 지진지역에 설치할 경우에는 매립지 시설물들이 지진에 의한 최대수평가속도에 견딜 수 있어야 한다.
- ⑥ 지질불안정지역(Unstable Areas) : 폭우에 의한 산사태지역, 침하지역에 설치할 수 없다.

나. 매립지 설치

매립지를 설치할 때에는 두가지 기본적인 조건이 주어진다. 첫번째로 최대오염수준(MCLs)등이 EPA의 기준에 적합한지에 대하여 주정부로부터 승인을 받아 시행한다. 매립지 경계로부터 150m이내 지점의 지하수층 상층부의 오염도가 최대오염수준을 초과하여서는 안된다. 두번째로는 합성차수막과 침출수 집수시설을 설치하여야 한다. 합성차수막은 합성수지 라이너를 설치하고 그 밑에는 투수계수가 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 이상인 토양층 라이너를 60cm 이상 설치하여야 한다. 침출수 집수시설은 라이너위에 30cm 이상 설치하여야 한다.

복토시설은 중간복토의 경우에는 병원균, 파리, 악취, 쓰레기의 비산 등을 막기 위한 기능을 수행하나 최종복토재는 침투와 침식을 최소화하는 방향으로 침투방지층과 침식방지층을 각각 최소 50cm, 15cm두께로 설치하도록 하되 대체할 수 있는 다른 복토시스템이 있으면 이를 감독관의 허용하에 설치할 수 있도록 되어 있다. 국내 매립시설 기준의 경우 검사정을 최소 매립지주변 4곳에 설치하는 것만을 단순히 규정함에 반하여 EPA기준은 검사정의 안정성 확보요령, 인접대수층의 오염방지 방안에 대한 요령을 삽입하고 매립대상지의 수리지질학적 특성을 전문가에 검토의뢰 그 결과를 통지토록 하고 있다. 침출수 집배수 시설은 집적높이가 30cm 이하가 되도록 규정하고 복합차수 시스템을 사용토록 규정하고 있다.

2. 일본

일본은 1988년 6월에 폐기물 위생매립처분장지침을 만들어 후생성 생활위생국 수도환경부장 통지문형식으로 각 지방자치단체에 보냈으며 이 지침은 1992년과 1993년에 개정되었다. 각 자치체에서는 처리구역내의 쓰레기를 적정하게 처리하기 위해서 그 구역의 폐기물처리 기본계획을 만들고, 이에 따라 쓰레기 매립지를 설치하도록 하고 있다. 또한, 각 지방자치단체에서는 계획목표 연도별로 처리구역내의

폐기물을 적정처리 하기 위한 시설설치계획의 기본방침과 실시계획을 정하여야 한다. 매립용량은 연차별로 연간매립량을 산정하고 여기에 복토용량을 가산한 총량으로 하며, 매립목표기간은 원칙적으로 10~15년 정도로 하고 지역실정을 고려하여 결정한다.

가. 위치선정

쓰레기 매립지의 위치는 계획된 매립용량을 확보할 수 있는 곳으로 수집운반효율, 주변조건, 지형지질, 재해에 대한 안정성, 매립완료후의 이용계획, 도시발전과의 관계 및 관련시설과의 위치 등을 종합적으로 검토하여 결정한다.

나. 매립지의 주요 시설

- ① 차수공 : 침출수가 공공수역 및 지하수를 오염시키지 않도록 차수시설을 설치하며, 차수공의 구조형식은 매립지의 지형, 지질, 토질조건, 지하수의 상태 및 침출수 집배수시설의 배치상황 등에 적합하게 설치한다.
- ② 우수집배수시설 : 매립지 외곽의 우수가 매립지내부로 유입되지 않도록 배수구를 설치한다. 매립전에는 우수가 쓰레기등으로 흘러 들어오지 않도록 구획제방 등 배수설비를 설치하여 매립완료후에는 우수와 침출수 집배수시설의 배치상황 등에 따라 적합하게 설치한다.
- ③ 침출수 집배수시설 : 매립지내의 침출수를 배제시키기 위하여 집수시설을 설치한다. 침출수 집배수시설의 크기는 기상조건, 지형, 주요시설의 배치 등을 고려하여 설정한 침출수량을 기초로하여 정한다. 침출수 집배수시설을 매립지 바닥의 지형조건, 차수공 등에 적합하게 배치하고 효과적으로 집배수할 수 있고 막힘현상이 없게 하여야 한다.
- ④ 침출수 처리시설 : 침출수 처리시설은 유입침출수의 수질을 결정하고 목표로 하는 방류수의 수질기준까지 처리할 수 있는 시설로 만들어야 한다. 침출수

처리시설에는 유입침출수의 수량과 수질변동을 완화시키고 안정적으로 처리할 수 있도록 침출수 조정설비를 설치한다. 계획유입량은 최대침출수량, 평균침출수량, 침출수 조정설비용량을 감안하여 결정한다. 유입침출수질은 계획매립쓰레기질, 매립형식, 매립작업, 매립지규모 및 매립기간 등을 고려하여 결정한다.

- ⑤ 발생가스 처리시설 : 발생가스로 인한 화재, 주변수목의 고사 등을 방지하기 위하여 필요한 가스배출장치, 가스처리시설을 설치한다. 가스처리시설은 매립작업과 병행하여 설치한다.

다. 쓰레기 매립설비기준

「폐기물처리와 청소에 관한 법률」에 의한 일반쓰레기 매립시설의 기술상의 기준은 다음과 같다.

- ① 매립지 주위에는 외부인의 출입을 방지하는 울타리가 설치되어야 하고, 매립지 입구에 일반폐기물 매립시설임을 표시하는 설비가 설치되어야 한다.
- ② 매립지 지반의 미끄럼방지와 매립지에 설치된 설비의 침하방지가 필요한 곳에는 적당한 미끄럼 방지공과 침하 방지공이 수행되어야 한다.
- ③ 매립한 일반쓰레기의 유출을 방지하기 위한 옹벽이나 제방 등은 자중, 토압, 수압, 파력, 지진력 등에 대하여 구조상 안전하여야 하며, 매립한 일반쓰레기, 지표수, 지하수, 토양의 성상으로 발전될 수 있는 부식을 방지하기 위한 조치가 있어야 한다.
- ④ 침출수에 의한 공공수역과 지하수오염을 방지하기 위한 설비가 설치되어 있어야 한다.
- ⑤ 매립지 주위에는 지표수가 매립지의 개구부로부터 매립지내로 유입되는 것을 방지할 수 있는 설비가 설치되어 있어야 한다.

3. 독일

독일의 매립지 기준으로는 80년대에 폐기물 적정매립 해설서를 만들어 매립지 설치운영업무에 활용하였다. 폐기물처리와 관련된 기술지침서로는 생활쓰레기 기술지침서와 특정폐기물 기술지침서 등의 2가지가 있다.

독일의 매립지는 위생매립지 입구에 계량기와 관측소에서 운반된 폐기물의 양을 조절하며 매립시 다짐은 강륜다짐기로 깊이 2m정도를 견고하게 다지도록 하고 있다. 대부분의 매립지는 매일 복토를 하지 않고 작업일마다 악취방지를 위해 흙이나 잡석으로 덮는다.

가. 생활폐기물 매립지 기준

매립지를 계획, 설치, 운영할 때에는 지질학적, 수리지질학적으로 적합한 위치인가, 적합한 매립지 차수시스템인가, 폐기물의 매립기술은 적정한가, 매립기준에 적합한 폐기물의 반입계획이 세워졌는가 등을 고려하여야 한다. 또한, 매립지는 독립적인 차단시설로서 갖춰지도록 하여야 한다.

매립지에서 가스발생 및 유기성 침출수의 최소화가 가능하도록 하기 위하여 유기성물질에 의한 생물학적 분해를 최소화할 수 있는 폐기물이 반입되어야 한다. 또한, 매립지를 계획, 건설, 운영할 때에는 사후관리가 용이하도록 고려하여야 한다.

나. 차수 시스템

신설되는 모든 매립지는 가스포집, 침출수배수 및 처리시설을 포함하여야 한다. 매립지바닥의 차수재료는 인공·천연 차수재료를 사용할 수 있으며, 자연차수공은 보통 점토로 되어 있다. 차수시설의 설치후 투수계수는 5×10^{-8} cm/sec 이하이어야 하며, 차수층의 다짐높이는 60cm 이상이어야 한다. 자연점토는 균열이나 비균질성을 배제하기 위해 60~100cm 정도 굴착하여 재다짐하여 시공하며 고밀도 폴리에

틸렌의 최소두께는 2mm 이상이어야 한다. 복합차수재는 60cm이상의 점토층과 점토층의 상부에 고밀도 폴리에틸렌을 설치하여 시공한다. 차수시설의 차수성을 조사하기 위해 매립지 주위에 지하수 관측공을 설치하여 지하수관측을 한다.

매립완료 후, 매립지에서 누출되는 침출수의 양을 최소화하기 위해서는 복토층의 차폐를 통해 우수의 유입을 줄여야 한다. 이를 위해 표면 차수층을 설치해야 하며, 차수층은 침하의 방지를 위해 매립지의 가스산출량이 실질적으로 줄어든 후에 설치해야 한다.

다. 침출수 처리

침출수 배수시설은 바닥층 맨 위에 설치하며, 대부분 바닥사면의 경사를 1%이상 두고 침출수의 집수는 1cm정도의 구멍이 뚫린 집수관을 30~50m 정도 간격으로 설치하고, 집수관 주위를 자갈로 덮어 관을 보호한다. 집수관은 TV조사와 고압수 처리를 위해 직경이 200mm 이상인 배수파이프를 사용해야 하며 파이프의 재료는 침출수와 가스에 대한 내구성이 있는 고밀도 폴리에틸렌이나 세라믹으로 된 관을 사용한다. 독일의 침출수 처리는 대부분 공공시설의 오수와 함께 처리하고 있으며, 공공오수에 섞기 전에 생물학적으로 처리하는 경우도 있다. 오수처리시설의 보호를 위해서는 광범위한 물리적·생물학적 분석이 필요하다.

4. 이탈리아

이탈리아는 1920년대까지 투기식 매립방식을 사용하였으며, 공업화와 더불어 환경문제가 대두되면서 현대식 매립지가 전환하게 되었다. 이탈리아의 매립지 설계에 있어서 가장 기본이 되는 원리는 침출수가 지하수와 접촉되지 않도록 하는 것이다. 따라서 매립지 바닥과 측면의 차수를 가장 중요시하고 있다. 차수효과의 증대를 위해 인공 차수재를 사용하고 있으며, 법규상으로 다음과 같은 요구사항을 갖추고 있

다. 즉, 인공 차수제는 매립지 바닥과 측면부의 침출수를 방지할 수 있을 만큼 충분한 두께와 저항성이 있어야 한다. 매립지 바닥은 지하수위보다 최소한 1.5m위에 설치한다. 인공 차수제의 투수계수는 10^{-6} cm/sec보다 작아야 하며, 최소두께는 1m이다.

가. 지질학적·수문지질학적 조사

매립지 계획입안시 지질·수문지질적 조사는 필수사항으로 되어 있다. 식수나 농업용수, 공업용수 등 수자원을 이용하고 있는 상태와 지하수위의 위치, 흐름방향 등을 조사함으로써 오수에 의한 위험도를 평가한다. 또한 매립지쪽에서의 횡방향 침투가능성도 조사시 고려해야 한다. 지반조사시에는 마찰저항각이나 점착성 등을 측정하여 침하와 안정성에 대해서도 고려하고, 침출수 발생량의 산정과 정화시설 등에 대한 지역적 타당성도 검증해야 한다. 우수집수시설과 관련하여 강우, 월별강우량, 우기시 강우 발생일, 폭우발생 가능성 등 필요한 자료를 조사해야 한다.

나. 침출수의 배수와 처리

침출수의 수집을 위한 관로는 자갈을 덮어 보호하며, 최근에는 매립지의 전지역을 자갈로 덮고 있다. 침출수 집수시설은 대부분 가스포집시설과 조합하여 설치하고 있다. 집수된 침출수는 적절한 상태가 될 때까지 매립지에서 정화하여야 한다.

다. 발생가스의 운영

이탈리아에서는 매립지에서 발생한 가스의 누출로 인해 여러 가지 환경문제가 대두되고 있다. 메탄가스의 농도는 최종복토에 대해 검사침으로 검사를 함으로써 가스누출 가능성 여부를 판단한다. 또한, 공기온도기록계를 이용하여 발생가스의 분포와 누출가능성을 조사한다. 조사의 정밀도를 위해 가스가 지층깊이 존재하는지 여부 등은 다른 조사자료를 비교함으로써 가능하다.

제4장 자원재활용형 쓰레기매립 공법의 개발

환경보전형 또는 자원순환형 사회를 구축하는 것은 현재는 물론 21세기의 인류의 생존과 지속가능한 발전을 지향하는 지구사회의 최대의 관심사중 하나이다. 지구환경문제가 개발도상국가의 빈곤과 선진공업국의 자원 낭비에 기인하고 있으므로 한정된 자원의 유효이용에 있어서 쓰레기를 포함하여 현재의 경제구조 그 자체를 근본적으로 수정해야 할 필요성이 점점 커지고 있다.

또한 자원 및 에너지 절약을 위한 노력에도 불구하고 현재의 사회경제 환경하에서는 도시부에서의 인구, 사회활동의 과도 집중, 토지의 고도 이용화는 대량으로 발생하는 쓰레기처리에 한계를 드러내며, 커다란 사회문제로서 부각되고 있는 가운데 특히 매립지의 용지확보는 극히 곤란한 문제가 되고 있다.

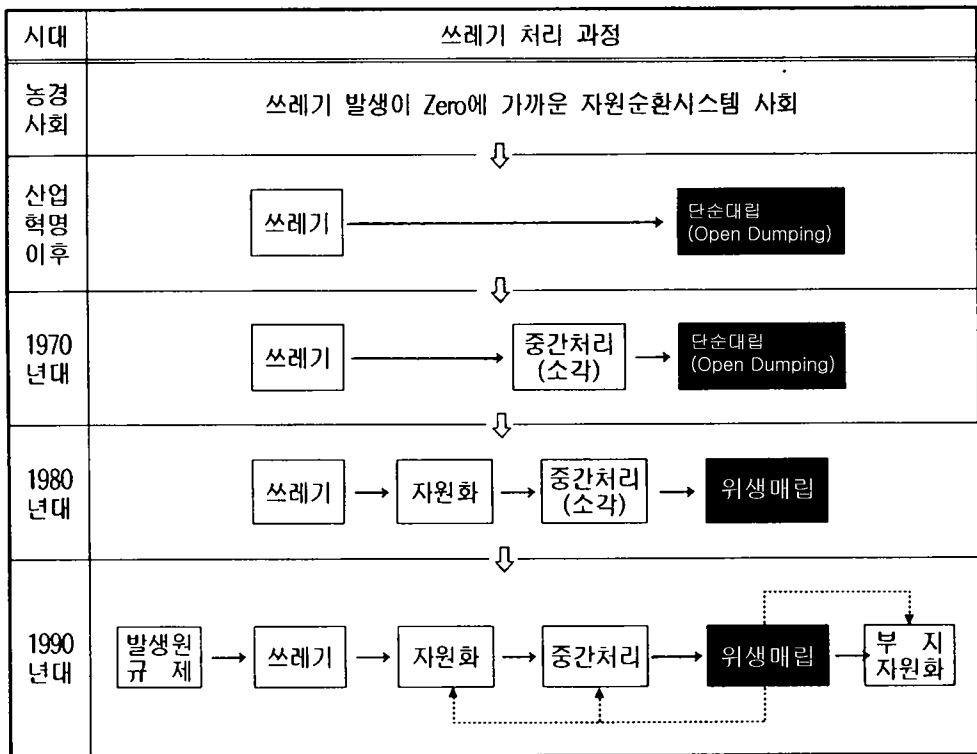
따라서 본 장에서는 인류가 지구상에 살아오면서 어떻게 쓰레기를 처리하여 왔으며, 앞으로는 어떠한 방향으로 가야할 지에 대해 다루었다. 또한 자원순환형 시대에 부합되는 쓰레기 매립공법의 제안과 더불어 매립지 굴착시 나오는 선별토사의 재활용을 위한 물리화학적 기초실험, 현재의 침출수처리상의 문제점과 향후의 방향을 제시하였다.

제1절 쓰레기 처리과정과 쓰레기 매립지의 역할 변천

1. 쓰레기 처리과정의 변천

최근까지 세계 각국에서 쓰레기는 <그림 4-1>에서 보는 바와 같이 구릉지나 유희지 등에 단순 투기하는 비위생 매립방식에 의존해 왔으나 1980년대에 접어들면서 쓰레기의 감량화, 즉 소각이나 열분해 같은 중간처리 기술과 자원화기술의 개발이 이루어져 쓰레기 처리과정에 중간처리와 자원화 기술을 도입하게 되었다. 그럼

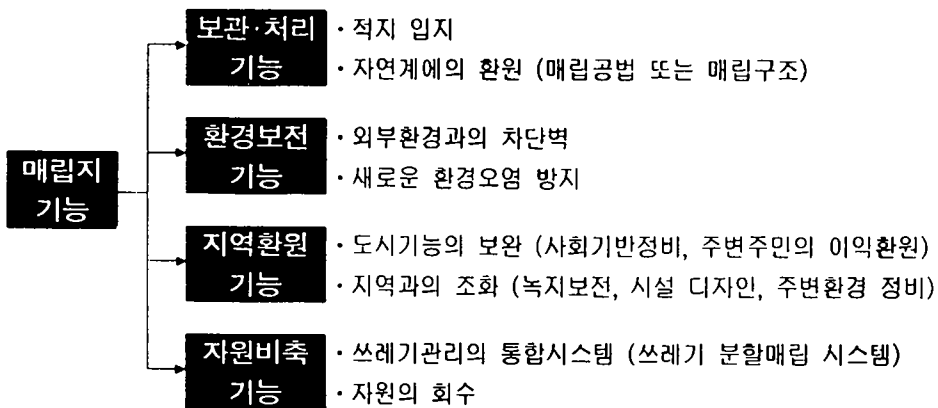
에도 불구하고 날로 심각해지는 쓰레기 문제에 대한 위기의식과 지구환경문제, 쓰레기의 매립에 따른 토양오염문제를 의식하면서 1990년대 초부터는 쓰레기와의 전쟁이라고도 불리는 시대를 맞아 쓰레기가 급증하는 가운데 「폐기물관리법」이 몇 차례 개정도 되어, 종래와 같이 「투기」된 폐기물을 적정처리·처분하는 방법뿐만 아니라 「배출원 억제」가 명기되고, 그러한 사회시스템을 만들기 위한 방안을 모색하기 시작하였다. 즉 쓰레기 처리과정에 자원화의 개념을 적극 도입하여 배출원 단계에서 쓰레기의 발생을 최대한 억제하고 유가물을 회수하는 것은 물론, 쓰레기 매립지에서는 미회수된 나머지 자원을 회수한 후 남은 최종 쓰레기는 환경보전상 보다 안정화, 무해화시켜 이것을 신규 쓰레기 매립부지로 재활용하는 단계로까지 발전하기에 이르렀다.



<그림 4-1> 쓰레기 처리과정의 변천

2. 쓰레기 매립지 역할의 변천

쓰레기 매립지는 시대적 또한 사회적 변화에 부응하여 그 기능이 발전되어 왔다. 과거에는 「폐기된 물건」의 단순한 「버리는 장소의 기능」으로써만 수행하던 것이, 오늘날 요구되고 있는 쓰레기 매립지의 기능은 <그림 4-2>에서 보는 바와 같이 첫째 적절한 장소에 충분한 처분용량을 확보하여 자연환경처리가 이루어질 수 있는 「보관·처리」 시설로서의 기능을 보유하여야 한다. 둘째로 유해물질 등이 반입될 경우를 대비하여 환경오염에 대한 차단벽으로서의 역할을 담당할 수 있는 「환경보전」 시설로서의 기능을 가지고 있어야 하며, 셋째로 쓰레기 매립지의 확보가 곤란한 상황에서는 지역주민들에게 혜택을 줄 수 있는 「지역환원」 시설로서의 기능을 충족하는 것이 주민합의의 관점에서 볼때 필수적이라 할 수 있다. 마지막으로 매립쓰레기는 차세대를 위한 잠재자원이므로 「자원비축」 시설로서의 기능까지도 충족하여야 할 것이다.



<그림 4-2> 쓰레기 매립지의 기능과 조건

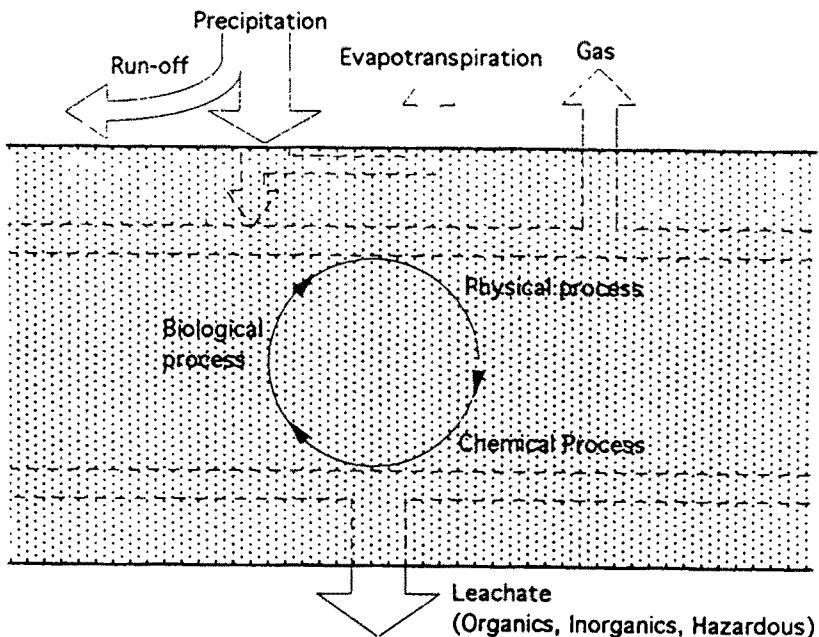
특히 이들 기능 중에서 매립지는 미회수 자원을 유효하게 회수하기 위한 비축지으로써 정립되고 잠재유가물을 분별저장하고 남은 매립지는 안정화, 무해화해서 새

로운 토지 조성제로써 이용하거나 안정화, 무해화가 힘든 것은 장기적으로 모니터링해 나가면서 관리, 보관하는 매립지에 대한 새로운 개념 정립이 중요시 되어가고 있는 추세이다.

3. 쓰레기 매립기술의 현황 및 향후 동향

가. 쓰레기 매립기술의 현황

일반적으로 매립된 쓰레기는 <그림 4-3>에서 보는 바와 같이 강우나 기온 등의 외부요인이나 매립층 내부의 물리화학적 및 생물학적 작용을 받아 장기간에 걸쳐 생물분해 가능한 유기오염물질이 완만히 분해되어 침출수나 메탄가스, 이산화탄소와 같은 가스상태로 유출되거나 분해되지 않는 안정한 유기물로 변화되면서 매립지의 안정화가 이루어지게 된다. 이런 과정 중에서 쓰레기의 매립단계에서는 악성 침출수나 위생해충의 발생, 매립지반의 침하가 문제가 되고, 매립종료 후에는 침출



<그림 4-3> 쓰레기 매립지에서의 오염물질 분해 메카니즘

수와 가스발생이 주된 문제가 된다. 일반적으로 매립지의 안정화 과정에는 물리화학적, 생물학적 자정작용이 관여하는데 그중 분해성 유기물이 존재하게 되면 생물학적 작용이 가장 큰 역할을 담당하게 된다.

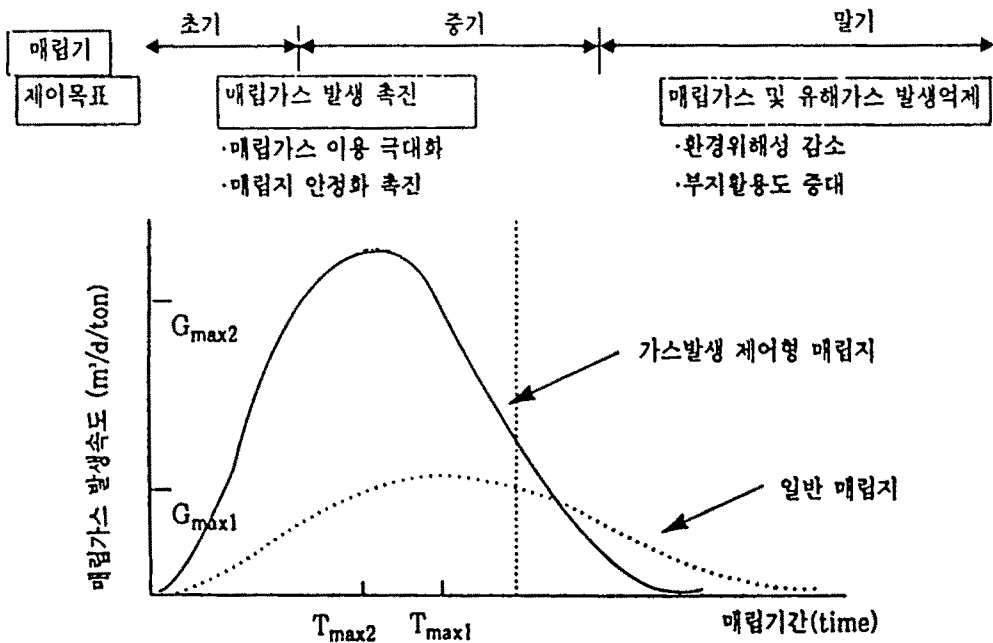
매립쓰레기의 안정화과정은 대단히 긴 시간을 필요로 하기 때문에 공해방지 측면에서 뿐만 아니라 사후토지이용의 면에서도 장애물이 되고 있는데, 이와 같은 문제를 개선하기 위해서 매립지의 구조, 매립방법, 전단계인 중간처리법 (소각, 파쇄, 퇴비화, 유기물회수)에 대해 충분한 검토를 한 후에 매립지를 계획하는 것이 중요하다.

또한 자원에너지의 회수, 쓰레기의 리사이클에의 노력은 향후 점점 더하겠지만 쓰레기의 소각처리와 같은 중간처리가 주체가 되면 쓰레기의 감량화나 유기물에 의한 오염은 어느 정도 해소되겠지만, 반면에 중금속이나 무기염류는 적정처리 곤란물로서 농축되어 매립지에 집적처리될 것이기 때문에 새로운 환경오염을 직면하게 될 것이다.

나. 매립기술의 전망

1970년대 오일쇼크 이후 미국을 비롯한 유럽 각국에서는 쓰레기 매립지에서 쓰레기가 분해하면서 발생하는 매립가스가 아주 우수한 대체 에너지원으로 평가하여 매립가스를 적극적으로 회수·이용하여 왔다. 따라서 자연히 매립공법에 대한 연구도 쓰레기 매립지를 일종의 Bio Reactor라는 관점에서 다량의 가스를 장기간에 걸쳐 회수할 수 있는 방법을 모색하는데 집중되어 왔다. 반면에 국토가 좁고 인구밀도가 높은 일본의 경우에는 매립가스의 활용보다는 사후 매립부지의 조기활용에 더욱 많은 관심을 보였다. 즉 매립지를 일종의 정화조라는 개념에서 매립지를 어떻게 하면 신속히 안정화시켜 매립부지를 재이용할 것인가에 관심을 두어 왔다. 이와 같이 각국의 국토사정이나 쓰레기처리 기본방침의 차이로 인해 매립가스를 보는 관점이 상반되는 것을 알 수 있다.

또한 쓰레기 매립지에서는 미생물에 의한 유기물 정화기능, 흡착능, 양이온 교환 능 등이 최근에 정량적으로 평가되고, 또한 이들 기능이 예상보다 뛰어난 것으로 밝혀짐으로써, 매립지 내에서 일어나는 이러한 정화기능을 최대한 활용하여 매립지 내의 환경을 인위적으로 제어하여 매립가스 발생 촉진 및 매립지의 안정화를 도모 하고자 하는 매립공법이나 구조를 개발하려는 연구가 활발히 전개되고 있다. <그림 4-4>는 이와 같은 매립지에서의 물리화학적, 생물학적 현상을 최대한 이용하여 매립지의 조기안정화는 물론 매립지 발생가스를 적극적으로 활용하려는 의도로 제안된 한국형 쓰레기 Biofill system의 개념을 나타내고 있다.



<그림 4-4> 한국형 폐기물 Biofill system의 개념도

현재 미국 EPA[US EPA, 1991]에서 채택하고 있는 「매립지 관리법」은 차수막, 복토 등을 통하여 쓰레기를 매립지 내에서 건조한 상태로 유지하여 침출수의 발생을 억제함으로써, 지하수의 오염을 방지하려는 'dry tomb' 개념이다. 그러나 이

는 차수막, 복토 등이 수분의 유입, 유출을 영구적으로 차단할 수 없기 때문에 쓰레기의 분해가 지연되는 dry tomb공법에서는 오히려 침출수의 발생에 의한 지하수의 오염가능성이 높고, 매립 후 토지의 사용도 제한된다는 단점이 있다. 이와 같은 관점에서 보면 매립지의 쓰레기를 빠른 시간 내에 분해시켜 침출수 등으로 유출될 수 있는 양을 줄이는 방법이 지하수의 오염을 완화시키고 매립지의 향후 토지이용에도 유리할 것이며, 이와 같은 관점에서 여러 가지 매립공법이 현재 연구되고 있다.

Stabilized Placement는 호기성 공법으로 쓰레기를 안정화시킨 후 새로운 쓰레기를 그 위에 매립하는 방법으로 안정화된 쓰레기층의 오염물질의 흡착능력 등을 이용할 수 있을 뿐 아니라 호기성 분해에 의해 쓰레기의 용적을 크게 줄일 수 있는 장점이 있어 현재 미국의 여러 매립지에서 사용되고 있다. Bioreactor Trench법은 매립지에 8-10 미터 정도의 도랑을 설치, 혐기성 상태로 유지하여 발생하는 침출수를 혐기성으로 현장처리하고 매립지 내로 수분을 공급함으로써 매립지의 조기안정화를 달성하려는 공법이나 아직 사용되고 있지는 않다.

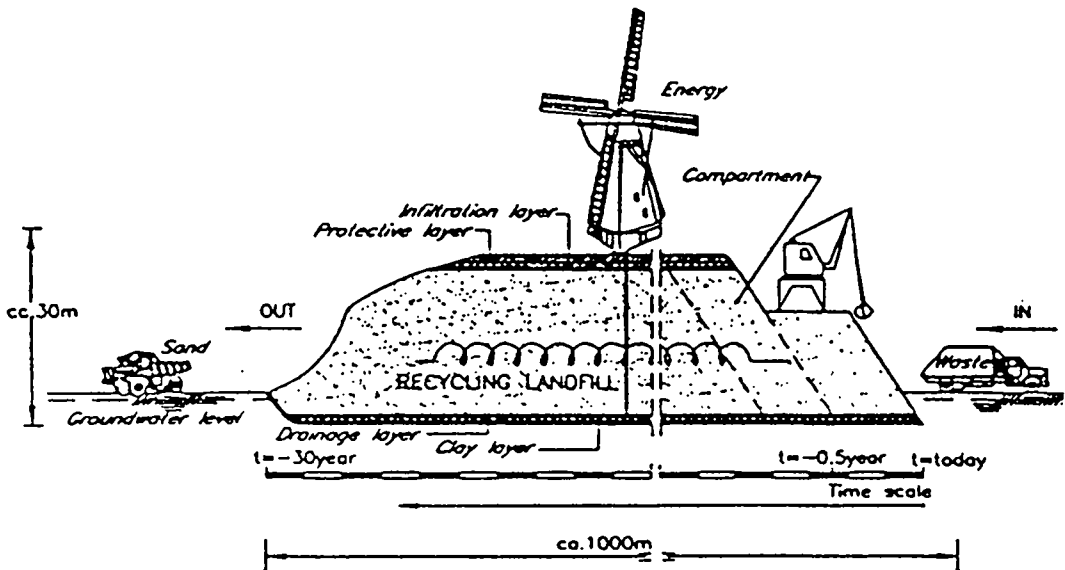
Fermentation/Leaching Wet Cell Method는 기존의 dry cell공법이 침출수에 의한 오염물질의 누출을 방지할 수 있지만, 쓰레기의 안정화 속도가 느리다는 단점을 개선하기 위하여 제시된 공법으로 파쇄된 쓰레기를 매립한 후 초기 5년 정도 유기물의 조기분해를 위하여 침출수를 재순환한 후 이후 발생하는 침출수는 수집하여 처리시키는 방법이다. 침출수의 재순환시 쓰레기의 함수율 증가로 인한 침출수의 누출은 쓰레기층 외부에 reverse gradient water distribution을 설치하여 방지하도록 고안되었다.

쓰레기를 전처리한 후에 매립하는 공정도 연구되고 있는데 전처리의 방법으로는 semi-solid anaerobic digestion, 전처리로 슬러지를 첨가한 후 퇴비화하는 방법 등이 제시되고 있다. 또한 쓰레기의 파쇄 후 composting으로 전처리한 후 매립하는 방법도 제시되었다. 그러나 이와 같이 하더라도 역시 매립지가 안정되기 위해서는

시간이 걸리고 동시에 환경보전 비용이 들게 된다.

한편 최근 유럽국가를 중심으로 지속가능성의 원리를 쓰레기 매립지에 적용하여 매립지를 수동적인 쓰레기 집적소라기 보다는 처리과정이라는 관점에서 재조명하는 움직임이 일고 있다. 이것은 자연히 한 장소에의 장기적인 방치하는 것을 지양하고 매립지에 반입되는 모든 것을 유용한 생산품으로 처리할 필요성을 느끼게 되었는데, 즉 현대기술의 발전과 쓰레기 질의 변화에 대응하여 쓰레기매립에 대한 개념도 바뀌어야 한다는 생각이다.

제안된 매립기술인 "EQUIFILL"이란 지속가능한 매립을 위한 개념으로, 본 연구에서 제안한 재활용형 매립지 개념과 유사한 공법이라 할 수 있다. 고체폐기물을 낮은 에너지 레벨에서 장기간에 걸쳐 거시화학적 조건을 조절함으로써 유용한 생산물로 바꾸자는 것이다. <그림 4-5>는 이 개념을 도식화한 것이다.



<그림 4-5> EQUIFILL 매립 개념의 모식도

제2절 자원재활용형 매립시스템 개발의 필요성

1. 쓰레기 처리과정상의 문제점

가. 퇴비화 문제

우리 나라의 쓰레기처리정책은 소각을 통한 감량화와 위생매립이 주류이며, 퇴비화, 연료화, 사료화 등과 같은 자원회수형의 처리 비율은 매우 낮은 편이다. 그러나 최근 쓰레기의 수집, 운반, 처리과정에서 음식쓰레기로 인한 환경오염이 사회적 문제로 대두되면서 음식쓰레기의 퇴비화가 점차적으로 주목을 받고 있다.

일반적으로 음식물쓰레기의 퇴비화는 매립되는 쓰레기의 감량화를 통해 환경오염을 저감하는 동시에 농업생산에 기여 할 수 있다는 점에서 가장 이상적인 처리 방법으로 주목을 받고 있다. 그러나 퇴비는 아직도 대부분이 농업용으로만 사용되고 있어 수요가 적을 뿐 아니라 수요가 계절적으로 편재하고 있다는 커다란 문제점을 안고 있다. 또한 쓰레기의 질적 변화 내지는 약화, 불용물의 증가 등으로 인하여 앞으로도 퇴비화가 활성화되기까지는 많은 문제점이 남아있다.

따라서 퇴비의 농업용 이외의 활용책과 거기에 따른 활용기준 마련도 뒷받침되어야 할 것이며, 퇴비화 기술을 쓰레기 매립지 안정화공법에 적극 응용하여 최종처분되기 전에 쓰레기의 감량화와 유기물 오염부하를 감소시키는 전처리 기술로서의 응용도 적극적으로 검토해 볼 필요가 있다.

나. 소각처리 문제

최근 각 지방자치단체는 쓰레기문제의 해결책으로 쓰레기의 소각을 적극 추진하고 있으며 정부차원에서도 지원을 아끼지 않고 있다. 현재의 계획으로는 기술수준 등 우리 여건상 가능한 범위내에서 소각시설을 확충하여 2001년까지 소각처리율을 25%까지 높혀 매립지 부지난 해소에 주력할 계획에 있다. 그러나 소각공장의 건설

과 운영에는 경제적으로나 기술적으로 많은 어려움을 안고 있으며, 소각시에는 폐열 뿐만 아니라 각종 배출가스, 다이옥신 등과 같은 유해물질이 발생하여 새로운 환경오염문제를 야기하게 된다.

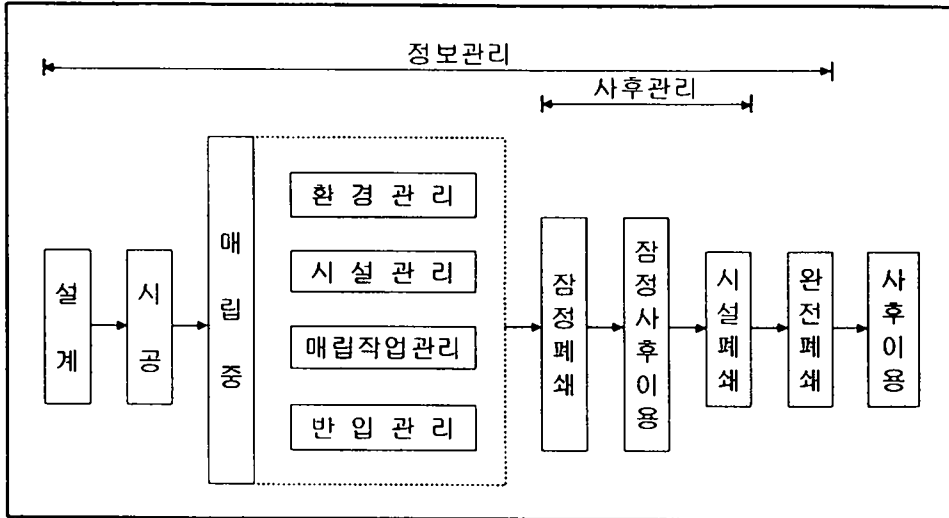
또한 소각처리란 감량(용)화, 안정화, 무해화라는 쓰레기처리의 3대 목표를 달성하는 최선의 방법으로 각국에서 높이 평가받아 왔지만, 최근에 지구환경문제중의 하나인 지구온난화를 야기하는 탄산가스 방출의 삭감에 대한 논의가 진행되고 있는 상황에서 쓰레기의 감량화를 위한 소각처리방안도 지구환경적인 측면에서 재조명해 볼 필요가 있다.

다. 매립부지 확보 문제

인간의 일상생활이나 산업활동으로 인해 발생하는 쓰레기의 매립처분은 과거 부패성 유기물질이 주체인 시대에는 자연계의 대사기능에 의해 안전화, 무해화가 진행되었지만 쓰레기의 성질이 다양해진 오늘날에는 안정성을 보장받기 어려워 소각 등을 통한 감량화를 적극적으로 추진하고, 매립지 시설이나 관리기준이 점차적으로 강화되고 있는 추세이다. 그러나 쓰레기의 특성상 재활용과 소각등을 통해 감량화를 도모하더라도 일정량의 매립처분은 필수 불가결하기 때문에, 이제까지 국내 쓰레기 처리의 대부분을 의존하였던 매립처분은 향후에도 쓰레기의 처리과정에서 중요한 역할을 담당하게 될 것으로 예상된다.

한편 쓰레기 매립지는 소각공장 등과 같은 중간처리시설에 비교해, 면적으로 광범위할 뿐만 아니라 고지대나 수원의 하류에의 입지 등, 환경범위가 넓은 특징을 지니고 있다. 또한 <그림 4-6>에서 보는 바와 같이 매립지 설계·시공단계에서 매립완료까지에 장기간을 요하고 매립후의 사후토지이용의 장점을 받아들이기까지 대략 20년에서 50년 정도 소요되어 신규매립지의 확보에 지장을 주고 있다.

이상과 같이 양적으로 급증하고 질적으로 악화되고 있는 쓰레기 처리를 처리처분하는데 있어서 지적되고 있는 문제점을 요약하면 다음 <표 4-1>과 같다.



<그림 4-6> 시계열적 쓰레기매립지의 관리항목

<표 4-1> 우리나라 쓰레기 처리처분상의 문제점

요 소	문 제 점
퇴 비 화	<ul style="list-style-type: none"> - 대부분이 농업용으로만 사용되어 수요가 적음. - 수요의 계절적 편재 - 쓰레기질의 악화, 불용물의 증가 등
소각처리	<ul style="list-style-type: none"> - 소각공장 건설에 비용과다 - 운영에 기술적 Know-how 부재 - 각종 배출가스, Dioxin 등과 같은 환경오염 문제 야기
매립처분	<ul style="list-style-type: none"> - 중간처리시설과 비교해 소요부지 면적이 넓음. - 입지상의 문제 및 환경범위가 넓음. - 매립기간 및 매립후 사후토지이용까지 장시간 소요 - 매립지 설계 및 관리기준 강화로 소요비용 과다 - 근본적으로 토양환원화 불가능한 쓰레기가 주류

2. 자원환경적인 문제점

최근에 금속광물이나 에너지 등의 소비급증은 지구자원의 고갈이라는 지구환경 문제를 불러 일으키고 있다. 문명 창세기부터 1750년까지 생산된 금속량은 2500만t 이나, 1750~1800년까지 1000만t, 1800~1850년까지 1억t, 1850~1900년까지 9억t, 1900~1950년까지 40억t, 그리고 1980년부터 10년간에 58억t을 헤아린다. 주요 천연 금속자원의 전세계 매장량 및 생산량(=소비량)의 최근 조사자료를 <표 4-2>에서 보면 Pb, Zn, Cu, Ni의 가채연수(자원수명)는 각각 36, 43, 80, 138년 정도이며, 가채연수가 100년 미만인 금속이 10종에 달한다.

<표 4-2> 주요 금속자원의 가채연수(1991)

금속자원	매장량 (천t)	연간생산량 (천t)	가채 연수 (년)	금속자원	매장량 (천t)	연간생산량 (천t)	가채 연수 (년)
납	120,000	5,586	21	텅스텐광	3,438순분	44.0순분	78
금	49.4	2,060	24	안티몬	4,695	52.5순분	89
주석	6,000	223.2	27	올리브덴광	11,810순분	99.1순분	119
은	420	14.2	30	니켈	111,586순분	891.1순분	125
아연	295,000	7,187.5	41	망간광	3,538,000	23,872정광	148
카드뮴	970순분	20.989	46	코발트	8,340순분	38.5순분	217
구리	574,000	10,605.9	54	보오크사이트	24,500,000	110,650.5	221
비스무트	250	3.2	78	철광석	229,000,000	906,000	253

그 외에 비금속자원으로는 식물이나 작물의 생육에 필수적인 화학비료 (인산비료) 의 성분인 P의 원료는 자연에서 산출되는 인광석(Phosphate)에서 얻어지고 있다. 1989년 현재 세계 인광석 총매장량은 138.55억t으로 연간 생산량은 약 1.7억t이

며, 1984-1989년 기간에 연평균 3.5%씩 생산량이 증가하고 있다. 우리 나라는 대부분 미국등지로 부터 수입에 의존하고 있는데 1995년 통계자료에 의하면 5개 비료 회사에서 수입한 인광석은 약 160만에 달하고 있는 것으로 조사되었다. 지구상에 있는 인광석 가채연수는 1989년 기준으로 약 80년으로 21세기 후반에는 인광석의 고갈로 화학비료를 생산할 수 없어 곡물의 수확량이 급감할 경우 식량문제가 심각한 지구환경문제로 대두될 전망이다.

제3절 자원재활용형 쓰레기 매립공법의 제안

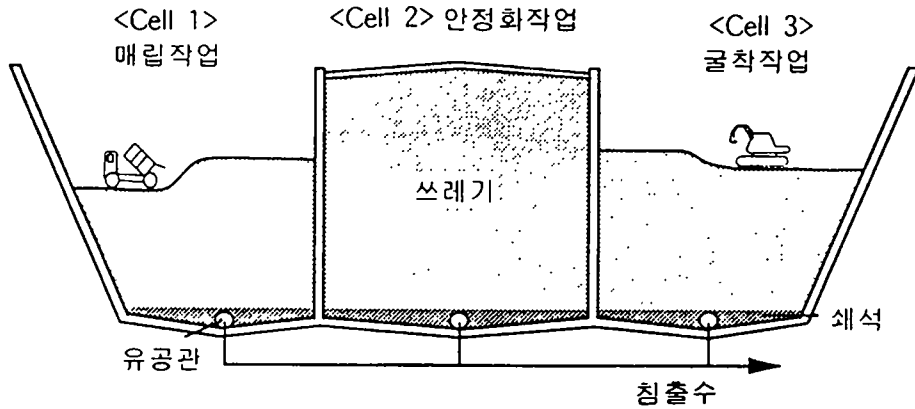
1. 자원재활용형 쓰레기매립공법의 개요

1980년대 말부터 매립지에서 발생하는 메탄가스는 CO₂등과 함께 지구온난화를 야기하는 물질로 주목을 받고 있다. 지구온난화에는 CO₂가 약 50%의 비중으로 기여하고 있다. 그러나 메탄가스는 CO₂에 비해 대기중에 차지하고 있는 농도는 100분의 1로 수준에 지나지 않지만 온난화 효과가 CO₂의 27 배에 달하기 때문에 지구 온난화에의 기여도는 19%를 차지하고 있다. 오늘날 지구상에서 메탄가스의 연간 총발생량은 4~6.4억ton으로, 그중 3~7천만ton이 쓰레기 매립지에서 발생하는 것으로 추정되고 있는데, 가능한 한 매립지에서 발생하는 메탄가스를 에너지 자원으로 유효 활용하여 CO₂ 가스상태로 대기에 방출하거나 매립구조를 개량하여 호기성화하는 것도 지구온난화를 억제하는 최선의 방법이라 할 수 있다.

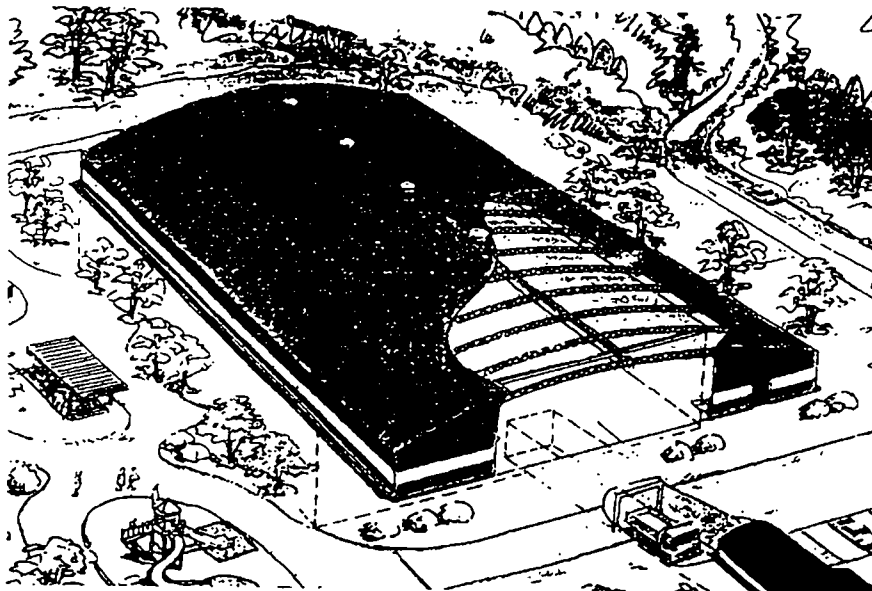
한편 지구환경문제에 있어서 지구온난화 이외에도 자원고갈문제, 식량자원 부족 문제 등이 가까운 장래에 우리의 눈앞에 닥쳐올 것으로 전망되는데, 따라서 본 장에서는 이와 같은 지구환경문제에 종합적으로 대처할 수 있는 총합 자원회수형 매립시스템에 대해 논하고자 한다.

자원재활용형 쓰레기 매립시스템은 최근 기존의 불량매립지나 무계획적으로 낭

비하여 버린 매립지를 복구 또는 재생하는 차원에서 이루어지고 있는 Landfill Mining의 개념을 일반 매립시스템에 반영한 시스템이다.



<그림 4-7> 자원재활용형 매립공법



<그림 4-8> 자원재활용형 매립지의 모식도

<그림 4-7>에 제시한 바와 같이 먼저 매립부지를 3개의 섹터로 구획하거나 3개의 매립지를 별도로 조성하여 매립작업과 2~3년간의 안정화작업, 굴착·자원화 작업을 반복적으로 수행함으로써 매립지를 반영구적인 시설로 사용하는 것을 말한다. 또한 조기안정화 기술을 적용하여 쓰레기의 분해기간을 최대한으로 단축시켜 소요 부지 면적을 최소화시킴으로서 소요공간의 절약 효과도 동시에 도모할 수 있다.

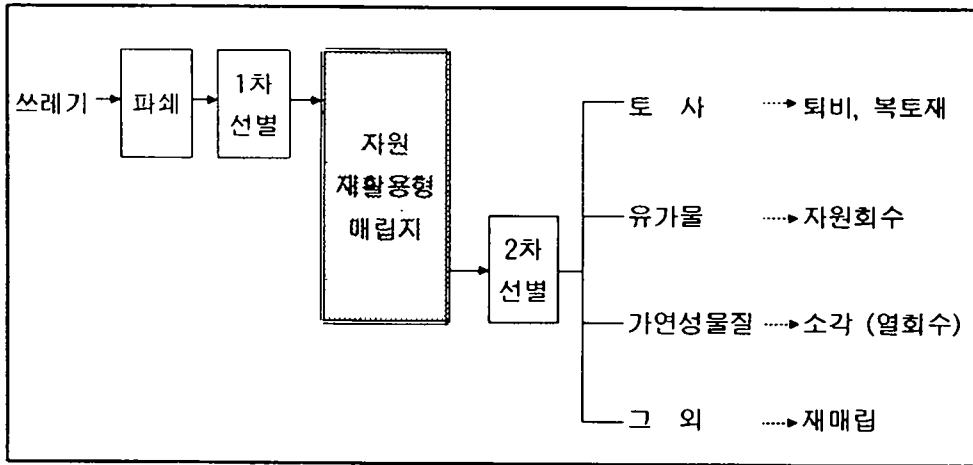
자원재활용형 매립지의 개념적인 모식도는 <그림 4-8>과 같다.

2. 자원재활용형 쓰레기 매립공법의 특징

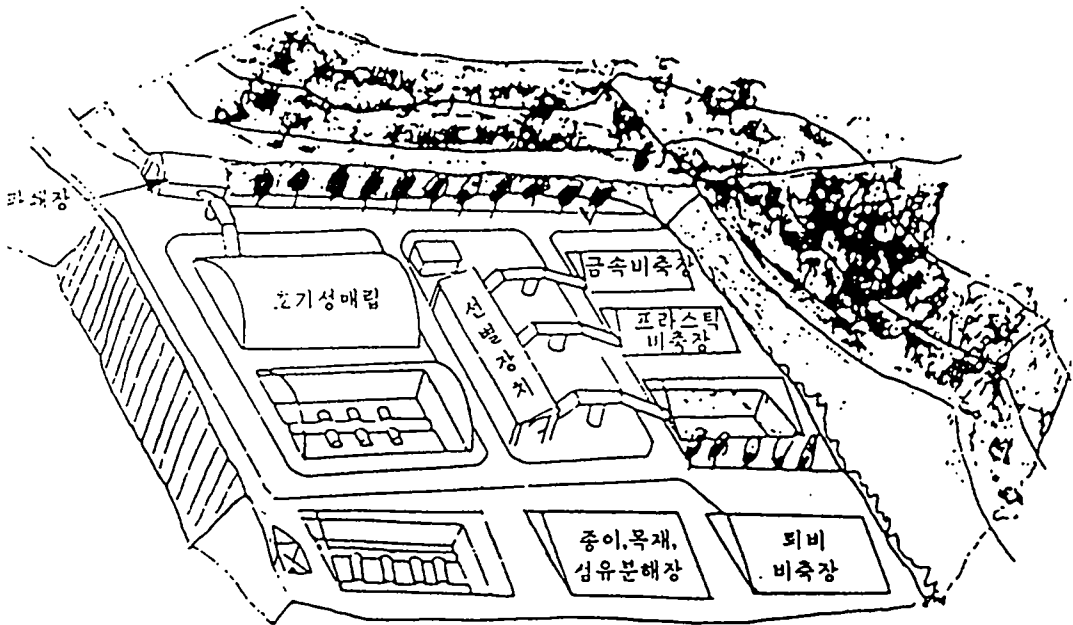
자원재활용형 매립공법은 오늘날 쓰레기 매립지를 건설하거나 유지관리하는데 있어서 가장 큰 문제점은 앞서도 언급했듯이 좁은 국토 내에서의 신규매립지 확보난, 주민 보상비용의 과다, 한시적인 시설임에도 불구하고 건설비 과다하며, 침출수 발생으로 인한 지하수오염이나 침출수 처리에 있어서 기술상의 어려움과 비용이 많이 소요된다는 점 등을 해소할 수 있는 방안으로 제시될 수 있다.

자원재활용형 매립공법의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- ① 자원재활용형 매립지는 우수의 유입을 차단하여, 일정조건하에서 호기성분해를 행하게 하여, 악취대책이나 해충대책에도 대응하도록 함.
- ② 또한 쓰레기의 분해나 쓰레기층의 압밀에 의해 생긴 침출수는 매립지에 반송하여, 발효열을 이용하여 수분의 증발산을 유도하고, 쓰레기층을 통과시켜 침출수 처리도 행하여 침출수의 자연계로의 배출을 최대한 억제하는 system임.
- ③ 자원재활용형 매립공법을 통한 자원의 재활용은 매립부지를 항구적으로 사용할 수 있어 토지자원을 재활용할 수 있으며, 또한 굴착한 쓰레기중에 함유되어 있는 유가물 회수, 퇴비물질 회수 등을 기할 수 있음.
- ④ 본 system은 기존 매립공법에 비해 운영경비가 저렴하고, 유지관리가 용이함.
- ⑤ 퇴비, 금속, 플라스틱 및 메탄가스등을 회수할 수 있음.



<그림 4-9> 자원 재활용형 매립시스템의 Flow sheet



<그림 4-10> 자원재활용형 매립지를 중심으로한 처리시설 모식도

⑥ 매립지로의 우수유입을 차단하므로서 침출수 처리장이 필요없으며, 침출수로 인한 지하수 오염을 근원적으로 해소할 수 있음.

⑦ 매립지 유지관리가 용이하여 농어촌지역의 소규모매립공법으로 적당함.

본 시스템의 flow sheet는 <그림 4-9>와 같으며, 자원재활용형 매립지를 중심으로 한 전반적인 처리시설 모식도는 <그림 4-10>과 같다.

3. 해결되어야 할 문제점

자원재활용형 매립공법을 실용화하기에 앞서 제기되는 문제점으로는

- ① 쓰레기를 균일화하기 위한 방법과 그 균일성의 검토
- ② 효율적인 공기주입량과 그 주입방법의 검토
- ③ 매립지내에서 침출수를 빠르게 배제할 수 있는 매립구조의 검토
- ④ 호기성매립처리후의 쓰레기 자원화와 그 평가

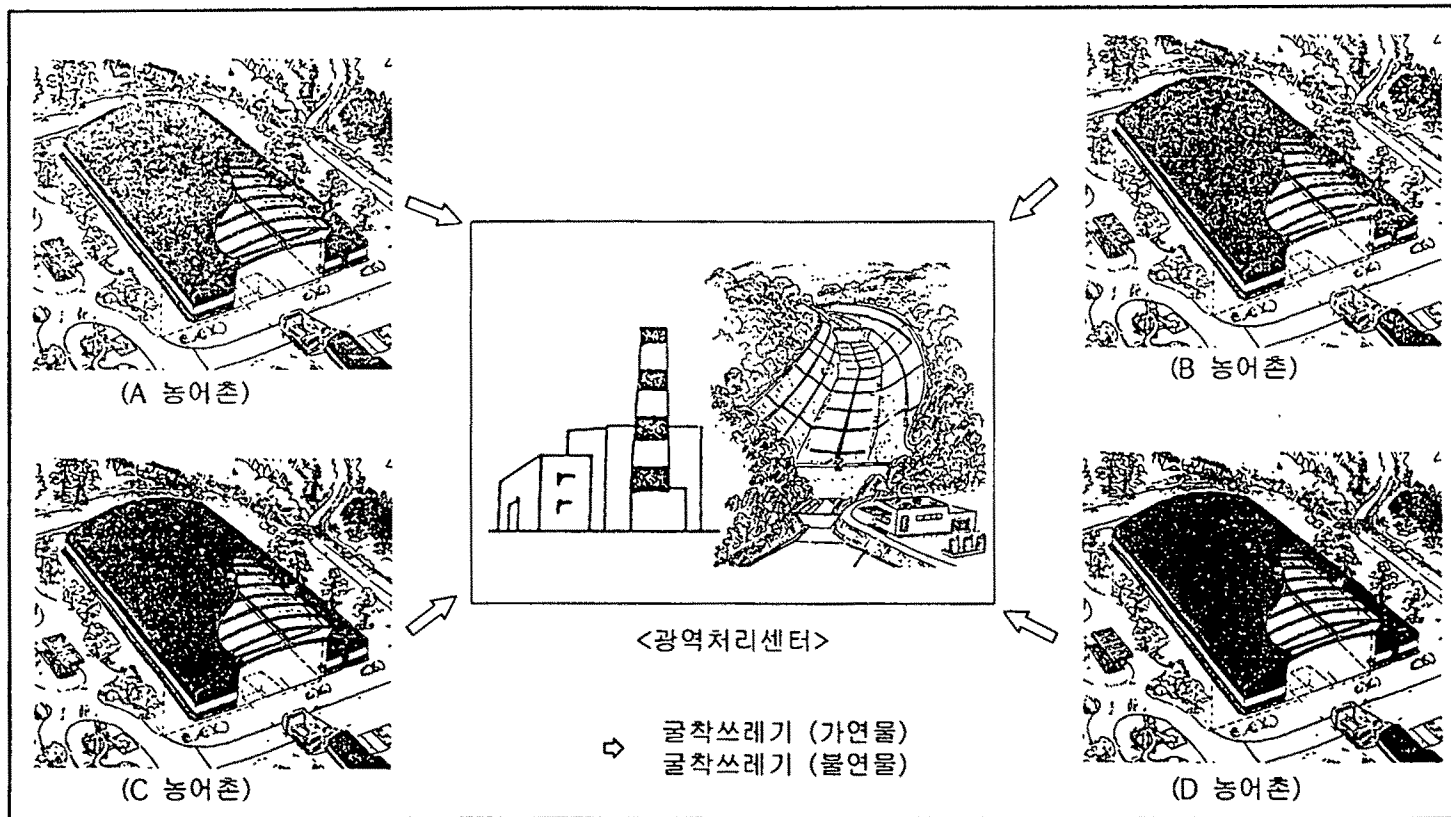
등을 거론할 수 있는데, 여기에 대해서는 향후 계속적으로 실험적인 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4. 농어촌지역에서의 자원재활용형 매립지를 중심으로 한 쓰레기처리 모델

가. 자원재활용형 매립지를 중심으로 한 농어촌 쓰레기 광역처리 모델

농어촌지역별로 자원재활용형 매립시스템을 채택하고, 몇 개의 농어촌지역이 광역으로 소각공장을 건설할 경우, 현재 소각처리의 문제점으로 대두되고 있는 과잉수분함유, 선별 문제 등을 해결할 수 있으며, 자연분해 가능한 물질은 자연의 정화능에 의해 사전에 제거되므로 소각처리용량의 효율을 극대화 할 수 있다.

따라서 <그림 4-11>과 같이 몇 개의 지방자치단체가 연계하여 광역소각장을 건설하면 건설비 절감뿐만 아니라 효율적인 소각장 운영을 기할 수 있을 것으로 판단된다.

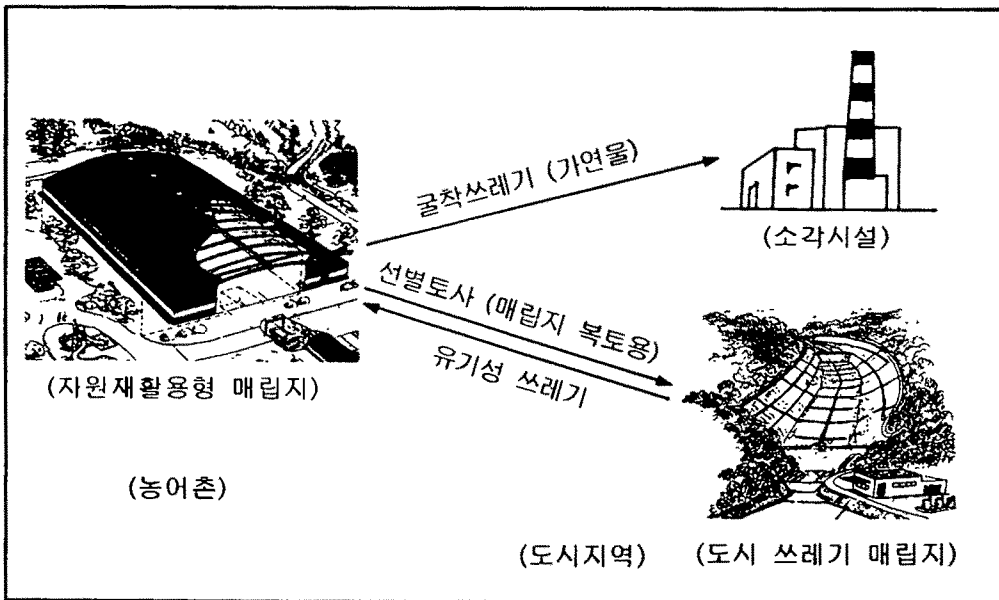


<그림 4-11> 농어촌 쓰레기 광역처리 모델

나. 도시지역 인근 농어촌에서의 자원재활용형 매립지의 운영 모델

균규모 이상의 도시인근에 위치하고 있는 농어촌에서는 도시지역의 소각시설과 연계하여 군지역에서 발생하는 유기성쓰레기 (음식쓰레기, 하수슬러지, 정화조슬러지, 분뇨슬러지)와 농어촌지역의 자원재활용형 매립지에서 선별한 가연성쓰레기를 상호교환 처리할 경우 농어촌지역에서는 별도의 소각시설이 필요없게 되며, 자원재활용형 매립지에서는 퇴비의 훌륭한 원료가 되는 성분을 안정적으로 확보할 수 있어 일거양득의 효과를 얻을 수 있다. (<그림 4-12>참조)

일 예로 각종 소화슬러지에는 난분해성 고형유기물과 함께 다량의 N, P성분이 함유되어 있는데, 이런 소화슬러지를 단독으로 퇴비화하기에는 이분해성유기물이 결핍되어 있어 외부에서의 승운이 필요한데 이분해성 유기물이 풍부한 쓰레기와 혼합매립한다면 승운이 필요없게 되며, 유기성쓰레기의 처리 및 자원화 효과는 더욱 증대되고 생산된 퇴비의 품질도 향상될 것으로 예상된다.



<그림 4-12> 도시지역 인근 농어촌에서의 자원재활용형 매립지의 운영방안

제4절 굴착쓰레기의 물리화학적 특성 분석

1. 실험 목적

기존의 쓰레기매립에 대한 개념은 인간이 땅에서 유용한 자원을 채취하여 사용한 후 불용물을 다시 토양으로 환원시켜주는 공정으로 인식하여 왔기 때문에 적당한 장소에 주변환경을 저해하지 않는 조건으로 쓰레기를 묻어왔다. 그러나 오늘날의 쓰레기는 질적인 면에서 많은 변화를 가져와 더 이상 토양으로 환원되지 못하는 쓰레기가 주류를 이루게 되었으며, 또한 매립부지를 확보하는데 많은 어려움에 봉착하고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 쓰레기와 질적인 면에서 상당히 차이가 나고 또한 매립지 취득난을 해소할 목적으로 자원재활용형 매립공법을 제안하였으며, 특히 농어촌 지역에서는 특히 유용한 쓰레기매립공법으로 제안한 바 있다.

그러나 자원재활용형 매립공법을 실용화시키는데는 몇 가지 해결하여야 할 과제가 있다. 그중 가장 큰 문제가 매립 발생되는 쓰레기를 매립한 후 토양미생물에 의해 분해가능한 유기물을 분해시킨 후 더 이상 자연의 힘에 의해 분해 불가능한 쓰레기의 처리 방법이다.

따라서 본 연구에서는 매립연한이 다른 매립쓰레기를 현장 굴착 실험을 토대로 물리화학적 성상을 조사하여, 매립지 재사용을 위한 굴착 쓰레기 재활용방안과 감량화 방안 모색을 위한 매립쓰레기의 제반 특성을 조사하는데 목적을 두고 있다.

2. 실험 개요

가. 조사대상 매립지의 개요

매립된 쓰레기의 자원화(감량화)를 도모하기 위한 부속쓰레기의 활용방법은 매립경과 연수가 다른 매립지를 대상으로 매립지를 굴착하여 쓰레기의 물리화학적

특성을 조사를 실시하였다

매립경과 시간에 따른 매립쓰레기의 질을 평가하기 위한 현장조사는 <표 4-3>와 같이 김포 수도권매립지 (1년경과), 안성군 매립지 (2년경과), 여주군 매립지 (5년경과), 안양시 매립지 (10년경과)등 4개 매립지를 조사대상으로 하였다. 한편 선별토양의 활용가능성 평가를 위한 대조토사로서 현재 수도권 매립지에서 사용하고 있는 일반 복토제를 사용하여 동일한 방법으로 분석을 실시하였다.

<표 4-3> 조사 대상 매립지의 개요

매립지명 구분	수도권 매립지	안성군 매립지	여주군 매립지 (사곡리)	안양시 매립지
매립쓰레기	생활쓰레기	생활쓰레기	생활쓰레기	생활쓰레기
매립지면적(m ²)	4,088,000	20,000	48,000	105,999
매립용량(m ³)	64,760,000	322,000	144,000	328,557
평균매립고(m)	30 (현재)	16.1	3	5
매립기간	1992.2-1998.12	1995.3-2002.	1988.6-1994.12	1986.6-1988.12
매립방법	해안매립	산간매립	평지매립	평지매립
차수시설 유무	무	유	무	무
사용유무	사용중	사용중	종료	종료

나. 조사방법

시료의 채취는 1997년 6월 10~28일 사이에 쾌청한 날을 선택하여 이루어졌다. 현장 관리인의 설명을 토대로 쓰레기가 집중적으로 매립되어 있다고 판단되는 지점을 선정하여 포크레인으로 먼저 1~2m 가량의 복토층을 걷어내고 쓰레기층으로 판정되는 깊이까지 굴착하여 심도 1m부위(1M)와 2m부위(2M)의 쓰레기를 각각 채취하여 시료로 삼았다. (<사진 4-1>, <사진 4-2> 참조)



<사진 4-1> 매립쓰레기 굴착 장면



<사진 4-2> 굴착된 매립 쓰레기

3. 분석항목 및 분석방법

굴착된 시료는 즉시 현장에서 함수율을 측정한 후, 약 50kg의 시료를 채취하여 폐기물공정시험법의 원추사분법에 따라 시료를 조정하였다.

매립되어 현재까지 분해된 상태의 쓰레기 성상을 파악하기 위하여 물리적 성상 분석은 크게 가연분과 비가연분으로 분류하였으며, 가연분은 다시 음식물류, 종이류, 비닐류, 목재, 섬유, 고무 및 피혁류 등으로, 비가연분은 금속류, 유리 및 도자기류, 토사(연탄재 포함) 등으로 세분하여 각각의 습윤상태 무게를 측정하였다. 그리고 시료를 실험실로 운반하여 선별된 토사의 활용가능성을 실험하기 위해 용출시험과 전량시험을 실시하였으며, 가타 가연성 쓰레기의 처리방안을 강구하기 위한 기초조사로 3성분분석, 발열량 측정, 원소분석 등을 <그림 4-13>과 같은 순서로 실시하였다. 각 항목별 분석방법을 정리하면 아래와 같다.

가) 물리적 성분 분석

① 물리적 조성 분석

쓰레기의 물리적 조성성분비는 가연성과 비가연물질의 구분뿐만 아니라 가연성 물질의 종류 및 발열량계산 등의 쓰레기 성질을 추정할 수 있는 가장 중요한 자료로서 쓰레기의 자원 및 에너지 회수와 처리계통에 절대적으로 요구되는 자료이다.

쓰레기의 물리적 조성은 육안으로 가연분의 경우 음식물류, 종이류, 비닐류, 플라스틱류, 섬유류, 목초류, 가죽·고무류의 8가지로 분류하였고, 불연성의 경우 금속류, 유리·자기류, 기타로 분류하였다. 분류된 쓰레기는 곧바로 습량기준으로 중량을 측정하였고 총 중량에 대한 백분율로서 조성별 함량을 표시하였다.

② 3성분 분석

물리적 분류가 끝난 시료는 곧바로 3성상 분석을 실시하였다. 측정 순서로는 우

선 중량을 알고 있는 $[(W_i)_{BEFORE}]$ 분류된 시료를 105℃ 오븐에서 2시간 이상 증발 건조시켰으며, 건조가 완료된 시료는 데시케이터 안에서 방냉하여 항온이 될때까지 기다렸다가 건조 중량을 측정하였다 $[(W_i)_{AFTER}$ OR $(W_{di})_{BEFORE}]$. 건조중량의 측정이 끝난 시료는 다시 550℃ 정도의 전기로에 넣어 약 2시간 정도 태우고 다시 데시케이터에서 방냉 후 남은 잔류물의 중량을 측정하였다 $[(W_{di})_{AFTER}]$. 측정된 중량으로부터 조성별 수분 및 회분을 구할 수 있고, 조성별 수분/회분과 각 조성의 비율로부터 시료의 총수분과 총회분을 구하였다.

$$\text{조성별 수분}(W_i) = \frac{(W_i)_{BEFORE} - (W_i)_{AFTER}}{(W_i)_{BEFORE}} \times 100$$

$$\text{총수분}(W_T) = \sum_{i=1}^n f_i W_i$$

$$\text{조성별 회분}(A_i) = \left(\frac{100 - W_i}{100} \right) \frac{(W_{di})_{BEFORE} - (W_{di})_{AFTER}}{(W_{di})_{BEFORE}} \times 100$$

$$\text{총회분}(A_T) = \sum_{i=1}^n f_i A_i$$

$$\text{조성별 가연분}(C_i) = (100 - W_i - A_i)$$

$$\text{총가연분}(C_T) = \sum_{i=1}^n f_i C_i$$

여기에서 $(W_i)_{BEFORE}$, $(W_i)_{AFTER}$ 는 각각 건조 전후의 중량을 나타내며, $(W_{di})_{BEFORE}$, $(W_{di})_{AFTER}$ 는 각각 태우기 전후의 중량을 나타낸다. 또한 f_i 는 각 조성의 습량기준 분율을 나타내고, W:Water, A:Ash, C:Combustable을 나타낸다.

③ 발열량 분석

열량분석은 Parr Bomb Calorimeter를 이용하여 각 성분별 시료에 대하여 모두 측정하였다. 발열량은 각 시료의 건조기준 고위발열량(HHV(H_v))를 먼저 측정하여 H_{vi} 로 하고 건조 혼합폐기물의 고위발열량 H_v 를 다음 식을 이용하여 구하였으며

$$H_v = \sum(H_{vi}X_i) \text{ kcal/kg 건조폐기물}$$

습한 혼합폐기물의 고위발열량(H_v)_w는 아래 식으로 구하였다.

$$(H_v)_w = H_v \times \left(\frac{100 - W_T}{100} \right)$$

④ 화학적 조성 분석

화학적 조성은 특히 쓰레기를 소각처리할 경우 발열량이나 소각후 발생가스를 예측하는데 주로 사용될 수 있다. 쓰레기의 화학적 조성은 typical data를 이용하여 각 조성별 C,H,N 함량으로부터 간접적으로 산출할 수도 있으나, 본 실험에서는 쓰레기의 특성을 고려하여 직접 시료로부터 C,H,N,S를 측정하였다. 측정 방법은 우선 시료를 grinder를 이용하여 잘게 부순후 한국표준과학연구원 기초과학지원센터에 의뢰하여 분석하였다. 이곳에서는 Carlo ERPA사의 EA1108을 이용하여 분석하였는데, 이는 고체시료의 C,H,N,S를 분석하는 기기로서, 충분히 건조시킨 시료 약 2mg정도를 태워서 가스상태로 만든 후 TCD에서 정량하는 방법이다. 측정은 3회 반복한 후 평균을 구하였다.

O의 양은 각 시료의 C,H,N,S 및 미량원소들의 합과의 차로 계산할 수 있는데, 미량원소는 극히 소량(ppm)이므로 무시하고 가연성 쓰레기 전체를 100으로 보아 C,H,N의 합과의 차로써 계산하였다.

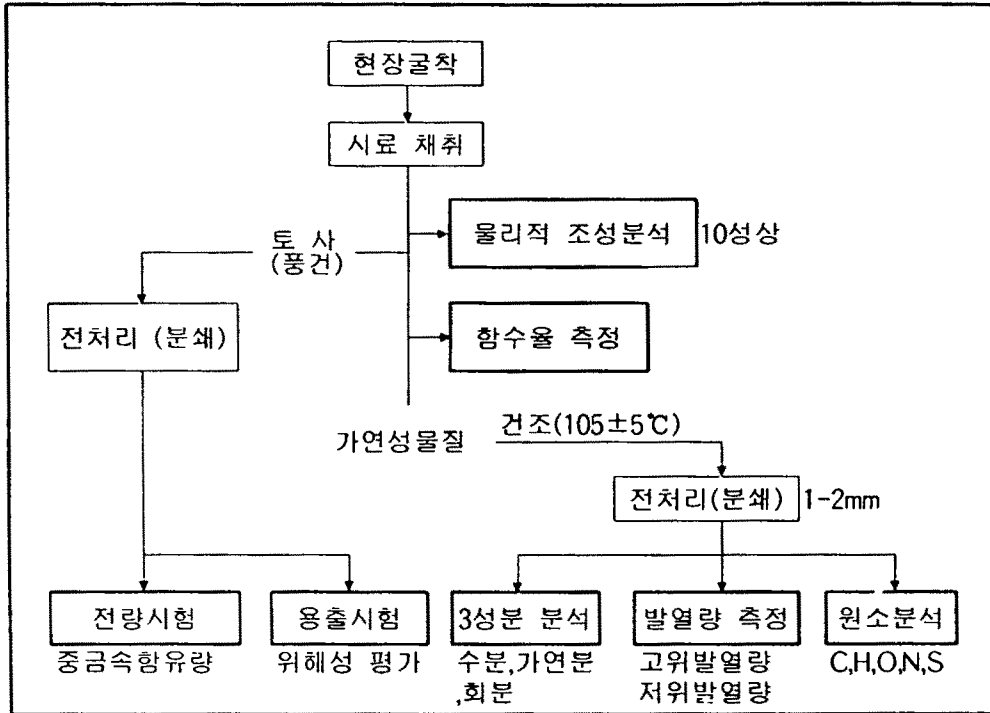
$$O(\%) = 100 - (C+H+N)(\%)$$

여기에서 C:Carbon, H:Hydrogen, N:Nitrogen, O:Oxygen을 나타낸다.

⑤ 용출 실험

쓰레기의 유해성 평가를 위한 용출실험은 국내시험법(KEP)와 미국의 시험법(TCLP)를 각각 사용하였다. KEP는 폐기물공정시험법(환경처고시 제 91-97호('91.12.30)) "제 5 항 용출시험방법"에 의한 것으로 이 시험법의 적용 범위는 '고상 또는 반고상 폐기물에 대하여 폐기물관리법에서 규정하고 있는 지정폐기물의 판정 및 지정폐기물의 중간처리방법 또는 매립방법을 결정하기 위한 시험에 적용한다'라고 명시되어 있다.

KEP용출실험은 용매(보통 증류수)를 HCl로 PH 5.8-6.3으로 조정한 후 시료:용매=1:10 (W: W)의 비율로 혼합하고, 진동수가 1분에 200회, 진폭이 4-5cm 정도의 진탕기를 사용하여 6시간 연속 진탕한 다음 진공펌프를 이용하여 여과하고 여과액을 측정 시료로 한다. 측정하고자 하는 항목이 휘발성인 경우 용출방법을 달리해야 하는데, TCE/PCE 와 같은 휘발성 유기화합물의 경우 마그네틱바가 들어 있는 삼각플라스크에 시료:용매=1:10의 비율로 넣고 headspace가 되도록 작게 하여 밀봉한 후, 자력교반기로 6시간 동안 연속 교반한 다음, 압축펌프를 이용하여 여과하고 이 여과액을 시료로 사용한다. 분석대상종목은 시안, 크롬(6가), 구리, 카드뮴, 납, 수은, 비소 등으로 사용된 분석기기는 AA Spectrophotometer(Shimadzu AA-646)이다.



<그림 4-13> 굴착쓰레기의 물리화학적 분석 방법

4. 결과 및 고찰

가. 매립쓰레기의 특성

매립된 쓰레기의 분해특성을 파악하기 위해서는 매립될 당시의 발생쓰레기 성상을 파악하는 것이 중요하지만 우리 나라에서 쓰레기 성상을 체계적으로 조사하게 된 역사도 짧고 자료의 신뢰성이 없이 최근에 조사대상지역에서 조사된 자료를 근거로 비교 평가하였다.

조사대상 매립지가 소개하고 있는 지역의 1996년도 발생 쓰레기의 물리적 성상은 <표 4-4>에서 보는 바와 같이 가연성 쓰레기가 모든 지역에서 약 90% 정도가 발생되었으며, 그중 음식쓰레기가 차지하는 비율이 가장 높고 그 다음은 비닐·플

<표 4-4> 도시 생쓰레기의 물리적 조성

지역명 (조사년도)	가연성							비가연성				총 계	출 처
	음식물류	종이류	비닐· 플라스틱류	섬유류	목재류	고무· 피혁류	소계	유리· 자기류	금속류	토사류	소계		
서울시	37.57	27.37	15.51	4.06	1.51	1.06	87.08	6.00	5.66	1.26	12.92	100.0	환경부(1997)
안양시	39.05	27.22	14.70	4.06	1.45	1.04	87.52	5.72	5.53	1.23	12.48	100.0	환경부(1997)
안성군	27.00	27.43	15.58	11.49	7.22	1.19	89.91	5.38	3.91	-	9.29	100.0	자체 조사(1996)
여주군	26.62	27.01	19.57	9.50	1.52	2.30	86.52	5.97	5.10	2.41	13.48	100.0	자체 조사(1996)

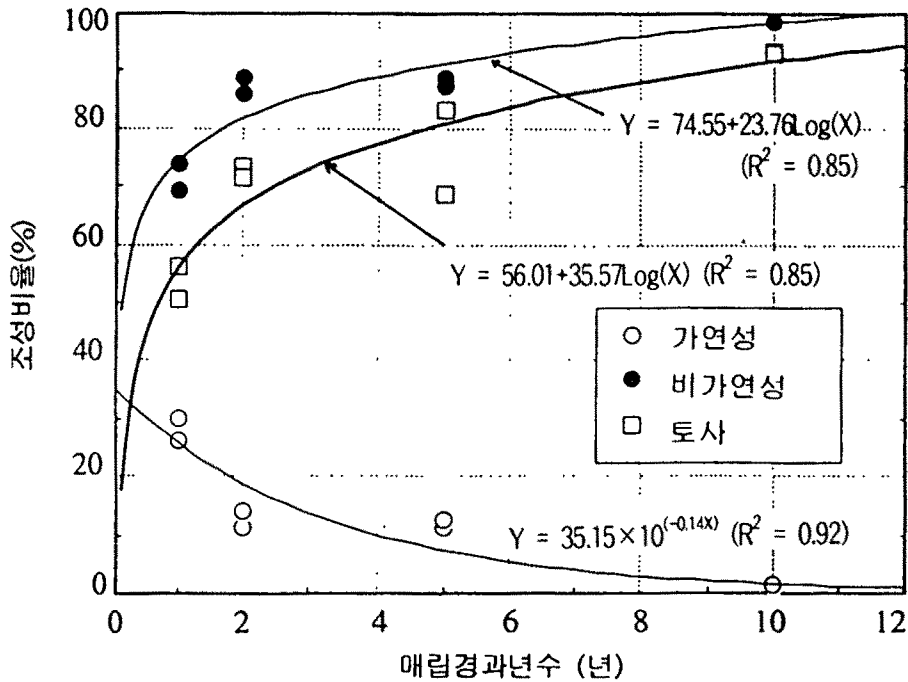
<표 4-5> 매립쓰레기의 물리적 조성분석 결과

매립지명	굴착 심도 (m)	매립연령 (년, 추정)	가연성							비가연성				총계	
			음식물 류	종이류	비닐· 플라스틱류	섬유류	목재류	고무· 피혁류	소계	유리· 자기류	금속류	토사류	소계		
김포 매립지	1M	1.0	1	0.59	5.36	17.71	4.61	1.06	0.70	30.03	15.01	4.47	50.49	69.97	100.0
	2M	2.0	1	0.41	3.82	15.09	3.94	1.92	0.86	26.04	13.93	3.87	56.16	73.96	100.0
	평균			0.50	4.59	16.40	4.28	1.49	0.78	28.04	14.47	4.17	53.32	71.96	100.0
안성군 매립지	1M	1.0	2	0.28	3.21	5.28	2.08	0.17	0.25	11.27	14.99	0.15	73.59	88.73	100.0
	2M	2.0	2	0.09	2.83	6.97	1.96	0.96	1.25	14.06	13.81	0.45	71.68	85.94	100.0
	평균			0.19	3.02	6.12	2.02	0.57	0.75	12.67	14.40	0.30	72.63	87.33	100.0
여주군 매립지	1M	1.0	5	0.02	0.72	6.52	3.07	0.39	0.56	11.28	4.83	0.64	83.25	88.72	100.0
	2M	2.0	5	-	1.36	7.28	1.87	1.06	0.86	12.43	17.42	1.25	68.90	87.57	100.0
	평균				1.04	6.90	2.47	0.73	0.71	11.85	11.12	0.95	76.08	88.15	100.0
안양시 박달동 매립지	1M	1.0	10	-	-	0.71	0.53	-	-	1.24	5.42	-	93.34	98.76	100.0
	2M	2.0	10	-	0.16	0.35	0.38	0.43	-	1.32	5.71	-	92.97	98.68	100.0
	평균			-	0.08	0.53	0.45	0.22	-	1.28	5.57	-	93.15	98.72	100.0

라스틱류가 주종을 이루고 있다. 비가연성 쓰레기는 <표 4-5>에서 보는 바와 같이 약 10% 내외로 그중 토사가 차지하는 비율은 최근에 연탄사용이 급감함에 따라 1~2% 수준에 불과하였다.

특히 매립이 완료된 지 1년 정도만 경과하여도 생활쓰레기 중 가장 높은 조성비를 보이던 음식물이 대부분 분해되어 가스화된 반면, 매립 복토제로 사용된 토사와 연탄재가 상대적으로 비율이 높았으며, 이러한 <그림 4-14>에서 보는 바와 같이 쓰레기는 매립되어 시간이 경과할수록 토양미생물에 의한 유기물의 분해로 인해 가연성쓰레기의 비율은 지수함수적으로 감소하며 상대적으로 비가연성 쓰레기의 비율은 로그함수적으로 증가하고 있다.

따라서 자원재활용형 매립지를 운영할 경우 최소한 1년만 경과하여도 분해성 유기물중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 음식쓰레기가 분해되므로 이를 호기성으로



<그림 4-14> 매립연한에 따른 쓰레기의 성분변화

유지할 경우 더 빠른 시일내에 음식쓰레기가 분해될 것으로 판단된다. 전체 매립쓰레기중 토사가 차지하는 비율이 50.49~93.34%로 가장 높았으며, 매립년령이 오래될 수록 토사가 차지하는 비율이 높았다.

굴착쓰레기의 삼성분 분석을 한 결과 <표 4-6>에서 살펴보면 앞의 물리적 조성 변화와 같이 매립년령이 높아질수록 가연분의 비율은 줄고 회분의 비율은 증가하고 있음을 보여주고 있다.

<표 4-6> 굴착쓰레기의 삼성분 분석 결과

매립지명	삼성분 (%)		
	수분	가연분	회분
수도권 매립지 1M	21.13	13.51	65.36
수도권 매립지 2M	23.65	14.67	61.68
안성군 매립지 1M	18.41	12.49	69.10
안성군 매립지 2M	20.83	16.85	62.32
여주군 매립지 1M	23.90	10.57	65.53
여주군 매립지 2M	23.65	9.61	66.74
안양시 매립지 1M	15.25	9.20	75.55
안양시 매립지 2M	17.83	7.65	74.52

매립연한이 1~10년 경과한 굴착쓰레기중 가연분만을 선별하여 발열량을 측정한 결과 비닐·플라스틱류의 함유율이 높은 관계로 건조고위발열량이 5,541.9~6,663.9kcal/kg, 습윤저위발열량으로는 3,685.7~5,500.6kcal/kg으로 상당히 높은 발열량을 보여 그 자체만으로 소각하기에 부적합한 것으로 판단됨. (<표 4-7>참조) 따라서 습윤저위 발열량 기준으로 대략 1,500~2,500kcal/kg 정도인 도시 생쓰레기

<표 4-7> 굴착쓰레기중 가연성쓰레기의 발열량 분석 결과

매립지명		발열량 (Kcal/kg)	
		건조고위	습윤저위
수도권 매립지	1M	5972.8	3685.7
	2M	6044.3	4877.9
	평균	6008.6	4281.8
안성군 매립지	1M	5541.9	4967.1
	2M	5876.7	4334.4
	평균	5709.3	4650.8
여주군 매립지	1M	5665.8	5029.1
	2M	6249.6	5401.6
	평균	5957.7	5215.4
안양시 매립지	1M	6663.9	5500.6
	2M	5694.6	4961.6
	평균	6179.3	5231.1

<표 4-8> 가연성 쓰레기의 원소분석 결과

매립지명		원소 조성 (건조중량기준, %)				
		C	H	O	N	S
수도권 매립지	1M	53.37	9.00	33.08	2.11	2.44
	2M	53.78	9.32	33.10	2.08	1.72
	평균	53.58	9.16	33.09	2.10	2.08
안성군 매립지	1M	53.08	8.26	35.95	2.08	0.63
	2M	55.73	8.69	32.32	2.71	0.55
	평균	54.41	8.48	34.14	2.40	0.59
여주군 매립지	1M	51.61	8.47	36.75	2.73	0.44
	2M	55.33	9.31	32.87	2.07	0.42
	평균	53.47	8.89	34.81	2.40	0.43
안양시 매립지	1M	54.38	9.97	33.41	1.68	0.56
	2M	50.19	8.21	38.35	2.72	0.53
	평균	52.29	9.09	35.88	2.20	0.55

와 적절하게 혼합하여 소각처리하는 것이 바람직하다.

굴착쓰레기중 가연성쓰레기만을 대상으로 원소분석을 실시한 결과를 <표 4-8>에서 살펴보면 평균적으로 C성분이 52.29~54.41%, N성분이 8.48~9.16%, O성분이 33.09~35.88%, N성분이 2.10~2.40%, S성분이 0.43~2.08%로, <표 4-9>의 생쓰레기와 유사한 값을 보이고 있으며, 매립연령에 따른 뚜렷한 차이도 없었다.

<표 4-9> 농어촌 생활쓰레기의 계절별 평균 원소조성

	원소 조성 (건조중량기준, %)					
	C	H	N	O	S	회분
평택시 서탄면	33.490	4.884	1.172	40.201	0.250	20.003
안성군 죽산면	39.477	4.752	0.744	18.903	0.211	35.913
안성군 대덕면	49.721	6.049	0.574	27.484	0.224	15.948
여주군 능서면	46.382	5.544	0.562	23.685	0.224	23.603
여주군 점동면	37.949	4.438	0.677	19.656	0.208	37.072
안성군 고삼면	44.602	5.275	0.627	14.635	0.229	34.632

나. 부속된 선별토사의 특성

선별토사의 자원화 가능성을 평가하기 위하여 용출시험과 전량시험을 실시하였는데, 대상물질의 유해성 여부를 판정하는 용출시험 결과 <표 4-10>과 같이 모든 토사가 전항목에서 우리나라의 유해성 판정 기준치보다 상당히 낮은 것으로 분석되었다. 특히 Hg, TCE, TeCE는 모든 토사에서 검출한계 미만으로 본 시험 결과 부속된 선별토사는 국내의 용출시험에서 모두 유해폐기물이 아닌 것으로 평가되었다.

<표 4-10> 선별토사의 용출시험 결과

(단위 : mg/l)

매립지명		Pb	Cu	Cd	Cr	Hg	As	CN	TCE	TeCE
수도권 매립지	1M	0.19	0.861	0.012	0.017	ND	0.03	ND	ND	ND
	2M	0.23	1.016	0.017	0.005	ND	0.04	ND	ND	ND
	평균	0.21	0.939	0.015	0.011	ND	0.04	ND	ND	ND
안성군 매립지	1M	0.11	0.693	0.009	0.013	ND	0.01	ND	ND	ND
	2M	0.15	0.092	ND	0.010	ND	0.03	ND	ND	ND
	평균	0.13	0.393	0.005	0.012	ND	0.02	ND	ND	ND
여주군 매립지	1M	0.26	0.107	ND	ND	ND	0.02	ND	ND	ND
	2M	0.36	0.163	ND	ND	ND	0.03	ND	ND	ND
	평균	0.31	0.135	ND	ND	ND	0.03	ND	ND	ND
안양시 매립지	1M	ND	0.001	0.003	ND	ND	0.03	ND	ND	ND
	2M	ND	ND	0.004	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	평균	ND	0.001	0.004	ND	ND	0.02	ND	ND	ND
국내 용출 기준		3.0	3.0	0.3	1.5	0.005	1.5	1.0	0.3	0.1

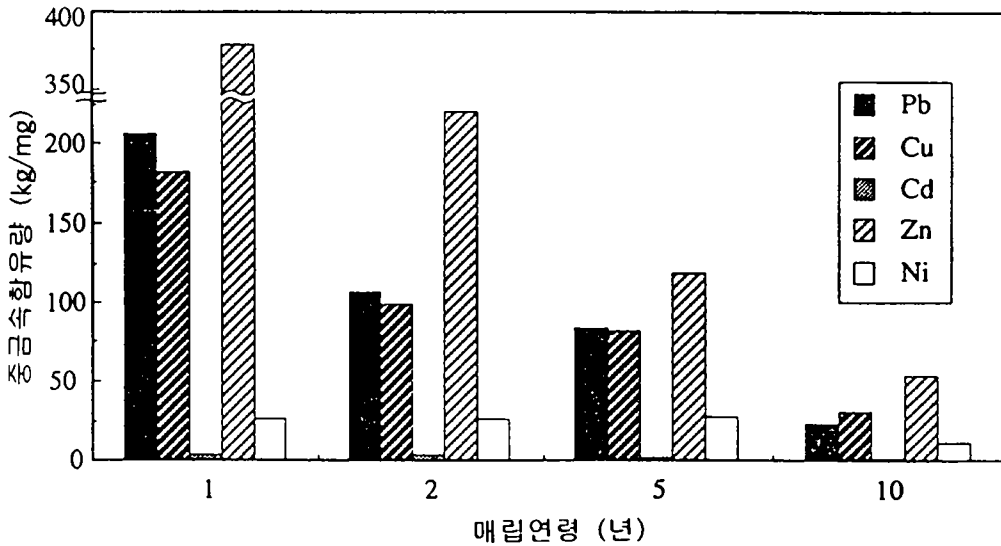
선별토사의 자원화 가능성 평가를 하는데 있어서 가장 중요한 항목인 전량시험을 Pb, Cu, Cd, Zn, Ni에 대해 수행하여, 그 결과를 <표 4-11>에 제시하였다. 시험 결과 매립된지 1년 정도 경과된 토사의 경우에도 <표 4-12>에서 보는 바와 같이 미국 플로리다주의 퇴비화 품질기준에서 제시된 사용용도중 가장 엄격한 기준을 만족하고 있어 선별토사의 재활용 폭은 매우 높을 것으로 평가된다.

매립연령별로 선별토사에 함유되어 있는 각 중금속 농도변화를 살펴보면 5개 중금속 모두 시간경과와 함께 농도가 저하하는 것을 알 수 있다. (<그림 4-15>참조)

<표 4-11> 선별토사의 중금속농도

(단위 : mg/kg)

매립지명		Pb	Cu	Cd	Zn	Ni
수도권 매립지	1M	241.8	153.7	2.38	228.0	27.4
	2M	169.2	211.4	3.16	526.8	25.6
	평균	205.5	182.55	2.77	377.4	26.5
안성군 매립지	1M	121.8	92.6	3.41	241.7	22.5
	2M	89.3	104.2	1.96	196.8	29.1
	평균	105.6	98.4	2.69	219.25	25.8
여주군 매립지	1M	85.2	84.6	0.87	147.8	31.8
	2M	81.3	79.2	0.92	87.6	21.9
	평균	83.25	81.9	0.90	117.7	26.9
안양시 매립지	1M	17.86	19.26	0.08	46.19	3.98
	2M	28.10	40.77	ND	60.47	17.38
	평균	22.98	30.02	0.04	53.33	10.68
일반산토	1M	14.30	8.73	0.62	12.71	37.26
	2M	11.86	16.81	0.37	26.47	19.76
	평균	13.08	12.77	0.50	19.59	28.51



<그림 4-15> 매립연령별 선별토사의 중금속 함유량

<표 4-12> 플로리다주의 등급별 퇴비품질기준

등급	사용용도 ^(a)	중금속 농도 (mg/kg)					기 타		
		Pb	Zn	Cu	Ni	Cd	입자크기(mm)	이물질(%)	ROM(%) ^(b)
A	1	500	900	450	50	15	10	2	60
B	2	1,000	1,800	900	100	30	15	4	40
C	3	1,500	10,000	3,000	500	100	25	10	40
D	3	1,500	10,000	3,000	500	100	25	10	20
E	4	1,500	10,000	3,000	500	100		-	-

(a) 1 = 사용용도에 제한이 없음(Unrestricted)

2 = 공중에 제한적으로 노출가능. 즉 공원이나 개인농장 등에 사용가능

3 = 공중에 노출금지(No Public Exposure). 즉 개인농장 등 개인용 토양에만 사용가능

4 = 매립지복토재 또는 황무지 복구(Landfill Cover or Reclamation)

(b) ROM = Reduction in Organic Matter

다. 선별토사의 자원화 방안

전절에서 분석된 바와 같이 쓰레기매립지에서 선별한 토사는 중금속함량이 높지 않으며, 매립지내에서 장기간 생분해가 이루어지면 매립된 연탄재, 복토 토양 등은 대체로 많은 양의 유기물을 함유하게 된다. 또한 선별된 토사는 생물학적으로 안정화되어 매립지에서 발생하는 유기독성물질을 흡착하며, 흡착된 오염물질은 주변 토양미생물에 의해 생분해되며, 토양중의 휴믹물질은 중금속 흡착능을 발휘하여 침출수중에 존재하는 중금속의 배출을 억제하는 효과와 악성 침출수를 자체가 정화하는 능력을 가지며, 악취를 유발하는 물질을 흡착함으로써 악취저감 효과도 갖고 있다.

선별토사의 활용처로는 퇴비를 비롯한 매립지에서의 최종복토재, 저지대 성토재(지하수위 윗부분에 국한하여), 매립지 일일복토재로서 사용 가능한 것으로 판단되며, 그중 자원재활용형 매립지에서 선별된 토사는 특히 엄격한 쓰레기 반입기준을

운영하며, 선별된 토사중에 이물질은 잘 선별할 경우 농어촌 지역에서 퇴비로도 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 생분해 측면에서 안정된 매립토사를 자원재활용형 매립지에서 복토재로 재사용할 경우 별도의 복토재 확보가 필요없고, 이에 따른 쓰레기의 매립용량 증진을 기대할 수 있으므로, 매립지 관리·운영면에서 이익이 커 일석이조의 효과를 누릴 수 있을 것이다.

제5절 자원재활용형 매립지에서의 침출수 처리 대안

1. 매립시설 침출수 배출허용 기준

1997년 7월부터 「폐기물관리법 시행규칙」을 개정하여 기존의 침출수 배출허용 기준에 대해 BOD(생물학적 산소요구량) 허용기준을 강화하고, COD(화학적 산소요구량) 측정방법을 현행 망간법에서 크롬법으로 바꾸며 암모니아성 질소 기준을 새로이 신설하는 등 쓰레기매립지 침출수 배출허용기준을 강화하였는데, 그 기준을 보면 다음과 같다.

1) BOD, COD 및 SS 기준 개정

<표 4-13> 쓰레기매립지 침출수 처리시설의 BOD, COD 및 SS 기준

항목 지역 구분	생물화학적산소 요구량 (mg/ℓ)	화학적산소요구량(mg/ℓ)			부유물질 량 (mg/ℓ)
		과망간산칼륨법에 의한 경우		중크롬산 칼륨법에 의한 경우	
		1일침출수 배출량 2,000㎡이상	1일침출수 배출량 2,000㎡미만		
청정지역	30	50	50	400 (90%)	30
가지역	50	80	100	600 (85%)	50
나지역	70	100	150	800 (80%)	70

- 화학적산소요구량의 배출허용기준은 2001년 6월 30일까지는 과망간산칼륨법에 의한 경우와 중크롬산칼륨법에 의한 경우중 하나를 선택적으로 적용할 수 있다.
- 2001년 7월 1일부터는 중크롬산칼륨법에 의한 배출허용기준을 적용하고, 중크롬산칼륨법에 의한 경우 ()안의 수치는 처리효율을 표시한 것이며, 침출수원수의 화학적산소요구량이 4,000mg/ℓ을 초과하는 경우에는 ()안에 표기된 처리효율 이상이 되도록 처리하여야 한다.

2) 암모니아성 질소, 무기성질소의 기준 신설

<표 4-14> 침출수 처리시설의 암모니아성 질소 및 무기질소 기준

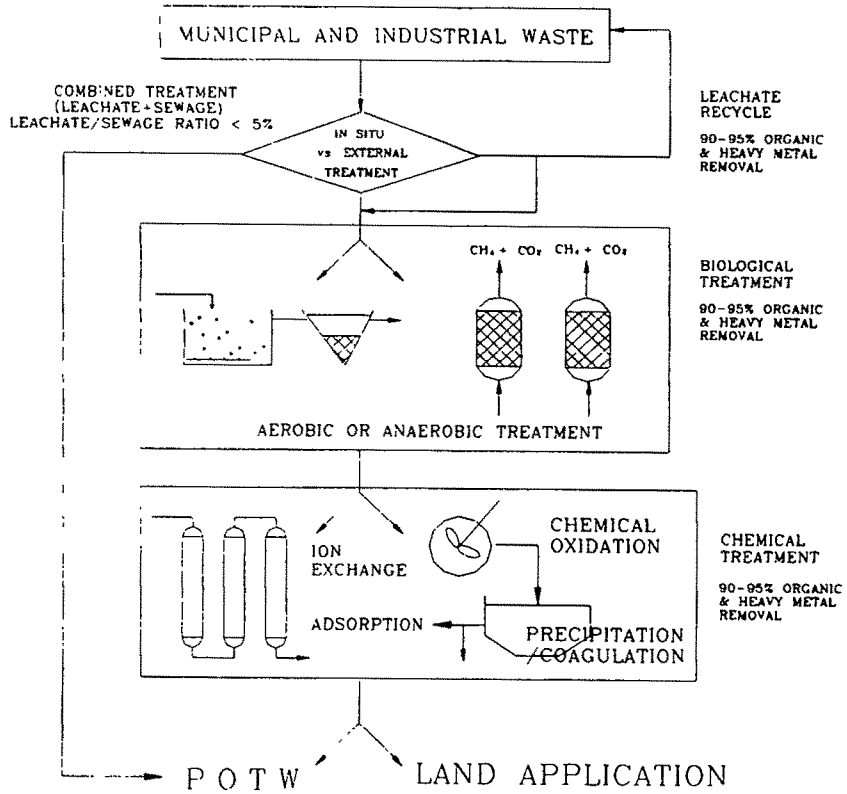
지역구분 \ 항목	암모니아성질소 (mg/ℓ)	무기성질소 (mg/ℓ)
청정지역	50이하(95%)	150 이하(85%)
가지역	100이하(90%)	200 이하(80%)
나지역	100이하(90%)	300 이하(70%)

- 무기성질소는 암모니아성질소·아질산성질소·질산성질소의 합으로 하고, 질소처리시설의 반응조 출구의 수온이 섭씨 12도미만인 경우에는 암모니아성질소 및 무기성질소의 기준을 적용하지 않는다.
- 암모니아성질소 및 무기성질소의 ()의 수치는 처리원수에 대한 처리효율을 표시한 것이며, 침출수원수의 암모니아성질소 및 무기성질소의 농도가 1,000mg/ℓ 이상인 경우에는 ()안에 표기된 처리효율 이상이 되도록 처리하여야 하며, 색도 및 무기성질소는 2001년 7월 1일부터 적용한다.

2. 우리나라 침출수 처리현황

침출수 처리방법은 <그림 4-16>에서 제시된 것과 같이 매립지 재순환, 물리화학적 처리, 생물학적 처리, 토양처리 및 이송을 통한 도시하수와 병합처리가 있다. 국내의 경우 전체 사용중인 매립지 496개소 중 232개소가 집수시설, 매립지 재살포, 1차, 2차 및 3차 처리를 수행하고 있다. 처리를 수행하고 있는 경우를 살펴보

면, 소규모 매립지의 경우 매립지 재살포가 가장 많으며, 대부분 1차처리에 한정되어 있는 실정이다.



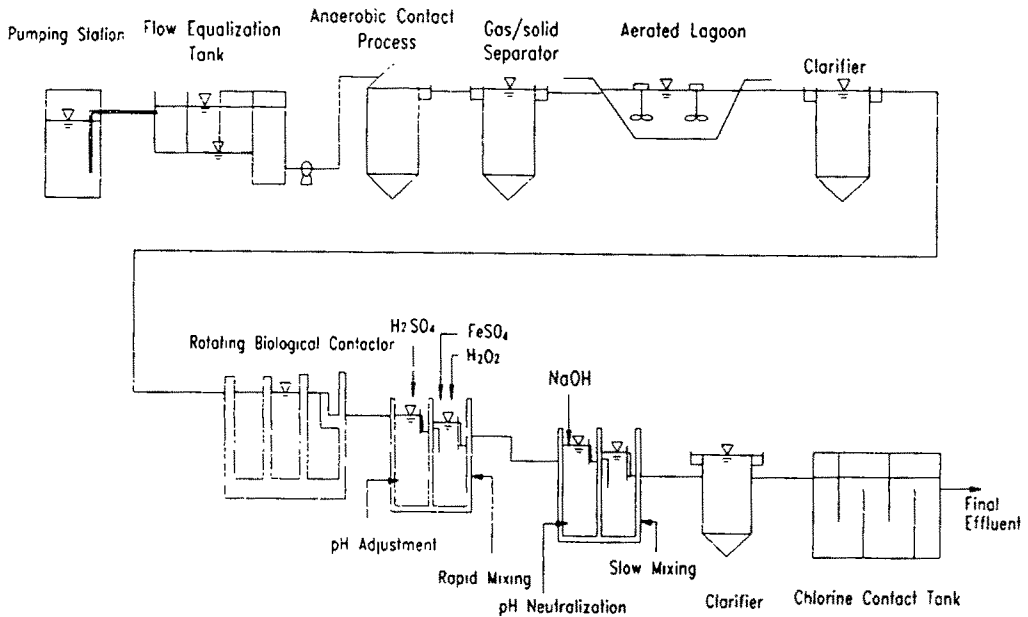
<그림 4-16> 매립지 침출수 처리 방법

쓰레기 매립지에서의 대표적인 침출수 처리시설을 정리하면 다음과 같다.

가. 김포 수도권 매립지 침출수 처리 시설

김포 수도권 매립지는 매립기간이 1992-2005년으로 약 13년간 서울, 인천 및 수도권지역의 생활쓰레기의 매립을 담당하고 있다. 매립고는 8단으로 구성되어 있으며, 각 단은 쓰레기층 높이 4.5m와 0.5m의 복토층으로 구성되어 전체 매립고는

40m에 해당된다. 매립방식은 1단의 경우에만 하향 매립방식이며, 2단부터는 상향 매립방식을 채택하고 있다. 매립 쓰레기의 다짐밀도는 약 0.9ton/m^3 이며, 총 매립용량은 278백만톤에 해당된다. (<그림 4-17>, <사진 4-3>참조)



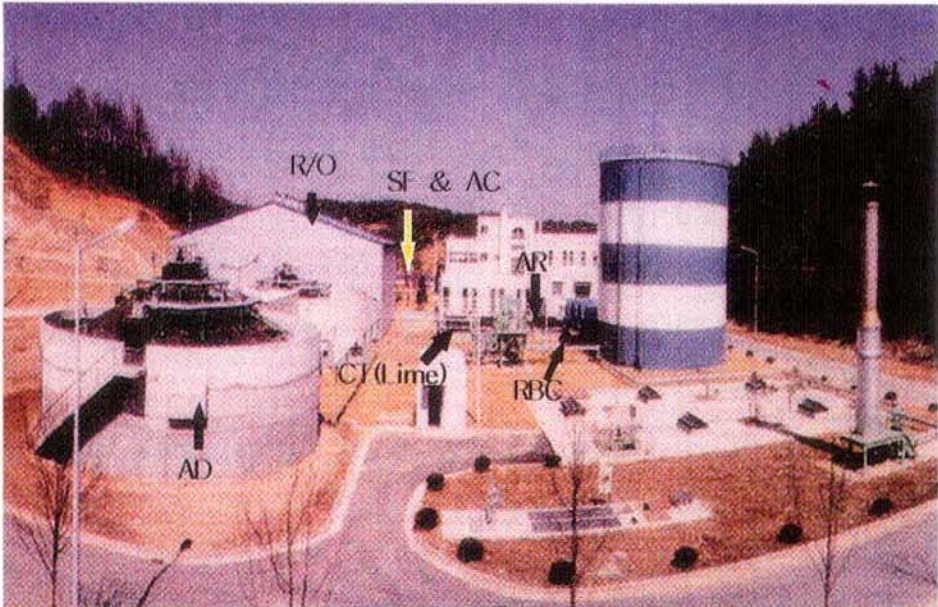
<그림 4-17> 김포 수도권 매립지 침출수 처리 시설

나. 대전시 금고동 매립지 침출수 처리 시설

대전시 금고동 매립지는 매립용량이 총 $12,024,000\text{m}^3$ 에 해당되며, 매립기간으로 1996-2009년까지 계획되어 있다. 일일 침출수 발생량은 약 200m^3 에 해당되며, 침출수 처리시설은 아래의 <사진 4-4>에 제시되어 있는 것과 같다. 즉, 펌프장에 유입된 침출수는 혐기성 소화조를 거쳐 폭기식 라구운, RBC, lime을 통한 응집처리 시설을 거치며, 생활쓰레기 매립지로서는 유일하게 역삼투법이 적용되고 있으며, 비상시에는 활성탄 처리를 수행하고 있다.



<사진 4-3> 김포 매립지 침출수 처리시설



AD: Anaerobic Digester, AR: Aerated Lagoon, CT: Chemical Treatment(Lime)
R/O: Reverse Osmosis, SF: Sand Filter, AC: Activated Carbon, EQ : Equalization Basin

<사진 4-4> 대전 금고동 매립지 침출수 처리 시설

3. 쓰레기매립지 침출수 처리 기술

매립지에서 발생하는 침출수는 발생량 및 성상이 대상 쓰레기, 매립년한, 매립지 운영방식 등에 의해 각각의 매립지뿐만 아니라 단일매립지에서도 계절으로 상이한 차이를 보이고 있다. 그리고 침출수의 처리는 위에서 언급한 인자 이외에도 처리수의 방류기준, 처리비용, 적용시킬 처리기술 등을 다양하게 고려해야 한다. 그리고 단일 매립지에서 발생하는 침출수의 경우에도 침출수의 처리는 다양한 인자들에 의한 영향과 함께 새로운 기술의 적용을 도입하기 위하여 처리시스템은 항상 유연성을 지녀야 한다. 이러한 침출수의 처리는 크게 생물학적 처리 방법과 물리화학적 처리 방법으로 나뉘어지며, 적절한 처리를 위해서는 각 공정을 적절히 연계시켜야만 한다. 이러한 공정의 적용은 특히 매립대상물질과 매립년한에 의해 구분되어진다. 즉 매립지의 매립 대상물질이 가연성 쓰레기가 주종인 경우와 매립초기에는 처리흐름 주체는 생물학적 처리가 되고 불연성 쓰레기 또는 소각잔사인 경우와 유기물질의 안정화가 이루어진 매립후기에는 처리흐름의 주체는 물리화학적 처리가 된다.

그 외에도 침출수의 수량 및 수질이 크게 변동하지 않고 침출수의 조정설비 등의 용량이 정해지지 않은 경우에는 각 처리 공정을 복수계열로 하는 등의 배려도 필요하다. 일반적으로 침출수의 주처리 공정으로서는

- ▶ $COD/TOC > 2.8$, $BOD/COD > 0.5$ 인 초기 매립지에서 발생하는 침출수의 경우 생물학적처리가 효과적이며
- ▶ $COD/TOC < 2.0$, $BOD/COD < 0.1$ 인 오래된 매립지인 경우는 물리화학적 처리가 효과적인 것으로 알려져 있다.

침출수의 처리공정에는 활성슬러지법, 회전원판법, 라구운, SBR 등의 호기성 처

리공정과 혐기성 처리공정과 같은 생물학적 처리방법과 활성탄, 응집-침전, 화학적 산화, 이온교환, 역삼투법 등의 다양한 물리화학적 처리 방안이 있다.

가. 호기성 생물학적 공정에 의한 침출수 처리방안

호기성 공정을 이용한 침출수 처리 예는 아래의 <표 4-15>에 제시하였다. 이러한 공정을 이용하여 침출수 처리시 효율은 침출수의 생분해도 지표인 BOD/COD에 가장 큰 영향을 받으며, F/M 비, 영양물질, BOD 부하 등의 운전인자도 아울러 고려하여야 한다. 그리고 침출수내에 함유된 고농도의 철은 용존상태의 인을 감소시켜 오히려 오탁화(sludge bulking)현상을 유발하며 과도한 폭기와 중금속으로 인한 거품문제가 발생하여 침전조에서 효과적으로 고액분리가 이루어지지 않는 경우가 발생하므로 주의하여야 한다. 그리고 침출수에 함유된 고농도의 암모니아성 질소제거를 위해 질산화를 효율적으로 달성하기 위해서는 적어도 고형물 체류시간(solid retention time)이 10일 이상을 유지하여야 하며, 유기물의 양이 높은 경우에는 질산화의 효율이 낮으며, 침출수내에 함유된 아연 등의 중금속 등은 질산화 공정에 영향을 미치므로 처리시 주의하여야 한다. 활성슬러지법에 의한 침출수의 처리시 유기물부하를 $1.0 \text{ kg COD/m}^3\cdot\text{d}$ 이하를 유지하여야만 90 % 이상의 COD 제거효율을 달성할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 처리공정의 효율은 위에서 언급한 것과 같이 유기물 부하뿐만 아니라 BOD/COD 비에 의한 영향 즉 생분해도에 의한 영향이 크게 좌우되며 이러한 결과는 아래의 처리예에서 유입수의 COD 농도가 139 mg/l , 유기물 부하가 0.1인 활성슬러지 공정에서 COD 제거효율이 0 %를 나타내는 것을 보면 알 수 있다.

도시하수와 침출수를 합병처리하는 침출수에 함유되어 있는 저해물질의 회석과 고농도의 암모니아성 질소 및 저농도의 인을 생활하수내의 영양물질과 혼합을 통해 영양물질의 이용을 증가시켜 효율적인 처리가 가능하다. 그러나 일반적인 하수처리에 비해 산소요구량이 증가하며, 기존의 문헌결과 침출수와 하수의 혼합비가 10%,

<표 4-15> 호기성 공정에 의한 침출수 처리 사례

유입수 COD (mg/l)	BOD/COD	COD/TOC	처 리 시스템	운전인자		BOD 제거율, %	COD 제거율, %	온도 (°C)
				θ_c	유기물부하량 (kg COD/m ³ /d)			
9,200	0.87		AS	1	9.2	25	27.2	23-25
2,700	0.57			5	0.55	89.7	69.2	
6,200	0.47			5	1.05	93.1	93.1	
8,800	0.80			5	1.75	80.1	73.8	
19,300	0.7	3.1	AS	6	3.21	99.8	97	23-25
15,380	0.45	3.4	AS	10	1.6	99.6	97.6	
48,000	0.75	3.1	AS	10	4.8	99.6	96.8	21-25
9,760	0.23	3.1	AS	10	0.98		88.2	22-23
4,805	0.59	3.0	AS	5	0.95	98.2	93.8	10
3,500	0.77	3.9	AS	5.2	0.70	93.6	97.4	25
530	0.66			10.7	0.06		35.8	15
500	0.52	1.56	AS	0.3	0.1		58	16
400	0.66	3.8		3.9			42.5	
139	0.03	2.1		7.7			0	
* 380	0.03	3.3	T.F		0.9		7.4	17
* 400		3.5	RBC		0.62 g/m ² .day		16	17
700		3.7	RBC		1.8 g/m ² .day		47.0	11

* chemically pretreated

20% 인 경우 산소 이용도를 각각 400%, 800% 증가시켜야 하며 고형물의 발생량의 경우도 300%, 800% 증가하는 결과를 나타내고 있다. 침출수와 도시하수의 합병처리시 발생가능한 잠재적인 문제점은 슬러지의 침강성 불량과 과도한 슬러지 벌킹이 야기된다. Chian 등에 의하면 침출수의 도시하수에 대한 첨가비가 1-3 % 인 경우 슬러지의 침강속도가 1/2 정도로 감소되며, Boyle 등의 실험결과에 의하면 침출수의 도시하수에 대한 첨가비가 5, 10, 그리고 20%인 경우 슬러지 체적비

(Sludge volume index)가 각각 100, 200, 및 1000%가 증가되어 고액분리조에서 쉽게 고액분리되지 않아 처리 유출수의 수질을 악화시킬 수 있는 원인으로 작용한다. 그러므로 침출수와 도시하수 처리시 이러한 문제점을 감소시키고 효과적으로 처리하기 위해서는 침출수와 도시하수와의 혼합비를 5 %이하로 유지하여야 한다.

나. 혐기성 생물학적 공정에 의한 침출수 처리방안

혐기성 반응조를 이용한 침출수 처리는 호기성 생물학적 처리 방법이나 기타 물리화학적 처리 방법에 비해 많은 장점을 지니고 있다. 이러한 장점으로는 우선 고농도의 유기물질의 처리와 동시에 부산물로서 메탄을 에너지원으로 얻을 수 있으며, 미생물의 낮은 증식으로 호기성처리에서 발생하는 슬러지 문제를 해결할 수 있고 호기성 공정에 비해 낮은 영양물 요구량을 가진다. 특히 인의 함량이 적은 침출수 처리시 호기성 공정에서는 일반적으로 BOD : N : P 가 100 : 5 : 1을 유지해야 하나, 혐기성 처리에서는 COD/P 와 BOD₅/P 의 비가 15,000-30,000, 6,200-12,545 에서 안정적인 처리가 가능하다. 특히 초기 매립지에서 발생하는 침출수의 경우 대부분의 유기물질이 용존성 상태로 존재하며, 유기물질 중 COD에 대한 VFAs 비가 크므로 메탄균(methane former)에 의해 쉽게 메탄과 이산화탄소로 전환된다. 그러나 매립지내에서 산형성이 이루어지므로 혐기성공정에 의한 침출수 처리시 산형성 반응조를 두는 이상소화공정의 도입은 효과적이지 않다. 그리고 염소계 방향족 탄화수소와 같은 유기물질은 혐기성 반응에서 미생물에 의해 쉽게 분해되며, 아세톤, 메틸 에틸 케톤, methyl isobutyl ketone, TCE(trichloroethylene) 과 같은 화합물을 함유한 유해폐기물 침출수의 상향류 혐기성 필터에 의한 처리에서 90% 이상의 높은 제거율을 얻었다. 최근에는 혐기성 기작과 공정에 관한 많은 연구와 더불어 고율 혐기성 반응조의 개발이 이루어졌다. 이상소화(two-phase digestion), AF(anaerobic filter), UASB(upflow anaerobic sludge blanket), 그리고 UASB와 AF의 장점을 조합한 Hybrid 반응조의 개발은 혐기성 공정이 지니고 있

<표 4-16> 혐기성 처리공정에 의한 침출수 처리 사례

공 법		유기물 부하량 kg COD/m ³ /d	COD 제거효율 (%)	온도 °C	HRT	Biogas 발생량 (CH ₄ content)
UASB		4.9 4.0	92 70	33 20		
UASB		900-1,200 kg/d	Total 80-85 Soluble 80-90	33-35	8-12 h	360-480 m ³ /d
AF		1.24	97	35	13.9 d	
Hybrid UASB/AF		10	> 85	35	18 h	130 L/d
Two-stage AF		4 g COD/m ² /d	91	35-39	35.8 d	1 st 15-25.6 L/d 2 nd 0.2-5.3 L/d as CH ₄
AF	vertical flow media	5.93	81 as TBOD	36	7.7 d	359 L/d (65%)
	cross flow media	8.02	80 as TBOD	36	5.5 d	500 L/d (65%)
Anaerobic contact		5.45	65 as TBOD	38	6 d	181 L/d (65%)
UBF		14.5	95.8	34-36	1.5 d	138 L/d (74%)
DSF		14.7	92.8	34-36	1.5	104 L/d (75%)
Anaerobic Digester (batch)		0.85	93.4	23-30	10 d	0.43 m ³ /kg COD
		1.05	94.5	23-30	12.5 d	0.45 m ³ /kg COD
Anaerobic Digester (conventional)		2.84	92.3	34-36	8 d	1.9 L/d
Two -stage Digestion	Acidogenic Reactor	10.4	3	34-36	3.75 d	
	Methanogenic Reactor	3.41	92.5	34-36	8 d	1.56 L/d

는 기존의 문제점의 해결과 많은 폐수처리에서 효과가 크게 나타나고 있다. 이러한 일련의 고율 혐기성 공정에 의한 침출수 처리는 실제 처리장에서 운전되는 UASB 반응조에서 유기물 부하 4.9 kg COD/m³/d에서 92%의 COD제거효율을 나타냈고, 실험실 규모의 UASB반응조에서는 유기물 부하 10.7 kg COD/m³/d에서 TCOD의 제거율이 60%, 그리고 유기물 부하 9.4 kg COD/m³/d까지는 94%의 제거효율을 보이고 있다. Hybrid 반응조는 10 kg COD/m³/d의 유기물 부하에서 85%이상의 제거효율, 그리고 다양한 혐기성 필터에서는 1.24 - 14.7 kg COD/m³/d 의 유기물 부하에서 90% 이상의 제거효율을 보이고 있으며, 대부분의 고율 혐기성 반응조가 HRT 2일 미만에서도 안정적인 운전결과를 보이나, 기존의 재래식 혐기성 소화조는 같은 제거효율을 얻기 위해서는 낮은 유기물 부하를 유지하여야 한다. 그리고 혐기성 공정은 일반적으로 초기 순응기간(acclimation period)이 장기간 소요되며, 각종 저해물질에 대한 영향에 민감하므로 공정도입시 주의하여야 한다. 다양한 혐기성 공법을 이용한 침출수의 처리 예는 <표 4-16>에 제시되어 있다.

다. 물리화학적 처리방법

물리화학적 처리방안은 침출수에 함유된 중금속과 색도 유발물질의 제거효율이 우수하므로 상대적으로 생물학적으로 분해가 어려운 물질 즉 분자량의 크기가 500-10,000으로 구성된 휴믹성 탄수화물 계통의 물질과 분자량의 크기가 500-10,000으로 구성된 펠빅산 계통의 물질 들을 함유하는 매립연한이 오래된 침출수에 적용하는 것이 효과적이다.

응집-침전 방법은 침출수에 존재하는 용존성의 중금속, 색도 등을 제거하기 위해 lime, Na₂S, FeCl₃ 등이 사용되며 300 mg/L 이상 lime 주입시 철이온은 완전한 제거가 가능하며, Na₂S의 경우에는 1,000 mg/L 이상의 고농도 주입시 제거가 가능한 것으로 알려져 있다. 이온교환수지의 경우는 침출수에 함유되어 있는 다양한 양이온, 음이온, 영양물질과 용존성 고형물 등을 제거하기 위해 사용되어진다. 이온교

환수지는 금속, 할로겐화합물, 시안화합물의 경우에도 적용이 가능하나, 경제성으로 인하여 고농도의 경우에는 적합하지 않으며, 특히 유해폐기물의 침출수 처리시에는 현탁, 비용존성의 물질(오일, 그리스)에 의한 수지상의 막힘과 방향족화합물과 같은 산화제에 의한 수지상의 비가역적인 결합 등의 문제를 해결하기 위하여 옹집-침전 등의 전처리가 필요하며, 아울러 효과적인 처리를 위해 이온교환수지의 교환능력은 2,500 mg/L as CaCO₃ 를 유지하여야 한다. 활성탄 또는 피트 등을 이용하여 용존성 물질의 제거하는 흡착방법은 침출수에 단독적으로 적용하는 것보다는 생물학적 처리와 화학적 처리 또는 생물학적/화학적 처리후 사용하는 것이 효과적이며, 초기 침출수의 VFAs와 매립경과년수가 오래된 침출수에 주로 함유되어 있는 휴믹성의 물질제거에는 효과적이지 않으며, 특히 휴믹성의 물질과 같이 분자량이 큰 경우에는 활성탄의 공극을 막아 다른 분자들의 흡착능력을 감소시킴으로 공정도입시 주의하여야 한다. 이와 같은 다양한 연구결과를 종합해 볼 때 물리화학적 처리방안은 유기물질의 제거효율이 낮고 다량의 슬러지를 발생으로 단독처리보다는 생물학적 처리와 연계하여 전처리 또는 후처리 방안으로 사용하는 것이 유리하다. 특히 매립연한이 오래된 매립지 침출수는 휘발성 지방산의 메탄균에 의한 이용으로 침출수의 pH가 증가하므로 역삼투막에 의한 처리가 가장 효과적이며, 독일의 경우에는 역삼투막을 혐기성 공정의 일종인 UASB 공법의 후처리로서 이용하여 암모니아성 질소 등을 제거하는데 사용하고 있다.

라. 침출수 재순환

침출수의 유기오염물의 부하감소와 침출수량을 조절하기 위한 방안으로서의 매립지내로의 침출수 재순환 방안이 이용될 수 있다. 침출수의 재순환은 매립지내의 수분을 공급함으로써 유기물의 수용해화(solubilization), 매립지층내의 영양물질, 미생물, 알카리도, pH 등의 이동과 재분포의 매체로 작용하며 pH나 그 밖의 독성 물질을 회석함으로써 매립지내에 존재하는 혐기성 미생물의 메탄발효에 필요한 환경

조건을 제공함으로써 매립지의 조기안정화와 고농도의 침출수의 농도 감소 효과를 달성할 수 있다. 그러나 강수량이 많은 지역에서는 침출수의 재순환이 쓰레기의 안정화에 효과적이지 않으므로 쓰레기 매립지내로의 일정 유량 이상의 재순환은 안정화측면이나 토질역학적 측면에서 효과적이지 못하다.

4. 쓰레기매립지에서의 이상적인 침출수처리 방안

가. 침출수 처리상의 문제점

국내 침출수 처리의 문제점은 대규모 광역 매립지와 소규모 매립지로 구분하여 설명하면 다음 <표 4-17>과 같다.

<표 4-17> 국내 침출수 처리 문제점

대규모 매립지	소규모 매립지
<ul style="list-style-type: none"> □ 부적절한 침출수 발생량 및 농도 산정 □ 침출수 처리에 대한 경험 부족 □ 침출수 성상의 매립년한에 따른 변화 □ 부적절한 처리 공정으로 인한 낮은 질산화/탈질 효율 □ 동절기의 낮은 기온 □ 하절기의 높은 기온으로 인한 아질산성 질소의 과다 축적 □ 매립년한 증가에 따른 혐기성 반응조의 제한적인 이용 □ 미생물 기질 부족으로 인한 대부분의 RBC 반응조내 미생물 미부착 □ 고도산화처리공법 사용시 과도한 비용 소모 및 최적 운전조건 도출의 어려움 □ 응집침전 이용시 높은 알카리도로 인한 약품사용비 과다 	<ul style="list-style-type: none"> □ 대규모 매립지와 침출수 처리 문제점은 거의 비슷함 □ 대규모 매립지와는 달리 전문적인 관리 인원의 부족 □ 운영비 등의 경제적인 문제 □ 침출수 발생량이 상대적으로 작아 이를 처리하기 위해 대규모 매립지와 동일하게 처리시설을 설치하는 것은 비경제적임 □ 낮은 침출수 발생량으로 인해 대규모 매립지에 비해 물리화학적 처리의 도입이 상대적으로 용이함

나. 대규모 쓰레기매립지에 있어서 침출수 처리 방안

비교적 규모가 큰 도시지역의 쓰레기매립지에 있어서 침출수 처리는 물리화학적 공정과 생물학적 공정의 조합으로 이루어지며, 처리하고자 하는 목적에 따라 처리 공정이 추가되는 실정이다. 즉 매립지 침출수에 포함되어 있는 고농도의 암모니아성 질소를 처리하기 위해서는 질산화 및 탈질 공정이 필요하며, 운전방법에 있어서도 이들 처리공정에 맞게 적절하게 운영되어야 한다. 즉 유기물질 제거만을 하는 경우에 비해 미생물 체류시간 또는 수리학적 체류시간을 보다 길게 유지하여야 하며, 탈질을 위해 무산소 또는 혐기성 반응조가 필요하다. 색도를 제거하기 위해서는 응집침전, 활성탄, 오존산화, 펜톤산화, 한회여과 또는 역삼투와 같은 물리화학적 처리방법이 도입되고 있다.

침출수는 처리대상이 매립년한에 따라 다르므로 기존의 공정을 유연하게 변경하여 운영할 수 있도록 하는 것이 효과적이다. 즉 초기에는 생분해성이 우수한 유기물질이 처리대상이나, 매립연한이 증대됨에 따라 암모니아성 질소, 분해가 어려운 휴믹 또는 펠빅 등의 고분자 물질이 처리대상임으로 이를 고려하여 처리시설을 설치하여야 한다.

도시 쓰레기매립지에서의 이상적인 처리시스템은 침출수 발생량 변화에 대비하여 침출수 유량조정조, 응집침전 또는 고도산화처리 등의 물리화학적 처리시설, 유기물 제거와 질소 제거를 담당하는 생물학적 처리시설이 도입되는 것이 필요하다.

다. 소규모 쓰레기매립지에 있어서 침출수 처리 방안

도시형 침출 처리는 침출수 발생량이 상대적으로 많으며, 따라서 과도한 양을 처리하기 위해 화학적 처리 방법 도입시 많은 비용이 소모되는 실정이다. 특히 대규모 매립지에서 배출되는 침출수의 경우 유출수 기준을 만족시키기가 매우 어려울 뿐만 아니라 초기투자 및 유지관리 비용이 막대한 실정이다. 특히 전철의 <표 4-13>과 <표 4-14>에서 제시한 것과 같이 개정된 법규에 의하면 국내 침출수에

고농도로 존재하는 암모니아성 질소에 대한 규제로 법기준을 준수하기 위해서는 이들 물질을 제거할 수 있는 공정이 도입되어야 하며, 기존의 공정에 비해 보다 긴 수리학적 및 미생물 체류시간이 필요함으로 처리공정의 크기가 증가되어야 하는 문제점이 대두된다, 뿐만 아니라 2001년 7월부터 적용되는 색도 기준에 부합되는 처리를 위해서는 필연적으로 고도산화처리, 막, 응집처리와 같은 물리화학적 처리가 도입되어야 하며, 이의 운영비용은 전체 처리비용의 상당한 증가를 가져올 수밖에 없는 실정이다.

소규모 매립지의 경우 침출수 발생량이 적으므로 대규모 매립지에 비해 처리시설을 보다 유연하게 운영할 수 있다. 즉 대규모 매립지와 같이 동일한 처리 공법을 도입하는 것은 경제적으로 매우 비효율적이다. 그러나 현재와 같이 처리시설을 설치하지 않거나 1차처리, 매립지로의 재살포 등의 방법은 인근 환경에 대한 오염문제를 유발할 수 있으므로 부적절하다. 따라서 경제적인 면과 환경보호 측면에서 가장 효과적인 방법은 기존에 설치되어 있거나, 향후 설치되는 하수처리장에서 하수와 병합하여 처리하는 것이 가장 효과적인 방법이다.

도시하수와 침출수를 합병처리하는 침출수에 함유되어 있는 저해물질의 회석과 고농도의 암모니아성 질소 및 저농도의 인을 생활하수내의 영양물질과 혼합을 통해 영양물질의 이용을 증가시켜 효율적인 처리가 가능하다. 뿐만 아니라 침출수를 단독으로 처리하는 경우에 비해 상대적으로 운영비가 적게 소요될 뿐만 아니라 운전면에서도 용이하다. 그러나 합병처리시 인근의 하수처리장과의 위탁처리여부가 우선적으로 선행되어야 한다. 합병처리시에는 일반적인 하수처리에 비해 산소요구량이 증가하며, 기존의 문헌결과 침출수와 하수의 혼합비가 10%, 20% 인 경우 산소이용도를 각각 400%, 800% 증가시켜야 하며 고형물의 발생량의 경우도 300%, 800% 증가하는 결과를 나타내고 있다. 침출수와 도시하수의 합병처리시 발생가능한 잠재적인 문제점은 슬러지의 침강성 불량과 과도한 슬러지 벌킹이 야기된다. Chian 등에 의하면 침출수의 도시하수에 대한 첨가비가 1-3% 인 경우 슬러지의

침강속도가 1/2 정도로 감소되며, Boyle 등의 실험결과에 의하면 침출수의 도시하수에 대한 첨가비가 5, 10, 그리고 20 %인 경우 슬러지 체적 비(Sludge volume index)가 각각 100, 200, 및 1000 %가 증가되어 고액분리조에서 쉽게 고액분리되지 않아 처리 유출수의 수질을 악화시킬 수 있는 원인으로 작용한다. 그러므로 침출수와 도시하수 처리시 이러한 문제점을 감소시키고 효과적으로 처리하기 위해서는 침출수와 도시하수의 혼합비를 2 % 이하로 유지하여야 한다.

국내의 소규모 매립지의 경우 침출수 발생량이 $50\text{m}^3/\text{d}$ 인 경우가 전체 매립지의 84%에 해당되어 이들 매립지 침출수의 용적비가 잠재적인 문제없이 처리를 위해서는 적어도 하수 처리 용량이 $2500\text{m}^3/\text{d}$ 규모를 유지하여야 된다. 그러나 국내의 하수처리장의 경우 일일 하수처리 용량이 위의 규모를 충분히 초과함으로 효율적인 처리가 가능하다. 합병처리로 인한 잠재적인 문제점을 저감하기 위해서는 중금속, 색도, 현탁성 고형물 등을 1차처리를 통해 저감한 후 합병처리를 하거나 또는 매립지 재순환을 통해 유기물 농도를 저감한 후 합병처리를 하는 것이 필요하다. 그리고 합병처리 전에는 유기물과 질소에 대한 수지를 세워 예상가능한 잠재적인 문제점에 대해 대책을 세우는 것이 필수적이다.

제5장 자원재활용형 매립지의 운전 및 설계기법 개발

제1절 자원재활용형 매립지의 운전 기법

1. 매립지의 조기안정화 방안

자원재활용형 쓰레기 매립지에서는 쓰레기를 매립하는데 있어서 기존의 매립지와 매립방법은 유사하나, 자원을 재활용한다는 측면에서 엄격한 반입기준을 설정하여 선별된 자원화물의 신뢰도와 품질을 유지할 수 있도록 노력하여야 한다. 즉 자원재활용형 매립지에서는 매립되는 쓰레기중에 차후에 토사를 선별하여 퇴비로 자원화 시켰을 때 토양이나 사용처의 환경에 악영향을 미치는 중금속류가 다량으로 함유된 다음과 같은 쓰레기의 반입은 사전에 철저히 배제하여야 한다.

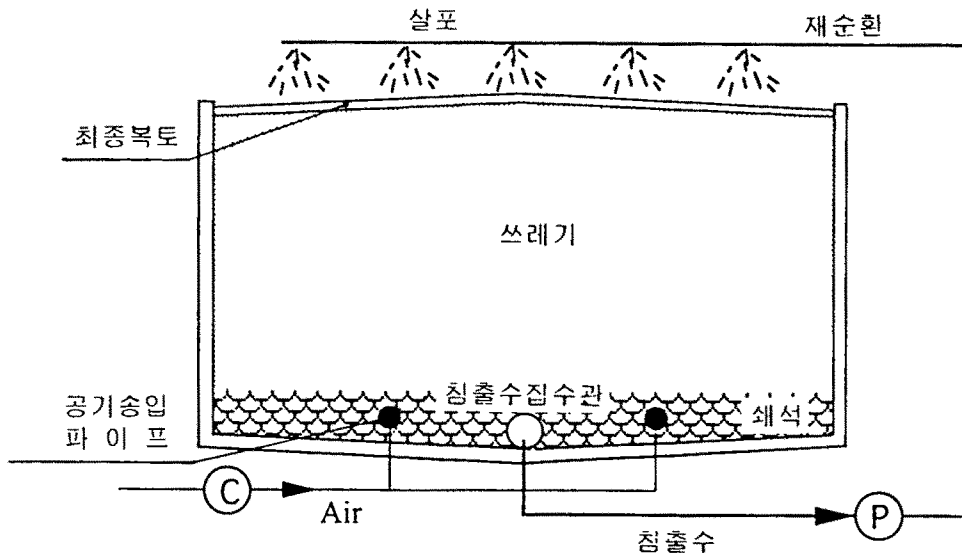
또한 자원재활용형 매립지에서는 매립된 쓰레기의 물리화학적·생물학적 분해를 촉진시켜 매립쓰레기를 조기안정화 시킴으로서 잠재적으로 환경오염 인자의 제거, 자원재활용형 매립부지의 활용을 극대화한다는 측면에서 바람직하다.

매립지의 조기안정화는 무엇보다도 매립지내의 유기물이 혐기성 미생물에 의한 분해보다는 호기성 미생물에 의한 분해가 이루어지도록 하여야 한다. 매립지내를 호기성분위기로 유지시키기 위해서는 매립지 조성단계부터 매립시설물을 이용하는 방법이 있으며, 매립이 진행되거나 완료시에 상부 표층에서 유공 파이프를 매설하여 산소를 강제적으로 불어 넣어 주는 방법을 들 수 있다. 또한 최근에는 매립지에서 발생된 침출수를 매립지로 재순환시킴으로서 매립지내 미생물의 활성도를 최대화시켜 매립지의 조기안정화를 도모하는 방법도 활발히 연구중에 있다.

현재까지 개발되어 실제 매립지에 적용된 조기안정화 방법을 정리하면 <표 5-1>과 같이 일본에서 많이 적용되고 있는 준호기성 공법과 쓰레기 매립시 영양물질을 동시에 공급하는 방법, 침출수를 재순환시키는 방법 등을 들 수 있다.

<표 5-1> 매립지의 조기안정화 기술

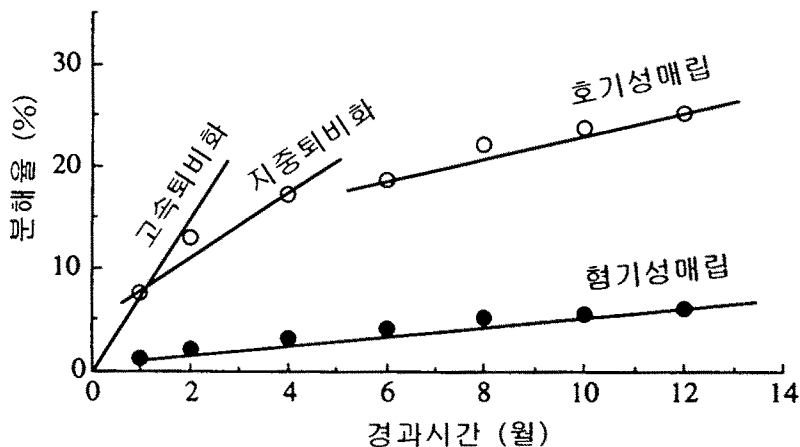
기 술	방 법	비 고
준호기성 공법	<ul style="list-style-type: none"> · 가스관을 통한 공기의 주입 또는 추출 · 침출수 수집시설을 매립쓰레기층보다 밑에 위치 	<ul style="list-style-type: none"> · 복토 및 쓰레기층의 통기계수 고려 · 매립지 전역에 대해 적용불능 · 일본에서 많이 채택
영양물질 주입	<ul style="list-style-type: none"> · 질소, 인 등의 영양분 주입 · 하수슬러지 주입 - 미생물종의 공급 	<ul style="list-style-type: none"> · 쓰레기 생분해능과 조성성분의 평가 선행 필요 · 전역에 대해 적용불능
침출수 재순환	<ul style="list-style-type: none"> · 미생물에 필요한 영양물질과 수분공급 · 분해율이 3-5배 증가효과 · 침출수 처리효과도 도모 	<ul style="list-style-type: none"> · 가장 일반적인 안정화 방법 · 매립지 전역에 대해 적용가능 · 악취발생 문제 발생 우려



<그림 5-1> 자원재활용형 매립지에서의 조기안정화 방법

그러나 자원재활용형 매립지는 가급적 단기간내에 분해가능한 유기성쓰레기를 토양미생물의 힘에 의해 가스화와 안정한 물질로 변환시켜 재자원화하여야 하므로 좀 더 적극적인 조기안정화 방법을 채택할 필요가 있다. 즉 <그림 5-1>에 제시된 바와 같이 고속퇴비화 방식과 유사한 방식으로 쓰레기층 내부에 공기를 불어 넣어 호기성미생물에 의한 분해를 촉진시킴과 동시에 발생하는 침출수를 재순환시켜 안정화를 도모하는 2가지 방법을 병행하므로서 그 효과를 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

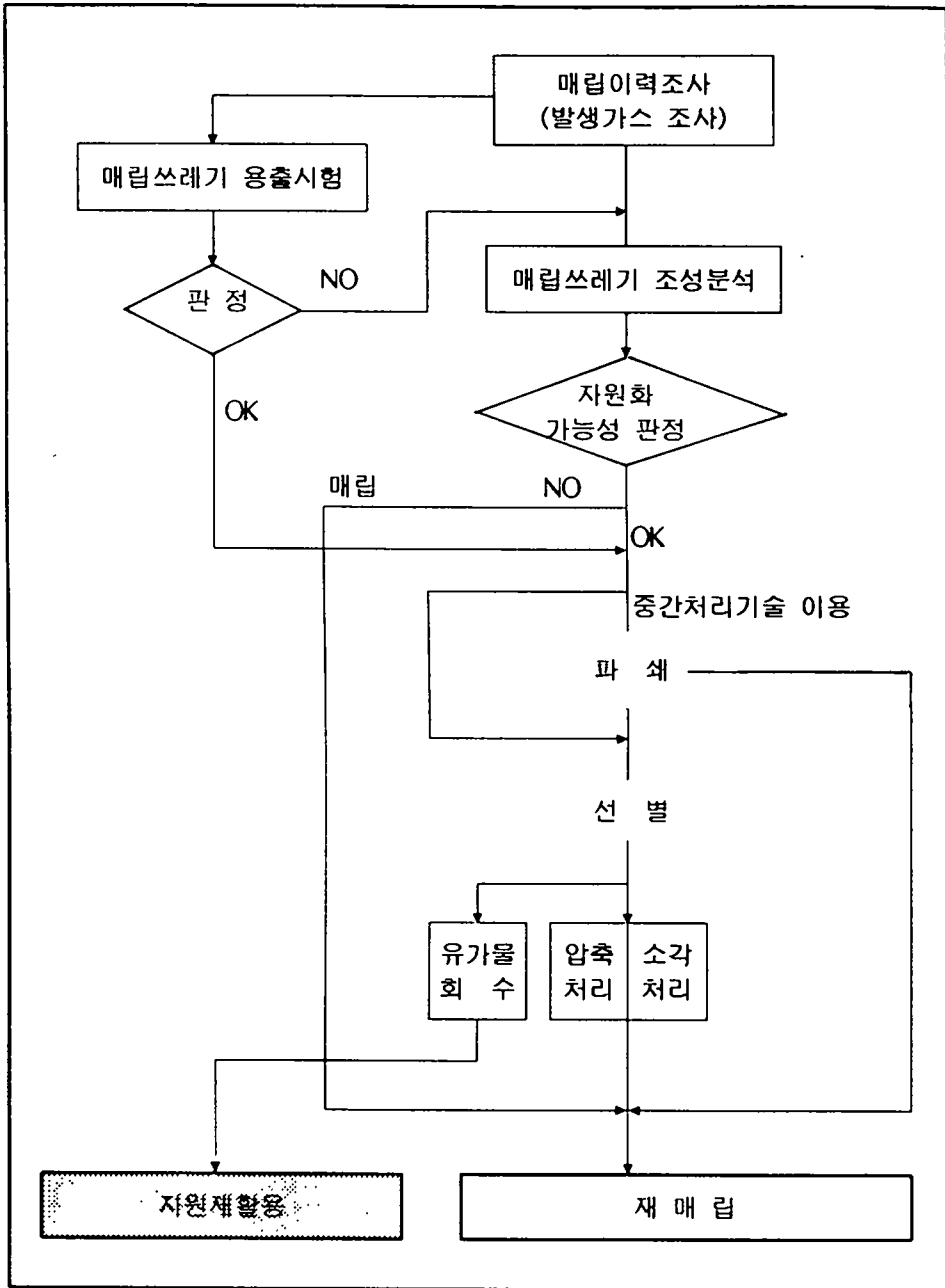
자원재활용형 매립공법은 호기성매립을 중심시스템으로 쓰레기의 퇴비화만이 아닌 쓰레기의 자원화를 위한 전처리를 하는 것으로 분해율은 <그림 5-2>에서 보는 바와 같이 초기의 단계에서 극히 빠르고, 침출수 수질도 개선되는 장점이 있다.



<그림 5-2> 각 처리방법별 분해율의 경시변화

2. 매립쓰레기 굴착 방안

자원재활용형 매립지에서 충분히 안정화된 매립쓰레기를 굴착·자원화할 경우



<그림 5-3> 매립지의 굴착·자원화 프로세스

가장 먼저 선행되어야 할 것은 기존 자료를 이용한 매립이력을 조사하여야 하며, 실제 현장에서 가스발산 특성을 조사하여야 한다. 그리고 매립쓰레기를 굴착하여 물리적 특성, 입도분포, 함수율, 강열감량, 발열량 등의 물리화학적 특성 및 생분해도와 같은 생물학적 특성을 파악하여 굴착방법, 중간처리와 자원화의 가능성을 평가하여야 한다. 이상과 같은 조사를 통해 자원화가 가능할 경우에는 자원화나 감량화를 위한 중간처리 방법을 선정하여 매립지의 재사용을 도모하여야 할 것이다.

이상과 같은 매립지 굴착계획 수립 절차를 정리하면 <그림 5-3>과 같다.

3. 굴착쓰레기 선별 및 감량화 방안

매립쓰레기를 효율적으로 굴착·자원화하기 위해서는 매립되어 있는 쓰레기의 성상을 사전에 충분히 검토한 후에 적용성이 높은 방안을 선택하여야 한다. 굴착된 쓰레기의 수분함유량을 저감시키기 위해서는 선별기 앞에 건조 장치를 설치하거나, 굴착 후 어느 정도 시간이 경과하도록 쓰레기 및 토사를 적치한 후, 선별하는 등의 조치가 필요한데, 경제성 및 주위 환경에 미치는 영향 등을 고려하여 선별 설비의 조합이 이루어져야 한다.(<사진 5-1>, <사진 5-2>참조)

매립쓰레기의 주요 성상별로 굴착·자원화 과정을 정리하면 다음과 같다.

가. 쓰레기성상별 선별 및 자원화 방안

(1) 불연물 및 조대쓰레기 중심의 매립지

주로 연탄재, 비닐류, 플라스틱류, 금속류, 가구류 등과 같은 복합소재 등이 혼입되어 있는 매립지에서는 <그림 5-4>와 같이 먼저 토사선별 후 플라스틱과 조직이 큰 쓰레기 등이 섞인 혼합소재에서 가연물, 자원물 등 감량가능한 것을 선별하여, 가연물은 소각처리하고 자원물은 자원화하는 것으로 감량화가 가능하여 자원을 유효이용할 수 있다. 그러나 매립쓰레기는 샌드위치공법이나 셀공법으로 일일 또는 중간복토를 실시하면서 매립되므로 굴착작업에 따라 양자를 구별하는 것이 쉽지



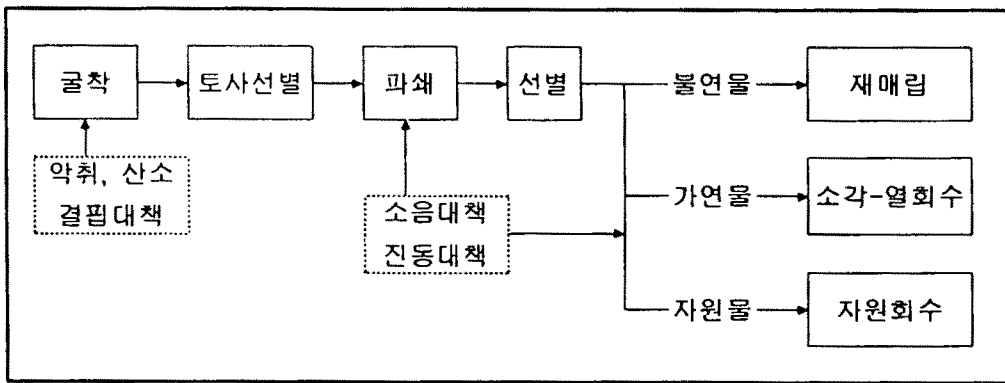
<사진 5-1> 매립쓰레기 굴착장면 (미국 Florida주 Naples 매립지)



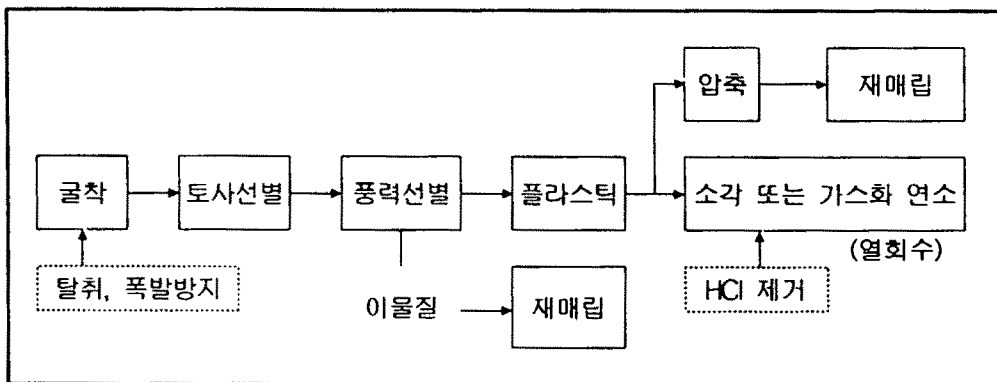
<사진 5-2> 굴착쓰레기 선별장면 (미국 Pennsylvania주 Frey Farm 매립지)

않으므로 굴착대상은 토사와 쓰레기가 혼합된 성상임을 전제로 하여야 한다.

이러한 매립지를 대상으로 쓰레기를 굴착할 경우에는 분해된 쓰레기에 의해 악취가 발생할 수 있으므로 주거지역이 인접해 있는 경우에는 악취방지 대책과 파쇄에 따른 소음진동에 대한 대책이 필요하다. 또한 굴착작업시에는 메탄이나 황화수소에 의해 굴착장소가 산소부족상태가 되거나 폭발의 위험성이 있으므로 환기대책이 필요하다.



<그림 5-4> 불연물 및 조대쓰레기 중심 매립지에서의 선별·자원화 방안



<그림 5-5> 플라스틱류 중심 매립지에서의 선별·자원화 방안

(2) 플라스틱류 중심의 매립지

플라스틱류가 많은 매립지일 경우에는 <그림 5-5>와 같이 굴착하여 토사를 분리한 후 풍력으로 플라스틱을 선별하여, 선별된 플라스틱은 압축하여 재매립하거나 소각처리하는 것이 타당하다. 풍력선별은 비교적 가벼운 물질의 선별에 용이하므로 일부 경질 플라스틱은 선별이 어려우므로 불가피하게 재매립되는 경우가 있다.

나. 선별 시스템의 구성

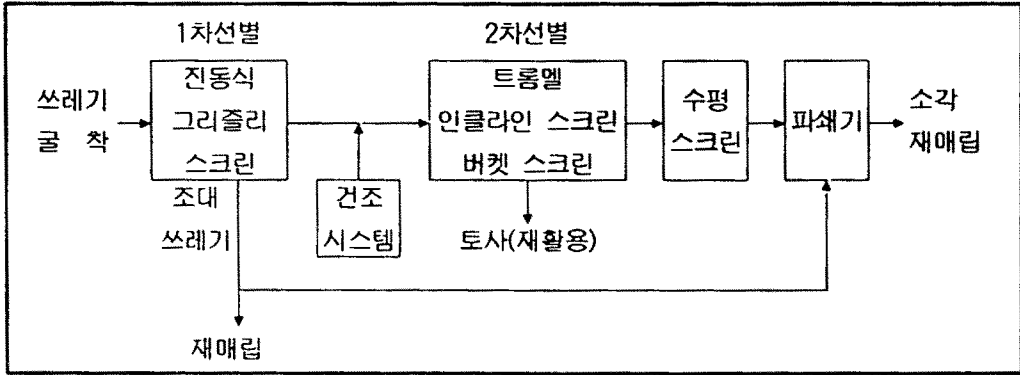
굴착된 쓰레기는 자원재활용과 재매립쓰레기로 분리 선별하여 복토재, 유기물 및 재매립해야 할 쓰레기로 구별하여 별도 처리하여야 하는데, 선별장치 선정을 위해서는 대상쓰레기의 입도, 수분 함유량, 성상별 분포량 등에 대해 충분한 사전 검토가 이루어져야 한다.

또한 굴착된 쓰레기의 수분함유량을 저감시키기 위해서는 선별기 전에 건조 장치를 설치하거나, 굴착 후 어느 정도 시간이 경과하도록 쓰레기 및 토사를 적치한 후, 선별하는 등의 조치가 필요한데, 경제성 및 주위 환경에 미치는 영향 등을 고려하여 선별 설비의 조합이 이루어져야 한다. 쓰레기를 선별하기 위한 선별기로 종류로는 수평스크린, 인클라인 스크린, 버킷스크린, 자선기 (Magnetic Separator), 트롬멜 등이 있다.

선별기 선정의 주요 결정 인자로는 매립층별 수분함유량, 쓰레기 성상별 매립량, 쓰레기 성상별 입도분포율 등이 중요하며, 이송작업 전에 적용 가능한 선별기의 사 전효율 시험 및 분석을 통하여 선별기를 선정하고 조합할 필요가 있다.

굴착 쓰레기 선별은 <그림 5-6>과 같이 1차선별 및 2차선별 단계를 거쳐 자원화 가능한 성상과 재매립할 부분으로 분리하게 된다. 버킷휠 엑스커베이터에 의해 굴착된 일반쓰레기, 사토, 건설폐자재 등의 쓰레기는 중간 트랜스퍼웨건을 거쳐 벨트컨베이어를 통하여 연속적으로 진동식 그리즐리 스크린에 공급하여 조대입자의 쓰레기를 선별한다. 스크린을 통과한 쓰레기는 중간이송설비를 거쳐 2차 선별장치

로 보내지고, 걸러진 조대쓰레기는 파쇄 처리된 후 소각이나 압축하여 재매립하게 된다.



<그림 5-6> 선별기 조합 흐름도

다. 선별기 선정시 고려 사항

- 굴착된 쓰레기를 연속적으로 선별처리하기 위해서는 성상별 특성에 맞는 선별기를 선정해야 한다.
- 선별된 쓰레기 및 토사는 대부분 중간이송설비인 벨트 컨베이어를 통하여 다음 단계로 이송되므로, 선별시 적절한 위치에 자선기를 설치하여 최대한 첩편 조각 등을 제거하여 설비의 안정성을 높여야 한다.
- 굴착의 진행에 따라 수분함유율이 높아지므로, 이에 따른 선별기에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 사전굴착하여 적치하여 일정시간 경과 후 선별하거나, 건조시스템을 거친 후 선별함으로써 효율성을 높여야 한다.
- 비닐로 포장된 상태의 쓰레기가 다량 매립되어 있을 경우에는 굴착 후, 비닐 커버를 절단 처리할 수 있는 파쇄장치를 설치하여 연속적으로 압축 및 선별 작업이 될 수 있도록 한다.
- 선별, 파쇄시 가장 큰 문제로 대두되는 분진 및 악취발생 문제는 건물 내에 선

별 기기들을 설치하고, 집진장치, 흡착탑 등 환경설비를 설치하여 외부로의 2차적인 환경오염 문제 발생을 최대한 방지하도록 한다.

- 선별 대상 쓰레기 중 굴착된 쓰레기 성상이 선별 곤란한 정도로 수분 및 짐작 성분이 많아서 덩어리 형태나 굳어진 상태인 경우는 진동식 기계 장치를 통해 흐트린 후에 선별하여야 한다.

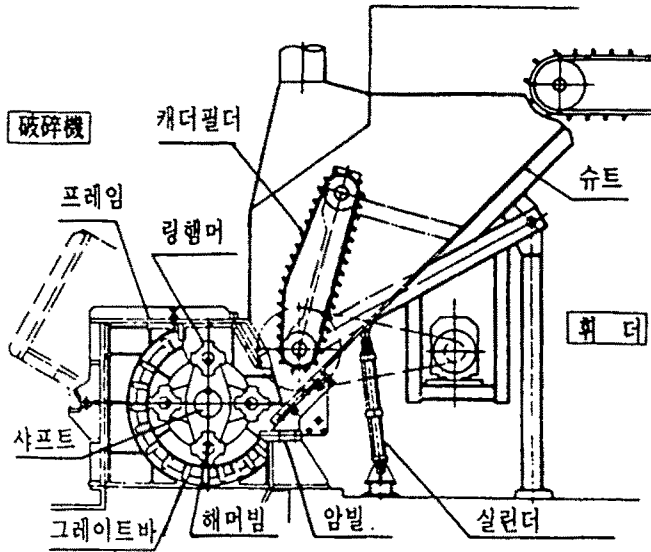
라. 굴착쓰레기의 감량화 방안

재매립대상 쓰레기의 매립으로 인한 토지소요량을 최소화시키기 위해 감량화내지는 감용화가 적극 고려하여야 하는데, 대표적인 감량 및 감용화 기술로는 파쇄, 소각 등이 있다.

쓰레기의 파쇄는 조대쓰레기를 재매립하기에 앞서 매립공간을 절약하기 위해서나 가연성 쓰레기의 소각효율을 높이기 위해 취해지는 전처리 기술로, 압축강도와 인장강도의 비로 표현되는 취성도에 따라 취성도가 큰 물질은 작은 변형량에서도 급격히 파괴되므로 압축파쇄 또는 충격파쇄를 이용하고, 반대로 취성도가 작은 물질은 고속충격파쇄와 전단파쇄가 유효하다.

<표 5-2> 파쇄기의 종류와 처리가능한 쓰레기

파쇄기 종류		대상 쓰레기
회전식	고속회형 회전식 충격전단파쇄기	자동차, 대형금속제품, 가구 등 대형목재제품, 폐플라스틱류
	고속수직형 회전식 충격압축파쇄기	
	저속회형 회전식 충격전단파쇄기	플라스틱류
왕복식	왕복동식 전단파쇄기	목재류, 금속류
	길로틴식 왕복동식 전단파쇄	
	왕복동식 압축전단파쇄기	금속, 폐목재, 대형타이어
압축식		콘크리트, 유리, 경질 플라스틱류



<그림 5-7> 고속회전형 회전식 충격전단 파쇄기

처리대상 쓰레기의 특성에 따른 파쇄기 종류는 <표 5-2>와 같으며, <그림 5-7>에서는 일 예로 충격전단 파쇄기를 예시하였다.

굴착한 쓰레기중 가연성쓰레기등은 소각하므로서 약 1/10로 감용되는 효과를 거둘 수 있는데, 자원재활용형매립지는 비교적 소규모로 운영되기 때문에 굴착한 쓰레기중 소각대상량도 비교적 소량이며 <표 5-3>에서 보는 바와 같이 발열량도 상당히 높아 단독으로 소각처리하는 것은 비경제적이므로 주변에 있는 기존 쓰레기소각시설로 운반하여 생쓰레기와 혼합하여 처리하는 것이 바람직하다.

<표 5-3> 쓰레기의 발열량 범위 및 소각시설 발열량 설계치

	굴착쓰레기 (본 연구)	도시 생쓰레기 (문헌치)	소각처리시설 설계치
발열량 (kcal/kg) (습윤저위)	3,686~5,501	2,184-1,367	2,500~3,000

4. 선별쓰레기의 자원화방안

매립쓰레기의 자원화란 매립 완료된 쓰레기 매립지에서 매립된 쓰레기를 선별하여 무해화 처리한 후 자원으로 재이용하는 기술을 말한다. 즉, 매립된 쓰레기를 일단 굴착한 후 스크린을 통과시켜 선별되는 무기성 쓰레기 (금속류, 비닐·플라스틱, 고무, 유리류)중 재생가능한 것은 회수하고, 스크린을 통과한 잔토는 복토용으로 이용하며, 유기성 쓰레기는 매립지 현장에서 소규모 단위로 위생매립 시설을 갖춘 매립지에 처분하여 이때 부산물로 생성되는 메탄가스를 회수하여 이용할 수 있다. 쓰레기 매립지에서 적용가능한 자원화 기술은 다음과 같다.

(1) 고형화 기술

고형화 기술은 고화할 재료의 특성에 따라 크게 무기성 고형화와 유기성 고형화로 구분할 수 있다.

무기성 고형화는 주로 시멘트성 물질을 이용하여 오염물과 고화재료간의 화학반응을 유발시켜 무독화, 불용화시키거나 고화체 구조내에 고정화하는 방법으로, 무기성 고형화에 사용되는 고화재료의 특징은 천연물질 혹은 이를 인위적으로 가공한 물질을 사용하기 때문에 안전하게 다룰수 있다.

유기성 고형화는 요소-포름알데히드, 불포화 에스테르, 아스팔트(Bitumen)를 이용하여 방사성 폐기물 고형화에 일부 적용되었으며, 최근에는 산업계 폐기물에도 적용시킬 수 있게 개발되었다. 유기성 고형화재는 대체로 폐기물과 고화재료가 상호 화학반응을 일으키지 않으므로 단지 유기성 고화체내에 오염물이 포획되어 있을 뿐이다. 무기성 및 유기성 고형화법의 특징을 정리하면 <표 5-4>와 같다.

(2) 콘크리트 블럭화

압축된 쓰레기를 콘크리트와 혼합하여 콘크리트 블럭으로 만든뒤 양생하여 제방용 자재나 매립용 자재등의 건축자재로 활용하는 기술로써, 국내의 경우 저준위 방

<표 5-4> 고형화 기술 특성 비교

무기성 고형화	유기성 고형화
<ul style="list-style-type: none"> - 저렴한 비용 - 물리·화학적으로 장기적 안정성 양호 - 다양한 산업폐기물에 적용가능 - 고화재의 구입용이 - 처리작업용이 - 수용성이 작고, 수밀성이 양호 - 고화재의 독성 없음 	<ul style="list-style-type: none"> - 처리비용고가 - 수밀성이 크며, 다양한 폐기물에 적용가능 - 고화체의 체적증가 다양 - 미생물, 자외선에 대한 안정성 약함 - 방사성 폐기물 이외의 폐기물에 대한 적용사례가 제한적임 - 고도의 기술 필요 - 촉매등 유해물질 사용

사성 물질, 중금속 폐기물 등 유해폐기물의 처리에 적용되고 있다.

콘크리트 블록화 기술은 거의 모든 종류의 쓰레기에 대해 적용가능하며, 특히 하수오니와 같이 물성이 나쁘고, 적정관리가 어려운 매립물의 경우 효과적이다. 이 기술은 쓰레기를 분리할 필요없이 혼입하여 쓰레기 성상에 따라 1/5~1/10 정도로 압축 고형화한 것을 콘크리트로 밀폐처리하는 시스템이다. 이 시스템의 경우 압축프레스를 사용하기 때문에 거의 반영구적으로 사용함에 따라 운영비 및 초기투자비가 적게 들고, 350톤 정도의 가압으로 완전 압축 밀폐하므로 오염원이 차단되는 장점이 있다.

(3) 퇴비화 기술

퇴비화는 유기물의 호기성 분해가 주된 과정으로 여러 종류의 많은 중온성, 고온성 미생물 등이 관여한다. 이들에 의한 분해과정은 크게 3 부분으로 나누어지는데, 첫번째는 당류, 아미노산 등 분해가 쉬운 유기물질들이 이용되는 초기의 1~2일 간으로 퇴비 더미의 온도가 오르기 시작하는 단계이다. 두번째는 고온성 분해과정으로 주로 유기성 폐기물 중의 셀룰로즈, 펙틴 등의 분해가 이루어지며, 보통 수 주

간 계속된다. 세번째는 숙성 단계로 온도가 떨어지고 분해속도가 느려지며 다시 중온성 미생물이 정착한다. 이상의 과정은 폐기물의 종류와 퇴비화 과정 중의 환경조건에 따라 그 기간이 달라질 수는 있지만 3 단계로 이루어지는 것이 일반적이다.

매립쓰레기에서 선별된 유기성 쓰레기는 퇴비화시켜 비료로서 이용하거나, 침출수의 처리, 토양탈취제 등으로 이용할 수 있다. 퇴비화는 농축 잔재물을 처분하여 환경오염을 저감하고 농업생산에 기여 할 수 있는 가장 이상적인 처리방법이다. 2차 세계대전 이후 네델란드를 비롯한 스위스, 서독 등에서 도시폐기물 처리에 이용되어 왔으나 생산된 퇴비에 대한 이용기피와 매립이나 소각처리방법에 밀려 빛을 보지 못하다가 최근에 쓰레기에 대한 재활용이 강조되면서 다시 주목을 끌고 있다.

그러나 중금속등을 다량 함유하는 쓰레기를 퇴비화하면 농업용도에 부적합하므로, 그 사용기준을 엄격히 설정해두지 않으면 안된다. 아직 우리나라에는 매립폐기물로 만들어진 퇴비의 사용기준이 설정되어 있지 않으며, 미국에서도 주별로 그 기준을 달리하거나 설정되어 있지 않은 주도 많다. 1989년 11월에 공포된 Florida 주의 고품폐기물로 제조한 퇴비 용도에 따른 기준(Code Chapter 17-709)를 보면, 퇴비는 전 장의 <표 4-12>와 같이 공정폐기물 형태, 제품의 숙성도, 제품속의 이물질량, 입도 및 유출물 함량, 중금속 농도에 따라 사용용도가 세분되어 있다.

또한 퇴비화된 유기성 쓰레기는 매립지로부터 발생되는 침출수나 악취 처리를 위한 설비나 화학약품의 대용으로 이용할 수 있다. 폐수처리 및 환경정화에서의 이용방안을 정리하면 다음과 같다.

- ① 침출수의 재순환 등에 이용 : 쓰레기 매립지에서는 침출수를 매립지에 재순환해서 처리하기도 하는데, 이는 토양중에 있는 미생물의 활동으로 폐수중의 유기물의 분해를 촉진시키게 된다. 이때 퇴비를 침출수의 재순환시에 여과상으로서 사용하면 매립지의 안정화 촉진에 기여할수 있다.
- ② 고액분리에 이용 : 매립쓰레기 퇴비를 여재로서 이용하면 하수오니나 분뇨같은 고농도의 고품분을 함유한 액의 고액분리가 가능해진다. 고액분리에 의해

여액은 수처리하는데 대한 분량이 경감되며 분리된 고형분은 함수율이 낮은 퇴비와 혼합하여 다시 발효하여 퇴비화한다. 하수오나 퇴비는 질소분을 다량으로 함유하고 있어서 질소분의 함유율이 낮은 폐기물 퇴비와 혼합할 경우, C/N비가 발효에 적합한 값을 취하기 때문에 유리하다.

- ③ 탈취 및 가스 흡착에 이용 : 매립쓰레기 퇴비는 표면적의 크기, 함유수분, pH 완충능 등에 의해 악취유발 물질, 가스 등을 흡수할 수 있다. 또한 퇴비중에 존재하는 다수의 미생물로 인해 흡착된 악취유발 물질이 어느 정도 분해되는데 탈취효과가 비교적 장기간 계속되는 이점이 있다.

그 밖에도 퇴비화된 유기성 쓰레기를 골프장 등에 살포하므로서 농약이나 화학비료의 과다 살포로 인해 야기되는 수질오염을 방지할 수 있으며, 토양의 침식방지나 경사지에서 비료의 유출을 방지하기 위해서도 이용되기도 하는데, 일례로 미국에서는 고속도로의 로건의 퇴비를 살포하여 식물의 생육은 물론 로건의 보호를 도모하고 있다.

(4) 매립지 복토제

일반적으로 쓰레기 매립지에서는 해충과 악취를 제어하고, 우수의 침투를 최소화하며, 쓰레기의 날림방지, 화재예방, 쓰레기 운반차량의 운행성 도모 등을 목적으로 일일 복토나 중간복토가 행해진다. 또한 매립이 종료된 시점에서 최상층에 경관의 향상, 부지 이용, 유출수 감소 등을 목적으로 최종복토가 이루어지는데, 실제 위생 매립지에서 사용되는 복토제의 양은 전체 매립량의 30% 이상을 차지하는 경우가 많다.

매립 쓰레기층 내에서 장기간 생분해를 통해 안정화된 토사는 대체로 10% 미만의 유기물 함량을 가지면서 안정된 형태의 휴믹물질로 존재하며 충분한 토양 정화능력을 가지고 있다. 즉 안정화된 매립토사는 매립지에서 발생하는 유기독성물질을 흡착하며, 흡착된 오염물질은 주변 토양미생물에 의해 생분해되며, 토양 중의 휴믹

물질은 중금속 흡착능을 발휘하여 침출수 중에 존재하는 중금속의 배출을 억제시키는 효과를 갖고 있다. 또한 악성 침출수를 자체가 정화시키는 능력을 가지며, 악취를 유발하는 물질을 흡착함으로써 악취 저감 효과도 갖는다. 이외에도 생분해 측면에서 안정된 매립토사를 복토재로 사용할 경우 별도의 복토재 확보가 필요없고, 이에 따른 쓰레기의 매립용량 증진을 기대할 수 있으므로, 매립지 관리·운영면에서 이익이 커 일석이조의 효과를 누릴 수 있다. (<사진 5-3>참조)

(5) 기타

그외 쓰레기 매립지로 부터 회수하여 자원화할 수 있는 쓰레기로는 철, 알루미늄 등과 같은 유기물이 있는데, 이들은 자선기나 와전류분별기(Eddy Current Separater)로 선별하여 재활용할 수 있다. 특히 철과 같은 부식성 물질은 매립지 내부가 환원상태를 유지되기 때문에 상당한 기간동안 매립되었다 하더라도 그다지 산화되지 않았을 것으로 보이는데 자원으로 충분히 재이용할 수 있는 것으로 예상된다.

폐타이어는 잘게 분쇄하여 신규로 조성된 쓰레기 매립지의 저부에 살포해 됨으로서 쓰레기 매립지에서 발생하는 침출수가 매립층을 유하하는 과정에서 폐타이어 층에서 중금속등이 흡착됨으로서 침출수의 수질개선 및 처리장의 오염부하를 저감시킬수 있는 효과를 누릴 수 있어 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. <사진 5-4>는 매립지 사면의 차수막을 보호하기 위한 방안으로 폐타이어를 활용한 사례를 보여주고 있다. 또한 우리나라와 같은 도로구조에는 겨울철 로상부분의 동상을 방지하기 위해 아스팔트 또는 콘크리트층의 하부에 자갈 또는 쇄석으로 이루어진 동상방지층을 까는데, 최근에 대형건설공사가 늘어남에 따라 골재난이 심각하여, 자갈, 쇄석 대신에 폐타이어를 분쇄하여 도로의 동상방지층 재료로 재활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다.



<사진 5-3> 매립지 선별토사를 활용한 매립지 복토 장면



<사진 5-4> পেটাই어를 매립지 차수시트 보호재로 활용한 사례

제2절 자원재활용형 매립지 운영에 따른 환경대책

자원재활용형 쓰레기 매립지는 기존의 매립지와 비교해서 환경문제가 적을 것으로 판단되지만 아직 사례가 없기 때문에 시행에 따른 환경문제가 어느 정도 야기될 지에 대해서는 아직 명백하지 않다. 다만 매립지내의 유해물질, 악취 등이 높은 농도인 발생되어 매립 작업환경 또는 주변환경에 영향을 미칠 위험이 있을 것으로 예상되므로 문제가 될 수 있는 유해물질과 배출량 또 그 밖의 인자를 파악하고, 필요에 따라 발생가스 처리시설을 설치하는 등 대책을 고려할 필요가 있다.

특히 매립지를 굴착할 시에는 다량의 매립지 가스가 발생함과 동시에, 악취, 침출수, 분진 등의 2차 환경오염 문제가 야기될 것으로 예상된다. 따라서 매립쓰레기의 굴착과 선별, 자원화가 원만히 이루어지기 위해서는 그에 따른 철저한 환경대책이 마련되어야 한다.

1. 가스 및 악취대책

매립 쓰레기층으로부터 다량 발생하는 메탄가스는 폭발성이 매우 높으며, 매립 또는 굴착장소에는 산소 결핍상태로 되기 쉬우므로 더욱 폭발의 위험이 크다고 하겠다. 특히 쓰레기층 특유의 불균질성으로 인해 국부적으로 혐기적 분위기를 유지한 부위도 존재할 염려가 있으므로 굴착시에 악취가 일시에 분출될 우려가 있으므로 대책을 강구하여야 한다. 또한 매립지 굴착시 부패분해가 끝나지 않은 음식찌꺼기, 식물, 동물쓰레기 등으로부터 발생하는 N 과 S 화합물로부터 악취가 발생하므로 굴착사업에 큰 에로사항이 될 것이다. 따라서 굴착시에는 필요에 따라서 방지대책을 세우는 한편, 강제환기 등의 대책을 세울 필요가 있다.

매립 및 굴착사업시의 안정성 확보를 위한 가스의 농도는 <표 5-5>와 같다.

<표 5-5> 굴착작업시의 안전성 목표(일본)

항 목	농 도	비 고
메 탄	1.5%이하	노동안전규칙
산 소	18%이상	산소결핍증등 안전규칙
황화수소	10ppm미만	

가. 굴착작업시 폭발방지를 위한 가스배제 방안

- ① 굴착지점 주위에 다공관으로 이루어진 가스추출관을 설치하여 blower에 의해 메탄가스를 추출한다. 추출시 안전한 지상높이에서 연소시켜주면 그 효율은 더욱 높아질 것이다.
- ② ①번과는 역으로 blower에 의해 공기를 굴착지점 주위에 불어넣어, 굴착시 산소 결핍현상을 막아줌으로서, 폭발을 방지할 수 있다.
- ③ 악취 및 분진 대책에서도 나오겠지만 수용성 방향제를 굴착시 살포해줌으로써, 탈취와 폭발방지를 동시에 이룬다.

나. 악취제거 방안

악취를 유발하는 가스는 NH_3 (암모니아), CH_3SH (Methyl Mercaptan), H_2S (황화수소), $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ (Tri-methylamine), CH_3CHO (Acetaldehyde), Styrene 등이 있다. 악취는 주로 쓰레기 매립시와 굴착 및 선별시에 발생하는데, 이에 대한 대책으로는 각각 악취가 발생하기 전에 발생원을 제어하는 방법과 발생한 악취를 저감시키는 방법으로 나눌 수 있다.

(1) 매립 쓰레기 전처리

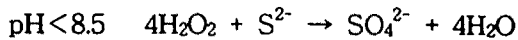
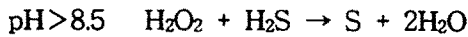
(가) 약품의 첨가(산화제의 첨가)에 의한 쓰레기의 전처리

악취를 발생시키지 않도록 하려면 쓰레기 반입시, 반입후, 매립시에 반입기기의 청소, 그리고 쓰레기에 약품을 살포하는 것 등으로써 원인물질을 제거한다.

쓰레기를 매립하기 전에 아래와 같은 산화제를 스프레이 등으로 분무해야 하며, 악취원인물질인 황화수소, 암모니아 등의 산화제거를 한다. 그러나 이러한 방법은 침출수의 부하를 크게 하므로 사용할 때에는 충분한 검토가 필요하다.

○ 과산화수소

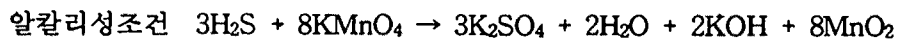
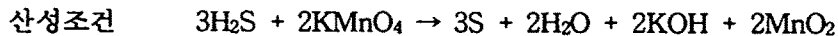
황화수소를 예로 들면, 다음의 반응에 의해 황화수소를 화학적으로 산화한다.



이러한 반응은 빠르게 진행된다.

○ 과망간산칼륨

과망간산칼륨은 강한 산화제로 황화수소와 다음과 같이 반응한다.

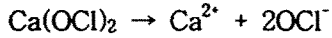


○ 초산나트륨 (황화수소 발생을 늦추는 효과가 있음.)

초산염은 황화물을 제어하기 위한 보조 산소원으로서 첨가된다. 어떤 박테리아는 산소, 초산염, 황산염의 순서로 수소수용체를 선택적으로 이용한다. 만약 초산염이 존재한다면 모든 초산염이 환원되어 버릴 때까지는 황산염의 환원은 일어나지 않는다.

○ 염소

보통 차아염소산염의 형태로서 첨가된다. 칼슘염의 경우, 물에 넣으면 다음과 같이 이온화되어 차아염소산 이온을 만든다.



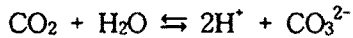
이 차아염소산 이온이 황화물을 산화시켜 황산염을 생성시키는 역할을 한다.

(2) 매립된 쓰레기의 악취제거

(가) 악취살포

○ 중화제

폭발의 위험이 있는 수소의 발생을 억제하기 위해 탄산가스와 같은 중화제를 쓰레기 속에 불어 넣어, 쓰레기 속의 알칼리 물질을 중화시킨다. 탄산가스는 이하와 같이 물에 용해되어 수소이온을 발생시켜 산성을 띤다.



○ 살수

분진이 날리는 것을 막기 위해 쓰레기에 살수를 한다. 쓰레기 표면에 스프레이로 물을 습기가 더해지도록 살포한다. 최적 살포량은 실제 쓰레기로 흡수 실험을 하여 결정하는 것이 좋다.

(나) 특수복토

○ 제오라이트계 흡착재에 의한 암모니아가스 등의 흡착처리

제오라이트는 함알루미나케이산염 광물로, 이온교환능력이 풍부하고, 특히 암모늄 이온교환능력이 우수하다. 그 중에서도 몰데나이트, 클리노프티로라이트는 이온교환능력도 크므로 많이 이용되고 있다.

○ 활성탄계 흡착재에 의한 유해화학물질의 흡착처리

쓰레기 중에서 소각재로부터 특별히 규정할 수 없는 악취가스가 발생하는 일도 있다. 이러한 물질은 주로 유기계 가스이므로 활성탄을 이용하여 흡착제거할 수 있다. 그러나 활성탄은 비싸므로 사용할 때에는 검토가 필요하다.

○ 산호사(砂)에 의한 산성악취가스의 흡착처리

산호사는 코랄샌드라고도 불리며, 산호의 화석이 풍화, 마모되어 모래모양이 된 것이다. 이 산호사는 중금속을 흡착하는 능력이 있다고 알려져 있다. 또 주성분이 탄산칼슘으로 알칼리성 물질이므로, 황화수소 등의 산성 악취가스를 흡착하는 능력이 있다.

(3) 굴착시 악취제거

매립지의 굴착작업중에는 매립지내에 체류하고 있던 가스가 일시에 분출되기 때문에 악취의 발생이 가장 극심할 것으로 예상되는데 여기에 대한 구체적인 대책은 다음과 같다.

① 굴착시 드러나는 매립지표면적을 최소화한다.

깊이 파들어가면 악취 제거는 효율적이겠지만, 작업장의 붕괴위험이 우려되어 공기흐름이 막혀지므로 메탄의 확산이 잘 되지 않아 폭발위험성이 커진다.

② 악취제거 물질을 사용한다.

굴착시 쓰레기와 노출부분에 액체의 냄새 중화제를 살포하는 것이다. 이 살포기는 굴착장비의 윗 부분에 설치할 수도 있고 별도의 물트럭을 이용할 수도 있겠다. 0.5 l용액 (용액의 농도는 실험으로 측정되어야함)이 약 1kg의 쓰레기 악취를 완전 제어 할 수 있을 것으로 추정된다. 각종 굴착시 적용가능한 악취 제거 방법의 적용원리 및 특징을 정리하면 <표 5-6>과 같다.

③ 굴착지역에서는 굴착된 쓰레기가 어느 정도의 체류시간을 가지게 됨으로서 악취를 발생하게 되는 바, 굴착된 쓰레기를 선별된 사토로 덮어주거나 합성고무 등 합성 방수시트로 덮어 두는 방법이 있다. 그러나 이 방법들은 많은 노동력을 필요로 하게 될 것이다.

<표 5-6> 굴착시 적용가능한 악취제거 방법의 특징

방 법	원 리	사용 물질	특 징
수세법	쓰레기 표면에 물을 살포하여 수용성의 아취가스(암모니아, 아민류)를 용해시킴	물	분진이 동시 제거됨 시설비,운전비 저렴 수용성이 작은 악취성분에는 적용 곤란
약액살포법	산화력이 강한 약액이 희석된 수용액을 쓰레기 표면에 살포하여 악취 저감	ClO ₂ , NaOCl, NaOH 수용액, 미세물 약액제 등	악취강도에 따라 휘석비율을 달리하여 적용시킴
도포법 (foaming)	쓰레기층 표면을 도포하여 악취 성분의 방출을 물리적으로 막음.	urea formaldehyde계 인공 foam 제	1-2주일간 효력 지속. 강우시 우수 침투 방지효과.
마스킹법	오렌지,오일 등의 방향성분을 발산하여 악취를 중화시킴	천연 및 인공의 방향성분	근원적인 제거가 아니며, 악품비 소요가 많음.

④ 굴착작업지역과 선별작업지역에서 발생하는 악취의 대책으로서는 그 지역을 둘러싸, 내부의 악취 공기는 Blower에 의해 Carbon 등과 같은 악취 흡착제를 통과시켜 외부에 내보낸다.

⑤ 악취가 극심할 것으로 예상되는 하절기에는 가능한 한 작업을 피한다.

(4) 탈취 기술

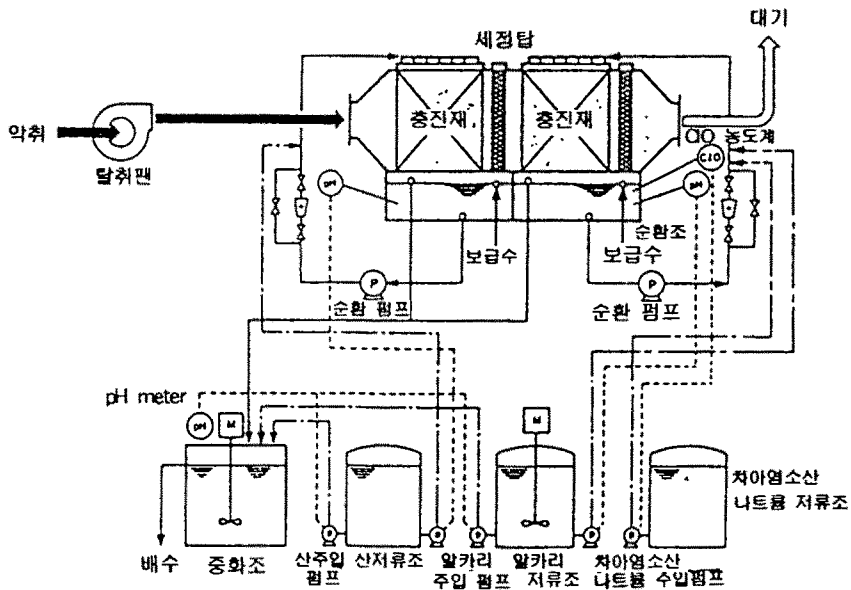
유해물질을 함유하는 악취의 처리법을 <표 5-7>에 나타내었으며, 대표적인 탈취방법은 다음과 같다.

(가) 약액세정 방식

<그림 5-8>과 같이 산, 알칼리, 산화처리를 하여 처리하는 방법으로, 일반적으로 활성탄 흡착방식의 전처리로서 사용된다.

<표 5-7> 유해물질을 함유한 약취의 처리법 비교

처리방식	탈취효과	설비비	유지비	취급용이성	설치장소
약액세정방식	중	고	저	난	대
흡착방식	고	중	중	이	소
연소방식	고	저	고	중	소
오존방식	저	고	저	난	대
미생물방식	중	고	저	이	대



<그림 5-8> 약액세정식 탈취법

- 장점 : 세정액의 선정에 따라 탈취효과가 있다.
- 단점 : 저농도이거나 풍량이 큰 경우 탈취효과가 충분하지 않다.

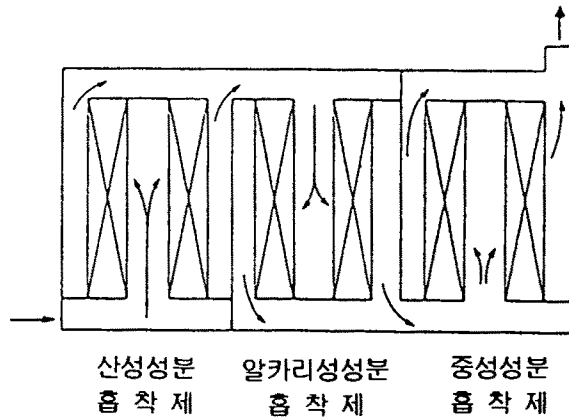
탈취성능유지를 위해 pH, 염소농도 등의 보존,관리가 중요하다.

배수처리가 필요하다.

(나) 흡착방식

<그림 5-9>와 같이 활성탄 등을 이용하여 악취성분, 유해물질성분을 흡착제거한다. 일반적으로 풍량이 크고, 저농도의 가스에 적합하다. 사용조건은 온도40℃ 이하, 습도 80% 이하가 바람직하다.

- 장점 : 흡착제의 선정에 따라 대부분의 악취가스에 대해 효과가 있다.
보존 관리가 쉽다.
- 단점 : 고온 다습하면 제거효율이 떨어진다.



<그림 5-9> 흡착탈취법

(다) 직접연소방식, 촉매연소방식

악취, 유해물질을 완전연소시켜 탈취하는 방식으로, 고농도유해가스에는 효과가 있으나, 일반적으로 저농도의 가스에 대해서는 운영비용이 높아지는 결점이 있다.

(라) 직접연소방식 (<그림 5-10>참조)

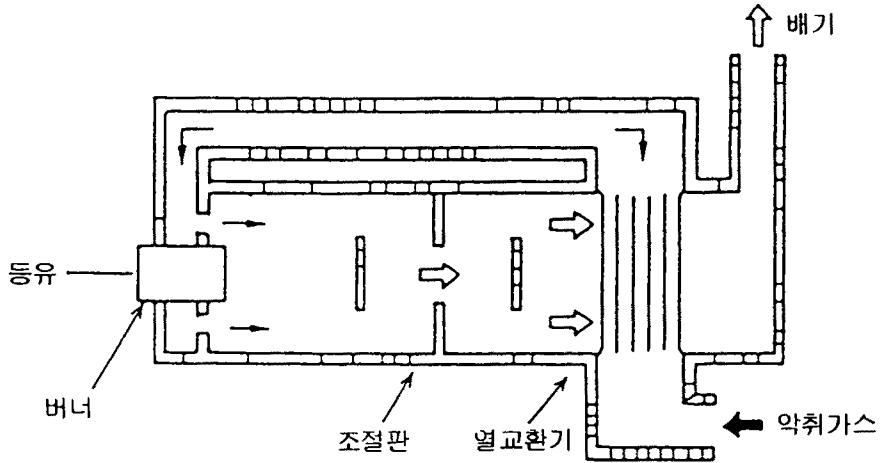
- 장점 : 반응온도 600도~800도, 체류시간 0.3~0.1초, 가스혼합 조건을 만족시키면 탈취 효과가 있으며, 농후한 가스에 유효하다.
- 단점 : 불을 이용하기 때문에 안전대책이 필요하다.
위험물, 폭발성 물질에는 적용할 수 없으며, 초기 및 운영 비용이 높다.

(나) 촉매연소방식 (<그림 5-11>참조)

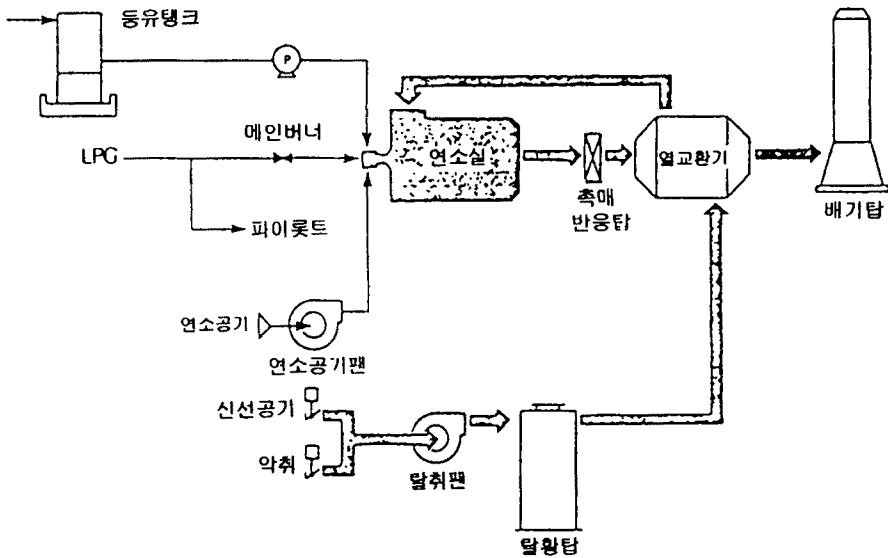
○ 장점 : 반응농도 300~400℃, 촉매의 선정을 만족시키면 탈취효과가 있으며, 농후한 가스에 유효하다.

○ 단점 : 불을 이용하므로 안전대책이 필요하다.

위험물, 폭발성의 물질에 적용할 수 없으며, 초기 및 운영 비용이 높다.



<그림 5-10> 직접연소식 탈취법



<그림 5-11> 접촉연소식 탈취법

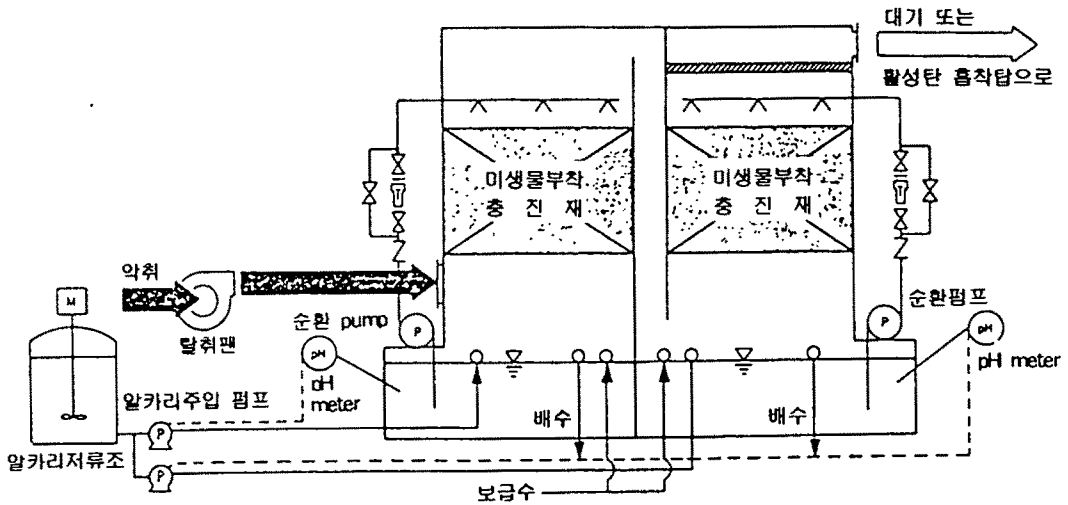
(라) 기타

① 오존탈취

오존의 강력한 산화력은 탈취효과를 기대할 수 있지만, 오존은 인체에 유해하므로 오존산화후의 남은 오존의 처리가 필요하게 된다.

② 미생물탈취 (<그림 5-12>참조)

활성탄, 세정, 연소방식에 비해 운영 비용이 싸고, 탈취효과를 기대할 수 있다.



<그림 5-12> 미생물탈취법

2. 분진대책

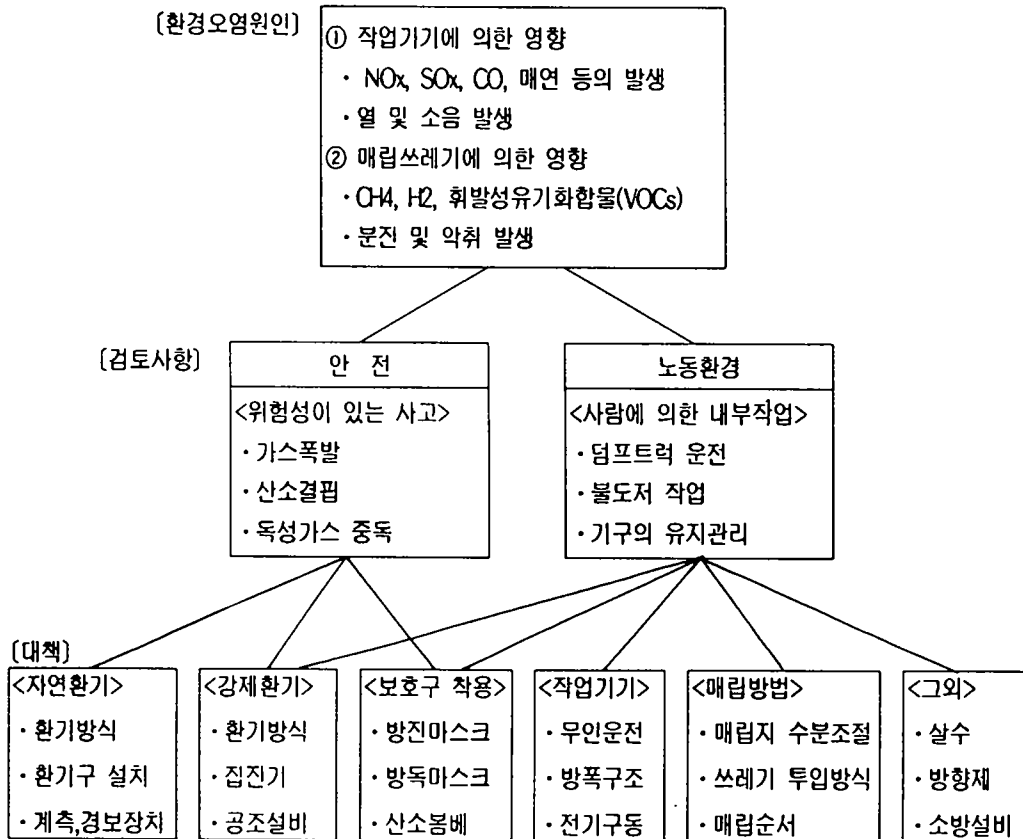
먼지, 분진 문제는 굴착된 쓰레기들이 교반되거나 바람으로 인해 그 원래 위치로부터 멀리 이동하는 경우에 발생하게 된다. 만약 먼지 입자나 분진들이 작업장으로부터 나오면 사회적으로 난처한 문제가 일어날것이다. 또한 굴착 및 선별작업시 악취와 더불어 큰 장애 요인이 되는데 그 대책은 다음과 같다.

① 물을 뿌리는 방법 (방향제용액 사용시 악취와 먼지문제를 동시에 해결가능)

- ② 울타리를 치고 모든 작업을 그 안에서 함으로서 공기의 확산을 제어하여 Blower를 통해 밖으로 나가는 공기는 여과시켜 먼지를 제거하는 방법
- ③ 신축성 덮개를 사용하여 악취와 비산 방지

3. 자원재활용형 매립지에서의 작업안전대책

자원재활용형 매립지에서 쓰레기를 매립하거나 굴착하는 작업원은 작업도중 쓰레기에서 발생하는 분진, 악취, 가스등의 영향을 받으므로 작업원은 항상 <그림 5-13>과 같은 작업환경에 대한 대책이 필요하다.



<그림 5-13> 자원재활용형 쓰레기매립지에서의 매립 및 굴착시 작업환경대책

가. 화재 및 가스대책

매립지의 굴착에 따른 발생가스는 메탄, 이산화탄소 가스등으로 대부분은 대기중에 확산되지만 경우에 따라서는 인화에 의한 화재발생이 우려된다. 따라서 굴착작업 수행시에는 'LIDAR' 와 같은 3차원적으로 대기의 가스농도를 측정할 수 있는 대기오염 측정장비를 이용해 작업현장을 상시적으로 모니터링하여 작업의 안전성을 확보하여야 할 것이며, 유사시를 대비하여 작업현장주변에 소방차등을 대기시켜둘 필요가 하다.

나. 악취대책

굴착시 발생하는 가스에는 황화수소가스등이 포함되어 있어 악취성분으로서 사람에게 불쾌감을 주기 쉽다. 예로 황화수소 가스는 고농도일 때 인체에 끼치는 영향이 커지지만, 매립지 특유의 취기와 혼합한 악취로서 작업환경을 악화시킬지도 모른다. 따라서 굴삭기, 트럭 등의 운전석은 공조기를 설치하고, 운반차량 유도인에게 악취대책용 마스크 등의 착용을 의무화시킬 필요가 있다.

다. 분진대책

사업 시행시에는 굴착시, 선별시, 적재시, 하적시, 재매립작업 등 거의 전과정에 서 분진이 발생한다. 작업시 작업원의 건강보호차원에서 작업환경중 분진량은 10 mg/m^3 이하가 바람직한 것으로 보고되고 있다. 따라서 분진대책으로서는 정기적으로 작업중의 분진량을 측정하고, 필요에 따라 방진마스크의 착용등을 의무화함과 동시에 살수 등을 행하여 분진의 발생이 적도록 개선할 필요가 있다.

제3절 자원재활용형 매립지의 주요 설계요소

쓰레기매립의 목적은 생활보전상 지장이 생기지 않는 방법으로 쓰레기를 적절히 저장해 자연계의 대사기능을 이용해 안정화, 무해화하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위해서는 매립처분의 실시방법이 중요하고 여기에는 지역의 특성, 쓰레기의 종류, 쓰레기 매립지의 위치, 지역의 기후 등이 중요한 요인으로 작용한다.

옛날과 같이 유기성을 분해할 수 있는 물질이 주체이던 시대는 자연계의 대사기능을 이용해 안전화, 무해화가 진행되었지만 쓰레기의 성질이 다종다양한 오늘날에는 지금까지는 충분했던 안전성, 안정성을 보장받을 수 없어 반입되는 쓰레기의 질의 분류를 해 거기에 맞는 구조를 갖는 매립지를 만들어 가고 있는 추세이다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 오늘날의 농어촌쓰레기의 특성과, 시대적 현실을 감안하여 자원재활용형 쓰레기 매립공법을 제안한 바 있다.

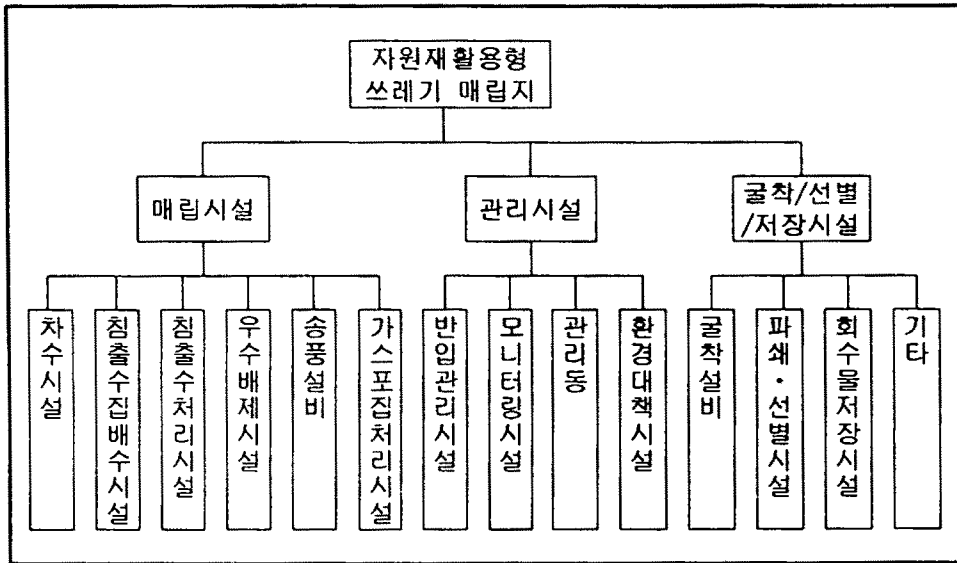
자원재활용형 매립지를 효율적으로 운영하기 위해서는 분해가능한 쓰레기를 조기에 분해시켜 매립지 소요 부지를 최소화하여야 하며, 분해종료후 선별된 자원화물의 품질을 확보하기 위하여 엄격한 쓰레기의 반입기준이 설정되어야 한다. 그리고 농어촌지역에서는 매립시설을 운영할 수 있는 전문인력 확보가 힘들고 재정상태가 열악하기 때문에 운영상의 자동화 및 경제성을 고려하지 않으면 안된다.

이러한 점에 주목할 때 가장 주요한 설계인자는 매립지로의 송풍방법, 우수배제시설, 침출수 처리시설이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 매립지 설계인자를 주로 이들을 중심으로 제안하고자 한다.

1. 자원재활용형 쓰레기 매립지의 시설구성

쓰레기 매립지의 시설설계단계에서 사후토지이용에 이르기까지의 관리는 일관해서 행해져야 하며, 그러기 위해서는 이들의 관리에 따른 정보도 전기간을 통해 관

리하지 않으면 안된다. 이같은 항목의 관리를 충분히 행할려면 매립종료후부터 완전폐쇄까지의 기간은 대략 20년에서 50년 정도를 예상할 수 있지만 시설의 잠정폐쇄후에도 굴착에 의해 매립쓰레기의 상태가 크게 변화되는 등의 예상하지도 않았던 사태를 대비해 정보를 폐쇄후의 토지관리자에게 이관하여 지속적인 관리가 가능하도록 할 필요가 있다.



<그림 5-14> 자원재활용형 쓰레기매립지의 시설구성

자원재활용형 매립지에서 쓰레기를 안전하게 처리하고, 일정기간 안정화시킨 후 매립쓰레기를 굴착·선별하여 자원회수하는 과정에는 여러 가지 시설로 구성되며, 이들 시설을 크게 구분하면 <그림 5-14>에 나타난 바와 같이 매립시설, 관리시설 및 굴착·선별·저장시설로 대별할 수 있다. 이들 시설배치에 대해서는 매립작업의 효율성 및 안정성, 관리의 용이성, 주변환경, 경제성을 고려해서 결정할 필요가 있다.

2. 자원재활용형 쓰레기 매립지 주요 설계요소

가. 송풍설비

호기성매립을 하고자 할 때, 쓰레기층에 불어 넣어야 할 공기량을 어느 정도로 할것인가가 중요한 인자로 작용한다. 필요량보다 많은 양을 불어 넣어 줄 경우 동력낭비 및 과도한 호기성 분해로 인한 온도상승으로 내부 미생물의 사멸우려가 있으며, 또한 적게 넣어줄 경우 내부에서 호기성 미생물의 분해를 저해할 수도 있다.

먼저 생쓰레기의 화학적 조성과 그 분해의 기구를 고찰하면, 본 연구에서 조사한 우리 나라 농어촌지역의 생쓰레기중의 화학성분을 보면 <표 5-8>과 같다.

<표 5-8> 농어촌 생활쓰레기의 원소분석결과

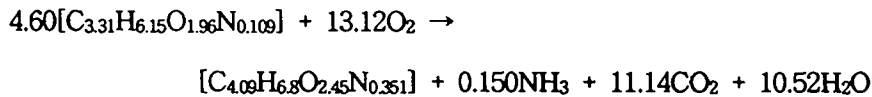
		원소 (건조중량기준, %)					
		C	H	N	O	S	회분
평택시 서탄면	계절별 평균	33.490	4.884	1.172	40.201	0.250	20.003
안성군 죽산면	계절별 평균	39.477	4.752	0.744	18.903	0.211	35.913
안성군 대덕면	계절별 평균	49.721	6.049	0.574	27.484	0.224	15.948
여주군 능서면	계절별 평균	46.382	5.544	0.562	23.685	0.224	23.603
여주군 점동면	계절별 평균	37.949	4.438	0.677	19.656	0.208	37.072
안성군 고삼면	계절별 평균	44.602	5.275	0.627	14.635	0.229	34.632

표를 보면 탄소분은 33.49~49.721%, 수소분은 4.438~6.049%, 질소분은 0.562~1.172%, 산소분은 14.635~40.201%, 황성분은 0.208~0.250%, 회분은 15.948~37.072%인 것으로 나타났다.

1) 유기물의 분해에 필요한 공기량

이상과 같은 쓰레기에 일정량의 공기를 불어넣은 경우에 분해가능량과 필요공기량을 실험과 화학양론적인 면에서 추정하면 다음과 같다.

佐藤 등의 연구보고에 의하면 송풍량 $750 \ell / (\text{m}^3 \cdot \text{분})$, 24일 이상의 장기간의 실험에서 C/N비가 10이 될 때까지 분해된 쓰레기의 화학양론식을 적용하여 다음과 같은 관계식을 얻었다.



위 식으로 부터 $1.60\text{kgO}_2/1.0\text{kg}$ 분해유기물의 쓰레기로 함수율 60%, 건조쓰레기 중 분해가능물의 비율을 50%, 송풍일수 24일, 쓰레기 매립밀도 $800\text{kg}/\text{m}^3$ 으로서 평균적인 단위시간당 필요공기량을 구하면 표준상태에서 $24.8 \ell / (\text{m}^3 \cdot \text{분})$ 이라는 값을 얻을 수 있다.

Schulze는 유기물의 분해에 필요한 산소량을 그 반응조의 온도의 함수로서 나타냈다. 즉,

$$Y = 0.1 \times 10^{0.028\theta}$$

여기서 Y : 분해성 유기물당 필요산소량 ($\times 10^{-3}\text{kgO}_2/(\text{kg} \cdot \text{vol. matter} \cdot \text{h})$)

θ : 반응조의 온도($^{\circ}\text{C}$)

지금 필요산소량 $1.32 \times 10^{-3}\text{kgO}_2/(\text{kg} \cdot \text{vol. matter} \cdot \text{h})$, 함수율 60%, 분해성유기물 50%, 반응조온도 40°C , 매립밀도 $800\text{kg}/\text{m}^3$ 로서 필요공기량을 계산하면 $11.8 \ell / (\text{m}^3 \cdot \text{분})$ 이 된다.

2) 호기성매립에 있어서 공기량의 결정

본 연구에서는 호기성매립에 의한 쓰레기의 분해 안정화(유기성 쓰레기가 분해하여 지반침하, 침출수나 가스의 발생이 없어짐)하는 시간을 3년으로 고려하였다. 그러나 호기성매립을 하는데 있어서 여기에 제시된 단위체적당 공기량을 장기간 송입하면 매립지 관리운동을 비경제적으로 된다.

일반적으로 비옥한 토양에는 1g당 $10^6 \sim 10^7$ 마리의 박테리아가 서식하고 있으며, 그 외 여러 종의 미생물이 존재하고 있다. 이러한 미생물이 생명활동을 유지하기 위해서는 산소를 흡수하여 탄산가스를 토해내면서 호흡할 필요가 있다. 이 때문에 토양 50kg은 1일에 2-10 l의 산소를 흡수할 능력을 가지고 있다. 거기서 비옥한 토양의 유기물량을 5~10%로 하면 [토양 1kg이 1일에 흡수하는 산소량은 0.04 l (O_2)에서 0.2 l (O_2)이므로], 토양에 포함되어 있는 유기물당 산소량은 크게 4.0 l (O_2)/(kg유기물 · 일)이다. 이것을 공기량으로 환산하면 약 20 l (Air)/(kg유기물 · 일)을 필요로 한다.

여기서 일반적으로 매립되는 쓰레기층에도 같은 율의 공기량이 요구된다고 보고 1m³(습윤상태)에 함유된 유기물량을 300kg(1m³의 밀도를 1000kg, 함유율 50%, 유기물함유율 60%)로 하면 미생물에 필요한 공기량은 표준상태에서 4.2 l (Air)/(kg유기물 · 일)이 된다.

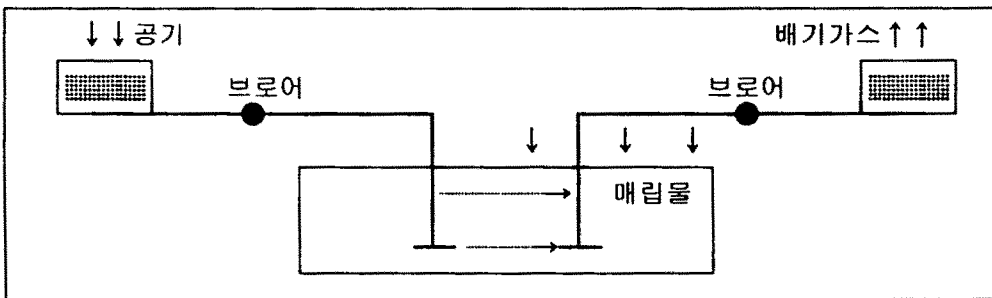
현재 우리나라의 평균기온을 15℃로 보면 4.4 l (Air)/(kg유기물 · 일)가 필요하므로, 본 연구에서는 15℃에서 쓰레기량 1m³에 분당 5 l의 공기량을 보내는 것이 타당한 것으로 판단된다.

3) 송풍설비

매립지내에 공기를 공급하는 방법으로 쓰레기 매립층을 대기압 이하로 하는 흡인식과 대기압 이상으로 하는 압송식이 있다. 흡인식 송기법은 탈취처리에 용이하나, 브로어에 습한 부식성 물질을 함유한 배기가 통과하기 때문에 브로어의 재질을

내식성으로 할 필요가 있다. 송기식 송풍법은 브로어를 통과하는 기체가 신선한 공기이므로 재질적인 문제는 적다. 그러나 배기를 포집하여 탈취장치에 보내기 위한 배풍기를 별도로 설치하지 않으면 안되며, 배기가스 포집시설이 완벽하지 못할 경우 매립작업시 매립지 상부 표면으로 배기가스가 발산하기 때문에 작업상의 환경 문제와 작업원의 안전문제가 염려된다.

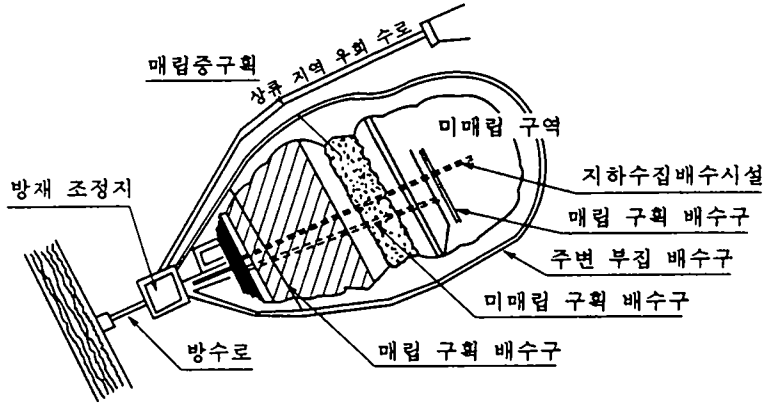
자원재활용형 매립지는 매립지 상부에 덮개시설을 갖추고 있어 매립작업 공간이 폐쇄적이기 때문에 배기가스에 대해 세심한 주의를 요하며, 또한 호기성 퇴비화시설보다 반응기의 크기(넓이, 높이)가 크므로 쓰레기층에 균일하게 공기를 전달시켜 매립지 전체를 균질하게 조기안정화시키고 또한 배기가스에 포집과 처리를 원활하게 하기 위해서는 <그림 5-15>에서 보는 바와 같이 상기의 흡인식과 송기식 장치를 일정간격으로 설치하여 이들의 역할을 주기적으로 바꾸어 주는 것이 효율적일 것이다. 이 때 흡인된 가스는 매립지에서 선별한 토사를 활용한 토양탈취상을 통과시키면 탈취효과를 높일 수 있다.



<그림 5-15> 자원재활용형 쓰레기매립지에서의 송풍방법

나. 우수배제시설

쓰레기매립지에 있어서 야기되는 문제의 하나로 매립지로의 강우 유입과 쓰레기 내부 함유수분의 유출로 인해 생기는 침출수를 들 수 있다. 과도한 침출수의 발생으로 처리시설의 용량초과로 처리수의 수질이 악화하거나 차수시설이 없거나 차수



<그림 5-16> 종래의 쓰레기매립지 우수배제 개념도

시설이 파손된 매립지에서는 지하수 오염의 원인이 되기도 한다.

종래의 쓰레기매립지에서는 매립지 주변 유역의 우수는 일반적으로 매립지내에서 생성하는 침출수량에 비해 상당히 다량이기 때문에 <그림 5-16>과 같이 매립지주변에 배수구를 설치하여 분리하도록 하고 있으며, 매립지내에 내린 비도 미매립구획의 우수는 쓰레기와 접촉하지 않도록 구획제방을 쌓아 침출수와 분리하여 배제시키며, 매립이 종료되면 최종복토 표면에 배수구를 설치하여 표류수를 배제하는 것이 일반적이다.

1) 자원재활용형 매립지에 있어서 우수배제

한편 자원재활용형 매립지에서는 우수배제 방법을 침출수처리 문제와 연계하여 <표 5-9>에 정리한 바와 같이 우수가 매립지내로 유입하는 것을 근원적으로 차단하든가 침출수 발생을 최소화시켜, 침출수 처리시설이 궁극적으로는 필요없도록 강구할 필요가 있다.

일반적으로 유해폐기물을 매립하는 차단형매립지는 매립지 상부에 지봉을 설치하여 우수의 매립지로의 유입을 차단하고 있으며, 또한 최근에 일본에서 제안되고

있는 "쓰레기 Closed system"도 지붕을 설치하는 구조로 되어 있는데, 매립지에 우수지붕을 설치할 경우 거둘 수 있는 효과로는 다음과 같다.

- 외부로부터 우수의 유입에 없으므로 침출수 발생은 거의 없고, 지하수 오염문제가 생길 가능성이 적음.
- 종래의 매립지에서와 같은 침출수처리시설이 필요없게 되어 매립지 운영비용을 절감할 수 있음.
- 매립작업이 일기에 좌우되지 않음.

<표 5-9> 매립지에서의 침출수 발생 최소화 방안

방 안	내 용
매립작업 개선	<ul style="list-style-type: none"> - 매립방법의 체계화, 과학화 <ul style="list-style-type: none"> · 계절별 일일 및 중간복토 방법 차별화 · 하절기 매립작업 면적 최소화 - 최종복토를 표면차수의 개념으로 전환 - 기상예보와 연계한 쓰레기 반입 및 매립작업 - 반입쓰레기 질개선 (음식쓰레기 수분제거)
구조물 설치	<ul style="list-style-type: none"> - 덮개설치 (임시 또는 영구시설) - 침출수 재순환

그러나 덮개를 설치할 경우 (반)폐쇄 공간의 매립지이기 때문에 쓰레기매립에 따른 악취, 분진, 폭발성 가스, 유해가스 등에 대한 내부환경이 염려되므로 내부작업환경에 대한 적절한 대책이 필요하며, 특히 유기물의 분해로 발생하는 가스의 배제를 위한 시설을 강화할 필요가 있다.

자원재활용형 매립지에서 덮개를 설치할 경우 덮개에 요구되는 품질 및 기능은 피복성, 폐쇄성, 구조물로서의 강도, 내구성, 작업성, 경관성, 보수성, 경제성 등을 고려하여 결정하여야 한다. 덮개구조는 고정덮개와 가동덮개로 대별할 수 있는데,

후자는 덮개가 개폐되는 기능을 첨가한 것이다. 덮개구조의 형식을 분류하면 아치, 트러스, 라멘, 스페이스 프레임, 서스펜션, 공기지지, 하이브리트 구조가 있으며, 덮개 구조의 재료는 철골, 철근콘크리트, 목재, 공기막이 있다.

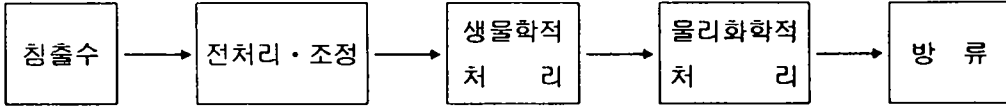
이상과 같은 덮개시설 구조 및 재질의 선정에 있어서는 매립지 규모, 입지장소의 조건 (산간부, 평지 등), 반입하는 쓰레기의 성질, 투입방법 및 매립방법 등을 종합적으로 고려하여 한다.

다. 침출수 처리방안

침출수처리시설은 침출수를 방류되는 공공수역이나 지하수를 오염시키지 않도록 방류기준에 따라 처리할 수 있는 시설이어야 하는데, 일반적으로 매립지으로부터의 침출수는 강우나 매립된 쓰레기의 질에 의해 침출수량·수질이 변동하고 시간이 경과함에 따라 수질이 변해가는 특징이 있어 적합한 처리방법을 선정하는데 많은 어려움이 따른다. 따라서 침출수의 처리는 위에서 언급한 인자 이외에도 처리수의 방류기준, 처리비용, 적용시킬 처리기술 등을 다양하게 고려해야 한다. 그리고 단일 매립지에서 발생하는 침출수의 경우에도 침출수의 처리는 다양한 인자들에 의한 영향과 함께 새로운 기술의 적용을 도입하기 위하여 처리 시스템은 항상 유연성을 지녀야 한다.

1) 침출수처리 방식

급격한 수질변화를 위해서는 처리시설을 다계열화할 필요가 있는데, 침출수 처리를 위한 일반적인 프로세스는 <그림 5-17>과 같다. 먼저 수량의 정상화와 수질의 균질화를 위해서는 침출수 조정설비가 필요로 하며, 침출수의 처리는 크게 생물학적 처리 방법과 물리화학적 처리 방법으로 나뉘어지며, 적절한 처리를 위해서는 각 공정을 적절히 연계시켜야만 한다. 이러한 공정의 적용은 특히 매립대상물질과 매립연한에 의해 구분되어진다. 즉 매립지의 매립 대상물질이 가연성 쓰레기가 주종인 경우와



<그림 5-17> 일반적인 침출수 처리 프로세스

매립 초기에는 처리흐름 주체는 생물학적 처리가 되고 불연성 쓰레기 또는 소각잔사인 경우와 유기물질의 안정화가 이루어진 매립 후기에는 처리흐름의 주체는 물리화학적 처리가 된다. <표 5-10>에서는 침출수의 처리방식의 적용성을 제시하고 있다.

<표 5-10> 침출수 처리방식의 적용성

처리법 \ 대상물		BOD	COD	SS	T-N	색도	중금속
생물학적 처리	회전원판법	◎	○	△	△	△	△
	접촉폭기법	◎	○	△	△	△	△
	활성슬러지법	◎	○	△	△	△	△
	생물여과법	◎	○	○	△	△	△
	생물학적 탈질법	◎	○	△	◎	△	△
물리화학적 처리	응집침전법	○	◎	◎	△	◎	○
	모래여과법	△	△	◎	×	△	×
	활성탄흡착법	○	◎	○	△	◎	○
	오존산화법	×	○	×	×	◎	×
	킬레이트흡착법	×	×	×	×	×	◎

(주) 적용성 대 ←◎○△→대 적용성 없음 ×

그 외에도 침출수의 수량 및 수질이 크게 변동하지 않고 침출수의 조정설비 등의 용량이 정해지지 않은 경우에는 각 처리 공정을 복수계열로 하는 등의 배려도 필요하다. 일반적으로 침출수의 주처리 공정으로서는

- ▶ COD/TOC > 2.8, BOD₅/COD > 0.5 인 초기 매립지에서 발생하는 침출수의 경우 생물학적 처리가 효과적이며

- ▶ COD/TOC < 2.0, BOD₅/COD < 0.1 인 오래된 매립지인 경우는 물리화학적 처리가 효과적인 것으로 알려져 있다.

2) 자원재활용형 매립지에서의 침출수 처리방식

쓰레기 매립지의 침출수는 강수를 발생원으로 하고 있으므로, 쓰레기 매립지에서 침출수발생량 예측은 주로 강수량과 증발량에 기초한다. 그러나 자원재활용형 매립지는 강수와 지하수의 침입 등에 의한 제외로부터의 유입은 없는 구조를 하고 있으므로 물의 주된 공급원은 살수와 쓰레기의 보유수뿐이다.

또한 자원재활용형 매립지에서의 증발량은 날씨, 기온 등의 자연요인 외에, 천정재의 소재, 환기량 등의 구조상의 요인이 크게 영향을 미친다. 예를 들면 투광성이 있는 텐트를 이용한 경우, 빛을 막는 형태인 인공상판을 이용한 경우에 비해 증발량이 커지고, 환기량이 커지면 증발량도 커진다.

자원재활용형 매립지에서의 침출수 처리방안은 제4장 제5절에서 자세히 서술하였다.

3. 기타 쓰레기 매립지 설계 요소

쓰레기 매립지의 주요시설은 쓰레기의 매립지로서의 기능을 충분히 발휘하기 위해 시설상호간의 작용을 유기적으로 공급해야 하는데 각각의 기능에 대해 서술하면 다음과 같다.

가. 차수시설

매립지에 있어서 차수의 목적은 침출수중에 오염물질이 공공수역으로 유출되는 것과 지하수로 혼입되는 것을 방지하기 위한 것이지만 기존의 매립지에 있어서 차수시트의 파손에 동반되는 환경오염문제 등 차수공의 신뢰성이나 안정성의 확보가

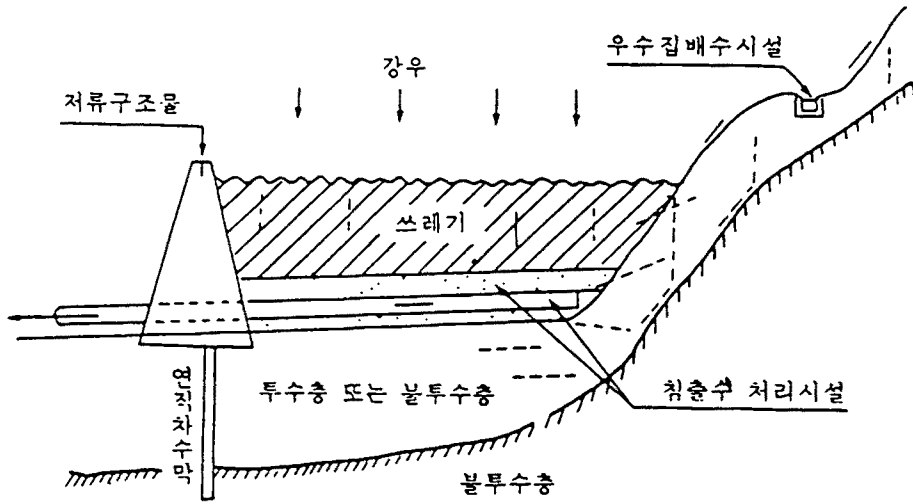
오늘날 가장 중요한 문제가 되고 있다. 차수시설에 요구되는 기능을 정리하면

- ① 쓰레기에 의한 오염방지 수단으로서의 기능 (매립된 쓰레기층 자체가 가지고 있는 유해물질을 고정하는 기능)
- ② 침출수 제거에 의한 오염방지구단으로서의 기능 (강우등에 의해 쓰레기층에서 씻겨나온 침출수의 집배수와 침출수의 지하침투 가능성을 저하시키는 기능)
- ③ 차수시트의 설치에 의한 오염방지구단으로서의 기능 (매립지에서 발생하는 침출수와 지하수를 차단하는 기능)
- ④ 지질적 지반의 오염방지구단으로서의 기능 (차수시트를 유지하는 하부지반에 의한 오염물질의 확산을 억제하는 기능)

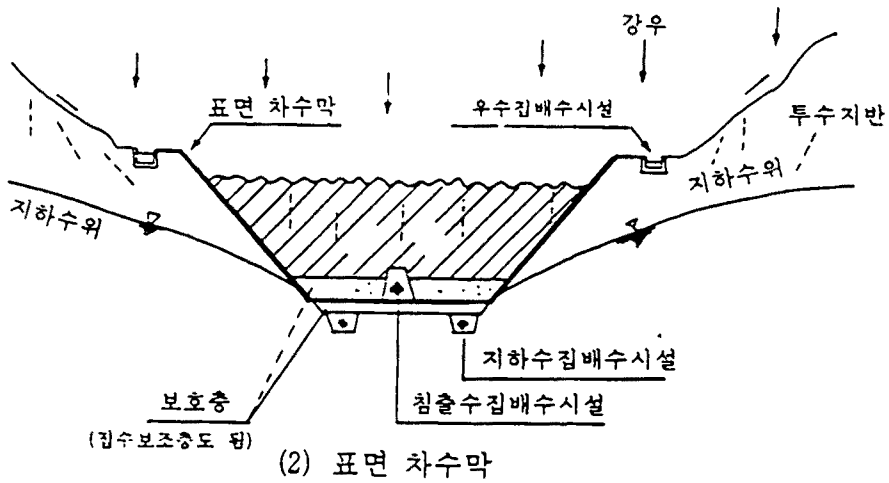
을 들 수 있는데, 이들 4개의 요소기술이 단독으로 기능을 발휘하는 것이 아니라 각각이 상호보완하면서 차수의 종합기능을 발휘하도록 설계와 시공을 해야 한다.

차수공은 구조 및 사용하는 재료에 의해 각종의 방법이 있지만 <그림 5-18>과 같이 연직차수공과 표면차수공으로 크게 나눌 수 있다. 연수차수공은 시트파일이나 콘크리트, 점토, 그라우트 등에 의한 연직벽 또는 연직막을 만드는 차수공법으로 이용해 매립지내의 지반중에 수평방향으로 퍼져있는 암반이나 점성토의 난침수층까지에 달하는 차수벽을 강구하여 매립지하부의 오염된 지하수가 외부로 유출되는 것을 차단하는 것이다. 연직차수공의 실시 예로서는 산간매립지에 있어서 쓰레기를 안전하게 저유하기 위해 굽은지역에 설치되는 저류구조물 및 저류구조물의 기초부분만을 차수하는 방법 혹은 평지매립지에 있어서는 매립지의 주의를 시트파일로 차수하는 방법등이 있다.

한편 표면차수공은 매립지내의 지반의 침수계수가 크기 때문에 차수가 필요한 토질지반에 많이 채용되고 있다. 방법은 차수재료(차수시트, 아스팔트계의 흡착재료, 점토성이나 침수성을 낮게한 개량토 등)을 매립지의 지표면전체를 덮듯이 설치하는 것이다. 표면차수공은 지반상의 제약조건이 적기 때문에 대부분의 매립지에서 채용되고 있다. 표면차수공은 매립지내에 용천수가 많은 경우나 지하수위가 높은



(1) 연직 차수막

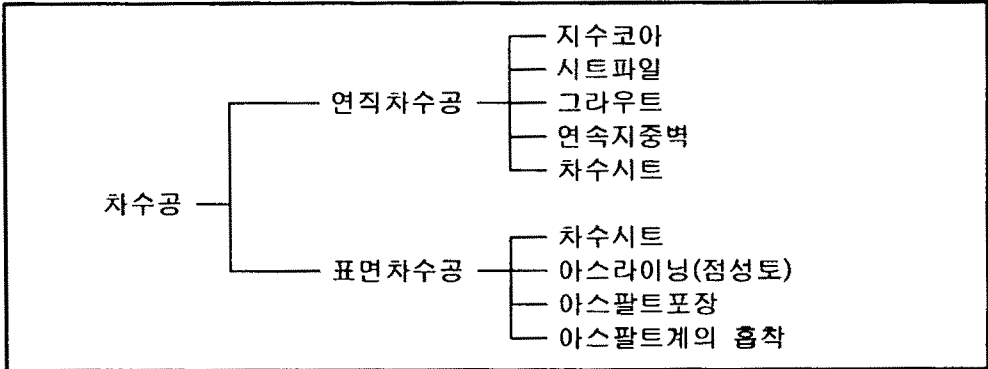


(2) 표면 차수막

<그림 5-18> 차수공의 종류

경우에 많이 채용되며, 차수재로는 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 시트가 가장 많이 쓰이고 있으나 파손의 우려가 있다는 약점을 안고 있다.

<그림 5-19>에는 매립지에서의 차수공법을 분류하고 있다.



<그림 5-19> 차수공법의 분류

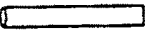
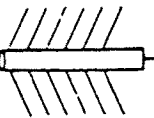
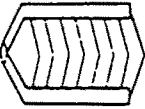
쓰레기 매립지에서 차수재로서 가장 많이 쓰이는 차수시트는 합성수지계 시트, 합성고무계 시트, 아스팔트계 시트 및 벤트나이트계 시트로 크게 나눌 수 있다. 그 중에서도 가류고무계 시트는 일반쓰레기 매립지에, 염화비닐계 시트는 경제성이나 시공성의 면에서 산업폐기물 매립지에 많이 채용되고 있다.

나. 침출수 집배수 시설

쓰레기 매립지에 있어서 침출수집배수시설의 목적은 침출수를 신속히 배제하기 위한 시설로 매립지의 조기안정화나 주변의 환경오염 방지에 결부되는 등 많은 효과를 가지고 있다.

집배수관으로 일반적으로 사용되는 것은 유공빔관, 유공합성수지관등으로, 이들의 선정에 있어서는 매립쓰레기질이나 매립층 두께 혹은 지형을 고려해서 정하여야 한다. 매립지저부의 집배수관의 배치형식에는 <표 5-11>과 같이 직선형, 분지형, 사다리형

<표 5-11> 저부 집배수관의 배치

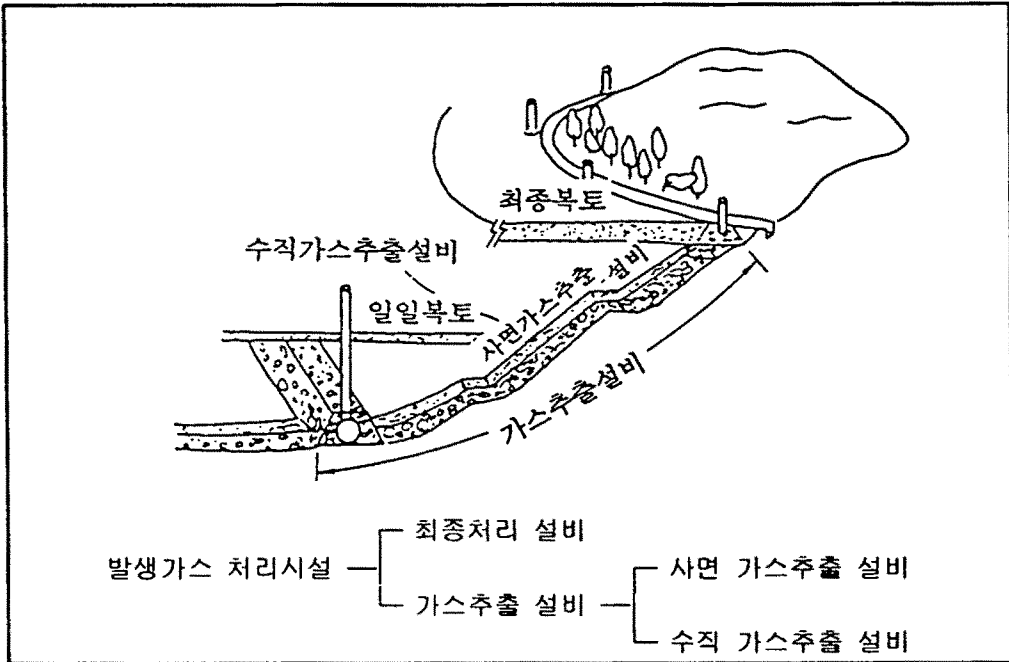
방법	개략도	특징
직선형		<ul style="list-style-type: none"> • 소규모이고 지조구배가 심한 경우에 사용됨 • 매립구조로써는 개량형위생매립이 됨. • 특징 - 공사비 저렴 및 집수효율 저조
가지형		<ul style="list-style-type: none"> • 종횡단구배가 비교적 충분한 경우에 적합. • 특징 - 집수효율 양호
사다리형		<ul style="list-style-type: none"> • 평지매립이나 비교적 횡단구배를 얻기 힘든 지형의 경우에 적합 • 특징 - 집수효율은 분지형과 동일 불의의 사고에 신속 대응 가능

으로 분류되는데, 통상적으로는 분지형 또는 사다리형이 많이 사용된다. 집배수관의 관 지름은 침출수량을 고려해서 결정해야만 하는데, 스케일 생성 등에 따른 여유를 주어 단면의 크기를 결정하여야 한다.

다. 발생가스처리시설

매립지에서 발생하는 가스는 지배하는 생물환경이 호기성상태나 혐기성상태냐에 따라 발생가스의 조성과 양은 달라지는데, 호기성 상태에서는 탄산가스나 암모니아가 주체이지만 혐기성 상태에서는 CH₄, CO₂ 및 NH₃가 주로 발생한다. 그 외에 미량이지만 황화수소, 황화메칠 및 메칠말캅텐 등의 악취성분도 발생하는데 이들 가스는 화재나 독성의 위험성이 있기 때문에 충분한 안전대책이 필요하다.

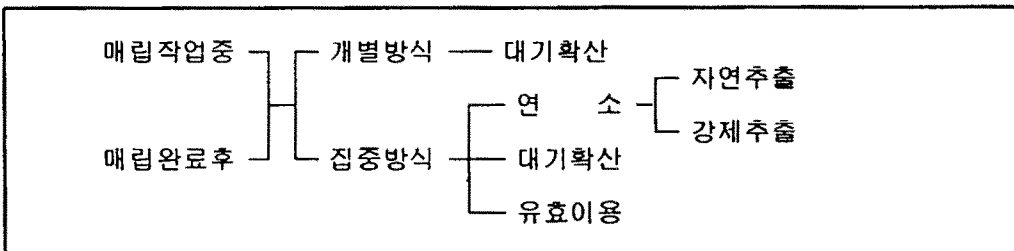
발생가스의 처리시설은 매립처분된 쓰레기중의 유기물이 분해되어 무기화되어 가는 과정에서 발생하는 가스에 의한 화재나 폭발, 주변 수목의 고사, 매립작업에



<그림 5-20> 발생가스처리 시설의 구성

미치는 악영향을 방지하기 위해하여 필요하다. 발생가스를 처리하는 시설로는 <그림 5-20>에서 보는 바와 같이 매립 쓰레기층내의 가스를 신속히 배출하기 위한 가스추출 설비와 대기중으로 방출시킬 때 연소하는 등의 최종처리 설비가 있다.

또한 발생가스 처리방식으로는 <그림 5-21>과 같이 매립의 진척에 따라 설치하



<그림 5-21> 발생가스처리 시설의 분류

지 않으면 안되는데 매립중의 처리시설과 매립종료 후에 사후토지이용 등을 할 경우의 처리시설에는 설비구성이 달라진다. 가스의 처리목적에 따라 가스추출 설비는 단독으로 설치하는 개별방식과 가스추출 설비를 복수로 연결하여 최종처리하는 집중방식으로 구분할 수 있다.

발생가스의 처리는 일반적으로 소규모 매립지인 경우는 매립지 주변에 점토 차단벽이나 자갈층을 설치하여 가능한 한 발생하는 가스를 매립지내에 정체시키지 않고 매립지로부터 발산하도록 하며, 대규모 매립지에서는 매립지에서 발생하는 가스를 회수하여 이용하는 것이 보편적이다. 매립지 가스의 포집을 처음 시도한 것은 미국 California로 1973년에 포집한 가스를 보조연료 없이 $44\text{m}^3/\text{min}$ 을 소각시키는데 성공하여 매립가스의 이용 가능성을 시사하였다. 그러나 매립가스를 이용하기 위해서는 매립가스중에 상당량 함유되어 있는 H_2O , 이산화탄소 및 질소가스를 제거하여 메탄가스의 순도를 높이는 정제 공정 (purification process)이 필요하다. 일반적으로 H_2O 를 제거하는 탈수공정 (dehydration process)은 흡수 및 흡착, 응축조작을, 이산화탄소 제거 공정에는 물리적, 화학적 흡수조작이 이용되고 있다. 경우에 따라서는 정제 공정에 경비가 많이 소모되므로 30%부근의 메탄을 함유한 매립가스는 직접 가스연소기로 보내어 소각하거나 열회수를 하기도 한다.

제6장 결 론

본 연구는 농어촌지역 특성에 맞는 쓰레기 매립지 공법 및 설계기술 개발을 최종목표로, 1차 년도에는 주로 농어촌 지역의 쓰레기 매립지 설계·시공 및 운영상의 문제점을 도출하고 우리 나라 농어촌 실정에 맞는 매립시스템으로 자원재활용형 쓰레기매립공법을 제안하였다. 최종 년도인 금년에는 “자원재활용형 쓰레기 매립공법”의 운영과 설계를 위한 각종 인자들에 대해 중점적으로 실험 및 자료분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 농어촌지역 쓰레기 매립지의 설계 및 관리 실태를 파악하기 위해 충청남도 서천군 매립지와 경기도 안성군 매립지, 연천군 매립지, 여주군 매립지 농어촌지역 쓰레기 매립지를 방문하여 조사한 결과, 농어촌지역에서는 발생하는 쓰레기의 양이나 성상, 주변지역의 토지이용상황 등이 도시지역과 비교해 다름에도 불구하고 지금까지 도시지역의 쓰레기 매립지와 동일한 구조로 설계하고 관리를 하고 있어 매립지 운영에 상당한 문제점과 경제적 손실을 초래하고 있는 것으로 조사되었다.
- 2) 한편 안성군 매립지의 경우에는 매립작업 방식을 하절기와 기타 계절로 나누어, 집중강우가 시작되는 5월부터 매립작업 공간을 최소화시키고, 중간 복토를 1m 가량 두껍게 포설하여 우수의 쓰레기층으로의 침투를 최소화시키고, 한편으로는 방수시트를 매립지 상부에 포설하여 침출수 발생량을 최소화시켜 침출수 처리 비용도 절감하고, 악취나 지하수 오염으로 인한 민원문제가 거의 없어 향후 이러한 선진적인 운영기술은 농어촌지역 쓰레기 매립지는 물론 도시지역 쓰레기 매립지까지 파급되어야 할 것이다.

- 3) 농어촌지역 쓰레기매립기술로 제안된 자원재활용형 매립공법은 매립부지를 3개의 섹터로 구획하여 매립작업과 2~3년간의 안정화작업, 굴착·자원화 작업을 반복적으로 수행하므로 매립지를 반영구적인 시설로 사용하는 것으로, 최근의 신규 매립지 확보난, 주민 보상비 및 건설비 과다, 침출수 처리에 있어서 기술상의 어려움 등을 해소할 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 자원재활용형 매립지를 중심으로 한 쓰레기관리 방안으로서 제안된 농어촌 쓰레기 광역처리 모델은 농어촌지역 단위별로 자원재활용형 매립시스템을 채택하고 소각처리공장을 광역으로 건설할 경우, 현재 소각처리의 문제점으로 대두되고 있는 과잉수분함유, 선별 문제 등을 해결할 수 있으며, 자연분해 가능한 물질은 자연의 정화능에 의해 사전제거되므로 소각처리용량의 효율을 극대화 할 수 있을 것이다.
- 5) 도시지역 인근 농어촌에서의 자원재활용형 매립지의 운영 모델은 규모 이상의 도시인근에 위치하고 있는 농어촌에서는 도시지역의 소각시설과 연계하여 군지역에서 발생하는 유기성쓰레기 (음식쓰레기, 하수슬러지, 정화조슬러지, 분뇨슬러지)와 농어촌지역의 자원재활용형 매립지에서 선별한 가연성쓰레기를 상호교환 처리할 경우 농어촌지역에서는 별도의 소각시설이 필요없게 되며, 자원재활용형 매립지에서는 퇴비의 훌륭한 원료가 되는 성분을 안정적으로 확보할 수 있어 일거양득의 효과를 얻을 수 있다.
- 5) 자원재활용형 쓰레기 매립지로부터 굴착한 쓰레기의 재활용 방안과 감량화 방안 모색을 위하여 매립연한이 다른 매립쓰레기를 현장 굴착실험을 실시한 결과 매립이 완료된 지 1년 정도만 경과하여도 생활쓰레기 중 가장 높은 조성비를 보이던 음식물이 대부분 토양 미생물에 의해 분해되어 가스화된 반면, 매립 복토재로 사용된 토사와 연탄재가 상대적으로 비율이 높았으며, 이러한 토사는 농

어촌지역에서 퇴비나 매립지 복토재로서 활용할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

- 6) 매립연한이 1~10년 경과한 굴착쓰레기중 가연분만을 선별하여 발열량을 측정
한 결과 비닐·플라스틱류의 함유율이 높아 건조고위 발열량이 5,541.9~
6,663.9kcal/kg, 습윤저위 발열량으로는 3,685.7~5,500.6kcal/kg으로 상당히 높은
발열량을 보여 그 자체만으로 소각하기에 부적합하므로, 습윤저위 발열량이
1,500~2,500kcal/kg 정도인 도시 생쓰레기와 적절하게 혼합하여 소각처리하는
것이 바람직하다.
- 7) 자원재활용형 쓰레기 매립지에서의 조기안정화 방안으로는 쓰레기층 내부에 공
기를 주입하는 호기성방법과 발생하는 침출수를 재순환시켜 안정화를 도모하는
2가지 방법을 병행하는 방법을 제안하였다.
- 8) 자원재활용형 매립지를 호기성상태로 유지하기 위해서는 쓰레기층에 불어 넣어
야 할 공기량을 결정하여야 한다. 필요량보다 많은 양의 공기를 불어넣어 줄 경
우 동력낭비 및 과도한 호기성 분해로 인한 온도상승으로 내부 미생물의 사멸
우려가 있으며, 또한 적게 넣어줄 경우 내부에서 호기성 미생물의 분해를 저해
할 수도 있는데, 자원재활용형 매립지에서 호기성조건을 유지시키기 위해서는
쓰레기량 1m³에 분당 5ℓ의 공기량을 보내는 것이 적당하다.
- 9) 침출수처리 방안으로는 매립지 상부에 덮개시설을 설치하여 침출수의 발생량을
최소화시키고, 그리고 발생한 침출수는 인근 하수처리장으로 이송하여 합병처리
하거나 매립지로의 재순환을 시키는 방안이 가장 바람직할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 환경백서, 환경부, 1996
2. 서명옥, 도시주변 농촌지역의 쓰레기 처리실태, 충남대학교 보건대학원 석사학위 논문, 1992
3. 김종오, 도시 고품폐기물 관리의 문제점과 개선방향에 관한 연구, 한국과학기술원 석사학위논문, 1986
4. 류병오, 농촌 폐기물의 효율적인 처리방안에 관한 연구 : 지방자치단체의 행정 지원노력을 중심으로, 연세대학교 행정대학원 석사학위논문, 1990
5. 오문석, 매립장 침출수로 인한 농경지 및 토양의 오염도 조사연구, 이주대학교 산업대학원 석사학위논문, 1992
6. 이경옥, 생활계 폐기물 성상 변화에 관한 연구 : 중.소도시를 중심으로, 동아대학교 산업대학원 석사학위논문, 1994
7. 고영석, 한국의 폐기물관리체계 개선방안에 관한 연구 : 외국과의 비교를 중심으로, 성균관대학교 행정대학원 석사논문, 1995
8. 장연수, 국내 폐기물 매립장의 시공과 관리, 폐기물, 제25권, pp. 65~76, 1995.2
9. 박후원, 도시 폐기물의 효율적 관리를 위한 기초자료 연구, 고려대학교 대학원 석사학위 논문, 1988
10. 이강호, 도시 폐기물 관리체계 분석과 개선방안에 관한 연구 - 서울시 쓰레기 관리 체계를 중심으로, 고려대학교 정책과학대학원 석사학위 논문, 1989
11. 윤영기, 대도시 폐기물관리 정책에 관한 연구 - 서울특별시를 중심으로, 중앙대학교 행정대학원 석사학위 논문, 1991
12. 이종철, 폐기물 관리 현황과 행정 대책에 관한 연구 - 대전직할시를 중심으로, 한남대학교 지역개발대학원 석사학위논문, 1992

13. 나원균, 폐기물관리의 효율적 방안 연구 - 광주, 전남.북을 중심으로, 경희대학교 행정대학원 석사학위 논문, 1993
14. 농어촌정주생활권 개발계획세미나, 농어촌진흥공사 농어촌연구원, 1991. 10
15. 생활쓰레기의 효율적처리 개선방안 연구보고서, 대구직할시, 1992. 9
16. 마포지구 쓰레기의 소각시설 설계를 위한 쓰레기 성분분석 및 조사연구, 연세대학교 신에너지시스템연구소, 1993.10
17. 폐기물매립시설 유지관리실무, 환경관리공단, 1994
18. 정재춘외, 미국의 도시 고�형 폐기물 관리 II; 현황과 발전, 환경기술, 제48권, pp.12~18, 1994.11
19. 신구철, 유럽의 최종처분기술 ; 독일을 중심으로, 폐기물, 제21권, pp. 124~138, 1994. 10
20. 폐기물매립시설 세부설치기준 연구보고서, (사)한국지반공학회, 1994. 6
21. 花嶋正孝, 最終處分場の變遷と動向, 日本廢棄物學會誌, Vol. 3, No. 2, pp. 116~125, 1992
22. 東京都清掃局, 昭和49年度15号ごみ埋立處分場汚水處理ガス處理等基本計劃調査報告書, 日本工營株式會社, 1975
23. 田中, 池口, 環境技術, 11~8, p.598, 1982
24. 寺島泰, 都市廢棄物埋立地における汚濁物の舉動, 日本廢棄物學會誌, 第7卷 第2号, PP. 148~167, 1996
25. 서울특별시, 난지도매립지 안정화 공사 기본설계보고서, 1994.11
26. R. E. Zimmerman, M. E. Goodkind, Landfill Methane Recovery, Pt-1; Environmental Impacts, Final Report, gas Research Institute Contract, No.5080-351-0343, P.91, 1981
27. 池口, 埋立地における發生ガスの舉動(その3), 都市清掃, 第36卷 第134号, pp.298~302, 1983

28. 花嶋正孝, 廢棄物の好氣性埋め立てに関する研究, 九洲大學工學博士學位請求論文, 1985
29. 池口孝, 第4會全國都市清掃研究發表會講演論文集, p.166, 1983
30. 高井等, 植物榮養土壤肥料大事典, 養賢堂, 1976
31. 細見正明 외, 廢棄物埋立處分地浸出水の循環に関する考察, 第1回廢棄物學會研究發表會講演論文集, pp 181~183, 1991
32. 地球環境工學ハンドブック、地球環境工學ハンドブック編集委員會編, オーム社, 1993
33. 資源リサイクリング, 資源・素材學會 資源リサイクリング部門委員會編, 日刊工業新聞社, 1991
34. 森忠洋 외 2인, “まちとむらを結ぶ有機物の総合處理・資源化システムの構築”, 日本廢棄物學會誌, Vol. 6, No. 4, PP. 330~336, 1995
35. 이남훈 외 2인, “폐기물매립지 재사용을 위한 매립폐기물의 물리화학적 특성에 관한 연구”, 한국 폐기물학회지, 제12권, 제5호, pp.525~533, 1995
36. 남궁완 외 4인, “폐기물매립지 선별토양의 중금속 흡착능력”, 한국 폐기물학회지, 제13권, 제2호, pp.273~280, 1996
37. 이남훈 외 1인, “폐기물매립지에서의 자원회수 방안”, 한국자원환경지질학회·대한지질학회 공동학술강연회, pp.88~106, 1994
38. 삼성건설, 매립가스 처리 및 이용기술 개발에 관한 선도기술개발사업(G-7)신청서, 1995.9
39. 石川禎昭, これからの廢棄物處理と地球環境, 中央法規, 1995
40. 東京都清掃局, 昭和49年度15号ごみ埋立處分場汚水處理ガス處理等基本計劃調査報告書, 日本工營株式會社, 1975

**부 록: 쓰레기매립장 기초 및 지질구조,
대수층 특성조사**

여 백

쓰레기매립장 기초 및 지질구조, 대수층 특성조사

가. 조사방향

쓰레기 매립장 설치를 위한 적절한 지질구조 여건은 치밀한 기반암 분포지역으로서 지질경계면은 없는 지역이 바람직하며, 지질구조면에서는 변석작용이나 단층과 절리대와 같은 구조발달이 미약한 지역이어야 한다. 수문학적 (지표수, 지하수 수문) 으로는 되도록 유역면적이 적어야 하며 유역내 하류부에 설치 되어야 한다. 그러나 최근에는 이러한 기술적인 고려사항보다는 사회적인 문제가 가장 난제로 대두되어 우선 민원유발 가능성이 가장 적은 곳 이라야만 매립장설치가 가능하기 때문에 상기의 기술적 고려사항은 뒤로 미루어지기가 일쑤이고 알면서도 지키기가 어려운 것이 오늘의 현실이다.

이렇게 부적합한 부지에 설치된 매립장은 운영경비가 과다함은 물론, 일단 침출수가 지하수 또는 주변환경을 오염시키게 되면 결국은 주민들로부터 불신을 얻게되어 향후 기술적으로 안전하다고 판정받는 경우의 새로운 매립장 위치도 주민들로부터 반발을 사게 되는 악순환이 반복되곤 된다.

쓰레기 매립장 적지선정을 위한 지질학적 고려사항들을 검토하기 위하여 기존 매립장 중에서 암반층과 충적층지역에 설치된 매립장 중에서 각각 1 개소씩을 선정 조사하였다. 암반 분포지역에 설치된 안성군 위생매립장과 충적층인 하천부지 위에 설치된 여주군 매립장을 조사대상지로서 선정하고 지질학적인 관점에서 그 장 단점을 비교하여 보았다. 조사지역내 지하수 유동특성과 오염물질의 지하수내 유동특성까지를 규명하여야만 지질학적, 지하수환경학적 관점에서의 적지선정 모델 설정이 가능하나 지하지질 구조 규명은 관측정 개발 등으로 많은 연구비가 소요되므로 연구비가 부족한 '96년 1차년도에는 한정된 연구비 범위내에서 기초적인 지질구조 특성을 조사하되 조사목적에 부합되는 결론을 얻기 위하여 당초 조사공종을 다소 조정하였다.

쌍극자배열 전기비저항탐사(이하 쌍극자 탐사로 칭함)를 시행하여 해당구간의

지하 전기비저항 분포상태를 파악한 후 점조사 개념의 Schlumberger 배열 전기 비저항 수직탐사(이하 수직탐사로 칭함)로 지하 지층을 파악하여 지하수 유로방향을 찾기로 하였다.

- 조사위치 : 경기도 안성군 양성면 장서리 산 58-5 안성군 위생쓰레기매립장
경기도 여주군 점동면 사곡리 모래실 여주군 쓰레기매립장

○ 조사내역

조사 공종	안성군쓰레기매립장 (기반암 지역)	여주군쓰레기매립장 (충적층 지역)	계	비 고
지표지질조사	1 식	1 식	2 식	
지하수위조사	4 공	-	4 공	
전기수직탐사	2 점	3 점	5 점	
쌍극자 탐사	2 측선	3 측선	5 측선	
순간수위변화시험	2 공	-	2 공	

- 조사장비 : SAS-300 전기탐사기, Hermit-2000 수위 관측기, Slug test 장비 각 1 대
외 부대품

나. 조사내역

1) 지표지질조사

가) 안성군 위생매립장 지역

안성군 쓰레기 위생매립장은 남북방향으로 발달한 고도 200m 내외의 산 9부 능선 동쪽 계곡부에 표토를 깎아내고 침출수의 누출을 막기위한 합성수지 불투수막을 깔고 그 상부에 쓰레기를 매립한 후 토양을 피복하는 매립구조로서 비교적 설계나 시공면에서 안전하게 설치되었다고 할 수 있다. 매립장 부지가 산능선부로서 계곡 하류부에 민가가 없어 민원이 야기될 소지가 적었던 점이 본 지역이 매립장으로 선정되는데 큰역할을 했을 것으로 추정된다.

그러나 지형적으로는 산 9부능선에 매립장이 위치하여 만일 불투수막이 조금이라도 찢어지거나 일시에 많은 호우가 내려 매립장 자체 침출수 처리능력보다 많은 량이 침출되어 하류부 지하수 환경오염이 야기될 위험요소를 안고있다.

또한 분포지질면에서는 동력변성작용을 심히 받은 흑운모편암 내지 편마암 분포지역으로 작은 절리가 수없이 많이 발달하고 지하심부까지 연장된 것으로 판단되어 일단 침출수의 지하수오염이 유발되면 심부 암반 대수층까지 오염이 우려되는 바 본 쓰레기 매립장위치는 기초적인 지질학적 고려사항이 부적합한 지역이라 할 수 있다.

매립장 하류부인 우측에 남북방향으로의 도로는 지질경계면이며 수직의 기울기를 갖는 단층으로 판단되며 매립장 북단 산 정상부를 지나는 북서방향의 단층이 있다. 매립장 정문 하류부로 약 200 m 지점에는 남북방향의 주향을 갖는 미약한 향사구조가 발견되기도한다.

나) 여주군 매립장지구

매립장의 위치는 여주군 동면 사곡리 모래실 남부 청미천 하천부지로 하천을 따라 하천뚝을 쌓고 하천 외곽부를 10여년전부터 매립장으로 사용해오고 있다. 매립장 서쪽 절반은 이미 매립후 복토를 하고 벼농사를 짓고 있으며 개스관에서의 개스누출도 현장조사시 느끼지는 못할 정도였다. 현재 매립지 동부 절반은 계속 매립중이다.

서부의 기 매립된 지역은 하부에 침출수 대책은 없이 매립되었고 현재 매립되고 있는 동부지역은 합성수지 불투수막을 깔고 매립하고 있으나 침출수 처리시설이 없으므로 침출수를 합성수지 막 위에 고이게 할 뿐이다. 실제로 매립장 입구(북측 도로변) 배수로에는 침출수가 빠져나가지 못하고 고여있었다.

지형적인 면에서 침출수 처리대책 없이 하천부지에 매립장을 설치할 경우 침출수는 결국하천으로 유출할 수 밖에 없고 이경우 하천의 오염원이된다. 여주군 매립장 위치처럼 청미천 만곡함입부에 뚝을 쌓고 그 외부를 매립장으로 사용할 경우 뚝의 성토 재질에 따라 지하수 유로가 차단되어 침출수의 정체현상을 가져올 수 있다.

전체적으로 쥐라기시대의 흑운모화강암지대이며 매립장 우측 약 500m 떨어져 북동방향과 N-S 방향의 큰 단층이 있으며 이 단층선 청미천 남측과 동측에는 선캠브리아기 호상 흑운모 화강암질 편마암과 편암류를 포함하여 지표지질이 복잡하게 나타난다. 지형적으로는 북측으로는 해발 218m 의 달갈봉이 있고 청미천이 북쪽으로 만곡되는 하천퇴적지이다.

2) 분포지질

가) 안성군 위생매립장 지역

매립장이 위치한 안성군 양성면 장서리 산 58 번지 부근의 분포지질은 선캠브리아기의 변성암류와 이를 관입한 화강 편마암 그리고 더욱 후기에 관입한 화성관입암류로 3 대분되는데 변성암류들은 수차의 동력변성작용을 받아 지질구조가 심히 교란되어 있으며 쥐라기로 추정되는 석영맥과 각섬석화강암에 의한 화성활동도 수차례 가해져 암석성분도 많은 변화를 받았다. 이러한 변성작용의 크고 작은 정도에 따라 본조사지역 우측으로부터 선캠브리아기의 흑운모편마암, 반상변정편마암, 규장편마암, 함전기석 편마암류와 좌측에 분포한 우백색 편암, 석영-운모편암과 같은 편암류들이 점이적인 변화양상을 보이고 있다. 크게 볼때는 북동방향으로 대상분포하는 방향성을 가지나 국부적으로는 지질구조가 교란되어 방향성이 없어보인다. 매립장지역은 석영-운모편암이 분포하며 매립장 출입문을 경계로 유역 하류부인 동쪽은 함전기석 편마암이 분포한다. 이 두 지층은 점이적으로 변화하여 육안으로 그경계부를 확인하기는 어려웠으며 3 ~ 10 Cm 간격으로 장방형의 절리가 무수히 발달하고 있었다.

나) 여주군 매립장지구

저반형태의 산상을 보이는 흑운모화강암과 반화강암으로 중립 내지 조립의 갈회색 괴상암으로 불규칙한 절리를 보이고 있다. 이 화강암은 청미천 우측에 분포한 선캠브리아기의 흑운모편마암을 관입하였으며 관입당시 지각운동으로 단층이 생긴 것으로 판단되며 본 조사지역은 이러한 경계부에서 서쪽으로 약 500m 떨어진 흑운모 화강암 분포지역에 위치한다. 단층구조는 N40 E d 와 N25 W 이 주방향이다.

3) 지하수위조사

안성군 위생매립장 건축시 설치된 4 개의 관측공에 대하여 수위조사를 실시하였다. 매립장 상류부에 설치된 2 개 관측정은 모두 심도가 낮아 수위가 잡히지 않는 건조공이었으며 하류부 2 개공에서 측정된 수위는 아래와 같다.(도면 참조)

관측공	위 치	공 심 도	수 위 (m)
O - 1	정문 좌측	5 m	4.03 m
O - 2	침출수 처리장 하류	4.6 m	4.05 m
O - 3	매립장 상류 북측	4.5 m	-
O - 4	매립장 상류 남측	6.15 m	-

관측정의 위치와 심도, 개수로 볼때 지역의 수위를 파악하기는 어렵고 좀더 관측정을 개발하고 장기 관측을 할 경우는 수위등고선도 작성이 가능할 것이다. 여주군 매립장지역에는 관측정이 없어 지하수위관측은 하지 못하였다.

4) 전기비저항탐사

본 조사에서 전기비저항탐사의목적은 매립장 하류부에서의 지하수 유동방향을 먼저 파악하고 향후 오염원의 유동경로를 추정코자 함이 조사목적이므로 안성매립장에서는 매립장 직하류부에 1 개측선, 그리고 하류부쪽으로 500 M 떨어져 1 개측선을 설치하여 측정하였다. 전 구간 측정간격 A=3m 로 측정하였고 조사심도는 지표하부 20m 까지 측정하였으나 신뢰도가 결여되는 15M 이하는 해석하지 않았다.

여주매립장에서는 상류부, 중앙부, 하류부에 각각 1 개측선을 측정하였으며 측정방법은 안성지구와 동일하게 하였다(조사위치도 참조). 전기비저항 수직탐사는 배열된 쌍극자탐사 측선배열을 그대로 활용하고 측선 중앙부에서 실시하였다.

본 조사의 이해를 돕기 위하여 쌍극자 탐사의 원리와 해석방법에 대하여 약술하고자 한다.

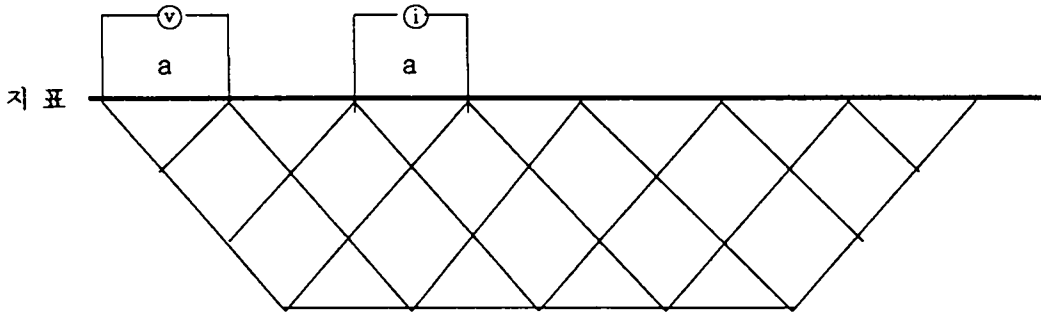
(ㄱ) 쌍극자 전기 비저항탐사 (dipole-dipole method) 의 원리

도선의 전기저항 R은 그 길이 L에 비례하고 단면적 A에 반비례 함은 잘 알려진 사실이다. 즉 $R = \rho L / A$ 여기서 ρ 는 비례상수로서 물체의 크기, 모양에 관계 없이 물체의 전기적 특성을 나타내는 것으로 이를 전기비저항이라 한다. 또한 옴의 법칙에 의하면 $R = V/I$ 이므로 $\rho = A/L \times R = A/L \times V/I$ 가 된다. ρ 의 단위는 ohm-m로 단위 체적당 물질의 전기비저항이라고 정의 할 수 있다.

쌍극자 전기비저항탐사는 이러한 전기의 물성을 이용 지하지질을 큰 도체로 생각하고 도선의 단면적 대신 전류가 흐르는 지하의 반구형 체적으로 계산하고 이때의 지층의 전기 비저항을 계산하는 것이다. 이때 지층에 강한 전도체 물질이나 지하수가 있는 경우는 전도체 혹은 지하수의 높은 전도성에 의하여 여타지역보다는 저항값이 낮게 나타나는 것이 측정원리이다. 측정은 아래 그림과 같이 2차원 그물망식으로 하여 지하수직단면의 비저항을 측정하게 되는데 전류, 전위간격 a는 탐사목적, 정밀도 등을 고려하여 조사목적에 맞도록 결정하고 단계적으로 이동하면서 전위차를 측정하여 겹보기비 저항치를 계산한다. 야외탐사 결과는 아래 그림에서와 같이 전위전극 중심과 전류전극의 중심을 연결하는 선을 밀변으로 하는 직각이등변 삼각형의 꼭지점에 겹보기비저항값을 기입하여 수평 및 수직적 변화를 탐지할 수 있다.

이와같은 쌍극자배열 탐사결과 측정된 겹보기 비저항 단면을 가단면도라고 한다. 이 가단면도에 나타난 겹보기 비저항값이 암석의 전기비저항을 나타내는 것은 아니며 얻어진 측정값도 실제 심도에서의 비저항 값은 아니다. 측정된 가단면도 상에서의 겹보기비저항 2차원 분포도 형태를 생성시키려면 실제적으로 어떠한 비저항 분포와 심도로 지층이 분포해야 하는지 알기 위하여는 컴퓨터에 의한 해석 프로그램이 필요하다.

쌍극자 배열방법은 신속하게 2차원적 수직, 수평탐사를 수행할 수 있어 비교적 광역적으로 지하 2차원구조, 특히 전기전도성 구조를 파악할 수 있는 장점이 있다.



$$\rho = \pi \frac{V}{I} n(n+1)(n+2)a$$

한편 쌍극자 전극간격 a 를 원하는 가탐심도 또는 지질학적 조건에 따라 변경하게 되며 전극간격 개수 N 을 조정함으로써 수직변화 양상을 신속하게 탐지할 수 있다. 그러나 쌍극자 배열방법에 의한 비저항 탐사시 지표 천부의 수평적 전기전도도 변화에 대단히 민감하므로 그로부터 야기되는 이상대를 정확히 해석할 수 없는 어려움이 있다. 이러한 난점을 해결하기 위해서 임의의 지하구조에 대한 이론치를 계산할 수 있는 컴퓨터에 의한 역산법을 이용되고 있다.

(ㄴ) 쌍극자 탐사자료 해석

본 지구 쌍극자 탐사자료의 해석에 활용한 역산법은 해석자가 이론자료와 현장자료를 비교함으로써 새로운 지하구조를 가상하는 과정을 컴퓨터가 담당하게 된다. 즉 주어진 가상 지하구조로부터 이론치를 계산하고 그 이론치와 현장탐사 실측자료 간의 오차를 최대한으로 줄여가면서 반복작업을 수행 실측치와 유사한 이론치가 결정되면 이때의 가상구조를 지하구조로 결정한다. 따라서 현장측정자료에 의한 가단면도 및 분포도가 이론자료에 의한 가단면도 및 분포도와 유사할수록 해석결과에 대한 신뢰도가 높다고 할 수 있다. 본 조사자료의 정밀도를 표시하는 R.M.S. error는 0.1내외로써 대단히 양호한 편이다.

본 조사결과 해석도는 시각적 효과를 고려하여 16등급의 color를 사용하였으며 고비저항대는 적색계열로 저비저항대는 청색계열로 표시하였다.

(ㄷ) 쌍극자 탐사결과

○ 안성군 위생매립장지구

전기비저항탐사는 쌍극자 탐사와 수직 비저항 탐사를 매립장 하류부 계곡을 남북으로 가로지르는 방향으로 측선을 설치하여 지하수 유동경로를 파악코자 하였다. 매립장 정문하류부 50 m 지점에 N20W 방향으로 1 개 측선, 그리고 그곳에서 계곡 하류부로 약 500m 떨어져 N40W 방향으로 역시 계곡을 가로질러 측선을 설정하여 조사를 실시하였다. 조사의 목적은 지하지질분포 파악과 지하수 유동경로 파악이었으며 매립장에 설치된 관측정의 위치가 감시정으로서의 역할을 적절히 수행하고 있는가도 판단코자 하였다. 수직탐사의 결과와 쌍극자 탐사결과를 종합하여 분석한 결과 계곡부의 지하수 유로는 매립장 정문부근에서는 계곡 북측을 따라 지하수 유로가 형성되고 있는 것으로 판단된다.

조사자료의 해석결과는 첨부그림에 나타난 바와 같이 매립장 하류부 북측 계곡부를 따라 확연히 구분되는 전기비저항 분포를 보인다.

측선 E - 1 해석도에서는 측선 우단을 제외하고는 지하 3 m 이하 부분에서 전체적으로 높은 비저항을 보이고 있으며 측선 E - 2 해석도에서도 역시 측선 우단을 제외하고는 지하 6 m 이하 부분에서 전체적으로 높은 비저항 값을 보인다. 이는 상류부에서 하류부보다 토심이 낮고 지하수도 없는 것으로 판단되며 매립장의 침출수 영향은 없는 것으로 판단된다.

○ 여주군 매립장지구

전기비저항탐사는 쌍극자 탐사와 수직 비저항 탐사를 매립장 하류부 계곡을 남북으로 가로지르는 방향으로 측선을 설치하여 지하수 유동경로를 파악코자 하였다. 측선 E - 1은 쓰레기가 매립된지 2년여 지난 매립장 중앙부로서 N20W 방향으로 측선을 깔고 측정하여 지하 6m 심도까지는 매립된 상태가 탐사결과로 보여지고 있다. 측선 E - 2 은 매립장의 경계부로서 N40W 방향으로 측정하였는데 지하에 쓰레기가 매립되지 않은 것으로 판단된다. 측선 E - 3은 매립장 하류부로서 NS 방향으로 측정하였는데 지하에 쓰레기 혹은 하상 퇴적 점토 같은 것이 매

립되어 있음이 나타나고 있다.

(ㄷ) Schlumberger 배열 전기비저항 수직탐사

본 조사는 제당 전 구간의 지층 분포 상태를 파악하고 쌍극자탐사 결과에 대한 점 조사 개념의 확인조사로서 당초 조사계획에는 없었으나 본 저수지가 쌍극자탐사 결과 외관조사 결과와는 달리 우안부에서 포화대가 발견되었으므로 시추조사를 보강하고 선행된 조사결과의 확인을 위하여 실시하였다. 본 조사의 이해를 돕기 위하여 탐사이론에 대하여 약술하고자 한다.

(ㄱ) 수직탐사의 원리

수직탐사의 목적은 지표면상의 한 점에서 그 하부의 심도에 따른 전기비저항의 변화를 측정하고 그 결과를 다른 지질학적인 정보 내지는 지식과 대비시켜 지하의 구조를 더 상세히 파악하고자 하는데 있다.

수직탐사는 대지에 공급되는 전류가 전류전극 사이의 간격이 넓어질수록 더 깊은 곳을 통과한다는 사실에 기초하고 있다. 즉 전류전극 사이의 간격이 넓을수록 심부의 정보를 반영하게 된다. 수직탐사는 전극 배열 방식에 따라 여러가지로 분류되지만 대체로 웨너(Wenner)또는 슬럼버져(Schlumberger) 배열법이 사용된다. 웨너 배열법은 중심점을 그대로 유지하면서 전위와 전류전극의 간격(A)을 바깥쪽으로 점차 증가 시키면서 실시한다. 한편 슬럼버져 배열법에서는 중간 전위전극을 고정하고 두 전류전극 사이의 간격을 중간지점을 중심으로 넓혀가면서 측정을 수행한다. 이 방법은 앞의 웨너배열에 비하여 전류전극만을 이동시키므로 작업이 간편하고 지표의 국부적 이상체에 의한 영향이 전 자료에 균일하게 나타나므로 자료획득 및 해석이 편리하다. 본 조사에서는 이러한 이유로 슬럼버져 배열을 사용하였다.

슬럼버져 배열 수직 비저항 탐사는 전위전극 간격(2L)을 2m로 고정하고 전류전극 간격 (2L)을 6,9,12,15,18,..... m로 증가 시키면서 전류전극의 간격이 너무 커서 측정이 불가능하게 되면 전위전극 간격을 증가시킨 다음에 다음 측정을 계속 하는 것이 이상적이나 금회 조사에서는 쌍극자 배열상태에서 수직탐사를 시행

하였다.

술럼버저 배열의 겉보기 비저항은 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$\rho_a = \frac{\pi L^2 \Delta V}{2 I}$$

$$L = 1/2 C_1 C_2$$

$$I = 1/2 P_1 P_2$$

전위전극의 이동시에는 두개의 자료가 서로 중첩되게 측정함으로써 전위전극의 이동에 따른 수직탐사곡선의 불연속을 피할수 있다. 이를 위해서는 현장 탐사시 전류전극 간격(L)을 수평축으로 하고 겉보기 비저항을 수직축 으로하는 Log - Log 도표상에 수직탐사 곡선을 plotting하면서 탐사를 수행해야 한다.

(b) 전기비저항 수직탐사자료 해석

수직탐사는 앞절에서 설명한 바와 같이 1차원 탐사로서 이의 해석은 여러 지구 물리 탐사자료의 해석중에서도 어려운 문제에 속한다. 술럼버저 수직탐사 자료의 해석을 위해서는 일차적으로 전류전극 간격(L)을 수평축으로 하고 겉보기비저항을 수직축으로하는 Log - Log도표상에 수직탐사 곡선을 작성하는 것에서 시작된다. 이 도표에서 전류전극 사이의 간격이 좁을 경우는 천부의 전기비저항 값에 수렴하며 간격이 넓어짐에 따라 심부의 전기비저항값에 수렴하게 된다.

현재 주로 사용하고 있는 해석방법은 지하구조가 1차원, 즉 수평 다구조로 이루어져 있다는 가정하에서 표준곡선을 이용하거나 앞의 쌍극자 탐사에서와 마찬가지로 모델링에 의한 시행착오법 또는 컴퓨터에 의한 역산 방법을 이용한다. 그러나 지하 지층구조가 1차원 구조라는 가정은 실제적으로 성립되지 않으므로 어떤 방법을 사용하여도 정확하게 지하의 전기비저항 분포를 정확히 알아낼 수는 없다 따라서 단 1개의 측정만으로 지하의 지질구조를 해석하는 것은 많은 위험이 따르며 다른 지질학적 정보 내지는 물리탐사 자료와 병행하여 해석하거나 여러점의 수직탐사 자료를 종합적으로 비교 해석하는 것이 지하의 지질구조 파악에 유리하다. 이에 본 지구에서의 수직탐사는 3m 간격으로 측점을 설치하였으며 쌍극자 탐사의 결과를 고려하여 기반암으로 추정되는 30m 내외의 심도까지 측정할 수 있도록 36m까지 측선을 설치하였다.

탐사 결과는 해석 프로그램을 활용하여 5회 반복하여 역산을 시행하였으며 3층 구조로 해석하였다. 수직탐사 결과 해석된 자료는 별첨에서와 같다.

5) 순간수위변화시험(Slug Test)

순간 수위 변화시험은 투수성이 낮은 대수층 내에 여러 대수층이 분포할 경우 구간별로 시험하여 투수계수의 수직분포를 파악할 수 있는 시험으로서 투수계수와 저류계수 등을 파악할 수 있으며 단일 관정에 투수계수를 산출하기 위하여 필요시 SLUG TEST 를 실시한다. 자료의 해석은 AQTESOLV 프로그램을 이용하여 해석하였다.

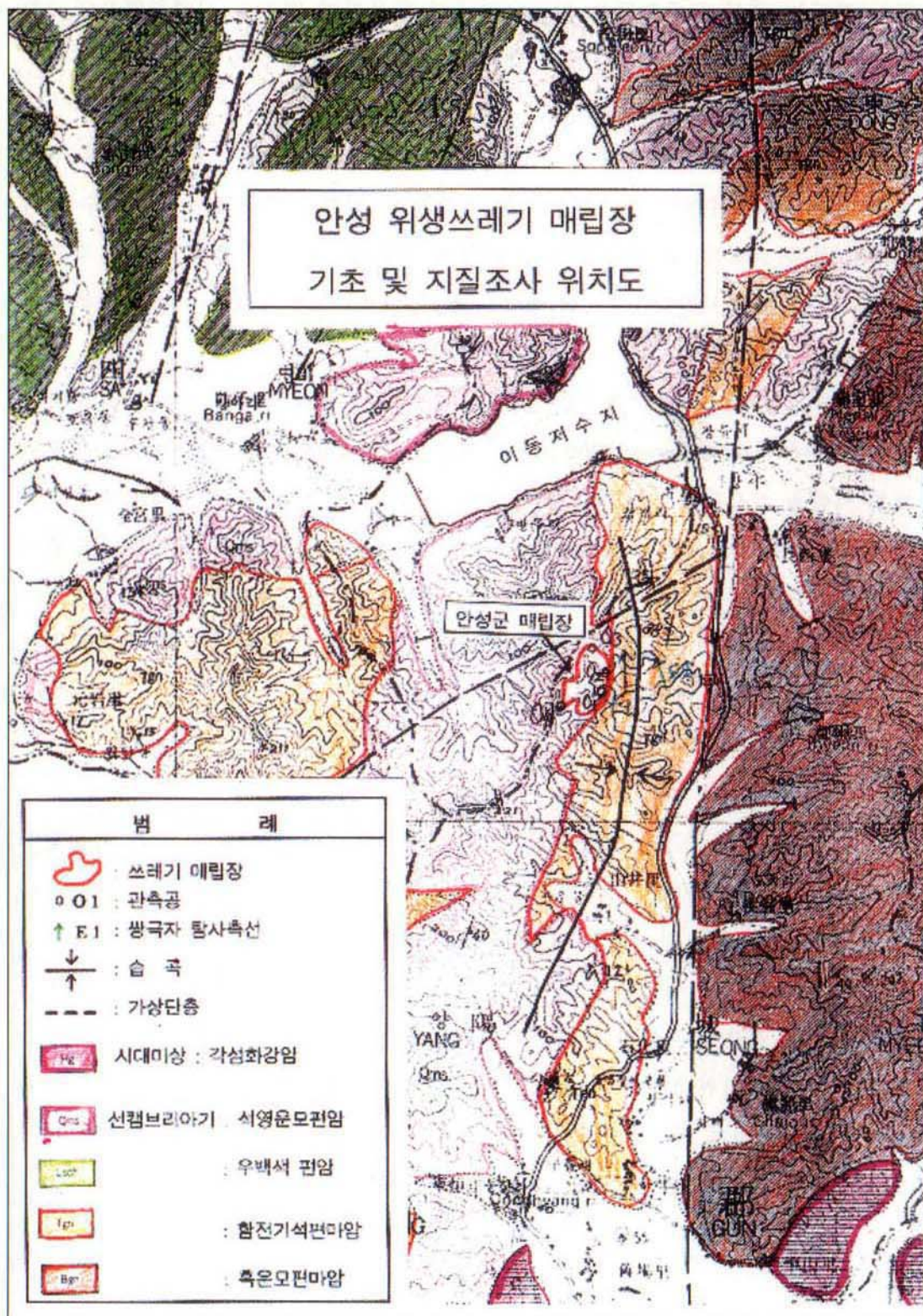
지하수의 유동속도인 투수계수를 산출하고자 지하수위가 잡히는 안성지구의 관측정 1, 2 호에 대하여 Hermit-2000 자동수위관측기와 Dummy 를 사용하여 순간수위 변화 시험을 실시하였으며 관측정이 없는 여주지구에는 실시하지 못하였다. 안성지구에서도 관측정 2 호의 심도는 4.6 m 로서 너무얕아 시험결과가 하부 대수층의 특성을 대변할 수 없으며 수위도 거의 공저로서 측정치도 불안하였다. 관측정 1 호의 현 위치도 지하수 수리특성을 파악하기에는 어려운 위치에 있어 '96 년 1 차년도 조사에서 결과로는 지하수 수리특성을 파악할 수 없었다.

다. 결론

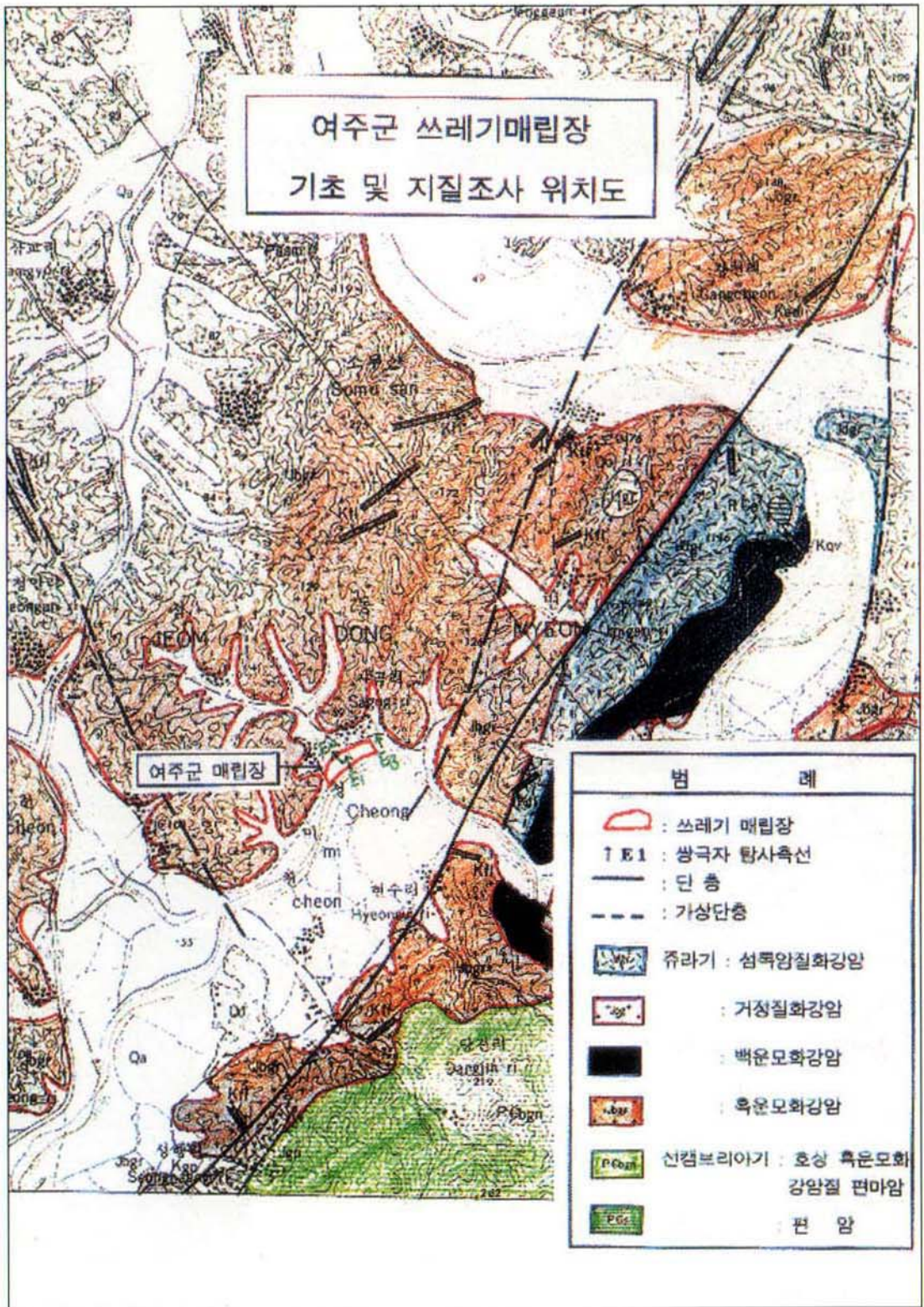
'96 기초 및 지질구조, 대수층 특성 조사과정에서 년차계획에 따라 물리탐사 기법등 비교적 조사비가 적은 간접조사를 시행하였으며 이 결과만을 놓고 지하수 유동에 관한 정밀 분석을 하기에는 조사량이 미흡하였고 오거공 개발, 추가 물리탐사 및 지하수위 장기관측 등이 차기년도 사업에 반영되어 '96 조사결과와 비교 분석하면 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

허용된 조사량 범위내에서 최대한으로 기초 및 지질구조조사와 지하수 대수층 특성조사를 실시하여 기본적인 조사는 완료되었으며 차기년도부터는 시추공 개발과 함께 지하수 유동 및 오염원 추적조사가 시행되어야 하겠다.

안성 위생쓰레기 매립장
기초 및 지질조사 위치도



여주군 쓰레기매립장
기초 및 지질조사 위치도



안성 위생쓰레기 매립장
기초 및 지질조사 위치도



범례	
	: 쓰레기 매립장
	: 관측공
	: 쌍극자 탐사축선
	: 습곡
	: 가상단층
	시대미상 : 각섬화강암
	선캠브리아기 : 석영운모편암
	: 우백색 편암
	: 함전기석편마암
	: 흑운모편마암

여주군 쓰레기매립장
기초 및 지질조사 위치도

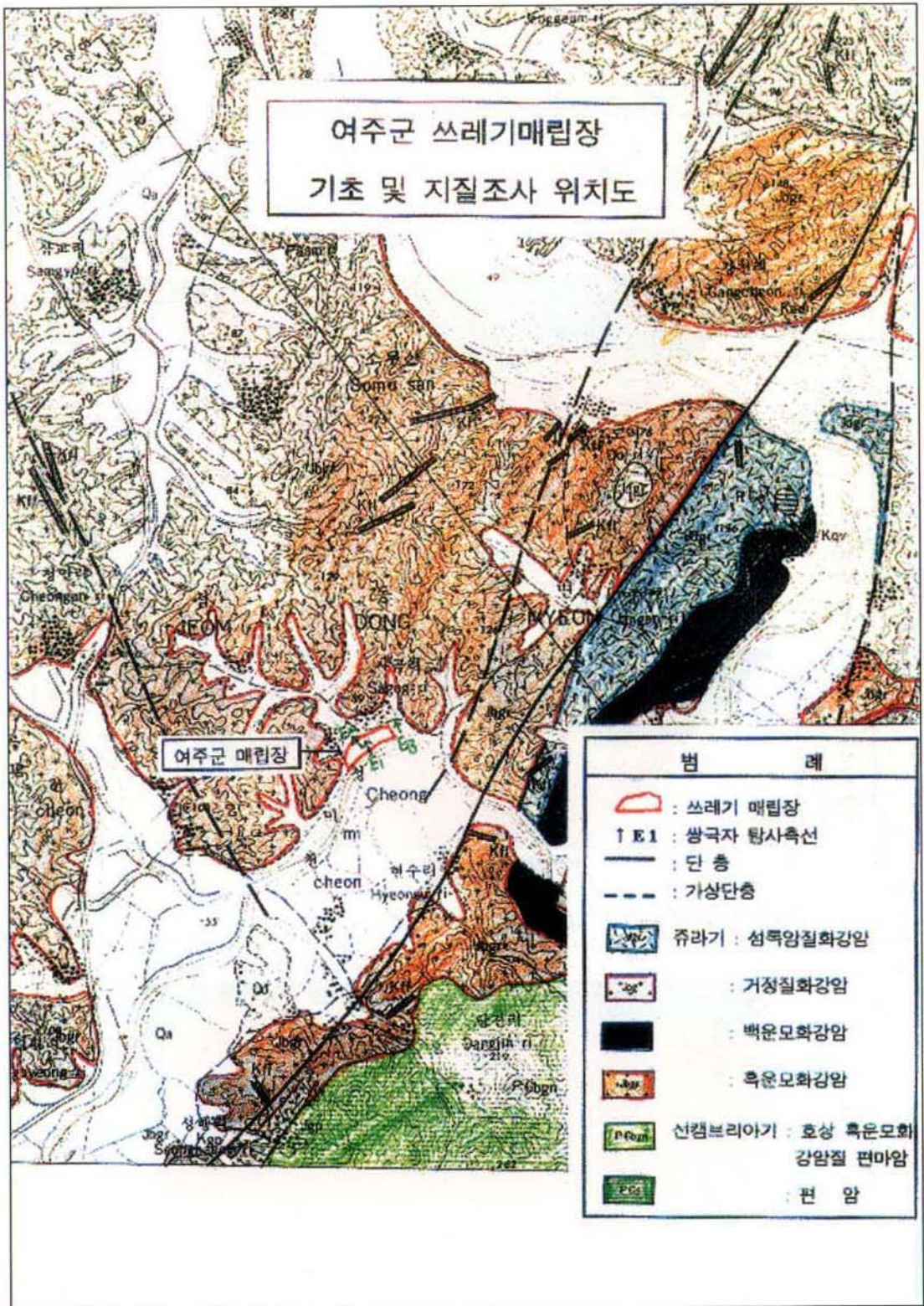
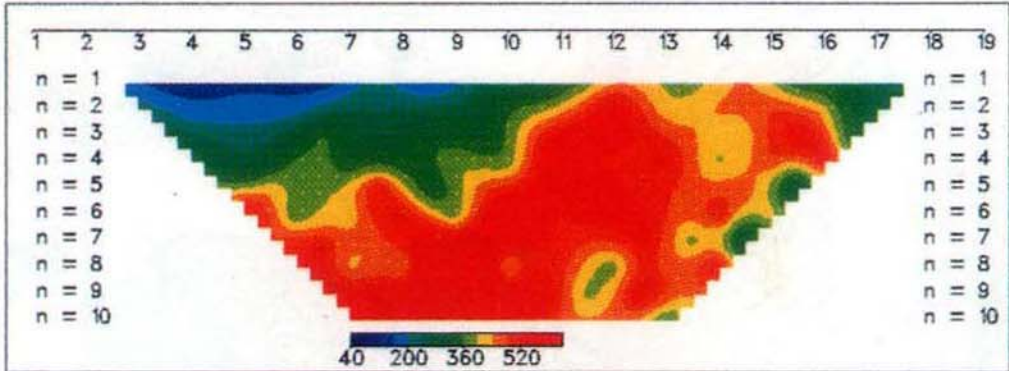


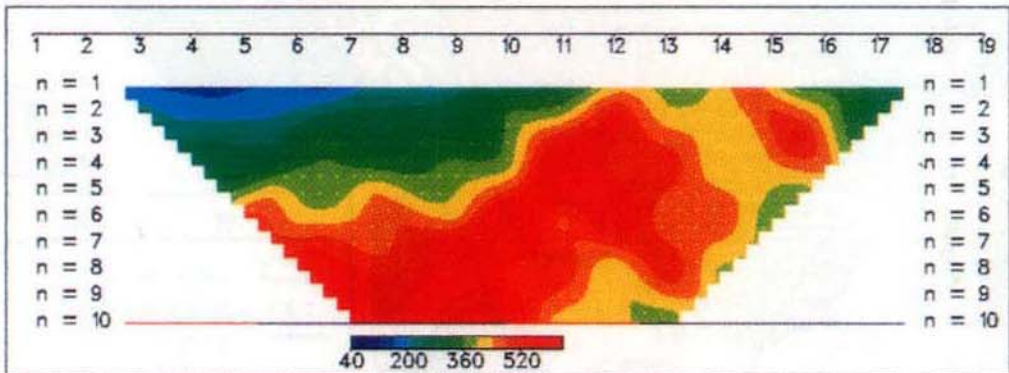
그림 쌍극자탐사 해석도

지구명 : 안성군 위생 매립장 측선 E1

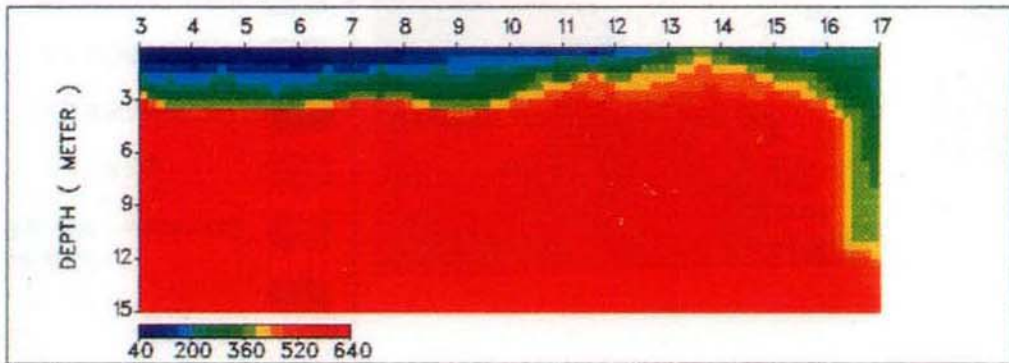
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

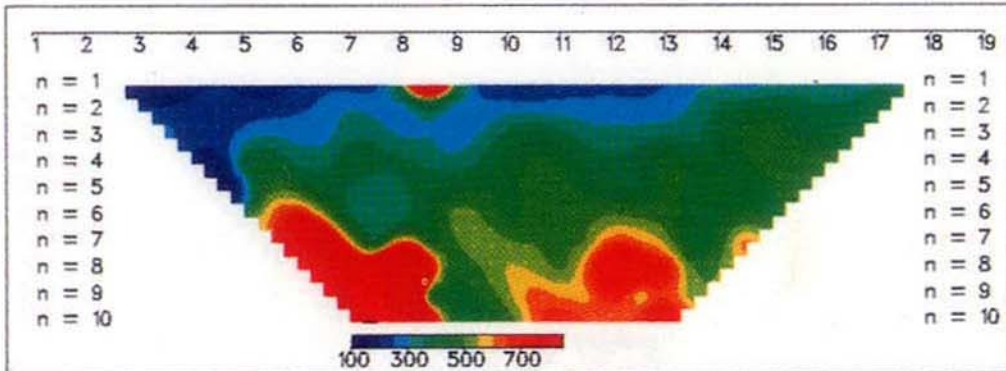


Line No. = an1 Area = ANSUNG
Dipole Spacing = 3 meter

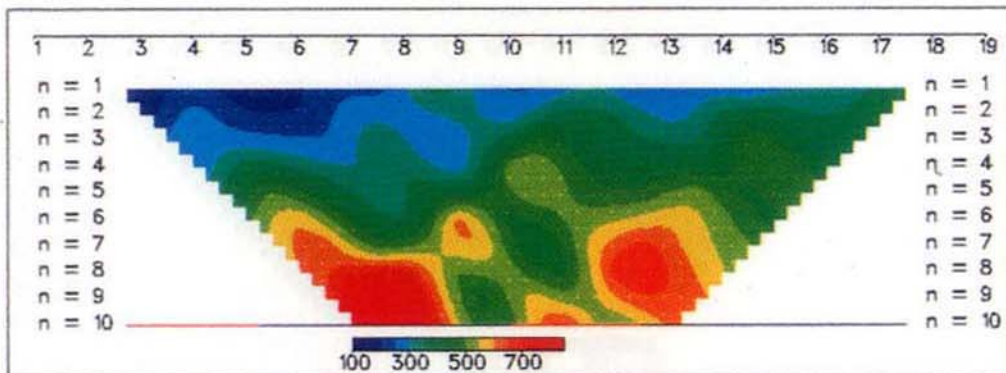
그림 쌍극자탐사 해석도

지구명 : 안성군 위생 매립장 측선 E2

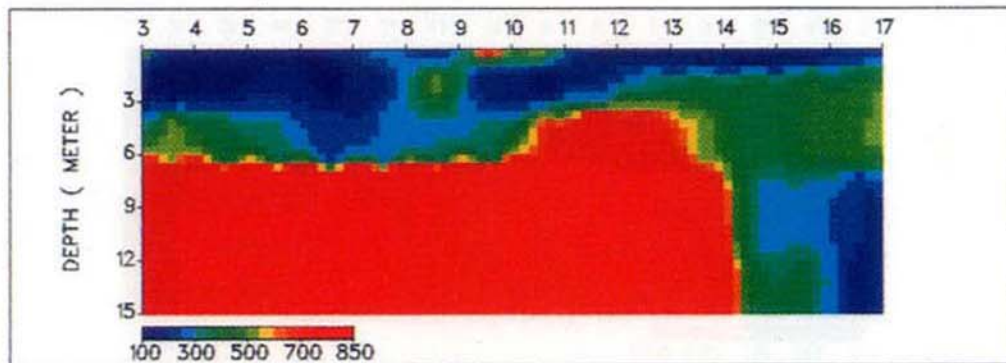
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

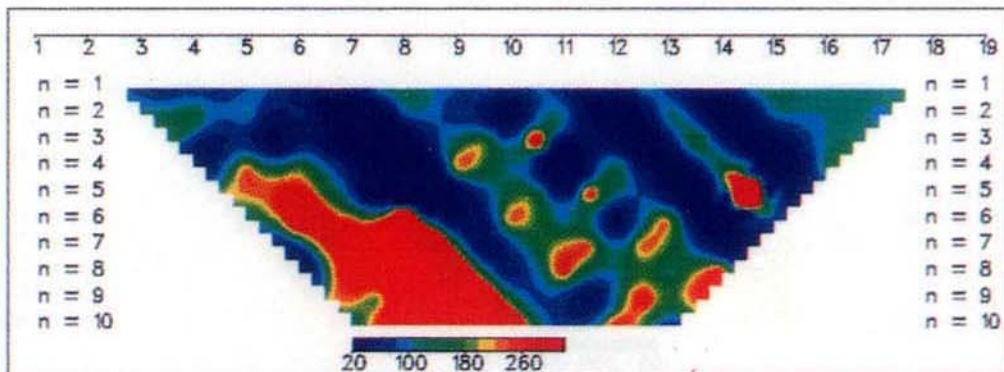


Line No. = an2 Area = ANSUNG
Dipole Spacing = 3 meter

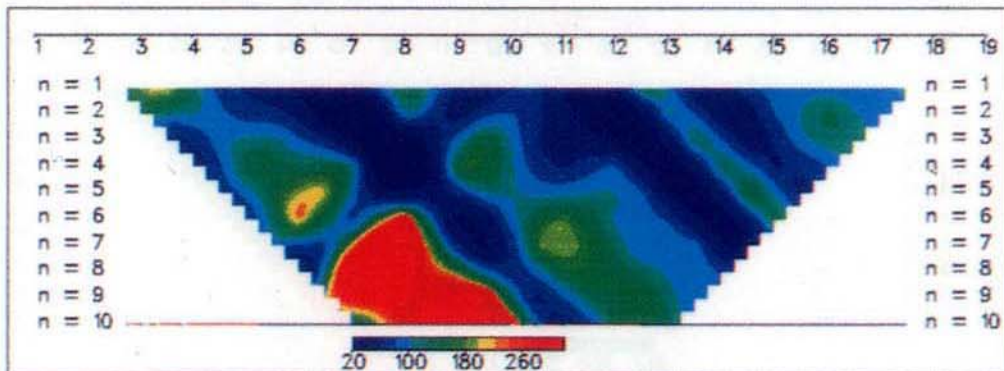
그림 쌍극자탐사 해석도

지구명 : 여주군 쓰레기 매립장 측선 E1

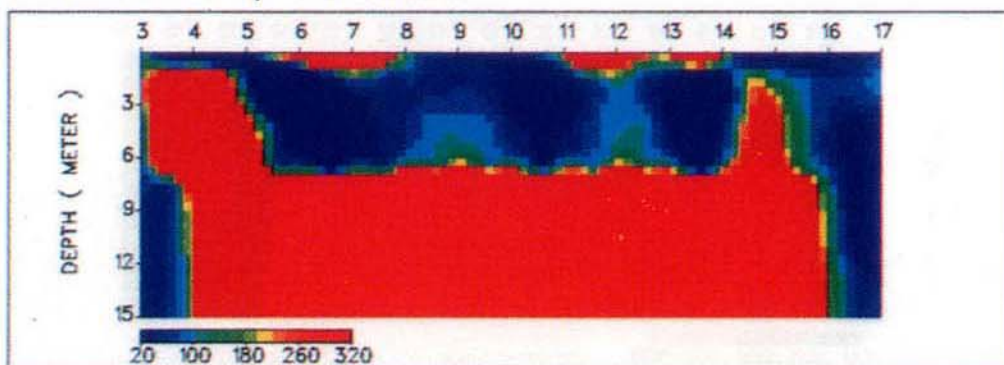
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

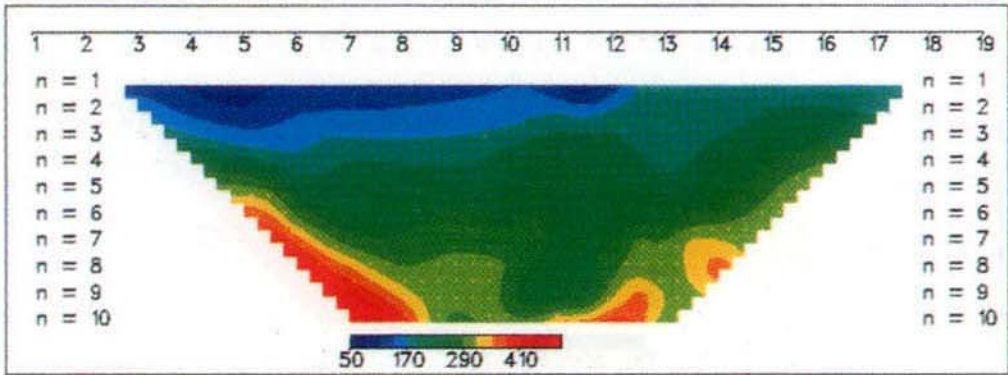


Line No. = yo1 Area = Yoju
Dipole Spacing = 3 meter

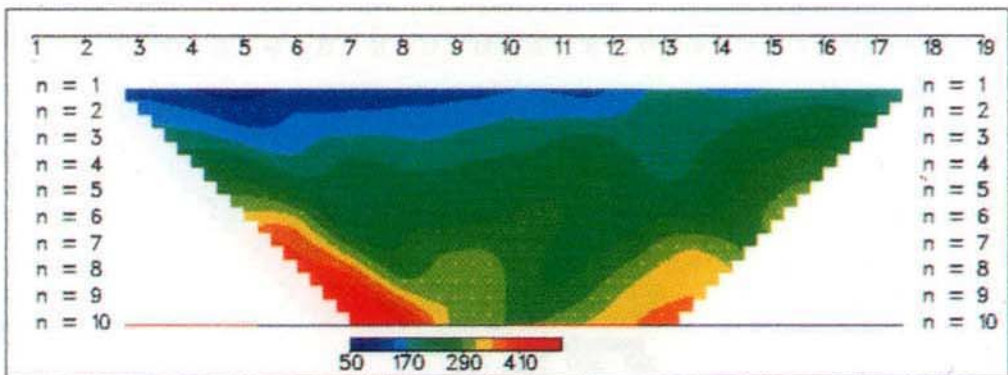
그림 쌍극자탐사 해석도

지구명 : 여주군 쓰레기 매립장 측선 E2

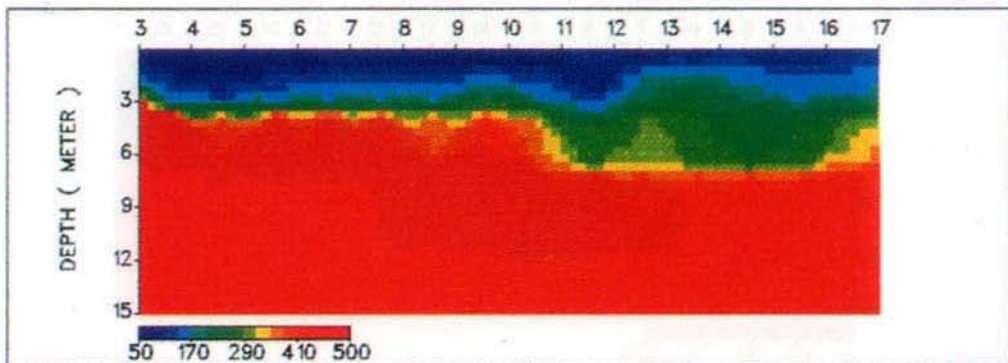
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure

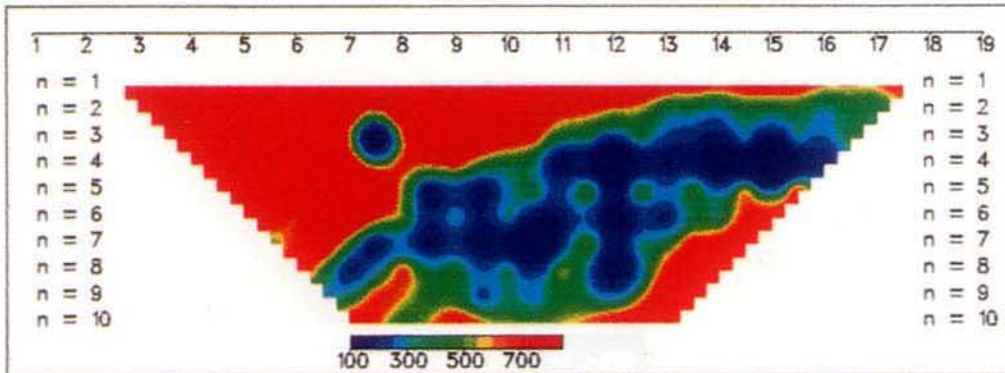


Line No. = yo2 Area = Yoju
Dipole Spacing = 3 meter

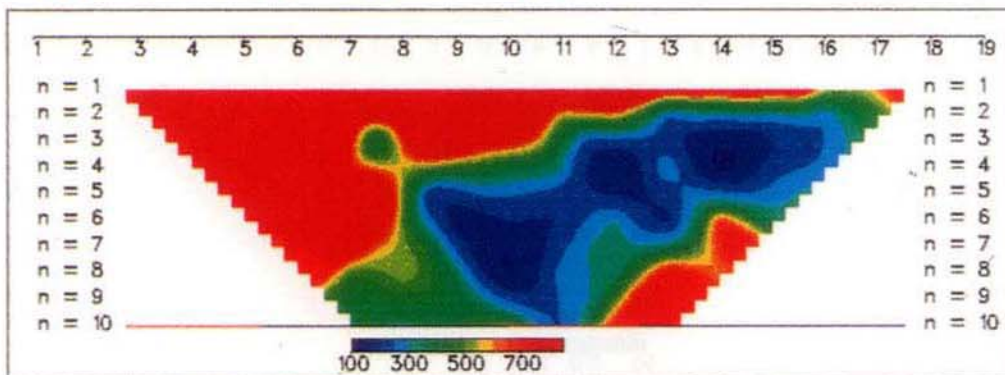
그림 쌍극자탐사 해석도

지구명 : 여주군 쓰레기 매립장 측선 E3

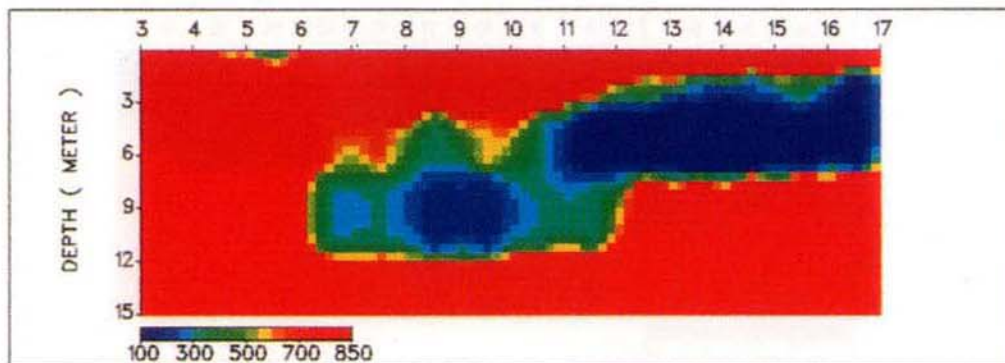
Field Data Pseudosection



Theoretical Data Pseudosection



2-D Resistivity Structure



Line No. = yo3 Area = Yoju
Dipole Spacing = 3 meter

안성군 위생매립장 쌍극자 탐사 자료 : 축선 - E1

ANSUNG

an1

10 16 0

128.9	100.4	99.0	105.3	101.8	167.9	122.1	208.7	235.2	329.1
381.7	341.6	401.5	290.1	249.4	195.7				
188.4	135.3	142.5	147.9	201.3	202.9	211.3	306.5	381.1	515.7
377.7	403.1	434.3	369.6	244.3					
234.7	186.6	192.3	314.4	237.5	298.0	279.4	427.5	532.1	470.5
404.3	385.1	508.9	294.1						
292.9	220.5	328.0	286.1	294.1	350.6	341.6	600.5	475.0	484.1
359.6	425.2	487.4							
344.4	378.0	356.3	471.1	296.9	417.6	490.8	554.2	465.1	413.7
409.7	233.5								
538.3	338.8	380.0	478.2	348.3	576.3	481.3	519.3	440.2	468.7
367.3									
456.0	460.8	427.5	565.3	570.0	503.5	446.5	494.0	351.5	237.5
597.2	400.4	407.2	637.9	407.2	454.7	346.1	420.7	495.4	
541.2	531.8	653.1	615.8	559.8	354.6	522.5	410.5		
659.4	597.2	497.6	559.8	435.4	423.0	311.0			

1 1

ansung

3.

Groundwater flow path

Ansung 1 DIPOLE-DIPOLE FIELD DATA

안성군 위생매립장 쌍극자 탐사 자료 : 축선 - E2

ANSUNG

an2

10	16	0								
72.0	80.0	148.2	123.8	187.2	191.7	1319.8	181.0	136.3	174.2	
173.0	239.2	226.8	259.0	270.3	338.7					
161.5	184.8	171.7	194.1	254.2	222.8	211.9	242.9	239.3	230.3	
234.3	321.2	372.3	312.1	338.8						
205.8	161.2	262.4	241.5	288.4	251.1	269.7	371.0	281.0	279.9	
288.4	428.1	394.7	375.5							
122.1	364.2	295.2	348.3	312.1	274.8	366.4	397.0	316.7	434.3	
355.1	435.4	425.2								
35.6	435.4	326.6	261.3	356.3	395.8	421.6	387.9	350.3	382.0	
354.3	447.3									
389.5	690.3	307.2	294.5	471.8	389.5	430.7	456.0	427.5	383.2	
392.7										
589.0	1059.3	342.0	403.8	489.3	446.5	465.5	560.5	346.8	560.5	
1825.4	977.2	3189.3	427.5	502.2	447.9	922.9	671.8	454.7		
1604.9	1063.7	438.5	410.5	578.5	541.2	531.8	466.5			
957.9	3184.8	398.1	410.5	671.8	559.8	846.0				

1 1

ansung

3.

Groundwater flow path

Ansung 2 DIPOLE-DIPOLE FIELD DATA

여주군 쓰레기매립장 쌍극자 탐사 자료 : 축선 - E1

Yuju

yol

10	16	0								
70.1	27.3	35.5	57.2	10.4	86.2	85.0	66.8	68.0	8.5	
84.7	8.9	77.8	99.9	87.9	113.0					
99.5	124.9	81.2	43.4	7.7	64.5	43.9	7.0	77.4	4.8	
93.6	9.3	71.9	81.2	76.9						
141.4	31.7	12.4	23.8	1.1	42.4	150.4	283.3	33.4	7.9	
138.0	11.9	37.9	101.2							
11.3	192.3	152.7	30.5	11.3	186.6	76.9	1.1	114.2	12.4	
125.5	5.7	108.6								
158.3	227.6	136.6	9.9	2.0	53.4	130.6	227.6	57.4	5.9	
1464.6	11.9									
95.0	500.3	212.2	734.7	22.2	199.5	76.0	15.8	180.5	6.3	
50.7										
23.8	247.0	432.3	1216.0	23.8	123.5	209.0	209.0	57.0	4.8	
6.8	400.4	1011.1	712.5	33.9	237.5	81.4	95.0	257.9		
158.6	167.9	895.7	690.5	56.0	18.7	279.9	233.3			
112.0	1057.5	982.8	622.0	49.8	286.1	37.3				
1	1									

yoju

3.

Groundwater flow path

Yuju 1 DIPOLE-DIPOLE FIELD DATA

여주군 쓰레기매립장 쌍극자 탐사 자료 : 축선 - E2

Yuju

yo2

10 16 0

93.6	81.3	63.7	78.0	78.2	82.6	92.3	101.0	104.7	54.9
145.9	158.3	141.4	145.3	136.8	150.4				
135.0	100.2	83.7	106.3	110.6	113.5	118.8	125.8	139.8	149.3
159.9	149.3	173.7	176.7	165.8					
164.0	137.4	123.8	141.4	140.8	142.5	147.6	169.6	176.4	159.5
160.0	184.3	209.2	212.1						
217.1	194.5	153.8	174.2	169.6	169.6	192.3	204.7	192.3	161.7
197.9	233.0	261.3							
277.1	259.3	184.1	197.9	194.0	186.0	221.7	205.8	205.8	195.9
235.5	273.1								
348.3	262.8	202.7	215.3	243.8	221.7	212.2	199.5	221.7	250.2
272.3									
403.8	289.8	237.5	251.8	251.8	251.8	223.3	266.0	294.5	280.3
420.7	325.7	264.6	264.6	257.9	210.4	251.1	264.6	332.5	
419.9	354.6	279.9	279.9	205.3	223.9	326.6	279.9		
497.6	373.2	248.8	273.7	323.5	373.2	273.7			

1 1

yoju

3.

Groundwater flow path

Yuju 2 DIPOLE-DIPOLE FIELD DATA

여주군 쓰레기매립장 쌍극자 탐사 자료 : 측선 - E3

Yoju

yo3

10 16 0

1922.7	2137.5	1128.1	1026.9	952.3	2352.4	1877.4	4784.0	1996.2	1707.8
1317.6	846.0	842.0	855.0	584.7	964.2				
2569.6	1262.2	1913.6	2583.1	1178.5	1513.2	3646.3	2047.1	712.5	499.9
279.8	228.2	296.8	235.5	294.1					
1164.9	1758.7	3449.5	2539.0	54.9	2109.3	1232.8	689.9	299.7	299.7
169.6	222.2	236.9	345.5						
1560.7	2725.6	3064.9	1108.4	654.8	676.3	313.3	81.4	22.6	90.5
40.7	11.3	95.0							
1947.5	2242.4	1211.3	1385.4	112.8	108.9	326.6	427.5	376.0	415.6
508.7	663.0								
1817.7	620.7	1507.4	443.3	256.5	256.5	104.5	57.0	126.7	285.0
741.0									
456.0	1054.5	123.5	95.0	80.8	19.0	432.3	275.5	760.0	1282.5
814.3	142.5	610.7	407.2	305.4	461.4	54.3	678.6	1289.3	
261.3	634.5	363.9	186.6	214.6	307.9	466.5	2360.6		
1057.5	323.5	1007.7	497.6	510.1	933.1	1642.2			

1 1

yoju

3.

Groundwater flow path

Yoju 3 DIPOLE-DIPOLE FIELD DATA

안성군 위생매립장 Slug test 출력 자료

관측공 1호

시간 (분), 수위 (M)

0	0
0.0083	0
0.0166	-0.575
0.025	-0.096
0.0333	-0.407
0.0416	-0.383
0.05	-0.335
0.0583	-0.359
0.0666	-0.311
0.075	-0.287
0.0833	-0.263
0.0916	-0.263
0.1	-0.239
0.1083	-0.239
0.1166	-0.216
0.125	-0.192
0.1333	-0.192
0.1416	-0.192
0.15	-0.168
0.1583	-0.168
0.1666	-0.144
0.175	-0.144
0.1833	-0.12
0.1916	-0.12
0.2	-0.12
0.2083	-0.12
0.2166	-0.096
0.225	-0.096
0.2333	-0.096
0.2416	-0.072
0.25	-0.072
0.2583	-0.072
0.2666	-0.072
0.275	-0.072
0.2833	-0.048
0.2916	-0.048
0.3	-0.048
0.3083	-0.048
0.3166	-0.048
0.325	-0.048
0.3333	-0.048
0.35	-0.048
0.3666	-0.024
0.3833	-0.024
0.4	-0.048
0.4166	-0.048
0.4333	-0.048
0.45	-0.048
0.4666	-0.024
0.4833	-0.024
0.5	-0.024
0.5166	-0.024
0.5333	-0.024
0.55	-0.024
0.5666	-0.024

0.5833 -0.024
0.6 -0.024
0.6166 0
0.6333 0
0.65 0
0.6666 0
0.6833 0
0.7 0
0.7166 0
0.7333 0
0.75 0
0.7666 0
0.7833 0
0.8 0
0.8166 0
0.8333 0
0.85 0
0.8666 0
0.8833 0
0.9 0
0.9166 0
0.9333 0
0.95 0
0.9666 0
0.9833 0
1 0
1.2 0
1.4 0
1.6 0
1.8 0
2 0
2.2 0
2.4 0
2.6 0
2.8 0
3 0
3.2 0
3.4 0
3.6 0
3.8 0
4 0
4.2 0
4.4 0
4.6 0
4.8 0
5 0
5.2 0
5.4 0
5.6 0
5.8 0
6 0
6.2 0
6.4 0
6.6 0
6.8 0
7 0

7.2 0
7.4 0
7.6 0
7.8 0.024
8 0.024
8.2 0
8.4 0
8.6 0
8.8 0
9 0
9.2 0
9.4 0
9.6 0
9.8 0
10 0
12 0.048
14 0.048
16 0.048
18 0.048
20 0.048
22 0.048
24 0.072
26 0.048
28 0.072
30 0.072
32 0.072
34 0.072
36 0.072
38 0.072
40 0.072
42 0.072
44 0.072
46 0.072
48 0.072
50 0.072
52 0.072
54 0.072
56 0.072
58 0.072
60 0.072
62 0.072
64 0.072
66 0.072
68 0.072
70 0.024
72 0.024

쓰레기매립장 전기비저항 수직탐사 자료

측선 : yoju1.v

탐사일시 1996/9 /

0.000000E+00	0.000000E+00	
0		
10		
1.000	3.00000	278.00000
1.000	4.50000	207.00000
1.000	6.00000	0.82000
1.000	7.50000	0.42000
1.000	9.00000	0.30000
1.000	12.00000	0.24000
1.000	15.00000	0.21000
1.000	18.00000	0.66000
1.000	21.00000	0.12000
1.000	24.00000	0.16000

측선 : yoju2.v

탐사일시 1996/9 /

0.000000E+00	0.000000E+00	
0		
10		
1.000	3.00000	33.70000
1.000	4.50000	3.99000
1.000	6.00000	1.82600
1.000	7.50000	1.10600
1.000	9.00000	0.77500
1.000	12.00000	0.60000
1.000	15.00000	0.48000
1.000	18.00000	0.38700
1.000	21.00000	0.30600
1.000	24.00000	0.25100

측선 : yuju3.v

탐사일시 1996/9 /

0.000000E+00	0.000000E+00	
0		
10		
1.000	3.00000	913.00000
1.000	4.50000	74.10000
1.000	6.00000	14.25000
1.000	7.50000	4.12000
1.000	9.00000	1.87500
1.000	12.00000	1.38700
1.000	15.00000	1.08100
1.000	18.00000	0.67900
1.000	21.00000	0.58000
1.000	24.00000	0.51200