

(옆면)

(앞면)

318037-
2

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()발간등록번호(○)
농림축산식품연구개발사업 2019년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003209-01

고효율
사체처리기술
개발
최종보고서

2019

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

고효율 사체처리기술 개발

2020. 07. 17.

주관연구기관 / 신화건설(주)
위탁연구기관 / 건국대학교 산학협력단

농림축산식품부
농림식품기술기획평가원

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “고효율 사체처리기술 개발”(개발기간 : 2018. 04. 26 ~ 2019. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2020 . 02 . 15 .

주관연구기관명 : 신화건설(주)

(대표자) 윤 수 흥



위탁연구기관명 : 건국대학교 산학협력단

(대표자) 송 창 선



참여기관명 : 신화건설(주)

(대표자) 윤 수 흥



주관연구책임자 : 권 영 준

위탁연구책임자 : 최 인 수

참여기관책임자 : 권 영 준

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	318037 - 2	해 당 단 계 연 구 기 간	2019.01.01. ~ 2019.12.31	단 계 구 분	2년차/ 2년차
연구사업명	단 위 사 업	농림축산식품연구개발사업			
	사 업 명	가축질병대응기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	(해당 없음)			
	세부 과제명	고효율 사체처리기술 개발			
연구책임자	권 영 준	해당단계 참여연구원 수	총: 15 명 내부: 7 명 외부: 8 명	해당단계 연구개발비	정부: 170,000 천원 민간: 56,660 천원 계: 226,660 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 17 명 내부: 9 명 외부: 8 명	총 연구개발비	정부: 300,000 천원 민간: 100,000 천원 계: 400,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	신화건설(주) 기술연구소			참여기업명 신화건설(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 건국대학교 산학협력단			연구책임자: 최 인 수	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	초고온 미생물(고세균)은 식품과 의약품 분야에 내열성 효소의 응용연구되고 제품으로 극히 일부 생산되었으나 아직도 초보 단계이며, 환경분야에서는 일본이 전 세계 유일하게 하수슬러지, 축산분뇨, 음식물쓰레기처리 등 초고온 미생물을 적용하여 처리하고 있으나 일본도 사체처리에 응용한 적은 없음. 따라서 초고온 미생물 사체처리 실험은 세계 최초의 연구로 사료됨.
----------------------	--

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설· 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정 보	생물자 원	정보	실물
등록·기탁 번호		특허번 호 제 10-20 36091									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

(요약)

- 초고온 미생물을 이용한 비 감염 및 전염병 감염가축 사체처리기술의 확립
- 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 환경영향 최소화 방안 확립
- 친환경적이고 지속가능한 고효율 사체처리기술 개발
- 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 매뉴얼화
- 초고온 호기성 미생물에 의한 사체처리 사업화
- 고효율 사체처리기술 개발로 기존 사체처리의 문제점 개선이 가능함
- AI/구제역 발생에 대한 방역 기술이 개선되어질 것임
- 매몰된 가축사체의 부패 및 침출수로 인한 임야 및 하천, 지하수 등의 오염을 방지하여 자연환경을 지속가능하게 함
- 기존 가축사체처리 부작용과 재처리 비용을 줄여 가축매물로 인해 발생하는 사회적 비용을 크게 절감할 수 있음
- 고효율 사체처리기술(현장 매물식/비매물식 처리+거점 처리 융합시스템)의 혁신성에 비추어 각 지자체별 살처분 장소를 특정할 수 있어 중앙검역 당국의 안전기준을 마련하고, 이를 충족할 수 있는 사체처리시설을 확립할 수 있음.

보고서 면수

<요약문>

<p align="center">연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초고온 미생물을 이용한 비 감염 및 전염병 감염가축 사체 처리기술의 확립 ○ 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 환경영향 최소화 방안 확립 ○ 친환경적이고 지속가능한 고효율 사체처리기술 개발 ○ 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 매뉴얼화 ○ 초고온 호기성 미생물에 의한 사체처리 사업화 				
<p align="center">연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초고온 미생물을 이용한 비 감염 및 전염병 감염가축 사체 처리기술의 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 초고온 미생물제제와 가축사체의 최적 혼합비율 및 융합처리 확립 - 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체처리 공정의 최적 운전조건 도출 ○ 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 환경영향 최소화 방안 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 초고온 호기성 미생물 발효고정에서 복합악취 및 지정악취 분석 평가 완료 - 기존 사체처리비교 국내 적용가능성 및 기술적 타당성, 경제성, 환경영향 분석 평가 완료 ○ 친환경적이고 지속가능한 고효율 사체처리기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 사체처리 부산물의 퇴비화 품질특성 분석 평가 완료 ○ 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 매뉴얼화 <ul style="list-style-type: none"> - 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 현장 매몰식 사체처리 매뉴얼 작성 완료 - 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 현장 비매몰식 이동식 발효기 사체처리 매뉴얼 작성 완료 - 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 거점 처리식 사체처리 매뉴얼 작성 완료 - 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 사체처리 부산물의 병원체 사멸 확인 및 매뉴얼 작성 완료 - 초고온 호기성 발효균 진행 전후 주변 토양의 미생물 총 변화 확인 ○ 초고온 호기성 미생물에 의한 사체처리 사업화 <ul style="list-style-type: none"> - 사체처리 관련 법규분석을 통한 부산물 활용분야 및 규제영향 법제화 추진 - 기반 사업 확장을 통한 고용 창출 및 사업화 진행 - AI/구제역 발생빈도 높은 지역 현장매몰처리 및 거점처리 시스템 사업화 추진 				
<p align="center">연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초고온 호기성 미생물을 이용한 고효율 사체처리기술 개발로 기존 사체처리의 문제점 개선이 가능해져 AI/구제역 발생에 대한 방역 기술이 개선되어질 것임. ○ 본 연구를 통해 특허출원 및 특허공고 된 초고온 미생물을 이용한 가축사체처리 시스템의 실효적 적용과 초고온발효 매몰 기법을 이용하여 검출농도 이하로 존재할 수 있는 병원체를 효과적으로 사멸하여 병원체의 확산을 효과적으로 방지하는 기술을 확보할 수 있음. ○ 매몰된 가축사체의 부패 및 침출수로 인한 임야 및 하천, 지하수 등의 오염을 방지하여 자연환경을 지속가능하게 하며, 또한 기존 가축사체처리 부작용과 재처리 비용을 줄여 가축매몰로 인해 발생하는 사회적 비용을 크게 절감할 수 있을 것이라 사료됨. ○ 본 연구의 초고온 미생물을 이용한 가축사체처리(현장 매몰식/비매몰식 처리+거점 처리 융합시스템)의 혁신성에 비추어 각 지자체별 살처분 장소를 특정할 수 있어 중앙검역 당국의 안전기준을 마련하고, 이를 충족할 수 있는 사체 처리시설을 확립할 수 있음. 또한 초고온 미생물을 이용한 가축사체처리 표준 매뉴얼을 제작하여 방역 시스템을 선진화하여 사회적 문제 해결 가능. 				
<p align="center">국문핵심어 (5개 이내)</p>	초고온 미생물	가축사체	호기성 발효	퇴비화	병원성

<Summary>

Research purpose and content	<ul style="list-style-type: none"> ○ Development of non infectious and infectious carcass disposal technology using hyperthermophiles ○ Development of ways to minimize environmental effect of carcass disposal technology using hyperthermophiles ○ Development of eco-friendly and sustainable highly efficient carcass disposal technology ○ Development of manual of disposing carcass ○ Commercializing of disposing carcass using hyperthermophiles
Research and development achievements	<ul style="list-style-type: none"> ○ Development of non infectious and infectious carcass disposal technology using hyperthermophiles <ul style="list-style-type: none"> - Finding appropriate ratio of carcass and hyperthermophiles cluster - Extraction of optimal operating conditions for the carcass disposal technology using hyperthermophiles ○ Development of ways to minimize environmental effect of carcass disposal technology using hyperthermophiles <ul style="list-style-type: none"> - Completed evaluation of compound odor and designated odor analysis in ultra-high temperature aerobic fermentation - Completed analysis of existing cadaver treatment comparison in Korea, technical feasibility, economic feasibility, and environmental impact analysis ○ Development of eco-friendly and sustainable highly efficient carcass disposal technology <ul style="list-style-type: none"> - Completed analysis of composting quality characteristics of carcass treatment by-products ○ Development of manual of disposing carcass <ul style="list-style-type: none"> - Completed preparation of the on-site burial-type carcass treatment manual using the ultra-high temperature aerobic fermentation system - Completed preparation of the on-site non-burial mobile fermenter carcass treatment manual using the ultra-high temperature aerobic fermentation system - Completed preparation of the base-treated carcass treatment manual using the ultra-high temperature aerobic fermentation system. - Verification of pathogen death of carcass treated by-products using ultra-high temperature aerobic fermentation system and completed preparation of manual - Confirmation of total microbial changes in the surrounding soil before and after the progress of hyperthermophiles ○ Commercializing of disposing carcass using hyperthermophiles <ul style="list-style-type: none"> - Promotion of legislation on the use of by-products and regulatory impact through analysis of laws and regulations related to the disposal of carcasses - Creating and commercializing jobs through the expansion of the underlying business - Promotion of commercialization of the local site burial and base facility treatment system with high frequency of AI/FMD outbreak areas
Research achievements utilization plan (Expected effect)	<ul style="list-style-type: none"> ○ The development of high-efficiency carcass treatment technology using hyperthermophiles will improve the existing carcass treatment problems, thus improving the prevention technology for AI/FMD ○ Through this study, the effective application of the livestock carcass treatment system using patent application and patent-announced

	<p>hyperthermophiles and the method of ultra-high temperature fermented burial can be used to effectively kill pathogens that can exist below the detection concentration to effectively prevent the spread of pathogens</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ It is estimated that the natural environment will be sustainable by preventing the decay of buried livestock carcasses and contamination of forests, streams, and groundwater due to leachate, and social costs incurred by livestock burial will be greatly reduced by reducing side effects of existing livestock carcasses and costs of reprocessing ○ In light of the innovation of livestock carcass treatment using hyperthermophiles (convergence system for the burial method/non burial method treatment in the field + base facility treatment), each local government can designate a place for killing, so that the central quarantine authorities can prepare safety standards and establish a body treatment facility that can meet them. In addition, a standard manual for the treatment of livestock carcasses using hyperthermophiles can be produced to advance the prevention system to solve social problems 				
Keywords	Hyperthermophiles	Livestock carcass	Aerobic fermentation	Composting	Pathogenicity

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	9
2. 연구수행 내용 및 결과	31
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	139
4. 연구결과의 활용 계획	140
5. 제언	141
붙임. 참고문헌	144

<별첨 1> 연구개발보고서 초록

<별첨 2> 자체평가의견서

<별첨 3> 연구성과 활용계획서

< Contents >

1. Summary of research and development project	9
2. Research contents and results	31
3. Goal achievement and contribution to related fields	139
4. Research result utilization plan, etc.	140
5. Proposal	141
Add. References	144

<Attach 1> Abstract of research and development report

<Attach 2> Self-evaluation opinion

<Attach 3> Research performance utilization plan

1장. 연구개발과제의 개요

1절. 연구개발의 개요

가. 연구개발 요약

○ 축산 산업의 현황 및 전염병으로 인한 피해

- 축산업의 고도성장으로 인한 집약화 및 대규모화에 따라 사육두수는 매년 꾸준히 증가하고 있음. 2016년 기준으로 고병원성 AI 감염으로 인한 피해규모는 살처분 22,150천수, 피해금액 2,612억원에 달하고, 구제역 감염의 경우 2010/2011년 살처분 3,480천두, 피해금액 27,383억원에 달하는 피해가 발생함.
- 살처분된 가축에 대한 처리문제와 이들 살처분된 가축들이 환경에 미치는 영향에 대해서는 국내에는 물론 세계적으로 참여의 관심사가 되고 있음.

○ 현재 살처분 방식의 문제점

- 국내의 경우 가축전염병예방법[가축전염병예방법 제 20조, 가축전염병예방법 시행규칙 제 25]에 의해 소각 및 매몰을 시행함.
- 살처분 가축의 매몰에 따라 침출수 누수와 악취 발생 등 일부 부실 매몰지에 의해 주변의 토양오염, 지하수 오염 및 하천오염을 일으키고 있으며, 매몰 후 부패 과정에서 흘러나오는 침출수는 인체에 유해한 미생물 및 바이러스를 포함할 수 있는 가능성이 있고, 지하수 및 주변 하천의 오염문제로 재처리 비용 및 악취에 대한 막대한 사회적 비용이 발생하고 있음.

나. 본 연구 기술의 우수성

- 본 연구에서 사용하는 초고온 호기성 발효 미생물은 기존의 초고온 발효 미생물 종이 대부분 혐기성세균으로 혐기성 발효 시 다양한 악취가 발생하였고, 발효의 정도를 조절하기 어려운 단점을 획기적으로 개선할 수 있음.
- 초고온 미생물의 특징으로 병원성 미생물을 효과적으로 사멸시킬 수 있을 뿐 아니라, 현재 3년에 이르는 사체의 매몰기간 단 1달이내로 획기적으로 감소할 수 있어 이로 인한 사회적 비용을 혁신적으로 감소시킬 수 있음.

- 호기성 초고온 미생물의 발효는 유기물을 효과적으로 분해하고, 이를 식물이 이용할 수 있는 영양소로 변환하여 환경오염을 방지할 뿐 아니라 식물의 비료로 사용하기에 적합함.
- 중저온 발효 미생물과의 혼합 발효 공법을 이용하여 초고온 발효 미생물이 성장하기 위한 초기 발생 조건을 형성할 필요가 없고, 유기물이 모두 분해되면 다시 상온으로 재귀하여 발효과정이 일시 중단되어 휴지기에서 장기간 보존이 가능함.
- 사체처리로 발효가 끝난 최종 발효물은 바로 퇴비로 사용이 가능하며, 또한 새로운 사체처리를 위해 초고온 미생물 배지로 100% 리사이클하여 영구적으로 재활용이 가능함.
- 본 연구에서 사용하는 미생물은 이미 일본에서 수십년간 하수슬러지·음식물 쓰레기·축산분뇨 처리에 사용해온 미생물로써, 퇴비로 재처리된 사례가 누적되어있어, 그 자체의 안전성이 충분히 확보되어 있음. 본 연구는 이를 사체처리 및 병원성 미생물의 분해 공법에 적용하게 될 첫 사례로써, 바이러스 및 세균 감염에 의한 전염병의 확산을 예방할 획기적인 방역 방안이 될 것으로 사료됨.

다. 연구개발 배경

▣ 고병원성 AI 및 구제역으로 인한 피해

- 고병원성 AI는 2000년 이후 2년 주기로 발병이 반복되고 있으며, 피해규모가 확대되고 있음. 조류 인플루엔자 (Avian Influenza)는 바이러스 감염에 의하여 발생하는 전염병으로 저병원성 AI와 고병원성 AI로 분류됨. 고병원성 조류인플루엔자(highly pathogenic avian influenza, HPAD)는 제1종 법정전염병, 저병원성 조류인플루엔자(low pathogenic avian influenza, LPAD)는 제2종 법정전염병으로 분류됨. 닭, 칠면조, 오리 등 가금류와 야생조류에 감염되며, 오리나 야생 조류는 임상 증상이 없으나 가금류에 대한 중요한 전파요인이 됨. 2016년 기준으로 AI 피해규모는 살처분 22,150천수, 피해 금액 2,612억원에 달함. (그림 1)



그림 1. AI에 따른 살처분 및 피해액 현황 (자료; 농림축산식품부, MK news, 2017년 1월 5일) 재구성

○ 구제역은 2010/2011년 살처분 3,480천두, 피해금액 27,383억에 달하는 피해가 발생함. 이후 백신처방을 하면서 발병은 지속되고 있지만, 피해규모는 크게 감소함. (그림 2)



그림 2. 구제역에 따른 살처분 및 피해액 현황 (자료; 농림축산식품부, 2014-2016 구제역 백서) 재구성

○ AI와 구제역이 막대한 규모의 피해를 가져오게 된 배경은 바이러스가 철새, 사람 등에 의해 쉽게 국내에 유입되는 구조적 문제점이 있음. 또한 국내 축산업이 공장형 밀집축산 형태로 발전하면서 농장 간 전파가 쉽게 이루어지는 구조를 가지고 있기 때문임. 주변 방역 목적으로 인한 예방적 살처분 비용까지 발생하면서 피해 금액이 커지는 경향이 있음.

■ 사체매몰 및 사체처리 비용 및 문제 부작용

○ 감염된 가축 처리 및 예방 목적으로 대부분의 사체는 매몰처리 되고 있으며 일부 소각처리 되고 있음. 2013~2016년 기간동안 백신처방 유무와 관계없이 AI·구제역 발병에 따른 세계 살처분 대비 한국의 비중은 AI는 두 번째, 구제역은 첫 번째임. 이 기간 동안 AI 발병에 따른 살처분 비중은 미국 35.3%, 한국 34.4% 멕시코 19.4% 등 순이며, 구제역은 한국 41.9%, 잠비아 14.4%, 러시아 7.8% 등 순임(표 1). 높은 살처분율에 따른 지속적인 피해액 증가와 사체처리 비용 부담이 증가하는 실정임.

표 1. 13/16년 세계 AI에 따른 살처분 현황 (좌), 13/16년 세계 구제역에 따른 살처분 현황 (우)
(자료 : 농림축산검역본부, “AI, 구제역 발생국 현황 (2017.3.15.)” 을 토대로 작성)

국가	살처분 수	전세계 대비	국가	살처분 두수	전세계 대비
미국	49,241,700	35.3%	한국	208,000	41.9%
한국	47,922,000	34.4%	잠비아	71,500	14.4%
멕시코	27,065,817	19.4%	러시아	38,705	7.8%
중국	5,997,442	4.3%	보츠와나	31,280	6.3%
대만	5,606,198	4.0%	남아프리카공화국	28,075	5.7%

○ 현행 가축사체 처리방법에는 혐기성 분해 (Anaerobic Digestion), 랜더링 (Rendering), 퇴비화 (Compostion), 소각 (Incineration), 매몰 (Burial), 알칼리 가수분해 (Alkaline Hydrolysis), 젖산 발효 (Lactic Acid Fermentation), 무처리 방식 (Non-Traditional Technologies) 및 혁신적인 방식 (Novel Technologies) 등이 있으며 (표 2), 국내의 경우 가축전염병예방법[가축전염병예방법 제 20조, 가축전염병예방법 시행규칙 제 25조]에 의해 소각 및 매몰을 시행하게 되어 있음.

표 2. 구제역 사체처리 방법 비교 (자료: 서울신문(2011.01.21.))

	내 용	장 점	단 점	
매몰	소규모 매몰 현재 시행하는 방식. 발생 인근 지역에 매몰.	구제역 확산 방지	침출수 등 환경오염 우려	
	대규모 매몰 대규모 매몰지 조성	체계적 관리를 통한 환경오염 최소화	사체 옮기는 과정에서 바이러스 전파 가능성	
소각	노천소각 장작더미 위에서 소각	빠른 처리	연기, 재 등 환경오염	
	고정식 소각시설	소규모 소각로, 화장시설, 발전소 소각시설 이용	안전한 처리 가능	고비용, 구제역 소 반입 으로 납비현상 우려
	공기커튼 소각시설	강한 바람 주입해 빠르게 소각하는 시설	이동식, 환경친화적	연료소모 많음
화학적 처리	질산 등을 이용해 사체를 녹임	빠른 처리	인체 유해 가능성 높음	

○ 매몰 방식을 이용한 사체처리의 경우, 정상적으로 진행되었을 경우에도 가축 사체에 부패에 따른 침출수 및 악취 발생의 부작용이 발생할 수 있음. 이러한 부작용으로 인해 주변 토양 및 지하수에 오염을 일으킬 수 있으며 추가적인 농수 오염이 발생할 수 있음. 주변 환경으로의 오염은 2차적으로 다른 전염병의 발병을 야기할 수 있으며, 사체에 남아있는 바이러스로 인한 2차 감염 발생의 위험성이 있음. (그림 3)

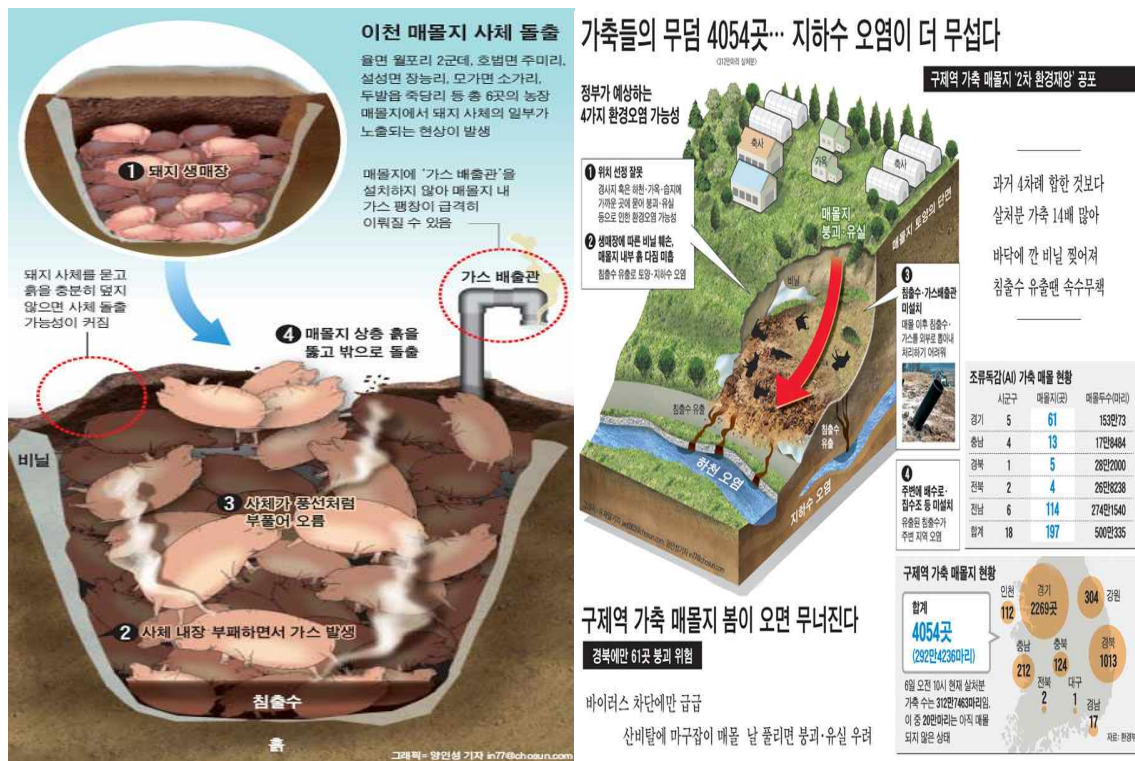
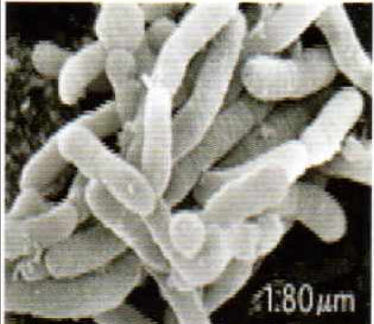


그림 3. 구제역 매몰로 인한 부작용의 예 (자료: 그래픽뉴스(2011.02.07.))

라. 초고온 호기성 미생물

- AI와 구제역에 의한 살처분에 따른 가축사체처리를 고효율적으로 하기 위해 본 연구진은 초고온 호기성 미생물을 이용한 새로운 사체처리기술을 도입함.
- 본 기술은 초고온 호기성 미생물 (표 3)을 이용하여 가축사체를 효율적으로 처리하는 공법으로 동물의 체성분이 거의 단백질, 지방, 유기물, 수분 등으로 구성되어 있기 때문에 초고온 호기성 미생물처리가 가능하며, 초고온 호기성 미생물 자체만으로, 85℃ 이상 발효온도를 올려 유기성 폐기물을 감량화하는 친환경 공법임. (가금류 1주일만, 가축류 1달이내에 사체 완전분해, 발효온도 85~105℃)

표 3. 초고온 미생물(YM균)의 특성 : *Calditerricola satsumensis* YM081(Bacillus속)

구 분	내 용	
형 태	• 폭 0.5μm, 길이 3μm 장간균	
산소여건	• 절대호기성	
혐 기 화	• 증식하지 않음	
온 도	• 50℃ 이하에서 미증식, 70℃ 이상에서 활발하게 생육하며 100℃ 이상에서도 증식 지속됨	
pH	• 중성(pH6~9)	

- 본 공법에 적용되는 초고온 미생물(YM균)의 생장온도는 100℃ 내외가 되며 일반적인 호기성 발효균의 생장온도 55℃와 비교해 발효온도의 상당한 차이가 발생하며, 생장온도가 높아 감량율이 우수하고, 병원성 세균 등의 사멸로 인해 양질의 퇴비생산이 가능한 공법. (그림 4)

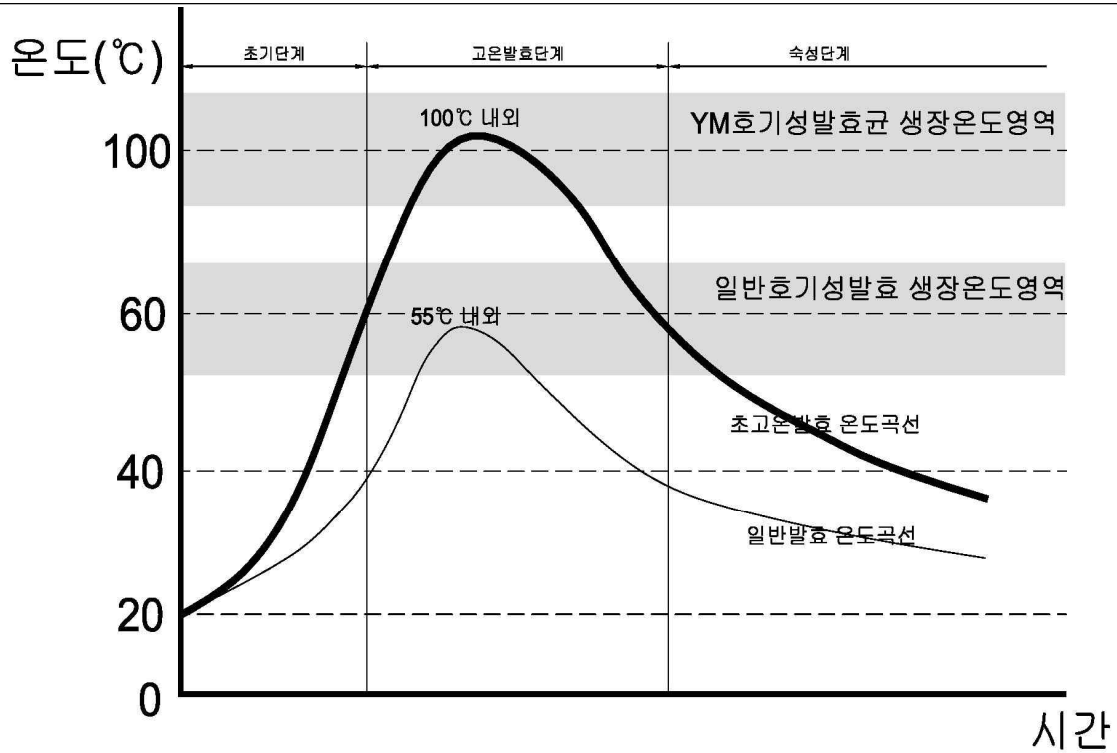


그림 4. 초고온 호기성 미생물과 일반 호기성균의 성장온도 비교

다. 연구의 필요성

- 기존 사체처리 방식(매몰, 소각, 랜더링 등)은 침출수 및 잔여 바이러스 유출, 주변 환경 오염 유발 등의 여러 문제점을 야기함. 이를 최소화 할 수 있는 새로운 사체처리기술이 절대적으로 필요한 실정임. 또한 새로운 사체처리기술의 유효성을 평가할 수 있는 기준을 마련하고 기술적, 환경적, 보건학적인 확인(검증)을 진행해야 함.
- 현재 전 세계적으로 가축전염병으로 살처분된 가축사체를 대상으로 자원화하기 위한 연구는 거의 진행된 적이 없음. 일부 국내·외 연구기관에서는 유용자원인 가축사체를 랜더링 처리법이나 알칼리 가수분해법으로 처리하여 그 부산물을 대상으로 퇴·액비화를 시켜 농업적으로 활용 가능한 비료학적 가치를 구명한 바 있음. 하지만 살처분 가축사체의 재활용 연구도 자원으로서의 가능성만 제시되는 수준이며, 실제 현장에 적용하기 위한 체계적인 연구가 필요함.
- 가축사체의 처리는 전염병 멸균, 동물복지 및 환경오염에 초점을 맞춘 매몰 위주의 연구로부터 살처분 가축의 매몰에 따른 매몰지 문제와 환경오염문제를 최소화하기 위해, 예방 살처분시에 가축폐기물을 매몰처리의 혁신적 처리방법의 개선을 통해 퇴비화하거나 자원화할 수 있는 가축사체를 유용자원으로써 재활용하기 위한 자원화 연구 개념을 도입하여야 함.

- 본 연구진은 고열을 발생하는 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 사체처리 후 잔여물에서의 병원체를 측정하는 기준을 마련하여 사체처리 과정에서 발생 가능한 2차 병원체 감염 또는 주변 환경에 영향을 줄 수 있는 오염 최소화를 확인하여 새로운 사체처리기술을 확립하고자 함. 또한 매몰지에 환경오염문제를 최소화하기 위해 가축사체폐기물의 퇴비화 및 자원화 연구를 통해 고효율 사체처리방법을 다각도로 응용하고자 함.

바. 연구의 목표

- 최근 들어 고병원성 AI 및 FMD(구제역) 등 가축전염병 발생으로 매년 사회적 재난에 가까울 정도로 살처분 및 매물로 경제사회적으로 피해가 가중되고 있으며, 이들 가축전염병 이외에도 축산농가에서 폭염, 질병 등에 의해 자연사한 가축도 매년 다량 발생되고, 유기동물의 자연사나 안락사에 의해서도 가축사체가 발생되고 있음.
- 조류인플루엔자 및 구제역 발생 직후 가축전염병의 추가확산을 방지하기 위해 발병 가축과 비발병 가축의 살처분 및 예방적 살처분을 위해 단시간에 대량으로 살처분 매몰한 결과 부적절한 매몰지 선정과 방수처리를 제대로 하지 않아 침출수, 악취 및 병원성균 등으로 2차 환경오염이 발생하고 있으며, 매몰후 수년이 지나도 썩지 않는 문제 등 자연환경적으로 심각한 상태임.
- 일반적으로 가축사체처리는 매몰(Burial), 소각(Incineration), 랜더링(Rendering), 퇴비화(Composting), 알칼리 가수분해(Alkaline Hydrolysis) 등으로 처리하고 있으나 환경적으로 대단히 불안정함은 물론 안전성과 경제성 측면에서 실효적 효과를 보지 못하고 있음.
- 따라서 살처분 가축의 매몰에 따른 매몰지 문제와 환경오염문제를 최소화하기 위해 예방적 살처분시에 가축폐기물의 혁신적 매몰처리를 통해 퇴비화하거나 자원화하여 환경친화적이고 지속가능한 농촌환경을 위해 대한민국 최초로 초고온 호기성 미생물에 의한 새로운 고효율 가축사체처리의 기술개발을 목표로 함.
- 초고온 호기성 미생물로 사체처리를 하는 본 연구는 기존의 매몰(Burial), 소각(Incineration), 랜더링(Rendering) 등의 처리에서 발생하는 부작용 해소는 물론이고, 기존 호기호열성(60℃ 내외의 발효온도)과는 차원이 전혀 다른 발효온도가 초고온(85~105℃)으로서 난분해성물질의 발효능력은 탁월하고 초고온으로 인한 병원균 사멸효과도 탁월한 연구임.
- 구제역 바이러스는 56℃에서 30분 이상, AI 바이러스는 70℃에서 30분 이상 처리하면 사

멸되는 것으로 밝혀져 있음. 따라서 본 공법의 발효온도는 85~105℃이므로 구제역 바이러스 및 고병원성 AI 바이러스는 발효 개시 시점부터 즉시 사멸될 것으로 예상하고 있음.

- 본 연구는 대한민국 최초이며 세계 최초의 연구로서, 대한민국의 매몰지 문제와 환경오염(다이옥신 등 공기오염, 지하수 오염, 지표수 오염, 토양, 야생동물 및 어류서식지 문제, 자연경관 경치에 영향) 등 많은 사회적·경제적·환경적 문제들을 단시간에 해결하고자 하며, 초고온 미생물(Hyperthermophile)을 이용하여 가축사체처리의 새로운 지평을 열고자 함.

사. 연구개발의 주요 내용

- 초고온 미생물 제제와 가축사체의 최적 혼합비율 및 융합처리 연구

- ① 가축사체(소, 돼지, 오리, 닭) + 초고온 미생물 제제(YM균)
- ② 가축사체(소, 돼지, 오리, 닭) + 하수슬러지 + 초고온 미생물 제제(YM균)
- ③ 가축사체(소, 돼지, 오리, 닭) + 가축분뇨 + 초고온 미생물 제제(YM균)
- ④ 가축사체(소, 돼지, 오리, 닭) + 음식물류폐기물 + 초고온 미생물 제제(YM균)

- 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체처리 공정의 최적 운전조건 도출

- pH, C/N비, 함수율, 주입공기량, 발효온도, CO₂ 변화, NH₃ 변화, 무게 및 용적 감량 변화, 중금속 분석(As, Cd, Hg, Pb, Cr, Cu, Ni, Zn) 등
- 퇴비화 발효조 시스템 설계 및 제작

- 초고온 호기성 발효시스템을 이용한 사체처리에서의 병원체 사멸 평가

- 초고온 호기성 발효시스템을 이용하는 사체처리 과정으로 인한 환경영향성 평가

- 기존 사체처리 공법(매몰, 소각, 랜더링, 호기호열성 등)과의 비교 분석 평가

- 국내 적용가능성 및 기술적 타당성 분석 평가
- 경제성 비교 분석 평가
- 환경영향 비교 분석 평가

- 초고온 호기성 미생물 발효공정에서 복합악취 및 지정악취 분석 평가

- 복합악취 및 지정악취 12개 항목 분석

○ 사체처리 부산물의 퇴비화 품질특성 분석 평가

- 가축사체별(소, 돼지, 오리, 닭) 퇴비품질 분석 평가
- 퇴비규격기준 분석 평가 (농진청 지정 분석기관)
- 고품질 기능성 퇴비의 화학적 품질특성 및 유해성 평가

○ 사체처리 관련 법규분석을 통한 부산물 활용분야 및 규제영향 법제화 추진

- 사체처리 및 퇴비화 관련 법령 검토 (폐기물관리법, 비료관리법, 가축전염병예방법 등)
- 사체처리 및 퇴비화 관련 법령 법제화 추진
- 농림축산식품부, 환경부, 한국환경공단 등 유관기관 지침 개정마련 추진
(구제역 긴급행동지침, 조류인플루엔자 긴급행동지침, 가축매몰지 환경관리지침(비법정 지침) 등)

○ 초고온 호기성 미생물에 의한 사체처리 자원화 융합기술 개발

- ① 현장처리 방안
 - ② 지역별 거점처리시설에서 처리 방안
- * 현장 테스트베드 시설 제작 및 Scale-up factor 도출

○ 초고온 호기성 미생물에 의한 고효율 사체처리 최적화 및 사업화 방안 마련

- 동물사체 단독처리 및 타 유기성 폐기물과 융합처리 가능
 - AI 및 구제역 등 질병전파를 신속히 차단하는 대규모 수 이상 예방적 살처분 방법
 - 예방적 살처분 기술의 고도화 사체처리시스템 현장실증 적용 및 사업화
- * 현장처리 및 각 지역 거점처리시설에서 처리 방안 (경기도-4곳, 충청도-2곳, 전라도-2곳에서 처리)
- * 환경부의 정책방향은 자원화에 집중되고, 현재 처리에 사회적 어려움을 겪고 있는 분야는 음식물, 가축분뇨 분야이므로 하나의 시설에서 동시처리 (폐수처리시설 연계 필요 없음)

1-2. 연구개발 대상의 국내·외 현황

가. 국내 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 농림축산식품부: 구제역 및 AI 가축매몰지 관측정 설치기준 연구와 살처분 가축의 이동·처리 기술 및 단계별 매뉴얼 개발 연구가 진행중임.
- 농촌진흥청: 살처분 대상가축 안전처리 및 환경위해 저감기술 개발 연구, 친환경 이동식일체형 가축처리장비 (랜더링법) 및 자원재활용 연구 및 매몰지 발굴사육 퇴비화

연구가 진행중임.

- 환경부: 가축 매몰에 따른 환경오염관리방안 연구, 가축매몰지 사체분해특성 및 2차 환경오염 통합연구 및 가축매몰지 침출수 소각처리 방안 연구가 진행중임.

- 우리나라에서는 “가축전염병예방법 제20조”에 따라 제1종 가축전염병에 감염되었거나 감염이 우려되는 가축에 대하여 살처분을 명하고 “가축전염병예방법 시행규칙 제25조” 및 긴급방역행동지침(조류 인플루엔자, 전염성 해면상뇌증, 구제역 등)에 의해 신속하게 소각 및 매몰 처리를 하고, 그 밖의 제2종, 제3종 가축전염병에 감염된 가축사체에 대해서도 적절히 처리해야 하는 것으로 규정하고 있음.
- 하지만, 현장 여건상 대부분 매몰방식으로 처리되고 있고 소각 등의 다른 처리방법은 사용되고 있지 않은 실정임. 매몰지에서 유출된 침출수는 가축의 혈액과 가축분해과정에서 나오는 액체상태의 오염물 등으로 문제가 많은 획일화된 매몰 처리방식에서 벗어나 예방접종 방식으로 개선하려는 시도가 진행되고 있으며, 렌더링(Rendering), 소각, FRP 탱크 저장 등의 비매몰 방식으로 처리방식을 다양화하려는 시도가 진행되고 있음.
- 국내의 가축사체 처리관련 연구는 대부분 전염병 확산방지, 매몰지 사후처리 및 관리, 동물복지와 환경오염 등이 고려된 안전한 사체처리 중심으로만 이루어지고 있으며, 현재까지 가축전염병으로 살처분된 가축사체의 재활용연구는 거의 이루어지지 못하였음. 일부 수행된 살처분 가축사체의 재활용 연구도 자원으로서의 가능성만 제시된 기초연구로 실제 현장에 적용하기 위한 체계적인 연구와 대안이 필요한 실정임.
- 렌더링(Rendering)은 가축사체를 고온(150~250℃), 3~4 kg/cm²의 압력에서 가열·멸균 후 남은 부산물 중 단백질은 퇴비로 활용하고 지방은 기름, 바이오디젤 등의 제조에 사용되는 방식이나, 토사가 섞여 있고 부패가 진행된 매몰지 가축사체를 렌더링하여 부산물을 활용하는 것은 현실적으로는 어려운 상황임. 또한 처리 후 남은 부산물을 완전히 액상물질로 변환시키지 못하기 때문에 환경기초시설에서 처리하지 못하고, 결국 또 다시 매립할 수밖에 없기 때문에 근본적인 해결책이 되지 못하며, 매립한 부산물에 의해 2차 환경오염이 일어날 가능성 또한 존재함.
- 최근에는 이동형 소각설비를 이용하여 살처분 가축을 신속하고 효율적으로 제거할 수 있는 기술이 개발되었으나, 소각에 필요한 에너지원이 많이 소요되고, 분진 및 소각 악취의 문제점이 발생될 우려가 큼.
- 가축사체의 열처리 이후 산 또는 알칼리제를 이용하여 가수분해를 하여 사체를 분해하는

열화학적 액화처리방식이 연구 중에 있으나 개발이 진행되고 있는 단계로 현장에 적용하기에는 기술적인 문제가 해결되지 않은 상황임.

- 2013년 정읍 영원면 A양계장에서는 폭염으로 폐사된 닭 사체를 불법 매립하였으며, 이로인해 주변에 심한 악취와 침출수가 발생하였으며, 특히 발생된 침출수의 BOD 농도는 52,000 ppm으로 일반하천 수질기준의 5천배에 해당되는 높은 수치를 보였음.
- 특히, 자연사한 가축사체 처리는 국내에 법적인 규제가 없어 처리가 거의 이루어지지 않아 직·간접적인 환경문제가 발생되고 있어 오히려 이들의 처리는 법의 제재가 없는 오염의 사각지대로 변해가고 있는 실정임.
- 폭염으로 인한 폐사가축은 2012년에 130만여 마리의 가축사체가 발생되었으며, 전북지역에서 65만 5,000여 마리의 가축이 폐사되어 피해가 가장 심각하였음.
- 또한 2013년에는 폭염으로 118만 2천여마리가 폐사되어 매년 엄청난 가축사체가 발생되고 있으나, 이들 사체는 대부분 무단매몰 되거나 방치되고 있어 축산농가 주변은 폐사가축에 의한 환경문제도 축산분뇨와 더불어 심각한 실정에 있음.
- 2013년 정읍 영원면 A양계장에서는 폭염으로 폐사된 닭 사체를 불법 매립하였으며, 이로인해 주변에 심한 악취와 침출수가 발생하였으며, 특히 발생된 침출수의 BOD 농도는 52,000 ppm으로 일반하천 수질기준의 5천배에 해당되는 높은 수치를 보였음.
- 가축 매몰지 확보의 어려움, 지하수 오염, 침출수 및 악취 발생 등의 사후 관리 문제를 해결하고 매몰처리방식을 보완하기 위해 호기성·호열성 미생물 이용법, 액비 저장조 활용 및 FRP 저장조 방식 등을 활용하는 보완 연구가 수행되었으나, 현재 호기성·호열성 매몰 방법은 일반 매몰방법과 유사한 방법이지만 미생물과 미강을 왕겨에 혼합하여 가축을 매몰하는 방법으로 미생물의 번식에 의하여 가축을 분해하고 이때 발생하는 열에 의하여 액체가 증발하여 가축사체를 처리하는 방법으로 현장 적용을 위한 실용화 연구가 진행되고 있음.
- 소각 방법과 렌더링 방법을 중심으로 다양한 처리방법들이 연구 중에 있으며, 소각 방법은 소각 후 잔재물이 2~3%로 적게 발생되지만, 장비 구입비가 비싸고, 이동 및 보관 등 유지·관리가 어려우며, 이동형 소각기에 대한 법률 적용근거 미흡에 따른 사용 전 협의가 필요하기 때문에 현재는 관련 연구가 진행되지 않고 있는 상황임. 렌더링 처리방법은 가축사체를 친환경적으로 자원 재활용하기 위한 방법들 중 하나로 각광을 받았지만, 동물성 기

름과 잔존물이 과다 발생하며, 추가적인 부산물 처리법이 요구되는 단점이 있으며, 이에 남은 부산물을 이용한 퇴·액비화 연구와 동물성 기름을 이용한 자원화 연구가 진행중에 있음.

- 가축전염병의 발생원인 및 확산경로를 파악하기 위해 역학조사 등을 실시하지만 전파경로가 다양하기 때문에 정확한 원인을 찾는 데에는 한계가 있음. 따라서 사전예방 대책의 중요성이 강조되고 있으나 불요불급하게 가축전염병 발생시에는 효율적으로 대처할 수 있는 사후대책 마련이 더욱 절실하며 매우 중요함.
- 따라서 상기 기술의 문제점을 해결하여 환경친화적이고 지속가능하게 가축사체를 완벽하게 소멸시킬 수 있는 기술의 개발이 대단히 시급한 상황임.

○ 시장현황

- 국내 축산업 생산액은 1970년 1.2조원에서 2011년 18조원으로 약 15배로 전체 농축산업에서 생산액의 40% 이상을 차지할 정도로 중요한 산업으로 크게 양적 성장을 이루었으나 가축전염병 발생 등으로 많은 어려움을 겪고 있음. 구제역(Foot and Mouth Disease, FMD)과 병원성조류인플루엔자(High Pathogenic AvianInfluenza, HPAI) 등 가축전염병은 축산업의 발전을 저해하는 위협 요인 중 하나임.
- 조류인플루엔자(AI)의 발생으로
 - 살처분가축 : 18,289천수 ('03~'08년) → 6,473천수 ('10~'11년) → 약 14,000천수 ('14년)
 - AI 피해액 : 5,183억원 ('03~'08년) → 822억원 ('10~'11년) → 약 1,400억원 ('14년)
- 구제역 (FMD) 발생으로
 - 살처분가축 : 2천두 ('00년) → 160천두 ('02년) → 3,536천두 ('10~'11년)
 - 구제역 피해액 : 3,006억원 ('00년) → 1,434억원 ('02년) → 약 3조원 ('10~'11년)
- 폐사가축 발생으로
 - 불법매립, 무단방치로 환경오염 문제발생 → 환경오염의 사각지대
 - 폭염 폐사가축 : 130만 마리 ('12년) → 118만 마리 ('13년)
 - 유기동물 안락사 및 자연사 : 44,431마리 ('11년) → 46,115마리 ('13년)
 - 로드킬 : 2,307마리 ('11년) → 2,360마리 ('12년)
- 고병원성 조류인플루엔자의 발생으로 인한 경제적 피해는 가금생산농가에만 국한되는 것이

아님. 질병 발생으로 인한 경제적 피해는 생산농가와 직간접적으로 연관된 사료업체, 부화업체, 가공업체, 유통업체, 외식업체 및 기타관련 산업에서 골고루 발생하며 정부의 재정지출도 증가함. 따라서 이를 처리하기 위한 재무적 가치는 수천억에 이르고 사회심리학적으로 비재무적 가치는 수조원에 이르므로 처리시장규모는 수천억에서 수조원에 이를 것으로 시장규모를 추정해 볼 수 있음.

- 이와 같이 우리나라에서 발생하는 가축전염병은 해마다 발생하여 국민을 불안하게 하고 있어 가축사육 농가의 경제적 피해를 최소화시키고, 가축전염병 발생지역의 환경오염방지를 위한 다각적인 노력이 필요한 실정임.
- 2008년 우리나라에서는 가축전염병인 조류인플루엔자(AI)가 서울을 포함한 16개 시군구에서 발생하여 전국에 AI 경계발령을 내려 소독 및 살처분으로 인한 심각한 경제적 피해를 입은 이후 가축전염병에 대해 국민의 경각심을 불러일으키는 계기가 되었음.
- 현재 전 세계적으로 가축전염병으로 살처분된 가축사체를 대상으로 자원화하기 위한 연구는 부족한 상황이며, 일부 연구기관에서 가축사체를 렌더링 처리법으로 처리하여 그 부산물을 대상으로 퇴·액비화를 시켜 농업적인 활용 가능성을 제시한 기초연구가 수행된 바 있고, 또한 알칼리 가수분해법을 이용한 가축사체처리 후 자원재활용을 위한 lab-scale의 기초연구가 최근에 수행되었으나, 살처분 가축사체의 효과적인 처리와 재활용을 위한 현장 중심의 체계적인 자원화 연구가 필요한 실정임.
- 축산물생산 과정에서 폐사가축의 환경오염관리는 대단히 중요함. 가축을 집약적으로 대량 생산하기 전에는 폐사가축이 크게 문제시 되지는 않았으나, 분만과 설사, 하계 열사병 등의 자연폐사는 물론, 브루셀라, 구제역, 조류독감 및 돼지콜레라 등의 가축 전염병으로 일시에 수천마리의 가축이 대량 살처분 될 경우 현재로서는 폐사가축 처리에 대한 적절한 방안이 없는 형편으로, 정부차원의 높은 안전성과 내구성, 저렴한 투자비와 유지관리비 및 재활용에 따른 경제성과 환경성이 확보된 폐사가축 공동퇴비화처리 실용화 도입 대책이 절실한 상황임.
- 매몰지에서 유출된 침출수는 가축의 혈액과 가축분해과정에서 나오는 액체상태의 오염물질로 바이러스, 인체에 유해한 대장균, 살모넬라 등 병원성미생물을 포함하고 있을 가능성이 높음. 일반적으로 매몰 후 한 달 정도 후부터 침출수가 땅으로 스며들어 지하수를 오염시키는 것으로 알려져 있으며, 대량의 빗물 유입시 침출수가 하천으로 유입될 가능성이 있음. (토양 침투 침출수는 10년 이상 환경에 영향을 미침)

- 사체처리의 매물처리 시 매물지 확보의 어려움과 지하수 오염, 악취발생이 되고, 소각처리 시에는 높은 처리비용과 분진, 악취발생 등 환경적인 문제 발생으로 각종 민원과 환경단체의 반대 등 많은 어려움을 겪고 있음. 2010 ~ 2011년 조성된 가축매물지가 1,268개소이며, 경기도, 충청도, 전라도에 많이 분포되어 있음. (표 4)

표 4. 현재 관리 중인 시도별 가축매물지 조성방식별 현황

구분	소계	부산	대구	인천	광주	울산	세종	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	
																합계
매물지수	1,268	4	2	7	4	5	11	306	30	169	183	280	220	17	30	
합계 조성방식	FRP 저장조 등	716	3	0	7	2	5	0	185	4	114	147	205	14	13	17
	액비 저장조 등	31	0	0	0	0	0	1	12	0	18	0	0	0	0	
	미생물 매물	352	0	0	0	2	0	10	25	21	34	28	39	190	0	3
	일반매물	159	1	2	0	0	0	0	75	5	2	8	36	16	4	10
	일반+FRP 혼합	10	0	0	0	0	0	0	9	0	1	0	0	0	0	0

* '10 ~ '11년 조성된 가축매물지 중 현재 18개소 관리 중

- 기존 가축사체 처리방법에는 혐기성 분해(Anaerobic Digestion), 랜더링(Rendering), 퇴비화(Composting), 소각(Incineration), 매물(Burial), 알칼리 가수분해(Alkaline Hydrolysis), 젖산 발효(Lactic Acid Fermentation) 등이 있으나, 국내에서 랜더링을 할 수 있는 곳은 총 4개소로 매우 적을 뿐만 아니라 그동안 구제역, AI 등 발병축(의심축)은 이동을 최소화하여 현장에서 처리하는 것을 원칙으로 하여 오염 가축을 장거리 이동시켜 랜더링 처리하는 것은 실질적으로 불가능 함. 최근에는 이동형 소각설비를 이용하여 살처분 가축을 신속하게 제거할 수 있는 기술이 개발되었으나, 소각에 필요한 에너지원이 많이 소요되고, 분진 및 소각 악취의 문제점이 발생할 우려가 큰 단점이 있음. 또한 가축사체의 열처리 이후 산 또는 알칼리제를 이용하여 가수분해를 하여 사체를 분해하는 열화학적 액화처리방식이 개발되었으며, 액화처리 부산물을 액상비료와 분말비료로 활용하는 것을 연구하고 있으나 상기의 기술들은 개발이 진행되고 있는 단계로 가축사체를 완벽하게 소멸시킬 수 있는 기술의 개발이 시급한 상황임.

- 2011년부터 호기호열성 처리법이 시도되었으나 여전히 침출수 문제 등 많은 문제를 야기하고 있으며, 2014년부터 도입된 AI구제역 발생후 FRP통에 넣어 매몰한 저장조의 매물 가축사체가 부패가 일어나지 않고 3년이 지나도록 썩지 않고 미라처럼 그대로 있어 재처리가 불가피하며(그림 5), 정부 예산이 이중으로 낭비되고 있는 실정임.

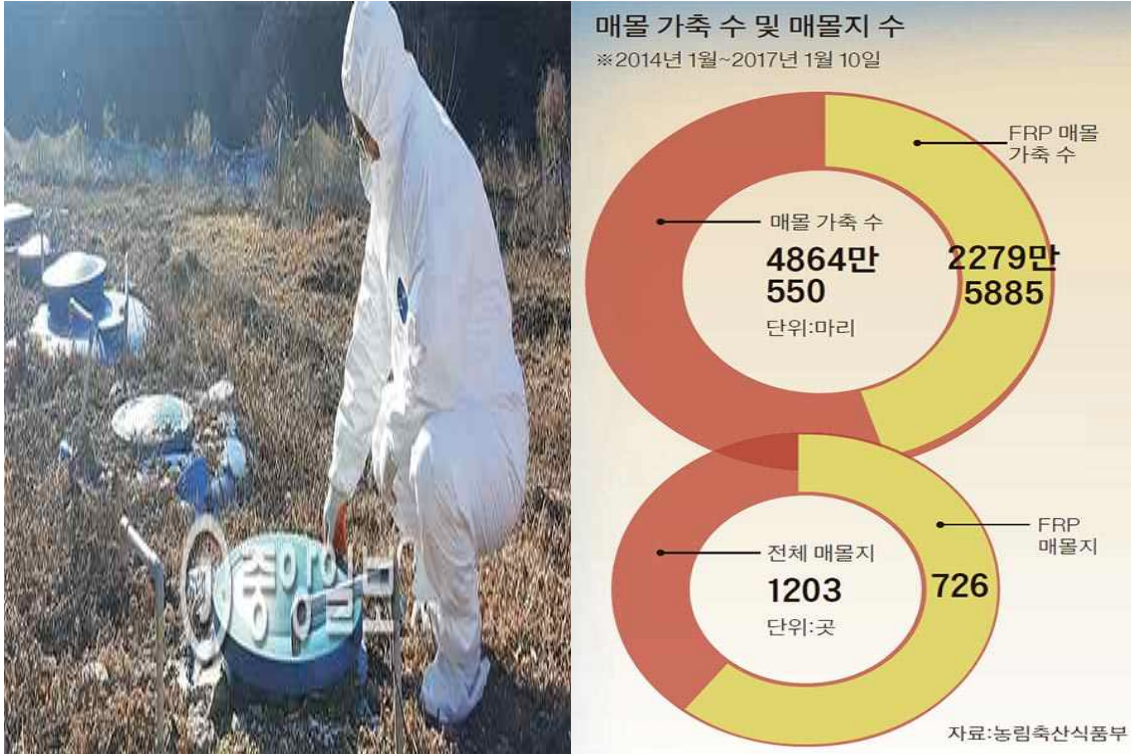


그림 5. 플라스틱 통 닭·돼지 매물 3년 지나도 미라처럼 안 썩어 (중앙일보, 2017.01.25.)

- 정부방역매뉴얼(SOP, Standard Operating Procedure)에 따르면 ‘저장조에 매몰한 가축은 6개월이면 액상으로 변한다’고 기술되어 있음. 하지만 2017년 1월 한 언론의 보도에 따르면 2014년 3월에 매몰한 경남 합천군의 조류 인플루엔자 매몰지에 사체가 썩지 않은 그대로 남아있는 것이 확인됨(그림 6). 호기호열법으로 재처리가 진행되어야 함으로 5배 이상의 비용 문제가 발생함.



그림 6. 썩지 않은 오리 사체들 (자료: 서울경제(2016.10.19.))

- 구제역 및 AI로 인해 2000년 이후 살처분 매몰된 가축수는 소, 돼지 391만두, 가금류 7,730만수이며, 발생농장 전체가축, 반경 3km 이내 살처분하고 있으며, 최근 2년간(2016~2017) 3,805만수 살처분되었는데 이들 살처분 가축중 매몰한 것이 3,155만수(83%), 재활용 650만수(17%)로 거의 매몰에 의존하고 있는 상황임. 향후 매몰지 문제를 고려하여 재활용하는 방향으로 지속적으로 증가하여 시장 수요는 상당할 것으로 사료됨.

○ 경쟁기관현황

- 국내 일반 호기호열성(60℃ 내외) 처리기관은 있으나, 초고온 미생물(85~110℃)에 의해 처리하는 기관은 없음.

○ 지식재산권현황

- 국내 일반 호기호열성 처리(60℃ 내외)는 있으나, 초고온 미생물(85~110℃)에 의해 처리되는 특허는 없음.

○ 표준화현황

- 국내 일반 호기호열성 처리(60℃ 내외)는 있으나, 초고온 미생물(85~110℃)에 의해 처리되는 시스템에 대한 표준화가 없음.

- 살처분된 사체는 농장 내에서 처리함을 원칙으로 하되, 부득이한 경우 농장에서 가까운 곳에서 처리할 수 있으며, 살처분된 사체는 액비 대형 저장조, 간이 FRP, 랜더링, 소각, 미생물처리 등 친환경적 사체처리를 원칙으로 하되, 이들 방법으로 처리하기 곤란한 경우에 매몰지 선정기준에 따른 적정한 매몰장소에 매몰함. 매몰시에는 사체의 신속한 분해, 악취 제거 및 침출수 증발 등을 위해 미생물(호기성 호열미생물 등) 처리를 권장함. (조류인플루엔자 행동지침, 농림축산식품부, 2016.7)

나. 국외 기술 수준 및 시장 현황

○ 기술현황

- 국외에서는 가축전염병 발생으로 인해 살처분된 가축에 대해 비매몰방식 위주의 친환경적 처리방안과 처리부산물의 재활용 연구가 진행 중에 있음. 영국을 비롯한 유럽과 일본은 랜더링 방식을 이용한 살처분 가축의 유지 및 육골분 생산에 관한 연구를 진행 중에 있으며, 대만은 소각 위주의 연구를 진행하고 있으며, 미국과 호주는 가축 매몰지 침출수 유출 방지 및 퇴비화를 위한 발효분해 방안에 관한 연구를 진행하고 있음.

- 미국

- 미국은 가축질병에 의한 사체처리에 관련된 사항은 U.S.D.A (US Department of Agriculture, 농림부)에서 제정한 가이드라인을 준수하되, 처리방법의 결정은 각 주법에 의하여 선택되며, 광우병 등 응급상황에 따른 사축발생 및 처리비용 증가로 가축사체처리에 대한 연구 개발 필요성이 대두됨에 따라 퇴비화 중심으로 활발하게 연구가 진행되었음. (매몰지 환경영양평가와 가축사체 퇴비화 효율 및 경제성 평가 연구 진행)
- 버지니아 주는 지하수오염 방지와 효율적이고 경제적인 처리 조건을 정립하기 위하여 2년간(2004~2005) 3개 농장, 12마리의 대가축을 대상으로 톱밥, 옥수수 사일리지, 계분 등 부자재 종류별로 실험을 진행. 미주리 대학교에서는 빈 형태의 퇴비사를 만들어 성장 단계별 돼지를 대상으로 깊이에 따른 C/N비, 수분함량, 산소 농도, 온도 등을 모니터링하고 최적 조건을 도출하였음.

- 영국

- 영국은 광우병과 구제역을 모두 경험한 국가로 인수공통전염병을 비롯하여 전염성 동물 질병에 관한 대응체계가 매우 앞서 있다는 평가를 받고 있음.
- 구제역을 계기로 농수산식품부(MAFF)를 환경식품농촌부(The Department for Environment, Food and Rural Affairs: DEFRA)로 개편하고 동물방역관련 위원회를 설치하는 등 새로운 방역정책을 수립. 현재 IAH (Institute of Animal Health) 중 Pirbright Laboratory에서 구제역, 조류 인플루엔자 등 가축전염병 관련 연구를 담당하고 있음.

- 호주

- 비매몰식 연구는 진행되지 못하고, 퇴비화법 등 기존연구를 중심으로 고찰하며 환경에 충격을 덜 주는 환경친화적인 방법을 중심으로 고찰하고 있음.

- 일본

- 일본은 농림수산성에서 가축 전염병 관련 방역체계를 총괄하고 있으며, 동물위생연구소 등에서 열처리(Rendering) 과정 중 가열, 교반, 건조 조건을 통해 가축사체의 지방을 용출시키는 연구 중심으로 비매몰식 가축사체 처리 연구가 진행되고 있음.
- 가축사체의 지방 용출 후 여과, 압착, 원심분리를 통해 유지(식용, 공업용) 및 육골분(비료, 사료용)으로 사용되고 있고, 닭 깃털과 혈액은 비료로 사용되고 있으나, 가축전염병으로 살처분된 가축의 용출 후 활용 연구는 진행되지 않고 있음.

- 대만

- 대만은 1990년대까지만 해도 일본 돈육시장의 약 40%를 점유하는 세계적인 양돈 수출 국가였으나, 주기적으로 발생하는 구제역에 의해 축산업이 사실상 몰락하였음.

· 대규모 구제역 발생 이후 대만가축위생연구소(Taiwan Provincial Research Institute For Animal Health)는 소각방법을 위주로 한 가축사체 처리에 관한 연구를 수행하고 있음.

- 국가별 살처분 가축처리방법을 살펴보면 대부분 매몰과 소각이 주를 이루고 있지만 최근에는 국가나 지역별로 렌더링(Rendering) 방식을 도입하고 있는 추세임. 최근 국가별 살처분 가축 처리방법의 우선순위를 보면 미국과 영국은 소각-렌더링-매몰 순이며, 일본은 소각-매몰-렌더링, 프랑스는 매몰-렌더링-소각 순으로 살처분 가축을 처리하고 있음 (표 5).

표 5. 국가별 살처분 가축 처리방법 및 우선순위

우선순위	대한민국	미국	영국	일본	프랑스
1	매몰	소각	소각	소각	매몰
2	소각	Rendering	Rendering	매몰	Rendering
3	Rendering	매몰	매몰	Rendering	소각

- 각 처리기술별(매몰, 소각, 일반호기호열성, 렌더링, 열가수분해 기술원리)로 기술의 원리, 공정운영의 장점과 단점, 경제성측면에서 처리비용을 나타내었으나, 아직까지 처리사례가 없는 본 연구에서의 초고온 호기성 미생물 공법은 모든 면에서 이들 공법보다 우월할 것으로 사료됨, (표 6)

표 6. 가축사체 처리기술 비교

구 분	기술 원리	장 점	단 점	잔류 부산물	처리비용/톤
매몰	구제역 및 AI 발생지 인근에 가축사체의 신속한 처리를 위해 땅속에 묻음	- 신속한 현장 처리 - 낮은 처리 비용 - 대규모 가축처리 용이	- 매몰지에 의한 2차 오염(토양 및 지하수 오염 등) 우려 - 부지 소요	- 다량 발생	\$15 ~ 200
소각	800~1,000℃ 고온 연소로 내에서 가축사체를 직접 연소하여 산화	- 처리 및 관리 용이 - 기존 시설 이용 가능 - 부지 소요 없음	- 높은 처리 비용 - 대기오염 발생 - 건조 등의 전처리 필요	- 소각재	\$35 ~ 2,000
일반 호기 호열식	호기호열성 미생물을 통해 가축사체를 분해·발효 시켜 퇴비화 (발효온도 60℃ 내외)	- 환경오염 없음 - 외부 접촉 차단 - 부산물 활용 가능	- 후속 처리 문제 (처리 부산물 발생) - 부지 소요 - 사체 저장조 파손 시 환경오염 발생	- FRP 탱크 이용 시 고액상 부산물	\$65 ~ 650

렌더링	가축사체를 고온 (150~250℃), 3~4 kg/cm ² 의 압력에서 가열·멸균 한 후 남은 부산물을 퇴비 활용 또는 매립처리	- 바이러스 멸균·사멸 - 부산물 활용 가능(기름, 퇴비 등) - 처리 비용 저렴	- 후속 처리 문제 (처리 부산물 발생, 퇴비화 어려움) - 시설비 고가 - 악취 발생	- 고액 상 혼합 부산물	\$40 ~ 460
열가수 분해	가축사체를 고온 (150~220℃), 고압 (5~23 kg/cm ²)에서 가열·멸균 한 후 반응 생성물을 환경기초시설에서 연계처리하거나 연료화	- 처리 기간 짧음 - 운영비 저렴 - 후속 연계처리가 용이 - 설비 활용성 큼 (타 폐기물 처리에 적용 가능)	- 시설비 비교적 고가 - 고압 설비이기 때문에 운영에 주의 필요	- 액상물	\$40 ~ 200
초고온 호기성 미생물 공법	초고온 미생물을 통해 가축사체를 분해·발효·바이러스사멸 시켜 퇴비화 (발효온도 85~105℃)	- 처리 기간 짧음 - 환경오염 없음 - 2차 처리 부산물 없음 - 처리 및 관리 용이 - 최종 발효물 퇴비화 활용 가능 - 처리 비용 저렴	- 부지 소요 (거점처리)	- 없음 (100% 리사이클) - 퇴비로 활용	12~15만원 /톤 추정 (거점처리)

○ 시장현황

- 살처분으로 인한 국외의 사회적 비용 발생현황은 아래 표에 제시된 살처분은 수와 평균 매몰 비용을 30달러로 계산하였을 때, 미국은 연 5억 달러가 넘는 피해액이 발생하며, 멕시코는 약 3억 달러의 피해가 발생함. 이는 한화로 5000억과 3000억이 넘는 피해액으로 추정 가능함.

표 7. 13/16년 세계 AI에 따른 살처분 현황 (좌), 13/16년 세계 구제역에 따른 살처분 현황 (우)
(자료 : 농림축산검역본부, “AI, 구제역 발생국현황 (2017.3.15.)” 를 토대로 작성)

국가	살처분 수	전세계 대비	국가	살처분 두수	전세계 대비
미국	49,241,700	35.3%	한국	208,000	41.9%
한국	47,922,000	34.4%	잠비아	71,500	14.4%
멕시코	27,065,817	19.4%	러시아	38,705	7.8%
중국	5,997,442	4.3%	보츠와나	31,280	6.3%
대만	5,606,198	4.0%	남아프리카공화국	28,075	5.7%

○ 경쟁기관현황

- 세계적으로 일반 호기호열성(60℃ 내외) 처리는 있으나, 초고온 미생물(85~110℃)에 의해 처리하는 기관은 없음.

○ 지식재산권현황

- 세계적으로 일반 호기호열성(60℃ 내외) 처리는 있으나, 초고온 미생물(85~110℃)에 의해 처리하는 특허는 없음.

○ 표준화현황

- 각 국가별로 매물(Burial), 소각(Incineration), 랜더링(Rendering), 퇴비화(Composting) 등에 대한 기준지침이 일부 있음.

- 가축사체 퇴비화 원리 및 사례 (미국)

- 톱밥이나 볏짚 등을 바닥에 깔고 사체를 놓은 다음 더미 형태로 만들어 놓으면 호기적 발효과정이 진행되어 4~6개월 이후에는 퇴비로 변모됨. 이 과정에서 높은 발효열(60~80℃)이 발생하여 병원균 사멸과 수분증발 현상이 동반됨.
- 가축분뇨 공동자원화시설의 교반식 퇴비화 시설을 이용 할 경우, 사체를 작은 입자로 만들기 위한 전처리 과정이 필요.
- 전처리 방법 : 사체를 밀봉상태에서 톱밥을 혼입하여 분쇄하고, 암모니아 가스 주입.(바이러스 사멸)
- 미국에서는 AI 등 가축전염병 발생 시 실제로 이러한 방법을 사용할 수 있도록 제도화되어 있음. (주마다 다름) (그림 7)

- 가축사체 퇴비화 사례 (호주)

- 프론트 엔드 로더 버킷을 사용하여 0.3-0.6m 깊이와 폭이 약 5 - 5.5m의 베이스로 톱밥이나 폐기물을 흡수하는 물질로 구성.
- 곤충 및 조류의 접근 방지를 위해 최소 0.5m의 커버 재료로 둘러 쌓여 노천에서 퇴비화.

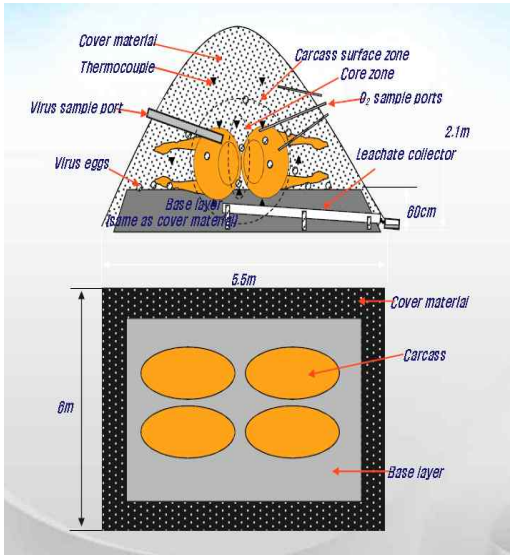


그림 7. 가축사체 퇴비화 사례 (미국)

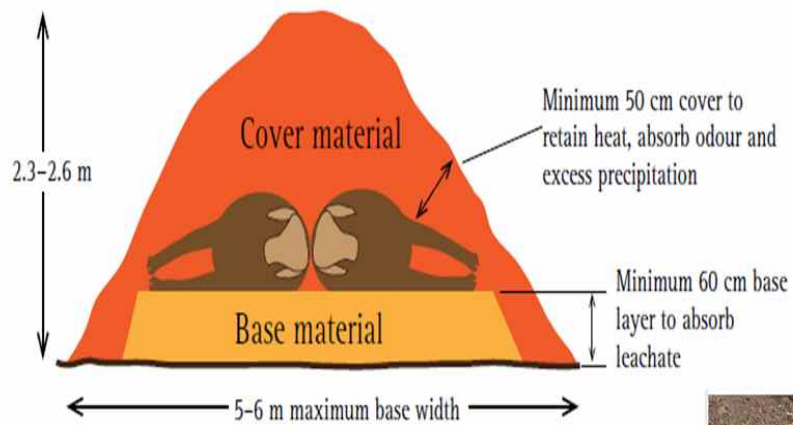


그림 8. 가축사체 퇴비화 사례 (호주)

2장. 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술 개발

<제 1세부 - 신화건설(주) >

1. 초고온 호기성 발효 미생물

1-1. 초고온 미생물

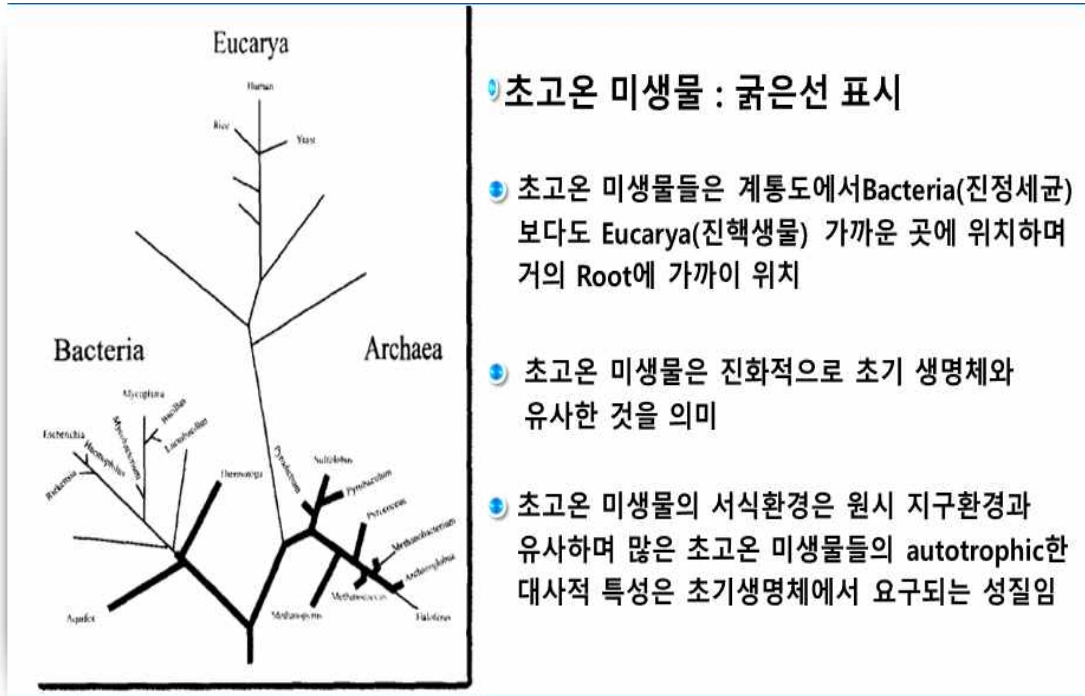
- 고온내열성 미생물은 역사적으로 1920년대 생육한계온도 65°C의 미생물 발견, 1960년대 80°C, 1970년대 82°C 1980년대 87~121°C, 2008년 생육한계온도 122°C 미생물 발견됨.
- 미생물은 생육온도에 따라 저온균(Psychrophile, 15~20°C 이하), 중온균(Mesophile, 20~45°C), 고온균(Thermophile, 45~80°C), 초고온균(Hyperthermophile, 85~120°C)로 분류할 수 있음.
- 극한환경에서 생육하는 미생물(호열성, 호염성, 고압 등)중 특히 초고온(화산지대, 심해열수구)에서 생육하는 초고온 미생물의 산업에서의 응용은 매우 중요함.



그림 9. 미생물의 생육 온도

- 초고온 미생물들은 계통도에서 Bacteria(진정세균) 보다도 Eukarya(진핵생물) 가까운 곳에 위치하며 거의 Root에 가까이 위치.
- 초고온 미생물은 진화적으로 초기 생명체와 유사한 것을 의미.

- 초고온 미생물의 서식환경은 원시 지구환경과 유사하며 많은 초고온 미생물들의 autotrophic한 대사적 특성은 초기생명체에서 요구되는 성질임.



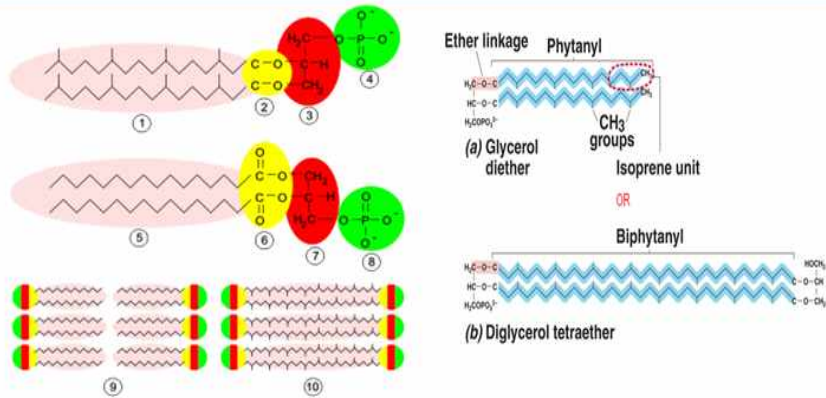
자료 극한환경 미생물에 대한 연구방향; 초고온 미생물 중심으로, 유연규, Biochemistry News, (1998)

그림 10. 초고온 미생물의 계통 분류

- 일반적 Bacteria와 Eukarya(진핵생물)의 지질은 glycerol과 fatty acid 사이에 ester bond 결합 Archaea(고세균)의 경우 glycerol과 isoprenoid alcohol 간의 ether 결합.

* ether 결합이 ester 결합보다 안정성이 큼

- 지질의 구조는 세포막에서 내부와 외부로 각각 향하는 두 glycerol기가 긴 alkyl chain으로 서로 연결된 ring 구조로서 이러한 tetraether의 지질을 갖는 세포막은 그 유동성을 낮추게 되어 높은 온도에서도 막구조가 파괴되지 않고 적절한 막구조를 유지하는 것으로 추정하고 있음.



- 일반적 Bacteria 와 Eukarya(진핵생물)의 지질은 glycerol과 fatty acid 사이에 ester bond 결합
Archaea(고세균)의 경우 glycerol과 isoprenoid alcohol간의 ether 결합
* ether 결합이 ester 결합보다 안정성이 큼
- 지질의 구조는 세포막에서 내부와 외부로 각각 향하는 두 glycerol기가 긴 alkyl chain으로 서로 연결된 ring 구조로서 이러한 tetraether의 지질을 갖는 세포막은 그 유동성을 낮추게 되어 높은 온도에서도 막구조가 파괴되지 않고 적절한 막구조를 유지하는 것으로 추정하고 있음

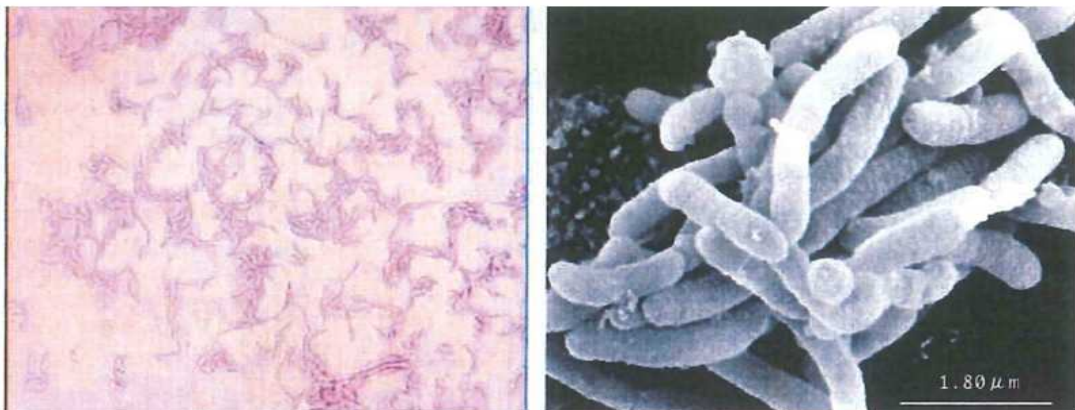
자료 극한환경 미생물에 대한 연구방향; 초고온 미생물 중심으로, 유연규, Biochemistry News, (1998)

그림 11. 초고온 미생물의 지질 구조

1-2. YM 초고온 미생물

- 본 연구에서 사용하는 초고온 호기성 미생물은 그람음성이며 포자형성능력이 없음에도 불구하고 포자형성능력을 가지는 그람음성토양세균인 Bacillus속, Geobacillus속과 근연하지만 신속(新屬)으로 판명된 독립의 세균임.

❖ *Calditerricola satsumensis* YM081 Bacillus속에 근연(近緣)하는 신속(新屬) · 신종(新種)의 호열균



- ✓ YM 초고온 미생물 : 일본 가고시마현 키리시마 화산지대로부터 얻음
포자를 형성하지 않고 그램 음성이며 절대 호기성 간균임

그림 12. YM 초고온 미생물의 현미경상 구조

❖ YM 초고온 미생물 발효의 특징은
「호기발효 = 불(火)이 없는 연소」에서 유래함

- 호기발효는 보다 많은 열을 발생함
- YM발효는 고온임
- 이 때문에 분해가 용이함
- 병원균과 잡초의 종자가 사멸함
- 메탄가스(CH₄) 등 가연성의 위험한 가스가 방출되지 않음

그림 13. YM 초고온 미생물 발효의 특징

- 미생물의 유기물 분해시 연소엔탈피로 인해 발생하는 대량의 에너지는 수많은 세포활동의 원천이 되며, 생물학적 과정에 대한 논의에 연소열이 적용가능한 경우는 세포내 Glucose의 소비효율을 비교할 때임.

- 호기성 발효를 통하여 2,808kJ/mol의 에너지가 제공 가능하며, 혐기성 발효는 2,166kJ/mol의 에너지만을 얻을 수 있음. 이는 호기성 호흡이 혐기성 발효보다 훨씬 진화된 과정임을 명백히 나타내고 있음.

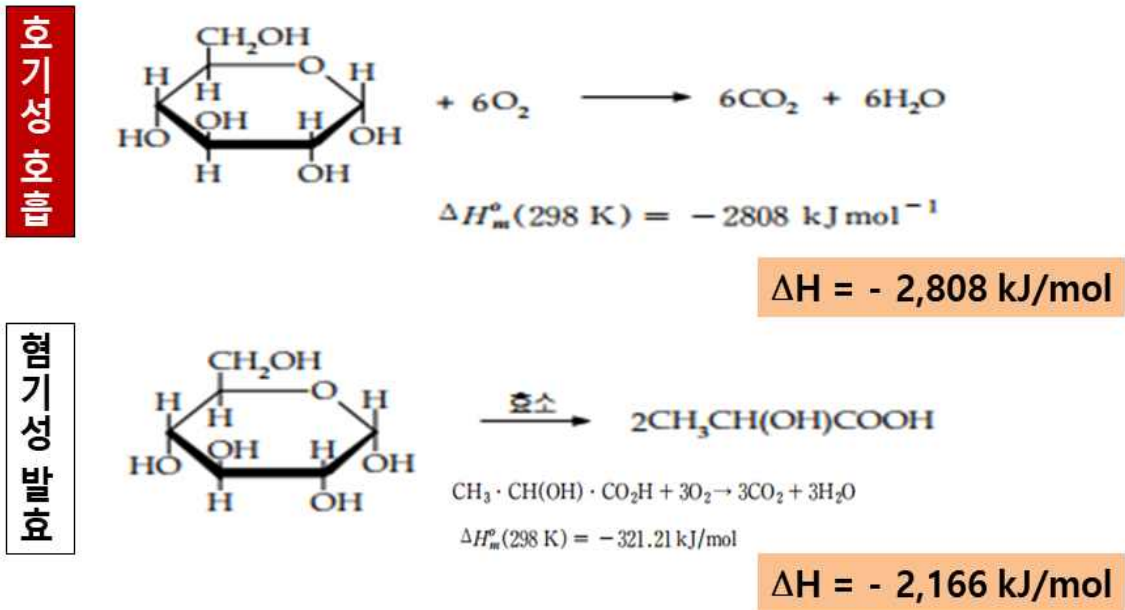
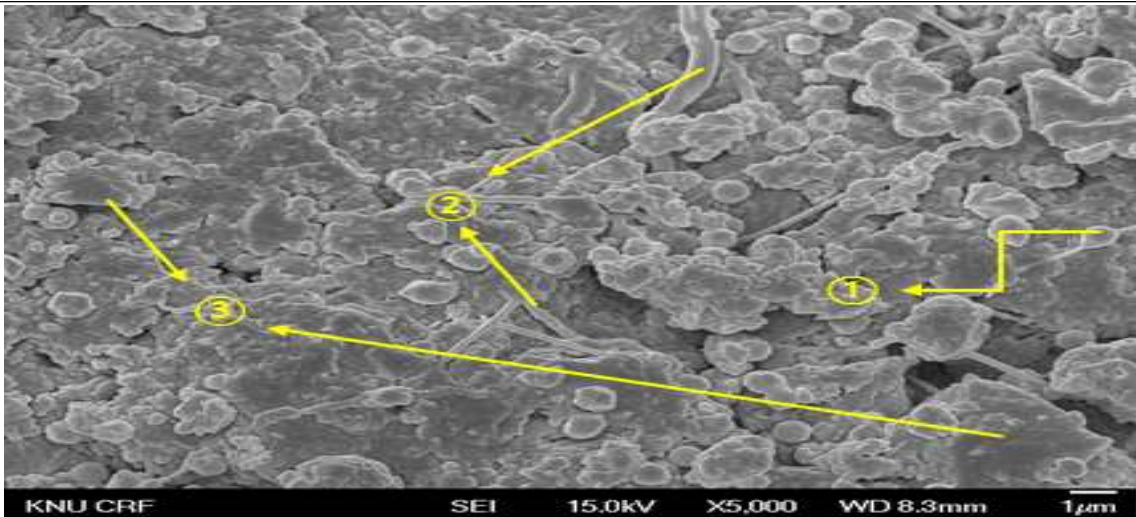
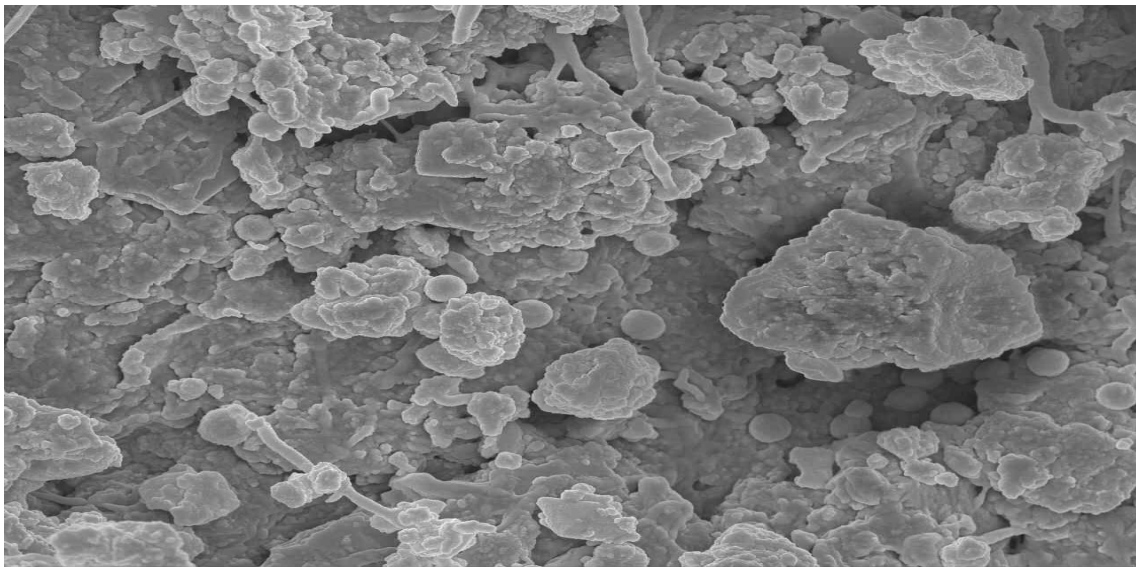


그림 14. 호기성 호흡과 혐기성 발효의 비교

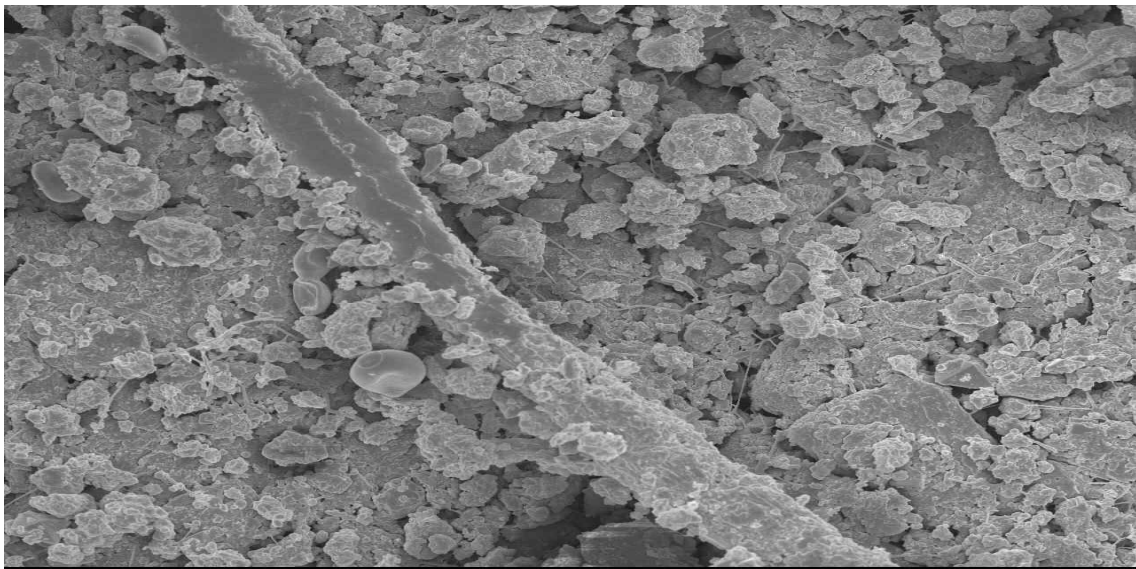


KNU CRF SEI 15.0kV X5,000 WD 8.3mm 1μm

① 미생물 군체 입자 혹은 유기물 입자, ② 목재 섬유질, 셀룰로오스 및 리그닌 입자, ③ 화산지대 토양 벌크 및 무기질 입자



KNU CRF SEI 15.0kV X5,000 WD 8.3mm 1μm



KNU CRF SEI 15.0kV X1,000 WD 8.3mm 10μm

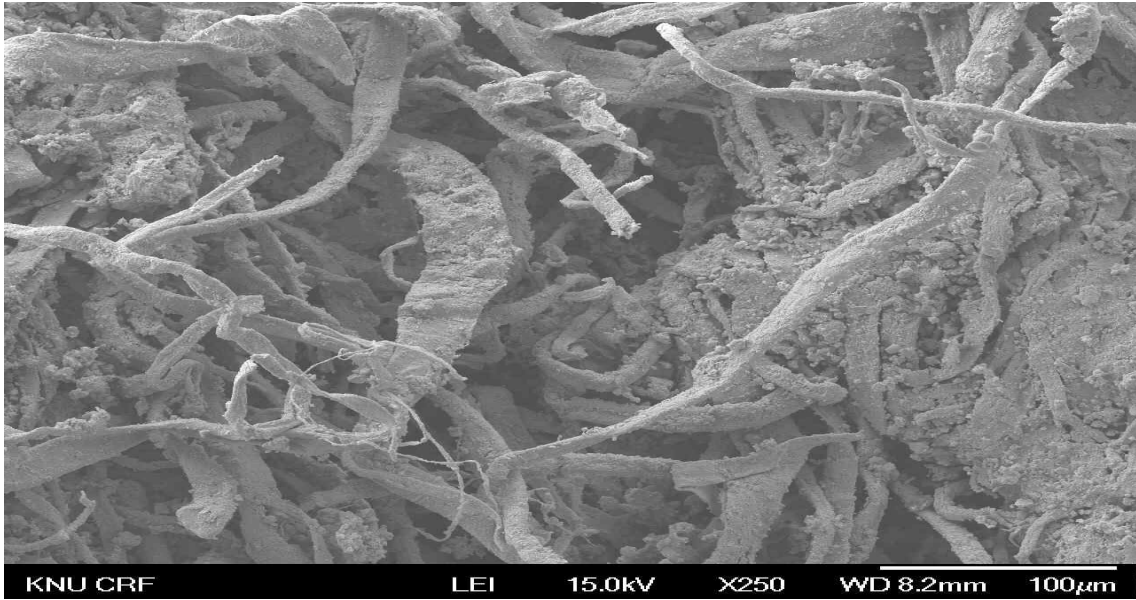


그림 15. YM 초고온 미생물 SEM-EDX(전자현미경) 사진

제 2 절 초고온 호기성 발효 시스템

2-1. 초고온 호기성 미생물 발효공법(YM공법)의 특징

- 초고온 호기성 미생물 자체만으로 95℃ 이상 발효온도를 올려 유기성 폐기물을 감량화하는 친환경 공법.
- 음식물쓰레기, 하수슬러지, 가축분뇨, 주정슬러지 등 모든 유기성 폐기물을 초고온 호기성 미생물로 안정화하는 전문개방 칸막이식 구조의 퇴적방식으로 호기성 발효에 필요한 공기량을 조절하여 95℃ 이상의 발효온도로 유기물과 수분 그리고 악취를 효율적으로 제거하는 방식.
- 초고온 호기성 미생물은 일반 호기성 미생물이 분해할 수 없는 난분해성 유기물을 획기적으로 분해할 뿐만 아니라, 악취제거가 탁월하며 폐기물을 85%이상 감량화함과 동시에 최종산물은 리사이클 혹은 퇴비화하는 영구적 자원순환시스템.

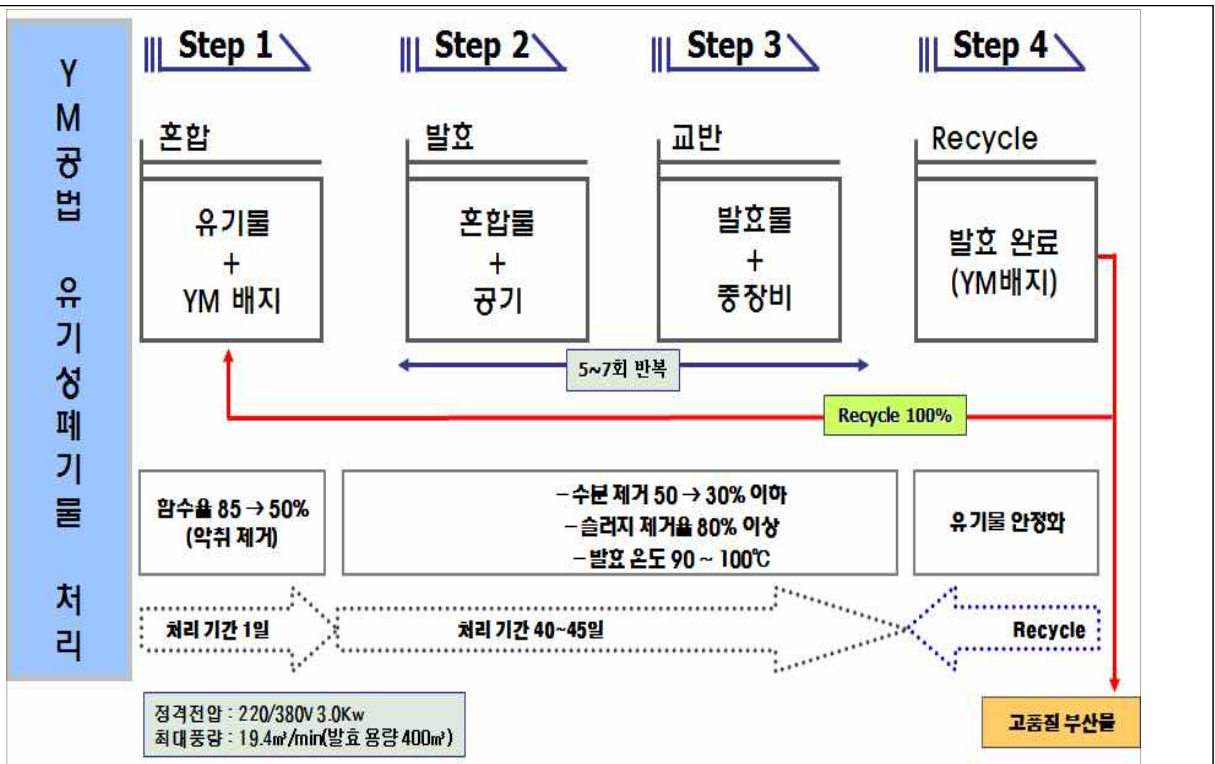




그림 16. YM 공법 유기성 폐기물 처리 과정

- YM균 난분해성 유기물 초고온 분해효과 : 95℃ 이상의 초고온 호기성 조건하에서 활발한 분해활동을 통해 유기성 폐기물을 효율적으로 분해 감량하는 세계적 특허의 초고온 호열균
- 유기물 분해속도 빠름 : YM균(초고온 미생물)에 의한 유기물 분해속도가 40~45일로 빠름
- 수분조절제 불필요 : YM공정후 반송품(Recycle)을 이용하며 왕겨 톱밥 등 수분조절제 필요 없음
- 음식물고형물+음폐수 통합처리 (폐수처리장 연계 필요 없음) : 하나의 시설 단일공정으로 음식물류폐기물(음식물고형물+음폐수) 통합처리
- 소독시설 필요 없음 : 초고온 발효(95℃)로 인해 잡균종자, 대장균, 병원균 등 사멸, 소독시설 필요없음
- 악취저감 효과 탁월 : 초고온 미생물을 이용하여 악취성분의 분해율이 탁월함
- 양질의 비료 생산 : 초고온 발효로 인해 양질의 비료 생산
- 심플한 공정 운영 : 송풍설비와 로터만으로 시설 운영하며 시설운영이 단순하고 안정적이며 운영비 및 처리비가 경제적임

2-2. 초고온 호기성 발효공법과 일반 호기성 발효공법 차이점

구 분	초고온 호기성 발효공법	일반 호기성 공법
공정구성		
	<ul style="list-style-type: none"> 반입→혼합→발효→선별→퇴비 	<ul style="list-style-type: none"> 반입→전처리→발효→후숙→선별→퇴비
공법설명	<ul style="list-style-type: none"> 음식물과 YM균(반송재)를 혼합하고 급기를 통해 발효→ 공정구성 간단 	<ul style="list-style-type: none"> 반입된 음식물의 전처리가 필요하며 부형재(톱밥)를 혼합하고 밀폐형 또는 개방형 발효조에서 급기 및 교반을 통해 발효
설비구성	<ul style="list-style-type: none"> 전처리 기계 필요 없이 장비(로더)에 의해 교반하므로 고장의 요인이 없음 →년중 무 중단 운영이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 다수의 전처리 기계 필요 →전처리 기계 고장시 운영중단
감량율	<ul style="list-style-type: none"> 80% ~ 90% 	<ul style="list-style-type: none"> 70% ~ 85%
발효온도	<ul style="list-style-type: none"> 100℃ 내외 →병원성 세균 및 잡초 종자제거 	<ul style="list-style-type: none"> 60℃ 내외
침출수	<ul style="list-style-type: none"> 없음 →2차 오염이 없는 친환경 공법 	<ul style="list-style-type: none"> 고농도 침출수 발생(처리용량의 75%) → 6톤/일 기준 4.5톤/일 발생
악취발생	<ul style="list-style-type: none"> 저농도 악취 	<ul style="list-style-type: none"> 고농도 악취
발효기간	<ul style="list-style-type: none"> 40~45일 	<ul style="list-style-type: none"> 발효 : 15 ~ 20일 후숙 : 21 ~ 30일
유지비용	<ul style="list-style-type: none"> 인건비, 전력비 등 유지비용 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> 인건비, 전력비 등 유지비용 비교적 높음
설치면적	<ul style="list-style-type: none"> 설치면적이 타공정에 비해 넓음 	<ul style="list-style-type: none"> 설치면적 작음
적용기술의 우수성	<ul style="list-style-type: none"> 원료의 병원성 세균 및 잡초종자제거 타공법에 비해 악취발생이 적음 부패하는 모든 유기성폐기물의 발효가능 침출수 발생이 없어 2차오염이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 감량율 적정 부산물퇴비 생산

제 3 절 초고온 호기성 발효 pilot plant 운전

3-1. 실험플랜트

- 초고온 호기성 발효공정을 운영하고 발효조 3조(가로 5m × 깊이 7.2m × 높이 3m)로 구성
- 페이로더 및 에어레이션 시스템이 설치되어 있음.

▶ YM 공법 강릉 Pilot Plant



▶ 장소 : 강원도 강릉시 소재

Pilot Plant 개요 : 발효조 3조 (W5m × L7.2m × H3m)

유기성 폐기물 처리: 하수슬러지, 음식물쓰레기, 축산분뇨, 가축사체
농업수산업축산업폐기물, 농공단지폐수슬러지 등



그림 17. YM 공법 강릉 Pilot Plant

3-2. 초고온 호기성 미생물 발효 가축사체처리 시스템

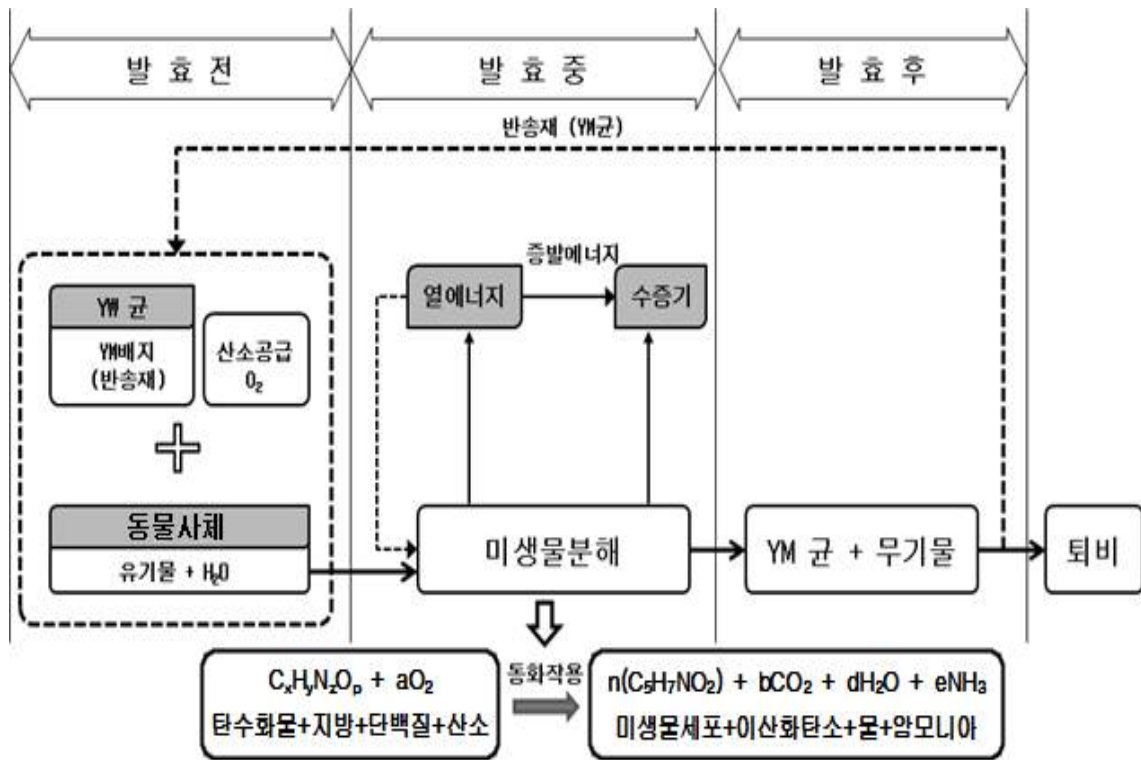
- 초고온 호기성 미생물처리는 85~105℃의 초고온 호기조건에서 활동하고 움직이며, 음식물쓰레기, 하수슬러지, 축산분뇨, 주정슬러지 등 모든 유기성 폐기물을 발효분해하는 호기성호열균균을 이용해서 위생적으로 신속히 유기성폐기물을 감량화하는 기술임. 가축사체의 체성분은 거의 단백질과 지방의 유기물과 수분으로 되어있기 때문에 초고온 호기성 미생물처리로 가능함.



그림18. 사체실험 모형도

- 발효분해과정은 초고온 호기성 미생물이 생산하는 protease, collagenase, lipase 등의 내열성 효소가 가축사체의 케라틴 등 난분해성 단백질과 지질 등을 신속히 분해하고, 분해유기물은 미생물의 에너지에 이용되고, 그 과정에서 열이 급격히 발생하며 분해온도는 85°C 이상이 됨. 이 초고온 환경은 분해효소의 활동을 더욱 높이기 때문에 유기물의 분해가 촉진되고 보다 분해속도가 가속됨. 최종적으로 동물사체 체성분은 이산화탄소, 수증기, 암모니아 등의 무해하고 처리가능한 가스로 방출됨. 또한 발생한 처리물은 미생물자재로서 재이용되기 때문에 환경적으로 100% 리사이클로 환경친화적이고 지속가능한 기술임.
- 가축사체처리, 음식물쓰레기, 하수슬러지, 축산분뇨, 주정슬러지 등 모든 유기성 폐기물을 초고온 호기성 미생물로 안정화하는 전문개방 칸막이식 구조의 퇴적방식으로 호기성 발효에 필요한 공기량을 조절하여 85~105°C의 발효온도로 유기물과 수분 그리고 악취를 효율적으로 제거하는 방식. (대한민국 최초로 초고온 호기성 미생물로 울릉군 음식물류폐기물 공공처리장 시공 및 운영 중, 가축사체와 가축분뇨·음식물류폐기물·하수슬러지 등 융합시스템으로 운영가능)
- 유기물분해와 생체합성에서 퇴비화라 할 수 있는 유기물은 탄수화물, 지방 및 단백질로 분류되며, 이들이 호기성 분위기에서 분해되어 생물세포가 만들어지는 반응을 간략화하면 다

음과 같음. 탄수화물은 산소와 반응하여 최종적으로는 이산화탄소와 물로 분해되며, 단백질이나 지방은 분해하여 분자량이 작은 물질이 되며, 동시에 이산화탄소, 물 및 암모니아(NH₃)를 생성하며 생물은 유기물을 받아들여 자기의 몸을 합성하고 증식함. 이 때 호기성 생물은 산소를 받아들여 이산화탄소와 물을 생성함. 생물체를 구성하는 단백질을 합성하는 데는 탄소분 외에 질소와 인 및 미량 원소를 필요로 하는데, 아래 그림의 반응식에서는 생물체를 C₅H₇NO₂로 간단하게 표시하여 인이나 미량원소에 대해서는 생략함.



* YM공법은 동물사체와 YM배지를 혼합하여 발효조에 투입하고 산소를 공급하여 절대호기성 세균인 YM균을 활성화시켜 유기물을 분해하는 공법

그림 19. 가축사체 분해와 생체합성 반응

제 4 절 초고온 호기성 발효공정 가축사체처리의 목표

4-1. 가축사체처리 정책적(혁신적) 지향점

- AI·구제역 매몰지 사후관리 기간을 3년에서 1달로 혁신적 단축.
- AI·구제역 매몰지의 침출수 문제 등 개선을 통해 환경친화적이고 지속가능한 사후관리 지향.

현재

AI/구제역 매몰지 가축(조류) 분해 및 사후관리 기간
(발병현장) : 3년

✓ 매몰지 발굴 금지기간(3년)이 지나도 분해되지 않은
사체가 많이 침출수 등 환경피해 심각함



개선

AI/구제역 초고온 미생물 이동식 처리 및 매몰 시스템
가축(조류) 분해 및 사후관리 기간 (발병현장)

✓ AI감염 조류 : 10일 내외

✓ 구제역 감염가축 : 20일 내외 (침출수 없음)

(현재)
가축분해 및 사후관리
: 3년



(개선)
가축분해 및 사후관리
: 1달

그림 20. 가축사체처리 정책적(혁신적) 지향점

4-2. 현장 매몰식 가축사체처리 구조도

- AI·구제역 발생시 해당 가축농가의 인근 지역에 매몰시 원토양-터파기-현장 초고온 발효 설비 셋팅-초고온 배지+가축사체 무교반 에어레이션-가금류(1주일)+가축(1달) 분해공정-AI·구제역 검역확인후-거점처리시설로 이송 퇴비화 공정 진행-현장 매몰지 원토양 복원 진행.
- 현장에서 YM 초고온 미생물 배지와 가축사체를 매몰식 신속처리하여 (발효온도 90~100℃) 1달 내외 가축사체의 완전분해 및 AI·구제역 완전사멸 확인후 거점처리시설로 이송하여 퇴비화 공법 진행.

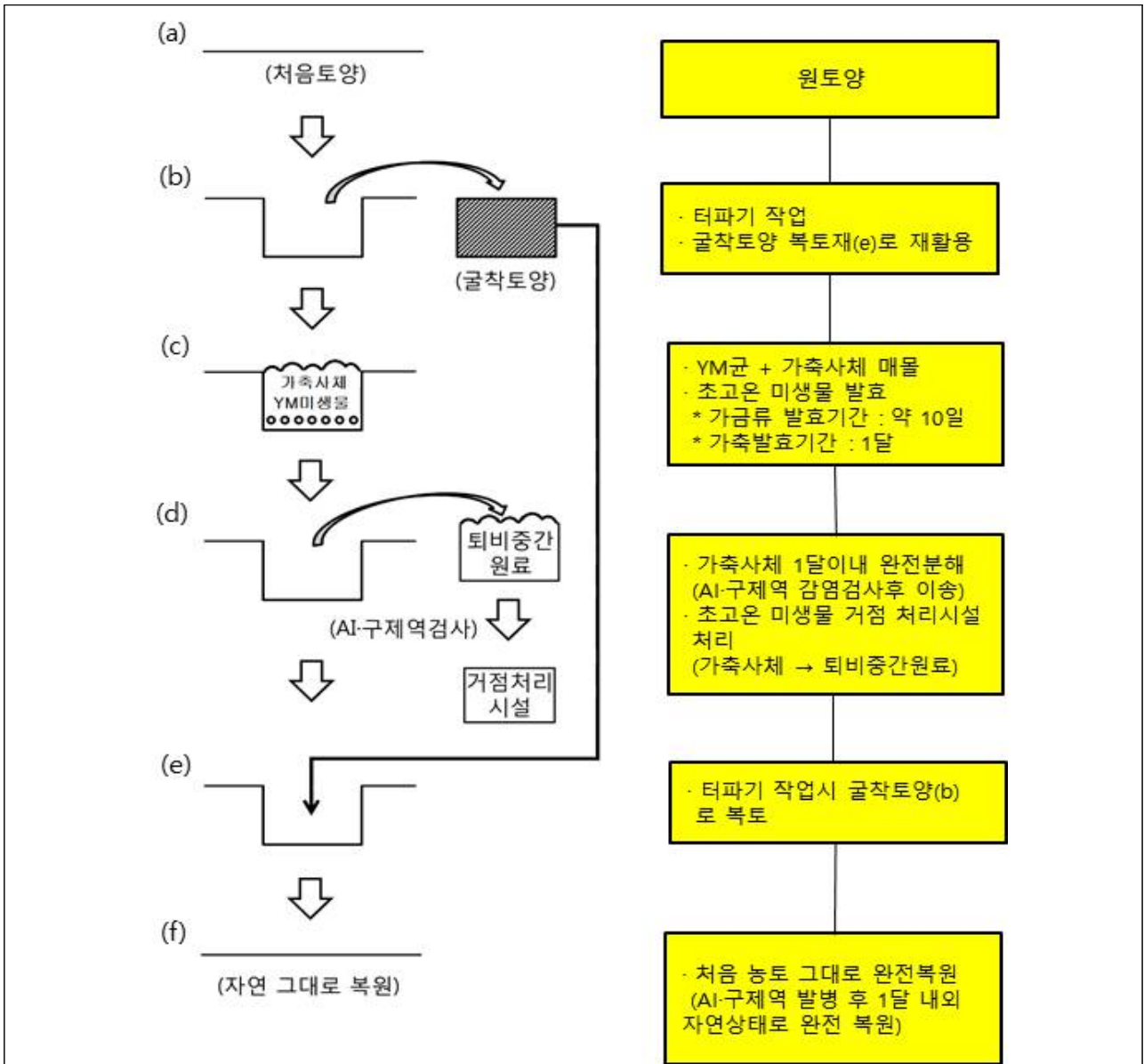


그림 21. 현장 매물식 가축사체처리 구조도

4-3. 현장 비매물식 이동식 가축사체처리 구조도

- AI 발생시 해당 가금류 농가의 인근 지역에 이동식 발효설비를 이송하여 현장에서 초고온 이동식 발효기에서 YM 초고온 미생물 배지와 가금류 사체를 처리하여 항온 95℃로 1주일 전후 가금류 완전분해 및 AI 바이러스 완전사멸하고, 거점처리시설로 이송하여 퇴비화 공법 진행.

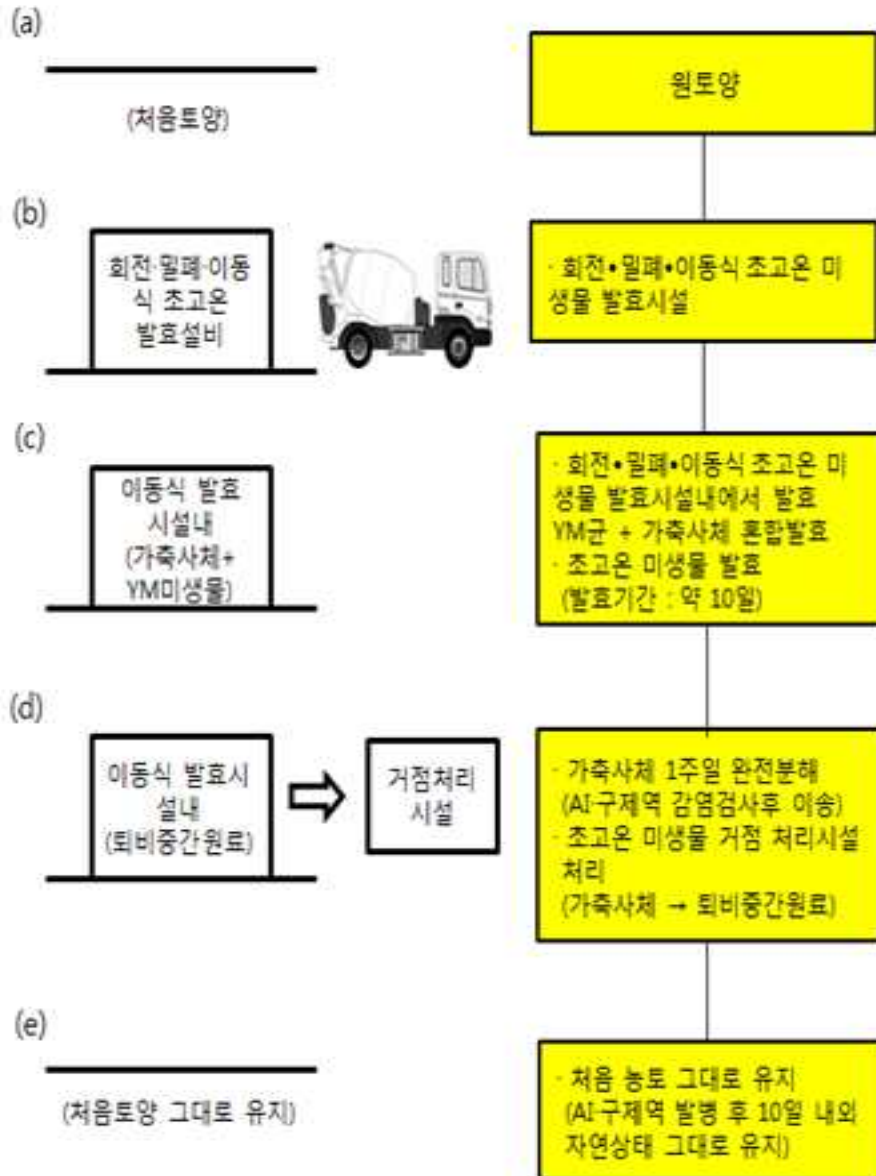


그림 22. 현장 비매몰식 이동식 가축사체처리 구조도

4-4. 현장처리+거점처리 통합처리를 위한 구조도

- 현장처리 목표 : AI·구제역 감염가축사체 완전분해 및 바이러스 완전사멸
- 거점처리 목표 : 호기성 발효에 의한 퇴비화
- 과거 AI·구제역 발생이 잦은 지역을 중심으로 (현장) 처리설비 및 (거점) 처리시설을 설치하여 AI·구제역 발병시 신속히 대처하여 축산농가의 피해와 농촌환경을 위해 현장 실증 테스트베드실험을 통해 전 지역 확산으로 가축질병에 대해 실효적 대처.

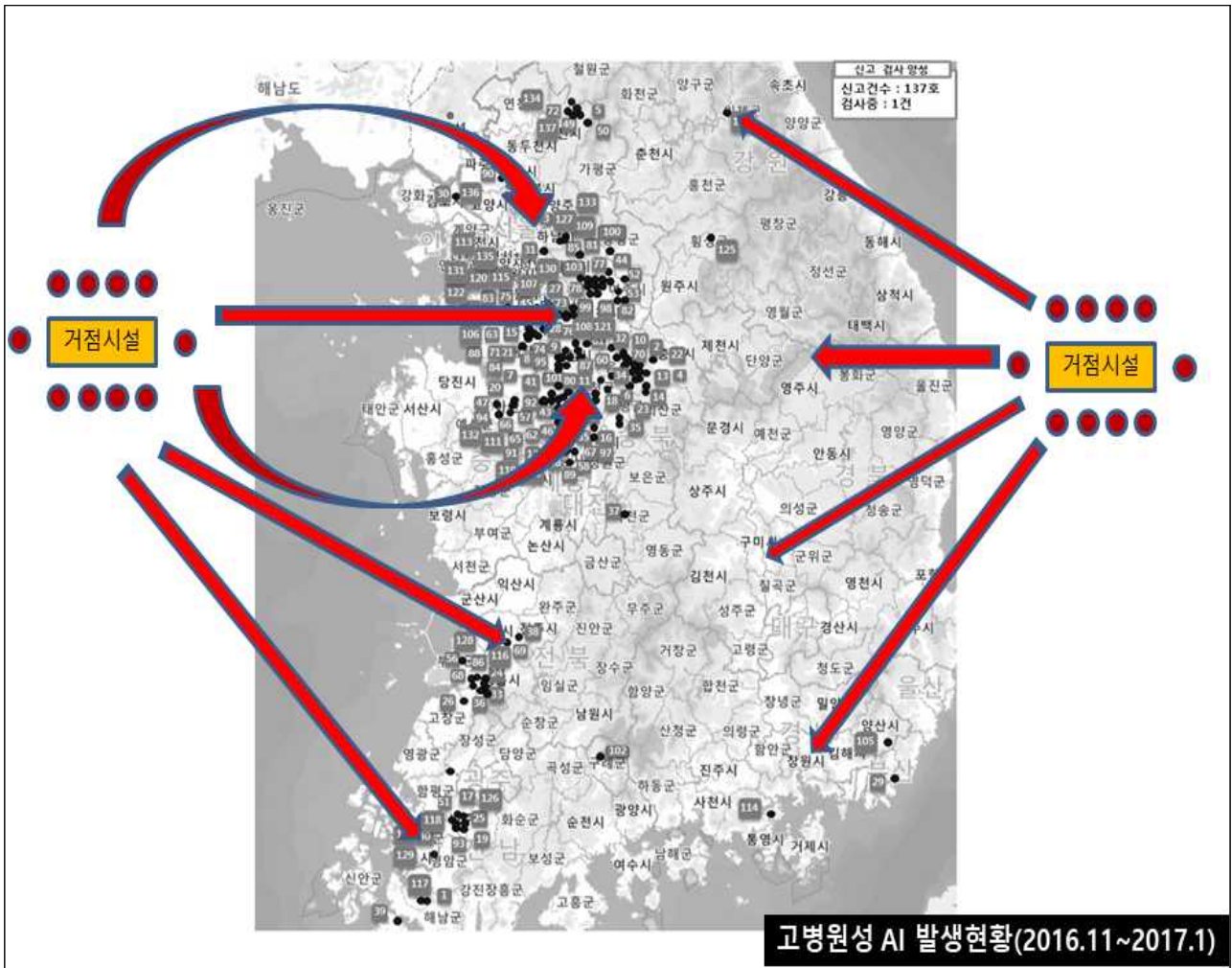


그림 23. 현장처리+거점처리 통합처리를 위한 구조도

제 5 절 발효조 가축사체처리

5-1. 현장 매몰식 가축사체 발효처리

- 실험재료 : 초고온 호기성 YM배지(45t) + 소 1마리, 돼지 5마리, 오리 5마리
- 실험기간 : 18일 (현장매몰처리)
- 실험순서
 - 인근농장의 실험용 소, 돼지, 오리를 질식법, 약물주입법 의한 안락사를 진행
 - 안락사한 소, 돼지, 오리를 실험현장으로 이동 후 병원균을 주입
 - 병원균이 주입된 가축사체를 초고온 호기성 발효제재와 혼합
 - 초고온 호기 호열성 발효 진행을 위해 무교반 에어레이션 실시(온도 및 성장 변화 관찰)
 - 현장 매몰식 발효처리가 완료되면 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검
 - 병원균 키트 선별 및 선정된 바이러스 사멸상태 분석



그림 24. 실험 준비 및 실험 진행 구조도

- 발효조내 3곳(좌측, 중간, 우측)의 발효온도를 측정된 결과 90℃ 내외에서 발효가 진행됨을 확인함.

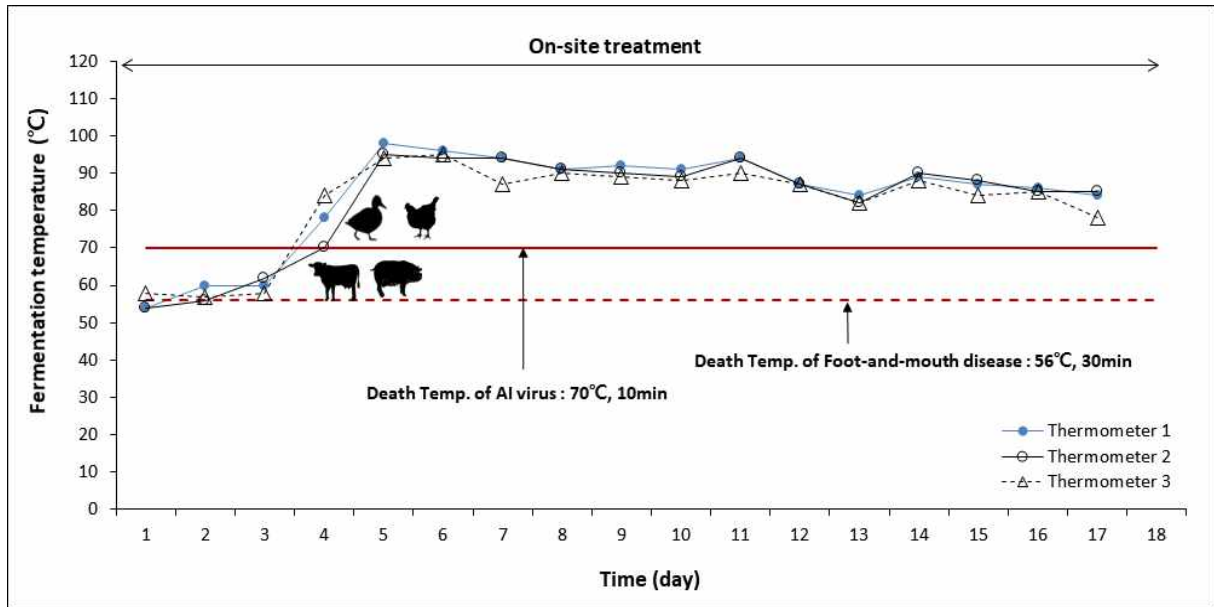


그림 25. 돼지 + 소 + 오리 사체 현장매몰처리(18일)

5-2. 현장 매물식 가축사체 발효처리 및 거점처리

5-2-1. 1차 실험

- 실험재료 : 초고온 호기성 YM배지(52.5t) + 돼지 3마리(0.225t)
- 실험기간 : 10일 (현장매물처리) + 8일 (거점처리)
- 실험순서
 - 인근농장 실험용 소, 돼지, 오리를 질식법, 약물주입법 의한 안락사 진행
 - 안락사한 소, 돼지, 오리를 실험현장으로 이동 후 병원균을 주입
 - 병원균이 주입된 가축을 초고온 호기성 발효제재와 혼합
 - 초고온 호기 호열성 발효 진행을 위해 무교반 에어레이션 실시(온도 및 성장 변화 관찰)
 - 현장 매물식 발효처리가 완료되면 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검
 - 병원균 키트 선별 및 선정된 바이러스 사멸상태 분석
 - 1차 교반을 진행한후 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검

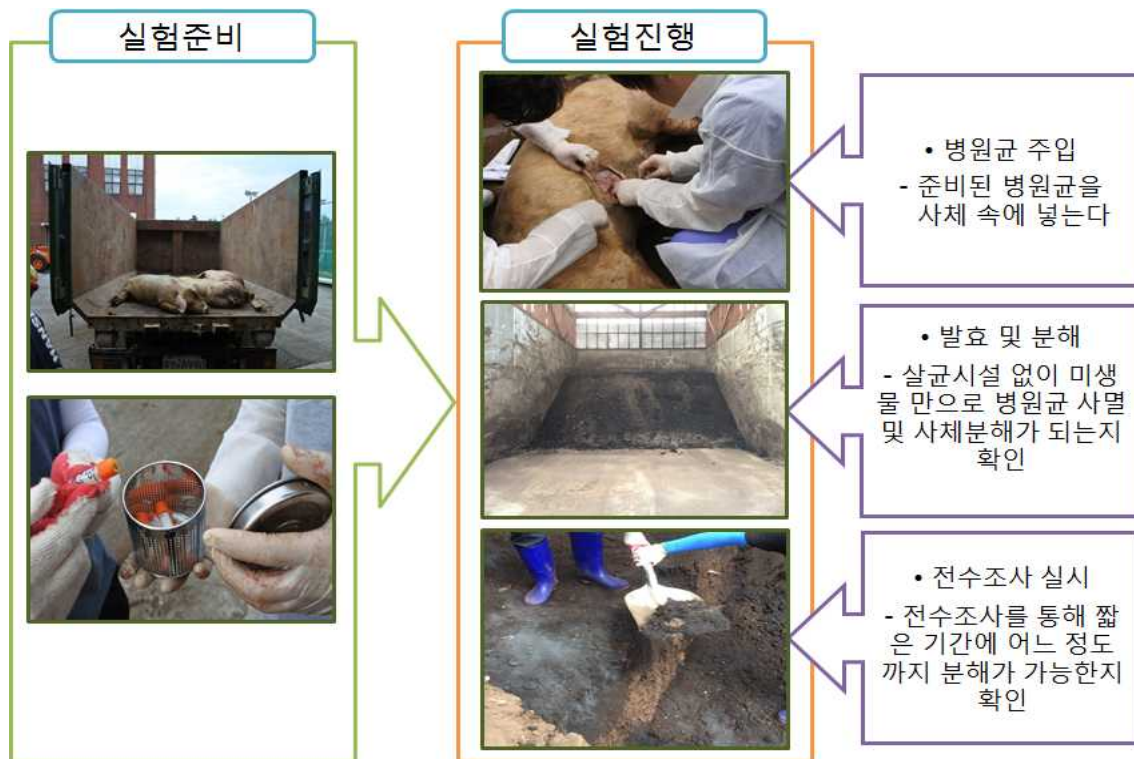


그림 26. 실험 준비 및 실험 진행 구조도

- 발효조내 3곳(좌측, 중간, 우측)의 매물식 처리온도 및 거점 처리온도를 측정한 결과 매물식 현장처리 온도는 90℃ 내외에서 발효가 진행됨을 확인함
- 가축사체처리 전수조사를 통해 시간지체로 인해 발효온도가 70℃ 내외로 떨어져 진행됨

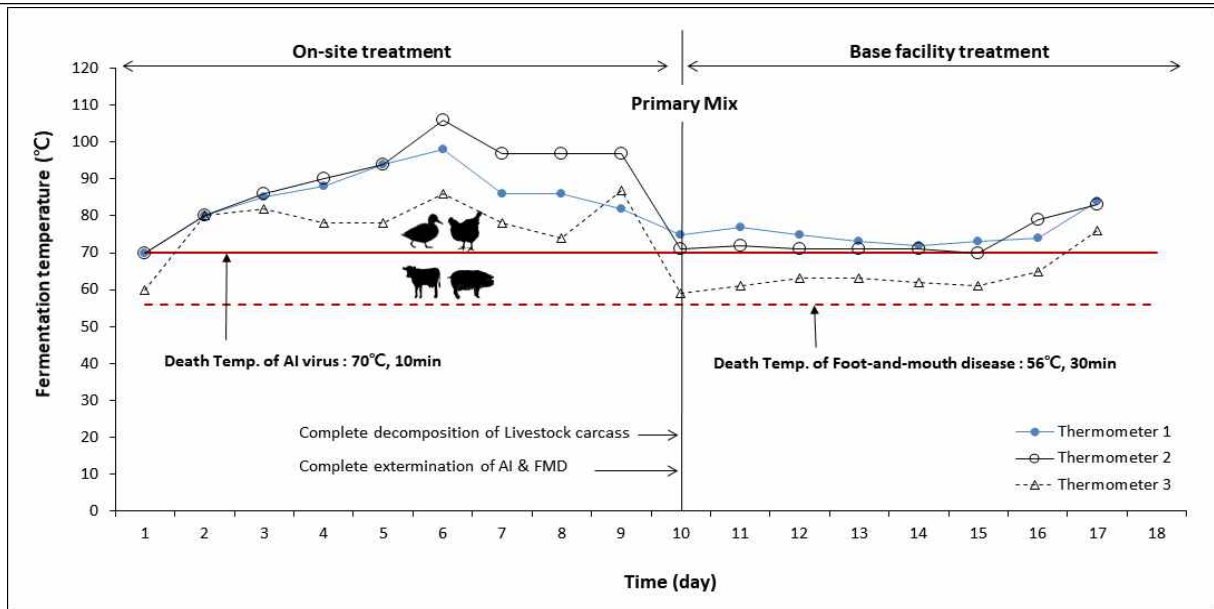


그림 27. 돼지 사체 현장매몰처리(10일)+거점처리(8일)



그림 28. 가축사체 분해상태

5-2-2. 2차 실험

- 실험재료 : YM배지(35t) + 하수슬러지(10t) + 소 1마리, 돼지 10마리(10.14t)
- 실험기간 : 13일 (현장매몰처리) + 17일 (거점처리)
- 실험순서
 - 인근농장의 실험용 소, 돼지를 질식법, 약물주입법 의한 안락사를 진행
 - 안락사한 소, 돼지를 실험현장으로 이동
 - 안락사한 소, 돼지를 하수슬러지 + YM배지와 혼합
 - 초고온 호기 호열성 발효 진행을 위해 무교반 에어레이션 실시(온도 및 정상 변화 관찰)
 - 현장 매몰식 발효처리가 완료되면 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검
 - 2차 교반을 진행하고 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검



그림 29. 2차 실험 진행 구조도

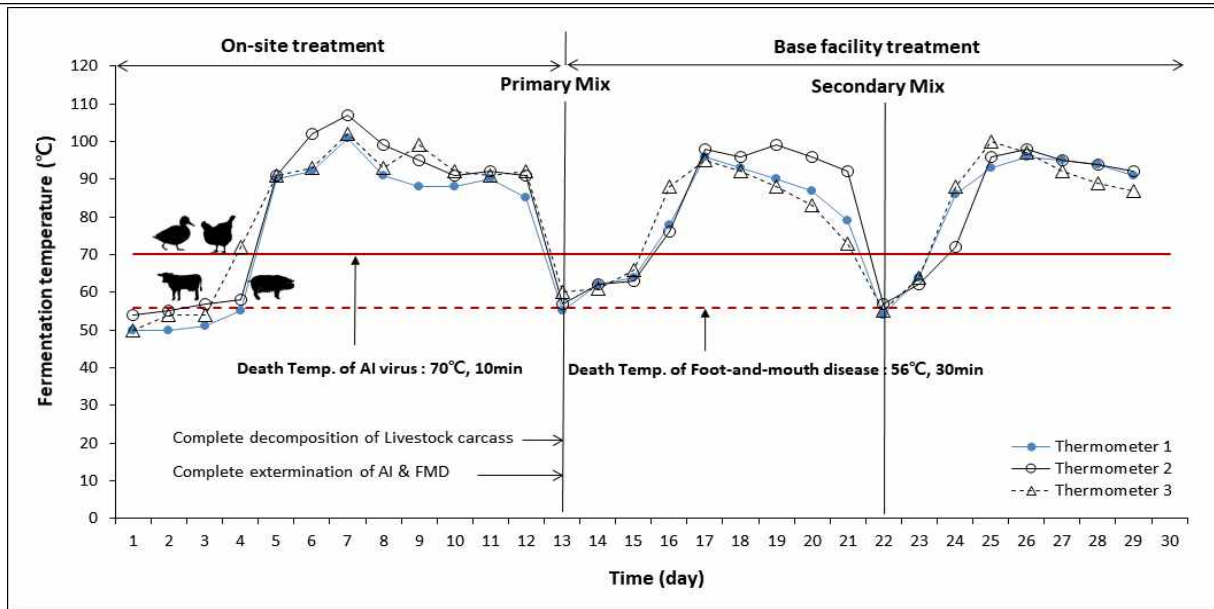


그림 30. 돼지+소 사체 현장매몰처리(13일)+거점처리(17일)



그림 31. 가축사체 분해상태

5-2-3. 3차 실험

- 실험재료 : YM배지(26t) + 하수슬러지(9.5t) + 물(2.4t) + 돼지 21마리
- 실험기간 : 21일 (현장매몰처리) + 21일 (거점처리)
- 실험순서
 - 인근농장의 실험용 돼지를 질식법, 약물주입법 의한 안락사를 진행
 - 안락사한 돼지를 실험현장으로 이동
 - 안락사한 돼지를 하수슬러지 + 물 + YM배지와 혼합
 - 초고온 호기 호열성 발효 진행을 위해 무교반 에어레이션 실시(온도 및 성상 변화 관찰)
 - 현장 매몰식 발효처리가 완료되면 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검
 - 3차 교반을 진행하고 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검



그림 32. 3차 실험 진행 구조도

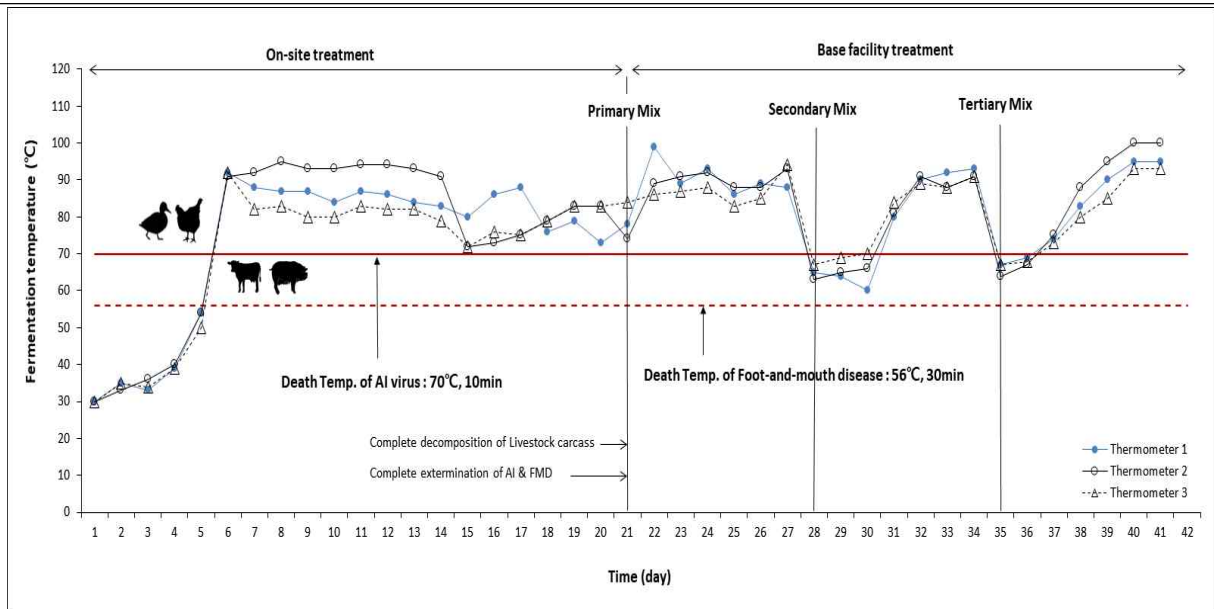


그림 33. 돼지사체 현장매몰처리(21일)+거점처리(21일)



그림 34. 가축사체 분해상태

5-2-4. 4차 실험

- 실험재료 : YM배지(24t) + 물(8.8t) + 돼지 7마리
- 실험기간 : 34일 (현장매몰처리) + 10일 (거점처리)
- 실험순서
 - 인근농장의 실험용 돼지를 질식법, 약물주입법 의한 안락사를 진행
 - 안락사한 돼지를 실험현장으로 이동 후 병원균을 투입
 - 병원균이 투입된 가축을 YM배지와 혼합
 - 초고온 호기 호열성 발효 진행을 위해 무교반 에어레이션 실시(온도 및 성장 변화 관찰)
 - 현장 매몰식 발효처리가 완료되면 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검
 - 병원균 키트 선별 및 선정된 바이러스 사멸상태 분석
 - 1차 교반을 진행하고 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검



그림 35. 4차 실험 진행 구조도

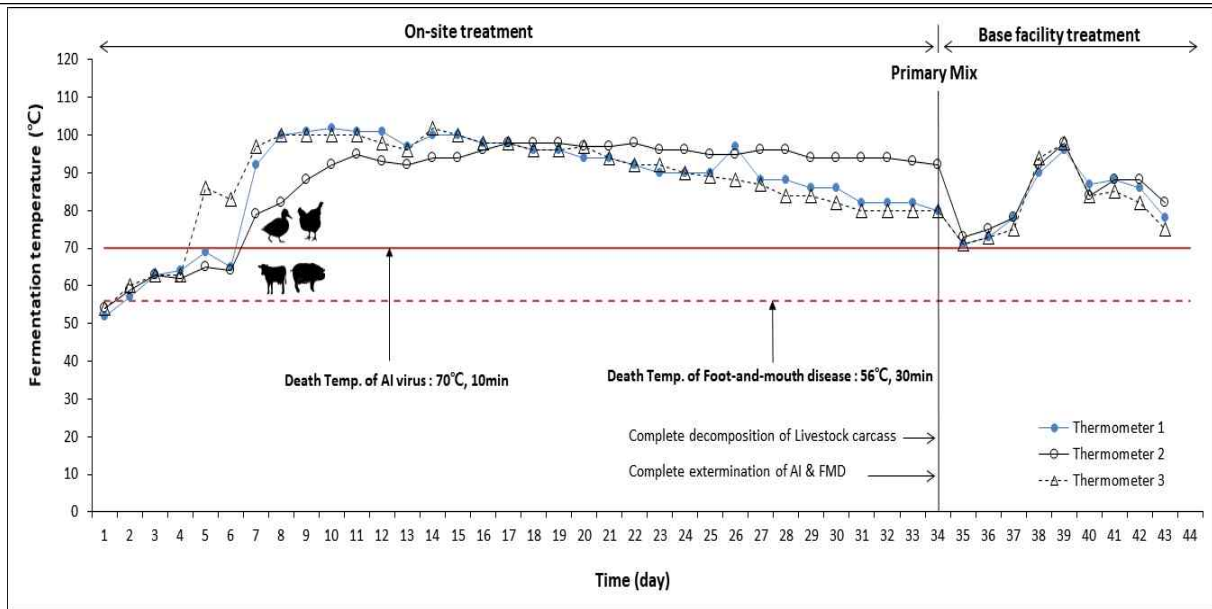


그림 36. 돼지사체 현장매몰처리(34일)+거점처리(10일)



그림 37. 가축사체실험 장면

5-2-5. 5차 실험(현장 매몰식 에어레이션 설비적용)

- 실험재료 : YM배지(22t) + 소 1마리(0.579t)
- 실험기간 : 21일 (현장매몰처리) + 8일 (거점처리)
- 실험순서
 - 인근농장으로부터 건강한 소를 이동
 - 약물 주입법에 의한 안락사를 진행
 - 현장 매몰식 처리 설비를 현장에 설치
 - 초고온 미생물 배지를 50cm 높이로 바닥 작업
 - 실험용 소를 초고온 발효재제와 혼합
 - 혼합물에 공기를 주입하며 온도 및 성상 변화를 관찰
 - 발효 완료 후 전수조사를 실시하여 분해상태 및 가축사체 분비액 누출 정도를 확인
 - 가축사체 분해상태 전수조사를 실시하여 육안점검
 - 거점처리시설 발효조로 이동후 1차 교반



그림 38. 5차 실험 진행 구조도

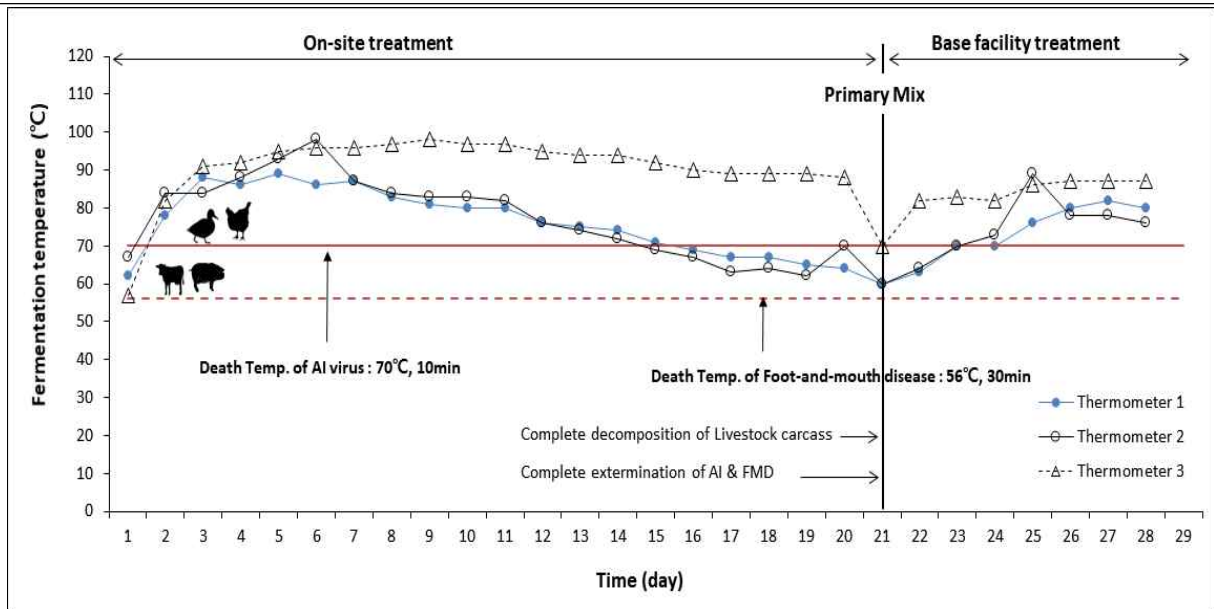


그림 39. 소(牛)사체 현장매몰처리(21일)+거점처리(8일)



그림 40. 가축사체 분해상태

5-3. 생닭시료 발효조 현장 매물처리

- 실험재료 : YM배지(24t) + 닭 27마리
- 실험기간 : 1일, 2일, 4일, 5일, 10일, 15일, 20일, 25일 (병원균 키트 샘플링 기간)
- 실험순서
 - 생닭에 준비한 병원균을 투입
 - 병원균을 투입한 생닭을 3마리씩 망에 담음
 - 병원균이 투입된 생닭을 YM배지와 혼합
 - 혼합물에 공기를 주입하며 온도 및 성상 변화를 관찰
 - 발효시작 1일차, 2일차, 3일차, 4일차, 5일차, 10일차, 15일차, 20일차, 25일차 별로 전수 조사를 실시하여 분해상태 및 병원균 키트를 선별
 - 선별된 병원균 키트를 분석



그림 41. 생닭시료 발효조 현장 매물처리 실험 진행 구조도

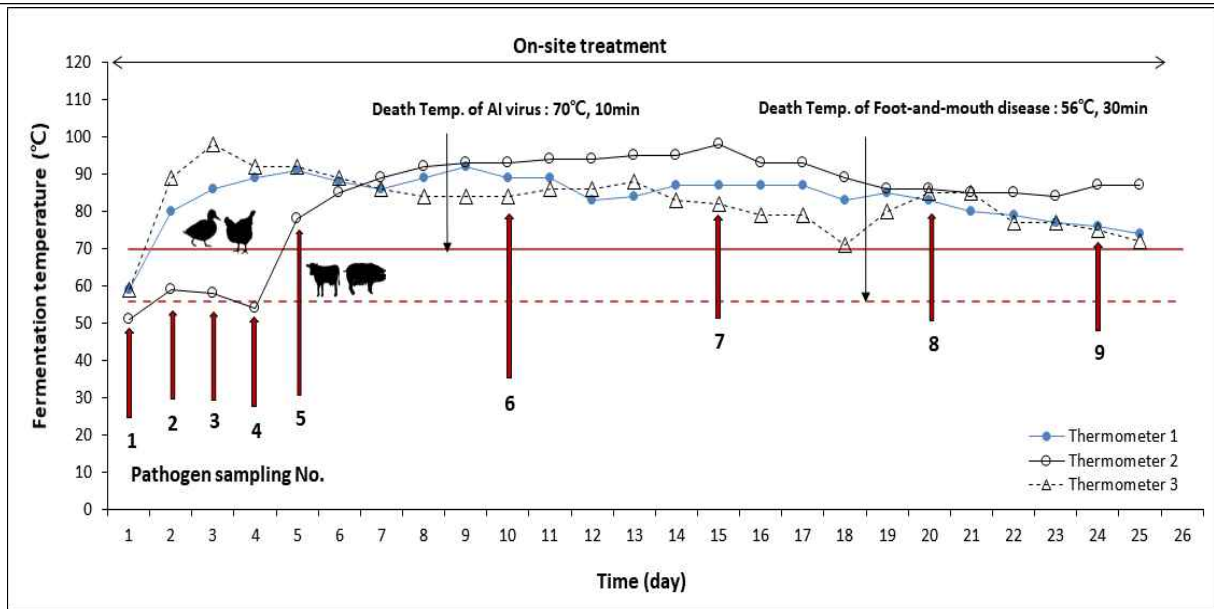


그림 42. 생닭시료 현장매몰처리(1일, 2일, 3일, 4일, 5일, 10일, 15일, 20일, 25일 병원균 키트 샘플링)



그림 43. 가축사체 분해상태

5-4. 현장 매물식 처리 적정 운전조건 및 가축분해 총괄

- 초고온 호기성 배지와 가축사체 혼합물 적정 함수율 : 40~45%
 - 가축사체 퇴비화를 위해 발효 및 후숙 기간 : 40~45일
 - 가금류 : 현장 매물식 처리기간 10일, 거점처리 기간 30~35일 적정함
 - 가축류 : 현장 매물식 처리기간 1달, 거점처리 기간 10~15일 적정함
 - 공정운영 에어에이션 조건 설정
 - 기타
- * 오리/돼지/소 가축사체분해상태 : 뼈를 제외한 피부조직 완전 분해

처리전



처리후



처리전



처리후



처리전



처리후



그림 44. 오리/돼지/소 가축사체 분해 상태

5-5. 아프리카 코끼리 사체 자연상태 분해 단계

- 아프리카코끼리 사체의 형태 : a) 제1단계 사후 1일째, b) 제2단계 전반 6일째, c) 제2단계 후반 20일째, d) 제3단계 231일째, 1일째 : 사체의 근육이 경화하기 시작, 6일째 : 지면에 흐른 부패액이 사체 전체 주위에 퍼져 있음, 20일째 : 유체의 표면이 부화한 벌레가 덮여 있음, 231일째 : 피부는 완전히 소실되고 뼈만 남아 있음. (출처 : Osono takashi, 2018)

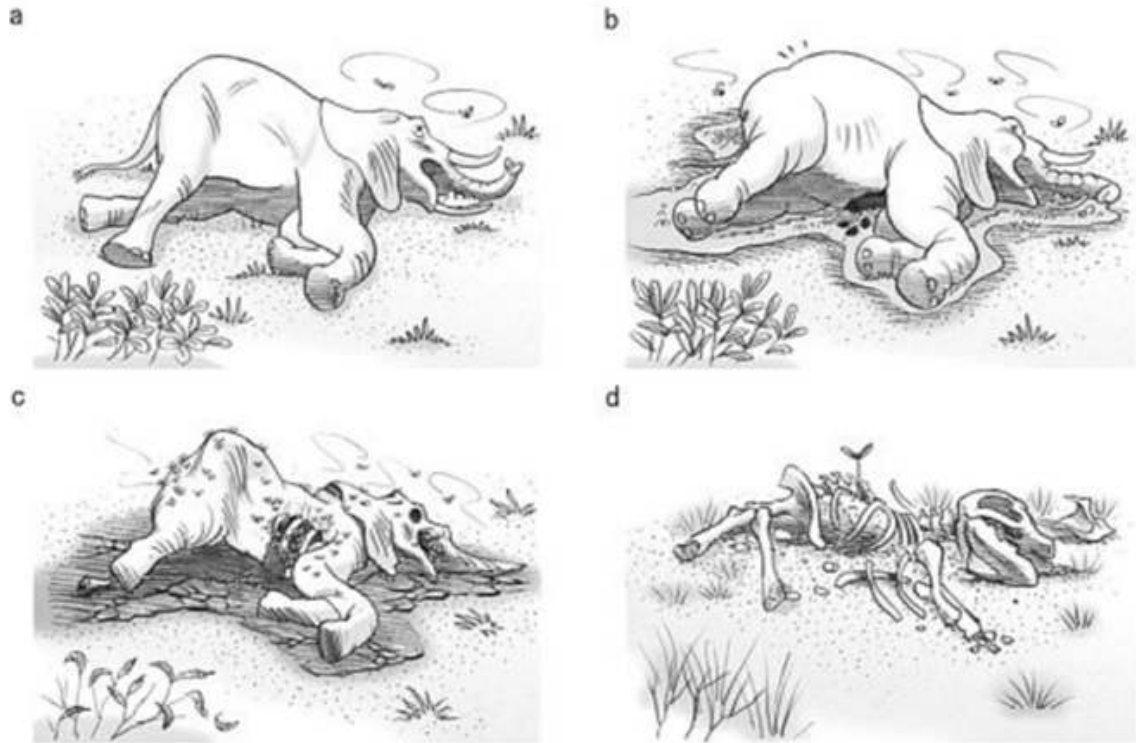


그림 45. 자연상태 아프리카 코끼리 사체의 분해 : 231일째 피부 완전손실 뼈만 남음

5-6. 자연상태 돼지 사체 분해 단계

- 돼지 사체 변화 : a) 제1단계 사후 48시간 경과, b) 제2단계의 전반 피부가 파열되고 가스과 부패액이 나옴 c) 제2단계 후반 부패액이 사체주위에 흐르고 주변 식물이 고사함 d) 제3단계 사후 80일이 경과해서 사체분해 주변 식물이 회복됨. (출처 : Osono takashi, 2018)

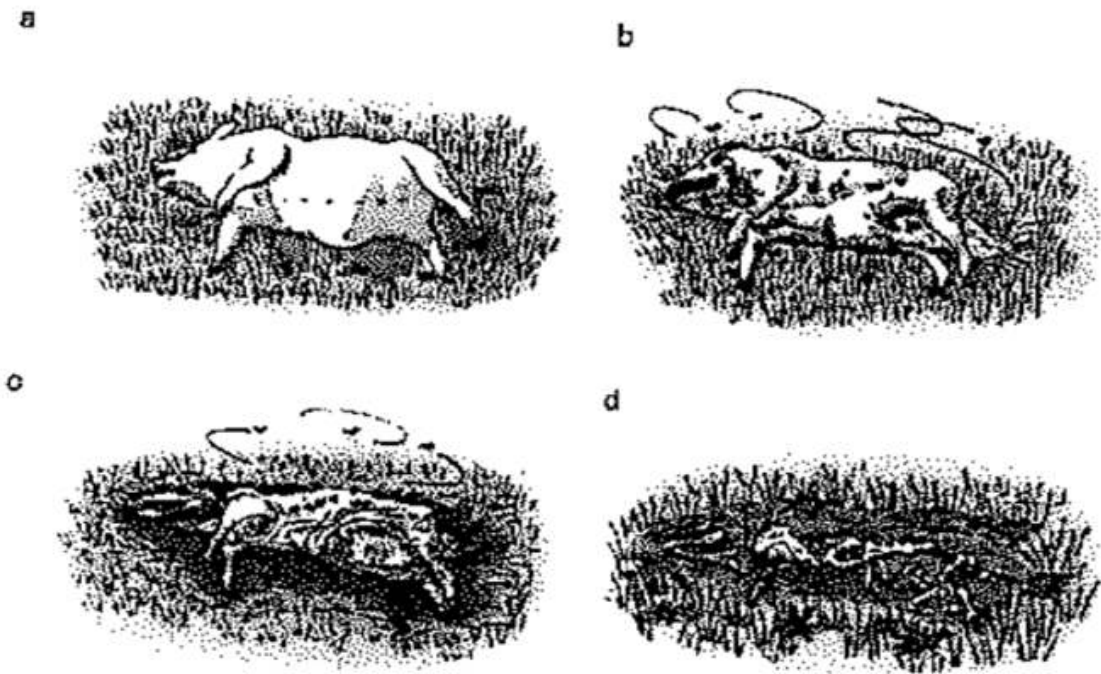


그림 46. 자연상태 돼지 사체 변화

제 6 절 현장 비매몰식 이동식 발효기 가축사체처리

6-1. 오리 사체를 이용한 병원균 사멸실험(1차)

- 실험재료 : 오리 사체 30마리(병원균은 30마리 중 5마리만 주입)
- 실험순서
 - 혼합 전 오리 5수에 병원균을 투입
 - 병원균이 투입된 오리 5수를 YM 신규배지와 함께 이동식 발효기에 넣어 발효 준비
 - 발효기의 각 단계들(정·역회전, 온도, 가스배출) 운전조건을 세팅
 - 발효가 완료된 오리사체를 전수조사 및 분해상태 확인(발효온도:90~95℃)

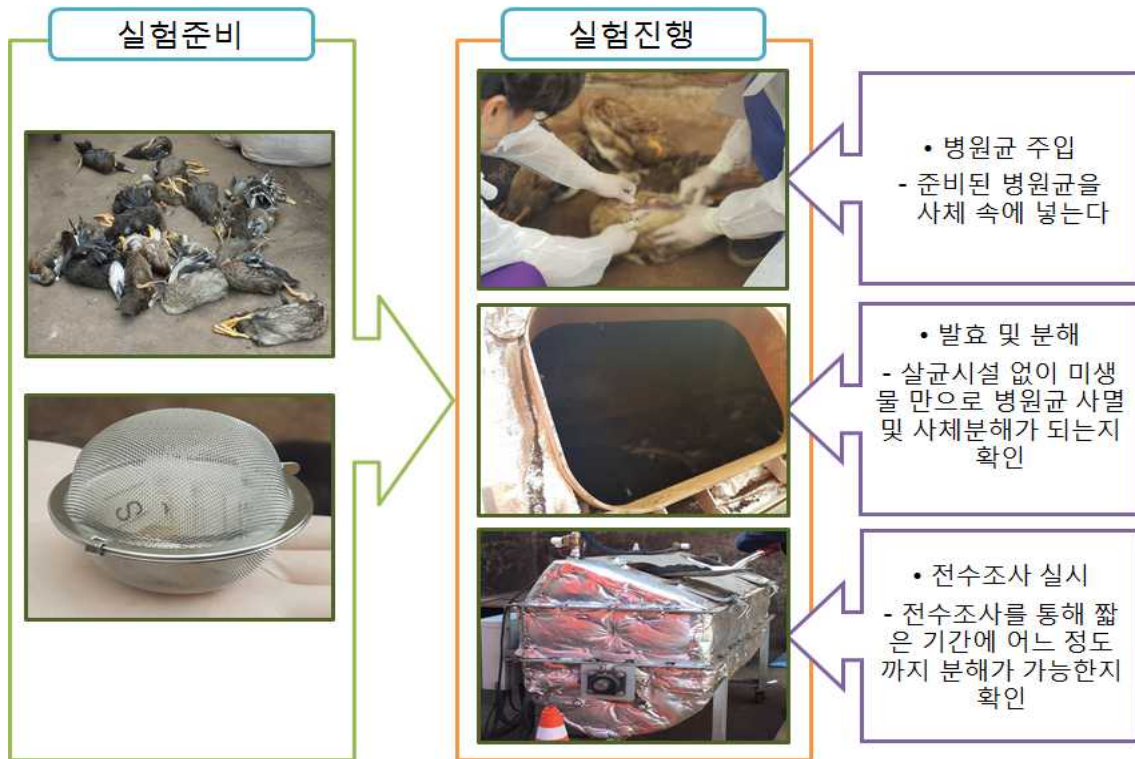


그림 47. 오리 사체를 이용한 병원균 사멸 실험 진행 구조도

발효기 투입



병원균



오리사체 병원균 주입



오리사체 투입 발효기



오리사체(병원균) 발효기로 투입

그림 48. 오리 사체를 이용한 병원균 사멸 실험 진행

- 실험결과

- 전수조사 결과 10일 만에 단단한 뼈 및 깃털부분을 제외한 나머지 살, 연골 등은 완전 분해 되었음을 확인.
- 초고온 호기성 미생물을 이용한 공법으로 가축사체를 처리함에 있어 오리의 경우 짧은 시간에도 분해가 가능.
- 발효를 시작하는 온도가 구제역 병원체를 사멸시킬 수 있는 온도임과 동시에 전체적인 발효온도가 높아 AI 병원체까지 충분히 사멸할 수 있음을 알 수 있음.
- 병원체를 사체에 주입하여 확인한 결과 초고온 호기성 미생물 배지를 이용한 사체처리 과정에서 나오는 고온으로 병원균들이 충분히 사멸되며, 유전체까지 분해됨을 확인할 수 있음.

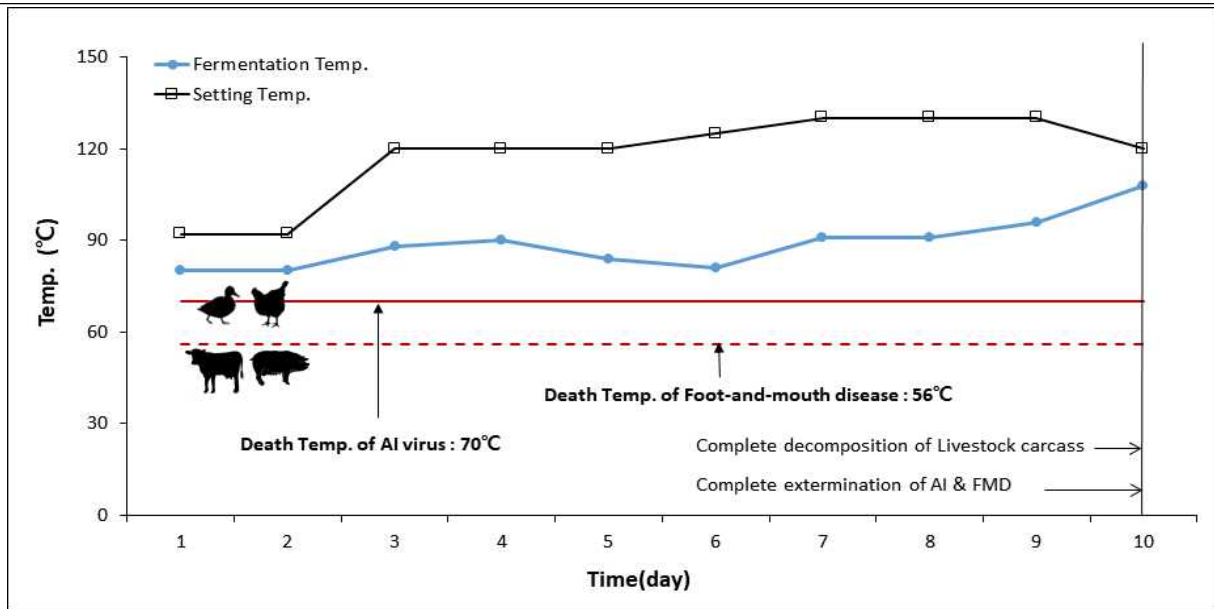


그림 49. 통닭 현장매몰처리



그림 50. 오리 사체 분해상태

6-2. 생닭을 이용한 병원균 사멸실험(2차)

- 실험재료 : 생닭 총 15마리(모든 개체에 병원균 주입)
- 실험순서
 - 혼합 전 YM배지에 물을 섞어 함수율을 맞춤
 - 생닭 15수에 병원균을 투입하고, YM배지와 함께 망에 3수씩 담음
 - 총 5개의 망을 이동식 소형발효기 내부에 투입
 - 발효에 필요한 각 단계들(정·역회전, 온도, 가스배출) 운전조건을 세팅 (발효온도 : 90~95°C)
 - 1일 한 개의 망을 꺼내 병원균 키트를 샘플링하여 분석

구 분	실 험 사 진	내 용
실험 준비		<ul style="list-style-type: none"> · YM배지에 물을 섞어 함수율을 31.94%로 맞춤 · 닭 1마리당 1개의 병원균 주입 (철망 안에 병원균을 넣어서 주입) · 망 1개당 닭을 3마리씩 넣어 총 5개의 망을 배지 속에 묻음 · 교반축을 기준으로 아래 2개, 위에 3개 묻음
1일차		<ul style="list-style-type: none"> · 교반축을 기준으로 아래에 있는 닭을 확인 · 닭의 상태 : 중간 정도 익고 분비액이 발생 · 분비액 발생으로 인해 큰 망 속 배지가 덩어리지거나 망 외부로 흘러나옴 (악취 심함)
2일차		<ul style="list-style-type: none"> · 닭의 상태 : 완전히 익고 분비액이 발생 · 분비액이 1일차에 비해 줄었음 (악취 발생)
3일차		<ul style="list-style-type: none"> · 발효냄새가 나기 시작 (연기 발생) · 닭의 상태 : 1, 2일차 때보다 많이 익은 상태로 닭의 형상을 유지하지 못하고 병원균을 담은 철망이 드러남 · 액체상태의 분비액은 거의 보이지 않음 (악취가 조금 줄어들음)
4일차		<ul style="list-style-type: none"> · 닭의 상태 : 닭 형체를 찾아볼 수 없음 살 부분이 분해가 일어나는 영향으로 매우 물러져 있음 · 망 내부 배지의 외관 변화 확인 (검정색 → 어두운 갈색) · 분비액의 처리가 많이 이루어진 것으로 악취가 다소 줄어들음
5일차		<ul style="list-style-type: none"> · 닭의 상태 : 4일차 때와 마찬가지로 분해가 일어나고 있어 살이 물러진 상태였으며, 육안으로 확인되는 닭(살부분)이 적어짐 · 분비액이 완전히 보이지 않는 상태 (악취가 심하나 상당히 줄어들음)

그림 51. 생닭을 이용한 병원균 사멸 실험 과정도

- 실험결과

- 운전온도는 90~95℃로 맞춰놓았으나, 발효기 내부 발효물의 온도는 75~90℃로 유지
- 닭을 넣은 망이 YM배지 속에 있을 때에는 악취가 느껴지지 않았으나, 배지 밖으로 나오자 악취가 느껴지는 것으로 보아 YM균은 가축사체를 분해하는 동안 발생하는 악취의 확산을 막아주는 것을 확인.
- 가축 사체를 처리하며 발생하는 분비액이 짧은 기간(5일) 안에 육안으로 확인 할 수 있을 정도로 흡수 및 처리되는 것을 확인.
- YM배지를 사용하여 가축 사체를 처리할 경우 환경오염의 위험이 없고, 별도의 처리시설 없이 단일 공정으로 안정적인 처리가 가능할 것으로 판단.
- 실험결과 10일 만에 단단한 뼈 및 깃털부분을 제외한 나머지 살, 연골 등은 완전분해 되었음을 확인.

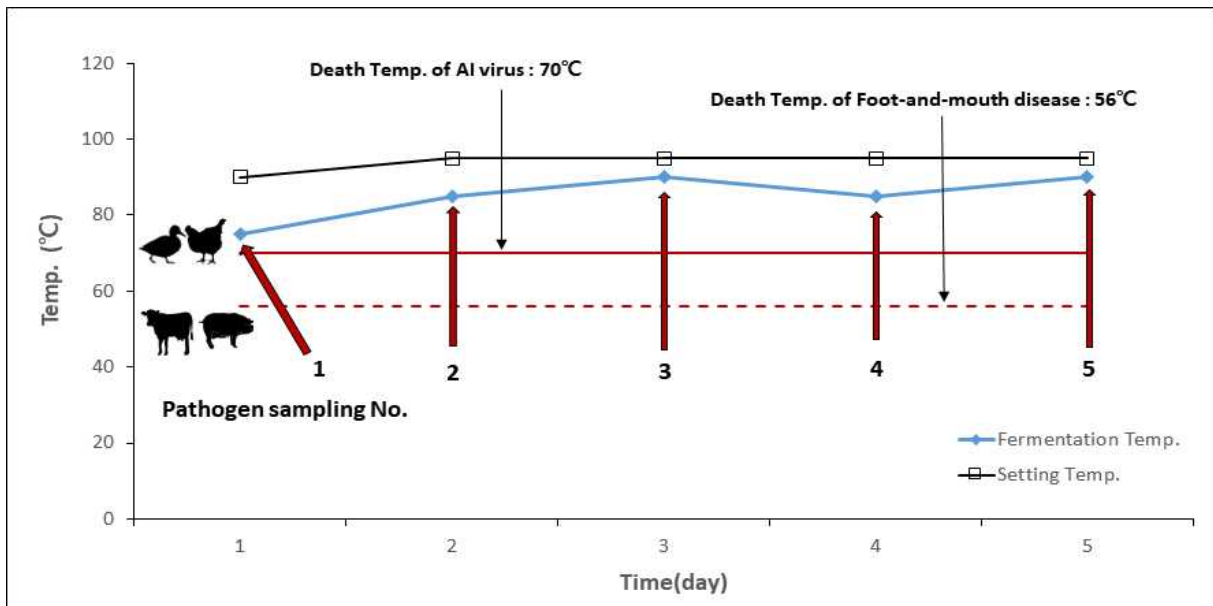


그림 52. 통닭 현장 매물 처리



그림 53. 닭 사체 분해 상태

6-3. 오리(닭) 사체를 이용한 분해처리 실증실험

- 실험재료 : 오리(닭) 총 60마리(닭 : 54마리, 오리 : 6마리)
- 실험순서
 - 닭·오리 사체와 YM배지를 소형발효기에 투입
 - 발효에 필요한 각 단계들(정·역회전, 온도, 가스배출) 운전조건을 세팅
 - 발효온도는 90℃로 유지
 - 발효가 완료된 오리 사체를 전수조사 및 분해상태를 확인



로드셀 작동 확인을 위한 무게측정



실험 진행 중 혼합물 상태



전수조사 시 발견되는 큰 똥



실험 종료 후 발효기 내부

그림 54. 오리(닭) 사체를 이용한 분해처리 실험 결과

- 실험결과
 - 온도는 90℃로 맞춰놓았으나, 발효기 내부 발효물의 온도는 72~90℃로 유지.
 - 사체처리후 전수조사 결과 10일 만에 단단한 똥 및 깃털 부분을 제외한 나머지 살, 연골 등은 완전분해 확인.

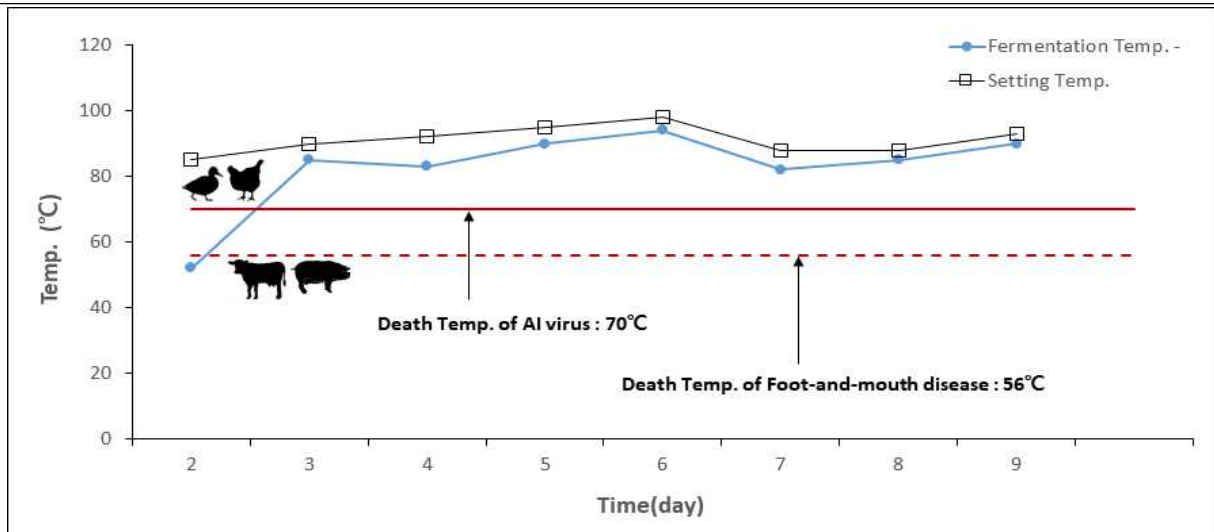


그림 55. 생닭 현장 매물처리

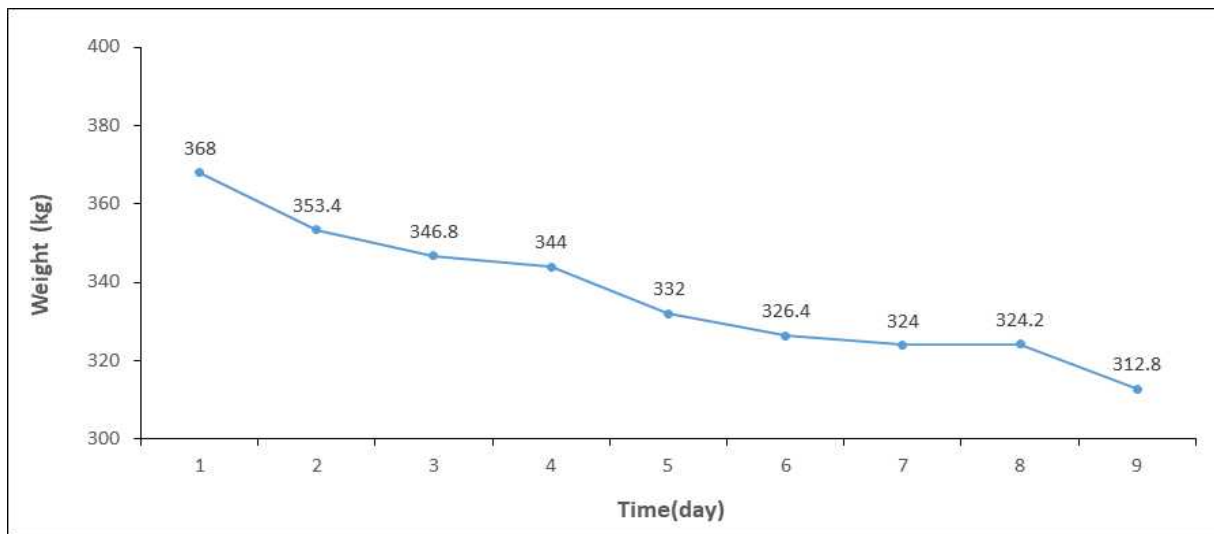


그림 56. 생닭 현장 매물처리시 무게 변화

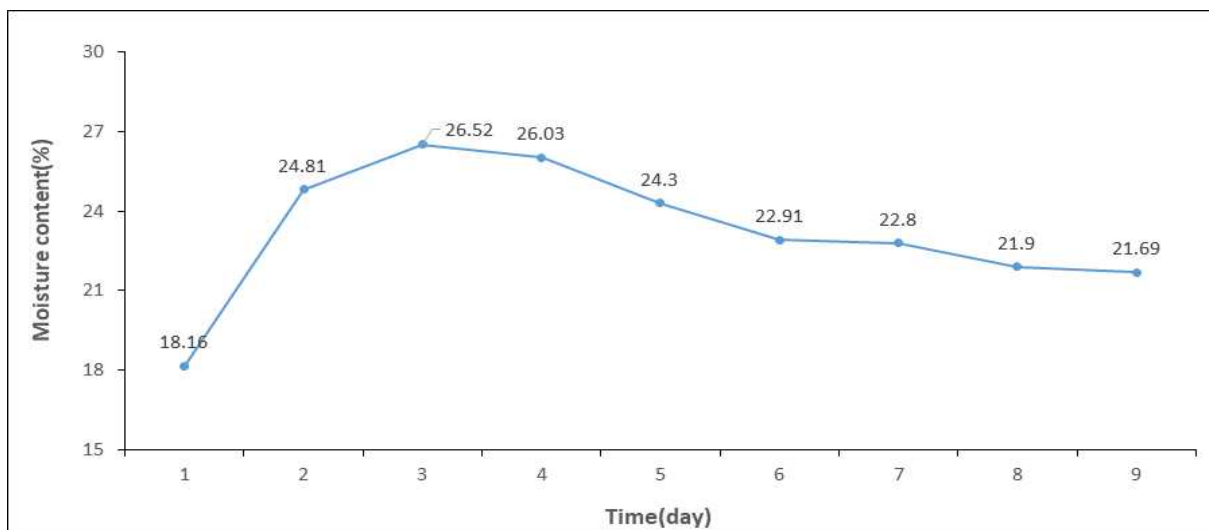


그림 57. 생닭 현장 매물 처리 함수율



그림 58. 닭 및 오리 사체 분해상태

제 7 절 퇴비화 이론적 배경 및 거점처리시설 물리화학적 인자

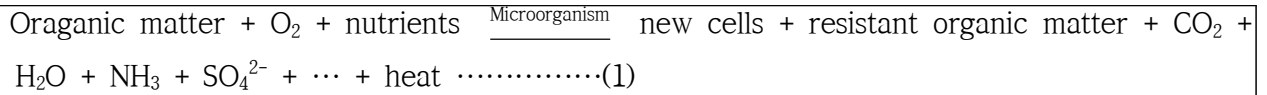
7-1. 개요

- 현재 운영되고 있는 퇴비화 시설들은 유기성물질 발효과정 및 퇴비화 영향인자에 대한 이해 없이 운전되고 있으며, 또한 최종산물인 퇴비에 대한 정의가 애매하고 실제적인 운전 규격이 없음.
- 본 초고온 퇴비화 공법 적용에 있어 가축사체, 하수슬러지, 음식물쓰레기, 축산분뇨를 원료로 이용함으로써 각 유기폐기물의 퇴비화 진행에 따른 pH, 온도, 수분, C/N비와 같은 반응 인자들을 도출하여 운전 변수를 확보하고자 하였음.
- 또한, 각 유기폐기물의 퇴비화 진행에 따른 시료와 발효 종료된 퇴비의 중금속 및 유해(有害) 인자 분석을 통하여 퇴비의 발효 메커니즘(mechanism) 및 안전성을 검증하며, 초고온 퇴비화 기술의 정립과 data 확보를 목적으로 하였음.

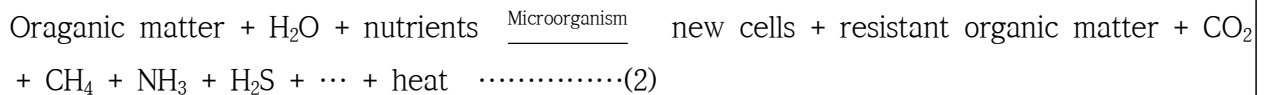
7-2. 퇴비화 이론적 배경

7-2-1. 유기성 폐기물의 생물학적 변환

- 호기성 미생물은 산소를 이용한 호흡대사(respiratory metabolism)를 통해 유기물을 분해하며 새로운 세포를 합성하고 에너지와 안정된 부식질을 생산하게 됨. 미생물에 의한 호기성 생물학적 변환을 다음 식 (1)로 나타낼 수 있음.



- 혐기성 미생물은 발효대사(fermentative metabolism)를 통해 유기물을 분해하여 증식을 하고 최종적으로 이산화탄소와 메탄을 생산하며 초기 유기물을 보다 안정한 유기물로 변환시킨다. 그러나 발효공정은 호흡대사에 비해 저효율의 에너지공정으로 반응이 느리게 진행되어 호기성 미생물 보다 낮은 성장과 세포 합성률을 나타낸다. 미생물에 의한 혐기성 변환 과정을 식 (2)와 같이 표현할 수 있음.



7-2-2. 퇴비화

- 퇴비화란 생물학적 분해에 의한 유기물을 안정화하는 공정으로 생물학적 반응에 의한 발열을 수반하는 유기물의 분해와 숙성단계를 거쳐 최종적으로 안정한 산물을 생산하는 것으로 퇴비화는 일반적으로 산소의 존재하에서 유기질을 분해하는 과정을 지칭함.

7-2-3. 퇴비화 기술

- 대표적인 퇴비화 기술에는 뒤집기식 퇴비단법과 통기식 정체 퇴비단법 그리고 용기식 퇴비화법이 있음. 뒤집기식 퇴비단법은 주기적인 뒤집기로 퇴비단에 산소를 공급하고 온도를 조절하는 가장 간단한 형태의 공정으로 퇴비화 기간이 길고 많은 약취를 유발하는 단점이 있음.
- 통기식 정체 퇴비단법은 퇴비화 물질을 별도의 교반없이 정체시키고 통기관을 이용하여 산소를 공급하고 퇴비단의 온도를 조절하며 퇴비 필터를 이용하여 약취를 줄일 수 있으나 뒤집기식과 같이 상대적으로 퇴비화 기간이 김. 반면 용기식 퇴비화법은 퇴비화가 밀폐된 반응조에서 수행되는 것으로 반응조내의 기계적 혼합이나 공기량, 온도, 수분 등의 환경적 조건을 조절하여 처리기간이 1~2주 정도로 짧으며 약취의 최소화가 가능하고 부지면적이 적게 소요되는 장점이 있으나 생산단가가 비싼 단점이 있음.

7-2-4. 퇴비화 단계

- 퇴비화 공정에서 미생물은 산소를 소모하여 유기물을 분해하고 이산화탄소, 수분, 열, 부식질을 생산한다. 최적의 조건에서 퇴비화는 중온단계와 고온단계를 거쳐 다시 중온단계에 이

르며 최종적으로 숙성단계를 거치며 이때 각기 다른 미생물 군집들이 각각의 퇴비화 온도 단계를 지배하게 됨.

- 중온단계에서는 중온균에 의해 분해하기 쉬운 당, 전분 같은 용해성 물질이 분해가 시작되고, 이때 발생된 열은 가파른 온도상승을 야기하게 되며 80°C 이상의 온도로 상승되면 미생물 대사과정에서 발생하는 에너지의 축적은 퇴비 반응온도의 상승을 야기시키고 고온균이 활성화하는 고온단계에 이르게 됨.
- 이 단계에서는 단백질, 지방과 헤미셀룰로오스와 셀룰로오스 같은 비교적 난분해성 탄수화물의 분해가 이루어지는 것으로 알려져 있으며 상당기간의 고온단계가 지나면 퇴비단의 분해성 기질의 감소로 미생물의 분해도 둔화되어 온도는 점차적으로 낮아져 최종단계로 남아 있는 유기물을 숙성하기 위해 중온균이 다시 출현하게 됨.

7-3. 퇴비화의 영향인자

- 온도

언급한 바와 같이 기존의 퇴비화는 30~45° C의 중온상태 또는 45~65° C의 고온상태에서 이루어지며 일반적으로 퇴비화는 고온단계에서 유기물의 분해반응이 촉진되는 것으로 알려져 있어 바람직한 퇴비화를 위하여 적정온도의 유지는 필수적이다. 또한 고온단계는 병원균 사멸, 유기물 분해, 수분조절 등에 필요함.

- 공기

산소는 호기성 미생물의 호흡과 퇴비화 물질 내에 존재하는 다양한 유기물의 산화를 위해 필수적이다. 미생물은 에너지원으로 탄소를 산화하며 이때 산소는 소모되고 대표적으로 이산화탄소가 생성됨. 이와같이 미생물의 유기물 분해에 필수적인 퇴비단내의 산소 농도는 15~20%가 적절하며 만약 산소의 농도가 5%이하로 떨어진다면 혐기성 상태로 진행된다고 알려져 있음. 혐기적 분해과정은 물질 대사과정 중 발생하는 에너지량이 적어 유기물의 분해기간이 길며 퇴비의 수분조절을 위한 온도 축적이 용이하지 않음. 또한 악취를 유발하는 중간 대사물질이 축적됨. 유기산과 같은 중간 대사물질은 호기적 조건에서도 발생하나 충분한 산소공급에 의해 지속적 분해가 이루어 짐. 따라서 호기적 조건을 유지하기 위해 다양한 강제송풍이나 뒤집기, 교반 등의 방법이 실행됨.

- pH

퇴비화 기간의 pH는 반응시간에 따라 점차 변화하게 되며 반응초기의 pH는 초기물질의 pH 보다 다소 낮아지는 경향을 보임. 이것은 초기 중온균에 의한 활발한 분해과정 중 발생하는

이산화탄소가 물에 용해되어 전환된 탄산과 초기 분해산물인 각종 유기산류의 축적에 기인함. 그러나 충분한 산소가 공급되면 pH는 다시 상승하게 되는데 이는 질소원의 분해로 발생하는 암모니아가 퇴비단의 수분에 용해되어 암모늄 이온으로 존재하기 때문인 것으로 알려져 있으며 반응이 진행되면 온도는 고온상태로 도달하고 pH는 8~8.5로 상승하게 되며 반응이 종료될 때 pH는 다소 감소하여 최종산물인 퇴비는 중성에 이르게 됨. 그러나 퇴비단 내에 공기공급이 원활하지 못한 경우 퇴비단은 혐기성 상태가 되어 pH는 4.5이하로 낮아지며 반응은 지연된다. 초기 반응물질의 pH가 낮은 경우lime(CaO)등의 사용이 보고되고 있음.

- C/N비

C/N비는 미생물 대사에 필요한 탄소와 질소의 이용정도를 질량비로 나타낸 것이며 탄소는 미생물의 성장과 에너지 생산을 위해 이용되고 질소는 단백질 합성과 생식에 이용됨. 대부분의 생물체는 질소보다 약 25배의 탄소를 필요로하여 적정 퇴비화 C/N비는 25~35로 알려져 있음. C/N비가 낮은 경우 이용 가능한 탄소는 모든 질소를 안정화시킬 필요없이 완전히 이용되고 남은 질소성분은 암모니아 형태로 대기 중으로 배출되어 악취를 유발하게 되며 C/N비가 지나치게 높은 경우 미생물 성장을 위한 질소함량이 충분하지 않기 때문에 낮은 온도가 지속되고 분해율이 낮아져 퇴비화 기간이 길어지게 된다. 이와 같이 물질의 C/N비는 퇴비화 과정에서 매우 중요한 영향인자로 고려됨. 물질내의 대부분의 질소는 이용이 가능하나 셀룰로오스나 리그닌과 같은 탄소성분은 생물학적으로 난분해성이기 때문에 퇴비화 운전시 일반적인 C/N비는 생물학적으로 이용 가능한 물질에 대해서 조정되어야 함.

- 수분함량

수분은 미생물의 대사과정 유지를 위해 필수적이며 미생물 분해는 유기물질의 표면에 형성된 수막사이에서 일어나며 이때 수분은 화학반응, 영양분의 이동, 미생물의 이동을 용이하게 하는 매개체 역할을 하게 됨. 퇴비화를 위한 최적의 수분함량은 40~65%로 알려져 있으며 수분함량이 40%이하일 경우 미생물의 활성은 억제되고 수분함량이 65%이상일 경우 원활한 공기의 흐름이 방해되므로 혐기적 상태가 되기 쉽기 때문에 적정 수분함량 조절을 위한 방법으로 톱밥, 왕겨, 볏짚 등과 같이 유기성 수분조절제가 사용되고 있으나 최근 다공성 무기계의 활용도 제시되고 있음.

- 영양분

적당한 인, 칼륨, 칼슘, 철, 구리 등의 미량원소는 탄소, 질소와 함께 미생물 대사에 필수적이며 일반적으로 이들 영양분은 퇴비 원료물질 내 충분하게 존재하기 때문에 한정되지 않는 것으로 알려져 있음.

- 입자크기

입자크기는 퇴비화기간 동안에 퇴비단에 통기 효율을 좌우하는 물리적 성질이며 퇴비화 과정에서의 미생물에 의한 분해는 입자의 표면에서 이루어짐. 산소는 퇴비단의 공극 사이로 이동하게 되고 이 때문에 미생물은 입자 표면에서 발달함. 따라서 입자크기의 감소는 표면적을 증가시키므로 미생물 활성이 증대되고 분해율은 증가된다. 반면 입자크기가 지나치게 작으면 다짐현상이 나타나 다공성은 감소하고 퇴비단을 통과하는 공기가 억제되므로 적절한 조절이 필요하며 일반적인 적정 입자크기는 5cm정도로 알려져 있음.

- 뒤집기/교반

교반은 영양물질과 미생물을 고르게 분포시켜 기질의 분해가 균일하게 이루어지게 하고 뒤집기는 호기성상태를 유지하는데 필요한 운영인자이며 교반과 뒤집기의 정도는 수분함량, 물질의 특성, 공기요구량에 의해 결정될 수 있음.

7-4. 이화학적 분석결과

- pH 변화

- 호기성 발효과정에서 pH는 CO₂발생으로 H₂CO₃가 되어 낮아지고 NH₃발생으로 NH₄OH가 되면 높아짐.
- pH증감의 변화는 유기산(有機酸)의 산화반응과 단백질 분해과정에서 암모니아성 질소 전환에 의하여 이루어진 것임.
- 이 경우 어느 정도 pH가 상승하면 암모니아 NH₄⁺가 암모니아가스 NH₃로 바뀌어 휘발하기 때문에 퇴비화에 방해가 될 정도로 pH가 상승하는 일은 없음.

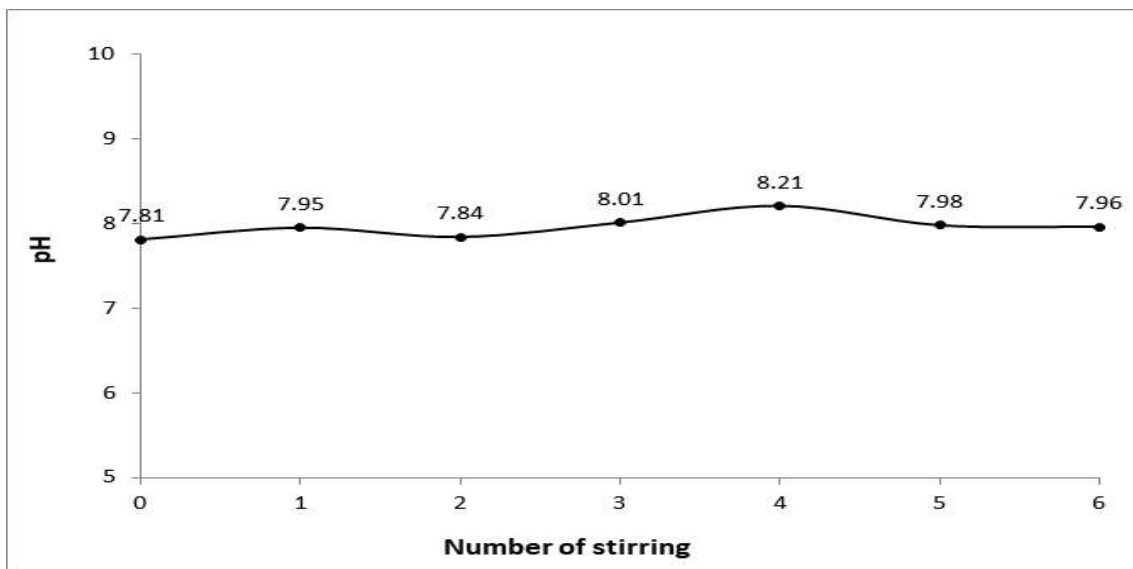


그림 59. pH 변화

- 발효온도 변화

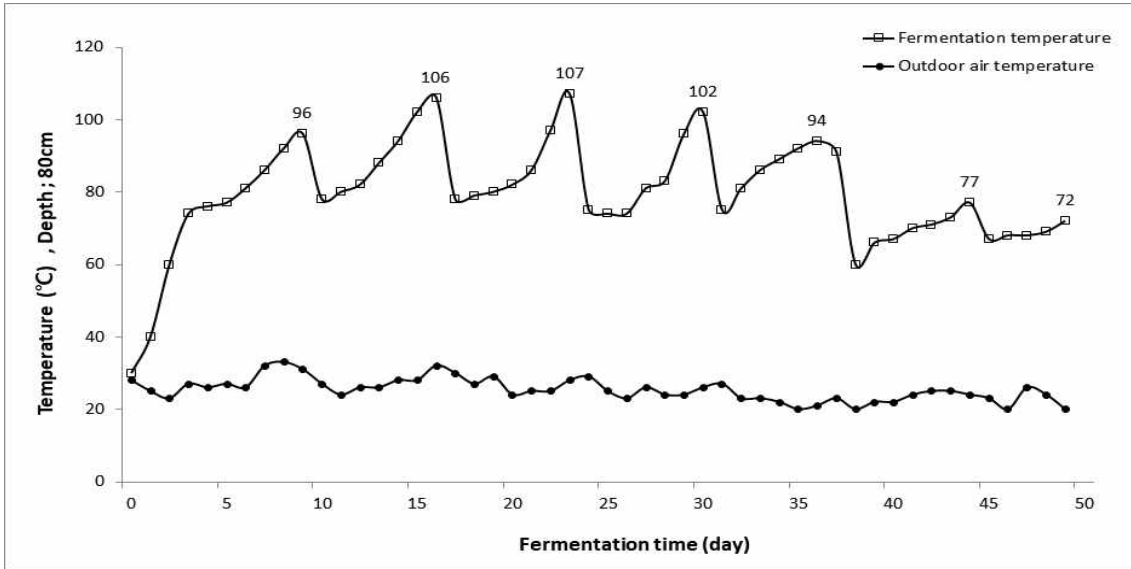


그림 60. 발효 온도 변화

- 이산화탄소(CO₂) 농도 변화

- 호기성 퇴비화 과정에서 퇴비층내 산소농도가 높을수록 반응속도가 빠르며 산소농도 측정 대신에 이산화탄소 농도를 측정하였음. (호기성 미생물은 에너지원으로 탄소를 산화하면 이때 O₂는 소모되고 대표적으로 CO₂가 생성됨)
- 초고온 발효가 시작되어 유기물 분해에 따라 CO₂ 농도가 급격하게 높아지나 발효후반으로 진행될 수록 유기물이 적어짐에 따라 발생량이 줄어들 수 있음.
- 대기중 농도는 O₂ 약 21% CO₂는 거의 0%, O₂ 농도 21~10% 범위를 측정하는 것은 CO₂ 농도 0~11%를 측정하는 것과 같음. 발효조에 공급되는 송기량을 조절하는 관점에서 한 단위 cycle의 발효 효율에 중요한 척도가 됨.

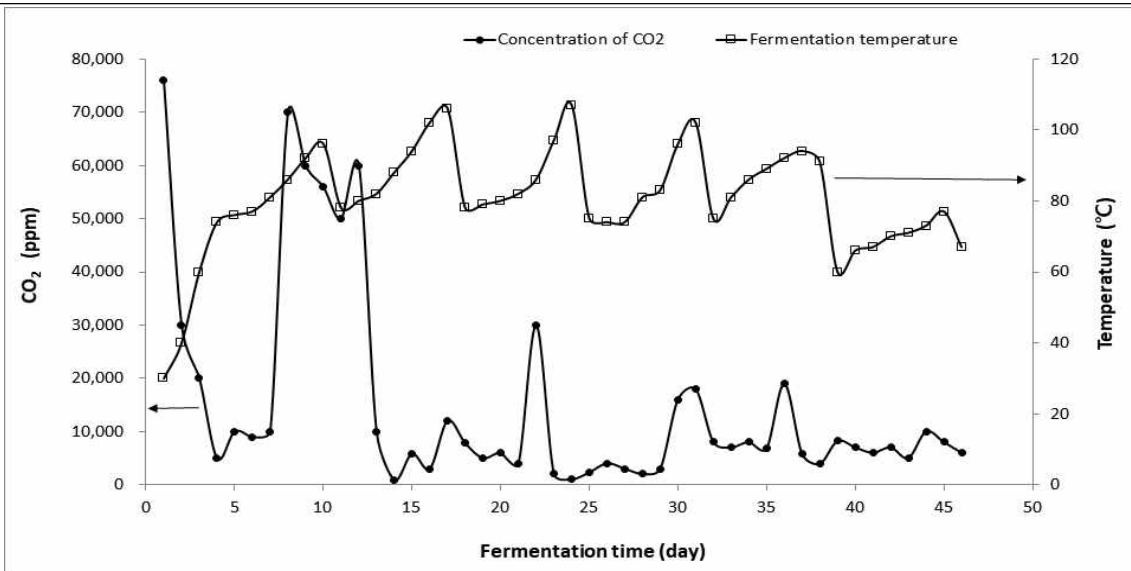


그림 61. 이산화탄소 농도 변화

- 암모니아(NH₃) 농도 변화

- 단백질의 분해로 NH₃가 생성되며 NH₃ 농도가 적절하여 pH가 약알칼리성으로 유지되면 퇴비화 반응속도가 높아지지만 지나치면 반응속도를 저하 시킴.
- 그러나 pH가 높아지면 물에 녹아있던 NH₄⁺는 기체 암모니아 NH₃가 되어 휘발하기 쉽기 때문에 암모니아의 발생으로 퇴비의 pH가 10이상으로 올라가는 일은 거의 없음.

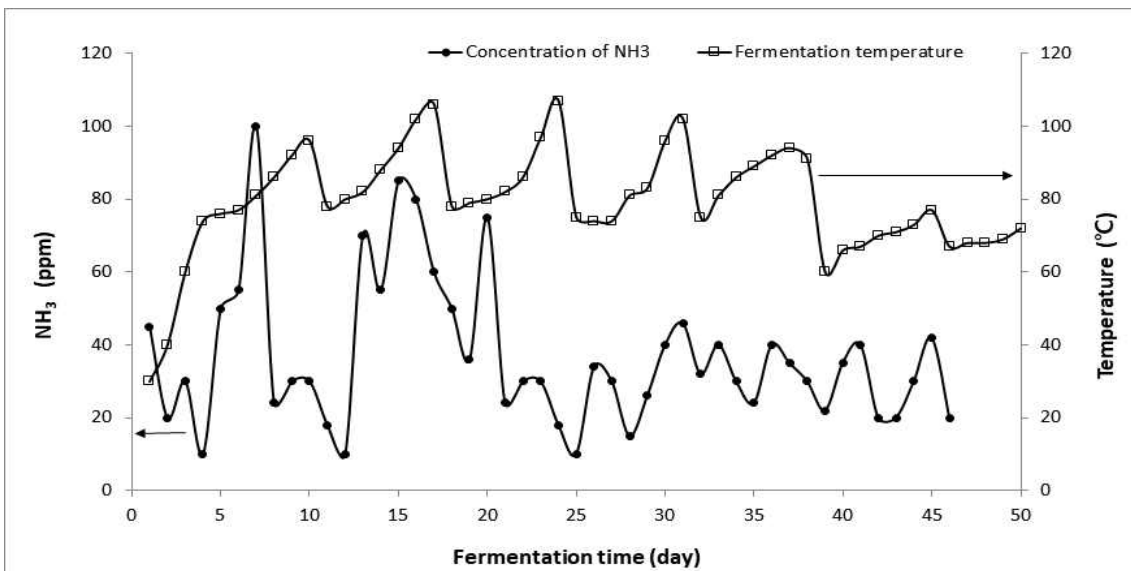


그림 62. 암모니아 농도 변화

- 함수율 변화

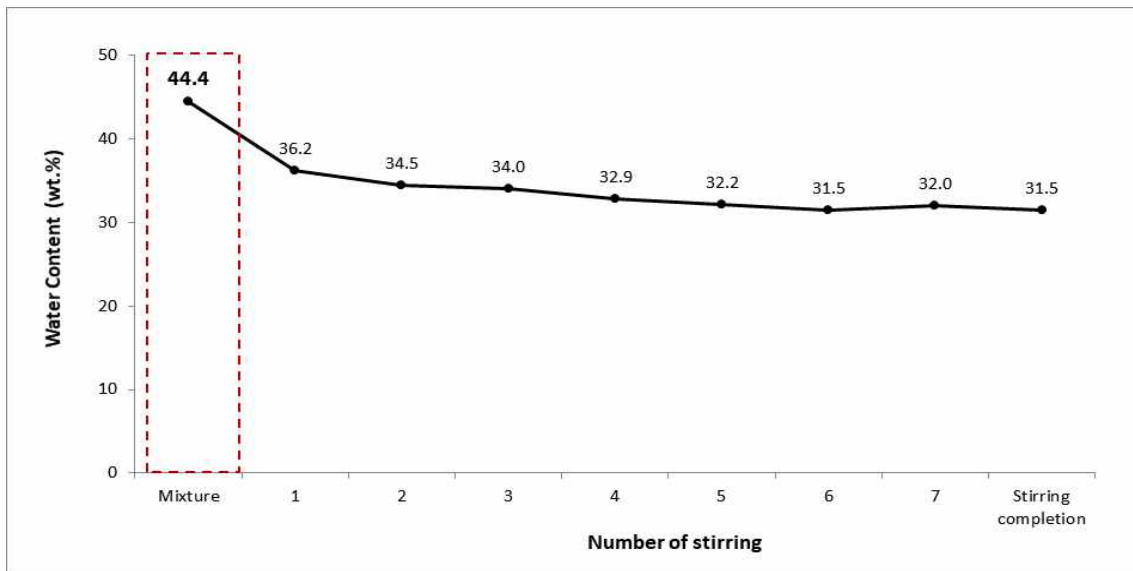


그림 63. 함수율 변화

- 염분농도 변화

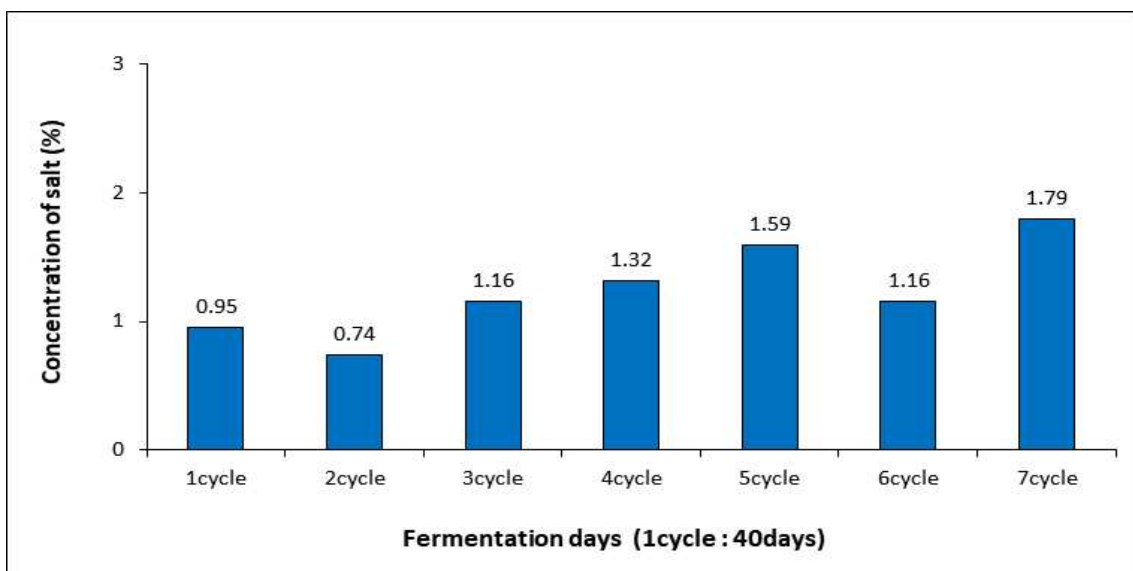


그림 64. 염분농도 변화

- 중금속 농도 변화

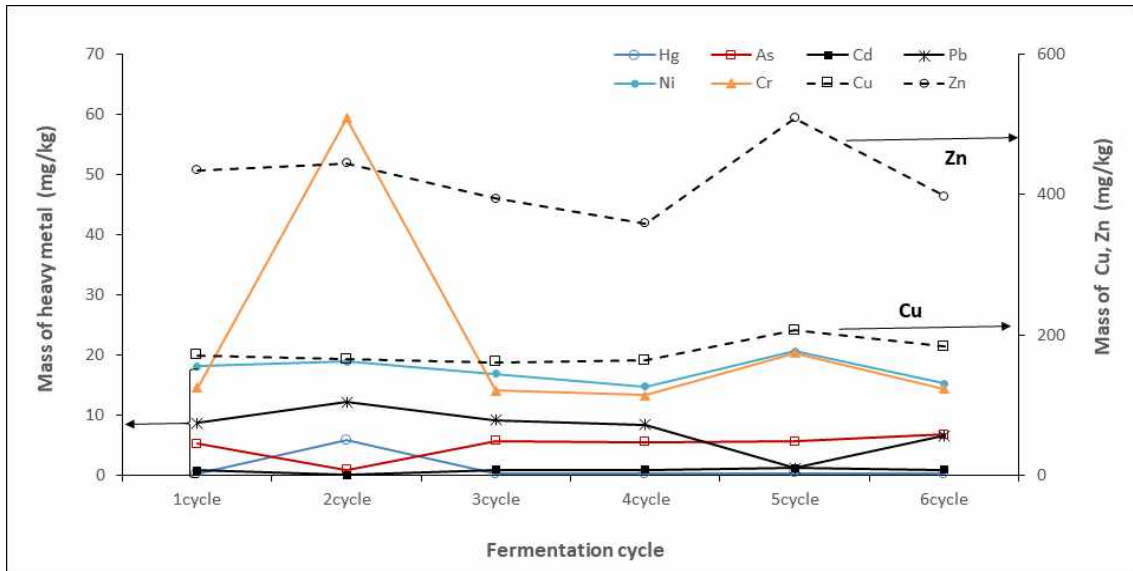


그림 65. 중금속 농도 변화

- 월간 최대 발효온도 변화



그림 66. 울릉군 음식물쓰레기 처리시설 월간 최대 발효온도

· 울릉군 음식물쓰레기 처리시설의 월간 최대 발효온도를 도시해본 결과, 계절 및 외부환경(온도) 변화와 관계없이 물이 끓는 비등점(100°C) 이상에서 발효가 진행됨.

- C/N비 변화

물 질 \ 항 목	C(%)	N(%)	C/N(%)
YM 배지	49.13	3.1	15.8
음식물쓰레기(참고)	16.85	2.4	7.02
가축사체처리 발효물	45.79	3.23	14.18

그림 67. C/N비 변화

- C/N비는 미생물 대사에 필요한 탄소와 질소의 이용 정도를 나타내는 질량비로 탄소는 미생물의 성장과 에너지 생산을 위해 이용되고 질소는 단백질 합성과 생식에 이용됨. 퇴비화 속도는 C/N비가 10~30에서 유기물 분해가 빠르고 7~10에서 유기물 분해속도가 최대가 됨.
- C/N비가 큰 원료라도 발효가 일어나 탄소분이 이산화탄소가 되어 휘발하면 C/N비가 작아지고, 반대로 C/N비가 낮은 원료를 퇴비화하면 암모니아가 발생하여 휘발하고 C/N비가 높아짐. 퇴비의 C/N비가 토양의 C/N비보다 높을 경우 섬유소를 주체로 한 탄소화합물을 부식화하는 과정에서 미생물은 토양중의 질소분을 고정하기 때문에 작물이 섭취할 수 있는 유효 질소 성분을 토양에 빼앗기게 됨. (비료규격 : 유기물대질소비 45이하)

표 8. 악취 분석 결과

포 집 위치	배출허용기준		결 과 치	
배출구	500배		300배	
부지경계	15배		10배	

시 험 항 목	단 위	기 준	탈취기 유입	탈취기 유출
암모니아	ppm	1	10.2	0.1
메틸머캅탄		0.002	0.112	0.037
황화수소		0.02	9.84	N.D
다이메틸설파이드		0.01	0.06	0.06
다이메틸다이설파이드		0.009	0.019	0.019
아세트알데하이드		0.05	N.D	N.D
스타이렌		0.4	1.32	0.24
프로피온알데하이드		0.05	N.D	N.D
뷰티르알데하이드		0.009	N.D	N.D
n-발레르알데하이드		0.009	N.D	N.D
f-발레르알데하이드		0.003	N.D	N.D
톨루엔		10	4.71	1.74

7-5. 가축사체처리 발효물 비료규격 실험 결과



제일분석센터

http://www.cheillab.com

☎ 08389 서울시 구로구 디지털로 272번지 한신IT타워 913호 전화)02-869-8188 팩스)02-868-4610 접수담당: 박한솔

6KSYZ-QF6BB-TFKEU-NOL6P

검 사 성 적 서

2019-0036567

의뢰인	성명 / 상호	신화건설(주)		사업자등록번호	226-81-07962
	주소			대표자	윤수홍
	시료명	시료1			
접수년월일	2019. 10. 29		검사완료일	2019. 11. 04	
접수번호	19-10-FR0287		검사목적	자체품질검사용	

검 사 결 과

검사항목	검사기준	결과	비고
질소 (%)		2.94	분석방법 비료품질검사법 규격 농촌진흥청 고시 제 2019-11 호
유기물 (%)	30 이상	38.28	
유기물대질소비	45 이하	13.02	
수분 (%)	55 이하	37.04	
수은 (ng/kg) (건물중에 대하여)	2 이하	0.79	
비스 (ng/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	3.72	
카드뮴 (ng/kg) (건물중에 대하여)	5 이하	0.95	
납 (ng/kg) (건물중에 대하여)	130 이하	10.21	
구리 (ng/kg) (건물중에 대하여)	360 이하	231.24	
니켈 (ng/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	17.83	
아연 (ng/kg) (건물중에 대하여)	900 이하	1507.21	
크롬 (ng/kg) (건물중에 대하여)	200 이하	20.66	
염분 (%) (건물중에 대하여)	2 이하	2.34	
염산불용해물 (%)	25 이하	9.66	
부속도(숯비타)	4 이상	4	
부속도(중자발아)	발아지수 70이상	47.69	
대장균O157:H7	불검출	불검출	
살모넬라	불검출	불검출	

시험책임자 : 김다솜

시험원 : 김지현, 오혜진, 조덕래

주) 상기 검사결과는 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2019년 11월 12일
제일분석센터 대표이사 이은미



※ 본 검사결과는 의뢰목적 이외에 광고 및 소송 등의 목적으로 사용하실 수 없으며, 그에 따른 책임은 당사와는 무관함을 알려드립니다.

그림 68. 비료규격 검사성적서



제일분석센터

http://www.cheillab.com

☎ 08389 서울시 구로구 디지털로 272번지 한신IT타워 913호 전화)02-869-8188 팩스)02-868-4610 접수담당: 박한솔

BKXSR-ZEGUB-9JVPX-CYH1C

검 사 성 적 서

2019-0032849

의뢰인	성명 / 상호	신화건설(주)		사업자등록번호	226-81-07962
	주소			대표자	윤수홍
	시료명	비료			
접수년월일	2019. 07. 04		검사완료일	2019. 07. 11	
접수번호	19-07-FR0036		검사목적	자체품질검사용	

검 사 결 과

검사항목	검사기준	결과	비고
질소 (%)		3.69	분석방법 비료품질검사법 규격 농촌진흥청 고시 제 2017- 18호
유기물 (%)	30 이상	54.89	
유기물대질소비	45 이하	14.88	
수분 (%)	55 이하	9.15	
수은 (ng/kg) (건물중에 대하여)	2 이하	0.048	
비소 (ng/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	6.87	
카드뮴 (ng/kg) (건물중에 대하여)	5 이하	0.97	
납 (ng/kg) (건물중에 대하여)	130 이하	2.65	
구리 (ng/kg) (건물중에 대하여)	360 이하	191.50	
니켈 (ng/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	19.48	
아연 (ng/kg) (건물중에 대하여)	900 이하	483.86	
크롬 (ng/kg) (건물중에 대하여)	200 이하	16.58	
염분 (%) (건물중에 대하여)	2 이하	0.82	
염산불용해물 (%)	25 이하	5.50	
부속도(솔비타)	4 이상	6	
부속도(중자발아)	발아지수 70이상	85.13	
대장균O157:H7	불검출	불검출	
살모넬라	불검출	불검출	

시험책임자 : 허선영

시험원 : 김지현,오혜진,조덕래

주) 상기 검사결과는 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2019년 07월 16일
제일분석센터 대표이사 이은미



* 본 검사결과는 의뢰목적 이외에 광고 및 소송 등의 목적으로 사용하실 수 없으며, 그에 따른 책임은 당사와는 무관함을 알려드립니다.

그림 69. 비료규격 검사성적서



제일분석센터

http://www.cheillab.com

☎ 08389 서울시 구로구 디지털로 272번지 한신IT타워 913호 전화)02-869-8188 팩스)02-868-4610 접수담당: 박현희

MSCNW-L1QAJ-FWFCK-K5OUJ

검 사 성 적 서

2018-0023878

의뢰인	성명 / 상호	신화건설(주)		사업자등록번호	226-81-07962
	주소			대표자	권은동,윤수홍
	시료명	샘플1			
접수년월일	2018. 11. 05	검사완료일	2018. 11. 13		
접수번호	18-11-FR0033	검사목적	자체품질검사용		

검 사 결 과

검사항목	검사기준	결과	비고
질소 (%)		3.48	분석방법 비료품질검사법 규격 농촌진흥청 고시 제 2017- 18호
유기물 (%)	30 이상	49.68	
유기물대질소비	45 이하	14.28	
수분 (%)	55 이하	24.69	
수은 (mg/kg) (건물중에 대하여)	2 이하	0.25	
비소 (mg/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	6.04	
카드뮴 (mg/kg) (건물중에 대하여)	5 이하	1.04	
납 (mg/kg) (건물중에 대하여)	130 이하	5.43	
구리 (mg/kg) (건물중에 대하여)	360 이하	172.45	
니켈 (mg/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	14.18	
아연 (mg/kg) (건물중에 대하여)	900 이하	374.81	
크롬 (mg/kg) (건물중에 대하여)	200 이하	13.82	
염분 (%) (건물중에 대하여)	2 이하	1.26	
염산불용해물 (%)	25 이하	3.88	
부속도 (콤백)	부속완료	부속완료	
부속도 (종자발아)	발아지수 70 이상	99.37	
대장균O157:H7	불검출	불검출	
살모넬라	불검출	불검출	

시험책임자 : 이정현

시험원 : 김나윤,김다솜,김다연,신다솜,신원엽

주) 상기 검사결과는 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2018년 11월 13일
제일분석센터 대표이사 이은미



* 본 검사결과는 의뢰목적 이외에 광고 및 소송 등의 목적으로 사용하지할 수 없으며, 그에 따른 책임은 당사와는 무관함을 알려드립니다.

그림 70. 비료규격 검사성적서



제일분석센터

http://www.cheillab.com

☎ 08389 서울시 구로구 디지털로 272번지 한신IT타워 913호 전화)02-869-8188 팩스)02-868-4610 접수담당: 최민하

SUG3C-YD10V-I716N-WICEB

검 사 성 적 서

2018-0020545

의뢰인	성명 / 상호	신화건설(주)		사업자등록번호	226-81-07962
	주소			대표자	권은동,윤수홍
	시료명	샘플1			
접수년월일	2018. 08. 07		검사완료일	2018. 08. 13	
접수번호	18-08-FR0066		검사목적	자체품질검사용	

검 사 결 과

검사항목	검사기준	결과	비고
질소 (%)		3.66	분석방법 비료품질검사법 규격 농촌진흥청 고시 제 2017- 18호
유기물 (%)	30 이상	54.46	
유기물대질소비	45 이하	14.88	
수분 (%)	55 이하	17.47	
수은 (mg/kg) (건물중에 대하여)	2 이하	0.26	
비소 (mg/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	6.78	
카드뮴 (mg/kg) (건물중에 대하여)	5 이하	0.99	
납 (mg/kg) (건물중에 대하여)	130 이하	6.60	
구리 (mg/kg) (건물중에 대하여)	360 이하	183.86	
니켈 (mg/kg) (건물중에 대하여)	45 이하	15.25	
아연 (mg/kg) (건물중에 대하여)	900 이하	397.95	
크롬 (mg/kg) (건물중에 대하여)	200 이하	14.44	
염분 (%) (건물중에 대하여)	2 이하	1.16	
염산불용해물 (%)	25 이하	4.43	
부숙도 (콤백)	부숙완료	부숙완료	
부숙도 (종자발아)	발아지수 70 이상	96.73	
대장균O157:H7	불검출	불검출	
살모넬라	불검출	불검출	

시험책임자 : 양희재

시험원 : 김다솜,김다연,신다솜,신원엽,이초롱

주) 상기 검사결과는 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2018년 08월 14일
제일분석센터 대표이사 이은미



* 본 검사결과는 의뢰목적 이외에 광고 및 소송 등의 목적으로 사용하실 수 없으며, 그에 따른 책임은 당사와는 무관함을 알려드립니다.

그림 71. 비료규격 검사성적서

7-6. 전 세계 각국의 비료규격 기준

표 9. 전 세계 각국의 비료규격 기준

규제성분	우리나라	일본	미국	EU	네덜란드 (크린퇴비)	호주
유기물(%)	30이상	건물 60	40	40	40	25
C/N비	45이하	30(C/N)	11~25 (C/N)	-	-	-
수분(%)	55이하	현물 60	35~55	45	45	25~50
염분(%)	2.0이하	-	-	-	-	1.0(Na)
비소(mg/kg)	45	50	41	-	15	20
카드뮴(mg/kg)	5	5	39	1.5	1	3
수은(mg/kg)	2	2	17	1	0.7	1
아연(mg/kg)	900	1800	2800	400	280	250
구리(mg/kg)	360	600	1500	100~200	90	200
니켈(mg/kg)	45	-	420	50	20	60
크롬(mg/kg)	200	-	-	100	70	400
납(mg/kg)	130	-	300	150	120	200
염산불용해물	25%이하	-	-	-	-	-
부숙도	기계2종 발아지수	발아지수 (열무)	기계2종 발아지수	C/N율 재발열	C/N율 재발열	재발열
EC		현물 5ms/cm			ROM20	
병원성미생물	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	-
퇴적온도		최저60 (2일)	55(5일)	55 (3~14일)	55 (3~14일)	55(3일)

7-7. YM 초고온 미생물 발효 비료 : 안전성이 확보되어 있음

YM 초고온 미생물 발효 비료 : 안전성이 확보되어 있음
 ◆ 일본에서 수십년 동안 사용 : 4kg 162엔, 8kg 216엔, 20kg 432엔 판매하고 있음



그림 72. 일본에서 수십년간 판매 중인 YM 초고온 미생물 발효 비료



그림 73. 초고온 발효비료 사용 농산물 수확전경



그림 74. 초고온 발효비료 사용 농산물 재배전경

제 8 절 농작물 질병 방제효과의 기능성 비료로서 효용성

8-1. 최종발효물(퇴비)의 배추뿌리혹병 방제효과 실험 : 기능성 퇴비로 활용 가능함

- 고랭지 배추 근류병(Clubroot) 방제효과 실험결과 : 배추 뿌리혹병 방제효과가 초고온 호기성 발효퇴비가 탁월하였으며, 생육상태도 월등하게 우월하게 나타났음.
- 현재 배추재배방법은 농약이 다량 사용되고 있으나, 향후 초고온 호기성 발효에 의한 퇴비의 방제효과가 규명되면 농약을 사용하지 않고 농작물 질병을 퇴치하는 획기적인 친환경 재배가 될 것임.

根瘤病(Clubroot) 방제효과 시험

- ❖ 작물 : 배추(품종 : 불암하우스, CR 감수성)
- ❖ 시험장소(기간) : 평창군 봉평면 덕거리 (2018. 9. 1~ 10. 30)
- ❖ 시험 자재(처리량/면적) : YM발효퇴비(600kg/165m²)
우분+계분퇴비(600kg/165m²)
- 퇴비시비일 : 8. 31
- 배추묘 정식 : 9. 11(재식거리 40*70cm)
- ❖ 조사 : 지상부 생육, 뿌리혹발생을 등(정식 20일차, 27일, 35일, 42일차)



그림 75. 뿌리혹병(근류병) 방제효과 시험 결과

YM 초고온 비료 · 기존비료 根瘤病(Clubroot) 비교실험

◆ 배추뿌리혹병 대조군 실험 - 강원도 평창 고랭지배추 실험 (2018년)



우분+계분퇴비 처리구

YM초고온퇴비 처리구

그림 76. YM 초고온 비료 및 기존비료에 의한 근류병 제거 비교 실험

YM비료 및 현재비료 배추생육상태

◆ 배추생장 실험 - 강원도 평창 고랭지배추 실험 (2018년)

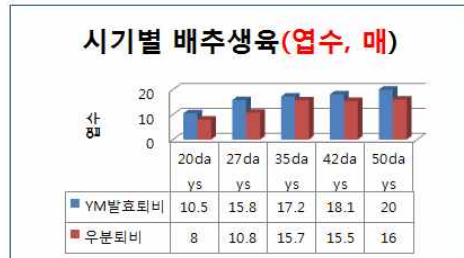
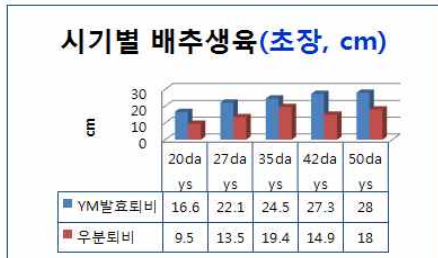


그림 77. YM 비료 및 현재 비료로 기른 배추생육상태 비교

YM비료 배추뿌리혹병 방제효과(90% 이상)

◆ 배추뿌리혹병 대조군 실험 - 강원도 평창 고랭지배추 실험 (2018년)

❖ YM 비료(배추뿌리혹병 약 5%이내 발생)



❖ 현재 사용 비료(배추뿌리혹병 95%이상 발생)



그림 78. YM 비료 근류병 방제효과 실험 결과

8-2. 가축사체처리 퇴비 환경생태독성

- *Daphnia pulex*(물벼룩)을 이용한 생태독성 실험

실험내용 : 일반 유기질비료와 화학비료에 비해 초고온 발효퇴비(비료)의 생태독성을 비교 분석할 필요성이 있으며, 이에 생태독성평가 모델생물종인 물벼룩(*Daphnia pulex*)을 이용하여 유기성 폐기물 유래 자원 3종에 대한 생태독성을 평가 및 비교하였음. 시험법은 ‘OECD Test Guideline 202 (*Daphnia* sp., Acute Immobilisation Test)’에 기초하였으며, 시험용액을 농도별로 48시간 노출 후, 각 비커에서 몇 마리의 물벼룩이 사멸했는지를 관찰하고 치사율, 평균 치사율과 표준오차를 계산하였음.

실험결과 : 초고온 발효비료의 깨끗한 M4배지 치사율은 $0.0 \pm 0.0\%$ 로 OECD guideline에서 제시하는 대조군의 범위(치사율 또는 유영저해율 10% 이하)를 만족시켰음.

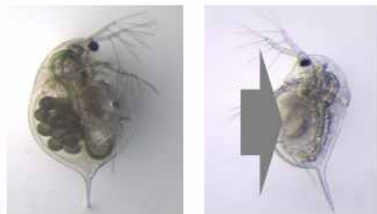
- (1) 평가에 사용된 시험용액 농도 내에서 유기질비료와 화학비료는 농도가 높아짐에 따라 치사율이 증가하였음.
- (2) 급성독성은 화학비료 > 유기질비료 > YM비료(펠릿) > YM비료(파우더) 순으로 높았으며, 화학비료는 0.1% 시험용액에서 유일하게 사멸한 개체가 관찰되었고 10% 시험용액에서는 $100 \pm 0.0\%$ 의 치사율을 보였음.

가축사체처리 퇴비 생태독성 실험 결과

◆ *Daphnia pulex*(물벼룩)을 이용한 생태독성 실험

❖ 생태독성 연구 방법

- ‘OECD Test Guideline 202’에 기초한 급성독성을 확인한다.
- 시료가 대부분 펠릿 형태이고 배지 내 균일하게 용해되지 못하므로, 48시간 동안 배지에 방치한 후 성분이 녹아 든 상청액을 여과하여 사용하였다.



<시험에 사용된 *Daphnia pulex* (좌, 성체, 우; 유체)>

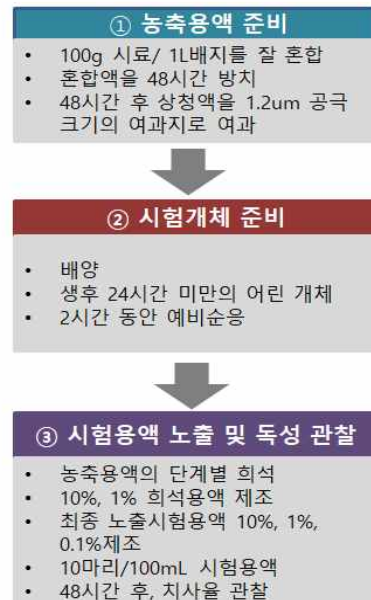
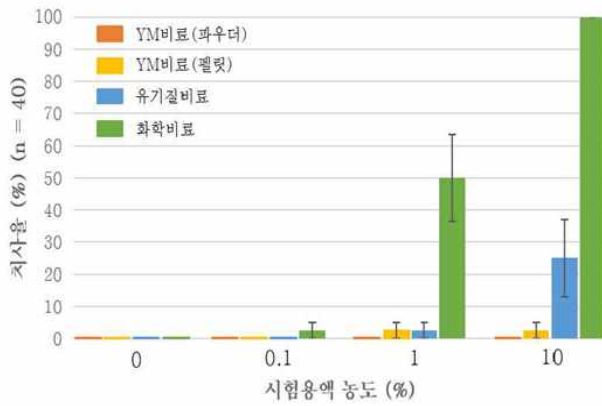


그림 79. 생태독성 실험 방법

가축사체처리 퇴비 생태독성 실험 결과

◆ *Daphnia pulex*을 이용한 생태독성 실험 : 시판되는 비료대비 급성독성 최저



* : 대조군과 통계적으로 유의미한 차이가 있음(p-value < 0.05).

- OECD Test Guideline 202 (*Daphnia* sp., Acute Immobilisation Test)에 기초하여 물벼룩에 대한 유기성 폐기물 유래자원 3종 (YM 비료, 유기질비료, 화학비료)의 급성독성 확인 및 비교하였다.
- 시험 결과, 급성독성은 **화학비료 > 유기질비료 > YM비료(펠릿) > YM비료(파우더)** 순으로 높았다.
- 화학비료는 0.1% 시험용액에서 유일하게 사멸한 개체가 관찰되었고 10% 시험용액에서는 100±0.0%의 치사율을 보였다. YM비료에서는 미미한 영향이 확인되었다.

그림 80. 생태독성 실험 결과

제 9 절 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 사체처리 부산물의 병원체 사멸 평가 및 환경 영향성 평가

1. 기준 병원체 선별

1. AI와 구제역 사멸을 확인할 수 있는 시스템 확보

- AI 사멸을 확인하기 위해 저병원성 AI(H9N2) surrogate로 사용하여 실험 진행.
- 구제역 사멸을 확인하기 위하여 A형 간염 바이러스(HAV)의 약독화 백신주(HM-175)를 surrogate로 사용하여 실험을 진행.

1.2 AI와 구제역 외에 국내 법정 병원체 중 기준 병원체 선정 및 사멸 확인

- AI와 HAV 외 바이러스 1종(Corona virus), 세균 5종(Clostridium, Mycobacterium, Salmonella, E.coli, Bacillus), 진균 1종(Tricophyton)을 surrogate로 사용하여 실험을 진행.

표 10. 법정 병원체 적용 가능한 Surrogate 병원체 선정

분류	질병명	병원체명	선발된 surrogate
제1군감염병	장티푸스	salmonella typhi	Salmonella Typhimurium
	파라티푸스	salmonella paratyphi	
	장출혈성대장균감염증	Escherichia coli	E.coli
	A형간염	hepatitis A virus (picornaviridae)	Hepatitis A virus
제2군감염병	폴리오	Poliovirus(picornaviridae)	Clostridium perfringens
	파상풍	Clostridium tetani	
제3군감염병	결핵	Mycobacterium tuberculosis	Mycobacterium
	한센병	Mycobacterium leprae	
	탄저	Bacillus anthracis	Bacillus subtilis
	인플루엔자	Influenza virus(Orthomyxoviridae)	Avian Influenza
등본인플루엔자인체감염증	Avian Influenza A virus(Orthomyxoviridae)		
제4군감염병	신종인플루엔자	Influenza A virus(Orthomyxoviridae)	Clostridium perfringens
	보툴리눔독소증	Clostridium botulinum	
	중증급성호흡기증후군	SARS coronavirus(coronaviridae)	Corona
	신종감염병증후군	X	
	중증호흡기증후군	Middle East respiratory syndrome-related coronavirus(Coronaviridae)	

2. 사체 내부에서의 병원체 사멸 평가

2.1 실험 방법

- 선정된 병원체 10종을 사체 내부에 주입하기 위해 그림 83과 같은 모식도로 실험을 진행.
- 병원체가 사체의 내부에서 최초 모양을 형성하고, 사체처리 후 병원체 샘플을 유의미하게 수거하기 위하여 병원체 배양 후 젤라틴과 혼합하였음. 병원체-젤라틴 혼합액을 필터소재에 주입하고 균혀서 병원체를 캡슐 형태로 제작.
- 총 10가지의 병원체를 같은 방식으로 병원체 캡슐을 제작 후 철망을 이용하여 사체 내 흉각 안쪽에서도 초고온 미생물의 작용이 이루어지도록 실험을 진행하였음.



그림 83. 밀폐된 튜브를 이용한 사체 내/외부에서의 병원체 사멸 평가 모식도

- 샘플 수거 후 병원체를 분석하기 위하여 그림 84와 같이 PBS에 풀어준 후 세균과 바이러스의 유전체를 분리함.

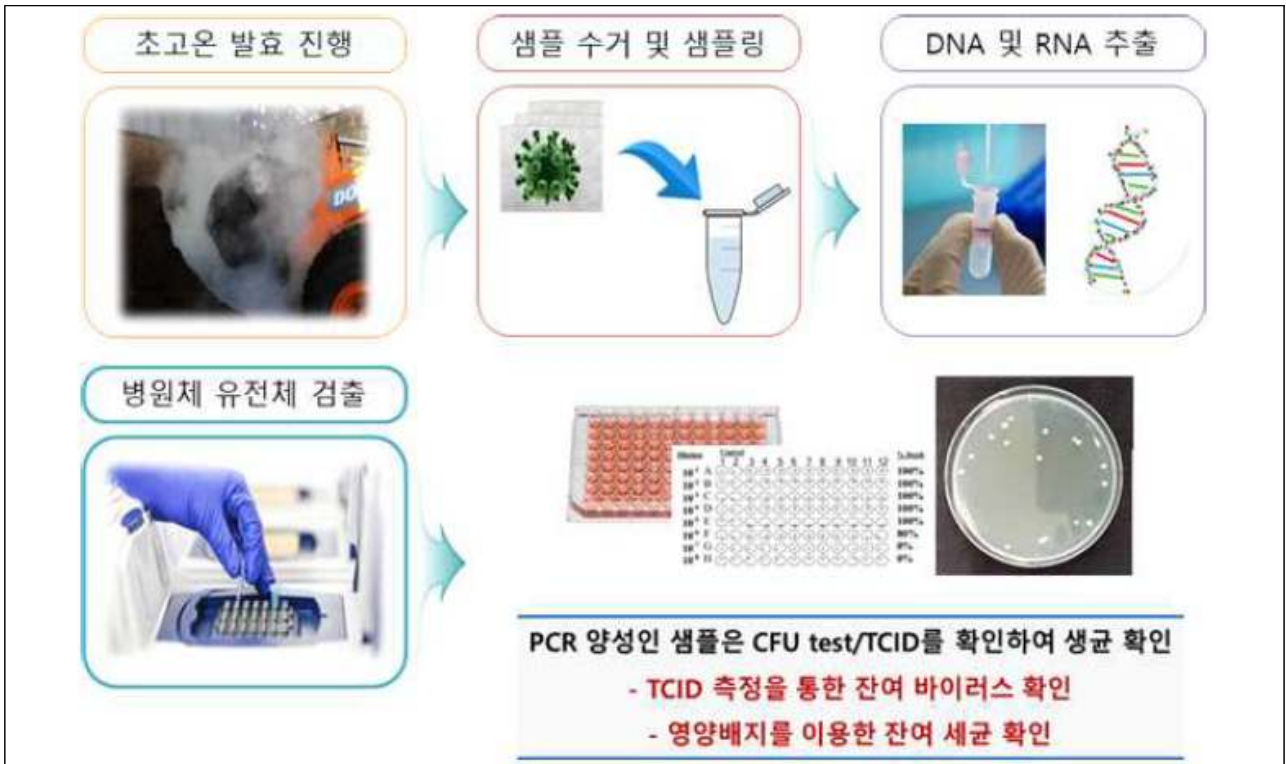


그림 84. 사체 처리 발효 후 병원체 분석 모식도

- 바이러스 및 세균 샘플은 Patho Gene-spin DNA/RNA Extraction Kit (Intron)를 이용하여 핵산을 추출함. 세균의 경우 그람 양성균의 DNA까지 추출하기 위해 lysozyme을 이용하여 세균의 세포벽을 깨뜨리는 과정을 추가함.
- 세균의 경우 샘플 300ul에 Lysozyme을 0.5mg/ml이 되도록 첨가 한 후, 37°C에서 30분 반응을 시켜 세포벽을 깨뜨림. Lysis buffer 600ul 첨가 후 상온에서 5분 반응시킨 후 3000rpm에 15분 원심분리 진행하여 cell debris를 가라앉히고 DNA가 있는 상층액만 취함. 상층액에 binding buffer 300ul 첨가 후 column으로 옮겨 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer A 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer B 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. 분리된 용액을 버린 후 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. column을 새로운 튜브로 옮긴 후 RNase Free Water (RFW)을 50ul을 넣어 RNA을 추출함.
- 바이러스의 경우 샘플에 150ul에 Lysis buffer 300ul을 넣은 후 10분간 반응시킴. binding buffer 300ul 첨가 후 column으로 옮겨 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer A 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer B 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. 분리된 용액을 버린 후 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행함. column을 새로운 튜브로 옮긴 후 RNase Free Water(RFW)을 50ul을 넣어 RNA을 추출함.

- 추출된 세균 및 바이러스 유전체를 이용하여 각각 PCR을 진행 후 양성이 나오는 샘플은 생균을 확인함.

2.2 1차 실험 - 매몰 및 발효기

- 1차 사체처리 시험 시행 후 PCR 검사법을 시행한 결과 발효기에서 시험한 오리의 샘플 5개 중 1개의 샘플에서 총 4종의(세균 3종, 진균 1종) 병원체 유전자가 검출되었음.
- 검출된 유전자는 Salmonella Typhimurium, Escherichia coli, Bacillus subtilis, Tricophyton mentagrophytes 이며, 이들의 유전체는 DNA를 검출하였음.
- Avian influenza A, Coronavirus, Hepatitis A virus와 같은 RNA를 주 유전체로 보유하고 있는 바이러스의 경우 PCR 결과에서 모두 유전자가 검출되지 않았음.
- 이는 발효조의 온도가 고온으로 유지되어 병원체가 생존하기 어려운 환경임에도 유전자가 검출되었으나, 100도 이상의 조건에서도 분해되지 않는 DNA의 특성상 병원체의 생균으로서의 존재 여부를 확인하기 위해서는 추가적인 시험법의 개발이 필요함.
- 밀폐된 튜브에서 시험한 샘플에서는 RNA virus를 제외한 6종의 세균 및 진균에서 모두 유전체가 검출되었음. RNA의 degradation 온도 조건인 65도이상 유지되는 실험 조건하에서 RNA 바이러스의 유전체 역시 제거되었을 것으로 추정됨. 또한 위와 마찬가지로 생균의 존재 여부를 평가하기 위한 CFU test를 진행하였으며, 실험 전에 비해 적은 양이나 Escherichia coli와 Bacillus subtilis의 선택배지에서 양성 반응이 확인되었음. 이는 1차 실험에서 사체 내부가 아닌 사체 외부(발효더미 위)에서 실험을 진행하여 매립지의 온도가 충분히 상승하지 못하였을 가능성과 단순 발효미생물로 인하여 상승되는 온도만으로는 병원체를 사멸하기에 충분하지 않은 이유가 될 수 있음. 다만 Escherichia coli의 사멸온도는 60도 이상임을 감안할 때 첫번째의 가능성이 높을 것으로 추정됨.
- 돼지 사체로 진행한 병원체 사멸 평가 결과 3개의 샘플에서 모든 유전체가 검출되지 않았음. 위의 오리 및 온도 조건하의 실험과 다르게 풍부한 유기물과 수분이 제공되어 충분한 초고온 발효가 가능하였던 돼지 시험 조건하에서는 높은 온도가 유지되었을 뿐 아니라 발효 미생물의 활성이 뚜렷하였을 것으로 예상됨. 이러한 발효 미생물의 활동으로 인하여 미생물 외부의 병원체를 사멸할 뿐 아니라 DNA역시 제거가 가능하였던 것으로 예상됨.

표 11. 사체 처리 후 병원체 분석

분류	병원체	PCR analysis				CFU test	
		Duck	Pig	Temperature control	YM 배지 반응 전/후	Duck CFU test	Temperature control
Bacteria	Salmonella Typhimurium	+	-	+	-	No growth	No growth
	E.coli	+	-	+	-	No growth	1.2 x 10 ³
	Bacillus subtilis	+	-	+	-	No growth	1.3 x 10 ³
	Clostridium perfringens	-	-	+	-	No growth	No growth
	Mycobacterium	-	-	+	-	No growth	4 x 10 ¹
Fungi	Trichophyton mentagrophytes	+	-	+	-	No growth	No growth
Virus	Avian Influenza A	-	-	-	-	NA	NA
	Corona virus	-	-	-	-	NA	NA
	Hepatitis A virus	-	-	-	-	NA	NA

- 초고온 미생물을 통한 사체 처리에서의 병원체 사멸 평가를 위하여 총 9개의 병원체를 이용하여 소형 발효기계에서 오리 5마리와 대형 발효조에서 돼지 3마리를 사체처리 실험을 진행함. RNA 바이러스는 병원체 및 유전체가 모두 사멸됨을 확인할 수 있었음.
- 세균 및 진균의 경우 대형 발효조에서 진행한 돼지에서는 모두 유전체까지 사멸됨을 확인할 수 있었으나 소형 발효기계에서 진행한 오리 실험군에서 5개 샘플 중 1개에서 Salmonella Typhimurium, Escherichia coli, Bacillus subtilis, Tricophyton mentagrophytes의 유전체가 검출됨. 하지만 생균은 검출되지 않아 병원체 사멸 효과를 확인 가능하였음.

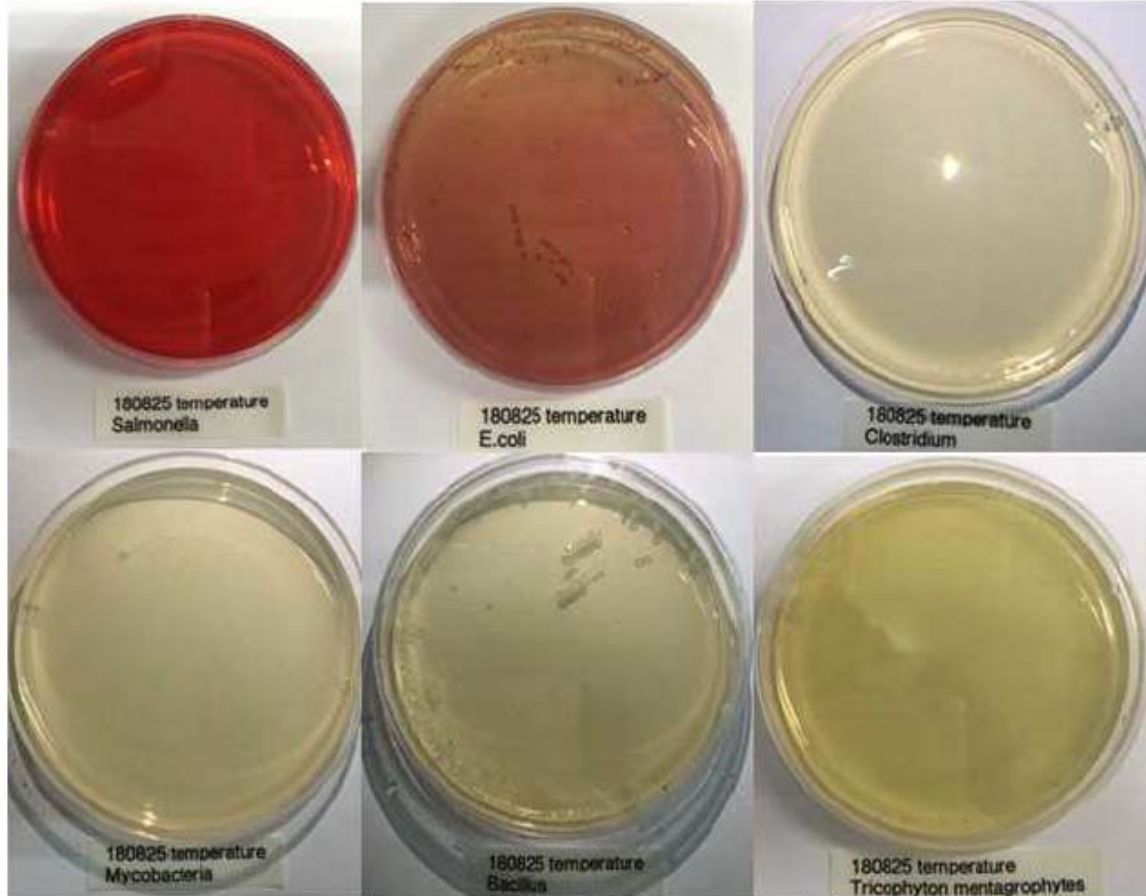


그림 85. PCR 양성샘플 원액 CFU test 결과

- 소량의 유전체가 검출된 이유로는 실험 조건을 고려하였을 때, 축종 또는 발효기계와 발효조의 차이로 인해 사멸 능력이 다를 수 있음을 예상할 수 있음.
- 밀폐 용기를 통하여 온도로만 사멸 효과를 확인하고자 진행한 실험에서는 RNA 바이러스는 모두 사멸 하였지만, 세균 및 진균에서 유전체가 모두 검출 되었으며, 그중 Escherichia coli, Bacillus subtilis, Mycobacterium 에서 CFU를 통한 소량의 colony가 확인됨.
- 이는 1차 실험에서 사체 외부에 병원체 샘플을 설치하였을 때, 사체와의 거리가 멀어져 온도가 충분하게 올라가지 않았을 가능성이 있음.
- 이와 같은 실험 결과를 종합하였을 때, 초고온 미생물 배지를 이용한 사체처리 과정에서 나오는 고온과 발효과정을 통해 병원균들이 충분히 사멸되며, 유전체까지 분해됨을 확인할 수 있음.

2.3 매몰 및 발효조 매장 시간별 병원체 사멸 평가 실험

- 매몰 사체처리 실험에서는 돼지 1마리 닭 27마리를 발효조에 매몰하여 YM 배지와 반응시킨 후 1일, 2일, 3일, 4일, 5일, 10일, 15일, 20일, 25일에 매일 3마리씩 닭 내부의 병원체를 샘플링을 하여 시간에 따른 병원체 사멸 여부를 확인함. 돼지는 45일째에 병원체 샘플링을 실시함.
- 매몰 사체처리 실험 실시 후 PCR 검사법을 시행한 결과 실험한 닭 샘플 중 1일차와 2일차에서 총 4종의(세균 3종, 바이러스 1종) 병원체 유전자가 검출되었음. Salmonella Typhimurium, E.coli, Bacillus subtilis, Adeno virus의 DNA가 검출되었음. 3일차에는 총 1종의 (세균 1종) 병원체 유전자가 검출되었음. 2차 사체처리 실험 실시 후 PCR 검사법을 시행한 결과 실험한 닭 샘플 중 1일차와 2일차에서 총 5종의(세균 4종, 바이러스 1종) 병원체 유전자가 검출되었음. Salmonella Typhimurium, E.coli, Bacillus subtilis, Clostridium perfringens, Adeno virus의 DNA가 검출되었음. 3일, 4일, 5일차에는 총 4종 (세균 3종, 바이러스 1종) 병원체 유전자가 검출되었음. Salmonella Typhimurium, E.coli, Clostridium perfringens, Adeno virus의 DNA가 검출되었음.

표 12. 발효조 매몰 사체처리후 병원체 PCR 분석

발효조 매몰 실험		PCR analysis									
		Pig	Chicken								
		45일	1일	2일	3일	4일	5일	10일	15일	20일	25일
Bacteria	Salmonella Typhimurium	0/3	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	E.coli	0/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Bacillus subtilis	0/3	1/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Clostridium perfringens	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Mycobacterium	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
Fungi	Trichophyton mentagrophytes	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
virus	Avian Influenza A	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Corona virus	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Hepatitis A	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Adeno virus	0/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3	2/3	1/3

표 13. 사체 처리 후 병원체 PCR 분석

소형 발효기 실험		PCR analysis				
		Chicken				
		1일	2일	3일	4일	5일
Bacteria	Salmonella Typhimurium	3/3	3/3	1/3	1/3	1/3
	E.coli	2/3	1/3	1/3	1/3	1/3
	Bacillus subtilis	1/3	1/3	0/3	0/3	0/3
	Clostridium perfringens	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3
	Mycobacterium	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
Fungi	Trichophyton mentagrophytes	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
virus	Avian Influenza A	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Corona virus	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Hepatitis A	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
	Adeno virus	3/3	3/3	3/3	3/3	3/3

- Avian influenza A, Corona virus, Hepatitis A와 같은 RNA를 주 유전체로 보유하고 있는 바이러스의 경우 PCR 결과에서 모두 유전자가 검출되지 않았음. 고온의 발효조에서 RNA의 분해는 확인되었으나, 100도 이상의 조건에서도 분해되지 않는 DNA의 특성상 병원체를 생균으로서의 존재 여부를 확인하기 위해서는 추가적인 시험법 시행이 필요함.
- 위의 문제점을 해결하기 위하여 CFU test를 시행하여 생균수를 확인하였음. 발효조 매물 실험의 샘플에서는 CFU test 결과 PCR 검사법에서 검출된 모든 샘플에서 생균이 검출되지 않았음. 소형 발효기 실험의 샘플에서는 CFU test 결과 1일차 샘플을 제외한 샘플에서는 생균이 검출되지 않았음. 1일차 샘플에서는 Salmonella Typhimurium, Bacillus subtilis, Clostridium perfringens의 생균이 각각 2.8×10^3 , 8×10^2 , 4×10^2 로 검출되었음.
- 발효조 매물 공법으로 사체 처리 실험을 진행한 결과, 사체 내 세균의 DNA는 검출되었으나 CFU test 실시하였을 때 생균이 검출되지 않았으므로 세균의 활성은 없는 것으로 확인됨. 소형 발효기 내 YM배지 반응 기법으로 사체처리 실험을 진행한 결과, 사체 내 세균의 DNA가 검출되었고 CFU test 실시하였을 때, 1일차에서 $10^2 \sim 10^3$ 의 생균이 검출되었음. 그러나 2일 이후에는 생균이 검출되지 않았으므로 2일 이후에 모든 병원체를 사멸할 수 있을 것으로 사료됨. CFU test를 통하여 PCR 검사에서 검출된 유전체는 사멸한 병원체에서 검출된

것으로 추정됨.

표 14. 사체처리 후 병원체 CFU test 결과

병원체		CFU test							
		1차 실험 (발효조 매물)			2차 실험 (소형 발효기)				
		chicken			chicken				
		1일	2일	3일	1일	2일	3일	4일	5일
Bacteria	Salmonella Typhimurium	No growth	No growth	-	2.8 X 10 ³	No growth	No growth	No growth	No growth
	E.coli	No growth	No growth	No growth	No growth	No growth	No growth	No growth	No growth
	Bacillus subtilis	No growth	No growth	-	8 X 10 ²	No growth	-	-	-
	Clostridium perfringens	-	-	-	4 X 10 ²	No growth	No growth	No growth	No growth

표 15. 사체 처리 후 바이러스 TCID 50 결과

반응 조건	Adenovirus TCID 50/mL								
	1일	2일	3일	4일	5일	10일	15일	20일	25일
Chicken ¹	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³
Chicken ²	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³	ND ³	-	-	-	-

¹ 발효조에 매몰하여 YM배지와 반응하였음.

² 매몰하지 않고 소형 발효기 내에서 YM배지와 반응하였음

³ MDCK 세포주에 감염되지 않았음.

- 바이러스의 경우 DNA virus인 Adeno virus의 활성 여부를 확인하기 위해 TCID 50을 실시함. TCID 50의 결과 PCR 검사법에서 검출된 모든 샘플에서 세포주 감염이 확인되지 않았음. TCID 50의 결과 PCR 검사에서 검출된 유전체는 사멸한 병원체에서 검출된 것으로 추정됨.
- 종합적인 실험결과를 확인하였을 때, 발효조 매물 공법에서는 1일, 2일차에 PCR 기법에서 3 종의 세균 및 1 종의 바이러스가 검출되었으나, CFU test 결과 사멸한 병원체에서 검출된 DNA로 추정이 되었음. RNA virus는 PCR 기법에서 검출되지 않았고, DNA virus는 PCR 기법에서 검출이 되었으나 이는 활성이 있는 바이러스가 아닌 사멸된 병원체에서 나온 유전

체가 검출된 것으로 추정됨. 이는 발효조 매물 공법으로 1일차부터 사체 내 병원체를 충분히 사멸할 수 있는 것으로 사료됨. 소형 발효기 공법에서는 1일~5일차에 PCR 기법에서 4종의 세균 및 1종의 바이러스가 확인이 되었으나, 2일~4일차에서는 CFU test 결과 생균이 검출되지 않았고, TCID50 결과 활성이 있는 바이러스가 아닌 사멸된 병원체에서 나온 유전체가 PCR 기법에서 검출된 것으로 추정됨. 1일차에 PCR 기법에서 4종의 세균이 검출되었고 CFU test에서 3종의 생균이 확인되었음. 이는 1일차에 아직 100도의 고온까지 온도가 도달하지 못하여 병원체를 충분히 사멸시키지 못한 것으로 사료됨. 소형 발효기 공법을 개발시 이러한 부분을 개선해야 할 것으로 사료됨.

3. 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체처리기술의 매뉴얼화

○ 세균, 곰팡이 모식도

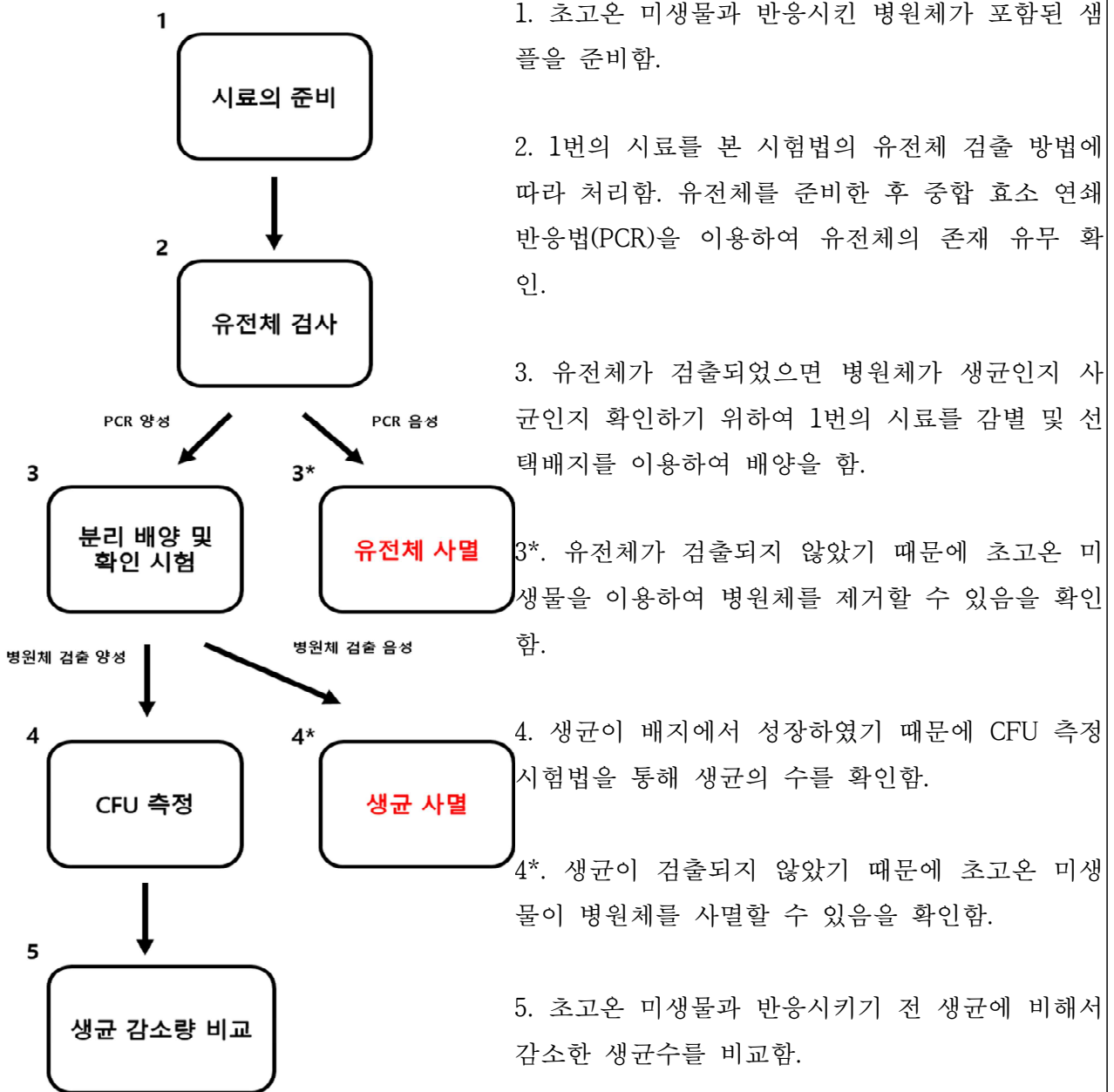


그림 86. 세균, 곰팡이 모식도

○ 세균, 곰팡이

1. 초고온 미생물과 반응시킨 병원체가 포함된 샘플과 PBS를 1: 10으로 풀어준다. 300ul를 취하여 Lysozyme을 0.5mg/ml를 첨가 한 후, 37℃에서 30분 반응 시킨다.
2. Patho Gene-spin DNA/RNA Extraction Kit (Intron)의 lysis buffer 600ul 첨가 후 상온에서 5분 반응시킨 후 3000rpm에 15분 원심분리 진행한다.
3. 상층액만 취하여 binding buffer 300ul 첨가하고 섞은 후 column으로 옮겨 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
4. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer A 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
5. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer B 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
6. 분리된 용액을 버린 후 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
7. column을 새로운 튜브로 옮긴 후 RNase Free Water (RFW)을 50ul을 넣어 RNA를 추출한다.
8. 준비된 유전체와 특정 병원체에 적합한 primer를 이용하여 PCR을 진행한다.
9. 유전체가 검출되었으면 초고온 미생물과 반응시킨 병원체 시료를 감별 및 선택배지에 배양 시킨다.
10. 선택배지 및 감별배지에서 배양이 확인되면 CFU test를 진행하여 생균의 수를 측정한다.
11. 초고온 미생물 반응시킨 병원체 시료의 CFU test 결과와 초고온 미생물 반응을 하지 않은 원액의 CFU test 결과와 비교하여 생균의 감소 정도를 확인한다.

○ 바이러스 모식도

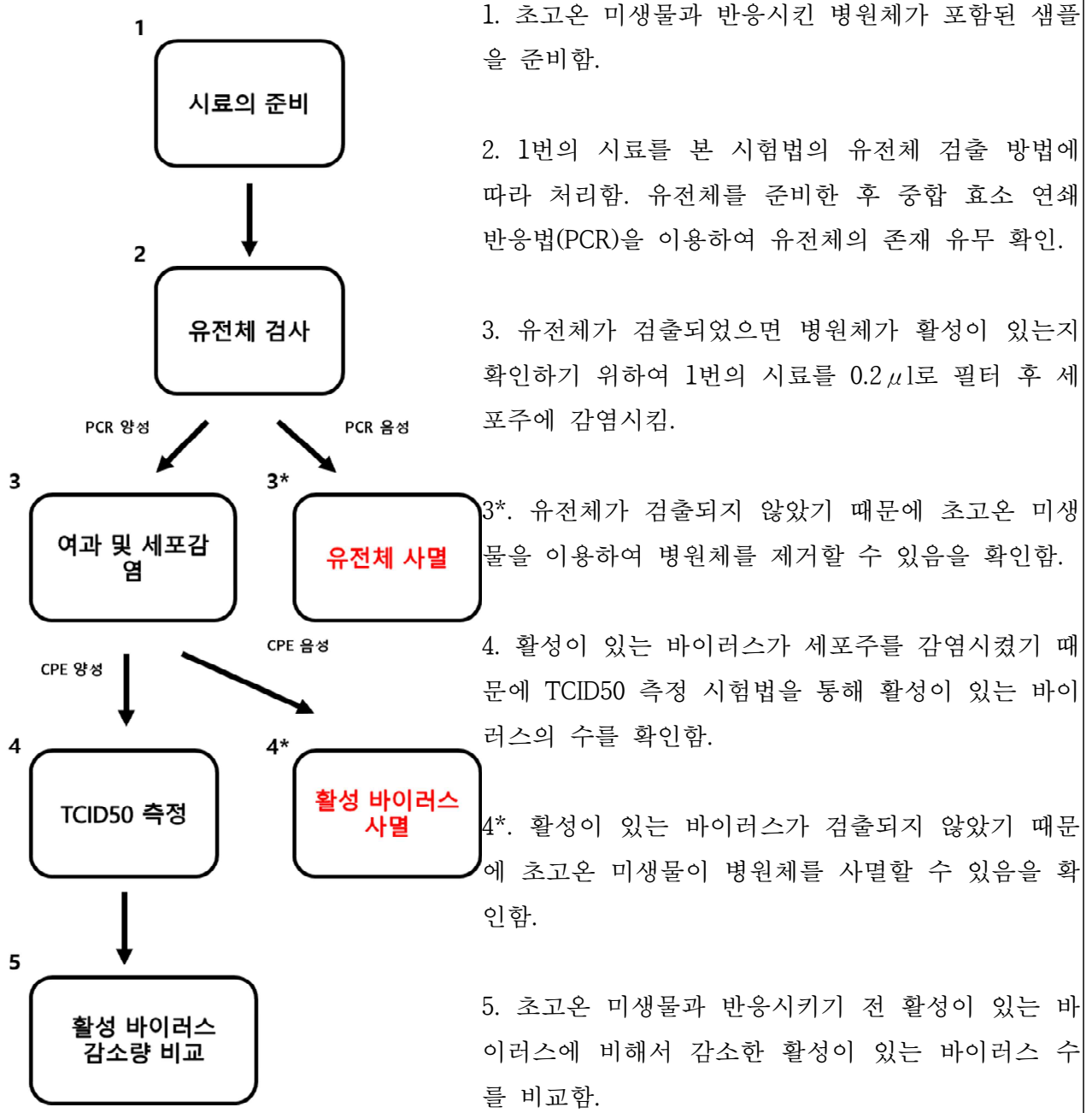


그림 87. 바이러스 모식도

○ 바이러스

1. 초고온 미생물과 반응시킨 병원체가 포함된 샘플과 PBS를 1: 10으로 풀어준다. 3000rpm에 20분간 원심분리를 진행하여 상층액 150ul를 취한다.
2. Patho Gene-spin DNA/RNA Extraction Kit (Intron)의 lysis buffer 300ul 첨가 후 상온에서 10분간 반응을 시킨다.
3. binding buffer 300ul 첨가하고 섞은 후 column으로 옮겨 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
4. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer A 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
5. 분리된 용액을 버린 후 washing buffer B 500ul을 넣어 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
6. 분리된 용액을 버린 후 다시 13,000rpm에 1분간 원심분리 진행한다.
7. column을 새로운 튜브로 옮긴 후 RNase Free Water (RFW)을 50ul을 넣어 RNA를 추출한다.
8. 준비된 유전체와 특정 병원체에 적합한 primer를 이용하여 PCR을 진행한다.
9. 유전체가 검출되었으면 초고온 미생물과 반응시킨 병원체 시료를 serial dilution을 진행하여 TCID 50을 진행하여 활성이 있는 바이러스의 양을 측정한다.
10. 초고온 미생물 반응시킨 병원체 시료의 TCID 50 결과와 초고온 미생물 반응을 하지 않은 원액의 TCID 50 결과와 비교하여 활성이 있는 바이러스의 감소 정도를 확인한다.

4. 초고온 호기성 발효균 진행 전후 주변 토양의 미생물 총 변화 확인

○ High-throughput 16s metagenomic sequencing 분석

- YM배지를 이용한 사체처리 과정에서 YM배지내의 미생물 변화를 확인하여 재활용 가능성 및 기타 병원성 미생물의 변화를 확인하고자 하였음.

1. 샘플링 및 16s metagenomic sequencing

- 사체 처리 전의 새로운 YM배지 (YM new)와 유기물 혼합 후 외부 산소접촉이 차단되고 내부 공기공급된 내부 샘플 (YM recycle in) 및 외부 산소접촉이 원활한 배지 표면 샘플 (YM recycle out)을 샘플링하여 배지 전체에서 유전자를 추출하여 16s rRNA를 이용한 metagenomic sequencing을 실시하였음.

표 16. 16s rRNA metagenomic sequencing

Sample ID	Total read bases (bp)	Total reads	GC(%)	AT(%)	Q20(%)	Q30(%)
YM-new	86,706,662	288,062	58.804	41.2	93.813	85.862
YM-recycle-in	92,517,166	307,366	56.091	43.91	94.004	86.341
YM-recycle-out	91,643,062	304,462	56.307	43.69	94.167	86.761

- high-throughput sequencing후 각 샘플의 read count는 288,062개, 307,366개, 304,462개였으며 DB를 이용하여 클러스터 분석을 수행하였음.

표 17. 클러스터 분석

- Results of Clustering (cutoff : 97%)		
No.	SampleName	Read Count
1	YM.new	26,189
2	YM.recycle.in	56,940
3	YM.recycle.out	18,694

- DB기반 클러스터 분석결과 분석가능 한 read count는 26,189개, 56,940개, 18,694개였으며 이를 기반으로 OTU 분석을 수행하였음.

2. Community richness & diversity



그림 88. Community richness & diversity

- 분석결과 새 배지 YM new에서의 OTU는 79였으나 산소가 차단된 배지; (YM recycle In)에서 113, 산소공급이 원활한 배지에서 (YM recycle out) 145로 약 1.8배 증가하였음.
- 이는 배지에 산소공급이 원활함에 따라 호기성 미생물 군이 풍부해지는 것을 의미함.
- 또한, 미생물의 diversity가 증가하였다는 것은 단일 미생물 종의 배양에 있어 절대적 우위가 없음을 의미함.

3. Taxonomic assignment 데이터

1) 문 (phylum) 단위 분석

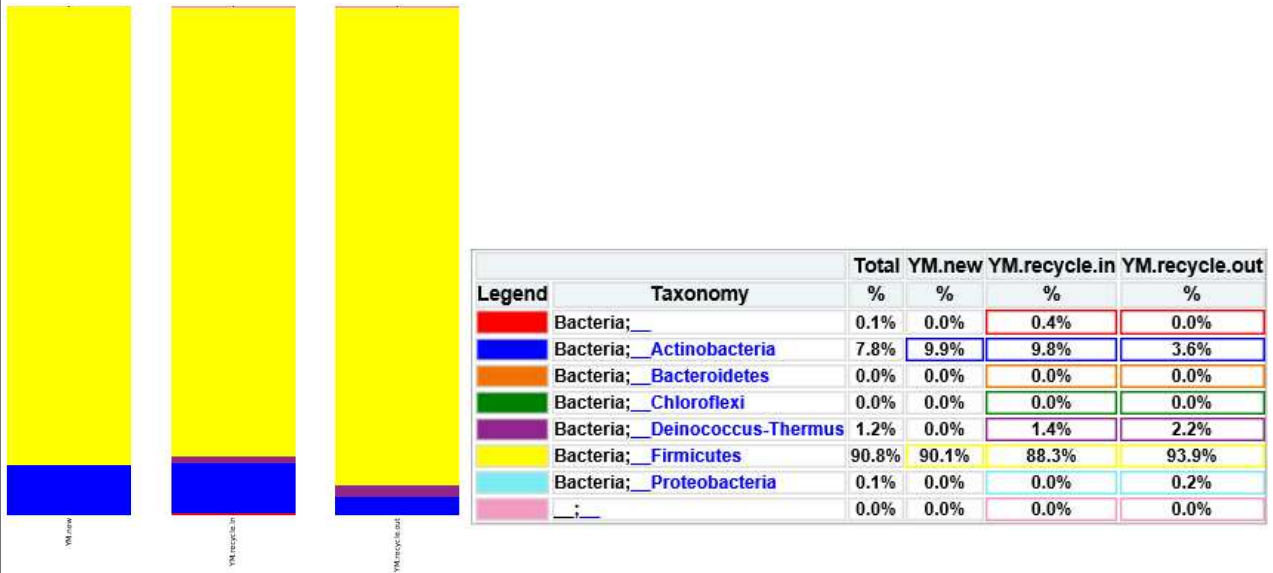


그림 89. 문(phylum) 단위 분석

- 문 단위 분석에서 한번도 사용하지 않은 배지의 경우 Firmicutes 가 90.1%로 가장 높았고 Actinobacteria가 9.9%로 두 번째로 높았음.
- Dienococcus Thermus는 새 배지에서는 검출되지 않았으나 사체처리 후 배지에서 각 1.4%, 2.2%로 확인되었음.

2) 목 (order) 단위 분석

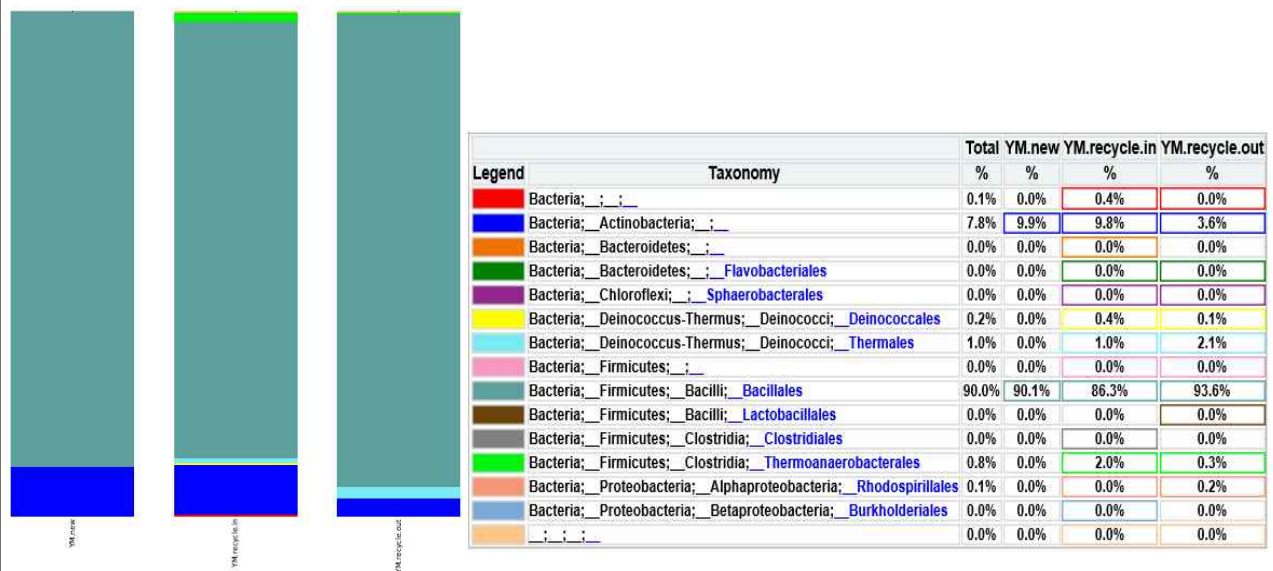


그림 90. 목(order) 단위 분석

- 목단위 분석에서는 Firmicutes계열에서 가장 많은 분포를 차지하고 있는 세균은 Bacillales가 대다수를 차지하였음.
- 문단위 분석에서 재활용 배지에서만 검출되었던 Deinococcus-Thermus는 대부분 Deinococci Thermales로 확인되었음.

3) 종 (species) 단위 분석

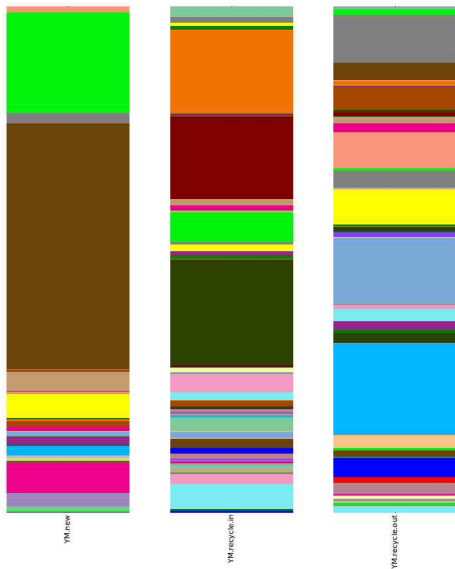


그림 91. 종 (species) 단위 분석

3-1) 종단위 분석에서 새 배지에서 높은 분포를 차지하는 세균

Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Thermoactinomycetaceae;_Melghirimyces thermohalophilus	17.3%	48.4%	0.0%	3.4%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Thermoactinomycetaceae;_Planifilum;_Planifilum composti	7.0%	19.9%	0.0%	1.2%
Bacteria;_Actinobacteria;_Thermomonosporaceae;_Actinomadura;_Actinomadura sputi	2.2%	6.0%	0.5%	0.2%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Bacillaceae;_Virgibacillus;_Virgibacillus jeotgali	2.2%	4.0%	1.3%	1.2%

- 각 Bacillales에서 Thermoactinomycetaceae종이 2종 (Melghirimyces thermohalophilus, Planifilum composti)과 Virgibacillus 중 Virgibacillus jeotgali등이 확인되었고, Actinobacteria중 Thermomonosporaceae의 Actinomadura sputi가 확인되었음.
- 이들은 각각 처음 배지성분의 과반 이상을 차지하고 있으나 유기물과 혼합 후 빠르게 사라지는 것으로 확인되었음.

3-2) 산소가 차단된 배지에서 높은 분포를 차지하는 세균

Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Bacillaceae;_Lentibacillus;_Lentibacillus populi	7.2%	0.0%	20.9%	0.7%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Paenibacillaceae;_Paenibacillus;_Paenibacillus terreus	6.0%	0.1%	16.6%	1.2%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Bacillaceae;_Virgibacillus;_Virgibacillus subterraneus	5.7%	0.1%	16.2%	0.8%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Bacillaceae;_Ornithinibacillus;_Ornithinibacillus halotolerans	2.1%	0.0%	6.0%	0.4%

- Bacillales에서 Lentibacillus populi, Paenibacillus terreus, Virgibacillus subterraneus, Ornithinibacillus halotolerans 등이 확인되었음.

3-3) 산소 공급이 원활한 표면에서 높은 분포를 차지하는 세균

Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Bacillaceae;_Bacillus;_Bacillus asahii	6.8%	1.9%	0.4%	18.0%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Bacillaceae;_Bacillus;_Bacillus piscicola	4.7%	0.8%	0.3%	13.0%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Thermoactinomycetaceae;_Novibacillus thermophilus	4.2%	2.1%	1.2%	9.4%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Bacillaceae;_Ornithinibacillus;_Ornithinibacillus heyuanensis	2.5%	0.3%	0.2%	7.1%
Bacteria;_Firmicutes;_Bacilli;_Bacillales;_Paenibacillaceae;_Aneurinibacillus;_Aneurinibacillus thermoaerophilus	1.7%	0.3%	0.4%	4.6%

- 배지 표면에서는 Bacillales에서 Bacillus asahii, bacillus piscicola, Novibacillus thermophilus, Ornithinibacillus heyuanensis, Aneurinibacillus thermoaerophilus 등이 확인되었음.

3-4) 사체처리 전후의 배지내 미생물 분포 변화의 의미

- 사체처리 전의 YM 배지 및 사체처리 후 배지 내에서 88%이상 차지하는 Firmicutes의 구성이 대부분 Bacilli를 차지하였음. 이는 유기물 특히 가축사체를 통하여 지하수를 오염시키거나 사람에게서 식중독을 유발할 수 있는 대장균군이 전혀 검출되지 않았음. 초고온으로 발효가 진행되는 YM배지의 특성상 식중독을 유발하는 세균들은 사체처리 후 대부분 사멸하는 것으로 예상됨.

- 다만 초기상태의 YM배지에 포함되어있던 내열성 세균인 Thermoactinomycetaceae 및 Thermomonosporaceae의 분포가 급격하게 낮아졌음. 호기성 세균인 Melghirimyces thermohalophilus과 Planifilum composti의 생육 온도는 43-60°C 50 to 75°C로 중온군에 속함. 이는 초고온 발효 (90°C 이상)으로 진행되는 과정에서 상당수 사멸하는 것으로 예상됨.

- 사체처리 후 배지 내부에서 주로 분포하는 Lentibacillus populi, Paenibacillus terreus, Virgibacillus subterraneus, Ornithinibacillus halotolerans 균종은 모두 그람 양성 호기성 세균이며, 아포를 형성하는 것이 공통점임. 또한 온도조건은 모두 50°C까지 배양이 가능함.

이는 아포를 형성하여 초고온 발효 온도에서 생존이 가능한 세균만이 내부에 분포하는 것으로 예상된다.

- 사체처리 후 배지 표면에 주로 분포하는 *Bacillus asahii*, *Bacillus piscicola*, *Ornithinibacillus heyuanensis*는 중온에서 번식이 가능하며 아포를 형성하는 것이 특징이다. *Novibacillus thermophilus*는 *Aneurinibacillus thermoaerophilus* 65°C에서 배양이 가능한 세균종임. 비교적 고온이 유지되는 내부에서는 이와 같은 고온균이 발견되지 않고 배지 표면에서만 확인되는 이유는 이 고온균은 호기성 세균으로서 산소요구조건이 높기 때문으로 예상된다.
- YM배지에 포함되어있는 초고온 미생물은 현재 완전히 분리동정되지 않은 세균으로서 16s rRNA의 정보가 DB에 등록되지 않아 이 연구에서는 분포를 확인할 수 없었음. 하지만 추가적인 연구를 진행하여 YM 배지내의 유효세균을 분리동정하고 전체 유전자 염기서열을 분석할 예정이다.

제 10 절 고효율 가축사체처리 기술 매뉴얼

10-1. 가축사체처리 추진체계

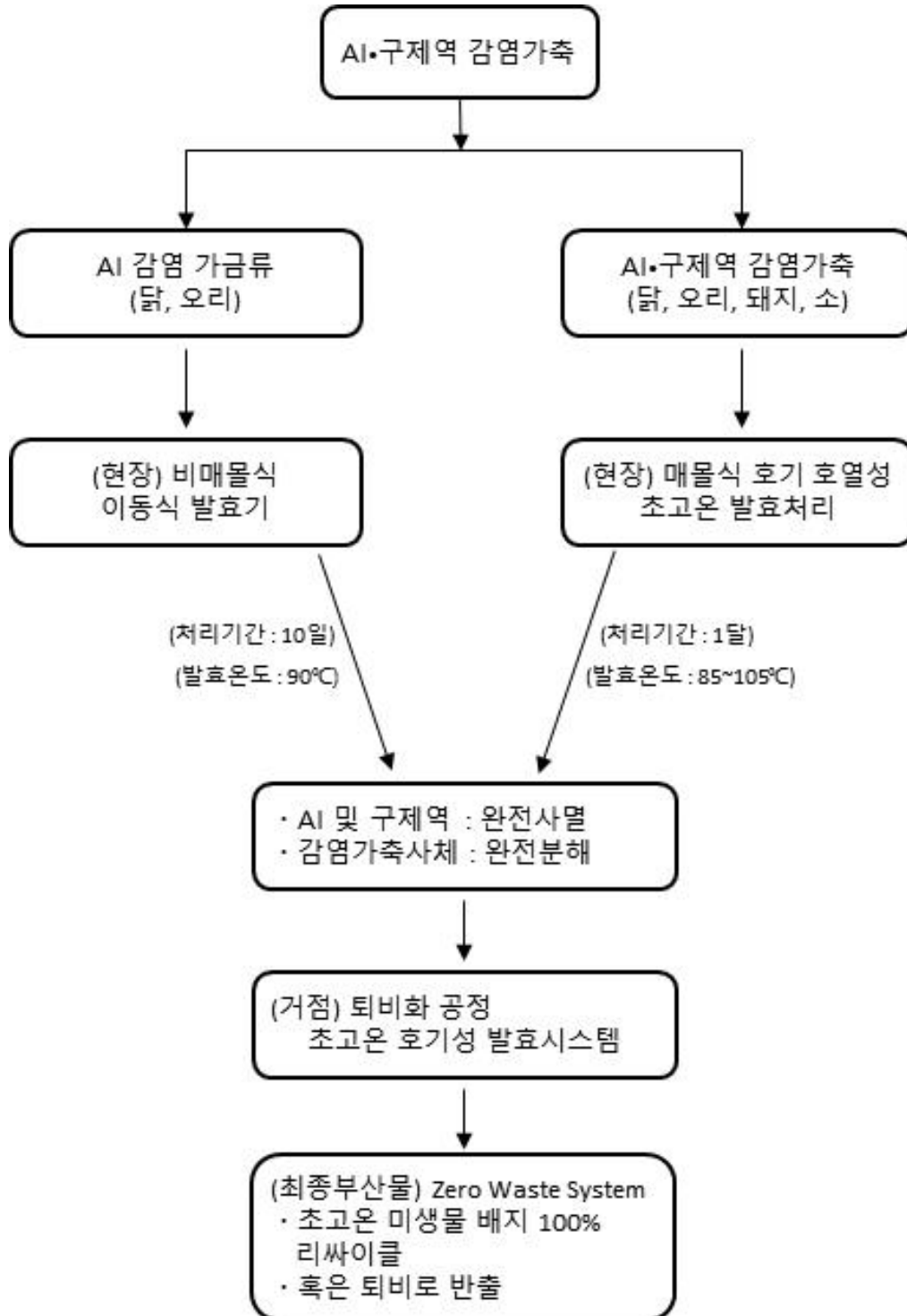


그림 92. 가축사체 처리 추진체계

10-2. 현장 매물식 호기 호열성 초고온 발효처리

10-2-1. 개요

- 현장에서 YM 초고온 미생물 배지와 구제역 및 AI 바이러스 감염 가축을 축산농가의 빈 사육장 또는 축산창고 등을 이용하여 현장 간이 신속처리하여(발효온도 90~100° C)로 1달 이내 병원균사멸 후 거점처리시설로 이송하여 퇴비화 공법 진행.

10-2-2. 작업절차

- 호기 호열성 초고온 가축사체처리 매물 절차도

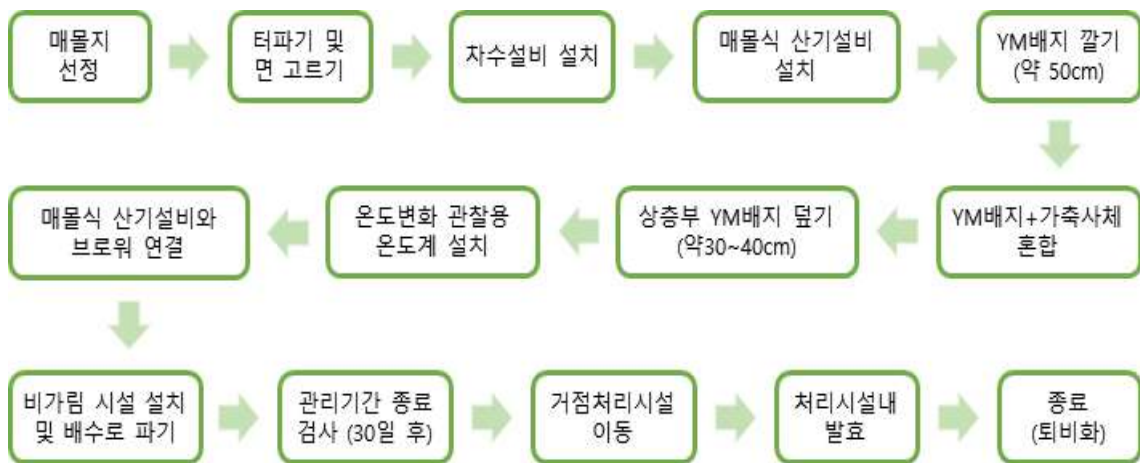


그림 93. 호기성호열미생물을 이용한 가축사체 처리 절차도

- 표준크기 매물지의 사체처리시 준비물

표 18 표준크기 매물지의 사체처리 시 준비물

(사체 100ton 기준)

품명	규격	소요량	용도
포크레인	대형(6w), 소형(02)	2대 (각1대)	매물지 구덩이 파기 및 사체투입
사체운반기	스키로더	1대	사육동에서 수송차량으로 사체 운반
수송차량	덤프트럭 5톤, 15톤	2대	사육동에서 매물지구덩이 까지 사체 운반

품명	규격	소요량	용도
차수비닐	0.1mm*6.5m*20m 이중장수비닐 (펼칠 경우 가로 13m), 또는 0.3mm 내재형 PE 직 조필름	2박스	매몰지 바닥 및 벽면에 차수를 위해 설 치
부직포	7mm*1.8m*18m/롤	6롤	차수비닐 훼손방지
YM 배지	0.6t/포	110ton	가축사체 분해용 미생물
매몰식 처리 산기설 비	외경26mm, 두께5.5mm, 다공성 연질배관 사용 5M × 2.5M	6세트	미생물 활성화를 위한 공기공급
공기분배관	32mm 엘보, 티, 32mm 25mm 이경 소켓	5세트 (1세트: 엘보, 티, 이경소켓)	블로워를 산기설비와 연결하여 공기공급
링블로워	2000mmHQ, MaxQ 100m ³ /h 이상	2개	미생물(호기성호열미생물) 처리시 매몰 지 내부 미생물 활성화를 위한 공기공급
청고압호스	외경 25mm, 50m	2개	블로워를 산기설비와 연결하여 공기공급
전자 유량계	100m ³ /h 이상 측정 가능	1개	미생물에 투입되는 공기량 확인
온도계	길이 100cm 이상, 0~15 0℃	3개	사체 정상분해 여부 확인
비가림시설	농업용강관(외경25mm, 두께 1.5mm이상, 길이9m) 고강도 투명비닐, 두께 0.1mm*6.5m*25m	1식	우천시 매몰지 내부로 빗물유입 방지
경고표지판		1개	
출입금지띠		3롤	
개인보호장비	작업복, 장화, 장갑, 고글 등	개인별	

- 처리 작업 절차

① 구덩이 파기

- 구덩이의 표준크기는 가로6m × 높이3m × 길이15m(270m³)로 하며, 사체의 수량, 알 등 가축의 생산물, 사료·깔짚·왕겨 등 농장 내 오염물건 처리량에 따라 구덩이의 길이를 늘이거나 줄일 수 있다. 구덩이는 지하로 깊이 3m를 파고 지상으로 높이 0.5m, 너비 0.5m 독을 설치한다. 초고온 호기성 호열미생물을 이용한 가축 사체처리 표준매몰지 단면도, 부분 단면도 및 터파기 개요도는 그림 94와 같다.
- 처리량이 많은 경우, 표준크기 매몰지의 길이를 연장하거나, 한 지점에 구덩이를 여러개 설치할 수 있는데, 이때 구덩이 간의 거리는 사람과 장비의 이동이 용이하도록 6m이상의 간격을 둔다.
- 표준크기 매몰지에 처리할 수 있는 가축의 종류별 처리두수는 다음의 표와 같다. 축종별 사체 마리당 평균중량은 소 700kg, 돼지 80kg, 오리 4kg, 닭 2kg을 기준한다.

표 19. 처리중량에 따른 매몰지 크기 및 가축의 종류별 처리 두수

(초고온 호기성 호열미생물 처리시)

처리 중량	가로	높이	길이	처리 두수
20톤	6m	3m	5m	2kg 닭 10,000수 / 4kg 오리 5,000수 / 80kg 돼지 250두
40톤	6m	3m	9m	2kg 닭 20,000수 / 4kg 오리 10,000수 / 80kg 돼지 500두
60톤	6m	3m	13m	2kg 닭 30,000수 / 4kg 오리 15,000수 / 80kg 돼지 750두
80톤	6m	3m	17m	2kg 닭 40,000수 / 4kg 오리 20,000수 / 80kg 돼지 1000두
100톤	6m	3m	21m	2kg 닭 50,000수 / 4kg 오리 25,000수 / 80kg 돼지 1250두

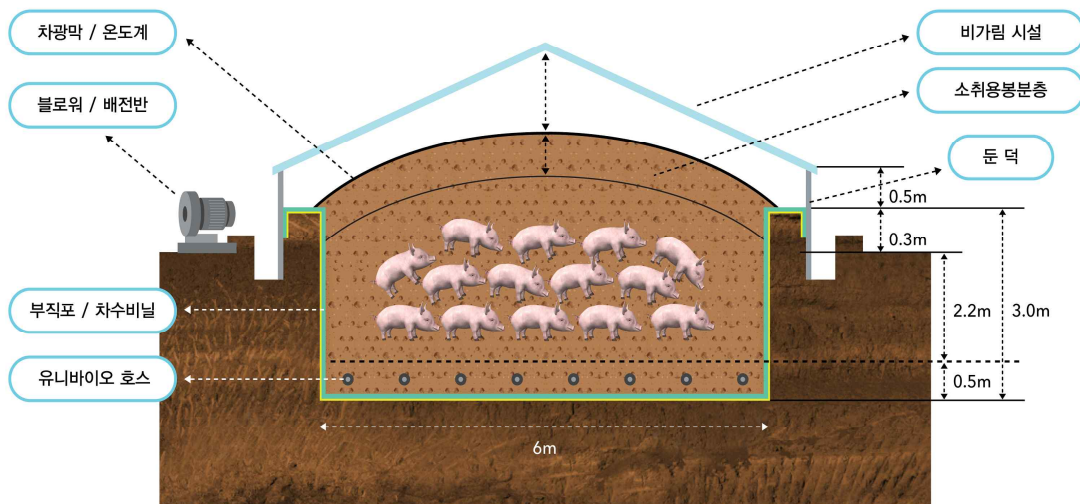


그림 94. 초고온 호기성 호열미생물을 이용한 가축사체 처리 표준매몰지 부분 단면도

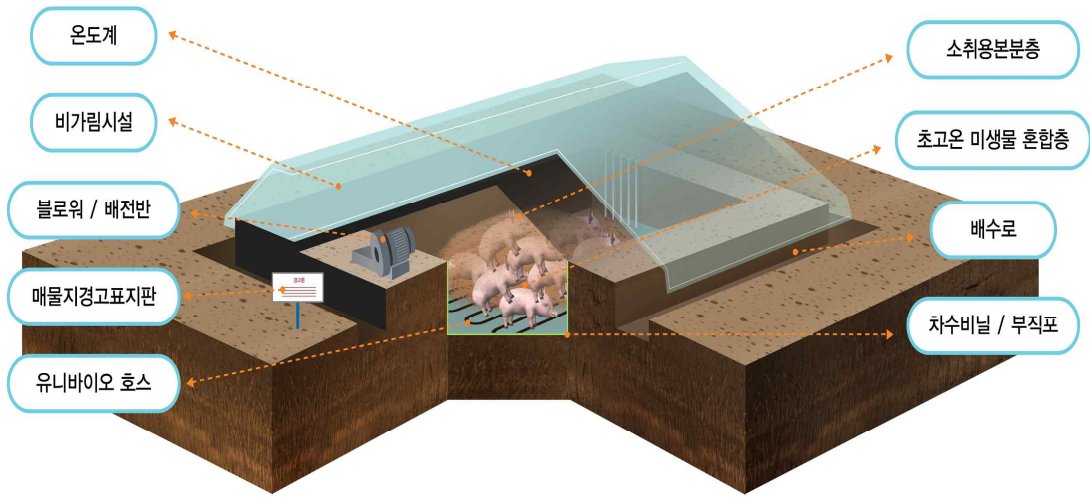


그림 95. 초고온 호기성 호열미생물을 이용한 가축사체 처리 표준 매몰지 부분 단면도

② 구덩이 바닥면 및 벽면 고르기

- 구덩이를 파고 난 후, 매몰지 바닥 또는 벽면에 날카로운 금속이나 암석 등을 미리 제거 하여 수분침투 및 침출방지 목적으로 설치하는 차수비닐의 천공 등이 발생되지 않도록 하여야 한다.

* 폐사되지 않은 가금이 구덩이로 들어올 경우 차수비닐의 손상이 발생할 수 있다.

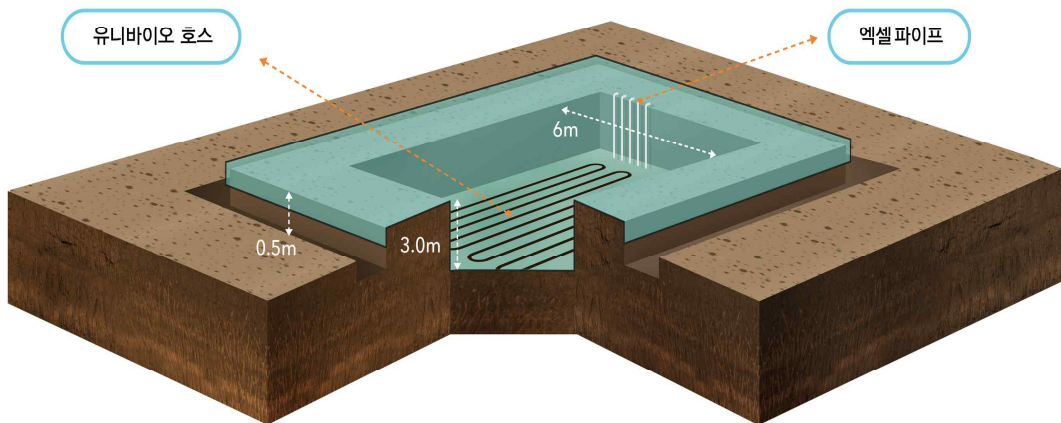


그림 96. 초고온 호기성 호열미생물을 이용한 가축사체 처리를 위한 터파기 개요도

③ 부직포 및 차수비닐 깔기

- 차수비닐의 손상방지를 위하여 매몰지 바닥 및 벽면 전체에 두께 7mm 이상의 부직포

를 깔고, 그 위에 두께 0.1mm 이상의 차수비닐을 2겹으로 깐다. 비닐의 폭은 매몰지 바닥 및 양쪽면의 높이를 더한 길이(표준크기 매몰지의 경우 11m)보다 2m이상 큰 폭의 비닐을 사용하여 매몰지 둔덕까지 덮어지도록 한다. 폭 또는 길이가 작은 비닐을 겹쳐 사용하지 않는다.



그림 97. 구덩이 파기



그림 98. 부직포 깔기



그림 99. 차수비닐 깔기

④ 매몰지 바닥 매몰식 처리 설비 설치

- 저압분산고무질호스(유니바이오희스)는 휘어질 수 있는 연결의 에어호스이며, 매몰지 내부에서 호기성호열미생물의 활성화를 위한 공기공급 역할을 한다.
- 에어호스의 압착을 방지하기 위해 보호 스프링을 설치한 산기관을 미생물 및 가축사체 투입과정중 유동이 발생하지 않도록 브릿지를 설치하여 유동을 최소화 하여 설치한다.
- 동일한 요령으로 구덩이의 세로 폭 15m에 6개의 세트를 가로 방향으로 설치한다.



그림 100. 저압 분산 고무 질호스(유니바이오희스) 설치 모식도 및 설치방법

⑤ 공기분배관 연결

- 공기분배관은 링블로워에서 공급되는 공기를 6가닥의 청고압호스를 통해 저압분산고무질호스(유니바이오희스)에 분배하는 장치이며, 32mm 및 25mm 이경소켓을 통해 연결되어진다.
- 공기분배관을 32mm 엘보와 티를 이용하여 2개의 브로워에 각각 3개의 공기 배출라인을 연결하고 연결된 공기분배 라인에 이경소켓을 이용하여 청고압호스에 연결한다.
- 연결된 청고압호스는 다시 미리 설치해둔 매물식 처리 산기설비에 연결할 수 있다.

⑥ 사체 투입

- 가축사체 투입시 발생농장의 오염물건, 사료 등도 함께 처리할 수 있다.
- 미리 혼합하여 놓은 호기호열성 초고온 미생물을 구덩이 밖에서 사체와 잘 섞은후 구덩이 내에 쌓는다.
- 가축사체 및 호기성호열미생물의 처리형태는 매물지 길이 방향으로 중앙이 융기된 형태(∧)로 하여, 수분 증발이 용이하고, 열을 보존함으로써 호기성호열미생물의 활성화가 지속되도록 하여야 한다.
- 사체는 구덩이 중앙부분이 지표면 보다 약 0.5m 정도 높게 봉분형태로 쌓아서 통기성을 좋게 하여야 한다. (그림 참조)

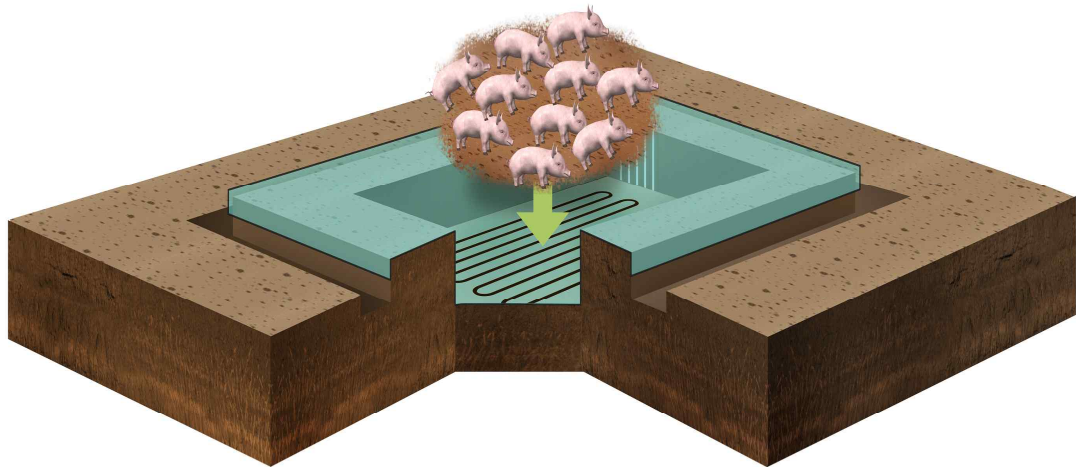


그림 101. 초고온 호기성 호열미생물과 가축사체의 혼합투입 개요도

⑦ 구덩이 주변 둔덕 설치

- 구덩이 주변에 사람, 동물 등의 접근, 빗물 유입 등의 방지를 위하여 지면에서 높이 0.5m, 두께 0.5m 이상으로 둔덕을 설치한다. (그림 참조)

⑧ 둔덕 주변 배수로 설치

- 매몰지 내부에서 발생된 침출수의 외부 유출, 우천시 빗물에 의한 매몰지 유실, 비가림 시설에서 떨어지는 우수가 원활하게 배수되도록, 매몰지 봉분의 둔덕 주변에 0.3m 이상의 깊이로 배수로를 설치하여야 하며, 배수로의 바깥부분에도 0.3m 이상의 높이로 둔덕을 쌓아 우수의 유입을 방지한다.

⑨ 공기분배관과 블로워 연결하기

- 엑셀파이프로 공기분배관과 블로워와 연결한다.

⑩ 온도계 및 비가림 시설 설치

- 온도 관찰에 의한 사체의 정상분해 여부를 근접거리에서 판단할 수 있도록, 구덩이 가장자리에 온도계를 설치하되, 소취용 봉분층 아래 사체 분해층의 온도가 측정되도록 100cm 이상의 센서봉을 가진 온도계를 설치한다.
- 매몰지 봉분 표면으로부터 1m 이하의 높이로 비닐하우스 형태의 비가림 시설을 설치하여, 짐승 및 외부인 접근 방지, 우수 유입에 의한 매몰지 손상 및 사체 유래물의 유출이 방지되도록 한다.
- 비가림 시설의 프레임은 외경 25mm, 두께 1.5mm, 길이 9m의 농업 하우스용 금속강관으로 하되, 소취용 봉분 외부면의 형태 및 간격이 일정하도록 중앙부분을 유선형(∩형태)으로 구

부러 사용한다.

- 비가림 시설의 프레임은 매몰지 길이 방향 80cm의 간격으로 둔덕 바깥쪽이나 배수로에 설치 하되, 소취용 봉분층과의 내부 간격이 1m 이하가 되도록 한다.
- 프레임의 하부에 구덩이 길이방향으로 직선의 가로 프레임을 유선형 프레임 하단에 용접하여 비가림 시설이 바람에 쓰러지지 않도록 단단히 고정시킨다.
- 매몰지 봉분에 빗물이 직접 떨어지지 않도록 두께 0.1mm 이상의 투명비닐을 비가림시설 프레임 위에 덮고 견고히 고정한다. 단, 투명비닐의 세로방향 길이는 지면에서 30cm 정도의 간격을 두어 통기가 잘 되도록 하여야 한다.
- 매몰지 주변에는 출입금지를 위한 안전띠를 둘러 사람의 접근을 방지한다.

⑪ 경고표지판 설치

- 눈에 띄기 쉬운 매몰지 주변에 경고표지판을 설치한다. 표지판에는 매몰사체의 병명, 축종, 매몰 연월일, 발굴 금지기간, 매몰작업 책임자, 매몰지 관리책임자,비상연락처 등을 기재한 표지판을 설치한다.

⑫ 호기호열성 초고온 미생물 활성화를 위한 링블로워 작동

- 링블로워는 30일 24시간 작동시키고, 사체분해가 완료되는 시점인 30일 이후엔 링블로워 작동을 정지시킨다.

10-3. 현장 비매몰식 이동식 발효기 발효처리

10-3-1. 작업절차

- 초고온 호기 호열성 가축사체처리 절차도



그림 102. 초고온 호기 호열성 가축사체처리 절차도

- 표준크기 발효기의 사체처리시 준비물

표 20. 표준크기 발효기의 사체처리시 준비물

(사체 105kg 기준 : 2~3kg 닭 · 오리 60마리)

품 명	규 격	소요량	용 도	비 고
발효기	소형(2.04m ³)	1대	감염 가축 사체 처리	
미생물 (초고온 호기성 미생물)	0.6ton/포	264kg	가축사체 분해용 미생물	
바이오필터	중형	1개	발효처리시 발생하는 가스 및 수증기 처리	
비가림시설	천막 (6,000*6,900*3, 700)	1식	눈, 비 등 발효기를 손상시킬 수 있는 요소차단	
온도계		3개	발효처리가 잘 이루어지고 있는지 확인	
경고표지판		1개		
개인보호장비		개인별	작업복, 안전화, 장갑 등	

표 21. 처리중량에 따른 매몰지 크기 및 가축의 종류별 처리 두수

(초고온 호기성 호열미생물 처리시)

처리 중량	소형발효기 용량	처리 두수
1톤	6m ³	2kg 닭 500수 / 4kg 오리 250수
2톤	11m ³	2kg 닭 1,000수 / 4kg 오리 500수
3톤	17m ³	2kg 닭 1,500수 / 4kg 오리 750수
4톤	22m ³	2kg 닭 2,000수 / 4kg 오리 1,000수
5톤	27m ³	2kg 닭 2,500수 / 4kg 오리 1,250수

- 처리 작업 절차

① 발효기 내부 청소

- 공기를 주입해주는 관에 있는 구멍이 막힌 곳이 있는지 확인한다.
- 배기 라인이 막히지 않았는지 확인한다.

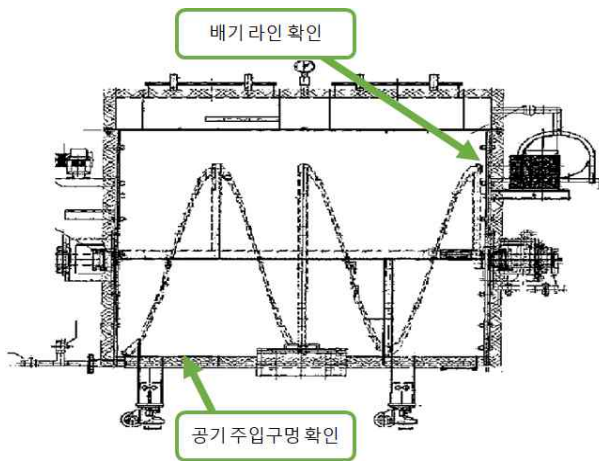


그림 103. 발효기 내부 청소

② 바이오필터 설치

- 초고온 호기성 미생물(YM균)과 왕겨, 제올라이트 등을 이용하여 천연 탈취 필터를 만들어 발효처리 시 발생 되는 암모니아성 기체 및 수증기 등을 처리한다.

③ 무게측정장치(로드셀) 영점잡기

- 혼합물의 무게를 정확하게 측정하기 위해 영점을 잡아준 후 미생물 배지 및 가축사체를 투입한다.
- 로드셀은 예민한 기계로 강한 충격을 받으면 고장이 나거나 정확한 무게를 측정하지 못하기 때문에 작업 시 조심하여야 한다.
- 표시부에 나타나는 혼합물의 무게를 통하여 사체가 처리되는 것을 확인할 수 있다.

④ 초고온 호기성 미생물 배지 채우기

- 배지를 발효기 내에 투입할 때에는 배지가 한쪽으로 치우쳐져 쌓이지 않도록 유의한다.
- 무게측정장치(로드셀) 표시부에 나타나는 무게를 확인하며 최대한 넣고자 하는 무게에 가깝게 투입한다.



그림 104. 초고온 호기성 미생물 배지 채우기

⑤ AI 감염 가축사체 투입

- 한쪽으로 쌓여있지 않고 골고루 퍼지도록 넣어준다.
- 닭·오리를 별도의 처리 없이 그대로 넣어주는 것이므로 리본날에 끼이지 않도록 조심하여 넣는다.



그림 105. AI 감염 가축사체 투입

⑥ 소형발효기 운영요소 설정

- 온도, 주입공기량, 배기시간, 교반시간(횟수) 등의 운영요소를 발효물의 상태에 따라 조절해준다.
- 실험 초기에는 발효물의 함수율이 낮아 가해주는 온도를 높게 설정할 경우 배지가 타는 현상이 발생할 수 있어 가축사체에서 분비액이 나와 함수율이 30%까지 높아지면 온도를 올려준다.
- 주입되는 공기량이 많을 경우 수분만 많이 제거하여 발효가 잘 이루어지지 않는다.
- 배기는 자연적으로 배기되는 양이 많고 인위적으로 소형발효기 내부의 공기를 빼주는

- <평상시> : 축산분뇨, 음식물쓰레기, 하수슬러지, 농축폐기물 등 유기성폐기물 처리
- <AI구제역 발병시> : AI 및 구제역 발병가축 현장처리후 가축사체 완전분해 및 바이러스 완전사멸후 거점처리시설로 이동처리

10-4-2. 작업절차

- 초고온 호기성 발효처리 절차도

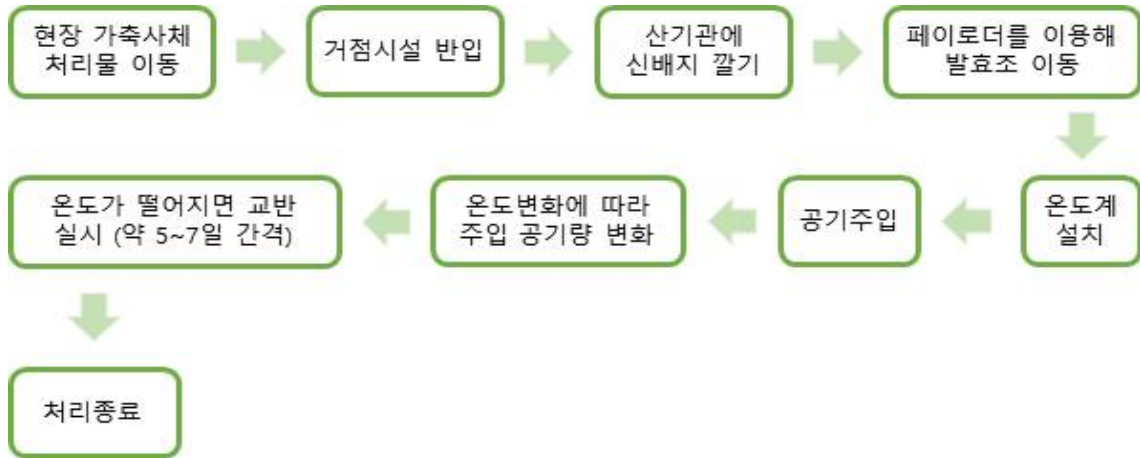


그림 108. 거점처리시설 가축사체 처리 절차도

- 표준크기 발효조의 유기성폐기물처리시 준비물

표 22 거점시설 사체처리 시 준비물

품명	규격	소요량	용도
페이로더	DL - 250	1대	발효물 교반 작업
수송차량	덤프트럭 15톤	2대	매몰구덩이에서 거점처리시설로 이동
YM 배지	0.6t/포	처리량의 0.1%	가축사체 분해용(산기관) 미생물
산기설비	100mm PVC 파이프	발효조 1개당 7개	미생물 활성화를 위한 공기공급
공기분배관	100mm 엘보, 캡, 티,	발효조 1개당 8개	산기설비와 연결하여 공기공급
링블로워	3상 60HZ, 9.5CMM, 6,080PA 이상	발효조 3개당 1개	미생물 활성화를 위한 공기공급
선별기	2t / h	1대	발효완료 부산물 선별작업
온도계	길이 100cm 이상, 0~15 0℃	발효조 1개당 3개	정상적인 발효 상태 확인
개인보호장비	작업복, 장화, 장갑, 고글 등	개인별	
기 타			

- 처리 작업 절차

① 매몰지 발효물 반입

- 매몰지에서 1차로 발효한 발효물을 수송차량을 이용하여 거점 처리시설로 이동, 반입한다.
- 발효물의 상태 및 성상을 파악하여 추가로 재생배지 및 신배지를 투입 여부를 결정, 발효조로 이동시킨다.

② 발효

- 발효조로 이동한 발효물에 링브로워를 통해 공기를 공급하고 온도 변화를 관찰하며 투

입 공기량을 조절한다.

- 온도가 떨어지면 (약 7일) 교반을 통해 다른 발효조로 이동하여 다시 발효를 시작한다.
- 위의 과정을 2~3회 반복한다.

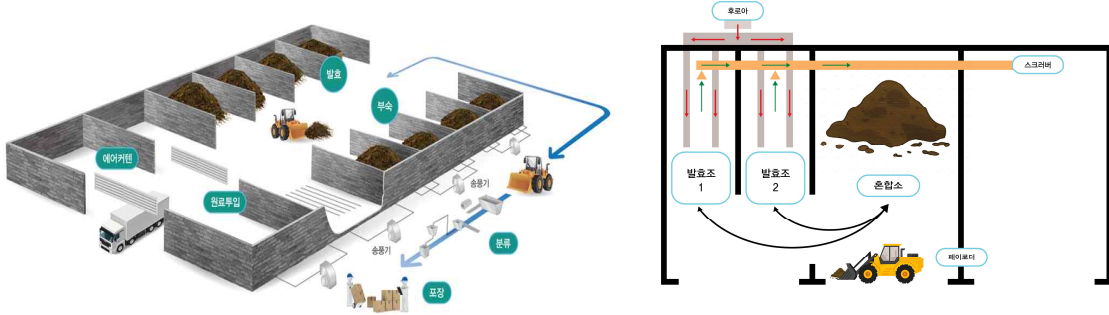


그림 109. 발효조 가축사체 처리 절차도

③ 선별 및 반출

- 발효가 완료된 발효물은 트롬벨 선비기를 통해 선별을 진행하고, 선별품중 일부는 다시 미생물 제지로 반송하여 사용하고 일부는 퇴비로 반출한다.

④ 거점처리 시설

- 현장 매몰식 혹은 비매몰식 처리가 된후 가축사체 완전분해 AI구제역 완전사멸 확인후 거점처리시설로 이송한다.

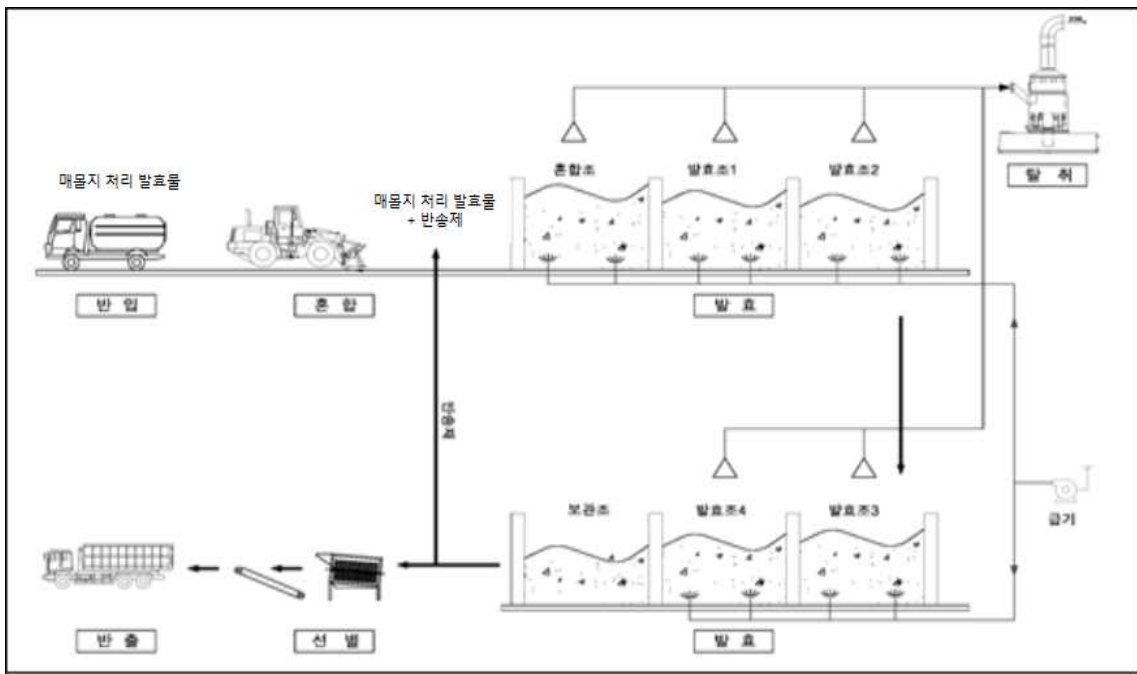


그림 110. 거점처리 시설 가축사체 처리 절차도

10-5. 현장처리(매몰식/비매몰식) + 거점처리 통합시스템

- 운영방법

- ① 평상시 : 축산분뇨, 음식물쓰레기, 농축산폐기물, 하수슬러지 등 일반 유기성 폐기물처리 시설로 운영
- ② AI/구제역 발생 시 : 가축사체처리 거점처리시설로 전환 운영

- 공법개요

- ① 본 공법은 하나의 시설과 하나의 공정으로 가축사체처리와 퇴비화가 동시에 이루어지는 통섭적 공정임. 한편, 가축분뇨+음식물쓰레기+가축사체+하수슬러지 모두를 통합 및 융합 처리할 수 있는 장점이 있음.
- ② 초고온 발효의 혁신적인 본 연구결과를 현장에서 조속히 구체화할 수 있도록 과거 AI·구제역 발생이 잦은 지역에(현장) 처리설비 및 (거점) 처리시설을 설치함.
- ③ AI·구제역 발생시 신속하고 실효적 대처로 축산농가 및 농촌환경에 피해를 막고 동시에 수년간 매몰시킨 매몰지의 환경친화적 사후관리로 대한민국의 국가현안을 해결할 수 있도록 현장 실증 테스트베드 실험을 위한 후속과제로서 연구가 조속히 이루어져야 함.

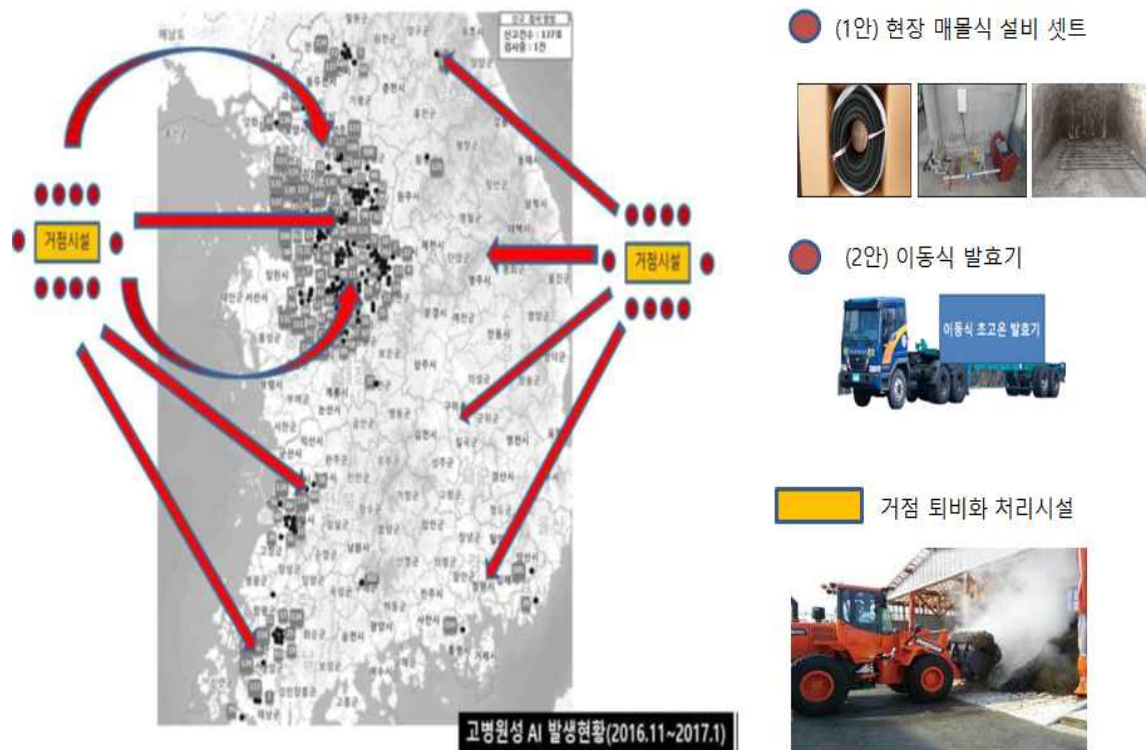


그림 111. 현장처리 및 거점처리 통합 시스템

제 11 절 사업화 전략 및 비즈니스 모델 정립

11-1. 사업화 전략분석

- 경쟁 강도 분석 (5 Forces)

표 23. 경쟁 강도 분석 요소

구 분	분석 요소 (결정 요인)	검토 사항	현재위협	미래위협
신규진입자 의 위협	o 규모의 경제	규모의 경제가 작용하는 경우 진입장벽	중	중
	o 독점적기술제품 차별성	원천기술의 확보와 지식재산권 여부	중	강
	o 고객개척 가능성	과점시장 내 기존거래처의 개척 가능성	중	중
	o 투자 규모	사업화에 필요한 투자 규모 정도	중	중
	경쟁 강도 종합		중	중

표 24. 경쟁 강도 분석 요소 및 검토 사항

구 분	분석 요소 (결정 요인)	검토 사항	현재위협	미래위협
기존 경쟁자간 경쟁강도	o 산업성장률	시장성장 전망 및 시장규모	중	강
	o 브랜드 이미지	업력 및 회사와 브랜드 이미지	중	중
	o 제품 신뢰성	고객으로부터의 제품의 품질 신뢰도	강	강
	o 납품가 우위 확보	원가절감을 통한 가격경쟁력확보 가능성	강	강
	경쟁 강도 종합		중	강
공급자 협상력	o 공급 물품의 차별성	기술, 품질, 가격 차별화 가능성	중	중
	o 공급물량	적기, 적소, 적가의 물량의 공급 가능성	중	중
	o 원가절감	환율 Risk 관리 및 제품원가의 절감가능성	중	강
	o 신속한 납기	신속한 납품 관리 가능성	중	중
	경쟁 강도 종합		중	중
구매자 협상력	o 구매물량	구매물량 확대로 buying power 유지 가능	중	중
	o 가격 민감도	우대가격 적용 및 할인, 반품 가능성	중	중
	o 거래 기간	장기거래 유지 및 결제 신뢰도 유지 여부	중	중
	경쟁 강도 종합		중	중
대체재의 위협	o 대체재의 상대적 가격	대체기술(재)의 출현 가능성, 상대적 가격	강	강
	o 교체비용	시스템 및 설계적용의 소요기간과 비용	중	중
	o 공급자 분포	대체재 공급자의 분포와 탐색 용이성	강	강
	경쟁 강도 종합		강	강

표 25. 기술 방식 장·단점

순	기술(방식)명	사진	장점	단점
1	매몰처리 (살처분)		① 신속, 다량처리 가능 ② 작업방법이 쉽다. ③ 단위비용이 적다.	① 매몰토지 확보 필요 ② 침출수와 악취 원인 ③ 제2차 피해의 위험
2	호기. 호열성 발효처리		① 매몰지 불필요 ② 침출수 피해가 없다 ③ 잔재물 퇴비로 사용	① 법 제(개)정이 필요 ② 시공시간이 소요 ③ 일시 다량처리 한계
3	퇴비화(랜더링) 처리방법		① 부산물을 비료 활용 ② 전염병 49종처리 인정 ③ 2차적 피해가 적음	① 소량 사체수만 한계 ② 고비용, 장시간 소요 ③ 시설비가 많이 든다.
4	소각처리 방법		① 처리시간이 빠르다. ② 이동작업이 가능 ③ 2차적 피해가 적음	① 냄새, 유해가스 원인 ② 민원 발생의 소지 ③ 시설비가 많이 든다.

- 4P MIX 전략



그림 112. 4P MIX 실행 로드맵

단기간내 친환경적 소멸처리를 보장하는 초고온 호기성 YM균 발효방법

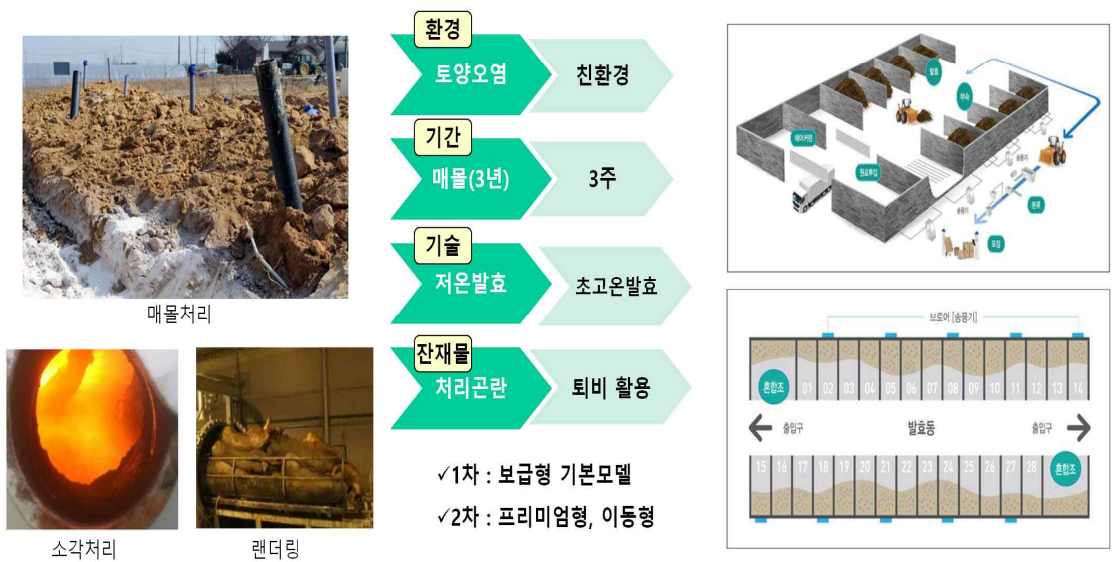


그림 113. 고객니즈 및 개발 Concept

- 초고온 발효기술 제품 실행계획

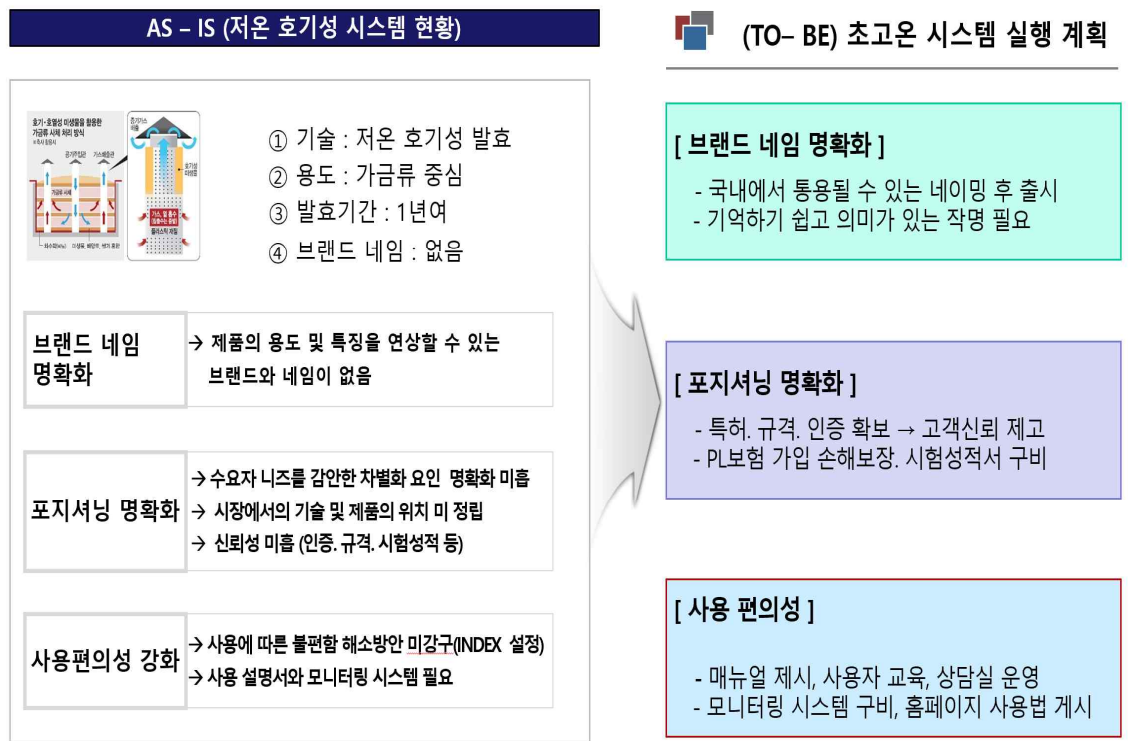


그림 114. 제품 AS-IS와 TO-BE 계획

[기존 매물처리 방법의 대외 이미지]

[향후 제품Concept을 고려한 대외메시지(안)]

가축사체 매물처리 방법의 부작용(사례)



: 시사점

- Message의 활용도 강화 함 (Title화 하여 주목도를 높임)
- SUB Message로 메시지의 내용을 부가하여 이해도를 높임
- Message의 이미지화를 더하여 연상하여 기억하도록 함

그림 115. 실용성과 가치 증진 제품 Concept 추진

현재 제품군은 1가지 형태로 상품Line up이 미흡한 상황으로 용도별 기능별 다양한 형태의 제품라인 업을 확대할 필요 있음

참고: 무상보증기간 및 A/S처리시 운송비용 규정(안)

가금류 처리용	돼지, 소 처리용
고정시설용	이동식용

- ✓ **시스템 A/S 규정**
 - 구매하신 시스템이 초기 불량인 경우
 - 구입 후 6개월 이내에 초기 불량이 확인 될 경우 영수증을 지참하시고 구입처에서 교환 받으시길 바랍니다.
 - 영수증을 분실하거나 포장 혹은 부품/구성물이 훼손되어 구입처에서 교환이 불가능할 경우 당사의 A/S 규정에 따라 부품의 교환 및 반품이 아닌 제품 A/S로 처리될 수 있습니다.
 - 시스템의 A/S 규정
 - 본 시스템의 무상 보증 기간은 구입일로 부터 12개월입니다.
 - 무상 보증 기간 중에도 고객의 과실로 인한 고장의 경우 A/S규정에 따라 유상으로 처리되며, 수리비가 청구될 수 있습니다.
- ✓ **A/S처리 시 운송비**
 - 구입 후 6개월 이내 : 왕복 당사 부담
 - 구입 후 6-12개월 이하 : 고객과 회사 각각 부담
- ✓ **제품보증 및 인증, 규격획득**
 - 사용자 배상책임보험 가입
 - 중소기업중앙회 PI보험 가입
 - 전기안전용품 인증획득 / 수출용 전압조정 제품 시험성적서 구비 등

그림 116. 제품 Line-up 및 신뢰성 확충

11-2. 사업화 비즈니스 모델 수립

표 26. BM Canvas 개념도

<p>핵심 파트너 (Key Partnerships)</p> <ul style="list-style-type: none"> 공급자 그룹 공급자원 : (주)산유(일본) 가축사체처리 관련 사업자 	<p>핵심 활동 (Key Activities)</p> <ul style="list-style-type: none"> 발효 기술의 제공 시설의 설계 및 시공 시설의 운용 마케팅 전략 <p>핵심 자원 (Key Resources)</p> <ul style="list-style-type: none"> 외부 열원없이 미생물 자체로 100° C 내외 발효 온도 (YM균 활용) 100% Recycle을 통한 영구적 재생배지로 재활용 시설의 설계 및 건설 능력 	<p>가치 제안 (Value Propositions)</p> <ul style="list-style-type: none"> 호기성 초고온 발효 기술 (혁신 기술의 확산) 음식물류 폐기물 처리의 단일시설과 단일공정 (별도 음폐수 처리시설 불필요) 2차 오염(악취 등) 최소화 기능성 퇴비 생산 	<p>고객관계 (Customer Relationships)</p> <ul style="list-style-type: none"> 단순히 시설 설치 후 양도 SOC 개념의 장기 운용 단순한 발효기술의 제공 <p>유통채널 (Channels)</p> <ul style="list-style-type: none"> 정부 지원사업 참여 개별 지자체 사업 참여 농협/축협 등 	<p>고객군 (Customer Segments)</p> <ul style="list-style-type: none"> 정부 지방자치단체 위탁받은 민간 사업자 농협/축협 등 순수 민간 의뢰자
<p>비용 구조 (Cost Structure)</p> <ul style="list-style-type: none"> 시공에 따른 건설비용 장기 운용에 따른 관리비용 YM균 수입 비용 (중·장기적으로 국내 생산) 		<p>수익원 (Revenue Streams)</p> <ul style="list-style-type: none"> 단순 시공에 따른 건설 수익 장기 운용에 따른 기술료(운용 수입) 민간의 위탁에 의한 처리비용 		

표 27. 고객군(Customer Segments)

사업부문	주요고객	마케팅경로
 <p>음식물류 폐기물 처리사업</p>	<ul style="list-style-type: none"> 지방자치단체 기존 처리사업자 	<ul style="list-style-type: none"> 지자체 시설 설치 → 신화건설이 운영 SOC 방식의 시설 건설 및 운영 기존 처리사업자에 발효기술 제공 (기술료 징수)
 <p>동물사체 처리사업 (중장기 사업 영역)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 농림축산식품부 환경부 지자체 	<ul style="list-style-type: none"> 지자체 시설 설치 → 신화건설이 운영 SOC 방식의 시설 건설 및 운영




	하수 슬러지 처리사업 (중장기 사업 영역)	<ul style="list-style-type: none"> • 지자체 	<ul style="list-style-type: none"> • 지자체 시설 설치 → 신화건설이 운영 • SOC 방식의 시설 건설 및 운영
	축산분뇨 처리사업 (중장기 사업 영역)	<ul style="list-style-type: none"> • 축산 농가 • 지자체의 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 지자체 지원으로 설치 → 운영기술 전수 • 지자체의 지원금
	친환경 퇴비 판매사업 (중장기 사업 영역)	<ul style="list-style-type: none"> • 농협 등 • 퇴비 유통사업자 • 농협 등 지원기관 	<ul style="list-style-type: none"> • 처리 후 잔재물은 퇴비화 → 유통조직에 판매 • 지자체와 퇴비 판매수익 공유

표 28. 가치 제안(Value Propositions)

가치	적용방식	경제적·사회적 효과
초고온 호기성 발효 기술	<ul style="list-style-type: none"> • 85℃~110℃의 발효온도 • 별도의 열원없이 미생물 자체만으로 발효 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐기물 친환경 처리 기술의 확산
단일시설, 단일공정	<ul style="list-style-type: none"> • 고효율 가축사체처리의 실효성 증대 	<ul style="list-style-type: none"> • 환경파괴 및 예산 낭비를 방지
악취의 제거	<ul style="list-style-type: none"> • 초고온 → 분해 활발 →병원균과 잡초의 종자 사멸 	<ul style="list-style-type: none"> • 민원 발생을 사전적으로 예방
친환경 퇴비의 생산	<ul style="list-style-type: none"> • 처리 후 잔재물을 친환경 퇴비화 	<ul style="list-style-type: none"> • 사업자의 수익 증대 • 농가의 소득 증대

- 핵심활동(Key Activities)

<핵심활동의 요약>

- YM균을 활용한 초고온 호기성 발효 기술
- 가축사체처리 현장매몰처리 키트와 거점처리 시설의 설계 및 건설
- 가축사체 처리 시설에 관한 운용 능력

<정량적 성과지표>

- | | |
|-------------|---------------|
| 가) 특허출원 | 나) 농림축산신기술인증 |
| 다) 전시회 참가 | 라) 홍보마케팅전략수립 |
| 마) 실증세미나개최 | 바) 현장기술로드쇼 |
| 사) 운전매뉴얼 제작 | 야) 팜플렛 제작 |
| 자) 환경전문지 광고 | 차) 시제품 제작(개선) |

- 카) 가축사체처리 최적 공정관리 및 운전조건 도출
- 타) 악취분석 평가
- 파) 최종 발효물 퇴비화규격 적합여부
- 하) 시제품 공정개선 효과

- 핵심자원(Key Resources)

- YM군의 안정적 확보 역량
- 폐기물의 100% Recycle을 통하여 영구적인 재생배지로 재활용
- 처리 시설을 설계하고 건설하는 역량

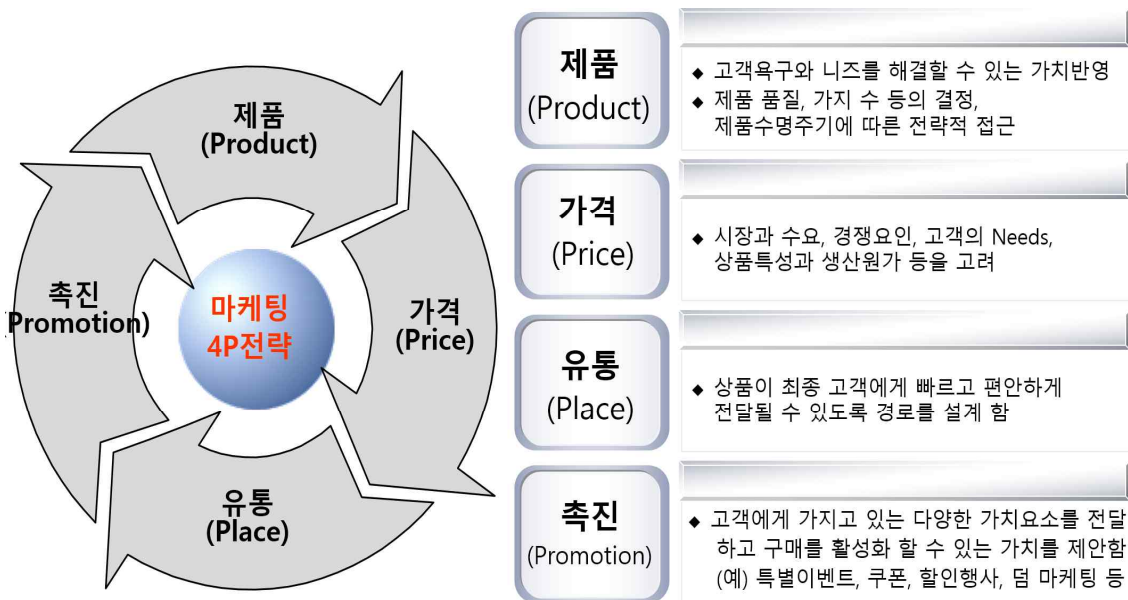


그림 117. 핵심 파트너(Key Partnerships)

표 29. 고객관계(Customer Relationships)

고객관계	프로세스	비고
단순 건설 방식	건설 의뢰 → 설계 및 시공 → 양도	초고온 발효기술 적용 가능 설계
SOC 방식	건설 의뢰 → 설계 및 시공 → 일정기간 운영 → 양도	협의에 따라 SOC 방식은 다양한 형태 존재
시설의 위탁 운영	운영 의뢰 → 설계 정보 제공 → 지자체 제공 시설(증설) → 운영	시설의 증설 부분
발효기술 제공 방식	기존의 시설 → 변경 설계 및 시공 → 기술 제공	

- 유통채널(Channels)

- 가축사체처리 관련 사업자
- 중앙정부 및 지자체가 가장 중요한 수요자
- 부산물인 친환경 퇴비를 유통·사용하는 퇴비 판매사업자 및 농가임.

표 30. 수익원(Revenue Streams)

고객관계	수익원	수익의 내용	비고
단순 건설 방식	지자체 등	건설 공사 수익	
SOC 방식	지자체 등	운영 수수료 수익 부산물 판매수익 민간 의뢰 처리비용 (*)	계약조건에 따라 변동 가능
시설의 위탁 운영 방식	지자체 등	운영 수수료 수익 부산물 판매수익 민간 의뢰 처리비용 (*)	계약조건에 따라 변동 가능
발효기술 제공 방식	지자체 등	YM균 판매 수익 기술료	

(*) 지자체의 의뢰에 포함하지 않고 순수 민간에서 처리를 의뢰하는 경우에는 의뢰자로부터 받는 처리비용도 수익의 원천이 될 수 있으나, 많은 부분을 차지하지는 않을 것으로 추정함.

표 31. 비용 구조(Cost Structure)

고객관계	비용의 내용	비고
단순 건설 방식	• 건설 공사원가	
SOC 방식	• 건설공사 원가 • 운영 관리비용 • 자금조달 Cost • YM균 조달비용	
시설의 위탁 운영 방식	• 운영 관리비용 • YM균 조달비용	
발효기술 제공 방식	• YM균 조달비용	

- 4대 프로모션 방법(참고자료)

표 32. 4대 프로모션 방법

광고	판매촉진	홍보	인적 판매
인쇄 및 방송광고 포장 -외장 포장 내 삽입 물 우송광고 catalogue 영화 사보 brochure 와 소책자 포스터와 leaflets 안내서 광고의 복사물 간판 진열간판 구매시점 광고 시청각용 광고 상징과 로고(logos)	경진대회, 경연대회 추첨(sweepstakes) 복권, 경품, 할증 건본 배포 건본제시 박람회 전시회, 오락, 실연 쿠폰(coupon) 환불제도 중고품 교환공제 (trade-in) 거래 스탬프 함께 끼워 팔기 give away, pay back	신문게시용(press kits) 설명회 기술정보 세미나 연차보고서 자선적 기부 주관, 주최(sponsor) 간행물 발간 공동체 관계구성 로비 홍보 Film 소비자자문단 운영	자료 판매제시 판매회의 전화 마케팅 (telemarketing) 유인계획 (Incentive Programs) 판매원용 건본 박람회와 전시회 참가 다단계 판매 방판조직 통신판매

Promotion 전략 수립 및 시행 시 참고가 되는 4대 프로모션 방법 별 자료입니다.

촉진(Promotion) 방법은 위와 같이 목적 별, 상황 별 전략 별 다양한 기법 등을 활용될 수 있으므로 자사의 상황에 맞도록 추진 계획을 수립하여 적극 실행하도록 함

11-3. 본 연구결과 중앙일간지 홍보 : 15건

- 세계일보(19.11.27) “초고온 미생물 활용한 동물 사체 대량 처리 기술 개발”
- 농축유통신문(19.11.27) “농기평, 초고온 미생물 활용한 동물사체 처리기술 개발”
- 보건뉴스(19.11.27) “농기평, 동물 사체 처리기술 개발 성공”
- 뉴스웨이(19.11.27) “농기평, 초고온 미생물을 활용한 동물 사체 처리기술 개발 성공”
- 연합뉴스(19.11.27) “농기평, 환경오염 없는 동물사체 처리기술 개발”
- 이뉴스투데이(19.11.27) “농림식품기술기획평가원, '동물 사체 처리기술' 개발”
- 이투데이(19.11.27) “110℃ 발열 미생물로 소·돼지 사체 처리...오염 없는 친환경 공법 개발”
- 세계일보(19.11.28) “초고온 미생물로 동물사체 처리 신화건설 기술연구소 기술 개발”
- 전남일보(19.11.28) “초고온 미생물 활용한 동물 사체 처리 기술 개발”
- 경향신문(19.11.28) “초고온 미생물로 동물사체 대량 처리... '살처분의 시대' 획기적인 기술”

- 한국농촌경제신문(19.11.28) “초고온 미생물로 ‘동물사체’ 처리기술 개발 성공”
- 그린포스트코리아(19.11.29) “감염동물 폐사체...친환경 공법으로 빠르고 안전하게 처리한다”
- 한국영농신문(19.11.30) “초고온 미생물로 동물 사체 처리 가능해져”
- 농기자재신문(19.12.02) “초고온 미생물 활용한 동물 사체 처리기술 개발 성공”
- 축산신문(19.12.04) “농기평, ‘친환경 공법’ 동물 사체 처리기술 개발”

3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 초고온 미생물을 이용한 비 감염 및 전염병 감염가축 사체 처리기술의 확립 (100%)

- 초고온 미생물제제와 가축사체의 최적 혼합비율 및 융합처리 확립
- 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체처리 공정의 최적 운전조건 도출
- 초고온 미생물에 의한 가축사체처리시스템 특허 출원 및 등록 완료

2. 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 환경영향 최소화 방안 확립 (100%)

- 초고온 호기성 미생물 발효고정에서 복합악취 및 지정악취 분석 평가 완료
- 기존 사체처리비교 국내 적용가능성 및 기술적 타당성, 경제성, 환경영향 분석 평가 완료

3. 친환경적이고 지속가능한 고효율 사체처리기술 개발 (100%)

- 사체처리 부산물의 퇴비화 품질특성 분석 평가 완료

4. 초고온 호기성 미생물을 이용한 사체 처리기술의 매뉴얼화 (100%)

- 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 현장 매몰식 사체처리 매뉴얼 작성 완료
- 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 현장 비매몰식 이동식 발효기 사체처리 매뉴얼 작성 완료
- 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 거점 처리식 사체처리 매뉴얼 작성 완료
- 초고온 호기성 발효 시스템을 이용한 사체처리 부산물의 병원체 사멸 확인 및 매뉴얼 작성 완료
- 초고온 호기성 발효균 진행 전후 주변 토양의 미생물 총 변화 확인

5. 초고온 호기성 미생물에 의한 사체처리 사업화 (100%)

- 사체처리 관련 법규분석을 통한 부산물 활용분야 및 규제영향 법제화 추진
- 기반 사업 확장을 통한 고용 창출 및 사업화 진행
- AI/구제역 발생빈도가 높은 지역 현장매몰처리 및 거점처리 시스템 사업화 추진

4장. 연구결과의 활용 계획 등

- 초고온 미생물(고세균)은 일반적으로 85~110°C의 최적 생장온도를 갖는 것으로 정의되며 물의 비등점 혹은 그 이상의 온도에서 서식하고 고온-고압-고염의 조건에서도 잘 성장함. 초고온 미생물은 50~70°C의 최적 생장 온도를 갖는 고온 미생물과는 완전히 구별되며, 가금류사체 1주일 이내, 가축사체는 1달 이내 완전분해함.
- 현재로서는 폐사가축 처리에 대한 적절한 방안이 없는 형편으로, 정부차원의 폐사가축 공동퇴비화처리 실용화 도입대책이 절실히 필요하고 이에 초고온 미생물로 인한 가축사체처리는 환경친화적이고 지속가능한 최적의 기술임.
- 초고온 호기성미생물은 일반 호기성 미생물이 분해할 수 없는 난분해성 유기물을 획기적으로 분해할 뿐만 아니라, 초고온으로 인한 병원균 사멸효과도 탁월하며, 특히 악취제거가 탁월하며 폐기물을 85%이상 감량화함과 동시에 최종산물은 100% 리사이클 혹은 퇴비화하는 영구적 자원순환시스템이며 특히 가축사체를 1주일 이내에 완전분해하고 2차 부산물이 전혀 없는 획기적인 사체처리공법으로 산업화할 경우 수요는 엄청날 것으로 사료됨.

5장. 제 언

■ 개요

- 본 초고온 호기성 미생물을 이용한 가축사체처리 연구는 세계 최초의 응용연구임.
- AI/구제역 감염가축의 매립기간 3년을 1달로 줄이는 혁신적인 연구결과를 현장에 조속히 적용토록 현장테스트베드 후속 연구가 바로 진행되어야 함.
- AI/구제역 상습발병지역에 신속한 현장테스트베드 실증연구로 국내 적용은 물론 국외 대단위 가축농가국인 호주, 미국, 스페인, 독일 등 해외에 진출할 예정임.
- 본 공법은 하나의 시설과 하나의 공정으로 가축사체처리와 퇴비화가 동시에 이루어지는 통섭적 공정임. 한편, 가축분뇨+음식물쓰레기+가축사체+하수슬러지 모두를 통합 및 융합처리할 수 있는 장점이 있음.
- 초고온 발효의 혁신적인 본 연구결과를 현장에서 조속히 구체화할 수 있도록 과거 AI·구제역 발생이 잦은 지역에(현장) 처리설비 및 (거점) 처리시설을 설치함.
- AI·구제역 발병시 신속하고 실효적 대처로 축산농가 및 농촌환경에 피해를 막고 동시에 수년전 매몰시킨 매몰지의 환경친화적 사후관리로 대한민국의 국가현안을 해결할 수 있도록 현장 실증 테스트베드 실험을 위한 후속 연구가 조속히 이루어져야 함.
- 급변하는 국제 연구의 속도에 비추어 본 프로젝트 실효적 성공을 위한 성공여건은 <창의성>과 <속도>임.

■ 목표

- 현장처리 목표
→ AI·구제역 감염가축사체 완전분해 및 바이러스 완전사멸
- 거점처리 목표
→ 호기성 발효에 의한 퇴비화

■ 운영방법

○ 평상시 :

→ 축산분뇨, 음식물쓰레기, 농축산폐기물, 하수슬러지 등 농가에서 배출되는 일반 유기성 폐기물처리시설로 운영

○ AI/구제역 발생 시

→ 평소 준비된 현장 매물처리 키트 활용 현장 매물식 시스템 운영

(발병현장에서 감염가축 바이러스 사멸 및 가축사체 완전분해 시킴)

→ 가축사체처리 거점처리시설로 전환 운영

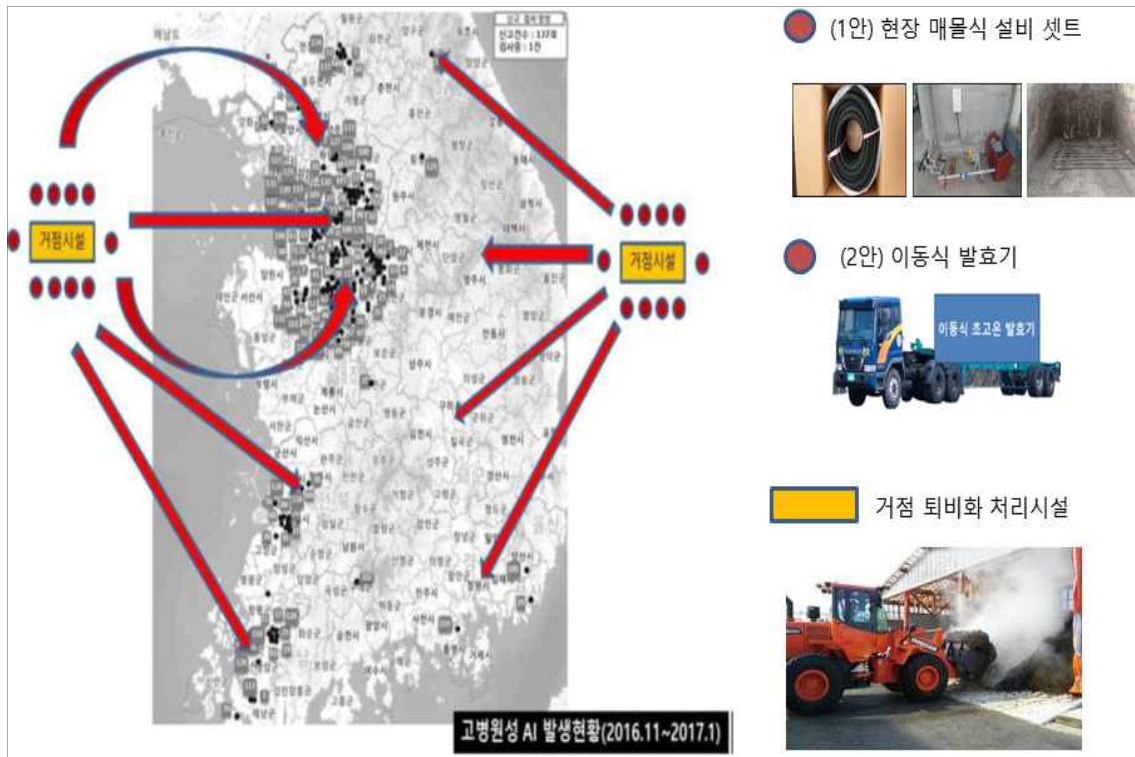
(발병현장에서 바이러스사멸되고 가축사체 완전분해된 발효물 거점시설에서 퇴비화 진행)

■ 농림축산식품부 정책지침

농림축산식품부 정책지침(조선일보,2017.10.19)



■ 현장테스트베드 실증실험 구조



붙임. 참고문헌

1. 홍지형 외, 1999, 축산폐기물자원화, 동화기술.
2. 조무환 외, 1999, 인터넷을 이용한 퇴비화 기술, 신광문화사.
3. 조용균 역, 2001, 유기성 폐기물 퇴비화, 대학서림.
4. 이용두 외, 1998, 슬러지처리공학, 동화기술.
5. 류희욱, 2014, 감염가축의 사체처리과정에서 발생하는 악취저감을 위한 미생물 제제 및 적용기술 개발, 환경부.
6. 김진남, 2013, 가축사체 매몰지 토양내 미생물 군집의 시스템 생태 연구, 경성대학교 대학원.
7. 이이내, 2015, 국내 구제역 가축매몰지의 현황 특성 검토와 최적 사후 관리 방안에 관한 연구, 영남대학교 대학원.
8. 유연규, 1998, 극한환경 미생물에 대한 연구방향 초고온 미생물 중심으로, Biochemistry News.
9. 최정호, 2014, 가축매몰지의 사체분해 특성 및 침출수에 의한 오염 지하수의 처리 방안, 도쿄대학 대학원.
10. 우병준 외, 2008, 조류인플루엔자 발생의 경제적 영향과 대책, 한국농촌경제연구원.
11. 송철우, 2016, 다점 증기분사식 열가수분해 반응기를 이용한 가축사체 처리, 광운대학교 대학원.
12. 임정세, 2012, 매몰 처리된 돼지 사체에서 발생하는 주요악취 및 침출수내 미생물 특성, 수원대학교 대학원.
13. 임정규, 2012, 구제역 가축매몰지의 가치손실액 추정 연구, 강남대학교 대학원.
14. Munro, R. 2001. Decomposition of farm animals corpses in mass burial sites.
15. Pounder, D. J. 1995. Postmortem changes and time of death.
16. McDaniel, H. A. 1991. Environmental protection during animal disease eradication programmes. Revue scientifique technique Office international des Epizooties 10(3) : 867-884.
17. Pratt, D. L. 2009. Environmental Impact of Livestock Mortalities Burial,

Thesis of Master Degree, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
pp. 117.

18. Tatsi, A. A. and Zouboulis, A. I. 2002. A field investigation of the quantity and quality of leachate from a municipal solid waste landfill in a Mediterranean climate. *Advances in Environmental Research* 6(3) : 207-209.
19. Vass, A. A. 2001. Beyond the Grave-Understanding Human Decomposition. *Microbiology Today*. pp. 190-192.
20. Environment Agency. 2001. The environmental impact of the foot and mouth disease outbreak : an interim assessment.
21. Kim, Y. H. 2011. Biological stabilization measures of organic waste at burial place. *Organics recycling* 19(2) : 13-14.
22. 超能力微生物, 2017, 小泉武夫, 文春新書.
23. 生き物はどのように土にかえるのか, 2018, Osono takashi.
24. 조주식외, 2014. 환경친화적 가축사체처리 시스템 구축 전략에 관한 연구, 한국연구재단
25. 조류인플루엔자 긴급행동지침(SOP), 2018, 농림축산식품부.
26. 구제역매몰지 환경관리지침, 2010, 환경부.
27. 구제역 긴급행동지침(SOP), 2019, 농림축산식품부.

<뒷면지>

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 가축질병대응기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 가축질병대응기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.