

발간등록번호

11-1543000-000389-01

구제역 및 AI 가축매몰지 친환경적 사후관리기법 연구
(A study on environmentally friendly management of FMD
and AI related catastrophic mortality burial sites)

국립축산과학원

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “구제역 및 AI 가축매몰지 친환경적 사후관리기법 연구” 과제의 보고서로 제출합니다.

2014년 3월 일

주관연구기관명 : 국립축산과학원

주관연구책임자 : 최 동 윤

세부연구기관명 : 국립축산과학원

세부연구책임자 : 최 동 윤

연 구 원 : 박 종 현

곽 정 훈

한 덕 우

양 승 학

조 성 백

이 동 현

유 용 희

이 현 주

M. A. Khan

안 회 권

김 은 중

협동연구기관명 : 강원대학교

협동연구책임자 : 라 창 식

연 구 원 : 원 승 건

박 지 영

조 원 실

김 진 숙

전 대 용

유 병 구

심 수 민

협동연구기관명 : 시민환경연구소

협동연구책임자 : 백 명 수

연 구 원 : 박 창 근

박 재 현

신 영 철

김 좌 관

전 상 미

이 향 진

박 숙 현

길 복 중

최 문 성

S. Chamroeun

오 준 오

지 상 철

요 약 문

I. 제 목

- 구제역 및 AI 가축매몰지 친환경적 사후관리기법 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

- 과학적이고 효율적인 구제역 및 AI 가축매몰지 사후관리시스템 구축을 위해 매몰지 내 폐사축 발굴 후 적용 가능한 퇴비화 기술 개발 및 매몰지 침출수 관리와 관측정 관리 매뉴얼을 개발하기 위함

2. 연구개발 필요성

- 가축매몰지 인근 지하수오염 및 악취 관련 민원이 발생하거나 우기 시 붕괴가 우려 되는 매몰지 관리를 위해 과학적이고 합리적인 발굴지침이 제시될 수 있어야 하며, 발굴된 사축을 환경친화적으로 처리할 수 있는 기술 개발이 필요함.
- 가축매몰지 침출수 유출 여부를 용이하게 판단할 수 있는 관측정 위치 선정 및 수량 등 관측정 설치기준에 대한 과학적 근거자료를 토대로 관측정 관리 매뉴얼을 작성할 필요가 있음.

III. 연구개발 내용 및 범위

- 문헌조사를 통한 기초자료 수집 및 운용변수 정립
- 매몰지 발굴 폐사축의 환경 친화적 퇴비화 기술 개발
- 퇴비화 최종산물의 물리화학적 안전성 평가 및 활용방안 제시
- 발굴 대상 매몰지 내 구제역 바이러스 잔존여부 평가
- 가축매몰지 관측정 설치기준 및 관리 매뉴얼 제시
- 가축매몰지 정책건의를 위한 제도 개선사항 도출

IV. 연구개발결과

- 구제역발생으로 인해 형성된 매몰지에서 토양 및 침출수 시료를 채취하여 구제역 바이러스가 잔존하는 지 여부를 검사한 결과, 모두 음성으로 판정되었음
- 퇴비단 내 발굴 돼지 사축은 8개월 만에 분해가 완료되어 뼈와 털만 남아 있었으며, 왕겨 깔짚우분과 톱밥깔짚우분 처리구 모두 약 85% 이상 분해되었고, 뼈의 무게를 감안할 경우 거의 100%가 분해된 것으로 나타났음
- 사축퇴비화 운용변수에 관한 문헌조사 결과 성공적인 사축퇴비화 조건은 다음과 같이 4가지로 요약됨 : (1) 유기물과 질소의 비 (C:N), (2) 산소, (3) 수분함량, (4) 온도. 4가지 조건을 충족시키기 위해서는 사축퇴비화를 위해 사용되는 부자재 선정과 역할이 매우 중

요함을 알 수 있었음.

- 환경친화적 사축퇴비화기술 개발을 위한 기초 자료를 확보할 목적으로 자연통기형 사축퇴비화 방법을 고안하고 농가주변에서 쉽게 조달할 수 있는 부자재를 대상으로 부자재 종류별 사축퇴비화 특성을 파악한 결과, 퇴비와 톱밥을 부자재로 사용한 경우 침출수가 전혀 발생하지 않으며 초기 습도 조절 후 별도의 수분조절이 필요 없는 것으로 나타남.
- 사축퇴비화 시 생물학적 안전성 측면에서 판단할 때 55°C 이상으로 충분한 열을 발생시키기 위해서는 가축분뇨를 부자재와 혼합하여 함께 이용하는 것이 바람직하며, 자연통기형 사축퇴비화 더미를 최종적으로 완숙퇴비로 덮어 관리하는 것이 퇴비화 과정에서 악취 발생을 방지할 수 있음.
- 사축퇴비화 시험후 얻어진 최종 사축퇴비를 농촌진흥청 비료공정규격과 비교한 결과, 부산물 비료 지정에 제시된 규격기준을 충족하였으며 매우 양질의 부산물 비료인 것으로 판명됨.
- 가축매몰지 관련 연구 사례 조사 및 분석, 가축매몰지 현장 조사, 지하수 모델링 등을 통하여 관측정 최적화 설치 방안에 대한 연구를 수행하였으며, 수행 결과로 “가축매몰지 관측정 설치 기준(안)”을 제시함.
- 해당 연구 내용은 가축매몰지 사후관리사업 등의 기초자료로 활용할 수 있으며, 가축 매몰지 관리지침 등에 반영되어 가축 매몰지 주변의 지하수의 보전·관리에 기여할 수 있을 것으로 판단됨.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

- 기존의 「구제역긴급행동지침」(2011)에 포함된 사축 퇴비화 지침 보완/수정을 위한 기초 자료로 활용
- 민원 및 환경오염 우려가 있는 매몰지 발굴지침 제시 및 관련분야 정책제안 가능
 - 가축매몰지의 사후관리 기술개발을 통해, 환경오염 및 민원문제 등에 대한 종합적 대책을 준비할 수 있음.
- 과학적으로 검증된 사축 퇴비화 지침을 제시함으로써 무분별한 기술 투입에 따른 시행착오를 방지할 수 있고 국가 예산낭비를 막아 효율적인 예산집행에 기여할 수 있음.
- 관측정 설치에 따른 환경, 경제, 기술요인을 고려하여 처리방법별 특성을 비교하여 관측정 설치 매뉴얼 개발의 기초자료로 활용
- 적절한 매몰지 침출수 관리 및 관측정 설치기술 개발 연구를 통해 가축매몰지 침출수 유출로 인한 환경오염 문제를 해결하는데 기여
- 연구결과에 의거하여 매몰지 발굴 사축 이설퇴비화 기술과 관측정 설치기준과 관리 매뉴얼 제시로 구제역 긴급 행동지침 개정(안) 제시

Summary

I. Title

- A study on environmentally friendly management of FMD & AI related catastrophic mortality burial sites

II. Objectives & Necessity of Research

1. Research objectives

- In order to construct the management system for burial sites of livestock mortality, this study aims to develop an applicable composting technique after the excavation of livestock mortality from burial sites, manage leachate from burial sites and build the management manual of an observation well.

2. Research necessity

- Scientific and reasonable instructions are required to manage burial sites in which contamination of subterranean water and odorous civil affairs may occur near around the mortality burial sites as well as develop the environmentally friendly treatment methods for mortality excavated.
- The monitoring well management manual including how to decide the location and optimized number of monitoring wells is needed to detect the leachate leakage easily.

III. Contents & Ranges of Research & Development

- Collecting the basal documents and establishing operating parameters through literature review
- Developing an environmental friendly technique to compost mortality excavated from burial sites
- Evaluating the physicochemical safety of the end-product from the mortality composting and suggesting its practical use
- Estimating the possibility of residual FMD virus at burial sites
- Suggesting the manual for the livestock burial site management and the monitoring well
- Suggesting the Improvement plan to the Policy proposal of burial sites

IV. Results

- When soils and leachate from burial sites were examined for the pathogenic viruses, no sign of survival was detected in all sites tested.

- After 8 months of composting process, pig carcasses were completely composted and the only remains can be found were bones and hairs. The average composting efficiency was evaluated as 85% and nearly 100% when bone weight was excluded from the calculation.
- As result of a literature review, the key operational conditions for livestock mortality composting were converged into 4 parameters; 1) carbon to nitrogen ratio, 2) oxygen level, 3) moisture content, and 4) temperature. The selection of bulking material was very important and governed above four parameters.
- The composting system was designed with natural aeration and bulking materials were characterized and evaluated with consideration of cost effective methods. When matured compost and sawdust was applied as bulking material, leachate was not released from compost pile and the extra control of moisture content was not needed at all after the initial setup of moisture content in the compost pile.
- It was desirable to mix the bulking material with livestock manure for a high temperature of over 55°C with respect to biological stability and cover the composting pile with the matured compost for preventing bad odor during the mortality composting.
- The end-product, matured compost, produced from this study was met with the suggested criteria and evaluated as a high quality fertilizer.
- The domestic and foreign regulations for monitoring well, the domestic burial site location characteristics, field investigations were conducted. The optimized monitoring well installation guideline was suggested by using the groundwater modeling. As the result, "The Livestock burial site monitoring well installation guideline" was suggested.
- The research results can be used for the livestock burial site management and the reflected management guideline will be very useful to maintain the groundwater environment around the burial sites.

V. Accomplishment of the Research and Future Plan

- Can be utilize as reference information to improve current guideline to handle livestock carcasses in case of FMD outbreak (2011).
- Provide a proper guideline for the excavation of burial sites and propose a new policies for legal support.
 - Built a countermeasures as a preparation for the occurrence of environmentally critical situations and subsequent civil complaints.

- The scientifically reliable instruction of mortality composting presumably prevents trial and error, which results in effective budget execution.
- The results can be used for revising the monitoring well installation manual considering the circumstances around the burial sites, economic and technical factors.
- The results may be dedicated to resolve the environment problems by the leachate leakage of the burial site.
- Propose a renewed FMD action guideline which includes a manual for composting of livestock carcasses excavated from burial sites and installation standards for monitoring wells in burial sites.

CONTENTS

Chapter 1	Introduction	10
Chapter 2	Current Status of Technical Advances	13
Chapter 3	Results	27
	1. Safety Evaluation of Composting Buried Livestock Carcasses	27
	2. Technical Advancement of Environmentally Friendly Carcasses-Composting	57
	3. Proposal to Construct Observation Wells near FMD & AI Burial Sites	136
Chapter 4	Technical Achievements & Contributions	317
Chapter 5	Accomplishment of the Research and Future Plan	318
Chapter 6	Beneficial Information from Foreign Countries	320
Chapter 7	Research Facilities and Equipments	322
Chapter 8	References	323

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	10
제 2 장	국내외 기술개발 현황	13
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	27
제 1절	매몰지 발굴 사측퇴비화 기술의 안정성 분석	27
제 2절	환경친화적 사측퇴비화 기술 개발	57
제 3절	구제역 및 AI 사측매몰지 관측정 설치기준 제시방안	136
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	317
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	318
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	320
제 7 장	연구시설·장비 현황	322
제 8 장	참고문헌	323

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1절. 연구개발의 필요성

- 구제역 및 HPAI (High Pathogenic Avian Influenza)와 관련하여 전국적으로 4,799 개소 매몰지가 조성되었으며 매몰지 인근 지하수 오염, 악취 발생 등의 환경오염에 대한 사회적 우려가 매우 높음.
- 매몰지 사후관리를 위해 전국 매몰지에 대한 상시 관리체계를 구축하여 운영하고 있으나 매몰지 침출수 및 악취관련 민원이 다수 발생하고 있음.
- 사축 매몰처리와 관련된 기존의 국내 연구자료는 전무한 실정이며, 국내에서 적용하고 있는 가축 매몰 지침을 대상으로 한 기존 연구자료 부족으로 매몰지 사후관리에 어려움이 있음.
- 국내에서 적용하고 있는 가축 매몰지침 및 사후관리지침을 바탕으로 조성된 매몰지의 효율적 관리를 위해 과학적이고 체계적인 연구를 통한 매몰지 사후관리시스템 구축이 요구됨.
- 최근(2011. 7월) 개정된 “구제역 긴급행동지침”에서는 호기성 호열 미생물을 이용한 사체 처리요령을 제시하고 있음.
- AI와 관련하여 미국과 캐나다에서 소규모 가축(닭)을 퇴비화 처리하였으며, 미국 아이오와 주립대학교에서 중대규모 가축(돼지, 소)을 대상으로 질병(구제역, AI) 관련 대규모 사축 퇴비화 시스템 개발을 위한 연구를 6여 년간 수행한 사례가 있음.
- 사축 퇴비화 시스템에 호기성 호열 미생물을 투입하여 사축을 처리하는 기법을 과학적으로 검증한 연구결과는 아직까지 전 세계적으로 보고된 바 없음.
- 호기성 호열 미생물을 이용한 사축 퇴비화 기술이 과학적으로 검증되지 않은 상태에서 구제역 긴급행동지침으로 현장에 적용될 경우 효율적인 유지관리에 어려움이 있을 것으로 예상됨.
- 기존 “비료관리법-비료공정규격 설정 및 지정” “가축전염병예방법”에서는 매몰된 사체를 발굴하여 ‘비료 등의 원료로 재활용’하는 것을 허용하지 않고 있음.
- 현재 구제역과 AI 매몰지는 총 4,799 개소(구제역 : 4,583개, AI : 216개)가 있으며, 한강 수계와 낙동강 수계에 집중적으로 매몰되어 있음. 이들 가축매몰지에서 발생하는 침출수로 인해 악취 뿐만 아니라 하천 및 지하수 오염과 토양오염 등이 발생하고 있으며, 이로 인한 매몰지 인근 지역주민의 민원이 다수 발생하고 있는 상황임.
- 현재 가축매몰지에서 발생하는 침출수로 인한 인근 지하수 오염 등을 모니터링하기 위해 1,553개의 관측정이 설치되어 있으나, 매몰지 관측정의 운영과 관련된 문제들이 발생하고 있음.
- 현재 「가축전염병예방법 시행규칙」 별표 5에 의거하여 관측정은 가축을 대규모로 매몰하는 과정에서 환경오염의 우려가 있다고 시장 군수가 판단할 때 설치하는 것으로 되어 있으나, 대규모 매몰의 정도와 관측정 설치 시기 및 수량 등 전반적인 설치기준이 상세히 규정되어 있지 않아 기초자치단체별로 효율적이고 체계적인 적용이 어려운 실정임.
- 기존의 판별 항목인 암모니아성 질소, 질산성 질소, 염소이온, 대장균군 수는 매몰지 침출수의 특성을 충분히 고려하지 못함.

- 매몰지 내 사축 발굴로 인해 병원성 바이러스 감염 우려가 없다는 것이 입증되면, 매몰지 사후관리의 효율을 극대화하기 위해 매몰된 사축을 발굴하여 재활용할 수 있는 기술이 제시되어야 하며, 이를 기초로 하여 기존 제도를 개선할 필요가 있음.
- 매몰지 인근 지하수오염 및 악취 관련 민원이 발생하거나 우기 시 붕괴가 우려 되는 매몰지 관리를 위해 과학적이고 합리적인 발굴지침이 제시될 수 있어야 하며, 발굴된 사축을 환경 친화적으로 처리할 수 기술이 개발되어야 함.
- 사축 퇴비화는 병원성 바이러스 사멸효과가 높고 사축 분해에 요구되는 시간이 매몰 방법에 비해 짧을 뿐만 아니라 재활용 가능한 퇴비를 생산할 수 있다는 특성이 있음. 사축 퇴비화의 이러한 장점을 최대한 활용할 수 있는 안정된 시스템을 개발하기 위한 과학적인 연구가 수행될 필요 있음.
- 「가축전염병예방법 시행규칙」 관련 법령의 개정을 위해서는 매몰지 침출수 유출 여부를 용이하게 판단할 수 있는 관측정 위치 선정 및 수량 등 관측정 설치 기준에 대한 과학적 근거자료를 토대로 관측정 관리 매뉴얼을 작성할 필요가 있음.
- 전세계적으로 표준화된 가축매몰지 침출수 유출 판별기법은 존재하지 않으므로 보다 과학적이고 합리적인 방법 도출 필요
- 따라서 1차 현장 판별법은 신속성, 편이성, 경제성, 정확성을 토대로 과학적이고 합리적인 평가 방법 연구가 이루어져야 함.

제 2절. 연구개발의 목표 및 내용

1. 연구목표

- 매몰지 내 구제역 바이러스 잔존여부 평가
- 매몰지 발굴 폐사축 환경 친화적 퇴비화 기술 개발
- 매몰지 침출수 관리 및 관측정 관리 매뉴얼 개발
- 매뉴얼의 현장적용 및 정책건의

2. 연구내용

- 매몰지 발굴 및 사축 퇴비화 기술의 안정성 분석
 - 발굴 대상 매몰지 내 구제역 바이러스 잔존여부 평가
 - 가축매몰지 정책건의를 위한 제도개선사항 도출
- 환경친화적 사축퇴비화 기술 개발
 - 매몰지 발굴 폐사축 환경 친화적 퇴비화 기술 개발
 - 퇴비화 최종산물의 물리/화학적 안전성 평가 및 활용방안 제시
- 구제역 및 AI 사축매몰지 관측정 설치기준 제시 방안
 - 사축매몰지 관측정 설치 실태조사, 침출수 유출 확인기술, 매몰지 이설시 처리방법별 사회환경적 분석, 사축매몰지 관측정 설치에 따른 경제성분석, 매몰지 관리비용 경제성 분석, 매몰지 이설시 처리방법별 경제성분석, 기술요인분석(침출수확산모델링, 침출수 확산 방지공법 검토)
 - 사축매몰지 관측정 설치에 따른 환경, 경제, 기술요인을 고려한 처리방법별 특성비교 종합평가
 - 침출수 유출판단 기준 제시(침출수 정성적 특성을 고려한 항목 도출 및 분석법)
 - 침출수유출 확인기술에 따른 시료분석, 침출수 확산 모델링 주요항목 분석, 관측정설치 위치, 개수 관련 시료분석 진행

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1절. 국내의 기술개발 현황

1. 사축퇴비화 기술

- 현재 가축전염병예방법 제 20조에 따라 제 1종 가축전염병 확산을 방지하기 위하여 필요하다고 인정되면 가축에 대하여 살처분을 명하고 있으며, 제 22조(사체의 처분제한) 2항에서도 각종 전염병 발생에 따라 가축사체를 긴급 소각 또는 매몰하고 있다(표 1 참고).
- 그러나 폐사축 처리 방법 및 매몰지 선정 기준이 모호하며, 가축사체 부패 시 발생하는 침출수 및 악취 처리 문제 등 폐사축 처리 관련 규정이 기관마다 불일치하는 등 문제점이 대두되고 있어 과학적인 근거를 바탕으로 한 친환경적 폐사축 퇴비화 기술 개발 및 안전성 평가가 시급한 실정이다.

<표 1> 구제역 및 AI 매몰지 현황

(11. 2. 5, 농림부)

구 분	발생지역	매몰지	매몰두수	비고
구제역	9개 시·도, 76개 시·군	4,054	292만두	소, 돼지
AI	5개 시·도, 18개시·군	197	500만두	닭, 오리

2. 사축매몰지 관리 및 관측정 관리 매뉴얼

- 2010년에서 2011년에 발생한 구제역은 동시 다발적이고 대규모로 발생하여 지자체에서는 매몰지 선정 및 조성에서부터 농림수산식품부의 ‘구제역 긴급행동지침’과 환경부의 ‘가축 매몰지 환경관리지침’을 준수하기는 쉽지 않았으며, 매몰지 발생 규모를 전혀 예측하지 못했기 때문에 매몰작업에 필요한 물품, 장비, 인력 등에 대한 사전대비나 계획, 매몰관련 교육 등이 제대로 이뤄지지 않았다.
- 이에 전국적으로 매몰지 침출수 유출 및 지하수 오염 문제 등이 사회적인 주요 이슈로 부각되었고, 농림수산식품부 및 환경부 등 관계부처, 해당 지자체 등에 의해 매몰지에 대한 철저한 사후관리 및 환경관리가 필요하게 되었다.

○ 가축 매몰지 관리의 법적 근거로는 농림수산식품부의 “가축전염병예방법” 및 이에 근거한 “구제역 긴급행동지침”, “조류인플루엔자 긴급행동지침”과 환경부의 “가축매몰지 환경관리지침”등 이 있다<표 2>. 관련 법·지침들의 매몰 관련 규정을 항목별로 비교하면 <표 3>와 같다.

<표 2> 매몰지 관리 법적근거

관련 규정	소관부처	주요내용	비고
가축전염병 예방법	농림수산 식품부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 농림수산식품부 및 지자체의 책무(제 3조제1항제7호) ○ 살처분 · 소각 · 매몰 등 가축방역에 따른 주변환경의 오염방지 및 사후관리 	2013.03. 개정
구제역 긴급행동지침	농림수산 식품부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 구제역 발생상황별 긴급조치 사항 ○ 위기경보 수준별 유관부처 협조업무 ○ 조류인플루엔자 표준행동요령 <ul style="list-style-type: none"> - 살처분, 사체처리, 소독요령 등 	2012.03. 개정
조류 인플루엔자 긴급행동지침	농림수산 식품부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 조류인플루엔자 발생상황별 긴급조치 사항 ○ 살처분, 소각 및 매몰요령 <ul style="list-style-type: none"> - 살처분 절차, 소각 · 매몰절차, 가축운송요령 등 ○ 구제역 발생지역 내 가축분뇨처리 요령 	2011.12 개정
가축매몰지 환경관리지침 (비법정 지침)	환경부	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매몰지 주변 지하수 수질실태조사, 침출수 · 토양 환경영향조사(300개소) ○ 매몰지로 인한 환경피해 최소화 및 주변 환경영향 조사를 위한 환경관리지침 마련 · 시달 	2012.02 개정 및 명칭 변경

주 : 환경부 소관 근거법이 없는 지침임
2012년 02월 가축매몰지 환경조사지침” 으로 명칭 변경됨

<표 3> 국내 매물 관련규정 비교

규정	가축전염병예방법시행규칙	조류인플루엔자긴급행동지침	구제역 긴급행동지침	가축매몰지 환경관리지침	
입지조건	수원지, 하천, 도로 및 주민이 집단적으로 거주하는 지역에서 30m 이상 떨어진 곳으로서 사람이나 가축의 접근을 제한할 수 있는 곳	-하천·수원지, 도로 등과 30m 이상 떨어진 곳 -매몰지 굴착과정에서 지하수가 나타나지 않는 곳(지하수위로부터 1m이상 이격) -음용 지하수 관정과 75m 이상 떨어진 곳 -도로 및 주민이 집단적으로 거주하는 지역에 인접하지 아니한 곳으로 사람이나 가축의 접근을 제한할 수 있는 곳 -유실, 붕괴 등의 우려가 없는 평탄한 곳 -침수의 우려가 없는 곳 -농장부지 등 매물 대상가축이 발생한 곳으로서 매몰지 선정기준에 적합한 곳 -국가 또는 지방단체 소유 공유지로서 매물 후보지 선정기준에 적합한 곳			-지하수(지하수위와 1m 이상), 하천, 수원지, 집단가옥으로부터 이격(하천, 수원지 등과 30m 이상)한 곳 -살처분 지역 내의 공유지 우선 활용
매물 깊이	약 5.4m	약 5m	약 5m	깊이 5m 바닥폭 4~5m, 상부폭 5~6m이내	
바닥 및 벽면	-바닥과 벽면에 두께 0.2mm이상인 이중비닐 등 불침투성 재료 덮음 -대규모 매몰시 바닥과 측면에 혼합토 도포 추가 -바닥경사 2%이상	-바닥과 측면에 혼합토 도포 후 두께0.1mm이상인 이중비닐 등 불침투성 재료 덮음 -바닥경사 2%이상	-바닥과 측면에 두께 0.2mm이상인 이중비닐 등 불침투성 재료 깔고 부직포, 비닐커버 추가 재료 덮음 또는 HDPE만 덮음 -바닥경사 2%이상	-바닥과 측면에 혼합토 포설, 두께0.1mm이상인 이중비닐, 공간도의 불침투성 차수재질로 설치 -바닥경사 2%이상	
바닥층	비닐로부터 1m 흙, 5cm이상 생석회, 40cm 흙덮기	비닐로부터 1m 흙, 3cm 생석회 투입	비닐로부터 1m 흙 덮되 중간에 5cm 생석회 투입	차수재로부터 1m 흙 투입 하되 중간에 5cm 생석회 투입	
사체층	2m 높이 이하로 사체 투입	2m 높이로 사체 투입	2m 높이로 사체 투입	2m 높이로 사체 투입	
사체층에서 지표까지의 거리	2m 이상				
복토층 및 성토층	사체를 흙으로 40cm 이상 덮은 다음 생석회 5cm도포, 지표까지 복토, 지표에서 1.5m 성토후 생석회 도포	사체를 흙으로 40cm 이상 덮은 다음 생석회 3cm 도포, 지표까지 복토, 지표에서 1.5m 성토후 생석회 도포	사체위에 소독약 살포 후 지표까지 1.5m 이상 복토, 지표에서 1m 이상 성토후 생석회 도포	사체위에 흙 40cm 투입한 다음 생석회 5cm 포설, 지표까지 복토, 지표에서 1.5m 성토후 생석회 포설	
부대시설	가스배출관(20㎡ 당 1개), 배수로, 저류조, 둔덕, 경고표지판, 집중호우시 비닐덮기, 빗물배수로, 집수로, 대규모 매몰시 : 침출수 배출관, 관측정 추가 설치	침출수 배출관 가스배출관(90㎡당 최소5개), 배수로, 저류조, 둔덕, 경고표지판, 집중호우대비 비닐덮기, 빗물배수로, 집수로, 관측정	침출수 배출관, 내부저류조, 가스배출관(20㎡당 1개 이상), 배수로, 외부저류조, 둔덕, 경고표지판, 집중호우대비 비닐덮기, 빗물배수로, 집수로, 관측정	침출수 배출관, 가스배출관(90㎡당 최소5개), 배수로, 저류조, 둔덕, 경고표지판, 집중호우대비 비닐덮기, 빗물배수로, 집수로, 관측정	
지하수위	지하수위를 고려하여 매물 수량 및 매물깊이를 결정	매몰지 선정시 지하수위로부터 1m이상 이격시켜야 함.			
관측정	매몰지 내부와 매몰지 경계에서 외부와의 이격거리 5m이내 인 곳에 깊이 10m 내외로 설치	매몰지 내부는 유공관을 활용하고, 매몰지 경계외부에서 5m이내의 떨어진 지점에 지하수 흐름의 하류 방향에 깊이 10m 내외로 설치	매몰지 내부는 유공관을 활용하고, 매몰지 경계외부에서 5m이내의 떨어진 지점에 지하수 흐름의 하류 방향에 깊이 10m 내외로 설치	매몰지 내부는 유공관을 활용하고, 지하수 흐름의 하류방향 이격거리 5m 이내 각 1개소 이상 설치(침출수 유출 추정 또는 확인의 경우 매몰지 이격거리 40~50m 위치에 추가 설치)	

제 2절. 외국의 기술개발 현황

1. 사축퇴비화 기술

가. 미국

- 광우병 등 응급상황에 따른 사축 발생 및 처리비용 증가로 사축 처리에 대한 연구 개발 필요성이 대두됨에 따라,
 - 버지니아 주의 경우, 지하수오염 방지와 효율적이고 경제적인 처리 조건을 정립하기 위하여 2년간(2004~2005) 3개 농장, 12두의 대가축을 대상으로 톱밥, 옥수수사일리지, 계분 등 부자재 종류 별 실험을 진행함.
 - 아이오와 주의 경우, 닥트 위치와 실험조건을 달리하여 사축퇴비 더미 내에서 발생하는 가스인 VOCs(dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide, pyrimidine) 농도를 모니터링 함.

나. 멕시코

- 광우병 발생으로 인해 사축 처리비용이 증가함에 따라 비용 절감을 위한 대안책 마련이 시급함.
 - 사축을 대상으로 친환경적 기법을 이용하여 퇴비화 할 수 있는 방법을 개발하기 위해 부자재 특징, 퇴비 온도, 부숙 기간에 대한 연구를 수행함. 그 결과, 퇴비화 과정에서 적절한 송풍, 가수(加水), C:N 비가 부숙 기간을 단축시킬 수 있다는 결론을 도출함.

다. 캐나다

- 소가축(조류, 돼지)을 중심으로 이뤄지던 기존의 사축퇴비화 방법을 보완하여 대가축(소)으로 확대 적용할 수 있는 방법을 연구함.
- 볏짚, 톱밥, 나무칩, 해바라기 껍데기 등 다양한 부자재를 대상으로 모니터링을 수행함.

라. 호주

- 기존의 연구를 고찰하는 형식으로 연구가 진행됨.
 - 연구를 적극적으로 진행하고 있지는 않지만 문헌고찰을 통해 사축퇴비화 방법이 병원체 생물을 사멸시키는데 유용하다는 점을 인지함.

2. 사축매몰지 관리 및 관측정 관리 매뉴얼

- “토양·지하수환경 보전사업평가(국회예산정책처, 2012)”는 가축매몰지 사후관리 및 휴·폐광산 환경관리 사업을 중심으로 토양·지하수환경 보전사업의 실태를 파악하고 그 문제점들을 분석한 보고서이다. 다음 국외 사례 내용은 해당 보고서에서 국외 가축 매몰지 사후관리 사업 현황 분석을 위하여 조사한 자료와 추가 조사된 내용들이다.

가. 일본¹⁾

(1) 구제역 발생 일시

2010년에 10년 만에 재발한 구제역 때문에 규슈(九州) 남쪽 미야자키(宮崎)현에서만 소, 돼지 등 약 29만 마리를 살처분했다. 경제적 피해 규모는 2천350억엔(3조1천300억원)에 이르는 등 사상 최대 규모의 피해를 경험했다. 2010년 4월20일 발생 시점으로부터 약 4개월 만인 2010년 8월27일 구제역 종식 선언을 했다.

(2) 가축매몰지 관리

미야자키현 구제역 대책검증위원회가 치밀한 조사와 논의를 거쳐 최근 발표한 <2010년 미야자키현에서 발생한 구제역 대책에 관한 조사보고서>(이하 조사보고서)에 의하면, 중앙 정부가 지역 주민의 반발을 억누르지 못하는 일본의 독특한 사회구조로 인하여 가축매몰지 조성 및 사후관리가 철저한 매뉴얼에 의해 관리된다. 구제역이 전에 없이 대규모로 퍼지면서 ‘초기 용지 확보 실패’로 일본은 구제역 확산에 효과적으로 대응하지 못했다. 하지만 일본은 급하다고 해서 아무데나 가리지 않고 가축을 묻지 않고, 지하수 및 수원의 수질 오염이나 악취 등의 환경 문제를 우려해 지역 주민 등이 동의하지 않을 경우 억지로 묻지 못했다. 비상사태로 중앙정부가 연일 언론의 질타를 받는 와중에도 지방 정부는 주민의 동의를 얻어가며 매몰 작업을 진행하였으며, 모자라는 땅은 지하수 등에 영향을 주지 않는 공유지를 골라 메웠다. 매몰지 주변의 지하수 수질, 토양등의 환경을 지속적으로 모니터링하여 자료를 수집하고 그에 근거한 환경대책을 실시하였다. 대책검증위원회는 향후 대책으로 가축매몰지의 환경을 모니터링한 데이터에 근거해 환경에 미치는 영향이 없는 공유지를 사전에 확보해둘 필요가 있다고 제안하였다. 또한 2000년 구제역 발생 당시 만들어놓은 매뉴얼을 철저히 준수하여 살처분과 매몰 작업을 진행했다.

(3) 가축매몰지 주변 토양·지하수오염

일본은 가축매몰지 위치를 선정함에 있어서 환경적 영향에 대한 철저한 사전조사를 수행하였기 때문에, 구제역의 확산을 초기에 효과적으로 제어하는 데는 어려움이 있었으나 가축매몰지 조성 후 매몰에 의한 환경오염은 거의 보고되지 않았다.

1) 2010년 미야자키현에서 발생한 구제역 대책에 관한 조사보고서

(4) 시사점

일본의 경우는 가축의 살처분과 매립은 가축 소유주의 의무사항이지만, 매립지를 지자체와 국가가 나서서 확보하도록 하고 있다. 일부 가축 소유주가 형평성에 대한 문제를 지적하지만, 공공의 이익의 관점에서 추진하고 있다. 일본의 살처분 후 매립 방법은 매우 꼼꼼하게 규정되어 있어서 매립 진행에 시간이 많이 걸리기도 하였다. 미야자키 사례에서도 5월 하순에 살처분 되지 않은 미처리가축의 수가 69,000마리에 달했다. 이처럼 시간을 들여서 규정에 따라 처리를 하는 것은 이후에 발생할 수 있는 여러 환경적인 문제를 고려했기 때문이라 할 수 있다. 기존에 정해진 방법으로 살처분과 매립을 한다면 이후 큰 문제의 발생이 생기지 않는다는 점을 2010년 사례에서도 보여준 셈이다.

나. 대만²⁾

(1) 가축매몰지 조성 및 관리

대만은 구제역 등에 대처하는 <동물 전염병 방지조례 시행세칙>(動物傳染病防治條例施行細則) 규정에 따라, 가축매몰 시 반드시 수원(水源)과 주택가에서 멀리 떨어진 곳에서 처리하고, 매몰 방식도 개선해 침출수를 근원적으로 차단하고 있다. 시행세칙 3장 방역 제 11조는 가축을 매몰하는 경우 “먼저 바닥을 석회로 깔고 사체 투입 후 다시 석회로 덮고 콘크리트로 막아야 하고 완성 후에는 비석이나 콘크리트 기둥을 세워 매몰 날짜 및 개봉 통제 기간을 명시해야 한다”고 규정하고 있다. 특히, “소각과 매몰은 주택, 마시는 물의 수원(水源) 하류(河流), 도로에서 멀리 떨어지고 동물이 쉽게 접근하지 못 하는 지점을 선택해야만 한다”고 규정하고 있다. 동식물방역검역국은 1997년 이후 한차례 구제역 가축매몰지에서 침출수가 흘러나온 적은 있으나 모두 수원과 주택가에서 멀리 떨어진 곳이어서 침출수가 사회 문제로 된 적은 없다고 말했다.

(2) 소각위주의 감염사체 처리

지난 1997년 구제역으로 엄청난 피해를 입었던 대만은 그 후 매몰보다 소각 위주로 구제역 동물 사체들을 처리해 공해를 대폭 줄이고 있다. 시행세칙 3장 방역 제 11조는 “본 조례 규정에 따라 동물 사체나 물품을 소각 할 때는 소각로에서 해야 하고 그 조작과 배기는 환경보호법령의 규정에 부합해야 한다”고 규정하고 있다. 제11조는 “긴급 필요시에는 야외에서 소각해야 하고, 야외 소각 장소는 소각 목적물의 크기에 따라 적절한 구덩이를 파거나 구축해야 하고, 주변을 적절히 소독해야 하며, 뿜가루만 남게 소각해야 한다”고 규정해 대기, 물, 공기 오염을 최소화 하고 있다. 대만 행정원 농업위원회 동식물방역검역국(動植物防疫檢疫局)은 구제역 동물의 사체 처리 방법은 소각, 매립, 화학적 처리 방법 등이 있지만 대만은 현재 소각을 위주로 하고 있다고 밝혔다.

2) G Life 경기도 정책 정보지, 2011

(3) 구제역 매몰지 관측정 설치 유무 및 시사점

「대만지하수관측망」 문서에 따르면 대만은 1992년부터 2008년까지 17년 동안 지하수 수질을 측정할 수 있는 관측정을 990개 설치하였다. 1986년 서남연해 지반이 심각하게 가라앉아 해수가 관으로 유입되어 인명피해와 재산피해를 입었다. 미국의 Thomas L. Holzer 박사를 초빙하여 조사한 결과 관측장비를 설치하여 자료를 수집하는 시스템을 구축할 것을 제안받고, 「대만지역지하수관측망」을 기획하기 시작했다. 계획은 1990년 행정원에 건의하여, 1992년부터 2008년까지 17년 동안 3기로 나누어 대만 전역의 9대 지하수 구역을 조사하고, 영구적인 성격의 지하수 관측망을 설치하기로 했다. 수문지질시추 517곳, 지하수 관측정 990개, 총 경비 64억 신대만페를 예상하고 시작하였다. 일반적으로 관측망은 3~5km 마다 하나씩 건설됐다. 대만정부는 지하수 관리통제구역에 새로운 우물을 만드는 것을 금지하고 있다. 1993년부터 대만의 환경보호 부서는 지하수의 수질 관측을 위해서 대만성 환경보호처에서 「대만성지하수수질관측지점망」을 건립하였고, 주요 지하수 지역에 431개의 관측정을 설치하였다. 2001년 3월 입법원에서 「토양 및 지하수 오염 관리법」이 통과되었다. 이렇게 지하수와 관련된 지역의 수질 검사를 할 수 있는 시설을 대만 전역에 설치하였기 때문에 살처분 가축의 매장지역에 별도로 관측정을 설치하지 않고도 지하수 수질오염 측정이 가능한 것으로 판단된다. 운림(雲林) 지역을 보면 지하수 관측정이 설치되고 수원으로 관리 받는 지역인데 이 지역에서 구제역이 발생했었다. 즉 이미 관측정이 조밀하게 설치되어 있는 지역에 매장을 했기 때문에 특별히 별도로 관측정을 설치하지 않고도 지하수 수질 오염이나 침출수 검사가 가능한 것으로 보여진다.

다. 영국

(1) 구제역 발생 일시³⁾

영국에서 구제역은 1967년 처음으로 발생하였다. 2001년에 약 2000건의 대규모 구제역이 발생한 후, 강력한 조치와 백신 접종 등으로 한동안 구제역 발생이 억제 되었으나, 2007년 8월에 또다시 구제역이 발생하였다.

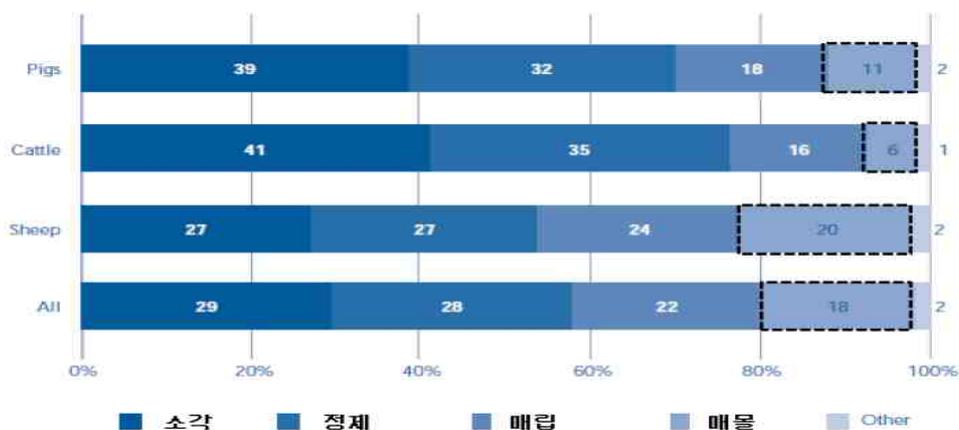
3) Foot and Mouth Disease, 2007; A Review and Lessons Learned, 2008

<표 4> 영국의 구제역 발생 일지

구 분	1967-1968	2001	2007
첫 사례 감지 날짜	1967.10.25.	2001.2.20.	2007.08.03.
마지막 사례 진단 날짜	1968.06.04.	2001.09.30.	2007.09.30.
지속 기간	222일	221일	58일
감염된 부지 수	2,364	2,026	9
정부 지출비용 (단위: £ 1,000)	370,000 (보상금 280,000 포함)	3,000,000 (보상금 1,200,000 포함)	47,000 (Defra, Animal Heath에서)
살처분된 동물 수	442,000	7,000,000	2,160

(2) 2001년 구제역 관련 가축매몰지 관리⁴⁾

영국에서 2001년 구제역이 발생한 기간 동안 약 700만 두의 동물사체가 처리되었다. 영국의 농수산식품부(Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, MAFF)는 수백 개의 가능한 부지에 대한 지리적, 환경적 평가를 통해 총 7개의 지역을 매몰하기에 적절한 곳으로 정했고 동물사체의 약 20%를 다량 매몰(mass burial)법으로 처리하였다. 영국 MAFF는 잉글랜드에 5개, 스코틀랜드에 1개, 웨일스에 1개로 총 7개의 다량 매몰지를 형성하기 위한 부지를 구입, 조성하였고, 다량 매몰지 형성으로 인해 발생 가능한 침출수 등과 같은 환경적 영향에 대한 조치에 많은 비용을 투자했다. Great Orton⁵⁾에서는 지하수 오염조사와 함께 침출수로 인한 지하수 오염을 막기 위한 3마일(약 4.8km)의 지하방벽을 세우는데 약 350만 파운드 (약 64억원)의 비용을 지출하였다.



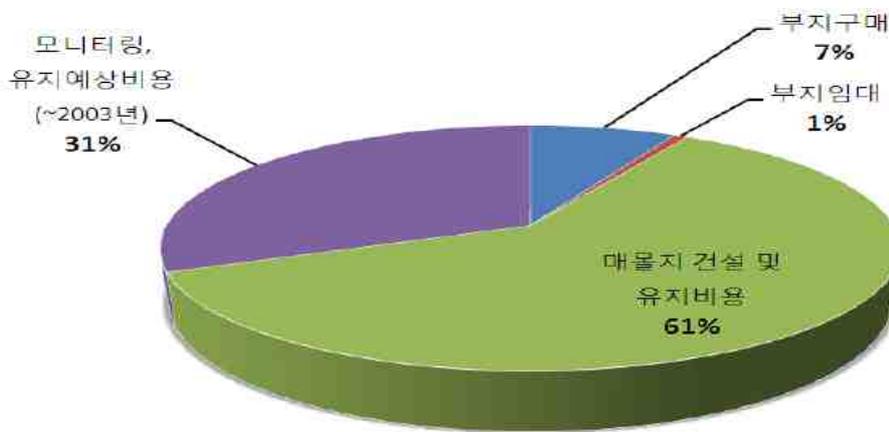
<그림 1> 2001년 영국 구제역 감염가축 처리방법 비율

자료: UK National Audit Office analysis of the Department's data

4) The 2001 Outbreak of Foot and Mouth Disease, 2002

5) Great Orton은 영국 콰브리아(Cumbria) 카운티에 있는 마을이다

매몰지 조성 및 유지에 약 6,910만 파운드(약 1,270억원)를 지출하여 전체 지출비용 1억 1,390만 파운드(약 2,093억원) 중에서 약 61%로 가장 많은 비중을 차지하였다. 조성된 가축 매몰지 침출수 유출 및 지하수오염 모니터링, 매몰지 부지 복원 등에 2003년까지 약 3,530만 파운드(약 649억원)를 지출하여 약 31%를 차지하였다. Wales에 있는 Eppynt 지역의 대규모 매몰지는 매몰지 형성 이전에 그 부지에 대한 지질학적, 환경적 평가를 실시했지만, 너무 짧은 시간에 이루어진 평가는 면밀히 살피기에는 충분하지 않았다. 침출수가 100야드(약 91.4m) 밖 지하수 시추공에서 감지되었고 매몰되었던 동물 사체는 굴착하여 소각해야만 했는데, 이에 약 220만 파운드가 소요되었다⁶⁾. 영국 환경청은 지표수와 지하수 오염의 위험을 최소화하기 위하여 매몰지 선정에 있어서 환경적 영향을 고려하였고, Widdrington 지역을 제외한 매몰지에서 침출수는 수집되어 부지 밖에서 처리되었다. 2001년 9월까지 Throckmorton 매몰지에서 74,000m³(7,400만 리터)의 침출수를 모아서 폐수처리시설에서 처리하였다⁷⁾.



<그림 2> 영국 구제역 가축매몰지 지출비용 구성 비율
 자료: The 2001 Outbreak of Foot and Mouth Disease (2002)

(3) 사후 모니터링

2001년 구제역 발생 이후 영국 보건부(UK Department of Health)는 공중보건, 대기질, 상수원, 먹이사슬(food chain) 등에 중점을 둔 환경적 모니터링 체제의 윤곽을 잡았다. 이런 모니터링 프로그램에서 사용하는 감시방법은 다음과 같다. 공공상수도 공급원과 물기업은 상수원의 미생물학, 화학적 수질 모니터링을 수행하고, 개인 상수원의 모니터링 지침은 화학적, 미생물학적 파라미터에 대한 시험을 포함한다. 침출수는 매립지나 매몰지에서 구성물질의 이동에 대한 모니터링을 통해 관리되는데, 침출수 뿐만 아니라, 가축매몰지 주변의 지하수와 지표수 모니터링을 지속적으로 수행한다. 또한 구제역 동물사체 처리와 관련되어 발생된 것일지 모를 소화계통 감염과 같은 질병도 모니터링된다⁸⁾.

6) The 2001 Outbreak of Foot and Mouth Disease, 2002

7) UK Environment Agency, 2001b

8) UK Environment Agency, 2001

라. 유럽연합(EU)⁹⁾

2001년 영국의 대규모 구제역 파동 발생 후, 유럽에서는 실제 감염되지 않았으나 ‘감염 위험군’으로 분류된 가축에 대한 무차별적 살처분과 사체 처리가 동물 복지, 환경, 이해관계자의 정신건강에까지 광범위하게 영향을 미친다는 지적이 있었다. 영국의 사례를 교훈삼아 유럽연합(EU) 차원에서 관련 제도의 미비점을 보완하였다.

(1) 구제역 발생 일시

2001년 이후에는 각국의 강력한 예방조치로 유럽에서는 구제역이 잊혀진 전염병으로 인식되다가 2007년에 다시 영국에서, 그리고 2011년 불가리아에서 발병 사례가 보고됐으나 조기에 진화되었다. 또 아시아에서 유럽으로 구제역 등 가축 전염병이 전파되는 ‘통로’에 위치한 터키에서도 간헐적으로 구제역 발병 사례가 보고됐으나 대규모 파동으로 비화하지는 않았다.

(2) 감염가축 처리 방법

유럽에서는 소각법과 매몰법이 병행되고 있으며 철저한 사전 준비와 사후 모니터링을 중시하는 시스템을 구축하였다. 사체를 소각하는 과정에서 대기 중 다이옥신 함유량이 크게 늘었다. 일부 지역에서는 매몰지의 침출수 피해 사례도 보고됐는데 현실적으로 대안을 찾기 어려워 대부분 국가가 소각법과 매몰법을 병행하고 있다. 육류 수출이 활발한 유럽에서는 의사 구제역이 확인된 이후 확산을 막기 위한 효과적 조치로 살처분을 선호한다. 구제역에 감염된 가축뿐 아니라 발병지로부터 일정한 반경 안의 소, 돼지, 양 등을 선제적으로 살처분하는 방식은 우리나라와 크게 다를 바 없다.

(3) 가축매몰지 조성 및 관리

단일시장을 구축한 EU는 어느 회원국에서 구제역이 발생하면 EU 집행위원회를 통해 27개국이 이 정보를 공유한다. 집행위는 감염 위험군 가축의 이동을 제한하는 조치를 하고 방역 전문가를 급파해 해당 국가 당국과 긴밀히 협조, 전염병이 확산 하는 것을 막는다. 구제역 발병 시 대응방법은 개별 회원국이 법규와 ‘매뉴얼’을 갖추게 되는데, EU가 제시하는 높은 수준의 기준에 부합하는 동시에 무엇보다도 철저한 사전 준비와 사후 모니터링에 정책의 우선순위를 둔다. 살처분-매몰 시나리오를 가정해 영국, 네덜란드 등 대부분 유럽 국가는 유사시 매몰 예정지 선정에 필요한 지하수 기초조사를 통해 지하수 수문 지도를 작성하고 있다. 지하수 수문지도 등에 근거하여 주요 축산농가 인근에 매몰 예정지를 선정하고, 단계별로 백신 접종이나 살처분에 필요한 인력, 장비를 어떻게 조달해 투입할 것 인지 비상계획을 마련하고 있다. 단일 시장을 구축한 EU는 어느 한 회원국의 부실 대응이 27개 회원국

9) Foot-and-Mouth disease in Europe, Science & Society, 2001

전체에 영향을 미칠 수 있다는 점 때문에 EU공동체 법 집행을 감독하는 집행위와 주변 회원국의 감시로 엄격한 매뉴얼이 시행되고 있다. 매뉴얼에 따라 살처분과 소각, 또는 매몰이 이뤄지고 나서는 지속적이고도 엄밀한 모니터링을 통해 2차, 3차 피해를 예방하는 데 주력하고 있다.

마. 중국¹⁰⁾

구제역 예방 및 전파 방지를 담당하는 주무 부서인 농업부는 주요 구제역 전염 상황이 발생할 때마다 주중 외국 공관에 이를 통보하고 있다. 주중 한국대사관에 따르면 중국에서는 작년 광둥성, 신장자치구, 시짱자치구, 간쑤성 등지에서 12차례 구제역이 발생해 돼지 1만2천 마리, 소 1천500마리가량을 살처분했다. 중국 정부의 구제역 대응 방식은 기본적으로 우리나라와 유사하다. 구제역 발생이 보고되면 발병 지역을 봉쇄한 상태에서 축사 등 관련 시설을 소독하고 감염 또는 감염 의심 가축을 살처분한 뒤 매몰하는 방식이다. 주변 환경에 영향을 덜 미칠 장소를 선정해 구덩이를 파고 석회 등을 뿌린 뒤 살처분한 가축을 묻는 것은 한국과 큰 차이가 없다. 다만, 중국에서는 구제역이 수시로 발생하지만 국지적 전염에 그치고 한꺼번에 살처분 되는 규모도 1만 마리를 넘지 않는다. 2010년 2월 광둥성 광저우시에서 돼지 8천300여 마리가 구제역으로 살처분 된 것이 가장 큰 규모였고 나머지는 수십에서 수백마리 수준으로 알려졌다. 이는 중국이 ‘구제역 수시 발생국’으로 구분돼 있어 돼지, 소, 양 등 구제역 전염 가능성이 있는 가축에 예방 백신 접종을 의무화 했고, 국토가 넓어 지리적으로 구제역이 성(省) 단위를 넘어 전국화되기 쉽지 않기 때문이다.

바. 미국

(1) 버지니아 AI 발생일지¹¹⁾

1983년 조류독감이 발생하여 약 5,700톤의 동물사체 처리하였다. 그 중 15%인 655톤을 위생매립지로 처리했고, 88%는 매몰법으로 처리하였다. 매몰과 매립지에 약 14만 2,000달러의 비용을 사용하였고, 이와 관련된 산업에 총 4천만 달러의 비용이 들었다. 1998년 학교 설립을 위해 부지를 굴착하면서 지하수가 오염된 사실을 발견하여, 가축매몰지 관련 중장기적인 지하수오염의 문제에 인식이 고조되면서 이후 가축처리방법과 매몰지 관리 및 모니터링 방법에 큰 영향을 주었다. 주 당국에서는 가축매몰지에 대한 엄격한 기준을 세웠는데 그 기준에는 가축매몰지 조성 시 위생매립법(compact clay liner) 사용, 지속적인 지하수 모니터링 등을 포함하고 있다. 2002년에는 약 13,100톤의 가금류를 매립지에 처리하였는데, Harrisonburg에서 160 마일 이상 떨어진 곳에 위치한 매립지 두 곳에 7,900톤을 매립하였

10) G Life 경기도 정책 정보지, 2011

11) Lesson Learned From Avian Influenza Outbreak in Virginia 1983 and 2002; Disposal of Domestic Birds Infected by Avian Influenza - An Overview of Considerations and Options, USEPA (2006)

다. 1983-1984년의 AI발생 때보다 대중들이 환경문제에 대해 더 많은 우려를 나타내었다. 고체폐기물 허가 규정이 개정되어 환경적 영향을 저감하는 방안을 포함하게 되었다.

<표 5> 2002년도 조류독감 감염 가금류 처리방법 현황

처리방법	가금류 수	비율
퇴비화(Composting)	43,000	0.9
소각(Incineration)	641,000	13.4
매립(Landfilling)	3,103,000	65.5
통제 도살(Controlled Slaughter)	943,000	19.9
현지 매몰(On-Site burial)	15,000	0.3
Total	4,745,000	100.0

* 자료: Lessons Learned From Avian Influenza Outbreaks in Virginia 1983 and 2002

(2) 가축매몰지 조성 및 관리

미국 정부는 현지 매몰이 수행될 경우 지표수나 지하수에 대한 모니터링을 반드시 고려하도록 하고 있다. 현지 매몰(on-site burial)은 이동이 없어서 신속한 수단으로써 수행되어 질 수 있으나, 동물사체가 부패하면서 나오는 오염물질(특히, 질소계 오염물질)이나 바이러스에 의해 지하수, 지표수가 오염될 가능성이 있기 때문이다. 따라서 매몰지와 관련하여 의사결정을 할 때에는 다음과 같은 의무가 있다. 첫째, 토양지도와 배수정보를 얻기 위해 미국 연방의 농무부(Natural Resources Conservation Service; NRCS)와 주의 고형폐기물국(Solid Waste Agencies)과 협의하고, 일부 지방 NRCS 사무소는 토양지도 단위로 “동물의 사체 매몰”의 적합성에 대한 목록을 관리한다. 둘째, 조류독감 바이러스가 지하수가 이동하는 동안 영향을 주지 않도록 매몰지역에서 지하수 관정, 지표수까지 충분한 거리를 이격시킨다. 충분한 거리는 부지별 수리지질학적 특성을 고려해야할 필요가 있다. 셋째, 지하수가 용해된 고체와 암모니아와 같은 오염물에 의해 오염되지 않도록 한다. 부지의 토양 형태, 지하수 수면 위치 등의 수리지질학적 특성이 반드시 고려되어야 한다. 농무부는 동물사체를 지하수층에서 10피트(ft)¹²⁾내에 묻지 않을 것을 권고하고, 부지의 수리지질학적 특성이 적합하지 않는 곳에선 위생매립(liner system)을 사용하는 것이 고려되어질 수 있다. 넷째, 매몰 후 지표로 동물사체가 드러날 잠재가능성을 평가한다. 다섯째, 생산자가 부지를 가지고 있지 않은 경우 부지주인이 매몰에 대한 수락여부를 결정하도록 부지주인과 상담한다¹³⁾.

사. 외국 사례의 시사점

“토양·지하수환경 보전사업평가(국회예산정책처, 2012)”에서는 국외 가축 매몰지 사후관리 사업 현황 분석 후 다음과 같은 5가지 시사점을 제시하였다.

12) 약 3m 정도 된다.

13) U.S. Environmental Protection Agency, 2006

- 사전예방적 차원의 가축매몰지 선정의 중요성
- 중장기적인 환경오염 감지를 위한 지속적인 지하수, 지표수 모니터링의 필요성,
- 가축매몰지 등의 지하수·토양오염 부지의 복원 및 재이용을 위한 법·제도적 기반 마련의 필요성,
- 가축매몰지 관리 관련 정부부처간 효율적 협조체제 구축의 필요성
- 다양한 처리방법 강구의 필요성

(1) 사전예방적 차원의 가축매몰지 선정 중요

향후 구제역뿐만 아니라 조류독감 등의 발생가능성에 대비하여 가축매몰지 조성이 필요한 경우, 그에 따른 환경오염의 피해를 최소화하는 가축매몰지 예정지를 선정, 그 목록을 구축하여 준비할 필요가 있다. 이를 활용하면 유사시 감염확대 방지와 함께 환경오염을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 유럽의 경우 영국의 2001년 대규모 구제역발생을 교훈삼아 이에 대한 철저한 사전준비를 통해 불가리아 등 이후 구제역 발생국에서 구제역확산을 초기에 성공적으로 방지했을 뿐만 아니라, 가축매몰지 조성에 따른 환경오염도 줄일 수 있었다. 사전 예방적 차원에서 가축매몰지를 선정하기 위해서 수행해야할 과제는 다음과 같이 제안할 수 있다. 첫째, 지하수계에 대한 수리지질학적 기초조사의 수행이 필요하다. 일반적으로 수리지질학적 기초조사는 현재 개발 및 이용계획이 있는 지역 또는 지하수오염 등이 확인된 지역을 위주로 수행되고 있으나, 가축매몰지 선정을 위해서는 비거주지역 또는 개발가능성이 적은 지역 등에 대해서도 수리지질학적 기초조사를 수행, 기초자료를 구축할 필요가 있다. 둘째, 축산농가 주변에 대한 지하수계의 수리지질학적 정밀조사를 수행할 필요가 있다. 구제역 발생 시 감염확산 방지를 막기 위해 현지 매몰(on-site burial)을 하는 경우가 많은데, 이 경우를 대비하여 기존 축산농가 주변의 수리지질학적 정밀조사를 수행하여 사전 자료를 구축할 필요가 있다. 특히, 축산농가 주변의 지하수는 축산분뇨, 비료 등으로 인해 이미 오염되어 있을 가능성이 높기 때문에 가축매몰지 조성 후 침출수에 의한 오염여부 등을 판단하기 위해서도 사전에 주변 지하수 관정의 수질검사를 수행하여 그에 대한 자료를 확보해야 한다. 셋째, 가축매몰 예정지 목록을 구축해야 한다. 위에서 말한 사전 수리지질학적 기초조사 결과를 토대로 가축매몰지 활용가능성을 평가하고 이에 기반한 가축매몰지 예정지 목록을 구축해야 한다. 일본 사례에서도 매몰지를 조성할 때 철저한 환경영향 평가를 수행하고, 환경 오염에 민감한 지역주민들의 특성을 감안하여 지속적으로 환경오염에 대한 모니터링을 실시하는 것이 중요함을 볼 수 있다.

(2) 중장기적인 환경오염 감지를 위한 지속적인 지하수, 지표수 모니터링 필요

미국의 버지니아 AI사례에서 매몰 후 약 15년이 경과한 1998년에 학교설립을 위해 부지를 굴착하면서 지하수가 오염된 사실이 발견되었다. 따라서 중장기적으로 잠재가능성과 이동성이 있는 지하수 오염의 특성을 고려하여 가축매몰지 주변의 지하수에 대하여 지속적인

모니터링을 수행하여야 한다. 매몰지 위치에 따라 인근 하천으로의 유출 가능성이 있는 곳은 지하뿐만 아니라, 지표수 수질 모니터링 또한 반드시 수행하여야 한다.

(3) 가축매몰지 등의 지하수·토양오염 부지의 복원 및 재이용을 위한 법·제도적 기반 마련 필요

국토 면적이 작은 우리나라의 경우, 가축매몰지로 인해 오염된 부지의 복원은 매우 중요하다. 우리나라처럼 국토 면적이 작으면서 인구가 많은 토지집약적 나라의 경우, 오염부지의 재활용은 필수적이다. 우리나라보다 국토가 넓은 영국의 경우도, 가축매몰지 복원 및 재이용에 대한 제도적 기반을 마련하는 데에 많은 비용을 투자하여 대책을 마련하였다. 우리나라는 현재 오염부지 복원기술 개발에 대한 R&D연구에 향후 5년간 100억원을 투자하고 있는 반면, 지하수오염, 토양오염 복원에 관련된 법·제도적 기반도 미흡할 뿐만 아니라, 재이용에 관련된 제도 개발에 관한 연구도 거의 없다. R&D 연구 결과 개발된 기술을 실효성있게 반영하여 활용하기 위해서는 이를 이끌어줄 수 있는 법·제도적 연구에 대한 투자와 노력은 필수적이다.

(4) 가축매몰지 관리 관련 정부부처간 효율적 협조체제 구축 필요

영국의 경우 2001년 구제역 당시 농림수산식품부, 환경청 등이 분리되어 역할 분담이 모호하였고, 그로 인해 조속한 초기대응에 실패하여 국가적으로 큰 손해를 입었다. 그 이후, 영국은 농림수산식품부와 환경청을 통합한 환경식품농무부(DEFRA¹⁴)를 만들어 그 이후 2007년 발생했던 구제역에 성공적으로 대응할 수 있었다. 우리나라는 2010년 구제역 발생 후 중앙정부주도하에 농림수산식품부, 환경부, 행안부등 관련 인력과 전문가 등으로 이루어진 중앙재난대책본부를 구성하여 신속한 대처를 수행하였으나, 2011년 4월 이후 구제역이 잠잠해진 뒤, 가축매몰지의 사후관리에 대한 업무에 대해서는 부처 간 업무분담이 모호하다. 2012년 2월 환경부와 농림수산식품부가 각자의 업무분담을 명확히 했다고 하나, 가축매몰지 환경관리 업무의 특성상 차단방역과 환경관리 업무를 명확히 분리하기 어려운 점을 고려하면 향후 가축매몰지를 효율적으로 관리할 수 있는 관련부처간 효율적 협조체제로 보기는 어렵다.

(5) 다양한 처리방법 강구 필요

앞에서 언급한 바와 같이 살처분된 가축을 현지에 매몰하는 방법은 지하수, 지표수의 오염을 유발할 가능성이 있으므로 소각, 매립 등 다양한 처리방법을 고려할 필요가 있다. 외국 사례를 보면, 영국은 매몰에 의한 처리가 20%를 넘지 않고, 미국의 경우도 1983년 AI 발생 시에는 88%를 매몰법으로 처리하였으나 2002년에는 0.3%만을 매몰한 것으로 나타났으며, 중국을 제외하고는 소각, 매립 등 다양한 처리방법을 병행하고 있다.

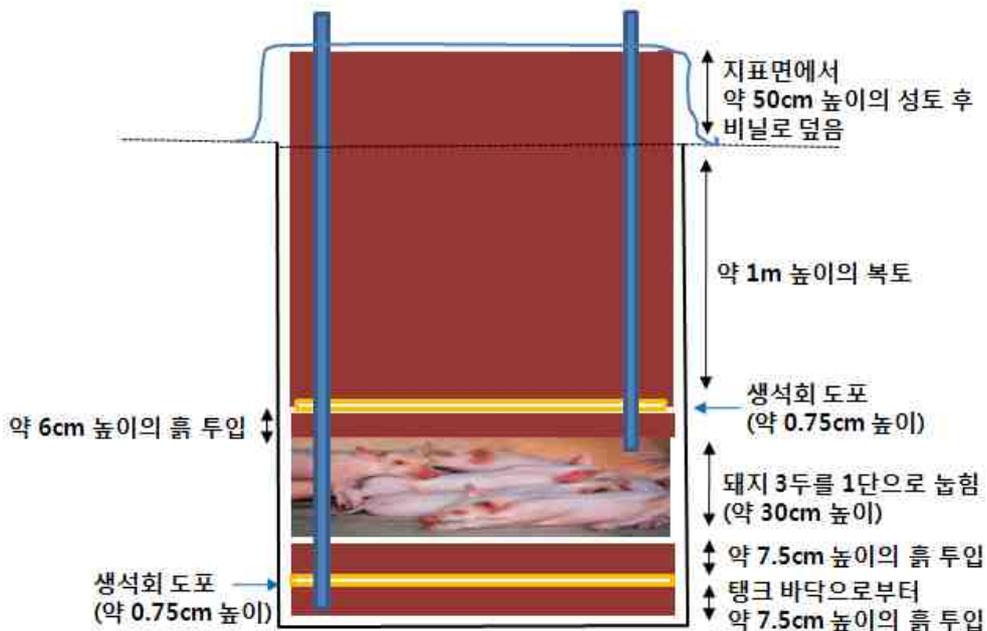
14) 'Department of Environment, Food and Rural Affairs'의 약자이다.

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

제 1절. 매몰지 발굴사축 퇴비화 기술의 안정성 분석

1. 시험대상 사축매몰지 설치현황

- 매몰지 발굴사축 퇴비화기술을 개발하기 위하여 국립축산과학원 내 시험연구용으로 설치된 Pilot 규모에서 발굴된 사축을 이용하였다. 기 설치된 Pilot 규모의 매몰지에는 체중 100kg 전후의 비육돈이 3두씩 15반복으로 45두가 매몰되어 있었으며, 사축 매몰지 설치기준 SOP에 따라 Pilot 규모로 설치되었다. 사축 매몰층 모식도는 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 기 설치된 돼지 사축 매몰지 모식도

- Pilot 규모의 사축 매몰지 설치과정은 <그림 4>와 같다. 먼저 매몰 대상지를 선정하여 굴착기를 이용하여 굴토작업을 하고 처리구별로 사축을 매몰할 FRP 재질의 통을 배치하고 바닥에 7.5cm 정도 흙을 깔고, 0.75cm 정도 생석회를 도포한 후 다시 7.5cm 정도로 흙을 다시 깔아준다. 여기에 100kg 전후의 비육돈 3두를 1단으로 놓는다. 이때 사축의 분해율을 조사하기 위해 각각 가로, 세로 각 3cm 정도의 철망을 이용하여 사축을 둘러 싼다. 비육돈 3두씩 배치가 끝나면 사축 및 주위온도를 측정하기 위하여 온도센서를 설치하고 사축 위에 약 6.0cm 정도의 흙을 덮고, 생석회를 0.75cm 정도 도포한 후 1.0m 정도 흙을 복토하고, 지표면에서 약 50cm 높이로 성토를 한 후에 방수용 비닐을 덮는다.



① 굴토작업



② 처리구별 배치



③ 바닥흙, 생석회 깔기



④ 사축매물



⑤ 온도센서 설치



⑥ 흙덮기, 생석회 깔기



⑦ 흙덮기

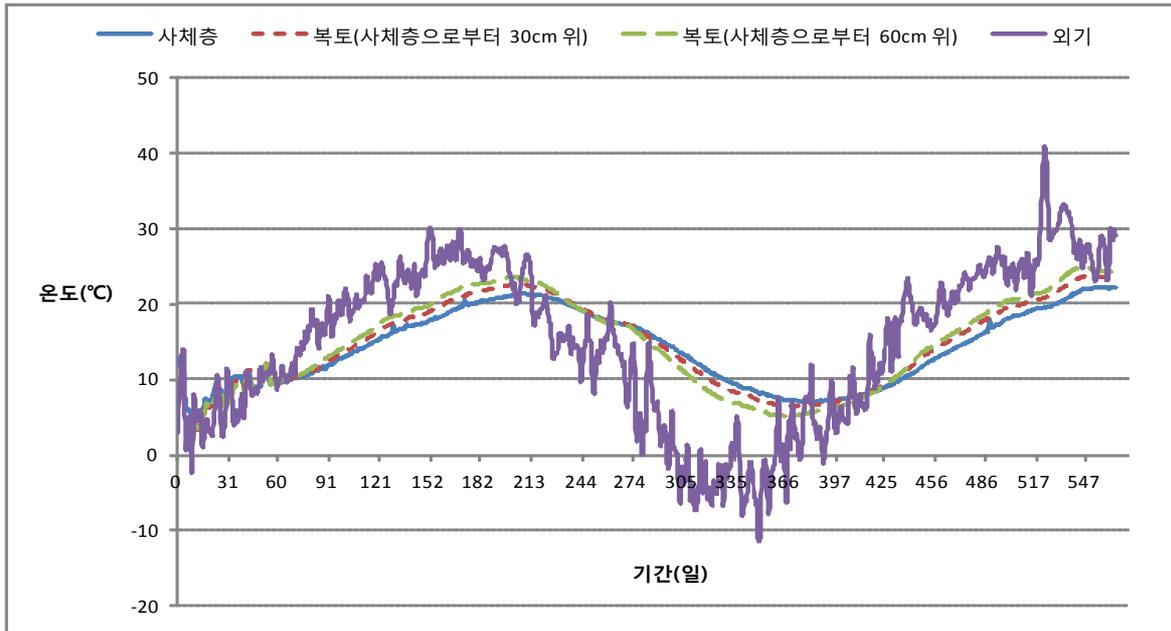


⑧ 매몰지 완성

<그림 4> Pilot 규모의 사축 매몰지 설치과정

○ Pilot 규모의 사축 매몰지 설치 후 2011년 2월 19일부터 2012년 9월 4일까지 565일간 매몰된 돼지 사축과 사축층 위 30cm, 60cm 정도 높이에서 온도 변화를 비교해 본 결과, 겨울철에는 사축의 온도가 4.7~10℃ 내외로 조사되었으며, 사축층 위 30cm, 60cm에서는 사축의 온도보다 2~3℃가 더 낮게 조사되었다. 여름철에는 사축의 온도가 17~20℃ 내외로 조사되었으며, 사축층 위 30cm, 60cm에서는 사축의 온도보다 1~3℃가 더 높게 조사되었다. 같은 시기의 외기 온도는 겨울철에 -11~4℃ 내외로 조사되었으며, 여름철에는 23~33℃ 내외로 조사되었다. 따라서 사축매몰지 내 평균 온도는 겨울철에는 5℃ 내외, 여름

철에는 20℃ 내외로서 사축주변의 온도가 일정하게 유지되고 있는 것으로 나타났으며, 사축도 온도변화에 따라 서서히 분해되는 것으로 추정되었다.



<그림 5> Pilot 규모의 사축 매몰지 온도변화

2. 매몰지 발굴사축 퇴비화기술 개발

가. 재료 및 방법

○ 공시재료 및 처리방법

- 공시축 : 매몰지 발굴 사축 12두
- 공시 퇴비부자재 : 왕겨갈짚우분, 톱밥갈짚우분
- 처리구 : 2처리×3반복×2두
- 사축 퇴비화 Pilot 시설 제작 및 설치
 - 사체 투입용기 : 자연통풍을 감안하여 철망으로 제작
 - 사체 투입용기 규격 : 가로, 세로 2cm 철망, 직경 1.2, 높이 1.2m 원통형으로 제작
 - 조사용 투명천막 설치 : 가로, 세로, 높이 각 2m 규격으로 설치

○ 매몰 사축 퇴비화 실증시험구 설치준비

- 설치장소 : 국립축산과학원 시험지내
- 설치면적 : 144m² (가로 24m × 세로 6m)
- 조사용 컨테이너 설치 : Data 분석 및 조사
- 처리구별 온도센서, 흡기·배기 시스템 등 설치



<매몰사축 발굴>



<사축분리 작업>



<사축분리>



<흙 등 이물질 분리 사축>



<사축발굽 형태>



<사축피부, 지방, 근육모습>

<그림 6> 매몰지 사축발굴 및 분리작업 과정



<원통형 철망>



<갈짚우사 퇴비갈기>



<처리구별 사축넣기>



<갈짚우사 퇴비덧기>



<조사용 투명천막 설치>



<온도센서 설치>

<그림 7> 사축퇴비화 시험구별 처리

○ 매몰사축 퇴비화 실증시험

- 실증시험 기간 : 2012. 6. 21 ~ 2013. 2. 26(250일간)
- 주요 조사항목 : 퇴비화 기간 중 퇴비단 온도변화, 높이 및 무게변화, 악취농도 변화, 수분 함량 및 VS함량 변화, 산소농도 변화 및 매몰사축 분해율 등

나. 결과 및 고찰

(1) 매물사축 퇴비화 부자재 물리화학적 성상 분석

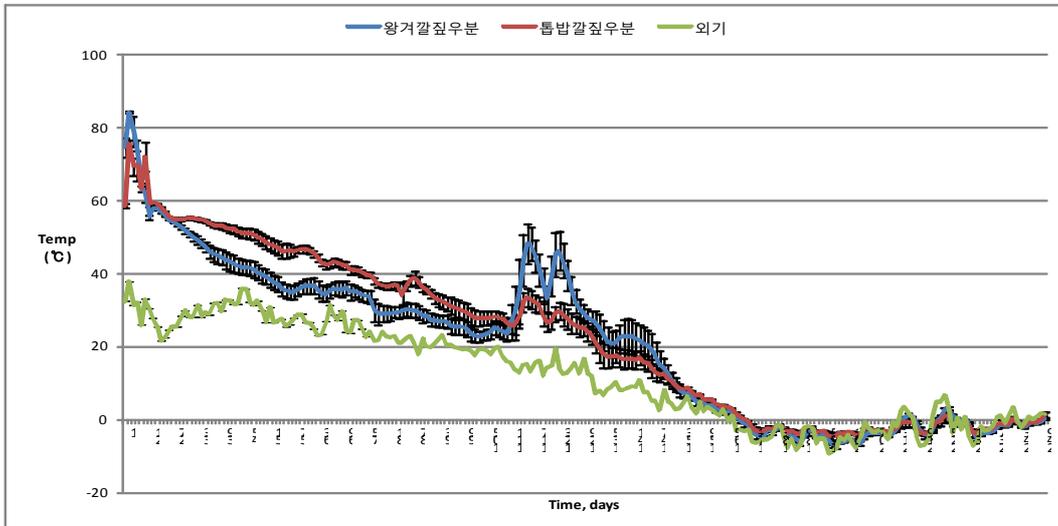
○ 매물사축 퇴비화 부자재인 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분의 초기 성상을 조사한 결과, 수분 함량은 왕겨갈짚우분 50.5%, 톱밥갈짚우분은 68.1%로 톱밥갈짚우분의 수분이 높았는데 이는 왕겨보다 톱밥의 수분 흡수율이 높았기 때문인 것으로 판단되며, N, P, K 함량은 비슷한 경향을 나타냈다. VS 함량은 각각 77.6, 89.7% 였고, C/N비는 각각 16.7, 21.0 수준으로 톱밥갈짚우분이 높았다.

<표 6> 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분의 성상 비교

구 분	수분 (%)	N (%)	P (%)	K (mg/L)	VS (%)	C (%)	C/N ratio
왕겨갈짚우분	50.5	2.33	0.17	3,669	77.6	38.7	16.7
톱밥갈짚우분	68.1	2.12	0.14	3,926	89.7	44.4	21.0

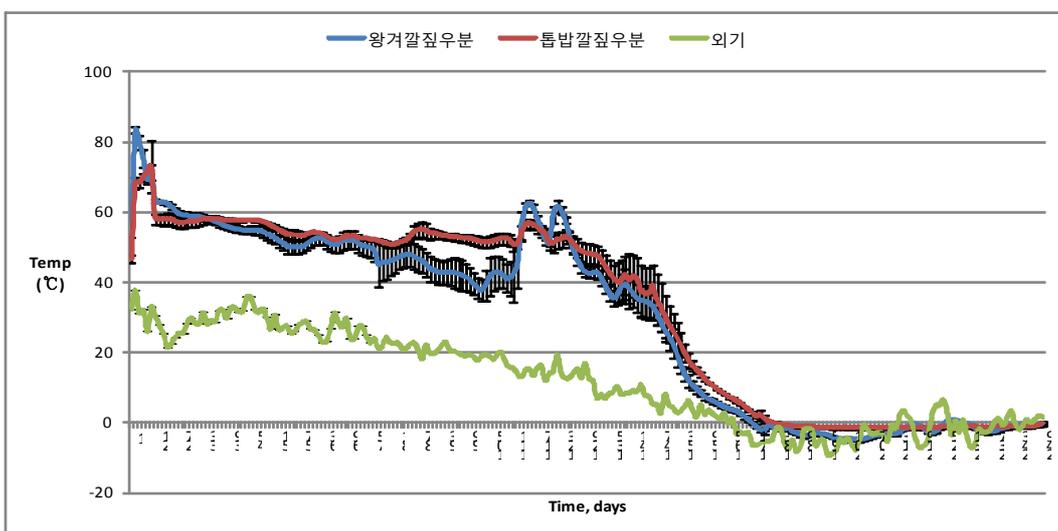
(2) 매물사축 퇴비화 중 온도변화

○ 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분을 이용한 매물사축 퇴비화 처리구의 상층부 온도변화를 보면 왕겨갈짚우분 처리구의 경우, 초기 퇴비화 진행 1주일간 발효온도가 74~84℃로 높게 나타났으며, 32일째까지 50℃ 이상을 유지하였다. 33일째부터 77일째까지는 온도가 서서히 하강하여 30~49℃로 나타났으며, 이후에는 22~29℃를 유지하다가 152일째에는 9.6℃까지 내려갔으며, 이때에는 퇴비화가 이루어지지 않는 것으로 추정되었으며 250일째에는 0.2℃를 나타내었다. 톱밥갈짚우분 처리구의 경우, 초기 퇴비화 진행 1주일간 발효온도가 58~75℃로 왕겨갈짚우분 처리구보다 낮았으나, 퇴비화가 진행되는 데에는 이상이 없었으며, 48일째까지 50℃ 이상을 유지하여 왕겨갈짚우분 처리구보다 더 오랜 동안 퇴비화가 지속되는 것으로 나타났다. 또한 49일째부터 98일째까지는 온도가 서서히 하강하여 30~49℃로 나타났으며, 이후에는 왕겨톱밥우분 처리구와 비슷한 결과를 나타냈다. 따라서 초기 1주일간의 퇴비화 온도는 왕겨갈짚우분 처리구가 높았지만, 퇴비화 지속시간은 톱밥갈짚우분 처리구가 더 긴 것으로 나타났다.



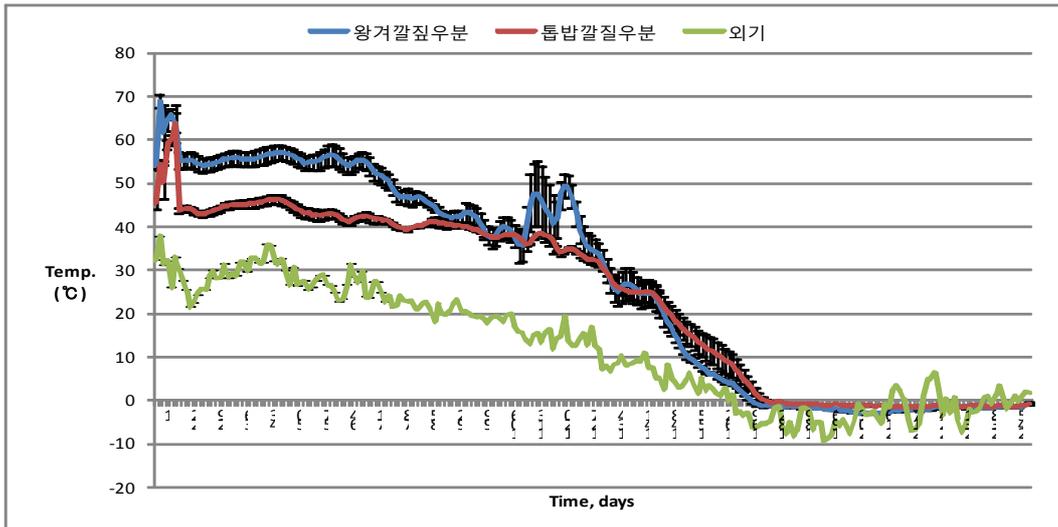
<그림 8> 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분 사축퇴비화 상층부 온도변화

- 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분을 이용한 매물사축 퇴비화 처리구의 중층부 온도변화를 보면 왕겨갈짚우분 처리구의 경우, 초기 퇴비화 진행 1주일간 발효온도가 58~83°C로 높게 나타났으며, 74일째까지 50°C 이상을 유지하여 상층부보다 더 길게 나타났다. 30~49°C의 온도도 147일째까지 유지되는 것으로 나타났다. 이는 중간층에 매물사축이 퇴비화 과정을 거치면서 온도가 유지되는 기간이 더 길었던 것으로 추정된다. 톱밥갈짚우분 처리구의 경우에도, 초기 퇴비화 진행 1주일간 발효온도가 46~68°C로 왕겨갈짚우분 처리구보다 낮았으나, 126일째까지 50°C 이상을 유지하여 왕겨갈짚우분 처리구보다 더 오랜 동안 퇴비화가 지속되는 것으로 나타났다. 또한 127일째부터 149일째까지는 온도가 30~49°C로 나타났으며, 이후에는 왕겨톱밥우분 처리구와 비슷한 결과를 나타냈다.



<그림 9> 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분 사축퇴비화 중층부 온도변화

- 왕겨깔짚우분 및 톱밥깔짚우분을 이용한 매물사축 퇴비화 처리구의 하층부 온도변화는, 왕겨깔짚우분 처리구가 초기 퇴비화 진행 1주일간 발효온도가 54~61℃로 상층부, 중층부보다 낮게 나타났으며, 50℃ 이상을 유지하는 기간이 76일로 중층부 온도변화와 비슷한 경향을 나타냈고 30~49℃의 온도도 133일까지 유지되는 것으로 나타났다. 톱밥깔짚우분 처리구의 경우에는, 초기 1주일간 발효온도가 45~54℃로 왕겨깔짚우분 처리구에 비해 낮았으며 퇴비화가 진행되는 동안에도 발효온도가 비교적 낮은 것으로 나타났다.



<그림 10> 왕겨깔짚우분 및 톱밥깔짚우분 사축퇴비화 하층부 온도변화

- 퇴비화 과정의 온도는 발열에 의한 병원균 사멸에 매우 중요한 역할을 있으며, 병원균 사멸을 위해서는 55℃에서 3일 이상을 유지해야 한다고 하였다(Fulhage, 1992). 본 시험의 결과에서도 왕겨깔짚우분 및 톱밥깔짚우분 처리구에서 55℃ 이상 유지되는 기간이 길었기 때문에 사축퇴비화 기간 동안 유해 병원성 미생물의 사멸 효과가 있는 것으로 추정된다.

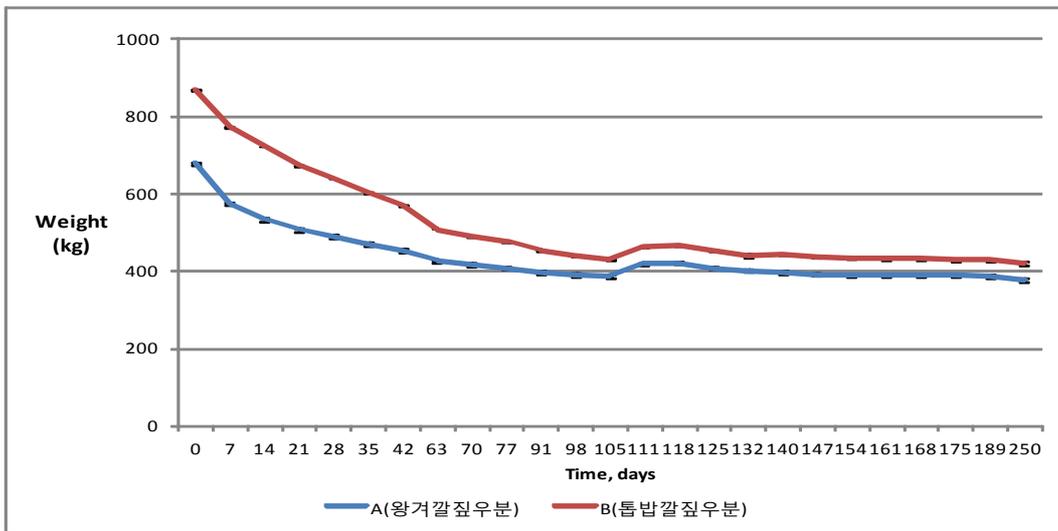


병원균	사멸조건 (온도 및 시간)
대장균	60℃, 20분
살모넬라균	56℃, 60분
포도상구균	50℃, 10분
크립토프스포르지움	55℃, 5분
잡초 종자	60℃, 48시간

<그림 11> 깔짚우분 퇴비화 처리 및 병원균 사멸조건

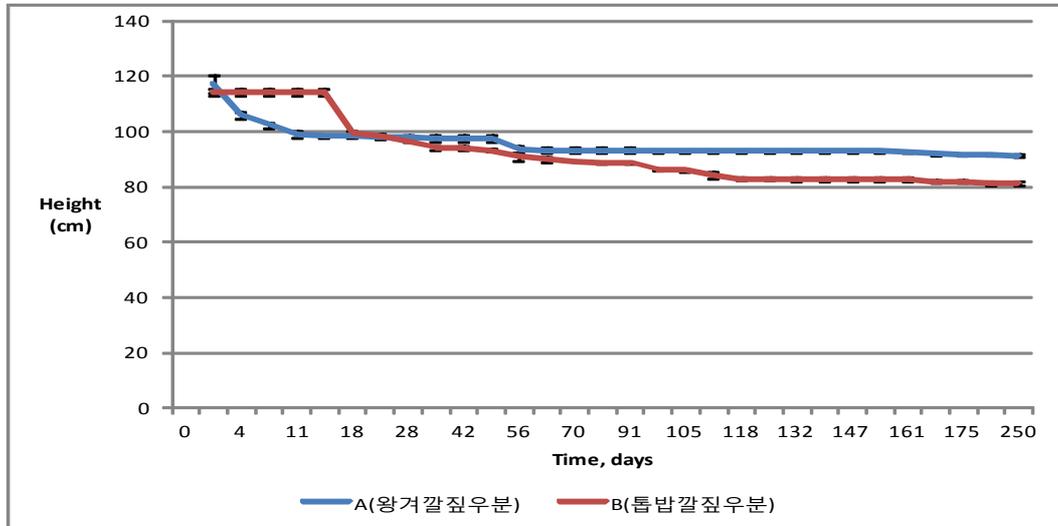
(3) 매몰사축 퇴비화 중 무게 및 퇴비단 높이 변화

○ 매몰사축 퇴비화 과정 중 무게변화를 조사한 결과, 왕겨깎짚우분 처리구의 경우, 초기에는 3반복의 평균 무게가 679kg을 나타냈으며 발효온도가 50℃ 이상으로 분해과정이 왕성했던 것으로 추정되는 77일째까지의 무게가 409kg으로 40% 정도 감소되었고, 이후에는 서서히 감소하여 시험이 종료된 250일째에는 377kg으로 45% 정도 감소된 것으로 나타났다. 톱밥깎짚우분 처리구는 초기에는 3반복의 평균 무게가 868kg을 나타냈으며 발효온도가 50℃ 이상으로 분해과정이 왕성했던 것으로 추정되는 125일째까지의 무게가 455kg으로 48% 정도 감소되었고, 이후에는 왕겨깎짚우분 처리구와 마찬가지로 서서히 감소하여 시험이 종료된 250일째에는 420kg으로 52% 정도 감소된 것으로 나타나 톱밥깎짚우분 처리구가 약간 더 감소되는 것으로 나타났다.



<그림 12> 왕겨깎짚우분과 톱밥깎짚우분 퇴비화시 무게 변화

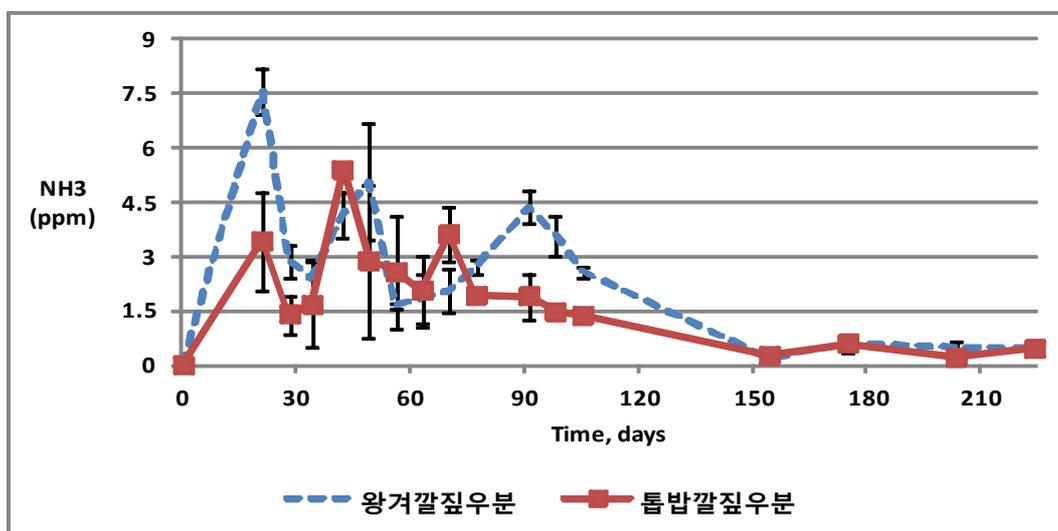
○ 매몰사축 퇴비화 과정 중 퇴비단의 높이 변화를 조사한 결과, 왕겨깎짚우분 처리구의 경우, 초기에는 3반복의 평균 높이가 117cm로 조사되었으며 발효온도가 30℃ 이상으로 유지가 됐던 147일째의 퇴비단 높이는 93cm로 약 24cm 감소하였으며, 이후 서서히 감소하여 시험이 종료된 250일째에는 91cm로 전체의 높이는 26cm 감소된 것으로 나타났다. 톱밥깎짚우분 처리구는 초기에는 3반복의 평균 높이가 114cm 였으며 발효온도가 30℃ 이상으로 유지되었던 149일째까지의 높이는 83cm로 약 31cm 정도 감소하였으며 시험이 종료된 250일째에는 81cm로 전체 퇴비단 높이가 33cm 정도 감소한 것으로 나타나 퇴비단 높이도 톱밥깎짚우분 처리구가 약간 더 감소되는 것으로 나타났다.



<그림 13> 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분 퇴비화시 높이 변화

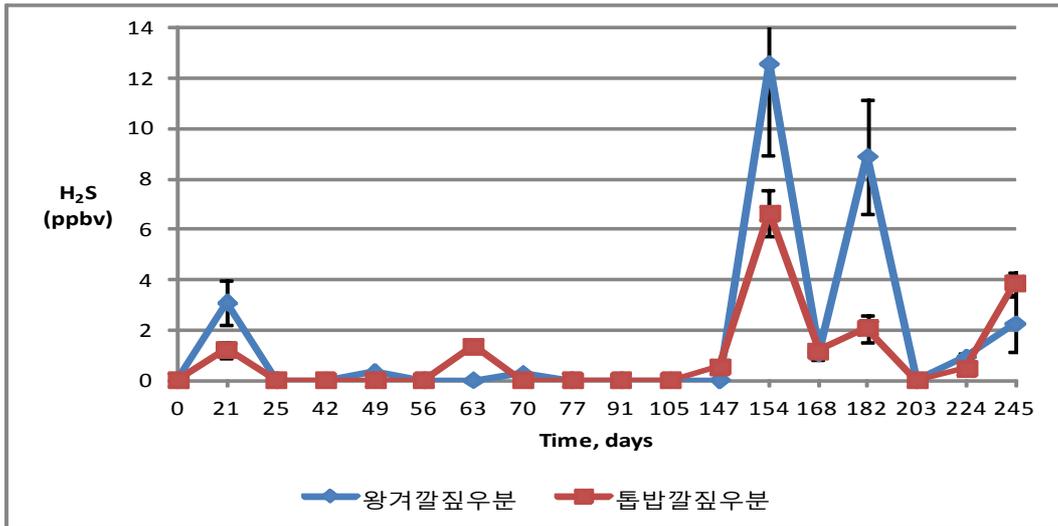
(4) 매물사축 퇴비화 중 악취농도 변화

○ 매물사축 퇴비화 과정 중 발생하는 악취농도를 알기 위해 측정한 암모니아(NH_3) 농도는 왕겨갈짚우분을 퇴비단으로 이용한 경우 21일째까지는 7.55ppm 발생하였고 이후에는 점차 감소하여 시험 종료시점인 224일째에는 0.43ppm 정도 발생하였다. 톱밥갈짚우분을 퇴비단으로 이용한 경우에는 21일째까지 3.44ppm이 발생하여 왕겨갈짚우분을 퇴비단으로 이용했을 때 보다 비교적 적게 발생하는 것으로 나타났으며 종료시점인 224일째에는 0.46ppm 정도 발생하여 왕겨갈짚우분과 비슷한 경향을 나타냈다. 따라서 모든 처리구에서 초기에는 암모니아 농도가 높았으나 퇴비화가 진행될수록 점차 낮아지는 것으로 나타났다.



<그림 14> 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분 퇴비화시 암모니아 농도 비교

- 매물사축 퇴비화 과정 중 발생하는 황화수소(H_2S) 농도는 왕겨갈짚우분, 톱밥갈짚우분 처리구 모두 147일째까지는 농도가 낮거나 검출이 되지 않았으나, 이후에는 농도가 6.6~12.6ppb로 갑자기 증가하는 것으로 나타났으며, 점차 감소하여 시험 종료시점에는 농도가 아주 낮거나 검출이 되지 않았다.



<그림 15> 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분 퇴비화시 황화수소 농도 비교

- 매물사축 퇴비화 중 악취농도 변화를 조사하기 위하여 각각의 처리구에 가로, 세로, 높이 2m의 텐트를 설치하여 퇴비단에서 발생하는 악취농도를 측정하였다.

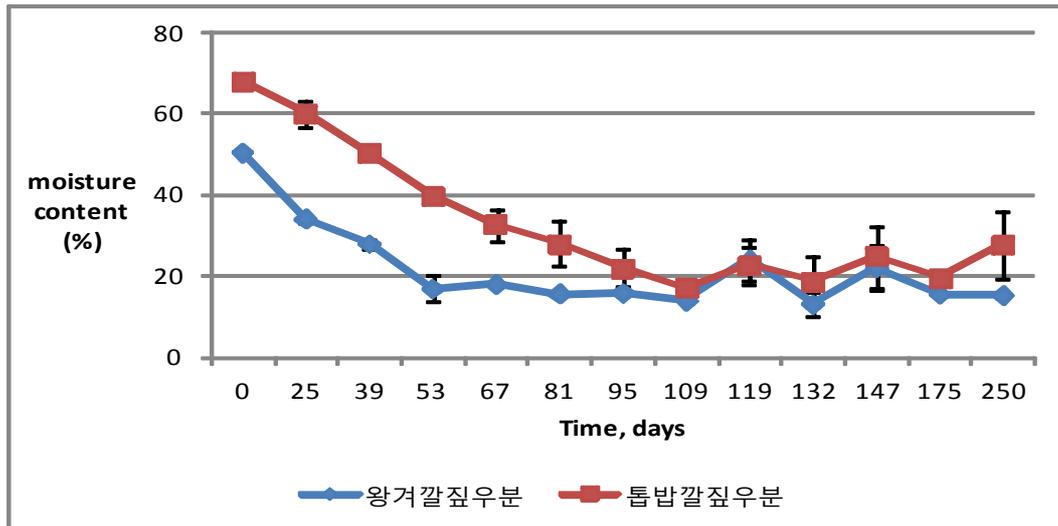


<그림 16> 악취농도 측정용 텐트 설치

(5) 매물사축 퇴비화 중 수분함량 변화

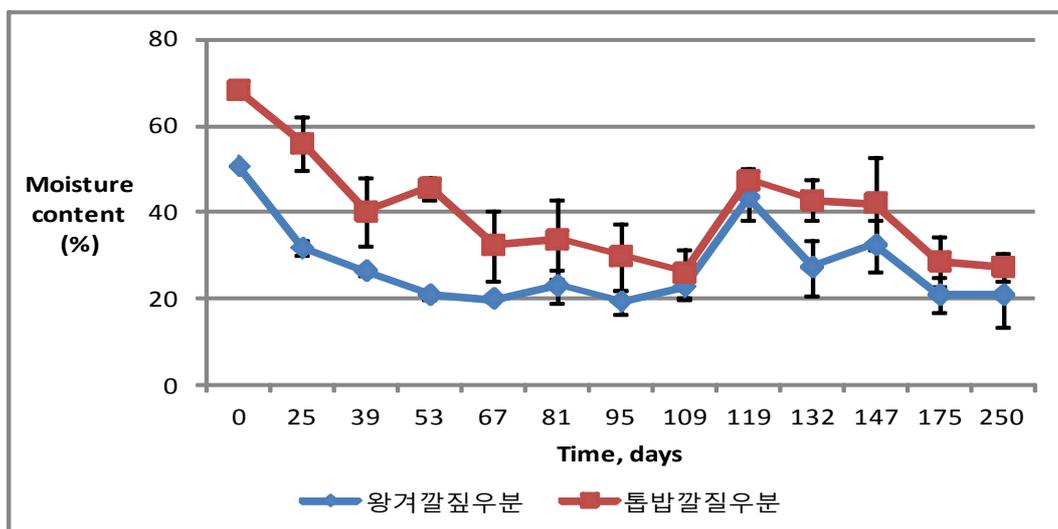
- 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분을 이용한 매물사축 퇴비화 처리구의 상층부 수분함량 변화는 왕겨갈짚우분 처리구의 경우, 초기 수분함량은 50.5%였으며 퇴비화가 진행되는 동안 발효온도가 높게 올라감에 따라 발효온도가 50℃ 이상 유지된 32일째에는 28%의 수분함량을 보였으며 이후 점차 감소하여 250일째에는 15.4%를 나타내었다. 톱밥갈짚우

분 처리구의 경우에도, 초기 수분함량은 68.0%였으나 퇴비화가 진행되는 동안 발효온도가 높게 올라감에 따라 발효온도가 50℃ 이상 유지된 48일째에는 40%의 수분함량을 보였으며 이후 점차 감소하여 250일째에는 27.8%를 나타내었다. 따라서 왕겨갈짚우분 처리구와 톱밥갈짚처리구는 왕겨나 톱밥의 특성 때문에 초기 수분함량이 차이가 있었으나 퇴비화가 진행되는 동안에는 거의 같은 경향을 보임을 알 수 있었다.



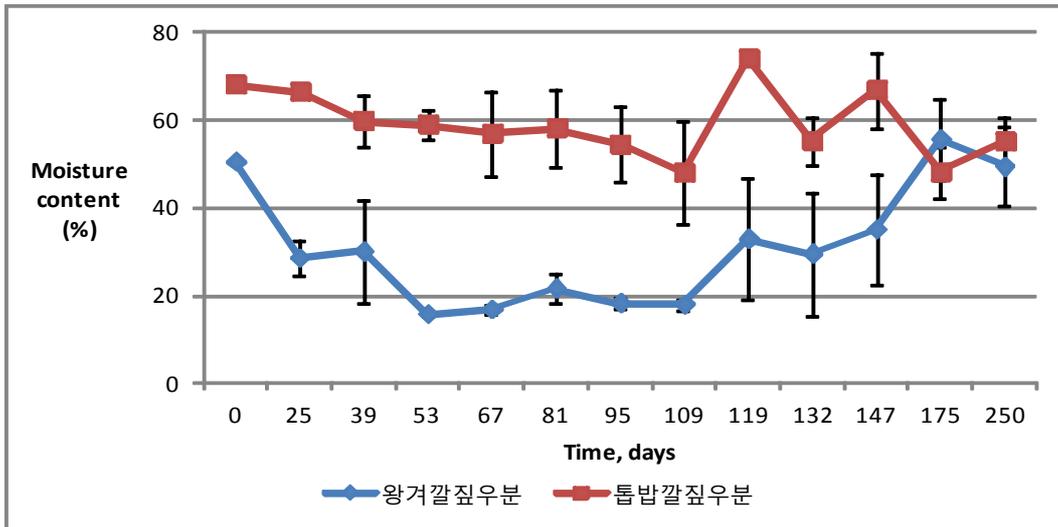
<그림 17> 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분 사축퇴비화 상층부 수분함량 변화

- 매물사축 퇴비화 처리구의 중층부 수분함량 변화는 모든 처리구에서 퇴비화가 진행되는 동안 발효온도가 높게 올라감에 따라 퇴비화 100일 전후의 수분함량이 22~25%로 나타나 퇴비화가 활발하게 진행되는 것으로 조사되었다. 퇴비화에 알맞은 수분함량을 맞춰 주기 위해 퇴비화 실시 120일을 전후해 퇴비단에 수분을 추가로 공급하였다.



<그림 18> 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분 사축퇴비화 중층부 수분함량 변화

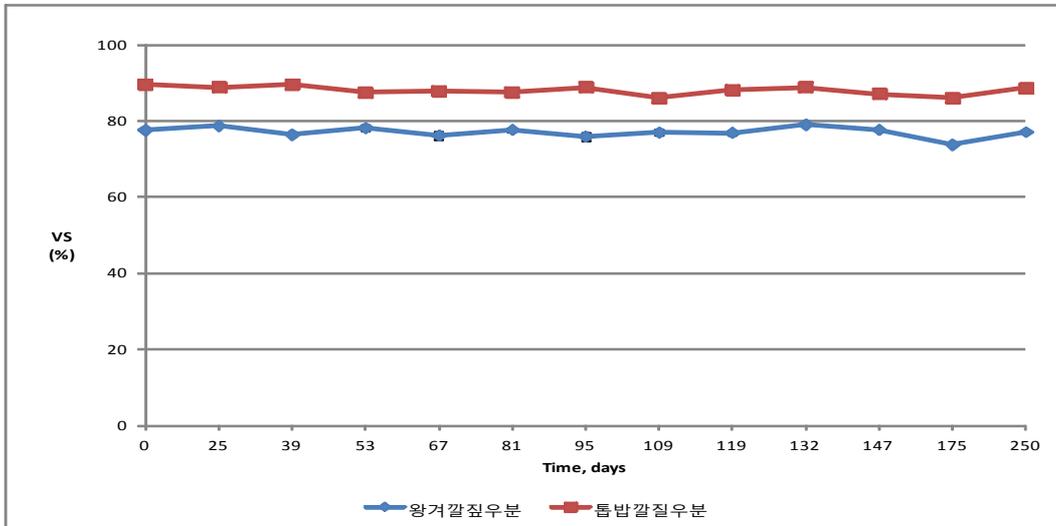
- 매물사축 퇴비화 처리구의 하층부 수분함량 변화는, 상층부와 중층부와는 다른 양상을 보였다. 왕겨갈짚우분 처리구의 경우, 퇴비화가 진행되는 동안 수분함량이 18% 전후로 감소하였으며, 수분을 추가로 공급한 이후에는 퇴비화시 증발되는 수분의 양보다 하층부에 수분이 집적되는 현상을 보여 시험종료시 수분함량은 약 50%였다. 톱밥갈짚우분 처리구에서도 퇴비화시 증발되는 수분의 양보다 하층부에 수분이 집적되는 현상을 보여 시험종료시 수분함량이 약 55%로 나타났다.



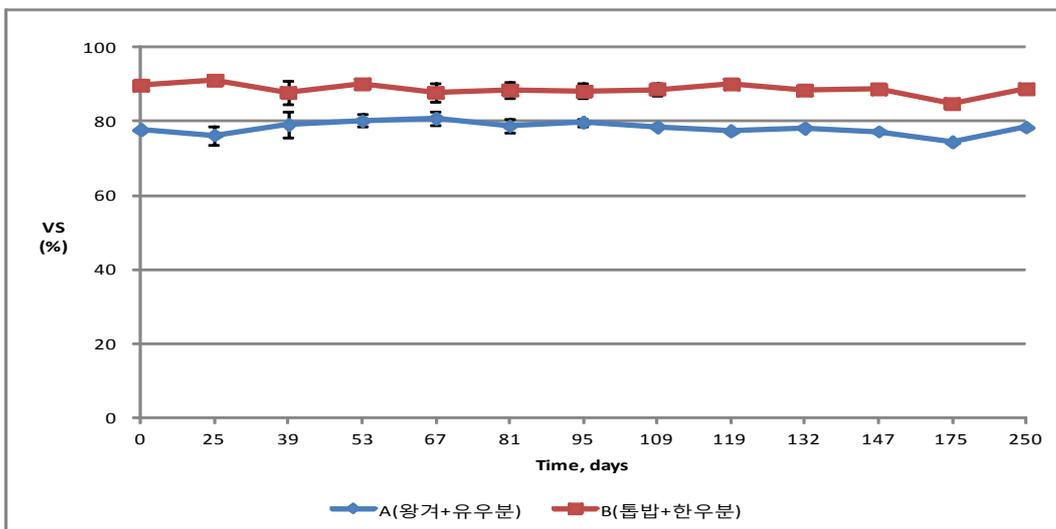
<그림 19> 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분 사축퇴비화 하층부 수분함량 변화

(6) 매물사축 퇴비화 중 VS함량 변화

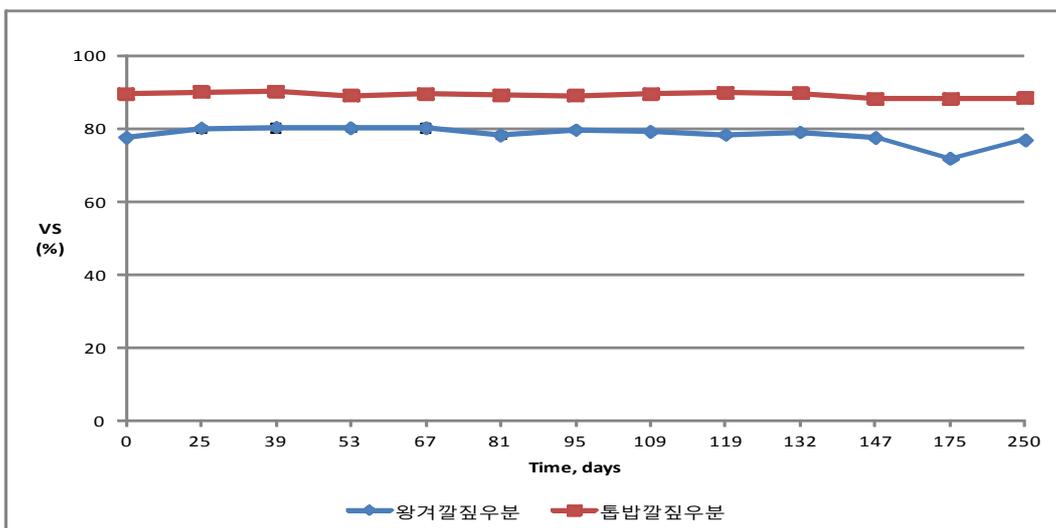
- 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분을 이용한 매물사축 퇴비화 처리구의 VS함량 변화를 보면 모든 처리구의 상층부, 중층부, 하층부에서 거의 비슷한 경향을 보였다. 왕겨갈짚우분 처리구의 경우, 초기 77.6%였으나 퇴비화가 진행되는 동안 상층부 75.9~79.1%, 중층부 74.3~80.8%, 하층부 71.8~80.3%로 나타나 퇴비화 진행 기간별, 퇴비단 높이별 큰 차이를 보이지 않았다. 톱밥갈짚우분 처리구의 경우에도 초기 89.6%로 왕겨갈짚우분 처리구보다 높았으나 퇴비화가 진행되는 동안 상층부 86.0~89.6%, 중층부 84.8~91.1%, 하층부 88.3~90.3%로 퇴비화 진행 기간별, 퇴비단 높이별 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 왕겨갈짚우분 및 톱밥갈짚우분을 이용한 매물사축 퇴비화 처리구에 따른 VS함량 변화는 퇴비화 기간별, 퇴비단 높이별 차이 보다는 부자재로 사용된 왕겨와 톱밥의 물리적 성상에 따른 차이로 판단된다.



<그림 20> 왕겨깎질우분 및 톱밥깎질우분 사축퇴비화 상층부 VS 변화



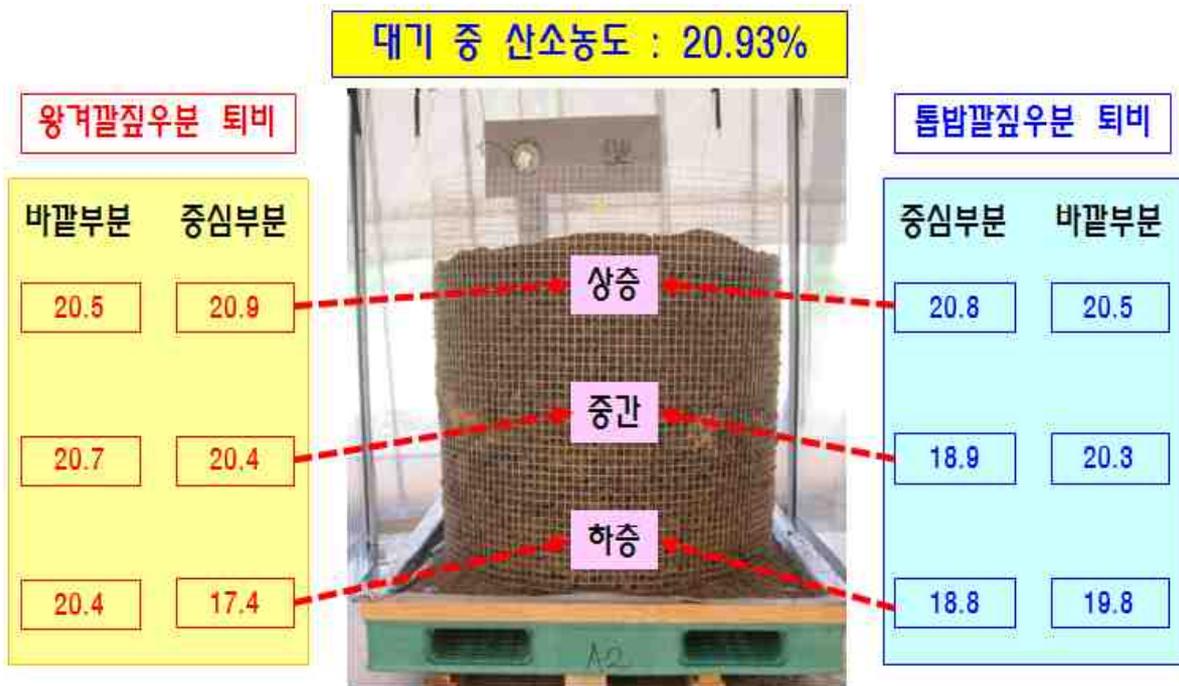
<그림 21> 왕겨깎질우분 및 톱밥깎질우분 사축퇴비화 중층부 VS 변화



<그림 22> 왕겨깎질우분 및 톱밥깎질우분 사축퇴비화 하층부 VS 변화

(7) 매물사축 퇴비화 중 퇴비단 내부 산소농도

○ 사축퇴비화 과정 중 퇴비화에 영향을 미치는 퇴비단 내 산소농도를 시험기간 동안 분석한 결과, 대기 중 산소농도 20.93%를 기준으로 볼 때 왕겨깔짚우분 퇴비단은 상층부의 중심부분은 평균 20.9%, 바깥부분은 평균 20.5%로 조사되었다. 중층부는 중심부분 평균 20.4%, 바깥부분은 평균 20.7%로 조사되었으며, 하층부는 중심부분이 평균 17.4%, 바깥부분은 평균 20.4%로 조사되었다. 톱밥깔짚우분 퇴비단의 경우에도 왕겨깔짚우분 퇴비단의 산소농도와 비슷한 것으로 조사되었다. 상층부의 중심부분은 평균 20.8%, 바깥부분은 평균 20.5%로 조사되었고, 중층부는 중심부분 평균 18.9%, 바깥부분은 평균 20.3%로 조사되었으며, 하층부는 중심부분이 평균 18.8%, 바깥부분은 평균 19.8%로 조사되었다. 따라서 퇴비화 중 퇴비단 내 산소농도는 퇴비단 아랫부분, 중심부분을 제외하고는 대기 중의 산소농도와 비슷한 경향을 보였으며, 이는 퇴비화에 유리한 조건을 제공한 것으로 판단된다.



<그림 23> 시험기간 중 매물사축 퇴비단 내 평균 산소농도

(8) 매물사축 퇴비화 분해율

(가) 시험구 해체 및 육안조사

○ 매물사축 퇴비화 처리구별(왕겨깔짚우분 퇴비, 톱밥깔짚우분 퇴비) 시험이 250일간의 조사를 완료하고 사축의 분해율 조사를 위한 퇴비단 해체를 추진하였다. 매물사축 퇴비

화 처리구별로 분해율 조사가 쉽게 이루어지도록 조사용 텐트 내 퇴비단을 넓은 공간으로 옮기고 전체 무게를 측정 후 철망 제거작업을 실시하였다. 철망 제거작업 시 퇴비단이 무너지지 않도록 하면서 윗 부분의 퇴비를 제거하고 분해가 완료된 사축의 뼈와 퇴비를 분리하였으며 이러한 모든 작업과정마다 무게를 측정하였다.

- 매몰사축 퇴비화가 완료된 퇴비단의 윗면에 있는 퇴비를 제거한 결과, 모든 처리구가 반복별로 사축의 퇴비화가 잘 이루어져 살점은 남아 있지 않고 뼈와 털만 육안으로 확인되었으며 사축 분해율 조사를 위해 뼈와 털에 묻어 있는 퇴비를 털어낸 후 무게를 측정하였다. 퇴비단 해체 시 후각으로 인지할 만한 악취는 없었으며, 퇴비의 일부에는 표면에 흰 곰팡이가 많이 분포하고 있어 퇴비화가 완료된 것으로 판단되었다.



<퇴비단 무게측정>



<철망제거 작업>



<퇴비단 윗부분 퇴비분리>



<분해 완료된 사축>



<뼈, 털 등 분리작업>



<분리된 뼈, 털 모습>

<그림 24> 매몰사축 퇴비화 시험완료 조사작업 과정

(나) 매몰사축 분해율

- 매몰사축 퇴비화 시험 종료 후 퇴비단 내 사축 발굴시 분해가 완료되어 뼈와 털만 발굴되었으며, 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분 처리구 모두 약 85% 이상 분해되었으며 뼈의 무게를 감안할 경우 거의 100%가 분해된 것으로 나타났다. 왕겨갈짚우분 처리구의 분해율은 84.5%로 조사되었으며, 톱밥갈짚우분 처리구의 분해율은 85.5%인 것으로 조사되었다. 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분 처리구에서 퇴비와 분리된 뼈의 무게는 평균 25.6kg으로 돼지 생시체중의 12%를 차지하는 것으로 조사되었다.

<표 7> 왕겨갈짚우분과 톱밥갈짚우분 퇴비화 처리구별 매몰사축 분해율

구 분	매몰사축 무게(kg)	퇴비화 최종무게(kg)	사축분해율(%)
왕겨갈짚우분	130.0±3.1	20.0±1.5	84.5±1.5
톱밥갈짚우분	128.7±2.2	18.7±0.3	85.5±0.2

○ 따라서 매몰사축 퇴비화 시 왕겨 및 톱밥갈짚우분을 퇴비화 부자재로 시험해 본 결과, 모두 효과적인 것으로 나타났다. 또한 약 8개월 간의 퇴비화 동안 뼈를 제외하고 거의 100% 분해되는 것으로 나타났고, 퇴비화 기간 중 퇴비온도가 55℃ 이상에서 3일 이상 지속적으로 유지되므로 병원성 미생물에 대해 안정적이므로 매몰 발굴사축의 처리방법으로 퇴비화가 매우 효과적이라고 판단된다.



<왕겨갈짚우분 퇴비단 내 매몰사축 분해율 변화>



<톱밥갈짚우분 퇴비단 내 매몰사축 분해율 변화>

<그림 25> 매몰사축 퇴비화 분해율 비교

(8) 매몰사축 퇴비 안전성 분석

매몰사축 퇴비화 시료를 채취하여 Fast DNA Spin kit for soil (MP Bio, TX, USA)을 이용하여 메타게놈 DNA를 추출하였으며 16S rRNA 유전자(V1~V3 부위)를 증폭하였으며, 이후 GS Junior system (Roche, Brandford, CT, USA)을 이용하여 pyrosequencing을 수행하였다. Pyrosequencing 결과와 EzTaxon-e 데이터베이스를 활용하여 유사도 및 미생물군집을 분석하였다. 차세대염기서열(NGS) 분석 결과, *Escherichia coli* o157, *Salmonella enteritidis*, *Shigella sonnei*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes* 등 병원성미생물 6종은 검출되지 않았다.

<표 8> 매몰사축 퇴비 병원성미생물 분석결과

병원성미생물	분석결과	병원성미생물	분석결과
<i>Escherichia coli</i> o157	음성	<i>Bacillus cereus</i>	음성
<i>Salmonella enteritidis</i>	음성	<i>Staphylococcus aureus</i>	음성
<i>Shigella sonnei</i>	음성	<i>Listeria monocytogenes</i>	음성

(9) 매몰지 내 구제역 바이러스 잔존여부 평가

돼지 사축매몰지 내 구제역 바이러스 잔존여부를 구명하기 위하여 2012년 5개 시도 18개 시군의 토양 및 침출수 273점을 분석한 결과 전부 음성으로 조사되었고, 2013년 5개 시도 31개 시군의 토양 및 침출수 2,807점을 분석한 결과도 전부 음성으로 조사되었다. 따라서 사축매몰지 내 구제역 바이러스는 매몰기간이 경과함에 따라 전부 사멸한 것으로 추정된다.

<표 9> 매몰지 내 구제역 바이러스 잔존여부 분석결과

년도	시도	지 역	분석시료(점)			분석 결과
			토양	침출수	계	
2012	강원	원주, 횡성	12	2	14	음성
	경기	김포, 이천, 파주, 연천, 양주, 용인, 영천, 여주	157	28	185	음성
	경남	김해	12	1	13	음성
	경북	안동, 봉화, 영천, 영주	24	6	30	음성
	충남	보령, 천안, 당진	27	4	31	음성
소계	5 시도	18 시군	232	41	273	
2013	강원	원주, 강릉	51	1	52	음성
	경기	동두천, 용인, 양평, 이천, 연천, 양주	37	9	46	음성
	경북	경산, 경주, 군위, 문경, 봉화, 상주, 안동, 영덕, 영양, 영주, 영천, 예천, 울진, 의성, 청도, 청송, 칠곡, 포항	2,514	146	2,660	음성
	인천	강화, 한국환경공단	27	4	31	음성
	충남	논산, 아산, 천안	13	5	18	음성
소계	5 시도	31 시군	2,642	165	2,807	
총계	10 시도	39 시군	2,874	206	3,080	

* 자료 : 농림축산검역본부 구제역진단과(2013)

다. 연구결과 요약

- 매물 사축층의 온도와 사축층 위 30cm, 60cm의 온도 변화를 비교해 본 결과, 겨울철에는 5℃ 내외, 여름철에는 20℃ 내외로서 사축 주변의 온도가 일정하게 유지되고 있는 것으로 나타났고, 따라서 사축도 서서히 분해되는 것으로 추정되었다.
- 매몰된 사축은 16개월 경과 후에도 분해가 거의 이루어지지 않았으며, 매몰지 토사 압력으로 인한 사축이 압축된 형태를 나타냈다.
- 매물사축 퇴비화 기간 중 온도변화를 보면, 왕겨깎짚퇴비 처리구 상층부에서 시험개시 20일까지 62~84℃, 사축이 있는 중간부는 69~83℃, 하층부에서 62~69℃를 나타내었고, 톱밥깎짚퇴비 처리구는 상층부에서 63~77℃, 사축이 있는 중간부는 68~73℃, 하층부에서 50~63℃를 나타내어 사축퇴비화 초기에는 왕겨깎짚퇴비구가 톱밥깎짚퇴비구에 비해 온도가 높게 나타났으며, 이후에는 온도가 점차 내려가 50℃ 전후를 나타냈다.
- 매물사축 퇴비화 기간 중 무게 및 퇴비단 높이변화를 보면, 70일이 경과하면서 왕겨깎짚퇴비 처리구는 무게가 39% 감소하였고, 톱밥깎짚퇴비 처리구는 43% 감소하여 톱밥깎짚퇴비 처리구가 왕겨깎짚퇴비 처리구에 비해 분해가 더 진행되는 것으로 추정되며, 퇴비단의 높이도 비슷한 경향을 보였다.
- 매물사축 퇴비화 기간 중 악취농도 변화를 보면, 암모니아 농도의 경우 왕겨깎짚퇴비 처리구에서 시험개시 20일까지는 점차 높아져 8ppm으로 나타났으나 그 이후에는 2~4ppm으로 낮아졌으며, 톱밥깎짚퇴비 처리구는 시험개시 20일까지는 4ppm 이하로 나타났으며 그 이후에는 왕겨깎짚퇴비 처리구와 비슷한 경향을 보였음. 황화수소 농도는 두 처리구에서 시험개시 20일까지는 1.5~3.0ppb로 조사되었으나 그 이후에는 점차 낮아져 두 처리구 공히 감지할 수 없는 수준이었다.
- 매물사축 퇴비화 기간 중 수분함량 및 VS 변화를 보면, 왕겨깎짚퇴비 처리구의 초기 수분함량은 50.3%, 톱밥깎짚퇴비 처리구는 68.1%로 나타났으며, 시험기간이 경과할수록 왕겨깎짚퇴비 처리구는 20% 전후, 톱밥깎짚퇴비 처리구는 40% 전후로 나타났음. VS는 초기부터 현재까지 왕겨깎짚퇴비 처리구는 80% 내외, 톱밥깎짚퇴비 처리구는 90% 내외를 유지하는 것으로 조사되었다.
- 매물사축 퇴비화 기간 중 퇴비단 내부 산소농도는 상층부와 바깥쪽은 두 처리구 공히 19~20% 전후였으며, 중심부는 이보다 낮았다.
- 매물사축 퇴비화 시 퇴비단 내 돼지 사축은 8개월 만에 분해가 완료되어 뼈와 털만 발굴되었으며, 왕겨깎짚우분과 톱밥깎짚우분 처리구 모두 약 85% 이상 분해되었고 뼈의 무게를 감안할 경우 거의 100%가 분해된 것으로 나타났다.
- 매몰지내 구제역 바이러스 잔존여부를 분석한 결과, 시험대상 전체 매몰지에서 구제역 바이러스가 검출되지 않은 것으로 조사되었다.

3. 가금사축(닭, 오리) 퇴비화기술 개발

가. 재료 및 방법

○ 공시재료 및 처리방법

- 공시축 : 가금 폐사축 (닭, 오리)
- 공시 퇴비 부자재 : 톱밥갈짚우분
- 처리구 : 3처리(무처리, 닭, 오리) × 3반복
- 사축 퇴비화 Pilot 시설 제작 및 설치
 - 사축 투입용기 : 자연통풍을 감안하여 철망으로 제작
 - 사축 투입용기 규격 : 원통형 철망(직경 1.2m, 높이 1.2m) 으로 제작
 - 조사용 투명천막 설치 : 가로, 세로, 높이 각 2m 규격으로 설치

○ 가금 사축 퇴비화 실증시험구 설치준비

- 설치장소 : 국립축산과학원 시험지내
- 설치면적 : 144m²(가로 24m × 세로 6m)
- 조사용 컨테이너 설치 : Data 분석 및 조사
- 처리구별 온도센서, 흡기·배기 시스템 등 설치



<갈짚우분퇴비 깔기>



<가금사축 투입>



<가금사축 투입완료>



<갈짚우분퇴비 채우기>



<퇴비단, 투명천막으로 이동>



<설치 완료>

<그림 26> 가금 사축 퇴비화 시험구별 처리

○ 가금사축 퇴비화 실증시험

- 실증시험 기간 : 2013. 7. 3 ~ 2013. 11. 14(133일간)

- 주요 조사항목 : 퇴비화 기간 중 온도, 무게, 퇴비더미 내 산소농도, 약취농도, 수분함량 변화, 완료퇴비 비료성분 등



<퇴비단 무게측정>



<분석시료 채취>



<퇴비단 내 산소농도 측정>

<그림 27> 가금 사축 퇴비화 처리구별 조사장면

나. 주요 연구결과

(1) 가금사축 퇴비화 부자재 성상 분석

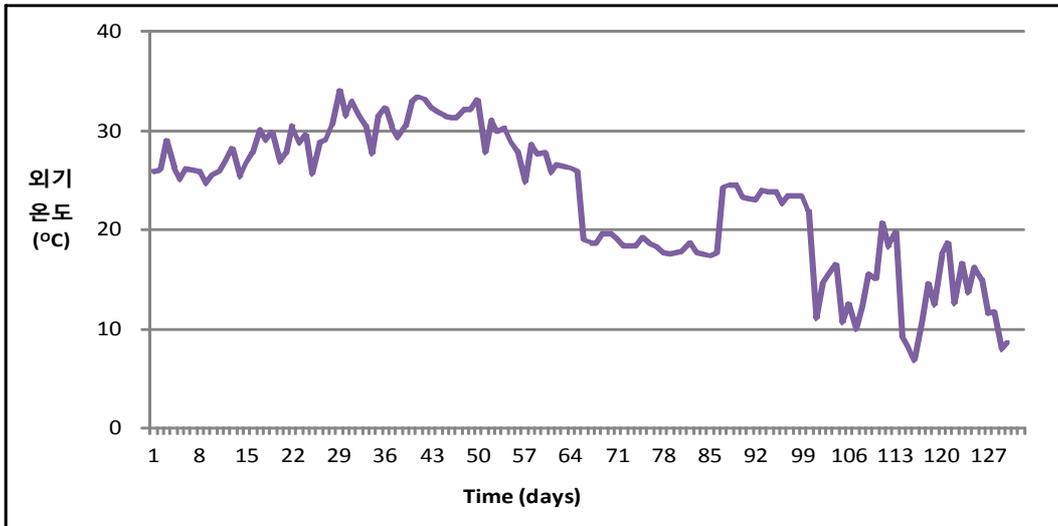
○ 가금사축 퇴비화에 이용할 부자재로 돼지 매물사축 퇴비화 시 분해효과가 좋았던 톱밥 깔짚우분을 선정하였으며, 시험 전 톱밥깔짚우분의 초기 성상을 분석한 결과, pH는 8.5, EC 400 μ S/cm, 수분함량 69.2%, VS 함량 83.3% 였고, OM은 31.1%, C/N비는 20.2였다.

<표 10> 톱밥깔짚우분 성상 비교

구 분	pH	EC (μ S/cm)	수분 (%)	VS (%)	OM (%)	C/N ratio
톱밥깔짚우분	8.5	400	69.2	83.3	31.1	20.2

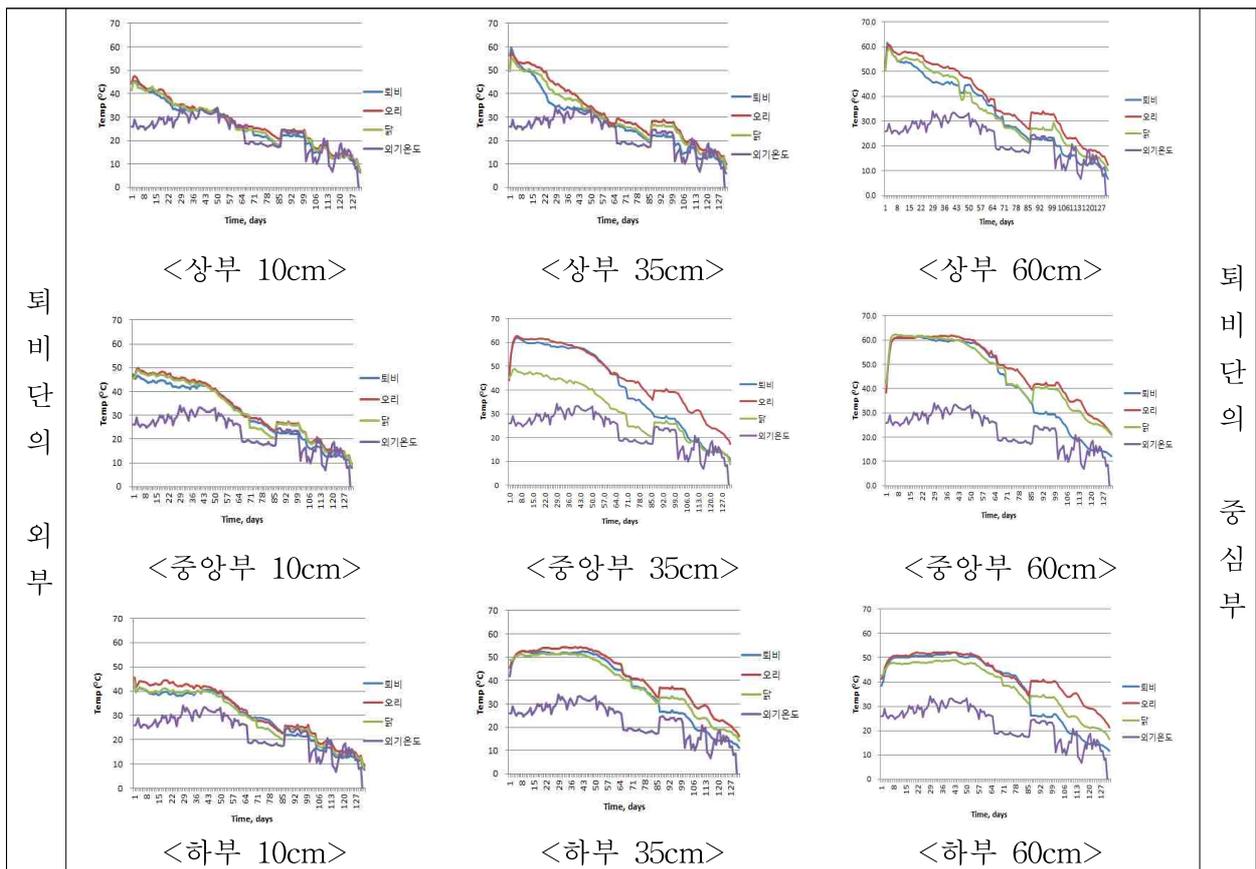
(2) 가금사축 퇴비화 중 퇴비단 온도변화

○ 가금사축 퇴비화 중 외부 온도변화는 <그림 28>과 같다. 시험이 개시된 때가 여름으로 접어드는 시기였기 때문에 65일이 경과될 때까지 25 $^{\circ}$ C 이상을 유지하고 있었으며, 100일이 경과한 이후에는 기온이 점차 낮아지기 시작하여 10~15 $^{\circ}$ C를 유지하다가 시험이 종료되는 시점에서는 10 $^{\circ}$ C 이하로 나타났다.



<그림 28> 가금 사육 퇴비화 기간 중 외기온도 변화

- 일반적으로 질병의 원인이 되는 병원성 세균, 바이러스 등은 55°C 이상에서 3일 이상 생존하지 못한다고 알려져 있다. 따라서 퇴비단의 온도가 55°C 이상을 일정기간 동안 유지하는가는 퇴비화 시 굉장히 중요한 관건이라고 할 수 있다.

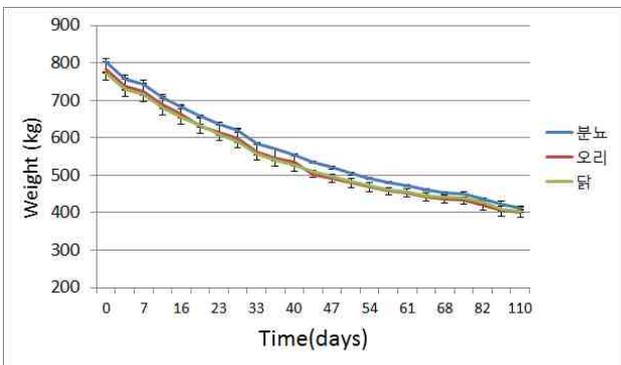


<그림 29> 가금 사육 퇴비화 기간 중 퇴비단 온도 변화

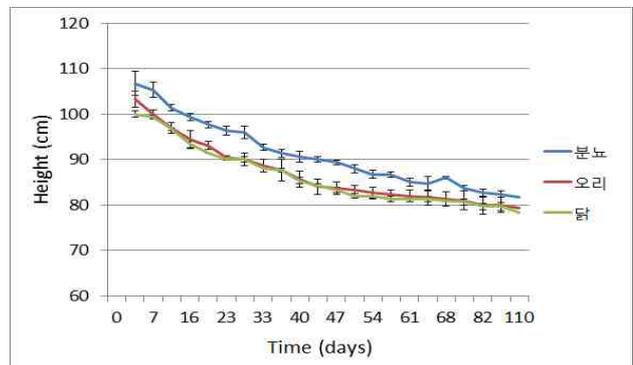
- <그림 29>에서 알 수 있듯 가금 사육이 위치한 퇴비단의 중앙부에서는 온도가 55℃ 이상에서 상당 기간(50일 이상) 유지되었지만, 지면과 접한 하부, 공기와 접한 상부 및 측면부의 온도는 55C 이상으로 유지되지 못하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 되도록 퇴비단의 규모를 크게 하고 외기와 닿는 면적을 최소화하면서도 산소의 공급을 원활하게 할 필요가 있으며 사축 더미의 높이를 높이거나 다층구조로 조성할 필요가 있다.

(3) 가금 사육 퇴비단 무게 및 높이 변화

- 가금 사육의 퇴비화가 진행됨에 따라 퇴비단의 높이가 지속적으로 감소하였으며, 더불어 무게도 빨리 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 가금 사육이 분해되었기 때문이며, 분해되면서 열이 발생하고 그 열로 인해 수분함량이 감소한 때문으로 판단된다.



<퇴비단의 무게 변화>

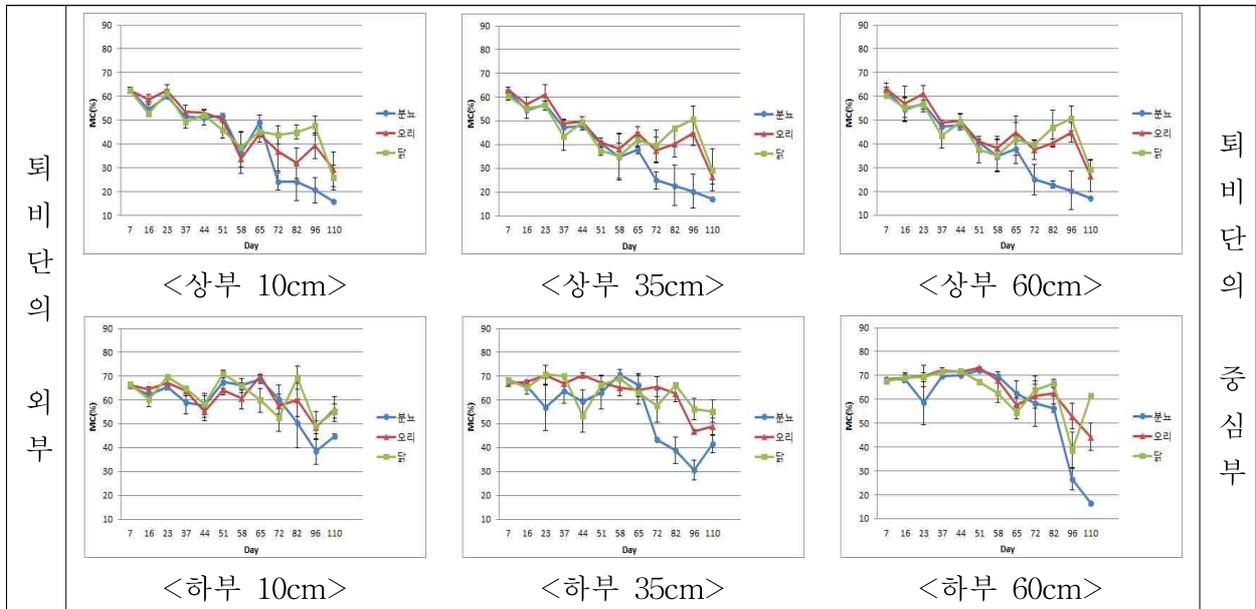


<퇴비단의 높이 변화>

<그림 30> 가금 사육 퇴비화 중 퇴비단 무게 및 높이 변화

(4) 가금 사육 퇴비단 수분함량 변화

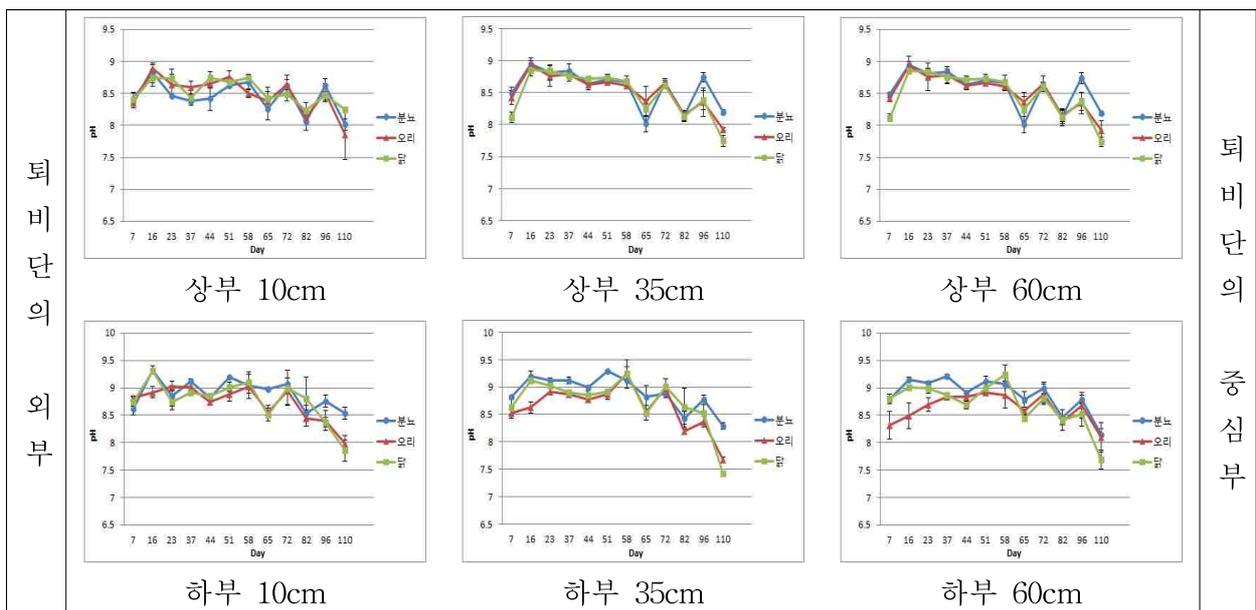
- 가금사육 퇴비단 상부와 하부의 수분함량을 측정한 결과, 초기 수분함량이 69.2%였으나 퇴비화가 진행되는 동안 퇴비단의 발효온도가 상승함에 따라 50℃ 이상 유지되는 50일째까지는 상부에서의 수분 함량 감소가 매우 빨리 진행되었으며 하부에서는 침출수의 공급으로 수분함량 감소가 제한적으로 이루어졌다. 수분함량이 40%이하로 감소한 경우에는 원활하게 퇴비화를 유지하기 위해 퇴비단에 물을 추가적으로 공급하였으며(1차 수분공급: 65일차 ; 2차 수분공급: 82일차), 퇴비단 깊이에 따른 차이는 발견되지 않았다.



<그림 31> 가금 사육 퇴비화 중 퇴비단 수분함량 변화

(5) 가금 사육 퇴비단 pH 변화

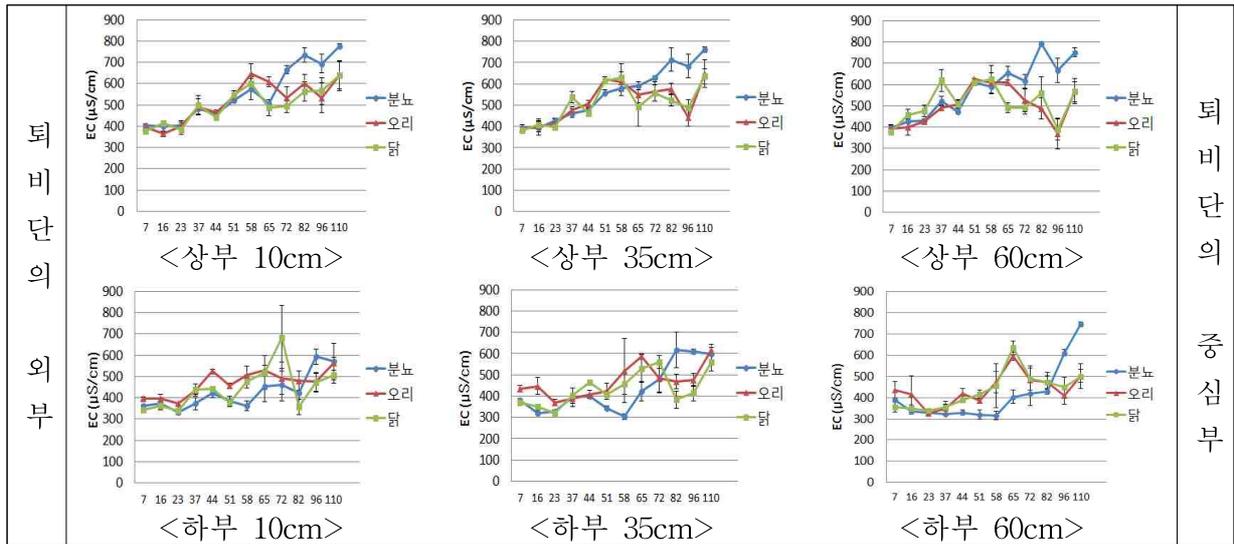
○ 가금 사육 퇴비화 초기의 pH는 8.5 이상의 높은 수준을 유지하였으나, 점차적으로 낮아지는 경향을 보였으며 후기에서는 오리와 닭의 처리구에서 낮아지는 경향이 더욱 두드러졌는데 이는 아마도 수분 공급에 의한 영향으로 여겨진다. 앞에서 설명한 바와 같이 본 실험에서 가금 사육의 퇴비화 효율을 증진시키기 위해 수분함량이 40% 이하로 떨어진 퇴비단에 2차레에 걸쳐서 수분이 공급된 바가 있다.



<그림 32> 가금 사육 퇴비화 중 퇴비단 pH 변화

(6) 가금 사육 퇴비단 EC 변화

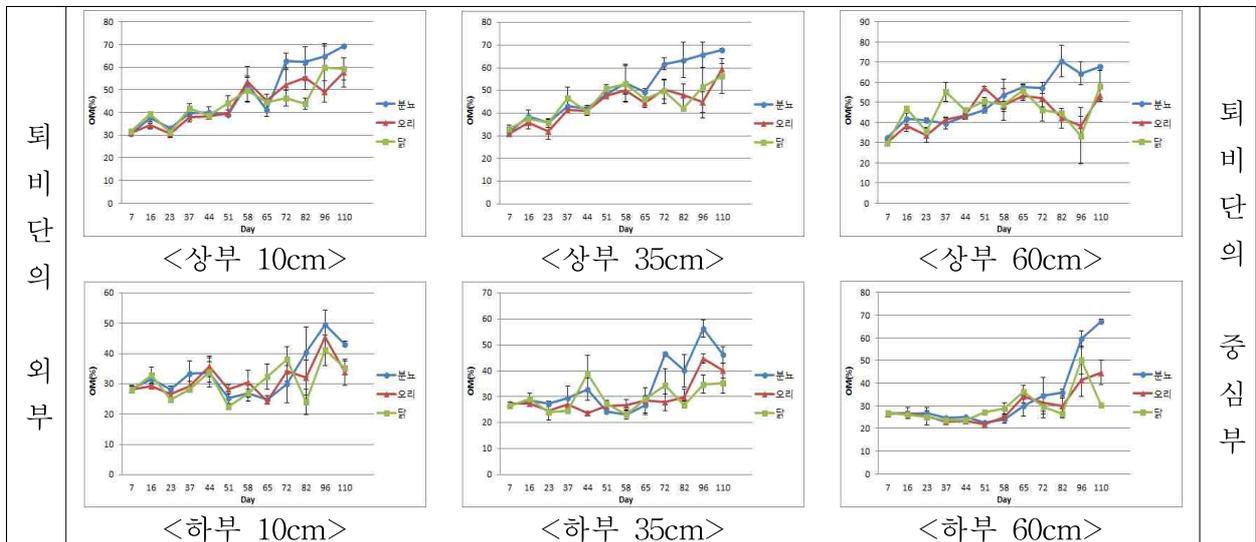
○ 퇴비단 내 EC 변화를 조사한 결과, 초기에는 400 μ S/cm 수준이었으나 점차적으로 상승하였으나 이러한 상승세는 퇴비단에 수분을 공급한 후 가금 사육 퇴비단에서 약화되었으며, 하부보다 상부에서의 EC 상승이 두드러지게 나타났다.



<그림 33> 가금 사육 퇴비화 중 퇴비단 EC 변화

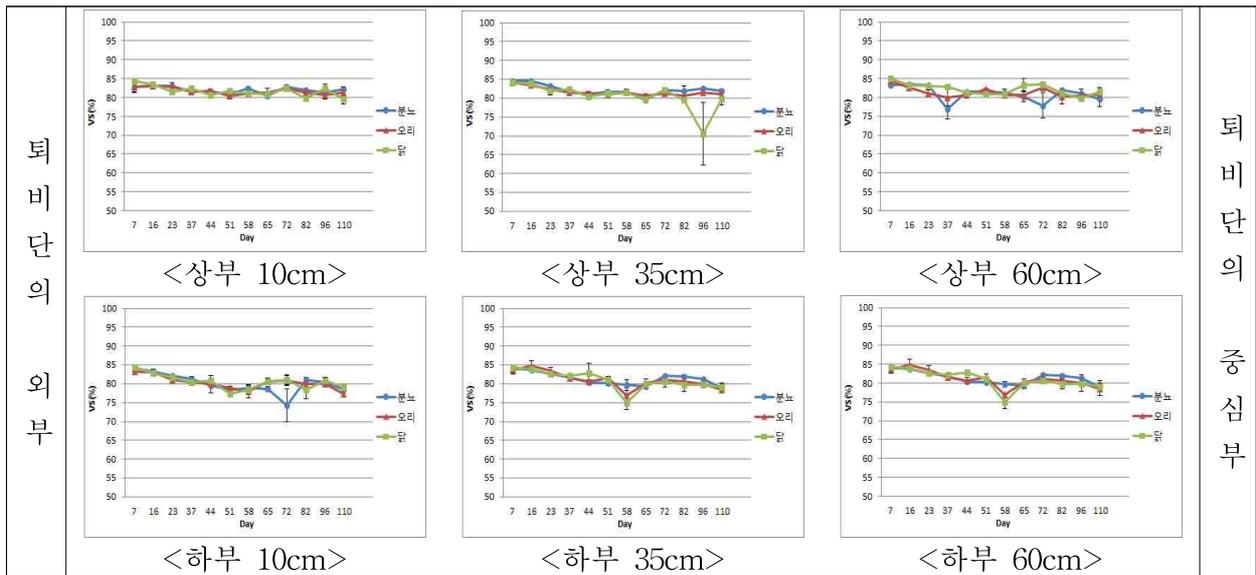
(7) 가금 사육 퇴비단 유기물 및 VS 함량 변화

○ 본 실험에서 조사된 유기물 함량(%)의 상승은 퇴비단 내 수분함량의 감소와 관련이 있다고 판단된다. 특히 퇴비화 효율을 높이기 위해 수분이 공급된 65일 이후에 가금 사육 퇴비단과 대조구인 무처리 퇴비단의 유기물 함량 분석치 간에 차이가 벌어짐을 확인하였다.



<그림 34> 가금 사육 퇴비화 중 퇴비단 유기물 변화

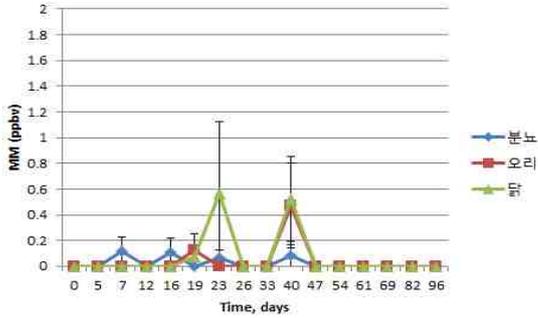
- 가금 사육 퇴비단 내 VS 함량은 초기에는 82~84%로 비교적 높은 편이었으나, 퇴비화가 진행될수록 점차 감소하여 78~81% 수준으로 나타났다.



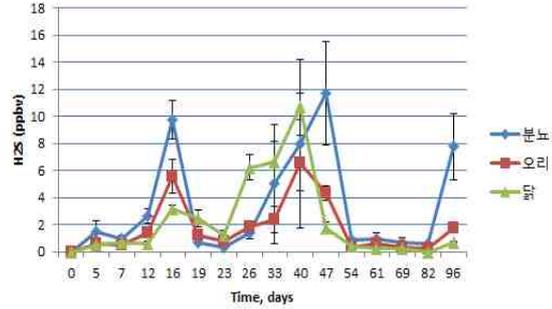
<그림 35> 가금 사육 퇴비화 중 퇴비단 VS 함량 변화

(8) 가금 사육 퇴비화 중 악취농도 변화

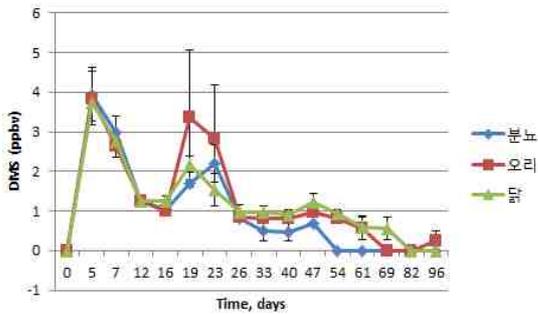
- 퇴비화 중 혐기상태의 발생을 알려주는 지표로서 휘발성 황화합물의 발생을 이용할 수 있다. 본 실험에서는 퇴비단에서 배출되는 가스를 테들러백에 포집하여 가스크로마토그래피를 사용하여 대표적인 4가지 황화합물인 황화수소(H₂S), Dimethyl Sulfide(DMS), Methyl Mercaptane(MM), Dimethyl Disulfide(DMDS)을 분석하였다.
- 휘발성 황화합물의 발생농도는 비교적 높지 않으며 측정된 4종의 황화합물 중 Methyl Mercaptane은 검출 농도가 너무 낮아 지표로서 이용이 어려우며 황화수소는 특별한 양상을 보이지 않으므로 악취 지표로서 이용하는데 한계가 있고 Dimethyl Sulfide의 경우에는 퇴비화 초기에 급증했다가 감소하는 양상을 보여주므로 초기 악취발생 지표로서 이용이 가능하다고 판단된다. Dimethyl Disulfide의 경우에는 퇴비화가 진행되는 중기에는 발생량이 증가하였다가 후기에 감소하였으므로 중기 악취발생 지표로서 이용이 가능할 것으로 보였다. 그러나 전체적으로 황화합물의 경우에는 분석이 어렵고 고가의 장비를 요구함으로 현장활용이 가능한 실용적인 지표라고 보기는 어려움이 있다.



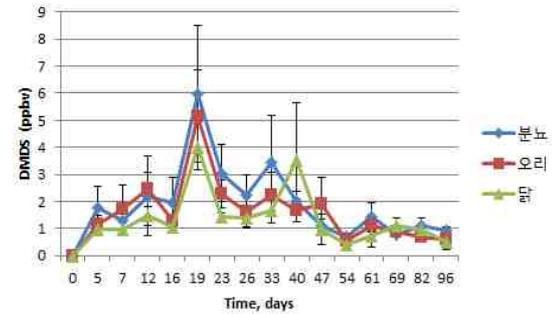
<MM 농도변화>



<H₂S 농도변화>



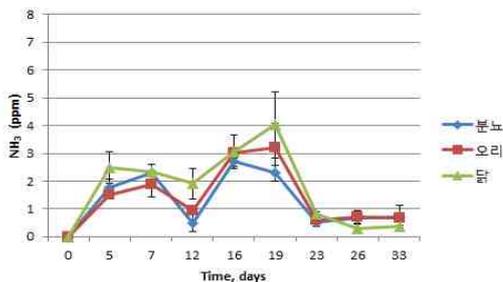
<DMS 농도변화>



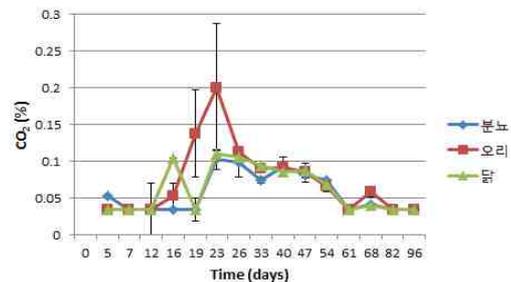
<DMDS 농도변화>

<그림 36> 가금 사육 퇴비화 중 황화합물 농도변화

○ 퇴비단의 퇴비화 과정 중 분해작용에 의해 암모니아가 발생하게 되며, 이산화탄소는 호기성 미생물의 대사작용에 의해 발생하게 되므로 미생물의 대사작용 및 혐기상태의 발생 유무를 판단하기 위하여 퇴비단에서 발생하는 가스를 테들러백에 포집한 후 정량 분석하였으며, 암모니아는 Boric acid를 이용하여 포집한 후 분광광도계로 정량화하였다. 시험결과 암모니아의 농도가 모든 처리구에서 증가하였으며 그 수준은 돼지 매물사축 퇴비화 시험결과와 유사하였으며, 이산화탄소는 초기에는 대기 중 이산화탄소 농도인 0.035% 수준이었으나 16일 이후 증가하는 경향을 나타냈으며 실험시작 후 50일까지 0.1% 수준을 유지하였고, 오리사축의 경우 23일째 최고농도인 0.2% 까지 상승하였다.



<암모니아 농도변화>

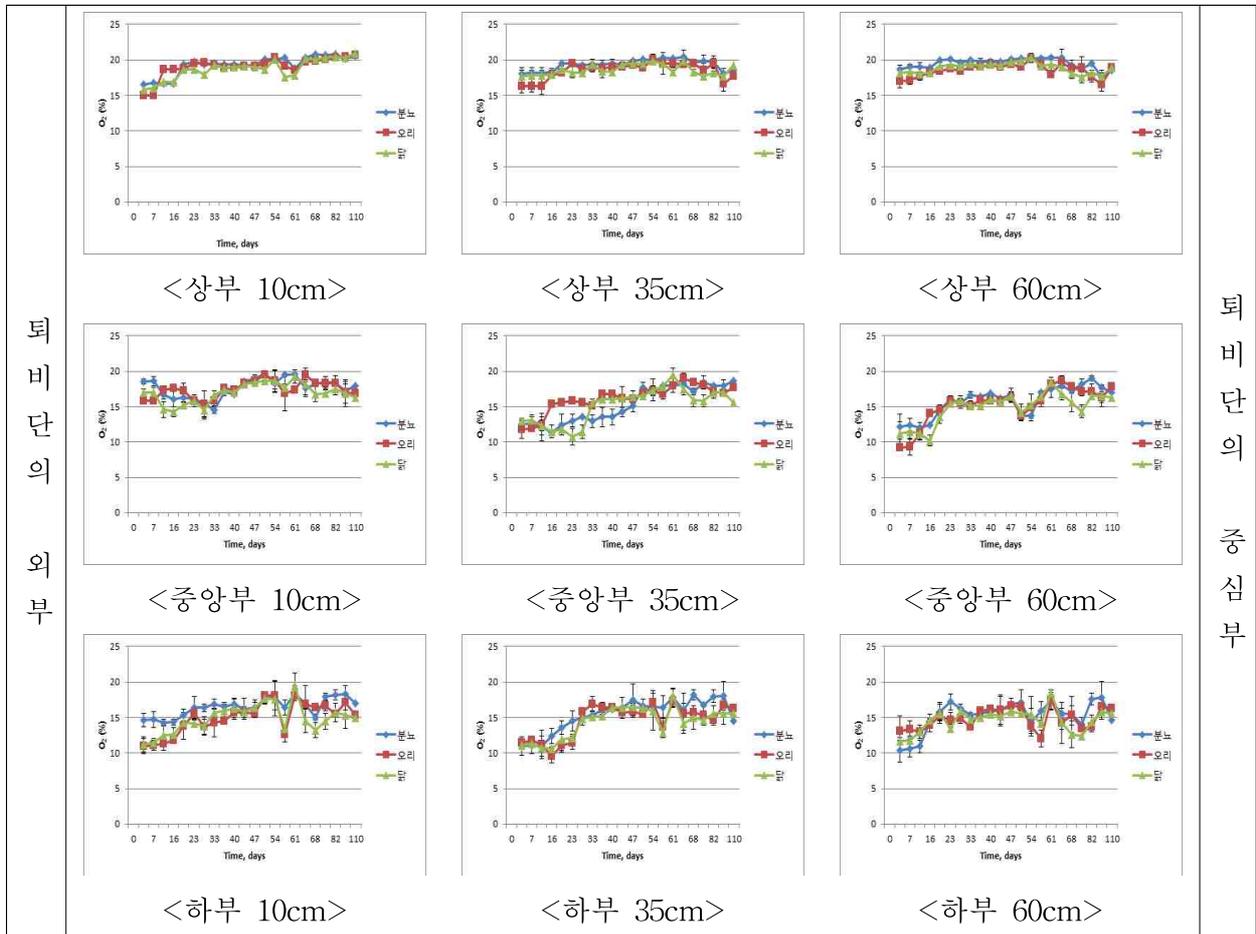


<이산화탄소 농도변화>

<그림 37> 가금 사축 퇴비화 중 암모니아, 이산화탄소 농도변화

(9) 가금 사육 퇴비단 내부 산소농도

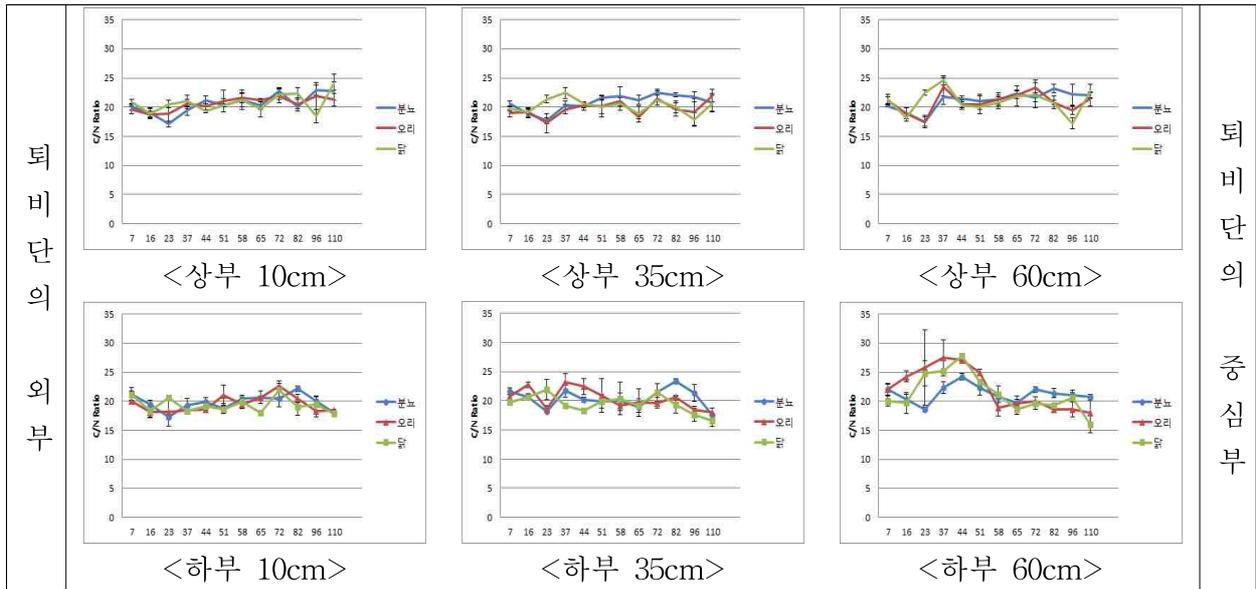
○ 가금 사육 퇴비단의 내부 산소농도는 원활한 퇴비화를 위해 매우 중요한 기준이다. 더불어 산소농도 하락에 따른 혐기화 발생시 퇴비화의 지연 및 악취 발생의 원인이 되기도 한다. 대기 중 산소함량은 20% 수준이며, 이에 따라 퇴비단 내의 산소농도는 이보다 낮은 수준에서 유지된다. 일반적으로 산소농도가 10% 이상 유지될 때 호기성 균의 대사가 왕성하여 퇴비화가 원활히 진행되고 혐기성 균의 성장이 억제되므로 퇴비단 내부의 산소농도를 되도록 이 수준 이상으로 유지하는 것이 바람직하다. <그림 38>는 가금 사육 퇴비단 내 9개 지점에서 산소농도를 측정한 결과이며 예상대로 중앙부에서 산소 농도가 가장 낮으며 외기에 노출된 상부 및 외부 쪽에 근접할수록 산소농도가 높게 유지됨을 알 수 있었고, 모든 지점에서 호기성 퇴비화에 충분한 10.4~17.8%의 산소농도가 유지되었다.



<그림 38> 가금사육 퇴비화 중 산소농도 변화

(10) 가금 사육 퇴비단 C/N비 변화

- 가금 사육 퇴비단의 C/N비는 가축분뇨와 가축분뇨에 혼합된 톱밥의 비율에 따라 결정되며, 본 시험의 경우 C/N비는 20을 전후해서 지속적으로 유지되고 있었다.



<그림 39> 가금사육 퇴비화 중 C/N비 변화

(11) 가금 사육 분해율

- 사육의 처리방법으로서 퇴비화가 가지는 장점은 많이 있다. 그러나 퇴비화하는데 시간이 장기간이 소요된다는 단점이 있다. 사육 퇴비화에 관련된 각종 문헌을 살펴보면 사육의 퇴비화가 완성되기 위해서는 대략 3개월 정도의 기간을 필요로 한다. 또 한가지는 겨울철과 같이 외기의 온도가 충분히 높지 않은 환경에서 사육이 대량으로 발생한다면 퇴비화를 이용한 처리를 하기 위해서는 보다 장시간이 소요될 수도 있다.
- 본 시험은 계절적인 영향이 비교적 적은 여름부터 가을까지의 시기에 이루어져 비교적 원만한 환경에서 진행되었기 때문에, 본 시험에서 도출된 결과가 반드시 다른 경우에도 적용된다고 보기에 어렵다. 따라서 만약 겨울이 포함된 기간 동안 퇴비화를 추진하려고 한다면 반드시 이점을 고려하여 퇴비화 기간을 충분히 늘려잡아야 한다.
- 시험 개시 후 65일이 경과한 시점에서 가금(오리, 닭) 사육 퇴비단의 발굴을 실시하였으며, 그 결과 사육의 분해는 진행 중으로 판정하였고 발굴한 퇴비단은 원상복구하여 퇴비화를 재개하였다. 일부 퇴비단의 수분함량이 40% 이하로 떨어짐에 따라 원할한 부숙을 위해 사육 각 퇴비단에 수분을 1L 씩 공급하였다.



<퇴비단 발굴작업>



<발굴된 사축>



<퇴비단 수분공급>

<그림 40> 가금 사축 퇴비화 1차 발굴 및 수분공급

- 본 시험에서 133일간 퇴비화 과정을 거쳐 최종발굴을 실시한 결과 모든 퇴비단에서 가금 사축의 분해가 완료된 것으로 판단되었으며, 오리는 사축의 잔해가 압축된 덩어리 상태로 있었고, 닭은 상대적으로 잔해의 압축정도는 약하여 쉽게 부서지는 경향이였다.
- 가금 사축 퇴비화 시험에서 사축 퇴비단의 1차 발굴(2개월)에서는 퇴비화가 완료되지 않았음을 확인하였고, 2차발굴(4개월)에서는 오리 사축분해율 90.7%, 닭 사축분해율 91.1%로 퇴비화가 완료되었다.

<표 11> 가금 사축 최종 분해율 비교

구 분	오 리	닭
가금 사축 분해율(%)	90.7±0.13	91.1±0.33



<퇴비화 완료된 가금(오리) 사축>



<퇴비화 완료된 가금(닭) 사축>

<그림 41> 가금 사축 퇴비화 최종 분해사진

다. 연구결과 요약

- 가금사축 퇴비화에 이용할 부자재인 톱밥깔짚우분의 초기 성상을 분석한 결과, pH는 8.5, EC 400 μ S/cm, 수분함량 69.2%, VS 함량 83.3% 였고, OM은 31.1%, C/N비는 20.2였다.
- 가금 사축이 위치한 퇴비단의 중앙부에서는 온도가 55 $^{\circ}$ C 이상에서 상당 기간(50일 이상) 유지되었지만, 지면과 접한 하부, 공기와 접한 상부 및 측면부의 온도는 55C 이상으로 유지되지 못하였다.
- 가금 사축의 퇴비화가 진행됨에 따라 퇴비단의 높이가 지속적으로 감소하였으며, 더불어 무게도 빨리 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 가금 사축이 분해되었기 때문이며, 분해되면서 열이 발생하고 그 열로 인해 수분함량이 감소한 때문으로 판단된다.
- 가금사축 퇴비단 상부와 하부의 수분함량을 측정한 결과, 초기 수분함량이 69.2%였으나 퇴비화가 진행되는 동안 퇴비단의 발효온도가 상승함에 따라 50 $^{\circ}$ C 이상 유지되는 50일째까지는 상부에서의 수분 함량 감소가 매우 빨리 진행되었으며 하부에서는 침출수의 공급으로 수분함량 감소가 제한적으로 이루어졌다.
- 가금 사축 퇴비단 내 VS 함량은 초기에는 82~84%로 비교적 높은 편이었으나, 퇴비화가 진행될수록 점차 감소하여 78~81% 수준으로 나타났다.
- 암모니아의 농도가 모든 처리구에서 증가하였으며 그 수준은 돼지 매물사축 퇴비화 시험결과와 유사하였으며, 이산화탄소는 초기에는 대기 중 이산화탄소 농도인 0.035% 수준이었으나 16일 이후 증가하는 경향을 나타냈으며 실험시작 후 50일까지 0.1% 수준을 유지하였다
- 가금 사축 퇴비단 내 9개 지점에서 산소농도를 측정한 결과, 예상대로 중앙부에서 산소 농도가 가장 낮으며 외기에 노출된 상부 및 외부 쪽에 근접할수록 산소농도가 높게 유지됨을 알 수 있었고, 모든 지점에서 호기성 퇴비화에 충분한 10.4~17.8%의 산소농도가 유지되었다.
- 가금 사축 퇴비단의 C/N비는 가축분뇨와 가축분뇨에 혼합된 톱밥의 비율에 따라 결정되며, 본 시험의 경우 C/N비는 20을 전후해서 지속적으로 유지되고 있었다.
- 가금 사축 퇴비화 시험에서 사축 퇴비단의 1차 발굴(2개월)에서는 퇴비화가 완료되지 않았음을 확인하였고, 2차발굴(4개월)에서는 오리 사축분해율 90.7%, 닭 사축분해율 91.1%로 퇴비화가 완료되었음을 확인할 수 있었다.

제 2절. 환경친화적 사축퇴비화 기술 개발

1. 환경친화적 사축퇴비화 운용변수 문헌 조사

- 가축전염병예방법에 따르면, 가축 전염병이 발생할 경우 가축사체를 긴급 소각 또는 매몰하게 되어 있지만 현재는 주로 매몰에 의존하고 있는 실정이다.
- 가축사체 처리방법에는 렌더링, 퇴비화, 소각 등이 있다.
 - 렌더링은 가축사체의 지방과 단백질을 분리하는 공정으로 큰 탱크 속에서 증기와 압력을 가하는 방법과 건조 방법으로 구분된다. 친환경적이며 시장성이 있다는 장점이 있지만 가금류의 경우 경제적으로 실현 불가능하며 가축을 대량으로 처리해야 할 때는 시설이 부족하다는 단점이 있다.
 - 퇴비화는 산소 공급 하에 일어나는 자연적인 생물학적 분해공정으로서 친환경적이며 경제적인 방법이다. 1단계에서는 2-3개월 동안 가축사체 더미의 온도가 올라가며 조직이나 뼈가 분해되거나 부드러워지고, 2단계에서는 2-3개월 동안 높아졌던 온도가 내려가면서 안정화 되고, 최종 단계에서는 퇴비의 진행이 완료되면 최종적으로 이산화탄소, 수증기, 열, 퇴비가 생성된다.
 - 소각은 생물학적으로 안전하나 노동력과 화석 연료가 많이 든다는 단점이 있다.
- 사축퇴비화는
 - 사체만을 매몰하는 방식이 아닌 부자재를 상층에 함께 매몰하는 방법으로, 부자재가 사체에서 나오는 수분과 혈액을 흡수하는 역할을 하도록 한다.
 - 침출수의 방지만으로도 시민의 불안감 저감은 물론 환경오염 발생을 예방할 수 있으며, 상층에 덮은 부자재(퇴비)는 분해 과정에서 발생하는 악취를 저감시켜주는 바이오필터 역할을 한다.
 - 기존의 사축사체 처리 방법에 비해 처리 비용이 저렴하다.

가. 사축퇴비화의 목적 및 특성

- 매년 질병 등으로 발생하는 동물사체의 처리는 축산농가의 고민거리이다. 전형적인 동물사체 처리방법으로는 렌더링, 매몰, 소각 등이 있으나 이러한 방법들은 이용성 저하, 경제적인 부분, 생물안전문제, 잠재적 수질 및 공기오염문제 등이 있다.
- 이러한 이유로 퇴비화는 사체 처리의 중요한 방법으로 각광받기 시작하고 있다. 사체의 적절한 퇴비화는 저비용, 환경친화적, 생물안전문제, 사실상 냄새가 거의 나지 않는다는 장점이 있다. 미네소타 위원회의 동물건강 규정에서 가금, 돼지, 양, 염소는 퇴비를 허용하고 소는

법적으로 허가를 얻어 퇴비화 할 수 있다. 성공적인 사축퇴비화는 추후 관리가 관건이다.

<표 12> 사축 처리의 최종 목표

<ul style="list-style-type: none"> o Fulfills regulations o Creates positive public perception o Reduces disease transmission 	<ul style="list-style-type: none"> o Promotes environmental sustainability o Produces beneficial by-product o Economical & Practical
--	---

(참고문헌: Joah *et al.*, <http://poultrywaste.okstate.edu/files/BAE1749%20On-Farm%20Mortality.pdf>)

- <표 12>는 사축처리의 목표를 서술한 것으로 법률 이행, 교차 전염병 감소, 환경적으로 지속가능하고 유용한 부산물의 생산이 가능하고 경제적이며 또한 실용적이어야 한다..

<표 13> 퇴비화 과정의 장점과 단점

Benefits of composting	Drawbacks of composting
<ul style="list-style-type: none"> o Excellent soil conditioner o Saleable product o Improves manure handling o Improves land application o Lowers risk of pollution and nuisance complaints o Pathogen destruction 	<ul style="list-style-type: none"> o Time and money involved o Land required for operations o Possibility of odors o Weather interferes with composting

(참고문헌: Rynk, R. 1992. On-farm Composting Handbook.)

- <표 13>은 퇴비화의 장점과 단점을 서술한 것으로 장점은 사체의 처리가 쉽고 오염을 줄일 수 있으며 병균 파괴를 들 수 있다. 단점은 악취 발생 가능성이 있고 퇴비화 과정이 날씨에 영향을 받을 수 있다.

나. 사축퇴비화의 과정

- 퇴비는 박테리아, 곰팡이, 미생물이 유기물질로 전환하는 자연적인 과정으로 미생물이 빠르고 효율적으로 성장할 수 있는 환경을 공급해 주는 것이 중요하다. 사축퇴비화에서 사체는 톱밥과 볏짚처럼 탄소함량이 높은 부자재 주변에 위치시켜야 한다.
- 동물사체와 부자재 등의 생유기물에 산소를 공급하여 미생물의 물질대사 작용으로 악취

발생 없이 수증기와 탄산가스를 생성하면서 안정화된 유기물로 전환된다. 이러한 호기성 과정에서 열이 발생하여 퇴비 더미의 온도를 올리고 활성 박테리아는 호기성 혐기성 조건에서 모두 열을 발생시키고, 이때 발생한 열은 사체 내에 존재하는 일반적인 바이러스와 박테리아를 사멸시킨다. 악취는 사체 주위의 부자재로 충분히 제어할 수 있다.

- 퇴비 더미는 온도가 하강할 때까지 그대로 유지되는데 이때 호기성 미생물이 작용한다. 이 과정에서 몇 개의 큰 뼈는 남아 있을 수 있지만 사체의 살점과 작은 뼈는 분해된다.

1) 사이트 선정

- 대규모 퇴비화 시설에서는 장소 선정이 특히 중요한 요소 중 하나이다. 퇴비화의 이상적인 위치는 수원지와 주변상황을 고려해야 하고 지표수와 지하수 오염을 발생시키지 않아야 한다. 지나치게 건조하거나 습한 지역은 퇴비의 효율성을 저하시킨다. 사이트의 기울기는 최소한으로 유지시켜 더미 주변의 과도한 침식과 유출을 방지해야 한다.

2) 퇴비 장벽 구축

- 퇴비 장벽과 울타리는 선택사항이지만 퇴비화 과정 중 몇 가지의 장점을 부여한다. 장벽은 야생 동물의 공격과 같은 물리적 침입과 탄소 공급원으로 이용되는 부자재의 손실을 방지하는 효과가 있고 노동력이나 비용이 적게 발생한다는 장점이 있다.
- 장벽은 콘크리트, 나무벽, 금속 등과 같은 재료를 사용할 수 있으며, 재질 및 디자인 선택 시 동물 사체의 수와 투자비용 등을 고려해야 한다. <그림 42>는 쇠막대와 철망을 이용한 장벽 구축의 모습을 보여주고 있다.



<그림 42> 구축된 장벽 모습

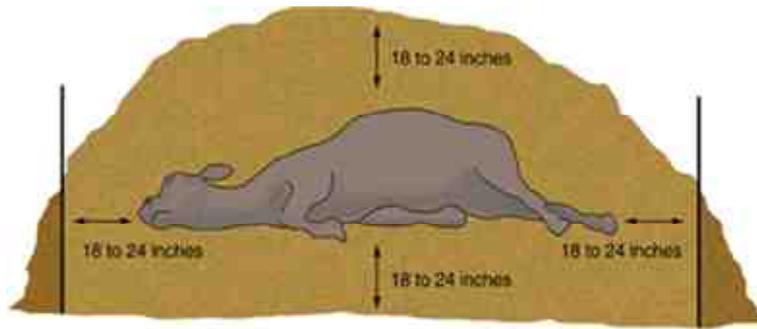
(참고문헌: Joah *et al.*, <http://poultrywaste.okstate.edu/files/BAE1749%20On-Farm%20Mortality.pdf>)

3) 탄소공급원

- 탄소공급원으로 쓰일 부자재는 C:N비를 고려하여 선택하여야 한다. 탄소 공급원은 사축과 환경사이에서 필터 역할을 하기 때문에 퇴비화 시스템의 성공을 좌우하는 중요한 역할을 하고 농가에서 쉽게 얻을 수 있는 것으로 보통은 나무칩, 대팻밥 또는 톱밥, 건초, 볏짚, 옥수수 줄기, 자른 나뭇가지, 왕겨 등이 있다. 이것들은 질소 함량이 높은 사축과 함께 퇴비화 한다면 C:N비가 자연적으로 조절되어 퇴비의 효율성을 높일 수 있다.
- 탄소공급원 선택 시 퇴비화의 최적 효율을 위해 중간 정도 크기의 기공을 가진 부자재가 적합하다. 입자 크기는 공기 흐름을 위한 중요한 요소로서, 공기의 흐름이 너무 많으면 더미 내 온도가 하강하고 건조해지고 너무 적으면 산소의 이용성이 저하되어 미생물 활성이 감소하게 된다.
- 볏짚과 같이 줄기가 긴 부자재는 열 이용성이 좋지 않고 수분함량이 높기 때문에 이러한 종류의 탄소공급원은 작업 전 풍화 또는 분쇄가 요구된다. 부자재 사용 시 탄소공급원과 분을 혼합하여 다공성을 감소시키고 C:N비를 균일화 시켜야 한다.
- 예를 들어 362kg 소 한 마리를 퇴비화 할 때 최하층 깔짚 0.74m²의 공간이면 충분하나 성축의 경우는 0.93m²로 증가하게 된다. 탄소깔짚은 퇴비화 과정에서 매우 중요한 기능을 하여 특정 설계 규칙을 준수하여야 한다. 탄소깔짚은 더미를 외부 환경변화로부터 보호하고 사체에서 나오는 침출수로 부터의 환경오염을 방지하는 필터 역할을 한다.
- 따라서 이상적인 부자재의 깊이는 사축 위, 아래, 양 옆 모두 대팻밥, 왕겨 등과 같이 미세입자 공급원일 경우 45cm, 볏짚 및 옥수수 줄기 등과 같은 거친 입자 공급원일 경우는 61cm가 적당하다(그림 43).
- 사체는 깔짚 중앙에 배치해야 하고 머리와 다리는 퇴비 더미 밖으로 나가는 것을 방지하기 위해 노끈으로 묶는다. 사체가 깔짚에 놓이면 복부를 절개 한 후 반추위를 구멍 내 공기를 배출 시키는데 이 과정을 수행하지 않으면 반추위는 부풀어 올라 팽창 또는 파열되고 더미가 무너질 수 있어 큰 근육을 절개하거나 뱃속을 열어 내부 장기를 꺼내는 절차는 선택 사항이다.
- 이러한 절차는 사체 내부에 미생물의 접근을 용이하게 하고 탄소 공급을 원활하게 할 뿐만 아니라 분해 속도를 증가시킨다. 깔짚 또는 커버로 사용되는 부자재는 약 50%의 수분을 함유하고 있어야 하는데 만약 부자재가 건조하다면 물을 첨가한다. 이때 수돗물 대신 주

변의 논물 또는 연못물을 사용 하면 그 속에 있는 풍부한 미생물이 퇴비화를 촉진시킨다.

- 부자재는 손으로 만졌을 때 축축한 느낌이 나지만 손으로 쥐어짤 때 수분이 묻어나면 안 된다. 더미가 너무 건조한 경우 미생물이 죽거나 비활성 되어 더미 온도가 상승하지 않고 분해 속도 또한 느려지고 반대로 수분이 높은 경우 공기의 흐름이 제한되어 산소의 가용성 역시 줄어들어 악취가 발생할 수 있다.



<그림 43> 부자재와 사체 위치 및 간격에 따른 모식도

(참고문헌: Joah *et al.*, <http://poultrywaste.okstate.edu/files/BAE1749%20On-Farm%20Mortality.pdf>)

4) 탄소 커버 추가

- 탄소 커버는 깔짚과 비슷한 역할을 하는데 미세 입자 부자재와 거친 입자 부자재를 각각 45cm, 61cm 두께로 덮어주면 퇴비화가 원활하게 진행된다. 더미 상층의 커버는 분해과정의 효율을 결정하는 가장 중요한 요소이다.
- 열 발생과 수분조절에 관여하여 온도 및 수분 손실을 방지하는 역할을 한다. 이상적인 다공성 커버 두께를 적절하게 유지하는 것은 사축퇴비화의 핵심이다.

5) 더미 관리 요령

- 퇴비화 과정 중 더미 내부의 온도는 긴 막대온도계를 사용하여 모니터링 한다. 더미 온도는 처음 하루 이틀 내에 상승해야 고온 단계로 상승할 수 있고 활성 미생물에 의해 생성된 대사에너지로 인하여 내부 더미의 온도는 54℃ 이상으로 상승한다.
- 시간이 경과함에 따라 미생물은 사체를 분해시키면서 더미 내에 탄소와 산소를 소비한다. 미생물의 활동이 감소하면 더미 내에 온도는 하강하기 시작하며 냉각 단계에 이르게 된다. 이 과정은 기후, 탄소 공급원 등과 같은 요인에 따라 결정되며 소요 기간은 1~10개월까지 소요될 수 있다.

- 퇴비화가 끝나지 않은 더미를 열면 악취가 발생할 수 있어 더미 내 온도를 확인하여 최대 54℃, 최소 43℃ 이하가 되었다면 더미를 한번 뒤집어 주어 공기의 흐름이 원활하게 하는 것이 좋다. 가수여부를 확인하기 위해 수분함량을 평가하고 사축의 모든 부분이 부자재로 잘 덮여 있는지 확인한다. 활성 미생물이 배를 분해함으로써 온도가 상승하거나 감소하고 이 과정이 끝나면 퇴비는 비료로 이용되거나 2차 분해를 위한 섞어주기 작업을 수행하게 된다. 퇴비화가 종료되면 새로운 더미로 이설하거나 새로운 사축퇴비화를 위한 부자재로 이용 할 수 있다. 분해가 덜 되고 남은 배 조각들은 잘 부서지는 형태 혹은 속이 빈 형태로 되어있기 때문에 또 다른 더미에 추가하여 퇴비화 과정을 진행 할 수 있다.
- Oklahoma State University (OSU)의 연구에 의하면 사축퇴비는 사축 투여 후 75일 간격으로 퇴비 더미를 뒤집어 공기를 유입시키는 것이 적당하다고 보고되었다.

다. 성공적인 사축퇴비화를 위한 운용변수

1) 성공적인 사축퇴비화의 조건

- 성공적인 사축퇴비화 조건은 다음과 같이 4가지로 요약된다.
 - (1) 유기물과 질소의 비 (C:N 비), (2) 산소, (3) 수분함량, (4) 온도.
- 4가지 조건을 충족시키기 위해서는 사축퇴비화를 위해 사용되는 부자재의 선정과 역할이 매우 중요하다. 부자재는 적절한 C:N비를 제공하여 산소공급을 원활하게 하고 수분 및 열을 유지시킨다. 또한 사축과 대기환경 사이에서 필터 역할을 하여 침출수와 퇴비과정 중에 발생하는 악취발생을 방지하는 역할을 한다. 미생물은 작은 배 조각까지도 퇴비화 과정 중 쉽게 분해할 수 있다.

2) 사축퇴비화의 이상적인 조건

<표 14> 사축퇴비화 최적 조건

Condition ¹⁾	Reasonable range	Preferred range
Carbon to nitrogen ratio	20:1 - 40:1	25:1 - 30:1
Water content	40 - 65%	50 - 60%
Oxygen concentration	5%	5 -15 %
Particle size (diameter)	1/8 - 1/2 inch (0.32 - 1.27cm)	Depends on the material
pH	5.5 - 9.0	6.5 - 8.0
Temperature	110 - 150°F (43 - 59°C)	130 - 140°F (51-55°C)

¹⁾ These conditions are for rapid composting. Conditions outside these ranges can also yield successful composting.

(참고문헌: Rynk, R. 1992. On-farm Composting Handbook.)

- <표 14>는 퇴비화 조건 및 적정범위를 나타낸 것으로써, 퇴비화의 빠른 진행을 원한다면, C:N 비는 30:1, 수분은 50-60%, 산소함량은 5-15%, pH는 6.5-8.0, 온도는 50℃를 유지하는 것이 바람직하다.
- 예를 들어 돼지 분의 경우, C:N비가 14:1 정도인데 나무칩, 톱밥, 옥수수 줄기, 종이, 볏짚과 같이 C:N비가 비교적 높은 부자재를 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다.
- 수분 공급량이 적을 때에는 미생물 활성이 감소되며, 반대의 경우 악취 발생 및 퇴비화 진행을 방해한다. 돈분 내 수분함량이 50% 미만이면 임의적인 조절이 필요하다. 만약 탄소원으로 이용되는 부자재, 퇴비화에 이용할 사축 내 수분함량이 너무 낮은 경우에는 추가적인 수분 공급이 필요하다.
- 온도 조건의 경우, 퇴비화 과정의 진행정도를 확인할 수 있는 척도로 항상 모니터링 해야 한다. 정상적으로 퇴비화가 진행되고 있다면 55℃ 이상 조건에서 3일 이상 유지되며 분뇨 내 기생충과 병원균이 사멸하는 것으로 알려져 있다.

3) 부자재의 특성 및 사축퇴비화를 위한 적정 범위

- <표 15>는 부자재 별 적정 C/N비, 수분함량, 공극률을 나타낸 표로 분뇨의 경우 동물 중에 따라 성상이 다르기 때문에 같은 부자재를 사용하더라도 퇴비화 결과가 다르게 나타난다.

소와 말분의 경우, 수분함량이 높고 공극률이 작아 다른 축종에 비해 퇴비화 진행이 어렵다는 단점이 있다.

- <표 16>은 농장에서 퇴비화 시 사용할 수 있는 부자재를 정리한 것으로 대표적인 완숙퇴비, 톱밥과 대팻밥, 돈분 등이 있다. 완숙퇴비는 수분함량이 낮은 다른 부자재와 단독 또는 혼합하여 사용함으로써 자원을 재활용한 재료로써 C/N비가 낮고 미생물의 좋은 공급원으로 이용할 수 있다.
- 톱밥과 대팻밥은 중 톱밥은 건조하고 대팻밥보다 비교적 분해성이 좋고 수분과 약취의 흡수가 용이해 깔집으로 이용이 가능하고 가격이 저렴하기 때문에 퇴비화의 좋은 부자재로 사용할 수 있다. 돈분은 질소와 수분함량이 높기 때문에 건조하고 탄소함량이 높은 부자재와 혼합하여 사용해야 한다. 강한 약취와 높은 수분함량으로 인해 퇴비를 만들 때 다른 동물의 분보다 어려움이 있기 때문에 고형물을 분리하거나 약취 제어가 필요하다.

<표 15> 부자재 별 적정 C:N비, 수분함량, 공극률 및 특성

Material	C:N Ratio	Moisture (%)	Structure	Notes
Cattle Manure	13-20:1	67-87	Poor	- High moisture content. - Uniform, small particle size.
Horse Manure	25-30:1	55-75	Poor	- High moisture content. - Uniform, small particle size.
Wheat Straw	100-150:1	10-14	Very Good	- Best when chopped and mixed with denser materials. Needs moisture. - Highly degradable source of carbon.
Corn Silage	38-43:1	65-68	Good	- Good particle size. - Poor structure when wet. - Strong odor.
Hay	15-32:1	8-10	Very Good	- Best when chopped and mixed with denser materials.
Sawdust	100-250:1	--	Very Good	- Maintains structure when wet but difficult to keep moist in dry climates. - Low odor. - Absorbent.
Wood Chips	100-250:1	--	Good	- Excellent base under primary compost materials to improve aeration. - Large pieces do not absorb liquid or odors.
Finished Compost	20-40:1	--	Good	- Low available nutrients. - Good as absorbent base or bio-filter cover.

(참고문헌: Rynk, R. 1992. On-farm Composting Handbook.)

<표 16> 농장에서 퇴비화 시 사용할 수 있는 부자재

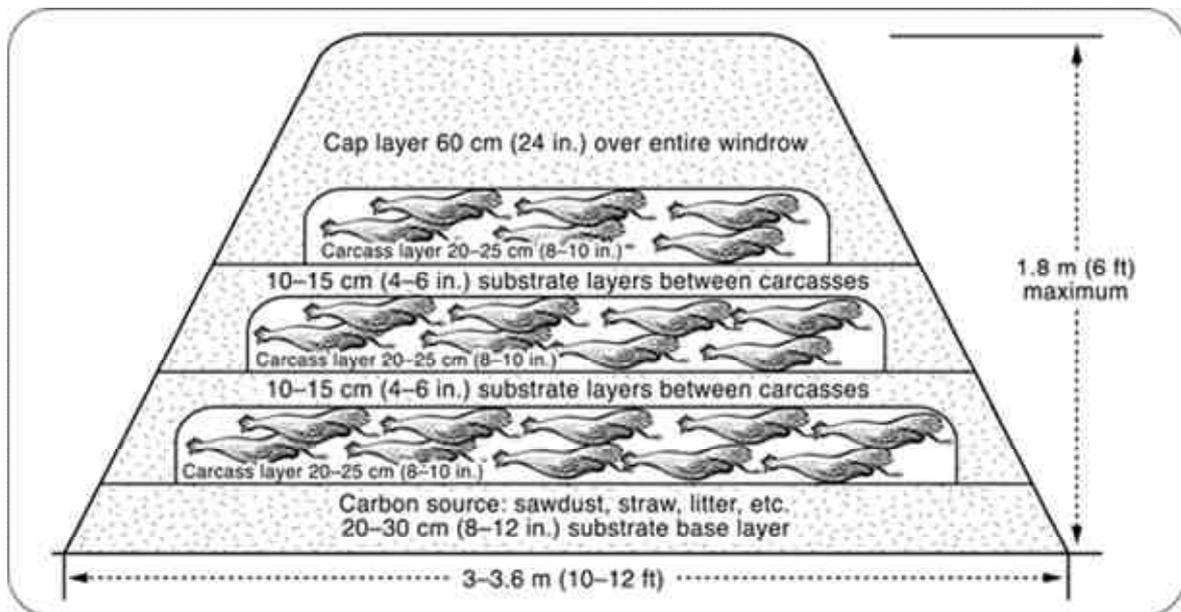
-
- | | |
|------------------------------|--|
| o Bark | |
| o Cardboard | o Newspaper |
| o Cattle manure | o Livestock manure |
| o Crop residues | o Paper mill sludge |
| o Fertilizer and urea | o Peat moss |
| o Finished compost | o Poultry manure |
| o Fish processing wastes | o Sawdust and shavings |
| o Food processing wastes | o Seaweed and other aquatic plants |
| o Fruit and vegetable wastes | o Septage and sewage sludge |
| o Grass clippings | o Slaughterhouse and meat packing wastes |
| o Horse manure | o Spoiled hay and silage |
| o Leaves | o Straw |
| o Lime | o Swine manure |
| o Wood ash | |
| o Wood chips | |
-

(참고문헌: Rynk, R. 1992. On-farm Composting Handbook.)

4) 윈드로 시스템

(1) 시스템 구축 방법

- 퇴비 더미는 고깔 모양으로 너비는 2.4-3.6m, 높이는 가장 높은 부분을 잴 때 1.2-1.8m로 더미 가장자리로부터 적어도 15cm는 사축을 놓지 말아야 한다. 퇴비화가 종료되면 사체는 분해되어 육안으로 확인 할 수 없다.
- 상층부는 사축이 분해되는 동안 나오는 악취 저감 또는 제거를 하는 바이오필터 역할을 담당하는데 악취 저감은 너구리, 쥐, 멧돼지 등과 같은 외부 동물로부터 더미를 보호하는 역할을 한다. 더미 내의 열이 유지되면서 사축이 분해되면서 병원성미생물을 사멸시킨다.



<그림 44> Cross-section of a carcass-composting windrow created using the layering method.
 (참고문헌: Joah *et al.*, <http://poultrywaste.okstate.edu/files/BAE1749%20On-Farm%20Mortality.pdf>)

○ 전형적인 윈드로형 사축퇴비화 방법은 다음과 같다(그림 44).

- 선정된 부자재를 바닥에 20 - 30cm 두께로 깎는다.
- 사축을 단층으로 올려놓는다.
- 부자재를 10 - 15cm 정도 두께로 덮는다.
- 사체를 올려놓고 부자재로 덮는 작업을 반복한다.
- 맨 위층에 사축을 올려놓은 후에는 더미를 부자재로 60cm 두께로 덮는다.

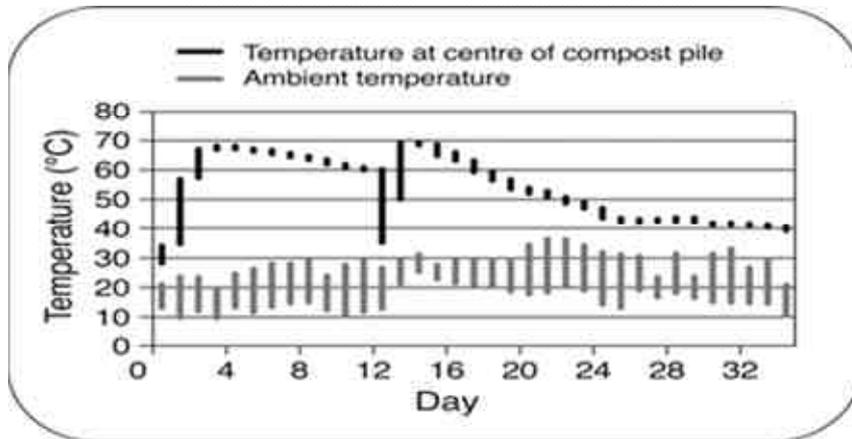
(2) 윈드로 시스템의 성공적인 사축퇴비화를 위한 조건

(가) 수분

- 성공적인 퇴비화를 진행하기 위해서는 수분함량이 중요한데 더미 내 수분함량이 40-60% 일 때 미생물이 번식할 수 있다.
- 더미 내 수분함량이 너무 낮아 적절한 퇴비화 조건에 도달하지 못하면 수분을 인위적으로 첨가하고 반대로 더미의 수분함량이 너무 높으면 수분을 흡수하는 부자재를 추가적으로 투입하거나 더미 내에 공기를 유입해 준다. 더미 내 높은 수분함량은 침출수 또는 악취를 발생시킬 수 있다.

(나) 더미 관리

- 부자재의 적절한 혼합은 미생물의 분해를 촉진시켜 유기물질을 분해하고 열을 발생시키는 데 이때 발생한 열은 온도계를 이용해서 측정할 수 있다. 퇴비 더미의 온도 모니터링은 퇴비화 과정이 잘 진행되고 있는지를 알려주는 가장 좋은 방법으로 퇴비내 온도가 50-65℃ 범위에서는 병원균, 바이러스, 기생충, 기생충 알 등의 모든 병원체가 사멸하게 된다.
- 실례로 조류인플루엔자(AI) 바이러스는 60℃에서 10분 또는 56℃에서 90분이면 사멸하고 더미 내 고온은 구더기나 딱정벌레와 같은 퇴비화를 방해하는 곤충들도 사멸시킨다. 이때 충분한 열이 발생하기 위해서는 더미가 호기적으로 유지되는 것이 중요하기 때문에 더미 내에 공기가 잘 유입되는지를 잘 체크해야 한다.
- 일반적으로 더미의 열 상승은 빠른 반면 열 하강은 점진적으로 이루어진다. 열 하강은 보통 유기물이나 산소가 부족할 때 생기는 현상으로 더미를 혼합하여 주면 다시 산소가 공급되어 유기물 분해 활동이 활발해지고 <그림 45>와 같이 더미 내의 온도가 다시 상승한다.
- 온타리오주의 최근 연구에서는 암탉의 사육으로 퇴비화를 진행한 결과 초기 5-10일 후 온도가 가장 높았고 그 후로 점차적으로 감소하였다. 퇴비화 12-21일 후 부자재와 사육을 혼합하여 주는 작업을 실시한 결과 과일 내 온도는 증가한 후 점차적으로 감소하였다.
- 퇴비화 30일 경과 후 모든 분해가 완료되어 두개골, 낱작뻬와 같은 큰 뼈만 육안으로 확인할 수 있었고 살점이나 깃털은 없었다. 퇴비화가 계속 되어 온도가 유지될 경우 후숙 과정이 진행되는 것이다.
- 퇴비 더미를 두 번째 섞으면 후숙 과정이 빨리 진행되게 도와주고 더 많은 산소가 더미내로 유입된다. 완성된 퇴비는 농경지에 시비 하거나 작물을 비옥하게 하는 비료로 사용할 수 있다.



<그림 45> Time versus temperature graph of a compost windrow. The pile was turned at Day 13.

(참고문헌: Dams *et al.*, <http://www.thepoultrysite.com/articles/1121/windrow-composting-of-poultry-carcasses>)

※ 가축수가 많을 때의 윈드로형 시스템

- 처리해야 할 사축이 다수이면 빈 형보다 윈드로형이 퇴비에 적합하다. 퇴비화를 진행할 위치 선정과 깔짚의 폭과 높이는 빈 형과 같으나 퇴미 더미의 길이는 다르다.
- 사축의 등이 다른 사축의 다리에 닿을 수 있어 깔짚 옆 가장자리 공간은 60cm 정도를 확보해야 한다. 윈드로형 시스템에서 울타리 설치는 불가능할 수도 있어 사체 위 적절한 부자재 커버 60cm를 꼭 확보하여 야생동물로부터 더미를 보호하고 이때 더미의 길이는 사체의 수에 따라 유동적으로 결정한다.

2. 환경친화적 사축퇴비화 기술개발

가. 실험실 시뮬레이션 연구 I : 부자재 종류에 따른 사축퇴비화

- 친환경적 사축퇴비화를 위해서는 사축을 효율적으로 부숙시키기 위한 운용변수 평가 및 정립이 매우 중요하다. 그 변수로는 부자재의 종류, 송풍방법, 부숙 시스템의 구조, 초기 C/N 비 등이 있다.
- 일반적으로 전염성 질병 발생 등과 같은 응급상황으로 인한 대량의 사축 발생 시를 전제로 할 때 사축퇴비화를 위해 필수적으로 사용되어야 하는 부자재는 우선 사축이 발생하는 농가에서 쉽게 구할 수 있어야 한다. 또한 송풍라인을 설비하여 사축을 퇴비화 하는 강제 송풍형 시스템은 그 효율이 아무리 높다할지라도 시설설비에 많은 시간과 경비가 소요되

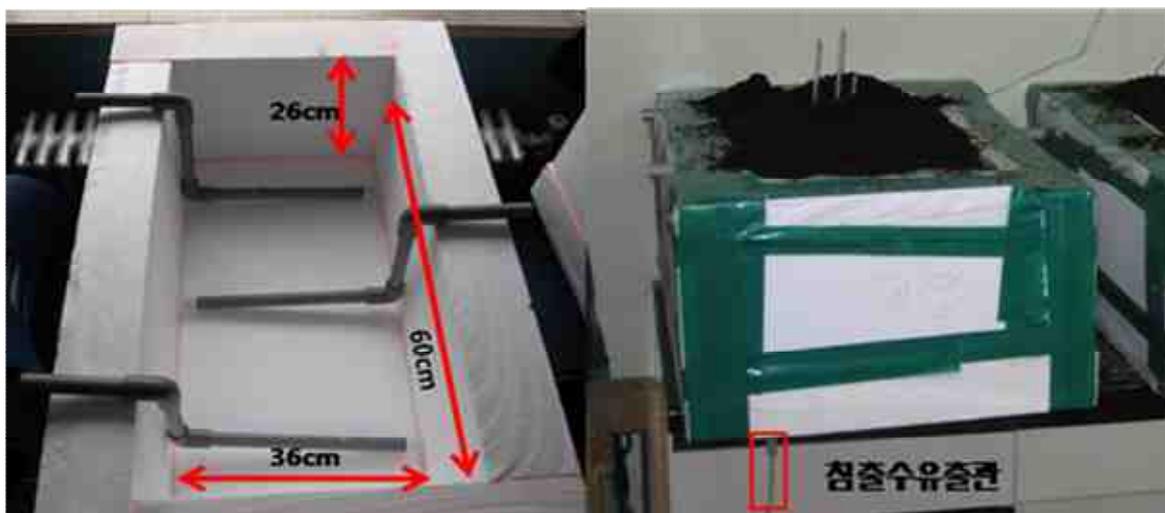
기 때문에 바람직하지 않으며, 매립 방법보다도 시간과 경비가 적게 드는 자연통기형 시스템이 적합할 것으로 판단된다.

- 따라서 본 연구에서는 환경친화적 사축퇴비화기술 개발을 위한 기초 자료를 확보할 목적으로 자연통기형 사축퇴비화 방법을 고안하고 농가주변에서 쉽게 조달할 수 있는 부자재를 대상으로 부자재 종류별 사축퇴비화 특성을 파악하였다.
- 부자재의 선정은 <표 15> 혹은 <표 16>을 참고하여 사축발생 현장에서 쉽게 구할 수 있는 것을 대상으로 퇴비, 분뇨, 톱밥과 왕겨를 선정하였다.

1) 재료 및 방법

(1) 시스템 디자인

- 100mm두께의 스티로폼을 이용하여 내경기준 W36×L60×H26cm(56L)로 제작하였으며 자연통기를 위해 바닥에 PVC 재질의 관(∅20mm)을 설치하였다. 퇴비화 시스템 바닥면과 맞닿는 관은 다공성 관으로서 <그림 46 좌>와 같이 하부 5시와 7시 방향에 5cm 간격의 (지그재그형태) 구멍(∅ 5mm)내어 자연적인 통풍이 가능하도록 하였다.
- 바닥에는 경사를 두어 퇴비화 과정에서 발생한 침출수가 손쉽게 배출되도록 하였으며 침출수 포집을 위해 밸브가 달린 유출관을 <그림 46 우>와 같이 삽입하였다. 퇴비화 과정 중의 온도 변화를 모니터링하기 위한 probe는 사축 사이에 삽입하였다.

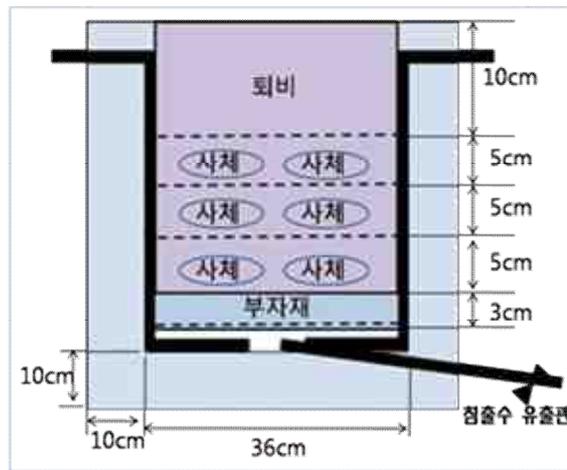


<그림 46> 자연형 통기관(다공성관)이 설치된 트렌치형 사축퇴비화 시스템

(2) 실험방법

○ 부자재별 시스템 구축 방법

- ① 바닥 송풍관 위에 부자재를 <그림 47>과 같이 3cm 도포하였다.
- ② 그 위에 사체를 대신할 돼지고기(이하 사체)를 내장을 포함하여 1층당 두 덩어리-혈액-부자재를 순서대로 투입하여 사체 포함한 높이를 5cm로 맞춘다.
- ③ ②번의 과정을 두 번 반복하여 사체와 부자재를 합친 높이가 15cm가 되게 하였다.
- ④ 최상층의 퇴비는 처리구별로 동일하게 10cm씩 투입하였다. 시스템에 이용한 사체, 내장 및 혈액의 비율은 돼지의 부위별 도축량을 기준으로 하였다. 실험실 규모의 실험용 트렌치형 사축퇴비화 시스템 설비 모습은 <그림 48~51> 참조



<그림 47> 트렌치형 사축퇴비화 시스템

○ 부자재 종류 : 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥, 왕겨(4처리 3반복)

처리구	부자재 투입량(kg)	사체 + 혈액 투입량(kg)
1	퇴비	5.0 + 0.4
2	돈분 + 퇴비(50 : 50)	
3	톱밥	
4	왕겨	

○ 실험기간 : 2012. 02. 17 - 03. 27 (40일)

○ 본 실험에서 40일 동안의 비교적 짧은 사축퇴비화를 진행한 것은 효율적 사축퇴비화에 적합한 부자재를 탐색하기 위한 것으로서 만약 사축퇴비화 기간이 충분히 제공될 경우 부자재별 퇴비화 진행 속도 차이를 파악하기 어려울 수 있기 때문이다.

- 각 처리구별로 투입된 실제 부자재의 양을 측정한 결과 퇴비 및 돈분+퇴비 처리구의 경우 각각 23.4 및 20.0 kg이었고 톱밥 및 왕겨 처리구는 4.7 및 3.6 kg으로 큰 차이를 보였는데 이는 퇴비와 돈분+퇴비의 경우 공극률이 작고 질량이 큰 반면 톱밥과 왕겨는 공극률이 크고 질량이 작기 때문이다.



<그림 48> 트렌치형 사축퇴비화 시스템에 투여할 사체(혈액, 내장, 고기) 준비 과정



<그림 49> 트렌치형 사축퇴비화 시스템 설치 모습



<그림 50> 트렌치형 사축퇴비화 시스템 사체, 부자재 셋팅 과정



<그림 51> 트렌치형 사축퇴비화 시스템 셋팅 완료 모습

○ 분석항목 및 샘플링 주기

조사항목	분석항목	샘플링 주기
부자재 초기샘플	TS, VS, pH, TKN, NH ₄ -N, NO-x	실험초기
침출수 발생량	TOC, OP, NH ₄ -N, Nox	주 1회
온도	℃	20분 간격
습도	%	주 2회
악취 발생량	DMDS(Dimethyl disulfide) DMTS(Dimethyl trisulfide), Pyrimidine	주 1회
해체 후	사축분해율, 용적중 ¹ , 보수력(WHC ²), 퇴비성상	

¹Bulk density, ²Water holding capacity

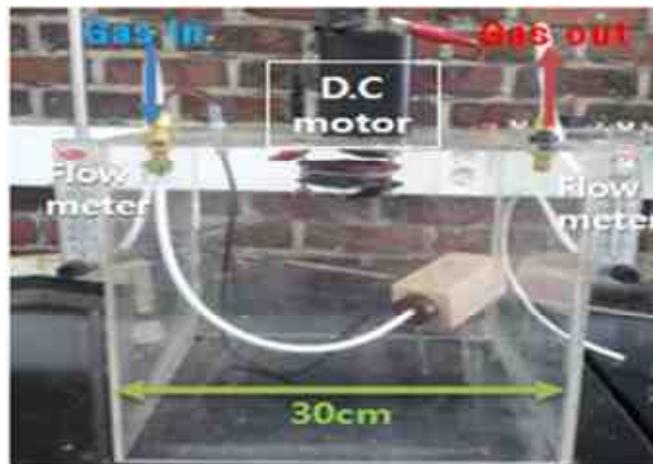
○ 악취 발생량 측정방법

- 플릭스 챔버 제작 및 시료 채취 방법

- 실험실 시험에 사용 가능한 Flux Chamber를 <그림 52>와 같이 제작
- 사이즈 : 0.30m(width)×0.30m(length)×0.40m(height), 36L 단면적 : 0.09m²
- 재질 : 아크릴
- 상부에 소형 fan을 장착하여 챔버 내 공기의 균질성을 유지
- 유입가스와 배출가스가 혼합되어 충분히 안정되는 체류 시간(약 20분) 이후 out line에 테들러 백을 연결하여 시료 채취

- 악취 분석 방법

- 채취한 악취 분석은 GC/MSD를 사용하였으며 분석 조건은 <표 17>과 동일



<그림 52> 챔버 디자인

<표 17> GC/MSD 분석조건

GC/MSD	JEOL, JMS-Q1050GC
Column	HP-5 (30×0.32mm, 0.25 μ m)
Carrier gas	He, 1.0 mL/min
Inlet	<ul style="list-style-type: none"> o Injection : SPME (SPME fiber: CAR/PDMS 75μm) o Absorption: 35$^{\circ}$C, 75min o Desorption: 250$^{\circ}$C, 2min o Mode : Split 5:1 o Temperature : 250 $^{\circ}$C
Oven	Temp(min) : 50 $^{\circ}$ C (10min)-5 $^{\circ}$ C/min-200 $^{\circ}$ C (10min)
Detector	<ul style="list-style-type: none"> o Mode : MSD o Ion source : EI, 70 eV o Ion source temperature : 250$^{\circ}$C o Scan range : 30~300 m/z o Solvent delay time : 0 m

2) 결과 및 고찰

(1) 초기 샘플 분석

<표 18> 부자재 초기 성장과 해체 후 퇴비성상의 비교

Materials		MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N	TKN ³	NO _x	C:N ratio ⁴
					mg/kg			
Compost	Before	51.4±0.9	37.7±0.3	8.5	643.8±1.7	9,797.6±178.7	13.3±0.1	22.8
	After	64.2±0.0	22.5±6.1	8.6	2,353.7±5.5	12,186.1±48.4	15.3±0.7	13.6
Swine feces +	Before	58.1±0.6	32.0±0.4	8.0	1,527.3±5.8	10,237.4±171.5	14.4±0.6	18.1
	Compost After	65.2±0.4	21.9±10.4	8.8	3,544.0±60.8	13,067.1±494.6	10.2±0.3	11.9
Sawdust	Before	7.2±0.1	92.2±0.0	5.0	8.0±0.3	1,349.2±0.1	13.3±0.0	511.9
	After	60.0±0.5	39.6±0.2	8.7	1,501.8±4.6	4,597.2±123.6	14.3±0.1	46.2
Rice husks	Before	9.0±0.1	78.7±0.0	7.0	15.9±0.5	3,795.6±0.1	17.2±0.3	75.4
	After	49.8±0.9	43.3±0.7	8.9	1,899.3±17.9	3,538.0±60.5	13.8±0.7	65.1

¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen, ⁴Carbon to nitrogen ratio.

- <표 18>은 부자재 초기 성장과 해체 후 퇴비 성장을 비교한 결과로서 부자재의 수분함량은 퇴비, 돈분+퇴비의 경우 51 ~ 58%인 반면 톱밥과 왕겨는 각각 7, 9% 수준으로 매우 낮았다. 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥 및 왕겨의 VS 함량은 각각 77.5, 76.4, 99.3, 86.5%이었으며 C/N비는 각각 23, 18, 512, 75 수준이다. pH는 4처리 모두 초기와 비교하여 상승하면서 8.6-8.9 수준이었으며 유기물의 %함량은 큰 변화는 없었다.
- TKN은 초기에 비해 대체로 상승하였는데 이는 사축이 미생물에 의해 분해됨에 따라 단백질이 아미노산으로 분해된 후 ammonification 반응에 의해 암모니아가 생성되었기 때문으로 판단된다. 미분해된 사축을 제거한 부자재 중 NH₄-N의 함량을 보면 초기에 비해 모두 처리구에서 크게 상승하였다.

(2) 침출수 발생 및 특성

<표 19> 침출수 발생량

Materials	Days	Amount		NH ₄ -N	TOCs	PO ₄ ³⁻	NO-x
		ml	ml/kg*				
Compost	-	0	0	-	-	-	-
Swine feces + compost	15	99	18	2107.7 ±111.9 (38.65)	38.2 ±11.7 (0.70)	346.7 ±237.6 (6.35)	N.D.
Sawdust	-	0	0	-	-	-	-
Rice husks	8	44	8.2	233.1 ±51.2 (1.91)	273.4 ±27.3 (2.22)	986.2 ±306.3 (8.04)	N.D.

※ 실험 전기간(40일)동안의 침출수 발생량임.

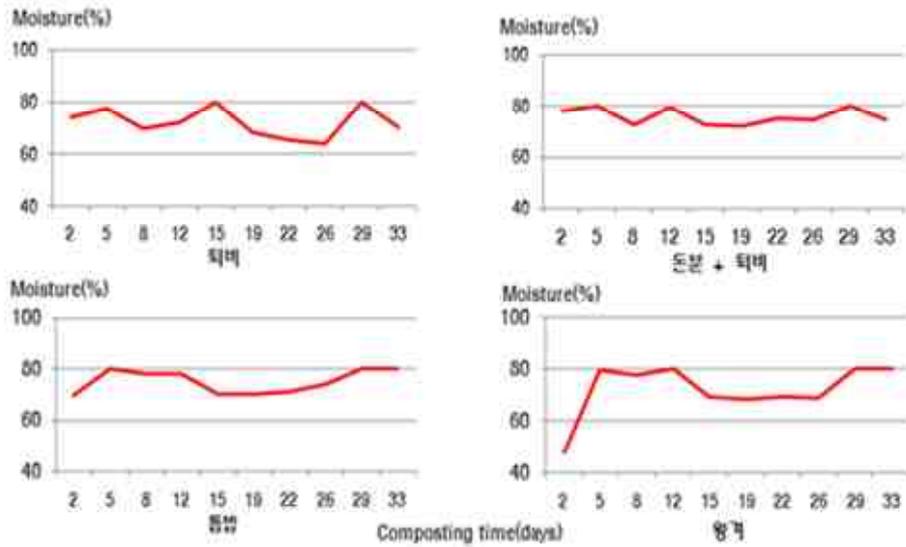
* Mortality kg

- <표 19>는 사축퇴비화 과정 중 침출수 발생 여부를 관찰한 결과로서 퇴비와 톱밥을 부자재로 사용한 경우에는 침출수가 전혀 발생하지 않았던 반면 돈분+퇴비 및 왕겨를 부자재로 이용한 경우에는 침출수가 발생하였다.
- 40일 동안의 퇴비화 과정 중 발생한 침출수 양은 돈분+퇴비의 경우 99ml로 사체 kg당 18ml의 침출수가 발생하였으며, 왕겨의 경우에는 44ml로서 사체 kg당 8.2ml의 침출

수가 발생하였다. 침출수 발생은 퇴비화 초기에 집중되었으며 돈분+퇴비 부자재는 15일까지 왕겨의 경우에는 8일까지 침출수가 발생하였다.

- 퇴비와 톱밥구에서 침출수 발생이 없었던 이유는 발생된 침출수가 최하층에 깔려 있는 부자재에 흡수되었기 때문인 것으로 판단된다. 가축 매물지로부터 나오는 침출수는 대부분이 유기물 및 질소·인 등의 무기물질로 구성되어 있으며 오염물질의 농도는 매물 경과시간에 따라 달라지는 것으로 알려져 있지만 본 실험에서의 침출수는 퇴비화 과정 중에 발생한 것보다는 투입한 혈액이 부자재에 흡수되지 못하고 바로 배출되었기 때문인 것으로 판단된다.
- 고안된 방법을 이용하여 사축을 퇴비화 할 경우, 침출수로 배출되는 오염물질의 양(혹은 침출수내 오염물질 농도)을 비교할 때 퇴비와 톱밥을 부자재로 사용 시에는 오염물질 발생이 전혀 없었던 반면 왕겨를 부자재로 사용 시에는 사체 kg당 1.91mg의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 2.22mg의 TOCs가 발생하였다.
- 돈분과 퇴비를 혼합하여 부자재로 사용할 때에는 사체 kg 당 38.65mg의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 0.70mg의 TOCs가 발생하였다. $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 발생은 돈분+퇴비에서 높았는데 이는 부자재 자체에 함유된 성분이 부숙 과정에서 분해되어 배출되었기 때문으로 판단된다.
- 침출수 내 TOCs의 경우에는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과는 반대로 돈분+퇴비보다 왕겨에서 약 7배 정도 높았는데 이는 왕겨 사용 시 사축이 분해되면서 발생한 침출수에 다량의 혈액성분이 그대로 섞여 배출되었기 때문이다. 매물지 침출수 중의 TOCs와 같은 난분해성 유기물질 변화는 기온의 영향을 크게 받는 것으로 알려져 있지만 본 실험에서는 부자재의 입자 크기와 공극률 및 수분흡수율 등에 영향을 받은 것으로 생각되며, 침출수 내 용해성인의 경우에도 돈분+퇴비보다 왕겨를 부자재로 사용할 때 높았는데 이 또한 TOCs의 경우와 같은 이유 때문인 것으로 판단된다.

(3) 습도 변화

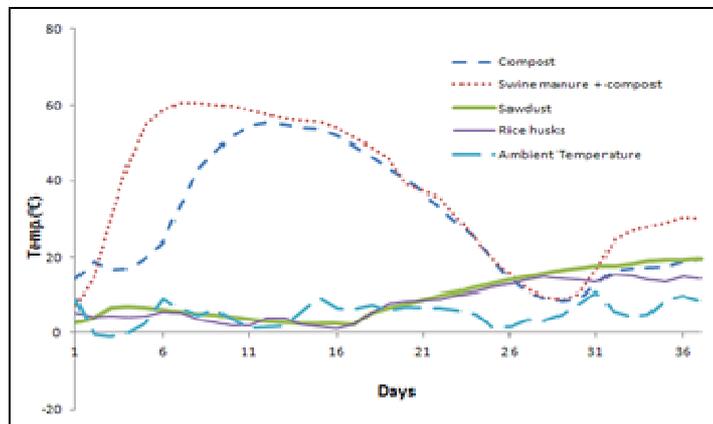


<그림 53> 습도 변화

○ <그림 53>은 습도 변화를 나타낸 것으로, 부자재에 포함되어 있는 수분, 사체, 혈액이 섞인 함량이다. 왕겨구의 경우 다른 처리구에 비해 습도가 낮은 이유는 부자재에 포함되어 있는 수분함량이 낮을 뿐만 아니라 왕겨의 공극률이 커서 수분을 머금지 못하고 최하층으로 통과된 것으로 판단된다.

○ 초기 습도 조절 후 별도의 수분조절이 필요 없는 것으로 나타났다.

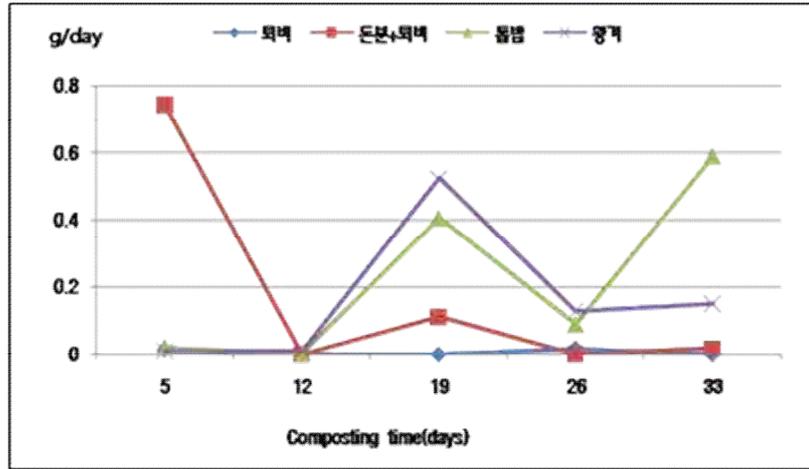
(4) 온도 변화



<그림 54> 온도 변화

- <그림 54>는 퇴비화 과정 중의 온도 변화를 나타낸 것으로 처리구를 비교할 때 퇴비 및 돈분+퇴비구의 경우에만 50°C 이상의 고온으로 온도가 상승하였으며 톱밥, 왕겨구에서는 충분한 온도상승은 나타나지 않았다.
- 이러한 퇴비구나 돈분+퇴비구에서 고온으로의 온도상승은 퇴비에 포함 되어있던 미분해된 분뇨나 혹은 추가적인 분뇨첨가로 인해 초기 C/N비가 퇴비화에 적합한 20:1 수준에 가까웠기 때문으로 판단된다.
- 톱밥 및 왕겨구에서 온도가 충분히 상승하지 않은 이유는 초기 C/N비가 각각 511.9 및 75.4로 미생물에 의한 유기물 분해 소요시간이 다른 부자재에 비해서 상대적으로 길어져(Hong, 1999) 사축이 제대로 분해되지 않았기 때문으로 판단된다.
- 일반적으로 C/N비가 낮아 탄소 함량이 적고 질소 함량이 상대적으로 높으면 질소가 암모니아로 전환되어 퇴비에서 악취가 발생하며 반대로 탄소 함량이 높고 질소 함량이 적으면 미생물 활동을 저하 시키고 사축분해가 매우 느리게 진행되어 온도가 상승하지 않는 결과가 나타나는 것으로 보고되었다(Morse, 2001).
- 고온으로 온도가 상승한 두 처리구의 온도변화 패턴을 보면 퇴비구의 경우 9일 후 부터 약 1주일간, 돈분+퇴비구에서는 퇴비화 후 4일 부터 약 2주일간 50°C 이상의 고온이 유지되어 최소한의 사축퇴비 더미 내 유해 병원성 미생물 사멸 조건이 형성되었다.
- 그러나 생물학적 안전성 측면에서 판단할 때 돈분+퇴비구에서만 55°C 이상으로 열이 충분히 발생하여 1주일 정도 유지된 것으로 미뤄 분뇨를 다른 부자재와 혼합하여 함께 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

(5) 악취발생



<그림 55> DMDS 발생량

○ <그림 55>는 부자재별 사축퇴비화 과정중의 악취발생 정도를 알기 위해 최소 감지 농도가 매우 낮으며 자극을 유발할 수 있어 사축퇴비화 현장에서 각별한 주의가 요구되는 DMDS의 농도를 측정된 결과를 나타낸 것으로, 원활한 사축 분해로 온도발생이 왕성하였던 퇴비구와 돈분+퇴비구에서는 주로 초기에 발생하고 점차 시간이 경과함에 따라 감소하였으나 왕겨 및 톱밥구에서는 꾸준히 발생하는 것으로 나타났다.

○ DMDS의 발생은 사축분해와 밀접한 관계가 있어 퇴비화가 왕성하게 진행될 때 고농도의 DMDS가 발생하나 본 연구에서는 모든 처리구에서 사축분해 정도와 관계없이 평균적으로 매우 낮은 발생을 보였는데 이는 사축퇴비 더미를 최종적으로 완숙된 퇴비로 덮었기 때문으로 상층에 위치한 완숙퇴비가 바이오필터의 역할을 담당한 것으로 판단된다<표 20>.

<표 20> 공기 중 DMDS 농도

(단위 : ppb)

Materials	5 day	12 day	19 day	26 day	33 day	AVG
Compost	0.281	N.D	N.D	1.069	N.D	0.675
Swine feces + compost	14.926	N.D	2.229	N.D	0.358	5.837
Sawdust	1.329	0.242	8.097	2.746	11.782	4.839
Rice husks	0.663	0.689	10.458	2.615	3.029	3.491

○ 한국환경공단에서 제시하는 악취지정 물질 22종 중 하나인 DMDS는 사람의 후각으로 감지할 수 있는 최소 농도는 3ppb이며 환경부가 제시한 배출허용기준은 공업지역은 30ppb, 기타지역은 9ppb으로 알려져 있다<표 21>.

- 악취 지정물질 22종은 세 개의 특성으로 구분한다(국립환경과학원, 2011).
 - 독성 유발 농도가 냄새 최소 감지 농도보다 매우 낮아서 냄새는 안 나지만 인체에 강한 자극을 유발 할 수 있는 경우
 - 독성을 유발할 수 있는 농도가 악취 최소 감지 농도와 비슷한 화합물인 경우
 - 최소 감지 농도는 매우 낮으나 자극을 유발할 수 있는 농도 높은 화합물로 DMDS가 이에 해당하여 사축퇴비화 현장에서 각별한 주의가 필요하다.

<표 21> 악취 지정물질 22종 중 이황화메틸의 특성 (출처 : 한국환경공단)

NO	화합물	화학식	최소감지농도 (ppm)	냄새 특성	배출허용기준(ppm)	
					기타지역	공업지역
5	Dimethyl disulfide 이황화메틸	CH ₃ SSCH ₃	0.003	썩는냄새, 마늘냄새	0.009	0.03

(6) 시스템 해체 후 물리적 특징

- 실험 종료 후 사체와 사체 외 퇴비로 분리하여 각각 무게를 측정 한 후 사축 분해율과 퇴비 성상 분석을 하였다.
- 퇴비구의 경우 손으로 살짝만 눌러도 뭉개지고 미끄덩거리는 현상이 나타났고<그림 56>, 냄새는 사체 썩은 냄새와 비린내가 섞여 심한 악취가 났다<표 22>.
- 돈분 + 퇴비 처리구의 경우, 퇴비구보다 냄새는 덜했지만 손으로 눌렀을 경우 퇴비구와 같이 뭉개지는 현상을 보였다. 사체 중 분해가 쉬운 살코기의 성분만 퇴비화가 진행되고 비계 성분이 분해되지 않고 남은 것으로 판단된다..



<그림 56> 퇴비, 돈분 + 퇴비구의 해체 후 사체

- 툇밥과 왕겨구는 분해되지 않고 사체가 덩어리째 그대로 있어 흡사 사체에 부자재만을 묻혀놓은 형태같이 보였다<그림 57>. 툇밥구에서는 툇밥과 분뇨 냄새가 섞인 냄새가 났고, 왕겨구는 암모니아와 사체 썩은 냄새가 한데 섞인 악취가 났다(악취정도: 상).
- 툇밥과 왕겨구의 경우, 온도가 30℃이하에서 더 이상 상승하지 않아 퇴비화 및 사축분해가 진행되지 않은 것으로 판단된다.



<그림 57> 툇밥, 왕겨구의 해체 후 사체

<표 22> 시스템 해체 후 약취

Materials	약취(후각이 느끼는 정도로 구분)
Compost	사체 썩은 냄새 + 비린내(상)
Swine feces+ compost	퇴비 냄새(중)
Sawdust	톱밥 냄새(중)
Rice husks	사체 썩은 냄새 + 암모니아 냄새(상)

(7) 퇴비 성상

- 퇴비화 후 수분함량이 초기샘플보다 증가한 이유는 사축 분해 과정에서 발생한 가스 및 액상성분이 탄산가스와 수증기로 분해되지 못하고 흡수되었기 때문인 것으로 판단된다.
- 온도 상승이나 시스템 해체 후 성상에 대한 결과를 비교해 보았을 때, 톱밥 및 왕겨 등 부자재를 단독으로 사용하는 것 보다 분뇨나 퇴비를 혼합하여 사용하는 것이 퇴비화를 촉진시키는 것으로 판단된다.
- 톱밥구의 경우 TKN 함량이 1,349 mg/L에서 4,597 mg/L로 증가하고 C/N비 함량이 511에서 46으로 감소된 것은 C/N비가 자연적으로 조절되고 있는 것으로 판단된다.

(8) 시스템 해체 후 용적중 및 보수력(WHC)의 변화

<표 23> 용적중, 보수력(WHC)

Materials	Bulk density ¹ (kg/m ³)	WHC ² (g.water/g.dry sample)
Compost	821.0±13.6	7.1±0.4
Swine feces+ compost	657.6±10.8	5.4±0.3
Sawdust	1,081.8±1.5	4.4±0.1
Rice husks	1,295.1±4.5	3.3±0.5

¹용적중, ²보수력(Water holding capacity)

- <표 23>은 용적중과 보수력(WHC, Water holding capacity)의 결과를 나타낸 것으로, 용적중은 퇴비+분뇨구가 657.6 kg/m³으로 가장 낮았으며 퇴비구 821 kg/m³, 톱밥구 1,081.8

kg/m³, 왕겨구 1,295 kg/m³ 순으로 나타났다. 톱밥이나 왕겨구에서 용적중이 높은 이유는 부자재 분해율은 낮은 반면 사체 분해과정에서 발생한 물이 부자재에 흡수되었기 때문으로 판단되며, 퇴비나 퇴비+분뇨구에서 용적중이 낮은 이유는 유기물 분해가 상대적으로 높았기 때문으로 생각된다.

- 보수력의 경우에는 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥, 왕겨구 각각 7.1, 5.4, 4.4, 3.3g water/g로 부숙 후 수분함량이 퇴비 및 돈분+퇴비구에서 높았음에도 불구하고 오히려 높았다.
- 이와 같이 온도발생이나 시스템 해체 후 성상에 대한 결과를 비교해 보았을 때, 톱밥 및 왕겨 부자재를 단독으로 사용하는 것 보다는 퇴비나 돈분을 부자재와 혼합하여 사용하는 것이 사축퇴비화를 촉진시키며 생물학적 안전성을 확보할 수 있는 방법이 될 수 있음을 알 수 있었다.

나. 실험실 시물레이션 연구 II : 부자재 혼합비율에 따른 사축퇴비화

- 부자재 선별을 목적으로 실시하였던 시물레이션 연구 I의 실험결과, 실험에 사용된 부자재의 C:N비가 퇴비화의 이상적인 범위인 25:1 - 30:1 보다 낮거나 높은 것으로 나타났다
- 톱밥, 왕겨 등 부자재를 단독으로 사용하였을 경우 더미 내부 온도가 30℃ 이상 상승하지 않았고, 퇴비화가 진행되지 않았다. 반면 분뇨와 퇴비를 혼합하여 사용하는 것이 퇴비화를 촉진시키는 것으로 판단된다.
- 따라서, 시물레이션 연구 II에서는 농가에서도 쉽게 구할 수 있는 탄소공급원인 톱밥에 돈분 혹은 퇴비를 혼합하여 C:N비를 30:1로 조정하고 사체를 일정량 투입하여 부자재의 혼합비율이 퇴비화에 미치는 영향을 검토하였다.

1) 재료 및 방법

(1) 시스템 디자인

- 실험실 시물레이션 연구 I 과 같음

(2) 실험방법

- 부자재의 종류 : 톱밥, 돈분
- 실험 조건: 4처리 3반복

○ 처리 조건

Sawdust : Swine feces ratio	Mortality	Moisture (%)
20 : 80	6.24	70
40 : 60		
70 : 30		
100 : 0		

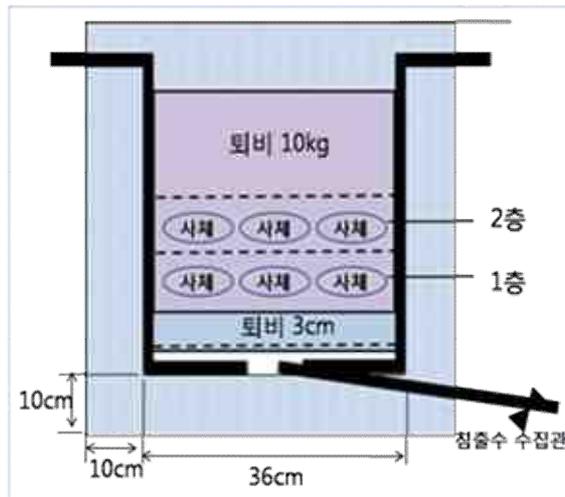
→ C : N ratio = 30 : 1

○ 실험기간 : 2012. 04. 12 - 05. 30 (50일)

○ 부자재별 시스템 구축방법은 <그림 58>과 같음

- ① 바닥 송풍관 위에 부자재를 3cm 도포한다.
- ② 그 위에 부자재를 충분히 묻힌 사체(내장 포함)를 1층당 세 덩어리씩 놓는다.
- ③ ②에 부자재를 뿌린 후 다시 사체를 쌓고 부자재를 뿌린다.
- ④ 최상층의 퇴비는 처리구별 동일하게 10kg씩 투입하고 수분은 간이측정법을 이용하여 70%로 맞춘다(손으로 부자재를 째 쥐었을 때 부자재에서 수분이 유출될 정도).

○ 실험실 시물레이션 연구 I에서 실험 종료 후 시스템 해체 시 사체와 퇴비를 구분하는 것이 어려웠던 점을 감안하여, 본 실험에서는 <그림 60>과 같이 실험 종료 후 사체와 퇴비의 구분이 쉽도록 탄력성이 좋은 나일론 망으로 사체를 감싼 후 투입하였다.



<그림 58> 트렌치형 사축퇴비화 시스템



<그림 59> 사체 준비 과정



<그림 60> 시스템 셋팅 방법

○ 분석항목 및 샘플링 주기

조사항목	분석항목	샘플링 주기
부자재 초기샘플	TS, VS, pH, TKN, NH ₄ -N, NO-x	실험초기
온도	℃	20분 간격
습도	%	주 2회
해체 후	사축분해율, 용적중 ¹ , 보수력(WHC ²), 퇴비성상	

¹Bulk density, ²Water holding capacity

2) 결과 및 고찰

(1) 초기샘플 분석

<표 24> 부자재 초기 성상

Materials	MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N	TKN ³	NO-x	
				mg/kg			
Compost	48.0±1.0	38.6±1.4	7.4	287.8±0.9	10,237.4±171.5	15.1±0.2	
Swine meat	72.7±0.4	26.2±0.4	5.7	31.6±0.3	38,874.7±297.4	16.4±0.1	
Sawdust : Swine feces	20 : 80	71.4±0.2	27.3±0.2	7.1	2,141.4±39.1	6,913.7±85.0	13.3±0.1
	40 : 60	69.1±0.5	30.1±0.5	7.2	914.0±11.2	3,524.4±24.8	13.5±0.1
	70 : 30	70.7±0.4	28.7±0.3	6.8	184.9±0.6	1,877.8±40.2	13.6±0.1
	100 : 0	69.1±0.9	30.6±0.9	6.1	32.3±0.5	1,013.5±1.8	13.7±0.1

¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen

<표 25> 시스템 해체 후 퇴비성상

Sawdust: swine feces ratio	MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N	TKN ³	NO _x	C:N ratio ⁴	Bulk density (kg/m ³)
				mg/kg				
20:80	36.3±9.5	55.2±1.2	7.8	3,958.7 ±7.4	27,059.3 ±2,823.3	14.7±1.5	11	575.3±9.7
40:60	45.3±4.9	55.3±1.0	7.6	4,879.0 ±42.9	21,986.7 ±1,716.7	15.5±1.0	14	610.3±11.4
70:30	51.3±4.5	50.5±1.1	7.2	5,409.0 ±116.0	22,802.9 ±858.6	16.5±2.8	12	671.4±20.5
100:0	54.3±1.5	52.8±0.6	7.1	6,238.7 ±44.2	11,902.9 ±886.1	16.0±3.0	25	812.6±2.6

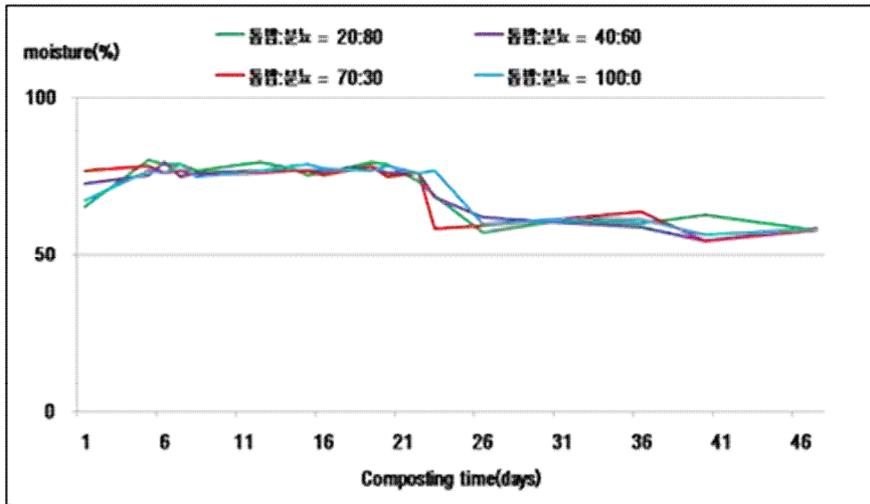
¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen, ⁴Carbon to nitrogen ratio.

○ 돈분의 비율이 높은 처리구에서 낮은 처리구로 갈수록 NH₄-N, TKN(mg/kg) 함량이 순차적으로 낮아지는 것을 알 수 있었다.

(2) 침출수

- 실험 전기간(50일)동안 톱밥과 분뇨를 20:80, 40:60, 70:30, 10:0 혼합한 모든 처리구에서 침출수가 발생하지 않았는데 이는 침출수가 발생했다 하더라도 시스템 내부에서 모두 흡수된 것으로 판단된다.

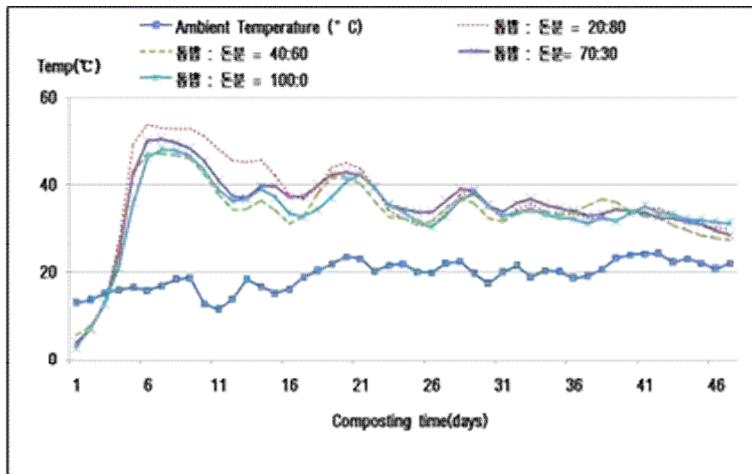
(3) 습도



<그림 61> 습도 변화

- <그림 61>은 사축퇴비화 과정 중 습도 변화를 나타낸 그림으로써, 초기 수분 조절 후 별도의 수분 조절 없이도 처리구별 비슷한 경향을 보이다가, 22일 이후 습도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 수분을 머금고 있던 부자재와 사체의 퇴비화가 진행되면서 온도 상승이 수분을 감소시킨 것으로 판단된다.

(4) 온도



<그림 62> 온도 변화

- <그림 62>는 사축퇴비화 과정 중 온도변화를 나타낸 그림으로써, 톱밥과 돈분의 혼합 비율이 20:80인 처리구에서 6일 경과 후 최고 55℃로 상승한 것으로 나타났다.
- 초기 C:N비를 30:1로 조절한 경우, 톱밥을 단독으로 사용한 처리구에서도 온도가 상승(50℃ 이상)하였으며, 실험 종료까지 네 처리구의 온도 경향이 비슷한 것으로 나타났다.

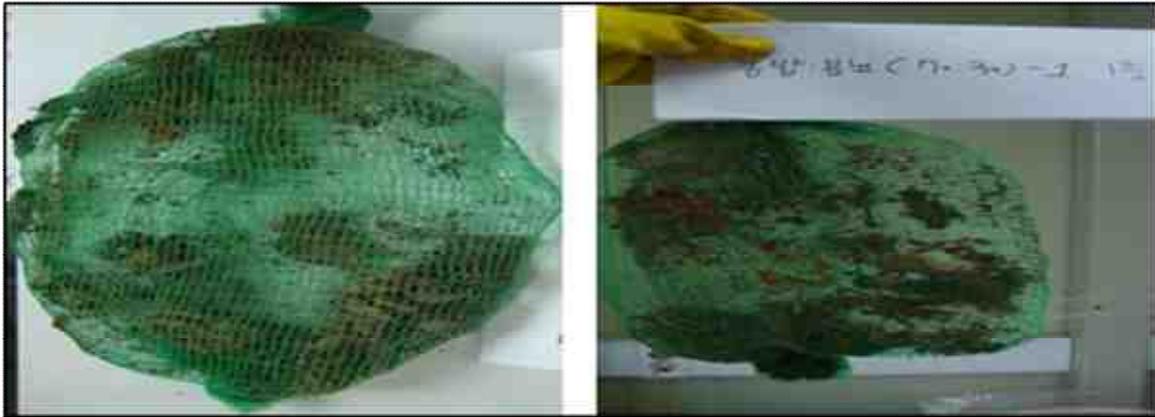
(5) 시스템 해체 후 물리적 특징

- 동일 처리 조건이라 할지라도 사축분해 정도 차이를 <그림 63>와 같이 육안으로 확인할 수 있었다. 1층의 사체는 형태를 알아 볼 수 없을 정도로 분해되었고 비계와 질긴 힘줄만 남은 반면 2층의 사체는 수분이 많이 마르고 곁에 연한 살코기 부분만 분해된 것을 확인할 수 있었다.



<그림 63> 시스템 해체 후 층별 사축분해 비교

- 각 처리구별 1층은 비계 및 힘줄을 제외한 모든 사체가 분해된 것으로 보아 톱밥과 돈분 혼합 비율에 상관없이 사축분해가 진행된 것으로 판단된다<그림 64~65>.



<그림 64> 시스템 해체 후 사축분해 비교 (톱밥:돈분 비율 20: 80과 70:30 1층)



<그림 65> 시스템 해체 후 사축분해 비교 (톱밥:돈분 비율 40:60과 100:0 1층)

(6) 사축분해율(% , DM basis)

<표 26> 실험실 시뮬레이션 연구 I 과II 사축분해율(%) 비교

Simulation I		Simulation II	
Materials	Average	Sawdust: swine feces ratio	Average
Compost	25.3±2.0 ^a	20:80	61.7±1.7 ^a
Swine feces + compost	25.8±1.2 ^a	40:60	62.9±4.7 ^a
Sawdust	13.5±3.5 ^b	70:30	60.2±5.4 ^a
Rice husks	14.5±4.8 ^b	100:0	57.7±4.6 ^a

* Means in the same column with the same superscript are statistically insignificant at 5% level of significance.

* Data are presented as mean ± SD

- <표 26>은 실험실 시뮬레이션 연구 I, II의 사축분해율을 비교한 것으로 연구 I의 사축분해율은 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥, 왕겨구에서 각각 25.3, 25.8, 13.5, 14.5% 수준으로 퇴비 및 돈분+퇴비구의 사축분해율이 톱밥이나 왕겨구에 비해 유의적으로 높음을 알 수 있었다($p<0.05$). 연구 II의 사축분해율은 네 처리구 모두 유의적인 차이가 없었다.
- 부자재 선정을 위해 수행되었던 실험실 시뮬레이션 I 연구결과, 부자재인 퇴비, 돈분+퇴비, 톱밥, 왕겨를 별도의 C:N 조절 없이 사축과 혼합하여 사용한다면 온도 상승이 이뤄지지 않아(평균온도 30°C 이하) 퇴비화 진행이 어려울 것으로 판단된다.
- C:N 비 조절을 위해 톱밥과 돈분을 일정 비율로 혼합한 실험실 시뮬레이션 II에서는 모든 조건에서 온도가 50°C 이상 상승하는 것을 관찰 할 수 있었으며, 특히 톱밥과 돈분을 각각 20:80, 40:60으로 혼합한 조건에서 사축분해율이 가장 좋은 것으로 나타났다. 또한, 초기 수분을 70%로 조절한다면 별도의 수분 조절이 없이도 온도 상승과 사축분해가 진행됨을 관찰 할 수 있었다.
- 인위적인 송풍방법이 아닌 자연 통기형 방법으로도 충분한 온도 상승효과가 가능하여 현장에서 접목하기 유리한 것으로 판단된다.

(7) 퇴비성상

- 수분함량의 경우, 톱밥과 돈분이 20:80, 40:60 혼합된 처리구 각각 71에서 30%로, 69에서 31%로 70:30, 100:0 처리구 보다 감소량이 큰 것은 사체 분해과정에서 발생된 가스 및 액상 성분 등이 부자재에 흡수되고, 탄산가스와 수증기로 분해되었기 때문인 것으로 판단된다.

(8) 시스템 해체 후의 용적중 및 보수력(WHC)

<표 27> 용적중 및 보수력

Sawdust: swine feces ratio	Bulk density ¹ (kg/m ³)	WHC ² (g.water/g.dry sample)
20:80	1,029.0±9.7	3.2±0.1
40:60	994.0±11.4	3.2±0.2
70:30	932.9±20.5	3.0±0.4
100:0	791.7±2.6	3.2±0.1

¹용적중, ²보수력(Water holding capacity)

- <표 27>은 용적중과 보수력을 나타낸 것으로, 돈분의 혼합 비율이 높은 처리구에서 용적중이 큰 이유는 돈분 내 공극률이 톱밥보다 작기 때문인 것으로 판단된다. 보수력(WHC)은 70:30 처리구를 제외하고 3.2 g.water/g.dry sample이다.

<표 28> 퇴비화 과정에 사용되는 부자재의 일반적인 특징

Cover Materials	Bulk density ¹ (kg/m ³)	WHC ² (g.water/g.dry sample)
Wood shavings	99.8±3.7	3.2±0.4
Turkey litter	542.2±20.2	2.2±0.2
Soil compost blend	891.1±31.2	0.5±0.0
Beef manure	627.4±27.7	3.0±0.0
Sawdust	241.3±3.6	3.4±0.1

¹용적중, ²보수력(Water holding capacity)

(참고문헌 : Ahn et al., 2008, Optimum moisture levels for biodegradation of mortality composting envelopes materials)

- <표 28>은 퇴비화 과정에서 사용되는 부자재 12가지의 일반적인 성상을 정리한 것으로, 이들 중 나무칩과 톱밥, 돈분의 보수력은 3.0, 3.2, 3.0 g.water/g.dry sample로 낮은 편이 아닌 것을 알 수 있었다.

다. 현장연구 I - 트랜치형

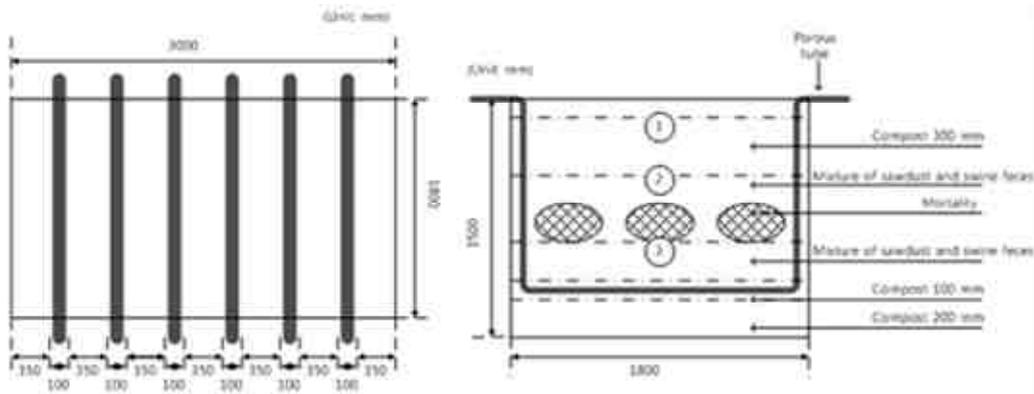
- 실험실 시뮬레이션 연구 I 을 통하여 부자재를 단독으로 사용하는 것은 사축퇴비화에 적합하지 않은 것을 확인하였다.
- 실험실 시뮬레이션 II 연구를 통하여 톱밥과 돈분 비율을 20:80 ~ 40:60 수준으로 혼합하여 C/N비를 맞춘 후 진행하는 것이 온도상승에 도움을 주고, 사축분해율이 가장 높은 것으로 나타났다. 또한, 초기 수분을 70%로 조절한다면 별도의 수분 조절이 없이도 온도상승(50℃ 이상)과 효율적인 사축분해가 이루어졌다.
- 송풍방법에는 인위적인 방법이 아닌 자연통기형 방법으로도 충분한 온도상승 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 따라서 본 실험에서는 위의 결과를 토대로 다른 부자재와 혼합사용 시 퇴비화를 촉진하는 돈분과 농가에서 쉽게 구할 수 있는 톱밥을 대상으로 수분함량을 맞추고 자연통기형 방법을 현장실험에 적용, 처리별 퇴비화 가능성, 퇴비화 효율 평가를 실시하

고 최종산물의 물리·화학적 안전성을 평가하였다.

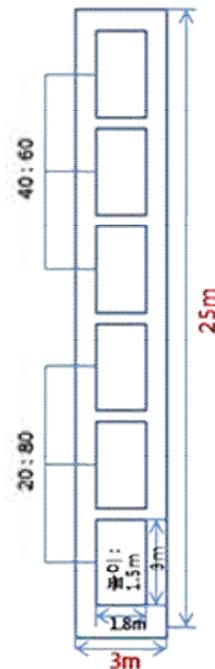
1) 재료 및 방법

(1) 사축퇴비화 시스템 디자인

○ 현장시험을 위해 설계한 퇴비화 시스템은 땅을 파고 다공성의 관을 이용하여 트랜치형으로 설치하였으며 자세한 사항은 <그림 66와 67> 및 실험방법을 참조하면 된다. 트랜치형 퇴비화 시스템은 가로, 세로, 높이가 각각 3 × 1.8 × 1.5m로 2처리 3반복 실험을 위하여 총 6개를 설치하고 각 시스템 사이 간격은 1m로 하였다.



<그림 66> 사축퇴비화 시설 디자인



<그림 67> 사축퇴비화 시설 현장

(2) 실험조건

- 부자재의 종류 : 톱밥, 돈분
- 처리구
 - 톱밥:돈분 비율 20:80과 40:60(이하 20:80, 40:60으로 표기)
 - 2처리 3반복
- 부자재 수분함량 : 65~70%
- 폐지사축 : 18두
- 통풍방법 : 자연통기형
- 실험기간 : 2012. 07. 21 ~ 2013. 02. 27 (222일)

(3) 실험방법

- 땅을 파서 만든 각 트랜치형 퇴비화시스템 바닥에 차수막을 2겹으로 깔고 그 위에 퇴비 20cm를 투입한 후 자연통기를 위해 바닥에 PVC 재질의 송풍관 ($\varnothing 100\text{mm}$)을 설치하였다.
- PVC재질의 송풍관은 시스템의 모양에 맞게 'U'자 형태로 제작하였고 하부에 5시와 7시 방향 15cm 간격의 (지그재그형태) 구멍($\varnothing 12\text{mm}$)을 내어 자연적인 통풍이 가능하도록 하였다.
- 송풍관 위에 퇴비를 10cm 덮어주고 톱밥:돈분을 20:80, 40:60 비율대로 섞고 수분을 간이적인 방법으로 70%로 맞추어 20cm씩 깔아주었다.
- 그 위에 사축을 배치시킨 후 비율대로 섞은 톱밥, 돈분으로 사축이 충분히 덮이게 하였고 사축은 혈액 손실을 방지하고자 CO_2 가스 차량을 이용하여 현장에서 안락사시켜서 투입하고 그 양은 두 처리구 모두 시스템 당 3두(총 18두) 평균 69kg으로 동일하게 하였다.
- 사축은 퇴비 종료 후 사축분해율을 정확하게 측정하기 위해 나일론 망으로 쌓아 투입하였으며 퇴비화 과정중의 온도 변화를 모니터링하기 위한 probe는 시스템 당 2개씩 설치하였다. 2개의 프로브는 각각 사체 내부(사축 겨드랑이를 관통시켜 흉부 내부에 설치) 또는 사체 표피에 설치하였다.
- 마지막으로 퇴비를 30cm 두께로 덮어주어 바이오필터 역할을 하게하고 시스템에 영

향을 줄 수 있는 외부 온도변화와 강수에 대비하기 위해 현장에 비닐하우스를 설치하였다.



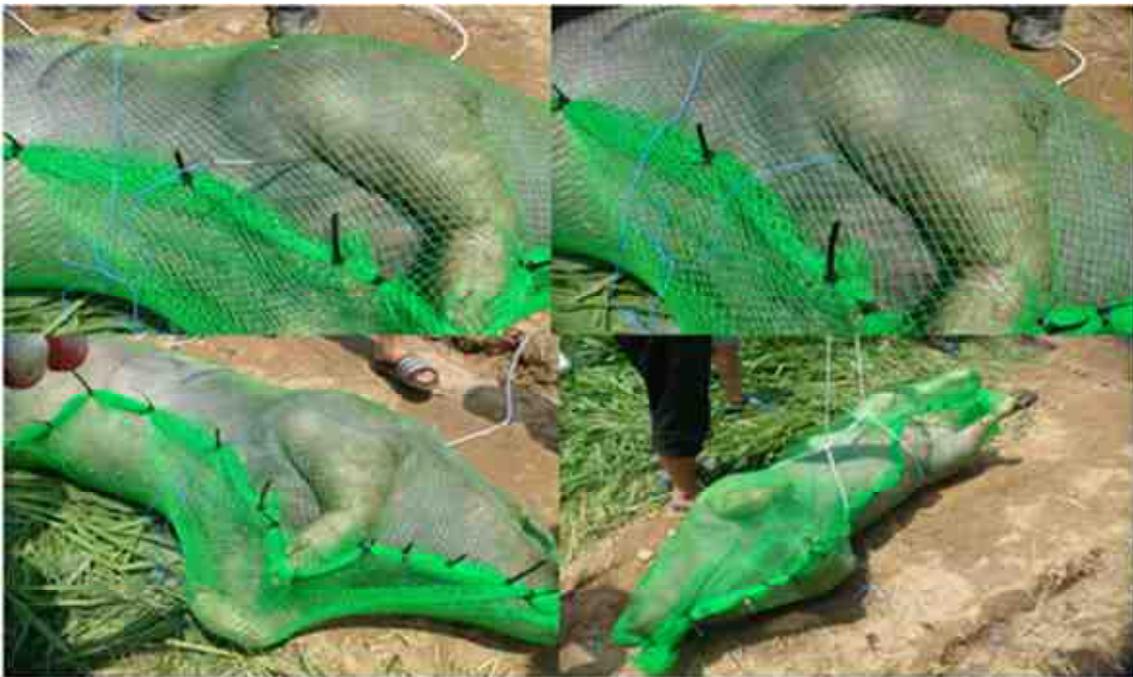
<그림 68> CO₂ 가스 질식 차량에 돼지 18두 입실



<그림 69> 돼지 18두 안락사



<그림 70> 사축퇴비화 시설 현장



<그림 71> 사체에 온도 프로브 설치

※ 사축 셋팅 시 온도프로브를 사체 내부에 삽입한 것을 '사축내부', 표피에 설치한 것을 '사축 외부'라고 표시함.



<그림 72> 'U'자형 유공관 설치 및 사체 망으로 감쌈



<그림 73> 사체 투입 모습



<그림 74> 사체 투입 및 톱밥 : 분뇨 비율로 덮기 - 퇴비로 덮기



<그림 75> 상층부 퇴기 덮기



<그림 76> 비닐하우스 설치

○ 분석항목 및 샘플링 주기

조사항목	분석항목	샘플링
부자재 초기샘플	TS, VS, pH, TKN, NH ₄ -N, NO _x -N	실험초기
온도	℃	20분 간격
악취/가스	NH ₃ , SO ₂ , N ₂ O	2주 간격
퇴비화 특성	사축분해율, 용적중 ¹ , 보수력(WHC ²), 퇴비성상	종료 후

¹Bulk density, ²Water holding capacity

※ 시스템 해체 후 퇴비는 층별로 퇴비성상을 비교하기 위해 맨 위 퇴비, 사체 위 20cm, 사체 아래, 전체 혼합한 퇴비 네 구역으로 나누어서 샘플링 하였다.

○ 악취 및 가스 성분 발생량 측정방법

- NH₃, NO₂, SO₂의 측정은 이동식 가스 측정기(Gray Wolf사의 TOXIC GA TG-501 probe)를 이용하여 매몰지 바로 위에 설치하여 측정하였다.

2) 결과 및 고찰

(1) 초기 샘플 분석

- <표 29>는 부자재 초기 성상을 나타낸 표로써 수분함량은 퇴비, 돈분의 경우 45.6, 88.9%인 반면 톱밥은 9.6% 수준으로 매우 낮았다.
- 톱밥과 돈분을 20:80, 40:60 비율로 혼합한 처리구에서 수분함량은 각각 69.8, 53.4%로 20:80에서 높았다.
- 부자재 퇴비, 돈분 및 톱밥의 VS 함량은 각각 42.3, 9.8 및 89.2%이었으며 20:80보다 톱밥 비율이 높은 40:60 처리구에서 15%정도 높았다.
- C/N비는 퇴비, 돈분 및 톱밥에서 각각 21, 4 및 204 수준이었고 톱밥과 돈분을 20:80, 40:60 비율로 혼합한 처리구에서는 각각 10, 18로 40:60 처리구에서 더 높았다.

<표 29> 부자재 초기 성상

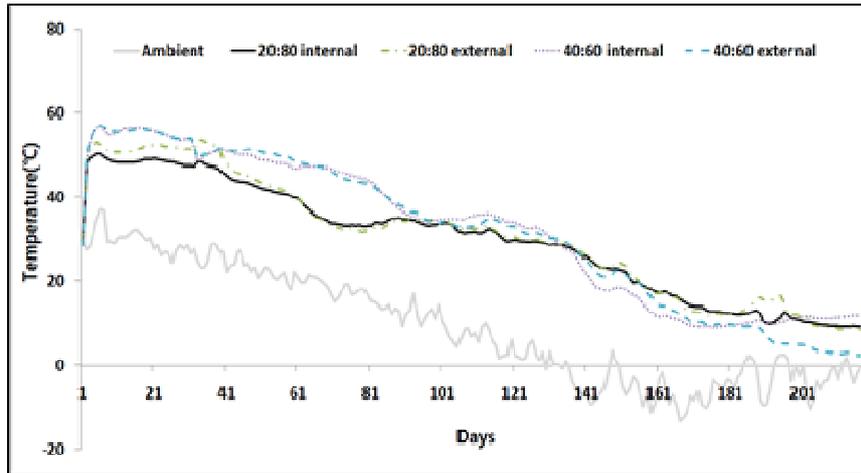
Materials	MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N	TKN ³	NO-x	C/N ratio ⁴
				mg/kg			
Compost	45.6	42.3	7.3	681.1	11,067.8	16.1	21
	±0.8	±0.5		±3.4	±29.5	±0.8	
Swine feces	88.9	9.8	7.5	4634.2	13,808.9	14.8	4
	±0.5	±0.9		±2.5	±41.3	±0.3	
Sawdust	9.6	89.2	5.0	5.8	3,315.3	14.2	204
	±0.1	±0.5		±0.4	±6.7	±0.5	
Sawdust:Swine feces = 20:80	69.8	25.4	7.5	4,471.6	14,176	17.4	10
	±0.1	±0.6		±17.6	±311.0	±0.8	
Sawdust:Swine feces = 40:60	53.4	41.5	7.7	2,947.7	13,224	16.2	18
	±0.3	±0.1		±9.9	±261.0	±0.3	

¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen, ⁴Carbon to nitrogen ratio.

(2) 침출수

- 퇴비화 종료 후 퇴비더미 하층의 성상을 분석한 결과 맨 밑 퇴비의 수분함량은 60% 정도로 나타났고 두 처리구 모두 침출수가 발생하지 않은 것으로 판단된다.

(3) 온도



<그림 77> 온도변화

- 온도변화의 경우 20:80 처리구에서 퇴비화 진행 4일째 사체내부, 사체외부 각각 50, 52°C였고 최고온도는 사체 내부에서 5일째 51°C, 외부는 34일째 54°C를 나타냈다. 40일부터 70일 까지는 사체 내부, 외부에서 모두 온도가 급격하게 하강하고 71일부터 130일 까지는 온도가 일정하게 유지되다가 131일부터 퇴비가 종료되는 시점까지는 온도가 10°C까지 하강하였다.
- 40:60 처리구에서는 2일째 사체내부, 사체외부 모두 50°C까지 상승하였고 최고온도는 사체내부, 외부 모두 6일째 59°C이었다. 40일부터 130일 까지는 사체 내부, 외부에서 모두 온도가 완만하게 하강하였다. 131일부터 170일까지는 급격히 하강하다가 그 후부터 퇴비가 종료되는 시점까지는 사체내부는 완만하게 유지되고 사체 외부는 5°C까지 하강하였다. 사체 내부, 외부에 대한 온도 차이는 없었으며 실험시작 4일부터 25일까지 55°C이상으로 유지되었다.
- 온도는 퇴비화 과정의 진행정도를 확인할 수 있는 중요한 척도로 쓰이며 유해 병원성 미생물을 파괴하는 역할을 한다. EPA(미국환경보호청, 1989) 퇴비화 공정 규격에서는 온도가 51°C 또는 그 이상의 온도에서 최소 3일간 지속될 때 유해 병원성 미생물이 파괴되는 것으로 보고하여 본 실험에서도 고온이 유지되어 최소한의 사축퇴비 더미 내 유해 병원성 미생물 사멸 조건이 형성된 것으로 생각된다.
- 두 처리구 모두 50°C 이상의 온도로 상승했지만 40:60 처리구에서 온도가 조금 더 높았던 이유는 초기 C/N비가 퇴비화에 적합하다고 알려진 20/1 수준이었기 때문이라고 판단된다.

- 일반적으로 C/N비가 낮아 탄소 함량이 적고 질소 함량이 상대적으로 높으면 질소가 암모니아로 전환되어 퇴비에서 악취가 발생하며 반대로 탄소 함량이 높고 질소 함량이 적으면 미생물 활동을 저하시키고 사축분해가 매우 느리게 진행되어 온도가 상승하지 않는 결과가 나타난다고 알려지고 있다(Morse, 2001).
- 20:80 처리구에서는 C/N비가 10으로 미생물로 의한 유기물 분해 소요시간이 40:60 처리구(C/N비 18)에 비해서 상대적으로 길어져(Hong, 1999) 사축이 덜 분해된 것으로 판단된다.

(4) 퇴비 성상, 용적중 및 보수력

- pH는 두 처리구 모두 초기보다 상승하여 8.0~8.7 수준이었으며 유기물의 함량은 20:80 처리구는 25.4에서 70~76%로 40:60 처리구는 41.5에서 72~79%로 증가하였다.
- 미분해된 사축을 제거한 부자재 중 NH₄-N의 함량을 보면 두 처리구에서 모두 사체 아래에서 가장 높았으며 사체 20cm 위, 전체 혼합, 맨 위 퇴비 순으로 나타났다.

<표 30> 시스템 해체 후 퇴비성상

Material s	MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N	TKN ³	NO-x	C/N ⁴ ratio	Bulking density	WHC ⁵	
				mg/kg				kg/m ³	g water/ g dry matter	
Sawdust :Swine feces = 20:80	① ²	26.8 ±1.6	72.0 ±3.6	8.5	584.7 ±125.9	14,917.9 ±1,227.5	69.3 ±41.8	20.9	913.3 ±6.9	4.7 ±0.4
	②	46.7 ±15.6	70.3 ±5.8	8.1	910.1 ±497.8	13,315.6 ±3,527.8	144.5 ±121.7	15.6	963.0 ±6.2	3.4 ±0.4
	③	60.6 ±8.7	75.8 ±3.1	8.6	4,618.3 ±2,529.2	13,075.4 ±4,239.6	57.5 ±53.7	12.7	1,082.3 ±8.4	2.6 ±0.2
	Total mixtur e	48.1 ±11.8	70.1 ±5.7	8.0	603.3 ±109.0	12,032.2 ±1,809.5	119.9 ±71.7	16.8	978.5 ±6.2	3.0 ±0.2
Sawdust :Swine feces = 40:60	①	29.9 ±4.0	71.8 ±1.6	8.7	343.4 ±89.7	12,995.0 ±2,678.0	75.0 ±68.2	21.5	1,001.3 ±22.1	4.5 ±0.2
	②	30.6 ±3.0	71.8 ±2.1	8.6	1,086.7 ±760.6	14,816.8 ±1,503.6	168.6 ±185.2	18.7	1,047.7 ±39.0	3.4 ±0.2
	③	62.9 ±1.0	78.7 ±5.6	8.2	1,916.2 ±1,363.5	12,756.4 ±3,529.9	106.3 ±149.8	12.7	1,099.3 ±12.4	2.4 ±0.2
	Total mixtur e	43.1 ±3.1	75.7 ±2.0	8.4	791.4 ±52.8	13,664.5 ±548.4	174.5± 63.8	17.5	1,093.6 ±11.6	3.2 ±0.1

¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen

⁴Carbon to nitrogen ratio, ⁵Water holding capacity.

²① Top material; ② 20 cm above mortalities; ③ Right under mortalities

- 용적중은 두 처리구 모두 맨 위 퇴비가 가장 낮았으며 사체 20cm 위, 전체 혼합, 사체 아래 순으로 나타났다. 전체 혼합, 사체 아래에서의 용적중이 높은 것은 부자재의 분해율은 낮은 반면 사체 분해과정에서 발생한 물이 부자재에 흡수되었기 때문으로 판단되며, 맨 위 퇴비나 사체 20cm 위에서의 낮은 용적중은 유기물의 분해가 상대적으로 높았기 때문인 것으로 생각된다.
- 보수력의 경우에는 두 처리구 모두 맨 위 퇴비, 사체 20cm 위에서 가장 높았으며 전체 혼합, 사체 아래 순으로 나타났다. 맨 위 퇴비, 사체 20cm 위에서 보수력이 높은 것은 부자재의 수분함량이 전체 혼합, 사체 아래보다 낮아 상대적으로 수분을 많이 머금은 것으로 판단된다. 이와 같이 시스템 해체 후 퇴비 성상에 대한 결과를 비교해 보았을 때, 퇴비의 샘플링 위치별로 수분함량, 암모니아, 용적중 및 보수력이 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다.

(5) 악취/가스 농도

- 사축퇴비화 과정중의 악취발생 정도를 알기 위해 측정한 암모니아(NH_3) 농도는 퇴비화 시작 후 28일부터 58일까지 <표 31>과 같이 평균 0.5ppm 발생하였고 점차 시간이 경과함에 따라 감소하다 59일부터 퇴비화 종료시점까지는 발생하지 않았다.
- 암모니아는 악취 지정물질 22종 중 하나로서 최소 감지 농도는 매우 낮으나 자극을 유발할 수 있는 농도가 높은 화합물에 해당하여 사축퇴비화 현장에서 각별한 주위가 필요하며 최소 감지 농도는 0.1ppm이고 배출허용기준 중 엄격한 배출허용기준의 범위는 1~2ppm이며 공업 지역은 2ppm 이하, 기타지역은 1ppm 이하로 정하고 있다 (악취공정시험방법, 2007).
- 환경정책기본법 환경기준에 포함되어 있는 아황산가스(SO_2)와 이산화질소(N_2O) 측정 결과 28일부터 58일까지 발생은 없었다. 환경정책기본법 시행령(별표 환경기준)에서 아황산가스와 이산화질소의 환경기준은 각각 1시간 평균치가 0.15ppm 이하, 0.10ppm 이하이다.
- 본 연구에서는 암모니아, 아황산가스, 이산화질소 모두 환경기준보다 낮은 발생을 보였는데 이는 사축퇴비더미를 최종적으로 덮은 완숙 퇴비가 바이오필터 역할을 담당한 것으로 판단된다.

<표 31> 가스/악취 발생량

(단위 : ppm)

구분	NH ₃	SO ₂	N ₂ O
ave.	0.5±1.1	0	0
max.	4.9>	0.4>	0.1>
min.	0	0	0

<표 32> 악취 지정물질의 특성

(출처 : 한국환경공단)

NO	화합물	화학식	최소감지농도 (ppm)	냄새 특성	배출허용기준(ppm)	
					기타지역	공업지역
1	Ammonia 암모니아	NH ₃	0.1	코를 찌르는 썩은 냄새	1	2

(6) 시스템 해체 후 물리적 특성

(가) 소규모 시험 발굴

- 퇴비화 기간 중 189일 경과 시 시스템 내부 온도가 10~13℃로 하강하였을 때 소규모 발굴을 실시하여 분해가 덜 된 것을 확인하였다<그림 78>.
- 돼지 사체 바로 위의 투입한 돈분이 분해되지 않고 형태 그대로 있었다. 사체의 부피는 많이 준 것으로 보였으나 수분과 사체 표면에 흰 곰팡이가 많이 있었고 사체의 뼈와 껍데기 위주로 남아 있어 돼지 사체 발굴 시 비린내와 사체부패 악취가 났다.



<그림 78> 시스템의 소규모 발굴

(나) 발굴

- 실험 종료 후 40:60 처리구는 퇴비화가 비교적 잘 이루어져 살점은 남아 있지 않고 뼈만 육안으로 확인할 수 있었다. 나일론망 채로 들고 흔들어 퇴비를 털어낸 후 뼈 무게를 측정하였다. 20:80 처리구는 사체를 감싼 나일론망에 수분함량이 높아 보이는 분뇨가 붙어 있었으며, 발굴 시 후각으로 인지할 만한 악취는 없었다.

(7) 사축분해율

- 사축분해율은 20:80, 40:60 처리구에서 각각 72.5, 87.7% 수준으로 40:60 처리구의 사축분해율이 20:80 처리구에 비해 높았다<표 33>. 그 이유는 40:60 처리구에서 초기 C/N비가 퇴비화에 적합하다고 알려진 20:1 수준에 가까웠기 때문이라고 생각된다. 또한 40:60 처리구에서 온도가 55℃ 이상으로 충분한 열이 발생하여 사축퇴비화 현장실험에서 사용하는 부자재의 혼합비율로 부자재-40:분뇨-60 정도가 적합한 것으로 판단된다.

<표 33> 사축분해율

구 분	Sawdust:Swine feces = 20:80	Sawdust:Swine feces = 40:60
Degradation rate(%)	72.5±2.9	87.7±2.9



<그림 79> 시스템의 사체 발굴

(8) 퇴비품질

○ <표 34>는 농촌진흥청 비료공정규격과 본 연구에서 얻어진 최종퇴비를 비교한 것이다. 부산물비료 지정에 제시된 부숙비료 기준 중 가축분 퇴비의 경우 유기물함량 30% 이상, C/N비는 45 이하, 수분함량은 55% 이하로서 사축퇴비는 모든 규격기준을 충족하였으며 매우 양질의 부산물 비료인 것으로 판명되었다.

<표 34> 퇴비품질 비교

		비료공정규격	사축퇴비	
			Sawdust: manure 20:80	Sawdust: manure 40:60
규격의 함량 (%)	유기물	30 이상	70.1	75.7
그 밖의 규격	C/N 비	45 이하	16.8	17.5
	수분함량(%)	55 이하	48.1	43.1
	부숙도 판정	종자발아법: 무발아지수 70이상	-	-

[시행 2013.11.1.] [농촌진흥청고시 제2013-36호, 2013.10.1., 일부개정]



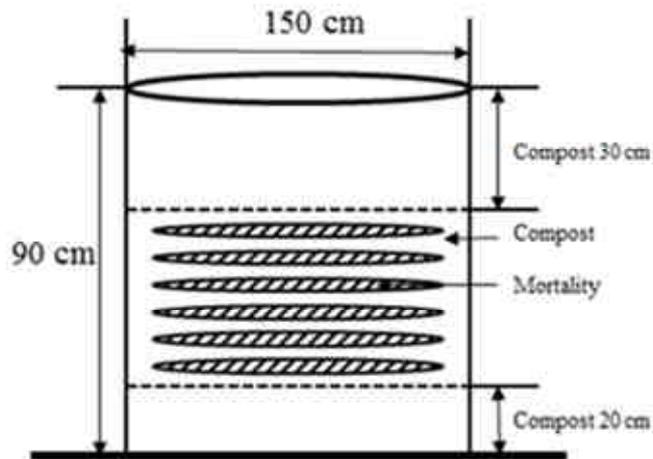
<그림 80> 시스템의 사체 발굴 후 잔여 뼈

라. 현장연구 II - bin 형

- 본 실험은 당초 연구 계획에 없던 실험으로서 육계사체를 대상으로 수행하였다.
- AI(조류인플루엔자)와 같은 질병, 비닐하우스 내 고온 도는 저온 등과 같은 급격한 사육환경의 변화, 화재 또는 태풍과 같은 자연 재해 등으로 인해 가금의 사체가 다량 발생하였을 때 소규모 농가에서 설치가 가능한 빈형 퇴비화 시스템을 구축하여 사축퇴비화 가능성과 그 특성을 파악하였다.
- 앞선 실험에서 인위적인 방법이 아닌 자연통기형 방법으로도 충분한 온도상승 효과가 있고, 초기 수분을 70%로 조절한다면 별도의 수분 조절 없이 온도상승(50℃ 이상)과 효율적인 사축분해가 이루어짐에 따라, 본 실험에서는 철망을 이용한 자연통기형 빈형 사축퇴비화시스템을 설계하여 육계사체에 적용하였으며 부자재로는 퇴비를 사용하면서 설비된 시스템을 이용한 조류사축의 퇴비화 가능성과 효율을 평가하였다.

1) 재료 및 방법

(1) 사축퇴비화 시설 디자인



<그림 81> 철망을 이용한 빈형 사축퇴비화시스템



<그림 82> 변형 사축퇴비화시스템 구축 모습

(2) 실험방법

○ 변형 윈드로형 시스템제작<그림 81과 82 참고>:

- 가로 세로 2cm 철망 이용, 직경 1.5m, 높이 90cm의 원통형으로 제작
- 하층부: 20cm 높이 퇴비도포
- 중간부: 육계사축과 수분조절 된 퇴비를 혼합하여 5cm 6층으로 쌓아올림
- 상층부: 20cm 높이로 퇴비도포

○ 온도와 수분함량 변화 조사

(3) 실험조건

- 부자재의 종류 : 퇴비
- 처리구 : 1처리 3반복
- 부자재 수분함량 : 70%
- 육계사축 : 520수 (시스템당 129kg)
- 통풍방법 : 자연통기형
- 실험기간 : 2012. 07. 21 ~ 2013. 02. 28 (219일)

2) 결과 및 고찰

(1) 부자재 초기 성장과 해체 후 퇴비성장

- <표 35>는 퇴비화를 위해 부자재로 사용된 퇴비와 사축퇴비화 후의 성상을 정리한 표로써 수분함량의 경우 45.6에서 37.5로 감소하였으며, 사축퇴비화를 위해 초기수분 함량을 70% 수준으로 조정하였음에도 퇴비화후 수분함량이 원 부자재보다 낮은 것으로 나타났다. 이는 퇴비화 과정에서 온도 상승이 활발히 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다. 퇴비화 전, 후의 휘발성고형물, NH₄-N, TKN, NO_x-N를 비교해보면 유기물과 질소 모두 크게 증가하였는데 이는 퇴비화 과정 중 사체가 부식질 분해되었기 때문으로 판단된다.

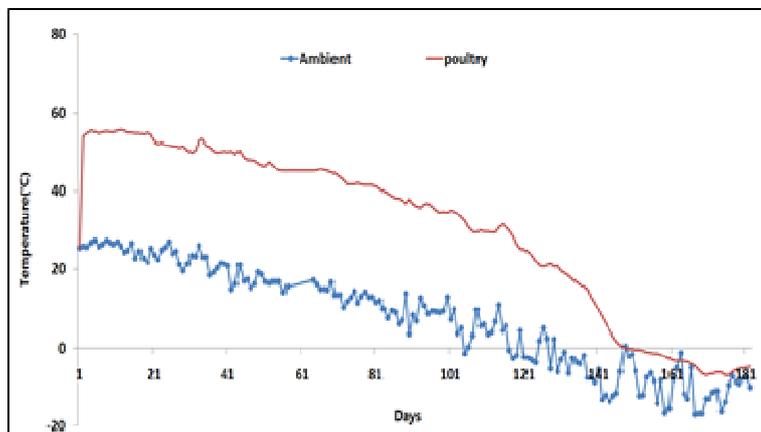
<표 35> 부자재 초기 성상과 해체 후 퇴비성상의 비교

구분	Moisture content (%)	Volatile Solid (%)	Total Solid (%)	pH	TKN* (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO _x -N (mg/L)	TP (mg/L)	C/N ratio
Before	45.6	42.3	54.4	7.3	11,067.8	681.1	16.1	901.3	21.2
	±0.8	±0.5	±0.4	±0.8	±29.5	±3.4	±0.8	±4.8	
After	37.5	72.9	62.5	7.7	14,458.1	1,010.3	713.2	4,235.3	16.7
	±2.0	±2.2	±0.3	±0.2	±49.1	±11.0	±20.1	±48.7	

* TKN, Total kjeldahl nitrogen

(2) 온도

- <그림 83>은 가금 사축을 대상으로 빈형 윈드로우 시스템에서의 온도변화를 나타낸 그림으로, 퇴비화 진행 하루 만에 온도가 50℃이상으로 상승하였고 2일부터 16일 동안 55℃이상이 유지되었으며 44일이 경과된 시점까지도 50℃이상으로 유지된 후 온도가 서서히 감소하는 것을 알 수 있었다.



<그림 83> 온도 변화

(3) 시스템 해체 후 용적중, 보수력 및 사축분해율

- <표 36>은 시스템 해체 후 용적중, 보수력 및 사축분해율을 정리한 표로서, 퇴비화 초기 사축을 한 시스템 당 129kg 투입했으나 실험 종료 후 뼈만 골라 무게를 측정한 결과 1.466, 1.366, 2.028kg으로 약 98.7%의 사축분해율을 나타냈다. 또한 용적중, 보수력이 증가된 것으로 보아 분해 가능한 모든 물질이 부식질로 전환되었을 뿐만 아니라 최종 퇴비를 유기질 비료로 사용하기 손색이 없을 것으로 판단된다.

<표 36> 시스템 해체 후 용적중, 보수력 및 사축분해율

구 분	Bulk density ¹ (kg/m ³)	WHC ² (g.water/g.dry sample)	Degradation rate (%)
Before	461.1±16.7	3.3±0.6	-
After	904.0±17.8	5.2±0.2	98.7±0.3

¹용적중, ²보수력(Water holding capacity)

(4) 시스템 해체 후 물리적 특성

- 실험종료 후 시스템을 해체하여 물리적인 특성을 관찰한 결과 비교적 굵은 다리뼈와 큰 깃털을 제외하고 거의모두 분해된 것으로 나타났고 퇴비 주변에 방성균이 관찰되었다<그림 84>. 시스템 전체적으로 사체의 분해가 잘 되어 퇴비와 사축을 구분할 수 없었다.

(5) 퇴비품질

- <표 37>은 농촌진흥청 비료공정규격과 본 연구에서 얻은 퇴비를 비교한 것으로, 유기물, C/N비, 수분함량, 부숙도 모두 기준 범위 내에 속해 있어 비료로 사용하는데 적합한 것으로 판단된다.

<표 37> 퇴비품질 비교

		비료공정규격	퇴비화 후
규격의 함량(%)	유기물	30 이상	62.5
그 밖의 규격	C/N 비	45 이하	16.7
	수분함량(%)	55 이하	37.5
	부숙도판정	종자발아법: 무발아지수 70이상	71.1

[시행 2013.11.1.] [농촌진흥청고시 제2013-36호, 2013.10.1., 일부개정]



<그림 84> 퇴비화시설 해체 모습

3. 이설퇴비화 기술 개발

가. 이설퇴비화 연구 I

- 현장연구 I (트랜치형)에서 톱밥:분뇨 혼합비율을 20:80으로 유지하는 것보다 40:60 비율로 혼합하여 이용하는 것이 사축퇴비화 과정에서 온도가 더 높게 상승하고 사축분해율도 높은 것을 확인하였으며 20:80 처리구에서는 일부 사축이 분해되지 않은 채 그대로 남아있었다. 따라서 트랜치형 퇴비화시설 발굴 당시 육안으로 사체가 남은 것을 확인한 20:80 처리구는 이설하여 본 실험을 실시하였다.

1) 재료 및 방법

(1) 실험조건

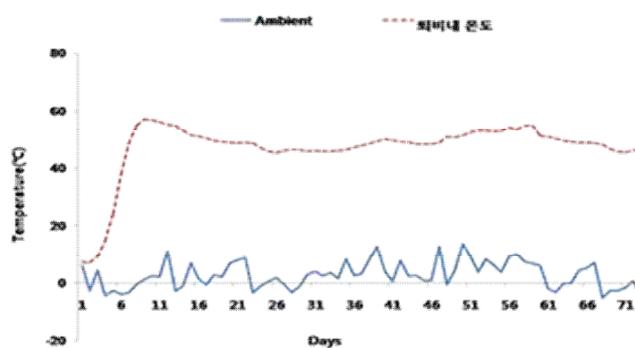
- 20:80 처리구로 3개의 윈드로우 시스템을 구축하여 총 9두의 사체를 한꺼번에 섞어 퇴비화를 진행하였다.

(2) 이설퇴비화 방법

- 바닥에 다공관 6개를 20cm 간격으로 깔고 이때 다공관 구멍은 비스듬히 아래쪽으로 향하여 통기를 위해 뚫은 구멍(하부에 5시와 7시 방향 15cm 간격의 지그재그형태, \varnothing 12mm)으로 부자재가 유입되는 것을 방지하였다.
- 다공관이 덮이도록 퇴비를 덮는다.
- 그물 제거한 사체+돈분+톱밥(혼합비율 80 : 20)을 섞어 수분을 간이적으로 70% 조절한 후 1층에 투입한다.
- 그 위에 돈분+톱밥(수분 70% 조절한 혼합물)을 10cm 두께로 덮는다.
- 그물 제거한 사체+돈분+톱밥(혼합비율 80 : 20)을 수분 70% 조절한 후 2층에 깐다.
- 그위에 돈분+톱밥(수분 70% 조절한 혼합물)을 10cm 덮는다.
- 최상층에 퇴비 20cm를 덮는다.

2) 결과 및 고찰

(1) 온도변화



<그림 85> 온도 변화

- 실험이 종료된 퇴비를 가지고 이설작업을 한 본 실험을 수행한 결과 <그림 85>와 같이 퇴비화 진행 10일 만에 온도가 상승하여 실험종료일까지 55 ~ 60°C로 유지되는 것을 알 수 있었다.

(2) 부자재 초기 성장과 퇴비화 더미 해체 후 퇴비 성장

<표 38> 부자재 초기 성장

Materials	MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N		TKN ³		NO-x	C:N ⁴ ratio
				mg/kg					
Sawdust	10.2±0.1	88.5±0.0	6.0	21.1±0.4		462.7±4.6		3.4±0.0	106
Compost	34.3±0.7	44.3±1.9	8.6	605.7±5.5		550.7±6.1		12.0±0.0	45
Swine feces	69.5±0.3	24.7±0.3	7.2	1,790.0±10.0		1,910.7±31.1		25.3±0.5	7
Sawdust:Swine feces=20:80	57.3±0.1	37.1±0.5	7.0	1,500.0±10.0		1,753.3±6.1		23.6±0.1	12

¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen, ⁴Carbon to nitrogen ratio.

<표 39> 시스템 해체 후 퇴비성장

Materials	MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N		TKN ³		NO-x	C:N ⁴ ratio
				mg/kg					
Compost	37.3±2.7	37.3±2.8	8.9	4,363.5±25.5		10,147.1±82.8		23.2±0.3	20
Mortality	19.0±1.4	66.3±1.8	8.9	2,558.8±9.9		12,716.4±409.2		54.7±0.4	29
Mortality + Compost	26.8±1.0	50.0±2.5	8.7	2,813.6±20.8		10,335.5±100.5		34.0±0.5	27

¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen, ⁴Carbon to nitrogen ratio.

- 톱밥:돈분 20:80 혼합물의 초기 C:N비가 12에서 퇴비화 후 20~29로 상승한 것으로 보아 사축퇴비화가 원활히 진행된 것으로 판단된다.
- 미분해되었던 사체가 투입된 부분의 수분함량이 19.0%로 감소된 것으로 보아 퇴비 더미내 자연 통풍이 용이하고 퇴비화에 의해 사축이 완전 분해된 것으로 판단된다.
- <표 40>은 농촌진흥청 비료공정규격과 본 연구에서 얻은 퇴비를 비교한 것으로, 유기물, C/N비, 수분함량, 부숙도 모두 기준 범위 내에 속해 있어 비료로 사용하는데 적합한 것으로 판단된다.

<표 40> 퇴비품질 비교

		비료공정규격	사축퇴비
규격의 함량 (%)	유기물	30 이상	50.0
그 밖의 규격	C/N 비	45 이하	27
	수분함량(%)	55 이하	26.8
	부숙도 판정	-	-

[시행 2013.11.1.] [농촌진흥청고시 제2013-36호, 2013.10.1., 일부개정]

나. 이설퇴비화 연구 II(구제역 매몰지 발굴)

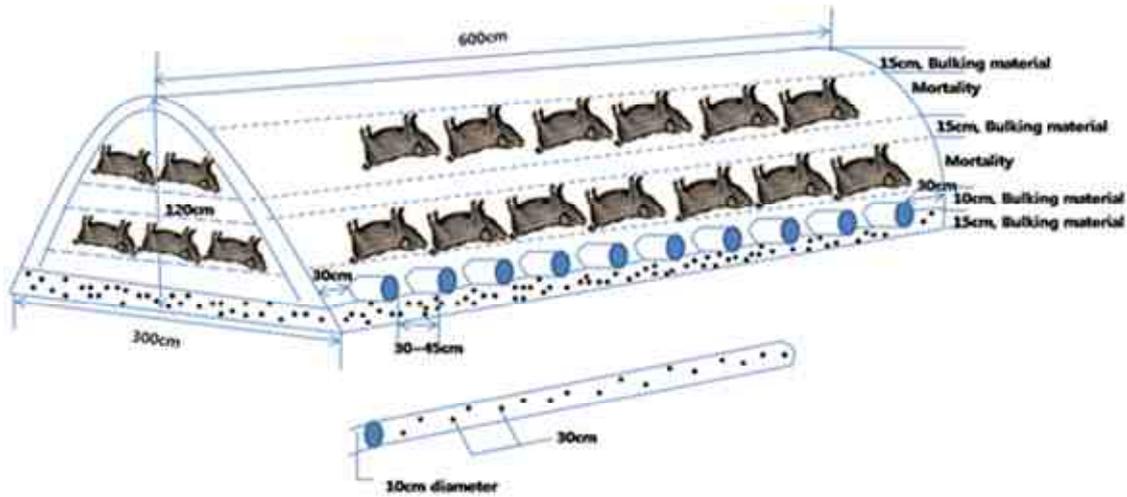
- 실험실 시물레이션연구 및 현장연구를 통하여 부자재를 단독으로 사용하는 것은 사축퇴비화에 적합하지 않고 톱밥과 돈분을 일정한 비율로 혼합하여 사용하는 것이 사축분해율을 높이는 방법이며, 또한 송풍방법으로는 인위적인 강제송풍형 방법보다는 자연통기형방법이 실용적일 것으로 판단하였다.
- 따라서 본 실제 매몰지발굴 이설퇴비화 실험에서는 농가에서 쉽게 구할 수 있는 톱밥과 분뇨를 부자재로 이용하고 자연통기형 방법을 적용하여 현장 검증연구를 진행하였다..

1) 재료 및 방법

(1) 실험조건

- 위치 : 천안시 동남구 병천면
- 매립두수 : 2,000두
- 발굴일시 : 2013. 04. 26
- 실험규모 : 120~150두
- 부자재 종류 : 톱밥, 돈분, 퇴비
- 시스템 크기 : 가로×세로×높이=8.5×3.5×1.6m
- 통풍방법 : 자연통기형
- 실험기간 : 2013. 04. 27~2013. 11. 26

(2) 실험방법 및 사축퇴비화 시설 디자인



<그림 86> 사축퇴비화 시설 디자인

- 구제역 시 매몰됐던 사체가 훼손되지 않게 발굴하였다.
 - 발굴지는 2011년 구제역으로 2,000두 정도가 매몰된 곳으로 매몰지 상부로 중장비가 지나갈 수 없을 정도로 질퍽한 상태였다. 이를 보아 하층부의 매몰된 사체가 2년 동안 퇴비화 되지 않고 곤죽 상태로 유지되었을 것으로 예상하였다.
 - 해체 시 발생하는 악취는 분노와는 전혀 다른 심한 악취로 민원을 야기할 가능성이 있다고 판단되었으며, 해체 시 매몰된 사체를 확인한 결과 <그림 87>과 같이 매몰기간 동안 무게에 의해 납작하게 눌러있는 형태로 곤죽상태는 아니었으나 원형이 보존되었고 사체 소화기관 내에 미처 소화되지 않고 있던 사료도 그대로 남아 있는 것을 확인하였다.
 - 또한, 많은 양의 침출수가 발생한 것이 관찰되었으며 포크레인으로 발굴하는 중에도 상당량의 물이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.
- 퇴비화 과정에서 발생할 수 있는 침출수로 인한 인근 토양 및 주변 환경 오염방지를 위해 바닥에 차수막을 2점으로 깔았다.
- 수분 조절 및 침출수 유출 방지를 위해 톱밥을 차수막 위 20cm 높이로 깔고 그 위에 유공관을 설치하였다.
- 유공관은 5시와 7시 방향 20cm 간격의 (지그재그형태) 구멍(Ø 14.5mm)을 낸 것 25개, 15cm 간격으로 깔아 자연적인 통풍이 가능하도록 하였다.
- 유공관위에 돈분 : 톱밥 = 3 : 2 부피비(이하 돈분:톱밥 혼합 부자재)로 섞은 것을 5cm 도포한 후 발굴한 사체를 투입하였다. 사체내부와 외부에는 온도를 자동 기록하기 위한 프로브를 삽입하였다.

- 사체위에 돈분:똥밥 혼합 부자재를 15cm 도포한 후 그 위에 사체 다시 투입하였다. 사체에는 온도를 자동 저장하는 프로브를 삽입하였다.
- 그 위에 또다시 돈분:똥밥 혼합 부자재를 15cm 도포하고 마지막으로 사축분해 과정에서 발생하는 악취를 방지할 목적으로 완속비료를 덮어주었다.
- 최종적으로 이성퇴비화에 영향을 줄 수 있는 외부 온도변화와 강수에 대비하기 위해 현장에 비닐하우스를 설치하여 연구를 진행하였다.



<그림 87> 매립지에서 돼지 사체 발굴



<그림 88> 발굴된 돼지 사체의 모습



<그림 89> 톱밥깔기 - 유공관 설치 - 돈분 톱밥 혼합물 깔기 및 사체 정렬



<그림 90> 사축퇴비 더미에 퇴비 - 비닐천막 덮기 및 비닐하우스 설치

2) 결과 및 고찰

(1) 초기샘플 분석

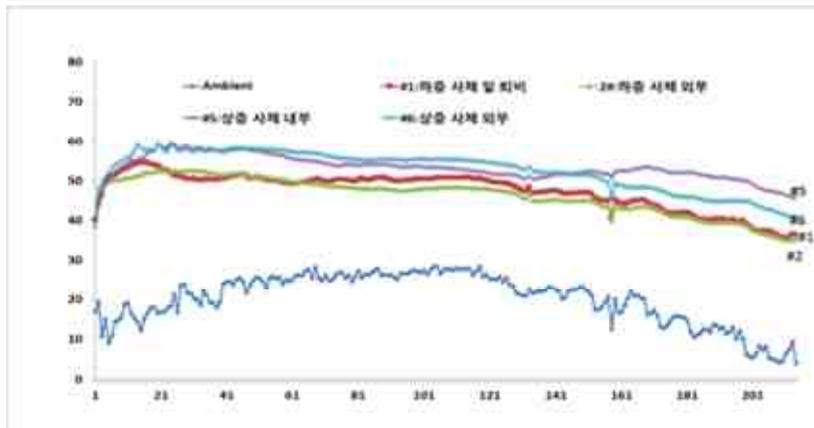
- 톱밥과 돈분 혼합물의 수분은 63%로 퇴비화에 적합한 수분함량으로 판단된다.
- 퇴비와 톱밥+돈분 및 톱밥의 C:N비는 각각 15.7, 15.2 및 265.3이었으며 기타 항목별 초기 성분은 아래 표 참조하면 된다.

<표 41> 부자재 초기 성분

Materials	MC ¹ (%)	VS ² (%)	pH	NH ₄ -N	TKN ³	NO-x	C/N ⁴ ratio
				mg/kg	mg/kg		
Compost	50.9±1.5	30.7±0.7	8.5	907.6±43.4	10,847.7±302.9	896.1±3.4	15.7
Swine feces	72.6±1.7	20.5±0.6	8.0	5,899.5±49.2	11,508.3±866.8	42.4±0.2	9.9
Sawdust	29.0±0.2	69.4±0.3	5.7	0.11±0.1	1,454.4±93.0	3.5±0.2	265.3
Sawdust+ Swine feces	63.5±0.5	31.2±0.4	7.2	5,681.7±30.3	11,424.1±319.4	46.4±2.0	15.2
Swine Mortality	32.5±1.4	64.2±1.3	6.8	11,336.6±123.0	27,606.4±194.9	6.0±0.3	-

¹All wet basis of MC, Moisture content, ²Volatile solids, ³Total Kjeldahl nitrogen, ⁴Carbon to nitrogen ratio.

(2) 온도



<그림 91> 온도변화

- 온도는 하층 사체 외부(2번) 를 제외한 하층 사체 및 퇴비(1번), 상층 사체 내부(5번), 상층 사체 외부(6번) 모두 퇴비화 진행 10일 후 60℃까지 상승하였고, 유해 병원성 미생물이 파괴 될 수 있는 온도 범위인 50℃이상이 약 100일간 지속되었다. 가장 고온으로 올라가고 161일이 경과된 시점에서 50℃이상 범위에 있었던 부분은 상층 사체 외부(6번)였으며, 이는 호기성 미생물 활동이 왕성하여 유기물 분해가 잘 이뤄지고 퇴비화 되는데 최적 조건이 형성되었기 때문인 것으로 판단되었다. 하층사체 외부의 경우(2번), 온도가 다른 부분보다 조금 낮게 상승하였는데 이는 사축과 부자재가 퇴비화 과정에서 발생하는 침출수에 의해 수분함량이 높아졌기 때문으로 판단된다.

(3) 기타사항

- 2013년 11월 매몰지 발굴 이설퇴비화를 진행 중인 충청남도 천안시 병천면 상봉농장 인근에 돼지유행성설사병 (PED)이 발생함에 따라 현장 접근이 거부되어 최종퇴비성상 분석을 진행하지 못하였다. 그러나 “현장연구(트렌치형 퇴비화”연구와 “이설퇴비화 현장연구 1)”에서 사축퇴비의 성상과 그 특성을 현 비료공정규격과 비교하여 제시하였다.
- 현재 비료관리법([시행 2013.4.23] [법률 제11502호, 2012.10.22., 일부개정])에서는 사축퇴비화로 만들어진 퇴비를 비료로 사용할 수 없으며, 가축전염병예방법 ([시행 2013.8.13] [법률 제12048호, 2013.8.13., 일부개정] 제 20조(살처분 명령) 제 2항에서는 “가축전염병에 걸렸거나 걸렸다고 믿을 만한 역학조사·정밀검사 결과나 임상증상이 있는 가축사체의 소유자등이나 제20조제2항에 따라 가축을 살처분한 가축방역관은 농림축산식품부령으로 정하는 바에 따라 지체 없이 해당 사체를 소각하거나 매몰하여야 한다. 다만, 병성감정 또는 학술연구 등 다른 법률에서 정하는 바에 따라 허가를 받거나 신고한 경우와 대통령령으로 정하는 바에 따라 재활용하기 위하여 처리하는 경우에는 그러하지 아니하다 <개정 2013.3.23.>” 라고 고시되어 있다. 따라서 사축퇴비화 및 사체를 원료로 생산된 퇴비의 이용을 위해서는 관련 법령의 검토 및 개정이 요구된다.

4. 매몰지 발굴 이설·퇴비화 및 사축 퇴비화 방법에 관한 행동지침

가. 매몰지 발굴·이설·퇴비화 방법

- 가축이 매몰되어 있는 매몰지와 사축퇴비 더미를 만들 이설지가 따로 떨어져 있을 경우 사축퇴비화 하는 방법으로 다음과 같은 사항을 준수하여야 한다.

1) 사체의 미생물 검사

※ 사체의 미생물 검사는 부록 I. 참고

2) 매몰지 발굴 및 사체 이동

(1) 발굴

- 가축이 매몰되어 있는 위치를 정확히 파악하고 발굴시작 전 매몰지 주변에 차수막(0.2mm이상, 고강도 방수재질)을 2중으로 깔아 놓는다. 매몰되어 있는 사체의 발굴시 사체가 손상되지 않도록 포크레인 등과 같은 장비를 이용하여 조심히 발굴한다.



<그림 92> 매몰지에서 사체 발굴

(2) 장소를 이동하여 사체를 처리할 경우

(가) 발굴된 사체는 병원체가 잔존할지 모르므로 이설 퇴비화 장소까지 안전하게 운반되어야 한다. 사체를 먼 곳으로 이동시켜 퇴비화 하는 경우에는 혈액, 타액, 미분해물, 사축 잔여물 등이 유출되지 않도록 비닐 등으로 밀봉하고 덮개 등이 있는 차량으로 운반하여야 한다.

(나) 운반차량에 대하여는 운반 전후 차량내·외부를 매물시의 질병에 유효한 소독약 등으로 철저히 소독하여야 한다.

3) 이설지 위치 선정

○ 사축퇴비화 장소로 적합한 장소는 아래와 같은 조건에 위치하는 것이 좋다.

- (1) 하천·수원지, 도로 등과 30m 이상 떨어진 곳
- (2) 도로 및 주민이 집단적으로 거주하는 지역에 인접하지 아니한 곳으로 사람이나 가축의 접근을 제한할 수 있는 곳
- (3) 유실, 붕괴 등의 우려가 없는 평탄한 곳
- (4) 침수의 우려가 없는 곳

4) 라. 사축퇴비화

(1) 준비사항

품명	비고
포크레인	부자재 투입용
스키드로더	사체 운반용
수송차량	부자재 운반용
차수막	바닥설치용
송풍관	PVC 재질 유공관으로 내경 145mm, 5시, 7시 방향 20cm 간격의 지그재그형태로 구멍 낸 것
부자재(돈분, 톱밥)	사축이 발생하는 농가에서 쉽게 구할 수 있는 것
완숙비료	최상층부에 도포하여 바이오필터 역할을 하기 위함
방역복	방역 목적
온도계	더미를 수직으로 관통할 수 있을 정도의 길이
나일론망	사축퇴비 더미 덮개용

(2) 사축퇴비화 규모 산정

- 퇴비화 대상 축종, 크기 및 두수, 부자재 투입량, 상층 퇴비 도포 높이 등을 감안하여 사축퇴비더미의 크기를 결정하되, 사축퇴비화 현장 여건을 고려하여 길이, 폭, 높이 등 사축퇴비화 크기를 사전 결정한다.
- 주변 환경 등을 고려, 적정한 높이 및 크기로 설정한다.

※ 규모 산정 예시

- 비육돈 기준(0.2m³/두)
- 부피비를 기준으로 부자재(톱밥:돈분=40:60 또는 퇴비=100)투입 비율은 65~75%, 사체는 25~35%으로 함.

Based on 1,000 head of mortalities with the constant height and width of 2.2 and 3.5m

		Pile vol.(m ³)	Length(m)
3 layers	Buried	326.13	90.04
Mesh covered	Excavated	253.59	37.44

(3) 사축퇴비화 방법

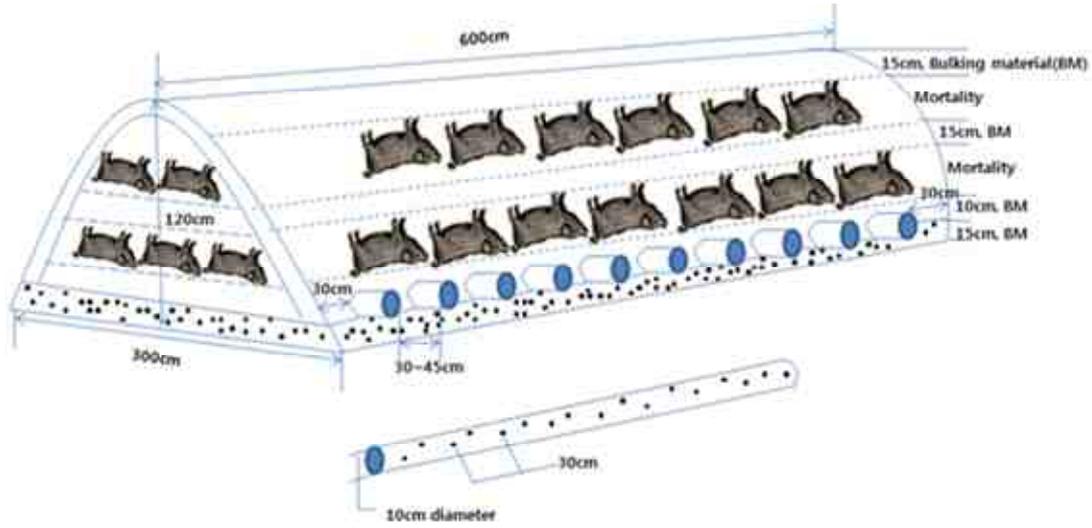
(가) 바닥에 비닐 설치 및 톱밥 깔기

- 퇴비화 과정에서 발생할 수 있는 침출수로 인한 인근 토양 및 주변 환경 오염방지를 위해 바닥에 두께 0.2mm이상 고강도 방수재질의 비닐을 2중으로 깔고 그 위에 부직포·비닐 커버 등을 추가로 덮어서 비닐 훼손을 방지한다. 다만 비닐이 아닌 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 등 고강도 방수재질을 사용하는 경우에는 부직포, 비닐커버 등을 추가로 덮는 것을 생략할 수 있다.
- 비닐은 사축퇴비화 더미의 바닥 넓이보다 큰 규격으로 사용한다.
- 침출수의 흡수, 수분 조절 및 분뇨 발효 촉진을 위해 사용되는 톱밥을 15cm 정도 두께로 깔아준다.

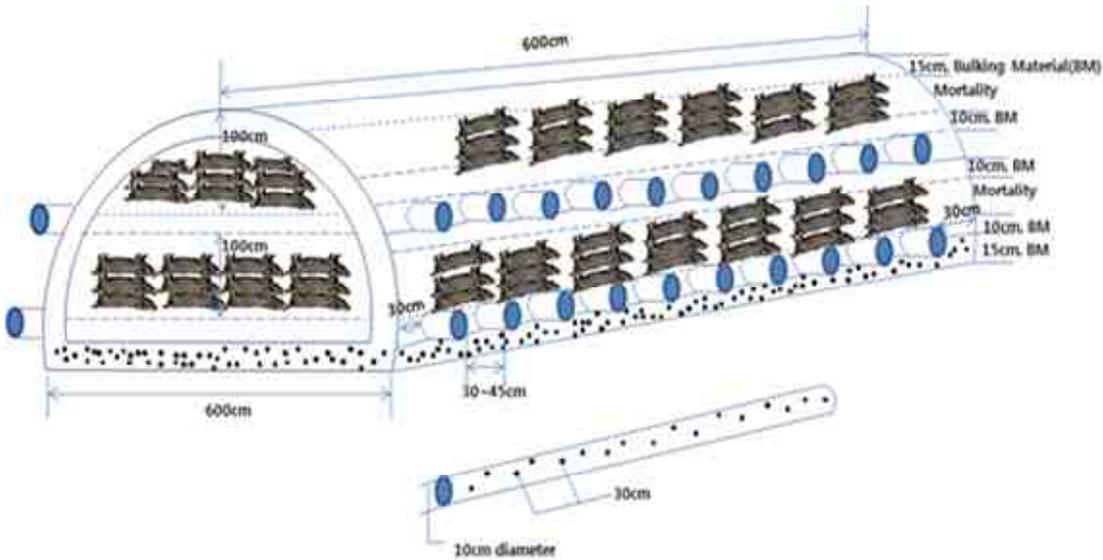
(나) 유공관 설치

- 자연적으로 공기가 유입될 수 있도록 PVC 파이프(Ø14.5cm) 하단면 (5시와 7시 방향)에 30cm 간격의 (지그재그형태) 구멍(Ø 12mm)을 낸 후 그림과 같이 유공관끼

리 간격을 30~45cm로 배치한다. 파이프의 반은 톱밥에 고정되도록 하여 움직임을 최소화한다.



A. 사축퇴비화 디자인 I



B. 사축퇴비화 디자인 II

<그림 93> 사축퇴비화 설비 개요도



<그림 94> 이설지 바닥에 비닐 설치 및 톱밥 깔기



<그림 95> 유공관 설치

(다) 부자재 덮기

- 발굴 전 미리 돈분과 톱밥을 부피비 3:2로 혼합하고(이하 혼합부자재) 바닥에 설비된 유공관이 덮이도록 혼합된 부자재를 투입하고 평평하게 펴준다. 퇴비화가 잘 이뤄질 수 있도록 돈분과 톱밥 혼합물의 수분함량을 간이적인 방법으로 65~70% 정도로 조절한다. 그 정도는 손으로 만져 뭉침이 부스러지지 않을 정도이며, 뭉침이 쉽게 부숩진다면 수분을 더 첨가하여야 한다.

(라) 사체의 투입 - 1

- 발굴한 사체를 부자재 위에 한 층으로 놓는다. 이때 사체끼리의 간격은 약 10~20cm로 하여 사체사이에 충분한 부자재가 투입되도록 하여 사축분해를 촉진시키고 더미의 끝 부분 역시 약 20cm정도의 간격을 두어 발굴 사체가 외부에 노출됨을 방지한다.

(마) 부자재 덮기 - 1

- 돈분과 톱밥을 혼합한 부자재를 사체가 충분히 덮이도록 약 15cm 높이로 덮는다.



<그림 96> 부자재 덮기 및 사체 투입(좌)-부자재 덮기(우)

(바) 사체의 투입 - 2

○ 그 위에 발굴한 사체를 2층으로 깔아놓으며 사체투입 요령은 (라) 사체의 투입 - 1과 같다.

(사) 부자재 덮기 - 2

○ 2층으로 투입된 사체를 부자재로 덮으며 그 요령은 (마) 부자재 덮기 - 1과 같다.

(아) 2차 유공관 설비, 사체 투입, 부자재 덮기

○ 처리할 발굴사체가 많을 경우에는 (사)의 부자재 덮기가 끝난 후 그 위에 유공관을 다시 설치하고 (라)~(사)의 사체 투입과 부자재 덮기를 반복한다(그림 93B).

(자) 완속퇴비로 덮기

○ 사축 분해 과정에서 발생하는 악취를 저감시키도록 완속비료를 사축더미 위에 약 15cm 높이로 최종 도포한다.

(차) 망으로 붕괴 방지

○ 사축퇴비 더미의 붕괴 및 야생동물 등의 습격에 노출되는 것을 방지하기 위해 사축퇴비 더미를 나일론망으로 덮은 후 비닐하우스 설치 전까지 만약의 경우를 대비(빗물 침입 등)하기 위해 비닐로 덮는다.

(카) 야생동물 접근 및 강수 대비

○ 비닐하우스는 가급적 빨리 설치하고 준비가 되었다면 퇴비 더미에 덮어 두었던 비닐을 제거한다. 비닐하우스 주변에는 집중 호우 시 물이 고이는 것을 방지하기 위해서 배수로를 판다. 비닐하우스 설치 시에는 자연통풍이 용이하도록 아래 부분과 옆면, 윗부분에 개폐구를 다수 만들어 놓는다.



<그림 97> 사체의 투입-2(위)와 완숙비료를 도포한 더미



<그림 98> 퇴비더미 보호를 위한 비닐하우스 설치

(4) 사축퇴비 더미 관리요령

- 사체의 병명 및 축종, 매몰 연월일 및 이설 연월일, 발굴금지기간, 이설 작업 책임자 및 이설지 관리자, 기타 필요한 사항 등을 기재한 경고표지판을 설치한다.

(가) 온도 관리 요령

- 온도변화는 퇴비화의 진행 상태를 파악하는 중요한 지표이기 때문에 모니터링을 통해 온도변화를 자주 확인 한다.

(나) 침출수 처리요령

- 사체 밑에 부자재로 톱밥을 깔았기 때문에 퇴비화 과정 중 침출수 발생은 없다. 만약 침출수가 발생했다면 충분한 양의 부자재를 퇴비 더미 주변에 견고히 쌓아 놓는다.

(다) 퇴비 더미 붕괴 및 악취 관리

- 설치된 비닐하우스 주변에 야생동물 침입으로 인한 파손 및 악취 발생의 유무를 자주 확인한다. 악취의 경우, 부자재의 질소 함량이 높거나 C:N비가 20:1보다 작으면 나기 때문에 이때는 탄소함량이 높은 부자재를 추가적으로 투입하여야 한다. 그러나, 이미 설치된 더미에는 부자재의 추가 투입이 불가능 하므로 퇴비 더미 위에 추가적으로 완숙된 퇴비를 덮어 악취를 방지하여야 한다.

(5) 사축퇴비 더미 해체

(가) 해체시점 결정

- 온도의 하강여부를 자주 모니터링하여 외부 온도와의 차이가 5~10℃이하 일 때 또는 더 이상의 온도 하강이 없을 경우 해체작업을 수행한다. 해체 전 반드시 온도가 53℃ 이상으로 상승하여 일주일 이상 지속 되었는지에 대한 확인이 필요하며 만약 온도 상승이 미약했다면 해체를 보류하고 안전성 진단을 받아야 한다.

(나) 해체 방법

- 사축퇴비 더미 최상층에 있던 나일론 망과 바닥 혹은 중간의 유공판을 제거하고 층별 구분 없이 골고루 혼합하여 퇴비로 이용한다. 이때 잔여뼈를 반드시 제거하는 것이 좋다.

나. 농장 내 퇴비사를 이용한 사축퇴비화 방법

- 농장 내에서 사축 발생 시 다른 곳으로 이송하거나 매몰하지 않고 농장 내 퇴비사를 이용하여 사축을 퇴비화 하는 방법으로 다음과 같은 사항을 준수하여야 한다.



<그림 99> 농장 내 퇴비사

1) 사축퇴비화

(1) 준비사항

품명	비고
포크레인	부자재 투입용
스키드로더	사체 운반용
송풍관	PVC 재질 유공관으로 내경 145mm, 5시, 7시 방향 20cm 간격 지그재그형태로 구멍낸 것
부자재(돈분, 톱밥)	퇴비사에 있는 것들
완숙비료	최상층부에 도포하여 바이오필터 역할을 하기 위함, 퇴비사에 있는 것 활용
방역복	방역 목적
온도계	더미를 수직으로 관통할 수 있을 정도의 길이

(2) 사축퇴비화 방법

(가) 톱밥 깔기

- 침출수의 흡수, 수분 조절 및 분해촉진을 위해 사용되는 톱밥을 15cm 정도 높이로 깔아준다.
- 퇴비사 바닥이 콘크리트가 아닌 경우에는 퇴비화 과정에서 발생된 침출수로 인한 토양 및 주변 환경 오염방지를 위해 바닥에 두께 0.2mm이상 고강도 방수재질의 비닐을 2중으로 깔고 그 위에 부직포·비닐커버 등을 추가로 덮어서 비닐 훼손을 방지한다. 다만, 비닐이 아닌 고밀도 폴리에틸렌(HDPE) 등 고강도방수재질을 사용하는 경우에는 부직포, 비닐커버 등을 추가로 덮는 것을 생략할 수 있다.
- 비닐은 사축퇴비화 더미의 바닥 넓이보다 큰 규격으로 사용한다.

(나) 유공관 설치

- 자연적으로 공기가 유입될 수 있도록 PVC 파이프(Ø14.5cm) 하단면 (5시와 7시 방향)에 30cm 간격의 (지그재그형태) 구멍(Ø 12mm)을 낸 후 그림과 같이 유공관끼리 간격을 30~45cm로 배치한다. 파이프의 반은 톱밥에 고정되도록 하여 움직임을 최소화 한다.

(다) 부자재 덮기

- 발굴 전 미리 돈분과 톱밥을 부피비 3:2로 혼합하고(이하 혼합부자재) 바닥에 설치된 유공관이 덮이도록 혼합된 부자재를 투입하고 평평하게 펴준다. 퇴비화가 잘 이뤄질 수 있도록 돈분과 톱밥 혼합물의 수분함량을 간이적인 방법으로 65~70% 정도로 조절한다. 그 정도는 손으로 만져 뭉침이 부스러지지 않을 정도이며, 뭉침이 쉽게 부숩진다면 수분을 더 첨가하여야 한다.

(라) 사체의 투입 - 1

- 발굴한 사체를 부자재 위에 한층으로 놓는다. 이때 사체끼리의 간격은 약 10~20cm로 하여 사체사이에 충분한 부자재가 투입되도록 하여 사축분해를 촉진시키고 더미의 끝 부분 역시 약 20cm정도의 간격을 두어 발굴 사체의 외부로의 노출을 방지하여야 한다.

(마) 부자재 덮기 - 1

- 돈분과 톱밥을 혼합한 부자재를 사체가 충분히 덮이도록 약 15cm 높이로 덮는다.

(바) 사체의 투입 - 2

- 그 위에 발굴한 사체를 2층으로 깔아놓으며 사체투입 요령은 (라) 사체의 투입 - 1과 같다.

(사) 부자재 덮기 - 2

- 2층으로 투입된 사체를 부자재로 덮으며 그 요령은 (마) 부자재 덮기-1과 같다.

(아) 완숙퇴비 커버 덮기

- 사축 분해 과정에서 발생하는 악취를 저감시키도록 완숙비료를 사축더미 위에 최종 도포하며 그 높이는 약 15cm이다.

(3) 사축퇴비화 관리요령

- 사체의 병명 및 축종, 매물 연월일 및 이설 연월일, 발굴금지기간, 이설 작업 책임자 및 이설지 관리자, 기타 필요한 사항 등을 기재한 경고표지판을 설치한다.

(가) 온도 관리 요령

- 온도변화는 퇴비화의 진행 상태를 파악하는 중요한 지표로 이용될 수 있으므로 모니터링을 자주하여 온도를 체크한다.

(나) 침출수 처리요령

- 사체 밑에 부자재로 톱밥을 깔았기 때문에 퇴비화 과정 중 침출수 발생은 없다. 그럼에도 불구하고 잘못된 셋팅으로 인해 침출수가 발생할 시에는 충분한 양의 부자재를 퇴비더미 주변에 견고히 쌓아 놓는다.

(다) 퇴비 더미 붕괴 및 악취 관리

- 퇴비 더미의 야생동물 침입으로 인한 파손과 악취를 자주 체크한다. 악취는 부자재의 질소함량이 높거나 C:N비가 20:1보다 작으면 나기 때문에 이때는 탄소함량이 높은 부자재를 추가적으로 투입하여야 하는데 일단 셋팅된 퇴비 더미에는 부자재의 추가 투입이 불가능하므로 퇴비더미를 추가적으로 완숙된 퇴비로 덮어 악취를 방지하여야 한다.

(4) 사축퇴비 더미 해체

(가) 해체시점 결정

- 온도의 하강여부를 자주 모니터링하여 외부 온도와의 차이가 5~10℃이하 일 때 또는 더이상 온도하강이 없을 경우에 해체한다. 해체 전 반드시 온도가 53℃ 이상으로 상승하여 일주일 이상 지속 되었는지에 대한 확인이 필요하며 만약 온도상승이 미약했을 시에는 해체를 보류하고 안전성 진단을 받아야 한다.

(나) 해체 방법

- 사축퇴비 더미 바닥 혹은 중간의 유공관을 제거하고 층별 구분 없이 골고루 혼합하여 퇴비로 이용한다. 이때 잔여뼘을 반드시 제거하는 것이 좋다.

※ 부록

I. 매몰지를 이전하는 경우 사체의 미생물 검사

1.1. 시장·군수는 매몰지의 붕괴우려, 심각한 환경영향 등 불가피한 사유가 있을 경우에 한하여 매몰지 이전을 허용할 수 있다.

1.2. 매몰지의 이전은 가축방역관의 지도·감독 하에 실시하고, 작업 전 작업자에 대하여 방역교육 실시한다.

1.3. 시·군은 기존 매몰지를 이전하는 경우에는 사전에 아래의 방법에 따라 구제역 정밀검사 실시하여 음성으로 판정된 경우에 이전 한다.

○ 매몰지 유공관을 통해 채취한 침출수(1점, 15ml 코니컬 튜브에 10ml)와 매몰지 상층에서 약 30cm하부 지점의 흙(3점, 50ml 코니컬 튜브에 1/3)을 채취하여 코니컬 튜브에 담아 외부를 소독(채취된 시료를 직접 소독하지 말 것)하고, 검역검사본부(구제역진단과)으로 의뢰한다.

○ 검역검사본부는 매몰지 이전을 위한 시료가 도착하면 즉시 검사를 실시하고 그 결과를 시·군에 통보한다.

1.4. 매몰지 이전 작업 시 방역조치는 아래에 따라 실시한다.

○ 작업 전에 소독과 분진 방지를 위해 매몰지 및 주변에 충분한 소독을 실시한다.

○ 매몰지 유공관을 통해 침출수를 흡입하고, 매몰지를 개장한 후 액상부분을 별도 수거하여 침출수 처리방법과 동일하게 pH 처리 후 하수종말처리장 및 가축분뇨공공처리장 등으로 처리한다.

○ 사체 등을 운송하는 차량은 적재함 바닥이 침출수 등 오물이 새지 않도록 설비된 차량을 이용하고 침출수 등이 유출되지 않도록 비닐 등으로 적재함 바닥을 넓게 덮고 소독약을 살포한 후 가축사체 및 오염가능성이 있는 흙 등 전체를 차량에 적재한다.

○ 사체 등을 차량에 적재한 후 차량 상부를 소독약으로 충분히 살포하고 비닐 등으로

새지 않도록 덮고, 차량덮개로 덮는다.

- 적재를 완료한 후 기존 매물지는 소독약 등으로 충분히 소독 후, 매물지를 복토하고 마지막으로 다시 한번 소독을 실시한다.
- 기존 매물지의 이전과 복토가 완료되면 기존 매물지의 상층 흙(3점 이상)을 채취하여 코니컬 튜브(50ml)에 담아 검역검사본부으로 구제역 바이러스 정밀검사를 의뢰하며, 기존 매물지는 정밀검사 결과 판정 시 까지 출입을 통제한다.

1.5. 새로운 매물지로 사체 등을 운송 시 아래의 요령에 따라 운송한다.

- 시장·군수는 이전할 새로운 매물지의 구덩이파기 등 매물지에 사체를 투입할 수 있는 준비가 완료되면 사체를 이송한다.
- 운송 시 차량에는 가축방역관이 탑승하고, 운송차량은 출발하여 처리장소로 이동하는 과정 중 타 장소를 경유하거나 정차하지 말고, 이동시에는 방역사항을 고려하여 최단거리 경로를 지정하여 운행한다.
- 운송차량은 운송 중 침출수 누수 등 긴급 상황에 대비, 휴대용 소독장비를 비치, 차량 이동시 이동경로에 대하여 소독 실시한다.
- 운송차량이 새로운 매물지에 도착하면 차량 내·외부 및 운전기사에 대해 소독하고, 매물지에서는 최대한 오염되지 않도록 사체를 하차한다.

1.6. 시장·군수는 이전된 매물지를 KAHIS에 등록하고, 관리하여야 한다.

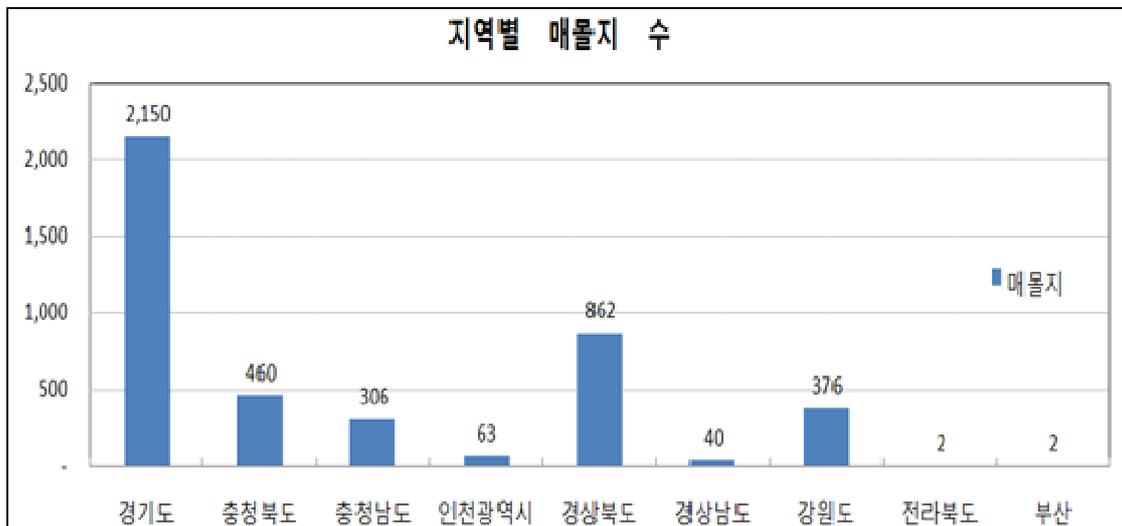
제 3절 구제역 및 AI 사육매몰지 관측정 설치기준 제시방안

1. 전국 구제역 매몰지 현황

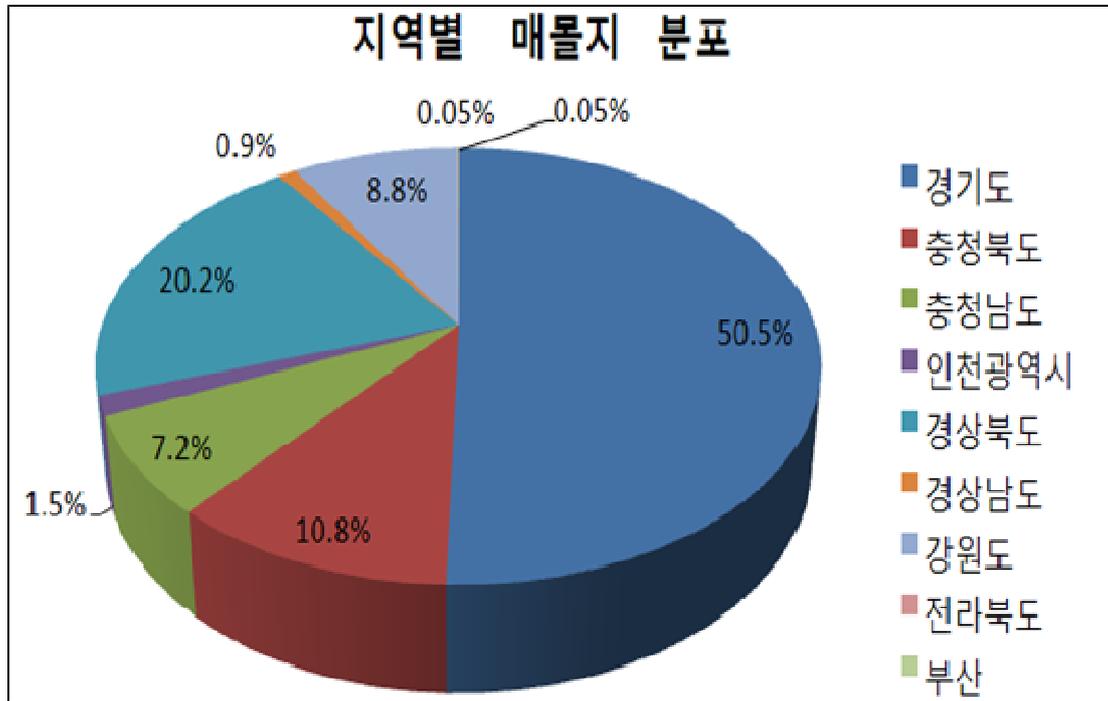
행정안전부 재난안전본부 2011년 2월 통계 자료에 의하면 2010년 11월부터 2011년 3월까지 발생한 구제역으로 전국의 구제역 매몰지는 4600개소이며, 약 350만 마리의 가축이 살처분되었다. 본 연구에서는 해당 매몰지 자료를 수집하고, 수집된 자료 중 해당 매몰지의 기본 정보 및 위치자료가 잘 구축되어 있는 4,261개소 매몰지에 대하여 매몰지 현황, 매몰가축 현황 등을 분석하였다. 전국의 구제역 매몰지 4,261개소의 분포 현황을 보면 구제역이 최초로 시작한 경상북도의 매몰지는 862개소로 전국의 20.2%를 차지하고 있고, 강원도는 376개소로 8.8%, 경기도는 가장 많은 2,150개소로 전국의 50.5%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다(그림 101, 그림 102, 그림 103)

2. 전국 구제역 매몰가축 현황

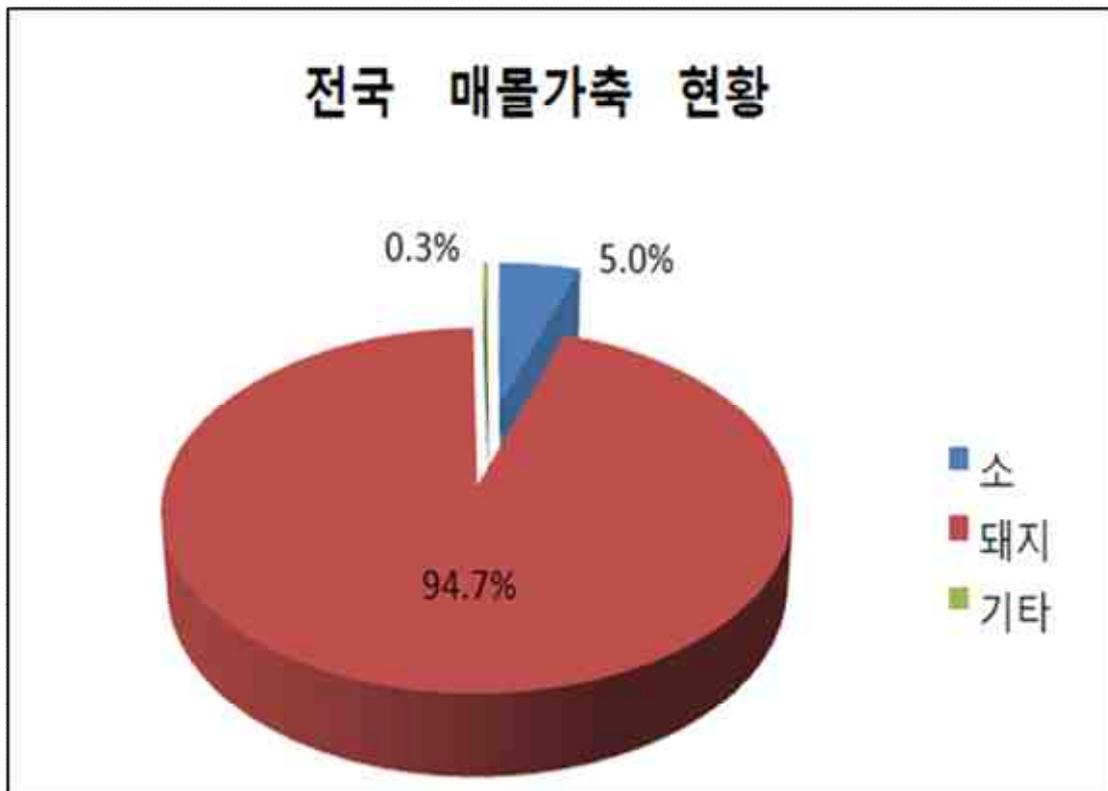
전국의 4,261개소의 구제역 매몰지에 약 310만 마리의 가축이 매몰되어 있으며, 이 중 돼지 매몰수는 약 290만 마리로 전체 매몰가축수의 94.7%, 소 매몰수는 약 15만 마리로 전체 매몰가축수의 5.0%를 차지하고 있으며, 기타 종의 매몰수는 약 9,000마리로 전체 매몰가축수의 0.3%를 차지한다(그림 100). 지역별로 구제역 매몰가축 분포현황을 살펴보면 경기도에는 약 160만 마리로 전체 51.3%로 가장 많이 분포되어 있으며, 충청남도는 약 40만 마리로 전체 12.8%, 경상북도는 약 40만 마리로 전체 12.6%, 충청북도는 약 33만 마리로 10.8%의 순으로 분포한다(그림 104,105).



<그림 100> 전국 지역별 매몰지 수

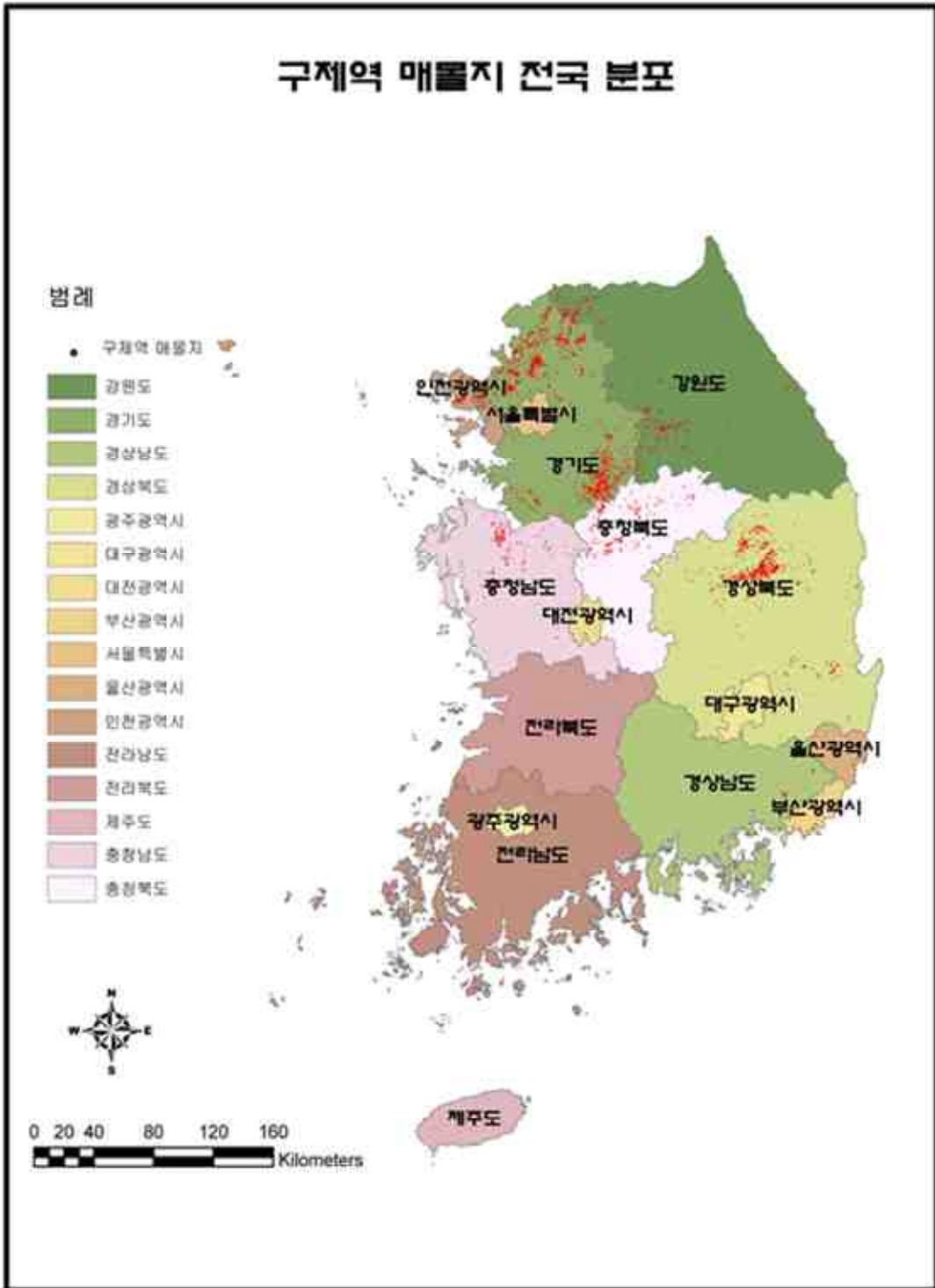


<그림 101> 전국 지역별 매몰지 분포도(1)

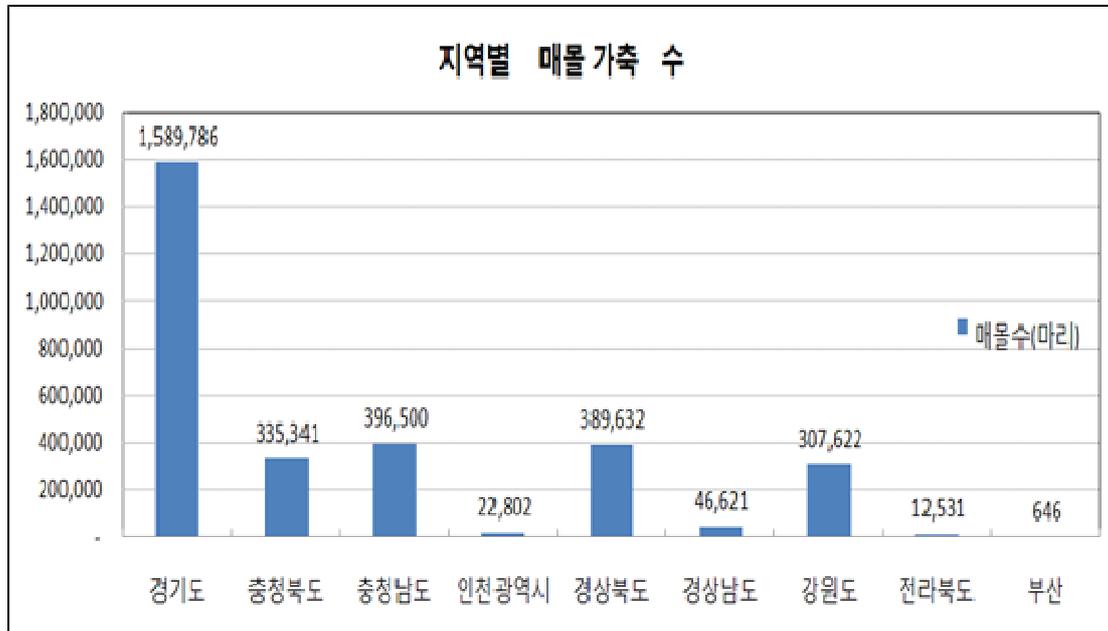


<그림 102> 전국 매몰지 축종별 현황

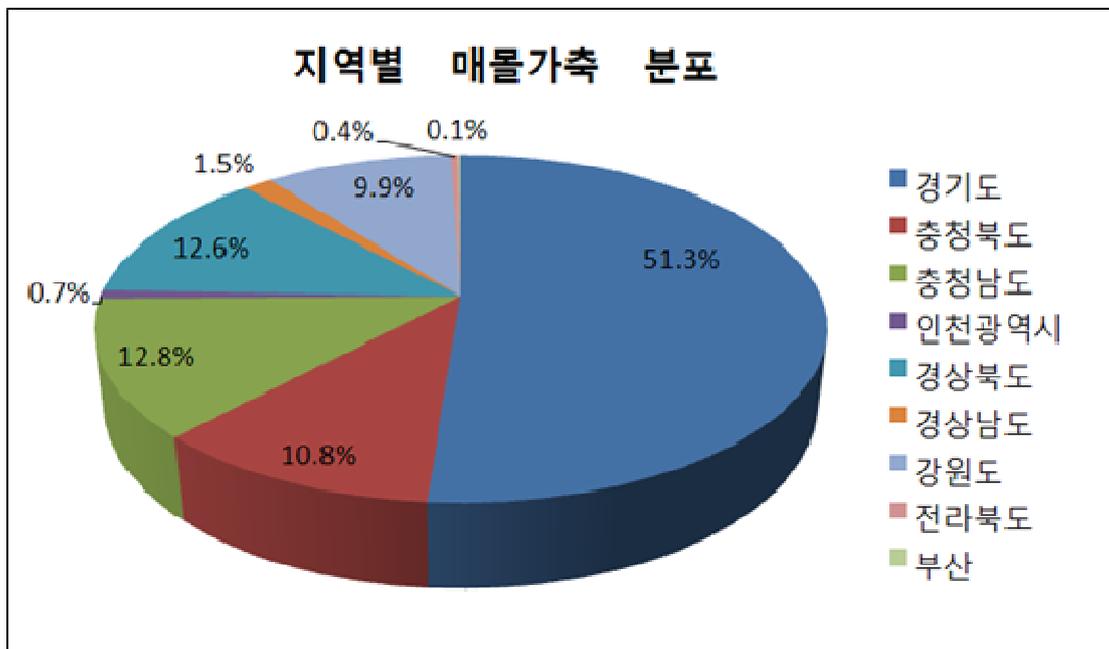
구제역 매몰지 전국 분포



<그림 103> 전국 매몰지 분포도(2)

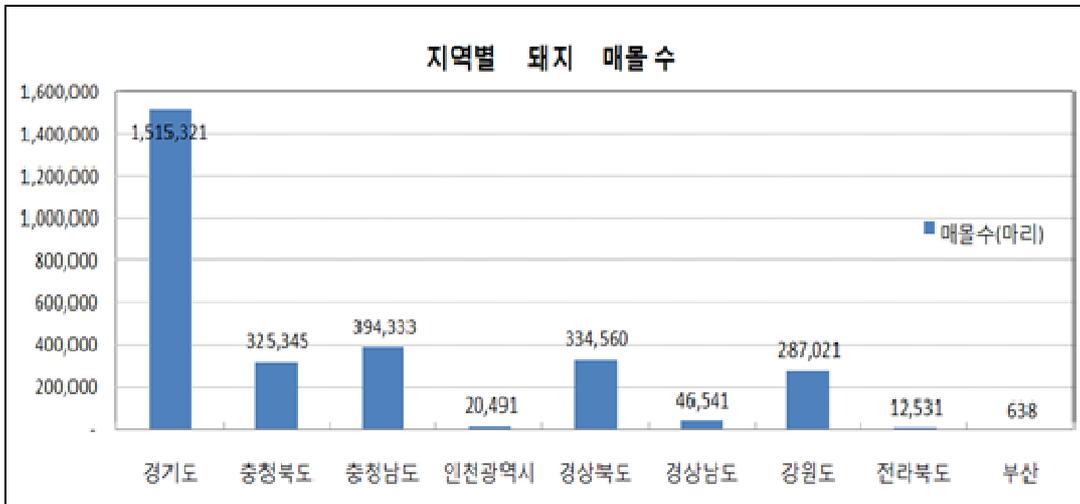


<그림 104> 전국 지역별 매물 가축 수

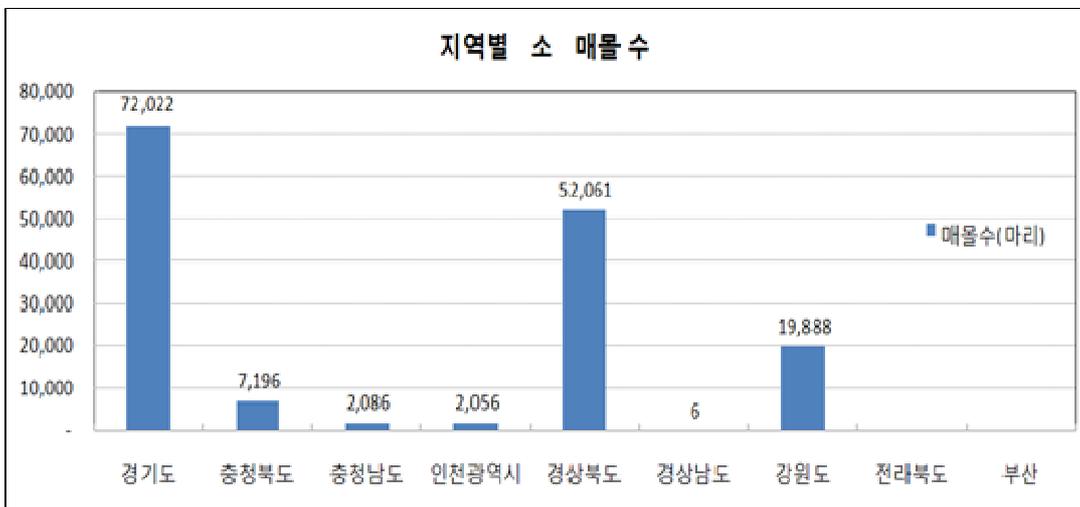


<그림 105> 지역별 매물가축 분포

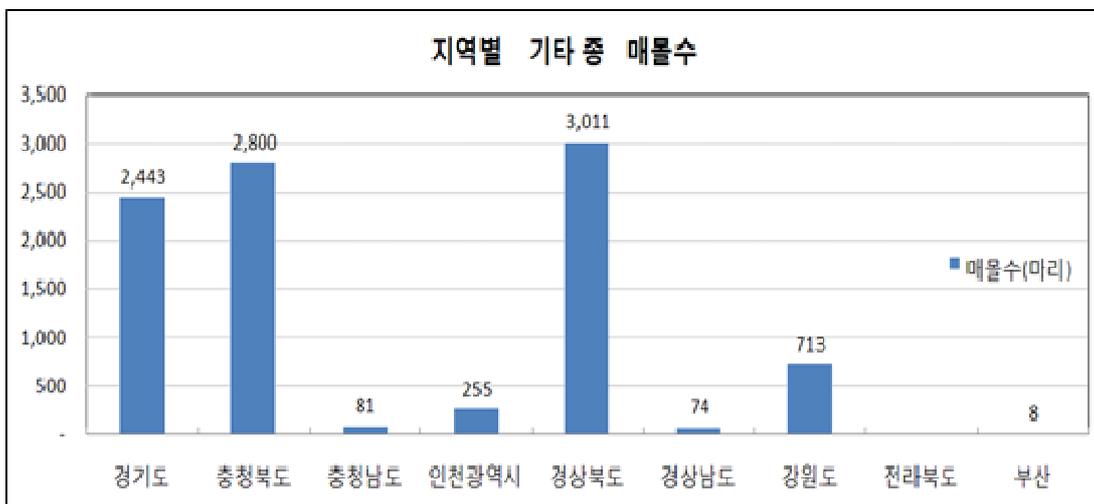
매물가축 종류에 따른 지역별 분포 현황을 살펴보면 전국 돼지 매물수는 약 300만 마리로 경기도에 전체 돼지 매물수의 51%에 해당하는 약 150만 마리가 매물되어있고, 충청남도에 약 40만 마리, 경상북도에 약 34만 마리, 충청북도에 약 33만 마리 등이 매물되어 있다. 소매물수는 경기도에 전체 소 매물수의 41%로 해당하는 약 7만 마리가 매물되어있고, 경상북도에 전체 소매물지 33%에 해당하는 약 5만 마리가 매물되어 있어 전국적으로 경기도에 가장 많이 분포한다.



<그림 106> 지역별 돼지 매몰수



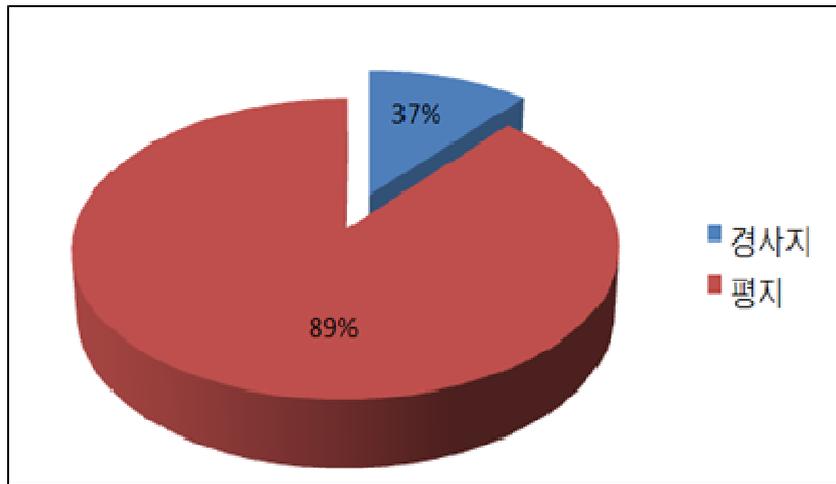
<그림 107> 지역별 소 매몰수



<그림 108> 지역별 기타 종 매몰수

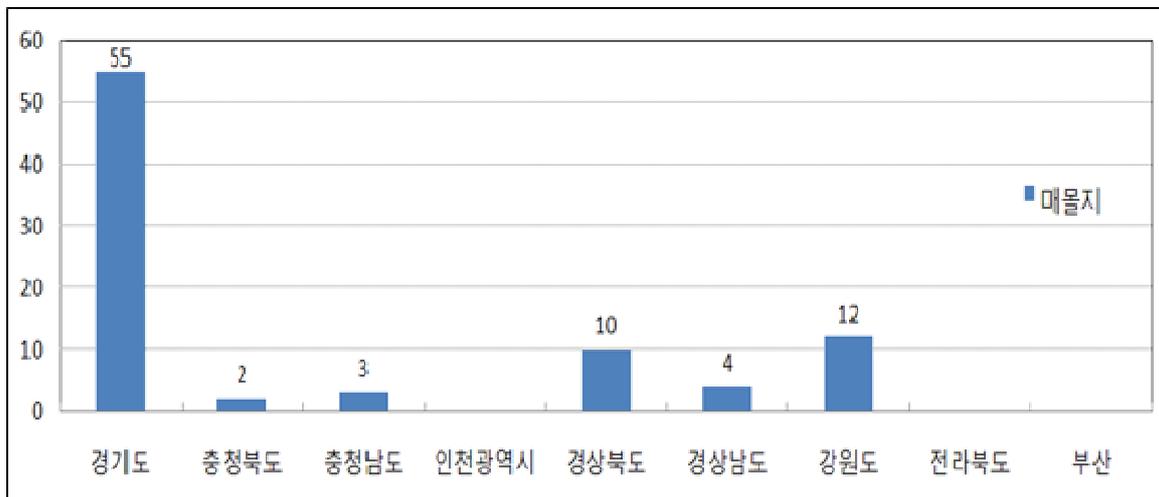
3. 구제역 매몰지 입지 유형별 현황

매몰지 4,261개소 중 매몰지 입지 특성을 고려하여 살펴본 결과 전체 매몰지 중 평지 매몰지가 전국 매몰지의 89%에 해당하는 3,712개소로 매몰지 대부분이 평지에 분포되어 있다(그림 109). 그리고 하천과의 인접도를 확인하기 위해 국가하천, 지방하천, 소하천망도를 중첩하여 50m이내에 위치한 매몰지를 조사한 결과 <그림 111>과 같은 분포를 볼 수 있었다.



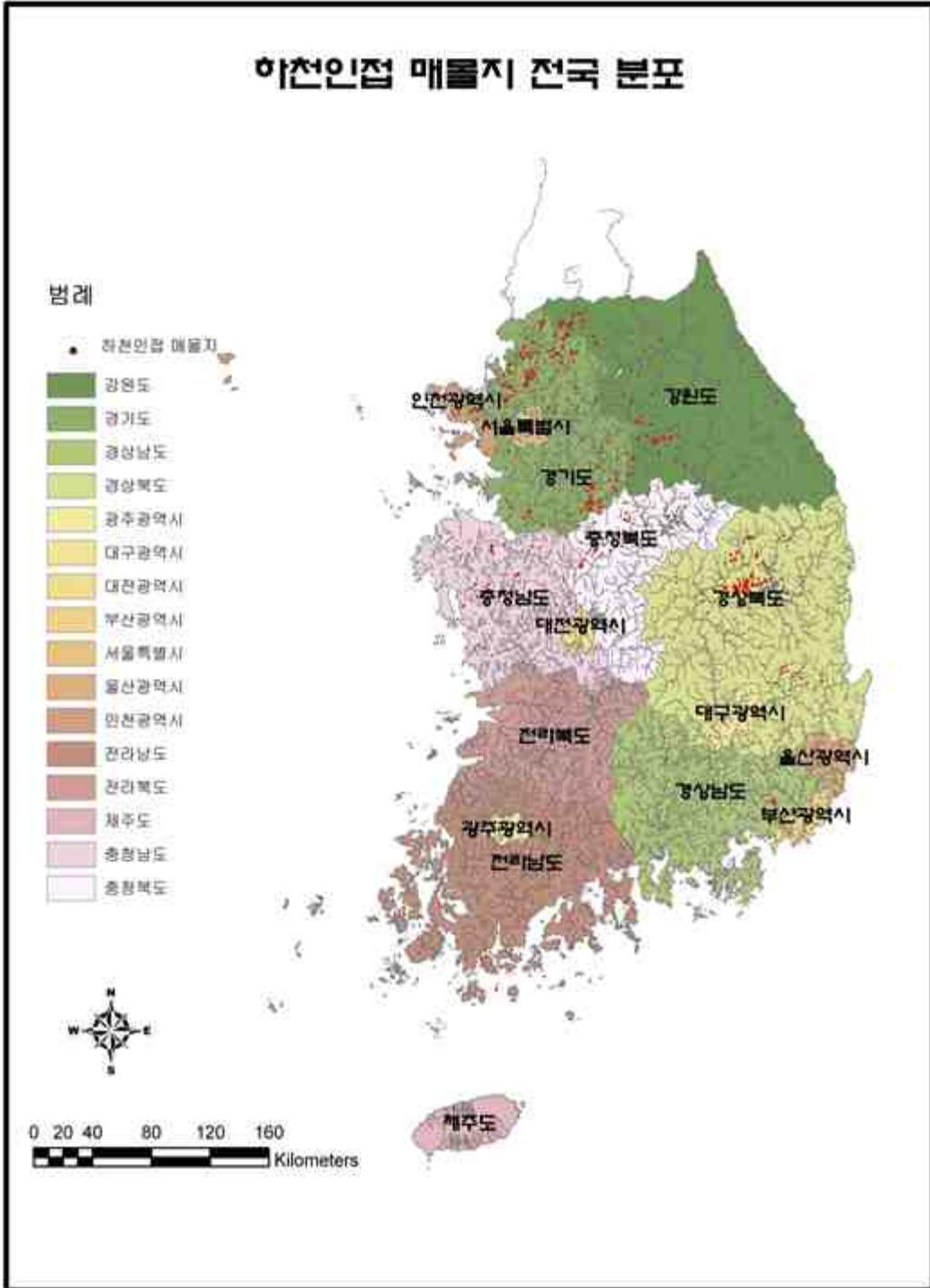
<그림 109> 전국 입지유형별 매몰지 현황

지방하천 인근 구제역 매몰지를 조사한 결과 총 86개소가 위치하고 있는데, 경기도에 55개소로 전체의 64%를 차지하고 있고, 소하천 인근 매몰지를 조사한 결과 총 517개소 중 경기도에 213개소로 41%로 분포되어 있다(그림 110, 그림 112, 그림 113, 그림 114).

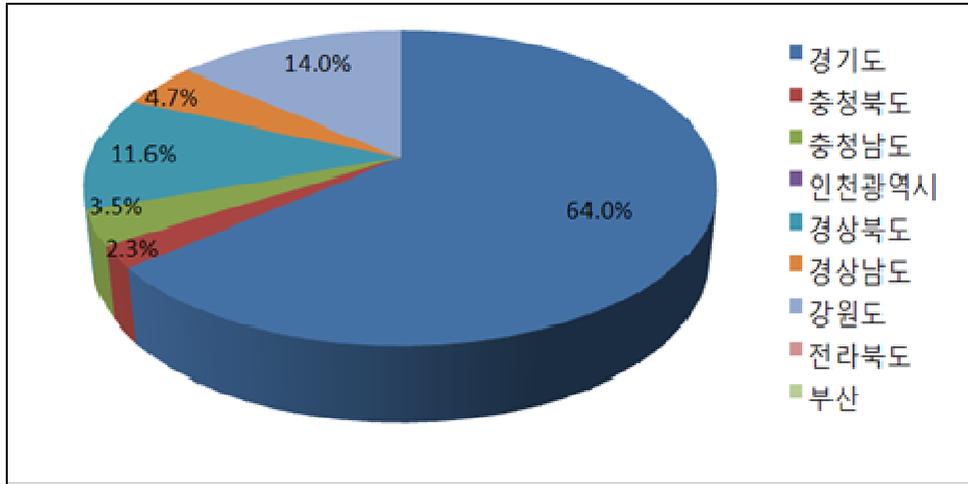


<그림 110> 전국 지방하천 근처 매몰지 수

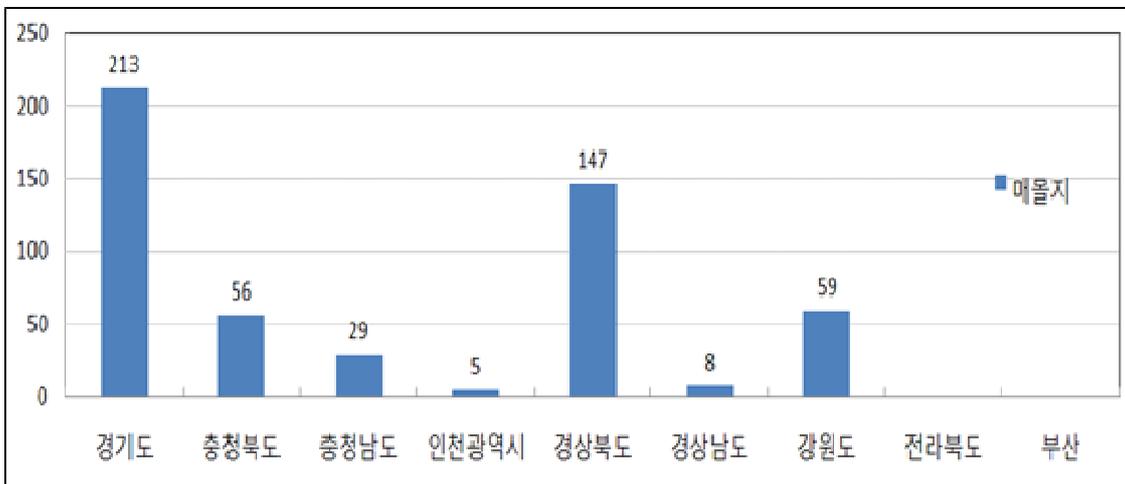
하천인접 매몰지 전국 분포



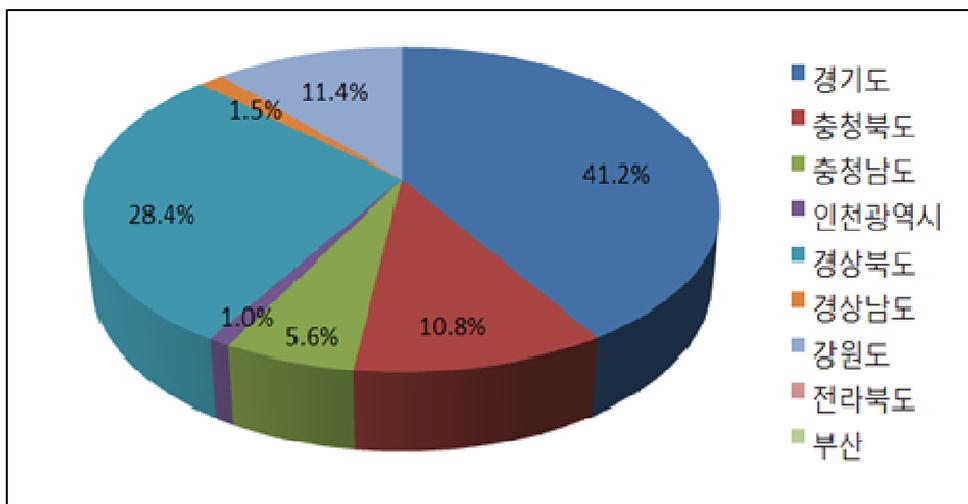
<그림 111> 하천인접 매몰지 전국 분포



<그림 112> 전국 지방하천 근처 매몰지 분포



<그림 113> 전국 소하천 근처 매몰지 수



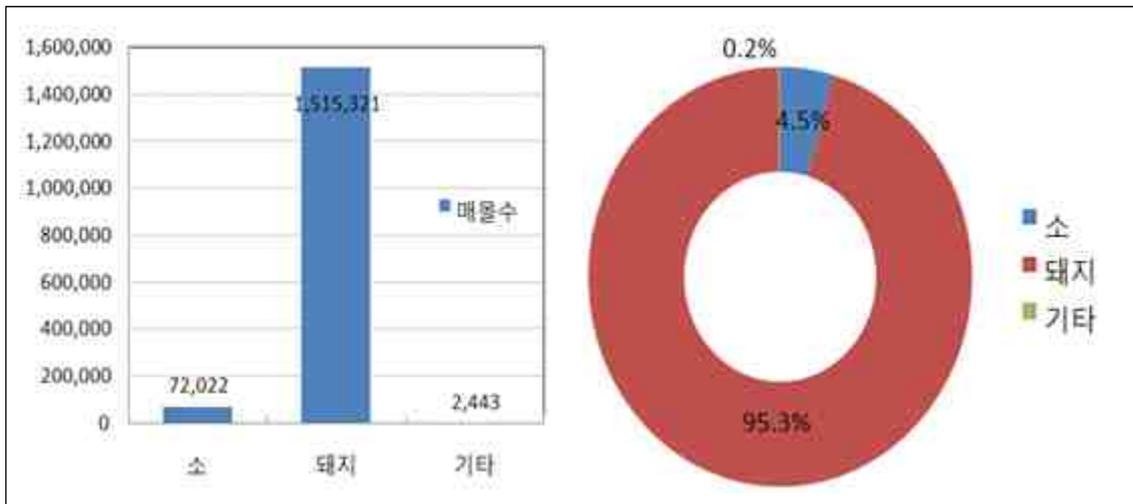
<그림 114> 전국 소하천 근처 매몰지 분포

4. 지역별 구제역 매몰지 현황

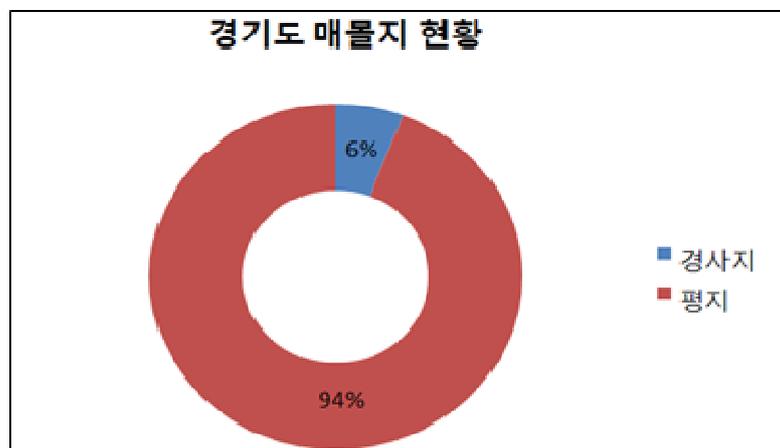
전국적으로 4,261개소의 매몰지를 각 지자체별로 구분하여 매몰축종, 매몰두수, 매몰지 입지현황을 조사하였다.

가. 경기도 매몰지 현황

경기도는 매몰지가 전국에서 가장 많이 분포되어있는 지역으로 전국 매몰지의 50.5%를 차지한다. 경기도에는 2,150개소의 매몰지에 약 160만 마리의 가축이 매몰되어 있고 그 중 돼지의 매몰수가 약 150만 마리로 경기도 전체 매몰수의 95.3%를 차지한다. 그리고 경기도의 매몰지는 경사지 보다 평지에 더 많이 분포되어 있고, 504개소의 매몰지가 하천변(농수로) 근처에 분포되어 있다.



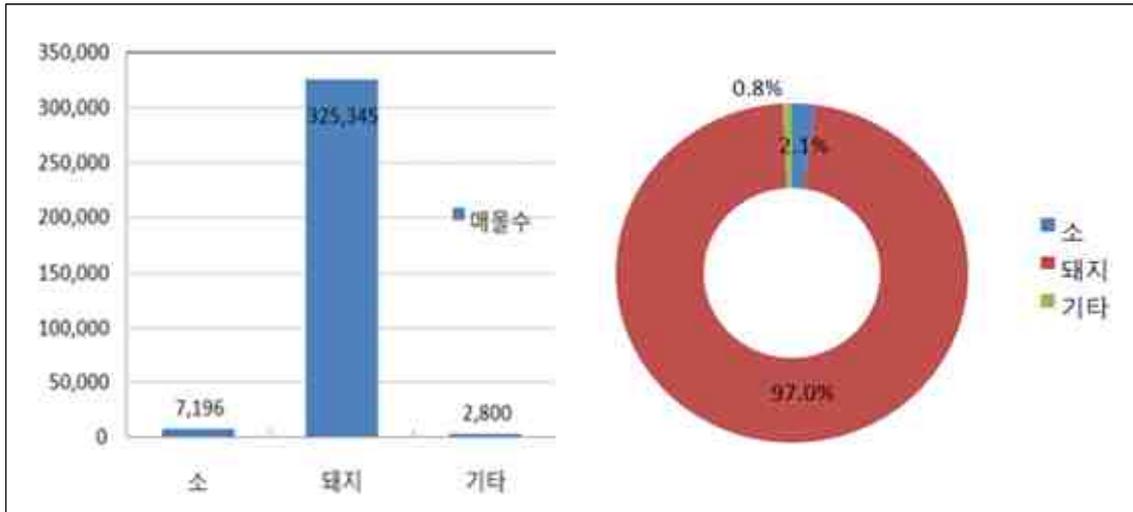
<그림 115> 경기도 매몰가축 현황



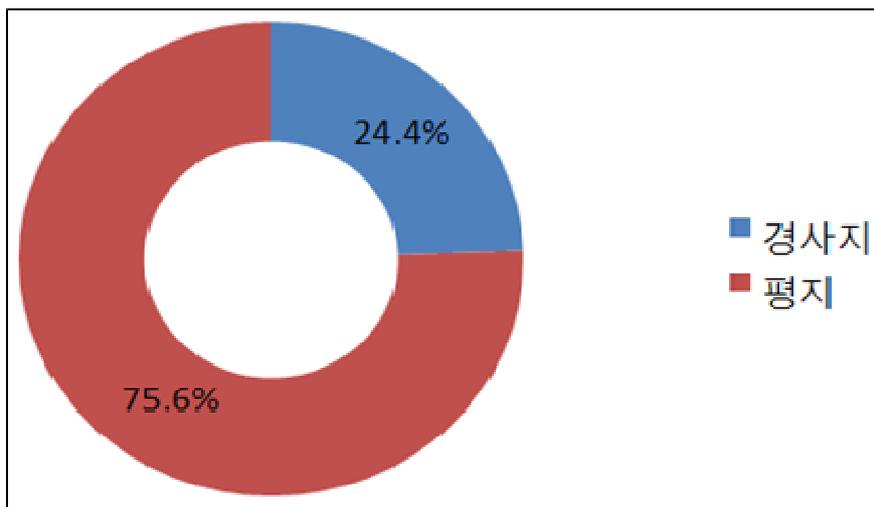
<그림 116> 경기도 매몰지 현황

나. 충청북도 매몰지 현황

전국 구제역 매몰지의 10.8%를 차지하고 있는 충청북도에는 460개소의 매몰지에 약 34만 마리의 가축이 매몰되어 있고, 돼지가 약 32만 마리로 충청북도 전체의 97%를 차지하고 있다. 그리고 충청북도의 매몰지는 경사지 보다 평지에 더 많이 매몰되어 있고, 69개소 매몰지가 하천변(농수로) 주변에 분포되어 있다.



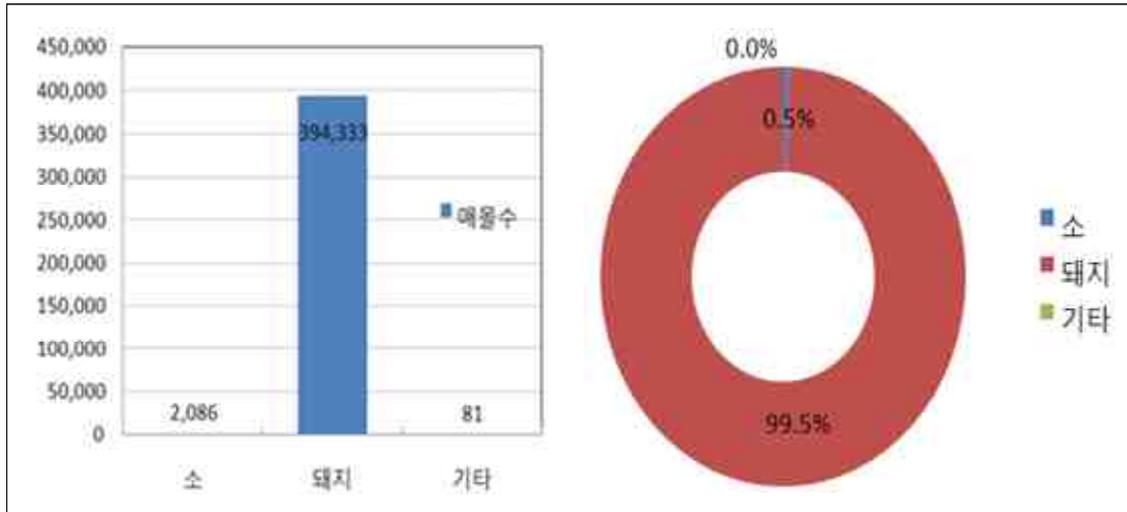
<그림 117> 충청북도 매몰가축 현황



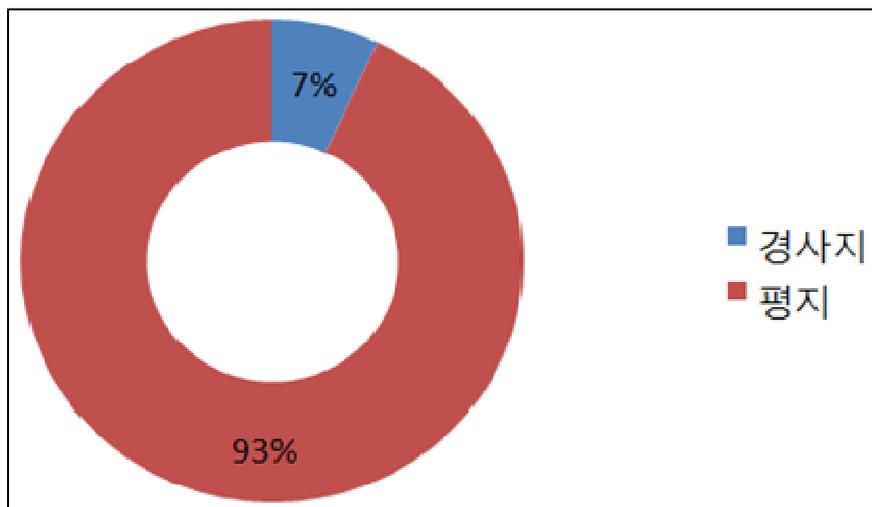
<그림 118> 충청북도 매몰지 현황

다. 충청남도 매몰지 현황

전국 매몰지의 7.2%를 차지하고 있는 충청남도에는 306개소의 매몰지에 약 40만 마리의 가축이 매몰되어 있고, 매몰가축수의 99.5%가 대부분 돼지매몰지이다. 그리고 충청남도의 매몰지는 경사지 보다 평지에 더 많이 매몰되어 있고, 하천변(농수로) 주변에 48개소 매몰지가 분포되어 있다.



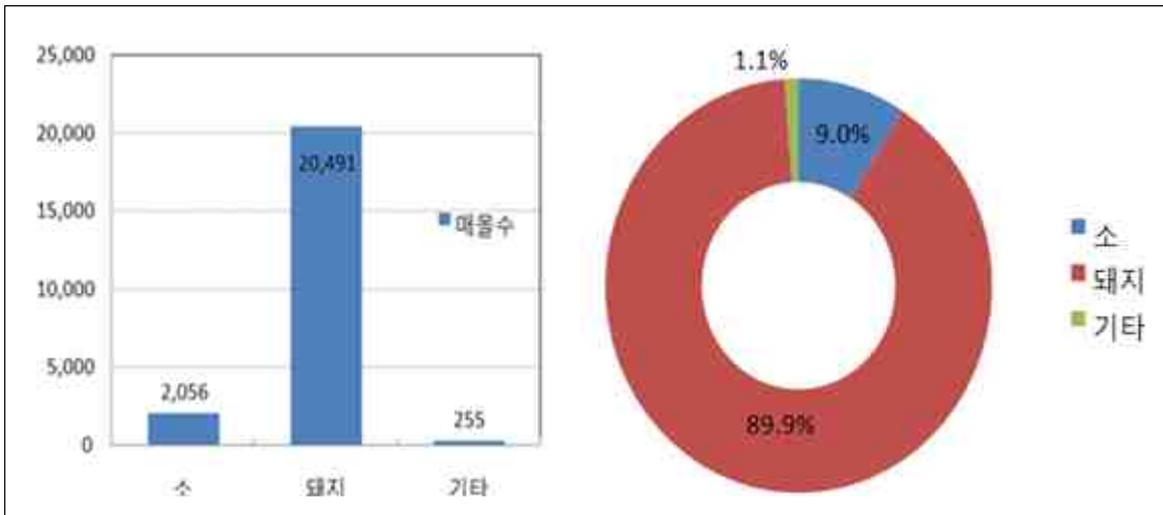
<그림 119> 충청남도 매몰가축 현황



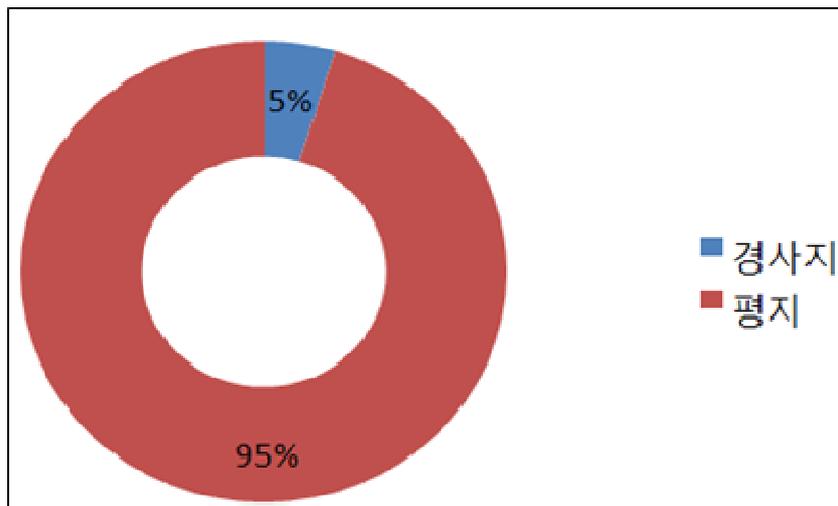
<그림 120> 충청남도 매몰지 현황

라. 인천광역시 매몰지 현황

전국 매몰지의 1.5%를 차지하고 있는 인천광역시에는 63개소의 매몰지에 약 2만 마리의 가축이 매몰되어 있고, 돼지가 약 22,000마리로 인천광역시 전체의 89.9%를 차지하고 있다. 그리고 인천광역시의 매몰지는 경사지 보다 평지에 더 많이 매몰되어 있고, 하천변(농수로) 주변에 12개소의 매몰지가 분포되어 있다



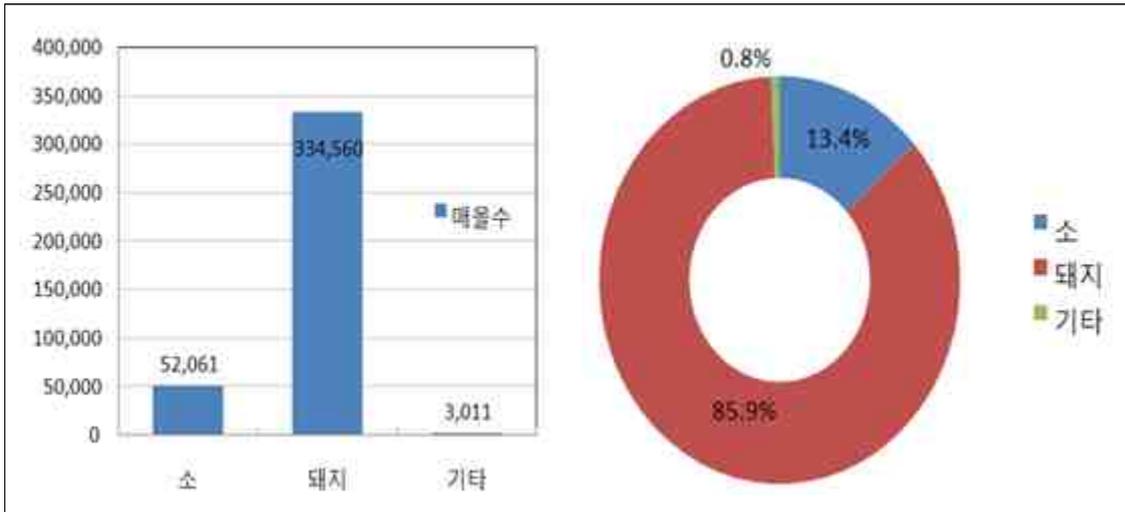
<그림 121> 인천광역시 매몰가축 현황



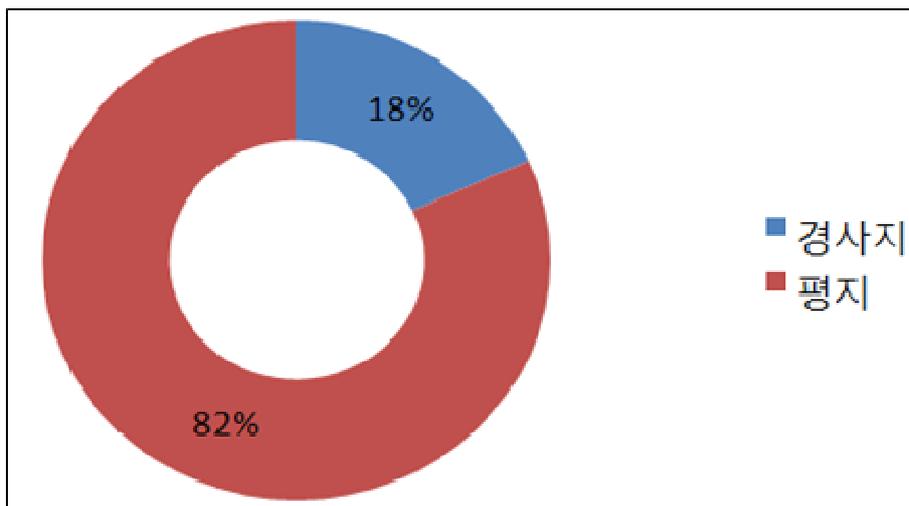
<그림 122> 인천광역시 매몰지 현황

마. 경상북도 매몰지 현황

전국적으로 두 번째로 많이 분포되어있는 경상북도의 매몰지는 862개소로 전체의 20.2%를 차지하고 있다. 경상북도는 약 34만 마리의 돼지와 약 5만 마리의 소가 매몰되어 있으며, 대체로 평지에 매몰되어 있지만 18%는 경사지에 매몰되어 있다. 그리고 하천변(농수로) 주변에는 55개소의 매몰지가 분포되어 있다.



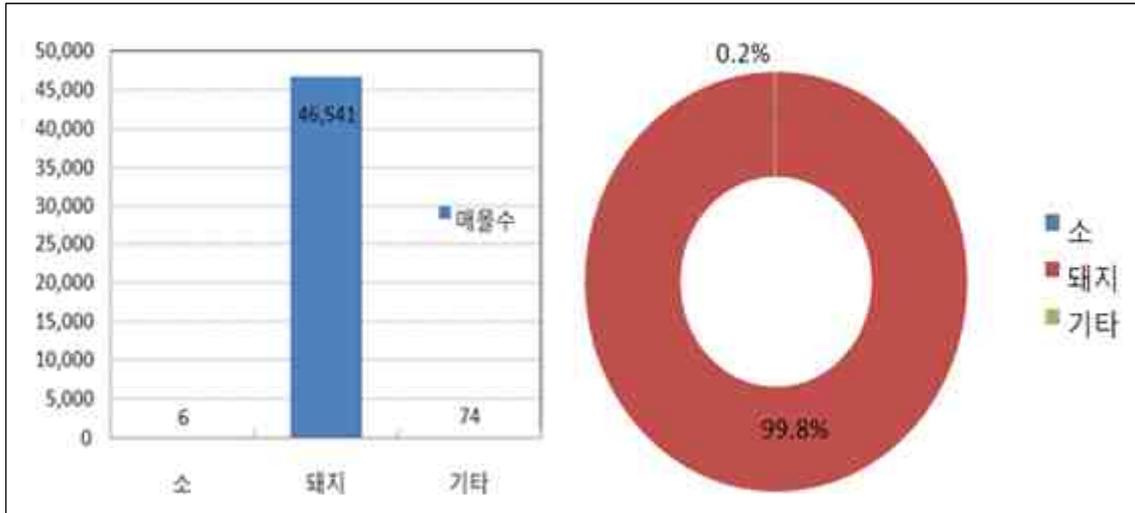
<그림 123> 경상북도 매몰가축 현황



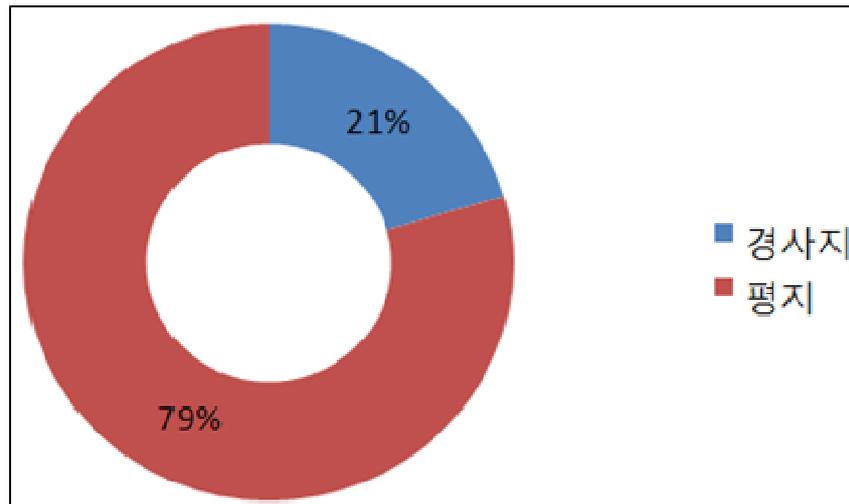
<그림 124> 경상북도 매몰지 현황

바. 경상남도 매몰지 현황

전국 매몰지의 0.9%를 차지하고 있는 경상남도의 40개소의 매몰지에는 대부분이 돼지 매몰지로서 약 46,500마리가 매몰되어 있으며, 79%는 평지에, 나머지 21%는 경사지에 분포되어 있고, 27개소가 하천변(농수로) 주변에 분포되어 있다.



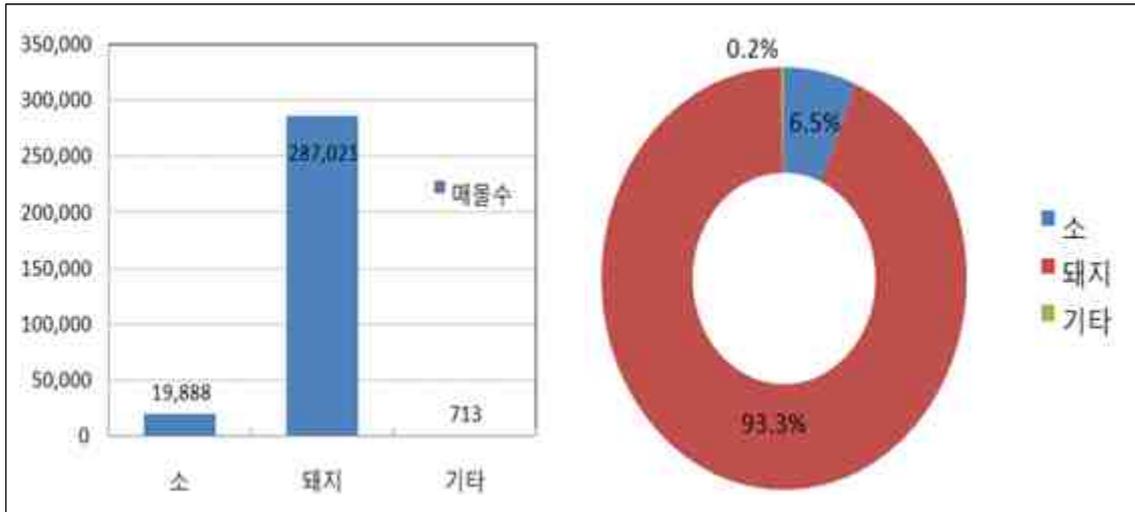
<그림 125> 경상남도 매몰가축 현황



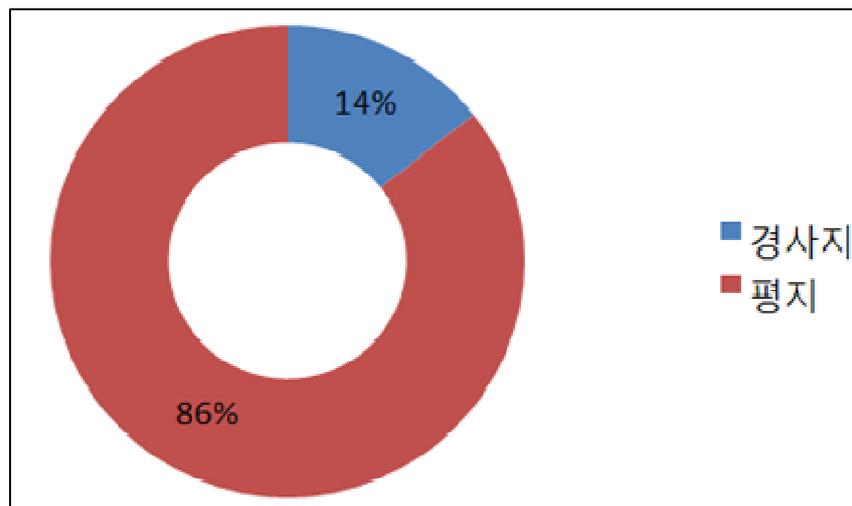
<그림 126> 경상남도 매몰지 현황

사. 강원도 매몰지 현황

전국에 3번째로 많이 분포되어 있는 강원도에는 376개소의 매몰지가 분포되어 있고, 돼지가 약 29만 마리, 소가 2만 마리가 매몰되어 있다. 매몰지의 86%는 평지에 분포되어 있고, 14%는 경사지에 분포되어 있으며, 37개소의 매몰지가 하천변(농수로) 주변에 분포되어 있다.



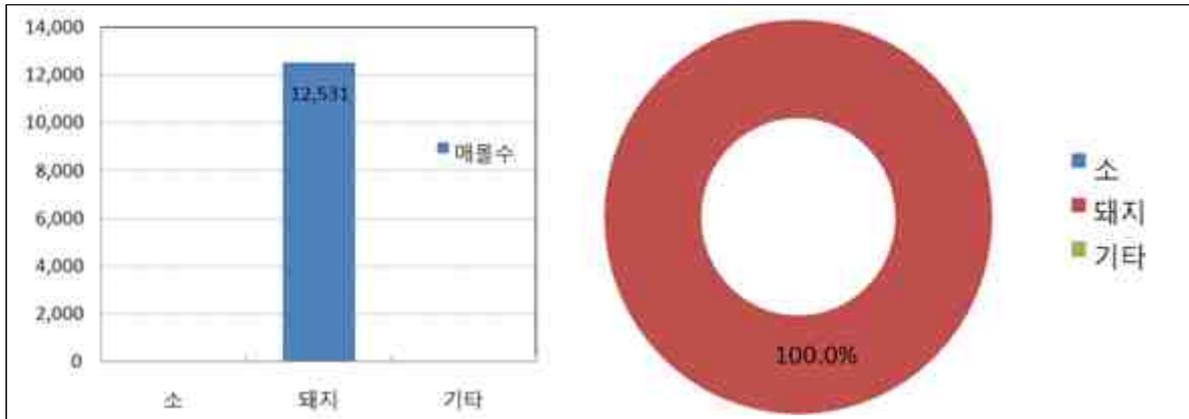
<그림 127> 강원도 매몰가축 현황



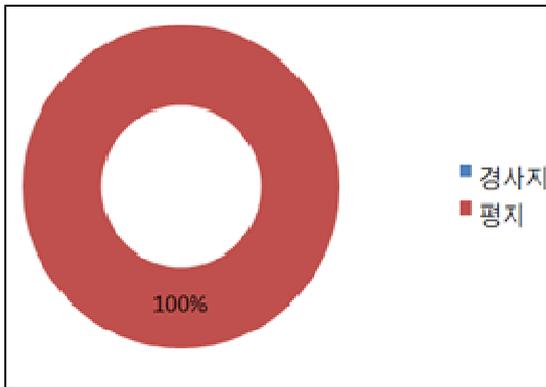
<그림 128> 강원도 매몰지 현황

아. 그 외 지역 매몰지 현황

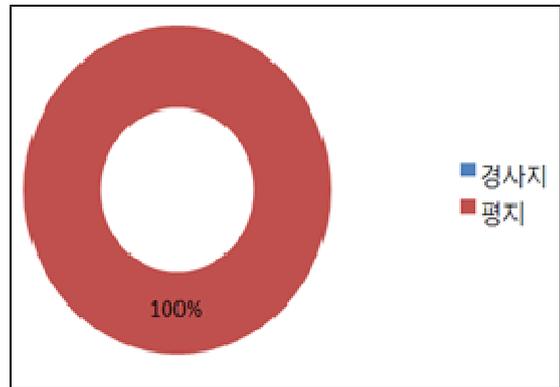
전라도, 부산광역시에 도 각각 2개소의 매몰지가 있다. 전라도에는 돼지가 약 12,000마리 매몰되어 있고, 부산광역시에 는 돼지 약 600마리가 평지에 매몰되어 있다.



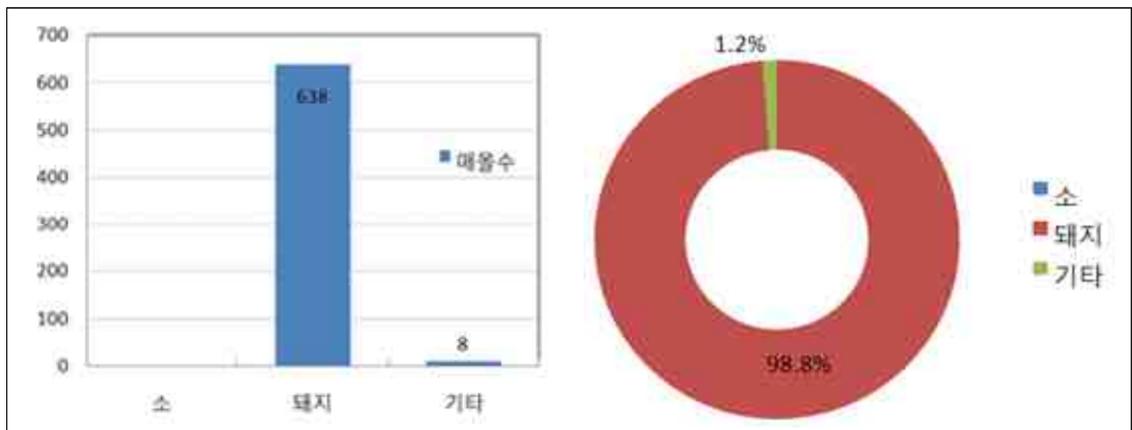
<그림 129> 전라도 매몰가축 현황



<그림 130> 전라도 매몰지 현황



<그림 131> 부산광역시 매몰지 현황



<그림 132> 부산광역시 매몰가축 현황

5. 매몰지 현장표본조사

전국 매몰지를 모두 조사하기에는 어려움이 있어 각 기관별로 제공된 자료에서 우선 순위를 설정하여 현장조사 지점을 선정하였다.

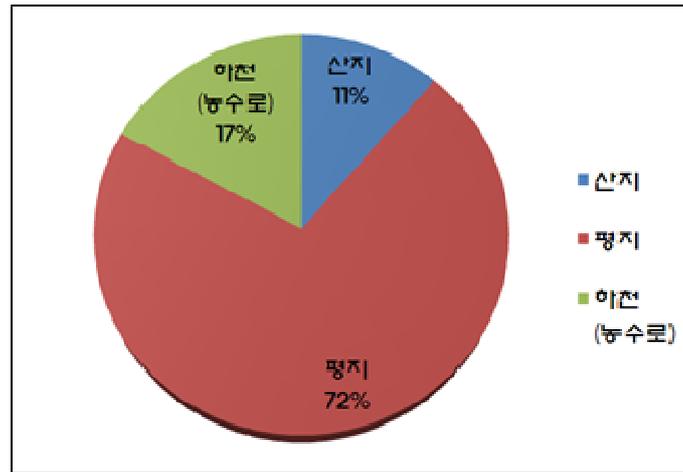
가. 표본조사 지역선정

매몰지의 현황 및 실태를 각 광역시와 도의 관련부서의 자료협조를 받아 수집하였다. 각 지자체별 정리된 양식이 조금씩 상이한 부분을 보이고 있어 전체를 공통된 범례로 정리하는 작업을 먼저 진행하였다. 공통된 부분인 주소, 매몰두수, 축종, 매몰일자, 매몰지 점검결과(비닐덮개, 경고판, 성토여부, 배수로, 유공관 등)를 하나의 공통된 자료로 DB화 작업을 마친 후 지번을 검색하여 항공사진 등을 이용하여 입지유형을 분석하였다. 본 과업의 목적인 관측정 설치 조건을 고려할 때 지하수에 영향을 직접적으로 받을 수 있는 인자, 즉 입지유형을 먼저 나누고, 선행된 전체 매몰지 분석과 연계하여 조사하였다. 입지유형은 크게 3가지로 분류하여 조사하였는데, 아래 그림과 같이 지하수 흐름방향을 예측하기 힘든 평지, 산지의 경사지를 포함하여 경사도가 있는 경사지, 하천과 인접하여 침출수 발생 시 직접적으로 하천으로 유입이 가능하다고 판단되는 하천지역으로 구분하였다.



<그림 133> 입지유형별 분류

분류결과 평지에 조성된 매몰지 유형이 가장 많은 72%를 차지하고, 경사지 유형을 포함하는 산지가 11%, 농수로와 하천을 인접하는 하천 유형이 17%였다.



<그림 134> 전체매몰지 입지유형별 분류

조사대상 매몰지선정 방법은 입지유형별로 전체 매몰지를 재분류하고, 지역별 매몰지 비율, 축종(돼지, 소), 매몰두수, 입지유형 3가지로 분류하여 내림차순으로 정리하였으며, 실제 침출수 유출로 인해 보강공사를 실시한 지역은 우선순위를 높게 하여 향후 문제발생 가능성이 높은 지역위주로 정리하고 현장조사를 계획하였다.

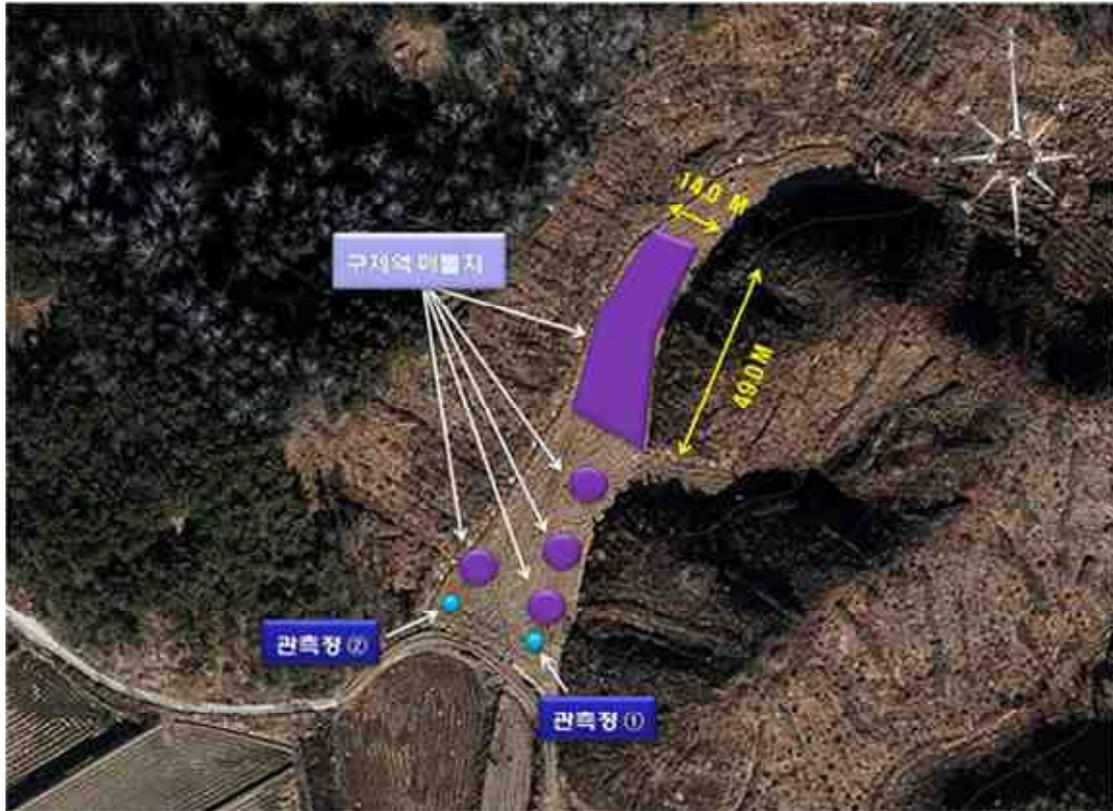
나. 표본지역 현장조사

선정된 매몰지에 대한 현장조사를 실시하기 위해 조사항목을 사전에 작성하였다. 휴대용 GPS를 이용하여 위도와 경도를 표시하고, 매몰된 축종, 두수를 조사하였다. 특히 매몰지 입지특성에 대한 부분을 중점적으로 조사하였으며, 항목은 3가지 입지유형분류, 하천 및 도로와의 인접거리, 주거지와 농장과의 거리, 마지막으로 매몰지의 크기 등을 조사하였다. 또한 침출수 유출방지공법이 적용된 매몰지에 대해서는 보강공사 현황을 조사하여 기록하였다. 그리고 관측정 설치방안의 적용성을 검증하기 위해 매몰지를 위성지도나 수치지형도에 표기하고 기존 관측정의 위치를 표기하여 현장조사표 만으로도 매몰지 및 관측정 현황이 확인 가능하도록 위치도 및 현황 사진을 첨부하도록 하였다. 구제역 및 AI 현장조사표는 <표 42>와 같으며, 표본지역 143개소 현장조사표는 부록에 수록되어 있다.

<표 42> 구제역 및 AI 현장조사표 예시

1. 조사일시	2012년 5월 31일		2. 장 소	경북 안동시 와룡면 서현리 260	
3. 질 병	구제역, AI		4. 매 물 지 관리번호	44	
6. 좌 표	E 128° 45' 28"		N 36° 40' 07"		
7. 매물축종 및 매물두수	소(), 돼지(13,828), 닭(), 오리(), 사슴(), 기타()				
8. 매 물 지 특 성					
① 입 지 특 성	평지()		산지(○)		하천()
② 하천과의 거리 (농수로)	15.0 m		③ 도로와의 거리	5.0 m	
④ 마을과의 거리	3.0 m		⑤ 농장과의 거리	2.0 m	
⑥ 매물지 크기	긴 쪽	49.0 m	⑥ 비닐덮개 커버율	100 %	
	짧은쪽	14.0 m			
9. 침출수 유출방지 시설 및 보강공사 현황					
유 (0)			무 ()		
① 적용된 공법	차수벽, 옹벽		⑤ 공사 현황		
② 규 격	길 이	53.0 m			
	높 이	9.5 m			
③ 공 사 비	65,836 천원				
④ 준 공 일	2011. 03. 28				
10. 비 고					
접근은 불가능하나 매물지 육안 확인 가능함.					

11. 관측정 위치도



12. 관측정 현황

<p>관측정 ①</p>		<p>관측정 ②</p>	
------------------	--	------------------	--

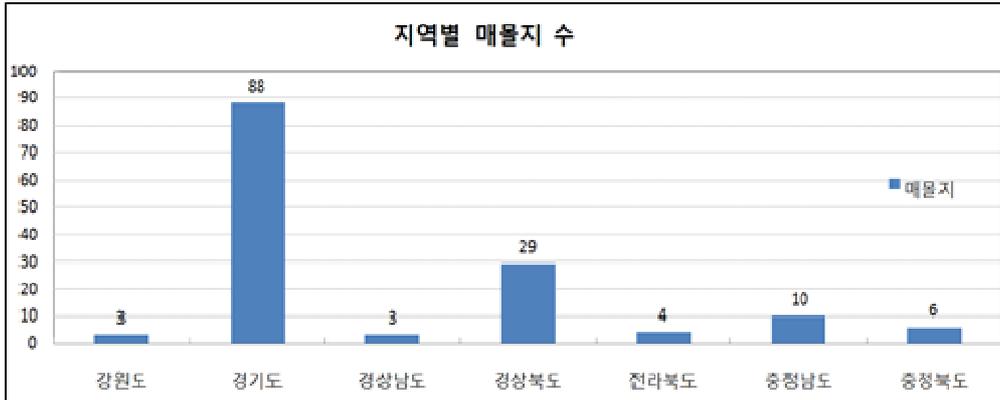
13. 매 물 지 전 경



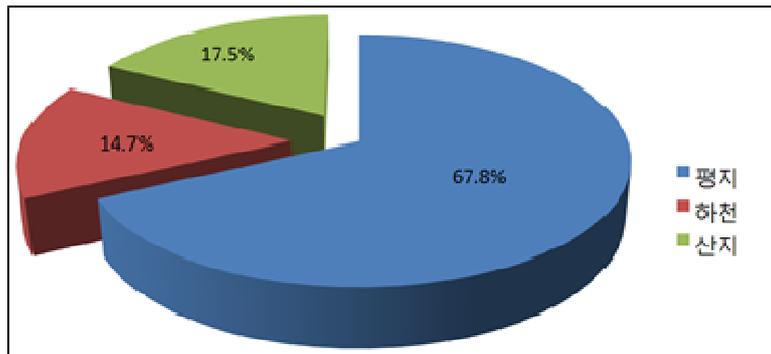
<그림 135> 구제역 및 AI 현장조사표 예시(계속)

다. 표본지역 현황 및 조사결과 DB

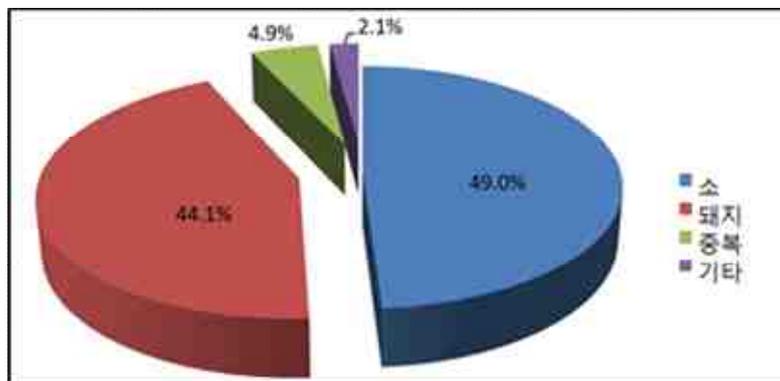
표본조사 지역은 전체 매몰지 중 143개소를 실시하였으며, 구제역 발생비율이 높은 경기도와 경상북도 지역을 중심으로 현장조사와 조사표 작성을 수행하였다. 현장조사를 실시한 143개 매몰지 중 평지가 가장 많았으며, 하천과 산지 순으로 분포하고, 소를 매몰한 지점이 가장 많은 것으로 조사되었다.



<그림 136> 현장조사 매몰지 분포

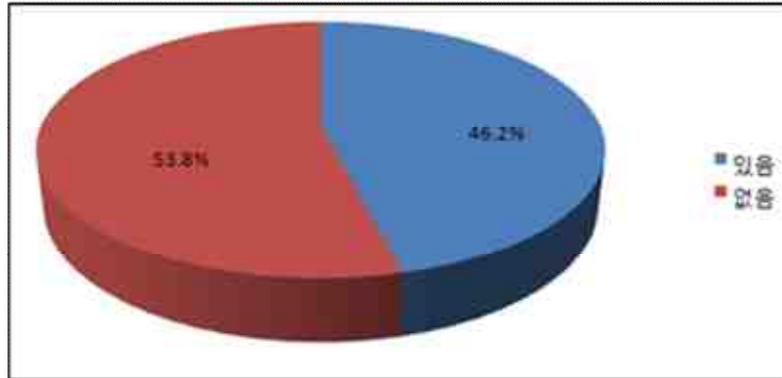


<그림 137> 현장조사 매몰지 입지유형

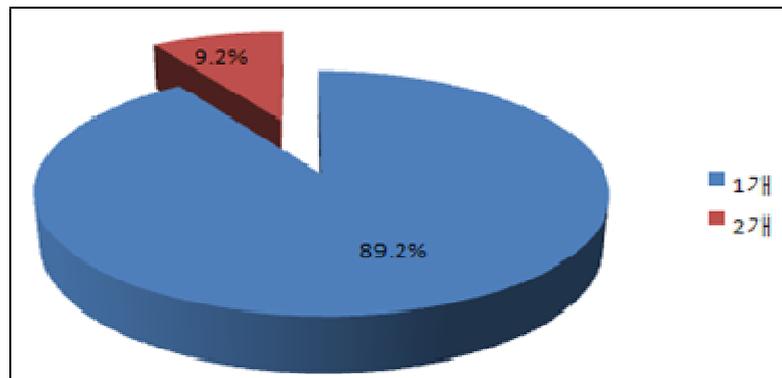


<그림 138> 현장조사 매몰지 매몰축종

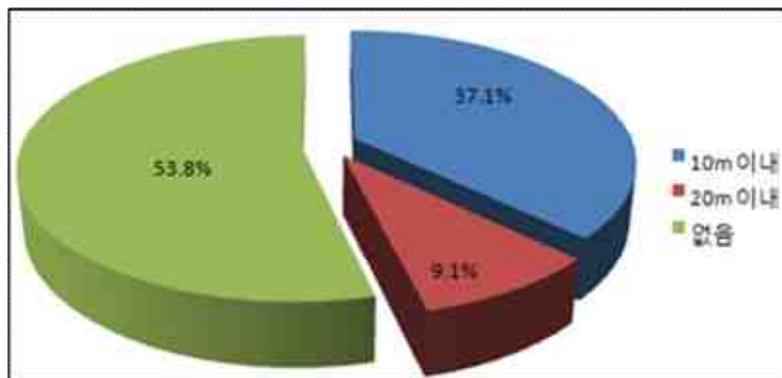
현장조사 매몰지 중 관측정 설치 유무를 조사한 결과 대상 매몰지의 관측정 미설치 지점은 77개소(54%), 관측정이 1개소 이상 있는 매몰지는 총 66개소(46%)로 분석되었다. 관측정 설치 지점 중 관측정 1개소 설치 지점은 58개소, 2개 이상 설치 지점은 8개소로 대부분 1개소가 설치되어 있는 것으로 조사되었다. 이와 함께 매몰지와 관측정의 거리를 확인한 결과 대부분의 관측정이 10m 이내에 설치되어 있는 것으로 조사되었다.



<그림 139> 관측정 설치 유무

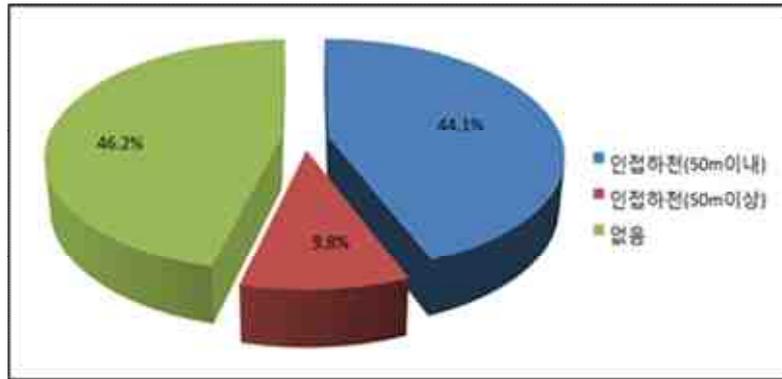


<그림 140> 관측정 설치 개소수

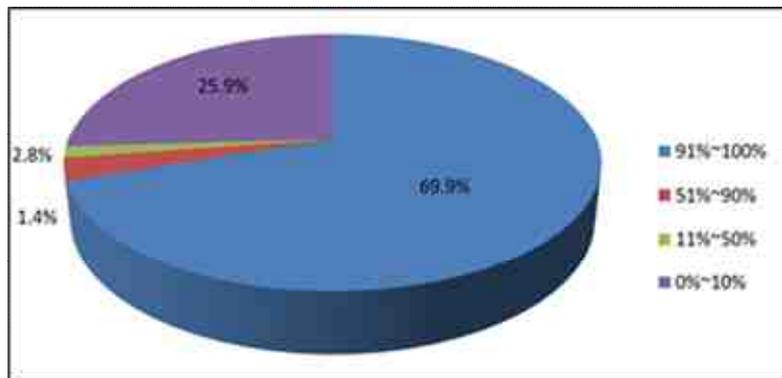


<그림 141> 매몰지와 관측정의 거리

하천에 인접한 현장조사 매물지를 조사한 결과 50m 이내에 하천 및 농수로가 있는 경우가 44%를 보이고 있었으며, 매물지의 상부를 덮고 있는 커버의 비율을 조사한 결과 70%의 매물지에서 관리가 잘 되고 있는 것으로 나타났지만 26%의 매물지에서 커버율이 10%미만으로 조사되어 보강이 필요한 것으로 조사되었다.



<그림 142> 인근하천과의 거리



<그림 143> 매물지 커버율

6. 매몰지 현장심화조사

1. 현장심화조사지역 모니터링

(1) 모니터링 지점 선정

표본조사지역을 선정하여 143개소에 대한 현장조사를 실시한 결과 매몰지의 침출수 발생시 직접적인 영향을 주는 인자는 지하수 흐름이라 판단되었다. 관측정의 설치 시 고려되어야 하는 인자는 지하수 흐름 방향, 지하수위 경사 등이며, 이를 고려하여 평지, 경사지, 하천 총 3가지로 지하수흐름 양상을 분류하였다.

143개소 중 평지에 설치된 매몰지 특성을 대표할 수 있는 매몰지와 하천이 인접한 지역을 대표할 수 있는 매몰지, 마지막으로 산지 및 경사지를 대표할 수 있는 매몰지 총 3개 지점을 선정하였다. 143개소 중 가장 많은 분포를 차지하는 평지에 매몰된 지점 84개소를 조사하고 이 중 지하수관측이 용이한 경기도 파주시 파평면 금파리의 1개소를 선정하였다. 다음으로 경사지 특성을 나타내고 관측정 설치가 가능한 경상북도 안동시 와룡면 서현리의 1개소, 마지막으로 경상북도 안동시 서후면 대두서리에 위치한 풍산천 인근 매몰지를 정밀 조사지역으로 선정하였다.

입지유형이 다른 3개 매몰지는 기존 설치된 관측정이 1~2개소가 존재하고 있었으며, 추가 관측정 설치와 모니터링에도 용이한 것으로 판단되었다.

(2) 모니터링 결과 및 분석

(가) 현장조사

금회 수집된 전체 매몰지 가운데 AI를 제외한 매몰지에 대해 매몰지의 입지 유형별 조사 실시하였다.

고려항목으로는 매몰지의 위치, 하천과의 거리, 경사도, 매몰축종, 매몰두수, 기설치된 관측정의 위치 등이 있으며, 이를 기준으로 정밀조사 지점 3개소를 검토하였다.

매몰지의 지역별 분포를 고려해 경기도 1개소, 경북 2개소로 지역을 선정하였으며, 선정된 매몰지는 매몰지 구성에 관한 각종 현황을 재조사하고, 위치별 주변시설과의 상관성을 분석, 지하수에 영향을 미치는 매몰지 내외부 시설을 조사하도록 한다. 또한 기 설치된 관측정 이외에 4방위 모두에 관측정을 설치하여 매몰지 주위의 지하수 흐름 방향과 지하수위를 분석하도록 한다. 설치기준은 환경부에서 발간된“가축매몰지 환경조사지침(2012)”을 기준으로 심도 10m 이상을 설치 심도로 하고, 정기적인 모니터링을 실시하였다.

① 조사위치

조사위치는 현황도상에서 각각의 조사지점을 계획하고 현장답사를 실시하여 지정 위치에 토층구성상태 및 지반공학적 자료가 충분히 파악될 수 있도록 선정하였다.

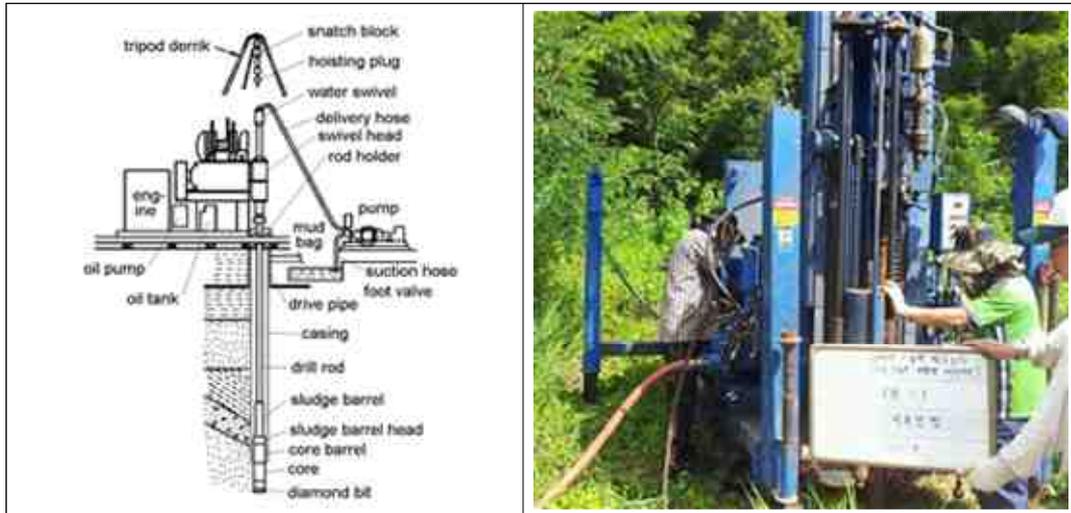
② 시추조사

과업대상 구간의 지층 분포상태, 구성물질 등을 파악하여 설계 및 시공에 필요한 지반 공학적인 자료를 수집 및 제공을 목적으로 한다. 지반의 지층상태, 심도의 변화 및 기반암의 풍화 상태 등을 파악하기 위해 사전 계획 지점에 대하여 회전수세식(Rotary Wash Type) 유압식 시추기를 사용하여 NX 규격으로 수직 시추하였으며, 시추가 진행되는 동안 공내의 토사붕괴를 방지하기 위하여 붕괴가 발생할 수 있는 지점까지 Casing을 설치하였다.

한편, 현장조사를 통한 지층 규명시 토사층 구간에서는 Slime의 상태, 순환수의 색조를 근거로 하여 수직 지층분포 상태를 확인하였고, 조사목적에 따라 풍화암층 또는 연암층까지의 층후를 규명하였다.

<표 43> 모니터링 선정 지점

<p>평지 (금파리)</p>	
<p>하천 (대두서리)</p>	
<p>산지 (서현리)</p>	



<그림 144> 시추조사 개념도 및 전경

시추 결과 토층구성은 최상부로부터 매립층(모래, 점토) - 충적층(모래, 자갈) - 풍화토 - 풍화암 - 연암 순으로 분포하고 있으며 토층구성은 아래와 같다.

○ 경기도 파주시 파평면 금파리 235-10

공번	매립층	충적층	풍화토	풍화암	연암	계	표준관입시험 (회)	비 고
AH-1	0.9	4.5	-	1.0	2.6	9.0	3	
AH-2	0.9	4.4	-	-	1.0	6.3	3	
AH-3	0.5	3.9	0.3	0.8	0.8	6.3	3	
AH-4	1.4	3.0	0.5	0.6	0.8	6.3	3	

○ 경상북도 안동시 와룡면 서현리 260

공번	표토	풍화토	풍화암	계	표준관입시험 (회)	비 고
BH-1	1.5	2.5	0.5	4.5	3	
BH-2	3.5	0.5	0.5	4.5	3	
BH-3	0.7	4.7	0.6	6.0	4	
BH-4	0.6	1.6	2.8	5.0	2	

○ 경상북도 안동시 서후면 대두서리 1068-8

공번	매립층	퇴적층	풍화토	풍화암	연암	계	표준관입시험 (회)	비 고
CH-1	1.3	3.5	-	0.8	-	5.6	3	
CH-2	2.0	2.0	0.5	1.3	-	5.8	3	
CH-3	1.8	3.7	0.5	-	1.0	7.0	4	

○ 경기도 파주시 파평면 금파리 235-10

지 층	개 요
매립층	○ 본 조사지역의 최상부에 존재하는 매립층은 논경지로서 점토가 주를 이루며 매몰지 외각부에서 조사를 실시하여 점토 또는 실트질 점토로 구성되었다. 조사결과 본 층의 층후는 0.5~1.4m로 관찰되었다.
층적층	○ 본 층은 모래와 자갈로 혼합 구성된 층이다. 층후는 3.0~4.5m정도이고 습윤상태의 함수비에 색조는 담황갈색을 띤다.
풍화암층 (기반암의 풍화잔류암)	○ 당 현장에서는 층적층 이하에 풍화암층이 층후 0~1m로 관찰되었다. 본 지층은 암회색으로 암편 및 실트질 모래내지 사질실트로 분해되는 양상을 보인다.
연암	○ 풍화암층 하부 연암은 균열 및 절리 파쇄대로서 암회색을 띤다.

○ 경상북도 안동시 와룡면 서현리 260

지 층	개 요
표토	○ 본 조사지역의 최상부에 존재하는 매립층은 경작지로 황갈색의 실트질 모래로 관찰되었다. 조사결과 본 층의 층후는 0.6~3.5m로 나타났다.
풍화토	○ 본 층은 풍화토층으로 황갈색의 실트질 모래로 구성된 층이며, 층후는 0~2.5m로 나타났다.
풍화암층 (기반암의 풍화잔류암)	○ 당 현장에서는 표토 또는 풍화토층 하부에 풍화암층이 분포 하고 있으며, 본 지층은 굴진과정이나 표준관입시험시에 굴진용수 및 타격에너지에 의해 실트질모래의 슬라임 상태로 분해되는 양상을 보였다.

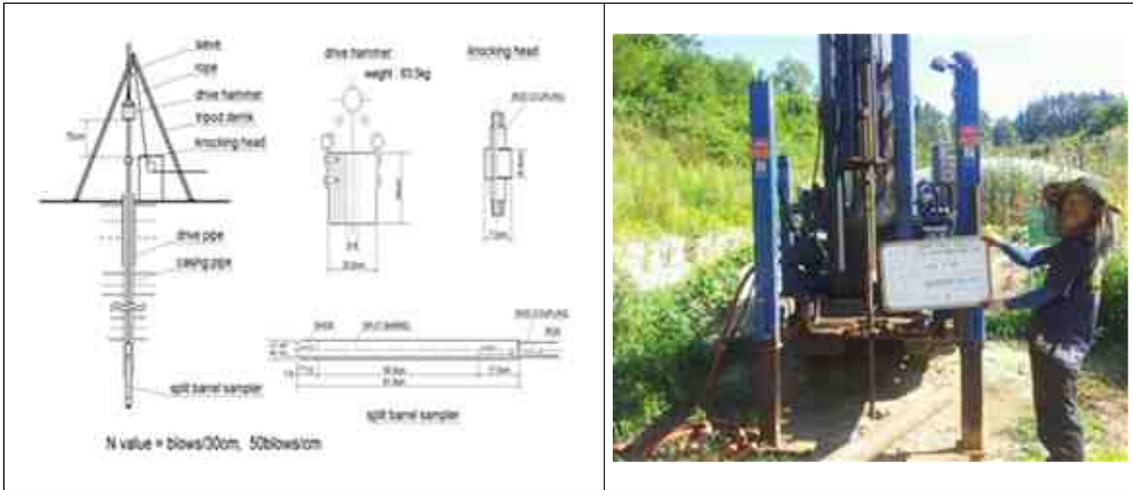
○ 경상북도 안동시 서후면 대두서리 1068-8

지 층	개 요
매립층	○ 본 조사지역의 최상부에 존재하는 매립층은 각섬 및 실트질 모래, 모래자갈의 혼합층으로 관찰되었다. 조사결과 본 층의 층후는 1.3~2.0m로 관찰되었다.
모래자갈	○ 본 층은 모래와 자갈로 혼합 구성된 층이며, 층후는 2.0~3.7m정도이고 자갈의 입경 5~30mm의 황갈색, 담황색의 색조를 타나내었다.
풍화토	○ 본 층은 CH-2, CH-3에서 모래자갈층 하부에 나타나며, 황갈색의 실트질 모래로 구성된 층이다. 층후는 0.5m으로 나타났다.
풍화암층 (기반암의 풍화잔류암)	○ CH-2에서 풍화토 하부에서 관찰되었다. 본 지층은 굴진과정이나 표준관입시험시에 굴진용수 및 타격에너지에 의해 실트질 모래 내지 사질실트로 분해되는 양상을 보인다.
연암	○ CH-1, CH-3에서 모래자갈 또는 풍화토 하부에서 나타나며, CH-1에서 코아 채취시 TCR 10%이하, RQD 0으로 관찰되었다.

③ 표준관입시험

표준관입시험은 지층의 상대 밀도, 연경도 및 지층의 분포 상태 확인과 교란 시료를 채취하기 위한 원위치 시험이다. 본 시험은 한국산업규격(KS F-2318)에 의거 시추 작업과 병행하여 층이 바뀌거나 동일 지층이라도 1.5m 간격으로 연속성 있게 실시하였다. 시험 방법은 한국산업규격(KS F-2318)의 규정에 의하여 Rod 선단에 Sampler를 부착하여 76cm 높이에서 63.5kg의 추를 자유 낙하시켜 샘플러를 30cm 관입시키는데 소요되는 타격 회수를 측정하는 것으로, 매 15cm를 관입시키는데 소요되는 타격 회수를 측정하여 총 45cm를 관입시키는데 필요한 타격 회수를 측정하였다. 이때 처음 15cm를 관입시키는데 필요한 타격 회수는 예비타로 하고 마지막 30cm 관입에 소요되는 타격 회수를 관입저항치(N치)로 하여 시추주상도에 표기하였다.

조사목적에 따라 풍화암층 또는 연암층까지의 층후를 규명하였다. 표준관입시험시 50회 타격 후에도 30cm가 관입되지 않을 경우에는 타격 회수 50회일 때의 관입량(cm)을 측정하여 시추 주상도에 기록하였으며 표준관입시험시 채취된 시료는 함수비의 변화가 없도록 시료 병에 넣어 필요한 사항(조사명, 조사일자, 공번, 시료 채취 심도, N치, 토질명 등)을 기재한 Label을 붙여 시료 표본 상자에 정리 후 보관하였다.



<그림 145> 표준관입시험 개념도 및 전경

○ 경기도 파주시 파평면 금파리 235-10

구 분	지층명	심 도 (m)	S.P.T (회/cm)	구성토질
AH-1	매립층	0.0 ~ 0.9	-	점토
	충적층	0.9 ~ 5.4	7/30 ~ 13/30	모래, 자갈
	풍화암층	5.4 ~ 6.4	50/7	풍화암
	연암	6.4 ~ 9.0	-	연암
AH-2	매립층	0.0 ~ 0.9	-	실트, 점토
	충적층	0.9 ~ 5.3	11/30 ~ 17/30, 50/10	모래, 자갈
	연암층	5.3 ~ 6.3	-	연암
AH-3	매립층	0.0 ~ 0.5	-	실트, 점토
	충적층	0.5 ~ 4.4	13/30 ~ 14/30	모래, 자갈
	풍화토층	4.4 ~ 4.7	50/28	모래
	풍화암층	4.7 ~ 5.5		풍화암
	연암	5.5 ~ 6.3		연암
AH-4	매립층	0.0 ~ 1.4	-	실트, 점토
	충적층	1.4 ~ 4.4	10/30 ~ 11/30	모래, 자갈
	풍화토층	4.4 ~ 4.9	50/14	실트, 점토
	풍화암층	4.9 ~ 5.5		풍화암
	연암	5.5 ~ 6.3		연암

○ 경상북도 안동시 와룡면 서현리 260

구 분	지층명	심 도 (m)	S.P.T (회/cm)	구성토질
BH-1	표토층	0.0 ~ 1.5	3/30	실트, 모래
	풍화토층	1.5 ~ 4.0	26/30	실트, 모래
	풍화암층	4.0 ~ 4.5	50/8	풍화암
BH-2	표토층	0.0 ~ 3.5	5/30 ~ 11/30	실트, 모래
	풍화토층	3.5 ~ 4.0	-	실트, 모래
	풍화암층	4.0 ~ 4.5	50/7	풍화암
BH-3	표토층	0.0 ~ 0.7	-	실트, 모래
	풍화토층	0.7 ~ 5.4	21/30 ~ 43/30	실트, 모래
	풍화암층	5.4 ~ 6.0	50/7	풍화암
BH-4	표토층	0.0 ~ 0.6	-	실트, 모래
	풍화토층	0.6 ~ 2.2	50/18	실트, 모래
	풍화암층	2.2 ~ 5.0	50/7	풍화암

○ 경상북도 안동시 서후면 대두서리 1068-8

구 분	지층명	심 도 (m)	S.P.T (회/cm)	구성토질
CH-1	매립층	0.0 ~ 1.3	-	실트, 모래, 자갈
	자갈층	1.3 ~ 4.8	14/30 ~ 18/30, 50/8	자갈, 모래
	연암층	4.8 ~ 5.6	-	연암
CH-2	매립층	0.0 ~ 1.3	8/30	모래, 자갈
	모래자갈층	1.3 ~ 4.0	45/30	모래, 자갈
	풍화토층	4.0 ~ 4.5	50/9	실트, 모래
	풍화암층	4.5 ~ 5.8	-	풍화암
CH-3	매립층	0.0 ~ 1.8	23/30	모래, 자갈
	모래자갈층	1.8 ~ 5.5	27/30 ~ 31/30	모래, 자갈
	풍화토층	5.5 ~ 6.0	50/4	실트, 모래
	연암층	6.0 ~ 7.0	-	연암

④ 현장투수시험

시추공을 이용한 투수시험은 시추공의 바닥 부근의 국부적인 지반의 투수계수만을 산정할 수 있다. 시추공을 이용한 현장투수시험은 먼저 시추공내의 지하수위를 측정하고 시추공내로 물을 공급하거나 배출하면서 수위의 회복을 측정하면서 진행되는 것이 일반적이다. 시험 방법에 따라 현장의 공내수위를 일정하게 유지하는 정수위 투수시험과 수위의 하강 또는 상승을 측정하는 변수위 투수시험이 있으며 일반적으로 시추공을 이용한 현장투수시험의 특징은 다음과 같다.

- 시추공을 이용한 현장투수시험은 일부의 시험구간을 대상으로 한다.
- 굴진으로 인한 지반 교란의 영향을 받을 수 있다.
- 실트 및 점토입자 등의 공벽내 부착으로 인한 영향을 받을 수 있으므로 시추공을 청수로 세척하는 과정이 필요하다.
- 초기 지하수위의 정확한 측정이 필요하다.

㉠ 정수위 투수시험

정수위 투수시험은 일정한 수위를 유지하는데 필요한 유량을 측정하여 투수계수를 산정하는 방법으로 투수성이 매우 크거나 적은 경우 유량측정에 어려움이 있다.

미 내무성(US Department of Interior, 1990)은 케이싱 처리가 되지 않은 나공 상태의 투수계수를 산정하기 위하여 투수계수 시험법을 그림 2.41과 같이 제시하였다. 시험은 일반적으로 모래나, 실트 및 점토의 혼합토부터 상대적으로 큰 투수계수를 나타내는 모래 및 자갈의 혼합토의 지반에 적용가능하다. 정수위 투수시험의 개요도는 다음 <그림 146>과 같다.

각 경우의 투수계수 산정식은 다음 식 3.3.1 ~ 3.3.3과 같다.

(a)의 경우

$$k_{20} = \frac{q \cdot \eta_t}{\eta_{20}(20\pi h_w^2)} \frac{h_w}{r_w} \left\{ \ln \left[\frac{h_w}{r_w} \sqrt{\left(\frac{h_w}{r_w}\right)^2 + 1} - \frac{\sqrt{1 + (h_w/r_w)^2}}{h_w/r_w} + \frac{r_w}{h_w} \right] \right\} \quad (3.3.1)$$

(b)의 경우

$$k_{20} = \frac{q \cdot n_t}{n_{20}(20\pi h_w^2)} \frac{\ln(h_w/r_w)w}{\frac{1}{6} + \frac{1}{3}(h_w/T_u)^{-1}} \quad (3.3.2)$$

(c)의 경우

$$k_{20} = \frac{q \cdot n_t}{n_{20}(20\pi h_w^2)} \frac{\ln(h_w/r_w)}{(h_w/T_u)^{-1} + \frac{1}{2}(h_w/T_u)^{-2}} \quad (3.3.3)$$

여기서, k_{20} : 20℃에서의 투수계수

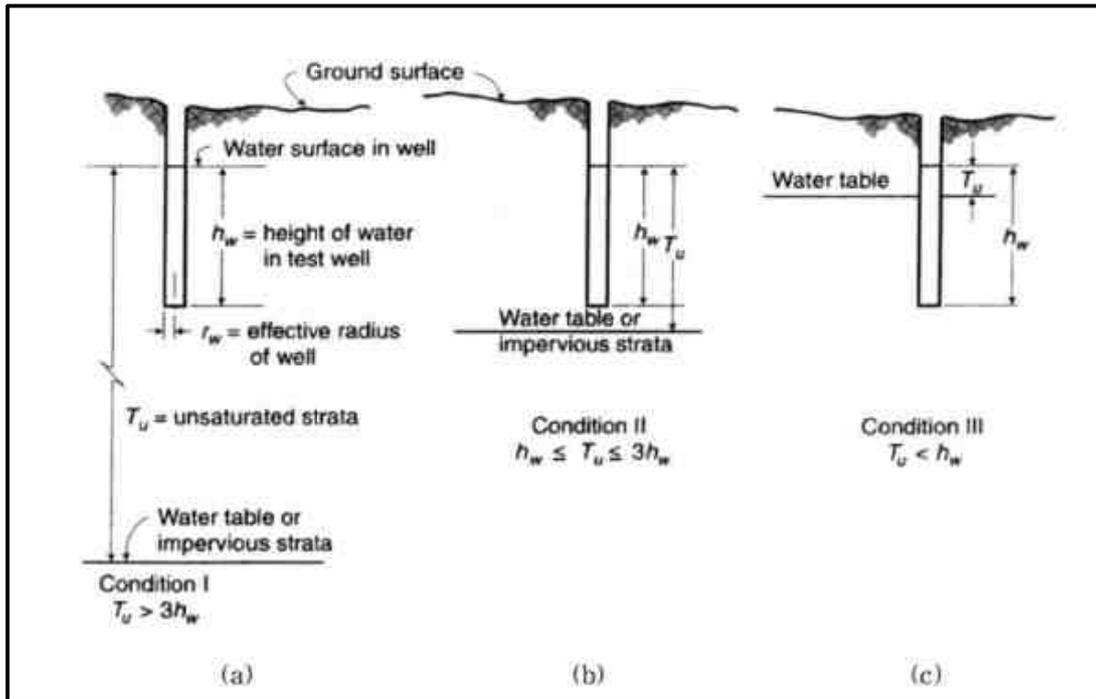
h_w : 시험공에서의 수두

q : h_w 의 수두를 유지하기 위해 필요한 유량

r_w : 시험공의 유효반경

n_b, n_{20} : $t^\circ\text{C}$, 20°C 의 물의 점성계수

T_u : 공내수위와 지하수위까지의 거리



<그림 146> 나공에 대한 정수위 투수시험법 개요도

㉞ 변수위 투수시험

변수위 투수시험은 공내수를 펌프로 양수 후 수위의 상승을 통해 투수계수를 산정하는 수위 상승법 및 일정량의 물을 주수하여 수위의 하강을 관측하는 수위 하강법이 적용된다.

일반적으로 변수위 투수시험은 지하수위면 하부의 지반에 대해 수행되는 것이 바람직하며 지하수위면 상부에서 수행되는 경우 불포화지반의 수분 특성곡선이나 불포화 투수계수가 체적 함수율의 함수가 되는 등 복잡한 요소가 많기 때문에 대략적인 투수계수만을 산정할 수 있다고 알려져 있다.

변수위 현장투수시험을 통한 투수계수 산정법은 미 해군성(NAVFAC, 1982)이 제시한 방법을 적용하였다.

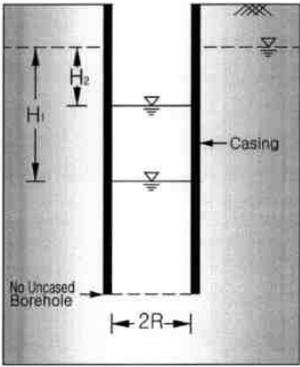
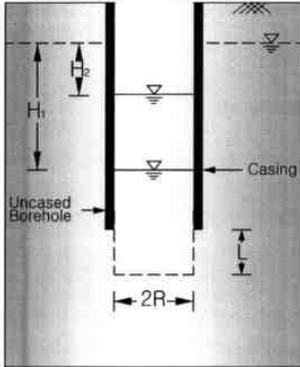
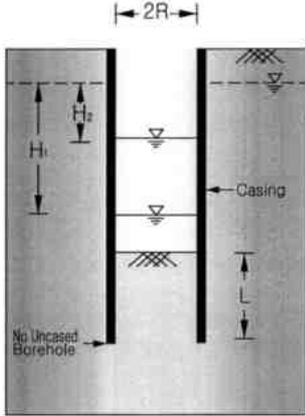
미해군성의 설계지침(NAVFAC, 1982)에서는 시추공에서 수행되는 변수위 현장투수시험 결과를 토대로 한 일반적인 투수계수의 산정식을 다음 식 3.3.4와 같이 나타내고 있다.

$$k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (3.3.4)$$

여기서, A : 공의 단면적
 F : 형상계수
 t_1, t_2 : 측정시간
 H_1, H_2 : 측정시간때의 수두

형상계수 F 는 시험공의 조건 및 형상에 따라 다른 값을 적용하며, 일반적으로 수행되는 현장투수시험에 적용되는 경우는 다음과 같다.

<표 44> 시험공 조건 및 형상에 따른 형상계수

(a) 케이싱이 바닥면으로 투수되는 경우	(b) 케이싱 아래 나공으로 투수되는 경우	(c) 케이싱 내 토사로 투수되는 경우
		
$F = \frac{11R}{2}$	$F = \frac{2\pi L}{\ln(L/R)}$	$F = \frac{11\pi R^2}{2\pi R + 11L}$



<그림 147> 현장투수시험 전경사진

㉔ 현장투수시험 결과

- 시추작업시 측정구간 상단까지 케이싱을 설치.
- 공내수를 초기 케이싱 상단까지 채우고 시간 경과에 따른 지하 수위 측정.
- 경기도 파주시 파평면 금파리 235-10

구 분	측정구간 (m)	지층	투수계수 (cm/sec)	비고
AH-1	3.0 ~ 4.0	모래자갈	-	공내수가 채워지지 않아 시험 불가
	6.0 ~ 9.0	풍화암, 연암	2.38×10^{-3}	
AH-2	3.0 ~ 4.5	모래자갈	-	공내수가 채워지지 않아 시험 불가
	5.0 ~ 6.0	모래자갈, 연암	2.26×10^{-3}	
AH-3	4.5 ~ 6.0	풍화토, 풍화암, 연암	4.57×10^{-3}	
AH-4	4.5 ~ 6.0	풍화암, 연암	4.21×10^{-3}	

- 경상북도 안동시 와룡면 서현리 260

구 분	측정구간 (m)	지층	투수계수 (cm/sec)	비고
BH-1	4.5 ~ 5.0	풍화암	1.23×10^{-3}	
BH-2	4.5 ~ 5.0	풍화암	1.17×10^{-3}	
BH-3	6.0 ~ 6.5	풍화암	9.66×10^{-4}	
BH-4	5.0 ~ 5.5	풍화암	5.02×10^{-4}	

○ 경상북도 안동시 서후면 대두서리 1068-8

구 분	측정구간 (m)	지층	투수계수 (cm/sec)	비고
CH-1	6.0 ~ 6.5	연암	8.03×10^{-3}	
CH-2	4.5 ~ 5.0	풍화암	8.83×10^{-3}	
CH-3	4.0 ~ 4.5	모래자갈	-	공내수가 채워지지 않아 시험 불가
	7.0 ~ 7.5	연암	8.01×10^{-4}	

⑤ 입도시험

흙 입자의 입경별 함유율 분포를 입도(gradation)라 하며, 이 분포상태는 전체 흙 중량에 대한 입경별 중량 백분율로 나타낸다. 입도 시험은 유기질이 다량 함유된 고유기질토 이외의 흙을 대상으로 한다. 흙의 입도 분포는 입경이 아주 미세한 것으로부터 비교적 조립에 이르기까지 분포하게 되므로, 입경 0.075mm 이상의 흙 입자의 입도 분포는 체분석을 이용하고, 이보다 작은 입경의 흙은 침강 분석(비중계법)을 이용한다. 흙의 입도를 알면 그 흙이 사질토인지 점성토인지 등의 흙의 공학적 분류가 가능하게 된다. 흙의 공학적 분류 목적은 재료로서의 적정성 등 흙의 공학적 성질을 판단하는데 있다. 균등계수 Cu 및 곡률계수 Cc는 입도분포를 수치적으로 나타낸 지수인데 이들 값으로 입도분포의 상태를 알 수 있다. 균등계수는 입경가적 곡선의 기울기를 나타내는 것으로 Cu = 1일 때는 D60과 D10과의 범위가 좁아 입경가적 곡선이 거의 직립함을 나타내며 Cu가 커짐에 따라 입도분포가 넓은 것을 나타낸다. 일반적으로 Cu가 4~5 이하의 흙은 「입도분포가 나쁘다」고 말하고 10이상인 흙은 「입도 분포가 좋다」고 말할 수 있다. 곡률계수는 입도분포가 계단상일 경우에 이를 정량적으로 나타내는 지수로서, Cu값이 1~3사이에 있으면 입도 분포가 좋다고 할 수 있다.

(나) 모니터링

현장심화조사지역을 대상으로 추가 관측정을 설치하고 모니터링을 수행하였다. 모니터링 항목은 수질과 지하수위이며, 관측된 지하수위 자료는 지하수 수치 모델링의 검보정 자료로 활용하였다. 대상지역에 설치된 모니터링 장비 현황 및 결과는 다음과 같다.

① 모니터링 장비 현황

<표 45> 모니터링 장비 개요

장비명	현장 지하수위계	압력식 지하수위계
모델명	Model 107 TLC meter	Mini-Diver
제품 개요	<ul style="list-style-type: none"> * 지하수위와 심도별로 전기전도도 (EC), 온도 측정. * 관정내 지하수의 전기전도도, 온도의 수직적 분포상태 조사 * 해안가 염수침입 지하수 조사시 이용 * 이온성 추적자 시험시 추적자 검출 * 지하수의 전기전도도(EC) 변화 측정 	<ul style="list-style-type: none"> * 지하수위와 온도 측정.
제품 사양	<ul style="list-style-type: none"> * 측정 가능 최대 깊이 : 100m * 전기전도도 <ul style="list-style-type: none"> - 범위 : 0-80,000 μS - Accuracy : 2% of reading - 보정용액 이용 보정 가능 * 온도 <ul style="list-style-type: none"> - 범위 : -15$^{\circ}$C - 50$^{\circ}$C - Accuracy : \pm3$^{\circ}$C * 사용전원 : 9V alkaline battery(소형사각전지) * 미사용시 8분후 자동 꺼짐 	<ul style="list-style-type: none"> * 가장 저렴한 Diver. * 22 mm\times90 mm (70g) * 메모리 : 각 측정치 당 24,000 * 정확도 : 0.05%
제품 사진		

<표 46> 모니터링 장비 수량 및 설치 위치

장비명	수량 및 설치위치		
압력식 지하수위계	5 개	2개	경기도 파주시 파평면 금파리 235-10
		1개	경상북도 안동시 와룡면 서현리 260
		2개	경상북도 안동시 서후면 대두서리 1068-8
현장 지하수위계	2개		

② 모니터링 조사 기간 및 내용

2012년 8월경 정밀조사지점에 관측공을 시공하고, 2012년 8월말부터 대상지점의 모니터링을 시작하여 2013년 11월까지 모니터링을 수행하였다. 압력식 지하수위계는 파주시 금파리 2개소, 안동시 서현리 1개소, 안동시 대두서리 2개소를 설치하여 실시간으로 측정하였으며, 현장 지하수위계는 현장 조사 시 추가로 지하수를 측정하였다. <표 47>과 같이 총 12회 현장조사를 수행하였으며, 현장 조사 시 압력식 지하수위 자료를 다운로드하고 현장수위계를 이용한 지하수위를 측정하였으며, 수질분석을 위한 관측정 샘플링을 수행하였다.

<표 47> 모니터링 현장조사 기간 및 내용

현장조사 일정	조사 내용
2012. 08. 06. ~ 2012. 08. 08.	정밀조사지점 지하수 관측공 시공
2012. 08. 21. ~ 2012. 08. 22.	1차 측정(안동)
2012. 09. 05. ~ 2012. 09. 06.	2차 측정(안동, 파주)
2012. 09. 19. ~ 2012. 09. 20.	3차 측정(안동, 파주)
2012. 10. 04. ~ 2012. 10. 05.	4차 측정(안동, 파주)
2012. 10. 22. ~ 2012. 10. 23.	5차 측정(안동, 파주)
2012. 11. 28.	6차 측정(안동)
2013. 03. 06. ~ 2013. 03. 07.	7차 측정(안동, 파주)
2013. 05. 03. ~ 2013. 05. 04.	8차 측정(안동, 파주)
2013. 05. 21. ~ 2013. 05. 22.	9차 측정(안동, 파주)
2013. 06. 26. ~ 2013. 06. 27.	10차 측정(안동, 파주)
2013. 11. 05.	11차 측정(안동)
2013. 11. 21.	12차 측정(파주)

현장조사표에 기재된 현장지하수위 ①, ②는 각각 베일러를 이용한 지하수 채수 전·후 지하수위를 나타내며, 현장조사는 월 2회를 기준으로 실시하였고 지하수 채수는 월 1회를 기준으로 실시하였다.

<표 49, 50>에서 볼 수 있듯이 안동시 서현리 2개소(BH-1, BH-4), 안동시 대두서리 1개소(CH-2)를 현장조사 8, 9, 11차에 망실되어 수위 및 수질 측정을 수행하지 못하였다. 각각의 관측정 망실 사유는 토지주의 토지경작으로 인한 망실로 추정되며 각 현장조사 시 상황은 <그림 148, 149>와 같다.

<표 48> 파주시 금파리 현장조사표

경기도 파주시 파평면 금파리 235-10						
차수	지하수위	AH-1	AH-2	AH-3	AH-4	비고
1	①	-	-	-	-	미설시
	②	-	-	-	-	
2	①	1.95	2.04	3.28	2.45	-
	②	2.27	2.06	2.06	2.46	
3	①	2.00	2.07	2.31	2.47	-
	②	2.50	2.07	2.31	2.47	
4	①	2.35	2.43	2.59	2.77	미채수
	②	-	-	-	-	
5	①	2.64	2.73	2.82	2.99	-
	②	3.35	2.73	2.82	2.99	
6	①	-	-	-	-	미설시
	②	-	-	-	-	
7	①	2.54	2.61	2.75	2.80	-
	②	2.60	2.63	2.75	2.80	
8	①	2.19	2.21	2.48	2.73	-
	②	2.28	2.26	2.48	2.74	
9	①	1.75	1.79	2.15	2.34	-
	②	2.03	1.80	2.15	2.34	
10	①	1.90	1.92	2.23	2.45	-
	②	2.14	1.97	2.24	2.50	
11	①	-	-	-	-	미설시
	②	-	-	-	-	
12	①	2.67	2.73	2.82	2.89	-
	②	2.72	2.75	2.83	2.89	

①: 지하수위 (채수 전) ②: 지하수위(채수 후) (단위 : m)

<표 49> 안동시 서현리 현장조사표

경북 안동시 와룡면 서현리 260						
차수	지하수위	BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	비고
1	①	1.12	1.35	1.99	3.04	-
	②	1.47	1.48	2.07	3.30	
2	①	-	-	-	-	미실시
	②	-	-	-	-	
3	①	0.86	1.08	1.35	2.37	-
	②	1.03	1.22	1.46	2.63	
4	①	1.52	1.74	1.39	2.19	미채수
	②	-	-	-	-	
5	①	1.95	2.38	1.55	2.28	-
	②	2.35	2.88	1.75	2.83	
6	①	2.22	2.77	1.90	2.31	미채수
	②	-	-	-	-	
7	①	2.31	2.67	2.15	-	-
	②	2.47	2.80	2.27	-	
8	①	1.56	1.66	1.42	2.32(기존관측정)	BH-4 망실
	②	1.62	2.01	1.51	2.57(기존관측정)	
9	①	1.58	1.79	1.65	4.16(기존관측정)	-
	②	1.89	2.32	1.93	4.27(기존관측정)	
10	①	1.10	1.48	1.22	3.90(기존관측정)	-
	②	1.31	1.71	1.34	3.96(기존관측정)	
11	①	-	2.13	2.07	3.81(기존관측정)	BH-1 망실
	②	-	2.48	2.26	3.92(기존관측정)	
12	①	-	-	-	-	미실시
	②	-	-	-	-	

①: 지하수위 (채수 전) ②: 지하수위(채수 후) (단위 : m)

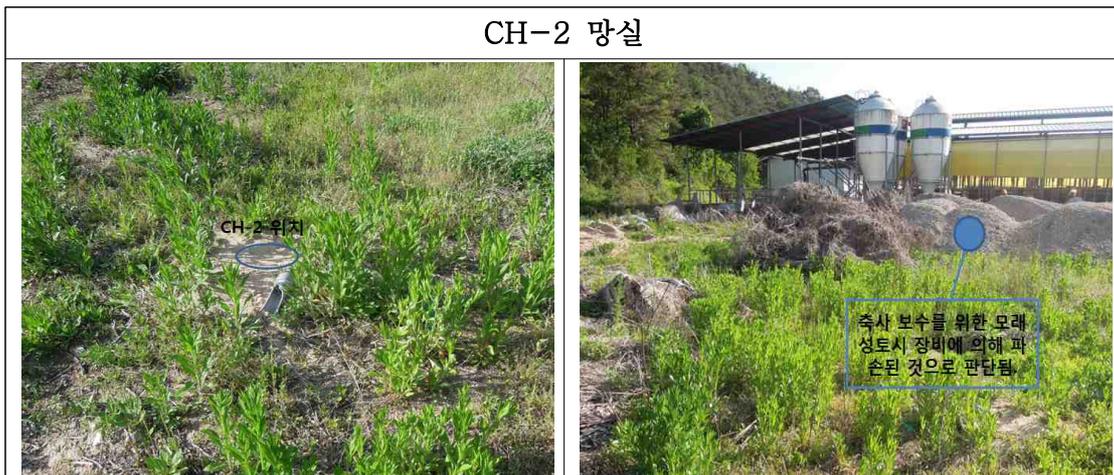


<그림 148> 안동시 서현리 관측공 망실

<표 50> 안동시 대두서리 현장조사표

경북 안동시 서후면 대두서리 1068-8					
차수	지하수위	CH-1	CH-2	CH-3	비고
1	①	2.28	2.48	2.75	-
	②	2.75	2.88	3.32	
2	①	-	-	-	미실시
	②	-	-	-	
3	①	1.94	1.86	2.37	-
	②	2.08	2.30	2.80	
4	①	2.45	2.72	2.98	미채수
	②	-	-	-	
5	①	2.50	2.78	3.02	-
	②	3.07	3.78	4.09	
6	①	2.53	2.83	3.07	미채수
	②	-	-	-	
7	①	2.30	2.44	2.81	-
	②	2.47	2.74	3.19	
8	①	2.07	2.51	1.88	-
	②	2.12	2.58	2.02	
9	①	2.38	-	2.59	CH-2 망실
	②	2.59	-	2.70	
10	①	2.32	-	2.82	-
	②	2.63	-	3.16	
11	①	2.25	2.40	2.79	-
	②	2.41	2.67	3.24	
12	①	-	-	-	미실시
	②	-	-	-	

①: 지하수위 (채수 전) ②: 지하수위(채수 후) (단위 : m)



<그림 149> 안동시 대두서리 관측공 망실

(다) 모니터링 결과 및 분석

① 수위측정 결과

지하수위 조사 결과 강우에 따라 지하수위가 각 지점별로 3m 내외로 증가하거나 감소하는 것을 볼 수 있으며, 계절강우의 특성에 따라 가을, 겨울로 접어들면서 전체적인 지하수위가 감소하는 것을 볼 수 있다. 측정 기간 내에 지하수위가 급격히 떨어지는 지점은 대상 관측점에서 수질 측정을 위하여 지하수를 채취하면서 발생한 것이며, 떨어진 지하수위는 1~2일 후 다시 복원되는 것으로 분석되었다.

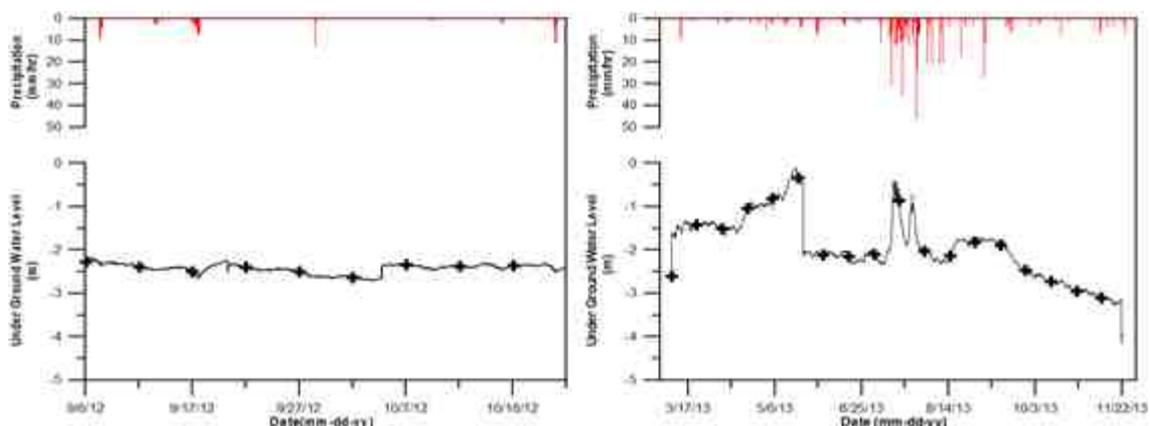
대상지역 3개소 지하수위 모두 계절 및 강우와 상관없이 지표하 -3m이상에 위치하는 것으로 조사되었다. 대상지역 지하수위가 현 매물지 바닥보다 높게 형성되어 있는 것으로 평가된다.

㉞ 금파리

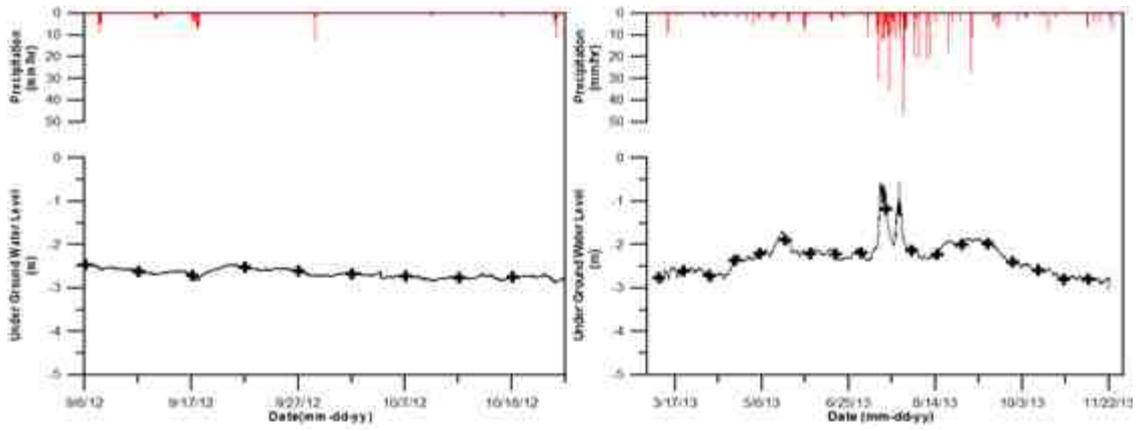
<그림 150, 151>은 금파리 지점의 2012년, 2013년 위치별 지하수위 변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 금파리(평지지형) 지역의 지하수위는 평상시 지표하 -2m~-3m를 유지하고 있으며, 강우 발생 시 지표면까지 지하수위가 형성되는 경우도 관측되었다.

㉟ 대두서리

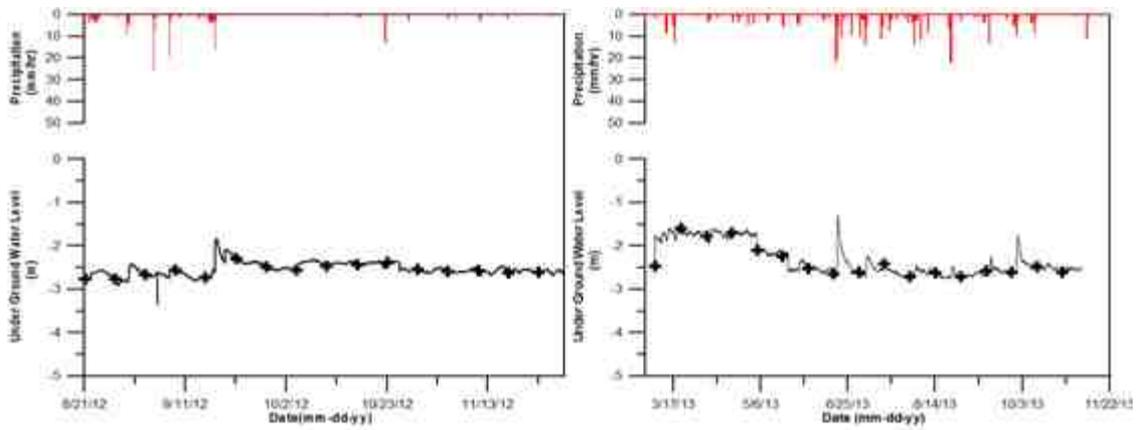
<그림 152, 153>은 대두서리 지점의 2012년, 2013년 위치별 지하수위 변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 대두서리(하천지형) 지역의 지하수위는 평상시 지표하 -2m~-3m를 유지하고 있으며, 계절 변화 및 강우 시에도 지표하 -1m 이하를 유지하고 있다.



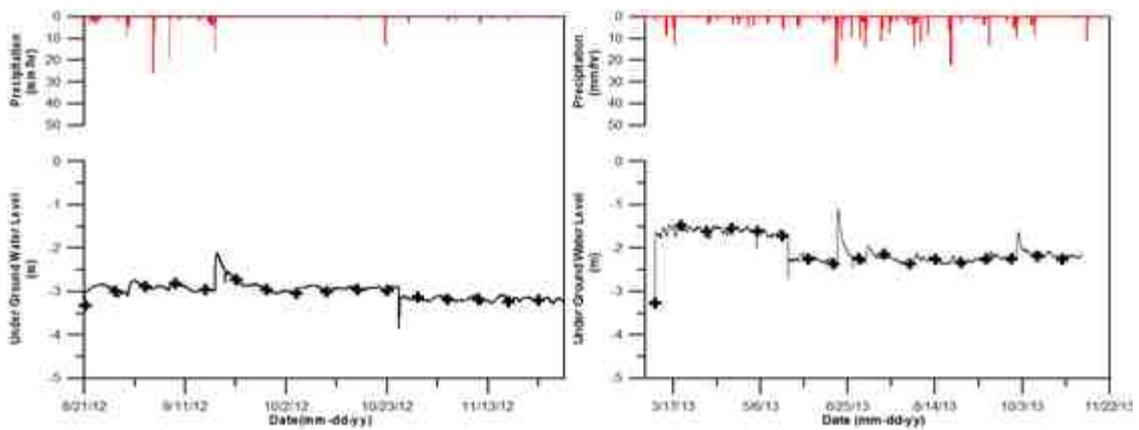
<그림 150> 금파리 (AH-1)



<그림 151> 금파리 (AH-4)



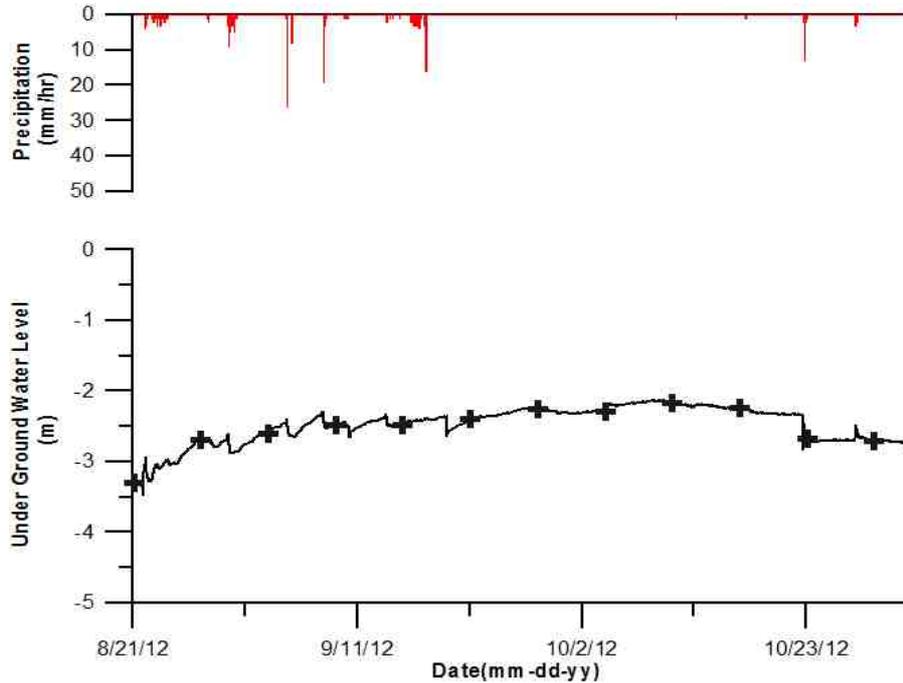
<그림 152> 대두서리 (CH-1)



<그림 153> 대두서리 (CH-3)

㉔ 서현리

<그림 154>은 대두서리 지점의 2012년 지하수위 변화를 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 서현리(산지지형) 지역의 지하수위는 평상시 지표하 -3.5m~-2.5m를 유지하고 있으며, 계절 변화 및 강우 시에도 지표하 -2m 이하를 유지하고 있다. 2013년 서현리 (BH-4)매몰지의 수위측정은 매몰지 망실로 인하여 수행하지 못하였다.



<그림 154> 서현리 (BH-4)

② 수질측정 결과

㉑ 구제역

㉒ 수질검사 방법

○ 암모니아성질소 (NH₃-N ; Ammonium Nitrogen)

- 검수 10mL(0.01mg 이하의 암모니아성질소를 함유하거나 같은 양의 암모니아성질소를 함유하도록 검수에 물을 넣어 10mL로 한 것)를 마개있는 시험관에 넣고 페놀니트로프루지트나트륨용액 5mL를 넣어, 마개를 한 다음 조용히 흔들어 섞는다.

- 이어서 차아염소산나트륨용액 5mL를 넣어 다시 마개를 하고 조용히 흔들어 섞은 후 25~30℃에서 60분간 둔다.

- 이 용액 일부를 흡수셀(10mm)에 넣고 광전분광광도계 또는 광전광도계를 사용하여 검수와 같은 방법으로 시험한 공시험액을 대조액으로 하여 파장 640nm 부근에서 흡광도를 측정하고, (2)에 따라 작성한 검량선으로 부터 시험용액중의 암모니아성질소의 양을 구하여 검수중의 암모니아성질소의 농도를 측정한다.

○ 질산성질소 (NO₃-N ; Nitrate Nitrogen)

- 검수 적당량(0.001~0.2mg의 질산성질소를 함유한 것)을 100mL의 비이커에 넣고 살리실산나트륨용액 1mL, 염화나트륨용액 1mL 및 설과민산암모늄용액 1mL를 넣어 수욕상에서 증발건고한다.

- 이를 식히고 황산 2mL를 넣어 때때로 저어 섞으면서 10분간 둔 후(증발잔류물이 다량인 경우에는 수욕상에서 10분간 가열하고 식힌 후) 물 10mL를 넣어 네슬러관에 옮긴다.

- 다시 이를 식히고 천천히 수산화나트륨용액(2→5) 10mL를 넣은 후 물을 넣어 전량 25mL로 한다.

- 이 용액 일부를 흡수셀(10mm)에 넣고, 광전분광광도계 또는 광전광도계를 사용하여 검수와 같은 방법으로 시험한 공시험액을 대조액으로 하여, 파장 410nm 부근에서 흡광도를 측정하고 (2)에 따라 작성한 검량선으로 부터 시험용액중의 질산성질소의 양을 구하여 검수중의 질산성질소의 농도를 측정한다.

○ 염소이온 (Cl⁻ ; Chloride)

- 검수 100mL를 백색사기접시 또는 삼각플라스크(백색판위에서 적정)에 넣고, 크롬산칼륨용액 0.5mL를 넣은 후, 액이 옅은 등색이 될 때까지 질산은용액(0.01N)으로 적정한다.

- 이에 소비된 질산은용액(0.01N)의 mL(a)로 부터 다음식에 따라 검수에 함유된 염소이온의 양(mg/L)을 구한다.

$$\text{염소이온(mg/L)} = (a - b) \times f \times \frac{1,000}{100} \times 0.355$$

b : 물을 사용하여 검수와 같은 방법으로 공시험할 때에 소비된 질산은용액(0.01N)의 mL

a : 아래 식에서 구한 질산은용액

○ 질산은용액(0.01N)

- 질산은 1.7g을 물에 녹여 1L로 한 후 갈색병에 보존한다.

- 표정 : 염화나트륨(0.01N) 25mL를 백색사기접시 또는 삼각플라스크(백색판위에서 적정)에 넣고, 크롬산칼륨용액 0.2mL를 지시약으로 하여 질산은용액(0.01N)으로 옅은 등색이 없어지지 않고 남을 때까지 적정하고 이에 소비된 질산은용액(0.01N)의 mL(a)로 부터 다음식에 따라 질산은용액(0.01N)의 역가(f)를 구한다.

$$f = \frac{25}{(a - b)}$$

b : 염화나트륨용액 대신 물을 사용하여 위와 같은 방법으로 공시험할 때 소비된 질산은용액(0.01N)의 mL

○ 검사 결과

조사지점 2013년 9차, 10차, 11차 수질 검사 결과는 <표 52>, <표 53>, <표 54>와 같다. 수질 조사 결과를 환경부 수질검사 기준(표 51)으로 평가 한 결과 파주시 금파리, 안동시 대두서리는 침출수 영향이 없는 것으로 분석되며, 안동시 서현리의 경우 암모니아성 질소 농도가 크게 나타나 침출수 영향이 의심되는 지역으로 평가된다.

<표 51> 수질검사 기준표 (환경부, 먹는물 수질공정시험 방법)

성분명	수질기준	정량한계	검사결과치 유효숫자확정	시험결과 유효숫자표기
암모니아성질소	0.5 ppm 이하	0.01 ppm	0.00	0.00
질산성질소	10 ppm 이하	0.1 ppm	0.0	0.0
염소이온	250 ppm 이하	0.4 ppm	0.0	0

<표 52> 정밀조사지점 수질 측정 결과(9차 현장조사)

단위: ppm

	Ninhydrin	암모니아성질소	질산성질소	염소이온
AH-1	0.38	0.10	<0.01	14.18
AH-2	0.45	0.02	0.14	11.34
AH-3	0.33	0.01	0.15	12.05
AH-4	0.54	0.09	0.16	12.05
BH-1	79.47	8.47	<0.01	2.84
BH-2	113.50	6.80	<0.01	5.67
BH-3	179.38	6.72	<0.01	63.10
BH-4 (기존관측점)	0.61	0.24	<0.01	20.56
CH-1	0.30	0.06	<0.01	7.80
CH-3	0.44	0.09	0.04	6.38

<표 53> 정밀조사지점 수질 측정 결과(10차 현장조사)

단위: ppm

	Ninhydrin	암모니아성질소	질산성질소	염소이온
AH-1	0.23	1.14	0.07	15.60
AH-2	0.19	0.69	0.13	16.31
AH-3	0.22	0.01	0.14	14.89
AH-4	0.22	0.02	0.12	15.60
BH-1	11.54	126.16	0.04	5.67
BH-2	15.92	134.47	0.10	7.80
BH-3	22.21	142.91	0.12	51.76
BH-4 (기존관측정)	0.01	5.94	0.10	18.43
CH-1	0.17	1.19	0.03	7.09
CH-3	0.19	0.38	0.03	9.22

<표 54> 정밀조사지점 수질 측정 결과(11차 현장조사)

단위: ppm

	Ninhydrin	암모니아성질소	질산성질소	염소이온
CH-1	0.19	0.06	0.07	4.96
CH-2	0.09	0.08	0.11	0.71
CH-3	0.14	0.03	0.02	7.80
BH-2	10.99	5.82	0.10	9.22
BH-3	14.76	5.75	0.21	31.91
BH-4 (기존관측정)	0.38	1.51	0.13	10.64

㉔ AI

㉔ 수질검사 방법

○ 침출수에서의 AIV 유전자 검사

침출수에서 RNA를 채취하여 AIV 특이 유전자 유무를 검사하였다. AIV 특이 유전자는 모든 혈청형의 AIV 검출이 가능한 nucleoprotein 유전자 유래 AIV 특이 프라이머 (MMU42(R) NP : 5'-AGA GCT CTT GTT CTC TGA TAG GTG-3', MMU43(F) NP : 5'-CAT CCC AGT GCT GGG AAR GAY CCT AAG AA-3')를 이용한 유전자증폭법(polymerase chain reaction; PCR)법으로 검사하였다. 즉, Viral Gene-spin viral DNA/RNA extraction kit(iNtRON Biotechnology, Korea)를 이용하여 침출수로부터 바이러스 RNA를 추출하여 Maxime RT-PCR Premix (iNtRON Biotechnology, Korea)에 추출 RNA 2 μ l, 10 pmol/ μ l로 조정된 MMU42(R) NP 및 MMU43(F) NP 프라이머 각 2 μ l, 증류수 14 μ l를 각각 첨가하여 총 20 μ l 용량으로 반응하였다. PCR 조건은 30분간 reverse transcription 반응후 94 $^{\circ}$ C 2분간 predenaturation 반응을 거친후 94 $^{\circ}$ C 30초 denaturation, 50 $^{\circ}$ C 40초 annealing, 72 $^{\circ}$ C 40초 elongation 과정을 40회 반복후 72 $^{\circ}$ C 7분간 postelongation한 후 1.5% agarose gel에 전기영동 후 약 218 bp의 AIV 특이 유전자가 증폭유무를 확인하였다.

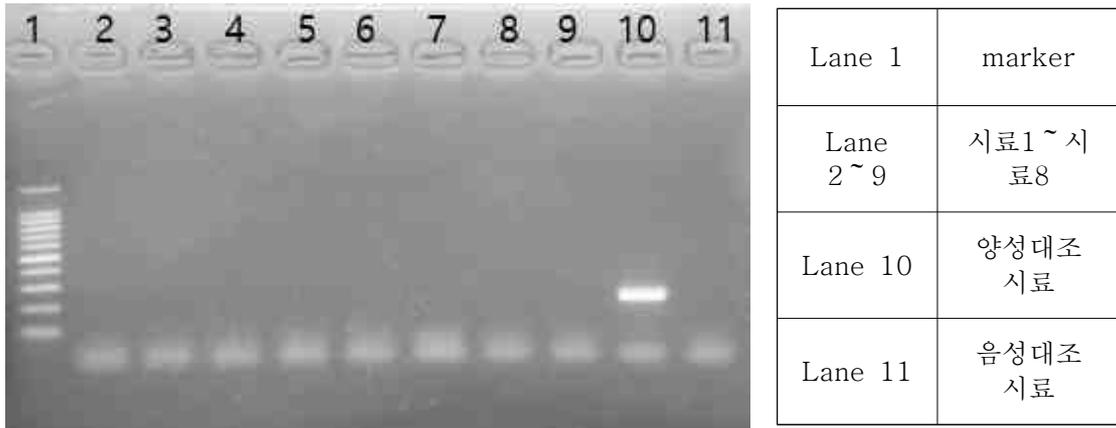
의뢰된 침출수 시료 12점에서 유전자 검사법으로 검사한 결과 모두에서 AIV 유전자는 검출되지 않았다(그림 155 및 그림 156).

○ 침출수에서의 생존 AIV 유무 검사

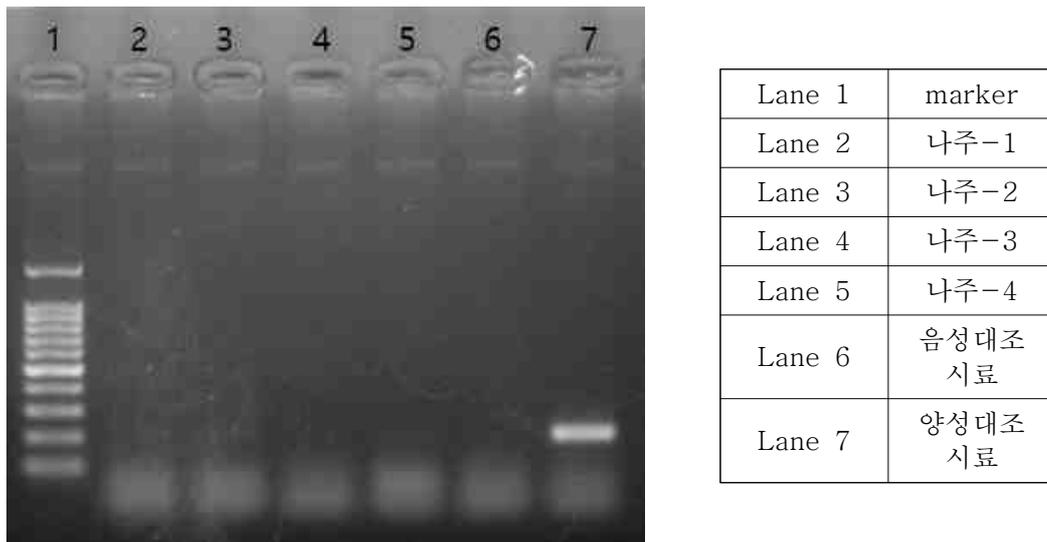
침출수에서의 생존 AIV 유무 검사는 세계동물보건기구(office international des epizooties; OIE)의 OIE terrestrial manual 2012에 규정한 AIV 검출 시험방법인 종란접종 배양법으로 실시하였다. 즉, 침출수 시료를 3,000 rpm에서 10분간 원심분리여 상층액을 0.45 μ m membrane filter (Millipore, USA)로 여과하여 오염세균을 제거하였다. 오염세균을 제거한 시료는 AIV에 대한 항체 음성인 특정병원체부재 (specific pathogen free; SPF) 종란의 요막강(allantoic cavity)으로 0.2ml씩, 시료당 5개의 종란에 접종하였다. 시료 접종 종란은 37 $^{\circ}$ C 배양기에서 5일간 배양한 후 요막강액을 종란당 2ml씩 채취하여 시료별로 합하여 앞과 동일한 방법으로 SPF 종란에 2대 계대배양하였다. 2대 계대배양 접종 후 5일간 배양한 종란의 요막강액을 채취하여 AIV 증식 유무를 검사하였다. 요막강액에서의 AIV 유무 검사는 OIE terrestrial manual 2012에 기술된 혈구응집반응법을 실시하여 혈구응집반응이 나타나고 AIV 특이 항혈청으로 혈구응집억제반응이 있을 경우 양성으로 판정하였다. 또한 2대 계대 배양후 채취한 요막강액은 앞서에서와 같이 RNA를 추출하여 AIV 검출 유전자증폭법을 실시하여 AIV 특이 유전자 유무를 검사하였다.

침출수 12점을 대상으로 생존 AIV 유무를 검사하기 위하여 종란접종법으로 검사한 결과 2대 계대배양한 시료에서 시료 2, 3 및 8에서 각각 1개, 2개, 1개 의 종란이 폐사하였

으나 혈구응집반응에서는 모두 음성으로 나타났다. 기타 시료들에서는 종란폐사를 보이지 않았을뿐만 아니라 배양 5일후 채취한 요막강액의 혈구응집반응도 모두 음성반응을 보였다. 또한 2대 계대배양후 채취한 요막강액에서 RNA를 추출하여 AIV 특이 PCR을 실시한 결과 모두 음성으로 나타나 침출수 12점 시료 모두는 조류인플루엔자 바이러스가 음성인 것으로 확인되었다(표 55).



<그림 155> 침출수에서 AIV 유전자 유무 검사결과(1차 시료)



<그림 156> 침출수에서 AIV 유전자 유무 검사결과(2차 시료)

<표 55> 종란 접종법으로 매몰지 침출수에서의 생존 AIV 검사결과

시료	종란 1대 계대배양 검사결과		종란 2대 계대배양 검사결과		
	폐사 종란수/ 접종 종란수	혈구응집 양성 종란수/검사수	폐사 종란수/ 접종 종란수	혈구응집 양성 종란수/검사수	PCR 검사결과
시료 1	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
시료 2	0/5	0/5	1/5	0/5	음성
시료 3	0/5	0/5	2/5	0/5	음성
시료 4	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
시료 5	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
시료 6	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
시료 7	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
시료 8	0/5	0/5	1/5	0/5	음성
나주-1	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
나주-2	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
나주-3	0/5	0/5	0/5	0/5	음성
나주-4	0/5	0/5	0/5	0/5	음성

㉔ 검사 결과

살처분 매몰지 12곳의 침출수 시료 12점에서 조류인플루엔자 바이러스 유무를 유전자 검사 및 종란접종에 의한 바이러스 배양법으로 검사한 결과 시료 모두 음성으로 나타났다(표 56).

<표 56> 매몰지 침출수에서의 AIV 검사결과 종합

시료명	AIV 검사 방법		종합 결과
	AIV 유전자 검사법	종란접종법에 의한 검사법	
시료 1	음성	음성	음성
시료 2	음성	음성	음성
시료 3	음성	음성	음성
시료 4	음성	음성	음성
시료 5	음성	음성	음성
시료 6	음성	음성	음성
시료 7	음성	음성	음성
시료 8	음성	음성	음성
나주-1	음성	음성	음성
나주-2	음성	음성	음성
나주-3	음성	음성	음성
나주-4	음성	음성	음성

나. 수치모델링을 통한 분석

(1) 사용한 지하수 모델의 개요(Visual Modflow)

(가) Visual MODFLOW 개요

MODFLOW는 수치적 방법 중에서도 가장 오래되었으면서도 가장 보편적으로 쓰이고 있는 유한차분법을 이용하며, 지배식의 모든 편미분 방정식을 유한차분으로 근사적으로 표현하고 있으며 수식전개 과정이 간단명료하나 불규칙한 경계면을 정확히 표현하고 취급할 수 없는 단점이 있다.

본 과업에서의 지하수의 흐름해석을 위해 사용된 흐름 모형은 세계적으로 널리 사용되고 있는 3차원 모형인 MODFLOW 3D(A Modular 3-D Finite Difference Groundwater Flow Model)를 사용하였다. 그리고 매몰지 설치 후 침출수 발생에 의한 오염물질의 확산·이동에 관한 검토를 실시하였다. 오염물질의 거동 예측을 위해서 수리지질학적 구조에서의 용질 이동에 대해 널리 이용되는 3차원 유한차분 수치모형인 MT3D(Chunmaio Zheng, 1990)를 이용하였다.

지하수 유동 및 오염물 거동 예측은 구제역 발생 지역 중 가축매설구간을 중심으로 평지, 하천, 산지에 위치한 3지점의 지역적 모델링을 수행하여 지하수 및 오염물의 유동경향 파악하며, 모델링 대상지역에 대한 현장조사 및 현장시험을 통해 수집된 자료를 바탕으로 지하수 유동경향을 파악하여 오염물 거동예측에 반영한다.

수문학적 상세 강우특성 분석 및 유역 특성의 반영으로 입력인자의 주관성을 배제하는 합리적인 지하수 유동분석 수행하고, 오염물의 이동경로와 시간변화에 따른 확산범위를 예측하여 오염물의 인근하천 유입여부를 확인할 수 있는 지하수 감시정의 위치를 선정한다.

매몰지의 가축폐사로 인하여 발행한 오염물질의 확산정도를 예측하기 위하여 오염물질의 대부분을 차지하는 BOD를 오염원으로 하여 오염원의 거동양상을 파악하였다. BOD가 매몰지에서 주변지하수로 유입된다는 가정아래 BOD의 농도를 38,500mg/l로 산정하여 해석을 수행하였다.

<표 57> MODFLOW 검토내용

구분	검 토 내 용	중 점 검 토 사 항
지하수 유동분석	현장조사된 지하수위를 적용하여 지하수 분포 및 유동성 평가	현장조사시 측정된 지하수위를 바탕으로 경계조건에 적용될 수두조건을 역해석
오염물 확산분석	매설지 설계시 기간에 따른 오염물 확산 범위 예측	오염물 누출시 확산범위를 파악 오염물 거동을 파악하여 감시정 위치 설계

(나) 지하수유동모델링 유역 선정

지하수유동모델링 유역 면적을 지표수 집수유역에 국한하여 설정하였을 시 모델링 경계조건에 의해 지하수 유출입량 및 지하수위 분포가 실제 분포 값보다 상이한 결과를 초래하므로 소규모 모델링 유역을 사용하면 안정성이 없는 결과를 야기하게 된다. 지하수유동모델링 분석 시 경계조건은 결과에 결정적인 요소이므로 오차의 영향이 받지 않도록 가능한 멀리 설정되어야 한다. 설정된 유역은 지질 및 위성분석을 수행한 후 무흐름 경계를 설정(지형능선 부근이 다른 위치보다 높으면 지하수 분수령이 형성되는 것으로 지하수흐름에 주 유동력을 갖는다고 가정할 수 있다(Anderson & Woessner, 1993))하였으며, 지하수 유출의 대부분을 차지하는 주변 하천 및 산을 경계로 하여 모델링영역을 설정하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

(다) 지하수 유동모델링 해석 조건

수리모델링의 분석영역 및 각종 입력인자들은 복잡한 지질 및 지반 현상을 단순화 하여 합리적인 모델을 구축하는 것이 가장 중요한 부분이라 할 수 있다. 유역면적을 지표수 집수유역에 국한하여 설정할 경우 경계조건에 의해 지하수 유출입량 및 수위분포가 실제 측정치와 상이한 결과를 나타내며, 수리상수를 비롯한 기타 입력인자들의 적절치 못한 반영 또한 잘못된 분석 결과를 초래한다. 본 과업의 분석과정에서는 문헌자료 및 현장 수리시험을 통해 획득한 자료를 근거로 각 영역에 가장 합리적이고 타당한 각종 입력 변수를 설정하여 안정성과 신뢰성을 확보하였다.

<표 58> MODFLOW 해석 조건

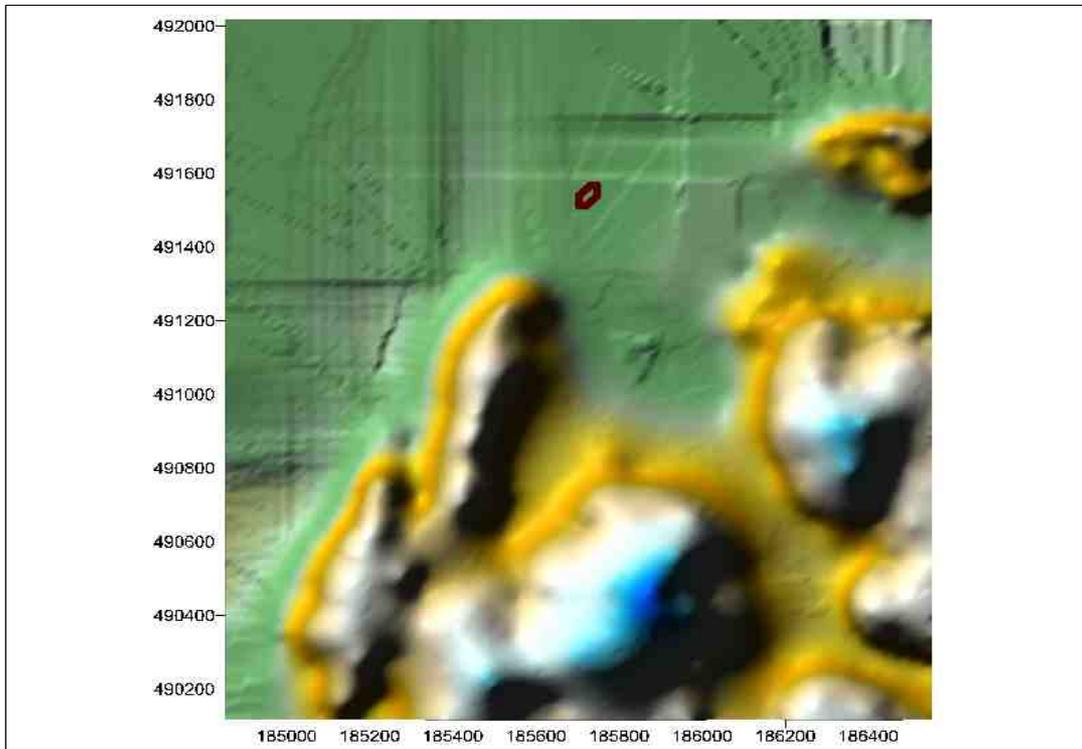
구 분	해 석 조 건
대상영역	<ul style="list-style-type: none"> • 수치지형도를 이용하여 MODFLOW 내에서 조사지형 모사 및 구조물 현황 모사 • 지형 및 고도분포 현황 파악 • 고도에 따른 초기수두(Initial head) 현황 파악
모델영역 및 유역설정	<ul style="list-style-type: none"> • 지역내 유역경계는 사업구간 주변 능선과 골짜기, 하천 등을 따라 설정 • 지하수 분수령인 능선과 지하수가 마주치는 골짜기는 지하수 흐름 경계로 작용
경계조건	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 경계조건을 가지는 시스템을 모사하기 위한 패키지 <ul style="list-style-type: none"> - Constant Head Boundary : 하천의 고정적인 수위조건을 만족하기 위하여 적용 - Constant Concentration : 매물지를 표현하기 위해 사용 - River : 하천 및 계곡부에 적용하여 지형적인 영향을 반영하기 위해 사용 - General Head Boundary : 주변지역의 지형적인 영향을 고려하여 모델링 외곽부 일부지역(유입/유입지역)에 적용 - Recharge : 강수에 의한 사업지역내 지하수로 유입되는 함양률 - Wells : 양수율이 음의 값이면 지하수를 채수하는 것이며 양의 값을 가지면 주입정을 의미, 한 격자에 하나의 정호만을 설계할 수 있으며 격자의 중심에 위치
입력상수	<ul style="list-style-type: none"> • 현장시험 결과와 기존 문헌값을 통해 구성 지층별로 통계처리하여 대표값 입력 <ul style="list-style-type: none"> - 수리전도도, 저류계수, 공극률, 함양률 등

(2) 정류 상태의 지하수 모델링 결과

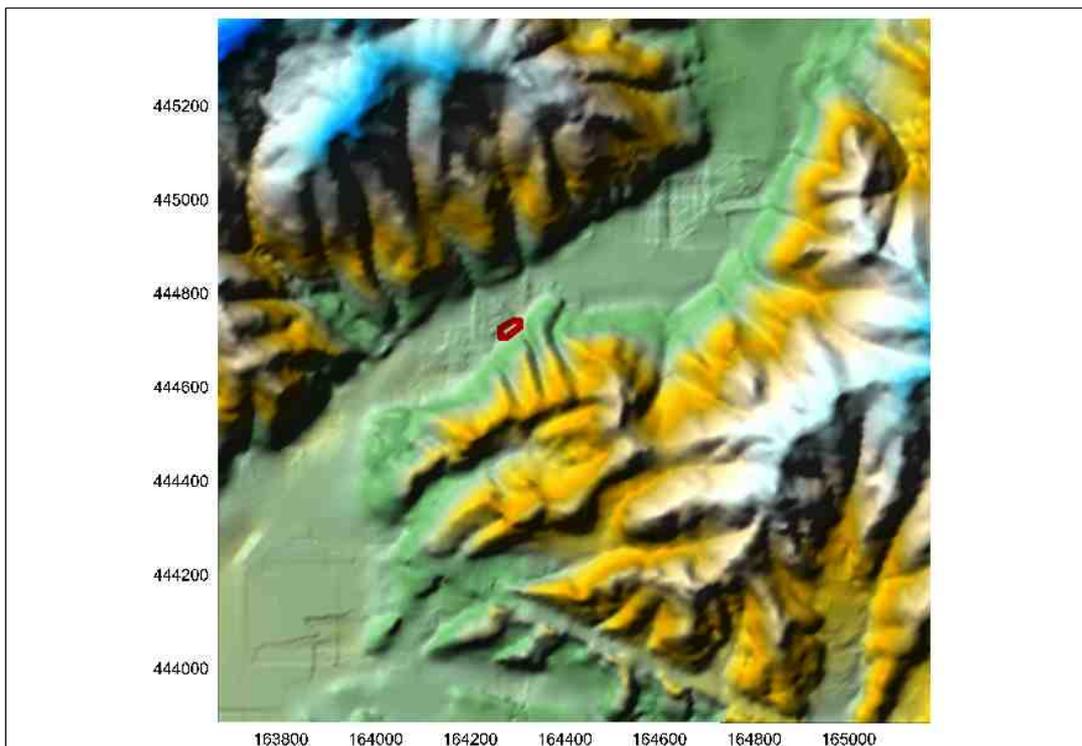
(가) 지하수유동모델링 입력 인자

① 모델 영역 수치표고 분석

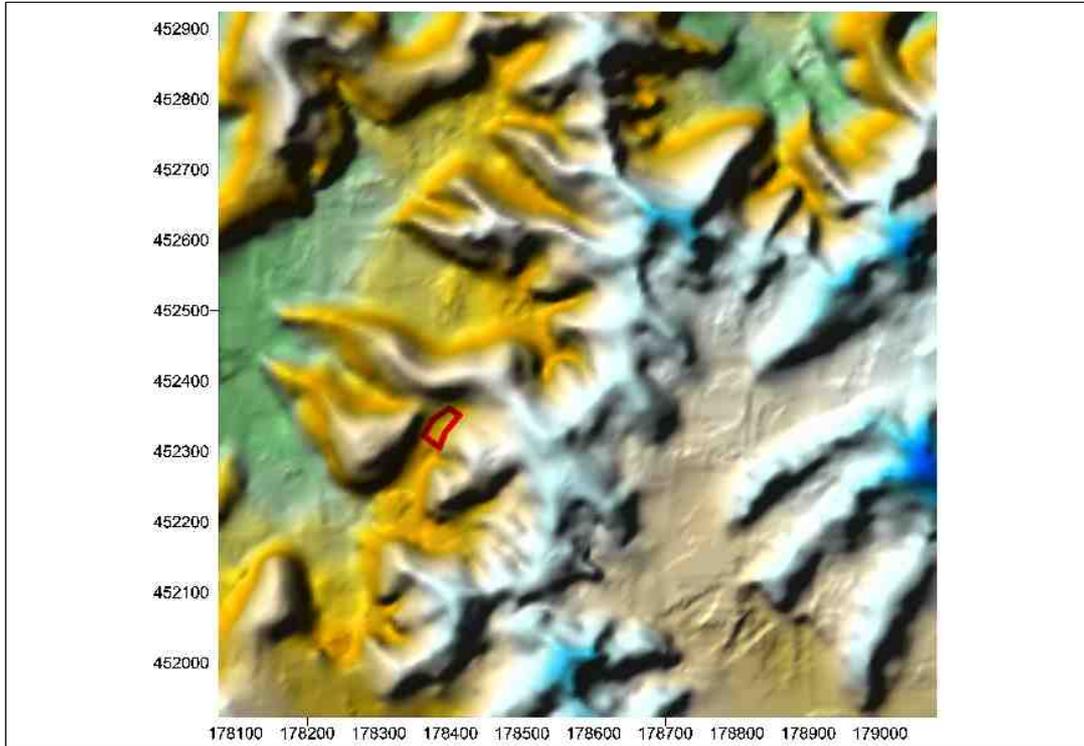
수치표고분석에 있어서는 측량자료가 많을수록 더욱 정밀한 수치분석이 수행된다. 결정된 대상지역의 유역을 중심으로 수치지형도에서 고도자료를 활용하여 수치분석을 통한 수치표고자료(DEM) 분석을 수행하여 모델링의 지표면 적용에 활용하였다.



<그림 157> 금파리(평지) 지역의 DEM 분석



<그림 158> 대두서리(하천) 지역의 DEM 분석



<그림 159> 서현리(산지) 지역의 DEM 분석

② 입력 인자 및 경계 조건

현장에서의 한정된 수리시험자료를 보완하기 위하여 낙동강권역 지하수기초조사(2004년), 상주시 지하수기초조사(2011년), 양주-동두천-의정부(지하수기초조사(2009년))을 참고하여 산출된 투수계수를 사용하여 모델링을 수행하였다.

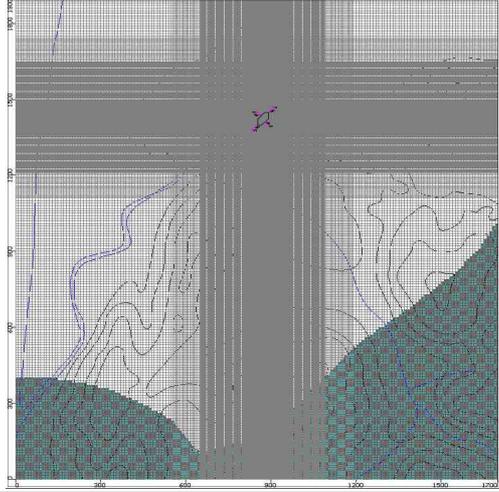
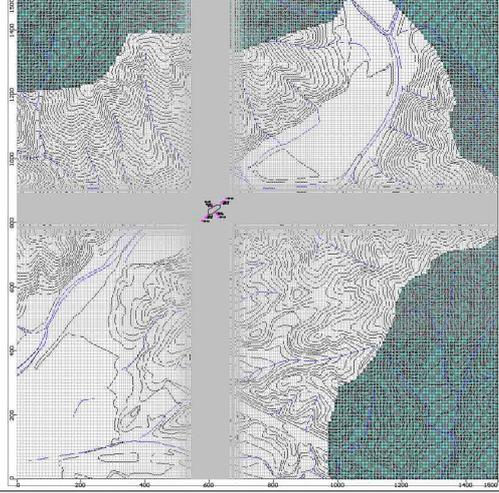
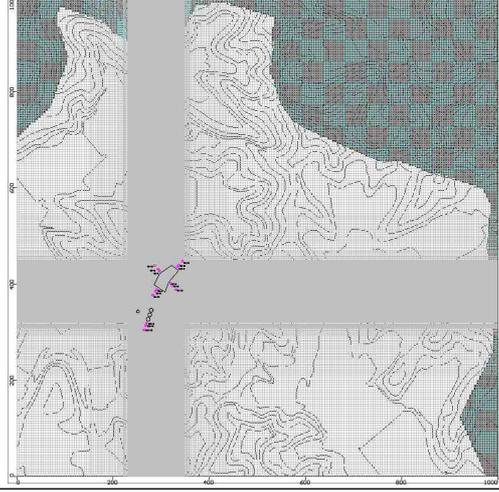
본 모델링에서는 대상지역의 인근에 속한 지하수기초조사 자료를 바탕으로 시행착오법에 의하여 수리전도도를 선정하였으며, 지형 및 지층의 층후에 따라 매립층, 충적층, 풍화암, 연암(기반암)으로 설정하였다. 본 모델링에서의 경계조건은 오염원, 하천, 강, 함양량 등의 경계조건이 사용되었다.

<표 59> MODFLOW 입력 인자 및 경계조건

지역구분	층서 및 암상별 투수계수 (cm/sec)			
	매립층	충적층	풍화암	연암
금파리	7.29×10^{-4} $\sim 3.91 \times 10^{-3}$	1.74×10^{-3} $\sim 4.51 \times 10^{-3}$	5.81×10^{-4} $\sim 8.75 \times 10^{-4}$	1.04×10^{-4} $\sim 3.31 \times 10^{-4}$
대두서리	4.45×10^{-4} $\sim 2.45 \times 10^{-3}$	8.12×10^{-4} $\sim 3.51 \times 10^{-3}$	9.66×10^{-4} $\sim 8.83 \times 10^{-3}$	1.04×10^{-5} $\sim 1.16 \times 10^{-4}$
서현리	4.45×10^{-4} $\sim 2.45 \times 10^{-3}$	8.12×10^{-4} $\sim 3.51 \times 10^{-3}$	9.66×10^{-4} $\sim 1.23 \times 10^{-3}$	1.04×10^{-5} $\sim 1.16 \times 10^{-4}$

③ 모델 영역 설정 및 격자망 구성

<표 60> MODFLOW 모델영역 및 격자망 구성

	구 분	금파리 (평지)
	모델영역	1,700m×1,900m
	일반격자	10m×10m
	세부격자	1m × 1m
격자망 구성	X : 412	
	Y : 432	
	Layer : 4	
	구 분	대두서리 (하천)
	모델영역	1,500m×1,500m
	일반격자	10m×10m
	세부격자	1m × 1m
격자망 구성	X : 288	
	Y : 279	
	Layer : 5	
	구 분	서현리 (산지)
	모델영역	1,000m×1,000m
	일반격자	5m×5m
	세부격자	1m × 1m
격자망 구성	X : 317	
	Y : 336	
	Layer : 5	

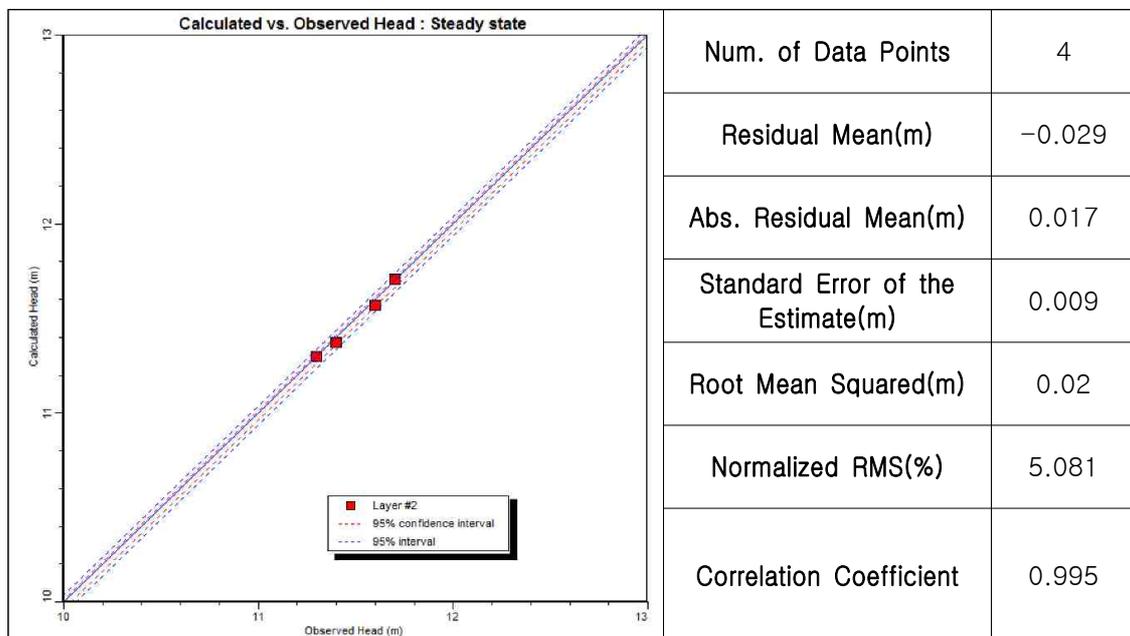
④ 정류상태의 지하수유동모델링 결과

㉠ 금파리 지역

- 지하수위 보정결과

현장에서 취득한 지하수위(Observed Head)와 모델에 의해 계산된 지하수위(Calculated Head)를 비교·검토하는 것으로 보정에 사용된 요소들(각각의 경계조건, 지하수 함양량, 수리상수 등)은 불확실한 요소를 우선순위로 선정하여 보정하였으며, 이러한 보정 과정을 거친 후 모델 보정에 의해 얻어진 지하수위와 실제 관측지하수위로 그래프를 비교하여 95% 신뢰구간에 도시되면 정상류 모델링이 과업지역의 전반적인 지하수계를 모사하였다고 볼 수 있다.

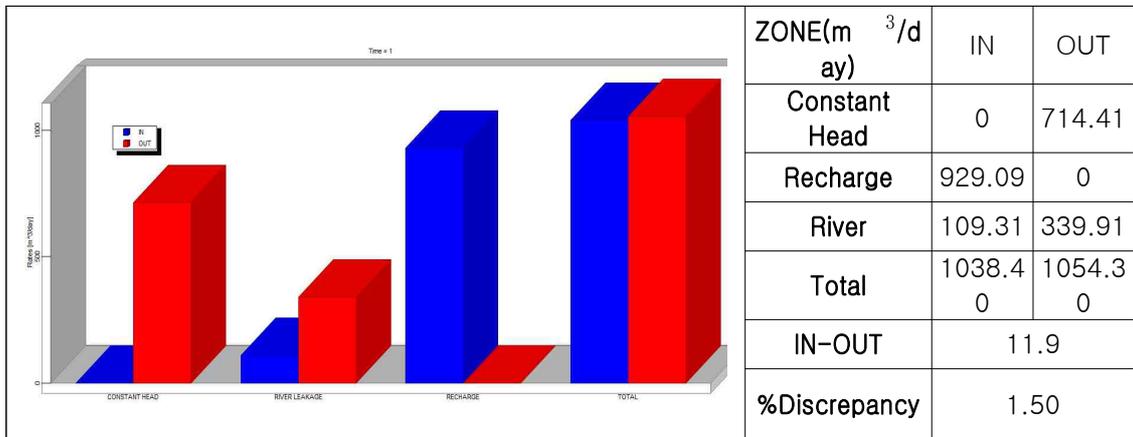
<표 61> 금파리 지역 모형 검보정 결과



- 물수지 분석 결과

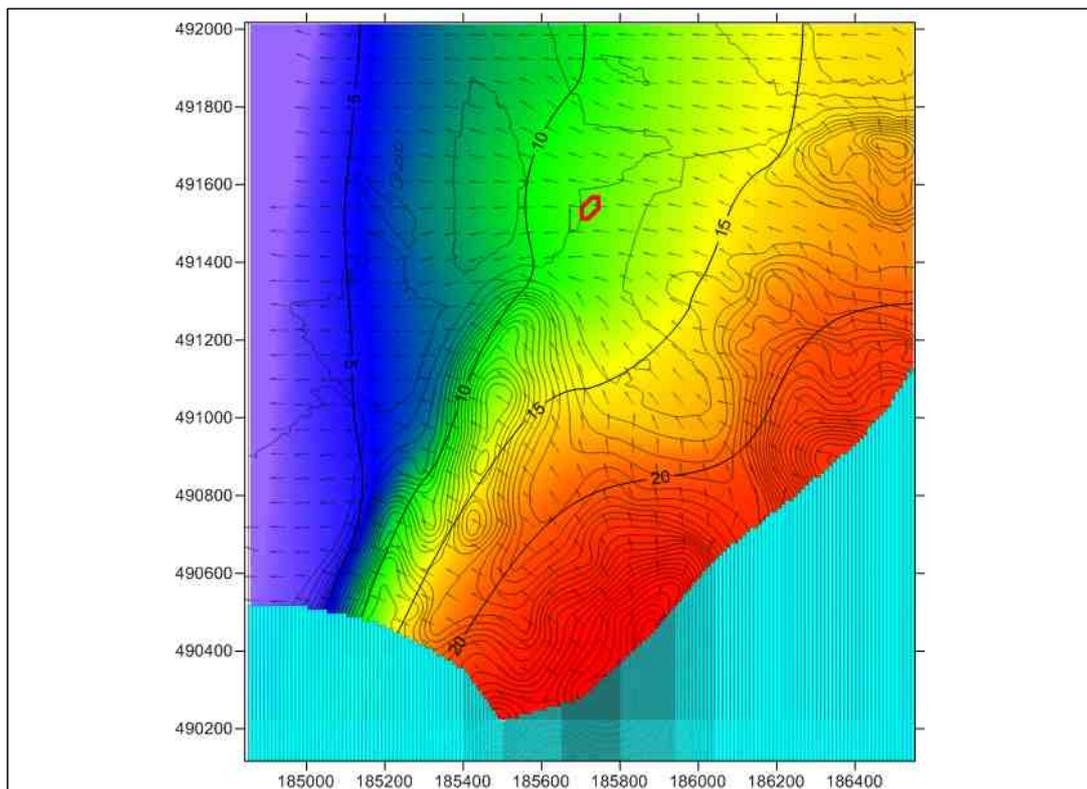
금파리 지역의 물수지 분석결과 영역내로 유입되는 유입량은 강수의 함양, 주변 대수층에서의 유입과 주변하천에서의 유입량은 1038.40m³/day이며, 하천 및 임진강으로의 유출량은 1054.30m³/day이 발생하였으며, Discrepancy는 1.50%로 모델이 성공적으로 모사되었다.

<표 62> 금파리 지역 물수지 분석



- 정류상태 등수위선도

과업지역 내의 지하수 흐름방향은 지형적으로 동남쪽의 고지대에서 저지대인 영역 북서쪽으로 이동하는 양상을 보인다. 금파리는 지형의 고저가 큰 관계로 유출입이 상대적으로 원활히 이루어지고 있는 것을 알 수 있고, 하류에 위치한 임진강으로 대부분의 지하수가 유입되는 것을 알 수 있다.



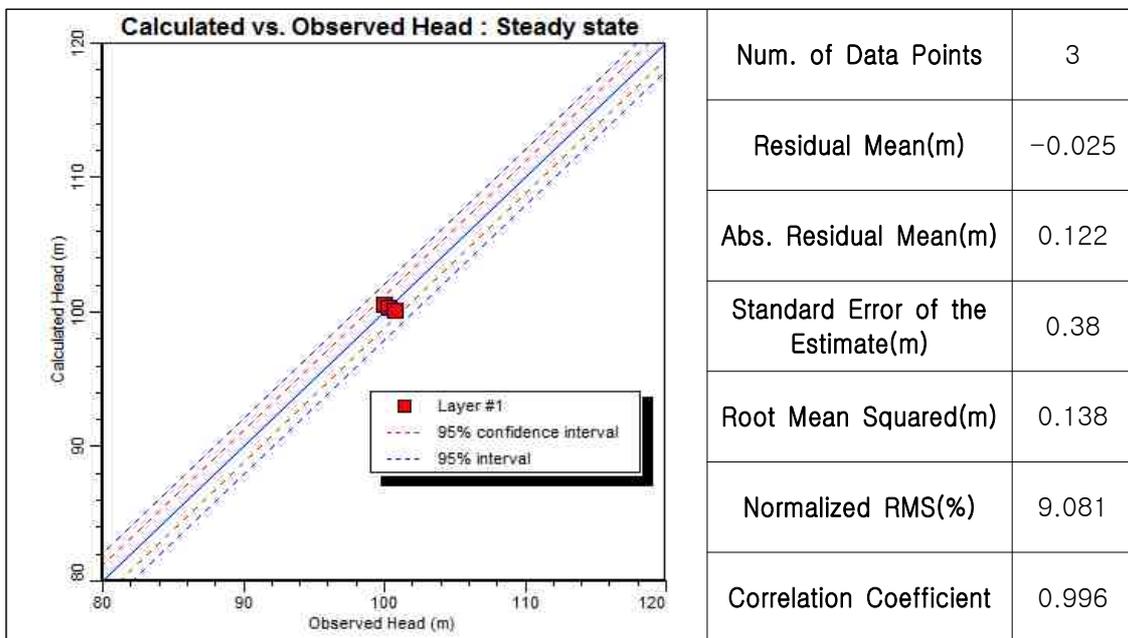
<그림 160> 금파리 지역의 정류상태 지하수위 등수위선도

㉔ 대두서리 지역

- 지하수위 보정결과

현장에서 취득한 지하수위(Observed Head)와 모델에 의해 계산된 지하수위(Calculated Head)를 비교·검토하는 것으로 보정에 사용된 요소들(각각의 경계조건, 지하수 함양량, 수리상수 등)은 불확실한 요소를 우선순위로 선정하여 보정하였으며, 이러한 보정 과정을 거친 후 모델 보정에 의해 얻어진 지하수위와 실제 관측지하수위로 그래프를 비교하여 95% 신뢰구간에 도시되면 정상류 모델링이 과업지역의 전반적인 지하수계를 모사하였다고 볼 수 있다.

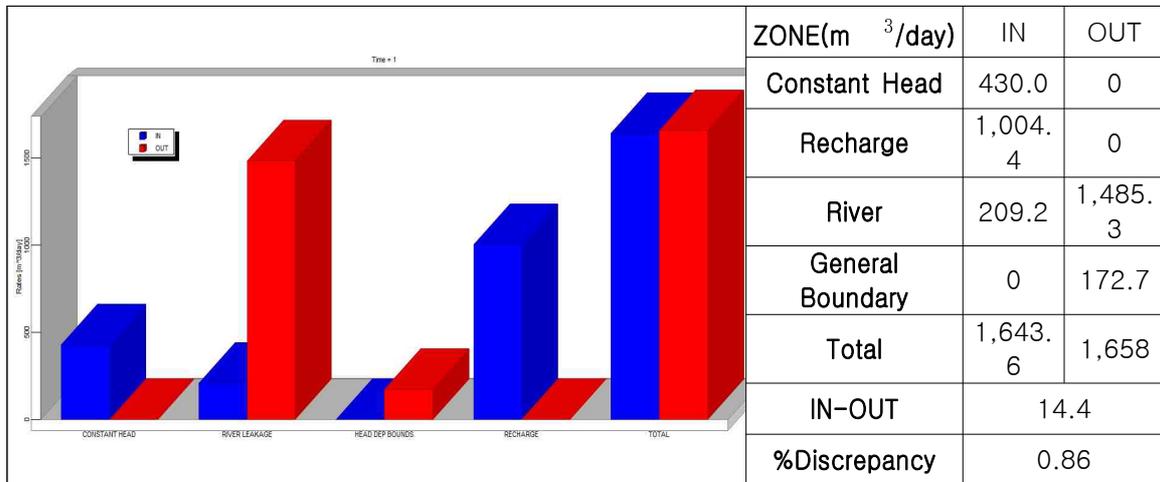
<표 63> 대두서리 지역 모형 검보정 결과



- 물수지 분석 결과

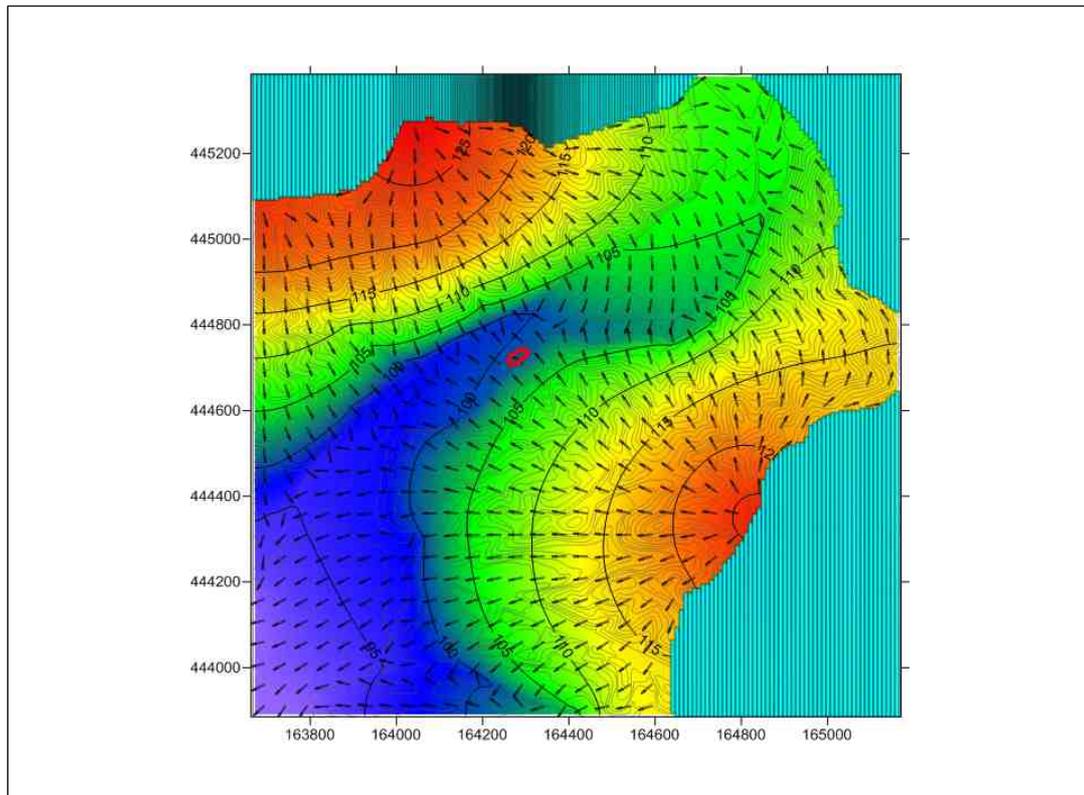
대두서리 지역의 물수지 분석결과 영역내로 유입되는 유입량은 강수의 함양, 주변 대수층에서의 유입과 주변하천에서의 유입량은 1,643.6m³/day이 유입되며, 하천 및 대수층으로의 유출량이 1,658m³/day이 발생하였으며, Discrepancy는 0.86%로 모델이 성공적으로 모사되었다.

<표 64> 대두서리 지역 물수지 분석



- 정류상태 등수위선도

과업지역 내의 지하수 흐름방향은 지형적으로 북쪽과 남쪽의 고지대에서 저지대인 영역중앙인 하천으로 이동 후 서쪽에 위치한 하류단으로 흘러가는 양상을 보인다. 대두서리는 지형의 고저가 큰 관계로 유출입이 상대적으로 원활히 이루어지고 있는 것을 알 수 있고, 하류에 위치한 하천 및 대수층으로 대부분의 지하수가 유입되는 것을 알 수 있다.



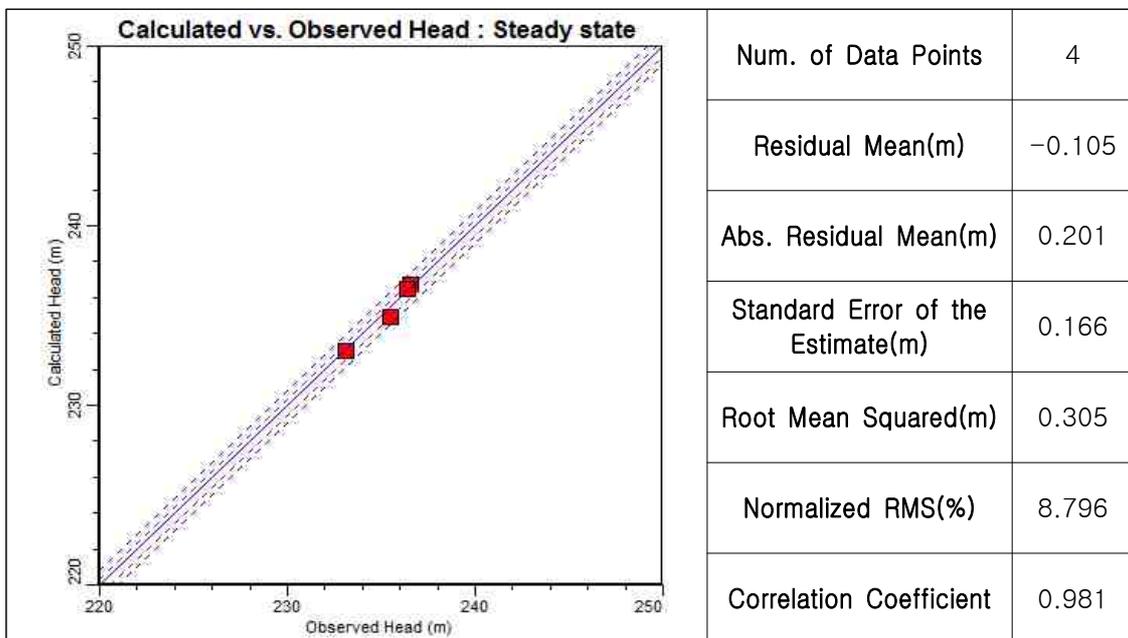
<그림 161> 대두서리 지역의 정류상태 지하수위 등수위선도

㉔ 서현리 지역

- 지하수위 보정결과

현장에서 취득한 지하수위(Observed Head)와 모델에 의해 계산된 지하수위(Calculated Head)를 비교·검토하는 것으로 보정에 사용된 요소들(각각의 경계조건, 지하수 함양량, 수리상수 등)은 불확실한 요소를 우선순위로 선정하여 보정하였으며, 이러한 보정 과정을 거친 후 모델 보정에 의해 얻어진 지하수위와 실제 관측지하수위로 그래프를 비교하여 95% 신뢰구간에 도시되면 정상류 모델링이 과업지역의 전반적인 지하수계를 모사하였다고 볼 수 있다.

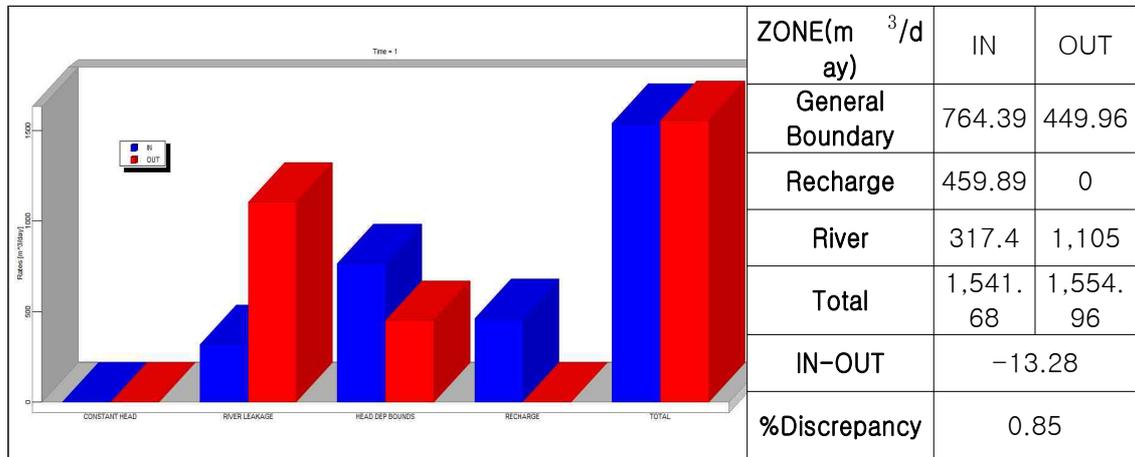
<표 65> 서현리 지역 모형 검보정 결과



- 물수지 분석 결과

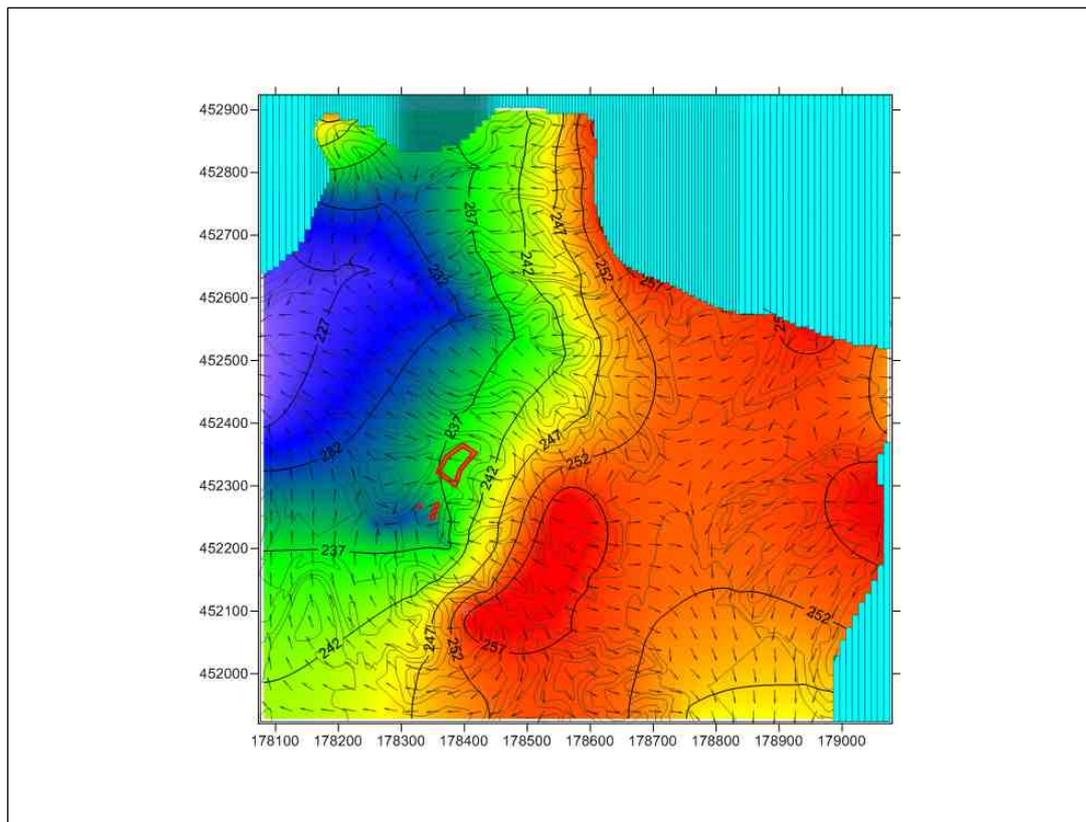
서현리 지역의 물수지 분석결과 영역내로 유입되는 유입량은 강수, 주변 대수층에서의 유입과 주변하천에서의 유입으로 1,541.68m³/day이 유입되며, 하천 및 주변유역으로의 유출량은 1,554.96m³/day이 발생하였으며, Discrepancy는 0.85%로 모델이 성공적으로 모사되었다.

<표 66> 서현리 지역 물수지 분석



- 정류상태 등수위선도

과업지역 내의 지하수 흐름방향은 지형적으로 북동쪽의 고지대와 중앙지점에 위치한 고지대에서 저지대 영역인 서쪽과 남쪽일부 지역으로 지하수가 이동하는 양상을 보인다. 서현리는 지형의 고저가 큰 관계로 유출입이 상대적으로 원활히 이루어지고 있는 것을 알 수 있고, 주변의 하천과 대수층으로의 지하수가 유입되는 것을 알 수 있다.

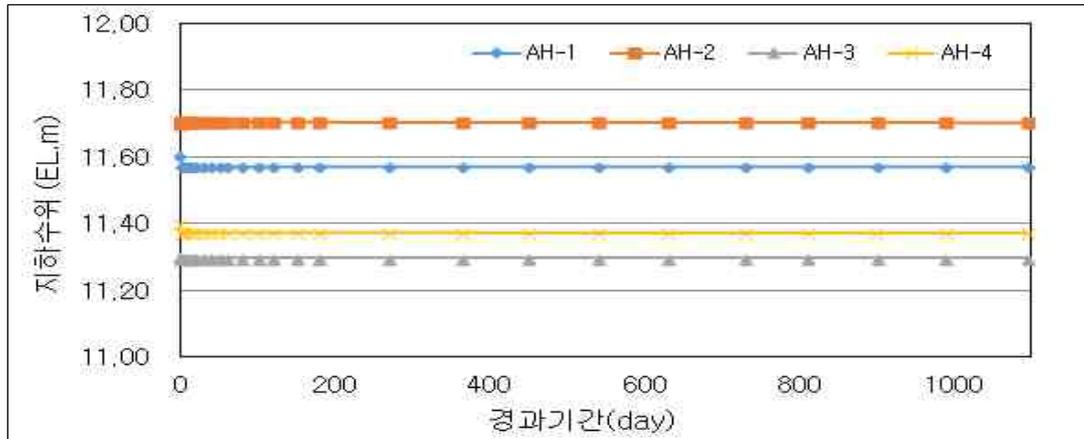


<그림 162> 서현리 지역의 정류상태 지하수위 등수위선도

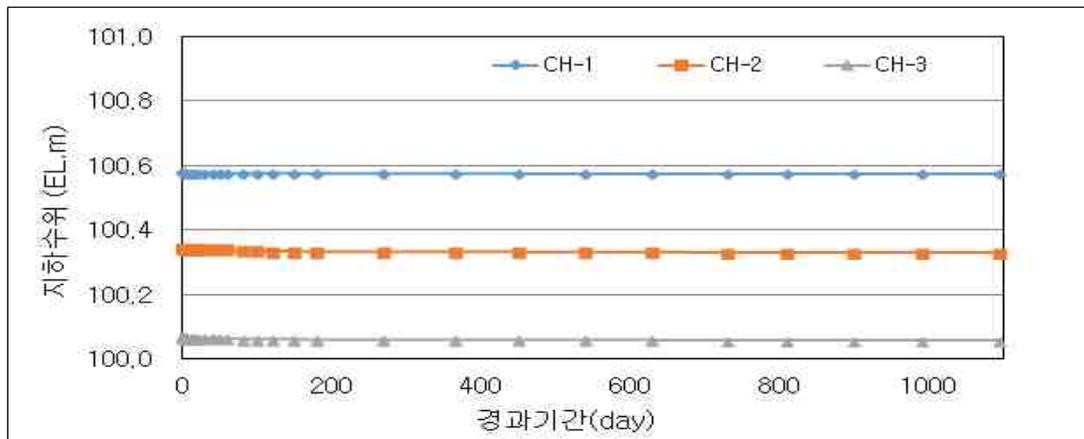
(3) 부정류상태의 지하수 모델링 결과

○ 지하수위를 비교한 결과 주변 관정 및 함양량의 변화가 없으므로 수위가 크게 차이나지 않으며, 매몰지 설치 1년이 지난 후 수위는 안정된다.

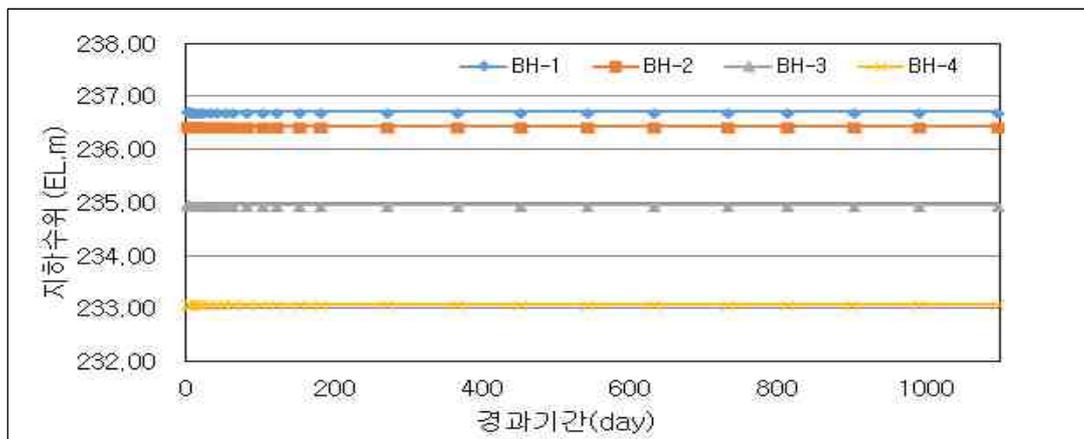
○ 금파리 지역



○ 대두서리 지역



○ 서현리 지역



(4) 침출수 확산 모델링 결과

(가) 오염원 이송/확산 모델링 개요

본 과업에서는 오염물질의 거동 예측을 위해서 수리지질학적 구조에서의 용질 이동에 대해 널리 이용되는 3차원 유한차분 수리모형인 MT3D(Chunmaio Zheng, 1990)를 이용하였다.

지하수 유동 및 오염물 거동 예측은 구제역 발생 지역 중 가축매설구간을 중심으로 평지, 하천, 산지에 위치한 3지점의 지역적 모델링을 수행하여 지하수 및 오염물의 유동경향 파악하며, 모델링 대상지역에 대한 현장조사 및 현장시험을 통해 수집된 자료를 바탕으로 지하수 유동경향을 파악하여 오염물 거동예측에 반영한다.

수문학적 상세 강우특성 분석 및 유역 특성의 반영으로 입력인자의 주관성을 배제하는 합리적인 지하수 유동분석을 수행하고, 오염물의 이동경로와 시간변화에 따른 확산범위를 예측하여 오염물의 인근하천 유입여부를 확인할 수 있는 지하수 감시정의 위치를 선정한다.

매몰지의 가축폐사로 인하여 발행한 오염물질의 확산정도를 예측하기 위하여 오염물질의 대부분을 차지하는 BOD를 오염원으로 하여 오염원의 거동양상을 파악하였다. <표 67>은 2011년 2월 이천시 대월면 침출수 농도를 나타내고 있으며, <표 68>은 침출수 오염 물질에 대한 미국 연구 결과(Pratt, 2009)를 보여주고 있다. 두 결과 모두 BOD 기준으로 일반 축산 분뇨에 비하여 약 3배 이상 높은 것으로 평가 되었다. <표 69>는 영국의 가축 매몰관련 보고서(Munro, 2001)에서 제시한 자료로 가축 매몰지가 매몰 규정에 맞게 이상적으로 설치되었을 경우, 가축 매몰 후 일주일 이 지나면 침출수 발생량의 50%, 두달 이 되면 거의 대부분의 침출수가 발생하는 것으로 보고되었다.

본 연구에서는 관련 자료들을 참조하여 가축 매몰지 BOD의 농도가 38,500mg/l로 지속적으로 발생하면서 매몰지 주변 지하수로 유입된다고 가정하고 해석을 수행하였다.

<표 67> 이천시 대월면 침출수 농도(2011. 02 기준)

구분	농도	비고
BOD(ppm)	85,000	일반 축산 분뇨에 비해 5~6배 높음 (BOD 13,000~14,000 ppm, TN 3,200 ppm)
TN(ppm)	16,700	

<표 68> 미국 연구 사례 (Pratt, 2009)

	소	돼지	가금류
pH	6.8	6.5	6.2
BOD (mg/L)	38,500	-	-
COD (mg/L)	134,200	-	-
Conductivity (uS/cm)	32,700	33,200	45,900
Chloride (mg/L)	2,605	2,855	3,480
Bicarbonate (mg/L)	35,100	34,200	25,700
Ammonium (mg/L)	5,200	2,400	4,500
Phosphorus (mg/L)	920	1,720	1,830
Organic Carbon (mg/L)	43,000	44,000	47,000

<표 69> 영국의 가축 매몰관련 보고서(Munro, 2001)

가축 종류	가축 두당 발생하는 침출수 양(L)	
	일주일 후	2달 후
소(500~600kg)	80	160
송아지	10	20
양	7~8	14~16
어린양	1	2
돼지	6	12
발육이 덜 된 돼지	3	6
어린 돼지	0.4	0.8

(나) 침출수 확산 모델링 결과

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 관련 자료들을 참조하여 가축 매몰지 BOD의 농도가 38,500mg/l로 지속적으로 발생하면서 매몰지 주변 지하수로 유입된다고 가정하고 해석을 수행하였다. 대상유역들의 전반적인 지하수 흐름 및 오염물질 이동특성은 다음과 같다.

○ 금파리 : 평지지형 특성 대표 지점

- 금파리 지점의 지하수는 주변의 도로, 하천의 영향을 많이 받는 것으로 평가되었다. 주변의 가장 가까운 산지, 고지대 및 하천의 영향을 받아 고지대에서 하천으로 지하수 흐름이 형성되기는 하나 산지 또는 하천 특성을 가지는 지점과 비교하면 지하수 이동 속도가 느리며, 도로부가 많은 경우 부분적으로 지하수 흐름이 차단되거나 느려지는 특성을 보인다.

- 오염물질의 경우 유역의 큰 지하수 흐름에 따라 이동하지만 산지 또는 하천 특성을 가지는 지점에 비하여 초반 오염물질 이동방향은 뚜렷하게 나타나지 않으며, 장시간(6개월 이상) 후 주변의 가장 가까운 고지대, 하천 등의 영향을 받아 오염물질이 이동하는 것을 볼 수 있다.

- 평지지형 매몰지 초반의 경우 오염물질 이동 속도가 느리고 오염물질의 이동방향을 예측하기 어려우며, 주변 시설물 등에 영향을 받기 쉬우므로 매몰지의 4방향으로 관측공을 설치하는 것이 오염물질 관측에 유리할 것으로 판단된다.

○대두서리 : 하천지형 특성 대표 지점

- 대두서리 지점의 지하수는 산지 또는 고지대로부터 하천으로 수직 형태로 이동하는 특성을 보이며, 하천과의 고저차가 높은 지점일수록 유속이 빨라져 지하수량이 많아지는 것을 볼 수 있다.

- 오염물질 역시 고지대에서 하천으로 수직형태로 이동하며, 매몰지를 중심으로 고저차가 높은 지점의 경우 타지점에 비하여 오염물질 이동이 빠른 것을 볼 수 있다.

- 하천지형 매몰지의 경우, 하천과 주변 고지대를 중심으로 수직 방향으로 관측정을 설치하고, 특히 고저차가 높다고 판단되는 지점을 중심으로 설치하는 것이 오염물질 관측에 유리할 것으로 판단된다.

○서현리 : 산지지형 특성 대표 지점

- 서현리 지점의 지하수는 각 지점 등고선의 수직 방향으로 지하수가 이동하면서 계곡을 중심으로 일차적으로 모인 뒤 다시 저지대로 재이동 하는 특성을 보임.

- 오염물질의 경우 계곡을 중심으로 이동하는 특성을 보이고 있으나, 매몰지를 기준으로 고저차가 높을 경우 해당 지점의 오염물질 이동이 상대적으로 빠르게 나타난다.

- 산지지형 매몰지의 경우 계곡 중심부의 하단에 관측정을 설치하고, 매몰지위치가 계곡 한쪽으로 치우쳐서 상대적으로 높은 고저차가 발생하거나, 계곡 좌우의 고저차가 많은 경우 등고선의 수직 방향으로 추가 관측정을 설치하는 것이 오염물질 관측에 유리할 것으로 판단된다.

<표 71>은 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 중 수질오염물질의 배출허용기준을 보여주고 있다. 본 연구에서는 오염물질 이동 특성 분석 시 수질오염물질 배출허용기준을 고려하여 나지역의 생물화학적 산소요구량인 80mg/L 을 기준으로 오염물질 이동 특성을 살펴보았다. 분석 결과 오염물질이 발생할 경우 각 지점별 주 지하수 흐름 방향을 기준으로 벽체에서 5m 떨어진 지점에서는 1일 전후로 BOD농도 80mg/L 침출수가 관측되고, 10m 떨어진 지점에서는 1~3일, 20m 떨어진 지점에서는 3~20일 이내에 관측되는 것으로 평가되었다.

<표 70> 침출수 방지공법(Sheet pile) 적용 전 지역별 침출수 농도분석 결과

위치	관측정 위치		침출수 농도 80ppm의 침투일자 (day)	1년후		3년후		
	벽체와 의 거리 (m)	방향		농도 (ppm)	영향범위 (80ppm)	농도 (ppm)	영향범위 (80ppm)	
금파리	5	동	5	12,693	동: 65m	15,727	동: 70m	
		서	1	36,545		37,090		
		남	10	13,045		13,522		
		북	30	4,565	6,629	서: 407m		
	10	동	15	8,181	서: 203m		10,586	
		서	3	34,615		35,302		
		남	30	4,506		5,163	남: 28m	
	20	북	90	1,349	남: 30m	2,311		
		동	50	2,950		4,221		
		서	10	26,703		북: 36m	28,169	북: 43m
		남	120	662			982	
	북	365	89	89	250			
대두서리	5	동	1	36,597	동: 46m	38,351	동: 53m	
		서	1	32,409		35,321		
		남	3	14,210		14,961		
		북	3	13,588	14,794	서: 212m		
	10	동	3	21,314	서: 138m		22,259	
		서	3	26,353		24,311		
		남	30	7,013		8,235	남: 132	
	20	북	15	8,384	남: 43m	8,851		
		동	15	6,939		8,316		
		서	10	15,164		북: 70m	17,401	북: 96
		남	150	974			1,391	
	북	365	137	137	298			
서현리	5	동	1	31,650	동: 79m	31,680	동: 96m	
		서	1	37,031		38,066		
		남	1	23,507		24,796		
		북	1	21,490	18,614	서: 225m		
	10	동	1	23,115	서: 188m		22,799	
		서	3	27,932		27,381		
		남	3	14,738		15,799	남: 60m	
	20	북	3	8,163	남: 51m	9,025		
		동	3	11,611		11,977		
		서	5	18,659		북: 42m	18,357	북: 51m
		남	10	4,017			4,234	
	북	20	2,738	2,738	3,301			

<표 71> 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률

[별표 13] <개정 2012.1.19>

수질오염물질의 배출허용기준(제34조 관련)

1. 지역구분 적용에 대한 공통기준

가. 제2호 각 목 및 비고의 지역구분란의 청정지역, 가지역, 나지역 및 특례지역은 다음과 같다.

- 1) 청정지역 : 「환경정책기본법 시행령」 별표 1 제3호에 따른 수질 및 수생태계 환경기준(이하 "수질 및 수생태계 환경기준"이라 한다) 매우 좋음(Ia)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 2) 가지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 좋음(Ib), 약간 좋음(II)등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 3) 나지역 : 수질 및 수생태계 환경기준 보통(III), 약간 나쁨(IV), 나쁨(V) 등급 정도의 수질을 보전하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 정하여 고시하는 지역
- 4) 특례지역 : 환경부장관이 법 제49조제3항에 따른 공동처리구역으로 지정하는 지역 및 시장·군수가 「산업입지 및 개발에 관한 법률」 제8조에 따라 지정하는 농공단지나, 「자연공원법」 제2조제1호에 따른 자연공원의 공원구역 및 「수도법」 제7조에 따라 지정·공고된 상수원보호구역은 제2호에 따른 항목별 배출허용기준을 적용할 때에는 청정지역으로 본다.

다. 정상가동 중인 공공하수처리시설에 배수설비를 연결하여 처리하고 있는 폐수배출시설에 제2호에 따른 항목별 배출허용기준(같은 호 나목의 항목은 해당 공공하수처리시설에서 처리하는 수질오염물질 항목만 해당한다)을 적용할 때에는 나지역의 기준을 적용한다.

2. 항목별 배출허용기준

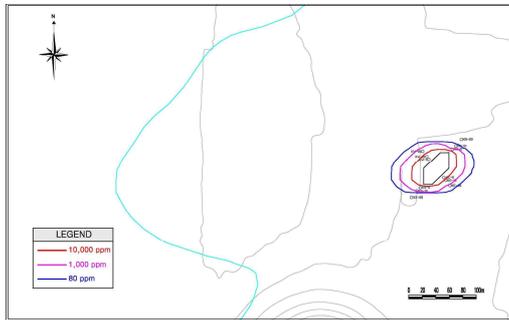
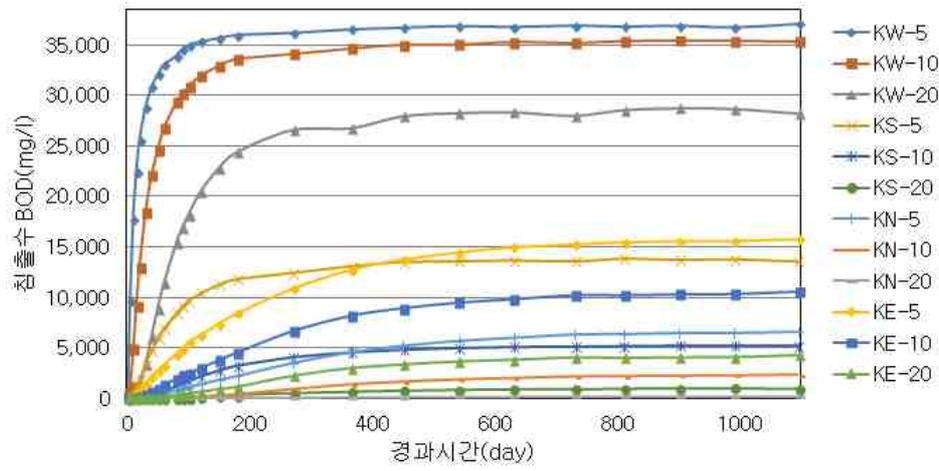
가. 생물화학적산소요구량· 화학적산소요구량· 부유물질량

대상 구분	1일 폐수배출량 2천 세제곱미터 이상			1일 폐수배출량 2천 세제곱미터 미만		
	항목	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)	부유 물질량 (mg/L)	생물화학적 산소요구량 (mg/L)	화학적 산소요구량 (mg/L)
지역구분						
청정지역	30 이하	40 이하	30 이하	40 이하	50 이하	40 이하
가지역	60 이하	70 이하	60 이하	80 이하	90 이하	80 이하
나지역	80 이하	90 이하	80 이하	120 이하	130 이하	120 이하
특례지역	30 이하	40 이하	30 이하	30 이하	40 이하	30 이하

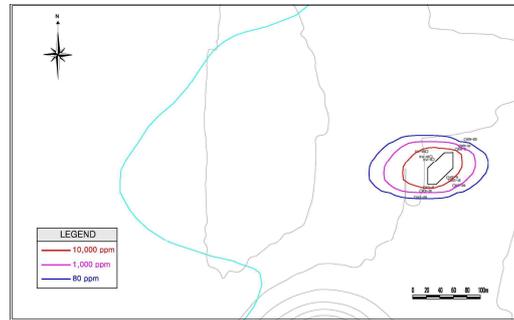
비고

1. 하수처리구역에서 「하수도법」 제28조에 따라 공공하수도관리청의 허가를 받아 폐수를 공공하수도에 유입시키지 아니하고 공공수역으로 배출하는 폐수배출시설 및 「하수도법」 제27조제1항을 위반하여 배수설비를 설치하지 아니하고 폐수를 공공수역으로 배출하는 사업장에 대한 배출허용기준은 공공하수처리시설의 방류수 수질기준을 적용한다.
2. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제6조제2호에 따른 관리지역에서의 같은 법 시행령 별표 20 제1호차목 및 별표 27 제2호타목(별표 20 제1호차목에 따른 공장만 해당한다)에 따른 공장에 대한 배출허용기준은 특례지역의 기준을 적용한다.

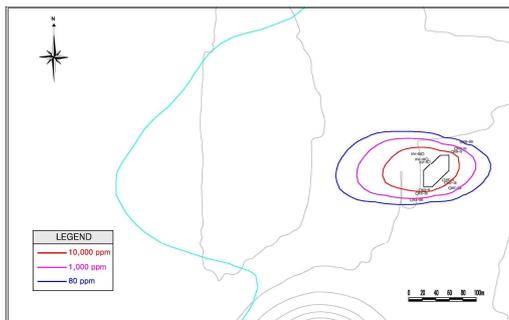
① 금파리 지역의 관측공별 침출수 농도변화



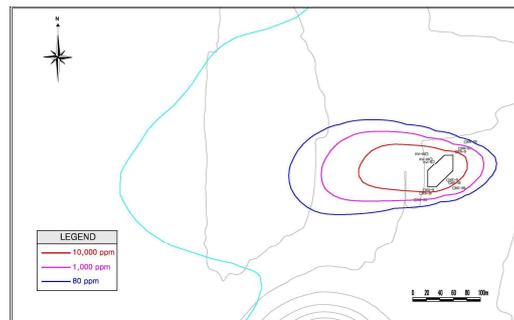
30일 경과 후



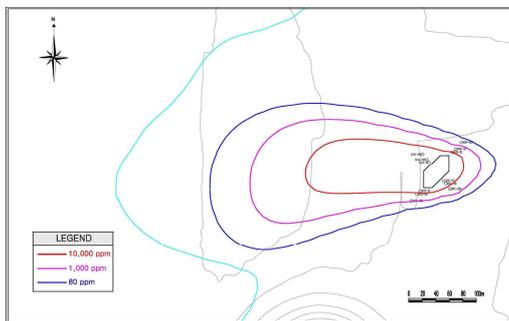
90일 경과 후



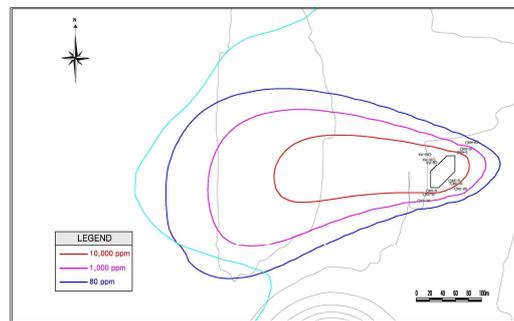
180일 경과 후



365일 경과 후

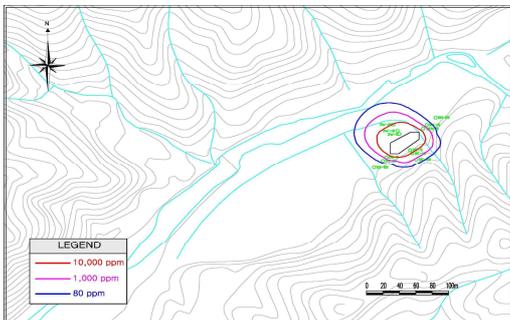
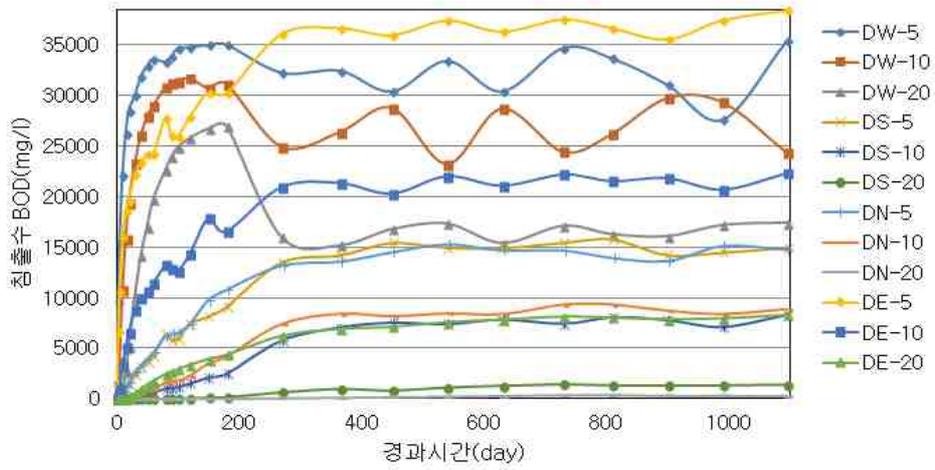


730일 경과 후

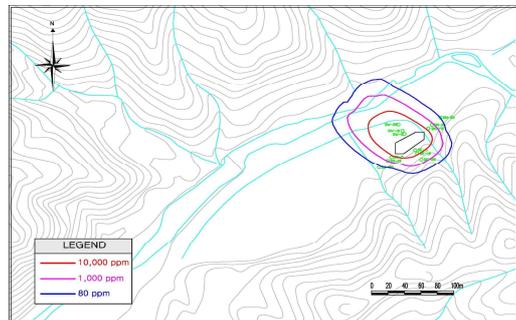


1095일 경과 후

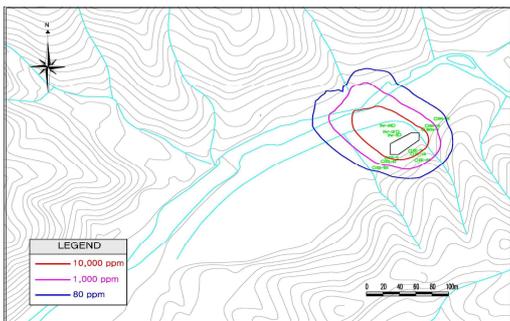
② 대두서리 지역의 관측공별 침출수 농도변화



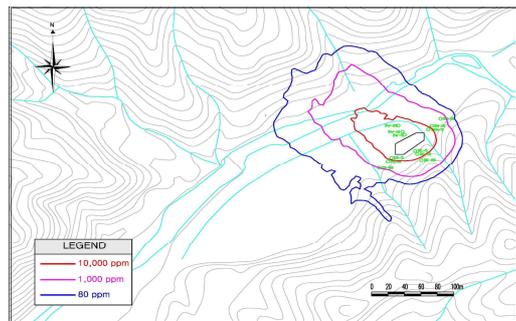
30일 경과 후



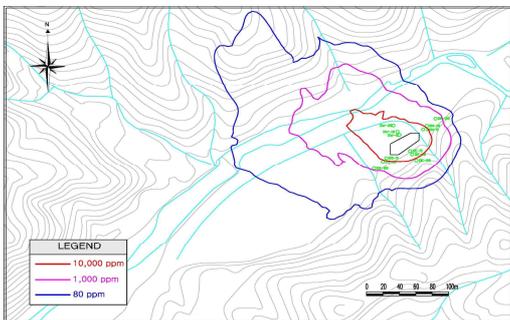
90일 경과 후



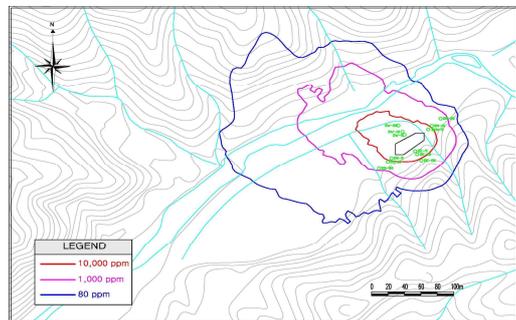
180일 경과 후



365일 경과 후

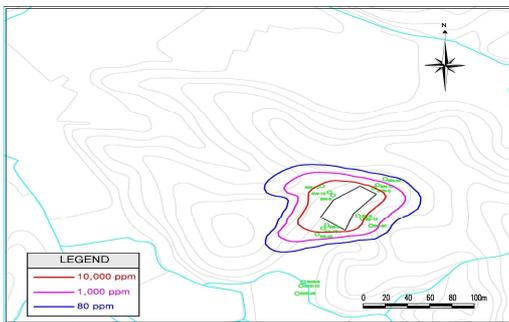
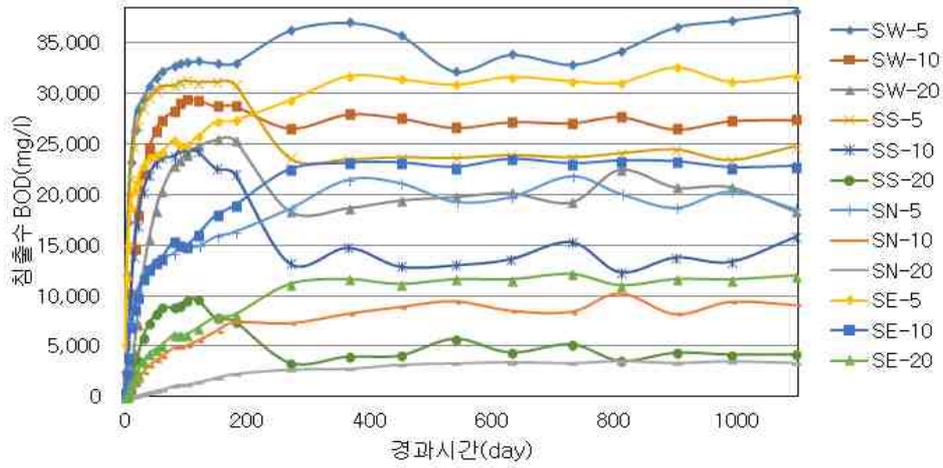


730일 경과 후

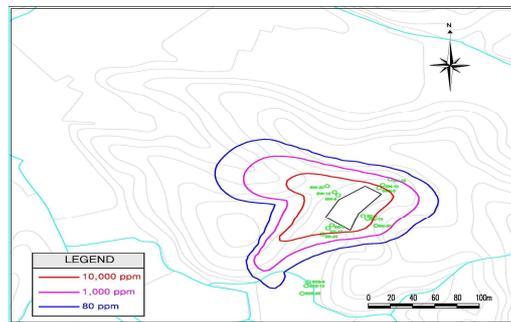


1095일 경과 후

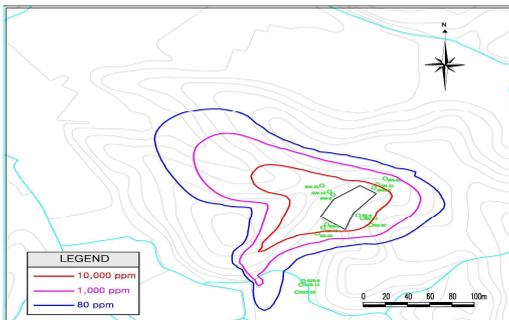
③ 서현리 지역의 관측공별 침출수 농도변화



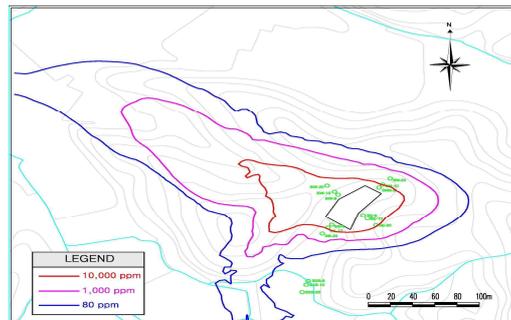
30일 경과 후



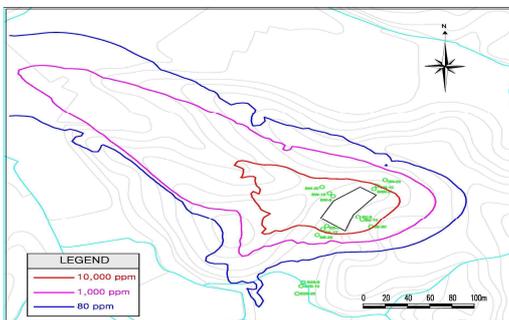
90일 경과 후



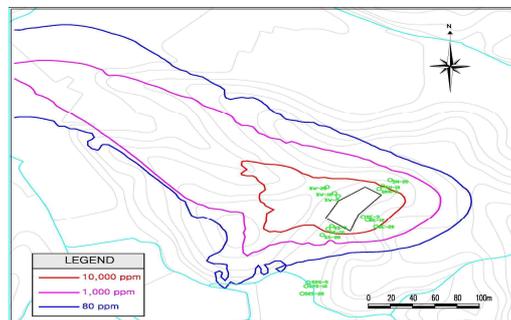
180일 경과 후



365일 경과 후



730일 경과 후

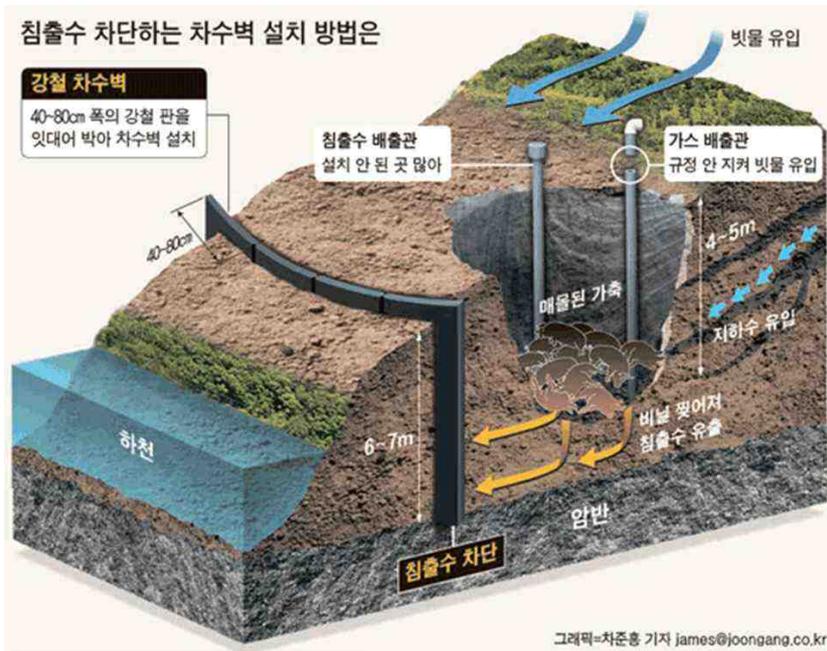


1095일 경과 후

(5) 침출수 확산방지공법 적용 및 검토결과

(가) 침출수 확산방지공법의 종류

매몰지가 경사면이나 하천변에 설치된 경우 강우 발생시 매몰지 붕괴 및 유실과 침출수 유출에 따라 하류부가 오염되거나 하천을 통해 상당한 지역에 구제역균 및 침출수의 영향이 나타날 수 있으므로 차단벽(옹벽 또는 차수벽)과 배수로를 설치하여 강우에 의해 매몰지가 유실되는 것을 막아야 한다. 침출수 지하유출에 따른 오염지하수 확산을 방지하기 위한 차수벽(containment barrier)의 기능은 침출수 유출의 차단, 수리학적 흐름을 최소화하거나 또는 침출수 이동의 지체/처리를 도모할 수 있도록 현재 흐름에 수직으로 차단층을 형성한다(그림 163).



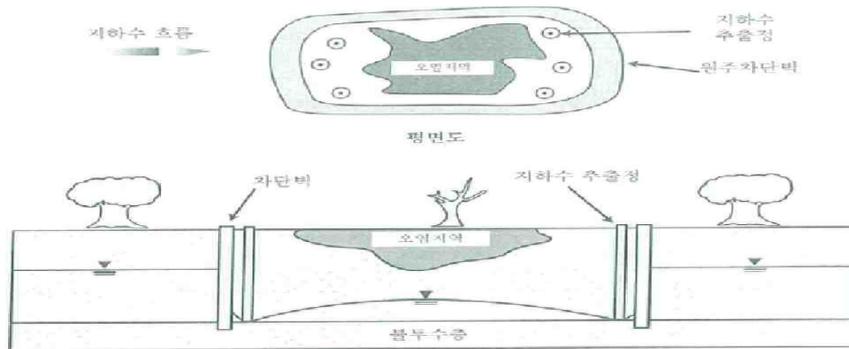
<그림 163> 침출수 차단 차수벽 설치 예시도(중앙일보)

일반적으로 사용하는 침출수 이동차단에 적용하는 차단벽 설치공법은 다음과 같다(토양지하수환경, 2006).

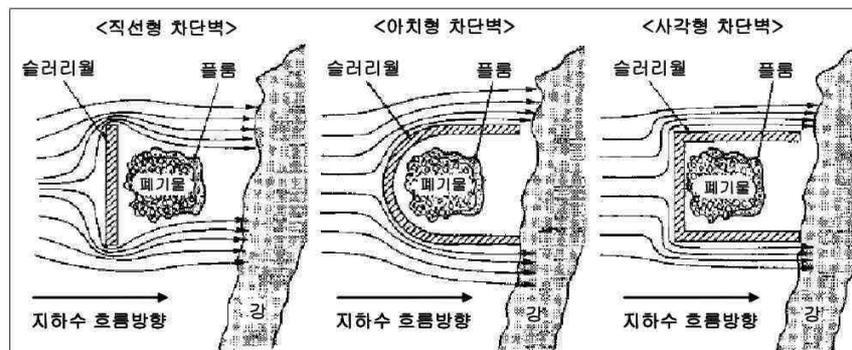
① 슬러리 월(slurry wall)

낮은 투수성을 가지 토양에 다른 첨가제 등의 오염물질 거동을 제어하는 물질을 지중 트렌치에 채워 넣는 공법이다. 투수계수가 다소 높은 지역에 유용하며, 지하수의 흐름을 우회시킴으로써 오염되지 않은 지하수를 오염된 지역으로부터 격리시키고 지하로의 침출수 흐름을 제어하고, 오염물질의 분해 또는 지체 효과를 증진시킨다. 슬러리월의 구성은 수평, 수직 배열로 구분될 수 있다. 설계목적에 따라 오염원 전단에 위치하는 경우는 지

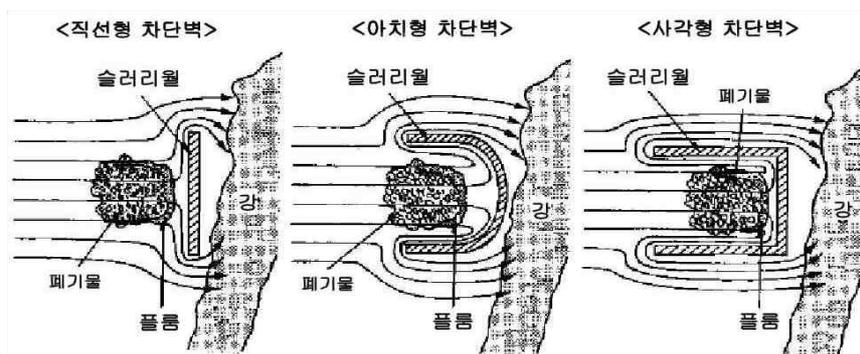
하수에 의한 오염물질의 영향을 최소화 할 수 있으며, 후단에 위치하는 경우는 오염물질 플룸의 이동을 감소시키고 분해를 촉진할 수 있으나 일반적으로 슬러리월은 오염원을 완벽하게 둘러싸는 형태를 가진다.



(a) 전방향 지중차단벽



(b) 상류 슬러리월

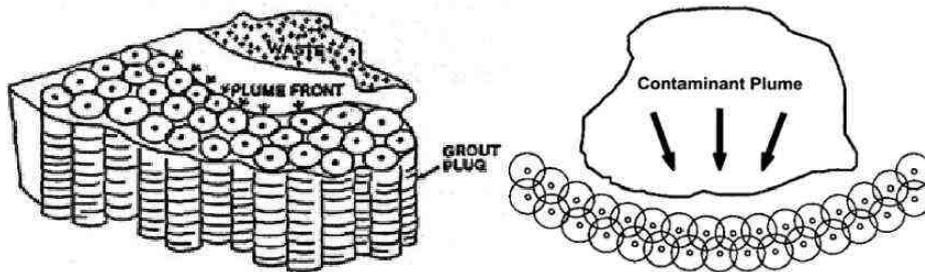


(c) 하류 슬러리월

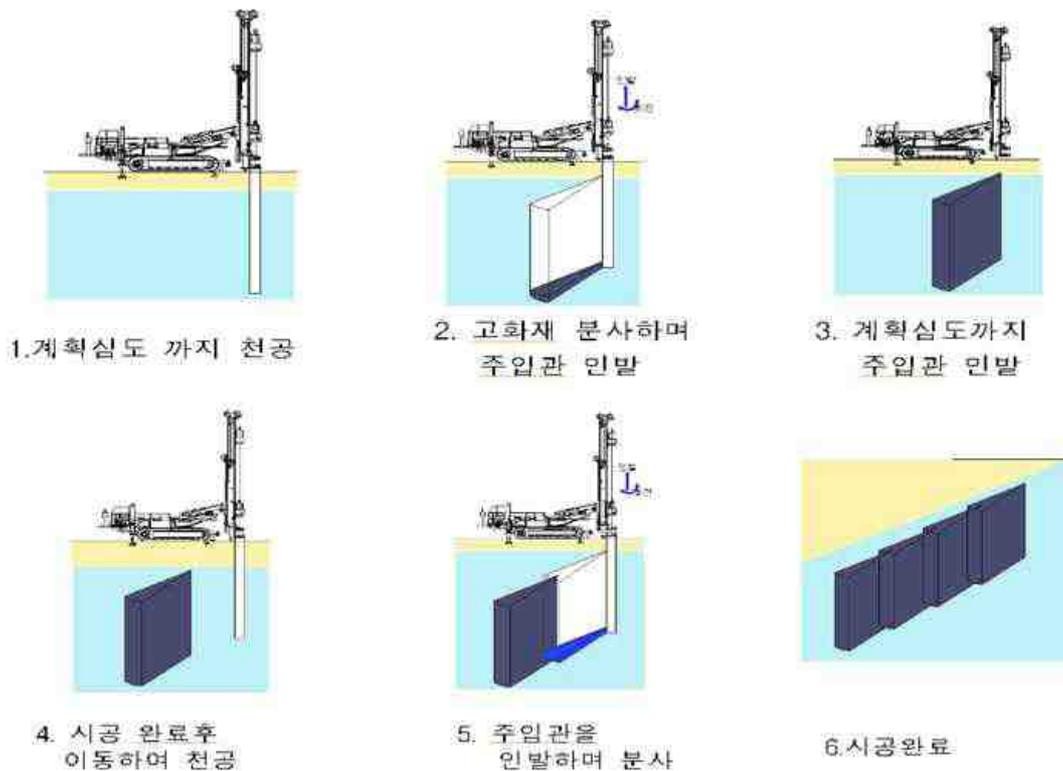
<그림 164> 폐기물 및 오염물질 플룸의 차단을 위한 슬러리월(Reddi and Inyang, 2000)

② 그라우트 커튼(grout curtains)

지중에 공극을 채울 수 있는 물질들을 땅속에 양수해 넣어서 침출수의 흐름속도를 감소시키는 차단벽으로 그라우트 혼합물은 파이프를 통하여 압력으로 주입된다. 유효영향반경은 주입되는 압력과 주입시간, 그라우트의 성질, 지중 토양의 수리학적 특성에 좌우되며 주입지점은 인접주입지점 사이에 틈이 생기지 않도록 선정해야 한다. (경북 안동시 적용)



<그림 165> 오염물질 플룸의 차단을 위해 설계된 그라우트 커튼의 형태 (Reddi and Inyang, 2000)



<그림 166> 그라우트 커튼을 이용한 차수벽 설치 모식도 (N.R.P공법)

③ 스틸시트 파일링(steel sheet piling)

강제로 제작된 강널말뚝을 진동해머로 지반에 타입하여 연속벽체를 형성하여 지중의 침출수의 흐름을 감소시키는 차단공법으로 원지반토의 굴착량을 최소화하면서 공사를 빠르게 진행할 수 있는 장점을 가지지만 지반의 토질조건에 영향을 많이 받으며, 부재간의 연결부분에서 차수성을 확보하는 방안이 문제점으로 대두되고 있다. 연결부 누출 감소를 위해 시멘트-벤토나이트와 함께 사용하기도 하며, 연결부에 지수재를 도포하여 차수성을 확보하기도 한다. (경기도 평택시 적용)



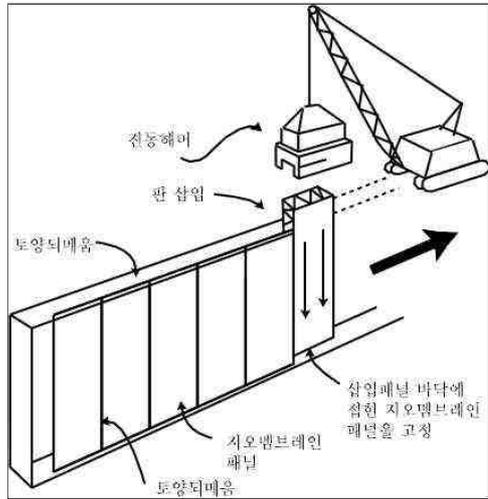
<그림 167> 스틸시트 파일링 시공 사진(<http://cafe.daum.net/soilenviro>)

④ 진동빔 차단벽(vibrating beam)

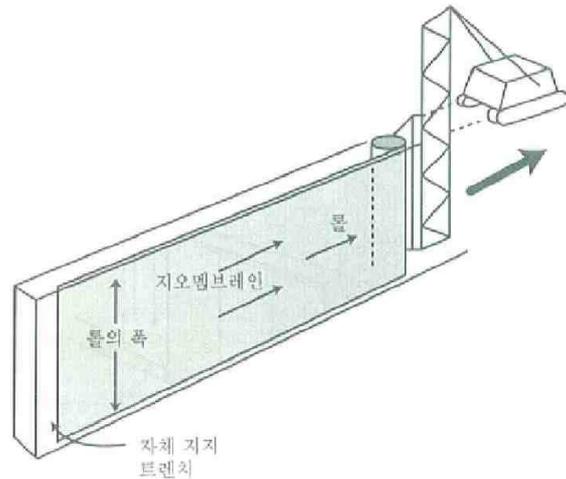
진동빔을 사용하여 지중에 건설할 수 있는 차단벽으로 부재간 슬러리를 채우기 위한 트렌치를 굴착하지 않는 공법이다. 이 공법에서 빔은 그라우트 노즐에 붙게 되며, 진동 파일 드라이버(vibratory pile driver)와 연결된다. 빔은 땅속을 진동시켜 구멍을 만들고 나중에 빔을 제거한 후에 그라우트로 채워지게 되어 연속적인 차단벽이 형성된다. 장점은 굴착공정이 없기 때문에 보건과 안전에 대한 고려와 단가가 잠재적으로 감소된다.

⑤ 얇은막벽 차수공법(HDPE 등)

토목합성수지의 초저투수능 차수기능을 갖는 HDPE를 이용하여 차수벽을 설치하는 기술이다. 시공방법은 슬러리 공법으로 개착식 트렌치를 굴착하고 트렌치 안에 수직으로 HDPE 시트를 설치하는 방법과 진동빔 공법을 이용하여 설치하는 방법이 있다. HDPE 시트 양쪽 가장자리에 스틸시트파일과 유사한 연결부가 접합되어 있어 HDPE 시트를 같은 폭의 강철판에 부착한 후 조인트를 통해 삽입하여 벽체의 바닥까지 끌어내려 고정한다. 연결부에는 물에 접촉할 때 팽창하는 지수재를 삽입하여 누수를 방지한다.



<그림 168> 진동벽 차단벽 공법



<그림 169>얇은막벽 차수공법

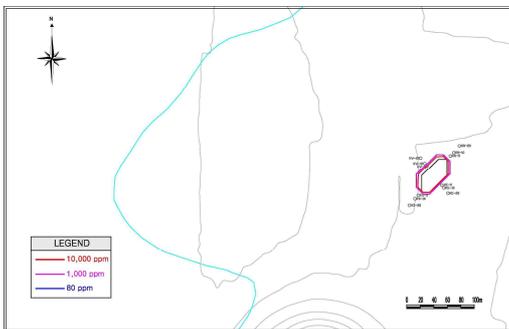
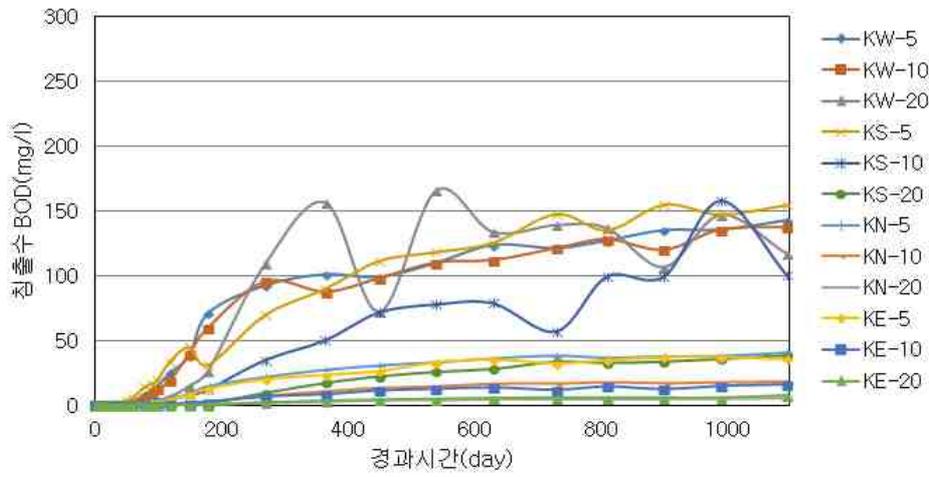
(나) 적용 결과

본 연구에서는 침출수 확산 방지 공법으로 매몰지 주변 4방향으로 투수계수가 10^{-8}cm/s 이하인 차수벽을 설치 했을 경우에 대한 매몰지 주변 오염물질 이동 특성을 분석하였다.

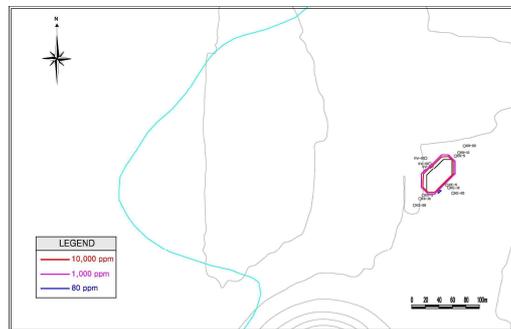
적용결과 오염물질이 발생할 경우 각 지점별 주 지하수 흐름 방향을 기준으로 벽체에서 5m 떨어진 지점에서는 40일후로 BOD농도 80mg/L 침출수가 관측되고, 10m 떨어진 지점에서는 60일, 20m 떨어진 지점에서는 80일이후에 부분적으로 BOD농도 80mg/L 침출수가 관측되는 것으로 분석되었다.

차수벽을 설치더라도 차수벽 재질 및 시공의 한계로 지하수 및 침출수의 이동을 100% 차단할 수는 없지만, 방지공법을 적용했을 경우 침출수의 영향 반경이 5배 이상(본 연구 케이스의 경우) 줄어드는 것으로 평가되었고, 주 지하수 흐름 방향이 아닌 지점으로는 오염 물질 이동의 거의 없는 것으로 분석되었다.

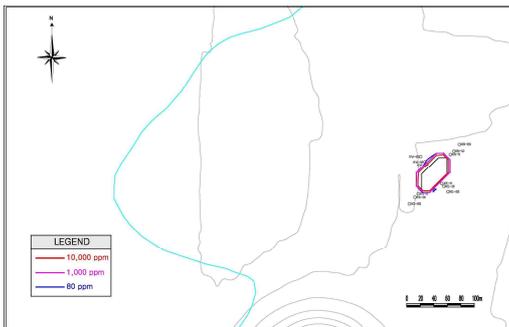
① 금파리 지역의 관측공별 침출수 농도변화



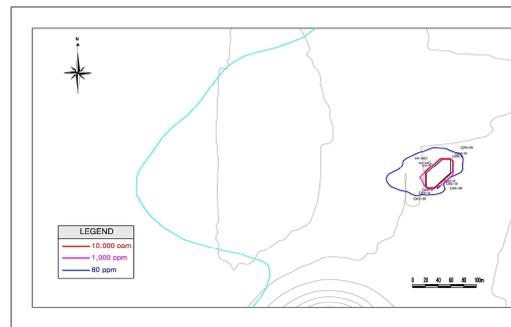
30일 경과 후



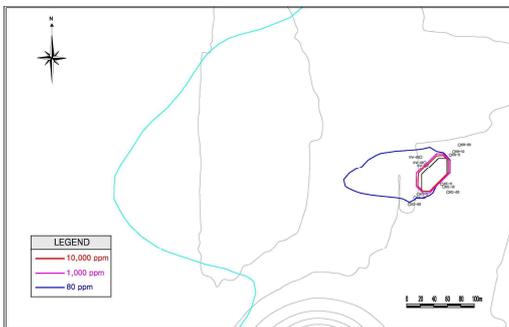
90일 경과 후



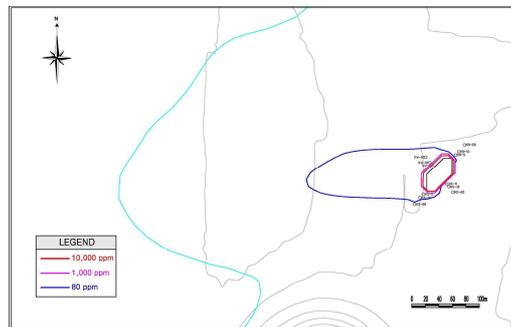
180일 경과 후



365일 경과 후

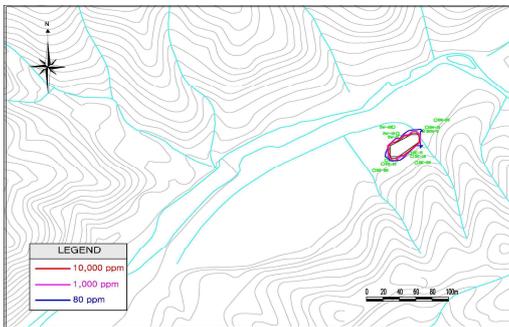
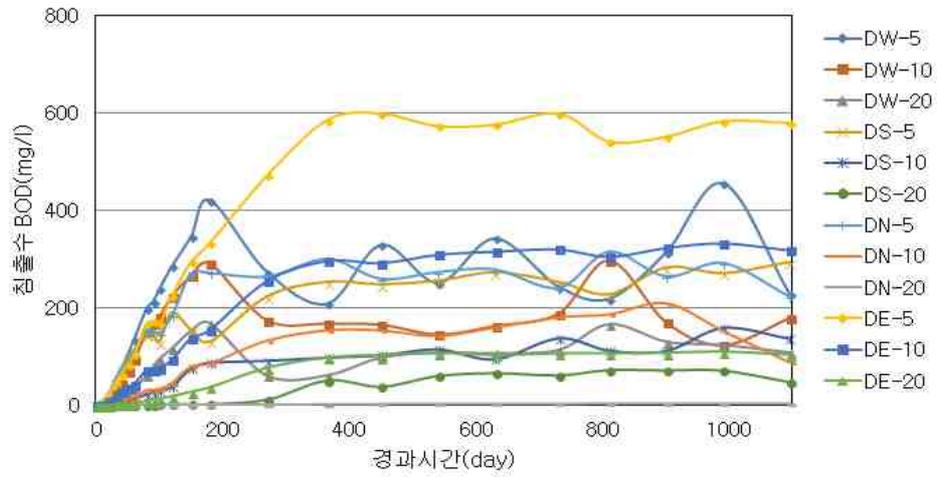


730일 경과 후

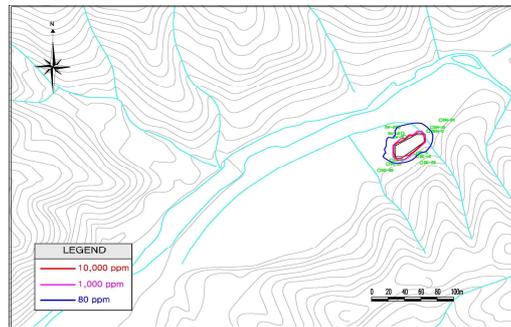


1095일 경과 후

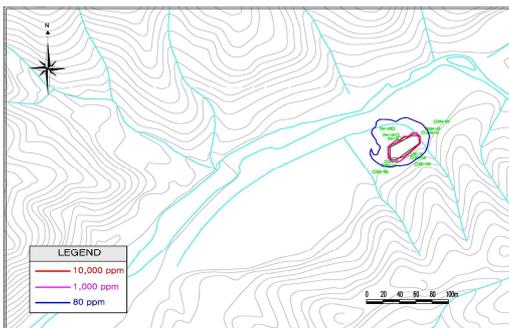
② 대두서리 지역의 관측공별 침출수 농도변화



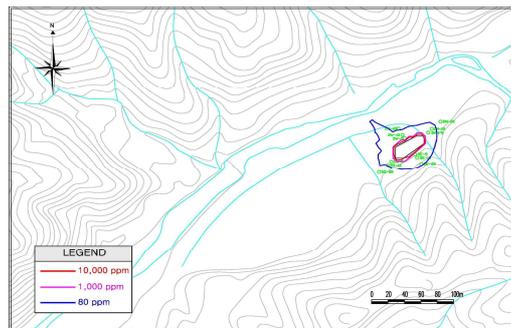
30일 경과 후



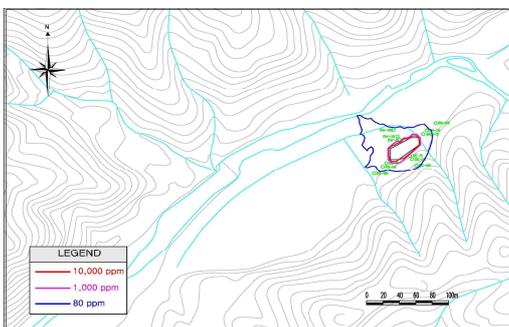
90일 경과 후



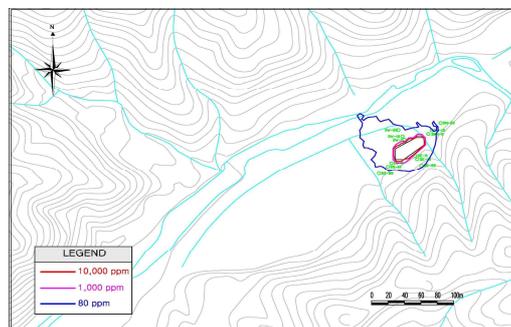
180일 경과 후



365일 경과 후

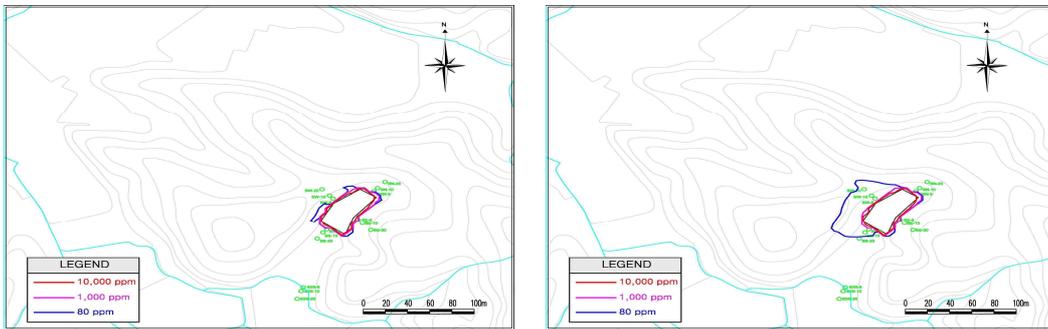
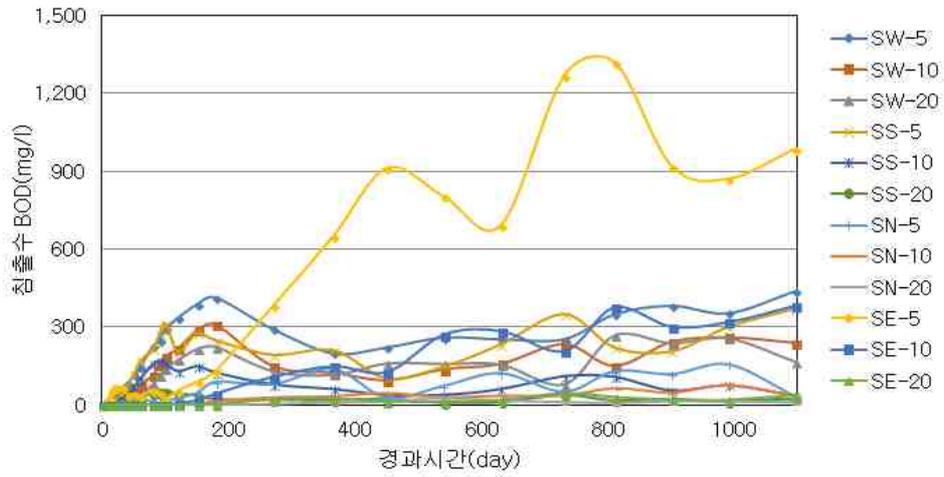


730일 경과 후



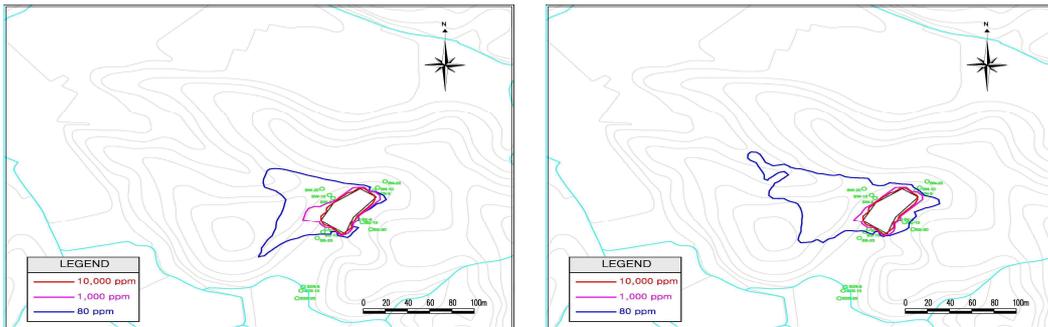
1095일 경과 후

③ 서현리 지역의 관측공별 침출수 농도변화



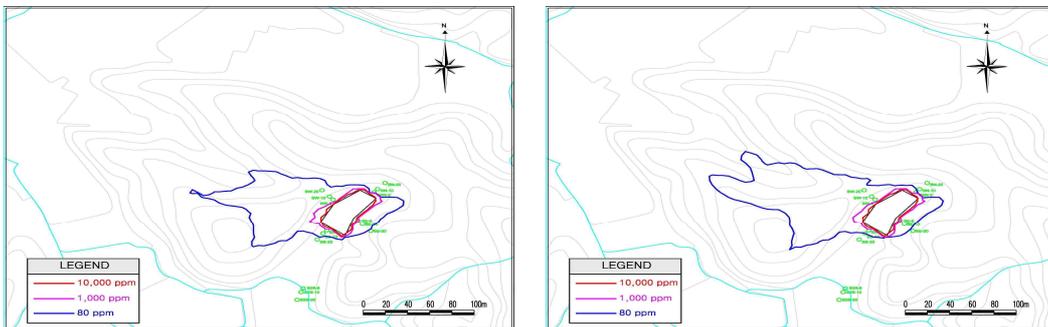
30일 경과 후

90일 경과 후



180일 경과 후

365일 경과 후



730일 경과 후

1095일 경과 후

④ 침출수 방지공법(Sheet pile) 적용 후 지역별 침출수 농도분석 결과

위치	관측정 위치		침출수 농도 80ppm의 침투일자 (day)	1년후		3년후		
	벽체와 의 거리 (m)	방향		농도 (ppm)	영향범위 (80ppm)	농도 (ppm)	영향범위 (80ppm)	
금파리	5	동	-	23	동: 20m	36	동: 7m	
		서	270	101		142		
		남	365	90		155		
		북	-	27	40			
	10	동	-	9	서: 58m	16	서: 172m	
		서	270	87		137		
		남	630	50		100		
	20	북	-	10	남: 12m	18	남: 11m	
		동	-	3		8		
		서	270	156	북: 19m	117		
		남	-	17		39		
		북	-	3		5		
대두서리	5	동	50	584	동: 16m	578	동: 13m	
		서	50	208		228		
		남	50	252		293		
		북	50	300		222		
	10	동	120	296	서: 21m	318	서: 40m	
		서	60	166		178		
		남	180	97	남: 13m	136		
		북	180	154		87		
	20	동	365	97	북: 17m	103	북: 40m	
		서	100	60		107		
		남	-	49		46		
		북	-	1		4		
서현리	5	동	150	649	동: 11m	987	동: 12m	
		서	40	198		437		
		남	50	211		373		
		북	365	139		32		
	10	동	270	149	서: 85m	383	서: 131m	
		서	70	124		240		
		남	60	61		남: 8m		35
		북	-	33				36
	20	동	-	25	북: 16m	40	남: 10m	
		서	80	115		165		
		남	-	17		23		
		북	-	9		11		

7. 관측정 최적화 설치방안과 평가

가. 기존 가축 매몰지 관측정 설치기준

본 절의 목적은 가축 매몰지 관측정 최적화 설치 방안 제시하고 평가 하는 것에 있다. 이를 위하여 우선 기존의 가축 매몰지 관측정 설치 기준을 검토하였다. 다음은 “가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)”와 “구제역 긴급행동지침(농림수산식품부, 2012)”내용 중 관측정 설치 기준에 관한 내용들이다. 자세한 내용은 부록 II, III에 수록되어 있다.

(1) 가축매몰지역 환경조사지침 관측정 설치 기준

(가) 근거

- 가축전염병예방방법 시행규칙 [별표5> 2. 매몰기준에 따른 관측정 수질측정 등에 관하여 환경부장관이 정하는 사항을 규정한 것임

가축전염병예방방법 시행규칙 별표 5 제2호나목(2)(라) ‘관측정의 수질측정, 결과해석, 보고 및 통보 등에 관한 사항은 환경부장관이 농림수산식품부장관의 의견을 들어 정하는 바에 따르고, 관측정 수질측정 결과에 따른 이설 등 매몰지 조치사항은 농림수산식품부장관이 정하는 바에 따른다.’ (2012년 2월 8일)

(나) 관측정 수질측정

□ 안전 조치

- 바이러스 전파, 확산방지 등 안전대책 마련·시행 [AI·구제역 긴급행동지침(농식품부) 참고]
 - 시료채취 및 침출수 제거, 시료분석 등의 경우 관측정(관정)·시추공 주위 및 시료채취 용기·기계류 소독 조치, 업무담당자에 대한 바이러스 인체감염 방지조치
 - 시료분석 실험실 바이러스 오염방지대책 및 분석 완료 후 시료 안전폐기방안 마련·시행

□ 관측정 설치

- 관측정의 설치 시기
 - 매몰지 조성완료 후 방역에 지장이 없는 범위에서 신속히 관측정을 설치하고 수질측정을 실시(배경농도로 참고할 수 있도록 추진)
- 관측정의 설치
 - 매몰지 내부(유공관 활용), 지하수 흐름의 하류방향 이격거리 5m 이내 각 1개소

이상 설치(침출수 유출 추정 또는 확인되는 경우 매몰지 이격거리 40~50m 위치에 추가 설치)

- ※ 해당 위치에 관측정으로 활용 가능한 이용 중인 지하수 관정이 있는 경우에 활용
- 침출수 유출 판정에 필요한 경우, 매몰지 지하수 흐름방향 상류에 추가로 관측정을 설치하여 배경 농도를 활용

○ 관측정 구조 기본도

- 참조 : <그림 170>

※ 설치 목적에 지장이 없는 범위 내에서 관측정 구조, 규모 등의 변경 가능

※ 관측정 설치 자문의뢰 : 한국지하수수질보전협회, 한국지하수·지열협회, 한국환경공단, 한국농어촌공사, 한국지질자원연구원, 한국수자원공사 및 지하수 전문가 등

□ 조사항목(5개)

○ 염소이온, 암모니아성질소, 질산성질소, 총대장균군, 전기전도도

※ 필요시 pH, DO, 수온, T-N(총질소), TOC(총유기탄소) 등 추가

※ 침출수 배출 유공관의 경우 염소이온, 암모니아성질소, 질산성질소, 전기전도도 등으로 함(모니터링결과 3단계 해당 매몰지에 대한 전문가 분석 등에 활용)

□ 조사기간 및 횟수

○ 매몰 초기 1년까지 분기 1회, 2년~3년까지는 반기 1회 실시(필요시 조사기간 연장 실시)

- 가능한 신속히 관측정을 설치하고 매몰지 영향을 받지 않는 기간내에 최초 수질을 측정

○ 다만, 관측정 모니터링 결과 단계별 해석요령[별표]에 따라 추가로 조사 횟수, 조사항목 등을 수행

□ 시료채취방법

○ 시료 채취 전 관측정(시추공) 내 수위를 확인한 후 1회용 베일러 또는 소형 등속정량 펌프를 이용하여 시료를 채취

※ 소형 등속정량 펌프를 이용 할 경우 시료채취 전후 펌프 및 배관재 모두 깨끗하게 세척한 후 사용

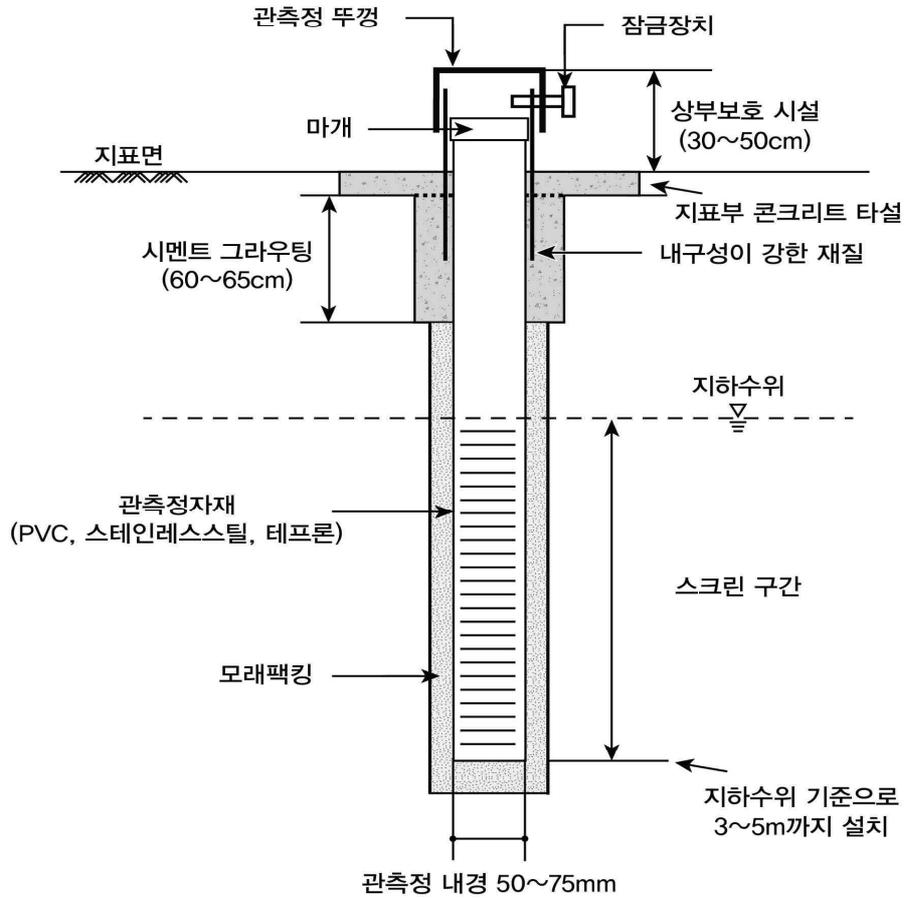
○ 시료채취용기는 1L용량 이상의 무균 폴리에틸렌 채수병 등을 사용

○ 측정항목 중 대기 접촉에 민감한 항목인 온도, 수소이온농도, 전기전도도, 용존산소량 등은 휴대용 측정기를 이용하여 현장에서 측정

○ 분석항목에 따라 현장에서 전처리한 후 시료의 교란이나 기포가 발생하지 않도록 주의하여 시료채취용기에 담아 0℃~4℃ 냉장상태로 실험실까지 운반

- 기타 시료의 채취 및 분석은 수질오염공정시험기준을 준용
- 시료분석결과 및 이격거리 등을 토대로 침출수 유출여부 판단

관측정 구조 기본도



* 시멘트 그라우팅은 우수 등이 유입되지 않도록 하여야 한다.

<그림 170> 현행 가축 매몰지 관측정 구조도

(다) 관측정 수질측정 결과해석 및 조치

결과해석

- 관측정 수질측정 결과는 단계별 해석요령[별표]에 따라 해석하여 침출수 유출 가능성 높은 단계, 침출수 유출 (약)의심 단계, 침출수 유출이 없는 단계 등 4단계로 구분
- ※ 필요한 경우 지하수 전문가 등에게 추가로 자문을 받아 관측정 수질측정결과의 해석에 활용

조치사항

- 단계별 해석요령에 따라 필요한 모니터링 강화, 침출수 수거 확대, 매몰지 이설 등 매몰지 관리 조치사항을 추가로 수행

(라) 관측정 수질측정 결과 보고

결과 보고

- 보고기관
 - 환경부(토양지하수과), 과학원(토양지하수연구과)에 보고
- 보고기한
 - 매분기 익월 말까지
- 보고양식
 - [별지 서식 2] 매분기 관측정 수질측정 및 결과해석, 조치사항 및 계획

수질측정결과 등 평가

- (종합분석 평가) 과학원에서는 지자체의 관측정 수질측정 및 결과 해석자료 등을 분석하고 필요시 전문가회의 등을 거쳐 종합평가한 결과를 환경부에 제출

(마) 관측정 수질측정 결과 통보

결과 통보

- 환경부장관은 지자체가 실시한 관측정 수질측정결과 및 평가결과 등을 농림수산식품부장관 및 해당 지자체에 통보

(2) 구제역 긴급행동지침 관측정 설치 기준

- 지자체장은 매몰지 조성완료 후 전문시공업체에 의뢰하여 매몰지 외부로 침출수 유출여부를 확인하기 위해 관측정을 설치한다.
- 관측정은 지자체장이 가축사체를 대규모로 매몰한 지점 등 침출수 유출로 인한 지하수오염 확산방지 등을 위해 필요하다고 판단되면 설치한다.
- 관측정은 매몰지 내부는 유공관을 활용하고, 매몰지 경계외부에서 5m이내의 떨어진 지점에 지하수 흐름의 하류방향에 깊이 10m 내외의 관측정을 설치한다.(직경 75mm, 스테인레스 스틸 또는 PVC 재질 등)
- 시장, 군수, 구청장은 매몰지 경계외부(5m이내)의 조사관정의 모니터링 검사에서 침출수 확산이 확인되는 경우 침출수 유출 방지, 침출수 정화 등 오염방지조치를 취하고, 매몰지와 40~50m 떨어진 위치에 조사관정을 추가 설치(깊이 10m 내외)하여 침출수 확산 여부를 검사한다.
- 기타 매몰지 사후관리와 관련 세부사항 등은 농림수산식품부의 “가축매몰지사후관리 기본지침”을 따른다.

(3) 법규별 관측정 설치 기준

각 법규별 관측정 설치 기준은 <표 72>와 같으며, 각 법규별 공통점은 다음과 같다.

- 지하수의 흐름을 고려하여 지하수 흐름의 상, 하류에 관측정 설치
- 오염물질의 유입을 감시 할 경우, 감시중점 위치를 관심대상의 상류에 위치
- 오염물질의 유출을 감시 할 경우 감시중점 위치를 관심대상의 하류에 위치
- 감시정(관측정)설치 전 수집된 많은 지질학적 자료와 수리지질학적 자료를 분석하여 지하수의 흐름과 토양의 특성을 고려
- 감시정(관측정)의 심도는 관심대상의 설치 심도에 따라 또는 오염원 유동 경로에 따라 가변적으로 설치
- 감시정의 내부 재질은 관심대상을 유지해야하는 기간을 고려하여 선정

<표 72> 법규별 설치기준

구분	내용
먹는물 관리법	<ul style="list-style-type: none"> - 상류구배 2개소, 하류구배 1개소 - 상, 하류로 10m 이상 이격 - 설치 심도는 취수정과 같거나 2/3이상으로 굴착
제주특별자치도 지하수 기본 조례	<ul style="list-style-type: none"> - 감시정 굴착심도는 해수면 아래 150m 까지 - 감시정 설치위치는 취수정의 상, 하류 방향 500m 내외 <ul style="list-style-type: none"> ※ 제주도의 대수층은 부유대수층을 제외하고 해수면 부근에서 지하수의를 형성 ※ 감시정을 취수정 상, 하류 500m 내외로 이격하는 이유는 제주도의 지하수 흐름이 육지에 비해 현저히 빨라 육지와 같이 감시대상과 가까운 거리에 감시정이 위치할 경우 효과적인 감시를 할 수 없음
수도권 매립지 감시정 설치 및 운영방안	<ul style="list-style-type: none"> - 오염 사실의 감지 시 적당한 대응조치를 취할 수 있도록 충분한 거리를 유지 - 오염 물질의 지하 침투 시 가급적 빠른 시일내에 감지가 가능 - 지하수 감시정은 상류에 1개소 이상, 하류에 2개소 이상 설치
위생매립지 시설 시방서	<ul style="list-style-type: none"> - 매립장 주변(상, 하류 구간)에 설치하여 침출수로 인한 지하수의 오염 여부를 검사하기 위한 지하수 오염 검사정 설치공사에 적용 - 설치 위치별 설치 심도는 토층, 퇴적층, 풍화대(풍화토) 및 풍화암 등 4개 층에 설치하는 것을 원칙으로 하되, 각 층별 유공부 설치 심도는 기존 조사자료이 최인접 주상도를 기준으로 하여 추정 적용되어 있으므로 현장설치를 위한 굴착시의 주상도를 기준으로 설치 지점을 확정함 - 각 층별 유공부분은 각 층 최소 확인 심도에서 1m 하부를 시점으로 하여 1m를 유공부로 계획되어 있으므로 이를 기준으로 굴착시의 주상도를 기준하여 최종 확정 - 설치 위치별 설치 심도에 적용된 최인접 주상도의 조사시 지반고(GL. -m)와 설치 예정위치의 현 지반고를 정확히 비교하여 폐기물 매립층 등은 제외하고 설치

나. 관측정 설치기준 문제점

- 관측정의 설치 위치를 지하수의 흐름방향을 고려하여 설치하도록 되어 있으나 매몰지의 위치가 지형의 구배를 확인할 수 없는 위치일 경우 지하수의 흐름방향을 판단하기 어렵다.
- 매몰지의 규모가 클 경우, 1~2개의 관측정으로 침출수를 효과적으로 관측할 수 없다.
- 매몰지와 5m 이격하도록 되어 있는 관측정의 위치는 적절하다고 판단되나 1개소만을 설치할 경우 Channel 형태로 유출되는 침출수를 효과적으로 관측할 수 없다.
- 매몰 이후 침출수의 유출이 의심되는 것에서 기존의 배경수질에 대한 자료가 없어 정확한 침출수의 유출을 확인할 수 없다.
- 관측정 설치 기준의 경우 지하수의 수질보전 등에 관한 규칙 [별표 3] 지하수 오염 관측정의 설치방법 및 수질측정의 주기·방법의 별표 2 제2호 가목의 시설 기준들을 따라하고 있는데, 해당 기준과 마찬가지로 상부 Grouting 구간과 하부 Filter 설치구간의 기준이 명시되어 있지 않다.
- 관측정의 깊이를 10m 내외로 규정 짓고 있으나, 이는 지하수위를 고려하지 않은 기준으로 관측정의 깊이를 지하수의 수위에 기준을 두어야 한다.
- 관측정 설치 현황 : 전국 가축 매몰지 4,799개소 중 1,568개소(32.7%)만 설치되었으며, 일부 지하수 흐름방향과 무관하게 설치되어 있다.
- 중규모이상의 매몰지에 대해서는 관측정 설치를 의무화해야 하고, 관측정 설치 위치가 침출수 유출을 감지할 수 있도록 지하수 전문기관의 지도 감독하에 설치되어야 한다.
- 가축 매몰지 지침 전반적으로 매몰지 사후 관리 및 대책에 대한 내용이 부족하듯이, 관측정 사후 관리에 대한 지침이 부족하다.

다. 관측정 설치기준(안) 제안

본 연구에서는 구제역 매몰지 입지유형 분석 자료 및 「가축 매몰지의 수리 지질학적 현황평가 및 환경관리 지침 개선(2011)」, 「구제역 긴급행동지침(2012)」, 「가축매몰지 환경조사지침(2012)」 등을 참조하여 다음과 같이 가축 매몰지 관측정 설치 기준을 제안하고자 한다.

(1) 관측정 설치 목적

- 관측정의 설치 목적 : 구제역으로 인해 대규모 가축을 살처분한 후 사체들을 매몰하게 되는데, 매몰지역에서 침출수가 발생하여 유출될 경우 주변 지하수계가 오염되게 된다. 주변 지하수계의 오염 여부를 조기에 관측, 대응하기 위하여 매몰지 인근에 관측정을 설치, 운영한다.
 - 지자체장은 매몰지 조성완료 후 가축사체를 대규모로 매몰한 지점 등 침출수 유출로 인한 지하수오염 확산방지 등을 위해 필요하다고 판단되면 전문시공업체에 의뢰하여 매몰지 외부로 침출수 유출여부를 확인하기 위해 관측정을 설치하고 적정한 주기로 수질 및 지하수위를 모니터링하고 문제가 발생할 경우 적절한 대책을 수립한다.
- ※ 관측정 설치 자문의뢰 : 한국지하수수질보전협회, 한국지하수·지열협회, 한국환경공단, 한국농어촌공사, 한국지질자원연구원, 한국수자원공사 및 지하수 전문가 등

(2) 관측정 설치 기준

(가) 지하수 흐름방향 예측

- ① 지형에 따른 지하수 흐름방향 예측
- ㉔ 매몰지 주변의 지형 및 하천 현황 파악
 - 매몰지 중심으로 주변 지형현황을 파악한다.
 - 지하수 흐름에 영향을 주는 산, 구릉, 하천, 도로 등의 위치를 파악한다.
- ㉕ 거시적 지하수 흐름방향 예측
 - 매몰지 인근 지형형태에 따라 일반적인 지하수 흐름을 예상하여 지하수 흐름의 상류와 하류를 결정한다.
 - 일반적인 지하수 흐름 : 고지대 → 저지대, 산 → 평지(또는 하천), 평지 → 하천
 - 지하수의 흐름은 층적층의 경우 중력배수에 의한 경사흐름이 주를 이루고 있으므로

매몰지의 지형 경사를 참조하여 지형이 높은 곳을 상류, 지형이 낮은 곳을 하류로 선정한다.

- 매몰지 인근에 하천의 지류가 있을 경우 지하수는 일반적으로 하천을 향하여 수직 방향으로 유입되게 된다. 따라서 매몰지를 기준으로 하천에 대해 수직으로 유입되는 아래쪽 방향이 하류, 그 반대방향이 상류가 된다.
- 지형의 구배를 확인 할 수 없는 경우 지형도상 산지가 분포하는 쪽을 상류, 인근 하천이 위치한 방향을 하류로 선정한다.

㉔ 지하수 흐름방향에 대한 매몰지 유형구분

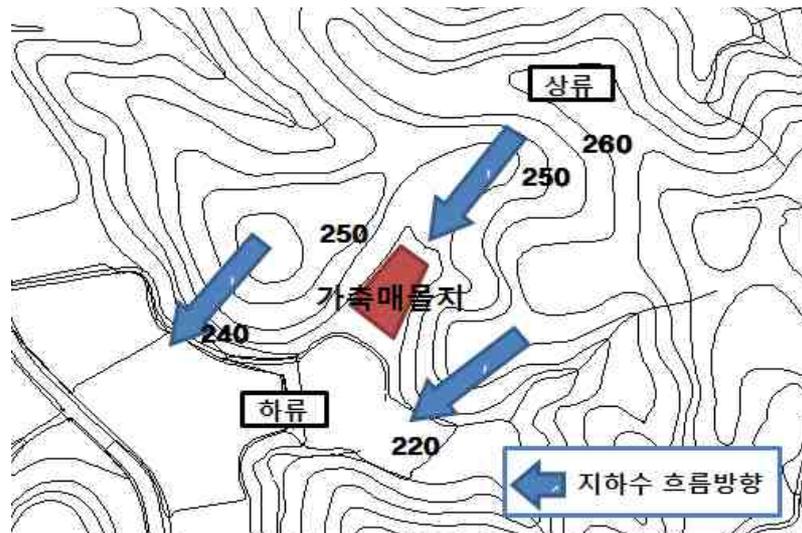
- 매몰지 주변 지형 및 거시적 지하수 흐름방향에 따라 매몰지 유형을 산지, 하천, 평지 3가지 유형으로 구분한다(그림 171 참조).

㉕ 산지형 : 매몰지 주변(반경 200m)에 산 또는 구릉(높이 10m 이상)이 있는 경우, 매몰지의 구배가 확실한 경우

㉖ 하천형 : 매몰지 주변 (반경 200m)에 하천이 있는 경우
(하천 : 평상시 건천이더라도 홍수 시 하천의 형태를 띠는 하천, 소하천 이상)

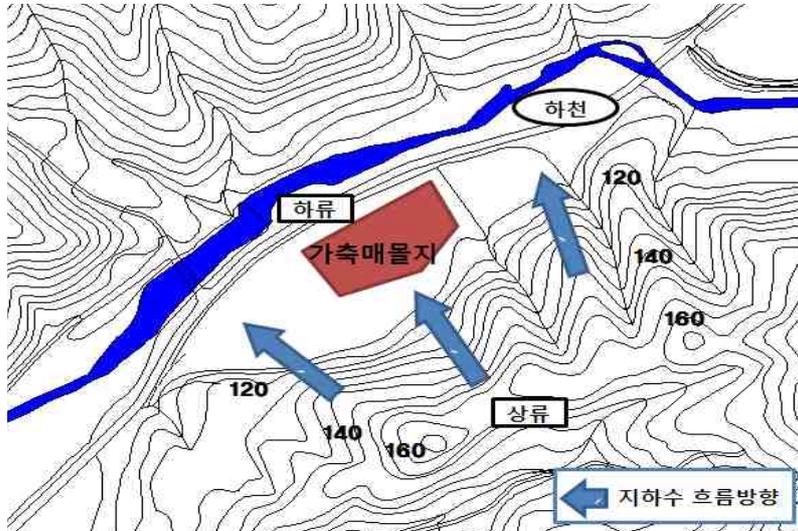
㉗ 평지형 : 지하수 흐름에 영향을 줄 수 있는 산(고지대) 또는 하천 등이 매몰지 주변 (반경 200m)에 없는 경우

※유형 우선순위 : 산지, 하천, 평지형 조합될 경우 하천>산지>평지 순

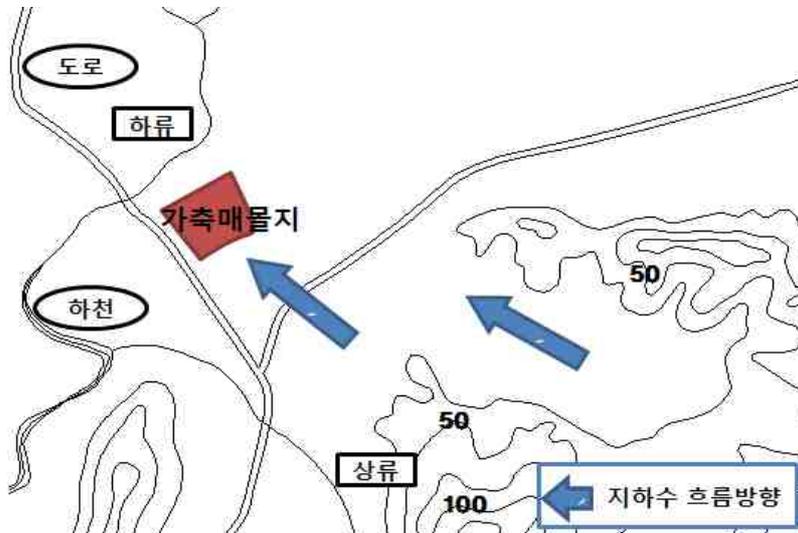


(a) 산지형

<그림 171> 매몰지 유형별 지하수 흐름방향 모식도



(b) 하천형



(c) 평지형

<그림 171> 매몰지 유형별 지하수 흐름방향 모식도(계속)

② 관측공에서의 지하수 흐름방향 선정

- 매몰지 인근 기존 사용관정이나 기 설치된 관측정 1개소에서 기계적 측정방법인 공내 유향·유속을 측정하여 지하수의 흐름을 파악할 수 있다.
- 공내 유향, 유속측정이 어려울 경우 앞서 언급한 매몰지 주변의 지형지물을 고려하여 지하수의 흐름을 결정한다.

(나) 관측공의 설치

① 관측정 위치 및 개소수

㉠ 지하수 흐름을 측정할 경우

- 상기 제시된 방법으로 매몰지를 중심으로 한 지하수 흐름방향을 예측하고 4방향 중 흐름 하류지역 1개소를 선정하여 관측정을 설치한다.
- 설치된 관측정에서 공내 유황·유속조사를 실시하여 지하수 흐름방향을 확인하며 이 결과를 이용하여 산지형 1개소, 하천형 1개소, 평지형 2개소를 매몰지의 하부 쪽에 추가 설치한다.
- 관측정을 설치하는 위치는 매몰지의 경계로부터 5 m 전후하여 설치한다.
- 설치 심도는 지하수위를 기준으로 지하수위 하 5 m(GWL. -5 m)까지 굴착한다.
- 해당위치에 이용중인 지하수 관정이 있는 경우에 활용할 수 있다.

㉡ 지하수 흐름을 측정하지 않을 경우

- 상기 제시된 방법으로 매몰지를 중심으로 한 지하수 흐름방향을 예측하고 유형별로 예측된 지하수 흐름방향에 맞추어 매몰지 하류부에 관측정을 설치한다.
- 이 때 산지형 1개소 이상, 하천 1개소 이상, 평지 2개소 이상 설치한다.
- 지하수 흐름방향 예측이 어려운 경우 4방향에 1개소씩을 선정하여 관측정을 설치한다.
- 관측정을 설치하는 위치는 매몰지의 경계로부터 5 m 전후하여 설치한다.
- 설치 심도는 지하수위를 기준으로 지하수위 하 5 m(GWL. -5 m)까지 굴착한다.
- 해당위치에 이용중인 지하수 관정이 있는 경우에 활용할 수 있다.

③ 관측공 추가 설치

㉠ 매몰지 규모가 과다하여 관측정 관측범위를 초과한다고 판단될 경우

- 매몰지 폭이 지하수 흐름방향에 수직인 방향으로 길 경우(약 30m 이상) 설치된 관측정이 매몰지의 침출수 발생을 모니터링하기 어려울 수 있다. 이 경우에는 추가 관측정을 설치하여야 한다.
- 매몰지 크기가 중규모를 초과할 경우 설치된 관측정이 매몰지의 침출수 발생을 모니터링하기 어려울 수 있다. 이 경우에는 추가 관측정을 설치하여야 한다.

※ 매몰지 규모

- 소규모 : 250m³(5×5×10m) 미만,
- 중규모 : 750m³(5×5×30m) 미만
- 대규모 : 750m³(5×5×30m) 이상

※ 구제역 긴급행동지침 권장 크기

- 550m³(5×5×20m), 매몰두수 약 소 100두, 돼지 550마리

㉡ 예측된 지하수 흐름방향에 문제가 있다고 판단될 경우

- 관측공 설치 후 공내 유황, 유속을 측정장비를 활용하여 측정하였는데 기 설치된 관

측공이 매몰지 지하수 흐름을 반영하지 못한 경우 지하수 흐름에 맞게 추가 관측공을 설치하여야 한다.

㉔ 침출수 유출이 의심될 경우

- 매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 의심되어 침출수 유출 판정이 필요한 경우, 매몰지 지하수 흐름방향 상류에 추가로 관측정을 설치하여 배경 농도를 확보한다.
- 매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 확인되어진 경우 침출수 유출방지, 침출수 정화 등 오염방지 조치를 취하고, 매몰지와 40~50 m 떨어진 위치에 조사관측정을 추가 설치하여 침출수 확산 여부를 검사한다. 만약 매몰지 인근 하류부가 하천일 경우 하천의 수질에 대한 모니터링을 실시한다.

㉕ 기타 경우

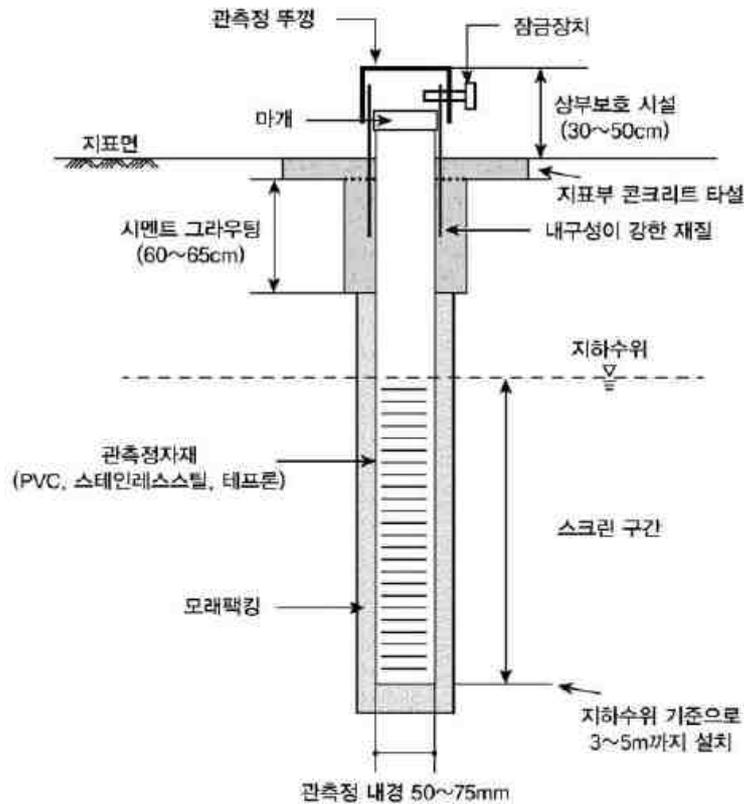
- 지하수 흐름 이외에 침출수의 유출, 유동에 영향을 미칠 수 있는 요인이 있을 경우 추가로 관측정 설치한다.

④ 관측정 설치 모식도(안)

- 관측정의 내경은 50~75mm, 재질은 PVC 또는 스테인레스 스틸 재질 등으로 하며 기본 구조는 <표 73>, <그림 172>와 같다.
- 가축매몰지의 침출수 유출여부 확인 목적에 부합되는 경우에 현장 여건 등에 따라 관측정의 구조, 규격 등을 변경할 수 있다.

<표 73> 가축매몰지 관측정 구조도

구분	가축 매몰지 관측정 구조 기본 내용	비고
굴착구경	내부 케이싱(50~75 mm)보다 큰 규격	
굴착심도	GWL -5 m (지하수위 기준)	
스크린 구간	GL -2 m ~ 관측공 바닥	
스크린 개공율	표기없음	
내부케이싱 구경	50~75 mm	
내부케이싱 재질	PVC, 스테인레스스틸, 테프론	
상부보호시설	장금장치가 부착된 보호캡	



* 시멘트 그라우팅은 우수 등이 유입되지 않도록 하여야 한다.

<그림 172> 가축 매몰지 관측정 구조도

(다) 관측공 운영 및 관리 방안

① 관측정 수질측정

◦ 관련내용들은 가축전염병예방법 시행규칙 [별표5] 2. 매몰기준에 따른 관측정 수질 측정 등에 관하여 환경부장관이 정하는 사항을 규정한 것이다.

◦ 세부사항은 “가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)” III. 가축매몰지 관측정 수질 측정 항목을 따른다.

㉠ 조사항목(5개)

◦ 염소이온, 암모니아성질소, 질산성질소, 총대장균군, 전기전도도

※ 필요시 pH, DO, 수온, T-N(총질소), TOC(총유기탄소) 등 추가

㉡ 조사기간 및 횟수

◦ 매몰 초기 1년까지 분기 1회, 2년~3년까지는 반기 1회 실시(필요시 조사기간 연장 실시)

◦ 가능한 신속히 관측정을 설치하고 매몰지 영향을 받지 않는 기간내에 최초 수질을 측정

◦ 다만, 관측정 모니터링 결과 「가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)」 단계별 해석요령[별표]에 따라 추가로 조사 횟수, 조사항목 등을 수행

㉔ 시료채취 및 분석방법

- 시료 채취 전 관측정(시추공) 내 수위를 확인한 후 1회용 베일러 또는 소형 등속 정량 펌프를 이용하여 시료를 채취 (※ 소형 등속 정량 펌프를 이용 할 경우 시료채취 전후 펌프 및 배관재 모두 깨끗하게 세척한 후 사용)
- 시료채취용기는 1L용량 이상의 무균 폴리에틸렌 채수병 등을 사용
- 측정항목 중 대기 접촉에 민감한 항목인 온도, 수소이온농도, 전기전도도, 용존산소량 등은 휴대용 측정기를 이용하여 현장에서 측정
- 분석항목에 따라 현장에서 전처리한 후 시료의 교란이나 기포가 발생하지 않도록 주의하여 시료채취용기에 담아 0℃~4℃ 냉장상태로 실험실까지 운반
- 기타 시료의 채취 및 분석은 수질오염공정시험기준을 준용
- 시료분석결과 및 이격거리 등을 토대로 침출수 유출여부 판단

㉕ 관측정 수질측정 결과해석 및 조치

- 결과해석 : 관측정 수질측정 결과는 단계별 해석요령[별표]에 따라 해석하여 침출수 유출 가능성 높은 단계, 침출수 유출 (약)의심 단계, 침출수 유출이 없는 단계 등 4단계로 구분

※ 필요한 경우 지하수 전문가 등에게 추가로 자문을 받아 관측정 수질측정결과의 해석에 활용

- 조치사항 : 단계별 해석요령[별표]에 따라 필요한 모니터링 강화, 침출수 수거 확대, 매몰지 이설 등 매몰지 관리 조치사항을 추가로 수행

㉖ 관측정 수질측정 결과 보고

- 결과 보고
 - 보고기관 : 환경부(토양지하수과), 과학원(토양지하수연구과)에 보고
 - 보고기한 : 매분기 익월 말까지
 - 보고양식 : 「가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)」 [별지 서식 1] 매분기 관측정 수질측정 및 결과해석, 조치사항 및 계획
- 수질측정결과 등 평가
 - 종합분석 평가 : 과학원에서는 지자체의 관측정 수질측정 및 결과 해석자료 등을 분석하고 필요시 전문가회의 등을 거쳐 종합평가한 결과를 환경부에 제출

㉗ 관측정 수질측정 결과 통보

- 결과 통보 : 환경부장관은 지자체가 실시한 관측정 수질측정결과 및 평가결과 등을 농림수산식품부장관 및 해당 지자체에 통보

② 매몰지 침출수 확산 방지조치

㉑ 관측정 추가 설치

◦ 매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 의심되어 침출수 유출 관정이 필요한 경우, 매몰지 지하수 흐름방향 상류에 추가로 관측정을 설치하여 배경 농도를 확보한다.

◦ 매몰지 경계외부(5m 이내) 조사관정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출이 확인되어진 경우 침출수 유출방지, 침출수 정화 등 오염방지 조치를 취하고, 매몰지와 40~50 m 떨어진 위치에 조사관측정을 추가 설치하여 침출수 확산 여부를 검사한다. 만약 매몰지 인근 하류부가 하천일 경우 하천의 수질에 대한 모니터링을 실시한다.

㉒ 세부사항

◦ 단계별 해석요령[별표]에 따라 필요한 모니터링 강화, 침출수 수거 확대, 매몰지 시설 등 매몰지 관리 조치사항을 추가로 수행

③ 3년 경과 가축 매몰지 사후관리

㉑ 3년 경과 가축 매몰지 : 매몰 후 3년이 경과한 매몰지를 3년 경과 가축 매몰지라고 정의한다.

㉒ 3년 경과 가축 매몰지 평가

◦ 구제역 바이러스나 병원성 미생물, 수질 등 환경영향평가를 실시하여 환경영향 평가 결과에 따라 발굴가능 지역, 매몰지 이전지역, 매몰지 발굴금지 연장지역을 결정한다.

◦ 환경영향 평가는 자문위원회를 구성하여 자문위원회의 의견에 따라 발굴가능 지역, 매몰지 이전지역, 매몰지 발굴금지 연장 지역으로 구분한다.

※ 자문위원회 : 환경부, 농림수산식품부, 지자체, 관련 전문가 최소 10인 이상으로 구성한다.

◦ 환경영향 평가 세부 항목은 「가축매몰지역 환경조사지침(환경부, 2012)」을 따른다.

◦ 매몰지의 붕괴우려, 심각한 환경영향 등 불가피한 사유로 매몰지 이전지역으로 선정된 경우 「구제역 긴급행동지침(SOP)」에 따라 이전 조치한다.

◦ 발굴금지 연장 지역으로 선정된 매몰지의 경우 관측정을 계속 운영한다.

㉓ 3년 경과 가축 매몰지 복원

◦ 매몰지의 오염이 해소되어졌다고 판단될 경우 사후 매몰지를 농지나 토지가 가지고 있던 원래의 용도로 복원한다.

◦ 기 설치된 관측정은 폐공기준에 따라 폐공하여야 한다.

(3) 관측정 설치 기준 적용의 예

◦ 관측정 설치 기준(안)을 적용하여 매몰지 유형, 관측정 설치 지점 및 개소수 결정

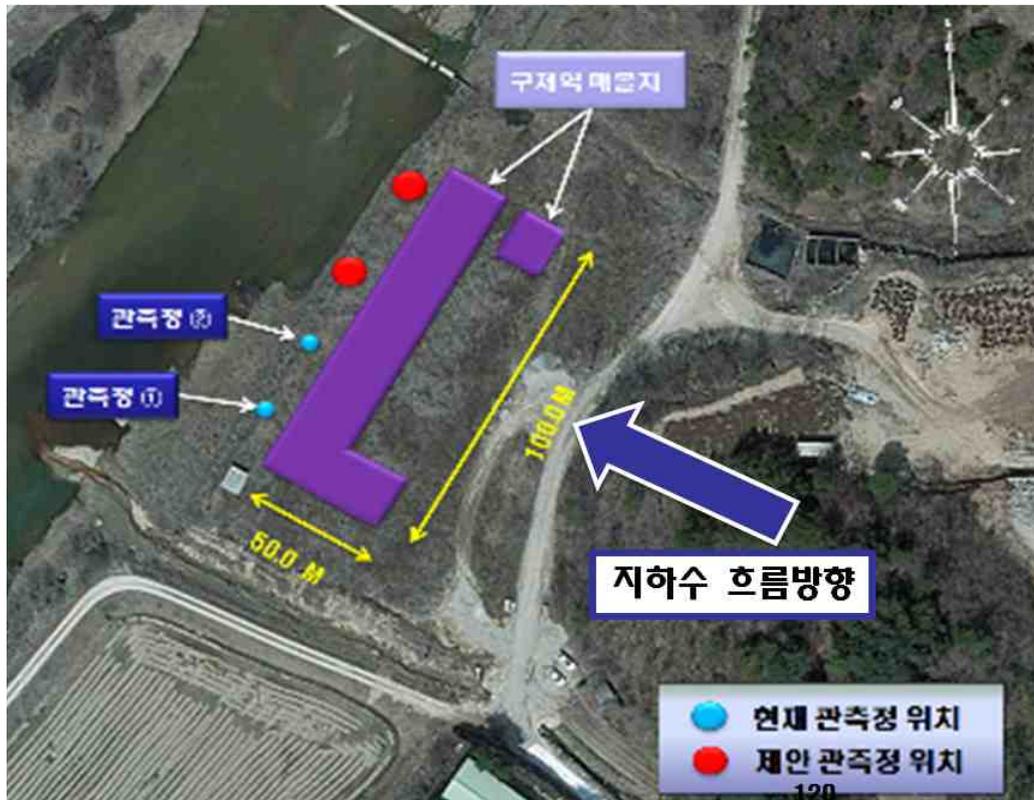
<표 74> 가축매몰지 관측정 설치 기준(안)의 적용 예

구분	산 지 형
1. 지형경사 (고지대, 저지대) 및 인접 하천 현황 파악	- 주변에 고지대(산)가 있음
2. 거시적 지하수 흐름방향 파악	- 산에서 하류부 도로(남→북)로 지하수 흐름방향 예측됨
3. 지하수 흐름방향에 대한 매몰지 형상 확인	- 산지 유형
4. 지하수 흐름방향 하류부 관측정 설치	- 1개소 설치
5. 관측정 추가 설치	- 흐름방향에 비하여 매몰지 폭이 넓지 않음 - 추가 관측공 설치 필요 없음



<표 75> 가축매몰지 관측정 설치 기준(안)의 적용 예(계속)

구분	하천형
1. 지형경사 (고지대, 저지대) 및 인접 하천 현황 파악	- 북서쪽으로 하천이 있음
2. 거시적 지하수 흐름방향 파악	- 남동쪽 낮은 구릉에서 하천쪽으로 지하수 흐름방향 예측됨
3. 지하수 흐름방향에 대한 매몰지 형상 확인	- 하천 유형
4. 지하수 흐름방향 하류부 관측정 설치	- 1개소 이상
5. 관측정 추가 설치	- 흐름방향으로 매몰지 폭이 넓음 - 총 4개소 설치



<표 76> 가축매몰지 관측정 설치 기준(안)의 적용 예(계속)

구분	평 지 형
1. 지형경사 (고지대, 저지대) 및 인접 하천 현황 파악	- 남서쪽으로 낮은 언덕등이 있음
2. 거시적 지하수 흐름방향 파악	- 남서쪽에서 북동쪽으로 지하수 흐름방향 예측됨
3. 지하수 흐름방향에 대한 매몰지 형상 확인	- 평지유형
4. 지하수 흐름방향 하류부 관측정 설치	- 2개소 설치
5. 관측정 추가 설치	- 흐름방향에 비하여 매몰지 폭이 넓지 않음 - 추가 관측공 설치 필요 없음



<표 77> 가축매몰지 관측정 설치 기준(안)의 적용 예(계속)

구분	흐름방향 판단 어려움
1. 지형경사 (고지대, 저지대) 및 인접 하천 현황 파악	- 주변에 고지대, 저지대, 하천 등 특이 사항 없음
2. 거시적 지하수 흐름방향 파악	- 주변에 고지대, 저지대, 하천 등 특이 사항 없음
3. 지하수 흐름방향에 대한 매몰지 형상 확인	- 주변부 지형높이가 비슷하여 지하수 흐름방향 판단하기 어려움
4. 지하수 흐름방향 하류부 관측정 설치	-
5. 관측정 추가 설치	- 4방향 모두 관측정 설치



라. 가축 매몰지 관측정 설치기준(안)을 이용한 현 관측정의 적정성 평가

본 연구에서는 전국 구제역 매몰지 4,261개소를 대상으로 입지유형을 분석해 보았다. 입지유형은 지하수 흐름방향을 예측하기 힘든 평지형, 지형 경사도를 예측하기 쉬운 산지형, 하천과 인접한 하천형으로 구분하였다. 분류 결과 평지형이 가장 많은 72%를 차지하고, 산지형 11%, 하천형 17%로 조사되었다. 지역별 매몰지 비율, 축종, 매몰두수 등을 고려하여 전국 구제역 매몰지 4,261개소 중 143개소를 선정하여 매몰지의 입지현황, 특성, 관측정 현황 등을 현장 조사하였다. 그리고 143개소에 대하여 본 연구에서 제시한 관측정 설치 기준안을 적용하여 관측정 설치 위치 및 개소수의 적정성을 평가해 보았다.

대상 매몰지의 관측정 미설치 지점은 77개소(54%), 관측정 1개소 설치 지점은 58개소, 2개 이상 설치 지점은 8개소로 분석되었다. 관측정이 1개소 이상 있는 매몰지는 총 66개소(46%, 현 전국 매몰지 관측정 설치비는 32.7%)이며, 66개소를 대상으로 본 연구에서 제안한 관측정 설치 기준안을 적용하여 관측정 위치 및 개소수의 적정성을 평가해 보았다. 평가 결과 39개소(27%) 이상이 지하수 흐름과 무관하거나, 흐름면적대비 관측정 개소수가 부족한 것으로 평가되었으며, 27개소(19%) 만이 지하수 관측망 위치 및 개소수가 적정한 것으로 분석되었다.

<표 78>은 현 관측정 설치 지점을 대상으로 본 연구에서 제시한 관측정 설치 기준(안)을 적용한 예를 나타내고 있으며, 현장 표본 조사 지역 143개소에 대한 적용결과는 부록 IV에 수록되어 있다.

<표 78> 현 관측정 설치 지점의 관측정 적정성 평가 예

1.경남 김해시 주촌면 45	
<p>관측정 평가(적정)</p>	
<p>- 하천과 도로에 인접하여 매몰지가 형성되어 있으며, 총 2개소의 관측정이 지하수 흐름 방향에 맞게 적절한 위치에 설치되어 있는 것으로 판단 됨</p>	
2.경남 김해시 주촌면 47	
<p>관측정 평가(관측정 부족)</p>	
<p>- 평지의 입지특성을 가지는 지역으로 인근에 많은 축사들이 위치하고 있으며, 현재 설치된 관측정이 없으므로 지형이 낮은 지역을 중심으로 관측정이 설치되어야 할 것으로 판단 됨</p>	

8. 사회영향조사

가. 사회영향조사 분석방법

사회영향평가(Social Impact Assessment: SIA)는 개발행위에 의해 발생할 사회적 경제적 영향을 평가하는 작업이다. 사회환경영향평가는 미국에서 환경영향평가와 병행해서 실시되고 있고, 이 둘을 통합한 환경사회영향평가(Environmental and Social Impact Assessment)를 실시하는 사례도 있다.

우리나라는 제도화되어 있는 환경영향평가에 비해 사회영향평가가 주목받지 못하고 있다. 이는 개발행위에 따른 사회경제적, 문화적인 영향평가가 간과되고 있음을 의미한다. 따라서 사안별로 개발행위는 주민들과 강한 갈등을 유발하는 원인이 되기도 한다.

사회영향평가는 개발사업에 대한 영향평가에외도 새로운 정책 실시, 사회운동의 결과로 나타난 영향, 기술도입, 혁신 등에 대해 사회적 영향평가가 진행되기도 한다. 특히 재해 발생 시에도 사회영향평가가 이용된다. 우리나라의 대표적인 기름유출 재난사고인 삼성 허베이 스피리트호 유출사고에 대한 사회영향연구는 Burdge 및 미국 정부의 가이드라인에서 적용가능한 사회영향평가 변수를 채택해 진행된 바 있다(이시재, 2008). 총 29개의 변수 가운데 대체로 10개 내외의 항목을 중심으로 그 영향을 평가하고 있다.

또한 사회영향평가는 영향의 크기와 더불어 영향을 받는 대상의 취약성이 중요하다. 충격의 크기와 성격뿐만 아니라 사람들이 저항할 수 있는 힘이 어느정도 인가에 따라 영향이 달라지는 것에 대해 검토해야 한다. 사회구조의 결속성, 사회집단, 조직의 관계 등도 사람들의 취약성을 설명하는 중요한 변수이다. 취약성을 측정하는 데 고려되는 변수는 다음과 같다.

<표 79> 사회영향평가의 취약성(vulnerability) 변수

단위	변수
(1) 개인	신체적 능력과 기술, 정보, 적응력, 학력
(2) 가족	경제력, 연령구조, 친족관계, 고용관계 등
(3) 지역사회	네트워크, 사회조직, 비공식집단, 종교단체, 시민단체, 사회적 지원
(4) 공공시스템	공적부조시스템

<표 80>사회영향평가 변수와 적용 예(출처: 이시재, 2008)

인구영향(변수)	조사항목 선택유무	분석 항목	Data 조사방법
1. 인구변화	○		통계이용
2. 임시노동력의 유출입	○		통계이용
3. 관광객의 감소, 증가	○	●	면접조사
4. 개인, 가족의 이주	○	●	면접조사
5. 연령, 성별 등 인구구성의 특이점 커뮤니티, 제도구조	○		통계이용
6. 태안사태에 대한 태도형성	○	●	통계조사
7. 이해집단의 활동	○	●	현지면접
8. 지방정부의 역할변화	○		현지면접
9. 산업변화	○		통계이용
10. 생활, 가족임금변화	○	●	통계조사
11. 계획, 지구계획활동			
12. 경제적 불평등	○	●	통계조사
13. 소수집단의 고용공평성			
14. 취업기회의 변화	○	●	통계이용/면접
지역사회변화			
15. 외부기관의 출현	○		사례연구
16. 조직간 협력	○		사례연구
17. 새로운 사회계급의 등장	○		사례연구
18. 산업/공업의 변화	○		통계이용
19. 관광객의 변화	○		통계이용
개인 가족영향			
20. 일상생활, 이통패턴의 붕괴	○	●	통계조사
21. 종교활동의 변화			
22. 가족구조변화	○		통계조사
23. 네트워크의 변화	○	●	통계조사
24. 공공보건과 안전인식의 변화	○	●	통계조사
25. 여가활동의 변화	○	●	통계조사
26. 지역사회인프라육구	○		통계조사
27. 지역사회구조변화	○		통계조사
28. 토지획득 처분변화			
29 문화적 역사적, 종교적 고고학적 자원에 대한 영향	○		사례연구

본 연구에서는 첫째, 구제역 대란이 우리사회에 어떤 영향을 끼쳤는지를 조사하기 위해 구조화된 질문지를 가지고 전국 20세 이상 남녀를 모집단으로 인터넷 설문을 조사하였다. 두 번째, 관측정 설치에 따른 사회적 영향조사는 산지, 평지, 하천의 세 가지 유형별 구제역 매몰지 정밀현장조사지역 인근 마을 주민을 대상으로 인식조사를 실시하였다. 조사지역은 경북 안동시 와룡면 서현리, 서후면 대두서리, 경기도 파주시 과평면 금파리 세 지역이며, 구조화된 질문지를 가지고 면접조사를 진행했다. 마지막으로 전국 구제역 및 AI 매몰지 담당 공무원을 대상으로 일선에서 관측정 설치의 필요성을 조사하였다.

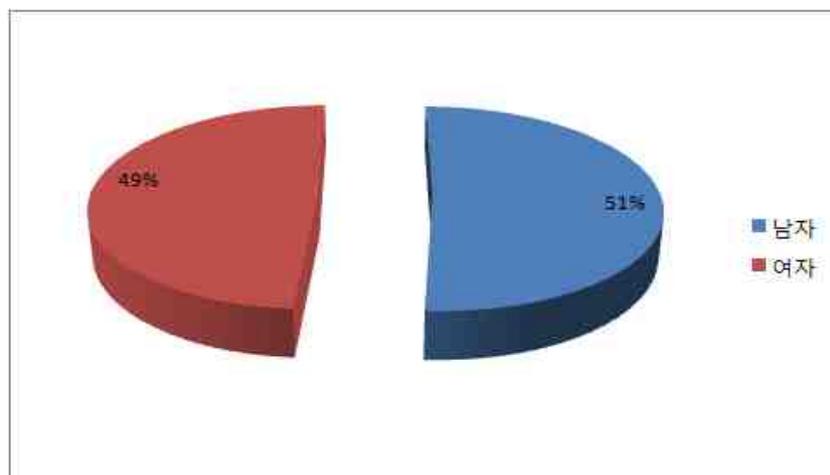
나. 사회영향 조사결과

(1) 사회영향 전국설문 결과

(가) 개요

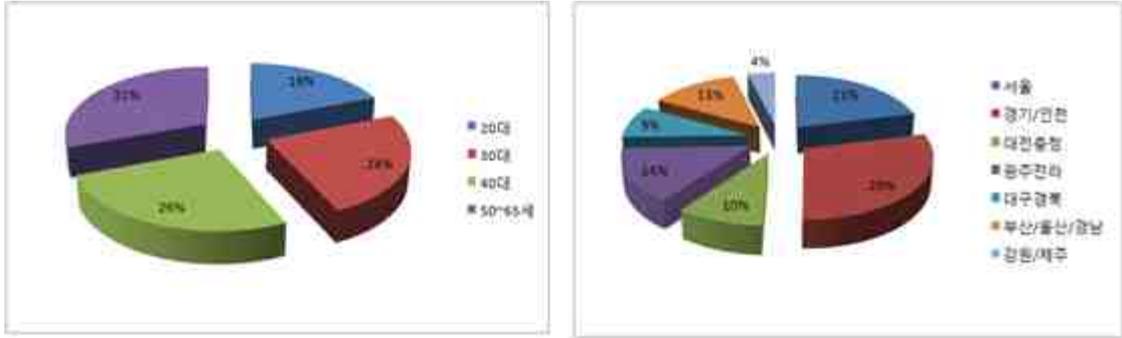
구제역 및 AI에 대한 전국 설문조사는 전국 20세 이상 남녀를 모집단으로 하여 1,000명이 설문에 참여하였으며 성별, 지역별, 연령별 인구비례할당에 의하여 표본이 추출되었으며, 설문 방식은 인터넷 설문으로 진행이 되었다. 설문의 표본오차는 $\pm 3.1\%$ 였다.

전국 성인남녀 1,000명을 대상으로 설문조사를 실시하였으며 그 가운데 응답자 남녀 성비를 살펴보면 남자 510명, 여자 490명으로 각각 51%, 49%를 차지하였다.



<그림 173> 응답자 성별 분포

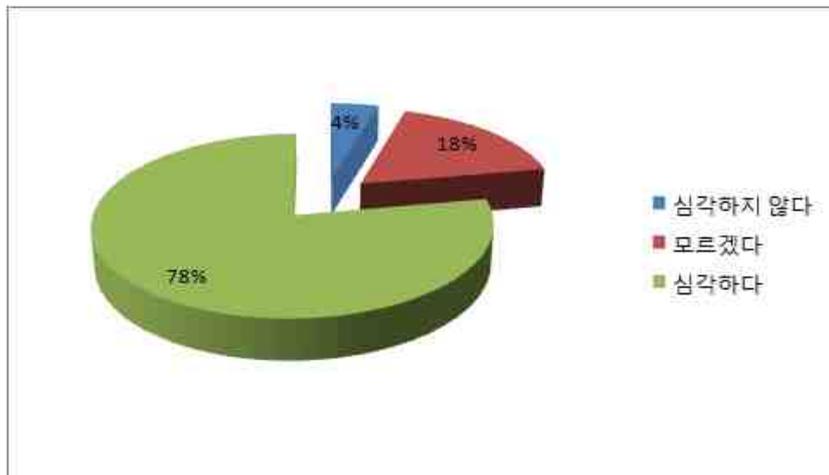
설문에 응답한 사람들의 연령별 분포를 보면 20대 19.1%, 30대 24.1%, 40대 26.1%, 50-65세 30.7%를 차지하였다. 지역별 분포는 서울 21.2%, 경기인천 29.3%, 대전충청 9.7%, 광주 전라 14.3%, 대구 경북 8.6%, 부산울산경남 12.9%, 강원 제주 4.0%를 차지하였다.



<그림 174> 응답자 연령(좌)과 지역별(우) 분포

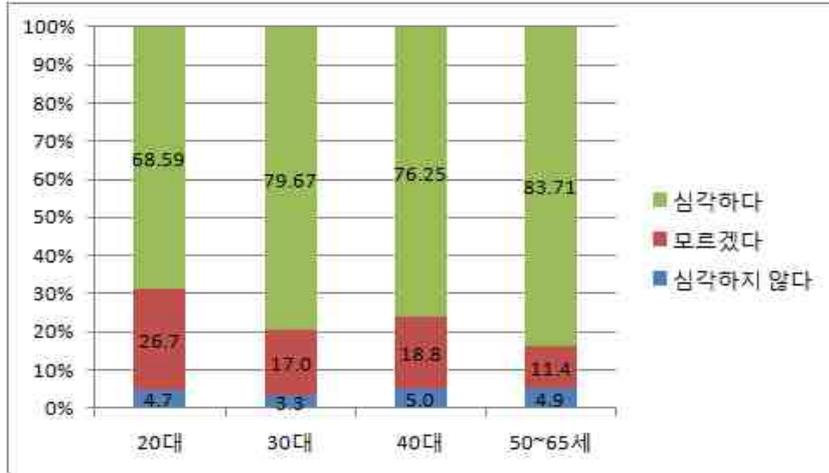
(2) 대규모축산이 환경에 미치는 영향

대규모 축산이 환경에 미치는 영향에 대하여 “심각하다”가 77.9%, “심각하지 않다”가 4.5%를 차지하였다. 성별분포를 보면 남자가 80.8%가 심각하다고 응답한 반면 여자는 74.9%가 심각하다고 응답하였다.



<그림 175> 대규모 축산의 환경영향 인식 여부

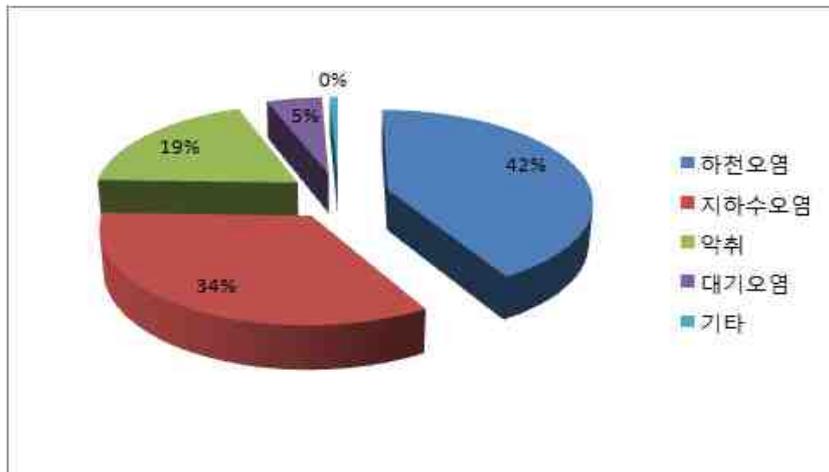
연령별 분포를 보면 50-65세 이상이 83.7%가 심각하다고 응답하였으며, 30대가 79.7%, 40대가 76.3%, 20대가 68.6% 순으로 나타났다. 대체로 연령이 높을수록 대규모 축산에 따른 환경영향이 심각하다고 인식하고 있는 것으로 나타났다.



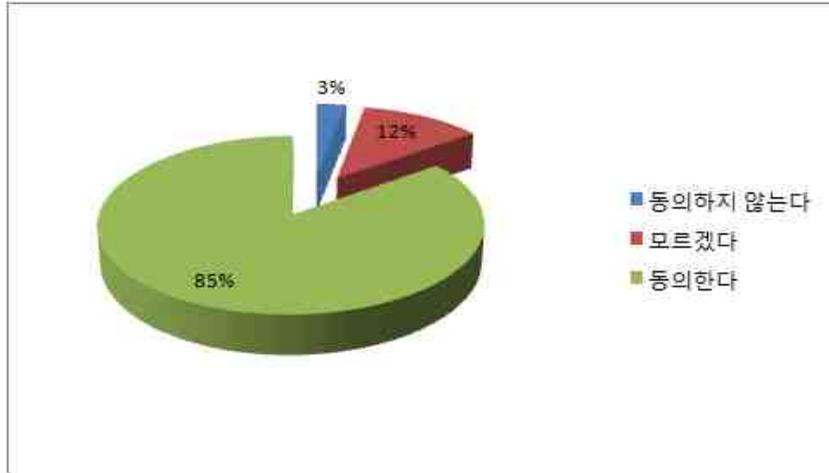
<그림 176> 대규모 축산의 환경영향 연령별 인식

대규모 축산이 환경에 미치는 영향 가운데 가장 심각한 것은 어떤 것인가라는 질문에 대하여 ‘하천오염’이 42%로 가장 많았으며, 지하수 오염이 34%, 악취19%, 대기오염 5% 순으로 나타났다.

대규모 축산이 구제역이나 AI같은 질병에 취약하다는 것에 대하여 85%가 동의를 하였으며 3% 동의하지 않았고, 12%는 모르겠다고 응답하였다. 우리나라 국민들은 대부분 대규모 축산이 구제역이나 AI 같은 전염성 질병에 취약하다고 인식하는 것으로 나타났다.



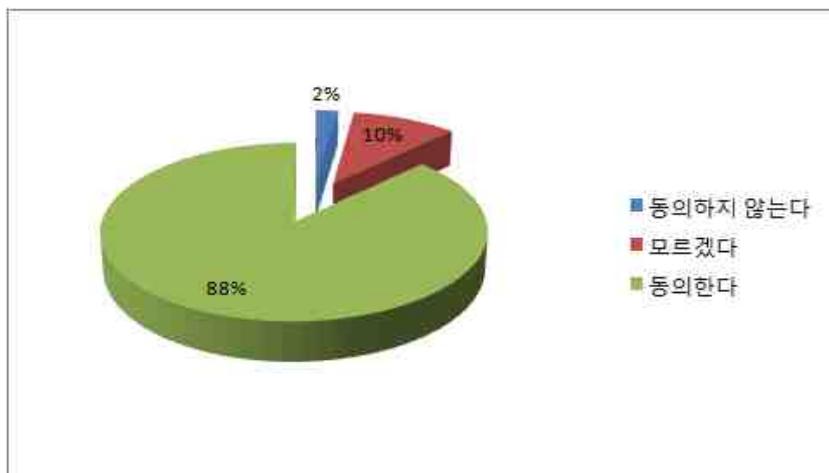
<그림 177> 대규모 축산의 환경 영향 중 심각한 분야 인식



<그림 178> 대규모 축산으로 인한 구제역 혹은 AI 취약성 동의 여부

(3) 대규모 축산의 대안

“대규모 공장형 축산의 문제를 극복하기 위하여 ‘지속 가능한 축산’을 도입하는 것에 대하여 어떻게 생각하십니까?”라는 질문에 대하여 88%가 동의한다고 응답하였으며, ‘모르겠다’ 10%, ‘동의하지 않는다’가 2%를 차지하였다. 전반적으로 ‘지속 가능한 축산’에 대한 도입에 동의하였다.



<그림 179> ‘지속 가능한 축산’ 도입 여부에 대한 동의 여부

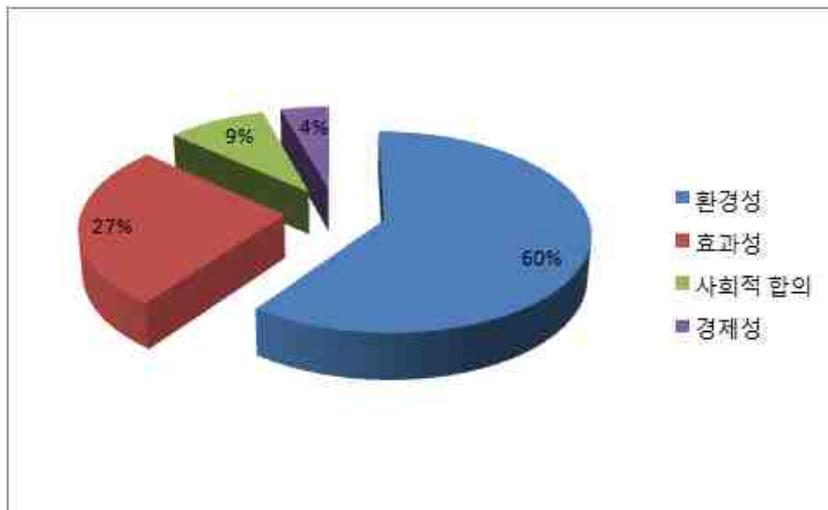
구제역에 대한 예방정책 가운데 가장 바람직하다고 생각하는 것에 대한 질문에 대하여 축산환경개선이 가장 많은 73%를 차지하였으며, 예방접종이 14%, 병에 대한 내성 강화 11%, 예방적 살처분은 2%를 차지하였다.



<그림 180> 구제역에 대한 예방정책 가운데 가장 바람직한 대안에 대한 응답 현황

(4) 구제역 예방대책

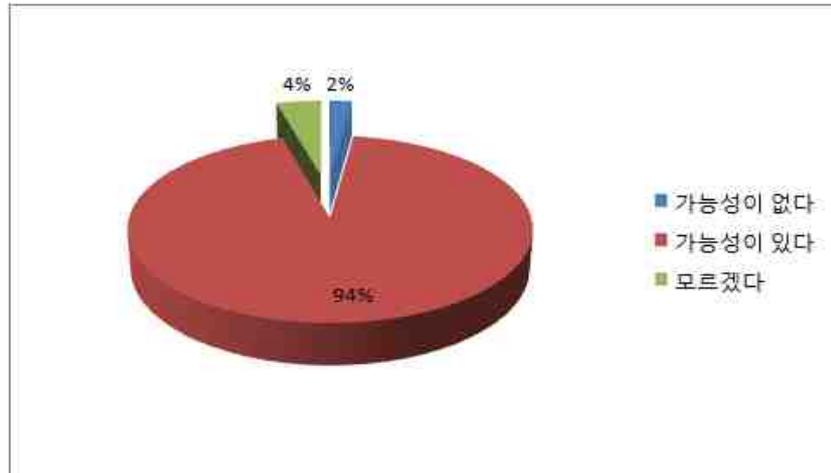
“구제역 예방정책을 선택할 때 가장 우선적으로 고려해야 할 것은 무엇이라고 생각하십니까?”라는 질문에 대하여 환경성이 60%로 가장 많았으며, 효과성이 27%, 사회적 합의의 9%, 경제성 4%순으로 나타났다.



<그림 181> 구제역 예방정책 선택 시 우선적인 고려사항에 대한 응답 현황

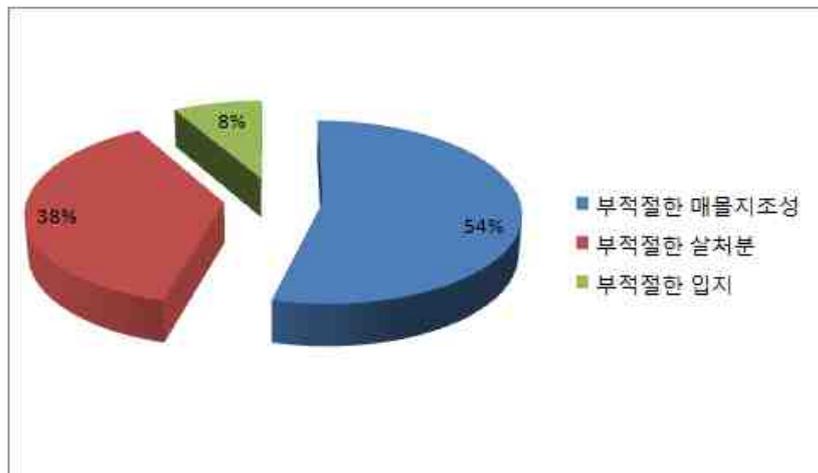
(5) 구제역 사후처리 현황

구제역 침출수가 밖으로 유출될 가능성에 대해서 94%가 ‘가능성이 있다’고 응답하였으며, ‘가능성이 없다’는 2%에 불과했다. ‘모르겠다’도 4%로 나타났다.



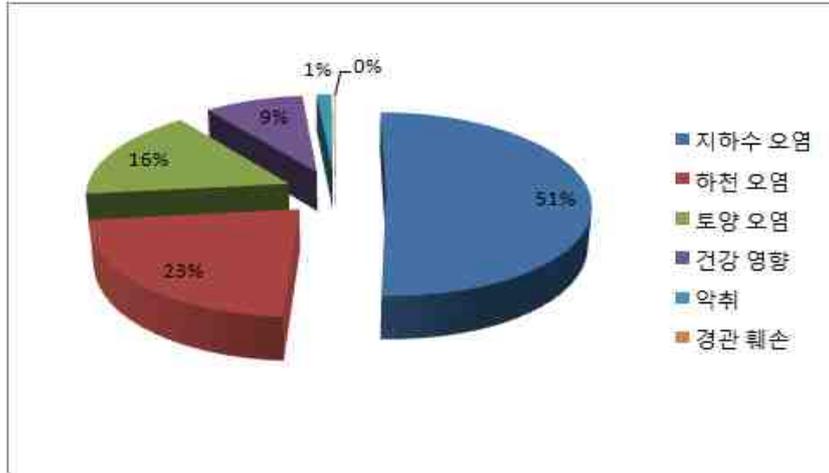
<그림 182> 구제역 침출수가 밖으로 유출될 가능성 여부에 대한 응답 현황

침출수 유출 원인에 대하여 ‘부적절한 매몰지 조성’이 54%로 가장 많이 침출수 유출 가능성의 원인으로 꼽혔으며, 그 다음으로는 ‘부적절한 살처분’이 38%, ‘부적절한 입지’는 8%를 차지하였다.



<그림 183> 침출수 유출 원인에 대한 응답 현황

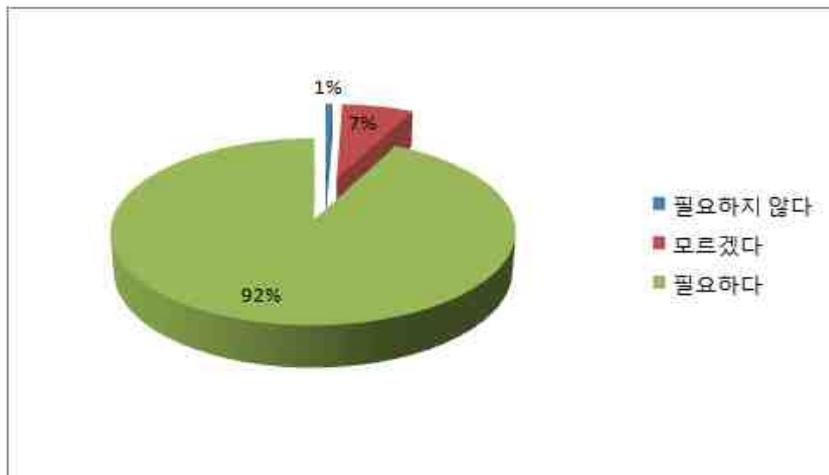
침출수 유출로 인한 영향 가운데 가장 심각한 것은 ‘지하수 오염’이 51%로 가장 많았으며, ‘하천오염’이 23%, ‘토양오염’이 16%, 건강영향이 9%, 악취 1% 순으로 나타났다.



<그림 184> 침출수 유출로 인한 영향 중 가장 심각한 문제에 대한 응답 현황

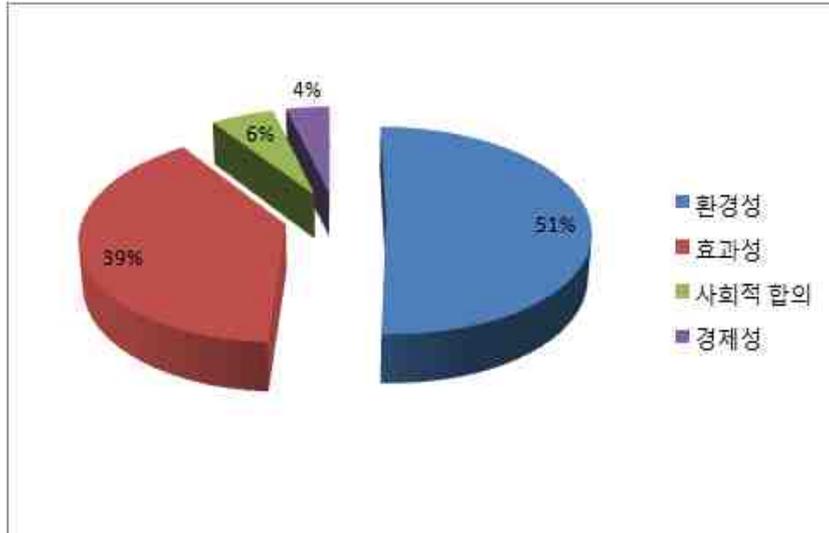
(6) 매몰지 모니터링

침출수가 밖으로 새는지 여부를 확인하기 위하여 관측정 설치 필요성에 대하여 ‘필요하다’가 92%를 차지하여 대부분이 필요성을 공감하였으며 ‘필요하지 않다’는 1%에 불과하였다.



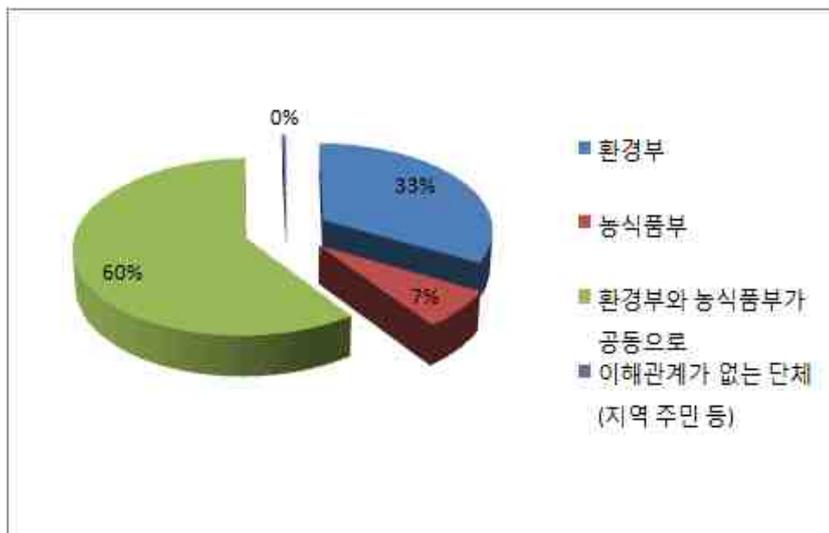
<그림 185> 관측정 설치 필요성에 대한 응답 현황

관측정 설치 시 가장 우선적으로 고려해야 할 사항에 대하여 ‘환경성’이 51%로 가장 많았으며, ‘효과성’이 39%, ‘사회적 합의’ 6%, 경제성 4% 순으로 나타났다.



<그림 186> 관측정 설치 시 가장 우선적으로 고려해야 할 사항에 대한 응답 현황

관측정 설치 및 관리에 대한 규정은 어느 부서에서 맡는 것이 바람직하다고 생각하는지에 대한 질문에 대하여 ‘환경부와 농림수산식품부가 공동으로’가 가장 많은 60%를 차지하였으며, ‘환경부’ 33%, ‘농림수산식품부’ 7%를 차지하였다.



<그림 187> 관측정 설치 및 관리 부서 적합성

(2) 구제역 매몰지 인근 지역주민 영향

(가) 개요

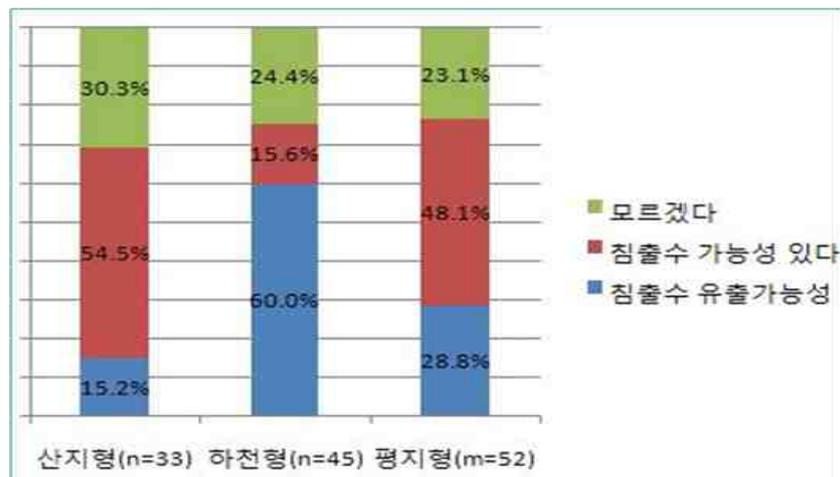
산지, 평지, 하천 세기 유형별 구제역 매몰지 정밀현장조사지역 인근 마을 주민을 대상

으로 인식조사를 실시하였다. 조사지역은 경북 안동시 와룡면 서현리, 경북 안동시 서후면 대두서리, 그리고 경기도 파주시 파평면 금파리로, 이 지역에서 거주하는 주민을 대상으로 구조화된 질문지를 가지고 면접조사를 실시하였다.

<표 81> 지역주민 면접 조사 개요

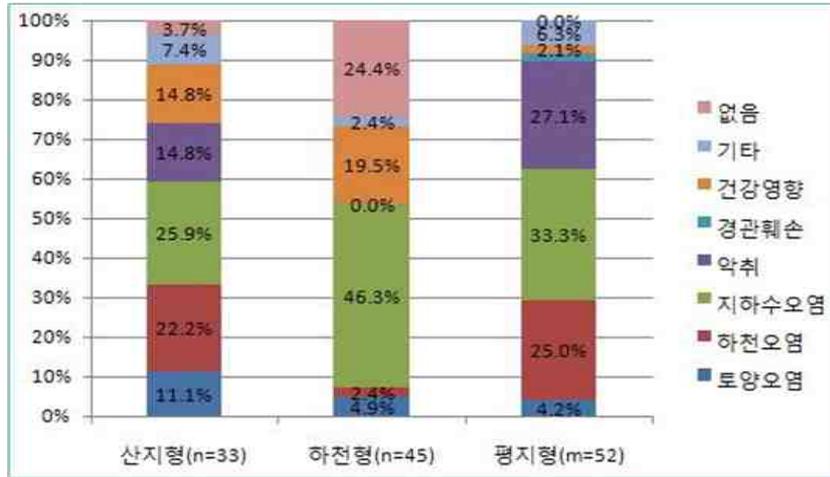
유형	지역	총세대수	설문수	응답율(%)
산지형	경북 안동시 와룡면 서현리	65	33	50.8
하천형	경북 안동시 서후면 대두서리	124	46	37.1
평지형	경기도 파주시 파평면 금파리	152	52	34.2

사회영향조사 결과 침출수 유출 가능성에 대해서 산지형과 평지형 매몰지 인근에 사는 주민들의 54.5%, 48.1%가 그 유출 가능성이 있다고 응답하였으며, 하천형은 이에 반하여 60.0%가 침출수 유출 가능성이 없다고 응답하였다.

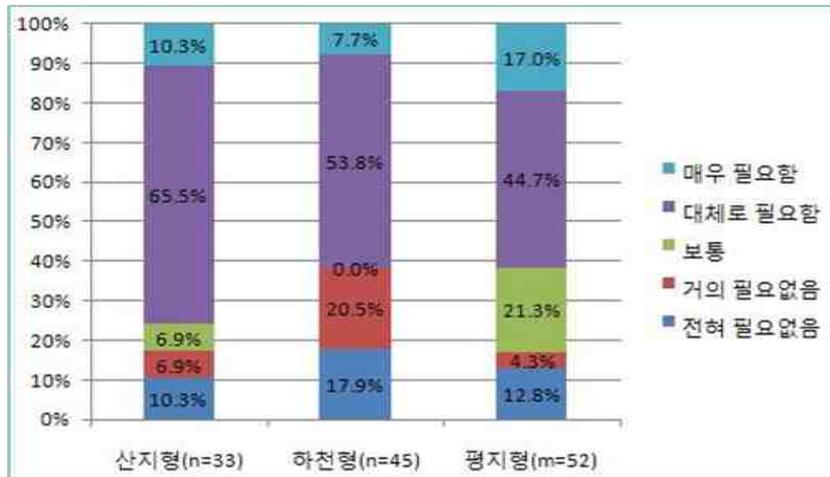


<그림 188> 침출수 유출 가능성에 대한 입지 유형 지역별 응답특성

침출수가 유출했을 가능성이 있다고 본 이유에 대해서는 산지형, 하천형, 평지형 매몰지 인근 지역 주민 모두 부적절한 매몰지 조성을 꼽았는데, 그 비율을 보면 각각 61.1%, 52.4%, 50.0%를 차지하였다. 지역주민들은 만약 침출수가 유출되었다면 그로 인한 영향으로 지하수 오염을 가장 우려하고 있었다. 매몰지 유형별로 산지형 25.9%, 하천형 46.3%, 평지형 33.3%의 주민들이 응답했다. 관측정 필요성에 대해서 매몰지 인근 주민들은 대체로 필요하다고 생각하는데, 특히 산지형 75.8%, 하천형 61.5%, 평지형 61.7%의 주민들이 답했다.

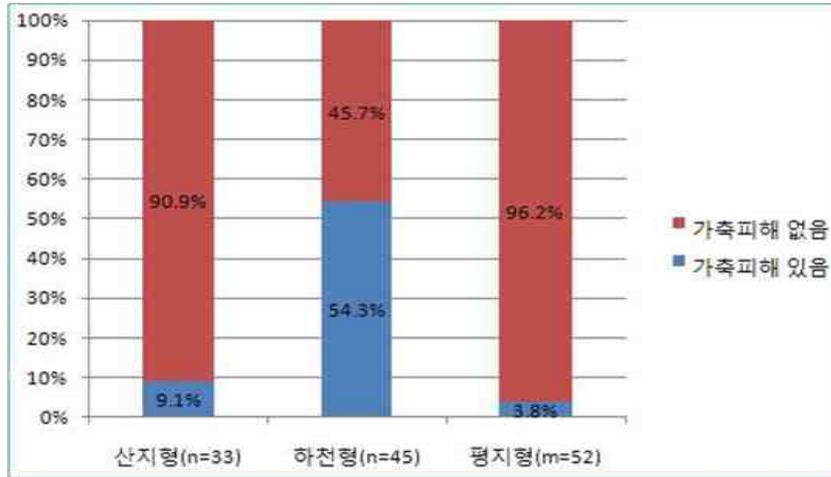


<그림 189> 침출수 유출 영향에 대한 입지유형 지역별 응답특성



<그림 190> 관측정 설치 필요성에 대한 입지유형 지역별 응답특성

구제역 매몰지 인근 지역주민들은 가축 피해여부는 산지형이 9.1%, 하천형이 54.3%, 평지형이 3.8%가 지난 구제역으로 인한 가축피해 경험이 있는 것으로 조사되었다.



<그림 191> 구제역 가축 피해여부에 대한 입지유형 지역별 응답특성

(3) 매몰지 담당 공무원 인식조사 결과

전국 구제역 및 AI 매몰지 담당 공무원 162명(농림수산식품부 자료)을 대상으로 이메일 설문조사결과 인사이동(20)명과 휴직(1명)으로 인한 총 21명과 리스트 불량으로 인한 총 30명을 제외한 나머지 111명 중에 67명의 공무원들이 설문조사에 응답했으며, 응답률은 60.4%로 나타났다. 응답자 특성을 살펴보면 남자가 60명으로 89.6%, 여자가 7명으로 10.4%를 차지하였다. 연령별로는 20/30대가 17명으로 25.4%, 40대가 39명으로 58.2%, 50대가 11명으로 16.4%를 차지하였다. 지역별로는 경기인천이 19명으로 28.4%, 대전충청이 15명으로 22.4%, 광주전라가 11명으로 16.4%, 대구경북이 13명으로 19.45, 부산울산경남이 4명으로 6.0%, 강원제주가 5명으로 7.5%를 차지하였다. 근무년수는 7년 이하가 16명으로 23.9%를 차지하였으며, 8년-16년이 20명으로 29.9%를 차지하였고, 17-21년이 14명으로 20.9%를 차지하였으며, 22년 이상이 17명으로 25.4%를 차지하였다.

<표 82> 응답자 성별, 연령별, 지역수별 현황

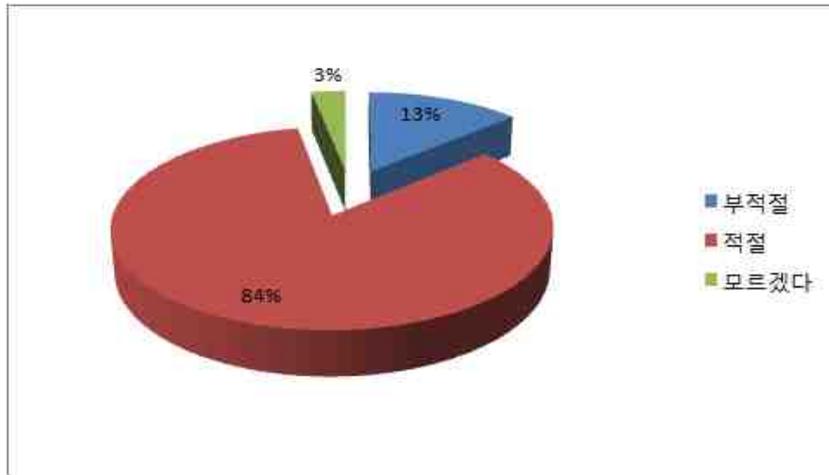
		사례수	%
■ 전체 ■		(67)	100.0
성별	남자	(60)	89.6
	여자	(7)	10.4
연령별	20/30대	(17)	25.4
	40대	(39)	58.2
	50대	(11)	16.4
지역별	경기/ 인천	(19)	28.4
	대전/ 충청	(15)	22.4
	광주/ 전라	(11)	16.4
	대구/ 경북	(13)	19.4
	부산/ 울산/ 경남	(4)	6.0
	강원/ 제주	(5)	7.5
근무연수	7 년 이하	(16)	23.9
	8 년~16년	(20)	29.9
	17 년~21 년	(14)	20.9
	22 년 이상	(17)	25.4

구제역 및 AI 매몰지 입지 선정과정에 대해서 성별로는 남자는 ‘문제가 없다’를 60.0%가 선택하였으며, ‘문제가 있다’는 36.7%를, ‘모르겠다’는 4.5%를 차지하였다. 반면 여자는 ‘문제가 있다’를 85.7% 선택하였으며, ‘모르겠다’가 14.3%를 차지하였으며 ‘문제가 없다’는 0%를 차지하였다. 연령대별로 살펴보면 20~30대에서 ‘문제가 다소 있다’가 58.8%를 차지하였으며, 40대에서는 ‘문제가 없다’가 61.5%로 ‘문제가 다소 있다’ 35.9%에 비하여 높게 나타났다. 50대에서는 ‘문제가 없다’가 63.7%, ‘문제가 다소 있다’ 36.4%로 나타났다. 전체적으로 보면 20,30대는 ‘문제가 다소 있다’에 더 많은 선택을 한 반면 40대, 50대는 ‘문제가 없다’는 인식이 더 강한 것으로 나타났다.

<표 83> 성별 구제역 및 AI 매몰지 입지 선정과정에 대한 응답 현황

		사례수	문제가 전혀 없다(1)	문제가 거의 없다(2)	모르겠다	문제가 다소 있다(5)	계
■ 전체 ■		(67)	9.0	44.8	4.5	41.8	100.0
성별	남자	(60)	10.0	50.0	3.3	36.7	100.0
	여자	(7)	0.0	0.0	14.3	85.7	100.0
연령별	20/30대	(17)	0.0	29.4	11.8	58.8	100.0
	40대	(39)	7.7	53.8	2.6	35.9	100.0
	50대	(11)	27.3	36.4	0.0	36.4	100.0

구제역 및 AI 매몰지 비닐설치 적절성에 대하여 ‘적절하다’가 84%를 차지하였으며, ‘부적절하다’는 13%에 불과하였다.



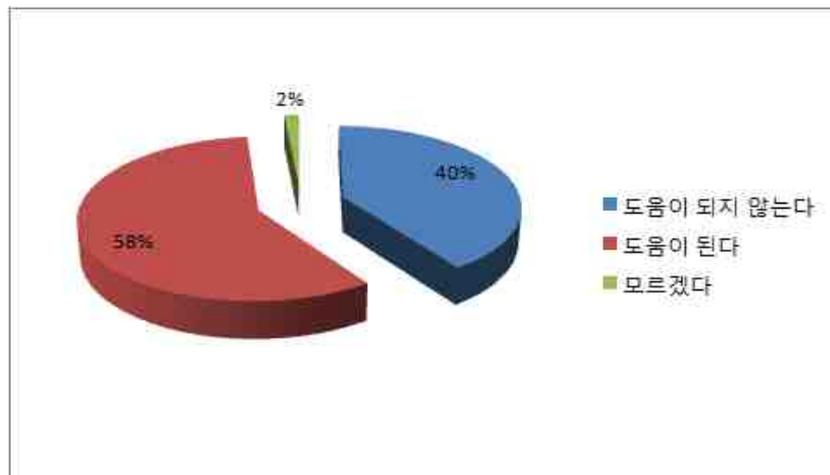
<그림 192> 구제역 및 AI 매몰지 비닐설치 적절성 여부

구제역 및 AI 매몰지에서 침출수가 유출될 가능성에 대해서 전체적으로는 ‘유출 가능성이 없다’ 47.8%, ‘유출 가능성이 있다’ 46.3%로 대략 같은 비율로 응답하였다.

<표 84> 연령별 구제역 및 AI 매몰지에서 침출수가 유출될 가능성 여부

		사례수	유출가능성이 없다	유출가능성이 있다	모르겠다	계
■ 전체 ■		(67)	47.8	46.3	6.0	100.0
연령별	20/30대	(17)	52.9	35.3	11.8	100.0
	40대	(39)	46.2	48.7	5.1	100.0
	50대	(11)	45.5	54.5	0.0	100.0

관측정을 설치하는 것이 침출수 우려를 해소하는데 도움이 된다는 것에 대해서 어떻게 생각하느냐에 대한 질문에 전체적으로 ‘도움이 된다’가 58%를 차지하였으며 ‘도움이 되지 않는다’는 40%를 차지하였다.



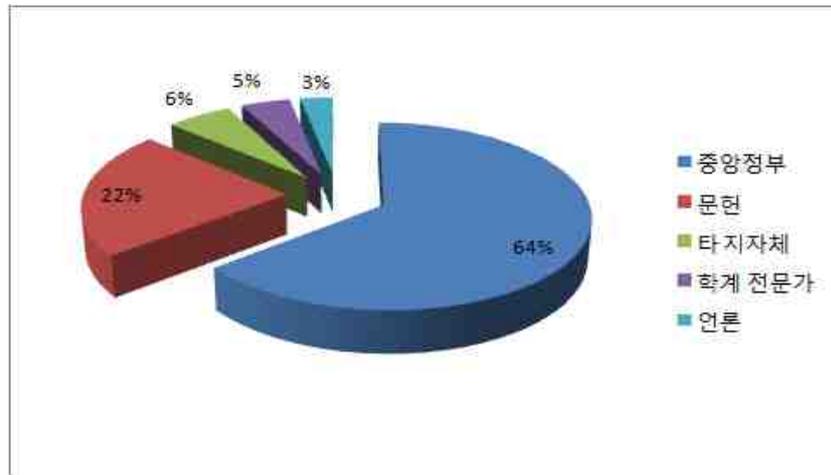
<그림 193> 침출수 우려 해소 위한 관측정 설치로 인한 도움 여부

관측정을 설치하는 것이 침출수 우려를 해소하는데 ‘도움이 된다’는 응답은 남자가 60.05%로 높게 나타난 반면 여자는 ‘도움이 된다’ 42.9%, ‘도움이 되지 않는다’ 42.9%로 동일하게 나타났다. 연령대별로 살펴보면 20/30대는 ‘도움이 되지 않는다’가 52.9%로 ‘도움이 된다’ 41.2%에 비하여 높게 나타났다. 반면 40대와 50대는 ‘도움이 된다’가 64.1%, 63.6%로 높게 나타났다.

<표 85> 침출수 우려 해소 위한 관측정 설치로 인한 도움 여부

		도움이 되지 않는다	도움이 된다	모르겠다
■ 전체 ■		40.3	58.2	1.5
성별	남자	40.0	60.0	0.0
	여자	42.9	42.9	14.3
연령별	20/30대	52.9	41.2	5.9
	40대	35.9	64.1	0.0
	50대	36.4	63.6	0.0

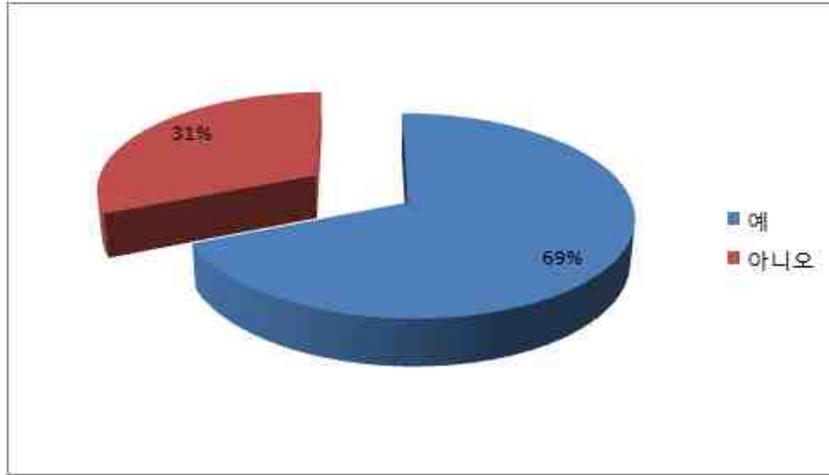
관측정 설치에 대한 정보를 얻는 경로는 중앙정부가 64%로 가장 높은 비중을 차지하였으며, 문헌 22%, 다른 지자체 6%, 학계전문가 5%, 언론 3%로 나타났다. 중앙정부에 의존하는 비율이 높다는 것을 알 수 있다.



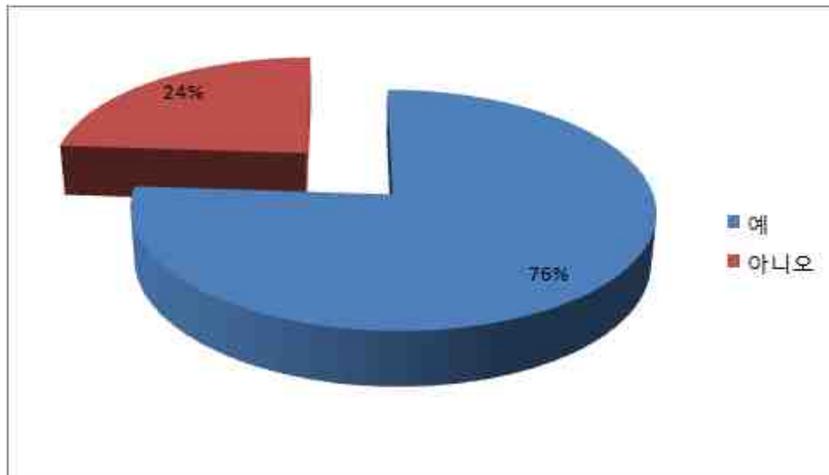
<그림 194> 관측정 설치에 대한 정보 습득 경로 현황

관측정 설치를 검토한 경험에 대하여 ‘예’가 69%, ‘아니오’ 31%로 나타났다.

관측정 설치를 해본 경험 유무에 대한 질문에 대하여 응답자의 76%가 설치해 본 경험이 있는 것으로 나타났으며 24%가 경험이 없는 것으로 나타났다.



<그림 195> 관측정 설치 검토 경험 여부



<그림 196> 관측정 설치 경험 유무

관측정 설치 지침이 도움이 되는지 여부를 묻는 질문에 대하여 전체적으로는 ‘예’가 71.4%를 차지한 반면 ‘아니오’는 28.6%를 차지하였다. 연령대별로 보면 20/30대는 ‘아니오’가 55.6%를 차지하였으며 40대, 50대는 ‘예’가 각각 85.0%, 66.7%를 차지하였다.

<표 86> 연령별 관측정 설치 지침이 도움이 되는지 여부

		사례수	예	아니오	계
전체		(35)	71.4	28.6	100.0
연령별	20/30대	(9)	44.4	55.6	100.0
	40대	(20)	85.0	15.0	100.0
	50대	(6)	66.7	33.3	100.0

관측정을 설치할 때 가장 우선적으로 고려하는 요인에 대하여 ‘하천변 등 매몰지 위치’

가 40%로 가장 많았으며, ‘관측정 설치지침’ 29%, ‘매몰두수’ 20%, ‘주민민원’ 8%, ‘축종’ 3% 순으로 나타났다.



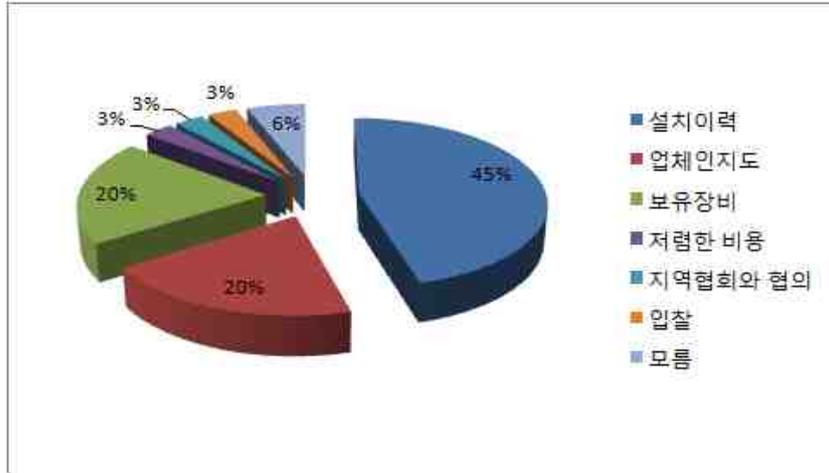
<그림 197> 관측정을 설치할 때 가장 우선적으로 고려하는 요인

‘관측정 설치 위치 결정은 누가 합니까’에 대한 질문에 대하여 ‘가축방역담당공무원’과 ‘환경담당공무원’이 각각 31%로 가장 많았으며, 시설담당공무원이 14%, 시공업체 9%, 방역담당공무원과 시공업체 2.9%, 환경담당공무원과 시공업체 2.9%, 담당공무원과 하수조사전문가 2.9%, 축주 2.9%, 관리지침 2.9%로 나타났다.

<표 87> 관측정 설치 위치 결정 대상자 현황

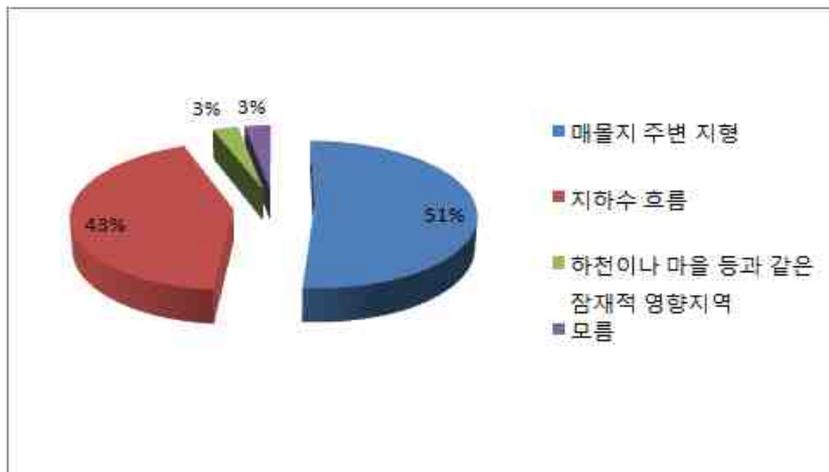
가축방역담당공무원	환경담당공무원	시설담당공무원	시공업체	방역담당공무원과 시공업체	환경담당공무원과 시공업체	담당공무원과 하수조사전문가	축주	관리지침
31.4	31.4	14.3	8.6	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9

관측정 시공업체를 선정하는 기준에 대해서 ‘설치이력’이 45%로 가장 많았으며, 업체 인지도 20%, 보유장비 20%, ‘저렴한 비용’ 3%, ‘지역협회와 협의’ 3%, 입찰 3%, 모름 6%로 나타났다.



<그림 198> 관측정 시공업체를 선정하는 기준 현황

‘관측정 설치 위치는 어떤 기준으로 선택하는가?’에 대하여 ‘매물지 주변 지형’이 51%로 가장 많았으며, 지하수 흐름이 43%를 차지하였다. ‘하천이나 마을 등의 잠재적 영향지역’ 3% ‘모름’ 3%순으로 나타났다.



<그림 199> 관측정 설치 위치 기준 유형

매물지에서 관측정까지의 거리는 ‘중앙정부 지침(5m 이내)’ 66%, ‘5-10미터 미만’ 23%, ‘지형 등 현장 여건에 따라’ 11%를 차지하였다.



<그림 200> 매몰지에서 관측정까지의 거리 기준

관측정 설치 깊이는 ‘중앙정부 지침(10m 내외)’ 80%, ‘10m 이상’ 9%, ‘지하수위에 따라 판단’ 11%를 차지하였다.



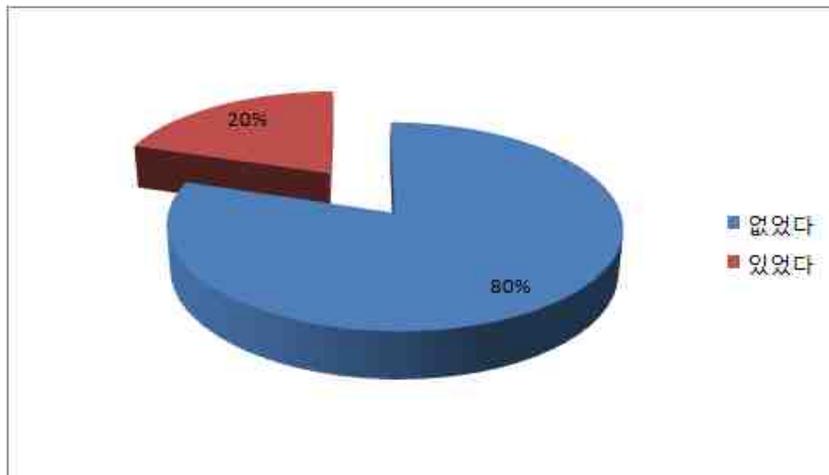
<그림 201> 관측정 설치 깊이 현황

관측정 모니터링은 월 1회가 54%로 가장 많았으며, 분기 1회가 34%, 주1회 6%, 중앙정부 지시 있을 때 3%, 경과 기간에 따라 차등적이다 3%로 나타났다.



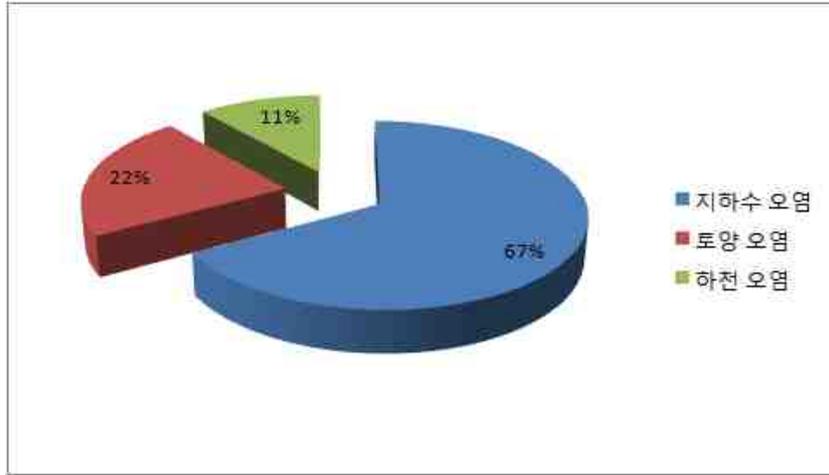
<그림 202> 관측정 모니터링 횟수

관측정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출 사례가 있었는지에 대한 질문에 대하여 ‘없었다’가 80%, ‘있었다’가 20%로 나타났다.



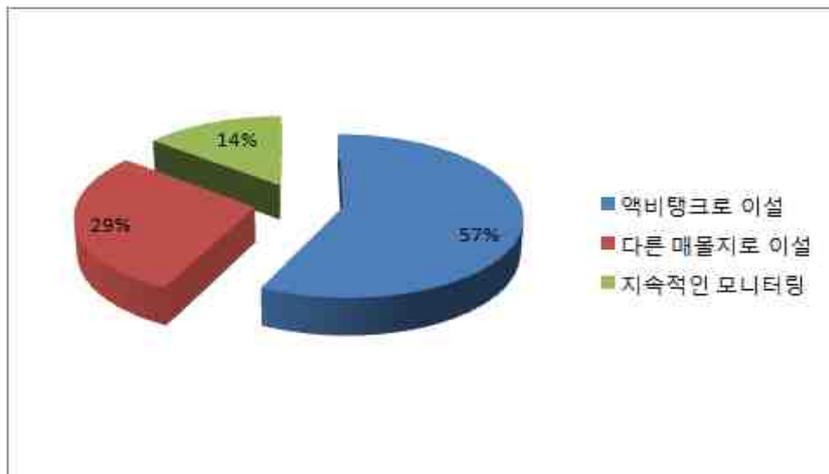
<그림 203> 관측정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출 사례 여부

침출수 유출로 인한 발생피해는 ‘지하수오염’이 67%로 가장 많았으며, ‘토양오염’이 22%, ‘하천오염’이 11%를 차지하였다.



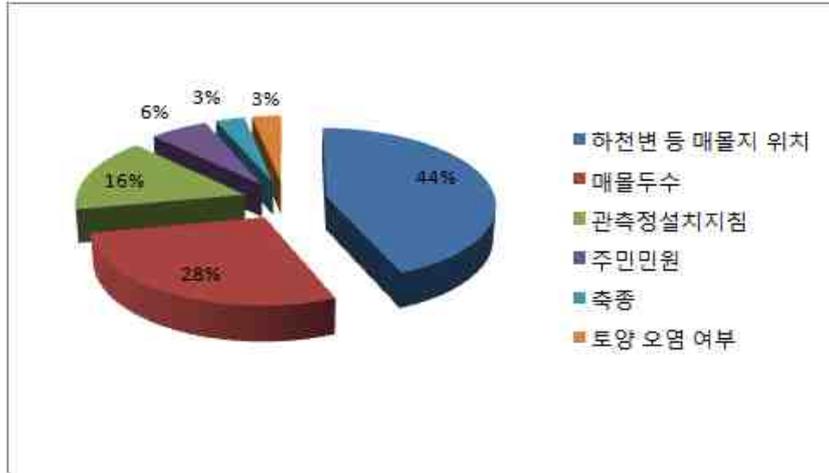
<그림 204> 침출수 유출로 인한 발생피해 현황

침출수 유출이 확인된 매몰지에 대한 처리 방식에 대하여 7명의 응답 가운데 ‘액비탱크로 이설’이 57%를 차지하였으며, 다른 매몰지로 이설이 29%, 지속적인 모니터링이 14%를 차지하였다.



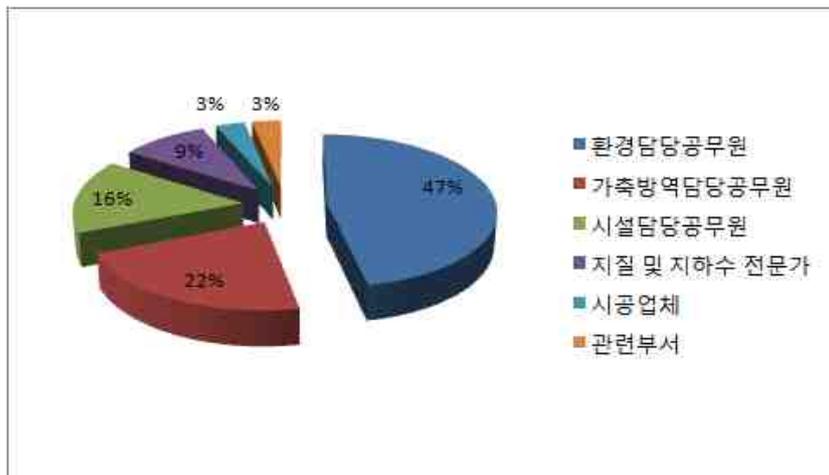
<그림 205> 침출수 유출이 확인된 매몰지에 대한 처리 방식

매몰지에 관측정을 설치하는데 가장 우선적으로 고려하는 요인에 대하여 ‘하천변 등 매몰지 위치’ 44%, 매몰두수 28%, ‘관측정 설치지침’ 16%, ‘주민민원’ 6%, ‘축종’ 3%, ‘토양 오염’ 3% 순으로 나타났다.



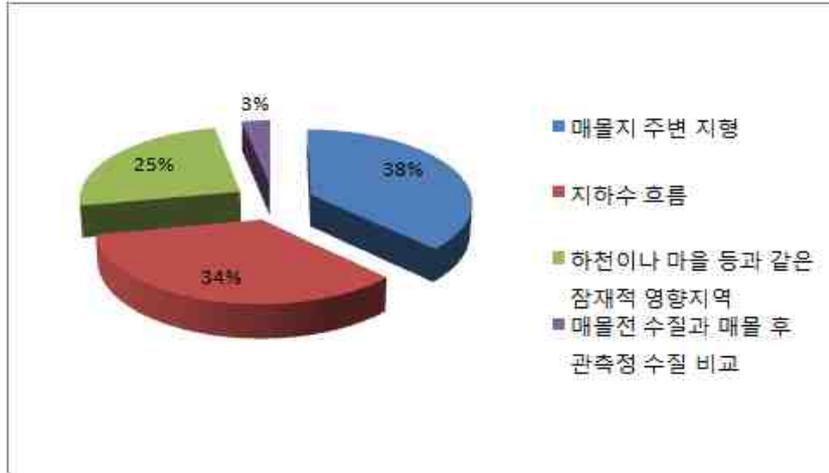
<그림 206> 매몰지 관측정 설치시 가장 우선적으로 고려하는 요인

‘관측정 설치 위치 결정은 누가 해야 한다고 생각’하느냐는 질문에 대하여 ‘환경담당공무원’이 47%로 가장 많았으며, ‘가축방역담당공무원’ 22%, ‘시설담당공무원’ 16%, ‘지질 및 지하수 전문가’ 9%, ‘시공업체’ 3%, ‘관련부서’ 3% 순으로 나타났다.



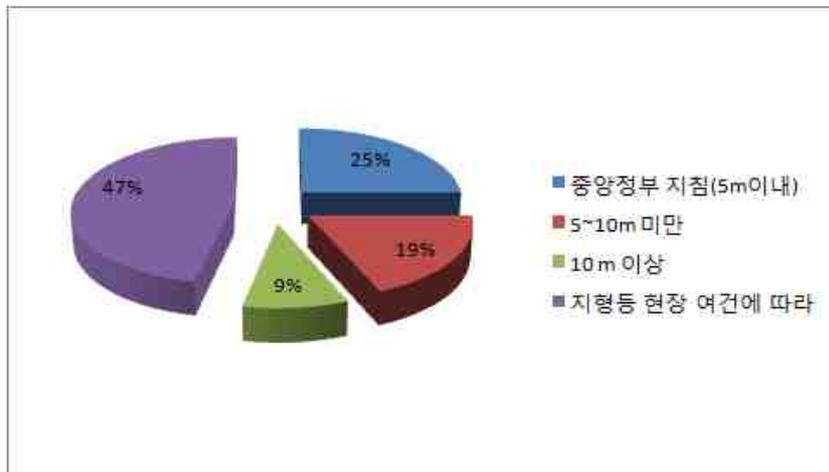
<그림 207> 관측정 설치 위치 결정 대상자

관측정 설치시 가장 우선적으로 고려해야할 사항으로는 ‘매몰지 주변 지형’ 38%, ‘지하수 흐름’ 34%, ‘하천이나 마을 등과 같은 잠재적 영향지역’ 25%, ‘매몰 전 수질과 매몰 후 관측정 수질비교’ 3% 순으로 나타났다.



<그림 208> 관측정 설치시 가장 우선적으로 고려해야 할 사항

매몰지로부터 관측정까지의 거리에 대해서 ‘중앙정부 지침(5m이내)’ 25%, 5-10m미만 19%, 10m 이상 9%, ‘지형 등 현장 여건에 따라’ 47%로 나타났다.



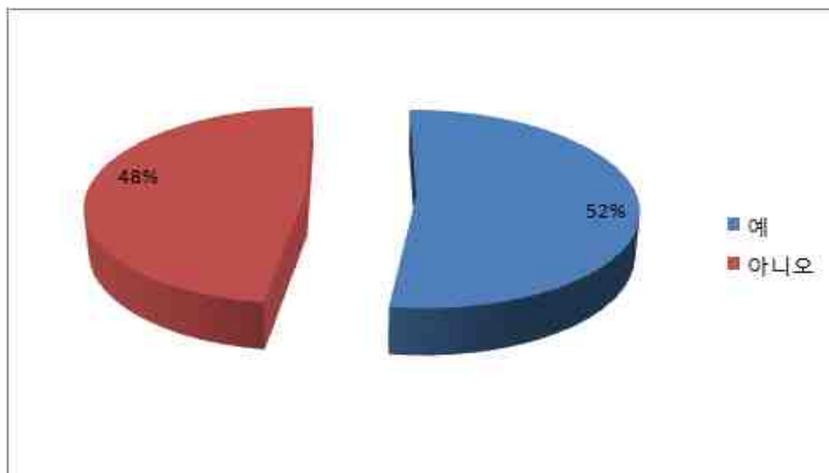
<그림 209> 매몰지로부터 관측정까지의 거리

관측정 설치 깊이에 대해 ‘5m 이내’ 6%, ‘중앙정부 지침(10m내외)’ 34%, ‘10m 이상’ 16%, ‘지하수위에 따라 판단’ 44%를 차지하였다.



<그림 210> 관측정 설치 깊이

관측정 설치 필요성에 대해서 ‘예’ 52%, ‘아니오’ 48%로 필요성이 약간 높게 나왔다.



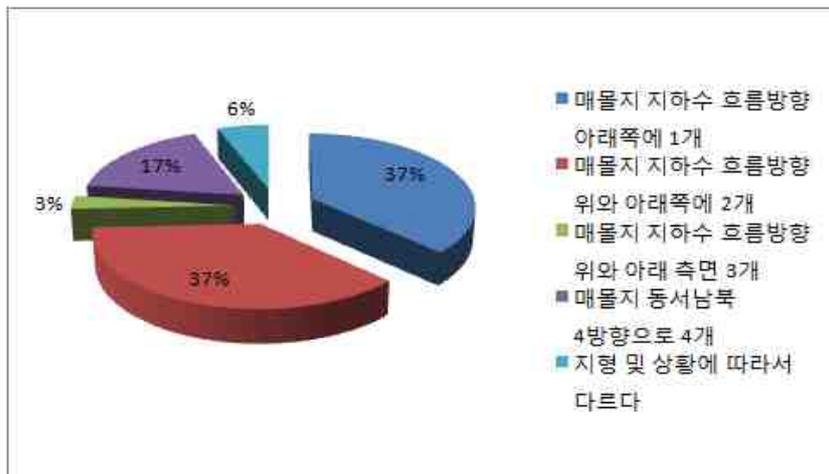
<그림 211> 관측정 설치 필요성 여부

관측정이 필요하지 않다는 응답이 48%로 높게 나타나 그 이유를 물어 본 결과 ‘비효율적인 관측정 기능’이 60%로 가장 많은 비중을 차지하였다. ‘애매한 관측정 설치기준’이 25%를 차지하였으며, ‘관측정 관리의 어려움’ 9%, ‘예산’ 3%, ‘모르겠다’ 3% 순으로 나타났다.



<그림 212> 관측정이 필요하지 않은 이유

관측정 설치 개수에 대하여 ‘매몰지 지하수흐름방향 아래쪽에 1개’ 37%, ‘매몰지 지하수 흐름방향 위와 아래쪽 2개’ 37%, 매몰지지하수흐름 방향 위와 아래 측면 3개‘ 3%, ‘매몰지 동서남북 4방향으로 4개‘ 17%, ‘지형 및 상황에 따라 다르다‘ 6%로 나타났다.



<그림 213> 관측정 설치 개수

(5) 요약

2010년부터 2011년 사이의 겨울에 발생한 구제역은 당시 기하학적인 살처분 가축 규모 뿐 만 아니라 당사자인 지역주민에 큰 정신적·경제적 피해를 끼쳤다. 한 연구에 의하면 구제역 사태를 당해 공포, 두려움, 비난 경제적 불이익, 그리고 불안 등을 경험하였으며, 국가와 제도에 의해 정당화된 살처분은 전 국민에게도 감시와 갈등, 불안과 공포를 유발 시켰다(김선경, 2012). 이는 우리나라 국민들에게도 구제역과 같은 가축전염병에 취약한 국내 축산환경에 대해 의구심과 대안을 고민하게 하는 계기를 제공하기도 했다.

전국 20세 이상 남녀를 대상으로 진행된 구제역 및 AI에 대한 전국 설문조사 결과 대규모 축산이 환경에 미치는 영향에 대하여 열 명 중 여덟 명이 심각하다고 생각하고 있었다. 특히 대규모 축산이 환경에 미치는 영향 가운데 가장 심각한 것으로 하천오염을 가장 많이 꼽았으며, 이후 지하수 오염, 악취 순이었다.

대규모 축산으로 인해 구제역이나 AI같은 감염성 질병에 취약해 졌다는 데에 응답자의 85%가 동의하였다. 이와 같은 대규모 공장형 축산의 문제를 극복하기 위하여 응답자 대부분(88%)은 지속 가능한 축산을 도입해야 한다고 답했다. 구제역을 예방하기 위해서는 축산환경개선이 시급하다고 답했으며(73%), 효과적인 구제역 예방정책 도입시 고려해야 할 사항도 많은 국민들이 환경성을 꼽았다(60%)

매몰지에서 침출수가 유출될 가능성에 대해서는 대다수의 국민들이 가능성이 있다고 보고 있으며(94%), 이렇게 생각하는 주요한 원인으로 부적절한 매몰지 조성을 꼽았다(64%) 이는 정부가 구제역 사후처리 과정에서 국민의 신뢰를 쌓지 못했다는 점을 방증하고 있다. 침출수가 유출된다면 가장 우려하는 부분이 지하수 오염이었다(51%). 따라서 대부분의 국민들(92%)은 침출수가 매몰지 외부로 유출되는 지를 감시하기 위해 관측정이 설치되어야 한다고 답했다. 응답자의 절반가량이 관측정 설치시에 고려해야 할 사항으로 환경성을 꼽았다. 관측정 설치 및 관리를 위한 책임을 맡을 부서로는 환경부와 농림부의 공동(60%) 혹은 환경부(33%)가 맡는 것이 적절하다고 보고 있다.

산지, 평지, 하천 세기 유형별 구제역 매몰지 정밀현장 조사지역 인근 마을 주민을 대상으로 구제역 사후대책에 대해 어떻게 인식하고 영향을 받고 있는지 조사하였다. 조사지역은 경북 안동시 와룡면 서현리, 서후면 대두서리, 그리고 경기도 파주시 파평면 금파리이다. 일반 국민 대상 설문조사에서는 대부분의 응답자가 침출수 유출에 대해 우려를 갖고 있었던 반면에 지역주민들은 약 절반 가량만이 침출수 유출에 대해 우려하고 있었다(산지형 매몰지, 평지형 매몰지 지역 주민들). 이에 반해 하천형 매몰지 인근 주민들은 약 60%가 침출수 유출 가능성이 없다고 보았다.

침출수가 유출되었을 가능성이 있다고 보는 이유는 매몰지 조성이 부적절했기 때문이라고 보고 있었다. 그로 인해 지하수 오염을 우려하고 있다. 따라서 주민들은 관측정이 필요하다고(산지형 75.8%, 하천형 61.5%, 평지형 61.7%) 답했다.

한편, 매몰지 담당 지방자치단체 공무원들은 과반 이상이 구제역 및 AI 사육 매몰지 입지 선정과정에 문제가 있다고 답했다. 사육 매몰지에 비닐을 설치하는 것은 적절하다고 대부분 인식하고 있었으나, 침출수 유출가능성에 대해서는 약 대략 과반수가 의심하고 있었다. 관측정 설치가 침출수 우려를 해소하는데 도움이 된다고 보는 공무원들이 약 58%였다. 관측정 설치에 대해 공무원들은 주로 중앙정부로부터 관련 정보를 얻고 있었다(64%). 구체적으로 관측정 설치를 경험해본 공무원은 응답자의 76%였다. 관측정을 설치할 때 우선 고려하는 요인은 매몰지 위치, 관측정 설치지침 순이었다. 관측정 설치 시 위치 결정은 가축방역담당공무원과 환경담당공무원이 각각 31%로 가장 많았다. 관측정 설

치 위치 선정은 절반 정도의 공무원이 매몰지 주변 지형 중심으로 하였다. 관측정 모니터링은 월 1회가 54%로 가장 많았고, 분기 1회가 34%, 주1회 6%, 중앙정부 지시 있을 때 3% 순이었다. 관측정에 대한 모니터링 결과 침출수 유출 사례가 있었는지에 대한 질문에 대하여 ‘없었다’가 80%, ‘있었다’가 20%로 응답했다. 침출수 유출이 확인된 매몰지에 대한 처리 방식에 대하여 7명이 응답했는데, 액비탱크로 이설, 다른 매몰지로 이설 등이었다.

구제역 담당 공무원들은 매몰지에 관측정을 설치할 때 가장 우선해서 고려해야 할 요인으로 하천변 등 매몰지 위치(44%)를 꼽았다. 관측정 설치 시 위치 결정도 환경담당공무원이 적절하다는 의견이 47%였다.

관측정 설치가 필요한가에 대해서 해당 공무원들은 약 절반 정도만 필요하다고 인식하고 있다. 나머지 절반의 공무원들이 관측정 설치가 필요하지 않다고 생각하는 이유는 비효율적인 관측 기능을 가장 많이 꼽았고, 그 다음 애매한 관측정 설치기준을 들었다. 실제 관측정을 설치한다면 적절한 개수로서 지하수 흐름 아래 1개소 설치(37%), 매몰지 지하수 흐름방향 위와 아래 2개소 설치 (37%), 매몰지 지하수 흐름 방향 위, 아래 그리고 측면 3개소(3%) 순이었다.

9. 경제영향조사

가. 경제성분석방법

(1) 비용효과분석

비용효과분석(CEA)는 어떤 특정한 목표들을 달성하는데 여러 가지 대안들의 비용들과 그들의 효과들을 비교하는 것이다. 또는 대안들의 산출 결과에 대한 금전적 가치추정(valuation)이 수행되지 않는 비용편익분석으로 정의되기도 한다.

비용효과분석은 사업에 필요한 건설비 등 비용에 대한 편익의 효과를 사회경제적 효율성이라는 관점에서 분석하는 것이다. 그러므로 비용효과분석은 특정 사업의 편익이 화폐로 환산이 가능한 경우는 물론 현재 기술적, 실무적으로 화폐 환산이 어려운 경우에도 양적 또는 질적 분석을 행할 수 있다. 기본적으로 결과적으로 측정된 업적 수치를 그대로 사용하기 때문에, 이를 화폐가치로 환산해야 하는 비용편익분석보다는 기술적으로 용이하고 적용가능한 분야가 보다 넓다. 또한 다수의 시책 등 정책옵션에 관해 같은 비용효과분석을 적용하여 얻어진 결과를 어렵지않게 비교할 수 있으며, 전제조건의 변화가 분석결과에 미치는 영향을 시뮬레이션하는 것이 비교적 이용하다는 장점이 있다.

특정 사업의 비용효과의 정도는 다음과 같은 비용효과비(C/E, cost effectiveness ratio)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{C}{E} = \frac{\text{특정 사업의 순금전적 비용}}{\text{특정 사업의 순효과}}$$

이 때 특정 사업의 순효과는 특정 사업이 어떤 분야의 사회정책 사업인지에 따라 달라진다. 즉, 비용효과비는 특정 사업의 효과를 나타내는 분모의 효과 측정단위를 무엇으로 선택하느냐에 따라 달라질 수 있다. 비용효과비는 특정 사업에 의해 획득한 것과 잃은 손실들 간의 상충관계(trade-off)를 명시적으로 분석하는 것이다. 만일 측정된 효과를 측정 한 가치가 그것을 획득하는데 소요되는 비용을 초과한다면, 당연히 그 사업은 채택되어야 한다. 자원이 한정된 상황에서 여러 사업들을 수행해야 한다면, 한계효용 효과비(marginal C/E ratio)의 순서에 따라 특정 사업에 대한 자원을 배분하여야 한다. 예를 들어 연간 불특정한 1명의 사망을 감소시킬 수 있는 사업에 자연재해 예방사업, 인적재해 예방사업, 환경안전 사업이 있다고 하자. 그런데 이를 위해 자연재해 예방사업은 100억원, 인적재해 예방사업은 10억원, 환경안전 사업은 5억원이 투입된다고 하자. 이 경우 사업의 비용효과비를 보면, 자연재해 예방사업은 100, 인적재해 예방사업은 10, 환경안전 사업은 5라고 볼 수 있다. 이 값이 낮을수록 목표한 효과를 적은 비용으로 달성한다고 해석할 수 있다.

(2) 비용편익분석

본 과업은 크게 관측정 설치에 따른 경제성 분석, 특정 매물지의 관리비용에 대한 경제성 분석, 매물지 이설시 사체 처리방법별 경제성 분석으로 구분할 수 있다.

비용편익분석(CBA)은 여러 대안들의 비용과 편익을 각각 측정하고 비교 평가하여 최선의 대안을 도출하는 기술적 방법이라고 정의할 수 있다. 비용편익분석은 기업차원의 재무적 분석과는 달리 사회적 관점 또는 국민경제 전체의 관점에서 비용과 편익을 파악한다. 대안들의 비용과 편익들을 모두 금전적 가치로 측정하여 비교·평가한다. 대안의 집행으로 산출되는 편익이 집행에 따르는 비용을 초과하는 경우에는 대안의 타당성이 확보될 수 있다. 또한 여러 가지 대안들 가운데 하나를 선택해야 하는 경우에는 편익/비용 비율(benefit cost ratio)이 가장 높은 대안을 선택한다. 서로 다른 목표를 가진 여러 가지 프로그램 대안들을 편익/비용 비율(B/C)과 같은 기준을 통하여 비교할 수 있다는 장점을 지닌다.

비용편익분석을 이용하여 사업의 타당성을 평가할 때 다음과 같은 점들을 유의하여야 한다. 첫째, 대상사업들이 서로 독립적이 아니라 서로 의존적인 성격을 가지는 경우에는 일반적인 비용편익분석 기법을 적용해서 판단하기 어렵다. 둘째, 비용편익분석에서 고려하는 비용은 기회비용이어야 한다. 비용편익분석은 기본적으로 국가전체적인 차원에서 분석하기 때문에, 비용은 단순히 금전적인 지출액이 아니라 그 사업으로 인하여 민간부문에

서 얻지 못한 편익으로 파악되어야 한다. 셋째, 비용과 편익을 산정할 때 단순한 이전 편익 내지 비용은 포함시키지 않는다. 예를 들어 국고보조금이나 세금 등은 정부에게서 개인 또는 기업으로 혹은 개인 또는 기업에게서 정부로 이전되는 것이므로 국가전체차원에서는 이득이나 손실이라고 볼 수 없다. 넷째, 간접적 편익은 다른 부문에서 기회비용이 발생하지 않는 경우에만 포함한다. 특정 사업으로 인한 간접적 편익이 다른 지역 또는 다른 산업에서 발생하는 기회비용에 의해 상쇄될 때는 포함하지 않아야 사업의 타당성을 과대평가하는 오류를 막을 수 있다.

비용편익분석 기법으로는 편익/비용비율(B/C), 내부수익율(IRR), 순현재가치(NPV) 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 많이 사용한다.

- 편익/비용비율 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준년도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용비율)≥1이면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{편익} \cdot \text{비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t 에서의 편익
 C_t : 시점 t 에서의 비용
 r : 할인율(이자율)
 n : 내구연도(분석연도)

내부수익율(Internal Rate of Return: IRR)은 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율을 구하는 방법으로 일반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{내부수익률}(IRR): \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+IRR)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t 에서의 편익
 C_t : 시점 t 에서의 비용
IRR : 내부수익률
 n : 내구연도(분석년도)

순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단한다.

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서 B_t : 시점 t 에서의 편익
 C_t : 시점 t 에서의 비용
 r : 할인율(이자율)
 n : 내구연도(분석연도)

편익/비용비율, 순현재가치, 내부수익률은 그 분석기법마다의 장·단점을 가지고 있다. 어느 한 기법만을 가지고 사업의 경제적 타당성을 판단하기에는 적당하지 않은 경우가 자주 있다. 각 평가지표의 장·단점 등을 개략적으로 살펴보면 다음의 <표 88>과 같다.

<표 88> 비용편익분석 기법의 비교

분석기법	장 점	단 점
편익/비용 비 율	<ul style="list-style-type: none"> •이해 용이 •사업규모 고려 가능 •비용편익 발생기간의 고려 	<ul style="list-style-type: none"> •편익과 비용의 명확한 구분 곤란 •상호배타적 대안선택의 오류발생 가능 •사회적 할인율의 파악
내부수익률	<ul style="list-style-type: none"> •사업의 수익성 측정 가능 •타 대안과 비교가 용이 •평가과정과 결과 이해가 용이 	<ul style="list-style-type: none"> •사업의 절대적 규모 고려치 않음 •몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재
순현재가치	<ul style="list-style-type: none"> •대안 선택 시 명확한 기준 제시 •장래발생편익의 현재가치 제시 •한계 순현재가치 고려 •타 분석에 이용가능 	<ul style="list-style-type: none"> •할인율의 분명한 파악 •이해의 어려움 •대안 우선순위 결정시 오류발생 가능

나. 관측정 설치의 경제성 분석

(1) 분석의 개요

본 장의 목적은 매몰지의 관측정 설치 기준에 대한 경제성 분석을 위해 관측정의 효과에 대한 분석과 설치비용에 대한 자료를 조사하고, 그로부터 비용효과분석(cost effective analysis)을 수행하여 관측정 설치 기준과 관련된 함의를 도출하고자 하였다.

○ 매몰지의 관측정 효과 및 설치비용 검토: 매몰지의 입지, 규모, 형태별 관측정의 효과에 대한 자료 확보와 관측정 설치비용 조사

○ 비용효과분석: 주어진 목표를 달성 위한 최소비용 기준 검토

○ 주요 분석 결과: 비용효과적인 관측정 설치의 기준 제시

관측정 설치의 효과를 분석하기 위해서는 입지유형별, 규모별, 기타 특성에 따른 광범위한 조사와 자료화에 의해 관측정의 설치 효과 데이터베이스가 필요하다. 본 연구에서 그와 같은 자료를 확보하기는 어려운 상황이기, 전문가들의 의견을 조사하여 관측정 설치 효과에 대한 비용효과분석을 수행한다.

매몰지의 관측정 설치 효과에 대한 전문가 그룹이라고 판단되는 한국지하수토양환경학회, 한국수자원학회 지하수분과위원회, 대한환경공학회 회원들을 대상으로 조사를 진행하였다. 결과적으로 수집된 31명의 전문가의 응답자료를 근거로 분석하였다.

(2) 관측정 설치의 경제성 분석

관측정 설치의 경제성 분석(비용효과분석)을 위해 우선 매몰지 축종별 관측정 설치가 필요하다고 생각되는 축종별 매몰두수 기준을 검토한다. 이어서 관측정의 개수가 증가하는 경우 매몰지 침출수 유출 확인 가능성(%)의 변화를 기준으로 관측정 공사비 및 폐공비를 고려하고, 침출수 유출 확인 가능성(%)을 증가시키기 위해 투자할 필요가 있다고 생각하는 비용을 근거로 경제적 관점에서 매몰지에 설치되어야 할 관측정의 개수에 대해 분석한다.

분석에서 답변에서 이상치로 명백하게 보이는 값은 제거하였고, 상한이 주어지지 않는 질문에서는 극단값의 영향을 배제하기 위하여 90% 절단 평균(trimmed mean)을 적용하였다.

(가) 매몰지 축종별 관측정 설치의 기준

매몰지의 관측정 설치를 위한 기준은 축종, 입지유형 및 기타의 특성에 따라 차이가 있겠지만, 정해진 매몰지 조성 원칙을 준수하여 매몰지가 조성되는 경우 특정 매몰두수 이하에서는 관측정을 설치하지 않아도 큰 피해가 우려되지 않을 수 있다. 그러므로 전문가들에게 정해진 매몰지 조성 원칙이 준수된다는 전제에서 축종별로 매몰지에 관측정을 설치해야 하는 최소 매몰두수에 대해 질문하였다.

그 결과 매몰지의 축종별 관측정 설치의 축종별 매몰 두수에 대해 전문가들의 답변은 소의 경우 30두, 돼지의 경우 115두, 가금류(닭, 오리 등)의 경우 1,415두이었다.

<표 89> 매몰지 관측정 설치의 축종별 최소 매몰두수

축종	관측정 설치를 위한 최소 매몰두수
소	30 두
돼지	115 두
가금류(닭, 오리 등)	1,415 두

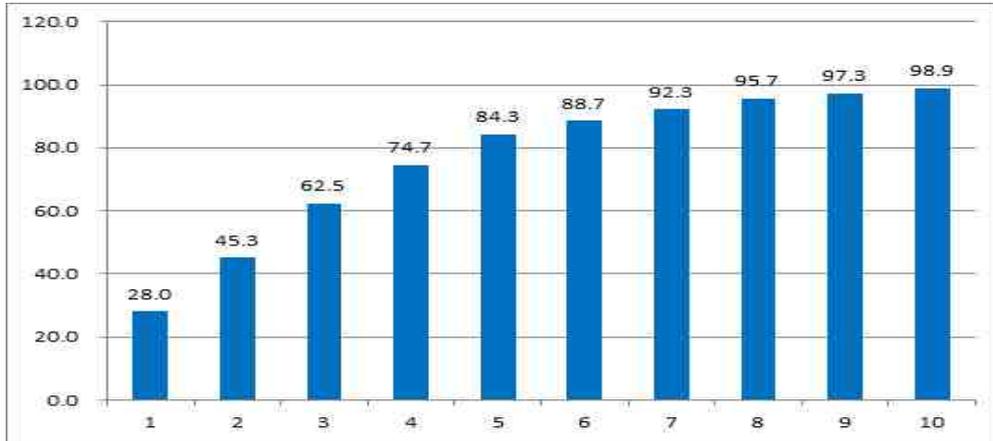
매몰지의 관측정 설치의 축종별 매몰두수 기준은 매몰지 조성 원칙의 준수 여부, 입지 유형별 위험성 요소 등에 대한 종합적 판단에 근거하여 적용할 필요가 있다.

(나) 관측정 설치 개수의 비용효과분석

관측정 설치의 비용효과분석을 위해 가장 중요한 변수는 관측정 설치로 인한 관측정의 목적인 침출수 유출을 확인할 수 있는 가능성(%)이 어느 정도인지와 관측정 설치의 비용이라고 볼 수 있다.

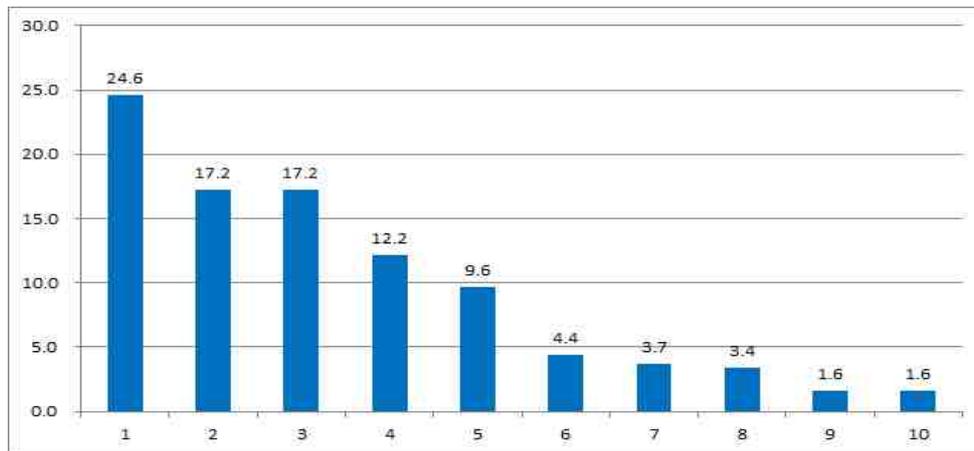
우선 관측정 설치의 효과에 대하여 전문가들에게 매몰지의 관측정 설치 유무 및 설치 개수에 따른 침출수 유출 가능성을 백분율(%)로 평가하도록 하였다. 관측정의 효과에 대한 정확한 평가는 개별 매몰지의 특성을 따라 결정되겠지만, 우리나라 매몰지에 설치된 관측정의 평균적인 효과를 감안하여 답변하도록 요청하였다. 관측정의 효과 평가를 위한 전문가들에게 요청한 조건들은 다음과 같다.

- 침출수가 유출되는 경우 전혀 발견할 수 없다고 판단되면 0%이고, 어떤 경우에도 확인가능하다고 판단되면 100%로 평가
- 설치되는 관측정은 매몰지의 여러 가지 특성을 고려하여 침출수 확인 가능성이 높은 곳부터 설치된다고 가정하고 답변
- 침출수 유출을 100% 확인할 수 있다고 생각되는 관측정의 개수를 먼저 고려한 뒤, 그 이하의 관측정 수에 대해서만 관측정의 침출수 유출 확인 가능성을 백분율(%)로 평가
- 관측정 설치에 따른 매몰지의 침출수 유출 확인가능성(%)에 대한 답변을 근거로 파악한 매몰지 관측정의 개수에 따른 다음과 같다.
- 매몰지의 관측정 1개를 설치하는 경우 침출수 유출 확인 가능성이 28.0% 수준으로 판단되고, 관측정의 개수가 10개로 증가하는 경우 매몰지 관측정의 침출수 유출 확인 가능성이 98.9%까지 증가하는 것으로 파악하고 있다.



<그림 214> 관측정 설치개수에 따른 매몰지의 침출수 확인 가능

매몰지 관측정의 개수 증가에 따른 관측정 1개가 증가하는 경우 추가적으로 증가하는 침출수 유출 확인 가능성(%)을 파악하면, 첫 번째 관측정의 경우 24.6% 포인트이고 2~3 번째 관측정의 경우 각각 17.2%, 4번째 관측정의 경우 12.2%, 5번째 관측정의 경우 9.6%으로 감소하여 9~10번째 관측정의 경우 각각 1.6%이다.



<그림 215> 관측정의 개수에 따른 매몰지의 침출수 확인 가능성(%)의 증분

관측정의 입지유형별 설치비용 및 폐공비용에 대한 응답에 따르면, 산지의 경우 가장 높은 767만원이 소요되는 것으로 파악되고, 평지 및 하천의 경우는 각각 761만원, 669만원 수준으로 파악된다. 입지 유형별 관측정 설치 비용의 평균은 462만원이고, 폐공비용의 평균은 270만원으로 관측정 1개 설치 및 폐공 비용의 합은 평균적으로 732만원 수준이다.

하지만 관측정의 입지유형별 설치비용 및 폐공비용에 대해 보수적인 10% 절단 평균을 계산하면, 산지의 경우 가장 높은 561만원이 소요되는 것으로 파악되고, 평지 및 하천의 경우는 각각 360만원, 469만원 수준으로 파악된다. 입지 유형별 관측정 설치 비용의 평균

은 327만원이고, 폐공비용의 평균은 136만원으로 관측정 1개 설치 및 폐공 비용의 합은 평균적으로 463만원 수준이다.

<표 90> 매몰지 관측정 설치의 입지유형별 비용

입지유형	비용종류	비용(만원)	10%절단평균 적용
산지	설치비용	484	407
	폐공비용	283	153
	합계	767	561
평지	설치비용	501	252
	폐공비용	260	108
	합계	761	360
하천	설치비용	401	322
	폐공비용	267	147
	합계	669	469
평균	설치비용	462	327
	폐공비용	270	136
	합계	732	463

매몰지의 침출수 유출로 인한 피해를 감안할 때 침출수 유출 확인 가능성을 10% 포인트 증가시키기 위해 최대한 어느 정도의 금액까지 (정부 또는 지자체가) 투자할 필요가 있는지에 10% 절단 평균으로 평가한 결과 346만원(/개소)로 파악된다. 이는 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성 10% 포인트 증가에 대한 전문가들 입장에서의 경제적 가치라고 볼 수 있다.

- 이로부터 매몰지 침출수 유출 확인 가능성 1% 포인트 증가의 가치를 환산하면 35만원(/개소)이라고 볼 수 있다.

<표 91> 매몰지 관측정의 침출수 유출 확인 가능성 증가에 대한 투자가능 금액

침출수 유출 확인 가능성(%)의 변화	투자가능 금액(만원)
10% 포인트	346
1% 포인트	35

매몰지 관측정의 침출수 유출 확인 가능성을 고려한 최대 투자금액에 대한 정보를 결합하면 관측정 설치 개수 증가에 대해 어느 정도까지 투자가능하다고 볼 수 있는지를 파악할 수 있다. 즉, 첫 번째 관측정의 경우 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성을 28.0% 포인트 증가시키기 때문에 최대 807만원 투자해도 된다고 볼 수 있다. 추가적인 매몰지의 관측정의

개수에 대해서도 마찬가지로 생각할 수 있다.

<표 92> 매몰지 관측정에 대한 최대 투자금액 고려한 관측정 개수 기준

관측정 개수	침출수 확인 가능성(%)	확인 가능성 충분(% 포인트)	최대투자금액 (만원)
0	3.4	-	-
1	28.0	24.6	851
2	45.3	17.2	597
3	62.5	17.2	597
4	74.7	12.2	421
5	84.3	9.6	333
6	88.7	4.4	151
7	92.3	3.7	126
8	95.7	3.4	118
9	97.3	1.6	55
10	98.9	1.6	55

매몰지 관측정의 설치 개수에 대한 경제성 평가를 위해 관측정 설치 및 폐공에 필요한 비용과 관측정의 개수가 증가할 때 침출수 유출 확인 가능성을 근거로 산정한 최대 투자 금액을 비교할 수 있다.

- 입지유형별 관측정 설치 및 폐공 비용을 고려한 관측정의 비용은 개당 463만원 수준이다. 관측정 설치 개수당 투자가능금액을 고려하면 1번째 관측정의 경우 597만원이기에 관측정을 매몰지에 3개를 설치하는 것이 경제성 분석에 따른 기준이 될 수 있다.

- 정부 또는 지자체가 가지고 있는 예산이 허용한다면 매몰지에 3개의 관측정을 설치할 필요가 있다는 사실을 제안할 수 있지만, 그렇지 못한 경우 매몰지의 침출수 유출 가능성에 근거하여 매몰지 관측정의 설치 개수를 정할 필요가 있다.

그런데 전문가들은 이상적으로는 관측정의 설치비용을 고려한다 하더라도 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성이 75%에 이를 때까지 관측정을 설치할 필요가 있다고 보고 있다. 이 기준을 적용하면 4번째 관측정까지 설치하는 것이 이상적이라고 볼 수 있다.

그러나 이와 같은 관측정 설치 개수에 대한 경제적 관점에서의 판단은 관측정 설치에 대한 기술적 근거 및 사회영향분석 결과와 함께 고려되어야 할 것이다.

매몰지 관측정의 침출수 유출 확인가능성 및 설치 비용을 고려하여 이상과 같은 분석을 할 수 있다 하더라도, 현실의 상황에서는 매몰지의 입지 특성에 따라 침출수로 인한 피해의 심각도가 차이가 있다. 그러므로 평균적인 매몰지라고 보기 어려운 다음과 같은

매몰지의 입지 상황에서는 매몰지를 설치하는 최소 기준으로 제시한 축종별 매몰두수 및 관측정 설치 개수를 증가시키는 방향에 대하여 전문가들이 여러 가지 측면을 종합적으로 판단하여 결정할 필요가 있다.

<표 93> 매몰지 입지에 따른 피해의 심각도에 대한 평가

입지 유형	피해점수	평균 매몰지에 대한 피해의 배수
평균 매몰지	100	1.00
상수원 수질보전특별대책지역내 매몰지	288	2.88
산기(경사지)에 조성된 매몰지	142	1.42
하천변에 조성된 매몰지	173	1.73
주거지와 근접한 매몰지	195	1.95
도로와 근접한 매몰지	102	1.02
우물(관정) 근접한 매몰지	300	3.00
매립지 바닥에서 지하수와 가까운 매립지	246	2.46

다. 매몰지 관리비용 투자의 경제적 파급효과 분석

(1) 분석의 개요

매몰지 관리비용 투자와 관련된 생산 및 부가가치, 취업 유발효과는 매몰지 관리비용 투자 진행 동안 발생하는 효과로 볼 수 있다. 그러므로 산업연관분석 방법을 이용하여 매몰지 관리비용 투자에 따른 생산유발효과 및 부가가치 유발효과, 취업 유발효과를 분석한다. 분석을 위하여 한국은행에 의해 최근에 발표된 2010년 산업연관표를 이용하여 효과를 측정하였다. 한국은행의 2010년 산업연관표는 최종수요의 발생으로 인한 생산 및 부가가치, 취업의 유발효과를 제대로 측정할 수 있는 분석 도구이다.

(2) 분석 방법

(가) 산업연관분석 개요

산업연관모형(Input Output Model)이란 한 경제에서 생산되는 재화와 서비스의 산업간

거래관계, 즉 일정기간 중 생산된 모든 재화와 서비스의 각 산업간 거래(최종수요와 산업간의 거래 및 원초적 투입요소와 산업간의 거래)를 일정한 체계에 따라 정리한 일반균형 통계체제를 말함. 산업연관모형(Input Output Model)을 한 국가경제를 대상으로 하지 않고 그 국가내의 특정지역을 대상으로 작성하게 되면 ‘지역산업연관모형(Regional Input Output Model)’이 된다. 한 국가경제를 대상으로 하는 ‘산업연관모형’의 경우는 산업간 거래가 국내 산업간 거래와 국외 거래뿐이지만, 한 국가 내의 특정지역을 대상으로 하는 ‘지역산업연관모형’의 경우는 지역 내 산업간 거래와 국외 거래 이외에 국내 다른 지역간의 거래가 추가된다는 특징이 있다. 본 연구에서는 2012년 한국은행에서 발표한 2010년 연장 산업연관표는 2005년 실측 산업연관표 기준으로 작성함. 그러므로 부문분류와 포괄 범위 등이 2005년 실측표와 동일하다.

-2010년 연장표는 RAS기법을 이용한 간접추정방식으로 작성

- RAS기법: 산출액과 부가가치 및 최종수요 등 외생부문을 직접 추계하여 중간수요계와 중간투입계를 확정한 후 기준년 표에 가격지수를 반영한 잠정거래표를 작성하여 행과 열을 이중비례(bi-proportional) 조정하여 추계하는 방법

(나) 산업연관표의 기본구조

산업연관표는 행렬 형식으로 되어있기 때문에 보는 방향에 따라 경제구조를 다양하게 파악할 수 있다. 산업연관표의 세로(열; column) 방향은 각 산업부문이 재화 및 서비스를 생산하기 위하여 지출한 생산비용의 구성을 나타내는 투입구조이다. 투입구조는 생산활동에 사용한 원·부재료의 구성을 나타내는 중간투입과 노동 자본 등 본원적 생산요소의 투입내역을 나타내는 부가가치로 구성된다. 가로(행; row) 방향은 각 산업부문이 생산한 재화 및 서비스가 어떤 부문에 사용되기 위해 판매되었는지를 나타내는 배분구조를 나타낸다. 배분구조는 다른 산업의 생산활동에 원·부재료로 판매된 것을 나타내는 중간수요와 소비 투자 수출 등으로 판매된 것을 나타내는 최종수요로 구성된다. 중간투입과 중간수요는 산업간 거래내역을 나타내는데 이를 내생부문이라고 하며, 부가가치와 최종수요를 외생부문이라고 한다.

- 총산출액 = 총투입액
- 총투입액 = 중간투입 + 부가가치 [투입구조]
- 총산출액 = 중간수요 + 최종수요(소비+투자+수출) - 수입 [배분구조]
- 총수요(= 총공급)

- n 개의 산업이 경제 내에 존재한다고 할 때, 생산된 재화들은 최종수요를 충족하기도 하고 다른 산업에 중간재로 사용되기도 하며, 중간재를 z 로 나타내고 아래에 첨자를 붙여서 z_{ij} 라고 표기하면 이는 i 부문에서 j 부문으로 투입되는 중간재의 양을 의미

- 산업연관표를 행(行)으로 보면 i 산업의 중간수요(z_{ij}), 최종수요(Y_i), 수입(M_i) 및 총 산출(X_i)이 기록되는데 이는 i 부문의 산출구조를 보여주며, 이러한 산출구조에 대한 관계는 식 (3.3.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$X_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + Y_i - M_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i - M_i \quad (3.3.5)$$

여기서, a_{ij} 는 j 부문에 사용되는 i 재의 투입량의 몫($a_{ij} = z_{ij} / X_j$)이며, 이를 투입계수(input coefficient) 또는 기술계수(technical coefficient)라고 함

이 비율은 j 부문에서 한 단위의 산출물을 생산하기 위해 투입된 i 산업의 산출물을 의미하며, 투입과 산출간의 관계를 보여줌으로써 각 부문별 기술구조 또는 생산관계를 나타낸다.

식 (3.3.5)은 특정부문의 총생산이 경제 내 모든 부문의 한 단위 생산을 위해 투입되는 i 번째 부문의 생산액과 소비지출, 수출, 투자, 정부지출에 의한 최종 용도에 수요되는 양을 합한 것과 같다는 것을 의미한다.

식 (3.3.5)와 달리 산업연관표에서 j 라는 산업을 열(列)로 보면 중간투입(z_{ij}), 부가가치(W_j), 총 투입(X_j)이 기록되는데 이는 j 부문의 투입구조를 보여주며 식 (3.3.6)으로 표현된다.

$$X_j = \sum_{i=1}^n z_{ij} + W_j = \sum_{i=1}^n r_{ij} X_i + W_j \quad (3.3.6)$$

여기서, r_{ij} 는 행벡터로 구성된 중간투입을 총 투입으로 나눈 것이며($r_{ij} = z_{ij} / X_i$), 이를 산출계수(output coefficient)라고 한다.

식 (3.3.6)은 어떤 부문의 총 생산은 그 부문이 경제 내 모든 부문과 수입부문으로부터 구매할 금액에 이 부문의 원초적 투입요소 또는 부가가치(즉, 임금, 이윤, 세금 등)에 대한 모든 수익을 합한 것과 같다는 것을 의미한다.

n 개의 산업이 존재하는 경제의 산업연관표의 기본 구조는 <표 94>와 같다.

<표 94> 산업연관표의 기본구조

구 분	중간수요 (중간재)	최종수요	수입	총산출
중간투입 (중간재)	$\begin{matrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nn} \end{matrix}$	$\begin{matrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{matrix}$	$\begin{matrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{matrix}$	$\begin{matrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{matrix}$
부가가치	$W_1 \quad W_2 \quad \cdots \quad W_n$			
총 투 입	$X_1 \quad X_2 \quad \cdots \quad X_n$			

식 (3.3.5)를 전 산업에 대해 축약된 행렬식으로 나타내면 식 (3.3.7)이 됨

$$X = ZI' + Y - M = A\mathcal{X}I' + Y - M \quad (3.3.7)$$

- 여기서, Z 는 z_{ij} 로 이루어진 $n \times n$ 행렬
- X 는 x_{ij} 로 이루어진 $n \times 1$ 행렬
- I 은 1을 원소로 하는 $1 \times n$ 행렬
- '은 전치한 것(transpose)을 의미
- A 는 $n \times n$ 으로 이루어진 투입계수 행렬
- 따라서 다음과 같은 식들이 성립

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}, \quad Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1n} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nn} \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, \quad M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_n \end{bmatrix}$$

이 때, 투입계수행렬의 정의에 따라 $Z = A(\mathcal{X})$ 이 성립하며, 또한 \mathcal{X} 은 행벡터인 X 의 원소를 대각행렬로 나타낸 것으로 $X = \mathcal{X}I'$ 이고, 식 (3.3.7)을 정리하여 다시 쓰면 다음 식이 됨

$$X = (I - A)^{-1}(Y - M) \quad (3.3.8)$$

- 여기서, I 는 n 차원 단위행렬

(다) 경제적 파급효과 분석을 위한 유발계수

산업연관분석은 최종수요의 변동(소비 혹은 투자)이 각 산업의 생산활동에 미치는 직·간접의 파급효과를 계측하는 것임. 최종수요 변동으로 인한 경제적 파급효과는 보통 세 가지, 즉, 생산 유발효과, 부가가치 유발효과, 고용 및 취업 유발효과 측면에서 파악한다. 부가가치 유발효과는 다시 부가가치를 구성하는 항목별로 각각의 유발효과로 나눌 수 있다. 여기에서는 생산유발, 부가가치 유발, 취업유발효과 계측을 위하여 각각의 유발계수를 설명하기로 한다.

① 생산 유발효과

생산유발 효과는 특정 지역의 최종수요 한 단위를 충족시키기 위해서 직·간접적으로 유발되는 생산효과를 의미한다. 산업연관표에서 각 산업부문에서 생산된 생산물은 중간수요(Z)와 최종수요(Y)로 배분되는데 산업연관표를 이용하면 다음과 같은 수급방정식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_1 + Y_1^d = X_1$$

$$Z_2 + Y_2^d = X_2$$

이 수급방정식은 국산 투입계수($A_{ij}^d = \frac{Z_{ij}^d}{X_j}$)를 이용하면 다음의 식으로 변형되고, 투입계수로 된 수급방정식을 행렬 형식으로 표기하면 다음과 같다.

$$A^d X + Y^d = X$$

단, A^d 는 국산투입계수행렬, X 는 총산출액 벡터,
 Y^d 는 국산품에 대한 최종수요 벡터

이 수급방정식 $AdX + Yd= X$ 를 산출액 X 에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A^d X + Y^d &= X \\ (I - A^d) X &= Y^d \\ X &= (I - A^d)^{-1} Y^d \end{aligned}$$

단, A^d 는 국산투입계수행렬, X 는 총산출액 벡터,
 Y^d 는 국산품에 대한 최종수요 벡터, I 는 단위행렬임

위 식에서 $(I - A^d)^{-1}$ 를 생산유발계수행렬이라고 하는데 최종수요가 한 단위 증가하였을 경우 이를 충족시키기 위해서 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 산출규

모를 나타낸다. 생산유발계수는 역행렬계수 또는 레온티에프 역행렬계수라고도 한다.

② 부가가치 유발효과

재화와 서비스에 대한 최종수요의 증가는 국내 생산을 유발하며 이는 생산과정을 통해 다시 부가가치 및 고용(취업)을 유발된다. 최종수요에 의한 부가가치 유발효과를 측정하는 방법은 다음과 같다.

최종수요에 의해 생산이 유발되고 생산활동을 통해 부가가치가 창출되는 관계는 부가가치계수 $A^v (= V_t / X_t)$ 를 생산유발계수에 곱하여 계산된다.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widehat{A}_1^v & 0 \\ 0 & \widehat{A}_2^v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} Y^d$$

$$V = \widehat{A}^v (I - A^d)^{-1} Y^d$$

단, $\widehat{A}^v (I - A^d)^{-1}$ 는 부가가치 유발계수

③ 고용(취업) 유발효과

생산활동은 기본적으로 중간재에 자본이나 노동 등 본원적 생산요소를 결합하여 이루어진다. 수요증가에 따른 관련 산업의 생산활동은 노동의 수요를 수반하게 되므로 노동의 산업별 파급효과 측정은 노동수요 예측 및 계획수립에 있어 중요한 자료를 제공할 수 있다.

부가가치와 마찬가지로 일정 기간 동안 생산활동에 투입된 산업별 노동(L)을 산출액(X)으로 나눈 고용(취업)계수 (=Li/Xi)의 대각행렬을 이용하면 최종수요가 각 지역의 고용을 어느 정도 유발하는지 계산할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \widehat{T}_1 & 0 \\ 0 & \widehat{T}_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} Y^d$$

$$L = \widehat{T} (I - A^d)^{-1} Y^d$$

단, $\widehat{T} (I - A^d)^{-1}$ 는 고용(취업)유발계수

취업유발효과는 고용유발효과에 무급종사자 및 자영업자를 포함한 것으로 분석방법은 고용유발 효과의 경우와 동일하다.

(3) 경제적 파급효과

(가) 사업 비용의 산업별 분할

산업연관분석은 최종수요의 변동(소비 혹은 투자)이 각 산업의 생산활동에 미치는 직·간접의 경제적 파급효과를 계측하는 것이다. 최종수요 변동으로 인한 경제적 파급효과는 생산 유발효과, 부가가치 유발효과, 고용(취업) 유발효과 측면에서 파악할 수 있으며, 부가가치 유발효과는 다시 부가가치를 구성하는 항목별로 각각의 유발효과로 나눌 수 있다. 여기에서는 매몰지 관리비용 투자에 의한 생산, 부가가치 그리고 취업에 대하여 지역 내·외 경제파급효과를 분석한다.

매몰지의 관리비용을 추정하기 위해서는 매몰지를 유지하는 경우 발생하는 다양한 비용을 포함해서 분석하여야 한다. 여기에는 매몰지 관리를 위한 공무원들의 정기 점검을 위한 비용과 더불어 시료 측정에 투입된 비용 등도 포함될 것이다. 그러나 이상과 같은 비용 이외에 국민들이 매몰지의 침출수가 유출되는 것으로 인한 환경오염 우려가 없어지지 않고 있다면 그 또한 사회적 관점에서 매몰지의 중요한 관리비용이라고 볼 수 있다. 그러므로 가축매몰지 관측정 설치기준 제시방안_경제성 분석 첫째 연구에서는 매몰지의 침출수 유출로 인한 환경피해에 대한 피해 우려로 인한 사회적 관점에서의 매몰지 관리비용의 추정에 초점을 맞추어 분석하였다.

이를 위하여 CVM 전국 설문을 통하여 매몰지의 관리비용을 추정하기 위하여 매몰지의 다양한 피해를 방지하기 위한 부담금을 이중 양분선택형 질문 방식으로 조사하였다. CVM에 의한 매몰지의 피해 방지를 위한 평균 지불의사금액은 6,024원(95% 신뢰구간 3,447원 ~ 8,601원)으로 추정된다. 전국의 20세 ~ 65세의 인구는 2012년 8월 기준으로 34,237,436명이므로 앞서 도출된 매몰지의 피해 방지를 위한 평균 지불의사금액을 곱하면, 총 2,062.42억원(95% 신뢰구간 1,180.06억원 ~ 2,944.79억원)으로 추정되었다.

<표 95> 지역별 매몰지의 사회적 관리비용 추정

구분	평균 1인당 지불의사금액 (원)	매몰지의 사회적 관리비용 (억 원)
전국	6,024 (3,447 ~ 8,601)	2,064.42 (1,180.06 ~ 2,944.79)

주: ()안은 95% 신뢰구간을 의미함.

매몰지 관리비용 투자 2,062.42억원의 경제적 파급효과 분석을 위해서는 연구비를 28개 대분류 산업부문으로 구분하여 한다. 우선, 제2장에서의 관측정 설치의 경제성 재분석에서 도출된 결과를 반영하여 매몰지마다 3개씩 관측정이 설치된다면 전국 총 4,261개의 매몰지를 포괄하기 위해서는 591.87억원이 건설(18) 부문의 최종 수요를 구성한다. 그리고 매몰지 관측정에 대한 투자 금액을 제외한 금액의 1/3을 매몰지의 사후 관리를 책임지게 되는 지자체와 축산환경 개선을 위해 축산업에 배분한다. 이는 공공행정 및 국방(25)와

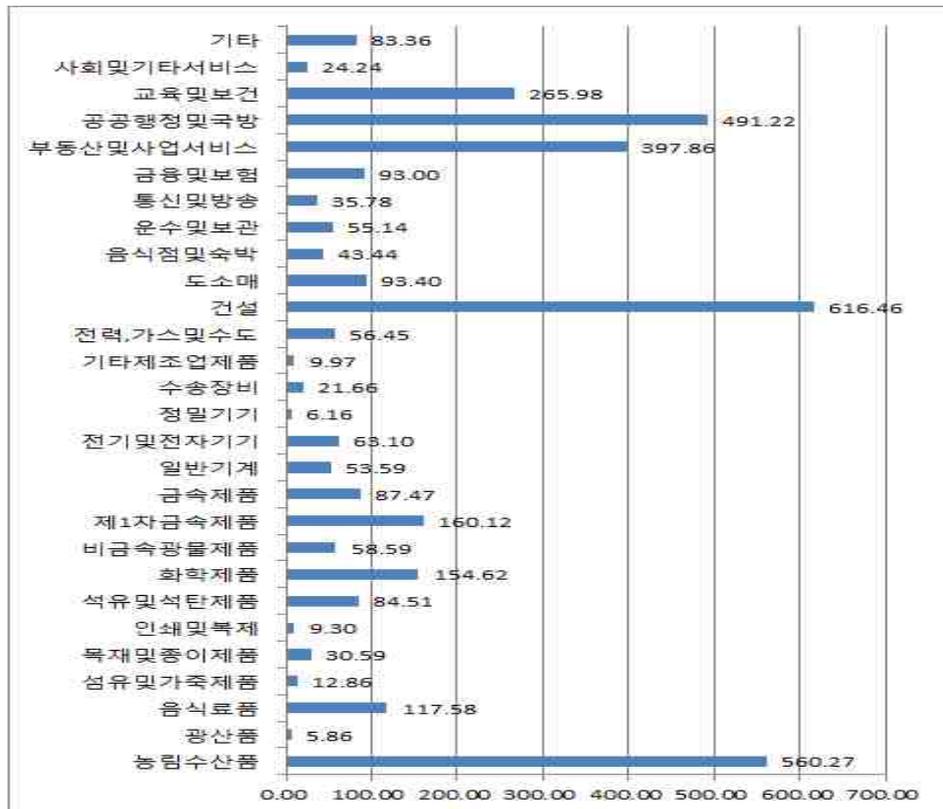
농림수산물(1) 부문에 490.18억원씩 투자하는 것이다. 마지막으로 남은 1/3은 매몰지 조성 및 매몰지의 사후 관리 방법의 개선과 더불어 구제역·AI 방지를 위한 기술 및 정책개발 연구에 투자하는 것으로 상정한다. 이 연구에 대한 투자는 연구기관과 교육기관에 50%씩 배분된다면 부동산 및 사업서비스(24)와 교육 및 보건(26) 부문에 245.09억원씩 투자되는 것이다.

<표 96> 매몰지 관리비용 투자의 부분별 최종수요 구분

산업부문	매몰지 관리비용 투자 (10억원)
농림수산물(1)	49.018
건설(18)	59.187
부동산 및 사업서비스(24)	24.509
공공행정 및 국방(25)	49.018
교육 및 보건(26)	24.509
합계	206.242

(나) 생산 유발효과 분석

매몰지 관리비용 투자 2,062.42억원의 최종 수요 증가로 인하여 전국에 3,692.57억원의 생산 유발효과가 발생한다. 이 중에서 건설(18) 616.46억원으로 생산 유발효과가 가장 크며, 뒤를 이어 농림수산물(1) 560.27억원, 공공행정 및 국방(25) 491.22억원, 부동산 및 사업서비스(24) 397.86억원, 교육 및 보건(26) 265.98억원 순이다.



<그림 216> 매몰지 관리비용 투자의 생산유발효과(단위: 억원)

매몰지 관리비용 투자의 생산유발효과 중 건설(18)이 16.69%로 가장 큰 비중을 차지하고, 농림수산물(1) 15.17%, 공공행정 및 국방(25) 13.30%, 부동산 및 사업서비스(24) 10.77%, 교육 및 보건(26) 7.20% 순이다..

<표 97> 매몰지 관리비용 투자의 생산 유발효과

산업대분류 번호	산업부문	생산유발액 (억원)	생산유발액 비율 (%)
1	농림수산물	560.27	15.17
2	광산물	5.86	0.16
3	음식료품	117.58	3.18
4	섬유및가죽제품	12.86	0.35
5	목재및종이제품	30.59	0.83
6	인쇄및복제	9.30	0.25
7	석유및석탄제품	84.51	2.29
8	화학제품	154.62	4.19
9	비금속광물제품	58.59	1.59
10	제1차금속제품	160.12	4.34
11	금속제품	87.47	2.37
12	일반기계	53.59	1.45
13	전기및전자기기	63.10	1.71
14	정밀기기	6.16	0.17
15	수송장비	21.66	0.59
16	기타제조업제품	9.97	0.27
17	전력,가스및수도	56.45	1.53
18	건설	616.46	16.69
19	도소매	93.40	2.53
20	음식점및숙박	43.44	1.18
21	운수및보관	55.14	1.49
22	통신및방송	35.78	0.97
23	금융및보험	93.00	2.52
24	부동산및사업서비스	397.86	10.77
25	공공행정및국방	491.22	13.30
26	교육및보건	265.98	7.20
27	사회및기타서비스	24.24	0.66
28	기타	83.36	2.26
합계		3,692.57	100.00

(다) 부가가치 유발효과 분석

매몰지 관리비용 투자 2,062.42억원의 최종 수요 증가로 인하여 전국에 1,704.52억원의 부가가치 유발효과가 발생한다. 이 중에서 공공행정 및 국방(25) 330.66억원으로 생산 유발효과가 가장 크며, 뒤를 이어 농림수산물(1) 294.94억원, 부동산 및 사업서비스(24) 266.58억원, 건설(18) 246.54억원, 교육 및 보건(26) 175.31억원 순이다.



<그림 217> 매몰지 관리비용 투자의 부가가치 유발효과(단위: 억원)

매몰지 관리비용 투자의 부가가치 유발효과 중 공공행정 및 국방(25)이 19.40%로 가장 큰 비중을 차지하고, 농림수산물(1) 17.30%, 부동산 및 사업서비스(24) 15.64%, 건설(18)

14.46%, 교육 및 보건(26) 10.29% 순이다.

<표 98> 매몰지 관리비용 투자의 부가가치 유발효과

산업대분류 번호	산업부문	부가가치 유발액 (억원)	부가가치 유발액 비율(%)
1	농림수산물	294.94	17.30
2	광산품	3.56	0.21
3	음식료품	30.00	1.76
4	섬유및가죽제품	3.80	0.22
5	목재및종이제품	7.92	0.46
6	인쇄및복제	3.60	0.21
7	석유및석탄제품	17.45	1.02
8	화학제품	31.06	1.82
9	비금속광물제품	17.86	1.05
10	제1차금속제품	25.95	1.52
11	금속제품	25.35	1.49
12	일반기계	13.67	0.80
13	전기및전자기기	13.58	0.80
14	정밀기기	1.62	0.09
15	수송장비	5.27	0.31
16	기타제조업제품	2.75	0.16
17	전력,가스및수도	16.95	0.99
18	건설	246.54	14.46
19	도소매	52.45	3.08
20	음식점및숙박	16.68	0.98
21	운수및보관	19.92	1.17
22	통신및방송	15.84	0.93
23	금융및보험	53.11	3.12
24	부동산및사업서비스	266.58	15.64
25	공공행정및국방	330.66	19.40
26	교육및보건	175.31	10.29
27	사회및기타서비스	12.11	0.71
28	기타	0.00	0.00
합계		1,704.52	100.00

(라) 취업 유발효과 분석

매몰지 관리비용 투자 2,062.42억원의 최종 수요 증가로 인하여 전국에 3,975.8명의 취업 유발효과가 발생한다. 이 중에서 농림수산물(1) 1,678.9명으로 취업 유발효과가 가장 크며, 뒤를 이어 건설(18) 524.6명, 공공행정 및 국방(25) 435.9명, 교육 및 보건(26) 384.3

명, 부동산 및 사업서비스(24) 311.2명 순이다.



<그림 218> 매몰지 관리비용 투자의 취업 유발효과(단위: 명)

매몰지 관리비용 투자의 취업유발효과 중 공공행정 및 농림수산물(1)이 42.23%로 가장 큰 비중을 차지하고, 뒤를 이어 건설(18) 13.19%, 공공행정 및 국방(25) 10.96%, 교육 및 보건(26) 9.67%, 부동산 및 사업서비스(24) 7.83% 순이다.

<표 99> 매몰지 관리비용 투자의 취업 유발효과

산업대분류 번호	산업부문	취업유발인원(명)	취업유발인원 비율(%)
1	농림수산물	1,678.9	42.23
2	광산품	2.5	0.06
3	음식료품	34.7	0.87
4	섬유및가죽제품	8.0	0.20
5	목재및종이제품	11.2	0.28
6	인쇄및복제	7.9	0.20
7	석유및석탄제품	1.2	0.03
8	화학제품	27.6	0.69
9	비금속광물제품	17.9	0.45
10	제1차금속제품	11.4	0.29
11	금속제품	47.7	1.20
12	일반기계	20.1	0.51
13	전기및전자기기	12.0	0.30
14	정밀기기	3.1	0.08
15	수송장비	4.6	0.12
16	기타제조업제품	6.1	0.15
17	전력,가스및수도	5.0	0.13
18	건설	524.6	13.19
19	도소매	187.7	4.72
20	음식점및숙박	90.6	2.28
21	운수및보관	48.3	1.21
22	통신및방송	9.5	0.24
23	금융및보험	47.5	1.19
24	부동산및사업서비스	311.2	7.83
25	공공행정및국방	435.9	10.96
26	교육및보건	384.3	9.67
27	사회및기타서비스	36.5	0.92
28	기타	0.0	0.00
합계		3,975.8	100.00

라. 구제역 사태 및 매몰지에 대한 인식

(1) 분석의 개요

매몰지 관리비용 경제성분석은 특정 매몰지 사례에 대한 분석으로 매몰지로부터 우려되는 피해를 포함한 사회적 비용을 고려하여 매몰지의 관리비용을 도출하고자 하였다. 주요 연구 방법은 특정 매몰지에 대한 사례에 대한 경제성 분석으로 매몰지의 환경영향의 비용 내지 피해 방지의 편익 측정: 비시장재화가치 측정법 중 진술선호법 이용하였고, 주요 분석 결과: 특정 매몰지의 환경영향 고려한 매몰지의 관리비용 도출하였다.

매몰지 이설시 또는 구제역 발생시 사체 처리방법은 소규모 매몰지를 조성하는 방식 이외에도 대규모 매립, 소각, 친환경적 소각, 멸균처리 및 이용(랜더링) 등이 있다. 본 장에서는 비시장재화가치측정법 중 진술선호법을 이용하여 가축사체 처리방법별로 사회적 편익을 추정하고자 하였다.

주요 연구 방법: 설문조사 및 비시장재화 가치측정법 적용한 계량경제학적 분석이고 설문조사: 매몰지 이설시 처리방법의 주요 속성에 대한 가치 평가를 위한 전국민 대상 설문조사로 인터넷 조사 방법 활용하였다. 표본은 1,000개이다. 본 조사는 진술선호법(stated preference method)으로 조건부가치측정법을 이용하였고, 주요 분석 결과로 매몰지 이설시 처리방법별 비용편익분석으로 경제적인 처리방법에 대한 기준 제시를 제시하였다.

(2) CVM(조건부가치측정법) 설계

(가) 비용 및 편익의 범위

구제역 매몰지 관리비용 및 가축사체 처리방법의 편익을 추정하기 위해서는 동 시설 내지 방법에 의한 사회적 비용 내지 편익을 포괄적으로 추정할 수 있어야 한다.

매몰지 관리비용에는 매몰지 조성을 위해 투입된 비용 외에 지역주민들이 매몰지의 환경오염에 대한 우려와 관련된 사회적 비용이 고려될 필요가 있다. 가축사체 처리방법의 편익 추정도 각 처리방법에 대한 국민들의 선호를 반영하여 해당 방법별 사회적 편익을 추정할 필요가 있다. 이와 같이 구제역 매몰지 관리비용 및 가축사체 처리방법의 편익에는 직접적으로 지출하는 비용 또는 직접적으로 얻어지는 편익 이외에도 매몰지 침출수에 의한 다양한 피해에 대한 우려와 관련된 비용 및 그에 대한 우려를 불식시키기 위한 사체처리방법의 편익이 파악되어야 한다.

환경자원경제학 분야에서는 비시장재화(non-marketed goods)의 가치를 평가할 수 있는 비시장재화가치측정법이 발달하여 왔기에, 본 분석에서도 해당 비용 및 편익을 분석하

기에 적절하다고 판단되는 방법론을 적용할 필요가 있다.

(나) 편익의 추정방법

매몰지 관리비용 및 가축사체 처리방법별 편익을 추정하기 위해서는 비시장재화가치추정법 중에서 진술선호법(SP)이 적절하다고 판단된다. 왜냐하면 매몰지의 관리비용 및 가축사체 처리방법의 편익은 시민들에게 영향을 주는 매몰지의 침출수에 의한 환경적 피해 우려와 관련되어 이용가치(use value)와 더불어 이용가치에 포함되지 않는 다양한 이유에서 발생하는 비이용가치(non-use value)가 함께 포함되어 있다고 생각된다. 그러므로 이와 같은 가치들을 시장적 접근법이나 현시선호법(RP)에 의해 측정하기는 쉽지 않다고 볼 수 있기 때문이다. 시장적 방법은 평가하고자 하는 대상 재화 또는 서비스의 실제 시장이 있는 경우에 이용할 수 있다. 대상 재화의 공급량 변화에 따른 편익은 시장 거래 자료를 활용하여 추정한다. 재화의 매매에 대한 정보를 알면 대상 재화의 가치를 직접 추론할 수 있다.

하지만 매몰지의 환경오염 우려로 인한 관리비용 및 가축사체 처리방법에 의한 환경오염 우려 해소 등의 경우, 시장에서 평가되는 시장의 정보를 얻기 힘든 것이 대부분이다. 이런 경우에는 다른 방법론을 이용하여 대상 재화의 가치를 추정할 수밖에 없다. 현시선호법은 관련 시장에서 개인들이 실제로 행한 선택에 대한 자료를 활용하여 평가 대상 재화의 가치를 추론하는 방법이다. 여기에는 휴양수요모형(recreation demand model), 특성임금모형(hedonic wage model), 특성가격모형(hedonic price model), 회피행위모형(avoiding behavior model) 등이 포함된다.

진술선호법은 설문에서의 가상적인 선택 자료에 근거하여 평가 대상 재화의 편익을 추정하는 방법이다. 여기에는 조건부가치추정법(contingent valuation method, CVM) 및 컨조인트 분석(conjoint analysis, CA)¹⁵⁾이 포함된다.

진술선호법의 장점은 설문에서 가상적인 시나리오를 적절하게만 작성한다면, 평가하고자 하는 재화와 그 재화의 공급상황에 대해 다양한 상태를 쉽게 지정할 수 있다는 점이다. 특히 현재의 제도적 준비 또는 공급수준에 의해 제한되지 않기 때문에 새로운 사업들의 편익을 사전적으로 측정하는데 이용하기에 적합하다. 또한 평가 대상 재화가 이용가치 이외에 비이용가치가 상당 정도 있다고 판단되는 경우에는 현시선호법에 의해서는 접근이 쉽지 않은 대상 재화의 비이용가치 및 총가치 추정을 위해 진술선호법이 사용될 필요가 있다. 조건부가치추정법(CVM)은 묘사된 가상적인 재화에 대해 일정 금액의 지불의사 또는 최대지불의사금액을 질문하는 방식이다. 이 방식에 대한 자세한 개괄을 위해서는 신

15) 컨조인트 분석 방법은 경영학, 교통계획 분야 등에서 이용되었지만, 환경자원경제학에서 환경자원의 가치 추정 연구에 이용되면서 이론적 및 방법론적 개선을 통하여 선택실험(choice experiment, CE)방법으로 발전하였다.

영철(2007) 또는 Mitchell and Carson(1989), Hanemann(1991), Kopp et al.(1997), Carson(2000)을 참조하면 된다. 미국해양대기국(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 소집한 유명 경제학자를 포함한 패널은 이 방법론에 대한 검토를 통해, 이 방법의 우려를 회피할 수 있도록 실행된다면 충분히 믿을만한 추정치들을 얻을 수 있다고 결론지었다(NOAA, 1993).

한편 컨조인트 분석(CA)은 다른 속성(attributes)과 가격을 지닌 유사한 상품들에 대해 응답자들이 2개 이상의 선택 대안들 중에서 응답자들이 선호하는 대안을 선택 하여, 그로부터 평가 대상 재화의 속성 및 수준별 가치를 한계가치를 도출하는 방식이다. 이 방식은 조건부가치추정법(CVM)에 비해 각 속성 및 수준별 가치를 추정할 수 있다는 점에서 유용한 측면을 가지고 있는 가치추정방법이다.

<표 100> 편익 추정 방법

접근법	주요분석모형	적용대상
시장적 방법	•피해함수(damage function)	<ul style="list-style-type: none"> •사고, 홍수 피해 등의 피해 비용 •기반시설 및 공공시설 편익
	•생산함수(production function)	
	•비용함수(cost function)	
현시선호법	•휴양수요모형(recreational demand models)	•위락시설 및 공공시설의 편익
	•특성임금모형(hedonic wage model)	•사망위험성 및 질병위험성 감소 편익
	•특성가격모형(hedonic price model)	•기반시설 및 전시·문화시설의 편익
	•회피행위모형(averting behavior model)	•피해 회피용 사업 및 피해 회피와 관련된 사업의 편익
진술선호법	•조건부가치평가법/가상가치평가법(contingent valuation method, CVM)	•모든 종류의 편익
	•컨조인트 분석(conjoint analysis, CA) /선택실험법(choice experiment, CE)	•모든 종류의 편익

조건부가치추정법(CVM)의 경우 기본적으로 대상 재화의 속성 및 수준을 분할하여 측정하기 보다는 총체적으로 가치 평가하도록 하는 형식을 취하는 반면, 컨조인트 분석

(CA)는 대상 재화의 속성 및 수준에 따른 가치 평가를 목적으로 한다. 그런데 컨조인트 분석(CA)은 대상 재화의 속성과 수준 및 선택대안의 수가 많아질 경우 응답자들에게 인지상 과도한 부담을 주는 방식이 되어 신뢰성에 문제를 가져올 수 있다. 본 조사에서는 매몰지 관리비용 및 가축사체 처리방법의 편익 추정과 관련된 유사 연구를 찾기 어려울 뿐만 아니라, 이용가치 이외에 비이용가치가 포함된다고 판단하였다. 그러므로 동 사업의 편익 추정을 위해 진술선호법 중 조건부가치추정법(CVM)을 이용한다. 왜냐하면 속성 및 수준을 분할하기 보다는 해당 비용 및 편익의 총체적 가치를 추정하고자 하기 때문이다.

(다) CVM(조건부가치추정법) 설계

① 설문 설계

㉠ 설문지의 전반적 구성 및 절차

조건부가치추정법에서 이용하는 설문지의 전반적 구성은 크게 세부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째 부분은 설문의 도입부로서 가치평가 대상 재화에 대한 인식이나 태도 등에 대해 질문한다. 여기서는 구제역 및 AI 사태에 대한 인식 및 매몰지의 환경오염에 대한 의견 등을 물어보았는데, 그러한 질문들이 응답자가 다소 답하기 쉽기도 하고 이후 평가하고자 하는 대상 재화와 관련된 정보를 파악할 수 있도록 해 준다. 두 번째 부분은 조건부가치추정법(CVM)의 시장 시나리오(market scenario) 구축과 관련되는 부분으로 매몰지 관리비용 및 가축사체 처리방법의 총체적 가치를 추정하기 위한 질문으로 구성된 설문에서 가장 중요한 부분이다. 그리고 마지막 부분은 응답자의 사회경제적 특성에 대한 질문으로 지불의사금액모형을 분석할 때 이용되는 변수들의 정보를 조사한다. 조건부가치추정법(CVM)은 가치추정의 대상이 되는 재화와 관련한 시장 시나리오를 구축하여 모집단을 대표하는 설문 응답자에게 제시한 뒤, 이 설문조사를 통해 얻은 답변 자료를 이용하여 그 재화의 가치를 추론하는 방법이다. 조건부가치추정법(CVM)을 이용해 환경 개선 및 환경오염과 같은 비시장재화의 가치를 측정하기 위해서는, 응답자에게 제시하는 설문을 통해 대상 재화(the good being valued)가 거래되는 시장시나리오를 만들어 놓아야 한다. 이 시장시나리오에는 가치를 측정하고자 하는 대상 재화, 시장 유형(market type), 지불의사 유도방법(elicitation method), 지불수단(payment vehicle) 등이 포함되는데, 이것이 제대로 만들어졌느냐의 여부가 조건부가치추정법(CVM) 조사의 성패를 좌우할 수 있다. 조건부가치추정법(CVM) 시장시나리오를 설계할 때 응답자로부터 답변을 유도할 수 있도록 충분한 동기를 주어야 한다는 점이 가장 중요하다. Mitchell and Carson(1989)에 따르면, 조건부가치추정법(CVM) 시장시나리오는 일반적으로 이해가능성(understandability), 적절성(plausibility), 의미성(meaningfulness)이란 세 가지 기준을 충족해야 한다. 이에서

한 걸음 더 나아가 Carson(1991)은 이 외에 이론적 정확성 및 정책과의 관련성이란 기준도 함께 충족되어야 한다고 지적하였다. 그렇기 때문에 본격적인 조사를 실시하기에 앞서 소규모집단조사(focus group interview) 및 사전조사 등을 통해 응답자의 반응을 미리 검토해 볼 필요가 있다. 이와 같은 검토과정을 거쳐 응답자들이 연구자의 의도를 정확하게 이해할 수 있도록 수정, 보완해 최종적인 조건부가치측정법(CVM) 시장시나리오를 구축하는 것이 바람직하다. 이에 따라 본 조사에서도 소규모집단조사 및 사전조사를 통해 수정, 보완하는 작업을 거친 후 조건부가치측정법(CVM) 시장시나리오를 작성하게 되었다.

㉑ 가치 평가 대상 재화와 재화의 공급

본 연구에서 가치 평가하고자 하는 대상 재화는 매몰지 관리비용 및 가축사체 처리방법의 편익이다. 응답자들이 구제역 및 AI 매몰지의 환경오염에 의한 비용을 이해할 수 있도록 하기 위하여 먼저, 구제역 및 AI 사태 및 매몰지의 환경오염 우려에 대한 의견 및 선호도에 대한 질문부터 시작하였다. 한편 매몰지 피해 방지 부담금 및 구제역·AI 대응 사업을 위한 부담금을 부과하는 주체를 명시적으로 표시하지는 않았지만, 중앙 정부 차원에서 진행되는 사업임을 응답자가 인식할 수 있도록 하였다.

㉒ 조건부가치 시장의 유형

정치적 시장모형이라 할 수 있는 주민투표 모형(referendum model)을 적용하였다. 즉, 매몰지 피해 방지 부담금 및 구제역·AI 대응 사업을 위한 부담금으로 특정 금액을 제시하고 그 금액을 지불할 의사가 있는지 없는지 여부를 양분선택적으로 답변(즉, ‘예’와 ‘아니오’)하도록 하였다. 이러한 시장은 한편으로 일반 시장에서 소비자들이 직면하는 상황과도 유사하다. 일반적으로 시장에서는 상품에 대해 제시된 가격을 보고 구입 여부를 양분선택적으로 결정하기 때문이다. 그러나 매몰지 피해 방지 부담금 및 구제역·AI 대응 사업을 위한 부담금의 경우는 일반 시장에서 거래되는 재화가 아니고, 공공재의 성격을 갖는 재화에 속한다고 볼 수 있으므로 공공재의 공급 여부를 결정하기 위한 주민투표 상황과 더 유사하다고 볼 수 있다.

㉓ 지불수단 및 지불의사 유도방법

모든 조건부가치측정법(CVM) 연구는 응답자로부터 일정한 지불의사금액을 유도해야만 한다. 그러므로 특정한 유도방법과 지불형식(payment format)을 결정할 때는 우선, 방법과 형식이 (주민투표와 같이) 관련 제도와 어느 정도 동일한가 하는 정도, 둘째, 응답자의 결정을 단순화할 수 있는 정도, 셋째, 편의로부터 자유로운 정도를 기준으로 삼아야 한

다. 본 연구의 설문에서 지불수단은 매몰지 피해 방지 부담금 및 구제역·AI 대응 사업을 위한 부담금으로 설정한다. 기부금이나 예산배분비율 등을 지불수단으로 고려할 수 있으나, 부담금이라는 지불수단은 강제적 부담 방식일 뿐만 아니라 부담의 이유가 되는 특정 목적을 명시할 수 있기 때문에 응답자들에게 특정 목적을 위한 지불의 부담을 분명하게 인식한 상태에서 답변할 수 있도록 해 준다는 장점을 지니고 있다.

조건부가치측정법(CVM) 연구에서 이용된 지불의사 유도방법으로는 개방형 질문법, 경매법, 지불카드 이용 질문법, 단일 양분선택형 질문법, 이중 양분선택형 질문법 등이 있다. 개방형 질문법은 경매법 또는 지불카드 방법보다 신뢰성이 낮다. 왜냐하면 응답자들이 일반적으로 조건부가치측정법(CVM)에서의 평가대상이 되는 재화의 가격을 책정하는 일에 친근하지 않기 때문이다. 그리고 경매법은 처음 제시되는 금액에 따라 응답자의 지불의사금액(WTP)가 유의한 영향을 받는 출발점 편향(starting point bias)을 발생시키고, 지불카드 이용 질문법은 제시된 지불카드에 표시된 금액 범위에서 선택하게 되어 범위편향(range bias)을 발생시킨다고 평가된다.

한편 Bishop과 Heberlein(1979)은 개방형 질문법, 경매법, 지불카드 이용 질문법이 가지고 있는 한계를 극복할 수 있는 방법으로 양분선택법(take-it-or-leave-it method) 또는 단일경계 폐쇄형(single-bound close-ended) 질문법을 최초로 제안하고 적용하였다. Heberlein(1986)은 양분선택법이 다른 유도방법보다 더 신뢰적임을 발견하였다. 왜냐하면 양분선택법은 응답자에게 무작위로 제시된 금액에 대해 응답자가 자신이 쾌적성에 대해 지불하고자 하는 금액보다 높은지 또는 낮은지에 따라 ‘예/아니오’만을 말하면 되기 때문이다. 이 유도방법은 개방형 질문법 또는 경매법이 가지고 있는 대부분의 편향을 극복할 수 있는 반면에, 응답자들로부터 얻는 정보의 양이 감소하기 때문에 신뢰성 회복을 위해서는 더 큰 표본크기를 유지해야 하는 단점을 지니고 있다. 또한 최근 Green et al.(1995)에 의해 출발점 편향의 심리학적 근거인 정박효과(anchoring effect)가 존재할 수 있다고 지적하였다. 이러한 단일 양분선택형 질문법의 효율성 상실을 극복하기 위해 Carson과 Hanemann과 Mitchell(1986)은 양분선택질문을 연이어 한 번 더 하는 방법을 사용하여 자료의 효율성을 높일 수 있다고 제안하였다. 이러한 방법을 이중 양분선택형(dichotomous choice with a follow-up) 또는 이중경계 폐쇄형(double-bound close-ended) 질문법(지불의사 유도방법)이라 부른다. 그러므로 이중 양분선택형 질문법이 무조건적 긍정 또는 부정 편향이나 정박효과가 심각하게 발생하지 않는다면, 이중 양분선택형 질문법이 응답자의 지불의사금액 유도시 자료의 효율성을 높일 수 있는 방법이다.

본 연구의 설문에서 지불의사 유도방법으로는 Hanemann(1985)과 Carson(1985)에 의해 제안된 二重兩分選擇型(dichotomous choice with a follow-up) 질문형식을 이용한다. 일반적으로 이 질문형식은 일단 어떤 특정한 금액을 제시하고 이 금액을 지불할 용의가 있다고 응답하는 경우 첫 번째 제시금액의 약 2배에 해당하는 금액을 제시하는 한편, 그렇지 않다고 응답하는 경우에는 첫 번째 제시금액의 약 1/2에 해당하는 금액을 제시하는

방식으로 진행된다. 이와 같은 방식은 일정한 금액을 낼 의사가 있는지를 단 한번만 제시하고 응답하게 하는 單一兩分選擇型(dichotomous choice or take-it-or-leave-it) 질문형식에 비해 통계적 효율성의 측면에서 상대적으로 더 나은 점이 있을 뿐 아니라, 제시금액(bid)들의 설계가 잘못되는 경우에도 이를 수정할 수 있는 장점을 지니고 있는 것으로 알려져 있다(Kanninen, 1993a).

㉞ 제시금액의 설계

기존의 제시금액 설계방식은 모수의 값을 알고 있다고 가정한 경우에 제시금액을 어떻게 설계하는 것이 가장 효율적인지에 대한 제시금액 최적 설계방식에 대한 연구들이 있다. 제시할 금액의 최적설계 방식에는 Finney(1971), Silvey(1980), Kanninen(1993b)이 제안한 방식을 이용할 수 있다. 그러나 최적 설계 방식은 이론적으로 하나 또는 두 개의 제시금액의 설계가 된다. 사전적으로 지불의사금액의 분포를 정확히 알고 있을 경우 효율적인 설계 방식이 될 수 있지만, 그렇지 못할 경우에는 효율적인 설계가 되지 않는다. 그러므로 제시금액 최적 설계 방식은 지불의사금액의 실제 분포를 알 수 없는 상황에서 이루어지는 조사에서 이용하기에는 다소 한계를 가지고 있다. 제시금액 설계와 관련한 일반적 경험법칙은 단일양분선택형 질문에서는 15분위수와 85분위수 이내, 이중양분선택형 질문에서는 10분위수와 90분위수 이내로 설계하여 분포의 꼬리부분의 값들을 제거할 것을 요구한다. 일반적으로 사용되고 있는 분위수에 기초한 제시금액 설계방식은 최적설계와 비교하면 효율성이 떨어지고 있지만, 그러한 방법이 배제되어야 하는 수준은 아니고 오히려 최적설계에서 얻은 결과와 유사해지고 있다. 특히 이중 양분선택형 질문을 사용하는 경우에는 첫번째 제시금액이 잘못 제시되더라도 이를 정정할 수 있는 능력이 있기 때문에 상대적으로 넓은 범위를 포괄하더라도 단일 양분선택형 질문처럼 심각한 편의를 발생시키지 않는다. 그러므로 첫번째 제시금액을 사전 조사에서 조사된 지불의사금액의 분포를 감안하여 10분위수와 90분위수 이내로 설계하였고, 두번째 제시금액은 첫번째 제시한 금액을 지불할 의사가 있다고 하는 경우에는 첫 번째 금액의 2배, 첫 번째 제시한 금액을 지불할 의사가 없다고 하는 경우에는 첫 번째 제시금액의 1/2배로 낮추어 질문하였다.

(나) 표본 및 조사 설계

① 개요

조건부가치측정법(CVM)은 표본조사를 통해 모집단의 지불의사금액에 대한 정보를 추론하고자 한다. 이 경우 표본설계 및 조사실행에서의 오류로 인한 편의가 발생할 수 있다. 이러한 편의의 발생은 표본조사에서 얻어진 자료를 통해 모집단의 특성을 추론할 때

왜곡이 발생하게 된다. 표본설계 및 조사실행에서의 오류로 인한 편의에는 모집단 선택 편의(population choice bias), 표집틀 편의(sampling frame bias), 표본 불응답 편의(sample nonresponse bias), 표본선택 편의(sample selection bias)가 있다.

모집단 선택 편의는 연구자가 대상으로 하는 모집단을 잘못 설정하는 경우에 발생함. 일반적으로 모집단은 연구대상(또는 원소), 표집단위(sampling unit), 범위(extent), 시기(time)로 정의됨. 공공재에 대한 지불은 개인보다는 가구 차원에서 이루어지는 것이 일반적이므로 개인보다는 가구가 적절한 연구대상(원소)이 된다. 표집틀이란 표본단위들의 목록이다. 만약 모집단과 표집틀이 차이가 나는 경우에 표집틀 편의가 발생한다. 이러한 편의가 발생하면 추정결과를 모집단의 특성으로 일반화하기 어렵게 만든다. 예를 들어 전화 조사에서 전화번호부를 표집틀로 이용하는 경우에는 전화미보유자 및 전화번호부 미기재자로 인한 표집틀 편의가 발생한다.

한편 표본 불응답 편의에는 표집단위의 불응답과 항목 불응답이 있다. 조건부가치측정법(CVM) 시장 시나리오가 복잡한 경우 또는 가치측정 대상 재화가 응답자와 친숙하지 않은 재화인 경우에는 표본 불응답 편의의 가능성이 증가하게 된다. 표본 불응답이 발생할 때 대면조사한 응답자와 유사한 특성을 가지고 있다고 가정한다면 가중치를 사용하여 이를 조정할 수 있다. 표본 선택 편의는 조건부가치측정법(CVM) 조사에 스스로의 판단에 의해 참여 여부를 결정하는 경우에 발생한다. 이 경우에는 가중치 조정방법으로 조정할 수 없고 Heckman(1979)이 제시한 표본선택모형(sample selection model)에 의해 추정해야 한다.

② 표본 설계

조건부가치측정법(CVM) 시장 시나리오가 충분히 현실적이라 하더라도 충분한 질을 보장하는 표본을 얻을 수 없다면, 모집단의 지불의사금액을 신뢰성있게 추정할 수 없게 된다. 표본의 신뢰성 높이기 위해서는 모집단을 대표할 수 있는 표본추출방식을 사용해야 한다. 본 연구에서 표본조사 설계과정의 기본골격은 다음과 같다. 우선 모집단을 전국 20세 ~ 65세 국민으로 설정한 다음, 각 지역에 대해 연령대 및 성별을 고려하여 총 1,000명의 표본을 조사하였다. 1차 표집단위는 표집단위는 인터넷 전문조사기관에서의 보유하고 있는 전국의 패널이다. 2차 표집단위는 각 지역에 속하는 인구의 성별, 연령별 비율을 고려한 해당 조건을 만족하는 시민이다.

본 조사에서는 이와 같은 표본 설계를 통해 모집단선택편의, 표집틀 편의 및 표본선택 편의가 발생하지 않도록 신중을 기하였다.

③ 조사 설계

본 설문조사의 조사방법으로 인터넷조사 전문기관에 의한 인터넷조사 방식을 이용하였다. 대부분의 국민들이 인터넷을 이용하고 있을 뿐만 아니라 설명 자료에 필요한 다양한 사진 자료 등의 제시 등이 연구자의 의도대로 배치될 수 있다는 장점이 있다. 설문 응답 결과에 따라 프로그래밍된 형태로 질문을 제시하도록 할 수 있어 조사자에 의한 오류 또는 조사자편의(interviewer bias)로부터 자유로울 수 있다는 장점도 있다. 인터넷조사 전문기관의 전국 패널에 대해 조사를 진행하였기에, 인터넷상에서 진행되는 무작위적인 조사에서 발견될 수 있는 익명성에 의한 자료의 신뢰성 감소를 방지할 수 있다. 사전 조사는 2012년 9월중 100명을 조사하였으며, 구제역 및 AI 대응 정책에 대한 기본적인 질문과 더불어 지불의사금액을 개방형(open ended) 질문 형식으로 물었다. 그 결과 얻어진 지불의사금액의 분위수를 고려하여 2012년 10월중 전국민에 대하여 1,000명을 조사하였다.

(3) CVM에 의한 지불의사금액 추정방법

(가) 지불의사금액모형

환경관련 정책은 환경재(environmental goods)의 공급량이나 질을 변화시킨다. 그리고 개인의 입장에서는 자신이 소비하는 문화재의 공급량이나 질은 대개의 경우 스스로 선택할 수 없고 외생적으로 주어지고 있다. 그러므로 문화재의 공급량이나 질의 변화로 인한 편익은 소비자에게 외생적으로 주어지고 있는 문화재의 공급량이나 질이 소비자의 후생에 어떤 영향을 주는가에 의해 파악할 수 있다. 만약 정부가 문화재의 공급량을 늘린 결과 문화의 질이 개선되었다고 하면, 소비자의 후생이 증가될 것이며 바로 그 후생의 증가폭을 지불의사금액이라는 개념으로 표현할 수 있다. 문화재의 공급이 줄어 문화의 질이 악화된 경우에는 지불의사금액이 음(陰)의 값을 가지며, 이는 그와 같은 변화를 막기 위해 소비자가 최대한으로 지불할 용의가 있는 금액이라는 의미가 된다. 이 지불의사금액은 여러 가지 방법으로 측정될 수 있는데, 그 한 예가 히스잉여(Hicksian surplus) 개념으로 측정하는 방법이다.

히스잉여의 개념은 크게 보상잉여(compensating surplus)와 대등잉여(equivalent surplus)로 나누어 볼 수 있다. 문화재 공급량의 증가로 인한 후생 변화는 히스의 보상잉여 개념으로, 문화재 공급량의 감소로 인한 후생 측정은 히스의 대등잉여 개념으로 파악하는 경우 소비자의 최대 지불의사금액이란 형태로 파악된다. 한편 문화재의 공급량 증가의 경우 후생변화를 히스의 대등잉여 개념으로, 문화재 공급량의 감소로 인한 후생 측정을 히스의 보상잉여 개념으로 파악하면 소비자의 최소 수용의사금액(willingness-to-accept)으로 정의할 수 있다. 본 연구에서는 CVM 연구에서 일반적으로 이용되는 문화재 공급량의 변화로 인한 후생 변화를 소비자의 지불의사금액으로 정의하는 방식을 취한다.

양분선택형 CV 자료에 대한 기본 모형은 확률효용모형(random utility model: RUM) 임. Bishop과 Heberlein이 양분선택형 질문 방식을 CV에 도입했지만, Hanemann(1984)이 확률효용모형의 기본 모형을 정립하였다. MaFadden(1974)이 발전시킨 확률효용모형을 이용하여 Hanemann은 양분선택 CV 질문들에 대한 응답 자료를 이용하여 추정 및 해석할 수 있도록 정립하였다(Habb과 McConnell, 2002).

확률효용모형에 따르면 효용함수는 결정된 선호(deterministic preferences) 부분과 확률적 선호(stochastic preference) 부분으로 나누어진다. 개인들은 자신의 선호를 확실하게 알고 있기 때문에 자신의 선호를 확률적이라고 생각하지 않는 반면, 연구자에게는 파악되지 않아서 확률적(stochastic)이라고 취급될 수 있는 부분이 생겨나게 된다. 이 관찰되지 않는 부분은 개인의 특성 또는 가치평가 대상의 속성들에서 기인할 수 있다. 또한 모집단에서 개인들 선호의 변이(variation)와 측정 오차(measurement error) 양자로부터 발생할 수도 있다. 이제부터 선호의 확률적 부분을 ε 라고 표시하면 간접효용함수(indirect utility function)는 다음과 같다.

$$v(y, Z, q^j, \varepsilon_j) = v(y, Z, q^j) + \varepsilon_j, \quad j=0, 1 \quad (1)$$

여기서 y 는 개인의 소득, Z 는 시장재의 가격들, 시장재의 속성들, 기타 선호와 관련된 개인들의 특성 등을 포함하는 다양한 독립변수들의 벡터, q 는 비시장재화로 $q^1 > q^0$ 로서 q^1 은 q^0 에 비해 개선된 상태라고 가정한다. 그리고 ε 은 개별 응답자 자신은 알고 있지만 연구자에게는 관찰되지 않는 선호 부분임. q^0 에서 q^1 으로 개선하기 위해 A 원을 지불할 의사가 있는지에 대해 지불할 의사가 있다고 답변하는 경우는 다음과 같다.

$$v(y-A, Z, q^1) + \varepsilon_1 > v(y, Z, q^0) + \varepsilon_0 \quad (2)$$

효용차이함수(utility difference function, Δv)는 $\Delta v \equiv v(y, Z, q^1) - v(y, Z, q^0)$ 이며 오차항은 $\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_0$ 라고 하면, q^0 에서 q^1 으로 개선하기 위해 제시한 금액 A 원을 지불하겠다는 경우의 확률은 다음과 같다.

$$\Pr(\text{예}) = \Pr(\Delta v > \varepsilon) = F_\varepsilon(\Delta v) \quad (3)$$

이때 F_ε 은 오차항(ε)의 누적확률밀도함수(cumulative density function)인데, 오차항(ε)이 특정 분포에 따른다고 가정하고 분석을 진행할 수 있다.

한편 Cameron and James (1987)과 Cameron (1988)이 제안한 방식에 따라서, 효용함수에 대한 정의를 거치지 않고 응답자들의 최대지불의사금액(WTP)을 정의할 수 있음. 지

출함수의 차이로부터 개념을 직접 측정할 수 있다. 이 경우 보상잉여를 CS 라고 하면 다음의 식을 만족한다.

$$v(y - WTP, Z, q^1) + \varepsilon_1 = v(y, Z, q^0) + \varepsilon_0 \quad (4)$$

WTP 는 효용수준을 변화시키지 않으면서 q^0 에서 q^1 으로 개선하기 위한 최대지불의 사금액이며 보상잉여(compensating surplus) 개념($CS = CS(y, Z, q^0, q^1, \varepsilon)$)에 해당하기에 두 상황에 대한 지출차이함수(expenditure difference function)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} WTP &= CS(y, Z, q^0, q^1, \varepsilon) = e(y, Z, q^0, v) - e(y, Z, q^1, v) \\ &= X\beta + \varepsilon \end{aligned} \quad (5)$$

지출함수 $e(\cdot)$ 는 주어진 효용수준을 달성하기 위한 최소한의 지출액, X 는 소득을 포함하여 다양한 설명변수들의 벡터, β 는 설명변수의 계수 벡터를 뜻하며, 오차항 ε 은 특정 분포를 따른다고 가정한다.

(나) 지불의사금액모형의 추정방법

이때 q^0 에서 q^1 으로 개선하기 위해 제시한 금액 A 원을 지불하겠다는 경우의 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr(\text{예}) &= \Pr(WTP > A) = \Pr(X\beta + \varepsilon > A) \\ &= \Pr(X\beta - A > \varepsilon) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 개인의 내재 지불의사금액을 WTP_i^* 라고 표시하면, 설문조사 결과를 통해 식 (6)에서 응답자의 내재 지불의사금액 WTP_i^* 가 직접적으로 관찰될 수는 없다. 어떤 사람에게 특정한 금액을 지불할 의사가 있는지를 묻고 이에 대해 ‘예’ 혹은 ‘아니오’ 중 하나의 응답만을 얻을 수 있기 때문이다. 그러나 다음과 같은 과정을 통해 간접적으로 응답자의 내재지불의사금액을 알아낼 수 있다. 특정 대상 사업을 위해 주민이 제시된 금액을 부담할 용의가 있느냐는 질문에 접한 응답자는 마음속에서 그 금액을 WTP_i^* 와 비교해 ‘예’ 혹은 ‘아니오’의 응답을 하게 된다. 즉 그 금액이 WTP_i^* 보다 작으면 ‘예’, 그리고 반대의 경우라면 ‘아니오’라는 대답을 할 것이다. 이 사실에 입각해 다음과 같은 지시함수(indicator function)를 정의할 수 있다.

$$I_{ji} = 1 \quad \text{if } WTP_i^* \geq t_{ji}$$

$$I_{ji} = 0 \quad \text{if } WTP_i^* < t_{ji}, j = 1 \quad (7)$$

처음으로 i 번째 사람에게 제시된 금액이 t_{1i} 인데 이에 대한 그의 양분선택적 응답이 '예'로 나왔다면 I_{1i} 은 1의 값을 갖게 된다. 이로부터 응답자에게 첫 번째로 제시된 금액이 그의 내재 지불의사금액보다 더 작거나 같다는 정보를 얻을 수 있게 된다. 만약 그의 응답이 '아니오'로 나왔다면 I_{1i} 는 0의 값을 갖고, 이 경우에는 제시된 금액이 그의 내재 지불의사금액보다 더 컸다는 정보를 얻게 된다.

이 경우에는 제시금액에 대한 양분선택적 응답만을 자료화하여 분석하면 된다. 단일양분선택형 자료만 이용할 때의 로그 우도함수는 다음과 같다.

$$\ln L = \sum_i \{ I_{1i} \ln[1 - F(t_{1i}; \theta)] + (1 - I_{1i}) \ln[F(t_{1i}; \theta)] \} \quad (8)$$

여기서 $F(\cdot; \theta)$ 는 분포와 관련된 모수 θ 를 갖는 누적확률밀도함수(CDF)이다.

일반적으로 이중 양분선택형 설문방식을 채택하고 있기 때문에 이 첫 번째 단계의 질문에 대해 어떻게 응답하느냐에 따라 금액을 조정해 또 다시 제시하게 된다. 즉 '예'라고 대답한 사람에게는 그렇다면 첫 번째 제시된 금액보다 더 큰 금액(예컨대 약 2배에 해당하는 금액)도 낼 용의가 있느냐고 물음. 반면에 '아니오'라고 대답하는 경우에는 그보다 더 작은 금액(예컨대 약 1/2에 해당하는 금액)이라면 낼 용의가 있는지를 묻는다. 이렇게 두 번째 단계에서 제시된 금액을 t_{2i} 라고 할 때, 이에 대한 응답이 '예' 혹은 '아니오'인지에 따라 I_{2i} 가 각각 1과 0의 값을 갖는다. 이 경우 앞서 식(7)에서 제시된 지수함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_{ji} &= 1 && \text{if } WTP_i^* \geq t_{ji} \\ I_{ji} &= 0 && \text{if } WTP_i^* < t_{ji}, j = 1, 2 \end{aligned} \quad (9)$$

어떤 사람에게 두 단계에 걸쳐 제시한 금액에 대한 양분선택적 응답 결과는 두 번 모두 긍정하는 경우, 첫 번째에 긍정하고 두 번째는 거절하는 경우, 첫 번째는 거절하고 두 번째는 긍정하는 경우, 두 번 모두 거절하는 경우의 네 가지 중 하나가 된다. 즉 $(I_{1i}, I_{2i}) = (1,1), (1,0), (0,1), (0,0)$ 가 되는 것이다. 따라서 로그우도함수(log likelihood function)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \ln L &= \sum_i \{ (I_{1i} I_{2i}) \ln[1 - F(t_{2i}; \theta)] \\ &+ I_{1i} (1 - I_{2i}) \ln[F(t_{2i}; \theta) - F(t_{1i}; \theta)] \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + (1 - I_{1i})I_{2i}\ln[F(t_{1i};\theta) - \Phi(t_{2i};\theta)] \\
& + (1 - I_{1i})(1 - I_{2i})\ln[F(t_{2i};\theta)] \} \tag{10}
\end{aligned}$$

여기서 $F(\cdot;\theta)$ 는 분포와 관련된 모수 θ 를 갖는 누적확률밀도함수(CDF)이며, 오차항에 대하여 적용하는 분포는 일반적으로 정규분포(normal distribution) 또는 로지스틱분포(logistic distribution)에 따른다고 가정하고 분석한다.

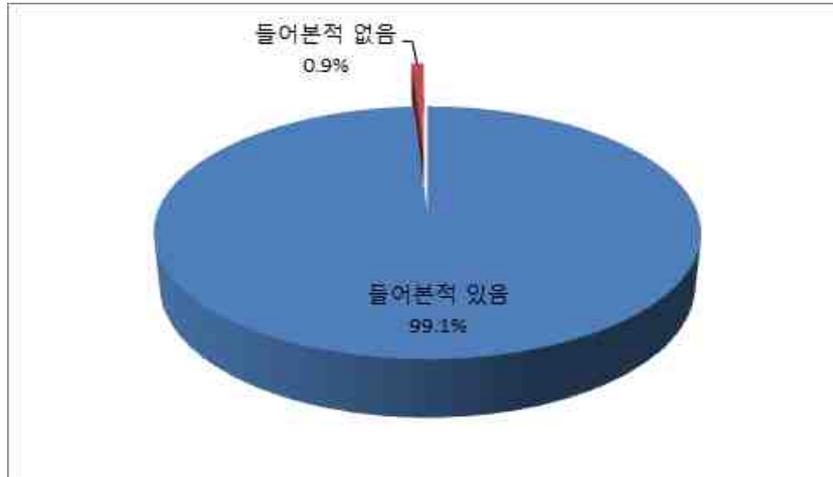
(4) 구제역 사태 및 매몰지에 대한 인식

구제역 및 AI 대응 정책에 대한 의견 조사에 대한 응답자의 성별, 연령별, 지역별, 결혼 여부, 세대주와의 관계는 다음 표와 같다. 표본은 성별, 연령별, 지역별 모집단의 구성비를 고려하여 할당하여 조사하였다.

<표 101> 설문 조사 응답자의 특성별 구성비

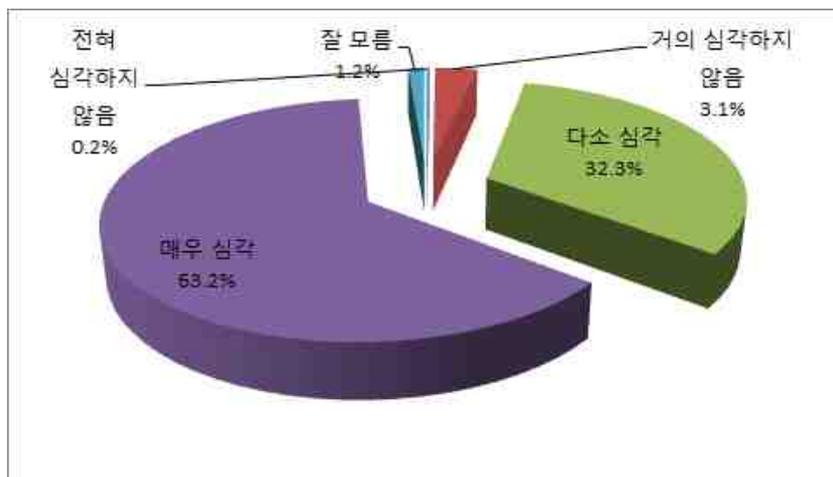
특성	구분	빈도 (명)	구성비율 (%)
성별	남자	510	51.0
	여자	490	49.0
연령별	20대	191	19.1
	30대	241	24.1
	40대	261	26.1
	50~65세	307	30.7
지역별	서울	212	21.2
	경기/인천	293	29.3
	대전충청	97	9.7
	광주전라	98	9.8
	대구경북	102	10.2
	부산/울산/경남	158	15.8
	강원/제주	40	4.0
결혼 여부	미혼	312	31.2
	결혼	661	66.1
	기타	27	2.7
세대주와의 관계	본인	518	51.8
	배우자	266	26.6
	기타	216	21.6

구제역 및 AI에 대해 들어본 적이 있는지에 대해서는 99.1%가 들어본 적이 있다고 답변하여, 구제역 및 AI에 대해서는 대부분의 국민들이 알고 있다.



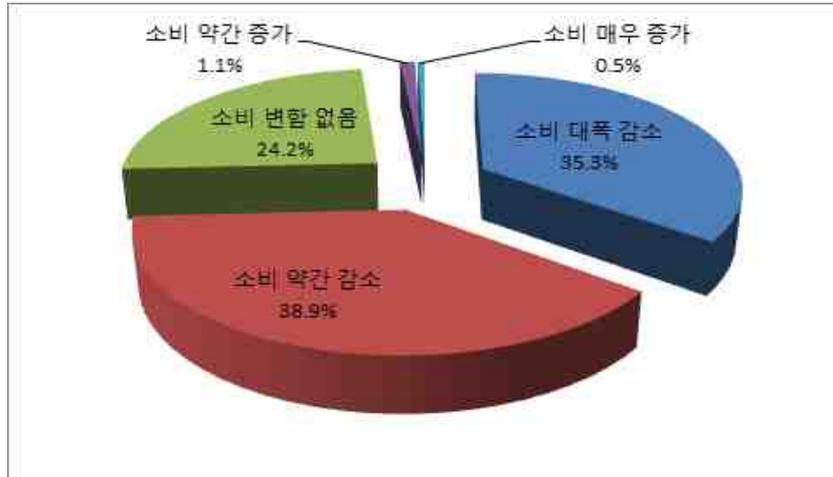
<그림 219> 구제역 및 AI 인지 여부

2010년 11월 ~ 2011년 3월에 걸쳐 발생한 우리나라 대규모 구제역 사태의 심각성에 대해 매우 심각하다고 생각한 경우가 63.2%로 가장 많고, 다소 심각하다고 생각한 경우가 32.3%로 95%이상의 국민들이 당시 구제역 사태를 심각하게 생각하고 있다.



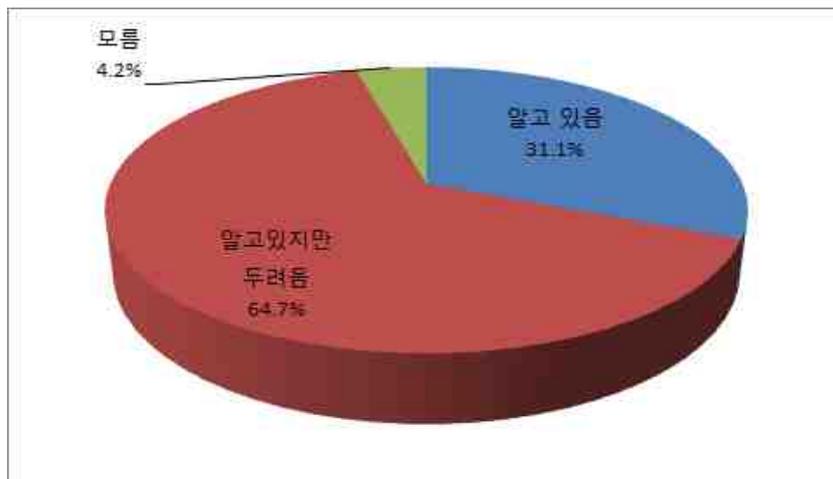
<그림 220> 최근 구제역 사태의 심각성에 대한 의견

구제역 사태 기간 중 관련 식품의 소비를 대폭 감소시킨 경우가 35.3%, 소비를 약간 감소시킨 경우가 38.9%로 나타나 당시에 관련 식품의 소비의 감소가 적지 않은 폭으로 일어났음을 확인할 수 있다.



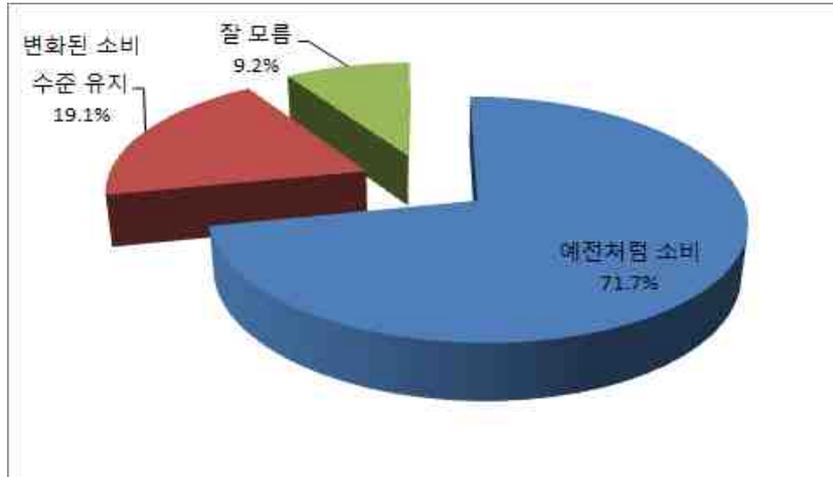
<그림 221> 구제역 사태 기간 중 관련 제품의 소비 변화

구제역이 발생하더라도 조리한 식품의 안정성에 전혀 문제가 없다는 사실을 알고 있었는지에 대한 질문에 대해, 64.7%가 ‘알고 있었지만 두려움이 있었다’고 답변하였고 31.1%는 ‘알고 있었다’고 답변하였다. 상당수의 국민들이 정부의 발표에도 불구하고 구제역 관련 식품의 안정성에 대해 두려움을 가지고 있었다.



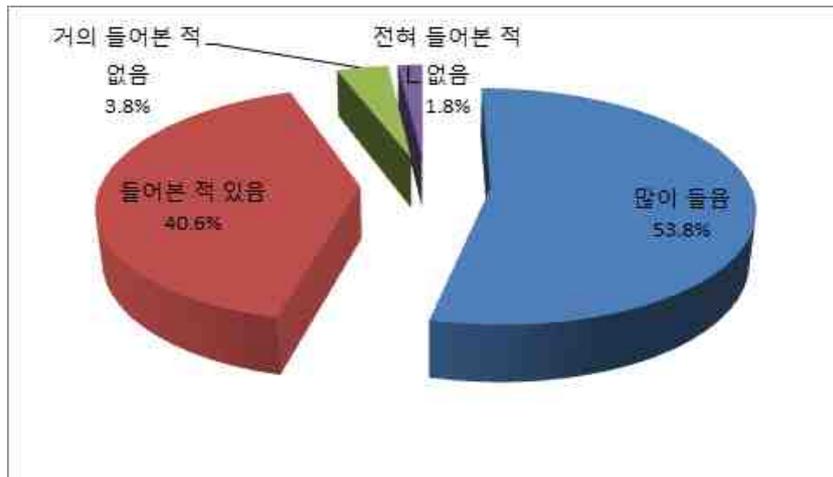
<그림 222> 구제역 관련 식품의 안정성에 대한 인식

구제역 사태 이후에 관련 식품의 소비 수준은 71.7%는 예전 수준으로 회복하였지만, 19.1%는 변화된 소비 수준으로 유지하고 있다.



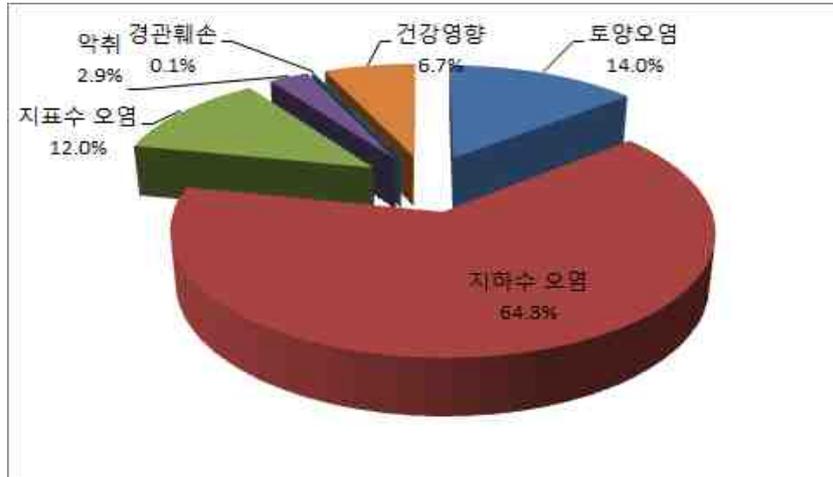
<그림 223> 구제역 사태 이후 관련 제품의 소비 수준

구제역 및 AI 매몰지에서 침출수 유출에 의해 다양한 피해가 발생할 수 있다는 사실에 대해 53.8%가 ‘많이 들었다’고 답변하였고, 40.6%가 ‘들어본 적이 있다’고 답변하여 대부분의 국민들이 알고 있음을 확인할 수 있다.



<그림 224> 구제역 및 AI 매몰지의 침출수 유출에 의한 다양한 피해에 대한 인지

구제역 및 AI 매몰지의 침출수 유출로 인해 예상되는 피해 중 가장 문제가 된다고 생각하는 것으로는 지하수 오염이 64.3%로 압도적인 비중을 차지하고, 뒤를 이어 토양 오염 14.0%, 지표수 오염 12.0%, 건강영향 6.7%, 악취 2.9%, 경관훼손 0.1%를 차지하고 있다.



<그림 225> 구제역 및 SI 매몰지의 침출수 유출로 인한 가장 심각한 피해에 대한 의견

(5) 대상 매몰지의 관리비용 추정

매몰지의 관리비용을 추정하기 위해서는 매몰지를 유지하는 경우 발생하는 다양한 비용을 포함해서 분석하여야 한다. 여기에는 매몰지 관리를 위한 공무원들의 정기 점검을 위한 비용과 더불어 시료 측정에 투입된 비용 등도 포함될 것이다. 그러나 이상과 같은 비용 이외에 국민들이 매몰지의 침출수가 유출되는 것으로 인한 환경오염 우려가 없어지지 않고 있다면 그 또한 사회적 관점에서 매몰지의 중요한 관리비용이라고 볼 수 있다.

그러므로 본 분석에서는 매몰지의 침출수 유출로 인한 환경피해에 대한 피해 우려로 인한 사회적 관점에서의 매몰지 관리비용의 추정에 초점을 맞추어 분석한다.

이를 위하여 CVM 전국 설문을 통하여 매몰지의 관리비용을 추정하기 위하여 매몰지의 다양한 피해를 방지하기 위한 부담금을 이중 양분선택형 질문 방식으로 조사하였다. 사전 조사에서 개방형 질문을 통해 얻은 정보를 기초로 응답자들에게 첫 번째로 제시할 금액은 단 한번 1,000원, 5,000원, 10,000원 30,000원으로 설정하였다. 첫 번째 제시금액에 대한 지불 수용 여부를 양분선택적 응답, 즉 예 또는 아니오에 기초하여 두 번째 제시금액에 대한 지불 수용 여부를 양분선택적으로 응답하도록 하였다. 지불 기간은 단 한번만 지불하는 것으로 하였다.

매몰지의 다양한 피해 우려를 불식하기 위한 부담금은 매몰지의 피해 우려에 대한 사회적 비용으로 해석할 수 있다. 이를 추정하기 위하여 지불의사금액은 상수항 이외의 공변량을 제외한 지불의사금액 방정식으로부터 직접 추정하였다. 응답자의 지불의사금액을 구간 자료 또는 우측 및 좌측 중도절단 자료로 취급하여 분석할 경우 생존분석모형 또는 지속기간모형을 이용하여 추정한 상수항이 1인당 평균 지불의사금액으로 해석할 수 있다.

CVM 단일양분선택형 답변 자료에 정규분포를 가정한 평균지불의사금액 모형에 대한 추정결과는 다음과 같다. 추정된 상수항 및 척도모수의 경우 t값으로 판단할 때 1% 유의

수준에서 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

<표 102> 매몰지 피해 방지를 위한 지불의사금액모형 추정 결과

지불의사금액모형 구분	변수	추정계수	표준오차	t-값
단일양분선택모형	상수항	6023.888	1314.915	4.58***
	척도모수	29519.84	3312.579	8.91***
	log-likelihood	-641.9		

주: ***는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함.

CVM에 의한 매몰지의 피해 방지를 위한 평균 지불의사금액은 6,024원(95% 신뢰구간 3,447원 ~ 8,601원)으로 추정된다. 전국의 20세 ~ 65세의 인구는 2012년 8월 기준으로 34,237,436명이므로 앞서 도출된 매몰지의 피해 방지를 위한 평균 지불의사금액을 곱하면, 총 2,062.42억원(95% 신뢰구간 1,180.06억원 ~ 2,944.79억원)으로 추정된다. 이를 파주시 및 안동시를 대상으로 조성된 매몰지의 개수를 고려하여 배분하면, 파주시의 경우는 4,261개 매몰지 중 335개 매몰지가 있다고 파악되어 7.9%를 차지하고 있어 파주시 매몰지의 사회적 관리비용은 162.15억원(95% 신뢰구간 92.78억원 ~ 231.52억원)으로 추정된다. 한편 안동시의 경우는 519개소의 매몰지가 조성되어 있으므로 전체 매몰지의 12.2%를 차지하고 있어 안동시 매몰지의 사회적 관리비용은 251.21억원(95% 신뢰구간 143.73억원 ~ 358.68억원)으로 추정된다.

<표 103> 지역별 매몰지의 사회적 관리비용 추정

구분	평균 1인당 지불의사금액 (원)	전국 매몰지 중 구성 비율 (%)	매몰지의 사회적 관리비용 (억 원)
전국	6,024 (3,447 ~ 8,601)	100.0	2,064.42 (1,180.06 ~ 2,944.79)
파주시		7.9	162.15 (92.78 ~ 231.52)
안동시		12.2	251.21 (143.73 ~ 358.68)

주: ()안은 95% 신뢰구간을 의미함.

(6) 가축사체 처리방법의 편익 추정

구제역 사태로 인하여 매몰지 조성으로 인한 2차 환경오염에 대한 우려가 있는 현실을 감안할 때, 다른 나라에서 활용되고 있는 가축사체 처리방법에 대해서도 검토를 할 필요

가 있다. 이 검토에서 중요한 요소는 가축사체 처리방법별로 국민들이 어느 정도의 편익을 얻을 수 있는지이다.

본 연구에서는 CVM을 이용하여 가축사체 처리방법의 변경을 추진하는 구제역·AI 대응 사업에 대한 지불의사금액의 파악과 더불어 가축사체 처리방법별 특성을 설명해 주고 그에 대한 만족도 점수를 평가하였다. 이로부터 향후 가축사체 처리방법에 대한 사회적 편익 수준을 추정하고자 한다.

CVM 설문에서는 가축사체 처리방법의 변경을 위한 구제역·AI 대응 사업 부담금을 향후 3년동안 한시적으로 얼마를 지불할 의사가 있는지를 이중양분선택형 질문방식으로 조사하였다. 이 때 제시한 첫 번째 금액은 앞서의 매몰지 피해 방지 부담금과 마찬가지로 수준인 매년 1,000원, 5,000원, 10,000원, 30,000원의 4가지 금액을 사전조사 결과를 활용하여 제시하였다. 가축사체 처리방법의 변경을 위한 구제역·AI 대응 사업을 위한 부담금은 가축사체 처리로 인한 피해를 방지할 수 있다고 판단하는 경우의 사회적 편익이라고 해석할 수 있다. 이를 추정하기 위하여 지불의사금액은 상수항 이외의 공변량을 제외한 지불의사금액 방정식으로부터 직접 추정하였다. 응답자의 지불의사금액을 구간 자료 또는 우측 및 좌측 중도절단 자료로 취급하여 분석할 경우 생존분석모형 또는 지속기간모형을 이용하여 추정한 상수항이 1인당 평균 지불의사금액으로 해석할 수 있다. CVM 단일양분선택형 답변 자료에 정규분포를 가정한 평균지불의사금액 모형에 대한 추정결과는 다음과 같다. 추정된 상수항 및 척도모수의 경우 t값으로 판단할 때 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 알 수 있다.

<표 104> 구제역·AI 대응 사업을 위한 지불의사금액모형 추정 결과

지불의사금액모형 구분	변수	추정계수	표준오차	t-값
단일양분선택모형	상수항	6047.587	1169.342	5.17***
	척도모수	26237.82	2678.913	9.79***
	log-likelihood	-630.6		

주: ***는 유의수준 1%에서 통계적으로 유의함을 의미함.

CVM에 의한 구제역·AI 대응 사업을 위한 3년동안 매년 평균 지불의사금액은 6,048원 (95% 신뢰구간 3,756원 ~ 8,339원)으로 추정된다. 전국의 20세 ~ 65세의 인구는 2012년 8월 기준으로 34,237,436명이므로 앞서 도출된 구제역·AI 대응 사업을 위한 연간 평균 지불의사금액을 곱하면, 총 2,070.54억원(95% 신뢰구간 1,285.86억원 ~ 2,855.22억원)으로 추정된다. 3년 동안의 총지불의사금액을 사회적 할인율 5.5%를 적용하여 추정한 구제역·AI 대응 사업에 대한 총지불의사금액은 5,893.42억원(95% 신뢰구간 3,659.97억원 ~

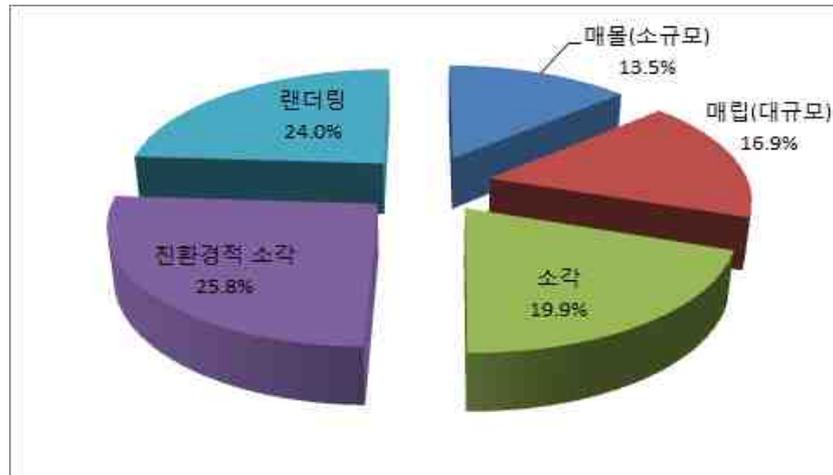
8,126.86억원) 수준이다. 가축사체 처리방법별 특성은 다음 표와 같이 정리할 수 있다.

<표 105> 구제역·AI 대응 사업에서 가축사체 처리방법별 설명

사체의 처리 방법	설명	특징
매몰(소규모)	<ul style="list-style-type: none"> - 구제역 및 AI 발생지 인근에 신속한 처리를 위해 조성 - 매몰지 조성 원칙을 준수하지 못하는 경우 자주 발생 - 매몰지 침출수에 의한 2차 환경오염 우려 높음 	<ul style="list-style-type: none"> - 신속한 현장 처리 - 낮은 처리비용 - 매몰지 조성 원칙 준수하기 어려운 상황 발생 - 매몰지에 의한 2차 오염(토양 및 지하수 오염 등) 우려 큼
매립(대규모)	<ul style="list-style-type: none"> - 매몰지 조성 원칙을 준수하여 위생적 대규모 매립지 조성 - 가축 사체를 이동하여 처리 - 매립지 침출수에 의한 2차 환경오염 최소화 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 이동 처리 - 중간 처리비용 - 매몰지 조성 원칙 준수 - 매몰지에 의한 2차 오염(토양 및 지하수 오염 등) 최소화
소각	<ul style="list-style-type: none"> - 고정 혹은 이동 소규모 소각로를 이용한 처리 방식 - 소각처리시 대기오염물질 발생 - 매몰지에 의한 2차 환경오염 없음 	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 처리시 처리 규모 제한적임 - 높은 처리비용 - 대기오염 물질 발생 - 매몰지에 의한 2차 오염 없음
친환경적 소각	<ul style="list-style-type: none"> - 고정 혹은 이동 소규모 친환경 소각로를 이용한 처리 - 대기오염물질 최소화를 위한 시설 이용 - 매몰지에 의한 2차 환경오염 없음 	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 처리시 처리규모 제한적임 - 소각보다 높은 처리비용 - 대기오염 물질 최소화 - 매몰지에 의한 2차 오염 없음
멸균처리 및 이용(랜더링)	<ul style="list-style-type: none"> - 고온·고압에 의한 멸균 처리후 부산물 이용(퇴비화 등) - 고정 혹은 이동 처리시설 이용 - 매몰지에 의한 2차 환경오염 없음 - 부산물 이용 장점 	<ul style="list-style-type: none"> - 현장 처리시 처리규모 제한적임 - 높은 처리비용 - 대기오염 물질 발생 - 매몰지에 의한 2차 오염 없음 - 부산물 이용(퇴비화 등) 가능

이를 가축사체 처리방법별 특성을 고려한 만족도를 보면, 친환경적 소각의 선호도가 25.8%로 가장 높고 그와 유사한 수준으로 멸균처리 및 이용(랜더링)이 24.0%를 차지한다. 한편 소각 19.9%, 매립(대규모) 16.9%이고 매몰(소규모)도 13.5%를 차지하고 있다. 매몰(소규모) 방식이 2차 환경오염의 우려가 있다하더라도 구제역 사태가 발생할 때 시급한 처리의 가능성이라는 점을 감안하면 완전히 배제하기는 어렵다는 점 등이 고려된

결과라 판단된다.



<그림 226> 가축사체 처리방법별 만족도 점수의 비율

가축사체의 처리방법별 만족도 점수를 반영하여 구제역·AI 대응 사업을 위한 지불의사 금액을 배분하면, 가축사체 처리방법별 사회적 편익이라고 파악할 수 있다. 친환경적 소각에 의한 가축사체 처리방법은 1,519.78억원(95% 신뢰구간 943.82억원 ~ 2,095.73억원), 멸균처리 및 이용(랜더링)은 1,411.81억원(95% 신뢰구간 876.77억원 ~ 1,946.84억원), 소각은 1,174.23억원(95% 신뢰구간 729.23억원 ~ 1,619.23억원), 매립(대규모)는 993.17억원(95% 신뢰구간 616.79억원 ~ 1,369.56억원), 매물(소규모)는 794.43억원(95% 신뢰구간 493.37억원 ~ 1,095.50억원)의 사회적 편익을 갖고 있다고 추정된다.

<표 106> 가축사체 처리방법별 사회적 편익 추정

처리방식	선호도	표준화한 선호도	부담금 배분액(억원)
매물(소규모)	38.2	13.5	794.43 (493.37 ~ 1,095.50)
매립(대규모)	47.7	16.9	993.17 (616.79 ~ 1,369.56)
소각	56.4	19.9	1,174.23 (729.23 ~ 1,619.23)
친환경적 소각	73.1	25.8	1,519.78 (943.82 ~ 2,095.73)
랜더링	67.9	24.0	1,411.81 (876.77 ~ 1,946.84)
합계	283.3	100.0	2,846.69 (1,767.88 ~ 3,925.51)

주: ()안은 95% 신뢰구간을 의미함.

마. 요약

관측정의 입지유형별 설치비용 및 폐공비용에 대한 응답에 대해 보수적으로(10% 절단 평균 적용) 산출하면, 산지의 경우 가장 높은 561만원이 소요되는 것으로 파악되고, 평지 및 하천의 경우는 각각 360만원, 469만원 수준으로 파악되었다. 입지 유형별 관측정 설치비용의 평균은 327만원이고, 폐공비용의 평균은 136만원으로 관측정 1개 설치 및 폐공 비용의 합은 평균적으로 463만원 수준이었다.

매몰지의 침출수 유출로 인한 피해를 감안할 때 침출수 유출 확인 가능성을 10% 포인트 증가시키기 위한 최대(정부 또는 지자체가)의 투자 금액을 도출하기 위해서는 개소당 346만원으로 파악된다. 이는 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성 10% 포인트 증가에 대한 전문가들 입장에서의 경제적 가치라고 볼 수 있다. 이로부터 매몰지 침출수 유출 확인 가능성 1% 포인트 증가의 가치를 환산하면 35만원(/개소)이라고 볼 수 있다.

매몰지 관측정의 침출수 확인 가능성을 고려한 최대 투자금액에 대한 정보를 결합하면 관측정 설치 개수 증가에 대해 어느 정도까지 투자가능하다고 볼 수 있는지를 파악할 수 있다. 즉, 첫 번째 관측정의 경우 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성을 28.0% 포인트 증가시키기 때문에 최대 807만원 투자해도 된다고 볼 수 있다. 추가적인 매몰지의 관측정의 개수에 대해서도 마찬가지로 생각할 수 있다.

입지유형별 관측정 설치 및 폐공 비용을 고려한 관측정의 비용은 개당 463만원 수준이다. 관측정 설치 개수당 투자가능금액을 고려하면 3번째 관측정의 경우 597만원이기에 관측정을 매몰지에 3개는 설치하는 것이 경제성 분석에 따른 기준이 될 수 있다. 정부 또는 지자체가 가지고 있는 예산이 허용한다면 매몰지에 3개의 관측정을 설치할 필요는 사실을 제안할 수 있지만, 그렇지 못한 경우 매몰지의 침출수 유출 가능성에 근거하여 매몰지 관측정의 설치 개수를 정할 필요가 있다. 그런데 전문가들은 이상적으로는 관측정의 설치비용을 고려한다 하더라도 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성이 75%에 이를 때까지 관측정을 설치할 필요가 있다고 보고 있다. 이 기준을 적용하면 4번째 관측정까지 설치하는 것이 이상적이라고 볼 수 있다.

매몰지 관리비용 투자와 관련된 생산 및 부가가치, 취업 유발효과는 매몰지 관리비용 투자 진행 동안 발생하는 효과로 볼 수 있다. 2010년 산업연관표를 이용하여 산업연관분석(input-output analysis)을 하였다. 실행한 결과 조건부가치추정법(Contingent Valuation Method, CVM)에 의한 매몰지의 피해 방지를 위한 평균 지불의사금액 6,024원(95% 신뢰구간 3,447원 ~ 8,601원)으로부터 도출할 수 있는 매몰지의 피해 방지를 위해 투자될 수 있는 총금액은 2,062.42억원(95% 신뢰구간 1,180.06억원 ~ 2,944.79억원)으로 추정되었다. 매몰지 관리비용 투자 2,062.42억원의 경제적 파급효과를 분석한 결과 매몰지 관리비용 투자 2,062.42억 원의 최종 수요 증가로 인하여 전국에 3,692.57억원의 생산 유발효과가 발생하였다. 이 중에서 건설부문이 616.46억원으로 생산 유발효과가 가장 크며, 뒤를 이어

농림수산물부문 560.27억원 순이다. 매몰지 관리비용 투자 2,062.42억원의 최종 수요 증가로 인하여 전국에 1,704.52억원의 부가가치 유발효과가 발생한다. 이 중에서 공공행정 및 국방 부문이 330.66억원으로 생산 유발효과가 가장 컸다. 매몰지 관리비용 투자 2,062.42억원의 최종 수요 증가로 인하여 전국에 3,975.8명의 취업 유발효과가 발생한다.

본 조사에서는 매몰지 관리비용 및 가축사체 처리방법의 편익 추정과 관련된 유사 연구를 찾기 어려울 뿐만 아니라, 이용가치 이외에 비이용가치가 포함된다고 판단하였다. 그러므로 동 사업의 편익 추정을 위해 진술선호법 중 조건부가치추정법(CVM)을 이용한다. 왜냐하면 속성 및 수준을 분할하기 보다는 해당 비용 및 편익의 총체적 가치를 추정하고자 하기 때문이다. 본 연구에서 표본조사 설계과정의 기본골격은 다음과 같다. 우선 모집단을 전국 20세 ~ 65세 국민으로 설정한 다음, 각 지역에 대해 연령대 및 성별을 고려하여 총 1,000명의 표본을 조사하였다. CVM에 의한 매몰지의 피해 방지를 위한 평균 지불의사금액은 6,024원(95% 신뢰구간 3,447원 ~ 8,601원)으로 추정된다. 전국의 20세 ~ 65세의 인구는 2012년 8월 기준으로 34,237,436명이므로 앞서 도출된 매몰지의 피해 방지를 위한 평균 지불의사금액을 곱하면, 총 2,062.42억원(95% 신뢰구간 1,180.06억원 ~ 2,944.79억원)으로 추정된다. 이를 파주시 및 안동시를 대상으로 조성된 매몰지의 개수를 고려하여 배분하면, 파주시의 경우는 4,261개 매몰지 중 335개 매몰지가 있다고 파악되어 7.9%를 차지하고 있어 파주시 매몰지의 사회적 관리비용은 162.15억원(95% 신뢰구간 92.78억원 ~ 231.52억원)으로 추정된다. 한편 안동시의 경우는 519개소의 매몰지가 조성되어 있으므로 전체 매몰지의 12.2%를 차지하고 있어 안동시 매몰지의 사회적 관리비용은 251.21억원(95% 신뢰구간 143.73억원 ~ 358.68억원)으로 추정된다. CVM에 의한 구제역·AI 대응 사업을 위한 3년동안 매년 평균 지불의사금액은 6,048원(95% 신뢰구간 3,756원 ~ 8,339원)으로 추정된다. 전국의 20세 ~ 65세의 인구는 2012년 8월 기준으로 34,237,436명이므로 앞서 도출된 구제역·AI 대응 사업을 위한 연간 평균 지불의사금액을 곱하면, 총 2,070.54억원(95% 신뢰구간 1,285.86억원 ~ 2,855.22억원)으로 추정된다. 3년동안의 총지불의사금액을 사회적 할인율 5.5%를 적용하여 추정한 구제역·AI 대응 사업에 대한 총지불의사금액은 5,893.42억원(95% 신뢰구간 3,659.97억원 ~ 8,126.86억원) 수준이다. 가축사체의 처리방법별 만족도 점수를 반영하여 구제역·AI 대응 사업을 위한 지불의사금액을 배분하면, 가축사체 처리방법별 사회적 편익이라고 파악할 수 있다. 친환경적 소각에 의한 가축사체 처리방법은 1,519.78억원(95% 신뢰구간 943.82억원 ~ 2,095.73억원), 열균처리 및 이용(랜더링)은 1,411.81억원(95% 신뢰구간 876.77억원 ~ 1,946.84억원), 소각은 1,174.23억원(95% 신뢰구간 729.23억원 ~ 1,619.23억원), 매립(대규모)는 993.17억원(95% 신뢰구간 616.79억원 ~ 1,369.56억원), 매몰(소규모)는 794.43억원(95% 신뢰구간 493.37억원 ~ 1,095.50억원)의 사회적 편익을 갖고 있다고 추정된다.

10. 종합결론

본 연구의 최종 목표는 **매몰지 침출수 관리 및 관측정 관리 매뉴얼 개발**에 있으며, 이를 위한 세부연구 내용 및 결과는 다음과 같다.

1) 가축매몰지 관측정 관리 매뉴얼 개발에 앞서 관측정 관련 국내외 규정 및 현황 등을 조사 분석하였다.

- 일본, 대만 등 6개 나라의 매몰지 사후 관리 현황을 조사하였다. 국외 가축매몰지 사후관리 현황 분석 후 시사점은 사전예방적 차원의 가축매몰지 선정의 중요성, 중장기적인 환경오염 감지를 위한 지속적인 지하수, 지표수 모니터링의 필요성, 가축매몰지 등의 지하수 · 토양오염 부지의 복원 및 재이용을 위한 법 · 제도적 기반 마련의 필요성, 가축매몰지 관리 관련 정부부처간 효율적 협조체제 구축의 필요성 등이다.
- 국내 가축매몰지 관련 지침서에는 매몰지 선정 및 매몰절차에 대해서는 비교적 상세하게 기술하고 있지만, 관측정 설치에 관해서는 개략적인 이격거리만을 제시하고 전문시공업체에 의뢰하는 것을 제안하고 있다. 하지만, 매몰지 관측정은 토양·지하수 오염 실태 조사의 중요한 수단이므로 관측정의 적절한 위치 및 개소수에 대한 평가가 필요하며, 지자체에서 실제 적용 가능한 관측정 설치 지침이 필요하다고 판단된다.

2) 대규모로 발생한 가축 살처분 매몰상황에서 발생한 문제점들을 보완하기 위한 기초 작업으로 전국 구제역 매몰지의 입지특성(산림, 전답, 택지 등), 취약성(도로와의 거리, 하천과의 거리 등), 관측정 설치 여부 등 매몰지 현황을 유형별로 분석하여 GIS DB를 구축하고, 그 중 143개소 표본조사 지역을 선정하여 현장조사를 수행하였다.

- 국내 가축 매몰지 자료를 수집하고, 수집된 자료 중 매몰지의 기본 정보 및 위치자료가 잘 구축되어 있는 4,261개소 매몰지에 대하여 매몰지 현황, 매몰가축 현황을 분석하였다. 분석 결과 매몰지 지역 분포 현황은 경상북도 862개소(20.2%), 강원도 376개소(8.8%), 경기도가 가장 많은 2,150개소로 전국의 50.5%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 전국의 구제역 매몰지에 약 310만 마리의 가축이 매몰되어 있으며, 이 중 돼지 매몰수는 약 290만(94.7%), 소 매몰수는 약 15만 마리(5.0%)를 차지하고 있으며, 기타 종의 매몰수는 약 9,000마리(0.3%)를 차지하고 있는 것으로 조사되었다.
- 선정된 매몰지에 대한 현장표본조사를 실시하기 위해 조사항목을 사전에 작성하였다. 휴대용 GPS를 이용하여 위도와 경도를 표시하고, 매몰된 축종, 두수를 조사하였다. 특히 매몰지 입지특성에 대한 부분을 중점적으로 조사하였으며, 항목은 3가지 입

지유형분류, 하천 및 도로와의 인접거리, 주거지와 농장과의 거리, 마지막으로 매몰지의 크기 등을 조사하였다. 또한 침출수 유출방지공법이 적용된 매몰지에 대해서는 보강공사 현황을 조사하여 기록하였다. 그리고 관측정 설치방안의 적용성을 검증하기 위해 매몰지를 위성지도나 수치지형도에 표기하고 기존 관측정의 위치를 표기하여 현장조사표 만으로도 매몰지 및 관측정 현황이 확인 가능하도록 위치도 및 현황 사진을 첨부하도록 하였다.

3) 현장심화조사지역 3개소(평지형, 하천형, 산지형)을 선정하여 모니터링을 수행하고, 지하수 모델링 프로그램을 이용하여 침출수 확산 및 침출수 확산 방지 공법 효과 등을 분석하였다.

- 표본조사지역 143개소 중 평지에 설치된 매몰지 특성을 대표할 수 있는 매몰지(과주시 금파리)와 하천이 인접한 지역을 대표할 수 있는 매몰지(안동시 대두서리), 마지막으로 산지 및 경사지(안동시 서현리)를 대표할 수 있는 매몰지 총 3개 지점을 선정하였다.
- 지하수 유동 및 오염물 거동 예측은 구제역 발생 지역 중 가축매설구간을 중심으로 평지, 하천, 산지에 위치한 3지점의 지역적 모델링을 수행하여 지하수 및 오염물의 유동경향 파악하고, 모델링 대상지역에 대한 현장조사 및 현장시험을 통해 수집된 자료를 바탕으로 지하수 유동경향을 파악하여 오염물 거동예측에 반영하였다.
- 본 연구에서는 오염물질 이동 특성 분석 시 수질오염물질 배출허용기준을 고려하여 나지역의 생물화학적 산소요구량인 80mg/L 을 기준으로 오염물질 이동 특성을 살펴 보았다. 분석 결과 오염물질이 발생할 경우 각 지점별 주 지하수 흐름 방향을 기준으로 벽체에서 5m 떨어진 지점에서는 1일 전후로 BOD농도 80mg/L 침출수가 관측되고, 10m 떨어진 지점에서는 1~3일, 20m 떨어진 지점에서는 3~20일 이내에 관측되는 것으로 평가되었다.
- 침출수 확산 방지 공법으로 매몰지 주변 4방향으로 투수계수가 10^{-8} cm/s이하인 차수벽을 설치했을 경우에 대한 매몰지 주변 오염물질 이동 특성을 분석하였다. 적용결과 오염물질이 발생할 경우 각 지점별 주 지하수 흐름 방향을 기준으로 벽체에서 5m 떨어진 지점에서는 40일후로 BOD농도 80mg/L 침출수가 관측되고, 10m 떨어진 지점에서는 60일, 20m 떨어진 지점에서는 80일이후에 부분적으로 BOD농도 80mg/L 침출수가 관측되는 것으로 분석되었다. 차수벽을 설치더라도 차수벽 재질 및 시공의 한계로 지하수 및 침출수의 이동을 100% 차단할 수는 없지만, 방지공법을 적용했을 경우 침출수의 영향 반경이 5배 이상(본 연구 케이스의 경우) 줄어드는 것으로 평가되었고, 주 지하수 흐름 방향이 아닌 지점으로는 오염 물질 이동의 거의 없는 것으로 분석되었다.

4) 침출수 유출로 인한 지하수와 하천오염 등 2차 환경오염 방지를 위한 관측정 설치 기준을 제안하고 표본조사 지역에 적용, 평가하였다.

- 구제역 매몰지 입지유형 분석 자료, 현장심화조사지역 수치모델링 결과, 「가축 매몰지의 수리 지질학적 현황평가 및 환경관리 지침 개선(2011)」, 「구제역 긴급행동지침(2012)」, 「가축매몰지 환경조사지침(2012)」 등을 참조하여 가축 매몰지 관측정 설치 기준(안)을 제안하였다.
- 기준안에서는 매몰지의 유형을 주변 지형 기준으로 산지형, 하천형, 평지형으로 구분하고, 이에 적합한 지하수 흐름을 선정하여 유형별, 규모별 관측정을 설치하는 방법을 제시하고 있다.
- 제시된 방안을 이용하여 기 매몰지의 143개소에 대하여 관측정 위치 선정 적정성을 평가하였다. 대상 매몰지의 관측정 미설치 지점은 77개소(54%), 관측정이 1개소 이상 있는 매몰지는 총 66개소(46%, 현 전국 매몰지 관측정 설치비는 32.7%)이다. 관측정 설치 지점 66개소를 대상으로 본 연구에서 제안한 관측정 설치 기준안을 적용한 결과 27개소(19%) 만이 지하수 관측망 위치 및 개소수가 적정한 것으로 분석되었다.

5) 가축매몰지의 사후관리의 필요성 등을 평가하기 위하여 구제역이 우리사회에 끼친 영향, 관측정 설치에 따른 사회적 영향, 관측정 설치의 필요성 등의 사회 영향 조사를 수행하였다.

- 2010년과 2011년 겨울 대규모 구제역 발생의 영향은 각 사회 구성에 따라 각각 달랐다. 20세 이상의 전 국민 대부분은 구제역 발생과 대규모 살처분으로 인해 대규모 축산의 문제점과 매몰지 침출수 유출 가능성을 의심하고 있었지만, 실제 매몰지 인근 지역주민들과 담당 공무원들은 약 절반 가량 만이 매몰지 문제에 대해 우려하고 있었고, 관측정 설치 필요성도 인식하고 있었다.
- 사회적 여론, 즉 국민정서는 구제역으로 살처분된 가축의 매립방식에 큰 의구심을 가지고 있고, 이로 인한 2차 오염발생을 염려하는 것은 구제역 발생에 대한 정부의 잘못된 대응으로부터 기인하다고 볼 수 있다. 2차 오염발생 가능성에 대한 우려는 이를 모니터링하고 대책을 마련할 수 있는 관측정 설치 필요성에 대한 응답자수로 대변된다. 약 90%이상의 국민들이 매몰지 침출수 유출 가능성 때문에 관측정을 설치해야 한다고 생각하고 있다.
- 한편, 구제역 영향을 더 직접적으로 받은 매몰지 인근 지역주민들과 담당 공무원들(약 50% 각각) 역시 매몰지로부터 침출수가 유출될 가능성을 우려하고 있었다. 실제 설문조사에서도 일부 공무원들은 침출수 유출을 경험했다고 응답하기도 했다. 이러한 매몰지 침출수 우려는 과학적 결과에 기인한 것은 아니지만 현장에서 경험한 사실에 근거하여 형성된 인식으로 국민적 우려를 감소시키기 위해서 관측정 설치는 필요한 것으로 판단된다.

6) 매몰지 관측정의 합리적 설치를 위한 관측정 설치 관련 경제영향조사를 수행하였다.

- 매몰지의 침출수 유출로 인한 피해를 감안할 때 침출수 유출 확인 가능성을 10% 포인트 증가시키기 위한 최대(정부 또는 지자체가)의 투자 금액을 도출하기 위해서는 개소 당 346만원으로 파악된다. 이는 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성 10% 포인트 증가에 대한 전문가들 입장에서의 경제적 가치라고 볼 수 있다. 이로부터 매몰지 침출수 유출 확인 가능성 1% 포인트 증가의 가치를 환산하면 35만원(/개소)이라고 볼 수 있다.
- 입지유형별 관측정 설치 및 폐공 비용을 고려한 관측정의 비용은 개당 463만원 수준이다. 관측정 설치 개수당 투자가능금액을 고려하면 3번째 관측정의 경우 597만원 이기에 관측정을 매몰지에 3개는 설치하는 것이 경제성 분석에 따른 기준이 될 수 있다. 정부 또는 지자체가 가지고 있는 예산이 허용한다면 매몰지에 3개의 관측정을 설치할 필요가 있다는 사실을 제안할 수 있지만, 그렇지 못한 경우 매몰지의 침출수 유출 가능성에 근거하여 매몰지 관측정의 설치 개수를 정할 필요가 있다. 그런데 전문가들은 이상적으로는 관측정의 설치비용을 고려한다 하더라도 매몰지의 침출수 유출 확인 가능성이 75%에 이를 때까지 관측정을 설치할 필요가 있다고 보고 있다. 이 기준을 적용하면 4번째 관측정까지 설치하는 것이 이상적이라고 볼 수 있다.

7) 소결론

- 2010년에서 2011년에 발생한 구제역은 동시 다발적이고 대규모로 발생하여 지자체에서는 매몰지 선정 및 조성에서부터 농림수산식품부의 '구제역 긴급행동지침'과 환경부의 '가축매몰지 환경관리지침'을 준수하기는 쉽지 않았으며, 매몰지 발생 규모를 전혀 예측하지 못했기 때문에 매몰작업에 필요한 물품, 장비, 인력 등에 대한 사전대비나 계획, 매몰관련 교육 등이 제대로 이뤄지지 않았다. 이에 전국적으로 매몰지 침출수 유출 및 지하수 오염 문제 등이 사회적인 주요 이슈로 부각되었고, 농림수산식품부 및 환경부 등 관계부처, 해당 지자체 등에 의해 매몰지에 대한 철저한 사후관리 및 환경관리가 필요하게 되었다.
- 관련 해외 관련 사례에서도 침출수 및 환경오염을 방지하기 위해서는 사전예방적 차원의 가축매몰지 선정이 중요하며, 중장기적인 환경오염 감지를 위한 지속적인 지하수, 지표수 모니터링이 필요하다고 시사하고 있다.
- 국내 사회영향 전국민인식조사 결과 국민여론은 정부의 잘못된 정책으로 대부분 매몰지 침출수 유출을 우려하고 있고, 매몰지 인근 지역주민과 담당공무원 절반정도로 이를 의심하고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 매몰지 침출수 우려는 과학적 결과에 기인한 것은 아니지만 현장에서 경험한 사실에 근거하여 형성된 인식으로 국민적 우려를 감소시키기 위해서 관측정 설치는 필요한 것으로 판단된다.

- 이에 본 연구에서는 매몰지 토양·지하수 오염실태 조사의 중요한 수단인 관측정의 현황, 설치 기준 등을 조사 분석하여 관측정 설치 기준(안)을 제안하였다. 기준안에서는 매몰지의 유형을 주변 지형 기준으로 산지형, 하천형, 평지형으로 구분하고, 이에 적합한 지하수 흐름을 선정하여 관측정을 설치하는 방법을 제시하였다.
- 기준안에서 제시하는 관측정의 개소수 및 설치위치는 다음과 같다. 매몰지 유형별로 지하수 흐름방향을 확인하고 산지형 1개소, 하천형 1개소, 평지형 2개소를 매몰지의 하부 쪽 경계로부터 5 m 전후하여 설치하고, 설치 심도는 지하수위를 기준으로 지하수위 하 5 m(GWL. -5 m)까지 굴착한다. 매몰지 규모가 과다하여 관측정 관측범위를 초과한다고 판단될 경우, 예를 들어 매몰지 크기가 중규모(750m²(5×5×30m)를 초과할 경우 설치된 관측정이 매몰지의 침출수 발생을 모니터링하기 어려울 수 있으므로 추가 관측정을 설치하여야 한다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

세부과제명	구분연도	연구개발의 목표	달성도 (%)	연구개발의 내용
매몰지 발굴 사측 퇴비화 기술의 안정성 분석	1차년도 (2012)	매몰지 발굴 폐사축 환경 친화적 퇴비화 기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 친환경 퇴비화 시스템 설계 및 센서, 자동계측장치 구축 ○ 친환경 퇴비화 시스템 연구 Data 분석 및 관리 ○ Pilot 사측 퇴비화 시스템 최종산물 안정성 평가
	2차년도 (2013)	매몰지 구제역 바이러스 잔존여부 평가	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 매몰지 구제역 바이러스 잔존여부 분석
환경친화적 사측 퇴비화 기술개발	1차년도 (2012)	폐사축의 환경친화적 퇴비화 기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사측 퇴비화 시스템 운용변수 정립
	2차년도 (2013)	개발 기술의 현장적용 및 종합평가	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 방역적으로 안전한 매몰지 발굴
		퇴비화 최종산물의 물리/화학적 안전성 평가 및 활용방안 제시	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 운용변수에 따른 퇴비화 효율 평가 (사측 분해율, 악취·침출수 제어효율)
		100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최종산물의 안전성 평가 (물리적/화학적 안전성) 	
100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비료성분, 작물 및 농경지 시비 가능 여부 판단 			
구제역 및 AI 가축 매몰지 관측정 설치 기준 제시 방안	1차년도 (2012)	관측정 설치매뉴얼 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관측정 설치 표준화 기술개발 ○ 관측정 설치 위치 결정 기술 개발 ○ 매몰지별 적정 관측정 설치 개수 표준화 기술 개발 ○ 침출수 확산 모델링 ○ 침출수 유출 확인 기술개발 ○ 침출수 확산방지공법 평가 기술개발 ○ 관측정 관리 매뉴얼 개발
		매몰지 침출수 관리 매뉴얼	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 정책건의를 위한 근거자료 도출
	2차년도 (2013)	AI 매몰지 침출수 조사	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ AI 바이러스 잔존여부 조사
		관측정 위치별 지하수 농도 비교평가	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 관측정 설치 매뉴얼의 검증 및 평가
		매몰지 인근 지하수 배경농도 평가방법 제시	100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 침출수 확산방지공법 평가기법 실증
100	<ul style="list-style-type: none"> ○ 개발된 침출수 관리 매뉴얼의 검증 및 평가 			

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 연구개발 성과

가. 연구개발결과의 성과 및 활용목표 대비 실적

(1) 연구성과 목표

(단위 : 건수)

구분	특허		신품종				유전자원 등록	논문		기타
	출원	등록	품종명 명칭등록	품종생산 수입판매 신고	품종보호			SCI	비SCI	
					출원	등록				
1차년도	목표							1	4	
	달성								5	
2차년도	목표						2	2	7	
	달성							2	7	
계	목표						2	3	11	
	달성							2	12	

* 연차별 연구성과 목표는 향후 연차평가 등의 정량적 평가지표로 활용됨

** 연구성과는 연구계획에 따라 도출된 것으로 예시와 같이 작성

(2) 연구성과 활용 목표

(단위 : 건수)

구분	기술실시(이전)	상품화	정책자료	교육지도	언론홍보	기타
활용건수	목표					
	달성					

나. 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol.(No.)	국내외 구분	SCI구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2013	부자재 종류가 친환경적 사육 퇴비화에 미치는 영향		라창식		한국동물자 원과학회지	55(5)	국내	
2013	구제역 매몰지 현황 및 입지특 성 분석을 통한 매몰지 관측정 설치기준 연구			박창근	한국위기 관리논집	9(11)	국내	

○ 국내 학술발표 : 8편

- 친환경적 폐사축 퇴비화 기술 운용변수 연구. 2012. 한국축산시설환경학회

- 사축 분해온도에 따른 매몰지 악취(휘발성 화합물) 발생 특성 평가. 2012. 한국축산시설환경학회
- 사축 퇴비화 기간 중 퇴비단 내 온도 및 수분함량 변화. 2012. 한국축산시설환경학회
- 환경친화적 폐사축 퇴비화 기술 운용변수 시뮬레이션 연구. 2013. 한국동물자원과학회
- 환경친화적 폐사축 퇴비화 기술 운용변수 현장 연구. 2013. 한국동물자원과학회
- Evaluation of composting as a disposal method of swine carcass remain collected from burial site excavation. 2013. 한국동물자원과학회
- Evaluation of composting as a disposal method of poultry carcass. 2013. 한국축산시설환경학회
- 매몰지 발굴 사축의 퇴비화 특성 평가. 2013. 한국축산시설환경학회

○ 국내외 심포지엄, 세미나 및 워크샵 주제발표 : 4회

- 환경친화형 폐사축 처리기술 및 정책관련 국제 세미나(가축매몰지 발굴사축 퇴비화 기술 개발). 2012. 농촌진흥청 국립축산과학원 주관
- 2012년 가축매몰지 사후관리 강화를 위한 워크샵(가축매몰지 친환경적 사후관리). 2012. 농식품부·환경부 주관
- 제4회 한중 농업대학 국제심포지엄(Mortality composting provides an effective disposal method for swine carcasses excavated from burial site). 2013. 충남대학교 주관
- 제 6차 한중일 농과대학 대학원생 포럼(Evaluation of the biodegradability of swine carcass remains excavated from burial site in passively aerated composting system). 2013. 충남대학교 주관

다. 특허 성과 : 해당없음

라. 기술료 징수 현황 : 해당없음

마. 사업화 현황 : 해당없음

2. 연구성과 활용계획

가. 구제역 및 AI 가축매몰지 발굴사축 퇴비화 기술

- 매몰지 발굴 사축의 친환경적 퇴비화 개발기술을 정책자료로 제시

나. 구제역 및 AI 가축매몰지 관측정 설치기준(안) 제시

- 가축매몰지 관측정 관련 연구 사례 조사 및 분석, 가축매몰지 현장조사, 지하수 모델링 등을 통하여 얻은 결과로 “가축매몰지 관측정 설치 기준(안)”을 제시

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 미국

- 사축이 발생하면 대기, 토양, 지하수 등의 환경오염 방지, 질병확산 방지 등의 공중보건학적 문제, 일부 남아 있는 가축에 대한 영양학적 문제, 사료 수급 방법 등을 고려하게 되는데 미국에서는 각 주마다 우선적으로 사축이 발생하면 최적관리 방법(Best management practices, BMPs)을 도출할 수 있는 방법을 사용하여, 인간에 대한 안전과 보호, 위험요소 저감 대책마련, 동물사료 공급의 허용범위를 마련하도록 권고하고 있음.

State	Regulations	Permitting
몬타나	<ul style="list-style-type: none"> - Montana Code Annotated [MCA] 75-10-213에 따라 사축처리를 해야 함 - MT-DEQ에 따라 사축시설 설비를 설계, 가동, 유지하도록 하고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 퇴비사 크기에 따라 라이선스를 부여 - On-site의 경우, 몬타나주법을 따라야 함.
와이오밍	<ul style="list-style-type: none"> - Wyoming's Department of Water Quality Section 14에 따라 사축처리 해야 함. 	<ul style="list-style-type: none"> - Solid Waste Guidline #17을 따르도록 권고하고 있으며, WDEQ에 문의 하도록 되어 있음.
콜로라도	<ul style="list-style-type: none"> - Colorado department of public health and environment와 Colorado department of agriculture에서 관리함. - Composte Fate section을 두고 관리하고 있음 	<ul style="list-style-type: none"> - 농장에서 발생한 폐기물은 그 자리에서 퇴비화 하도록 되어 있음 - 이때 부자재로 나무껍질과 칩을 사용하도록 하고 있으며, 최대 9개월 퇴비화를 권고함.
뉴 맥시코	<ul style="list-style-type: none"> - Solid waste Bureau with the New Maxico environment depart에서 관리 함. - 법규는 사축 1톤을 대상으로 규제함 	<ul style="list-style-type: none"> - 1 농가에서 처리 하는 연간 처리용량을 25톤으로 규제하고 있으며, 반드시 부자재를 섞도록 함.
미네소타	<ul style="list-style-type: none"> - 퇴비사 구조물과 더미의 조건, 최종 퇴비, 프로토콜, 검역방법을 제시하고 있음. 	

- 동물사체를 처리하는 방법에는, 매몰, 매립, 소각, 랜더링, 퇴비화 등이 있으나, 그 중 퇴비화 방법은 대량 발생한 사축을 경제적으로, 전문 지322식이 없이도 안전하

게 처리할 수 있고 부산물을 비료로 재사용할 수 있다는 측면에서 연구 개발이 활발히 이뤄지고 있음.

○ 연구 진행 상황

- 버지니아 주

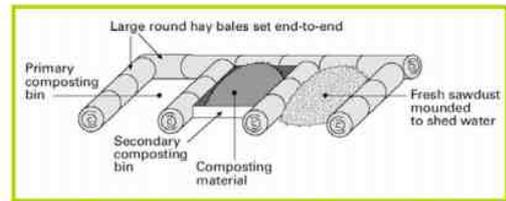
지하수오염 방지와 효율적이고 경제적인 처리 조건을 정립하기 위하여 2년간 (2004~2005) 3개 농장, 12두의 대가축을 대상으로 톱밥, 옥수수사일리지, 계분 등 부자재 종류 별 실험을 진행함.

- 아이오와 주

닥트 위치와 실험조건을 달리하여 사축퇴비 더미 내에서 발생하는 가스인 VOCs(dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide, pyrimidine) 농도를 모니터링 함.

- Missouri University

빈 형태의 퇴비사를 만들어 성장 단계별 돼지를 대상으로 깊이 에 따른 탄질비, 수분함량, 산소 농도, 온도를 모니터링하고, 1, 2차 퇴비화 과정을 진행해 최적 조건을 도출함.



Open bin composting system made from round hay bales. Adapted with permission from Stettler D. Livestock and poultry environmental stewardship curriculum: mortality management. Lesson 51. Ames, IA: Midwest Plan Service, 2001.

Table 1. Budgeted Annual Costs for Two Different Mortality Composting Systems (In-Vessel and Open Static Pile) and the Low-Investment Composting Bin System as Reported by Henry et al. (2010)

	In-Vessel (IV)	Open Static Pile (OSP)	University of Nebraska
System description			
Mortality per year, lb.	219,000	268,829	40,000
Composting system	IV unit, concrete pad, 24 ft. x 26 ft. open-sided pole building with mono-slope roof, concrete floor, 6-ft.-high concrete walls	Six 12 ft. x 22 ft. x 6 ft., three-sided bins, concrete floor, no roof and 25 ft. x 75 ft. concrete apron	Bins, concrete floor and bin walls 6 ft. high, no roof, no apron (low investment)
Capital investment	\$62,000	\$21,150	\$7,465
Machinery needed	Tractor loader	Tractor loader	Skid steer loader, tractor and manure spreader
Labor, hour per year	182.5	273	125.9
Bulking agent	121 yd ³ @ \$10.50/yd ³	365 yd ³ @ \$3.50/yd ³	80 yd ³ @ \$7.50/yd ³
Annual costs			
Fixed costs			
Composting system	\$6,706.00	\$2,488.50	\$1,020.22
Tractor loader	\$1,152.05	\$1,152.05	\$622.57
Operating costs			
Fuel and (or) electricity	\$1,886.47	\$2,588.96	\$415.05
Custom tractor and manure spreader	\$1,032.78	\$1,267.77	Included above: not separated out
Labor	\$2,874.00	\$4,300.00	\$1,888.20
Other	\$1,277.50	\$1,277.50	\$600.00
Total annual cost	\$14,908.81	\$13,084.79	\$4,546.04
Cost/lb. mortality	\$0.0681	\$0.0487	\$0.114
Energy cost/lb. mortality	\$0.0085	\$0.0097	Not estimated

- 미시건 대학교

1994년에서 2006년 사이 사축발생 지역들의 퇴비화 방법들을 대상으로 효율과 경제성 평가를 수행함.

제 7 장 연구시설·장비 현황

- 해당사항 없음.

제 8 장 참고문헌

1. ASTM D5092, Standard Practice for Design and Installation of Ground Water Monitoring Wells in Auifers. ASTM International.
2. ASTM D5787, Standard Practice for Monitoring Wells Protection. ASTM International. Bishop, Richard C. and Thomas A. Heberlein. 1979. "Measuring Values of Extra-Market Goods: Are Indirect Measures Biased", American Journal of Agricultural Economics, 61(5), 926-30.
3. Cameron, T. A. 1988. "A new paradigm for valuing non-market goods using referendum data: Maximum likelihood estimation by censored logistic regression", Journal of Environmental Economics and Management, 15, 355-379.
4. Cameron, T. A. and MD. James. 1987. "Efficient Estimation Methods for Use with Closed-Ended Contingent Valuation Survey Data", Review of Economics and Statistics, 69, 269-276.
5. Carson, Richard T. 1985. "Three essays on contingent valuation", Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
6. Carson, Richard T. 1991. "Constructed Markets", Measuring the Demand for Environmental Quality, John B. Barden and Charles D. Kolstad, North-Holland, Amsterdam, 121-62.
7. Carson, R. T. 2000. Contingent Valuation: A User's Guide, Environmental Science and Technology, 24(8):1413-1418.
8. Carson, Richard T., W. Michael Hanemann, and Robert Cameron Michell. 1986. "Determining the Demand for Public Goods by Simulating Referendums at Different Tax Prices", manuscript, University of California, San Diego.
9. Dam, A. Groot Nibbelink B. Ward, D. 2009. Windrow Composting of Poultry Carcasses(Factsheet). ORDER NO. 09-017 AGDEX 720/450.
10. Eghball, B. 1997. G97-1315 Composting Manure and Other Organic Residue. University of Nebraska-Lincoln Extension.

11. Eldridge, R. Collins, Jr. 2009. Composting Dead Poultry. Virginia State University. 424-037.
12. Finney, D.J. 1971. Probit Analysis, 3rd ed., Cambridge: Cambridge University Press.
13. Green, D., K. E. Jacowitz, D. Kahneman, and D. McFadden. 1995. "Referendum Contingent Valuation Anchoring, and Willingness to Pay for Public Goods", March 22.
14. Habb, Timothy C. and Kenneth E. McConnell. 2002. Valuing Environmental and Natural Resources, Edward Elgar.
15. Hanemann, W.M. 1984. "Welfare Evaluations in Contingent Valuation Experiments with Discrete Responses", American Journal of Agricultural Economics, 66, 332-341.
16. Hanemann, W. Michael. 1985. "Some issues in continuous- and discrete-response contingent valuation studies", Northeast J. Agr. Econom., pp.5-13.
17. Hanemann, W. M. 1991. Willingness to Pay and Willingness to Accept: How Much Can They Differ ?, American Economic Review 81(3): 635-647.
18. Hanemann, W.M., and B. Kanninen. 1999. "The Statistical Analysis of Discrete-Response CV Data", in I. J. Bateman and K. E. Willis, ed., Valuing Environmental Preferences : Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the U.S., EU, and Developing Countries, Oxford : Oxford University Press.
19. Heckman, J. J. 1979. "Sample Selection Bias as a Specification Error", Econometrica, 40, 153-61.
20. Hong, J. H., Choi, B. M. 1999. The effects of amendments on composting of swine carcass. Journal of livestock housing and environment. 5:45-52.
21. Kang, M. A. 2011. 구제역 침출수의 난분해성유기물질 거동특성. Proceedings of KSEG. 2011. Fall Conference November 10-11, pp. 234.
22. Kanninen, B.J. 1993a. "Design of sequential experiments for discrete choice contingent valuation studies", Journal of Environmental Economics and Management, 25.

23. Kanninen, B.J. 1993b. "Optimal experimental design for double-bounded dichotomous choice contingent valuation", *Land Economics*, 69(2), 138-46.
24. Kopp, R., W. W. Pommerenhne, and N. t Schwarz, (eds). 1997. *Determining the Value of Non-Marketed Goods*, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.
25. Lancaster, K. 1966. A New Approach to Consumer Theory, *Journal of Political Economy*, 84: 132-157.
26. MaFadden, D. 1974. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior, in P. Zarembka (ed.), *Frontiers in Econometrics*, New York: Academic Press.
27. Mitchell, R. C. and R. T. Carson. 1989. *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method*, Resources for the Future, Washington, D. C.
28. Morse, D. E. 2001. Composting animal mortalities. 100-1999. Miscellaneous publication. Argicultural development division minnesota department of argiculture, pp. 6.
29. National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA). 1993. Appendix I -Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation, *Federal Register* 58(10): 4602-4614.
30. Payne, J. Pugh, B. *On-Farm Mortality Composting of Livestock Carcasses*. Oklahoma State University.
31. Price, C. 2008. *On-Farm Composting of Large Animal Mortalities*. Washington State University. Subject codes 140, 150.
32. Rynk, R. 1992. *On-farm Composting Handbook*. The Northeast Regional Agricultural Engineering Service-54.
33. Silvey, S.D. 1980. *Optimal design*, London: Chapman and Hart.
33. 강영배. 대만의 구제역 방역사업에서 얻은 교훈. 월간양돈. 2000.5. pp98~104.
34. 국립환경연구원. 2011. 악취방지법 제 5조 및 동법시행령 제 9조 1항에 따른 악취공정시행방법.

35. 국회예산 정책처. 2012. 토양·지하수환경 보전사업 평가
36. 김선경, 김지은, 백도명. 2010-2011년도에 발생한 구제역 살처분 원인에 대한 문화 분석. 한국환경보건학회지. 제37권 제2호. 2011. pp165-169.
37. 농림수산식품부. 2012. 가축전염병 예방법
38. 농림수산식품부. 2012. 구제역 긴급행동지침[SOP]
39. 먹는물 관리법. 1995. 제정 1995. 1. 5, 법률 제 4908호.
40. 이시재. 허베이 스피리트호 기름유출사고의 사회영향연구. ECO. 2008년 제12권 1호. pp.109-144.
41. 신영철(2003), 환경자원의 조건부가치 측정, 한국학술정보.
42. 신영철(2007), 비시장재화 가치평가의 이론과 실제, 국회예산정책처 보고서.
43. 지하수법. 1997. 제정 1997. 1. 13, 법률 5286호.
44. 제주특별자치도 지하수 기본 조례. 2006. 제정 2006. 4. 12, 조례 제 2585호.
45. 환경부. 2010. 가축매몰지 환경관리지침
46. 환경부. 2011. 가축 매몰지의 수리 지질학적 현황평가 및 환경관리 지침 개선
47. 환경부. 2012. 가축매몰지 환경조사지침
48. 황의경, 구복경, 김용주, 최정업, 주준형. 대만의 구제역 발생상황과 우리나라의 구제역 방역대책 실시 현황. 대한수의사회지 제35권 4호. 1999. pp.264~271.
49. 한국개발연구원 공공투자관리센터(2008), 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판).
50. 한국농어촌공사. 2011. 긴급살처분 매몰지 침출수에 의한 오염지하수 확산방지 연구

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 생명산업기술개발 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 생명산업기술개발 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.