

3218018-03

보안 과제( ), 일반 과제( O ) / 공개( O ), 비공개( ), 발간등록번호( O )

농생명산업기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003571-01

# 산업화 유망 곤충자원을 활용한 바이오에너지 생산 기술 개발

2021. 06. 18.

주관연구기관 / 그린테코(주)

제1 협동연구기관 / 동국대학교

제2 협동연구기관 / 세종대학교

제3 협동연구기관 / 한국석유관리원

농림축산식품부  
농림식품기술기획평가원

산업화 유망 곤충자원을 활용한  
바이오에너지 생산 기술 개발

2021

농림식품기술기획평가원  
농림축산식품부

<제출문>

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “산업화 유망 곤충자원을 활용한 바이오에너지 생산 기술 개발”(2018. 04. 01 - 2020. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

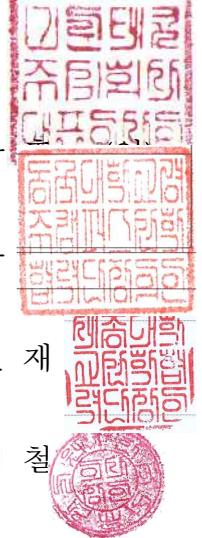
2020. 06. 18.

주관연구기관명 : 그린테크주식회사 (대표이사) 이 상

협동연구기관명 : 동국대학교경주캠퍼스산학협력단 (대표자) 전 동

협동연구기관명 : 세종대학교 산학협력단 (대표자) 김 선 재

협동연구기관명 : 한국석유관리원 (대표자) 신 성 철



주관연구책임자 : 이상훈

협동연구책임자 : 구태원

협동연구책임자 : 윤은영

협동연구책임자 : 김재곤

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

## 보고서 요약서

과제 고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간	2020.01.01. ~ 2020.12.31.	단 계 구 분	3차년도/ 3차년도
연구 사업명	단 위 사 업 사 업 명	농식품기술개발사업 농생명산업기술개발사업			
연구 과제명	대 과 제 명	산업화 유망 곤충자원을 활용한 바이오에너지 생산 기술 개발			
	세 부 과제명	주관기관 : 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화 제1 협동 : 곤충 생체 지질함량 향상 및 부산물 이용 천연방부제 생산 기술 개발 제2 협동 : 곤충으로부터 지질 추출 후 고단백 부산물 이용 고부가가 치 소재 개발 제3 협동 : 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발			
연구 책임자		해당단계 참여연구원 수	총 : 18명 내부 : 5명 외부 : 13명	해당단계 연구개발비	정부 : 400,000천원 민간 : 134,000천원 계 : 534,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총 : 18명 내부 : 5명 외부 : 13명	총 연구 개발비	정부 : 1,100,000천원 민간 : 368,000천원 계 : 1,468,000천원
연구 기관명 및 소 속 부 서 명	주관연구기관 / 그린테코(주) 제1 협동연구기관 / 동국대학교 제2 협동연구기관 / 세종대학교 제3 협동연구기관 / 한국석유관리원			참여기업명	
국제공동연구 위 탁 연 구	상대국명: 연구기관명:			상대국 연구기관명: 연구책임자:	
※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음					
연구개발성과의 보안등급 및 사유					

### 9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 ·장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합 물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

### 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

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

- 바이오에너지 생산용 유망 곤충 종 발굴 및 사육기술 개발
- 선발 바이오에너지 생산 곤충의 지질함량 향상을 위한 최적 먹이원 개발
- 선발 바이오에너지 생산 곤충의 집단폐사 방지기술 개발
- 대량 사육된 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화
- 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발
- 곤충으로부터 지질 추출 후 부산물 이용 고부가가치 소재 개발

보  
고  
서  
면  
수  
1  
7  
9

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구의 목적           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 곤충 종으로부터 바이오에너지 생산을 위한 산업화 유망 곤충 종 발굴 및 연중 인공 대량사육기술을 개발한 다음, 경제성이 높은 곤충 유래 바이오디젤 생산을 위하여 선발 곤충의 생체 내 지질 함량을 증폭할 수 있는 최적의 저가 먹이원을 선발하고, 대량생산된 지질 함량이 증가된 곤충으로부터 지질을 최대 분리할 수 있는 기계장치의 개발 및 분리된 곤충 지질을 고품질의 바이오디젤로 전환할 수 있는 경제적인 기술 개발을 통하여 곤충 유래 바이오 디젤을 산업화하고자 함</li> <li>- 또한, 곤충 유래 바이오디젤의 경제성을 극대화하기 위하여 지질 추출 후 고단백 곤충 부산물을 이용하여 천연방부제 및 양어용 사료를 개발하고자 함</li> </ul> </li> <li>○ 연구의 내용           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 바이오에너지 생산용 유망 곤충종 발굴 및 사육기술 개발</li> <li>- 곤충 생체 내 지질함량 향상을 위한 최적 먹이원 선발 및 첨가 수준 설정</li> <li>- 선발 바이오에너지 생산 곤충의 집단폐사 방지기술 개발</li> <li>- 대량 사육된 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화</li> <li>- 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발</li> <li>- 곤충으로부터 지질 추출 후 고단백 부산물 이용 고부가가치 소재 개발</li> </ul> </li> </ul>
<p>연구개발 성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 바이오에너지 생산용 유망 곤충종 발굴 및 사육기술 개발           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 곤충 목별(파리목, 딱정벌레목, 벌목, 나비목 등) 지질 함량 조사</li> <li>- 저가 대량사육이 가능한 바이오에너지 생산 적합 곤충 종 선발</li> <li>- 선발 곤충의 저가 대량 사육 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 곤충 생체 내 지질함량 향상을 위한 최적 먹이원 선발 및 첨가 수준 설정           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최적 저가 먹이원 선발 : 축분, 곤충 분해산물 및 탈피각, 발효미생물, 폐기름 등</li> <li>- 먹이원별 영양학적 특성 분석</li> <li>- 먹이원별 및 첨가수준별 곤충 생체 내 지질 함량 및 지방산 성분 분석</li> </ul> </li> <li>○ 선발 바이오에너지 생산 곤충의 집단폐사 방지기술 개발           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 대량사육에 따른 먹이원별 최적 곤충 투입 밀도 평가</li> <li>- 곤충 발육단계별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원의 모니터링 기술 개발</li> <li>- 저온 등 불량환경 저항성, 내병성 및 생리 장애 저항성 품종 선발 및 육성</li> </ul> </li> <li>○ 대량 사육된 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 먹이원 내 곤충 분리 기술 및 산폐 방지를 위한 최적 건조 개발</li> <li>- 곤충으로부터 지질 대량 추출을 위한 농가보급형 기계식 압착장치 개발</li> <li>- 기계식 압착 부산물로부터 여분의 지질 추출을 위한 화학적 추출 장치 개발</li> <li>- 부산물 이용 산업화 적용을 위한 제제화 및 제형화 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고효율 바이오디젤의 저가 대량생산을 위한 에스테르 반응 최적화 기술 개발</li> <li>- 국내·외 품질기준 대비 곤충 유래 바이오디젤의 품질 평가 : FAME 함량, 동점도, 인화점, 황 함량, 세탄가 등</li> </ul> </li> </ul>

연구개발 성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 곤충 유래 바이오디젤의 저온 유동성 및 산화안전성 향상 기술 개발</li> <li>- 기존 동·식물성 유래 바이오디젤 대비 곤충 유래 바이오디젤의 연료특성 및 경제성 평가</li> <li>○ 곤충으로부터 지질 추출 후 고단백 부산물 이용 고부가가치 소재 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부산물 이용 천연방부제 대량 생산 기술 개발 : 활성 및 생산량 분석</li> <li>- 부산물 이용 양어용 사료 개발 : 적정 첨가수준 및 첨가 효과 구명</li> </ul> </li> </ul>				
연구개발 성과의 활용계획 (기대 효과)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 곤충자원의 바이오디젤 소재산업화를 통한 신가치 창출 및 미래 블루오션 영역 확대</li> <li>○ 곤충 분말을 일반 가축 및 양어 사료와 혼합하기 위해서는 곤충으로부터 지질 제거는 필수적이며, 분리된 지질은 가축 및 양어 사료 개발 과정의 부산물로 바이오매스로 저가 공급이 가능함</li> <li>○ 곤충 유래 바이오디젤 개발은 고유가에 따른 대응 외에 미세먼지 저감화에 따른 환경개선, 에너지 안보강화, 곤충 농가소득 증대 등 효과 창출</li> <li>○ 곤충유래 바이오디젤 생산 과정에서 발생하는 부산물의 가축 사료, 천연항생제, 바이오화장품 등 고부가가치 소재 개발에 따른 동해등에 유래 바이오디젤의 가격 경쟁력 향상</li> <li>○ 곤충 이용 바이오디젤, 천연방부제 및 양어사료 개발에 곤충 농가의 획기적인 소득 증대 및 농가 수 확대</li> <li>○ 곤충 이용에 의한 유기성폐기물의 친환경적 처리 및 자원화를 통한 자연순환형 사회 구축</li> </ul>				
국문 핵심어 (5개 이내)	곤충	대량생산	산업화	바이오에너지	바이오매스
영문 핵심어 (5개 이내)	Insect	Mass production	Industrialization	Bioenergy	Biomass

※ 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

<본문목차>

< 목 차 >

<b>제1장. 연구개발과제의 개요</b> .....	<b>1</b>
1-1. 연구개발 목적 .....	1
1-2. 핵심기술 .....	1
1-3. 연구개발의 목표 및 내용 범위 .....	2
<b>제2장. 연구수행 내용 및 결과</b> .....	<b>3</b>
<b>제1절. 연구개발의 방법</b> .....	<b>3</b>
1. 대량 사육된 곤충으로부터 지질대량 자동추출 시스템 개발 및 산업화 .....	3
2. 곤충 생체 지질함량 향상 및 부산물 이용 천연방부제 생산 기술 개발 .....	6
3. 곤충으로부터 지질 추출 후 고단백 부산물 이용 고부가가치 소재 개발 .....	8
4. 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발 .....	10
<b>제2절. 연구수행 내용 및 결과</b> .....	<b>11</b>
<b>1. 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화</b> .....	<b>11</b>
가. 먹이원 내 곤충 분리 기술 .....	11
나. 산폐 방지를 위한 최적 건조 설계 및 개발 .....	17
다. 곤충으로부터 지질 대량 추출을 위한 소형 기계식 압착장치 개발 .....	27
라. 기계식 압착 부산물로부터 여분의 지질 추출을 위한 화학적 소형 추출 장치 개발 .....	34
마. 대량사육에 따른 먹이원별 최적 곤충 투입 밀도 평가 .....	37
바. 곤충 발육단계별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원의 모니터링 기술 개발 .....	38
사. 농가 규모별 생산체제 모델 제시 현장 적용 .....	45
아. 부산물 이용 산업화 적용을 위한 체제화 및 체형화 기술 개발 .....	47
자. 경제성 타진을 통한 시제품 제작 및 산업화 : 생산원가분석 및 경제성분석, 현장 적용 .....	49
<b>2. 곤충 생체 지질함량 향상 및 부산물 이용 천연방부제 생산 기술 개발</b> .....	<b>54</b>
가. 동애등에 생체 내 지질함량 향상을 위한 최적 저가 먹이원 선발 .....	54
나. 먹이원별 및 첨가수준별 동애등에 생체 내 지질 함량 및 지방산 성분 분석 .....	59
다. 동애등에로부터 지질 추출 후 부산물로부터 천연방부제 추출기술 개발 .....	61
라. 탈지 동애등에로부터 추출한 천연방부제의 활성분석 .....	63
마. 탈지 동애등에 유래 천연방부제 유효성분의 세포독성 분석 .....	66
바. 동애등에의 생리장애 요인의 저감화 기술 개발 .....	67
사. 갈색거저리 생체 내 지질함량 향상을 위한 최적 저가 먹이원 선발 .....	68
아. 갈색거저리로부터 지질 추출 후 부산물로부터 천연방부제 추출 기술 개발 .....	71
<b>3. 바이오에너지 생산용 유망 곤충종 발굴 및 부산물 이용 양어사료 개발</b> .....	<b>73</b>

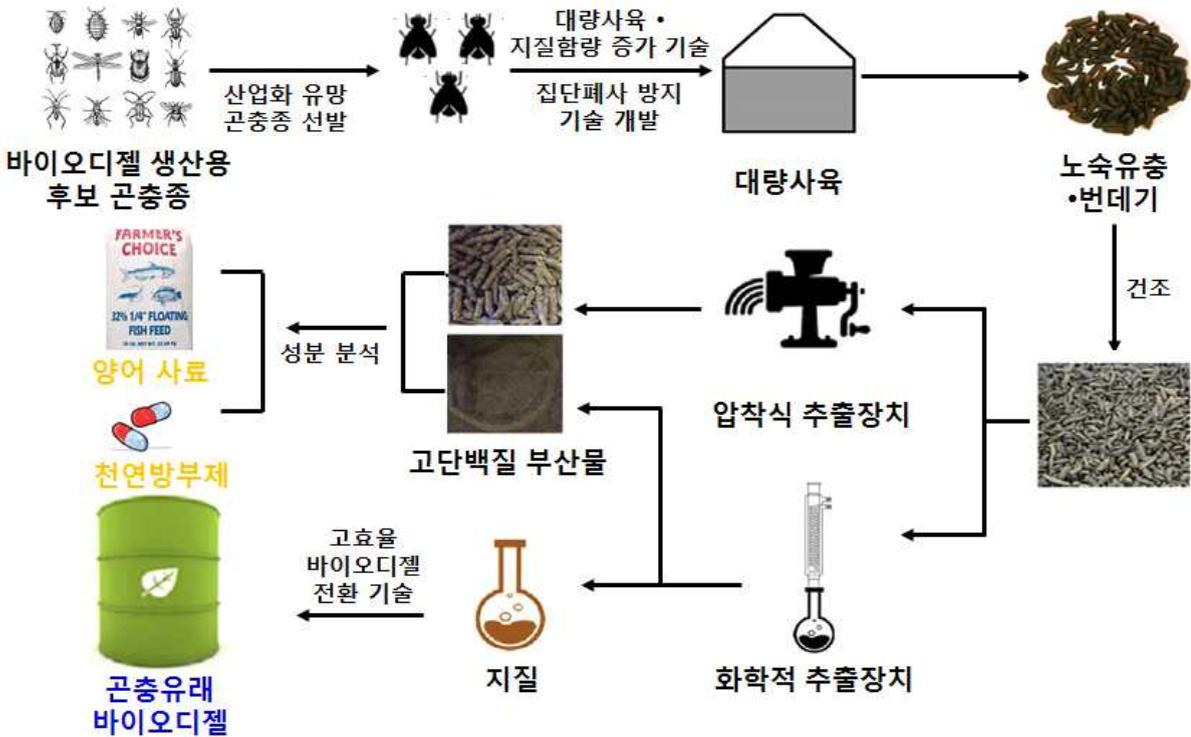
가. 바이오디젤 기준에 적합한 곤충 종 선발 .....	73
나. 바이오디젤 생산용 곤충의 다양한 인공사료 조성 개발 .....	89
다. 인공사료별 후보 곤충의 발육단계별 사육성적 분석 .....	92
라. 바이오디젤 생산용 곤충의 실내 대량 사육 시스템 개발 .....	96
마. 선발 곤충에 대한 사육 조건 표준화 .....	100
바. 곤충별 각 발육단계별 지방함량 및 지방산 조성 비교분석 .....	102
사. 바이오디젤 생산 후 곤충 부산물을 활용한 양어사료 배합비율 설정 .....	105
아. 양어사료 제조 및 특성 분석 .....	107
자. 개발한 사료의 양어에 급여 후 사육성적 분석 .....	107
차. 곤충 사료를 급여한 어류의 특성 분석 .....	114
<b>4. 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발 .....</b>	<b>116</b>
가. 국내외 곤충 유래 바이오디젤 전환 기술 조사 .....	116
나. 국내외 곤충 유래 지질의 FAME 전환기술 분석 .....	118
다. 곤충 유래 지질 특성 분석 및 곤충 지질을 이용한 예비 실험 .....	120
라. 곤충 지질로부터 FAME(바이오디젤) 전환(촉매, 온도, 용매비율 등) .....	123
마. 곤충 지질로부터 고품질 FAME 바이오디젤 전환기술 품질 최적화 .....	129
바. 국내 바이오디젤 품질기준 주요항목 품질평가 .....	133
사. 불순물 제거 기술 및 적정 시험방법 검토 .....	134
아. 곤충 유래 바이오디젤의 품질(저온 유동성 등) 향상 기술 .....	147
자. 바이오디젤의 저온 특성 비교 .....	148
차. 곤충 유래 바이오디젤의 FAME 전환기술(96.5무계% 이상) 확립 .....	150
카. 곤충 유래 바이오디젤의 국내 품질기준에 따른 품질평가 .....	152
타. 상업 생산 바이오디젤과 곤충 유래 바이오디젤 적정 혼합에 따른 품질평가.....	153
파. 곤충 유래 바이오디젤의 경제성 분석 .....	153
하. 곤충 유래 바이오디젤의 국내 산업화 방안 검토 .....	156
<b>제3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....</b>	<b>159</b>
<b>제4장. 연구결과의 활용 계획 등 .....</b>	<b>172</b>
1. 연구성과 활용 목표 및 실적 .....	172
2. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램) .....	172
3. 고용증빙 (3명) .....	172
4. 국내외 논문 게재 .....	173
5. 국내 및 국제학술회의 발표 .....	174
6. 교육지도 .....	174
7. 홍보전시 .....	174

8. 관련분야 기여도 .....	175
<별첨작성양식> 불임. 참고 문헌 .....	176

# 제1장. 연구개발과제의 개요

## 1-1. 연구개발 목적

다양한 곤충 종류로부터 바이오에너지 생산을 위한 산업화 유망 곤충 종 발굴 및 연중 인공 대량사육기술을 개발한 다음, 경제성이 높은 곤충 유래 바이오디젤 생산을 위하여 선발 곤충의 생체 내 지질 함량을 증폭할 수 있는 최적의 저가 먹이원을 선발하고, 대량생산된 지질 함량이 증가된 곤충으로부터 지질을 최대 분리할 수 있는 기계장치의 개발 및 분리된 곤충 지질을 고품질의 바이오디젤로 전환할 수 있는 경제적인 기술 개발을 통하여 곤충 유래 바이오디젤을 산업화하고자 하였다. 또한, 곤충 유래 바이오디젤의 경제성을 극대화하기 위하여 지질 추출 후 고단백 곤충 부산물을 이용하여 천연방부제 및 양어용 사료를 개발하고자 하였다.



## 1-2. 핵심기술

- 바이오디젤 생산용 대상 곤충 선정 : 기존 연구 논문을 통해서 지질함량이 30% 이상인 후보 곤충 종을 선발하고, 이들 후보 곤충 종에 대한 국내 자생 여부, 인공 대량생산 가능 여부, 먹이원 분석 등을 통하여 바이오디젤 생산 대상 곤충으로써 경제적 가치를 평가함
- 대량사육 기술 : 선발 바이오디젤 생산 곤충의 집단 대량 사육을 위하여 생리적 특성 분석을 통하여 최적 환경 조건(온도, 습도, 광주기 등) 선정 및 저가 먹이원을 선발하고, 또한 대량사육에 따른 집단 폐사 방지를 위한 먹이원별 최적 곤충 투입밀도 및 생리 장애 저감화 기술을 개발함
- 곤충 생체 내 지질 함량 향상 기술 : 선발 곤충 종의 생체 내 지질 함량을 증폭할 수 있는 최적 저가 먹이원 (축분, 발효미생물 등)을 선발하고, 먹이원별 급이에 의한 곤충 생체 내 지질 함량 분석 및 지방산의 성분을 분석함
- 곤충 지질 추출 시스템 개발 : 먹이원으로부터 곤충을 손쉽게 대량 분리할 수 있는 기술을 개발 한 후, 대량 분리된 곤충으로부터 지질을 최대 추출할 수 있는 농가 보급형 기계식 압

착 장치 및 기계식 압착 부산물로부터 여분의 지질을 추출할 수 있는 화학적 추출 장치를 개발함

- 고효율 바이오디젤 전환 기술 : 고효율 바이오디젤의 저가 대량생산을 위한 경제적 에스테르 반응 공정 기술, 바이오디젤의 저온 유동성 및 산화안전성 향상 기술을 개발한 후, 국내외 표준규격 대비 곤충 유래 바이오디젤의 품질 평가와 기존 식물성 및 동물성 유래 바이오디젤 대비 곤충 바이오디젤의 특성 및 경제성을 평가함
- 부산물 이용 고부가가치 소재 개발 : 지질 추출 후 고단백 부산물을 이용하여 천연방부제 및 양어용 사료를 개발함으로써 곤충 유래 바이오디젤의 경제성을 극대화함

### 1-3. 연구개발의 목표 및 내용 범위

- 바이오에너지 생산용 유망 곤충 종 발굴 및 사육기술 개발
  - 곤충 목별(파리목, 딱정벌레목, 벌목, 나비목 등) 지질 함량 조사 : 50종 이상
  - 저가 대량사육이 가능한 바이오에너지 생산 적합 곤충 종 선발
  - 선발 곤충의 저가 대량 사육 기술 개발
- 곤충 생체 내 지질함량 향상을 위한 최적 먹이원 선발 및 첨가 수준 설정
  - 최적 저가 먹이원 선발 : 축분, 곤충 분해산물 및 탈피각, 발효미생물, 폐기름 등
  - 먹이원별 영양학적 특성 분석
  - 먹이원별 및 첨가수준별 곤충 생체 내 지질 함량 및 지방산 성분 분석
- 선발 바이오에너지 생산 곤충의 집단폐사 방지기술 개발
  - 대량사육에 따른 먹이원별 최적 곤충 투입 밀도 평가
  - 곤충 발육단계별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원의 모니터링 기술 개발
  - 저온 등 불량환경 저항성, 내병성 및 생리장애 저항성 품종 선발 및 육성
- 대량 사육된 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화
  - 먹이원 내 곤충 분리 기술 및 산폐 방지를 위한 최적 건조 개발
  - 곤충으로부터 지질 대량 추출을 위한 농가보급형 기계식 압착장치 개발
  - 기계식 압착 부산물로부터 여분의 지질 추출을 위한 화학적 추출 장치 개발
  - 부산물 이용 산업화 적용을 위한 제제화 및 제형화 기술 개발 : 이온, 나노, 지방 캡슐등
- 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발
  - 고효율 바이오디젤의 저가 대량생산을 위한 에스테르 반응 최적화 기술 개발
  - 국내·외 품질기준 대비 곤충 유래 바이오디젤의 품질 평가 : FAME 함량, 동점도, 인화점, 황 함량, 세탄가 등
  - 곤충 유래 바이오디젤의 저온 유동성 및 산화안전성 향상 기술 개발
  - 기존 동·식물성 유래 바이오디젤 대비 곤충 유래 바이오디젤의 연료특성 및 경제성 평가
- 곤충으로부터 지질 추출 후 고단백 부산물 이용 고부가가치 소재 개발
  - 부산물 이용 천연방부제 대량 생산 기술 개발 : 활성 및 생산량 분석
  - 부산물 이용 양어용 사료 개발 : 적정 첨가수준 및 첨가 효과 구명

## 제2장. 연구수행 내용 및 결과

### 제1절. 연구개발의 방법

#### 1. 대량 사육된 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화(그린테코)

##### 가. 먹이원 내 곤충 분리 기술

본 연구는 유기성 폐자원을 먹이로 자란 유충은 퇴출부를 통해 수집된 노숙유충과 분해산물 분리작업을 위해 선행기술 등 검토하여 바이오 디젤에 적용 시 적절한 먹이원 내 곤충 분리 방법 파악하였고 친환경 분리장치가 적절한 것으로 사용하였다.

선행기술 분석을 위하여 적층 자연 선별기, 벨트형선별기, 진동선별기, 전·후 이동형 곤충 대량 분리 장치, 사각선별기, 친환경 분리장치등 사용하였으며, 통계분석 방법은 분해산물분리 시 미세 먼지량은 Oneway ANOVA test와 배설물 분리시간은 welch's ANOVA test로 실시하였다.

##### 나. 산패 방지를 위한 최적 건조 설계 및 개발

선행기술 등 검토를 위하여 일반 시중에서 사용 중인 3종류의 착유기를 구입하여 실험을 하였다. 특히 유압식착유기, 연속형 저온 압착착유기, 연속형 익스펠러 착유기 중 연속형 익스펠러 착유기가 적합한 것으로 파악 되었다. 연속형 고온 익스펠러(Expeller) 착유기를 적용하여 착유 시 온도 조건을 120℃와 150℃를 기준으로 착유를 하였다. 착유 시 동애등에 유충의 건조 조건은 열풍건조방식과 마이크로웨이브방식으로 실험하였고, 동애등에 유충의 사육조건은 사육온도 26~27℃, 습도 50~70%, 먹이 사료는 남은 음식물 사료를 급여하였다. 건조 전 동애등에의 사육 기간은 부화 후 13~14일 노숙유충을 가지고 진행하였고 열풍 건조 처리구 D6(60℃), D7(70℃), D8(80℃)로 각각 / 6, 21, 24시간 등 진행하여 무게 측정, 건조 효율 파악 하였다. 마이크로파 건조 처리구에도 각각 5, 10, 15분으로 진행하여 무게 측정, 건조 효율 파악 등 진행하였다. 실험 곤충 종류로 갈색거저리 유충(M), 아메리카 동애등에 유충(B)를 마이크로웨이브 건조기를 이용하여 곤충 종별 선행 건조 실험을 진행하여 대략적인 건조 시간 파악하고 수분함량 5~10%를 적정 건조 선으로 기준함으로 곤충을 종별로 100g씩 투입 하여 건조 과건조(수분함량 5% 이하), 적정건조(5~10%), 약건조 조건(10~15%)에서 시간 때 별 수분 및 영양성분 검사 후 적정 건조 조건 조사하였다.

##### 다. 곤충으로부터 지질 대량 추출을 위한 소형 기계식 압착장치 개발

선행기술 등 검토 결과 연속형 익스펠러 착유방식이 적합하여 동애등에 착유에 적용시켰다. 유충을 건조 및 가열하는 예열부(10)는 건조유충을 가열하는 장치이다. 예열부(10)에서는 40~80℃로 가열할 수 있고, 기름을 유화시켜 변질되지 않은 낮은 온도에서 착유효율을 높일 수 있다. 또한 1차 설계 및 제작으로 발생된 부분별 성능 및 기능 보완하여 설계 제작하였다. 연속형 익스펠러 착유기 시간당 처리량은 80~100(kg), 소비전력 2 KW, 사이즈는 125\*82\*127.5(cm), 입력전압은 220(V)이다(설계도 5). 익스펠러 착유예열필터링 시스템을

모티프로 유충을 건조 및 예열하는 예열부를 추가하여 이송부, 가열공기 공급부 및 하우징, 투입부, 구동부 및 유출부이고 추가로 오일 토출부와 오일유량, 방향 제어부, 정제부에도 가열 시스템을 추가함으로써 오일의 유동성을 높여 외기온도에 구애 받지 않고 작업 가능하게 설계 하였다. 예열된 건조 유충을 압착하여 저온에서 오일을 추출하는 추출부로 40~250도까지 온도 제어가 가능하게 함으로써 온도를 높여 생산성 조절이 가능하고 주위 환경에 맞춰 작업성을 높일 수 있었다.

**라. 기계식 압착 부산물로부터 여분의 지질 추출을 위한 화학적 소형 추출 장치 개발**

일반적인 바이오디젤 추출 공정은 식물성 유지나 동물성 지방을 다양한 촉매와 반응조건에서 알코올과 화학적으로 에스테르 교환 반응시켜 제조하는 것인데 이 방법을 사용하면 대량의 오일을 빠르게 추출이 가능하며, 산가를 낮출 수 있으나 곤충 착유에 맞는 추출 공정 조건 설정이 필요하다. 1차 화학적 추출 환경 실험을 최적의 조건을 확립하여 제품 세부공정도(설계도8)를 설계하였다. 건조물 : 용매량=1 : 1~2이고 필터는 박 추출 시 탈 부착식으로 제작 하였으며 탈거 하여 부산물인 곤충박 추출을 할 수 있다. 컨덴서는 진공감압, 냉각 5~10℃ 유지 및 수분추출되고, 용매인 헥산은 90%이상 농도 유지와 지질 저장도는 20℃ 유지하였다

**마. 대량사육에 따른 먹이원별 최적 곤충 투입 밀도 평가**

실험구 별 밀도 조건(A,B,C,D,E)은 남은 음식물을 급여하여 14일 사육 후 무작위로 50마리씩을 채집하여 크기 측정하고 남은 음식물 사료 급여 처리구에서 가장 잘 자란 밀도를 기준으로 경제적으로 가치성이 큰 도축 잔재물 사료 먹이원 처리구와 동일 조건에서 크기를 통한 성장률 비교를 하였다. 동애등에 사육조건은 26℃, H: 50~70%, 사육장W\*D\*H(cm)=240\*104\*150이다.

**바. 곤충 발육단계별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원의 모니터링 기술 개발**

동애등에 산란 조건은 유인 배지 위에 나무 유인목을 놓고, 부화 조건은 26℃, H: 50~70%, 페트리디쉬(넓이 17.27cm<sup>2</sup>)로 실험 하였다. 수분이 함유된 왕겨에 밀기울을 섞어 놓은 베딩에 나무 산란 판 5묶음 2개를 올려놓고 산란 받은 난괴를 3그룹(E1,2,3)으로 나눠 각각 무게를 측정하였다. 또한 플라스틱 그릇 위에 형질을 놓고 분무하여 수분을 유지시킨 다음 알을 놓고, 부화시켰으며, 부화 유충들을 물에 침지 후 수집하여 채망 거른 다음 50ml 비커에 물과 함께 담아 지름 5.5 cm의 페트리디쉬(넓이 17.27cm<sup>2</sup>)에 5ml을 스포이드로 뽑아 현미경 x10에서 0.25cm<sup>2</sup>의 셀(cell, 69.08개) 9개 안의 유충 수를 계수하여 페트리디쉬안의 유충 수(그림22)를 구하고 전체 평균값으로 총 유충 수 계수하였다. 그룹별 부화한 약충들의 난괴에 무게에 따른 유충 수와 생존율도 파악되었다. 먹이원은 남은 유기물 자원 부산물인 남은 음식물 사료 및 까나리 먹이원을 선정하였고, 선정하게 된 이유는 먹이원을 받을 시 1톤당 5-10만 원의 수익을 창출 할 수 있었다. 경제성 높은 먹이원들 중 최대 성장 효율 먹이원을 1차 실험에서 찾았고, 2차 실험에서는 우량 실험구에 대해 먹이량 대비 밀도별 실험구 평균 성장률, 생존율 조사하였다. 실험 곤충종은 아메리카 동애등에이고 먹이원은 남은 음식물(습식사료 , 건식사료)과 까나리 부산물, 현미박임 또한 부형제는 톱밥과 물(유충의 효율적인 섭식을 위한 첨가제)을 포함하였다. 1차 실험 조건은 1kg 기준, 2~4mm 유충 500

마리씩 투입(음식물 기준 2g 섭식 가정)일주일 후 50마리 임의 선별 후 무게 측정 평균 값 측정 및 분해산물 이용을 위한 사료 염분 함량 조사하였다.

#### 사. 농가 규모별 생산체제 모델 제시 현장 적용

사양실험에 사용한 곤충 분말은 면역 활성 동애등에 노숙유충을 마이크로웨이브 건조기로 건조물을 엑스펠러 착유기를 이용하여 130℃ 조건에서 착유· 탈지박을 분쇄한 것이며, 지방 코팅은 분말을 지방 호모제와 배합하여 코팅함, 사료 첨가율은 사전 실험을 거쳐 0.5% 설정하였다. 사양실험 조건 및 방법은 육계 1주령 60마리를 분양받아 4주간 사양 실험하여 총 4개 처리구에 5마리 씩 3반복, 실험사료 및 물은 NRC사양 표준에 따라 배합된 사료를 기초 사료로 하였다. 실험사료 및 물은 초기사료(조단백 함량 20.32%) 2주, 후기사료(조단백 함량 18.52%) 2주 간 급여사료는 무게를 측정 수당 100g/일 씩을 자유 급여, 음수는 자유롭게 마시게 하였다(표 38). 조사항목은 생산성(증체량 kg, 1주 간격 체중 측정 실시), 안전성(생존율 %), 사료섭취량(g), 사료 요구율 등 실시하였다.

#### 아. 부산물 이용 산업화 적용을 위한 제제화 및 제형화 기술 개발 : 이온, 나노, 지방 캡슐등

바이오에너지를 생산하기 위한 갈색거저리 유충의 지방함량을 증대시키기 위해, 제 2협동과제인 세종대학교로부터 기술을 이전받아 활용하였다. 기존 갈색거저리 유충 사육에 사용되는 밀기울과 쌀겨, 옥수수, 대두박, 참깨박, 들깨박, 비지박, 커피박, 분변토, 음식물쓰레기를 사용하여 20일간 사육실험을 실시하였다. 실험결과, 갈색거저리 유충의 증체량 증대효과가 가장 우수했던 밀기울을 지방함량 증대효과가 나타났던 음식물쓰레기 사료와 혼합하여 밀기울, 음식물쓰레기, 밀기울/음식물쓰레기 사료를 대상으로 갈색거저리 유충의 사육실험을 20일간 실시하였다. 유충의 증체량 및 지방함량을 증가시키는 사료의 펠릿화를 위해 제 2협동과제인 세종대학교로부터 기술을 이전받아 활용하였다. 밀기울과 음식물쓰레기 사료를 50:50으로 혼합한 분말사료를 준비한 뒤, 이후 분말사료의 양의 0.05%의 무게로 sorbiv acid를 첨가하여 방부제로 사용하였다. 혼합된 분말사료는 밀가루 반죽기(SAD-2003, 삼우, 대한민국)(그림 1)에 넣어 다시 혼합하여 준다. 10분간 혼합한 후, 감자전분(분말사료 무게의 10%)을 혼합하여 다시 10분간 혼합한다. 이후, 100℃의 증류수(분말사료 무게의 80%)를 혼합하여 익반죽으로 1시간동안 반죽하여 준다. 반죽이 끝나면 민서기(MN-22S, 한국후지공업, 대한민국)(그림 2)을 활용하여 6mm 지름으로 뽑아낸다. 뽑아낸 국수형태의 사료는 대용량 건조기(SI-70S2)(그림 3)에서 150분간 건조한다. 건조가 끝난 국수형태의 사료(그림 4)는 절단기로 원하는 크기로 절단하여 사용하였다.

#### 자. 경제성 타진을 통한 시제품 제작 및 산업화 : 생산원가분석 및 경제성분석, 현장 적용

언론 매체를 통하여 공개된 자료를 근거로 조사하였고 개발된 제품은 자체 경제성도 검토를 하였다.

## 2. 곤충 생체 지질함량 향상 및 부산물 이용 천연방부제 생산 기술 개발(제1협동 : 동국대)

### 가. 실험 곤충 및 균주

본 연구에 사용된 동애등에 (*H. illucens*) 및 갈색거저리(*T. molitor*) 유충은 농촌진흥청 국립농업과학원 농업생물부에서 분양 받아 사육실(25~27°C, 상대습도 60)에서 사육된 동애등에와 갈색거저리를 실험에 사용하였다. 항균활성 분석을 위해서는 *Escherichia coli*, *Salmonella pullorum*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans*, MRSA( *Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus*), MDRPA(*Multidrug resistant Pseudomonas aeruginosa*)를 사용하였으며, 살모넬라균은 국립축산과학원으로부터 분양받았고, 나머지 균주는 경희대학교 의과대학 병리학교실로부터 분양을 받았다.

### 나. 바이오디젤 생산 곤충의 탈지 분말로부터 항균물질 추출

동애등에 및 갈색거저리 유충의 탈지 분말로부터 항균활성물질을 추출하기 위하여 마이크로파로 45분간 건조한 후 분쇄기를 이용하여 분말로 제조한 다음 추출에 사용하였다. 동애등에 및 갈색거저리 탈지 건조분말(50g)로부터 항균활성물질을 추출하기 위하여, 추출 용매(증류수 : 아세트산 = 80 : 20) 500mL를 첨가하고 30분간 가열한 후 원심분리(4°C, 4,500rpm, 30 min)하여 상등액 회수하였다. 회수한 상등액은 진공농축원심분리기를 이용하여 9시간 농축한 다음 멸균증류수에 녹여서 항균활성 분석에 사용하였다.

### 다. 바이오디젤 생산 곤충 유래 천연방부제의 활성 분석

탈지 동애등에 및 갈색거저리 유래 천연방부제의 활성 검정은 방사선 확산 분석법(RDA: radial diffusion assay)과 병원균에 대한 최저성장저해농도(MIC: minimum inhibitory concentration)를 측정하여 검정하였다. RDA 분석에 사용된 균주는 그람양성균인 *Staphylococcus aureus*와 그람음성균인 *Escherichia coli*를 사용하였다. RDA 분석을 위하여 멸균된 RDA용 underlay gel (9mM sodium phosphate, 1mM sodium citrate, pH7.4, 1% low electroendosmosis agarose, 0.03% TSB)에 배양된 각각의 균주( $4 \times 10^6$ cfu/ml)을 혼합하여 100 mm 사각플레이트에 부어 굳혔다. Underlay gel에 지름 3.5 mm의 구멍을 내어 시료를 10  $\mu$ l씩 구멍에 넣었고, 항균 펩타이드가 확산되도록 37°C에서 3시간 배양한 후, 그 위에 RDA용 overlay gel(6% TSB, 1% low electroendosmosis agarose)을 부어 굳힌 다음 37°C에서 18시간 동안 배양하였다. 이후 clear zone의 크기를 측정하여 항균 활성을 비교하였다.

MIC 분석을 위해서는 *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella pullorum*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, 를 사용하였다. 각각의 균들은 액체 배지에서 37°C, 200 rpm 조건으로 18시간 진탕배양한 후, 다시 동일한 조건에서  $4 \times 10^6$ cfu/ml 농도가 되도록 2시간 30분간 2차 배양하였다. 96-well microplate의 각 well에 90  $\mu$ l의 세균 배양액( $1 \times 10^6$ cfu/ml)을 분주 한 후, 단계적으로 희석된 동애등에 추출물의 용액을 각 well당 10  $\mu$ l씩 첨가한 다음 37°C에서 18시간 동안 배양한 후, 분광 광도계(600 nm)에서 흡광도를 측정하여 MIC를 결정하였다. RDA 및 MIC 분석을 위한 대조구로는 melittin (Sigma-Aldrich, USA)과 정제봉독(청진바이오, 한국)을 사용하였다.

#### 라. 바이오디젤 생산 곤충 유래 천연방부제의 활성 분석

탈지 동애등에 및 갈색거저리 유래 천연방부제의 활성 검정은 방사선 확산 분석법(RDA: radial diffusion assay)과 병원균에 대한 최저성장저해농도(MIC: minimum inhibitory concentration)를 측정하여 검정하였다. RDA 분석에 사용된 균주는 그람양성균인 *Staphylococcus aureus*와 그람음성균인 *Escherichia coli*, *Salmonella pullorum*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella enteritidis*, *Enterococcus faecalis*, *Candida albicans*, MRSA(Methicillin Resistant *Staphylococcus Aureus*), MDRPA(Multidrug resistant *Pseudomonas aeruginosa*)를 사용하였다. RDA 분석을 위하여 멸균된 RDA용 underlay gel (9mM sodium phosphate, 1mM sodium citrate, pH7.4, 1% low electroendosmosis agarose, 0.03% TSB)에 배양된 각각의 균주( $4 \times 10^6$ cfu/ml)을 혼합하여 100 mm 사각플레이트에 부어 굳혔다. Underlay gel에 지름 3.5 mm의 구멍을 내어 시료를 10  $\mu$ l씩 구멍에 넣었고, 항균 펩타이드가 확산되도록 37°C에서 3시간 배양한 후, 그 위에 RDA용 overlay gel(6% TSB, 1% low electroendosmosis agarose)을 부어 굳힌 다음 37°C에서 18시간 동안 배양하였다. 이후 clear zone의 크기를 측정하여 항균 활성을 비교하였다.

MIC 분석을 위해서는 *Staphylococcus aureus*와 *Escherichia coli*를 사용하였다. 각각의 균들은 액체 배지에서 37°C, 200 rpm 조건으로 18시간 진탕배양한 후, 다시 동일한 조건에서  $4 \times 10^6$ cfu/ml 농도가 되도록 2시간 30분간 2차 배양하였다. 96-well microplate의 각 well에 90  $\mu$ l의 세균 배양액( $1 \times 10^6$ cfu/ml)을 분주 한 후, 단계적으로 희석된 동애등에 추출물의 용액을 각 well당 10  $\mu$ l씩 첨가한 다음 37°C에서 18시간 동안 배양한 후, 분광 광도계(600 nm)에서 흡광도를 측정하여 MIC를 결정하였다. RNA 및 MIC 분석을 위한 대조구로는 melittin (Sigma-Aldrich, USA)과 정제봉독(청진바이오, 한국)을 사용하였다.

#### 마. 단백질가수분해효소에 대한 안정성 분석

탈지 동애등에 및 갈색거저리 유래 천연방부제의 단백질가수분해효소에 대한 안정성을 분석하기 위하여, 단백질가수분해효소로는 trypsin 및 chymotrypsin을 사용하였으며, 대조 천연항균물질은 Sigma사의 melittin과 (주)청진바이오텍의 정제봉독을 사용하였다. Trypsin 및 chymotrypsin을 동애등에 유래 항균물질, melittin 및 정제봉독에 각각 단독 및 복합 처리한 다음, 단백질가수분해효소에 대한 안정성을 방사선 확산 분석을 통하여 비교 분석하였다.

#### 사. 곤충 유래 천연방부제의 세포 독성 분석

MTT assay는 colorimetric assay로써 색변화를 통해 특정과장의 흡광을 재는 실험방법이다. 탈수소 효소작용에 의하여 노란색의 수용성 기질인 MTT tetrazolium을 보라색을 띠는 비수용성의 동애등에 유래 항균물질의 세포독성은 MTT formazan (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-tetrazolium bromide)으로 환원시키는 미토콘드리아의 능력을 이용하여 분석하였다. 자세하게는, 96 well plate의 각 well에 원하는 적정농도의 세포 부유액 180  $\mu$ l를 넣고, MTT(5mg/ml)을 1xPBS에 녹인 후 농도별로 20  $\mu$ l씩 각 well에 첨가하였다. 24 시간 동안 37°C에서 배양한 후 시료를 제거한 다음, 각 well에 MTT solution을 첨가하고 4 시간 동안 incubation 시킨 후 MTT 희석액을 제거하였다. 각 well에 100  $\mu$ l의 DMSO를 첨가하여 15-20분간 plate shaker로 흔들어 준 후 ELISA reader를 사용하여 wave length 540 nm에서 흡광도를 측정하였다.

### 3. 곤충으로부터 지질 추출 후 고단백 부산물 이용 고부가가치 소재 개발(제2협동 : 세종대)

#### 가. 바이오디젤 기준에 적합한 곤충 종 선발

바이오디젤 기준에 적합한 곤충 종 선발을 위하여 곤충 목별(파리목, 딱정벌레목, 벌목, 나비목 등) 지질 함량을 문헌을 통하여 조사한 후 국내 자생종을 중심으로 지방함량이 높은 곤충 4종을 선발하였다. 또한 확보한 곤충종의 지방산을 식품공전 제8. 일반시험법, 2. 식품성분시험법, 2.1 일반성분시험법, 2.1.5. 지질, 2.1.5.4. 지방산의 분석법에 따라 분석한 후 상용화된 식물성 바이오디젤(대두유)와 비교하여 적합한 곤충종을 선발하였다. 이후 지방함량이 높은 대상 곤충 4종의 생태조사를 문헌을 통하여 분석하였다.

#### 나. 대상 곤충 추출물의 다양한 산업적 활용방안 탐색

##### (1) 동애등에 추출물을 활용한 피부에 대한 기능성 분석

###### (가) 항산화 효능

동애등에 추출물의 항산화 능력은 total antioxidant capacity (TAC)와 DPPH radical scavenging activity로 측정하였다. TAC는 산화방지제 표준물질인 trolox 당량을 측정하는 Total Antioxidant Capacity Colormetric Assay Kit (Biovision, CA)로 측정하였으며, DPPH radical scavenging activity는 DPPH에 대한 전자공여능을 측정하여 흡광도의 차이를 백분율로 표시하였다.

###### (나) Collagenase inhibition

Collagenase의 억제량은 Collagenase Activity Colormetric Assay Kit (Biovision, CA)로 동봉된 사용법으로 측정하였고, 양성대조군으로는 kojic acid 150uM을 사용하였다.

###### (다) Elastase inhibition

Elastase 억제량은 Molecular Probes EnzChek Elastase Assay Kit (Invitrogen, CA)로 측정하였으며 양성대조군으로는 5 uM N-methoxysuccinyl-Ala-Ala-Pro-Val-chloromethylketone을 사용하였다.

###### (라) Tyrosinase inhibition

Tyrosinase 억제량은 Tyrosinase Inhibitor Screening Kit (Biovision, CA)로 측정되었으며 양성대조군으로는 kojic acid 150uM을 사용하였다.

#### 다. 바이오디젤 생산용 곤충의 사육체계 확립

##### (1) 바이오디젤 생산용 곤충의 다양한 인공사료 조성 개발

###### (가) 갈색거저리

갈색거저리의 인공사료의 원료는 쌀겨, 밀기울, 옥수수, 대두박, 참깨박, 들깨박, 비지박, 커피박, 분변토, 음식물쓰레기를 선정하여 조성분을 분석한 후, 20일간 갈색거저리 유충에 급여한 후 증체량을 분석하였다. 이후 증체량 증대효과가 우수한 밀기울, 분변토, 음식물쓰레기의 원료와 원료의 4가지 조합을 통해 사료를 제작하여 20일간 갈색거저리에 급여한 후 증체량을 분석하였다.

###### (나) 아메리카왕거저리

아메리카왕거저리의 인공사료의 원료는 쌀겨, 밀기울, 옥수수, 대두박, 참깨박, 들깨박, 비지박, 커피박, 분변토, 음식물쓰레기를 선정하여 조성분을 분석한 후, 20일간 아메리카왕거저리 유충에 급여한 후 증체량을 분석하였다.

(다) 꿀벌부채명나방

꿀벌부채명나방의 인공사료에 필요한 저비용의 당원을 선정하기 위해 당밀, 설탕, 물엿을 사용하여 꿀벌부채명나방 유충에 12일간 급여한 후 증체량을 분석하였다. 또한 단백질원과 지방의 함량에 따른 꿀벌부채명나방의 증체량을 분석하고자 음식물쓰레기, 밀기울, 어분을 선정한 후 동애 등으로부터 얻은 기름을 농도별(5, 10, 15%)로 혼합하여 7일동안 급여한 후 증체량을 분석하였다.

**라. 바이오디젤 생산용 곤충의 실내 대량 사육 시스템 개발**

(1) 대상원료에 방부제 첨가 조건 확립

(가) 갈색거저리

갈색거저리의 인공사료에 방부제 첨가 조건은 곤충사료에 보편적으로 사용되는 sorbic acid와 propionic acid, 최근 항균력이 있다고 밝혀진 자몽종자추출물(GSE)를 사료에 0.05, 0.10, 0.15%를 첨가한 후 20일간 사육실험을 진행하고 생존율과 증체량을 분석하였다.

(나) 아메리카왕거저리

아메리카왕거저리의 인공사료에 방부제 첨가 조건은 곤충사료에 보편적으로 사용되는 sorbic acid와 최근 항균력이 있다고 밝혀진 자몽종자추출물(GSE)를 사료에 0.05, 0.10, 0.15%를 첨가한 후 20일간 사육실험을 진행하고 생존율과 증체량을 분석하였다.

(다) 방부제로 사용된 sorbic acid와 GSE의 항균활성검정

방부제로 사용된 sorbic acid와 GSE의 항균활성검정은 inhibition zone assay로 검정하였다. 방부제의 농도는 0.05, 0.10, 0.15% 로 동일하게 사용하였으며, 식중독균인 대장균과 황색포도상구균을 대상으로 활성을 검정하였다. 배양된 각각의 균주( $1 \times 10^6$ cfu/ml)을 배지와 혼합하여 페트리디쉬에 부어 굳힌 후 지름 0.3cm 3M paper를 올린 후 방부제로 적셔서 흡수되게 하였다. 이후 37°C에서 overnight 배양하였으며, clear zone의 크기를 측정하여 항균 활성을 측정하였다.

(2) 대상원료에 고형화 조건 확립

갈색거저리와 아메리카왕거저리 인공사료에 고형화 재료로는 감자전분을 사용하였다. 감자전분을 사료중량의 25% 첨가하여 고형화한 후 갈색거저리와 아메리카왕거저리 유충에 급여하여 증체량을 분석하였다.

**마. 곤충의 각 발육단계별 지방함량 및 지방산 조성 비교분석**

갈색거저리, 아메리카왕거저리, 꿀벌부채명나방의 발육단계별 지방함량과 지방산 조성은 식품공전 제8. 일반시험법, 2. 식품성분시험법, 2.1 일반성분시험법, 2.1.5. 지질, 2.1.5.4. 지방산의 분석법에 따라 분석하였다.

**바. 곤충으로부터 지질 추출 후 고단백 부산물 이용 고부가가치 소재 개발**

면역강화 기능성 사료의 원료는 어분, 밀가루, α-전분, 미네랄 혼합물, 비타민혼합물과 일반적인 동애등에 분말 및 유산균인 *Lactobacillus plantarum*으로 면역을 유도한 동애등에 분말을 사용하였다. 면역강화 기능성 사료의 조성분 분석 결과를 바탕으로 각 사료의 영양성분 비율을 단백질 45%, 조지방 15%, 탄수화물 19%, 회분 12%가 되게 설정하여 사료를 제작하였다. 동애등에 분말은 일반 동애등에 분말과 면역이 유도된 동애등에 분말 2가지를 사용하였으며 기존 어류사료 중 단백질원인 어분을 각각 25%, 50% 대체하였다. 사료는 분말상태인 어분, 밀가루, α-전분, 동애등에 분말, 미네랄 혼합물, 비타민 혼합물과 어유를 혼

합한 뒤 혼합물 무게대비 60%의 증류수를 섞어 반죽기에 넣고 30분간 반죽한 후, 민서기로 압착하여 뽑아낸 이후 3일간 채반에 넣어 자연 건조하였다. 이후 건조된 사료를 절단기를 이용해 길이 0.5 mm로 절단하여 무지개송어 사료로 사용하였다. 곤충 부산물을 활용한 양어 사료의 원료와 제작된 사료의 조성분 분석은 제8. 일반시험법, 2.1. 일반성분시험법으로 분석하였다. 또한 개발한 사료의 양어에 급여 후 생존율, 증체량, 적혈구 숫자, 적혈구 용적, 일간성장률, 사료효율, 비만도, 간중량지수, 인슐린유사생장인자, aspartate aminotransferase, 라이소자임, 면역 글로블린 M을 분석하였다. 급여한 어류의 조성분과 지방산 조성 분석은 제8. 일반시험법, 2. 식품 성분시험법, 2.1 일반성분시험법에 따라 분석하였다.

#### 4. 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발(제3협동 : 한국석유관리원)

##### 가. 국내의 곤충 유래 바이오디젤 전환 기술 조사

바이오디젤의 원료로는 지금까지 식물성 오일, 동물성 유지, 폐식용유 등이 사용되어 왔으며 바이오디젤 생산 단가에서 원료 가격은 60~75%를 차지하고 있다. 바이오디젤의 원료로서 곤충 지질의 단위면적당 오일 수율을 기존의 원료와 비교하여 가능성을 알아보았다.

##### 나. 국내의 곤충 유래 지질의 FAME 전환기술 분석

기존의 바이오디젤은 촉매 하에서 메탄올을 혼합하여 합성하였다. 촉매는 산, 염기 촉매가 사용되며 지질이 갖는 산가에 의해 결정된다. 곤충 지질의 산가 및 원료 특성을 분석하여 전이에스테르화 반응에 적합한 촉매를 결정하였고 촉매량, 반응온도, 반응시간에 따른 수율을 측정하였다. 또한, 곤충 중에 따른 바이오디젤 수율을 측정하였다.

##### 다. 곤충 지질로부터 고품량 FAME 바이오디젤 전환기술 품질 최적화

전산가가 높은 원료를 바이오디젤의 원료로 사용할 경우에는 산가를 낮추는 전처리 공정을 추가하거나 반응 조건을 고온에서 장시간 진행해야한다. 산가를 낮추는 방법으로는 바이오디젤의 수율을 높이면서 산가를 낮추기 위해 산촉매로 반응한 다음, 염기촉매를 사용하는 방법을 주로 사용하고 있다. 이에 따라 곤충(동애등에) 지질을 이용한 바이오디젤 합성 반응조건을 최적화하였고 수세 등의 후처리 공정을 최적화하였다.

##### 라. 국내 바이오디젤 품질기준 주요항목 품질평가

국내외 바이오디젤의 품질기준과 시험방법을 조사하여 곤충 유래 바이오디젤의 품질기준 적합 및 시험방법 적용 가능성을 알아보았다. 곤충 지질에 포함된 불순물을 제거하기 위해 탈검, 중화, 탈색, 탈취 방법을 적용하여 실험하였다. 특히, 황분 제거를 위해 감압증류를 실시하여 국내 바이오디젤 품질기준을 만족하였다.

##### 마. 곤충 유래 바이오디젤의 경제성 분석

국내 바이오디젤 보급 현황과 산업 동향을 분석하여 향후 수급 동향을 알아보았으며 30L 바이오디젤 생산 실험 결과로부터 경제성 분석을 실시하였다. 바이오디젤은 원료 가격에 의해 경제성이 좌우되기 때문에 곤충 지질 가격을 4가지로 나누어 총 생산단가를 분석하였다.

## 제2절. 연구수행 내용 및 결과

### 1. 곤충으로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산업화(주관기관 : 그린테코)

#### 가. 먹이원 내 곤충 분리 기술

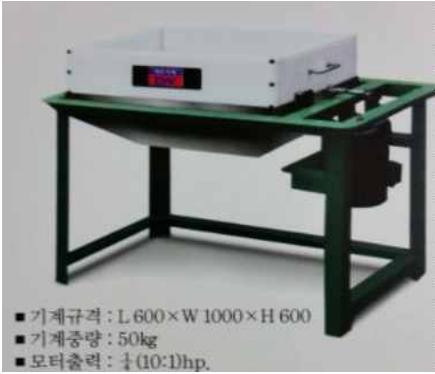
##### (1) 선행기술 장,단점 파악

유기성 폐자원을 먹이로 자란 유충은 퇴출부를 통해 수집된 노숙유충과 분해산물 분리작업을 위해 선행기술 등 검토를 위하여 적층 자연 선별기, 벨트형 선별기, 진동선별기, 전·후 이동형 곤충 대량 분리 장치, 사각선별기, 친환경 분리 장치 등 사용하였다. 분석 후 친환경 분리장치(사례6)는 소음 및 분진 발생이 거의 없었고 99%이상 유충과 분해산물이 자동으로 분리 되었으며 적정한 것으로 판단되었다.

제품 내용	사례1) 적층 자연 선별기	사례2) 벨트형 선별기
제품 사진		
분리 기능	상면이 개방되고, 하나 이상의 측면에 경사면이 형성되며, 내부에 동애등에 유충이 서식할 수 있는 공간을 마련하고, 경사면이 상기 용기 본체의 밑면과 형성하는 각은 10°~80°로 번데기가 탈출 공간 확보 해줌	컨베이어 벨트를 이용하여 유기성 폐기물을 처리함에 있어서, 처리용기의 양단에 보호커버가 장착하여 유충이 컨베이어 하단으로 탈출하는 것을 방지하고 상면이 개방되고, 하나 이상의 측면에 경사면이 형성되며, 내부에 동애등에 유충이 서식할 수 있는 공간이 마련하고, 경사면이 상기 용기 본체의 밑면과 형성하는 각은 10°~80°로 번데기가 탈출 공간 확보 해줌 히터를 처리 용기 하면에 부착해 온도를 높이는 기능으로 35℃~45℃ 전·후에서 가장 활발히 서식하지만 내부온도 변화(50℃~80℃)를 변화 할 시 강제로 유충이 탈출하여 분해산물과 분리 가능하였음
진동	없음	없음
소음	없음	없음
분진	분진 없음	분진 없음
분리율	분해산물과 유충 분리율 : 95%	분해산물과 유충도 분리율 : 95%
망 교체 유무	분리 부분이 사용 용기와 연결되어 있음	분리 부분이 사용 용기와 연결되어 있음
단점	분리시간이 오래 걸림 (7~10일)	· 분리시간이 오래 걸림 (5~10시간) · 온, 습도를 높이는 바람에 분해산물 수분 증가로 건조비용 상승
장점	자연 분리 곤충특성 이용	자연적 곤충 특성을 온,습도로 전환 이용

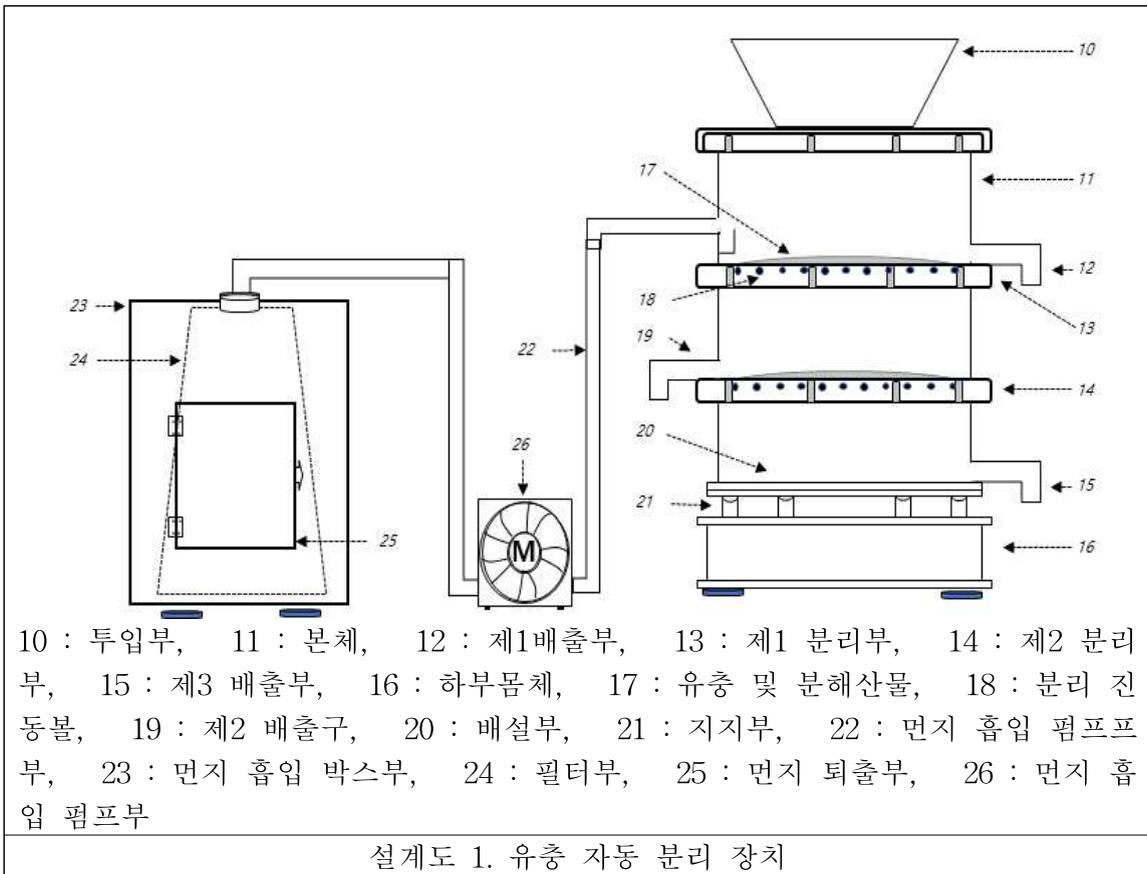
표 1. 분리작업의 장,단점 : 적층 자연선별기, 벨트형 선별기

모델 내용	사례3) 진동 선별기	사례4) 전·후 이동형 곤충 대량 분리 장치
제품 사진		
분리 기능	<p>구조의 분리 방식을 통해 상대적으로 크기가 큰 유충과 상대적으로 크기가 작은 유충을 각각 분리하면서 곤충의 분해산물을 분리 및 제거함으로써, 크기별로 유충을 분리 제작됨</p> <p>기계 지지틀, 1망과 2망 연결 및 전후 이동장치, 구동 장치를 포함하여 제작됨</p> <p>유충과 분해산물 분리는 진동을 통해 자동으로 분리시켰음</p>	<p>메인 테이블의 상면에는 레일이 마련되고, 레일을 따라 왕복 이동하는 휠에 의해 필터 테이블이 전·후진 하여 필터 테이블의 전·후진 이동은 구동부에 의해 제공되는 구동력에 의해 이루어지게 되었음</p> <p>필터 테이블 소정 크기의 메쉬 구조체로 이루어져 있으며, 메쉬 크기는 유충의 평균적인 크기보다는 작고 분해산물의 평균적인 크기보다는 큼</p> <p>필터 테이블에 의해 분해산물은 통과하고 유충만이 남겨지게 됨</p> <p>필터 테이블 상에 남겨진 유충은 필터 테이블의 전·후진 이동에 의해 일 방향으로 이동되어 메인 테이블의 일측에 설치된 유충 수거부로 떨어져 별도의 유충 보관부에 보관 하게 됨</p> <p>유충 수거부는 반원 형상의 단면을 가지는 하프 파이프 구조로 소정 경사를 가지도록 배치되어 필터 테이블에서 떨어진 유충이 슬라이딩 이동하여 유충 보관부로 낙하되도록 되었음</p>
진동	보통	보통
소음	소음 발생(보통)	소음 발생(보통)
분진	발생	약함(분해산물에 수분이 60-70%인 상태)
분리율	99%이상	95%이상
망 교체 유무	없음 (제작시 기준 설정)	없음 (제작시 기준 설정)
단점	과다 소음 및 분진 과다 발생	소음 발생과 분해산물의 과다 수분을 낮추 방법 필요
장점	분리 율 좋음 (실시간 분리됨)	분리 율 좋음 (실시간 분리됨)
표 2. 분리작업의 장,단점 : 진동 선별기, 전·후 이동형 곤충 대량 분리 장치		

모델 내용	사례5) 사각형 선별기	사례6) 친환경 분리장치
제품 사진	 <p>■ 기계규격 : L 600×W 1000×H 600 ■ 기계중량 : 50kg ■ 모터출력 : 4(10:1)hp.</p>	
분리 기능	수작업 병행	<p>구조의 분리 방식을 통해 상대적으로 크기가 큰 유층과 상대적으로 크기가 작은 유층을 각각 분리하면서 곤충의 분해산물을 분리 및 제거함으로써 크기별로 유층을 분리 제작됨</p> <p>기계 지지틀, 1망과 2망 연결 및 전후 이동장치, 구동 장치를 포함하여 제작됨</p> <p>소음등 보완하여 분해산물 분리 작업 중에 발생되는 미세먼지를 제거하면서 곤충의 분해산물을 진동을 통해 유층과 자동으로 분리시켰음</p>
진동	보 통	진동이 없음
소음	보 통	소음 없음
분진	분진 발생	분진 발생 없음, 실내 공기 양호
분리율	변토 와 작은 유층도 분리 안됨	99%이상 (유층과 분해산물이 자동으로 분리 됨)
망 교체 유무	없음(제작 시 기준 설정)	없음(제작 시 기준 설정)
단점	소음발생과 분진 발생, 작업시 인력이 많이 들어감	분해산물 수분량에 따른 분리율 개선 필요
장점	분리 효율 좋음(실시간 분리됨)	대량생산과 친환경 자동 분리 장치로 적합함 분리 율 좋음(실시간 분리됨)
표 3. 분리작업의 장,단점 : 사각형 선별기, 친환경 분리장치		

(2) 자동 분리 장치설계 및 제작

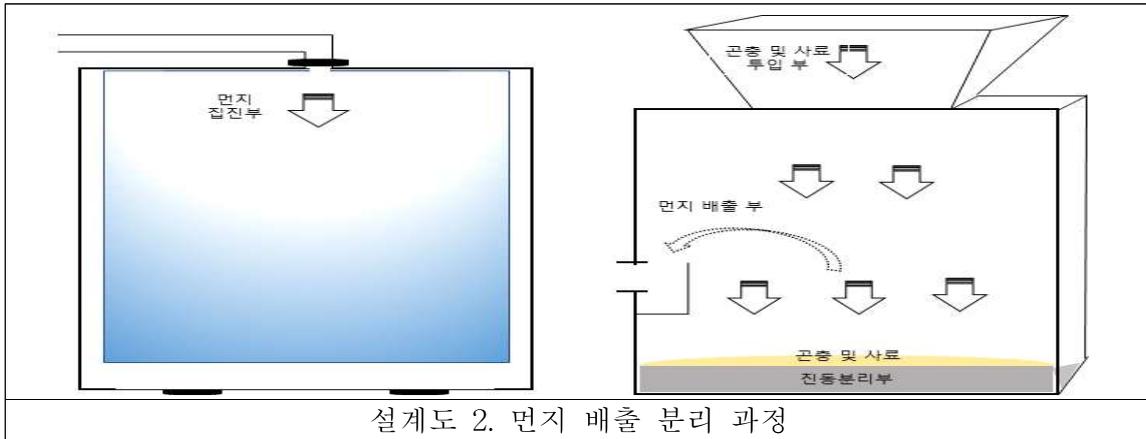
표1, 표2, 표3과 같이 유기성 폐자원을 먹이로 자란 유충은 퇴출부를 통해 수집된 노숙유충과 분해산물 분리작업을 위해 선행기술 등을 검토하여 바이오 디젤에 적용 시 적절한 먹이원 내 곤충 분리 방법 파악하였고 친환경 분리장치(표 3, 사례 6)가 적절한 것으로 판단되었다. 친환경 분리장치는 곤충마다 분해산물과 잔존물이 형태가 다르고 곤충 사료 및 마지막 잔존물의 수분량이 차이가 있으므로 곤충 종류 마다 분리장치는 다소 차이가 발생하였다. 친환경 분리 장치는 밀웜 유충을 가지고 얻은 결과로서 소음과 분해산물 분리 작업 중에 발생하는 미세먼지를 제거하면서 곤충의 분해산물을 진동을 통해 유충과 자동으로 분리시켰다. 그러나 동애등에 유충 시 적용에는 보완 수정 개발이 필요하였다. 이중 구조의 분리 방식을 통해 상대적으로 유충과 곤충의 분해산물을 분리함으로써, 매쉬망 크기를 별도 설계 제작하였다. 이중구조의 분리 방식이 적용된 하우스정부의 내·외부를 연통하여 집진부를 설치함으로써, 유충과 분해산물의 분리 작업 중에 발생하는 미세먼지를 흡입하여 제거 되었다. 유충자동분리장치는 본체(11), 먼지 흡입 펌프부(22), 먼지 흡입 박스부(23)등을 포함되게 설계되었다. 본체부(11)는 유충 및 분해산물(17)이 포함된 내용물이 투입되며 이중 구조의 분리 방식으로 큰 유충과 작은 유충 그리고 분해산물로 각각 분리하였다. 본체부는(11)는 투입부(10), 제1배출부(12), 제1 분리부(13), 제2 분리부(14), 제3 배출부(15), 하부몸체(16), 유충 및 분해산물(17), 분리 진동볼(18), 제 2 배출구(19), 배설부(20), 지지부(21), 먼지 흡입 펌프부(26)를 포함하여 설계 제작되었다(설계도 1). 본체(11)의 내부는 원형이며



상부에는 유충 및 유충의 분해산물이 혼합하여 사육 내용물이 투입되는 투입구(10)가 있고 본체(11)는 내부 공간이 상, 중, 하 3단으로 분리되어 각각의 높이는 측면의 각각1/3높이에 수평으로 설계되었다. 제1 분리부(13)는 유충부화 후 6일 이후 크기의 유충을 큰 제1배출

부(12)로 분리하기 위해서 이중구조로 설계되었다. 설계도1의 제1 분리부(13) 매쉬는 대략 2mm 이고 분리부와 일정 간격 하향 이격된 위치에 대략 10 mm의 직경을 갖는 분리 진동볼(18)이 여러개 구성되어 제1-2 분리부로 나누어 설계되었다. 제2 분리부(14)는 유층 부하 후 5일 이하의 작은 유층을 분리하기 위해서 이중구조로 설계 되었고 설계도1의 제2 분리부(14)상단의 매쉬는 1.2mm 매쉬로 일정 간격 하향 이격된 위치에 대략 10 mm의 직경을 갖는 분리 체홀이 복수로 제2 분리부가 설계되었다. 이러한 제2 분리부(14)를 통해서 제2 유층을 분리할 수 있을 뿐만 아니라 유층의 분해산물도 함께 분리 하였다. 제1 분리부(13)와 제1 분리부(13)는 본체(11) 제1 분리부(13)의 상부에 위치하는 상부 공간과, 제1 분리부(13)와 제2 분리부(14)의 사이에 위치하는 중간 그리고 제2 분리부(14)의 하부에 위치하는 하부 공간으로 분리되어 설계되었다. 제1 분리부(13)과 제2 분리부(14)에는 대략 20mm의 직경을 갖는 복수의 분리 진동볼(18)로 제1 분리부와 제2 분리부 사이에서 진동을 통해 몸체부(11)에 진동이 제공될 경우 해당 공간에서 자유롭게 이동하면서 부딪히거나 충격을 가하여 각각의 체홀을 통해 분리하고자 하는 내용물이 분리하여 하부로 이동시킨다. 본체(11)는 상부 공간 측면 하부에 제1 배출구(12)와 중간 공간의 측면 하부에 제2 배출구(19)로 구성되어 설계되었다. 하부 공간의 측면 하부에는 제3 배출구(15)가 있으며 제1 배출구(12)를 통해 상대적으로 큰 제1 유층이 분리 배출되고, 제2 배출구(19)을 통해 상대적으로 작은 제2 유층이 분리 배출된다. 제3 배출구(15)를 통해서 유층의 분해산물이 분리 배출될 수 있게 설계되었다(설계도1). 제1 배출구(12), 제2 배출구(19) 및 제3 배출구(15)는 분리 배출을 쉽게 수행할 수 있도록 내부에 플레이트가 경사지게 설계되어 하부 몸체부(16)에 고정 되게 설계되었다. 하부몸체부(16)는 원형 형태로 하부에 구비된 복수의 고정구를 통해 바닥면에 안정적으로 안착 고정 되었고 이러한 하부몸체부(16)는 상부 가장자리에는 평면상 일정 간격으로 복수의 돌출포스트가 구비되어 지지부(21)가 삽입 결합 설계되었다. 지지부(21)는 본체부(11)와 하부 몸체부(16) 사이에 복수개가 구비되어 상부에 본체부(11)를 탄성적으로 지지하는 것으로 스프링 형태이다. 이러한 지지부(21)는 본체부(11)를 탄성적으로 지지하기 때문에 진동을 본체부(11)와에 효과적으로 전달할 수 있으며, 이러한 탄성력을 통한 진동 전달을 통해 유층의 분해산물을 효율을 향상 시키게 되었다. 진동은 본체부(11) 하부에 구비되어 제1 유층, 제2 유층 및 유출 분해산물분으로 분리시키기 위해 본체부(11)에 진동을 제공하는 것으로, 진동모터, 진동축로드, 편심날개 등이 포함되어 설계되었다. 진동모터의 회전력은 진동축로드로 전달되어 회전되며, 진동축로드에 편심으로 결합된 편심날개를 통해 편심 회전됨으로써, 진동을 발생시킨다. 진동은 진동모터를 통해 분당 3400-3600rpm의 회전수로 회전되며, 진동축로드가 대략 80mm의 길이를 갖는 경우 편심날개는 대략 120mm의 길이를 가지면서 그 사이각도는 대략 18-22도의 각도범위로 구비되어 설계하였다. 진동축로드와 편심날개의 길이 비율이 대략 3:4가 되면서 18-22도의 사이각도를 갖도록 하였다. 진동부는 원형으로 통형태의 진동하우징 내부에 구비되어 본체부(11) 하부에 설치되어 설계 제작 하였다. 먼지 흡입 박스부(23)는 본체(11)의 내부와 연통되어 진동에 따른 미세먼지를 흡입 제거하는 것으로 먼지 흡입관(22), 먼지 흡입 박스부(23), 필터부(24), 먼지퇴출부(25), 먼지 흡입 펌프부(26)등으로 구성 설계 하였다. 먼지 흡입관(22), 상에는 흡입 펌프부(26)가 구비되어 본체(11) 내부에 발생하는 미세먼지를 흡입 펌핑하는데, 본체(11) 내부에서 진동에 따라 제1 유층, 제2 유층 및 유층배설분으로 분리 배출되면서 발생하는 미세먼지를 흡입하여 먼지 흡입관(22)을 따라 먼지 흡입박스부(23) 방향

으로 펌핑하게 설계되었다(설계도 2).



설계도 2. 먼지 배출 분리 과정

먼지 흡입 박스부(23)는 먼지흡입관(22)으로 흡입된 미세먼지를 저장할 수 있는데, 그 내부에는 필터부(24) 구비되어 미세먼지를 필터로 여과 한 후 정화된 공기만을 외부로 배출 시킨다. 따라서 분해산물 분리 작업 중에 발생하는 미세먼지를 제거하면서 유층의 분해산물을 자동으로 분리시킬 수 있는 자동 분리 장치이다(그림 1).



분리진동볼

분리판 내부

먼지 흡입 박스부

자동 분리 장치

그림 1. 자동분리 장치 제작

### (3) 미세 먼지 현장적용 시험 실시

실험 적용 농가는 농업법인 아그로그린, 실험구는 분리장치(대조A사, 대조B사), 유층의 분해산물 자동 분리 장치(그린테코) 그리고 조사방법은 미세먼지 증가량( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 분해산물 분리량(Kg) 15kg 기준, 분리 소요시간 등을 실시하였다(표4). 분해산물 분리방법에 따른 미세 먼

내용	A사	B사	그린테코
미세 먼지량( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	71	75	19

표 4. 분해산물 분리 시 미세먼지량 비교

지량을 측정 한 결과, 중의 분해산물 자동 분리 장치는 대조 A사, 대조 B사보다 현저히 낮았다(표5). 부화 후 13일자 유충 15kg을 대상으로 분해산물 분리방법 별 분리량을 조사한 결

내 용	A사	B사	그린테코
분해산물 분리시간(초)	10	6	5

배설물 분리시간(초)

그린테코	5
B사	6
A사	10

표 5. 분해산물분리 방법에 따른 15kg 당 분해산물 분리 시간

과, 모두 10kg를 분리할 때까지 소요되는 시간이다. 분리량은 자동 분리 장치의 크기 및 용량에 따라 분리량을 조절 할 수 있었다.

#### 나. 산폐 방지를 위한 최적 건조 설계 및 개발

선행기술 등 검토를 위하여 일반 시중에서 사용중인 3종류의 착유기를 구입하였다. 특히 유압식착유기(그림2), 연속형 저온 압착착유기(그림3), 연속형 엑스펠러 착유기(그림4) 중 연속형 엑스펠러 착유기(그림4)가 적합한 것으로 파악 되었다. 유압식 착유기는 탈지효율이 떨어지며, 마이크로파 건조물 1kg 기준 착유율 17.17±0.4(탈지박 미끈거림)로 연속형 작업이 어려워 대량 곤충 착유에는 적합하지 않았다(그림2).



연속형 저온 압착 착유기는 기존 국내 시판 제품은 동에등에 유층 막힘 증상으로 착유가 불가능 하였다(그림3).



그림 3. 국내 시판 연속형 저온압착 착유기

연속형 고온 익스펠러(Expeller) 착유기는 착유시 온도 조건을 120℃와 150℃를 기준으로 착유를 하여 동에등에 착유를 정상적으로 할 수 있었다(그림3).



연속형 익스펠러 착유기

연속형 익스펠러 착유



연속형 익스펠러 착유기

연속형 익스펠러 착유

연속형 익스펠러 탈지박

그림 4. 익스펠러 착유기 착유 과정

**(1) 산패방지를 위한 건조 조건별 산가 분석**

연속형 고온 익스펠러(Expeller) 착유기를 적용하여 착유 시 온도 조건을 120℃와 150℃를 기준으로 착유를 하였다. 120℃와 150℃ 조건은 설정 온도보다 높을 시 착유 후 분말이 검게 변하였고, 설정 온도보다 낮을 시 착유율이 떨어졌다. 착유 시 동애등에 유층의 건조 조건은 열풍건조방식과 마이크로웨이브방식으로 실험하였고, 동애등에 유층의 사육조건은 사육온도 26~27℃, 습도 50~70%, 먹이사료는 남은 음식물 사료를 급여하였다. 건조 전 동애등에의 사육 기간은 부화 후 13~14일 노숙 유층을 가지고 진행하였고 열풍 건조 처리구는 D6(60℃), D7(70℃), D8(80℃)로 각각 6, 21, 24시간 등 진행하여 무게 측정과 건조 효율을 파악 하였다. 마이크로파 건조 처리구에도 각각 5, 10, 15분으로 진행하여 무게 측정과 건조 효율 파악 등 진행하였다. 실험 착유 조건은 건조조건별 1kg 투입 시 착유 온도 및 시간으로 A 조건은 연속형 고온 익스펠러 150℃, 20분 착유하고, B 조건은 연속형 고온 익스펠러 120℃, 20분 착유하였다(표 5).

건조조건 착유조건	열풍건조			M/W
	D6(60℃)	D7(70℃)	D8(80℃)	
A(150℃, 20분)	D6-A	D7-A	D8-A	M-A
B(120℃, 20분)	D6-B	D7-B	D8-B	M-B

표 5. 조건 별 처리 구

실험방법은 동애등에 유층 1kg 씩을 조건별 열풍건조와 마이크로파웨이브 건조로 시간 별 무게 감소량 측정하고 건조 효율을 파악하였다. 또한 건조조건별 건조물 각 1kg 씩을 연속형 고온 익스펠러 착유 조건에서 온도별 여과(3회)착유 후 착유효율, 기름 산가, 탈지박 영양성분, 산가 비교 분석[한국기능식품연구원(사)]등 실시하였다(그림5, 그림6, 그림7, 그림8). 건조조건별 건조 과정(그림 5), 건조 조건별 착유과정(그림 6), 건조 조건별 탈지박(그림7), 고온 익스펠러 온도에 따른 탈지박(그림8)을 파악하였다.





열풍 건조별 시간별 무게 감소량 및 건조 효율은 표6 과 같이 파악 되었고 마이크로웨이브의 건조 시간 별 무게 감소량 및 건조 효율은 표7과 같이 파악되었다.

시간 \ 처리구(g)	D6(60°C)	D7(70°C)	D8(80°C)
6	728 (27.2% ↓)	630 (37% ↓)	374 (62.6% ↓)
21	370 (63% ↓)	377 (62.3% ↓)	374 (62.6% ↓)
24	370 (63% ↓)	377 (62.3% ↓)	374 (62.6% ↓)

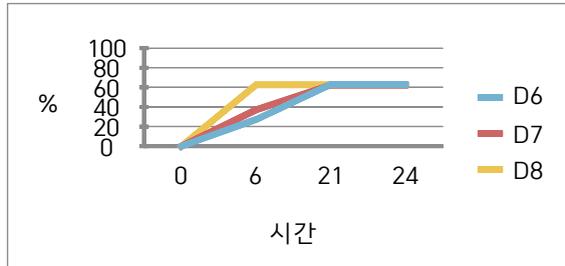
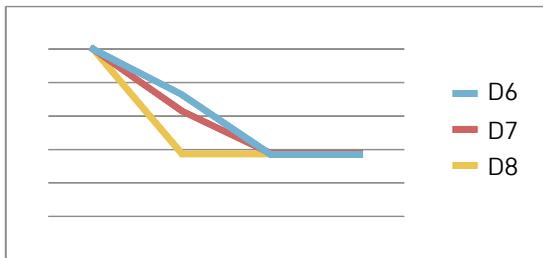


표 6. 열풍 건조 시간 별 무게 감소량

분 \ 처리구(g)	M
5	475 (52.5% ↓)
10	375 (62.1% ↓)
15	375 (62.1% ↓)

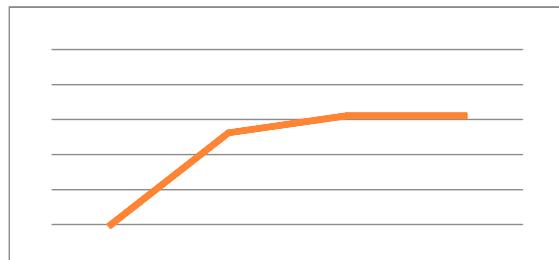
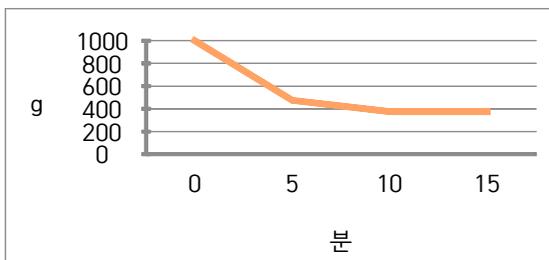


표 7. 마이크로파 시간 별 무게 감소량

아래 표는 건조물 1kg의 착유 조건 별(표8)과 착유율 육안 검사 시 건조물(표9)이다.

착유 효율 및 산가	착유율(%)				산가(mg/g)			
	D6	D7	D8	M/W	D6	D7	D8	M/W
A(150℃)	33.5	33	39	35.8	-	-	-	-
B(120℃)	40.1	41.2	39.8	38.1	4.55	5.15	2.88	4.47

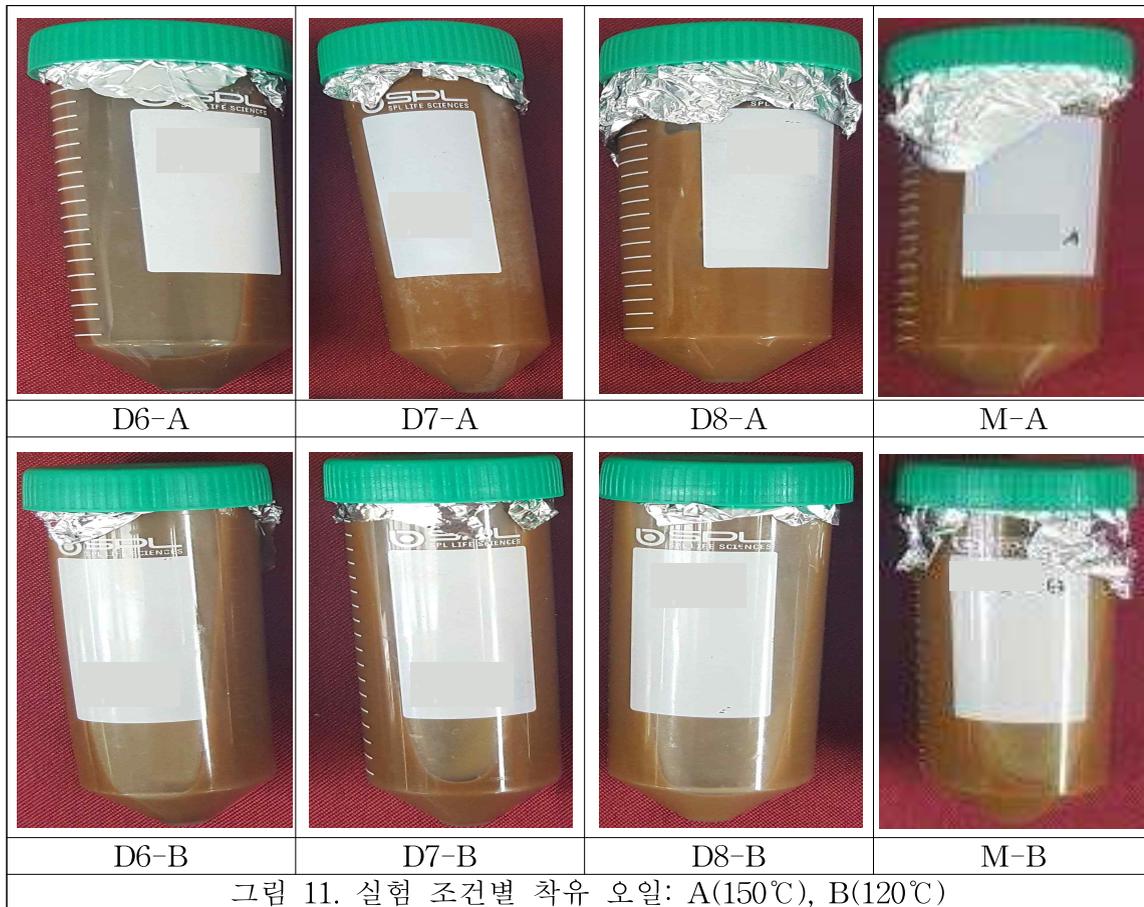
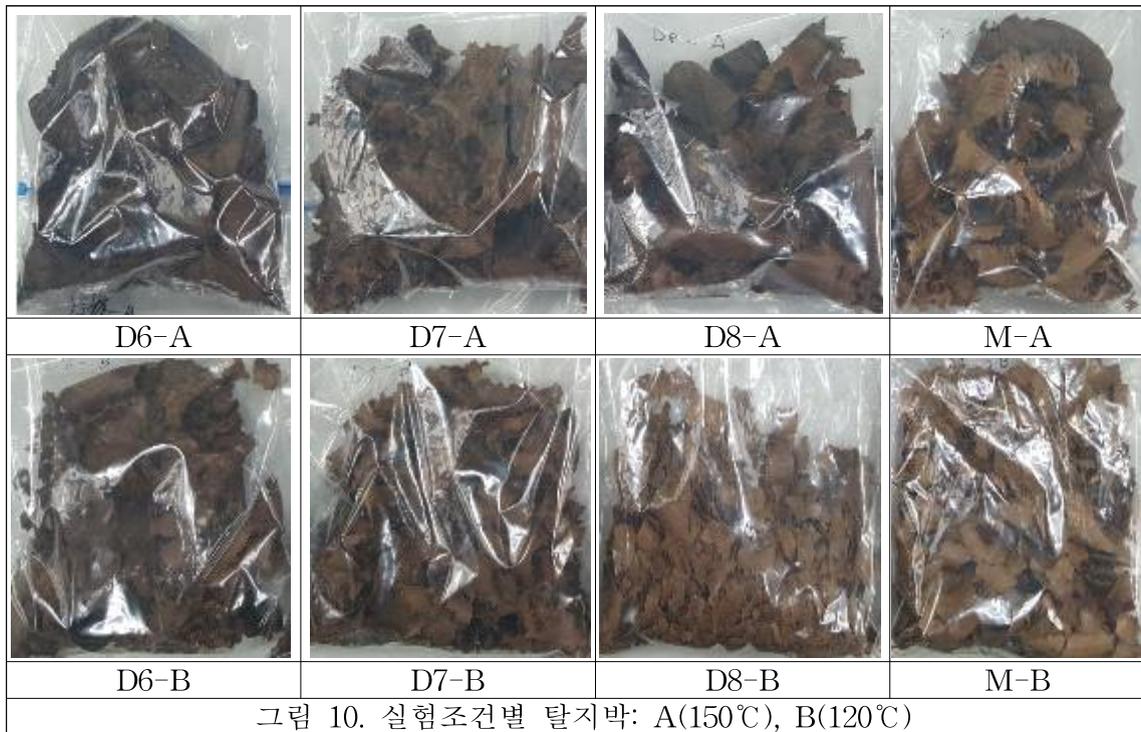
  

조건	A (%)	B (%)
D6	33.5	40.1
D7	33	41.2
D8	39	39.8
M	35.8	38.1



그림 9. 건조 조건 별 육안 검사

실험 조건별 탈지박(그림10)과 실험 조건별 착유 오일(그림11)을 실험하여 결과를 얻을 수 있었다.



아래 표 9는 탈지박 영양성분 및 산가분석 B조건(120℃)이며, 오일의 영양성분 및 산가 분석 B조건(120℃) 처리 구 결과는 표10과 같이 결과를 얻을 수 있었다.

처리구 성분(%)	D6-B(120℃)	D7-B(120℃)	D8-B(120℃)	M-B(120℃)
수분	1.01	1.07	1.13	1.54
탄수화물	19.07	17.15	19.67	27.70
	(조섬유 함유)	(조섬유 함유)	(조섬유 함유)	(조섬유 함유)
조단백	66.28	68.04	64.20	57.48
조지방	6.65	7.06	8.24	6.74
조회분	6.99	12.73	6.76	16.19
조섬유	15.81	6.68	16.47	6.54
산가	기름이 추출 되지 않음	기름이 추출 되지 않음	기름이 추출 되지 않음	기름이 추출 되지 않음

표 9. 탈지박 영양성분 및 산가분석

처리구 영양성분(%)	D6-B(120℃)	D7-B(120℃)	D8-B(120℃)	M-B(120℃)
수분	0.74	0.59	0.58	0.38
탄수화물	2.67	4.06	2.65	1.98
조단백	7.60	8.78	9.91	8.24
조지방	87.74	85.20	85.49	88.21
조회분	1.25	1.37	1.37	1.19
조섬유	9.65	10.36	7.06	10.59
산가(mg/g)	4.55	5.15	2.88	4.47

표 10. 오일의 영양성분 및 산가분석

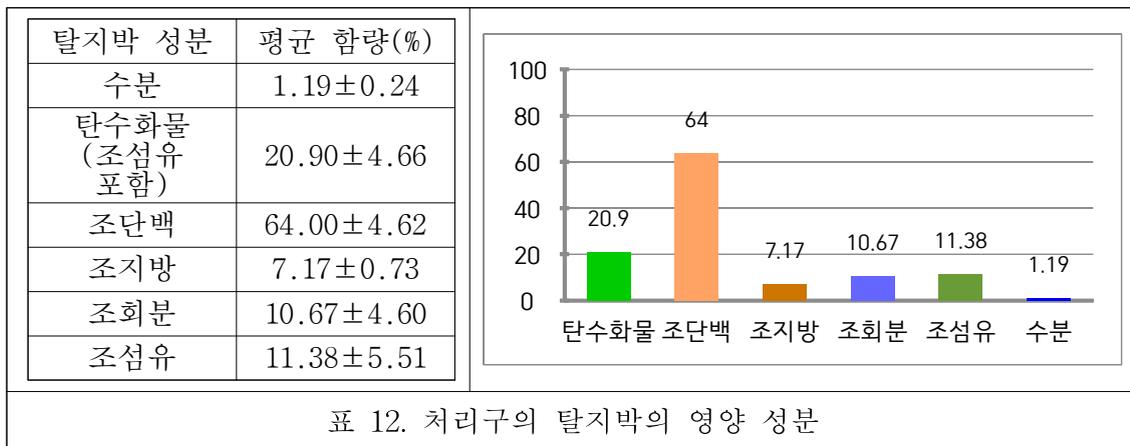
결론적으로 건조 효율은 무게감소량은 모든 실험구에서  $62.5 \pm 0.39\%$ 로 비슷하게 나타났으며, 육안적으로 80℃ 이하 조건에서 온도가 높고 건조 시간이 짧을수록 색상이 밝게 나타났다. 산업적으로는 연속형으로 빠르게 건조되고, 색상이 가장 밝은 마이크로웨이브 건조가 가장 적합함을 알 수 있었다. 평균 오일 영양 함량(%) 및 산가는 착유조건 120℃ 20분에서 처리구 오일 영양 성분은 평균적으로 조지방이  $86.66 \pm 1.54\%$  가장 높고, 조단백, 탄수화물, 조회분, 수분 순으로 결과를 얻을 수 있었다(표 11).

오일 성분	평균 함량(%)
수분	$0.57 \pm 0.15$
탄수화물 (조섬유 포함)	$2.84 \pm 0.87$
조단백	$8.63 \pm 0.98$
조지방	$86.66 \pm 1.54$
조회분	$1.30 \pm 1.62$

표 11. 처리구 오일 영양 성분

처리구별 산가 비교는 비교적 건조 시간이 짧은 D8-B 조건이 2.88mg/g으로 가장 낮고, M/W-B, D6-B, D7-B 순으로 80℃ 이하 낮은 온도에서 빠른 시간에 건조 조건일수록 산패가 덜 일어났다. 참고로 한국식품 공전 산가 기준은 튀김유 2.5 미만, 참기름 4.0 이하, 들기름 5.0 이하로 정제 후 바이오디젤로 사용이 가능하게 되어있다.

연속형 엑스펠러 착유기 착유율은 A 조건(150℃ 20분 착유)시 35.3%±2.7이고 착유조건 B(120℃ 20분)는 39.8%±1.3이다. 착유 B 조건이 A 조건 보다 4.48±3.7% 착유율이 높고, 마이크로웨이브 건조 보다 열풍 건조가 0.82±0.57% 높았으나 기름과 탈지박 색상은 착유 온도가 120℃ 이면서 마이크로파로 건조 시간이 짧은 M-B 조건이 산업적으로 가장 효율적이고, 착유 온도가 낮고, 착유 시간이 짧을수록 탈지박과 오일의 색이 밝아지는 것을 알 수 있었다. 지방함량은 평균 지방 함량은 86.7±1.5 이며, M-B조건이 88.2%로 가장 높고, D-6B, D-8B, D-7B 순의 결과를 얻었다. 평균 탈지박 영양성분 함량(%) 및 산가(mg/g)는 120℃ 20분 착유 B 조건 및 산가에서 처리구의 탈지박의 영양 성분은 평균적으로 조단백이 64.04.6% 가장 높았고, 탄수화물, 조섬유, 조회분, 조지방, 수분 순으로 결과를 얻을 수 있었다(표 12).



착유 온도 180, 200℃ 처리구는 탄 것이 육안으로 확인되어 분석 실험구에서 제외하였고, 조지방 함량은 7.17±0.73%로 매우 낮아 추출이 어려워 산가 측정이 불가하였다.

**(2) 효율성 높은 마이크로파 건조를 통한 곤충별 산패 방지**

실험 곤충 종류로 갈색거저리 유충(M), 아메리카 동애등에 유충(B)을 마이크로웨이브 건조기를 이용하여 곤충 종별 선행 건조 실험을 진행하여 대략적인 건조 시간 파악하고 수분함량 5~10%를 적정 건조 선으로 기준함으로 곤충을 종별로 100g씩 투입하여 과건조(수분함량 5% 이하), 적정건조(5~10%), 약건조 조건(10~15%)에서 시간 때 별 수분 및 영양성분 검사 후 적정 건조 조건 조사하였다. 1차로 18kw 연속형 컨베이어 M/W 건조기 건조시간

건조 곤충 종	M	A	B
수분 5% 이하-3	5분	8분	8분
수분 10% 이하-2	4분	6분	4분30초
수분 16% 이하-1	3분	5분	4분

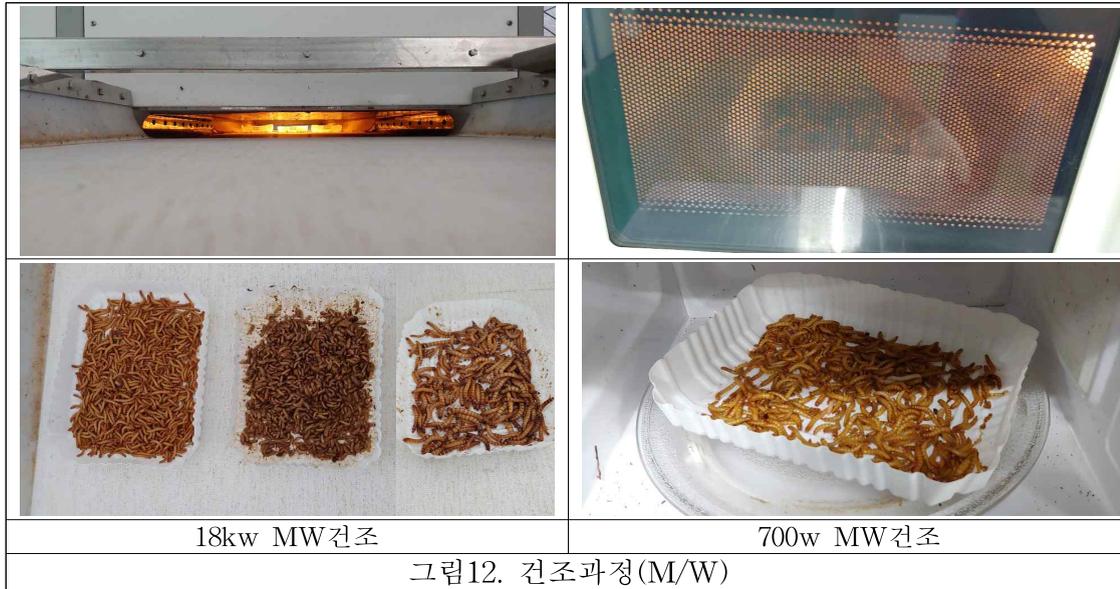
표 13. 18kw 연속형 컨베이어 M/W 건조기 건조시간

을 실험하여 결과를 얻을 수 있었다(표 13). 2차는 회전식 700w M/W 건조기로 건조

시간을 실험하여 결과를 얻을 수 있었다(표 14). 건조 후 수분, 조단백, 조지방, 조섬유, 조회분, 산가(지방만 별도 화학적 추출 후 검사) 성분분석은 충남대학교에 의뢰 하여 결과치를 얻을 수 있었다(표15, 표16). M/W로 건조 진행하는 과정을 그림12에서 볼 수 있다.

건조 곤충 종	M2	A2	B2
건조 정도			
수분 5% 이하-3	6분	10분	9분30초
수분 10% 이하-2	5분	8분30초	7분30초
수분 16% 이하-1	3분30초	7분	6분30초

표 14. 회전식 700w MW 건조기 건조시간



실험결과 건조된 곤충(동애등에, 갈색거저리)은 그림13과 같이 건조 되었다. 또한 함유율별 성분 분석(표 15)과 함유율별 산가 분석(표 16) 실시하여 결과를 얻을 수 있었다. 결론적으로 함유율에 따른 영양성분은 차이는 큰 차이가 없지만, 산가는 수분이 16%이상이면 산폐가 매우 급격하게 일어났고, 수분이 5~10%일때가 산폐가 가장 적고, 5%이하가 되면 오히려 산폐가 5~10%일 때 보다 더 일어나는 결과를 얻을 있었다.



처리구	M-1	M-2	M-3	B-1	B-2	B-3
수분	14.61	5.01	4.34	15.05	7.7	3.28
조단백질	43.31	45.68	51.03	32.57	35.32	37.37
조지방	27.77	34.39	32.67	27.90	30.14	29.46
조섬유	6.12	6.44	6.05	5.99	6.10	7.63
조회분	2.87	3.36	3.27	9.81	10.99	11.58
탄수화물	11.44	11.56	8.69	14.67	15.85	18.31

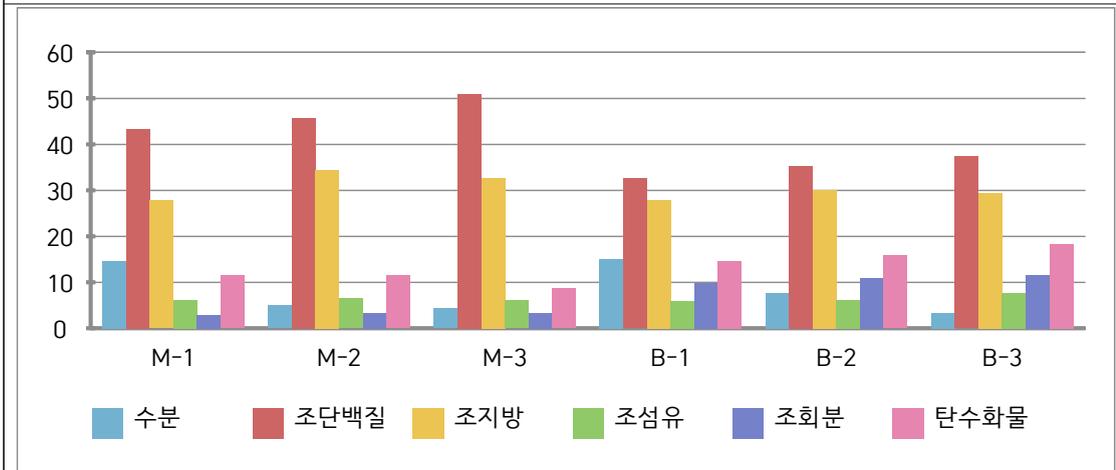


표 15. 함수율별 성분 분석

처리구	M-1	M-2	M-3	B-1	B-2	B-3
산가	129.46	<b>3.52</b>	5.20	60.83	<b>9.36</b>	10.48

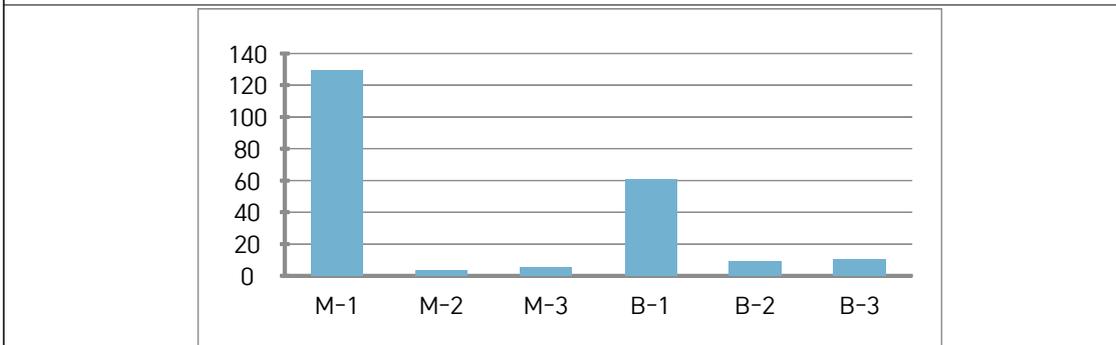


표 16 함수율별 산가 분석

### (3) 기계적 소형 압착장치와 실험실 규모의 화학적 소형 추출장치의 착유율 및 산가 비교 분석

동애등을 수분 5~10%되게 M/W로 건조하여 기계적 소형 압착장치인 연속형 익스펠러방식을 이용하였고 착유 조건 온도를 130℃하여 동애등에 건조물을 투입 하였으며, 필터링을 통하여 여과 후 지질 저장탱크에 2-3℃로 보관하였다. 화학적 소형 추출장치(C)는 동애등에 건조물과 용매(메탄올 90%이상)을 1:1 비율로 섞어 50℃로 12시간 교반한 후 필터링 후 용매와 지질 추출, 필터링으로 걸러진 부산물은 용매를 증발시켜 부산물로 이용하였다. 추출된 용매와 지질을 100℃ 반응기에서 12시간 감압 증류하고(냉각온도 5~10℃), 남은 오일은 지질저장탱크에 20℃로 보관하여 증류된 용매는 용매 저장조에 저장하였다가 재사용 가능할 수 있었다. 표17은 장, 단점 비교분석 하였으며 표18은 산가 및 착유율 비교 분석하였다.

실험구 장, 단점	연속형 엑스펠러방식	화학적 소형 추출장치(C)
장점	가) 착유율이 높음 나) 부산물인 곤충박을 이용하여 경제성을 높일 수 있음	가) 기계식 착유에 비해 저온 착유함으로 산패가 적음 나) 대량 추출 시 기계식 착유보다 추출 속도가 빠름
단점	가) 화학적 착유 방식에 비해 고온 착유함으로 산패가 화학적 추출방법에 비해 심함 나) 대량 착유 시 화학적 추출에 비해 착유시간이 오래 걸림	가) 착유율이 기계식에 비해 떨어짐 나) 부산물인 곤충박 사용을 위해 용매의 안전성 검증이 필요함

표 17. 장, 단점 비교

결론적으로 기계적 착유 방식이 착유율은 10.26% 높으나 화학적 추출 방식에 비해 고온을 사용하여 산가가 2.38mg/g 높았다. 화학적 추출 방식이 대량 추출 시 추출 속도가 빠르고 산가가 낮아 산업적으로 유용하나 경제성 부분에서 부산물인 곤충박 사용을 위해 용매에 대한 안전성 검증 등 추가 보완 필요하였다.

실험구	M	C
산가 및 착유율		
산가(mg/g)	4.47	2.09
착유율(%)	37.23	26.97

Category	M	C
산가(mg/g)	4.47	2.09
착유율(%)	37.23	26.97

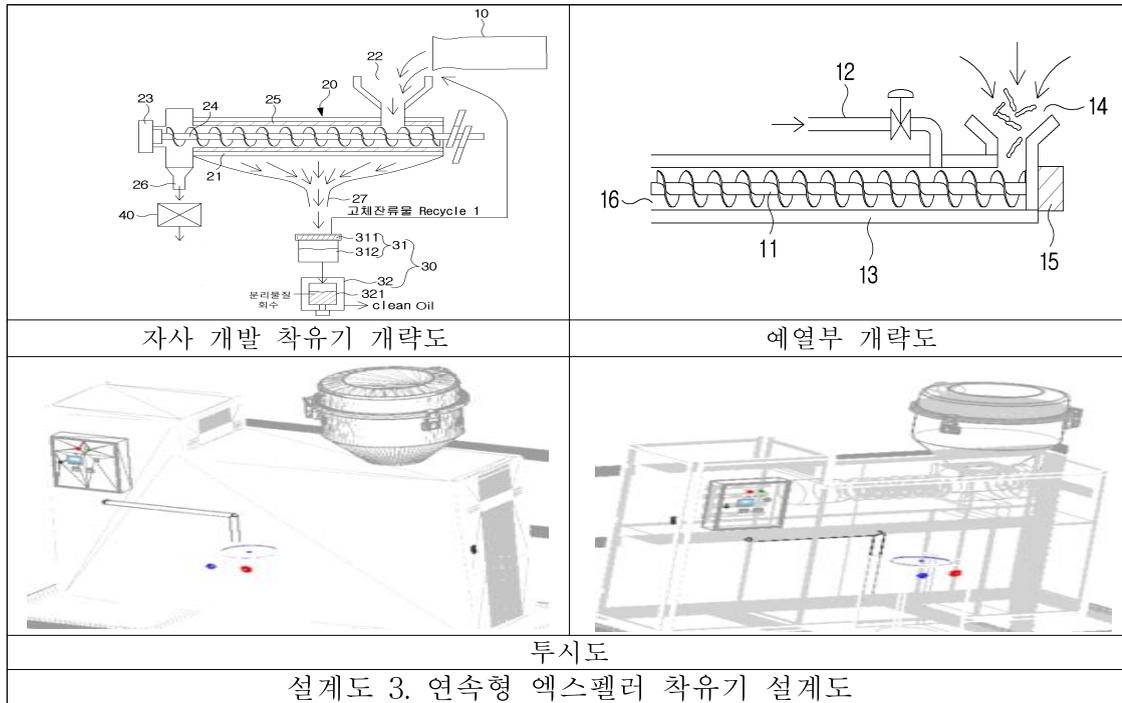
표 18. 산가 및 착유율 비교

#### 다. 곤충으로부터 지질 대량 추출을 위한 소형 기계식 압착장치 개발

##### (1) 연속형 엑스펠러 착유기 설계

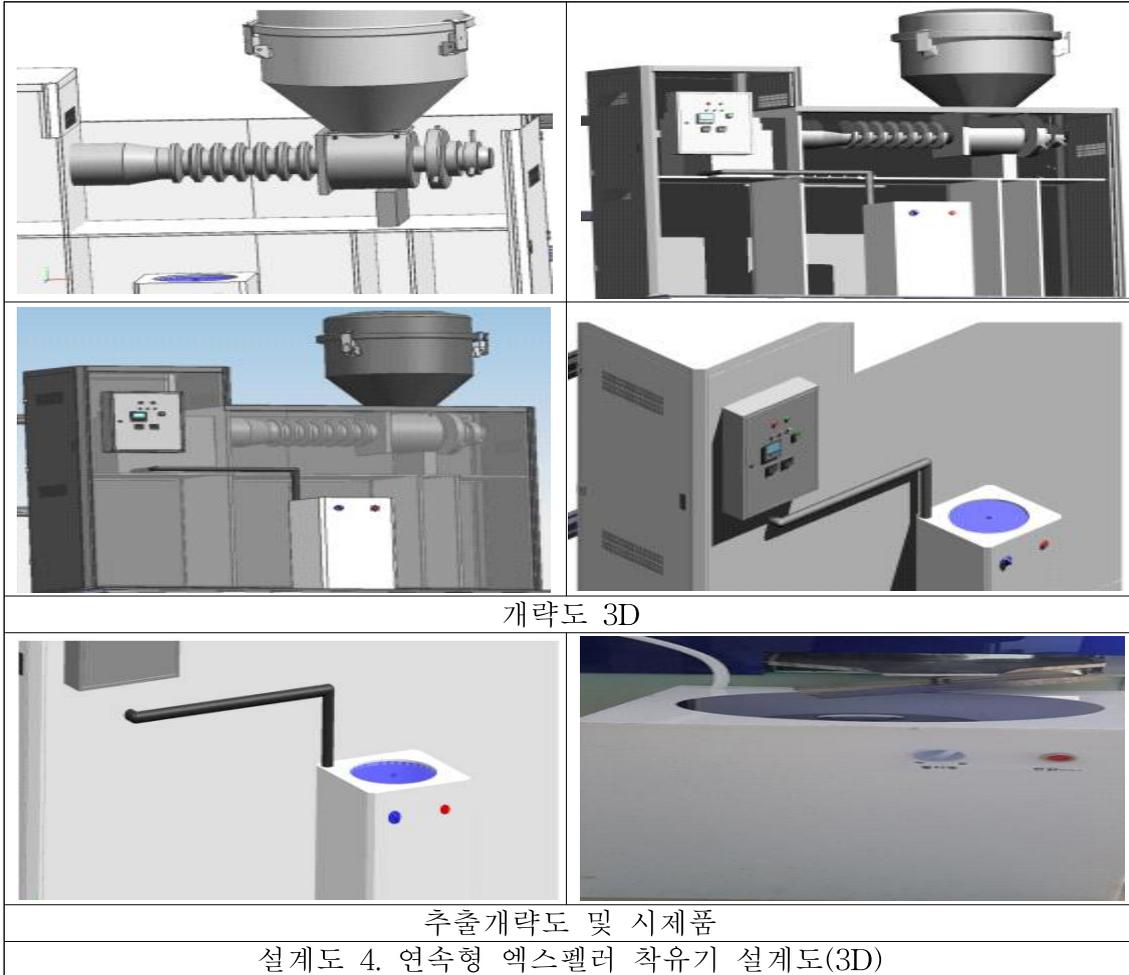
선행기술 등 검토 결과 연속형 엑스펠러 착유방식이 적합하여 동애등에 착유에 적용시켰다. 유층을 건조 및 가열하는 예열부(10)는 건조유층을 가열하는 장치이다. 예열부(10)에서는 40~80℃로 가열할 수 있고, 기름을 유화시켜 변질되지 않은 낮은 온도에서 착유효율을 높일 수 있다. 컨베이어나 예열부 개략도와 같은 스크류 타입일 수 있었고, 예열부 개략도 참고하면, 예열부(10)는 이송부(11), 가열공기 공급부(12) 및 하우징(13), 투입부(14), 구동부(15) 및 유출부(16)를 포함하였다. 구동부(15)는 이송부(11)를 회전시켜 투입된 유층을 이송시키고, 공급부(12)는 40~80℃로 가열된 공기를 하우징 내부에 주입함으로써 예열부 개략도

의 스크류 타입의 예열기는 이송 중에 유층이 회전하므로 다층으로 적층되어 이송되는 컨베이어 타입에 비해 유층들이 골고루 가열공기와 접촉할 수 있으므로 예열 효과를 높일 수 있었다(설계도 3).



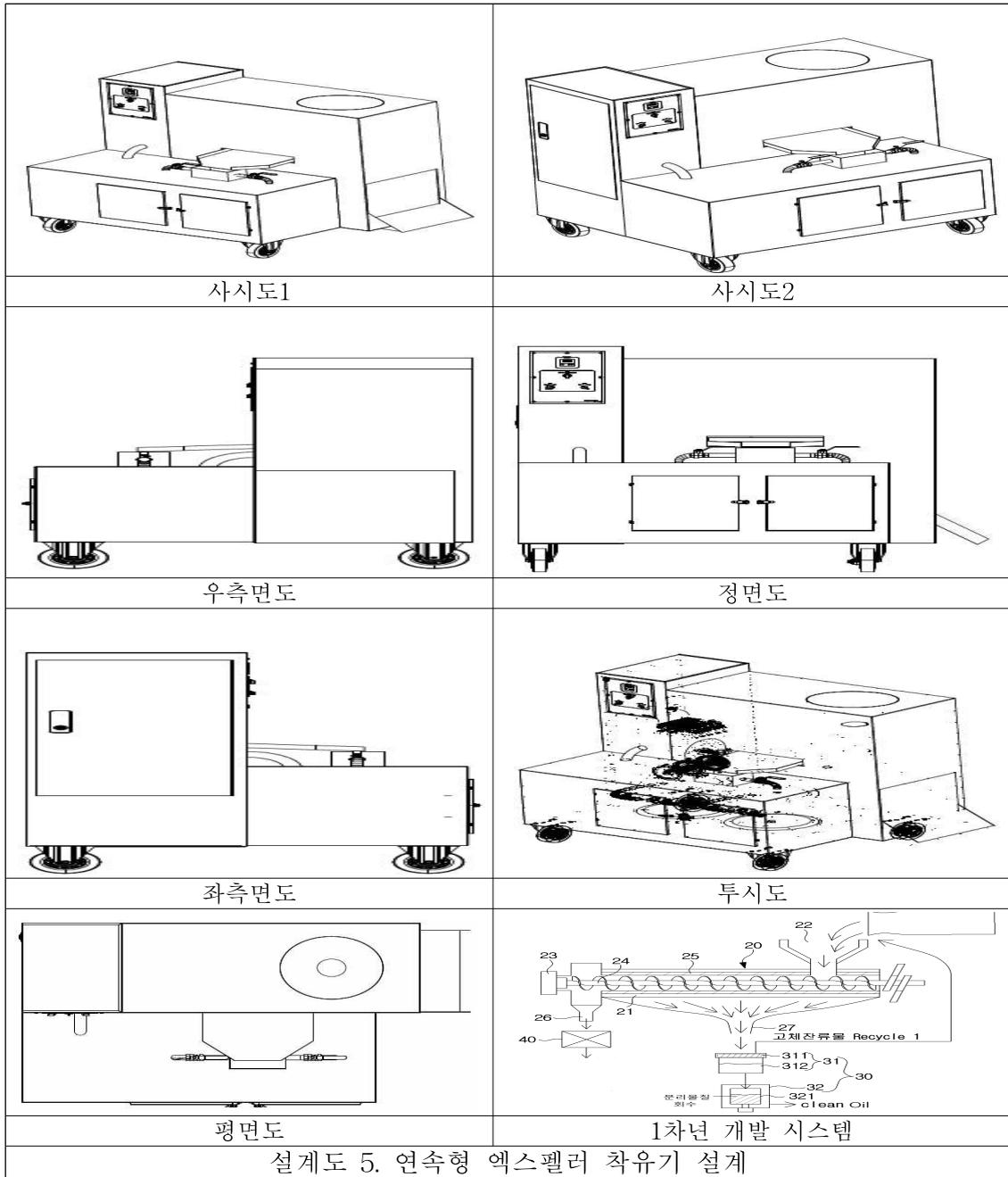
예열된 건조 유층을 압착하여 저온에서 오일을 추출하는 착유기(20)는 유층을 압착하여 오일을 추출하고, 40~80℃의 비교적 저온에서 착유할 할수 있었다. 자사 개발 착유기 개략도(설계도 3)를 참고하면, 착유부(20)는 하우스(21), 유층 투입부(22), 구동부(23), 회전스크류(24), 복수의 압착바(25), 유층박 배출부(26), 오일 배출부(27)를 포함하였고, 유층 착유장치는 예열기를 통해 유층의 건조와 가열을 한 후 착유기에 공급하므로 착유 설비(20)에 별도의 가열 설비를 장착하지 않아도 저온 상태에서 오일을 추출할 수 있었다, 착유기(20)는 하우스(21)의 내부에 결합되어 위치하는 히터를 추가로 구비하였다. 구동부(23)는 회전스크류(24)를 구동시켜 유층을 이동시키고, 복수의 압착바(25)는 회전스크류(24)를 감싸도록 원통형 구조체로 조립될 수 있었다, 예를 들면, 복수의 압착바는 원통형의 고정체에 끼워져 원통형 구조체로 조립 형성될 수 있으며, 원통형 구조체는 압착바와 압착바 사이에 미세한 틈이 형성되어 있거나 압착바 각각에 미세 홈(슬릿)이 형성되게 설계 되었다. 유층은 회전스크류(24)에 의해 이송되는 중에 원통형 구조체에 압착되어 미세한 틈이나 홈(슬릿) 사이로 오일을 배출하게 되고, 착유부(20)는 오일이 제거된 유층박(압착된 유층)과 오일을 각각 유층박 배출부(26)와 오일 배출부(27)로 유출하게 설계 되었다. 추출된 오일 불순물을 제거하여 순도를 높이는 오일 정제부(30)는 추출된 오일에서 불순물을 제거한다. 오일 정제부(30)는 필터부를 포함하여 설계하였다. 예를 들면, 오일 정제부(30)는 여과망에 의한 1차 필터부(31) 및 원심분리에 의한 2차 필터부(32)를 포함되고, 1차 필터부는 여과망(311) 및 수거부(312)를 포함하였다. 2차 필터부는 원심분리기(32)로서 내부에 고성능 필터(321)를 포함시켰다. 1차 필터부의 여과망은 10 $\mu$ m 이상의 큰 입자를 걸러내고, 2차 필터부인 원심분리기에서는 0.1~10 $\mu$ m 범위의 입자들을 분리하여 제거할 수 있으며, 여과망(311)에서 걸러진 큰 입자들을 착유기(20)

로 재투입할 수 있었고(Recycle 1), 유층 착유장치는 두 단계의 오일 필터를 통해 고순도의 오일을 공급하였다. 착유기에서 유출되는 유층 고체박을 분쇄하는 분쇄부(4에서 배출되는 유층박으로부터 항생제 추출물과 사료 단백질 원료를 제조할 수 있다. 요약하면 유층 착유장치는 저온에서 유층을 착유하고, 필터링 공정을 거쳐 고순도 오일을 생산할 수 있었고, 유층이 착유기를 통해 압착되어 박(압착된 껍질) 형태로 배출되면, 이를 분쇄하여 고순도 오일, 사료 단백질원을 동시에 제조하여 효율을 높일 수 있었다.

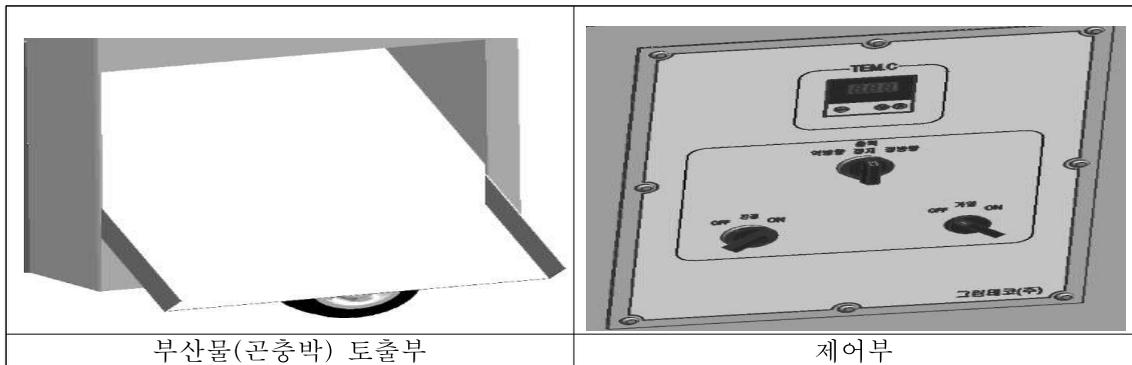
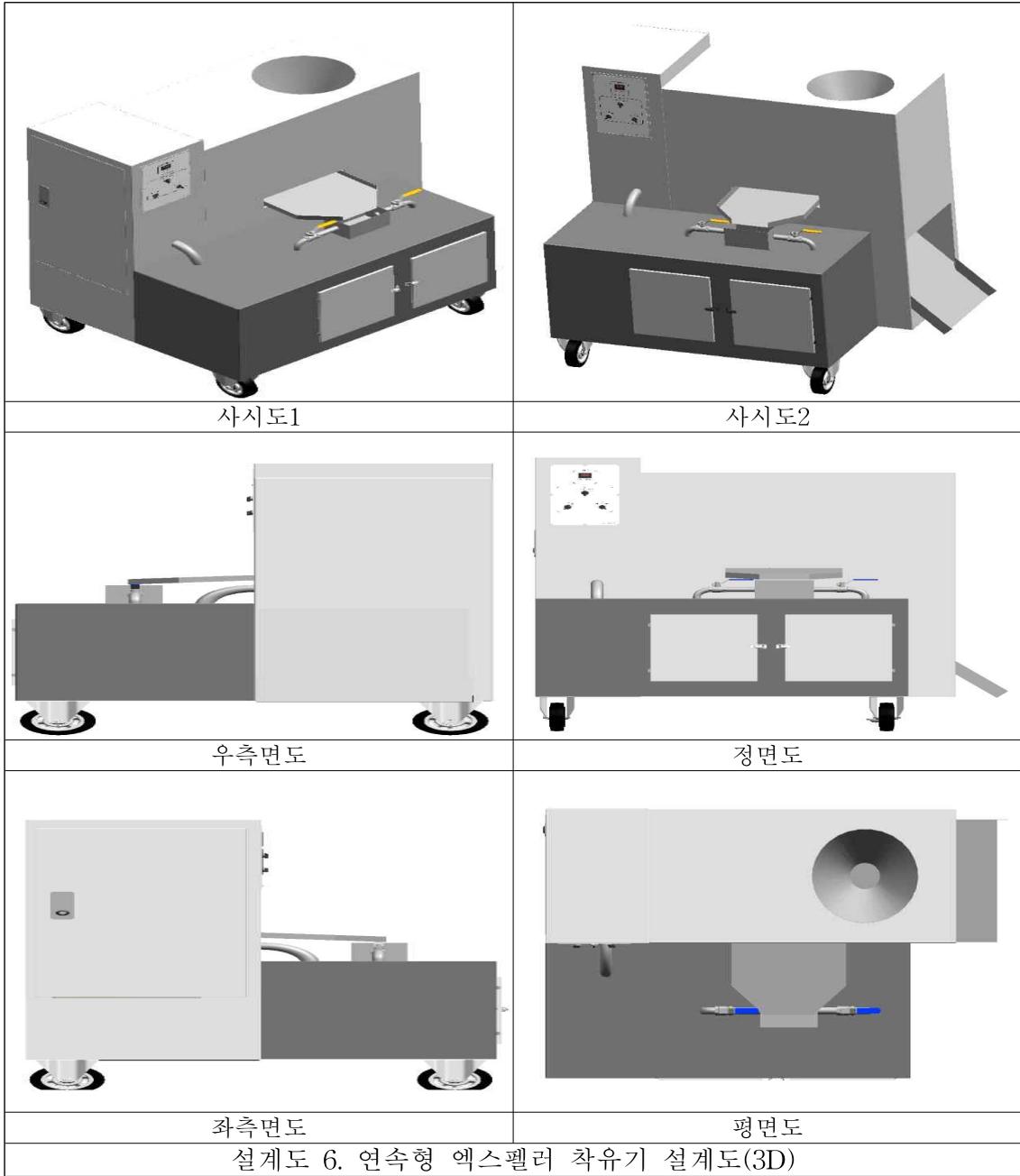


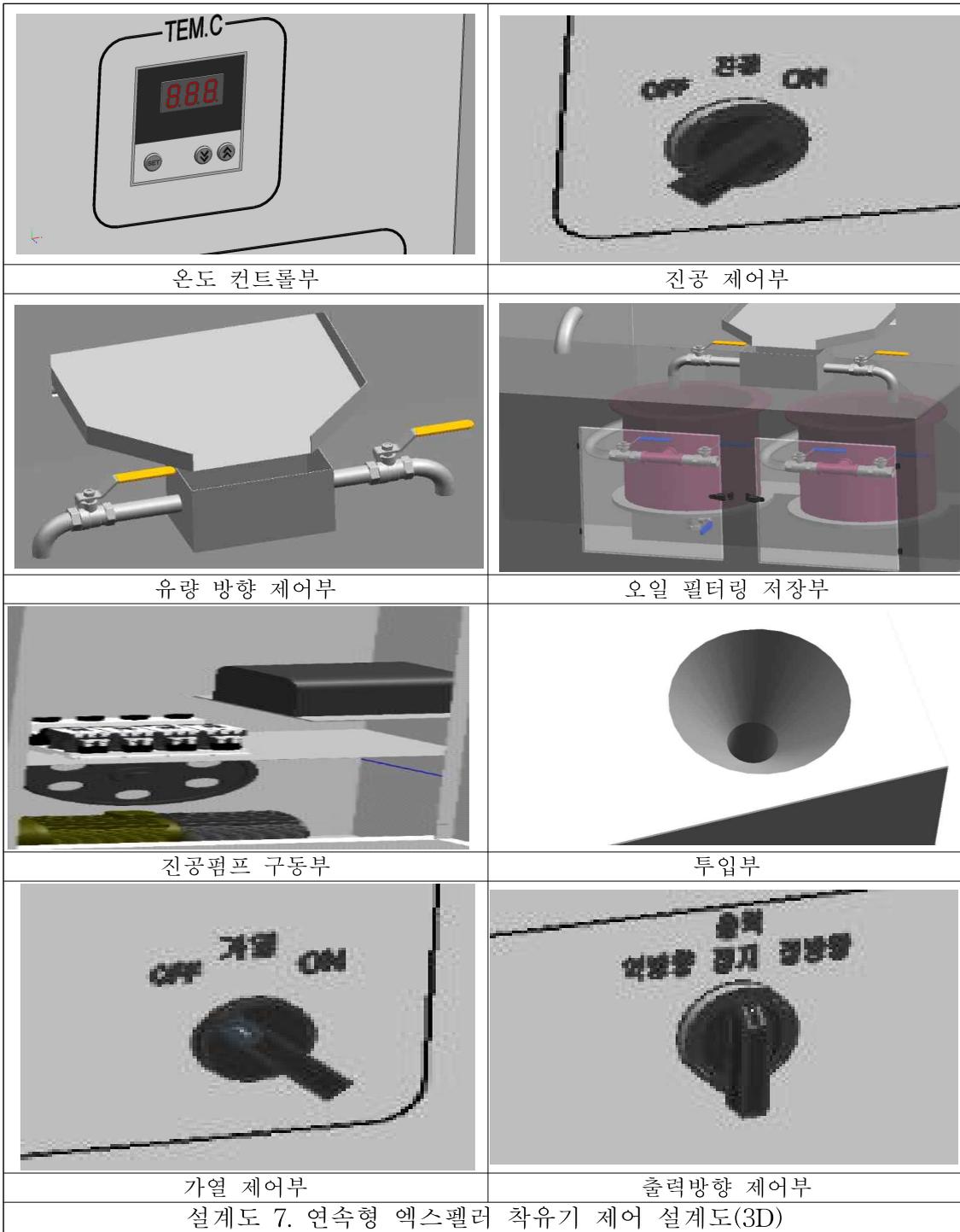
## (2) 연속형 엑스펠러 착유기 설계 보완 및 제작

1차 설계 및 제작으로 발생된 부분별 성능 및 기능 보완하여 설계 제작하였다. 연속형 엑스펠러 착유기 시간당 처리량은 80~100(kg), 소비전력 2KW, 사이즈는125\*82\*127.5(cm), 입력전압은 220(V)이다(설계도 5). 엑스펠러 착유예열필터링 시스템을 모티브로 유층을 건조 및 예열하는 예열부를 추가하여 이송부, 가열공기 공급부 및 하우징, 투입부, 구동부 및 유출부이고 추가로 오일 토출부와 오일유량, 방향 제어부, 정제부에도 가열 시스템을 추가함으로써 오일의 유동성을 높여 외기온도에 구애 받지 않고 작업 가능하게 설계 하였다. 예열된 건조 유층을 압착하여 저온에서 오일을 추출하는 추출부로 40~250도까지 온도 제어가 가능하게 함으로써 온도를 높여 생산성 조절이 가능하고 주위 환경에 맞춰 작업성을 높일 수 있었다.



출력 방향 제어도 가능하므로 회전 방향을 변동 시켜 내부 청소 및 시스템 관리 용이성 향상 시켰다. 추출된 오일 불순물을 제거하여 순도를 높이는 오일 정제부는 기존의 필터와 여과망을 이용한 리사이클 원심분리 시스템을 이용하여 생산성을 높인 고순도 오일을 생산하되, 생산된 오일은 작업 용이성을 높이기 위해 오일 유량 및 방향성 제어가 가능한 밸브를 설치하였다. 또한 유량 및 방향성 제어부와 저장 탱크에 오일 유동성 향상을 위한 가온(20~40℃)시스템을 설치하였고, 진공 모터를 이용하여 저장 탱크를 감압함으로써 여과 속도 향상 및 청소 관리 용이성을 향상시켰다. 토출부로 착유기에서 유출되는 유층 박을 얻을 수 있고, 유층 박은 분쇄를 거쳐 항생제 추출물과 사료 단백질 원료를 제조할 수 있었다. 설계도 6 및 설계도 7은 3D로 설계도면이고 설계 제작된 연속형 엑스펠러 착유기는 그림14와 같다.





작업효율 실험결과는 표19와 같이 분석 되었고 개발 제작된 연속형 엑스펠러 착유기는 기존 시판되는 착유기와 차별하여 곤충 특성에 맞게 설계함으로써 표20과 같이 결과를 얻을 수 있었다.

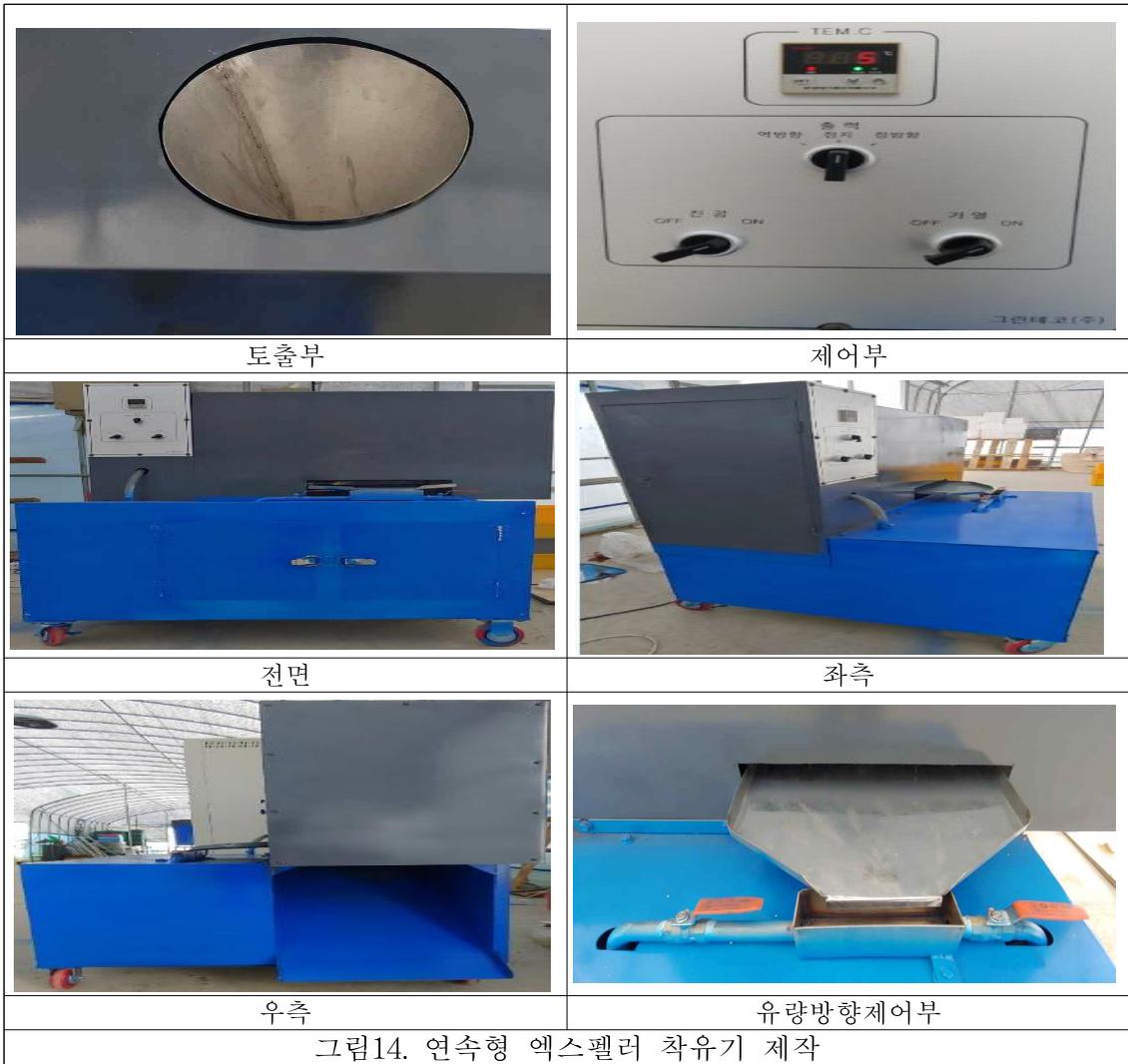


그림14. 연속형 엑스펠러 착유기 제작

조건 \ 처리구	착유시간(분) (착유조건 130±5℃)	오일추출량 (kg)	작업능률향상성(%) [기존(H)/개발시스템(H)*100]
기존 엑스펠러 (대조구)	5	4.5	1시간 기준: 착유시간 30.6%, 청소 및 오일 관리시간 15% 감소
	30	27.5	
	60	68.2	
진공 가열감압 착유시스템	5	7.6	
	30	46.9	
	60	98.3	

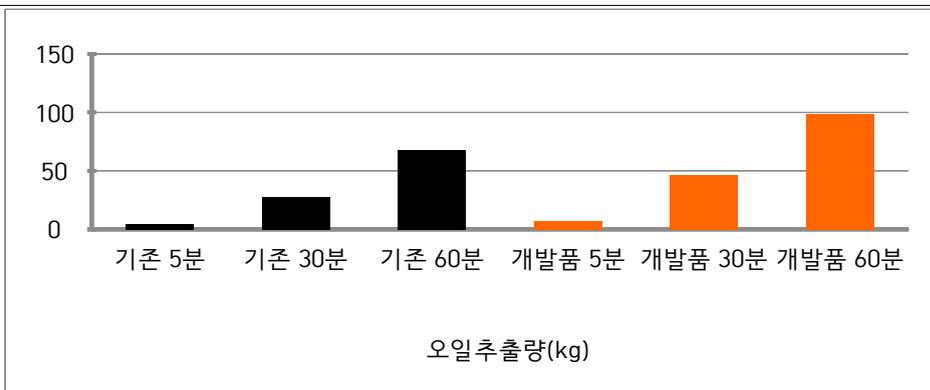
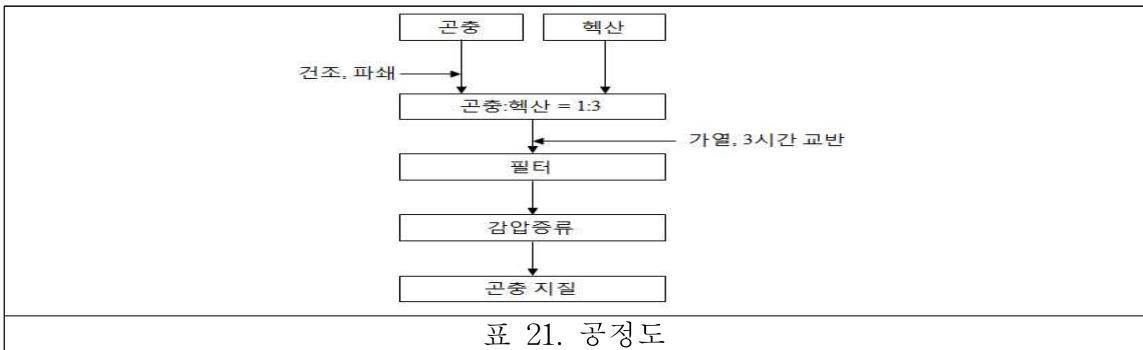


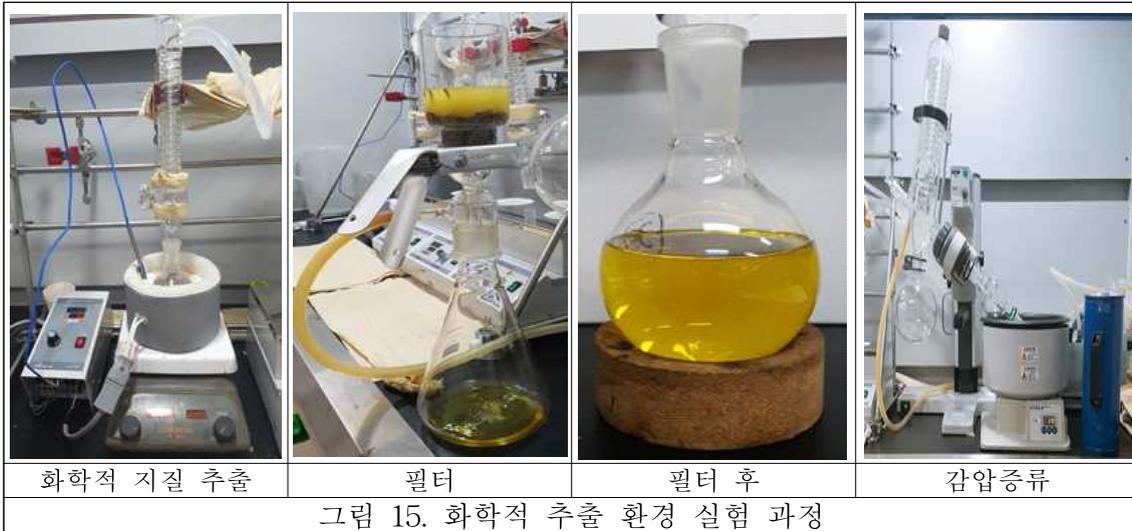
표 19. 작업효율 실험결과

차별성 개선부	개선점	
오일 토출부, 저장탱크	- 미온(20~40℃) 예열 시스템을 추가, 환경에 구애 받지 않고 오일의 유동성이 유지: 오일의 품질 유지 및 관리 용이성 향상	
	- 유량 및 방향성 밸브를 추가함으로 유량 및 오일 방향성 제어함: 저장탱크별 오일의 유량 및 오일의 흐름을 제어하여 오일의 필터링 속도에 따른 오일 관리 용이성 향상	
	- 기존 원심분리필터링 시스템 저장탱크에 진공펌프이용 감압 시스템 적용: 저장탱크내부를 감압하여 필터링 속도를 향상 시켜 작업 속도 증대	
오일 추출부	- 출력제어부를 통해 출력방향을 정회전, 중립, 역회전으로 컨트롤 할 수 있음: 압착 추출 중 박이 막히거나 이물질이 투입 시 회전 방향을 조절하여 작업 효율을 높이고 청소를 용이하게 함	
결론	<b>기존 작업 시간의 45% 절감 및 작업의 효율 향상</b>	
표 20. 착유기 개선 결과		

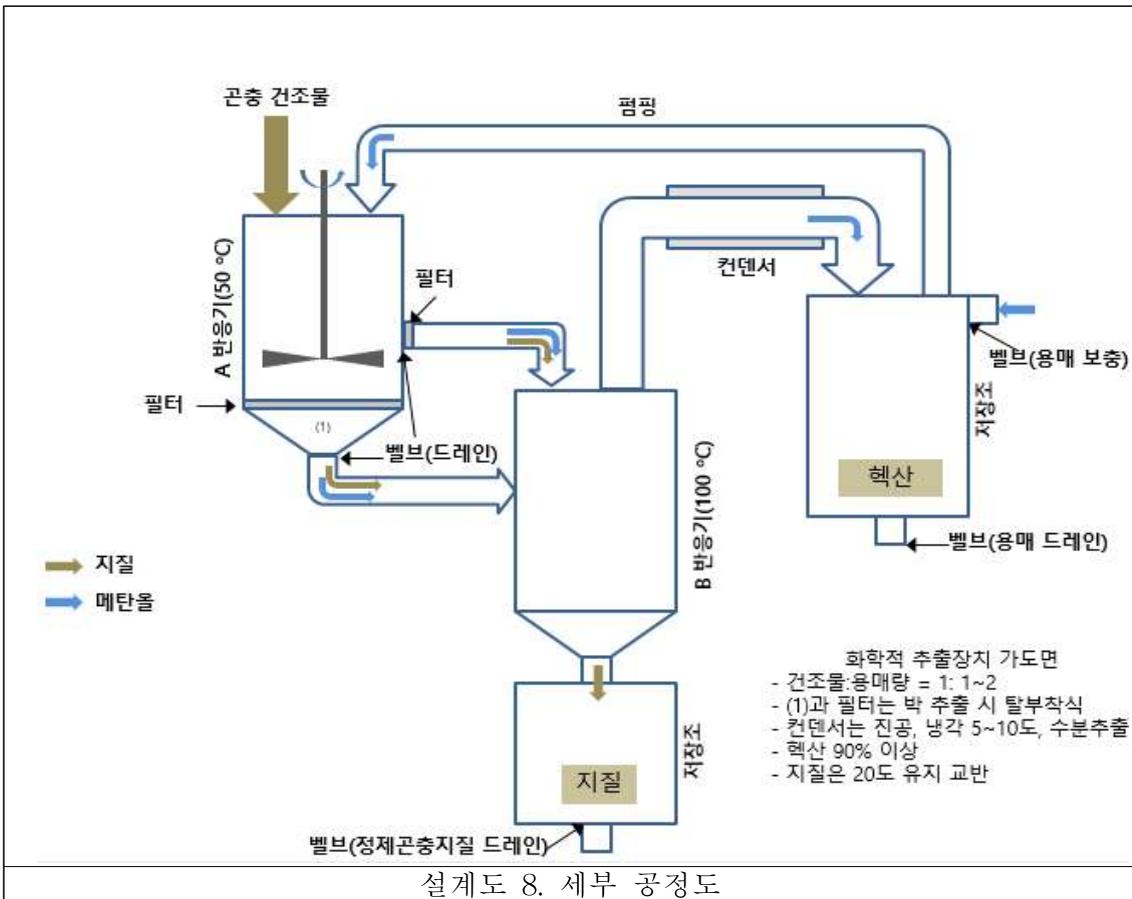
라. 기계식 압착 부산물로부터 여분의 지질 추출을 위한 화학적 소형 추출 장치 개발

화학적 소형 추출 장치 프로토타입 제품 개발은 일반적으로 바이오디젤 추출 공정과 식물성 유지나 동물성 지방을 다양한 촉매와 반응조건에서 알코올과 화학적으로 에스테르 교환 반응시켜 제조하는 것인데 이 방법을 사용하면 대량의 오일을 빠르게 추출이 가능하며, 산가를 낮출 수 있으나 곤충 착유에 맞는 추출 공정 조건 설정이 필요하다. 아래표는 공정도(표21)와 실험과정(그림15)이다.



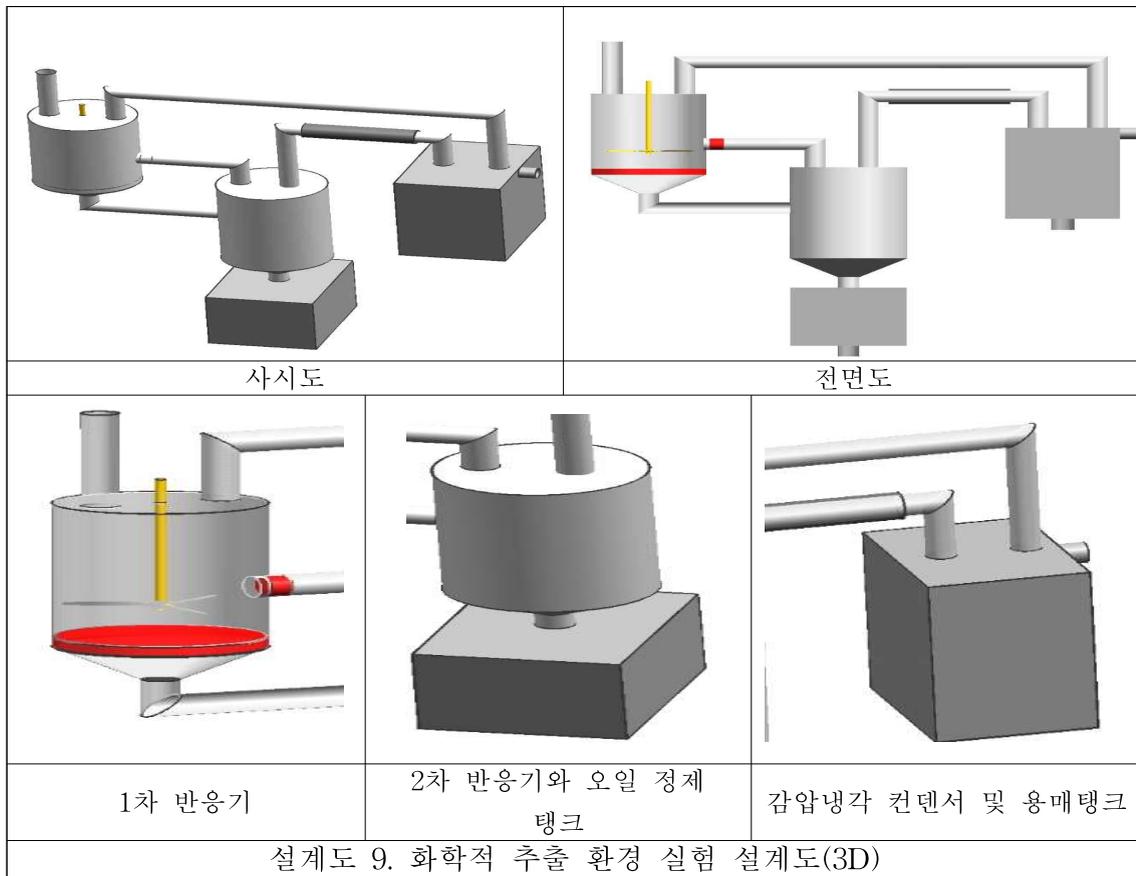


1차 화학적 추출 환경 실험을 최적의 조건을 확립하여 제품 세부공정도(설계도8, 설계도9)를 설계하였다. 건조물 : 용매량=1 : 1~2이고 필터는 박 추출 시 탈 부착식으로 제작 하였으며 탈거 하여 부산물인 곤충박 추출을 할 수 있다. 컨덴서는 진공감압, 냉각 5~10℃ 유지 및 수분추출되고, 용매인 헥산은 90%이상 농도 유지와 지질 저장도는 20℃ 유지하였다.



- 화학적 추출장치 가도면
- 건조물:용매량 = 1: 1~2
  - (1)과 필터는 박 추출 시 탈부착식
  - 컨덴서는 진공, 냉각 5~10도, 수분추출
  - 헥산 90% 이상
  - 지질은 20도 유지 교반

결과적으로 화학적 소형 추출 장치 프로토타입 제품 개발은 같은 시간에서 화학적 추출 시 상온 보다 50℃에서 추출 시 착유율은 0.48% 오르나 산폐가 심해지므로 상온에서 추출하는 것이 좋았다(표 22).



실험조건 내용	실험 조건		착유율(%)	전산가 (mgKOH/g)
	온도(℃)	시간(h)		
화학적 추출	상온	3	26.97	2.09
	50	3	27.45	2.82

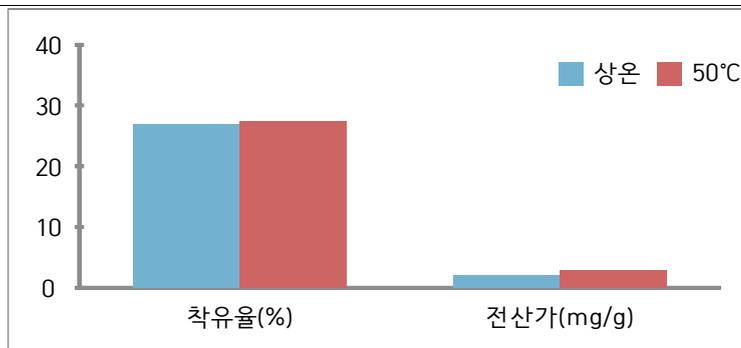


표 22. 화학적 추출 환경 결과

**마. 대량사육에 따른 먹이원별 최적 곤충 투입 밀도 평가**

실험구 별 밀도 조건(표23)은 남은 음식을 급여하여 14일 사육 후 무작위로 50마리 씩을 채집하여 크기 측정하고 남은 음식물 사료 급여 처리구에서 가장 잘 자란 밀도를 기준으로 경제적으로 가치성이 큰 도축 잔재물 사료 먹이원 처리구와 동일 조건에서 크기를 통한 성장률 비교를 하였다. 동애등에 사육조건은 26°C, H: 50~70%, 사육장W\*D\*H(cm)=240\*104\*150이다.

개채수(마리)	50,000	100,000	150,000	200,000	50,000
실험구	A	B	C	D	E(도축잔재물 사료 급여)

표 23. 실험구 별 밀도 조건

밀도에 따른 유충 사육실험 과정(그림16)을 볼 수 있으며, 도축 잔재물 사료 급여 유충(그림 17)도 확인 할 수 있다.



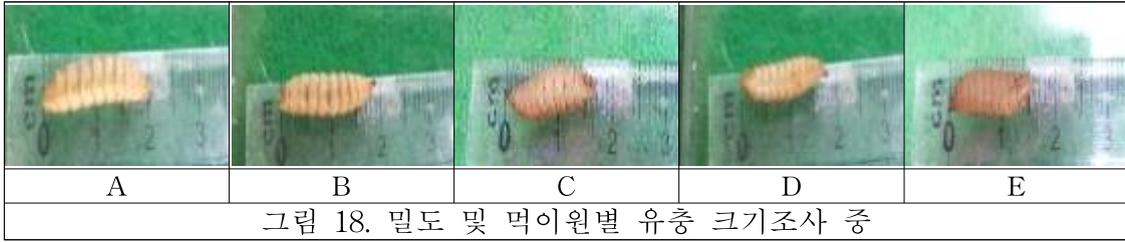
그림 16. 남은 음식물 사료 밀도별 유충 사육



그림 17. 도축잔재물 사료 유충 사육

실험 결과 유충은 표면적 cm<sup>2</sup> 당 2.5마리인 A 조건에서 가장 잘자라고, 마리당 사료 요구량

은 1~1.5g이며 먹이는 4~6시간 안에 섭취 시 가장 잘 자랐다.



같은 조건에서는 도축 잔재물 사료 급여 시 남은 음식물 사료 급여 대비 81.5%의 성장률을 보이므로 남은 음식물 사료 급여 유충이 도축잔재물 사료 급여 유충에 비해 크게 성장함을 알 수 있었다(그림18, 표24).

실험구	A	B	C	D	E
크기(mm)	20.7±1.1	18.2±1.6	17.3±1.4	17.8±1.5	16.9±1.2

표 24. 밀도 및 먹이원별 유충 크기

#### 바. 곤충 발육단계별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원의 모니터링 기술 개발

사육환경(온,습도,환기 등)및 원격제어 기술은 곤충에 관한 생산 스케줄 수립, 생산/품질 관리, 작업 관리, 환경 제어, 생육 관리, 생산등 매뉴얼 마련 작업을 수행하는 데이터베이스 생산 단계에서 저장된 LOT 별 데이터를 머신러닝 분석 기법을 활용하여 폐기물의 처리량과 유충과 분해산물의 무게 등을 위한 설계안을 구성할 수 있었다(표25).

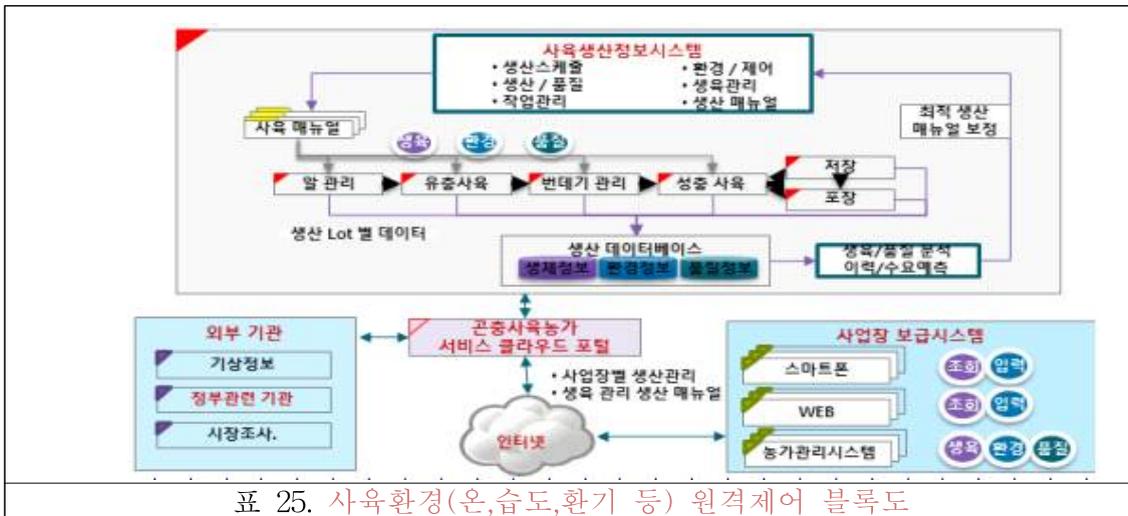


표 25. 사육환경(온,습도,환기 등) 원격제어 블록도

#### (1) 난피 투입 무게에 따른 유충밀도 조절

동애등에 산란 조건은 유인 배지 위에 나무 유인목을 놓고, 부화 조건은 26℃, H: 50~70%, 페트리디쉬(넓이 17.27cm<sup>2</sup>)로 실험 하였다. 수분이 함유된 왕겨에 밀기울을 섞어 놓은 베딩에 나무 산란 판 5묶음 2개를 올려놓고 산란 받은 난피를 3그룹(E1,2,3)으로 나눠 각각 무게를 측정하였다(그림19). 또한 플라스틱 그릇 위에 형질을 놓고 분무하여 수분을 유지시킨 다음 알을 놓고, 부화시켰으며, 부화 유충들을 물에 침지 후 수집하여 채망 거른 다음 50ml 비커에 물과 함께 담아 지름 5.5 cm의 페트리디쉬(넓이 17.27cm<sup>2</sup>)에 5ml을 스포이드로 뽑아 현미경 x10에서 0.25cm<sup>2</sup>의 셀(cell, 69.08개) 9개 안의 유충 수를 계수하여 페트리디쉬안의 유충 수(그림22)를 구하고 전체 평균값으로 총 유충 수 계수하였다(그림20).

그룹별 부화한 약충들의 난피에 무게에 따른 유충 수와 생존율도 파악되었다(그림21).



그림 19. 난피 채취 및 무게 측정



현미경 x20 촬영

Setting

그림 20. 부화 세팅 된 난피의 모습



50ml 비커 약충 수집

부화된 약충

그림 21. 약충 수 계수



그림 22. 페트리디쉬 셀(cell) 속 부화한 약충들

실험결과 그룹 별 부화 유충 수(표26)와 그룹별 셀(cell)당 평균 생존율 및 난피 1g 당 부화 약충 수(표27)를 파악하였다.

(가) E1: 50ml 비커 약 22,486 마리 헤칭				
마리 수 / cell			합계	평균
71	62	68	526	58
36	54	54		
62	57	62		
(나) E2: 50ml 비커 약 39,759 마리 헤칭				
마리 수 / cell			합계	평균
80	52	73	464	52
52	37	38		
44	43	45		
(다) E3: 50ml 비커 약 35,576 마리 헤칭				
마리 수 / cell			합계	평균
53	56	50	441	49
54	46	48		
36	47	51		
표 26. 그룹 별 부화 유충 수				

(라) 그룹별 셀(cell)당 평균 생존율 및 난괴 1g 당 부화 약충 수

one cell average	Survival (마리수)	Death	lg per larva average	lg	larva average	Survival	Death	total
E1	58	26	E1	13,718	E1	39,759	22,796	<b>62,555</b>
E2	52	27	E2	11,892	E2	35,576	18,652	<b>54,228</b>
E3	49	33	E3	11,361	E3	33,849	17,961	<b>51,810</b>
표 27. Group별 생존율 및 부화 약충 수								

총 평균 생존율은 물에 침지 되면서 폐사한 유충들이 많이 발생하였고(표28),

Group / one cell average	Survival	Death
E-1,2,3	53±11.19	28.52±5.26
표 28. 총 평균 생존율		

난괴 1g당 약충 마릿 수 총 평균은 표29와 같이 파악 되었다.

Group /lg per larva average	lg
E-1,2,3	13,718
표 29. 난괴 1g당 약충 마릿 수 총 평균	

위 데이터 기반 사육장 크기 cm<sup>2</sup> 당 2.5마리로 난괴를 부화 시켜 사육장에 세팅하여 밀도 기반 먹이원 공급을 할 수 있었다.

## (2) 곤충 발육단계별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원의 모니터링 기술 수정 보완

먹이원은 남은 유기물 자원 부산물인 남은음식물 사료 및 까나리 먹이원을 선정하였고, 선정 하게 된 이유는 먹이원을 받을 시 1톤당 5-10만원의 수익을 창출 할 수 있었다. 경제성 높은 먹이원들 중 최대 성장 효율 먹이원을 1차 실험에서 찾았고, 2차 실험에서는 우량 실험구에 대해 먹이량 대비 밀도별 실험구 평균 성장률, 생존율 조사하였다. 실험 곤충종은 아메리카 동애등에이고 먹이원은 남은 음식물(습식사료, 건식사료)과 까나리부산물, 현미박입

또한 부형제는 톱밥과 물(유충의 효율적인 섭식을 위한 첨가제)을 포함 하였다. 1차 실험조건은 1kg 기준, 2~4mm 유충 500마리씩 투입(음식물 기준 2g 섭식 가정)일주일 후 50마리 임의 선별 후 무게 측정 평균 값 측정 및 분해산물 이용을 위한 사료 염분 함량 조사 하였다(표30).

실험구 \ 먹이원 (kg)	습식사료	건식사료	까나리 부산물	현미박	톱밥	물
A	8	2				
B	8				2	
C		7				3
D			7		3	
E				8	2	
F		2		8		

표 30. 사료 염분 함량 조사

그림23은 실험 과정을 1차 1kg 기준, 2~4mm 유충 500마리씩 투입 setting한 그림이다,

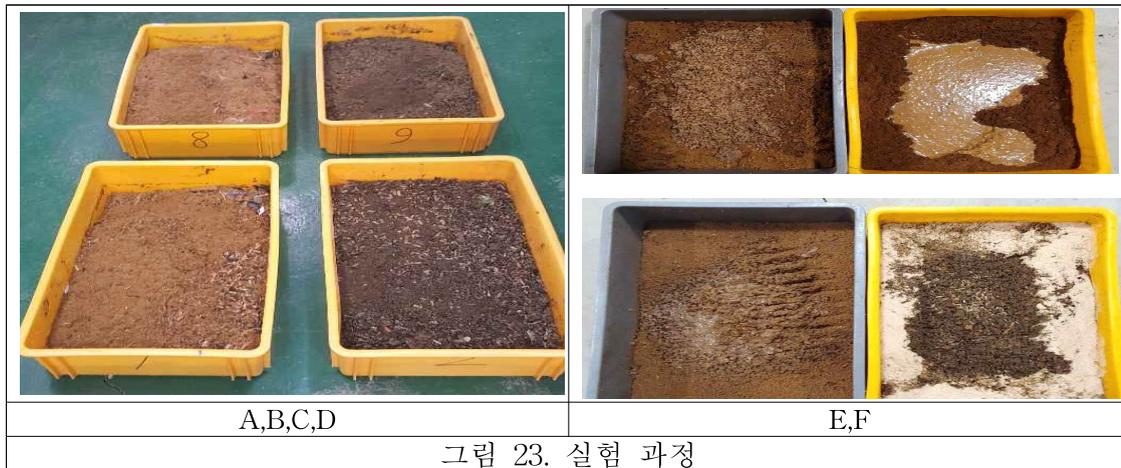


그림 23. 실험 과정

1차 실험 결과 실험구 마리당 체중 및 사료 염분 함량을 조사 하였다(그림24, 표31, 표32, 표33).

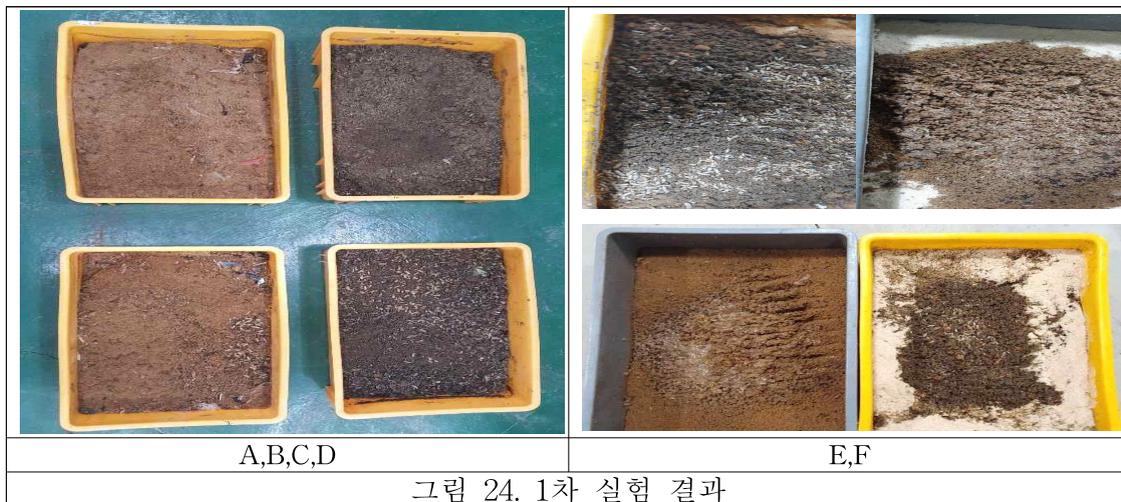
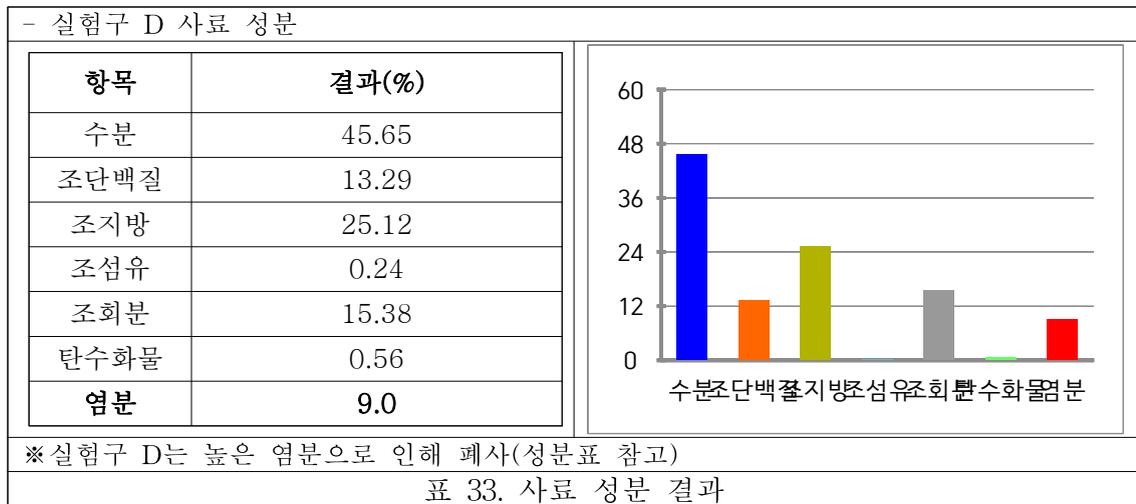
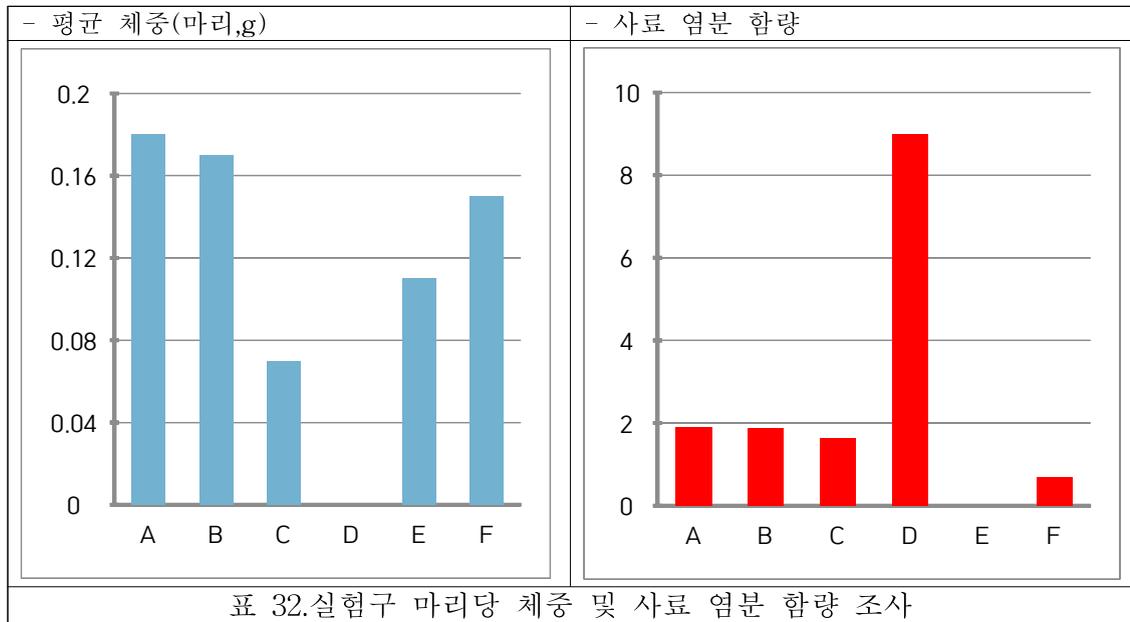


그림 24. 1차 실험 결과

실험구	항목	평균 체중(마리,g)	사료 염분함량(%)
A		0.18±0.03	1.9
B		0.17±0.06	1.89
C		0.07±0.01	1.62
D		0	9
E		0.11±0.03	0
F		0.15±0.02	0.7

표 31. 실험구 마리당 체중 및 사료 염분 함량 조사



즉 남은 음식물 건식과 습식을 급여한 실험구 A가 가장 크게 성장하였고, 실험조건 내 까나리 사료를 제외한 사료들 중에는 건식 사료가 상대적으로 염분이 높은 편 이었다. 2차 우량 실험구 밀도 실험 진행은 1차실험 실험구 A를 기준으로 A-1,2,3의 먹이량과 유

충량을 배수로 증가 시키고, 먹이량과 밀도가 증가함에 따라 비례적인 성장률과 생존율을 a-1,2,3는 같은 유충량에 먹이량만 배수로 증가 시켰고(표34), 평균 같은 밀도에 먹이량 차이에 대한 성장률과 생존율을 비교 조사하였다(표 35).

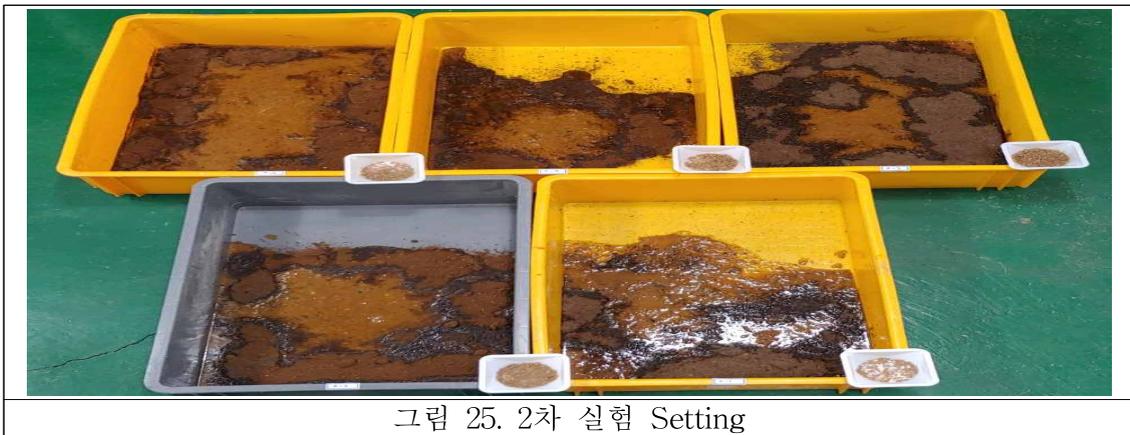
투입유충(마리)	250	500	750	먹이원 투입량(g)	습식 사료	건식 사료
	실험구				실험구	
A-1	○			A-1	400	100
A-2		○		A-2	800	200
A-3			○	A-3	1200	300

표 34. 먹이량 차이에 대한 성장률과 생존율

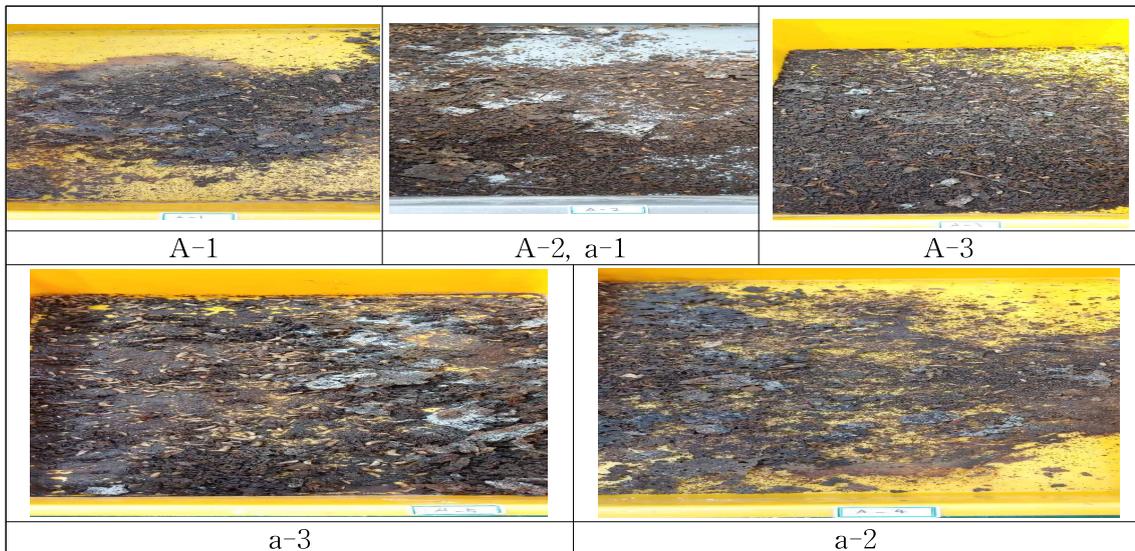
투입유충(마리)	250	500	750	먹이원 투입량(g)	습식 사료	건식 사료
	실험구				실험구	
a-1		○		a-1	800	200
a-2		○		a-2	400	100
a-3		○		a-3	1200	300

표 35. 유충 마리당 먹이 섭식량 2g 가정 실험구 세팅

그림 25는 실험 과정으로 2차 우량 실험 구 밀도 실험 2~4mm 유충 투입 setting 하였다.



일주일 경과 후 실험구 마리당 체중 및 사료 염분 함량을 그림 26과 같이 확인하였다.



실험구 별 유충 크기(그림27)를 파악하였고, 실험구 A 평균 성장률 및 체중, 생존율(표36)



그림 27. 실험구 별 유충 크기

도 파악하였다. 실험구 a 평균 성장률 및 체중, 생존율(표 37)도 파악되었다.

항목 실험구	평균 크기(cm)	평균성장률 (3mm기준, %)	평균체중 (마리,g)	생존율 (%)
A-1	1.48±0.15	79.7	0.1	97.96
A-2	1.53±0.05	80.4	0.11	100
<b>A-3</b>	<b>1.8±0.14</b>	<b>83.3</b>	<b>0.15</b>	<b>100</b>

표 36. 실험구 A 평균 성장률 및 체중, 생존율

항목 실험구	평균 크기(cm)	평균 성장률(3mm기준, %)	평균체중 (마리,g)	생존율 (%)
a-1	1.42±0.19	79.7	0.1	57.7
a-2	1.53±0.05	80.4	0.9	100
<b>a-3</b>	<b>1.86±0.2</b>	<b>83.8</b>	<b>0.15</b>	<b>100</b>

표 37. 실험구 a 평균 성장률 및 체중, 생존율

결론은 유충 마리당 섭취량이 같고 비율만 비례적으로 증가 시킨 A 실험구는 실험구 내 조건에서 먹이와 유충량이 증가할수록 성장률과 생존율이 높았으며, 같은 유충량에 먹이량만 배수로 증가 시켜 밀도를 조절한 a 실험구는 먹이량이 부족해지면 생존율이 급격히 떨어지며, 실험구 내 조건에서 평균 크기는 먹이량에 비례하였다.

사. 농가 규모별 생산체제 모델 제시 현장 적용

면역유도곤충분말은 동국대와 공동 개발한 특허등록('1020364570000')기술을 이용하여 아래 RDA 시험 결과와 같이 항균력이 대장균, 포도상구균, 살모넬라균에 있어 매우 증가된 것으로 사료 첨가제 가축 사양 실험을 하였다.

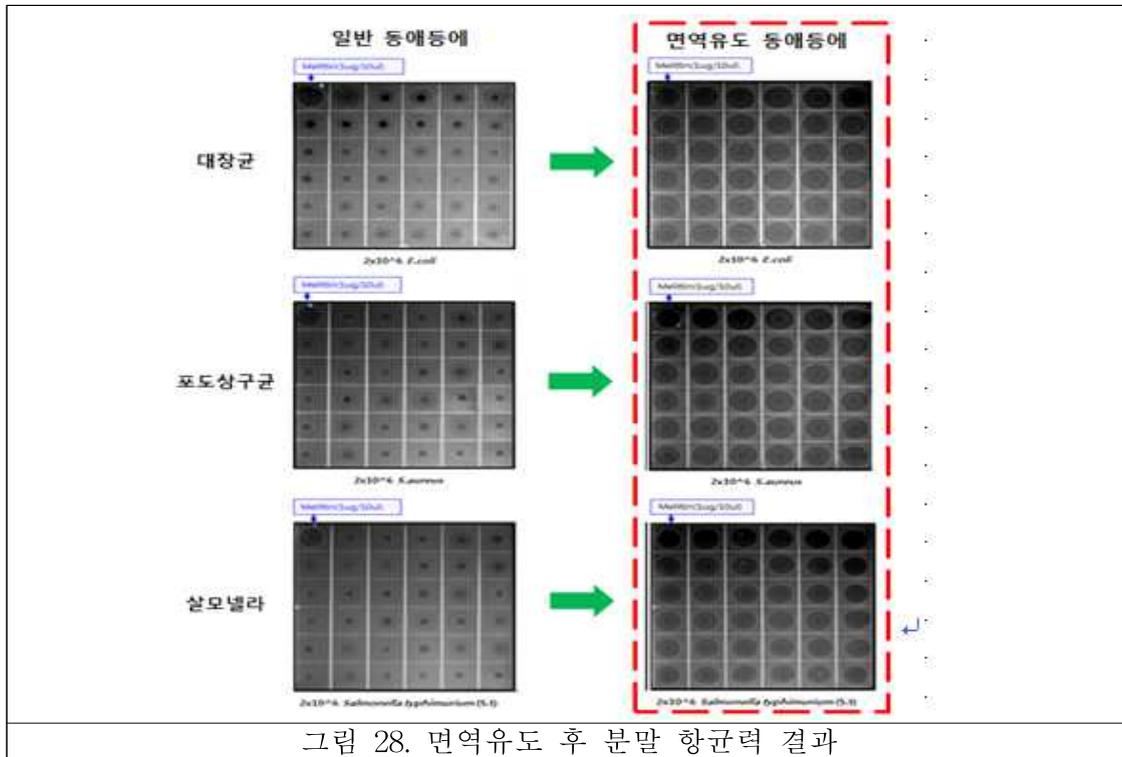


그림 28. 면역유도 후 분말 항균력 결과

사양실험에 사용한 곤충분말은 면역 활성 동애등애 노숙유충을 마이크로웨이브 건조기로 건조물을 익스펠러 착유기를 이용하여 130℃ 조건에서 착유·탈지박을 분쇄한 것이며, 지방 코팅은 분말을 지방 효모제와 배합하여 코팅함, 사료 첨가율은 사전 실험을 거쳐 0.5% 설정 하였다. 사양실험 조건 및 방법은 육계 1주령 60마리를 분양받아 4주간 사양 실험하여 총 4개 처리구에 5마리 씩 3반복, 실험사료 및 물은 NRC사양 표준에 따라 배합된 사료를 기초사료로 하였다. 실험사료 및 물은 초기사료(조단백 함량 20.32%) 2주, 후기사료(조단백 함량 18.52%) 2주 간 급여사료는 무게를 측정 수당 100g/일 씩을 자유 급여, 음수는 자유롭게 마시게 하였다(표 38). 조사항목은 생산성(증체량 kg, 1주간격 체중 측정 실시), 안전성(생존율 %), 사료섭취량(g), 사료요구율등 실시하였다.

실험구		대조구
TP(0.1% 곤충분말 첨가)	TL(0.1% 지방코팅곤충분말 첨가)	C(일반사료)
표 38.사양 조건 실험		

실험과정에 첨가제 시료(그림 29)와 육계 사양실험(그림3)을 확인할 수 있다.

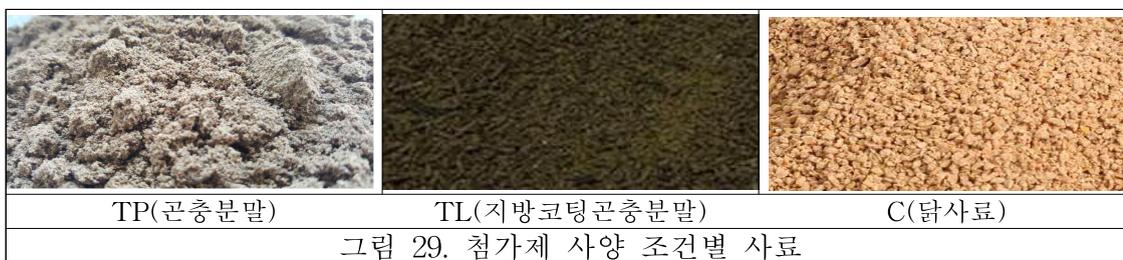


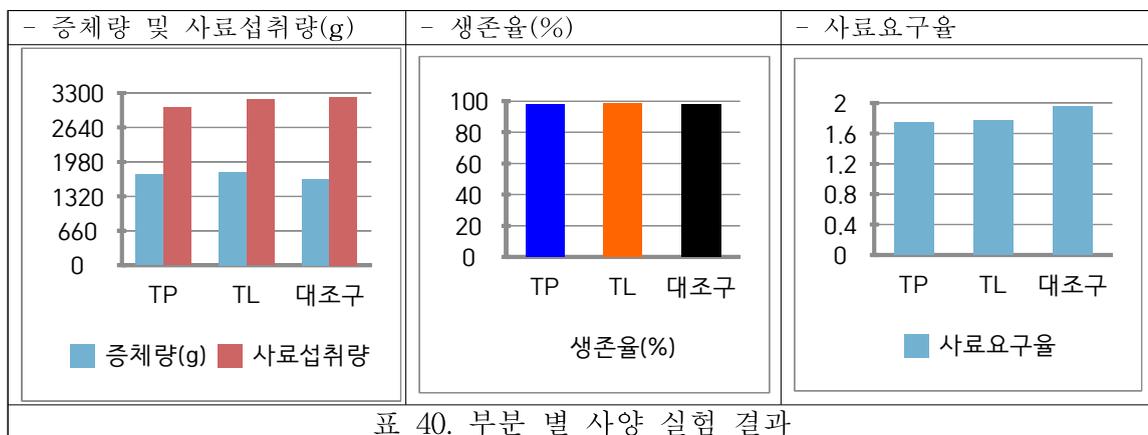
그림 29. 첨가제 사양 조건별 사료



실험 결과 사료에 곤충분말을 0.1% 첨가한 실험구 TP와 사료에 지방코팅 곤충분말을 0.1% 첨가한 실험구 TL은 사료만 먹인 대조구 C에 비해 생산성에 있어서 마리당 평균 증체율은 4.29%, 7.79% 유의적으로 증체되었으며, 사료섭취량은 6.18%, 1.49% 유의적으로 감소하였다. 사료요구율도 대조구 대비 실험구 TP는 0.21, TL은 0.18 감소하였다. 안전성의 생존율은 대조구와 실험구의 유의적인 차이가 없었으며, 대조구 대비 면역유도 곤충분말사료를 섭취한 실험구가 생산성 면에서 매우 유리하며 실험구 TP와 TL중에 사료섭취량이 적고 증체량이 높은 TP가 가장 경제적이었다(표39, 표40).

검사항목	면역유도 곤충분말 실험구		대조구
	TP(0.1% 곤충분말 첨가)	TL(0.1% 지방코팅곤충분말 첨가)	C(일반사료)
개시체중(g)	196	210	202
종료체중(g)	1,933	1,997	1,850
증체량(g)	<b>1,737</b>	<b>1,787</b>	1,648
생존율(%)	98.2	99.0	98.9
사료섭취량	<b>3,020</b>	<b>3,171</b>	3,219
사료요구율	<b>1.74</b>	<b>1.77</b>	1.95

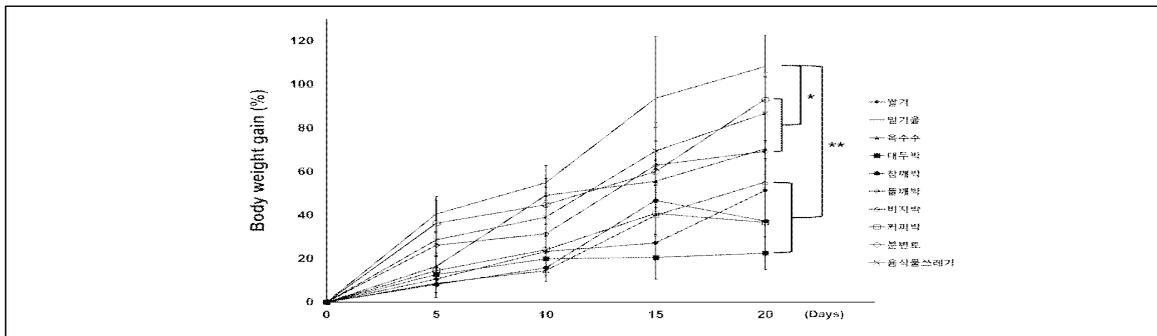
표 39. 사양 실험 결과



아. 부산물 이용 산업화 적용을 위한 제제화 및 제형화 기술 개발 : 이온, 나노, 지방 캡슐 등

(1) 바이오에너지 생산을 위한 갈색거저리 유충의 사료 조성

기존 갈색거저리 유충 사육에 사용되는 밀기울로 사육된 갈색거저리 유충의 조성분은 25.17% 정도이다. 본 연구진은 바이오에너지 생산 시 수율을 높이기 위해 갈색거저리 유충의 조성분 중 지방의 함량을 약 4~11% 가량 증가시키고, 기존 밀기울 대비 저렴한 가격의 사료를 발굴하였다. 밀기울을 포함한 10종의 원료를 대상으로 갈색거저리 사육실험을 진행하였으며, 사육 후 갈색거저리 유충의 증체량은 표 41과 같았다. 밀기울 108.83%, 분변토 93.25%, 음식물쓰레기 86.72%, 옥수수 70.21%, 들깨박 69.32%, 비지박 55.13%, 쌀겨 51.30%, 참깨박 37.38%, 커피박 36.69%, 대두박 22.56%으로 나타나, 증체량 증대효과가 가장 우수한 사료는 밀기울임을 확인할 수 있었다. 조성분 분석결과는 표 41과 같았다. 지방함량의 경우 음식물쓰레기 분말 사료로 사육한 갈색거저리 유충에서 가장 높게 나타났다. 조성분 분석결과를 바탕으로 지방함량 증대 효과가 있었던 음식물쓰레기 분말 사료를 선정하였다. 갈색거저리 유충의 증체량과 지방함량을 증가시키기 위해 증체량이 가장 높았던 밀기울과 지방함량 증가량이 제일 높았던 음식물쓰레기 분말 사료를 혼합하여 갈색거저리에 급여한 후 증체량과 지방함량을 확인하였다. 증체량은 밀기울 309.60%, 밀기울/음식물쓰레기 302.44%, 음식물쓰레기 275.34%로 나타났다(표 42). 지방함량의 경우 밀기울 25.17%, 음식물쓰레기 36.28%, 밀기울/음식물쓰레기 29.12%로 나타났다.

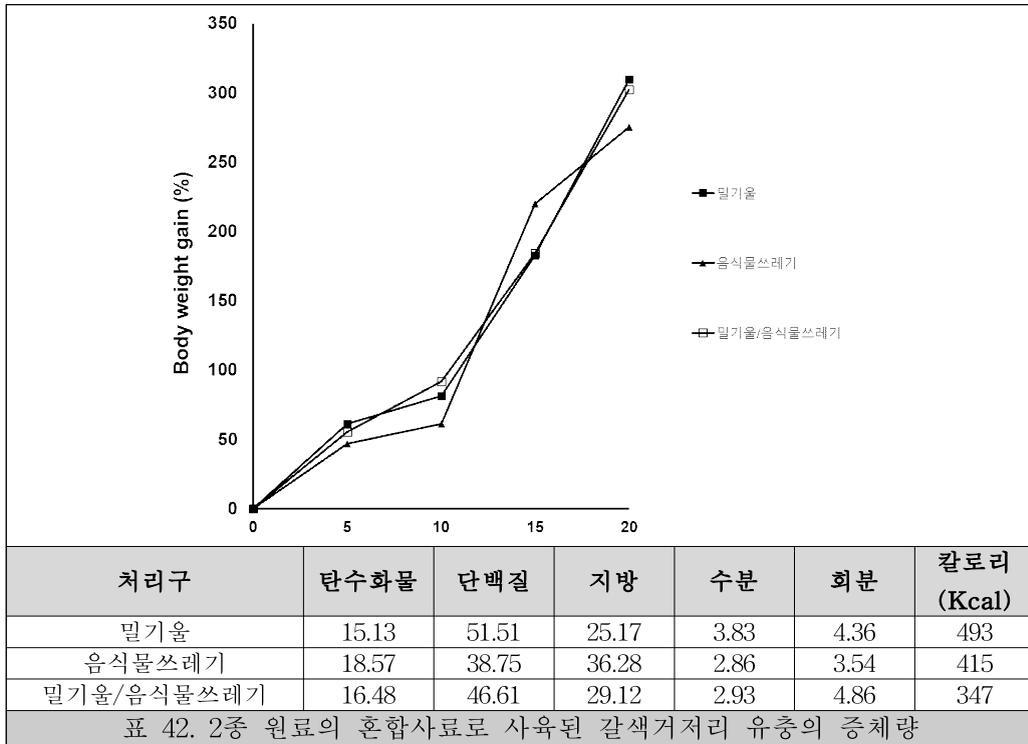


처리구	칼로리(Kcal)	탄수화물	단백질	지방	회분	수분
쌀겨	564.00±2.64	14.41±1.02	44.53±0.79	36.81±0.59	3.09±0.02	1.94±0.05
밀기울	533.33±3.51	11.86±0.95	51.70±0.21	30.98±0.71	3.99±0.00	1.46±0.03
옥수수	522.00±2.65	11.98±0.62	50.75±0.11	30.14±0.52	4.31±0.00	2.82±0.03
대두박	419.67±2.52	16.45±1.23	62.05±0.74	11.74±0.50	5.18±0.01	4.57±0.02
참깨박	433.67±1.53	12.05±0.67	60.70±0.96	15.86±0.30	6.07±0.05	5.31±0.02
들깨박	451.67±1.53	16.90±1.16	55.90±1.69	17.87±0.41	5.76±0.16	3.57±0.04
비지박	411.00±1.73	24.24±0.94	56.05±0.61	9.98±0.34	4.55±0.03	5.18±0.04
커피박	407.67±3.06	18.05±1.05	63.00±0.57	9.28±0.58	5.14±0.01	4.53±0.04
분변토	509.33±7.37	13.64±1.19	51.37±0.43	27.70±1.56	4.13±0.02	3.15±0.01
음식물쓰레기	515.78±2.99	16.31±1.59	39.40±0.92	38.08±0.91	3.51±0.68	5.04±0.05

표 41. 10종의 원료로 사육된 갈색거저리 유충의 증체량과 조성분

본 실험의 결과, 밀기울과 음식물쓰레기를 50:50 비율로 혼합한 사료를 사용하여 갈색거저리 유충을 사육하였을 때, 지방함량이 4% 증가하였다. 증체량 또한 밀기울 사료로 사육하였을 때와 비슷하게 나타났다. 원료의 가격은 밀기울은 1,040원/kg, 음식물쓰레기 50원/kg 으로 음식물쓰레기 분말 사료가 밀기울 대비 저렴한 것을 알 수 있었다. 따라서 밀기울과 음식물

쓰레기를 50:50 비율로 혼합한 사료는 기존 밀기울 사료 대비 지방함량이 증가하고 가격 또한 저렴함을 확인하였다.



## (2) 갈색거저리 유충 지방함량 증대 사료의 제형 개발

(가) 바이오디젤 생산을 위한 갈색거저리 유충 지방함량 증대 사료는 밀기울과 음식물쓰레기 사료를 50:50으로 혼합하여 분말사료로 준비한다. 이후 분말사료 양의 0.05% 만큼의 sorbic acid를 첨가하여 부패를 방지한다. 혼합된 분말사료는 밀가루반죽기(SAD-2003, 삼우, 대한민국)(그림 31)에 넣어 다시 혼합하여 준다. 10분간 혼합한 후, 감자전분(분말사료 무게의 10%)을 혼합하여 다시 10분간 혼합한다. 이후, 100℃의 증류수(분말사료 무게의 80%)를 혼합하여 익반죽으로 1시간 동안 반죽하여 준다. 반죽이 끝나면 민서기(MN-22S, 한국후지공업, 대한민국)(그림 31)을 활용하여 6mm 지름으로 뽑아낸다. 뽑아낸 국수형태의 사료는 대용량 건조기(SI-70S2)(그림 31)에서 150분간 건조한다. 건조가 끝난 국수형태의 사료(그림 31)는 절단기로 원하는 크기로 절단하여 사용한다(그림 31).



자. 경제성 타진을 통한 시제품 제작 및 산업화 : 생산원가분석 및 경제성분석, 현장 적용

(1) 생산원가분석 및 경제성분석

(가)시장 현황 : 곤충박은 사료로 주로 판매되고 있으나, 지질은 판매가 전무한 상태이고 간혹 홍보는 되지만 가격이 비싸서 거래가 안 되고 있는 실정임(표 43)

포장	상호/상품명	가격	성분	사이트주소
	엔토모(유지방) (동애등에 100% 곤충 사료첨가제 닭모이 / 병아리 초이사료)	1kg (7,500원) 혼합사료	조단백질 41.43% 조지방 31.92% 조섬유 25.49% 조회분 8.79% 칼슘 8.23%	<a href="https://smartstore.naver.com/entomostore/products/4849021331">https://smartstore.naver.com/entomostore/products/4849021331</a>
	엔토모(무지방) (강아지 알레르기 곤충 사료 원료 100% 동애등에 분말)	1kg (12,000원) 혼합사료	조단백 55.4% 조회분 14.8% 조섬유 9.18% 칼슘 5.57% 조지방 4.50% 인 1.02%	<a href="https://smartstore.naver.com/entomostore/products/4851941303">https://smartstore.naver.com/entomostore/products/4851941303</a>
	벨포아(독일) (인섹트 동애등에 독일 곤충사료 강아지 피부알러지& 눈물사료)	2.5kg (49,000원) 혼합사료	조단백질 26% 조회분 7.7% 조섬유 6.2% 칼슘 1.5% 조지방 13% 인 0.49% 수분 7.1%	<a href="https://smartstore.naver.com/woriori/products/4746484127?NaPm=ct%3Dkaq8jng8%7Cci%3Df6cf1f2bfd003b8798bdca7ad1e08056eafc3573%7Ctr%3Dslsl%7Csn%3D1049334%7Cic%3D%7Chk%3D2d7fb03c49a7038505380fde182442412043d861">https://smartstore.naver.com/woriori/products/4746484127?NaPm=ct%3Dkaq8jng8%7Cci%3Df6cf1f2bfd003b8798bdca7ad1e08056eafc3573%7Ctr%3Dslsl%7Csn%3D1049334%7Cic%3D%7Chk%3D2d7fb03c49a7038505380fde182442412043d861</a>
	ANF (동애등에 사슴고기저키)	270g (9,900원) 혼합사료	조단백질 10% 조회분 9% 조섬유 4% 칼슘 0.17% 조지방 3% 인 0.1% 수분 28%	<a href="http://www.tmon.co.kr/deal/3001030434?NaPm=ct%3Dkaq8rkg8%7Cci%3Dd7f6e6087ff3ba3752aeede321f1b1bc0160f807%7Ctr%3Dslsl%7Csn%3D221844%7Chk%3D27a7878de9a598ca462ca83e8748e7eb54647e29&amp;coupon_srl=2552834&amp;utm_source=naver&amp;utm_medium=affiliate&amp;utm_term=72093_1008&amp;utm_content=&amp;utm_campaign=META_%EB%84%A4%EC%9D%B4%EB%B2%84%EC%A7%80%EC%8B%9D%EC%87%BC%ED%95%91">http://www.tmon.co.kr/deal/3001030434?NaPm=ct%3Dkaq8rkg8%7Cci%3Dd7f6e6087ff3ba3752aeede321f1b1bc0160f807%7Ctr%3Dslsl%7Csn%3D221844%7Chk%3D27a7878de9a598ca462ca83e8748e7eb54647e29&amp;coupon_srl=2552834&amp;utm_source=naver&amp;utm_medium=affiliate&amp;utm_term=72093_1008&amp;utm_content=&amp;utm_campaign=META_%EB%84%A4%EC%9D%B4%EB%B2%84%EC%A7%80%EC%8B%9D%EC%87%BC%ED%95%91</a>
	ANF (동애등에 말고기저키)	270g (9,900원) 혼합사료	조단백질 10% 조회분 9% 조섬유 4% 칼슘 0.17% 조지방 3% 인 0.1% 수분 28%	<a href="http://www.tmon.co.kr/deal/3001030434?NaPm=ct%3Dkaq8rkg8%7Cci%3Dd7f6e6087ff3ba3752aeede321f1b1bc0160f807%7Ctr%3Dslsl%7Csn%3D221844%7Chk%3D27a7878de9a598ca462ca83e8748e7eb54647e29&amp;coupon_srl=2552834&amp;utm_source=naver&amp;utm_medium=affiliate&amp;utm_term=72093_1008&amp;utm_content=&amp;utm_campaign=META_%EB%84%A4%EC%9D%B4%EB%B2%84%EC%A7%80%EC%8B%9D%EC%87%BC%ED%95%91">http://www.tmon.co.kr/deal/3001030434?NaPm=ct%3Dkaq8rkg8%7Cci%3Dd7f6e6087ff3ba3752aeede321f1b1bc0160f807%7Ctr%3Dslsl%7Csn%3D221844%7Chk%3D27a7878de9a598ca462ca83e8748e7eb54647e29&amp;coupon_srl=2552834&amp;utm_source=naver&amp;utm_medium=affiliate&amp;utm_term=72093_1008&amp;utm_content=&amp;utm_campaign=META_%EB%84%A4%EC%9D%B4%EB%B2%84%EC%A7%80%EC%8B%9D%EC%87%BC%ED%95%91</a>

	<p>ANF (동애등에 양고기저키)</p>	<p>270g (9,900원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 10% 조희분 9% 조섬유 4% 칼슘 0.17% 조지방 3% 인 0.1% 수분 28%</p>	
	<p>ANF (동애등에 연어고기저키)</p>	<p>270g (9,900원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 10% 조희분 9% 조섬유 4% 칼슘 0.17% 조지방 3% 인 0.1% 수분 28%</p>	
	<p>ANF (동애등에 명태고기저키)</p>	<p>270g (9,900원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 10% 조희분 9% 조섬유 4% 칼슘 0.17% 조지방 3% 인 0.1% 수분 28%</p>	
	<p>푸드웜 (NATURAL FOODY 동애등에파 우더 )</p>	<p>57g (7,000원) 분말</p>	<p>조단백질 41% 칼슘 2.1% 인 0.5%</p>	<p><a href="https://smartstore.naver.com/birdbuilder/products/4562171246?NaPm=ct%3Dkag92760%7Cci%3D087ca88a355ca0bad37a4bb39472fccf9a3934dd%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D790496%7Cic%3D%7Chk%3D9af8f785b618a441cd4ae5ee7cad99f9ef9d389e">https://smartstore.naver.com/birdbuilder/products/4562171246?NaPm=ct%3Dkag92760%7Cci%3D087ca88a355ca0bad37a4bb39472fccf9a3934dd%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D790496%7Cic%3D%7Chk%3D9af8f785b618a441cd4ae5ee7cad99f9ef9d389e</a></p>
	<p>(주)대림씨엔 에스 (멀티웜 5kg)</p>	<p>5kg (100,000 원) 오일</p>	<p>포화지방산 43% 불포화지방산 56% 면역물질 핵산디올산</p>	<p><a href="https://smartstore.naver.com/chemishop/products/4469361571?NaPm=ct%3Dkag99jts%7Cci%3D38355776b439e0a33858096371e6cdab320bff3e%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D182441%7Cic%3D%7Chk%3Df144b168d2df314f948a2465e9f0607d936fb4f2">https://smartstore.naver.com/chemishop/products/4469361571?NaPm=ct%3Dkag99jts%7Cci%3D38355776b439e0a33858096371e6cdab320bff3e%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D182441%7Cic%3D%7Chk%3Df144b168d2df314f948a2465e9f0607d936fb4f2</a></p>
	<p>푸드웜 (게코푸드 Insect ver.)</p>	<p>84g (15,000 원) 분말</p>	<p>조단백질 26% 조지방 6% 조섬유 4% 조희분 6% 수분 7% 칼슘 1.1% 인 0.5%</p>	<p><a href="https://smartstore.naver.com/vanmori/products/2251838153?NaPm=ct%3Dkagafosw%7Cci%3D4e08b2eaf5f5e3f295526c20aee147b9ffecab0d%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D551524%7Cic%3D%7Chk%3D523ecce80cd32c4d1a3e0e3ad3bfc030a4d04023">https://smartstore.naver.com/vanmori/products/2251838153?NaPm=ct%3Dkagafosw%7Cci%3D4e08b2eaf5f5e3f295526c20aee147b9ffecab0d%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D551524%7Cic%3D%7Chk%3D523ecce80cd32c4d1a3e0e3ad3bfc030a4d04023</a></p>
	<p>마이오피스 (애완 고슴도치 전용 영양 사료 먹이 푸드)</p>	<p>600g (13,000 원) 분말</p>	<p>조단백질 39.07% 조지방 14.36% 칼슘 2.0% 인 2.93% 조섬유 8.76% 조희분 14.17%</p>	<p><a href="http://www.tmon.co.kr/deal/2124433878?NaPm=ct%3Dkagakek0%7Cci%3D639935538859a395be633266b841882d2b03956d%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D221844%7Chk%3D32c5af802d9e47352014ee60cb39199ca734a2ca&amp;utm_source=naver&amp;utm_medium=a&amp;utm_content=&amp;utm_campaign=META_%EB%84%A4%EC%9D%B4%B%B2%84%EC%A7%80%EC%8B%9D%EC%87%BC%ED%95%91">http://www.tmon.co.kr/deal/2124433878?NaPm=ct%3Dkagakek0%7Cci%3D639935538859a395be633266b841882d2b03956d%7Ctr%3DsIsl%7Csn%3D221844%7Chk%3D32c5af802d9e47352014ee60cb39199ca734a2ca&amp;utm_source=naver&amp;utm_medium=a&amp;utm_content=&amp;utm_campaign=META_%EB%84%A4%EC%9D%B4%B%B2%84%EC%A7%80%EC%8B%9D%EC%87%BC%ED%95%91</a></p>

	<p>벨포아(독일) (홀리스틱 그레인프리 강아지피부 병 장수사료 아토피사료)</p>	<p>2.5kg (49,000원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 26% 조지방 13% 조회분 7.7% 조섬유 6.2% 칼슘 1.5% 인 0.49% 수분 7.1%</p>	<p><a href="https://smartstore.naver.com/yummypet/products/4022898211?NaPm=ct%3Dkaqb7qu0%7Cci%3D6d71b023710dab34733c97dacef493ccc070353f%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D401691%7Cic%3D%7Chk%3D67d9d2b1992c81879d2f867cccd2e8b15574701f">https://smartstore.naver.com/yummypet/products/4022898211?NaPm=ct%3Dkaqb7qu0%7Cci%3D6d71b023710dab34733c97dacef493ccc070353f%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D401691%7Cic%3D%7Chk%3D67d9d2b1992c81879d2f867cccd2e8b15574701f</a></p>
	<p>푸디웜 (푸디비트)</p>	<p>50g (7,000원) 분말</p>	<p>조단백질 35% 조지방 5.0% 조섬유 7.7% 조회분 17.0% 칼슘 2.3% 인 1.2% 수분 6.6%</p>	<p><a href="http://www.foodyworm.com/bbs/board.php?bo_table=08_board&amp;wr_id=1">http://www.foodyworm.com/bbs/board.php?bo_table=08_board&amp;wr_id=1</a></p>
	<p>에이치디디 (도그플렉스 강아지 알러지 전용 저키 기능성 간식 동애등에)</p>	<p>100g (5,800원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 10.0% 조지방 4.0% 조회분 9.0% 수분 28.0%</p>	<p><a href="https://smartstore.naver.com/dogplex/products/4809066175?NaPm=ct%3Dkaqeh788%7Cci%3D6a5737768d85ad33367b98dba12eec822ab17613%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D393360%7Cic%3D%7Chk%3D08114f83195d3f9440b2b7e02d2a8723a8729989">https://smartstore.naver.com/dogplex/products/4809066175?NaPm=ct%3Dkaqeh788%7Cci%3D6a5737768d85ad33367b98dba12eec822ab17613%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D393360%7Cic%3D%7Chk%3D08114f83195d3f9440b2b7e02d2a8723a8729989</a></p>
	<p>PSP (피닉스웜 40g 동결건조 동애등에 유충 고단백 고칼슘)</p>	<p>40g (5,460원) 분말</p>	<p>조단백질 28.1% 조지방 40.3% 수분 6.8% 조회분 12.9%</p>	<p><a href="http://shopping.interpark.com/product/productInfo.do?prdNo=5149717159&amp;dispNo=016001&amp;bizCd=P01397&amp;NaPm=ct%3Dkaqf00p4%7Cci%3D8fef066979ed0b5ef285f10e2aee091a64567327%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D3%7Chk%3D28c9f51d4a1688842b55c650bfbea705f7c4c303&amp;utm_medium=affiliate&amp;utm_source=naver&amp;utm_campaign=shop_p11714_p01397&amp;utm_content=price_comparison">http://shopping.interpark.com/product/productInfo.do?prdNo=5149717159&amp;dispNo=016001&amp;bizCd=P01397&amp;NaPm=ct%3Dkaqf00p4%7Cci%3D8fef066979ed0b5ef285f10e2aee091a64567327%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D3%7Chk%3D28c9f51d4a1688842b55c650bfbea705f7c4c303&amp;utm_medium=affiliate&amp;utm_source=naver&amp;utm_campaign=shop_p11714_p01397&amp;utm_content=price_comparison</a></p>
	<p>바우와우 코리아 (바우와우 한상떡갈비 치킨 80g 동애등에 강아지간식)</p>	<p>80g (2,950원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 20.0% 조지방 2.0% 칼슘 0.01% 인 0.2% 조섬유 3.0% 조회분 4.0% 수분 30.0%</p>	<p><a href="https://www.lotteon.com/p/product/LO1017110777?sitmNo=LO1017110777_1017110778&amp;ch_no=100065&amp;ch_dtL_no=1000030&amp;entryPoint=pcs&amp;NaPm=ct%3Dkaqf4hyo%7Cci%3D6e2a7ba4eb7a9df2562a0cc0371c7039e45b0b34%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D1243359%7Chk%3D4b810702f5a52ae044b3e41512030ebc91ec4a12">https://www.lotteon.com/p/product/LO1017110777?sitmNo=LO1017110777_1017110778&amp;ch_no=100065&amp;ch_dtL_no=1000030&amp;entryPoint=pcs&amp;NaPm=ct%3Dkaqf4hyo%7Cci%3D6e2a7ba4eb7a9df2562a0cc0371c7039e45b0b34%7Ctr%3Ds1s1%7Csn%3D1243359%7Chk%3D4b810702f5a52ae044b3e41512030ebc91ec4a12</a></p>
	<p>푸디웜 (말고기 저키 60g 동애등에 저알러지 기능성 간식)</p>	<p>60g (3,000원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 10.0% 조지방 3.0% 칼슘 0.17% 인 0.1% 조섬유 4.0% 조회분 9.0% 수분 28.0%</p>	<p><a href="http://www.foodyworm.com/bbs/board.php?bo_table=02_board&amp;wr_id=28&amp;page=1">http://www.foodyworm.com/bbs/board.php?bo_table=02_board&amp;wr_id=28&amp;page=1</a></p>
	<p>푸디웜 (사슴고지 저키 60g 동애등에 저알러지 기능성 간식)</p>	<p>60g (3,000원) 혼합사료</p>	<p>조단백질 10.0% 조지방 3.0% 칼슘 0.17% 인 0.1% 조섬유 4.0% 조회분 9.0% 수분 28.0%</p>	<p><a href="http://www.foodyworm.com/bbs/board.php?bo_table=02_board&amp;wr_id=29&amp;page=1">http://www.foodyworm.com/bbs/board.php?bo_table=02_board&amp;wr_id=29&amp;page=1</a></p>

표 43. 시장조사

- 정부 정책 : 바이오디젤 혼합 의무비율 확대”(에너지데일리.2020.11.12일자)

## “바이오디젤 혼합의무비율 확대한다”

변국영 기자 | bgy68@energydaily.co.kr | 승인 2020.11.12 16:56 | 댓글 0

「산업부 “2021~2030년 바이오디젤 사용 확대 정부안 마련... 관련 업계와 협의 중”  
정유업계 부담 극히 일부... 환경편익·바이오에너지 산업 성장 등 편익이 비용보다 커”



[에너지데일리 변국영 기자] 산업부는 2021년 이후의 바이오디젤 혼합의무비율 재검토를 위해 관련 업계와 협의 중이라고 밝혔다.

바이오연료 사용 확대는 세계적인 추세로 바이오디젤 사용 확대에 따른 환경편익, 바이오에너지 산업 성장 등을 고려할 때 전체 편익이 비용보다 큰 것으로 분석된다고 강조했다.

산업부는 “2021년 이후부터 2030년까지 바이오디젤 사용 확대를 위해 정부안을 마련해 관련 업계와 협의 중에 있으며 구체적인 혼합의무비율 및 시행 시기는 확정되지 않았다”고 밝혔다.

바이오디젤, 바이오에탄올 등 바이오연료의 사용 확대는 재생에너지 사용 확대를 위한 세계적 추세로 EU, 미국, 캐나다, 브라질, 인도, 태국 등 많은 국가들이 바이오연료를 혼합·보급하고 있다.

우리나라도 지난 2007년 ‘바이오디젤 증장기 보급 계획’을 통해 바이오디젤 혼합비율을 점진적으로 확대해 증장기적으로 5%를 지향하는 것으로 발표한 바 있다. 바이오디젤 혼합의무 제도는 지난 2012년 2%를 시작으로 현재 3% 수준까지 확대해 시행 중에 있다.

산업부는 바이오디젤 혼합비율 확대가 정유업계에 부담이 될 것이라는 것과 관련 “정유업계가 추산한 추가 비용부담 2560억원의 경우 바이오디젤 의무혼합량 증가분(2020년 기준 혼합율 3%→5% 상향 시, 5억1000만 리터) 및 지난 11일 기준 경유·바이오디젤 가격(가격차이 500원/L)을 토대로 단순 계산한 수치로서 이는 바이오디젤 혼합의무비율 상승에 따른 총 비용부담 증가 추산치”라며 “이는 대부분 최종 판매가격에 반영되는 것으로 정유업계 부담은 극히 일부에 불과하다는 것이 업계 및 전문가 의견”이라고 설명했다.

산업부에 따르면 연구용역 결과 바이오디젤 사용 확대에 따른 온실가스 감축 등 환경편익과 바이오에너지 산업 성장 등을 종합적으로 고려하면 국가·사회의 전체 편익이 비용보다 큰 것으로 분석됐다.

저작권자 © 에너지데일리 무단 전재 및 재배포 금지

변국영 기자  
다들기사 보기

## (2) 경제성분석, 현장 적용

(가) 지질 경제성 : 건조된 유층 1kg, 1,000kg

번호	내용	유층 분말 생산량(kg) 조건		기 타
		1	1,000	
1	분말로부터 지질생산량 (liter)	0.3	300	
2	국내 품질에 적용하여 바이오디젤로 전환량(liter)	0.78	234	- 국내 품질에 적용하여 바이오디젤로 전환 수율 78 (%)임(3*0.78=2.34L)
3	L당 바이오 전환 비용	512원	153,600	- L당 바이오 전환 비용 : 512 원 · 153,600=300*512
- 2019년 폐식용유를 원료로 한 전체 바이오디젤의 국내 공급 단가는 약 850원/L - 동애등에 지질은 현재 판매처를 찾기 어려운 상태임(재고로 보관) - 재고를 활용할 경우 Liter당 338원의 경제적 효과를 얻을 수 있음				

(나) 사료 첨가제 경제성 및 현장 적용 사례

- 건조된 유충 1kg, 1,000kg

번호	내용		유충 분말 생산량(kg) 조건		기 타
			1	1,000	
1	사료 첨가제	지질 추출후 분리된 곤충 박	0.55	550	- 건조 유충 분말 1kg시 55% 회수됨 - 현재 사료용 곤충 분말 가격 1kg : 3,500원
		현재 시중 가격기준으로 판매시(원)	1,925	1,925,000	
2	천연 방부제	지질 추출후 분리된 천연방부제	0.15	150	- 건조 유충 분말 1kg시 15% 회수됨 - 현재 국내 천연방부제 가격은 1g에 100,000-300,000원)g - 현재 수입 천연방부제 가격은 1g에 30,000-100,000원)g
		현재 시중 가격 기준으로 판매 시(원)	750,000 (1g에 5,000원 판매시)	750,000,000 (1g에 5,000원 판매시)	

- 지질 추출 후 분리된 곤충 박 가격이 현재 1kg에 3,500원 전·후에서 거래되고 있지만, 개발된 사료첨가제 및 천연방부제를 적용 시 1kg 건조 분말에서 751,950원의 매출을 올릴 수 있음

- 사료첨가제 및 지질 추출 용도에 맞게 현장 적용(그림 32)



- 사료첨가제 및 지질 추출 등 대량 생산 구축 : 2021년 중반기

2. 곤충 생체 지질함량 향상 및 부산물 이용 천연방부제 생산 기술 개발(제1협동 : 동국대)

가. 동애등에 생체 내 지질함량 향상을 위한 최적 저가 먹이원 선발

동애등에 생체 내 지질함량을 향상시킬 수 있는 저가 먹이원을 선발을 위하여 건조 축분(계분), 건조 음식물쓰레기, 발효미생물(EM) 및 폐식용류를 단독 및 복합처리하여 사용하였다. 먼저, 음식물쓰레기와 계분의 복합처리가 동애등에 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 음식물쓰레기(200g)에 계분을 0, 20, 40, 60, 80 및 100%로 혼합한 사료에 부화 후 6일이 경과한 동애등에 유충 (0.3mg/유충) 약 100두를 투입하고, 11일 후에 생육조사를 실시하였다. 그 결과, 계분 20, 40 및 60% 첨가구에서는 음식물쓰레기 단독 처리에 비하여 혼합비율 의존적으로 동애등에 유충 무게가 증가하였으나, 80% 이상 첨가구에서는 유충 무게가 감소하기 시작하여 계분 100% 첨가 구에서는 오히려 음식물쓰레기 단독처리에 비하여 유충의 무게가 급격히 감소하는 결과를 나타내었다. 생존율 분석 결과는 계분 20~80% 첨가구는 음식물쓰레기 단독처리에 비하여 통계적 유의성이 인정되지 않았으나, 계분 100% 첨가구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비해 생존율이 월등히 감소하는 효과를 나타내었다. 계분 혼합비율에 따른 동애등에 전체 증체량은 60% 처리구가 가장 높게 나타났으나, 마리당 증체량은 40% 처리구에서 음식물쓰레기 단독 처리구에 비해 가장 높은 증체량(183.7%)을 나타내었으며, 이후 60% 이상 혼합 처리구부터는 서서히 감소하다가 100% 처리구(41.9%)에서는 급격히 감소하는 결과를 나타내었다.

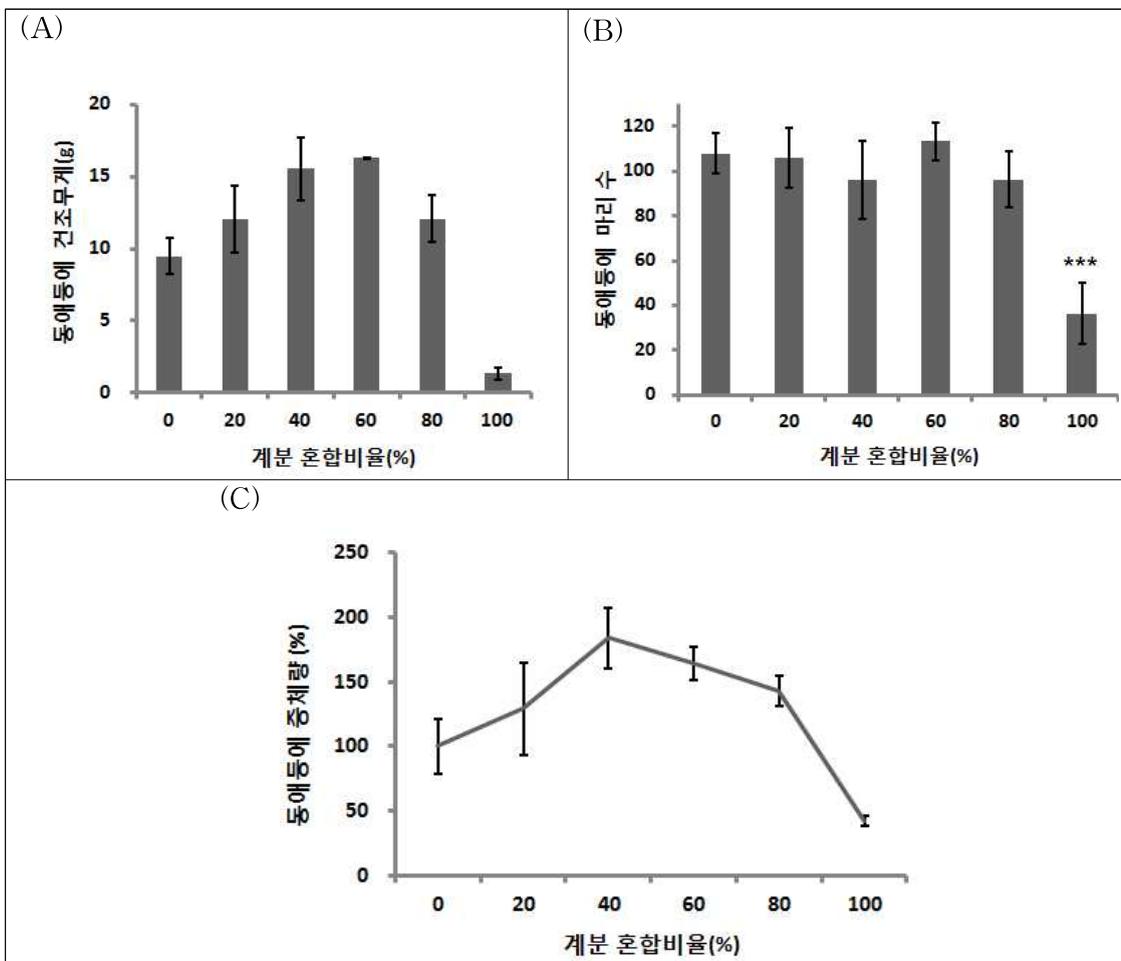
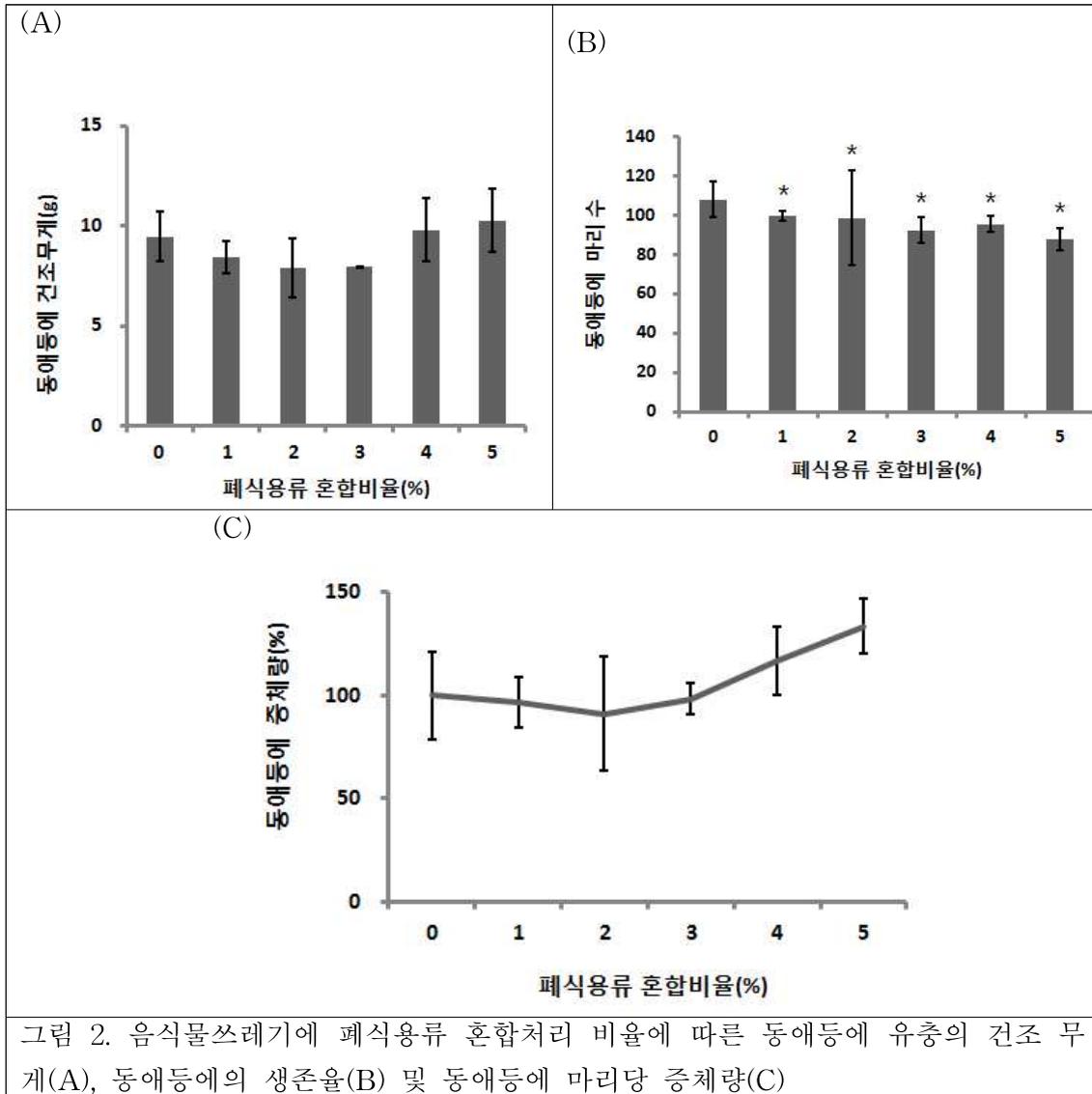


표 1. 음식물쓰레기에 계분 혼합처리 비율에 따른 동애등에 유충의 건조 무게(A), 동애등에의 생존율(B) 및 동애등에 마리당 증체량(C)

음식물쓰레기와 폐식용류의 복합처리가 동애등에 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 음식물쓰레기에 폐식용류를 0, 1, 2, 3, 4 및 5%로 혼합한 사료를 각각 조성한 다음, 상기와 동일한 방법으로 동애등에의 생육을 조사하였다. 그 결과, 폐식용류의 1, 2 및 3% 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 오히려 유충의 무게가 감소되는 결과를 나타내었으나, 4 및 5% 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 높은 생육효과를 나타내었다. 생존율 분석 결과는 폐식용류의 모든 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 통계적으로 유의하게 감소되는 결과를 나타내었으며, 폐식용류 혼합비율에 따른 동애등에 마리당 증체량은 5% 처리구에서 음식물쓰레기 단독 처리구에 비해 가장 높은 증체량(133.4%)을 나타내었다(그림 2).



음식물쓰레기와 발효미생물의 복합처리가 동애등에 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 음식물쓰레기에 발효미생물을 0, 0.4, 0.6, 1.2, 1.6 및 2.0%로 혼합한 사료를 각각 조성한 다음, 상기와 동일한 방법으로 동애등에의 생육을 조사하였다. 그 결과, 발효미생물의 1.2 및 2.0% 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 유충의 무게가 증가되는 결과를 나타내었으나, 나머지 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 통계적으로 유의하게 체중 증가하는 효과를 나타

내지 않았다. 생존율 분석결과, 발효미생물의 2.0% 처리구를 제외한 모든 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 통계적으로 유의하게 감소되는 결과를 나타내었으며, 발효미생물 혼합 비율에 따른 동애등에 전체 및 마리당 증체량은 1.2% 처리구에서 음식물쓰레기 단독 처리구에 비해 가장 높은 증체량(163.2%)을 나타내었다(표 3).

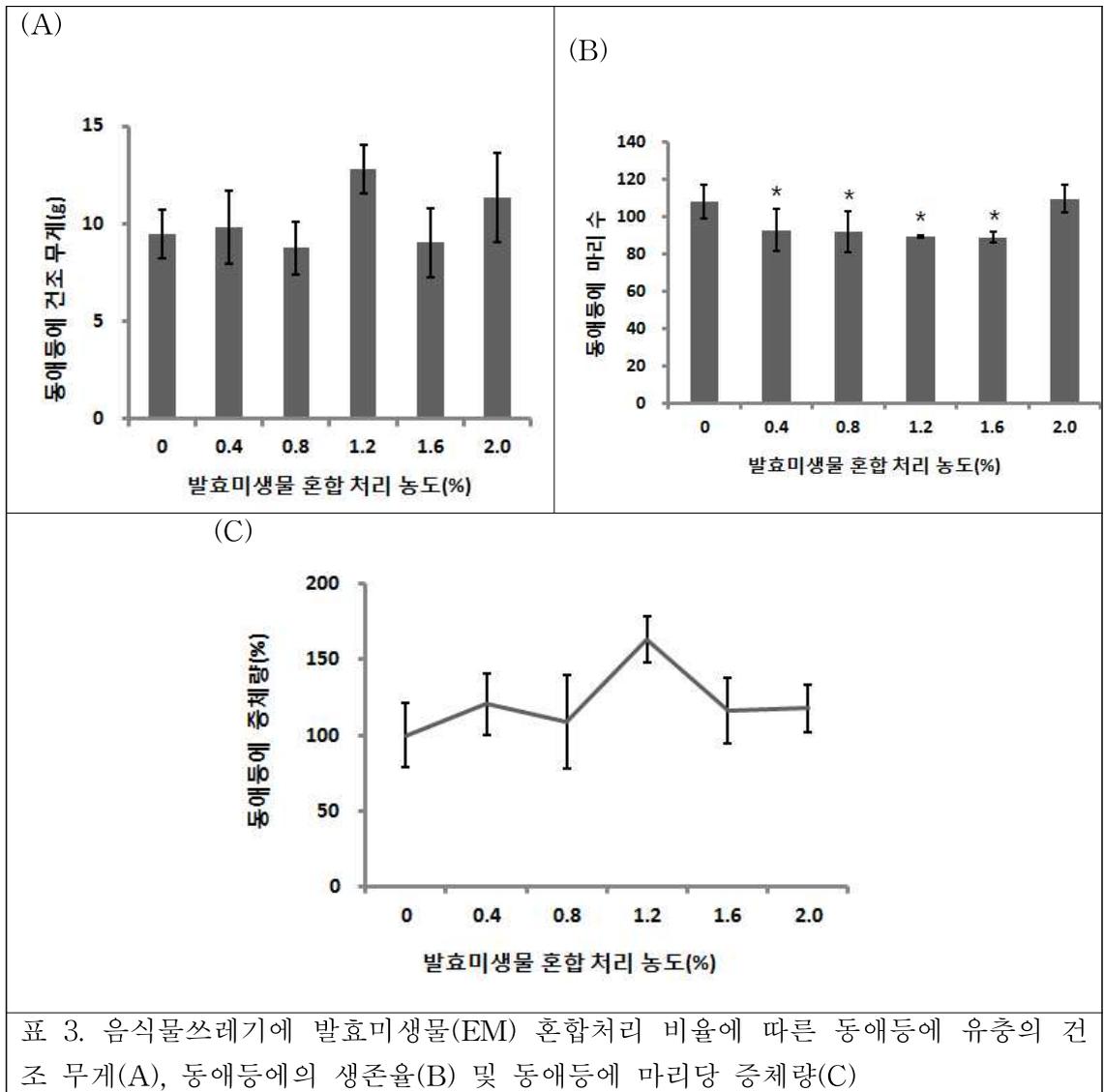
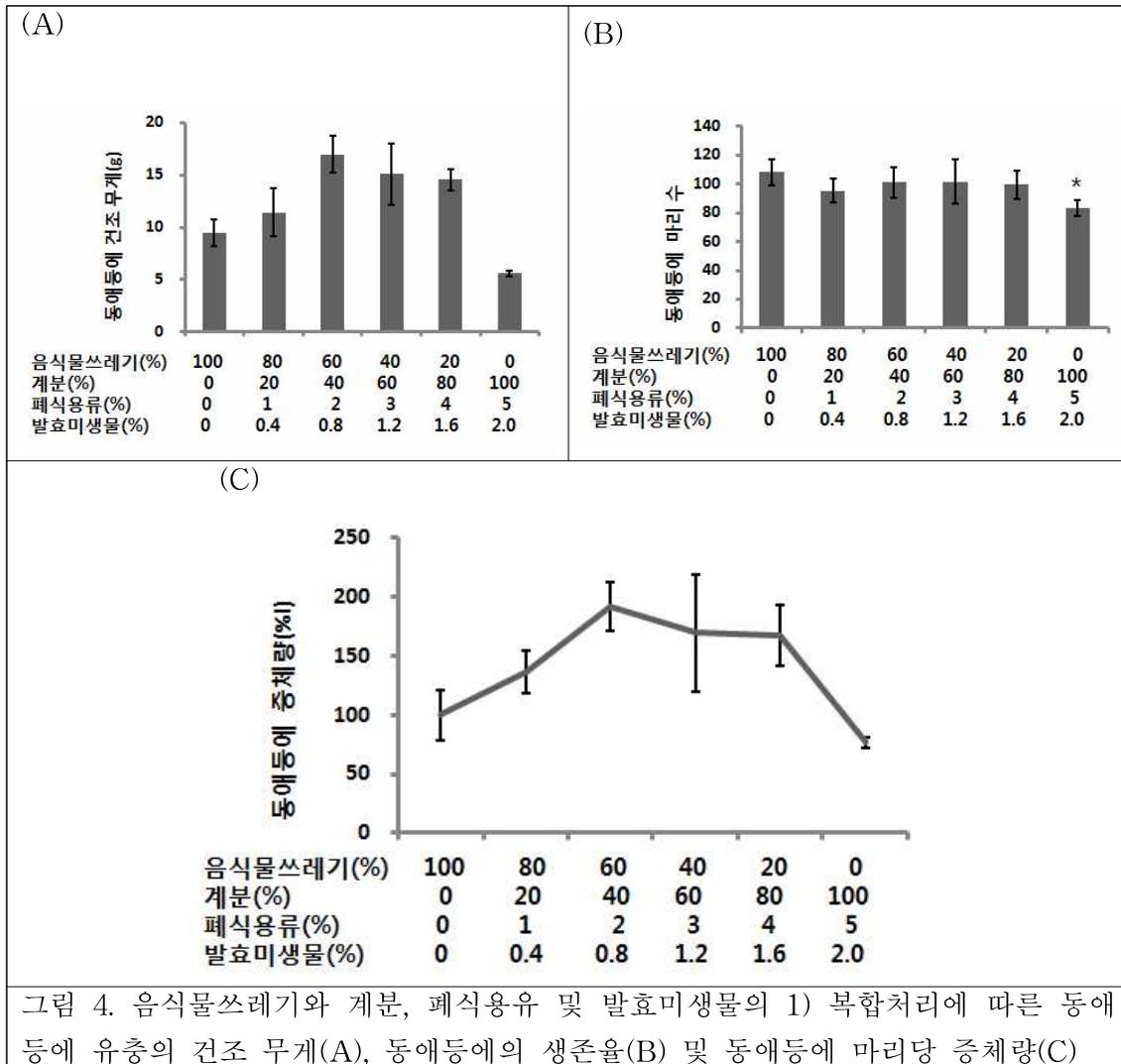


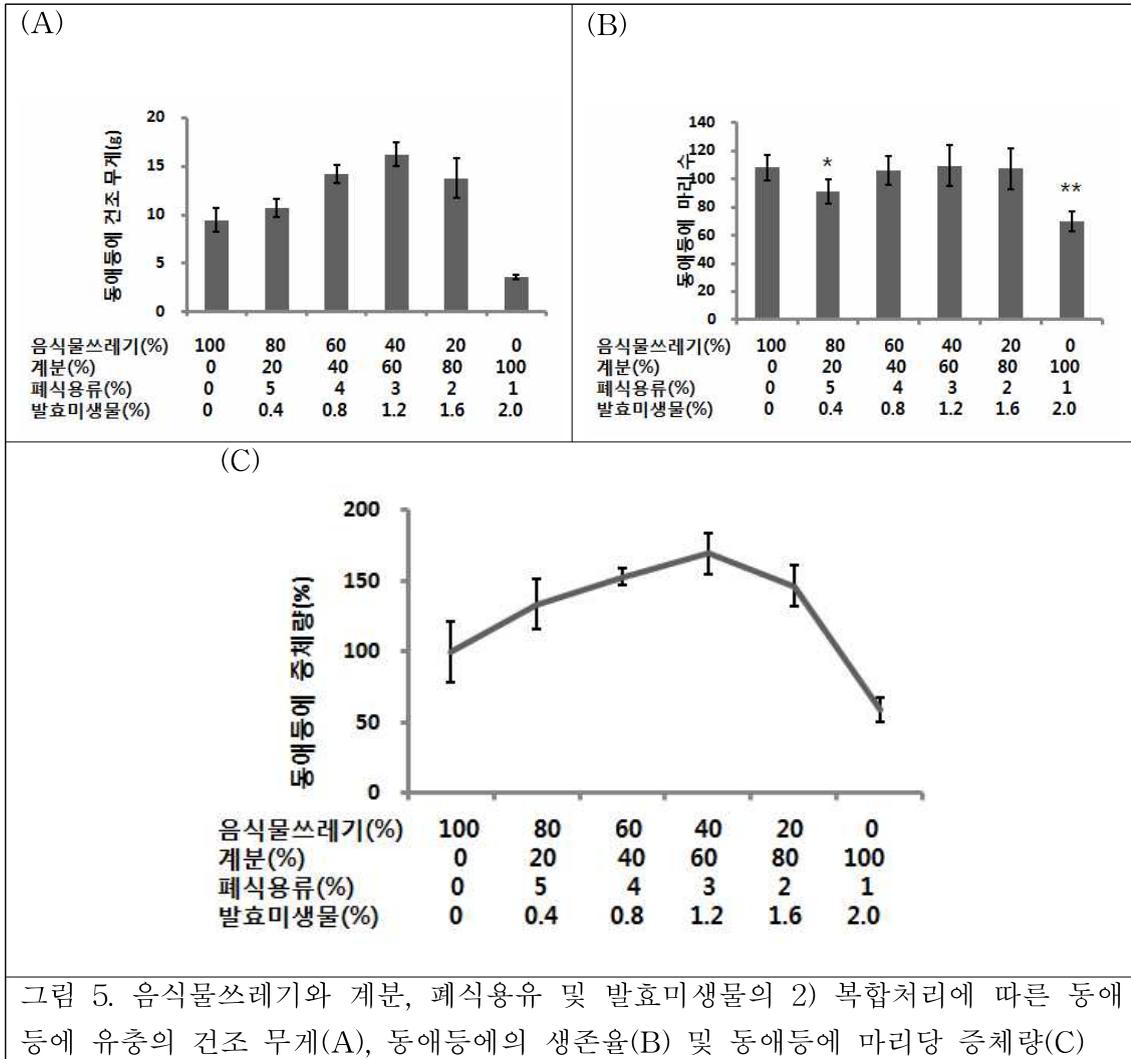
표 3. 음식물쓰레기에 발효미생물(EM) 혼합처리 비율에 따른 동애등에 유충의 건조 무게(A), 동애등에의 생존율(B) 및 동애등에 마리당 증체량(C)

음식물쓰레기와 계분, 폐식용유 및 발효미생물의 복합처리가 동애등에 생육에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 음식물쓰레기(200 ~ 0g)의 감소량 만큼 계분의 혼합비율(0 ~ 100%)을 증가시키고, 1) 폐식용유(0 ~ 5.0%)와 발효미생물(0 ~ 2.0%)의 농도 둘 다를 증가시키거나, 2) 폐식용유의 농도는 감소시키고 발효미생물의 농도를 증가시키거나, 또는 3) 폐식용유의 농도는 증가시키고 폐식용유의 농도를 감소시켜 사료에 각각 혼합한 후, 상기와 동일한 방법으로 동애등에를 투입하여 생육을 조사하였다. 1)의 결과, 0% 음식물쓰레기 + 100% 계분 + 5.0% 폐식용유 + 2.0% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구에서 음식물쓰레기 단독 처리구보다 높은 생육성적을 나타내었으며, 그 중 60% 음식물쓰레기 + 40% 계분 + 2.0% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물 처리구가 가장 높은 생육성적을 나타내었다. 1)의 생존율 분석결과, 0% 음식물쓰레기 + 100% 계분 + 5.0% 폐식용유 + 2.0% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구는 음식물쓰레기 단독

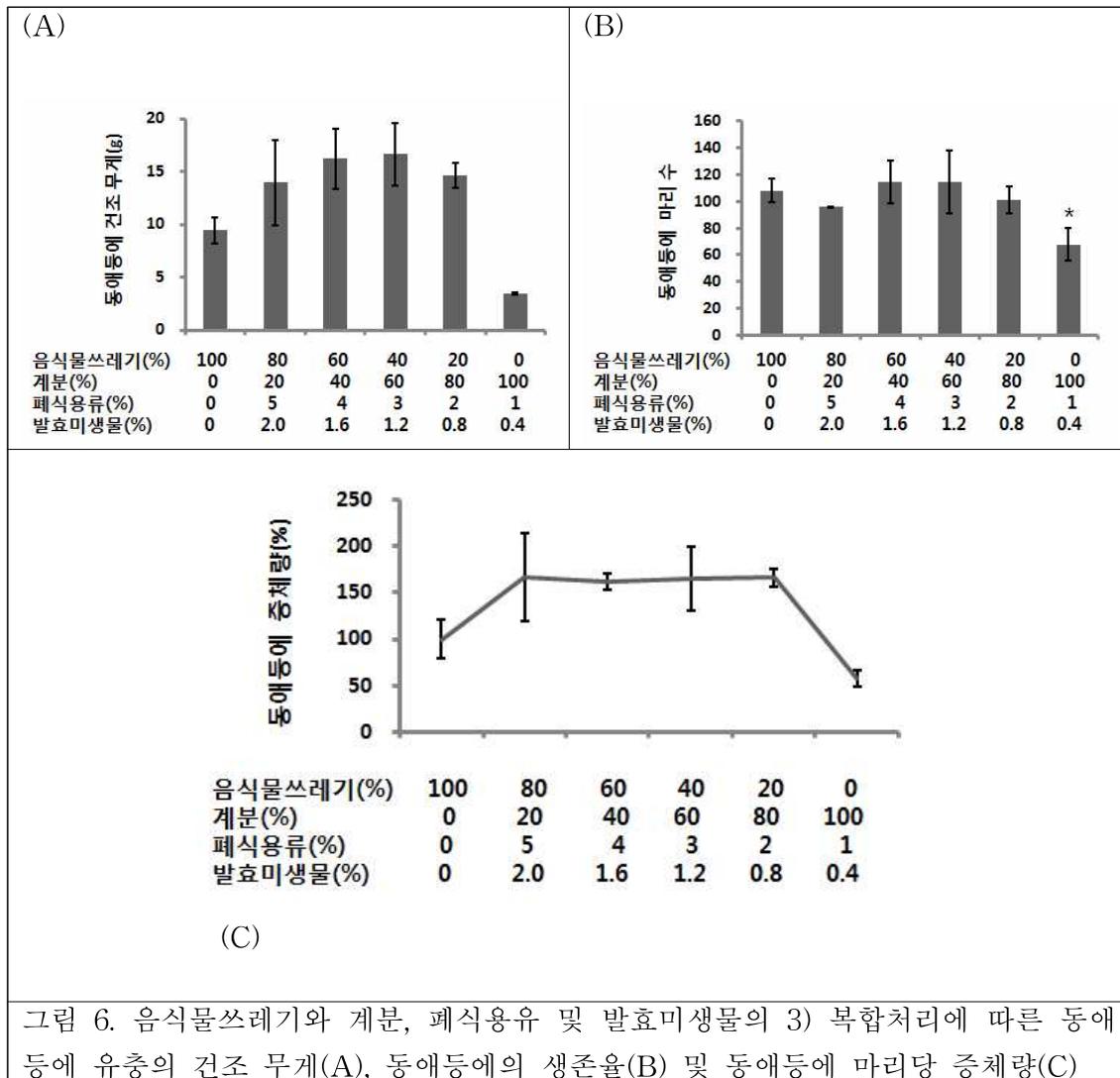
처리구에 비하여 통계적으로 유의차가 나타나지 않았으며, 1)의 마리당 증체량은 60% 음식물쓰레기 + 40% 계분 + 2.0% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물 처리구가 음식물쓰레기 단독 처리구에 비해 191.9%의 증체량을 나타내었다(그림 4).



2)의 결과, 1)의 결과와 유사하게 0% 음식물쓰레기 + 100% 계분 + 1.0% 폐식용유 + 2.0% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구에서 음식물쓰레기 단독 처리구보다 높은 생육성적을 나타내었으며, 그 중 40% 음식물쓰레기 + 60% 계분 + 3.0% 폐식용유 + 1.2% 발효미생물 처리구가 가장 높은 생육성적을 나타내었다. 2)의 생존율 분석결과, 0% 음식물쓰레기 + 100% 계분 + 5.0% 폐식용유 + 2.0% 발효미생물 처리구 및 80% 음식물쓰레기 + 20% 계분 + 5.0% 폐식용유 + 4.0% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 통계적으로 유의차가 나타나지 않았으며, 2)의 마리당 증체량은 40% 음식물쓰레기 + 60% 계분 + 3.0% 폐식용유 + 1.2% 발효미생물 처리구가 음식물쓰레기 단독 처리구에 비해 169.2%의 증체량을 나타내었다(그림 5).



3)의 결과, 1) 및 2)의 결과와 유사하게 0% 음식물쓰레기 + 100% 계분 + 1.0% 폐식용유 + 0.4% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구에서 음식물쓰레기 단독 처리구보다 높은 생육성적을 나타내었으며, 그 중 40% 음식물쓰레기 + 60% 계분 + 3.0% 폐식용유 + 1.2% 발효미생물 처리구가 가장 높은 생육성적을 나타내었다. 3)의 생존율 분석결과, 0% 음식물쓰레기 + 100% 계분 + 1.0% 폐식용유 + 0.4% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 통계적으로 유의차가 나타나지 않았으며, 3)의 마리당 증체량은 20% 음식물쓰레기 + 80% 계분 + 2.0% 폐식용유 + 0.5% 발효미생물 처리구가 음식물쓰레기 단독 처리구에 비해 166.1%의 증체량을 나타내었다(그림 6).



#### 나. 먹이원별 및 첨가수준별 동애등에 생체 내 지질 함량 및 지방산 성분 분석

먹이원 및 먹이원의 첨가수준에 의한 동애등에 생체 내 지질 함량 및 지방산 조성을 비교하였다. 분석에 사용된 처리구는 100% 건조 음식물쓰레기(T1), 40% 건조 음식물쓰레기 + 60% 계분(T2), 100% 건조 음식물쓰레기 + 5% 폐식용유(T3), 100% 건조 음식물쓰레기 + 1.2% 발효미생물(T4) 및 60% 건조 음식물쓰레기 + 40% 계분 + 2% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물(T5) 등 5개 처리구에 대해 수행하였다. 지질함량 분석은 농업기술 실용화 재단에 의뢰해 분석하였으며, 지방산 조성 분석은 한국품질시험원에 의뢰하여 분석하였다.

먹이원별 및 첨가수준별 동애등에 생체 내 지질 함량의 비교 분석 결과, 모든 처리구에서 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 조지방이 증가하는 결과를 나타내었으며, 특히 60% 건조 음식물쓰레기 + 40% 계분 + 2% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물(T5) 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 조지방 함량 뿐만 아니라 생체중량에서도 179.51%가 증가되는 결과를 나타내었다 (표 1).

표 1. 먹이원별 및 첨가수준별 동애등에 건조분말의 영양성분 분석

항목 \ 처리구	T1	T2	T3	T4	T5
수분	9.34 %	10.46 %	8.84 %	9.73 %	11.28 %
조단백질	36.72 %	35.91 %	36.86 %	36.12 %	36.56 %
조지방	29.50 %	32.03 %	30.85 %	33.0 %	33.87 %
조회분	11.31 %	7.95 %	10.59 %	8.11 %	8.03 %

또 한편으로, 먹이원별 및 첨가수준별 동애등에 생체 내 지방산의 조성은 100% 건조 음식물쓰레기(T1)와 상기 결과에서 가장 높은 조지방 함량을 나타낸 60% 건조 음식물쓰레기 + 40% 계분 + 2% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물(T5) 처리구를 비교분석 하였다. 그 결과, myristoleic acid 및 palmitoleic acid를 제외한 hems 지방산의 함량이 음식물쓰레기 단독 처리구(T1)에 비하여 증가하였다(표 2 ).

표 2. 표 1. 먹이원별 및 첨가수준별 동애등에 건조분말의 지방산 조성 분석

약어	지방산	단위	T1	T5
C4:0	Butyric acid	g/100g	불검출	불검출
C6:0	Caproic acid	g/100g	0.0001	0.0003
C8:0	Caprylic acid	g/100g	0.001	0.002
C10:0	Capric acid	g/100g	0.15	0.21
C11:0	Undecanoic acid	g/100g	0.002	0.003
C12:0	Lauric acid	g/100g	2.6	3.4
C13:0	Tridecanoic acid	g/100g	0.002	0.003
C14:0	Myristic acid	g/100g	0.46	0.55
C14:1	Myristoleic acid	g/100g	0.011	0.008
C15:0	Pentadecanoic acid	g/100g	0.012	0.024
C15:1	cis-10-Pentadecenoic acid	g/100g	불검출	불검출
C16:0	Palmitic acid	g/100g	1.46	2.36
C16:1	Palmitoleic acid	g/100g	0.18	0.15
C17:0	Heptadecanoic acid	g/100g	0.015	0.027
C17:1	cis-10-Heptadecenoic acid	g/100g	0.009	0.012
C18:0	Stearic acid	g/100g	0.29	0.32
C 1 8 : 1 , trans	Oleic acid	g/100g	1.04	1.57
C18:1, cis		g/100g		
C 1 8 : 2 , trans	Linoleic acid	g/100g	1.02	1.64
C18:2, cis		g/100g		
C18:3n-3	$\alpha$ -Linolenic acid	g/100g	0.001	0.007
C18:3n-6	$\gamma$ -Linolenic acid	g/100g	불검출	0.002
C20:0	Arachidic acid	g/100g	불검출	0.012
C20:1	cis-11-Eicosenoic acid	g/100g	불검출	불검출
C20:2	cis-11,14-Eicosadienoic acid	g/100g	0.001	0.002
C20:3n-3	cis-11,14,17-Eicosadienoic acid	g/100g	0.02	0.037
C20:3n-6	cis-8,11,14-Eicosadienoic acid	g/100g		
C20:4n-6	Arachidonic acid	g/100g	0.018	0.025

C20:5n-3	cis-5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic	g/100g	0.04	0.05
C21:0	Henicosanoic acid	g/100g	불검출	불검출
C22:0	Behenic acid	g/100g	불검출	불검출
C22:1n-9	Erucic acid	g/100g	불검출	불검출
C22:2	cis-13,16-Docosadienoic acid	g/100g	불검출	불검출
C22:6n-3	cis-4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid	g/100g	불검출	불검출
C23:0	Tricosanoic acid	g/100g	불검출	불검출
C24:0	Lignoceric acid	g/100g	불검출	불검출
C24:1	Nervonic acid	g/100g	불검출	불검출

- 1) 분석기기 = GC/MS
- 2) 불검출 = 검출되지 않음 (< 정량한계)
- 3) 정량한계 = 0.001 g/100 g (분석가능한 결과치)
- 4) 분석 조건 = 100 °C - 5 min , 4 °C/min - 240 °C - 20 min  
Injection Temp. 250 °C  
Interface Temp. 250 °C

#### 다. 동애등으로부터 지질 추출 후 부산물로부터 천연방부제 추출기술 개발

주관기관인 그린테코(주)으로부터 동애등에 유충으로부터 지질을 추출한 건조 부산물을 분양 받았다. 동애등에 건조 부산물로부터 천연방부제를 최대로 추출하기 위하여 동애등에 건조 부산물에 각각 0, 1, 5, 10, 20 및 30%의 acetic acid가 포함된 추출 용매를 부가한 다음, 100°C에서 10, 30 및 60분 처리하였다. 이들 각각의 처리구별로 그람음성균인 대장균에 대하여 항균활성을 분석하였다. 그 결과, acetic acid 20%가 포함된 추출용매를 동애등에 건조 부산물에 부가하여, 100°C에서 30분간 처리했을 때 가장 높은 항균활성을 나타내었다. 각각의 처리구에 대한 항균활성은 동애등에 건조 분말 추출물(5,000ug/10ul)을 이용하여 분석하였다(그림 7). 상기 결과로부터 지질을 추출한 탈지 동애등에 부산물에서 천연방부제 유효 성분을 대량 추출할 수 있는 기술을 확립하였다 (그림 8).

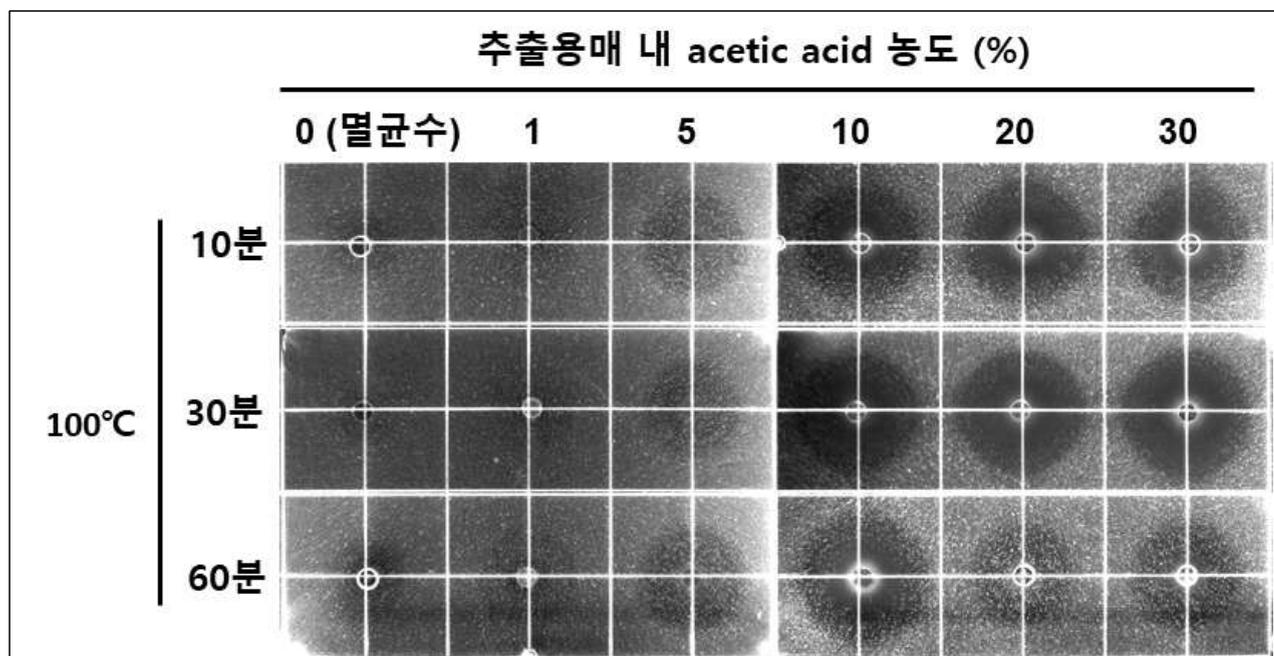


그림 7. 동애등에로부터 지질 추출 후 부산물로부터 천연방부제 최대 추출을 위한 추출용매의 최적 처리 조건 구명. 대장균(*E. coli*,  $4 \times 10^6$  cfu/ml)에 대한 동애등에 건조 부산물의 추출 조건별 항균활성 분석

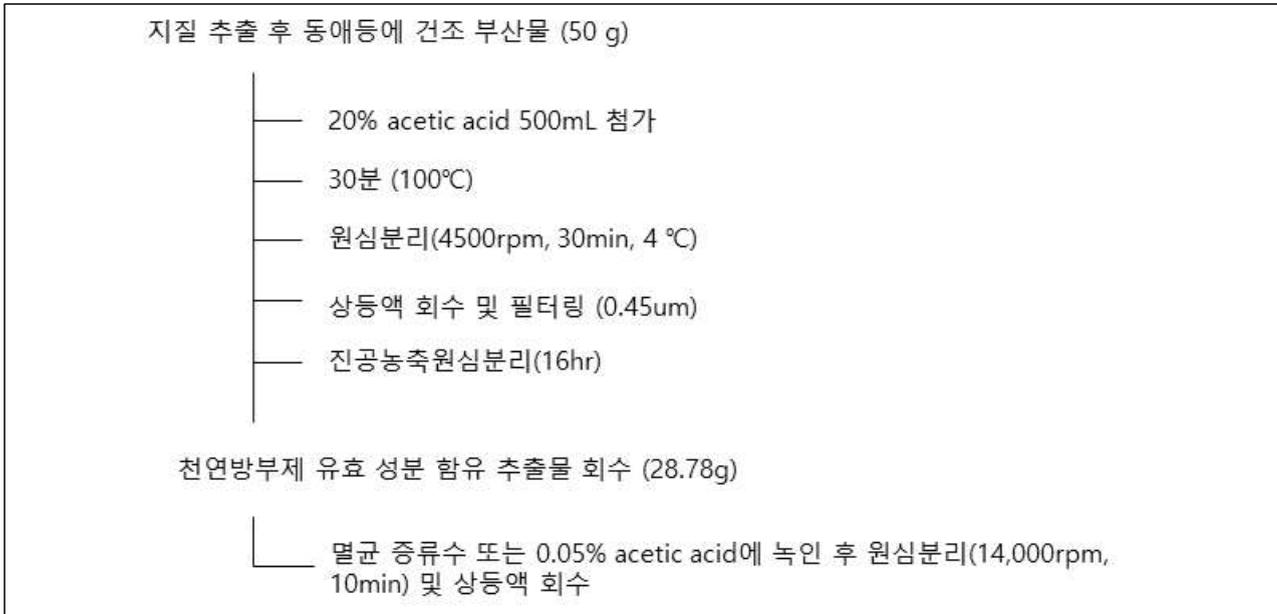


그림 8. 동애등에 유충으로부터 지질 추출 후 천연방부제 유효성분의 대량 추출을 위한 최적 추출 방법.

상기 방법에 의해서 추출한 탈지 동애등에 추출물 내 천연방부제 유효성분을 정량적으로 분석하기 위하여, 대장균(*E. coli*)과 황색포도상구균(*S. aureus*)에 대한 melittin의 농도별 inhibition zone의 크기로 작성한 standard curve의 방정식에 도입하여 탈지 동애등에 추출물 내 항균물질을 정량화 하였다(그림 9). 그 결과, 동애등에 건조 분말 5,000ug로부터 그람음성균인 대장균에 대해서는 melittin의 약 19.7ug 해당되는 항균활성물질이 추출되었으며, 그람양성균인 황색포도상구균에 대해서는 melittin의 약 21.3ug 해당되는 항균활성물질이 추출되었다. 즉, 상기 방법을 사용하면 탈지 동애등에 건조분말 1kg으로부터 그람음성균인 대장균에 대해서는 melittin의 2.3g에 해당되는 항균활성물질을 추출할 수 있으며, 그람양성균인 황색포도상구균에 대해서는 melittin의 2.45g에 해당되는 항균활성물질을 추출할 수 있다(그림 9).

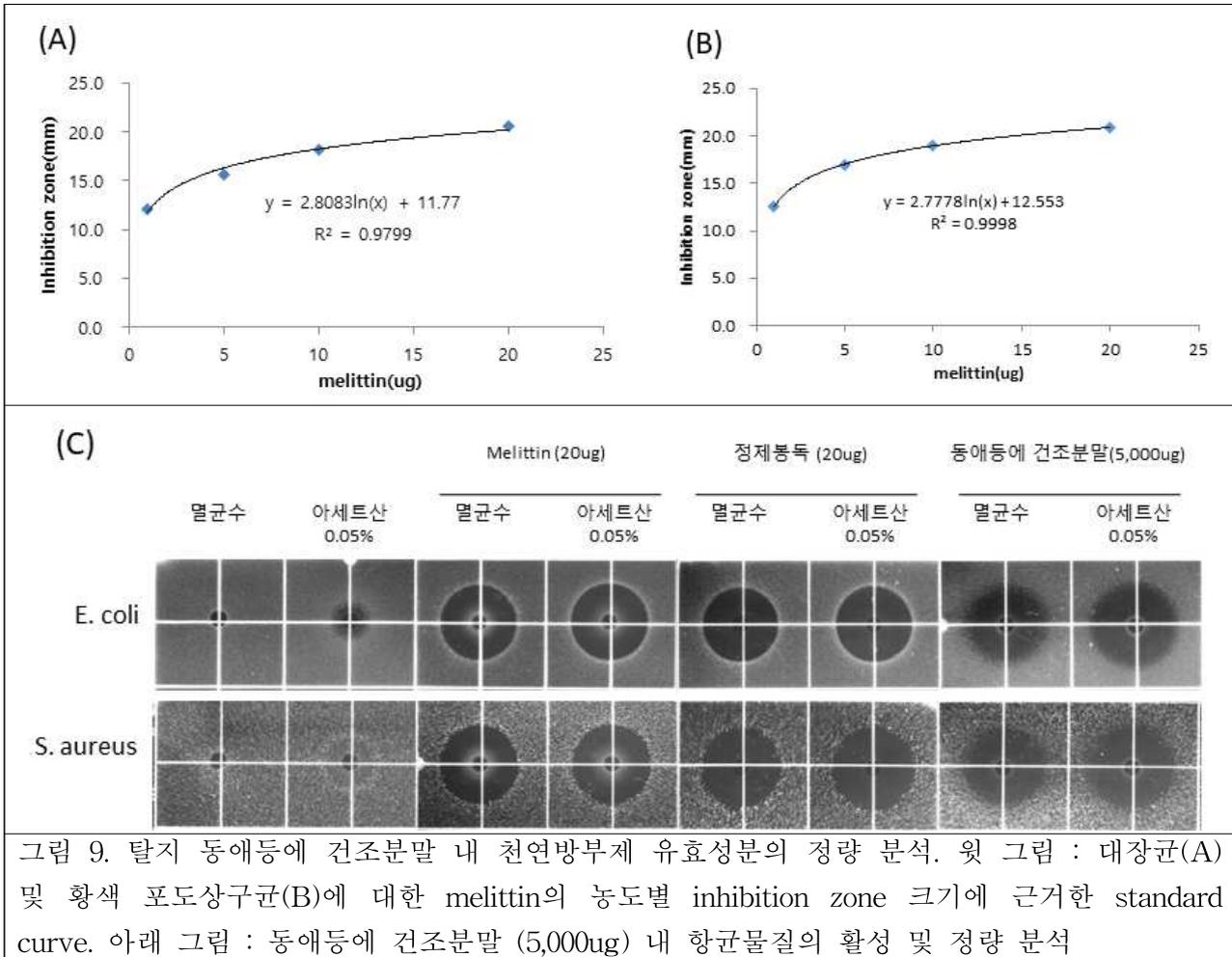


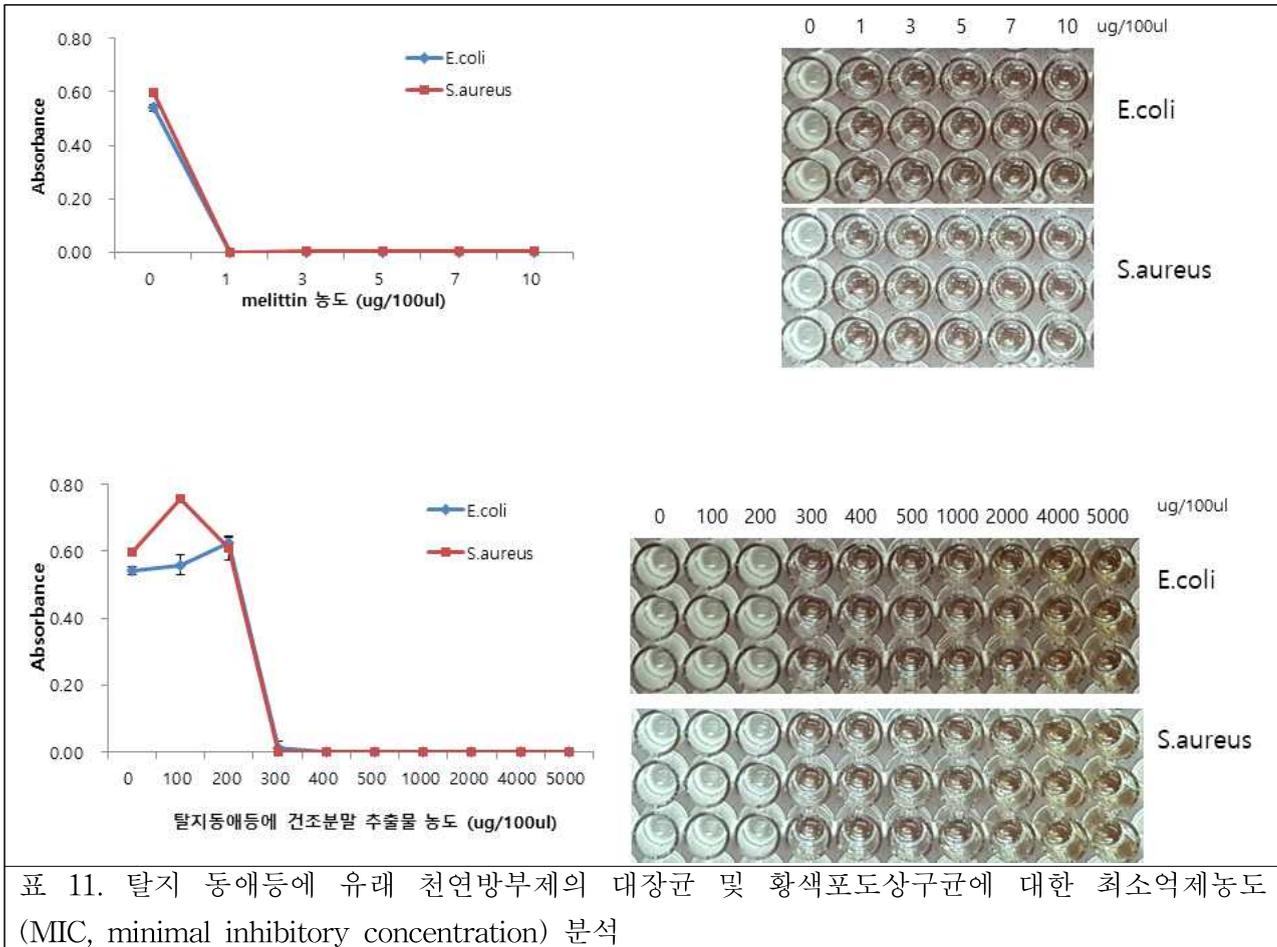
그림 9. 탈지 동애등에 건조분말 내 천연방부제 유효성분의 정량 분석. 위 그림 : 대장균(A) 및 황색 포도상구균(B)에 대한 melittin의 농도별 inhibition zone 크기에 근거한 standard curve. 아래 그림 : 동애등에 건조분말 (5,000ug) 내 항균물질의 활성 및 정량 분석

**라. 탈지 동애등에로부터 추출한 천연방부제의 활성분석**

곤충 유래 항균펩타이드들은 현재 상용중인 항생제들에 대해 내성을 가지는 미생물들에 의해 발생하는 심각한 감염증들을 치료하기 위한 새로운 계열의 항생제 후보물질로서 많은 주목을 받아왔다. 그러나 항균펩타이드들은 사람과 병원체로부터 유래된 단백질가수분해효소의 공격으로부터 영향을 받기 쉬운 구조를 가지고 있으며, 이러한 취약점은 항균 펩타이드를 치료제 및 사료첨가제로써 개발하는데 있어 심각한 방해요소로 작용하는 것으로 알려져 있다. 따라서 탈지 동애등에 유래 항균물질의 단백질가수분해효소에 대한 안정성을 분석하기 위하여, 단백질가수분해효소로는 trypsin 및 chymotrypsin을 사용하였으며, 대조 천연 항균물질은 Sigma사의 melittin과 (주)청진바이오텍의 정제봉독을 사용하였다. 이때 사용된 melittin, 정제봉독 및 동애등에 유래 항균물질은 멸균증류수에 녹여 실험에 사용하였다. Trypsin(50uM) 및 chymotrypsin(50uM)을 동애등에 유래 항균물질, melittin 및 정제봉독에 복합 처리한 다음, 37°C에서 24시간 정치 후 단백질가수분해효소에 대한 안정성을 방사선 확산 분석을 통하여 비교 분석하였다. 그 결과, melittin 및 정제봉독의 경우 trypsin(50uM) 및 chymotrypsin(50uM)을 복합 처리한 경우, 24시간 후에 거의 항균활성을 나타내지 않아, 실험에 사용된 20ug의 melittin 및 정제봉독의 대부분이 단백질가수분해효소에 의해서 분해되는 것으로 판단된다. 이에 반해, 탈지 동애등에 유래 항균물질은 trypsin(50uM) 및 chymotrypsin(50uM)을 복합 처리에 의해 극히 일부 분해가 일어났으나, 대부분은 단백질가수분해효소에 높은 저항성을 가지는 것으로 판단

된다(표 10).

액체배지에서 자란 대수증식기의 대장균 및 황색포도상구균을  $1 \times 10^6$  cell/mL가 되도록 희석하여, 90  $\mu$ L씩 96-well plate에 분주한 후, serial dilution법으로 희석한 시료를 농도별로 10  $\mu$ L씩 주입한 다음, 37°C에서 24 시간동안 배양기에서 배양하여 흡광도 (OD600)를 측정하였다. 그 결과, melittin의 MIC(minimal inhibitory concentration) 범위는 대장균 및 황색포도상구균 둘다에 대해 1ug/100ul로 측정되었으며, 탈지 동애등에 항균물질의 MIC 범위는 그람음성균인 대장균 및 그람양성균인 황색포도상구균에 대해 200-300ug 건조분말추출물/100ul로 측정되었다(표 11).



탈지 동애등에 천연방부제의 다양한 인축 병원균에 대하여 최저성장저해 농도(MIC: minimum inhibitory concentration)를 측정하여 분석하였다. 실험에 사용된 인·축 유해 세균류로는 Enterococcus faecalis, Streptococcus mutans, Salmonella pullorum, Salmonella typhimurium, Salmonella enteritidis 등 5종과 Candida albicans 진균 1종을 사용하였다. 그 결과, E. faecalis, S. marcescens, S. pullorum, S. typhimurium 등 5종 세균에 대해 탈지 동애등에 건조분말 추출물의 MIC 범위는 100 ~ 300ug/100ul로 측정되었으며, 충치균인 S. mutans 및 진균류인 C. vaginitis에 대한 MIC 범위는 각각 400 ~ 500ug/100ul 및 500 ~ 1,000ug/ul로 상기 7종 세균에 비하여 다소 높게 측정되었다(표 12).

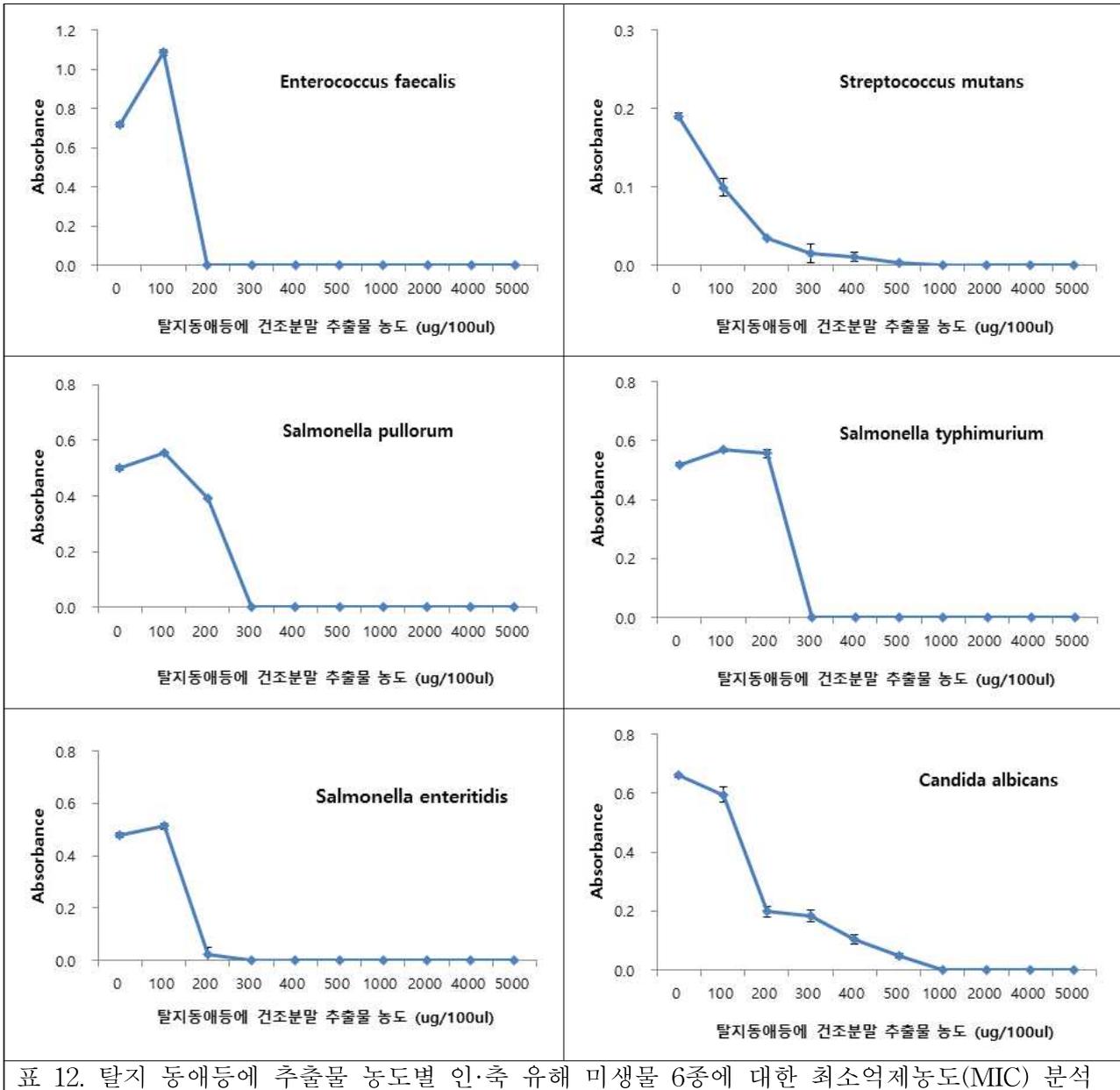


표 12. 탈지 동애등에 추출물 농도별 인·축 유해 미생물 6종에 대한 최소억제농도(MIC) 분석

현재까지 항균펩타이드(antimicrobial peptide; AMP)에 대해 내성을 가지는 Burkholderia cepacia 및 Serratia marcescens 2종의 균주가 보고되었는데, 이들 균주는 외막이 AMP와 반응성이 없거나 AMP에 대한 분해효소를 생산하기 때문인 것으로 판단되고 있다. 또한, 본 연구에서는 버섯 갈반병의 주요 병원균인 Pseudomonas tolaasii 또한, AMP에 대한 내성을 가지는 것으로 확인되었다. 이들 항균펩타이드 내성균에 대해 melittin과 탈지 동애등에 추출물의 항균활성을 비교 분석한 결과, melittin은 S. marcescens와 P. tolaasii에 대해 어떠한 항균활성을 나타내지 못하는 반면에, 탈지 동애등에 항균활성추출물은 AMP 내성균에 대해 강력한 항균활성을 나타내었다 (표 13).

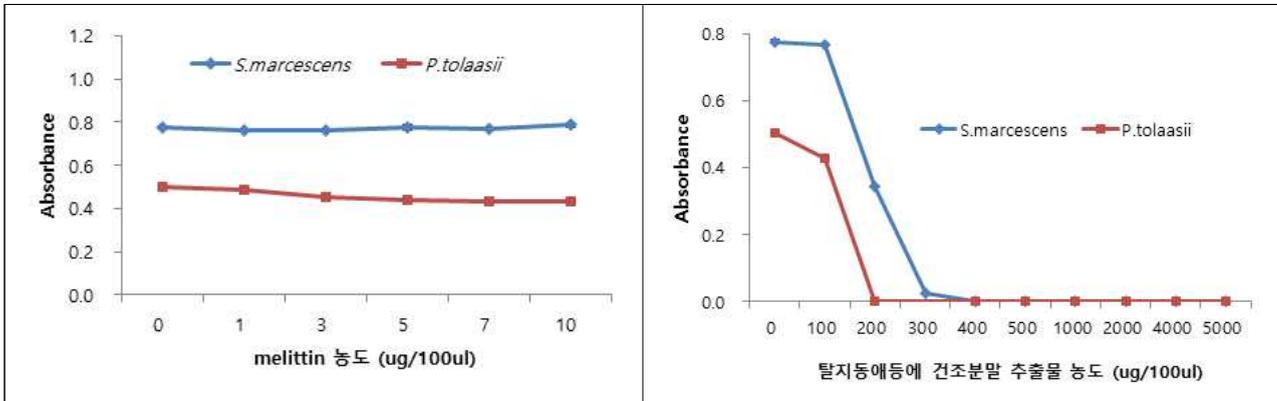


표 13. Melittin 대비 탈지 동애등에 유래 항균활성추출물의 항균펩타이드 내성균(*Serratia marcescens* 및 *P. tolaasii*)에 대한 항균활성 분석

현재까지 보고된 항균펩타이드(antimicrobial peptide; AMP)는 화학 합성 항생제와 마찬가지로 인·축 유해균 및 유익균에 대한 선택성이 없는 것으로 보고되어 있다. 동애등에 항균활성 추출물이 인·축 유해균 및 유익균에 선택성을 가지는지 확인하기 위하여, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus casei* 및 *Lactobacillus fermentum* 유산균 3종에 대하여 melittin과의 항균활성을 비교하였다. 그 결과, melittin은 유해균을 저해하는 농도로 유익균을 사멸시키는 반면에, 동애등에 항균활성물질은 유해균을 저해하는 농도의 약 5배 이상의 농도에서 유익균의 성장을 억제하였다(표 14).

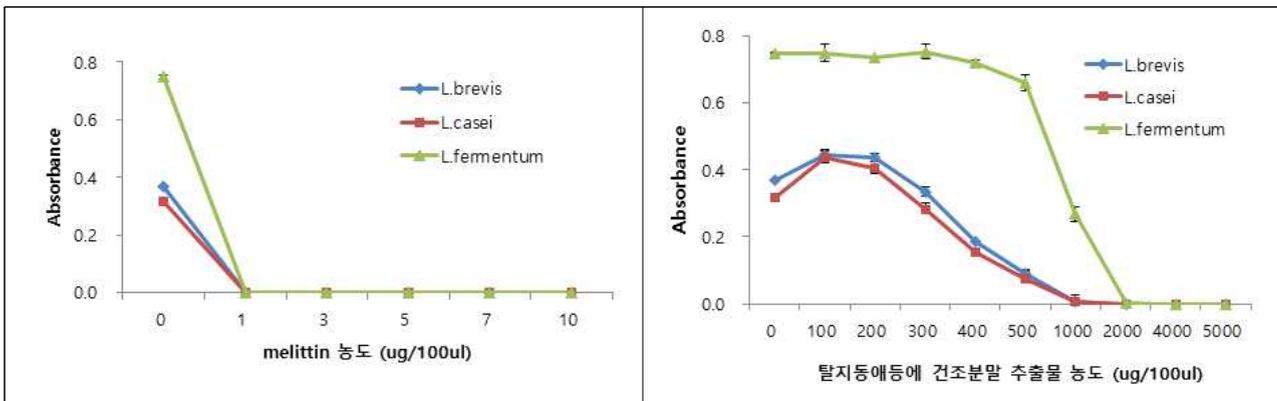


표 14. Melittin 대비 동애등에 유래 방부활성추출물의 *L. brevis*, *L. casei* 및 *L. fermentum* 유산균 4종에 대한 선택적 저해 활성 분석

**마. 탈지 동애등에 유래 천연방부제 유효성분의 세포독성 분석**

탈지 동애등에 유래 항균물질의 세포독성을 확인하기 위하여 인체 소장 상피세포(Caco-2 cell)에 대해 동애등에 건조분말 추출액의 농도별 MTT assay를 수행하여 세포 생존율(cell viability)을 확인하였다. 그 결과, 100 ~ 3,000ug/ml 탈지 동애등에 건조분말 추출액의 첨가 시에는 무첨가구(세포 생존율 : 100%)에 비하여 오히려 높은 세포 생존율(105.5~121.1%)을 나타내었고, 4,000ug/ml 건조분말 추출액의 첨가 시에는 무첨가에 비하여 세포 생존율이 91.4%로 낮게 나타났으나 통계적 유의성은 인정되지 않았다. 그러나, 5,000ug/ml 탈지 건조분말 추출액의 첨가 시에는 무첨가에 비하여 세포 생존율이 43.0%로 낮게 나타나 세포독성이 인정되었다. 따라서, 탈지 동애등에 유래 항균물질은 4,000ug/ml고농도 처리로도 매우 높은 인체 안전성을

가지는 것으로 판단할 수 있었다(표 15).

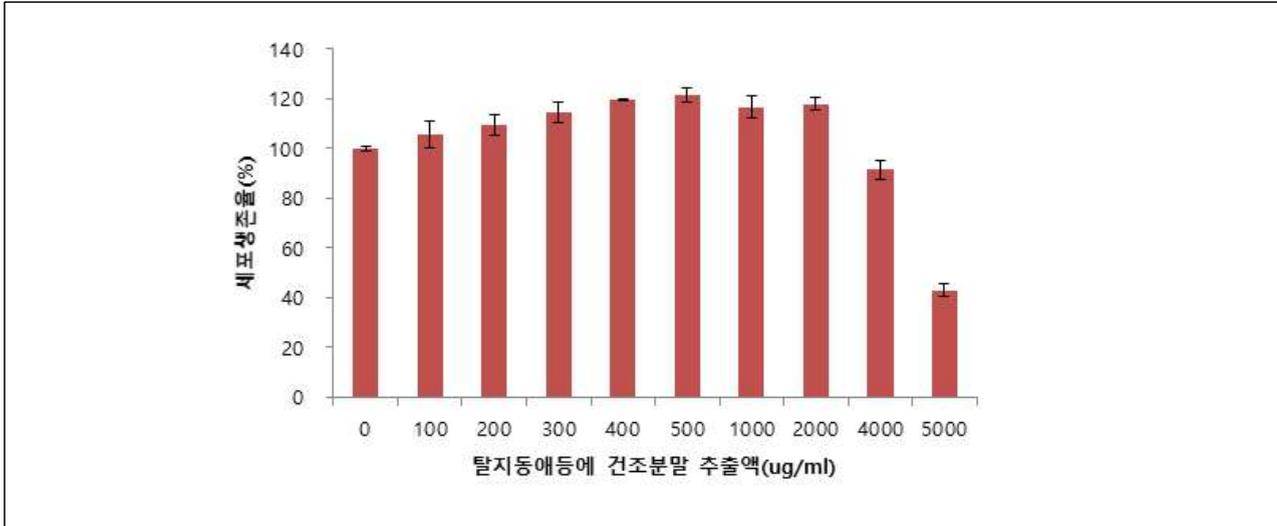


표 15. MTT assay를 통한 탈지 동애등에 유래 단백질가수분해효소 저항성을 가지는 천연방부제 유효성분 함유 추출물의 세포독성 분석

**바. 동애등에의 생리장애 요인의 저감화 기술 개발**

최근 국립농업과학원의 보고서에 의하면 동애등에의 생리 장애의 요인으로 음식물쓰레기의 높은 염분 농도와 저온 장애를 주요인으로 보고하였다. 즉, 염분 농도 의존적으로 증체 무게 및 사료 섭취량이 감소하는 결과를 나타내, 동애등에를 이용한 음식물쓰레기의 퇴비화, 동애등에 유충을 이용한 사료화 및 동유등에 유래 바이오디젤 대량 생산을 위해서는 염분 저감화는 필수 불가결한 요인으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 음식물쓰레기의 높은 염분 농도와 저온 문제를 동시에 해결할 수 있을 것으로 판단되는 생석회(CaO)를 농도별로 처리하여 습식율, 생존율, 증체량 등을 분석하였다. 본 실험에 사용한 생석회(CaO)는 물과 반응하여 수산화칼슘 [Ca(OH)<sub>2</sub>] 을 만들 때 높은 열 [CaO + H<sub>2</sub>O = Ca(OH)<sub>2</sub>+ 15.2 Kcal] 을 발생시킨다. 또한, 물과 반응한 생석회는 Ca(OH)<sub>2</sub>로 전환되고 전환된 Ca(OH)<sub>2</sub>는 NaCl과 반응하여 CaCl<sub>2</sub>로 전환되어 염분을 감소하는 효과를 나타낸다. 생리 저감제로 선발한 생석회의 농도별 처리에 의한 동애등에의 생육특성을 분석하기 위하여, 전년도 연구결과에서 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 높은 증체 효과(191.9%)를 나타낸 복합 사료(60% 음식물쓰레기 + 40% 계분 + 2.0% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물)의 염분 농도를 국내 음식물쓰레기의 평균 염도인 3.45%로 조정된 후 생석회의 농도를 0, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0%로 혼합하였다. 상기 제조한 복합 사료에 부화 후 6일이 경과한 동애등에 유충 (0.3mg/유충) 약 100두를 투입하고, 11일 후에 생육조사를 실시하였다.

그 결과, 생석회 0.5 및 1.0% 첨가구에서는 무처리구에 비하여 농도 의존적으로 동애등에 유충 무게가 증가하였으나, 3.0% 이상 첨가구에서는 유충 무게가 감소하기 시작하여 5.0% 첨가 구에서는 무처리에 비하여 유충의 무게가 급격히 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 생석회의 적정 농도 이상의 고농도의 투입은 동애등에 생리에 오히려 부정적인 요인으로 작용한 것으로 판단된다. 그리고, 생존율은 생석회 무처리구에 시험에 사용된 모든 농도별 첨가구에서 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 또한, 생존율은 생석회 농도별 처리에 따른 동애등에 전체 증체량 및 마리당 증체량은 1.0% 처리구에서 무처리구에 비해 가장 높은 증체량(144.3%)을 나타내었으며, 이후 3.0% 이상 처리구부터는 서서히 감소하다가 5.0% 처리구(87.5%)에서는 급격히 감소하는 결과를 나타

내었다(표 16).

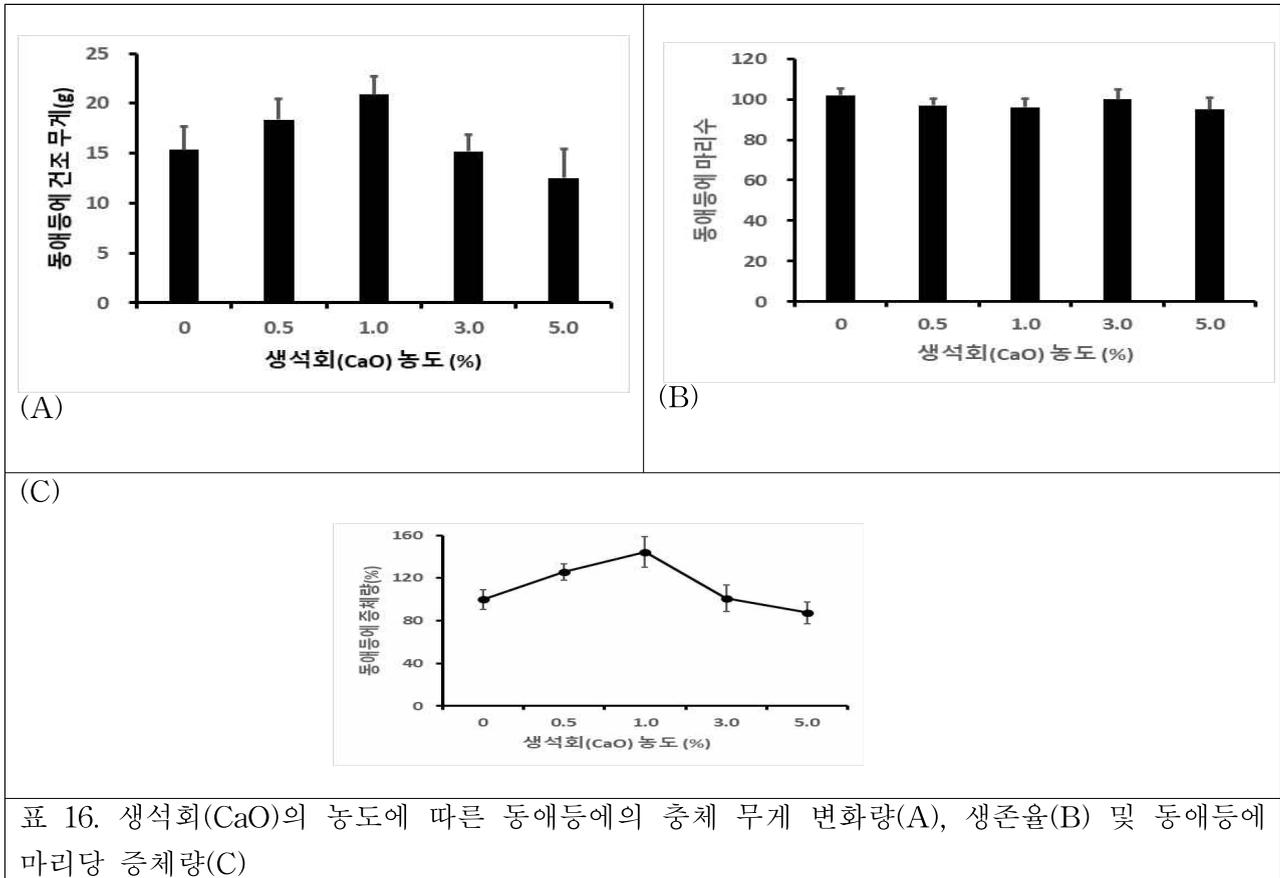


표 16. 생석회(CaO)의 농도에 따른 동애등에의 총체 무게 변화량(A), 생존율(B) 및 동애등에 마리당 증체량(C)

#### 사. 갈색거저리 생체 내 지질함량 향상을 위한 최적 저가 먹이원 선발

갈색거저리 생체 내 지질함량을 향상시킬 수 있는 저가 먹이원을 선발을 위하여 밀기울, 건조 음식물쓰레기, 발효미생물(EM) 및 폐식용유를 단독 및 복합 처리하여 사용하였다. 먼저, 밀기울 및 건조 음식물쓰레기의 복합처리가 갈색거저리 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 밀기울에 건조 음식물쓰레기를 0, 20, 40, 60, 80 및 100%로 혼합한 사료에 1cm 내외 크기의 갈색거저리 유충 약 30두를 투입하고 21일 후에 생육조사를 실시하였다. 그 결과, 건조 음식물쓰레기 20 및 40% 첨가구에서는 밀기울 단독 처리에 비하여 혼합비율 의존적으로 갈색거저리 유충 무게가 증가하였으나, 60% 이상 첨가구에서는 유충 무게가 감소하기 시작하여 건조 음식물쓰레기 100% 첨가 구에서는 오히려 밀기울 단독처리에 비하여 유충의 무게가 급격히 감소하는 결과를 나타내었다. 생존율 분석 결과는 건조 음식물쓰레기 20~100% 첨가구는 밀기울 단독처리에 비하여 통계적 유의성이 인정되지 않았다. 건조 음식물쓰레기 비율에 따른 갈색거저리 전체 증체량은 40% 처리구가 가장 높게 나타났으나, 마리당 증체량은 건조 음식물쓰레기 20 및 40% 처리구에서 밀기울 단독 처리구와 유사하게 나타났으며, 이후 60% 이상 혼합 처리구부터는 서서히 감소하다가 100% 처리구(6.05%)에서는 급격히 감소하는 결과를 나타내었다(표 17).

밀기울과 폐식용유의 복합처리가 갈색거저리 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 밀기울에 폐식용유를 0, 1, 2, 3, 4 및 5%로 혼합한 사료를 각각 조성한 다음, 상기와 동일한 방법으로 갈색거저리의 생육을 조사하였다. 그 결과, 폐식용유의 1 및 2% 처리구는 밀기울 단독 처리구에 비하여 유충의 무게가 증가되는 결과를 나타내었으나 3, 4 및 5% 처리구는 음식물쓰레기 단독 처리구에 비하여 낮은 생육효과를 나타내었다. 생존율 분석 결과는 폐식용유의 모든 처리구가

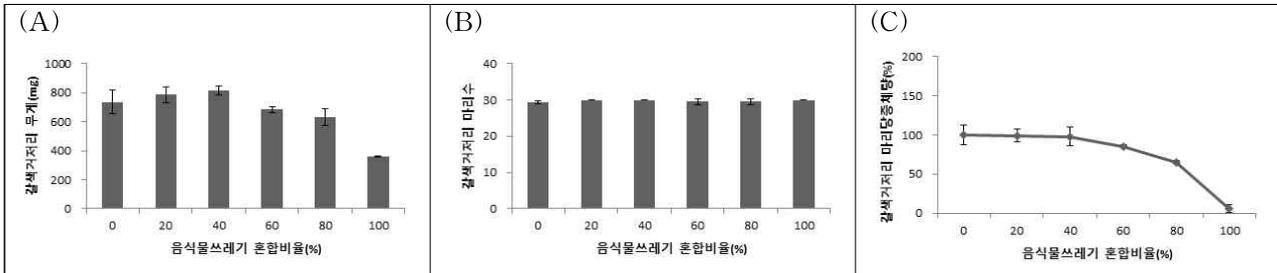


표 17. 밀기울에 건조 음식물쓰레기 혼합처리 비율에 따른 갈색거저리 유충의 건조 무게(A), 생존율(B) 및 마리당 증체량(C)

밀기울 단독처리에 비하여 통계적 유의성이 인정되지 않았으며,

폐식용유 혼합비율에 따른 갈색거저리 전체 증체량은 1 및 2% 처리구는 밀기울 단독 처리구와 유사한 증체량을 나타내었으나, 3, 4 및 5% 처리구는 밀기울 단독 처리구에 비하여 오히려 증체량이 감소되는 결과를 나타내었다 (표 18).

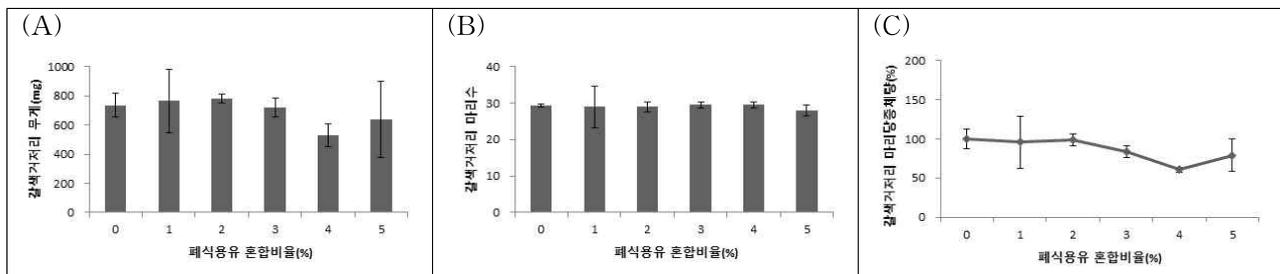


표 18. 밀기울에 폐식용유 혼합처리 비율에 따른 갈색거저리 유충의 건조 무게(A), 생존율(B) 및 마리당 증체량(C)

밀기울과 발효미생물의 복합처리가 갈색거저리 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 밀기울에 발효미생물을 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 및 1.0%로 혼합한 사료를 각각 조성한 다음, 상기와 동일한 방법으로 갈색거저리의 생육을 조사하였다. 그 결과, 발효미생물의 0.6% 처리구는 밀기울 단독 처리구에 비하여 유충의 무게가 증가되는 결과를 나타내었으나, 나머지 처리구는 밀기울 단독 처리구에 비하여 통계적으로 유의하게 체중 증가하는 효과를 나타내지 않았다. 생존율 분석결과, 발효미생물의 모든 처리구는 밀기울 단독 처리구와 유사한 결과를 나타내었으며, 발효미생물 혼합비율에 따른 갈색거저리 마리당 증체량은 0.2% 처리구에서 밀기울 단독 처리구에

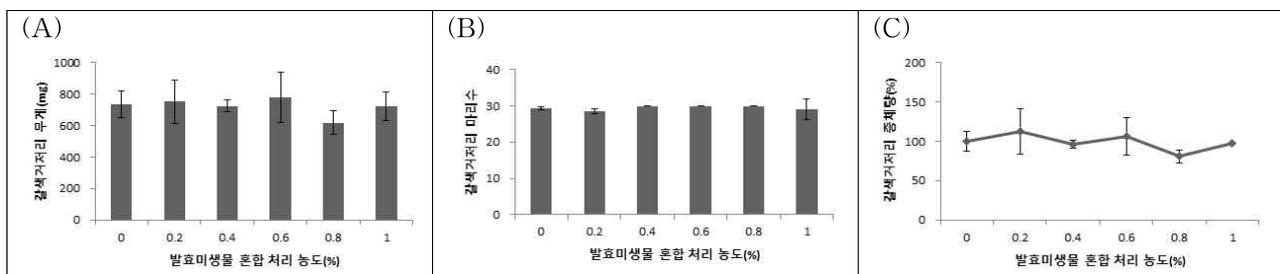


표 19. 밀기울에 발효미생물(EM) 혼합처리 비율에 따른 갈색거저리 유충의 건조 무게(A), 생존율(B) 및 마리당 증체량(C)

비해 가장 높은 증체량(112.74%)을 나타내었다(표 19).

밀기울과 건조 음식물쓰레기, 폐식용유 및 발효미생물의 복합처리가 갈색거저리 생육에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 밀기울의 감소량만큼 건조 음식물쓰레기의 혼합비율(0 ~ 100%)을 증가시키고, 1) 폐식용유(0 ~ 5.0%)와 발효미생물(0 ~ 1.0%)의 농도 둘 다를 증가시키거나, 2) 폐

식용유의 농도는 감소시키고 발효미생물의 농도를 증가시키거나, 또는 3) 폐식용유의 농도는 증가시키고 폐식용유의 농도를 감소시켜 사료에 각각 혼합한 후, 상기와 동일한 방법으로 동애등에를 투입하여 생육을 조사하였다. 1)의 결과, 모든 처리구에서 밀기울 단독 처리구보다 첨가 농도 의존적으로 낮은 생육성적을 나타내었다. 생존율 및 마리당 증체량 또한 밀기울 단독 처리구보다 낮은 생존율과 증체량을 나타내었다(그림 20)

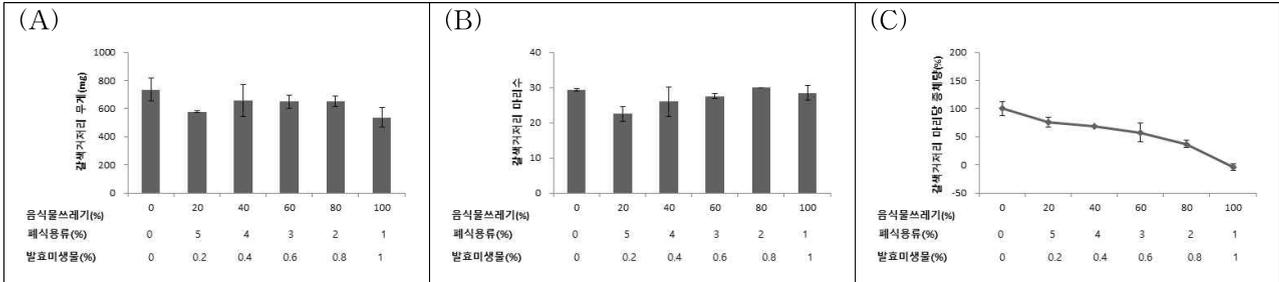


그림 20. 밀기울과 계분, 폐식용유 및 발효미생물의 1) 복합처리에 따른 갈색거저리 유충의 건조 무게(A), 동애등에의 생존율(B) 및 동애등에 마리당 증체량(C)

2)의 결과, 1)의 결과와 유사하게 20% 밀기울 + 80% 건조음식물쓰레기 + 2.0% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구에서 밀기울 단독 처리구보다 낮은 생존율을 나타내었으며, 유충 무게 및 마리당 증체량 또한 밀기울 단독 처리구보다 낮은 생육성적과 증체량을 나타내었다(그림 21)

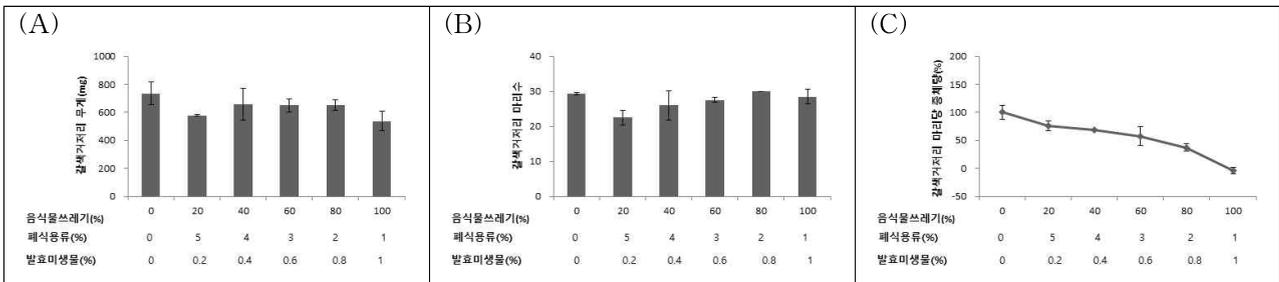


그림 21. 음식물쓰레기와 계분, 폐식용유 및 발효미생물의 2) 복합처리에 따른 갈색거저리 유충의 건조 무게(A), 동애등에의 생존율(B) 및 동애등에 마리당 증체량(C)

3)의 결과, 1) 및 2)의 결과와 유사하게 60% 밀기울 + 40% 건조 음식물쓰레기 + 3.0% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물 처리구를 제외한 모든 처리구에서 밀기울 단독 처리구보다 낮은 생존율을 나타내었으며, 유충 무게 및 마리당 증체량 또한 밀기울 단독 처리구보다 낮은 생육성적과 증체량을 나타내었다(그림 22).

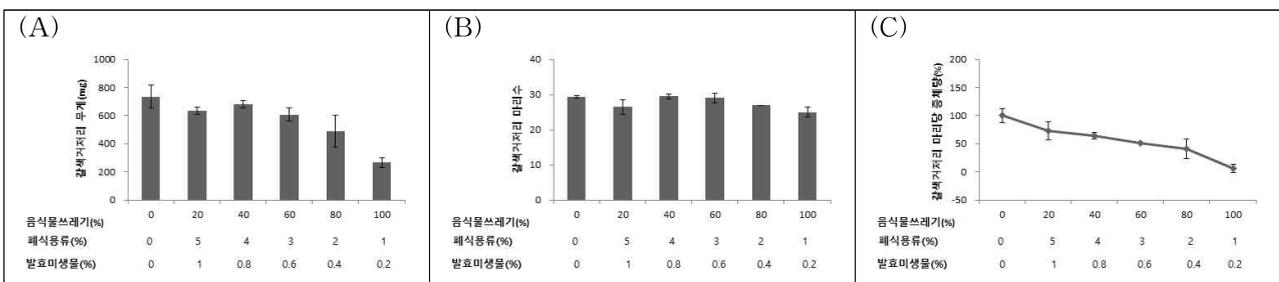
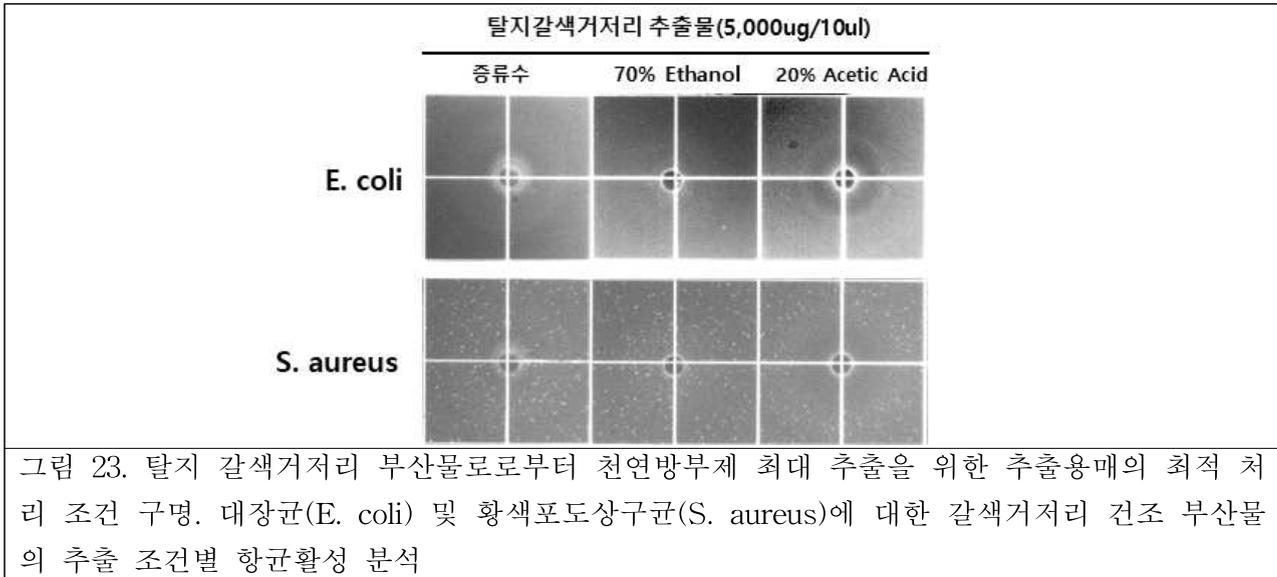


그림 22. 음식물쓰레기와 계분, 폐식용유 및 발효미생물의 3) 복합처리에 따른 갈색거저리 유

**아. 갈색거저리로부터 지질 추출 후 부산물로부터 천연방부제 추출기술 개발**

주관기관인 그린테코(주)으로부터 갈색거저리 유충으로부터 지질을 추출한 건조 부산물을 분양 받았다. 탈지 갈색거저리 건조 부산물로부터 천연방부제를 최대 추출하기 위하여 탈지 갈색거저리 건조분말에 각각에 10배액의 증류수, 70% ethanol 및 20%의 acetic acid가 포함된 추출 용매를 부가한 다음, 100℃에서 30분 처리하였다. 이들 각각의 처리구별로 1X10<sup>6</sup>/ml의 그람음성균인 대장균(*E. coli*) 및 그람양성균 황색포도상구균(*S. aureus*)에 대하여 항균활성을 분석하였다. 그 결과, acetic acid 20%가 포함된 추출용매를 동애등에 건조 부산물에 부가하여 처리했을 때 가장 높은 항균활성을 나타내었다. 각각의 처리구에 대한 항균활성은 탈지 동애등에 건조 분말 추출물(5,000ug/10ul)을 이용하여 분석하였다(그림 23).



상기 방법에 의해서 추출한 탈지 동애등에 추출물 내 천연방부제 유효성분의 최소억제농도(MIC, minimal inhibitory concentration)를 분석하기 위하여 액체배지에서 자란 대수증식기의 대장균 및 황색포도상구균을 1 × 10<sup>6</sup> cell/mL가 되도록 희석한 다음, 90 μL씩 96-well plate에 분주한 후, serial dilution법으로 희석한 시료를 농도별로 10 μL씩 주입한 다음, 37℃에서 24 시간동안 배양기에서 배양하여 흡광도 (OD<sub>600</sub>)를 측정하였다. 그 결과, 탈지 갈색거저리 20% acetic acid 추출물의 MIC(minimal inhibitory concentration) 범위는 그람음성균인 대장균 및

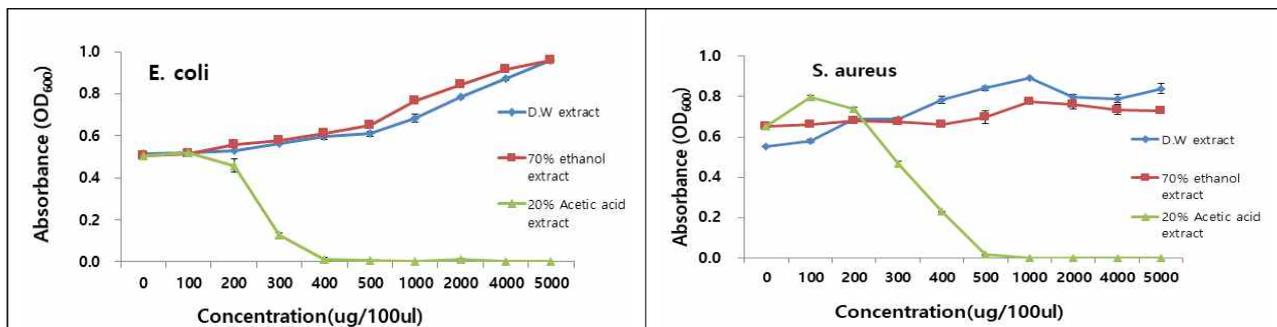


그림 24. 탈지 갈색거저리 유래 천연방부제의 대장균 및 황색포도상구균에 대한 최소억제농도(MIC, minimal inhibitory concentration) 분석

그람양성균인 황색포도상구균에 대해 각각 300-500ug 및 400-6000 ug 추출물/100ul로 측정되었다(그림 24).

탈지 갈색거저리 20% acetic acid 추출물의 다양한 인축 병원균에 대하여 최저성장저해 농도(MIC: minimum inhibitory concentration)를 측정하여 분석하였다. 실험에 사용된 인·축 유해 세균류로는 살모넬라균 3종 (Salmonella pullorum, Salmonella typhimurium, Salmonella enteritidis), 항생제내성균 2종(MRSA : Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus, (MDRPA : Multidrug resistant Pseudomonas aeruginosa)과 진균 1종(Candida albicans)을 사용하였다. 그 결과, S. pullorum, S. typhimurium, S. enteritidis, MRSA, MDRPA 및 C. albicans의 MIC는 각각 1,000, 500, 500, 1,000, 400 및 400ug/100ul로 측정되었다(그림 25).

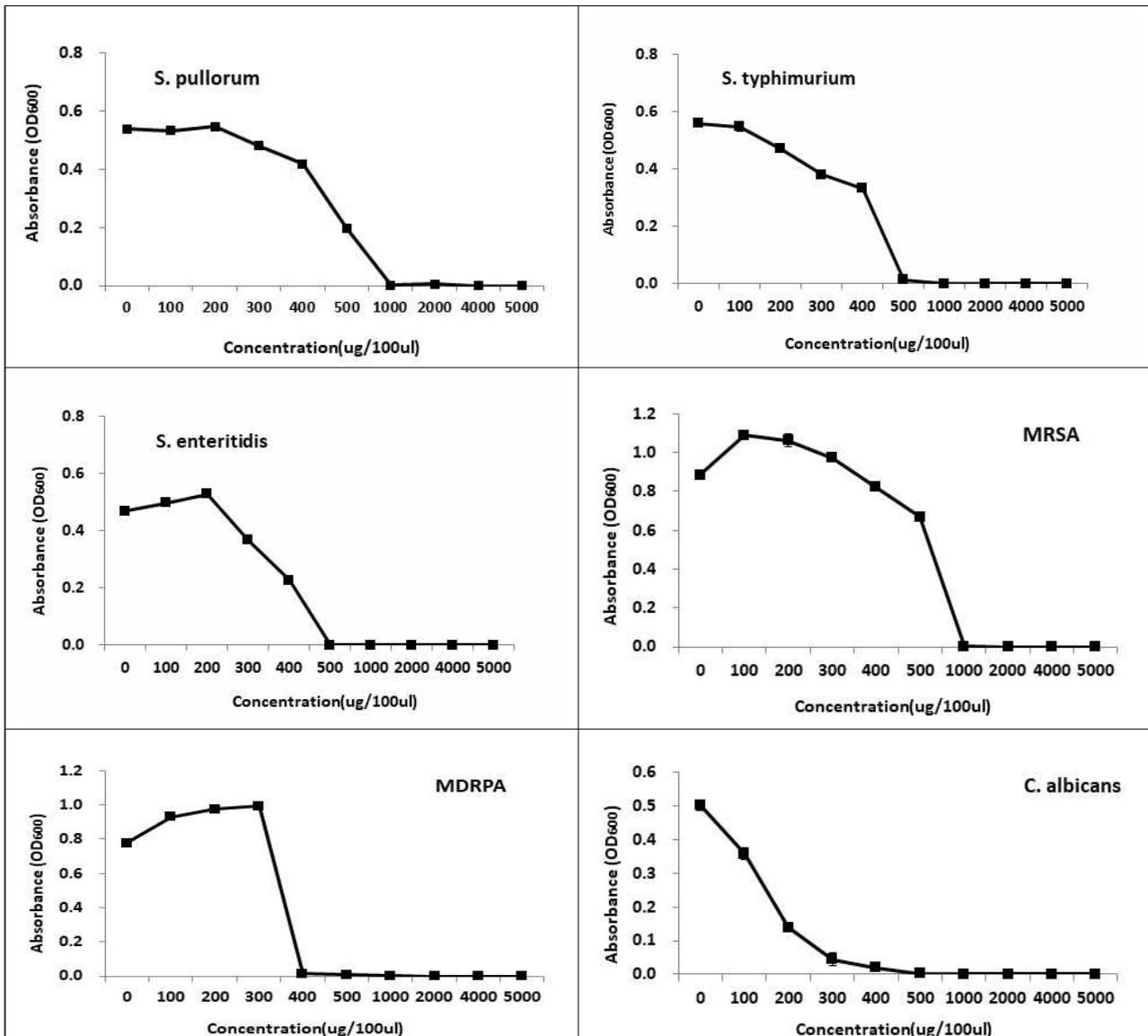


그림 25. 탈지 갈색거저리 추출물의 농도별 인·축 유해 미생물 6종에 대한 최소억제농도(MIC) 분석

3. 바이오에너지 생산용 유망 곤충종 발굴 및 부산물 이용 양어사료 개발(제2협동 : 세종대)

가. 바이오디젤 기준에 적합한 곤충 종 선발

(1) 곤충 목별(파리목, 딱정벌레목, 벌목, 나비목 등) 지질 함량 조사 및 국내 자생종 중 지방 함량이 높은 곤충종 확보

(가) 문헌조사를 통한 지방함량이 높은 곤충 선발 : 4종(갈색거저리 *Tenebrio molitor*, 아메리카왕거저리 *Zophobas atratus*, 꿀벌부채명나방 *Galleria mellonella*, 동애등에 *Hermetia illucens*)

학명	일반명 (국문/영문)	Development stage	Lipid content (% dry matter)	국내 자생 여부
<b>Coleoptera</b> <b>딱정벌레목</b>				
<i>Arophalus sp.</i>	-	Larva	56.8	
<i>Arophalus rusticus</i>	-	Larva	56.1	
<b><i>Tenebrio molitor</i></b>	<b>갈색거저리/mealworm</b>	<b>Larva</b>	<b>55.1</b>	○
<i>Chalcophora sp.</i>	비단벌레과	Larva	53.7	
<i>Scyphophorus acupunctatus</i>	sisal weevil	Larva	50.9	
<i>Pachymerus nucleorum</i>	coconut borer	Larva	49.3	
<i>Paxillus leachei</i>	-	Larva	47.2	
<i>Rhyncophorus phoenicis</i>	african palm weevil	Larva	47.1	
<i>Oileus rimator</i>	-	Larva	47.0	
<i>Passalus punctiger</i>	Passalid Beetle	Larva	44.0	
<b><i>Zophobas atratus</i></b>	<b>아메리카왕거저리/super mealworm</b>	<b>Larva</b>	<b>42.0</b>	○
<i>Apriona germari</i>	뿔나무하늘소	Larva	41.5	○
<i>Rhyncophorus palmarum</i>	팔마롬대왕바구미		38.5	
<i>Oryctes rhinoceros</i>	남방장수풍뎅이	Larva	38.1	○
<i>Trichoderes pini</i>	-		36.7	
<i>Aplagiognathus spinosus</i>	longhorn beetle		36.4	
<i>Callipogon barbatus</i>	바바투스 장수하늘소/ species of flat-faced longhorns beetle	Larva	34.0	
<i>Allomyrina dichotoma</i>	장수풍뎅이/Korean hornworm	Larva	25.2	○
<i>Protaetia brevitarsis</i>	흰점박이꽃무지/white spotted flower chaeper	Larva	19.0	○
<b>Hymenoptera</b> <b>벌목</b>				
<i>Polistes instabilis</i>	paper wasp		62.0	
<i>Pogonomyrmex barbatus</i>	붉은수확개미/red harvest ant		45.8	
<i>Melipona beecheii</i>	-		41.0	
<i>Trigona sp.</i>	stingless bee		41.0	
<i>Atta mexicana</i>	leaf-cutter ant		39.0	
<b>Isoptera</b> <b>흰개미목</b>				
<i>Macrotermes bellicosus</i>	giant termite		46.1	
<i>Liometopum apiculatum</i>	velvety tree ant		42.1	
<i>Macrotermes nigeriensis</i>	african termite		38.4	
<b>Hemiptera</b> <b>노린재목</b>				
<i>Agonoscelis pubescens</i>	cluster bug	Larva	57.3	
<i>Aspongubus viduatus</i>	melon bug	Larva	54.2	
<i>Edessa montezuma</i>	-	Larva	45.9	
<i>Edessa conspersa</i>	-	Larva	45.8	
<i>Acanthocephala declivis</i>	-	Larva	45.0	
<i>Euschistus egglestoni</i>	-	Adult/Larva	45.0	
<i>Edessa petersii</i>	-	Adult/Larva	42.0	
<i>Euschistus strenuus</i>	-	Larva	41.7	

학명	일반명 (국문/영문)	Development stage	Lipid content (% dry matter)	국내 자생 여부
<b>Lepidoptera</b> 나비목				
<i>Phassus triangularis</i>	-	Larva	77.0	
<b><i>Galleria mellonella</i></b>	<b>꿀벌부채명나방/greater wax moth</b>	<b>Larva</b>	<b>60.0</b>	○
<i>Aegiale hesperiaris</i>	tequila giant skipper	Larva	58.6	
<i>Pectinophora gossypiella</i>	분홍솜벌레/pink bollworm	Larva	49.9	
<i>Ostrinia nubilalis</i>	유럽옥수수좀/european corn worm	Larva	46.8	○
<i>Corcyra cephalonica</i>	쌀 명나방/rice moth	Larva	43.3	○
<i>Comadia redtembacheri</i>	red agave worm	Larva	43.3	
<i>Anaphe panda</i>	-	Larva	35.0	
<i>Bombyx mori</i>	누에나방/silkworm	Larva	35.0	○
<i>Antheraea pernyi</i>	산누에나방/chinese oak moth	Adult	34.5	○
<b>Diptera</b> 파리목				
<i>Ephydra hians</i>	alkali fly	Larva	35.9	
<i>Musca domestica</i>	집파리/housefly	Pupa	32.6	○
<b><i>Hermetia illucens</i></b>	<b>동애등애/black sodier fly</b>	<b>Larva</b>	<b>32.0</b>	○
<b>Homoptera</b> 매미목				
<i>Umbonia reclinata</i>	-		33.0	
<b>Orthoptera</b> 메뚜기목				
<i>Brachytrupes membranaceus</i>	tobacco cricket		53.1	
<i>Ruspolia differens</i>	-		46.2	
<i>Gryllus bimaculatus</i>	쌍별귀뚜라미/two-spotted cricket	Adult	14.4	○
<i>Oxya chinensis</i>	베메뚜기/rice grasshopper	Adult	2.0	○

<표 1. 국내·외 다양한 곤충종의 지방함량>

(2) 확보한 곤충 종의 지방산 조성 분석 및 상용화된 식물성 바이오디젤과 비교

(가) 갈색거저리의 지방산 구성 및 함량

①포화지방산 : 불포화지방산 = 21.40 : 78.60

항 목	결과(%)
팔미탁에시드(C16:0)	13.565
미리스탁에시드(C14:0)	4.230
스테아릭에시드(C18:0)	1.990
엔테카노익에시드(C11:0)	0.871
라우릭에시드(C12:0)	0.375
헵타데카노익에시드(C17:0)	0.114
아라키딕에시드(C20:0)	0.109
트리데카노익에시드(C13:0)	0.093
베헤딕에시드(C22:0)	0.050
올레익에시드(C18:1n-9, cis)	43.177
리놀레익에시드(C18:2n-6, cis)	31.321
팔미톨레익에시드(C16:1)	2.250
리놀레딕에시드(C18:2n-6, trans)	1.108
리놀레라이딕에시드(C18:2n-6, trans)	0.257
시스-11,14-아이코사디에노익에시드(C20:2)	0.201
미리스톨레익에시드(C14:1)	0.115
시스-11-아이코사노익에시드(C20:1)	0.113
엘라이딕에시드(C18:1n-9, trans)	0.053

<표 2. 갈색거저리의 지방산 구성 및 함량>

(나) 아메리카왕거저리의 지방산 구성 및 함량

①포화지방산 : 불포화지방산 = 39.59 : 60.41

항 목	결과(%)
팔미티에시드(C16:0)	33.857
스테아릭에시드(C18:0)	2.031
미리스틱에시드(C14:0)	1.118
카프릴릭에시드(C8:0)	0.776
언데카노익에시드(C11:0)	0.751
헵타데카노익에시드(C17:0)	0.618
카프릭에시드(C10:0)	0.127
아라키딕에시드(C20:0)	0.158
베헤닉에시드(C22:0)	0.081
라우릭에시드(C12:0)	0.073
트리코사노익에시드(C23:0)	0.028
올레익에시드(C18:1n-9, cis)	36.561
리놀레익에시드(C18:2n-6, cis)	21.516
리놀레닉에시드(C18:2n-6, trans)	0.767
팔미톨레익에시드(C16:1)	0.673
미리스톨레익에시드(C14:1)	0.323
리놀레라이딕에시드(C18:2n-6, trans)	0.277
시스-11,14-아이코사디에노익에시드(C20:2)	0.164
시스-11-아이코사노익에시드(C20:1)	0.123
엘라이딕에시드(C18:1n-9, trans)	0.088

<표 3. 아메리카왕거저리의 지방산 구성 및 함량>

(다) 동애등에의 지방산 구성 및 함량

①포화지방산 : 불포화지방산 = 61.73 : 38.27

항 목	결과(%)
라우릭에시드(C12:0)	37.318
팔미티에시드(C16:0)	12.96
미리스틱에시드(C14:0)	5.989
스테아릭에시드(C18:0)	2.637
카프릭에시드(C10:0)	1.66
언데카노익에시드(C11:0)	0.643
헵타데카노익에시드(C17:0)	0.165
아라키딕에시드(C20:0)	0.127
베헤닉에시드(C22:0)	0.113
펜타데카노익에시드(C15:0)	0.054
트리코사노익에시드(C23:0)	0.013
리놀레익에시드(C18:2n-6, cis)	16.075
올레익에시드(C18:1n-9, cis)	15.995
팔미톨레익에시드(C16:1)	2.168
리놀레닉에시드(C18:2n-6, trans)	1.769
미리스톨레익에시드(C14:1)	0.119
엘라이딕에시드(C18:1n-9, trans)	0.117
시스-11,14-아이코사디에노익에시드(C20:2)	0.061

<표 4. 아메리카동애등에의 지방산 구성 및 함량>

(라) 꿀벌부채명나방의 지방산 구성 및 함량

①포화지방산 : 불포화지방산 = 40.70 : 47.45

항 목	결과(%)
팔미틱에시드(C16:0)	35.770
스테아릭에시드(C18:0)	2.890
미리스틱에시드(C14:0)	0.640
헵타데카노익에시드(C17:0)	0.660
펜타데카노익에시드(C15:0)	0.280
아라키딕에시드(C20:0)	0.420
라우릭에시드(C12:0)	0.040
리놀레익에시드(C18:2n-6, cis)	7.420
올레익에시드(C18:1n-9, cis)	41.460
팔미톨레익에시드(C16:1)	3.790
시스-11,14-아이코사디에노익에시드(C20:2)	0.164
리놀레닉에시드(C18:2n-6, trans)	2.002

<표 5. 꿀벌부채명나방의 지방산 구성 및 함량>

(마) 식물성 바이오디젤(대두유)의 지방산 구성 및 함량

①포화지방산 : 불포화지방산 = 15.14 : 84.86

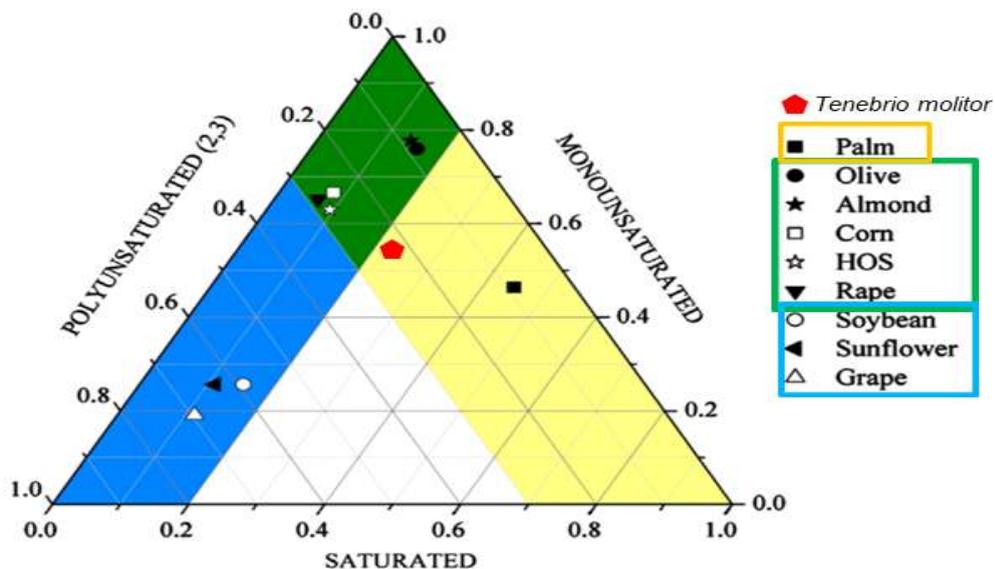
항 목	결과(%)
팔미틱에시드(C16:0)	10.75
스테아릭에시드(C18:0)	4.39
올레익에시드(C18:1)	20.82
리놀레익에시드(C18:2)	51.71
리놀레닉에시드(C18:3)	6.29

<표 6. 대두유의 지방산 구성 및 함량>

(3) 바이오디젤의 세계적 기준(EN14214)에 적합한 곤충 종 최종 선발

(가) EN14214 기준에 의한 식물성 바이오디젤의 분류

- ① 노란색 구역의 바이오디젤 : 세탄값이 좋음
- ② 파란색 구역의 바이오디젤 : 저온유동성이 좋음



<그림 1. 갈색거저리와 다양한 식물 유래 지방산 조성 비교 분석>

③ 갈색거저리의 경우 세탄값은 좋은 편이고, 저온유동성이 조금 떨어지지만 최적 조건과

거의 부합되므로 바이오디젤로 이용하기에 적합하다고 판단되며, 추후 다양한 먹이원을 통해 최적조건의 지방산으로 구성될 수 있을 것이라고 기대한다.

(4) 지방함량이 높은 대상 곤충 4종의 생태조사

(가) 갈색거저리

① 갈색거저리의 학명 및 기원

㉠ 학명 : 갈색거저리 *Tenebrio molitor* Linne

㉡ 분류 : 딱정벌레목, 거저리과 곡물거저리속

특 징	
국내분포지	전국
국외분포지	전세계
형태	유충의 몸길이는 28~35mm, 성충은 15~20mm 이며 유충은 전체적으로 갈색을 띄며 성충은 초기 우화시 유백색이나 점차 황갈색에서 흑갈색으로 변화하여 흑적갈색을 나타냄
식성	원래는 저장곡류의 해충으로 밀가루, 쌀 등의 건조한 곡류를 먹고 살아감
생활사	실온에 놓아둔 채로 두면 1년에 2~3세대가 도는 것으로 관찰됨

<표 7. 갈색거저리의 특징>

② 갈색거저리의 분류학적 특성

㉠ 갈색거저리(*Tenebrio molitor*)는 영어로는 밀웜이라 불리고 중국, 일본, 우리나라에 분포하며, 중국에서는 황분충으로 불린다.

㉡ 갈색거저리는 유럽 또는 아시아에서 근원한 것으로 추정된다.

㉢ 갈색거저리는 절지동물문 곤충강 딱정벌레목 거저리과 곡물거저리속에 속한다.

㉣ 유충의 몸길이는 28~35 mm, 성충은 10~20 mm 이며 유충은 전체적으로 갈색을 띄며 성충은 초기 우화시 유백색이나 점차 황갈색에서 흑갈색으로 변화하여 흑적갈색을 나타낸다.

③ 갈색거저리의 생태

갈색거저리 성충과 유충은 식물성 물질인 곡류나 채소 등을 먹으며 발육기간이 3~4개월로 길다. 열악한 환경에서도 생존 능력이 강한 곤충으로 먹이가 없거나 온도의 변화가 심해도 생존할 수 있다. 이러한 생물학적 특성으로 연중 실내 대량 사육이 가능한 곤충종이다.

알은 투명한 유백색으로 산란할 때 점착물질이 붙어 있어 산란배지나 사육용기에 붙여 산란한다. 알의 크기는 1~1.25 mm 정도의 긴 타원형으로 알 껍질은 무르고 약해 깨지기 쉽다. 알은 온도조건에 따라 약 1~2주일이면 부화한다. 10℃ 이하에서는 부화하지 못하며 15~20℃에서는 3~4주가 소요된다.

유충은 부화 직후 유백색에서 갈색으로 변하며 크기는 2~3mm 정도이다. 유충기간에는 수분이 많은 채소나 과일 등을 먹이로 주면 집단적으로 모여서 먹는 습성을 보인다. 유충의 식성은 성충과 마찬가지로 일반 곡류를 비롯하여 농업부산물, 과일, 채소 등을 모두 섭식할 수 있다. 먹이의 성분은 유충의 발육에 영향을 미치므로 목적에 맞도록 먹이를 배합하여 공급하는 것이 중요하다. 유충기간은 온도가 높아질수록 단축되며 일반적인 사육 온도[25 ± 3℃]에서 약 3~4개월의 발육기간을 거친다. 유충기간동안 평균 12회의 탈피를

거처 발육이 진행되면 몸길이가 28~35 mm까지 자라며 직경은 5~7 mm 정도에 이른다. 종령단계에 이르면 먹이섭식 활동이 중지되고 몸통이 약간 구부러지면서 움직임이 없어지고 번데기가 될 준비를 한다.

번데기는 길이가 약 15~19 mm 정도이며 용화직후에는 유백색으로 연하며 부드러우나 시간이 지나면서 점점 경화가 되어 딱딱해지고 갈색으로 진해진다. 갈색거저리는 유충의 탈피시나 번데기가 되기 직전에 가장 공격을 많이 받아 상처를 입기 쉽다. 번데기 시기에는 사육환경의 영향에 따라 성충으로 우화하는 성공률이 큰 차이를 나타낸다. 주로 50~70%의 습도와 25 ± 3℃ 정도의 사육온도를 유지하는 것이 좋다. 번데기시기의 암컷과 수컷의 구별은 복부 끝부분의 돌기인 유두를 이용하여 구분할 수 있다. 수컷의 유두는 비교적 작고 뚜렷하지 않고 끝부분은 원형으로 나타내고 굽어있지 않지만 암컷 번데기의 유두는 크고 뚜렷하며 끝부분이 납작하여 구분된다. 번데기기간은 일반적으로 1~2주이다.

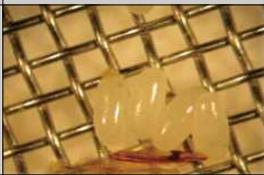
성충은 번데기에서 우화하면 옅은 유백색으로 점차 시간이 지나면서 황백색, 황갈색, 흑갈색으로 변화하며 최종적으로 흑적갈색으로 된 후 암컷과 수컷이 교미를 시작한다. 성충의 산란기는 22~137일로 길며 평균 산란량은 약 100~400여개로 알려져 있다. 갈색거저리는 주로 걸어 다니면서 이동하는데 플라스틱 등 미끄러운 수직경사는 오르지 못한다. 성충은 일생동안 여러 번의 교미를 하며 산란한다. 성충은 밝은곳을 싫어하므로 어둡게 관리하면 좋다. 성충의 몸길이는 15~20 mm정도로 유충의 발육상태에 따라 크기의 차이가 크다.

④ 사육방법

㉠ 사료의 제작

- 밀기울사료 + 채소 및 과일
- 밀기울(60%) + 어분(5%) + 옥수수가루(10%) + 과일, 채소나 작물의 줄기(20%) + 설탕희석액(2%) + 사료용복합비타민(1.5%) + 혼합염(1.5%) : 이상의 사료를 잘 혼합하여 15~20일간 발효시킨 후 말려서 과립사료로 만들거나 전병모양으로 만들어 그늘에 말린 후 사용한다.
- 밀기울(80~90%)+양돈사료(20~10%) : 성충과 유충은 모두 야채 및 과일의 수분과 영양분을 섭취한다. 특히 성충에게 과일껍질등을 먹이로 공급하면 산란수와 수명이 증가한다.

㉡ 갈색거저리 표준사육 방법

사육단계	알	유충	번데기	성충
사진				
관리방법	채란받은 알은 부화까지 적당한 온도와 습도조건을 유지하여 부화를 유도한다.	매일 신선한 야채를 공급하거나 사료에 혼합하여 공급한다.	용화직후에 유충이나 성충이 잡아먹어 사망할 수 있으므로 격리하는 것이 좋다.	성충먹이로 과일이나 야채를 공급하면 산란수가 증가한다.
발육기간	5~7일	평균 3개월	1~2주	30~40일
사육조건	온도 : 25~30℃ 습도 : 약 65%	온도 : 25~30℃ 습도 : 약 65%	온도 : 25~30℃ 습도 : 약 65%	온도 : 25~30℃ 습도 : 약 65%

<표 8. 갈색거저리의 관리방법 및 사육조건>

(나) 아메리카왕거저리

① 아메리카왕거저리의 학명 및 기원

㉠ 학명 : 아메리카왕거저리 *Zophobas atratus* Fabricius

㉡ 분류: 딱정벌레목(Coleoptera), 거저리과(Tenebrionidae) 아메리카왕거저리속(*Zophobas*)

특 징	
국내분포지	없음(수입)
국외분포지	아프리카
형태	유충의 몸길이는 45~50mm, 성충은 30~35mm 이며 유충은 부화 직후 유백색에서 갈색으로 변하며 성충은 우화하면 옅은 유백색으로 점차 시간이 지나면서 황백색, 황갈색, 흑갈색으로 변화하며 최종적으로 흑적갈색이 된다.
식성	일반 가축사료를 비롯하여 농업부산물, 과일, 채소 등을 모두 섭식할 수 있다.

<표 9. 아메리카왕거저리의 특징>

② 아메리카왕거저리의 분류학적 특성

㉠ 아메리카왕거저리는 슈퍼밀웜이라고 불리우며 절지동물문 곤충강 딱정벌레목 거저리과에 속하는 곤충이다.

㉡ *Z.morio* Fabricius, 1776 이란 학명을 적용해 오고 있으니 1941년에 Gebien에 의해 *Z.atratus*의 동물이명임이 밝혀져 유효학명으로 사용해 오고 있다.

㉢ 2013년 박 등에 의해 이 종의 정식 국명에 대한 분류학적인 측면의 국명제정의 필요성에 의해 이 종의 원산지와 형태적 크기 등을 참고하여 유사종인 대왕거저리와의 구별을 명확히 할 수 있는 “아메리카왕거저리”로 선정되었다.

③ 아메리카왕거저리의 생태

아메리카왕거저리 성충과 애벌레는 식물성 먹이를 먹으며 발육기간이 4~6개월로 길다. 열악한 환경에서도 생존 능력이 강한 곤충으로 먹이가 없거나 온도의 변화가 심해도 생존할 수 있다. 이러한 생물학적 특성으로 연중 실내 대량 사육이 가능한 곤충종이다.

알은 불투명한 유백색으로 산란할 때 점착물질이 붙어있어 산란배지나 사육용기에 붙어 산란한다. 알의 크기는 2 mm 정도의 장타원형으로 알껍질은 무르고 약해 깨지기 쉽다. 알은 일반적으로 여러 개를 덩어리로 산란하거나 한 개씩 사료중간에 흩어 넣거나 사육통 바닥에 붙여 넣기도 한다. 알이 부화하면 부화애벌레는 부화즉시 알껍질과 알껍질에 붙은 사료를 먹으며 발육한다. 알은 온도조건에 따라 약 1 ~ 2주일이면 부화한다(25 ± 3 °C). 10 °C 이하에서는 부화하지 못하며 15 ~ 20 °C 에서는 3 ~ 4주가 소요된다.

애벌레는 부화 직후 유백색에서 갈색으로 변하며 크기는 2 ~ 3 mm 정도이다. 부화 직후에 충분한 수분을 지닌 채소를 공급하여야 사망률을 줄일 수 있다. 애벌레기간에는 사육 밀도가 높을수록 사망률이 감소하고 정상적으로 발육한다. 애벌레의 먹이는 밀기울을 기본으로 하여 수분이 많은 채소나 과일 등을 공급하면 집단적으로 모여서 먹는 습성을 보인다. 애벌레의 식성은 성충과 마찬가지로 일반 가축사료를 비롯하여 농업부산물, 과일, 채소 등을 모두 섭식할 수 있다. 사료의 성분은 애벌레의 발육에 영향을 미치므로 목적에 맞도록 사료를 배합하여 공급하는 것이 중요하다. 가축의 사료용으로 활용할 때에는 사료비용의 절감을 위해서 다양한 농업부산물을 활용할 수 있다.

애벌레는 어두운 곳을 좋아하며 사육상에서 밀도가 높아질수록 개체의 크기가 작아지는

것으로 조사된바있다. 따라서 적절한 사육밀도의 선정이 중요할 수 있다. 일반적으로 부화 후 어린 령기일때는 집단 사육하여 밀도가 높아야 발육이 좋다고 알려져 있고 발육이 진행되어 크기가 커지면서 밀도가 높으면 서로의 마찰로 층체의 혈액순환과 소화를 촉진하여 활성을 증가시킨다는 조사도 있는데 종령시기에는 높은 밀도에서 서로 간에 경쟁에 의해 사망률이 증가할 수 있다. 이러한 결과는 온도와 습도 등 사육환경에 따라 차이를 보인다. 애벌레기간은 온도가 높아질수록 단축되며 일반적인 사육온도( $25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ )에서 약 3 ~ 4개월의 발육기간을 거친다. 애벌레기간동안 평균 12회의 탈피를 거쳐 발육이 진행되면 몸길이가 45 ~ 50 mm 까지 자라며 직경은 6 ~ 9 mm 정도에 이른다. 몸의 앞뒤의 굽기가 일정하며 털이 없으며 광택이 있다. 머리 부분은 단단하며 몸통보다 색깔이 진하며 애벌레의 가슴부분에 3쌍의 다리가 있다. 애벌레가 종령단계에 이르면 먹이섭식활동이 중지되고 몸통이 약간 구부러지면서 움직임이 없어지면서 번데기가 될 준비를 한다. 애벌레단계에서 분변의 분리는 1 ~ 2회 정도 하는 것이 작업의 효율적인 부분이나 애벌레의 스트레스를 줄이는데 도움을 준다. 따라서 채란 받은 후 1 ~ 2개월을 높은 밀도에서 사육한 후 분변을 분리하고 새로운 먹이를 공급한 후 다시 1 ~ 2개월 사육한다. 이때 표준 사육 상자의 사육밀도는 1번 분리 시 애벌레를 2개의 사육통에 나누어 사육하였을 때 최종적으로 종령 애벌레 2.5 kg 정도가 생산된다.

번데기는 길이가 약 30 ~ 35 mm 정도이며 용화직후에는 유백색으로 연하며 부드러우나 시간이 지나면서 점점 경화가 되어 딱딱해지고 색깔도 갈색으로 진해진다. 종령 애벌레가 번데기가 될 때에는 독립된 공간에 개체로 분리하여야 번데기가 된다. 아메리카왕거저리는 채란 받는 기간이 달라서 개체간 발육기간의 차이가 발생해도 종령이 된 후 사육상에서 번데기가 되지 않으므로 최종적으로 개체간의 크기는 유사하게 된다. 종령이 되어 폐사충이 생기기 전에 일정한 크기의 애벌레를 수확할 수 있는 장점이 있다. 번데기는 이동성이 없으므로 복부운동만으로 외부의 공격에 방어한다. 아메리카왕거저리는 애벌레의 탈피시나 번데기가 되기 직전에 서로 공격하여 죽이거나 기형을 만들기 때문에 여러 마리를 함께 사육할 때는 번데기가 되지 않는다. 따라서 독립된 공간에 개체로 분리하여 번데기로 만드는 것이 매우 중요하다. 사육환경을 50 ~ 70 %의 습도와  $25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  정도로 유지하면 대부분의 종령은 번데기가 된다.

성충은 번데기에서 우화하면 옅은 유백색으로 점차 시간이 지나면서 황백색, 황갈색, 흑갈색으로 변화하며 최종적으로 흑적갈색으로 된다. 약 7일간에 걸쳐 체색이 흑적갈색으로 된 후 암컷과 수컷이 교미를 시작한다. 성충의 산란기는 1 ~ 4개월로 길며 평균 산란량은 약 100~400여개로 알려져 있다. 일반적으로 성충의 먹이종류와 환경 등 사육기술에 따라 산란량은 차이가 크다. 성충의 뒷날개는 퇴화하여 날지 못하므로 사육시설에 망실을 처리하지 않아도 되므로 경제적으로 사육이 가능한 곤충이다. 아메리카왕거저리는 주로 걸어 다니면서 이동하는데 플라스틱 등 미끄러운 수직경사는 오르지 못한다. 성충은 일생동안 여러 번의 교미를 하며 산란한다. 성충은 밝은 곳을 싫어하므로 어둡게 관리하면 좋다.

#### ④ 사육방법

##### ㉞ 사료의 제작

- 밀기울사료 + 채소 및 과일
- 밀기울(60%) + 어분(5%) + 옥수수가루(10%) + 과일, 채소나 작물의 줄기(20%) + 설

탕희석액(2%) + 사료용복합비타민(1.5%) + 혼합염(1.5%) : 이상의 사료를 잘 혼합하여 15~20일간 발효시킨 후 말려서 과립사료로 만들거나 전병모양으로 만들어 그늘에 말린 후 사용한다.

- 밀기울(80~90%) + 양돈사료(20~10%) : 성충과 유충은 모두 야채 및 과일의 수분과 영양분을 섭취한다. 특히 성충에게 과일껍질 등을 먹이로 공급하면 산란수와 수명이 증가한다.

㉞ 아메리카왕거저리의 표준사육 방법

사육단계	알	유충	번데기	성충
사진				
관리방법	채란받은 알은 부화까지 적당한 온도와 습도조건을 유지하여 부화를 유도한다.	유충의 밀도가 너무 높으면 스트레스를 유발하여 발육에 지장을 줄 수 있으므로 적절한 밀도를 유지하도록 한다.	종령 유충을 한 마리씩 각각 분리하여 어두운 곳에 보관하여야 번데기로 용화한다.	밀기울이나 각종 사료와 채소를 먹이로 준다. 교배 및 산란기에는 영양이 풍부한 사료와 과일 등을 공급해 주는 것이 좋다.
발육기간	5~8일	평균 3~4개월	10~ 15일	1~4개월
사육조건	온도 : 25~30℃ 습도 : 60±5%	온도 : 27±3℃ 습도 : 60±5%	온도 : 27±3℃ 습도 : 60±5%	온도 : 27±3℃ 습도 : 60±5%

<표 10. 아메리카왕거저리의 관리방법 및 사육조건>

(다) 꿀벌부채명나방

- ① 꿀벌부채명나방의 학명 및 기원
- ㉠ 학명 : 꿀벌부채명나방 *Galleria mellonella*
- ㉡ 분류 : 나비목(Lepidoptra) 명나방과(Pyralidae)

특 징	
국내분포지	경기도, 충청남도, 제주도 등지
국외분포지	일본, 중국, 대만, 말레이시아, 태국, 싱가포르, 호주, 유럽, 미국 등
형태	유충의 몸길이는 45~50mm, 성충은 30~35mm 이며 유충지후 유백색에서 갈색으로 변하며 성충은 우화하면 옅은 유백색으로 점차 시간이 지나면서 수컷은 황갈색, 암컷은 암갈색으로 변화한다.
식성	유충은 벌꿀을 먹고 화분 혹은 벌방벽에 많은 구멍을 내기도 한다.

<표 11. 꿀벌부채명나방의 특징>

② 꿀벌부채명나방의 분류학적 특성

- ㉠ 꿀벌부채명나방은 great wax moth 로서 우리나라에는 경기도, 충청남도, 제주도에서의 채집기록이 있으며, 국외에는 일본,중국, 대만, 말레이시아, 태국, 싱가포르, 호주, 유럽, 미국 등 넓게 분포한다.

㉔ 꿀벌부채명나방은 나비목 명나방과에 속한다.

㉕ 날개 편 길이는 28 mm 내외이며, 수컷은 작고 앞날개가 황갈색을 띠며, 암컷은 크고 앞날개는 암갈색을 띤다. 뒷날개는 회백색을 띠며, 외연부는 암갈색을 띤다. 성충은 8-9월에 출현한다. 유충은 벌집에 큰 피해를 주는 해충이며, 모피, 양모류 등도 가해한다. 앞날개 중앙 부위에 커다란 태극무늬가 있으나 계절에 따라, 개체에 따라 무늬의 선명도에 차이가 많으며, 또한 날개 색도 회갈색 또는 흑갈색으로 변이가 심하다. 암컷과 수컷 모두 복부 끝 쪽과 복부면, 날개의 뒷면 등은 담적색을 띤다. 성충은 8-9월에 출현한다. 유충은 벌집 안에 들어가 중형으로 굴을 만들어 가해하여 큰 피해를 주는 해충이며, 그 외에 모피, 양모류 등도 가해한다.

### ③ 꿀벌부채명나방의 생태

알은 올리브 모양으로, 크기는 25~35 mm이고 알은 붉은색을 띠고 있다. 암컷은 밤에 벌집의 벌통 안에 알을 놓는다. 유충은 밤에 섭식 활동을 하며 월동은 유충이 매우 가는 실로 월동 집을 만들어 그안에서 한다. 암컷은 우화 후 24시간 내에 교미를 하며 짧은 시간 내에 알을 낳는다. 벌집에서 부화 유충은 1시간 내에 벌꿀을 먹고 화분 혹은 벌방벽에 많은 구멍을 내며 약 하루동안 가장 활발하다. 기상이 좋으며 일부는 3 m 이상 이주하여 다른 벌통으로 옮겨가 피해를 준다. 어린 유충은 벌집의 중간 내무와 다른 은닉 지역의 안팎에서 섭식하고 노숙유충은 견사터널, 신속한 이동, 주름진 단단한 표피 등으로 자기를 방어한다. 또한 벌통내부와 덮개안쪽, 벌집 틀과 벌집 틀 위 등을 갉으면서 고치를 만든다. 단단한 견사로 형성된 고치는 흰색 또는 회색을 띠며 암색의 배설물 조각으로 덮여 있고 집단으로 단단히 연결되어 있다. 성충 암컷 한 마리는 약 1,000개 이상의 알을 산란한다. 부화유충은 행동이 매우 민첩하며 항상 벌집 속으로 터널을 파면서 가해하고 견사를 내면서 터널을 따라 전체적으로 그물을 치기 때문에 벌집에 막대한 피해를 준다. 1세대 경과기간은 7~8월에는 43일이고 9월에서 이듬해 3월까지의 188일이 소요된다. 생활환은 온도와 먹이에 따라 6주에서 6달 정도이다. 고온 치사온도는 48℃ 이고 저온 치사온도는 6℃이며 성충의 치사온도는 각각 46℃와 5℃ 이다.

### ④ 사육방법

#### ㉔ 사료의 제작

- 꿀 5%, 밀기울 40%, 쌀겨 40%, 글리세린 5%, 비타민, 2%, 이스트 3% 물 5%

※ 꿀은 엿기름, 설탕등으로 대체가능함.

#### ㉕ 꿀벌부채명나방의 표준사육방법

사육단계	알	유충	번데기	성충
사진				
관리방법	계란받은 알은 부화까지 적당한 온도와 습도조건을 유지하여 부화를 유도한다.	건사를 내면서 그물을 치기 때문에 충분한 사육공간이 필요하며 당이 첨가된 사료를 5~7cm 정도 깔아주어야 한다.	번데기 시기가 다가오면 건사를 뽑어 고치를 짓기 때문에 고치가 점착될 공간을 만들어 주어야 한다.	성충이 되면 먹이활동을 하지 않고 교미 후 산란을 하게 되므로, 오아시스나 계란판 등으로 산란공간을 만들어 주어야 한다.
발육기간	5~7 일	4~5주	8~9일	3~4주
사육조건	온도 : 25~30℃ 습도 : 60±5%	온도 : 25~30℃ 습도 : 60±5%	온도 : 25~30℃ 습도 : 60±5%	온도 : 25~30℃ 습도 : 60±5%

<표 12. 꿀벌부채명나방의 관리방법 및 사육조건>

(라) 아메리카동애등에

- ① 아메리카동애등에의 학명 및 기원
  - ㉠ 학명 : 아메리카동애등에 *Hermetia illucens*
  - ㉡ 분류 : 파리목(Diptera) 동애등에과(Stratiomyidae)

특 징	
국내분포지	국내귀화종
국외분포지	세계적으로 널리 분포하는 종으로 남반구의 호주, 북반구를 비롯한 미국남부 분포
형태	유충의 몸길이는 약 20mm 내외이며, 성충은 13~20mm 정도이다. 유충은 전체적으로 갈색을 띠며 성충은 검은색을 나타낸다.
식성	옥외 화장실, 가축의 분, 식물성 폐기물, 사료등과 같은 유기성 폐기물에서 발생하며 유충은 건조하거나 마른 먹이보다는 수분이 있는 먹이를 선호한다.

<표 13. 아메리카동애등에의 특징>

② 아메리카동애등에의 분류학적 특성

- ㉠ 아메리카동애등에는 파리목 동애등에과에 속하는 곤충으로 black soldier fly 라 불린다. 국내의 동애등에과는 동애등에를 비롯하여 곤충명집에 14종이 기재되어있다.
- ㉡ 국내에서는 최근에 아메리카동애등에로 기록된 바 있으며 1980년대 유입된 것으로 추정하고 있다. 일본은 이미 위생곤충도감에서 1960년대부터 아메리카동애등에의 생태에 관하여 기록하고 있다.

③ 아메리카동애등에의 생태

일반적인 파리목 해충과는 달리 성충구기가 특이하여 섭식 후 역류시키지 않으므로 질병의 매개가 없어 인간에게 직접적인 피해를 주지 않는다. 전 세계적으로 분포하나 위생해충으로 분류되지 않으며 사람의 거주 지역에 침입하지 않고 유기물이 많은 축사나 음식

물쓰레기장, 퇴비장에서 서식한다. 성충은 먹이활동을 하지 않는 것으로 알려져 있다. 아메리카동애등에의 채집 및 선발은 유충 및 번데기, 성충, 난괴채집의 방법이 있다. 유충 및 번데기는 아메리카동애등에의 서식처인 돈분장, 축분장을 대상으로 7 ~ 8월 사이에 가축분을 섭식하여 발육중인 유충과 습한 곳에서 이동하여 건조한 곳에 모여 있는 번데기를 채집할 수 있다. 성충의 채집은 성충이 유인될 수 있는 산란처를 서식공간에 트랩으로 설치한 후 포충망을 이용하여 비행중인 성충을 채집한다. 난괴를 채집하는 방법은 아메리카동애등에가 산란할 수 있는 산란처를 야외에 놓아둔 후 산란된 난괴를 채집하는 방법이다. 주로 야외종의 채집은 유충 및 번데기를 채집하거나 산란처를 제공하여 산란된 아메리카 동애등에가 부화하여 발육중인 것을 채집하는 것이 좋다. 알은 산란 직후 연노랑의 크림색이며 시간이 지날수록 진한 유백색으로 일반적인 파리목 곤충처럼 여러 개를 덩어리로 산란한 난괴형태로 산란하며 각 난괴는 약 500여개의 알들로 이루어진다. 산란처는 주로 유기물질의 건조한 부분이나 유기물질 주변의 플라스틱, 종이, 목재 등 알이 노출되지 않도록 모서리나 천이나 비닐의 주름진 곳 나무 틈사이에 산란하는 습성이 있다. 알의 크기는 약 1 mm 정도의 긴 타원형으로 노란색이며 알껍질은 무르고 약해 깨지기 쉽다. 알이 부화하면 부화유충은 부화즉시 유기물질로 이동하여 이를 먹이로 먹으며 발육한다. 알은 온도조건에 따라 약 4 ~ 5일이면 부화한다( $25 \pm 3^\circ\text{C}$ ). 온도가 낮으면 부화기간은 더 소요된다. 유충은 부화 직후 유백색으로 변하며 크기는 2 ~ 3 mm 정도이다. 유충기간에는 유기물질에 집단적으로 모여서 먹는 습성을 보인다. 아메리카동애등에 유충은 유기물을 섭식하며 일반 가축사료를 비롯하여 음식물쓰레기, 가축분, 농업부산물 등을 모두 섭식할 수 있다. 사료의 성분은 유충의 발육에 영향을 미치므로 목적에 맞도록 사료를 선정하여 공급하는 것이 중요하다. 유충기간은 온도가 높아질수록 단축되며 일반적인 사육온도( $25 \pm 3^\circ\text{C}$ )에서 약 15 ~ 20일의 발육기간을 거친다. 유충기간동안 몸길이가 15 ~ 27 mm까지 자라며 직경은 5 ~ 7 mm 정도에 이른다. 몸의 앞뒤의 굽기가 일정하며 털이 없으며 광택이 있다. 유충은 통통하며 얇고 평평하고 단단한 머리 부분은 단단하며 몸통보다 색깔이 진하며 표피는 거칠고 단단한 가죽처럼 생겼다. 유충의 가슴부분에 3쌍의 다리가 있다. 유충은 보통 6령까지 탈피하며 종령단계에 이르면 먹이섭식활동이 중지되고 몸통이 약간 구부러지면서 움직임이 없어 지면서 번데기가 될 준비를 한다. 번데기는 길이가 약 15 ~ 19mm 정도이며 용화직후에는 유백색으로 연하며 부드러우나 시간이 지나면서 점점 경화가 되어 딱딱해지고 색깔도 갈색으로 진해진다. 종령 유충이 번데기가 될 때에는 사료 표면으로 나와서 건조한 곳에서 번데기가 되는 경우가 많다. 이러한 습성을 이용하여 유충과 번데기를 쉽게 분리할 수 있는 장점이 있다. 아메리카 동애등에 번데기는 움직일 수 있으며 크기는 폭의 3배가량의 길이로 용이 된다. 성충은 속이비치는 투명한 갈색의 날개를 가지며 물지 않는 등에 종류이다. 번데기에서 우화하면 몸이 경화되지 않아 부드러운 상태로 시간이 지나면 날개가 굳으면서 전체적으로 검은색으로 변하고 배는 회백색으로 된다. 암컷의 복부는 끝부분이 붉은색이며 복부 두 번째 체적에 투명한 점들을 두 개가지고 있고 수컷의 복부는 브론즈 빛이다. 우화 후 암컷과 수컷은 교미를 시작한다. 성충은 우화 4 ~ 5일 후부터 산란을 시작하며 산란기는 3 ~ 10일로 짧고 평균 산란수는 약 500 ~ 1,000여개로 알려져 있다. 일반적으로 성충은 먹이 활동을 하지 않는 것으로 알려져 있고 옥내(屋內)로 침입하지 않으므로 사람에게 직간접적으로 피해를 주지 않는다. 성충은 유기물(음식물쓰레기, 농업부산물, 축분 등)이 있는 곳에 산란을 한다.

이러한 산란 습성으로 인하여 농촌지역의 유기물쓰레기장, 축사 및 농업부산물 처리장 등에서 성충 및 유충을 발견할 수 있다. 성충은 교미활동을 위해 약 2 m이상의 높이 및 넓이가 필요하며 교미활동이 가능한 온도는 주간온도가 최소 25℃ 이상은 되어야 한다(2 × 3 × 2 m). 정상적인 교미를 위해서는 자연광이 필요하며 인공조명의 경우 일정한 광도 이상을 유지하여야 한다. 교미 활동은 하루 중 오전 10시에서 오후 2시에 주로 이루어짐으로 보아 온도와 광조건이 매우 중요함을 알 수 있다. 성충이 몸길이는 평균 13 ~ 20 mm 정도로 유충의 발육상태에 따라 크기의 차이가 매우 심하다. 국내에서는 5월부터 10월까지 활동하며 겨울에는 유충 및 번데기로 월동한다.

④ 사육방법

㉞ 사료의 제작

- 음식물쓰레기 선별: 유충이 먹을 수 없는 불순물(비닐, 무기물질 등)을 골라낸다.
- 음식물쓰레기를 적당한 크기로 파쇄한다.
- 음식물쓰레기의 수분함량을 적정하게 맞추기 위해 톱밥 등을 섞는다.
- 음식물쓰레기를 적당량 유충 사육상에 넣는다.

※사료화를 거친 음식물 쓰레기를 공급할 경우

- 건식 음식물쓰레기 사료: 적당량의 수분을 혼합하여 유충이 먹을 수 있도록 공급한다.
- 습식 음식물쓰레기 사료: 적당한 수분을 맞춰 유충에게 공급한다.

㉟ 아메리카왕거저리의 표준사육방법

사육단계	알	유충	번데기	성충
사진				
관리방법	채란받은 알은 부화까지 적당한 온도와 습도조건을 유지하여 부화를 유도한다.	유충 사육상은 외부로부터 유입된 기타 파리류 곤충이 산란할 수 있으므로 외부과 격리된 사육환경을 유지하는 것이 좋다.	번데기는 적당한 습도를 유지하기 위하여 톱밥과 같은 충전제와 함께 우화할 수 있는 통에 넣어 우화를 유도한다.	성충은 먹이활동을 하지 않는다. 하지만 물을 주지 않으면 수명이 급격히 줄어들어 물을 먹일 수 있는 장치가 필요하다.
발육기간	3~5일	15~20일	15일	10~13일
사육조건	온도 : 27℃ 습도 : 60%	온도 : 27±3℃ 습도 : 65%	온도 : 27±3℃ 습도 : 65%	온도 : 25~30℃ 습도 : 65%

<표 14. 아메리카동애등에의 관리방법 및 사육조건>

(5) 대상 곤충 추출물의 다양한 산업적 활용방안 탐색

(가) 동애등에 추출물을 활용한 피부에 대한 기능성 분석

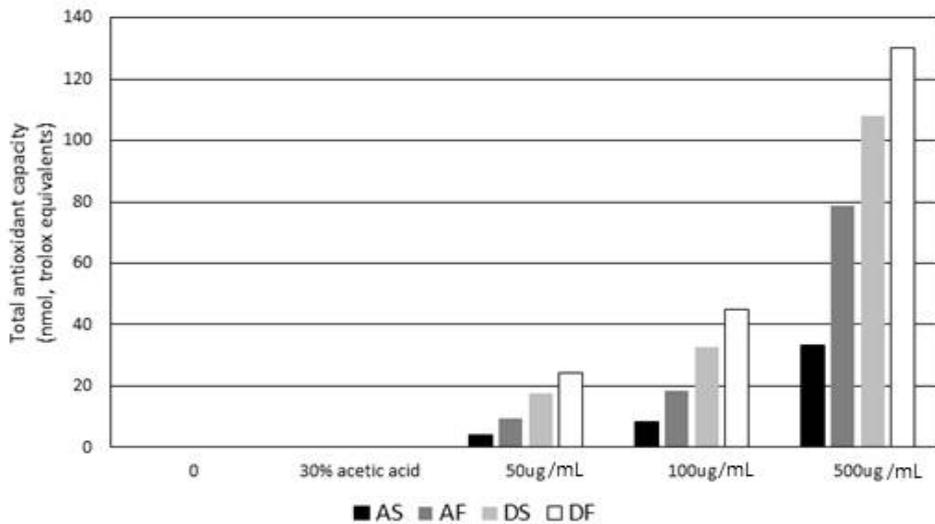
① 항산화 효능

샘플의 항산화 능력은 Total Antioxidant capacity(TAC) 와 DPPH radical scavenging

activity로 측정하였다. TAC는 산화방지제 표준물질인 Trolox 당량을 측정하는 Total Antioxidant Capacity Colormetric Assay Kit (Biovision, CA)로 측정되었다. DPPH radical scavenging activity는 DPPH에 대한 전자공여능을 측정하였으며 흡광도의 차이를 백분율로 표시하였다.

㉔ Total Antioxidant capacity (TAC)

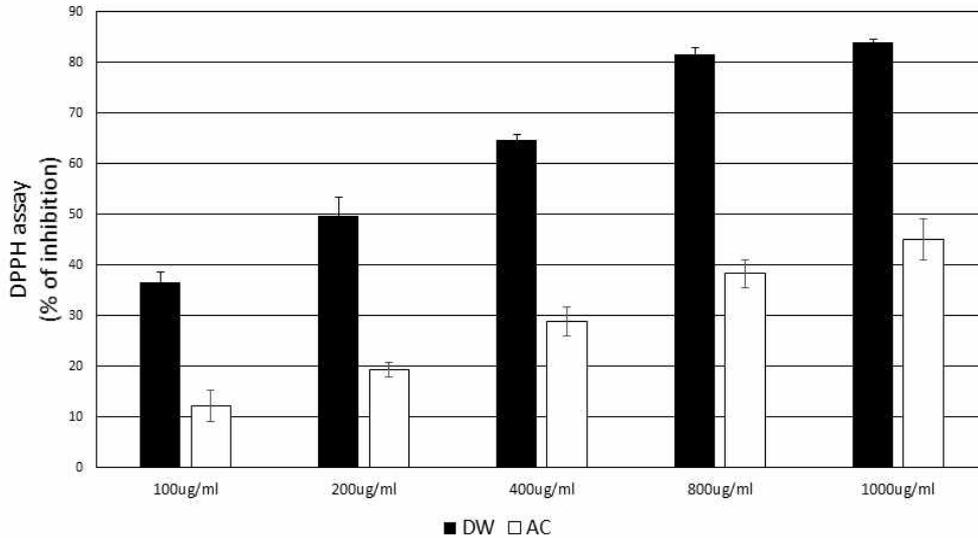
동애등에 추출물의 추출방법에 따른 TAC를 측정하였다. 추출방법은 30% Acetic acid 에 20분간 가열 후 68시간동안 감압농축(AS), 30% Acetic acid 에 20분간 가열 후 68시간동안 동결건조(AF), Distilled water에 30분간 가열 후 68시간동안 감압농축(DS), Distilled water에 30분간 가열 후 68시간동안 동결건조(DF)의 총 4가지 방법으로 추출하였다. 추출 용매에 따른 trolox 당량 측정 결과에서는 AC추출보다 DW추출의 값이 더 높았고 감압농축보다 동결건조방법에서 높은 수치를 나타내는 것을 확인하였다. 또한 추출물의 농도가 높아질수록 TAC 수치가 높아지는 것을 볼 수 있었다.



<그림 2. 동애등에 추출물의 추출용매에 따른 Total antioxidant capacity>

㉕ DPPH radical scavenging activity

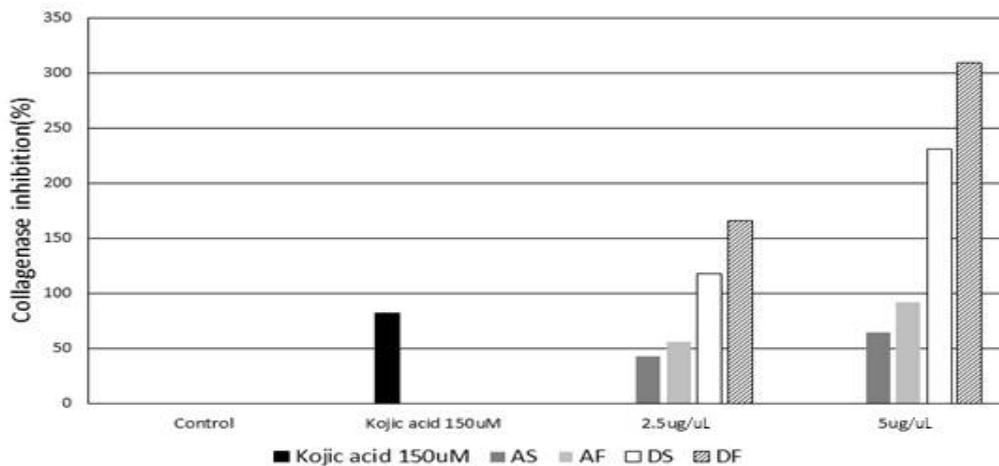
DPPH에 대한 전자공여능은 Blois방법(25)에 따라 측정하였다. 감압농축하여 vacuum oven에서 수분을 제거한 각 시료를 각각 3 mg씩 취하여 MtOH 1mL에 용해시켜 사용하였다. 각 시료는 100 ul씩 96 well에 분주한 후 EtOH에 0.2 mM로 용해시킨 DPPH 용액을 50 ul씩 첨가하여 실온에서 30분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 음성 대조군으로는 시료 대신 MtOH 100 ul를 사용하였고 양성 대조군은 상용항산화제인 L-ascorbic acid를 이용하여 동일한 방법으로 실시하였다. 동애등에 추출물의 DPPH radical scavenging activity 결과는 DW 추출이 AC추출보다 높은 DPPH 억제율을 나타내었고, 추출물의 농도가 높아질수록 높은 DPPH 억제율이 높아지는 것을 알 수 있었다.



<그림 3. 동애등에 추출물의 추출용매에 따른 DPPH inhibition rate>

② Collagenase inhibition

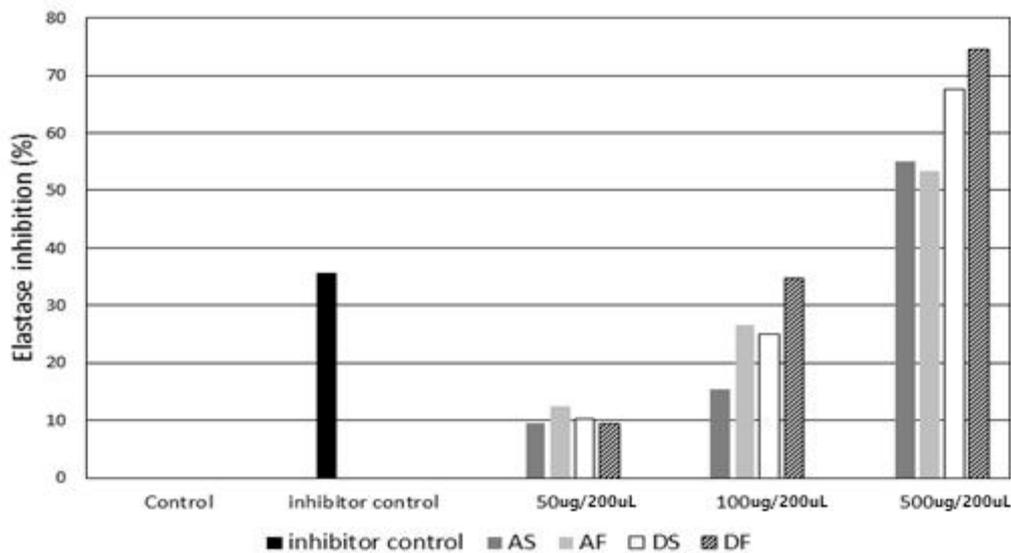
Collagenase는 피부의 콜라겐의 펩타이드결합의 가수분해를 촉진하여 콜라겐을 분해하는 효소로 피부조직의 노화가 진행될수록 collagenase의 의해 콜라겐이 감소하여 피부탄력이 약해지면서 주름이 생기게 하는 효소이다. 따라서 collagenase inhibition rate가 높을수록 피부탄력에 도움을 준다. Collagenase의 억제량은 Collagenase Activity Colormetric assay kit(Biovision, CA)로 동봉된 사용법으로 측정하였고 양성대조군으로는 Kojic acid 150uM을 사용하였다. 동애등에 추출물의 추출조건은 AS, AF, DS, DF를 적용하였다. 동애등에 추출물의 collagenase inhibition rate 측정결과에서 양성대조군으로 쓰인 Kojic acid의 inhibition rate는 82.3% 였으며 DW로 추출된 동애등에 추출물의 억제율은 모든 농도 구간에서 양성대조군보다 뛰어난 효과를 보였다. 추출방법 별로는 DW추출물이 AC추출보다 억제율이 높았으며 감압농축보다 동결건조로 추출된 추출물에서 효과가 좋은 것을 확인하였다.



<그림 4. 동애등에 추출물의 추출용매에 따른 collagenase inhibition rate>

③ Elastase inhibition

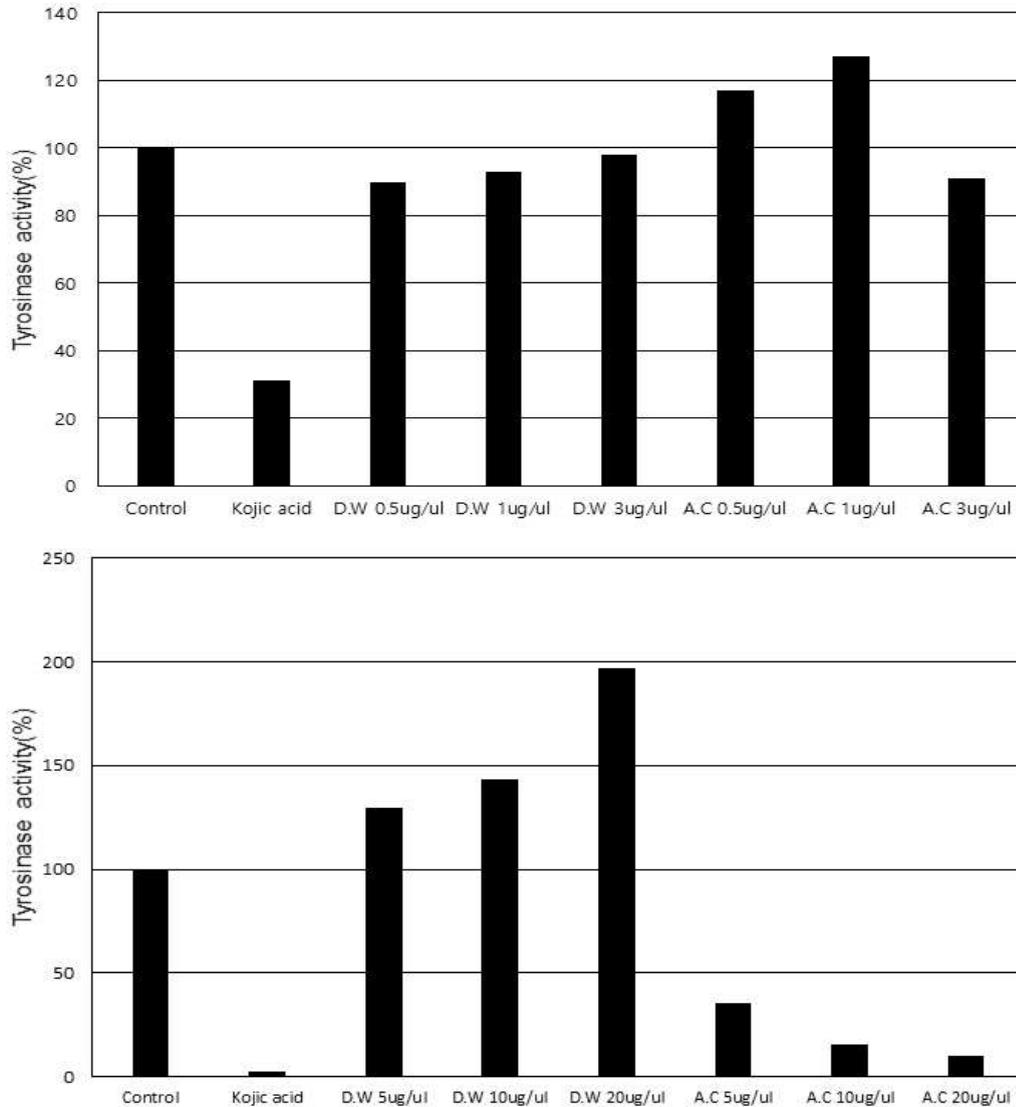
Elastase는 피부 탄력을 관장하는 Elastin을 분해하는 단백질 분해효소이며, Elastin은 세포조직에 탄성력을 갖게하는 단백질 섬유로서 허리, 피부 및 혈관의 연결조직을 구성하는 중요한 단백질이다. 따라서 Elastase가 과도하게 분비되면 피부에 Elastin을 분해하여 피부에 주름을 발생시킨다. Elastase는 Molecular Probes EnzChek Elastase Assay Kit (Invitrogen, CA) 로 측정되었으며 양성대조군으로는 5 uM, N-methoxysuccinyl-Ala-Ala-Pro-Val-chloromethylketone을 사용하였다. 동애등에 추출물의 추출조건은 AS, AF, DS, DF를 적용하였다. 양성대조군인 Inhibitor control의 억제율은 35.6% 였으며, 추출물을 500 ug 처리하였을 때 동애등에 추출물이 모든 추출물 구간에서 양성대조군보다 높은 억제율을 보여주었다. 추출물의 농도별 결과에서는 농도가 높아질수록 억제율 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다.



<그림 5. 동애등에 추출물의 추출용매에 따른 Elastase inhibition rate>

#### ④ Tyrosinase inhibition

Tyrosinase 는 모발, 눈, 피부 등에섭 발견되며 생물학적 색소인 멜라닌의 생합성에 관여하는 산화환원 효소이다. 피부미백 제품은 피부색을 밝게하기 위해 천연 또는 합성 Tyrosinase inhibitor를 사용한다. Tyrosinase inhibition 은 Tyrosinase inhibitor Screening Kit (Biovision, CA) 으로 측정되었으며 양성대조군으로는 Kojic acid 150uM 을 사용하였다. 동애등에 추출물의 추출조건은 AS, AF, DS, DF를 적용하였다. 동애등에 추출물의 Tyrosinase inhibition rate 측정결과에서 양성대조군으로 쓰인 Kojic acid의 inhibition rate는 31.39% 였으며 D.W로 추출된 동애등에 추출물은 0.5ug/ul에서 89.8%로 농도증가에 따라 tyrosinase activity가 증가하였다. AC 추출물의 경우 20ug/ul에서 87.2%로 농도증가에 따라 tyrosinase activity가 감소하였다. D.W 추출물의 경우 0.5ug/ul 보다 낮은 농도에서의 재설험이 필요하며, AC 추출물은 20ug/ul~100ug/ul 사이에서 농도의 재설정이 필요하다.



<그림 6. 동애등에 추출물의 추출용매에 따른 Tyrosinase inhibition rate>

(6) 참고문헌

(가) Maria R, Carmen F, Abraham C, Lourdes R, Angel P. Influence if fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. Bioresource Technology. 2009;100:261-268

(나) 알기쉬운 산업곤충 사육기준 및 규격/농촌진흥청 국립농업과학원(2017년)

**나. 바이오디젤 생산용 곤충의 다양한 인공사료 조성 개발**

(1) 갈색거저리 생산용 인공사료 조성 개발

(가) 경제성 및 사육효율을 높이기 위해 선발한 10종 원료

경제성 및 사육효율을 높이기 위해 기존 갈색거저리 사육에 사용되는 밀기울과 9종의 사료 원료를 선정(표 15)하여 조성분을 분석하였다(표 16).

처리구	사료	처리구	사료
1	쌀겨	6	들깨박
2	밀기울	7	비지박
3	옥수수	8	커피박
4	대두박	9	분변토
5	참깨박	10	음식물쓰레기

<표 15. 경제성 및 사육효율을 높이기 위해 선발한 10종 원료>

(g/100g)

	칼로리	탄수화물	단백질	지방	회분
쌀겨	471.44±0.49 <sup>a</sup>	52.99±0.05 <sup>c</sup>	15.69±0.20 <sup>ef</sup>	21.81±0.13 <sup>a</sup>	9.51±0.03 <sup>b</sup>
밀기울	399.80±0.89 <sup>cd</sup>	76.17±0.33 <sup>a</sup>	14.99±0.02 <sup>f</sup>	3.95±0.24 <sup>d</sup>	4.89±0.07 <sup>f</sup>
옥수수	378.05±12.35 <sup>de</sup>	78.56±4.33 <sup>a</sup>	8.26±1.38 <sup>g</sup>	3.41±0.11 <sup>d</sup>	6.53±0.19 <sup>d</sup>
대두박	383.79±1.75 <sup>cde</sup>	21.19±1.89 <sup>e</sup>	68.31±1.97 <sup>a</sup>	2.86±0.14 <sup>e</sup>	7.64±0.21 <sup>c</sup>
참깨박	403.71±0.17 <sup>c</sup>	26.47±1.94 <sup>e</sup>	51.84±2.53 <sup>b</sup>	10.02±0.26 <sup>c</sup>	11.66±0.33 <sup>a</sup>
들깨박	428.43±1.10 <sup>b</sup>	39.27±1.34 <sup>d</sup>	44.41±1.06 <sup>c</sup>	10.41±0.23 <sup>c</sup>	5.90±0.05 <sup>e</sup>
비지박	404.53±0.35 <sup>c</sup>	61.03±1.68 <sup>b</sup>	31.21±1.82 <sup>d</sup>	3.96±0.09 <sup>d</sup>	3.81±0.05 <sup>g</sup>
커피박	478.73±0.51 <sup>a</sup>	65.06±0.56 <sup>b</sup>	16.60±0.63 <sup>ef</sup>	16.94±0.10 <sup>b</sup>	1.40±0.02 <sup>h</sup>
분변토	362.23±15.77 <sup>e</sup>	68.08±3.51 <sup>b</sup>	20.09±0.22 <sup>e</sup>	1.07±0.06 <sup>f</sup>	6.60±0.37 <sup>d</sup>
음식물쓰레기	384.74±0.91 <sup>cde</sup>	61.43±1.28 <sup>b</sup>	16.53±1.91 <sup>ef</sup>	8.10±0.42 <sup>c</sup>	7.98±0.08 <sup>c</sup>

<표 16. 선발한 10종 원료의 조성분 분석>

(나) 10종 원료(표 4) 중 증체량이 우수한 3종 원료의 배합

상기 10종 원료(표 4) 중 갈색거저리의 증체량 증대 효과가 우수한(그림 3) 밀기울(108.33%), 분변토(93.25%), 음식물쓰레기(86.72%)의 3종 원료를 배합하여 증체량을 최대한으로 올릴 수 있는 최적의 배합을 찾기 위해 7종의 사료를 만들고 조성분을 분석하였다(표 17).

(g/100g)

처리구	칼로리(Kcal)	탄수화물	단백질	지방	회분
밀기울(100)	399.80	76.17	14.99	3.95	4.89
분변토(100)	351.12	69.51	11.15	12.27	7.37
음식물쓰레기(100)	384.74	61.43	16.53	8.10	7.98
밀기울/분변토(50/50)	375.46	72.84	13.07	8.11	6.13
밀기울/음식물쓰레기(50/50)	392.27	68.80	15.76	6.03	6.44
분변토/음식물쓰레기(50/50)	367.93	65.47	13.84	10.19	7.68
밀기울/분변토/음식물쓰레기(50/25/25)	383.87	70.82	14.41	7.07	6.28

<표 17. 증체량 증대 효과가 우수한 3종 원료 혼합사료 처리구 및 조성분>

(2) 아메리카왕거저리 생산용 인공사료 조성 개발

(가) 경제성 및 사육효율을 높이기 위해 선발한 10종 원료

경제성 및 사육효율을 높이기 위해 기존 아메리카왕거저리 사육에 사용되는 밀기울과 9종의 사료 원료를 선정(표 18)하여 조성분을 분석하였다(표 19).

처리구	사료	처리구	사료
1	쌀겨	6	들깨박
2	밀기울	7	비지박
3	옥수수	8	커피박
4	대두박	9	분변토
5	참깨박	10	음식물쓰레기

<표 18. 경제성 및 사육효율을 높이기 위한 10종 원료의 처리구>

(g/100g)

	칼로리	탄수화물	단백질	지방	회분
쌀겨	471.44±0.49 <sup>a</sup>	52.99±0.05 <sup>c</sup>	15.69±0.20 <sup>ef</sup>	21.81±0.13 <sup>a</sup>	9.51±0.03 <sup>b</sup>
밀기울	399.80±0.89 <sup>cd</sup>	76.17±0.33 <sup>a</sup>	14.99±0.02 <sup>f</sup>	3.95±0.24 <sup>d</sup>	4.89±0.07 <sup>f</sup>
옥수수	378.05±12.35 <sup>de</sup>	78.56±4.33 <sup>a</sup>	8.26±1.38 <sup>g</sup>	3.41±0.11 <sup>d</sup>	6.53±0.19 <sup>d</sup>
대두박	383.79±1.75 <sup>cde</sup>	21.19±1.89 <sup>e</sup>	68.31±1.97 <sup>a</sup>	2.86±0.14 <sup>e</sup>	7.64±0.21 <sup>c</sup>
참깨박	403.71±0.17 <sup>c</sup>	26.47±1.94 <sup>e</sup>	51.84±2.53 <sup>b</sup>	10.02±0.26 <sup>c</sup>	11.66±0.33 <sup>a</sup>
들깨박	428.43±1.10 <sup>b</sup>	39.27±1.34 <sup>d</sup>	44.41±1.06 <sup>c</sup>	10.41±0.23 <sup>c</sup>	5.90±0.05 <sup>e</sup>
비지박	404.53±0.35 <sup>c</sup>	61.03±1.68 <sup>b</sup>	31.21±1.82 <sup>d</sup>	3.96±0.09 <sup>d</sup>	3.81±0.05 <sup>g</sup>
커피박	478.73±0.51 <sup>a</sup>	65.06±0.56 <sup>b</sup>	16.60±0.63 <sup>ef</sup>	16.94±0.10 <sup>b</sup>	1.40±0.02 <sup>h</sup>
분변토	362.23±15.77 <sup>e</sup>	68.08±3.51 <sup>b</sup>	20.09±0.22 <sup>e</sup>	1.07±0.06 <sup>f</sup>	6.60±0.37 <sup>d</sup>
음식물쓰레기	384.74±0.91 <sup>cde</sup>	61.43±1.28 <sup>b</sup>	16.53±1.91 <sup>ef</sup>	8.10±0.42 <sup>c</sup>	7.98±0.08 <sup>c</sup>

<표 19. 선발한 10종 원료의 조성분 분석>

(3) 꿀벌부채명나방 생산용 인공사료 조성 개발

(가) 꿀벌부채명나방 인공사료 조성

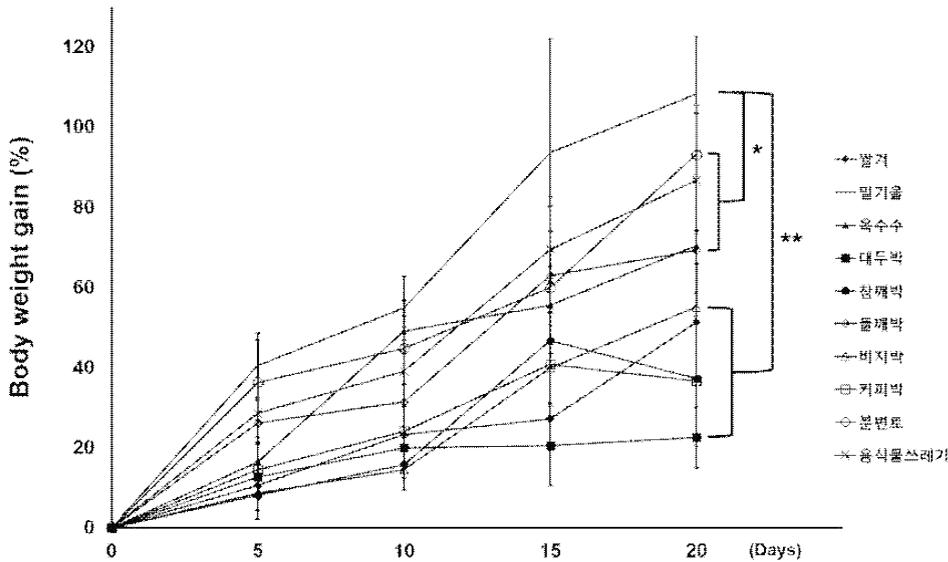
- ① 꿀벌부채명나방 인공사료 조성 : 밀기울 80%, 당원 5%, 글리세린 5%, 종합비타민 2%, 이스트 3%, 물 5%(Lee *et al.* 2007)
- ② 꿀벌부채명나방은 꿀벌집을 가해하는 해충으로 유충시기에 벌꿀을 먹고 화분 혹은 벌방벽에 많은 구멍을 내는 것으로 알려져 있다. 따라서 꿀벌부채명나방 유충의 인공사료에는 당원이 필수적이다. 그러나 벌꿀은 고비용(1817원/100g)이므로 벌꿀을 대체하기 위한 저렴한 당원 선정을 위해 저비용의 당원 물엿(939원/100g), 당밀(119원/100g), 설탕(98원/100g)을 선정하여 벌꿀 대체 가능여부를 확인하였다.
- ③ 당원에 따른 꿀벌부채명나방 사육실험 결과(그림 8), 꿀과 비슷한 증체량을 나타낸 당밀을 선정한 후 기존 사료에 당밀을 각각 5, 10, 15, 20% 첨가한 후 꿀 5% 처리구와 유사하거나 우수한 증체량을 나타내는 당밀 함량을 선정하고자 하였다.

다. 인공사료별 후보 곤충의 발육단계별 사육성적 분석

(1) 갈색거저리

(가) 경제성 및 사육효율을 높이기 위한 10종 원료 급여 후 증체량 분석

① 10종의 원료로 사육된 갈색거저리의 증체량을 비교하였다. 사육성적을 확인한 결과(그림 3), 밀기울 108.83%, 분변토 93.25%, 음식물쓰레기 86.72%, 옥수수 70.21%, 들깨박 69.32%, 비지박 55.13%, 쌀겨 51.30%, 참깨박 37.38%, 커피박 36.69%, 대두박 22.56%으로 나타나, 증체량 증대효과가 가장 우수한 사료는 밀기울임을 확인할 수 있었다.



<그림 3. 음식물쓰레기를 추가한 10종 원료로 사육된 갈색거저리 유충 증체량>

② 10종 원료로 사육된 갈색거저리 유충의 성분분석 결과(표 20), 증체량 증대효과의 결과(그림 3)와는 다른 양상을 나타내어 음식물쓰레기 급여 시 갈색거저리 유충 체내 지방함량이 가장 높음을 확인할 수 있었다.

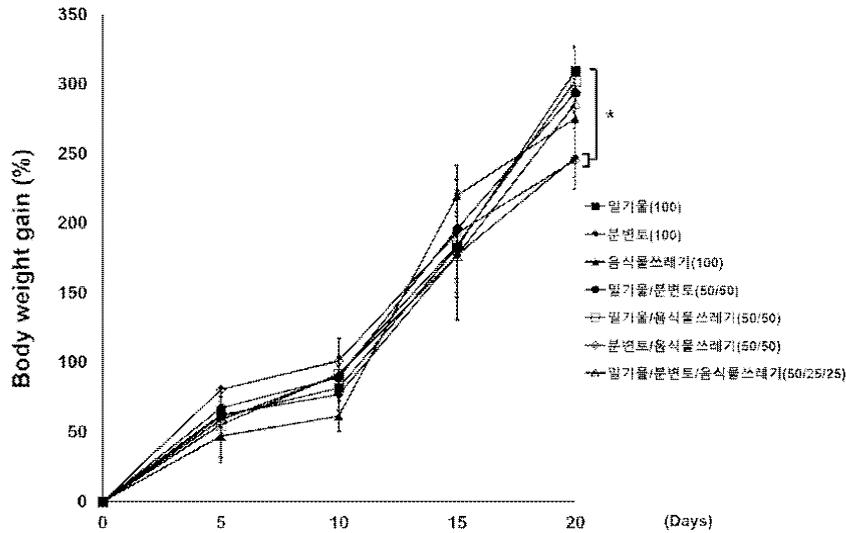
(g/100g)

처리구	칼로리(Kcal)	탄수화물	단백질	지방	회분	수분
쌀겨	564.00±2.64 <sup>a</sup>	14.41±1.02 <sup>bcd</sup>	44.53±0.79 <sup>d</sup>	36.81±0.59 <sup>a</sup>	3.09±0.02 <sup>cd</sup>	1.94±0.05 <sup>g</sup>
밀기울	533.33±3.51 <sup>b</sup>	11.86±0.95 <sup>d</sup>	51.70±0.21 <sup>c</sup>	30.98±0.71 <sup>b</sup>	3.99±0.00 <sup>abcd</sup>	1.46±0.03 <sup>h</sup>
옥수수	522.00±2.65 <sup>c</sup>	11.98±0.62 <sup>d</sup>	50.75±0.11 <sup>c</sup>	30.14±0.52 <sup>b</sup>	4.31±0.00 <sup>abcd</sup>	2.82±0.03 <sup>f</sup>
대두박	419.67±2.52 <sup>g</sup>	16.45±1.23 <sup>bc</sup>	62.05±0.74 <sup>a</sup>	11.74±0.50 <sup>e</sup>	5.18±0.01 <sup>abc</sup>	4.57±0.02 <sup>c</sup>
참깨박	433.67±1.53 <sup>f</sup>	12.05±0.67 <sup>d</sup>	60.70±0.96 <sup>a</sup>	15.86±0.30 <sup>d</sup>	6.07±0.05 <sup>a</sup>	5.31±0.02 <sup>a</sup>
들깨박	451.67±1.53 <sup>e</sup>	16.90±1.16 <sup>bc</sup>	55.90±1.69 <sup>b</sup>	17.87±0.41 <sup>d</sup>	5.76±0.16 <sup>ab</sup>	3.57±0.04 <sup>d</sup>
비지박	411.00±1.73 <sup>gh</sup>	24.24±0.94 <sup>a</sup>	56.05±0.61 <sup>b</sup>	9.98±0.34 <sup>ef</sup>	4.55±0.03 <sup>d</sup>	5.18±0.04 <sup>a</sup>
커피박	407.67±3.06 <sup>h</sup>	18.05±1.05 <sup>b</sup>	63.00±0.57 <sup>a</sup>	9.28±0.58 <sup>f</sup>	5.14±0.01 <sup>abc</sup>	4.53±0.04 <sup>c</sup>
분변토	509.33±7.37 <sup>d</sup>	13.64±1.19 <sup>cd</sup>	51.37±0.43 <sup>c</sup>	27.70±1.56 <sup>c</sup>	4.13±0.02 <sup>abcd</sup>	3.15±0.01 <sup>e</sup>
음식물쓰레기	515.78±2.99 <sup>cd</sup>	16.31±1.59 <sup>bc</sup>	39.40±0.92 <sup>e</sup>	38.08±0.91 <sup>a</sup>	3.51±0.68 <sup>bcd</sup>	5.04±0.05 <sup>b</sup>

<표 20. 10종 원료로 사육된 갈색거저리 유충 조성분>

(나) 10종 원료 중 증체량이 우수한 3종 원료를 혼합하여 제조한 7종 사료 급여 후 증체량 분석

① 10종의 원료로 사육 후 갈색거저리 증체량 증대효과가 우수한 밀기울, 분변토, 음식물 쓰레기 3종을 선별하고, 이들을 다양한 비율로 혼합하여 제조한 7종 사료(표 21)로 사육실험을 진행하였다. 증체량은 밀기울(100) 309.60%, 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 302.44%, 밀기울/분변토(50/50) 294.08%, 밀기울/분변토/음식물쓰레기(50/25/25) 286.16%, 음식물쓰레기(100) 275.34%, 분변토(100) 245.52%, 분변토/음식물쓰레기(50/50) 245.51%로 나타났다(그림 8).



<그림 8. 증체량 증대효과가 우수한 3종 원료로 배합된 7종 사료로 사육된 갈색거저리 유충 증체량>

② 3종 원료를 혼합하여 제조한 7종 사료(표 6)로 사육된 갈색거저리 유충의 성분분석 결과(표 14), 음식물쓰레기가 포함된 사료 처리구에서 갈색거저리의 지방함량이 높게 나타남을 확인하였다. 따라서 증체량과 지방함량 증대효과가 모두 우수한 밀기울/음식물쓰레기(50/50) (그림4, 표 14)가 갈색거저리 사육시 경제적이면서도 효율적인 최적의 배합으로 사료되었다.

(g/100g)

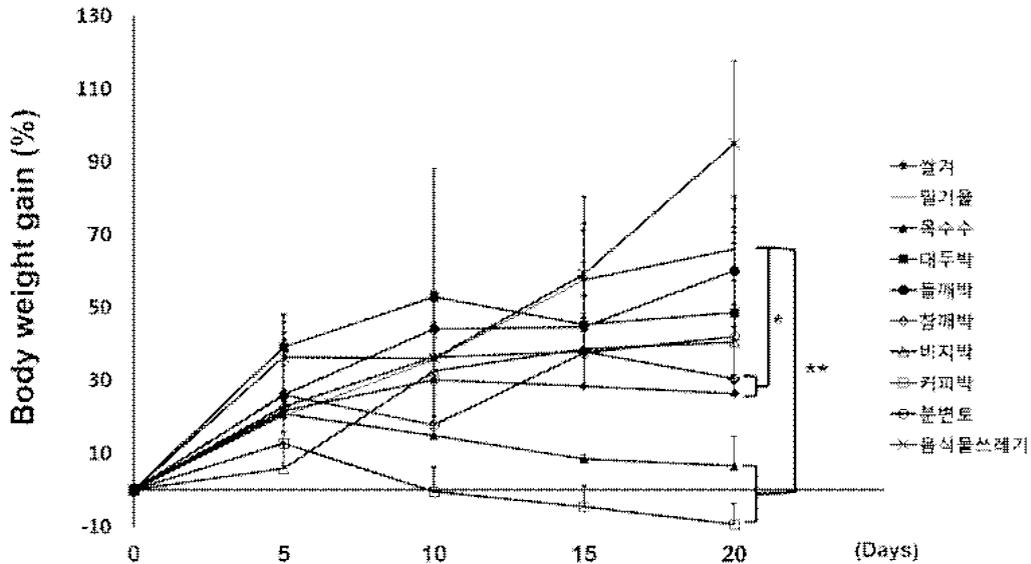
처리구	탄수화물	단백질	지방	수분	회분	칼로리 (Kcal)
밀기울(100)	15.13	51.51	25.17	3.83	4.36	493
분변토(100)	16.06	56.4	18.97	3.46	5.11	255
음식물쓰레기(100)	18.57	38.75	36.28	2.86	3.54	415
밀기울/분변토(50/50)	14.43	53.91	23.73	3.35	4.58	290
밀기울/음식물쓰레기(50/50)	16.48	46.61	29.12	2.93	4.86	347
분변토/음식물쓰레기(50/50)	15.01	47.68	29.93	2.93	4.45	347
밀기울/분변토/음식물쓰레기(50/25/25)	15.77	50.67	25.55	3.4	4.61	311

<표 21. 7종의 사료로 사육된 갈색거저리의 조성분 분석>

(2) 아메리카왕거저리

(다) 경제성 및 사육효율을 높이기 위한 10종 원료 급여 후 증체량 분석

① 10종 원료로 사육된 아메리카왕거저리의 사육성적을 확인한 결과(그림 9), 음식물쓰레기 94.89%, 밀기울 66.07%, 들깨박 60.19%, 대두박 48.62%, 분변토 42.15%, 비지박 40.50%, 참깨박 30.52%, 쌀겨 26.37%, 옥수수 6.69%, 커피박 -9.38%로 나타났다. 기존 농가에서 사용중인 밀기울(100)과 비교 시 음식물쓰레기(100)를 급여할 경우 아메리카왕거저리 유충 증체량이 높음을 확인할 수 있었다.



<그림 9. 10종 원료로 사육된 아메리카왕거저리 유충 증체량>

② 음식물쓰레기 포함 10종 원료로 사육한 아메리카왕거저리 유충 성분분석 결과(표 22), 음식물쓰레기 급여 시 갈색거저리 유충 체내 지방함량이 높게 나타난 것을 확인하였다. 따라서 증체량과 지방함량 증대 효과가 가장 우수한 음식물쓰레기(100) (그림7, 표 22)을 아메리카왕거저리 사육에 사용하는 것이 적합한 것으로 사료되었다.

(g/100g)

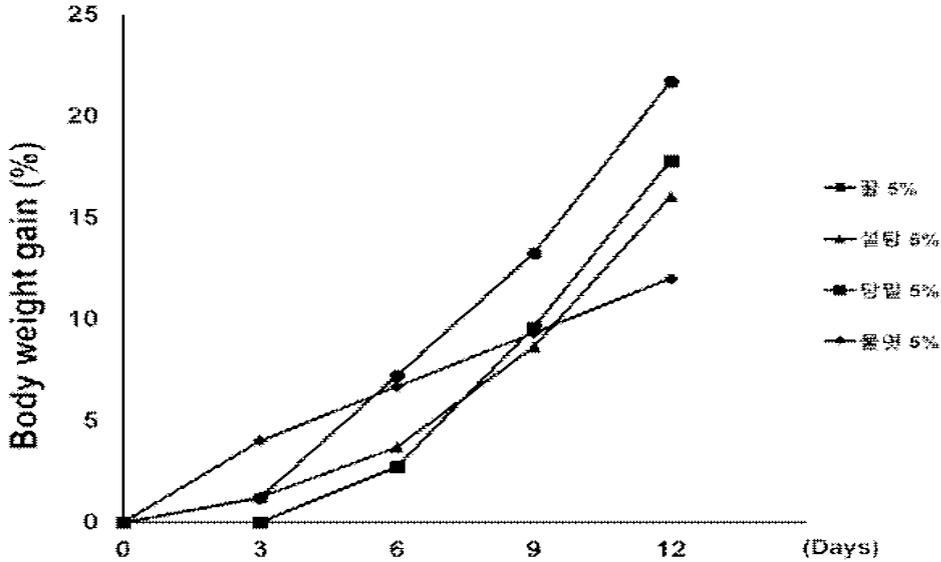
처리구	칼로리(Kcal)	탄수화물	단백질	지방	회분	수분
쌀겨	581.67±2.08 <sup>ab</sup>	11.37±0.23 <sup>abc</sup>	43.66±0.55 <sup>d</sup>	40.06±0.55 <sup>bc</sup>	2.88±0.02 <sup>bc</sup>	1.93±0.05 <sup>c</sup>
밀기울	534.00±2.65 <sup>e</sup>	13.63±1.02 <sup>a</sup>	44.53±0.79 <sup>cd</sup>	36.81±0.59 <sup>cd</sup>	3.09±0.02 <sup>a</sup>	1.94±0.05 <sup>bc</sup>
옥수수	573.33±12.50 <sup>bc</sup>	7.83±2.18 <sup>c</sup>	48.27±0.44 <sup>ab</sup>	38.46±2.57 <sup>cd</sup>	3.19±0.03 <sup>a</sup>	1.95±0.04 <sup>bc</sup>
대두박	597.33±3.51 <sup>a</sup>	7.54±1.94 <sup>c</sup>	45.17±1.33 <sup>bcd</sup>	42.92±0.78 <sup>ab</sup>	2.74±0.03 <sup>d</sup>	1.62±0.01 <sup>d</sup>
참깨박	568.00±5.57 <sup>bc</sup>	11.74±1.22 <sup>ab</sup>	46.81±1.03 <sup>bcd</sup>	37.09±1.11 <sup>cd</sup>	3.11±0.01 <sup>a</sup>	1.24±0.01 <sup>e</sup>
들깨박	558.57±1.53 <sup>cd</sup>	11.13±0.56 <sup>abc</sup>	48.57±0.51 <sup>ab</sup>	35.55±0.32 <sup>d</sup>	2.78±0.02 <sup>cd</sup>	1.96±0.03 <sup>cd</sup>
비지박	573.33±7.23 <sup>bc</sup>	8.78±0.31 <sup>bc</sup>	47.07±1.05 <sup>abc</sup>	38.89±1.40 <sup>cd</sup>	3.01±0.04 <sup>ab</sup>	2.32±0.05 <sup>a</sup>
커피박	555.00±2.00 <sup>cd</sup>	8.89±0.11 <sup>bc</sup>	50.11±0.32 <sup>a</sup>	35.41±0.39 <sup>d</sup>	3.10±0.03 <sup>a</sup>	2.48±0.04 <sup>a</sup>
분변토	562.33±4.04 <sup>bcd</sup>	10.07±1.22 <sup>abc</sup>	47.19±0.75 <sup>abc</sup>	37.07±0.82 <sup>cd</sup>	3.21±0.03 <sup>a</sup>	2.45±0.05 <sup>a</sup>
음식물쓰레기	548.27±5.97 <sup>de</sup>	9.71±0.44 <sup>bc</sup>	39.01±0.71 <sup>e</sup>	46.33±0.37 <sup>a</sup>	2.71±0.05 <sup>cd</sup>	2.23±0.18 <sup>ab</sup>

<표 22. 10종 원료로 사육된 아메리카왕거저리 조성분>

(3) 꿀벌부채명나방

(가) 당원의 종류에 따른 증체량 분석

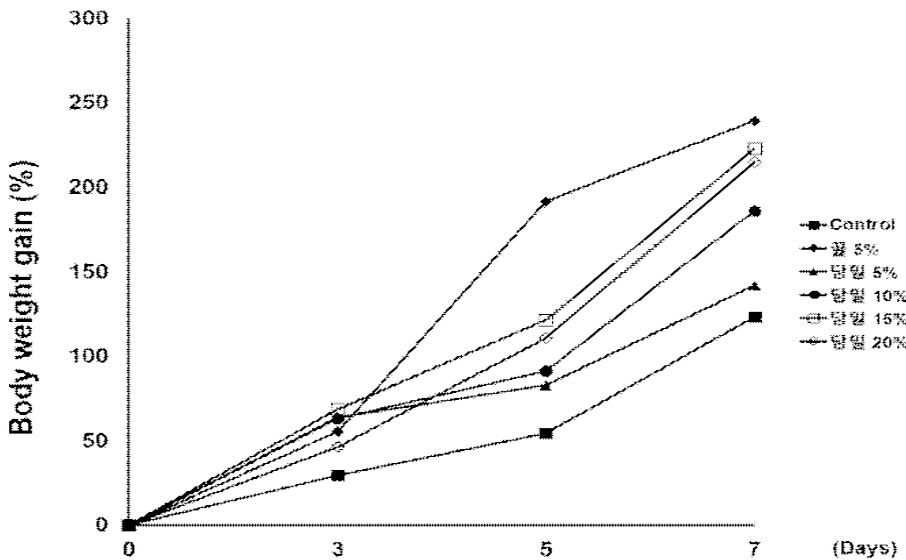
꿀벌부채명나방의 인공사료에 필요한 저비용의 당원을 선정하기 위해 당원에 따른 사육 성적을 비교한 결과(그림 10), 꿀(5%) 21.69%, 당밀(5%) 17.80%, 설탕(5%) 16.04%, 물엿(5%) 12.00%의 순서로 높은 증체량을 보였다.



<그림 10. 4종의 당원으로 사육된 꿀벌부채명나방 유충 증체량>

(나) 당밀의 농도에 따른 증체량 분석

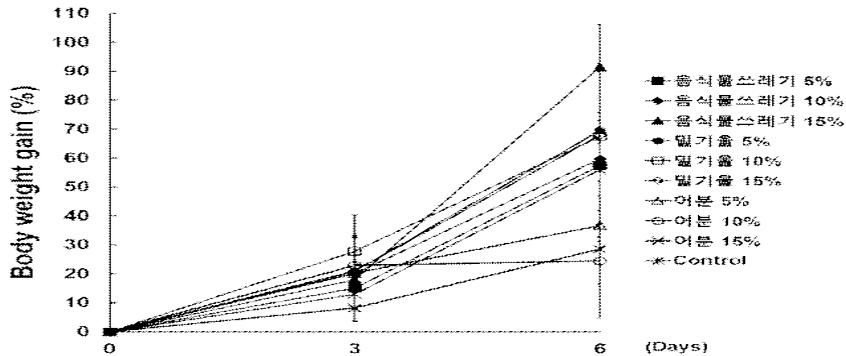
당밀의 농도에 따른 증체량을 비교 분석한 결과(그림 11), 꿀 5%(239.29%), 당밀 15%(222.92%), 당밀 20%(214.81%), 당밀 10%(186.23%), 당밀 5%(142.02%), control(124.48%) 순으로 증체량이 높았으며, 당밀의 함량이 15%일 때 꿀 5%와 비슷한 증체량을 나타내었다.



<그림 11. 당밀의 농도에 따른 꿀벌부채명나방 유충 증체량>

(다) 단백질원과 지방의 함량에 따른 사육성적

단백질원과 지방의 함량에 따른 꿀벌부채명나방의 사육성적을 확인하고자 3가지의 단백질원(음식물쓰레기, 밀기울, 어분)을 선정한 후 동태등으로부터 얻은 기름을 농도별(5, 10, 15%)로 혼합하여 7일동안 꿀벌부채명나방을 사육하였다. 그 결과(그림 12), 음식물쓰레기 15%(91.45%), 밀기울 5%(69.41%), 밀기울 15%(67.87%), 밀기울 10%(67.39%), 음식물쓰레기 10%(59.58%), 음식물쓰레기 5%(57.44%), control(55.96%), 어분 5%(36.71%), 어분 15%(28.57%), 어분 10%(28.57%)로 나타나 어분을 제외한 음식물쓰레기, 밀기울 사료가 단백질원으로 적당하다고 생각된다.



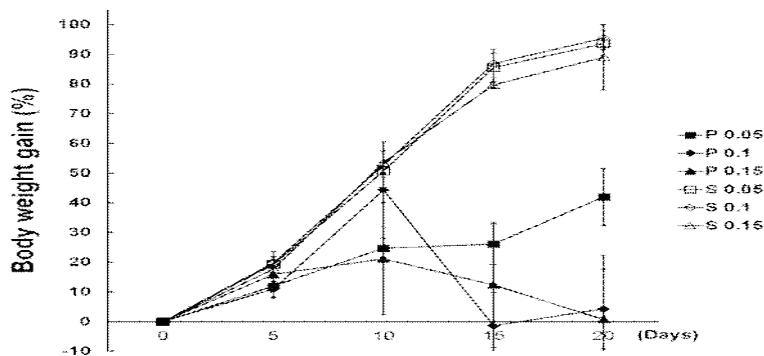
<그림 12. 단백질원과 지방의 함량에 따른 꿀벌부채명나방 유충 증체량>

라. 바이오디젤 생산용 곤충의 실내 대량 사육 시스템 개발

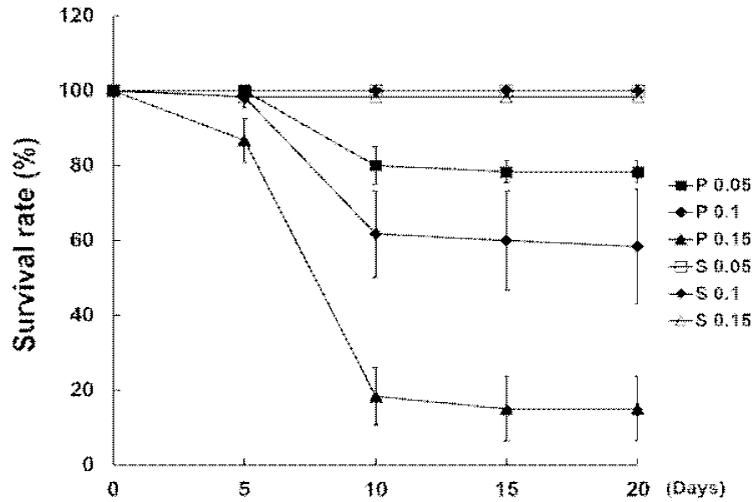
(1) 갈색거저리

(가) 대상원료에 방부제 첨가 조건 확립

① 곤충사료에 보편적으로 사용되는 Sorbic acid(S)와 누에사육에 사용되는 propionic acid(P)를 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 사료에 각각 0.05%, 0.10%, 0.15% 혼합한 후 갈색거저리에 급여해 유충의 증체량을 비교 분석하였다. 그 결과(그림 13, 그림 14), sorbic acid 처리구에서는 증체량이 증가하였지만 propionic acid를 방부제로 사용한 처리구에서는 고농도일수록 생존율이 급감하였고 증체량이 감소하는 독성을 나타내어 방부제로서는 적합하지 않은 것으로 생각된다.

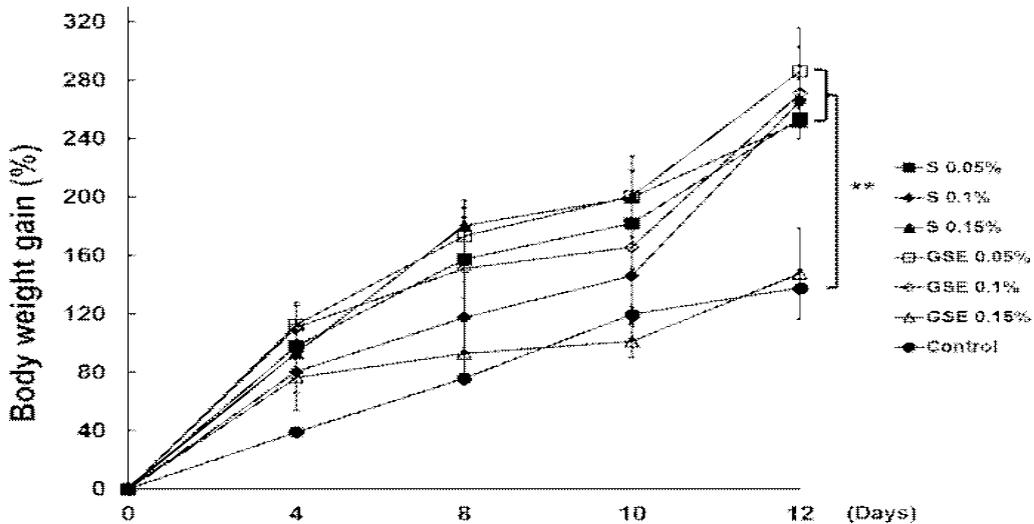


<그림 13. 방부제(S,P)를 추가한 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 사료로 사육된 갈색거저리 유충 증체량>



<그림 14. 방부제(S,P)를 추가한 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 사료로 사육된 갈색거저리의 생존율>

② 곤충사료에 사용했을 때 독성을 보이지 않은 Sorbic acid(S)와 최근 천연소재이며, 항균력이 있다고 밝혀진 자몽종자추출물(GSE)을 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 사료에 각각 0.05%, 0.10%, 0.15% 혼합한 후 갈색거저리에 급여해 유충의 증체량을 비교 분석하였다. 단, 이때는 수분공급을 위해 8g의 무를 추가하고 무는 3일마다 교체해주었다. 그 결과(그림 15), GSE 0.05%(285.99%), GSE 0.10%(271.13%), S 0.1%(265.76%), S 0.05% (253.70%), S 0.15%(251.53%), GSE 0.15%(147.64%) 로 모든 처리구에서 control 보다 높은 증체량을 나타내었으며 첨가한 방부제 2종은 갈색거저리 유충에게 독성을 보이지 않았다.

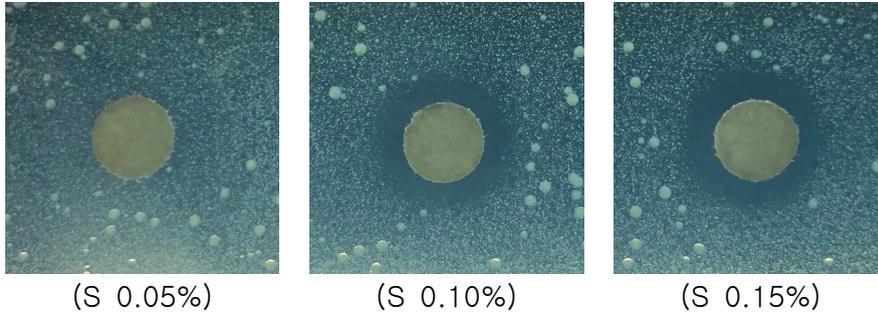


<그림 15. 방부제를 추가한 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 사료로 사육된 갈색거저리 유충 증체량>

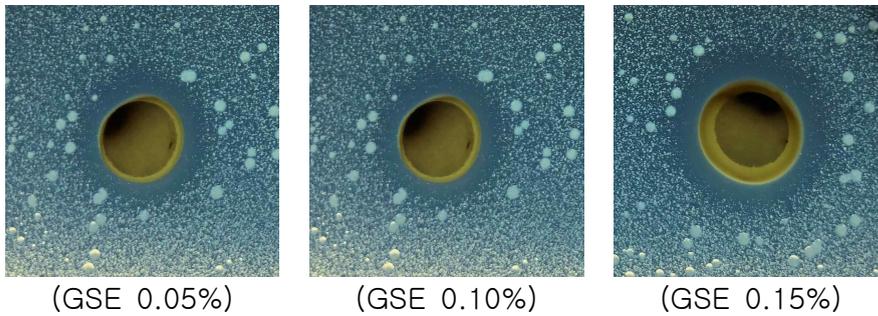
③ 방부제로 사용한 sorbic acid와 GSE를 대상으로 항균활성검정을 실시하였다. 농도는 0.05%, 0.10%, 0.15%로 동일하게 사용하였으며 식중독균인 대장균과 황색포도상구균을 대상으로 활성을 검정하였다. 그 결과(그림 16), sorbic acid와 GSE 모두 농도의존적으

로 항균활성을 가짐을 확인하였다.

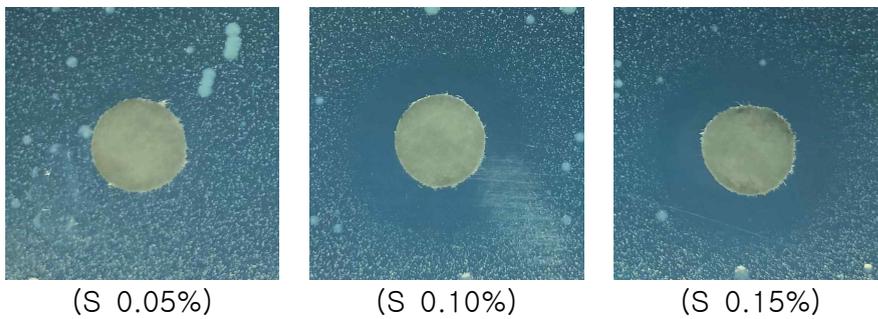
A) 대장균(sorbic acid)



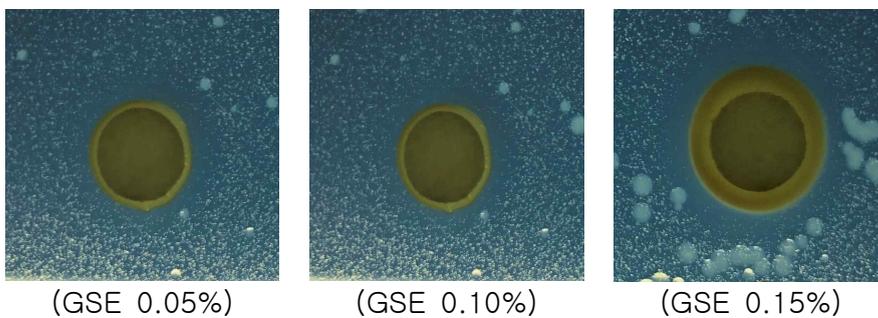
B) 대장균(GSE)



C) 황색포도상구균(sorbic acid)



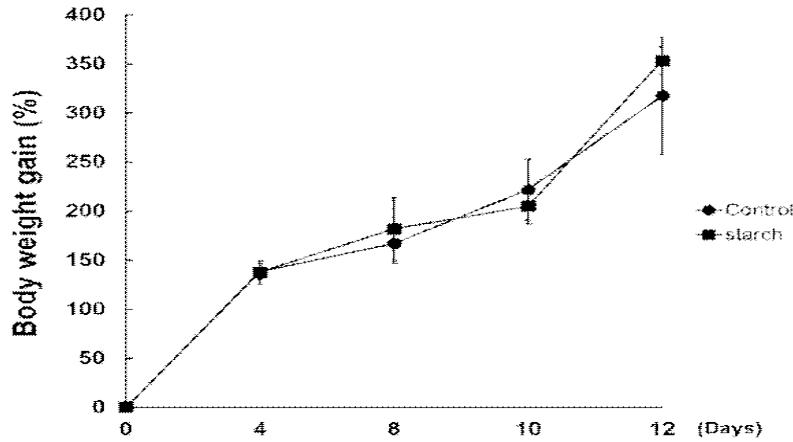
D) 황색포도상구균(GSE)



<그림 16. 방부제의 항균활성시험>

④ 대상원료에 고형화 조건 확립

다양한 동물사료에 사용되는 고형제인 감자전분(starch)(사료중량의 25%)을 사용하여 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 사료를 고형화하여 갈색거저리에 급여해 유충의 증체량을 비교 분석하였다. 그 결과(그림 17), 고형화한 사료의 증체량이 고형화하지 않은 사료보다 높게 나타났으나 유의미한 차이는 없었다. 고형화한 사료는 밀기울보다 취급이 용이하고 사료급이시에 편의성이 높아 대량사육시스템에 알맞은 사료가공법으로 생각된다.

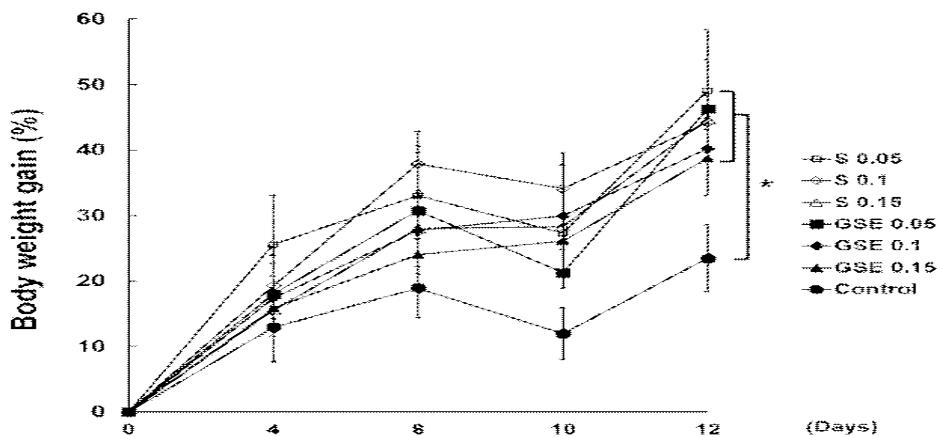


<그림 17. 고형화한 밀기울/음식물쓰레기(50/50) 사료로 사육된 갈색거저리 유충 증체량>

(2) 아메리카왕거저리

(가) 대상원료에 방부제 첨가 조건 확립

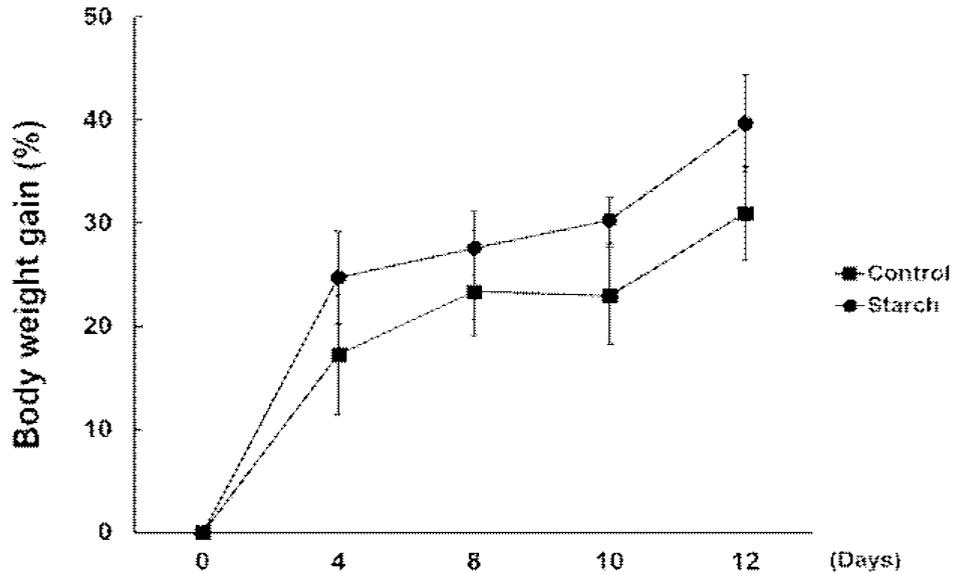
① 곤충사료에 보편적으로 사용되는 Sorbic acid(S)와 최근 향균력이 있다고 밝혀진 자몽 종자추출물(GSE)를 음식물쓰레기(100) 사료에 각각 0.05%, 0.10%, 0.15% 혼합한 후 갈색거저리에 급여해 아메리카왕거저리 유충의 증체량을 비교 분석하였다. 그 결과(그림 18), S 0.05%(49.04%), GSE 0.05%(46.29%), S 0.15%(44.67%), S 0.10%(44.20%), GSE 0.10%(40.24%), GSE 0.15%(38.78%) 로 모든 처리구에서 control(23.48%) 보다 높은 증체량을 나타내었으며 첨가한 방부제 2종은 아메리카왕거저리 유충에 독성을 보이지 않았다.



<그림 18. 방부제를 추가한 음식물쓰레기(100) 사료로 사육된 아메리카왕거저리 유충 증체량>

② 대상원료에 고형화 조건 확립

다양한 동물사료에 사용되는 고형제인 감자전분(starch)(사료중량의 25%)을 사용하여 음식물쓰레기(100) 사료를 고형화하여 아메리카왕거저리에 급여해 유충의 증체량을 비교 분석하였다. 그 결과(그림 19), 고형화한 사료의 증체량이 고형화하지 않은 사료보다 높게 나타났으나 유의미한 차이는 없었다. 고형화한 사료는 음식물쓰레기 사료보다 취급이 용이하고 사료급이시에 편의성이 높아 대량사육시스템에 알맞은 사료가공법으로 생각된다.



<그림 19. 고형화한 음식물쓰레기(100) 사료로 사육된 아메리카왕거저리 유충 증체량>

마. 선발 곤충에 대한 사육 조건 표준화

(1) 갈색거저리

(가) 온도 및 습도

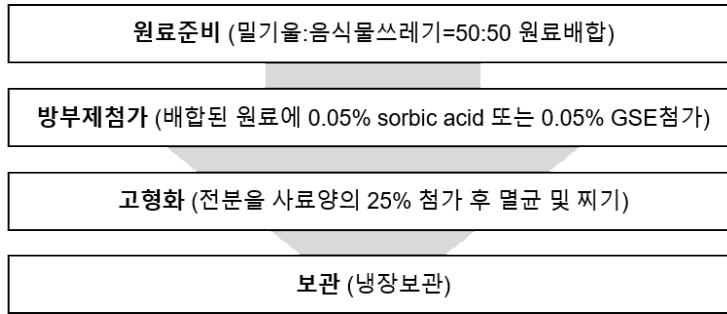
갈색거저리는 일반적인 곤충과 같이 온도가 15℃ 이하로 낮아지면 동면을 하게 되며 먹이활동도 중지된다. 그리고 온도가 증가하면 다시 활동하여 성장하게 되나 정상적으로 교미와 산란이 이루어지기 위해서는 25℃정도가 유지되어야 한다. 따라서 갈색거저리의 최적의 온도조건은 일반적인 곤충의 사육온도와 같은 25~30℃이다. 일반적으로 온도가 증가하면 발육기간이 단축된다. 갈색거저리가 고온으로 인해 폐사가 시작되는 온도는 40~45℃이며 온도가 증가하면 생식기능이 가장 민감하게 영향을 받는다. 갈색거저리는 대부분의 수분을 야채 및 과일 등의 먹이와 밀기울이 포함하고 있는 수분으로부터 섭취한다. 적당한 수분은 암컷의 산란 및 알의 발육 및 부화, 번데기의 우화에 필수적인 중요한 요소이다. 갈색거저리는 습도변화에 적응하는 능력이 강하나 최적 상대습도가 65±10%정도 유지되는 것이 좋다. 습도는 제습기 및 가습기, 창문, 환풍기를 통해 자연 및 인공환기하여 조절한다.

(나) 광조건

갈색거저리는 어두운 환경에 적응하여 강한 직사광선보다는 약한 광선 및 어두운 사육

환경에서 안정적으로 발육한다. 또한 광주기는 16L:8D로 맞추어 주는 것이 적당하다.

(다) 바이오에너지 생산을 위한 지방함량 및 증체량 최대화를 위한 고효율 사료 제조 방법 확립



<그림 20. 바이오에너지 생산을 위한 갈색거저리의 고효율 사료 제작 체계도>

(2) 아메리카왕거저리

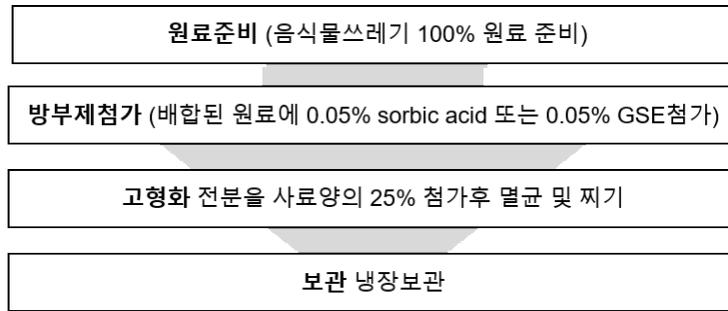
(가) 온도 및 습도

아메리카왕거저리의 최적의 온도조건은 일반적인 곤충의 사육온도와 같은 25~30℃이지만 계절에 따라 설정온도를 다르게 사육하는 것이 폐사율을 줄일 수 있다. 일반적으로 온도가 증가하면 발육기간은 단축되나 겨울철에는 외부가 건조하므로 온도를 20~25℃로 유지하는 것이 좋고 여름철에는 외부기온이 높으므로 25~30℃ 정도로 사육실을 관리하는 것이 좋다. 아메리카왕거저리는 대부분의 수분을 야채 및 과일 등의 먹이와 밀기울이 포함하고 있는 수분으로부터 섭취한다. 적당한 수분은 암컷의 산란 및 알의 발육 및 부화, 번데기의 우화에 필수적인 중요한 요소이다. 습도변화에 적응하는 능력이 강하나 최적 상대습도가 65±5% 정도 유지되는 것이 좋다. 습도는 제습기 및 가습기, 창문, 환풍기를 통해 자연 및 인공환기하여 조절한다.

(나) 광주조건

아메리카왕거저리는 갈색거저리와 마찬가지로 어두운 환경에 적응하여 강한 직사광선보다는 약한 광선 및 어두운 사육환경에서 안정적으로 발육한다. 광주기는 16L:8D로 맞추어 주는 것이 적당하다.

(다) 바이오에너지 생산을 위한 지방함량 및 증체량 최대화를 위한 고효율 사료 제조 방법 확립



<그림 21. 바이오에너지 생산을 위한 아메리카왕거저리의 고효율 사료 제작 체계도>

(3) 꿀벌부채명나방

(가) 온도 및 습도

꿀벌부채명나방의 최적의 온도조건은 일반적인 곤충의 사육온도와 같은 25~30℃이며 고온 치사온도는 48℃ 이며 저온 치사온도는 6℃이다. 습도환경 또한 갈색거저리나 아메리카왕거저리와 비슷한 60±5%이며 일반적으로 온도가 증가하면 발육기간이 크게 줄어든다. 습도는 제습기 및 가습기, 창문, 환풍기를 통해 자연 및 인공환기하여 조절한다.

(나) 광조건

꿀벌부채명나방의 유충과 성충은 모두 야행성이기 때문에 직사광선을 피하고 어두운 사육환경에서 안정적으로 발육한다. 광주기는 24시간 암조건으로 맞추어 주어야 한다.

바. 곤충별 각 발육단계별 지방함량 및 지방산 조성 비교분석

(1) 갈색거저리의 지방함량 및 지방산 조성 비교분석

(가) 발육단계별 갈색거저리의 조성분 분석

갈색거저리 종령유충, 번데기, 성충의 조성분 분석 결과(표 23), 지방은 수분포함 기준 종령유충 30.98 g/100g, 번데기 31.41 g/100g, 성충 14.65 g/100g으로 성충이 되면 지방함량이 낮아지는 것으로 확인되었으므로 바이오디젤 원료로 이용하기 위해서는 수집이 용이하고, 지방함량이 높은 유충을 이용하는 것이 좋을 것으로 사료되었다.

(g/100g)

	수분포함			수분제외		
	종령유충	번데기	성충	종령유충	번데기	성충
탄수화물	11.86±0.95	9.67±0.25	15.26±0.70	12.04±0.96	9.98±0.26	15.99±0.69
단백질	51.70±0.20	52.64±0.06	62.12±0.22	52.47±0.22	54.33±0.07	65.09±0.07
지방	30.98±0.71	31.41±0.21	14.65±0.53	31.44±0.73	32.42±0.22	15.35±0.59
회분	3.99±0.00	3.16±0.09	3.40±0.05	4.05±0.00	3.26±0.10	3.56±0.07
칼로리(Kcal)	527.67±6.80	532.00±1.00	441.33±2.08	535.49±6.96	549.11±1.15	462.49±2.98
수분	1.46±0.03	3.12±0.02	4.57±0.35	0	0	0

<표 23. 갈색거저리의 발육단계별 조성분 비교>

(나) 발육단계별 갈색거저리의 지방산 조성분석

갈색거저리 종령유충, 번데기, 성충의 지방산 조성분석 결과(표 24), 종령유충, 번데기,

성층에서 공통적으로 불포화지방산인 oleic acid가 가장 많았으며, linoleic acid, 포화지방산인 Palmitic acid의 순으로 지방산이 분포하고 있었다.

A) 포화지방산

(%)

	종량유층	번데기	성층
Palmitic (C16:0)	13.565±0.032	11.782±0.028	13.489±0.017
Myristic (C14:0)	4.230±0.015	2.284±0.008	5.698±0.010
Stearic (C18:0)	1.990±0.064	0.895±0.058	0.968±0.069
Undercanoic (C17:0)	0.871±0.151	0.974±0.057	0.917±0.001
Lauric (C12:0)	0.375±0.005	0.276±0.003	0.217±0.005
Heptadecanoic (C17:0)	0.114±0.001	0.058±0.001	0.238±0.025
Arachidic (C20:0)	0.109±0.008	0.107±0.007	0.207±0.008
Tridecanoic (C13:0)	0.093±0.002	0.082±0.001	0.025±0.010
Behenic (C22:0)	0.050±0.002	0.062±0.005	0
Pentadecanoic (C15:0)	0.008±0.015	0	0

B) 포화지방산

(%)

	종량유층	번데기	성층
Oleic (C18:1n-9,Cis)	43.177±0.143	39.548±0.058	42.058±0.079
Linoleic (C18:2n-6, Cis)	31.321±0.059	32.069±0.101	30.391±0.045
Palmitoleic (C16:1)	2.250±0.009	3.052±0.027	2.759±0.008
Linolenic (C18:3n-3)	1.108±0.014	0.945±0.028	1.258±0.007
Linolelaidic (C18:2n-6, trans)	0.257±0.032	0.253±0.025	0.274±0.009
cis-11,14-Eicosadienoci (C20:2)	0.201±0.015	0.165±0.008	0.256±0.007
Myristoleic (C14:1)	0.115±0.001	0.128±0.002	0.175±0.008
cis-11-Eicosenoic (C20:1)	0.113±0.002	0.175±0.003	0.078±0.001
Eladic (C18:1n-9, trans)	0.053±0.012	0.068±0.008	0.083±0.002

<표 24. 갈색거저리의 발육단계별 지방산 조성 비교>

(2) 아메리카왕거저리의 지방함량 및 지방산 조성 비교분석

(가) 발육단계별 아메리카왕거저리의 조성분 분석

아메리카왕거저리의 종령유층, 번데기, 성충의 조성분 분석 결과(표 25, 지방은 수분포함 기준 종령유층 36.81 g/100g, 번데기 34.53 g/100g, 성충 11.20 g/100g으로 성충이 되면 지방함량이 낮아지는 것으로 확인되었으므로 바이오디젤 원료로 이용하기 위해서는 수집이 용이하고, 지방함량이 높은 유층을 이용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

(g/100g)

	수분포함			수분제외		
	종령유층	번데기	성충	종령유층	번데기	성충
탄수화물	13.63±1.02	6.49±0.25	18.26±0.74	13.90±1.03	6.73±0.26	18.94±0.77
단백질	44.53±0.79	52.11±0.55	63.48±0.33	45.45±0.83	54.09±0.59	65.84±0.35
지방	36.81±0.59	34.53±0.37	11.20±0.46	37.54±0.60	35.82±0.37	11.61±0.48
회분	3.09±0.02	3.21±0.09	3.48±0.07	3.15±0.01	3.33±0.09	3.61±0.08
칼로리(Kcal)	564.00±2.65	545.00±2.00	428.00±2.65	575.18±2.68	565.72±1.88	443.94±2.80
수분	1.94±0.05	3.66±0.05	3.59±0.05	0	0	0

<표 25. 아메리카왕거저리의 발육단계별 조성분 분석>

(나) 발육단계별 아메리카왕거저리의 지방산 조성분석

아메리카왕거저리 종령유층, 번데기, 성충의 지방산 조성분석 결과(표 26), 종령유층, 번데기, 성충에서 공통적으로 포화지방산인 palmitic acid와 불포화지방산인 oleic acid가 가장 많이 분포하였으며 갈색거저리의 지방산 조성분석 결과와 비교하여 포화지방산의 함량이 더 높았다.

A) 포화지방산

(%)

	종령유층	번데기	성충
Palmitic (C16:0)	33.857±3.601	34.128±2.045	32.489±0.486
Stearic (C18:0)	2.031±3.519	3.186±2.089	0.189±0.156
Myristic (C14:0)	1.118±0.052	1.684±0.048	1.086±0.058
Caprylic (C8:0)	0.776±0.021	0.486±0.053	0.579±0.023
Undercanoic (C17:0)	0.751±0.186	0.088±0.008	0.156±0.084
Heptadecanoic (C17:0)	0.618±0.023	0.128±0.018	0.175±0.069
Capric (C10:0)	0.127±0.004	0.123±0.007	0.111±0.012
Arachidic (C20:0)	0.158±0.020	0.053±0.002	0.483±0.008
Behenic (C22:0)	0.081±0.003	0.024±0.006	0.058±0.007
Lauric (C12:0)	0.073±0.001	0.192±0.053	0.205±0.042
Tricosanoic (C23:0)	0.028±0.001	0.016±0.008	0.035±0.004
Tridecanoic (C13:0)	0.016±0.013	0.005±0.001	0.087±0.001
Lignoceric (C24:0)	0.011±0.010	0.008±0.002	0.025±0.007

B) 불포화지방산

(%)

	중량유출	변태기	성출
Oleic (C18:1n-9,Cis)	36.561±0.197	36.179±0.857	32.545±0.357
Linoleic (C18:2n-6, Cis)	21.516±0.083	25.684±0.014	19.585±0.017
Linolenic (C18:3n-3)	0.767±0.013	0.687±0.045	1.697±0.028
Palmitoleic (C16:1)	0.673±0.015	0.987±0.046	1.416±0.075
Myristoleic (C14:1)	0.323±0.011	0.465±0.084	0.597±0.047
Linolelaidic (C18:2n-6, trans)	0.277±0.016	0.197±0.005	0.206±0.078
cis-11,14-Eicosadienoci (C20:2)	0.164±0.002	0.187±0.001	0.267±0.008
cis-11-Eicosenoic (C20:1)	0.123±0.004	0.076±0.002	0.049±0.004
Eladic (C18:1n-9, trans)	0.088±0.024	0.089±0.001	0.047±0.009

<표 26. 아메리카왕거저리의 발육단계별 지방산 조성 비교>

(2) 꿀벌부채명나방의 지방함량 및 지방산 조성 비교분석

(가) 발육단계별 꿀벌부채명나방의 조성분 분석

꿀벌부채명나방의 중량유출 조성분 분석 결과(표 27), 지방은 수분포함 기준 33.49 g/100g 으로 확인되었다. 꿀벌부채명나방의 경우 대량증식이 쉽지 않아 바이오에너지 생산을 위한 곤충종으로는 적합하지 않은 것으로 사료된다.

(g/100g)

	수분포함	수분제외
	중량유출	중량유출
탄수화물	14.02±0.33	14.78±0.34
단백질	42.43±0.58	44.74±0.61
지방	33.49±0.33	35.32±0.35
회분	4.90±0.01	5.17±0.01
칼로리(Kcal)	572.00±2.65	603.25±2.79
수분	5.17±0.02	0

<표 27. 꿀벌부채명나방의 발육단계별 조성분 분석>

사. 바이오디젤 생산 후 곤충 부산물을 활용한 양어사료 배합비율 설정

(1) 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*, rainbow trout)용 배합사료에 이용할 원료의 조성분 분석

탈지 동애등에 유충 분말(*Hermetia illucens* larva, HIL)을 (주)그린테코로부터 분양을 받아 이를 이용하여 무지개송어 사료를 배합하였다. 무지개송어 사료의 원료는 어분, 밀가루, 밀기울, 탈지 동애등에 유충 분말, α-전분, 미네랄 혼합물, 비타민 혼합물이며, 각 원료의 조성분 분석은 과 같다. 일반적인 아메리카 동애등에의 지방함량은 34.8% 이며, 무지개송어용 배합사료에 사용된 아메리카 동애등에의 조성분 분석 결과, 면역을 유도하지 않은 동애등에 유충 분말(HIL)에서 지방이 11%로 분석되어 23%가량 탈지가 되었으며, 면역을 유도한 동애등에(Immunized *Hermetia illucens* larva, ImHIL)의 경우 지방이 2%로 분석되어 32% 가량 탈지가 되어 조지방 함량에서 차이가 있었고 추후 이에 대한 표준화가 이루어져야 보다 품질이 균일한 사료가 재현성있게 제조될 것이라 생각되었다.

(g/100g)

원료 항목	어분	밀가루	밀기울	α-전분	일반 동애등에	면역유도 동애등에
수분	6.73 ± 0.27	13.11 ± 0.25	13.88 ± 0.11	7.64 ± 0.16	4.04 ± 0.03	3.72 ± 0.02
조단백질	65.09 ± 0.99	13.32 ± 0.22	14.8 1 ± 0.41	0.14 ± 0.03	48.22 ± 0.67	46.94 ± 0.45
조지방	7.61 ± 0.01	1.55 ± 0.22	3.15 ± 0.12	-	11.30 ± 0.67	2.14 ± 0.05
탄수화물	2.12 ± 1.18	70.72 ± 0.18	56.27 ± 0.86	92.19 ± 0.08	12.41 ± 0.58	21.26 ± 0.76
조섬유	0.22 ± 0.03	0.24 ± 0.01	7.81 ± 0.30	-	7.97 ± 0.08	7.37 ± 0.07
조회분	17.98 ± 0.49	0.78 ± 0.03	3.91 ± 0.18	-	15.78 ± 0.02	18.33 ± 0.16
요소	0.25 ± 0.02	0.30 ± 0.05	0.18 ± 0.04	-	0.28 ± 0.00	0.24 ± 0.01

<표 28. 무지개송어용 사료 제조를 위한 원료의 조성분 분석>

(2) 무지개송어용 HIL 배합사료 제조를 위한 배합비율 설정

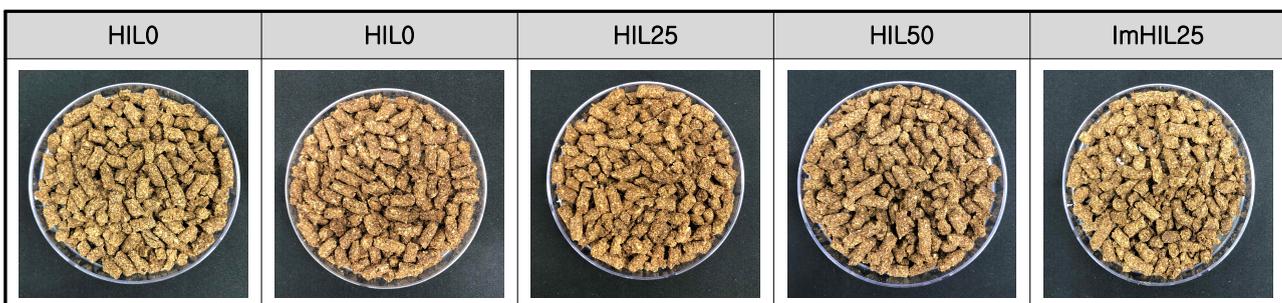
사료로 사용할 각 원료의 조성분 분석 결과를 바탕으로 각 사료의 영양성분 비율을 단백질 45%, 조지방 15%, 탄수화물 19%, 회분 12%가 되게 설정하여 사료를 제작하였다. 동애등에 분말은 일반 동애등에 분말과 면역이 유도된 동애등에 분말 2가지를 사용하였으며 기존 어류사료 중 단백질원인 어분을 각각 25%, 50% 대체하였다. 사료는 분말상태인 어분, 밀가루, 밀기울, α-전분, 동애등에 분말, 미네랄 혼합물, 비타민 혼합물과 액체상태인 어유를 혼합한 뒤 60%의 증류수를 섞어 반죽기에 넣고 30분간 반죽한 후, 민서기로 압착 및 펠렛으로 제형화 하였다. 이후 제형화된 사료는 3일간 자연 건조하였고, 건조된 사료를 길이가 0.5 mm가 되게 절단하여 무지개송어 사료로 사용하였다.

(g/kg)

원료	사료	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
어분		650	470	285	480	310
어유		100	80	63	100	105
일반 동애등에		-	250	500	-	-
면역유도 동애등에		-	-	-	250	500
밀가루		200	150	102	120	35
α-전분		50	50	50	50	50
미네랄 혼합물		10	10	10	10	10
비타민 혼합물		10	10	10	10	10

※ 단백질:지방:탄수화물 = 45:15:19

<표 29. 동애등에 부산물을 활용한 무지개송어용 사료 배합비율>



<표 30. 동애등에 분말이 포함된 무지개송어용 배합사료 제조>

### 아. 양어사료 제조 및 특성 분석

무지개송어 배합사료의 조성분 분석 결과, 단백질 함량은 HIL0 (483.3 g/kg), HIL25 (476.2 g/kg), HIL50 (470.8 g/kg), ImHIL25 (476.4 g/kg), ImHIL50 (473.7 g/kg)으로 모두 비슷한 단백질 함량을 나타냈다. 지방함량은 HIL0 (162.3 g/kg), HIL25 (167.3 g/kg), HIL50 (188.5 g/kg), ImHIL25 (157.2 g/kg), ImHIL50 (187.6 g/kg)로 분석되어, 동애등에 분말의 대체율이 높은 사료에서 지방함량이 더 높았다. 에너지값 또한 5가지 사료간에 유의한 차이가 없었으므로 원료의 성분 분석 결과를 토대로 단백질:지방:탄수화물 비율을 45:15:19로 계산하여 배합한 사료가 잘 제조되었음을 확인할 수 있었다.

(g/100g)

원료 \ 처리구	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
수분	5.66 ± 0.04	6.00 ± 0.06	6.26 ± 0.07	6.31 ± 0.13	6.17 ± 0.08
조단백질	45.59 ± 0.37	44.93 ± 0.20	44.42 ± 0.16	44.95 ± 0.05	44.70 ± 0.21
조지방	15.31 ± 0.21	15.79 ± 0.06	17.79 ± 0.05	14.83 ± 0.18	17.70 ± 0.20
탄수화물	18.44 ± 0.13	18.96 ± 0.22	14.50 ± 0.05	15.56 ± 0.11	14.78 ± 0.35
조섬유	0.94 ± 0.01	0.35 ± 0.05	2.15 ± 0.10	4.88 ± 0.12	1.82 ± 0.08
조회분	13.24 ± 0.02	13.07 ± 0.08	14.07 ± 0.21	12.66 ± 0.04	14.78 ± 0.35
요소	0.83 ± 0.01	0.92 ± 0.11	0.83 ± 0.10	0.83 ± 0.01	0.82 ± 0.08
칼로리 (Kcal)	490.00 ± 1.13	489.90 ± 0.56	491.95 ± 4.74	480.80 ± 2.55	498.15 ± 4.46

<표 31. 무지개송어용 HIL 배합사료의 조성분 분석 >

(cal/g)

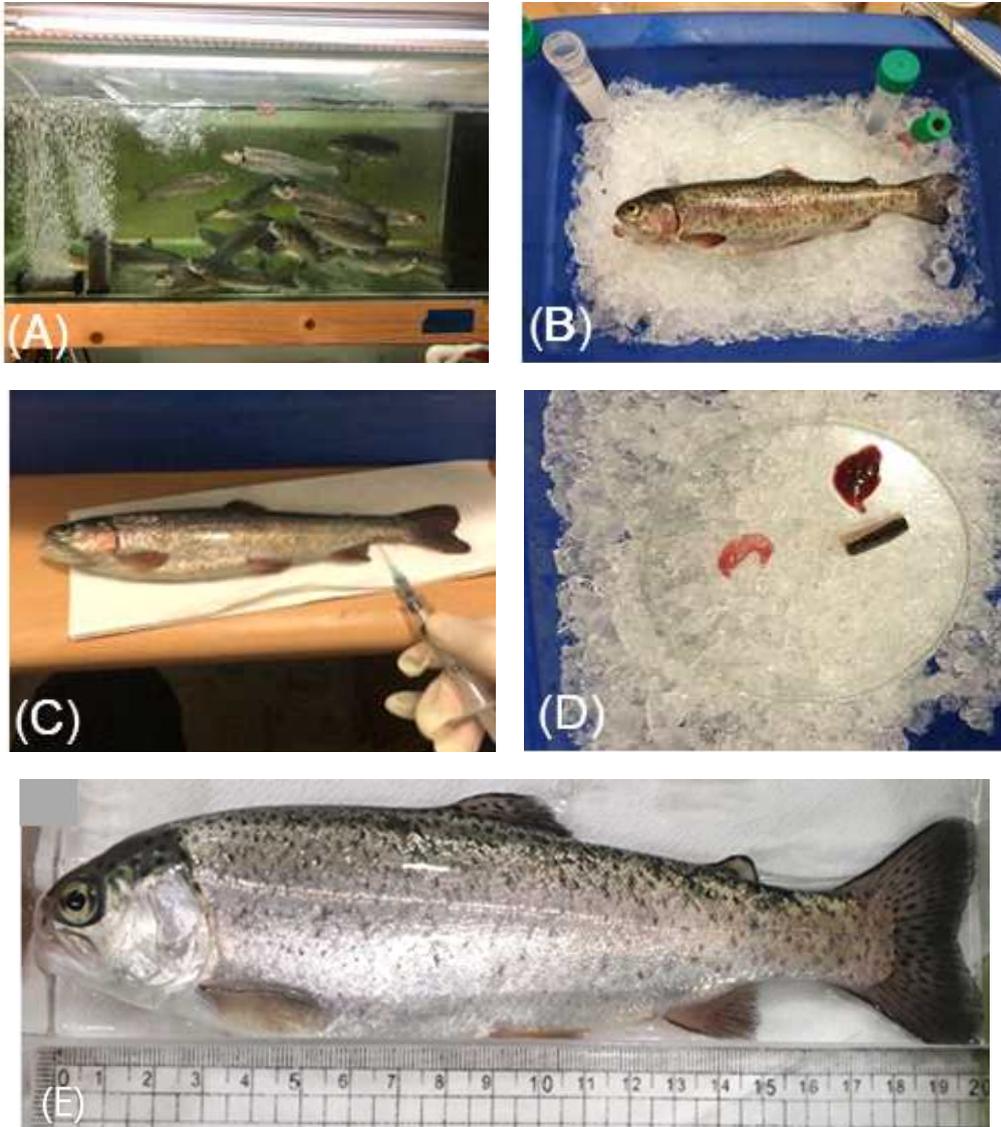
사료	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
에너지값 (Kcal)	490.00 ± 1.13	489.90 ± 0.56	491.95 ± 4.74	480.80 ± 2.55	498.15 ± 4.46

<표 32. 무지개송어용 HIL 배합사료의 에너지값 분석 >

### 자. 개발한 사료의 양어에 급여 후 사육성적 분석

#### (1) 사육방법, 사육기간 및 시료채취 방법

본 연구에서 제조한 HIL 배합사료의 무지개송어 발육 및 면역력에 미치는 영향 분석은 총 6주간 급여 후 평가되었다. 제조한 사료를 무지개송어 무게의 2%의 무게로 매일 급여하며 18℃에서 무지개송어를 양식하였다. 무지개송어는 알, 치어, 청소년기, 성어의 단계로 발육하며, 청소년기의 경우 다시 parr와 smolt의 단계를 거친다. 실험에 사용된 무지개송어는 최초 parr 단계(그림 22B)였으며, 실험이 종료된 때는 바다로 가기 위해 은백색의 광택이 나기 시작하는 smolt 단계로 성장하였다. 본 연구에 사용한 무지개송어의 초기무게는 174.45±8.95 g, 길이는 24.63±0.43 cm 였다. 본 연구에서 제조한 HIL 배합사료의 무지개송어에 미치는 영향을 평가하기 위해 무지개송어 시료는 양식 후 3주차와 6주차에 각각 해부하여 혈액, 근육, 간을 분리하여 준비하였다.



<그림 22. 무지개송어의 사육수조 및 시료채취 과정, 수조내 무지개송어(A), 해부전 무지개송어(B), 무지개송어의 혈액 채취(C), 채취된 간, 아가미, 근육(D), smolt 상태의 무지개송어(E)>

(2) HIL 배합사료의 무지개송어 생존율에 미치는 영향 분석

생존율은 계산식으로 계산하였으며, 식은 다음과 같다.

$$\text{생존율} = \{(\text{최초개체수} - \text{폐사개체수}) / \text{최초개체수}\} \times 100$$

생존율의 경우 6주차 HIL25 처리구에서 1마리만이 폐사하였고 다른 처리구에서는 폐사개체수가 발생하지 않았다(표 33). 따라서 모든 사료 처리구에서 무지개송어의 생존율이 저하되지 않고 양호함을 확인할 수 있었다.

(%)

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	100 ± 0.00 <sup>a</sup>	100 ± 0.00 <sup>a</sup>	100 ± 0.00 <sup>a</sup>	100 ± 0.00 <sup>a</sup>	100 ± 0.00 <sup>a</sup>
6	100 ± 0.00 <sup>a</sup>	96.7 ± 2.65 <sup>a</sup>	100 ± 0.00 <sup>a</sup>	100 ± 0.00 <sup>a</sup>	100 ± 0.00 <sup>a</sup>

<표 33. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 생존율>

(3) HIL 배합사료의 무지개송어 증체량에 미치는 영향 분석

무지개송어의 증체량은 계산식으로 계산하였으며, 계산식은 다음과 같다.

$$\text{증체량}(\%) = \{[\text{최종무게}(\text{g}) - \text{최초무게}(\text{g})] / \text{최초무게}(\text{g})\} \times 100$$

3주차까지는 HIL0 (16.12%), HIL25 (15.74%), HIL50 (14.51%), ImHIL25 (13.87%), ImHIL50 (12.82%)로 어분을 대체하지 않은 처리구의 증체량이 가장 높았으나, 6주차에서는 HIL0 (32.85%), HIL25 (37.10%), HIL50 (33.73%), ImHIL25 (33.52%), ImHIL50 (32.51%)로 HIL25 처리구가 증체량이 가장 높은 것으로 나타났다(표 34). 따라서 6주차에는 일반 동애 동애 유충 분말로 기존 어분을 25% 대체한 HIL25 처리구에서 증체량이 다소 높게 나타났지만 다른 처리구와 통계적 유의성은 나타나지 않아서 모든 사료의 증체량에 미치는 영향이 유사함을 알 수 있었다.

(%)

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	16.12 ± 0.94 <sup>a</sup>	15.75 ± 6.20 <sup>b</sup>	14.51 ± 0.99 <sup>b</sup>	13.87 ± 1.54 <sup>b</sup>	12.82 ± 2.52 <sup>c</sup>
6	32.85 ± 0.86 <sup>a</sup>	37.10 ± 7.93 <sup>a</sup>	33.73 ± 5.68 <sup>a</sup>	33.52 ± 6.10 <sup>a</sup>	32.51 ± 3.69 <sup>a</sup>

<표 34. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 증체량>

(4) HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 혈액 내 적혈구 숫자 계수(Red blood cell count, RBC)

적혈구 수 측정은 무지개송어의 혈액을 채취하여 혈구계수기로 측정하였다. 적혈구 수의 측정은 무지개송어의 생리학적 부분과 건강에 대한 간접적인 지표임과 동시에 미량원소, 사료의 질을 확인하는 지표로 사용된다(Maita., 2007). 무지개송어의 정상 적혈구수는  $0.71 \times 10^6/\text{mm}^3$ 에서  $1.73 \times 10^6/\text{mm}^3$ 이며(McCarthy et al., 1975), 모든 처리구에서 유의적인 차이없이 적혈구 수가 유사하였고, 모두 정상 범위의 적혈구 수가 관찰됨을 확인하였다(표 35).

( $10^6/\text{mm}^3$ )

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	1.01 ± 0.17 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.28 <sup>a</sup>	0.98 ± 0.31 <sup>a</sup>	0.99 ± 0.25 <sup>a</sup>	1.06 ± 0.26 <sup>a</sup>
6	0.85 ± 0.27 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.24 <sup>a</sup>	0.85 ± 0.24 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.17 <sup>a</sup>	0.97 ± 0.20 <sup>a</sup>

※ 최초 무지개 송어 RBC :  $0.83 \pm 0.03$

<표 35. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 적혈구 숫자>

(5) HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 혈액 내 적혈구용적율(hamatocrit) 측정

적혈구용적율(hamatocrit) 측정은 혈액 채취 직후 헤마토크리트용 원심기를 이용하여 측정하였다. 모세관에 혈액을 주입한 후 12,000 rpm, 15분간 원심분리한 후 적혈구가 차지하는 용적율을 계산하였다. 정상적인 무지개송어의 적혈구용적율은 30~49%이며(McCarthy et al., 1975)이다. 최초 무지개송어의 적혈구용적율은 34.53%였고, 3주차에는 HIL0 처리구에서 적혈구용적이 가장 높았고, HIL25에서 가장 낮았다. 6주차에는 HIL0, HIL50, ImHIL50에서 높은 적혈구 용적이 측정되었으며 HIL25에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 모든 처리구의 적혈구용적은 정상범위로 측정되었다(표 36).

(%)

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	38.93 ± 0.06 <sup>a</sup>	30.76 ± 0.04 <sup>c</sup>	35.05 ± 0.03 <sup>b</sup>	36.30 ± 0.05 <sup>b</sup>	32.51 ± 0.02 <sup>c</sup>
6	38.00 ± 0.06 <sup>a</sup>	30.29 ± 0.04 <sup>c</sup>	38.97 ± 0.03 <sup>a</sup>	35.98 ± 0.05 <sup>b</sup>	38.20 ± 0.02 <sup>a</sup>

※ 최초 무지개 송어 Haematocrit : 34.53 ± 0.76

<표 36. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 적혈구용적>

(6) HIL 배합사료의 무지개송어 일간성장률(specific growth rate)에 미치는 영향 분석

무지개송어의 일간성장률은 계산식으로 계산하였으며, 식은 다음과 같다.

$$(\%/day) = \{(\ln\text{최종무게} - \ln\text{최초무게}) / \text{일수}\} \times 100$$

무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 일간성장률은 HIL0 (0.352 g), HIL25 (0.388 g), HIL50 (0.361 g), ImHIL25 (0.300 g), ImHIL50 (0.348 g)으로 HIL25 처리구에서 가장 높은 일간성장률을 보였다(표 37).

(g)

처리구	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
일간성장률	0.352 ± 0.017 <sup>b</sup>	0.388 ± 0.012 <sup>a</sup>	0.361 ± 0.011 <sup>b</sup>	0.300 ± 0.020 <sup>b</sup>	0.348 ± 0.033 <sup>b</sup>

<표 37. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 일간성장률>

(7) HIL 배합사료의 무지개송어 사료효율에 미치는 영향 분석

사료계수는 물고기가 1 g 성장하는데 필요한 사료의 양이며, 이것의 역수가 사료효율이다. 무지개송어의 사료효율은 계산식으로 계산하였으며, 식은 다음과 같다.

$$\text{사료효율}(\%) = (\text{증체량} / \text{사료섭취량}) \times 100$$

무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 사료효율은 3주차에는 HIL0에서 가장 높았고 ImHIL50에서 가장 낮았으며, 6주차에는 HIL25 처리구가 다소 높았지만 HIL 함유 모든 처리구간 통계적 유의한 차이는 없었으며 동애등애가 함유되지 않은 HIL0에 비해 사료효율이 유의적으로 높음을 알 수 있었다(표 38).

(%)

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	76.68 ± 10.2 <sup>a</sup>	76.60 ± 24.18 <sup>a</sup>	71.14 ± 5.05 <sup>a</sup>	68.40 ± 7.72 <sup>b</sup>	59.15 ± 6.75 <sup>b</sup>
6	44.49 ± 1.44 <sup>b</sup>	59.36 ± 13.08 <sup>a</sup>	52.99 ± 13.08 <sup>a</sup>	54.51 ± 17.07 <sup>a</sup>	51.60 ± 7.90 <sup>a</sup>

<표 38. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 사료효율>

(8) HIL 배합사료의 무지개송어 비만도(condition factor)에 미치는 영향 분석

비만도는 물고기의 무게와 길이의 비율로서 1.10에서 1.20정도가 보통이며 1.10의 미만은 영양상태가 좋지 않음을 나타낸다(Barnham and Bacter., 2003). 무지개송어의 비만도는 계산식으로 계산하였으며, 식은 다음과 같다.

$$\text{비만도} = \{\text{무게(g)}/\text{길이(cm}^3)\} \times 100$$

무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 비만도는 3주차에는 동태등에 분말이 포함된 모든 처리구에서 유의미하게 더 높은 값을 나타냈으며, 6주차에는 HIL0 및 ImHIL50가 1.18로 가장 높은 비만도를 나타내었다. 또한 모든 처리구의 무지개송어가 1.14에서 1.19 범위의 정상적인 비만도를 나타냄을 확인하였다(표 39).

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	1.14 ± 0.00 <sup>b</sup>	1.18 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.19 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.19 ± 0.02 <sup>a</sup>
6	1.18 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.15 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.17 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.15 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.18 ± 0.01 <sup>a</sup>

<표 39. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 비만도>

(9) HIL 배합사료의 무지개송어 간중량 지수에 미치는 영향 분석

간중량 지수는 체중 중 간의 무게가 차지하는 비율로, 간중량 지수가 높을수록 건강한 상태를 유지하고 있다고 볼 수 있다(Maita., 2007). 무지개 송어의 간중량 지수는 계산식으로 계산하였으며, 식은 다음과 같다.

$$\text{간중량지수(\%)} = \{(\text{간중량(g)}/\text{체중(g)}) \times 100$$

HIL 배합사료를 급여한 무지개 송어의 간중량지수의 증가폭은 ImHIL25와 ImHIL50에서 가장 많이 증가한 것으로 측정되었다(표 40).

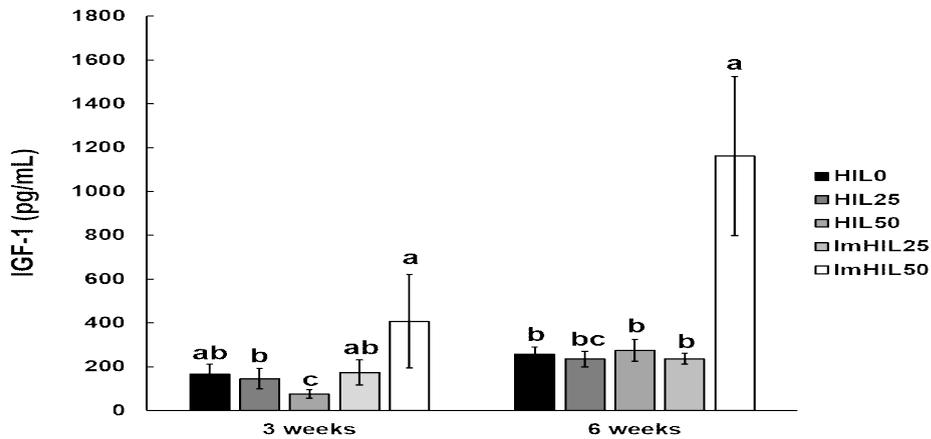
(%)

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	0.83 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.91 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.10 <sup>b</sup>	0.85 ± 0.23 <sup>b</sup>	0.77 ± 0.11 <sup>c</sup>
6	0.86 ± 0.12 <sup>b</sup>	0.95 ± 0.22 <sup>a</sup>	0.86 ± 0.06 <sup>b</sup>	0.98 ± 0.30 <sup>a</sup>	0.89 ± 0.10 <sup>b</sup>
변화량	103.61	104.40	103.61	115.29	115.58

<표 40. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 간중량지수>

(10) HIL 배합사료의 무지개송어 인슐린유사성장인자(insulin-like growth factor-1, IGF-1)에 미치는 영향 분석

인슐린유사성장인자는 인슐린과 구조가 비슷한 분자량 7,500의 폴리펩타이드로 이루어진 성장인자로, 세포의 증식이나 단백질 생합성에서 성장호르몬의 작용을 매개하는 역할을 한다(Maita., 2007). 무지개송어의 혈청에서 IGF-1의 수치를 측정된 결과, 사료 급여후 3주 후보다 6주 후에 IGF-1의 수치가 증가하였으며, 특히 ImHIL50의 처리구에서 유의적으로 2.5배가량 증가한 수치를 나타냈다.



<그림 23. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 혈액 내 IGF-1수치 비교>

(11) 동애등어의 면역유도 여부가 무지개송어 면역 증강에 미치는 영향 분석

(가) HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 혈액 내 aspartate aminotransferase(AST)분석

AST는 간세포에 존재하는 효소로, 세포가 손상을 받을 경우 농도가 증가하여, 간관련 질병의 지표로 사용되고 있다(Huang et al., 2006). AST 수치는 최초 무지개 송어에서의 67.57 U/L보다 3주차와 6주차에서 감소한 AST 수치를 확인하였다. 3주차에 AST 수치는 처리구간 유의차 없이 유사하였고, HIL50에서 가장 높았고 ImHIL50에서 가장 낮은 값을 나타냈다. 6주차에는 면역유도한 동애등에 분말이 포함된 사료를 급여한 처리구에서 보다 낮은 AST 수치를 보였다. 또한 동애등에 대체율이 같은 처리구간의 비교에서는 면역유도한 동애등에가 포함된 처리구에서 더 낮은 AST 수치를 나타내었다(표 41).

(U/L)

처리구 기간(주)	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
3	31.90 ± 9.50 <sup>a</sup>	37.44 ± 18.8 <sup>a</sup>	38.67 ± 16.38 <sup>a</sup>	33.78 ± 15.87 <sup>a</sup>	29.64 ± 14.10 <sup>a</sup>
6	30.57 ± 6.19 <sup>ab</sup>	28.58 ± 2.39 <sup>ab</sup>	33.16 ± 11.48 <sup>ab</sup>	23.78 ± 9.89 <sup>c</sup>	27.97 ± 9.60 <sup>bc</sup>

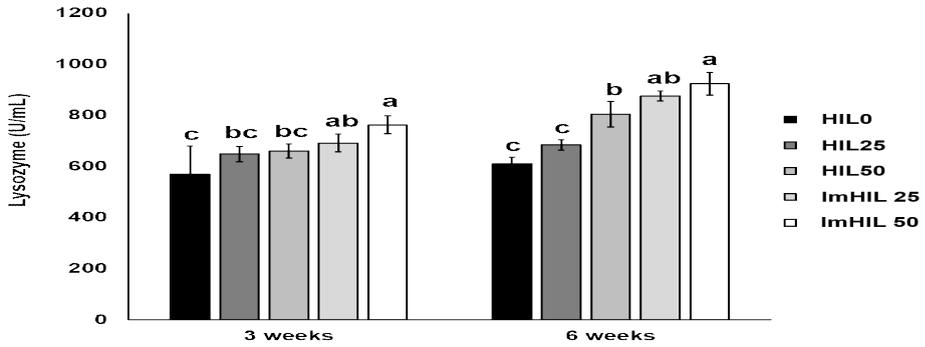
※ 최초 무지개 송어 AST : 67.57 ± 16.72

<표 41. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 혈액 내 AST 함량>

(12) HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 혈액 내 라이소자임(lysozyme) 활성 분석

라이소자임은 세균의 세포벽을 파괴하는 효소로 숙주의 면역 방어에 중요한 부분을 담당한다(Kim. 2009). 3주차와 6주차의 라이소자임 활성의 비교 결과, HIL50, ImHIL25,

ImHIL50에서 유의미하게 증가하는 것을 확인하였다. 처리구간의 비교에서는 면역유도된 동애등에 분말이 포함된 처리구에서 더 높은 라이소자임활성을 확인하였다(그림 24). 이러한 라이소자임 활성의 증가는 병원체 감염으로부터 방어효능을 높이는 것으로 보고되어 있어(Kim. 2009), 면역동애등에 유충 분말 첨가는 무지개송어의 세균에 대한 방어력을 높일 것이라 추정할 수 있었다.

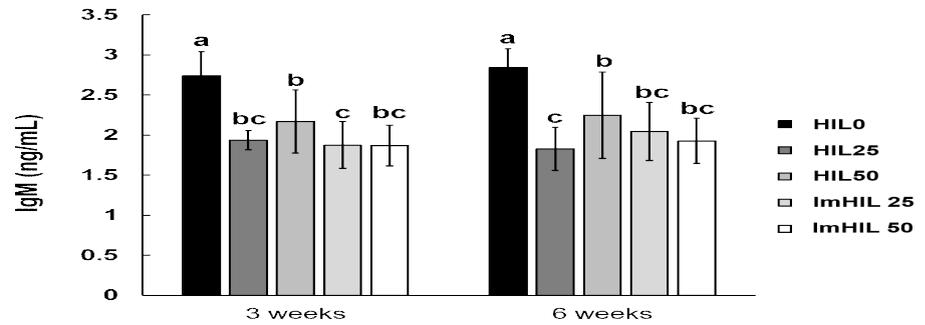


<그림 24. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 혈액 내 라이소자임 활성의 처리구간의 비교>

(13) HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 혈액 내 면역글로불린 M (Immunoglobulin M, IgM) 분석

면역글로불린 M(IgM)은 외부 병원체에 감염되었을 때 최초로 생산되는 항체이다. 외부 병원체에 의해 가장 먼저 발현되므로 중요한 면역지표로 활용되고 있다(Mashoof and Criscitiello. 2016). 처리구간 비교 결과, 면역동애등에 분말이 포함된 처리구에서 다소 낮은 IgM양이 검출되었다(그림 25). 면역글로불린 M은 세포에 독성이 유발되거나 독성과 유사한 반응에서 활성을 나타내므로(Mashoof and Criscitiello. 2016), 면역동애등에 유충 분말이 함유된 배합사료 급여는 면역증강 효과가 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과를 통해, 면역유도 동애등에 분말이 포함된 배합사료를 급여한 무지개 송어에서 간세포의 손상으로 발생하는 AST의 양이 줄어들었고, 라이소자임의 활성이 높아져 병원성 세균에 의한 세포 독성 유발 빈도가 낮아지므로 IgM의 양도 줄어들었다고 추정할 수 있었다. 따라서 면역유도 동애등에 유충 분말은 무지개 송어의 성장에도 양호한 영향을 미쳤고, 불포화지방산인 올레산 함량이 체내에 다소 높았으며, 면역증강 효과를 유발함을 알 수 있었다.



<그림 25. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 혈액 내 IgM 함량의 처리구간의 비교>

차. 곤충 사료를 급여한 어류의 특성 분석

(1) HIL 배합사료를 급여한 무지개송어 조성분 분석

HIL 배합사료를 무지개송어에 급여한 후 6주 경과시 조성분 분석을 실시하였다. 그 결과, 단백질, 탄수화물, 회분, 수분은 모든 사료 처리구에서 유의미한 차이를 보이지 않아 유사하였다. 하지만 지방의 경우, HIL25 및 HIL50 사료를 급여한 처리구에서 지방함량이 높은 것으로 나타났는데, 이는 면역유도를 하지 않은 일반 동애등에 분말(HIL)의 비교적 높은 지방함량으로 인해 배합사료 내 지방함량을 모든 사료에서 일정하게 하기 위해 일반 동애등에 분말 첨가 사료의 경우 타 처리구에 비해 첨가된 어유의 양이 적고 양질의 동애등에 유충 지방 함량이 높았기 때문이라 추측되었다(표 42).

(g/100g)

처리구 분석항목	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
단백질	19.42 ± 0.10 <sup>a</sup>	19.92 ± 0.06 <sup>a</sup>	20.01 ± 0.06 <sup>a</sup>	20.35 ± 0.03 <sup>a</sup>	19.61 ± 0.09 <sup>a</sup>
지방	2.88 ± 0.10 <sup>c</sup>	3.19 ± 0.17 <sup>b</sup>	5.15 ± 0.42 <sup>a</sup>	2.52 ± 0.11 <sup>c</sup>	2.63 ± 0.21 <sup>c</sup>
탄수화물	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.01 ± 0.00 <sup>a</sup>
회분	1.38 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.41 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.36 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.02 <sup>a</sup>
수분	76.31 ± 0.04 <sup>a</sup>	75.48 ± 0.13	73.46 ± 0.04 <sup>a</sup>	75.68 ± 0.13 <sup>a</sup>	76.38 ± 0.06
열량	103.60 ± 0.78 <sup>b</sup>	108.40 ± 1.37 <sup>b</sup>	126.43 ± 3.90 <sup>a</sup>	104.08 ± 0.83 <sup>b</sup>	102.10 ± 1.69 <sup>b</sup>

<표 42. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 일반조성분 분석>

(2) HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 지방산 조성분석

HIL 배합사료를 무지개 송어에 급여 후 6주 경과 시 지방산 조성을 분석하였다. 그 결과, HIL25 및 HIL50 사료를 급여한 처리구에서 높은 불포화지방산 함량을 나타내는 것을 확인하였고(표 43), 올레인산, 리놀레산, 리놀렌산의 함량이 다른 처리구에 비해 높은 것을 확인하였다(표 44). 이는 탈지가 충분히 되지 않은 일반 동애등에 유충 분말(HIL)의 높은 곤충 지방함량으로 인해 다른 사료보다 함유된 어유의 양이 줄어들고 불포화지방산이 풍부한 동애등에 분말의 지방이 포함되었기 때문이라고 생각된다.

(%)

처리구	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
비율 (SFA : USFA)	37.5 : 62.5	32.4 : 67.6	33.6 : 66.4	33.6 : 66.4	47.7 : 52.3

※ SFA:포화지방산, USFA:불포화지방산

※ 어유 SFA:USFA = 35.5:64.5,

※ 동애등에 유충 SFA:USFA = 41.62:58.38

<표 43. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 지방산 조성 비율>

(g/100g)

분석항목	처리구	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
	Myristoleic (C14:1)		0.001	0.001	0.003	0.001
Palmitoleic (C16:1)		0.103	0.106	0.248	0.088	0.09
Oleic acid (C18:1 trans)		0.01	0.013	0.021	0.008	0.103
Oleic acid (C18:1 Cis)		0.657	0.726	1.42	0.559	0.01
Linoleic (C18:2, trans)		0.006	0.007	0.012	0.007	0.005
Linoleic (C18:2 Cis)		0.374	0.444	0.743	0.312	0.34
Trans linoleic acid (C18:3 trans)		0.029	0.03	0.055	0.024	0.03
Linolenic (C18:3n-3)		0.059	0.076	0.127	0.096	0.055
Gadoleic acid (C20:1)		0.037	0.045	0.088	0.032	0.037
Eicosadienoic (C20:2)		0.034	0.043	0.069	0.027	0.03
Dihomo-gamma-linoleic acid (C20:3n-6)		0.015	0.16	0.025	0.011	0.013
Erucic acid (C22:1n-9)		0.006	0.006	0.013	0.005	0.006
Eicosatrienoic (C20:3n-3)		0.004	0.006	0.01	0.004	0.004
Arachidonic (C20:4n-6)		0.026	0.026	0.032	0.019	0.018
Brassic acid (C22:2)		0.012	0.016	0.026	0.01	0.012
EPA (C20:5n-3)		0.08	0.079	0.11	0.059	0.058
Nervonic (C24:1)		0.011	0.012	0.016	0.008	0.008
DHA (C22:6n-3)		0.343	0.34	0.388	0.248	0.229
불포화지방산 합계		1.325	1.651	2.811	1.165	0.714

<표 44. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 불포화지방산 분석>

(g/100g)

분석항목	처리구	HIL0	HIL25	HIL50	ImHIL25	ImHIL50
	Capric acid (C10:0)		0.003	0.002	0.003	0.002
Lauric acid (C12:0)		0.086	0.043	0.085	0.044	0.079
Myristic acid (C14:0)		0.077	0.078	0.142	0.058	0.07
Pentadecanoic acid (C15:0)		0.006	0.007	0.011	0.005	0.005
Palmitic acid (C16:0)		0.485	0.505	0.904	0.374	0.382
Heptadecanoic acid (C17:0)		0	0.01	0.014	0	0
Stearic acid (C18:0)		0.125	0.133	0.238	0.101	0.103
Arachidic acid (C20:0)		0.005	0.006	0.011	0.004	0.005
Heneicosanoic acid (C21:0)		0.004	0.002	0.005	0	0
Behenic acid (C22:0)		0.003	0.004	0.007	0.002	0.003
Lignoceric acid (C24:0)		0.002	0.002	0.004	0.002	0.002
포화지방산 합계		0.796	0.792	1.424	0.92	0.652

<표 45. 무지개송어용 HIL 배합사료를 급여한 무지개송어의 포화지방산 분석>

#### 4. 곤충 지질 이용 고효율 바이오디젤 전환기술 개발(제3협동: 한국석유관리원)

##### 가. 국내외 곤충 유래 바이오디젤 전환 기술 조사

###### (1) 바이오디젤 원료로서 곤충 지질의 가능성 조사

- (가) 바이오디젤의 원료로는 지금까지 식물성 오일, 동물성 유지, 폐식용유, 미세조류 등이 사용되어왔다. 전 세계에서 생산되는 대부분의 바이오디젤은 식용의 식물성 오일에서 생산되고 있으며 바이오디젤 생산 단가에서 원료 가격이 60~75%를 차지하고 있다.
- (나) 폐식용유는 식물성 오일에 비해 2~3배 낮은 가격이지만 폐식용유의 품질이 낮아 정제 등의 전처리가 필요하고 미세조류는 지질 함량이 20% 내외로 배양, 추출 등의 대량생산이 어려운 단점이 있다.
- (다) 바이오디젤은 신재생 원료를 사용한다는 환경적인 이점으로 석유대체연료로 사용되고 있지만 오일 비용, 사용한계 등의 문제를 갖고 있어 바이오디젤의 가격을 낮출 수 있는 방법이 필요하다.
- (라) 팜유의 연간 단위면적당 생산되는 오일의 수율은 5,366 L oil/ha/year으로 식물성 원료로서는 가장 높고 미세조류는 97,800 L oil/ha/year으로 팜유에 비해 약 20배 정도 높다.
- (마) 바이오디젤 원료로서 곤충은 약 162,000 L oil/ha/year에 해당하는 오일 생산이 가능하다. 동애등에는 지질 함량이 높고 단위면적당 성장하는 유충의 무게가 다른 원료에 비해 높다.
- (바) 또한, 성장하는 기간도 매우 짧아 연간 단위면적당 지질 생산 수율이 높고 바이오디젤 생산성도 높으며 동애동애의 지질 수율은 기존의 팜유에 비해 30배 이상 높고 미세조류에 비해 1.5배 높다. 따라서, 이렇게 다른 원료에 비해 높은 바이오디젤 생산성은 곤충 지질이 바이오디젤 원료로서 가능성을 갖고 있다고 하겠다.

<바이오디젤 원료로서 지질 생산성>

Feedstocks	Oil contents(% oil by wt. in dry biomass)	Oil yield(L oil/ha/year)	Biodiesel productivity(kg biodiesel/ha/year)
Soybean	18	636	562
Rapeseed	41	974	862
Palm	36	5,366	4,747
Jatropha	28	741	656
Microalgae	50	97,800	86,515
BSF	40	162,000	145,800

###### (2) 동식물성 유지를 활용한 일반적인 바이오디젤 합성 방법 조사

- (가) 현재 상용화되고 있는 바이오디젤의 합성 방법은 동식물성 유지와 메탄올을 혼합하여 산, 염기, 고체촉매를 사용하여 제조하고 있다.

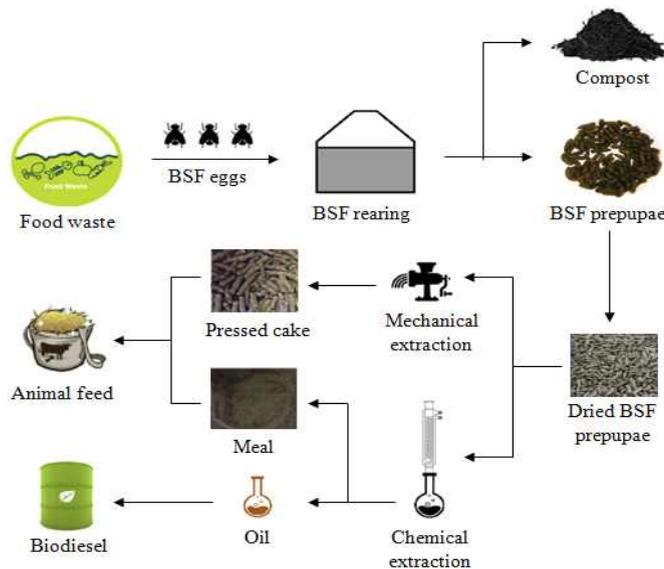
<일반적인 바이오디젤 합성 방법>

Variable	Base catalyst	Acid catalyst	Lipase catalyst	Supercritical alcohol	Heterogeneous catalyst
Reaction temperature (°C)	60-70	55-80	30-40	239-385	180-220
Free fatty acid in raw materials	Saponified products	Esters	Methyl esters	Esters	Not sensitive
Water in raw materials	Interfere with reaction	Interfere with reaction	No influence	-	Not sensitive
Yield of methyl esters	Normal	Normal	High	Good	Normal
Recovery of glycerol	Difficult	Difficult	Easy	-	Easy
Purification of methyl esters	Repeated washing	Repeated washing	None	-	Easy
Production cost of catalyst	Low	Low	Relatively high	Medium	Potentially low

(나) 산 및 염기촉매는 50~80 °C에서 반응한다. 고체촉매는 100~200 °C에서 반응하고 촉매를 재사용할 수 있다는 장점이 있다. 생촉매는 반응온도 30~40 °C에서 메탄올의 영향을 최소화해야하며 촉매가 비싼 단점이 있으나 글리세롤을 쉽게 분리할 수 있는 장점이 있다.

### (3) 바이오디젤 생산을 위한 곤충 사육 방법 조사

(가) 곤충 사육장은 인근 지역의 음식물 쓰레기를 먹이로 하여 사육하기 때문에 음식물 처리장과 인접해있고 인근 지역의 음식물 쓰레기와 똥짚을 먹이로 하여 곤충을 배양하는 방법을 사용하고 있다.



<곤충 사육 및 바이오디젤 합성 과정>

(나) 사육조건은 27 °C에서 70%의 수분 조건에서 이루어지고 사육된 곤충 애벌레들은 110 °C에서 30분 동안 그리고 50 °C에서 건조된다.

(다) 추출하기 전에는 밀링을 통해 갈아서 4 °C에서 보관하고 배양 중에는 Rid-X로 미생물 (0.05-0.5 wt%) 처리하여 곤충 애벌레의 지질 함량을 증가시키는 시도도 하고 있다.

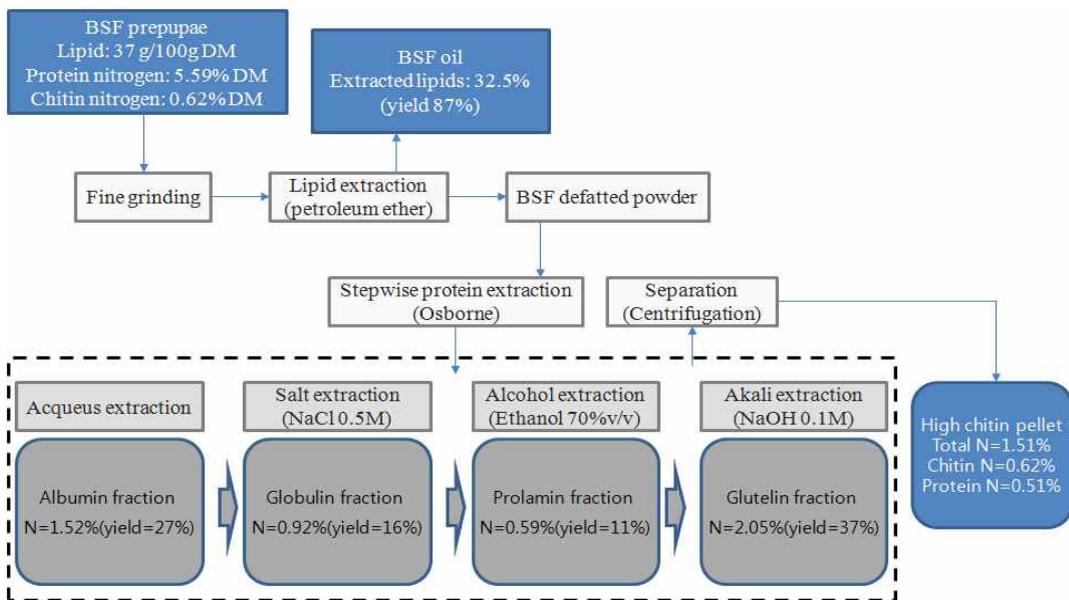
(4) 곤충으로부터 지질 추출 방법 조사

- (가) 곤충으로부터 지질을 추출하려면 곤충 애벌레를 건조한 다음에 용제를 첨가하여 추출 하는데, 곤충 지질은 60 °C에서 24시간 동안 추출되며 추출 전·후의 무게를 측정하여 지질 추출효율을 계산한다.
- (나) 추출된 지질은 물, 펙틴, 인지질, 고체불순물 등의 다양한 불순물들을 함유하고 있고 이러한 불순물을 제거하기 위해 0.5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 사용하고 있다.
- (다) 물리적인 지질 추출 방법은 압착기를 사용하고 추출된 지질은 원심분리기를 이용하여 고형분을 분리하며 물리적으로 추출한다. 추출 후의 남은 물질은 용매를 사용하여 화학적으로 추출하고 사용된 용매는 감압증류기를 사용하여 50 °C에서 분리한다.
- (라) 물리적으로 추출된 지질은 곤충 바이오매스 기준으로 5~20%의 crude oil을 얻을 수 있다. 나머지는 80~85% 케이크 형태의 고형분으로 남게 되는 반면에 화학적으로 추출하게 되면 약 40%까지 추출이 가능한데 이는 곤충이 갖는 지질의 90%에 해당한다.

나. 국내의 곤충 유래 지질의 FAME 전환기술 분석

(1) 곤충 유래 바이오디젤의 활용 방법

- (가) 곤충 유래 바이오디젤 합성에 관한 국내에서 연구는 초기 단계이며 국외에는 중국을 중심으로 진행되고 있으며 곤충 종에 대해서도 제한적으로 연구되고 있다.
- (나) 곤충 중에서 동애등을 활용한 바이오디젤 합성이 주로 이용되고 있으며 건조 중량으로 37%의 지질을 함유한 것으로 보고되고 있다. 지질은 용매를 사용하여 추출하고 80~90% 정도의 추출 수율을 나타낸다.



< 곤충 유래 바이오디젤 활용 방법 >

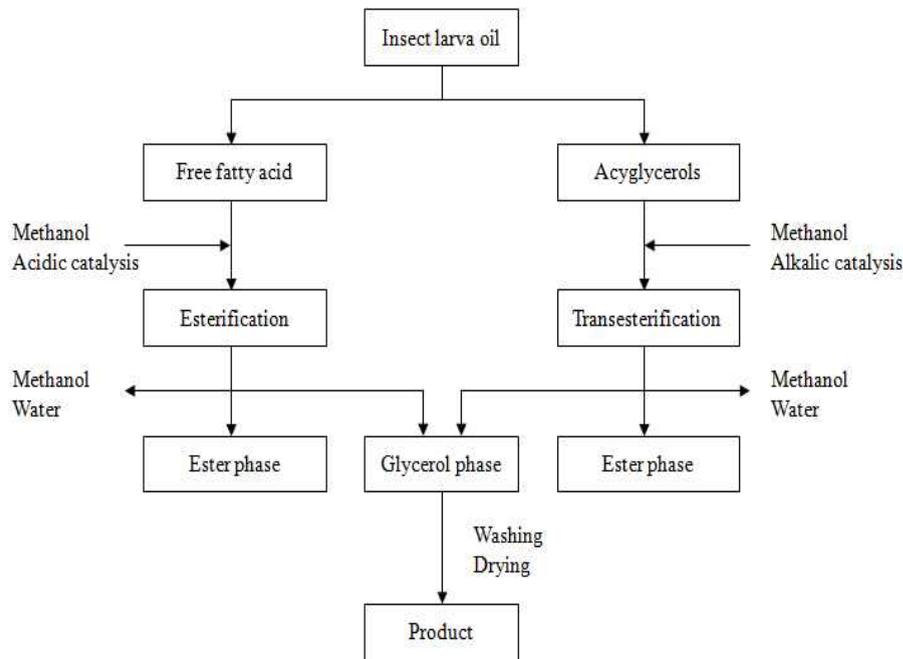
(다) 곤충에서 지질을 추출한 다음에는 추출 방법을 통해 부산물로부터 고부가가치의 단백질을 추출하고 나머지 부산물은 동물 사료로 이용하는 방법이 있다.

(2) 곤충 유래 바이오디젤 합성 기술 조사

(가) 곤충 지질은 낮은 FFA를 함유하고 있어 전이에스테르화 반응을 시켰으며 일반적으로 알칼리 촉매인 KOH, NaOH가 주로 사용된다.

(나) 전이에스테르화된 생성물은 냉각되고 침전된다. 밀도가 큰 글리세롤층은 30분 정도가 지나면 층분리가 확실히 나타나며 이를 제거한 후에 상층은 증류수로 세척하고 수분을 제거하면 99% 이상의 FAME 함량을 얻을 수 있다.

(다) 곤충 지질을 이용하여 직접 전이에스테르화 반응을 반응온도, 시간, 용매 등의 조건을 변경하면서 실험하였고 메탄올량이 증가할수록 바이오디젤의 수율은 증가하였다.



< 곤충 유래 바이오디젤 생산기술 >

(라) 과량의 용매가 사용되면 지질과 용매의 접촉이 감소하고 열 및 물질전달 저항이 증가하여 전환율이 감소한다고 보고하고 있으며 촉매량, 온도, 시간이 증가하면서 수율도 증가하지만, 일정량 이상에서는 큰 차이를 보이지 않았다.

<곤충 지질 바이오디젤 합성 방법>

	Solvent (ml)	Catalyst (ml)	Temperature (°C)	Reaction time (min.)	Biodesel yield (%)
Direct transesterification	12	1.2	120	90	94.14±3.34

## 다. 곤충 유래 지질 특성 분석 및 곤충 지질을 이용한 예비 실험

### (1) 바이오디젤의 원료에 따른 지질 특성 조사

#### <바이오디젤 원료 특성>

바이오디젤 원료		동물성유지 BD		식물성유지 BD					곤충 지질 BD			
Common Name	Abbrev.	돈지BD	우지BD	코코넛BD	팜핵BD	대두BD	폐식용BD	팜 BD	Ref. 1	Ref. 2	Ref. 3	Ref. 4
Caprylic	C8:0			6	3							
Capric	C10:0			5	4				3.1	-	3.8	2.8
Lauric	C12:0			44	52				35.6	44.9	27.8	30.5
Myristic	C14:0	2	3	17	16			1	7.6	8.3	8.1	7.7
Myristoleic	C14:1		1									
Palmitic	C16:0	23	25	9	7	10	16	48	14.8	13.5	14.2	21.4
Palmitoleic	C16:1	3	4				1		3.8	2.4	4.5	4.3
Heptadecanoic	C17:0	0.5	0.5									
Stearic	C18:0	11	11	3	1	5	4	5	3.6	2.1	7.6	3.2
Oleic	C18:1	44	43	7	11	22	33	37	23.6	12.0	22.5	24.9
Linoleic	C18:2	11	8	2	2	31	37	9	2.1	9.9	1.8	4.3
Linolenic	C18:3	1	1	1	1	7	5	1				
Gondoic	C20:1	1										
Saturated fatty acids		61	57	84	85	15	20	53	64.6	68.8	61.6	65.6
Unsaturated fatty acids		36.5	39.5	10	14	80	76	47	29.5	24.3	28.8	33.5
필터막힘점(°C)		8.0	7.0			-6.0	-2.0	10.0				
산화안정성(110°C, h)		1.57	1.75	33.47	11.61	1.24	1.2	3.5				

- (가) 동식물성 유지는  $C_{18:1} > C_{16:0} > C_{18:0}$  순으로 지방산 함량이 높고 식물성 유지 중에 코코넛, 팜핵유는  $C_{12:0} > C_{14:0}$ , 팜유는  $C_{16:0}$ , 폐식용유는  $C_{18:2} > C_{18:1}$  순으로 지방산 함량이 높은 특성을 보인다.
- (나) 동애등에 지질은  $C_{12:0} > C_{18:1} > C_{16:0}$  순으로 지방산 함량이 높았으며 포화지방산과 불포화지방산은 6.5:3.5 정도로 포화지방산이 높은 것으로 보고되고 있다.
- (다) 포화, 불포화지방산 함량은 바이오디젤의 산화 및 저온 특성에 영향을 미치며 포화지방산이 많을수록 산화안정도가 좋고 저온 유동성이 낮은 특성을 나타낸다.

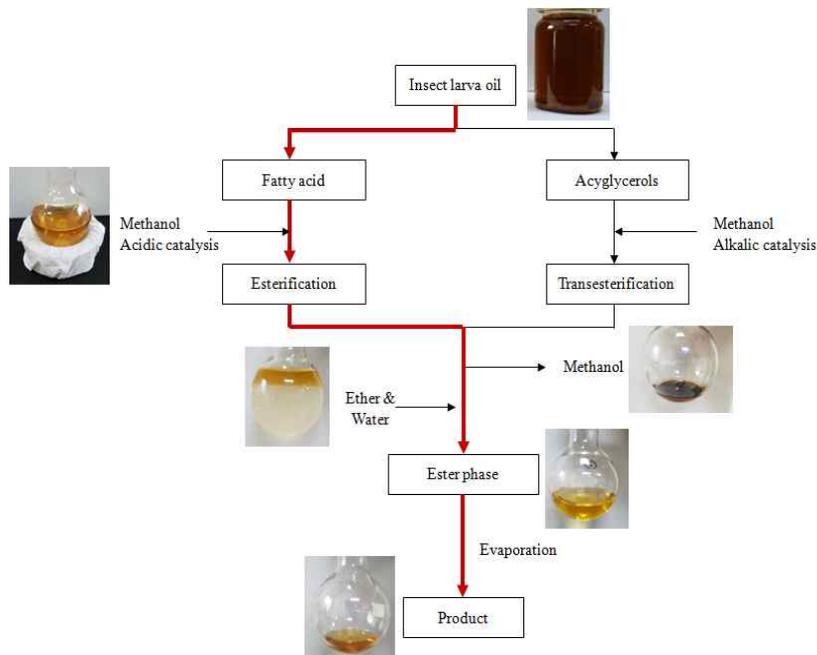
#### <곤충 지질의 물리화학적 특성>

Iodine value(gI/100g)	Acid value(mg KOH/g)	Saponification value(mg KOH/g)	Melt point(°C)	Peroxide value(meq/kg)
96	8.7	157.5	5	0.03
89	8.2	157	6.8(CP)	0.18

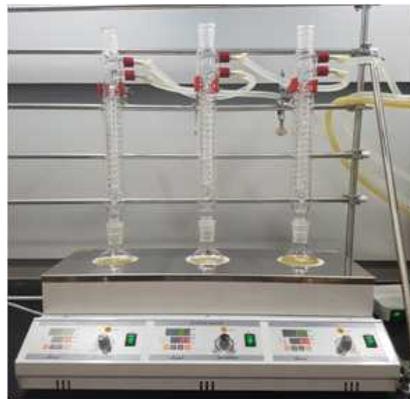
- (라) 건조된 곤충 에벌레는 용매를 사용하여 약 20~25% 지질이 추출되고 추출된 지질은 약간의 노란색을 띄며 특유의 냄새가 난다. 추출된 지질의 요오드가는 지질에 함유된 불포화지방산과 관련이 있다. 비누화값은 KOH의 양으로 나타내며 지질의 평균적인 분자량을 측정하기 위해 사용된다.
- (마) 녹는점은 지질의 어는점과 관련이 있고 과산화가는 저장 중에 산패와 관련되며 산가는 자유지방산의 양과 관련이 있다.
- (바) 곤충 지질은 팜익산, 오레익산, 린오레닌산 등의 10종 이상의 지방산으로 이루어져 있

으며 탄소수는 C<sub>10</sub>에서 C<sub>22</sub>로 분포하고 있다.

(2) 동애등에 지질을 활용한 바이오디젤 합성 실험



<곤충 유래 바이오디젤 합성 방법>



<바이오디젤 반응 장치>

- (가) 실험에서는 동애등에 지질과 메탄올, 황산을 이용하여 바이오디젤을 합성하고 반응 완료 후의 메탄올은 감압증류를 통해 제거하였다.
- (나) 메탄올이 제거된 생성물은 ether와 물을 첨가하여 수세하였고 물은 층분리를 통해 제거한 다음, ether가 포함된 바이오디젤은 감압증류로 ether를 제거하여 최종 바이오디젤을 얻었다.

(3) 반응에서 FAME 함량, 수율 정의

**FAME 함량:** 곤충 유래 바이오디젤의 FAME 함량

$$\text{FAME 함량} = \frac{\sum A - A_{EI}}{A_{EI}} \times \frac{W_{EI}}{W} \times 100$$

$\sum A$ : C<sub>6.0</sub> ~ C<sub>24.1</sub> 까지의 FAME 면적의 합  
 $A_{EI}$ : Methyl nonadecanoate 피크의 면적  
 $W_{EI}$ : 시료에 첨가된 nonadecanoate 의 무게(mg)  
 $W$ : 시료의 무게(mg)

---

**생성량:** 바이오디젤 합성 후 세척까지 완료된 최종 생성량

$$\text{바이오디젤 생성량} = \frac{W_A}{W_B} \times 100$$

$W_B$ : 반응 전 지질의 무게(mg)  
 $W_A$ : 반응 후 생성물의 무게(mg)

---

**바이오디젤 수율:** 지질에서 바이오디젤로만 전환된 양

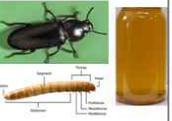
$$\text{바이오디젤 수율} = \text{FAME 함량} \times \text{바이오디젤 생성량} / 100$$

<FAME 함량, 수율 정의 및 계산식>

- (가) FAME 함량은 EN14103의 시험방법으로 GC를 통해 C<sub>6</sub>~C<sub>24</sub> FAME의 면적을 통해 계산하였다. 생성량은 반응 전 지질의 무게 대비 반응 후에 세척까지 완료된 바이오디젤의 무게로 계산하였다.
- (나) 반응조건 최적화를 위해 바이오디젤 수율을 계산하였고 바이오디젤 수율은 FAME 함량과 생성량의 곱으로 계산하였으며 결과적으로 바이오디젤 수율이란 지질로부터 생산된 FAME 양이 된다.

(4) 곤충 지질 특성

< 곤충 종에 따른 지질의 특성 >

Properties	동애등에	왕거저리	갈색거저리	Test method
				
Sulfur, mg/kg	0.03%	0.015%	0.022%	KSM 2027
Density @ 15°C, kg/m <sup>3</sup>	923.1	921.7	916.0	KSMISO 12185
Kinematic viscosity (40 °C, mm <sup>2</sup> /s)	34.13	35.09	34	KSMISO 3104
Water, wt%	0.08	0.007	0.02	KSMISO 12937
Ash, wt%	0.176	0.006	0.001	KSMISO 6245
Total acid value, mg KOH/g	1.547	0.737	1.322	KSMISO 6618
Phosphorus, mg/kg	343.9	176.1	474.5	EN 14107
Alkali, Group I(Na, K), mg/kg	13.3/153.7			EN 14108, 14109
Metals, Group II(Ca, Mg), mg/kg	168.6/50.18			EN 14538
CHNO원소분석	76.69/11.90/0.63/12.55	77.22/12.23/11.23	77.49/12.08/11.14	

- (가) 실험에 사용된 곤충 지질을 분석하였고 동애등에 지질은 검은 갈색에 상온에서 유동성이 낮았다. 왕거저리와 갈색거저리는 황색을 띠고 상온에서 유동이 좋았다.
- (나) 황분 함량은 0.01~0.03%로 바이오디젤 전환 시에 품질기준에 영향을 줄 수 있다. 밀도

는 915~923 kg/m<sup>3</sup>이면서 전산가는 낮았지만 P, Na, K, Ca, Mg 등의 함량이 높았고 다른 금속분 함량은 낮았다.

< 곤충 유래 지질의 금속분 함량>

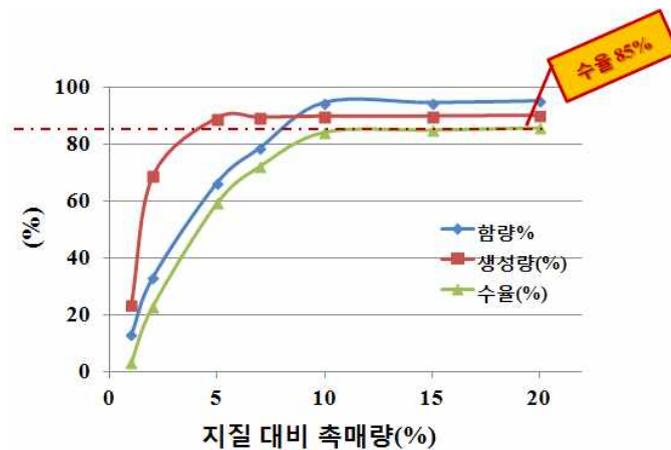
mg/kg	동애등에	왕거저리	갈색거저리
Si	5.324	14.62	10.63
Ni	0.1 미만	0.009	0.028
Fe	11.51	0.256	1.042
Ca	168.6	4.665	3.635
Al	0.1 미만	0.1 미만	0.1 미만
P	343.9	176.1	474.5
V	0.1 미만	0.033	0.012

라. 곤충 지질로부터 FAME(바이오디젤) 전환(촉매, 온도, 용매비율 등)

(1) 촉매 함량에 따른 바이오디젤 수율

(가) 바이오디젤 전환 반응은 동애등에 추출 지질을 사용하였다. 실험에서 FAME 함량과 생성량을 고려하여 수율 85% 이상을 최대 수율로 보고 실험하였다.

(나) 동애등에 지질은 촉매량에 따라 반응 수율이 증가하는 경향을 보이며 일정량 이상에서는 수율의 변화 없이 일정한 값을 나타내었다.



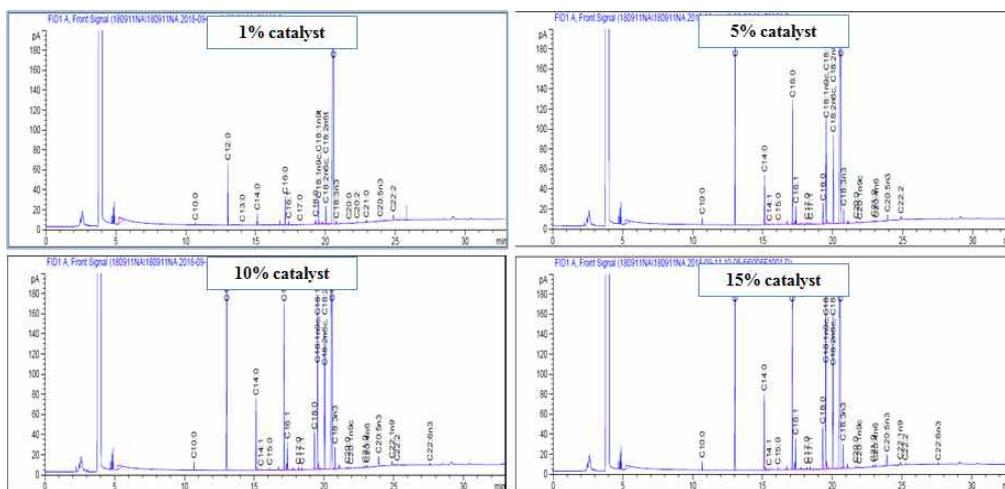
<촉매량에 따른 바이오디젤 수율>

(다) 지질 대비 촉매량이 5%인 경우에 생성량은 최대값을 나타냈지만 FAME 함량이 낮아 바이오디젤의 수율이 낮아졌으며 이는 미반응 지질이 포함되어 있기 때문으로 최적의 반응조건이라 할 수 없다.



<촉매량에 따른 바이오디젤의 색변화>

(라) 촉매량이 증가하면서 생성된 바이오디젤의 색이 갈색에서 옅은 황색을 나타내었고 바이오디젤 합성과정에서 산에 의한 탈색 효과가 나타남을 확인하였다.



<촉매량에 따른 FAME GC 패턴 변화>

(마) 바이오디젤의 FAME 함량을 알기 위해 GC로 분석하였고 촉매량이 증가할수록 GC 패턴의 피크들이 증가하는 것을 확인하였다. 곤충 유래 바이오디젤에는 내부표준물질인 C<sub>19:0</sub> FAME가 없는 것을 확인하여 기존의 바이오디젤 분석 방법인 EN14103으로 분석이 가능하였다.

<바이오디젤의 금속분 함량>

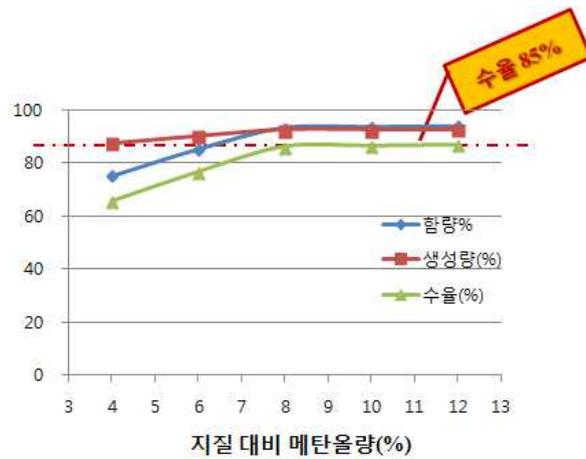
mg/kg	지질	바이오디젤			
		지질 대비 촉매량(%)			
		2%	5%	15%	20%
Na	13.3	0.676	0.700	0.106	0.025
K	153.7	0.777	0.630	0.609	0.612
Si	5.324	5.125	1.835	0.613	0.095
Ni	0.1 미만	0.064	0.013	0.013	0.003
Fe	11.51	5.664	1.543	0.069	0.057
Ca	168.6	1.367	0.284	0.021	0.013
Mg	50.18	0.354	0.056	N.D	N.D
Al	0.1 미만	0.050	0.034	0.034	0.022
P	343.9	87.83	10.18	2.497	2.546
V	0.1 미만	N.D	N.D	N.D	N.D

(바) 동애등에 유래 바이오디젤의 금속분 함량이 촉매량, 수율에 따라 감소하는 경향을 나타내었고 특히, P, Ca, K 함량이 크게 감소하였다. P 함량은 바이오디젤 품질기준 이하(국내 100 mg/kg 이하)로 낮아졌다.

(사) 바이오디젤 합성과정에서 산에 의한 탈검 반응이 일어나고 수세를 통해 물과 함께 제거되는 것을 확인하였다. 이는 일반적으로 바이오디젤 합성 반응을 통해 금속분이 제거된다고 알려져 있다.

(2) 메탄올 함량에 따른 바이오디젤 수율

(가) 반응온도 80 °C, 반응시간 3시간에서 촉매량이 지질 대비 10%인 경우에는 메탄올 함량에 상관없이 바이오디젤 최대 수율에 도달하였다. 촉매량이 7%인 경우에는 메탄올 함량이 증가해도 최대 수율에 못 하였으나 반응시간을 늘려 도달할 수 있다.

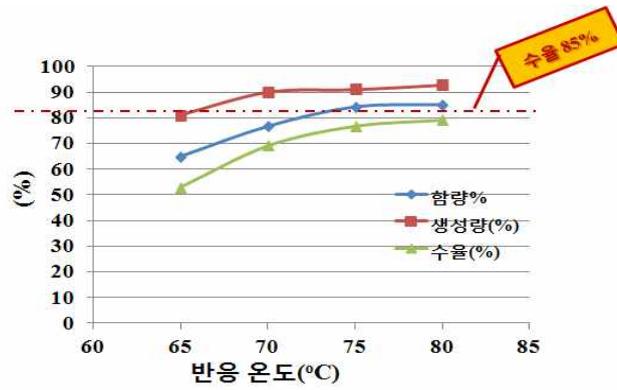


<메탄올 함량에 따른 수율 변화>

(나) 지질 대비 촉매량이 5%이면서 3시간의 반응조건에서 메탄올에 따른 수율 변화가 크지 않았지만 반응시간을 6시간으로 늘린 경우에서 바이오디젤의 수율은 메탄올 함량에 따라 증가하는 경향을 보이다가 일정한 값을 나타내었다.

(3) 반응온도에 따른 바이오디젤 수율

(가) 반응조건에서 촉매량을 감소시키고 메탄올, 온도, 반응시간을 증가시키면 바이오디젤의 수율은 증가하는 경향을 나타낸다. 반응온도가 증가함에 따라 반응 수율이 증가하는 경향을 보이며 일정 온도 이상에서는 수율의 변화 없이 일정한 값을 나타내었다.

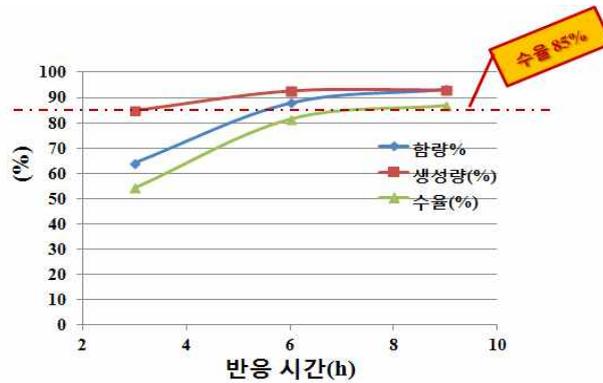


<반응온도에 따른 바이오디젤 수율 변화>

(4) 반응시간에 따른 바이오디젤 수율

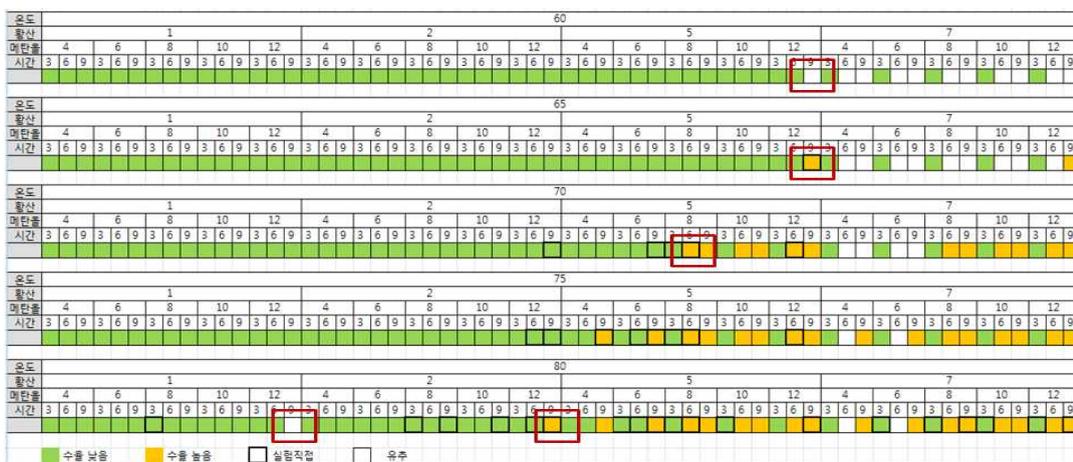
(가) 반응시간에 따른 바이오디젤 수율은 증가하는 경향을 보이다가 일정 시간 이상에서는 수율의 증가 없이 일정한 값을 나타내었다.

나() 반응시간이 짧을수록 미반응 지질에 의해 FAME 함량이 낮아 수율이 낮아졌다.



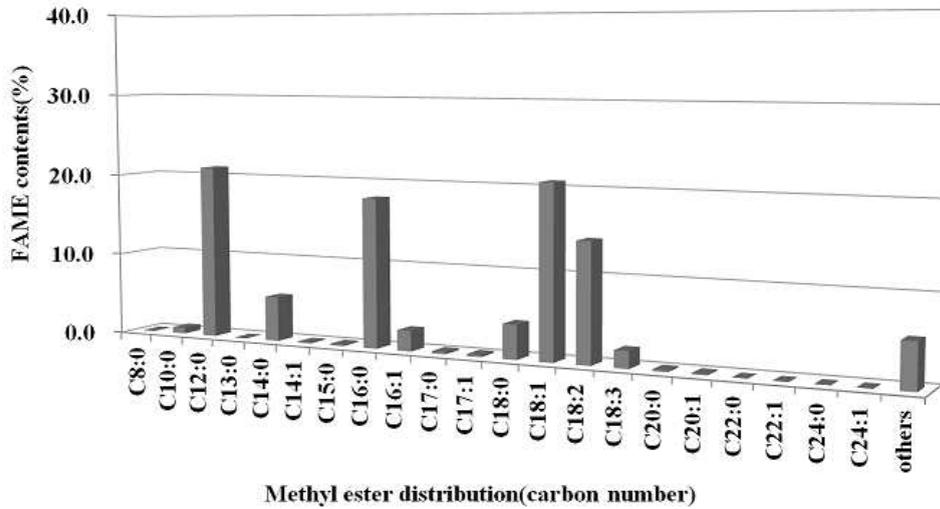
<반응시간에 따른 바이오디젤 수율 변화>

(5) 반응조건에 따른 바이오디젤 수율 종합



<반응조건에 따른 바이오디젤 수율>

- (가) 반응조건에 따라 바이오디젤 수율은 증가하는 경향을 보였기 때문에 반응온도, 시간, 메탄올 함량, 촉매량에 따라 수율을 85% 이상과 이하의 2가지 형태로 나타내었다.
- (나) 이렇게 설계된 반응조건으로 생산단가를 최소화 할 수 있는 조건을 찾는데 활용할 수 있다.



<동애등에 유래 바이오디젤의 FAME 분포도>

- (다) 동애등에 유래 바이오디젤의 FAME 분포는 C<sub>12:0</sub> > C<sub>18:1</sub> > C<sub>16:0</sub> 순으로 높았고 포화지방산과 불포화지방산의 비는 5:4 정도로 나타났다.
- (라) 표준물질로 식별이 가능한 FAME 분포를 나타내었고 식별이 불가능하지만 C<sub>6:0</sub> ~ C<sub>24:1</sub> 사이에서 나타나는 피크들의 함량을 나머지로 표현하였다.

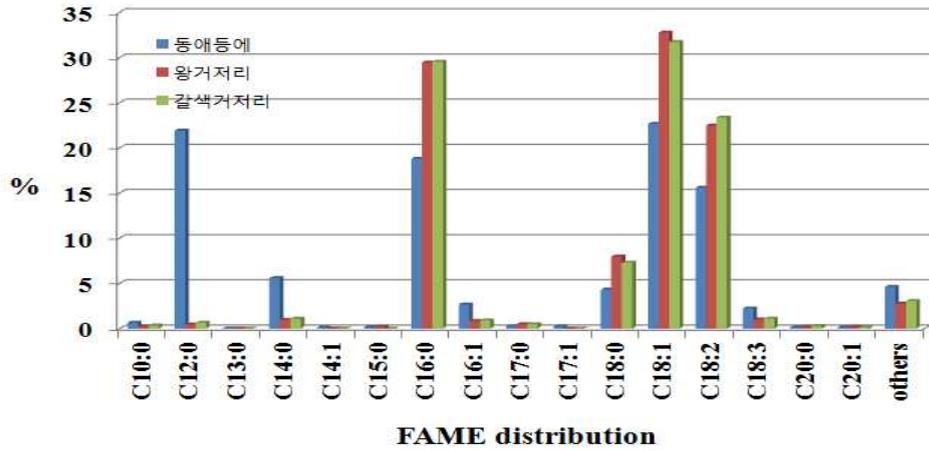
(6) 곤충 중에 따른 바이오디젤 수율 실험

<곤충 중에 따른 바이오디젤 수율>

지질	촉매(지질대비율, %)	메탄올(지질대비율, %)	Temp.	시간	함량%	생성량(%)	수율(%)
동애등에	5	8	75	3	84.57	94.73	80.10
왕거저리	5	8	75	3	47.05	92.21	43.38
갈색거저리	5	8	75	3	54.39	91.49	49.76
지질	촉매(지질대비율, %)	메탄올(지질대비율, %)	Temp.	시간	함량%	생성량(%)	수율(%)
동애등에	5	8	75	9	91.17	91.12	83.17
왕거저리	5	8	75	9	91.33	90.93	83.05
갈색거저리	5	8	75	9	91.23	91.28	83.27

- (가) 동애등에, 왕거저리, 갈색거저리를 같은 반응조건에서 실험하였고 동애등에의 수율이 가장 높았고 왕거저리와 갈색거저리는 거의 비슷한 수율을 나타내었다.

(나) 다른 조건이 동일할 경우에 반응시간이 길어지면 수율은 거의 비슷한 수준을 나타내었다.



< 곤충 종에 따른 FAME 분포도 >

(다) 왕거저리와 갈색거저리의 FAME 분포도는 동애등예와는 다른 특성을 나타내었고 왕거저리와 갈색거저리의 FAME 분포는 비슷한 특성을 보였다.

(라) 왕거저리와 갈색거저리는 C<sub>16:0</sub> > C<sub>18:0</sub> > C<sub>14:0</sub> 순으로 FAME 분포가 나타났다.

<곤충 종에 따른 FAME 특성>

바이오디젤 원료		곤충BD		
Common Name	Abbrev.	동애등예	왕거저리	갈색거저리
Capric	C10:0	0.63	0.25	0.34
Lauric	C12:0	21.9	0.45	0.65
Myristic	C14:0	5.58	0.98	1.09
Myristoleic	C14:1	0.1	0	0
	C15:0	0.17	0	0
Palmitic	C16:0	18.8	29.45	29.55
Palmitoleic	C16:1	2.67	0.84	0.91
Heptadecanoic	C17:0	0.24	0.48	0.48
Stearic	C18:0	4.31	7.98	7.30
Oleic	C18:1	22.66	32.77	31.72
Linoleic	C18:2	15.58	22.46	23.36
Linolenic	C18:3	2.22	0.99	1.1
	C20:0	0.13	0.20	0.3
Gondoic	C20:1	0.13	0.19	0.15
Saturated fatty acid		51.78	39.99	39.71
Monounsaturated fatty acid		25.80	33.80	32.78
Polyunsaturated fatty acid		17.80	23.45	24.46

(마) 왕거저리와 갈색거저리는 포화지방산 함량이 약 40%, 불포화지방산이 57%로 거의 비슷하게 나타났고 동애등예는 포화지방산이 많은 반면에 거저리류는 불포화지방산이 많았다.

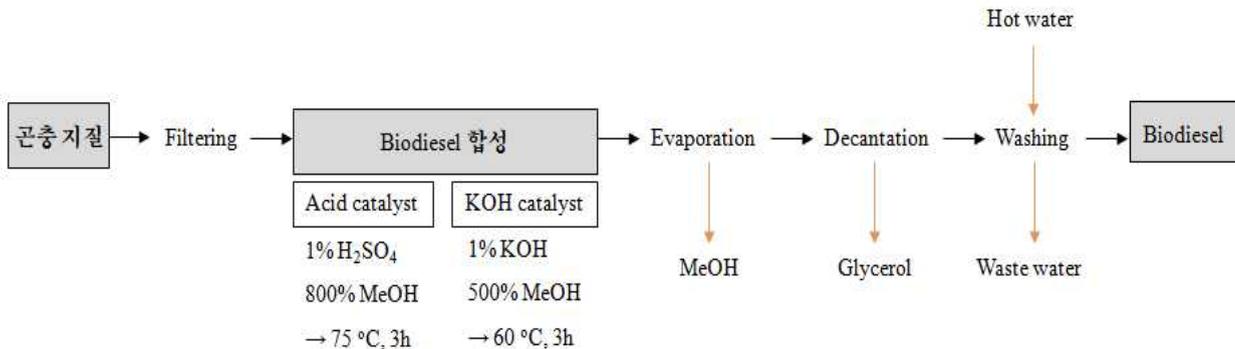
(바) 포화지방산이 많은 동애등예 유래 바이오디젤은 낮은 유동성이 거저리류에 비해 좋지

않으며 다불포화지방산이 적은 동애등에의 산화안정도는 높을 것으로 예상된다.

#### 마. 곤충 지질로부터 고품량 FAME 바이오디젤 전환기술 품질 최적화

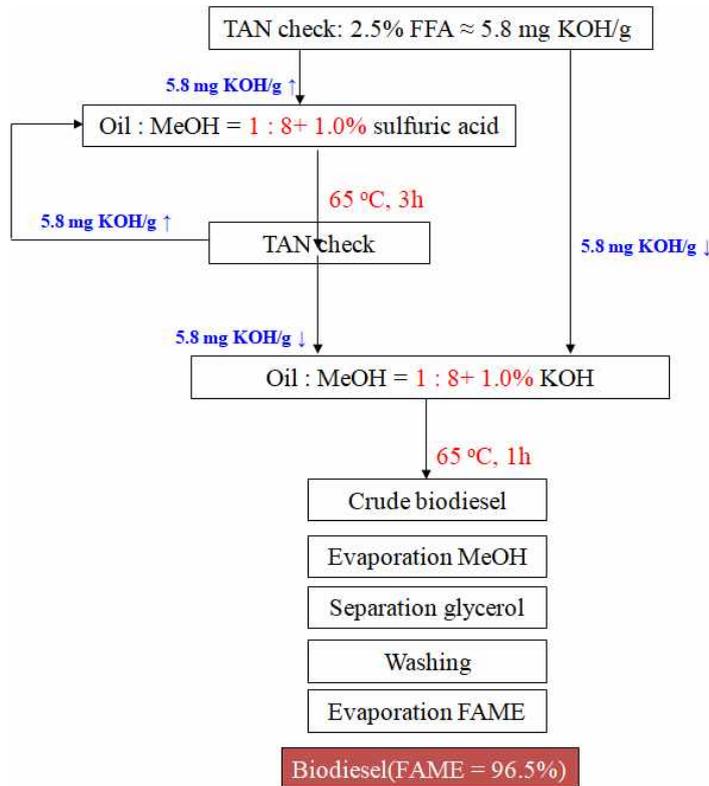
##### (1) 곤충 유래 바이오디젤 합성 공정 최적화

- (가) 바이오디젤은 원료의 산가에 의해 촉매가 달라지고 공정이 달라지며 바이오디젤 원료의 산가는 원료에 포함된 자유지방산(FFA, Free fatty acid)의 양에 의해 결정된다. 원료의 자유지방산 함량이 2.5% 이하인 경우에는 염기촉매를 사용할 수 있고 2.5% 이상에서는 산촉매를 사용할 수 있다.
- (나) 국내 생산 곤충 지질의 전산가는 동애등에 1.5 mg KOH/g, 왕거저리 0.7 mg KOH/g, 갈색거저리 1.3 mg KOH/g으로 매우 낮은 특성을 보이기 때문에 염기촉매를 사용할 수 있다. 현재, 상용공정의 대부분이 염기촉매를 사용하고 있기 때문에 전산가가 낮은 곤충 지질은 기존의 원료와 혼합하여 기존 공정에 그대로 사용할 수 있는 장점을 갖는다.
- (다) 만약, 전산가가 높은 원료를 바이오디젤의 원료로 사용할 경우에는 산가를 낮추는 전처리 공정을 추가하거나 반응 조건을 고온에서 장시간 진행해야한다. 산가를 낮추는 방법으로는 바이오디젤의 수율을 높이면서 산가를 낮추기 위해 산촉매로 반응한 다음, 염기촉매를 사용하는 방법을 주로 사용하고 있다.



< 곤충 유래 바이오디젤 합성 공정 >

- (라) 곤충은 화학적, 기계적 방법으로 지질을 추출하고 필터를 통해 지질에 남아 있는 고형물을 제거한다. 에스테르화 반응은 염기촉매(KOH, NaOH 등)와 메탄올을 혼합하여 약 60 °C에서 1시간 이내에서 반응한다. 반응이 완료되면 감압증류로 메탄올을 제거하고 메탄올은 반응물로 재사용한다. 약 1시간 정도 정체시키면 밀도차에 의해 아래층에는 글리세린층, 위층에는 바이오디젤층으로 분리가 된다. 위층의 바이오디젤층은 수세를 통해 불순물을 제거하고 산가를 낮추게 된다.
- (마) 수세 처리한 바이오디젤은 crude biodiesel(crude BD)이며 마지막으로 감압증류를 통해 미반응 유지 및 불순물을 제거하여 FAME 함량이 96.5% 이상인 바이오디젤을 얻었다.



< 곤충 유래 바이오디젤 합성 방법 >

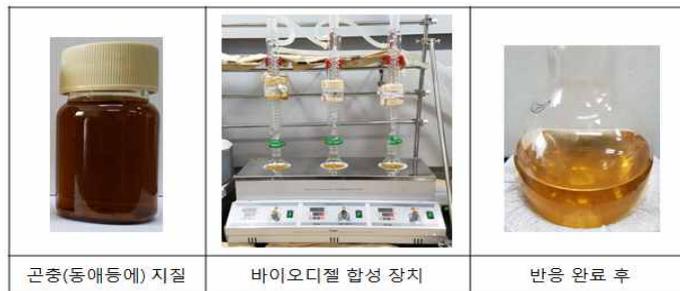
(바) 염기촉매를 사용하는 전이에스테르화 반응은 반응시간이 짧지만 지질에 포함된 자유지방산을 비누화시켜 바이오디젤 회수공정에서 증분리를 어렵게 한다. 반면에 산촉매는 주로 자유지방산을 전환시키며 장시간, 고온에서 트리글리세라이드도 FAME(fatty acid methyl ester)로 전환시킬 수 있다. 이러한 이유에서 상용공정에서는 주로 저산가 원료를 이용하여 반응시간이 짧은 염기촉매를 사용한다.

	전이에스테르화		에스테르화
염기촉매	Free fatty acid → soap + H <sub>2</sub> O 글리세롤의 분리 방해	산촉매	Triglyceride + H <sub>2</sub> O → FAME 반응성이 낮고 과량의 메탄올 요구
물	Triglyceride → diglyceride + free fatty acid	물	Triglyceride → diglyceride + free fatty acid
원료	< 2.5% free fatty acid	원료	> 2.5% free fatty acid
반응성	빠름	반응성	느림
	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-O-CO-R}_1 \\   \\ \text{CH-O-CO-R}_2 + 3\text{ROH} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-OH} \\   \\ \text{CH-OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{-OH} \end{array} + \begin{array}{c} \text{R-O-CO-R}_1 \\ \text{R-O-CO-R}_2 \\ \text{R-O-CO-R}_3 \end{array} \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-O-CO-R}_1 \\   \\ \text{CH-O-CO-R}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{-OH} \\   \\ \text{CH-O-CO-R}_2 \\   \\ \text{CH}_2\text{-O-CO-R}_3 \end{array} + \text{R}_1\text{-COOH} \end{array}$
	$\text{R}_1\text{-COOH} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{R}_1\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$		$\text{R}_1\text{-COOH} + \text{ROH} \longrightarrow \text{R-O-CO-R}_1 + \text{H}_2\text{O}$
FFA	Soap형성 FAME 전환되지 못함	FFA	FAME로 전환
TG	FAME로 전환	TG	장시간, 고온에서 FAME로 전환

< 염기, 산촉매에 따른 반응 특성 비교 >

(2) 염기촉매를 이용한 바이오디젤 합성 반응 조건 최적화

- (가) 염기촉매를 이용한 바이오디젤 합성 반응 조건은 그린테크(주)에서 제공한 동애등에를 갖고 진행하였고 동애등에 지질의 전산가는 1.5 mg KOH/g로 산촉매 보다는 염기촉매를 사용하는 것이 유리하다. 염기촉매를 사용하면 트리글리세라이드(triglyceride)와 메탄올이 전이에스테르화 반응하여 FAME로 전환된다.
- (나) 자유지방산은 염기촉매와 반응하여 soap을 형성하여 글리세롤 분리를 방해하지만 전산가가 낮아 층분리에 영향을 미치지 못한다. 반응물인 지질의 양을 고정하고 염기촉매량, 메탄올량, 반응온도, 반응시간에 따른 바이오디젤 수율을 측정하였다.



<바이오디젤 합성 장치>

- (다) 반응 완료 후에는 감압증류를 통해 메탄올을 제거하였고 1시간 동안 정체시켜 글리세롤을 층분리하였다. 반응물인 지질 대비 물의 양을 1:1의 비율로 수세를 진행하였고 4회 반복할 경우에 촉매인 KOH가 제거되어 중화된다. 수세를 마친 crude BD의 무게를 측정하고 FAME 함량을 측정하여 FAME로 전환된 바이오디젤의 수율을 측정하였다.



<반응 완료 이후의 후처리 공정>

- (라) FAME 함량은 EN14103의 시험방법으로 GC를 통해 C<sub>6</sub>~C<sub>24</sub> FAME의 면적을 통해 계산하였고 생성량은 반응 전 지질의 무게 대비 반응 후에 세척까지 완료된 바이오디젤의 무게로 계산하였다.
- (마) 반응 조건 최적화를 위해 바이오디젤 수율을 계산하였고 바이오디젤 수율은 FAME 함량과 생성량의 곱으로 계산하였으며 결과적으로 바이오디젤 수율이란 지질로부터 생



바. 국내 바이오디젤 품질기준 주요항목 품질평가

(1) 국내·외 바이오디젤 품질기준

- (가) 바이오디젤은 석유대체연료로서 국내·외적으로 경유에 혼합하여 사용하고 있으며 특히, 국내에서는 경유에 3.0% 의무혼합하여 사용하고 있다. 국내는 KS M 2965, 미국은 ASTM D 6751, 유럽은 EN 14214에서 바이오디젤(BD100)에 대한 품질기준을 설정하고 있다.
- (나) FAME 함량, 총글리세롤, 메탄올, 수분, 산가, 고형불순물 등은 바이오디젤 합성 공정과 관련이 있으며 후처리 공정을 어떻게 하는지에 의해 결정되고 인화점, 동점도, 밀도는 반응물인 알코올이 바이오디젤에 얼마나 잔존하는지에 따라 달라 지지만 바이오디젤 원료로 사용되는 곤충 지질의 특성에도 연관된다. 특히, 동태도에 지질은 C<sub>12</sub> FAME 함량이 높아 인화점, 동점도, 밀도가 낮은 특성을 보인다.
- (다) 회분, 알칼리금속, 인 등은 원료 물질에 포함된 성분에 의한 것으로 바이오디젤 합성 및 수세 과정에서 대부분이 제거되어 품질기준을 만족하였다. 필터막힘점은 바이오디젤의 저온특성과 관련되며 국내에서는 혹한기인 11월 15일부터 다음해 2월 28일까지 한해서 적용하고 있고 산화안정도는 바이오디젤의 불포화지방산 함량과 관련되며 불포화지방산 함량이 많으면 산화안정도가 낮았다.

< 국내·외 바이오디젤 품질기준 >

항목	구분	품질기준		
		KS M 2965	ASTM D6751	EN 14214
FAME 함량(무계%)		96.5 이상	-	96.5 이상
인화점(°C)		120 이상	93 이상	101 이상
동점도(40 °C, mm <sup>2</sup> /s)		1.9 ~ 5.0	1.9 ~ 6.0	3.50 ~ 5.00
잔류탄소(무계%)		0.1 이하	-	-
황분(mg/kg)		10 이하	15 이하	10.0 이하
회분(무계%)		0.01 이하	-	-
동판부식(50 °C, 3h)		1 이하	-	-
필터막힘점(°C)		0 이하	-	5 ~ -20 <sup>1)</sup> , -20 ~ -44 <sup>2)</sup>
밀도(15 °C, kg/m <sup>3</sup> )		860 ~ 900	-	860 ~ 900
수분(무계%)		0.05 이하	-	0.05 이하
고형불순물(mg/kg)		24 이하	-	-
전산가(mg KOH/g)		0.50 이하	0.5 이하	0.50 이하
총 글리세롤(무계%)		0.24 이하	0.240 이하	0.25 이하
모노글리세라이드(무계%)		0.80 이하	0.40 이하	0.70 이하
디글리세라이드(무계%)		0.20 이하	-	0.20 이하
트리글리세라이드(무계%)		0.20 이하	-	0.20 이하
유리글리세롤(무계%)		0.02 이하	0.020 이하	0.02 이하
산화안정도(110 °C, h)		6 이상	3 이상	8.0 이상
메탄올(무계%)		0.2 이하	0.2 이하	0.2 이하
알칼리금속(mg/kg)	(Na+K)	5 이하	5.0 이하	5.0 이하
	(Ca+Mg)	5 이하	5.0 이하	5.0 이하
인(mg/kg)		10 이하	10 이하	4.0 이하
세탄지수		-	47 이상	51.0 이상
요오드가(g KOH/100g)		-	-	120 이하
항산 회분(무계%)		-	0.02 이하	0.02 이하
증류정상, T90(°C)		-	360 이하	-
물과 칩전물(부피%)		-	0.05 이하	-

1) temperate climates

2) arctic climates

<바이오디젤의 품질항목에 대한 주요 의의>

품질항목	주요 유의점
수분	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 세척공정에서 수분리 악화로 수분 함량 증가 가능</li> <li>▪ 저장시의 수분 혼입 또는 제품의 흡습에 의해 수분 증가 가능</li> </ul>
산가	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 생성물의 지방산 존재, 연료 산화 시 미흡</li> </ul>
회분	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 바이오디젤 연료에 금속분 함량에 따라 영향</li> </ul>
알칼리금속함량	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 유수 분리 시 고형분 분리 미흡할 경우 증가</li> </ul>
유동점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 왁스 형성 용이할 경우에 저온특성이 저하됨</li> </ul>
동점도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 생성물 분포에 따라 영향</li> </ul>
밀도	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고비점 불순물 존재 시 밀도 증가 초래</li> </ul>
인화점	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 원료에 따라 생성물 분포가 달라지고 인화점이 변함</li> </ul>
황분	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 원료 물질로부터 기인하고 합성시 집약될 수 있음</li> </ul>
잔류탄소분	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 고비점 불순물의 분리가 나쁘면 잔류탄소분 증가 가능</li> </ul>

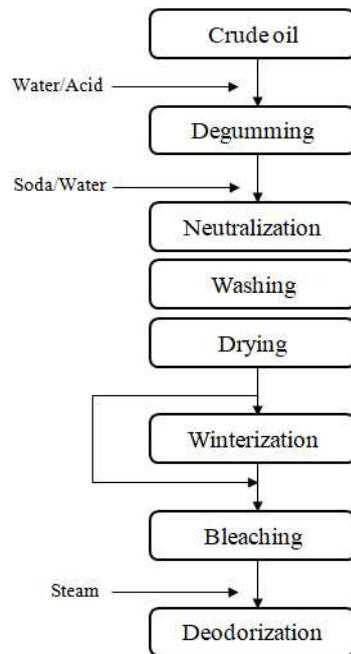
(라) 곤충(동애등에) 유래 바이오디젤의 주요항목에 대한 품질분석을 진행하였고 FAME 함량은 97.5%로 품질기준을 만족하였다. 바이오디젤의 정제공정과 관련한 잔류탄소, 황분, 회분, 수분, 고형불순물, 글리세롤, 금속분 등의 함량은 거의 검출되지 않고 품질기준을 만족하였다.

(마) 바이오디젤의 원료 물질과 관련한 동점도, 밀도, 인화점 등은 다른 식물성 원료에 비해 C<sub>12</sub> FAME 함량이 높아 낮은 특성을 보였지만 품질기준을 만족하였다.

**사. 불순물 제거 기술 및 적정 시험방법 검토**

(1) 바이오디젤의 불순물 제거 방법

(가) 지질에 포함된 불순물을 제거하는 방법으로 탈검(degumming)은 인지질, 탄수화물, 단백질, 금속분 등을 제거하는 방법으로 산을 이용하여 제거하고 중화(neutralization)는 염기를 이용하여 지질에 포함된 자유지방산, 단백질, 인지질, 탄수화물, 금속분, 색소 등을 제거한다. 탈색(bleaching)은 carotenoid, chlorophyll 등의 색을 띄는 물질을 제거하거나 인지질, 단백질 등을 제거할 수 있으며 탈취(deodorization)은 상대적으로 휘발성이 낮은 성분을 감압증류로 제거하는 방법이다.



<지질의 불순물 제거 방법>

(나) 곤충(동애등에) 지질을 이용하여 바이오디젤을 합성하였고 바이오디젤에 포함된 금속분, 미반응 지질 등의 불순물들은 합성 또는 수세를 거치면서 제거되어 바이오디젤의 불순물과 관련한 항목인 FAME 함량, 총글리세롤, 고형불순물, 회분 등의 품질기준을 만족할 수 있었다.

탈검 처리

수열 처리

흡착제 처리

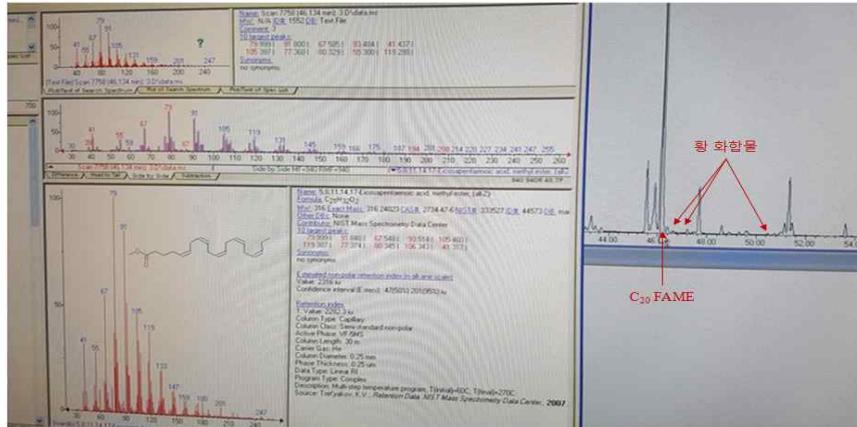
감압증류 처리

<바이오디젤의 불순물 제거 방법>

(다) 하지만, 바이오디젤에 포함된 황분은 제거가 되지 않고 남아 있어 품질기준인 10

mg/kg을 초과하였고 바이오디젤에 포함된 황분을 제거하기 위해 탈검, 수열처리, 흡착제 처리, 감압증류를 실시하였다.

(라) 탈검, 수열처리, 흡착제를 이용한 황분 저감 방법은 효과는 크지 않아 품질기준을 만족하지 못하였지만 탈색, 탈취의 효과는 있었다.

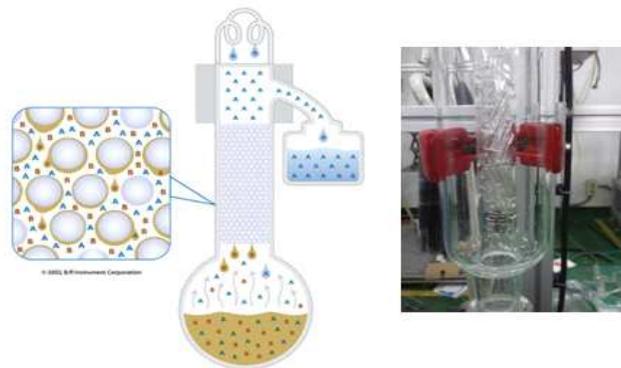


<GC-MS를 이용한 바이오디젤 분석>

(마) 바이오디젤에 포함된 황분을 알아보기 위해 GC-MS를 분석하였고 GC-MS에서 황분 피크는 C<sub>20</sub> FAME 보다 늦은 시간에서 검출되었다. 곤충 유래 바이오디젤은 C<sub>12</sub> ~ C<sub>24</sub> FAME로 이루어져 있고 그 중에서 C<sub>20</sub> FAME 이상의 바이오디젤은 1% 미만이고 C<sub>18:3</sub> FAME는 3% 미만이다.

(2) 황분 저감을 위한 감압 증류

(가) 감압증류를 통해 비점에 따른 세밀한 분별 증류를 하기 위해서는 증류 단수가 가장 중요하고 증류 단수는 컬럼의 높이, 너비, 충전제에 영향을 받는다. 실험실에서 높은 단수를 구현하기 위해 컬럼에 작고 구형의 충전제를 넣고 실험하였다. 충전제는 증류가 아닌 펌핑되는 액상을 막아주는 역할을 하여 분획을 세분하게 할 수 있다.



<감압 증류장치 모식도>



<감압증류 장치>

- (나) 감압증류는 교반하면서 340 °C까지 진행하였고 증진컬럼을 거쳐 응축기에서 액상으로 회수된다. 바이오디젤은 증류 후에 맑은 색을 띠고 증류 후 남은 잔류물은 검은 녹색을 나타내었다.
- (다) 약 2 L의 crude BD를 증류하여 1800 ml의 바이오디젤을 얻었고 잔류물은 200 ml가 남았으며 약 90%까지 바이오디젤로 회수할 수 있었다. 잔류물은 국내에서 상용보급되고 있는 발전용 바이오중유로 사용가능하다.



<바이오디젤의 감압증류 전·후>

- (라) 동애등에 지질의 황분 함량은 430 mg/kg, 수세를 마친 crude biodiesel은 150 mg/kg 이었으나 증류된 최종 바이오디젤은 5.6 mg/kg으로 품질기준인 10 mg/kg을 만족하였다.

<동애등에 유래 바이오디젤의 황분 함량>

항목	동애등에 지질	Crude biodiesel	증류 biodiesel
황분 함량(mg/kg)	430	150	5.6

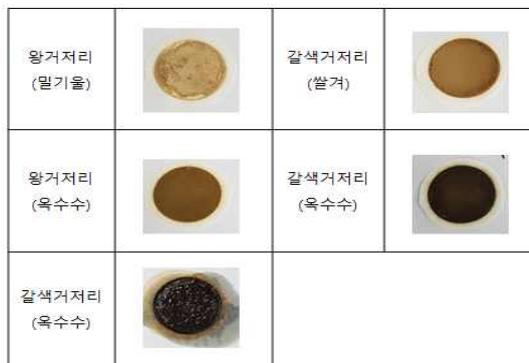
(3) 먹이원에 따른 지질 특성

(가) 곤충 유래 바이오디젤에 포함된 황분은 곤충 지질에 불순물로 포함된 단백질에 의한 것으로 먹이원에 따라 곤충에 포함된 황분 함량이 달라지는 것을 알아보았다. 우선, 먹이원을 달리하여 생육한 곤충(왕거저리, 갈색거저리)에서 기계적 방법으로 지질을 추출하였고 지질을 0.45  $\mu\text{m}$ 로 필터하였다.



<먹이원을 달리한 곤충 지질 추출>

(나) 옥수수를 먹고 자란 갈색거저리의 지질이 가장 어두운 색을 띠었고 밀기울, 쌀겨를 먹고 자란 왕거저리는 황토색을 나타내었다. 가장 어두운 색을 띠었던 옥수수를 먹고 자란 갈색거저리의 지질은 필터하기가 어려웠다.



<먹이원에 따른 필터 잔유물>

(다) 먹이원에 따른 곤충 지질의 전산가, 요오드가, 황분, 원소분석을 진행하였다. 왕거저리는 음식을 먹고 자란 경우에 가장 낮은 전산가, 황분을 나타내었지만 요오드는 거의 비슷하였다. 쌀겨를 먹고 자란 왕거저리에서 전산가가 가장 높게 나타났다.

(라) 갈색거저리는 음식을 먹고 자란 경우에 전산가와 황분 함량이 가장 낮았고 C, H, O의 비율은 거의 일정하였다. 황분은 680~150 mg/kg으로 바이오디젤 품질기준 10 mg/kg보다 높아 먹이원에 따른 황분 저감 효과는 크지 않았다.

<먹이원에 따른 곤충 지질 특성>

곤충 종	먹이원	전산가 (mg KOH/g)	요오드가 (g I/100g)	황분 (mg/kg)	C(%)	H(%)	O(%)
왕거저리	음식물	0.74	67.77	150	77.2	12.2	10.6
왕거저리	밀기울	1.43	73.70	380	76.3	11.9	11.8
왕거저리	옥수수	2.46	64.49	540	76.2	12.1	11.7
왕거저리	쌀겨	9.37	73.18	-	76.4	12.1	11.5
갈색거저리	음식물	1.32	95.05	220	77.5	12.1	10.4
갈색거저리	쌀겨	3.99	92.29	620	76.8	11.9	11.3
갈색거저리	옥수수	2.55	90.81	590	77.3	12.2	10.5
갈색거저리	옥수수	3.18	92.81	680	76.9	12.0	11.1

(4) 바이오디젤 시험방법 검토

(가) 바이오디젤은 국내 KS M 2695에서 품질 항목에 대한 시험방법을 정의하고 있으며 국내 품질 항목별 시험방법은 유럽의 EN 14214의 시험방법과 유사하였다. 곤충 유래 바이오디젤의 품질 항목에 맞는 적정 시험방법을 검토하였다.

① FAME 함량 분석

㉔ 바이오디젤 중의 지방산 메틸에스테르(FAME) 함량 분석은 가스크로마토그래피(GC)를 이용하여 분석하고 국내·외 규격은 KS M 2413, EN 14103, EN 14078, ASTM D 7371이 있다. KS M 2413은 기존의 동·식물성 유지 유래 바이오디젤에 포함된 C<sub>14</sub> ~ C<sub>24</sub> 사이의 FAME에 적용이 가능하다. 하지만, 내부표준물질과 동일한 C<sub>17</sub> FAME가 존재하는 동물성유지와 C<sub>14</sub> 이하 FAME가 대부분인 코코넛 및 팜핵 유래 바이오디젤에는 적용이 불가능하다. EN 14103은 C<sub>19</sub> FAME를 내부표준물질로 사용하고 C<sub>6</sub> ~ C<sub>24</sub> 사이의 FAME에 적용이 가능하게 되어 동물성유지, 코코넛유 및 팜핵유 바이오디젤도 적용이 가능하다. 곤충 유래 바이오디젤에도 C<sub>17</sub> FAME와 C<sub>12</sub> 이하의 FAME가 존재하기 때문에 EN 14103을 적용하는 것이 바람직하다. 국내 바이오디젤 품질기준에는 KS M 2413과 EN 14103을 사용하도록 되어있다.

<FAME 함량 분석 방법 비교>

	KS M 2413	EN 14103
적용범위	C <sub>14:0</sub> ~ C <sub>24:1</sub> 까지의 FAME (팜핵유나 코코넛유는 측정불가)	C <sub>6</sub> ~ C <sub>24</sub> 까지의 FAME (팜핵유나 코코넛유 BD 측정가능)
내부표준물질	Methyl heptadecanoate(C <sub>17:0</sub> methyl ester)를 시료에 첨가하여 분석	Nonadecanoic acid methyl ester(C <sub>19:0</sub> methyl ester)를 시료에 첨가하여 분석
시료의 전처리	- Methyl heptadecanoate 10 mg/mL 용액 제조 - 10 mL 바이알에 시료를 약 250 mg 측정 - Methyl heptadecanoate 10mg/mL 용액 5mL를 첨가	- Nonadecanoic acid methyl ester 10 mg/mL 제조 - 10 mL 바이알에 시료를 약 100 mg 측정 - Nonadecanoic acid methyl ester 약 100 mg 측정 - Toluene 10 mL로 희석
컬럼	- 폴리에틸렌 글리콜(Polyethylene glycol) 정지상으로 코팅된 것 (Carbowax 20M, DBwax, CPwax 등) - 길이 30 m - 내부 직경 0.32 mm - 필름 두께 0.25 µm	- 폴리에틸렌 글리콜(Polyethylene glycol) 정지상으로 코팅된 것(Carbowax 20M, DBwax, CPwax 등) - 길이 30 m - 내부 직경 0.25 mm - 필름 두께 0.25 µm
운반가스	수소 또는 헬륨 - 압력 30 ~ 100 kPa - 유량 1 ~ 2	수소 또는 헬륨 - 압력 30 ~ 100 kPa - 유량 1 ~ 2 mL/min
오븐 프로그램		60 °C(2 min) → 10 °C/min → 200 °C → 5°C/min → 240 °C (7 min)

(나) 총글리세롤 함량 분석

① 글리세롤은 바이오디젤 제조 시 부산물로 얻어진다. 총글리세롤은 GC를 이용하여 유리 글리세롤과 모노-, 디-, 트리글리세라이드 내의 글리세롤(결합글리세롤) 함량을 구한 총합으로 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$G_T = G + 0.2591M + 0.1488D + 0.1044T$$

여기서,

$G_T$ 는 시료의 총글리세롤(유리 그리고 결합된)의 백분율(질량/질량)

$G$ 는 시료의 유리 글리세롤의 백분율(질량/질량)

$M$ 은 시료의 모노글리세라이드의 백분율(질량/질량)

$D$ 는 시료의 디글리세라이드의 백분율(질량/질량)

$T$ 는 시료의 트리글리세라이드의 백분율(질량/질량)

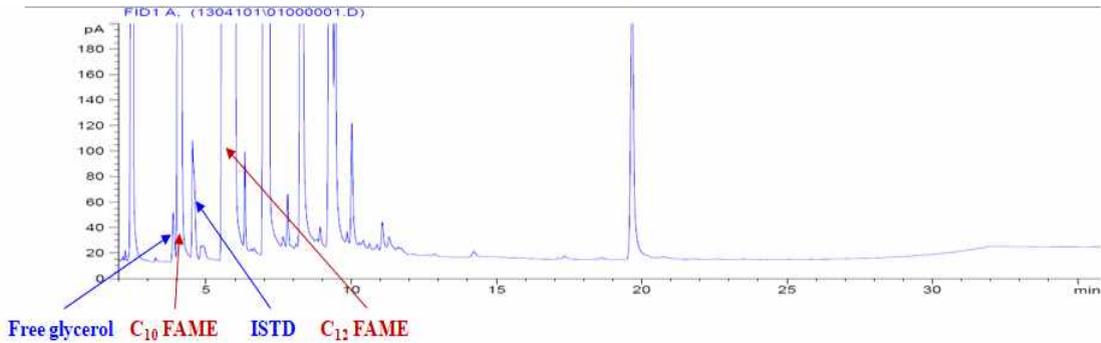
② 총글리세롤 함량은 바이오디젤 합성 후 정제 능력에 좌우되며 바이오디젤의 최종적인 품질을 나타내는 중요한 요소 중 하나이다. 총글리세롤 함량이 낮다는 것은 원료의 전환율이 높다는 것과 합성된 바이오디젤과 글리세롤의 분리가 잘 되었다는 것을 의미한다. 유리 글리세롤, 모노-, 디-, 트리글리세라이드의 함량이 높은 바이오디젤은 연료 인젝터에 퇴적물을 야기할 수 있고 필터 막힘과 같은 저온 유동특성을 악화시킬 수 있다. 총글리세롤 함량은 1,2,4-butanetriol 및 1,2,3-tricaproylglyceol(tricaprin)을 내부표준물질로 사용하여 GC로 분석한다. 또한, 코코넛유와 팜핵유로부터 제조된 바이오디젤은 대두유 및 유채유 등과 같은 일반적인 바이오디젤에는 거의 존재하지 않는 휘발성이 상대적으로 높은 lauric acid methyl ester( $C_{120}$ )의 함량이 45 무게% 이상 함유되어 있기 때문에 GC 분석 시 글리세롤 영역의 피크와 겹쳐 분석할 수 없다.

<총글리세롤 분석을 위한 GC 분석 조건>

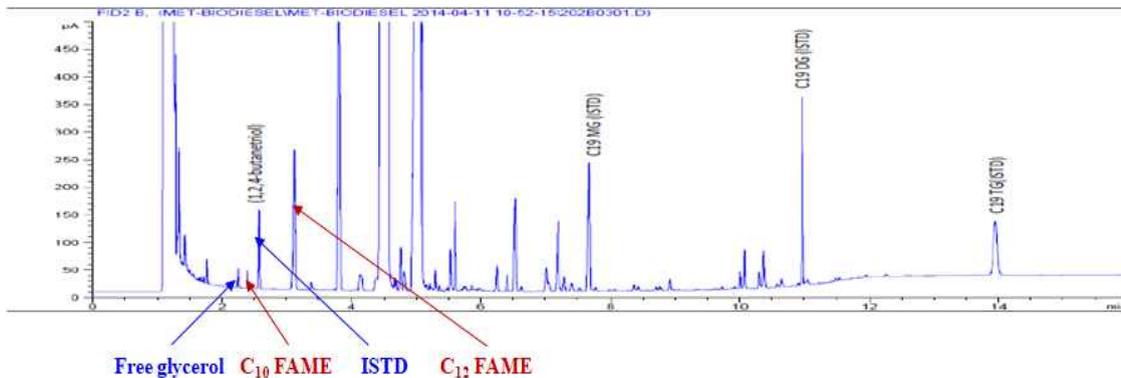
구분	분석 조건
GC 시스템	Agilent 6890N
컬럼	FS, Deactivated, Hi-Temp. : 5 m × 0.530 mm DB-5HT : 15 m(L) × 0.32 mm(I.D) × 0.1 μm(F)
오븐 온도	50°C(1 min) → 180°C(15°C/min) → 230°C(7°C/min) → 380°C(30°C/min) → 380°C(10 min)
주입부 온도	380°C
검출기	불꽃이온화검출기(FID)
검출부 온도	350°C
주입량	1 μL
Split ratio	Splitless

③ 곤충 유래 바이오디젤의 총글리세롤을 분석하였고 글리세롤과 겹치지 않음을 확인하였

다. 그리고 총글리세롤 분석 방법에 대한 다양한 연구를 통해 코코넛유와 팜핵유로부터 생산된 바이오디젤도 분석 가능한 시험방법을 제시하고 있다.



<코코넛, 팜핵유 유래 바이오디젤의 총글리세롤 분석>



<곤충 유래 바이오디젤의 총글리세롤 분석(EN 14105)>

(다) 인화점(Flash point) 분석

- ① 인화점은 시료를 가열하여 유증에 불꽃을 접근시켰을 때 발화하는 최소 온도로 인화점 분석 관련 국내·외 규격은 KS M ISO 2719, ASTM D 93, EN ISO 3679, JIS K 2265 가 있으며 국내 바이오디젤의 인화점은 밀폐식으로 측정하고 있어 곤충 유래 바이오디젤도 KS M ISO 2719로 측정하는 것이 바람직하다.

<인화점 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M ISO 2719	원유 및 석유제품 인화점 시험방법
국외	ASTM D 93	Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester
	EN ISO 3679	Determination of flash point - Rapid equilibrium closed cup method
	EN ISO 2719	Determination of flash point, Pensky Martens closed cup method

(라) 동점도(Kinematic Viscosity) 분석

- ① 동점도는 중력 하에서 유체의 흐름에 대한 저항으로 표현한다. 동점도는 연료의 분무성에 관련된 항목으로 보일러 또는 엔진 내에서의 연료의 미립자화와 관련되고 연소장치에 따라 요구되는 점도가 달라진다.
- ② 일반적으로 점도가 너무 높으면 분무입자가 커져 불완전연소가 되기 쉽고 점도가 너무 낮으면 펌프 및 분무 노즐이 마모되는 원인이 된다. KS M 2014는 휘발유, 경유 성상의 석유제품의 동점도를 측정하는 방법이고 바이오디젤은 KS M ISO 3104을 적용하고 있다.

<동점도 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M 2014	원유 및 석유제품의 동점도 시험방법 및 석유제품 점도지수 계산방법
	KS M ISO 3104	석유제품-투명 및 불투명 액체-점도 시험방법 및 점도 계산
국외	ASTM D 445	Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids(and Calculation of dynamic Viscosity)
	ASTM D 2270	Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 and 100°C
	EN ISO 3104	Petroleum products - Transparent and opaque liquids - Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity
	EN ISO 2909	Petroleum products - Calculation of viscosity index from kinematic viscosity

(마) 잔류탄소분(Carbon residue) 분석

- ① 잔류탄소는 규정 조건하에서 시료를 열분해시켰을 때에 증발하지 않고 남아 있는 코크스상 탄화물의 비율을 나타낸 것이다. 연료 중의 고비점 성분은 열분해와 증축합에 의해 탄화물을 생성하기 쉬우며 석유제품에서는 다환방향족 성분이 탄화물을 생성하기 쉽다. 연료의 잔류탄소는 연소성을 가늠하는 척도로 특히 연소실에서 생기는 카본 양과 관계가 있어 연료의 품질기준으로 중요하다. 또한, 잔류탄소는 분사기 팁과 기타 엔진 부품에 퇴적되어 마모를 증가시켜 엔진 수명을 단축시키고 연비를 감소시킨다. 잔류탄소분 분석 관련 국내·외 규격은 KS M ISO 10370, ASTM D 4530, EN ISO 10370, JIS K 2270 등이 있으며 국내·외 규격 모두 마이크로법(micro method)을 적용하고 있다.

<잔류탄소분 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M ISO 10370	석유제품 - 잔류탄소분 시험방법 - 마이크로법
국외	ASTM D 4530	Standard Test Method for Determination of Carbon Residue(Micro Method)
	EN ISO 10370	Petroleum products - Determination of carbon residue - Micro method

(바) 황분(Sulfur content) 분석

- ① 연료 중의 황분은 엔진 내부에서 연소되어 SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> 등의 황산화물로 배출되고 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 형태로 산성비 등의 공해문제를 야기하고 연소기 부식을 유발시키므로 그 함량을 규제하고 있다.
- ② 석유제품의 황분 분석 관련 국내·외 규격은 KS M 2007, KS M ISO 20846, ASTM D 2622, ASTM D 7039, EN ISO 20846, EN ISO 20884, JIS K 2541 등이 있으며 자외선 형광법(ultraviolet fluorescence test method)은 유동성이 양호하고 황함량이 낮은 연료에 적용하고 에너지분산 X-선 형광분석법(Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry)은 수% 함량의 황분을 포함하는 연료에 적용하고 있다. 바이오디젤은 황분 함량이 낮아 미량황분 분석법인 KS M 2027이 적합하다.

<황분 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M 2027	원유 및 석유제품 - 황분 시험 방법
	KS M ISO 8754	석유제품 - 황분시험방법 - 에너지-분산 x-선 형광분석법
	KS M ISO 20846	석유제품 - 자동차 연료의 황분 시험 방법 - 자외선 형광법
국외	ASTM D 5453	Test Method for Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Spark Ignition Engine fuel, Diesel Engine Fuel, and Engine Oil by Ultraviolet Fluorescence
	EN ISO 20846	Petroleum products - Determination of the sulfur content of automotive fuels - Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry
	EN ISO 20884	Petroleum products - Determination of low sulfur content of automotive fuels - Wavelength-dispersive X-ray fluorescence spectrometry
	ISO 8754	Petroleum products - Determination of sulfur content - Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry
	ISO 20846	Petroleum products - Determination of sulfur content of automotive fuels - Ultraviolet fluorescence method

(사) 회분(Ash content) 분석

<회분 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M ISO 6245	석유제품 - 회분 시험방법
	KS M ISO 3987	석유제품 - 윤활유 및 첨가제 - 황산화회분 시험방법
국외	ASTM D 482	Standard Test Method for Ash from Petroleum Products
	ASTM D 874	Test Method for Sulfated Ash from Lubricating Oil and Additives
	ISO 3987	Petroleum products - Lubricating oils and additives - Determination of sulfated ash
	ISO 6245	Petroleum products - Determination of ash

- ① 연료를 연소시킬 때 연료성분 중 유기물은 이산화탄소와 물 등으로 연소되어 제거되며

무기물들은 잔류물인 재(ash) 형태로 남는데 이것을 회분이라 한다. 회분시험은 단지 연소 후 고온에서 회화시켜 분석한다. 연료 중에 존재하는 무기물들은 연소 후 회분으로 연소실 내에 축적되어 실린더나 피스톤의 마모를 촉진시키는 등의 악영향을 주기 때문에 회분함량을 규제하고 있다. 회분 분석 관련 국내·외 규격은 KS M ISO 6245, KS M ISO 3987, ASTM D 482, ASTM D 874, ISO 3987, EN ISO 6245, JIS K 2272 등이 있으며 국내에는 KS M ISO 6245 회분시험 방법을 적용하고 있다.

(아) 동판부식(Copper strip corrosion) 분석

- ① 금속 부식의 척도를 동판부식 시험을 통해서 알 수 있다. 동판부식 분석 관련 국내·외 규격은 KS M ISO 2160, ASTM D 130, EN ISO 2160, JIS K 2513 등이 있으며 모든 규격은 규정된 온도에서 일정 시간동안 동판을 시료에 침지한 후 표준 시편과 비교하여 그 부식정도를 평가한다. 국내 시험방법인 KS M ISO 2160이 적합하다.

<동판부식 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M ISO 2160	석유제품 - 동판부식 시험방법
국외	ASTM D 130	Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test
	EN ISO 2160	Petroleum products - Corrosiveness to copper - Copper strip test (ISO 2160:1998)

(자) 밀도(Density) 분석

<밀도 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M 2002(부속서 3C)	석유계원유 및 액체석유제품 - 밀도 및 상대밀도 시험방법 - 하이드로미터법(원유 및 석유제품의 밀도 시험 방법 - 진동식 밀도계법)
	KS M ISO 12185	원유 및 석유제품 - 밀도의 측정 - 진동 U자관법
국외	ASTM D 4052	Standard Test Method for Density and Relative Density of Liquids by Digital Density Meter
	EN ISO 12185	Crude petroleum and petroleum products - Determination of density - Oscillating U-tube method

- ① 연료의 밀도는 그 성분의 탄화수소 구조를 측정하는데 활용되고 중량 및 용량 계산에 필요하며 일반적으로 15℃와 101.325 kPa에서 kg/m<sup>3</sup>으로 표시되는 질량 대 부피값을 말한다. 밀도 측정방법은 KS M 2002의 부속서 C에서 규정하고 있는 원유 및 석유제품의 밀도 시험 방법 - 진동식 밀도계법을 적용하며 좀 더 자세한 시험방법은 KS M ISO 12185(원유 및 석유제품 - 밀도의 측정 -진동 U자관법)에서 규정하고 있다.

(차) 수분(Water content)

- ① 연료 중에 혼입되어 있는 수분은 겨울철 연료라인에 결빙현상을 일으켜 연료의 흐름을 저하시킬 수도 있고 연료탱크 내에 응축될 경우 금속재질의 부식을 발생시키므로 수분 함량에 대한 규제가 필요하다. 수분 분석 관련 국내·외 규격은 KS M ISO 12937, ASTM D 6304, ISO 12937, JIS K 2275 등이 있다. 바이오디젤의 수분 측정은 국내 및 유럽 규격이 동일하며 KS M ISO 13937이 적합하다.

<수분 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M ISO 12937	석유제품 - 수분 시험 방법 - 칼피셔식 전기량 적정법
	KS M 0010	화학제품의 수분 측정 방법
국외	ASTM D 6304	Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration
	ISO 12937	Petroleum products - Determination of water Coulometric Karl Fischer titration method

(카) 고형불순물(Total contamination) 분석

- ① 고형불순물은 연료 중에 부유하고 있는 미세한 불순물 등을 말하는데 연료를 필터 여과해서 얻어지는 불용 잔류물의 양에 의해 계산된다. 고형불순물 분석 관련 규격은 EN 12662이 있으며 미세한 곤충 박이 연료에 남아 있을 경우에 고형불순물 함량은 증가하게 된다.

<고형불순물 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국외	EN 12662	Liquid petroleum products - Determination of contamination in middle distillates

(타) 전산가(Acid number) 분석

- ① 전산가는 규정 조건하에서 적정을 통해 분석하는 방법으로 시료 1g 중에 함유되어 있는 산성 성분을 적정하는데 소요되는 염기의 수량으로서 시료 그램당 수산화칼륨의 mg 단위로 표시되므로 전산가가 크면 산성분이 많다는 것을 의미한다. 일반적으로 바이오디젤에는 촉매로 사용되는 산촉매 또는 미반응 지방산 등이 남아 산가를 증가시킨다. 국내·외 규격은 KS M ISO 6618, ASTM D 664, EN 14104, ISO 6618 등이 있다. 바이오디젤은 색상 지시약 적정법인 KS M ISO 6618에 의해 분석하고 곤충 유래 바이오디젤도 적용 가능하다.

<전산가 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국내	KS M ISO 6618	석유제품 및 윤활유 - 산/염기가 시험방법 - 색상 지시약 적정법
국외	ASTM D 664	Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration
	EN 14104	Fat and oil derivatives - Fatty acid methyl esters(FAME) - Determination of acid value
	ISO 6618	Petroleum products and lubricants - Determination of acid or base number - Colour-indicator titration method

(과) 알칼리 및 알칼리토금속 함량(Alkali & Alkali earth metal content) 분석

① 연료 내의 알칼리 및 알칼리토금속은 회분(ash) 등을 생성시켜 연료분사장치에 침전물(deposit)을 형성시키고 배기가스 제어장치(emission control system)에 손상을 주게 되는데 이를 방지하기 위해 규정하고 있다. 시험분석은 1가 금속인 나트륨과 칼륨은 Atomic Absorption Spectrometer(AAS)를 이용하여 측정하고 나머지 금속분은 Inductively Coupled Plasma(ICP) Spectrometer를 이용하여 측정한다. 석유대체연료인 바이오디젤에 대해서만 금속분 함량을 규정하고 있고 Na, K 함량 분석 관련 규격은 EN 14108, EN 14109를 사용하고 있으며 나머지 금속분은 ASTM D 7111을 사용하고 있다.

<알칼리금속 함량 분석 관련 국내·외 규격>

구분	규격번호	규격명
국외	EN 14108	Fat and oil derivatives - Fatty acid methyl esters(FAME) - Determination of sodium content by atomic absorption spectrometry
	EN 14109	Fat and oil derivatives - Fatty acid methyl esters(FAME) - Determination of potassium content by atomic absorption spectrometry
	EN 14538	Fat and oil derivatives - Fatty acid methyl esters(FAME) - Determination of Ca and Mg content by optical emission spectral analysis with inductively coupled plasma(ICP OES)
	ASTM D 7303	Standard Test Method for Determination of Metals in Lubricating Greases by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry
	ASTM D 7111	Standard Test Method for Determination of Trace Elements in Middle Distillate Fuels by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry(ICP-AES)
	IP 501/05	Determination of aluminium, silicon, vanadium, nickel, iron, sodium, calcium, zinc and phosphorus in residual fuel oil by ashing, fusion and ICP

## 아. 끈층 유래 바이오디젤의 품질(저온 유동성 등) 향상 기술

### (1) 석유제품의 저온 유동 특성

(가) 일정 온도 이하에서 n-파라핀을 포함하는 석유제품은 왁스분이 석출되기 시작한다. 온도가 낮아짐에 따라 왁스는 일반적으로 얇은 면(fine sheet)들이 겹쳐진 구조로 결정화된다. 온도가 유동점에 도달하면 오일은 완벽하게 겹화되어 생산라인 또는 운송 파이프, 차량의 연료라인 차단과 같은 저온 유동성 문제들을 야기시킨다.

(나) 따라서, 정유사들은 흑한기용 경유에 대해 왁스침전을 억제하거나 생성 형태를 변형시키는 저온유동성 향상제를 혼합하고, 등유분의 혼합비를 증가시켜 경유의 저온 유동성을 향상시키고 있다. 또한, 경유의 저온 시동불량 문제를 방지하기 위해 흑한기(11월15일 ~ 다음해 2월 15일)에는 생산·수입단계에서 필터막힘점(CFPP, Cold Filter Plugging Point) 품질검사를 수행하고 있다.

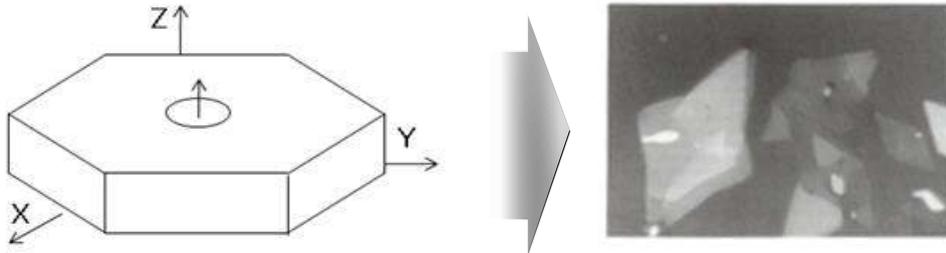
(다) 바이오디젤을 혼합·사용하면서부터 경유의 저온 유동성은 더욱 중요해 졌다. 바이오디젤은 기존 석유제품인 경유를 대체할 수 있는 친환경적인 연료로 알려져 있지만 경유 대비 저온특성이 열악하다. 바이오디젤의 구성성분인 지방산 메틸에스테르(FAME, Fatty acid Methyl Ester) 종류 및 함량에 따라 연료의 저온특성이 달라진다. 팜유로부터 합성된 바이오디젤의 경우 필터막힘점이 대략 13 ℃정도로 바이오디젤 중 가장 저온특성이 열악하다. 바이오디젤을 경유에 혼합·사용함에 따라 연료성상에 적합한 저온 유동성 향상제 선택이 더욱 어려워졌다.

(라) 왁스(wax)란 경유 중의 n-paraffin(통상 C<sub>15</sub> ~C<sub>30</sub>)사슬이 횡 방향으로 결합하여 200 $\mu$ m 정도의 판상 마름모꼴 결정을 만들고 이것이 서로 부착하여 삼차원 그물구조를 형성하는 것을 말한다. 담점(cloud point) 이하로 연료의 온도가 떨어지면 생성되는 왁스 결정(wax crystal)은 얇은 판 모양으로 서로 겹치고(overlap), 엉겨 붙는(interlock) 경향이 있어 결국 연료를 겹처럼 만들어 연료의 흐름을 저하시켜 차량에 문제를 발생시킨다.



<연료필터 내 왁스 생성 모습>

(마) 연료 중 왁스는 X와 Y방향으로는 빠르게 성장하고, Z방향으로는 느리게 성장하여 크고 평평한 결정을 형성한다. 왁스 결정 구조는 연료의 비점범위가 넓은 경우에는 상방정계의 규칙적인 배열을 형성하고 비점범위가 좁은 경우에는 무정형·비결정의 불규칙한 배열을 나타낸다.



<왁스 생성 방향>

(2) 저온 유동 특성 향상

(가) 동절기 경유 유분의 왁스생성 방지를 위한 방법으로는 경질유분 혼합비율 확대 또는 저온유동성 향상제를 사용한다. 등유분과 같은 경질 유분 혼합비를 확대하면 경유의 저온특성은 개선되나 혼합량이 증가할수록 점도 저하에 의한 연료시스템(연료펌프 등) 운할성 저하 및 세탄가 저하 등을 초래할 수 있다.

㉠ 왁스 결정 개질제 (WCM ; Wax Crystal Modifiers)

· 경유의 저온성능을 향상시키기 위하여 왁스 결정이 성장하는 방법이나 왁스 결정의 모양 등을 변화시키는 첨가제를 총칭한다.

㉡ 유동점 강하제 (PPD ; Pour Point Depressants)

· 유동점 강하제는 왁스 결정을 보다 얇고 작게 만들어 인접한 왁스 결정과 붙어서 엉키려는 경향을 감소시키고 더욱 작고 조밀하게 함으로써 유동점을 낮춰주는 첨가제이다.

㉢ 유동성 향상제 (MDFI ; Middle Distillate Flow Improver)

· 필터막힘점(CFPP)을 낮추기 위해 사용하는 첨가제로 연료의 온도가 낮아지면서 발생하는 왁스와 작용하여 기존의 판형(platelet) 모양의 결정을 보다 작고 바늘형태 등의 삼차원적인 결정으로 변형시킨다. 이렇게 변형된 왁스 결정은 엉겨 붙는 경향을 억제시켜 차량필터 및 라인의 막힘 현상을 지연시킨다.

㉣ 왁스 침전 방지제 (WASA ; Wax Anti Settling Additives)

· 왁스 침전 방지제는 왁스 결정의 입자 크기를 작게 하여 생성된 왁스분이 가라앉는 현상을 감소시키는 첨가제이다.

㉤ WAFI(Wax Anti Settling Flow Improver)

· WAFI는 왁스 침전 방지제(WASA)와 유동성 향상제(MDFI)를 혼합한 첨가제를 총칭한다. WAFI는 담점 이하의 온도에서 생성되는 왁스결정의 크기를 미세화 시켜 탱크 내 침전을 방지하여, 대기온도 상승 시 왁스결정을 조기 용해 시켜줌으로써 저온사용가능 온도를 더욱 낮춰주는 역할을 한다.

자 바이오디젤의 저온 특성 비교

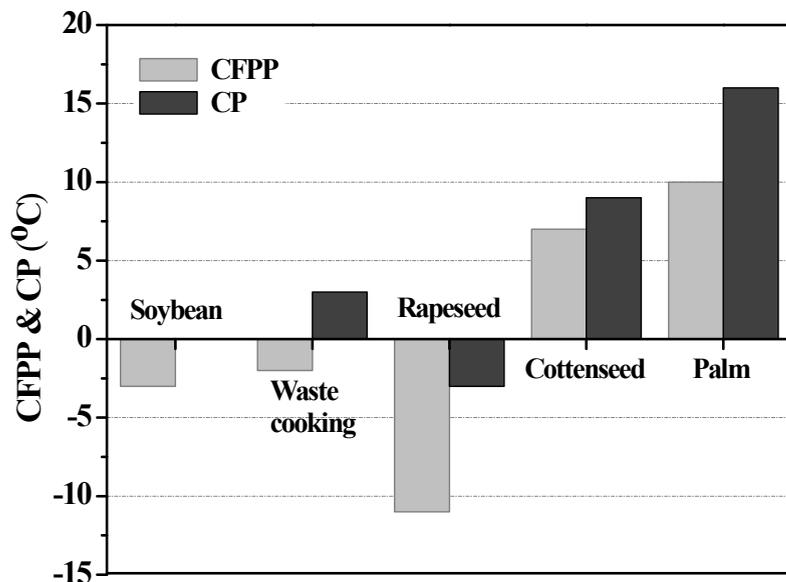
(1) 바이오디젤은 포화된 지방산이 많을수록 분자들 간의 반데르발스(van der waals) 인력에 의해 패킹이 효과적으로 일어나 높은 온도에서 결정화가 일어난다. 상대적으로 불포화도

가 클수록 분자간의 패킹을 방해하고 또한, 가지가 붙은 알코올의 경우 분자간의 패킹을 방해하여 결정화 온도가 내려가 저온특성이 좋아진다.

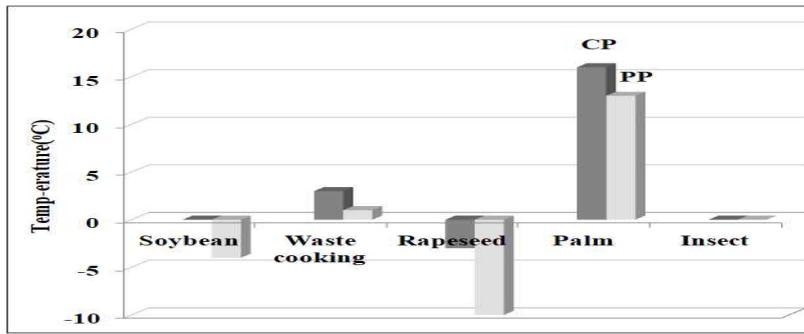
<바이오디젤 원료별 저온특성>

바이오디젤 원료	CP(°C)	PP(°C)	CFPP(°C)
까놀라유(Canola Oil)	1	-9	-
코코넛유(Coconut Oil)	-	-	-
면실유(Cottonseed Oil)	-	-4	-
팜유(Palm Oil)	13	16	-
유채유(Lapeseed Oil)	-2	-9	-8
대두유(Soybean Oil)	0	-2	-2
우지(Tallow)	17	15	9

(2) 유채유 유래 바이오디젤은 필터막힘점(CFPP)이 -11 °C로 가장 우수한 저온특성을 나타내었으며 담점(CP) 또한, -3.0 °C로 가장 낮았다. 팜유 유래 바이오디젤의 필터막힘점은 10 °C 이상이고 담점은 16 °C로 가장 높아서 저온특성이 떨어지는 반면 산화안정성 면에서는 가장 우수한 것으로 나타났다. 포화지방산이 많이 함유된 팜유 바이오디젤의 경우에는 저온특성이 낮은 반면에 대두유, 유채유와 같은 불포화지방산이 많이 함유된 바이오디젤의 경우에는 저온특성이 우수하다.



과 같은 저온특성이 우수한 바이오디젤과 혼합하여 사용하는 방법도 보고되고 있다.



<원료별 바이오디젤의 CP, PP>

### 차. 곤충 유래 바이오디젤의 FAME 전환기술(96.5무게% 이상) 확립

#### (1) 벤치규모 반응기 제작

(가) 실험실 규모 바이오디젤 전환 반응에 대하여 벤치규모 적용 가능성 확인을 위하여 벤치규모 반응기를 제작하였다. 제작 주요 사양은 다음과 같다.

<반응기 주요 사양>

구성	주요 사양
반응조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 반응조 용량 : 30L 이상(10L 단위 눈금 표시)</li> <li>- 재질 : Glass ( Pyrex )</li> <li>- 크기 : 지름/외경 34cm x 높이 62cm (오차 ±각 1cm) 원기둥 형태</li> <li>- 사용 온도 -35~450°C (내부시료 온도 기준)</li> <li>- 반응조 상부 헤드 : 시료 주입 및 세척을 위해 분리 가능 형식</li> <li>- 반응조 상부 헤드 port : 온도 측정 장치, 교반 장치, 냉각기 연결 가능 구조로 총 4개 neck</li> <li>- 반응기 하부 port : 반응물 토출 가능한 형식으로 밸브 구조</li> </ul>
반응조 가열장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 맨틀 형식으로 온도 컨트롤 모듈 내장형</li> <li>- 온도 범위(조절 단위) : 0~450°C(5°C 단위)</li> <li>- 반응물 토출을 위해 가열장치 하부에 구멍 뚫림(구멍 크기 최소화)</li> <li>- 반응기 30L 눈금까지 히팅 가능 구조</li> </ul>
교반장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기어타입</li> <li>- 회전속도 조절 가능 : 50~1,000rpm</li> <li>- 높이 조절 가능 구조</li> <li>- 30L 시료에 대하여 원활한 교반이 가능한 내구성</li> </ul>
냉각장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 반응기 상부 헤드와 연결 구조</li> <li>- 냉각기 온도 범위 : -25~ +150°C</li> </ul>
온도측정장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 반응기 내부 시료의 온도 측정 장치</li> <li>- 반응기 상부 헤드를 통한 측정</li> <li>- 온도 측정 범위 : -50~400°C(저항식 온도계)</li> <li>- 디지털 방식으로 측정 온도 확인 가능 구조</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 장비 및 구성품은 220 V, 60 Hz의 전원 하에서 사용</li> <li>- 반응조 하부포트는 지상으로부터 최소 50cm 위에 존재</li> <li>- 반응기 및 냉각기의 하부는 바퀴 형식으로 이동 가능</li> </ul>

(나) 반응조는 30L 규모로 반응 현상 확인을 위하여 투명한 유리재질로 선택하였다. 원료물

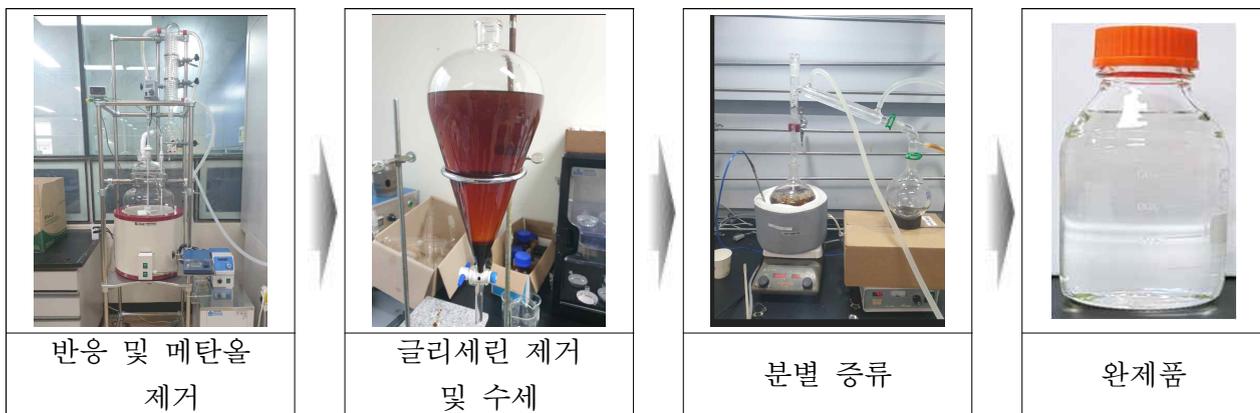
질 주입 및 반응 후 물질 배출이 편리한 구조 형식이며, 반응조 및 교반장치는 높이 조절이 가능하게 제작하였다.



<벤치규모 반응기>

(2) 벤치규모 FAME 전환

(가) 실험실 규모 최적 반응 조건을 벤치규모에 적용하였다. 동애등에 지질 약 2 L에 메탄올 16 L로 1:8의 비율에 촉매량은 지질대비 5 %, 반응온도 70 °C, 반응시간은 6 시간으로 바이오디젤을 합성하였다.



(나) 동애등에 지질 1,583 g(약 2 L)의 에스테르화 반응후 메탄올 및 글리세린 제거 후 수세한 Crude biodiesel의 양은 1,424g를 나타내었다. 높은 황 함량 및 산가를 낮추기 위하여 분별 증류를 실시하였으며, Crude biodiesel의 약 90 %가 회수되었고 최종 바이오디젤의 무게는 1,239g이었다.

(다) 동애등에 지질 대비 최종 바이오디젤의 수율은 78 %를 나타내었다. 최종 바이오디젤에 대하여 EN 14103 시험방법에 따른 FAME 함량은 97.5 %이었다.

카. 끈충 유래 바이오디젤의 국내 품질기준에 따른 품질평가

(1) 최종 바이오디젤에 대하여 국내 산업규격인 KS M 2965 및 유럽 규격인 EN 14214에 따른 품질을 평가하였다.

<동애등에 유래 바이오디젤 품질평가>

시 험 결 과 서					
시료명: 동애등에 바이오디젤					
시험항목	단위	품질기준	시험결과	시험방법	
지방산메틸 에스테르함량	무게 %	96.5 이상	97.5	EN 14103	
황분	mg/kg	10 이하	6	KS M ISO 2027	
밀도(15 ℃)	kg/m <sup>3</sup>	860 이상 ~ 900 이하	875	KS M 2002	
동점도(40 ℃)	mm <sup>2</sup> /s	1.9 이상 ~ 5.0 이하	4.0	KS M ISO 3104	
인화점	℃	120 이상	138	KS M ISO 2719	
수분	무게 %	0.05 이하	<0.01	KS M ISO 12937	
전산가	mg KOH/g	0.50 이하	0.16	KS M ISO 6618	
필터막힘점	℃	0 이하	0	KS M 2411	
메탄올	무게 %	0.2 이하	0.12	EN 14110	
산화안정도(110 ℃, h)	h	6 이상	0.8 → 7.7	EN 14112	
동판부식(50 ℃, 3h)	-	1 이하	1	KS M ISO 2160	
잔류탄소분	무게 %	0.1 이하	<0.1	KS M ISO 10370	
회분	무게 %	0.01 이하	<0.01	KS M ISO 6245	
고형불순물	mg/kg	24 이하	<1	KS M ISO 10370	
총 글리세롤	무게 %	0.24 이하	0.02	KS M 2412	
모노글리세라이드	무게 %	0.80 이하	<0.01	KS M 2412	
디글리세라이드	무게 %	0.20 이하	<0.01	KS M 2412	
트리글리세라이드	무게 %	0.20 이하	<0.01	KS M 2412	
유리글리세라이드	무게 %	0.02 이하	0.02	KS M 2412	
알칼리금속	Na+K	mg/kg	5 이하	<1	EN 14108, 14109
	Ca+Mg	mg/kg	5 이하	<1	EN 14538
인	mg/kg	10 이하	<1	EN 14107	

Page: 1 of 1

(2) FAME 함량 97.5 %는 품질기준인 96.5 % 이상을 만족하는 결과이며 산화안정성을 제외한 모든 항목을 충족하였다. 산화안정성의 문제는 항산화제 등의 첨가제를 사용하여 해결할 수 있다. 첨가제 TBHQ(tertiary-butyl hydroquinone) 200 mg/kg을 첨가할 경우에 산화안정성은 0.8 h에서 7.7 h로 증가하여 품질기준을 만족하였다.

(3) 애등에 유래 바이오디젤의 품질은 상용화에 문제가 없음을 확인하였다.

**타. 상업 생산 바이오디젤과 곤충 유래 바이오디젤 적정 혼합에 따른 품질평가**

- (1) 바이오디젤을 사용하는데 있어 가장 큰 문제는 저온 유동성이 좋지 않다는 점이다. 바이오디젤은 높은 운점과 유동점을 나타낸다. 동애등에 생산 바이오디젤의 가장 큰 문제 중의 하나는 높은 포화지방산에 의해 저온 유동성이 좋지 않다는 점이다.
- (2) 저온유동성의 취약은 연료라인과 필터를 막게 되고 이는 내연기관의 운전애 심각한 문제를 유발한다.
- (3) 동애등에 유래 바이오디젤의 유동점은 -1 ℃, 저온필터막힘점은 0 ℃로 나타났다. 상업 생산 바이오디젤과의 혼합을 통하여 저온 유동성을 파악하기 위하여, 대두유 및 팜유와 유채유 유래 바이오디젤과 1:1, 1:2, 2:1 비율로 혼합하여 저온 유동성을 측정하였다.
- (4) 유동성 평가 방법으로 KS M ISO 3016에 따른 유동점(PP)과 KS M 2411의 저온필터막힘점(CFPP)을 분석하였으며, 사용장비는 TANAKA社 제품을 활용하였다.

<혼합 비율별 저온 특성>

구분	BSFL : Soybean		BSFL : Palm		BSFL : Rapeseed	
	pp	CFPP	pp	CFPP	pp	CFPP
1:1	-3	-2	5	5	-6	-5
1:2	-3	-3	9	8	-8	-8
2:1	-2	-1	2	2	-2	-3

- (5) 혼합 비율별 저온특성은 비율에 따른 비례한 경향을 나타내었다. 품질기준 항목인 저온 필터막힘점을 충족하기 위해선 대두유 및 유채유의 혼합사용은 적절하다고 판단된다.

**파. 곤충 유래 바이오디젤의 경제성 분석**

(1) 국내 바이오디젤 보급 현황

- (가) 국내 수송용 바이오연료로는 바이오디젤이 자동차용 경유에 혼합되어 유일하게 보급 중에 있다. 바이오디젤은 2002년 한·일 월드컵대회 개최를 계기로 대기환경 개선을 위하여 산업자원부 고시에 따라 수도권매립지를 시범보급대상 지역으로 시범보급이 시작되었다. 바이오디젤 시범보급사업은 3차례 고시 개정을 통하여 보급 대상지역, 보급기간, 대상 차량 및 품질기준 등이 변경되었다.
- (나) 2013년 7월 30일 「신재생에너지법」이 개정(2015년 7월 31일 시행)되어 법률상에 명시된 신재생에너지 연료 혼합의무 제도(RFS)가 도입되었다. 「신재생에너지법」에 따른 자동차용 경유 중의 바이오디젤 혼합비율은 2017년까지 연간 2.5%였으며, 2018년부터는 3.0%로 상향되어 현재까지 사용 중에 있다.

(2) 국내 바이오디젤 산업 현황

- (가) 2020년 이맥솔루션(주) 등 7개사가 바이오디젤 생산업자로 등록되어 있으며, 연간 생산능력은 약 119만 kL이다.

**<바이오디젤 생산업체 등록 현황>**

연번	등록일	생산업체명
제2006-1호	2006년 3월 14일	(주)이맥솔루션
제2006-4호	2006년 4월 13일	(주)단석산업
제2006-6호	2006년 4월 14일	(주)에코솔루션
제2007-14호	2007년 4월 30일	에스케이케미칼(주)
제2007-15호	2007년 4월 30일	애경유화(주)
제2007-19호	2007년 10월 10일	제이씨케미칼(주)
제2011-24호	2011년 6월 15일	GS바이오(주)
연간 생산 능력		1,189,330 kL/년

**<연도별 바이오디젤 판매량 및 수출량>**

구분 \ 연도	연도별 바이오디젤 판매량 및 수출량 (천 kL)													
	'06년	'07년	'08년	'09년	'10년	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년
자동차용 경유용	46.0	109.0	195.0	288.0	395.0	389.0	398.0	393.0	400.0	469.6	559.3	605.7	721.5	734.9
BD20용	3.7	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	-	-	-	-	-
수출	-	-	-	-	-	27	55	129	76	88	86.4	28.0	35.0	108.0
합계	49.7	109.2	195.3	288.3	395.3	416.3	453.2	522.1	476.2	557.6	645.7	633.7	756.5	842.9

<출처> 한국바이오에너지협회

(3) 바이오디젤 경제성 분석

(가) 바이오디젤의 원료는 팜 부산물, 팜 정제유, 대두유, 유채유, 동물성 유지 등이 사용되고 있으며, 현재 국내 바이오디젤 사용원료 물질은 수입산 팜유와 국내산 폐식용유가 대부분을 차지하고 있다.

(나) 수입산 팜유가 약 66 %이며, 국내산 폐식용유가 약 26 %의 비율을 차지하고 있다.

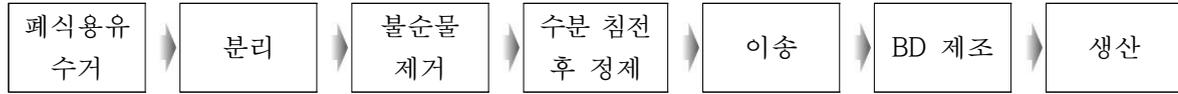
**<국내 바이오디젤 원료 현황>**

구분	국내산			수입산			합계
	폐식용유	기타	소계	팜유계열	기타	소계	
사용량 (비율)	162.8 (26.5%)	17.7 (2.9%)	180.5 (29.4%)	408.8 (66.6%)	24.4 (4.0%)	433.2 (70.6%)	613.7 (100%)

(다) 곤충자원의 국내 바이오디젤 원료로서 적용을 위한 가격 경쟁력을 확보하기 위해선 국

내 원료 물질인 폐식용유와의 비교가 필요하다.

- (라) 폐식용유는 학교, 대형음식점 등에서 수거를 거친 후 분리작업 및 정제 공정을 거쳐 최종 바이오디젤이 된다. 중간 처리상의 비용 및 바이오디젤 생산사의 제조 비용 등을 거쳐 최종 바이오디젤의 납품 단가가 결정된다.



<폐식용유 수거를 통한 BD 생산 과정>

- (마) 2019년 기준 폐식용유의 원료 가격은 약 680원/L의 가격을 형성하였다. 여기에 바이오디젤 생산 과정의 비용이 포함되며, 2019년 폐식용유를 원료로 한 바이오디젤을 포함한 전체 바이오디젤의 국내 공급 단가는 약 850원/L의 가격을 나타내었다.
- (바) 다음은 벤치규모의 곤충 유래 바이오디젤 전환 과정에서 소요된 비용을 나타내었다. 국내 바이오디젤 품질기준을 충족하는 조건으로 수행된 시험에 실제 소요된 비용 내역이다.

<벤치규모 바이오디젤 요구 사항>

운전 요구 사항	동태등에
1. FAME 함량 (%)	96.5
2. 바이오디젤 전환 수율 (%)	78
3. 바이오디젤 국내 품질기준	만족

<벤치규모에서 바이오디젤 1L 생산 비용>

운전비용*	기준용량	기준단가(원)	소요량	소요비용(원)		
1. 메탄올**	1L	1,000	0.2 L	200		
2. 황산	1L	2,200	0.05 L	110		
4. 산화안정제(TBHQ)	1kg	11,000	200 mg/L	2.2		
5. 전기요금	1kWh	60.25	0.65	39		
6. 정제 비용	1회	100	1	100		
7. 곤충지질	L 당	case 1	case 2	case 3	case 4	
		기준단가(원)	400	800	1,600	2,000
		소요비용(원)	512	1,025	2,051	2,564
8. 총 생산단가 (8=1+2+3+4+5+6+7)		963.2	1,476.2	2502.2	3,015.2	

\* 바이오디젤 1L 생산에 소요되는 비용

\*\* 40회 재사용을 가정한 총 메탄올 소모량

- (사) 반응에 사용되는 메탄올에 대한 소비량은 40회 주기의 재사용을 가정하여 최적 용량을

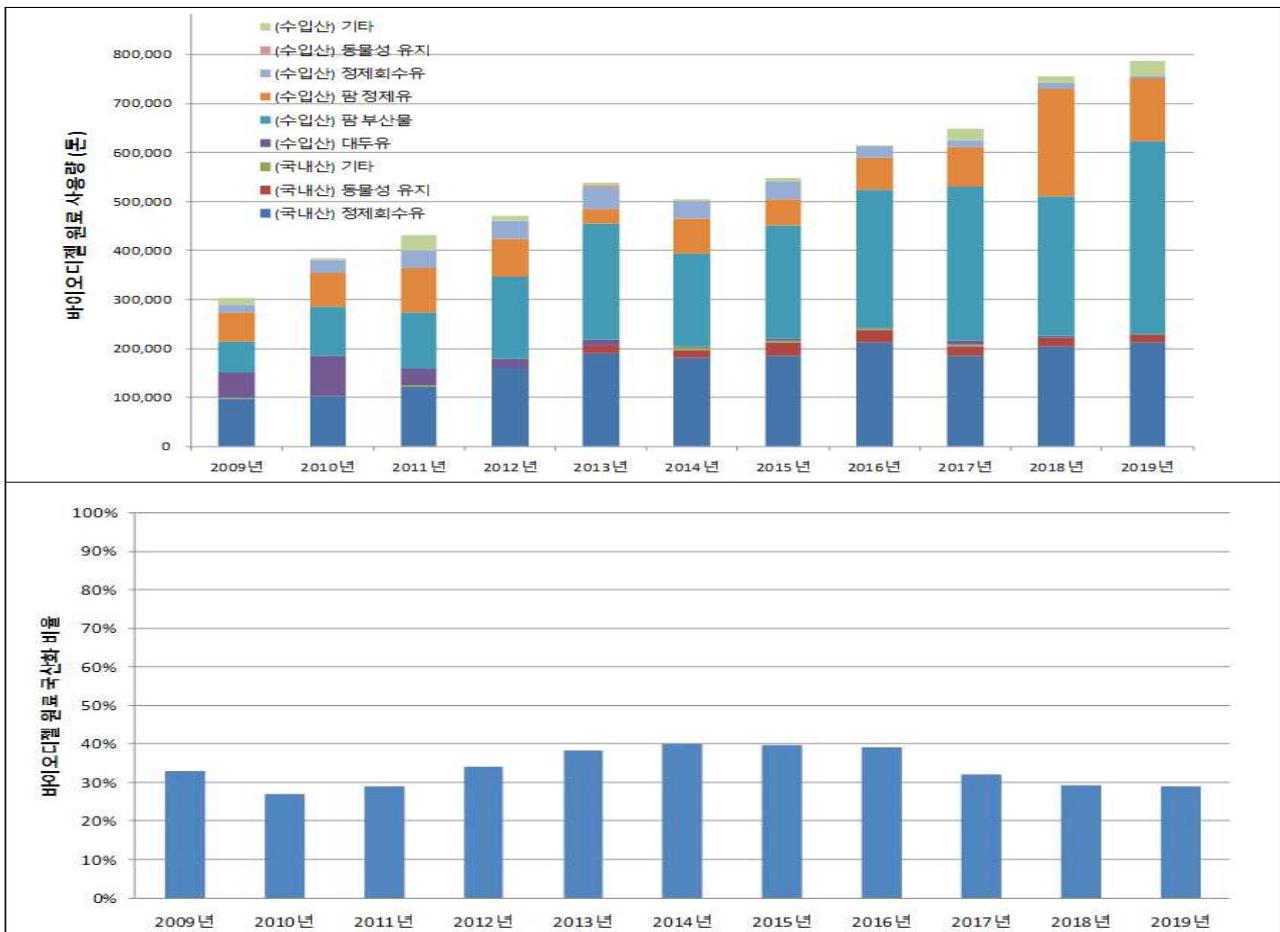
기준으로 계산하였다. 각 화학약품의 단가는 비교견적 등을 통한 실제 구입 가능 단가를 사용하였으며, 전기요금은 국내 산업용 전기 사용료 단가를 기준으로 계산하였다.

- (아) 총 생산단가는 바이오디젤의 현재 시장 가격을 기준으로 폐식용유 유래 바이오디젤의 생산단가를 초과하는 것으로 조사되었다. 이는 30L 반응기에서 도출한 결과로서 바이오디젤 생산 규모가 대용량으로 증가되면 운전비용이 상당히 내려갈 것이다. 바이오디젤의 전략과 기술이 지속적으로 개발된다면, 곧충부터 바이오디젤 회수 비용은 미래에 점차 감소할 수 있을 것으로 기대된다.
- (자) 또한, 음식물쓰레기를 처리하는데 소용되는 비용, 활용되지 못하고 버려지는 곧충 지질의 처리비용, 고부가 부산물 활용 등의 방안을 같이 연계한다면 경제성은 더 높아질 수 있다고 하겠다.

#### 하. 곧충 유래 바이오디젤의 국내 산업화 방안 검토

##### (1) 국내 바이오디젤 원료수급 현황

(가) 국내 바이오디젤 원료 중 국내산 원료는 폐식용유가 대부분이며, 수입산 원료는 팜 정제유와 팜 부산물이 대부분이다. '19년도 기준 수입 팜 정제유 및 팜부산물이 약 66.2%, 국내산 폐식용유가 약 27.0%이며 국내산 원료 비율은 약 29.1% 수준으로 '14년 이후 국내산 원료의 비율이 감소하는 추세이다.



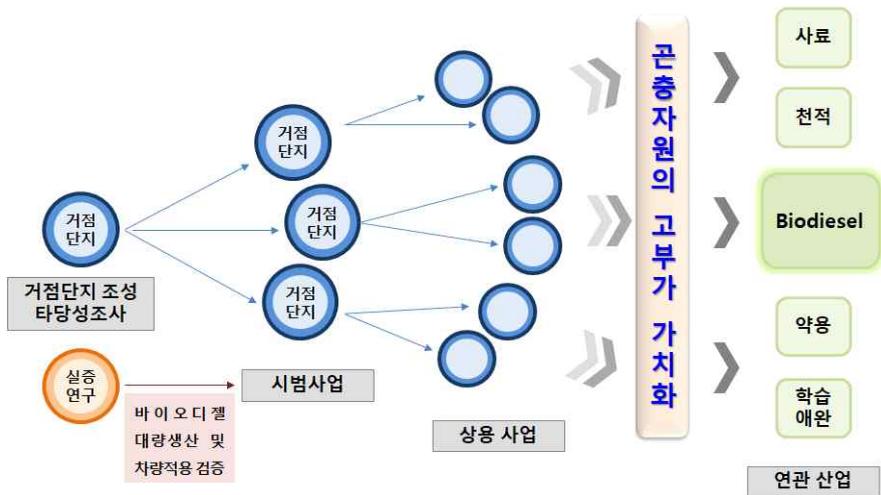
(2) 바이오디젤 원료 확보 방안

- (가) 바이오디젤 제조를 위한 국내산 원료 중 대부분이 폐식용유이며, 폐식용유의 발생량은 연간 약 186,000 톤('17년) 정도이나, 식용유의 사용처가 한정되어 있기 때문에 추가적인 발생량은 기대하기 어렵다. 다만, 폐식용유는 발생량의 약 77%가 수거되고 있는 상황이므로 수거 체계를 개편하면 대략 6.8만 톤의 폐식용유를 추가적으로 확보할 수 있다.
- (나) 국내산 동물성유지 발생량은 연간 약 27,000 톤 정도로 추정하고 있으며, 동물성 유지는 팜유 가격 하락 등으로 인해 가격 경쟁력이 부족하여 대부분(약 78%) 수익성이 좋은 사료용으로 사용되고 있는 실정이다. 하지만 업계 의견에 따르면 사료용은 팜유, 수입 유지 및 저급 동물성유지 등으로 대체가능하여 향후 바이오디젤용으로 전량 활용이 가능하다는 의견이다. 또한, 바이오연료 업계에서도 저비용 생산기술 개발 및 국산 원료라는 사회적 책임 등으로 보급을 확대하려는 의지이다. 따라서 향후 동물성 유지를 활용한 바이오디젤 생산의 활성화를 위한 업계들의 노력과 정부의 관심이 필요할 것으로 판단된다.
- (다) 국내 저급 동물성 유지(식당에서 발생하는 탕기름)는 연간 약 80,000 톤 정도가 발생하며 원료 특성 중 산가가 높아 기존의 공정을 적용할 수 없으나, 고체(효소) 촉매를 이용하여 바이오디젤 생산 가능성을 확인하였다. 다만, 촉매의 단가가 높아 촉매의 단가를 낮출 수 있는 기술개발이 필요한 실정이다.
- (라) 음식물류 폐기물에서 발생하는 음폐유도 저급 동물성 유지와 마찬가지로 기술개발이 선행되어야 하며, 또한 지역 에너지자립 활성화를 위한 산업부와 환경부 등 부처합동의 친환경에너지타운구성 사업과도 연계하여 추진함으로써 보다 효율적인 에너지자립 타운구성이 가능하리라 판단된다.
- (마) 유채유는 '07년부터 '10년까지 시범재배사업이 수행된 바 있으나, 당초 생산 목표의 23% 정도밖에 생산하지 못하였으며, 농민 수입도 쌀, 보리에 비해 78% 수준에 미치는 등 기후 및 기술적인 문제로 실패한 경험이 있다. 하지만 유채유는 자원순환 타운 구성에 가장 합리적인 작물로 판단되며, 농업, 관광 및 산업 전반에 미치는 영향이 클 것으로 예상되므로 범부처 합동으로 검토해 볼 필요가 있다.
- (바) 미세조류는 아직 연구단계 수준이므로 상용화를 논하기는 어려우나, 3면이 바다로 둘러싸인 우리나라에서는 온실가스 저감과 국산 원료확보 등의 측면에서 연구가 계속 진행될 수 있도록 정부 차원의 지원이 필요하다.
- (사) 팜유는 현재 전 세계적으로 충분한 물량이 유통되고 있는 상황이며, 유럽의 팜유 사용 억제 정책에 따라 바이오디젤 제조용으로 사용되는 물량은 충분할 것으로 전망된다. 또한, 우리나라에서 바이오디젤용으로 사용되는 물량은 전 세계 물량에 큰 영향을 미치지 않으므로 값싼 팜유의 안정적 공급 측면에서의 지원이 필요한 실정이다. 이에, 해외 농장 개척 지원 사업이 하나의 대안으로 판단된다. 특히 동남아시아 현지의 사회적, 문화적, 제도적 차이에 의한 농장개척의 어려움을 고려하여 국내 기업 진출에 필요한 지원이 타당할 것으로 판단된다.
- (아) 팜 부산물인 PFAD(Palm Patty Acid Distillate)는 국내 SK케미칼에서 최적화된 공정으로 향후 안정적 원료 수급처의 발굴이 핵심이며 이는 기업체의 노력이 필요한 부분이다. 팜 부산물인 PSO(Palm Sludge Oil) 또한 산가가 높기 때문에 저급 동물성 유지 및 음폐유와 마찬가지로 기술개발이 필요한 상황이다.
- (자) 따라서, 국내 바이오디젤 보급 확대를 위해서는 국내 미이용 또는 사용량이 적은 저급

바이오디젤 원료(음식물류 폐기물로부터의 유분, 식물성 잔사유, 식당 탕기름 등) 원료를 발굴하여 원료 품질을 고품질화한 후 실제 상용 제조공정에 적용할 수 있는 기술개발이 절실히 요구된다.

(3) 산업화 모델

- (가) 우선적으로는 곤충자원을 활용한 친환경 재생에너지인 바이오디젤 원료 공급을 안정적으로 생산 및 소비할 수 있는 실증 모델 개발이 필요하다.
- (나) 농식품부 주관으로 곤충자원 오일 생산자(농가 중심 영농조합), 바이오디젤 대량생산 검증 및 차량 실주행 평가 후, 바이오디젤의 실증생산(바이오디젤 생산사)하여 농업에너지로 사용이 가능한 방안을 마련해야 한다.
- (다) 영농조합(농가) 중심의 곤충자원 대량생산 모델 개발이 필요하며, 정부기관에서는 곤충 유래 바이오디젤의 대량생산 모델 개발이 요구된다. 바이오디젤 대량생산에 따른 품질 개선 연구 및 기존 상용 플랜트에 적용하기 위한 기존 원료(폐식용유, 팜유)와의 혼합, 기존 바이오디젤의 생산기술 적용 및 품질 적합성 평가가 필요하다. 또한, 저온 유동성 및 산화안정도 향상을 위한 품질개선을 도출하고 자동차용 경유 연료와의 혼합하여 차량 영향성 평가(경유 차량, 농기계 등 실주행 평가)를 통한 검증이 필요하다.



<곤충 자원 클러스터 사업>

### 제3장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

구분 (연도)	세부 과제명	세부연구목표	목표달 성여부 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2018)	주관: 대량사 육된 곤충으 로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 설계 및 개발	○ 기존 먹이원 (음식물쓰레기 등 유기성 폐기물)의 영양학적 특성 분 석	100	○ 남은 음식물 사료의 성분 함량은 탄수화물이 가장 많고, 단백질, 수분, 조지방, 조섬유, 조지방, 조회분, 나트륨 순임 ○ 지역별 남은 음식물 사료의 염분은 평균 0.8% 였고, 가장 높은 지역의 샘플은 전라도로 1.0% 였음
		먹이원 내 곤충 분리 기술 및 산 폐 방지를 위한 최적 건조 설계 및 개발	100	○ 사례6의 원형 방식의 친환경분리장치가 진동, 소음, 분 진이 없고 분리율도 가장 높음, 분변토의 수분 조정 필요 ○ 건조 효율은 모든 방법에서 62.05±0.4%로 비슷하게 나 타남, 산업적으로 속도가 빠른 마이크로파 건조가 경제적인 평균지방함량은 88.7±1.5%, 최저산가는 2.9mg/g, 80℃이 하의 비교적 낮은 온도에서 빠른시간에 건조 할수록 산패 가 덜 일어남
		곤충으로부터 지 질 대량 추출을 위한 농가보급형 기계식 압착장치 설계 및 개발	100	○ 유충 착유장치는 저온에서 유충을 착유하고, 필터링 공 정을 거쳐 고순도 오일을 생산할 수 있음, 유충이 착유기를 통해 압착되어 박(압착된 껍질) 형태로 배출되면, 이를 분 쇄하여 고순도 오일, 사료 단백질원을 동시에 제조할 수 있 어 효율을 높일 수 있음
		기계식 압착 부산 물로부터 여분의 지질 추출을 위한 화학적 추출 장치 설계 및 개발	100	○ 탈지박 내 조지방 함량 7.2±0.7%, 조단백 64.00±4.6% 선행 자료들 보다 높은 조단백과 착유율(39.8±1.3)을 보임 (건조 동에등에 유충의 지방함량 40%전후) ○ 추출을 위한 설계 및 오일 필터 장치 개발
		대량사육에 따른 먹이원별 최적 곤 충 투입 밀도 평 가	100	○ 유충은 표면적 cm <sup>2</sup> 당 2.5마리인 a1 조건에서 가장 잘 자람 ○ 마리당 사료 요구량은 1~1.5g이며 먹이는 4~6시간 안 에 섭식 시 가장 잘 자람 ○ 같은 조건에서 도축 잔재물 사료 급여 시 남은 음식물 사료 급여 대비 81.5%의 성장률을 보이므로 남은 음식물 사료 급여 유충이 도축잔재물 사료 급여 유충에 비해 크게 성장함
	곤충 발육단계별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원 의 모니터링 기술 개발	100	○ 곤충에 관한 생산 스케줄 수립, 생산/품질 관리, 작업 관리, 환경 제어, 생육 관리, 생산등 매뉴얼 마련 작업을 수행하는 데이터베이스 생산 단계에서 저장된 LOT 별 데 이터를 머신러닝 분석 기법을 활용하여 폐기물의 처리량과 유충과 분변토의 무게 등을 위한 설계안 구성함 ○ 평균 생존율은 53%(물에 침지되며, 폐사됨) 1g당 평균 13,718±1009.5 마리, cm <sup>2</sup> 당 2.5마리로 난괴 를 부화 시켜 사육장에 세팅하여 밀도 기반 먹이원 공급함	
협동1: 동에등에	○ 곤충 생체 내 지질함량 향상을	100	○ 문헌 검색을 통한 곤충 생체 내 지질함량 향상 먹이원 후보군을 선발	

생체 내 지질함량 개선 기술 개발	위한 최적 저가 먹이원 선발 : 축분, 발효미생물, 폐기름, 등		○ 선발 후보 먹이원 중 경제성이 높은 4종의 먹이원을 선발함 ○ 음식물쓰레기, 축분(계준), 폐식용유, 발효미생물제제(EM)
	○ 먹이원별 및 첨가수준별 생육 특성 조사 : 생존율, 경과일수, 증체량 등	100	○ 음식물쓰레기와 계분, 폐식용유 및 발효 미생물의 복합처리가 동애등에 생육에 미치는 영향을 분석한 결과, 마리당 증체량은 60% 음식물쓰레기 + 40% 계분 + 2.0% 폐식용유 + 0.8% 발효미생물 처리구가 음식물쓰레기가 단독 처리구에 비해 191.9%의 증체량을 나타내었음
	○ 먹이원별 및 첨가수준별 곤충 생체 내 지질 함량 및 지방산 성분 분석	100	○ 음식물쓰레기와 계분, 폐식용유 및 발효미생물의 복합처리 농도별 사료 급이에 따른 동애등에 생체 내 지질 함량과 지방산 조성 분석은 실험 수행 중으로 금년 내 결과를 도출하겠음
바이오디젤 기준에 적합한 곤충 선별	○ 곤충 목별(파리목, 딱정벌레목, 벌목, 나비목 등) 지질 함량 조사 : 50종 이상	100	○ 곤충 53종에 대한 지질함량 조사를 통해 지방함량이 높은 4종 곤충(갈색거저리 <i>Tenebrio molitor</i> , 아메리카왕거저리 <i>Zophobas atratus</i> , 꿀벌부채명나방 <i>Galleria mellonella</i> , 동애등에 <i>Hermetia illucens</i> )을 선발하였음
	○ 국내 자생종 중 지방함량이 높은 곤충 중 확보 : 3종 이상	100	○ 국내 자생종 중 지방함량이 높은 곤충 중 4종 (갈색거저리, 아메리카왕거저리, 동애등에, 꿀벌부채명나방)을 확보 후 경제성이 높으면서 유해물질이 없는 사료 개발을 위해 후보 사료 원료를 확보 후 우선 갈색거저리 및 아메리카왕거저리를 대상으로 유충에 대한 발육특성 및 성분분석 연구를 실시하였으며, 꿀벌부채명나방은 현재 증식중임
	○ 확보한 곤충 종의 지방산 조성 분석 및 상용화된 식물성 바이오디젤과 비교	100	○ 확보한 곤충 중 중 갈색거저리의 지방산 조성 분석은 완료했으며, 동애등에 및 아메리카왕거저리의 지방산은 분석중임(12월 중 분석완료 예정)
	○ 바이오디젤의 세계적 기준(EN14214)에 적합한 곤충 종 최종 선발	100	○ 갈색거저리의 지방산 조성 및 함량 분석 결과 세탄값 및 저온유동성 고려시 바이오디젤로 사용하기에 적합한 종으로 판단되며, 아메리카왕거저리와 동애등에도 지방산 조성 분석 후 바이오디젤로 사용하기에 적합한지 분석하고자 함
	○ 선발된 곤충의 생태적 특성 분석	100	○ 선발된 4종의 생태적 특성(분류, 사육방법, 발육단계 등) 분석 완료
협동3: 곤충지질로부터	○ 국내외 곤충 유래 바이오디젤 전환 기술 조사	100	○ 바이오디젤의 원료로는 지금까지 식물성 오일, 동물성 유지, 폐식용유, 미세조류 등이 사용되어 왔음 ○ 바이오디젤은 오일, 유지의 비용, 사용한계 등의 문제를 갖고 있어 바이오디젤의 가격을 낮출 수 있는 방법이 필요함. ○ 현재 상용화되고 있는 바이오디젤의 합성 방법은 동식

최적의 FAME(바이오디젤) 전환기술 연구			<p>물성 유지와 메탄올을 혼합하여 산, 염기, 고체촉매를 사용하여 제조하고 있음</p> <p>○ 바이오디젤 상용공정은 동식물성 유지를 탈검, 탈산, 탈수 처리를 하여 염기촉매를 사용하여 메탄올과 반응하여 바이오디젤을 합성함.</p> <p>○ 곤충 사육장은 인근 지역의 음식물 쓰레기와 볏짚을 먹이로 하여 곤충을 배양함.</p> <p>○ 곤충으로부터 지질을 추출하려면 곤충 애벌레를 건조한 다음에 용제를 첨가하여 추출함</p> <p>○ 물리적인 지질 추출 방법은 압착기를 사용하고 추출된 지질은 원심분리기를 이용하여 고형물을 분리하며 물리적으로 추출함</p>
	○ 국내외 곤충 유래 지질의 FAME 전환 기술 분석	100	<p>○ 곤충에서 지질을 추출한 다음에는 부산물로부터 단백질을 추출하고 나머지 부산물은 동물 사료로 이용함</p> <p>○ 곤충 지질을 이용하여 직접 전이에스테르화 반응을 반응온도, 시간, 용매 등의 조건을 실험</p> <p>○ 과량의 용매가 사용되면 전환율이 감소한다고 보고됨</p>
	○ 곤충 유래 지질 특성 분석 (HPLC, GC-MS 등) 및 곤충 지질을 이용한 예비 실험	100	<p>○ 동식물성 유지는 <math>C_{18:1} &gt; C_{16:0} &gt; C_{18:0}</math> 순으로 지방산 함량이 높고 식물성 유지의 코코넛, 팜핵유는 <math>C_{12:0} &gt; C_{14:0}</math>, 팜유는 <math>C_{16:0}</math>, 폐식용유는 <math>C_{18:2} &gt; C_{18:1}</math> 순으로 지방산 함량이 높음.</p> <p>○ 동애등에 지질은 <math>C_{12:0} &gt; C_{18:1} &gt; C_{16:0}</math> 순으로 지방산 함량이 높음</p> <p>○ 포화지방산이 많을수록 산화안정도가 좋음.</p> <p>○ 곤충지질 유래 바이오디젤은 유채유 유래 바이오디젤과 유사</p> <p>○ 밀도, 수분 함량, 동점도, 인화점 등은 곤충 유래 바이오디젤은 기존의 바이오 디젤과 거의 유사한 특성을 보임</p> <p>○ 동애등에 유래 바이오디젤은 기존의 동식물성 바이오디젤에 비해 인화점이 낮았음</p> <p>○ 황분 함량이 높게 나타나 품질기준을 벗어났음</p> <p>○ 실험에서는 동애등에 지질과 메탄올, 황산을 이용하여 바이오디젤을 합성</p> <p>○ 반응 완료 후에는 메탄올을 감압증류를 통해 제거하였음</p> <p>○ Ether와 물을 첨가하여 수세를 하고 물을 증분리를 통해 제거함</p> <p>○ Ether가 포함된 바이오디젤을 감압증류로 ether를 제거하여 최종 바이오디젤을 얻었음.</p> <p>○ FAME 함량은 EN14103의 시험방법으로 GC를 통해 <math>C_6 \sim C_{24}</math> FAME의 면적으로 계산</p> <p>○ 생성량은 반응 전 지질의 무게 대비 반응 후에 세척까지 완료된 바이오디젤의 무게로 계산하였음</p> <p>○ 바이오디젤 수율은 FAME 함량과 생성량의 곱으로 계</p>

				<p>산하였음</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동애등에 지질은 검은 갈색에 상온에서 유동성이 낮았음</li> <li>○ 왕거저리와 갈색거저리는 황색을 띄고 상온에서 유동이 좋음</li> <li>○ P, Na, K, Ca, Mg 등의 함량이 높았고 다른 금속분 함량은 낮았음</li> </ul>
		<p>○ 곤충 지질로부터 FAME (바이오디젤) 전환(촉매, 온도, 용매비율 등) 기술 연구 (Lab 규모 장비)</p>	<p>100</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실험에서 FAME 함량과 생성량을 고려하여 수율 85% 이상을 최대 수율로 보고 실험함</li> <li>○ 동애등에 지질은 촉매량에 따라 반응 수율이 증가하는 경향을 보임</li> <li>○ 산에 의한 탈색효과로 보임</li> <li>○ 바이오디젤의 금속분 함량이 촉매량, 수율에 따라 감소하는 경향을 나타내었음</li> <li>○ 특히, P, Ca, K 함량이 크게 감소하였고 P 함량은 바이오디젤 품질기준 이하로 낮아짐.</li> <li>○ 동애등에 유래 바이오디젤의 수율은 메탄올 함량에 따라 증가하는 경향을 보임</li> <li>○ 동애등에 지질은 반응온도에 따라 반응 수율이 증가하는 경향을 나타냄</li> <li>○ 동애등에 지질은 반응시간에 따라 반응 수율이 증가함</li> <li>○ 반응온도, 시간, 메탄올 함량, 촉매량에 따라 수율을 높고 낮음으로 표시</li> <li>○ 동애등에 유래 바이오디젤의 FAME 분포는 <math>C_{12:0} &gt; C_{18:1} &gt; C_{16:0}</math> 순으로 높음</li> <li>○ 포화지방산과 불포화지방산의 비는 5:4 정도로 나타남</li> <li>○ FAME 함량이 96.5% 이상, 인화점 123 °C, 밀도 885. kg/m<sup>3</sup>으로 대부분의 품질기준을 만족하였음</li> <li>○ 동애등에, 왕거저리, 갈색거저리를 같은 반응조건에서 실험하였음</li> <li>○ 동애등에의 수율이 가장 높았으며 반응 시간에 길어지면 수율은 거의 비슷한 수준을 보임.</li> <li>○ 왕거저리와 갈색거저리는 동애등에와 다른 FAME 분포 특성을 보임.</li> <li>○ 왕거저리와 갈색거저리의 FAME 분포는 비슷한 특성을 나타냄.</li> <li>○ 왕거저리와 갈색거저리는 <math>C_{16:0} &gt; C_{18:0} &gt; C_{14:0}</math> 순으로 FAME 분포가 나타났음.</li> </ul>

구분 (연도)	세부 과제명	세부연구목표	목표달 성여부 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2019)	주관: 대량사 육된 곤충으 로부터 지질 대량 최적 자동 추출 시스템 개발 및 산업화 확립	먹이원 내 곤충 분리 기술 및 산폐 방지를 위 한 최적 건조 기술 수정 보완	100	○ 함수율에 따른 영양성분은 차이는 큰차이가 없지 만, 산가는 수분이 16%이상이면 산폐가 매우 급 격하게 일어남, 수분이 5~10%일때가 산폐가 가 장 적고, 5%이하가 되면 오히려 산폐가 5~10% 일 때 보다 더 일어남
		1차년도 설계 보완 수정 및 최적 자동 추출 시스템 개발 및 산업화 확립(소 규모)	100	○ 오일 토출부, 추출부 저장탱크를 개선한 당해연도 개발 진공가열감압 기계식 압장장치는 기존 작업 시간의 45% 절감 및 작업의 편의성 향상 효과 ○ 같은 시간에서 화학적 추출 시 상온 보다 50℃에서 추출 시 착유율은 0.48% 오르나 산폐가 심해지므 로 상온에서 추출하는 것이 좋음 ○ 기계적 착유 방식이 착유율은 10.26% 높으나 화학적 추출 방식에 비해 고온을 사용해 산가가 2.38mg/g 높 음 ○ 화학적 추출 방식이 대량 추출 시 추출 속도가 빠르고 산가가 낮아 산업적으로 유용하나 경제성 부분에서 부 산물인 곤충박 사용을 위해 용매에 대한 안전성 검증 추가 보완 필요함
		부산물 이용 산 업화 적용을 위 한 제제화 및 제 형화 기술 개발 : 이온, 나노, 지 방 캡슐등	100	○ 사료에 곤충분말을 0.1% 첨가한 실험구 TP와 사료 에 지방코팅 곤충분말을 0.1% 첨가한 실험구 TL은 사료만 먹인 대조구 C에 비해 생산성에 있어서 마리 당 평균 증체율은 4.29%, 7.79% 유의적으로 증체되었으 며, 사료섭취량은 6.18%, 1.49% 유의적으로 감소하였 음 사료요구율도 대조구 대비 실험구 TP는 0.21, TL 은 0.18 감소하였음 ○ 안전성의 생존율은 대조구와 실험구의 유의적인 차이가 없었음, 일반사료 섭취 대조구 대비 면역 유도 곤충분말사료를 섭취한 실험구가 생산성 면 에서 매우 유리하며 실험구 TP와 TL중에 사료섭 취량이 적고 증체량이 높은 TP가 가장 경제적임

	곤충 발육단계 별 사육환경 및 곤충 밀도 기반 먹이원의 모니터링 기술 수정 보완	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 남은 음식물 건식과 습식을 급여한 실험구 A가 가장 크게 성장함, 실험조건 내 까나리 사료를 제외한 사료들 중에는 건식 사료가 상대적으로 염분이 높음</li> <li>○ 유충 마리당 섭식량이 같고 비율만 비례적으로 증가 시킨 A 실험구는 실험구내 조건에서 먹이와 유충량이 증가할수록 성장률과 생존율이 높았음. 같은 유충량에 먹이량만 배수로 증가 시켜 밀도를 조절한 a 실험구는 먹이량이 부족해지면 생존율이 급격히 떨어짐, 실험구내 조건에서 평균크기는 먹이량에 비례함</li> </ul>
협동1: 곤충의 집단 폐사 방지 및 천연방부제 생산 기술 개발	지질 추출 후 부산물로부터 천연방부제 추출기술 개발 : 추출용매 선발, 처리 농도, 온도 등	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 동애등에 건조무게 대비 20% acetic acid 추출용매를 10배를 부가한 후 100℃에서 30분간 처리한 다음 원심분리, 상등액 회수 및 필터링 및 진공농축 원심분리의 순차적 수행에 의해 천연방부제 유효성분을 대량 추출할 수 있었음.</li> <li>○ 그 결과. 탈지 동애등에 건조분말 1kg으로부터 그람음성균인 대장균에 대해서는 상품화된 melittin의 2.3g에 해당되는 항균활성물질을 추출할 수 있으며, 그람양성균인 황색포도상구균에 대해서는 melittin의 2.45g에 해당되는 항균활성물질을 추출할 수 있었음</li> </ul>
	추출 천연방부제의 활성분석 : 인체, 가축, 어류 등 병원균에 대한 RDA 및 MIC 분석	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 실험에 사용된 다양한 인축 병원균에 대한 탈지 동애등에 유래 천연방부제의 최소억제농도(MIC) 범위는 200-500ug/100ul로 측정되었음</li> <li>○ 기상품화된 melittin의 경우에는 단백질가수분해 효소 (trypsin 및 chymotrypsin 복합 처리)에 의해 높은 감수성을 나타내었으나, 탈지 동애등에 유래 천연방부제는 단백질가수분해효소에 높은 저항성을 나타내었음</li> <li>○ Melittin은 유해균을 저해하는 농도로 유익균을 사멸시키는 반면에, 동애등에 항균활성물질은 유해균을 저해하는 농도의 약 5배 이상의 농도에서 유익균의 성장을 억제하였음</li> </ul>
	동애등에 생리장애 요인의 저	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 선발한 동애등에 생리저감제인 생석회 0.5 및 1.0% 첨가구에서는 무처리구에 비하여 농도 의존</li> </ul>

	감화 기술 개발 및 생리 저감제 처리에 의한 생육 특성 분석		<p>적으로 동애등에 유충 무게가 증가하였으나, 3.0% 이상 첨가구에서는 유충 무게가 감소하기 시작하여 5.0% 첨가 구에서는 무처리에 비하여 유충의 무게가 급격히 감소하는 결과를 나타내었음</p>
		100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 생존율은 생석회 무처리구에 시험에 사용된 모든 농도별 첨가구에서 통계적 유의성이 인정되지 않았음</li> <li>○ 생석회 농도별 처리에 따른 동애등에 전체 증체량 및 마리당 증체량은 1.0% 처리구에서 무처리구에 비해 가장 높은 증체량(144.3%)을 나타내었음</li> </ul>
협동2: 바이오디젤 생산용 곤충의 사육체계 확립	바이오디젤 생산용 곤충의 사육체계 확립	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 3종곤충(갈색거저리, 아메리카왕거저리, 꿀벌부채명나방)의 사료 조성 확립</li> <li>○ 다양한 배합사료 조성별 갈색거저리, 아메리카왕거저리 유충, 꿀벌부채명나방의 증체량 등 사육 성적 분석</li> <li>○ 대상곤충의 증체량과 지방함량 증대를 위해 인공 사료의 방부제 첨가 및 고휘제 첨가조건 확립</li> <li>○ 갈색거저리, 아메리카왕거저리, 꿀벌부채명나방의 발육단계별 조성분 분석 및 지방산 분석 및 비교</li> </ul>
협동3: 국내 품질 기준 대비 곤충 유래 바이오디젤의 품질 최적화 연구	곤충 지질로부터 고함량 FAME 바이오디젤 전환기술 품질 최적화	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 생산 곤충 지질의 전산가는 동애등에 1.5 mg KOH/g, 왕거저리 0.7 mg KOH/g, 갈색거저리 1.3 mg KOH/g으로 매우 낮은 특성을 보이기 때문에 염기촉매 사용 가능 확인</li> <li>○ 추출된 곤충 지질은 염기촉매(KOH, NaOH 등)와 메탄올을 혼합하여 약 60 °C에서 1시간 이내에서 반응</li> <li>○ 반응 완료 후에 감압증류로 메탄올을 제거하고 메탄올은 반응물로 재사용</li> <li>○ 약 1시간 정도 정체시키면 밀도차에 의해 아래층에는 글리세린층, 위층은 바이오디젤층으로 분리</li> <li>○ 위층의 바이오디젤층은 수세 및 증류를 통해 최종 결과물인 바이오디젤을 얻는 공정 최적화 실시</li> <li>○ 염기촉매는 전이에스테르화 반응으로 반응시간이 짧지만 자유지방산을 비누화시켜 바이오디젤 회수 공정에서 층분리를 어렵게 함</li> <li>○ 반면에 산촉매는 주로 자유지방산을 전환시키며 장시간, 고온에서는 트리글리세라이드도 전환시킴</li> <li>○ 동애등에 지질의 전산가는 1.5 mg KOH/g로 산촉매 보다는 염기촉매를 사용하는 것이 유리함을 확인</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 반응물인 지질의 양을 고정하고 염기촉매량, 메탄올량, 반응온도, 반응시간에 따른 바이오디젤 수율을 측정하여 최적화 실시</li> <li>○ 50°C 에서 바이오디젤을 합성할 경우에 촉매량은 2.0% KOH, 메탄올 함량은 지질 대비 1:8의 비율로 9시간 반응할 경우에 최적 조건임</li> <li>○ 55°C 에서 바이오디젤을 합성할 경우에 촉매량은 1.0% KOH, 메탄올 함량은 지질 대비 1:8의 비율로 3시간 반응한 경우에 최적 조건임</li> </ul>
		<p>국내 바이오디젤 품질기준 주요 항목(FAME 함량, 밀도, 산가, 황함량 등) 품질평가</p>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 바이오디젤은 경유에 3% 의무 혼합하여 사용하고 있고 국내는 KS M 2965, 미국은 ASTM D 6751, 유럽은 EN 14214에서 바이오디젤(BD100)에 대한 품질기준이 설정되어 있음</li> <li>○ 바이오디젤의 품질 기준은 바이오디젤 정제 능력, 원료물질인 지질 특성, 배출가스와 관련한 항목으로 나눌 수 있음</li> <li>○ 국내 바이오디젤의 필터막힘점은 흑한기에 한해 적용하고 있고 산화안정도는 포화, 불포화 지방산 함량과 관련함</li> <li>○ 바이오디젤 국내 품질기준인 KS M 2965의 항목에 대해 주요 항목을 분석하였고 대부분의 품질기준을 만족하였음</li> <li>○ 곤충 유래 바이오디젤은 97.5%의 FAME 함량과 138 °C의 인화점, 3.4 mm<sup>2</sup>/s의 동점도를 나타냄</li> </ul>
		<p>불순물 제거 기술 검토</p>	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 지질에 포함된 불순물은 탈검, 중화, 탈색, 탈취 등의 방법으로 제거</li> <li>○ 바이오디젤에 포함된 금속분, 미반응 지질 등의 불순물들은 합성 또는 수세를 거치면서 대부분 제거됨</li> <li>○ 하지만, 바이오디젤에 포함된 황분은 제거되지 않고 남아 있어 이를 제거하기 위해 탈검, 수열처리, 흡착제 처리, 감압증류 방법 실시</li> <li>○ 탈검, 수열처리, 흡착제를 이용한 황분 저감 방법은 효과가 미비하였으나 탈색, 탈취의 효과는 있었음</li> <li>○ GC-MS에서 황분은 C<sub>20</sub> FAME 보다 늦은 시간에서 검출되었고 곤충 유래 바이오디젤은 C<sub>20</sub> FAME 이상의 바이오디젤은 1% 미만이고 C<sub>18:3</sub> FAME는 3% 미만으로 증류에 따른 FAME 손실은 미량임.</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 감압증류에서 비점에 따른 세밀한 분별 증류를 위해서는 증류 단수가 중요하며 증류단수는 컬럼의 높이, 너비, 충전제에 영향을 받음</li> <li>○ 실험실에서 높은 단수를 구현하기 위해 컬럼에 작고 구형의 충전제를 넣고 실험</li> <li>○ 충전제는 증류가 아닌 펌핑되는 액상을 막아주는 역할을 하여 분획을 세밀하게 할 수 있었음</li> <li>○ 바이오디젤은 증류 후에 맑은 색을 띄고 증류 후 남은 잔류물은 검은 녹색을 나타냄</li> <li>○ 동에등에 지질의 황분 함량은 430 mg/kg, 수세를 마친 crude biodiesel은 150 mg/kg, 증류된 최종 바이오디젤은 5.6 mg/kg으로 품질기준을 만족하였음</li> <li>○ 먹이원에 따라 지질에 포함된 황분 함량을 알아보기 위해 곤충(왕거저리, 갈색거저리)에서 기계적 방법으로 지질을 추출하여 실험함</li> <li>○ 먹이원에 따른 곤충 지질의 전산가, 요오드가, 황분, 원소분석 실시</li> <li>○ 왕거저리는 음식물을 먹고 자란 경우에 가장 낮은 전산가, 황분을 나타냈지만 요오드는 거의 비슷하였고 쌀겨를 먹고 자란 왕거저리에서 전산가가 가장 높았음</li> <li>○ C, H, O의 비율은 모든 조건에서 거의 일정한 값을 보였고 황분은 최저 150 mg/kg로 바이오디젤 품질기준 10 mg/kg보다 높아 먹이원에 따른 황분 저감 효과는 크지 않았음</li> </ul>
		<p>적정 시험 방법 검토</p>	<p>100</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 바이오디젤은 국내 KS M 2695에서 품질 항목에 대한 시험 방법을 정하고 있고 곤충 유래 바이오디젤의 품질 항목에 맞는 적정 시험 방법을 검토</li> <li>○ 대부분의 시험방법은 기존의 바이오디젤 시험방법을 그대로 적용 가능함을 확인하였고 지질 특성과 연관된 FAME 함량, 총글리세롤 함량에 대해 적정 시험방법 검토</li> <li>○ 기존의 FAME 함량 시험방법인 KS M 2413은 식물성 유지 유래 바이오디젤에만 적용 가능하고 동물성 유지 유래 바이오디젤에 적용 가능한 방법은 EN 14103임</li> <li>○ 곤충 유래 바이오디젤은 동물성 유지에 포함된 C<sub>17</sub> FAME가 포함되어 있어 EN 14103이 적당함</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 총글리세롤 함량 분석 방법인 KS M 2412는 C<sub>10</sub>, C<sub>12</sub> FAME 함량이 높은 경우에는 분석이 불가능함</li> <li>○ 곤충 유래 바이오디젤의 총글리세롤은 품질기준 이하였으며 기존 분석 방법을 적용할 수 있음을 확인하였음</li> </ul>
		<p>곤충 유래 바이오디젤의 품질 (저온 유동성 등) 향상 기술 개발</p>	<p>100</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ n-파라핀을 포함하는 석유제품은 온도가 낮아짐에 따라 왁스분이 석출되기 시작하고 얇은 면 (fine sheet)들이 겹쳐진 구조로 결정화됨</li> <li>○ 혹한기용 경유에 대해 왁스 침전을 억제하거나 생성 형태를 변형시키는 저온유동성 향상제를 혼합하고 있음</li> <li>○ 바이오디젤의 저온 특성(유동점, 담점, 필터막힘점)은 구성성분인 FAME 종류 및 함량에 따라 달라짐</li> <li>○ 팜유로부터 합성된 바이오디젤의 경우 필터막힘점이 대략 13℃정도로 바이오디젤 중 가장 저온 특성이 열악함</li> <li>○ 동절기 경유 유분의 왁스생성 방지를 위해 경질 유분 혼합비율 확대 또는 저온유동성 향상제를 사용하고 있음</li> <li>○ 혹한기에 등유분과 같은 경질 유분 혼합비를 확대하여 경유의 저온특성을 개선시킴</li> <li>○ 필터막힘점(CFPP)을 낮추기 위해 WASA, WAFI 등의 첨가제를 사용함</li> <li>○ 포화된 지방산이 많을수록 분자들 간의 반데르발스(van der waals) 인력에 의해 패키징이 일어나 높은 온도에서 결정화가 진행되어 저온 유동성이 열악함</li> <li>○ 유채유 바이오디젤은 필터막힘점이 -11℃ 로 가장 우수한 저온특성을 나타내고 담점 또한 -3.0℃ 로 가장 낮음</li> <li>○ 동해등에 유래 바이오디젤의 유동점은 0 °C, 담점은 0 °C로 나타남</li> <li>○ 저온특성을 완화하는 방법으로 면실유, 유채유 유래 바이오디젤과 같은 저온특성이 우수한 바이오디젤과 혼합하여 사용하는 방법을 택할 수 있음</li> <li>○ 또는 사용 공정에서 사용하는WASA, WAFI 등의 첨가제를 사용할 수 있음</li> </ul>

구분 (연도)	세부 과제명	세부연구목표	목표달 성여부 (%)	연구개발 수행내용
3차 년도 (2020)	주관: 대량사 육된 곤충으 로부터 지질 대량 자동 추출 시스템 개발 및 산 업화	곤충 으로부터 지질 대량 추출 을 위한 농가보 급형 기계식 압 착장치 개발 및 현장 적용	100	○ 동애등에를 수분 5~10%되게 M/W로 건조하여 기계적 소형 압착장치인 연속형 엑스펠러방식을 적용 설계 하였음 ○ 착유 조건 온도를 120-130℃가 적정함 ○ 진공가열감압 기계식 압장장치는 기존 작업 시간 의 45% 절감 및 작업의 편의성 향상 효과 ○ 연속형 엑스펠러 착유기 시간당 처리량은 80~100(kg), 소비전력 2KW, 사이즈는 125*82*127.5(cm), 입력전압은 220(V)
		떡이원 내 곤충 분리 기술 및 산패 방지를 위 한 최적 건조 개발	100	○ 동애등에를 수분 5~10%되게 M/W로 건조가 가 장 적정함
		기계식 압착 부 산물로부터 여 분의 지질 추출 을 위한 화학적 추출 장치 개발	100	○ 추출을 위한 설계 및 공정도 최적 조건 확립 ○ 기계적 착유 방식이 착유율은 10.3% 높으나 화학적 추 출 방식에 비해 고온을 사용해 산가가 2.38mg/g 높음 ○ 화학적 추출 방식이 대량 추출 시 추출 속도가 빠르고 산가가 낮아 산업적으로 유용하나 경제성 부분에서 부 산물인 곤충 박 사용을 위해 용매에 대한 안전성 검증 추가 보완 필요함
		부산물 이용 산 업화 적용을 위 한 제제화 및 제 형화 기술 개발 : 이온, 나노, 지방 캡슐 등	100	○ 면역강화 기능성 사료의 조성분 분석 결과를 바 탕으로 각 사료의 영양성분 비율을 단백질 45%, 조지방 15%, 탄수화물 19%, 회분 12%가 되게 설정하여 사료를 개발하여 무지개송어에 적용 하 였음
		경제성 타진을 통한 시제품 제 작 및 산업화 : 생산원가 분석 및 경제성분석, 현장 적용	100	○ 시장 현황: 곤충박은 사료로 주로 판매되고 있으 나, 지질은 판매가 전무한 상태이고 간혹 홍보는 되지만 가격이 비싸서 거래가 안되고 있는 실정 임 ○ 경제성 분석
	바이오 디젤 생산 유망 곤충의	제 2 협동기관 선발 바이오디젤 생산 유망 곤충 의 생체 내 지질 함량 향상을 위	100	○ 발효미생물의 0.6% 처리구는 밀기울 단독 처리구 에 비하여 유층의 무게가 증가되는 결과를 나타내 었으나, 나머지 처리구는 밀기울 단독 처리구에 비 하여 통계적으로 유의하게 체중 증가하는 효과를 나타내지 않았음

생체내 지질함량 향기 기술 개발 및 천연방부제 추출 기술 개발	한 최적 저가 먹이원 선발 및 먹이원별 및 첨가 수준별 생육 특성 조사		○ 생존율 분석결과, 발효미생물의 모든 처리구는 밀기울 단독 처리구와 유사한 결과를 나타내었으며, 발효미생물 혼합비율에 따른 갈색거저리 마리당 증체량은 0.2% 처리구에서 밀기울 단독 처리구에 비해 가장 높은 증체량(112.74%)을 나타내음
	갈색거저리로부터 지질 추출 후 부산물로부터 천연방부제 추출 기술 개발	100	○ 탈지 갈색거저리 20% acetic acid 추출물의 MIC(minimal inhibitory concentration) 범위는 그람음성균인 대장균 및 그람양성균인 황색포도상구균에 대해 각각 300-500ug 및 400-6000 ug 추출물/100ul로 측정되었음
	갈색거저리 유래 천연방부제의 항균활성 분석	100	○ 살모넬라균 3종 (Salmonella pullorum, Salmonella typhimurium, Salmonella enteritidis), 항생제내성균 2종(MRSA : Methicillin Resistant Staphylococcus Aureus, (MDRPA : Multidrug resistant Pseudomonas aeruginosa)과 진균 1종 (Candida albicans)을 사용하여 항균활성을 분석한 결과, S. pullorum, S. typhimurium, S. enteritidis, MRSA, MDRPA 및 C. albicans의 MIC는 각각 1,000, 500, 500, 1,000, 400 및 400ug/100ul로 측정되었음
협동2: 바이오디젤 생산 후 곤충 부산물을 활용한 양어사료 배합 비율 설정 생산 후 곤충 부산물 활용 양어사료 개발	바이오디젤 생산 후 곤충 부산물을 활용한 양어사료 배합 비율 설정	100	○ 바이오디젤 생산 후 동애등에 부산물을 활용한 무지개 송어 사료 배합비율 확립
	양어사료 제조 및 특성 분석	100	○ 동애등에 부산물로 제조된 무지개송어 사료의 일반조성분, 에너지값 분석
	개발한 사료의 양어에 급여 후 사육성적 분석	100	○ 개발한 사료를 무지개송어에 급여한 후 사육기간, 증체량, 일간 성장률, 사료계수, 비만도, 간중량지수, 생존율, 지방산, 면역증강 여부 분석
	곤충 사료를 급여한 어류의 특성 분석	100	○ 곤충사료를 급여한 어류의 영양성분 분석
곤충 유래 바이오디젤의 전환 기술 확립 및	곤충 유래 바이오디젤 FAME 전환기율(96.5무게% 이상) 확립(벤치 규모 적용)	100	○ 30 L 벤치규모에서 동애등에 지질 약 2 L에 메탄올 16 L, 촉매량은 지질대비 5 %, 반응온도 70 ℃, 반응시간은 6 시간으로 바이오디젤을 합성 ○ 지질 대비 최종 바이오디젤의 수율은 78 %이었고 EN 14103 시험방법에 따른 FAME 함량은 97.5 %로 품질기준 만족

경제성 평가 연 구	곤충 유래 바이오디젤의 국내 품질기준에 따른 품질평가	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 최종 바이오디젤에 대하여 국내 산업규격인 KS M 2965에 따른 품질을 평가</li> <li>○ 산화안정도를 제외한 모든 품질기준 항목 만족</li> <li>○ 산화안정능 첨가제 TBHQ(tertiary-butyl hydroquinone) 200 mg/kg을 첨가하여 0.8 h에서 7.7 h로 증가함에 따라 품질기준을 만족</li> </ul>	
	상업 생산 바이오디젤과 곤충 유래 바이오디젤 적정 혼합에 따른 품질평가	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 곤충 지질과 기존의 팜유, 대두유, 유채유와 혼합한 바이오디젤의 저온 특성을 비교</li> <li>○ 지온 특성 개선을 위해 유채유, 대두유를 혼합하여 사용이 적절함</li> </ul>	
	곤충 유래 바이오디젤의 국내 산업화 방안 검토	100	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 국내 바이오디젤 보급 정책 및 산업 동향 조사</li> <li>○ 실험결과를 토대로 곤충 지질 가격에 따른 경제성 분석 실시</li> <li>○ 농가 중심의 곤충자원 대량생산 모델 개발을 통한 산업화 방법 제안</li> </ul>	

## 제4장. 연구결과의 활용 계획 등

### 1. 연구성과 활용 목표 및 실적

성과목표	사업화지표										연구기반지표								
	지식재산권			기술실시(이전)		사업화					기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책활용홍보		기타(타연구활용등)
	특허출원	특허등록	품종등록	건수	기술료	제품화	매출액	수출액	고용창출	투자유치		논문		학술발표			정책활용	홍보전시	
												SCI	비SCI						
최종목표	6	2		2		2	100		2			4	2	10	1			1	
연구기간내달성실적	6	2		2		3	0		3			5	2	11	2			11	
달성율(%)	116.7	100		100		100	0		150			125	100	110	200			1100	

### 2. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	진행	등록일	등록번호	
1	도축폐기물 처리 및 동애등에 유충 사육방법	대한민국	그린테크(주)	2018.08.28.	10-2018-0101116		2020년12월17일	10-2196309	
2	동애등에 추출물 및 이의 포함하는 화장료 및 이의 제조방법	대한민국	세종대 산단, 동국대 산단, 그린테크(주)	2018.12.20	10-2018-0166063		2020.07.06	10-2133102	
3	동애등에 사료용 조성물	대한민국	동국대 경주캠퍼스 산단	2019.10.10	10-2019-0125668				
4	곤충 건조 조건에 따른 바이오디젤 합성 방법	대한민국	그린테크(주)	2019.10.30	10-2019-0136231				
5	면역유도된 동애등에 분말을 포함한 어류 사료 및 이의 제조방법	대한민국	그린테크(주), 세종대 산단	2020.12.28	10-2020-0184599				
6	미토콘드리아 전구서열 유래 펩타이드 및 그 용도	대한민국	동국대 경주캠퍼스 산단	2020.12.16.	10-2020-0176164				

### 3. 고용증빙 (3명)

- 세종대 : 김\*\*
- 그린테크 : 한\*\*
- 그린테크 : 신\*\*

#### 4. 국내외 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	곤충 유래 바이오티셀의 국내 생산 가능성에 관한 고찰	응용과학기술학회	박조용	4	대한민국	한국응용과학기술학회	비SCI	2019.12.30.	
2	Bombyx mori $\beta$ -tubulin Promoter for High-level Expression of Heterologous Genes	Int. J. Indust. Entomol.	구태원	39(1)	대한민국	한국잠사학회	비SCI	2019.9.9.	
3	Effect of processing methods on nutritional composition and antioxidant activity of mealworm	Entomological Research	윤은영	48	대한민국	The Entomological Society of Korea	SCI	2019.6.30.	
4	Effect of pretreatment with paste and sauce extract made using Tenebrio molitor larvae on ethanol-damaged HepG2 cells	Entomological Research	황두선		대한민국	The Entomological Society of Korea	SCI	2019.12.23.	
5	<i>In vitro</i> protective effect of paste and sauce extract made with <i>Protaetia brevitarsis</i> larvae on HepG2 cells damaged by ethanol	Insects	황두선 윤은영 구태원	11	스위스	MDPI	SCI	2020.08.03.	
6	Antimicrobial Activity of an Extract of Hermetia illucens Larvae Immunized with Lactobacillus casei against Salmonella Species	Insects	이규식 윤은영 구태원	10	스위스	MDPI	SCI	2020.10.15.	
7	Evaluation of the Antimicrobial Activity of an Extract of Lactobacillus casei-Infected Hermetia illucens Larvae Produced Using an Automatic Injection System	animals	이규식 윤은영 구태원	11	스위스	MDPI	SCI	2020.11.16.	

## 5. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2018년 제61회 (사)한국잠사학회 추계 학술대회 및 양잠산업 워크숍	박관호, 윤은영, 박승원, 구태원	2018. 11. 22	상록리조트	대한민국
2	추계한국에너지학회	박조용, 김재곤, 윤은영, 이상훈	2018.11.8	여수	대한민국
3	한국잠사학회	황두선, 윤은영	2018.11.22	천안상록리 조트	대한민국
4	곤충(동애등애) 지질 유래 바이오디젤 합성 및 연료 특성 연구	박조용	2019.4.26	제주	대한민국
5	국내 곤충 유래 바이오디젤 합성 연구	김희진	2019.5.3	부산	대한민국
6	2019년도 한국생명과학회 제61회 정기 총회 유전의학융합회 제2회 정기총회 및 공동국제학술대회	박관호, 윤은영, 박승원, 구태원	2019.08.13- 14	부산 벅스코 제2전시장 3층	대한민국
7	2019 KFN International Symposium and Annual Meeting(국제학술회의)	윤은영 등 4인	2019. 10. 24	제주컨벤션 센터	대한민국
8	4 <sup>th</sup> International Conference on Bioresources, Energy, Environment, and materials Technology (BEEM 2020)	나용규	2020.9.6.~9.9	on-Line	대한민국
9	2020년도 한국응용과학기술학회 추계 학술대회	나용규	2020.11.12.~ 13	On-Line	대한민국
10	2020년도 한국생명과학회 제 62회 정기총회 및 국제학술대회	윤은영	2020. 08. 06	경주 더케이호텔	대한민국
11	한국잠사학회 2020년 추계학술대회	황두선	2020. 10. 16	온라인	대한민국

## 6. 교육지도

No	프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원
1	대전그린농업대학	곤충산업반 교육	대전농업기 술센터	1	3	42
2	미래대체식량, 식용곤충의 가치 및 연구현황	윤은영	2020. 07. 06	예천 곤충연구소 생태체험관	대한민국	

## 7. 홍보전시

No	홍보내용	매체	게시일
1	세종대, '연어 시험 생산 성공 기념식' 개최	머니투데이 더 리더	2020. 02. 12
2	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	뉴스프리존	2020. 02. 12
3	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	베리타스 알파	2020. 02. 12
4	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	투데이코리아	2020. 02. 12
5	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	뉴스브라이트	2020. 02. 12
6	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	더 드라이브	2020. 02. 12
7	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	아시아뉴스통신	2020. 02. 12
8	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	더 팩트	2020. 02. 13
9	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	에너지경제	2020. 02. 13
10	세종대, 연어 시험 생산 성공 기념식 개최	여성소비자신문	2020. 02. 13
11	세종대 '바다의 수퍼치킨' 연어 시험 생산 성공 기념식	중앙일보	2020. 02. 12

## 8. 관련분야 기여도

- 곤충자원의 바이오디젤 소재산업화를 통한 신가치 창출 및 미래 블루오션 영역 확대
- 곤충 분말을 일반 가축 및 양어 사료와 혼합하기 위해서는 곤충으로부터 지질 제거는 필수적이며, 분리된 지질은 가축 및 양어 사료 개발 과정의 부산물로 바이오매스로 저가 공급이 가능함
- 곤충 유래 바이오디젤 개발은 고유가에 따른 대응 외에 미세먼지 저감화에 따른 환경개선, 에너지 안보강화, 곤충 농가소득 증대 등 효과 창출
- 곤충유래 바이오디젤 생산 과정에서 발생하는 부산물의 가축사료, 천연항생제, 바이오화장품 등 고부가가치 소재 개발에 따른 동애등에 유래 바이오디젤의 가격 경쟁력 향상
- 곤충 이용 바이오디젤, 천연방부제 및 양어사료 개발에 곤충농가의 획기적인 소득 증대 및 농가수 확대
- 곤충 이용에 의한 유기성폐기물의 친환경적 처리 및 자원화를 통한 자연순환형 사회 구축
- 곤충 유래 천연방부제 유래 고가 수입 화학방부제 및 천연방부제의 대체
- 천연방부제 생산 동애등에 및 갈색거저리 이용 고기능성 사료첨가제 개발 : 무항생제·기능성 농축수산물 생산
- 추후 곤충 사육에 대한 표준모델을 개발하고 곤충 산업단지와 연계한 실증 연구, 연료 안정성, 차량 영향성 평가를 완료하여 수입 원료를 대체할 수 있는 국산 원료로 활용
- 또한, 국제사회의 요구로 해운분야에서 황함량 저감, 이산화탄소 저감에 대한 이행 방안으로 바이오 선박유 도입을 적극 검토하고 있으며 본 과제에서 개발된 기술은 선박용으로도 확대할 수 있음.

## 붙임. 참고문헌

1. Anand, S.; Sati, N. Artificial preservatives and their harmful effects: looking toward nature for safer alternatives. *International journal of pharmaceutical sciences and research* **2013**, *4*, 2496.
2. Andreu, D.; Rivas, L. Animal antimicrobial peptides: an overview. *Peptide Science* **1998**, *47*, 415-433.
3. Bahar, A.A.; Ren, D. Antimicrobial peptides. *Pharmaceuticals* **2013**, *6*, 1543-1575.
4. Baltzer, S.A.; Brown, M.H. Antimicrobial peptides - promising alternatives to conventional antibiotics. *Journal of molecular microbiology and biotechnology* **2011**, *20*, 228-235.
5. Barton, M.D. Antibiotic use in animal feed and its impact on human health. *Nutrition research reviews* **2000**, *13*, 279-299.
6. Boman, H.G. Peptide antibiotics and their role in innate immunity. *Annual review of immunology* **1995**, *13*, 61-92.
7. Brogden, K.A. Antimicrobial peptides: pore formers or metabolic inhibitors in bacteria? *Nature reviews microbiology* **2005**, *3*, 238-250.
8. Bulet, P.; Hetru, C.; Dimarcq, J.-L.; Hoffmann, D. Antimicrobial peptides in insects: structure and function. *Developmental & Comparative Immunology* **1999**, *23*, 329-344.
9. Casteels, P.; Ampe, C.; Rivièrè, L.; Van Damme, J.; Elicone, C.; Fleming, M.; JACOBS, F.; Tempst, P. Isolation and characterization of abaecin, a major antibacterial response peptide in the honeybee (*Apis mellifera*). *European journal of biochemistry* **1990**, *187*, 381-386.
10. Choi, J.H.; Jang, A.Y.; Lin, S.; Lim, S.; Kim, D.; Park, K.; Han, S.M.; Yeo, J.H.; Seo, H.S. Melittin, a honeybee venom derived antimicrobial peptide, may target methicillin resistant *Staphylococcus aureus*. *Molecular medicine reports* **2015**, *12*, 6483-6490.
11. Choi, W.H.; Choi, H.J.; Goo, T.W.; Quan, F.S. Novel antibacterial peptides induced by probiotics in *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Entomological Research* **2018**, *48*, 237-247.
12. Choi, Y.-C.; Park, K.-H.; Nam, S.-H.; Jang, B.-G.; Kim, J.-H.; Kim, D.-W.; Yu, D.-J. The effect on growth performance of chicken meat in broiler chicks by dietary supplementation of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Sericultural and Entomological Science* **2013**, *51*, 30-35.
13. Choi, Y.-S.; Yun, E.-Y.; Whang, J.-S.; Kim, I.-S.; Jin, B.-R.; Lee, I.-H.; Yoon, H.-J. Antibacterial Activity of Peptides Synthesized Based on the *Bombus ignites* abaecin, A Novel Proline-Rich Antimicrobial Peptide. *International Journal of Industrial Entomology* **2007**, *14*, 147-150.
14. Chua, S.L.; Tan, S.Y.-Y.; Rybtke, M.T.; Chen, Y.; Rice, S.A.; Kjelleberg, S.;

- Tolker-Nielsen, T.; Yang, L.; Givskov, M. Bis-(3'-5')-cyclic dimeric GMP regulates antimicrobial peptide resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *Antimicrobial agents and chemotherapy* **2013**, *57*, 2066-2075.
15. Cullen, T.; Schofield, W.; Barry, N.; Putnam, E.; Rundell, E.; Trent, M.; Degnan, P.; Booth, C.; Yu, H.; Goodman, A. Antimicrobial peptide resistance mediates resilience of prominent gut commensals during inflammation. *Science* **2015**, *347*, 170-175.
  16. Fiore, E.; Van Tyne, D.; Gilmore, M.S. Pathogenicity of Enterococci. *Gram Positive Pathogens* **2019**, 378-397.
  17. Goo, T.W.; Yun, E.Y.; Kim, S.W.; Choi, K.H.; Kang, S.W.; Kwon, K.; Choi, J.-S.; Kwon, O.-Y. Secretion of the antibacterial recombinant protein enbocin. *Zeitschrift für Naturforschung C* **2008**, *63*, 284-288.
  18. Goo, T.-W.; Yun, E.-Y.; Kim, S.-W.; Choi, K.-H.; Kang, S.-W.; Kwon, K.-S.; Yu, K.; Kwon, O.-Y. Bombyx mori protein disulfide isomerase enhances the production of nuecin, an antibacterial protein. *BMB reports* **2008**, *41*, 400-403.
  19. Hoffmann, J.A.; Kafatos, F.C.; Janeway, C.A.; Ezekowitz, R. Phylogenetic perspectives in innate immunity. *Science* **1999**, *284*, 1313-1318.
  20. Johnson, L.; Horsman, S.R.; Charron-Mazenod, L.; Turnbull, A.L.; Mulcahy, H.; Surette, M.G.; Lewenza, S. Extracellular DNA-induced antimicrobial peptide resistance in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *BMC microbiology* **2013**, *13*, 1-8.
  21. Kang, H.; Seo, O.; Choi, H.; Chae, H.; Na, J.; Bang, H.; Kim, D.; Park, S.; Kim, M.; Jung, S. Effect of dietary supplementation of chlorella powder on production performances, blood components. In Proceedings of Kor J. Poult Sci 27th regular conference: pp. 106-108.
  22. Khanna, A.; Khanna, M.; Aggarwal, A. *Serratia marcescens*-a rare opportunistic nosocomial pathogen and measures to limit its spread in hospitalized patients. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR* **2013**, *7*, 243.
  23. Kim, A.; Lee, Y.J.; Kang, M.S.; Kwag, S.I.; Cho, J.K. Dissemination and tracking of *Salmonella* spp. in integrated broiler operation. *Journal of veterinary science* **2007**, *8*, 155-161.
  24. Kim, S.-R.; Lee, E.-M.; Yoon, H.-J.; Choi, Y.-S.; Yun, E.-Y.; Hwang, J.-S.; Jin, B.-R.; Lee, I.-H.; Kim, I.-S. Antibacterial Activity of Peptides Synthesized Based on the *Bombus ignites* abaecin, A Novel Proline-Rich Antimicrobial Peptide. *International Journal of Industrial Entomology* **2007**, *14*, 147-150.
  25. Leandro, L.F.; Mendes, C.A.; Casemiro, L.A.; Vinholis, A.H.; Cunha, W.R.; Almeida, R.d.; Martins, C.H. Antimicrobial activity of apitoxin, melittin and phospholipase A2 of honey bee (*Apis mellifera*) venom against oral pathogens. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* **2015**, *87*, 147-155.
  26. Lee, Y.J.; Kang, S.J.; Kim, B.M.; Kim, Y.J.; Woo, H.D.; Chung, H.W. Cytotoxicity of

- honeybee (*Apis mellifera*) venom in normal human lymphocytes and HL-60 cells. *Chemico-Biological Interactions* **2007**, *169*, 189-197.
27. Lemaitre, B.; Reichhart, J.-M.; Hoffmann, J.A. *Drosophila* host defense: differential induction of antimicrobial peptide genes after infection by various classes of microorganisms. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **1997**, *94*, 14614-14619.
  28. Looft, T.; Johnson, T.A.; Allen, H.K.; Bayles, D.O.; Alt, D.P.; Stedtfeld, R.D.; Sul, W.J.; Stedtfeld, T.M.; Chai, B.; Cole, J.R. In-feed antibiotic effects on the swine intestinal microbiome. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **2012**, *109*, 1691-1696.
  29. Olsen, S.J.; MacKinnon, L.C.; Goulding, J.S.; Bean, N.H.; Slutsker, L. Surveillance for foodborne-disease outbreaks, United States, 1993-1997. **2000**.
  30. Otvos, J., Laszlo. Antibacterial peptides isolated from insects. *Journal of peptide science: an official publication of the European Peptide Society* **2000**, *6*, 497-511.
  31. Park, K.; Yun, E.-Y.; Park, S.-W.; Goo, T.-W. The antimicrobial activity of bacterial-challenged black soldier fly, *Hermetia illucens*. *Journal of Life Science* **2016**, *26*, 1409-1414.
  32. Park, K.H.; Kwak, K.W.; Nam, S.H.; Choi, J.Y.; Lee, S.; Kim, H.; Kim, S.H. Antibacterial activity of larval extract from the black soldier fly *hermetia illucens* (diptera: Stratiomyidae) against plant pathogens. *J. Entomol. Zool. Stud* **2015**, *3*, 176-179.
  33. Park, S.-I.; Kim, J.-W.; Yoe, S.M. Purification and characterization of a novel antibacterial peptide from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Developmental & Comparative Immunology* **2015**, *52*, 98-106.
  34. Perumal Samy, R.; Gopalakrishnakone, P.; Thwin, M.; Chow, T.; Bow, H.; Yap, E.; Thong, T. Antibacterial activity of snake, scorpion and bee venoms: a comparison with purified venom phospholipase A2 enzymes. *Journal of applied microbiology* **2007**, *102*, 650-659.
  35. Vetterli, S.U.; Zerbe, K.; Müller, M.; Urfer, M.; Mondal, M.; Wang, S.-Y.; Moehle, K.; Zerbe, O.; Vitale, A.; Pessi, G. Thanatin targets the intermembrane protein complex required for lipopolysaccharide transport in *Escherichia coli*. *Science advances* **2018**, *4*, eaau2634.
  36. Vieira, C.S.; Waniek, P.J.; Mattos, D.P.; Castro, D.P.; Mello, C.B.; Ratcliffe, N.A.; Garcia, E.S.; Azambuja, P. Humoral responses in *Rhodnius prolixus*: bacterial feeding induces differential patterns of antibacterial activity and enhances mRNA levels of antimicrobial peptides in the midgut. *Parasites & vectors* **2014**, *7*, 232.
  37. Wang, G. Database-aided prediction and design of novel antimicrobial peptides. *Antimicrobial Peptides: Discovery, Design and Novel Therapeutic Strategies* **2010**, *18*, 72
  38. Wang, Y.; Cheng, T.; Rayaprolu, S.; Zou, Z.; Xia, Q.; Xiang, Z.; Jiang, H.

- Proteolytic activation of pro-spätzle is required for the induced transcription of antimicrobial peptide genes in lepidopteran insects. *Developmental & Comparative Immunology* **2007**, *31*, 1002-1012.
39. Wu, Q.; Patočka, J.; Kuča, K. Insect antimicrobial peptides, a mini review. *Toxins* **2018**, *10*, 461.
40. Xiu-Qin, L.; Chao, J.; Wei, Y.; Yun, L.; Min-Li, Y.; Xiao-Gang, C. UPLC-PDAD analysis for simultaneous determination of ten synthetic preservatives in foodstuff. *Chromatographia* **2008**, *68*, 57-63.
41. Yoo, J.; Park, G.H.; Sung, J.S.; Song, H.; Shin, S.Y.; Jung, W.H.; Heo, J.M. Feed additives in broiler diets to produce healthy chickens without in-feed antimicrobial compounds. *Korean Journal of Agricultural Science* **2014**, *41*, 441-453.
42. Zasloff, M. Antimicrobial peptides of multicellular organisms. *nature* **2002**, *415*, 389-395.

### 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 2021년 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.