

RS-2021
-IP82100
7

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
기술사업화지원사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004769-01

랜더링된
가축사체
잔여물
활용
친환경
업사이클
링 시스템
개발 및
실용화

랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 개발 및 실용화

2024

2024.07.29.

주관연구기관 / 순천대학교
공동연구기관1 / 경상국립대학교
공동연구기관2 / 엑시엄우드(주)
형제산업(주)

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “랜더링된 사축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 개발 및 실용화”(개발기간 : 2021. 04. ~ 2023. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 07. 29.

주관연구기관명 : 순천대학교 산학협력단 (대표자) 송 경 환 (인)

공동연구기관명 : 경상국립대학교 산학협력단 (대표자) 최 병 근 (인)

참여기관명 : 엑시엄우드(주) (대표자) 윤 희 종 (인)

주관연구책임자 : 조 주 식 (인)

공동연구책임자 : 서 동 철 (인)

참여기관책임자 : 조 진 무 (인)

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명	기술사업화지원사업	총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)	-				
내역사업명 (해당 시 작성)	[공공기술 사업화 촉진] 지원분야 농산	연구개발과제번호	821007-03				
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0403	50%	LB0506	30%	LB0607	20%
	농림식품 과학기술분류	RA0202	50%	CA0105	30%	RC0299	20%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)	-						
연구개발과제명	랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 개발 및 실용화						
전체 연구개발기간	2021. 04. 01 - 2023.12. 31						
총 연구개발비	총 891,000 천원 (정부지원연구개발비: 825,000 천원, 기관부담연구개발비 : 66,000 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)						
연구개발단계	기초[] 응용[] 개발[<input checked="" type="checkbox"/>] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]	기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준(4단계) 종료시점 목표(8단계)			
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)	-						
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)	-						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center; background-color: #0056b3; color: white; border-radius: 10px; display: inline-block; padding: 5px 15px;">연구과제 최종목표</p></div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p style="color: #0056b3; font-weight: bold;">랜더링 가축사체 잔류물로 제조된 아미노산 액비 및 biochar의 실용화</p> <pre> graph TD subgraph "공통1: 기술개발 및 보완" A1("RACR-아미노산 액비 제조시스템 개발") A2("RACR-biochar 전용 제조시스템 개발") end subgraph "공통2: 실용화 및 산업화" B1("개발된 비료의 실증시험") B2("개발된 비료의 안정성 평가") B3("개발된 제품의 실용화") end A1 -- "기술개발/이전" --> B1 A2 -- "기술보완 및 수정" --> B1 B1 --> B2 B2 --> B3 </pre> </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; margin-top: 10px;"> <p>1차년도 : 랜더링 가축사체 잔여물 적용 친환경 업사이클링 시스템 기반기술 확립</p> <p>2차년도 : 랜더링 가축사체 잔여물 적용 친환경 업사이클링 시스템 개발</p> <p>3차년도 : 랜더링 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템의 실용화</p> </div>					
	<p>○ <u>랜더링 고품잔류물 아미노산 액비 및 RACR-C 제조 기술/장치에 관한</u> 미비점을 보완하고 개발된 제품들의 <u>체계적인 사업화를 구현하기 위해</u> (1) <u>랜더링 가축사체 잔여물 적용 친환경 아미노산 액비 제조시스템 개발</u> (2) <u>랜더링 가축사체 잔여물 전용 친환경 biochar 제조시스템 개발</u> (3) <u>랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 실용화</u></p> <p>○ <u>최종적으로 랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 개발 및 실용화를 위해</u> <u>기본기술 확립 및 제조시스템을 평가</u>하고, 이를 통해 개발된 <u>비료와 biochar를 실제 현장에 적용</u>하여 <u>기능성, 효율성 등을 평가</u>하고자 함</p>						

연구개발 목표 및 내용	1단계	목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립 및 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템 개발 ○ 랜더링 가축사체 잔여물 적용 biochar 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립 및 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템 개발 ○ 아미노산 액비 제조시스템 및 biochar 제조시스템 설계 참여 및 생산 현장 적용성 보완 및 아미노산 액비와 biochar 제조장치 시험운전
		내용	<p>1. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링 시스템 기반기술 확립</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 랜더링 가축사체 잔여물의 기초 성상 평가 - 고농도의 아미노산 액비 생산을 위한 전처리 기술 확립 - 최적 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 설계 ○ 랜더링 가축사체 잔여물 적용 biochar 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 랜더링 가축사체의 일반 biochar 제조장치 운영 및 문제점 도출 - 랜더링 가축사체 전용 바이오차 장치 개발을 위한 필수 제어인자 원천 기술 개발 - 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 개발 ○ 아미노산 액비 제조시스템 및 바이오차 제조시스템 설계 참여 및 생산 현장 적용성 보완 <ul style="list-style-type: none"> - 아미노산 액비 제조시스템의 설계인자 도출 - 랜더링 가축사체 전용 바이오차 제조시스템의 설계인자 도출 <p>2. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링을 위한 친환경 시스템 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치의 제작 및 시운전 - 제조된 아미노산 액비의 시용 효과 - 주성분 보증을 통한 아미노산 액비의 주비료 가능성 검토 ○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 랜더링 가축사체 biochar 제조장치의 제작 및 시운전 - 제조된 가축사체 biochar의 연속적 및 장기적 품질특성 평가 - 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 비료학적 가치 평가 - 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 장치의 호환성 ○ 아미노산 액비 제조장치 및 바이오차 제조장치 시험 운전 <ul style="list-style-type: none"> - 아미노산 액비 제조장치 시험 운전 - 랜더링 가축사체 전용 바이오차 제조장치 시험 운전
	2단계	목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 효율성 평가 ○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar의 제조시스템 효율성 평가 ○ 아미노산 액비 제조시스템 및 biochar 제조시스템 현장 설치 및 제품 생산
		내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 효율성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 현장 설치 및 지도 - Scale-up된 아미노산 액비 제조시스템에서 제공된 액비의 품질 특성 - 현장에서 제조된 아미노산 액비의 작물재배 시험 - 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 품질인증 ○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar의 제조시스템 효율성 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar제조 시스템의 현장설치 및 지도 - 현장에서 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 작물재배시험 - 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치 및 생산된 biochar의 품질인증 ○ 아미노산 액비 제조시스템 및 바이오차 제조시스템 현장 설치 및 제품 생산 <ul style="list-style-type: none"> - 아미노산 액비 제조시스템 현장 설치 및 생산 가동 - 랜더링 가축사체 전용 바이오차 제조시스템 현장 설치 및 생산 가동 - 제품 생산 및 친환경유기농자재 상품 출시

연구개발성과	<p>[연구개발성과]</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템 개발 2. 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템 개발 3. 아미노산 액비 제조시스템 및 바이오차 제조시스템 설계 참여 및 생산현장 적용성 보완 4. 아미노산 액비 제조장치 및 바이오차 제조장치 시험 운전 <ul style="list-style-type: none"> ○ 본 연구를 통해 아미노산 액비제조 시스템을 개발하였으며, 개발된 시스템을 산업체로 노하우 기술이전 실시 (기술이전내용: 랜더링된 가축사체 잔여물 적용 친환경 아미노산 액비 및 이의 제조방법) ○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 바이오차 제조시스템을 성공적으로 개발하였으며, 산업체로 기술이전 실시 (기술이전내용: 식물 바이오매스와 동물성 부산물의 혼합바이오차 및 그의 제조방법) <p>[정량성과]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 논문게재 : SCIE 7편, KCI 4편 <ul style="list-style-type: none"> - Effect of biochar application on nitrogen use efficiency for sustainable and productive agriculture under different field crops (Journal of Plant Nutrition, IF : 1.707) - Comparison of catalytic activity for treating recalcitrant organic pollutant in heterogeneous Fenton oxidation with iron-impregnated biochar and activated carbon(Agronomy, IF : 7.3) - Exploring Suitable Biochar Application Rates with Compost to Improve Upland Field Environment(Journal of Water Process Engineering, IF : 3.417) - Effects of biochar and barley straw application on the rice productivity and greenhouse gas emissions of paddy field(Applied Biological Chemistry, IF : 1.813) - Removal of phosphates using eggshells and calcined eggshells in high phosphate solutions(Applied Biological Chemistry, IF : 3.2) - Impact of biochar and compost amendment on corn yield and greenhouse gas emissions under waterlogged(Applied Biological Chemistry, IF : 3.2) - Reduction of ammonia gas by microbial agent treatment in Chinese cabbage cultivation (Applied Biological Chemistry, IF : 3.2) - Effects of Liquid Fertilizer of Application from Rendered Livestock Carcass Residues on Maize Cultivation(Korean Journal of Environment Agriculture) - Salt Removal and Agricultural Application of Food Waste-Biochar(Korean Journal of Environment Agriculture) - Application Effect of Rendering Livestock Carcass-Based Carbonized Material in Chinese Cabbage Cultivation(Korean Journal of Environment Agriculture) - Effects of Application of Rendered Carcass Residue on Greenhouse Gases and Pepper Growth(Korean Journal of Environment Agriculture) ○ 학술 발표 : 국제학술대회 9편, 국내 학술대회 14편 <ul style="list-style-type: none"> - 우수논문발표상 (2021 한국환경농학회) 농계, 축계, 산업계 부산물을 이용한 바이오차의 중금속 흡착특성. - 우수논문발표상 (2022 한국환경농학회) 가축 랜더링 부산물 바이오차 제조 후 냉각방식이 이화학적 특성에 미치는 영향 - 우수 포스터상 (2022 한국응용생명화학회) Comparison of lead adsorption capacity of biochar and activated biochar derived from rendered dolid residue.
--------	--

연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> - 우수 논문상 (2022 한국토양비료학회) Effects of Co-application of Biochars and Compost on Lettuce Growth. - Best Poster Award (2023 한국응용생명화학회 국제학술대회) Effect of Salt Removal in Food Waste-biochar on Lettuce Growth. - 우수 논문상 (2023 한국환경농학회) Development of Ultrasonication Technology for Salt Removal of Food Waste-Biochar. <p>○ 지식재산권 : 특허등록 4건, 특허출원 7건</p> <p style="margin-left: 20px;"><특허등록></p> <ul style="list-style-type: none"> - 식물 바이오매스와 동물성 부산물의 혼합 바이오차 및 그의 제조방법(등록번호 : 10-2569321) - 폐비닐 분해 시스템을 이용한 가축분뇨로부터 고체연료 및 바이오차의 제조 방법 및 시스템(등록번호 : 10-2521749) - 발전소 폐열을 이용한 탄소중립형 가축분뇨 바이오차 제조 시스템(등록번호 : 10-2588115) - 발전소 폐열을 이용한 가축분뇨로부터 자원순환형 고체 연료의 제조 방법 및 그 시스템(등록번호 : 10-2521745) <p style="margin-left: 20px;"><특허출원></p> <ul style="list-style-type: none"> - 발전소 폐열을 이용한 탄소중립형 가축분뇨 바이오차 제조 시스템(출원번호 : 10-2022-0109162) - 발전소 폐열을 이용한 가축분뇨로부터 자원순환형 고체 연료의 제조 방법 및 그 시스템(출원번호 : 10-2022-0109778) - 폐비닐 분해 시스템을 이용한 가축분뇨로부터 고체연료 및 바이오차의 제조 방법 및 시스템(출원번호 : 10-2022-0109779) - 식물 바이오매스와 동물성 부산물의 혼합 바이오차 및 그의 제조방법(출원번호 : 10-2022-0127148) - 수소 생산 공정에서 발생하는 탄소를 이용한 고체연료의 제조 시스템 및 방법(등록번호 : 10-2023-0046946) - 수소 생산 공정에서 발생하는 탄소를 이용한 유기탄소비료의 제조 방법 및 시스템(등록번호 : 10-2023-0046944) - 수소 생산 공정에서 발생하는 탄소를 이용한 탄질비료의 제조 시스템 및 방법(등록번호 : 10-2023-0046945) <p>○ 기술이전 : 2건</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식물 바이오매스와 동물성 부산물의 혼합바이오차 및 그의 제조방법(통상실시권, 20,000,000원) - 랜더링된 가축사체 잔여물 적용 친환경아미노산 액비 및 이의 제조방법(노하우이전, 20,000,000원) <p>○ 인력양성 : 박사 1명, 석사 9명, 학사 8명</p>
--------	--

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>[활용계획]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 상시 발생하는 폐사가축의 자원화를 위한 처리장비의 개발 및 산업화 ○ 랜더링 고품잔류물을 활용한 고기능성 농자재 제조기술을 농가 보급에 활용 ○ 랜더링 고품잔류물을 활용한 고기능성 아미노산 원료로 상품화하여 친환경 농자재 보급에 활용 ○ 폐사가축의 효율적 및 안정적인 자원화 및 친환경 제품 개발에 활용 ○ 개발될 본 기술에 의해 우리나라 대부분의 축산농가 및 랜더링 시설이 안고 있는 폐사가축 관련 현장애로사항을 해결하는데 활용 ○ 랜더링 고품잔류물 비료의 산업시장 초기형성 및 산업화 기반 마련에 활용 ○ 폐사가축의 친환경 처리를 통해 환경오염 최소화에 활용 ○ 랜더링 고품잔류물을 활용하여 토양의 지력 증진 및 토양 중금속 오염의 정화에 활용 <p>[기대효과]</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 랜더링 고품잔류물의 가수분해 및 열처리로 제조된 고기능성 비료를 통한 고부가가치 창출 ○ 랜더링 고품잔류물 활용 친환경농자재 생산 선도기술 확보 및 국제 경쟁력 강화 ○ 우리나라 농가가 안고 있는 폐사가축 처리 및 랜더링 시설관련 현장애로사항 해결 ○ 국내 환경에 적합한 폐사가축의 자원화 기술 개발 ○ 고기능성 농자재 제조기술 개발을 통한 자원화 원천기술 확보 기대 ○ 랜더링 고품잔류물의 재활용 기술개발에 의한 환경친화형 자원 재순환시스템 구축 ○ 특허출원등록 및 상표 등록을 통한 지식재산권 획득 ○ 현행 랜더링 고품잔류물의 부정적인 견해의 해소에 따른 사회적 안정에 기여 ○ 기술개발 완료 후 참여기업에 기술이전 실시에 의한 수입 창출 ○ 랜더링 고품잔류물의 자원화 기술 개발 통한 산업시장 초기형성 산업화 기반 마련
	연구개발성과의 비공개여부 및 사유

연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	11	7										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비 명	규격 (모델 명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	랜더링		열분해		가축사체		아미노산 액비		바이오차			
영문핵심어 (5개 이내)	Rendering		Pyrolysis		Animal carcass		Amino acid liquid fertilizer		Biochar			

< 목 차 >

1장 연구개발과제의 개요	9
2장 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	18
3장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	55
1절 연구개발과제 수행 결과	55
2절 정량적 연구개발성과	262
3절 목표 달성 수준 및 목표 미달 시 원인분석	270
4장 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	272
5장 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	273

최종보고서				보안등급					
				일반[<input checked="" type="checkbox"/>], 보안[]					
중앙행정기관명		농림축산식품부		사업명		기술사업화지원사업			
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원		내역사업명 (해당 시 작성)		[공공기술 사업화 촉진] 지원분야 농산			
공고번호		제 농축2021-41호		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		-			
				연구개발과제번호		821007-3			
기술 분류	국가과학기술 표준분류	LB0403	50%	LB0506	30%	LB0607	20%		
	농림식품과학기술분 류	RA0202	50%	CA0105	30%	RC0299	20%		
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문	-						
		영문	-						
연구개발과제명		국문	랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 개발 및 실용화						
		영문	Development and commercialization of an eco-friendly upcycling system for rendered animal carcass residues						
주관연구개발기관		기관명	순천대학교		사업자등록번호	416-82-14326			
		주소	(57922) 순천시 중앙로 255		법인등록번호	201371-0002165			
연구책임자		성명	조주식		직위	교수			
		연락처	직장전화			휴대전화			
			전자우편			국가연구자번호	10137366		
연구개발기간		전체		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31 (2년 9개월)					
		단계 (해당 시 작성)	1단계	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31 (1년 9개월)					
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31 (1년 0개월)					
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원	기관부담	그 외 기관 등의 지원금				연구개발비 외 지원금	
		연구개발비	연구개발비	지방자치단체	기타()		합계		
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계
총계		825,000	3,700	62,300			828,700	62,300	891,000
1단계	1년차	225,000	-	5,000			225,000	5,000	230,000
	2년차	300,000	-	24,000			300,000	24,000	324,000
2단계	1년차	300,000	3,700	33,300			303,700	33,300	337,000
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고		
							역할	기관유형	
공동연구개발기관		경상국립대	서동철	부교수			공동	대학	
		엑시엄우드	조진무	부장			공동	중소기업	
위탁연구개발기관									
연구개발기관 외 기관									
연구개발담당자 실무담당자		성명	박재혁		직위	박사수료			
		연락처	직장전화			휴대전화			
			전자우편			국가연구자번호	11718730		

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024 년 2 월 29 일

연구책임자: 조 주 식

주관연구개발기관의 장: 순천대학교 산학협력단장 (직인)

공동연구개발기관의 장: 경상국립대학교 산학협력단장 (직인)

위탁연구개발기관의 장: 엑시엄우드(주) (직인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



1장 연구개발과제의 개요

- 축산업의 고도성장으로 인한 집약화 및 대규모화에 따라 사육두수는 매년 꾸준히 증가하고 있으나, 최근 들어 가축전염병 (구제역, 조류인플루엔자 등) 및 폐사가축 (폭염, 질병, 자연사 등) 발생으로 인해 국내 축산업이 심각한 경제적 피해를 입게 되면서 폐사가축에 대한 처리문제와 이들 폐사가축들이 환경에 미치는 영향에 대해서는 국내에는 물론 세계적으로 첨예의 관심사가 되고 있음
- 특히, 우리나라는 최근 10년간 (2008-2017) 가축질병 발생 건수는 총 13,731건, 6천 4백여만 마리의 가축이 동물질병에 감염되어 살처분 및 처리되었음 (한국과학기술평가원, 2018). 가축질병 피해액은 지난 10년간 약 2조에 달하며 2010년 발생한 구제역 및 2014년 조류인플루엔자에 의해 축산시장 및 국내 경제는 극심한 피해를 입었으며, 최근까지도 가축질병으로 인한 폐사가축의 발생과 처리는 국가의 보건과 경제를 위협하고 있음



[2011년 구제역 확산] [2014년 AI 확산] [2018년 구제역 발생] [2016-2018 AI 발생]

- 우리나라에서는 가축전염병 예방법 [가축전염병 예방법 제 20조, 가축전염병 예방법 시행규칙 제 25조]에 의해 살처분한 가축사체에 대해 신속히 소각 및 매몰을 하게 되어 있고, 그 밖의 가축전염병에 전염된 가축의 사체에 대해서도 적절히 처리를 해야 하지만, 국내 축산환경 여건상 소각이나 그 밖의 처리는 현실적으로 어려운 실정이므로 대부분 매몰방법에 따라 처리되었음
- 환경부에서는 현재 가축매몰지에서 발생하는 침출수로 인한 인근 지하수 오염 등을 모니터링하기 위해 1,553개의 관측정을 설치하였고, 전국의 가축매몰지 전수조사를 통해 취약 매몰지 300개소를 선정하여 매몰지 경계부 5 m 이내에 관측정을 설치하였음. 2011년부터 침출수 유출 가능성이 높은 매몰지를 2011년도에 71개소, 2012년도에 13개소를 선정하여 환경영향조사를 지속적으로 수행한 결과 매몰지 내 가축사체가 매몰 후 3년이 경과되었어도 미분해된 경우가 많았고, 또한 미분해 사체로 인한 악취와 침출수 발생, 인체에 해로운 병원성 미생물 발견, 토양 내 미생물의 생태환경변화 등 많은 문제점이 발생하고 있다고 보고함



[부적절한 매몰지 선정] [매몰지 지침 미준수 지역] [침출수 유출] [미분해된 사체]

- 이에 2018년 농림축산식품부 보도에 따르면 10년 이후 조성된 매립지 중 가축사체 분해여부에 관계없이 관리 해제된 매몰지에 대해서는 연차적으로 발굴하여 사체 및 잔존물을 처리할 계획이라고 보고하였으며, 폐사가축을 매몰하지 않고 환경친화적인 처리방법에 대한 지원을 지속적으로 확대해 나갈 계획이라고 보고하였음. 이에 폐사가축을 안정적으로 신속하게 처리할 수 있는 획기적인 방안이 필요하게 됨
- 현재 전 세계적으로 개발되어 있는 폐사가축 처리방법은 크게 매몰식과 비매몰식으로 분류되어 있으며, 매몰식은 기존의 문제점을 보완하여 호기성·호열성 미생물 이용 매몰법, 간이 저장조 저장법, FRP (물통) 이용 사체 저장법, 사체 고열과쇄 후 매몰법, 원위치 지중열탄화 매몰법 등으로 세분화되었으며, 비매몰식은 이동식 소각법, 랜더링법, 스팀 멸균처리법, 산 처리법, 알칼리가수분해법 등 다양한 방법들이 개발됨
- 2018년 World Organization for Animal Health의 보고서에서 다양한 폐사가축 처리공법에 대한 효율성과 안정성에 대하여 평가가 이루어진 바 있음. 특히 그 중 랜더링 공법은 안전성 및 처리속도 분야에서 다른 공법에 우수한 평가를 받았으며, 폐사가축 처리를 위한 가장 우수한 공법으로 평가됨

[가축사체 처리방법별 안전성 평가]

처리방법 요인	가중치	랜더링		고정소각		야외소각		퇴비화		대량매몰	
		유효도	값	유효도	값	유효도	값	유효도	값	유효도	값
작업자 안정성	20	7	140	4	80	8	160	3	60	7	140
처리속도	20	8	160	8	160	2	40	5	100	5	100
병원균 박멸	15	10	150	10	150	8	120	5	75	4	60
환경 영향	10	10	100	8	80	3	30	10	100	3	30
대중의 반응	10	10	100	7	70	1	10	9	90	3	30
수송	5	1	5	1	5	8	40	5	25	3	15
산업적용	5	7	35	7	35	7	35	7	35	6	30
비용	5	4	20	1	5	6	30	9	45	8	40
야생에 대한 위협	5	10	50	10	50	5	25	4	20	5	25
용량	5	5	25	3	15	9	45	9	45	9	45
합계	100		785		650		535		595		515

(OIE; World Organisation for Animal Health, 2018)

유효도 1(worst)-10(best)

- 그러나 소각의 경우는 작업자의 안정성, 비용 및 환경오염 등의 문제로 랜더링 공법에 비해 비효율적이라 보고되었으며, 최근 본 연구진의 사업화 이전 선행연구인 “소각, 랜더링 등 열처리 과정에서 발생한 잔류물 활용기술 개발”을 통해서도 랜더링 공법의 우수성이 입증되었음. 또한 국내 소각시설은 458개소가 운용되어지고 있으나 이는 생활 및 사업장 폐기물을 처리하기 위해 활용되어지고 있으며, 가축사체만을 대상으로 한 소각시설은 전무한 실정이라서 국내에서 소각시설로부터 발생하는 폐사가축 고형잔류물은 거의 없음
- 퇴비화는 토양 처리 외에 사용처가 없으며, 혐기소화로 생산되는 메탄가스와 소화슬러지는 부가가치가 낮기 때문에 자원의 회수, 환경문제, 안전성 및 처리용량 등 모든 측면에서 랜더링 기술이 가장 환경친화적인 폐사가축 처리기술임

[폐사가축에 대한 열처리 기술의 비교]

구분	소각	랜더링
전문기관, 업체	458 개소 (생활폐기물 대상)	20여 개소
열처리 방법	직접 가열하여 태움.	고온(130~160℃), 고압(3~6기압)
열처리 결과물	연소재 (무기물)	유지, 수지박 (고형잔류물)
연간생산량	자료 없음	유지 254,898톤 / 수지박 97,220톤
발생 특성	간헐적, 일시적 발생	항시적, 지속적 발생
원료로서의 균일성	없음 (폐사가축 전용 소각장 없음)	일정 범위에서 품질 관리 가능
원료로서의 공급용이성	매우 낮음	매우 높음
산업소재로서의 가치	미흡	양호

[폐사가축 자원화 기술비교]

구분	랜더링	퇴비화	혐기소화
온실가스 발생량	200 kg GHG	2,500~4,000 kg GHG	60~500 kg GHG
최종산물	사료, 바이오연료, 비료, 산업소재	비료	메탄가스, 비료
자원화율	90% 이상	50% 이하	50% 이하
공정시간	3시간	2~3개월	2~3개월
일시처리여부	가능	불가	불가

(Lender 2016, USA)

- 이러한 이유들로 인하여, 현재 국내에서도 랜더링 공법이 폐사가축을 효과적으로 처리할 수 있는 방안으로 활용되어지고는 있으나 이들로부터 발생된 고형부산물에 대한 농업적 활용 방안과 공업원료로서의 활용 가능성에 대한 평가는 미비한 실정이며, 최근 본 연구진에 의해 농업 및 공업원료로서의 활용가치가 높은 것이 입증됨
- 랜더링 공법은 고온고압에서 폐사가축을 처리함으로써 병원균의 박멸과 동시에 유지성분이 추출되게 되며, 단백질과 뼈 성분들이 남아 배출되어지게 됨. 특히 폐사가축의 랜더링 처리로부터 배출되어지는 고형잔류물은 폐사가축 무게대비 15% 정도로 국내에서 연간 배출되는 랜더링 고형잔류물은 97,220톤에 달함
- 랜더링 고형잔류물 중 단백질과 뼈는 재활용할 수 있는 유용자원임에도 불구하고 폐사가축의 잔여물이라는 이유에서 국민의 관심과 활용적인 측면에서 도외시 되고 있음. 이에 본 연구진은 기존 선행연구를 바탕으로 하여 랜더링 과정에서 배출되는 고형잔류물들을 재활용하고, 이들을 활용한 상품을 개발하여 기존 랜더링 잔여물의 인식을 개선하고, 개발된 제품의 산업화 방안을 모색하고자 본 연구과제를 신청하게 되었음
- 특히, 본 연구진에서 그동안 수행한 폐사가축의 재활용 가능성 연구는 랜더링 처리법에 의해 가축사체를 완전히 멸균하면서 분해하여 퇴·액비화하였으며, 이는 비료공정규격의 품질기준을 만족한다는 연구결과를 확보하였으나 제조된 퇴·액비는 가축사체 분해과정에서 상당량의 영양원이 손실되어 영양분의 함량이 낮았음. 이에 영양분 손실을 최소화 할 수 있는 기술이 요구됨
- 일반적으로 랜더링 부산물은 단백질 함량이 높아 이를 분해하여 비료로 제조될 경우 고품질·고기능성의 아미노산 비료로 제조가 가능하며, 뼈의 경우 골분비료와 인산질 비료로 활

용이 가능하기 때문에 이를 유용자원으로 재활용할 수 있는 기술을 확보한다면 국가기술력 향상 및 축산경쟁력을 강화할 수 있을 것으로 판단됨

- 국내에서 가축사체를 이용하여 고품질 아미노산 비료 생산과 관련된 연구는 미비한 실정이며, 현재 국내 시중에 판매되고 있는 아미노산 비료는 대부분 동물의 혈액, 생선부산물 등을 이용하여 제조하고 있으나, 제조된 아미노산 비료 내 아미노산 함량이 낮고, 냄새, 가스 발생 및 알칼리 중화로 인한 다량의 염 생성으로 인해 연작피해 등의 문제점이 발생되고 있음. 따라서 랜더링 고품잔류물을 효과적으로 아미노산 생산 공정에 적용한다면 고기능성, 고품량 아미노산 비료 제조가 가능할 것으로 판단됨



폐사가축 입고



운송



분쇄



랜더링



사료용 고품잔류물



입자화된 고품잔류물



배출된 유지 및 고품물 분쇄

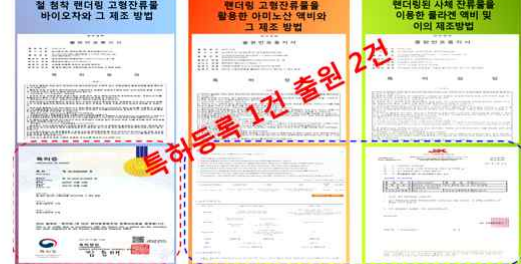
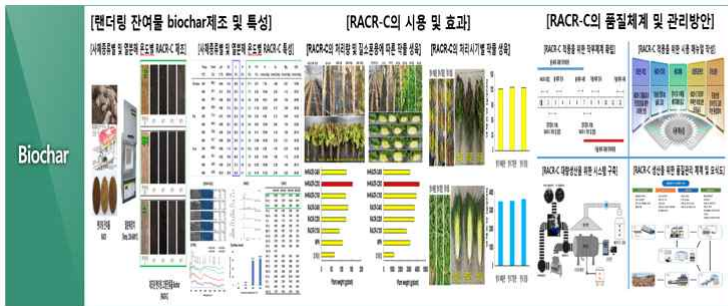
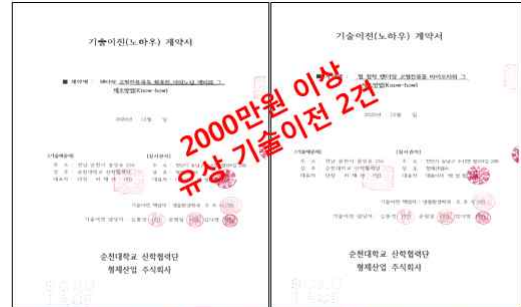
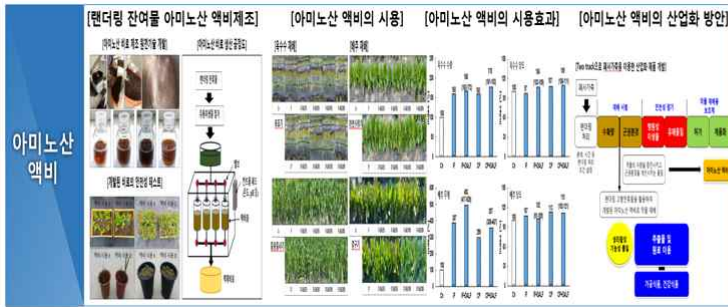


탈유 및 건조

[폐사가축의 랜더링 과정 및 배출되어진 고품잔류물, 형제산업(참여기업)]

- 동물의 뼈 (animal bone)는 대부분 수산화인회석 [hydroxylapatite, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$]으로 이루어져 있어 인과 칼슘 (Ca)이 풍부하며 (김 등, 2009), 동물뼈의 50% 이상은 인산칼슘 (calcium phosphate)이며, 이외에도 탄산칼슘 (calcium carbonate) 및 인산마그네슘 (magnesium phosphate) 등의 성분으로 구성되어 있어 무기질 및 인산질 비료로 활용이 가능할 것으로 판단됨
- 특히, 우리나라의 화학비료 시장에서 요소 (N), 인광석 (P), 가리 (K) 등은 대부분 수입에 의존하고 있으며 수입의존도는 암모니아 및 인광석 70%, 염화가리 89% 등으로 매우 높아 산업구조가 매우 취약한 실정임 (농림수산식품부, 2011). 특히, 인광석은 과도한 사용으로 인해 50~100년 내에 고갈될 것으로 예상되어 이에 대한 방안이 필요한 가운데 Simons 등 (2014)은 최근 'Nature Geoscience'에서 개발도상국에 부족한 인산염광물 (phosphate rock) 비료를 대체하기 위한 대안으로 동물 뼈를 제안하였음
- 이에 본 연구진은 2019년부터 2020년까지 1년 8개월간 농림기술기획평가원으로부터 “소각, 랜더링 등 열처리 과정에서 발생한 잔류물 활용 기술 개발”이라는 주제로 과제를 수주하여 수행하였음. 특히 본 연구에서 주관기관인 순천대는 “랜더링 고품잔류물을 활용한 아미노산 액비 제조기술 개발”이라는 소주제로, 협동연구기관이었던 경상국립대와 형제산업은 “랜더링 고품잔류물을 활용한 탄화체 (RACR-C; Rendered Animal Carcass Residue-bioChar) 제조 기술개발”이라는 소주제로 랜더링 고품잔류물을 재활용할 수 있는 기술개발에 관한 연구를 수행하여 실용화를 위한 기반을 구축하였음

- 1차년도는 랜더링 고형잔류물을 이용한 아미노산 액비 및 RACR-C를 제조할 수 있는 최적 조건을 구명하였고, 2차년도에는 최적화된 아미노산 액비 및 RACR-C를 비료 및 토양개량제로 활용하기 위한 최적 시용조건을 확립하였으며, 이들의 토양처리시 작물생산 및 토양화학성 변화에 미치는 영향을 평가하였음
- 본 연구개발 과정을 통해 최적화된 아미노산 액비 및 RACR-C는 작물 생산성 향상 및 토양 보건성 증진에 충추적인 역할을 하며, 친환경농자재로 실효성이 있었음
- 특히 RACR-C 및 아미노산 액비제조 관련하여 2건의 유상 기술이전을 실시하였으며, 1건의 특허등록과 2건의 특허가 출원되었음. 그 외에도 6건의 국내의 논문게재, 12건의 학술발표를 달성하였으며, 현재 2건의 기술인증을 신청하였음



SCI 5편, 기술인증 2건 진행중

[랜더링 가축사체 잔여물 활용 아미노산 액비 및 탄화제 제조기술 개발 및 그와 관련된 성과]

- 이와 같이 본 연구진의 선행연구에서 가축사체 잔여물로 제조된 아미노산 액비와 RACR-C는 학문적, 기술적 및 산업적으로 높은 가치가 있는 것으로 판단됨. 하지만 선행연구는 1년 8개월간 아미노산 액비 및 RACR-C 제조조건 확립, 활성화 방안 구축, 작물재배 시험 및 산업화 방안 검토가 짧은 시간 내에 이루어짐에 따라 비록 이 연구로부터 우수한 성과를 도출했을지라도 이들 아미노산 액비와 RACR-C를 현재 수준으로 즉시 산업화하기에는 제한적임
- 특히 랜더링 고형잔류물 활용 아미노산 액비 및 RACR-C 제조장치 및 제조방법에 대한 몇 가지 문제점이 존재하며, 이에 대한 문제점이 보완되지 않을시 **향후 대용량 랜더링 고형잔류물 활용한 아미노산 액비 및 RACR-C제조 및 산업화에 큰 걸림돌이 될 것으로 보임**
- 랜더링 고형잔류물은 대부분 동물성 단백질로 구성되어 있으며, 가수분해제를 이용하여 이를 아미노산으로 전환하는 과정은 아미노산이 파괴되지 않고 식물의 생육에 필요한 필수 아미노산이 유지될 수 있다는 장점이 있음. 그러나 랜더링 고형잔류물을 활용한 아미노산 액비 생산 공정은 시료의 종류 및 가수분해제의 종류에 따라서 **오랜 기간이 걸리고, 발효 반응 시 심한 악취가 발생하는** 단점을 가지고 있음
- 또한, 가수분해제를 이용하여 생산된 아미노산 액비는 저장 조건과 기간에 따라서 품질이 변하거나 쉽게 변패되는 단점이 있으며, 이 또한 특유의 비린내를 유발시키는 등의 문제점을 가지고 있음



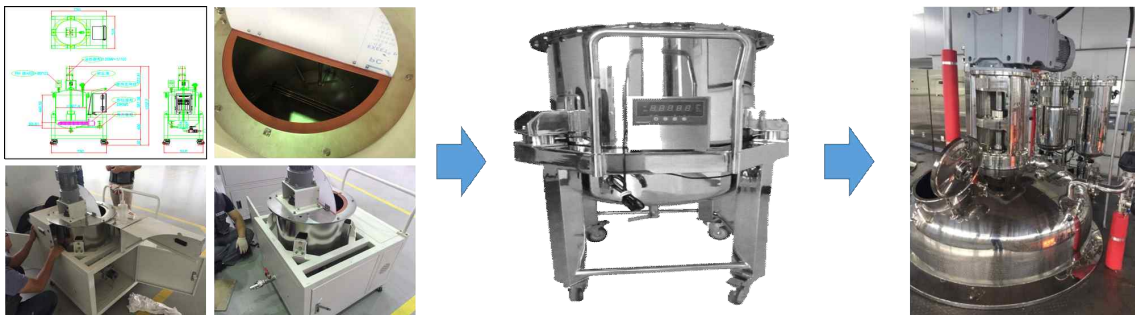
[아미노산 액비 생산 후 외형 변화]

* 약취저감에 사용될 생균제 (Probiotics)

젖산균 (*Lactobacillus*) : 통기 혐기성 미생물, 병원균의 증식 억제, 천연 항생물질, 비타민 아미노산 등 생성 효과

고초균 (*Bacillus*) : 열과 산 등의 조건에서 생존력이 높음
전분, 단백질 분해, 효소 생산능력

- 선행연구에서 사용된 아미노산 액비 제조장치는 액체타입의 원료를 부숙하기에 적당하였으나, 고형잔류물과 같이 수분이 거의 없고 유기물 함량이 대부분인 원료의 경우 **교반, 효소 & 미생물 반응을 최적화시키기에는 한계**가 있었음. 게다가 액비 장치의 현장 적용시에는 외부환경에 쉽게 노출되어 오염원이 유입될 가능성이 높을 것으로 예상되며, 이는 **품질관리**에 어려움을 가지고 있고, **농축시스템의 부재**로 인해 액비를 수시로 생산해야되는 애로사항이 있었음

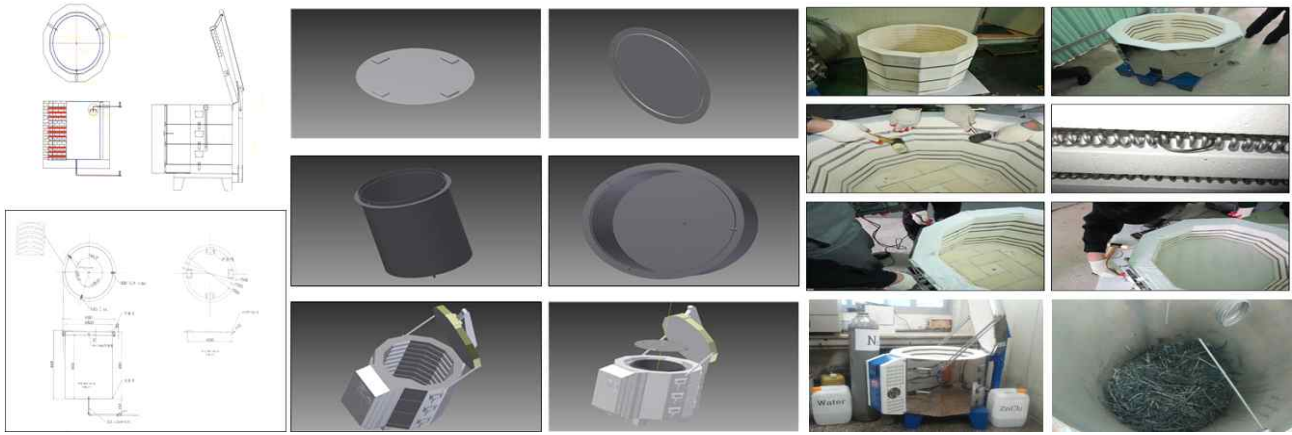


[기존 선행연구에 사용된 장치]

[Pilot scale 고농도 액비 생산장치]

[고농도 액비 대량 생산장치]

- 선행연구에서는 랜더링 고형잔류물에서 단순히 아미노산 액비의 생산에만 초점이 맞추어졌기 때문에 위에서 언급된 문제점들이 보완된 제품을 생산하기 어려움. **아미노산 액비의 산업화를 위해서는 아미노산 전환이 짧은 시간에 이루어질 수 있도록 생산 공정이 확립**되어야 하며, 아미노산 액비 개발 도중에 발생하는 약취를 저감하기 위한 미생물 활용, 그리고 대량의 액비를 생산하기 위한 대형 반응 탱크와 공간이 필요하고 최종적으로 **완제품이 오랜 기간 동안 품질을 유지할 수 있는 기술확보**가 요구됨. 이에 새로운 랜더링 가축사체 잔여물 전용 아미노산 액비 제조장치와 그것의 품질을 명확하게 파악하기 위해서는 추가적인 후속연구가 필요함
- 랜더링 고형잔류물 활용 RACR-C제조 경우 기존 목질계 바이오매스로 설계 및 제작된 biochar제조장치를 사용하였음. 목질계 전용 biochar제조장치에서 초기 몇 번의 적은 용량의 RACR-C를 제조하는 것은 큰 문제점이 관찰되지 않았음. 이는 기존의 목질계 전용 biochar제조장치의 배기팬과 내부설비가 적은 용량 및 몇 번의 가축사체 잔여물을 열분해하기에 적합한 것으로 판단됨



[목질계 전용 biochar제조 장치의 설계 및 제작 전경]

- 하지만 랜더링 가축사체 잔류물 biochar 제조 횟수가 증가하고, 시료의 양이 많아짐에 따라 많은 문제점이 발생하게 되었음. 첫 번째 랜더링 고형잔류물은 랜더링 과정에서 수분과 유지가 제거되었을지라도 이들의 제거효율이 100%가 되지 않기 때문에 **여전히 많은 유지가 포함되어 있음**. 이에 잔존하는 지방성분들은 열분해 온도가 증가되는 과정에서 용해되어 액체상태로 존재하고, 깊은 층의 고형잔류물을 완벽하게 RACR-C를 제조하는데 오랜시간이 소요될 뿐만 아니라 목질계 바이오매스 연소와는 달리 동물성 유지의 연소과정에서 배출된 가스는 실타래처럼 열선에 침착되어 열선을 손상시킴
- 두 번째는 대용량의 랜더링 가축사체 잔여물을 **열분해하는 과정에서 많은 양의 연소가스가 발생되며**, 개인적 차이에 따라 이를 악취로 판단하는 경우도 있음. 현재 목질계 바이오매스 전용 biochar제조 장치의 경우 내부에서 발생하는 가스를 **외부로 급격하게 순환시킬 수 있는 장치가 마련되지 않았을 뿐만 아니라 외부배출되는 가스를 정화하기 위한 장치 또한 구성되어 있지 않음**. 이에 목질계 biochar제조 장치에 랜더링 가축사체 잔류물을 연소할 경우 유지 및 미 단백질 등의 유기물질이 함유된 연소가스가 장치내부에 체류하게 되어 열선을 손상시키며, 배기 및 정화과정이 갖추어져 있지 않아 장치 주변에 매캐한 냄새를 포함한 악취가 발생됨

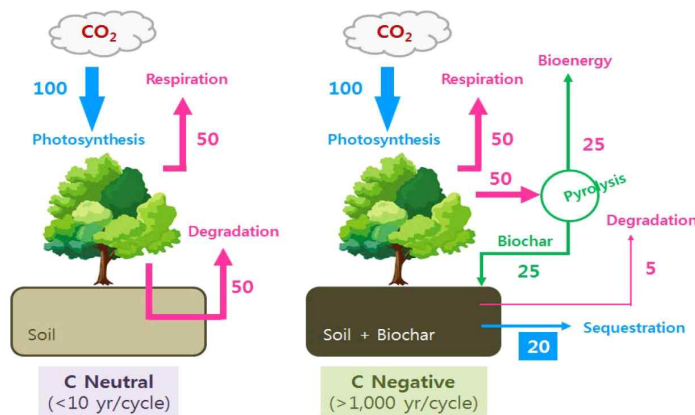


[오일연소 및 가스체류로 인한 열선 및 히터부 손상]

- 세 번째 랜더링 고형잔류물을 이용하여 **RACR-C를 제조함에 있어 냉각방식**을 기존 목질계 바이오매스를 제조하는 과정과 동일하게 자연저속냉각방식으로 설정하였지만, 본 연구에서 제조된 RACR-C와 기존 목질계 biochar는 그 구조적 및 물리화학적 특성이 상이함. 특히 목질계 biochar의 경우 저속 냉각함에 따라 biochar 표면을 더욱 활성화 (탄소 뼈대구조, 표면적 및 관능기) 시키는 목적이 존재하는 반면에 RACR-C의 경우 비교적 탄소 함량이

낮기 때문에 표면개질 개선보다는 무기성분 결정에 초점이 맞추어져 있음. 이에 비교적 급속하게 냉각하여도 RACR-C의 구조 및 물리화학적 특성에 별다른 차이는 없을 것으로 판단되며, 급속냉각 방식은 RACR-C의 생산 및 경제성에 훨씬 더 효과적일 것이라 판단되나 이에 대한 연구는 수행되지 않았음

- 현재 목질계 전용 biochar제조 장치에 이미 언급된 문제들을 보완하더라도 연속공정으로 바이오차를 생산할 수 없는 문제로 인해 제품의 균질성을 확보하기 어려움. 이에 새로운 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar제조 장치와 그것으로 제조한 제품의 품질을 명확하게 파악하기 위해서는 추가적인 후속연구가 필요함
- 특히 후속연구로 생산될 바이오차는 현재 탄소중립의 기존 바이오매스 에너지와 달리 대기 중의 탄소를 토양에 저장하는 carbon negative 도구로서 작용될 수 있어 탄소중립 달성을 위해 반드시 필요한 소재로 인식되고 있음. 2007년 코넬대 Lehmann 교수는 Nature에 발표한 논문에서 기존의 식물을 키워서 바이오 에너지를 회수하는 방법은 탄소 중립적인데 반해 바이오차를 토양에 넣는 방법은 진정한 탄소 negative 방법으로 제시하였음



[탄소중립의 대안으로 활용될 바이오차의 탄소감축원리]

- 우리나라는 탄소중립의 에너지 집약적 산업구조를 지녀 2050 탄소중립 달성이 쉽지 않은 상태의 목표이며, 이들 중 대부분이 에너지 (배출량 37%)와 산업 (배출량 36%) 부분임. 현재의 기술로는 탄소중립이 요원한 상태이며, 탄소중립을 위해 현재의 기술과 산업공정을 뛰어넘는 획기적인 기술전략이 필요한 상황임. 따라서 바이오차는 2050 탄소중립 달성을 위해 탄소 negative로 작용할 수 있어 반드시 필요한 소재이므로 이를 농업과 환경분야로 확대 적용할 필요가 있음. 특히 바이오차는 바이오매스를 에너지로 사용하는 경우보다 탄소 저감율이 높으며, 지구의 탄소함량을 12% 저감할 수 있는 것으로 예측되고 있음
- 선행연구에서 연구에 초점이 맞추어 수행되어졌기 때문에 이를 사업화하기 위한 방안 및 전략은 상대적으로 미흡한 수준이었음. 랜더링 고품질잔류물 활용 아미노산 액비와 RACR-C 제품을 사업화하기 위해서는 보다 구체적인 사업화 계획이 확립되어야 하고, 실제 랜더링 업체에 아미노산 액비 및 RACR-C 생산을 위한 생산라인이 구축되어야 하며, 이를 판매하기 위한 유통전략 및 마케팅 전략이 필요함
- 이와 같이 랜더링 고품질잔류물 활용 아미노산 액비 및 RACR-C 제조 장치/기술 및 사업화에 대한 연구가 상대적으로 미흡하기 때문에 이를 보완하기 위한 추가적인 연구가 더 절실히 요구됨. 특히 추가 연구지원 과정동안 본 연구진은 시험결과 및 성과위주의 과제에서 벗어나 랜더링 가축사체 잔여물 활용 아미노산 액비 및 RACR-C 관련 연구, 제품생산, 판매가 동시에 시너지효과를 낼 수 있는 방향으로 과제를 수행할 예정임
- 따라서 본 연구는 랜더링 고품질잔류물 아미노산 액비 및 RACR-C제조 기술/장치에 관한 미

비점을 보완하고 개발된 제품들의 체계적인 사업화를 구현하기 위해 “랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 개발 및 사업화”를 하고자 함. 본 연구의 핵심기술은 크게 3가지로 구분되는데 첫 번째는 랜더링 가축사체 잔여물 적용 친환경 아미노산 액비 제조시스템 개발 (주관연구개발기관), 두 번째는 랜더링 가축사체 잔여물 전용 친환경 biochar 제조시스템 개발 (공동연구개발기관1)하고, 세 번째는 랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템을 실용화 (공동연구개발기관2) 로 구분됨

2장 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링 시스템 기반기술 확립

가. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립

1) 랜더링 가축사체 잔여물의 기초 성상 평가

랜더링을 통해 발생된 가축사체 잔여물이 아미노산 액비 생산에 이용될 수 있는 자원으로써 활용 가능한지를 확인하기 위하여 가축사체 잔여물의 삼성분, 단백질, 지질, 염분, 다량원소, 유해원소 및 병원성 미생물의 유무를 조사하였다. 랜더링 가축사체 잔여물의 경우에 랜더링 처리 시 투입되는 가축사체의 축종 비율에 따라 랜더링 가축사체 잔여물 기초 성상의 변화가 나타날 수 있으므로 랜더링 가축사체 잔여물의 균질화를 고려하여 2020년과 2021년 발생된 랜더링 가축사체 잔여물의 연도별 기초 성상을 조사하여 비교하였다.



Fig. 1. 랜더링 가축사체 잔여물

(가) 삼성분

랜더링 가축사체 잔여물의 기초 성상 평가에서 삼성분은 수분함량, 유기물 및 무기물을 조사하였다. 수분함량은 가열감량법으로 측정하였으며, 유기물 및 무기물함량은 회화법으로 분석하였다.

(나) 단백질

랜더링 가축사체 잔여물의 단백질 함량은 습식분해법 ($H_2SO_4 + HClO_4$)으로 전처리한 후 Kjeldahl법을 통한 T-N 분석으로 총질소 함량을 조사하였으며, 총질소 함량에 단백질 계수 6.25를 통해 환산하여 단백질 함량을 조사하였다.

(다) 지질 및 염분

랜더링 공법의 경우에 유지성분을 분리하는 과정을 통해 유지성분 및 지방을 분리하며, 랜더링 가축사체 잔여물은 유지성분을 분리하고 남은 잔여물이다. 유지성분 분리과정을 통해 나온 랜더링 가축사체 잔여물에 남아있는 지질 및 염분의 함량을 조사하였으며, 지질 및 염분은 농림축산식품부의 사료표준 분석방법에 준하여 분석하였다. 랜더링 가축사체 잔여물의 지질은 조지방 함량을 조사하여 확인했으며, 에테르 추출법에 의해 수행되었다. 염분의 경우는 질산은 적정에 의해 조사되었다.

(라) 원소분석 및 중금속

랜더링 가축사체 잔여물의 단백질 구성원소 (C, H, O, N, S 등), 중금속 (As, Cd, Pb, Cu

등)을 조사하였으며, 랜더링 가축사체 잔여물 분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석하였다. 랜더링 가축사체 잔여물은 습식분해법 ($H_2SO_4 + HClO_4$)으로 전처리한 후 T-N 분석은 Kjeldahl법, T-P 분석은 Vanadate법 (Optizen 2120UV, Mecasys)으로 분석하였으며, 다량성분 (K_2O , CaO, MgO 및 Na_2O), 미량성분 (B, Fe, Mn, Mo 및 Zn) 및 유해성분 (As, Cd, Pb, Cr, Cu 및 Ni) 함량은 ICP-OES (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석하였다. 단백질 구성원소인 C, H, N 및 S은 원소분석기 (Vario MICRO cube, Elementar)를 사용하였으며, O는 원소분석기 (Flash 2000, Thermo Scientific) 사용하여 각각 분석하였다.

(마) 병원성 미생물

랜더링 가축사체 잔여물의 안전성을 평가하기 위하여 잔여물의 병원성 미생물을 조사하였으며, 모든 실험은 3 반복으로 진행되었다. 병원성 미생물은 *E. coli*, *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Shigella* 및 *Clostridium perfringens*를 조사하였으며, 식품의약품안전처의 식품공전에 준하여 조사되었다. 대장균 (*E. coli*) 및 대장균군 (coliform)은 시료 5 g에 0.85% NaCl 10 mL에 넣어 균질화 후, 3M Petrifilm™ E. coli/coliform plate (3M, USA)에 1 mL씩 분주하여 37°C에서 24시간 배양하여 계수하였다. 대장균 O157:H7은 토양 5 g을 mTSB 45 mL에 가하여 균질화한 후 35°C에서 24시간 증균배양하였으며, 증균배양액을 각각 TC-SMAC와 BCIG 배지에 접종하여 37°C에서 24시간 배양하고 무색 집락과 청록색 집락이 형성되면 대장균 O157:H7 양성으로 추정하였다. 살모넬라 (*Salmonella* spp.)는 토양시료 5 g을 Buffered Peptone Water 45 mL에 가한 후 37°C에서 24시간 동안 1차 배양하였고 1차 배양액 0.1 mL를 RV Broth 10 mL, 1 mL를 TT Broth 10 mL에 접종하여 각각 42°C, 37°C 배양기에서 24시간 동안 2차 배양하였다. 각각의 2차 배양한 증균배양액을 XLD Agar 및 BG Sulfa 한천배지에 접종한 후 37°C 배양기에서 24시간 동안 배양하였다. 생성된 집락 중 XLD Agar에서 가운데가 검거나 붉은색, BG sulfa에서 분홍색 집락이 형성되면 살모넬라 양성으로 추정하였다. 시겔라 (*Shigella* spp.)는 시료 5 g을 Shigella Broth 50 mL에 넣어 균질화 후, CT-SMAC 배지에 분주하여 37°C에서 24시간 배양하였으며, 배양액을 XLD 한천 선택배지에 접종하여 37°C에서 24시간 배양하여 붉은색 집락이 형성되면 시겔라 양성으로 추정하였다. 클로스트리디움 퍼프린젠스 (*Clostridium perfringens*)는 토양시료 5 g을 0.85% NaCl 45 mL에 넣고 혼합한 시험용액 1 mL를 Cooked Meat 배지의 아랫부분에 접종하여 37°C에서 24시간 동안 혐기 배양하였다. 배양 후 난황첨가 TSC 한천배지에 증균배양액을 접종하여 37°C에서 24시간 혐기 배양하였으며, 혐기 배양 결과로 불투명한 환을 가지는 황회색집락이 형성되면 클로스트리디움 퍼프린젠스 양성으로 추정하였다.

2) 고농도의 아미노산 액비 생산을 위한 전처리 기술 확립

가) 단백질 가수분해효소 선정

(1) 가수분해제 종류에 따른 분해액의 특성 조사

(가) 가수분해제 종류에 따른 아미노산 및 단백질 함량 조사

랜더링 가축사체 잔여물을 이용하여 고농도 아미노산 액비를 생산하기 위한 최적의 단백질 가수분해 효소를 선정하기 위하여 가수분해제 종류에 따른 분해액의 아미노산 및 단백질 함량을 조사하였다. 가수분해제는 단백질 가수분해효소를 사용하였으며, 단백질 가수분해 효소 종류로 Protease (Subtilisin)와 Aminopeptidase를 사용하여 분해를 수행하였다. Protease는 산업용 효소로 많이 사용되는 Alcalase와 식물에서 추출한 식물성 Protease인 Bromelain을 사용하였으며, Aminopeptidase는 Flavourzyme을 사용하여 가수분해를 진행하였다.

랜더링 가축사체 잔여물의 분해를 효과적으로 수행하는 가수분해제를 선정하기 위하여 랜더

링 가축사체 잔여물 5 g을 50 mL Test tube에 넣은 후 단백질 가수분해 효소인 Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain을 랜더링 가축사체 잔여물 무게의 10%의 무게비 (w/w)로 주입하였으며, 가수분해제를 처리하지 않은 대조구를 포함하여 실험을 진행하였다. 위의 처리에 증류수를 각각 25 mL씩 주입하였으며, 50°C 조건을 유지하면서 heating block에서 실험을 진행하였다. 추가적으로 분해기간에 따른 아미노산 및 단백질 함량을 조사하기 위하여 1일, 2일, 4일 및 8일의 분해기간별로 각각 분해액의 아미노산 및 단백질 함량을 조사하였다.

분해액과 잔류물의 성분을 조사하기 위하여 처리조건별로 분해 완료 후 여과를 통해 분해액과 잔류물을 분리하였으며, 분석은 농촌진흥청의 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석하였다. 분해액의 아미노산 분석은 17종의 구성아미노산 (Aspartic acid, Threonine, Serine, Glutamic acid, Proline, Glycine, Alanine, Cystine, Valine, Methionine, Isoleucine, Leucine, Tyrosine, Phenylalanine, Histidine, Lysine 및 Arginine)을 정성 및 정량분석이 가능한 아미노산 분석기 (S-433H)를 이용하였고, 6N HCl로 산 가수분해 전처리하여 아미노산을 양이온교환 컬럼 (Sykam LCAK06/Na 4.6*150 mm)으로 분리한 후, Ninhydrin 시약과 120°C에서 반응시킨 화합물을 UV/VIS Detector로 흡광도 (440 nm, 570 nm)를 측정하여 조사하였다. 단백질 함량은 분해액을 습식분해법 (H₂SO₄ + HClO₄)으로 전처리하여 Kjeldahl법을 통해 총질소함량을 조사하였으며, 총질소에서 단백질 계수 6.25를 계산하여 단백질 함량을 분석하였다.

(나) 가수분해제 종류에 따른 잔류물의 무기성분 함량 조사

본 실험에 사용된 단백질 가수분해제 종류에 따른 분해액 및 효소 처리 후 잔류물의 무기성분 분석은 상기 1)-(라)항에서 언급한 분석방법과 동일하게 수행되어졌다.



Fig. 2. 가수분해 장치 및 아미노산 분석 장비

(1) 가수분해제 투입 수준에 따른 분해액의 특성 조사

(가) 가수분해제 투입 수준에 따른 아미노산 및 단백질 함량 조사

랜더링 가축사체 잔여물의 효소 가수분해에 있어서 단백질 가수분해 효소의 최적 투입량을 선정하기 위하여 단백질 가수분해 효소의 투입량별 분해액의 아미노산 및 단백질 함량을 조사하였다. 실험은 상기 2)-(가)-(1)항에서 언급한 방법과 동일하게 진행하였으며, 단백질 가수분해 효소인 Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain을 각각 랜더링 가축사체 잔여물 무게의 0, 10, 15 및 20%의 무게비 (w/w)로 각각 주입하여 실험을 진행하였다. 분해액의 비료 분석항목과 잔류물의 무기성분 함량 및 아미노산 분석방법은 상기 1)-(라)항 및 나)-(1)-(가)항에서 언급한 분석방법과 동일하게 수행되어졌다.

(나) 가수분해제 투입 수준에 따른 잔류물의 무기성분 함량 조사

본 실험에 사용된 단백질 가수분해제 투입수준에 따른 분해액 및 효소 처리 후 잔류물의 무기성분 분석은 상기 1)-(라)항에서 언급한 분석방법과 동일하게 수행되어졌다.

Table 1. 액비 제조장치의 재원

재원	
외부 (mm)	856 × 806 × 887
내부 (L)	125
온도 (°C)	0~100
교반속도 (RPM)	0~240
pH 측정 센서	0~14
가열체	전기히터
폭기장치	0~16 L/min

나) 악취 제거를 위한 미생물제제 개발 및 효능 평가

아미노산 액비 생산시 발생하는 악취를 평가하기 위해, 상기 (가)항에서 도출된 최적 조건을 기준으로 일반 액비 제조에 사용되는 장치를 이용하여 실험이 진행되었다 (Table 1). 악취의 기준은 Table 2에서 보는 바와 같이 “악취방지법 시행규칙 제8조 제1항”에 제시되어 있는 지정악취물질을 사용하였으며, 가스샘플은 제조 장치 내부와 장치와의 거리를 1 m, 5 m, 10 m 떨어진 곳에서 샘플링하였다. 시료채취는 Bag sampler를 사용하여 차광용 Tedler bag (3 L)에 5 L min⁻¹으로 3분간 채취하였다.

악취 분석은 암모니아, 트리메틸아민, 황화합물 등을 포함한 20종의 악취를 조사하였으며, 선택적 이온화 질량분석기 (VOICE 2000 ULTRA, SIFT-MS-INSTRUMENTS)를 이용하여 정량분석을 수행하였다.

(1) 악취 제거 미생물제제 개발

본 연구에서는 악취 제거에 효과적인 미생물제제를 개발하기 위해서 유산균, 고초균, 천연물 등의 물질을 고려하고 있으며, 악취 분석결과에 따라서 특정 성분을 효과적으로 제어할 수 있는 미생물제제를 탐색하였다.

(2) 악취 제거 효능 평가

개발된 미생물제제 종류 및 투입 수준이 암모니아, 황화합물, 알데하이드 계열 등 지정악취 물질 발생에 미치는 영향을 조사하였다.

Table 2. 지정악취물질 (악취방지법 시행규칙 제8조 제1항)

계열	종류	배출허용기준 (ppm)		냄새 특성
		공업지역	기타지역	
암모니아	암모니아	2이하	1이하	코를 찌르는 썩은 냄새
트리메틸아민	트리메틸아민	0.02이하	0.005이하	자극성, 썩은 생선 냄새
황화합물	황화수소	0.06이하	0.02이하	썩는 달걀
	메틸메르캅탄	0.004이하	0.002이하	썩는 배추
	다이메틸설파이드	0.05이하	0.01이하	썩는 냄새
	다이메틸다이설파이드	0.03이하	0.009이하	썩는 냄새, 마늘 냄새
지방산	프로피온산	0.07이하	0.03이하	자극적이며 쓴 냄새
	n-뷰틸산	0.002이하	0.001이하	자극성이며 땀 냄새
	n-발레르산	0.002이하	0.0009이하	오래 신은 양말 냄새
알데하이드	i-발레르산	0.004이하	0.001이하	치즈 냄새
	아세트알데하이드	0.1이하	0.05이하	코를 찌르는 비린내 냄새
	프로피온알데하이드	0.1이하	0.05이하	자극적인 쓰고 탄 냄새
	뷰틸알데하이드	0.1이하	0.029이하	자극적인 시고 탄 냄새
	n-발레르알데하이드	0.02이하	0.009이하	익어서 나는 시고 탄 냄새
i-발레르알데하이드	0.006이하	0.003이하	익어서 나는 시고 탄 냄새	
휘발성유기화합물	스타이렌	0.8이하	0.4이하	도시가스 냄새
	톨루엔	30이하	10이하	휘발유 냄새
	자일렌	2이하	1이하	휘발유 냄새
	메틸에틸케톤	35이하	13이하	자극성, 아세톤 같은 냄새
	메틸아이소뷰틸케톤	3이하	1이하	자극적인 신나 냄새
	뷰틸아세테이트	4이하	1이하	자극적인 신나 냄새
	i-뷰틸알코올	4이하	0.9이하	자극적인 발효 냄새

다) 아미노산 액비 bioassay 평가

(1) 발아능력 검토

랜더링 가속사체 잔여물을 활용하여 개발한 고농도 아미노산 액비의 생물검정 평가를 위해 종자 발아 실험을 수행하였다. 종자 발아 실험은 무 종자 20개의 발아 여부를 확인하였으며, Petri dish에 배양액을 10 mL 주입하여 25°C 실온에서 5일간 진행되었다. 종자 발아 실험은 최적조건에서 생산된 아미노산 액비를 사용하였고, 처리조건은 액비를 처리하지 않고 증류수만 처리한 대조구를 포함하여 아미노산 액체비료의 50, 100, 200, 500 및 1000배 희석액을 사용하여 수행되었다. 발아능력 조사는 처리구별로 발아시킨 무 종자의 발아율 및 뿌리 길이를 조사하였고, 발아율과 뿌리 길이를 통해 발아지수 (GI)를 조사하였다.

또한, 최적 조건에서 생산된 아미노산 액비는 작물에 대한 피해를 평가하기 위해 비해시험기관에 의뢰하여 아미노산 액비의 작물 비해시험을 진행하였다. 시험작물은 청경채, 케일, 적겨자, 치커리 및 꽃상추를 선정하였고, 처리구는 무처리구, 기준구, 배량구로 나누었으며, 경엽 처리를 통해서 작물을 재배하여 비해를 평가하였다.

(2) 미생물의 밀도

랜더링 가축사체 잔여물을 활용하여 개발한 액비의 미생물 밀도를 조사하기 위해 액비의 총균수를 조사하였다. 액비는 10^{-3} , 10^{-4} 및 10^{-5} 배 희석하였으며, 실험은 희석액 0.1 mL 일반 NA (Nutrient Agar) 배지에 접종하였다. 접종 이후 spreading하였으며, 37°C에서 24시간 배양하여 계수하였다.

3) 최적 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 설계

가) 상기 2)항을 모두 고려한 아미노산 액비 제조시스템 설계

본 연구에서는 아미노산 액비 제조시스템을 개발하기 전 운영 조건 확립 및 반응 중 이상 현상 확인을 위한 제조시스템을 설계하였다. 아미노산 액비 제조시스템 설계는 국내외에 개발된 액비 제조시스템을 반영하였고, 이를 기본으로 하여 랜더링 가축사체 잔여물이 효율적으로 반응할 수 있도록 설계하였다.

나) 농축시스템을 적용한 아미노산 액비 제조시스템 설계

농축시스템을 적용한 아미노산 액비 제조시스템은 기본적으로 설계된 액비 제조시스템에서 생산된 시제품을 예측하여 효율적인 농축을 위한 가열시스템과 향후 scale-up을 위한 운영 조건을 고려하여 설계하였다.

나. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 biochar 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립

1) 랜더링 가축사체의 일반 biochar 제조장치 운영 및 문제점 도출

가) 일반 biochar 장비에서 랜더링 가축사체 잔여물 열분해 효율 및 바이오차 특성평가

(1) 열분해 온도에 따른 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 수율

(가) 일반 바이오차 장비의 구성

본 실험에 사용된 가축사체 biochar 전용 제조장치는 Fig. 3에서 보는 것과 같다. Biochar 전용 제조장치는 내부 챔버와 외부 챔버로 구성되어 있으며, 내부 챔버 외부에 간접 열분해방식으로 설계되어 있고, 열분해 온도는 200~1,300°C 범위로 조절할 수 있게 하였다. Biochar 제조장치에 질소가스 및 스팀이 내부 챔버로 주입될 수 있게 구성되어 있고, biochar의 활성화를 조절하기 위한 연결부가 마련되어 있다. 또한 내부 및 외부의 열분해 온도를 모니터링하기 위해 온도센서부가 연결되어 있다. 또한 본 장치는 급속과 저속 열분해 조건을 조절할 수 있는 열 공급능력을 가지고 있도록 설계되었다.

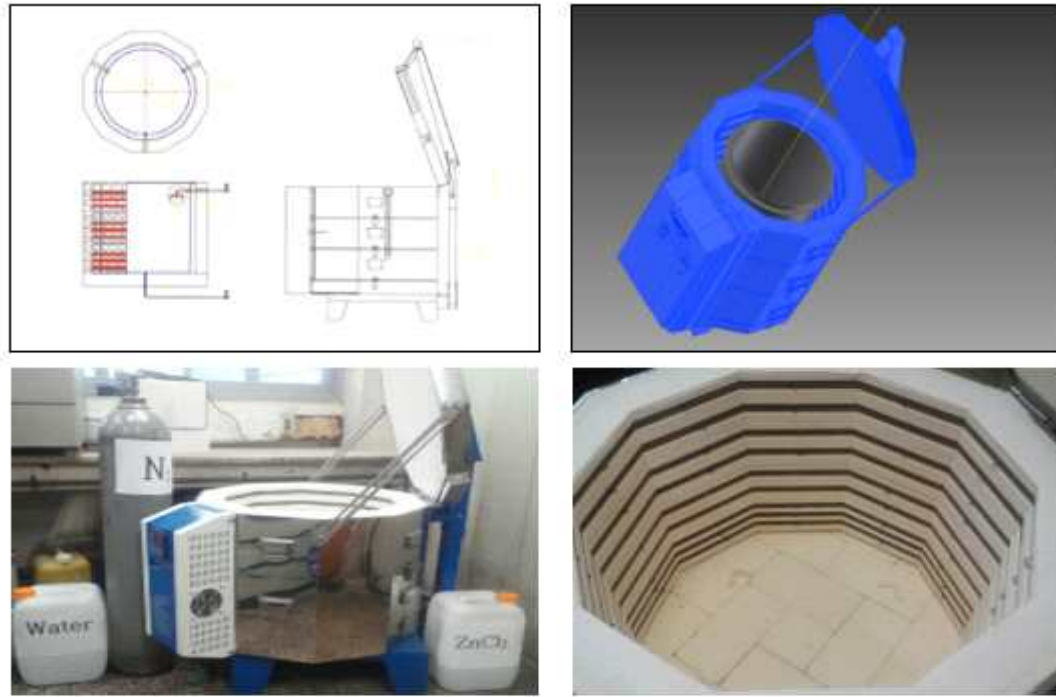


Fig. 3. Biochar 제조장치의 구성 및 전경.

(나) 실험방법

본 연구에서 랜더링된 가축사체 고형물 (Rendered Animal Carcass Solid; RACS)은 형제산업으로부터 수거하여 사용하였으며, 랜더링된 가축사체 고형물로 biochar (Rendered Animal Carcass Solid-Biochar; RACS-BC)를 제조하기에 앞서 랜더링된 가축사체 고형물은 60℃에서 건조하여 수분을 우선적으로 제거하였다. 건조된 샘플은 밀폐형 내부챔버에 주입하고, 열분해 장치에 질소가스를 주입하여 내부를 무산소 조건으로 유지한 다음 열분해 온도를 250, 400, 500, 600 및 900℃로 달리하여 biochar(RACS-BC)를 제조하였으며, 각 열분해 온도에 따른 biochar 수율은 중량감량법으로 조사하였다. 또한 RACS-BC 생산과정 중 열분해에 의한 RACS의 중량변화 및 열적 안정성을 평가하기 위하여 열중량분석 (TGA; TGA/DSC thermogravimetric analyzer, USA)을 실시하였다.

(2) 열분해 온도에 따른 랜더링 가축사체 잔여물의 물리화학적 특성

(가) 열분해 온도에 따른 RACS-BC의 물리적 특성

열분해 온도별 제조된 RACS-BC의 물리적 특성을 조사하기 위해 가밀도 및 진밀도를 조사하였다. 또한 각 RACS-BC에 형성된 비표면적 (surface area) 측정은 ASAP-2020M analyzer (USA)를 이용하여 측정하였다.

(나) 열분해 온도에 따른 RACS-BC의 화학적 특성

열분해 온도에 따른 RACS-BC의 화학적인 특성 분석은 폐기물 및 토양 오염 공정시험분석법에 준하여 실시하였다. pH 및 EC는 각각 pH meter (Orion research, USA)와 EC meter를 이용하여 측정하였으며, C, H, N 및 O 함량은 원소분석기 (FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Italy)에 의해서 측정되어졌다. 또한 RACS-BC의 양이온교환용량 (CEC)은 일정량의 RACS-BC 시료에 1N-Ammonium acetate 용액을 이용하여 양이온을 침출한 뒤 여과지에 여과하여 pH meter를 이용하여 측정하였으며, 무기성분 및 중금속 함량은 ICP-OES (Optima 5300 DV, PerkinElmer, USA)를 이용하여 측정하였다.

(다) 열분해 온도에 따른 RACS-BC의 표면 특성

본 연구에서 열분해 온도에 따른 RACS-BC의 표면 변화 과정 중 무기성분들의 존재유무와 결정체 특성을 관찰하기 위하여 X-ray fluorescence spectrometer (XRF, Shimazu, Japan), X-ray diffraction (XRD, Shimazu, Japan), Scanning electron microscopy-their energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDS, Philips XL 30S FEG, Netherland) 및 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR, PerkinElmer, USA)을 이용하여 biochar의 구조와 관능기 등을 조사하였다.

나) 일반 바이오차 장비의 문제점 및 개선 방안 도출

(1) 랜더링 가축사체 잔여물의 열분해 과정 동안 발생하는 문제점 파악

랜더링 가축사체 고형물의 열분해 과정 동안 발생하는 문제점 파악은 열분해 온도에 따른 biochar 제조과정 중 발생하는 관능적 평가, 제조된 biochar의 이화학적 분석 결과를 토대로 도출하였다.

(2) 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 제조를 위한 장치의 개선방안 도출

상기 (가)항의 문제점들을 기반으로 랜더링 가축사체 고형물 전용 biochar 제조장치의 개선 방안을 도출하였다.

다) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치 필수 제어인자 도출을 통한 최적화 방안제시

(1) 가축사체 전용 biochar 제조장치의 제어인자 설정

가축사체 전용 biochar 제조장치의 제어인자 설정은 상기 가)항과 나)항의 연구결과들을 종합적으로 검토하여 제시하였다.

(2) 가축사체 전용 biochar 제조장치의 최적화 방안제시

가축사체 전용 biochar 제조장치의 최적화 방안은 RACS-BC를 제조하는 과정에서 발생하는 신가스 및 바이오오일이 환경에 노출되는 것을 최소화함과 동시에 이들을 다시 포획 및 추출하여 재활용할 수 있는 최적화 방안을 제시하였다.

2) 랜더링 가축사체 전용 바이오차 장치 개발을 위한 필수 제어인자 원천기술 개발

가) 가축사체 특성에 맞는 맞춤형 biochar 열분해 원천기술 개발

(1) 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조방법 확립

상기 1)항의 결과를 종합적으로 검토하여 가축사체 특성에 적합한 biochar 제조방법을 확립하고자 하였다. 일반적으로 목질계 biochar 제조장치의 경우 저온 및 고온 biochar 제조방식에 따라 승온온도, 유지시간 및 냉각시간이 biochar 특성에 중요한 인자로 작용하나, 가축사체를 이용한 biochar의 제조는 선행연구에서 승온온도 및 유지시간에 따른 큰 차이가 존재하지 않았다. 하지만 냉각방식 및 속도에 따라 가축사체 biochar의 품질특성이 달라질 수 있어 효율적인 RACS-BC를 생산하기 위해서는 냉각방식에 대한 기술이 확보되어야 할 것으로 판단하였다. 이에 RACS-BC를 제조한 후 냉각 조건을 ① 자연냉각식과 ② 송풍을 통한 급속냉각식 및 ③ 열순환장치 활용 공랭식의 방법으로 biochar를 제조하였다.

(2) 냉각방식 및 냉각시간에 따른 biochar의 품질특성

상기 (1) 항에 의해 제조된 RACS-BC의 품질특성 조사는 앞서 언급된 열분해 온도에 따른 RACS-BC의 물리화학적 특성 방법과 동일하게 수행하였다.

나) 오일추출 및 재활용 원천기술

(1) 열분해 온도에 따른 가축사체 잔여물의 물성 평가

(가) 실험장치 설계 및 구축

랜더링된 가축사체 고형물로부터 오일을 추출하기 위하여 내부 챔버의 구조를 Fig. 4와 같이 변경하였다. 특히, 이 장치 내에는 발생된 오일과 고형물을 분리하기 위하여 체거름 망이 설치되어 있으며, 내부 챔버의 하부 바닥층에는 오일이 추출될 수 있도록 오일추출부를 설치하였다. 또한 내부 챔버로부터 오일이 연소되어 휘발되는 것을 방지하기 위하여 가스켓으로 실링하여 시료의 가스상 유실을 최소화하도록 설계하였다. 오일추출부와 동일한 규격으로 biochar 제조장치 내에 오일 포집부를 설치하고 이들을 연결하여 랜더링 가축사체 고형물의 열분해 과정 동안 생성된 오일이 자연적으로 추출될 수 있게 설계하였다.

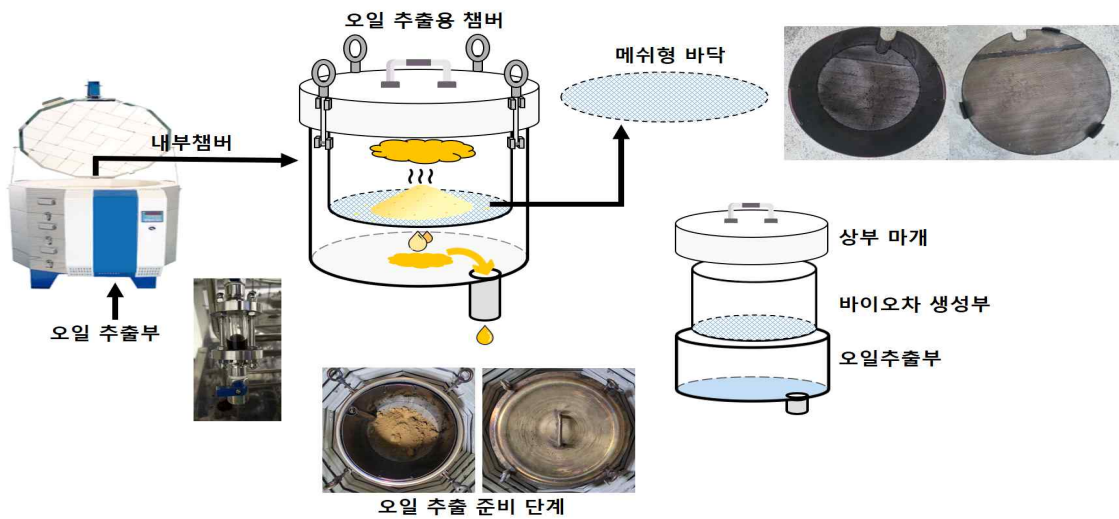


Fig. 4. Biochar 제조장치 내 오일 추출부 설치 및 내부챔버 구조 변경.

(나) 오일 추출

오일 추출은 내부챔버에 랜더링 가축사체 고형물을 3 kg을 주입하고, 열분해 온도를 달리하여 각 온도에서 추출된 오일의 함량과 오일 성분분석을 실시하였다. 추출된 오일의 성분 분석은 GC-MS를 통하여 분석하였으며, 사용된 기기와 분석조건은 각각 Fig. 5 및 Table 3에 나타내었다. 오일 추출 후 잔류된 고형물의 성분분석 중 조지방 함량은 soxhlet 분석법에 따라 분석되었고, 그 외에 모든 이화학적 분석은 앞서 언급된 RACS-BC의 물리화학적 특성 조사와 동일하게 수행하였다.

Table 3. 오일 성분 분석에 사용된 GC/MS의 분석조건

Instrument	Operating parameter
GC	Agilent 7890B Gas Chromatograph
Inlet	250°C
Column	DB-5MS UI, 30 m × 250 μm, 0.25 μm
Carrier gas	He, 1.0 mL min ⁻¹
Oven temperature program	50°C (hold 4 min) ⇒ 4°C min ⁻¹ ⇒ 220°C (hold 2 min) ⇒ 20°C min ⁻¹ ⇒ 280°C (hold 15 min), Total 66.5 min
MSD transfer line	280°C
injection volume	2 μL, splitless
MS	Agilent 5975C Mass Selective Detector (MSD)
Acquisition mode	Scan (40 to 500 <i>m/z</i>), Library searching used NIST 2015 version
Source temperature	230°C
Quadrupole temperature	150°C
HS Oven temp.	80°C
Loop temp.	90°C
Transperline temp	100°C
Vial Equilibration Time	10 min



Fig. 5. 오일 성분 분석에 사용된 샘플과 GC-MS의 장비.

(2) 오일 추출 가능한 최적 열분해 온도 설정

상기 나)항의 결과를 기반으로 오일 추출 가능한 최적 열분해 온도를 설정하였고, 랜더링 가속사체 전용 biochar 제조장치 내에 오일추출부의 위치와 규격을 설정하였으며, biochar 제조 시스템의 승온온도를 설정하였다.

다) Syngas 제어 및 재활용 원천기술

(1) Syngas 포집을 위한 장치의 설계 및 구축

기존 식물 바이오매스 전용 biochar 장치 내에서 syngas를 포집하기 위하여 내부 챔버를 가스 포집이 가능한 형태로 변경하였다. 기존 오일추출부를 설치한 내부 챔버 내에 상부 가스를 포집할 수 있는 포집부를 설치하고, 그 포집부 내에서 가스흡입관을 삽입하였다. 가스가 발생하면 vacuum pump나 N₂ 가스 주입을 통해 내부 가스가 외부로 유출될 수 있게 설계하였다.

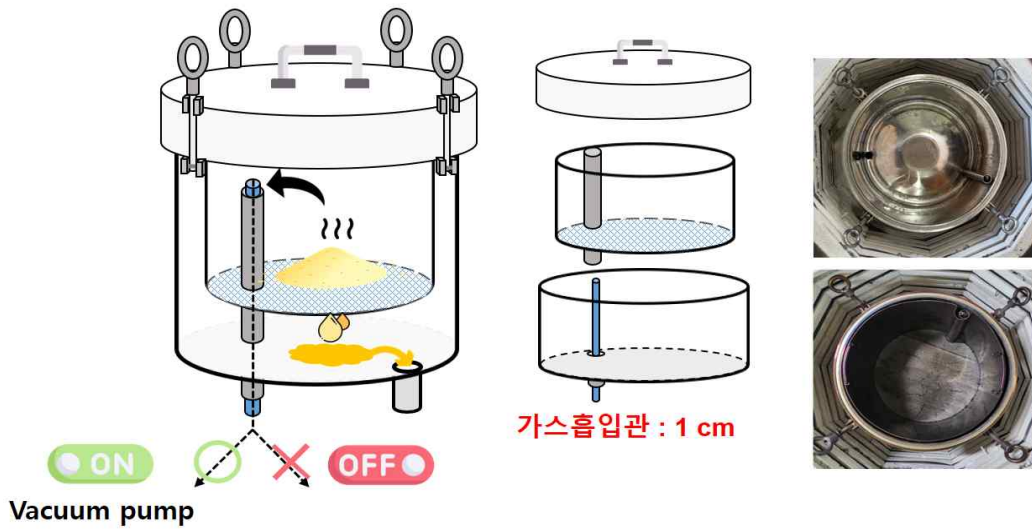


Fig. 6. Syngas 포집을 위한 장치의 설계 및 구축.

(2) 랜더링 가축사체 biochar 발생되는 가스 성분 및 발생패턴 분석

랜더링 가축사체 고형물로부터 biochar 제조 시 발생하는 가스 성분 및 발생패턴 분석은 상기 (1)항에 설계된 내부 챔버 내에 랜더링 가축사체 고형물 3 kg을 주입하고 biochar 제조 온도를 500℃로 설정한 후 온도가 50℃씩 증가할 때마다 가스포집기를 이용하여 외부로 유출되어 나오는 신가스를 분석하였으며, 포집된 가스의 분석은 GC-MS를 이용하여 분석하였다. 또한 랜더링 고형잔류물 biochar를 제조하는 과정에서 소요되는 시간을 승온시간, 유지시간 및 냉각시간으로 구분하여 발생하는 가스성분을 분석하였으며, 그 결과를 기반으로 랜더링 가축사체 고형잔류물 제조시 발생하는 신가스의 패턴을 분석하였다.



Fig. 7. 가스포집 과정 및 GC를 이용한 배출가스의 분석.

제조과정에서 발생하는 온실가스는 Gas chromatography (7890B, Agilent, USA)를 이용하여 분석하였다. GC 검출기는 PDHID (Pulsed Discharge Helium Ionization Detector) 및 ECD (Electron capture detector)를 이용하였으며 검출기 온도는 각각 250℃ 및 350℃로 설정하고, 캐리어 가스를 각각 He (60 mL min^{-1}) 및 5%CH₄+95%Ar 혼합기체 (40 mL min^{-1})로 하였다. 검출된 크로마토그램을 이용하여 나타난 peak를 적분한 후 샘플의 적분값과 표준기체의 적분값을 비교하여 정확한 기체의 농도를 분석하였다.

Table 4. 포집된 가스 분석을 위한 기기조건

Division	Analytical conditions	
Detector	PDHID	ECD
Target ingredient	CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆	N ₂ O
Packing material	Carboxen 1000	Hayesep Q
Column Materials	Stainless steel	Ultimetel
Length×OD×ID	4.6 m×1/8 in × 2.1 mm	1 m × 1/8 in × 2.0 mm
Manufacturer	Supelco	Agilent Technologies
Carrier gas	He	5% CH ₄ + 95% Ar
Flow rate	60 mL min ⁻¹	40 mL min ⁻¹
Oven temperature	80℃	80℃
Detector temperature	250℃	350℃
Loop	0.5 mL	2.0 mL

(3) 가스 배기 방식 및 제어기술 확립

상기 (2)항의 결과를 기반으로 랜더링 가축사체 고형물을 이용하여 biochar를 제조할 시 발생되는 가스의 외부노출을 최소화하면서 이들을 제어할 수 있는 조건을 확립하였다.

3) 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 개발

가) 기존 biochar 제조장치를 랜더링 가축사체 biochar 장치로 전환

당초 계획상 기존 biochar 제조장치를 랜더링 가축사체 biochar 장치로 전환한 후 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템을 설계 및 시스템화하려고 하였다. 또한 기존 목재전용 biochar 제조장치를 부분적으로 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조장치로 전환하는 것이 한계가 있을 수 있어 상기 가)항과 나)항의 연구결과를 기반으로 하여 가축사체 전용 biochar 제조장치를 독립적으로 설계 및 제작하였다.

나) 가축사체 전용 biochar 제조시스템 구동절차 확립 및 시스템화 설정

가축사체 전용 biochar 제조시스템의 구동절차는 기존 목질계 biochar 제조장치와 달리 오일 추출단계 및 가스포집단계를 설정하고, 이들에 대한 온도와 반응시간을 확립하였다. 또한 설정 온도에 도달하게 되면 냉각시스템이 적용되어 조 내부의 열이 외부로 방출될 수 있게 시스템화 하였다. 또한 조 내부의 상황과 가스배출, 오일배출온도 등을 모니터링 할 수 있게 시스템을 구축하였다.

다) 가축사체 전용 biochar 제조장치 시운전

가축사체 전용 biochar 제조시스템은 경상국립대학교 부속농장 내에 설치되었으며, 가축사체 전용 biochar를 제조하기 앞서 2개월간 가스 배출 흐름, 오일 추출 흐름, 냉각수 설정, 배기 환경 등의 최적화 조건을 확립하였다.

라) 랜더링 가축사체 기반 RACS-BC/바이오오일/신가스 추출효율 평가

RACS-BC, 바이오오일 및 신가스의 추출효율 평가는 2)항의 세부조건에서 도출된 결과들을 적용하여 승온온도를 2단계로 설정하여 첫 번째 승온단계인 300℃에서 30분간 유지하여 바이오오일을 추출하고 난 후 두 번째 승온단계인 300℃에서 500℃에 도달하는 과정에서 신가스를 추출하였으며, 500℃에서 1시간 유지하여 RACS-BC를 제조하였다. 이들의 추출효율은 오일과 RACS-BC의 중량으로 계산하고, 남은 부분을 신가스로 계산하여 제시하였다.

마) 추출된 자원의 재활용을 고려한 biochar 제조시스템의 개선 및 보완

추출된 자원의 재활용을 고려한 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 개선 및 보완사항은 상가 3)항의 RACS-BC, 바이오오일 및 신가스를 추출하는 과정에서 발생되었던 문제점을 기반으로 작성하였다.

2. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링을 위한 친환경 시스템 개발

가. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템 개발

1) 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치의 제작 및 시운전

실험실 결과를 토대로 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치를 제작하였다. 제조시스템 설계는 먼저 증류수 또는 물과 단백질 가수분해제를 공급하는 공급부가 있으며, 공급부를 통해 투입된 랜더링 가축사체와 증류수 및 단백질 가수분해효소를 아미노산 액비 생산에 최적조건으로 유지시키는 반응조가 있도록 하였다. 반응조에서는 최적온도를 설정하고 유지하도록 하는 히터부와 균일하게 섞일 수 있는 교반장치를 설치하였으며, 히터부와 교반장치를 컨트롤하여 온도와 교반속도 등을 조절하기 위한 외부컨트롤러를 장치의 전면부에 설치하였다. 액비 제조 장치에 필요시 가스 공급이 가능하도록 가스주입구를 설치하도록 하였고 가스 주입을 원활하게 하기 위하여 가스주입관을 반응조의 하단부까지 접촉시킬 수 있도록 설치하였다. 반응조 상단부에는 가스배출구를 설치하여 악취가스 샘플링이 용이하도록 하였다.

아미노산 액비 제조장치는 반응조 이외에 농축조를 설치하였으며, 반응조와 분리하여 설치하였다. 이는 아미노산 액비의 최적 반응조건은 50℃이며, 증발농축은 90℃ 이상으로 진행되기 때문에 분리하지 않았을 경우에 온도와 시간적인 부분에서 효율이 떨어진다. 반응조에서 최적조건으로 제조된 아미노산 액비는 액비 배출구를 통해 농축조로 이동하도록 연결관을 설치하였다.

아미노산 액비 제조장치에 랜더링 가축사체 잔여물 2 kg과 증류수 10 L를 투입하였으며, 액비 제조장치의 설정을 Table 5와 같이 설정하여 액비 생산을 하였다.

Table 5. 아미노산 액비 생산 조건

가수분해효소	효소 처리량 %	내부온도 ℃	교반속도 rpm	발효 기간 day	공기주입
Alcalase(Subtilisin)	사체무게의 20	50	80	4	-

가) 최적 조건하에서 제조된 아미노산 액비의 품질 평가

(1) 부숙기간별 부숙도 조사

랜더링된 가축사체 잔류물에 대한 부숙도 판정 기준은 현재 제시된 바가 없으며, 이에 따라 제조한 아미노산 액비는 가축분 퇴액비의 부숙도 판정을 통해서 부숙도를 조사하였다. 부숙도 조사는 가축분 퇴액비의 부숙도 판정기준 중 관능적인 방법에 의한 부숙도 판정기준을 본 연구에 맞게 사용하였으며, 아미노산 액비 제조 기간동안 색, 냄새 및 형상 등의 변화를 조사하였다 (Table 6). 부숙도 조사를 위해 액비 생산과정 중 시간대별로 (1, 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 48, 96시간) 시료를 채취하였다.

Table 6. 관능평가에 의한 부숙도 판정기준

부숙도 판정 기준	
색	황~황갈색 (2), 갈색 (5), 흑갈색~흑색 (10)
형상	현물의 형상 (2), 상당히 붕괴 (5), 거의 형상을 볼 수 없음 (10)
냄새	냄새가 강함 (2), 냄새가 약함 (5), 퇴비냄새 (10)
수분	강하게 쥐면 손가락사이로 물이 스며 나옴 (2)
	강하게 쥐면 물이 비치는 정도 (5)
	강하게 쥐어도 물기를 거의 느낄 수 없는 상태 (10)
강제통기	없음 (0), 있음 (10)

(2) 아미노산 액비 품질 조사

최적조건하에서 제조된 아미노산 액비의 품질을 확인하기 위해 액비의 아미노산 함량, 비료 성분 함량 및 유해성분 함량을 조사하였으며, 아미노산 액비의 부숙도 조사를 위해 시간별로 sampling한 시료를 동일하게 품질조사에 이용하였다. 아미노산 액비의 아미노산 분석은 1차년도 가.-1)-가)-(1)항과 동일한 방법으로 전처리하여 아미노산 분석기 (S-433H)를 통해 정량 및 정성분석을 하였다. 아미노산 액비의 무기성분 함량은 습식분해법 ($H_2SO_4 + HClO_4$)으로 전처리하여 T-N 분석은 Kjeldahl법, T-P 분석은 Vanadate법 (Optizen 2120UV, Mecasys)으로 분석되었다. 다량성분 (K_2O , CaO 및 MgO), 미량성분 (B, Co, Fe, Mn 및 Mo) 및 유해성분 (As, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni 및 Zn) 함량은 습식분해법으로 전처리한 시료를 ICP-OES (ICPE-9000, Shimadzu)를 사용하여 분석되었다. 랜더링 가축사체 아미노산 액비의 공정규격에 대해서는 지정된 바가 없기 때문에 조사된 무기성분함량을 비료공정규격의 부산물비료 가축분뇨발효액 지정 기준을 통해 아미노산 액비의 품질을 비교 평가하였다 (Table 7).

Table 7. 비료공정규격 중 부산물비료의 지정 (가축분뇨발효액)

비료의 종류	규격의 함량	함유할 수 있는 유해성분의 최대량	그 밖의 규격	비고
가축분뇨발효액	질소전량, 인산전량, 칼리전량 각각의 성분 함계량 0.3%이상, 각 성분별 함량 보증할 것	1. 중금속 비소 5 mg/kg 카드뮴 0.5 mg/kg 수은 0.2 mg/kg 납 15 mg/kg 크롬 30 mg/kg 구리 50 mg/kg 아연 130 mg/kg 니켈 5 mg/kg 2. 병원성 미생물 대장균 O157:H7 살모넬라	염분 0.3%이하 수분함량 95%이상	1.충분한 발효시까지 저장 2.살포할 경우에는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행규칙」 제13조 별표4 액비 살포기준에 따라 살포하여야한다. 3.농경지 밖으로 유출금지

가) 제조된 가축사체 아미노산 액비의 장기적 품질특성 평가

(1) 보관기간에 따른 아미노산 액비의 비료학적 가치 평가

보관기간에 따른 아미노산 액비의 비료학적 가치평가는 최적 조건하에서 생산된 아미노산 액비를 농축시켜서 진행되었으며, 상온보관 (20℃) 및 냉장보관 (4℃)으로 보관되었고, 보관기간에 따른 아미노산 액비의 비료성분 및 아미노산 변화를 조사하였다. 보관기간은 액비 제조 후 60일과 120일간 보관하였으며, 각 보관기간에 따른 아미노산, T-N, T-P, K₂O, CaO 및 MgO 함량의 변화를 조사하였다. 아미노산 액비의 장기적 품질특성 평가 또한 Table 7의 가축분뇨 발효액 지정 기준을 통해 액비의 품질특성을 평가하였다.

(2) 보관기간에 따른 아미노산 액비의 안정성 평가

농축된 아미노산 액비의 보관기간에 따른 안정성 평가는 상온보관 (20℃) 및 냉장보관 (4℃)으로 보관하였을 때, 보관기간에 따른 아미노산 액비의 부숙도와 유해성분을 조사하였다. 아미노산 액비의 부숙도는 Table 6의 가축분 퇴액비 부숙도 판정기준을 통해 아미노산 액비의 색, 냄새, 형상 등의 관능평가를 실시하였으며, 중금속 및 유해성분은 아미노산 액비를 습식분해법으로 전처리한 시료를 ICP-OES (ICPE-9000, Shimadzu)를 이용하여 분석하였다. 아미노산 액비의 보관기간은 비료학적 가치평가와 동일하게 아미노산 액비 제조 후 120일동안 보관하였고, 비료공정규격에 맞게 가축분뇨발효액의 함유할 수 있는 유해성분의 최대량을 통해 아미노산 액비의 안정성을 비교 평가하였다 (Table 5).

(3) 제조된 아미노산 액비의 장기간 보존을 위한 방법 검토

제조된 아미노산 액비의 장기간 보존을 위한 방법으로 식품 방부제로 이용되고 있는 안식향산 나트륨 (Sodium benzoate)과 구연산 나트륨 (Sodium citrate)을 최적조건에서 생산된 아미노산 액비에 처리하여 장기간 보존에 따른 액비의 아미노산 함량의 변화를 조사하였다. 안식향산 나트륨과 구연산 나트륨은 아미노산 액비의 염분 농도를 고려하여 아미노산 액비의 0.01% 함량으로 처리하였다. 방부제가 처리된 아미노산 액비는 60일동안 20℃의 상온과 4℃의 냉장상태에서 보관되었으며, 보관기간동안의 아미노산 함량 변화를 2주 간격으로 조사하였다.

2) 제조된 아미노산 액비의 시용 효과

가) 작물의 유형별 생육 개선 효과 조사

제조된 아미노산 액비의 시용효과 중 작물의 유형별 생육 개선 효과를 조사하기 위하여 재배작물을 수도작물, 엽채류작물 및 연속수확작물로 나누었고 수도작물은 벼, 엽채류작물은 상추, 연속수확작물은 토마토를 선정하였다.

(1) 재배작물

(가) 수도작물

제조된 아미노산 액비의 작물별 시용효과를 확인하기 위하여 수도작물은 벼 (*Oryza sativa* L.)를 선정하였고 벼 품종은 새일미 (Saeilmi)를 사용하였다. 포트실험은 순천대학교에 위치한 유리온실에서 진행되었으며, 2022년 6월 16일에 이식하여 2022년 10월 22일까지 재배되었다. 벼는 1 5000a⁻¹의 Wager pot에서 재배하였으며, 균질화된 토양 2.5 kg 투입하였고 벼 재배를 위한 물관리는 Wager pot의 배수구를 막아 상시담수로 진행하였다. 벼 재배를 위한 토양은 전라남도 광양시 진상면에 위치한 벼 논에서 채취하였으며, 채취지점의 전경은 Fig. 8에서 보는 바와 같다. 재배 전 토양은 식양토 (Clay Loam)의 토성으로 조사되었으며, 벼 재배 전 토양의 화학적 특성은 Table 8에서 보는 바와 같다.



Fig. 8. 논토양 채취지점 전경 및 포트시험.

Table 8. 시험 전 논토양 화학적 특성

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM -- (g kg ⁻¹) --	T-N --	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	CEC
5.96	0.12	48.4	0.24	182.42	0.45	5.86	1.12	10.7

(나) 엽채류

제조된 아미노산 액비의 작물별 시용효과를 확인하기 위하여 엽채류 작물로는 상추 (*Lactuca sativa*)를 선정하였다. 시험에 사용된 상추의 품종은 청치마 상추를 사용하였고 Wager pot (1 5000a⁻¹)에 2 mm 체를 통해 균질화시킨 토양을 사용하여 재배하였다. 상추재배는 순천대학교 유리온실에서 진행되었고 유리온실의 온도조건은 25~30℃로 유지 시켜주었으며, Wager pot를 완전임의배치법으로 배치시켜 시험을 진행하였다. 재배에 사용된 토양은 전라남

도 순천시 서면에 위치한 순천대학교 부속농장의 전작재배지에서 채취하였으며, 채취지점의 전경은 Fig. 9에 나타내었다. 시험에 사용된 토양의 토성은 미사질 양토 (Silty Loam)였으며, 그 밖의 토양의 화학성은 Table 9에서 보는 바와 같다.

(다) 연속수확작물

제조된 아미노산 액비의 작물별 시용효과를 확인하기 위하여 연속수확 작물로는 토마토 (*Solanum Lycopersicum*)를 선정하였다. 토마토 재배는 순천대학교 유리온실에서 재배되었으며, 25~30°C 온도조건에서 재배되었다. 1 5000a⁻¹에 해당하는 pot를 사용하였고 토양은 상추재배에 사용된 토양을 사용하였다.



Fig. 9. 밭토양 채취지점 전경 및 포트시험.

Table 9. 밭토양 화학적 특성

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM -- (g kg ⁻¹)	T-N --	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	CEC
5.47	0.17	24.3	1.26	55.0	0.56	2.34	0.80	8.96

(2) 아미노산 액비 시용방법 확립

아미노산 액비 시용방법을 확립하기 위하여 아미노산 액비를 시용수준, 시용시기, 관주시비 및 엽면시비로 나누어 처리하여 재배시험을 진행하였다. 아미노산 액비의 시용수준은 500, 1000 및 2000 L 10a⁻¹으로 나누었고 시판되는 아미노산 액비와 동일하게 아미노산 액비 원액을 1000배 희석하여 처리하였으며, 아미노산 액비는 2주 간격으로 월 2회 시비하였다. 액비의 시용시기는 각 작물별 생육단계로 나누었으며 처리일수를 Table 10에 나타내었다. 액비의 시비방법은 관주시비와 엽면시비로 나누어 처리하였으며, Fig. 10에서 보는 바와 같이 시비하였다.

Table 10. 아미노산 액비 시용시기

주차	벼			상추			토마토		
	육묘기	분얼기	전생육	육묘기	5엽기	전생육	육묘기	개화기	전생육
2	✓		✓	✓		✓	✓		✓
4	✓		✓	✓		✓	✓		✓
8	✓		✓		✓	✓		✓	✓
10	✓		✓		✓	✓		✓	✓
12		✓	✓		✓	✓		✓	✓
14		✓	✓		(수확)			✓	✓
16		✓	✓					(수확)	
18		✓	✓						
20		✓	✓						
22		✓	✓						



Fig. 10. 아미노산 액비 관주시비 및 엽면시비.

(3) 아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 생육 특성 조사

아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 생육 특성은 벼의 경우에 식물체 초장, 건중량, 분얼수, 등숙률, 천립중 등을 조사하였으며, 상추는 엽장, 엽폭, 생중량, 건중량, 엽수 등을 조사하였다. 토마토는 식물체의 초장, 근장, 생중량, 건중량 수확량 및 열매의 당도 등을 측정하였다.

나) 아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 품질 특성 조사

(1) 작물의 유형별 아미노산 흡수 특성

작물의 유형별 아미노산 흡수 특성은 아미노산 액비의 시용수준, 시용시기 및 시용방법에 따라 재배된 작물의 부위별 아미노산 함량을 분석하여 흡수 특성을 조사하였다.

(2) 작물의 유형별 양분 흡수 특성

작물의 유형별 양분 흡수 특성은 아미노산 액비의 시용수준, 시용시기 및 시용방법에 따라 재배된 작물의 부위별 비료성분 (T-N, T-P, K₂O, CaO 및 MgO)을 분석하여 흡수 특성을 조사하였다. 비료성분은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법에서 제시된 시험방법을 통해서 분석하였다.

(3) 작물의 유형별 유해성분 흡수 특성

작물의 유형별 유해성분 흡수 특성은 아미노산 액비의 사용수준, 사용시기 및 사용방법에 따라 재배된 작물의 부위별 유해성분의 함량을 분석하여 흡수 특성을 조사하였다.

다) 아미노산 액비 사용에 따른 작물의 유형별 개선방안 검토

아미노산 액비 사용에 따른 작물의 유형별 개선방안은 아미노산 액비 사용에 따른 작물의 유형별 생육 특성 조사 및 품질특성 조사를 통해 아미노산 액비의 작물별 최적사용량 및 사용방법을 설정하고자 하였다.

3) 주성분 보증을 통한 아미노산 액비의 주비료 가능성 검토

가) 주성분을 보증하기 위한 혼합기술 개발

주성분을 보증하기 위한 혼합기술을 개발하기 위하여 주성분이 보증된 아미노산 액비를 생산하였다. 아미노산 액비 생산공정에 추가적으로 무기질 비료, 유기질 비료 및 천연물과 혼합하여 비료학적 특성을 조사하였다. 혼합기술 개발에 사용된 무기질 비료는 요소, 인산, 칼리비료를 사용하였고 유기질 비료 및 천연물은 각각 가축분뇨 및 해조류인 모자반을 혼합하여 아미노산 액비를 생산하였다. 혼합처리에 사용된 무기질 비료, 유기질 비료 및 천연물은 액비생산에 처리되는 랜더링된 가축사체의 무게의 절반에 해당하는 양을 처리하였다.

나) 보증된 아미노산 액비의 품질 특성 평가

보증된 아미노산 액비의 품질 특성은 혼합처리하여 생산된 랜더링 가축사체 아미노산 액비의 아미노산 함량과 비료학적 특성을 분석하여 나온 값을 가축분뇨발효액의 비료공정규격 (Table 7)과 혼합유기질의 비료공정규격 (Table 11)을 비교하여 아미노산 액비의 품질 특성을 평가하였다.

Table 11. 비료공정규격 중 부산물비료의 지정 (혼합유기질)

비료의 종류	규격의 함량	함유할 수 있는 유해성분의 최대량	그 밖의 규격	비고
혼합유기질	1.질소전량, 인산전량, 칼리전량 중 2종 이상의 합계량 7, 2.유기물: 60	비소 20 mg/kg 카드뮴 2 mg/kg 수은 1 mg/kg 납 50 mg/kg 크롬 90 mg/kg 구리 120 mg/kg 아연 400 mg/kg 니켈 20 mg/kg	염분(NaCl) 2%이하	질소, 인산, 칼리 각각의 성분함량 보증

나. 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템 개발

1) 랜더링 가축사체 biochar 제조장치의 제작 및 시운전

가) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치의 제작

(1) Biochar 제조장치 제작: 전문 기술 보유업체와 협업

(가) Biochar 제조 장치의 구성 및 현황

랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치는 Fig. 11에서 보는 것과 같다. Biochar 전용 제조장치의 상부에는 200-1,300℃ 범위로 조절할 수 있고 내부에 밀폐가 가능한 고정 챔버가 설치되어 있다. 내부 고정 챔버에는 원료 용기가 있어 원료의 주입과 회수가 용이하도록 되어 있으며, 용기의 바닥을 mesh 형태로 제조하여 오일이 추출될 수 있도록 제작되었다. 또한 내부 고정 챔버 내에 혐기성 환경을 조성할 수 있도록 질소가스를 주입할 수 있게 가스 주입관이 설치되어 있으며, 스팀 활성을 위한 스팀 분사관도 설치되어 있다. 장치의 내부 고정 챔버, 가스와 오일관 및 냉각수의 온도를 확인할 수 있도록 센서가 장착되어 있으며 이를 모니터링할 수 있는 컨트롤박스가 제조장치 전면에 부착되어 있다. 장치의 하단부 후면에는 냉각장치를 설치하여 기화한 가스 및 오일을 냉각할 수 있도록 하였으며, 냉각된 오일과 가스의 샘플링을 위한 샘플링관, 포집을 위한 포집챔버가 설치되어 있다.



상부 회화로



내부 고정 챔버



원료 용기



냉각 장치



샘플링관



하부 전경

Fig. 11. 1차 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템 설계 및 실제 전경.

초기 제작된 가축사체 biochar 제조장치는 Fig. 11에서 보는 바와 같이 관이 비교적 작게 제작되어 점성이 높은 오일에 의해 관 막힘 현상이 자주 발생하였으며, 오일과 가스의 추출이 원

활하게 이루어지지 않았고, 유지보수에 어려움이 있는 문제가 있었다. 이에 본 연구진은 기존 가축사체 biochar 제조장치의 문제점을 개선하여 연구에 사용하고자 (주)○○○과의 회의를 통해 문제의 원인을 파악하고 장치를 개선하였다.

(나) 산업화 규모의 biochar 제조장치 설계도면 제작

① Pilot 규모의 biochar 제조장치 설계

초기 biochar 제조장치의 운용 경험과 진행 중인 연구 결과에 기반하여 산업현장에서 사용될 pilot 규모의 가축사체 biochar 제조시스템의 설계도면을 제작하였다. (주)○○○과의 회의를 통해 설계도면을 제작하였으며, 제작된 설계도면은 현장 검토를 통해 적합 여부를 판단하였다. 본 연구에서 사용되고 있는 biochar 제조장치를 기반으로 제작한 회분식 제조시스템, 현장 검토를 통해 제작한 1단 및 2단 연속식 제조시스템 설계도면을 제작하였다.

② 현장 규모의 biochar 제조장치 제작

제작된 설계도면 중 현장에 적합할 것으로 판단된 1단 연속식 제조시스템을 (주)○○○에서 제작하였다.

③ 제작된 biochar 제조장치의 시운전

Pilot 규모의 biochar 제조시스템은 제작이 완성된 후 참여기업에 설치하였고, 시운전하였다.

나) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar의 오일 및 가스 배출 특성

(1) 최적 열분해조건 하에서 오일추출량 및 오일성분 분석

기존 결과를 종합적으로 검토하여 RACS-BC 특성에 적합한 열분해 온도를 500℃로 확립하였으나 실제 산업현장에는 적합하지 않은 것으로 확인되었다. 산업현장에서는 biochar 제조를 위한 열분해를 대규모로 진행하기 때문에 승온온도를 유지하기 위해 상당한 열에너지가 필요한데, biochar 제조온도가 소폭 상승하게 되면 에너지 비용 과다로 경제성을 악화시켜 제조온도를 낮추면서 수율의 감소가 최소화되는 열분해 온도를 재확립할 필요가 있었다. 일반적인 목질계 biochar는 열분해 온도와 유지시간에 따라 품질특성에 차이가 있지만 가축사체 biochar는 열분해 온도와 유지시간에 따른 특성 차이가 크지 않은 것을 본 연구진의 선행연구에서 확인되었다. 이에 본 연구에서는 biochar의 품질을 크게 저하하지 않는 범위 내에서 수율과 현장의 제조 비용을 고려하여 기존의 500℃에서 350℃로 조정하였다. 제조시스템 1단계 유지추출단계의 온도 설정은 오일 프레스(STB-508)를 이용하여 랜더링 가축사체 고형물 내에 잔류하는 유지가 추출되는 최적 조건을 확인하여 설정하였고, 2단계 온도 설정은 제조되는 가축사체 biochar의 수율 및 특성과 산업적 경제성을 고려하여 설정하였다. 재확립된 최적 제조시스템 하에서 (주)○○○에서 수거한 랜더링된 가축사체 고형물의 열분해가 진행되었다. 내부 원료 용기에 가축사체 고형물 3 kg을 주입한 후 챔버 내부의 혐기성 상태를 조성한 뒤 두 단계의 승온을 통해 오일의 추출이 이루어졌다. 승온 1단계에서는 랜더링 과정에서 잔류하던 유지를 추출하는 과정이고 승온 2단계는 350℃에서의 열분해 과정이다. 열분해 과정에서 발생하는 오일은 냉각 후 포집되었고 수율과 오일 특성 성분의 분석을 수행하였다. 오일의 각 성분 분석은 다음과 같다. 오일 내의 조지방 함량은 soxhlet 분석법에 따라 분석하였고, 지방산은 오일을 에스테르화(esterification) 후 GC-FID로 분석하였으며, 이외의 분석항목은 식품공전에 제시된 시험방법에 준하여 수행하였다.



Fig. 12. 연구에 사용된 오일 프레스의 구성.

Table 12. 오일 성분 분석에 사용된 GC/MS의 분석조건

Instrument	Operating parameter
GC	Agilent 7890B Gas Chromatograph
Inlet	250°C
Column	DB-5MS UI, 30 m × 250 μm, 0.25 μm
Carrier gas	He, 1.0 mL min ⁻¹
Oven temperature program	50°C (hold 4 min) ⇒ 4°C min ⁻¹ ⇒ 220°C (hold 2 min) ⇒ 20°C min ⁻¹ ⇒ 280°C (hold 15 min), Total 66.5 min
MSD transfer line	280°C
injection volume	2 μL, splitless
MS	Agilent 5975C Mass Selective Detector (MSD)
Acquisition mode	Scan (40 to 500 <i>m/z</i>), Library searching used NIST 2015 version
Source temperature	230°C
Quadrupole temperature	150°C
HS	Oven temp. 80°C
	Loop temp. 90°C
	Transperline temp 100°C
	Vial Equilibration Time 10 min

(2) 최적 열분해조건 하에서 반응시간에 따른 가스 발생 패턴분석

최적 열분해 조건으로 재설정 된 350°C에서 랜더링 가축사체 고형물로부터 biochar 제조 시 발생하는 가스의 성분과 발생패턴을 분석하였다. 가축사체 biochar 제조장치의 원료 용기에 랜더링 가축사체 고형물 3 kg을 주입한 후 350°C에서 열분해하였으며, 350°C에서 배출되는 가스를 포집하여 분석하였다. 가스는 포집장비를 이용하여 테트라백에 포집하였으며 이를 Gas

chromatography (7890B, Agilent, USA)를 이용하여 분석하였다. 검출기는 PDHID(Pulsed Discharge Helium Ionization Detector) 및 ECD(Electron capture detector)를 이용하였으며 검출기 온도는 각각 250°C 및 350°C로 설정하고, 캐리어 가스를 각각 He(60 mL min⁻¹), 5%CH₄ + 95%Ar 혼합기체(40 mL min⁻¹)로 하였다. 검출된 peak을 적분한 후 샘플의 적분값과 표준기체의 적분값을 비교하여 정확한 기체의 농도를 산정하였다.

Table 13. 가스분석에 사용된 Gas chromatography 조건

Division	Analytical conditions	
Detector	PDHID	ECD
Target ingredient	CO, CO ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆	N ₂ O
Packing material	Carboxen 1000	Hayesep Q
Materials	Stainless steel	Ultimetal
Column		
Length×OD×ID	4.6 m×1/8 in × 2.1 mm	1 m × 1/8 in × 2.0 mm
Manufacturer	Supelco	Agilent Technologies
Carrier gas	He	5% CH ₄ + 95% Ar
Flow rate	60 mL min ⁻¹	40 mL min ⁻¹
Oven temperature	80°C	80°C
Detector temperature	250°C	350°C
Loop	0.5 mL	2.0 mL

(3) 발생된 오일의 재활용 방안 구축

상기 (1) 항의 방법으로 랜더링 가축사체 고형물을 열분해할 때 발생하는 오일의 결과를 분석하여 오일의 재활용 방안을 구축하였다.

다) 가축사체 잔여물 전용 biochar제조 장치의 수정 및 미비점 보완

(1) 시운전 과정동안 장치의 설정 및 운영에 있어 미비점 보완

초기 가축사체 전용 biochar 제조장치의 문제점이 개선된 새로운 가축사체 전용 biochar 제조장치를 이용하여 biochar를 제조하였으며, 장비 작동 중에 발견된 미비점을 파악한 후 해결 방안을 모색하였으며, 수정이 필요한 사항은 (주)○○○과 연계하여 장비를 개선하였다.

(2) 가스 발생 및 오일 추출과정에서 추가적인 설비 부분 추가

Biochar 제조장치의 gas와 오일 포집챔버 상부에 pH, EC 및 DO 측정기기를 연결하여 실시간 변화를 측정할 수 있도록 설비를 추가하였으며, 이들의 측정치를 나타내는 판넬을 설치하였다. gas와 오일이 원활하게 배출될 수 있게 기존 냉각기의 교체하였으며, 관의 직경을 확장 해주었다.

2) 제조된 가축사체 biochar의 연속적 및 장기적 품질특성 평가

가) 제조된 biochar의 연속 및 장기적 이화학적 특성 조사

(1) 연속적: 연속식 biochar 제조시스템

기존 연구 결과를 바탕으로 제작된 가축사체 전용 biochar 1단 연속식 제조시스템을 제작한 후 산업현장에서 실제 가동하여, 기간에 따라 발생하는 가축사체 biochar의 이화학적 특성을 조사하여 생산제품의 균일성을 평가할 계획이다.

(2) 장기적: 격주 간격으로 biochar 제조

본 연구과제를 통해 새롭게 변경된 가축사체 전용 biochar 제조장치를 이용하여 가축사체 biochar를 제조하였다. 앞서 확립한 350°C 제조시스템에 따라 RACS-BC가 제조되었으며, 과제 종료 시까지 주기적으로 수행하였다. 제조된 RACS-BC는 이화학적 특성 분석을 진행하여 제조 기간에 따른 RACS-BC의 균일성을 조사하였다. RACS-BC의 화학적 특성 분석은 폐기물 및 토양 공정 시험 분석법에 의거하여 실시하였다. pH 및 EC는 pH meter (Orion research, USA)와 EC meter(COM-100, HM digital, USA)를 이용하여 측정하였으며, C, N, S 및 O 함량은 원소분석기(TruSpec Micro, LECO, USA)에 의해서 측정되었다. 또한, RACS-BC의 무기성분 및 중금속 함량은 습식분해법으로 분해한 뒤 ICP-OES(ICP-OES Duo, Thermo fisher, USA)를 이용하여 측정하였으며 이외의 분석항목은 앞서 언급된 시험 분석법을 따랐다.

나) 확립된 연구결과 적용 비료품질 및 친환경 농자재 기준 적합 여부

(1) 비료공정규격 친환경 농자재 기준

350°C 제조시스템에 의해 제조된 RACS-BC를 비료공정규격이나 친환경 농자재 기준 적합 여부를 확인하여 비료로서의 활용 가능 여부를 판단하였다.

3) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 비료학적 가치 평가

가) 제조된 잔여물 biochar의 양분흡수 특성

일반적으로 biochar의 농업적 기능은 토양물리성 및 토양화학적 개선 효과이며, 특히 biochar는 그들의 고유한 기능으로 인하여 토양 및 수계에 존재하는 양분을 효율적으로 흡수하는 소재로 알려져 있다. 이에 본 연구에서 또한 가축사체 잔여물 biochar가 고정 및 이동반응 내에서 양분을 얼마나 흡수할 수 있는지를 평가하였다. 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 양분흡수 평가는 batch 및 column 실험을 통하여 평가되었다. Batch 실험은 Fig. 13에서 보는 바와 같이 설계되었다. 삼각플라스크에 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 와 KNO_3 의 농도가 300 mg L^{-1} 인 혼합용액을 100 mL를 넣고 RACS-BC 0.5g을 투입한 후 12시간 동안 교반기에서 170 rpm으로 반응시켜주었다. 반응 후 1, 2, 4, 8 및 12시간인 지점에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도를 측정하여 RACS-BC에 의해 흡착되는 양을 계산하였다.

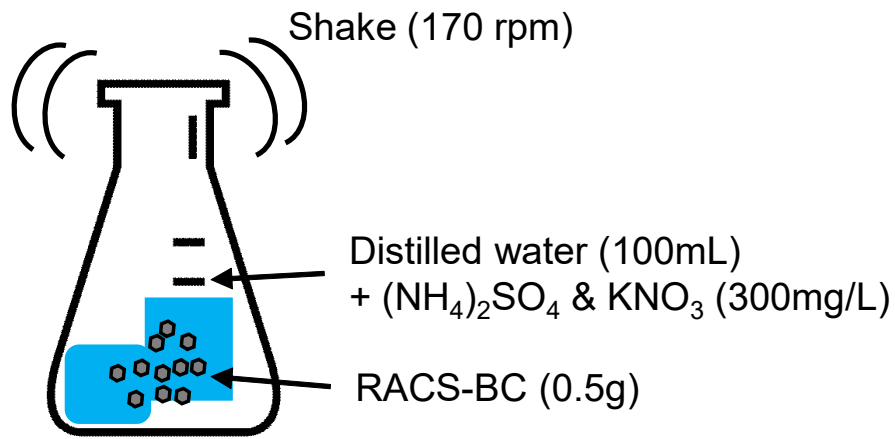


Fig. 13. Batch 실험조 설계 모식도.

Column 실험은 Fig. 14에서 보는 것과 같이 설계 및 제작되었다. 토양 500 g과 350°C에서 제조된 RACS-BC 15 g을 혼합한 후 칼럼에 채워 넣는다. 이때 토양 상층부의 약 10 cm에 해당하는 토양은 남겨두어 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 와 KNO_3 각 200 mg과 혼합한 후 상부에 채워 넣었다. 증류수를 20일 동안 매일 200 mL 주입하였으며, 시료는 1, 2, 4, 8, 10, 12, 14, 16, 20 및 30일 채취하여 Filter paper No.6와 Syringe filter를 이용하여 여과하였으며, 암모니아성 질소는 인도 페놀법, 질산성 질소는 부루신법을 이용하여 분석하였다.

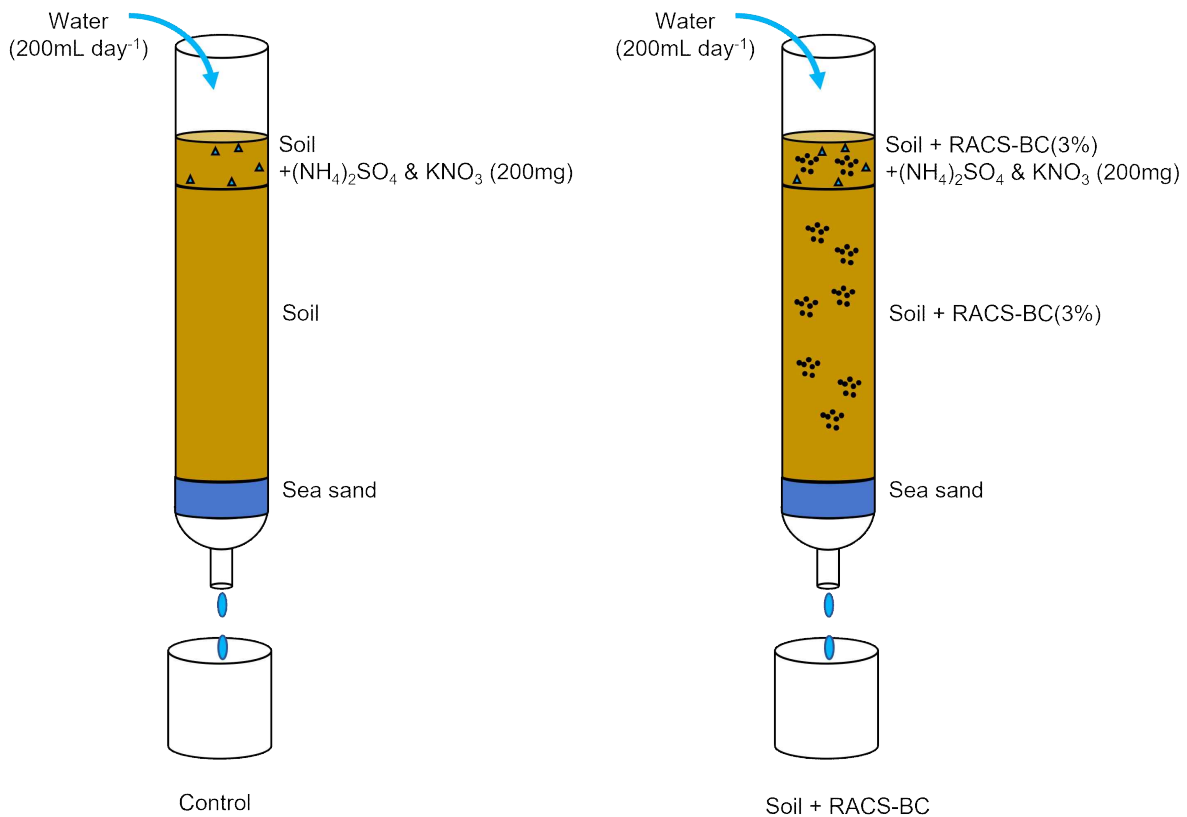


Fig. 14. Column 실험조 설계 모식도.

나) 제조된 biochar의 토양 물리성 및 화학성 개선효과

(1) Biochar와 토양을 일정 비율 혼합

가축사체 biochar의 처리에 따른 토양 물리 화학성의 변화를 조사하였다. 본 연구에 사용된 토양은 경상국립대학교 농업생명과학대학 부속 농장에서 위치한 시험포장에서 채취하여 사용하였다. 채취한 토양은 미생물상의 안정을 위해 10일간 25℃, 어두운 환경에서 배양하였다. 배양된 토양에 가축사체 biochar를 0과 3%의 중량비로 혼합한 후 30일 동안 배양하였다.

(2) Biochar 처리 토양의 이화학적 특성 조사

30일간 배양한 RACS-BC 혼합토양은 앞서 언급된 폐기물 및 토양 공정시험분석법에 준하여 분석을 수행하였다. 조사된 특성 변화를 통해 RACS-BC의 토양 화학성 및 물리성 개선 효과를 평가하였다.

다) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 안정성 평가

(1) 가축사체 잔여물 biochar 및 적용 토양의 미생물상 변화

미생물상 변화는 상기 가)항과 같은 방법으로 진행되었으나 배양 기간을 90일로 수정하였다. 1일 차와 90일 차의 토양을 DNA를 추출하여 Illumina miseq sequencing system(Illumina, USA)토양의 미생물상 변화를 조사하였다.

4) 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 장치의 호환성

가) 온도별 목재기반 biochar 제조

기존 목재기반 biochar 제조장치를 이용하여 목재펠릿을 400℃와 600℃에서 열분해하여 목재펠릿 biochar를 제조하고, 같은 방법으로 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 목재펠릿 biochar를 제조하였다.

나) 온도별 목재기반 biochar의 이화학적 특성조사

기존 목재기반 biochar 제조장치와 본 연구에서 제작된 가축사체 biochar 제조장치에서 제조된 목재펠릿 biochar의 이화학적 특성 분석은 앞서 언급된 분석법을 따랐다.

다) 목재기반 biochar 제조장치와 본 연구 개발된 장치의 품질특성 비교

상기 가)항에 의해 제조된 목재펠릿 biochar의 이화학적 특성을 비교하여 가축사체 전용 biochar 제조장치의 목재기반 바이오매스 열분해 시스템과의 호환성을 평가하였다.

라) 목재 및 가축사체 잔여물의 혼합비율에 따른 biochar 제조

(1) 혼합 biochar 제조

가축사체 biochar는 영양성분을 다량 함유하고 있으나 열분해 과정 중 무기성분의 응축과정으로 인하여 물리적 특성이 불량하다. 반면에 목재기반 biochar는 넓은 비표면적과 다공성 구조로 인하여 우수한 물리적 특성을 가지나 영양성분은 거의 함유되어 있지 않다. 이러한 특성에 기인하여 본 연구진은 가축사체 biochar의 물리적 특성을 개선하는 방안으로 가축사체 고형물과 목질계 바이오매스를 혼합한 후 열분해하여 양분학적 효과 증대 뿐만 아니라 물리적 특성이 우수한 biochar를 개발하고자 하였다. 본 연구에서 가축사체 고형물과 목재기반 바이오매스를 100:0(RACS-BC), 75:25(BC_{75:25}), 50:50(BC_{50:50}), 25:75(BC_{25:75}) 및 0:100(WB-BC)의 비율별로 혼합한 후 350℃로 설정된 biochar 제조시스템에서 biochar를 제조하였다. 혼합 biochar의 이화학적 특성을 분석하였고 토양에 처리 시 온실가스 배출 특성, 물리 화학성 개선 여부 및

미생물상의 변화를 조사하였다.

(2) 혼합 biochar의 이화학적 특성 조사

본 연구에서 혼합비율에 따른 혼합 biochar의 표면특성을 명확하게 관찰하기 위해 Scanning electron microscopy(SEM-EDS, Philips XL 30S FEG, Netherland), X-Ray Photoelectron Spectrometer(XPS, Thermo fisher, UK), Micropore physisorption analyzer(ASAP2020M, Micromeritics, USA), Thermal analyzer(Q600, TA, USA) 및 Fourier transform infrared spectroscopy(FT-IR, PerkinElmer, USA)기를 이용하여 무기성분 존재유무, 결정형 구조, 비표면적, 열적 안정성 및 관능기 변화를 관찰하였다. 그 이외의 모든 기본 분석 절차는 앞서 언급된 분석법과 동일하게 수행하였다.

(3) 제조된 혼합 biochar 적용 토양에서 온실가스 배출 특성

Biochar 적용에 따른 온실가스 배출 특성을 조사하기 위해 처리구를 무처리 토양, 가축사체 biochar 처리 토양, 혼합 biochar(BC75:25, BC50:50, BC25:75) 처리 토양 및 목재기반 biochar 처리 토양으로 구분하였다. 본 실험에 사용된 토양은 경상국립대학교 부속 농장에서 수거하였으며, 상온에서 건조한 후 2 mm 체로 입자를 균질화하였다. 제조된 biochar는 3%의 질량비로 토양 샘플과 균일하게 혼합하였고 내·외부 가스 유출 및 유입을 방지하기 위해 고무 격막이 있는 250mL 용기에 투입한 후 밀폐하여 28일간 배양하였다. 온실가스 측정을 위해 24시간 동안 밀폐한 후 상부의 고무 격막에 syringe를 이용하여 가스를 포집하였다. 가스 포집은 실험 시작 후 1, 2, 3, 5, 7, 14, 21 및 28일에 진행되었으며 가스포집 24시간 전에 용기를 밀폐하였다. 포집된 가스는 Gas chromatography (7890B, Agilent, USA)를 이용하여 분석하였으며 장비 가동 조건과 결과 산출은 앞서 언급된 방법을 따라 수행하였다.

5) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 활성화

본 연구에서는 가축사체의 잔여물 biochar의 적용범위를 확대하기 위하여 biochar 제조 장치 설계시 시료 내부로 스팀분사가 가능하도록 구축하였다. 이에 본 연구진은 biochar 제조 과정에서 스팀분사 시스템을 가동하여 biochar의 표면을 활성화하는 연구를 수행하였다. 다량의 유지를 포함한 원자재의 특성상 랜더링 후에도 일부 유지가 남아있게 되는데, 이를 열분해하게 되면 고온에서 유지가 입자를 뭉치게 하여 biochar의 공극 형성이 억제되어 경화되는 현상이 발생하게 된다. 가축사체 biochar를 토양개량제 및 수질 정화제로 활용하기 위해서는 물리성의 개선이 필요하다고 판단하였으며, 본 연구에서는 다양한 공극 활성화 방법을 적용하여 biochar 내 공극을 효율적으로 증대하고자 하였다. 가축사체 biochar의 공극 활성화는 물리적 방법인 스팀 활성화와 화학적 방법인 약품 활성화로 진행하였다.

가) 제조된 biochar의 스팀을 이용한 물리적 활성화

스팀 활성화는 두 가지 방법으로 진행되었다. 첫 번째 활성화 방법은 가축사체 biochar 제조시 스팀의 열분해 단계가 종료되는 시점에 연속하여 스팀을 30분간 분사하는 연속식 스팀 활성화 방법이며, 두 번째는 제조된 biochar를 회수하여 2 mm 이하의 입자로 분쇄한 다음 biochar 제조장치에 투입하여 350℃로 승온한 후 스팀을 30분간 분사하여 활성화하는 비연속식 분쇄 활성화 방법으로 진행되었다.

나) 제조된 biochar의 화학적 활성화

350℃에서 제조된 가축사체 biochar를 회수하고 입자크기를 1~2 mm로 조절하였다. 화학적 활성화제는 가축사체 biochar에 수용액 상태의 NaOH, KOH, H₂SO₄ 및 H₃PO₄를 침적 비율 100 wt%로 반응시킨 후 건조하였다. 건조 이후 350℃의 온도로 1시간 동안 열에 의한 활성화 과정을 진행하였다. 활성화 과정이 끝난 후 증류수로 10회 세척하여 표면에 침적된 약품을 씻어낸 뒤 biochar의 이화학적 특성 변화를 조사하였다. 활성화 여부와 표면 변화를 확인하기 위해 SEM(Apreo S, Thermo fisher, USA)을 이용하였으며, 표면의 관능기 변화를 관찰하고자 Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR, PerkinElmer, USA)로 분석을 진행하였다. 비표면적 분석은 Micropore physisorption analyzer (ASAP2020M, Micromeritics, USA)를 이용하였으며, 7분석 시료를 100℃에서 24시간 동안 전처리과정을 거쳐 시료에 붙은 불순물을 제거한 뒤, 200℃에서 6시간동안 BET 측정 및 77K에서 질소가스의 등온흡탈착을 분석하였다. 활성화된 biochar의 무기성분은 시료를 습식분해법으로 분해한 후 ICP-OES(PRO XP ICP-OES, Thermo fisher, USA)를 통해 측정하였다.

3. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링을 위한 친환경 시스템의 실용화

가. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 효율성 평가

1) 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 현장 설치 및 지도

가) 랜더링 전문 업체에 scale-up된 아미노산 액비 제조시스템 설치

실험실 규모에서 아미노산 액비 제조장치의 운전 조건을 도출하고, 그 결과를 토대로 300 L 용량의 아미노산 액비 제조시스템을 참여기업인 엑시엄우드(주) 공장에 설치하였다. 현장설치에 맞춰 실험실 규모에서 설정한 발효조 주변의 보호틀 및 이동을 위한 바퀴, 운반손잡이를 제거하였으며, 300 L 용량의 발효조를 지지할 수 있는 다리를 두어 지면에 고정하도록 하였다.

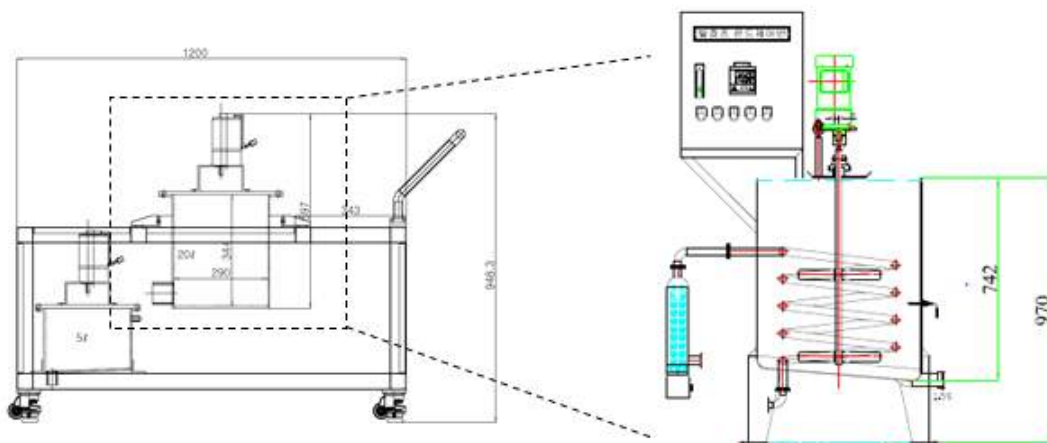


Fig. 15. Scale-up된 아미노산 액비 제조시스템 설계도면.

나) Scale-up된 아미노산 액비 제조시스템의 시운전

충북 진천에 소재한 엑시엄우드(주)에서 형제산업으로부터 랜더링 가축사체 잔여물을 공급받고, 노보자임 코리아로부터 효소(Alcalase)를 구매하고 설치된 아미노산 액비 제조시스템에 투입하여 시운전을 실시하였다. 순천대학교 연구진이 엑시엄우드(주) 연구진에게 운전 원리와 요령을 지도하였다.

2) Scale-up된 아미노산 액비 제조 시스템에서 제공된 액비의 품질 특성

(가) 현장에서 제공된 아미노산 액비의 품질 분석

Scale-up된 아미노산 액비 제조 시스템에서 생산된 아미노산 액비의 경우 발생된 랜더링 잔류물의 특성의 변화가 크게 없었으며, 상시 생산된 아미노산 액비의 품질을 분석하였다. 생산된 액비는 순천대학교 친환경농업센터를 통해 분석 및 인증을 진행하였으며, 분석항목으로는 잔류농약 463종, 비료 주성분 10종, 유해성 성분 8종, 병원성 미생물 및 항생물질 등을 분석하였다.

The image shows three forms from the analysis process. The first form is a '잔류농약 검사 신청서 [농업자제]' (Residual Pesticide Test Application Form [Farmer]). The second is a '유기농업자재 시험검사 신청서(이화학)' (Organic Fertilizer Test Application Form [Chemistry]). The third is a 'KNU [농자재] 시험·분석 의뢰서' (KNU [Fertilizer] Test/Analysis Request Form). Each form contains contact information, test details, and a table for test results.

Fig. 16. 아미노산 액비 시험분석 의뢰서.

(나) 현장에서 제공된 아미노산 액비의 유작물 비해 시험

현장에서 제공된 아미노산 액비의 비해 시험은 순천대학교 친환경 농업센터 분석기관을 통해 유작물 비해시험을 실시하였다. 비해시험 작물품종은 배추, 고추, 대파, 시금치 및 양배추 5종이 선정되었으며, 처리내용으로 아미노산 액비 무처리, 기준량인 1000배 희석, 2배량구인 500배 희석액으로 나누어 엽면시비 하였다. 처리구 당 5포트 (1포트 1주)씩 3반복으로 완전임의배치법에 의해 실시되었으며, 온도 및 습도가 각각 16 ~ 22°C, 38 ~ 66% 조건의 유리온실에서 비해 시험이 진행되었다. 비료피해 조사는 시험물질을 처리한 날로부터 7일간 총 3회에 걸쳐 외관상 피해 유무를 달관조사하였으며, 비료피해의 판정기준은 Table 14와 같다.

Table 14. 비료피해 판정기준

정도	판정기준
0	육안으로 비료피해(肥害)가 인정되지 않음
1	아주 가벼운 비료피해(肥害)로서 작은 약반이 약간 인정됨
2	처리된 잎의 소부분에서 비료피해(肥害)가 인정됨
3	처리된 잎의 50퍼센트 정도 비료피해(肥害)가 인정됨
4	상당한 피해를 받고 있으나 아직 건전한 부분이 남아 있음

3) 현장에서 제조된 아미노산 액비의 작물재배 시험

가) 아미노산 액비 시용이 다른 작물의 유형별 생육 특성 평가

현장에서 제조된 아미노산 액비의 작물 재배시험의 대상 작물은 벼, 상추, 토마토를 선정하였으며, 벼의 경우에 간장 (Culm length), 수장 (Panicle length), 총립수, 친립중 및 등숙률을 통해 생육특성을 평가하였다. 상추의 생육 특성은 액비처리에 따른 상추의 지상부 및 지하부의 생중량, 엽장, 엽폭, 엽색도를 조사하였으며, 토마토는 식물체 길이 및 열매의 생중량 및 당도 등을 조사하여 생육특성을 평가하였다.

나) 아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 품질 특성 평가

아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 품질 특성 평가는 아미노산 액비 처리하여 작물을 재배 및 수확 후 작물의 비료성분 (T-N, T-P, K₂O) 을 조사하였으며, 비료 성분 분석은 농촌진흥청에서 제시한 토양 및 식물체 분석 시험방법을 통해 분석하였다.

다) 아미노산 액비 시용에 따른 토양질 개선 효과 구명

본 연구에서 개발된 아미노산 액비의 토양질 개선 효과는 작물재배 후 토양의 물리적 특성, 화학적 특성 및 유해성분 변화를 통해 토양질 개선 효과를 검토하였다.

라) 제조된 아미노산 액비의 경제성 평가

아미노산 액비 생산의 주재료는 랜더링 가축사체 잔여물과 효소이며, 본 과제에서 제작한 300 L 용량의 액비 제조기를 사용하여 제조할 때의 경제성을 분석하였다.

마) 작물의 유형별 아미노산 비료 시용 매뉴얼 개발

비효 시험에 사용한 작물을 대상으로 아미노산 비료 시용량과 방법을 정리하였다.

바) 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 친환경 유기 농자재 인증 획득

본 연구를 통해 제조된 아미노산 용액을 작물생육용 유기농업자재로 공시를 받아 제품으로 판매할 수 있도록 하였다.

나. 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar의 제조시스템 효율성 평가

1) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar제조 시스템의 현장 설치 및 지도

가) 랜더링 전문업체에 가축사체 잔여물의 전용 biochar제조 시스템의 설치

기존에 설계하였던 가축사체 biochar 1단 연속 제조시스템의 문제점을 개선하여 현장에 설치할 가축사체 biochar 제조시스템을 재설계하였다. 현장 설치 장소에 맞춰 전장, 전폭 및 전고를 수정하였으며 경제성을 위해 열매체를 교체하였다. 기존 설계에서는 랜더링 과정과 열분해 과정이 순차적으로 진행되도록 가열 구간을 두 구간으로 구분하였으나, 대규모 부지의 필요, 낮은 효율성 및 단열 등의 문제로 가열 구간을 단일구간으로 변경하였다. 또한 대기정화장치와 시료 투입부를 부분적으로 수정하였으며, 개선된 설계 도면에 따라 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템을 제작하였다. 이후 제작된 현장형 제조시스템은 현장에 설치되었으며, 장비 관리와 작동에 대한 지도를 진행하였다.

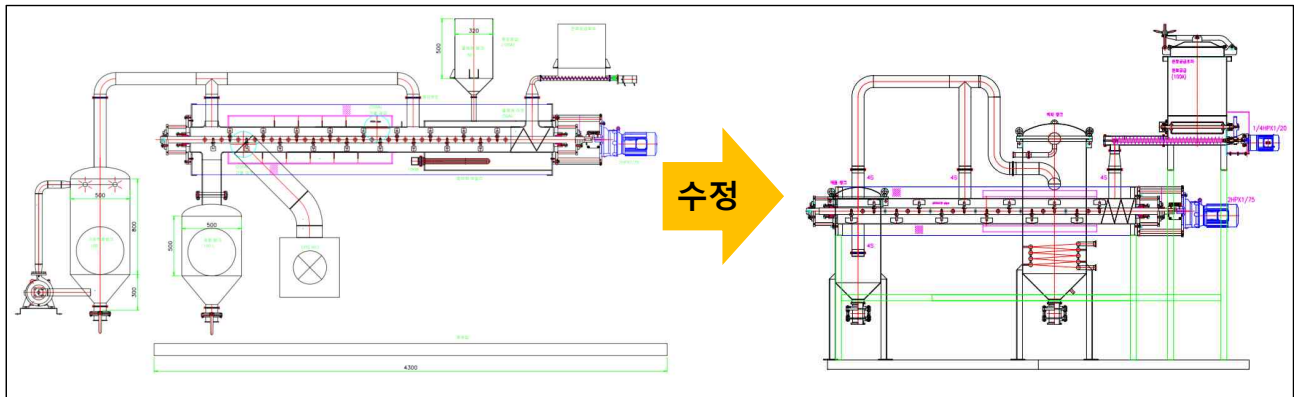


Fig. 17. 현장형 가축사체 biochar 제조시스템 설계도면.

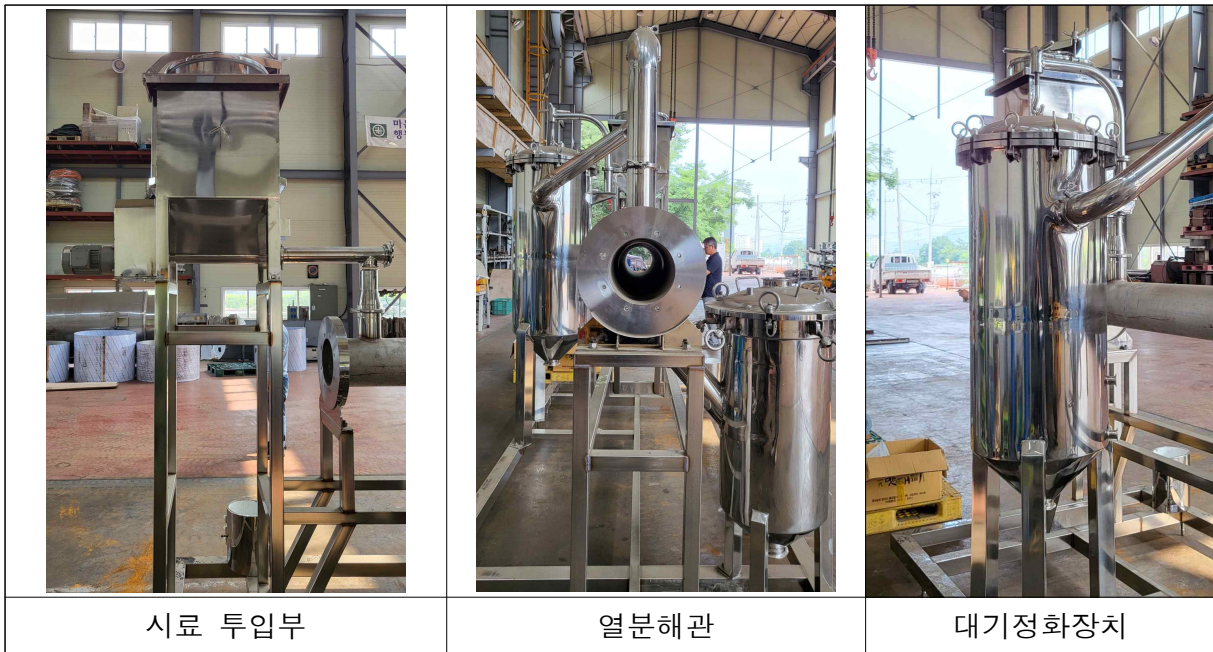
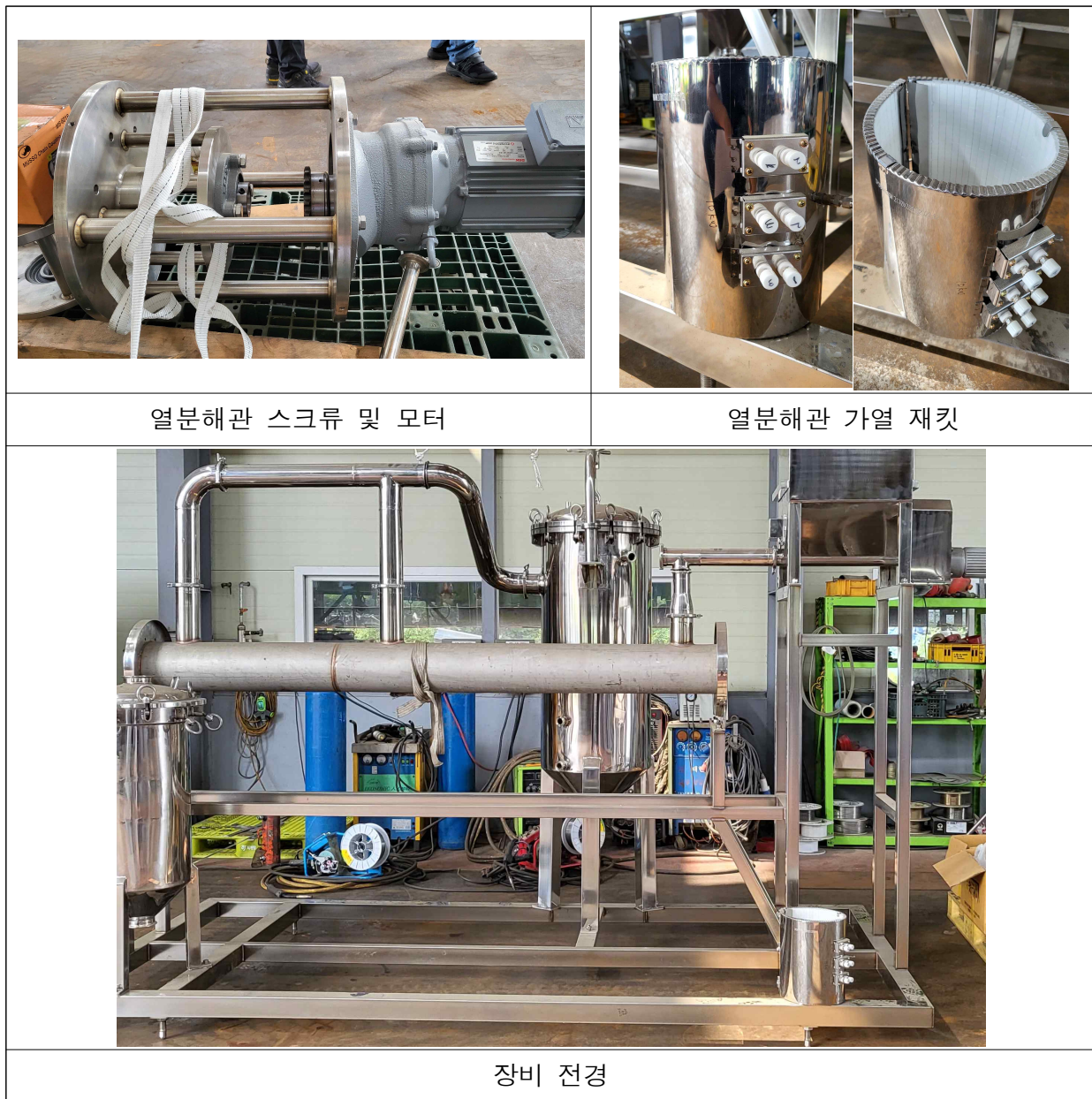


Fig. 18. 현장형 가축사체 biochar 제조시스템 제작 과정(1/2).



열분해관 스크류 및 모터

열분해관 가열 재킷

장비 전경

Fig. 19. 현장형 가속사체 biochar 제조시스템 제작 과정(2/2).

나) 현장형 가속사체 잔여물의 전용 biochar제조 시스템의 시운전

보완된 설계 도면에 따라 제작된 현장형 가속사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템을 가속사체 잔여물로 가동하기 전에 톱밥을 사용하여 시운전을 실시하였다. 시운전에 사용된 톱밥의 특성은 Table 15~16과 같으며, 열분해관을 350℃로 안정화한 상태에서 진행하였다.

Table 15. 시운전에 사용된 톱밥의 이화학적 특성

Sample	pH	EC	C	H	N	S	*W.C	*O.M
	(1:5)	(dS m ⁻¹)						
Sawdust	8.1	0.5	46.60	4.55	0.41	0.5	9.8	98.5

*W.C: water contents, O.M: organic matter

Table 16. 톱밥의 중금속 함량

Sample	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
	-----(mg kg^{-1})-----							
Sawdust	0.21	0.13	N.D	N.D	0.52	ND	ND	N.D

시운전 과정은 먼저 제조시스템의 가열부 내부를 350℃로 가열하여 안정화한 후 시료 투입부를 통해 건조된 톱밥을 투입하였고, 스크류를 통해 가열부 내부를 통과한 시료를 토출구에서 채취하였다. 채취한 시료와 시운전에 사용된 톱밥은 비료공정규격에 의거하여 분석을 진행하였다. pH와 EC는 각각 pH meter (Orion research, USA)와 EC meter(COM-100, HM Digital, USA)로 측정하였으며, C,N,O 및 S 함량은 원소분석기(Vario MARCRO cube, Elementar, Germany)로 분석하였다. 무기성분은 시료를 습식 분해한 후 ICP-OES를 이용하여 측정하였다.



Fig. 20. 가축사체 biochar 제조시스템 시운전.

2) 현장 가축사체 잔여물의 전용 biochar제조 시스템에서 제조된 biochar의 품질특성

가) 현장에서 제조된 biochar의 품질분석 (비료 공인 성적서 취득)

시운전을 마친 현장형 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템을 이용하여 가축사체와 목질계 혼합 biochar를 제조하였고, 생산된 혼합 biochar 시료는 품질분석을 진행하였다. 혼합 biochar는 제조시스템의 가동이 안정화되어 상시 biochar 생산이 가능할 때 시료를 채취하였으며, 추가로 특이적 시료가 생산되었을 때, 장비 작동 오류 및 조건 변경 등의 사유가 발생하였을 때 시료를 별도로 채취하여 분석을 진행하는 것으로 계획하였다. 혼합 biochar의 품질분석은 「비료 공정규격 설정」에 의거하여 분석을 진행하였으며, 비료공정 규격은 2023년 9월에 고시된 일부 개정(안)의 농림부산물 바이오차 기준을 이용하여 비교 분석하였다. 비료 공정규격에는 랜더링 가축사체 부산물을 바이오차 원료로 포함하지 않고 있으나, 기타 바이오차 기준 중 엄격한 기준을 적용한 ‘농림부산물 바이오차’ 기준을 적용하여 혼합 biochar의 품질분석을 진행하였다.

Table 17. 비료공정규격 고시 일부 개정(안) biochar 분석항목 및 규격

분석항목(단위)		성분의 최대·최소량
함유하여야 할 주성분의 최소량	탄소전량(%)	40 이상
유해 성분	비소(mg kg ⁻¹)	45 이하
	카드뮴(mg kg ⁻¹)	5 이하
	수은(mg kg ⁻¹)	2 이하
	납(mg kg ⁻¹)	130 이하
	크롬(mg kg ⁻¹)	200 이하
	구리(mg kg ⁻¹)	360 이하
	아연(mg kg ⁻¹)	900 이하
	니켈(mg kg ⁻¹)	45 이하
그 밖의규격	염산불용해물 (%)	25 이하
	수분함량(%)	30 이하
	H/C 몰비	0.7 미만
	O/C 몰비	0.4 미만

나) 현장에서 제조된 biochar의 유작물 비해 시험 (공인성적서 취득)

현장 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템을 이용하여 가축사체 잔여물과 톱밥이 1:1로 혼합된 시료를 열분해하여 제조된 혼합 biochar의 품질분석을 수행한 후 균일한 특성이 나타났을 때 유작물 비해 시험을 진행하였다. 시험 작물은 고추(큰열), 배추(불암3호), 상추(그린줄기), 무(서동) 및 콩(청진주)으로 총 5가지의 작물을 대상으로 하였으며, 혼합 biochar의 처리내용은 무처리(무처리), biochar 기준 처리량인 200 kg 10a⁻¹(기준량), 기준 처리량의 배량인 400 kg 10a⁻¹(2배량)으로 총 세가지 처리구로 시험이 진행되었다. 각 처리구에 biochar를 정식 당일 토양혼화처리하였고, 정식 후 7, 14 및 21일 후 외관상 나타나는 비해유무를 달관조사를 통하여 확인하였으며, 수확 후 처리구별 작물생육특성 분석을 진행하였다.

3) 현장에서 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 작물재배시험

(가) 일반노지에서 가축사체 biochar와 혼합 biochar 시용에 따른 작물재배시험

(1) 작물재배 개요

현장 biochar 제조시스템을 이용하여 제조된 가축사체 잔여물 biochar와 가축사체 잔여물 및 목질계 혼합 biochar(혼합비 1:1)의 작물재배 효과를 확인하기 위해 일반 노지에서 작물재배시험을 진행하였다. 시험 위치는 경상국립대학교 부속 농장에서(35°10'90"N 128°12'02"E)수행되었으며 본 시험에 사용된 공시토양은 Table 18에서 보는 바와 같다. 작물로 노랑쌈(*Brassica rapa* subsp. *pekinensis* (Lour.) Hanelt) 품종의 배추로 선정하였으며, 모든 처리구는 난괴법에 의해 배치하였고 처리구당 3반복 진행하였으며, 처리구별 처리내용은 Table 19와 같다. 처리구에 따라 목질계 biochar는 200kg 10a⁻¹를 처리하였고, 가축사체 biochar(RACS-BC)와 혼합 biochar(RWM-BC)는 반배량, 기준량 및 두배량 처리구에 각각 100 kg 10a⁻¹, 200 kg 10a⁻¹ 및 400 kg 10a⁻¹를 처리하였다. NPK가 포함된 처리구에는 질소, 인산 및 칼리를 각각 32.0 kg 10a⁻¹, 7.8 kg 10a⁻¹ 및 19.8 kg 10a⁻¹를 처리하였고 이는 검정시비량을 기준으로 하였다. 모든 처리구에는 공통적으로 석회와 붕사가 각각 100 kg 10a⁻¹와 1.5 kg 10a⁻¹가 처리되었으며 이 또한 검정시비량을 기준으로 하였다.

Table 18. 일반노지 작물재배시험에 사용된 공시토양 특성

pH	EC	OM	T-N	Avail. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na
1:5	dS m ⁻¹	----g kg ⁻¹ ----		mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	
5.36	0.43	1.7	0.06	107.5	0.02	4.37	1.97	0.06

Table 19. 작물재배시험 처리내용

No.	처리내용	약어
1	무처리	Control
2	NPK	NPK
3	목질계 biochar	WB-BC
4	목질계 biochar + NPK	WB-BC+NPK
5	가축사체 biochar 반배량	RACS-BC100
6	가축사체 biochar 기준량	RACS-BC200
7	가축사체 biochar 두배량	RACS-BC400
8	가축사체 biochar 반배량 + NPK	RACS-BC100+NPK
9	가축사체 biochar 기준량 + NPK	RACS-BC200+NPK
10	가축사체 biochar 두배량 + NPK	RACS-BC400+NPK
11	혼합 biochar 반배량	RWM-BC100
12	혼합 biochar 기준량	RWM-BC200
13	혼합 biochar 두배량	RWM-BC400
14	혼합 biochar 반배량 + NPK	RWM-BC100+NPK
15	혼합 biochar 기준량 + NPK	RWM-BC200+NPK
16	혼합 biochar 두배량 + NPK	RWM-BC400+NPK

(2) 조사항목

재배시험에서 재배된 작물의 생육 특성을 확인하기 위해 생체중량, 잎수, 초장, 근장을 포함한 수량 조사와 무기성분 및 중금속함량을 조사하였다. 재배작물의 무기성분과 중금속 함량은 습식분해법에 의해 분해한 뒤 ICP-OES(CP-OES Duo, Thermo fisher, USA)를 이용하여 측정하였다. Biochar의 처리에 의한 토양의 특성 변화를 조사하기 위해 초기와 재배 직후의 토양을 채취하여 특성을 조사하였다. 채취한 토양은 풍건 및 체가름 과정을 거친 후 「토양오염공정시험기준」에 준하여 분석이 진행되었다. 가축사체 biochar와 혼합 biochar를 토양에 처리하였을 때 온실가스 배출 특성에 미치는 영향을 확인하기 위해 CO₂, N₂O 및 CH₄ 배출량을 조사하였다. 밀폐가 가능하며 상부에 가스를 채취할 수 있도록 고무마개가 삽입되어있는 챔버를 토양에 설치한 후 24시간이 지난 시점에 고무마개에 주사기를 찢어넣어 온실가스를 포집하였다. 포집된 온실가스는 Gas chromatography(7890A, Agilent, USA)를 이용하여 CO₂, N₂O 및 CH₄를 측정하였다.

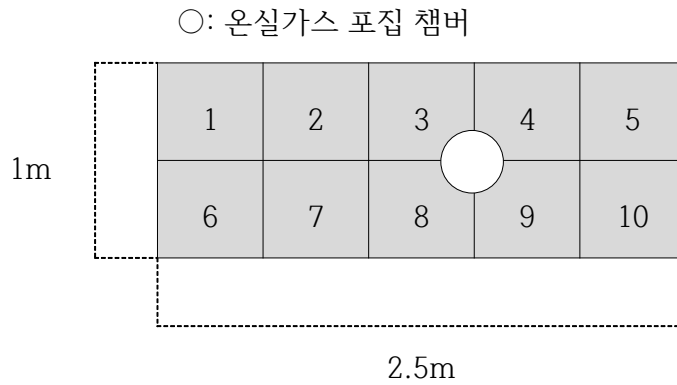


Fig. 21. 온실가스 포집 챔버 설치 위치.

작물재배시험 직후의 토양 내 미생물상을 조사하여 각 처리구가 토양 미생물 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 토양에서 Soil DNA isolation kit(MP BIO,USA)로 DNA를 추출한 후 NGS 분석을 Illumina MiSeq Sequencing system을 이용하여 수행하였다. Bacteria의 프라이머는 341F/805R을 사용하여 Illumina MiSeq Sequencing system(Illumina, USA)을 사용하였다.



Fig. 22. 작물재배시험 수확 전·후 전경.

나) 영양결핍 토양에서 혼합 biochar 시용에 따른 작물재배시험

가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar 시용량에 따른 작물의 생육 및 토양특성 변화는 경남 양산시에 소재한 동아대학교 부속농장 (35°30'72"N 129°07'04"E)에서 수행되었다. 본 시험은 시설하우스에서 수행되었으며, 작물은 배추를 선정하였으며, 시험포장 토양의 화학적 특성은 Table 20에서 보는 것과 같다. 이 토양의 경우 기존에 어떠한 작물로 재배되지 않았던 미개간지를 개간하여 사용하였으며, 작물 생육에 필요한 양분이 결핍되어 있는 대표적인 토양이다. 본 실험에서 처리구는 무처리, NPK, RWM-BC (가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar), RWM-BC+NPK 혼용 처리구로 구분하였으며, NPK의 시비량은 작물별 시비처방 기준에 의거 산정되었으며, RWM-BC의 시용량은 100, 200 및 400 kg 10a⁻¹를 기준으로 포장에 처리하였다. 모든 처리구의 배치는 완전임의배치법으로 3반복으로 설정되었다.

Table 20. 실험에 사용된 공시토양의 특성

pH	EC	OM	T-N	P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn
1:5	dS m ⁻¹	--g kg ⁻¹ --	mgkg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	-mg kg ⁻¹ -			
5.10	0.04	1.21	0.18	24.2	0.78	1.54	0.46	0.04	22154	915



4) 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치 및 생산된 biochar의 품질인증

가) 가축사체 잔여물 biochar의 지식재산권, 유기농자재 인증 및 논문게재를 통한 품질인증
 3년간 본 연구에서 도출된 결과에 기반하여 가축사체 및 목질계 바이오매스를 혼합한 biochar의 제조방법에 대한 특허를 출원 및 등록하였다. 또한 가축사체 농경지 시용에 따른 작물의 생육특성과 관련된 논문을 국내 저명학술지에 투고하였다. 가축사체 잔여물 biochar의 유기농자재 확보를 위한 biochar의 특성에 관한 공인성적서와 작물비해시험서를 확보하였으며, 농산물품질관리원을 통하여 생산된 biochar의 유기 농자재인증을 취득하고자 하였다.

나) 가축사체 잔여물 biochar의 품질검사 체계확립

가축사체 잔여물 biochar의 품질검사 체계확립은 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 비료공정규격 적합기준을 만족하기 위한 방안으로 품질검사를 위한 조직의 운영과 공정단계별로 구분하여 설정하였다.

3장 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1절 연구수행결과

1. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링 시스템 기반기술 확립

가. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립

1) 랜더링 가축사체 잔여물의 기초 성상 평가

가) 삼성분

랜더링 가축사체 잔여물의 삼성분은 수분함량, 유기물 및 무기물을 조사하였으며, 그 결과는 Table 21에서 보는 바와 같다.

랜더링 가축사체 잔여물의 수분함량은 2020년 및 2021년에 공급받은 랜더링 가축사체 잔여물에서 각각 3.54% 및 2.47%로 조사되었다. 랜더링 가축사체 잔여물의 수분함량은 다소 낮았으며, 이는 고온, 고압으로 열처리하는 랜더링 공법과정과 유지 분리과정으로 인하여 수분이 최대한 건조 및 제거가 되었을 것으로 판단된다.

유기물 및 무기물은 2020년의 랜더링 가축사체 잔여물의 경우, 각각 72.3% 및 27.7%였으며, 2021년 랜더링 가축사체 잔여물은 각각 80.3% 및 19.7%로 조사되었다.

Table 21. 랜더링 가축사체 잔여물의 삼성분

	수분함량	유기물	무기물
	----- (%) -----		
2020년	3.54	72.3	27.7
2021년	2.47	80.3	19.7

나) 단백질

랜더링 가축사체 잔여물의 단백질 함량은 조단백질 함량을 조사하였다. 2020년과 2021년도 랜더링 가축사체 잔여물의 조단백질 함량은 각각 40.8%, 46.3%로 2021년에 공급받은 랜더링 가축사체 잔여물의 조단백질 함량이 6.3% 더 높게 조사되었다 (Fig. 23).

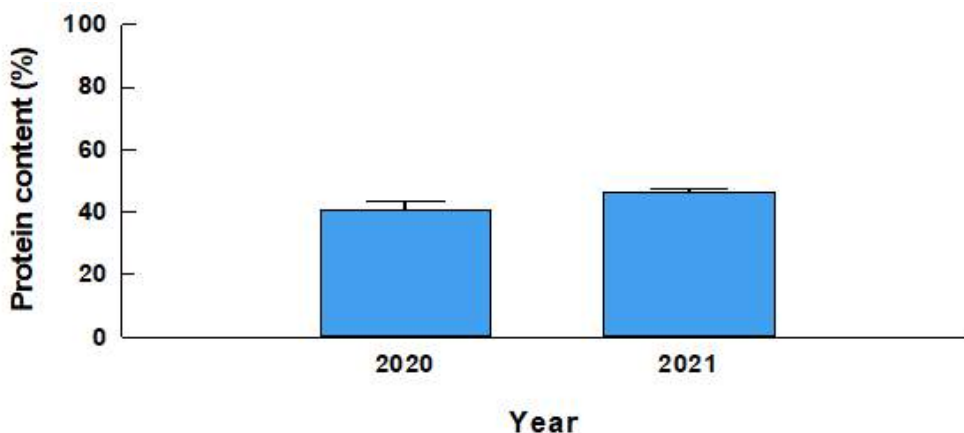


Fig. 23. 랜더링 가축사체 잔여물 조단백질 함량

다) 지질 및 염분

랜더링 가축사체 잔여물의 지질 및 염분을 조사하였으며, 그 결과는 Table 22에서 보는 바와 같다. 지질은 랜더링 가축사체 잔여물의 조지방 함량으로 조사하였으며, 2020년과 2021년 랜더링 가축사체 잔여물의 조지방 함량은 각각 28.7% 및 25.8%로 큰 차이가 없었다. 랜더링 가축사체 잔여물의 염분 함량은 각각 0.89% 및 0.75%로 조사되었으며, 조지방과 유사하게 2020년도 시료의 함량이 높았으나 다소 큰 차이를 보이지는 않았다.

Table 22. 랜더링 가축사체 잔여물의 지질 및 염분

	조지방	염분
	----- (%) -----	
2020년	28.7	0.89
2021년	25.8	0.75

라) 원소분석 및 중금속

Table 23~25는 랜더링한 연도에 따른 랜더링 가축사체 잔여물의 구성성분 (비료성분, 미량원소 및 중금속)을 조사한 결과이다.

랜더링 가축사체 잔여물의 단백질 구성원소와 중금속의 함량을 조사한 결과는 Table 23에서 보는 바와 같다. 2021년 발생한 랜더링 가축사체 잔여물의 경우에 2020년에 발생한 랜더링 가축사체 잔여물보다 탄소와 수소 함유량이 53.9% 및 7.50%로 각각 8.70% 및 1.13% 증가하였으며, 산소, 질소 및 황 함유량은 각각 14.7%, 8.52% 및 0.66%로 작년에 비해 1.7%, 1.48% 및 0.75% 감소하였다. 중금속을 조사한 결과 비소와 카드뮴은 모두 검출되지 않았으며, 크롬은 2021년 및 2020년에 각각 2.09 및 1.86 mg kg⁻¹으로 큰 차이를 보이지 않았다. 랜더링 가축사체 잔여물의 단백질 구성원소 및 중금속은 두 연도를 비교하였을 때, 탄소 함량을 제외하고 모든 함량의 차이가 2% 미만으로 조사되었다.

랜더링 가축사체 잔여물의 비료 성분을 조사한 결과 pH는 5.64~5.67 범위로 조사되었으며, EC는 2021년과 2020년에 각각 19.2 및 13.8 dS m⁻¹으로 조사되었다. 비료 주성분인 T-N, T-P 및 K₂O 평균값은 각각 6.97, 2.60 및 0.66%였으며, 양이온 CaO, MgO 및 Na₂O는 각각 3.11, 0.14 및 0.50%로 조사되었다 (Table 24).

단백질 구성성분, 중금속 및 비료 성분 외 랜더링 가축사체 잔여물의 미량원소를 조사하였으며, 그 결과는 Table 25에서 보는 바와 같다. 미량원소를 조사한 결과, 2020년과 2021년의 랜더링 가축사체 잔여물 모두 붕소와 몰리브덴은 검출되지 않았으며, 구리의 경우에 2020년에 검출되지 않았으나 2021년에 17.0 mg kg⁻¹으로 조사되었다. 철, 망간, 니켈 및 아연은 랜더링 가축사체 발생연도에 상관없이 각각 742, 19.0, 0.57 및 89.6 mg kg⁻¹으로 조사되었다.

2020년과 2021년 랜더링 가축사체 잔여물은 약간의 구성성분의 함량 차이를 보이며, 이는 당해연도의 가축사체 발생과 랜더링 처리에 이용되는 축종의 변화가 있었다고 판단된다. 하지만 본 연구에서 랜더링 가축사체 잔여물을 조사한 결과 축종의 비율이 극단적으로 변화하지 않는 경우에 랜더링 가축사체 잔여물은 현재 조사된 잔여물의 특성을 크게 벗어나지 않을 것으로 예상된다.

Table 23. 랜더링 가축사체 잔여물의 구성원소 및 중금속 함량

	C	H	O	N	S	As	Cd	Cr	Pb
	----- (%) -----					----- (mg kg ⁻¹) -----			
2020년	45.2	6.37	16.4	10.0	1.41	ND*	ND	2.09	25.8
2021년	53.9	7.50	14.7	8.52	0.66	ND	ND	1.86	ND

*ND; Not Detected

Table 24. 랜더링 가축사체 잔여물의 비료학적 특성

	pH	EC	T-N	T-P	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
	(1:10)	(dS m ⁻¹)	----- (%) -----					
2020년	5.67	19.2	6.53	2.23	0.51	2.16	0.10	0.44
2021년	5.64	13.8	7.41	2.96	0.81	4.05	0.17	0.56

Table 25. 랜더링 가축사체 잔여물의 미량원소 함량

	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Zn
	----- (mg kg ⁻¹) -----						
2020년	ND*	ND	796	17.6	ND	0.75	54.2
2021년	ND	17.0	687	20.3	ND	0.39	125

*ND; Not Detected

마) 병원성 미생물

Fig 24~28은 랜더링 가축사체 잔여물의 병원성 미생물인 *E. coli*, *E. coli* O157:H7, *Shigella*, *Salmonella* spp. 및 *Clostridium perfringens*를 조사한 결과이다. 조사한 모든 병원성 미생물은 검출되지 않았으며, 랜더링 가축사체 잔여물에 병원성 미생물은 존재하지 않는 것으로 조사되었다. 이는 고온, 고압의 랜더링 처리공법으로 인해 존재하고 있는 병원성 미생물을 포함한 모든 미생물들은 사멸하였으며, 랜더링 가축사체 잔여물이 보관, 운반, 유통 등의 기간동안에 병원성 미생물이 유입되지 않은 것으로 추측된다. 본 실험결과로 향후 아미노산 액비 생산에 있어서 랜더링 가축사체 잔여물은 병원성 미생물로 인한 문제에서 안전하다고 판단된다.



Fig. 24. 랜더링 가축사체 잔여물 내 *E. coli*/coliform (*E. coli*/coliform: 3M Pertrifilm *E. coli*/coliform plate).

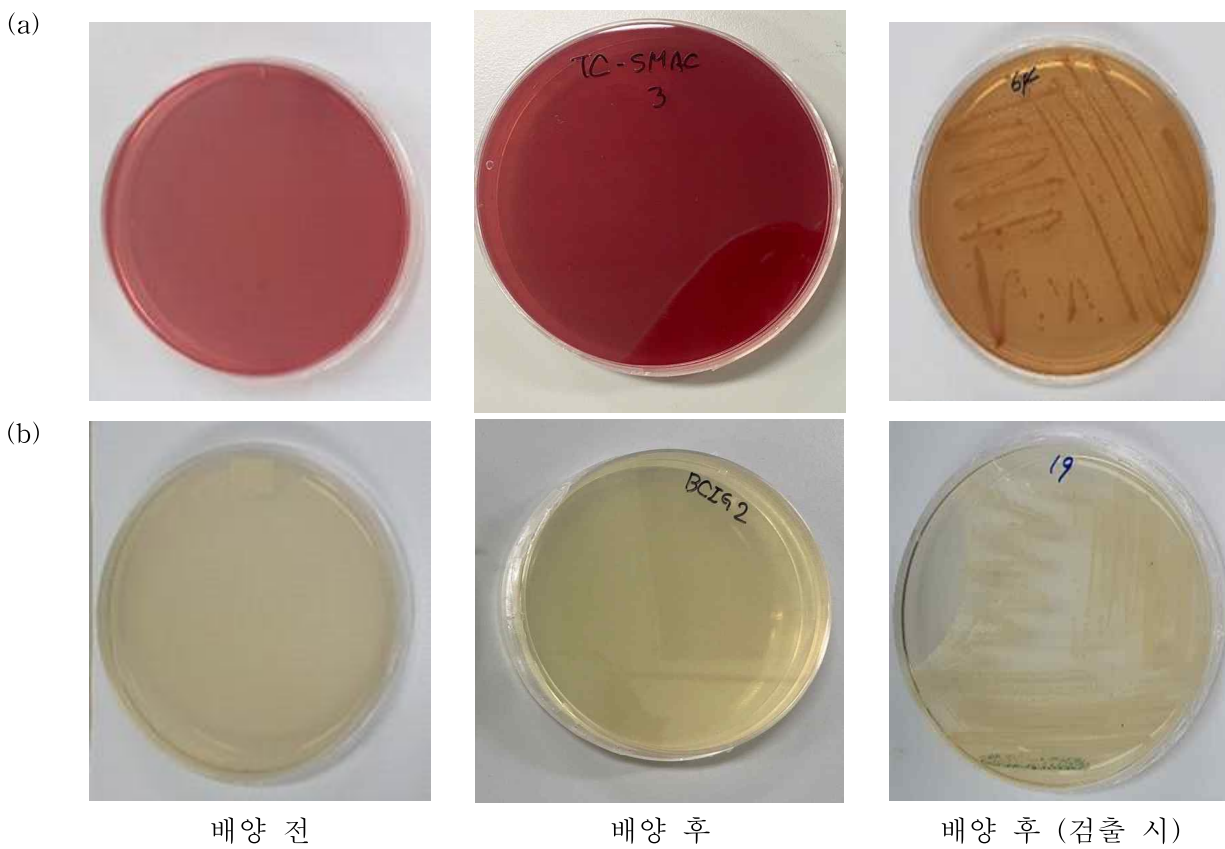
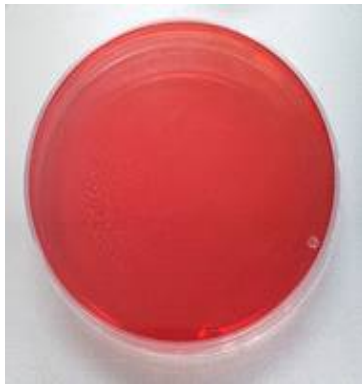
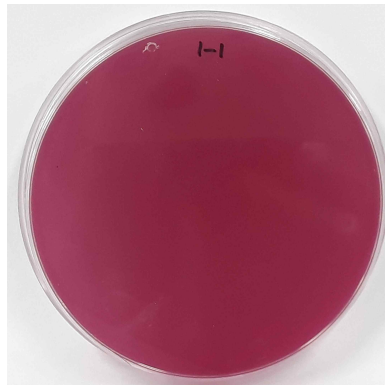


Fig. 25. 랜더링 가축사체 잔여물 내 *E. coli* O157:H7 (*E. coli* O157:H7: TC-SMAC (a), BCIG 배지 (b)).



배양 전



배양 후



배양 후 (검출 시)

Fig. 26. 랜더링 가축사체 잔여물 내 *Shigella* (*Shigella*: XLD 한천배지).

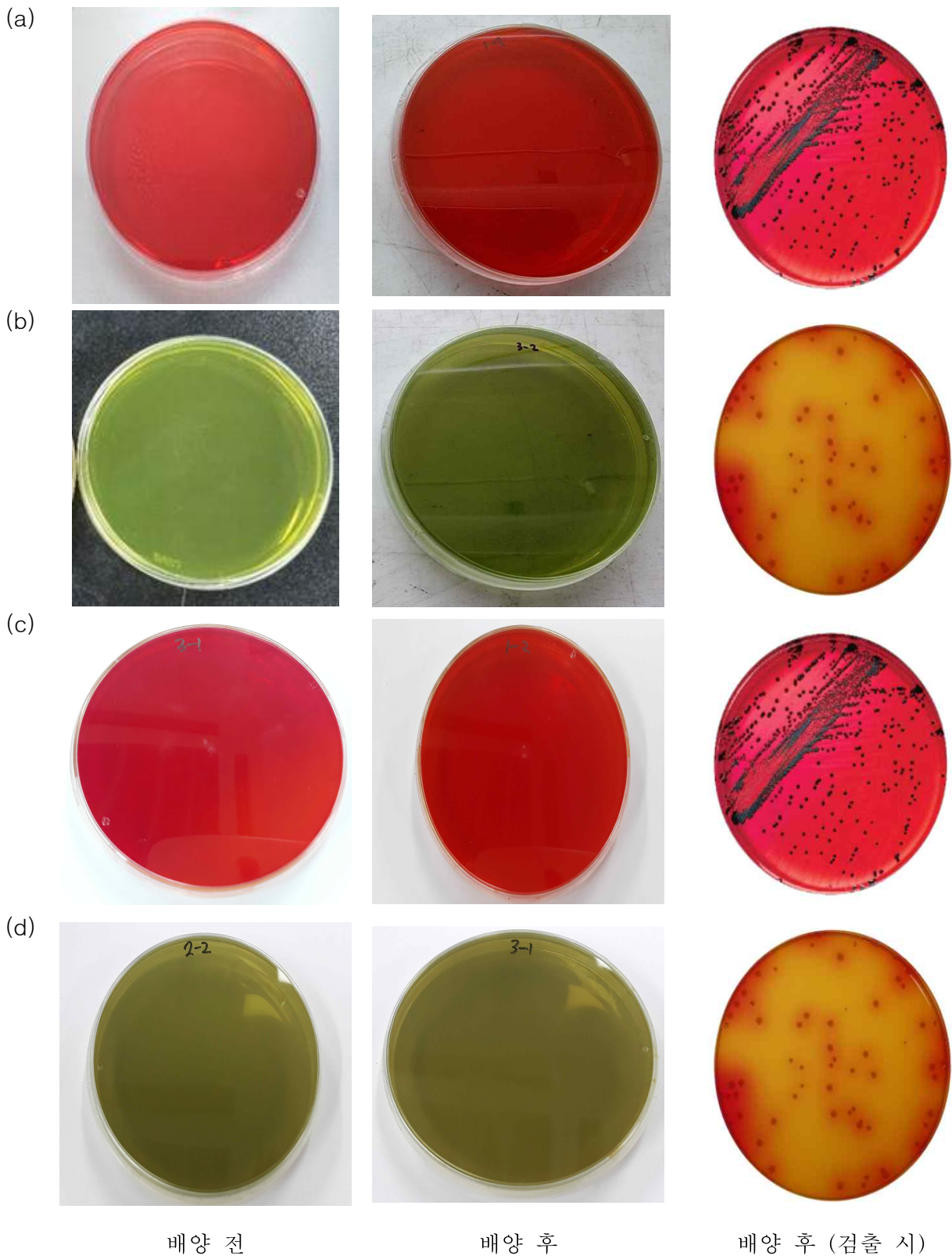


Fig. 27. 랜더링 가축사체 잔여물 내 *Salmonella* spp. (*Salmonella* spp.: RV Broth - XLD 한천배지 (a), BG Sulfa 한천배지 (b) / TT Broth - XLD 한천배지 (c), BG Sulfa 한천배지 (d)).

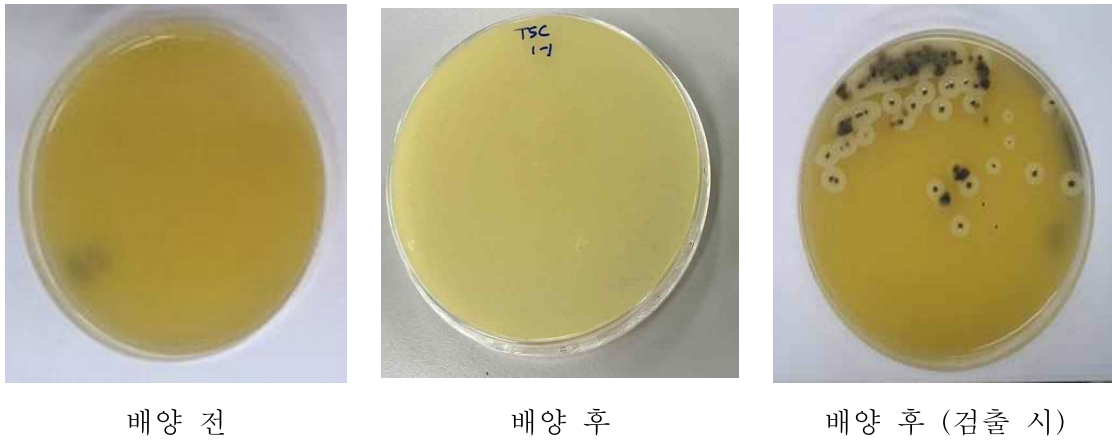


Fig. 28. 랜더링 가축사체 잔여물 내 *Clostridium perfringens* (*Clostridium perfringens*: 난황첨가 TSC 한천배지).

1) 고농도의 아미노산 액비 생산을 위한 전처리 기술 확립

가) 단백질 가수분해 효소 선정

(1) 가수분해제 종류에 따른 분해액의 특성 조사

(가) 가수분해제 종류에 따른 분해액의 아미노산 및 단백질 함량 조사

가수분해제 종류에 따른 분해 기간별 분해액의 아미노산 및 단백질 함량을 조사한 결과는 Fig. 29~30과 같다.

분해 기간별 조사된 아미노산 함량은 가수분해제 종류에 상관없이 가수분해제를 투입 후 8 일차에서 아미노산 함량이 가장 높았다 (Fig. 29). 가수분해제 종류에 따른 아미노산 함량은 Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain을 처리한 처리구에서 각각 6.24~16.84%, 3.61~ 10.86% 및 6.55~11.43% 범위로 조사되었고, 무처리구인 Control의 경우 1.12~3.16%로 조사되었다. 가수분해제 종류에 따른 아미노산 함량은 Alcalase 처리가 가장 효과적이었으며, 8일간 분해하였을 때, 아미노산 함량이 16.84%로 가장 높게 조사되었다.

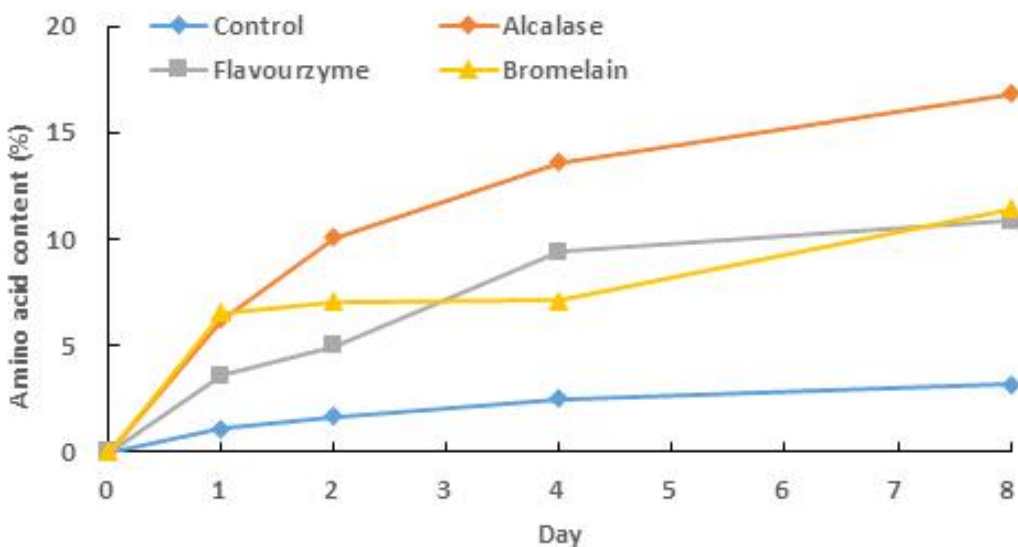


Fig. 29. 가수분해제 종류에 따른 분해액의 아미노산 함량.

가수분해제 종류에 따른 분해액의 단백질 함량을 조사한 결과는 Fig. 30에서 보는 바와 같다. 분해 기간에 상관없이 가수분해제 종류별 분해액의 단백질 함량은 Control, Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain에서 각각 1.10~3.88%, 1.19~4.17%, 2.10~4.05% 및 3.69~4.83% 범위로 조사되었다. 단백질 함량만을 조사한 결과, 가수분해제는 Bromelain이 랜더링 가축사체 잔여물의 가수분해에 가장 효과적이며, Alcalase, Flavourzyme 순으로 효과적이었다.

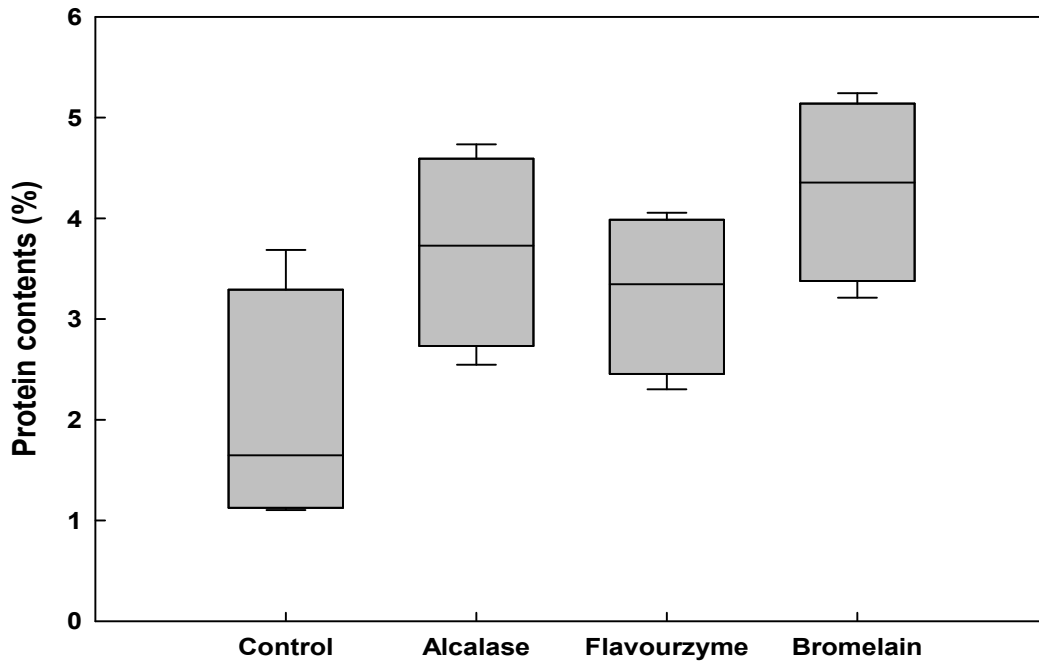


Fig. 30. 가수분해제 종류에 따른 분해액의 단백질 함량.

분해액의 무기성분 함량은 전반적으로 Bromelain > Flavourzyme > Alcalase > Control 순으로 높았으며, Alcalase 처리구의 무기성분은 아미노산과는 상반되는 결과로 조사되었다. 비료 주성분인 N, P 및 K 함량의 경우, Alcalase는 각각 0.59%, 84.6 및 1,203 mg kg⁻¹이었으며, Flavourzyme과 Bromelain은 각각 0.67%, 87.2 및 2,217 mg kg⁻¹과 0.69%, 93.6 및 1,314 mg kg⁻¹으로 조사되었다. Na의 경우, 무처리구 및 가수분해제 종류에 따른 차이를 보이지 않은 것으로 조사되었다. 분해액의 미량성분을 조사한 결과 Fe는 Alcalase 투입시 5.35 mg kg⁻¹으로 7.82 mg kg⁻¹의 무처리보다 낮았으며, Bromelain은 41.7 mg kg⁻¹으로 높게 조사되었다. Mn과 Ni은 Control에서 검출되지 않았고 Mn의 경우 가수분해제 처리를 통해 검출되었으며, Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain 각각 0.02, 0.67 및 1.25 mg kg⁻¹으로 조사되었다. Ni은 Alcalase 및 Flavourzyme에서는 검출되지 않았으며, Bromelain에서만 0.18 mg kg⁻¹으로 조사되었다.

Table 26. 가수분해제 종류에 따른 분해액의 무기성분 함량

Treatment	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Ni	Zn
	(%)	----- (mg kg ⁻¹) -----								
Control	0.32	57.6	1,105	35.2	27.5	1,101	7.82	ND*	ND	0.55
Alcalase	0.59	84.6	1,203	148	80.3	998	5.38	0.02	ND	1.91
Flavourzyme	0.67	87.2	2,217	181	91.5	990	19.0	0.67	ND	0.79
Bromelain	0.69	93.6	1,314	274	98.2	1,183	41.7	1.25	0.18	3.18

*ND; Not Detected

(나) 가수분해제 종류에 따른 잔류물의 무기성분 함량 조사

가수분해제 종류에 따른 잔류물의 무기성분 함량을 조사한 결과, 무기성분 함량은 Table 27에서 보는 바와 같다. T-N 함량은 Control, Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain 각각 7.27, 5.78, 6.24 및 5.59%였으며, Control이 가장 높았으며, Bromelain이 가장 낮게 조사되었다. 이는 Control에서 단백질 분해가 적어 남아있는 잔류물의 T-N이 높았으며, Bromelain은 단백질 분해가 많아 잔류물의 T-N이 낮게 나온 것으로 판단된다. 분해 후 잔류물의 T-P, K, Ca, Mg 및 Na 함량은 분해 전 랜더링 가축사체 잔류물과 분해 후 잔류물의 비교하였을 때, 전체적으로 대조구인 Control 처리구보다 약간 감소하는 경향을 보였으나 가수분해제 종류별 유의한 차이 없이 비슷하게 조사되었다. 가수분해제 종류에 상관없이 미량원소로 Fe, Mn, Ni 및 Zn의 함량은 각각 0.16%, 50.18, 1.11 및 136.5 mg kg⁻¹으로 조사되었으며, 대체적으로 Flavourzyme과 Control의 함량이 높게 조사되었다. Flavourzyme의 경우 분해액의 무기성분 함량도 높은 편이었으며, 이는 처리한 Flavourzyme 가수분해제 자체의 무기성분 함량이 다른 가수분해제에 비하여 높은 것으로 판단된다.

Table 27. 가수분해제 종류에 따른 잔류물의 무기성분 함량

Treatment	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Ni	Zn
	----- (%) -----						--- (mg kg ⁻¹) ---			
Control	7.27	2.40	0.39	3.98	0.11	0.40	0.17	48.6	1.23	128
Alcalase	5.78	3.12	0.22	4.12	0.10	0.24	0.12	42.9	1.01	127
Flavourzyme	6.25	2.49	0.54	3.93	0.11	0.34	0.18	54.1	1.16	151
Bromelain	5.59	2.86	0.26	4.58	0.10	0.28	0.15	55.1	1.03	140

(2) 가수분해제 투입 수준에 따른 분해액의 특성 조사

(가) Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 특성 조사

Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 특성을 조사한 결과는 Fig. 31~32 및 Table 28에서 보는 바와 같다. Alcalase를 처리한 분해액의 아미노산 함량은 6.24~16.95% 범위로 조사되었으며, 가수분해제를 처리하지 않은 0% 처리구 대비 9.58~10.88% 아미노산 함량이 증가하였다 (Fig. 31). Alcalase 15% 8일차에서 아미노산 함량이 16.95%로 투입 수준 중에서 가장 높았으나, 투입 수준에 상관없이 Alcalase 8일차에서 아미노산 함량은 16.53~16.95% 범위로 투입 수준에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 투입 수준에 따른 아미노산 함량은 4일차에서 12.8~15.7% 범위로 투입 수준에 따라 많은 차이를 보였으며, 가수분해제 투입 수준이 증가할수록 분해액의 아미노산 함량은 증가하였다. Alcalase 20% 4일차 조건은 8일차 조건과 비교하였을 때, 아미노산 함량은 약 1% 미만의 차이를 보였으며, 아미노산 생산에 있어서 Alcalase는 20%의 투입량과 4일간 분해하는 것이 액비의 아미노산 생산과 경제적 측면에서 가장 효과적인 방법으로 판단된다.

Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 단백질 함량을 조사한 결과는 Fig. 32에서 보는 바와 같다. 단백질 함량은 처리조건에 상관없이 1.10~4.22% 범위로 조사되었고, 5% Alcalase 투입 수준에서 4.22%로 가장 높게 나타났으며, 투입 수준이 증가할수록 단백질 함량은 감소하는 경향으로 조사되었다.

Alcalase 투입 수준별로 처리한 분해액의 무기성분 함량을 조사한 결과는 Table 28에서 보는 바와 같다. 투입 수준에 따른 T-N, T-P 및 K의 함량은 각각 0.56~0.68%, 81.3~88.8 및 1,203 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었고 Ca, Mg 및 Na의 함량은 각각 143~191, 79.7~88.8 및 998~1,065 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. T-N, T-P 및 Na의 함량은 투입 수준에 따른 차이를 보이지 않았으며, K, Ca 및 Mg의 함량은 Alcalase 투입 수준이 증가할수록 함량이 증가하였다. 미량원소인 Mn의 함량은 Alcalase를 처리하지 않았을 경우에 검출되지 않았으나, Alcalase 처리시 검출되었으며, 투입 수준이 높을수록 Mn의 함량이 높게 조사되었다. Ni의 함량은 Alcalase 20% 이상의 투입 수준부터 조사되었다.

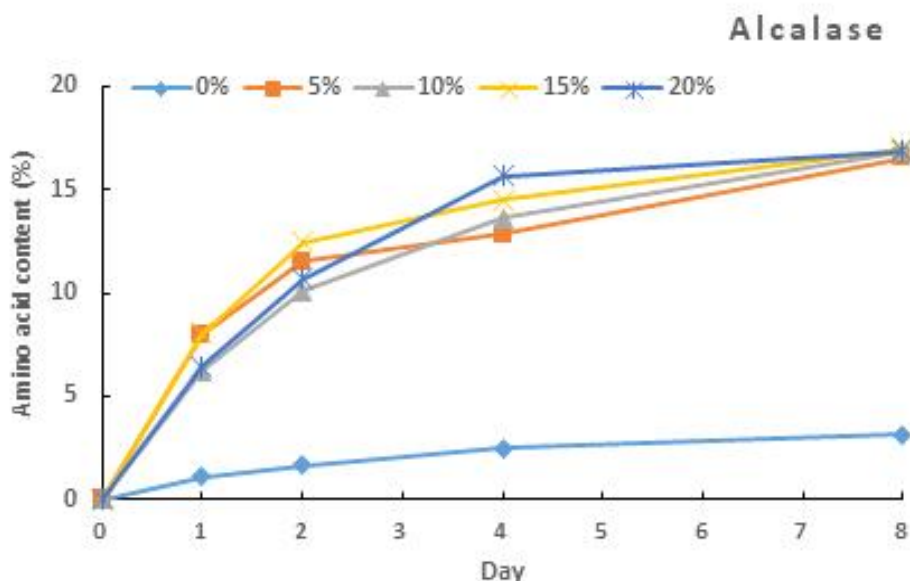


Fig. 31. Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 아미노산 함량.

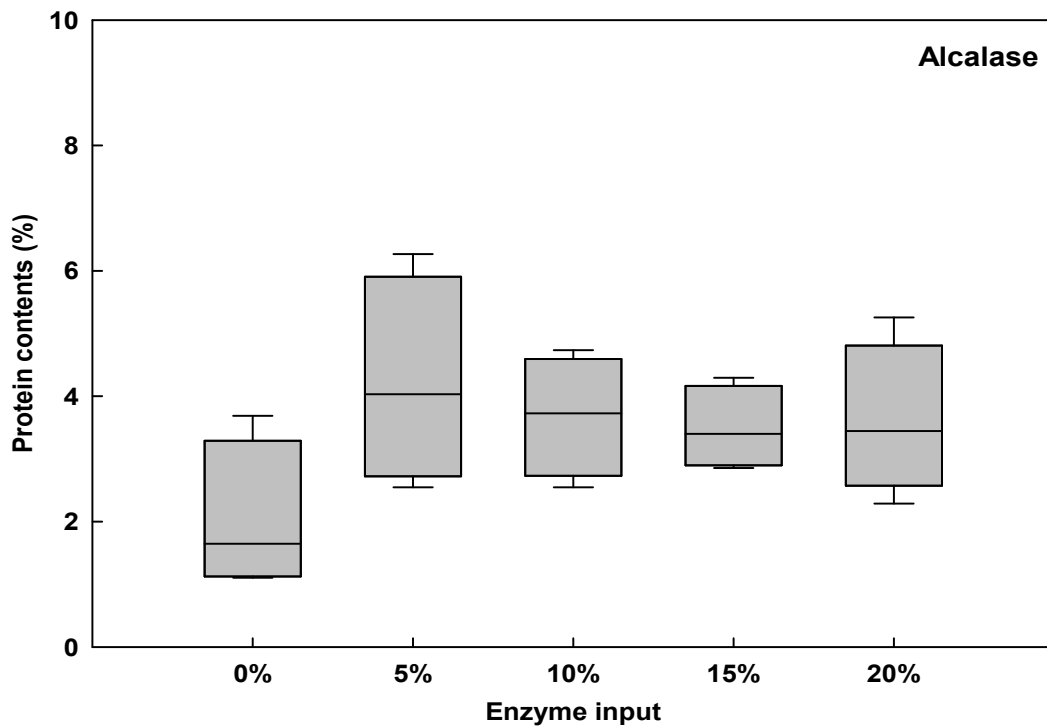


Fig. 32. Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 단백질 함량.

Table 28. Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 무기성분 함량

Treatment	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Ni	Zn
	(%)	----- (mg kg ⁻¹) -----								
0%	0.32	57.6	1,105	35.2	27.5	1,101	7.82	ND*	ND	0.55
5%	0.68	88.8	1,231	143	79.7	1,022	7.75	0.04	ND	0.74
10%	0.59	84.6	1,203	148	80.3	998	5.38	0.02	ND	1.91
15%	0.56	81.3	1,266	176	88.8	1,065	8.52	0.13	ND	0.95
20%	0.58	82.5	1,253	191	88.7	1,051	8.57	0.12	0.04	0.95

*ND; Not Detected

Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 단백질과 아미노산의 상관관계 확인하기 위하여 x축은 단백질 함량, y축은 아미노산 함량으로 하여 상관관계를 조사하였다 (Fig. 33). Alcalase 투입 수준에 따른 분해액의 단백질과 아미노산은 99%의 유의수준에서 정의상관관계를 나타냈으며, 대체적으로 분해액의 단백질 함량이 높으면 아미노산 함량이 높은 것으로 판단된다.

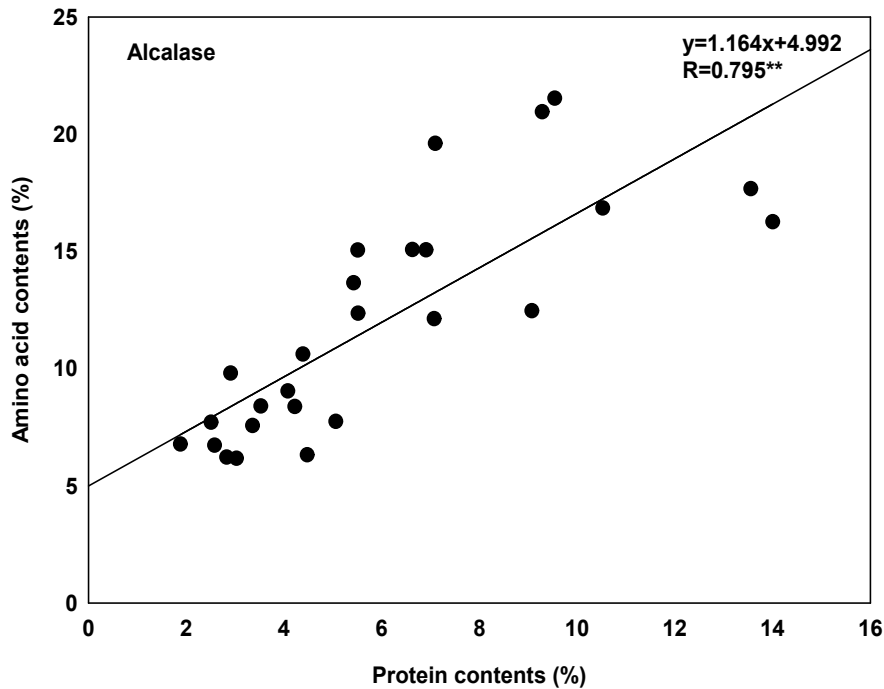


Fig. 33. Alcalase 처리에 따른 단백질 및 아미노산 상관관계.

(나) Flavourzyme 투입 수준에 따른 분해액의 특성 조사

Flavourzyme 투입 수준에 따른 분해액의 특성을 조사한 결과는 Fig. 34~35 및 Table 29에서 보는 바와 같다.

Flavourzyme을 처리한 분해액의 아미노산 함량은 Fig. 34에서 보는 바와 같으며, 아미노산 함량은 투입 수준에 상관없이 1.12~10.86% 범위로 조사되었다. 아미노산 함량은 투입 수준 0% 대비 4.00~5.11% 범위로 효소 투입에 따른 아미노산 함량은 증가하였으며, Flavourzyme 10% 8일차에서 아미노산 함량이 10.86%로 가장 높게 조사되었다. 가수분해제로 Flavourzyme은 10%의 투입수준에서 아미노산 생산에 최적인 것으로 판단된다.

Flavourzyme 투입 수준에 따른 분해액의 단백질 함량을 조사한 결과는 Fig. 35에서 보는 바와 같다. 단백질 함량은 처리조건에 상관없이 1.10~7.32% 범위로 조사되었으며, Flavourzyme의 투입시 15% 8일차 조건일 때, 단백질 함량이 7.32%로 가장 높게 조사되었다.

Flavourzyme 투입 수준별로 처리한 분해액의 무기성분 함량을 조사한 결과는 Table 29에서 보는 바와 같다. T-N 함량은 0.64~0.70% 범위로 조사되었으며, T-P, K, Ca, Mg 및 Na 함량은 각각 86.8~96.0, 2,059~3,592, 181~273, 70.7~93.2 및 990~1,176 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 전반적으로 Flavourzyme의 투입 수준이 증가할수록 분해액의 무기성분 함량은 증가하는 경향을 보였으며, Mg의 함량의 경우, Flavourzyme의 투입 수준이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. Fe 및 Zn의 함량은 각각 19.0~31.8, 및 0.55~1.49 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었으며, Ni은 Flavourzyme 투입에도 분해액으로 분해되지 않았다. Mn은 Ni과 상반되게 무처리구에서는 검출되지 않았으나, Flavourzyme 투입시 검출되었고 투입 수준에 상관없이 0.66 mg kg⁻¹로 조사되었다.

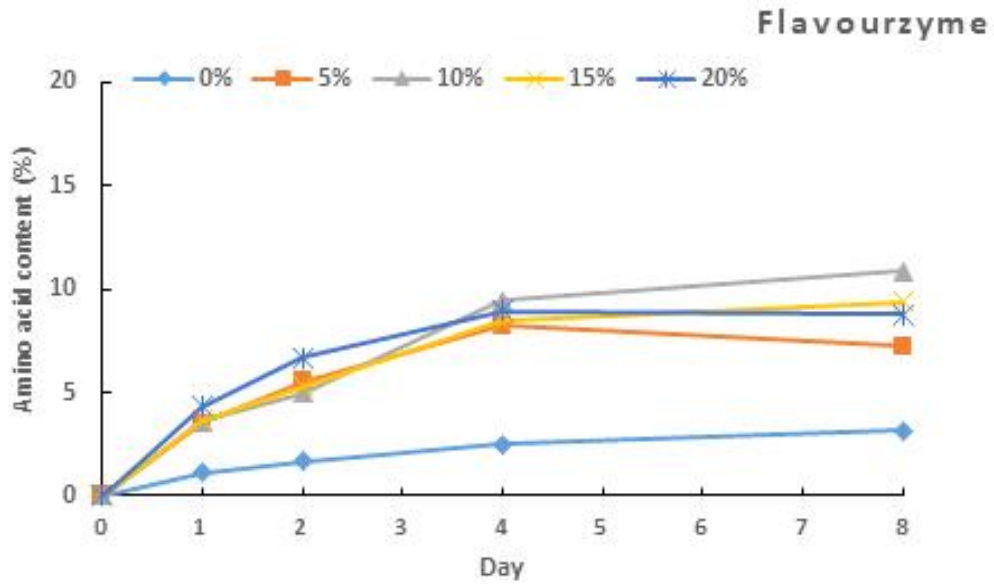


Fig. 34. Flavourzyme 투입수준에 따른 분해액의 아미노산 함량.

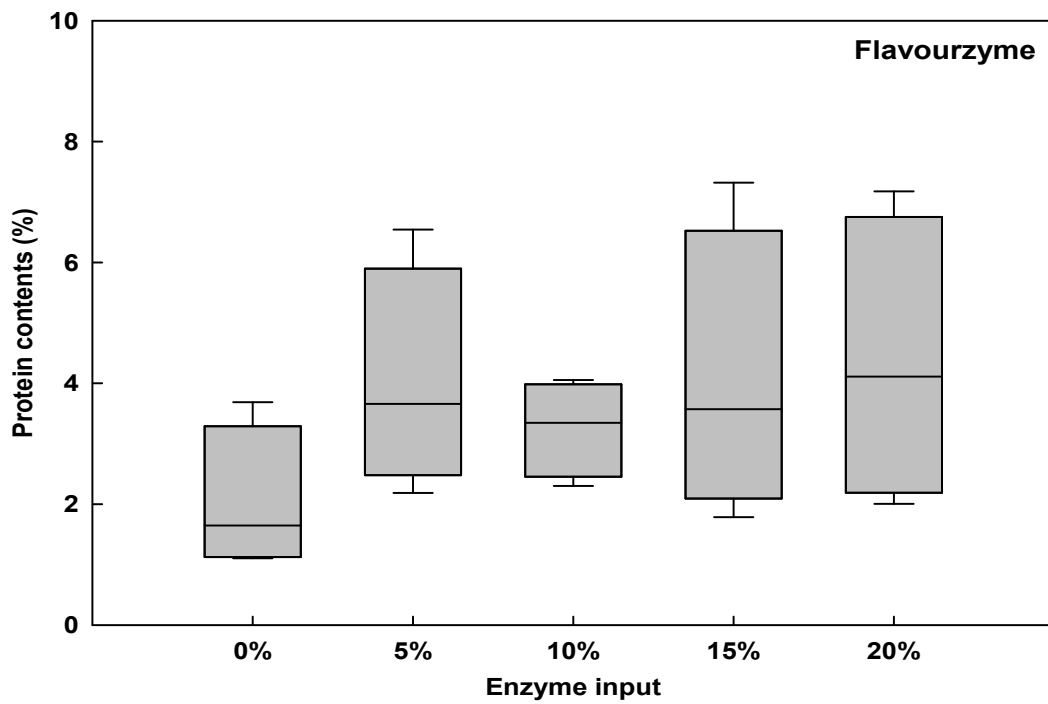


Fig. 35. Flavourzyme 투입 수준에 따른 분해액의 단백질 함량.

Table 29. Flavourzyme 투입 수준에 따른 분해액의 무기성분 함량

Treatment	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Ni	Zn
	(%)	(mg kg ⁻¹)								
0%	0.32	57.6	1,105	35.2	27.5	1,101	7.82	ND*	ND	0.55
5%	0.64	86.8	2,059	246	93.2	1,176	28.6	0.67	ND	ND
10%	0.67	87.2	2,217	181	91.5	990	19.0	0.67	ND	0.79
15%	0.65	96.0	3,248	273	87.6	1,144	25.9	0.84	ND	1.49
20%	0.70	76.5	3,592	195	70.7	1,078	31.8	0.47	ND	0.86

*ND; Not Detected

가수분해제로 Flavourzyme 투입에 따른 단백질과 아미노산의 상관관계를 확인한 결과, 단백질과 아미노산 함량은 Alcalase와 유사하게 99% 유의수준에서 정의상관관계를 보였다. Flavourzyme 투입의 경우에 단백질 함량이 증가할수록 아미노산 함량이 증가하지만 Alcalase와 비교하였을 때, 동일한 단백질 함량에 비해 아미노산 함량은 낮은 것으로 조사되었다.

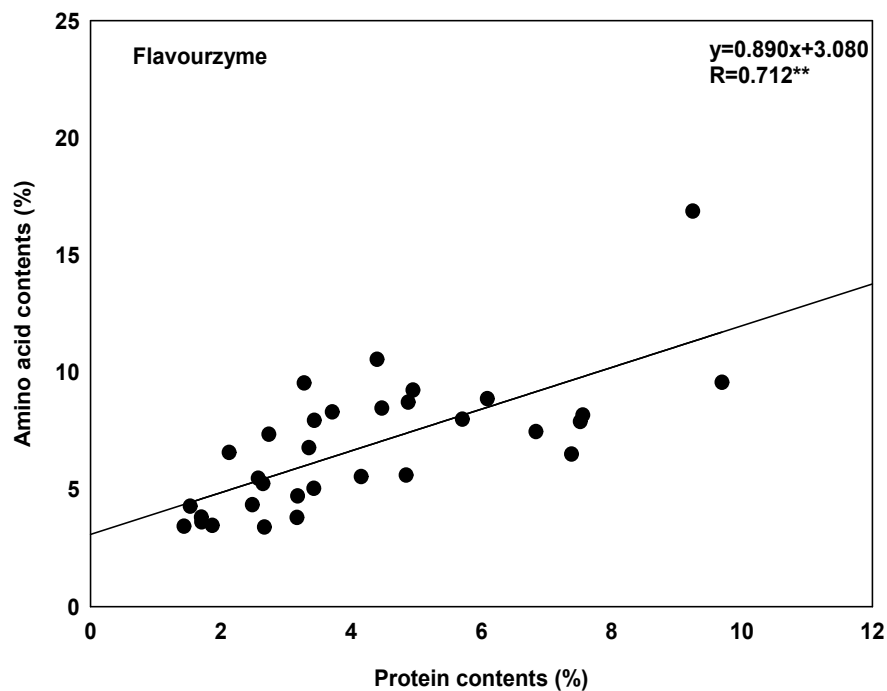


Fig. 36. Flavourzyme 처리에 따른 단백질 및 아미노산 상관관계.

(다) Bromelain 투입 수준에 따른 분해액의 특성 조사

Bromelain 투입 수준별 분해액의 특성은 Fig. 37~38 및 Table 30에서 보는 바와 같다. Bromelain 투입 수준별 아미노산 함량을 조사한 결과는 Fig. 37과 같으며, 아미노산 함량은 투입 수준 및 처리 기간에 상관없이 1.12~11.43% 범위로 조사되었다. 아미노산 함량은 전반적으로 가수분해제를 처리하지 않은 0% 처리구 대비 5.00~6.35% 범위로 증가하였다. 가수분해제로 Bromelain 처리는 1일차에서 투입 수준에 상관없이 아미노산 함량은 5.35~7.66% 범위로 랜더링 가축사체 잔여물에서 많은 양의 아미노산 분해되었으며, 최종 분해기간인 8일차에서는 투입 수준에 상관없이 9.07~11.43 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. Bromelain 투입 수준에 따른 아미노산 함량은 1일차에 큰 폭으로 증가하며, 이후 아미노산 함량은 낮은 변화량으로 증가하였다. 또한 투입 수준이 높을수록 1일차에 생성되는 아미노산 함량이 많으나 최종 분해기간까지의 증가량은 감소하였다.

Bromelain 투입 수준별 단백질 함량을 조사한 결과는 Fig. 38에서 보는 바와 같으며, 단백질 함량은 투입 수준에 상관없이 1.10~8.70%로 조사되었다. 분해액의 단백질 함량은 분해기간에 상관없이 Bromelain의 투입 수준이 증가할수록 감소하는 경향이였다. 단백질 함량은 5%에서 분해기간별 편차 많이 났으며, 투입 수준이 증가할수록 분해기간별 편차는 적었다. 이는 아미노산 결과와 유사하게 투입 수준이 많은 20%는 1일차에서 단백질 분해량이 많았으며, 8일간 단백질이 서서히 분해되어 기간별 단백질 함량의 차이가 적었던 것으로 판단된다.

Bromelain 투입 수준에 따른 분해액의 무기성분 함량은 Table 30과 같다. 투입 수준에 상관없이 분해액의 T-N 함량은 0.57~0.84% 범위였으며, T-P는 93.6~112.9 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. K, Ca, Mg 및 Na의 경우는 각각 1,080~1,378, 106~274, 69.4~98.2 및 982~1196 mg kg⁻¹ 범위였으며, Fe, Mn, Ni 및 Zn은 각각 25.9~41.7, 0.10~1.25, 0~0.18 및 1.48~3.18 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다.

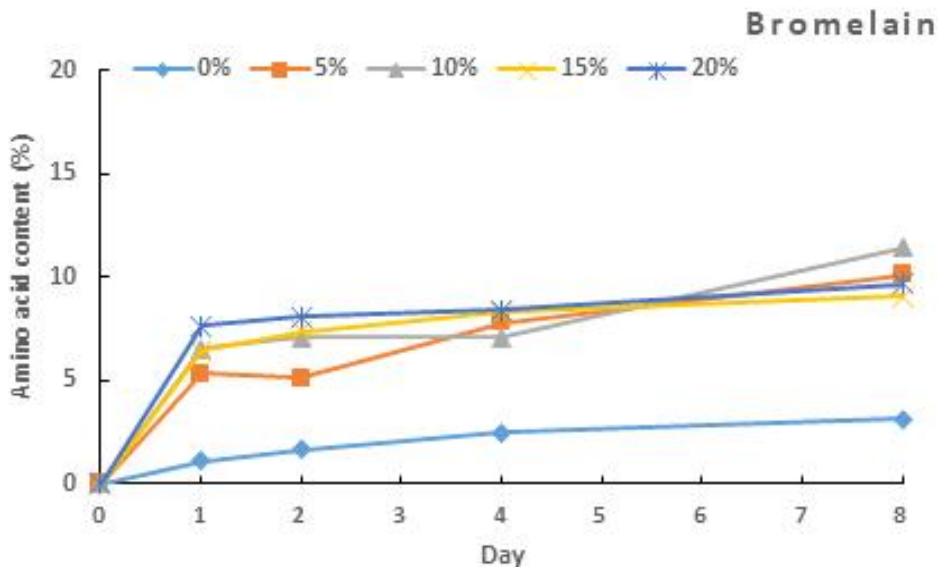


Fig. 37. Bromelain 투입수준에 따른 분해액의 아미노산 함량.

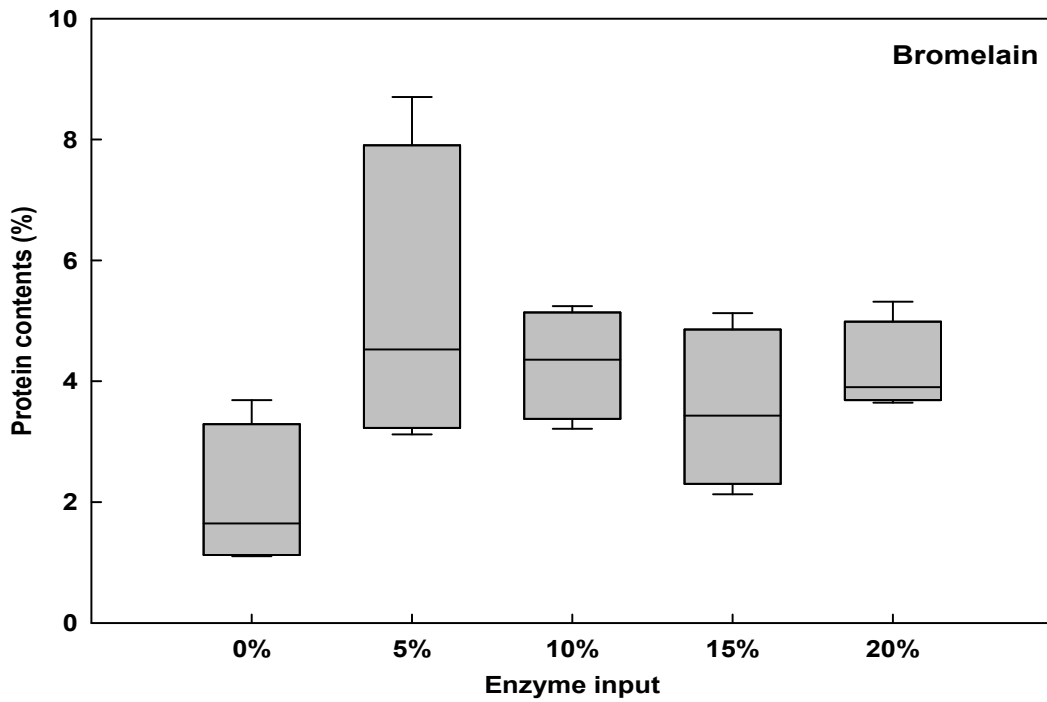


Fig. 38. Bromelain 투입 수준에 따른 분해액의 단백질 함량.

Table 30. Bromelain 투입 수준에 따른 분해액의 무기성분 함량

Treatment	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Ni	Zn
	(%)	(mg kg ⁻¹)								
0%	0.32	57.6	1,105	35.2	27.5	1,101	7.82	ND*	ND	0.55
5%	0.84	97.8	1,378	159	81.8	1,196	28.9	0.47	0.07	2.43
10%	0.69	93.6	1,314	274	98.2	1,183	41.7	1.25	0.18	3.18
15%	0.57	104.7	1,080	106	69.4	982	25.9	0.10	ND	1.48
20%	0.67	112.9	1,202	183	77.0	1,105	36.1	0.51	0.05	2.26

*ND; Not Detected

Bromelain 투입에 따른 단백질과 아미노산의 상관관계를 조사한 결과는 Fig. 39와 같다. 렌더링 가축사체 잔여물에 Bromelain 처리로 인한 단백질과 아미노산은 95% 유의수준에서 정의 상관관계를 보였으며, 분해액에 단백질이 생성되는 것에 비하여 아미노산 함량은 다소 낮게 생성되는 것으로 조사되었다.

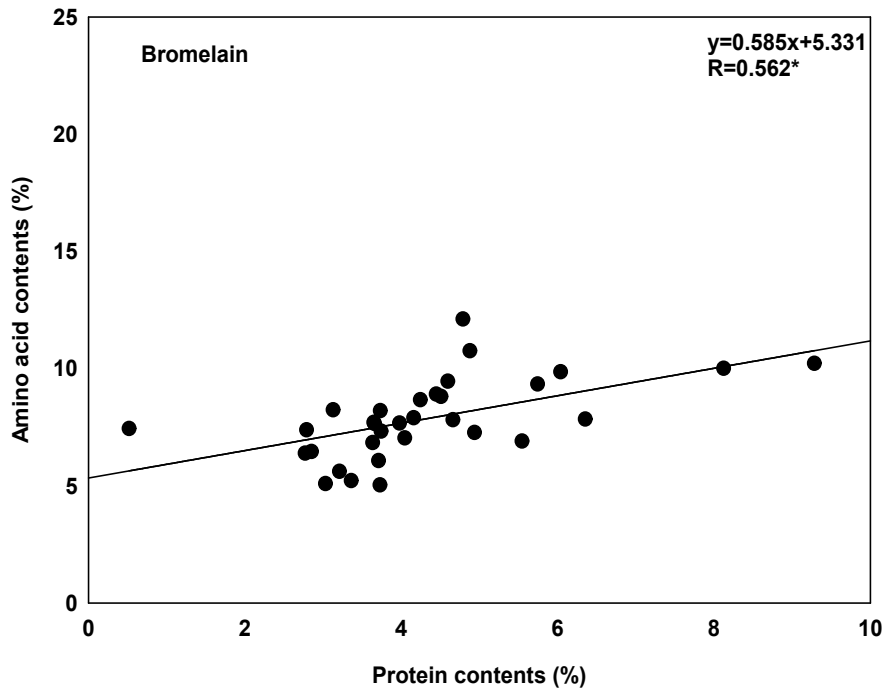


Fig. 39. Bromelain 처리에 따른 단백질 및 아미노산 상관관계.

(3) 분해액의 아미노산 및 단백질 함량의 상관관계 조사

Fig. 40은 랜더링 가축사체 잔여물에 가수분해제 종류, 투입 수준 및 분해기간에 상관없이 모든 분해조건에서의 단백질 및 아미노산 상관관계를 종합하여 조사하였다. y축은 아미노산 함량, x축은 단백질 함량이며, 아미노산과 단백질 함량의 상관관계를 조사한 결과, R값이 0.7761로 99%의 유의수준에서 정의상관관계를 보였다. 처리조건에 상관없이 랜더링 가축사체 잔여물에 가수분해제 처리를 통한 분해액의 단백질 함량은 대체로 2~6% 범위로 조사되며, 아미노산 함량은 3~10% 범위로 조사되었다.

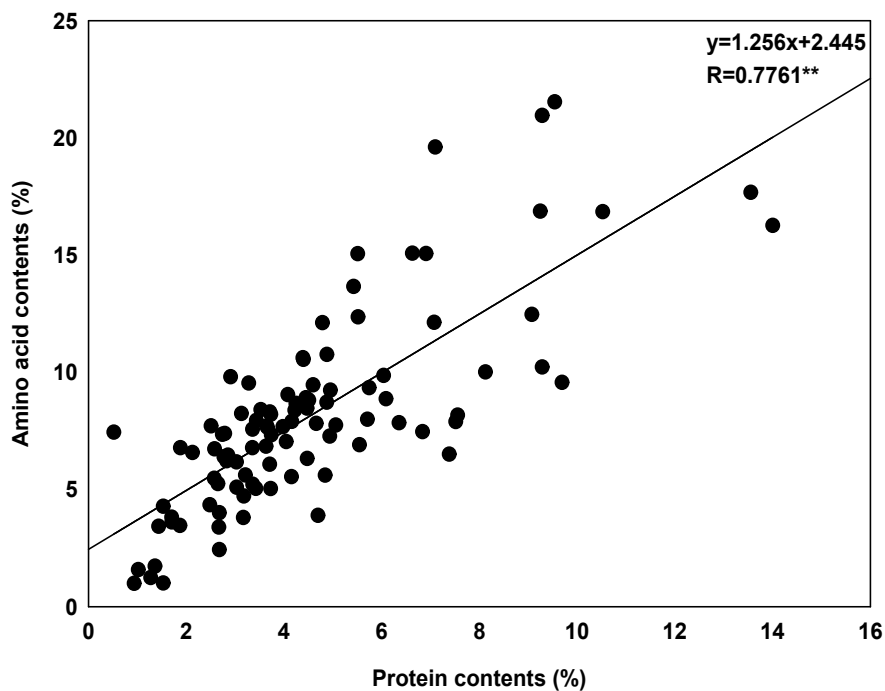


Fig. 40. 분해액의 아미노산 및 단백질의 상관관계.

(4) 가수분해제 처리조건에 따른 분해액의 아미노산 종류별 함량

랜더링 가축사체 잔여물에 가수분해제 처리 후 생성되는 분해액의 아미노산 종류별 함량을 분해기간에 상관없이 조사하였다 (Fig. 41). 가수분해제 투입 수준에 상관없이 17종의 아미노산 종류별 함량은 가수분해제를 처리하지 않은 처리구는 Gly > Glu > Pro > Asp > Ala > His > Leu > Arg > Lys > Phe > Val > Ser > Thr > Ile > Tyr > Cys > Met 순으로 조사되었으며, Alcalase는 Gly > Glu > Pro > Ala > Asp > Arg > Leu > Lys > Val > Ser > His > Thr > Phe > Ile > Tyr > Met > Cys 순으로 높게 조사되었다. Flavourzyme 처리 및 Bromelain 처리로 인한 아미노산 조성은 각각 Glu > Gly > Pro > Asp > Ala > Leu > Arg > Lys > Val > His > Phe > Ser > Thr > Ile > Tyr > Met > Cys 및 Glu > Gly > Asp > Pro > Ala > Leu > Lys > Arg > Val > His > Ser > Phe > Thr > Ile > Tyr > Met > Cys 순으로 조사되었다. 각 가수분해제의 상위 5종류의 아미노산을 확인한 결과, 3가지 가수분해제 모두 Glu, Gly, Pro, Ala 및 Asp가 17종의 아미노산 중에서 가장 많이 분포하였으며, 가수분해제 종류에 따라 5종류의 아미노산이 약간의 조성 차이를 보였다. Glu와 Gly은 모든 처리구에서 1, 2순위로 함량이 많이 존재하였으며, 무처리와 Alcalase의 경우 Glu가 Gly보다 함량이 높고 Flavourzyme과 Bromelain은 Gly이 Glu보다 함량이 높은 것으로 조사되었다. 또한 Pro, Asp 및 Ala의 경우, 무처리구, Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain에서 각각 Pro > Asp > Ala, Pro > Ala > Asp, Pro > Asp > Ala 및 Asp > Pro > Ala으로 조성의 차이를 보였다. 랜더링 가축사체 잔여물에 가수분해제를 사용하였을 경우 주로 비극성, 지방족 및 음전하 R기를 가지는 아미노산으로 주로 분해되었으며, 극성비전하, 방향족 및 양전하 R기를 가지는 아미노산으로는 분해가 많지 않은 것으로 조사되었다. 이는 가수분해제 분해에 사용되는 랜더링 가축사체 잔여물의 단백질 구조상 비극성 지방족 및 음전하를 가지는 아미노산 함량이 많은 결과로 판단될 수 있다.

고농도 아미노산 액비 생산을 위한 전처리 기술확보 방안으로 랜더링 가축사체 잔여물에 가수분해제 사용을 통해 생산된 분해액의 아미노산 및 단백질 함량을 조사하여 단백질 분해효소 선정 및 최적 분해조건을 선정하였다. 본 연구결과로 가수분해제는 Alcalase를 선정하였으며, 투입 수준은 Alcalase 20% 조건을 선정하였다. 이는 Alcalase의 경우, 다른 가수분해제에 비해 분해액의 아미노산 함량이 상당히 높았으며, 다른 무기성분 또한 다른 가수분해제와 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 분해조건으로 분해온도는 50℃, 분해기간은 4일간 분해하는 것이 분해액의 아미노산 생산량이 높으며, 경제성도 우수하다고 판단된다.

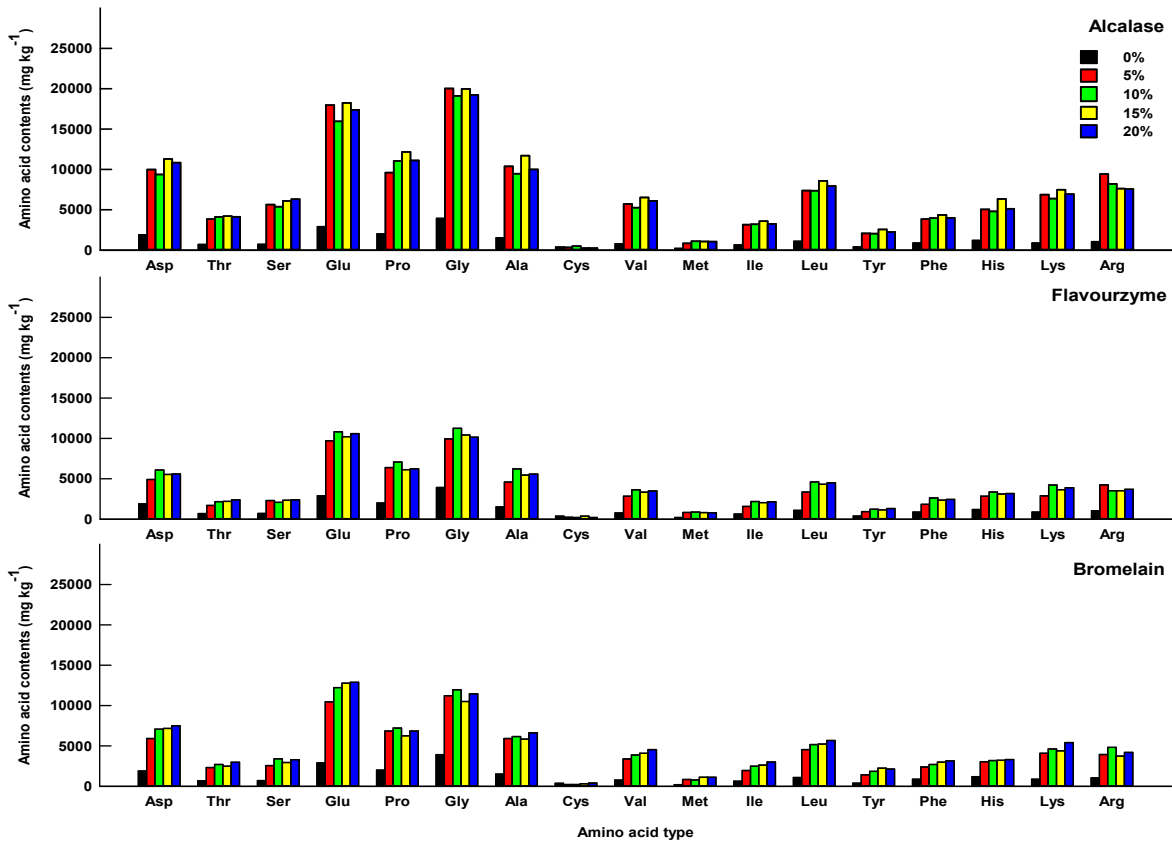


Fig. 41. 가수분해제 종류 및 투입 수준에 따른 아미노산 분포

(5) 가수분해제 투입 수준에 따른 잔류물의 무기성분 함량 조사

가수분해제 투입 수준 및 분해기간별 분해 후 잔류물의 무기성분 함량을 조사한 결과는 Table 31과 같다. 가수분해제 투입 수준별 잔류물의 T-N은 무처리구에서 7.03~7.38% 범위로 조사되었으며, Alcalase 5, 10, 15 및 20%는 각각 5.77~7.30%, 5.42~5.97%, 5.41~5.98% 및 5.21~6.67% 범위로 조사되었다. Flavourzyme 및 Bromelain 5, 10, 15 및 20%는 Flavourzyme의 경우, 5.63~6.75%, 5.28~7.23%, 5.40~6.25% 및 5.62~7.30% 였으며, Bromelain은 6.04~6.46%, 5.07~5.97%, 5.35~6.12% 및 4.86~6.24% 범위로 조사되었다. 잔류물의 T-N 함량은 가수분해제 처리에 따라 7%에서 약 5~6% 함량으로 감소하였으며, 1일에서 8일로 분해기간이 길어질수록 전반적인 T-N 함량이 감소하였다. 이는 단백질의 분해로 인하여 잔류물의 T-N 함량이 감소하였으며, 분해기간이 길수록 분해되는 양이 많은 것으로 조사되었다. 투입 수준에 상관없이 Alcalase 처리구의 잔류물을 조사한 결과, T-P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Ni 및 Zn은 각각 2.77~4.34, 0.15~0.27, 0.64~4.92, 0.06~0.12, 0.16~0.32, 0.08~0.24%, 35.9~49.5, 0.63~1.58, 115~147 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. Flavourzyme 처리구의 잔류물의 T-P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Ni 및 Zn은 각각 1.68~3.76, 0.29~0.77, 2.61~5.51, 0.08~0.13, 0.26~0.41, 0.12~0.23%, 41.4~69.2, 0.64~1.91, 133~189 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었으며, Bromelain 처리구의 잔류물은 각각 1.57~3.56, 0.20~0.31, 2.28~5.83, 0.06~0.14, 0.18~0.38, 0.09~0.29%, 45.9~71.2, 0.57~3.03, 130~155 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 가수분해제 분해기간에 따른 무기성분 함량의 경향은 조사되지 않았으며, 가수분해제 종류에 따라 Alcalase 및 Bromelain은 잔류물의 K, Ca 함량은 조금 감소하였다. 가수분해제 투입 수준에 따른 잔류물의 T-N을 제외한 무기성분 함량의 차이는 가수분해제를 투입하지 않은 처리구와 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 가수분해제인 Alcalase, Flavourzyme 및 Bromelain의 경우에 단백질 가수분해효소로 단백질 분해로 인한 T-N 함량이 감소하였으며, 이외의 무기성분 함량은 가수분해제의 영향을 크게 받지 않은 것으로 판단된다.

Table 31. 가수분해제 투입수준에 따른 잔류물의 무기성분 함량

Treatment			T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Ni	Zn
			----- (%) -----						--- (mg kg ⁻¹) ---			
Control	0%	1	7.38	2.24	0.46	3.77	0.10	0.47	0.11	42.0	0.71	114
		2	7.31	1.84	0.35	3.05	0.08	0.33	0.10	43.5	0.45	121
		4	7.03	2.74	0.40	4.47	0.13	0.42	0.18	50.1	1.47	133
		8	7.38	2.80	0.37	4.63	0.15	0.39	0.29	58.7	2.29	145
	5%	1	7.30	3.35	0.23	0.64	0.09	0.20	0.09	38.1	0.86	115
		2	6.53	3.04	0.27	4.92	0.12	0.32	0.24	49.5	1.43	136
		4	5.77	3.43	0.16	3.45	0.09	0.18	0.13	40.5	1.60	120
		8	5.77	3.35	0.16	0.90	0.10	0.18	0.19	40.3	1.47	134
Alcalase	10%	1	5.97	3.03	0.24	3.79	0.10	0.27	0.08	38.0	0.97	120
		2	5.83	2.77	0.28	4.07	0.10	0.30	0.12	43.5	1.10	115
		4	5.91	3.21	0.18	3.89	0.08	0.19	0.11	40.1	0.99	127
		8	5.42	3.47	0.18	4.71	0.10	0.20	0.18	49.9	0.99	147
	15%	1	5.98	3.06	0.20	2.33	0.06	0.14	0.10	42.1	0.63	129
		2	5.62	3.60	0.23	3.69	0.10	0.26	0.11	38.4	1.07	108
		4	5.41	3.18	0.18	4.93	0.11	0.22	0.15	41.9	1.58	124
		8	5.70	3.66	0.18	4.08	0.09	0.19	0.16	43.5	1.19	133
	20%	1	6.67	2.77	0.22	3.80	0.09	0.21	0.12	48.6	0.95	142
		2	5.98	3.10	0.20	2.44	0.09	0.19	0.17	42.1	1.13	125
		4	5.97	3.15	0.15	0.74	0.10	0.16	0.17	35.9	1.09	117
		8	5.21	4.34	0.18	3.89	0.08	0.20	0.12	39.9	0.89	116
	5%	1	5.98	3.07	0.33	4.79	0.13	0.30	0.21	54.8	1.91	155
		2	6.25	2.52	0.68	4.10	0.11	0.41	0.18	48.1	1.36	142
		4	6.75	2.27	0.38	3.66	0.08	0.29	0.16	48.4	0.91	142
		8	5.63	2.85	0.29	4.61	0.09	0.25	0.18	49.1	1.45	148
Flavourzyme	10%	1	6.17	3.11	0.49	5.10	0.13	0.36	0.19	55.8	1.59	157
		2	7.23	2.21	0.62	3.41	0.09	0.39	0.16	49.9	0.88	146
		4	6.33	2.03	0.44	3.27	0.07	0.26	0.13	41.4	0.64	138
		8	5.28	2.63	0.61	3.97	0.13	0.36	0.23	69.2	1.52	162
	15%	1	6.25	2.51	0.58	4.23	0.11	0.33	0.20	55.4	1.72	160
		2	6.18	2.63	0.46	4.21	0.10	0.35	0.17	45.0	1.62	137
		4	5.91	2.92	0.51	4.59	0.10	0.32	0.19	52.0	1.86	148
		8	5.40	2.96	0.50	4.79	0.09	0.30	0.19	52.9	1.49	165
	20%	1	5.90	2.92	0.52	4.71	0.11	0.30	0.17	50.6	1.26	163
		2	7.30	1.68	0.35	2.61	0.08	0.26	0.20	46.1	1.50	133
		4	5.98	2.66	0.77	4.19	0.12	0.37	0.19	54.6	1.24	152
		8	5.62	3.76	0.42	5.51	0.11	0.29	0.30	59.4	1.95	189
	5%	1	6.17	1.75	0.25	2.45	0.07	0.20	0.17	56.2	1.04	134
		2	6.04	2.22	0.31	3.39	0.10	0.29	0.22	59.4	1.72	145
		4	6.46	2.85	0.26	4.33	0.11	0.28	0.26	53.2	1.77	137
		8	6.05	2.45	0.31	5.13	0.11	0.34	0.12	45.9	0.87	131
Bromelain	10%	1	5.69	1.73	0.26	2.56	0.06	0.20	0.14	61.1	0.74	145
		2	5.97	3.32	0.25	5.39	0.11	0.30	0.20	56.9	1.40	147
		4	5.62	3.07	0.24	4.85	0.09	0.28	0.17	53.3	1.41	136
		8	5.07	3.32	0.29	5.54	0.11	0.34	0.09	49.2	0.57	136
	15%	1	6.12	2.34	0.25	3.52	0.09	0.24	0.16	61.1	1.43	143
		2	5.76	2.80	0.27	4.39	0.11	0.29	0.22	60.2	1.23	139
		4	5.47	3.33	0.26	5.45	0.13	0.38	0.29	71.2	3.03	155
		8	5.35	2.70	0.20	5.34	0.11	0.33	0.09	48.0	1.08	130
	20%	1	5.70	1.57	0.24	2.28	0.06	0.18	0.15	63.1	1.28	137
		2	5.48	2.57	0.26	3.80	0.10	0.28	0.20	57.0	1.81	130
		4	6.24	3.56	0.26	5.54	0.12	0.33	0.24	55.1	2.28	133
		8	4.86	2.70	0.26	5.83	0.14	0.36	0.15	48.5	1.26	130

나) 악취 제거를 위한 미생물제제 개발 및 효능 평가

Table 32는 아미노산 액비 생산시 지점별로 채취한 시료를 분석하여 지정악취물질에 대한 농도변화를 나타낸 것이다. 액비 제조장치 내부에서 조사된 악취의 농도는 대부분 기준치를 초과하였으며, 황화합물 > 알데하이드 > 휘발성유기화합물 순으로 농도가 높았다. 현재 제조장치 내부는 밀폐되어 있으며, 향후 액비 제조시설에서 주변 영향을 고려하기 위하여 아미노산 액비 제조장치와의 거리를 1 m, 5 m, 10 m로 조절하여 시료를 분석하였다. 거리에 따른 악취 발생 농도는 거리에 상관없이 대부분 기준치를 초과하지 않았으나, 황화합물 계열에서 기준치를 초과하였다. 따라서 악취제거를 위한 미생물제제는 황화합물 계열의 악취를 제거하는 것을 목표로 하였다.

Table 32. 아미노산 액비 생산에 따른 악취 발생 현황

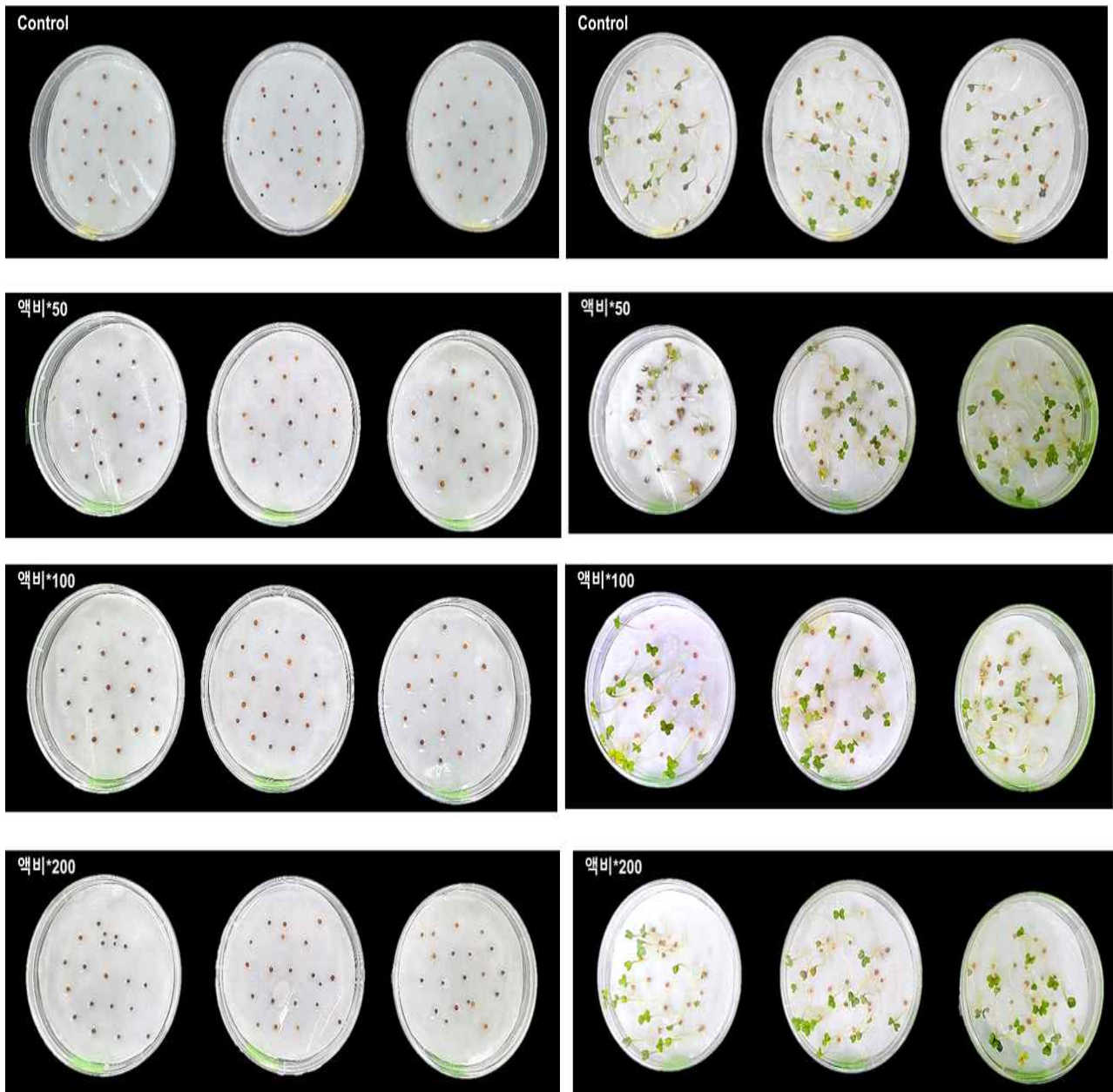
계열	종류	아미노산 액비 제조장치			
		내부	1 m	5 m	10 m
암모니아	암모니아	0.0274	0.301	0.436	0.409
트리메틸아민	트리메틸아민	0.704	0.041	0.0332	0.0274
황화합물	황화수소	5.22	0.0108	0.0135	0.0107
	메틸메르캡탄	57.3	0.0293	0.0206	0.0128
	다이메틸설파이드	0.0951	0.00283	0.00207	0.00197
	다이메틸다이설파이드	11.8	0.186	0.29	0.324
지방산	프로피온산	0.153	0.00747	0.0075	0.00722
	n-뷰틸산	0.72	0.00894	0.0129	0.00989
	n-발레르산	-	-	-	-
	i-발레르산	-	-	-	-
알데하이드	아세트알데하이드	3.34	0.077	0.0664	0.0539
	프로피온알데하이드	-	-	-	-
	뷰틸알데하이드	0.224	0.0152	0.013	0.0129
	n-발레르알데하이드	-	-	-	-
휘발성유기화합물	i-발레르알데하이드	-	-	-	-
	스타이렌	0.128	0.00141	0.00147	0.00146
	톨루엔	0.287	0.00626	0.00482	0.00417
	자일렌	0.367	0.0473	0.0518	0.048
	메틸에틸케톤	1.06	0.0184	0.0135	0.0104
	메틸아이소뷰틸케톤	0.0472	0.00848	0.00804	0.00717
	뷰틸아세테이트	0.145	0.00654	0.0059	0.00502
	i-뷰틸알코올	1.28	0.0261	0.0247	0.0193

다) 아미노산 액비 bioassay 평가

(1) 발아능력 검토

무 종자 발아능력을 조사하기 위하여 사용된 랜더링 가축사체 잔여물의 분해액은 Alcalase 가수분해제를 20% 사용하여 4일간 분해한 분해액을 사용하였으며, 분해액 시용에 따른 무 종자 발아 및 생장은 Fig. 42~43과 같다.

랜더링 가축사체 잔여물 분해액 처리에 따른 발아율은 희석배수에 상관없이 모두 발아하였으며, 종자의 뿌리 길이는 13.0~41.0 mm 범위로 조사되었다. 분해액의 50배 및 100배 희석한 처리구의 뿌리 길이는 각각 13.0 및 20.2 mm로 분해액을 처리하지 않은 무처리구 (24.9 mm)에 비하여 낮은 경향을 보였으며, 200배, 500배 및 1,000배 희석에 따른 뿌리 길이는 각각 34.6, 40.2 및 41.0 mm로 뿌리 성장에 긍정적인 영향을 주는 것으로 조사되었다. 발아지수 (GI)는 뿌리 길이와 발아율에 의해 산정되었으며, 52.1~165 범위로 조사되었다. 종자의 경우, 처리조건에 상관없이 모두 발아하였기 때문에 뿌리 길이의 차이에 의해 발아지수가 결정되었으며, 아미노산 액비는 1,000배에서 발아지수가 165로 가장 높게 조사되었다. 이에 아미노산 액비는 1000배 이상 희석하는 것이 발아에 효과적일 것으로 판단되었다.



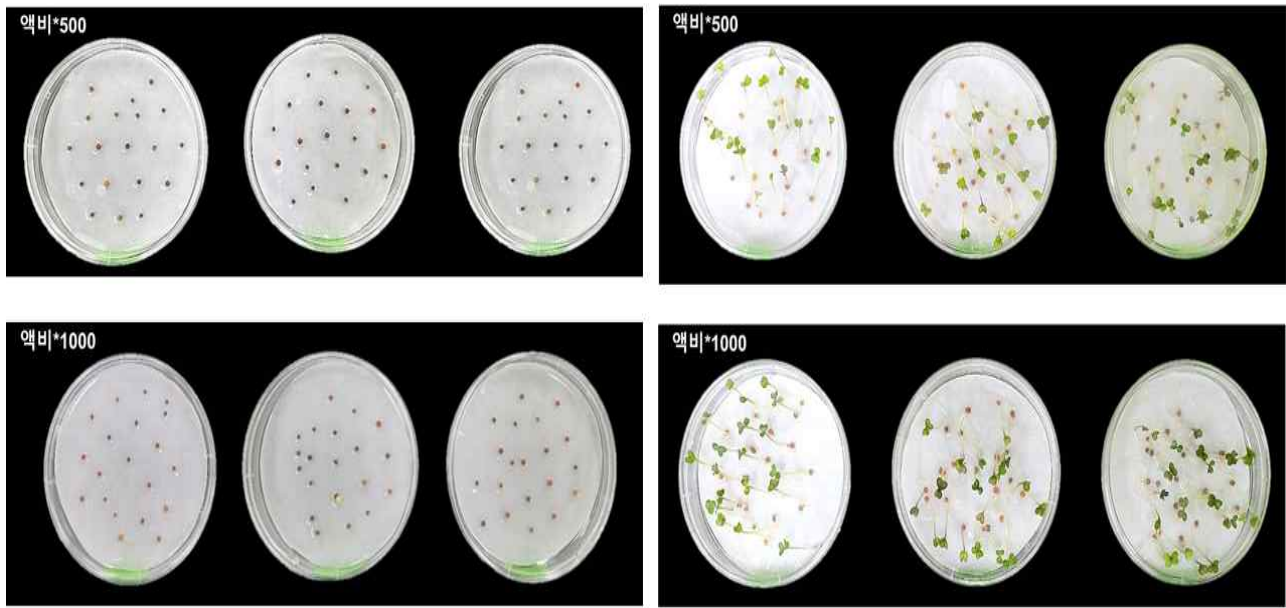


Fig. 42. 아미노산 액비의 농도별 처리에 따른 무 종자 발아 상태.

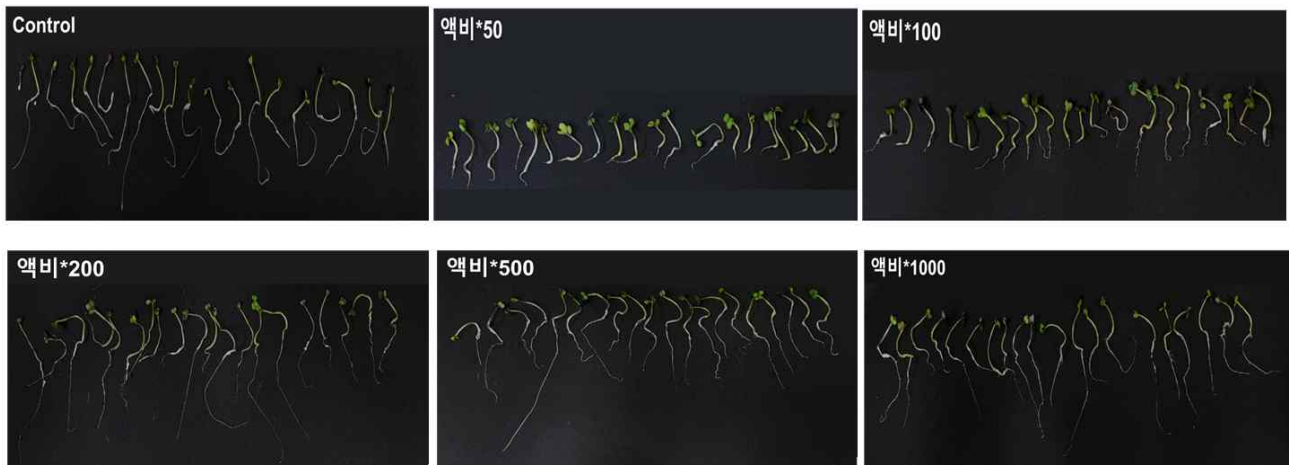


Fig. 43. 아미노산 액비 농도별 뿌리 성장 상태.

Table 33. 아미노산 액비 처리에 따른 무 발아율 및 발아지수

Treatment	뿌리 길이	발아율	발아지수 (GI)
	(mm)	(%)	
Control	24.9	100	-
50배 희석	13.0	100	52.1
100배 희석	20.2	100	80.9
200배 희석	34.6	100	139
500배 희석	40.2	100	161
1,000배 희석	41.0	100	165

Table 34 및 Fig. 44~48은 랜더링 잔여물을 활용하여 생산한 아미노산 액비의 처리에 따른 시기별 청경채, 케일, 적겨자, 치커리 및 꽃상추의 비해 정도를 조사한 결과이다. 5가지 작물 모두 반점, 변색, 엽소 등의 이상증상이 관찰되지 않아 비해는 없는 것으로 판단되었다. 현재

개발된 아미노산 비료는 주비료가 아닌 보조비료로서 사용하도록 생산되었기 때문에 향후 주비료로의 가능성을 검토하기 위해서는 추가적인 공법이 필요할 것으로 판단된다.

Table 34. 아미노산 액비 사용에 따른 작물별의 비헤조사

작물	처리구	처리수준	비헤 (0-5)			비헤증상
			처리 1일차	처리 5일차	처리 10일차	
청경채	무처리구	-	0	0	0	비헤없음
	기 준 구	1,000배 희석	0	0	0	비헤없음
	배 량 구	500배 희석	0	0	0	비헤없음
케일	무처리구	-	0	0	0	비헤없음
	기 준 구	1,000배 희석	0	0	0	비헤없음
	배 량 구	500배 희석	0	0	0	비헤없음
적겨자	무처리구	-	0	0	0	비헤없음
	기 준 구	1,000배 희석	0	0	0	비헤없음
	배 량 구	500배 희석	0	0	0	비헤없음
치커리	무처리구	-	0	0	0	비헤없음
	기 준 구	1,000배 희석	0	0	0	비헤없음
	배 량 구	500배 희석	0	0	0	비헤없음
꽃상추	무처리구	-	0	0	0	비헤없음
	기 준 구	1,000배 희석	0	0	0	비헤없음
	배 량 구	500배 희석	0	0	0	비헤없음



Fig. 44. 아미노산 액비 사용에 따른 청경채의 비헤정도.



Fig. 45. 아미노산 액비 사용에 따른 케일의 비례정도.



Fig. 46. 아미노산 액비 사용에 따른 적겨자의 비례정도.

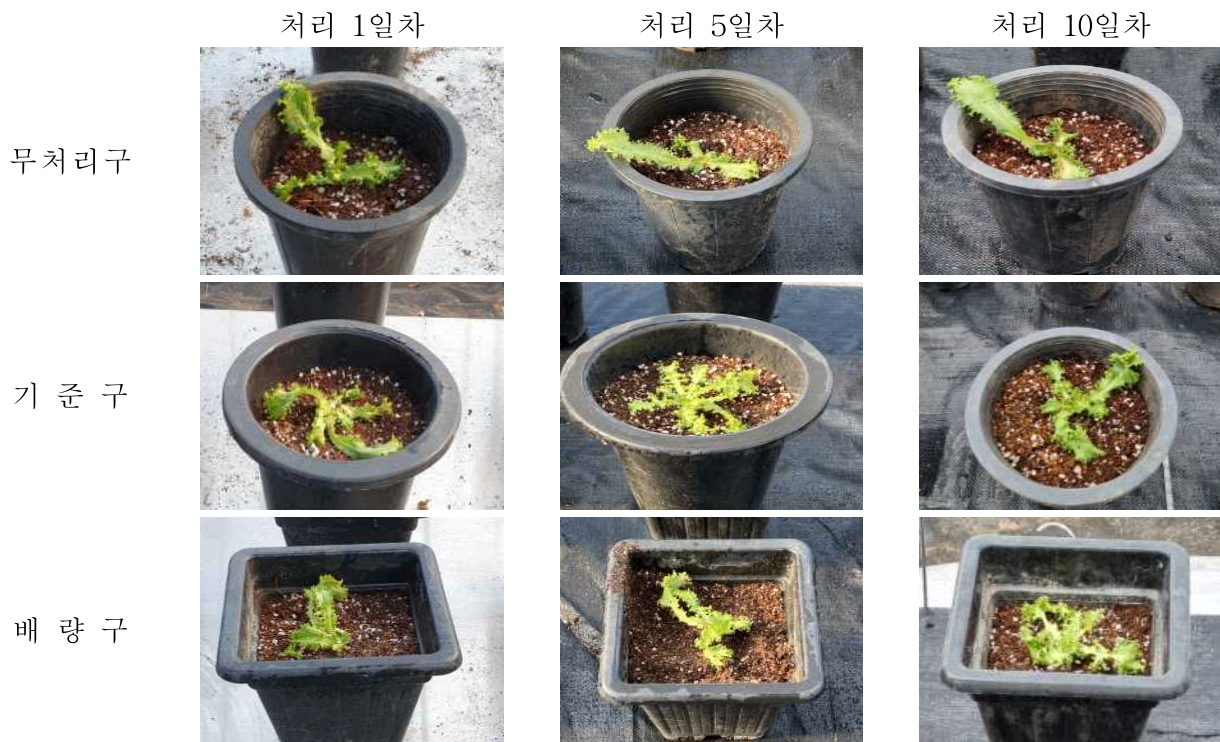


Fig. 47. 아미노산 액비 사용에 따른 치커리의 비해정도.

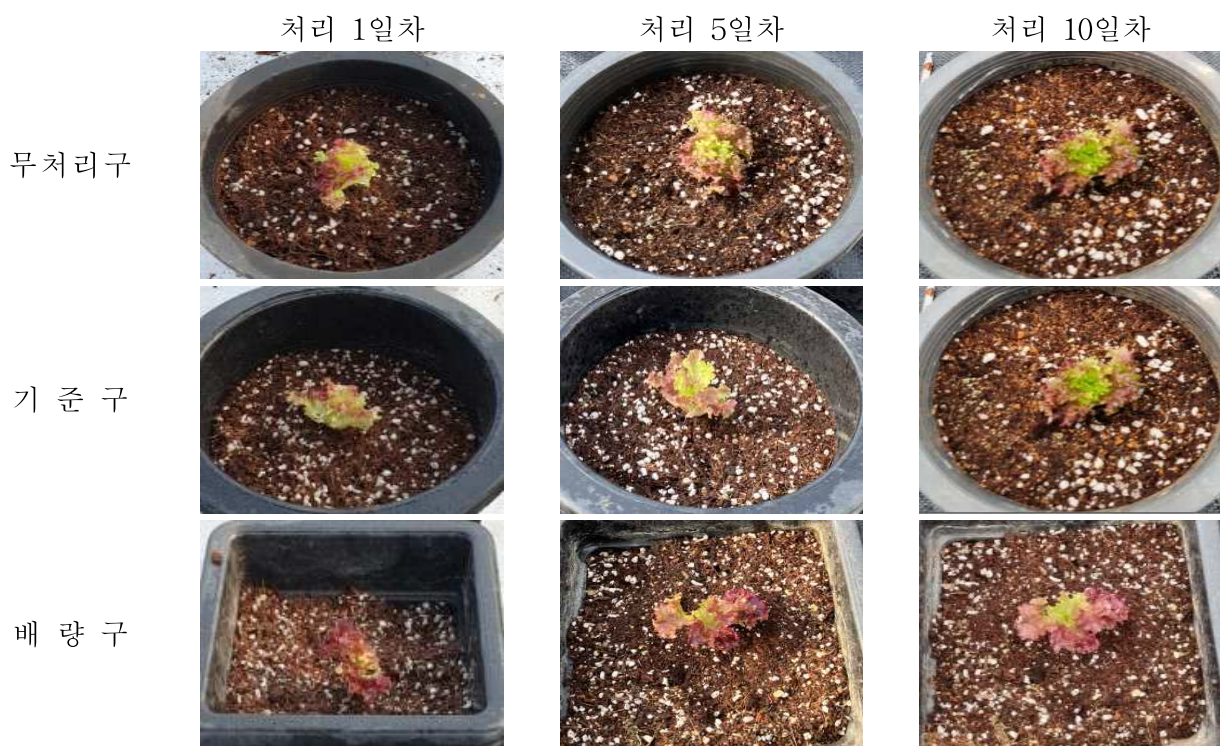


Fig. 48. 아미노산 액비 사용에 따른 꽃상추의 비해정도.

(2) 미생물의 밀도

아미노산 액비의 미생물 밀도는 액비의 bacteria 군수를 측정함으로써 미생물 밀도를 조사하였다. 액비 1,000배 희석에서는 300 CFU plate⁻¹ 이상으로 측정 불가하였으며, 10⁻⁴ 및 10⁻⁵ 희석배수에서 조사하였다. 아미노산 액비의 경우, 10⁻⁴ 및 10⁻⁵에서 각각 93.67 CFU plate⁻¹ 및 2.33 CFU plate⁻¹으로 조사되었으며, 미생물은 액비 1 mL당 8.73*10⁶ CFU 함량으로 존재하고 있는 것으로 조사되었다 (Table 35).

Table 35. 아미노산 액비의 미생물 밀도조사

구분	희석배수			CFU mL ⁻¹
	1:1,000	1:10,000	1:100,000	
집락수	-	93.67	2.33	8.73*10 ⁶

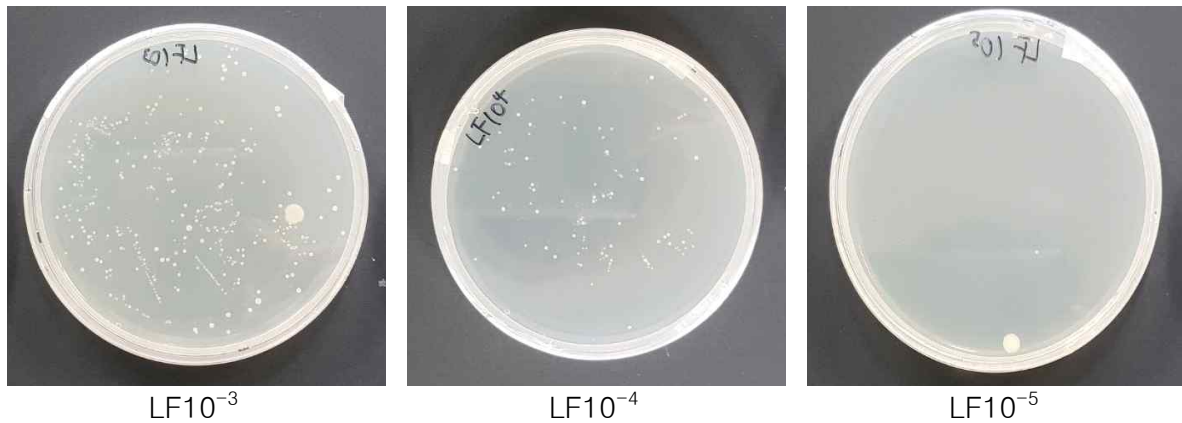


Fig. 49. 액비 희석배수에 따른 bacteria.

3) 최적 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 설계

가) 상기 2)항을 모두 고려한 아미노산 액비 제조시스템 설계

본 연구에서 개발하고자 하는 아미노산 액비 제조시스템은 랜더링 가축사체 잔여물과 단백질 가수분해제, 그리고 약취 저감을 위한 미생물제제 투입에 대한 사항을 고려하였으며, 제조시스템 설계는 아래와 같다.

- 랜더링 가축사체 잔여물을 이용하여 아미노산 액비를 생산하기 위한 제조시스템은 랜더링 가축사체 잔여물이 수용되는 반응조 고려한다.
- 랜더링 가축사체 잔여물을 가수분해하기 위하여 반응조에 증류수 또는 물과 단백질 가수분해제를 공급하는 분해제 공급부 고려한다.
- 랜더링 가축사체 잔여물의 분해와 가수분해제의 활성을 위해 반응조에 열을 공급하는 히터부 고려한다.
- 아미노산 액비 생산시 발생하는 약취를 저감하기 위한 미생물제제 공급부 고려한다.
- 반응조에서는 랜더링 가축사체 잔여물, 단백질 가수분해제, 미생물제제가 균일하게 섞일 수 있도록 교반장치 고려한다.
- 반응조 내부에는 단백질 가수분해제, 미생물제제의 활성에 필요한 산소를 공급하는 폭기 장치 고려한다.
- 반응조 내부의 상황을 일정하게 유지하기 위한 pH, 온도, 교반속도 등 조절 및 확인할 수

있는 외부 컨트롤러 설치 고려한다.

- 아미노산 액비 생산시 악취 농도를 샘플링 할 수 있는 가스배출구 고려한다.
- 아미노산 액비의 성분을 조사하기 위한 액비 배출부 고려한다.

위와 같은 사항을 고려하여 설계한 아미노산 액비 제조시스템은 Fig. 50에서 보는 바와 같다. 랜더링 가축사체 잔여물을 이용한 아미노산 액비 제조장치는 가수분해하고자 하는 랜더링 잔여물이 수용되는 반응조 (1), 반응조에 물과 가수분해제, 그리고 미생물제제를 공급하는 공급부 (2), 반응조에 열을 공급하는 히터장치 (3), 랜더링 잔여물과 물, 가수분해제, 미생물제제가 균일하게 섞일 수 있도록 하는 교반장치 (4), 미생물 활성을 위한 폭기장치 (5), 열공급, 교반, 폭기 등을 제어할 수 있는 컨트롤러 (6), 액비 배출구 (7), 그리고 가스 배출구 (8)로 구성되었다.

먼저, 반응조는 가수분해제를 이용하여 랜더링 잔여물을 아미노산 액비로 생산하는 것이 가장 바람직한데, 추가적인 분해 공정을 위해 스테인레스 스틸, 강철 등과 같은 금속재질을 사용하고 분해제에 의한 부식을 방지하기 위하여 세라믹 재질 등으로 코팅처리하는 것이 장기적으로 사용할 때 유리하다고 판단된다. 또한, 반응조의 상부 용기는 탈부착이 가능하도록 폐쇄형과 반폐쇄형이 되도록 제작한다. 반응조에 열을 공급하는 히터장치는 사용되는 가수분해제와 미생물제제의 활성을 고려하여 광범위하게 0~100℃ 범위를 유지할 수 있도록 설치하며, 교반장치는 거품발생량을 조절할 수 있도록 0~200 rpm으로 조절한다. 미생물 활성을 위한 폭기장치는 외부에 산소탱크와 연결될 수 있는 관을 부착하여 분당 산소를 공급할 수 있는 제어기를 설치하고, 이와 같은 인자를 제어할 수 있는 컨트롤러를 설치하며, 아미노산 액비의 pH를 측정할 수 있는 센서를 추가적으로 부착할 수 있다.

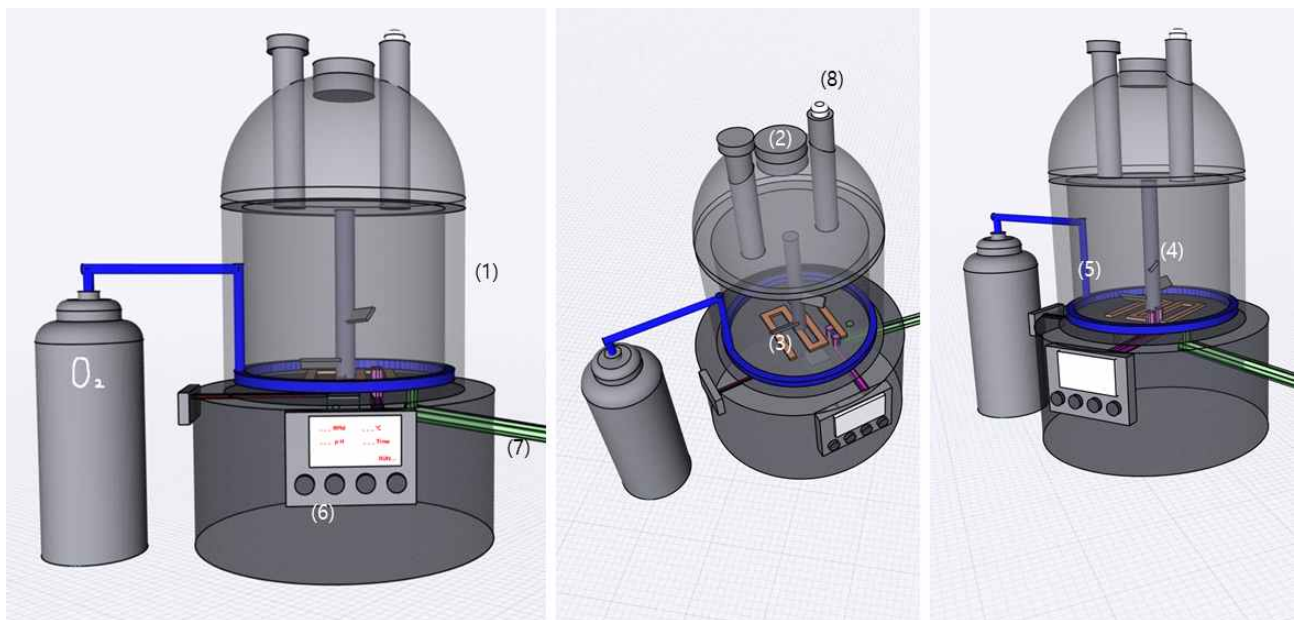


Fig. 50. 아미노산 액비 제조시스템 설계. [(1) 반응조 (2) 공급부 (3) 히터장치 (4) 교반장치 (5) 폭기장치 (6) 컨트롤러 (7) 액비 배출구 (8) 가스 배출구]

나) 농축시스템을 적용한 아미노산 액비 제조시스템 설계

농축시스템을 적용한 아미노산 액비 제조시스템을 설계한 자료는 Fig. 51 및 52에서 보는 바와 같다. 본 연구에서 적용하려는 농축시스템은 증발식 농축시스템으로 높은 열과 압력을 가하여 가수분해가 완료된 아미노산 액비를 농축시키는 것을 목표로 하고 있다. 아미노산 액비

제조장치는 온도를 조절할 수 있도록 설계되어 자체 농축이 가능하지만, 반응조 내에는 완전히 분해되지 않은 렌더링 잔여물이 남아 있기 때문에, 농축 후 정제과정이 원활하지 않다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서 설계한 농축시스템은 반응조에서 반응이 끝난 액비의 여과를 통해 농축장치로 옮기고, 열을 가하여 농축을 시키는 시스템이다. 기본적인 설계는 아미노산 액비 제조장치와 유사하며, 추가적으로 온도와 압력을 컨트롤 할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 이와 같은 사항은 농축장치에서 발생하는 열로 인해서 장치내부에는 증기가 발생되고, 이러한 증기를 회수하여 가열에너지로 바꾼다면 에너지 측면에서 효율적인 시스템이 될 것으로 판단된다.

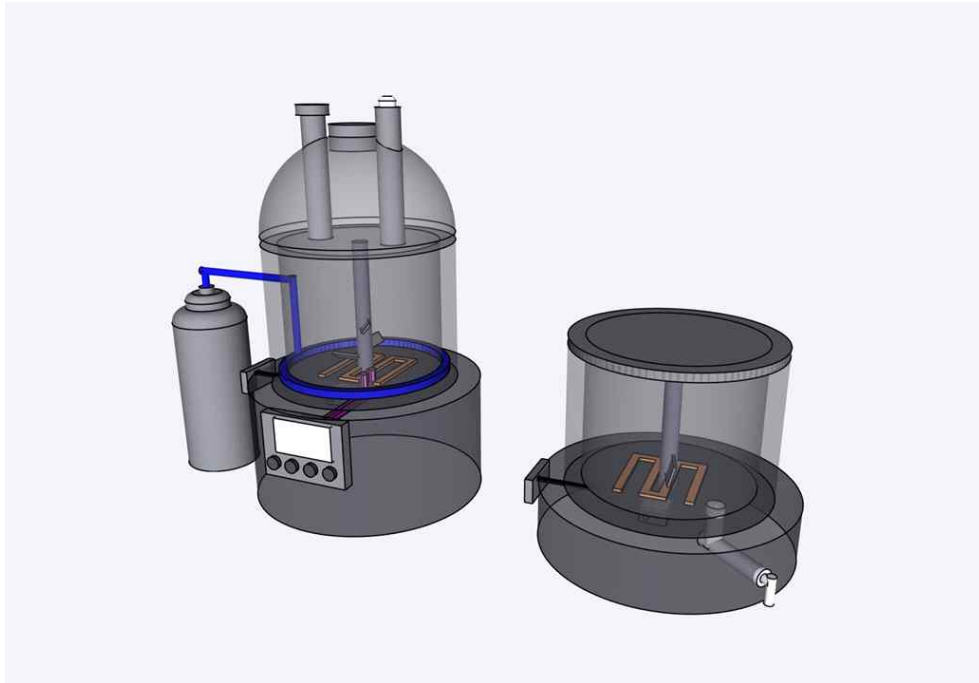


Fig 51. 아미노산 액비 제조장치와 농축장치.

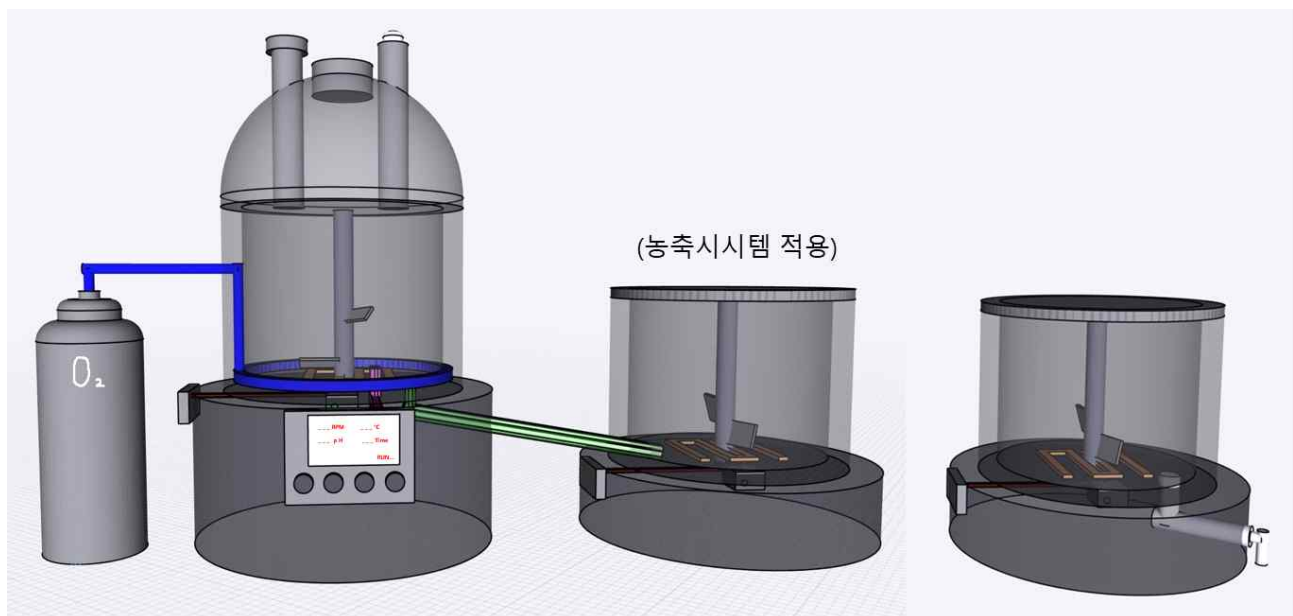


Fig. 52. 농축시스템을 적용한 아미노산 액비 제조시스템 설계.

나. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 biochar 제조시스템 개발을 위한 기반기술 확립

1) 랜더링 가축사체의 일반 biochar 제조장치 운영 및 문제점 도출

가) 일반 바이오차 장비에서 랜더링 가축사체 잔여물 열분해 효율 및 바이오차 특성평가

(1) 열분해 온도에 따른 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 수율

열분해 온도에 따른 랜더링 가축사체 고형물 biochar (RACS-BC)의 외형적인 특성은 Fig. 53에서 보는 것과 같다. 250°C에서 제조된 RACS-BC는 반탄화 상태인 진한 갈색을 나타내는 반면 400°C에서부터 일부 유기물이 탄화되기 시작하여 검은색을 나타내었으며, 900°C에서 제조된 RACS-BC의 표면은 일부 회백색을 나타내었다.

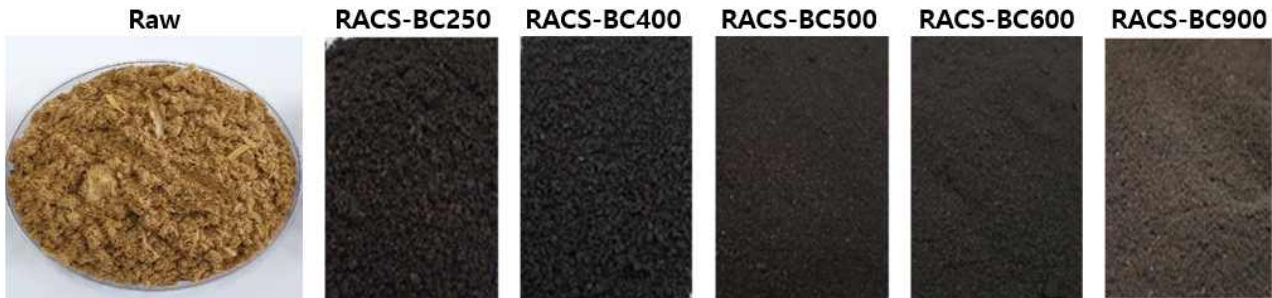


Fig. 53. 열분해 온도에 따라 제조된 RACS-BC의 외형적 특성.

열분해 온도에 따른 RACS-BC의 수율은 Fig. 54에서 보는 것과 같다. 열분해 온도가 증가함에 따라 RACS-BC의 수율은 점점 감소하는 경향이였다. 특히, 400°C의 열분해 온도에서 RACS-BC의 수율은 급격히 감소하였으나 400°C 이상에서 열분해 온도에서는 큰 차이가 나타나지 않았다. 이는 랜더링 고형잔류물 내 유기물이 대부분 400°C에서 분해되어지기 때문으로 사료된다. 일반적으로, 목질계 바이오매스의 경우 열분해 온도가 증가함에 따라 점진적으로 수율이 감소하나 본 실험에 사용된 랜더링 가축사체 고형물은 목질계 바이오매스와는 상이한 차이를 보였는데, 이는 유기물을 구성하고 있는 형태가 다르기 때문으로 판단된다. 목질계 바이오매스의 경우 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌과 같은 유기물 형태로 구성되어진 반면 랜더링 가축사체 고형잔류물은 다량의 단백질과 일부 지방으로 구성되어 있다.

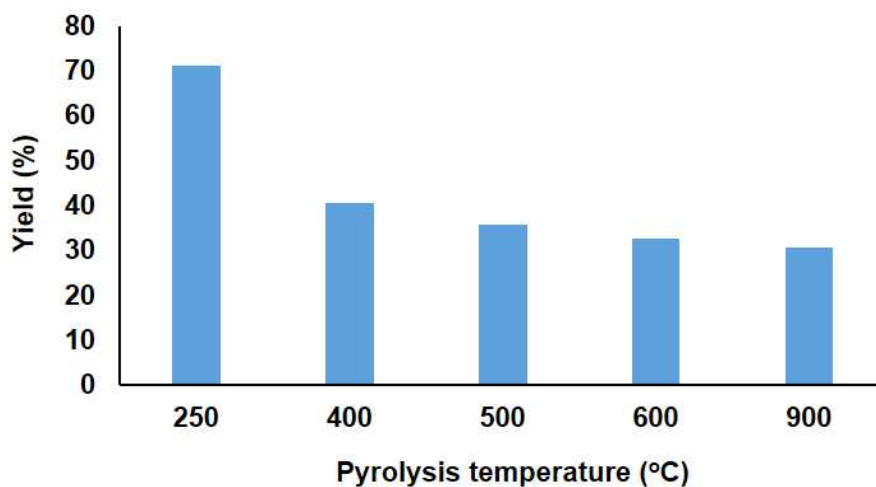


Fig. 54. 열분해 온도에 따른 RACS-BC의 수율.

각각 다른 열분해 온도에서 제조된 RACS-BC의 열적 안전성을 평가하기 위하여 TGA를 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 55에서 보는 것과 같다. 220°C까지는 수분이 증발되었지만 랜더링

가축사체 잔여물이 98.1% 정도로 대부분 남아있었다. 이는 가축사체의 랜더링 과정에서 수분을 충분히 제거하였기 때문으로 판단된다. 또한 250℃부터 500℃까지 온도에서 RACS-BC 내에 존재하는 단백질 및 지질의 열분해로 인하여 샘플의 중량은 급격히 감소하였으며, 잔여된 랜더링 가축사체의 중량은 초기 무게의 39.1%이었다. 이상의 결과를 미루어볼 때, 250℃와 500℃ 사이에 대부분의 유기물 및 잔여된 지질들이 탄화됨을 알 수 있었고, 이는 앞서 언급된 RACS-BC의 수율의 변화와 유사한 경향을 보였다. 600℃에서 잔여된 랜더링 가축사체는 초기 무게 대비 34.8%로 500℃와 유사하였다. 뿐만 아니라 750℃에서는 가축사체 잔여물에서 탄화될 수 있는 구성성분은 모두 탄화된 것을 확인할 수 있었고, 그 이상의 온도에서 중량의 차이가 없이 비교적 일정하게 유지되었다.

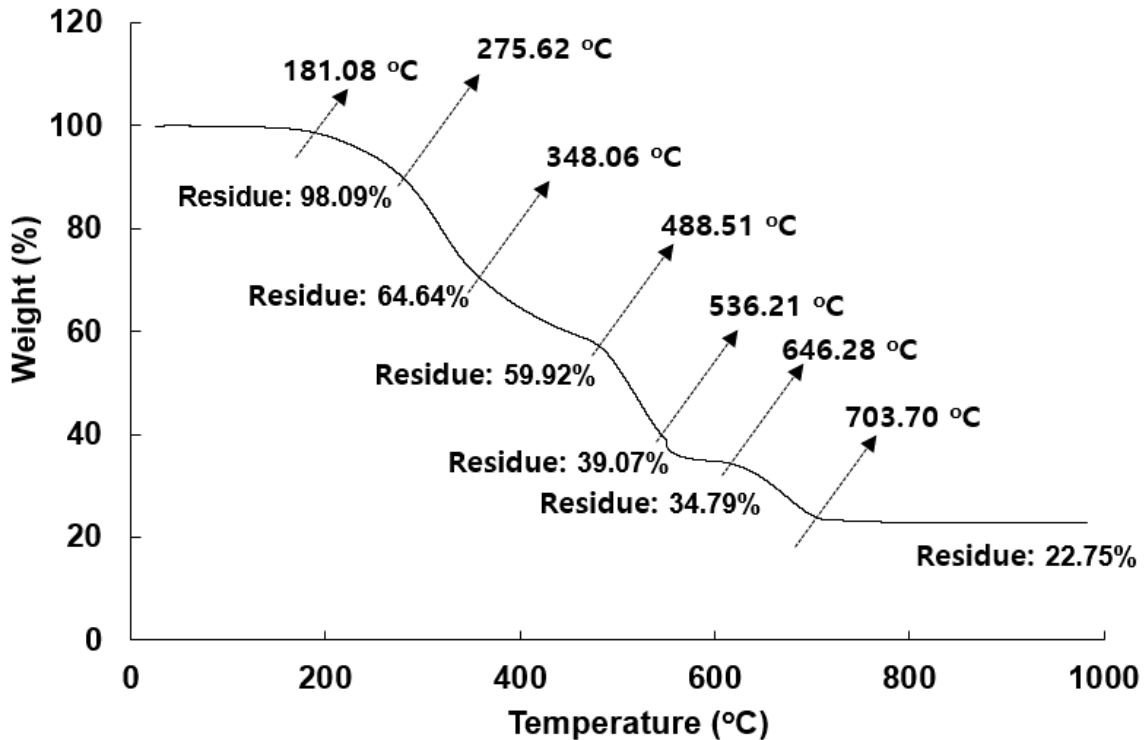


Fig. 55. TGA를 이용한 랜더링 가축사체 고형잔류물의 열중량 분석.

(2) 열분해 온도에 따른 랜더링 가축사체 잔여물의 물리화학적 특성

열분해 온도별 제조된 RACS-BC의 용적밀도는 열분해 온도와 관계없이 원시료와 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 열분해 온도가 증가함에 따라 랜더링 가축사체 고형물의 물리화학적 특성은 변화되지만 입자의 크기는 변화되지 않았기 때문으로 판단된다. 하지만 비표면적의 경우 250℃에서 제조된 RACS-BC의 경우 비표면적이 형성되지 않았으나, 400℃에서부터는 비표면적이 형성되기 시작하여 열분해 온도와 함께 유의적으로 증가하는 경향이 있었다. 이는 열분해 과정 동안 연소 및 휘발로 인하여 RACS-BC 표면에 미세공극이 형성되었기 때문으로 판단된다. 일반적으로 식물 biomass로 제조된 biochar에서 또한 열분해 온도가 증가함에 따라 비표면적은 증가한다고 보고하였는데, 이는 본 연구결과와 유사하였다. 동물 biomass로부터 유도된 RACS-BC 또한 유사한 결과를 보였다.

pH와 EC 함량은 열분해 온도가 증가함에 따라 증가하였는데, 특히 500℃ 이상에서 제조된 RACS-BC는 강알칼리성을 나타내었다. 이는 열분해 과정 동안 농축된 칼슘, 칼륨, 마그네슘의 영향으로 판단되며, EC 또한 이들의 영향으로 증가한 것으로 판단된다. 특히 biochar 내에 칼슘, 칼륨 및 마그네슘은 산화물 및 수산화물 형태로 존재하고 있기 때문에 수용액에 용해될 시

pH를 증가시키는 역할을 하게 된다. pH 및 EC의 결과는 동물성과 식물성 biochar에서 특이적인 차이를 나타내지 않았다. 열분해 온도에 따라 제조된 RACS-BC 내에 탄소 함량은 열분해 온도가 증가함에 따라 탄소 함량이 감소하는 경향을 보였다. 일반적인 목질계 바이오매스로부터 유도된 biochar는 열분해 온도가 증가함에 따라 탄소의 함량이 증가한다고 보고하였는데, 이는 앞서 언급된 바와 같이 식물 biomass와 동물 biomass의 탄소의 구성에 의한 차이인 것으로 판단된다. 수소 함량은 열분해 온도가 증가함에 따라 유의적으로 감소하였고, 600°C에서 제조된 RACS-BC 내에 수소는 거의 존재하지 않았다. 질소의 경우 RACS-BC를 비료로 활용하기 위한 중요한 인자 중에 하나이다. 특히 온도가 증가함에 따라 RACS-BC 내에 질소의 함량은 급격히 감소하였다. 랜더링 과정에서 수분과 유지를 추출하고 난 뒤 대부분의 구성은 단백질로 되어 있으며, 이들이 400°C의 열분해 온도에서 탄화됨에 따라 질소 또한 휘산되어지기 때문에 열분해 온도가 증가함에 따라 RACS-BC 내에 질소함량은 감소한 것으로 사료된다. T-P의 함량은 열분해 온도가 증가함에 따라 증가하였으며, 600°C에서 제조된 RACS-BC 내 T-P의 함량은 11.25~13.86%의 범위로 매우 높았으며, 이는 일반적인 식물체 biomass로부터 유도된 biochar에 비해 높았다. 특히 랜더링 잔여물에는 다량의 사체의 뼈가 그대로 존재하고 있으며, 이들이 열분해에 의해 더욱더 응축됨에 따라 RACS-BC 단위 g당 T-P의 함량은 증가한 것으로 판단된다.

Table 36. 열분해 온도에 따른 RACS-BC 내에 화학적 특성 (I)

	[¥] BD	[§] SA	pH	EC	C	H	N	T-P
	(g cm ⁻³)	(m ² g ⁻¹)	(1:5)	(dS m ⁻¹)	----- (%) -----			-----
RACS	0.624	ND*	6.10	4.3	44.7	8.4	14.1	1.03
RACS-BC250	0.709	ND	6.51	16.6	42.4	6.2	12.6	2.26
RACS-BC400	0.815	8.69	8.66	20.1	44.2	2.6	8.4	5.95
RACS-BC500	0.725	79.61	9.48	22.9	35.6	0.4	4.6	9.12
RACS-BC600	0.736	99.12	9.69	25.6	24.6	0.1	3.6	13.86
RACS-BC900	0.642	85.32	9.81	25.98	22.4	0.1	2.1	16.63

*ND; Not Detected

열분해 온도에 따라 제조된 RACS-BC 내에 K, Ca, Mg 및 CEC 함량 또한 열분해 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향이었고, Fe 및 Mn 또한 동일한 경향이었다.

Table 37. 열분해 온도에 따른 RACS-BC 내에 화학적 특성 (II)

	K	Ca	Mg	CEC	Fe	Mn
	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----				----- (mg kg ⁻¹) -----	
RACS	0.16	0.19	0.23	14.25	345	25.1
RACS-BC250	6.58	2.12	0.45	14.25	564	35.6
RACS-BC400	12.69	2.66	1.54	22.65	789	49.5
RACS-BC500	15.99	3.16	1.89	29.15	1,121	72.1
RACS-BC600	19.45	3.54	2.21	30.26	1,244	84.6
RACS-BC900	20.60	3.84	2.22	33.62	1,269	89.6

열분해 온도별 제조된 RACS-BC의 중금속 함량은 Table 38에 나타내었다. 열분해 온도가 증가함에 따라 RACS-BC의 Cu 및 Zn 함량은 증가하는 경향이었으나, 이들은 비료공정규격에서 제시한 농도에 비해 낮았다. Cr의 함량은 열분해 온도에 관계없이 0.015~0.021 mg kg⁻¹으로 아주 낮은 함량으로 분포하고 있었으며, Ni 함량은 열분해 온도에 따라 약간 증가하는 경향이 있었으나 그 함량은 1.24~2.56 mg kg⁻¹의 범위로 낮았다. 또한 Pb, As, Cd, Hg 함량은 축종과 열분해 온도에 관계없이 검출되지 않았다. 이상의 결과를 미루어볼 때, 랜더링 잔여물을 활용한 RACS-BC는 고함량의 K, P, Ca를 함유한 안정적인 비료 원료로써 사용이 가능할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합적으로 검토해 볼 때, RACS-BC를 농업적으로 활용하기 위한 최적 열분해 온도는 500°C가 적합할 것으로 판단된다. 900°C에서 제조된 RACS-BC의 경우 표면적과 무기성분 함량 측면에서 다른 열분해 온도에서 제조된 RACS-BC에 비해 우수할지 모르나, 고온의 열분해 온도를 유지하기 위해서는 전력 소모량이 증가하게 된다. 전력 소모량이 증가한다는 것은 RACS-BC를 제조하기 위한 비용이 증가한다는 것을 의미하고, 제조 비용이 증가하게 되면 RACS-BC의 경제성은 낮아지게 된다. Biochar를 토양개량제 및 수질정화제로 적용하는 가장 큰 이점은 경제성이므로 이를 고려한 열분해 온도를 설정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 38. 열분해 온도에 따라 제조된 RACS-BC 내 유해성분 함량

	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Hg
	----- (mg kg ⁻¹) -----							
RACS	36.1	16.9	0.016	ND*	1.63	ND	ND	ND
RACS-BC250	59.2	42.6	0.021	ND	1.24	ND	ND	ND
RACS-BC400	61.7	95.3	0.015	ND	2.21	ND	ND	ND
RACS-BC500	65.4	99.6	0.016	ND	2.56	ND	ND	ND
RACS-BC600	62.5	101.1	0.018	ND	2.25	ND	ND	ND

*ND; Not Detected

RACS-BC의 구조적인 특성의 경우 화학적 특성에서 이미 열분해 온도가 500°C로 설정이 되었기 때문에 500°C에서 제조된 RACS-BC에 초점을 맞추어 분석하였다. SEM-EDS mapping 기법을 이용하여 RACS-BC500의 표면구조를 관찰한 결과 입자는 대부분 다공성 구조인 것을 확인할 수 있었고 무기성분의 농축으로 인하여 일부 결정형이 관찰되었다. EDS 분석결과 Ca 및 P가 주요한 분포특성을 보였고, 일부 산소 및 탄소로 구성되어 있는데, 이는 앞서 언급된 화학적인 성분과 일치하였다. SEM-EDS mapping 결과에서 또한 칼슘과 인이 다량으로 분포되어 있는 것을 발견하였는데, 인과 칼슘의 분포비율은 서로 상이한 차이를 보였다. 일반적으로 동물의 뼈를 구성하는 칼슘과 인산 화합물은 hydroxyapatite로서 이는 칼슘과 인의 비율이 2:1인 점을 고려할 때, 칼슘의 분포량이 인산에 비해 2배 정도 높은데, 이는 본 연구결과와 일치하였다.

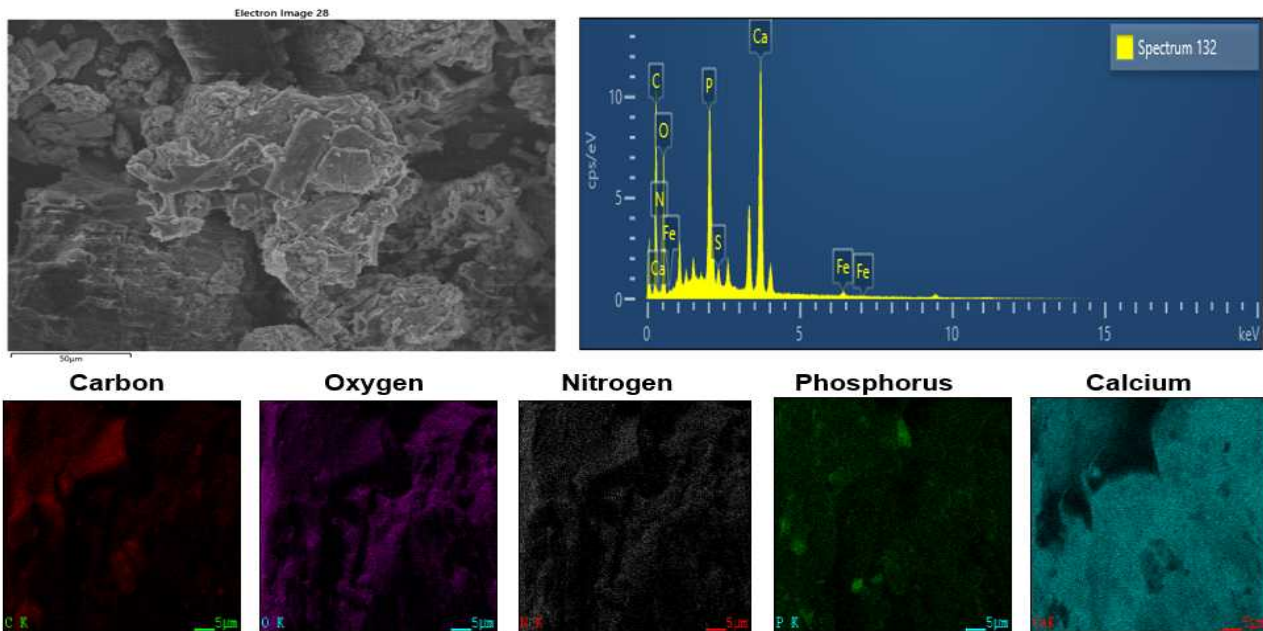


Fig. 56. SEM-EDS mapping기법을 이용한 RACS-BC의 표면구조 및 원소분포 특성.

FTIR을 이용하여 RACS-BC500의 관능기를 조사한 결과는 Fig. 57에서 보는 것과 같다. 일반적으로 수분과 관련된 OH를 나타내는 peak는 $3,400\text{ cm}^{-1}$ 에 할당되어지는데, 고온의 열분해로 제조된 RACS-BC 내에는 OH와 관련된 peak의 강도는 매우 낮았다. 또한, RACS-BC 내 $1,044$, 867 , $1,400$ 및 710 cm^{-1} 파장에서 나타난 peak는 다양한 형태의 CO_3 와 연관되어지는데, RACS-BC 내에 다양한 형태의 탄산칼슘이 여전히 존재하고 있다는 것을 알 수 있었다. RACS-BC500의 $1,044\text{ cm}^{-1}$ 에서 나타난 peak는 P-O와 관련된 peak로 열분해에 의해 인산염의 함량이 증가하였기 때문으로 판단된다. RACS-BC 내에 567 및 605 cm^{-1} 의 파장에서 나타난 peak는 O-P-O 구조를 나타낸다. 이상의 결과를 미루어볼 때, RACS-BC 내에 주요구성 성분은 Ca 및 P이었으며, 이는 앞서 언급된 SEM-EDS의 결과와 유사하였다.

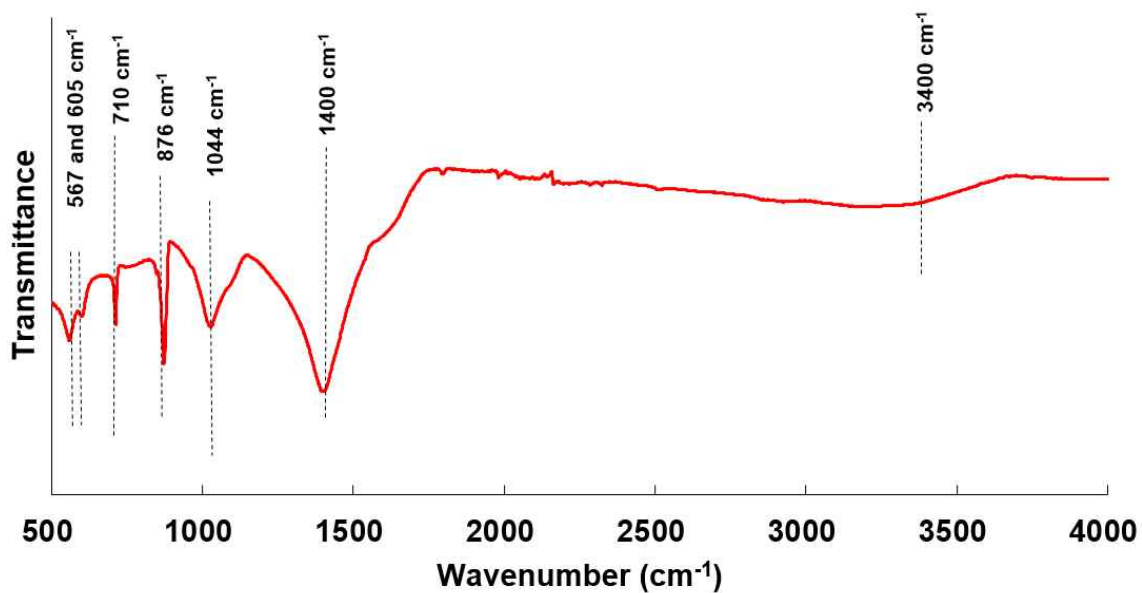


Fig. 57. FTIR을 이용한 RACS-BC500의 관능기 특성.

XRF 결과에서 도출된 각 원소에 대한 광물의 구성을 조사하였을 때 RACS-BC의 대부분의 구성 물질을 비교하였을 때 CaO 및 CO₂ 함량이 높아 대부분의 성분에 CaCO₃와 밀접한 연관이 있는 것으로 판단되며, 그다음으로는 P₂O₅ 및 K₂O 순이었다 (Table 39). XRF 결과만으로는 높은 열분해 온도에서 제조된 RACS-BC는 높은 Ca, K, P 함량을 보였기 때문에 이 자체로도 충분히 비료학적 가치가 있을 것으로 판단된다.

Table 39. XRF를 통한 RACS-BC500의 결정형 함량

CaO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CO ₂	NO ₃
----- (%) -----									
41.4	16.3	2.9	2.0	0.6	1.1	0.3	0.2	28.2	4.8

RACS-BC500의 XRD결과는 Fig. 58에서 보는 것과 같다. 2 theta(θ) 값이 29.56에서 CaCO₃와 관련된 peak가 높게 나타났는데, 이는 랜더링된 가축사체 잔여물에 포함된 뼈의 영향으로 판단된다. 뿐만 아니라 2 theta(θ) 값이 20 전·후로 다양한 peak가 나타났으나 이들은 대부분 CaCO₃와 Ca₈H₂(PO₄)₆와 연관이 있었다. 이와 같이 XRD를 이용하여 RACS-BC500 표면의 결정체의 구성은 대부분 칼슘, 탄산염 및 인산염에 의해 결정되어졌다. 뿐만 아니라 RACS-BC500는 NaHCO₃와 KHCO₃가 관련된 peak가 나타났는데, 이 또한 RACS의 열분해 과정에서 K와 Na와 같은 무기성분들이 응축되는 과정에서 탄산염과 결합하여 이와 같은 peak들이 나타난 것으로 판단된다. 이와 같이 XRD 결과에서 도출된 RACS-BC 내에 결정체는 랜더링된 가축사체 잔여물 중 뼈에 지배적인 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

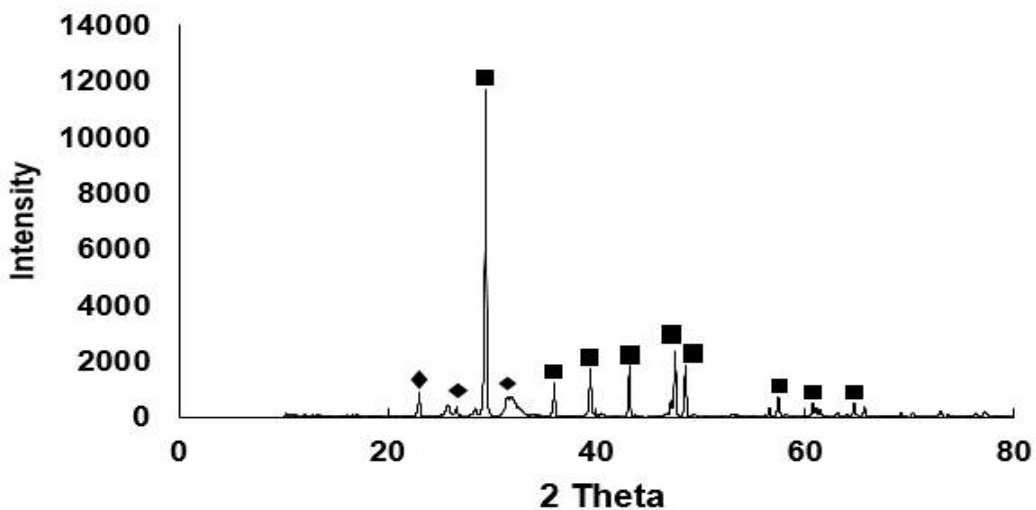


Fig. 58. XRD를 이용한 RACS-BC500의 결정형 구조.

RACS-BC의 원소구성 및 구조를 명확하게 관찰하기 위하여 XPS 분석을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 59에 나타내었다. RACS-BC500에서 283.9, 284.3, 285.4, 288.2 eV의 결합 에너지(BE)에 할당된 peak는 각각 σ -결합 C[C1s(I)], C=C[C1s(II)], CO/C-OH [C1s(III)] 및 C=O [C1s(IV)]에 해당되어졌다. 게다가 RACS-BC500에서는 531.0 eV[C=O, O1s(I)], 532.8 eV[C-OH/COC, O1s(II)], 535.3 eV[COO, O1s(III)]의 결합 에너지에서 강한 peak가 나타났다.

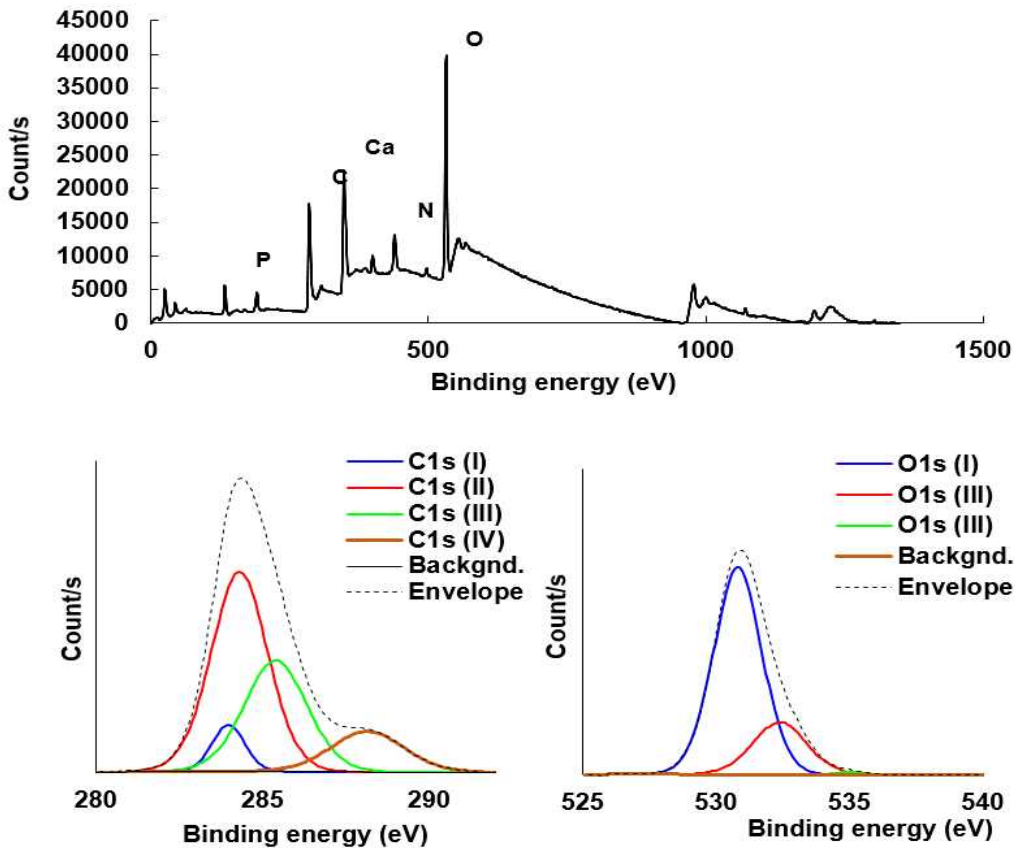


Fig. 59. XPS를 통한 RACS-BC 내 탄소 및 산소의 결합구조.

나) 일반 바이오차 장비의 문제점 및 개선 방안 도출

(1) 랜더링 가축사체 잔여물의 열분해 과정 동안 발생하는 문제점 파악

본 연구진은 다양한 열분해 온도에서 biochar를 제조하고, 최적으로 선정된 biochar 제조 온도인 500℃에서 RACS-BC를 연속적으로 제조하는 과정에서 발생하는 문제점을 파악하였다. 일단 랜더링 가축사체 고형물을 이용하여 biochar를 제조하는 과정에서 다량의 가스가 발생되게 된다. 특히 이들 가스는 목질계 biomass의 열분해에서 나는 냄새와 달리 지방과 단백질이 열분해 되면서 매캐한 냄새를 가지고 있다. 또한 랜더링 가축사체 고형물에 포함된 오일유래 기화가스는 biochar 제조장치 내부 열선에 침착되어 열전달 불균형을 초래하고 열선의 파손을 초래하였다.

국내외 biochar 제조장치는 대부분 식물 biomass에 초점을 맞추어 제작되었기 때문에 다량의 유지를 포함한 가축사체 전용 biochar 제조장치는 개발되지 않았다. 특히 식물 바이오매스 전용 biochar 제조장치를 이용하여 다량의 유지를 포함한 랜더링 가축사체 고형물로 biochar를 제조하는 것은 앞서 언급된 기기의 손상을 야기시킬 수 있다.

또한 기존 식물 바이오매스 전용 biochar 제조장치의 경우 biochar를 토양개량용 및 수질정화제로 활용하기 위해 무기성분 함량과 비표면적을 극대화할 수 있는 slow pyrolysis 조건을 적용하고 있으며, 이는 상대적으로 많은 소요 시간이 필요하고 따로 냉각시스템이 구비되어 있지 않다. 특히 랜더링 가축사체 고형물의 경우 목질계 바이오매스와 유기물을 구성하고 있는 형태가 다르기 때문에 장시간의 열분해 과정이 필요없고 냉각시간 또한 짧게 설정하는 것이 주기적으로 배출되는 가축사체 고형물을 biochar로 제조할 수 있는 효율적인 방안이라 판단하였다.



Fig. 60. Biochar 제조 과정에서 발생하는 syngas 및 가스체류로 인한 열선손상/콘트롤러 손상.

(2) 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 제조를 위한 장치의 개선방안 도출

랜더링 가축사체 잔여물 biochar 제조를 위한 장치의 개선방안은 상기 (가)항의 문제점을 기반으로 요약되어졌다. 일단 가축사체 열분해 과정에서 배출되는 신가스를 포집하여 배출되는 가스를 저장하고 환경노출을 최소화할 수 있는 방안이 필요하다. 또한 랜더링된 가축사체 잔여물은 랜더링 과정을 통하여 가축사체 중 유지성분을 추출하였다 할지라도 26%가량의 조지방을 함유하고 있기 때문에 열분해 과정에서 오일이 연소함에 따라 매캐한 냄새와 유기산 등의 가스를 배출한다. 이에 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 제조 장치의 안정성을 확보하고 랜더링된 가축사체 내 오일의 효율적 활용방안을 모색하기 위하여 적정온도에서 가축사체 내 포함된 유지성분을 추가적으로 추출할 수 있는 방안이 필요하다. 기존 목질계 바이오매스 전용 biochar 제조장치는 냉각 시스템을 별도로 구비하고 있지 않기 때문에 냉각에 많은 시간이 소요되는 문제점이 있다. 하지만 랜더링 가축사체 잔여물의 경우 냉각 속도가 biochar의 특성에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 고려하여 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 제조장치에는 별도로 냉각시스템을 탑재하여 RACS-BC의 효율적 생산시스템을 구비할 필요성이 있다.

다) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치 필수 제어인자 도출을 통한 최적화 방안 제시

(1) 상기 나) 항의 문제점에 의거 가축사체 전용 biochar 제조장치의 제어인자 설정

상기 나) 항의 목질계 바이오매스 biochar 제조장치의 문제점을 보완하고, 이를 가축사체 biochar 제조장치로 활용하기 위한 필수 제어인자는 온도 설정이 가장 중요하다. 우선 biochar 제조 장치로부터 오일 및 신가스를 추출하기 위하여 승온온도를 2단계로 설정하여 첫 번째 승온단계에서 랜더링 가축사체 고형물로부터 오일을 추출하고, 그 뒤에 두 번째 승온단계를 거치면서 신가스를 포집한 뒤 최종적으로 biochar를 제조하게 된다. 또한 그 뒤에 냉각시스템을 적용하여 비교적 빠른 시간 안에 RACS-BC를 제조하여 생산효율을 극대화하는 것이 본 연구에서 개발하고자 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조장치의 핵심 전략이다. 특히 2단계의 승온단계 동안 가축사체로부터 추출된 오일의 수율을 향상하기 위하여 오일이 연소되어 가스화되는 것을 최소화하여야 한다. 냉각시스템 가동시 biochar가 품질특성이 변화되어서는 안되기 때문에 biochar를 제조하는 내부 챔버 안으로 공기유입이 최소화되도록 설계가 되어야 하고, 급랭조건으로 냉각시 열선이나 biochar 내부시스템의 구조에 균열이 일어날 수 있기 때문에 이 또한 향후 개발될 가축사체 전용 biochar 제조장치에 중요한 인자로 적용될 것이다.

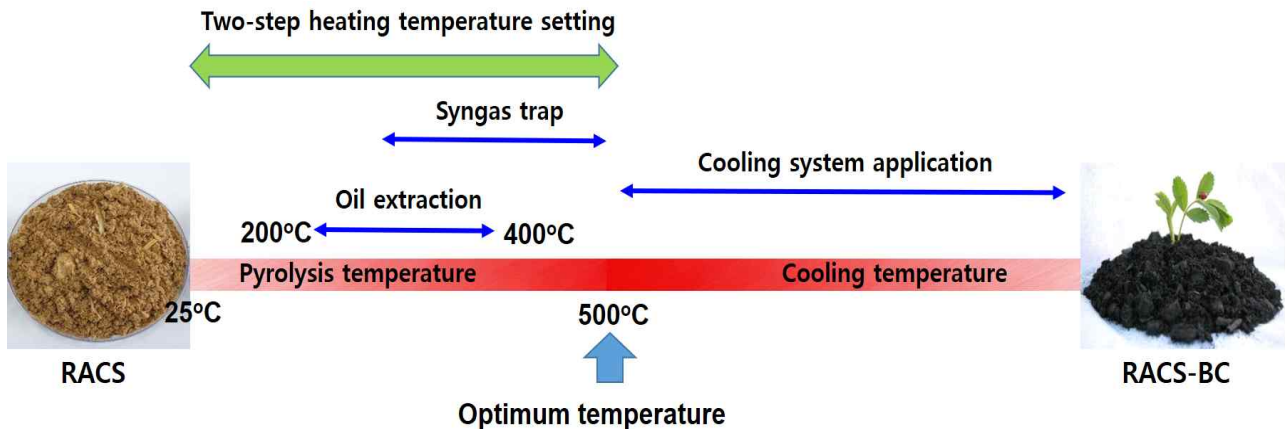


Fig. 61. 가축사체 전용 biochar 제조장치의 제어인자.

(2) 가축사체 전용 biochar 제조장치의 최적화 방안제시

가축사체 전용 biochar 제조장치의 최적화 방안은 Fig. 62에서 보는 것과 같이 신가스, 바이오오일 및 냉각시스템으로 세분화하여 나타내었다. 첫 번째 랜더링 가축사체 고형잔류물로 배출되는 신가스의 발생패턴 및 성분 분석을 실시하여 이 가스가 유독성 물질을 함유하고 있는지 또는 경제적인 가치가 있는 가스가 발생되는지 여부를 우선 판단해야 하고, 이들이 유독성분을 함유하고 있다면 배기되는 가스를 정화하는데 초점을, 경제적인 물질을 함유하고 있다면 이들을 포집하여 재활용할 수 있는 방안이 마련이 되어야 할 것이다. 바이오오일 부분에서 또한 신가스와 동일하게 랜더링된 가축사체 고형물의 1단계 승온단계로부터 추출되어지는 바이오오일의 추출량과 성분 분석을 실시해야 하며, 이들 분석결과에 따라 오일의 정화 및 재활용 여부를 결정짓게 될 것이다. 다양한 참고문헌에서 보고된 바에 따르면 목질계 또는 단백질계열의 바이오매스를 열분해하여 생성된 신가스는 ethanol과 같은 연료의 공급원으로 사용될 수 있다고 보고되었으며, 과거 목질계 바이오매스의 연료로부터 발생된 가스를 냉각하여 목초액을 제조하고, 이들을 농업적 살균제 및 살충제로 활용하였다. 또한 바이오오일은 연료로 재활용이 가능하며, 또한 최근에는 식물성 및 동물성 오일을 활용한 oleochemical 제품에 대한 연구들이 활발히 진행중이기 때문에 랜더링된 가축사체를 biochar로 제조하는 과정에서 오일을 우선적으로 추출할 수 있는 기술이 개발된다면 기존 biochar 제조장치의 비해 경제성 및 효율성 부분에서 활용도는 더 높아질 것으로 판단된다. 냉각방식 설정에 따른 가축사체 전용 biochar 제조장치의 최적화 방안 냉각방식 및 냉각시간을 달리하여 최적온도에 도달된 biochar 제조장치 내부를 냉각시키고, 그에 따른 RACS-BC의 품질특성을 평가하여야 한다.

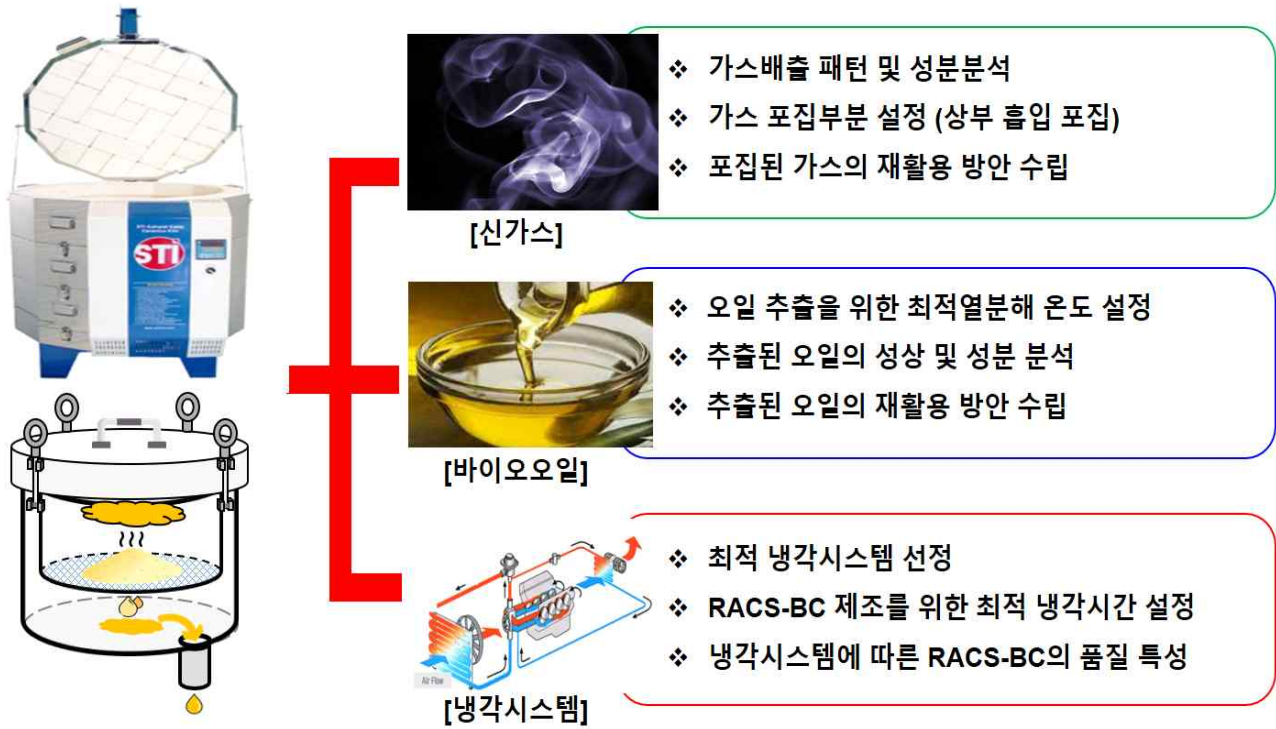


Fig. 62. 가축사체 전용 biochar 제조장치의 최적화 방안.

2) 랜더링 가축사체 전용 바이오차 장치 개발을 위한 필수 제어인자 원천기술 개발
 가) 가축사체 특성에 맞는 맞춤형 biochar 열분해 원천기술 개발 (제조/냉각방식 포함)

(1) 냉각방식 및 시간에 따른 biochar의 품질특성 평가

냉각방식 및 냉각시간에 따른 biochar의 품질특성을 평가하였으며, 그 결과는 Table 40에서 보는 것과 같다. 냉각방식 및 냉각시간에 따른 RACS-BC의 수율은 32.7~35.6%로 별 다른 차이 없이 유사하였다. 이러한 결과는 대부분의 유기물의 승온단계 및 유지단계에서 분해되었기 때문이며, 냉각단계에서는 열분해 후 잔존하는 유기물 및 탄소의 함량에 어떠한 영향을 미치지 않기 때문이다. 하지만 비표면적의 경우는 급속냉각 시 기존 자연냉각 방식에 비해 비표면적이 현저하게 감소되었는데, 이는 RACS-BC가 빠르게 냉각되면서 표면 무기결정형들이 RACS-BC 내부 공극을 막았기 때문으로 판단된다. pH는 냉각방식 및 냉각시간에 따라 별다른 차이 없이 9.47~9.99의 범위로 유사하였다.

Table 40. 냉각방식 및 냉각시간에 따른 RACS-BC의 이화학적 특성

Condition	Time	Yield	$^{\text{¥}}\text{BD}$	$^{\text{§}}\text{SA}$	pH	EC	C	H	N	T-P
		(%)	(g cm ⁻³)	(m ² g ⁻¹)	(1:5)	(dS m ⁻¹)	-----	-----	(%)	-----
자연냉각		32.7	0.736	99.1	9.69	25.6	34.1	0.1	3.6	13.9
급속냉각		35.6	0.762	75.4	9.99	27.4	30.6	0.1	3.4	18.2
공랭식냉각	4hr	34.6	0.642	91.2	9.81	25.9	33.2	0.1	3.6	16.6
	6hr	33.2	0.712	98.3	9.47	22.1	34.7	0.1	3.4	17.2
	12hr	32.6	0.734	106.2	9.72	24.6	35.7	0.1	3.7	18.6

냉각방식 및 냉각시간에 따른 표면구조의 관찰은 SEM 분석기기를 이용하여 측정되었고, 그 결과는 Fig. 63에서 보는 것과 같다. 자연냉각 시 RACS-BC의 표면은 다공성 구조와 함께 작은 입자들이 엉켜져 있는 형태를 나타내었고 이는 인과 칼슘의 결정형에 기인된 것으로 판단된다. 급속냉각의 경우 작은 입자들이 엉켜져 있는 형태이기 보다는 입자의 크기가 상대적으로 큰 상태로 명확한 공극구조를 관찰하기 어려웠다. 이는 앞서 언급된 바와 같이 시료가 급속이 냉각됨에 따라 산화물 및 수산화물이 큰 덩어리도 결정화되었기 때문으로 판단된다. 하지만 공랭식의 경우 자연냉각과 비교적 유사한 구조로 다공성 구조와 입자의 형태를 명확하게 관찰할 수 있었으며, 공랭식으로 냉각하는 시간에 따라서는 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

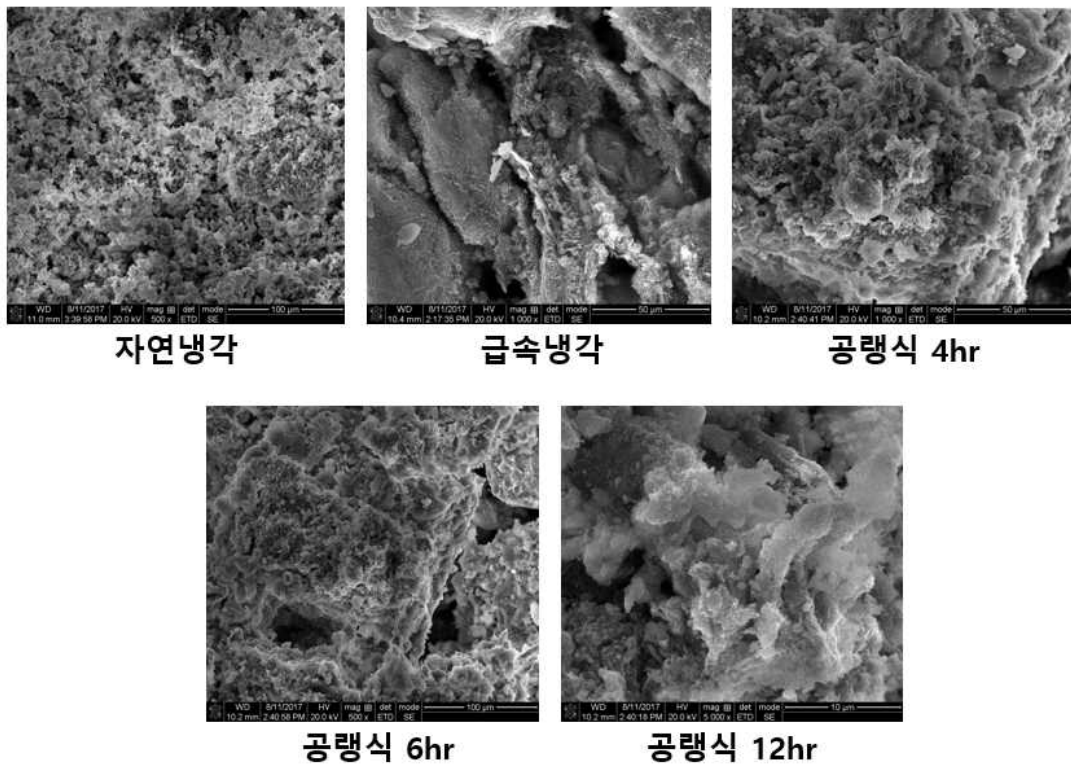


Fig. 63. SEM을 이용한 냉각방식 및 냉각시간에 따라 제조된 RACS-BC의 표면구조.

냉각방식 및 냉각시간에 따라 제조된 RACS-BC의 관능기 변화는 FTIR을 이용하여 조사되었으며, 그 결과는 Fig. 64와 같다. 냉각방식 및 냉각시간에 RACS-BC의 관능기는 조건에 따라 peak의 높이가 약간의 차이가 있었으나, 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이상의 결과를 종합적으로 검토해 볼 때, 랜더링 전용 가축사체 biochar를 제조하기 위한 냉각방식은 공랭식 4시간이 가장 적합할 것으로 판단된다. 급속 냉각식의 경우 빠른 RACS-BC의 생산으로 인하여 효율성을 높일 수가 있으나 비표면적이 감소되고 입자의 구조가 큰 결정형으로 덩어리지는 현상이 관찰되었다. 뿐만 아니라 온도가 높아져 있는 상태에서 장기적 및 주기적으로 상부의 뚜껑을 열었을 때 열선의 손상을 야기시킬 뿐만 아니라 온도에 약한 주변 부품들이 훼손될 수 있다. 하지만 공랭식의 경우 비교적 안정적 송풍 그리고 열교환으로 인하여 온도가 지속적으로 낮아짐에 따라 안정적이고 품질특성이 균질한 시료를 생산할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 대용량 RACS-BC 제조장치를 구축할 시 시료의 양에 따라 냉각되는 시간은 약간 달라질 것으로 판단된다. 이에 향후 실제 현장 규모의 RACS-BC 제조장치를 설치 및 제작하고, 일일 배출되는 랜더링 가축사체 고형물의 양을 고려한 냉각시간에 대한 주기적인 검토과정이 필요할 것으로 판단된다.

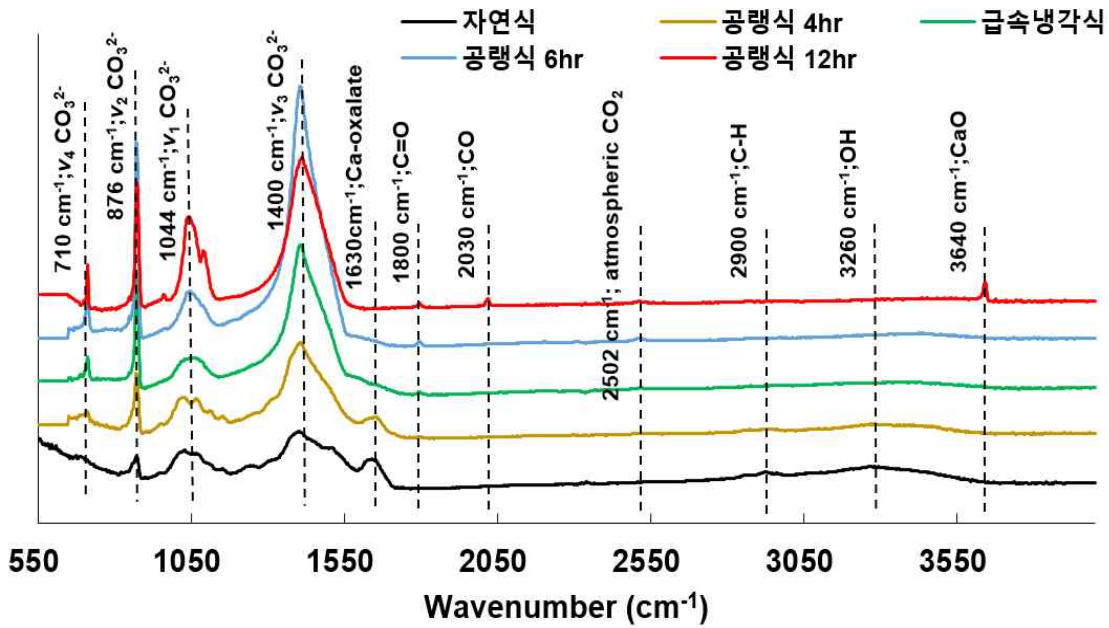


Fig. 64. FTIR을 이용한 냉각방식 및 냉각시간에 따라 제조된 RACS-BC의 관능기 변화.

나) 오일추출 및 재활용 원천기술

(1) 열분해 온도에 따른 가축사체 잔여물의 물성 평가

열분해 온도에 따른 가축사체 잔여물의 물성 평가는 재료 및 방법에서 언급된 실험장치를 적용하여 RACS-BC를 제조하는 과정에서 오일 추출온도를 200, 300 및 400°C으로 구분하여 조사되었으며, 실제 각 온도별 추출된 시료는 Fig. 65에서 보는 바와 같다. 200°C의 추출온도의 경우 배출되는 양이 매우 극미량이었고, 추출도 잘 되지 않았다. 하지만 300°C에서는 다량의 오일이 추출되었으며, 그 추출과정도 비교적 간단하였다. 200°C의 경우 비교적 압력을 가해야 추출된 오일이 그물망 밑으로 추출되어져 나오는 반면, 300°C의 경우는 별 다른 힘을 가하지 않았다. 자연적으로 오일이 하부 메쉬층을 통과하여 오일추출부로 배출되었다. 하지만 400°C의 경우는 일부 오일이 탄화되면서 매캐한 냄새가 났으며, 오일도 잘 추출되지 않았다. 이는 생성된 오일이 추출되기 보다는 높은 열분해 온도에서 휘발 또는 탄화됨에 따라 발생하는 현상이라고 판단된다.

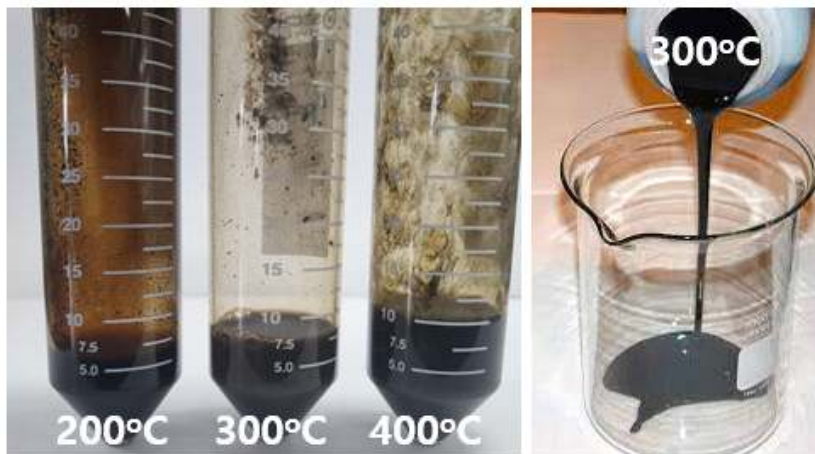


Fig. 65. 랜더링 가축사체 고형잔류물로부터 바이오오일 추출.

오일 추출 후 잔류되어 있는 랜더링 가축사체 고형물의 수율은 Fig. 66에서 보는 것과 같다. 200°C의 추출온도에서 오일을 추출하고 남은 잔재물인 원재료의 95.6%로 대부분의 오일은 추출되지 않았다. 이는 1차 처리인 랜더링 반응 자체가 200°C의 온도에서 유지를 추출하게 되기 때문에 이미 추출가능한 오일은 제거된 것으로 판단된다. 300°C의 추출온도에서 잔여된 가축사체 잔여물은 72.4%으로 오일추출 후 중량이 급격히 감소하는 결과를 보였다. 반면에 400°C의 오일 추출온도에서 잔여된 중량은 40.2%으로 이는 400°C에서 제조된 RACS-BC의 수율과 유사하였다. 이와 같이 400°C의 추출온도는 오일을 추출하기보다는 RACS-BC를 제조하는 과정에 더욱 밀접한 연관이 있다고 판단된다.

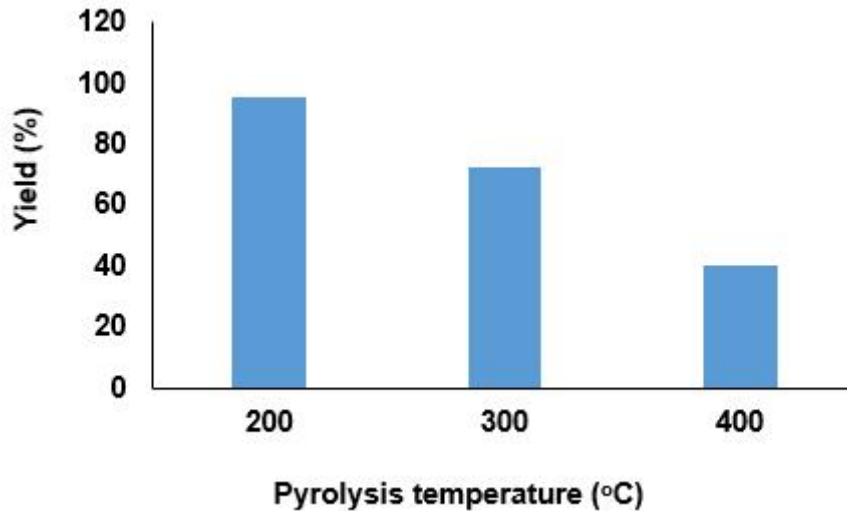


Fig. 66. 다른 추출온도에서 오일 추출 후 랜더링 가축사체 잔여물의 수율.

다른 추출온도에서 오일을 추출하고 잔여된 랜더링 가축사체 잔여물의 조지방 함량은 soxhlet 장치를 이용하여 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 67에서 보는 것과 같다. 순수한 랜더링 가축사체 잔여물의 조지방 함량이 28.6%인 것에 비해 200°C의 추출온도에서 오일 추출 후 잔여된 랜더링 가축사체 잔여물의 조지방 함량은 25.4%로 원시료와 비교하였을 때 별 다른 차이 없이 유사하였다. 하지만 300°C의 추출온도에서 오일 추출 후 잔여된 랜더링 가축사체 잔여물의 조지방 함량은 4.1%로 원시료에 비해 조지방 함량은 급격히 감소하였다. 400°C의 온도에서 추출한 후 잔여된 랜더링 가축사체 고형물의 조지방 함량은 300°C에 비해 약간 더 감소하기는 하였으나 별다른 차이는 없었다.

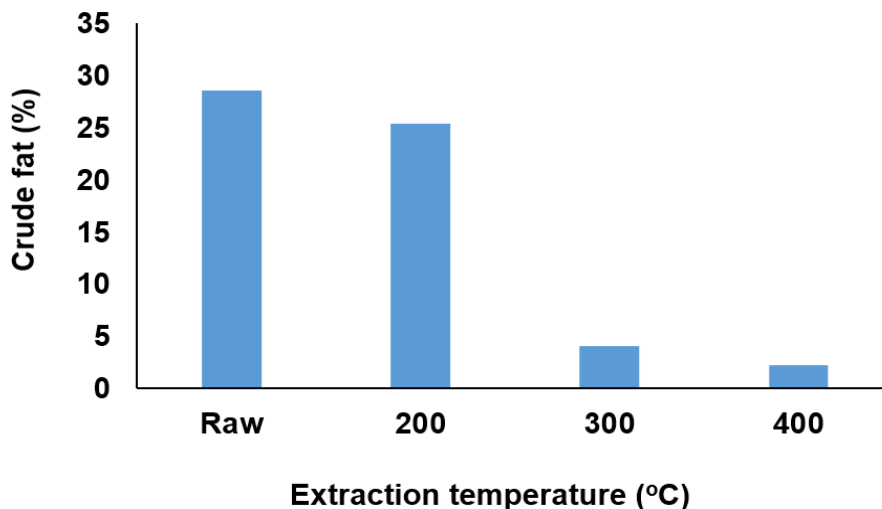


Fig. 67. 다른 추출온도에서 오일 추출 후 랜더링 가축사체 잔여물의 조지방 함량.

다른 추출온도에서 랜더링 가축사체 고품질로부터 오일을 추출한 뒤 잔여물의 화학적 특성을 조사한 결과는 Table 41에서 보는 것과 같다. 추출한 뒤 가축사체 잔여물의 pH는 300°C까지는 원재료와 비교하였을 때 유의적인 차이를 나타내지 않았으나 400°C의 추출온도에서 pH는 급격히 증가하였다. 이는 400°C의 추출온도에서부터 일부 유기물이 탄화되어 가축사체 내에 존재하는 산화물과 수산화물의 함량이 증가되었기 때문으로 판단된다. 이와 유사하게 EC 함량 또한 400°C에서 추출된 잔여물이 비교적 낮은 온도에서 추출된 잔여물에 비해 높은 경향이였다. 반면에 탄소 함량의 경우 추출온도가 증가함에 따라 증가하는 경향이였으나 400°C의 추출 온도에서 다시 감소하였는데, 이는 앞서 언급된 바와 같이 유기물이 열분해 되었기 때문으로 판단된다. 특히 200 및 300°C의 추출온도로 추출된 가축사체 잔여물의 질소 함량은 각각 13.1 및 15.4%이었던 반면에 400°C의 추출온도로 추출된 가축사체 잔여물의 질소 함량은 8.4%로 300°C의 추출온도에서 오일을 추출하고 남은 잔여물에 비해 급격히 감소하였다. 이와 같은 결과는 가축사체 잔여물 내에 단백질이 고온의 열분해로 인하여 분해되었기 때문이다.

Table 41. 다른 추출온도에서 오일 추출 후 랜더링 가축사체 잔여물의 화학적 특성

Extraction temperature (°C)	pH	EC	C	H	N	T-P
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	----- (%) -----			
Raw	6.51	16.2	45.5	6.8	12.6	2.26
200	6.81	18.1	48.2	6.9	13.1	3.12
300	6.95	19.7	52.5	5.9	15.4	5.12
400	8.66	22.6	40.2	2.6	8.4	5.98

GC-MS를 이용한 추출된 오일의 성분을 분석한 결과는 Fig. 68에서 보는 것과 같다. 오일추출단계에서 추출된 가축사체 잔여물 기반 오일에는 다양한 오일류가 포함되어 있었으며, 특히 추출온도가 증가함에 따라 오일류의 종류는 더 다양한 결과를 보였다.

세부적으로 각 온도 및 추출시간에 추출된 가축분뇨 잔여물 오일의 성분에 대한 결과는 Table 42~45에서 보는 것과 같다. GC-MS의 결과 매우 다양한 peak들이 나왔지만 아래 Table에서 보는 결과들은 모두 최고 높이를 가진 오일류를 기준으로 1% 이상의 peak 면적을 가지는 오일류들만 대상으로 분류하였다. 또한 R.Match값은 분석된 오일류 구조 및 분자량이 제시된 compound와 얼마나 잘 일치하는지를 나타내며, 이들은 모두 80을 기준으로 그 이상의 조건에는 compound 명을 부여하였다. 특히, 모든 조건에서 추출된 오일류는 RT 7.7 및 9.0의 각각 ethanone 및 2,5-Hexanedione으로 이들 성분은 비교적 200°C의 낮은 추출온도에서부터 추출되어지는 오일류라고 판단된다. 하지만 그 외에 다른 성분들은 추출온도에 따라 서로 상이한 양상을 보였으며, 이들 각 오일류에 대한 기능적 및 환경적 정보가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 이에 이들 오일류에 대한 기능적 및 환경적 정보를 파악한 후 이들을 정화를 해야 할 것인지 또는 다른 용도로 재활용 할 것인지에 대하여 결정할 필요가 있다.

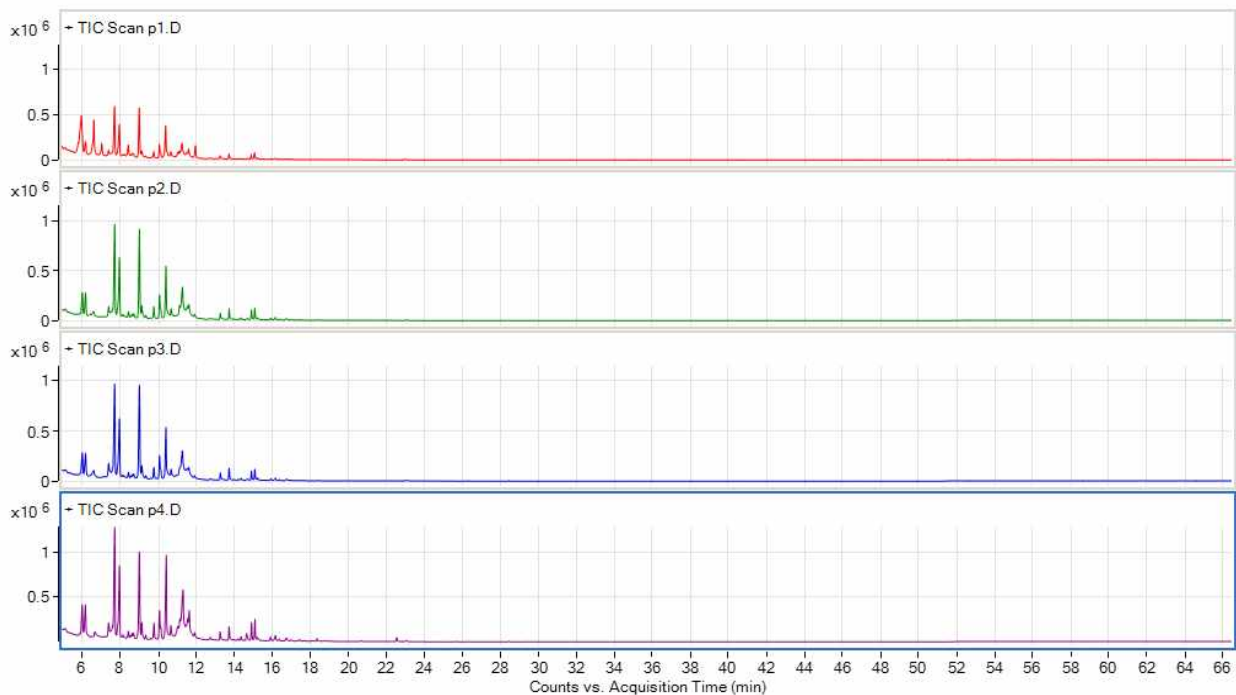


Fig. 68. GC-MS를 이용한 추출된 오일의 성분분석 (P1: 200°C, P2: 300°C, 10분, P3: 300°C 30분; P4: 400°C)

Table 42. 추출온도 200°C (30분)에서 추출된 오일의 성분

No.	Rt	Compound	R.Match	Largest Mass	Chemical formula	Area
1	5.972			96		3,356,623
2	6.176	(E)-4,4-Dimethyl-2-pentene	84.5	83	C7H14	693,007
3	6.619	2-Furanmethanol	92.1	98	C5H6O2	1,860,642
4	7.033	Acetol acetate	88.6	43	C5H8O3	509,183
5	7.703	Ethanone, 1-(3-ethyloxiranyl)-	91.8	43	C6H10O2	2,354,781
6	7.96			57		1,559,278
7	8.432			42.1		520,747
8	9.003	2,5-Hexanedione	93	43	C6H10O2	2,200,196
9	10.064			57		590,272
10	10.396			43		1,543,100
11	11.253			43		1,197,725

Table 43. 추출온도 300°C (10분)에서 추출된 오일의 성분

No.	Rt	Compound	R.Match	Largest Mass	Chemical formula	Area
1	6.013	Cyclopropyl ethyl ketone	89	69	C6H10O	970,550
2	6.182	3-Hexen-2-one	87.4	83.1	C6H10O	927,253
3	7.406	Hexan-2,4-dione, enol	82.3	85	C6H10O2	714,145
4	7.709	Ethanone, 1-(3-ethyloxiranyl)-	92.9	43.1	C6H10O2	4,138,423
5	7.965			57.1		2,842,946
6	9.014	2,5-Hexanedione	92.3	43.1	C6H10O2	3,608,483
7	9.143			43.1		593,729
8	10.075			57		1,071,443
9	10.408			43.1		2,015,644
10	11.276			43.1		1,383,507

Table 44. 추출온도 300°C (30분)에서 추출된 오일의 성분

No.	Rt	Compound	R.Match	Largest Mass	Chemical formula	Area
1	6.007	Cyclopropyl ethyl ketone	88.6	69	C6H10O	1,042,958
2	6.182	3-Hexen-2-one	87.4	83.1	C6H10O	1,008,775
3	7.4	Hexan-2,4-dione, enol	82.1	85	C6H10O2	842,499
4	7.709	Ethanone, 1-(3-ethyloxiranyl)-	93.3	43.1	C6H10O2	4,313,095
5	7.965			57.1		2,806,098
6	9.015	2,5-Hexanedione	90.9	43.1	C6H10O2	4,016,913
7	9.143			43.1		580,093
8	10.075			57.1		1,094,436
9	10.408			43.1		2,090,700
10	11.276			43.1		2,645,589

Table 45. 추출온도 400°C (30분)에서 추출된 오일의 성분

No.	Rt	Compound	R.Match	Largest Mass	Chemical formula	Area
1	6.007	Cyclopropyl ethyl ketone	86.2	69.1	C6H10O	1,538,966
2	6.176	3-Hexen-2-one	90.8	83.1	C6H10O	1,662,920
3	7.715	Ethanone, 1-(3-ethyloxiranyl)-	93	43.1	C6H10O2	4,047,892
4	7.965			57.1		3,127,143
5	9.015	2,5-Hexanedione	91.4	43.1	C6H10O2	4,050,870
6	9.143			43.1		702,374
7	9.778	3-Hexyl hydroperoxide	88.9	43.1	C6H14O2	578,892
8	10.07			57.1		1,206,232
9	10.425			43		3,738,820
10	11.305			43.1		4,210,987
11	11.632			43.1		1,713,127
12	13.736	γ -Caprolactone	95.6	85	C6H10O2	516,514
13	14.913			43.1		621,296
14	15.088			43.1		736,506

(2) 오일 추출 가능한 최적 열분해 온도 설정

상기 (1)항의 연구결과를 종합적으로 검토하여 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 오일 추출 가능한 최적 열분해 온도를 설정하였다. 오일 추출 열분해 온도는 200°C부터 가능하지만 오일 추출량이 많지가 않기 때문에 부적합하고, 400°C의 경우 이미 유기물 및 오일의 분해가 일어나기 때문에 오일 추출량이 감소하게 된다. 이에 최적 오일 추출온도는 200~300°C로 승온단계에서 누적된 오일과 300°C에서 30분간 유지온도에서 추출된 오일을 수거하는 것이 가장 효율적인 방안이라 판단하였다. 이에 가축사체 전용 biochar 제조장치는 승온온도는 2단계로 설정하여 1단계에서 오일을 추출하고, 2단계에서는 신가스를 포집하는 방향으로 설계되어야 할 것으로 판단된다.

다) Syngas 제어 및 재활용 원천기술

(1) 랜더링 가축사체 biochar에서 발생하는 가스 성분 및 발생패턴 분석

랜더링 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 열분해 온도에 따라 발생하는 가스의 배출특성을 조사한 결과는 Fig. 69에서 보는 것과 같다. 랜더링 가축사체 고형물의 열분해 과정동안 배출된 가스는 CO₂, CO, CH₄ 및 C₂H₆이었으며, C₂H₄와 N₂O는 검출되지 않았다. 가스 종류별 배출량은 CO₂ >> CO > CH₄ > C₂H₆ 순이었으며, CO₂의 배출량은 CO 배출량의 20배 정도에 해당될 만큼 많이 발생하였다. 발생온도별로는 300°C에서부터 각종 가스가 배출되기 시작하여 대부분 480°C 부근에 도달되게 되면 가스 배출량은 현저하게 줄어들게 된다. 특히 400°C 부근에서 가스의 발생량이 급격히 많았는데, 이는 가축사체내에 유기물은 대부분 300~400°C에 분해가 용이한 조성으로 구성되어 있다는 것을 의미한다. 이와 같이 가축사체 전용 biochar제조 장치에서 발생하는 신가스를 포집하기 위한 적정 온도는 300~500°C의 범위인 것으로 조사되었다. 또한 대부분의 가스 발생은 동일한 온도에서 배출되기 때문에 이들을 효율적으로 포집한다면 활용도는 더욱 높아

질 것이라 판단된다. 하지만 이들은 복합가스 형태로 활용처를 확보하기 위한 많은 연구가 필요할 것이며, 이들을 효율적으로 활용하기 위해서는 분리기술에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

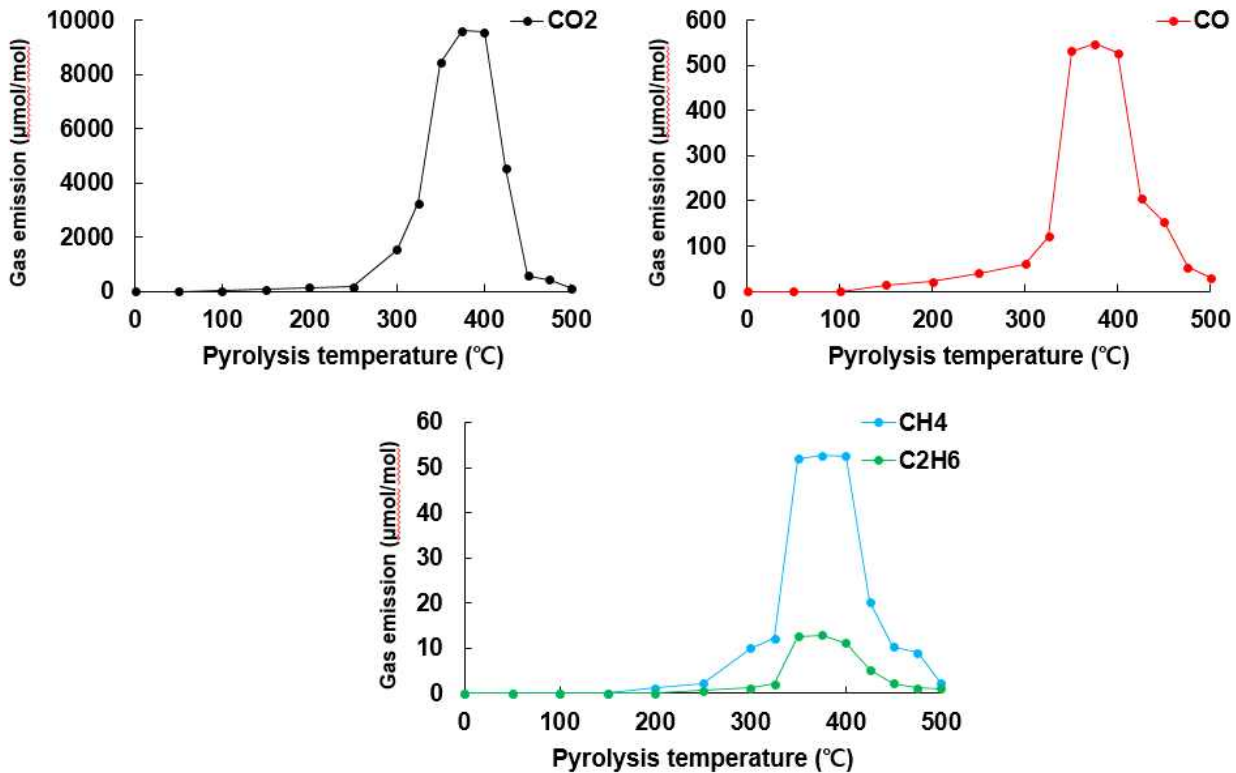


Fig. 69. 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 열분해 온도에 따라 배출되는 가스발생 특성.

반응시간에 따른 가축사체 전용 biochar 제조장치로부터 발생된 가스의 배출특성은 Fig. 70과 같다. 초기 승온 첫 번째 단계인 300°C까지 도달되는 1시간 동안은 가스 발생량이 현저하게 낮은 반면에 1시간을 기점으로 가스배출량은 급격히 증가하는 경향이었는데, 이는 2번째 승온 단계로 열분해 온도가 점진적으로 증가하였기 때문이다. 500°C의 목표 온도에 도달할 때쯤 가스 발생량은 다시 현저하게 감소되었는데, 이는 이미 대부분의 유기물이 분해되었기 때문으로 판단된다. 이와 같이 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 효율적 가스를 추출하기 위해서는 열분해 시작 후 두 번째 승온단계에 해당하는 1~2시간 사이가 적합할 것으로 판단된다. 특히적으로 열분해 유지기간 및 냉각기간 동안에는 대부분 가스는 검출되지 않았다.

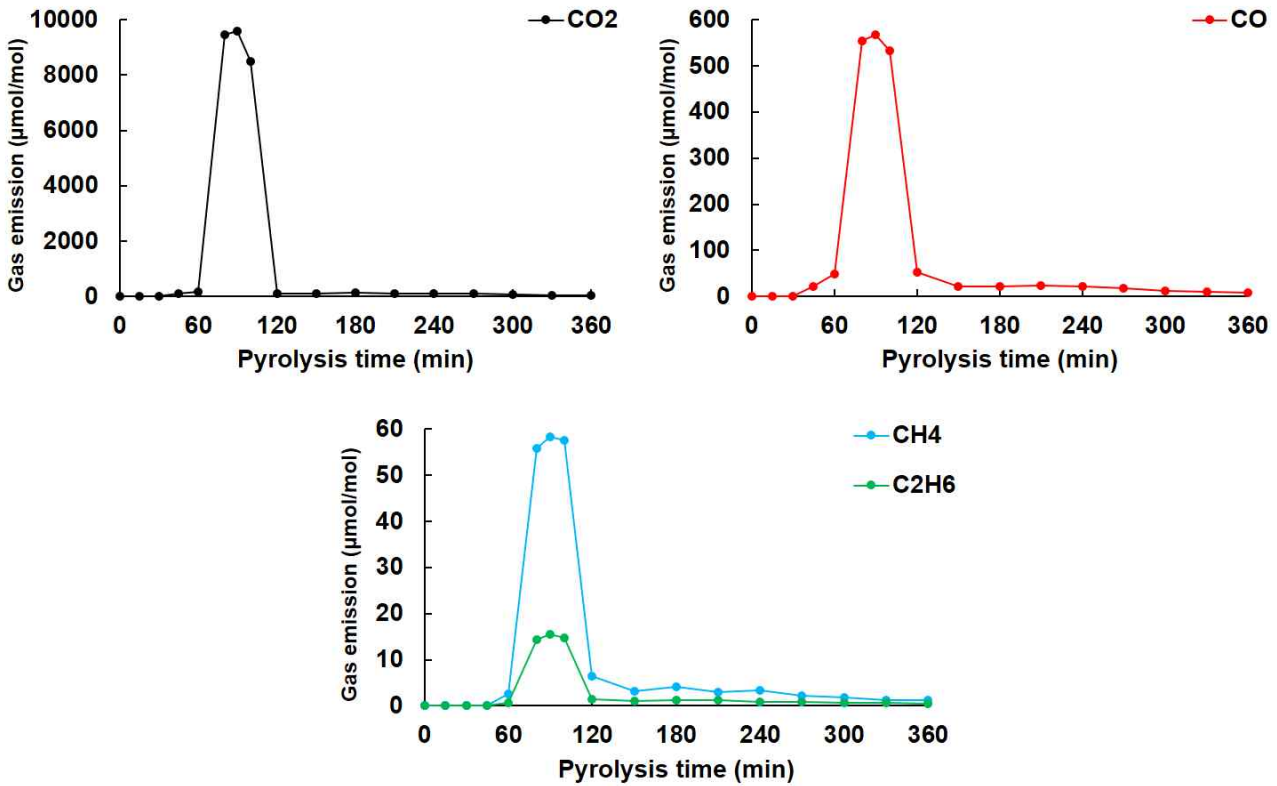


Fig. 70. 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 열분해 시간에 따라 배출되는 가스발생 특성.

가축사체 전용 biochar 제조장치에서 열분해 시간이 90분일 때, 즉 오일 추출이 끝난 후 2단계의 승온온도에서 CO₂, CO, C₂H₆ 및 CH₄와 같은 가스류가 가장 많이 배출되었던 시간을 기준으로 악취전용 테트라백에 가스를 포집하였으며, 다양한 악취 가스류를 분석하였다 (Table 46). 그 결과 가축사체를 이용하여 biochar를 제조하는 동안 ammonia와 hydrogen sulfide가 다른 가스류에 비해 많이 발생한다는 것을 알 수 있었다. 이들 가스류는 특히 단백질의 분해 과정에서 악취를 유발하는 물질들로 알려져 있으며, 이들 가스류가 가축사체를 이용하여 biochar를 제조 시 매캐한 냄새를 유발하는 원인 물질인 것으로 판단된다. 현재 목질계나 동물계 biochar 제조시스템 또는 설비에서 이들 가스류의 농도나 특성에 대해서 명확하게 보고된 바 없다. 이 결과 또한 본 연구에서 밝혀낸 새로운 정보로서 향후 많은 연구자들에게 유익한 정보가 될 것으로 판단된다. 앞선 결과 가축사체 biochar를 제조하는 과정에서 CO₂가 많이 발생되어 시설하우스와 같은 스마트팜 설비에 적용하면 효과적일 것이라고 생각하였지만 악취 분석 결과에 언급된 바와 같이 다량의 ammonia 및 hydrogen sulfide가 배출되기 때문에 biochar 제조과정에서 발생된 가스를 직접적으로 사용하기는 제한적일 것으로 판단된다. 또한 ammonia 가스의 경우 대기 중에 SO_x 및 NO_x 화합물들과 결합하여 초미세먼지를 유발하는 것으로 알려져 있기 때문에 대기 중으로 노출되기 이전에 가축사체 전용 biochar시스템 자체적으로 이들을 포집 및 정화할 수 있는 기술이 도입되어야 할 것으로 판단된다. 전반적으로, 유용가스인 CO₂가스와 유해가스인 ammonia 및 hydrogen sulfide를 분리할 수 있는 장치 및 기술이 본 시스템에 도입이 된다면 가축사체 전용 biochar 제조시스템은 보다 더 안정성과 효율성을 갖춘 시스템이 될 것으로 판단된다.

Table 46. 가축사체 전용 biochar 제조장치의 열분해 시간이 90분에서 배출된 악취성분 함량

Odor	Concentration ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
3-methylbutanoic acid	0.06
Acetaldehyde	5.53
Ammonia	1258.70
Butanal	1.83
Butanoic acid	40.22
Butanone	66.03
Butyl acetate	0.25
Dimethyl disulfide	39.36
Dimethyl sulfide	3.13
Hydrogen sulfide	909.31
Isobutyl alcohol	6.95
m-xylene	3.80
Methyl isobutyl ketone	0.39
Methyl mercaptan	22.65
Pentanal	4.38
Propanal	1.90
Propanoic acid	2.07
Styrene	2.17
Toluene	2.80
Trimethylamine	22.17

(2) 가스 배기 방식 및 제어기술 확립

가축사체 전용 biochar 제조장치의 가스는 대부분 상부 뚜껑에서부터 밖으로 배출되지 못하고 외부챔버와 내부챔버 사이를 체류하다 일정압력 이상이 되면 제조장치 밖으로 가스가 방출된다. 이러한 영향으로 인하여 biochar 제조장치 주변 매캐한 냄새를 포함한 대기오염물질을 방출하고, 이들이 장치 내부에 체류 시 열선 손상의 주된 원인이 된다. 이에 가축사체 전용 biochar 제조장치에는 내부챔버에서 발생하는 가스가 외부로 유출되지 않도록 챔버 내에 가스 유도관을 삽입하고 vacuum pump를 작동하여 가스 발생 시기가 되면 바로 가스가 배출되도록 설계되어졌다. 또한 당초 계획상 biochar 제조장치로부터 가스를 신속히 배출시키고, 배출된 가스를 정화하는 목적으로 계획을 세웠으나, 실제 유기물의 연소시 재활용이 가능한 유용한 가스도 많이 배출되기 때문에 이를 재활용하기 위하여 가스포집부를 설치하였다. 발생된 가스는 냉각관에 의해 냉각되어 액체 상태로 포집할 수도 있고, 발생가스를 직접 재활용 할 수 있도록 구성되었다. 최근 시설원예시설에서는 작물의 이산화탄소 흡수량을 최대화하기 위하여 CO₂를 시비하는 경우도 있기 때문에 다량의 CO₂를 포함한 이들 배기가스를 시설원예지대로 주입한다면 기존 CO₂ 가스의 대체제로 활용 될 수 있다고 판단하였다. 이들 가스의 효율적인 포집은

승온 2단계 상태로 온도가 300~500℃로 증가하는 구간, 그리고 열분해 시작 후 1~2시간 사이가 가장 적합하였다. 특히 열분해 온도가 300℃까지 올라가기 전까지는 바이오오일의 추출효율을 증가하기 위하여 vacuum pump를 작동시키기 않은 상태로 유지하다 바이오오일 추출시간이 경과한 후 2차 승온단계에 도입되게 되면 vacuum pump를 작동시켜 배출되는 가스를 포집되게 하여야 할 것이다.

3) 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 개발

가) 기존 biochar 제조장치를 랜더링 가축사체 biochar 장치로 전환

가축사체 전용 biochar 제조장치의 구성은 biochar 제조되어지는 내부챔버가 있고, 이 내부 챔버는 오일 및 가스의 포집이 가능하도록 구성되어졌다. 또한 내부로 산소 및 질소 가스가 주입되어 biochar 제조장치 내부를 호기성 및 혐기성조로 구성할 수도 있으며, 스팀 분사가 가능하도록 설계되어 있어 RACS-BC를 제조함과 동시에 활성화할 수 있다. RACS-BC를 제조하는 과정에서 배출된 가스는 vacuum pump의 구동에 의해 가스흡입관으로 유입되고, 이들은 냉각기를 거쳐 액상으로 전환되게 된다. 가스 샘플링 채취와 필요에 따라 기체를 바로 활용할 수 있도록 중간부에 가스밸브를 장착하였으며, 가스는 외부의 유출이 없도록 설계하였다. 오일의 경우 RACS-BC 제조를 위한 내부챔버의 체거름망을 통과하게 되면 오일은 냉각관을 거쳐서 오일채집부로 전달되게 되며, 필요에 따라서는 오일을 바로 추출할 수 있고 샘플링 할 수 있도록 밸브를 장착하였다. 또한 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조장치 내부의 환경을 모니터링 할 수 있도록 콘트롤박스가 설치되어 있으며, 실제 여기에 pH, EC, DO 센서가 설치되어 있으며 온도, 스팀분사, 냉각수 설정 등 다양한 환경 조절이 가능하게 설계되었다.

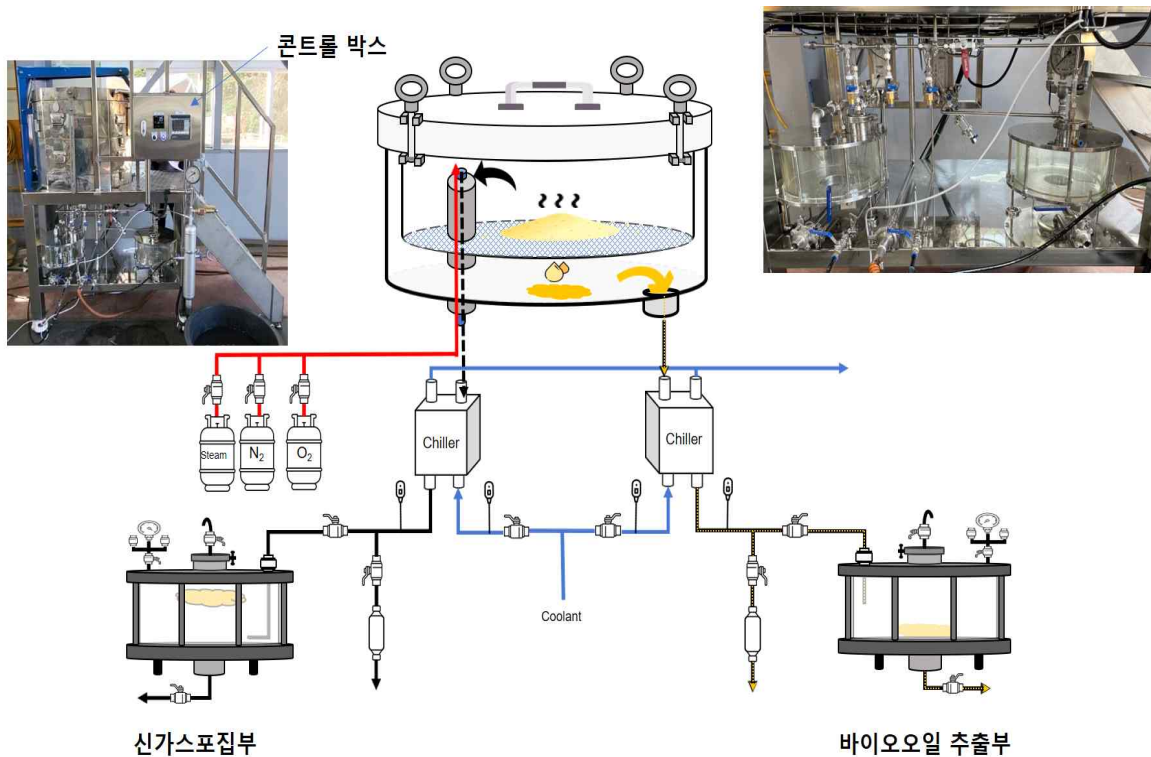


Fig. 71. 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템 설계 및 실제 제작 전경.

가스포집부의 경우 biochar 제조를 위한 내부챔부로부터 발생된 가스가 냉각되어 하부에 위치한 가스포집부에 주입되게 되고, 가스의 유속이 냉각속도 보다 빠를 시에는 압력 조절장치에 의해 가스가 외부 연결관으로 배출되게 설정이 되어 있으며, 이들 가스는 가스 포집 용액 내에 포집되어 정화된다. 가스포집부의 설계도와 실제 제작 전경은 Fig. 72에서 보는 바와 같다.

가축사체 전용 biochar 제조장치에서 발생된 바이오오일 또한 Fig. 73에서 보는 것과 같이 냉각기를 통과하여 오일추출부로 유입되게 되어 있으며, 오일추출부로 들어가기 이전에 온도센서에 의해 온도를 체크하게 된다. 고온의 오일은 오일추출부를 손상시킬 수 있고, 내부 압력을 높게 유지하여 안전에 위험이 될 수 있기 때문에 온도센서를 부착하여 발생하는 오일의 온도를 확인할 수 있게 설정하였다. 가스포집부와 동일하게 오일추출부 상부에는 압력계가 위치되어 있으며, 중간 샘플링 또는 필요시 오일을 바로 추출할 수 있도록 유출 밸브를 장착하였다.

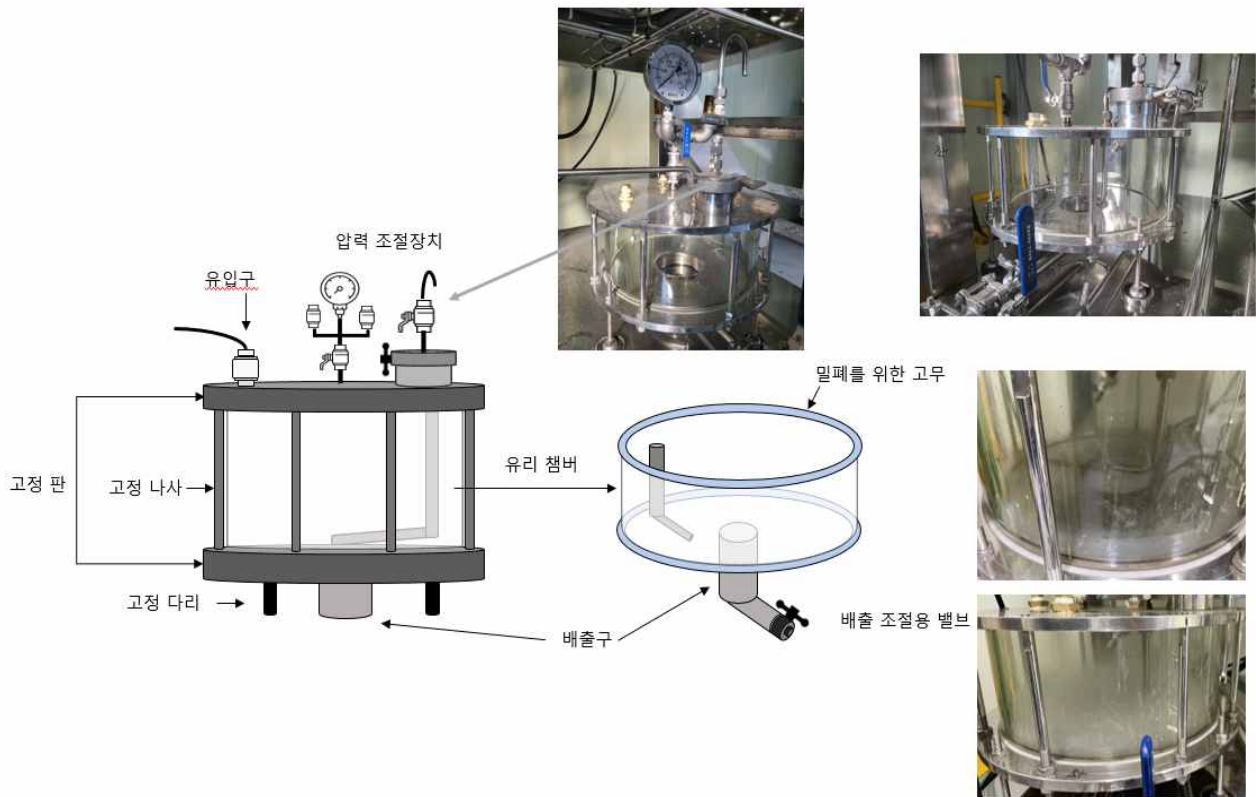


Fig. 72. 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 신가스 포집부 설계 및 제작 전경.

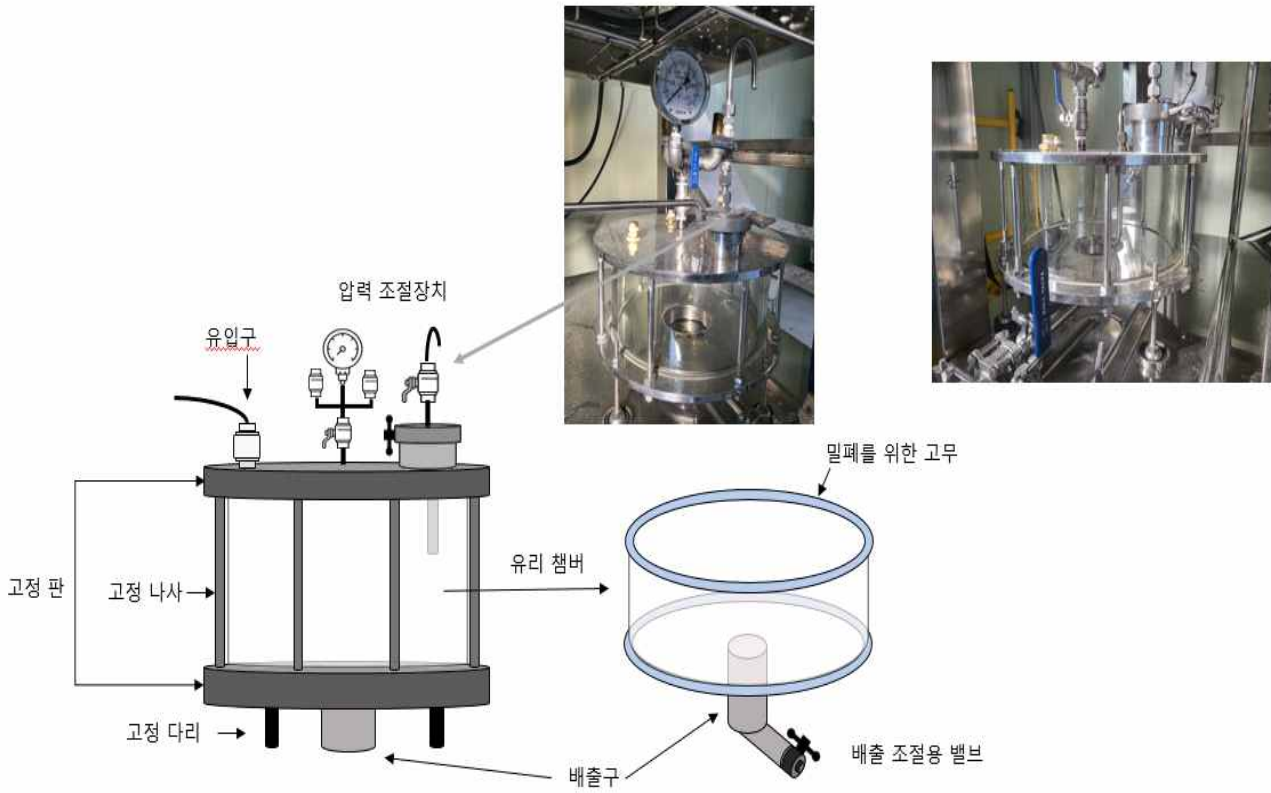


Fig. 73. 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 오일추출부 설계 및 제작 전경.

나) 가축사체 전용 biochar 제조시스템 구동절차 확립 및 시스템화 설정

가축사체 전용 biochar 제조시스템의 구동절차는 Fig. 74 및 Fig. 75에서 보는 것과 같다. 렌더링된 가축사체 고형잔류물을 가축사체 전용 biochar 제조장치의 내부챔버에 주입하고 외부에 가스가 배출되지 않도록 뚜껑을 닫고 클램프를 잠근다. 시스템 상에 승온 온도를 1단계로 설정하여 300°C에서 도달되게 되면 30분간 정치하여 가축사체 고형잔류물의 열분해 반응에 의해 생성된 오일을 1차적으로 추출해 낸다. 오일이 추출된 다음 2단계의 승온온도가 시작되어 목적 온도인 500°C에 도달될 때까지 가스포집부를 작동시켜 가축사체 고형잔류물의 열분해로부터 생성된 신가스를 포집하게 된다. 열분해 온도가 500°C에 도달되게 되면 1시간 동안 유지하여 최종 RACS-BC를 제조하고, 4시간의 공랭식 방법을 통하여 제조시스템과 내부챔버의 온도를 낮추게 된다.

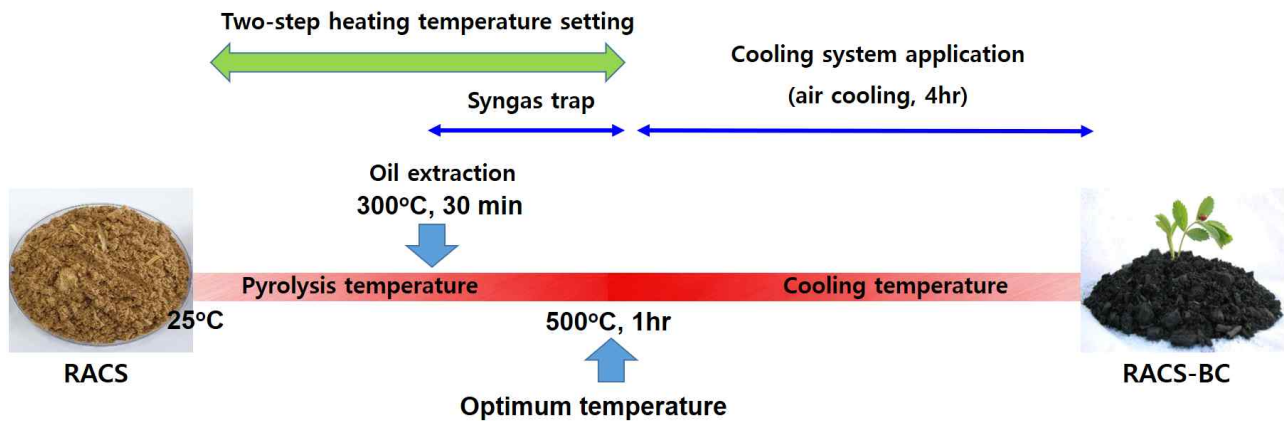


Fig. 74. 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 온도 및 시간 설정.

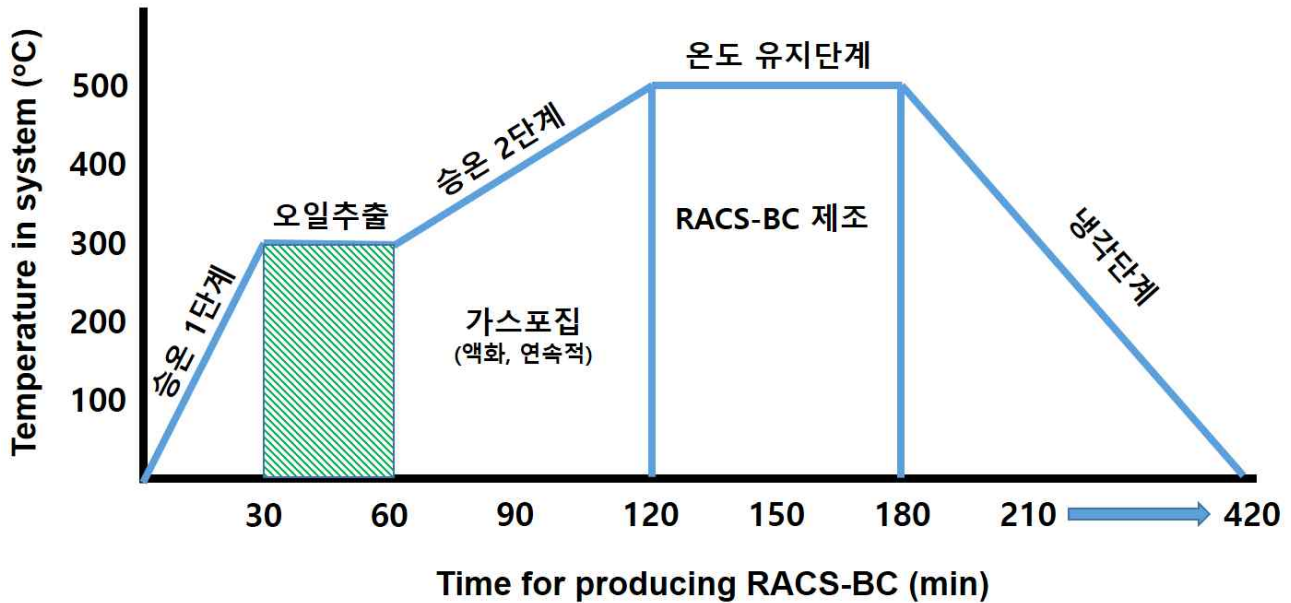


Fig. 75. 가축사체 전용 biochar 제조시스템 구동 중 온도 및 시간에 따른 조건 변화.

본 연구진은 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 자동화시스템을 구축하였으며, 설치된 전경과 실제 시스템화된 화면은 Fig. 76에서 보는 것과 같다. 실제 이 컨트롤박스를 통하여 각종 설정을 구축할 수도 있고, 실험실 내에서 컴퓨터를 이용하여 내부환경 조성을 변경할 수 있도록 설계 및 구축하였다. 여기에는 회화로의 내부온도, 기체부 열교환기 온도, steam 압력, 냉각수 온도 등을 모니터링 할 수 있다.

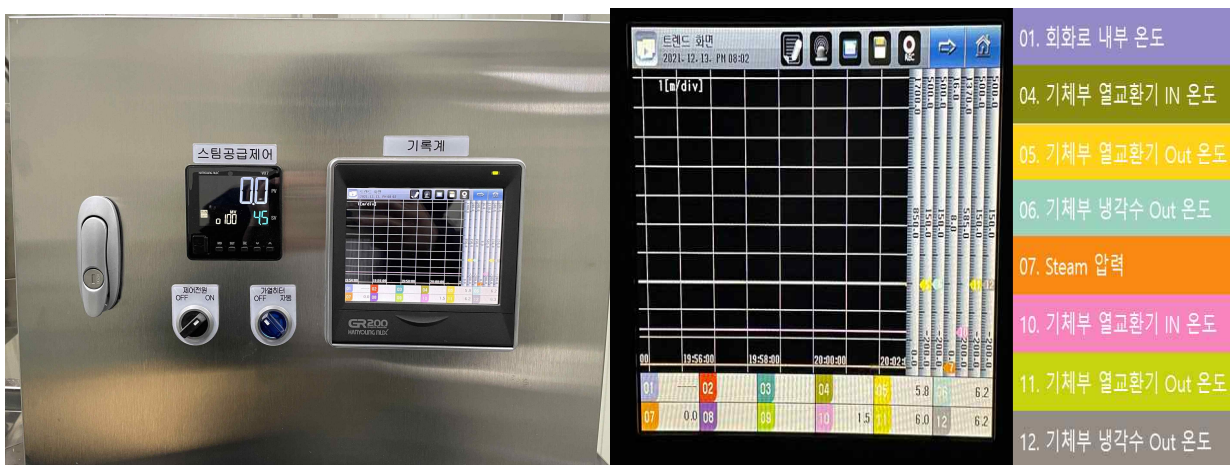


Fig. 7. 컨트롤박스에서 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 설정.

다) 가축사체 전용 biochar 제조장치 시운전

상기 2)항과 같이 구축된 가축사체 전용 biochar 제조장치는 경상국립대학교 내 바이오매스 탄소자원화 연구센터에 설치되었으며, 그 전경은 Fig. 77에서 보는 것과 같다. 가축사체 전용 biochar 제조장치는 2개월간 다양한 환경변화를 설정하여 가스의 흐름 및 유속을 평가하고, 냉각온도, steam 분사속도 등 고효율 RACS-BC 생산을 위한 기기적 특성을 평가하였다. 본 연구에서 개발된 가축사체 전용 biochar의 시운전 결과 모든 조건이 RACS-BC를 제조하기 위해

적합한 상태가 되었으며, 2차년도에는 실제 이들 장비를 이용하여 다양한 환경변이 하에서 RACS-BC를 생산하고, 이들을 토양개량제로 활용가능성을 검토할 예정이다.



Fig. 77. 가축사체 전용 biochar 제조장치의 설치 및 시운전.

뿐만 아니라, RACS-BC를 제조하는 과정 동안 오일을 추출하고 배출되는 가스를 포집한 결과 이들 또한 정상적으로 잘 가동되는 것을 확인하였다. 실제 발생된 가스는 냉각수에 의해 냉각되어 액체화 되고 있는 것 또한 관찰되었다 (Fig. 78).



Fig. 78. 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 오일의 추출과 가스의 포집.

또한 가축사체 전용 biochar 제조시스템을 효율적으로 관리하고 안정성을 확보하기 위하여 실시간 모니터링 장치를 설치하였으며, 제조 시 발생하는 오일 및 가스가 추출 및 포집이 되고 있는지 기기상 문제점이 발생되지 않는지를 쉽게 관찰할 수 있다. 향후 이와 관련된 기술은 무인 및 반자동 가축사체 전용 biochar 제조시스템 개발과 실용화에 대한 기초자료로 활용될 계획이다.

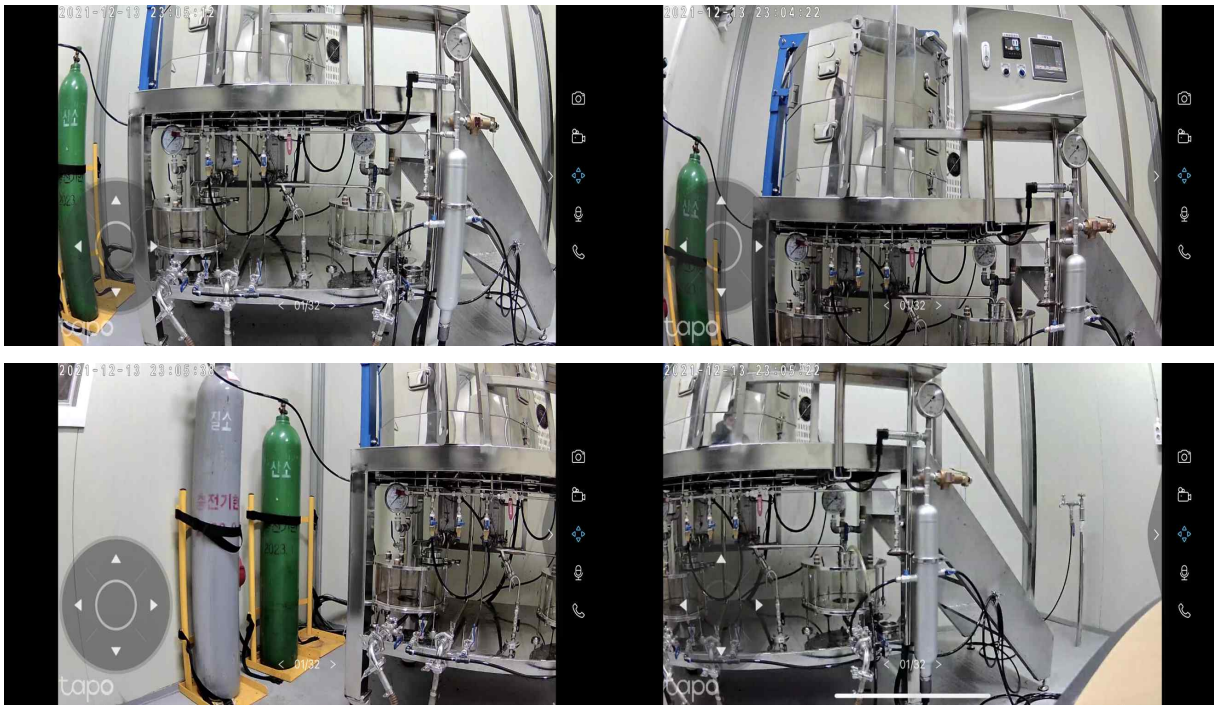


Fig. 79. 가속사체 전용 biochar 제조장치 모니터링.

라) 랜더링 가축사체 바이오차/바이오오일/신가스 추출 효율평가

본 연구에서 개발된 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 제조된 RACS-BC와 추출된 바이오오일 및 포집된 신가스의 효율은 Fig. 81에서 보는 것과 같다. RACS-BC, 바이오오일 및 신가스의 상대적인 분포비율은 각각 38.9, 27.2 및 33.9%으로 RACS-BC의 제조효율이 가장 높았고, 바이오오일의 추출율이 상대적으로 낮았다. 현재 추출된 RACS-BC, 바이오오일 및 신가스에 대한 물리화학적 특성을 조사 중에 있으며, 2차년도에는 이들을 농업적으로 활용하기 위한 다양한 실험이 진행될 것이고, 목적에 적합한 RACS-BC, 바이오오일 및 신가스를 생산하기 위하여 가축사체 전용 biochar 제조시스템을 주기적으로 수정 및 보완해 갈 예정이다.

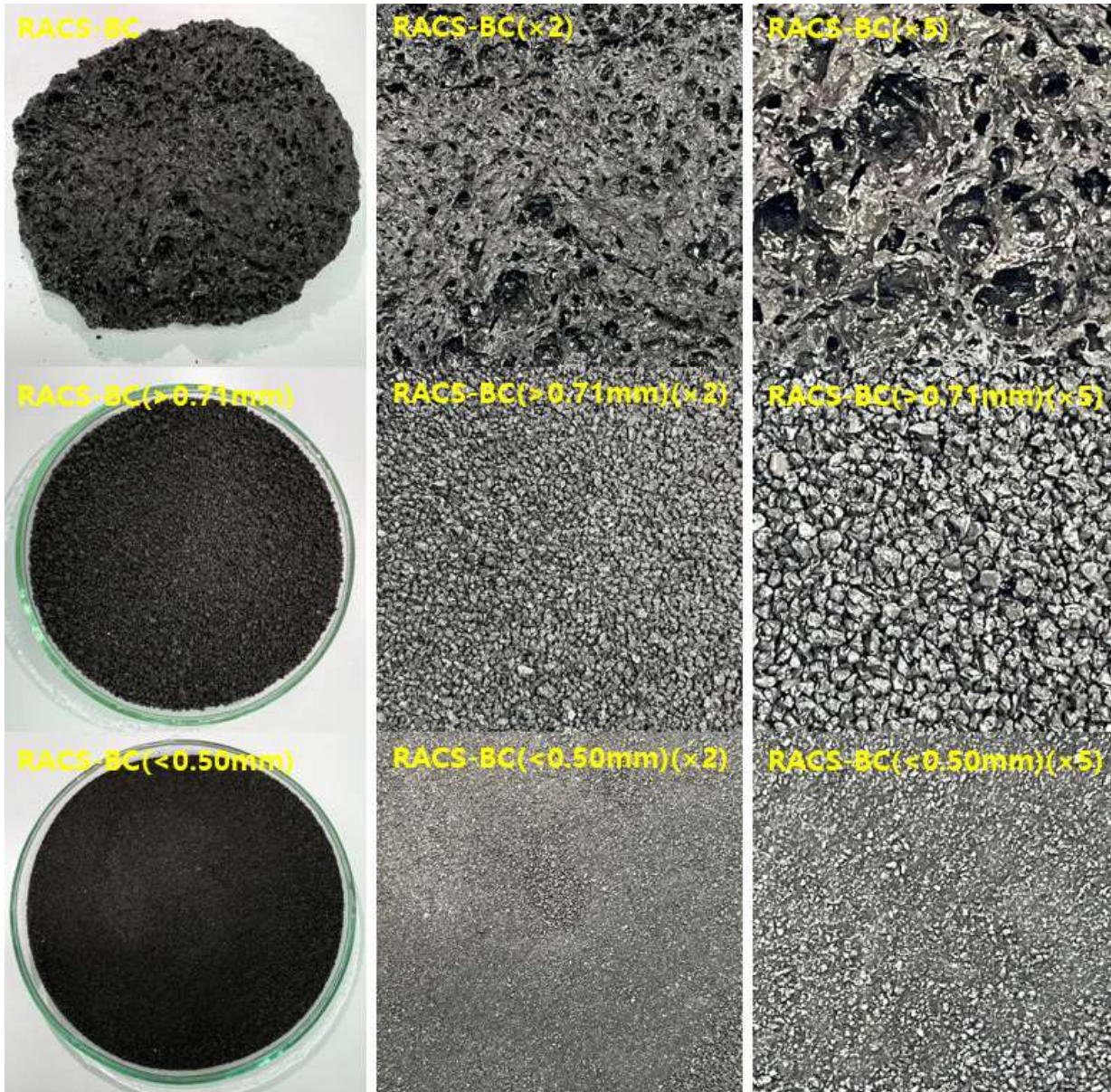


Fig. 80. 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 제조된 RACS-BC.

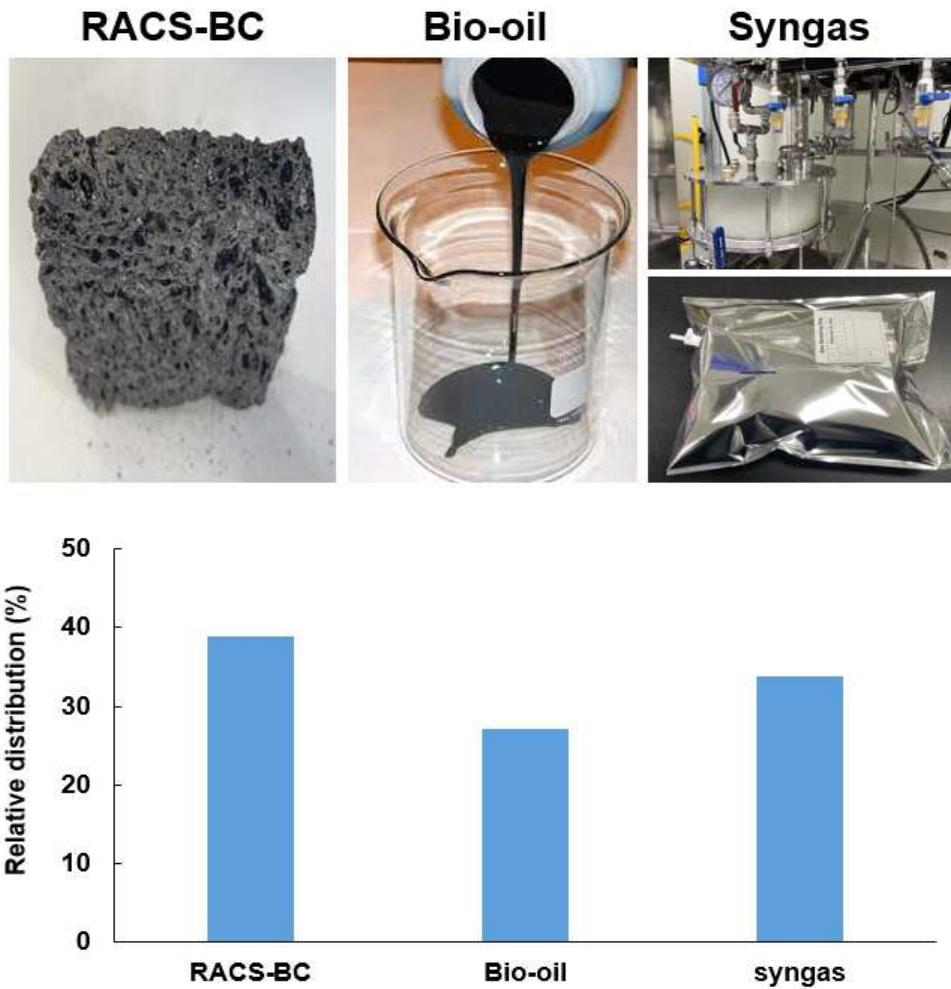


Fig. 81. 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 제조 및 발생된 RACS-BC, 바이오오일 및 신가스.

가축사체 전용 biochar 제조장치에서 제조된 RACS-BC의 입자크기별 이화학적 특성은 Table 47과 같다. pH는 입자크기에 따라 8.90~9.34로 나타났으며, EC는 8.35~8.65 dS m⁻¹로 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 수분은 입자크기별로 유의적인 차이가 나타나지 않았고 입자의 크기가 작아질수록 용적밀도가 높았는데 이는 입자의 크기가 작아지면서 입자 사이의 빈공간이 최소화되기 때문이다. C는 35.8~37.7%로 나타났으며 기존의 biochar 제조장치에서 제조된 RACS-BC와 유사하였다.

Table 47. 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 제조된 RACS-BC의 입자크기별 이화학적 특성

RACS-BC 입자 크기	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	수분 (%)	용적밀도 (g cm ⁻³)	C (%)
> 0.71mm	8.90	8.65	1.21	0.82	36.0
0.71~0.50mm	9.34	8.35	1.14	0.88	35.8
< 0.50mm	9.24	8.36	1.02	1.02	37.7

RACS 및 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 제조된 RACS-BC의 입자크기별 FTIR 결과는 Fig. 82와 같다. 3,400 및 1,641 cm^{-1} 에 나타난 peak는 일반적으로 수분과 관련된 OH를 나타내는 peak인데 이는 고온의 열분해로 제조된 RACS-BC 내에서 크게 감소되는 경향을 보였다. 또한, CO_3 와 관련된 710 및 876 cm^{-1} 의 파장에서 입자크기가 0.71 mm 이상일 때 peak의 강도가 높았는데, 이는 CO_3 의 구조가 입자크기가 클수록 잔존하기 유리한 것으로 보인다. RACS-BC 내에 567 및 605 cm^{-1} 의 파장에서 나타난 peak는 O-P-O 구조를 나타낸다.

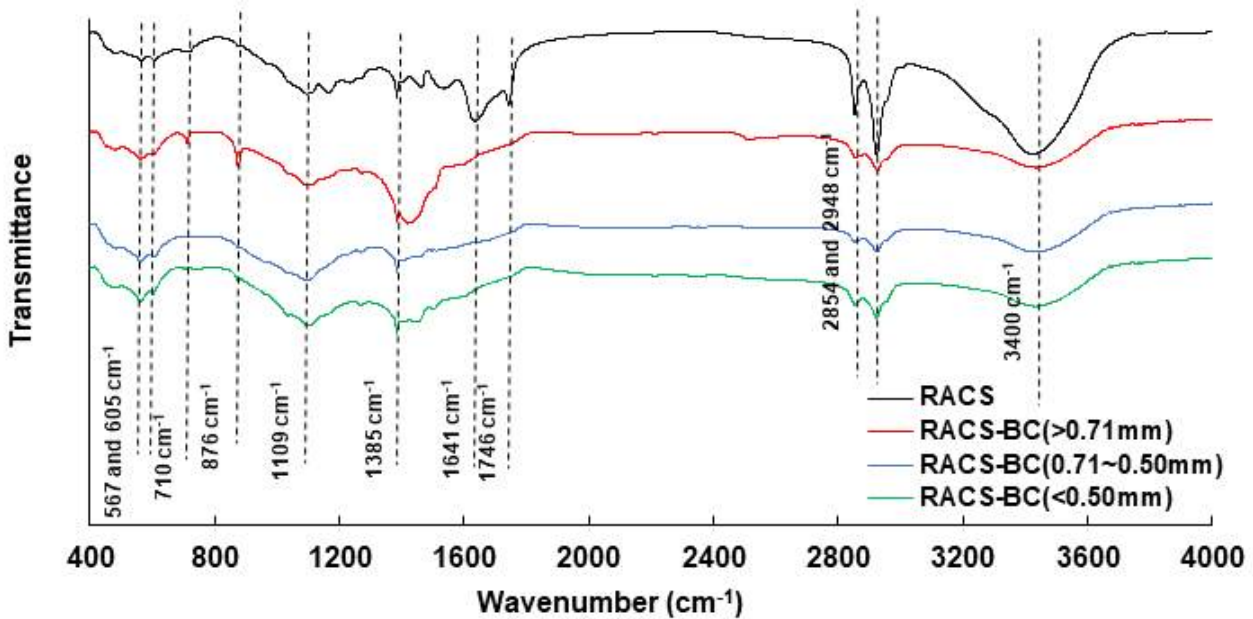


Fig. 82. RACS 및 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 제조된 RACS-BC의 입자크기별 FTIR 결과.

마) 추출된 자원의 재활용을 고려한 바이오차 제조시스템의 개선 및 보완

당초 본 연구의 목적은 가축사체 전용 biochar 제조장치를 개발하고, 실제 biochar 제조과정에서 발생하는 신가스 및 오일의 문제점을 최소화하기 위한 방향으로 신가스 및 오일을 가축사체 전용 biochar 제조시스템으로 신속하게 배출분리 하는 데 있었다. 이에 배출되는 가스 및 오일을 재활용하기 하기 위해 시스템적인 개선 및 보완을 하고자 본 연구를 기획하였으나 본 연구진은 이미 가축사체 전용 biochar 제조 장치를 개발하는 과정에서 발생하는 신가스 및 오일을 재활용할 수 있도록 시스템을 구축하였고, 실제 RACS-BC를 제조하는 과정에서 발생하는 신가스에 대한 포집효율과 바이오오일에 추출효율을 평가하였다. 본 연구진은 2차년도 연구 수행 과정 동안 신가스 및 바이오오일을 재활용하기 위한 시스템적인 문제점을 지속적으로 도출할 것이며, 이들을 개선 및 보완하여 waste-zero형 가축사체 전용 biochar 제조시스템을 구축할 예정이다.

다. 아미노산 액비 제조시스템 및 바이오차 제조시스템 설계 및 생산현장 적용성 보완

1) 아미노산 액비 제조시스템의 설계 인자 도출

가) 아미노산 액비 제조시스템 작동원리 습득

(1) 아미노산 액비 생산의 이론적 원리 습득

단백질 가수분해는 단백질을 더 작은 폴리펩타이드 또는 아미노산으로 분해하는 대사과정이다. 촉매가 없을 경우, 펩타이드 결합의 가수분해는 수백 년이 걸릴 수 있으며 매우 느리게 진행된다. 단백질 가수분해는 전형적으로 프로테아제 (protease)라는 효소에 의해 촉매된다.

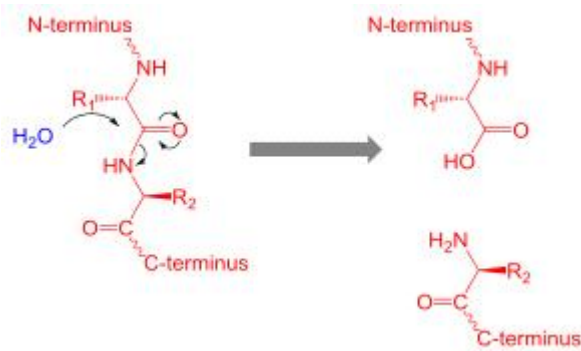


Fig. 83. 단백질 가수분해 반응식.

아미노산 액비 생산이란 랜더링 가축사체 부산물에 포함된 단백질을 가수분해하여 아미노산을 생산하는 공정이다. 대상물질의 특성에 따라 단백질 종류가 달라지기 때문에 최종 생산물인 아미노산의 조성도 달라진다는 것에 유의해야 한다.

(2) 아미노산 액비 제조시스템 구조 및 작동 원리 파악

아미노산 액비 제조시스템의 기본적인 구조는 반응조이다. 물 공급부, 효소 공급부, 히터장치, 교반장치, 폭기장치 그리고 각종 센서들이 반응조에 연결 또는 설치된다 (Fig. 84).

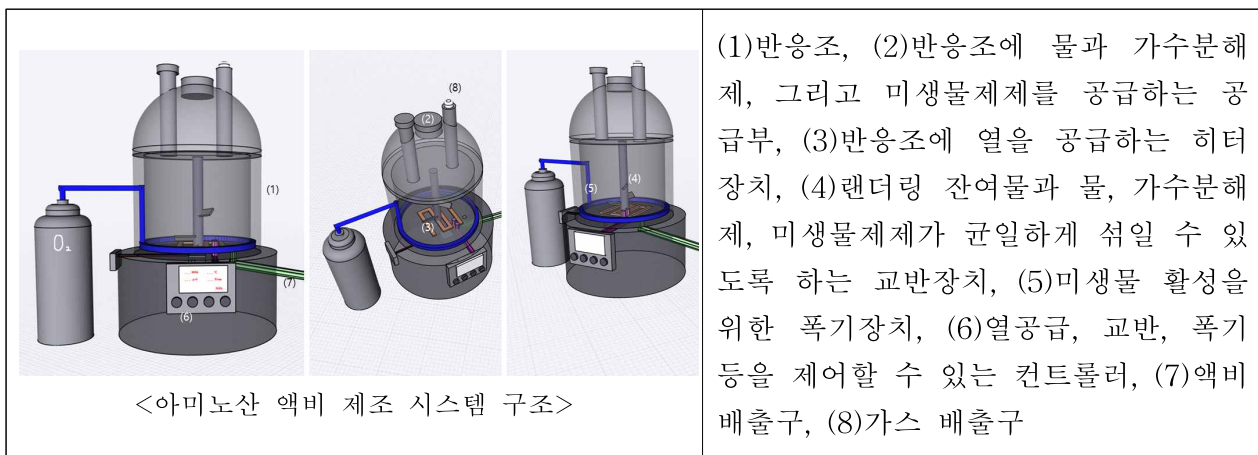


Fig. 84. 아미노산 액비 제조 시스템

나) 아미노산 액비 제조시스템 설계단계 협업 및 개선

(1) 시스템 구조 개선

스케일업 단계의 시스템을 제작할 때 아미노산 액비를 생산한 후 반응조의 내용물을 원활히 배출하기 위해 배출구의 직경과 배출구 라인의 경사를 조절하여 반영하고 있다.

(2) 생산성 및 운전비용 저감 대책

스케일업 단계에서 아미노산 액비 제조의 가장 중요한 요소인 단백질 가수분해제를 산업용 효소로 대체하여 기본적인 원가를 낮추고, 이와 함께 효소 투입량과 시스템 가동시간을 줄여 생산성과 운전비용을 낮출 계획이다.

2) 랜더링 가축사체 전용 바이오차 제조시스템의 설계 인자 도출

가) 바이오차 제조시스템 작동원리 습득

(1) 바이오차 생산의 이론적 원리 습득

본 과제의 바이오차 생산의 이론적 원리는 Fig. 85와 같다. 바이오차는 산소가 제한된 환경에서 바이오매스를 고온으로 열분해시켜 생성되는 물질이다. 따라서, 고온에서 열분해되는 과정에 산소의 유입을 차단해야 하고, 온도에 따라 열분해 산물의 정상과 특성이 변하기 때문에 목적에 맞게 반응조건을 설정해야 한다.

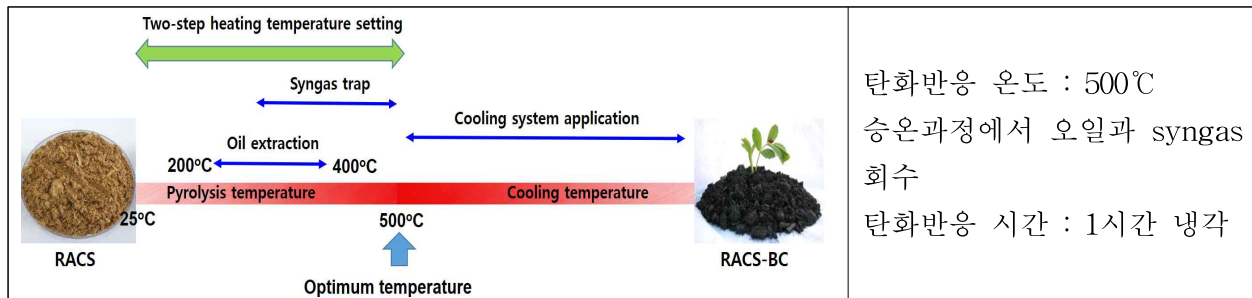


Fig. 85. 바이오차 생산의 이론적 원리.

(2) 바이오차 제조시스템 구조 및 작동 원리 습득

본 과제의 바이오차 제조시스템은 배치 타입으로 탄화조와 반응 챔버를 분리시켜 탄화과정 중 발생하는 유증기에 의한 탄화조 훼손을 방지하는 구조로 설계하였다.

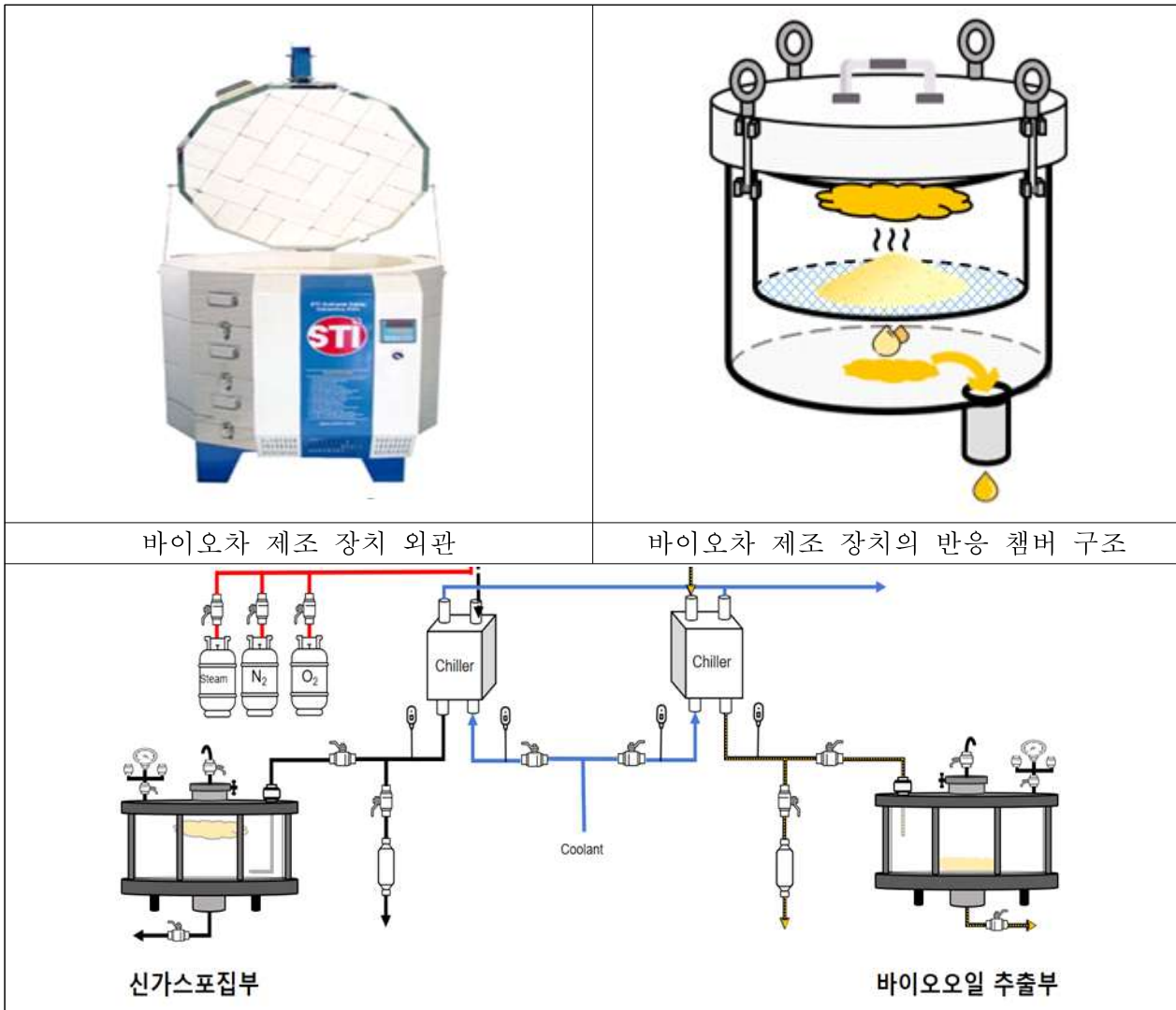


Fig. 86. 바이오차 제조 시스템.

나) 바이오차 제조시스템 설계 단계 협업 및 개선

(1) 시스템 구조 개선

실험용 시스템의 특징점을 구현할 수 있는 최적의 스케일업 규모를 설정하고 이를 기본 유닛으로 하는 상용화 가능한 시스템을 확보하여 기술적 문제와 생산 용량의 문제를 동시에 대응할 수 있도록 하였다.

탄화조와 반응챔버가 분리되는 특징을 반영해 여러 개의 반응챔버를 제작하여, 재료 준비 - 탄화조 투입 - 냉각 - 제품가공이 순차적으로 진행될 수 있도록 운전라인을 적용하였다.

2. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링을 위한 친환경 시스템 개발

가. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템 개발

1) 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치의 제작 및 시운전

랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치는 1차년도 설계한 1.-다.항을 고려하였으며, 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치의 제작 도면은 Fig. 87에서 보는바와 같다. 반응조는 제조장치의 중앙에 위치하였으며, 반응조 내부에는 Fig. 89와 같이 교반장치, 온도센서, 히터부 및 공기주입구를 설치하였다. 반응조의 교반장치 및 히터와 농축조의 히터를 조절할 수 있도록 전면에 외부컨트롤러를 설치하였으며 (Fig. 90), 반응조의 공급부는 Fig 91과 같이 완전히 밀폐할 수 있도록 하여 악취발생시 피해를 최소화하고 외부 미생물의 유입을 완전히 차단할 수 있도록 하였다.

제작한 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치는 기존 장비와 다르게 농축조를 추가로 설치하였으며, 반응조와 농축조는 Fig. 92에서 보는 바와 같이 분리시켜 제작하였다. 1차년도 설계단계에서는 반응조와 농축조가 각각의 개체로 분리되어 있으며 하나의 연결관이 연결된 구조로 설계하였으나 제작과정에서의 협의를 통해 반응조와 농축조를 분리시키면서 하나의 프레임을 제작하여 장비의 이동 및 운반을 용이하면서 외부의 충격 및 온도에 반응조 및 농축조가 최대한 보호 및 유지되도록 제작되었다. 반응조와 농축조의 연결부는 Fig. 93과 같이 하나의 관으로 바로 연결하지 않고 밸브와 연결부를 두어 연결관의 교체를 용이하게 하였다. 또한 주름관을 사용하여 반응조와 농축조의 연결을 용이하게 하였다. 농축조 하단에는 배출부를 설치하여 생산된 액비를 통해 회수할 수 있도록 하였다 (Fig. 94). 1차년도 가.-3)항의 경우 반응조와 공급부의 윗부분을 돔 형태로 설계하였으나 공학적 설계의 제한으로 인하여 평면 변경하였고 반응조 상단에 교반장치의 모터를 설치하였다.

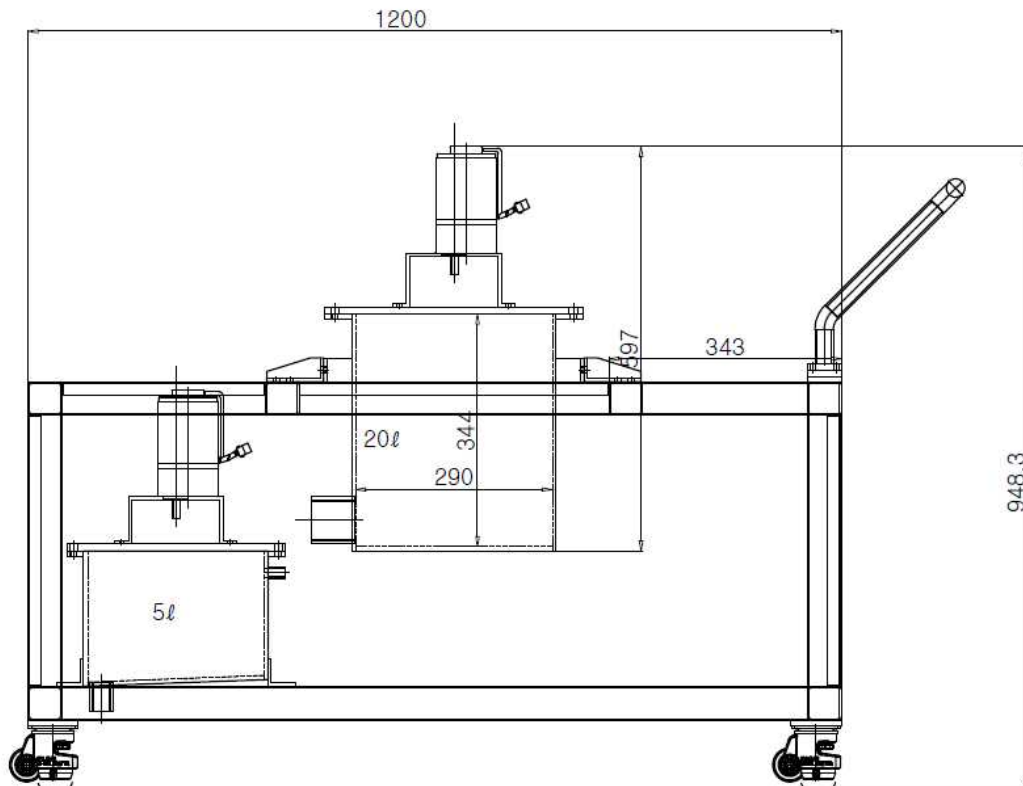


Fig. 87. 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치 도면.

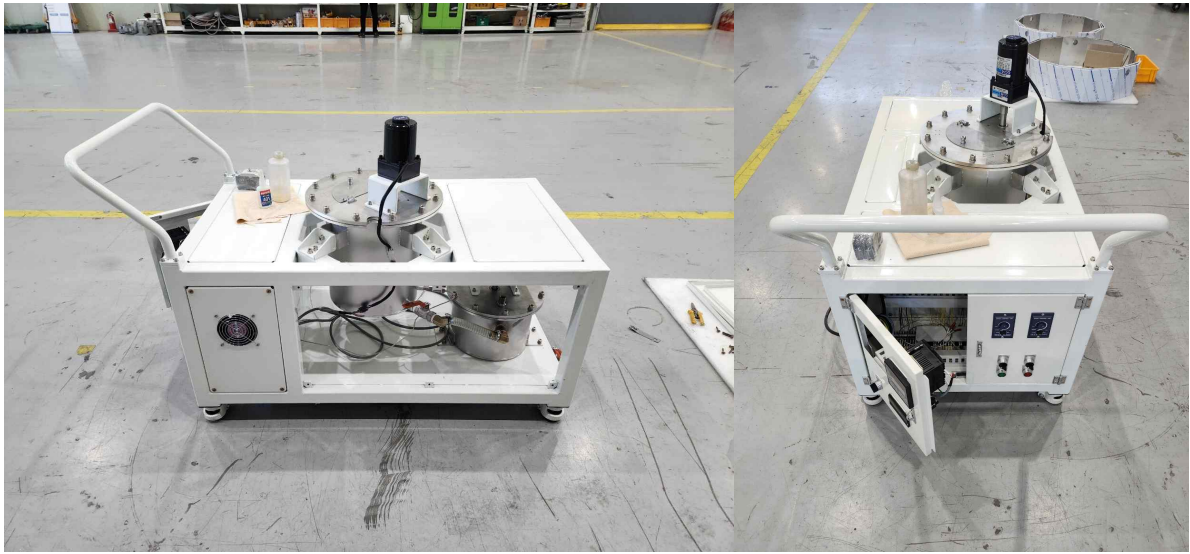


Fig. 88. 제작된 랜더링 가속사체 아미노산 액비 제조장치



Fig. 89. 제작된 랜더링 가속사체 아미노산 액비 제조장치의 반응조 내부.



Fig. 90. 제작된 랜더링 가속사체 아미노산 액비 제조장치의 외부 컨트롤러.



Fig. 91. 제작된 랜더링 가속사체 아미노산 액비 제조장치의 반응조 공급부.



Fig. 92. 제작된 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치의 반응조 및 농축조.



Fig. 93. 반응조와 농축조의 연결부.



Fig. 94. 제작된 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치의 배출부.

아미노산 액비 제조장치의 시운전은 랜더링 가축사체 2 kg과 증류수 10 L 및 단백질 가수분해 효소 0.4 L를 투입하여 50°C 조건에서 4일간 발효하였다 (Fig. 95). 시운전간 반응조에서의 액비 발효는 문제가 없었으나, 반응 종료 후 아미노산 액비를 추출하거나 농축조로 이동과정에서 액비에 부유하고 있는 가축사체 잔여물이 함께 투입되는 문제가 발생하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 반응조 부분의 연결관을 위치를 높여주며, 반응 완료 후 교반을 멈추고 일정시간동안 정지시킨 후에 아미노산 액비를 농축조로 이동시켜주는 것이 효과적이었다. 아미노산 액비의 농축은 액비의 아미노산 농도를 높일 수 있으며, 90°C 이상에서 단백질 분해효소의 활성이 멈추기 때문에 아미노산 액비의 품질 유지를 위해 효과적일 것으로 판단된다. 아미노산 액비의 농축은 95°C 조건에서 액비 총 생산량의 절반이 되도록 증발농축을 했으며, 증발농축된 액비는 Table 6과 같이 관능평가를 실시하였다. 증발농축 전후에 따라 관능평가를 실시한 결과 아미노산 액비의 부숙도는 색에서 큰 차이를 보였다. 증발농축 전의 아미노산 액비는 갈색을 나타내고 있었으나, 증발농축 이후에 액비는 흑색을 보였다 (Fig. 96). 형상, 냄새 등은 농축 전과 농축 후의 차이가 없었다.



Fig. 95. 랜더링 가속사체 아미노산 액비 제조장치 시운전.

Table 48. 농축 전후의 아미노산 액비의 부속도 평가

기준	색	형상	냄새	수분	강제통기	총점
농축 전	5	10	5	2	0	22
농축 후	10	10	5	2	0	27

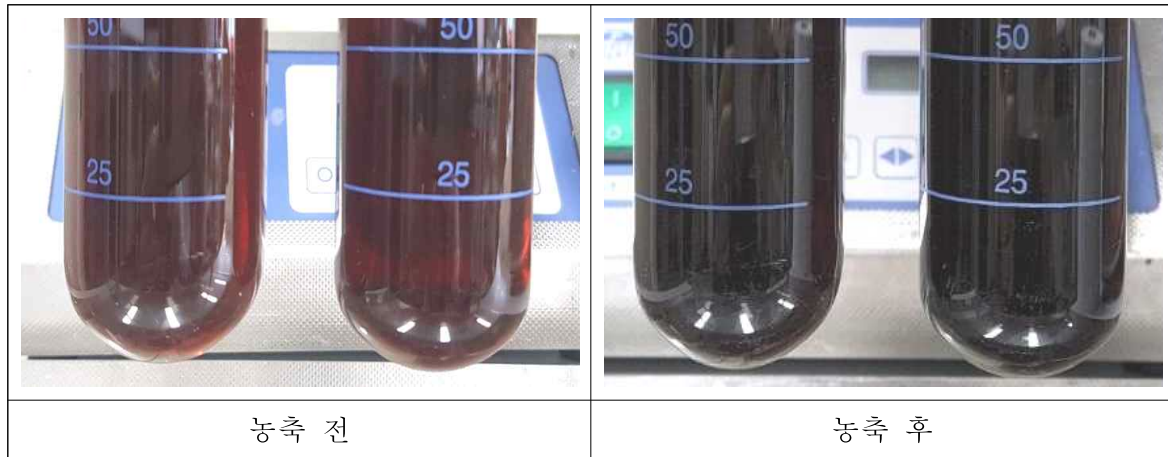


Fig. 96. 농축 전후의 아미노산 액비.

가) 최적 조건하에서 제조된 아미노산 액비의 품질 평가

최적 조건하에서 제조된 아미노산 액비의 품질 평가는 부숙기간동안의 부숙도, 아미노산 함량, 비료성분, 미량원소 및 유해원소를 조사하였다.

(1) 부숙기간별 부숙도 조사

효소처리 이후 부숙기간별 부숙도의 관능평가를 실시한 결과는 Table 49에서 보는 바와 같다. 부숙기간동안 형상, 냄새, 수분은 효소를 투입한 초기부터 96시간 이후까지 변동사항이 없이 일정하였다. 액비의 색은 초기 1시간까지는 옅은 갈색에서 황갈색을 띄었으며, 이는 랜더링 잔류물의 반응이 완전히 진행되지 않았기 때문에 랜더링 잔류물의 색상과 유사한 색으로 나타났다. 아미노산 액비의 색은 2시간 이후부터 흑갈색으로 변하는 것으로 조사되었다.

Table 49. 관능평가에 따른 부숙기간별 부숙도 조사

기준	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h	48h	72h	96h
색	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5
형상	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
냄새	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
수분	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
강 제 통 기	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
총점	19	22	22	22	22	22	22	22	22	22

(2) 아미노산 액비 품질 조사

최적조건하에서 제조된 아미노산 액비의 품질을 조사한 결과는 Fig. 97~99 및 Table 50~51에서 보는 바와 같다.

부숙기간동안의 아미노산 액비의 구성아미노산 함량은 2.67~6.36% 범위로 조사되었으며, 최적 부숙기간인 4일차에서 아미노산 액비의 아미노산의 함량은 6.36%이었다 (Fig 97). 제조장치에서의 부숙기간 중 아미노산 함량은 1일차까지 2.85%의 증가량을 보였고 1일차 이후 4일차까지의 증가량은 0.85%로 부숙초기에 비해 증가속도가 감소하였다.

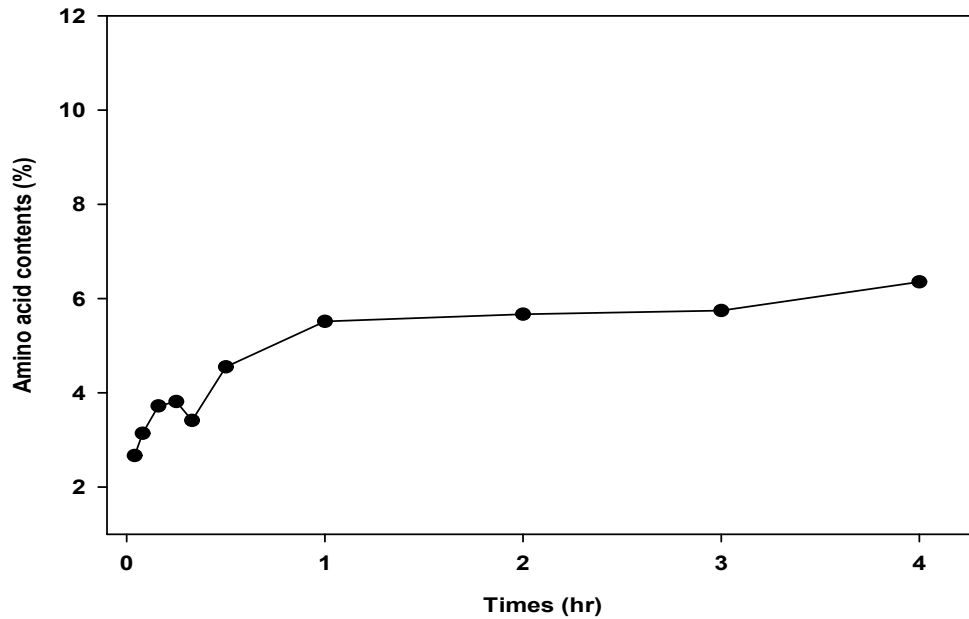


Fig. 97. 아미노산 액비의 부숙기간별 아미노산 함량.

부숙기간별 총 질소 함량은 Fig. 98에서 보는 바와 같다. 총 질소는 아미노산 함량과 동일하게 초기 954 mg kg^{-1} 에서 $4,008 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 1일차에서 증가량이 높았으며, 4일차에서 총 질소 함량이 $4,189 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 가장 높은 함량으로 조사되었다. 1일차와 4일차의 총 질소는 0.4 및 0.42%로 비료공정규격 중 가축분뇨 발효액의 비료규격 함량인 질소, 인산, 칼리전량의 합계량 0.3%이상의 기준을 충족하는 것으로 조사되었다.

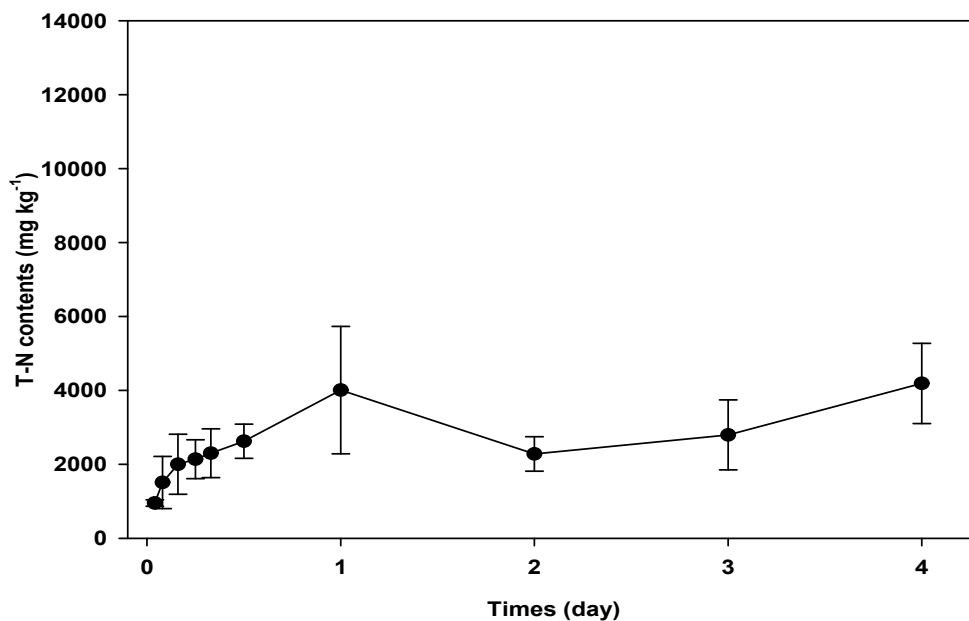


Fig. 98. 아미노산 액비의 부숙기간별 T-N 함량.

T-P, K₂O, CaO 및 MgO는 각각 58.5~139, 993~1,558, 144~382 및 64.5~164 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었으며, Fig. 99에서 보는 바와 같다. T-P는 3일차에서 139 mg kg⁻¹으로 함량이 가장 높았고, K₂O는 1일차에서 489 mg kg⁻¹의 증가량을 보였다. CaO 및 MgO는 최적조건까지 함량이 계속해서 증가하는 경향으로 조사되었다. 부숙기간별 질소전량, 인산전량 및 칼리전량의 합계량을 조사한 결과, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48, 72 및 96시간에서 각각 0.20, 0.26, 0.33, 0.35, 0.37, 0.41, 0.56, 0.39, 0.43 및 0.58%로 조사되었다. 가축사체 부산물비료의 공정규격과 비교하였을 때, 부숙 후 4시간 이후부터 질소, 인산 및 칼리전량의 합계량이 0.3% 이상으로 조사되어 규격의 함량을 충족하였으며, 최적조건에서 0.58%로 가장 높은 함량이 조사되었다.

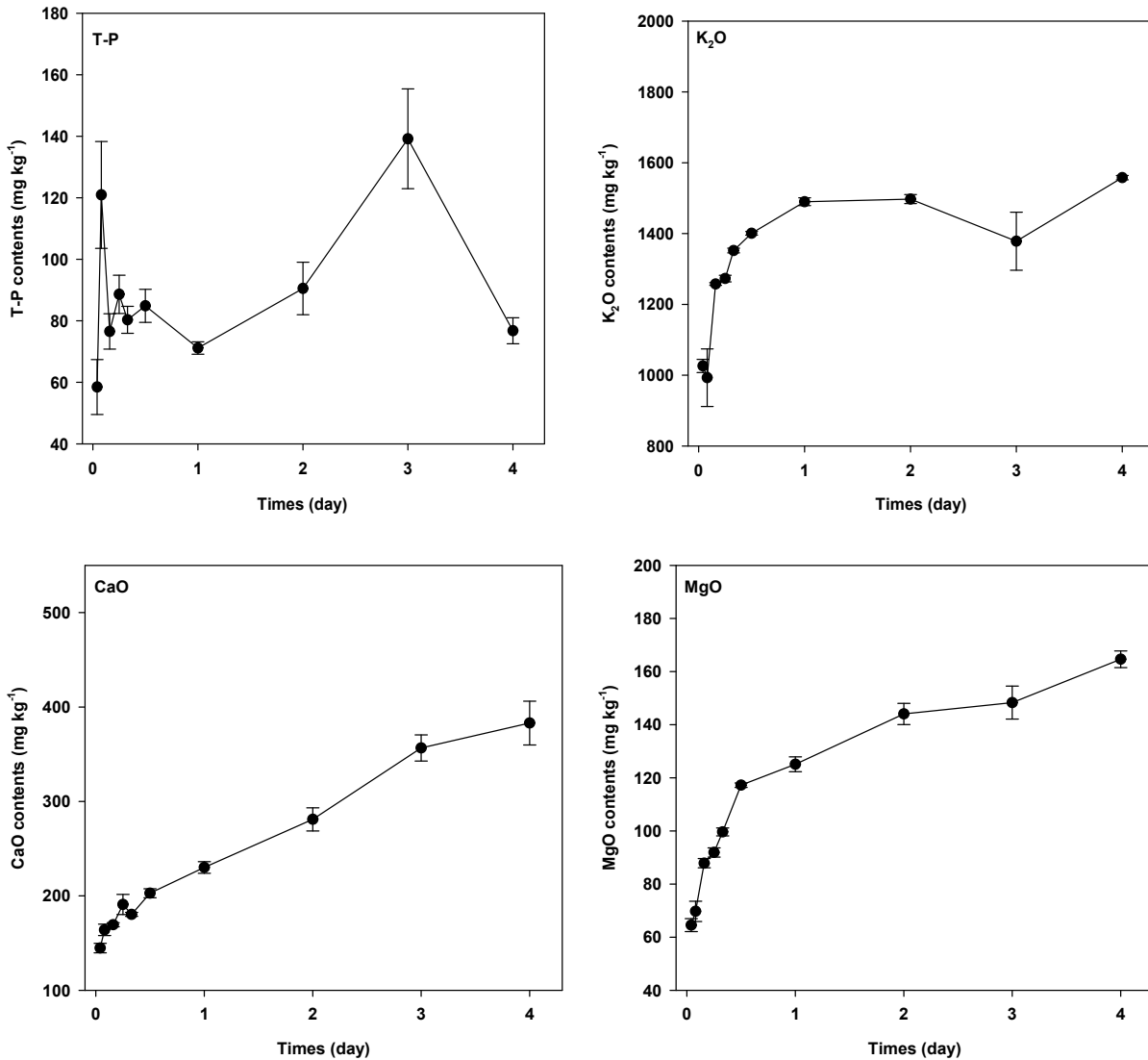


Fig. 99. 아미노산 액비의 부숙기간별 T-P, K₂O, CaO 및 MgO 함량.

아미노산 액비의 부숙기간별 미량원소는 B, Co, Fe, Mn 및 Mo을 조사하였고 그 함량은 Table 50에서 보는 바와 같다. 미량원소 중 B, Mn은 부숙기간동안 검출되지 않았으며, Co의 경우는 1, 2시간에서 0.01 mg kg⁻¹으로 조사되었다. Fe은 최적조건인 96시간에서 6.45 mg kg⁻¹으로 조사되었다. Mo은 0.22~1.00 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었으며, 최적조건 96시간에서는 검출되지 않았다.

Table 50. 아미노산 액비의 부숙기간별 미량원소 함량

	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h	48h	72h	96h
----- (mg kg ⁻¹) -----										
B	ND*	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.27	ND
Co	0.01	0.01	ND	ND	0.19	ND	ND	ND	ND	ND
Fe	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.45
Mn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Mo	ND	0.22	0.40	0.63	0.65	ND	ND	1.00	0.59	ND

*ND, Not detected

아미노산 액비의 부숙기간별 중금속은 As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb 및 Zn을 조사하였다 (Table 51). As는 24시간까지 9.19~17.8 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었으며, 24시간 이후부터는 검출되지 않았다. Cd, Cu, Cr 및 Ni은 거의 검출되지 않았고 Pb는 2시간과 8시간에서 각각 1.00 및 0.97 mg kg⁻¹의 함량이 조사되었다. Zn의 함량은 0.81~2.93 mg kg⁻¹ 범위로 부숙기간이 많을수록 함량이 점차 증가하였다. 가축사체 부산물비료의 공정규격을 통해 아미노산 액비의 중금속함량을 비교 평가한 결과, 비소함량이 2시간에서 17.8 mg kg⁻¹으로 가장 높았으며, 24시간까지 9.19~17.8 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 이는 가축분뇨발효액의 비료공정규격에서 제시한 유해성분의 As 최대량 (5 mg kg⁻¹)보다 높은 값을 보였다. 나머지 중금속 함량은 거의 검출되지 않았고 Pb와 Zn의 경우 0.97~1.00 mg kg⁻¹ 및 0.81~2.93 mg kg⁻¹ 범위로 가축분뇨발효액의 비료공정규격보다 상당히 낮은 것으로 조사되었다. 부숙기간별 랜더링 가축사체 아미노산 비료는 24시간까지는 As 함량이 높기 때문에 사용에 제한이 있으며, 24시간 이후부터 중금속에 대한 안전성에 문제없이 사용이 가능할 것으로 보여진다.

Table 51. 아미노산 액비의 부숙기간별 중금속 함량

	1h	2h	4h	6h	8h	12h	24h	48h	72h	96h
----- (mg kg ⁻¹) -----										
As	9.53	17.8	ND	9.20	9.19	ND	10.6	ND	ND	ND
Cd	ND*	ND	ND	ND	ND	0.22	ND	ND	ND	ND
Cu	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cr	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pb	ND	1.00	ND	ND	0.97	ND	ND	ND	ND	ND
Zn	0.81	1.35	1.54	1.42	1.78	1.95	1.27	2.06	2.93	1.66

*ND, Not detected

나) 제조된 가축사체 아미노산 액비의 장기적 품질특성 평가

(1) 보관기간에 따른 아미노산 액비의 비료학적 가치 평가

제조된 가축사체 아미노산 액비의 장기적 품질특성을 평가하기 위한 보관기간별 농축된 아미노산 액비의 비료학적 평가는 Table 52에서 보는 바와 같다.

보관기간에 따른 아미노산 함량은 상온보관과 냉장보관에서 각각 8.66~13.1% 및 13.1~16.7% 범위로 조사되었다. 상온보관에서는 아미노산 함량이 초기에 가장 높았으며, 보관기간이 늘어날수록 아미노산 함량이 점차 감소하는 것을 확인하였다. 냉장보관에서 60일차 아미노산 함량은 13.1%로 함량이 약간의 감소를 보였으나, 120일차에서 16.7%로 아미노산 함량이 증가하였다. 보관기간에 따른 총 질소는 상온보관 0, 60 및 120일차에서 각각 1.38, 1.48 및 2.12%였으며, 냉장보관 0, 60 및 120일차에서 각각 1.28, 1.14 및 1.92%로 조사되었다. 총 질소의 경우 보관온도 및 보관기간에 따른 함량 변화가 크지 않았다. K₂O 함량은 보관온도 및 보관 기간에 상관없이 0.28~0.32%로 큰 차이가 없었으며, T-P, CaO 및 MgO는 상온보관에서 각각 167~220, 636~758 및 304~386 mg kg⁻¹ 범위였고 냉장보관에서는 각각 167~244, 678~748 및 316~360 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 아미노산 액비의 품질특성을 가축분뇨 발효액의 공정규격과 비교평가를 실시한 결과 상온보관에서의 일차별 질소, 인산 및 칼리전량의 합계량은 0, 60, 120일차 순으로 1.72, 1.78 및 2.46%이었으며, 냉장보관에서는 1.62, 1.44 및 2.24%로 온도에 상관없이 가축분뇨 발효액의 규격에 해당하는 것으로 확인되었다.

Table 52. 보관기간 및 보관방법에 따른 아미노산 액비의 아미노산 및 비료성분 함량

	일차	아미노산	T-N	K ₂ O	T-P	CaO	MgO
		-----	(%) -----	-----	-----	(mg kg ⁻¹) -----	-----
상온 보관	0	14.0	1.38	0.32	167	758	386
	60	8.66	1.48	0.28	220	636	322
	120	8.70	2.12	0.32	193	688	304
냉장 보관	0	14.0	1.28	0.32	167	748	340
	60	13.1	1.14	0.28	210	688	316
	120	16.7	1.92	0.30	244	678	360

보관기간 및 보관방법에 따른 아미노산 액비의 미량원소 함량은 Table 53에서 보는 바와 같다. 상온보관에서 B, Co, Mn 및 Mo는 보관기간에 상관없이 검출되지 않았으며, Fe은 60일과 120일차에 각각 61.2 및 19.8 mg kg⁻¹으로 조사되었다. 냉장보관에서는 Co, Mn 및 Mo는 상온보관과 동일하게 보관기간에 상관없이 검출되지 않았고, B는 보관기간 120일차에 4.02 mg kg⁻¹으로 조사되었다. 냉장보관에 따른 Fe 함량은 보관기간이 길수록 함량이 높았으며, 0, 60 및 120일차에 각각 12.0, 58.8 및 63.2 mg kg⁻¹으로 조사되었다.

Table 53. 보관기간 및 보관방법에 따른 아미노산 액비의 미량원소 함량

	일차	B	Co	Fe	Mn	Mo
		----- (mg kg ⁻¹) -----				
상온 보관	0	ND*	ND	ND	ND	ND
	60	ND	ND	61.2	ND	ND
	120	ND	ND	19.8	ND	ND
냉장 보관	0	ND	ND	12.0	ND	ND
	60	ND	ND	58.8	ND	ND
	120	4.02	ND	63.2	ND	ND

*ND, Not detected

(2) 보관기간에 따른 아미노산 액비의 안정성 평가

제조된 가축사채 아미노산 액비의 보관방법 및 보관기간에 따라서 아미노산 액비의 안정성 평가를 실시하였다. 액비의 안정성 평가는 보관기간 및 방법에 따른 아미노산 액비의 부속도와 액비의 유해성분, 중금속 함량을 조사하였으며, Table 54~55에 나타내었다. 보관기간 및 방법에 따른 부속도 평가를 한 결과는 Table 54에서 보는 바와 같다. 상온보관과 냉장보관에서 아미노산 액비의 색은 흑갈색으로 동일하였고, 형상과 수분은 보관기간 및 보관방법에 상관없이 일

정하였다. 일반적으로 아미노산 액비를 상온보관 할 경우 4~6주차에 색이 yellow 되고 검은색 슬러지가 발생하여 악취를 풍겼으나, 상온보관 결과 60일차부터 원료의 냄새가 약하게 나는 것 이외에 아미노산 액비의 부숙도에 큰 영향이 없었다. 이는 농축으로 인하여 효소의 활성이 중지되었거나 고온으로 인하여 미생물이 사멸한 것으로 보여진다. 냉장보관은 보관기간에 관계없이 색, 형상 및 냄새가 일정하였다.

Table 54. 보관기간 및 보관방법에 따른 아미노산 액비의 부숙도 평가

	상온보관(20℃)			냉장보관(4℃)		
	0 day	60 day	120 day	0 day	60 day	120 day
색	10	10	10	10	10	10
형상	10	10	10	10	10	10
냄새	5	2	2	5	5	5
수분	2	2	2	2	2	2
강제통기	0	0	0	0	0	0
총점	27	24	24	27	27	27

보관기간 및 보관방법에 따른 액비의 유해성분 함량은 Table 55에 나타내었다. 상온보관시 Ni이 120일차에서 0.32 mg kg⁻¹으로 검출되었으며, As, Cd, Cu, Cr, Pb 및 Zn은 보관기간에 상관없이 유해성분이 검출되지 않았다. 냉장보관에서는 보관기간에 상관없이 유해성분이 전혀 검출되지 않았다. 보관방법 및 보관기간에 따른 유해성분 함량을 조사한 결과와 가축분뇨발효액의 비료공정규격을 비교 평가한 결과, 제조된 아미노산 액비가 부산물 비료로 지정되는데에 문제없는 것으로 판단된다. 부숙도 평가 및 유해성분을 조사한 결과로 랜더링 아미노산 액비의 상온보관은 악취 및 유해성분 함량이 높아질 수 있으나 농축을 통해 보완이 가능하며, 4℃이하의 냉장보관은 랜더링 아미노산 액비를 장기간 보관하는데 유효할 것으로 판단된다.

Table 55. 보관기간 및 보관방법에 따른 아미노산 액비의 유해원소 함량

일차	As	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
	----- (mg kg ⁻¹) -----						
상온 보관	0	ND*	ND	ND	ND	ND	ND
	60	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	120	ND	ND	ND	ND	0.32	ND
냉장 보관	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	60	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	120	ND	ND	ND	ND	ND	ND

*ND, Not detected

(3) 제조된 아미노산 액비의 장기간 보존을 위한 방법 검토

제조된 아미노산 액비의 장기간 보존을 위한 방법으로 방부제처리 이후 보관기간 및 보관방법에 따른 아미노산 액비의 아미노산 함량은 Fig. 100에서 보는 바와 같다. 상온에 보관한 액비의 경우에 방부처리를 하지 않은 처리구는 아미노산 함량이 14.0%에서 60일 이후 8.66%로 5.34% 감소하였다. 안식향산 나트륨과 구연산 나트륨을 처리한 액비는 초기에 각각 14.4% 및 14.1%였으며, 60일동안 보관하였을 때, 아미노산 함량이 각각 12.5% 및 11.8%로 약 1.9~2.3% 감소하였다. 방부처리에도 아미노산 함량이 감소하였으나, 상온에서 방부처리를 하지 않은 것보다 아미노산 함량의 감소가 줄어들었다. 4°C에서 냉장 보관한 액비는 방부처리를 하지 않았을 경우 아미노산 함량이 10.8~14.0% 범위로 조사되었다. 방부처리 이후 냉장보관한 액비는 안식향산 나트륨 처리는 아미노산 함량이 11.7~13.7% 범위였으며, 구연산 나트륨 처리는 11.5~13.9%범위로 조사되었다. 안식향산 나트륨과 구연산 나트륨의 처리는 아미노산 액비를 4°C에서 보관하는 것과 비교하였을 때, 아미노산 함량 유지에 큰 차이가 없었다.

액비의 장기간 보존에 있어서 냉장보관시 별다른 처리없이 보존기간을 늘릴 수 있었으며, 안식향산 나트륨과 구연산 나트륨을 통한 방부처리 또한 액비의 장기간 보존에 효과가 있었다. 안식향산 나트륨 및 구연산 나트륨의 사용은 액비의 나트륨 함량을 크게 늘릴 수 있으므로 투입량 조절이 필요하기 때문에 액비보관은 4°C보관을 우선적으로 고려하되 운송 및 유통 등으로 4°C보관에 어려움이 있을 경우, 안식향산 나트륨과 구연산 나트륨의 사용을 통해 장기간 보존이 가능할 것으로 판단된다.

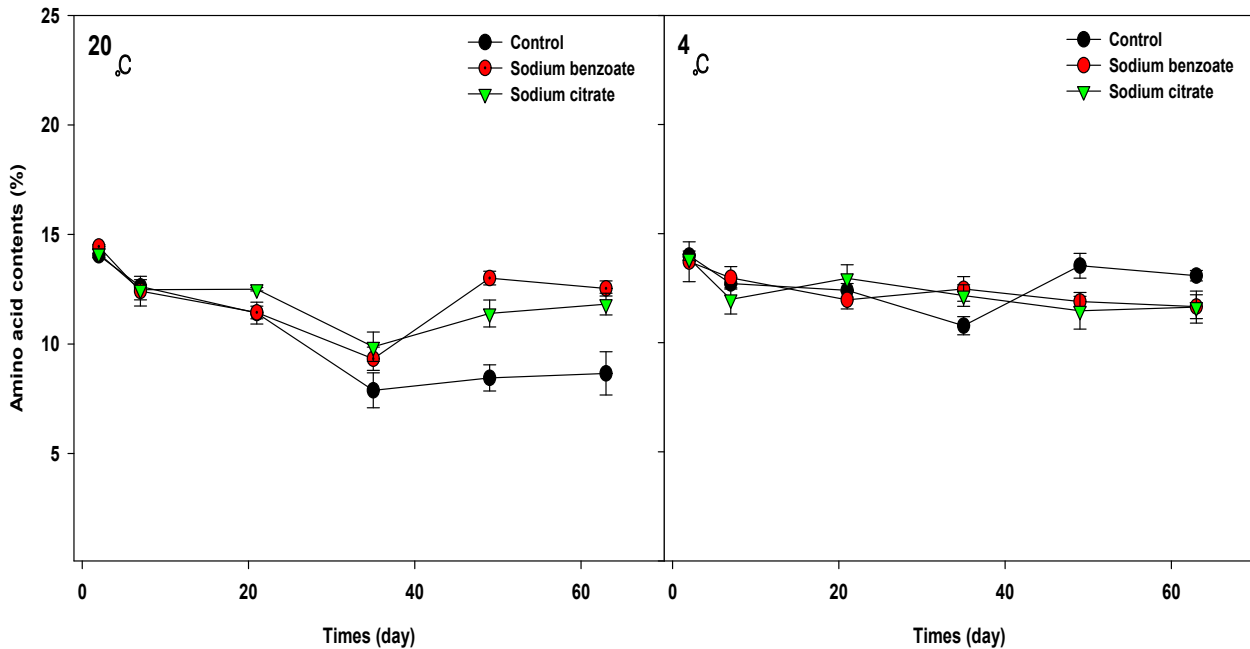


Fig. 100. 보조제 처리에 따른 보관기간별 아미노산 함량.

2) 제조된 아미노산 액비의 시용 효과

가) 작물의 유형별 생육 개선 효과 조사

(1) 아미노산 액비 시용수준

(가) 수도작물-벼

아미노산 액비 시용수준에 따른 벼의 생육 특성은 Table 56에서 보는 바와 같다. 식물체의 초장과 건중량은 아미노산 액비처리량에 상관없이 87.5~89.4 cm plant⁻¹ 및 12.9~13.5 g plant⁻¹ 범위로 조사되었다. 아미노산 액비의 처리는 액비를 처리하지 않은 무처리구와 무기질 비료처리구에 비해 낮은 생장량을 보였으며, 액비의 시용수준이 증가할수록 벼의 초장 및 건중량은 증가하였다. 벼의 분얼수는 4.72~7.50 ea plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 벼의 등숙률 및 천립중은 90.1~91.5% 및 22.5~23.8 g 범위로 조사되었다. 식물체 생육의 경우에 액비처리로 인한 증가하지는 않았으나, 벼의 수확량인 천립중과 등숙률의 경우에 무처리구에 비해 증가하였다. 아미노산 액비의 시용수준이 증가함에 따라 등숙률은 증가하였으며, 천립중의 경우는 감소하였다.

Table 56. 아미노산 액비 시용수준에 따른 수확 후 벼의 생육특성

Treatment	Height (cm plant ⁻¹)	Plant dry weight (g plant ⁻¹)	Tiller number (ea plant ⁻¹)	Ripened grains (%)	1000 grain weight (g)
Cn*	90.1	14.9	6.50	83.8	22.9
IF	93.7	16.9	7.50	91.8	22.5
500 L 10a ⁻¹	87.5	13.4	4.72	90.1	23.8
1000 L 10a ⁻¹	88.9	13.5	5.17	91.4	23.6
2000 L 10a ⁻¹	89.4	12.9	4.89	91.5	23.4

*Cn: Control, IF: Inorganic fertilizer



Fig. 101. 아미노산 액비 시용수준별 벼 생육 상태.

(나) 엽채류-상추

아미노산 액비 시용수준에 따른 상추 수확 후 생육 특성은 Table 57과 같다. 상추의 생중량은 무처리구보다 아미노산 액비처리에 따라 지상부 및 지하부에서 각각 21.7~22.8 g plant⁻¹ 및 6.30~7.28 g plant⁻¹ 범위로 증가하였다. 상추의 엽장은 처리조건에 상관없이 17.5~30.0 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 근장은 7.10~14.6 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었다. 아미노산 액비처리에 따른 상추의 엽장은 무처리구보다 약 10 cm이상 증가하였으며, 무기질 비료처리구보다 길이 성장에 효과적이었다. 근장은 무처리구 및 무기질 비료처리보다 아미노산 액비처리에서 더 높은 성장을 보였다. 액비의 처리량이 증가함에 따라 지상부 및 지하부의 길이는 증가하는 것으로 조사되었다. 상추의 엽폭은 7.95~10.6 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 엽수는 17.0~27.0 ea plant⁻¹ 범위로 조사되었다.

Table 57. 아미노산 액비 시용수준에 따른 수확 후 상추의 생육특성

Treatment	Fresh weight		Length		Leaf width	Leaf number
	Leaf	Root	Leaf	Root		
	-- (g plant ⁻¹) --		-- -- (cm plant ⁻¹) -- --			(ea plant ⁻¹)
Cn	21.0	6.59	17.5	12.2	7.95	17.0
IF	55.7	3.76	26.8	7.10	10.6	27.0
500 L 10a ⁻¹	22.2	7.28	28.2	12.7	8.20	19.0
1000 L 10a ⁻¹	22.8	6.30	29.0	13.1	8.02	18.8
2000 L 10a ⁻¹	21.7	7.19	30.0	14.6	8.18	18.2

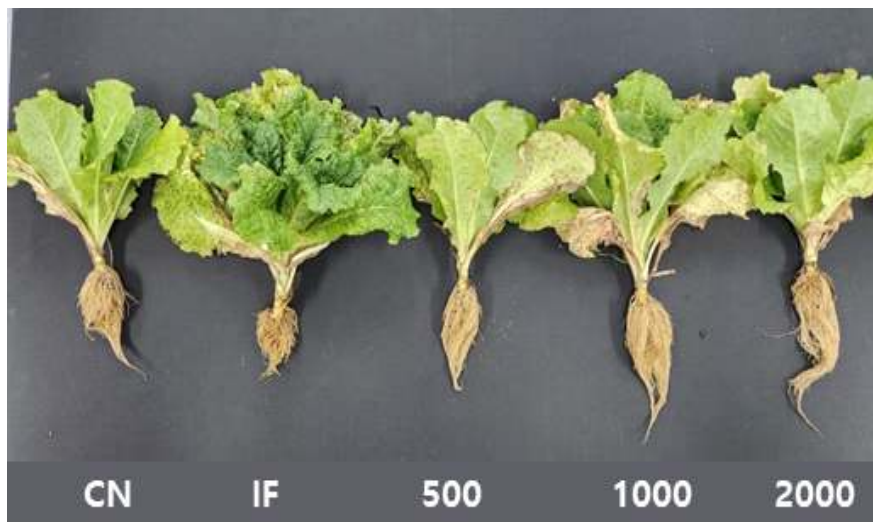


Fig. 102. 아미노산 액비 시용수준별 상추 생육 상태.

(다) 연속수확작물-토마토

아미노산 액비 시용수준에 따른 수확 후 토마토 생육특성을 조사한 결과는 Table 58에 나타내었다. 토마토 식물체의 생중량은 아미노산 액비처리량에 상관없이 지상부와 지하부에서 각각 22.3~67.5 g plant⁻¹ 및 2.07~6.47 g plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 지상부 및 지하부의 길이는 각각 80.7~110 cm plant⁻¹ 및 24.9~33.1 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었다. 토마토 식물체는 아미노산 액비처리로 인하여 생중량 및 길이의 생육이 증가하였으나, 아미노산 액비처리량이 증가할수록 식물체의 길이 성장은 감소하였다. 토마토 수확량은 아미노산 액비 500, 1000 및 2000L 10⁻¹의 처리구에서 각각 4.75, 4.00 및 4.33 ea plant⁻¹였으며, 무처리구에서 5.00 ea plant⁻¹으로 수확량이 가장 많았고 무기질 비료처리구에서 2.50 ea plant⁻¹으로 수량이 가장 적었다. 수량은 짧은 생육기간동안 식물체생육에 따라 수량의 차이를 보인 것으로 판단된다. 토마토 평균 과중은 처리조건에 상관없이 5.24~5.67 g으로 처리조건에 따라 유의한 차이를 보이지 않았다. 토마토 당도의 경우 아미노산 액비처리에 따라 8.56~9.22 Brix%로 증가하였다.

Table 58. 아미노산 액비 시용수준에 따른 수확 후 토마토의 생육특성

Treatment	Fresh weight		Length		Yield (ea plant ⁻¹)	Weight of 1 fruit (g)	Sugar content (Brix %)
	Leaf (g plant ⁻¹)	Root	Leaf (cm plant ⁻¹)	Root			
Cn	24.5	2.07	99.9	24.9	5.00	5.67	8.97
IF	67.5	6.47	110	33.1	2.50	5.62	8.23
500 L 10a ⁻¹	23.7	3.18	88.2	29.7	4.75	5.56	9.22
1000 L 10a ⁻¹	22.3	2.86	81.2	26.8	4.00	5.64	8.56
2000 L 10a ⁻¹	22.5	3.50	80.7	24.9	4.33	5.24	9.13



Fig. 103. 아미노산 액비 시용수준별 토마토 생육 상태.

(2) 아미노산 액비 사용시기

(가) 수도작물-벼

아미노산 액비의 사용시기별 벼의 식물체 및 수량을 조사한 결과는 Table 59에서 보는 바와 같다. 식물체의 초장과 건중량은 무처리구 및 무기질 비료처리구에서 각각 90.1 및 93.7 cm plant⁻¹과 14.9 및 16.9 g plant⁻¹으로 조사되었으며, 전생육기간동안 아미노산 액비를 처리한 처리구에서는 초장과 건물중이 각각 88.6 cm plant⁻¹ 및 13.4 g plant⁻¹으로 조사되었다. 식물체의 초장은 전생육기간에 액비를 처리하였을 경우에도 무기질 비료처리보다 낮은 성장을 보였으며, 건물중 역시 동일하게 성장이 저조하였다. 아미노산 액비의 사용시기에 따른 분얼수는 육묘기에서 5.28 ea plant⁻¹으로 가장 높았으며, 전 생육기간과 분얼기에서는 4.72 및 4.78 ea plant⁻¹으로 낮았다. 등숙률은 무처리구 (83.8%)에 비해 액비처리가 증가하였으며, 육묘기 (88.3%)보다 분얼기 (92.7%)에 처리하는 것이 등숙률을 증가시키는데 효과가 있는 것으로 조사되었다. 사용시기에 따른 벼의 천립중은 액비처리로 인하여 증가하였으며, 사용시기에는 큰 영향이 없는 것으로 조사되었다.

Table 59. 아미노산 액비 사용시기에 따른 수확 후 벼의 생육특성

Treatment	Height (cm plant ⁻¹)	Plant dry weight (g plant ⁻¹)	Tiller number (ea plant ⁻¹)	Ripened grains (%)	1000 grain weight (g)
Cn*	90.1	14.9	6.50	83.8	22.9
IF	93.7	16.9	7.50	91.8	22.5
육묘기	88.0	14.2	5.28	88.3	23.9
분얼기	89.1	12.1	4.72	92.7	23.4
전 생육기간	88.6	13.4	4.78	92.0	23.5



Fig. 104. 아미노산 액비 사용시기별 벼 생육 상태.

(나) 엽채류-상추

아미노산 액비의 시용시기별 상추의 생육조사 결과로 아미노산 액비 처리에 따른 잎과 뿌리의 생중량은 각각 21.4~23.6 cm plant⁻¹ 및 6.05~7.68 g plant⁻¹ 범위로 조사되었다. 상추의 엽장 및 엽폭은 처리조건에 상관없이 17.5~29.5 cm plant⁻¹ 및 7.95~13.7 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었다. 상추의 엽장은 무기질 비료처리보다 아미노산 액비 처리에서 효과적이었으나 엽폭은 아미노산 액비 처리에서 더 낮은 것으로 조사되었으며, 엽장의 경우, 전생육기간에 처리하는 것보다 5엽기부터 처리하는 것이 길이 생장에 효과적인 것으로 조사되었다. 상추의 엽수는 Cn, IF, 육묘기, 5엽기 및 전생육기간 처리에서 각각 17.0, 27.0, 17.8, 18.9 및 19.3 ea plant⁻¹으로 조사되었다. 아미노산 액비의 처리는 생육기간동안 처리량이 많을수록 엽채류 작물의 수확량이 증가하는 것으로 판단된다 (Table 60, Fig. 105).

Table 60. 아미노산 액비 시용시기에 따른 수확 후 상추의 생육특성

Treatment	Fresh weight		Length		Leaf width	Leaf number
	Leaf	Root	Leaf	Root		
	-- (g plant ⁻¹) --		-- (cm plant ⁻¹) --			(ea plant ⁻¹)
Cn	21.0	6.59	17.5	12.2	7.95	17.0
IF	55.7	3.76	26.8	7.10	10.6	27.0
육묘기	21.4	6.05	29.0	13.5	7.36	17.8
5엽기	21.7	7.04	29.5	13.7	8.25	18.9
전 생육기간	23.6	7.68	28.7	13.2	8.78	19.3



Fig. 105. 아미노산 액비 시용시기별 상추 생육 상태.

(다) 연속수확작물-토마토

아미노산 액비의 시용시기별 토마토의 생육조사 결과는 Table 61과 같다. 토마토 식물체의 생중량 및 길이는 지상부의 경우에 처리조건에 상관없이 각각 21.5~67.5 g plant⁻¹ 및 78.0~110 cm plant⁻¹으로 조사되었고 지하부의 경우 처리조건에 상관없이 각각 2.07~6.47 g plant⁻¹ 및 24.9~33.1 cm plant⁻¹으로 조사되었다. 시용시기에 따른 토마토 식물체의 생육은 육묘기보다 개화기 및 전생육기간동안 처리하였을 때 생육에 효과적으로 조사되었는데 이는 생육초기에 적은 염수로 인하여 아미노산 액비의 시비효율이 높지 않았을 것으로 판단된다. 토마토 수량은 육묘기, 개화기, 전생육기간에서 각각 4.17, 3.92 및 5.00 ea plant⁻¹으로 조사되었으며, 평균 과중은 각각 5.48, 5.73 및 5.23 g으로 조사되었다. 토마토 당도를 조사한 결과 전생육기간에 처리한 처리구가 9.14 brix%로 높았으며, 육묘기간동안 처리한 처리구의 경우 8.87 brix%로 당도가 8.97 brix%인 무처리구보다 낮은 당도를 보였다. 아미노산 액비의 경우 열매에 직접적인 처리를 통해 당도개선에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

Table 61. 아미노산 액비 시용시기에 따른 수확 후 토마토의 생육특성

Treatment	Fresh weight		Length		Yield (ea plant ⁻¹)	Weight of 1 fruit (g)	Sugar content (Brix %)
	Leaf (g plant ⁻¹)	Root	Leaf (cm plant ⁻¹)	Root			
Cn	24.5	2.07	99.9	24.9	5.00	5.67	8.97
IF	67.5	6.47	110	33.1	2.50	5.62	8.23
육묘기	21.5	3.63	78.0	26.1	4.17	5.48	8.87
개화기	23.5	3.40	85.7	28.0	3.92	5.73	8.91
전 생육기간	23.6	2.50	86.4	27.3	5.00	5.23	9.14



Fig. 106. 아미노산 액비 시용시기별 토마토 생육 상태.

(3) 아미노산 액비 시비방법

(가) 수도작물-벼

아미노산 액비의 관주시비 및 엽면시비에 따른 벼의 생육특성은 Table 62에 나타내었다. 시비방법에 따른 벼의 식물체 초장 및 건중량은 87.6~93.7 cm plant⁻¹, 13.2~14.9 g plant⁻¹ 범위로 조사되었다. 식물체의 건중량은 엽면시비와 관주시비간의 차이는 없었으며, 초장은 엽면시비에서 더 높은 효과를 보였다. 분얼수, 등숙률, 천립중은 무기질 비료 처리구보다 액비처리구에서 효과가 감소하였다. 시비방법에 따른 분얼수, 등숙률 및 천립중은 관주시비에서 각각 5.07 ea plant⁻¹, 91.7% 및 23.6 g으로 조사되었고 엽면시비에서는 각각 4.78 ea plant⁻¹, 90.3% 및 23.5 g으로 엽면시비보다 관주시비에서 더 높은 벼의 수확량을 보였다.

Table 62. 아미노산 액비 시비방법에 따른 수확 후 벼의 생육특성

Treatment	Height (cm plant ⁻¹)	Plant dry weight (g plant ⁻¹)	Tiller number (ea plant ⁻¹)	Ripened grains (%)	1000 grain weight (g)
Cn	90.1	14.9	6.50	83.8	22.9
IF	93.7	16.9	7.50	91.8	22.5
엽면시비	89.6	13.3	4.78	90.3	23.5
관주시비	87.6	13.2	5.07	91.7	23.6



Fig. 107. 아미노산 액비의 관주 및 엽면시비에 따른 벼 생육 상태.

(나) 엽채류-상추

아미노산 액비의 시비방법에 따른 상추의 생육특성을 조사한 결과는 Table 63에서 보는 바와 같다. 상추의 지상부와 지하부의 생중량은 20.7~55.7 g plant⁻¹ 및 3.76~8.21 g plant⁻¹ 범위로 조사되었다. 지상부 및 지하부는 엽면시비가 관주시비보다 생중량이 높았으며, 아미노산 액비의 관주시비는 상추의 생중량에 큰 효과가 없는 것으로 조사되었다. 상추의 엽장 및 근장은 엽면시비에서 각각 30.4 및 14.4 cm plant⁻¹로 처리구간 가장 효과적이었으며, 관주시비는 각각 27.7 및 12.5 cm plant⁻¹로 무기질 비료보다 길이 성장에 효과적이었다. 상추의 엽수는 무기질 비료 처리구에서 27.0 ea plant⁻¹이었으며, 엽면시비와 관주시비는 18.3 및 18.5 ea plant⁻¹로 시비방법에 따른 차이는 보이지 않았다.

Table 63. 아미노산 액비 시비방법에 따른 수확 후 상추의 생육특성

Treatment	Fresh weight		Length		Leaf width	Leaf number
	Leaf	Root	Leaf	Root		
	-- (g plant ⁻¹) --		-- -- (cm plant ⁻¹) -- --		(ea plant ⁻¹)	
Cn	21.0	6.59	17.5	12.2	7.95	17.0
IF	55.7	3.76	26.8	7.10	10.6	27.0
엽면시비	23.8	8.21	30.4	14.4	8.53	18.3
관주시비	20.7	5.64	27.7	12.5	7.73	18.5



Fig. 108. 아미노산 액비의 관주 및 엽면시비에 따른 상추 생육 상태.

(다) 연속수확작물-토마토

아미노산 액비의 관주시비 및 엽면시비에 따른 토마토 식물체의 지상부 생중량 및 길이는 각각 22.3~67.5 g plant⁻¹ 및 82.0~110 cm plant⁻¹이었으며, 지하부의 생중량 및 길이는 각각 2.07~6.47 g plant⁻¹ 및 24.9~33.1 cm plant⁻¹으로 조사되었다 (Table 64). 아미노산 액비 시비방법에 상관없이 지상부의 생육은 무처리구보다 낮았으나 지하부의 생육에 효과적인 것으로 조사되었다. 토마토 수량은 엽면시비가 관주시비보다 효과적이었으며, 평균 과중은 관주시비에서 더 높은 중량을 보였다. 토마토 당도는 시비방법에 상관없이 8.23~9.12 brix%로 조사되었고 엽면시비에서 9.12 brix%로 가장 당도개선에 효과적이었다.

Table 64. 아미노산 액비 시비방법에 따른 수확 후 토마토의 생육특성

Treatment	Fresh weight		Length		Yield (ea plant ⁻¹)	Weight of 1 fruit (g)	Sugar content (Brix %)
	Leaf (g plant ⁻¹)	Root	Leaf (cm plant ⁻¹)	Root			
Cn	24.5	2.07	99.9	24.9	5.00	5.67	8.97
IF	67.5	6.47	110	33.1	2.50	5.62	8.23
엽면시비	23.4	3.56	84.8	28.3	4.44	5.40	9.12
관주시비	22.3	2.79	82.0	26.0	4.28	5.56	8.83



Fig. 109. 아미노산 액비의 관주 및 엽면시비에 따른 토마토 생육 상태.

나) 아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 품질 특성 조사

아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 품질 특성 조사는 Table 65에서 보는 바와 같으며, 각 작물별의 지상부 및 지하부와 열매의 아미노산 함량, 총질소, 총인 및 칼리함량을 조사하였다. 아미노산 액비 시용에 따른 아미노산 함량은 수도작물의 경우 지상부, 지하부 및 알곡의 아미노산 함량이 각각 4.55~5.72, 6.38~13.0 및 0.48~1.98% 범위로 조사되었으며, 뿌리에 아미노산 함량이 높게 조사되었다. 아미노산 액비 시용이 벼의 지상부와 알곡의 아미노산 함량은 증가시켰으며, 뿌리의 아미노산 함량은 영향을 주지 못하였다. 상추의 경우 지상부와 지하부의 아미노산 함량은 1.90~4.12 및 2.01~4.49% 범위로 조사되었다. 상추에서는 아미노산 액비의 관주시비를 통해 아미노산 함량이 증가하는 것을 확인하였으나 엽면시비의 경우 무처리구와 유의한 차이를 보이지 않았다. 토마토의 아미노산 함량은 1.05~13.1% 범위로 조사되었다. 토마토의 경우에 무기질 비료처리에서 아미노산 함량이 가장 높았으며, 무처리구에 비해 아미노산 액비처리에서 토마토 열매의 아미노산 함량이 증가하였다.

아미노산 액비 시용에 따른 벼의 T-N 함량은 지상부, 지하부 및 알곡에서 각각 0.13~0.43, 0.63~0.75 및 0.30~1.31% 범위로 조사되었다. T-N 함량은 지상부와 지하부에서 큰 차이없었고 알곡에서는 무처리구와 비교하였을 때, 무기질 비료, 엽면시비 및 관주시비에서 각각 2.77, 4.37 및 3.83배 더 높은 T-N 함량으로 조사되었다. 상추의 경우 지상부와 지하부에서 각각 1.23~1.88 및 0.40~0.89%로 조사되었으며, 토마토는 지상부, 지하부 및 열매에서 각각 0.64~2.43, 0.76~1.46 및 0.75~1.48% 범위로 조사되었다. 상추의 T-N 함량은 무처리구에 비해 아미노산 액비처리로 인하여 증가하였으며, 토마토의 T-N 함량은 지상부에서 무처리구보다 낮았으나, 열매의 T-N 함량은 무처리구보다 높은 것으로 조사되었다.

아미노산 액비 시용에 따른 T-P 및 K₂O 함량은 조사한 결과, T-P는 재배작물에 관계없이 지상부 및 열매는 0.02~0.03% 범위로 작물별로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 지하부의 경우, 0.03~0.21% 범위로 조사되었다. K₂O 함량은 벼의 경우에 지상부, 지하부 및 열매는 각각 1.90~2.09, 0.58~0.84 및 0.23~0.69%로 조사되었으며, 상추의 지상부 및 지하부와 토마토의 지상부, 지하부 및 열매의 K₂O 함량은 각각 3.89~5.26 및 1.29~1.62% 범위와 2.50~2.82, 7.42~9.34 및 0.33~0.68% 범위로 조사되었다. K₂O 함량은 작물별로 함량의 차이를 보였으며, 엽채류 작물에서는 지상부, 토마토 작물에서는 지하부에 많은 함량을 보였다.

다) 아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 개선방안 검토

아미노산 액비 시용을 통한 작물의 생육 및 무기성분을 조사한 결과, 아미노산 액비 시용이 식물체의 지상부 및 지하부의 무기성분 함량 및 생중량 증가에는 효과를 보이지 않았으나, 작물의 수확량 및 토마토 당도개선에 효과를 보였다. 또한 아미노산 액비의 시용시기의 경우 전 생육기간과 열매를 맺기 시작하는 기간에서의 아미노산 액비처리가 유의한 차이가 없었으며, 아미노산 액비가 열매의 무기성분 함량 개선에 효과를 보였다. 이를 통해 아미노산 액비의 처리는 맺은 열매에 직접 시비하는 것이 작물의 생육개선에 효과적일 것으로 판단된다.

Table 65. 아미노산 액비 시용에 따른 작물별 아미노산 및 무기성분 함량

Treatment		Amimo acid	T-N	T-P	K ₂ O	
		----- (%) -----				
벼	Cn	지상부	4.79	0.32	0.02	1.91
		지하부	9.88	0.70	0.21	0.62
		열매	0.48	0.30	0.02	0.23
	IF	지상부	4.72	0.43	0.02	2.09
		지하부	13.0	0.75	0.16	0.84
		열매	1.47	0.83	0.03	0.55
	엽면	지상부	5.72	0.30	0.03	2.01
		지하부	6.38	0.63	0.18	0.73
		열매	1.98	1.31	0.03	0.69
	관주	지상부	4.55	0.13	0.02	1.90
		지하부	8.98	0.73	0.11	0.58
		열매	1.68	1.15	0.03	0.61
상추	Cn	지상부	1.90	1.23	0.02	5.06
		지하부	3.25	0.40	0.03	1.60
	IF	지상부	4.12	1.88	0.03	3.89
		지하부	4.49	0.89	0.07	1.29
	엽면	지상부	1.93	1.44	0.04	5.01
		지하부	2.01	0.69	0.05	1.35
	관주	지상부	3.58	1.45	0.03	5.26
		지하부	2.95	0.67	0.06	1.62
토마토	Cn	지상부	5.26	0.70	0.02	2.54
		지하부	4.94	0.78	0.11	7.42
		열매	1.05	0.75	0.02	0.61
	IF	지상부	13.1	2.43	0.02	2.50
		지하부	7.95	1.46	0.14	7.42
		열매	3.31	1.48	0.01	0.33
	엽면	지상부	4.89	0.67	0.03	2.82
		지하부	4.48	0.79	0.15	8.37
		열매	1.65	0.86	0.02	0.68
	관주	지상부	5.11	0.64	0.02	2.73
		지하부	3.93	0.76	0.11	9.34
		열매	2.23	0.85	0.02	0.49

3) 주성분 보증을 통한 아미노산 액비의 주비료 가능성 검토

가) 주성분을 보증하기 위한 혼합기술 개발

주성분을 보증하기 위한 혼합기술 개발 결과는 Fig. 110에서 보는 바와 같다. 혼합처리에 따른 랜더링 가축사체 아미노산 액비의 처리구별 아미노산은 무처리, 무기질 비료, 유기질 비료 및 천연물 순서로 각각 7.27, 8.10, 9.14 및 8.50%로 조사되었다. 아미노산 함량은 무기질 비료보다 유기질 비료에서 함량이 높았으며, 이는 가축분뇨의 미생물이 대사작용을 통해 아미노산을 생성하였다고 판단된다. 혼합처리를 한 아미노산 액비의 비료성분으로 총질소 함량은 5,532~7,773 mg kg⁻¹ 범위였으며, 총인 함량은 83.5~208 mg kg⁻¹이었고 칼륨 함량은 1,610~2,287 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 아미노산 액비에 비료를 혼합하였을 경우에 모든 성분함량이 증가하였고 아미노산을 제외한 비료성분은 무기질 비료와의 혼합에서 가장 높은 함량이 나타났다. 이는 무기질 비료가 수용성이고 무기성분으로 액비에 잘 녹으면서 함량이 높게 나온 것으로 보여진다. 유기질 비료와 천연물은 혼합하지 않는 경우보다 주성분 함량이 증가하였고 아미노산 함량의 경우에 유기질 비료인 가축분뇨의 혼합을 통해 높은 함량의 아미노산 액비를 생산할 수 있을 것으로 보여진다.

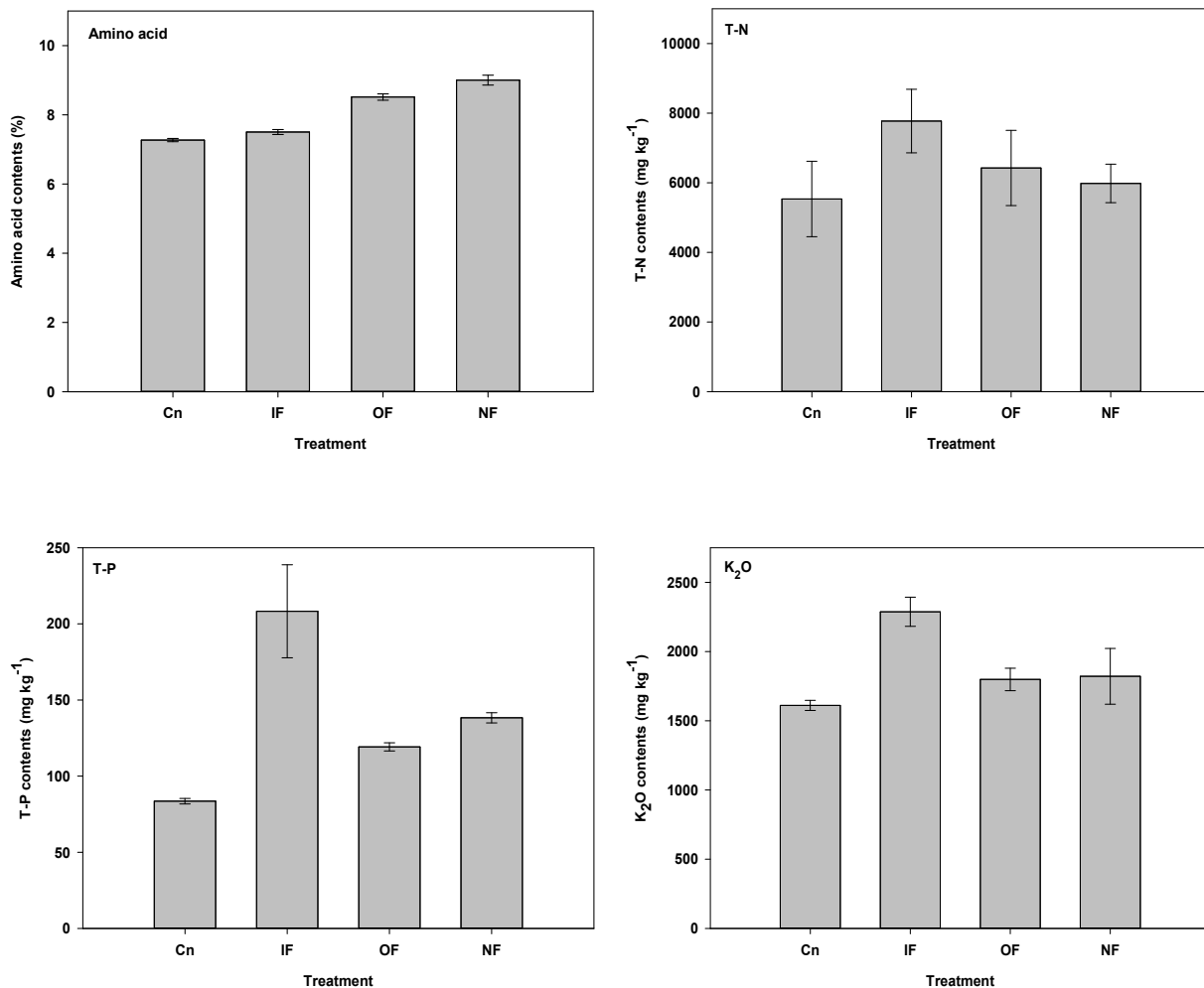


Fig. 110. 주성분 보증을 위한 혼합 아미노산 액비의 아미노산 함량 및 비료 성분함량. (Cn; 무처리, IF; 무기질 비료, OF; 유기질 비료, NF; 천연물)

나) 보증된 아미노산 액비의 품질 특성 평가

보증된 아미노산 액비의 품질 특성 평가는 혼합처리에 따른 아미노산 액비의 부속도, 아미노산 함량, 비료성분함량, 미량원소 및 유해원소를 조사하였으며, 비료공정규격 중 가축분뇨발효액 및 혼합유기질비료의 규격을 비교하여 평가하였다. 혼합처리를 통해 제조된 액비의 비료성분 함량은 Fig. 110에서 보는 바와 같으며, Cn, IF, OF 및 NF에서 질소, 인산, 칼리의 함계량은 각각 0.72, 1.03, 0.83 및 0.79%로 조사되었다. 이는 혼합 유기질 비료의 규격에 미치지 못하였으며, 가축분뇨발효액의 규격함량에는 해당하는 범위였다. 혼합 아미노산 액비의 유해성분을 조사한 결과는 Table 66에서 나타내었다. 액비의 As, Cd 및 Pb은 모든 처리구에서 검출되지 않았으며, Zn은 처리구에 상관없이 1.66~4.48 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. Cu, Ni 및 Cr은 혼합처리를 하지 않은 액비에서 검출되지 않았고 혼합 액비에서는 Cu, Ni 및 Cr 순으로 각각 2.27~4.52, 0.00~0.08 및 0.24~0.59 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 혼합 아미노산 액비의 유해성분 함량은 무기질 비료와 혼합처리하였을 때 가장 높은 함량을 보였다. 가축분뇨발효액과 혼합유기질의 공정규격 중 함유할 수 있는 유해성분의 최대량과 비교 평가한 결과, 모든 유해성분 함량이 기준치의 최대량을 넘지 않은 것으로 조사되었다.

Table 66. 혼합 아미노산 액비의 유해성분

Treatment	As	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
	----- (mg kg ⁻¹) -----						
Cn	ND*	ND	ND	ND	ND	ND	1.66
IF	ND	ND	4.52	ND	0.59	ND	4.48
OF	ND	ND	2.27	0.05	0.38	ND	2.41
NF	ND	ND	2.66	0.08	0.24	ND	2.90

*ND, Not detected; Cn: 무처리, IF: 무기질 비료, OF: 유기질 비료, NF: 천연물

혼합 아미노산 액비의 미량성분을 조사한 결과는 Table 67에서 보는 바와 같다. 혼합처리를 하지 않은 처리구는 Fe가 6.45 mg kg⁻¹으로 조사되었으며, B, Co, Mn 및 Mo는 검출되지 않았다. 무기질 비료와 혼합한 아미노산 액비의 B, Co, Fe, Mn 및 Mo는 각각 0.38, 0.03, 18.8, 3.07 및 0.42 mg kg⁻¹으로 Fe 및 Mn 함량이 다른 처리구에 비해 높았으며, 유기질 비료와 혼합한 아미노산 액비는 B, Co, Fe, Mn 및 Mo는 각각 0.62, 0.05, 10.8, 1.73 및 0.51 mg kg⁻¹이었으며, 다른 처리조건에 비해 B, Co, Mo 함량이 가장 높았다. 천연물과 혼합한 아미노산 액비의 경우, B, Co, Fe, Mn 및 Mo의 함량이 각각 0.38, 0.03, 13.4, 1.35 및 0.23 mg kg⁻¹으로 조사되었다. 아미노산 액비와 무기질 비료의 혼합은 비료성분 및 미량성분 함량의 증가에 효과적인 방법으로 보여진다.

Table 67. 혼합 아미노산 액비의 미량성분

Treatment	B	Co	Fe	Mn	Mo
	----- (mg kg ⁻¹) -----				
Cn	ND*	ND	6.45	ND	ND
IF	0.38	0.03	18.8	3.07	0.42
OF	0.62	0.05	10.8	1.73	0.51
NF	0.38	0.03	13.4	1.35	0.23

*ND, Not detected; Cn: 무처리, IF: 무기질 비료, OF: 유기질 비료, NF: 천연물

혼합 아미노산 액비의 부숙도 조사는 가축분뇨퇴액비의 관능평가를 기준으로 조사하였다 (Table 6). 부숙도 판정결과 무기질 비료와 혼합한 아미노산 액비의 경우 혼합하지 않은 처리구와 차이가 없었으며, 유기질 비료와 천연물 혼합 아미노산 액비는 액비의 색이 흑갈색으로 나타났으며, 형상, 냄새 등은 혼합 전 아미노산 액비와 차이를 보이지 않았다.

Table 68. 혼합 아미노산 액비의 부숙도 조사

기준	색	형상	냄새	수분	강제통기	총점
Cn	5	10	5	2	0	22
IF	5	10	5	2	0	22
OF	10	10	5	2	0	27
NF	10	10	5	2	0	27

Cn: 무처리, IF: 무기질 비료, OF: 유기질 비료, NF: 천연물

나. 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템 개발

1) 랜더링 가축사체 biochar 제조장치의 제작 및 시운전

가) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치의 제작

(1) Biochar제조장치 제작: 전문 기술 보유업체와 협업

(가) Biochar 제조 장치의 개선

1차 가축사체 전용 biochar 제조장치는 원료가 투입되고 밀폐할 수 있는 내부 고정 챔버가 상부 중앙에 위치하여 있고, 고정챔버 내에는 mesh형 바닥을 갖는 원료 용기를 제작하여 열분해 과정 중에 오일이 아래로 빠져나갈 수 있도록 하였다. 또한 고정챔버에 가스 및 오일 추출관을 삽입하여 가스 및 오일의 포집이 조작에 의해 가능하도록 설계되어 있으며, 고정 챔버에는 챔버 내의 대기 조건을 조절할 수 있도록 각종 가스가 주입될 수 있는 가스 주입관과 스팀에 의한 활성화 공정을 실시할 수 있는 스팀 분사관이 설치되어있다. 열분해 과정에서 기화되어 추출되는 가스 및 오일을 포집하기 위한 냉각장치가 있으며, 냉각된 가스 및 오일의 원활한 장치 하단부에는 가스 및 오일 포집챔버가 설치되어있다. 포집챔버와 냉각장치의 중간 위치에 가스 및 오일의 sample을 조절 밸브에 의해 추출할 수 있는 sample 추출관을 설치하여 시료 분석이 용이하도록 하였다. 또한 장치 전반의 온도 상황을 모니터링할 수 있는 콘트롤박스가 장치의 상단부에 설치되어있다.

그러나 바이오차 제조장치의 시운전 결과 점성이 높은 오일의 배출로 인하여 관 막힘 현상이 빈번하게 발생하였다. 관 막힘 현상으로 인해 오일과 가스의 추출 또한 원활하게 이루어지지 않았으며, 오일의 추출을 위해 제작되었던 원료 용기의 mesh형 바닥이 추출되지 못한 오일이 굳으면서 막히는 현상이 발생하였다. 이러한 문제점들로 인해 장비의 유지보수에 상당한 어려움이 있었다. 본 연구진은 이러한 biochar 제조장치의 미비점을 보완하기 위해 (주)○○○과 여러 차례 회의를 진행하였으며 관 막힘 현상이 발생하게 되는 원인을 세 가지로 정리하였다. 첫째, 기존 제조장치에는 이동관의 관 직경이 일정하지 않아 여러 위치에서 병목현상이 발생하였고, 이로 인해 관 막힘이 유발되었다. 둘째, 설치되어있는 냉각장치에서 관 막힘 현상이 빈번하게 일어났는데 이는 냉각장치 내부의 교차식 구조와 좁은 관 직경에 의한 것으로 확인되었다. 셋째, 가스 및 오일이 이동관을 따라 흐를 때 냉각장치를 사용하지 않더라도 관 외부의 온도에 의해 냉각되는데, 이때 관이 수평으로 배열된 구간에서 오일과 가스가 축적되는 현상이

나타나 이로 인해 관 막힘 현상이 발생하였다. 기존 제조장치에서 확인된 관이 막히는 원인을 예방하기 위해 개선된 제조장치의 수정도면은 Fig. 111에서 보는 바와 같이 관의 직경, 냉각장치 및 관 배열을 수정하였다. 제조장치의 오일 및 가스 이동관을 구경 200 mm 관으로 일치시켜 병목현상을 방지하였고, 기존의 냉각장치를 제거하고 이동관 외부에 냉각수가 흐르는 형태의 냉각방식으로 교체해주었다 (Fig. 112). 마지막으로 장치에 수평으로 배열되어 있던 관을 모두 경사를 주어 유체의 흐름을 원활하게 해주었다(Fig. 113).

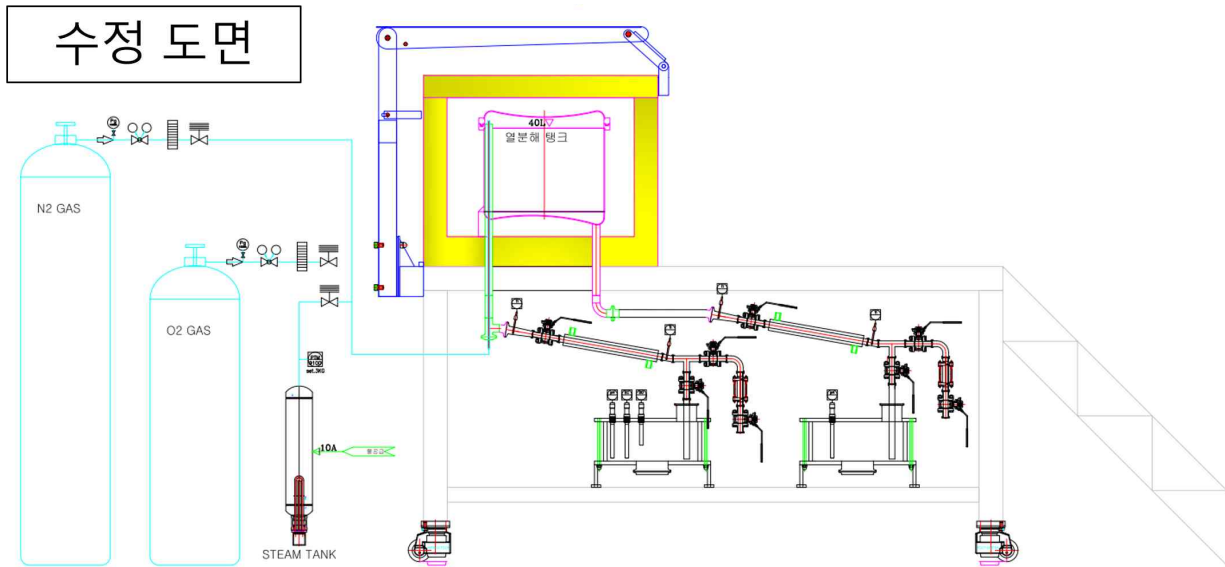
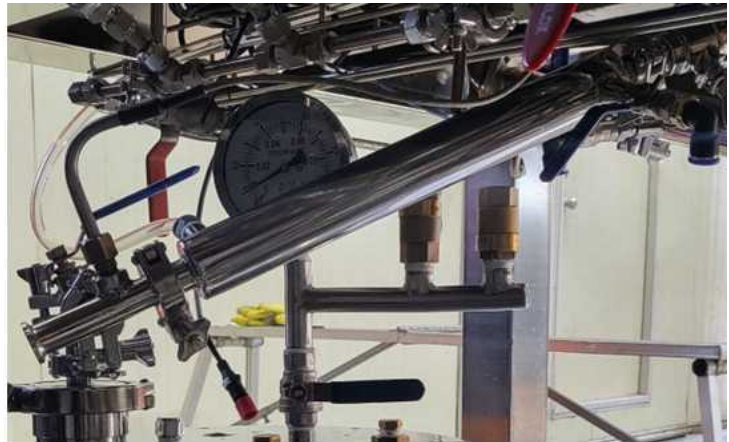


Fig. 111. 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 수정도면.

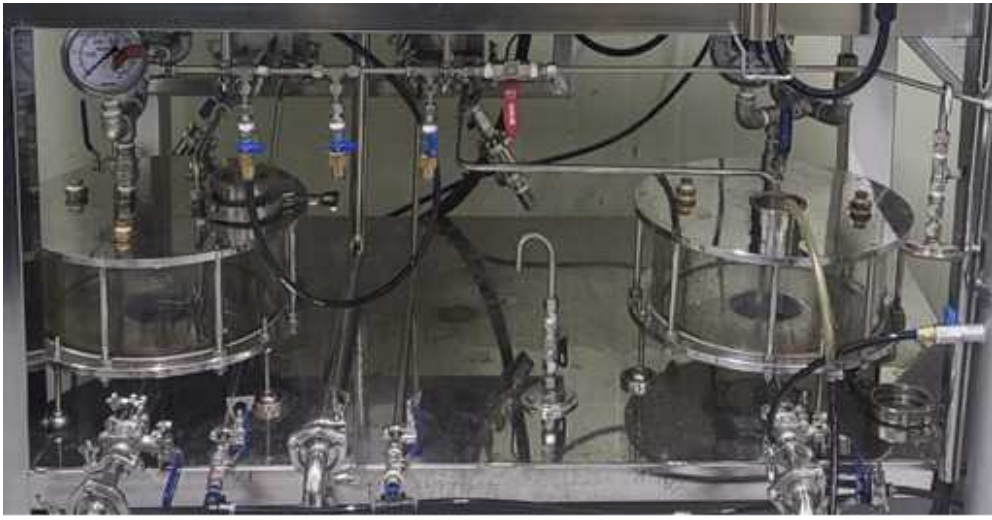


개선 전의 냉각장치



개선 후의 냉각장치

Fig. 112. 제조장치의 개선 전후의 냉각장치.



개선 전의 관 배열 전경.



개선 후의 관 배열 전경.

Fig. 113. 가축사체 Biochar 제조장치의 개선 전후의 관 배열 전경.

(나) 산업화 규모의 biochar 제조장치 설계도면 제작

① Pilot 규모의 biochar 제조장치 설계

1차 biochar 제조장치와 이를 개선한 제조장치의 시운전 경험을 바탕으로 biochar 제조장치를 pilot 규모로 확장하여 제작하였다. 본 연구진은 랜더링 시설에 적합한 Pilot 규모의 biochar 제조장치를 개발하기 위하여 시운전의 경험과 (주)○○○의 전문 기술을 바탕으로 설계도면을 구상하고, 시스템을 개발한 본 연구진, 참여기업인 형제산업 및 시스템 제작을 담당한 (주)○○○이 10여 차례에 걸친 회의를 통해 예상 설계도면을 작성하였으며, 조건별 타당성을 검토하여 최종 pilot 규모의 biochar 제조장치를 제작 및 설치하고자 하였다.

○ 가축사체 biochar 회분식 제조시스템

Biochar 제조장치의 초기 설계도면은 회분식 제조시스템으로 제작되었다. 회분식 제조시스템은 Fig. 114와 같으며 1차 biochar 제조장치와 가장 유사한 형태이다. 중앙 하단에 가스를 이용한 가열부와 그 위로 biochar 제조챔버가 있으며 가열 시 온도를 유지할 수 있도록 단열 덮개가 그 위를 덮을 수 있도록 설계하였다. Biochar 제조챔버는 원료의 유출입이 편이하도록 110°

가량 기울어질 수 있도록 설계하였으며 단열덮개는 시료의 유출입에 방해가 되지 않도록 상하로 들어 올릴 수 있는 리프팅 형식으로 설계하였다. 제작된 회분식 제조시스템 설계도면은 장비 제작 비용을 가장 절감할 수 있다는 장점이 있으나, 단열이 불량하고, biochar가 제조될 때마다 제품의 회수와 원료투입을 반복해야 하는 번거로움이 있다. 또한 대규모의 biochar 제조 챔버를 가열하는데 필요한 열매체 소비가 크며, 제조챔버 내의 온도가 불균일하여 제품의 균일성에 문제가 있을 것으로 예상되었다.

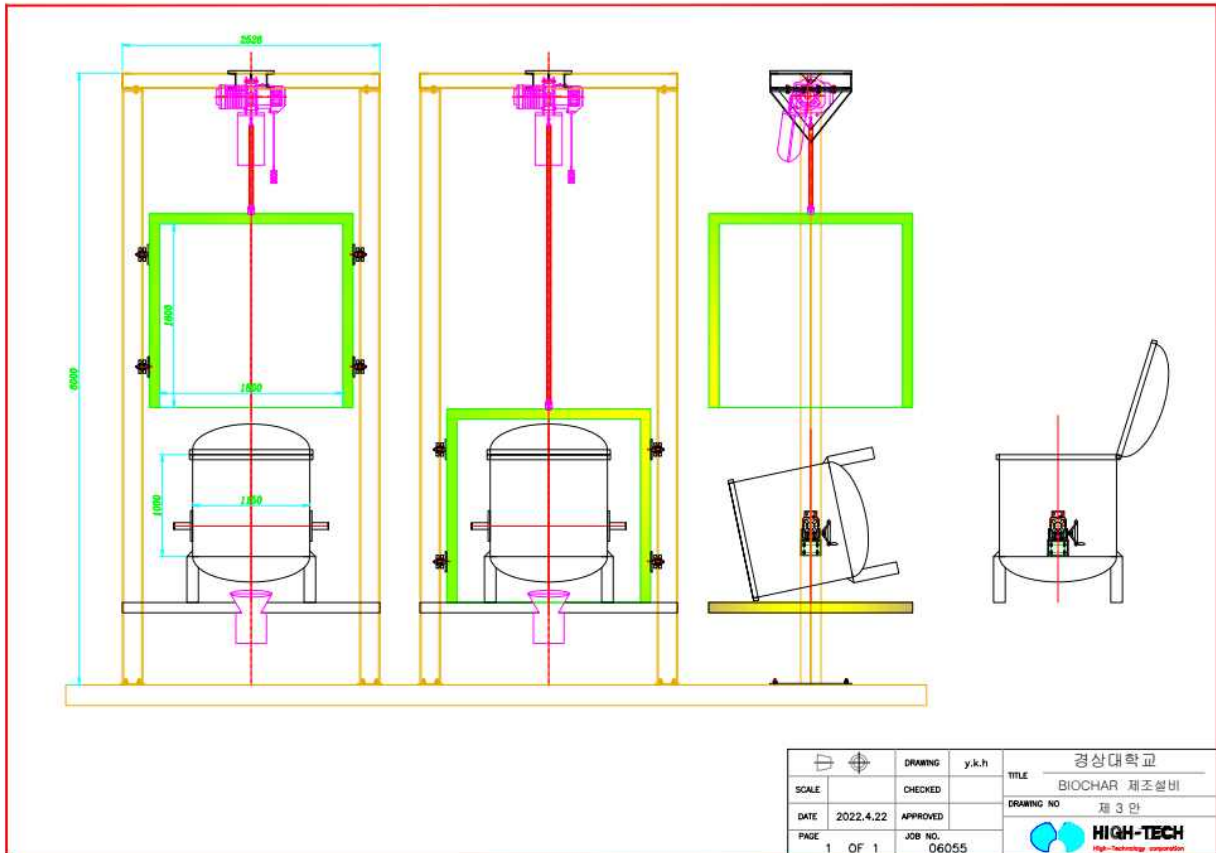


Fig. 114. Biochar 제조장치 회분식 시스템 설계도면.

본 연구에서 구상한 산업 규모 biochar 제조시스템은 Fig. 115에서 보는 바와 같이 랜더링 공정의 최종 단계에서 배출되는 고형부산물을 회분식 구조의 biochar 제조 장치에 투입하여 열분해함으로써 biochar를 제조하는 시스템이었다. 회분식 제조장치를 활용한 가축사체 biochar 제조시스템의 점검을 위해 현장 검토와 산업체와의 회의를 진행하였다. 현장 검토 결과 랜더링 공정의 모든 과정은 연속식으로 진행되고 있었고, 공정 간에 밀폐가 되어있지 않아 열적 손실이 발생하는 것으로 확인되었다. 연속식으로 진행되는 랜더링 공정 후단에 회분식 구조의 열분해 장치를 설치하게 되면, 연속적으로 발생하는 랜더링 고형부산물이 열분해 장치에 연속해서 투입되지 못하여 병목현상이 발생하게 되며, 랜더링 공정과 열분해 공정이 구분되어 있어 열적 손실이 발생하게 된다. 이에 본 연구진은 회분식 biochar 제조시스템의 제조효율이 낮으므로 랜더링 공정과 열분해 공정이 연속적으로 진행되며, 공정 간 밀폐가 이루어져 있어 열적 손실을 줄일 수 있는 연속식 제조시스템으로의 변경이 필요할 것으로 판단하였다.

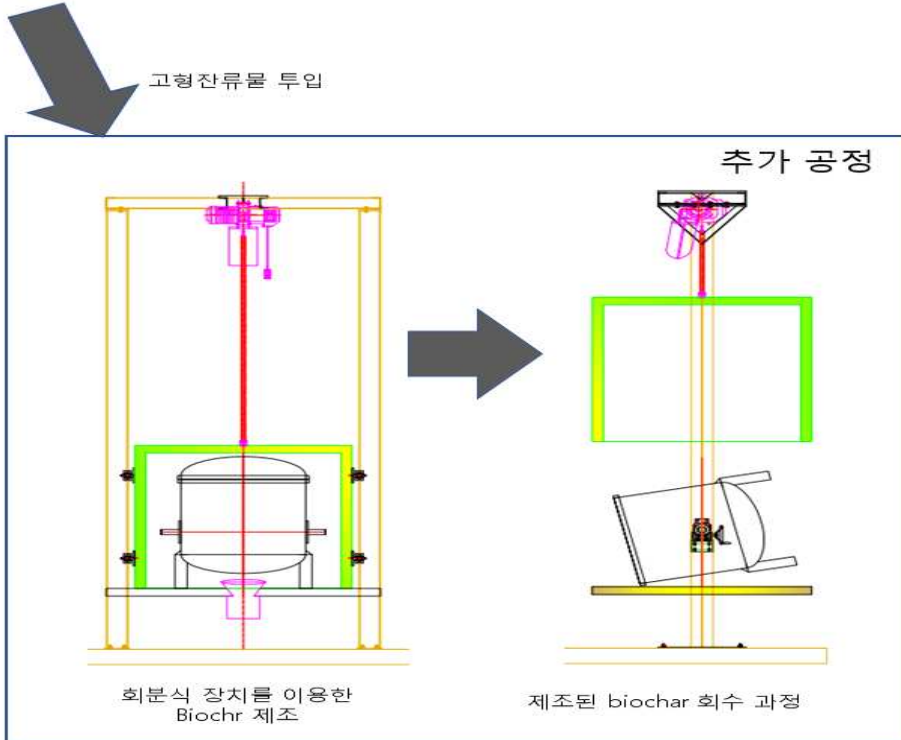


Fig. 115. 현장 가축사체 biochar 제조시스템 예상 공정.



현장 전경



시료 투입



시료 이동



고형부산물 배출



배출되는 오일과 고형물



랜더링 가열 과정

Fig. 116. 가축사체 랜더링 현장 검토.

○ 가축사체 biochar 2단 연속 제조시스템

상기 가) 항에서 제기된 회분식 제조시스템과 랜더링 공정과의 호환성 문제를 고려하여 가축사체 biochar 연속 제조시스템을 설계하였으며, 현장의 구조에 맞춰 적용할 수 있도록 2단 연속 시스템과 1단 연속 시스템 두 형태의 설계도면을 제작하였다. (주)○○○과의 회의를 통해 제작된 2단 연속 제조시스템의 설계도면은 Fig. 117과 같다. 2단으로 이루어져 있는 제조시스템의 상층에는 시료의 랜더링 과정이 진행될 수 있는 관이 위치하고, 하층에는 랜더링된 시료의 열분해가 이루어질 수 있는 관이 위치되어 있다. 각 층 관 내부에서의 시료 이동은 이송 스크롤을 이용하여 전진하도록 설계하였으며, 상층에서 발생하는 고형부산물은 랜더링 공정 말단에서 하층의 열분해 관으로 중력을 이용한 낙하 방식을 이용하여 이송에 소비되는 에너지를 줄이고자 하였다. 각층의 관 외부에는 가열 재킷을 설치하여 가열할 수 있도록 하였으며, 가열 재킷 바깥에 일정 공간을 두고 단열재를 덮어 관 전체가 단열 될 수 있도록 설계하였다.

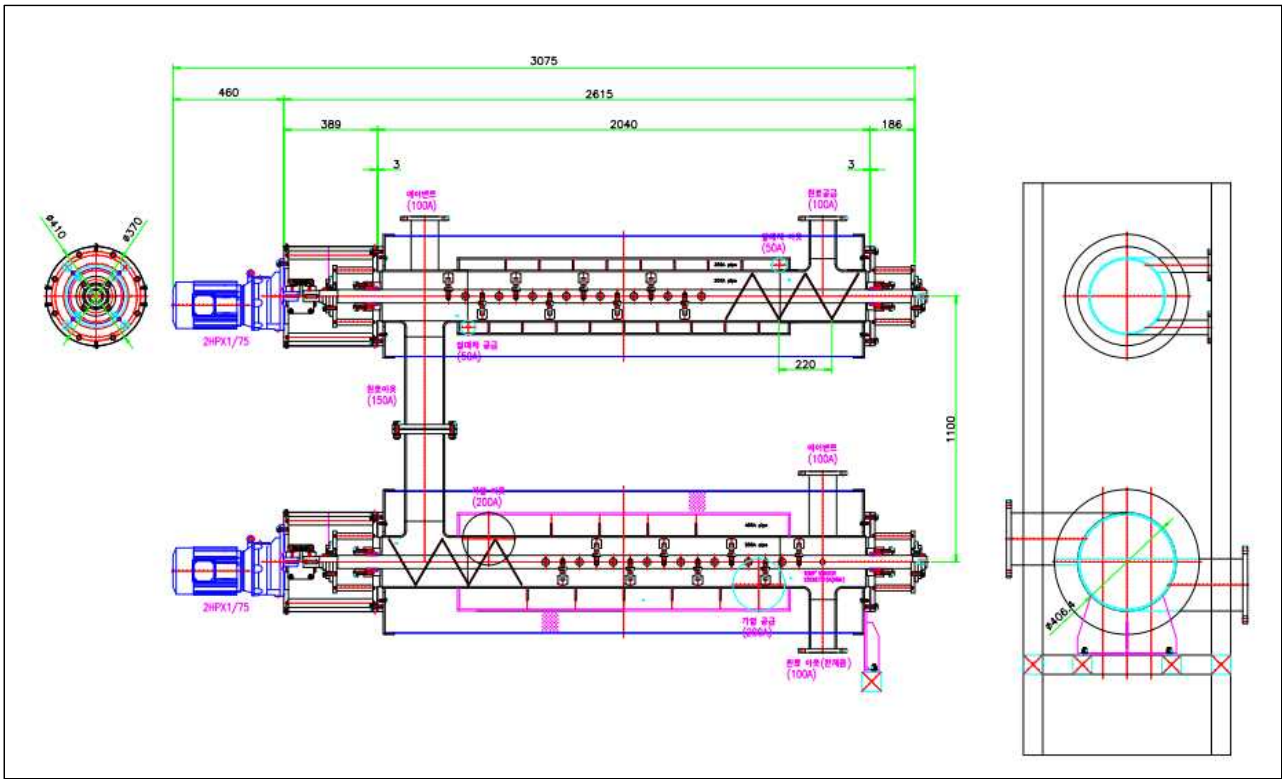


Fig. 117. 가축사체 biochar 2단 연속 제조시스템 설계도면.

○ 가축사체 biochar 1단 연속 제조시스템

가축사체 biochar 1단 연속 제조시스템은 Fig. 118에서 보는 바와 같다. 제조장치의 구성은 크게 원료주입구, 가열부, 가스포집부 및 제품 탱크로 구성되어 있다. 원료 유입 입구와 유출 입구를 제외한 전 공정이 밀폐되도록 하여 열 손실이 발생하지 않도록 설계하였다. 원료주입구로 주입된 원료는 분쇄과정을 거친 후 가열부로 이동하게 되는데 가열부 내에는 회전하는 이송 스크롤이 구성되어 있는데 이를 따라 분쇄된 원료가 이동하게 된다. 가열부는 원통형의 큰 단 열재 중앙에 위치하는데 가열부는 랜더링 공정온도인 120℃로 설정된 구간과 열분해 공정온도인 350℃로 설정된 두 구간으로 구성되어 있어 시료가 각 구간을 지나게 되면서 랜더링과 열분해가 순차적으로 일어날 수 있도록 설계하였다. 가열부의 각 구간은 열매체의 전달을 위한 가열재킷이 회전식 이송 스크롤 외부를 감싸고 있으며 랜더링 구간의 열매체는 보일러의 증기, 열분해 구간의 열매체는 LPG 버너를 사용하도록 설계하였다. 가열부의 각 구간 중점에는 에어벤트를 설치하여 각 구간에서 발생하는 기체를 흡입할 수 있도록 하였으며 흡입된 가스는 기체액화탱크에 포집하여 사용할 수 있도록 설계하였다. 시료가 가열부를 지나 biochar로 제조가 완료되면 중력을 이용하여 제품 탱크에 낙하하도록 설계하였다.

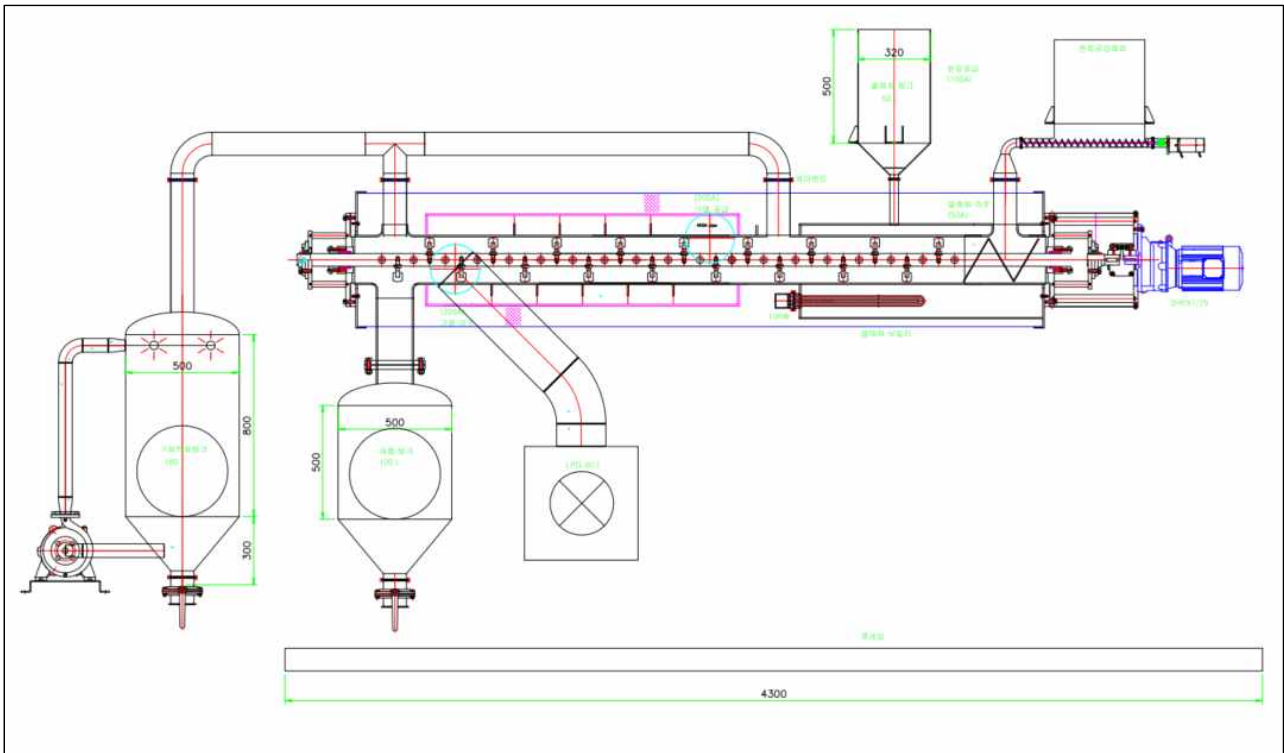


Fig. 118. 가축사체 biochar 1단 연속 제조시스템 설계도면.

나) 현장 규모의 biochar 제조장치 제작

Biochar 제조장치가 설치되어 운영하게 될 현장에 적합할 것으로 판단된 biochar 제조시스템은 1단 연속 제조시스템이었다. 설계도면에 따라 (주)○○○에서 biochar 제조장치의 실제 제작 과정이 진행되고 있으며, 제작 과정은 Fig. 119~123에서 보는 바와 같다. 여러 차례에 걸친 설계도면의 수정으로 인해 장치 제작 기간이 연장되었으며, 제작된 biochar 제조장치는 현장에서의 시운전을 통해 성능을 확인하였다.



탱크 자재 입고.



탱크 용접.

Fig. 119. 탱크 제조 작업.

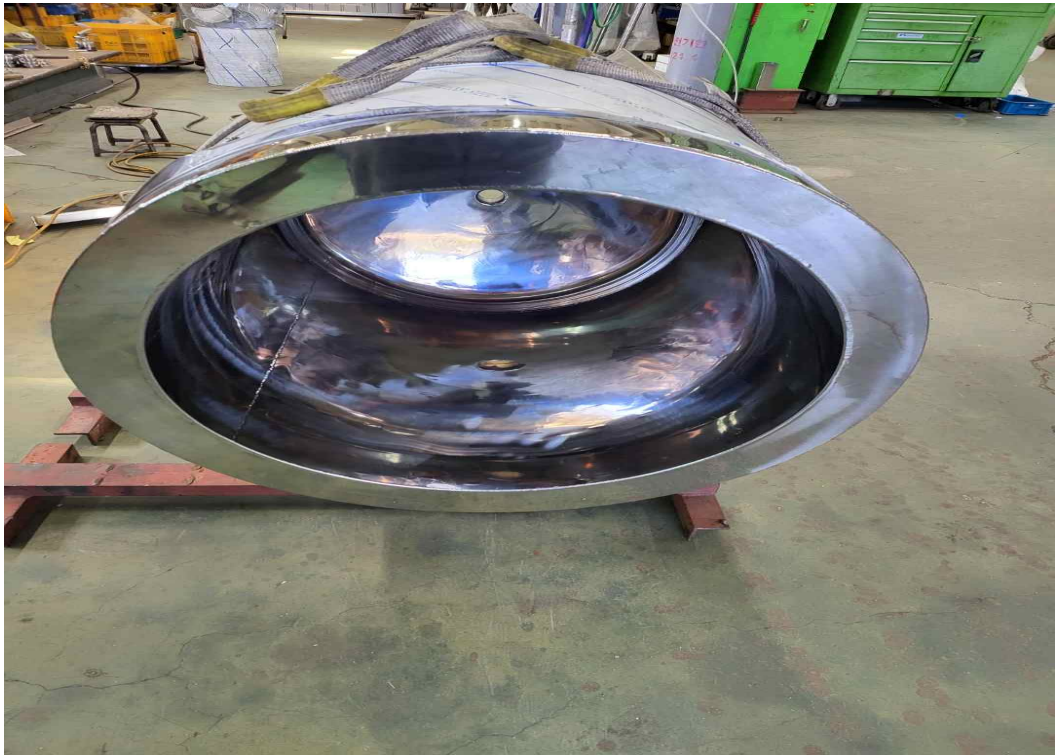


열매체 외부 보온작업.



열매체 외부 케이싱 작업

Fig. 120. 열매체 제작작업.

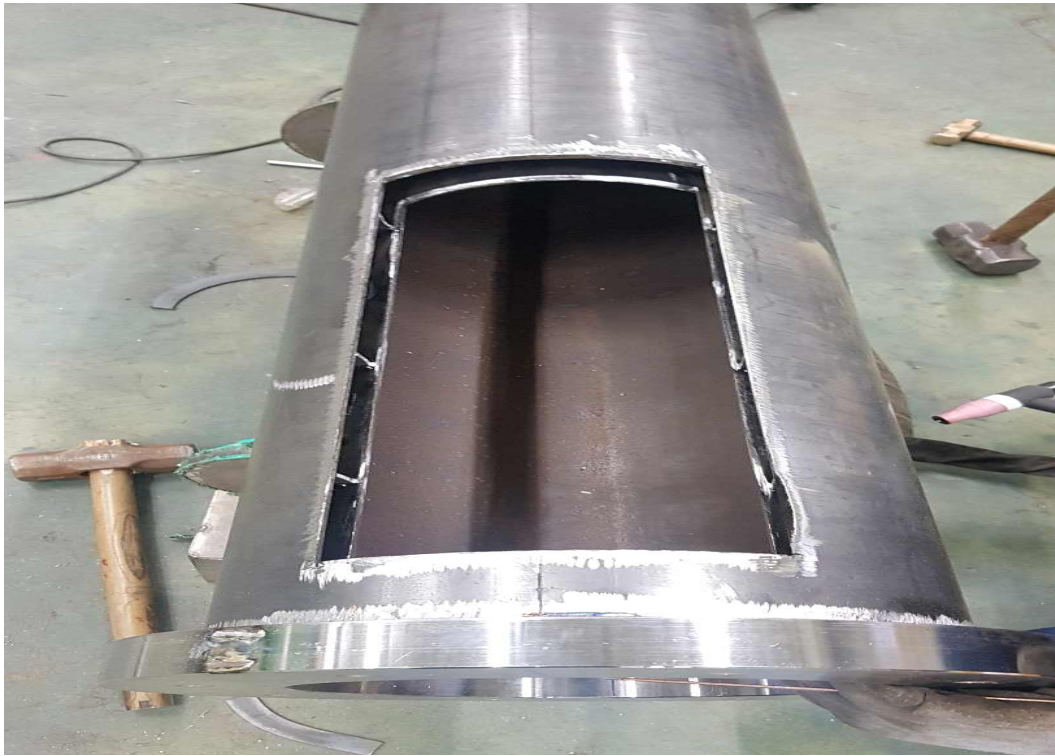


열매체 버핑 완료.



열매체 전달 배관 차단 및 절단

Fig. 121. 열매체 전달 배관 제작작업.



원료 투입구 제작.



원료 이송 스크롤 제작.

Fig. 122. 원료 이송기관 제작작업.



파트 조립 제작



최종 시제품 제작 과정

Fig. 123. 현장 규모의 가축사체 biochar 제조장치 시제품 조립 과정.

① 제작된 biochar 제조장치의 시운전

1차 biochar 제조장치의 보완사항을 개선하여 제작된 제조장치의 시운전을 진행하였다. 장비의 시운전 과정을 Fig. 124에서 보는 바와 같다. 먼저 장비 내부를 개폐한 다음 내부 고정챔버 내의 원료 용기에 랜더링 가축사체 부산물을 투입한다. 이후 내부 고정챔버를 밀폐한 후 챔버 내부에 혐기성 환경을 조성하기 위해 질소가스를 주입해주었다. 장비 내부가 질소로 충만할 때 가열로를 200℃로 승온하여 30분 동안 유지하면서 랜더링 부산물에 잔류하는 오일을 추출해주었다. 이후 350℃로 승온하여 2시간 동안 biochar 제조과정을 진행하였고, 이 과정에서 발생하는 가스 및 오일은 포집 챔버를 물로 채운 뒤 이들을 물에 녹이는 방법으로 포집을 진행하였다. 열분해가 종료되어 biochar가 제조되면 냉각 혹은 활성화 단계를 거친다. 활성화 단계는 30분간 스팀을 분사함으로써 진행되었으며, 활성화 단계가 종료되면 냉각단계를 가지고 이후 biochar를 회수하였다.

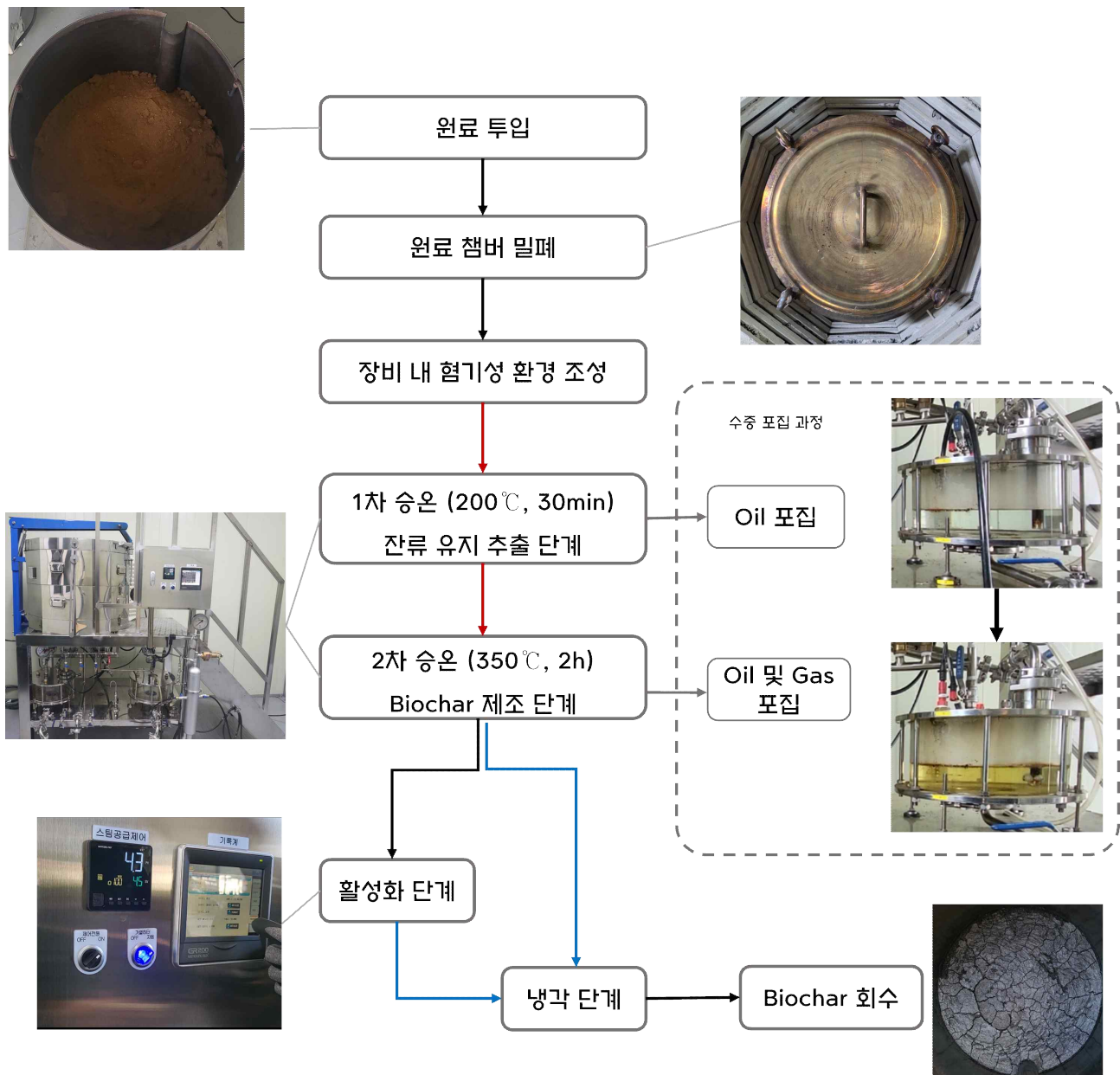


Fig. 124. 개선된 가축사체 전용 biochar 제조장치의 시운전 과정.

나) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar의 오일 및 가스 배출 특성

(1) 최적 열분해조건 하에서 오일추출량 및 오일성분 분석

최적 열분해 온도가 350℃로 재설정된 가축사체 잔여물 biochar를 제조장치에서 biochar 제조하는 과정 중 배출되는 오일의 형태와 수율은 Fig. 125에서 보는 바와 같다. 200℃에서 배출되는 오일의 수율은 약 7%였으며, 350℃로 온도가 증가할 경우 약 35%의 오일이 배출되었다. 추출된 오일은 상온에서 방치 시 고체상태로 존재하였다. 추출된 오일의 92.7%가 조지방으로 구성되며 수분, 조섬유 및 당류는 거의 존재하지 않는 것으로 확인되었다. 또한 유기원소는 C 74.49%, H 11.3%, N 0.62%, S 12.01%의 함량을 나타냈다.

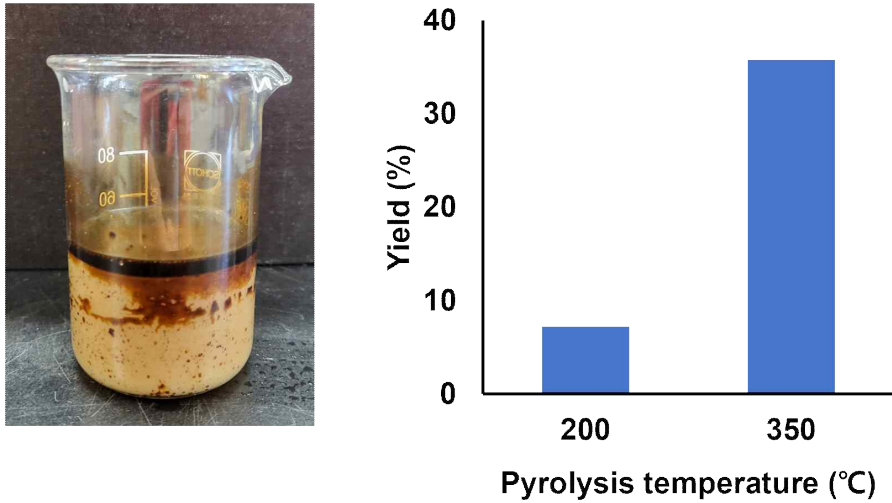


Fig. 125. 가축사체 전용 biochar 제조과정에서 배출된 오일의 형태와 수율.

Table 69. 추출된 오일의 성분 분석 결과

수분	조지방	조섬유	당류	회분	C	H	N	S	O
----- (%) -----									
0.2	92.7	0.2	0.01	0.6	74.49	11.3	0.62	0.14	13.45

350℃에서 추출된 오일의 지방산 분석 결과 oleic acid가 40.73%로 가장 높은 비중을 차지하였으며, palmitic acid 25.65%, stearic acid 18.13%, linoleic acid 6.78%, palmitoleic acid 2.9%, myristic acid 2.5% 순이었으며, 나머지 지방산은 1% 미만으로 소량 검출되었다 (Fig. 126). 추출된 오일에서 높은 비중을 차지하는 oleic acid와 palmitic acid는 산업용으로 사용되어 활용범위가 넓은 지방산 종류이나, 이들 지방산 외에 11개 종의 지방산이 혼합되어 있어 추가 공정 없이 오일을 활용하기에는 무리가 있을 것으로 예상된다. 가축사체에서 발생하는 오일 성분을 활용하기 위해서는 각 지방산을 분리 추출하는 공정의 개발이 선행되어야 하며, 이에 대한 후속연구의 진행이 필요할 것으로 판단된다.

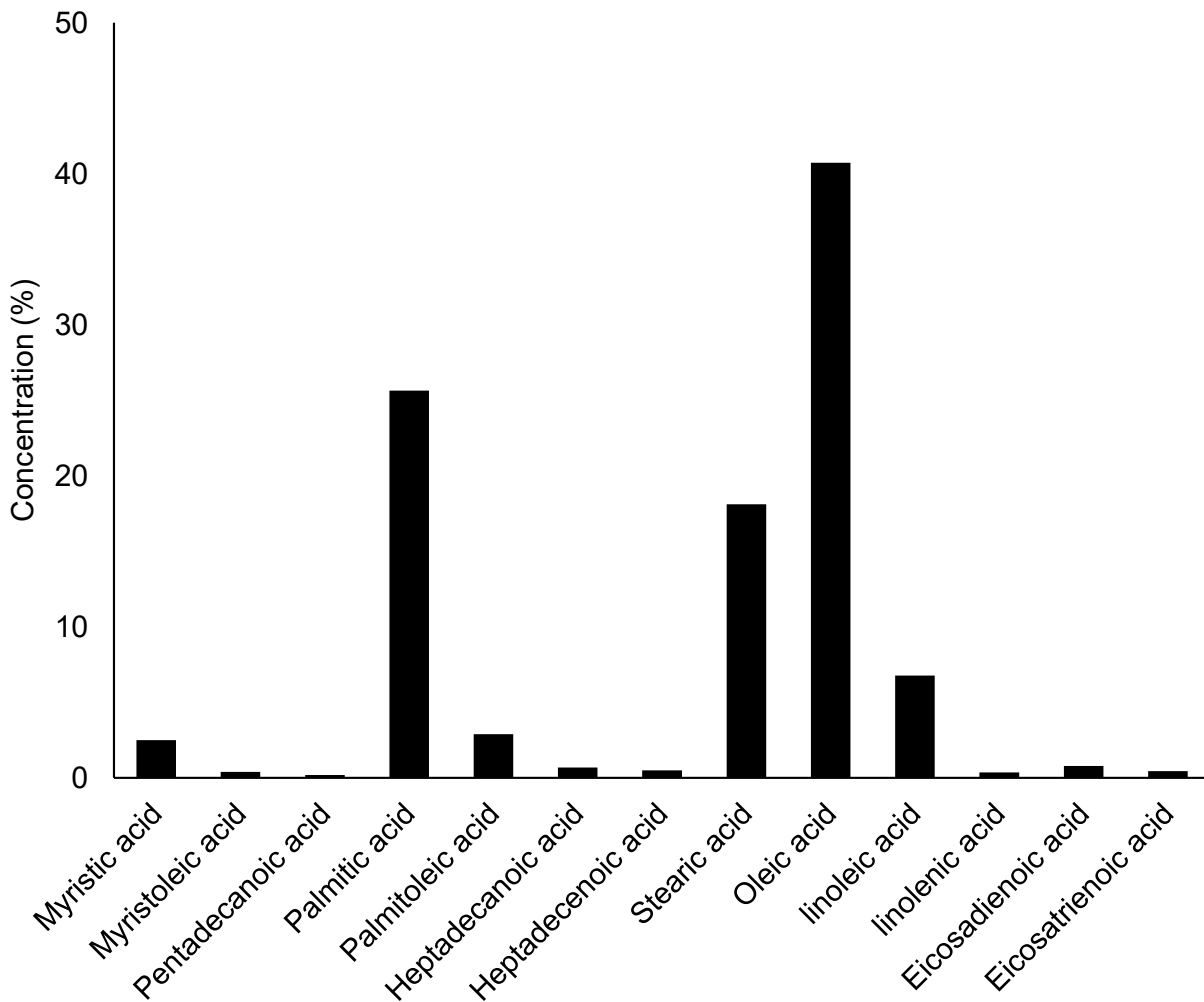


Fig. 126. 추출된 오일의 지방산 분석 결과.

(2) 최적 열분해조건 하에서 반응시간에 따른 가스 발생 패턴분석

기존에 분석된 가스류가 가장 많이 발생하는 것으로 확인하였던 열분해 시작 후 90분인 시점에서 발생한 가스를 가스 포집기를 이용하여 테트라백에 포집하고, 이의 다양한 악취 가스류를 분석하였다. 기존의 가축사체 biochar 적정 제조온도였던 500℃에서 열분해를 진행하였을 때는 ammonia와 hydrogen sulfide가 다른 가스류보다 많이 발생하였다 (Fig. 127). 제조온도가 350℃일 때 발생한 가스 배출 특성은 Fig. 128에서 보는 바와 같이 배출된 가스 중 ammonia가 차지하는 비중이 가장 높았으나 발생량이 크게 줄어들었으며, hydrogen sulfide는 거의 검출되지 않는 것으로 조사되었다. Ammonia와 hydrogen sulfide는 코를 찌르는 듯한 악취와 독성을 유발하는 유해가스로 알려져 있다. 열분해 온도가 500℃인 지점에서 포집된 가스는 유해

성을 지니는 ammonia와 hydrogen sulfide를 많이 함유하고 있어 활용범위에 제약이 있었으나, 열분해 온도를 350°C로 하였을 때 발생하는 가스는 이들 유해 가스류의 함유량이 현저하게 낮아져 그 활용범위가 넓어질 것으로 판단된다. 또한 350°C에서 가축사체 biochar를 제조할 때 많이 발생하는 가스류인 butanone은 고무, 비닐 등의 산업공정에 널리 사용되고 있다. 350°C에서 추출된 가스의 CO₂, CO, CH₄ 및 C₂H₆와 같은 유용 가스 성분은 Fig. 129에서 보는 바와 같이 각각 12, 51, 520 및 9650 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 로 CO₂의 발생량이 큰 것으로 조사되었다. CO₂는 시설농업이나 스마트팜과 같은 농업 분야에서 식물의 생육 촉진에 사용되는 가스류로 이의 발생량이 많은 가축사체에서 발생하는 가스는 포집하여 농업에서 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

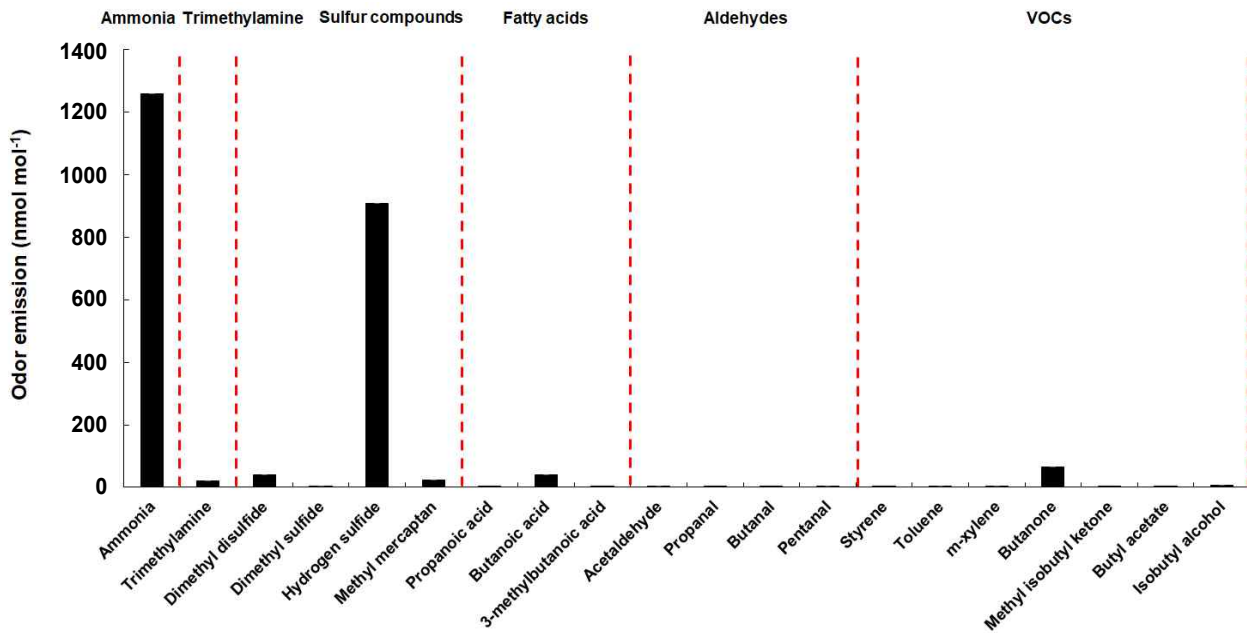


Fig. 127. 500°C에서 제조된 RACS-BC의 가스 배출 특성.

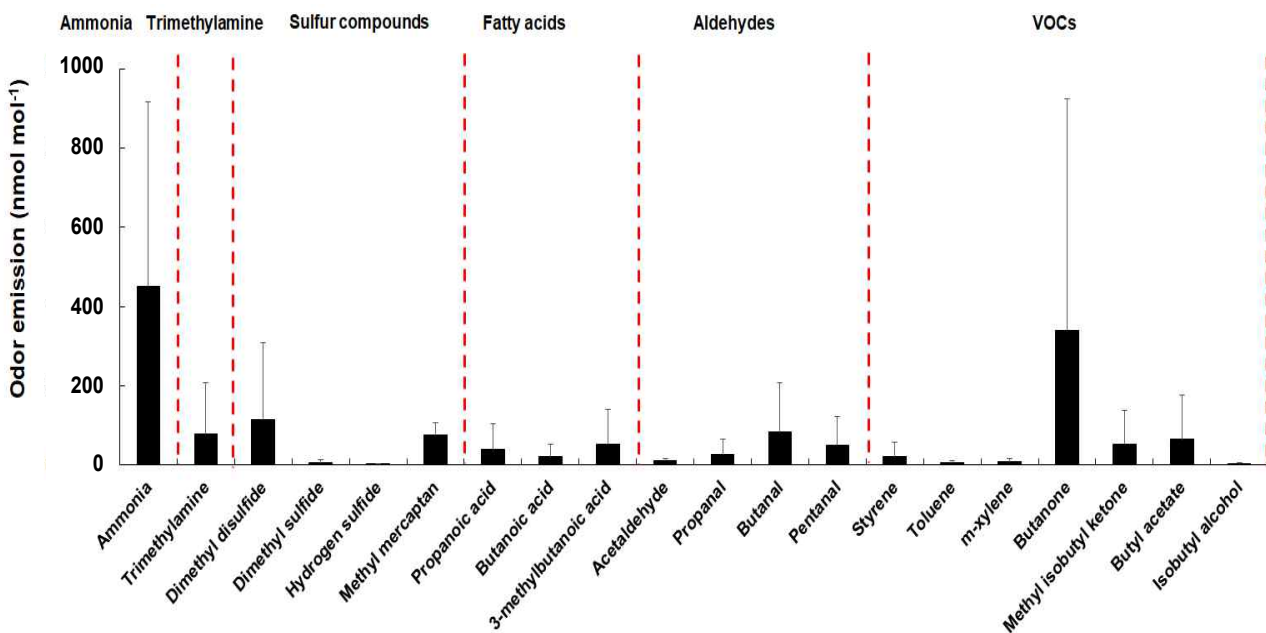


Fig. 128. 350°C에서 제조된 RACS-BC의 가스 배출 특성.

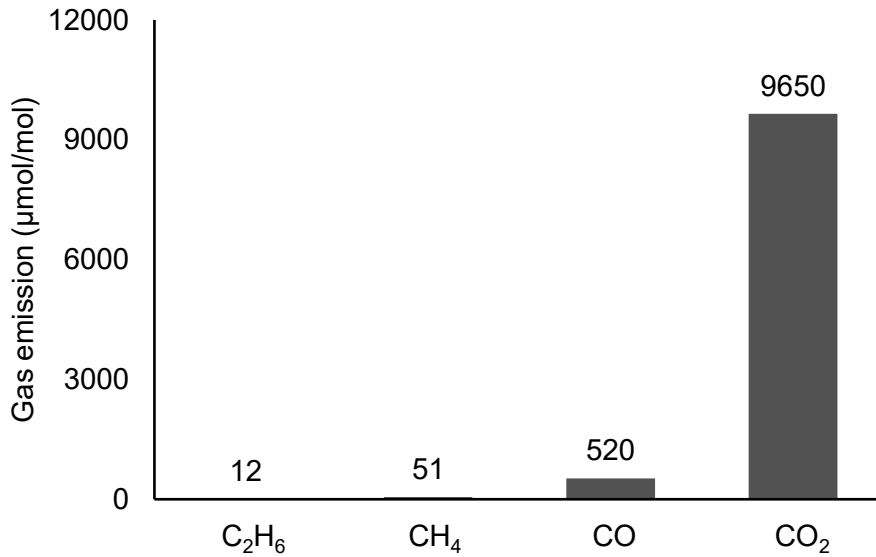


Fig. 129. RACS-BC 제조 온도 350 °C에서의 가스 발생 특성.

(3) 발생된 오일의 재활용 방안 구축

동물성 잔재물은 부패하기 쉬운 유기성 폐기물로 수집이나 운반과정에서 발생할 수 있는 악취 및 부패문제를 해결해야 하고, 유지추출공정 후 생성되는 랜더링부산물 중 잔여 오일의 재활용도 동시에 고려하여 재활용방안을 구축할 필요가 있다. 현재 시스템으로는 악취나 부패문제가 없는 신선한 동물성 잔재물의 경우 단미사료나 부산물비료로 재활용을 하고 있는 실정이다. 신선한 동물성 잔재물은 단백질, 지방 등의 사료에 필요한 영양성분이 많이 포함되어 있어 단미사료로 거의 재활용이 되고 있는 편이다. 상대적으로 부산물비료로 재활용되는 경우 동물성 잔재물의 분해속도가 식물성소재에 비해 늦어 부숙이 완료되는데 시간이 많이 소요되는 단점으로 인해 부산물비료 원료로의 재활용은 많지 않은 편이다.

현재 발생되고 있는 동물성 잔재물이 부패할 경우 단미사료나 부산물비료의 활용이 어려워 랜더링 부산물의 재활용이 힘들고, 재활용되더라도 2차 오염문제가 발생 될 수 있다. 본 연구에서는 랜더링 처리시스템과 biochar 제조시스템을 연계하여 활용도가 낮은 랜더링 부산물을 열분해시키고 이때 발생하는 오일을 회수하여 기존 유지와 혼합하여 재활용율을 높이하고자 한다. 특히 개발중인 가축사체 전용 biochar 제조시스템에는 오일회수 시스템이 부착되어 있어 발생오일의 대부분을 랜더링 처리시설의 기존 유지회수장치로 연계하는 방향으로 재활용 방안을 구축하고 있다.

[랜더링-바이오차 연계시스템]

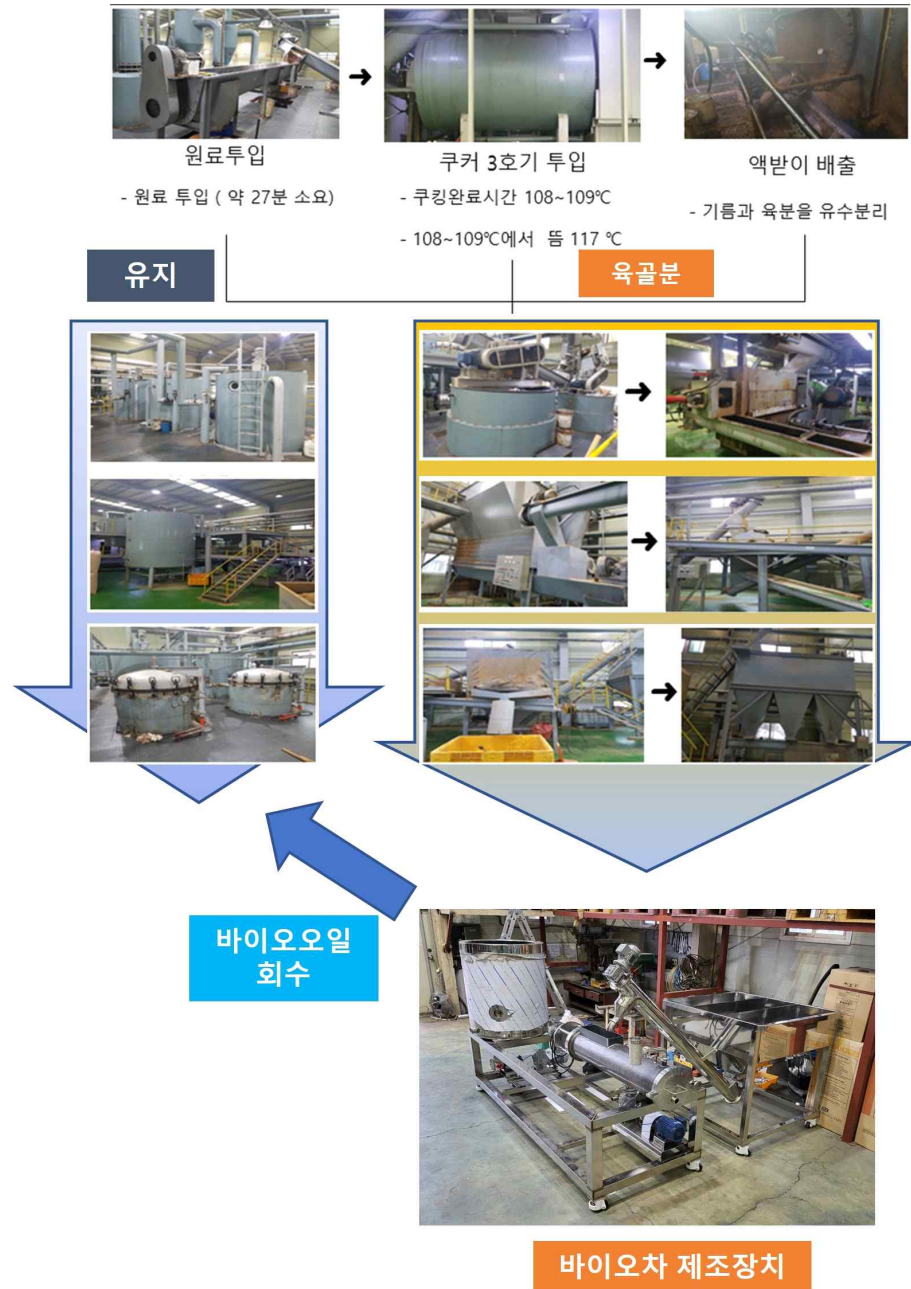


Fig. 130. 랜더링시스템과 가축사체 전용 biochar 제조장치 연계시스템에서 오일회수 과정.

다) 가축사체 잔여물 전용 biochar제조 장치의 수정 및 미비점 보완

(1) 시운전 과정동안 장치의 설정 및 운영에 있어 미비점 보완

개선된 biochar 전용 제조장치는 가스와 오일을 포집할 때 물을 포집액으로 하여 배출되는 가스를 물에 녹이는 포집 방법을 이용하였다. 가스와 오일을 포집하는 과정은 Fig. 131에서 보는 바와 같다. 오일의 발생온도가 낮으므로 먼저 오일이 배출되어 Fig. 131과 같이 오일이 포집액에 포집되면서 갈색으로 변하는 것을 확인하였다. 이후 온도가 상승함에 따라 가스가 발생하게 되는데, 가스챔버 내의 무색 포집액이 가스가 포집됨에 따라 황색으로 변하였다. 오일을 포집하는 과정에서 오일이 포집액 내로 유화가 잘 일어나지 않아 기름띠가 형성되고, 오일의 일부는 뭉쳐 가라앉는 것을 확인하였다. 때문에 오일 포집액을 에탄올과 같은 오일 성분을 녹일 수 있는 용액으로의 교체가 필요할 것으로 판단된다. 가스 포집 과정에서 대량의 가스가 포집액에 녹아들지 않고 챔버 상층의 공간으로 빠져나가는 것을 확인하였으며, 일부 가스가 오

일 챔버로 배출되어 오일과 가스가 혼합되는 것을 확인하였다. 가스 포집은 저장되어있는 포집액 속에 녹이는 방식이 아닌 포집액을 분사하는 샤워 형식의 포집 방식이 적절할 것으로 예상되며, 가스추출관에 흡입기를 설치하여 가스가 오일 챔버로 이동하는 것을 방지할 필요가 있다.

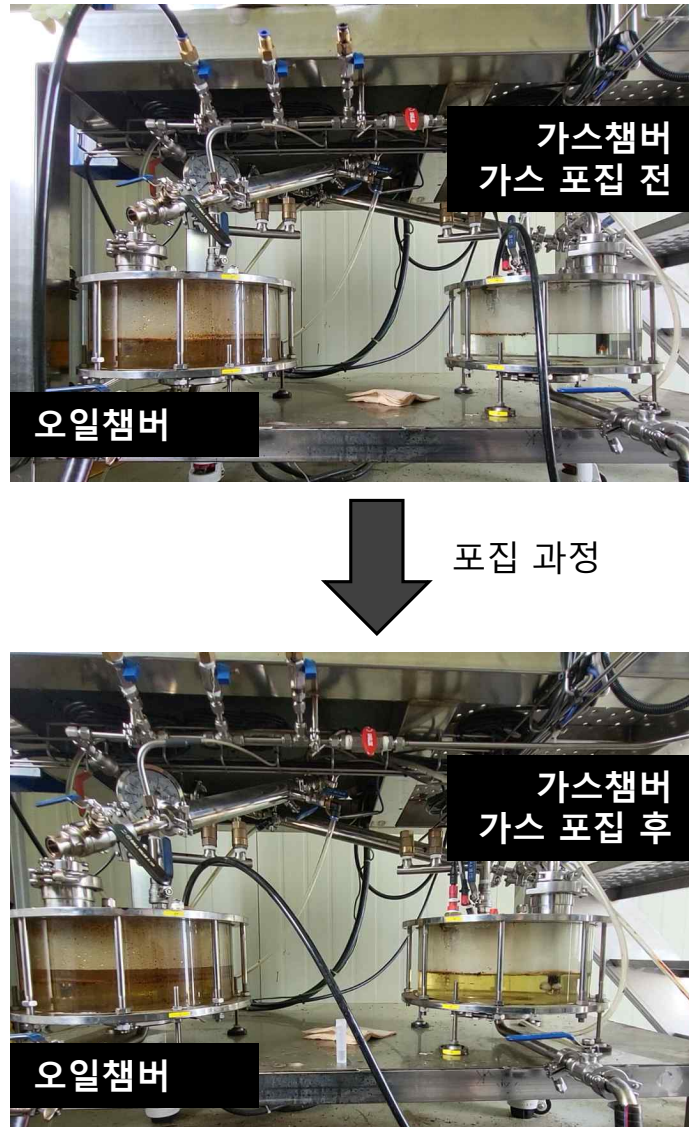


Fig. 131. 가축사체 전용 biochar 제조장치에서 열분해 시 발생하는 오일과 가스의 포집 과정.

(2) 가스 발생 및 오일 추출과정에서 추가적인 설비 부분 추가

오일 및 가스의 포집을 원활하게 해주기 위해 냉각장치를 교차식 냉각장치에서 일자형 냉각 장치로 교체해주었으며, 가스와 오일의 포집 챔버 상부에 pH, EC 및 DO의 실시간 변화 수치를 측정할 수 있는 측정기기를 필요에 따라 연결하여 사용할 수 있도록 설비를 추가하였다 (Fig. 132). 이들의 측정치를 나타내는 모니터는 Fig. 133와 같이 정면 콘트롤박스 옆에 설치하였다. 추출되는 오일 및 가스의 샘플링을 위해 설치되었던 샘플링관이 관 막힘을 유발하는 원인으로 확인되어 이를 Fig. 134와 같이 제거해주었다. 오일 포집 챔버 내에 오일의 배출을 위해 설치되었던 배출관의 구조와 관 직경의 크기가 부적합하여 오일이 원활하게 배출되지 않아, 해당 구간의 구조를 변경하고 직경을 크게 재조정하였다 (Fig. 135).

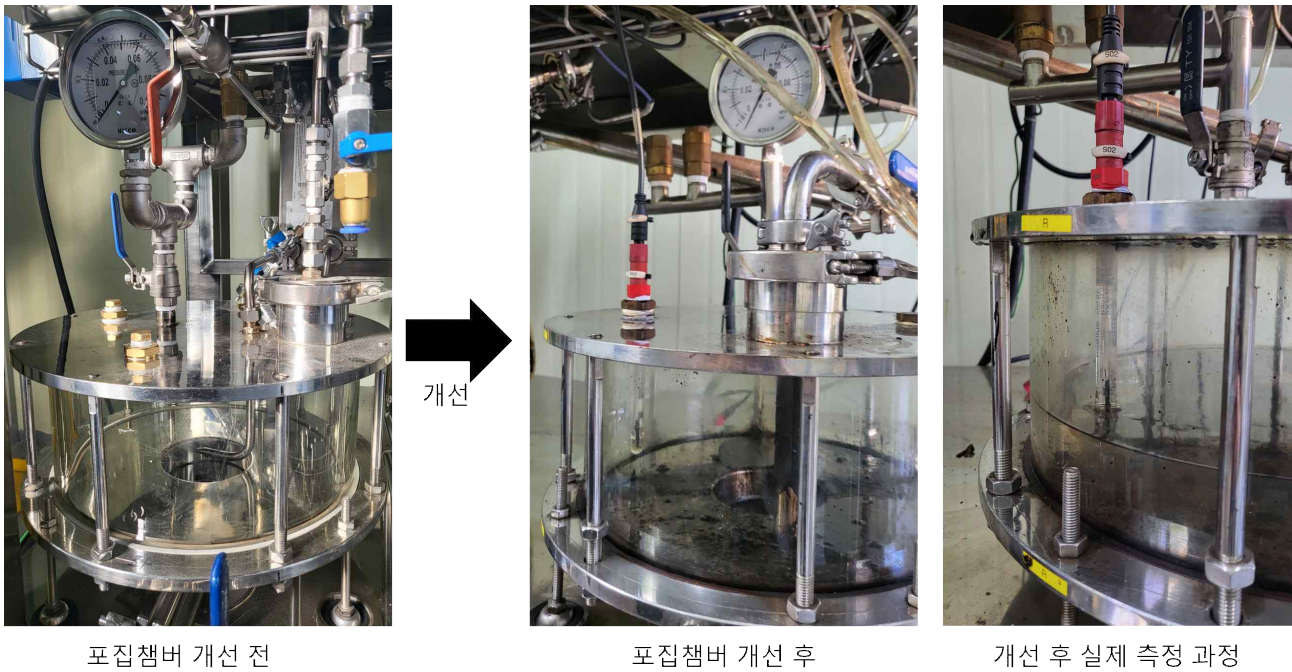


Fig. 132. 포집챔버의 개선 전후 변경 상황.



Fig. 133. 측정 수치 모니터링 장비 설치 전후.

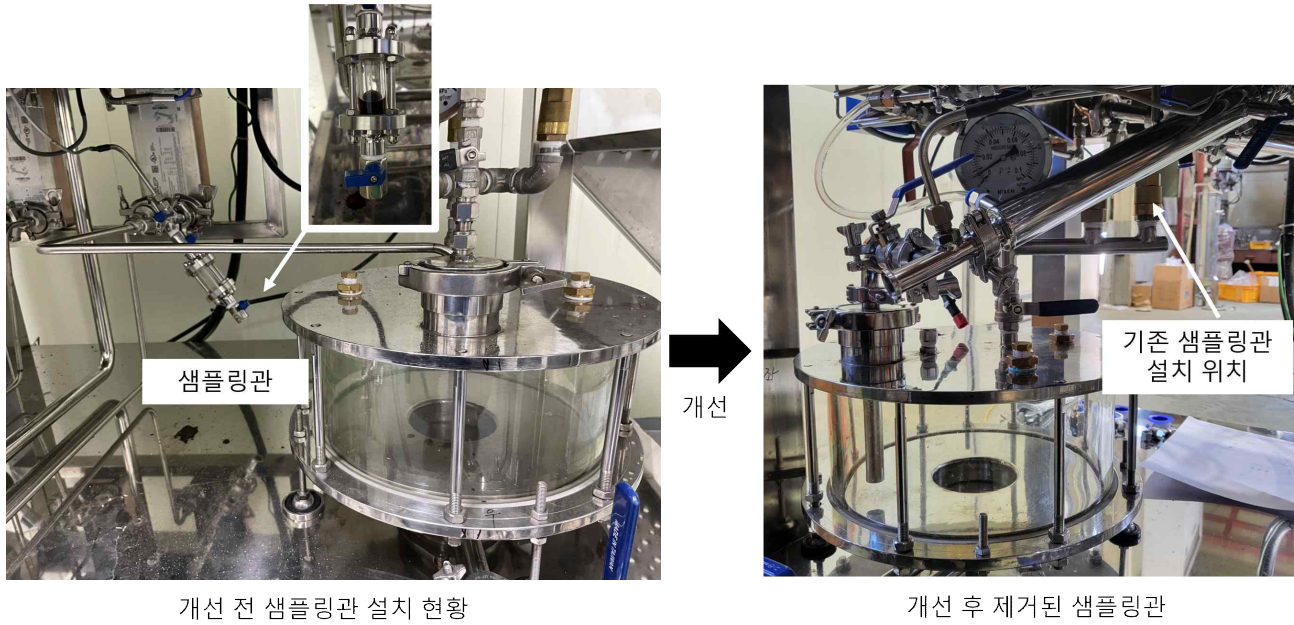


Fig. 134. 포집챔버 내 오일 배출관의 개선 전후.

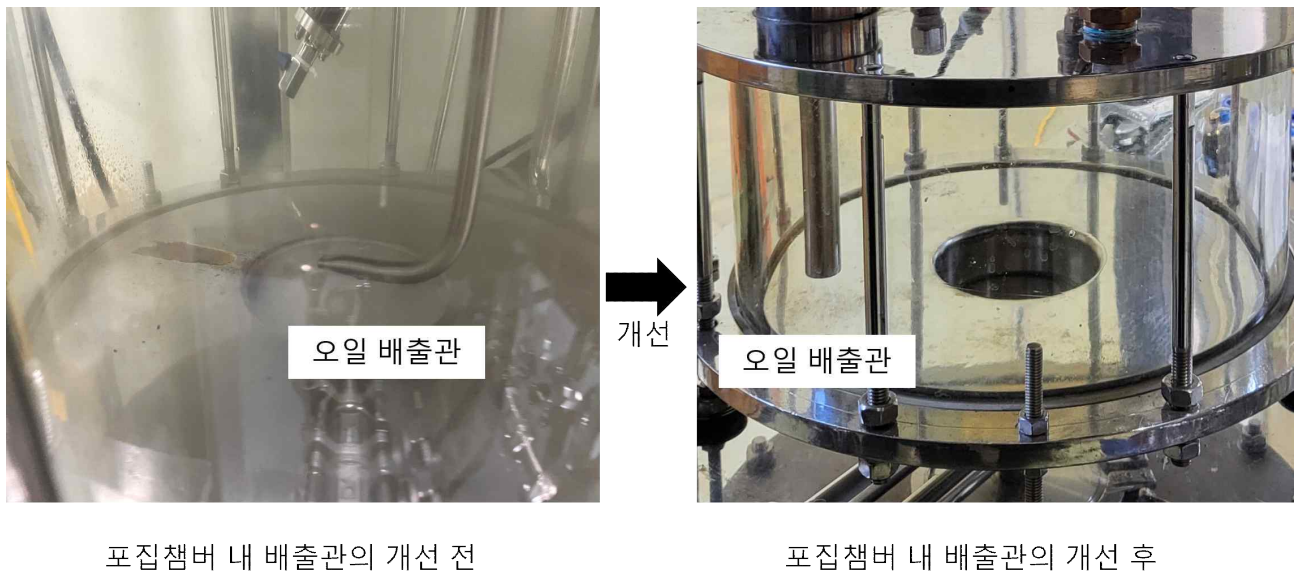


Fig. 135. 포집챔버 내 오일 배출관의 개선 전후.

2) 제조된 가축사체 biochar의 연속적 및 장기적 품질특성 평가

가) 제조된 biochar의 연속 및 장기적 이화학적 특성 조사

(1) 연속적: 연속식 biochar 제조시스템

가축사체 부산물은 Fig. 136에서 보는 바와 같이 유지성분을 가지는 분말 형태이다. 이를 고정형의 회분식 시스템에서 열분해를 진행하면 고온에서 유지가 녹으면서 부산물 입자를 뭉치게 한다. 위와 같이 뭉쳐진 입자는 견고한 성질을 가지는 biochar로 제조되어, biochar의 회수에 어려움이 있고, biochar의 활용을 위해서는 분쇄과정이 필요하게 된다. 반면 이동형인 연속식 시스템을 이용하면 부산물 입자 간에 뭉치는 현상을 방지하여 물리성이 개선될 수 있을 것으로 판단된다. 제작 예정인 pilot 규모의 가축사체 biochar 1단 연속 시스템을 이용하여 제조되는 RACS-BC의 특성을 분석하여 연속 시스템에 의한 물리성의 개선 여부와 생산제품의 균일성을 평가할 예정이다.



랜더링 가축사체 부산물 원료



랜더링 가축사체 부산물 biochar

Fig. 136. 랜더링 가축사체 부산물 원료와 열분해 된 biochar 모습.

(2) 장기적: 1-2주 간격으로 1번으로 과제 종료시 까지 biochar의 제조

가축사체 전용 biochar 제조장치를 이용하여 장기적으로 biochar를 제조하였으며, 제조된 biochar들의 특성을 분석하여 가축사체 biochar의 균일성을 조사하였다. 기존 가축사체 biochar 제조시스템과 달리 열분해 과정은 먼저 200℃에서 30분을 유지하여 랜더링 과정에서 추출되지 못하였던 유지성분을 추출하고, 이후 350℃로 승온한 뒤 2시간 동안 열분해하여 biochar를 제조하는 방법으로 전반적인 열분해 공정온도를 낮추어 진행하였다 (Fig. 137). 가축사체 biochar 제조에 사용된 냉각방식은 목질계 biochar의 냉각방식인 자연냉각방식을 이용하였으며, 이는 제조챔버가 밀폐된 상태에서 회화로의 뚜껑을 열어 외부 공기에 의해 밀폐된 챔버가 냉각되는 방식이다. Biochar를 장기적으로 제조하였을 때 제조된 biochar들의 평균적인 이화학적 특성은 Table 70~72와 같으며 제조 기간과 관계없이 이화학적 특성의 균일성이 유지되는 것으로 조사되었다. 이는 장기간에 걸친 biochar 제품 제조 시에 품질의 변화 없이 유사한 biochar를 제조할 수 있는 것으로, 가축사체 전용 biochar 제조장치를 장기간 운영하였을 때 장비에 이상이

생기지 않고 작동하는 것을 확인하였다.

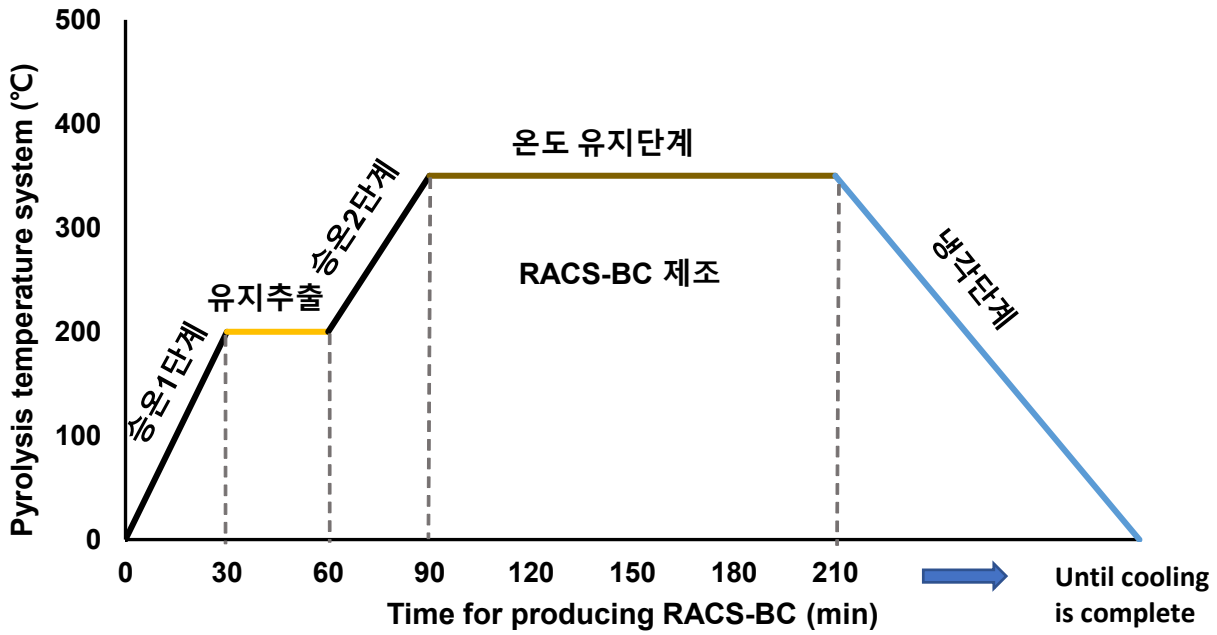


Fig. 137. 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 조정된 온도 및 시간 변화.

Table 70. 350°C에서 연속적으로 제조된 가축사체 biochar의 이화학적 특성(I).

[¥] BD	[§] SA	pH	C	H	N	S
(g cm ⁻³)	(m ² g ⁻¹)	(1:5)	----- (%) -----			
0.913	ND	8.44	39.16	3.25	6.71	ND

Table 71. 350°C에서 연속적으로 제조된 가축사체 biochar의 이화학적 특성(II).

T-P	K	Na	Ca	Fe	Mn
----- (%) -----			----- (mg kg ⁻¹) -----		
8.5	1.10	0.45	14.25	1090	39.66

Table 72. 350°C에서 연속적으로 제조된 가축사체 biochar의 이화학적 특성(III).

Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Hg
----- (mg kg ⁻¹) -----							
41.0	360.4	0.019	2.91	ND	ND	ND	ND

나) 확립된 연구결과 적용 비료품질 및 친환경 농자재 기준 적합 여부

(1) 비료공정규격 친환경 농자재 기준

350℃ 가축사체 biochar 제조시스템에 의해 제조된 RACS-BC에 대한 비료공정규격에 제시한 친환경 농자재 기준 적합 여부를 확인하였다 (Fig. 138). 3종 복비 기준의 유해성분과 성분함량은 모두 기준에 부합하고, 특히 인산전량이 19.14%로 높은 결과를 보여 인산질 비료로 효과가 클 것으로 예상된다. 미량원소 복합비료 기준의 유해성분은 모두 검출되지 않았으나, 미량원소 또한 소량 검출되어 기준에 부합하지 않는 것으로 확인되었다.

● 3종 복합비료 기준

분석항목	보증성분 함량(%)		분석성적(%)	
성분함량	질소전량	질소전량, 인산전량, 칼리전량 중 2종 이상의 합계량이 12 이상	3.69	
	인산전량		19.14	
	칼리전량		1.04	
	유기물	10이상	64.7%	
유해성분	카드뮴	가용성인산 함유율 1%에 대하여	0.00018 이하	불검출
	황청산화물	질소, 인산, 칼리 합계량의 함유율 1%에 대하여	0.0025 이하	불검출
	비소		0.005 이하	불검출
	아질산		0.02 이하	불검출
	뷰렛태질소		0.01 이하	불검출
	설파민산		0.005 이하	불검출

● 미량원소 복합비료 기준

분석항목	보증성분 함량(%)		분석성적(%)	
성분함량	붕소	붕소, 구리, 철, 망간, 몰리브덴 및 아연 중 2종이상을 수용성으로 보증 붕소 : 0.05%, 구리 : 0.05%, 철 : 0.1%, 망간 : 0.1%, 몰리브덴 : 0.0005%, 아연 : 0.05%	0.0024	
	망간		불검출	
유해성분	비소	함유 주성분의 합계량의 함유율 1 %에 대하여	0.002 이하	불검출
	니켈		0.01이하	불검출
	크롬		0.1 이하	불검출
	티탄		0.04 이하	불검출
	아질산		0.04 이하	불검출
	아황산		0.01 이하	불검출
	카드뮴		0.00018 이하	불검출

Fig. 138. 비료공적 규격 기준 적합 여부 분석 결과.

3) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 비료학적 가치 평가

가) 제조된 잔여물 biochar의 양분흡수 특성

(1) Batch 및 column 실험조 설계 및 제작

RACS-BC의 양분 흡수 능력과 고정능력을 평가하기 위해 batch 및 column 실험을 설계 하고 장치를 제작하였다. 본 실험에 사용된 무기양분은 암모니아성 질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)와 음이온의 질산성 질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$)로 선정하였으며, 시약은 각각 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 와 KNO_3 를 사용하였다.

(2) 고정형 및 이동형으로 양분의 용출특성 평가

(가) Batch 실험조

Batch 실험의 결과는 Fig. 139에 나타냈다. 반응 1시간에서 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는 12.53 mg kg^{-1} , $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 은 4.05 mg kg^{-1} 가 RACS-BC에 의해 흡착되었고 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 은 각각 반응 4시간과 12시간에서 평형상태에 도달하였다. RACS-BC는 질산태 질소보다 암모니아태 질소를 더 많이 흡착하는 것은 biochar 표면에 있는 음전하에 의해 나타나는 전기적 성질에 의한 것으로, 양이온의 암모니아태 질소가 음전하를 띄는 RACS-BC 표면에 쉽게 결합하기 때문이다. 이러한 특징은 일반적인 biochar에서도 유사한 형태로 나타난다. Batch 실험 결과를 통해 RACS-BC에 양이온 성질의 양분을 흡착하여 비료로 사용하면 양이온과의 흡착 능력이 강한 성질로 인해 완효성을 가지는 비료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

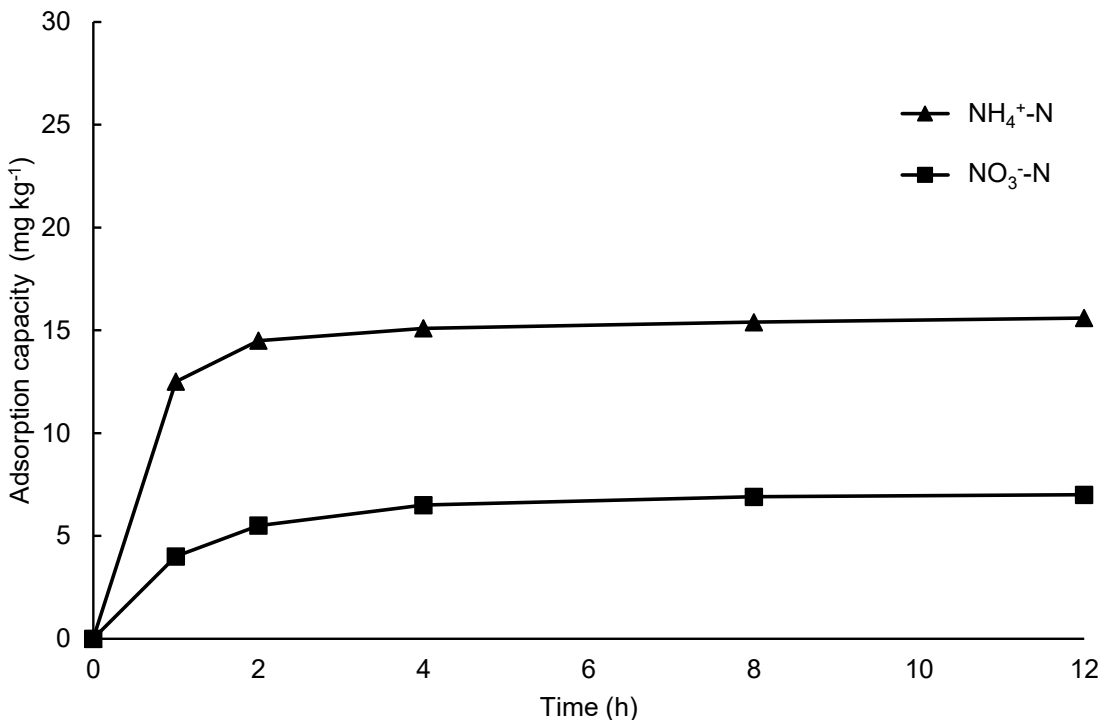


Fig. 139. RACS-BC의 질소 흡착량.

(나) Column 실험조

RACS-BC를 중량비 3% 수준으로 처리한 토양에서 암모니아성 질소와 질산성 질소의 용출 특성은 Fig. 140~141에 나타냈다. 암모니아성 질소의 용출된 총량은 무처리 토양이 RACS-BC를 처리한 토양보다 1.8배 이상 높았으며, 질산성 질소의 총 용출 양은 RACS-BC를 처리한 토양이 무처리 토양보다 1.6배 이상 높아 서로 반대되는 결과를 나타냈다. 암모니아성 질소의 용출 형태는 실험 1일 차에 양분이 대량 용출되며, 2일 차에는 용출량이 급격히 감소하고 이후 시간이 지나면서 감소하는 경향을 보였다. 반면에 질산성 질소의 경우 용출농도의 증가와 감소

가 불규칙하게 반복되는 현상이 나타나 특기할 경향이 나타나지 않았다. 이러한 RACS-BC의 양분 용출 특성은 목질계 biochar의 양분 용출 특성과 유사한 것으로 확인되었다. 선행연구에 의하면 표면에 다량의 음하전을 띄고 있는 biochar는 양이온을 흡착하는 성질이 강한데, 암모니아성 질소는 양전하를 띄고 있어 RACS-BC가 이를 보유하여 용출을 억제하는 것으로 판단된다. 질산성 질소의 경우 음하전을 띄고 있는데, biochar를 처리한 토양에 질산성 질소를 투입하면 biochar 표면에 있는 음하전을 띄는 작용기와 질산성 질소 사이에 정전기적 반발력으로 흡착이 제한적이다. 이상의 결과를 통해 RACS-BC는 양전하의 영양성분을 흡착하여 양분 용출을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

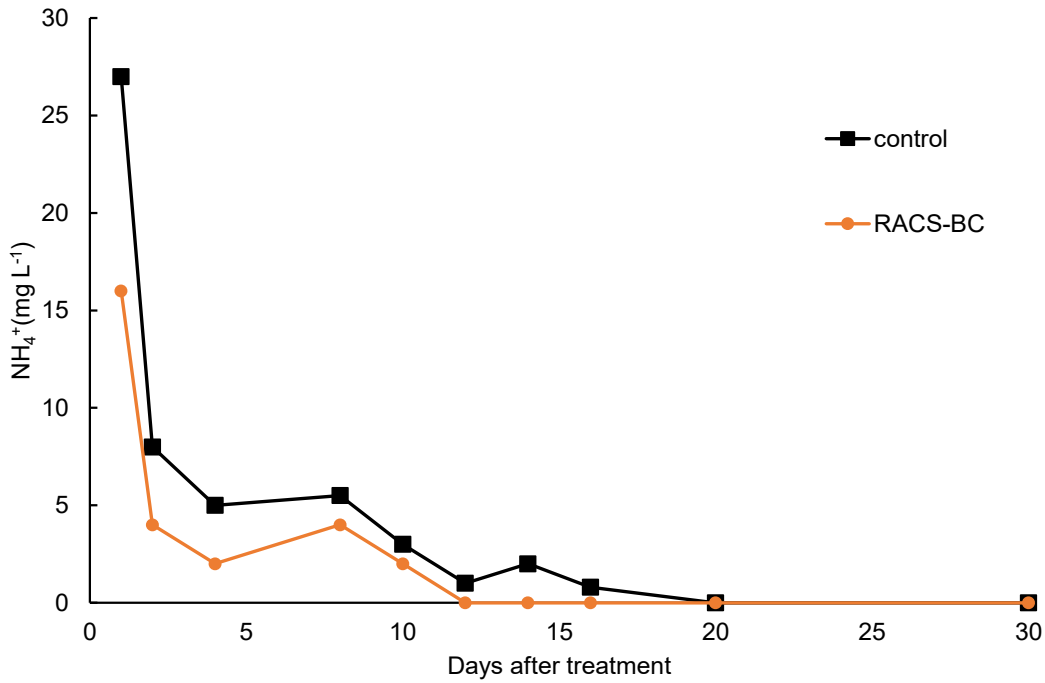


Fig. 140. RACS-BC 처리 토양의 양분 용출 특성(NH₄⁺).

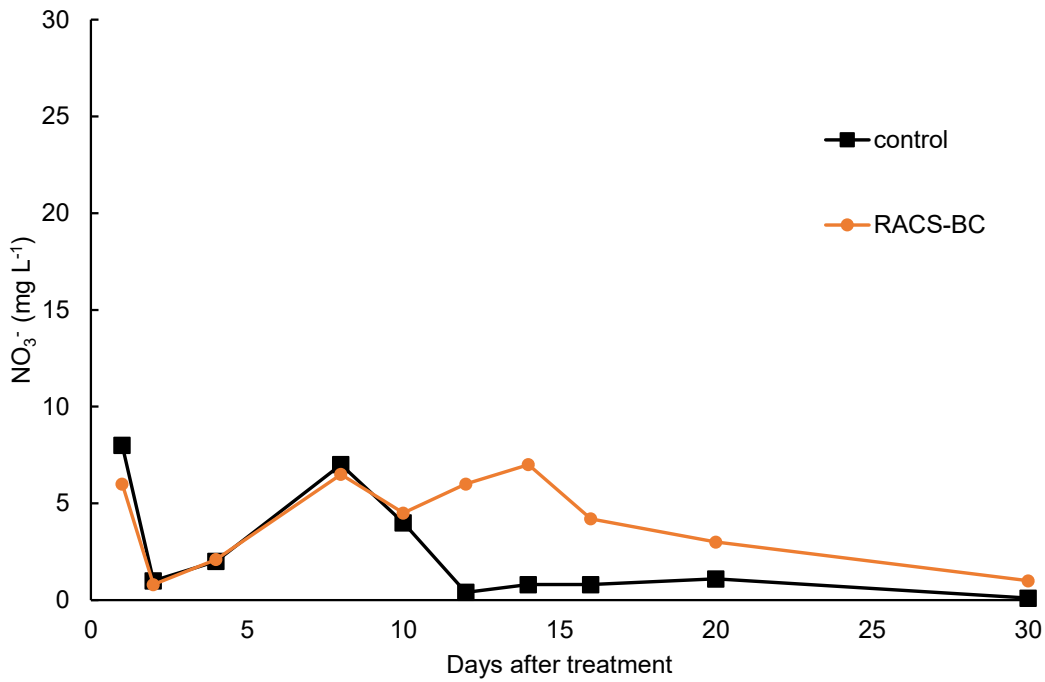


Fig. 141. RACS-BC 처리 토양의 양분 용출 특성(NO₃⁻).

나) 제조된 biochar의 토양 물리성 및 화학성 개선효과

무처리 토양과 가축사체 biochar가 3% 처리된 토양의 이화학적 특성을 분석한 결과는 Table 73~74와 같다. 토양에 가축사체 biochar를 처리한 결과 T-N, P₂O₅ 및 Ca의 함량이 각각 1.75, 7.82 및 10.69 g kg⁻¹로 무처리 토양 대비 유의미하게 증가하여, 토양에 가축사체 biochar를 처리하게 되면 특정 영양성분의 함량이 증가하는 것으로 확인되었다. 토양의 pH와 EC는 가축사체 biochar를 처리함으로써 증가하였다. 토양의 용적밀도는 가축사체 biochar 처리에 따라 1.07에서 1.03 g cm⁻³으로 감소하였다. 이를 통해 Biochar를 토양에 처리하면 산성 토양의 개량에 효과가 있고, 토양 내의 공극을 개선하는 것으로 확인되었다.

Table 73. 무처리 토양과 가축사체 biochar 처리 토양의 이화학적 특성 분석 결과(1)

Sample	pH	EC	BD	OM	T-N	P ₂ O ₅
	(1:5)	(ds m ⁻¹)	(g cm ⁻³)	-----	(g kg ⁻¹)	-----
Control	6.5	1.34	1.07	16.8	0.56	1.65
RACS-BC 3%	6.7	2.88	1.03	17.2	1.75	7.82

Table 74. 무처리 토양과 가축사체 biochar 처리 토양의 이화학적 특성 분석 결과(II)

Sample	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn
	----- (g kg ⁻¹) -----					
Control	12.24	5.22	5.69	0.51	15.70	0.41
RACS-BC 3%	12.72	10.69	5.17	2.09	12.92	0.41

다) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 안정성 평가

(1) 가축사체 잔여물 biochar 적용 토양의 미생물상 변화

가축사체 biochar가 토양의 미생물상 변화에 미치는 영향을 평가하기 위해 토양에 3%의 중량비로 혼합한 후 25°C에서 배양하였다. Biochar가 처리되지 않은 초기 토양의 미생물상은 Fig. 142에서 보는 것과 같다. 초기 토양의 미생물군 분석의 rarefaction curve는 Fig. 143과 같으며 미생물군은 phylum~species 수준의 분석을 진행하였다 (Fig. 144~150). Biochar가 처리되지 않은 토양에서의 우점 미생물군을 조사한 결과, 상위 5개 phylum은 Proteobacteria (42.1%), Acidobacteria (16.1%), Bacteroidetes (12.9%), Gemmatimonadetes (6.7%) 및 Verrucomicrobia(5.2%) 순으로 비중이 높았다. 조사된 미생물군 상위 다섯 문은 모두 일반적인 토양 내에 다량 존재하는 미생물로 알려져 있으며, 특히 Proteobacteria는 무기탄소를 토양 내에 고정할 수 있는 미생물군으로 알려져 있다. 토양 탄소를 분해하는 것으로 알려진 Actinobacteria는 2.9%로 낮은 비중을 차지하는 것으로 조사되었다.

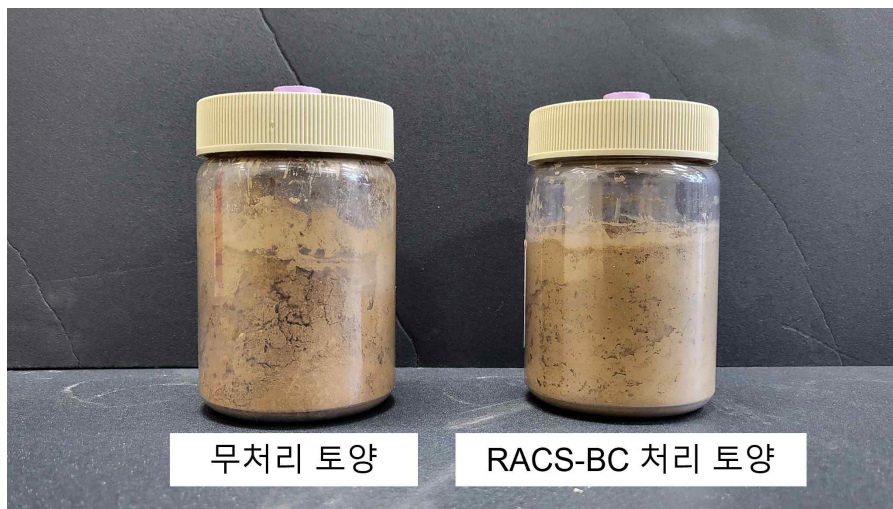


Fig. 142. 배양 중인 무처리 토양과 가축사체 biochar를 3% 처리한 토양.

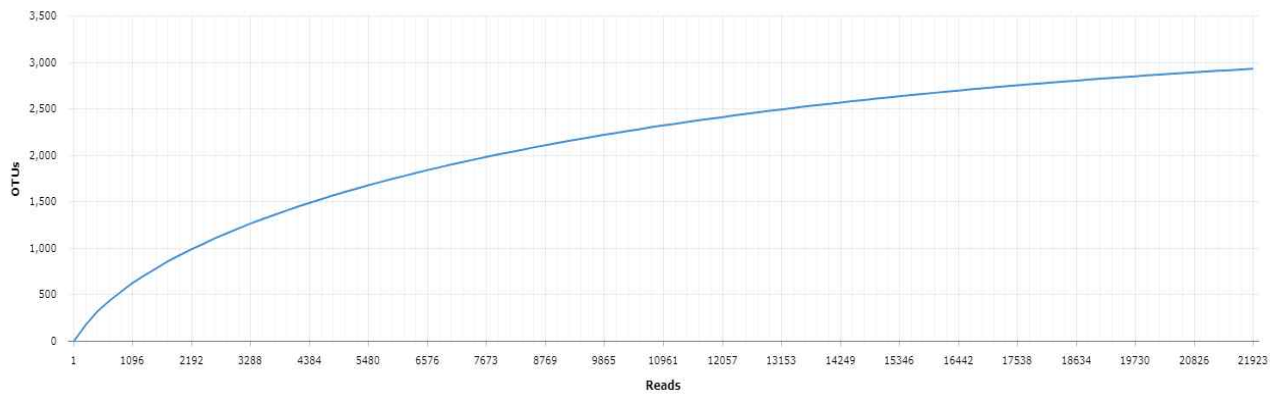
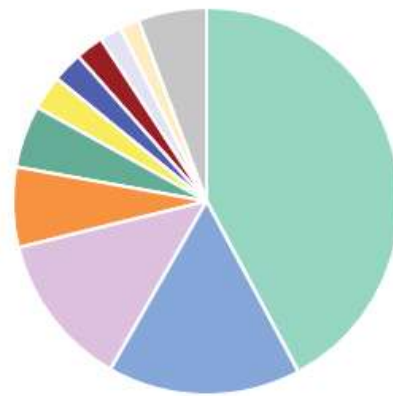
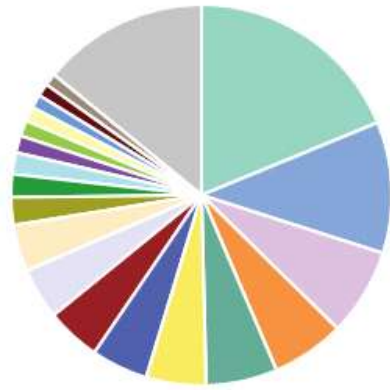


Fig. 143. 무처리 토양의 초기 rarefaction curve.



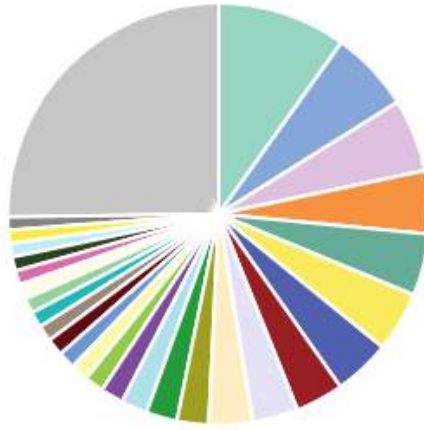
Proteobacteria	42.15%	Acidobacteria	16.12%	Bacteroidetes	12.89%
Gemmatimonadetes	6.69%	Verrucomicrobia	5.21%	Actinobacteria	2.87%
Chloroflexi	2.53%	Latescibacteria_WS3	2.35%	Nitrospirae	1.83%
Planctomycetes	1.63%	ETC [<1.0]	5.74%		

Fig. 144. 가축사체 biochar 처리 전의 공시토양 미생물상 분포(Phylum).



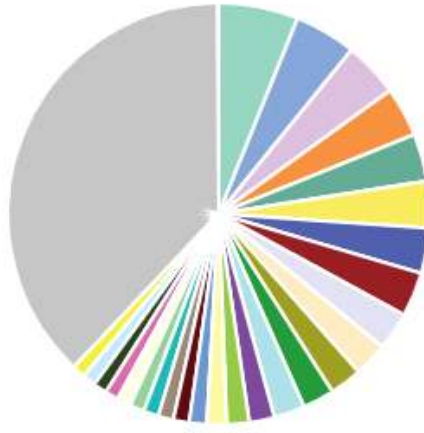
Betaproteobacteria	18.79%	Gamma	11.14%	Sphingobacteria	7.42%
Gemmatimonadetes_c	6.21%	Delta	6.05%	Alphaproteobacteria	5.08%
Blastocatellia	4.81%	Vicinamibacter_c	4.63%	Flavobacteria	4.36%
Verrucomicrobiae	3.97%	Latescibacter_c	2.35%	Actinobacteria_c	1.94%
Nitrospira_c	1.83%	Solibacteres	1.44%	PAC002259_c	1.34%
CP011806_c	1.24%	Acidobacteria	1.15%	Oligoflexia	1.08%
Cytophagia	1.04%	ETC [<1.0]	14.12%		

Fig. 145. 가축사체 biochar 처리 전의 공시토양 미생물상 분포(Class).



Burkholderiales	9.88%	Gemmatimonadales	6.21%	Sphingobacteriales	5.60%
Blastocatellales	4.81%	Pseudomonadales	4.75%	Vicinamibacter_o	4.61%
Flavobacteriales	4.36%	Myxococcales	3.68%	Pedosphaera_o	3.49%
PAC002541_o	3.36%	Nevskiales	2.42%	Xanthomonadales	2.38%
Rhizobiales	2.02%	AM991194_o	1.75%	NVQB_o	1.49%
Solibacterales	1.35%	Sphingomonadales	1.33%	PAC001922_o	1.33%
CP011806_o	1.24%	Methylophilales	1.21%	Nitrospirales	1.16%
Acidobacteriales	1.15%	CP012157_o	1.09%	Steroidobacter_o	1.07%
Cytophagales	1.03%	PAC001907_o	1.03%	DQ513087_o	1.00%
ETC [<1.0]	25.22%				

Fig. 146. 가축사체 biochar 처리 전의 공시토양 미생물상 분포(Order).



Comamonadaceae	6.11%	Pseudomonadaceae	4.73%
Vicinamibacter_f	4.24%	Flavobacteriaceae	3.80%
Pyrinomonadaceae	3.64%	Gemmatimonadaceae	3.58%
Oxalobacteraceae	3.47%	Pedosphaera_f	3.40%
Chitinophagaceae	2.91%	PAC000624_f	2.61%
Sphingobacteriaceae	2.48%	Solimonadaceae	2.42%
Xanthomonadaceae	2.38%	PAC002541_f	1.93%
Haliangiaceae	1.72%	AM991194_f	1.51%
PAC002248_f	1.34%	Methylophilaceae	1.21%
Nitrospiraceae	1.16%	Acidobacteriaceae	1.15%
Sphingomonadaceae	1.13%	CP012157_f	1.06%
Polyangiaceae	1.03%	PAC000004_f	1.03%
PAC001907_f	1.03%	DQ513087_f	1.00%
ETC [<1.0]	37.86%	Unclassified in higher taxonomic rank	0.10%

Fig. 147. 가축사체 biochar 처리 전의 공시토양 미생물상 분포(Family).

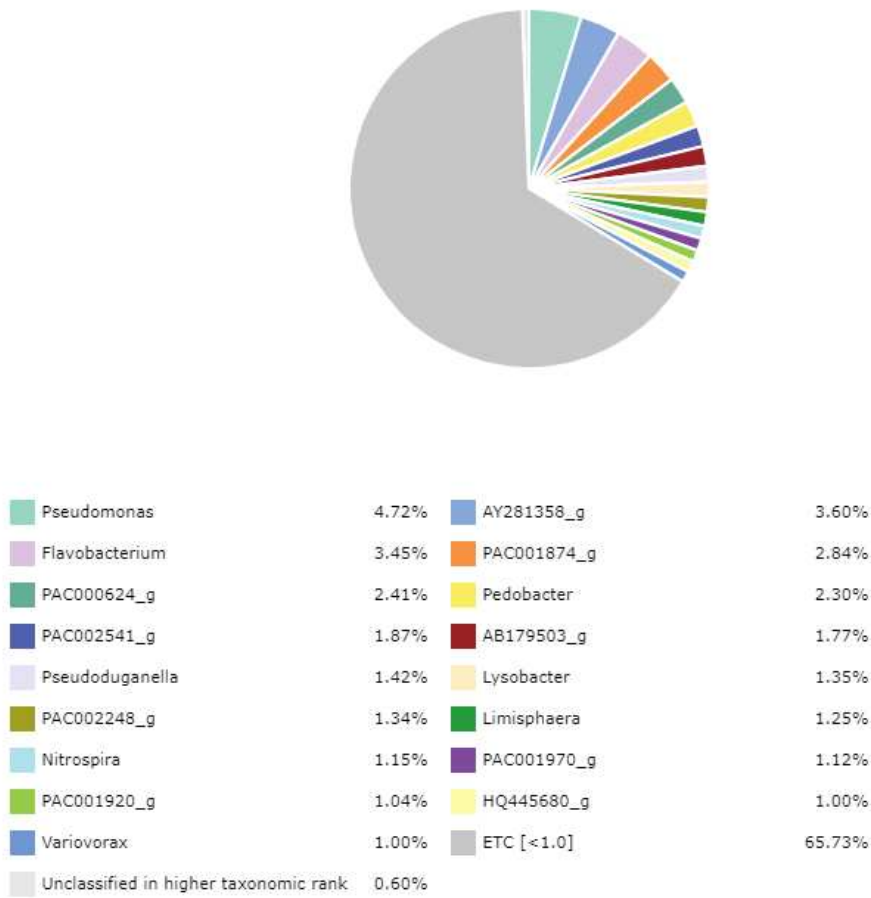


Fig. 148. 가축사체 biochar 처리 전의 공시토양 미생물상 분포(Genus).

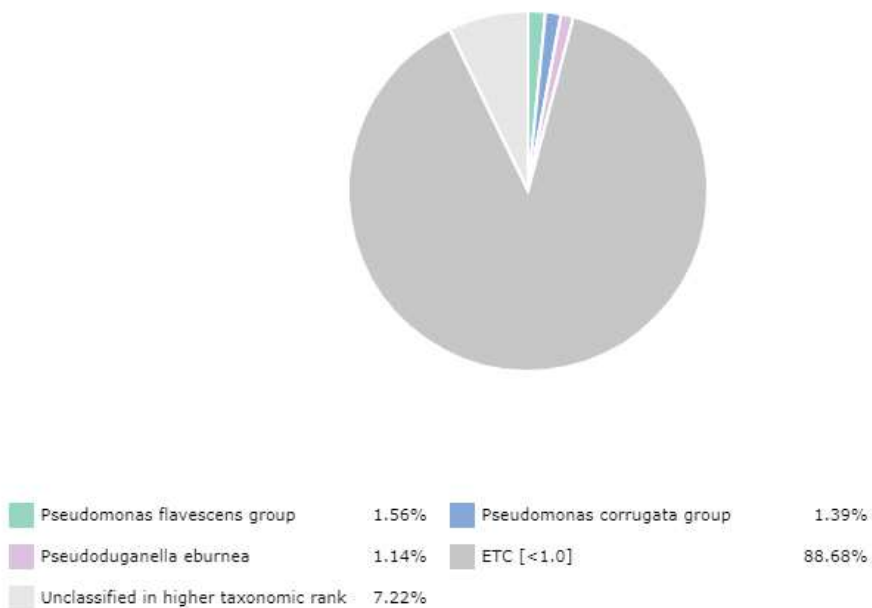


Fig. 149. 가축사체 biochar 처리 전의 공시토양 미생물상 분포(Species).

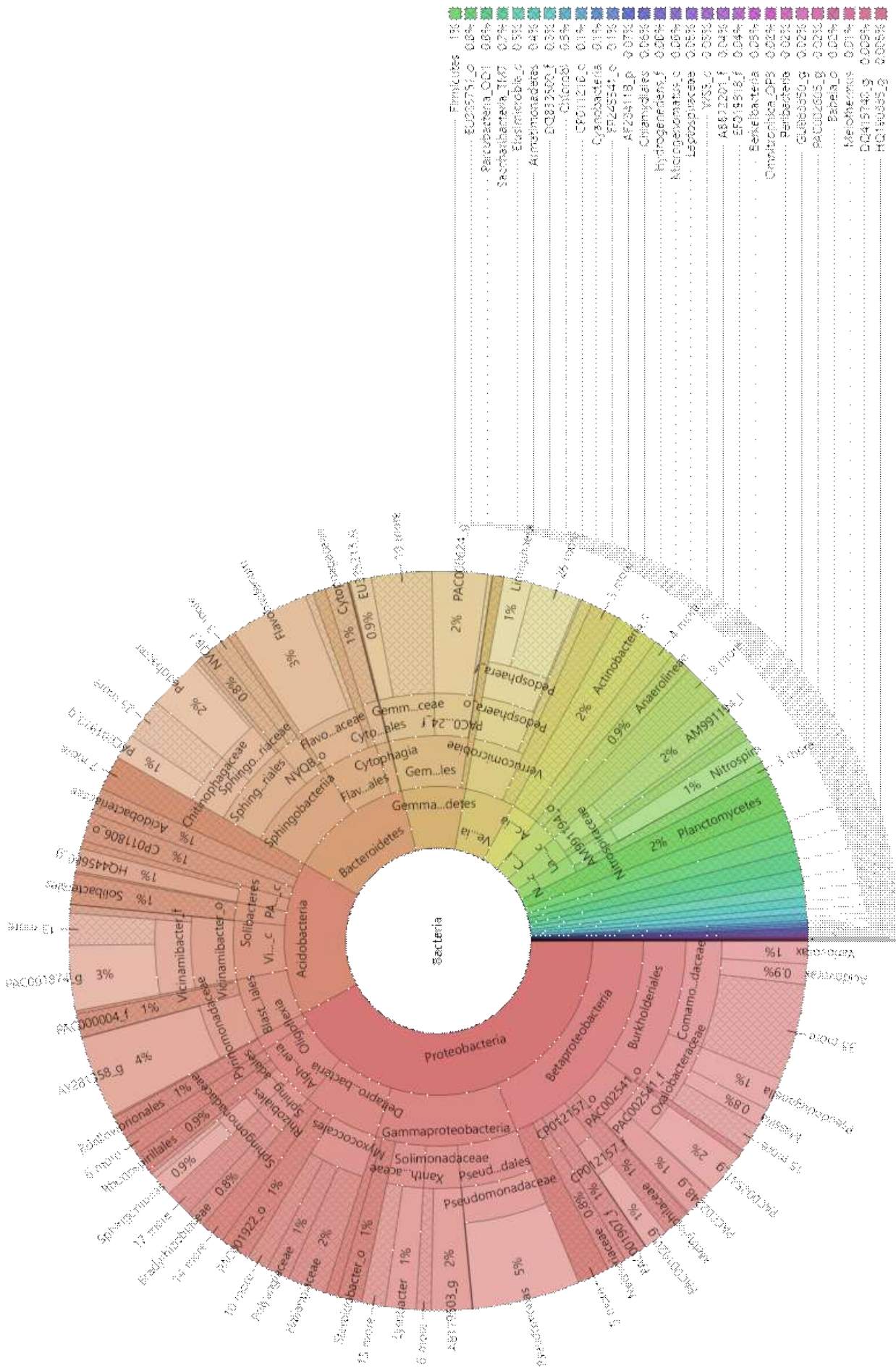


Fig. 150. 가축사체 biochar 처리 전의 공시토양 미생물상 분포(Phylum~Species).

4) 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 장치의 호환성

가) 온도별 목재기반 biochar 제조

본 연구에서 사용된 가축사체 전용 biochar 제조장치를 이용하여 목재펠릿을 열분해하여 biochar를 제조하였다. 목재펠릿을 밀폐된 원료 용기에 투입한 후 챔버 내부를 질소가스를 이용하여 혐기성 상태를 형성해주었다. 가축사체 제조시스템과 달리 오일 추출과정 없이 열분해 온도로 승온하여 biochar를 제조하였다. 열분해 온도는 일반적인 목재기반 biochar 제조온도인 400℃와 600℃로 설정하였다. 목재펠릿 원료와 열분해 후 제조된 biochar의 모습은 Fig. 151과 같다. 기존 목질계 기반 biochar 제조장치는 승온 이전에 대기의 환경을 조절하는 설비가 없어서 열분해 초반에 챔버 내의 산소에 의한 산화가 일어나게 되어 원료 상부가 하얗게 재가 되는 현상이 발생한다. 본 연구에서 제작된 가축사체 전용 biochar 제조장치는 승온 이전에 챔버 내의 대기를 혐기성 상태로 조성한 후 열분해를 진행하였기에 시료 상부의 산화 현상이 발견되지 않았다. 또한 Biochar 제조과정에서 발생하는 가스와 오일이 포집부를 통해 배출되는 것을 확인하였다.



목재 펠릿 원료



목재 펠릿 biochar

Fig. 151. 가축사체 biochar 제조장치를 이용한 목재기반 biochar의 제조 전후.

나) 온도별 목재기반 biochar의 이화학적 특성 및 제조장치에 따른 품질특성 비교

본 연구에서 사용된 biochar 제조장치와 기존 목재기반 biochar 제조장치를 이용하여 목재펠릿을 400°C와 600°C에서 열분해하여 제조된 biochar의 이화학적 특성을 조사하였으며, 그 결과는 Table 75에 나타냈다. 두 장치 모두 400°C에서 제조한 biochar가 600°C에서 제조한 biochar보다 pH와 C 함량이 약간 낮은 것으로 조사되었으나, 유의적인 차이를 보이지는 않았다. 결과적으로 두 장치에서 제조된 biochar는 유사한 특성을 보였다. 두 장치에서 제조된 biochar에 유의미한 차이는 발견되지 않았다.

Table 75. 목재기반 biochar 제조장치로 제조된 온도별 목재기반 biochar의 이화학적 특성 (RACS: 가축사체 전용 biochar 제조장치, WB: 목재기반 biochar 제조장치)

Equipment (°C)	pH	EC	C	H	N	K	Ca	Mg	
	(1:5)	(ds m ⁻¹)			(%)				
RACS	(400)	7.91	0.11	70.2	3.31	0.08	0.08	0.20	ND
	(600)	8.90	0.18	76.2	2.13	0.04	0.12	0.18	0.01
WB	(400)	7.64	0.22	69.7	3.11	0.09	0.10	0.21	0.03
	(600)	8.69	0.19	74.6	1.76	0.08	0.12	0.25	0.04

다) 목재 및 가축사체 잔여물의 혼합비율에 따른 biochar 제조

(1) 혼합 biochar 제조

가축사체 잔여물을 biochar로 제조하게 되면 양분적 가치는 높으나, 밀도가 높아 무겁고, 공극이 작으며 견고한 특성을 가지는 biochar가 제조되어 비료로 사용되기에 물리적 특성이 부적합한 문제가 있다. 반면 목재기반 biochar는 밀도가 낮아 가볍고, 공극이 크며 부드러운 특성을 가져 물리적 특성에서 비료로 사용하기에 적합하지만, 영양성분이 결핍되어 있어 사용처가 주로 토양개량제로 제한되는 한계가 있다. 이에 본 연구진은 동물성 바이오매스와 식물성 바이오매스의 장점을 혼합하여 양분적 특성과 물리적 특성이 모두 뛰어나 비료학적으로 가치가 높은 biochar를 제조하고자 하였다. 목재기반 바이오매스로 톱밥을 사용하였으며 이를 가축사체 잔여물과 다양한 혼합비율로 혼합하여 biochar를 제조하였다. 가축사체 잔여물과 톱밥의 혼합비율은 가축사체:톱밥=75:25, 50:50, 25:75(BC_{75:25}, BC_{50:50}, BC_{25:75})이었으며, 두 재료를 단순 혼합한 후 건조하는 방법으로 열분해 전처리를 하였다. 본 연구에서 정립한 350°C 가축사체 biochar 제조시스템에 따라 biochar를 제조하였으며, 혼합비율별로 제조된 biochar의 제조과정과 전경은 Fig. 152와 같다.

RACS : Wood biomass

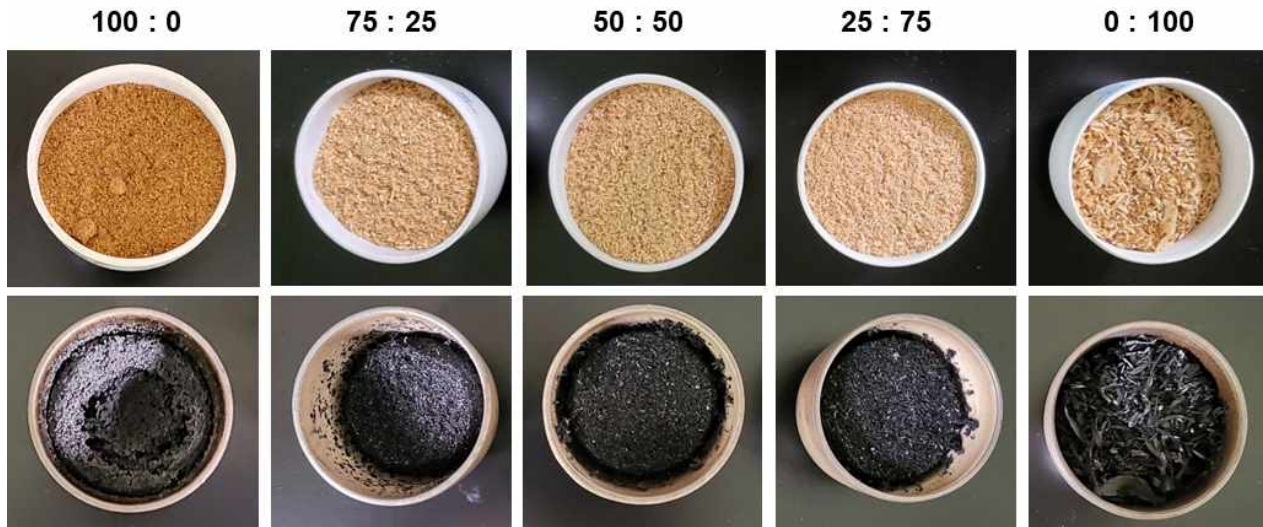


Fig. 152. 혼합비율에 따른 biochar의 제조 전후.

(2) 혼합 biochar의 이화학적 특성 조사

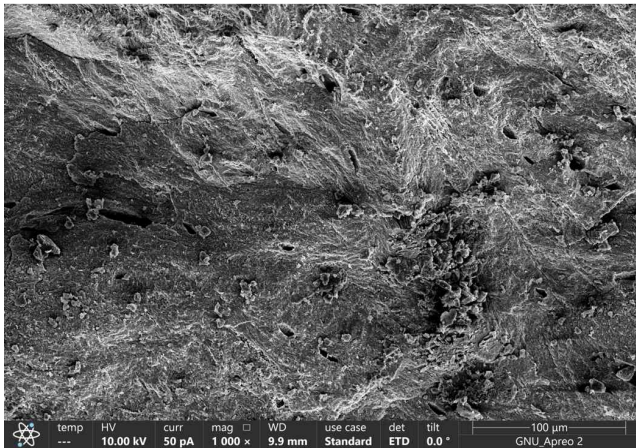
혼합 biochar의 성분 분석을 진행한 결과 Table 76과 같이 가축사체 잔여물의 혼합비율이 증가할수록 영양성분인 P, K 및 Ca의 함량이 증가하며, pH와 C 함량은 감소하는 추세를 보였다. 바이오매스를 혼합하여 공동 열분해 하였을 때 이화학적 특성이 예상 수치와 다를 수 있다는 선행연구 결과가 있는데, 본 연구 결과에서는 가축사체와 톱밥의 공동열분해 시 영양성분은 손실 없이 유지되는 것으로 확인되었다.

Table 76. 혼합 biochar의 혼합비율별 이화학적 특성

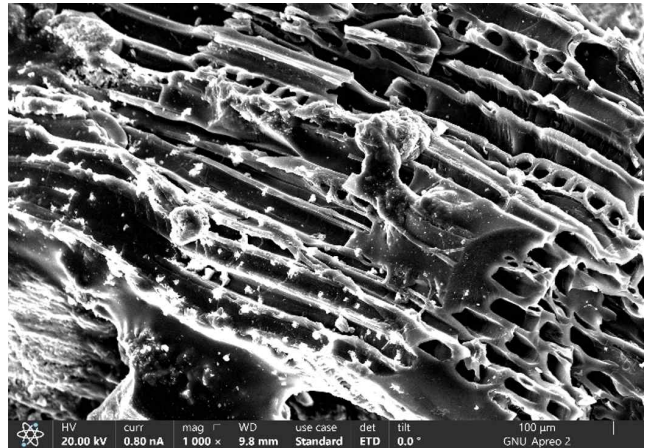
RACS : WB	pH	EC	C	H	N	P	K	Ca
	(1:25)	(ds m ⁻¹)	-----			(%)	-----	
100 : 0	8.31	796.5	39.16	3.25	6.71	7.97	0.99	9.16
75 : 25	8.67	693.5	49.97	3.64	9.90	5.97	0.78	8.84
50 : 50	8.81	381.5	52.70	3.53	10.12	3.72	0.53	8.10
25 : 75	9.11	165.1	58.12	2.89	3.96	1.91	0.26	6.00
0 : 100	9.05	59.74	74.10	4.36	6.37	0.03	0.06	0.17

*RACS: Rendering carcasses, WB: Wood biomass.

혼합 biochar의 표면구조 특성을 조사하기 위해 SEM-EDS 및 BET 비표면적 측정을 진행하였다 (Fig. 153~154). SEM을 이용한 가축사체 잔여물 biochar의 표면에는 공극이 거의 없고 밀도 높은 구조를 보였는데, 혼합 biochar는 목재기반 biochar의 특징인 다공성 구조가 공통으로 확인되었다. 또한, 혼합 biochar는 톱밥에 가축사체로 예상되는 물질이 결합한 특이 형태가 발견되었으며, 이는 가축사체와 톱밥의 혼합비율이 75:25인 BC_{75:25}에서 많이 확인되었다. 이러한 결합 형태가 가축사체에 의한 것임을 확인하기 위해 SEM-EDS mapping 기법을 이용하여 P와 Ca의 분포 특성을 확인하였다 (Fig. 155). P와 Ca는 가축사체에는 많이 함유되어 있으나 톱밥에는 거의 존재하지 않아 이들의 분포를 통해 톱밥과 가축사체를 구분할 수 있다. SEM-EDS 분석 결과 특이 결합 형태 부위에서 P와 Ca의 분포가 밀집되어있는 것이 조사되었고, 이러한 결합 형태는 가축사체 잔여물이 열분해 과정에서 녹으면서 톱밥에 결합하게 되는 것임을 확인하였다.

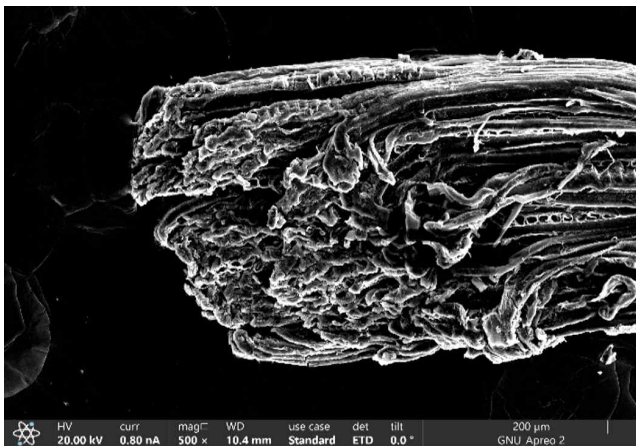


RACS-BC

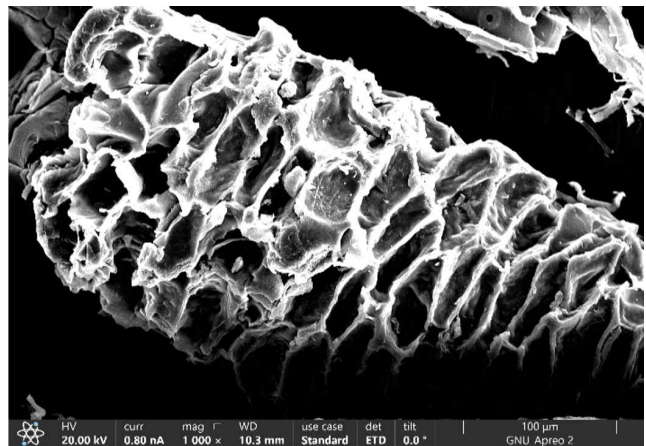


BC_{75:25}

Fig. 153. RACS-BC와 BC_{75:25}의 표면구조.



BC_{50:50}



BC_{25:75}

Fig. 154. BC_{50:50}과 BC_{25:75}의 표면구조.

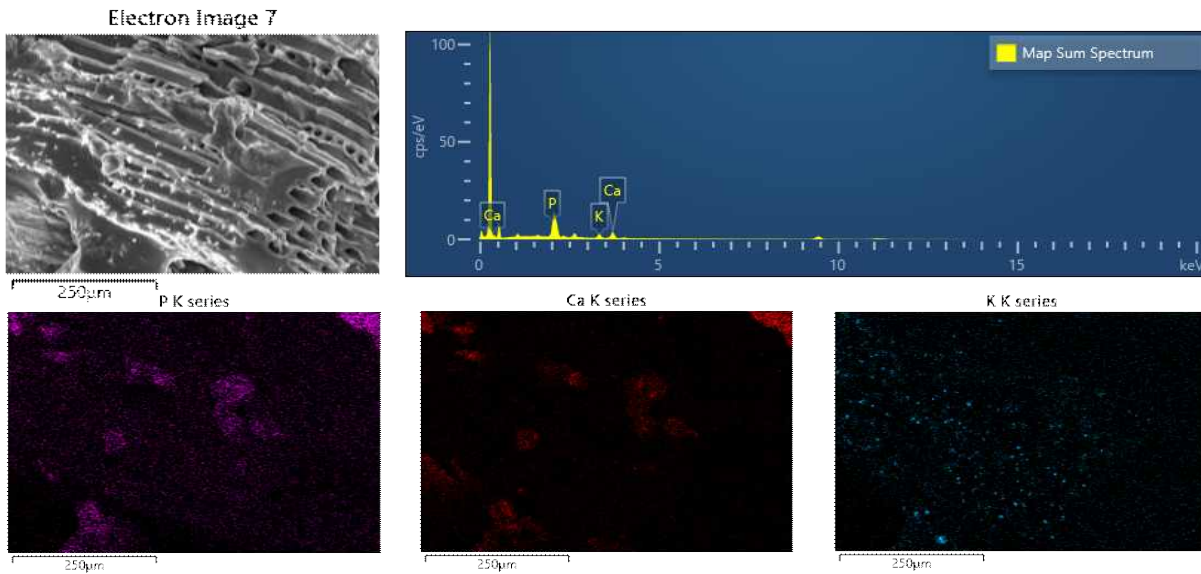


Fig. 155. BC_{75:25}의 SEM-EDS 조사 결과.

RACS-BC와 WB-BC의 물리적 특성을 고려하였을 때 혼합 biochar의 비표면적은 WB-BC와 RACS-BC의 중간값을 나타낼 것으로 예상하였으나, 예상과 달리 혼합 biochar의 BET 비표면적이 더 큰 것으로 조사되었다(Fig. 156). 특히 BC_{50:50}에서는 WB-BC에 비해 2배 이상 큰 비표면적을 보였으며, RACS-BC는 비표면적이 작아 BET 비표면적이 측정되지 않았다. 혼합 biochar의 비표면적이 더 크게 측정된 것은 선행연구에서 보고된 바 있는 서로 다른 바이오매스를 공동열분해할 때 발생하는 기체들의 이차반응에 의한 현상으로 판단된다. 열분해 시에 발생하는 가스는 열분해 과정에서의 대기상태를 변화시키는데, biochar의 특성은 이러한 대기상태에 영향을 받는다. 가축사체와 톱밥 각각에서 발생하는 가스가 biochar 제조과정에서 대기환경을 변화시켜 biochar의 비표면적 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다.

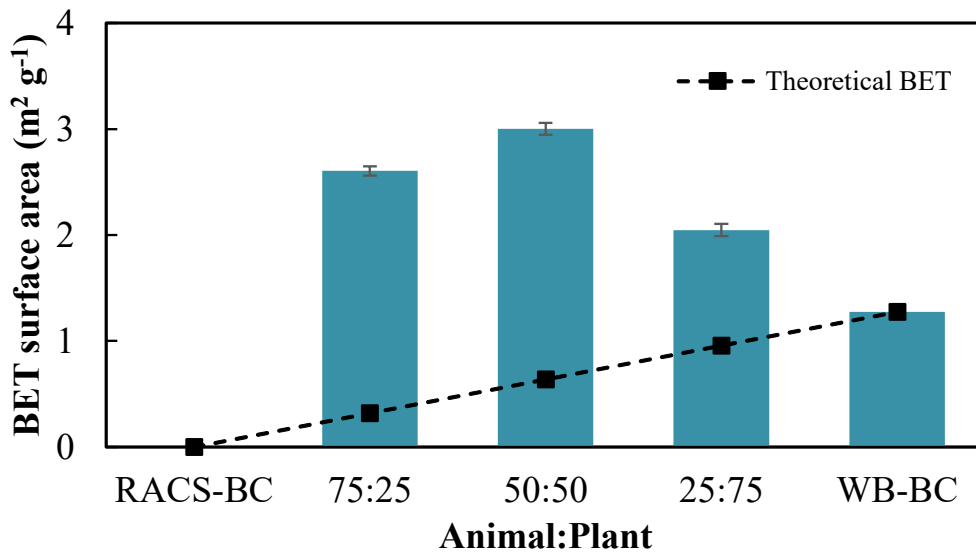


Fig. 156. 혼합 biochar의 BET 비표면적 측정 결과.

제조된 biochar의 열적 안정성을 조사하기 위해 TGA 분석을 진행하였으며, 그 결과는 Fig. 157에서 보는 것과 같다. 400~600°C 부근의 DTG 값이 가장 큰 지점에서의 온도는 RACS-BC가 476°C로 가장 낮았고 톱밥의 비율이 증가할수록 해당 지점의 온도가 증가하여 WB-BC에서는 491°C로 측정되었다. 또한 해당 구간에서 톱밥의 비율이 높은 혼합 biochar일수록 DTG의 측정치도 줄어드는 추세를 보였으며, 0~100°C에서는 DTG 측정치가 증가하는 추세를 보였다. 중량 감량을 적분한 값인 DTG는 측정치가 크고, 최댓값에 해당하는 온도가 낮을수록 열적 저항성이 낮은 것을 의미한다. 따라서 가축사체의 혼합비율이 높은 biochar의 열적 안정성이 톱밥의 비율이 높은 biochar보다 상대적으로 저온에서는 높고, 고온에서는 낮은 것으로 해석할 수 있다. 그러나 혼합 biochar의 열적 안정성을 평가하기에 그 차이가 미미하여, 혼합에 따른 열적 안정성은 유사한 것으로 판단하였다.

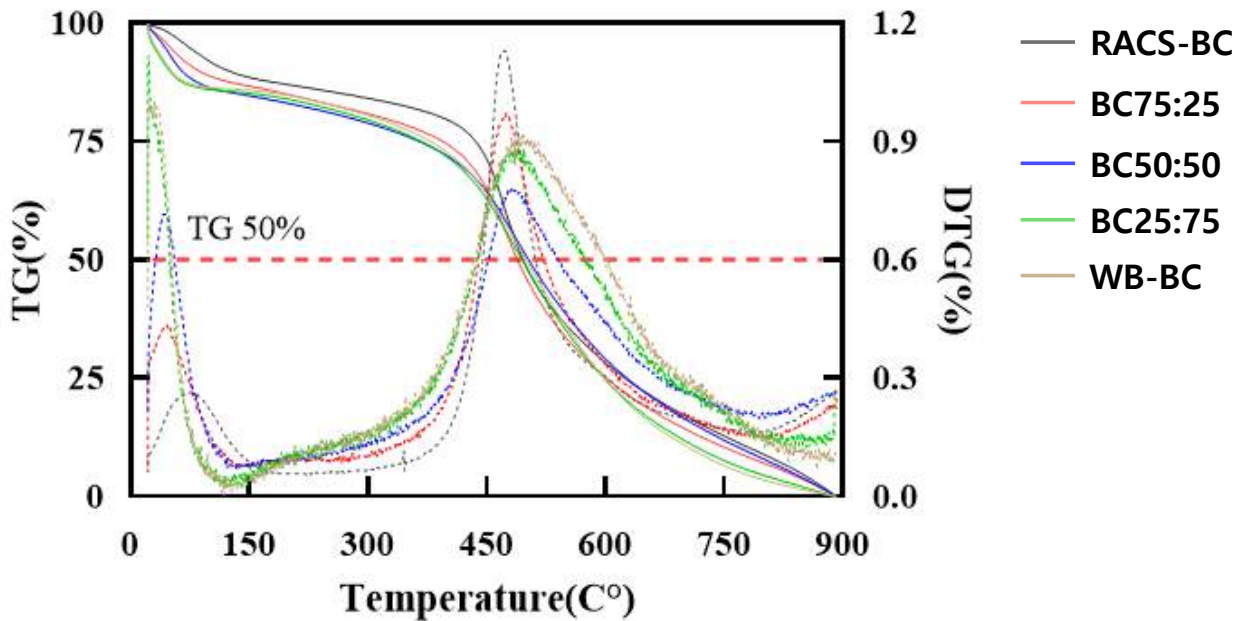


Fig. 157. 혼합 biochar의 통합 TGA 분석 결과.

혼합 biochar의 원소 구성 및 구조를 조사하기 위해 XPS 분석을 진행하였으며, 그 결과는 Fig. 158와 159에 나타내었다. XPS C_{1s} 분석 결과 RACS-BC와 WB-BC에서 공통적으로 284.6, 285.1, 289 eV의 결합 에너지에 해당하는 peak이 발견되었으며 각각 sp^3 C-C, C=C, O-C=O에 해당하였다. 특히적으로 RACS-BC에서는 284, 286.2 eV에 해당하는 sp^2 C-C, C-O/C-OH peak이 발견되었으며, WB-BC에서는 287 eV에서의 C=O peak이 발견되었다. 혼합 biochar에서는 C=C, C-O/C-OH, C=O 및 O-C=O peak이 공통적으로 발견되었으며, sp^2 C-C와 sp^3 C-C는 발견되지 않았다. 혼합 biochar에서는 상대적으로 C=C의 구성 비율이 높았는데, 가축사체와 톱밥의 공동열분해에 의해 sp^2 C-C와 sp^3 C-C의 형성이 억제되고 C=C 구조의 형성이 유도되는 것으로 판단된다.

XPS O_{1s} 분석 결과 RACS-BC와 WB-BC에서 공통적으로 532.7와 533.8 eV의 결합 에너지에 해당하는 peak이 발견되었으며 각각 C-OH/C-O-C와 O-C=O에 해당하였다. RACS-BC에서 발견된 535.3 eV에 해당하는 O-C=O peak은 WB-BC에서 발견되지 않았으며, WB-BC에서 발견된 531.3 eV의 C=O peak은 RACS-BC에서 발견되지 않았다. WB-BC는 RACS-BC에 비해 C-OH/C-O-C peak의 비중이 높고 O-C=O peak의 비중이 낮은 것으로 조사되었다. 목질계를 구성하는 cellulose(hemicellulose)와 lignin의 주요 결합 형태가 C-OH/C-O-C이며 이들은 고온에서 열분해하게 되면 graphite 계열의 구조로 변형되는데, 본 연구에서 진행한 열분해는 온도가 상대적으로 낮은 350°C에서 진행되었기 때문에 C-OH/C-O-C 구조의 변형이 많이 발생하지 않는 것으로 판단된다. 특기할 사항으로 BC_{50:50}에서는 C-OH/C-O-C peak이 47%로 감소하고, C=O peak은 증가하였다. 이는 공동열분해 시에 발생하는 서로 다른 가스에 의해 혼합 biochar에 나타나는 특성으로 판단된다.

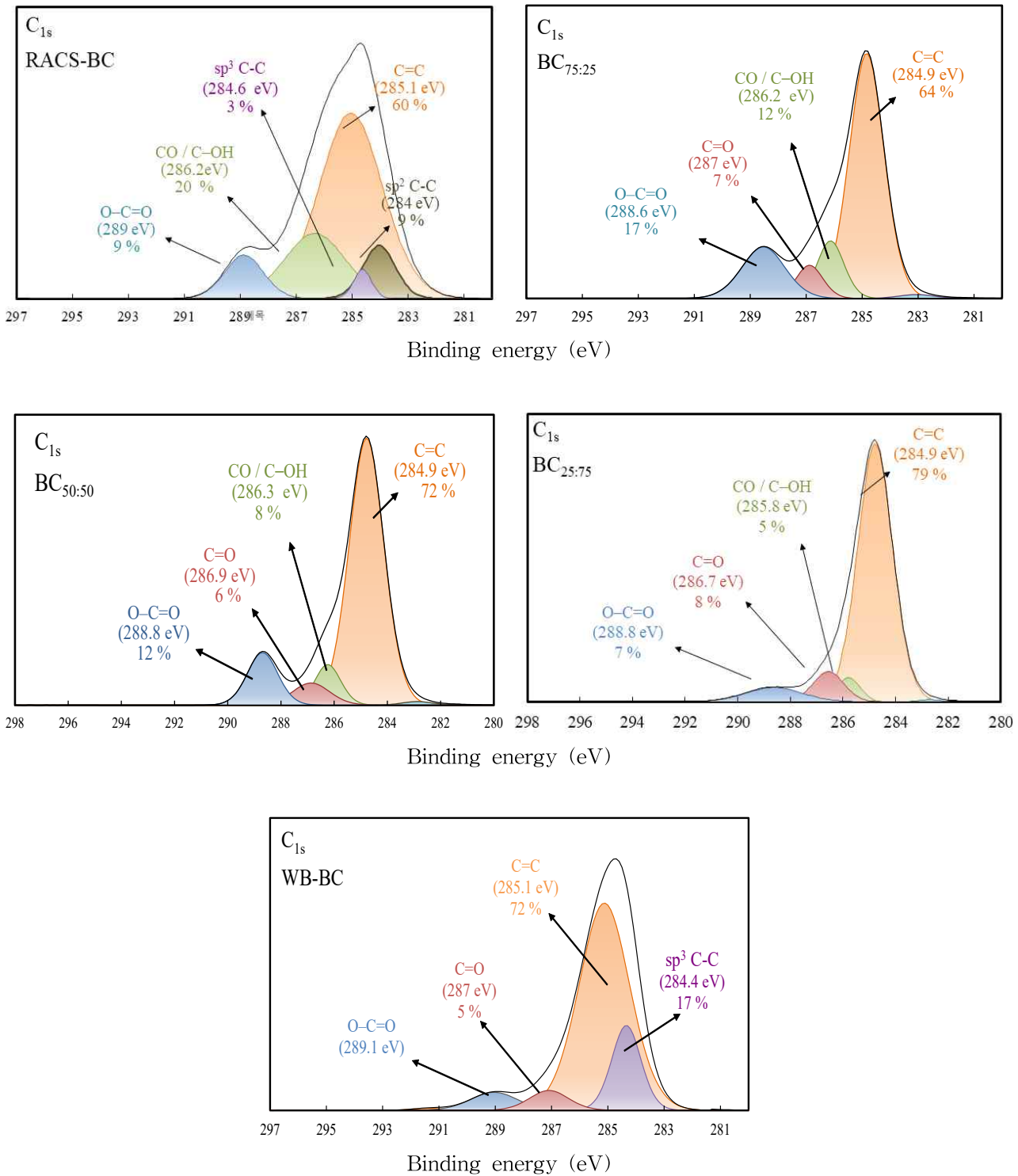


Fig. 158. 혼합 biochar의 XPS C_{1s} 분석 결과.

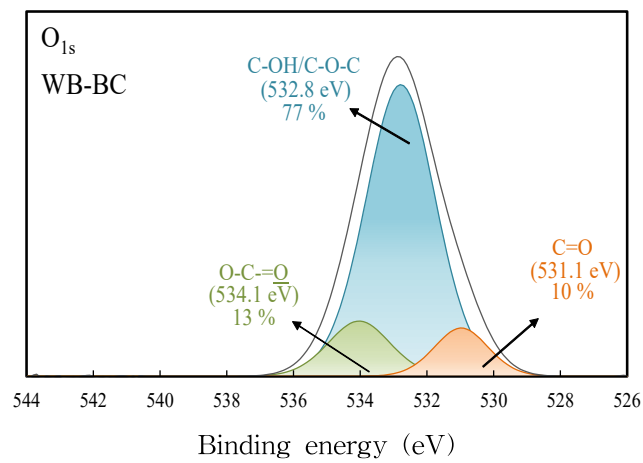
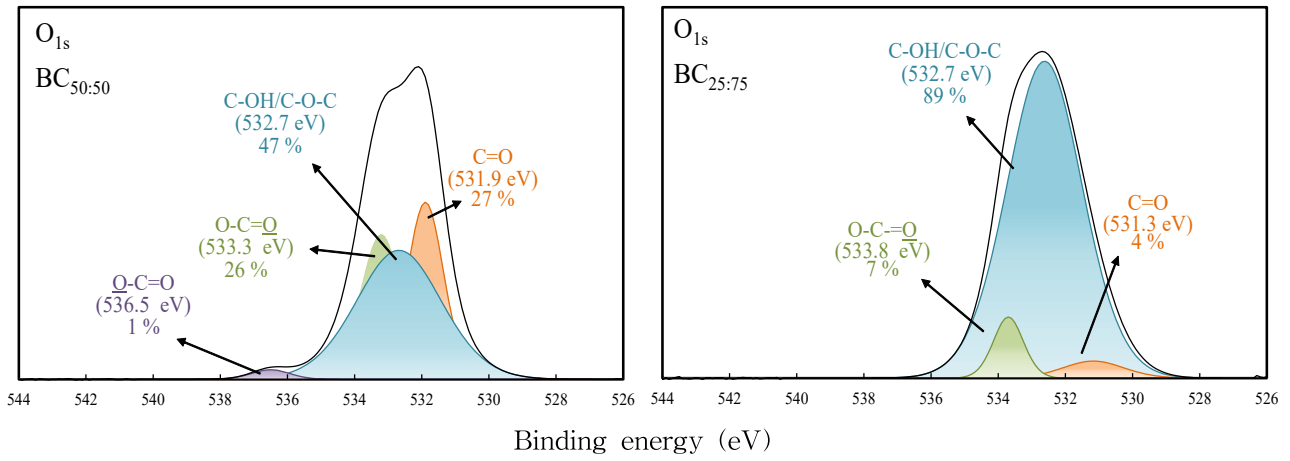
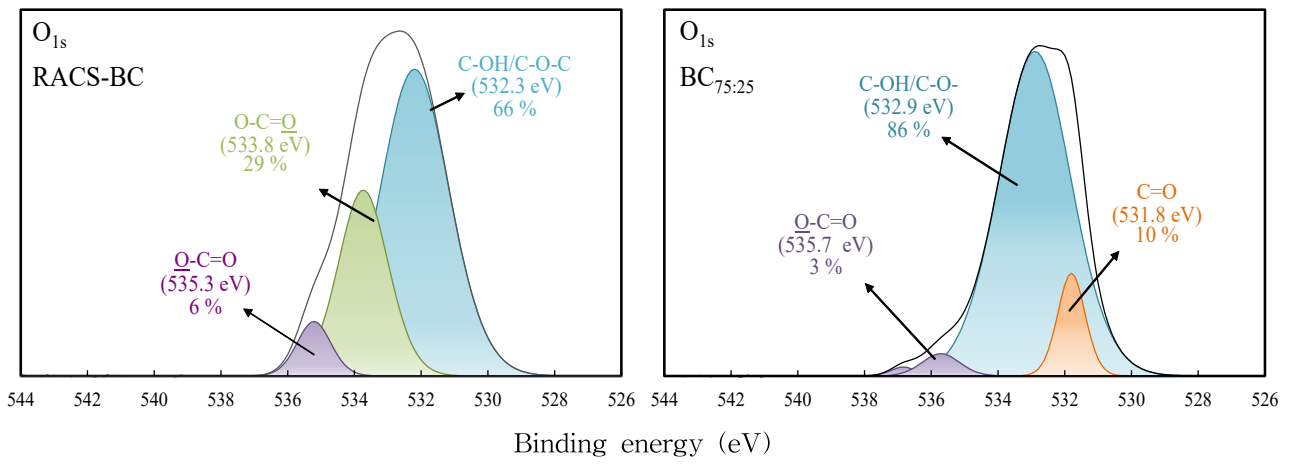


Fig. 159. 혼합 biochar의 XPS O_{1s} 분석 결과.

RACS와 목재를 비율별로 혼합하여 전용 biochar 제조장치에서 제조된 혼합 biochar의 FT-IR 결과는 Fig. 160과 같다. 원자재를 열분해할 때 고온에서 휘발성 물질의 감소가 나타나 biochar의 peak이 대체로 비슷하거나 완만해지는 경향이 나타났으며, RACS에 포함된 인 화합물의 영향으로 872 cm^{-1} 에서 추가적인 peak이 형성되는 것을 확인하였다. 3400 및 1641 cm^{-1} 에 나타난 peak은 일반적으로 수분과 관련된 OH기를 나타내는 peak인데, 이는 열분해 시 가해지는 고온의 열에 의해 작용기의 휘발이 일어났고 이로 인해 원자재의 혼합비율과 관계없이 biochar 내에서 큰 폭으로 감소하는 경향을 보였다. 모든 혼합 biochar는 2915 cm^{-1} 에서 C-H stretching, 2852 cm^{-1} 에서 C-N stretching, 1372 cm^{-1} 에서 NH_4^+ stretching, 872 cm^{-1} 에서 C-O stretching이 발견되었다. 또한 567 및 605 cm^{-1} 의 파장에서 나타난 peak은 WB-BC에서는 나타나지 않았다가 RACS가 혼합됨에 따라 RACS 내에 다량 함유된 인 화합물의 영향으로 O-P-O 구조를 나타낸다.

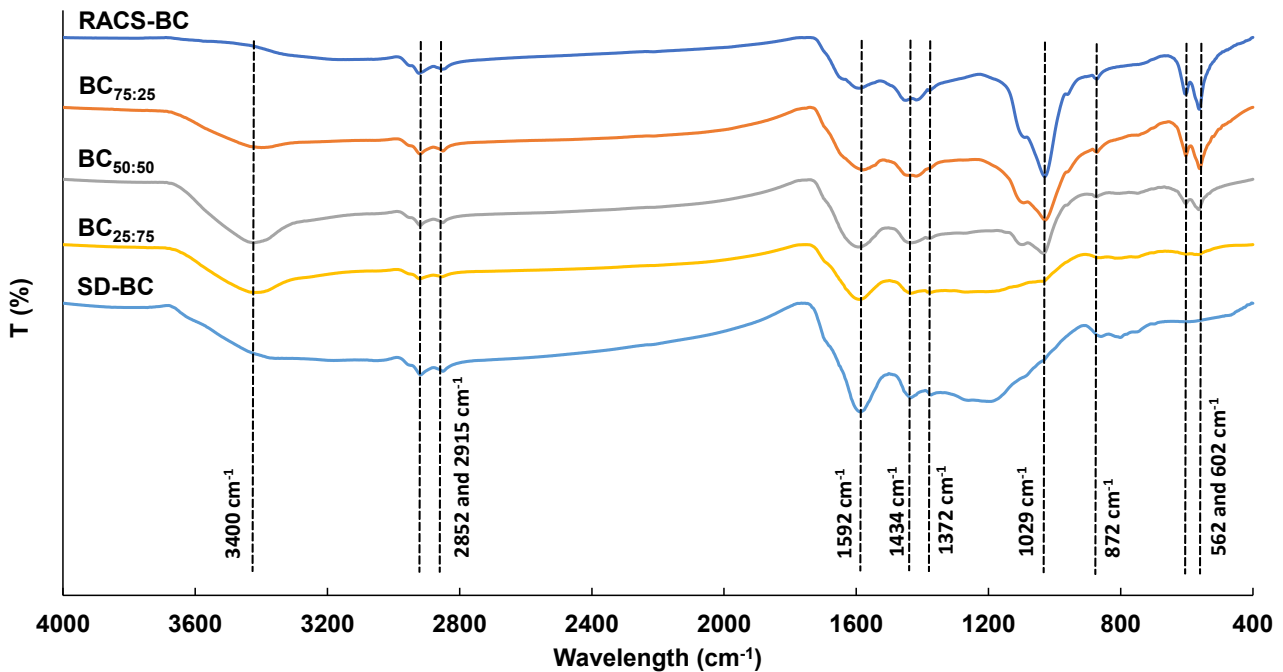


Fig. 160. 혼합 biochar의 FT-IR 분석 결과.

(3) 제조된 혼합 biochar 적용 토양에서 온실가스 배출 특성

온실가스 배출 특성을 조사하기 위한 실험구는 Fig. 161과 같이 무처리, RACS-BC, BC_{75:25}, BC_{50:50}, BC_{25:75} 및 SD-BC로 처리되었다. 토양에 제조된 biochar를 5%의 중량비로 혼합하여 대기와 밀폐되는 용기에 넣고 25°C에서 배양하였다. 용기 뚜껑 상부에 있는 적색의 고무격막에 syringe를 바늘을 꽂아 온실가스를 채취하였다.

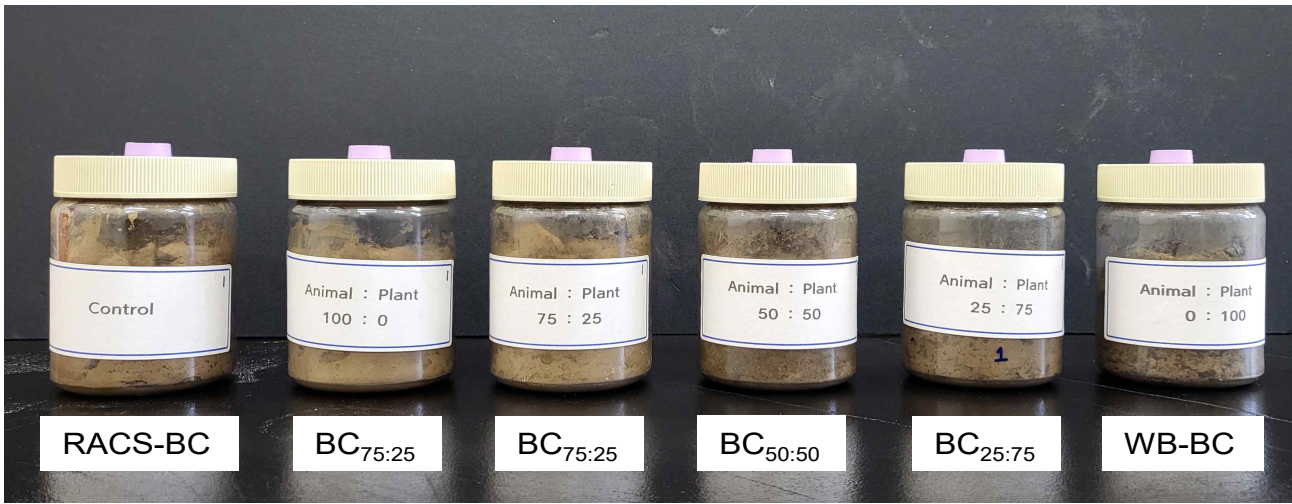


Fig. 161. 혼합 biochar 처리에 따른 토양의 온실가스 배출 특성 조사 실험 전경.

CO₂ 발생량은 Fig. 162에 나타났다. 각 처리구에서 28일 동안 배출된 CO₂ 양은 무처리, RACS-BC, BC_{75:25}, BC_{50:50}, BC_{25:75} 및 WB-BC가 각각 1.47, 2.79, 2.61, 2.40, 2.23 및 1.82 g m⁻³으로 RACS-BC가 가장 높고 무처리가 가장 낮게 나타났다. 톱밥의 함량이 높을수록 CO₂ 발생량은 감소하였는데, 이는 가축사체 biochar와 목재기반 biochar의 탄소 안정성의 차이에 의해 나타나는 것으로 판단된다. 토양에 처리되는 biochar의 탄소 안정성이 높을수록 CO₂ 발생량이 감소한다는 연구 결과에 따라 WB-BC의 탄소 안정성이 RACS-BC보다 더 높은 것으로 확인된다. 서로 다른 바이오매스를 같이 열분해하였을 때 탄소 안정성에 영향을 줄 수 있다는 선행연구 결과가 있는데, 본 연구에서 진행한 가축사체 고형물과 톱밥의 공동열분해로 제조된 biochar에는 그러한 현상이 나타나지 않았다.

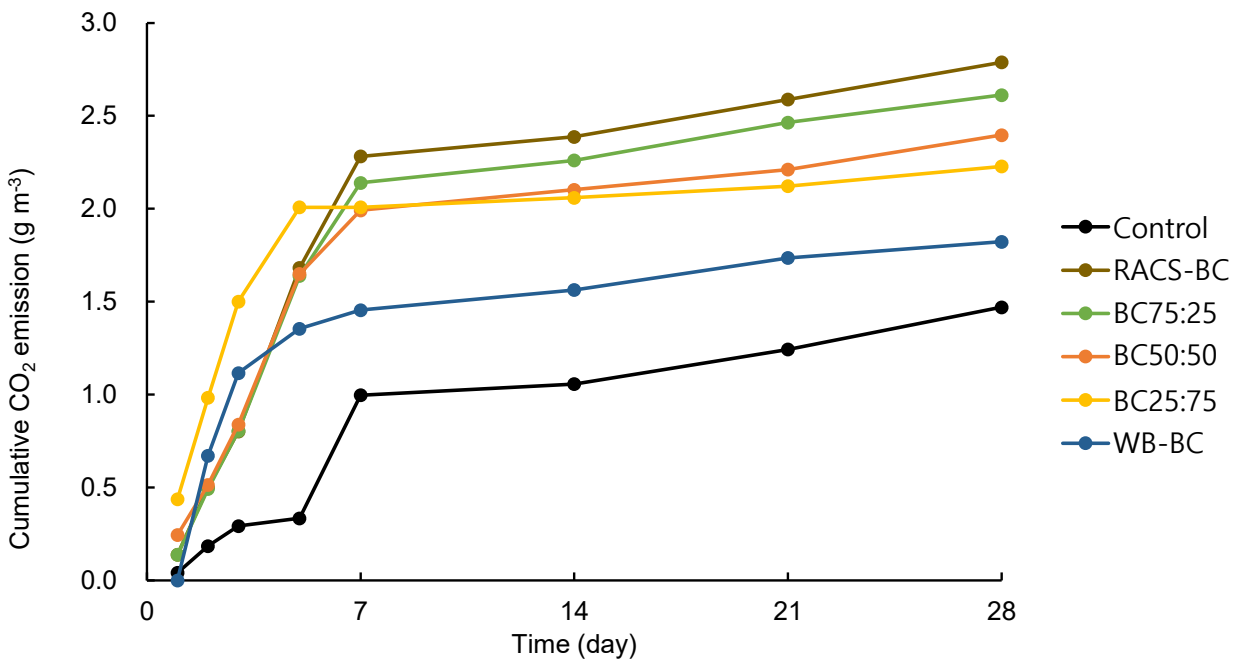


Fig. 162. 혼합 biochar 처리에 따른 CO₂ 누적 발생량.

Fig. 163에서 보는 바와 같이 각 처리구에서 28일 동안 배출된 CH₄ 양은 무처리, RACS-BC, BC_{75:25}, BC_{50:50}, BC_{25:75} 및 WB-BC가 각각 0.36, 0.51, 0.44, 0.34, 0.41 및 0.37 mg m⁻³으로 RACS-BC가 가장 높고 BC_{50:50}이 가장 낮게 나타났다. BC_{50:50}을 제외한 나머지 처리구에서 CO₂ 발생 경향과 유사하게 톱밥의 비율이 높은 biochar를 처리한 처리구에서 CH₄ 발생량이 낮은 경향을 보였다. 모든 처리구에서 CH₄가 극소량 발생하였는데, 이는 처리구를 호기성 조건에서 배양하였기 때문에 혐기성미생물에 의한 CH₄ 발생이 억제되었기 때문이다. 소량 배출된 CH₄는 처리구 하단에 산소가 침투하지 못하는 위치에서 발생한 것이라 판단된다.

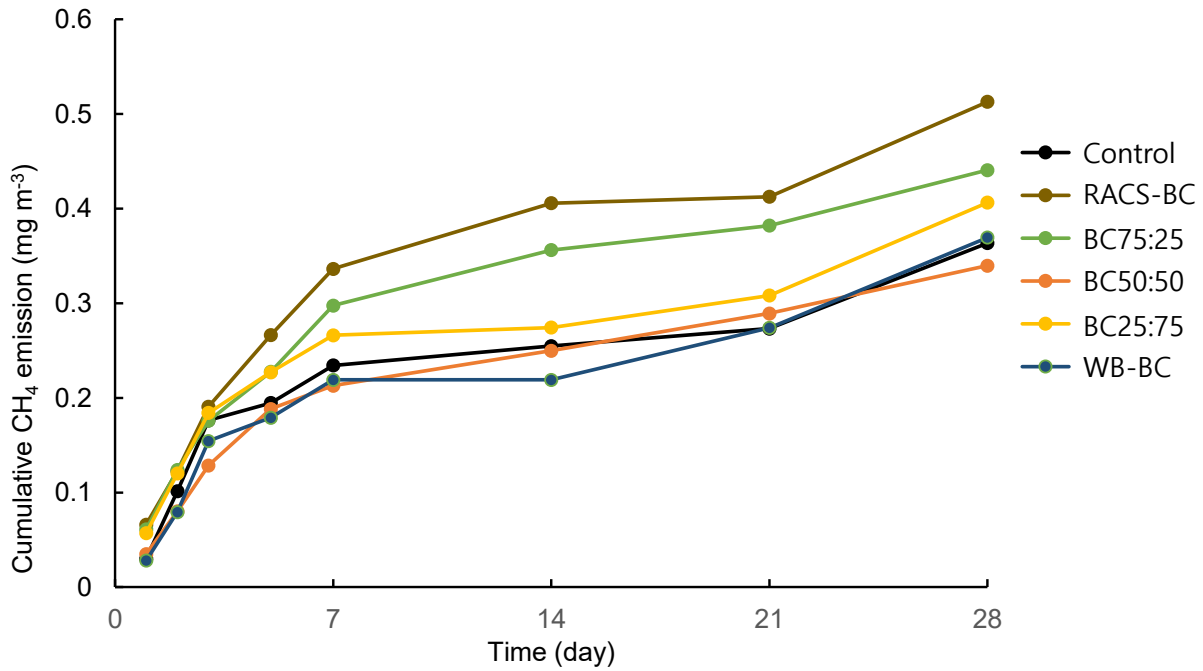


Fig. 163. 혼합 biochar 처리에 따른 CH₄ 누적 발생량.

각 처리구의 28일 총 N₂O 배출량은 무처리, RACS-BC, BC_{75:25}, BC_{50:50}, BC_{25:75} 및 WB-BC가 각각 334.97, 205.26, 223.21, 141.37, 221.86 및 29.77 g cm⁻³로 조사되었다 (Fig. 164). 가축사체를 함유하는 biochar 중 BC_{50:50}을 처리한 토양에서 RACS-BC를 처리한 토양보다 N₂O 배출량이 큰 폭으로 감소하는 것을 확인하였다. biochar를 처리한 모든 처리구에서 N₂O 발생량이 무처리구보다 감소하는 것으로 조사되었다. N₂O는 지구 온난화 지수(GWP; Global warming potential)가 CO₂의 약 273배에 해당하는 지구 온난화에 기여하는 정도가 큰 온실가스이며, biochar를 토양에 처리함으로써 N₂O 발생량을 크게 줄일 수 있는 것을 확인하였다. 가축사체 biochar를 토양에 처리할 때 가축사체 고형물과 목질계 바이오매스를 50:50으로 혼합하여 열분해면 온실가스 저감에 효과가 있을 것으로 판단된다.

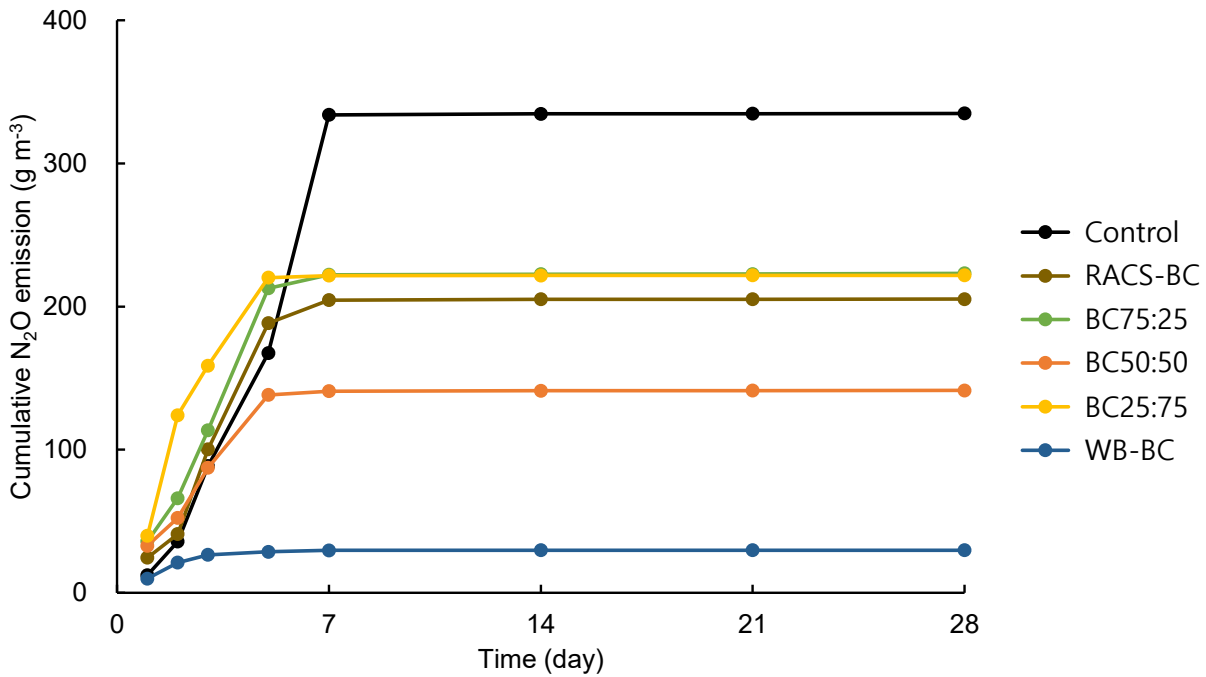


Fig. 164. 혼합 biochar 처리에 따른 N₂O 누적 발생량.

5) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 활성화

가) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 스팀을 이용한 물리적 활성화

본 연구진은 가축사체 잔여물 biochar의 물성을 개선하여 활용 가능한 범위를 확대하고자 가축사체 잔여물 biochar 활성화 연구를 진행하였다. Biochar 제조과정에서의 스팀 활성화는 Fig. 165와 같이 열분해 과정이 끝난 시점에서 밀폐된 챔버 내에 스팀을 분사하여 활성화를 진행하였다. 활성화된 biochar는 SEM과 BET를 이용하여 표면구조 특성을 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 166~168에서 보는 것과 같다. 활성화 단계 없이 제조된 biochar는 매끄러운 표면과 공극이 거의 없는 구조가 확인되었는데, 스팀 활성화를 거친 biochar는 표면에 공극이 생성되었음을 확인할 수 있었다. 제조된 biochar를 분쇄 후 재가열하여 350°C에서 스팀 활성을 진행한 시료도 마찬가지로 표면에 공극이 형성된 것을 확인하였고, 특히 분쇄의 충격에 의한 것으로 보이는 균열이 발견되었다. 이들의 비표면적 분석 결과는 Table 77에서와 같이 활성화에 의해 비표면적이 증가하였고, 분쇄 후 활성화하는 과정보다 열분해 과정에 연이어 활성화한 biochar의 비표면적이 더 증가하였다. 그러나 각각의 biochar는 BET가 측정되지 않을 정도로 낮은 비표면적을 가지고 있는 것으로 확인하였는데, 이는 스팀 활성화 시의 온도가 낮게 설정되었기 때문이라 판단된다. 일반적인 biochar의 스팀 활성화는 600°C 이상의 고온에서 진행되는데, 본 실험에서는 350°C에서 진행하였기에 스팀 활성화에 의한 비표면적 개선 효과가 작았다. 가축사체 biochar의 효과적인 스팀 활성화를 위해서는 열분해 후 즉시 스팀을 분사하는 연속적인 시스템과 활성화 시의 온도 상승이 필요할 것으로 판단된다.

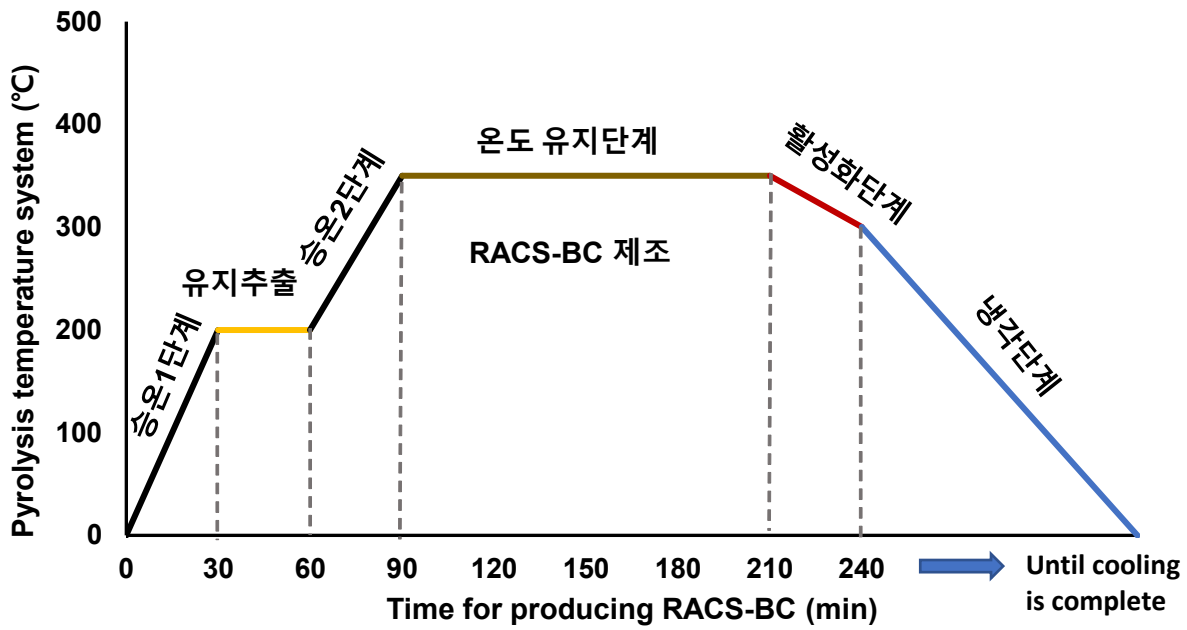
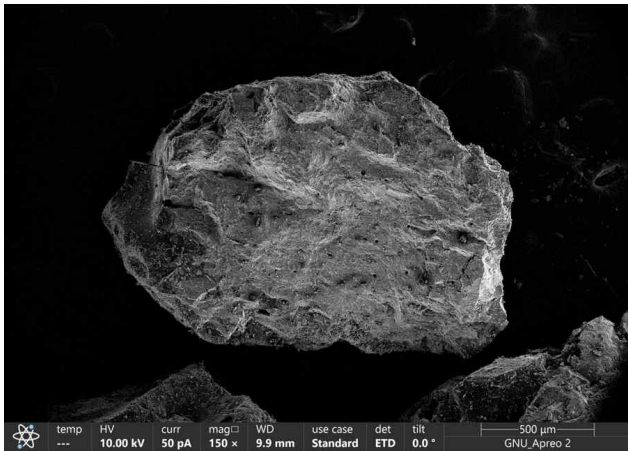


Fig. 165. 350°C RACS-BC 활성화 시스템.

150 X



2000 X

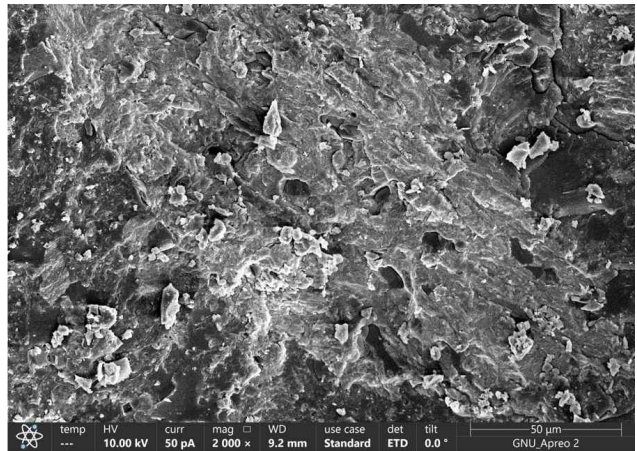
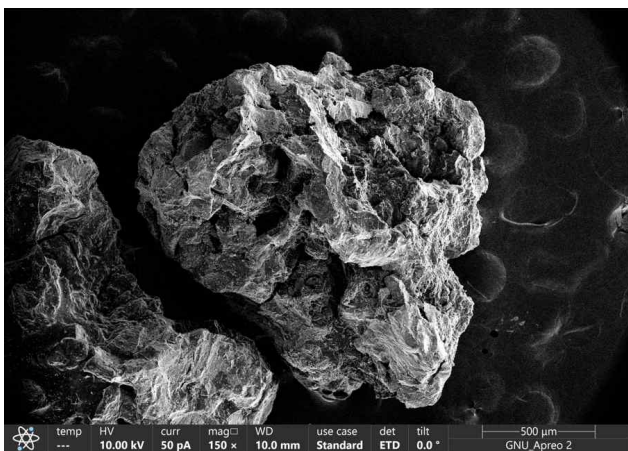


Fig. 166. RACS-BC의 SEM 측정 결과.

150 X



2000 X

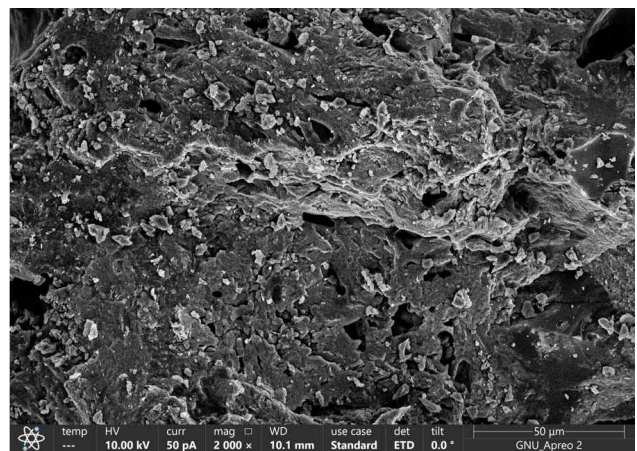


Fig. 167. RACS-BC의 스팀 활성화 후 SEM 측정 결과.

150 X

2000 X

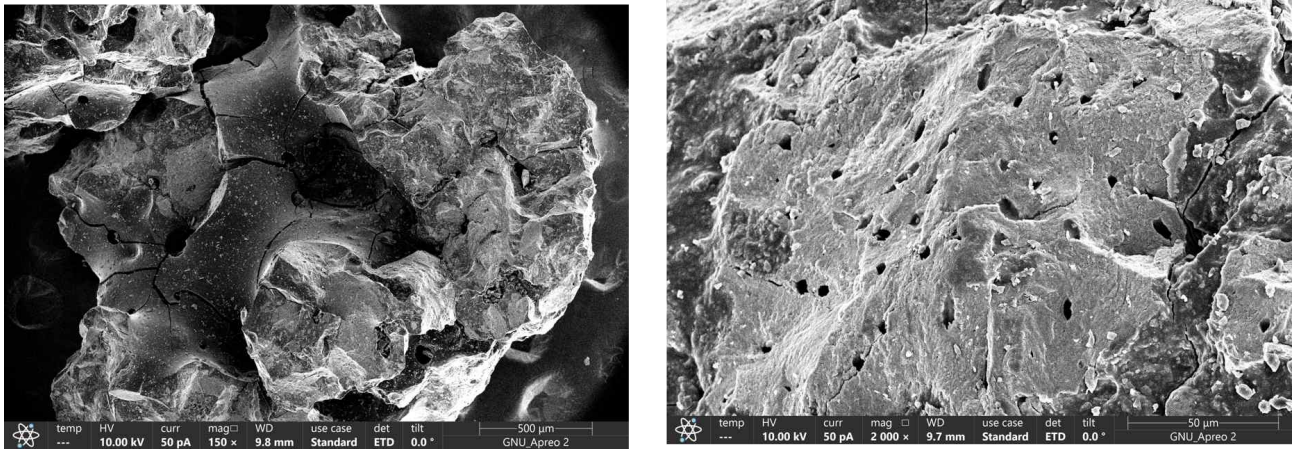


Fig. 168. RACS-BC의 분쇄하여 스팀 활성화 후 SEM 측정 결과.

Table 77. RACS-BC의 스팀 활성화 방법에 따른 BET 측정 결과.

Surface area	RACS-BC	Activated RACS-BC	
		Not grinded	grinded
Langmiur surface area	0.11	0.95	0.49
Single point surface area $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$	0.10	0.86	0.22
BET surface area	ND	ND	ND

나) 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 화학적 활성화

제조된 biochar에 약품을 침적하여 화학적 활성화를 진행하였다. 염기성 약품을 이용한 화학적 활성화에 NaOH와 KOH를 염기 활성화제로 사용하였으며, 이들 활성화제에 의해 활성화된 biochar는 SEM과 BET 측정을 통해 표면 특성을 조사하였다. SEM 분석 결과는 Fig. 169와 Fig. 170에서 보는 바와 같이 NaOH와 KOH로 활성화된 biochar에서 공극이 많이 형성된 것을 확인하였으며, 기존 biochar의 매끄러운 표면과 달리 부풀어 올라 고르지 못한 표면 형태를 보이고 있었다. 또한 biochar 표면에 Na와 K로 판단되는 결정형 물질들이 다량 관측되었는데, 이들의 성분을 분석하기 위해 biochar의 무기성분을 분석하였다. 그 결과 NaOH 및 KOH로 활성화된 biochar에서 각각 Na와 K가 대량 검출되었다(Table 78). 활성화된 biochar의 표면에 Na 및 K 결정이 발견되는 이유는 NaOH와 KOH 분말을 수용액에 녹인 상태에서 활성화를 진행하는데, 고온에서 수분이 기화하면서 약품만 잔류하게 되어 나타나는 현상으로 판단되며, biochar의 분석에 앞서 증류수를 이용하여 여러 차례 세척을 진행하였으나 침적된 약품을 제거하는 데에 한계가 있는 것으로 확인되었다. 활성화된 biochar를 활용하기 위해서는 활성화에 사용된 약품을 제거할 수 있는 세척 방법과 관련한 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5000 X

30000 X

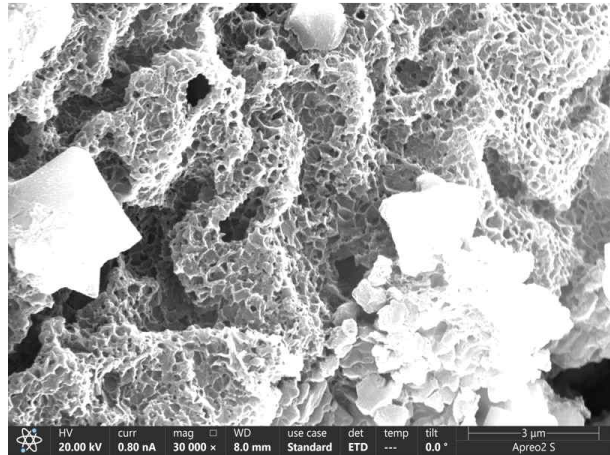
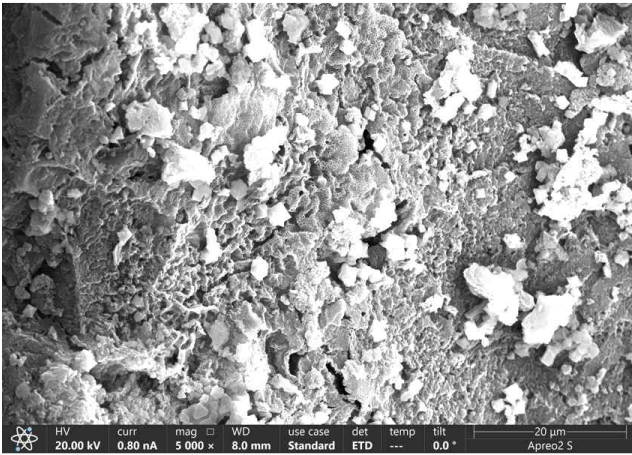


Fig. 169. NaOH 활성화 biochar의 SEM 결과.

5000 X

30000 X

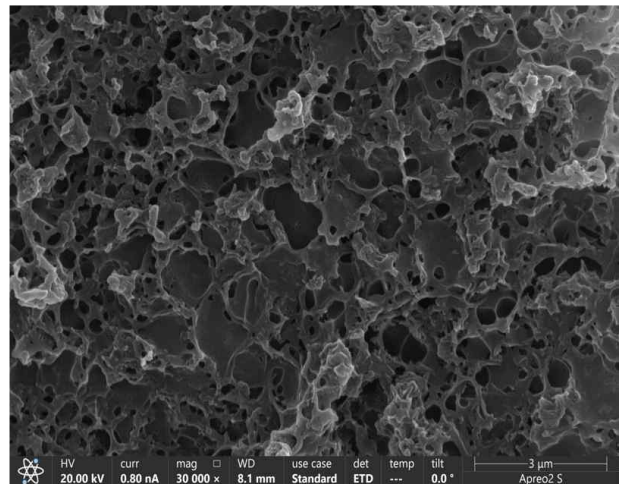
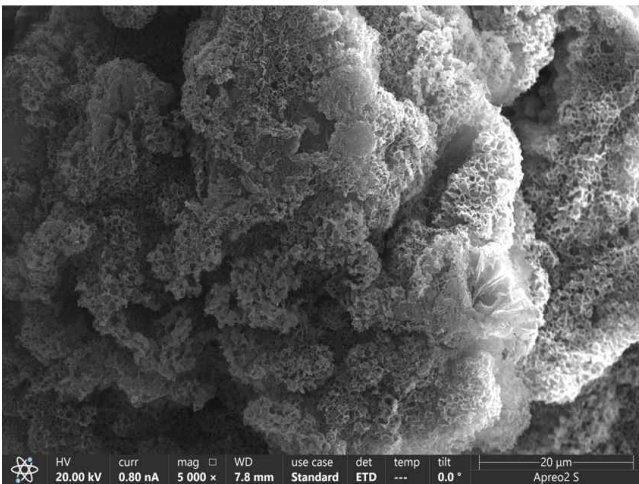


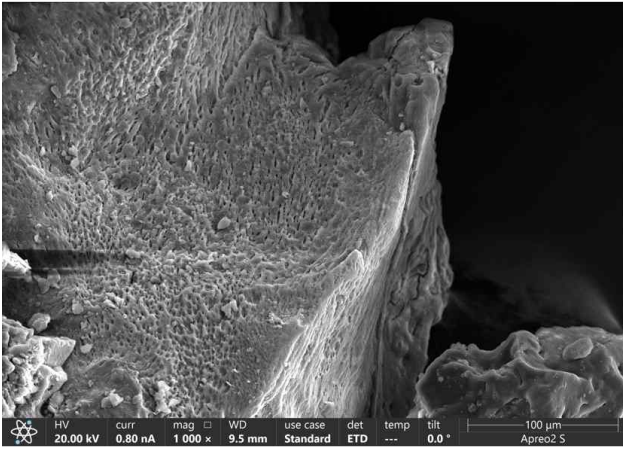
Fig. 170. KOH 침적비율 활성화 biochar의 SEM 결과.

Table 78. RACS-BC의 화학적 활성화 방법에 따른 무기성분 측정 결과.

sample	P	Fe	Mg	Ca	Na	K
	----- (mg kg ⁻¹) -----					
Control	133.27	2.19	4.90	177.92	23.68	18.15
NaOH	110.35	1.64	5.63	224.05	67.31	2.68
KOH	109.63	2.60	5.64	218.85	0.89	92.92
H ₂ SO ₄	173.91	1.52	6.41	240.68	24.46	14.95
H ₃ PO ₄	181.39	1.79	6.27	243.67	13.87	13.25

산성 약품을 이용한 화학적 활성화에는 H_2SO_4 와 H_3PO_4 를 사용하였다. 활성화한 가축사체 biochar의 SEM 결과는 Fig. 171과 Fig. 172에서 보는 바와 같다. H_2SO_4 와 H_3PO_4 에 의해 활성화된 biochar는 다공성의 표면이 발견되었고 활성화된 부위의 형태가 염기성 활성화 biochar와 차이가 있었다. 부풀어 오르는 듯한 형태의 염기성 활성화와 달리 산성 활성화 biochar는 주로 갈라지는 활성화 형태를 보였다. 이는 액상 형태의 산성 약품이 biochar 내부에 흡수되고, 고온에서 활성화될 때 팽창하게 되면서 나타나는 현상이라 판단된다. Fig. 173에서 보는 바와 같이 활성화하지 않은 RACS-BC에서 나타나는 표면의 불순물이 산성 활성화 biochar에서 발견되지 않았는데, 이는 불순물이 산에 의해 녹은 것으로 판단되었다. 또한 염기성 활성화 biochar에서 발견된 결정형 물질이 발견되지 않았는데, 이는 염기 활성화제가 분말 형태인 것과 달리 활성화에 이용된 H_2SO_4 와 H_3PO_4 가 액상 형태이기 때문이다.

1000 X



5000 X

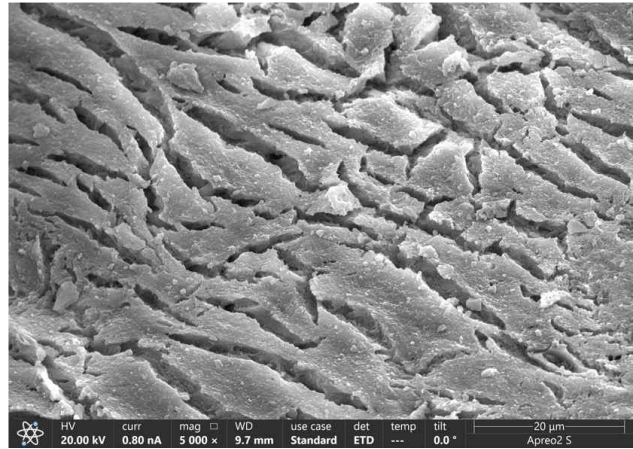
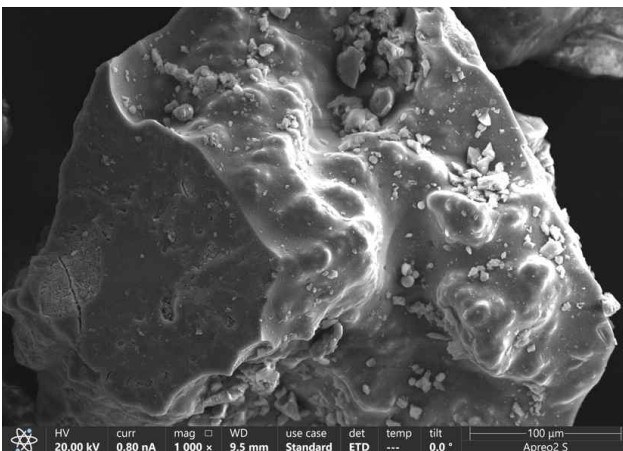


Fig. 171. H_2SO_4 활성화 biochar의 SEM 결과.

1000 X



5000 X

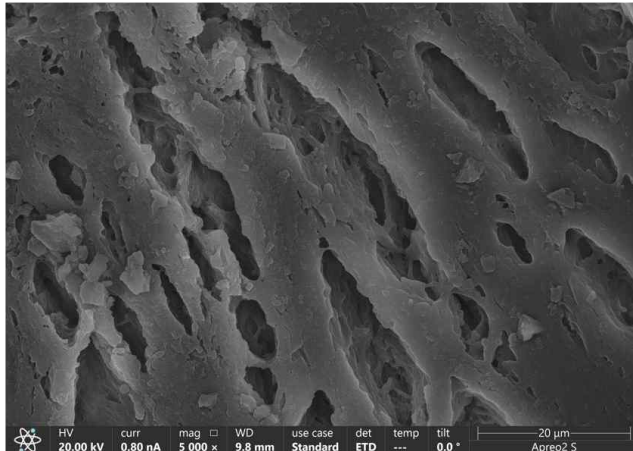


Fig. 172. H_3PO_4 활성화 biochar의 SEM 결과.

1000 X

5000 X

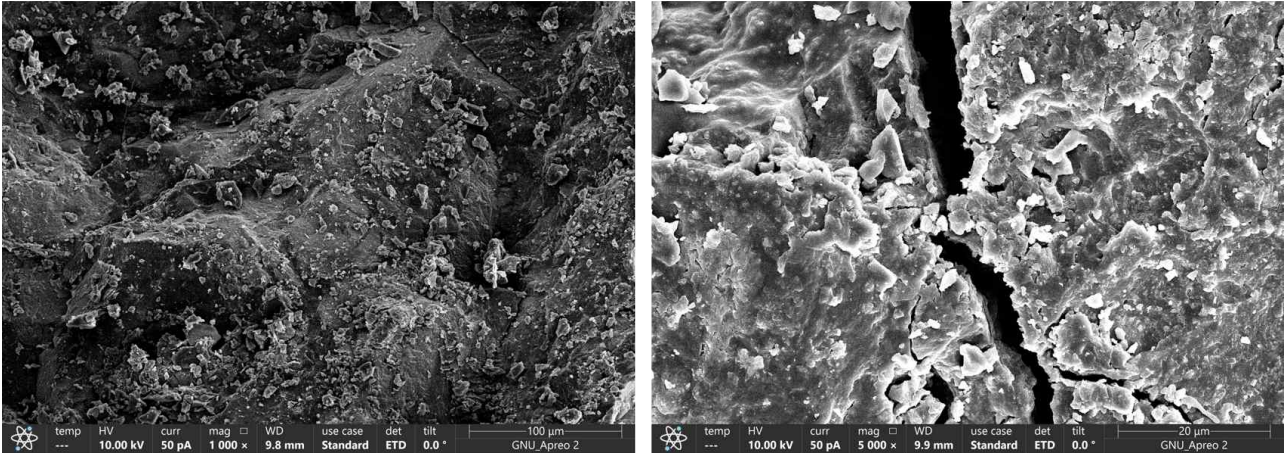


Fig. 173. 활성화하지 않은 RACS-BC SEM 결과.

염기 활성화된 biochar의 BET 측정 결과 각각 9.01 및 17.07 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 의 BET 비표면적 수치를 보였는데, 이는 낮은 비표면적으로 BET 비표면적이 측정되지 않았던 기존 가축사체 biochar에 비해 비표면적과 공극의 활성화가 잘 된 것으로 확인된다. NaOH보다 KOH로 활성화한 biochar의 비표면적 증가량이 더 컸는데, 이는 Gibbs free energy가 0보다 작아지는 지점 ($\Delta G^\circ < 0$)이 KOH가 NaOH보다 작아 나타나는 특징인 것으로 판단된다. 산성 활성화 biochar의 BET 측정 결과 BET 비표면적이 측정될 정도로 활성화가 이루어졌으나, H_2SO_4 와 H_3PO_4 가 각각 0.45 및 0.67 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ 로 낮은 수치를 나타내었다. 이를 통해 화학적 활성화를 통한 biochar의 비표면적 특성의 개선은 염기 활성화가 산성 활성화보다 효과가 높은 것으로 확인되었다.

Table 79. RACS-BC의 활성화에 따른 BET 측정 결과.

Sample	Single point surface area	BET surface area
	$\text{m}^2 \text{g}^{-1}$	
RACS-BC	ND	ND
Activated RACS-BC	NaOH	9.01
	KOH	17.07
	H_3PO_4	0.45
	H_2SO_4	0.67

Fig. 174는 활성 전의 RACS-BC와 비교하여 활성화제에 따른 biochar의 표면 관능기 변화를 FT-IR로 분석한 결과이다. 우선 RACS-BC와 활성화 처리를 한 biochar의 작용기는 대체로 유사한 것으로 나타났으나, 활성화제의 종류에 따라 peak이 감소하거나 완만해지는 변화가 관찰되었다. 일반적으로 biochar를 활성화하기 위해서는 고온에서 열처리를 진행하는데 이 과정에서 휘발성 물질의 휘발로 인해 작용기의 감소가 일어났을 것이라 판단된다. RACS-BC와 NaOH, KOH, H₂SO₄ 및 H₃PO₄ 활성화 biochar는 2920 cm⁻¹에서 C-H stretching, 1630 cm⁻¹에서 C=C stretching이 발견되었고 활성화제의 종류에 따라 peak의 강세가 변하는 것을 확인하였다. 활성화제를 처리할 때 수용액 상태의 약품을 biochar와 반응하게 되는데 물 분자 사이의 수소 가교 작용(Hydrogen-bridging)으로 인해 3400 cm⁻¹에서 Hydroxyl group의 넓은 O-H stretching이 발견되는 것으로 판단된다. 활성 전의 RACS-BC는 1410 cm⁻¹에서 C-N stretching과 2850 cm⁻¹에서 NH₄⁺ stretching이 발견되었으나 활성화된 biochar의 경우 해당 peak들이 감소하는 것을 확인하였다. RACS-BC에서 이들 peak이 나타나는 것은 단백질을 다량 함유하는 랜더링 가축사체 고형물의 원료 특성에 의한 것인데, RACS-BC를 활성화제와 반응을 하게 되면 단백질 성분에 의해 형성된 관능기가 유실되어 활성화된 biochar에서 해당 peak의 약세가 나타나는 것으로 판단된다. RACS-BC 및 염기 활성화제를 처리한 biochar의 경우 870 cm⁻¹에서 C-O stretching이 존재하였으나, 산 활성화제를 처리함에 따라 해당 peak의 약세가 확인되었다.

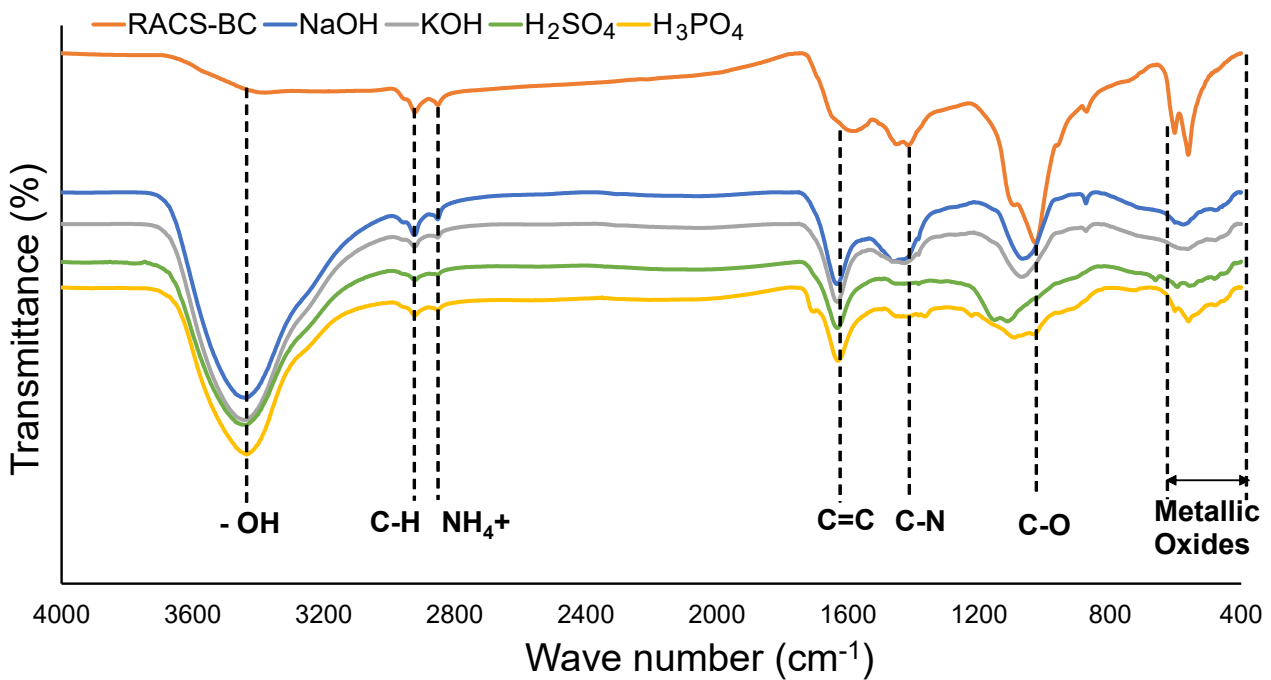


Fig. 174. Biochar의 활성화 종류에 따른 FT-IR 결과.

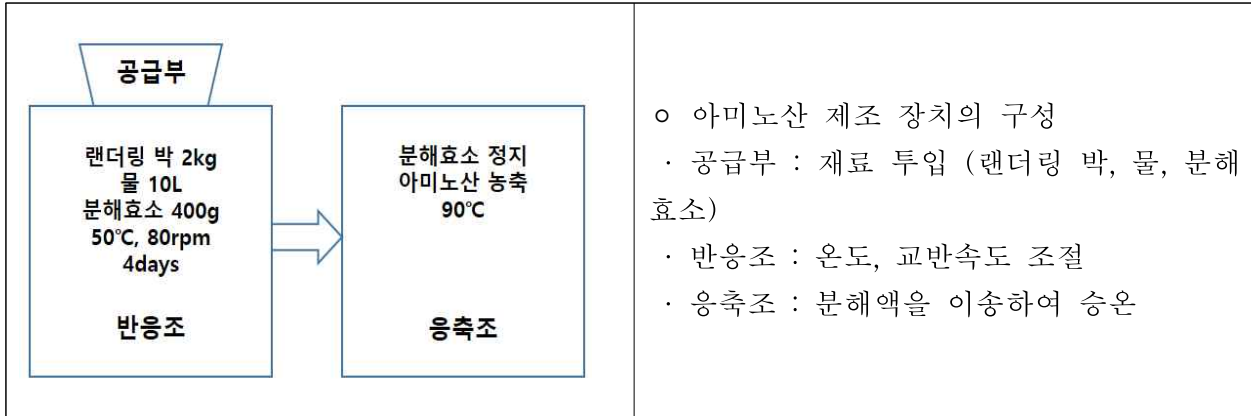
다. 아미노산 액비 제조장치 및 바이오차 제조장치 시험 운전

1) 아미노산 액비 제조장치 시험운전

가) 아미노산 액비 제조장치 작동원리 습득

(1) 아미노산 액비 제조장치의 작동원리 및 운전조건 습득

아미노산 액비 제조장치의 기본적인 구성과 각 구성의 기능에 대해 이해하고 숙지하였다.



(2) 아미노산 액비 제조장치의 구성 및 동작 원리 습득

아미노산 액비 제조장치는 분해효소를 사용하는 생물학적 공정을 적용하고 있기 때문에 다음의 사항에 유의해야 한다.

· 재료와 분해효소 투입 비율	재료와 분해효소 투입 비율에 따라 반응시간, 단백질 분해효율 등이 변화로 제품품질 변화에 주의해야함
· 반응조의 적정 온도 유지	효소는 적정 온도 범위를 벗어나면 변성되며, 일단 변성된 효소는 재생될 수 없음을 숙지
· 반응시간의 준수	실험실에서 확인된 최적 반응시간을 준수해야 한다. 생물학적 반응을 농도나 처리량을 임의로 변경하여 촉진할 수 없음을 숙지
· 오염 주의	산 또는 알칼리 분해와 달리 효소반응을 통해 제조되기 때문에 재료의 투입 과정과 반응조 내에서 반응하는 동안 불필요한 오염이 없도록 주의해야 함

(3) 아미노산 액비 제조장치의 부대장치 보완

- 반응조로부터 응축조로의 용액 이송 단계에서 펌프 용량과 이송관 보완
- 온도 센서의 위치 조정

2) 랜더링 가축사체 전용 바이오차 제조장치 시험 운전

가) 바이오차 제조장치 작동원리 습득

(1) 바이오차 제조장치의 작동원리 및 운전조건 습득

바이오차 제조장치는 1단 연속제조시스템으로 만들어졌으며, 원료주입구, 가열부, 가스포집부 및 제품 탱크로 구성되어 있다.

(가) 원료주입구

- 원료 유입 입구와 유출 입구를 제외한 전 공정이 밀폐되도록 하여 열 손실이 발생하지 않

도록 설계

- 원료주입구로 주입된 원료는 분쇄과정을 거친 후 가열부로 이동

(나) 가열부

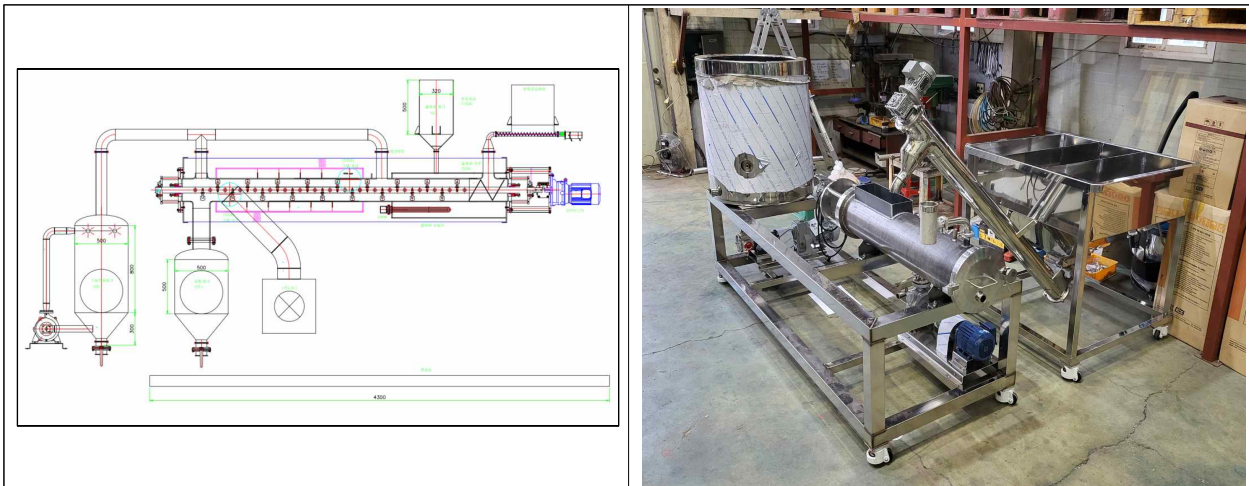
- 회전하는 이송 스크롤을 따라 분쇄된 원료가 이동
- 원통형의 큰 단열재 중앙에 위치
- 공정온도 120℃로 설정된 구간과 열분해 공정온도 350℃로 설정된 두 구간으로 구성
- 각 구간을 지나게 되면서 랜더링과 열분해가 순차적으로 일어날 수 있도록 설계
- 각 구간은 열매체의 전달을 위한 가열재킷이 회전식 이송 스크롤 외부를 감싸고 있으며 랜더링 구간의 열매체는 보일러의 증기, 열분해 구간의 열매체는 LPG 버너를 사용하도록 설계

(다) 가스 포집부

- 가열부 각 구간 종점에는 에어벤트를 설치하여 각 구간에서 발생하는 기체를 흡입할 수 있도록 설계
- 흡입된 가스는 기체액화탱크에 포집하여 사용할 수 있도록 설계

(라) 제품 탱크

- 가열부를 지나 biochar 제조가 완료되면 중력을 이용하여 제품 탱크에 낙하하도록 설계



(2) 바이오차 제조장치의 구성 및 동작 원리 습득

바이오차 제조장치는 탄화 공정을 적용하고 있기 때문에 다음의 사항에 유의해야 한다.

· 온도 관리	제조장치의 온도 구간이 구분되어 설정되어 있음을 숙지
· 화재 주의	탄화구간은 산소를 차단하고 가열하는 구간이기 때문에 외부 공기가 들어가지 않도록 장치 관리를 해야됨을 숙지
· 흡입가스 포집	포집되는 가스는 액화되어야 압력 발생에 의한 문제와 악취 문제를 해결할 수 있음을 이해하고, 액화되는 상태가 잘 관리되어야 함을 숙지

(3) 바이오차 제조장치의 부대장치 보완

- 가열부의 탄화구간 산소 유입을 검출할 수 있는 부대장치 또는 확인 방법 보완
- 탄화 과정 중에 재료의 뭉침을 해소할 수 있는 부대장치 보완

3. 랜더링 가축사체 잔여물의 친환경 업사이클링을 위한 친환경 시스템의 실용화

가. 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 효율성 평가

1) 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 현장 설치 및 지도

가) 랜더링 전문 업체에 scale-up된 아미노산 액비 제조시스템 설치

참여기관인 (주)엑시엄우드에 scale-up된 아미노산 액비 제조시스템이 설치된 모습 및 제조시스템의 측면도 및 평면도는 Fig. 175~176에서 보는 바와 같다. scale-up된 아미노산 액비 제조시스템의 발효조 300 L로 용량이 증가하였으며, 2년차에 제조한 아미노산 액비제조 시스템의 발효조와 유사하게 장비의 위에 교반모터를 설치하였으며, 발효조에 필요한 히터 및 온도 및 교반 제어장치가 설치되었다. 또한 하부에 출수구를 설치하였고, 발효조 하부를 높일 수 있도록 다리를 설치하여 생산된 아미노산 액비를 효과적으로 받을 수 있도록 하였다. 2차년도와 다르게 scale-up된 장비의 경우, 300 L 용량으로 장비의 부하 및 제품생산에 안전성을 높이기 위하여 바퀴 및 운반손잡이를 제거하여 지면에 고정되도록 하였다.



Fig. 175. 현장에 설치된 랜더링 가축사체 전용 아미노산 액비 제조장치.

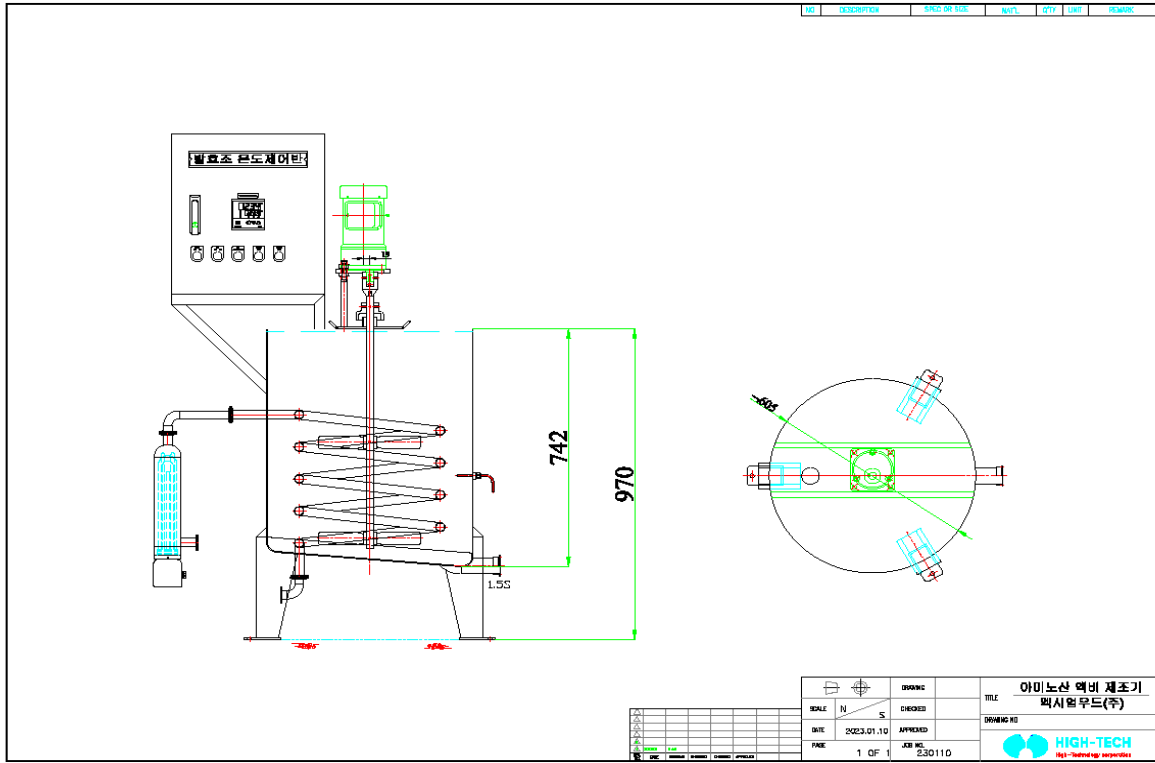


Fig. 176. 가축사체 잔여물 아미노산 액비제조장치 (측면도 및 평면도).

나) Scale-up된 아미노산 액비 제조시스템의 시운전

제작된 Scale-up된 아미노산 액비 제조시스템은 실제 가동 전에 물을 투입하여 교반여부, 교반효율, 온도 설정 여부를 확인하였으며, 이후 공급받은 가축사체 랜더링 잔여물과 효소를 처리하여 시운전을 실시하였다.

2) Scale-up된 아미노산 액비 제조 시스템에서 제공된 액비의 품질 특성

가) 현장에서 제공된 아미노산 액비의 품질 분석

현장에서 제공된 아미노산 액비의 품질 분석을 진행한 결과, 검사한 잔류농약 463종 성분, 병원성 미생물 (병원성 대장균, 병원성 살모넬라, 황색포도상구균, 리스테리아 모노사이토제네스, 바실러스 세레우스), 향생물질 (아미노클리코시드계, 베타락탐계, 마크로라이드계, 설파계, 테트라사이클린계)의 경우 모두 불검출되었으며, 아미노산 액비의 주성분 함량은 Table 80에서 보는 바와 같다. 아미노산 액비는 92%의 수분으로 구성되었으며, 유기물 함량은 7.30%, 질소전량, 수용성 인산, 수용성 칼리의 경우 각각 1.26, 0.12, 0.17%로 조사되었다. 수용성 망간 및 수용성 붕소와 규산의 경우 해당 아미노산 액비에서는 불검출되었다.

현장에서 제공된 아미노산 액비의 유해성분 함량은 Table 81에서 보는 바와 같다. 유해성분 중 납의 함량이 4.33 mg kg^{-1} 으로 가장 높았으며, 비소, 구리, 니켈, 아연이 각각 0.26, 1.16, 0.13 및 4.12 mg kg^{-1} 으로 조사되었다. 검출된 유해원소는 비료공정규격에 초과되지 않은 범위로 검출되었으며, 카드뮴, 수은 및 크롬의 경우 아미노산 액비에서 검출되지 않았다.

Table 80. 현장에서 제공된 아미노산 액비의 주성분 함량

분석항목	분석결과 (%)
질소전량	1.26
수용성인산	0.12
수용성칼리	0.17
수용성고토	0.015
수용성망간	불검출
수용성붕소	불검출
수용성철	0.0013
수용성몰리브덴	불검출
수용성석회	0.033
수용성규산	불검출
유기물	7.30
수분	92.09

Table 81. 현장에서 제공된 아미노산 액비의 유해성분 함량

분석항목	규격	분석결과
	----- (mg/kg) -----	
비소(As)	20 이하	0.26
카드뮴(Cd)	2 이하	불검출
수은(Hg)	1 이하	불검출
납(Pb)	50 이하	4.33
크롬(Cr)	90 이하	불검출
구리(Cu)	120 이하	1.16
니켈(Ni)	20 이하	0.13
아연(Zn)	400 이하	4.12



















나) 현장에서 제공된 아미노산 액비 유작물 비해 시험

아미노산 액비의 비해시험 결과, 기준량구인 아미노산 액비 1,000배 희석액과 2배량구를 5작물에 엽면시비하여 재배하였으며, 7일간 총 3회에 걸쳐 비해시험을 진행하였으나, 비료로 인한 피해는 발견되지 않았으며, 무처리구와 비교하였을 때에도 비료피해로 판단될만한 증상이 나타나지 않았다. 이에 현장에서 제공된 아미노산 액비는 유기농업 공시기준에 적합한 것으로 판단된다.













Table 82. 현장에서 제공된 아미노산 액비 엽면시비 후 비해시험 결과

작물품종	처리내용	비료피해			비료피해증상
		3일	5일	7일	
고추	무처리	0	0	0	-
	기준량	0	0	0	없음
	2배량	0	0	0	없음
대파	무처리	0	0	0	-
	기준량	0	0	0	없음
	2배량	0	0	0	없음
배추	무처리	0	0	0	-
	기준량	0	0	0	없음
	2배량	0	0	0	없음
시금치	무처리	0	0	0	-
	기준량	0	0	0	없음
	2배량	0	0	0	없음
양배추	무처리	0	0	0	-
	기준량	0	0	0	없음
	2배량	0	0	0	없음



















○ 엽면시비 3일 후(2023.10.27.) 작물 사진(계속)

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
고추			
			
대파			
			
배추			
			













○ 엽면시비 3일 후(2023.10.27.) 작물 사진

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
시금치			
			
양배추			
			

○ 엽면시비 5일 후(2023.10.29.) 작물 사진(계속)

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
고추			
			
대파			
			
배추			
			

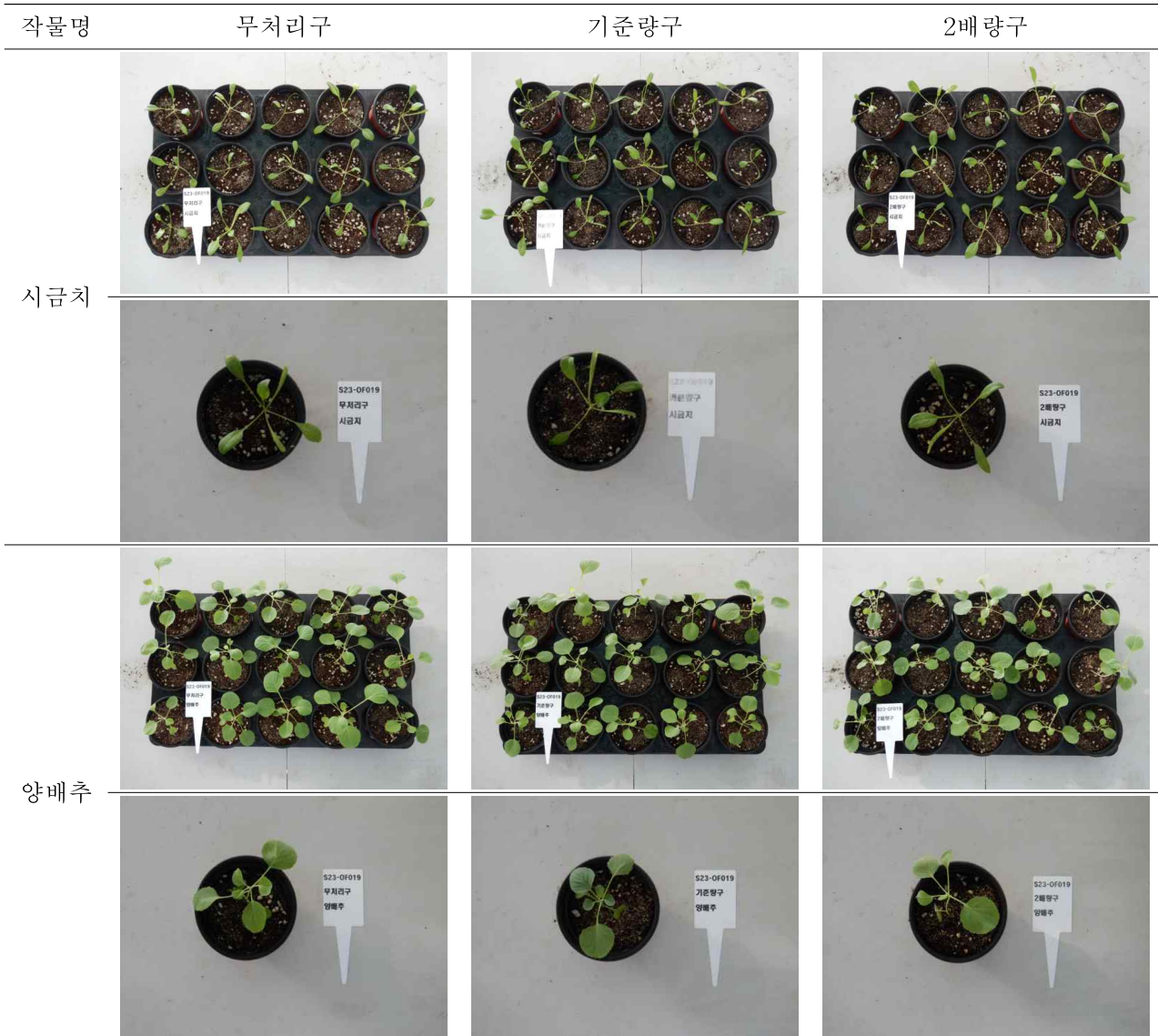
○ 엽면시비 5일 후(2023.10.29.) 작물 사진

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
시금치			
			
양배추			
			

○ 엽면시비 7일 후(2023.10.31.) 작물 사진(계속)

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
고추			
대파			
배추			

○ 엽면시비 7일 후(2023.10.31.) 작물 사진



3) 현장에서 제조된 아미노산 액비의 작물재배 시험

가) 아미노산 액비 시용이 다른 작물의 유형별 생육 특성 평가

(1) 수도작물

현장에서 제조된 아미노산 액비의 시용에 따른 벼의 생육 특성을 조사한 결과는 Table 83에서 보는 바와 같다. 식물체의 간장 및 수장의 경우 65.8 ~ 66.3 및 20.3 ~ 21.5 cm plant⁻¹범위로 조사되었다. 식물체의 경우 시판액비 및 랜더링액비 처리에 따른 수도작물인 벼의 생육에 유의한 차이를 보이지 않았다. 벼의 총립수는 시판액비와 랜더링액비 처리에서 각각 78.7 및 77.1개로 무처리구 및 무기질비료 처리구와 비교하였을 때, 액비처리를 통해 총립수가 증가한 것으로 조사되었다. 랜더링 액비처리 후 등숙률을 확인한 결과로 무기질 비료처리와 시판액비 처리구에서 약 96%로 등숙률이 증가하였으나, 랜더링 액비처리시 94.6%로 랜더링 액비처리가 등숙률 개선에는 큰 효과를 보이지 않았다. 벼의 천립중은 무처리구, 무기질 비료처리구, 시판액비 및 랜더링 액비처리구에서 각각 25.6, 26.2, 27.1 및 26.7 g으로 조사되었다.

Table 83. 아미노산 액비 처리에 따른 벼 생육 특성

Treatment	Culm length (cm plant ⁻¹)	Panicle length (cm plant ⁻¹)	No. grain per panicle (ea)	Ripened grains (%)	1000 grain weight (g)
Cn	65.8	20.3	74.3	94.2	25.6
IF	66.2	21.5	75.7	96.4	26.2
시판액비	66.3	21.1	78.7	96.3	27.1
랜더링액비	66.2	21.3	77.1	94.6	26.7

(2) 엽채류

아미노산 액비 처리에 따른 상추 생육 특성은 생중량, 엽장, 엽폭 및 엽색도 조사를 진행하였으며, Table 84와 같다. 지상부와 지하부의 생중량은 처리조건에 상관없이 각각 26.3 ~ 27.4 g plant⁻¹ 및 5.56 ~ 6.46 g plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 지상부 및 지하부 모두 랜더링 액비 처리에서 생중량이 가장 높게 조사되었다. 엽장 및 엽폭의 경우 각각 25.4 ~ 26.5 cm plant⁻¹ 및 8.97 ~ 10.0 cm plant⁻¹ 범위로 조사되었으며, 엽장과 엽폭의 경우에 랜더링 액비 및 시판액비 처리에 따른 상추의 생육 효과를 보이지 않았다. 엽색도의 경우, 무처리구에서 34.4 로 조사되었으며, 시판액비 및 랜더링액비에서 각각 35.8 및 35.7 로 액비처리로 인하여 엽색도가 개선된 것으로 판단된다.

Table 84. 아미노산 액비 처리에 따른 상추 생육 특성

Treatment	Fresh weight		Leaf length (cm plant ⁻¹)	Leaf width (cm plant ⁻¹)	Leaf color
	Leaf (g plant ⁻¹)	Root (g plant ⁻¹)			
Cn	26.3	5.56	26.0	10.0	34.4
IF	27.0	6.05	26.5	9.60	34.8
시판액비	26.7	5.56	25.5	8.97	35.8
랜더링액비	27.4	6.46	25.4	9.06	35.7

(3) 연속수확작물

아미노산 액비 처리에 따른 토마토 생육 특성은 Table 85에서 보는 바와 같이 식물체 길이, 토마토 열매의 생중량, 둘레 및 당도를 조사하였다. 식물체 길이는 178.1 ~ 181.2 cm plant⁻¹ 범위였으며, 시판 액비와 랜더링 액비 처리에 따른 식물 생육의 차이는 나타나지 않았다. 열매의 생중량은 시판 액비와 랜더링 액비에서 각각 170.1 및 171.6 g plant⁻¹이었으며, 둘레의 경우 각각 24.5 및 25.1 g plant⁻¹으로 관행처리구인 IF와 비교하였을 때, 액비처리에 따른 열매의 생육은 증가한 것으로 조사되었다. 당도의 경우, IF에서 6.55 brix%로 무처리구와 큰 차이가 없었으며, 액비를 처리하였을 때, 7.21 및 7.37 brix%로 당도가 크게 개선되는 것으로 조사되었다. 랜더링 액비는 시판되는 아미노산보다 열매의 생육 측면에서 개선되는 효과가 더 높은 것으로 보여진다.

Table 85. 아미노산 액비 처리에 따른 토마토 생육 특성

Treatment	Plant Height (cm plant ⁻¹)	Fresh weight (g plant ⁻¹)	Fruit Perimeter (cm plant ⁻¹)	Sugar content (Brix %)
Cn	178.1	157.7	22.1	6.45
IF	181.2	168.0	24.8	6.55
시판액비	180.1	170.1	24.5	7.21
랜더링액비	180.7	171.6	25.1	7.37

나) 아미노산 액비 시용에 따른 작물의 유형별 품질 특성 평가

(1) 수도작물

아미노산 액비의 처리별 벼의 무기성분 함량을 분석한 결과는 Table 86과 같다. 벼 알곡의 아미노산 함량은 무처리구에 비해 모든 처리구에서 증가하였으며, 시판되는 아미노산 액비와 랜더링 아미노산 액비에서 아미노산 함량이 증가하였으며, 랜더링 아미노산 액비가 기존 시판 액비보다 아미노산 함량 증가에 더 높은 효과를 보였다. 총질소 T-N의 함량은 0.52 ~ 0.72%범위로 조사되었으며, 아미노산 함량과 유사한 결과를 보였다. 이는 아미노산 흡수 증가로 질소의 함량이 증가하였을 것으로 판단된다. 총인의 경우, 무처리구 대비 약 0.04% 증가하였으나 아미노산 액비 처리에 의해 인이 증가하지 않았으며, 액비가 벼의 총인 함량에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보여진다.

Table 86. 수확 후 벼의 무기성분 함량

Treatment	Amino acid	T-N	T-P	K ₂ O
----- (%) -----				
Cn	0.61	0.52	0.19	1.11
IF	1.20	0.67	0.23	1.24
시판액비	1.83	0.72	0.23	1.55
랜더링액비	2.01	0.71	0.22	1.61

(2) 엽채류

아미노산 액비의 처리별 상추의 무기성분 함량을 분석한 결과는 Table 87과 같다. 수확 후 상추의 아미노산 함량은 무처리구 대비 54~69% 증가하였으며, 랜더링 아미노산 액비가 3.42%로 아미노산 함량이 가장 높게 조사되었다. T-N 함량은 아미노산 함량과 유사한 결과를 나타냈으며, 아미노산 및 총질소 함량은 수도작물보다 엽채류 작물에서 함량 증가에 효과적인 것으로 보여진다. 이는 아미노산 액비 엽면시비에서 엽채류작물이 벼과작물보다 넓은 엽면적으로 인한 아미노산 액비의 접촉면 증가가 영향을 준 것으로 보여지며, 아미노산 액비가 작물의 아미노산과 총질소 흡수에 효과가 높은 것으로 볼 수 있다. 총인의 경우 0.17 ~ 0.26% 범위로 조사되었다.

Table 87. 수확 후 상추의 무기성분 함량

Treatment	Amino acid	T-N	T-P	K ₂ O
	----- (%) -----			
Cn	2.02	2.41	0.17	1.19
IF	3.21	2.72	0.23	1.35
시판액비	3.11	2.62	0.19	1.21
랜더링액비	3.42	2.74	0.26	1.20

(3) 연속수확작물

아미노산 액비의 처리별 토마토의 무기성분 함량을 분석한 결과는 Table 88과 같다. 토마토의 경우 열매의 성분을 분석하였으며, 아미노산 함량은 랜더링 액비에서 3.34%로 무처리와 관행처리구보다 아미노산 함량이 1.9% 및 0.8% 증가하였다. 총질소는 1.09 ~ 1.55% 범위였으며, 시판액비 및 랜더링 액비 처리로 인하여 증가한 것으로 조사되었다. 총인 및 칼륨의 경우, 0.06 ~ 0.07% 및 0.61 ~ 0.77% 범위로 무처리구에 비해 액비처리구에서 증가하였으나, 관행처리구와 비교하였을 때, 유의한 증가를 보이지 않은 것으로 조사되었다.

Table 88. 수확 후 토마토 열매의 무기성분 함량

Treatment	Amino acid	T-N	T-P	K ₂ O
	----- (%) -----			
Cn	1.44	1.09	0.06	0.61
IF	2.54	1.48	0.07	0.73
시판액비	3.11	1.52	0.07	0.71
랜더링액비	3.34	1.55	0.07	0.77

다) 아미노산 액비 시용에 따른 토양질 개선 효과 구명

(1) 화학적 특성 변화

아미노산 액비 시용에 따른 작물별 토양의 화학적 특성은 Table 89와 같다. 벼 재배 토양의 pH는 5.6~5.8 범위로 조사되었으며, EC, OM, Av. P₂O₅는 각각 0.32~0.53 dS m⁻¹, 32.8~33.5 g kg⁻¹, 25.1~34.8 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 토양의 교환성 양이온 함량은 무처리, 무기비료, 시판액비, 랜더링 액비처리구에서 각각 8.79, 10.4, 10.0 및 11.1 cmol_c kg⁻¹으로 조사되었다. 상추 재배토양의 pH는 평균 5.37이었으며, EC는 0.47 dS m⁻¹으로 조사되었다. 그 밖에 처리조건에 상관없이 토양의 유기물, K, Ca, Mg의 평균 함량은 각각 25.3 g kg⁻¹, 2.89, 0.57 및 0.89 cmol_c kg⁻¹으로 조사되었다. 토마토 토양의 pH 및 EC는 각각 7.04 ~ 7.15 및 5.01 ~ 6.56 dS m⁻¹범위로 조사되었으며, OM, Av.P₂O₅는 각각 76.8 ~ 80.1 g kg⁻¹, 100.2 ~ 128.1 mg kg⁻¹ 범위였고 Ca, K, Mg는 각각 14.6 ~ 15.3, 3.84 ~ 4.01 및 6.21 ~ 6.34 cmol_c kg⁻¹으로 조사되었다. 토마토 재배 토양의 경우, 무처리구에 비해 모든 부분에서 함량이 증가하였으며, 액비처리구는 관행처리와 큰 차이를 보이지 않았다. 논토양과 밭토양 등의 토양조건에 상관없이 아미노산 액비 처리에 의한 토양의 화학성 변화는 관찰되지 않았으며, 이는 아미노산 액비처리시 엽면시비를 통한 처리가 작물 재배 토양의 화학성에 큰 영향을 주지 않는 것으로 보여진다.

Table 89. 아미노산 액비 시용에 따른 작물별 토양 화학적 특성

Treatment		pH	EC	OM	Av. P ₂ O ₅	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
		(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	Ca	K	Mg	CEC
벼	Cn	5.6	0.37	32.8	34.8	6.55	0.18	1.60	8.79
	IF	5.7	0.32	33.5	25.1	8.17	0.19	1.86	10.4
	시판액비	5.8	0.41	32.4	27.6	7.90	0.23	1.68	10.0
	랜더링액비	5.8	0.53	32.1	27.6	8.97	0.26	1.65	11.1
상추	Cn	5.51	0.40	25.1	62.9	2.56	0.58	0.80	9.01
	IF	5.18	0.53	25.5	63.0	3.40	0.65	0.96	10.9
	시판액비	5.35	0.47	25.2	64.2	2.78	0.50	0.91	9.92
	랜더링액비	5.43	0.48	25.5	63.8	2.83	0.53	0.90	10.1
토마토	Cn	7.04	5.01	76.8	100.2	14.6	3.99	6.22	23.1
	IF	7.15	6.56	80.1	128.1	15.1	3.84	6.34	24.7
	시판액비	7.12	6.49	79.4	123.7	15.3	4.01	6.21	24.8
	랜더링액비	7.15	6.54	78.3	124.2	15.3	3.92	6.34	24.5

(2) 유해물질 특성 평가

아미노산 액비 시용에 따른 토양의 유해물질인 중금속 함량은 Table 90에서 보는 바와 같다. 벼 재배 논토양의 As, Cd, Cr 및 Pb는 각각 1.01~1.22, 0.11~0.14, 0.51~0.86 및 4.33~4.55 mg kg⁻¹으로 조사되었으며, 상추 재배 밭토양의 As, Cd, Cr 및 Pb는 각각 10.1~14.5, 0.00~0.11, 5.11~12.2 및 14.1~15.2 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 토마토 재배의 경우 Cd는 검출되지 않았으며, As, Cr 및 Pb는 각각 3.08 ~ 10.1, 0.02 ~ 0.03 및 37.0 ~ 38.3 mg kg⁻¹ 범위로 조사되었다. 토양의 화학적 특성과 동일하게 아미노산 액비 시용이 작물 재배지 토양별 중금속 함량 변화에 큰 영향을 주지 않는 것으로 보여지며, 엽면시비를 통한 아미노산 액비 처리가 토양 변화에 안정성이 있는 비료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 90. 아미노산 액비 시용에 따른 작물별 토양 유해물질 함량

Treatment		As	Cd	Cr	Pb
		----- (mg kg ⁻¹) -----			
벼	Cn	1.01	0.12	0.51	4.54
	IF	1.22	0.11	0.86	4.33
	시판액비	1.14	0.14	0.54	4.47
	랜더링액비	1.09	0.12	0.58	4.55
상추	Cn	10.1	0.10	12.2	14.1
	IF	14.5	0.11	9.44	15.2
	시판액비	13.5	0.08	8.25	14.7
	랜더링액비	14.1	ND	5.11	14.2
토마토	Cn	3.08	ND	0.02	38.3
	IF	10.1	ND	0.02	37.2
	시판액비	9.11	ND	0.03	37.0
	랜더링액비	9.45	ND	0.03	37.5

라) 제조된 아미노산 액비의 경제성 평가

폐사가축은 질병, 환경적요인 등으로 인해 매년 꾸준히 발생이 되며, 육류소비증가로 인하여 사육수두가 증가함에 따라 폐사가축 발생량은 지속적으로 증가할 것으로 보여진다. 이에 가축사체 랜더링 처리를 통해 발생하는 잔여물을 이용한 아미노산 액비 제조시스템의 개발을 통해 아미노산 액비의 제품화, 사업화 및 상용화 방향으로 이어질 수 있을 것이며, 아미노산 액비를 작물에 처리 후 식품 또는 단순 가공제품으로 판매가 가능할 것으로 판단된다. 최근 들어 소비자의 안전 농산물에 대한 관심의 증가됨에 따라 본 연구로 개발된 아미노산 액비가 당도 등 품질개선과 친환경 유기농자재 인증이 고품질의 친환경 농산물생산에 영향을 주어 경제적 이점을 차지할 것으로 판단된다.

마) 작물의 유형별 아미노산 비료 시용 매뉴얼 개발

(1) 벼

○ 아미노산 액비 시용량

- 아미노산 액비 시용량은 무기질 비료 처리를 기준으로 설정한다.
- 무기질 비료 시용량 N-P-K = 9.0-4.5-8.7 kg 10a⁻¹
- 아미노산 액비의 시용량은 개발된 원액을 기준으로 1000배 희석하여 10a 당 1000 ~ 2000 L를 사용한다.

○ 아미노산 액비 시용시기 및 시용방법

- 아미노산 액비는 벼에 살포 전 병원성 미생물 검사를 실시한다.
- 수도작물에 경우, 상시담수로 인하여 엽면살포를 실시한다.
- 벼과작물, 단자엽식물은 초기생육단계에서는 잎의 면적이 작아 엽면살포를 피하며, 분얼기 이후와 같이 잎의 면적이 어느정도 넓어진 상태를 기준으로하여 엽면살포를 실시한다.

(2) 상추

○ 아미노산 액비 시용량

- 아미노산 액비 시용량은 무기질 비료 처리를 기준으로 설정한다.

- 무기질 비료 사용량 N-P-K = 22.6-10.6-11.9 kg 10a⁻¹
- 아미노산 액비의 사용량은 개발된 원액을 기준으로 1000배 희석하여 10a 당 500 ~ 1000L 를 사용한다.
- 아미노산 액비 사용시기 및 사용방법
 - 아미노산 액비는 상추에 살포 전 병원성 미생물 검사를 실시한다.
 - 아미노산 액비는 상추 이식 후 엽면살포 또는 농경지 전면에 균일하게 살포한다.
 - 상추의 경우에 이식 후 생육 기간동안 월 2회 또는 주 1회로 지속적으로 살포하는 것이 효과적이며, 경제성이 고려된다면 이식 후 5엽기 이후 엽면적이 증가한 이후 살포하는 것이 효과적이다.

(3) 토마토

- 아미노산 액비 사용량
 - 아미노산 액비 사용량은 무기질 비료 처리를 기준으로 설정한다.
 - 무기질 비료 사용량 N-P-K = 7.0-3.0-3.6 kg 10a⁻¹
 - 아미노산 액비의 사용량은 개발된 원액을 기준으로 1000배 희석하여 10a 당 1000 ~ 2000 L를 일반적으로 사용할 수 있으며, 당도를 높이기 위해선 500배 희석하여 사용한다.
- 아미노산 액비 사용시기 및 사용방법
 - 아미노산 액비는 토마토에 살포 전 병원성 미생물 검사를 실시한다.
 - 아미노산 액비는 토마토 정식 후 엽면살포 또는 농경지 전면에 균일하게 살포한다.
 - 아미노산 액비는 정식 후 개화시기부터 월 2~4회 엽면살포하는 것이 가장 효과적이다.

4) 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 품질인증

가) 가축사체 잔여물 아미노산 액비 제조기술에 대한 지식재산권 확보

본 연구에서 가축사체 잔여물 아미노산 액비 제조기술에 대한 지식재산권 확보는 연구를 통해 조사된 결과가 모두 정리되어 이를 통해 특허출원을 진행할 예정이다.

나) 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 친환경 유기 농자재 인증 획득

본 연구에서 최종적으로 제품화될 가축사체 잔여물 아미노산 액비에 대한 품질 공인성정서와 비해시험 결과를 통해 「친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률」 제38조제2항 및 「농림축산식품부 소관 친환경농어업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 관한 법률 시행규칙」 제63조제3항에 따라 유기농업자재 인증을 받아 친환경 비료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

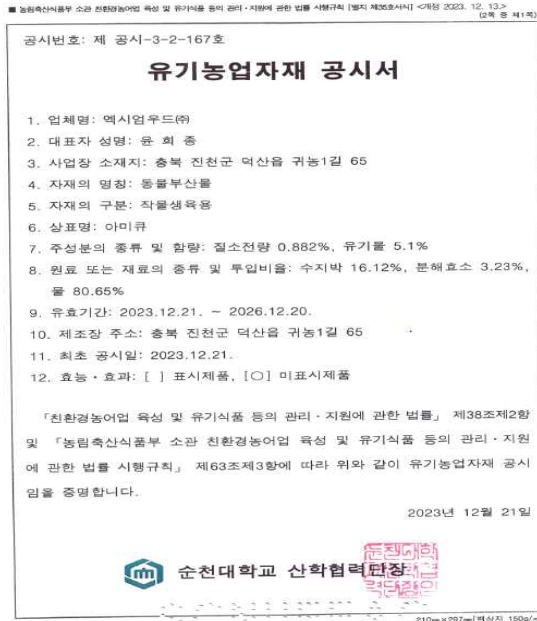


Fig. 177. 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 유기농업자재 공시서.

다) 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 제조 및 적용기술에 대한 논문 게재

본 연구를 통하여 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 제조 및 적용기술이 작물 생육에 미치는 영향에 대한 조사를 실시하였으며, 국내학술지에 논문을 게재하였다. 추가적으로 가축사체 랜더링 잔여물의 적용시 작물의 생육과 환경에 미치는 영향을 조사하였으며, 그 결과를 활용하여 국내학술지에 논문을 게재함으로써 랜더링 잔여물의 문제와 아미노산 액비 및 바이오차로 활용되어야 하는 당위성을 제시하여 본 연구의 필요성을 높였다. 본 연구에 기반한 논문이 국제저명학술지에 게재되었으나, 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 제조 및 적용기술에 대한 국제저명학술지 논문 게재에 대한 부분이 다소 지연되었다. 따라서, 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 제조 및 적용기술에 대한 연구결과가 모두 정리되어 여러 편의 논문을 작성하고 있으며, 종합적인 내용에 대해 국제저명학술지에 논문을 투고할 예정이다.

라) 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 품질검사 체계확립

본 연구에서 최종 개발된 가축사체 잔여물 아미노산 액비의 품질검사 및 관리의 경우 원료에 대한 품질관리 내용과 제품에 대한 품질관리 내용이 들어가야하며, 원료 및 제품의 품질보증을 위해서 품질검사 시행인력, 시설 및 장비, 품질 검사 항목 및 검사유효기간을 설정하여 아미노산 액비의 품질검사체계를 확립하고자 한다.

(1) 원료에 대한 품질관리 내용

- 품질 검사 항목 : 주성분, 유해성분
- 시험기관 : 유기농업자재 시험기관
- 품질관리 횟수 : 원료 입고시

(2) 제품에 대한 품질관리 내용

- 품질검사 항목 : 주성분, 유해중금속, 잔류농약, 항생물질, 병원성미생물
- 시험기관 : 유기농업자재 시험기관
- 품질관리 횟수 : 1회/년 또는 제품 생산시

나. 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar의 제조시스템 효율성 평가

1) 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar제조 시스템의 현장 설치 및 지도

가) 랜더링 전문업체에 가축사체 잔여물의 전용 biochar제조 시스템의 설치

현장 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조 장치는 가축사체 잔여물을 열분해할 때 발생하는 유지 및 syngas에 의한 문제를 최소화하기 위한 구조로 설계되었으며 설계 전면도, 측면도 및 평면도는 Fig. 178~179와 같다.

제작된 가축사체 전용 장치의 실사는 Fig. 180~182와 같다. 최상부에는 원료 호퍼가 위치하도록 하였는데, 이는 제조과정에서의 불필요한 전력 낭비를 줄이기 위해 하향식(Downstream) 생산 공정으로 설계하였기 때문이다. 원료 호퍼 내로의 대기 유입을 차단하기 위해 고무 패킹이 되어 있는 덮개와 이를 밀착 시킬 수 있는 클램프를 설치하였으며, 투입된 원료의 상태를 밀폐한 상태에서 확인할 수 있도록 덮개 중앙에 유리창이 있도록 설계하였다. 원료 호퍼 하단에는 일정한 양의 원료가 열분해관에 투입되도록 그라인더 밀과 수평 운반 로터가 순차적으로 위치하며, 운반 로터 말단에는 원료가 열분해관으로 하향할 수 있도록 수직관이 설치되었다. 열분해관 내부와 외부에는 각각 원료를 운반시킬 수 있는 로터와 열분해관을 가열하는 열매체가 설치되어있다. 로터 회전축은 고정된 회전수를 가지도록 하였으며, 원료의 운반이 가능하도록 각도가 조절되는 스크루가 부착되어 있어 원료의 운반 속도를 스크루의 각도를 조절함으로써 제어되도록 하였다. 원료 호퍼에서 열분해관으로 원료가 이동할 때 원료가 하향하는 열분해관 전단에는 로터에 강한 압력이 가해져 장비 오작동이 발생할 수 있을 것이라 예상되어 로터 전단에 각도가 조절되는 스크루 대신 고정식 스크루를 부착하여 이를 예방하였다. 열매체는 전기를 이용한 전기로 방식을 채택하였으며, 열분해관 외부를 내화성의 세라믹 재질로 덮어 단열과 열의 균일한 전달이 가능하게 하였고, 외부에 세라믹 울을 둘러 추가적인 단열이 되도록 하여 운용 효율성을 증대시키고자 하였다. 열분해 과정에서 발생하는 가스상 물질은 대기정화조로 흡입시킨 후 조 내의 shower head에서 분무 형태로 발생하는 세정액에 의해 세척되는 가스 스크리버 형식을 활용하여 정화하는 방식을 사용하였다. 열분해관 말단에는 원료가 열분해되어 생산된 biochar가 저장되는 저장조가 설치되어 있으며 저장조의 아래에 개폐할 수 있는 토출구를 제작하여 생산된 biochar가 저장조 내에서 충분히 식은 후 토출구로 배출할 수 있도록 하였다.

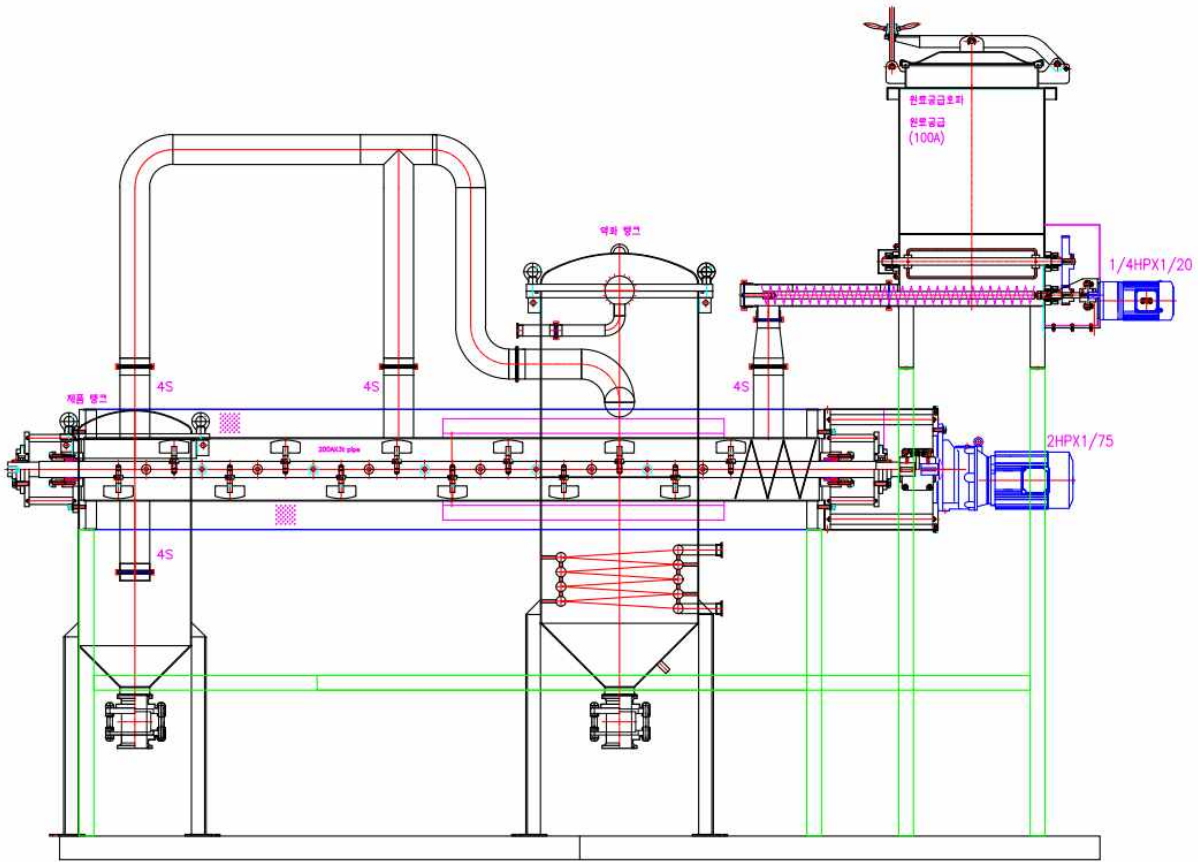


Fig. 178. 수정된 가축사체 잔여물 biochar 전용 제조장치 도면(정면도).

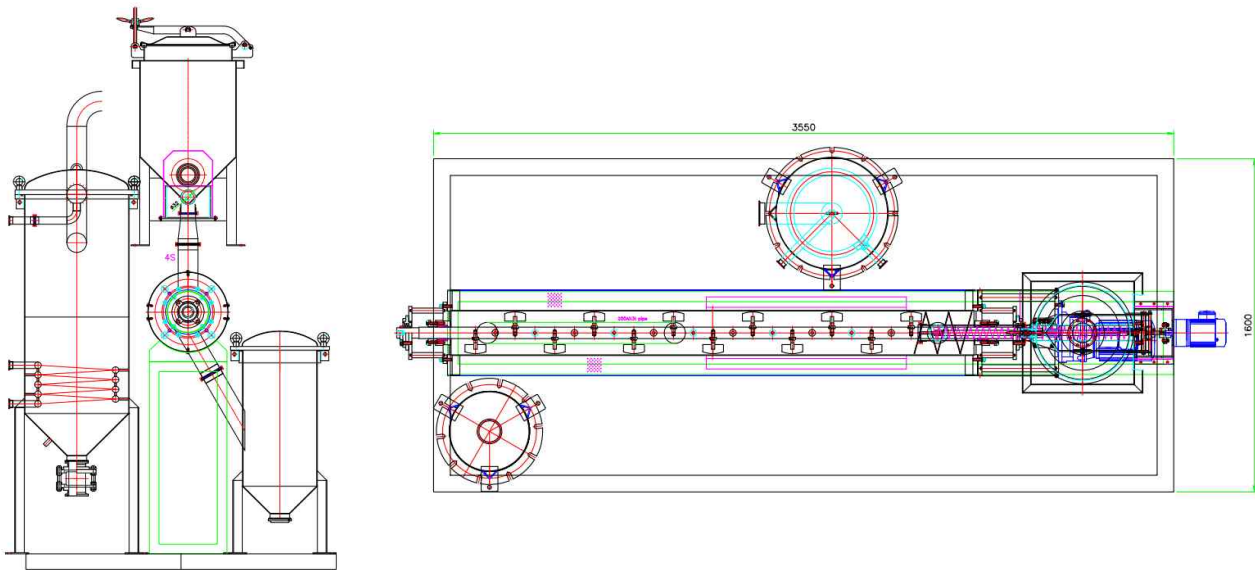


Fig. 179. 수정된 가축사체 잔여물 biochar 전용 제조장치 도면(측면도 및 평면도).



원료 공급 호퍼(상부 덮개)



원료 공급 호퍼 내부



컨트롤 판넬



대기 정화조

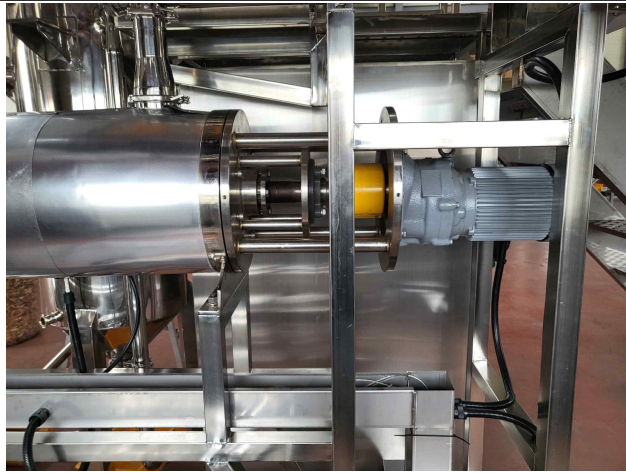


대기 정화조(상부 덮개)



대기 정화조(가스 흡입 장치 및 흡입 모터)

Fig. 180. 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치 부분도(1/2).



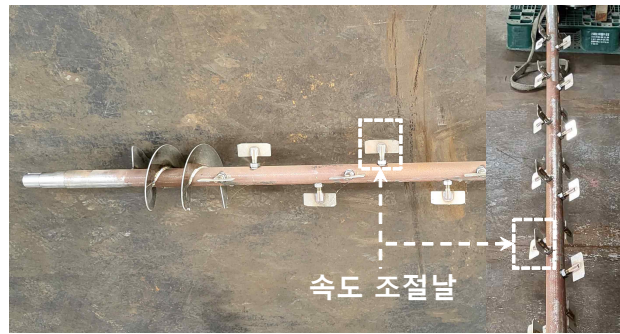
열분해관 로터 및 로터 모터



열분해관



열분해관 로터



열분해관 내부 스크류



Biochar 저장부(토출부)



토출구

Fig. 181. 가축사체 잔여물 전용 biochar 전용 제조장치 부분도(2/2).



장비 전경 (전면)



장비 전경(후면)

Fig. 182. 가축사체 biochar 전용 제조장치 전경.

나) 현장형 가축사체 잔여물의 전용 biochar 제조시스템의 시운전

현장 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템의 시운전이 진행되었으며, 이와 병행하여 제조 시스템 운영에 대한 지도 또한 실시하였다. 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템을 시운전하기 전에 원료 투입부의 로터 작동 및 밀폐 여부, 열분해관의 스크루 작동 및 온도 유지 여부, 대기정화조의 정화시스템 작동 여부 등 장비 점검을 진행하였다.

시운전을 위해 제조시스템의 열분해관 내부를 350℃로 안정화한 상태에서 원료투입 로터와 열분해관 내의 스크루를 작동시켰다. 이후 원료를 투입하였고, 열분해 과정에서 발생하는 신가스를 정화하기 위해 대기정화조를 작동하였다. 시운전에는 원료로 목질계 바이오매스인 톱밥을 사용하였으며, 사용된 톱밥의 이화학적 특성은 Table 91~92와 같다.

Table 91. biochar 제조 시스템 시운전 제품의 화학적 특성

Sample	pH	EC	C	H	N	S	*W.C	*O.M
	(1:5)	(dS/m)	----- (%) -----				-----	
Biochar	9.10	48.17	66.76	4.55	0.41	0.49	9.62	70.84

*W.C.: Water contents, O.M.: Organic matter

Table 92. biochar 제조 시스템 시운전 제품의 중금속 함량

Sample	As	Cd	Hg	Pb	Cr	Cu	Zn	Ni
	----- (mg/kg) -----							
Biochar	0.72	0.24	N.D	N.D	0.41	0.49	34.84	N.D

2) 현장형 가축사체 잔여물의 전용 biochar 제조 시스템 제공된 biochar의 품질특성

가) 현장에서 제공된 biochar의 품질분석

제조시스템을 이용하여 제조된 목질계 바이오매스와 가축사체 잔여물 혼합 biochar를 비료공정규격에 따라 품질분석을 진행한 결과 탄소 전량은 54.20%로 바이오차 최저 기준인 40% 이상이었으며 유해성분은 모두 기준치 이하이거나 검출되지 않았다. Biochar의 탄화도를 나타내는 기준인 H/C와 O/C 몰비의 경우 둘 중 하나만 만족하면 되는 항목이지만 혼합 biochar의 경우 두 기준을 모두 만족하는 결과를 보였다. 이상의 결과로 비료공정규격에서 랜더링 가축사체 부산물은 바이오차 원료에 포함되지는 않으나 혼합 biochar는 ‘농림부산물 바이오차’ 기준에 모든 항목에서 부합하는 것으로 나타났다.

Table 93. 가축사체 잔여물 및 톱밥 혼합 biochar 품질분석 결과

분석항목(단위)		성분의 최대·최소량	분석성적 (%, mg/kg)
함유하여야 할 주성분의 최소량	탄소전량(%)	40 이상	54.20
	비소(mg/kg)	45 이하	불검출
유해 성분*	카드뮴(mg/kg)	5 이하	0.07
	수은(mg/kg)	2 이하	불검출
	납(mg/kg)	130 이하	15.09
	크롬(mg/kg)	200 이하	20.65
	구리(mg/kg)	360 이하	21.17
	아연(mg/kg)	900 이하	168.16
	니켈(mg/kg)	45 이하	불검출
그 밖의 규격	염산불용해물 (%)	25 이하	2.35
	수분함량(%)	30 이하	9.01
	H/C 몰비	0.7 미만	0.63
	O/C 몰비	0.4 미만	0.21

나) 현장에서 제공된 biochar의 유작물 비해 시험

(1) 시험개요

- 시험명: Biochar의 5작물에 대한 비료피해시험
- 시험입지조건(토성): 사양토+원예상토(1:1) 혼합
- 시험 개시일: 2023년 09월 19일
- 시험 종료일: 2023년 10월 11일

(2) 시험목적


본 시험은 'Biochar'의 5작물에 대한 비료피해 발생 여부를 평가하여 유기농업자재 공시 신청을 위한 자료로 활용하고자 한다.

(3) 시험기준

- 국립농산물품질관리원 고시 제2020-20호(2020.12.08.)'유기농업자재 공시기준'
- 농촌진흥청 고시 제2022-28호(2022.09.30.)'비료의 품질검사방법 및 시료채취기준'

(4) 시험방법

- 시험물질: Biochar
- 시험작물: 고추(큰열), 무(서동), 배추(불암3호), 상추(그린줄기), 완두(청진주)
- 시험물질 처리량: 시험물질 200kg/10a, 정식 당일 토양혼화처리
- 시험물질 처리정보

시험물질 (Biochar)	비료피해시험		처리량 (횟수)
	처리구	시험물질 처리일	
	무처리구	-	-
	기준량구	2023.09.19.	200kg/10a (1회)
	2배량구	2023.09.19.	400kg/10a (1회)

○ 시험물질 처리방법

- 시험작물의 유식물은 친환경농업센터 육묘실에서 50공 모종트레이(530×260×40mm)를 이용하여 자체육묘 한다.
- 시험물질 처리 전 시험토양을 혼합하여 준비한다.
- 시험작물(고추, 무, 배추, 상추, 완두) 정식 당일 기준량(200kg/10a), 2배량(400kg/10a)을 토양혼화처리한다.

○ 시험구 규모(또는 주수) 및 배치법

- 처리구 당 5포트(1포트 1주) × 3반복(임의배치법)
- 포트규격: 지름 100mm, 높이 90mm(고추, 배추, 상추, 완두)
지름 200mm, 높이 200mm(무)

○ 재배조건: 유리온실

○ 재배관리

- 시설관리는 냉·난방기 및 자동 개폐식 차광망, 자동 계폐식 보온망이 설치된 유리온실에서 1일 2회 이상 온·습도를 확인하여 작물을 재배한다.

(시험시 온실 내 재배환경 - 온도 : 18 ~ 24℃, 습도 : 35 ~ 93%)

- 관수는 계절 및 온·습도에 따라 1일 1회에서 2회 분수호스로 관수한다.

○ 타농자재 사용: 시험과정 중 다른 농자재는 사용하지 않는다.

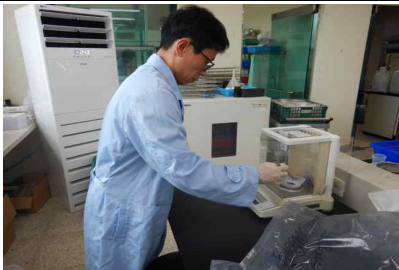
○ 비료피해 조사는 시험물질을 토양혼화처리 후 21일간(7일, 14일, 21일) 총 3회에 걸쳐 외관상 비료피해 유무를 달관조사 한다.

○ 비료피해의 판정기준

정도	판정 기준
0	육안으로 비료피해(肥害)가 인정되지 않음
1	아주 가벼운 비료피해(肥害)로서 작은 약반이 약간 인정됨
2	처리된 잎의 소부분에서 비료피해(肥害)가 인정됨
3	처리된 잎의 50퍼센트 정도 비료피해(肥害)가 인정됨
4	상당한 피해를 받고 있으나 아직 건전한 부분이 남아있음

(5) 시험준비

○ 시험물질 준비(09.19.), 시험토양 준비(09.19.)



시험물질 칭량



시험토양 준비



토양 혼합

○ 시험물질처리, 유식물 정식(09.19.~09.20.)



시험물질처리



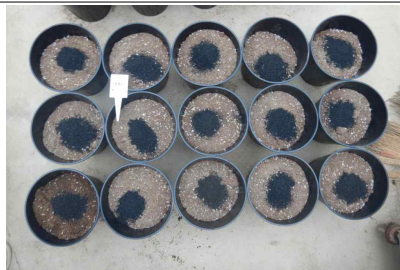
기준량구



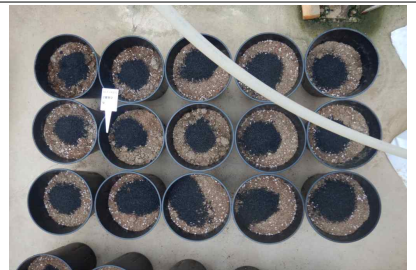
2배량구



유식물 준비



기준량구



2배량구



정식



시험구 배치



시험구 배치

(6) 시험결과

○ 시험물질 토양혼화처리 후 비료피해 조사 결과(7일, 14일, 21일)

작물명	Biochar	비료피해(0~4)			비료피해증상
		7일(9/26)	14일(10/3)	21일(10/10)	
고추	무처리구	0	0	0	-
	기준량구	0	0	0	없음
	2배량구	0	0	0	없음
배추	무처리구	0	0	0	-
	기준량구	0	0	0	없음
	2배량구	0	0	0	없음
상추	무처리구	0	0	0	-
	기준량구	0	0	0	없음
	2배량구	0	0	0	없음
완두	무처리구	0	0	0	-
	기준량구	0	0	0	없음
	2배량구	0	0	0	없음

작물명	Biochar	비료피해(0~4)			비료피해증상
		7일(9/27)	14일(10/4)	21일(10/11)	
무	무처리구	0	0	0	-
	기준량구	0	0	0	없음
	2배량구	0	0	0	없음

○ 조사시기별 시험구 전경



2023.09.26.(1차 조사)



2023.10.03.(2차 조사)



2023.10.10.(3차 조사)



2023.09.27.(1차 조사)





















2023.10.04.(2차 조사)















2023.10.11.(3차 조사)

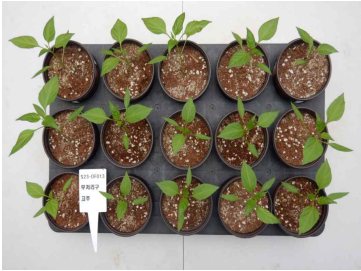

















○ 정식 7일 후(2023.09.26.~27.) 작물 사진(계속)

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
고추			
			
무			
			
배추			
			













○ 정식 7일 후(2023.09.26.~27.) 작물 사진

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
상추			
			
완두			
			



















○ 정식 14일 후(2023.10.03.~04.) 작물 사진(계속)

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
고추			
			
무			
			
배추			
			

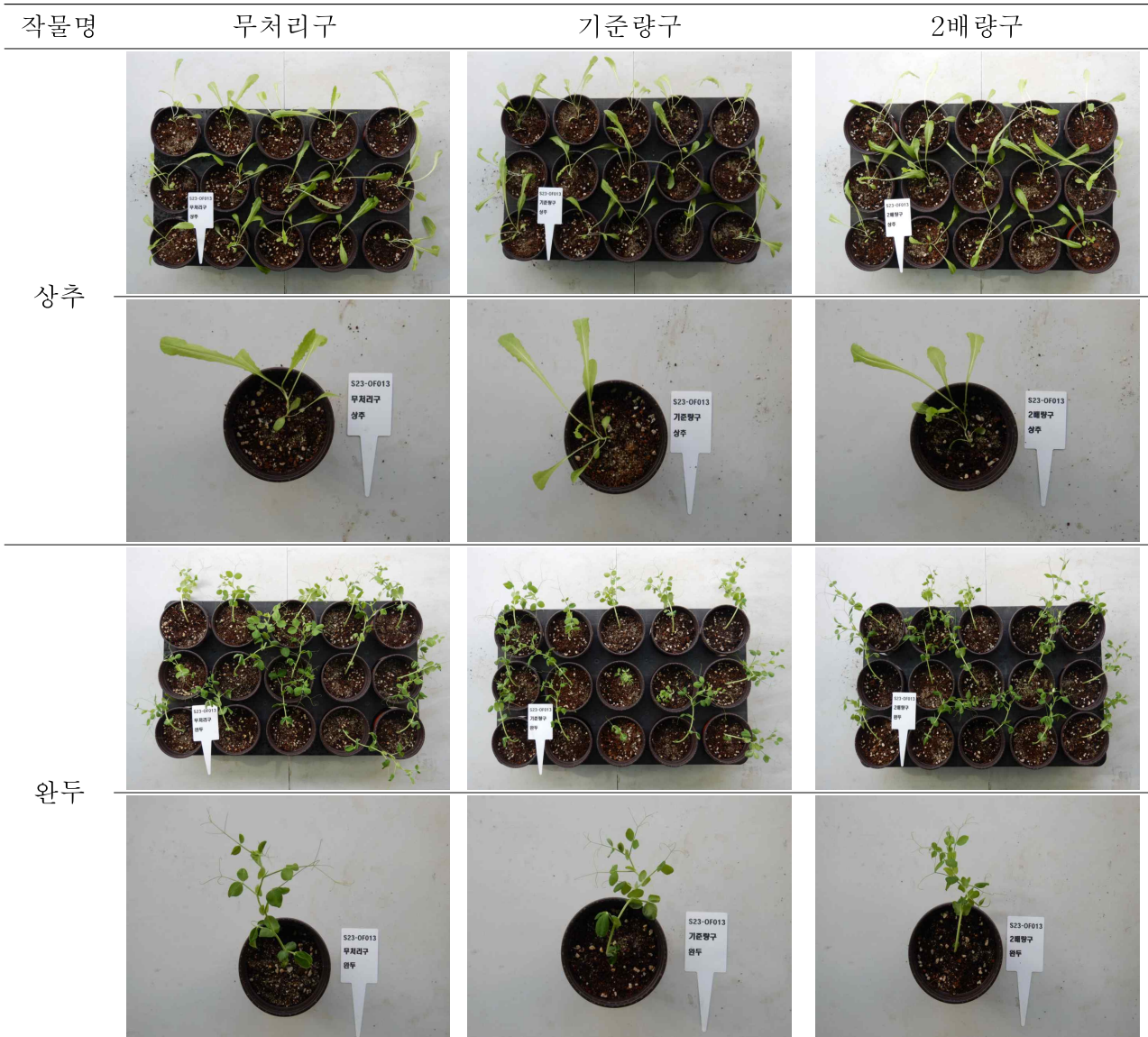
○ 정식 14일 후(2023.10.03.~04.) 작물 사진

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
상추			
			
완두			
			

○ 정식 21일 후(2023.10.10.~11.) 작물 사진(계속)

작물명	무처리구	기준량구	2배량구
고추			
			
무			
			
배추			
			

○ 정식 21일 후(2023.10.10.~11.) 작물 사진



(7) 결과요약

시험물질은 기준량구에 10a당 200kg, 2배량구에 10a당 400kg으로 정식 당일 토양혼화처리 하였고 무처리구, 기준량구, 2배량구를 시험구로 두고 각 처리구별로 5작물을 5포트, 3반복으로 75포트씩 총 225포트를 배치하였다.

시험기간 동안 고추, 무, 배추, 상추, 완두를 21일간 총 3회에 걸쳐 조사한 결과 비료피해는 발견되지 않았으며 무처리구와 기준량구, 2배량구를 비교하여도 비료피해로 판단될 만한 증상은 없었다. 시험물질로 사용된 biochar의 고추, 무, 배추, 상추, 완두에 대한 비료피해시험 결과 시험 작물의 피해는 발견되지 않았으므로 유기농업자재 공시기준에 적합한 것으로 판단된다.

3) 현장에서 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 작물재배시험

가) 가축사체 잔여물 biochar의 일반 노지에서의 작물재배시험

랜더링 가축사체 바이오차와 랜더링 가축사체 잔여물 및 목질계 혼합 바이오차의 작물 재배 효과를 검증하기 위해 일반노지에서의 작물재배시험을 진행하였으며, 각 처리구의 수확 직전 전경은 Fig. 183~184에 나타내었다.



Fig. 183. 작물재배시험 수확 전의 각 처리구 전경(1/2).



Fig. 184. 작물재배시험 수확 전의 각 처리구 전경(2/2).

(1) 일반노지 작물재배시험 작물수량 조사

일반노지에서 진행된 배추의 작물재배시험 작물수량 조사 결과(Table 94, Fig. 185) 배추의 생중량은 무처리구에 비해 WB-BC, RACS-BC, RWM-BC를 단독으로 처리하였을 때 모두 증가한 것으로 확인되었고, NPK 처리구와 비교하였을 때 RACS-BC400, RWM-BC200 및 RWM-BC400은 향상되는 것으로 나타났다. RACS-BC, RWM-BC의 경우 biochar의 처리량이 많아짐에 따라 생중량이 증가하는 경향을 보였고, RACS-BC+NPK 경우 처리량이 증가하였음에도 유의미한 생중량 차이를 보이지 않았으며, RWM-BC+NPK의 경우 처리량이 200 kg 10a-1 이상일 때 생중량의 증가 추이가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 RACS-BC의 경우 RWM-BC에 비해 양분함량이 높으므로 NPK가 처리된 토양에서는 RACS-BC를 100 kg 10a-1 이상 시비할 경우 비료로써의 효과가 감소하게 되며, RWM-BC의 경우에는 이보다 많은 양인 200 kg 10a-1 이상 처리하였을 때 시비효과가 감소하게 된다. NPK 처리구는 RACS-BC200 및 RWM-BC200과 근사한 결과를 보였는데, 이는 RACS-BC와 RWM-BC가 NPK를 대체하여 양분을 식물체에 공급함을 의미하며 랜더링 가축사체 부산물을 활용한 biochar의 비료로써의 활용 가능성을 보여준다. 상부 엽장의 경우 무처리구와 대비하여 모든 처리구에서 엽장이 증가한 것으로 나타났다. 상대적으로 RACS-BC 처리구에 비해 RWM-BC

처리구의 옆장이 작은 경향이었으며, RACS-BC와 RWM-BC가 NPK와 같이 시비되었을 경우 biochar의 종류에 따른 옆장의 유의미한 차이가 나타나지 않는 것으로 확인되었다. 상부 옆폭의 경우 NPK 처리구에 비해 RACS-BC와 RWM-BC를 NPK와 혼용 시비하였을 경우 더 넓은 옆폭을 보이는 것으로 확인되었으며, 상대적으로 RACS-BC에 비해 RWM-BC 처리구의 옆폭이 작았으나 유의미한 수준의 차이는 나타나지 않았다. 하부 생중량과 근장의 경우 처리구에 따른 유의미한 변화를 보이지 않았다.

Table 94. 작물재배시험 작물수량 조사

처리구	상부				하부	
	생중량 (g)	엽장 ----- (cm)	옆폭 -----	옆수 (No)	생중량 (g)	근장 (cm)
Control	1155.4	28.8	16.64	51.6	16.2	16.4
NPK	2327.1	36.7	24.4	52.4	16.7	16.0
WB-BC	2115.1	32.6	21.7	58.6	18.4	20.8
WB-BC+NPK	3043.2	36.5	23.5	58.6	19.6	18.0
RACS-BC100	2084.5	36.1	22.3	54.8	18.4	18.2
RACS-BC200	2216.8	35.6	22.3	59.2	19.3	20.0
RACS-BC400	2871.5	34.9	22.9	54.8	15.1	18.6
RACS-BC100 +NPK	3210.8	36.9	24.5	61.2	17.5	18.5
RACS-BC200 +NPK	3125.2	37.0	25.7	62.4	23.7	20.6
RACS-BC400 +NPK	3516.8	38.2	25.7	71.2	20.9	19.9
RWM-BC100	2080.8	33.2	21.4	66.6	16.4	18.9
RWM-BC200	2417.5	35.1	22.8	63.6	19.1	18.1
RWM-BC400	2547.3	35.3	22.0	56.6	19.5	18.4
RWM-BC100 +NPK	2991.1	36.6	24.1	61.1	19.4	19.3
RWM-BC200 +NPK	3430.6	38.6	24.8	68.3	16.5	19.2
RWM-BC400 +NPK	3508.1	37.1	26.1	61.6	21.1	20.5

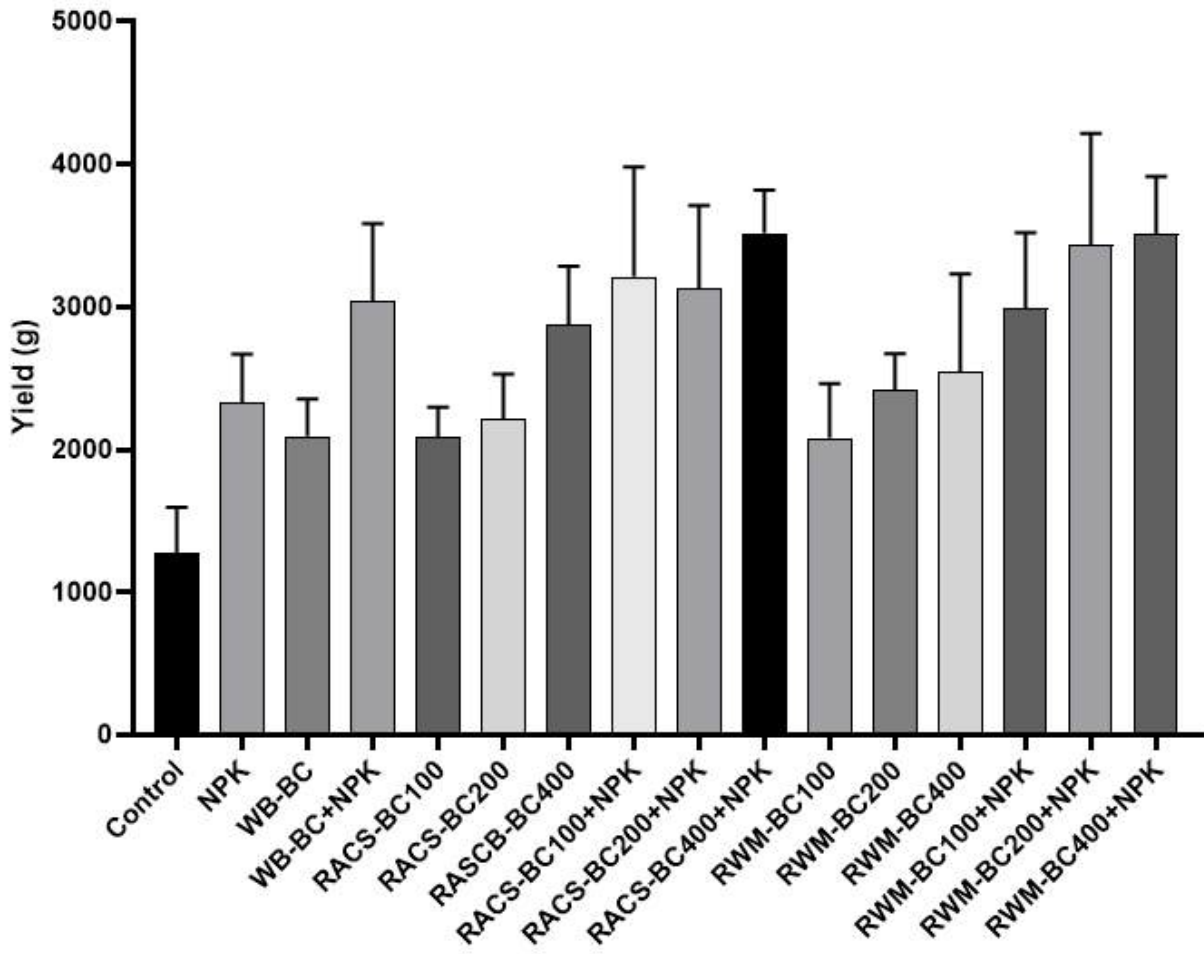


Fig. 185. 일반노지 작물재배시험의 처리구별 생중량 결과.

(2) 일반노지 작물재배시험 무기성분 및 중금속 함량

작물재배실험 처리별 배추 상부의 무기 함량을 분석한 결과는 Table 95와 같다. WB-BC를 처리한 경우 배추 상부의 총 질소(T-N)함량은 무처리구와 큰 차이를 나타내지 않았으나, RACS-BC 및 RWM-BC 처리구의 경우 무처리구에 비해 배추 상부의 T-N 함량은 소량 증가하였으며, RWM-BC 처리구의 경우에도 소량 증가하였다. P 함량의 경우 RACS-BC와 RWM-BC가 처리된 토양에서 모두 무처리구와 NPK 처리구보다 높은 경향을 보였다. P 함량이 높은 랜더링 가축사체 부산물을 열분해하게 되면 biochar 내의 P가 불용성 형태로 전환되는데 불용성 P는 완효성을 가지게 되어 작물의 생육에 도움을 줄 수 있는 반면 NPK의 P는 속효성이기 때문에 양분의 유실이 발생하기 쉽다. 이러한 이유로 RACS-BC와 RWM-BC가 처리된 처리구의 배추 상부의 P 함량이 NPK 처리구보다 높은 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 가축사체 바이오차는 P 함유량이 높아 토양 처리시 작물에 흡수되는 P 함량을 증진시켰으며, 혼합바이오차 처리구에서도 가축사체바이오차 처리구와 유사한 수치를 나타내었다. K, Ca, Mg 함량의 경우 목질계, RACS-BC 및 RWM-BC를 처리하였을 때 배추 상부에서 무처리구 대비 소량 감소하였으며, Na 함량의 경우 처리구별로 유의미한 경향을 나타내지 않았다.

Table 95. 작물재배시험 처리별 배추 상부 무기성분 함량

Treatment	T-N	P	K	Ca	Mg	Na
	------(%)-----					
Control	0.10	0.46	0.51	1.87	1.58	0.20
NPK	0.13	0.55	0.47	1.73	1.87	0.19
WB-BC	0.11	0.87	0.33	1.41	0.26	0.19
WB-BC+NPK	0.14	0.94	0.33	1.51	0.29	0.32
RACS-BC100	0.15	0.98	0.33	1.50	0.30	0.37
RACS-BC200	0.16	0.96	0.34	1.47	0.28	0.18
RACS-BC400	0.16	0.95	0.34	1.48	0.29	0.25
RACS-BC100+NPK	0.16	0.98	0.32	1.49	0.31	0.42
RACS-BC200+NPK	0.16	0.94	0.33	1.47	0.28	0.26
RACS-BC400+NPK	0.18	1.09	0.37	1.61	0.33	0.28
RWM-BC100	0.19	0.97	0.35	1.59	0.35	0.35
RWM-BC200	0.16	0.92	0.34	1.36	0.29	0.19
RWM-BC400	0.18	1.05	0.38	1.67	0.38	0.38
RWM-BC100+NPK	0.19	0.97	0.34	1.47	0.31	0.22
RWM-BC200+NPK	0.16	1.12	0.38	1.68	0.38	0.24
RWM-BC400+NPK	0.19	1.04	0.35	1.60	0.37	0.37

처리구별 배추 하부의 무기 함량을 분석한 결과는 Table 96과 같다. 목질계 바이오차를 처리할 경우 배추 하부의 총 질소(T-N)함량은 무처리구와 큰 차이를 나타내지 않았으나, RACS-BC와 RWM-BC를 처리할 경우 소량 증가하는 경향을 나타내었다. P 함량의 경우 배추 상부와 유사하게 RACS-BC와 RWM-BC 처리구에서 P 함량이 증가하는 경향을 보였으며, K 함량도 이와 유사하게 NPK처리구에 비해 RACS-BC와 RWM-BC 처리구에서 더 높은 수치를 보였다. Ca, Mg 및 Na 함량의 경우 처리구에 따른 유의미한 경향을 나타내지 않았다.

Table 96. 작물재배시험 처리별 배추 하부 무기성분 함량

Treatment	T-N	P	K	Ca	Mg	Na
	------(%)-----					
Control	0.06	0.81	0.18	0.47	0.13	0.56
NPK	0.08	0.78	0.19	0.50	0.29	0.81
WB-BC	0.06	0.94	0.26	0.61	0.16	0.38
WB-BC+NPK	0.08	1.03	0.24	0.66	0.18	0.84
RACS-BC100	0.09	0.80	0.28	0.74	0.23	0.48
RACS-BC200	0.10	0.92	0.27	0.65	0.17	0.34
RACS-BC400	0.08	1.03	0.26	0.64	0.17	0.45
RACS-BC100 +NPK	0.11	1.08	0.26	0.87	0.25	0.58
RACS-BC200 +NPK	0.06	1.03	0.25	0.67	0.18	0.63
RACS-BC400 +NPK	0.09	0.93	0.25	0.71	0.20	0.44
RWM-BC100	0.10	0.82	0.25	0.74	0.21	0.69
RWM-BC200	0.12	0.99	0.27	0.84	0.23	0.36
RWM-BC400	0.13	0.87	0.25	0.69	0.20	0.82
RWM-BC100 +NPK	0.08	0.90	0.25	0.62	0.17	0.48
RWM-BC200 +NPK	0.08	0.81	0.26	0.68	0.22	0.39
RWM-BC400 +NPK	0.10	0.79	0.23	0.76	0.21	0.69

제조된 가축사체바이오차의 농업적 활용성을 평가하기 위해 작물재배실험 처리별 배추 상부의 중금속 함량을 분석한 결과는 다음 Table 97과 같다. 무처리구에서 배추 상부의 중금속 함량은 Cu(17.56 mg kg⁻¹), Zn(291.21 mg kg⁻¹), Cr(162.23 mg kg⁻¹), Ni(36.13 mg kg⁻¹), Cd(5.41 mg kg⁻¹)으로 검출되었으며, NPK 처리구에서 배추 상부의 중금속 함량은 Cu(38.27 mg kg⁻¹), Zn(497.53 mg kg⁻¹), Cr(172.21 mg kg⁻¹), Ni(59.44 mg kg⁻¹), Cd(4.83 mg kg⁻¹)으로 무처리구에 비해 증가한 경향이였다. 반면 WB-BC, RACS-BC 및 RWM-BC가 처리된 모든 처리구에서 배추 상부의 Cu, Zn, Cr, Ni 및 Cd 함량이 낮았고 biochar의 종류에 따른 유의미한 함량 차이는 나타나지 않았다. 이상의 결과로 biochar의 시비됨에 따라 식물체 내로의 중금속 유입을 억제하는 것으로 나타났고, 랜더링 가축사체 잔여물로 제조된 biochar와 목질계 biochar가 중금속 유입 억제 방면에서 유사한 역할을 하였다. Pb, As 및 Hg의 경우 모든 처리구에서 검출되지 않았다.

Table 97. 작물재배실험 처리별 배추 상부 중금속 함량

Treatment	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Hg
	------(mg/kg)-----							
Control	17.56	291.21	162.23	N.D.	36.13	N.D.	5.41	N.D.
NPK	38.27	497.53	172.21	N.D.	59.44	N.D.	4.83	N.D.
WB-BC	7.39	52.64	2.46	N.D.	2.93	N.D.	0.31	N.D.
WB-BC+NPK	6.82	60.56	1.15	N.D.	2.67	N.D.	0.44	N.D.
RACS-BC100	6.28	60.60	1.31	N.D.	2.56	N.D.	0.40	N.D.
RACS-BC200	8.64	67.04	3.33	N.D.	1.70	N.D.	0.38	N.D.
RACS-BC400	10.73	54.44	7.80	N.D.	2.88	N.D.	0.39	N.D.
RACS-BC100+NPK	9.69	83.55	10.12	N.D.	3.56	N.D.	0.39	N.D.
RACS-BC200+NPK	13.65	55.29	8.06	N.D.	3.26	N.D.	0.33	N.D.
RACS-BC400+NPK	7.37	67.64	1.94	N.D.	3.06	N.D.	0.32	N.D.
RWM-BC100	6.72	74.23	0.63	N.D.	2.50	N.D.	0.37	N.D.
RWM-BC200	13.91	70.20	5.47	N.D.	9.23	N.D.	0.36	N.D.
RWM-BC400	5.44	68.08	1.48	N.D.	3.22	N.D.	0.40	N.D.
RWM-BC100+NPK	7.00	52.82	0.88	N.D.	3.34	N.D.	0.33	N.D.
RWM-BC200+NPK	7.21	91.27	0.84	N.D.	2.52	N.D.	0.44	N.D.
RWM-BC400+NPK	5.39	68.29	1.21	N.D.	3.68	N.D.	0.43	N.D.

N.D. : Not Detected

배추 하부의 중금속 함량을 분석한 결과는 다음 Table 98과 같다. 무처리구에서 배추 하부의 중금속 함량은 Cu(1.04 mg kg⁻¹), Zn(55.33 mg kg⁻¹), Cr(2.91 mg kg⁻¹), Ni(3.07 mg kg⁻¹), Cd(0.28 mg kg⁻¹)으로 검출되었으며, NPK 처리구에서 배추 하부의 중금속 함량은 Cu(1.98 mg kg⁻¹), Zn(52.30 mg kg⁻¹), Cr(4.93 mg kg⁻¹), Ni(5.43 mg kg⁻¹), Cd(0.73 mg kg⁻¹)으로 무처리구에 비해 높은 경향이였다. 배추 상부와 달리 배추 하부에서는 WB-BC, RACS-BC 및 RWM-BC가 처리될 경우 중금속 함량이 대체적으로 증가하였으나 유의미한 변화는 보이지 않았다.

Table 98. 작물재배시험 처리별 배추 하부 중금속 함량

Treatment	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Hg
	----- (mg kg ⁻¹) -----							
Control	1.04	55.33	2.91	N.D.	3.07	N.D.	0.28	N.D.
NPK	1.98	52.30	4.93	N.D.	5.43	N.D.	0.74	N.D.
WB-BC	2.51	77.10	0.67	N.D.	2.16	N.D.	0.39	N.D.
WB-BC+NPK	1.65	70.14	2.08	N.D.	3.32	N.D.	0.36	N.D.
RACS-BC100	1.35	72.00	2.04	N.D.	4.18	N.D.	0.49	N.D.
RACS-BC200	1.29	73.47	1.09	N.D.	1.74	N.D.	0.29	N.D.
RACS-BC400	2.13	50.04	1.89	N.D.	1.85	N.D.	0.31	N.D.
RACS-BC100+NPK	1.47	115.44	2.15	N.D.	3.37	N.D.	0.50	N.D.
RACS-BC200+NPK	1.54	39.78	4.39	N.D.	1.33	N.D.	0.27	N.D.
RACS-BC400+NPK	2.06	62.85	1.88	N.D.	2.08	N.D.	0.31	N.D.
RWM-BC100	1.97	87.24	3.04	N.D.	1.82	N.D.	0.44	N.D.
RWM-BC200	2.17	108.35	2.68	N.D.	3.01	N.D.	0.33	N.D.
RWM-BC400	1.23	67.07	2.52	N.D.	2.34	N.D.	0.38	N.D.
RWM-BC100+NPK	1.99	41.72	0.07	N.D.	1.22	N.D.	0.28	N.D.
RWM-BC200+NPK	2.52	114.10	4.76	N.D.	4.77	N.D.	0.37	N.D.
RWM-BC400+NPK	7.20	70.31	4.13	N.D.	3.19	N.D.	0.45	N.D.

N.D. : Not Detected

(3) 일반노지 작물재배시험 토양 특성 변화

목질계, 가축사체 및 혼합 바이오차 시용량에 따른 작물재배 후 토양의 무기성분 및 중금속 함량은 Table 99와 Table 100에 나타내었다. 토양 pH의 경우 처리구에 사용된 목질계, 가축사체 및 혼합 바이오차가 시용될 경우 pH는 무처리구 대비 높아지는 경향이었으며, 바이오차 처리량에 의존적으로 pH가 증가하였다. 이는 처리구에 사용된 목질계, 가축사체 및 혼합 바이오차의 pH가 각각 WB-BC(8.63), RACS-BC(8.31) 및 RWM-BC(8.81)으로 약알칼리성이어서 토양 pH를 알칼리성으로 개선시킨 것으로 판단된다. 토양 유기물의 경우 목질계, 가축사체 및 혼합 바이오차가 시용됨에 따라 토양 유기물 함량이 전반적으로 증가하였는데, 시용된 바이오차의 탄소함량이 높아 토양 유기물 함량이 증진되는 효과가 나타난 것으로 판단된다. 토양 유효인산 함량의 경우 목질계, 가축사체 및 혼합 바이오차가 처리될 경우 유효인산 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 토양 EC, T-N 및 교환성양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺) 함량의 경우 각 처리구별로 유의미한 차이가 발생하지 않았다. 토양 중금속 함량의 경우 각 처리구간에 유의미한 변화는 나타나지 않았다.

Table 99. 가축사체 상반기 재배실험 토양 무기함량

Treatment	pH	EC	O.M.	T-N	Av.P ₂ O ₅	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	-----(%)----		(mg kg ⁻¹)	-----	-----	-----	-----
Control	6.12	0.28	1.03	0.04	497.58	0.02	6.28	2.30	0.22
NPK	6.02	0.40	0.88	0.06	544.92	0.05	7.61	2.61	0.21
WB-BC	6.39	0.35	1.44	0.07	607.22	0.03	5.89	2.32	0.09
WB-BC+NPK	6.34	0.47	1.45	0.10	812.99	0.03	6.65	4.09	0.11
RACS-BC100	6.57	0.53	1.57	0.10	677.42	0.03	8.31	4.91	0.29
RACS-BC200	6.76	0.55	1.90	0.16	722.29	0.03	7.36	2.27	0.25
RACS-BC400	6.86	0.57	2.17	0.07	814.47	0.02	6.32	2.40	0.21
RACS-BC100+NPK	6.52	0.52	2.28	0.09	820.42	0.03	6.32	2.36	0.11
RACS-BC200+NPK	6.68	0.54	2.88	0.07	885.02	0.04	6.53	2.27	0.11
RACS-BC400+NPK	6.84	0.59	3.05	0.03	916.08	0.05	5.49	2.66	0.11
RWM-BC100	6.37	0.52	2.41	0.08	684.23	0.06	7.85	3.28	0.13
RWM-BC200	6.59	0.70	3.59	0.07	737.09	0.04	6.24	2.73	0.19
RWM-BC400	6.72	0.79	3.65	0.10	819.06	0.04	6.11	2.62	0.22
RWM-BC100+NPK	6.54	0.81	2.78	0.06	778.10	0.04	7.49	2.31	0.04
RWM-BC200+NPK	6.58	0.86	3.24	0.06	819.04	0.06	6.43	3.17	0.09
RWM-BC400+NPK	6.86	0.89	3.63	0.11	904.27	0.06	6.58	2.98	0.17

Table 100. 가축사체 상반기 재배실험 토양 중금속함량

Treatment	Cu	Zn	Cr	Pb	Ni	As	Cd	Hg
	----- (mg/kg) -----							
Control	1.67	28.72	16.16	N.D.	3.59	N.D.	0.53	N.D.
NPK	3.74	49.35	17.16	N.D.	5.92	N.D.	0.47	N.D.
WB-BC	3.49	40.46	25.79	N.D.	5.45	N.D.	0.89	N.D.
WB-BC+NPK	3.00	34.39	19.77	N.D.	4.61	N.D.	0.74	N.D.
RACS-BC100	2.90	34.79	20.78	N.D.	4.34	N.D.	0.67	N.D.
RACS-BC200	3.45	39.41	20.23	N.D.	4.87	N.D.	0.78	N.D.
RACS-BC400	3.04	36.90	20.05	N.D.	4.86	N.D.	0.76	N.D.
RACS-BC100+NPK	2.99	33.49	17.67	N.D.	4.22	N.D.	0.65	N.D.
RACS-BC200+NPK	2.94	35.57	19.57	N.D.	4.22	N.D.	0.67	N.D.
RACS-BC400+NPK	3.15	31.37	17.63	N.D.	2.94	N.D.	0.35	N.D.
RWM-BC100	3.09	32.02	17.50	N.D.	4.40	N.D.	0.40	N.D.
RWM-BC200	2.97	31.62	17.98	N.D.	5.07	N.D.	0.24	N.D.
RWM-BC400	2.96	31.41	17.59	N.D.	4.50	N.D.	0.42	N.D.
RWM-BC100+NPK	3.11	29.88	17.53	N.D.	2.73	N.D.	0.24	N.D.
RWM-BC200+NPK	3.13	33.73	20.02	N.D.	5.09	N.D.	0.47	N.D.
RWM-BC400+NPK	2.95	31.43	20.06	N.D.	5.35	N.D.	0.30	N.D.

(4) 일반노지 작물재배시험 온실가스 발생량 조사

일반노지에서의 배추 작물재배시험 온실가스 발생량 조사는 54일동안 이루어졌고 CO₂, N₂O 및 CH₄ 배출량을 조사하였으며 그 결과는 Fig. 186~188에 나타난 바와 같다.

CO₂ 배출량의 경우 14일에 최대 발생량이 보였으며 시간이 경과함에 따라 발생량이 감소하는 경향을 보였고, 재배시험 54일에는 거의 발생하지 않는 것으로 조사되었다. 54일간의 총 발생량은 NPK, 무처리, WB-BC+NPK, WB-BC 처리구가 순차적으로 높았으며 RACS-BC, RACS-BC+NPK, RWM-BC 및 RWM-BC+NPK는 이들보다는 낮은 수치를 보였다. 특히 RWM-BC와 RWM-BC+NPK 처리구가 RACS-BC보다 낮은 경향을 보였는데 이는 RWM-BC가 RACS-BC에 비해 양분함량이 낮은 반면 공극이 잘 발달되어 있기 때문으로 판단된다.

N₂O 발생량의 경우 CO₂ 발생과 유사하게 14일에 최대량이 발생하고 이후 감소하여 35일 이후부터는 유의미한 결과가 나타나지 않았다. NPK, WB-BC+NPK, RACS-BC+NPK 및 RWM-BC+NPK와 같이 NPK가 시비된 처리구의 N₂O 발생량이 높은 경향이였다. RACS-BC+NPK 처리구가 RWM-BC+NPK 처리구보다 N₂O 발생량이 많았으며, RACS-BC 처리구와 RWM-BC 처리구도 이와 유사하게 RACS-BC를 시비한 처리구에서 더 많은 발생량을 보였다.

CH₄ 발생량은 모든 처리구에서 전 기간에 유의미한 발생량이 나타나지 않았는데 이는 CH₄의 경우 논과 같은 혐기성 조건에서 주로 발생하는데, 본 연구에서는 밭에서 재배시험이 수행되어 토양이 혐기조건을 형성하지 않았기 때문에 CH₄가 미량 발생한 것으로 판단된다.

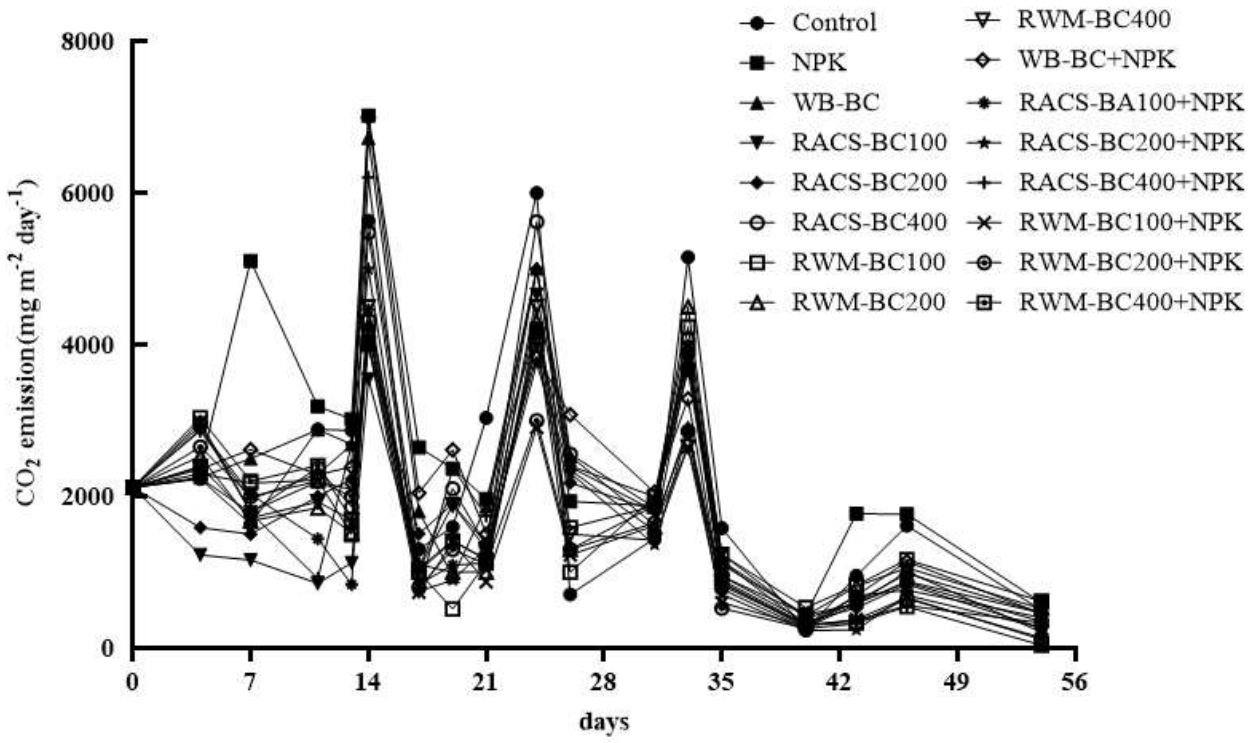


Fig. 186. 작물재배시험 처리구별 CO₂ 배출량.

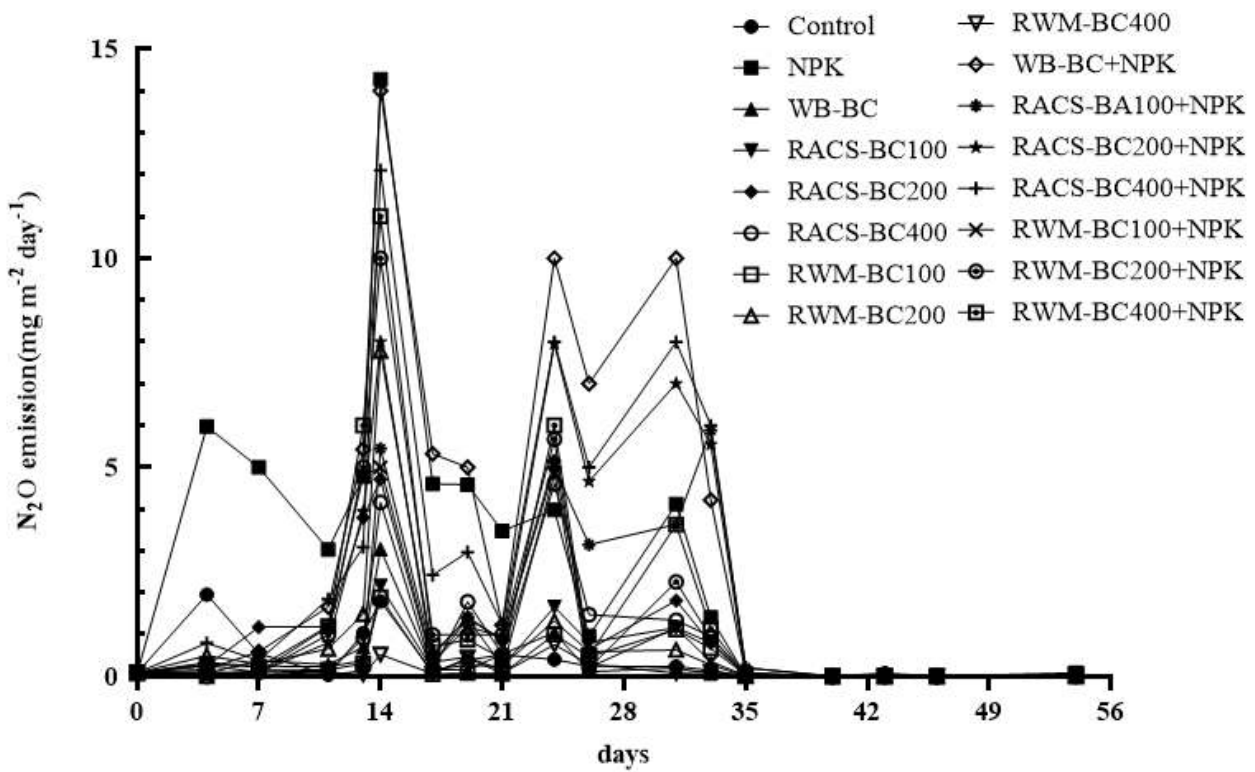


Fig. 187. 작물재배시험 처리구별 N₂O 배출량.

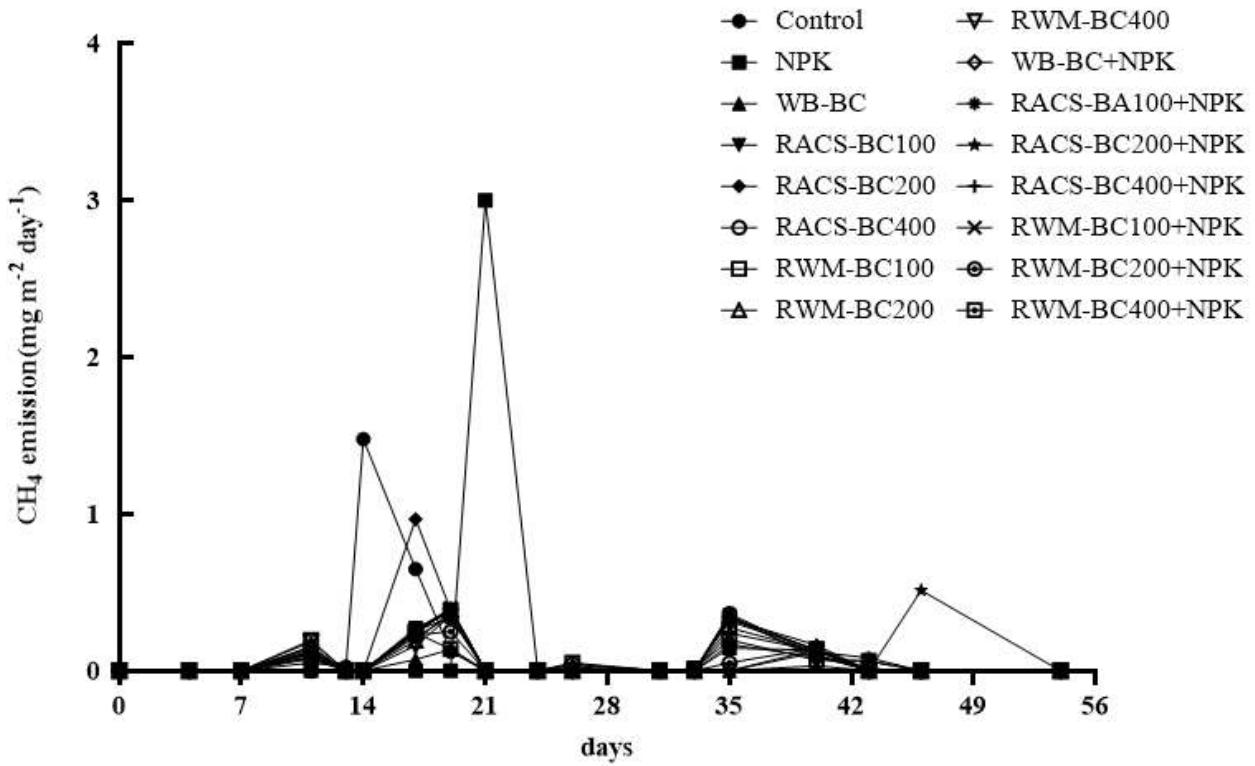


Fig. 188. 작물재배시험 처리구별 CH₄ 배출량.

지구온난화에 미치는 영향을 CO₂를 기준 물질로 하여 환산한 수치인 지구온난화지수(GWP: Global warming potential)를 재배시험의 각 온실가스 발생량에 적용하여 30일 동안 발생하는 온실가스를 GWP로 환산하여 분석하였으며 그 결과는 Fig. 189에 나타내었다.

30일 동안의 GWP 지수의 경우 NPK 처리구가 무처리구의 1.47배였으며, WB-BC 처리구는 0.93배, WB-BC+NPK 처리구는 1.38배였다. RACS-BC 처리구가 RWM-BC 처리구보다 높은 경향이었고, 모두 무처리구보다 낮은 수치를 보였다. RACS-BC와 RWM-BC가 NPK와 혼용시비된 처리구의 GWP 수치의 경우 모두 NPK와 WB-BC+NPK 처리구보다 낮은 경향이었고, RWM-BC+NPK는 모두 무처리구보다 낮았으며, RACS-BC100+NPK와 RACS-BC200+NPK 처리구 또한 무처리구보다 낮은 GWP 수치를 보였으나, RACS-BC 시비량이 두배량인 RACS-BC400+NPK 처리구의 경우 GWP 지수가 무처리구의 1.25배인 것으로 나타났다. GWP 수치의 경향은 NPK가 시비된 처리구가 NPK가 시비되지 않은 처리구보다 높았으며, RACS-BC 처리구보다는 RWM-BC 처리구가 낮은 경향이였다. 이상의 결과를 통해 RACS-BC, RWM-BC와 같이 랜더링 가축사체 잔여물을 활용하여 제조된 biochar는 NPK를 대체하여 양분을 공급할 수 있을 뿐만 아니라 이를 NPK와 혼용 시비하였을때 온실가스 저감 효과를 기대할 수 있을 것이라 판단된다.

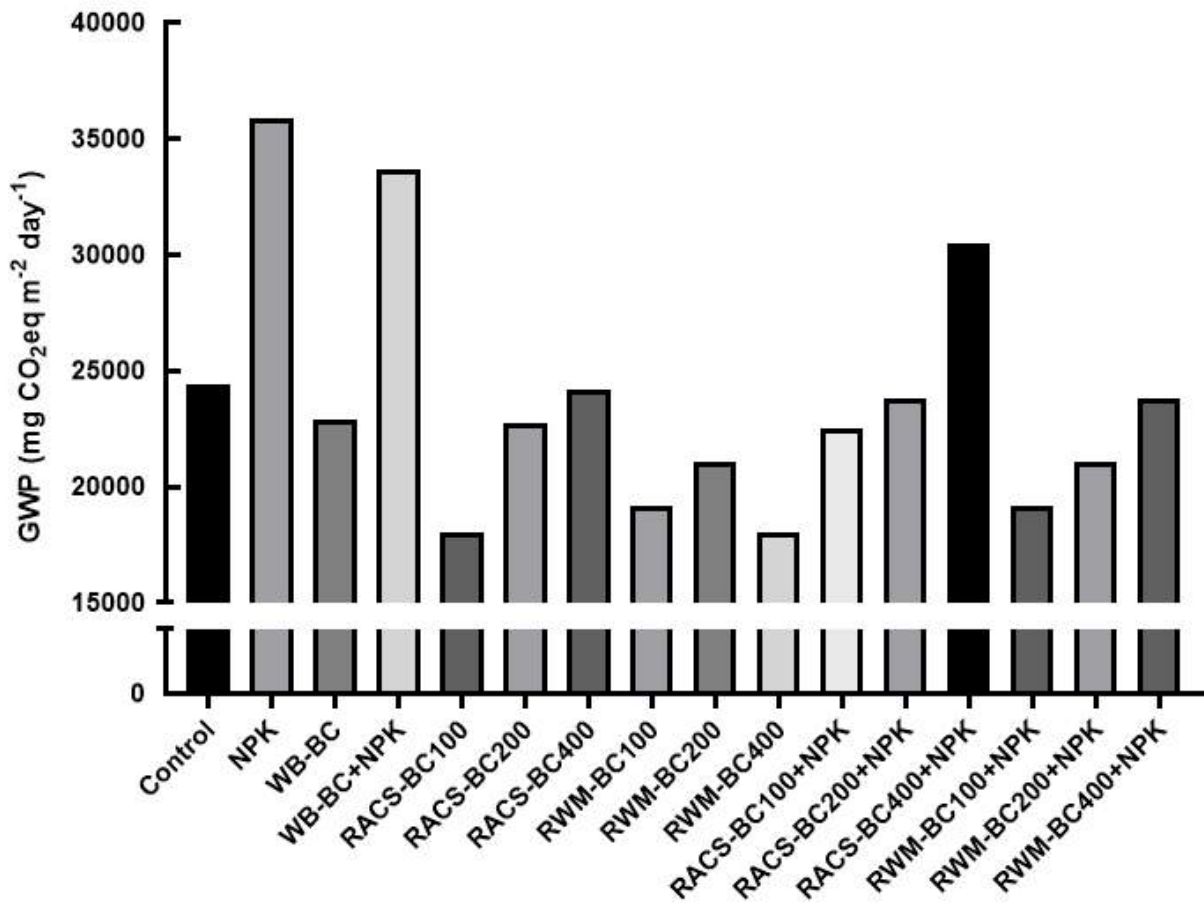


Fig. 189. 작물재배시험 처리구별 온실가스 배출량의 GWP 환산계수.

(5) 일반노지 작물재배시험 토양 내 미생물상 변화

Phylum 수준에서 조사된 모든 토양의 상위 5개문은 Actinobacteria, Proteobacteria, Acidobacteria, Chloroflexi 및 Gemmatimonadetes 였으며 Actinobacteria와 Proteobacteria가 토양 미생물의 80% 이상을 차지하였다. 미생물상 변화의 경우 무처리구와 NPK 처리구는 유사하였으며, WB-BC의 경우 무처리구에 비해 Actinobacteria의 비율이 4.5% 증가하였고 Proteobacteria는 3.3% 감소하였다. RACS-BC200과 RWM-BC200의 경우에는 무처리구와 비교하여 각각 Actinobacteria의 비율이 13.2%와 5.4% 감소하였고, Proteobacteria의 경우 8.4%와 6.2%가 증가하였다. Proteobacteria의 경우 불용성인을 가용성인으로 전환하는데 역할을 하는 미생물문으로 알려져있는데, RACS-BC와 RWM-BC에 포함된 인이 불용성인의 형태여서 Proteobacteria가 증가한 것으로 판단되며 RWM-BC보다 RACS-BC에서 인 함량이 더 높기에 더 큰 폭으로 증가한 것으로 판단된다.

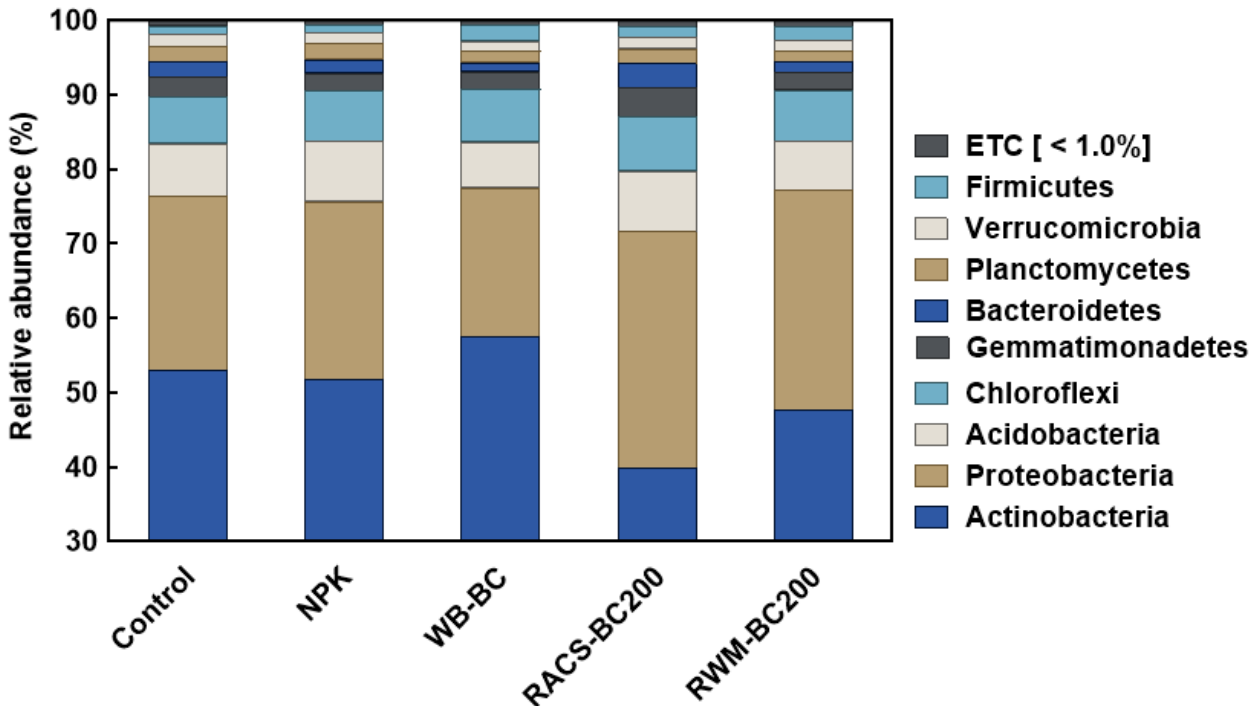


Fig. 190. 작물재배시험 처리구별 미생물상 변화.

나) 가축사체 잔여물 biochar의 영양결핍 토양에서의 작물재배시험

가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar 시용량에 따른 작물의 생육특성은 Fig. 192 및 Table 101에서 보는 것과 같다. 처리시일이 증가함에 따라 배추의 생육은 향상되었으나, 일반적인 토양에서 재배된 배추에 비해 생육은 저조하였다. 특히, 무처리구에서 재배된 배추는 초기 이식되었을 때와 유사하였는데, 이는 토양내에 배추가 생육하기에 충분한 양분과 유기물이 포함되어 있지 않기 때문으로 판단된다. 무기질 비료나 개발된 biochar가 시용됨에 따라 배추의 생육은 무처리구에 비해 증가하였다.



Fig. 191. 처리시일별 배추의 생육진경

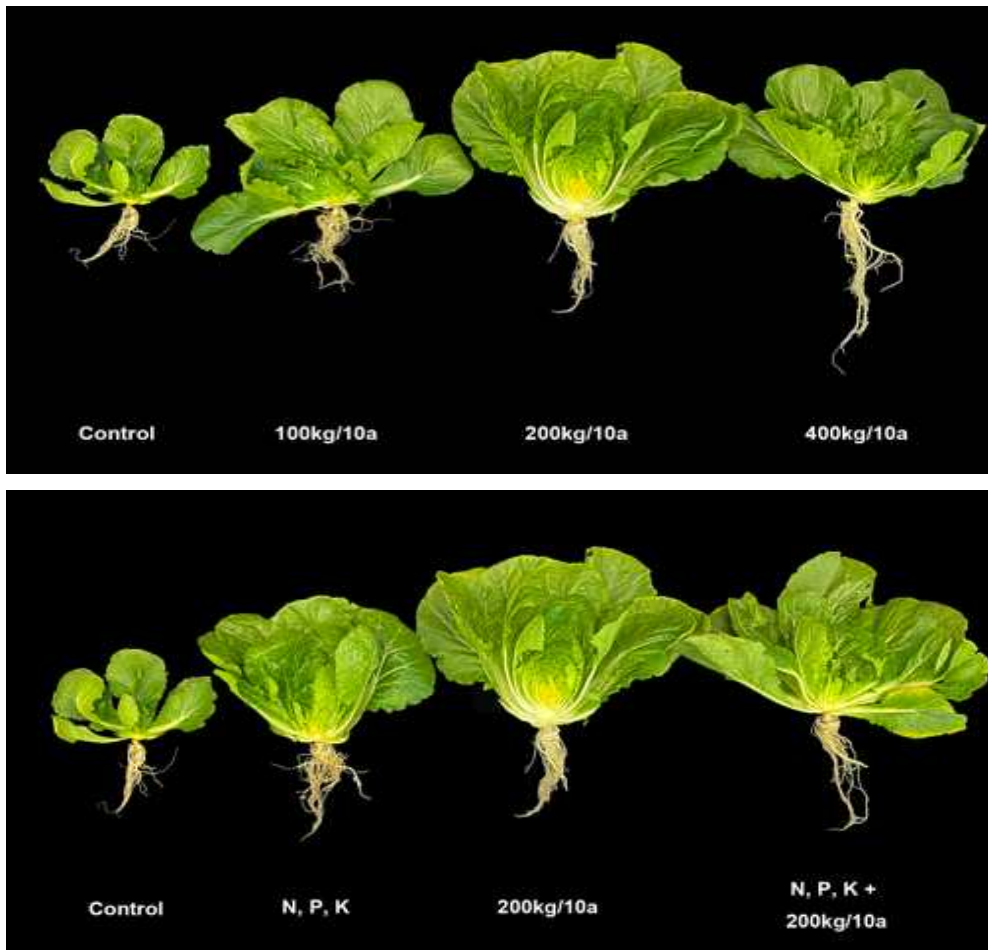


Fig. 192. 비료 및 biochar 처리조건별 배추의 생육진경.

가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar 사용량에 따른 배추의 생중량은 biochar 사용량이 증가함에 따라서 증가하는 경향이었고, RWM-BC100 처리구의 경우 NPK의 비해 생육특성이 저조하였으나, RWM-BC200 처리구의 경우 NPK에 비해 약간 향상된 결과를 보였다. 특히 질소와 RWM-BC200을 혼용시비한 처리구에서는 NPK 처리구에 비해 생중량이 1.5배 이상 향상된 결과를 보였다. 이러한 결과를 종합적으로 검토해볼 때, 양분결핍토양에서 작물의 생산성을 증대하기 위한 혼합 biochar의 사용량은 10a 당 200kg이 적절한 것으로 판단된다. Table 99에서 보는 것과 같이 혼합 biochar의 사용량이 증가함에 따라 식물체 상부인 엽장, 엽폭, 잎수와 하부 뿌리의 생중량 및 근장 또한 향상된 결과를 보였다. 특히 NPK처리구와 달리 RWM-BC 처리구들에서 뿌리의 길이가 RWM-BC의 사용량에 의존적으로 향상된 결과를 보였는데, 이는 RWM-BC가 토양에 사용됨에 따라 토양 물리성이 개선되었기 때문으로 판단된다. 이러한 결과로 본 연구에서 개발된 혼합 biochar는 양분이 부족한 토양에서 작물의 생육을 촉진시킬 수 있는 효과적인 개량제인 것을 확인할 수가 있었다.

Table 101. 혼합 biochar 사용량에 따른 시설하우스에서 생육된 배추의 생육특성

처리구	상부-식물체					하부-뿌리		
	생중량 (g)	건중량 (g)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	잎수 (No)	생중량 (g)	건중량 (g)	근장 (cm)
Control	59.97	7.27	17.50	21.13	26	4.70	1.09	22.67
NPK	378.77	29.83	25.17	40.70	46	16.80	3.61	22.73
RWM-BC100	244.70	20.80	21.87	41.23	40	12.03	2.84	26.73
RWM-BC200	430.23	31.63	30.27	42.90	47	19.83	3.84	29.97
RWM-BC400	527.70	35.50	35.50	43.60	56	22.87	4.52	31.47
RWM-BC200 +NPK	579.57	38.87	37.27	47.13±	64	17.90	5.19	31.77

가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar 시용량에 따른 배추내에 무기성분 함량은 Table 102에서 보는 것과 같다. 바이오차 시용량이 증가함에 배추내에 질소의 함량은 다소 증가하는 경향이었고, 다른 무기성분 함량들은 처리구마다 약간씩 차이가 있기는 하였으나, 유의적인 차이를 나타내지는 않았다. 하지만 RWM-BC의 시용량이 증가함에 따라 배추의 생육은 향상되었음에도 불구하고, 배추내에 무기성분 함량이 높다는 것은 RWM-BC가 토양으로부터 식물이 양분을 흡수하기에 좋은 환경을 제공하였다는 것을 나타낸다.

Table 102. 혼합 biochar 시용량에 따른 시설하우스에서 생육된 배추의 무기성분 함량

Treatment	T-N	T-P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
	----- % -----						----- mg kg ⁻¹ -----			
Control	1.98	0.31	5.14	1.55	0.27	0.26	410	23.1	0.84	19.5
NPK	1.96	0.38	5.91	1.48	0.22	0.29	377	24.3	1.62	11.3
RWM-BC100	2.15	0.26	5.22	1.33	0.21	0.29	497	23.3	1.46	21.5
RWM-BC200	2.26	0.57	6.12	1.37	0.19	0.23	689	24.7	1.84	28.7
RWM-BC400	2.34	0.61	5.28	1.34	0.20	0.26	545	21.6	1.69	19.6
RWM-BC200 +NPK	2.18	0.48	5.46	1.54	0.22	0.24	373	26.5	1.25	20.6

가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar 시용량에 따른 토양화학성 변화는 Table 103에서 보는 것과 같다. 토양 pH는 RWM-BC가 시용됨에 따라 약간씩 증가하였으며, 이는 대조구나 NPK처리구보다는 약간 높았다. 이는 RWM-BC 자체가 토양에 비해 pH 보다 약간 높았기 때문으로 판단된다. 또한 RWM-BC의 시용량이 증가함에 따라 토양 내에 T-N과 avail. P₂O₅의 함량은 증가하는 경향이었는데, 이는 RWM-BC 자체에 질소와 인이 풍부하기 때문으로 판단된다. 특히, RWM-BC처리구내에 P₂O₅의 함량은 NPK 처리구보다도 높았는데, 이러한 결과는 RWM-BC내에 배추 재배기간 동안 용해되어 이동되지 않는 인 성분들이 많다는 것을 나타낸다. 그 외에 다른 토양내 무기성분 함량은 거의 유사한 결과를 보였다.

Table 103. 배추가 이식된 시설하우스에서 혼합 biochar 시용량에 따른 토양화학성 변화

Treatment	pH	EC	OM	T-N	AvailP ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Control	5.12	0.04	1.33	0.22	29.2	0.80	1.62	0.56	0.05	21245	925
NPK	5.12	0.06	1.27	0.61	69.8	0.84	1.46	0.47	0.05	21666	921
RWM-BC100	5.25	0.18	1.67	0.42	75.2	0.95	1.59	0.55	0.06	21254	984
RWM-BC200	5.59	0.19	1.84	0.64	184.2	1.02	1.64	0.61	0.08	23125	956
RWM-BC400	5.66	0.18	1.94	0.69	202.1	1.06	1.69	0.64	0.11	22541	967
RWM-BC200 +NPK	5.49	0.18	1.82	1.02	189.6	1.11	1.65	0.65	0.08	22114	984

4) 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치 및 생산된 biochar의 품질인증

가) 가축사체 잔여물 biochar 제조기술에 대한 지식재산권 확보

본 연구에서 도출된 가축사체 및 목질계 혼합 biochar의 제조와 관련된 결과를 활용하여 특허를 등록하였으며, 그 세부내용은 다음과 같다. 단일 소재 biochar의 단점을 보강하여 탄소 안정성과 인 함량이 높은 비료로서의 가치를 증가시키는 식물 바이오매스와 동물성 부산물의 혼합에 의한 인 함유 biochar 및 그 제조방법에 관한 것으로, (a) 목질계 바이오매스(biomass)를 마련하는 단계, (b) 폐사 가축을 고온고압에서 랜더링(rendering) 처리하여 랜더링 고형잔류물을 마련하는 단계, (c) 상기 단계 (a)에서 마련된 목질계 바이오매스와 상기 단계 (b)에서 마련된 랜더링 고형잔류물을 혼합하여 혼합물을 마련하는 단계, (d) 상기 단계 (c)에서 마련된 혼합물을 열분해 장치에서 처리하여 열분해하는 단계를 포함하는 구성을 마련하여, 랜더링 고형부산물을 비료로 활용함으로써 폐사 가축의 자원화율을 높일수 있다. 본 발명에 따른 식물 바이오매스와 동물성 부산물의 혼합 biochar 및 그의 제조방법에 의하면, 기존에 비료로 사용되지 않았던 랜더링 고형부산물을 비료로 사용하여 고부가가치의 비료를 제조할 수 있다는 효과도 얻어진다.



Fig. 193. 가축사체 및 바이오매스 혼합 biochar에 대한 특허증 및 특허등록명세서.

나) 가축사체 잔여물 biochar의 친환경 유기 농자재 인증 획득

본 연구에서 최종 제품화될 가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar에 대한 품질 공인 성적서와 비해시험 결과를 활용하여 농산물품질관리원에 친환경 유지농자재 인증을 취득하려고 하였으나, 현재 비료공정 규격상 가축사체 biochar에 대한 이화학적 성분에 대한 기준이 설정되어 있지 않아 예상보다 더 많은 시간이 소요될 것으로 예측된다. 최근 농촌진흥청에서 농업부산물 및 가축분 biochar에 대한 이화학적 성분의 기준이 설정되고 있는 것으로 보고되어졌으며, 이들의 설정이 완료된 후에 본 연구에서 개발된 가축사체와 목질계 바이오매스 혼합

biochar에 대한 유기 농자재 인증이 가능할 것으로 판단된다.

다) 가축사체 잔여물 biochar의 제조 및 적용기술에 대한 논문 게재

본 연구를 통하여 가축사체 잔여물로 제조된 biochar를 농경지에 사용하여 작물의 수량과 농경지 이화학적 특성에 미치는 영향을 조사하였으며, 그 결과를 활용하여 국내저명학술지에 논문을 게재하였다. 당초 계획은 우수한 연구결과들을 활용하여 국제 저명학술지에 논문을 투고하려고 하였으나, 제조장치의 효율성 검토에 다소 많은 시간이 소요되고, 우수한 저널에 논문 투고시 농경지 재배시험은 2년 이상을 원칙으로 하고 있기 때문에 논문 게재가 다소 지연되었다. 현재 가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar의 특성과 이들이 토양 및 작물에 미치는 영향에 대한 연구결과가 모두 정리되어 여러 편의 논문을 작성하고 있으며, 이들은 국제 저명학술지 (Science of The Total Environment, Bioresource Technology 등)에 투고할 예정이다. 그 외에 가축사체 biochar와 농업부산물 biochar의 온도별 제조특성 및 중금속 부동화 효율 등에 대한 다양한 논문을 작성중에 있으며, 과제종료 후 추적 평가시 이들에 대한 성과는 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

라) 가축사체 잔여물 biochar의 품질검사 체계확립

최종 개발된 가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar의 비료 및 토양개량제 공정규격제 품에 대한 품질관리 시스템의 구성은 Fig. 194와 같이 품질관리 시스템을 운영하기 위한 조직이 필요하며, 품질관리를 위한 시설 및 장비, 그리고 공정규격에 적합한 시험검사, 생산된 가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar의 품질에 대한 보증이 필요하다. 이에 이 결과에서는 각 세부 항목별로 필요한 요인들을 제시하여 최종 품질관리 시스템을 정립하고자 한다.

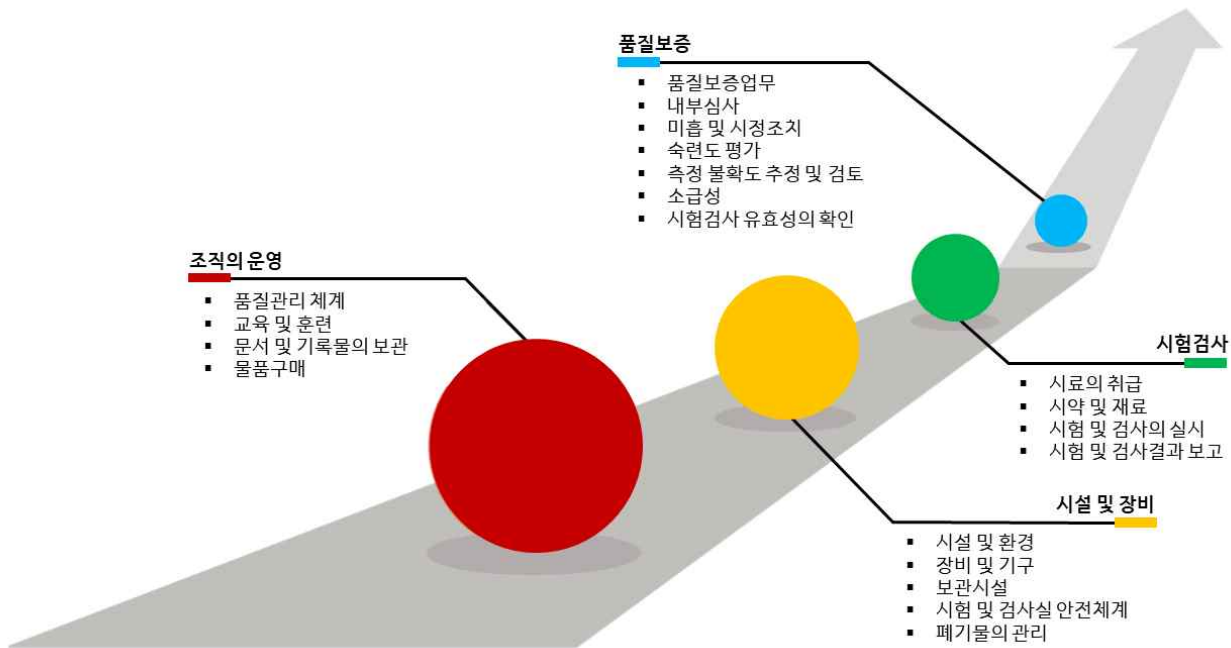


Fig. 194. 품질관리 시스템의 구성.

(1) 조직의 운영

○ 품질관리체계

- 해당 시험·검사기관의 조직 및 기능에 대하여 공식적인 권한을 가진 사람을 운영책임자로 지정하는 것이 필요하며, 검사책임자 1명 이상, 품질보증책임자 1명 이상 지정, 검사책임자 및 품질보증책임자의 부재를 대비하여 대리자를 미리 지정하는 것이 필요
- 품질보증 담당자 및 검사원이 갖추어야 하는 학력, 전공 또는 경력 등의 요건을 규정하고 자격을 부여하는 절차를 마련하고 내·외부 숙련도 평가 등을 통하여 시험·검사 항목 또는 제품에 대한 시험·검사 능력을 갖춘 적절한 수의 검사원을 확보
- 운영책임자, 검사책임자, 품질보증책임자 및 검사원의 책임과 권한, 업무 범위 및 위임·전결사항 등 규정을 정함.
- 운영책임자, 검사책임자, 품질보증책임자 및 검사원은 품질관리 체계에 대한 내용 숙지
- 해당 시험·검사기관의 모든 직원이 시험·검사 품질에 영향을 미칠 수 있는 내·외부의 부당한 압력으로부터 독립성을 확보하기 위한 절차 마련

○ 교육·훈련

- 검사원이 업무를 수행하는데 필요한 교육·훈련 절차 수립
- 운영책임자, 검사책임자, 품질보증책임자, 검사원에 대한 교육 계획을 매년 수립하고 이에 따른 교육 관련 기록을 유지·관리

○ 품질관리문서

- 시험·검사 결과의 정확성과 신뢰성 확보를 위한 품질관리 문서는 항상 최신본으로 유지·관리하고 오류 방지를 위하여 정기적으로 검토
- 책임자의 승인 하에서 품질관리 문서 제·개정 및 폐지(근거 기록 유지)
- 품질관리 문서는 효율적으로 활용될 수 있도록 배포·관리

○ 물품구매

- 시험·검사와 관련된 물품의 구매, 검수 및 보관 등에 관한 절차 구비
- 시험·검사 결과의 신뢰성에 영향을 미칠 수 있는 물품(주요장비 등)은 기술적인 내용을 사전에 검토하여 구매

(2) 시설 및 장비

○ 시설 및 환경

- 시험·검사에 적절한 시설 및 환경
- 필요한 경우 구획, 구분, 배치 등으로 교차 오염을 방지
- 유해화학물질, 감염성 물질, 고전압장치 등은 적절히 분리·보관
- 적절한 온도, 습도, 환기, 조명 등의 확보
- 외부인의 출입 및 목적외 사용 제한

○ 장비 및 기구

- 시험·검사에 사용하는 장비 및 기구는 식별하고 그 이력을 관리
- 주요 장비 및 기구에 대한 교정 또는 검증 등의 점검 절차와 사용 지침서 구비
- 주요 장비 및 기구에 대하여 관리 담당자 지정
- 주요 장비 및 기구에 대하여 정기적인 점검 실시 및 결과 기록·관리
- 장비 및 기구는 시험·검사 방법에 가장 적합한 것을 사용, 이후의 시험·검사에 이용될 수 있도록 성능과 상태를 유지·관리
- 장시간 사용하지 않는 장비는 별도의 장소에 배치하거나 별도의 표식

○ 보관시설

- 시료의 오염이나 혼동을 방지하기 위한 적절한 구역과 보관시설 구비
- 시료는 변질이 없도록 적절한 보관시설 구비
- 시험·검사에 필요한 시약 등은 오염되지 않도록 분리 보관
- 시약 등은 품질저하를 방지할 수 있도록 적절한 보호장치를 갖춘 시설에 보관

○ 시험·검사실 안전관리

- 시료나 시험·검사에 사용되는 유해화학물질, 고압가스, 위험물 등은 관계 법령을 준수하여 안전하게 취급·보관
- 화재, 폭발, 감염, 피폭, 약품 중독, 오염 등 각종 시험·검사실 안전사고에 대비하여 예방·대비책 수립 및 시설·장비 구비
- 시험·검사 방법을 사전에 검토하여 예상되는 사고에 대한 예방·대비책 마련 및 시설·장비 구비
- 실험실 안전대비 교육·훈련은 연 1회 이상 실시

○ 폐기물의 관리

- 시험·검사를 실시함에 따라 발생하는 모든 폐기물을 안전하게 처리할 수 있도록 필요한 시설 및 환경 조성
- 폐기물의 수집, 보관, 처리, 오염제거 및 운반 등은 관련 법규 준수

(3) 시험 및 검사

○ 시료의 취급

- 이물의 혼입 및 오염에 주의하여 운송
- 냉장 또는 냉동시료는 냉장 또는 냉동차량 등으로 운송
- 운반업자 등에게 시료의 운송을 위탁하는 경우에는 개봉되지 않도록 봉인하여 적합하게 운송
- 시험·검사 의뢰서의 기재사항과 시료가 동일할 것
- 시료의 상태가 시험·검사의 목적에 적절할 것
- 시료의 수량이 시험·검사에 충분할 것
- 시료를 접수할 때에는 식별이 가능하도록 고유 번호 부여
- 검체는 대표성이 확보되고 다른 검체와 혼동되지 않도록 주의
- 이물의 혼입 및 오염이 없도록 채취
- 검체를 소분한 경우에는 검체의 기원을 알 수 있도록 표시
- 필요한 경우 검체를 넣는 용기는 시료의 종류, 형상 및 시험·검사의 목적에 적절하고 이동, 세척 및 멸균이 용이한 것을 이용
- 오염이나 변질이 되지 않도록 시료 보관 용기마다 식별번호 표시 및 필요한 경우 보관 조건 등을 표시
- 시료의 보관, 폐기 및 반환과 관련한 기록

○ 시약 및 재료

- 시약 (키트 포함), 배지, 표준물질, 표준균주 등의 식별 및 관리 등에 관한 절차를 수립하고 담당자 지정
- 시험·검사에 사용되는 표준물질은 주기적으로 유효성 검증 실시 (다만, 유효기간 이내의 표준물질에 대한 유효성 검증은 생략 가능)
- 시약, 배지, 표준물질의 명칭, 순도 또는 농도, 보존방법, 사용기한 등 식별이 용이하도록 표시·관리

- 제조 용액 등은 용액의 명칭, 제조자, 제조일, 제조방법, 유효기간과 관련된 정보를 사용자가 쉽게 이용할 수 있도록 기록
- 변질 또는 유효기간이 경과한 시약 등은 해당 절차에 따라 처리
- 미생물 배지를 제조하여 사용하는 경우 유효성을 정기적으로 확인하고 관리(다만, 완제품으로 상용화된 배지 (단순 칭량 후 증류수 혼합하는 등)등은 제외)
- 시약제조 등 시험·검사 업무에 사용하는 증류수에 대한 관리 규정 마련

○ 시험·검사의 실시

- 시험·검사는 품질관리 절차 및 관련 규정에 적합하게 실시
- 시험·검사에 사용된 시약, 표준물질, 장비 등의 품질은 시험·검사 목적에 부합
- 시험·검사와 관련된 기초자료의 작성 및 관리에 대한 절차 수립
- 시험·검사 과정 중에 얻어진 모든 자료와 기록은 명확하게 기록, 보관
- 컴퓨터의 온라인체계 (On-line System) 혹은 데이터베이스를 기초자료로 사용할 경우 전자 기록의 백업·보호 절차 및 기록에 대한 무단 접근 또는 수정을 방지하기 위한 절차를 보유

○ 시험·검사 결과의 보고

- 검사원은 시험·검사 종료 후 그 내용이 시험·검사의 목적을 충분히 충족시켰는지 점검한 후 기초자료 및 다음 사항이 포함된 시험·검사성적서를 작성하여 책임자에게 보고
- 시험·검사결과에 문제가 발생한 경우 시험·검사성적서의 회수 등 적절한 시정조치 및 그내용은 기록·관리
- 반복적으로 시험·검사의 신뢰성에 중대한 영향을 미칠 가능성이 있는 경우에는 그 내용 및 시정조치 결과 등을 상세히 기록하여 재발 방지
- 시험·검사성적서는 오해 및 오용의 가능성을 방지하도록 설계

(4) 품질보증

○ 품질보증 업무

- 문서화된 품질보증 절차를 수립하고 이에 따라 업무 수행
- 품질보증업무는 시험·검사 업무와 독립된 품질보증책임자 또는 품질보증 담당자가 수행

○ 내부심사

- 내부심사는 매년 1회 이상 실시
- 품질보증책임자는 내부심사 계획을 수립·실시, 다음 사항을 포함하여 결과 작성
- 품질보증책임자는 내부심사 결과를 운영책임자에게 보고하고 관련 기록을 유지·관리
- 운영책임자가 개선 등을 지시했을 때 개선조치 내용을 동일하게 보고

○ 미흡 및 시정조치

- 시험·검사 결과가 품질관리 체계에서 벗어난 미흡사항이 발생한 경우, 행정기관으로부터 지적을 받은 경우, 의뢰자로부터 시험·검사 절차의 타당성에 대한 이의가 제기된 경우, 내부심사에서 미흡사항으로 지적 받은 경우 시정조치
- 시험·검사기관은 미흡사항 등에 대하여 시정조치를 수행할 자를 지정하여 원인분석 실시하고, 미흡사항 등에 대한 중요도 평가 실시, 중요도 평가 결과에 따라 시정조치 기한을 정하여 그 기한 내에 시정조치하며, 시험·검사기관이 시정조치를 한 경우에는 그 유효성을 확인한 후 시정조치 관련 기록을 유지·관리 함

○ 숙련도 평가

- 시험·검사기관은 내·외부 숙련도 평가 계획을 매년 수립하고 실시 (다만, 의료기기 시험·검사기관과 같이 숙련도 평가용 시료를 확보하기 어려운 경우에는 숙련도 평가 생략 가능)

- 검사원에 대한 숙련도 평가는 적어도 2년에 1회 이상 실시
- 측정불확도 추정 및 검토
 - 시험·검사기관은 측정불확도 추정과 관련한 절차 수립
 - 국제적 지침 또는 이에 준하는 기준 따라 측정불확도 추정에 대한 방법과 절차 수립
- 소급성
 - 시험·검사기관은 소급성을 유지할 위한 절차를 마련 및 주요 분석(측정) 장비 및 기구에 대하여 주기적인 교정 실시
 - 시험·검사 결과가 국제단위계 (International system of units, SI)에 소급가능 (다만, 관련 규정에서 별도로 정한 경우에는 예외)
- 시험·검사 방법의 유효성 확인 및 검증
 - 시험·검사 방법에 대한 유효성 확인 및 검증에 대한 절차 마련
 - 시험·검사기관에서 이용하는 시험·검사 방법은 유효성 확인 또는 검증
 - 분석 장비를 이용하는 시험·검사 방법의 유효성 확인 또는 검증은 CRM, RM 또는 이에 상응하는 표준품 등을 이용
 - 품질보증책임자는 시험·검사 업무와 관련된 모든 지침, 규격 및 참고 자료를 반드시 최신 본으로 보유·적용하고 규격 등의 갱신여부를 정기적으로 파악

가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar 비료 공정규격제품 생산 및 품질관리에 대한 구성은 Fig. 195에서 보는 것과 같다. 현행 비료공정 규격상 원재료에 대한 성분검사를 실시하는 것을 원칙으로 하고 있기 때문에 랜더링 업체로부터 배출되는 랜더링 가축사체 잔류물과 목재가공 부산물로 배출되는 톱밥에 대한 관능검사 및 이화학적 품질검사를 실시하고, 기준을 만족할 시 가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar 제조공정으로 운송되어진다. 운송되어진 랜더링 가축사체 잔류물과 톱밥은 열분해 시스템에 투입되어 설계된 열분해 온도 및 시간에 따라 열분해되어 가축사체 및 목질계 바이오매스 혼합 biochar를 제조한다. 제조된 RWM-BC를 토양개량제 및 비료로 이용하기 위하여 성분분석과 품질검사를 수행한다. 여기에서 품질기준을 만족한 것을 상품으로 출하한다. 각 원재료 및 제품 유형별 샘플에 대한 불합격 판정시 전면 전단계로 이송하여 다시 제품 생산 과정을 거치게 한다.

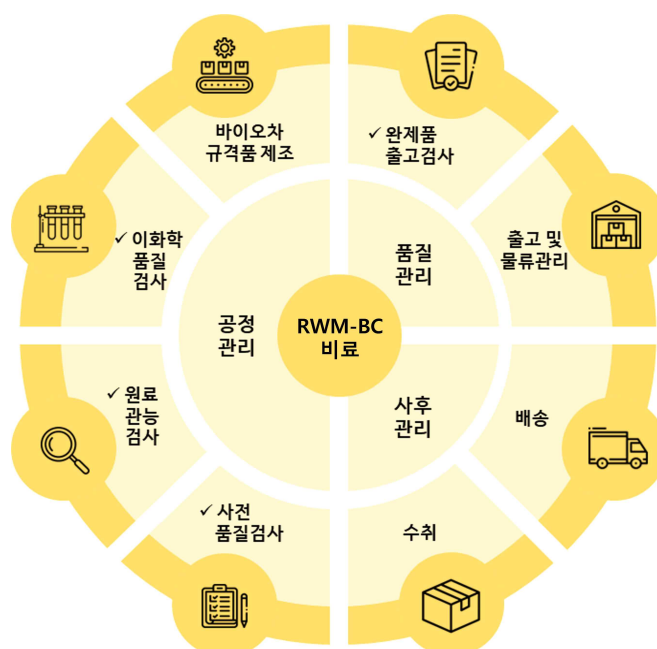


Fig. 195. RWM-BC 비료의 공정규격제품 생산을 위한 공정, 품질 및 사후관리 모식도.

다. 아미노산 액비 제조시스템 및 바이오차 제조시스템 현장 설치 및 제품생산

1) 아미노산 액비 제조시스템 현장 설치 및 생산 가동

가) Scale-up된 아미노산 액비 제조시스템 설치 및 기술 전수

(1) 아미노산 액비 제조시스템 현장 설치

아미노산 액비 제조시스템은 Fig. 196과 같이 설치하였다. 아미노산 액비 제조시스템의 경우 아래 출수구가 있기 때문에 제품 회수를 용이하게 하기위하여 받침대를 두어 높이를 높였으며, 장비 가동 및 관리의 편리성을 위해 공장 외벽과 밀착시키지 않고 거리를 두어 설치하였다.



Fig. 196. 현장 설치된 아미노산 액비 제조장치.

(2) 아미노산 액비 제조시스템 기술 전수

아미노산 액비 제조시스템 기술은 순천대학교에서 아미노산 액비 제조과정 및 제조방법, 제조시 유의사항 등의 아미노산 액비 제품생산에 관한 일련의 노하우를 전수받았다.



Fig. 197. 아미노산 액비 생산 공정시스템.

(3) 아미노산 액비 제조시스템 시운전 및 매뉴얼 업그레이드

아미노산 액비 제조시스템 시운전은 순천대학교의 아미노산 제조시스템 기술을 바탕으로 시운전을 진행하였다 (Fig 198). 액비제조전 물을 투입하여 온도조건 설정과 교반시스템 작동유무 등을 파악하였으며, 랜더링박과 효소를 첨가하여 발효공정을 통해 시운전을 진행하였다.



Fig. 198. 현장 설치된 아미노산 액비 제조장치 시운전.



Fig. 198. 현장 설치된 아미노산 액비 제조장치를 통해 생산된 아미노산 액비.

Table 104. 아미노산 액비 유기농업자재 공시번호 등록 (상품명 : 아미큐)

번호	구분	공시번호	자재명칭	자재구분	상품명	업체명	기간
2	신규	공시-3-2-167	동물부산물	작물생육용	아미큐	엑시엄우드(주)	20231221~20261220

나) 아미노산 액비 생산 원가 분석

아미노산 액비 생산 원가는 아미노산 액비 1 L당 제조원가를 계산하였으며, Table 105와 같다. 아미노산 액비 생산에 필요한 재료비의 경우 직접재료비로 랜더링박과 효소, 액비 포장용기로 나눌 수 있으며, 금액은 각각 500, 250, 100원으로 산정할 수 있으며, 재료비의 총합은 1L당 1,000원으로 계산될 수 있다. 노무비의 경우 1인당 500원대로 총합은 1,500으로 계상할 수 있다. 제조에 필요한 용역비, 전력비, 운반비, 시험검사비, 광고비 등의 경비는 총 1,000원으로 산정할 수 있다. 총 제조원가는 3,500원이며, 그 외 일반관리비, 기타 경비를 포함하여 총원가는 5,000원으로 분석된다.

Table 105. 아미노산 액비 1L당 제조원가 계산서 (단위:원)

항목		금액	비고	
제 조 원 가	재료비	직접재료비(랜더링박)	500	주재료
		직접재료비(효소)	250	주재료
		직접재료비(통)	100	포장용기
		간접재료비	150	
		소계	1,000	
	노무비	직접노무비	1,000	2인
		간접노무비	500	1인
		소계	1,500	
	경비	용역비	100	
		전력비	100	
		임차료	-	
		운반비	100	
		시험검사비	100	
		보관비	100	
		홍보, 광고비	200	
		감가상각비	100	
		기타법정경비	100	
		현장관리비	100	
		소계	1,000	
일반관리비		1,000		
기타경비		500		
총원가(공급가액합계)		5,000		
이윤		5,000		
합계금액		10,000		

2) 랜더링 가축사체 전용 바이오차 제조시스템 현장 설치 및 생산 가동

가) Scale-up된 바이오차 제조시스템 설치 및 기술 전수

(1) 바이오차 제조시스템 현장 설치

Scale-up된 바이오차 제조시스템은 Fig. 199와 같이 설치하였다. 바이오차 제조시스템은 고온으로 이동되기 때문에 온도변화에 최대한 영향을 받지 않는 곳에 설치하였으며, 장비의 파손 및 관리에 용이하도록 할 수 있는 공간에 비치하였다.



Fig. 199. 바이오차 제조시스템 현장 설치 사진.

(2) 바이오차 제조시스템 기술 전수

랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템 기술은 경상국립대학교에서 biochar 제조과정 및 제조방법, 제조시 유의사항 등의 기존 biochar 제품생산과는 차별화된 가축사체 전용 biochar 제조에 관한 일련의 노하우를 전수받았다.

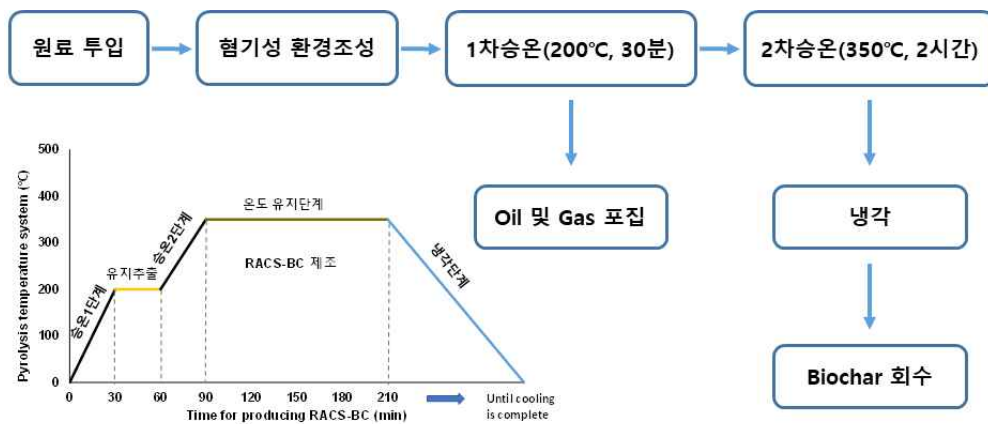


Fig. 200. 랜더링 바이오차 생산 공정시스템.

(3) 바이오차 제조시스템 시운전 및 매뉴얼 업그레이드

제작된 현장형 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템을 시운전은 경상국립대학교에서 기술 전수와 함께 진행하였으며, 가스상의 발생량이 낮은 목질계 바이오매스를 이용하여 제조시스템의 시운전을 진행을 통해 로터 작동 및 밀폐 여부, 열분해관의 스크루 작동 및 온도 유지 여부, 대기

정화조의 정화시스템 작동 여부 등을 확인하였다.

가축사체 랜더링 바이오차 제조시스템으로 생산된 바이오차의 경우 식물성 바이오매스와 다르게 원료의 형태를 유지한 상태로 생산되지 않으며, 응집되어 굳은 형태로 생산된다. 이에 시스템 매뉴얼에 랜더링 바이오차 원료 파쇄장치를 추가하였으며, 랜더링 바이오차 원료 파쇄장치는 Fig. 201에서 보는 바와 같이 제작하였다. Fig. 202~203의 도면과 같이 규격을 설정하였으며, 나선형 압출장치를 통해 랜더링 가축사체 바이오차를 균질화하여 제품생산을 진행하고자 하였다.

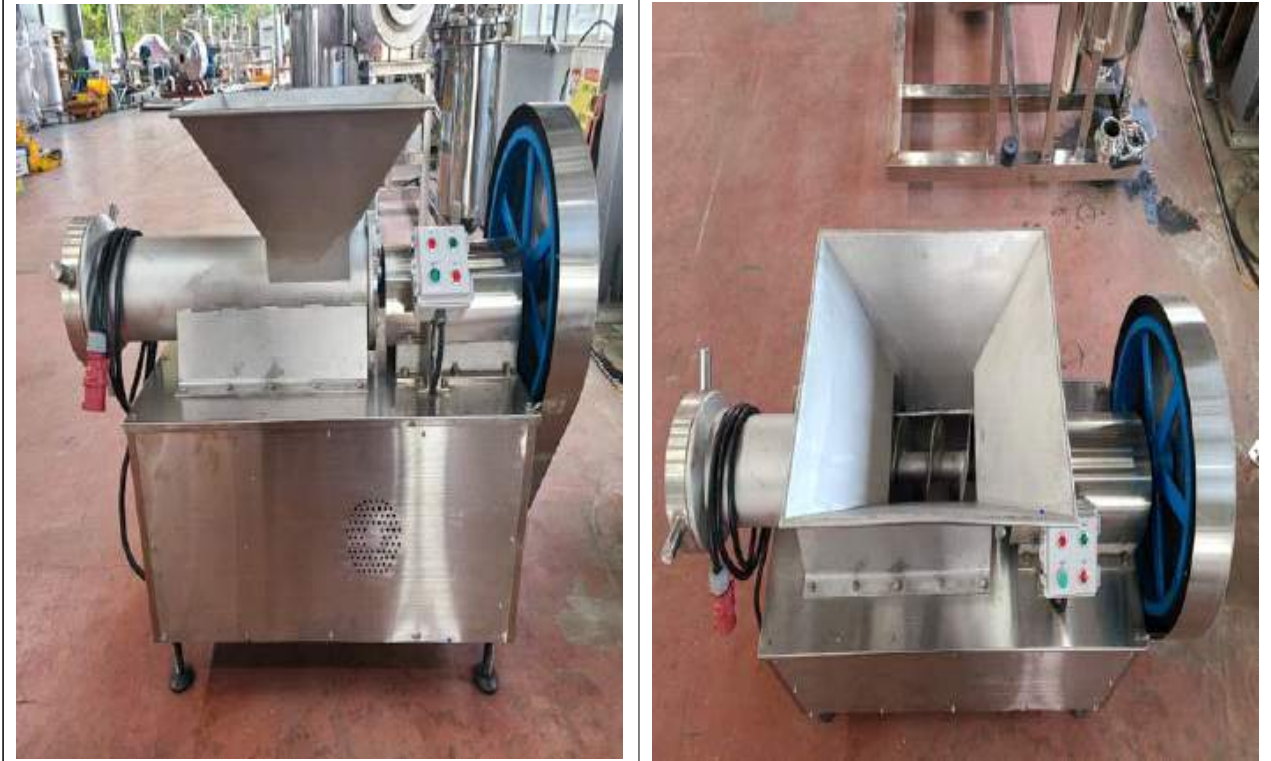


Fig. 201. 랜더링 바이오차 원료 파쇄기 (측면 및 평면).

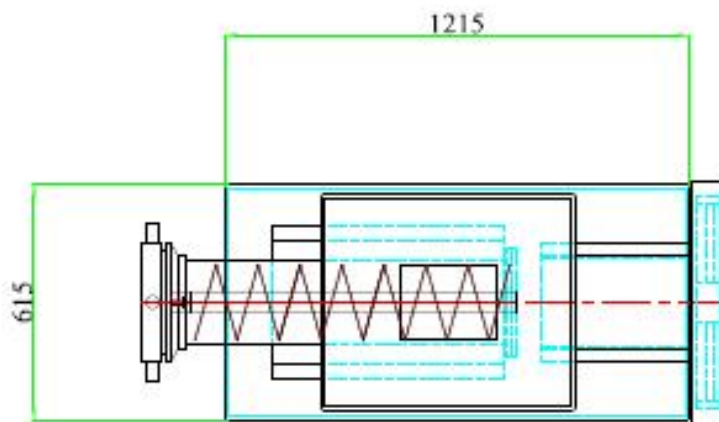


Fig. 178. biochar 원료 파쇄기 도면(평면도).

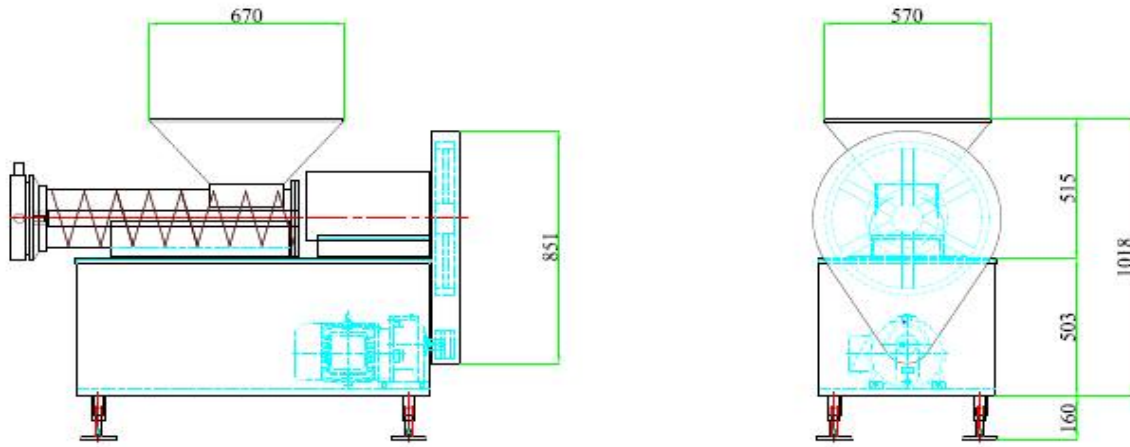


Fig. 179. biochar 원료 파쇄기 도면(측면도 및 정면도).

나) 바이오차 생산 원가 분석

biochar 생산 원가는 biochar 1 kg당 제조원가를 계산하였으며, Table 106과 같다. biochar 생산에 필요한 재료비의 경우 직접재료비로 랜더링박과 포장용기로 나뉘며, 금액은 각각 2,500, 50원으로 산정할 수 있다. 재료비의 총합은 1 kg당 2,600원으로 계산될 수 있으며, 노무비의 경우 1인당 500원대로 총합은 1,500으로 계상할 수 있다. 제조에 필요한 용역비, 전력비, 운반비, 시험검사비, 광고비 등의 경비는 총 1,200원으로 산정할 수 있다. 총 제조원가는 5,300원이며, 그 외 일반관리비, 기타 경비를 포함하여 총원가는 6,300원으로 분석된다.

Table 106. biochar 1 kg당 제조원가 계산서 (단위:원)

항목		금액	비고	
제 조 원 가	재료비	직접재료비(랜더링박)	2,500	주재료
		직접재료비	50	포장용기
		간접재료비	50	
		소계	2,600	
	노무비	직접노무비	1,000	2인
		간접노무비	500	1인
		소계	1,500	
	경비	용역비	100	
		전력비	300	
		임차료	-	
		운반비	100	
		시험검사비	100	
		보관비	100	
		홍보, 광고비	200	
		감가상각비	100	
		기타법정경비	100	
		현장관리비	100	
		소계	1,200	
	일반관리비		500	
기타경비		500		
총원가(공급가액합계)		6,300		
이윤		4,700		
합계금액		11,000		

3) 사업화 계획

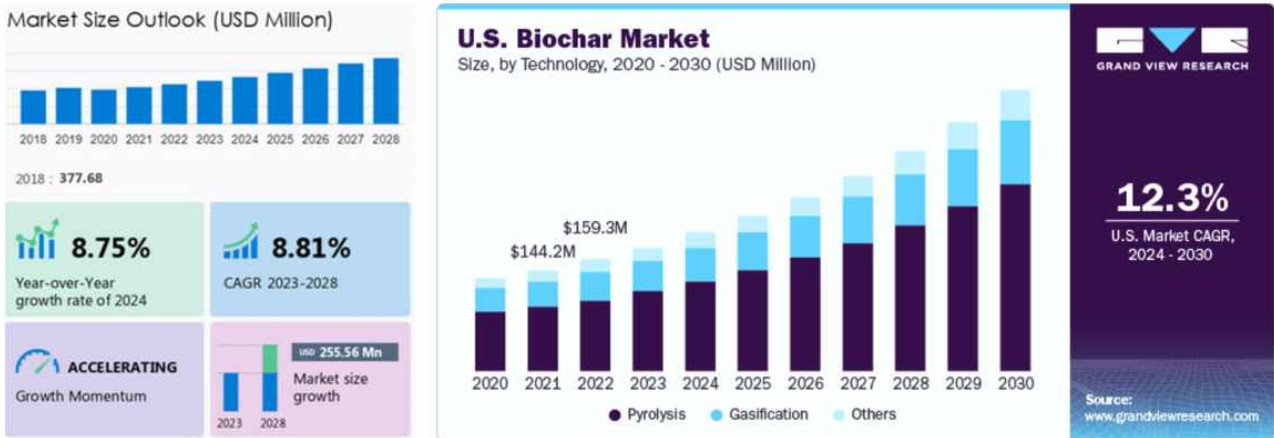
가) 아미노산 비료 및 바이오차 시장 특성과 대응 방안

(1) 아미노산 비료 시장 :

수용성 비료 시장의 성장과 더불어 2018년 3.8억 달러 규모에서 연간 8.75% 성장

(2) 바이오차시장 :

탄소거래시장의 성장과 더불어 2022년 1.6억 달러 규모에서 연간 12.3% 성장



➡ 국내 비료시장은 다수의 비료회사와 저가 경쟁으로 후발 업체로서 시장 진입에 어려움이 있음

➡ 바이오차 시장도 사회적 관심도에 비해 시장 활성화가 더딘 상태



<대응 방안>

기존 농업 유통회사와 협력 / 해외시장 탐색 및 개척 / 제품 차별화 전략 강구
 바이오차의 비료 기능 강화 / 비료 제도 개선을 위한 산학협력

나) 사업화 계획

(1) 기본 전략

- ✓ 식물성 바이오차기반에 동물성 바이오차생산 기술 확보 → 탄화전문기업
- ✓ 탄화기술 기반에 효소반응 기술 확보 → 비료 부문 진출
- ✓ 탄소배출권 사업 부문으로 사업영역 확장 → ESG 기업으로 성장

(2) 사업화 일정

[극복해야할 과제]

- ✓ 랜더링부산물 수급의 어려움
- ✓ 랜더링부산물수급 비용의 발생
- ✓ 동물성 폐기물 처리업 허가
- ✓ 동물성 바이오차판매에 대한 제도 부재
- ✓ 시장이 작고 가격경쟁이 심함

[사업화 일정]



2절 정량적 연구개발성과

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2021~2022)	2단계 (2023)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허출원	목표(단계별)	5		5	10
		실적(누적)	4(0)		4(0)	
	특허등록	목표(단계별)	3		3	10
		실적(누적)	0(0)		0(0)	
	최종보고서	목표(단계별)	1		1	20
		실적(누적)	0(0)		0(0)	
	국내논문	목표(단계별)	6		6	5
		실적(누적)	1(0)		1(0)	
	SCI논문	목표(단계별)	5		5	5
		실적(누적)	1(4)		1(4)	
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	기술이전	목표(단계별)	2		2	20
		실적(누적)	0(0)		0(0)	
	제품화	목표(단계별)	2		2	20
		실적(누적)	0(0)		0(0)	
	기술인증	목표(단계별)	2		2	10
		실적(누적)	0(0)		0(0)	
계	목표(단계별)	26		26	100	
	실적(누적)	6(4)		6(4)		

* 1) 전담기관 등록·기탁 지표: 논문[SCI Expanded(SCIE), 비SCIE, 평균Impact Factor(IF)], 특허, 보고서원문, 연구시설·장비, 기술요약정보, 저작권(소프트웨어, 서적 등), 생명자원(생명정보, 생물자원), 표준화(국내, 국제), 화합물, 신물질 등을 말하며, 논문, 학술발표, 특허의 경우 목표 대비 실적은 기재하지 않아도 됩니다.

* 2) 연구개발과제 특성 반영 지표: 기술실시(이전), 기술료, 사업화(투자실적, 제품화, 매출액, 수출액, 고용창출, 고용효과, 투자유치), 비용 절감, 기술(제품)인증, 시제품 제작 및 인증, 신기술지정, 무역수지개선, 경제적 파급효과, 산업지원(기술지도, 교육지도, 인력양성(전문 연구인력, 산업연구인력, 졸업자수, 취업, 연수프로그램 등), 법령 반영, 정책활용, 설계 기준 반영, 타 연구개발사업에의 활용, 기술무역, 홍보(전시), 국제화 협력, 포상 및 수상, 기타 연구개발 활용 중 선택하여 기재합니다 (연구개발과제 특성별로 고유한 성과지표를 추가할 수 있습니다).

< 연구개발성과 성능지표(예시) >

평가 항목 (주요성능 ¹⁾)	단위	전체 항목에서 차지하는 비중 ²⁾ (%)	세계 최고		연구개발 전 국내 성능수준	연구개발 목표치		목표설정 근거
			보유국/보유기관	성능수준	성능수준	1단계 (YYYY~YYYY)	n단계 (YYYY~YYYY)	
1								
2								

* 1) 정밀도, 인장강도, 내충격성, 작동전압, 응답시간 등 기술적 성능판단기준이 되는 것을 의미합니다.

* 2) 비중은 각 구성성능 사양의 최종목표에 대한 상대적 중요도를 말하며 합계는 100%이어야 합니다.

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)]

○ 세부 정량적 연구개발성과(해당되는 항목만 선택하여 작성하되, 증빙자료를 별도 첨부해야 합니다)

[과학적 성과]

논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Effect of biochar application on nitrogen use efficiency for sustainable and productive agriculture under different field crops	JOURNAL OF PLANT NUTRITION	강세원 (조주식)	44 (19)	영국	Taylor & Francis	SCIE	2021. 05.13	0190-4167	25%
2	Comparison of catalytic activity for treating recalcitrant organic pollutant in heterogeneous Fenton oxidation with iron-impregnated biochar and activated carbon	Journal of Water Process Engineering	박종환 (서동철)	42	네덜란드	ELSEVIER	SCIE	2021. 05.18	2214-7144	30%
3	Exploring Suitable Biochar Application Rates with Compost to Improve Upland Field Environment	Agronomy	강세원 (조주식)	11 (6)	스위스	MDPI	SCIE	2021. 06.02	2073-4395	25%
4	Effects of biochar and barley straw application on the rice productivity and greenhouse gas emissions of paddy field	Applied Biological Chemistry	강세원 (조주식, 서동철)	64 (92)	한국	Springer	SCIE	2021. 12.23	2468-0842	25%
5	Removal of phosphates using eggshells and calcined eggshells in high phosphate solutions	Applied Biological Chemistry	박종환 (서동철)	65 (1)	한국	Springer	SCIE	2022. 11.15	2468-0842	33%
6	랜더링 처리된 가축사체 잔류물로 제조한 액비 사용이 옥수수 재배에 미치는 효과	한국환경농학회지	박재혁 (조주식)	41 (4)	한국	한국환경농학회	비SCIE	2022. 11.21	1225-3537	50%
7	음식폐기물바이오차의 염분 제거 및 농업적 활용	한국환경농학회지	김신실 (서동철)	42 (2)	한국	한국환경농학회	비SCIE	2023. 06.30	1225-3537	50%
8	배추재배지에서 랜더링 가축사체 탄화체의 시용효과	한국환경농학회지	정태욱 (서동철)	42 (3)	한국	한국환경농학회	비SCIE	2023. 08.16	1225-3537	50%
9	Impact of biochar and compost amendment on corn yield and greenhouse gas emissions under waterlogged	Applied Biological Chemistry	조한나 (강세원)	66 (1)	한국	Springer	SCIE	2023. 12.07	2468-0842	30%
10	Reduction of ammonia gas by microbial agent treatment in Chinese cabbage cultivation	Applied Biological Chemistry	박종환 (서동철)	66 (1)	한국	Springer	SCIE	2023. 12.16	2468-0842	30%
11	랜더링된 가축사체 잔류물 사용이 온실가스 및 고추 생육에 미치는 영향	한국환경농학회지	박재혁 (조주식)	42 (4)	한국	한국환경농학회	비SCIE	2023. 12.29	1225-3537	50%

국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국환경농학회	박종환	2021.07.01	여수 소노캄호텔	한국
2	한국환경농학회	박종환	2021.07.01	여수 소노캄호텔	한국
3	한국환경농학회	김소희	2021.07.01	여수 소노캄호텔	한국
4	한국응용생명화학회	박종환	2021.08.23	제주 라마다프라자	한국
5	한국응용생명화학회	박재혁	2021.08.24	제주 라마다프라자	한국
6	한국토양비료학회	박재혁	2021.11.18	부산 소노벨리조트	한국
7	한국응용생명화학회	노준석	2022.06.28	대구 인터볼고 호텔	한국
8	Soil Organic Matter	노준석	2022.06.29	서울 그랜드워커힐	한국
9	Soil Organic Matter	박재혁	2022.06.30	서울 그랜드워커힐	한국
10	한국환경농학회	노준석	2022.07.07	양양 쓸비치	한국
11	한국환경농학회	박재혁	2022.07.07	양양 쓸비치	한국
12	한국토양비료학회	박재혁	2022.10.21	제주 소노캄호텔	한국
13	한국토양비료학회	박치현	2022.10.21	제주 소노캄호텔	한국
14	한국토양비료학회	노준석	2022.10.21	제주 소노캄호텔	한국
15	한국토양비료학회	김신실	2022.10.21	제주 소노캄호텔	한국
16	한국응용생명화학회	노준석	2023.06.18	ICC 제주	한국
17	한국응용생명화학회	박재혁	2023.06.18	ICC 제주	한국
18	한국응용생명화학회	김신실	2023.06.18	ICC 제주	한국
19	한국환경농학회	노준석	2023.07.06	부산 소노벨리조트	한국
20	한국환경농학회	김신실	2023.07.06	부산 소노벨리조트	한국
21	2023 ASA-CSSA International Annual Meeting	노준석	2023.10.31	Exhibit Hall/St. Louis, Missouri	USA
22	한국토양비료학회	송시원	2023.10.26	부산 소노벨리조트	한국
23	한국토양비료학회	추성범	2023.10.26	부산 소노벨리조트	한국

기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	특허출원 및 등록	대한민국	주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2022.08.30	10-2022-0109162		주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2023.10.06	10-2588115	50	
2	특허출원 및 등록	대한민국	주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2022.08.31	10-2022-0109778		주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2023.04.17	10-2521745	50	
3	특허출원 및 등록	대한민국	주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2022.08.31	10-2022-0109779		주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2023.04.11	10-2521749	50	
4	특허출원 및 등록	대한민국	경상국립대학교 산학협력단	2022.10.05	10-2022-0127148		경상국립대학교 산학협력단	2023.08.17	10-2569321	50	
5	특허출원	대한민국	주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2023.04.10	10-2023-0046944					20	
6	특허출원	대한민국	주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2023.04.10	10-2023-0046945					20	
7	특허출원	대한민국	주식회사 케이아그로/경상국립대학교 산학협력단	2023.04.10	10-2023-0046946					20	

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

표준화

○ 국내 표준

번호	인증구분 ¹⁾	인증여부 ²⁾	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³⁾	제안/인증일자

* 1) 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재합니다.

* 2) 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재합니다.

* 3) 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재합니다.

○ 국제 표준

번호	표준화단계구분 ¹⁾	표준명	표준기구명 ²⁾	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³⁾	제안자	표준화 번호	제안일자

- * 1) 국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 2) 국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재합니다.
- * 3) 국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재합니다.

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	통상실시권	식물 바이오매스와 동물성 부산물의 혼합 바이오차 및 그의 제조방법	(주)엑시엄우드	2023.09.25	20,000,000	20,000,000
2	통상실시권	랜더링된 가축사체 잔여물 적용 친환경 아미노산 액비 및 이의 제조방법	(주)엑시엄우드	2023.09.26	20,000,000	20,000,000

- * 내부 자금, 신용 대출, 담보 대출, 투자 유치, 기타 등

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

- * 1) 기술이전 또는 자기실시
- * 2) 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등
- * 3) 국내 또는 국외

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
합계					

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과					
사업화 계획	사업화 소요기간(년)				
	소요예산(천원)				
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내			
	국외				
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			yyyy년	yyyy년	
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력		
		생산인력		
	개발 후	연구인력		
		생산인력		

□ 비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

□ 기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2021		2	4		1	5			4	2	
2		2022	1	3	2		2	4			3	3	
3		2023		4	2		3	3			4	2	

□ 산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	포스터발표	우수논문발표상	2021년 학술발표대회에서 한국환경농학회가 제정한 우수 논문으로 선정	김소희	2021.07.02	한국환경농학회
2	포스터발표	우수포스터상	2022년도 국제학술대회에서 아래 제목으로 우수한 내용의 포스터를 발표하였음	노준석	2022.06.29	한국응용생명화학학회
3	우수논문	우수논문발표상	2022년도 학술발표대회에서 한국환경농학회가 제정한 우수 논문으로 선정	노준석	2022.07.08	한국환경농학회
4	우수논문	우수논문상	토양비료분야 연구에 많은 업적을 쌓아왔으며, 2022년 한국토양비료학회지에 발표한 논문이 우리나라 토양비료학분야의 발전에 많은 공헌을 하고 있다고 인정됨	박재혁	2022.10.21	한국토양비료학회
5	포스터 발표	Best Poster Award	KSABC International Symposium 2023 "Effect of Salt Removal in Food Waste-biochar on Lettuce Growth"	김신실	2023.06.20	KSABC
6	우수논문	우수논문발표상	귀하는 2023년도 학술발표대회에서 한국환경농학회가 제정한 우수한 논문으로 선정 되었기에 이 상을 드립니다.	김신실	2023.07.07	한국환경농학회

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(80g/m²)
(23쪽 중 11쪽)

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

* 「과학기술기본법 시행령」 제42조제4항제2호에 따른 연구시설·장비 종합정보시스템을 의미합니다.

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

3절 목표 달성 수준 및 목표 미달 시 원인분석

1. 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도 (%)
○ 랜더링 가축사체 잔여물의 기초 성장 평가	○ 랜더링 가축사체 잔여물의 삼성분, 무기성분, 중금속 및 병원성 미생물 평가	(100)
○ 고농도의 아미노산 액비생산을 위한 전처리 기술 확립	○ 최적의 단백질 가수분해 효소 선정, 아미노산 액비 제조시 발생하는 악취 및 액비의 발아, 비해 평가	(100)
○ 최적 랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템의 설계	○ 농축시스템을 적용한 아미노산 액비 제조시스템 설계	(100)
○ 랜더링 가축사체의 일반 biochar 제조장치 운영 및 도출	○ 일반 바이오차 장치에서 제조된 랜더링 바이오차의 열분해 효율 및 바이오차 특성 평가	(100)
○ 랜더링 가축사체 전용 biochar 장치 개발을 위한 필수 제어인자 원천기술 개발	○ 맞춤형 바이오차의 열분해, 오일추출 및 재활용, Syngas 제어 및 재활용 등의 원천기술 개발	(100)
○ 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 개발	○ 기존 바이오차 제조장치와 랜더링 가축사체 맞춤형 바이오차 장치 전환	(100)
○ 아미노산 액비 제조시스템의 설계인자 도출	○ 아미노산 액비 제조시스템 원리 및 설계 협업을 통한 개선	(100)
○ 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조시스템의 한계	○ 바이오차 제조시스템 원리 및 설계 협업을 통한 개선	(100)
○ 랜더링 가축사체 아미노산 액비 제조장치의 제작 및 시운전	○ 최적조건에서 제조된 아미노산 액비의 품질 및 장기적 품질 특성 평가	(100)
○ 제조된 아미노산 액비의 시용효과	○ 작물의 유형별, 액비 시용에 따른 작물의 품질 조사	(30)
○ 주성분 보증을 통한 아미노산 액비의 주비료 가능성 검토	○ 주성분 보증을 위한 혼합기술 개발 및 아미노산 액비의 품질 특성 평가	(100)
○ 랜더링 biochar 제조장치의 제작 및 시운전	○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 바이오차 제조장치 제작, 보완 및 오일, 가스 배출 특성 조사	(100)
○ 제조된 가축사체 biochar의 연속적 및 장기적 품질특성 평가	○ 제조된 바이오차의 연속 및 장기적 이화학적 특성	(100)
○ 제조된 가축사체 잔여물 바이오차의 비료학적 가치 평가	○ 제조된 바이오차의 양분용출, 온실가스, 이화학적 및 바이오차의 안정성 평가	(100)
○ 랜더링 가축사체 잔여물 biochar 장치의 호환성	○ 온도별 목재기발 바이오차 제조 및 이화학적 특성조사	(100)
○ 아미노산 액비 제조장치 시험운전	○ 아미노산 액비 제조장치의 작동원리 습득 및 매뉴얼 작성	(100)
○ 랜더링 가축사체 전용 biochar 제조장치 시험운전	○ 랜더링 가축사체 전용 바이오차 제조장치의 작동원리 습득 및 매뉴얼 작성	(100)

○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템의 현장 설치 및 지도	○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템의 현장 설치 및 시운전 제품의 특성 분석	(100)
○ 랜더링 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조시스템에서 제공된 biochar의 품질특성	○ 랜더링 가축사체 잔여물 이용 biochar 제조시스템에서 제조된 biochar의 비료 품질분석 및 유작물 비혜 시험 조사	(100)
○ 현장에서 제조된 가축사체 잔여물 biochar의 작물재배시험	○ 현장형 제조시스템에서 랜더링 가축사체 잔여물을 이용하여 제조한 biochar의 일반노지와 양분결핍 토양에서의 작물재배시험 조사	(100)
○ 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조장치 및 생산된 biochar의 품질인증	○ 가축사체 잔여물 전용 biochar 제조기술에 대한 지식재산권 확보, 친환경유기농자재 인증획득, 논문게재 및 품질검사 체계 확립	(100)

2. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

해당사항 없음.

2) 자체 보완활동

해당사항 없음.

3) 연구개발 과정의 성실성

- 랜더링 고품질잔류물 아미노산 액비 제조 기술/장치에 관한 미비점을 보완하고 개발된 제품들의 체계적인 사업화를 구현하기 위해 랜더링 가축사체 잔여물 적용 친환경 아미노산 액비 제조시스템을 성공적으로 개발하여 참여기업에 기술이전하여 산업화기반을 구축하였음.
- 기존 목재 전용 바이오차 제조시스템의 개선 및 보완보다 완전히 새로운 랜더링 고품질잔류물 전용 바이오차 제조시스템을 개발하였고, 참여기업에 기술이전하여 산업화기반을 구축하였음.
- 랜더링된 가축사체 잔여물 활용 친환경 업사이클링 시스템 개발 및 실용화과정에서 도출된 연구자료들을 활용하여 SCI, KCI 등 전문학술지에 다수의 논문을 게재하고, 다수의 지식재산권을 확보하는 등의 기술적 성과를 확보하였음.
- 랜더링 가축사체 잔여물을 적용한 아미노산 액비, biochar 제조 장치 제작 및 현장적용 등 본 연구의 당초 계획대로 성실히 수행함
- 과제수행 3년동안 참여기관과의 지속적인 온/오프라인 진도점검 회의를 정기적으로 실시하여 연구개발 내용을 점검하여 계획된 연구성과를 성실하게 달성하였음.

4장 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 랜더링 가축사체 잔여물의 재활용기술 개발에 의한 환경친화형 자원 재순환시스템 구축에 기여
 - 개발된 폐사가축 부산물 자원화 기술의 살처분가축의 매몰에 의한 환경오염 문제 해소에 확대 적용
 - 폐사체와 재활용 기술개발에 의한 환경친화형 자원 재순환시스템 구축
 - 고기능성 농자재 제조기술 개발을 통한 자원화 원천기술 확보
 - 국내 환경에 적합한 폐사가축의 자원화 기술 개발에 의한 축산 농가 및 랜더링 시설이 안고 있는 폐사가축 관련 애로사항 해결에 기여
 - 특허출원등록 및 상표 등록을 통한 지식재산권 획득
 - 폐사체외에도 가축전염병에 의한 안전한 처리방법 및 환경오염 저감을 통한 축산경쟁력 확보
 - 자원화 기술개발을 통한 산업시장 초기형성 산업화 기반 마련
-

5장 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

No.	연구결과	활용 계획
1	랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 생산기술	단백질 분해 및 아미노산 분석을 통해 최적의 액비 생산조건을 제시하였으며, 최적의 조건에서 아미노산 액비를 제조할 계획임. 기업에 관련 기술이전이 진행되었으며, 향후 기업에서 관련기술을 활용하여 산업화 할 계획임.
2	랜더링 가축사체 잔여물 적용 아미노산 액비 제조시스템	랜더링 가축사체 잔여물 활용 최적 아미노산 액비 제조시스템을 최적화하고, 제조공정 및 제조장비를 규격화하여 아미노산 액비 및 장비를 제품화에 활용
3	랜더링 가축사체 잔여물 및 축형 biochar 제조시스템	랜더링 가축사체 잔여물에 적합한 가축사체 biochar 제조시스템을 현장에 적용하여 최적화할 계획임. 기업에 관련 기술이전이 진행되었으며, 향후 기업에서 산업화 전략을 가지고 생산되는 바이오차를 산업화 할 계획임.
4	랜더링 가축사체 잔여물로 바이오차	랜더링 가축사체 잔여물로 바이오차의 농업적 효과를 규명하였으나, 비료공정규격상 가축사체가 사용가능한 원료에 포함되어 있지 않아 법령이 개정되기 전까지는 사용에 제한이 있음. 하지만 본 연구결과를 활용하여 향후 바이오차의 사용원료에 랜더링 가축사체 잔여물 바이오차를 포함시켜 비료로 산업화 할 계획임.

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	1	
	비SCIE	-	
	계	1	
국내논문	SCIE	-	
	비SCIE	2	
	계	2	
특허출원	국내	-	
	국외	-	
	계	-	
특허등록	국내	2	
	국외	-	
	계	2	
인력양성	학사	-	
	석사	-	
	박사	-	
	계	-	
사업화	상품출시	-	
	기술이전	-	
	공정개발	-	
제품개발	시제품개발	-	
비임상시험 실시		-	
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	-
		2상	-
		3상	-
	의료기기	-	
진료지침개발		-	
신의료기술개발		-	
성과홍보		-	
포상 및 수상실적		-	
정성적 성과 주요 내용		-	

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.