

발간등록번호
11-1543000-001387-01

동물복지, 환경오염 등이 고려된 AI 감염 가금류의
효율적 살처분 및 열가수분해 사체처리 기술 개발
(Development of efficient stamping out and carcass
disposal technology using thermal hydrolysis
of infected poultry with Avian Influenza for animal
welfare and environmental pollution)

(주)부강테크

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “동물복지, 환경오염 등이 고려된 AI 감염 가금류의 효율적 살처분 및 열가수분해 사체처리 기술 개발”(개발기간 : 2014. 6. 20 ~ 2016. 6. 19)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 9. 20

주관연구기관명 : (주)부강테크

(대표자) 정일호



주관연구책임자 : 김장규

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제고유번호	314006-2	해당 단계 연구 기간	2014. 6. 20 ~ 2016. 6.19	단계 구분	2단계/ 총 2 단계
연구사업명	중사업명				
	세부사업명	가축질병대응기술개발			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	동물복지, 환경오염 등이 고려된 AI 감염 가금류의 효율적 살처분 및 열가수분해 사체처리 기술 개발			
연구책임자	김장규	해당단계 참여 연구원 수	총: 10명 내부: 10명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 200,000천원 민간: 66,670천원 계: 266,670천원
		총연구기간 참여 연구원 수	총: 20명 내부: 20명 외부: 명	총연구개발비	정부: 400,000천원 민간: 133,340천원 계: 533,340천원
연구기관명 및 소속부서명	(주)부강테크 에너지사업본부			참여기업명: (주)부강테크	
위탁연구	연구기관명: 한국생산기술연구원			연구책임자: 최영태	
<p>○ 연구개발 목표 및 성과</p> <p>1) 조류 인플루엔자 확산방지를 위한 대규모 가금류의 신속한 안락사 기술 개발</p> <p>2) 질병전파 차단 및 환경오염을 최소화하는 가금류 대규모 폐사체 처리기술 개발</p> <p>3) 가금류 살처분/사체 처리시스템 완성 및 사업화 달성</p> <p>○ 연구내용 및 결과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 가금류 대규모 살처분을 위한 효과적인 포획방법(1,000수 이상) 개발 - 동물의 복지를 고려한 효율적이고 신속한 안락사 기술 개발 - 열가수분해 기술을 이용한 가금류 폐사체 처리기술(시간당 1,000수 이상) 개발 - 살처분 방법, 포획방법, 안락사 기술 완성 - 가금류 살처분/사체 처리시스템 사업화 달성 				<p>보고서 면수</p> <p>: 본문 88page(총 96 page)</p>	

〈 요약문 〉

		코드번호	D-01																																							
연구의 목적 및 내용	<p>1. 연구의 목적</p> <p>동물복지, 환경오염 등이 고려된 AI 감염 가금류의 효율적 살처분 및 열가수분해 사체처리 기술 개발</p> <p>2. 연구의 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> - 대규모 가금류의 신속한 안락사 기술 개발 - 가금류 대규모 폐사체 처리기술 개발 - 가금류 살처분/사체 처리시스템 완성 및 사업화 달성 																																									
연구개발성과	<p>1. 정량적 성과</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin: 10px 0;"> <thead> <tr> <th rowspan="3" style="text-align: center;">성과목표</th> <th colspan="4" style="text-align: center;">사업화지표</th> <th colspan="4" style="text-align: center;">연구기반지표</th> </tr> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">지식 재산권</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">기술이전</th> <th style="text-align: center;">사업화</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">학술성과</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">인력양성</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">정책 활용-홍보</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">출원</th> <th style="text-align: center;">등록</th> <th style="text-align: center;">매출창출</th> <th style="text-align: center;">학술발표</th> <th style="text-align: center;">정책 활용</th> <th style="text-align: center;">홍보 전시</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">달성실적</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. 정성적 성과</p> <ul style="list-style-type: none"> - 동물복지를 고려한 신속한 포획 및 안락사 기술 개발 : 자발적 포획률 90%, 안락사율 100% - 가금류 대규모 폐사체 처리기술 개발 : Pilot 설비 제작 및 Scale-up factor 도출(일 처리량: 24만 마리) - 가금류 살처분/사체 처리시스템 구축 및 사업화 달성 : 개발 원천 기술을 이용해 사업화 2건 달성 								성과목표	사업화지표				연구기반지표				지식 재산권		기술이전	사업화	학술성과		인력양성		정책 활용-홍보		출원	등록	매출창출	학술발표	정책 활용	홍보 전시	달성실적	2	1	-	2	3	1	2	1
성과목표	사업화지표				연구기반지표																																					
	지식 재산권		기술이전	사업화	학술성과		인력양성			정책 활용-홍보																																
	출원	등록		매출창출	학술발표	정책 활용	홍보 전시																																			
달성실적	2	1	-	2	3	1	2	1																																		
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 본 연구과제를 통해 개발된 가금류 살처분·사체 처리기술은 경제성 및 성능 검증을 통하여 사업화를 진행할 계획이며, 장기적으로 축산농가의 폐사가축 처리의 사업화에도 활용할 계획 ◦ 국내 시장에서 기술력을 입증하여 미국 및 동남아 등의 해외시장에 진출할 계획이며, 해외의 기술수요 기업과의 사업공유를 통해 해외사업에 연구개발 결과물을 활용할 계획 																																									
중심어 (5개 이내)	조류 인플루엔자	가금류	동물안락사	살처분	폐가축 처리																																					

< SUMMARY >

		코드번호	D-02			
Purpose& Contents	<p>1. Research purpose Development of efficient stamping out and carcass disposal technology using thermal hydrolysis of infected poultry with Avian Influenza for animal welfare and environmental pollution</p> <p>2. Research contents</p> <ul style="list-style-type: none"> - Development of technology for large-scale and rapid poultry euthanasia - Development of carcass disposal technology for environmental pollution - Completion of the system and commercialization achievement 					
Results	<p>1. Development of technology for large-scale and rapid poultry euthanasia for animal welfare : voluntary capture rate 90%, euthanasia rate 100%</p> <p>2. Development of carcass disposal technology for environmental pollution : Manufacture of pilot system and derive of scale-up factor</p> <p>3. Completion of the system and commercialization achievement : 2 case of commercialization achievement</p>					
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Stamping out and carcass disposal technology from burial developed through this project is planning to proceed commercialization through economics and performance verification, and moreover it is planning to use a commercialization of treatment for animal carcass. ◦ Demonstrate the technology and we are planning to enter the overseas market such as United States and Southeast Asia. 					
Keywords	Avian Influenza	Poultry	Animal euthanasia	Stamping out	Animal carcass disposal	

< Contents >

1. Outlines of research project	1
2. Current status of domestic and foreign technology	6
3. Contents of the research and results	13
4. Achievement and contribution of the research	78
5. Fruits of this research and Practical use plan of results	82
6. Research information collected during research progressing	83
7. Security level of research fruits	85
8. Status of research equipment registered at NTIS	85
9. Performance of safety management in research lab	86
10. Representative fruit of research project	87
11. Other Matters	87
12. References	88

< 목 차 >

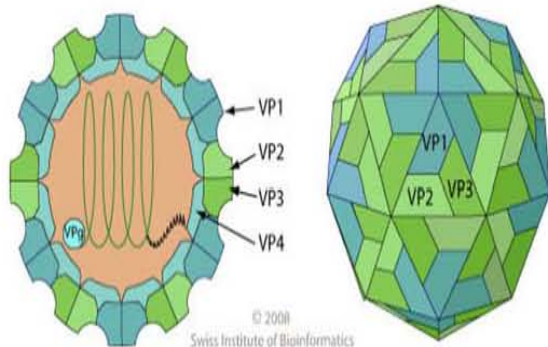
1. 연구개발과제의개요	1
2. 국내외 기술개발 현황	6
3. 연구수행 내용 및 결과	13
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	78
5. 연구결과의 활용계획	82
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	83
7. 연구개발성과의 보안등급	85
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	85
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	86
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	87
11. 기타사항	87
12. 참고문헌	88

제2절 연구개발의 필요성

1. 조류 인플루엔자 발생으로 인한 피해

조류 인플루엔자(Avian Influenza)는 바이러스 감염에 의하여 발생하는 전염병으로 저병원성 AI와 고병원성 AI로 분류된다. 고병원성 조류인플루엔자(**highly pathogenic avian influenza, HPAI**)는 제1종 법정전염병으로, 그리고 저병원성 조류인플루엔자(**low pathogenic avian influenza, LPAI**)는 제2종 법정전염병으로 분류되고 있다.

닭, 칠면조, 오리 등 가금류와 야생조류에 감염되며, 오리나 야생조류는 임상증상이 잘 나타나지 않지만 가금류에 대한 중요한 전파요인이 되며, 닭, 칠면조에 감염되면 폐사율이 매우 높은 것으로 나타나, 발생위험지역의 가금류에 대한 방역조치를 강화해야 한다. 2008년부터 2014년까지 AI 발생으로 인해 전국적으로 살처분한 가금류 수는 약 4,000만 마리에 이르며 이를 대부분 매몰처리하고 있고 일부 소각처리하고 있다. 매몰처리 시 매몰지 확보의 어려움과 지하수오염, 악취발생이 되고, 소각처리 시에는 높은 처리비용과 분진, 악취발생 등 환경적인 문제 발생으로 각종민원과 환경단체의 반대 등 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.



<그림 1.2> AI 바이러스의 구조



<그림 1.3> AI로 인한 피해

자료: 농림축산검역본부

2. 살처분 가금류 안락사 방법 및 사체 처리방법의 한계

현행 살처분 가축의 안락사 방법은 가스 및 약물에 의한 처리방법을 활용하고 있지만 현장 적용이 어려워 직접 현장에서 처리 가능한 방법의 개발이 요구되고 있고, 동물의 복지를 고려한 신속한 안락사 방법과 살처분 가축의 신속한 처리방법이 필요한 상황이다.

기존 가축사체 처리방법에는 혐기성 분해 (Anaerobic Digestion), 정제 (Rendering), 퇴비화 (Composting), 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, 우리나라의 경우에는 가축전염병예방법[가축전염병예방법 제 20조, 가축전염병예방법 시행규칙 제 25조]에 의해

살처분한 가축사체에 대해 신속히 소각 및 매몰을 하게 되어 있다. 그 밖의 가축전염병에 전염된 가축의 사체에 대해서도 적절한 처리를 해야 하지만 국내 축산환경 여건상 소각이나 그 밖의 처리는 현실적으로 어려워 대부분 매몰방법에 따라 처리되고 있는 실정이다.

<표 1.1> 국가별 살처분 가축 처리방법 및 우선순위

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

※기타방법 : 화학적, 방사선 이온, 초고온 플라즈마, 고온 스팀처리

자료: 친환경 이동식 일체형 가축처리장비 및 자원재활용 연구, 국립축산과학원, 2013

3. 매몰지 조성으로 인한 2차 환경오염 및 가축사체 미부패 문제

정상적으로 매몰지가 조성되었을 경우에도 매몰처리는 가축사체의 부패에 따른 침출수 및 악취 발생으로 인해 토양, 지하수 및 주변 환경을 오염시킬 수 있는 가능성이 매우 높기 때문에 적절한 관리대책이 필요하다. 전국적인 매몰지 발생으로 인해 토양 및 지하수 오염문제가 발생되고 있으며, 부실매몰로 인한 식수원, 지하수 오염 및 악취로 인한 2차 환경피해가 여러 지역에서 발생되고 있다. 살처분 가축 매몰 시 2차오염 방지를 위해 침출수의 지하침투 방지를 위한 시설 설치 후 매몰을 실시해야 하나 일부 지자체의 부적절한 매몰지 선정, 침출수방지 시설 부실 등으로 인해 침출수에 의한 지하수 오염 및 작물피해 등의 2차 환경오염이 불가피한 실정이다.

또한 전차 연구결과 기존 매몰지의 가축사체 부패정도가 매우 미미하여 매몰지 안정화에 장기간이 소요되고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 가금류 사체 매몰로 인한 2차 환경오염 및 매몰지 법적 매몰 기간(3년) 종료 후 미분해 가축사체 처리 문제를 사전에 방지하기 위해 살처분된 가금류 사체의 안전하고 신속한 처리방안 마련이 시급한 상황이다.



<그림 14> 매몰지 침출수에 의한 토양오염



<그림 1.5> 폐물 사체 미부패 현황

제3절 연구개발 내용 및 범위

1. 연구개발의 최종목표

가. 조류 인플루엔자 확산방지를 위한 대규모 가금류의 신속한 안락사 기술 개발

- 닭, 오리의 대규모 살처분을 위한 효과적인 포획방법(1,000수 이상) 개발
- 동물의 복지를 고려한 효율적이고 신속한 안락사 기술 개발

나. 질병전파 차단 및 환경오염을 최소화하는 가금류 대규모 폐사체 처리기술 개발

- 질병전파를 신속히 차단하는 가금류 대규모(1,000수 이상) 살처분 방법 개발
- 열가수분해 기술을 이용한 가금류 폐사체 처리기술(시간당 1,000수 이상) 개발

다. 가금류 살처분/사체 처리시스템 구축 및 완성

- 살처분 기술의 고도화 및 현장 실증 적용
- 살처분 방법, 포획방법, 안락사 기술 완성
- 가금류 살처분/사체 처리시스템 사업화 달성

2. 연차별 연구개발의 목표 및 내용

<표 1.2> 연차별 연구개발의 목표 및 내용

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용
1차 년도	2014년	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 해외 동물복지형 살처분 기술 조사·분석 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 국내·외 가축 살처분 기술 조사·분석
		<ul style="list-style-type: none"> ▣ 동물의 복지를 고려한 효율적이고 신속한 안락사 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 국내·외 동물 안락사 기술 조사·분석 ▣ 가금류 포획 및 안락사 장치 설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 이동형 cage를 적재한 가금류 저장조/안락사 장치 설계 및 제작 ▣ 현장연구 및 최적 포획·안락사 방안 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 가금류 포획을 위한 기피제 개발/완성 - 축종과 사육방식(평사, Cage)에 따른 최적 포획 방안 도출 - 가스를 이용한 최적 안락사 방안 도출
		<ul style="list-style-type: none"> ▣ 열가수분해 기술을 이용한 가금류 폐사체 처리기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 열가수분해 장치 성능 개선 연구 ▣ 열가수분해 설비 설계 및 운전인자 도출 ▣ 가금류 사체처리 시스템 설계 및 제작 <ul style="list-style-type: none"> - 40kg/cycle 용량의 Pilot 설비 설계/제작 ▣ 현장 연구 및 운전인자 확보 <ul style="list-style-type: none"> - 연구 Site 확보 및 현장 연구 진행 - 최적 운전 온도, 압력 및 시간 도출
2차 년도	2015년	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 살처분 기술의 고도화 및 현장 실증 적용 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 살처분 기술 고도화 및 현장 적용 <ul style="list-style-type: none"> - 대규모 살처분 방안(1,000수/hr) 도출 및 현장 적용 연구
		<ul style="list-style-type: none"> ▣ 살처분 방법, 포획방법, 안락사 기술 완성 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 가금류 포획/안락사 시스템 현장 검증 ▣ 가금류 포획 및 안락사 기술 완성
		<ul style="list-style-type: none"> ▣ 가금류 폐사체 처리방법 기술 현장 적용 및 사업화 	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 열가수분해 시스템 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 시스템 개선 및 성능 최적화 ▣ 가금류 사체처리 시스템 현장검증 및 완성 <ul style="list-style-type: none"> - 현장 검증을 통한 기술 완성 및 설비 scale-up factor 도출 (1,000수/hr) ▣ 사업화 진행 및 달성

제2장 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

제1절 해외 기술개발 동향

1. 가축 안락사 처리방법

국립축산과학원(2013)에서는 EU에서 현재 사용되고 있는 축종별 처리방법을 조사하였다. 기계적(Mechanical) 처리방법으로는 Free bullet, Penetrating captive bolt, Percussive blow 방법이 있으며, 전기적(Electrical) 처리방법으로는 electrodes electrocution 및 Waterbath electrocution 방법이 있다. 가스(Gas mixtures) 처리방법으로는 CO₂ 가스, 가스혼합, CO 가스, Hydrogen Cyanide 가스 처리방법이 있다. 약물주입(Lethal injection) 처리방법은 안락사를 위한 목적으로 마취제를 과량 사용하는 방법으로 즉, 근신경계를 차단하여 마취상태에서 죽게 하는 방법으로 가축의 스트레스 발생 없이 안락사 시킬 수 있는 방법이다. Barbituric acid 유도체는 소, 양, 돼지, 말, 가금에 적용 가능한 첫 번째 약물이며, 그 다음으로 T-61이 사용되어진다.

<표 2.1> EU에서 사용하고 있는 축종별 안락사 처리방법

동물	단순 기절방법	기절 및 안락사 방법
소, 송아지	Mechanical, Electrical	Electrical
양	Mechanical, Electrica	Electrical
돼지	Mechanical, Electrica	Electrical
	Gas mixtures	Gas mixtures
가금류	Gas mixtures	Mechanical, Electrical
		Gas mixtures
말		Free bullet

자료: 친환경 이동식 일체형 가축처리장비 및 자원재활용 연구, 국립축산과학원, 2013

동물의 소규모 안락사 방법은 Penetrating, Captive Bolt, Exsanguination, Pithing, KCl Injection 등에 국한된 방법연구가 수행되고 있다 (미국 아이오와 주립대학, '09). 미국수의사회 (AVIMA, '78)는 동물의 안락사법에 대한 평가기준을 마련하였으며, 그 내용은 동물에게 고통이 없을 것, 시간이 짧을 것, 확실 할 것, 실시자에 안전할 것, 심리적 스트레스가 적을 것, 목적 및 필요성에 적합 할 것, 주변사람에 정서적 영향이 적을 것, 경제성, 병리조직학적 검사에 적합할 것, 약물의 효력과 피해가 없을 것이라고 명시하고 있다. 동물의 안락사법에 대한 평가기준과 함께 안락사에 부적합한 주사제를 명시하여 독극물 (strychnine, nicotine, caffeine, magnesium sulfate, potassium chloride, cleaning agents, solvents, disinfectants, toxins or salts, all neuromuscular blocking agents)들을 안락사 시 금지하고 있다.

2. 살처분 가축사체 처리방법

매몰지 자원화 기술로는 랜더링(용출법), 퇴비화, 혐기성 소화 및 알칼리 가수분해 등 다양한 기술이 개발되고 있으며, 대부분의 자원화 연구는 신속하고 안전한 사체처리 중심으로 기술이 개발되고 있다.

가. 랜더링(Rendering)

랜더링(Rendering)은 가축사체와 부산물을 균질한 크기의 입자로 분쇄하고 열을 가한 후 지방분, 단백질 및 수분을 유용한 산물 (고기, 뼈 및 기름)로 분리하는 과정을 말하며 (Woodgate 및 der Veen, 2004; Kalbasi-Ashtari 등, 2008), 유럽연합에서는 포유동물의 고기와 뼈는 매립, 소각 및 연료재료로 사용한다고 하였지만(Anon, 2002), 가스와 약취가 배출되기 때문에 재연소장치, 세척기 및 바이오 필터를 사용하면 줄일 수 있다고 Kalbasi-Ashtari(2008) 등이 보고하였다.



<그림 2.1> 가축사체 랜더링 처리과정(해외)

자료: 환경친화적 가축사체처리 시스템 구축 전략, 순천대학교, 2014

나. 퇴비화(composting)

퇴비화는 가축사체 또는 가축사체와 미생물 등을 혼합한 후 발효시켜 처리하는 방법으로 EU국가를 제외한 나라에서는 가축사체를 처리하는데 호기성 퇴비화(aerobic composting)가 널리 이용되고 있으며, 주로 많이 사용하는 방법으로는 윈드로우(windrow) 방법과 폐쇄형 방법이 있다.

다. 혐기성 소화(anaerobic digestion)

혐기성 소화는 혐기성 조건에서 유기물질을 분해해 연료로 사용하는 방법으로 EU를 제외한 국가에서 사용하고 있으며, 이 방법의 이용이 증가하고 있다. 가축사체의 혐기성 소화공

정은 지속 기간에 따라 20℃ 이하의 저온성(psychophilic), 20~45℃의 중온성 및 45~60℃의 고온성 온도에서 이루어진다(Cantrell 등, 2008).

라. 알칼리 가수분해 (alkaline hydrolysis)

알칼리 가수분해는 가축사체에 알칼리제를 주입하여 분해하는 방법으로 1990년대에 개발되었으며, 생물체의 가수분해를 촉진하는데 수산화나트륨이나 수산화칼륨을 사용하여 펩타이드, 아미노산, 당질 및 지방산을 함유하는 무균 수용액을 만드는 기술이다 (Kaye 등, 1998; Shafer 등, 2001).



<그림 2> 가축사체 알칼리 가수분해

국가별 살처분 가축처리방법은 대부분 매몰과 소각이 주를 이루고 있지만 최근에는 나라나 지역별로 랜더링(rendering) 방식을 도입하고 있는 추세이다. 랜더링은 섭씨 135도의 열처리를 통해 가축의 지방 등을 용출·정제시키는 것을 말하며, 최근 국가별 살처분 가축 처리방법 우선순위를 보면 일본은 소각-매몰-랜더링 순이며, 영국은 소각-랜더링-매몰, 프랑스는 매몰-랜더링-소각 순으로 살처분 가축을 처리하고 있다.

국가별로 살처분 가축처리방법을 살펴보면, 영국은 2001년 구제역이 발생함에 따라 700만 마리 이상을 초기에 노천 소각방식을 적용하여 처리하였으나, 노천 소각으로 검은 연기 및 다이옥신 등의 대기오염 물질이 대량 발생함에 따라 대형 매몰지를 조성해 활용하는 것으로 바뀌었다. 최근에는 가축을 1차로 랜더링을 통한 멸균 소독처리 후 2차적으로 농장 주변지역에 매몰, 소각, 회화, 쓰레기매립지 매립 등에 의한 방법으로 처리하고 있다.

또한 유럽에서는 장기적인 방안으로 살처분 가축을 소각·매몰방식으로 병행처리하고 있다. 불가리아는 가축사체를 매립할 때, 음용수 및 우물 등과의 거리, 지하수면의 높이, 인근 주택 및 도로와의 거리, 매립지의 경사면, 풍향 등의 환경적 요소를 고려하여 처리하도록 지침이 마련되어 있다. 스웨덴의 살처분 가축의 처리는 소규모이상 사육농가는 자체 소각기를 운영하며, 소규모 사육농가는 정부 처리 기관에 위탁 처리하여 랜더링 또는 소각을 한다. 폐가축은 특수차량을 이용하여 운송하여 처리한다. 네덜란드의 경우에는 매몰방법을 원칙적으로 금지하고 있으며, 살처분 가축 운송차량을 이용하여 대량처리 가능한 랜더링 시설 2곳을 운용하여 처리하고 있다. 또한 인접국가인 독일, 벨기에 등의 랜더링 시설과 협

조 하에 공동으로 활용 중이다.

미국의 경우에는 땅이 넓으므로 매몰지 확보가 쉬워 감염성 질병으로 인한 살처분 동물 사체는 대부분 매몰처리하고 있으며, 대만은 1997년 구제역 발생으로 300만 마리 이상의 돼지를 매몰 처리하였으나, 최근 소각 위주의 사체처리 방향으로 전환하였다.

일본의 경우 소각 후 살처분 가축에 대한 퇴비화를 통해 섭씨 65도 이상에서 30분 이상 유지하여 고병원성 조류 인플루엔자 병원균을 사멸시키는 방안으로 처리하고 있다. 랜더링 시설 (103개가 운영)이 잘 운영되고 있으며, 랜더링 시설을 이용하지 못하는 대규모 살처분 가축발생 시는 주로 매몰에 의해 처리하고 있고, 부분적으로 소각방법도 이용하고 있으며, 최근에는 EM미생물과 같은 유용미생물을 활용하는 방법과 살처분 동물사체의 매몰 시 생물학적인 방법을 이용하여 가스발생과 악취발생을 줄이려는 연구 등이 시도되고 있다.

제2절 국내 기술개발 동향

1. 가축 안락사 처리방법

가축전염병 구제역 및 AI 발생에 따른 살처분 가축의 안락사 처리방법으로 가금류, 돼지 및 소에 대한 현장적용 사례 및 처리지침이 있지만 안락사 처리방법을 통한 현장적용은 매우 어렵다. 국립축산과학원(2013)의 조사에 따르면, 가금류의 경우에는 CO₂ 가스에 의한 안락사 방법이 산란계 등에 대해서는 사용상 제한되어 있고, 돼지의 경우에는 약물 (KCl, Succinylcholin)에 의한 방법이 사용되지만 약물수급의 어려움과 안락사 처리가 잘 안 되는 문제점이 발생된다. 소의 경우에는 돼지의 경우와 같이 약물에 의한 방법이 사용되지만 안락사 처리를 위해선 정확히 정맥에 주입되어야 하는 어려움이 있다. 최근 발생된 AI 및 구제역은 전국적으로 확산되어 발생하였으며, 대량으로 발생하는 살처분 가축의 안락사처리 방안은 CO₂ 가스처리법이 있으나 가금류에만 해당되어 대량의 살처분 가축의 안락사처리방법의 연구는 전무한 실정이다.

국내 살처분 가축의 안락사 방법 및 처리방안에 대한 정확한 연구 및 지침 부족한 실정이며, “사살, 전살, 타격, 약물사용 등의 방법 중에서 현장에서 사용이 용이하고 신속히 완료할 수 있는 방법적용”에 대한 기술만 있어 정확한 안락사 방법에 대한 기술내용 및 약물종류를 마련하지 못하고 있다(가축전염병 예방법, 구제역 및 AI 긴급행동지침(농식품부, 2010년)). 따라서 축종에 맞는 안락사 방법 연구와 살처분 가축의 안전이동 및 안락사가 가능한 전용장치 개발연구가 필요한 상황이다.

2. 살처분 가축사체 처리방법

우리나라에서는 “가축전염병예방법 제 20조”에 따라 제1종 가축전염병에 감염되었거나 감염이 우려되는 가축에 대하여 살처분을 명하고 “가축전염병예방법 시행규칙 제25조” 및 긴급방역행동지침(가금인플루엔자, 전염성해면상뇌증, 구제역 등)에 의해 신속하게 소각 및 매몰 처리를 하고, 그 밖의 제2종, 제3종 가축전염병에 감염된 가축사체에 대해서도 적절히

처리를 해야 하지만 국내 축산환경 여건상 소각이나 그 밖의 처리는 현실적으로 어려워 대부분 매몰방법에 따라 처리되고 있다. 2011년 구제역의 전국적 발생에 따른 살처분가축 처리방법 개선 및 연구현황(11.3)에 따르면 현행 대규모 매몰처리방식에서 예방접종방식으로 전환되어 중·소규모 매몰에 적합한 수정 보완된 매몰처리방식이나 랜더링(Rendering), 소각 등의 비매몰방식으로 처리방식이 다양화되고 있다.

국내에서 랜더링을 할 수 있는 곳은 경기, 전북에 각각 1개소, 충북에 2개소 등 총 4개소로 일본의 203개소, 미국의 276개소에 비해 매우 적을 뿐만 아니라 그동안 구제역, AI등 발병축(의심축)은 이동을 최소화하여 현장에서 처리하는 것을 원칙으로 하여 오염 가축을 장거리 이동시켜 랜더링하는 것은 실질적으로 불가능하다. 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 크다. 또한 가축사체의 열처리 이후 산 또는 알칼리제를 이용하여 가수분해를 하여 사체를 분해하는 열화학적 액화처리방식이 개발되었으며, 액화처리 부산물을 액상비료와 분말비료로 활용하는 것을 연구하였다. 그러나 상기의 기술들은 개발이 진행되고 있는 단계로 가축사체를 완벽하게 소멸시킬 수 있는 기술의 개발이 시급한 상황이다. 국내에서 사용되고 있는 사체처리 방법을 살펴보면 다음과 같다.

가. 랜더링(Rendering)

Rendering은 가축사체를 친환경적으로 자원재활용하기 위한 방법들 중 하나로, 가축의 지방 등을 용출 및 정제시켜 가축사체를 처리하는 방법이다. Rendering 처리법은 열처리 후 잔재물을 퇴비 재활용 할 수 있으며, 배연이 없고 폐기물관리법, 환경오염법 등에 적합한 장점을 가지고 있다. 하지만 부가적인 트럭 구입 및 유지비가 부담되고, 동물성 기름과 잔존물이 과다 발생하며, 추가적인 부산물 처리법이 요구되는 단점이 있다. 이에 남은 부산물을 이용한 퇴·액비화 연구와 동물성 기름을 이용한 자원화 연구가 국내 연구진에 의해 진행 중에 있다.



<그림 2.3> 가축사체 랜더링 처리과정(국내)

나. 냉동건조 공법(NFD: Nitrogen Freezn Drying)

질소를 활용한 냉동건조 공법은 가축사체를 친환경적인 처리와 환경오염문제를 방지하기 위한 것으로 돼지 등 가축사체를 -196°C 의 액화질소로 급속 냉동시킨 뒤 파쇄기를 이용 50 mm 이하로 분쇄하는 것이 핵심 기술이다. 분쇄된 결과물은 전자레인지에 활용되는 마이크로웨이브(Micro wave) 기술을 이용해 $90\sim 95^{\circ}\text{C}$ 에서 2~3분 간 살균 처리한 후 톱밥 등을 섞어 퇴비 또는 사료로 활용함으로써 자원을 재활용할 수 있는 방법으로 제시되었다.



<그림 2.4> 냉동건조 공법을 이용한 가축사체 처리과정

자료: 환경친화적 가축사체처리 시스템 구축 전략, 순천대학교, 2014

제3절 연구개발 기술의 차별성

1. 연구개발 계획

렌더링(Rendering)방식은 가축 사체를 고온 고압에서 가열·멸균 후 남은 부산물 중 단백질은 퇴비 등에 활용하고 지방은 기름이나 바이오 디젤 등의 제조에 사용되기 때문에 효과적으로 자원을 재활용하기 위한 대안 중 하나로 제시되고 있다. 하지만, 처리 후 남은 부산물을 완전한 액상물질로 변환시키지 못하기 때문에 환경기초시설에서 처리하지 못하고, 결국 또 다시 매립할 수 밖에 없기 때문에 근본적인 해결책이 되지 못하며, 매립한 부산물에 의해 2차 환경오염이 일어날 가능성 또한 존재한다.

따라서 AI 발생 확산에 따른 대규모 가금류 사체 매물로 인한 2차 환경오염 및 매물지법적 매물 기간(3년) 종료 후 미분해 가축사체 처리 문제를 사전에 방지하기 위해 살처분된 가금류 사체의 안전하고 신속한 처리방안 마련이 시급한 상황이다. 또한 폐가축 처리에 있어서 문제가 되는 것이 사체의 이송을 금지시키고 있기 때문에 직접 현장에 가서 매물 등의 처리를 해야하므로 이동식 폐가축 처리기술을 개발·확립하는 것이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 이에 대한 해결방안으로 열가수분해 기술을 이용한 가금류 사체처리 시스템을 개발할 계획이다. 기존에 개발된 폐사가축 렌더링과 기술적 원리는 유사하나, 처리 반응물이 액상반응물과 고형물질로 배출되어 액상반응물은 인근의 환경기초시설에서 연계 처리하고, 고형잔류물은 설비의 열원으로 이용하기 때문에 사체를 완전하게 처리할 수 있

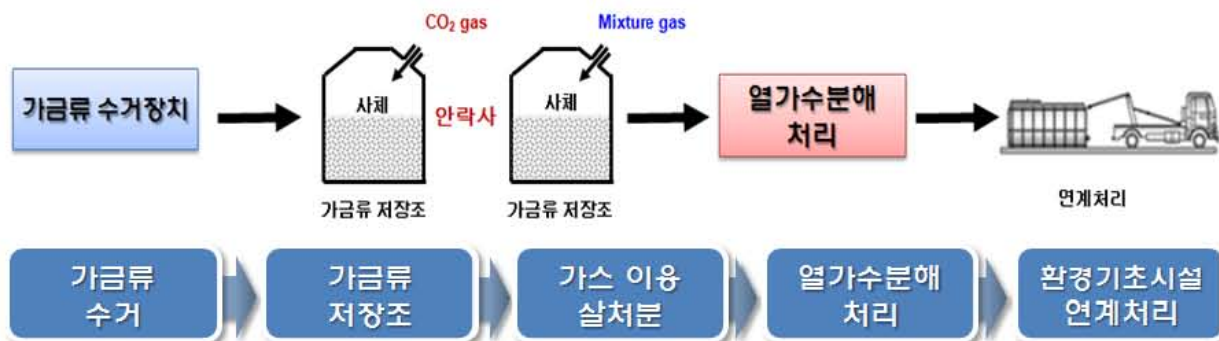
는 친환경적인 기술이다.

또한 조류 인플루엔자(HPAI) 확산방지를 위해 동물복지를 고려하고 환경오염을 최소화할 수 있는 효율적인 살처분 기술을 개발하고자 한다. 현재 동물복지 차원에서 질식사 방법을 취하고 있으나 케이지로 사육하는 경우 고단에 위치한 가금류는 질식사 유도에 어려움이 발생하고 있으며, 소규모 살처분 방법은 많은 연구와 더불어 활용되고 있으나 환경오염을 고려한 대규모 살처분에는 어려움이 있는 상황이다. 현행 살처분 가축의 안락사 방법은 가스 및 약물에 의한 처리방법을 활용하고 있지만 현장 적용이 어려워 직접 현장에서 처리 가능한 방법의 개발이 요구되고 있고, 동물보호법에 근거한 정확한 안락사 방법 및 장비개발이 필요하며, 살처분 가축의 신속한 처리와 컨베이어 차량을 이용한 대량 안락사 처리방법 등 장비개발 및 산업화가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재의 문제점을 극복하고 대규모 가금류를 신속하게 안락사할 수 있는 기술을 개발하고 대규모 살처분을 위한 효과적인 포획방법 또한 개발하기 위해 미국, 영국, 일본, 네덜란드 등 외국의 관련 규정 및 기술개발 현황을 분석하고, 본 과제를 통해 개발하는 기술과 비교를 할 계획이다. 이를 통해 친환경 및 동물복지 개념을 최대한 충족시킬 수 있는 안락사 방법 기술개발 및 확산을 방지할 수 있는 기술을 동시에 충족하고자 하였다.

가금류 포획·살처분에서 폐사체 및 부산물 처리까지 일원화 시스템을 구축·개발하고자 한다. AI 발생 후 감염 또는 감염 위험이 있는 가금류를 조류기피제(repellent)를 사용하여 스트레스 없이 이동형 cage에 수거한 후, 포획된 가금류를 전용 저장조에서 CO2 가스 또는 혼합가스를 투입하여 신속하게 안락사 시킨다. 살처분된 가금류는 열가수분해 기술을 이용하여 고온·고압 조건에서 처리하고 반응 후 남은 액상물질은 인근의 환경기초시설에서 연계처리하게 된다. 모든 과정은 농가 현장에서 신속하게 이루어지므로 가금류와 작업자의 스트레스를 최소화 할 수 있으며, AI의 확산을 신속하고 안전하게 방지할 수 있다.

본 시스템은 현장 이동성을 고려하여 컨테이너 Type로 개발하여 AI 발생 농가로의 이동이 용이하도록 제작할 계획이며, 장비 개선을 통해 시스템을 경량화 하는 등 현장 이동성을 더욱 보완 할 계획이다.



<그림 2.5> 가금류 살처분/사체처리 통합 시스템

제3장 연구수행 내용 및 결과

코드번호	D-05
------	------

제1절 연구내용 및 추진체계

1. 연구목표 및 내용

가. 1차년도 연구목표: 가금류 안락사·살처분 기술 및 폐사체 처리기술 개발

- 국내·외 동물 안락사 및 살처분 관련기술 조사·분석
- 기피제를 이용한 가금류 포획기술 개발 / 복지를 고려한 최적 안락사 방법 도출
- 가금류 사체처리에 적용을 위한 열가수분해 기술 개발
- 가금류 폐사체 처리 Pilot 설비 제작 / 현장 연구

나. 2차년도 연구목표: 가금류 안락사·살처분 기술 및 폐사체 처리기술 현장적용 및 완성

- 살처분 기술의 보완, 최적화, 현장 검증 완성
- 가금류 폐사체 처리방법 기술 현장 적용 및 완성
- 가금류 살처분/사체 처리시스템 사업화 기반 구축 및 사업화 달성

2. 연구개발 추진전략·방법 및 추진체계

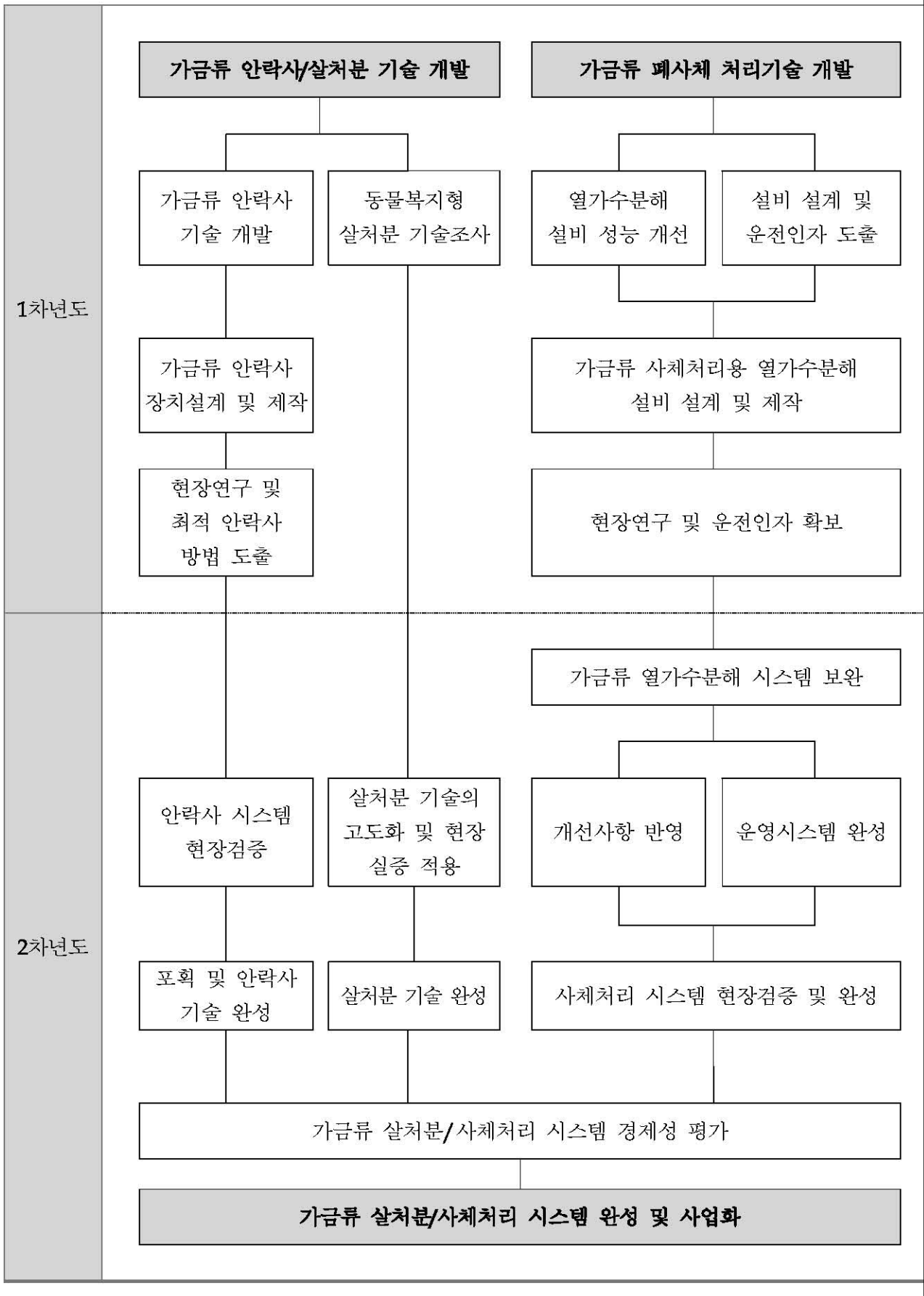
가. 연구개발 추진전략·방법

연구개발은 주관(총괄) 및 세부기관인 (주)부강테크와 위탁기관인 한국생산기술연구원으로 구성되어 진행되었다. 1차년도에는 주관기관은 가금류 안락사·살처분 기술 및 폐사체 처리기술 개발을 진행하고, 위탁기관은 가금류 사체처리에 사용되는 열가수분해 장치의 성능 개선을 위한 연구를 진행하였다. 2차년도에 주관기관은 1차년도에 개발한 시스템을 현장 검증을 통하여 완성하였으며, 확립된 기술에 대해 사업화를 진행하였다. 위탁기관은 1차년도에 개발한 열가수분해 설비의 보완과 현장검증을 지원하여 시스템 완성에 기여하였다.

<표 3.1> 협력기관과의 역할분담

구분	기관명	역할분담
주관기관	(주) 부강테크	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 가금류 폐사체 처리기술 Pilot plant 설계/제작 ▣ Pilot plant 운전인자 도출 및 운영시스템 확립 ▣ 대규모 가금류의 신속한 안락사 기술 개발 ▣ 대규모 가금류 포획 및 살처분 기술 개발 ▣ 기술 수요처 발굴 및 마케팅 전략 수립
위탁기관	한국생산기술연구원	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 열가수분해 설비 성능 개선 연구 ▣ 가금류사체 처리시스템 완성 지원
기술 수요처	서울대학교	<ul style="list-style-type: none"> ▣ Pilot plant 설치 공간 및 기반시설 제공 ▣ 기술 선정 및 구매
연구관리	농림수산물식품기술기획평가원	<ul style="list-style-type: none"> ▣ 기술 분석 및 평가 ▣ 기술 및 정책 자문회의 추진

나. 연구개발 추진체계



3. 연구개발 추진일정

구분	연구개발의 내용	추진 일정												비고	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1차 년도	☑ 국내·외 가축 살처분 기술 조사·분석	■	■	■	■										주관
	☑ 국내·외 동물 안락사 기술 조사·분석	■	■	■	■										
	☑ 가금류 안락사 장치 설계 및 제작				■	■	■	■	■						
	☑ 현장연구 및 최적 안락사 방법 도출							■	■	■	■	■	■	■	위탁
	☑ 열가수분해 장치 성능개선 연구	■	■	■	■										
	☑ 열가수분해 설비 설계 및 운전인자 도출		■	■	■	■	■	■							
	☑ 가금류 사체처리 시스템 설계 및 제작				■	■	■	■	■						주관
☑ 현장연구 및 운전인자 확보							■	■	■	■	■	■	■		
2차 년도	☑ 살처분 기술 고도화 및 현장 적용	■	■	■	■	■	■								주관
	☑ 가금류 안락사 시스템 현장 검증 및 완성				■	■	■	■	■	■					
	☑ 열가수분해 시스템 보완	■	■	■	■	■	■								주관, 위탁
	☑ 가금류 사체처리 시스템 현장 검증 및 완성				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	☑ 가금류 살처분/사체처리 시스템 경제성 평가								■	■	■	■	■	■	주관
	☑ 개발 기술 사업화 진행								■	■	■	■	■	■	

제2절 연구개발 결과

1. 가금류 안락사·살처분 기술 개발

가. 연구배경 및 목표

현행 살처분 가축의 안락사 방법은 가스 및 약물에 의한 처리방법을 활용하고 있지만 현장 적용이 어려워 직접 현장에서 처리 가능한 방법의 개발이 요구되고 있고, 동물의 복지를 고려한 신속한 안락사 방법과 살처분 가축의 신속한 처리방법이 필요한 상황이다. 현재 동물복지 차원에서 절식사 방법을 취하고 있으나 케이지로 사육하는 경우 고단에 위치한 가금류는 절식사 유도에 어려움이 발생하고 있으며, 소규모 살처분 방법은 많은 연구와 더불어 활용되고 있으나 환경오염을 고려한 대규모 살처분에는 어려움이 있는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 현재의 문제점을 극복하고 대규모 가금류를 신속하게 안락사할 수 있는 기술을 개발하고 대규모 살처분을 위한 효과적인 포획방법 또한 개발하기 위해 미국, 영국, 일본, 네덜란드 등 외국의 관련 규정 및 기술개발 현황을 분석하고, 본 과제를 통해 개발하는 기술과 비교를 할 계획이다. 이를 통해 친환경 및 동물복지 개념을 최대한 충족시킬 수 있는 안락사 방법 기술개발 및 확산을 방지할 수 있는 기술을 동시에 충족하고자 한다.

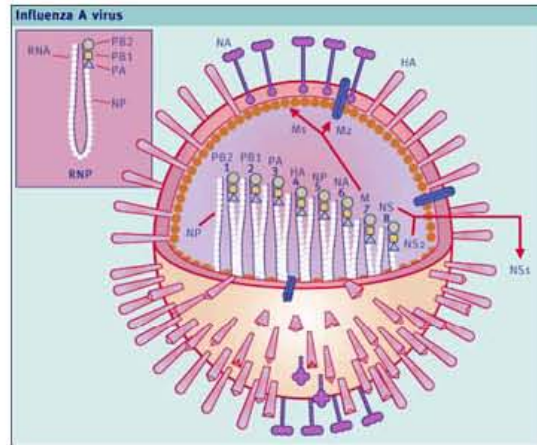
나. 이론적 배경

(1) 가금의 정의 및 종류

가금(家禽, poultry)이란 넓은 의미의 가축 가운데서 조류, 즉 '가금의 생산물이나 능력을 경제적으로 이용할 목적으로 사육하며, 인간의 관리 하에서 번식하고 인간이 요구하는 유리한 방향으로 변화하여 그 변화된 형질이 자손에게 잘 유전되는 조류' 라고 정의하고 있다. 산란계는 대부분 긴 열로 배치된 철사케이지 내에서 사육된다. 케이지와 케이지 사이의 통로는 보통 75~90cm 폭으로 되어 있다. 케이지 비용을 줄이기 위해 보통 한 칸의 케이지에서 5~6수 정도를 사육하는 방식이 이용된다. 육계는 하나의 계사에서 일생을 지낸다. 대부분의 육계사는 8~13m의 폭과 65~200m길이로 건축되며, 이들 육계사에 일반적으로 수용될 수 있는 육계는 7,200~20,000수이다.

(2) 조류인플루엔자(Avian Influenza, AI)

조류인플루엔자(avian influenza, AI)는 닭을 포함한 거의 모든 조류에서 호흡기, 소화기 및 신경계에 손상을 미치는 바이러스성 전염병이다. 조류인플루엔자 바이러스는 감염되어도 무증상으로 경과하는 것부터 급성의 전신성 증상을 보이면서 높은 폐사율을 일으키는 것까지 병원성이 다양하다. 고병원성 조류인플루엔자(highly pathogenic avian influenza, HPAI)는 제1종 법정전염병으로, 그리고 저병원성 조류인플루엔자(low pathogenic avian influenza, LPAI)는 제2종 법정전염병으로 분류되고 있다. 국내에서의 LPAI(H9N2) 발명은 1996년 화성, 김천, 정읍에서 발생되었으나 모두 살처분함으로써 종식되었고, 1999년 말부터 동일한 아형의 바이러스에 의한 LPAI가 전국적으로 발생되고 있다.



<그림 3.1> AI 바이러스의 구조

(가) 발생

- ① 병원체인 **A형(type A)** 인플루엔자 바이러스에는 아형(subtype)을 결정짓는 **hemagglutinin(H)**과 **neuraminidase(N)** 항원이 있는데, H는 **16종** N은 **9종**이 있으며 이들 두 항원의 조합에 의하여 **144종**의 아형이 있을 수 있다.
- ② 현재까지 **HPAI** 바이러스로 규정된 H아형은 **H5**와 **H7**이 있으나 이러한 아형의 바이러스들이 모두 고병원성인 것은 아니다.
- ③ 오리와 같은 수금류가 가장 흔하게 바이러스를 보유하고 있으며, 이들 조류는 감염되어도 증상을 보이지 않는 경우가 많다.
- ④ 닭에서의 발병은 바이러스를 보유하고 있는 오리, 칠면조, 닭을 비롯한 야생조류와의 접촉, 주로 감염된 조류의 분변에 오염된 신발, 옷, 수송상자 및 난좌와 같은 양계기구를 통한 기계적 전파에 의해 이루어진다.

(나) 증상 및 병변

- ① 증상과 폐사율은 바이러스의 병원성, 닭의 나이, 복합감염 여부, 사양관리 형태 등 여러 가지 요인에 따라 다양하게 나타난다.
- ② **HPAI**의 경우 갑작스럽게 발병하고 급성으로 경과하면서 **100%**에 육박하는 폐사율을 나타낸다. 뉴캐슬병과 유사한 호흡기, 소화기 및 신경계 증상을 보이며 산란율이 급격하게 하락한다.
- ③ 그밖에 머리와 안면부에 부종을 보이고 벼슬이나 육수와 같이 깃털이 없는 부위에 청색증과 피사반점 등을 볼 수 있다. 다리 부위에서는 적색의 얼룩덜룩한 무늬를 보이기도 한다.
- ④ 해부소견은 기낭, 수란관, 심낭, 복강 등에서 삼출물을 볼 수 있으며, 기관, 선위, 소장, 간 등 각종 장기에서 출혈소견을 보이는 것 역시 뉴캐슬병과 동일하다.

(다) 예방 및 치료

- ① 조류인플루엔자로 의심되는 경우 즉시 병성감정기관에 의뢰하여 지시를 받는다.
- ② 닭이나 다른 조류, 특히 오리(집오리 및 야생 오리)와 같은 수금류와의 차단에 의한

방역에 노력을 한다.

- ③ HPAI가 발생하면 대부분의 국가에서는 살처분 정책을 채택하나 중국, 인도네시아 같은 나라에서는 불활화 오일에멸전 백신을 사용하고 있다. LPAI의 경우에도 만연되어 피해가 큰 나라에서는 불활화 오일에멸전 백신을 사용하고 있다.

(3) 동물복지법의 적용과 영향

전 세계적으로 동물복지와 관련된 여러 가지 논쟁거리가 떠오르고 있는데 유럽연합에서는 특히 동물수송이 지속적인 주목을 받아왔다. 유럽연합은 이미 동물복지법에서 도축기준과 동물 생산 환경에 대한 몇 가지 까다로운 기준을 정해 놓고 있다. 유럽연합법은 동물에게 불필요한 고통을 주지 않고 도축하도록 정하고 있다. 최근의 한 사례를 보면, 동물 건강 및 복지과학위원회에서 도살할 때 가금을 기절시키기 위해 이산화탄소, 산소, 질소를 섞은 가스를 이용하는 것을 관찰하였는데 이 방법이 만족스럽지 못하기 때문에 사용을 허가하지 않겠다는 의견을 내놓았다.

다. 국내·외 안락사/살처분 기술 분석

(1) 해외 안락사/살처분 기술 분석

국립축산과학원(2013)에서는 EU에서 현재 사용되고 있는 축종별 처리방법을 조사하였다. 기계적(Mechanical) 처리방법으로는 Free bullet, Penetrating captive bolt, Percussive blow 방법이 있으며, 전기적(Electrical) 처리방법으로는 electrodes electrocution 및 Waterbath electrocution 방법이 있다. 가스(Gas mixtures) 처리방법으로는 CO₂ 가스, 가스혼합, CO 가스, Hydrogen Cyanide 가스 처리방법이 있다. 약물주입(Lethal injection) 처리방법은 안락사를 위한 목적으로 마취제를 과량 사용하는 방법으로 즉, 근신경계를 차단하여 마취상태에서 죽게 하는 방법으로 가축의 스트레스 발생 없이 안락사 시킬 수 있는 방법이다. Barbituric acid 유도체는 소, 양, 돼지, 말, 가금에 적용 가능한 첫 번째 약물이며, 그 다음으로 T-61이 사용되어진다.

<표 3.2> EU에서 사용하고 있는 축종별 안락사 방법

동물	단순 기절방법	기절 및 안락사 방법
소, 송아지	Mechanical, Electrical	Electrical
양	Mechanical, Electrica	Electrical
돼지	Mechanical, Electrica	Electrical
	Gas mixtures	Gas mixtures
가금류	Gas mixtures	Mechanical, Electrical
		Gas mixtures
말		Free bullet

자료: 친환경 이동식 일체형 가축처리장비 및 자원재활용 연구, 국립축산과학원, 2013

(가) 기계적(Mechanical) 처리방법

① Free bullet, Penetrating captive bolt, Percussive blow 방법

Free bullet, Penetrating captive bolt, Percussive blow 방법의 장점은 정확히 사용했을 경우 두부의 뇌손상으로 가축을 신속하게 죽일 수 있다. 또한, 가축의 보정이 다른 방법에 비해 크게 필요 없으며, 처리자의 스트레스를 줄일 수 있는 방법으로 보정이 어렵거나 가축이 저항할 때 사용할 수 있는 적절한 방법이다. Free bullet, Penetrating captive bolt, Percussive blow 방법의 단점은 부적절한 bullets 사용 및 타격부위(뇌, 심장)가 정확하지 않았을 경우 가축에 고통을 줄 수 있고, 가축의 난동으로 처리자가 다칠 수 있으며, 본 방법은 뇌를 완전히 손상시키기 때문에 뇌를 통한 질병검진은 어렵다.

② Pithing, Cervical dislocation, Decapitation 방법

Pithing, Cervical dislocation, Decapitation 방법의 장·단점은 모두 동물복지 측면에서 적합하지 않다는 점이며, 다른 단점의 경우에는 대동물에서는 사용상의 제한이 있으며, 정확한 보정이 필요하고, 작업자의 피로도가 심하다는 점이다.

(나) 전기적(Electrical) 처리방법

① Electrodes electrocution 방법

Electrodes electrocution 방법의 장점은 정확한 방법으로 처리 시 신속하게 가축을 안락사 시킬 수 있다는 점이며, 단점은 가축의 정확한 보정과 자돈이나 어린양(5kg)에게는 적용이 어렵다는 점이다.

② Waterbath electrocution 방법

Waterbath electrocution 방법의 장점은 정확한 방법으로 처리시 신속하게 가축을 안락사 시킬 수 있으나, 단점은 수조 속에 잠기기 전에 정확한 보정이 필요하며, 가금류의 크기와 종류에 따라 맞춤형 장비를 제작해야 한다.

(다) 가스(Gas mixtures) 처리방법

① CO₂ 가스 처리방법

CO₂ 가스 처리방법의 장점은 가축의 보정이나 이동없이 손쉽게 축사내에서 안락사 시킬 수 있으나, 단점은 동물복지 측면에서 가스사용을 기피하는 경향이 있으며, 가축의 안락사 유무를 확인하기가 어렵다.

② 가스혼합 처리방법

동물복지차원에서 가스를 혼합사용하여 가축의 스트레스를 최소화하는 방법들이 개발되어 적용되고 있다.

③ CO 가스 처리방법

독성이 강한 가스로 냄새와 색이 없어 존재유무를 확인하기가 어려우며, 가금 및 자돈

(8~25kg)의 안락사 처리 시 활용가능하다.

④ **Hydrogen Cyanide** 가스 처리방법

가금류 안락사 처리시 사용되지만 엄청난 고통이 동반되어, 동물복지측면에서는 사용을 금하고 있다.

(라) 약물주입(Letal injection) 처리방법

안락사를 위한 목적으로 마취제를 과량 사용하는 방법으로 즉, 근신경계를 차단하여 마취상태에서 죽게 하는 방법으로 가축의 스트레스 발생 없이 안락사 시킬 수 있는 방법이다. **Barbituric acid** 유도체는 소, 양, 돼지, 말, 가금에 적용 가능한 첫 번째 약물이며, 그다음으로 **T-61**이 사용되어진다. 현재 **Potassium chloride, Guaiphenesin, Mephenesin, Succinyl choline, Magnesium sulphate**의 단독사용은 제한하고 있다. 약물주입 처리방법의 장점은 동물을 가장 고통 없이 안락사 시킬 수 있다는 점이며, 단점은 정확한 보정이 필요하며, 작업자의 위험성과 사용약물의 사용상 허가가 필요하다는 점이다.

① **Barbituric acid derivatives(barbiturates)** 처리방법

Barbituric acid derivatives(barbiturates) 처리방법의 장점은 임신한 가축을 포함하여 거의 모든 가축에 고통 없이 안락사처리가 가능한 방법이며, 단점은 가축을 보정해야하며 면허소지자에 국한하여 작업해야한다.

② **T-61** 처리방법

T-61 처리방법의 장점은 **barbiturates**를 사용할 수 없을 때 사용가능한 약물이나, 단점은 가축을 보정해야 하며, 정맥주변에 주입하거나 너무 빨리 주입시 고통이 동반된다. 태반을 통과하지 못해 임신가축에는 사용할 수 없다.

③ **Chloral hydrate** 처리방법

Chloral hydrate 처리방법은 권장되지 않는 마취제로 대동물과 가금에 정맥주입으로 사용 가능하지만 너무 느리게 효과가 나타나며 가축에 고통을 준다.

④ **Ketamine** 처리방법

Ketamine 처리방법은 동물의 안락사를 위해선 많은 용량이 필요하며, 단독으로 사용하기 보다는 **Xylazine**과 혼합하여 사용된다. 하지만 본 약물은 다른 안락사 약물사용 전에 진정목적으로의 사용을 권장한다.

⑤ **Magnesium sulphate** 처리방법

Magnesium sulphate 처리방법은 정맥주입으로만 효과를 볼 수 있고, 많은 용량이 소요되며, 마취효과가 미약하여 가축에 고통이 동반되어 동물복지측면에서는 사용을 권장하지 않는다.

⑥ Potassium chloride 처리방법

Potassium chloride 처리방법은 정맥주사와 복막주사로 활용가능하나 진정 및 마취효과가 미약하여 가축에 고통이 동반되는 약물로 동물복지측면에서는 사용을 권장하지 않는다. 다만 **barbituric acid derivates**와 혼합하여 사용할 수 있다.

동물의 소규모 안락사 방법은 **Penetrating, Captive Bolt, Exsanguination, Pithing, KCl Injection** 등에 국한된 방법연구가 수행되고 있다(미국 아이오와 주립대학, '09). 미국수의사회(AVIMA, '78)는 동물의 안락사법에 대한 평가기준을 마련하였으며, 그 내용은 동물에게 고통이 없을 것, 시간이 짧을 것, 확실 할 것, 실시자에 안전할 것, 심리적 스트레스가 적을 것, 목적 및 필요성에 적합 할 것, 주변사람에 정서적 영향이 적을 것, 경제성, 병리조직학적 검사에 적합할 것, 약물의 효력과 피해가 없을 것이라고 명시하고 있다. 동물의 안락사법에 대한 평가기준과 함께 안락사에 부적합한 주사제를 명시하여 독극물(**strychnine, nicotine, caffeine, magnesium sulfate, potassium chloride, cleaning agents, solvents, disinfectants, toxins or salts, all neuromuscular blocking agents**)들을 안락사 시 금지하고 있다.

(2) 국내 안락사/살처분 기술 분석

가축전염병 구제역 및 AI 발생에 따른 살처분 가축의 안락사 처리방법으로 가금류, 돼지 및 소에 대한 현장적용 사례 및 처리지침이 있지만 안락사 처리방법을 통한 현장적용은 매우 어렵다. 국립축산과학원(2013)의 조사에 따르면, 가금류의 경우에는 CO₂ 가스에 의한 안락사 방법이 산란계 등에 대해서는 사용상 제한되어 있고, 돼지의 경우에는 약물(KCl, Succinylcholin)에 의한 방법이 사용되지만 약물수급의 어려움과 안락사 처리가 잘 안 되는 문제점이 발생된다. 소의 경우에는 돼지의 경우와 같이 약물에 의한 방법이 사용되지만 안락사 처리를 위해선 정확히 정맥에 주입되어야 하는 어려움이 있다. 최근 발생된 AI 및 구제역은 전국적으로 확산되어 발생하였으며, 대량으로 발생하는 살처분 가축의 안락사처리 방안은 CO₂ 가스처리법이 있으나 가금류에만 해당되어 대량의 살처분 가축의 안락사처리방법의 연구는 전무한 실정이다.

국내 살처분 가축의 안락사 방법 및 처리방안에 대한 정확한 연구 및 지침 부족한 실정이며, “사살, 전살, 타격, 약물사용 등의 방법 중에서 현장에서 사용이 용이하고 신속히 완료할 수 있는 방법적용”에 대한 기술만 있어 정확한 안락사 방법에 대한 기술내용 및 약물종류를 마련하지 못하고 있다(가축전염병 예방법, 구제역 및 AI 긴급행동지침(농식품부, 2010년). 따라서 축종에 맞는 안락사 방법 연구와 살처분 가축의 안전이동 및 안락사가 가능한 전용장치 개발연구가 필요한 상황이다. 국립축산과학원은 2013년 “Dry Ice를 적용한 안락사 방법 연구”에 대해 공개하였다. 차단방역 강화를 위해 가금류 사육농장 내 안락사 전용 Bag을 사전에 구비해 놓고 AI 발생 시 농장내 인력만을 활용하여 안락사 처리 후 이동제한 해제 후 처리장으로 폐사축을 수거하기위한 방법으로 가금류 중 산란계 등 케이지사육을 하는 농장에서는 기존 CO₂ 가스공급을 통한 안락사 처리가 불가능하여 가스 방법 외 다른 방법을 활용해 왔었으나, 본 방법에서는 가금류를 수거 후 드라이아이스가 들어있는 bag안에 넣어 안락사 시킨 후 bag을 수거하여 처리하는 방식을 고안하여 케이지사육 가금농가에서도 적용 가능한 방법에 대한 연구를 수행하였다.

라. 가금류 포획 기술 개발

(1) 가금류 포획 기술 개발 계획

기존의 가금류 포획방법은 계사 내에 CO₂ 가스를 주입하여 살처분 시킨 후 포획하거나 살아 있는 상태에서 인력으로 포획하는 방법을 사용하였다. 하지만 살처분 시킨 후 포획하게 되면 가금류의 사후장식이 진행되어 포획에 어려움이 많으며, 환기가 제대로 안될 경우 작업자의 건강에 악영향을 미칠 우려가 있어 위험이 따른다. 또한 인력으로 강제로 포획하는 경우에는 포획하는 작업자의 스트레스 뿐 만 아니라 가금류가 받는 스트레스도 심하고, cage로 사육하는 경우 고단에 위치한 가금류의 경우에는 포획에 어려움이 따른다.

따라서 가금류의 스트레스를 최소화 시키며, 작업자의 안전과 스트레스를 고려하여 본 연구에서는 ㈜부강테크 친환경인증사업팀에서 연구 개발 중인 기피제(repellent)를 이용하여 가금류의 cage 이탈 유도 및 일괄 포획을 계획하였다. 포획된 가금류는 이동형 cage에 층별로 적재하여 압사 당하지 않고 살처분 전 스트레스를 최소화 시키고자 하였으며, 또한 가금류 대규모 포획(1,000수 이상)이 가능한 기피제의 양 및 발포방법 등을 도출해 내고자 하였다. 기피제는 선행 연구를 통해 80% 수준의 기피효과를 확인하였으며, 공인인증기관 안전성 검사를 통하여 어독성, 안점막, 경구/경피 독성, 작물 약해성에서 무해함을 인증 받았다. 가금류 사육조건(평사, cage)과 축종(닭, 오리) 따라 수거방식을 달리하여 최적의 가금류 포획방법을 도출해 내고자 하였으며, 기술의 검증을 위해 공인인증기관에 분석을 통하여 신뢰성을 확보하였다.

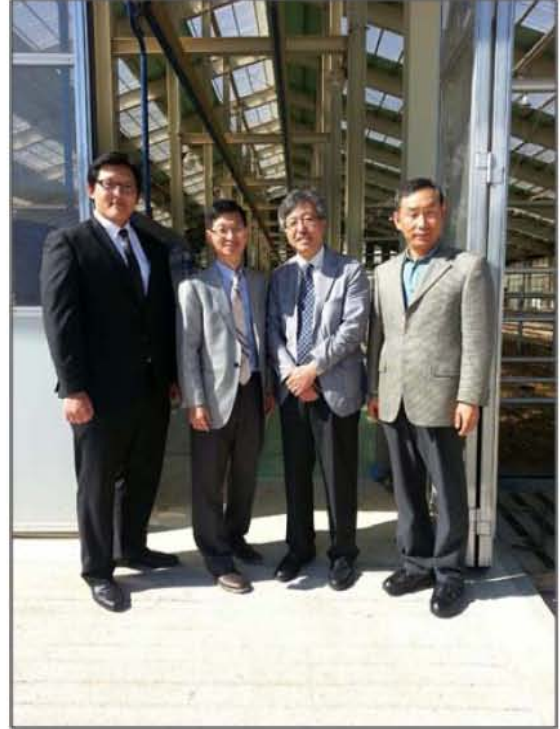


<그림 3.2> 기피제를 이용한 가금류 포획 방법

(2) 가금류 포획 장치 제작·설치 및 기피제 선정

(가) 현장 연구 Site 선정

실험용 가금류의 효과적인 수급 및 외부와의 접촉을 차단하기 위해 서울대학교 평창캠퍼스와 MOU를 맺고 실험용 닭과 실험을 위한 부지를 제공 받았다.



<그림 3.3> 현장연구를 위한 MOU 체결(서울대학교 평창캠퍼스)



<그림 3.4> 현장연구 Site(서울대학교 평창캠퍼스 실험목장)

(나) 실험용 케이지 제작 및 기피제 선정

효과적인 실험을 위해 <그림 3.5>와 같이 실험용 케이지를 제작하였으며, 기피제를 사용하여 케이지로부터 탈출하는 시간을 측정하였다.



<그림 3.5> 가금류 포획 실험을 위한 실험용 케이지 제작

기피제로는 가금류와 사람에게 무해한 천연물질을 이용하고자 문헌조사를 통해 <그림 3.6>와 같이 **Capsaicin, Neem Oil, Quassia**의 3종을 선택하였으며, 기피제의 특징은 다음과 같다.



<그림 3.6> 실험에 사용된 기피제(Capsaicin, Neem Oil, Quassia)

○ Capsaicin

알칼로이드의 일종으로 고추의 매운맛을 내는 성분이다. 고추씨에 가장 많으며 나머지는 껍질에 있다. 캡사이신과 이와 연관된 화합물을 캡사이신류(**capsaicinoid**)라 하고 이들은 고추에 의해 생성되는 2차 대사물질이다. 순수한 캡사이신은 소수성의 성질을 나타내며 $C_{18}H_{27}NO_3$ 의 화학식을 갖는다. 무색, 무취의 밀랍성 화합물 결정체로 존재한다. 통각세포에는 '캡사이신'에 의해 열리는 독특한 이온채널(캡사이신 채널)이 존재, 채널이 열릴 경우 다량의 Na^+ 과 같은 양이온이 세포 내로 유입돼 신경세포를 자극하며 그 통증 신호가 척수를 통해 대뇌로 전달돼 통증을 느끼게 된다. 고추액을 피부에 바를 경우 매우 따가운 통증을 느끼는 것은 바로 고추의 매운 성분인 캡사이신이 이 이온채널을 열어 통각신경을 흥분시키기 때문이다.

○ Neem Oil

넝나무 껍질은 차갑고 쓰며 수렴성이 있으며, 독을 없애고, 피를 맑게 한다. 열매에서 추출하는 넝오일은 특유의 향이 있으며 식용으로는 사용되지 않는다. 열매는 쓴맛이 있고,

치질약, 구충제로 사용된다. 씨 역시 그 맛은 쓰고 구충제로 사용되며, 해독작용이 있다. 씨에서는 **45%**의 오일이 추출되는데 마늘, 유황과 비슷한 냄새가 나는 쓴맛의 오일로서 지방산이 풍부하며 비타민 **E**, 필수 아미노산 등이 들어 있다.

주요성분인 아자디라크틴(**azadirachtin**)은 곤충의 성장, 생식에 영향을 미쳐 생물농약으로 유용하게 사용되고 있다. neem오일(**Neem Oil**)은 고지방산이 포함되어 있기 때문에 가려움이나 민감성 또는 아토피, 건성피부에 사용하면 피부를 순하게 만들고 여드름에도 효과가 있다.

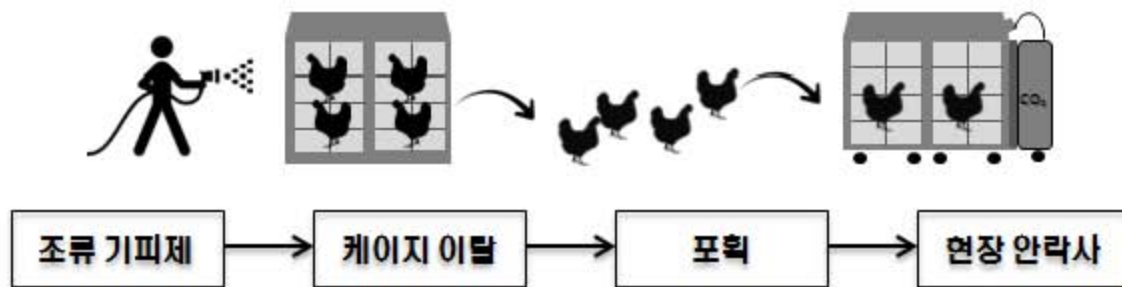
○ **Quassia**

소테나무 무리에 속하는 콰시아나무는 열대 아메리카, 인도, 말레이시아가 원산지인 낙엽수이다. 향신료로 이용하는 것은 나무 줄기와 껍질에서 추출한 쓴 맛이 나는 액체인데, 이것을 콰시아라고 부른다. 콰시아는 리큐어나 토닉 와인, 홍차, 아이스크림 등 음료나 디저트류에 향을 더하거나 비터스를 만들 때 쓰인다. 한 때 홉 대용으로 맥주에 쓰이기도 했다. 또, 중국의 대표적인 혼합 향신료인 '오향분(五香粉)'의 원료로 사용되기도 했다. 콰시아는 류머티스, 발열, 위 거부감, 소화불량의 치료 등에 쓰이며, 콰시아로 만든 비터스는 일반적으로 봄에 소화액 분비를 촉진하여 약한 위를 자극하는데 쓰인다.

(3) 가금류 포획 실험 결과

(가) 실험방법

Capsaicin, Neem Oil, Quassia을 각각 **3%, 30%, 30%** 희석 용액을 제조하였고, 제조한 용액을 다시 **1000**배 희석하여 분무기를 이용하여 **140mL/min**의 속도로 가금류에게 분사하고 케이지에서 이탈하는 시간을 측정하여 가금류에 대한 기피제의 영향 정도를 파악하였다. 가금류는 한 케이지당 **3**마리씩 적제하였다.



<그림 3.7> 가금류 포획 실험방법 모식도

(나) 실험조건

실험은 다음과 같이 5개의 조건으로 설정하여 진행하였다.

- ① Treatment 1- Control (1L water, no any supplementation)
- ② Treatment 2- 1L (Capsaicin 3%/Neem oil 30%/Quassia 30%)
- ③ Treatment 3- 1L (Capsaicin 3%)

④ Treatment 4- 1L (Neem oil 30%)

⑤ Treatment 5- 1L (Quassia 30%)



<그림 3.8> 기피제 조제(Capsaicin, Neem Oil, Quassia)

(다) 실험 재료

실험에 사용된 닭은 레그혼종(Leghorn)으로 평균 크기는 길이 50cm, 폭 20cm, 체고는 45cm, 무게는 1.6kg이었다.

<표 3.3> 가금류 포획 실험 재료

구분	평균 체중(kg)	크기(cm)		
		길이	폭	체고(등 높이)
육계/산란계 혼합(레그혼종)	1.59	50	20	45

(라) 실험 결과

① Treatment 1- Control (1L water, no any supplementation)

: 증류수를 사용하여 분무한 결과 케이지를 이탈하는 시간은 평균 34초가 걸림.

② Treatment 2- 1L (Capsaicin 3%/Neem oil 30%/Quassia 30%)

: 혼합용액을 사용하여 분무한 결과 케이지를 이탈하는 시간은 평균 25초가 걸림.

③ Treatment 3- 1L (Capsaicin 3%)

: Capsaicin을 사용하여 분무한 결과 케이지를 이탈하는 시간은 평균 17.5초가 걸림.

④ Treatment 4- 1L (Neem oil 30%)

: Neem oil을 사용하여 분무한 결과 케이지를 이탈하는 시간은 평균 15초가 걸림.

⑤ Treatment 5- 1L (Quassia 30%)

: Quassia를 사용하여 분무한 결과 케이지를 이탈하는 시간은 평균 13초가 걸림.

기피제를 이용하여 가금류의 자발적 케이지 이탈 실험을 한 결과, Quassia를 기피제로 사용 시 기피효과가 가장 우수한 것으로 나타났다. 실험에 사용한 기피제들은 사람과 동물에 무해한 천연제로 작업자의 안전성 확보와 가금류의 복지를 동시에 충족시킬 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 3.9> 기피제를 이용한 가금류 케이지 이탈 실험

<표 3.3> 기피제 이용 케이지 이탈 실험 결과 종합

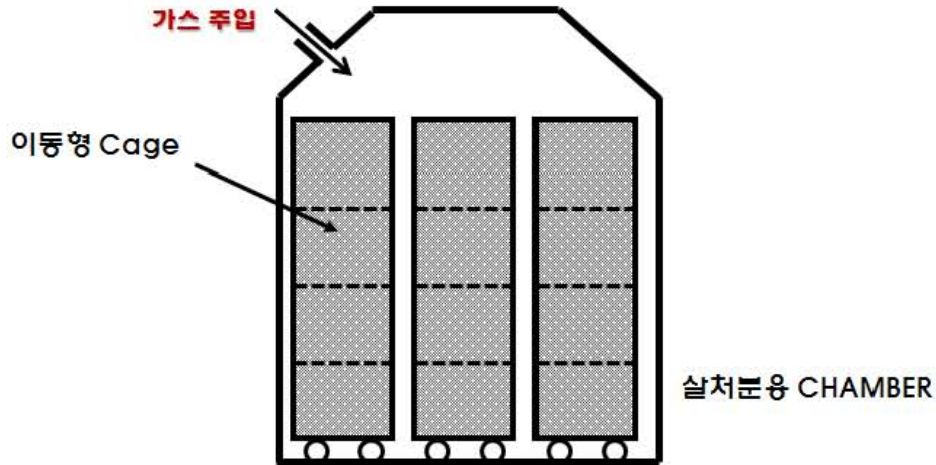
구분	최초(sec)	최종(sec)	결과
증류수	30	34	-
혼합 용액	20.5	25	-
Capsaicin	12	17.5	△
Neem Oil	10	15	○
Quassia	8	13	◎(가장 우수)

마. 가금류 안락사·살처분 기술 개발

(1) 가금류 안락사 기술 개발 계획

기존의 가금류 전처리방법 중 대표적인 방법은 환기구를 차단하고 온풍기를 가동한 상태에서 CO₂ 가스를 계사 내 투입한 후 인력으로 수거하는 방식으로 처리시간이 길고 및 처리노력이 많이 소요된다. 또한 현재 많이 사용하고 있는 방법인 포대 자루에 가금류를 몰아 넣고 가스를 투입하여 살처분 하는 방법은 밀폐된 공간에 가금류를 대량으로 집어넣기 때문에 스트레스가 심하고, 바닥에 깔린 가금류는 압사 당하게 된다. 또한 가스 주입 시 가스가 확산될 공간이 적기 때문에 상층부에 있는 가금류만 죽고 하층부에 있는 가금류는 죽지 않아 살처분 효율이 떨어지며, 반복된 작업으로 인해 가금류와 작업자의 스트레스가 배가 된다.

따라서 본 연구에서는 <그림 3.10>과 같이 이동형 케이지를 적재한 가금류 전용 저장조를 제작하여 포획한 가금류를 층별로 적재하여 압사되지 않고, 스트레스를 최소화 할 계획 하였다. 또한 cage 사이에 공간을 통해 가스가 확산되어 저장조 안의 가금류가 단 시간에 동시에 죽게 된다. 안락사용 가스는 CO₂와 혼합가스를 사용하여 최적 안락사 조건을 도출하고자 하였으며, 안락사 연구의 완성도를 높이기 위하여 동물방역 전문가 자문을 활용하여 부족한 부분을 보완하였다.



<그림 3.10> 가금류 안락사 방안

(2) 안락사 방법 선정

(가) 안락사 정의 및 특징

안락사란 동통이나 고통 없이 급속한 무의식 상태와 사망을 유발하는 방법으로 동물을 죽이는 행위이다. 안락사 방법은 과학적, 의학적 근거가 분명해야 한다. 안락사 방법의 적정성을 평가하는 기준으로서 통증, 고통, 불안을 초래하지 않거나 극히 미약하게 의식의 손실과 사망을 유도하는 능력, 신뢰성, 비가역성, 무의식 상태로 유도하는데 소요되는 시간, 동물종과 연령에 의한 제한, 연구목적과의 부합성, 안락사 실행자에 대한 안전성과 잔인감 등이 고려되어야 한다. 안락사는 다른 동물에게 고통을 주지 않는 방법으로 실시해야 한다. 일부의 경우, 피성과 페로몬의 방출이 무의식 상태로 들어가는 과정 중에 나타난다. 이러한 이유 때문에 안락사 시행 시 다른 동물은 함께 두지 않는다. 안락사를 위한 특정 약제 및 방법의 선택은 관련된 동물종과 연구목적에 따라 결정된다. 일반적으로 물리적 방법(경추탈골, 단두, 포획용 화살의 관통법)보다 흡입약제나 주사제(바비톨 계통, 비폭발성 흡입마취제, CO₂)가 선호된다. 안락사는 그 동물 중에서 사용하려는 안락사 방법에 능숙한 직원이 수행하여야 하며 전문적이고 인도적인 방법으로 실시한다. 사망 판정은 안락사 되는 동물 중에서 생명유지에 필요한 기관의 기능정지를 인식할 수 있는 사람이 확인한다.

(나) 안락사 지침

실험동물의 사육 및 관리등에 관한 기준-보건사회부고시 제 88-39호(1988년 제정)에 명시되어 있으며, 관리하고 있다. 미국 수의사회(AVMA) 안락사처치검토위원회의 지침(1978)은 다음과 같은 항목을 명시하고 있으며, 이는 실험동물의 안락사 방식을 선택하는데 있어서, 다음과 같은 기준을 고려해야 한다.

- 아픔을 수반하지 않고 치사 시킬 수 있을 것
- 의식 소실 까지에 요하는 시간이 짧을 것
- 치사에 이르는 시간이 짧을 것
- 확실할 것

- 실시자에게 있어서 안전할 것
- 심리적 스트레스가 적을 것
- 목적, 필요성에의 적합성이 높을 것
- 실시자 및 주위 사람에의 정서적인 영향이 적을 것
- 경제성
- 병리조직학적 평가에 대한 적합성이 높을 것
- 약물의 효력과 폐해를 고려할 것

(다) 안락사 방법 선정: CO₂ 가스 이용

7.5% 농도의 CO₂ 흡입은 고통의 역치를 증가시키고, 더 높은 CO₂ 농도는 급속한 마취 효과를 가져온다. 의식을 잃는 시간은 CO₂ 농도에 반비례한다. CO₂의 농도를 천천히 증가시키면 의식을 잃는데 더 오랜 시간이 걸린다. CO₂는 작은 실험동물들(mice, rat, guinea pig, chickens, rabbits)을 안락사 시키거나, 안락사 전에 돼지의 의식을 잃게 할 때 사용된다. 닭에서의 연구를 통해 CO₂가 효과적인 안락사제인 것으로 밝혀졌다. 조류에게 CO₂의 흡입은 거의 스트레스를 주지 않고, 신경질적인 행동을 억제하며 5분 이내 (60~70%)에 안락사 한다. CO₂를 이용한 안락사는 다음과 같은 장단점을 가지고 있다.

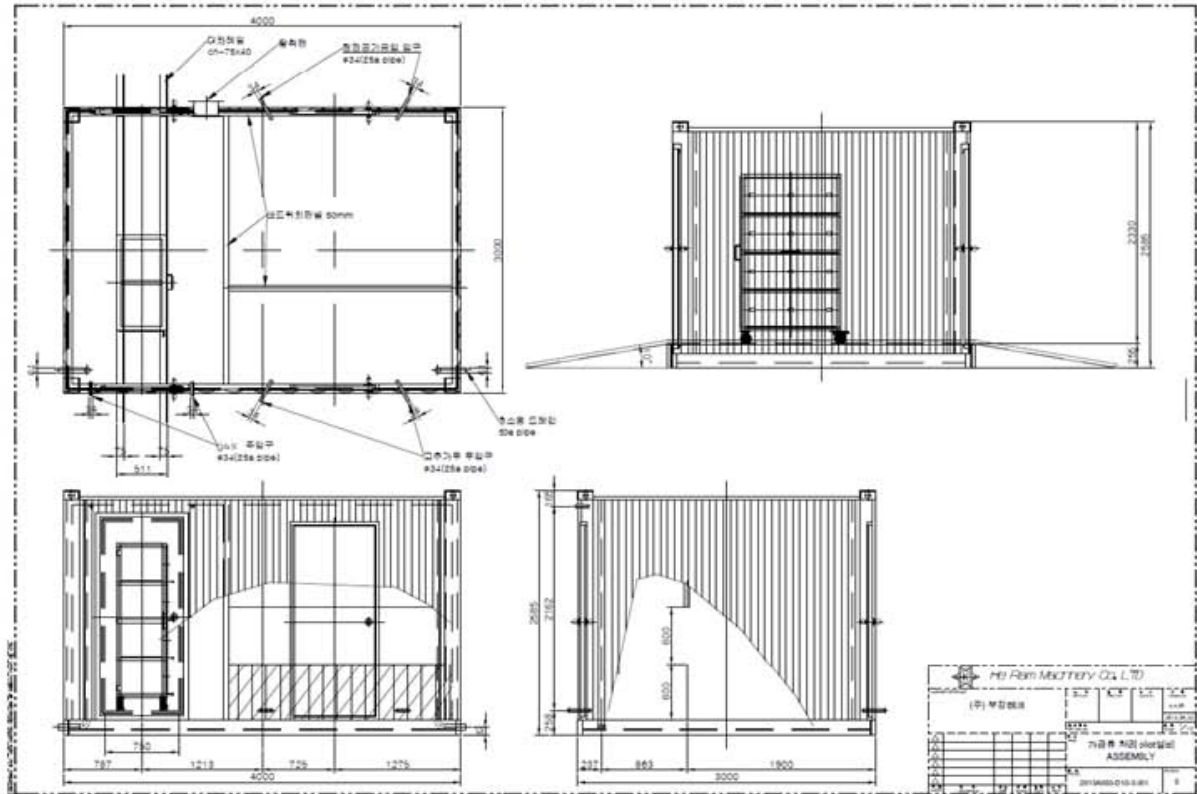
<표 3.4> CO₂를 이용한 안락사의 장·단점

장점	단점
빠른 진정효과, 진통, 마취효과는 매우 안정적	어류나 굴속에 사는 동물들은 CO ₂ 에 대한 내성이 있음
쉽게 얻을 수 있고 이용 가능	파충류, 양서류는 CO ₂ 를 사용하기에 호흡수가 너무 적음
비싸지 않고, 타지 않으며, 폭발성이 없음	CO ₂ 를 이용한 안락사는 시간이 오래 걸림
적절하고 고안된 장비에서 사용하면 사람에게 최소의 피해만 줌	CO ₂ 는 공기보다 무겁기 때문에 동물들이 기어 오르거나 고개를 들어 피할 여지가 있음
CO ₂ 는 동물의 조직에 축적되지 않음	80%이상의 농도로 의식을 잃게 하면, 폐와 상부 호흡기의 손상을 일으킴
다른 생리적 변화를 일으키지 않는다.	높은 CO ₂ 농도는 일부 동물에게 괴로울 수 있음

(3) 가금류 안락사 장치 제작 및 설치

(가) 가금류 안락사 장치 설계 및 제작

현장이동이 용이하도록 이동식 컨테이너 Type로 제작하였으며, 컨테이너 안에 안락사 작업공간과 모니터링 설비를 함께 보유하여 실시간으로 모니터링을 진행하는 것이 가능하다. 온라인 서버를 통해 휴대폰으로도 실시간 확인이 가능하도록 설계·제작하였다.



<그림 3.11> 가금류 안락사 장치 설계도

(4) 가금류 안락사 실험 결과

(가) 실험방법

안락사 대상 닭은 1일 절식 후 안락사 장치에 입식하여 무의식을 유도하였다. 그리고 10 m³ 부피의 컨테이너안에 2,500ppm/min의 속도로 CO₂를 주입하였다. 컨테이너 속 케이지 안의 가금류의 움직임을 CCTV를 이용하여 관찰하였으며, 영상 분석을 통해 이산화탄소 농도별 안락사 시간을 파악하고 영상 및 음향을 기록하여 개체의 스트레스 여부를 파악하였다.

(나) 실험조건

실험은 다음과 같이 4개의 조건으로 설정하여 진행하였다.

- ① Treatment 1- Control (No CO₂ supply, 30min stay)
- ② Treatment 2- CO₂ 농도변화에 따른 대상측 상태 확인(분당 2,500ppm/min의 속도로 CO₂ 지속 주입)
- ③ Treatment 3- CO₂ 40%(40만 ppm)
- ④ Treatment 4- CO₂ 60%(60만 ppm)



<그림 3.12> 가금류 안락사 장치 제작 및 현장 설치

(다) 실험 재료

실험에 사용된 닭은 레그혼종(Leghorn)으로 평균부게 및 체중은 다음 표와 같다.

<표 3.5> 가금류 안락사 실험 재료

구분	평균 체중(kg)	크기(cm)		
		길이	폭	체고(등 높이)
육계/산란계 혼합 (레그혼종)	1.59	50	20	45

(라) 실험 결과

① Treatment 1- Control (No CO₂ supply, 30min stay)

: 닭 상태에 변화가 없었음.

② Treatment 2- 분당 2,500ppm/min의 속도로 CO₂ 계속 주입

: 실험 시작 47분 경과 후, CO₂ 농도가 117,500 ppm이 되었을 때 상태가 좋지 않았던 닭이 사망하였으며, 72분 경과 후 180,000 ppm 이 되었을 때 추가로 한 마리 죽음, 77분이 되었을 때 CO₂ 192,500ppm 농도에서 남아있던 마지막 닭까지 모두 죽음.



<그림 3.13> 가금류 안락사 실험 진행

<표 3.6> CO₂ 농도변화에 따른 가금류 상태 변화

경과 시간(min)	CO ₂ 농도(ppm)	증상	비고
0	300	-	
6	12,500	자리에 앉기 시작	
10	23,750	움직임이 커짐	
12	30,000	숨을 헐떡임	
19	46,250	1마리 앉음	
21	51,250	2마리 앉음	
27	67,500	3마리 모두 쓰러짐	가쁜 숨을 몰아심
47	117,500	1마리 죽음	처음부터 상태가 좋지 않았음
72	180,000	1마리 죽음	
77	192,500	1마리 죽음	
100	250,000	23분여간 미동 없음	최종 안락사 확인

③ Treatment 3- CO₂ 40%

: 실험 시작 45분 경과 후, 닭 모두 죽음.

④ Treatment 4- CO₂ 60%

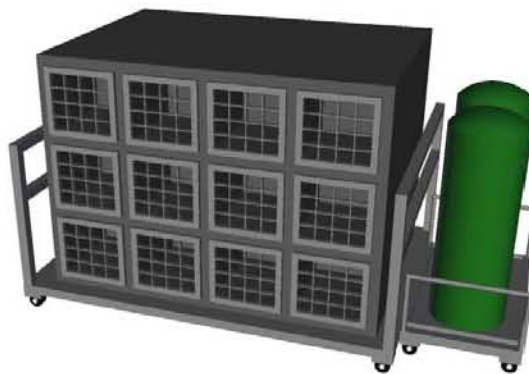
: 실험 시작 10분 경과, 후 닭 모두 죽음.

(마) 실험 결과 종합

CO₂ 농도를 저농도에서 고농도로 올리면서 가금류의 움직임을 관찰한 결과, 발작, 경련과 같은 고통스러운 모습은 보이지 않았다. 이는 AI 발생시 가금류를 대량으로, 인도적으로 처리가 가능한 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 컨테이너 방식을 이용한 가금류 안락사 방법은 적합하지 않은 것으로 판단된다. 컨테이너 안에 CO₂를 채우기 까지 시간이 많이 소요되었고, 컨테이너 안이 완전히 밀폐가 되지 않기 때문에 외부로 방출되는 CO₂가 발생할 수 있으며, 컨테이너 안의 부피에 비해 들어갈 수 있는 케이지가 적기 때문에 CO₂ 가스의 낭비가 발생한다. 이에 대해 동물보호연합대표와 지속적인 회의 및 기술의 현장시연을 통해 개선방안을 논의하였고, 개선방안을 도출하였다. 2차년도에는 축사까지 이동이 용이한 설비를 제작하여 현장에서 즉시 안락사 후 사체를 수거하는 방안을 계획하였다. <그림 3.15>와 같이 안락사 설비의 개선을 진행하고자 하였다.



<그림 3.14> 가금류 안락사 설비 개선안 논의



<그림 3.15> 가금류 안락사 설비 개선 방안

(5) 가금류 안락사 설비 개선 및 보완 실험

(가) 안락사 설비 개선

1차년도 연구를 통해 도출된 설비 개선안을 반영하여 2차년도에는 안락사 시 불필요한 부분을 최대한 없도록 하여 설비를 콤팩트하고 가볍게 만들어 농가의 사육장까지 작업자가 운반하기 쉽도록 하였다. 또한 CO₂ 가스가 새지 않도록 밀폐하였으며, 문을 아크릴로 만들어 가금류가 죽는 것을 육안으로 확인 할 수 있도록 하였다. 작업자의 안전성을 확보하기 위해 투입한 CO₂ 가스는 Drain 노즐을 통해 장치에서 3m 이상 떨어진 거리에서 배출하도록 하였고, 가금류의 복지를 위해서 가금류가 압사 당하지 않도록 케이지를 복층으로 제작하였다.



<그림 3.16> 가금류 안락사 설비 개선

(나) 보완 실험

① 실험방법

안락사 대상 닭은 1일 절식 후 안락사를 실시하였다. 케이지 당 닭을 3마리씩 넣어 실험을 진행하였고, CO₂ 가스는 15~20L/min의 속도로 케이지 안에 동시에 주입하였다. 케이지 안의 가금류의 움직임을 아크릴 문을 통해 관찰하였으며, CO₂ 가스 농도별 안락사 시간을 파악하여 최적 안락사 조건을 도출하고자 하였다.

② 실험조건

실험은 다음과 같이 5개의 조건으로 설정하여 진행하였다.

- ㉠ Treatment 1- CO₂ 15%(15만 ppm)
- ㉡ Treatment 2- CO₂ 30%(30만 ppm)
- ㉢ Treatment 3- CO₂ 45%(45만 ppm)
- ㉣ Treatment 4- CO₂ 60%(60만 ppm)
- ㉤ Treatment 5- CO₂ 75%(75만 ppm)

③ 실험결과

<표 3.7>과 같이 CO₂ 농도 45만 ppm 이하에서는 안락사 효율이 낮았으며, 60만 ppm 이상에서 7분 이내에 닭이 모두 죽는 결과가 나와 안락사 효율이 높은 것으로 나타났다.

60만 ppm과 70만 ppm의 안락사 효율은 거의 차이가 나지 않는 것으로 보아 60만 ppm이 최적 안락사 농도인 것으로 판단된다.



<그림 3.17> 가금류 안락사 보완 실험

<표 3.7> 가금류 안락사 실험 결과

CO ₂ 농도 [ppm]	150,000	300,000	450,000	600,000	750,000
투입 속도 [L/min]	15	15	15	20	20
안락사 소요시간	죽지 않음	80min	40min	7min	6min

2. 가금류 폐사체 처리기술 개발

가. 연구배경 및 목표

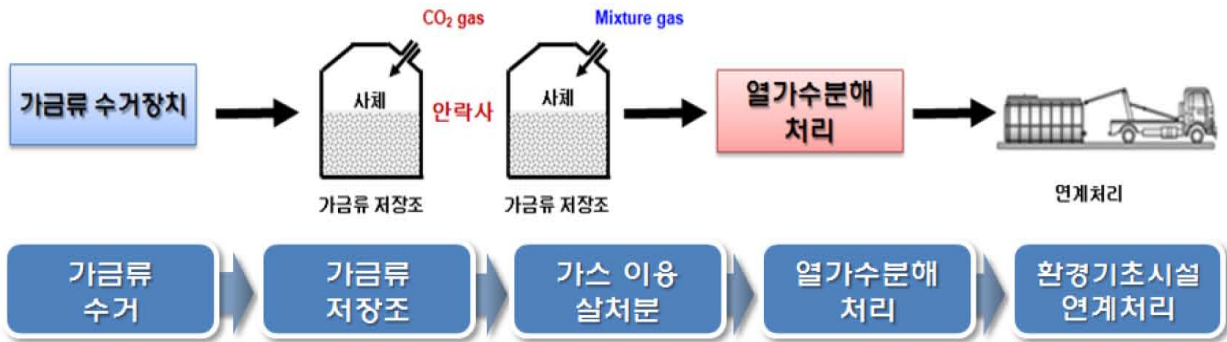
조류 인플루엔자(Avian Influenza)는 바이러스 감염에 의하여 발생하는 전염병으로 저병원성 AI와 고병원성 AI로 분류된다. 닭, 칠면조, 오리 등 가금류와 야생조류에 감염되며, 오리나 야생조류는 임상증상이 잘 나타나지 않지만 가금류에 대한 중요한 전파요인이 되며, 닭, 칠면조에 감염되면 폐사율이 매우 높은 것으로 나타나, 발생위험지역의 가금류에 대한 방역조치를 강화해야 한다. 2008년부터 2014년까지 AI 발생으로 인해 전국적으로 살처분한 가금류 수는 약 3,600만 마리에 이르며 이를 대부분 매몰처리하고 있고 일부 소각처리하고 있다.

매몰처리 시 매몰지 확보의 어려움과 지하수오염, 악취발생이 되고, 소각처리 시에는 높은 처리비용과 분진, 악취발생 등 환경적인 문제 발생으로 각종민원과 환경단체의 반대 등 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다. 정상적으로 매몰지가 조성되었을 경우에도 매몰처리는 가축사체의 부패에 따른 침출수 및 악취 발생으로 인해 토양, 지하수 및 주변 환경을 오염시킬 수 있는 가능성이 매우 높기 때문에 적절한 관리대책이 필요하다. 전국적인 매몰지 발생으로 인해 토양 및 지하수 오염문제가 발생되고 있으며, 부실매몰로 인한 식수원, 지하수 오염 및 악취로 인한 2차 환경피해가 여러 지역에서 발생되고 있다. 살처분 가축 매몰 시 2차오염 방지를 위해 침출수의 지하침투 방지를 위한 시설 설치 후 매몰을 실시해야 하나 일부 지자체의 부적절한 매몰지 선정, 침출수방지 시설 부실 등으로 인해 침출수에 의한 지하수 오염 및 작물피해 등의 2차 환경오염이 불가피한 실정이다.

또한 기존 연구결과 기존 매몰지의 가축사체 부패정도가 매우 미미하여 매몰지 안정화에 장기간이 소요되고 있는 것으로 조사되었다. 따라서 가금류 사체 매몰로 인한 2차 환경오염 및 매몰지 법적 매몰 기간(3년) 종료 후 미분해 가축사체 처리 문제를 사전에 방지하기 위해 살처분된 가금류 사체의 안전하고 신속한 처리방안 마련이 시급한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 가금류 포획·살처분에서 폐사체 및 부산물 처리까지 일원화 시스템을 구축·개발 하고자 한다. AI 발생 후 감염 또는 감염 위험이 있는 가금류를 조류 기피제(repellent)를 사용하여 스트레스 없이 이동형 케이지에 수거한 후, 포획 된 가금류를 전용 저장조에서 CO₂ 가스 또는 혼합가스를 투입하여 신속하게 안락사 시킨다. 살처분 된 가금류는 열가수분해 기술을 이용하여 고온·고압 조건에서 처리하고 반응 후 남은 액상 물질은 인근의 환경기초시설에서 연계처리하게 된다. 모든 과정은 농가 현장에서 신속하게 이루어지므로 가금류와 작업자의 스트레스를 최소화 할 수 있으며, AI의 확산을 신속하고 안전하게 방지할 수 있다.

본 시스템은 현장 이동성을 고려하여 컨테이너 Type로 개발하여 AI 발생 농가로의 이동이 용이하도록 제작하였으며, 장비 개선을 통해 시스템을 경량화 하는 등 현장 이동성을 보완하는데 중점을 뒀다.



<그림 3.18> 가금류 살처분/사체처리 통합 시스템

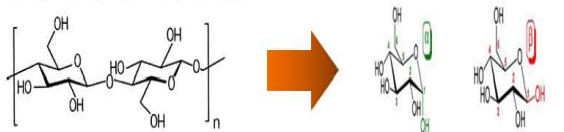
나. 이론적 배경

(1) 열가수분해 기술

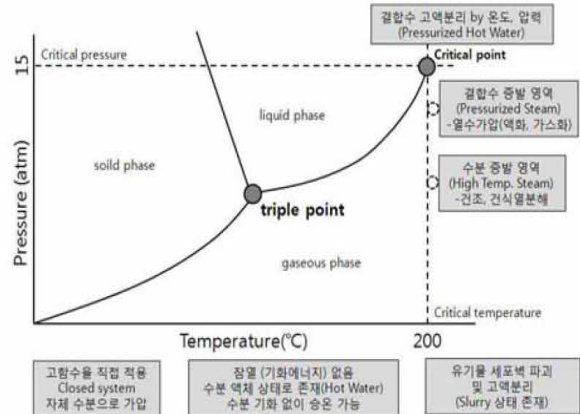
열가수분해 기술은 세포액의 분해와 탈수를 발행하는 세포막과 단백질 효소를 고온(200°C)·고압(20kg/cm²)의 물에서 생성되는 수소이온과 수산이온의 힘으로 고분자 고리를 끊어 수용성 아미노산으로 성상을 변화시키는 기술이다. 가축 사체 등과 같은 투입물을 열가수분해하여 처리하여 생성되는 고액 혼합물은 미생물의 세포벽(막)이 모두 깨진 상태로 내부수 및 간극수가 배출되어 고액 분리 시 낮은 함수율을 가진 고형물을 얻을 수 있게 해주며, 액상물질은 생분해도가 매우 높은 유기산을 다량 함유하게 된다.

가축사체를 고온·고압 수증기(steam)에 의해 열가수분해 처리하면, floc을 구성하는 미생물의 세포벽(막)이 깨지면서 내부수가 유출되고, 생물체 및 세포를 구성하는 고분자 물질이 가수분해에 의해 저분자화 되어 생분해도가 크게 증가되며, 그 결과 혐기성 소화 시에 가수분해 단계를 크게 단축하게 된다. 또한 병원성 미생물이나 항생제 물질을 사멸, 제거하여 안전한 가축사체 처리가 가능하게 된다. 고액 분리 시 나오는 고형물은 고형 연료로 성형하여 설비의 에너지원으로 이용하고, 고액분리 후 남은 잔류 액상반응물은 인근의 환경기초시설에 연계처리함으로써 친환경적인 처리가 가능하게 된다.

◇ 고분자 물질을 저분자 물질로 변환



◇ 세포막 파괴에 의한 탈수성 향상



<그림 3.19> 열가수분해 기술의 원리

다. 가금류 폐사체 처리기술 개발

(1) 가금류 폐사체 처리기술 개발 계획

렌더링(Rendering)방식은 가축 사체를 고온 고압에서 가열·떨균 후 남은 부산물 중 단백질은 퇴비 등에 활용하고 지방은 기름이나 바이오 디젤 등의 제조에 사용되기 때문에 효과적으로 자원을 재활용하기 위한 대안 중 하나로 제시되고 있다. 하지만, 처리 후 남은 부산물을 완전한 액상물질로 변환시키지 못하기 때문에 환경기초시설에서 처리하지 못하고, 결국 또 다시 매립할 수 밖에 없기 때문에 근본적인 해결책이 되지 못하며, 매립한 부산물에 의해 2차 환경오염이 일어날 가능성 또한 존재한다. 따라서 AI 발생 확산에 따른 대규모 가금류 사체 매몰로 인한 2차 환경오염 및 매몰지 법적 매몰 기간(3년) 종료 후 미분해 가축사체 처리 문제를 사전에 방지하기 위해 살처분된 가금류 사체의 안전하고 신속한 처리방안 마련이 시급한 상황이다. 또한 폐가축 처리에 있어서 문제가 되는 것이 사체의 이송을 금지시키고 있기 때문에 직접 현장에 가서 매몰 등의 처리를 해야하기 때문에 이동식 폐가축 처리기술을 개발·확립하는 것이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 이에 대한 해결방안으로 열가수분해 기술을 이용한 가금류 사체처리 시스템을 개발할 계획이다. 기존에 개발된 폐사가축 렌더링과 기술적 원리는 유사하나, 처리 반응물이 액상반응물과 고형물질로 배출되어 액상반응물은 인근의 환경기초시설에서 연계 처리하고, 고형잔류물은 설비의 열원으로 이용하기 때문에 사체를 완전하게 처리할 수 있는 친환경적인 기술이다.

열가수분해 반응 후 발생하는 고상 및 액상성분은 아래의 <그림 3.20>과 같이 상부층은 지방분, 중층은 분해 액상물과 하부층의 고형물로 층이 형성되어 나타난다. 고온, 고압의 열가수분해로 생성된 중층의 액상물은 선행연구를 통해 병원성미생물과 항생제 물질이 완벽히 사멸된 결과를 얻었다. 따라서 인근의 환경기초시설로 이송하여 연계처리하며, 상부층의 지방분과 하부층의 고형물은 혼합하여 열가수분해 보일러의 열원으로 활용하거나, 퇴비화 하여 에너지원으로 사용한다. 또한, 실험 시 발생하는 악취는 분석을 통해 기준치를 만족하는지 파악하였으며, 액상 반응물이 보건 위생학적으로 무해한 상태인지 확인하기 위해 공인인증기관에 분석을 맡겨 신뢰성을 확보하였다.



<그림 3.20> 열가수분해 반응물 성상 및 처리, 활용방안

<표 3.8> 가축사체 처리기술 비교

구분	소각	호기호열식	랜더링	열가수분해
기술 원리	800~1,000℃ 고온 연소로 내에서 가축사체를 직접 연소하여 산화	호기호열성 미생물을 통해 가축사체를 분해·발효 시켜 퇴비화	가축사체를 고온(150~250℃), 2~4kg/cm ² 의 압력에서 가열·멸균 한 후 남은 부산물을 퇴비 활용 또는 매립처리	가축사체를 고온(200℃), 고압(20kg/cm ²)의 압력에서 가열·멸균 한 후 반응 생성물을 환경기초시설에서 처리
잔류부산물	소각재	고·액상 부산물	고·액상 혼합부산물	액상물(연계처리 or 연소로 연소)
부지 소요	처리기간 짧음 부지소요 없음	소요 (사체저장조)	소요 (잔존부산물 매립)	없음
장점	처리기간 짧음 부지소요 없음	대기오염 없음 부산물 활용	처리기간 짧음 부산물 활용	처리기간 짧음 운영비 저렴 설비 활용성 큼 (타 폐기물 처리에 적용 가능)
단점	대기오염, 악취 심함 운영비 높음	분해 장기간 소요 후속 처리 문제	잔류 부산물 남음 후속 처리 문제	시설비 고가 (초기 투자비 높음)

(2) 가금류 폐사체 처리시스템 설계

(가) 열가수분해 시스템 설계기준 및 운전기술 검토

① 설계기준

㉞ 열가수분해 시스템 설계조건

- 사체 처리량 : 40L/cycle
- 반응온도 및 압력 : 200℃ × 20.0 kg/cm²
- 가열방식 : 증기직접 가열식
- 가열증기조건 : 227.1℃, 22.0 kg/cm²

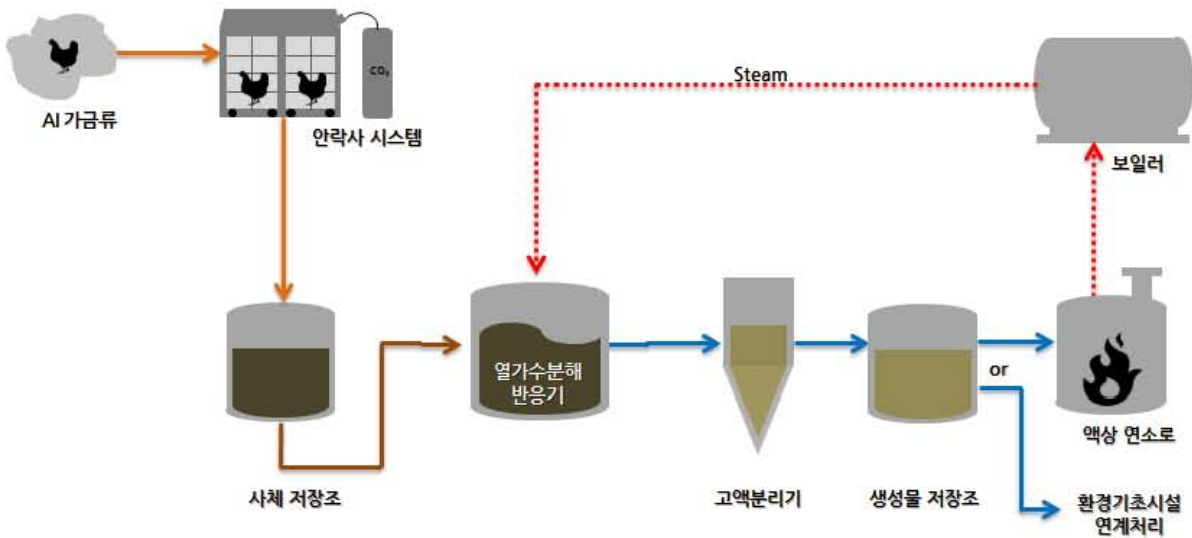
㉞ 열가수분해 반응온도 선정

열가수분해 반응 관련 논문 및 연구결과를 분석한 결과 열가수분해 반응 후 생성되는 반응생성물의 고체 수득률은 반응온도의 상승에 따라 입자성 고형물이 분해되어 용존됨으로써 감소하는 경향을 나타냈다. 특히, 200℃ 이후 급격한 감소를 나타냈다. 열가수분해 효율 측면에서 볼 때 190℃~200℃ 범위에서 열가수분해를 진행하는 것이 효과적인 것으로 판단되어 반응온도 200℃를 설계 기준으로 하였고, 반응기 설계압력은 20.0kg/cm²으로 결정하였다.

② 열가수분해 시스템 공정계획

㉞ 공정 구성 계획

열가수분해 시스템의 전체 처리 공정도는 <그림 3.21>과 같다. 가금류를 안락사 설비에 서 안락사 시킨 후, 열가수분해 반응을 시키게 된다. 반응이 끝난 후 생성된 액상생성물은 조류인플루엔자 긴급행동지침(SOP)에 의거 환경기초시설에 연계처리하거나 연소로에서 연 소하여 연소열을 설비의 열원으로 이용하도록 계획하였다. 두 방법 모두 부산물이 남지 않 고 가축사체의 완전처리가 가능하다.

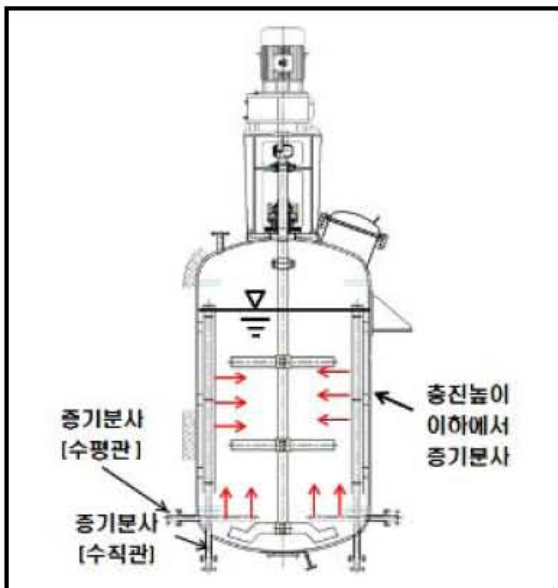


<그림 3.21> 열가수분해 시스템 처리공정도

③ 열가수분해 시스템의 구성 및 주요설비 계획

㉞ 열가수분해 반응기 구조 및 특징

<표 3.9> 열가수분해 반응기 구조



구분	기본사양 및 특징
형식	• 스파지 파이프 증기 분사 방식
수량	• 1기
용량	• 80L/기
운전조건	• 200℃, 14.8 kg/cm ² (20.4 kg/cm ²)
가열방식	• 증기 직접가열식
특징	• 수평, 수직 다점 증기분사관 채택 → 반응기 내 균일한 온도 분포로 반응효율 증대

○ 열가수분해 반응기 특징

다점증기분사방식(스파지 파이프 방식)을 채택하여 증기를 열가수분해 반응기내부에 직접 분사 시킴으로써 열전달 효율을 증가시키고 가축사체 승온시간을 단축하여 증기 소모량을 절감 할 수 있도록 계획하였다. 열전달효율을 극대화하기 위해 수평관, 수직관을 동시에 설치하였다. 스파지 파이프 방식과 기존방식의 특징을 비교하면 <표 3.10>과 같다.

<표 3.10> 증기분사방식 비교

구분	스파지 파이프 방식	기존방식
열 전 달 효 율	우수	보통
에 너 지 소 모 량	적음	많음
가 축 사 체 혼 합 율	우수	보통
초 기 투 자 비	높음	보통
운 영 비	낮음	높음
선 정	●	

㉞ 열가수분해 설비 운전기술 검토



<표 3.11> 가축사체 투입방법 검토

항 목	별도공급	동시공급
장 점	<ul style="list-style-type: none"> 열매체 손실 최소화 가능 응축에 의한 가축사체량 증가 없음 운전방법이 간단함 	<ul style="list-style-type: none"> 가축사체와 증기 동시투입으로 승온시간 단축 단시간에 열가수분해 반응기 온도분포 균일화 운전시간이 단축됨
단 점	<ul style="list-style-type: none"> 부분적인 가열로 열가수분해 반응기내 온도분포가 불균일 증기 공급 시 가축사체압력의 영향이 많음 	<ul style="list-style-type: none"> 증기직접투입으로 반응 후 가축사체량이 증가함 → Tank Sizing시 고려필요 증기사용량이 증가함 압력조절이 어려움
열원공급시점	<ul style="list-style-type: none"> 가축사체 열가수분해 반응기내 투입완료 후 증기공급 	<ul style="list-style-type: none"> 가축사체 공급 시 증기 동시공급
선 정	●	

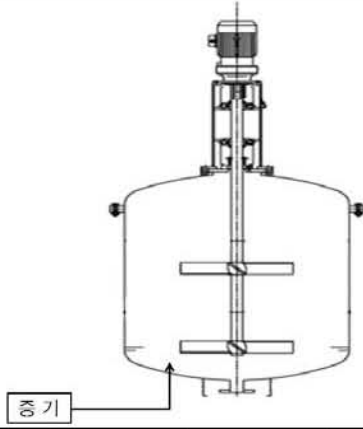
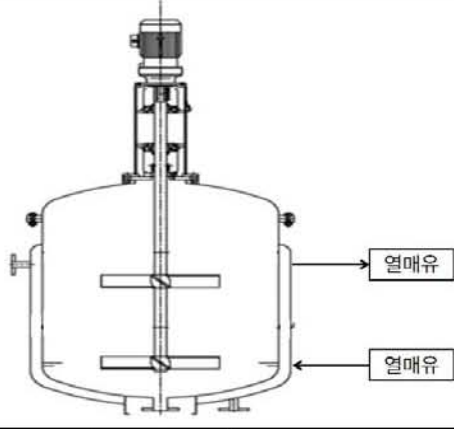
<표 3.12> 온도 및 압력조절 방식 검토

항 목	압력계 (자동제어)		온도센서	전동밸브
형 상				
특 징	<ul style="list-style-type: none"> 자동압력계 및 안전변으로 압력조정 		<ul style="list-style-type: none"> 온도센서로 열가수분해 장치내 온도 조절 	<ul style="list-style-type: none"> 증기량 자동조절
가 온·가 압	<ul style="list-style-type: none"> 가온 시, 압력계의 설정압력까지 상승 시, 증기공급중단 		<ul style="list-style-type: none"> 온도센서로 열가수분해 장치내 설정온도 이상 상승 시 증기공급중단 	<ul style="list-style-type: none"> 설정 압력 및 온도 상승 시 증기공급중단
감 온·감 압	<ul style="list-style-type: none"> 증기공급중단 후 압력 상승 시 안전변으로 압력 조절 		<ul style="list-style-type: none"> 온도센서로 열가수분해 장치 내 설정온도 이상 상승 시 증기배출 	<ul style="list-style-type: none"> 감온감압 미조절
추 가 검토 사항	<ul style="list-style-type: none"> 가압, 감압의 반복에 따른 압력계 안전운전성 검토 		<ul style="list-style-type: none"> 정확한 온도측정을 위한 설치장소, 수량 검토 	<ul style="list-style-type: none"> 고온, 고압의 증기용 사양 검토
선 정	●		●	●




<표 3.13> 열가수분해 반응기 형상 검토

분류	수직형	수평형
구 조		
용 량 (L)	100 ~ 50,000	50 ~ 20,000
재 질	STS 316L	Carbon steel
설 계 압 력 (M P a)	0.1 ~ 10 (1 ~ 100 kg/cm ² .g)	0.1 ~ 1 (1 ~ 10 kg/cm ² .g)
사 용 온 도	0 ~ 200 ℃	0 ~ 200 ℃
특 징	<ul style="list-style-type: none"> 고압에 적합 설치면적이 작음 대용량 설비도 가능 	<ul style="list-style-type: none"> 저압에 적합 설치면적이 많이 필요 소, 중용량 설비 적합
선 정	●	

<표 3.14> 열공급 방식 검토

항 목	직접가열				간접가열			
형 상								
가 열 열 원	승온/ 반응	증기	온도유지	증기	승온	열매유	반응	열매유
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 증기 직접투입으로 승온시간 단축 • 단시간에 열가수분해 반응기 온도분포 균일화 • 일정한 반응온도, 압력 유지 				<ul style="list-style-type: none"> • 열매유 순환으로 열매체 손실 최소화 가능 • 응축에 의한 반응물 양 증가가 없음 			
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 증기 응축수에 의한 반응물 양 증가 • 증기보일러 부대설비 필요 				<ul style="list-style-type: none"> • 열가수분해 반응기 외벽부터 가열되어 내부온도 균일화가 어렵고, 승온에 시간 소요 • 열매유 보일러 및 부대설비가 필요함 			
선 정	●							

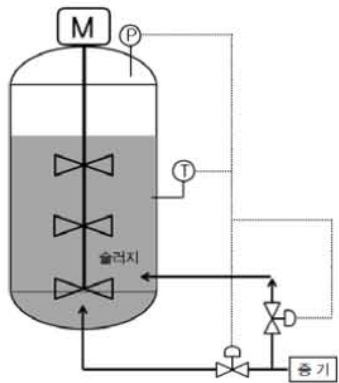
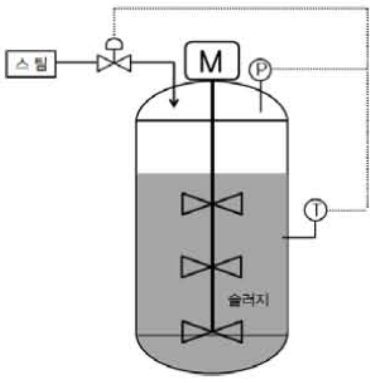
<표 3.15> 교반방식 검토

항 목	Pitched Paddle	Ribbon Heral	Anchor Paddle
구 조			
특 징	<ul style="list-style-type: none"> • 중점도에 적합 • 고속회전에도 진동이나 소음이 거의 없음 • 교반목적에 따라 다양한 회전수가 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 고점도에 적합 • 저속용 적합 • 동력이 많이 소요됨 	<ul style="list-style-type: none"> • 고점도에 적합 • 저속용으로 용해 침강 방지에 적합 • 동력이 많이 소요됨
선 정	●		





<표 3.16> Cycle Time 운영방안 검토

항 목		자동운전			Time Setting	
형 상						
		압력계	온도계	자동밸브		
장 점		<ul style="list-style-type: none"> 열가수분해 반응기내 계측기기의 설정조건에 따라 자동으로 조절가능 최소의 에너지로 최적반응의 가축사체를 생산할 수 있음 설비의 유지관리가 편리함 			<ul style="list-style-type: none"> 가축사체 반입량 대비 가수분해 처리량의 균형운전이 가능함. 투입/승온/반응/배출의 Batch 운전방식에 비교적 부합하는 운전 방식임. 	
		<ul style="list-style-type: none"> 설정조건에 따라 운전이 이루어지므로 미반응 상태에서 반응이 종료될 수 있음 다량의 실험 Data 축적이 필요함 			<ul style="list-style-type: none"> 반입되는 가축사체 정상변화 등에 따른 가수분해 반응율의 변화에 대응이 어려움 충분한 여유를 두어 반응시간을 설정함으로서 시설전체의 에너지 손실이 큼 	
선 정		●				



<표 3.17> 증기 공급 방법 및 노즐 배치방안

항 목		Tank 하부 및 측면공급방안	Tank 상부공급방안
형 상			
		<ul style="list-style-type: none"> 가축사체와 접촉면적이 넓어 열전달이 잘됨 교반효과도 있음 증기 압력을 낮게 선정하면 가축사체의 역류현상 발생 → 가축사체 압력 고려해야함. 	<ul style="list-style-type: none"> 운전이 안정적이고 유지관리가 용이 하부까지 열이 전달되는 시간이 오래 걸림 열전달 효율이 떨어져 에너지가 많이 소요됨
선 정		●	

<표 3.18> 열가수분해 완료시점 감지방법 검토

항 목		Time Setting	자동운전		
형 상					
			압력계	온도계	자동밸브
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 설정한 운전조건에서 반응(운전시간 측정) • 가축사체 반입량 대비 가수분해 처리량의 균형운전이 가능함 • 투입/승온/반응/배출의 Batch 운전 방식에 비교적 부합하는 운전 방식임 	<ul style="list-style-type: none"> • 열가수분해 반응기내 계측기기의 설정 조건에 따라 반응 Cycle을 자동으로 조절하여 가축사체를 최적반응 상태로 배출가능 • 설비의 유지관리가 편리함 			
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 반입되는 가축사체 정상변화 등에 따른 가수분해 반응율의 변화에 대응이 어려움 • 실제 가수분해 완료시간 대비 충분한 여유를 두어 반응시간을 설정함으로써 시설전체의 에너지 손실이 큼. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설정조건에 따라 운전이 이루어지므로 미반응상태에서 반응이 종료될 수 있음 • 계측값의 부정확성으로 전체운영에 영향을 미칠 수 있음. • 다량의 실험 Data 축적이 필요함 			
선 정		●			
선 정 사 유	<ul style="list-style-type: none"> • 균형 있는 운전이 가능하며, Batch 운전방식에 부합하는 Time Setting 방식을 선정 				

<표 3.19> 보일러 열원 비교 검토

구분	증기 보일러 (Steam boiler)	열매체보일러 (Thermal oil heater)
구 조		
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 열효율이 좋음 • 열매유에 비해 상대적으로 낮은 온도에서 운전이 가능 	<ul style="list-style-type: none"> • 용수가 필요없어 동파위험 없음 • 저압에서 사용가능하여 안정성 확보 • 설치면적이 작음
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 용수가 필요하여 겨울철에 동파위험 • 설치면적이 많이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 열매유 손실로 운영비 증가 • 운전온도가 높아 에너지가 많이 소요
선 정	●	

(3) 열가수분해 반응기 제작 사전 실험 및 Simulation 수행

(가) 사전 실험 배경 및 목표

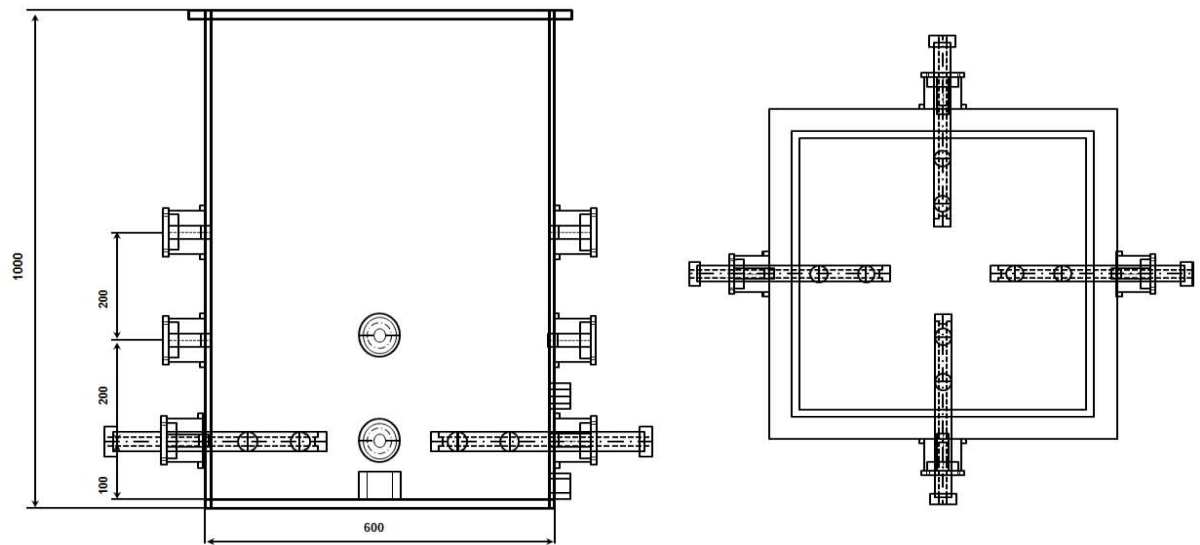
본 연구에서 사용되는 스파지 파이프는 열가수분해 장치 내부에 설치되어 급속하게 사체에 열이 균일하게 전달되고, 기화열로 인한 열손실이 없다. 반응기 내부의 분해된 물질의 혼합도도 분사 기능에 의해 향상되어 에너지 절감 효과를 기대할 수 있고, 간단한 구조로 인해 설치비용이 저렴한 장점이 있다. 또한 다점 증기분사 방식으로 기존 열가수분해 장치보다 증기와 사체의 직접적인 접촉 면적을 극대화할 수 있으므로, 동물세포 세포막을 급속히 파괴시켜 반응 생성물의 탈수성을 향상시킨다. 그리고 기존의 랜더링 방식은 처리 후 남은 부산물을 완전한 액상 물질로 전환시킬 수 없기 때문에 매립이 요구되나 스파지 파이프를 이용한 열가수분해 방식은 완전한 액상 물질로 전환시키고 병원성 및 전염성 세균의 완벽한 멸균이 가능하다.

스파지 파이프를 이용한 다점 증기분사 방식은 운전비용이 저렴하고 설치비가 적은 장점이 있지만, 열가수분해 장치에 효율적으로 적용하기 위해서는 스파지 파이프에 주입되는 증기 유량 및 압력과 스파지 파이프의 수평 및 수직 배치 방법, **hole** 개수, 위치, 방향, 속도 등의 다양한 설계 및 운전조건에 따른 장치 내부의 유동 특성을 이해하고, 실제 고온의 열가수분해 설비의 운전 안정성을 확보하기 위한 최적 운전조건을 도출할 필요가 있다.

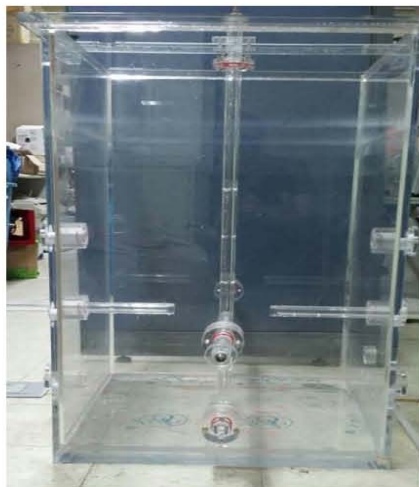
따라서 본 연구의 목적을 위해 가로 **600mm**, 세로 **600mm**, 높이 **1000mm**의 열가수분해 상온 실험장치를 설계 및 제작하고, 수직 및 수평 스파지 파이프의 배치, **hole** 개수, 위치, 방향 및 속도 등 다양한 설계 및 운전조건에 따른 장치 내부의 혼합도 향상을 위한 유동 특성을 도출하고자 하였다.

(나) 열가수분해 상온 실험장치 제작

본 연구의 목적을 위해 설계 및 제작된 열가수분해 상온 실험장치 개략도는 <그림 3.22>와 같으며, <그림 3.23>에는 실험장치 사진을 나타냈다. 수평 스파지 파이프의 적용을 위해 **100mm**, **300mm**, **500mm** 높이에, 수직 스파지 파이프는 장치 내부 중앙에 1개, 측면에 4개를 설치하였다. 스파지 파이프 분사 실험을 위한 유동 매체로 공기를 주입하였으며, 공기 압력을 **0-7 bar**, 공기 유량을 **20-100 L/min** 까지 변화시켜 공급하고 이에 따른 스파지 파이프의 **hole** 속도 및 압력강하를 측정 하였다.



<그림 3.22> 열가수분해 상온 실험장치 개략도



<그림 3.23> 열가수분해 상온 실험장치 사진

(좌: 실험장치 전체, 중앙: 수직 스파지 파이프, 우: 수평 스파지 파이프)

실험에 사용된 수평 및 수직 스파지 파이프 사양은 <표 3.20>과 같으며, 스파지 파이프는 중앙 수직, 측면 수직, 수평 스파지 파이프 3가지 형태로 설치하였다. 수평 스파지 파이프는 3mm hole 하향 분사 방식으로 직각방향으로 4개를 설치하였고, 수직 스파지 파이프는 장치 중앙에 수직 스파지 파이프 1개를, 측면에 수직 스파지 파이프는 4개를 설치하는 방식으로 설치하였다. 또한 중앙 및 측면 수직 스파지 파이프는 상온 실험장치 내부의 원활한 분사 및 혼합을 위해 서로 다른 위치에서 hole이 위치하도록 하였다.

<표 3.20> 스파지 파이프 설계 사양

	수평 스파지 파이프	
Hole diameter	3mm	
Number of holes	3 x 3 ea	
	중량 수직 스파지 파이프	
Hole diameter	5mm	
Number of holes	4 x 3 ea	
	측면 수직 스파지 파이프	
Hole diameter	5mm	
Number of holes	4 x 3 ea	

(다) 최적 스파지 파이프 조건 도출 실험 결과


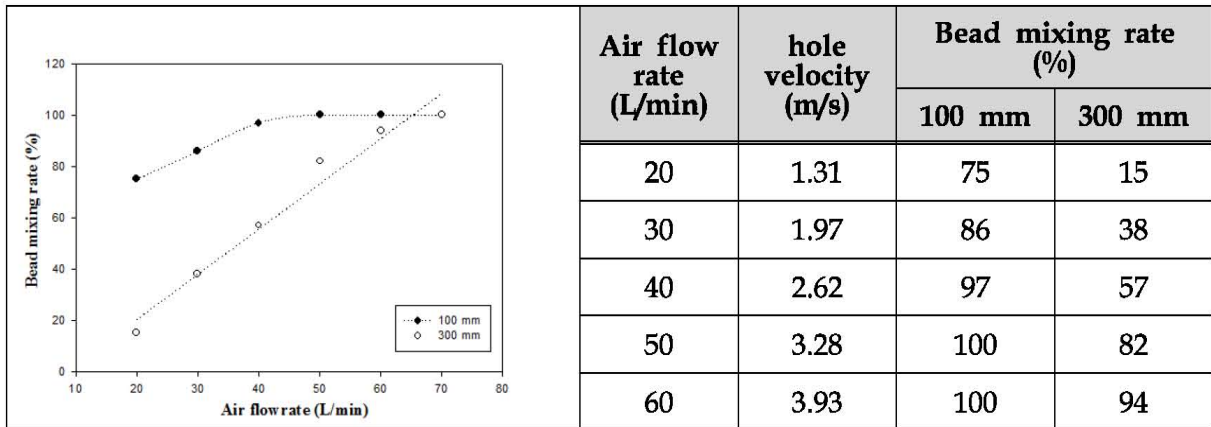
① 수평 스파지 파이프의 주입 공기 유량변화 및 설치 높이에 따른 영향

수평 스파지 파이프의 주입 공기유량 및 설치 높이에 따른 영향을 보기 위해 수평 스파지 파이프(4 set)를 설치 높이 100mm, 300mm에서 주입 공기유량을 20~100 L/min 로 변화를 주어 유동특성 실험을 수행하였다. 내부 혼합 특성을 파악하기 위해서 polymer bead 를 사용하여 유량 변화에 따라 내부 혼합도를 측정하였고, 이때 사용된 polymer bead의 물성은 <표 3.21>과 같다.

<그림 3.24>는 수평 스파지 파이프의 공기유량 및 설치 높이에 따른 장치 내부의 혼합도 (mixing rate) 변화를 나타내었다. 수평 스파지 파이프는 설치높이 100mm의 경우가 설치 높이 300mm의 경우 보다 동일한 공기유량에서 내부 혼합도(mixing rate)를 나타내는 polymer beads의 혼합도가 높게 나타났으며, 50L/min 의 공기유량에서 polymer beads의 혼합도가 최대치에 도달하였다. 이는 설치 높이 300mm에서 보다 기포 체류시간이 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 hole 속도가 증가할수록 혼합도가 증가됨을 알 수 있다.

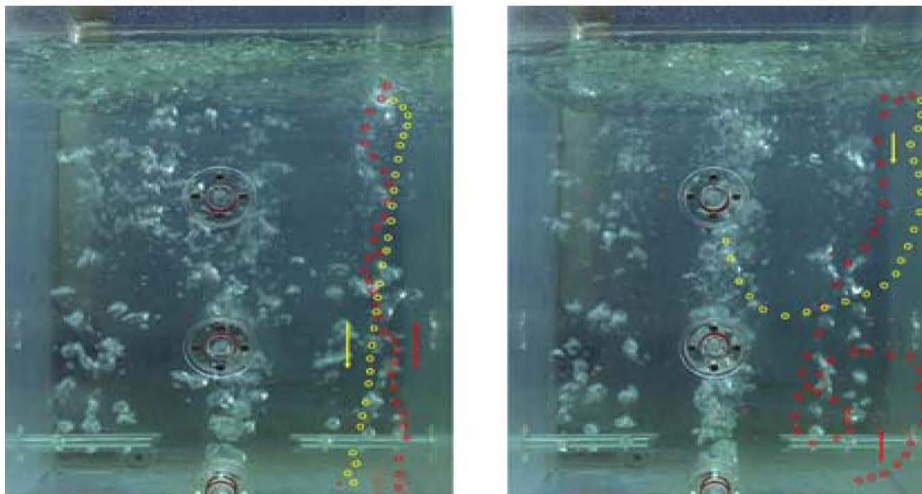
<표 3.21> Polymer bead의 물성

Description	Symbol	Unit	Value
Particle mean diameter	d_p	um	1000
Apparent density	p_s	kg/m ³	1100
Bulk density	P_{bulk}	kg/m ³	577
Shape factor(sphericity)	ϕ	-	1
Voidage at loosely packed bed	ϵ_p	-	0.48

<그림 3.24> 설치 높이 및 주입 공기유량 변화에 따른 polymer beads 혼합도 변화

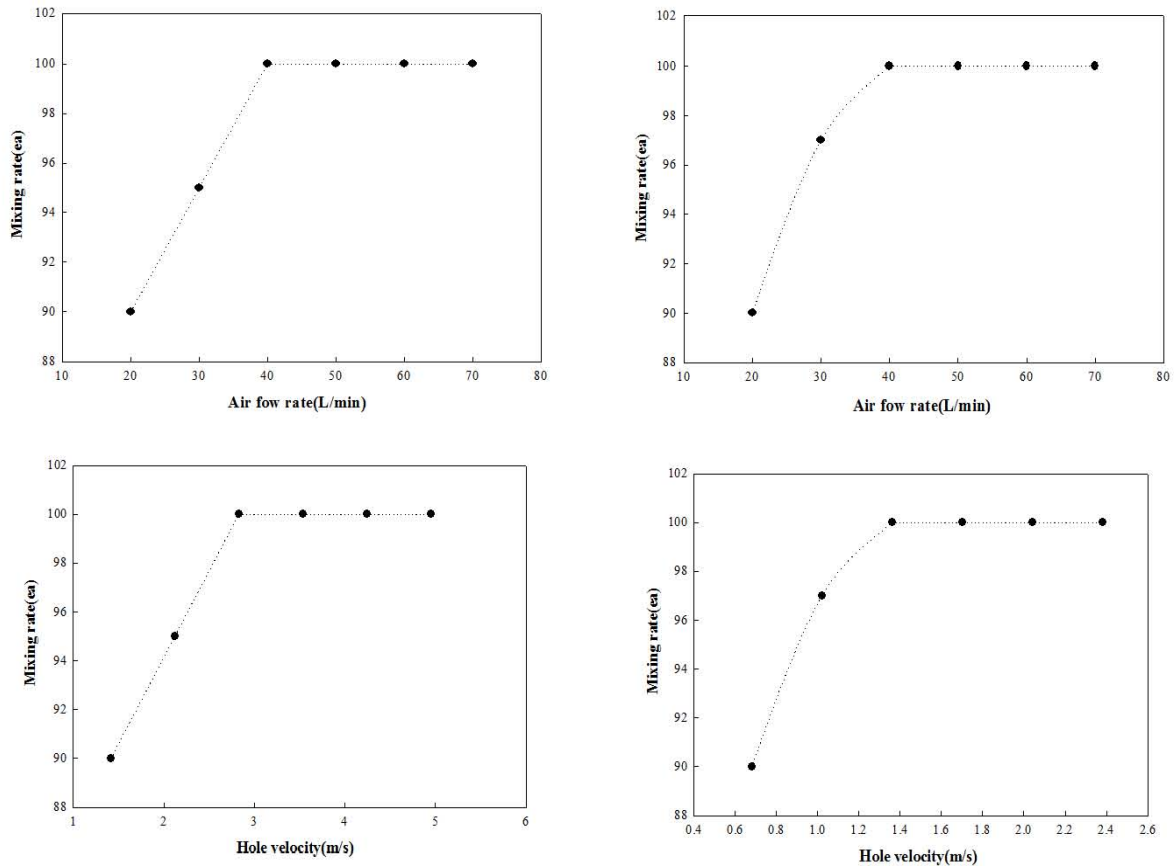
수평 스파지 파이프 설치높이가 100mm의 경우가 polymer beads의 혼합도가 높은 것으로 나타났며, 이때의 장치 내부의 polymer beads의 거동 특성을 파악하기 위해서 초고속 카메라를 이용하여 그 결과를 <그림 3.25>에 나타내었다.



<그림 3.25> Polymer beads 의 거동

(공기유량 : 30 L/min, 수평 스파지 파이프 설치 높이 10cm, 4ea 사용)

② 수평 및 중앙 수직 스파지 파이프를 이용한 주입 공기유량 및 압력 변화에 따른 영향
 수평 및 중앙수직 스파지 파이프를 사용하여 주입 공기유량 및 **hole** 속도 변화에 따른
 장치 내부의 혼합도 영향을 알아보기 위해서 수평 스파지 파이프(설치높이 100mm, 4ea)
 및 중앙 수직 스파지 파이프를 이용하여 주입 공기유량 변화에 따른 **polymer beads**의 혼
 합도를 측정하였다. <그림 3.26>의 혼합도 측정 결과와 같이, 중앙 수직 스파지 파이프 및
 수평 스파지 파이프를 동시 사용한 경우가 수평 스파지 파이프를 단독으로 사용한 경우보
 다 낮은 유량 및 **hole** 속도에서 최대의 혼합도를 나타내었다.



<그림 3.26> 주입 공기유량 및 hole velocity 변화에 따른 polymer beads 혼합도 변화
 (좌: 중앙 수직 스파지 파이프 단독 사용, 우: 수평 및 중앙 수직 스파지 파이프 동시사용)

수직 스파지 파이프의 경우 장치 내부의 수두에 따른 영향으로 인해 주입된 공기가 모
 든 **hole**에서 동일하게 분사되지 않았다. 따라서 모든 **hole**에서의 균일한 공기 분사가 이
 루어지는 압력조건 도출을 위한 실험을 수행하여, 그 결과를 <그림 3.27>에 나타내었다.
 중앙 수직 스파지 파이프를 단독으로 사용한 경우는 공기 압력 0.25bar(gauge)에서 모든
hole에서 원활한 분사가 측정 되었다. 그러나 측면 수직 스파지 파이프를 4개를 사용한 경
 우에는 2.4bar(gauge) 이상에서 균일하게 분사됨이 관찰되었다.



0.25bar(gauge)

중앙 수직



0.25bar(gauge)



1.20bar(gauge)

측면수직



2.40bar(gauge)

<그림 3.27> 중앙 수직 및 측면 수직 스파지 파이프에서 공기 압력변화에 따른 공기분사 거동

③ 수평 스파지 파이프를 이용한 설치 높이 및 공기압력 변화에 따른 영향

수직 스파지 파이프 분사실험과 같이 수평 스파지 파이프를 설치 높이 100mm, 300mm에서 주입공기 압력 변화에 따른 영향을 알아보기 위하여 공기압력을 0.4~2.0bar(gauge) 까지 변화시키며, 스파지 파이프의 차압 및 hole 속도를 측정하고, 장치 내부의 거동을 관찰하고자 polymer beads 를 사용하여 실험을 수행하였다.

수평 스파지 파이프의 설치 높이 300mm에서 주입 공기압력 변화에 따른 bead 거동 및 수면 팽창 변화의 결과를 <그림 3.28>에 나타내었다. <그림 3.28>에서 설치 높이 300mm에서는 스파지 파이프 하부에서 장치 내부의 바닥까지 분사가 일어나지 않아 기-액간의 접촉이 거의 없었고, 설치된 스파지 파이프 상부에 존재하는 polymer beads의 유동은 격렬하게 이루어졌다. 그러나 스파지 파이프 하부의 경우는 유동이 원활하지 않아 dead zone 이 발생하였다. 이는 수평 스파지 파이프 hole에서의 분사되는 공기가 바닥까지 미치지 못하고 장치 상부로 상승하기 때문이다. 따라서 장치 내부의 하부에 추가적인 유동을 위해 바닥 근처에 스파지 파이프의 설치가 필요하다.

<표 3.22>는 주입 공기 압력에 따른 수평 스파지 파이프(설치높이 300mm)에서의 스파지 파이프 차압, hole 속도 및 공기 유량 변화를 정리하여 나타내었다. 주입 공기압력이 0.5~2.0bar(gauge)로 증가함에 따라 스파지 파이프의 hole 속도는 10.9~44m/s, 차압은 1.1~18.6kPa, 공기 유량은 462~1867L/min으로 측정되었다.



0.5bar(gauge)



1.0bar(gauge)



1.5bar(gauge)



2.0bar(gauge)

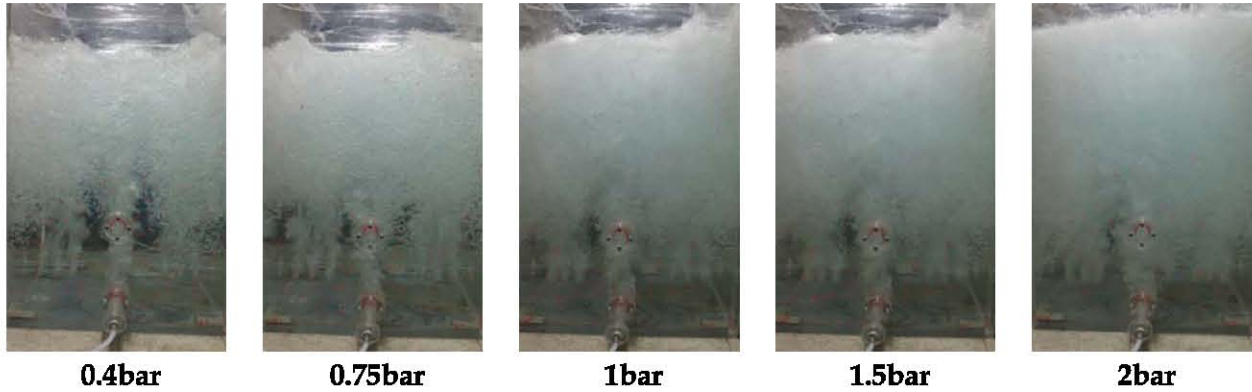
<그림 3.28> 수평 스파지 파이프(설치높이 300mm)에서 주입 공기압력에 따른 bead 거동 및 수면 팽창 변화

<표 3.22> 주입 공기 압력에 따른 수평 스파지 파이프(설치높이 300mm)의 차압, hole 속도 및 공기 유량 변화

Item	0.5bar(gauge)	1bar(gauge)	1.5bar(gauge)	2bar(gauge)
Pressure drop (kPa)	1.1	2	6.1	18.6
Hole velocity (m/s)	10.9	14.2	25.3	44
Air flow rate (L/min)	462	604	1071	1867

장치 하부에 발생하는 **dead zone**을 줄이고자, 수평 스파지 파이프를 100mm 높이에 설치하여 공기 주입 공기 압력 변화에 따른 실험을 수행하고 그 결과를 <그림 3.29>에 나타내었다. <그림 3.29>와 같이 수평 스파지 파이프는 0.4bar(gauge)에서 장치 전체에서 격렬한 혼합현상이 관찰되었다. 또한 주입 공기 압력의 증가는 수면 팽창이 관찰되었다. 이는 기포의 **volume fraction**이 증가하여 실제 고온 열가수분해 장치에 적용시 기-액간의 접촉 면적을 극대화 및 **dead zone**을 감소시켜 효과적인 열전달 및 유기성 물질 분해 효과가 상승할 것으로 판단된다.

<표 3.23>은 주입 공기 압력에 따른 수평 스파지 파이프(설치높이 100mm)에서의 스파지 파이프 차압, hole 속도 및 공기 유량 변화를 정리하여 나타내었다. 주입 공기 압력이 0.4~2.0 bar(gauge)로 증가함에 따라 스파지 파이프의 hole 속도는 10.7~47.1m/s, 차압은 1.1~22.29kPa, 공기 유량은 453~1995L/min으로 측정되었다.



<그림 3.29> 주입 공기 압력 변화에 따른 수평 스파지 파이프 거동(설치높이 100mm)

<표 3.23> 주입 공기 압력에 따른 수평 스파지 파이프(설치높이 100mm)의 차압, hole 속도 및 공기 유량 변화

Item	0.4bar	0.75bar	1bar	1.5bar	2bar
Pressure drop (kPa)	1.1	2.24	3.16	7.14	21.29
Hole velocity (m/s)	10.7	15.3	18.2	27.3	47.1
Air flow rate (L/min)	453	647	769	1156	1996

④ 결론 및 고찰

열가수분해 장치 내부의 열전달 및 혼합도 향상을 위해 장치 내부에 설치된 수평 및 수직 스파지의 설치 조건 및 스파지 파이프에 주입되는 공기의 유량 변화에 따른 polymer beads의 혼합도 변화를 측정하였다. 실험 결과로 수평 스파지의 경우는 높이 100mm 위치 할때 낮은 유량(50L/min)에서 최대 혼합도(100%)에 도달하였다. 중앙 수직 스파지 파이프 및 수평 스파지 파이프 혼합사용의 경우 수평 스파지 파이프 단독사용의 경우보다 낮은 유량(40L/min)에서 최대 혼합도(100%)에 도달하였다. 스파지 파이프의 공기분사 측면에서는 수평 스파지 파이프 경우는 공기분사정도가 hole 위치에 관계없이 일정하게 분사되었으나, 수직 스파지 파이프 경우에는 장치 상부의 hole에서 분사가 잘됨을 알 수 있었다. 이것은 장치 내부의 수두압에 기인하는 것으로 파악된다. 중앙 스파지 파이프 단독 사용의 경우 0.25bar에서 균일한 분사가 이루어 졌으며, 측면 수직 스파지 파이프 4ea를 사용한 경우에는 2.4bar에서 균일한 분사가 관찰되었다.

수평 스파지 파이프의 경우는 장치 내부의 수두압에 영향을 받지 않아 수직 스파지 파이프의 비해 모든 hole에서 균일한 공기분사가 일어나며 혼합도가 증가하기 때문에 고온 열가수분해 장치 적용시 분해능이 상승되어 운전비용이 저감될 것으로 판단된다. 그러나 스파지 파이프의 설치 높이보다 낮은 높이에서는 유동이 원활하게 일어나지 않으므로, 스파지 파이프를 가능한 장치 바닥부근에 설치해야 한다. 그러나 고온 열가수분해 장치의 경우는 분사되는 증기의 압력이 매우 높아 수직 스파지 파이프의 사용은 모든 hole에서 고

르게 분사가 될 것으로 예측되나, 고온 실험시 검증할 필요가 있을 것으로 사료된다. 결론적으로 고온 열가수분해 장치 내부의 혼합도 및 기-고 접촉면적 증가로 분해능 향상을 위해서는 수평 스파지 파이프를 열가수분해 장치 바닥 근처에서 사용하고 부족한 장치 상부의 혼합도를 위해서는 수직 스파지 파이프를 같이 사용하는 것이 효과적으로 판단된다. 실험을 통해 도출한 조건을 반응기 제작에 반영하여 가금류 사체처리 설비를 제작하였다.

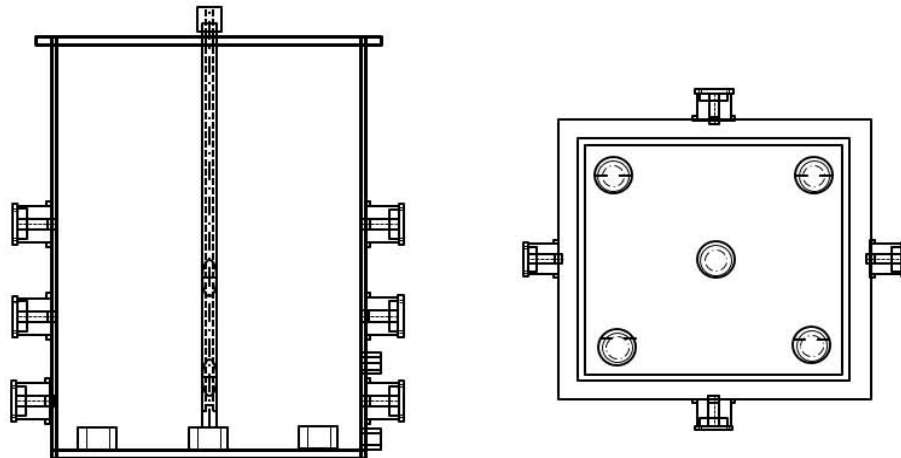
(라) 열가수분해 장치 성능 개선 실험

① 실험배경 및 목표

열가수분해 반응기 내부의 고상물질의 혼합도 향상을 위하여, 열가수분해 반응기 내부에 충물질(모래)을 투입하여 열가수분해 반응기에 주입되는 공기 압력 변화에 따른 반응기 내부 유동특성 실험을 수행하였다.

② 실험장치 및 사양

본 연구의 목적을 위해 설계 및 제작된 열가수분해 상온 실험장치 개략도는 <그림 3.30>과 같으며, <그림 3.31>에 실험장치 사진을 나타냈다. 수직 스파지 파이프의 적용을 위해 장치 내부 중앙에 1개, 측면에 4개를 설치하였다. 스파지 파이프 분사 실험을 위한 유동 매체로 공기를 주입하였으며, 유동층 물질은 모래를 사용했다. 조업변수로서 공기주입 압력을 1.0-7.0 bar로 변화시키고 이에 따른 충물질의 유동 특성을 도출하고자 하였다.



<그림 3.30> 열가수분해 상온 실험장치 개략도
(좌: 실험장치 측면, 우: 실험장치 상부)



**<그림 3.31> 열가수분해 상온 실험장치
(좌: 실험장치 전체, 우: 수직 스파지 파이프)**

실험에 사용된 수직 스파지 파이프 사양은 <표 3.24>와 같으며, 스파지 파이프는 중앙 수직, 측면 수직 2가지 형태로 설치하였다. 수직 스파지 파이프는 장치 중앙에 수직 스파지 파이프 1개를, 측면에 수직 스파지 파이프는 4개를 설치하는 방식으로 설치하였다. 또한 중앙 및 측면 수직 스파지 파이프는 상온 실험장치 내부의 원활한 공기분사 및 혼합을 위해 스파지 파이프는 일정한 간격으로 다수의 hole이 위치하도록 하였다. <표 3.25>에는 실험에 사용된 모래의 물성에 대해 나타냈다.

<표 3.24> 스파지 파이프 설계 사양

	중앙 수직 스파지 파이프	
	Hole diameter	5mm
	Number of holes	4ea
	측면 수직 스파지 파이프	
	Hole diameter	5mm
	Number of holes	4ea

<표 3.25> Silica sand의 물성

Iteam	0.4bar	0.75bar	1bar	1.5bar	2bar
Pressure drop (kPa)	1.1	2.24	3.16	7.14	21.29
Hole velocity (m/s)	10.7	15.3	18.2	27.3	47.1
Air flow rate (L/min)	453	647	769	1156	1996

③ 중앙 및 측면 수직 스파지 파이프를 이용한 주입 공기유량 및 압력 변화에 따른 영향 실험장치 중앙 및 측면 수직 스파지 파이프를 설치하였고, **hole**의 설치 높이는 **100, 50mm**이며, 주입 공기의 주입 압력에 따른 장치 내부의 모래 혼합도를 측정하였다. 중앙 수직 스파지 파이프 1개를 사용하여 공기 주입 압력 **1.0-7.0 bar**에 따른 장치 내부의 혼합도를 측정하였다. 이때 공기 주입 시 대부분 스파지 파이프 상부 **hole**에서 분사되어 상부에서만 유동이 일어남을 관찰되었다. 공기 주입 시 공기 주입압력을 **7.0bar**로 증가시켰음에도 불구하고 상부에서만 유동이 활발히 일어남을 것을 알 수 있었다.

측면 수직 스파지 파이프 4개를 사용, 공기를 주입하여 장치 내부의 혼합도를 측정하였다. 공기 주입 압력 **1.0 ~ 4.0bar**에서는 반응기내부에서 유동이 활발히 일어나지 않았으며, **5.0 ~ 7.0bar**에서는 수직 스파지 파이프 근처에서 비교적 활발한 유동을 관찰되었고 장치 내부 중앙 부분은 유동이 발생하지 않아 **dead zone**이 발생하였다. 이는 4개의 측면 스파지 파이프 **hole**에서의 분사되는 공기가 중앙까지 미치지 못하고 장치 상부로 상승하기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위해 장치 내부의 중앙에 추가적인 수직 스파지 파이프의 설치하여 반응기 내부의 전반적인 유동에 효과적인 판단되었다.

중앙 수직 스파지 파이프 1개, 측면 수직 스파지 파이프 4개를 <그림 3.32>와 같이 설치하였다. 중앙 수직 스파지 파이프의 설치로 측면 수직 스파지 파이프 4개만을 설치한 경우보다 공기 주입 압력 **5.0 ~ 7.0bar**에서 더 활발한 유동을 관측할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 여전히 반응기 하부에서 **dead zone**이 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이는 **hole**에서 분사되는 공기가 바닥까지 미치지 못하고 장치 상부로 상승하기 때문이다. 따라서 장치 하부에 형성되는 **dead zone**을 없애기 위해서는 반응기 하부에 수평 스파지 파이프를 설치하는 것이 반응기 전체의 층물질 유동화에 의해 혼합도 향상에 효과적이라는 결과를 도출할 수 있었다.



<그림 3.32> 중앙 및 측면 수직 스파지 파이프 설치

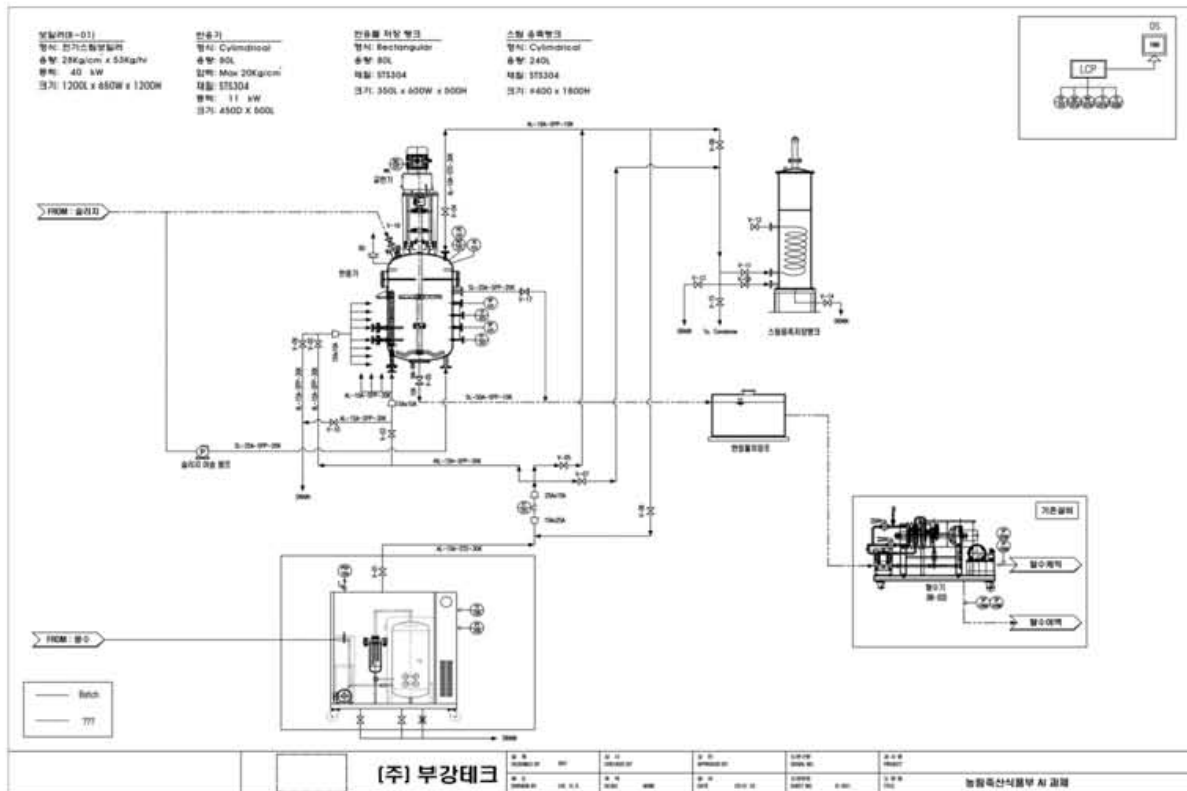
④ 실험 결과 및 고찰

열가수분해 장치 내부의 열전달 및 혼합도 향상을 위해 장치 내부에 설치된 중앙 및 측면 수직 스파지의 설치 조건 및 스파지 파이프에 주입되는 공기의 주입 압력 변화에 따른 모래의 혼합도 변화를 측정하였다. 실험 결과로 중앙 수직 스파지 파이프 1개를 사용할 경우 공기 주입 압력 7.0bar에서도 유동이 일어나지 않았다. 측면 수직 스파지 파이프 4개를 사용한 경우 공기 주입 압력 5.0bar부터 유동이 일어나는 것을 볼 수 있었으며, 7.0bar서는 비교적 원활한 유동을 보였다. 그러나 장치 내부의 중간 부분에서는 **dead zone**이 발생한 것을 볼 수 있었다. 중앙 및 측면 수직 스파지 파이프 5개를 혼합사용 경우 측면 수직 스파지 파이프 4개를 사용했을 때보다 더 원활한 유동을 볼 수 있었다. 그러나 수직 스파지 파이프의 설치 높이보다 낮은 높이에서는 유동이 원활하게 일어나지 않으므로, 반응기 하부에 추가적인 수평 스파지 파이프를 설치해야한다. 결론적으로 고온 열가수분해 장치 내부의 혼합도 및 기-고 접촉면적 증가로 분해능 향상을 위해서는 장치 하부에 추가적인 수평 스파지 파이프 설치를 통해 부족한 장치 하부의 혼합도를 해결할 필요가 있다고 판단되었다.

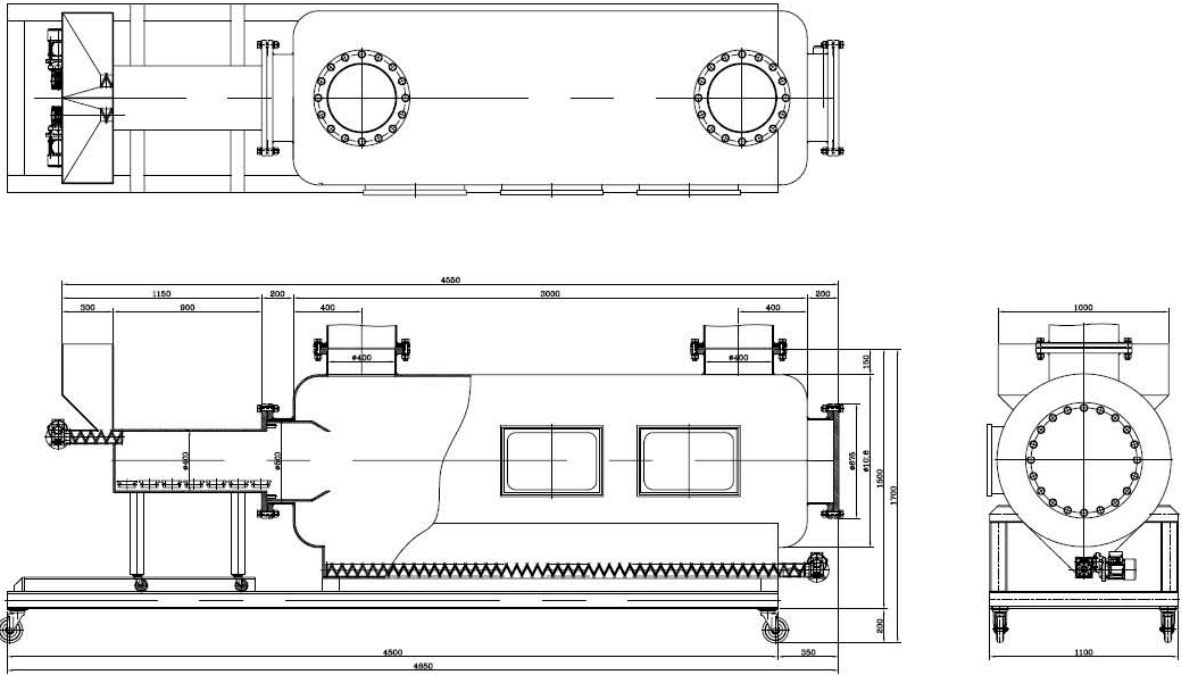
(4) 가금류 폐사체 처리시스템 개발

(가) 가금류 폐사체 처리시스템 설계 및 제작

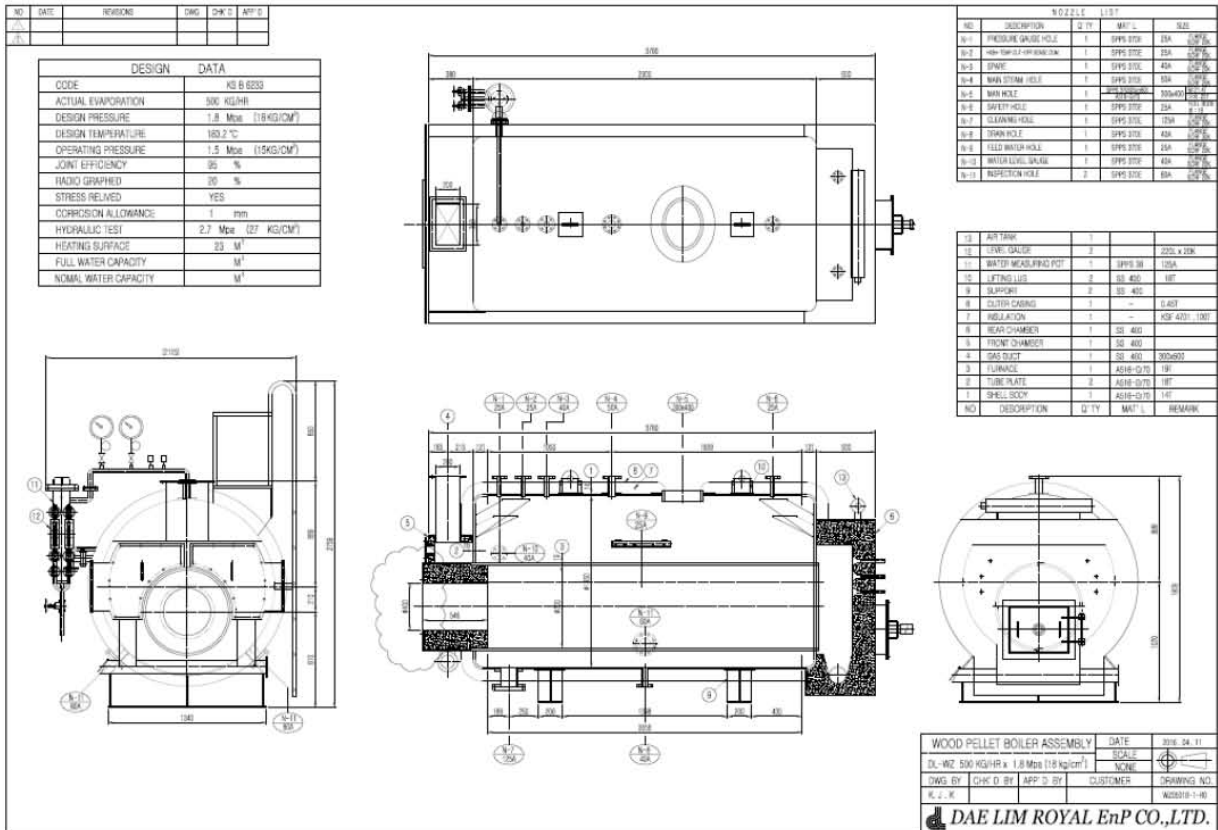
본 과제의 현장연구에 사용되는 설비의 처리용량은 cycle당 40L이다. 현장 test를 통하여 가금류 처리에 대한 운영 Data를 축적하여 Scale-up data 도출을 목표로 하였으며, 시간당 1,000수 이상의 처리용량을 가진 설비 제작 및 운영에 필요한 인자를 도출하고자 하였다. Pilot 설비는 현장 이동이 용이하도록 이동형 컨테이너 타입으로 제작하였으며, 처리현장에 부대장비가 필요 없는 일체형 처리장비로 계획하였다. 처리시스템의 도면은 <그림 3.33~37>과 같으며, 제작사진 및 현장 설치 전경을 <그림 3.38~41>에 나타냈다. 주요 공정 구성 계획은 다음과 같다. 폐사체 처리시스템은 크게 스팀을 생산하기 위한 보일러와 가수분해를 하는 반응기, 반응 후 고온의 반응물을 배출하기 위한 응축설비와 배출된 반응물을 연소하여 처리하는 연소기로 구성된다. 반응기의 온도 및 압력조건은 자동제어시스템에 의해 최적의 조건으로 조절되며, 반응의 효율을 높이기 위해 교반기로 교반하여 반응을 진행한다.



<그림 3.33> 가금류 사체 처리시스템 도면(1): P&ID



<그림 3.36> 액상연소로 도면(1): 연소로 개념 설계도



<그림 3.37> 액상연소로 도면(2): 펠릿보일러 구조도



<그림 3.38> 가금류 사체처리 시스템 제작



<그림 3.39> 가금류 사체처리 시스템 현장설치 전경



<그림 3.40> 역상연소로 및 폐열보일러 제작

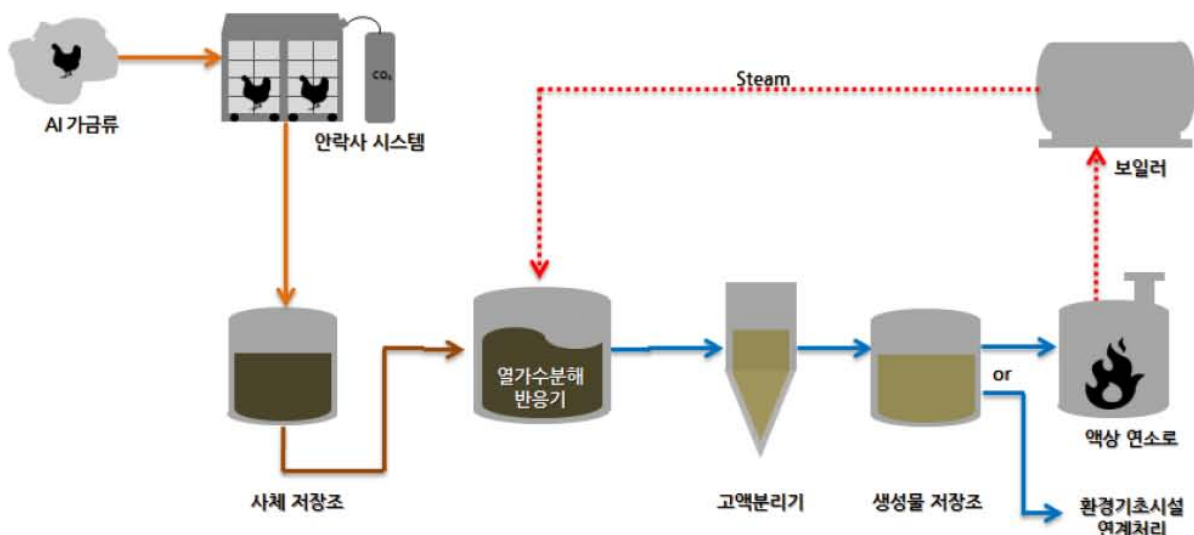


<그림 3.41> 액상연소로 및 폐열보일러 설치 전경

(나) 가금류 사체처리 실험 결과

① 처리공정

처리공정은 <그림 3.42>와 같으며, 안락사 시킨 닭을 열가수분해 반응기에 투입하여 처리하고, 처리 후 생성된 액상반응물은 저장 후 액상연소로에서 연소하여 처리하였다.






<그림 3.42> 가금류 사체처리 시스템 공정도

② 실험 조건

처리시스템은 사체처리 성능검증을 위해 일 처리용량을 80L(kg)/일로 계획하였으며, 1cycle에 40L씩 하루 2cycle 운전하도록 계획하였다. 가축사체는 단백질과 지방이 주성분이기 때문에 170℃ 이상에서 분해가 가능한 것으로 알려져 있다. 따라서 본 실험에서는 운전 온도를 170℃에서 210℃까지 10℃ 단위로 변화를 주면서 최적온도를 찾고자 하였으며, 운전압력은 설정 운전온도 증가에 따라 9.0 ~ 23.0kg/cm² 까지 증가되었다. 이때 반응기 내부의 압력은 슬러지의 부피증가로 인해 해당 온도의 포화수증기압보다 좀 더 높은 수증기압이 형성되게 된다. 운전시간은 사전연구를 통해 도출한 최적 운전온도인 60분을 기준으로 하여 40분에서 70분까지 10분 단위로 변화를 주며 최적 온도를 찾고자 하였다. 운전에 총 소요된 시간은 승온시간 60분, 증기 투입시간 60분, 운전(반응)시간 40~70분, 감온·감압

시간 60분으로 총 220~250분이었다. 실험에 사용된 주요 설비의 사양을 <표 3.26>에 나타냈으며, 자세한 운전조건 및 설계기준은 <표 3.27>과 같다.

<표 3.26> 주요 설비 및 사양

Equipment	Specifications
<p>열가수분해 반응기</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacity : 80L • Weight : 520kg • Material : STS 304 • Max. Operating Pressure : 23 kg/cm² • Max. Operating Temperature : 220℃
<p>스팀보일러</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Size : 650W×1,200L×1,200H • Max Pressure : 30 kg/cm² • Normal Pressure : 28 kg/cm² • Power Consumption : 26kwh
<p>액상연소로</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustion Capacity: 250kg/hr • Steam Production: 500kg/hr • Max Pressure : 18 kg/cm²

<표 3.27> 가금류 사체처리 시스템 운전조건 및 설계기준

구분	기준항목	단위	설계기준	적용
가금류 사체 처리	운전압력	kg/cm ²	5~22	9~23
	운전온도	℃	150~220	170~210
	운전시간	min	30~90	40~70
	처리량	L/cycle	30~50	40

③ 실험 재료

본 실험에 사용된 닭은 서울대 평창캠퍼스와 당진시 양계장에서 포획하였으며, 레그혼종과 오골계를 약 25마리, 40kg 씩 반응기에 투입하였다.

<표 3.28> 가금류 사체처리 실험 재료

구분	투입 닭 수(마리)	투입 무게(kg)
육계/산란계 혼합 (레그혼종/오골계)	25	40

④ 실험 절차

Pilot test 절차는 <그림 3.43-46>에 나타낸 것과 같이 ① 가금류 포획, ② 안락사 및 반응기 투입, ③ 열가수분해 반응 및 생성물 배출, ④ 액상생성물 연소 및 최종처리로 진행된다. 실험 후 발생된 액상생성물을 정상을 분석하기 위하여 수질오염공정시험기준에 따라 수질분석을 실시하였으며, 각 조건별로 입자분석을 하였다. 또한, 생성된 액상물의 연료로서의 가치를 평가하기 위해 공업분석과 발열량을 측정하였다. 그리고 열가수분해 과정 중 발생한 악취물질에 대한 분석을 실시하였으며, 액상물 연소 중 발생한 배가스의 환경 위해성을 평가하기 위하여 가스 계측기를 사용하여 성분을 분석하였다.



<그림 3.43> 가금류 사체처리 절차(1) 가금류 포획



<그림 3.44> 가금류 사체처리 절차(2) 가금류 안락사 및 사체투입



<그림 3.45> 가금류 사체처리 절차(3) 열가수분해 반응 및 생성물 배출



<그림 3.46> 가금류 사체처리 절차(4) 액상생성물 연소 및 최종처리

⑤ 실험 결과

㉞ 최적 운전온도 도출

운전온도를 170℃에서 210℃까지 10℃ 단위로 변화를 주면서 운전온도에 따른 생성물의 특성을 분석하고자 하였으며, 문헌조사와 사전 연구를 통해 도출해 낸 최적 운전시간인 60분간 운전을 진행하였다. 자세한 운전 조건은 <표 3.29>와 같다.

<표 3.27> 최적 운전온도 도출 실험 운전조건

	투입물	운전조건		
		운전온도	반응시간	압력
1	가금류 육계/산란계 혼합 (레그혼종/오골계) 40kg	170℃	60min	9.0 kg/cm ²
2		180℃	60min	12.8 kg/cm ²
3		190℃	60min	14.9 kg/cm ²
4		200℃	60min	19.0 kg/cm ²
5		210℃	60min	23.0 kg/cm ²

실험에 투입된 가금류 사체를 <그림 3.47>에 열가수분해 반응 후 생성된 액상생성물과 잔류부산물의 사진을 <그림 3.48~49>에 나타내었다. 가금류 사체는 일부 뼈와 모래를 제외하고는 대부분 분해되었다.



<그림 3.47> 반응기 투입 가금류 사체



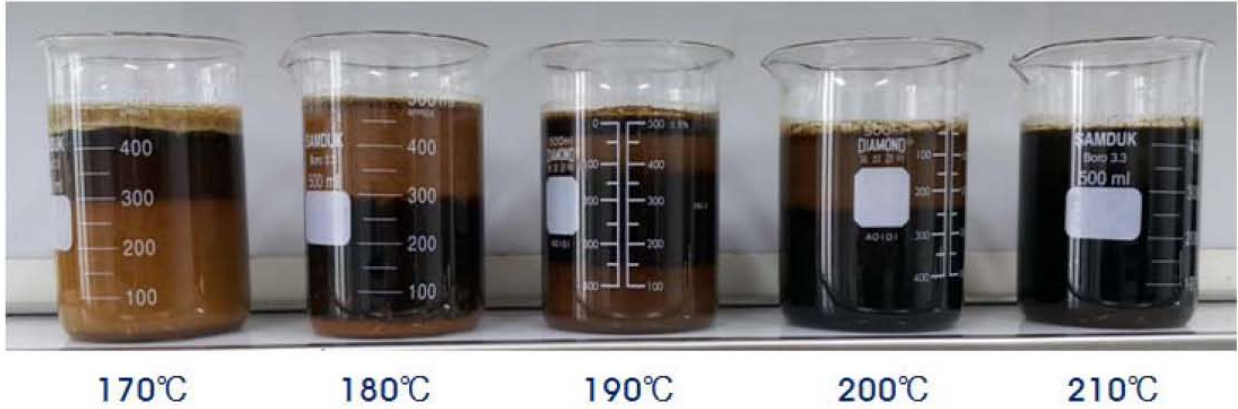
<그림 3.48> 반응 후 생성된 액상생성물



<그림 3.49> 고상잔류물(찌, 모래)

<그림 3.50>에는 반응온도에 따른 액상생성물의 변화를 나타냈다. 열가수분해 반응 후 생성된 액상생성물의 수질분석 결과, <표 3.29> 및 <그림 3.51>과 같이 운전(반응) 온도가 올라감에 따라 가용화율이 높아지는 것을 확인 할 수 있었다. 가용화란 가금류 사체 내 미생물의 세포벽을 파괴하여 고상물질을 용존성 액상물질로 변화시키는 것으로 일반적으로 가용화 특성을 알아보는 대표적인 지표로서 사용되는 것은 $SCOD_{Cr}$, NH_3-N 과 $SCOD_{Cr}/TCOD_{Cr}$ 비율의 증가이다. 본 실험에서는 반응온도가 증가함에 따라 $SCOD_{Cr}$, NH_3-N 농도와 $SCOD_{Cr}/TCOD_{Cr}$ 비율이 높아지는 것을 확인 할 수 있었으며, $NH_3-N/T-N$ 의 비율도 증가하였는데 열가수분해 반응이 진행되면서 유기성 질소들이 암모니아성 질소로 변환된 것으로 사료된다. 또한, 반응온도가 높아짐에 따라 TS 와 $TCOD_{Cr}$, SS 가 감소하는 것을 확인 할 수 있었는데 이는 열가수분해 반응을 통해 고형물의 액상화가 진행되고 용존성 물질이 증가한 것으로 판단된다.

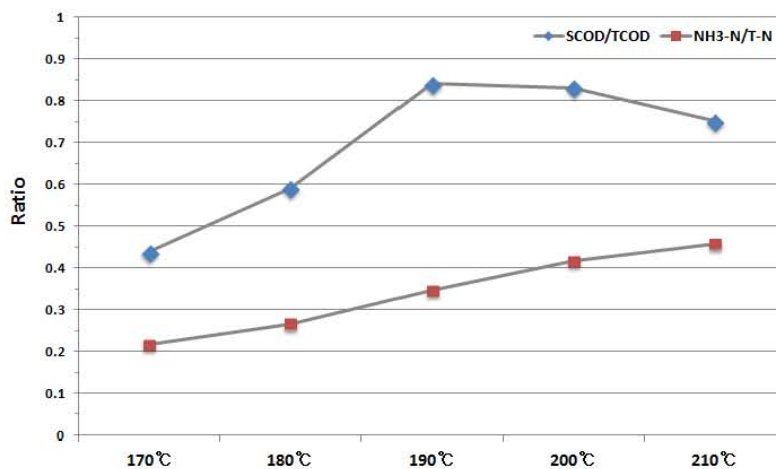
<그림 3.50>에 나타낸 것과 같이 반응온도 $170^{\circ}C$, $180^{\circ}C$, $190^{\circ}C$ 의 액상반응물과 반응온도 $200^{\circ}C$, $210^{\circ}C$ 의 액상반응물을 비교해보면 상징액 색깔이 확연하게 차이가 난다. $190^{\circ}C$ 부터 아미노산, 단백질, 핵산 등으로 구성된 EPS(Extracellular Polymeric Substances, 과세포질중합물질) 물질이 파괴되기 시작하여 $200^{\circ}C$ 부터는 EPS 물질이 대부분 파괴된 것으로 판단된다.



<그림 3.50> 운전온도 별 액상생성물

<표 3.30> 운전온도에 따른 액상생성물 수질분석 결과

Temp	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	TCOD _G (mg/L)	SCOD _G (mg/L)	T-N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	SCOD/TCOD	NH ₃ -N/T-N
170℃	84,430	230,500	58,000	399,000	174,400	18,050	3,900	890	0.437	0.216
180℃	68,640	215,000	54,500	384,500	227,000	17,700	4,700	855	0.590	0.266
190℃	63,980	190,500	48,800	366,500	308,200	16,200	5,600	775	0.841	0.346
200℃	59,425	188,500	48,000	346,000	288,000	13,700	5,700	730	0.832	0.416
210℃	53,800	178,000	42,500	265,500	199,500	13,650	6,250	745	0.751	0.458



<그림 3.51> 운전온도에 따른 액상생성물 가용화 변화

각 온도별 입자분석 결과를 <표 3.31>에 나타냈다. 운전온도 180℃에서부터 입자 size가 급격히 감소하여 190℃에서부터 안정화되었다. 열가수분해 후 액상생성물의 입자 size는 평균 40~50 μ m인 것으로 나타났다.

<표 3.31> 운전온도에 따른 액상생성물 입자분석 결과

Temp.	Median size(μm)	Mean size(μm)
170℃	83.57	88.03
180℃	54.03	55.95
190℃	49.35	49.32
200℃	43.44	47.37
210℃	36.19	39.22

상기 결과를 종합하여 판단하면, 190℃가 가금류 사체 액상화(가용화)에 필요한 최소 적정 온도인 것으로 사료되며, 가용화율을 나타내는 지표인 SCOD_{Cr}/TCOD_{Cr} 비율 또한 190℃에서 급격하게 증가하는 것을 봤을 때 경제성까지 고려한 가금류 열가수분해 반응 최적온도는 190℃인 것으로 판단된다.

⊕ 최적 운전시간 도출

상기 실험을 통해 도출한 최적 운전온도인 190℃에서 운전 시간 40분부터 70분까지 10분 단위로 변화를 주면서 운전시간에 따른 생성물의 특성을 분석하고자 하였다. 자세한 운전 조건은 <표 3.32>와 같다.

<표 3.32> 최적 운전시간도 도출 실험 운전조건

	투입물	운전조건		
		운전온도	반응시간	압력
1	가금류 육계/산란계 혼합 (레그혼종/오골계) 40kg	190℃	40min	14.9 kg/cm ²
2		190℃	50min	14.9 kg/cm ²
3		190℃	60min	14.9 kg/cm ²
4		190℃	70min	14.9 kg/cm ²

<그림 3.52>에 반응시간에 따른 액상생성물의 변화를 나타냈다. 열가수분해 반응 후 생성된 액상생성물의 수질분석 결과, <표 3.33> 및 <그림 3.53>과 같이 운전(반응) 시간이 증가함에 따라 가용화율이 높아지는 것을 확인 할 수 있었다. 반응시간이 증가함에 따라 SCOD_{Cr}, NH₃-N 농도와 SCOD_{Cr}/TCOD_{Cr} 비율이 높아지는 것을 확인 할 수 있었으며, NH₃-N/T-N의 비율도 증가하였다. 또한, 반응시간이 증가함에 따라 TS와 TCOD_{Cr}, SS가 감소하는 것을 확인 할 수 있었다. 열가수분해 반응을 통해 고형물의 액상화가 진행되고 용존성 물질이 증가한 것으로 판단된다.

<그림 3.52>에 나타난 것과 같이 반응시간 40min, 50min의 액상반응물과 반응온도 50min, 60min의 액상반응물을 비교해보면 상징액 색깔이 확연하게 차이가 난다. 60min부터 아미노산, 단백질, 핵산 등으로 구성된 EPS 물질이 대부분 파괴된 것으로 판단된다.



40min

50min

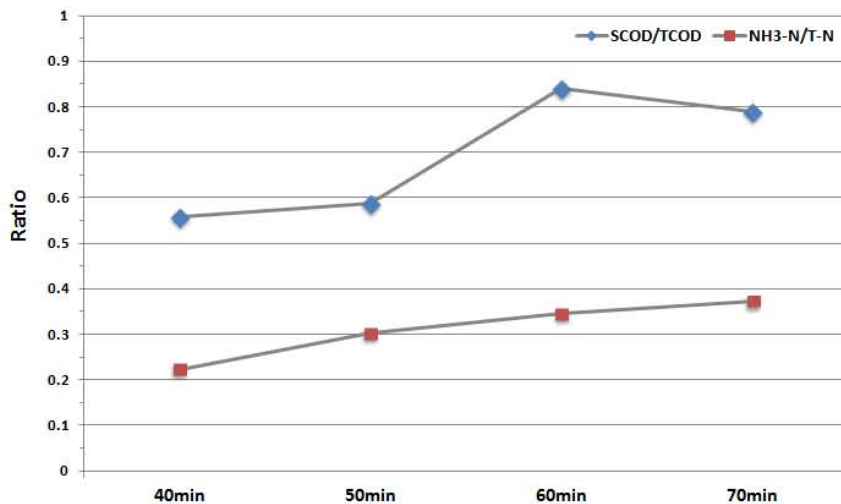
60min

70min

<그림 3.52> 운전시간 별 액상생성물

<표 3.33> 운전시간에 따른 액상생성물 수질분석 결과

Time	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD _{Mn} (mg/L)	TCOD _{Cr} (mg/L)	SCOD _{Cr} (mg/L)	T-N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	T-P (mg/L)	SCOD/TCOD	NH ₃ -N/T-N
40min	93,430	234,000	59,000	409,800	228,266	24,000	5,350	970	0.557	0.223
50min	85,430	192,000	49,000	402,700	236,400	19,400	5,850	840	0.587	0.302
60min	63,980	190,500	48,800	366,500	308,200	16,200	5,600	775	0.841	0.346
70min	52,420	189,000	48,500	341,500	269,100	16,100	6,000	740	0.788	0.373



<그림 3.53> 운전시간에 따른 액상생성물 가용화 변화

운전시간별 입자분석 결과를 <표 3.34>에 나타냈다. 운전시간 50min에서부터 입자 size가 급격히 감소하여 60min에서부터 안정화되었다. 열가수분해 후 액상생성물의 입자 size는 평균 40~50 μ m인 것으로 나타났다.

<표 3.34> 운전시간에 따른 액상생성물 입자분석 결과

Time	Median size(μm)	Mean size(μm)
40min	54.89	57.07
50min	47.31	48.51
60min	49.35	49.32
70min	46.11	51.28

상기 결과를 종합하여 판단하면, 반응온도 **60min**이 가금류 사체 처리의 최적온도로 판단된다. 운전온도 **70min**이 효율이 조금 더 좋긴 하였지만, 차이는 미미한 편이었다.

㊤ 액상생성물 연소 테스트

가금류 사체 열가수분해 처리 후 발생한 액상생성물은 조류인플루엔자 긴급행동지침 (SOP)에 의거 환경기초시설에 연계처리 하는 것이 원칙이다. 실제 처리를 위해 전국 지자체의 환경기초시설에 처리를 문의하였지만, 처리시설의 부하가 증가하거나 문제가 생길 것을 우려한 지자체에서 모두 거부하였다. 처리시설의 방류수 농도와 증가되는 부하를 계산하여 일정량씩 처리하면 가능하다고 판단되었지만, 설득이 불가능하여 발생한 액상물을 연소시켜 처리하는 방법으로 선회하고 개발을 시작하여 2차년도에 제작을 완료하여 테스트를 진행하였다.

가금류를 처리하고 발생한 액상물에는 지방이 함유되어 있기 때문에 시간이 지나면 굳게 된다. 따라서 연소기로의 원활한 투입을 위해 <그림 3.54>와 같이 액상물을 중탕 가열하여 50℃ 온도로 맞추고 펌프를 통해 60kg/hr의 속도로 연소로에 투입하였다.



<그림 3.54> 액상생성물 연소로 투입

<표 3.35>에 나타낸 바와 같이 가금류 열가수분해 처리 액상물은 탄소(C) 함유량과 발열량이 높기 때문에 연소가 용이하고 발생한 열을 회수하여 연료화 하기에 좋은 조건을 가지고 있다. 또한 회분의 함량이 0.4%로 매우 낮아 연소 후 발생하는 부산물 처리도 부담이 없는 편이다.

<표 3.35> 액상생성물 물리·화학적 특성 분석

삼성분			고위발열량			원소조성				
수분(%)	가연분(%)	회분(%)	액상물(76%) (kcal/kg)	기름(24%) (kcal/kg)	합계 (kcal/kg)	C(%)	H(%)	N(%)	O(%)	S(%)
921	7.5	0.4	4,995	8,200	5,765	43.7	7.9	12.5	29.9	0.67

열가수분해 후 생성된 액상물은 <그림 3.55>와 같이 상층의 유분, 중간층의 액상분, 아래층의 고형물로 층 분리가 되어 있다. 원활한 연소를 위해 계면활성제(1%)와 등유(10%)를 혼합하여 연소를 하였다. 연소로에 시간당 투입물 60kg의 조성 및 발열량은 표와 같다.



<그림 3.55> 열가수분해 액상생성물 층분리 상태

<표 3.36> 연소로 투입 액상물의 조성 및 발열량

투입물 조성 (60kg)					발열량		
계면활성제	등유	액상생성물			등유 (kcal/kg)	액상생성물 (kcal/kg)	합계 (kcal/kg)
		기름	액상물	합계			
0.6kg(1%)	6kg(10%)	13kg(22%)	40.4kg(67%)	53.4kg(89%)	66,000	113,000	179,000

총 발열량은 179,000kcal/kg이었다. 가금류 사체처리 시스템을 운전하기 위해 필요한 열량은 약 170,000kcal/kg으로 별도의 보조연료 투입 없이 연소 시 발생하는 폐열만을 활용하여 열가수분해 설비를 운전하는 것이 가능하다.

연소 중 발생하는 배가스가 대기에 미치는 영향을 평가하기 위해 <그림 3.56>과 같이 가스 모니터링 설비를 이용해 성분 분석을 실시하고 그 결과를 <표 3.37>에 나타냈다. 연소로에서 발생하는 폐열은 대부분 설비의 열원으로 재활용되고 소량이 가스형태로 외부로 방출되기 때문에 연소시설의 대기오염물질 배출 허용기준에 해당되지 않지만, 기준을 적용해도 배출허용기준을 만족하여 대기에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다.



<그림 3.56> 연소로 배가스 측정

<표 3.37> 연소로 배가스 조성

	O ₂ [%]	CO ₂ [%]	CO[ppm]	NO _x [ppm]	NO[ppm]	NO ₂ [ppm]	SO ₂ [ppm]	가스 온도(℃)
평균	13.19	4.40	177.08	75.61	52.16	23.45	1.71	217.15
최빈값	13.13	4.44	159.00	76.40	53.00	22.90	2.00	217.30
최대값	13.33	4.47	119.00	77.60	54.00	25.40	2.00	218.20
최소값	13.07	4.32	141.00	72.90	50.00	22.30	1.00	215.90

㊤ 환경위해성 평가

처리시스템이 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해 사체처리 액상생성물과 처리 과정 중 발생하는 악취에 대한 성분 분석을 실시하였다. <표 3.38>에 나타낸 바와 같이 닭 사체에는 분원성 대장균군과 분원성 연쇄상구균과 같은 병원성 미생물이 다량 함유되어 있었지만, 열가수분해 처리후 생성된 액상반응물에는 <표 3.39>와 같이 모든 병원성 미생물이 사멸되었다.

<표 3.38> 가금류 사체 병원성 미생물 분석 결과

구분	대장균 (MPN/100ml)	총대장균군 (MPN/100ml)	분원성 대장균군 (MPN/100ml)	분원성 연쇄상구균 (-/250mL)	살모넬라 (-/250mL)	슈렐라 (-/250mL)
가금류 사체	21,000,000	920,000,000	18,000	검출	불검출	불검출

<표 3.39> 열가수분해 액상생성물 병원성 미생물 분석 결과

구분	대장균 (MPN/100ml)	총대장균군 (MPN/100ml)	분원성 대장균군 (MPN/100ml)	분원성 연쇄상구균 (-/250mL)	살모넬라 (-/250mL)	슈렐라 (-/250mL)
액상 생성물	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

악취테스트 결과 <표 3.40>, <표 3.41>과 같이 복합악취, 지정악취 모두 허용기준을 만족하는 것으로 나타났다.

<표 3.40> 가금류 사체처리 시스템 복합악취 분석결과

시험항목		단위	시험결과	허용기준	시험방법
1	열가수분해 설비 부지경계	배수	5	15이하	국립환경과학원 고시 제2007-18 제3장 공기희석관능법
2	열가수분해 설비 배출구		448	500이하	

<표 3.41> 가금류 사체처리 시스템 지정악취 분석결과

시험항목		단위	시험결과	허용기준	시험방법
1	암모니아	ppm	0.028	1	GC/MS, GC/FPD, HPLC/UV
2	메틸메르캅탄		0.001	0.002	
3	황화수소		0.003	0.02	
4	황화메틸		0.002	0.01	
5	아세트알데하이드		0.04	0.05	
6	프로피온알데하이드		0.006	0.05	
7	뷰티르알데하이드		0.006	0.029	
8	n-발레르알데하이드		0.005	0.009	
9	i-발레르알데하이드		N.D	0.003	
10	스티렌		0.002	0.4	
11	톨루엔		0.005	10	
12	자일렌		0.001	1	

상기와 같이 본 연구에서 개발한 가축사체 처리시스템은 환경위해성이 적은 것으로 나타났다.

3. 가금류 처리시스템 경제성 평가 및 사업화 모델

가. 현장 이동형 모델

현장 이동이 용이한 이동형 처리설비를 제작하여 AI 발생 농가로 설비 이동 후 현장에서 처리하고 발생한 액상생성물까지 현장에서 연소 처리하는 모델이다. 처리 및 살균 완료 후 타 농가 이동하여 계속 처리하게 된다. AI의 확산을 방지하고, 연계처리에 부담이 없는 장점이 있다. <그림 3.57>에 사업화 모식도를 나타냈다.



<그림 3.57> 가금류 처리 사업화 모델(현장 이동형 모델)

나. 광역처리 모델(액상생성물 연소 처리)

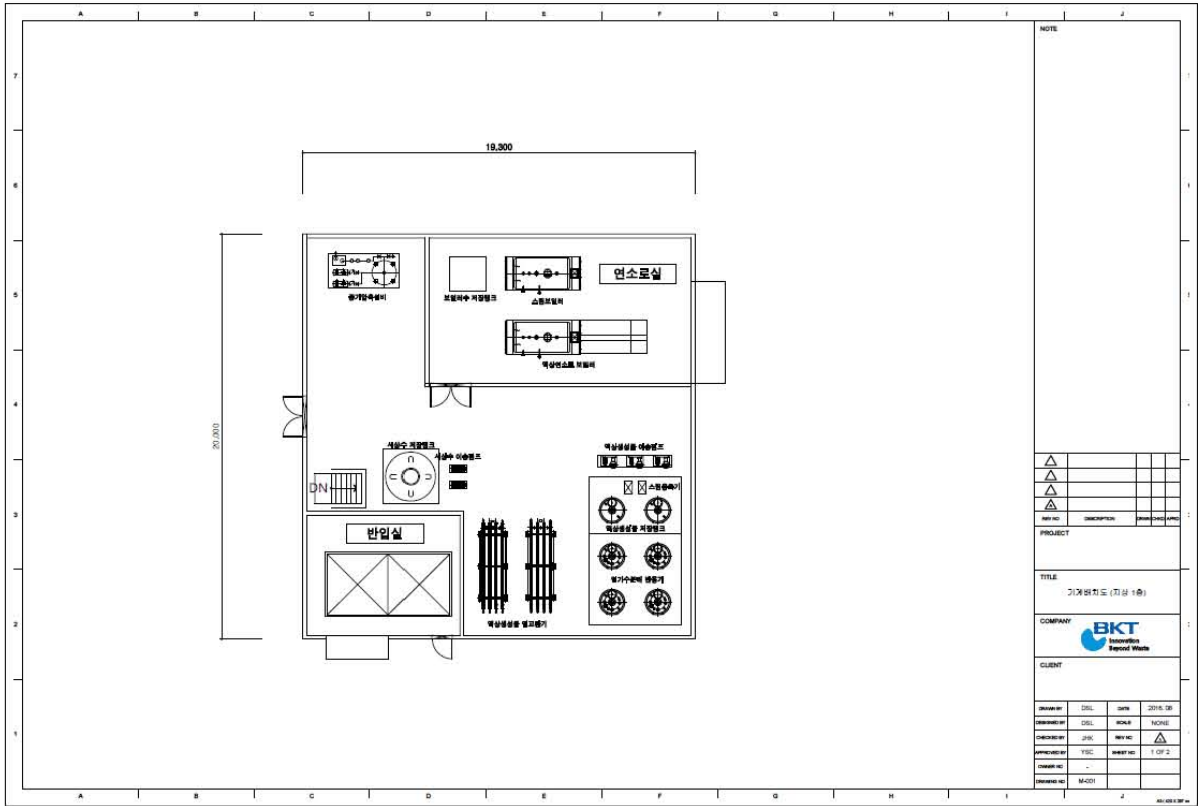
(1) 사업화 계획

각 지역별로 광역 처리시설을 조성하여 매몰지의 미분해된 가금류를 이송해와 처리하는 방법이다. 가금류 처리 후 가축 폐기물 처리 또는 슬러지 처리 등에 활용이 가능하다.

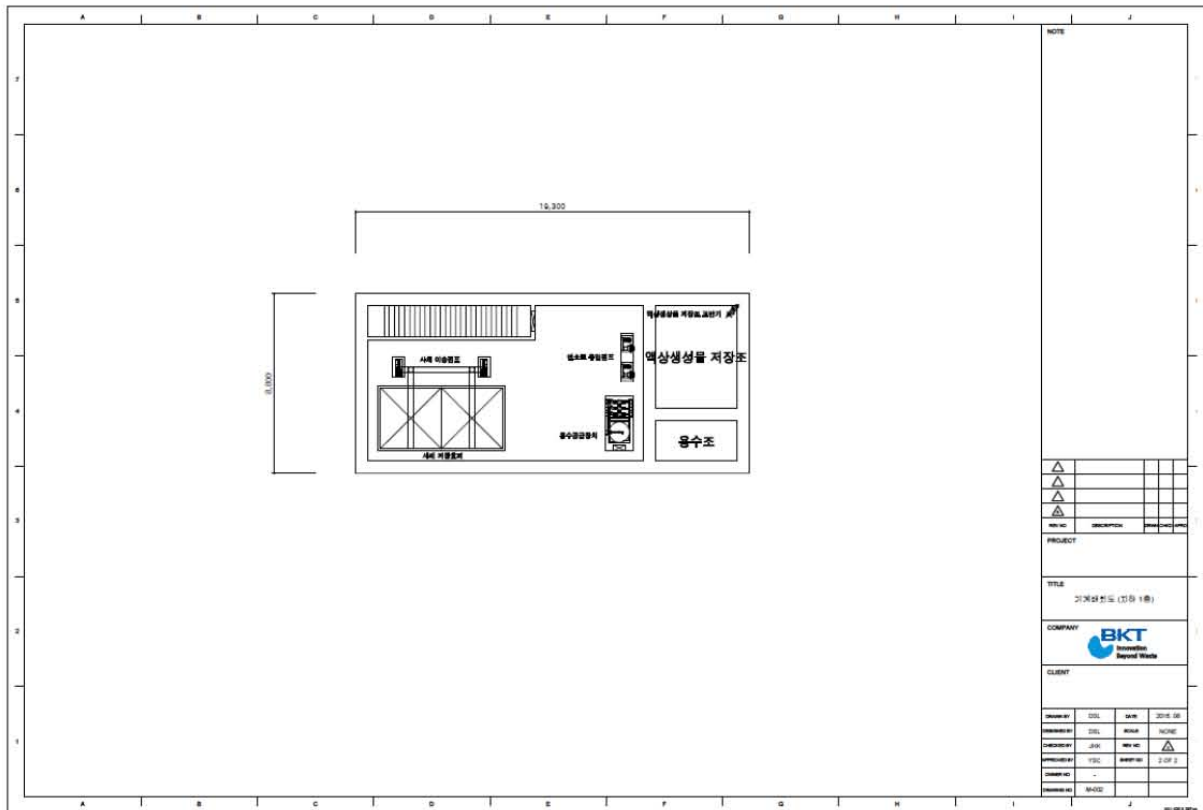


<그림 3.58> 가금류 처리 사업화 모델(광역처리 모델)

(2) 처리 시설 도면

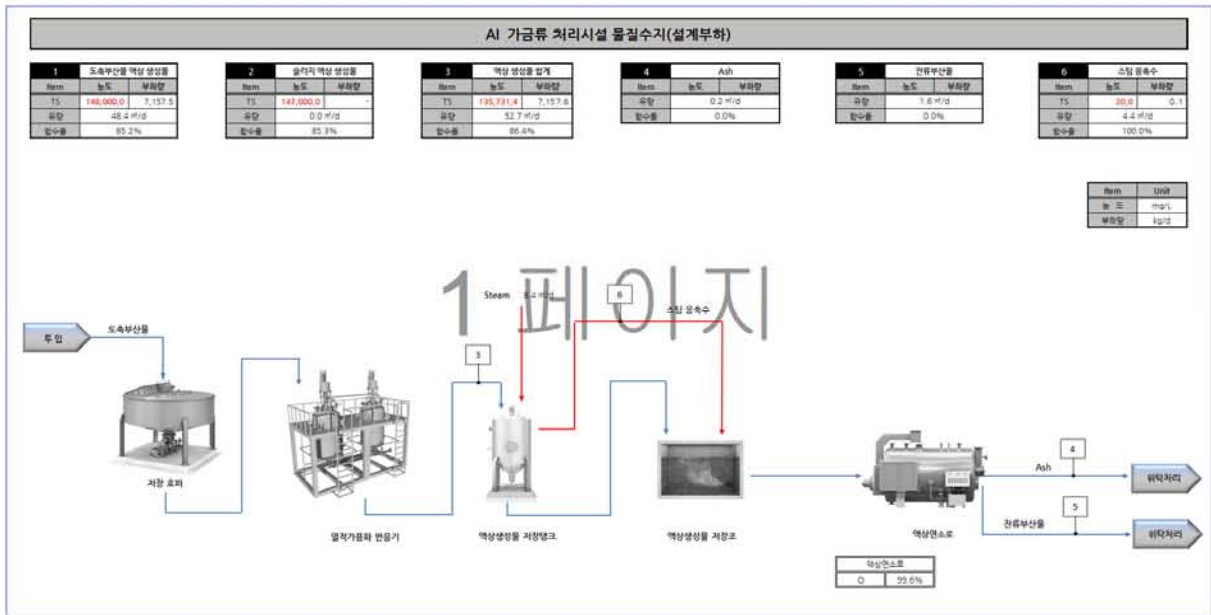


<그림 3.59> 가금류 광역처리 모델 도면(배치도, 1층)



<그림 3.60> 가금류 광역처리 모델 도면(배치도, 지하1층)

(3) 물질수지도



<그림 3.61> 가금류 광역처리 모델 물질수지도

(4) 경제성 평가(40톤/일 기준)

<표 3.42> 가금류 광역처리 모델 경제성 평가(40톤/일, 시간당 1,000마리 처리)

항 목		비용(천원)	비 고
공사비	기계·배관 공사비	2,395,000	투입설비, 열가수분해 반응기, 연소로 등
	전기·배관 공사비	335,225	전기·계측 자재 및 설치비
	토목 공사비	107,340	토목 공사비
	건축 공사비	130,645	건축 공사비
공사비 합계		296,210	40톤/일 공사비
톤당 공사비		7,416	가금류 1톤 처리당 공사비
운영비1)	전력비	7.0	전력비/톤
	약품비	0.5	약품비/톤
	연료비	9.0	연료비/톤
	용수비	0.5	용수비/톤
	슬러지 처리비	4.5	슬러지 처리비/톤
	경상수선비	1.5	경상수선비/톤
운영비 합계		23.0	가금류 1톤 처리당 운영비

1) 인건비 제외

4. 사업화 성과 및 매출실적

가. 사업화 성과

항목	세부항목			성 과	
사업화 성과	수주액	개발제품	개발후 현재까지 수주액	97 억원	
			향후 3년간 매출	200 억원	
		관련제품	개발후 현재까지	억원	
			향후 3년간 매출	억원	
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위			10위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위			5위

나. 사업화 계획 및 수주 실적

항 목	세부 항목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		3년		
	소요예산(백만원)		1,000		
	예상 수주 규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
			97	300	500
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
			국내	25	40
국외			5	10	
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		현장 이동형 모델, 열병합시설 개발 계획			
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)		현재	3년후	5년후
	수입대체(내수)		97	300	500
	수 출		-	100	200

제4장 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호

D-06

제1절 목표달성도

1. 연구 성과 평가의 기준 및 달성도

구분	세부내용	평가의 착안점 및 기준	달성률
1차 년도	▣ 해외 동물복지형 살처분 기술 조사·분석	▣ 해외 동물복지형 살처분 기술 분석 여부	100%
	▣ 동물의 복지를 고려한 신속한 포획 및 안락사 기술 개발	▣ 가금류 자발적 포획률 80% 이상	100%
		▣ 가금류 기피제 무해성 검증 (공인기관 인증)	
	▣ 열기수분해 설비 성능 개선	▣ 가금류 안락사율 80% 이상	100%
		▣ 안락사 방법의 적정성(동물 복지 고려)	
▣ 가금류 사체처리 시스템 개발	▣ 열기수분해 장치 성능 20% 이상 개선	100%	
	▣ 설계인자 도출의 적정성 (시스템 설계 반영)		
	▣ 40L/cycle 용량 Pilot 설비 제작		
2차 년도	▣ 살처분 기술의 고도화 및 현장 실증 적용	▣ 대규모(1,000수/hr) 살처분 방안 도출	100%
		▣ 가금류 자발적 포획률 90% 이상	100%
	▣ 가금류 안락사 시스템 현장 검증 및 완성	▣ 가금류 안락사율 99% 이상	
		▣ 가금류 포획 및 안락사 기술 완성	▣ 포획 및 안락사 기술 완성 여부
	▣ 가금류 사체처리 시스템 현장검증 및 완성	▣ 병원성 미생물(AI 바이러스 포함) 99% 제거	100%
▣ 설비 Scale-up factor 제시(1,000수/hr)			
▣ 사업화 진행		▣ 사업화 모델 제시 및 사업화 달성	
최종 평가	▣ 연구목표 달성	▣ 가금류 살처분/사체 처리시스템 완성 및 Scale-up factor 제시(1,000수/hr)	100%
	▣ 시스템 설계, 운영기술 확보	▣ 설계, 운영 기술 완성	100%
	▣ 개발기술 현장검증	▣ 기존 기술과 비교한 경제성 평가	100%
	▣ 대규모 가금류 처리	▣ 가금류 사체 처리 방안 제시(1,000수/hr)	100%
	▣ 사업화	▣ 사업화 모델 제시 및 사업화 달성	100%

2. 연구개발 성과달성 현황

가. 연구개발결과의 성과 및 활용목표 대비 실적

(단위 : 건수)

성과목표	사업화지표								연구기반지표								
	지식재산권		기술이전	사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책활용·홍보		기타 연구(타 활용 등)
	출원	등록		제품화	기술창업	매출창출	고용창출	투자유치		논문		학술발표					
										SCI	비SCI				정책활용	홍보전시	
최종목표	3	1			1						3		1	2	1		
1차년도	목표	1								1				1			
	실적	1				1								1			
2차년도	목표	2	1			1				2		1	1	1			
	실적	1				2				2		1	1				
소계	목표	3	1			1				3		1	2	1			
	실적	2	0			2	1			3			2	1			

나. 지식재산권

구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기타
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
특허	동물복지를 고려한 가금류 안락사 방법	대한민국	부강테크	2015. 6. 18	제10-2015-0086423호				
특허	폐기물 연소장치	대한민국	부강테크	2016. 6. 14	제10-2016-0073884호	부강테크	2016. 9. 12	제10-1658755호	

다. 학술발표

번호	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	한국환경영향평가학회 2014년도 추계 학술대회	조우진, 최영태	2014. 10. 1	서울대학교 평창캠퍼스	대한민국
2	한국폐기물자원순환학회 2016년도 정기총회 및 춘계 학술연구발표회	송철우 외 2인	2016. 5. 12	건국대학교	대한민국
3	2016 한국환경보건학회 봄학술대회	송철우 외 2인	2016. 6. 17	서울과학기술대학교	대한민국

라. 사업화

기술사업화								
번호	제품(상품)명	제품(상품)설명	활용 업체명	사업화 여부	매출 발생여부	제품 매출액	고용창출	R&D 기여율
1	열가수분해 기술	도축폐기물 처리	부강테크	사업화	수주	37억	1	100%
2	열가수분해 기술	하수슬러지 처리	부강테크	사업화	수주	60억	1	100%

마. 인력활용/양성

연구인력 활용/양성 성과													
번호	분류	기준년도	인력양성 현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	연구인력 양성	2016		1			1			1			

바. 정책활용 내역

정책활용 내역(농정시책 반영 및 정책건의)				
번호	정책활용상태	주관부처	시책추진실적 및 계획	활용년도
1	개발기술 소개 및 기술 시연	농림축산식품부	과제 개발기술 소개 및 기술 시연	2015
2	사업화 계획 소개	농림축산식품부	사업화 계획 소개	2015

사. 홍보/전시

(1) 전시회 등 참여

전시회 등 참여(전시회, 박람회, 제품설명회 등)					
번호	유형	행사명	전시품목	장소	활용년도
1	전시회	2015 폐기물관리 및 처리기술 발표회	기술발표 및 홍보부스 전시	제주 KAL 호텔	2015

사. 기타

(1) 포상 및 수상 실적

포상 및 수상실적					
종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일자	포상기관
상장	물관리 녹색기술상	녹색기술상	한국환경공단 이사장	2016. 2. 25	한국환경공단

제2절 관련분야 기여도

1. 개발기술의 파급효과

가. 개발기술 기대성과

(1) 기술적 측면

본 연구를 통하여 고병원성 조류 인플루엔자(HPAI)에 감염되거나 감염 가능성이 있는 가금류를 효율적이고 신속하게 살처분하고 폐사체를 환경적/보건위생학적으로 안전하게 처리하는 가금류 처리시스템을 개발·완성함으로써 가금류 사체 매물로 인한 2차 환경오염 및 매몰지 법적 매몰 기간(3년) 종료 후 미분해 가축사체 처리 문제를 원천적으로 차단할 수 있다.

(2) 환경적 측면

살처분한 가금류를 매몰하지 않고 처리함으로써 매몰지 조성에 소요되는 비용과 부지를 절감할 수 있다. 또한 지자체의 가금류의 살처분 및 매몰지 조성에 사용되는 인원을 줄일 수 있고, 사후관리가 용이하기 때문에 효율적인 방역 및 운영이 가능하게 된다.

(3) 경제·산업적 측면

본 연구 과제를 통해 개발되는 가금류 처리시스템은 기술이 완성될 경우 전국 지자체를 대상으로 사업화로 연계하여 활용할 계획이다. 또한 장기적으로 축산농가의 폐사가축 및 유기성 폐기물처리의 사업화에도 활용할 계획을 가지고 있다.

나. 개발 기술의 파급효과

(1) 국내 시장 점유율 및 수입대체 효과

진입하고자 하는 가축 폐기물 처리 및 에너지화 시장은 아직 시작단계이기 때문에 과제를 통해 기술 개발에 성공하고 그 성능이 입증된다면, 기술의 상용화가 가능하여 시장 선점이 가능할 것으로 판단되어 목표 시장 점유율을 40% 이상으로 선정하였다. 기술의 고속성장기에는 연간 200억원 이상의 수입대체 효과를 낼 수 있을 것이라고 기대하고 있다.

(2) 보건위생학적·환경적 안전성 확보

기존 가축폐기물 처리기술은 잔류부산물을 주로 퇴비화 하여 처리하고 있다. 퇴비화 시 폐기물 속에 함유되어 있는 카드뮴(Cd)을 비롯한 중금속이 문제가 될 수 있으며, 유해한 병원성 미생물도 완벽하게 제거되지 않은 상태이므로 보건위생학적·환경적 문제가 발생할 가능성이 있다. 본 과자에서 개발한 열가수분해 기술은 가축 폐기물에 포함된 인체 및 동물에 유해한 중금속 성분과 병원성 미생물을 완벽하게 처리하여 인근 환경기초시설 또는 연소로에서 처리하며, 폐기물의 90% 이상 감량이 가능하기 때문에 위생학적으로 안전하고 친환경적인 처리가 가능하다.

제5장 연구결과의 활용계획

코드번호

D-07

제1절 연구개발의 활용방안

본 연구를 통하여 고병원성 조류 인플루엔자(HPAI)에 감염되거나 감염 가능성이 있는 가금류를 효율적이고 신속하게 살처분하고 폐사체를 환경적/보건위생학적으로 안전하게 처리하는 가금류 처리시스템을 개발·완성함으로써 가금류 사체 매물로 인한 2차 환경오염 및 매몰지 법적 매몰 기간(3년) 종료 후 미분해 가축사체 처리 문제를 원천적으로 차단할 수 있다.

가금류 처리시스템 기술이 완성될 경우 전국 지자체를 대상으로 사업화로 연계하여 활용할 계획이다. 또한 장기적으로 축산농가의 폐사가축 처리의 사업화에도 활용할 계획을 가지고 있다. 과제 수행 기간 또는 종료 후 폐사체 처리설비(처리용량: 1,000수/hr)를 국내외 시장에서 수주할 수 있도록 전략을 수립하여 사업화를 진행할 계획이다.

또한, 가금류 포획 및 안락사·살처분 기술에 대한 대응 방안을 도출하여 향후 AI 발생 시 효과적으로 대처하여 피해를 최소화 하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해 폐사 가축처리에 대한 열가수분해 기술 처리 성능이 입증됨과 동시에 운영기술에 대한 노하우를 확보할 경우 국내시장은 물론 세계시장에서도 기술의 신규성을 인정받을 수 있을 것으로 판단된다.

제2절 사업화 가능성 SWOT 분석

강 점 (Strength)	약 점 (Weakness)
<ul style="list-style-type: none"> ☐ 기존기술 활용 가능 ☐ 사전연구를 통한 기술개발 가능성 높음 ☐ 요소기술 보유사 참여로 기술력 높음 	<ul style="list-style-type: none"> ☐ 기술실적 부족 ☐ 보건위생학적 안전성 증명 필요 ☐ 관계 부처간 이견 발생 가능
위 기 (Threat)	기 회 (Opportunity)
<ul style="list-style-type: none"> ☐ 법적인 규제 미비 ☐ 기존 기술 시장진입 ☐ 외국기술 국내 진입 	<ul style="list-style-type: none"> ☐ AI에 대한 인식 증가 ☐ 매몰지 사후관리에 대한 사회적 비용증가 ☐ 신시장 선점 가능

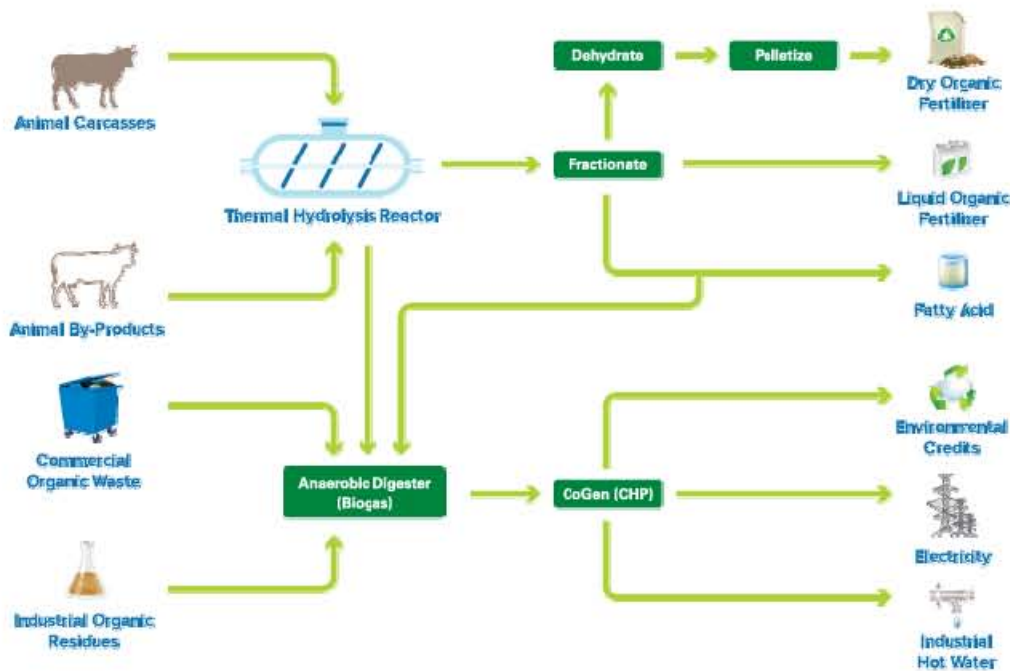
제6장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

제1절 해외 기술 분석

1. BioRefinex

가. 회사 개요 및 사업분야

- 캐나다 알버타주 라콤브(Lacombe)에 위치하고 있는 회사로 첫 번째 프로젝트를 수행 중인 신생회사
- 주요 사업분야는 가축폐기물 및 유기성 폐기물 처리 및 자원화
 - : 가축폐기물 → 열가수분해 → 전조비료, 액비, 유지류 이용
 - : 유기성폐기물 → 혐기소화 → 전력생산, 열수이용 등 열병합 발전



나. 지재권 현황 및 보유 기술 특징

(1) 지재권 현황

- 보유 특허 : 2건
 - 감염성 폐기물 처리 및 자원화 : 한국(2014), 일본(2012), 미국(2012)에 특허 등록
 - 바이오 가스 생산 장치: 미국(2013)에 특허 등록

(2) 가축폐기물 처리 기술 특징

- 핵심기술: **Thermal hydrolysis process**
 - 처리공정: 가축폐기물 → 파쇄 → 열가수분해 → [원심분리 → 전조비료·사료/액비/유지류 이용] or [혐기소화]
 - 운전조건 : 운전온도 150~200℃(적정 180℃), 운전압력 5~15 bar, 운전시간 40분

다. 본 과제에서 개발한 기술과 비교분석

주요 공정 및 운전조건이 동일하며, 후속 처리공정과 부산물 활용에 차이가 있음

구분		BioRefinex	부강테크(COWT)
기술 원리		가축폐기물을 고온(150~200℃) , 고압(5~15kg/cm²) 의 압력에서 가열·멸균 처리한 후 남은 부산물을 퇴비로 활용 또는 유지류 회수	가축폐기물을 고온(150~200℃) , 고압(5~15kg/cm²) 의 압력에서 가열·멸균 한 후 반응 생성물을 연료화(고형연료화 or 메탄가스 생산) 또는 액상연소로 및 환경기초시설에서 연계처리
처리공정			
운전 조건 ¹⁾	온도	150 ~ 200 ℃	150 ~ 210 ℃
	압력	5 ~ 15 kg/cm ²	5 ~ 20 kg/cm ²
	시간	40 min	30 ~ 60min
지재권		한국, 미국, 일본 특허 등록	한국 특허 등록, 미국, 중국 특허 출원
실적		<ul style="list-style-type: none"> 라콤브(Lacombe) 프로젝트 진행 중 (첫번째 Full scale facility) 	<ul style="list-style-type: none"> Full scale facility 운영 중 (Test-Bed) 사업화 실적 2건 환경부 과제 수행 완료, 농림부 과제 수행 중

제7장 연구개발결과의 보안등급

		코드번호	D-09
보안등급 분류	<input type="checkbox"/> 보안과제 <input checked="" type="checkbox"/> 일반과제		
결정 사유	해당사항 없음		

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

					코드번호	D-10			
구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호	
해당사항 없음									

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

코드번호	D-11
<p> ● 안전점검 및 정밀안전진단 <ul style="list-style-type: none"> ■ 점검대상 : 주관연구기관 및 위탁연구기관 연구소 및 연구실 <ul style="list-style-type: none"> ○ 점검목적 : 안전사고 예방 및 안전의식 고취 ○ 점검안내 : 그룹웨어 공지 및 그룹 메일 ■ 안전점검 <ul style="list-style-type: none"> ○ 일상안전점검 : 연구활동 종사자 매일 점검 (일반관리, 화학약품, 전기 및 가스) ○ 특별안전점검 : 연구기관 장이 필요하다고 인정되는 경우 실시 ■ 정밀안전진단 <ul style="list-style-type: none"> ○ 2년 1회 실시 (소방안전, 기계안전, 화공안전, 전기안전, 가스안전) <p> ● 안전교육 <ul style="list-style-type: none"> ■ 교육대상자 : 연구과제 참여연구원 및 연구활동 종사자 ■ 자체교육 : 실험 전 자체 안전교육 실시 <p> ● 건강검진 <ul style="list-style-type: none"> ■ 대상 : 회사 종사자 전원 ■ 시행 : 매년 1회 시행 (회사 지정 병원) </p> </p></p>	

제 10장 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문 /특허 /기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문게재지/ 특허등록국 가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	특허	동물복지를 고려한 가금류 인락사 방법	부강 테크	주관 기관	대한민국		2015.06.18	단독사사	
2	특허	폐기물 연소장치	부강 테크	주관 기관	대한민국		2016.09.12	단독사사	

제 11장 기타사항

코드번호		D-13
○ 해당 사항 없음		

제 12장 참고문헌

	코드번호
1) 국립축산과학원, 2012, 살처분 대상가축 안전처리 및 환경위해 저감기술 개발.	D-14
2) 국립환경과학원, 2012, 가축 매몰지 관련 자료집.	
3) 국립축산과학원, 2013, 친환경 이동식 일체형 가축처리장비 및 자원재활용 연구.	
4) 국립축산과학원, 2014, 구제역 및 AI 가축매몰지 친환경적 사후관리기법 연구.	
5) 국립환경과학원, 2011, 가축 매몰지 사체분해특성 및 2차 환경오염 통합 연구(I).	
6) 농촌진흥청, 2011, 전염병 발생지역 이동식 감염가금처리 시스템 개발.	
7) 송철우, 류재근, 2015, 가축매몰지의 자원화 기술 동향, 첨단환경기술, 265권, pp 40-46.	
8) 순천대학교, 2014, 환경친화적 가축사체처리 시스템 구축 전략.	
9) 환경부, 2010, 가축매몰지 환경관리지침.	
10) Anderson, I., 2002, Foot and Mouth Disease 2001: Lessons to be learned inquiry report, The Stationery Office, London, pp 130-139.	
11) Animal Plant & Fisheries Quarantine & Inspection Agency. 2011. Animal disease on central prediction conference, first quarter of the year. 11-1380644-000068-08.	
12) Brglez, B., 2003, Disposal of poultry carcasses in catastrophic avian influenza outbreaks: A comparison of methods, Master thesis, Chapel Hill: University of North Carolina, USA.	
13) Crane, N., 1997, Animal disposal and the environment, State Veterinary Journal, 7(3), pp 3-5.	
14) Environment Agency. 2001. The environmental impact of the foot and mouth disease outbreak: an interim assessment. Environment Agency, ISBN 1 85 7057856.	
15) Glanville, T.D., 2000, Impact of Livestock Burial on Shallow Groundwater Quality, Proceedings of the American Society of Agricultural Engineers, Mid Central Meeting, St. Joseph, MI, ASAE.	
16) McClaskey., 2004, Carcass Disposal: A Comprehensive Review, Chap.9. Economic & Cost Considerations, Kansas, pp 1-30.	
17) UK, Environment Agency, 2001, The environmental impact of the foot and mouth disease outbreak: an interim assessment.	

주 의

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