

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호(O)
맞춤형혁신식품 및 천연안심소재기술개발사업 2021년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004068-01

국내산 농산물 유래 고함량 단백질 소재 활용 대체육 개발

2022. 4. 18.

주관연구기관 / (주)위드바이오펜
제1협동연구기관 / 삼육대학교 산학협력단
제2협동연구기관 / 삼육대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

제출문

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “국내산 농산물 유래 고함량 단백질 소재 활용 대체육 개발”(개발기간 : 2019. 5. ~ 2021. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2022년 4월 18일

주관연구기관명 : (주)위드바이오 코스팜 (대표자) 강 진 양



제1협동연구기관명 : 삼육대학교 산학협력단 (대표자) 한 경 식 (인)



제2협동연구기관명 : 삼육대학교 산학협력단 (대표자) 한 경 식 (인)



주관연구책임자 : 강 진 양

제1협동연구책임자 : 신 경 옥

제2협동연구책임자 : 한 경 식

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의 합니다.

< 요약 문 >

사업명	맞춤형혁신식품 및 천연안심소재기술개발사업	총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)									
내역사업명 (해당 시 작성)					연구개발과제번호			319046-3			
기술 분 류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명 LB1704	40 %	2순위 소분류 코드명 LB1701	35 %	3순위 소분류 코드명 LB1706	25%				
	농림식품 과학기술분류	1순위 소분류 코드명 PA0103	55 %	2순위 소분류 코드명 PA0101	30 %	3순위 소분류 코드명 PA0105	15%				
총괄연구개발명 (해당 시 작성)											
연구개발과제명		국내산 농산물 유래 고함량 단백질 소재 활용 및 대체육 개발									
전체 연구개발기간		2019.05.20 - 2021. 12. 31(2년 8개월)									
총 연구개발비		총 1,032,700 천원 (정부지원연구개발비: 767,000 천원, 기관부담연구개발비 : 265,700 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)									
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[v]			기술성숙도 (해당 시 기재)			착수시점 기준()			
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)		기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]									
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)											
연구개발 목표 및 내용		최종 목표			<ul style="list-style-type: none"> ● 국내산 농산물 유래 고함량 단백질 소재를 활용한 대체육 제품의 개발 ● 고단백 소재를 활용한 대체육의 대량 생산 기술 개발 ● 대체육 생산을 위한 국내산 농산물의 소재화 기술 개발 ● 고단백 함유 대체육 소재의 가공 적성 및 제품화 공정 개발 						
		전체 내용			<ul style="list-style-type: none"> ● (주관기관) 고단백 소재를 활용한 대체육 제품의 대량 생산 기술을 개발하기 위해 고단백 대체육 소재의 생산 라인 구축 및 규격화를 설정하고 제품화를 실시함. 또한, 고단백 소재를 활용한 대체육 제품의 대량 생산 및 상품화를 실시함. ● (제1협동) 대체육 생산을 위한 국내산 농산물의 소재화 기술 개발을 위해 고단백 대체육 소재 생산을 위한 농산물의 선별 및 제조 방법을 구축하고 대량 생산을 위한 최적 공정을 개발함. 또한, 고단백 대체육 소재의 특성 규명 및 품질을 개선함. ● (제2협동) 고단백 함유 대체육 소재의 가공 적성 및 제품화 공정 개발을 위해 대체육 소재의 가공 적성 및 저장성을 평가하고 고단백 대체육 소재를 활용한 대체육 제품 생산 기반을 조성함. 또한 대체육 제품의 대량 생산을 위한 최적 조건을 설정함. 						
연구개발성과		<ul style="list-style-type: none"> ● 국내산 농산물을 활용하여 다양한 대체육 소재를 개발하며 소재의 대량 생산을 위한 최적 제조 방법을 제시할 수 있음. ● 동물성 고기와 유사한 맛과 특성을 보유한 다양한 식물성 대체육 제품을 생산하며 대량 생산 공정을 구축할 수 있음. ● 소재 선별 및 제품화 기술을 바탕으로 특허출원, 논문발표, 인력양성, 기술이전 및 국내외 상품화가 가능함. 									
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과		<ul style="list-style-type: none"> ● 국내산 농산물을 활용한 고단백 소재를 개발하고 이를 활용한 대체육 제조 기술로 특허 출원과 함께 관련 업체로의 기술 이전을 포함한 산업화 및 실용화를 추진함. ● 농산물의 고부가가치화와 생산된 대체육 제품의 국가 경쟁력을 제고할 수 있음. ● 식물성 대체육의 개발로 내수 시장 확대와 한국형 제품을 브랜드화하여 향후 세계 시장 진출로 국가 경제에 기여하고 국민 건강 증진에 도움이 될 수 있음. ● 국내의 경우 식물성 대체육 개발 관련 연구는 기초단계에 머물러 있는 실정으로 학문적으로나 산업적으로 가치가 높을 것으로 판단됨. ● 수득을 향상을 위한 최적의 공정 기술을 확보할 수 있으며 제품화를 위한 과학적 자료를 바탕으로 연구논문 작성이 가능함. 									

연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	3	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	대체육		농산품		고단백 소재		식물성 고기		단백질 추출			
영문핵심어 (5개 이내)	Meat analogue		Agricultural product		High-protein material		Plant-based meat		Protein extraction			

최종보고서							보안등급				
							일반[], 보안[]				
중앙행정기관명		농림식품기술기획평가원		사업명		사업명		맞춤형혁신식품 및 천연안심소재기술개발사업			
전문기관명 (해당 시 작성)				내역사업명 (시 작성)							
공고번호				총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)							
				연구개발과제번호		319046-3					
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 소분류 코드명 LB1704	40%	2순위 소분류 코드명 LB1701	35%	3순위 소분류 코드명 LB1706	25%				
	농림식품과학기술분류	1순위 소분류 코드명 PA0103	55%	2순위 소분류 코드명 PA0101	30%	3순위 소분류 코드명 PA0105	15%				
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		국문		영문							
연구개발과제명		국문		영문		국내산 농산물 유래 고품질 단백질 소재 활용 대체육 개발 Development of meat analogue using high-protein material from domestic agricultural product					
주관연구개발기관		기관명		주소		사업자등록번호		217-81-35936			
		(주)위드바이오프로		(우 12029) 경기도 남양주시 수동면 입석리 540-57		법인등록번호		110111-4722701			
연구책임자		성명		직위		대표이사					
		강진양		직위		대표이사					
연락처		직장전화		휴대전화		010-8706-0575					
		070-7700-3412		휴대전화		010-8706-0575					
		전자우편		국가연구자번호		10090040					
		kangjy@syu.ac.kr		국가연구자번호		10090040					
연구개발기간		전체		2019.05.20 - 2021. 12. 31(2년 8개월)							
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비		기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()		합계		연구개발 비 외 지원금	
		현금		현금		현금		현금		현금	
		현물		현물		현물		현물		합계	
총계		767,000		26,600		239,100		793,600		239,100	
1년차		200,000		6,700		60,000		206,700		60,000	
2년차		267,000		9,900		89,100		276,900		89,100	
3년차		300,000		10,000		90,000		310,000		90,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명		책임자		직위		휴대전화		전자우편	
		삼육대학교 산학협력단		신경옥		부교수		010-387 4-3408		skorose@ syu.ac.kr	
		삼육대학교 산학협력단		한경식		부교수		010-207 3-2251		kshan@ syu.ac.kr	
연구개발담당자 실무담당자		성명		장윤정		직위		대리			
		직장전화		070-7700-3412		휴대전화		010-8934-7708			
연락처		전자우편		yjiang0@withbio. com		국가연구자번호		11748671			

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

2022년 4월 18일

연구책임자: 강진양 (인)

주관연구개발기관의 장: 강진양 (인)

공동연구개발기관의 장: 한경식 (인)

공동연구개발기관의 장: 한경식 (인)

농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하



< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	4
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	70
4. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여정도	76
5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	76
별첨 자료 (참고 문헌 등)	

1. 연구개발과제의 개요

(1) 육류대체 식품 (식물성 대체육) 개발의 필요성

- 현재 우리나라는 곡식 및 채식 위주의 전통적인 식생활 비중이 줄어들고 육식 위주의 식생활 유형으로 변화되고 있으며 간편성과 편리성을 추구하는 인스턴트식품, 가공식품 및 패스트푸드 등의 수요도 점차 증가하고 있음.
- 노령화 인구의 증가로 건강에 대한 관심이 고조되고 있어 건강과 안전을 추구하는 식품의 상대적 중요성도 높아지고 있음. 육류는 단백질 및 필수아미노산 등의 훌륭한 공급원이 될 수 있으나 다양한 질환과 밀접한 연관성이 있음. 육류 위주의 서구화된 식생활은 비만, 고지혈증, 고혈압, 당뇨병, 암, 동맥경화 및 심혈관계 질환 등의 만성 질환을 발병시키고 사망률을 증가시키는 주된 원인이 되고 있음.
- 보건의료빅데이터개발시스템의 국민관심질병통계에 따르면 생활습관병 환자수는 표 1과 같음. 생활습관병 환자수는 2013년 1,277만명에서 2018년 1,630만명으로 연평균 5.0%씩 증가함. 한국인은 원래 섬유질 식품을 많이 섭취하는 식성이었으나, 서구식 식생활로 변하는 과정에서 대장암·유방암·심장병 등이 늘어나고 있음. 생활습관병을 개선하기 위해서 채소 섭취 증가, 육류·튀긴 음식·흰 설탕의 섭취를 줄일 것을 권고하고 있음. 생활습관병 환자수의 증가 추세로 인해 대체 단백질을 찾는 소비자가 늘어날 것으로 전망됨.

<생활습관병 환자 수>

(단위: 만명)

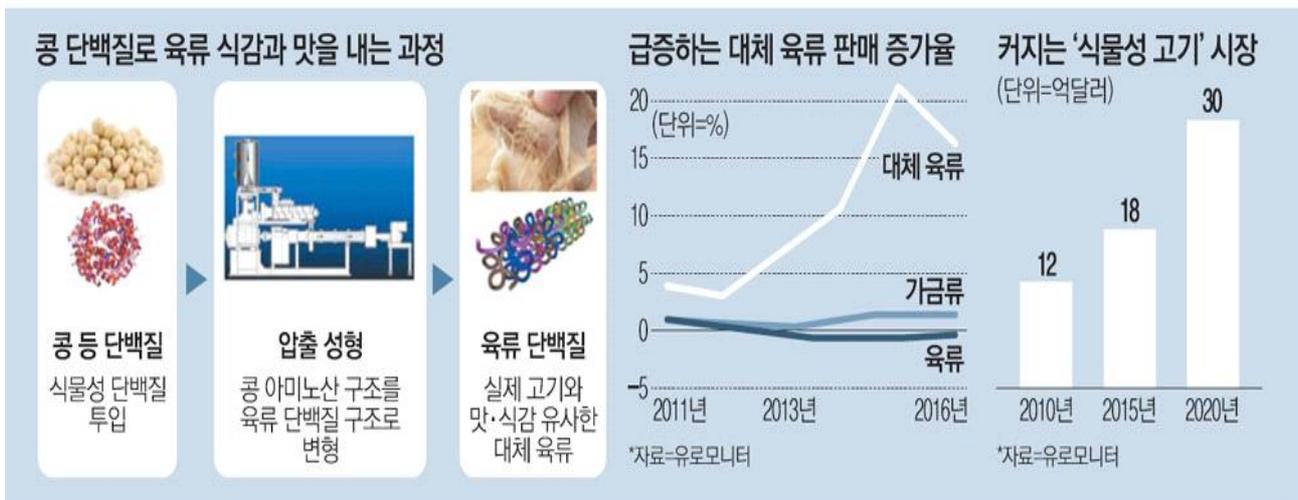
구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR
환자수	1,277	1,314	1,368	1,479	1,544	1,630	5.0%

자료: 보건의료빅데이터개발시스템, 국민관심질병통계

- 유럽 10개국 44만여 명의 건강 관련 자료를 토대로 가공육 소비량과 질병과의 상관관계를 조사한 결과 가공육을 많이 섭취하는 사람은 그렇지 않은 사람보다 심장질환으로 인한 사망률이 약 72% 높았고, 암 발병률은 약 11% 더 높았으며, 전반적으로 햄·소시지·베이컨 등의 가공육을 많이 섭취할 경우 조기사망률이 약 44% 높았다고 보고되었음.
- 전 세계적으로 인구증가와 더불어 대두되는 동물성 단백질 공급 부족과 환경오염 문제를 해결하고자 식물성 대체육에 대한 관심이 증가하고 있음. 식물을 이용하여 제조한 식물성

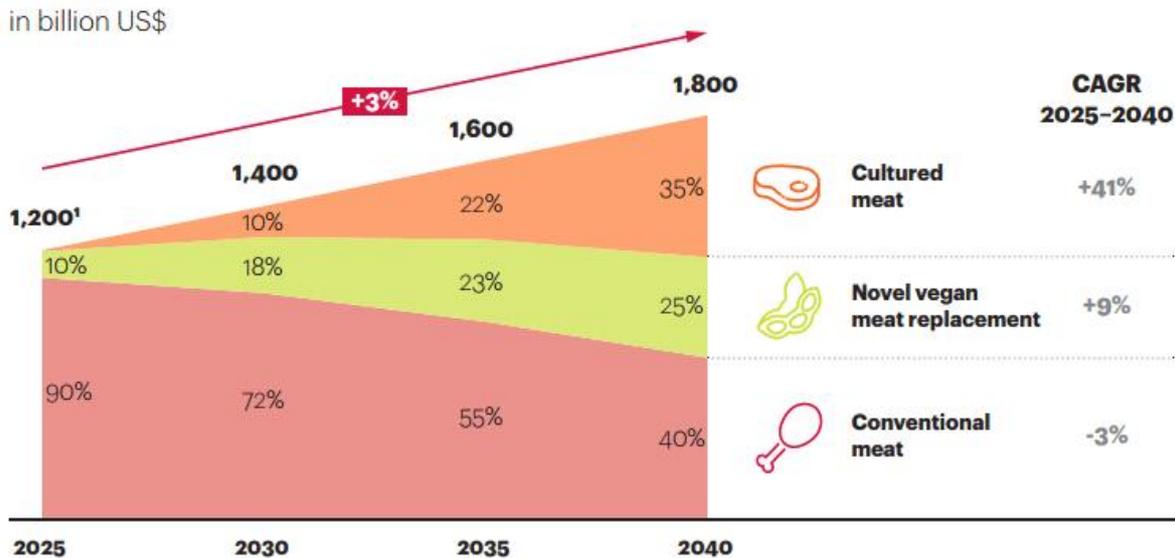
고기와 동물세포를 증식하여 만드는 배양육, 곤충을 이용한 단백질 식품 등 다양한 형태의 대체 단백질 산업이 각광받고 있으며 대체단백질 분야는 전통축산에 비해 토지사용면적은 5% 이내, 온실가스 배출량은 13% 이하, 에너지 사용량은 약 45%로 감축시킨다고 보고되었음.

- 국내 돼지, 소 및 가금류의 가격은 주기적으로 변동하여 안정적인 경영 기반이 취약한 실정이며 구제역, 광우병, 조류독감 등의 질병 발생빈도가 증가하면서 소비자들은 육류 및 육가공제품 섭취에 대한 두려움을 갖고 있어 안전한 먹거리에 대한 선호도가 계속 증가하고 있음.
- 또한, 육류를 생산하기 위해 가축을 사육하는 과정에서 성장 효율성을 제고하기 위해 항생제를 투여하거나 비좁은 공간에서 다수의 가축을 사육하는 등의 비윤리적인 방식으로 사육된 동물들은 동물 복지와 미래 식량에 대한 대책을 유발시켰음.
- 반면, 식물성 대체육 제품은 기존의 동물성 제품과 비교하여 철분 및 단백질 함량이 높으면서도 포화지방 및 콜레스테롤 등은 낮게 함유되어 있어 채식주의자 뿐만 아니라 건강에 관심이 있는 사람 및 육류 섭취에 어려움이 있는 사람들에게 각광을 받고 있음.
- 바이오푸드 (Bio food) 시장은 인류가 직면하는 식량 위기를 해결하고자 식물성 원료를 활용한 대체 육류 등의 대안 식품 개발에 첨단 바이오 기술을 접목하고 있음. 시장 조사기관인 유로모니터에 따르면 글로벌 기업인 ‘임파서블 푸드’, ‘비온드 미트’ 등의 매출 향상으로 미국내 대체 육류 시장은 매년 성장 추세에 있으며 2015년 약 18억 달러, 2020년에는 30억달러로 성장할 것으로 추정하고 있음.



<대체육 생산 과정 및 예상 판매량 (자료원: 매일경제신문)>

- 글로벌 경영컨설팅 회사인 A.T Kearney의 ‘How will cultured meat and meat alternatives disrupt the agricultural and food industry (2019)’ 보고서에 따르면, 전세계 육류 시장과 대체품의 시장 전망을 그림 2와 같이 제시하고 있음. 식물성 대체육 (novel vegan meat replacement)은 2025년에 1,200억달러 규모와 점유율 10%를 달성할 것으로 전망함. 이후 연평균 9%로 성장하여 2040년 점유율 25%로 증가할 것으로 예측함. 또한 같은 기간 배양육 (Cultured meat)의 경우에는 식물성 대체육보다도 더 빠른 41%의 성장률을 보여 전체 식육시장에서 2030년 10%, 2040년 35%를 차지할 것으로 예측함.



<전 세계 식육시장 전망 (자료원: A.T Kearney, 2019)>

- 식물성 대체육을 통해 건강한 단백질 섭취에 대한 관심이 증가하고 있으며 2050년에는 전 세계 인구가 현재에 비해 약 20억 이상 증가될 것으로 예상되는 시점에서 육류 단백질을 대체할 수 있는 제품에 대한 수요가 꾸준히 신장될 것으로 전망됨.

(2) 식물성 대체육의 생산 현황 및 대책

- 영국의 경우, 미트프리 (meat free) 제품 중 냉장식품과 냉동식품의 매출액은 2016년 2월 기준 전년 대비 5.2%와 6.9% 씩 증가하였고 스낵류의 경우 매출액은 15%, 공급물량은 13.6% 증가하였음. 품목별로는 잘게 다진 고기 형태, 두부 등이 6,300만 파운드 규모로 1위를 차지했고 소시지 형태가 4,430만 파운드, 돈가스 형태가 2,870만 파운드, 버거 형태가 2,780만 파운드 등을 기록했음.
- 미트프리 제품의 판매량이 가장 큰 대형 유통매장인 웨이트로스 (Waitrose)는 전년 대비 관련 매출이 20% 이상 성장했고 지난해 냉장 채식주의 카테고리에 5개 품목을 추가로 배정했음. 현재 유럽 등 다른 나라로 한국산 신선육이나 육제품의 수출이 불가능한 상황에서

한국 식품업계는 고기 대체 식품 수출 전략을 수립할 필요성이 있음.

- 한국의 식품업계는 콩고기를 비롯해 쌀, 곡물 등 원재료를 다양화하고, 완제품 형태도 즉육볶음, 동그랑땡 등 한국형을 넘어 버거, 너겟, 소시지, 파이 등 글로벌한 형태로 다양화할 필요가 있음. 트렌드에 맞는 한국형 대체육 가공품이 개발된다면 웰빙 시대에 맞춰 국내외 프리미엄 시장 공략이 가능한 터닝 포인트가 되리라 전망됨.

<세계 주요 대체육 생산 회사 및 제품군>

기업명	국적	제품종류	주요 성분
Kroger (Simple Truth)	미국		유장 보리 추출물, 효모 추출물, 탈수 양파, 완두콩 단백질, 당밀, 당근 섬유, 대두 단백질 추출물, 사탕무 섬유, 밀 전분, 대두 레시틴, 파프리카의 추출물
Beyond Meat	미국		물, 완두콩 분리 단백질, 카놀라유, 정제된 코코넛 오일
FRY Family	영국		치아씨드, 퀴노아 및 쌀 단백질과 같은 슈퍼푸드
Meatless Farm Co.	영국		콩 단백질, 유채 기름, 완두콩 단백질, 시어 오일, 코코넛 오일, 치커리 뿌리
Linda McCartney	영국		콩 단백질, 붉은 양파, 양파 튀레, 유채 기름, 맥아 추출물

- 본 연구과제는 일반 육류를 이용한 기존 제품과 차별화된 식물성 천연기능 소재를 이용하여 건강한 단백질 섭취 및 육류를 대신할 수 있는 기능성 식품 개발을 가속화시켜 국민건강 증진과 수출을 통한 경제발전에 기여하고자 함.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

< 1차년도 >

○ 고단백 대체육 소재 개발을 위한 농산물 원료의 선발

- 고단백 대체육 소재 농산물 선발을 위하여 쌀 (현미), 보리, 대두, 밀, 조, 수수, 옥수수, 메밀, 녹두, 적두, 강낭콩, 완두, 땅콩, 율무와 같은 국내산 농산물을 대상으로 농림부 및 식약처 등의 데이터를 이용하였고 생산량, 농산물 원료의 단백질 함량, 생산단가 등을 고려하여 자료조사를 바탕으로 5종 (대두, 녹두, 보리, 적두 및 완두)을 농산물을 고단백 대체육 소재 원료로 선발하였으나, 보리는 예비실험에서 추출량이 다른 소재들에 비해 적게 나와서 대량생산을 고려했을 때 부적합하다고 판단함.
- 대두는 오래 전부터 지방의 급원으로 알려져 있고 한국에서는 장류, 두유, 메주류, 두부 및 식용유 등 다양한 식품으로 제조되고 있으며, 대두 단백질을 이용하여 단백질 성분 보강 및 식품 개선을 위한 첨가물로 사용되고 있음. 대두로부터 분리 정제한 후 농축 과정을 통해 제조된 농축 대두 단백질과 분리 대두 단백질의 단백질 소화율 교정 아미노산 점수 (PDCASS)는 각각 0.99와 0.92로 쇠고기 (0.92)와 동일하거나 좋은 값을 가지고 있음. 녹두와 적두는 동부, 강낭콩과 함께 전분을 함유한 두류로 알려져 있지만, 전분 뿐 만 아니라 20~28%의 높은 단백질 함량을 가지고 있어 단백질 급원 식품으로도 여겨짐. 식물성 대체육 시장에서 상업적으로 각광을 받고 있는 식품회사인 '비욘드 미트 (Beyond Meat)'는 완두단백을 주재료로 사용하고 있어 국내산 완두로 고단백 대체육 소재를 개발할 경우 상업성을 가질 수 있을 것이라고 기대됨. 따라서 고단백 대체육 소재 개발을 위한 농산물 원료로 대두, 녹두, 적두 및 완두로 선발함. 이외에도 현재 건채소를 활용하여 단백질 추출 실험을 진행하고 있음.
- 고단백 대체육 소재 개발을 위한 농산물 원료로 선발된 대두, 녹두, 적두 및 완두를 남양주 지역 대형마트에서 국내산으로 구입하여 기본적인 일반성분 조성을 분석하였음. 일반성분은 AOAC법 (2005)에 따라 수분은 상압가열 건조법, 조회분은 건식회화법, 조단백질은 Kjeldahl법, 조지방은 soxhlet 추출법을 사용하였으며, 탄수화물은 시료 전체를 100%로 하고 수분, 조회분, 조단백질, 조지방 함량 (%)을 감한 것으로 산출하였음. 선발 농산물 4종의 조단백질 함량 범위는 31.06~19.45%로 대두 (31.06%), 녹두 (23.98%), 적두 (20.78%), 완두 (19.45%)의 순으로 높게 나왔으며, 대두를 제외한 나머지 농산물의 지방은 3% 이하의 값을 보였음. 따라서, 지방 함량이 상대적으로 높은 대두의 단백질 함량을 효과적으로 높이기 위하여 지방 추출작업 공정을 추가하기로 함 (표 1).

표 1. 고단백 대체육 소재 개발을 위한 농산물 원료의 일반성분 분석

	Soybean	Mung bean	Red bean	Pea
Protein	31.06±0.95 ^{a)}	23.98±0.27 ^{b)}	20.78±0.21 ^{c)}	19.45±0.78 ^{d)}
Fat	19.97±0.09 ^{a)}	2.38±0.17 ^{b)}	2.38±0.04 ^{b)}	1.84±0.04 ^{c)}
Ash	5.24±0.05 ^{a)}	3.77±0.04 ^{c)}	3.92±0.01 ^{b)}	2.22±0.05 ^{d)}
Moisture	9.31±0.15 ^{d)}	9.50±0.03 ^{c)}	13.69±0.07 ^{a)}	10.85±0.04 ^{b)}
Carbohydrate	34.42±1.18 ^{c)}	60.37±0.09 ^{b)}	59.24±0.18 ^{b)}	65.63±0.73 ^{a)}
Total	100	100	100	100

All values are means ± SD (n=3).

^{a-d)}Means without common letter in the same row differ (p < 0.05).

○ 농산물 원료로부터 단백질 분리·정제를 위한 기술 개발

- 공업적으로 사용되는 탈지방법은 용출법, 압착법, 추출법 등이 있으며, 원료의 종류와 원료량, 추후의 공정 등을 고려하여 선택됨. 용출법은 비유지분이 많은 식물 원료에는 적합하지 않음. 추출법은 원료를 헥산 등의 휘발성 용제를 사용하여 유지를 추출해 내는 방법으로 주로 식물성유지 채취의 목적으로 대두유, 면실유 등에 널리 쓰이고 있기도 하지만 유지제거를 목적으로 쓰이는 탈지공정에도 쓰임. 헥산 추출법은 다른 유지 추출법에 비해 비교적 공정이 단순하고, 단가가 저렴하다는 장점을 가지고 있어 상업적 과정을 고려하는 본 연구에서 대두의 지방을 제거하는 공정에 적합한 용매라고 여겨짐. 헥산은 식품첨가물공전에서 유지성분 추출목적으로 허용하고 있으며, 유지추출 목적으로 사용 시 잔류허용기준은 5 ppm 이하이므로 헥산을 이용한 탈지공정 시 헥산 제거과정이 필요하여 Hume hood를 24시간 가동하여 잔류헥산을 휘발하기로 결정함.
- 알칼리 추출법은 단백질을 추출하기 위해 사용되는 방법 중 하나로 알칼리 조건에서 단백질을 용출시킨 후 용출된 단백질을 식품의 단백질 등전점 조건의 pH에서 침전시켜 분획, 획득하는 방법을 말함. 알칼리 추출법은 효소를 이용하여 세포벽에 존재하는 다당류를 분해하여 추출하는 효소처리법과 다른 물리 및 화학적 방법에 비하여 추출수율이 낮지만 공정이 간단하고 추출비용이 저렴하기 때문에 상업적으로 경제적인 장점을 가지고 있어 고단백 대체육 소재 추출방법으로 적합하다고 판단하였고, NaOH를 사용하여 알칼리 조건인 pH 10으로 조절하여 단백질을 용출시키기로 결정하였음. 용출된 단백질을 분리하는 방법으로 막분리 방법, 등전점 침전을 이용한 분리 방법 등이 있으며, 그 중에서 등전점 침전을 이용한 방법은 간단하기 때문에 HCl을 이용하여 pH를 원료의 등전점까지 낮추고 원심

분리하여 단백질 침전 여액을 분리하기로 함. 선발된 4종의 농산물 원료로부터 단백질 분리 및 정제를 위한 주요 3가지 기술은 표 2와 같음.

표 2. 고단백 대체육 소재의 제조를 위한 주요 기술 3가지

공정단계	처리 조건
탈지과정	N-Hexane 1 : 3 (w/w)
단백질 용출	분말을 NaOH로 pH 10.0으로 조정 및 6시간 교반 후, 8,000 rpm 10분 원심분리
단백질 분리	교반액을 pH 4.5로 조정 및 10분 교반 후, 8,000 rpm 10분 원심분리

○ 고단백 대체육 소재 생산을 위한 최적 조건 확립

- 각 고단백 대체육 소재들의 전처리 및 탈지는 대두, 녹두, 적두 및 완두를 분쇄하여 40 mesh체에 통과시키고 통과되지 않는 분말은 다시 분쇄하여 분말로 제조하였음. 대두는 분쇄 및 체가름을 용이하게 하려고 3배 (w/w)의 증류수를 가하여 실온에서 6시간 불리고 불린 대두를 손 또는 탈피기를 이용하여 탈피하고 50℃ 열풍 인큐베이터에 24시간 건조하였음. 건조된 탈피 대두를 분쇄기로 분쇄하여 40 mesh체에 통과시키고 통과되지 않는 분말은 다시 분쇄하여 대두분말을 제조하여 대두분말을 n-hexane에 1 : 3 (w/w) 비율로 섞어 실온에서 교반기를 이용하여 6시간 교반시켰으며, 교반 후 분별깔대기에 옮겨 1시간 정치시킨 후 상등액을 분리하고, 침전물만 얻어 Hume hood에 24시간 건조하였음 (그림 1).



(가)



(나)

그림 1. 대두의 핵산처리에 의한 탈지과정 사진. (가) 6시간 교반 및 정치 후 분리 상태; (나) 침전물 분획 후 Hume hood에 건조할 때 모습.

- 알칼리 추출 및 단백질 등전점을 이용한 침전실험을 수행하기 위하여 각 분말을 10배의 증류수를 가해 3 N NaOH로 pH 10으로 맞춘 후 6시간 실온에서 교반기를 이용하여 교반하고 이 용액을 8,000 rpm 에서 10분간 원심분리하여 상등액을 모았음 (그림 2). 상등액을 3 N HCl을 이용하여 대두, 녹두, 적두 및 완두 단백질의 등전점 부근인 pH 4.5로 조절하고 교반기로 10분간 교반한 후 다시 8,000 rpm 에서 10분간 원심분리하였음 (그림 3).



(가)

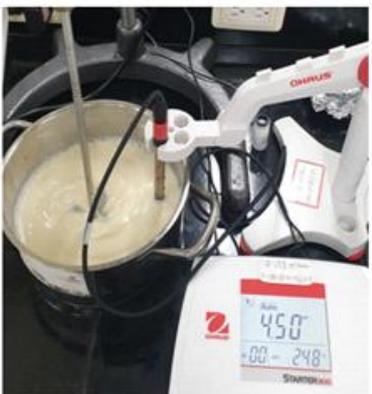


(나)



(다)

그림 2. 대두의 알칼리 추출법을 이용한 단백질 용출과정 사진. (가) pH 10으로 조정 후 교반 모습; (나) 원심분리 직후 분리 양상; (다) 상등액 획득 모습.



(가)



(나)



(다)

그림 3. 등전점 침전법을 이용한 대두의 단백질 획득과정 사진. (가) pH 4.5로 조정 후 교반 모습; (나) 원심분리 직후 분리 양상; (다) 침전물 획득 모습.

- 침전물을 모아서 50℃ 열풍 인큐베이터에 24시간 건조하고 65℃에서 1시간 저온살균한 후 분쇄기로 갈아서 40 mesh체에 통과시켜 선별한 후 고단백 대체육 소재 분말을 제조하였음. 고단백 대체육 소재 생산을 위한 조건에 따라 4종의 선별 농산물로부터 고단백 대체육 소재들을 생산하였음 (그림 4). 생산된 고단백 대체육 소재들을 AOAC법 (2005)에 따라 상압가열 건조법, Kjeldahl법을 이용하여 수분과 단백질 함량을 조사하였고, 농축녹두단백과 농축완두단백은 본 연구의 목표치인 건물 함량 대비 단백질 함량 80% 이상을 달성하였음.

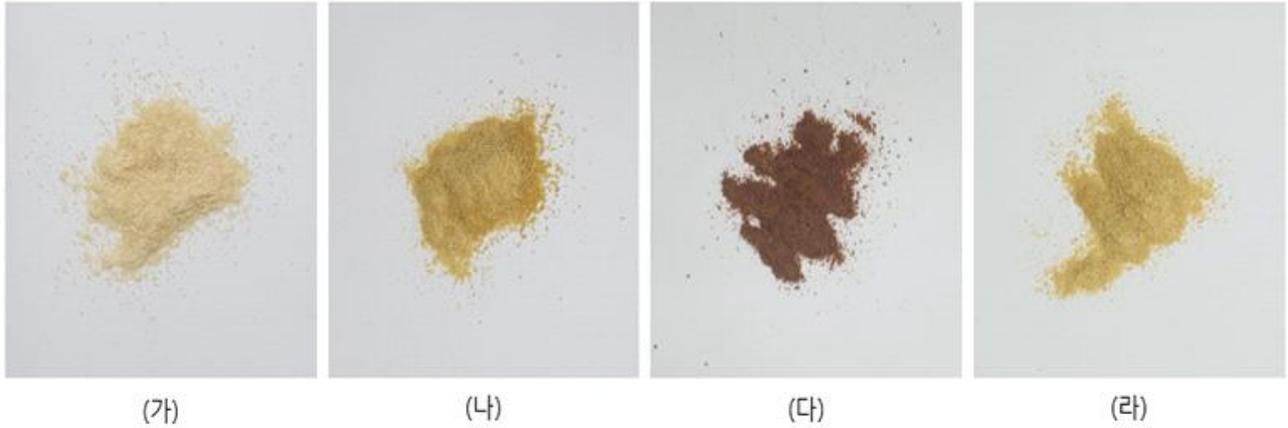


그림 4. 본 연구를 통해 생산된 고단백 대체육 소재들의 사진. (가) 대두단백농축 분말; (나) 녹두단백농축 분말; (다) 적두단백농축 분말; (라) 완두단백농축 분말.

○ 고단백 대체육 소재의 영양성분 조사

- 생산된 고단백 대체육 소재 4종의 품질을 표준화하기 위해 일반성분을 AOAC법 (2005)에 따라 수분은 상압가열 건조법, 조회분은 건식회화법, 조단백질은 Kjeldahl법, 조지방은 soxhlet 추출법을 사용하였으며 탄수화물은 시료 전체를 100%로 하고 수분, 조회분, 조단백질, 조지방 함량을 감한 것으로 산출하였고 그 결과는 표 3과 같음. 각 소재들 간에 단백질 함량은 다소 차이가 있었으나 최소 약 72% 이상의 단백질이 함유되어 있었으며 그 중 농축완두단백 분말 내 단백질 함량은 약 78.7%로 개발된 4개의 소재 중 가장 높게 나타났음.

표 3. 고단백 대체육 소재들의 일반성분 검사

	SPC	MPC	RPC	PPC
Protein (%)	74.04±1.24 ^b	77.33±0.10 ^a	72.58±0.40 ^c	78.69±0.63 ^a
Fat (%)	11.19±0.16 ^a	4.84±0.08 ^c	5.08±0.08 ^c	8.33±0.29 ^b
Ash (%)	2.38±0.31 ^c	3.42±0.12 ^b	3.25±0.12 ^b	4.41±0.11 ^a
Moisture (%)	5.37±0.07 ^d	7.43±0.02 ^a	6.75±0.10 ^b	6.10±2.47 ^c
Carbohydrate (%)	7.01±1.59 ^b	6.98±0.17 ^c	12.35±0.35 ^a	2.47±0.86 ^d
Total	100	100	100	100

All values are means ± SD (n=3).

^{a-d}Means without common letter in the same row differ (p < 0.05).

SPC, 농축대두단백 분말; MPC, 농축녹두단백 분말; RPC, 농축적두단백 분말; PPC, 농축완두단백 분말.

- 고단백 대체육 소재들의 아미노산 분석을 위해 시료 일정량을 취한 후 PICO-Tag 방법을 이용하여 phenyl isothiocyanate (PITC) labeling을 실시하였음. PITC labeling 된 시료를 400 mL의 buffer에 녹인 후 그 중 10 µL 을 취하여 reverse-phase high performance liquid chromatography (RP-HPLC, Waters 510, USA)에 주입하여 분석하였음. Waters Pico-tag column (3.9×300 mm, 4.0 µm)을 이용하여 용매 A와 용매 B를 1 mL/min 유속으로 사용하였음. 용매 A는 140 mM sodium acetate (6% acetonitrile) 이고, 용매 B는 60% acetonitrile을 포함하였으며 Waters 2487 UV detector를 이용하여 254nm 파장에서 흡광도를 측정하였으며, 분석조건은 표 4와 같음.

표 4. 고단백 대체육 소재의 아미노산 분석을 위한 분석조건

Time	Flow	%A ¹⁾	%B ²⁾
Initial	1.0	100	0
9.0	1.0	86	14
9.2	1.0	80	20
17.5	1.0	54	46
17.7	1.0	100	0
21.0	1.0	100	0
24.0	1.0	100	0
25.0	1.0	100	0

¹⁾%A, 140mM sodium acetate (6% acetonitrile); ²⁾%B, 60% acetonitrile.

- 4종의 고단백 대체육 소재의 구성 아미노산은 필수 아미노산 9종과 비필수 아미노산 9종, 총 18종을 분석하여 표 5에 나타내었음. 주로 필수 아미노산에서 4종 단백질 소재들의 아미노산 조성 간 유의적인 차이를 나타내었음 ($p < 0.05$). 총 필수아미노산은 26.45~30.32 (mg/g) 범위로 농축녹두단백이 가장 높게 나왔으며 대두, 녹두, 적두 및 완두 농축 단백질 모두 류신, 페닐알라닌, 라이신에서 높은 수치를 보였음. 표 6과 같이 100g 기준 4종의 고단백 대체육 소재의 평균치와 한국인 영양소 섭취기준 (성인 남성) 하루 권장섭취량 (2020)을 비교해본 결과 4종의 혼합 고단백 대체육 소재를 100 g 섭취 시 메티오닌+시스테인을 제외한 모든 항목이 한국인 영양소 섭취기준 하루 권장섭취량 기준을 충족하였음. 4종 혼합 고단백 대체육 소재의 이상적인 비율의 배합은 대체육 제품 개발에 있어 영양학적 관점에서 가치를 입증할 것으로 기대됨.

표 5. 고단백 대체육 소재들의 필수아미노산 및 비필수아미노산 구성 (mg/100 mg)

	SPC	MPC	RPC	PPC
Indispensable				
His	2.17±1.98	1.05±0.25	1.08±0.11	0.80±0.16
Thr	2.83±0.76	1.88±0.42	2.01±0.04	1.85±0.25
Val	1.99±1.29	3.20±0.25	2.94±0.08	2.59±0.19
Met	0.67±0.13 ^{a)}	0.78±0.05 ^{a)}	0.75±0.03 ^{a)}	0.53±0.02 ^{b)}
Ile	3.56±0.14 ^{a)}	3.63±0.04 ^{a)}	3.22±0.14 ^{b)}	3.35±0.04 ^{b)}
Leu	4.89±0.28 ^{b)}	5.61±0.09 ^{a)}	4.95±0.17 ^{b)}	4.97±0.06 ^{b)}
Phe	4.07±0.16 ^{b)}	5.77±0.31 ^{a)}	4.43±0.11 ^{b)}	4.16±0.22 ^{b)}
Lys	6.35±0.27 ^{b)}	8.04±0.80 ^{a)}	6.76±0.16 ^{b)}	8.04±0.77 ^{a)}
Trp	0.30±0.02	0.36±0.13	0.32±0.08	0.30±0.02
Total	26.83±2.03 ^{b)}	30.32±0.32 ^{a)}	26.45±0.68 ^{b)}	26.59±0.49 ^{b)}
Dispensable				
Asp	12.42±1.33	12.13±2.26	10.78±0.18	9.74±1.24
Glu	10.00±4.15	11.45±1.88	10.19±0.20	9.53±1.12
Ser	3.30±0.44	3.18±0.71	2.99±0.02	2.48±0.37
Gly	1.71±0.99	1.90±0.32	1.84±0.06	1.84±0.27
Arg	3.98±0.53	3.51±0.72	3.16±0.08	3.68±0.48
Ala	2.47±0.24	2.33±0.42	2.30±0.05	2.05±0.25
Pro	2.47±0.85	2.45±0.44	2.25±0.06	2.02±0.24
Tyr	2.96±1.42	2.00±0.15	1.89±0.05	2.00±0.06
Cys	0.87±0.22 ^{a)}	0.27±0.01 ^{b)}	0.48±0.02 ^{b)}	0.56±0.19 ^{b)}
Total	40.20±4.31	39.22±6.87	35.88±0.53	33.89±4.14

All values are means ± SD (n=3).

^{a-b}Means without common letter in the same row differ (p<0.05). SPC, 농축대두단백 분말; MPC, 농축녹두단백 분말; RPC, 농축적두단백 분말; PPC, 농축완두단백 분말.

표 6. 고단백 대체육 소재 4종의 평균 및 한국인 영양소 섭취기준 비교

	고단백 대체육 소재 4종 평균 (g/100 g)	한국인 영양소 섭취기준 (2015, g/d)
His	1.3	0.8
Thr	2.1	1.1
Val	2.7	1.3
Met+Cys	1.2	1.0
Ile	3.4	1.0
Leu	5.1	2.3
Phe+Tyr	6.8	2.7
Lys	7.3	2.4
Trp	0.3	0.3
Total	30.2	12.9

○ 고단백 대체육 소재의 제품 가공 적성 평가

- 수분흡수력 측정을 위해 시료 2 g에 증류수 20 mL를 혼합함. 혼합물을 30초 동안 voltex mixer를 이용하여 교반하고 10분간 정치시킨 다음 이 과정을 5번 반복함. 방치한 혼합물을 4,000 rpm에서 20분간 원심분리하고 상등액을 45°로 조심히 배수한 다음, 그 상태에서 10분간 정치시킨 후 침전물의 중량을 측정하여 조사함.
- 유지흡수력은 시료 1 g에 10 mL의 카놀라유를 혼합함. 혼합물을 60초 동안 voltex mixer를 이용하여 교반하고 실온에서 10분간 방치한 후 4,000 rpm 30분간 원심분리한 다음 상등액을 45°로 조심히 배수하고, 10분간 방치 후 침전물의 중량을 측정하여 조사함.
- 점도 측정은 3 g의 시료를 10% 농도 (w/v)로 혼합하여 실온에서 30분간 교반하고 완전히 용해시킨 후 viscometer (AND vibro viscometer, SV-10, Japan)기기를 이용해 측정하였음.
- 보수력은 미리 무게를 측정한 원심분리관에 시료 1 g을 취한 후 증류수를 5배 가하고 (w/v) 3분간 voltex mixer로 교반한 다음 1시간 실온에 방치하였음. 준비된 시료를 4,000rpm에서 30분간 원심분리 후 상등액을 분리하고 침전된 시료의 무게를 측정하여 계산함.
- 단백질에 대한 기능적 특징들은 표 7과 같이 다양한 식품분야에 적용되어 왔고 관련 연구들은 이전부터 발달되어 왔음. 본 연구에서 수분결합력, 유지결합력, 보수력 및 점도를 조사하였음. 생산된 고단백 대체육 소재들의 수분결합력은 농축완두단백 분말이 최대 흡수력을 보인 반면, 농축대두단백 분말이 최소 흡수력을 보였으며 4종의 단백질 소재 사이에서

유의적인 차이를 보였음 ($p < 0.05$) (표 8). 유지결합력은 농축대두단백이 최대 흡수력을 보였고, 농축완두단백, 농축적두단백, 농축녹두단백 분말 순으로 높았으나 농축적두단백과 농축녹두단백 분말은 유의적 차이를 보이지 않았음. 보수력은 농축완두단백이 제일 높았으며, 농축녹두단백, 농축적두단백, 농축대두단백 분말 순으로 높았으나 농축적두단백과 농축녹두단백 분말의 보수력은 유의적 차이가 없었음. 점도는 농축완두단백, 농축대두단백, 농축적두단백, 농축녹두단백순으로 높게 나타났으며 서로 유의적인 차이를 보였음. 따라서 4종 고단백 대체육 소재는 기능성 특성에 있어서 서로 다른 특징을 가지고 있고 식품의 종류에 따라 적용되는 최적 고단백 대체육 소재가 다를 것이라 판단됨.

표 7. 대체육 단백질 소재들의 기능성 특징 적용

Functional property	Mode of action	food system used
Water absorption capacity and binding capacity	Hydrogen bonding of water, Entrapment water (no drop)	Meat, sausages, breads, cakes
Oil absorption capacity	Binding of free fat	Meats, sausages, doughnuts
Viscosity	Thickening	Soups, gravies

표 8. 고단백 대체육 소재들의 특성 분석

	SPC	MPC	RPC	PPC
수분결합력 (%)	194.48±0.29 ^d	211.67±0.46 ^c	213.05±0.52 ^b	223.38±0.90 ^a
유지결합력 (%)	166.24±0.40 ^a	160.09±0.22 ^c	160.78±0.20 ^c	162.41±0.63 ^b
보수력 (%)	192.67±0.64 ^c	208.33±0.81 ^b	207.5±1.25 ^b	215.63±1.68 ^a
점도 (mPa·s)	1.63±0.03 ^b	1.38±0.01 ^d	1.55±0.01 ^c	1.68±0.01 ^a

All values are means ± SD (n=3).

^{a-d}Means without common letter in the same row differ ($p < 0.05$).

SPC, 농축대두단백 분말; MPC, 농축녹두단백 분말; RPC, 농축적두단백 분말; PPC, 농축완두단백 분말.

○ 고단백 대체육 소재의 저장성 평가

- 생산된 소재의 품질 기준 설정 및 표준화를 위해 미생물 잔존여부를 조사하고자 고단백 대체육 소재들을 4℃, 25℃ 및 37℃의 온도가 설정된 장소에 보관하였고, 4주 간격으로 총 24주 동안 pH, 세균수 및 단백질 변패도를 조사하여 고단백 대체육 소재의 저장성을 평가

하기로 하였음. pH는 시료 10% (v/w)를 증류수에 용해시킨 후, pH meter를 이용하여 측정하였고, 단백질 변패도 실험을 위한 휘발성염기질소 (VBN, Volatile basic nitrogen)측정은 conway 확산법으로 분석함. 즉, 시료 2 g에 18 mL의 증류수를 가하고 voltex mixer로 30초간 혼합한 후 혼합액을 여과지(whatman No. 1)로 여과하여 여과액 1 mL를 conway unit 외실에 넣고 내실에는 0.01 N 황산용액을 가하였음. 뚜껑과 접촉부위에 glycerine을 바르고 포화 K₂CO₃ 1 mL를 외실에 주입 후 즉시 뚜껑을 닫고 수평으로 손으로 교반한 후 실온에서 160분 이상 방치하였음. 방치 후 지시약(0.066% methyl red+0.033% methylene blue) 30 µL를 가하고 0.01N NaOH로 내실의 황산용액을 측정하여 mg%로 나타냄. 단백질 변패도 식은 VBN (mg%) = 0.14 × {(b-a) × f/sample (g)} × 100 × d 으로 계산하며 f는 0.01 N NaOH의 역가, d는 희석배수, a는 본시험 적정치(mL), b는 공시험 적정치(mL)로 나타내었으며 일반세균수는 식품공전법에 따라 PCA배지를 사용하여 측정하였음.

- 표 9와 같이 pH 값의 경우 분리녹두단백과 분리적두단백 분말이 pH 4.48로 가장 높은 수치를 나타내었고, 분리완두단백 분말이 pH 4.24로 가장 낮은 수치를 나타내었으며 4주차에서는 3종 고단백 대체육 소재 내에서 pH값의 변화가 0.05~0.08 범위 내에서 모두 오른 것으로 확인되었음. 고단백 대체육 소재들의 안전성 검증을 위하여 농축대두단백, 농축녹두단백 및 농축적두단백의 pH, 세균수 및 단백질 변패도를 측정하였으나, 농축완두단백은 생산 및 보관일이 늦어져 추후에 검사하기로 하였음. 0주차 실험에서 고단백 대체육 소재 4종의 일반세균은 $4.7 \times 10^2 \sim 1.7 \times 10^4$ CFU/mL로 나타났고 대두농축단백, 녹두농축단백, 적두농축단백 분말의 4주차 3가지 온도 조건의 시료들에서 검사한 일반세균은 $1.0 \times 10^2 \sim 3.0 \times 10^4$ CFU/mL 으로 각 소재별로 차이를 보였으나, 우리나라에서는 조리하지 않고 그대로 섭취하는 식품의 일반세균 기준인 최대 10^5 CFU/g 이하를 기준으로 봤을 때 4주차까지는 3종 고단백 대체육 소재들의 미생물학적 안정성이 입증되었음. 고기 신선도 판정 시 식육단백질은 펩타이드, 아미노산과 저분자 무기질소화합물로 분해되면서 VBN (Volatile basic nitrogen)이 증가하게 되므로 VBN 수치는 식육의 변패 과정을 평가하는 척도가 되었고 대한민국 식품공전 상에는 신선육의 경우 20 mg/100 g 이하로 규정하고 있으나 식물성 단백질 식품에서 단백질 변패도 기준으로 VBN 수치를 평가한 적은 없어 본 연구에서 새로운 시도였다고 생각됨. 0주차 4종의 단백질 변패도 범위는 2.10~4.67 mg%로 4주차 범위 2.33~12.13 mg% 보다 적게 나왔고, 추후에 저장기간에 따른 고단백 대체육 소재들의 단백질 변패도 변화를 조사하여 고단백 대체육 저장성 평가에 있어서 척도의 기준이 될 것으로 기대됨.

표 9. 저장 기간에 고단백 대체육 소재들의 pH, 단백질 변패도 및 일반세균 수

Sample	period (week)	Storage temperature(°C)	pH	Volatile basic nitrogen (mg%)	General bacteria (CFU/mL)
SPC	0	25	4.41	5.37	4.7×10^2
		4	4.46	10.97	3.2×10^3
	4	25	4.46	6.53	2.0×10^2
		37	4.46	8.63	1.0×10^2
MPC	0	25	4.48	4.67	9.4×10^3
		4	4.54	5.60	1.7×10^3
	4	25	4.54	7.47	1.4×10^3
		37	4.56	12.13	1.0×10^2
RPC	0	25	4.48	2.10	1.7×10^4
		4	4.53	2.33	2.0×10^4
	4	25	4.53	4.20	3.0×10^4
		37	4.54	3.03	7.0×10^3
PPC	0	25	4.24	3.03	1.7×10^4

SPC, 농축대두단백 분말; MPC, 농축녹두단백 분말; RPC, 농축적두단백 분말; PPC, 농축완두 단백질 분말.

○ 국내산 농산물로부터 추출한 고단백 대체육 소재의 산업적 생산을 위한 기본 공정을 설계하고 생산 라인을 구축함

- 고단백 대체육으로 대표되는 식물성 대두조직단백 (Texturized Soybean Protein: TSP)의 대량 생산기술은 크게 방직기술을 이용한 방법과 단축압출성형방법을 이용하는 방법 두 가지로 분리되고 있음. 이 가운데 특히 방직 기술인 spinning process를 이용하는 방법은 육류와 유사한 조직을 얻을 수 있고 단백질함량의 굵기를 마음대로 조절할 수 있으므로 원하는 조직감을 얻을 수는 있지만 공정의 복잡성 때문에 높은 비용이 소요되고 산업적 이용이 매우 어렵기 때문에 현재는 사용하지 않음. 반면 방직기술 이후에 개발된 압축성형기를 이용하는 단백질 생산방법은 전분 및 단백질의 팽창성을 이용한 것으로 단축압출성형기 또는 이축압출성형기 등을 활용한 방식을 토대로 대부분의 고단백 식물성 대두조직단백 식품의 제조는 현재 이 방법으로 생산되고 있음. 이때 제조 시 압출 방식에는 이송, 혼합, 압축, 가열, 반죽, 전단, 성형 등 여러 단위공정이 복합된 가공방법이 동반되며, 압출기를 형성하는 핵심적인 부분은 스크루우 및 사출구(die aperture)로서 투입된 식품원료는 이 스크루우를 따라 전진하면서 혼합되고 압착되면서 반 고상 물질을 형성하여 스크루우 끝 부근에 있는 사출구를 통해서 압출됨. 주관기관에서는 생산방식은 이와 같이 압출성형방식으로 정하였으며, 이에 따른 초기 생산공정 설계도는 아래 그림 5와 같음.

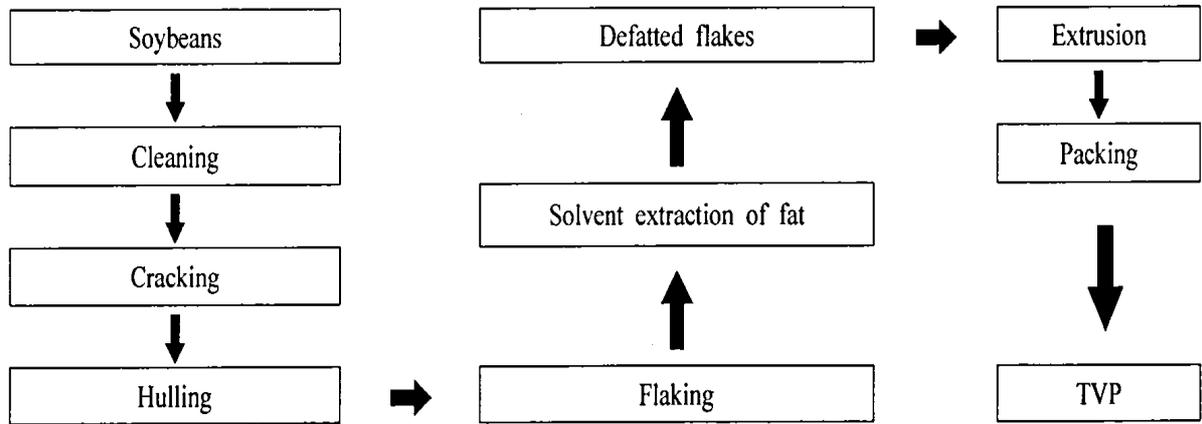


그림 5. 압출성형방식을 이용한 생산공정 설계도

- Extrusion 과정에서 단축압출성형 및 이축압출성형 방식은 차후 제 1, 2 협동기관의 추가 연구에 의해 1) 대체육의 재료 선택, 2) 대체육의 질감 및 맛 비교시험, 3) 저장 및 유통성, 4) 수율과 경제성 등을 검토하여 결정하고자 함.
- 제 1, 2협동기관의 연구에 의한 결과를 토대로 생산공정에서는 우선적으로 주원료 중 식물성 대두조직단백 (Texturized Soybean Protein: TSP)의 경우 대두 단백질이 지닌 양호한 기능적 특성 (중합성, 섬유형성성)을 이용하여 기존 육류의 기능을 향상시키거나 증량적 효과를 얻기 위한 육류 대체 소재로서 또는 대두단백질을 재가공하여 외관, 형태, 조직 및 촉감이 육류와 유사하도록 만든 제품임. 대두단백질은 물리 화학적 특성으로 보아 식물성 조직단백소재 생산에 가장 적합하며 또한 가격도 비교적 저렴하여 이런 이유로 현재 식물성 조직단백소재 생산에 사용하는 원료의 대부분을 대두 또는 대두단백질로 선정하였고, 추가로 부재료 선정에 의해 생산과정 및 공정을 완성하고자 함.

○ 산업적으로 생산된 고단백 대체육 소재의 처리 조건의 안전성 검증

- 제 1협동기관에서 설정한 고단백 대체육 소재의 처리 조건을 산업적 생산을 위한 기본 조건에 적용시키고 생산된 고단백 대체육 소재의 이화학적 특성을 조사하고 일반세균, 대장균 및 곰팡이 등의 미생물 잔존검사를 통해 생산된 고단백 대체육 소재의 안전성을 검증하였음. 이화학적 특성은 수분은 105℃ Drying over을 이용하여 상압가열 건조법으로 검사하였고, 조단백질은 조단백자동분석기를 이용하여 Kjeldahl법으로 검사하였음 (그림 6). 각 소재들의 단백질 함량이 평균 약 77%, 수분은 약 6%, 건물 함량 대비 단백질 함량이 80% 이상이 나왔으므로 제 1협동기관에서 설정한 고단백 대체육 소재의 처리 조건이 산업적으로 활용 가능할 것으로 판단되었음.



(가)



(나)

그림 6. 이화학적 특성을 위해 사용된 기기 사진. (가) 조단백 자동 증류장치 기기; (나) Drying oven 기기 사진.

- 일반세균 검사는 분말 배지의 전처리를 위해서 분말 배지를 매뉴얼에 맞게 계량하여 용기에 담은 후 마그네틱교반기로 잘 교반하고, 오토클레이브에 고압멸균 하였음. 시료 1 g을 9 mL 멸균식염수에 희석시킨 후 희석이 잘 되도록 Voltex mixer로 섞어주었음. 단계별 희석액 1 mL을 멸균 페트리접시 2개에 무균적으로 취하여 약 43~45°C 유지한 표준한천배지 약 15 mL를 무균적으로 분주하고 페트리접시 뚜껑에 부착하지 않도록 주의하면서 조용히 회전하여 좌우로 기울이면서 검체와 배지를 잘 혼합하여 응고 시켰음. 확산집락의 발생을 억제하기 위하여 다시 표준한천배지 3~5 mL를 가하여 중첩시키고, 응고시킨 페트리접시는 뒤집어 35±1°C에서 48±2시간 배양하였음 (그림 7). 대장균군은 EMB배지를 이용하고, 곰팡이는 10% Tartaric acid로 pH 3.5로 맞춘 PDA배지를 이용하여 일반세균과 동일한 방법으로 실행하였으나, 대장균군 검사는 36±1°C에서 24±2시간 배양하였고, 곰팡이군 검사는 25±1°C에서 4~5일 배양하고 검사하였음. 생산된 고단백 대체육 소재 4종의 일반세균은 최대 10⁴ CFU/mL 이하의 양상을 나타냈으며, 즉석섭취식품 기준인 최대 10⁵ CFU/g 이하 보다 적기 때문에 식품 섭취에 있어서 문제는 없으나, 장기간 보관에 따른 최적 살균공정 설정이 필요하다고 판단되었음. 대장균군 및 곰팡이 등의 유해균은 검출되지 않았으므로 생산된 고단백 대체육 소재들의 미생물학적 안정성이 입증되었으며, 보관기간에 따른 지속적인 검사가 필요하다고 판단되었음.



(가)



(나)

그림 7. 고단백 대체육 소재의 안전성 검증을 위한 실험 사진. (가) Clean bench에서 미생물 잔존 검사하는 실험 사진; (나) 고단백 대체육 소재들을 Incubator에 배양하는 모습.

○ 공정 조건에 따른 생산 수율을 산출하여 고단백 대체육 소재를 효과적으로 제조할 수 있는 생산 라인을 규격화 함

- 제 1협동에서 연구한 고단백 대체육 소재의 생산기법을 토대로 대량 생산에 적합한 조건을 설정하고, 고단백 대체육 소재의 제품화 및 표준화를 위한 대량 생산 라인 및 공정을 규격화 하는 단계를 진행하고 있음 (그림 8).



(가)



(나)



(다)



(라)

그림 8. 고단백 대체육 소재의 대량 생산을 위한 기기 사진들. (가) Centrifuge; (나) Homogenizer; (다) Vacuum packaging machine; (라) Cold storage.

< 2차년도 >

○ 고단백 대체육 소재의 기본 생산 조건 설정

- 1차년도 연구결과를 토대로 선정된 4종의 국내산 농산물 대두, 녹두, 적두, 완두를 대상으로 단백질 소재를 생산하는 방법을 설정하였음. 녹두, 적두 및 완두는 분쇄기로 분쇄하여 40 mesh 체에 통과시켜 분말로 제조하였음. 대두는 탈피를 용이하기 위해 3배의 증류수 (w/w)를 가하여 실온에서 6시간 불리고, 불린 대두는 손을 이용하여 탈피하고 50℃ 열풍 인큐베이터에 넓게 펼쳐서 24시간 건조하였음. 탈피 건조된 대두를 분쇄기로 분쇄하여 40 mesh 체에 통과시켜 분쇄하고, 대두분말에 3배의 n-hexane (w/w)을 첨가하고 실온에서 교반기를 이용하여 6시간 교반시켰음. 교반 후 분별 깔때기에 옮겨 1시간 정치시킨 후 상등액을 분리하고, 침전물만 얻어 후드에서 24시간 건조하였음. 탈지 대두, 녹두, 적두 및 완두 분말에 10배의 증류수를 가해 3 N NaOH로 pH 10으로 맞춘 후 6시간 실온에서 교반기를 이용하여 교반하고, 이 용액을 원심분리기에 넣어 8,000 rpm로 20℃ 에서 10분간 원심분리하여 상등액을 회수하였음. 상등액에 3 N HCl을 첨가하여 대두, 녹두, 적두 및 완두 단백질의 등전점 부근인 pH 4.5로 조절하고 교반기로 10분간 교반한 후, 다시 8,000 rpm으로 20℃에서 10분간 원심분리하였음. 상등액을 제거한 뒤 침전물을 모아서 50℃ 열풍 인큐베이터에서 24시간 동안 건조하고 65℃에서 1시간 저온살균한 후, 믹서기로 갈아서 40 mesh체에 통과시켜 선별한 후 제조하였으며 생산과정의 모식도 및 생산된 소재의 외관은 그림 9 & 10과 같음.

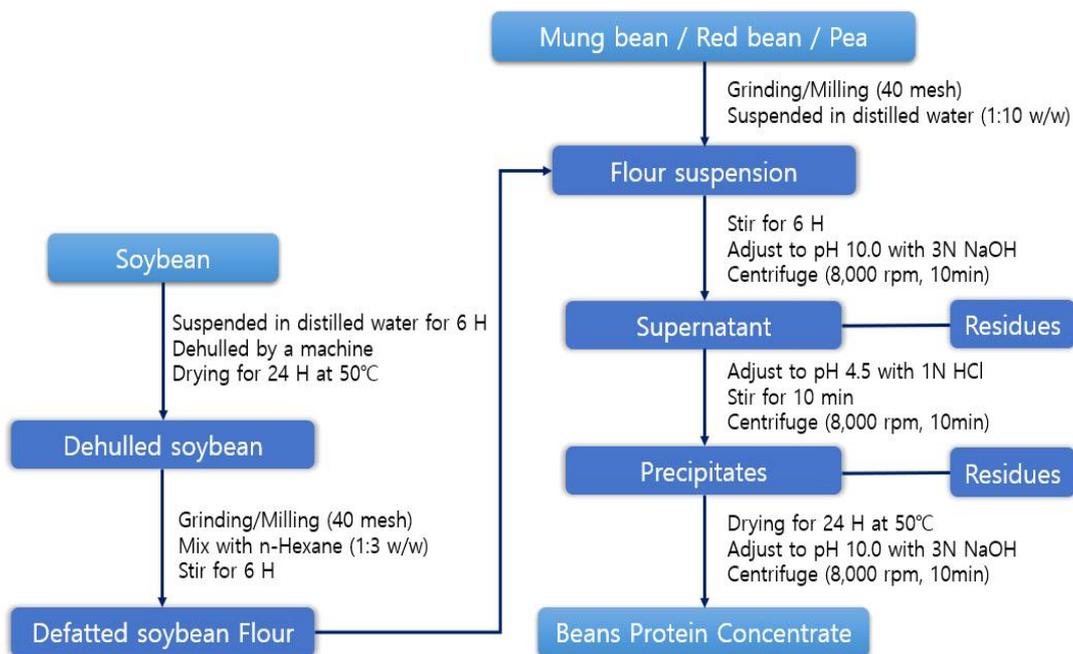


그림 9. 국내산 농산물의 종류에 따른 고단백 대체육 소재의 생산 과정



그림 10. 국내산 농산물을 이용하여 생산한 고단백 대체육 소재들

○ 고단백 대체육 소재의 성분 및 특성 분석

- 생산된 고단백 대체육 소재들의 단백질 함량은 Kjeldahl법을 이용하여 조사하였으며 분석한 결과는 표 10과 같으며 생산된 단백질 소재들의 단백질 함량은 완두, 녹두, 대두, 적두 순으로 높았음.

표 10. 고단백 대체육 소재들의 단백질 함량

	Soybean	Mung bean	Red bean	Pea
Protein (%)	74.62 ± 0.39 ^b	77.90 ± 0.49 ^a	71.62 ± 0.42 ^c	78.57 ± 0.56 ^a

- 생산된 고단백 대체육 소재들의 제품 적용 가능성을 확인하기 위해 pH, 겉보기 밀도, 수분 흡수력, 유지흡수력, 용해도, 유화 활성 및 유화 안전성 등의 특성을 조사하였음. pH 측정 은 증류수와 시료를 10% (w/v)의 현탁액으로 만든 뒤 시료와 증류수를 교반하면서 pH 측정기를 이용하여 조사하였고, 겉보기 밀도는 무게가 측정된 시료를 10 mL 메스실린더에 넣고 계속 가볍게 두드려 부피 변화가 없을 때 중단하여 계산하였음.

$$\text{보기밀도} = \frac{\text{시료의 무게 (g)}}{\text{시료의 부피 (mL)}}$$

- 수분흡수력은 시료 2 g에 증류수 20 mL를 혼합한 뒤 30초 동안 voltex mixer를 이용하여 교반하고 10분간 정치시켰음. 이 과정을 5번 반복한 후 4,000 rpm에서 20분간 원심분리 하고 상등액을 제거한 뒤 10분간 정치시켜 침전물의 중량을 측정하여 조사하였음.

$$\text{수분흡수력} = \frac{\text{수분 흡수 후 시료의 무게 (g)}}{\text{시료의 무게 (g)}} \times 100$$

- 유지흡수력은 시료 1 g에 10 mL의 카놀라유를 혼합한 뒤 60초 동안 voltex mixer를 이용하여 교반하고 실온에서 10분간 방치한 후 4,000 rpm 30분간 원심분리한 뒤 상등액을 제거하고 10분간 정치시킨 후 침전물의 중량을 측정하여 조사하였음

$$\text{지흡수력} = \frac{\text{유지 흡수 후 시료의 무게 (g)}}{\text{시료의 무게 (g)}} \times 100$$

- 질소용해도는 시료 500 mg를 50 mL의 증류수에 첨가시키고 0.1 N HCl 또는 0.1 N NaOH 용액으로 pH를 조정하면서 30분 동안 교반한 후 4,000rpm에서 10분간 원심분리하여 얻어진 상등액 1 mL 중의 단백질함량을 Folin-Lowry 기법을 이용하여 조사하였음. 흡광도는 750 nm에서 측정하였고 bovine serum albumin 시약을 이용하여 표준곡선을 작성하였으며 질소용해도는 아래와 같이 계산하였음.

$$\text{용해도 (\%)} = \frac{\text{흡광도(ppm)} \times \text{희석배수}}{\text{시료의농도(ppm)} \times \text{단백질함량}} \times 100$$

- 유화 활성 (emulsifying activity) 및 유화 안전성 (emulsifying stability)은 시료 0.5 g에 증류수 5 mL를 가하여 균질기로 5,000 rpm에서 1분간 균질화한 뒤 옥수수기름 5 mL를 다시 첨가하여 동일한 방법으로 균질화 하였음. 유화 활성은 균질액을 1,600 rpm에서 5분간 원심분리하여 계산하였으며, 유화 안정성은 유화액을 80℃ 항온수조에서 30분간 가열한 후 15℃로 냉각한 다음 1,600 rpm에서 5분간 원심분리하여 조사하였음.

$$\text{유화 활성 (\%)} = \frac{\text{유화된 층의 부피 (mL)}}{\text{시험관내 총 내용물의 부피 (m)}} \times 100$$

$$\text{유화 안정성 (\%)} = \frac{\text{가열 후의 유화된 층의 부피 (mL)}}{\text{시험관내 총 내용물의 부피 (mL)}} \times 100$$

- 고단백 대체육 소재들의 질소용해도를 조사한 결과는 그림 11과 같음 (SPC, 대두 단백질 농축물; RPC, 적두 단백질 농축물; MPC, 녹두 단백질 농축물; PPC, 완두 단백질 농축물). 고단백 대체육 소재들의 질소 용해도는 등전점 부근인 pH 4~6사이에서 최소로 나타났고 pH 4 미만과 pH 6 초과인 범위에서 증가하는 양상을 보이면서 pH 12에서 최대 용해도를 가진 U자형 곡선 모양의 그래프를 나타내었음. 4종 단백질의 용해도는 각 pH 구간마다 유의적인 차이를 보였으며 특히 대두 단백질 농축물 소재는 pH 8이상에서 다른 소재들보다 질소용해도가 가장 높았음.

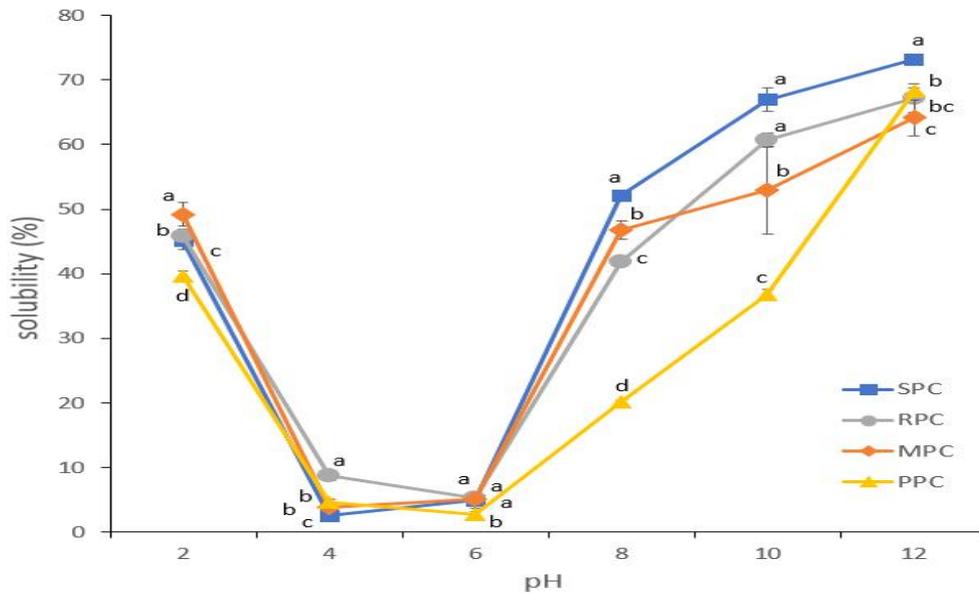


그림 11. 대체육 소재들의 질소 용해도.

SPC, 대두 단백질 농축물; RPC, 적두 단백질 농축물; MPC, 녹두 단백질 농축물; PPC, 완두 단백질 농축물

- 생산된 고단백 대체육 소재들의 특성을 조사한 결과는 표 11과 같음. 겉보기 밀도는 녹두 및 적두가 대두 및 완두보다 유의적으로 높았으며 수분흡수지수는 완두, 적두, 녹두, 대두 순으로 높았음. 유지흡수력은 대두가 다른 국내산 농산물과 비교하여 유의적으로 높은 수치를 나타냈고, 유화 활성 및 유화 안정성은 은 녹두, 완두, 적두, 대두 순으로 높게 나타났다.

< 표 11. 고단백 대체육 소재들의 특성 >

	Soybean	Mung bean	Red bean	Pea	p-value
pH	4.41±0.01 ^b	4.48±0.01 ^a	4.48±0.00 ^a	4.24±0.00 ^c	<.05
BD (g/mL)	0.71±0.00 ^b	0.83±0.00 ^a	0.84±0.02 ^a	0.73±0.04 ^b	<.05
WAC (%)	214.25±0.84 ^c	223.81±0.53 ^b	233.13±0.81 ^a	235.67±0.74 ^a	<.05
OAC (%)	278.52±1.40 ^a	260.25±0.94 ^b	258.62±1.82 ^b	261.58±1.29 ^b	<.05
EA (%)	37.67±0.94 ^c	54.00±1.60 ^a	46.33±0.72 ^b	38.33±1.52 ^c	<.05
ES (%)	39.33±0.71 ^c	56.33±2.08 ^a	47.85±1.45 ^b	38.67±2.05 ^c	<.05

BD, 겉보기 밀도; WAC, 수분흡수지수; OAC, 유지흡수력; EA, 유화 활성; ES, 유화안정성.

○ 고단백 대체육 소재 대량 생산 조건 설정

- 국내산 농산물로부터 단백질 소재를 생산하기 위하여 설정해 놓은 생산방법과 생산된 소재들의 성분 및 특성 조사를 통해 고단백 대체육 소재의 대량 생산 조건을 설정하였음. 조사된 성분 및 특성 결과는 각각의 고단백 대체육 소재별로 차이를 보였으며, 한국인 영양소 섭취기준 중 아미노산의 하루 평균 필요량을 충족시키면서 제품 적용시 각 소재들의 장점을 활용할 수 있는 고단백 대체육 소재를 생산하기 위하여 본 연구에서 사용된 4가지 국내산 농산물 (대두, 녹두, 적두, 완두)을 혼합하여 고단백 대체육 소재를 생산할 수 있는 방법을 개발하였음. 한국인 영양소 섭취기준에 따르면 성인 남성을 기준으로 아미노산 하루 평균 필요량이 Histidine 0.8 g, Threonine 1.1 g, Valine 1.3 g, Methionine과 Cysteine 1.0 g, Isoleucine 1.0 g, Leucine 2.3 g, Phenylalanine과 Tyrosine 2.7 g, Tryptophan 0.3 g이었음. 아미노산 하루 평균 필요량을 충족시킬 수 있는 국내산 농산물의 비율을 조사하였으며 대량 생산을 통한 산업적인 측면을 고려하기 위해 각 혼합비별로 생산된 고단백 대체육 소재의 단가는 표 12와 같음. 그 결과, 대두 : 녹두 : 적두 : 완두의 비율을 80 : 10 : 5 : 5로 했을 때 아미노산 하루 평균 필요량을 충족시켰으며 생산 단가 또한 kg당 5,658원으로 가장 낮았음.

표 12. 국내산 농산물 혼합비율에 따른 아미노산 및 생산 단가 변화

Amino acid	EAR for Korean (2015, g/d)	Soy bean:Mung bean:Red bean:Pea (g/100 g)		
		25:25:25:25	50:30:10:10	80:10:5:5
His	0.8	1.3	1.0	1.9
Thr	1.1	2.1	1.4	2.6
Val	1.3	2.7	2.5	2.2
Met+Cys	1.0	1.2	1.3	1.5
Ile	1.0	3.4	3.5	3.5
Leu	2.3	5.1	5.1	5.0
Phe+Tyr	2.7	6.8	7.1	7.0
Lys	2.4	7.3	7.1	6.6
Trp	0.3	0.3	0.3	0.3
Cost (won/kg)		6,924	6,850	5,658

- 혼합된 국내산 농산물로부터 고단백 대체육 소재를 생산하기 위하여 기존에 설정된 생산 과정을 일부 수정하였음. 대두 : 녹두 : 적두 : 완두를 80 : 10 : 5 : 5 (w/w) 비율로 혼합한 뒤 분쇄하여 40 mesh 체에 통과시켜 분말화함. 분말 중량의 10배의 증류수를 가해 혼합하고 3 N NaOH를 이용하여 pH 10으로 조정한 뒤 6시간 동안 실온에서 교반하였음. 6시간 뒤 교반된 용액을 8,000 rpm으로 20℃에서 10분간 원심분리 하여 상등액을 회수하고, 3 N HCl을 이용하여 사용된 소재들의 등전점 부근인 pH 4.5로 조정하고 10분간 교반한 후 다시 8,000 rpm으로 20℃에서 10분간 원심분리하였음. 침전물을 모아서 50℃ 열풍 인큐베이터에서 24시간 동안 건조한 뒤 65℃에서 1시간 동안 저온살균하고, 믹서기로 분쇄한 뒤, 40 mesh 체에 통과시켜 혼합된 국내산 농산물로부터 고단백 대체육 소재를 생산하였음.

○ 관능성 개선을 위한 레그헤모글로빈의 추출

- 본 연구를 통해 개발된 대체육 제품의 관능성을 기존 육류 제품과 비슷하게 제조하기 위하여 레그헤모글로빈의 추출을 수행하였음. 레그헤모글로빈은 대체육 제품을 판매하는 임파서블 푸드 회사에서 육류 제품과 비슷한 관능성을 부여하기 위해 대체육 제품 제조 시 사용되는 첨가물임. 따라서, 국내산 농산물을 이용한 고단백 대체육 소재와 더불어 이를 이용한 대체육 제품의 개발 시 관능성을 개선하기 위하여 그림 12 & 13와 같이 대두 뿌리 결절에서 레그헤모글로빈을 추출하였음. 42~56일 된 대두 뿌리 결절을 채취한 뒤 pH를 6.8로 맞춘 0.1M phosphate buffer를 대두 뿌리 결절의 4배로 침지시킨 후 균질화 하였음. 폴리페놀 제거를 위해 polyvinylpyrrolidone을 혼합한 뒤 균질액을 4,000 rpm으로 4℃에서 100분간 원심분리 하였음. 원심분리된 상등액을 회수하고 황산암모늄 50%를 첨가한 후 4,000 rpm으로 4℃에서 100분간 원심분리하여 침전물을 회수하였음. 침전물의 9배의 0.1 mM EDTA가 포함된 0.1 M Tris-HCl 용액에 침전물을 용해시키고 한외여과를 수행하여 레그헤모글로빈을 농축시켰음. 농축물은 SDS-PAGE 기법을 이용하여 단백질 분리 양상을 확인하였음.

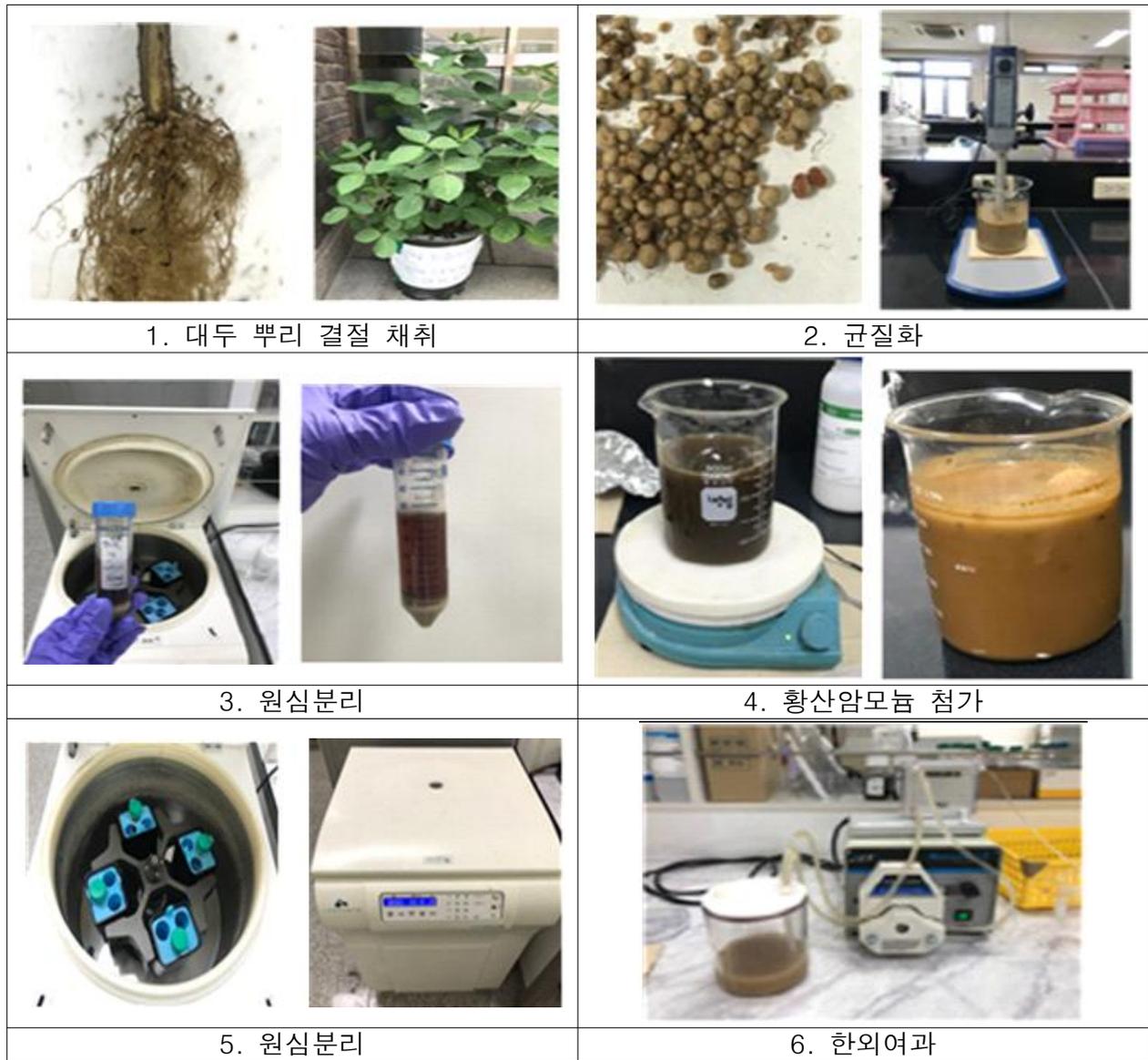


그림 12. 레그헤모글로빈 생산 과정

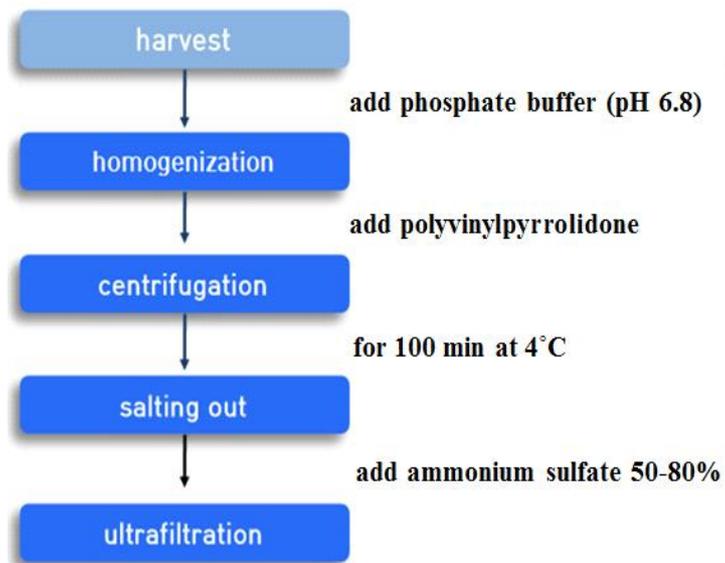


그림 13. 레그헤모글로빈 생산 모식도

- SDS-PAGE 기법을 이용하여 레그헤모글로빈 추출물의 단백질 분리양상을 확인하였고 (그림 14), gel 상에서 추출물은 약 11 kda의 밴드만 확인되고 그 외의 밴드는 검출되지 않아 대두 뿌리 결절로부터 레그헤모글로빈이 효과적으로 추출되었음을 확인하였음.

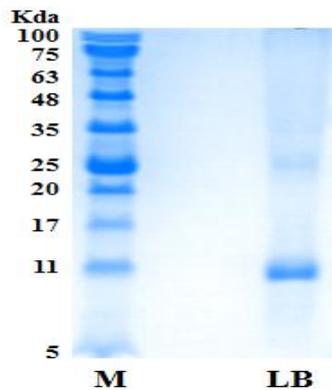


그림 14. SDS-PAGE 기법을 이용한 레그헤모글로빈 추출물의 단백질 분리 양상

○ 고단백 대체육 소재 및 이를 이용한 대체육 제품의 대량 생산을 위한 기본 공정 설계

- 제 1 협동에서 설정한 조건을 토대로 고단백 대체육 소재를 대량 생산하기 위한 공정을 설계하였음. 고단백 대체육 소재의 단백질 함량을 증가시키기 위해 사용된 핵산 처리 과정은 기존의 연구를 통해 단가의 상승, 효율적인 작업공정, 안전성 등을 감안할 때 대량 생산 조건 설정시 생략하였으며 주관기관의 시설에 적합하도록 고단백 대체육 소재의 생산 공정을 일부 수정하여 대량 생산 공정을 설계하고 그에 필요한 설비들을 확보하였음 (그림 15).



그림 15. 고단백 대체육 소재의 대량 생산을 위한 공정 및 설비

- 그림 16 & 17과 같이 본 연구를 통해 개발된 고단백 소재를 이용하여 분쇄, 혼합, 성형, 훈연 등의 과정을 통해 대체육 제품을 생산할 수 있는 기본 공정을 설정하였으며 대체육 제품들 (소시지, 패티, 햄 등)의 시제품 생산 및 제품화에 필요한 공정을 설계하였음. 대체육 제품의 대량 생산에 필요한 공정은 식물성 대체육 소재 (대두, 귀리, 녹두, 적두, 완두 등) 및 부재료의 세척 단계, 세척 후 삶는 과정 및 분쇄 단계, 분쇄 처리된 내용물을 혼합 및 연합하는 단계, 성형 및 자동화 대체육 제품의 생산 단계의 총 4가지 단계로 설계하였음.



그림 16. 대체육 제품들의 생산 과정

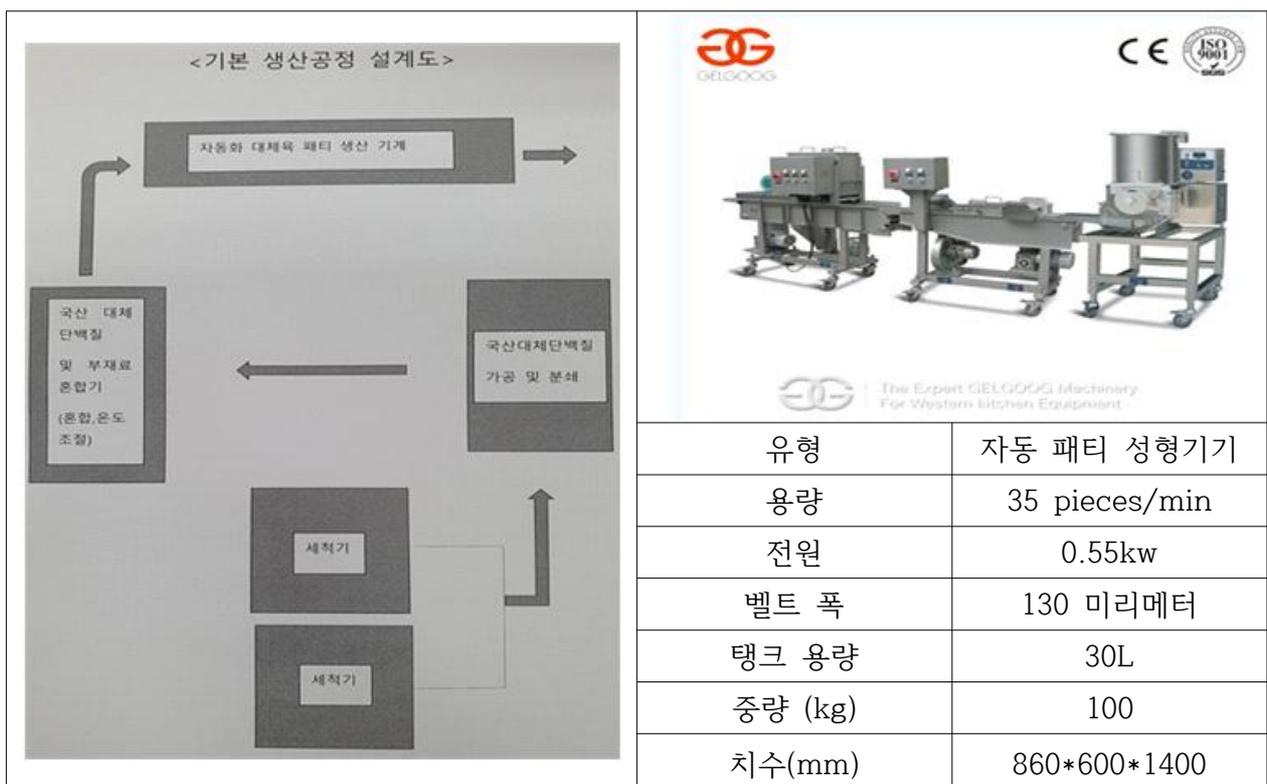


그림 17. 고단백 소재를 이용한 대체육 제품 생산을 위한 공정 설계 및 필요 설비

- 제 1협동기관에서 설정된 조건을 토대로 고단백 대체육 소재를 대량 생산하기 위한 공정 기술을 개발하였음. 생산 단계별로 고단백 대체육 소재의 변화를 조사하여 품질을 개선하고 가장 효과적으로 고단백 대체육 소재를 생산할 수 있는 대량 생산 공정을 확립한 뒤 고단백 대체육 소재를 대량 생산 하였음. 또한, 식물성 대체육 소재를 이용하여 대체육 제품을 제조하고, 효과적인 공정 기술을 개발하기 위하여 롯데중앙연구소 및 바이오제네틱스 등의 기존 종건회사와 식물성 대체육을 연구개발하기 위한 MOU를 체결하였음 (그림 18).

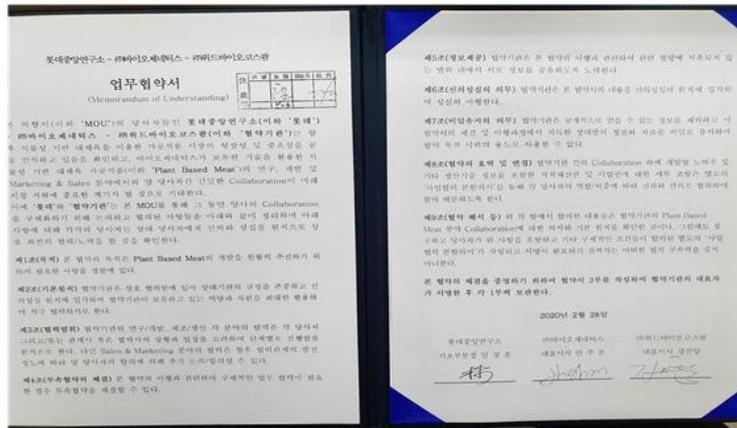


그림 18. 식물성 대체육 연구개발을 위한 업무협약서

- 대량 생산된 고단백 대체육 소재를 이용한 제품 적용 특성을 향상시키기 위해 그림 19과 같이 콩뿌리혹 재배 및 soy leghemoglobin (LB)를 추출하였음 (재배기간 2020년 6월 ~ 현재, 재배평수 : 250평, 재배장소 : 삼육대학교 정원식물실습장)



그림 19. 콩뿌리혹 재배 및 LB 추출 사진

○ 고단백 대체육 소재의 대량 생산 조건 설정

- 제 1협동에서 설정한 공정을 토대로 고단백 대체육 소재를 대량 생산하기 위한 최적 조건을 설정하였음 (그림 20). 대두 : 녹두 : 적두 : 완두를 80 : 10 : 5 : 5로 혼합한 뒤 분쇄하여 혼합된 농산물 소재 중량의 10배에 해당하는 물을 추가하여 혼합하고 단백질 추출액을 회수하기 위해 pH를 9로 조정하여 4 시간 동안 교반하였음. 4시간 후 원심분리를 통해

침전물을 제거하고 상등액만 회수하였으며 단백질을 침전시키기 위하여 pH를 4.5로 조정하고 원심분리 하여 침전물을 회수하였음. 회수된 침전물은 열풍건조를 통해 약 50℃에서 건조하여 고단백 대체육 소재를 생산하였음.

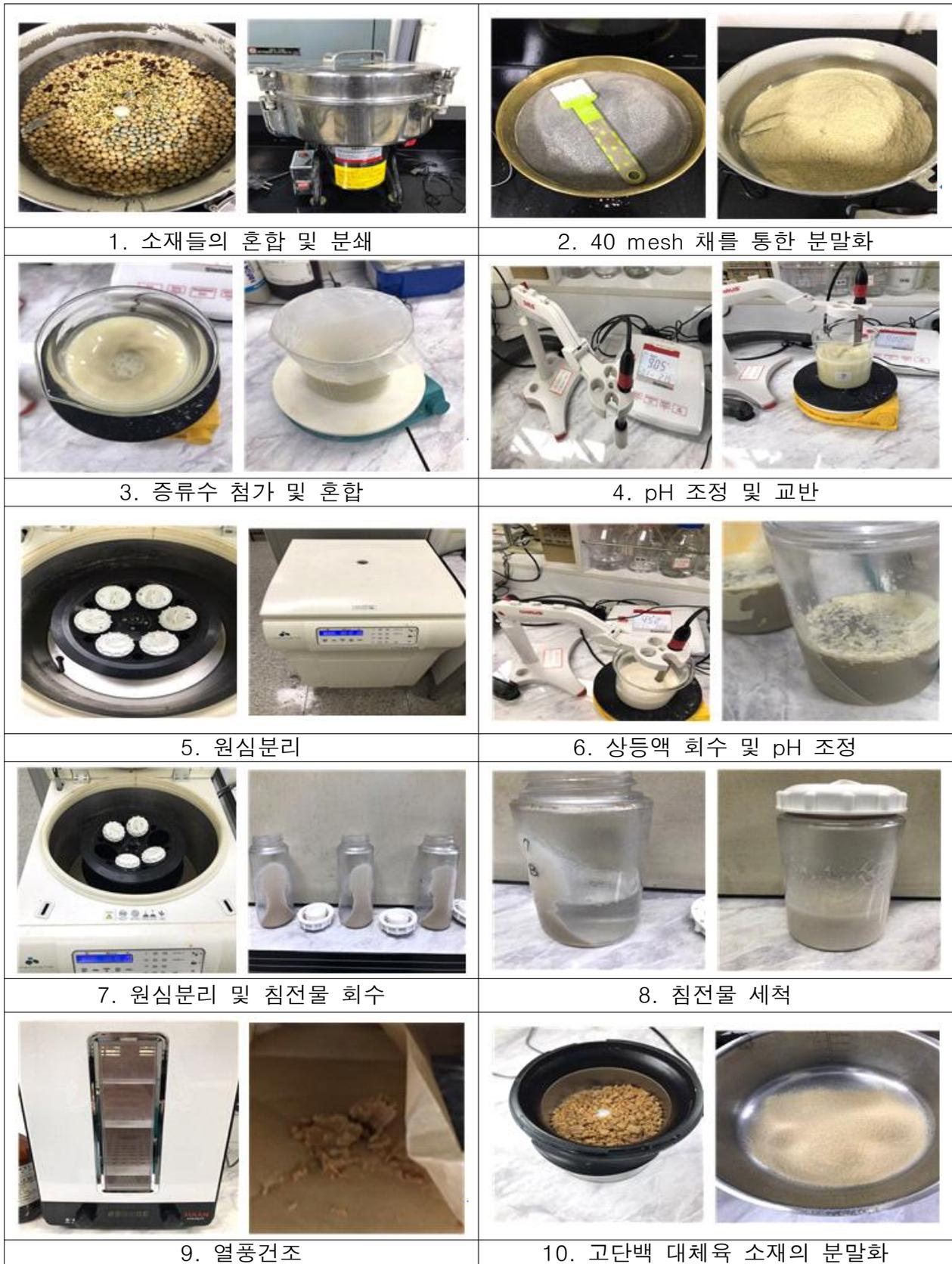


그림 20. 혼합된 국내산 농산물을 이용한 고단백 대체육 소재의 생산 과정

○ 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 품질 기준 설정

- 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 품질 기준을 설정하기 위해 최종 생산된 고단백 대체육 소재의 관능특성과 일반성분 및 pH를 분석하고, 필수 아미노산 함량을 조사하였음. 병원성 미생물에 대한 안전성을 검증하기 위해 미생물 잔존 검사를 수행하였음. 일반세균은 PCA 배지, 대장균은 EMB배지, 곰팡이는 PDA배지, 살모넬라 균주는 XLD배지, 시겔라 균주는 SS배지, 클로스트리디움 균주는 RCM배지, 비브리오 균주는 marine 배지, 황색포도상구균은 BPA배지를 이용하였음. 또한, free amino nitrogen, 열 안정성 및 산 안정성 등을 조사하여 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 단백질 함량이 일정한 수준을 유지할 수 있도록 기준을 설정하였음.
- 본 연구를 통해 설정된 조건을 토대로 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 특성 및 일반성분은 표 13과 같음. 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 형태는 파우더 타입으로 무취이며, 밝은 아이보리 색을 띠고 있고 pH는 약 6.7~6.9였음. 수분은 최대 4.9%이고, 조회분은 최대 3.2% 이하, 조지방은 최대 6.3% 이하, 건물 기준 단백질은 최소 80.6% 이상이었음.

표 13. 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 특성 및 일반성분

	검사항목	결과
	Type	Powder
	Odor	Odorless
	Color	Bright ivory
	pH(10% solution)	6.7~6.9
	Moisture	< 4.9 % max
	Ash	< 3.2 % max
	Fat	< 6.3 % max
	Protein (based on solid)	> 80.5 % min

- 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 아미노산 함량을 분석한 결과는 표 14와 같음. 본 연구를 통해 선정된 4가지 국내산 농산물 (대두, 녹두, 적두, 완두)를 혼합하여 대량 생산된 고단백 대체육 소재는 성인 남성 기준 필수 아미노산 하루 평균 필요량을 상회하였음. 따라서 본 연구를 통해 개발된 고단백 대체육 소재를 이용하여 소시지, 햄, 패티 등의 대체육 제품을 개발할 경우 필수아미노산을 충분히 공급할 수 있음이 확인되었음.

표 14. 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 아미노산 조성

	Mixed bean protein concentrate (g/100 g)	EAR for Korean (2015, g/d)
His	1.2	0.8
Thr	2.1	1.1
Val	2.7	1.3
Met+Cys	2.2	1.0
Ile	2.6	1.0
Leu	4.1	2.3
Phe+Tyr	3.9	2.7
Lys	2.9	2.4
Trp	1.1	0.3
Total	22.8	12.9

- 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 안전성을 조사하기 위해 일반세균 및 병원성 균주들을 토대로 미생물 잔존검사를 수행하였음. 조리되지 않고 섭취하는 식품의 국내 일반세균 기준은 최대 1×10^5 CFU/mL이며 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 일반세균은 9.6×10^3 CFU/mL 였음. 또한, 식품공전에 명시된 대장균, 곰팡이, 살모넬라, 시겔라, 클로스트리디움, 비브리오 및 황색포도상구균 균주는 그림 21과 같이 모두 검출되지 않아 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 미생물학적 안전성을 확인하였음.

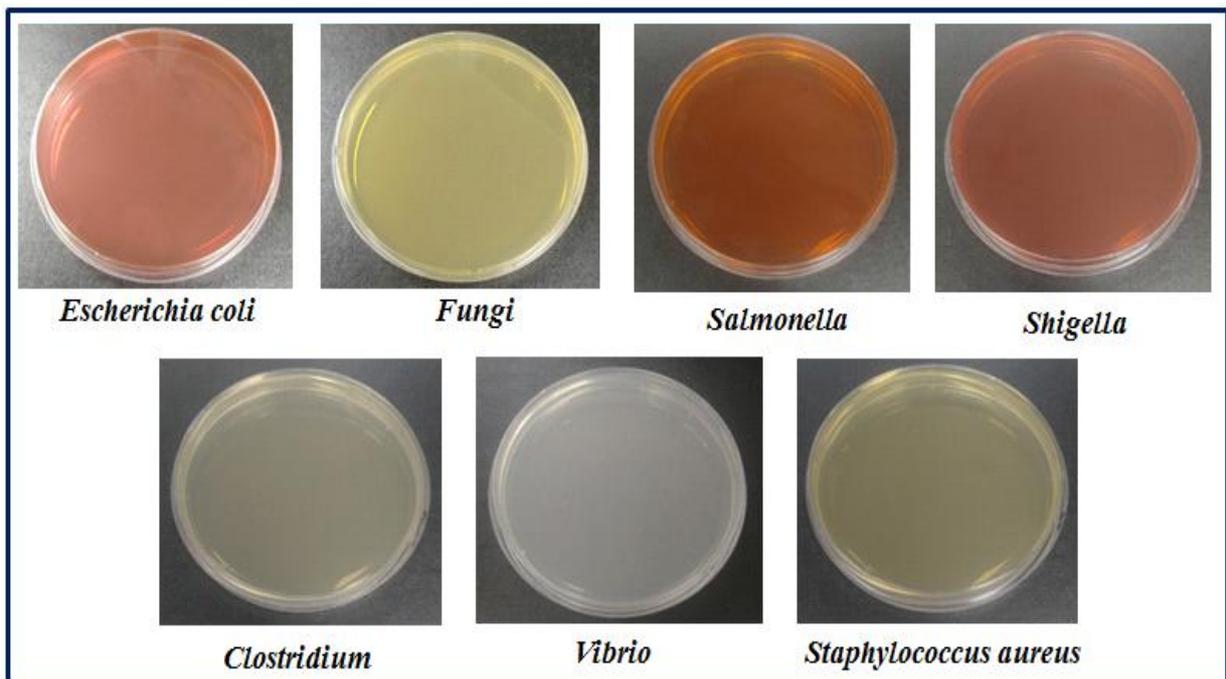


그림 21. 미생물학적 안전성 검사

○ 고단백 대체육 소재를 이용한 제품 기술 개발

- 주관기관 및 제 1협동 기관을 통해 개발된 고단백 대체육 소재를 이용하여 소시지, 패티, 햄 등의 대체육 제품을 생산하였음. 고단백 대체육 소재를 이용하여 소시지 제조에 사용된 재료 및 레시피는 표 15와 같음.

표 15. 고단백 대체육 소재를 이용한 소시지 제조 레시피

Ingredients (%)	Developed sausage analogue
TSP	25.1
TVP	25.1
Oil	12.6
Water	18.9
Albumin	3.1
Sausage flavor	1.3
Citrus flavor	0.2
Lecithin	0.3
Hydrated beetroot	0.1
MBPC	4.4
Premix	8.9
Total	100

TSP, textured soybean protein; TVP, textured vegetable protein, MBPC, mixed bean protein concentrate

- 조직 대두 단백질과 조직 식물성 단백질 중량의 6배에 해당하는 증류수 (w/w)를 각각 넣고 2 시간 동안 수화한 후 탈수하였음. 소시지를 제조하기에 앞서 글루텐 35.3%, 스모크 향 분말 21.2%, 소금 14.1%, 설탕 10.6%, 마늘 분말 4.9%, 삼육 시즈닝 4.9%, 아라비아 검 2.1%, 히드록시 프로필 메틸셀룰로오스 2.1%, 인산염명신 NO. 30 2.1%, 피클링 설투 1.4%, 고수 분말 0.7%, 진저 스파이스 0.4%를 골고루 혼합하여 프리믹스를 제조하였음. 소시지 제조를 위하여 100% 기준으로 물 18.9%, 오일 12.6% (옥수수유 6.3% + 코코넛유 6.3%), 난백분 3.1%, 소시지향 1.3%, 레시틴 0.3%, 한라봉향 0.2%, 비트 분말 0.1%를 60초 동안 균질화하여 향과 색이 첨가된 혼합 유화액을 제조하였음. 탈수된 조직 식물성 단백질 25.1% 혼합 유화액을 믹서기를 이용하여 갈아준 후 미리 제조해 놓은 프리믹스 8.9%, 혼합농축콩단백 4.4% 및 조직 대두 단백질 25.1%를 첨가하여 완전히 혼합한 뒤 충전기를 이용하여 지름 2.6 cm 셀룰로오스 케이싱에 충전하였음. 케이싱에 충전된 소시지

는 훈연기를 이용하여 80℃에서 1시간 동안 훈연하고, 훈연된 소시지는 찜기에 넣고 80~100℃에서 30분 동안 열탕 및 살균한 뒤 찬물에서 냉각시켜 제조하였음.

- 고단백 대체육 소재를 이용한 패티 제조에 사용된 재료 및 레시피는 표 16과 같음.

표 16. 고단백 대체육 소재를 이용한 패티 제조 레시피

Ingredients (%)	Developed patty analogue
TVP	17.5
TSP	5.8
Oil	11.5
Canola oil	0.6
Lb extract	1
Water	48.6
Methylcellulose HV	1.1
Xanthan gum	0.1
Starch	1.1
Potassium chloride	0.1
Hydrated beetroot	0.1
Smoke flavor	4.2
Nutritional yeast flakes	1.1
MBPC	2.5
Premix	4.7
Total	100

TSP, textured soybean protein; TVP, textured vegetable protein, MBPC, mixed bean protein concentrate

- 차별화된 식감을 부여하기 위해 조직 대두 단백질과 조직 식물성 단백질을 수화하지 않고 그대로 사용하였음. 패티를 제조하기에 앞서 소금 14.4%, 설탕 25%, 양파분말 5%, 마늘 분말 3.1%, 버섯 분말 12.5%, 생강 분말 0.6%, 고수 분말 1.3%, 백 후추 0.6%, 석류 분말 6.3%, 삼육시즈닝 31.3%를 골고루 혼합하여 프리믹스를 제조하였음. 육류 패티의 육즙을 재현하기 위해 기름 100% 기준으로 물 24.8%, 코코넛 오일 49.5%, 코코아버터 24.8%, 메틸셀룰로스 HV 0.5%, 삼육시즈닝 0.5%을 균질화하여 혼합한 후 -18℃에서 냉동보관하였음. 조직 대두 단백질 17.5%, 조직 식물성 단백질 5.8%, 카놀라유 0.6%, 레그헤모글로빈 추출물 1%, 물 48.6%, 메틸셀룰로스 HV 1.1%, 잔탄검 0.1%, 전분 1.1%, 염화칼륨 0.1%, 비트 분말 0.1%, 스모크향 4.2%, 영양 효모 플레이크 1.1%, 혼합농축콩단백 2.5%, 프리믹스 4.7%을 혼합하여 반죽을 만들어준 뒤 4~10℃에서 30분간 숙성을 하였음. 숙성된 패티 반죽에 미리 제조한 기름 11.5%를 치즈강판으로 갈아서 혼합한 후 패티 반죽을 60±2 g로 떼어내어 패티 모양으로 성형하여 제조하였음.

- 고단백 대체육 소재를 이용한 햄 제조에 사용된 재료 및 레시피는 표 17과 같음.

표 17. 고단백 대체육 소재를 이용한 햄 제조 레시피

Ingredients (%)	Developed ham analogue
TSP	44.6
Starch	5.6
Oil	12.4
Citrus flavor	0.1
Water	18.9
Albumin	3
Sausage flavor	1.6
Lecithin	0.3
Hydrated beetroot	0.2
MBPC	4.4
Premix	8.9
Total	100

TSP, textured soybean protein; MBPC, mixed bean protein concentrate

- 조직 대두 단백을 중량의 6배에 해당하는 중류수 (w/w)를 넣고 2시간 동안 수화한 후 탈수하였음. 햄을 제조하기에 앞서 글루텐 35.3%, 스모크 향 분말 21.2%, 소금 14.1%, 설탕 10.6%, 마늘 분말 4.9%, 양파·표고버섯 가루 4.9%, 진저 스파이스 0.4%, 아라비아검 2.1%, 히드록시 프로필 메틸셀룰로오스 2.1%, 인산염명신 NO. 30 2.1%, 후추 0.3%, 넛맥 0.4%를 골고루 혼합하여 프리믹스를 제조하였음. 햄 제조를 위하여 100% 기준으로 물 18.9%, 비트 분말 0.2%, 감귤향 0.1%, 난백분 3.0%, 소시지향 1.6%, 오일12.4% (옥수수유 6.2% + 코코넛유 6.2%), 레시틴 0.3%를 60초 동안 균질화하여 향과 색이 첨가된 혼합 유화액을 제조하였음. 탈수된 조직 대두 단백질 44.6%와 혼합 유화액을 믹서기를 이용하여 갈아준 후 미리 제조해 놓은 프리믹스 8.9%, 혼합농축콩단백 4.4%, 전분 (옥수수) 5.6%를 첨가하여 완전히 혼합한 뒤 햄 틀을 이용하여 성형하였음. 성형된 햄을 찜기에 넣고 80~100℃에서 1시간 열탕 및 살균하고 훈연기를 이용하여 80℃에서 1시간 동안 훈연하여 대체육 햄을 제조하였음. 또한, 고단백 대체육 소재를 이용하여 개발된 소시지, 패티, 햄 등의 대체육 제품은 그림 22와 같음.



그림 22. 고단백 대체육 소재를 이용하여 제조한 소시지, 패티, 햄

○ 대체육 제품의 영양성 조사

- 일반성분 및 아미노산 조성 분석을 통해 고단백 소재를 이용한 대체육 제품 (소시지, 패티, 햄)의 영양성을 조사하였음. 일반성분 및 아미노산 조성은 본 연구과제를 통해 개발된 대체육 제품, 시판되고 있는 대체육 제품, 시판되고 있는 육제품을 비교하여 분석하였음. 표 18과 같이 개발된 대체육 소시지내 단백질 함량은 육류 소시지와 유사한 수치를 보였으며 시판되고 있는 식물성 소시지보다 단백질 함량이 유의하게 높았음. 지방은 시판되고 있는 대체육 소시지가 개발된 대체육 소시지 및 육류 소시지와 비교하여 유의적으로 가장 높았으며, 수분함량은 육류 소시지, 개발된 대체육 소시지, 시판되는 대체육 소시지 순서로 높았음. 조회분 함량은 개발된 대체육 소시지와 육류 소시지가 시판되는 대체육 소시지와 비교하여 유의적으로 높았으며 탄수화물은 시판되는 대체육 소시지가 유의적으로 가장 높았고, 개발된 대체육 소시지, 육류 소시지 순서로 높았음. 본 연구를 통해 개발된 대체육 소시지는 기존에 시판되고 있는 대체육 소시지의 단점이었던 낮은 단백질 함량을 보완하여 제조되었으며 개발된 대체육 소시지는 육류 소시지의 제품과 비교하여 유사한 단백질 함량 값을 보였음.

표 18. 개발된 대체육 소시지의 일반 성분

Composition (%)	DSA	CVS	MS	<i>p</i> -value
Protein	18.05±0.09 ^a	11.84±1.29 ^b	20.82±0.65 ^a	<.001
Fat	14.29±0.41 ^b	17.84±0.46 ^a	14.32±0.47 ^b	0.002
Moisture	55.84±0.34 ^b	51.37±0.06 ^c	57.70±0.59 ^a	<.001
Ash	2.94±0.02 ^a	1.89±0.01 ^b	2.91±0.06 ^a	<.001
Carbohydrate	8.89±0.16 ^b	17.07±1.19 ^a	4.25±0.19 ^c	<.001

DSA, developed sausage analogue; CVS, commercial vegetable sausage; MS, meat sausage.

- 본 연구를 통해 개발된 대체육 패티의 일반성분은 표 19와 같음. 대체육 패티의 수분함량은 기본에 판매되고 있는 식물성 패티 및 동물성 패티의 수분함량과 유사한 결과를 보였음. 대체육 패티의 단백질 함량은 약 19.33%로 동물성 패티 (약 19.40%)와 유사한 수치를 보였고, 지방 함량은 동물성 패티, 대체육 패티, 식물성 패티의 순으로 높았음. 대체육 패티의 조회분 함량은 3개의 패티 중 유의적으로 가장 높았으며 탄수화물 함량은 동물성 패티보다 낮았으나 식물성 패티 제품보다는 유의적으로 높았음. 본 연구를 통해 개발된 대체육 패티는 동물성 패티와 유사한 단백질 함량을 보유하고 있으면서 지방 및 탄수화물 함량은 낮게 측정되었음.

표 19. 개발된 대체육 패티의 일반성분

Composition (%)	DPA	CVP	MP	<i>p</i> -value
Protein	19.33±0.83 ^b	26.73±0.11 ^a	19.40±2.11 ^b	<.001
Fat	9.47±1.01 ^b	7.87±0.34 ^c	15.57±0.28 ^a	<.001
Moisture	53.56±0.91	53.59±0.27	53.81±0.31	0.84
Ash	4.09±0.07 ^a	2.10±0.07 ^b	1.88±0.10 ^c	<.001
Carbohydrate	13.53±0.62 ^b	9.69±0.12 ^c	16.57±0.54 ^a	<.001

DPA, developed patty analogue; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

- 표 20과 같이 개발된 대체육 햄내 단백질 함량은 육류 햄보다 낮았으나 시판되고 있는 대

체육 햄보다는 유의적으로 높았음. 지방 함량은 식물성 햄, 대체육 햄, 동물성 햄의 순서로 높았으며, 수분함량은 대체육 햄이 식물성 햄 및 동물성 햄보다 유의적으로 높았음. 대체육 햄의 회분 및 탄수화물은 식물성 햄과 유의적인 차이를 보였으나, 동물성 햄과는 유의적인 차이를 보이지 않았음. 본 연구를 통해 개발된 대체육 햄은 시판되고 있는 식물성 햄의 낮은 단백질 함량이 보완되어 기존에 판매되고 있는 식물성 햄보다 동물성 햄의 일반 성분과 유사한 경향을 보였음.

표 20. 개발된 대체육 햄의 일반 성분

Composition (%)	DHA	CVH	MH	<i>p</i> -value
Protein	12.25±0.08 ^b	9.92±0.03 ^c	15.90±0.04 ^a	<.001
Fat	0.25±0.01 ^b	0.28±0.00 ^a	0.20±0.01 ^c	0.002
Moisture	59.88±0.67 ^a	51.20±0.23 ^c	55.28±0.43 ^b	<.001
Ash	2.77±0.01 ^a	2.21±0.03 ^b	2.41±0.19 ^{ab}	0.037
Carbohydrate	24.83±0.68 ^b	36.36±0.11 ^a	26.72±0.52 ^b	<.001

DHA, developed ham analogue; CVH, commercial vegetable ham; MH, meat ham.

- 개발된 대체육 제품들을 대상으로 아미노산 조성을 분석한 결과는 표 21-23과 같음. 본 연구를 통해 개발된 대체육 소시지의 필수 아미노산 함량은 36.37%로 기존에 판매되고 있는 동물성 소시지 (36.97%) 및 식물성 소시지 (35.57%)의 필수 아미노산 조성보다 유사하였고, 개발된 대체육 햄의 필수아미노산 조성 또한 37.23%로 기존에 판매되고 있는 동물성 햄 (38.64%) 및 식물성 햄 (36.08%)의 필수 아미노산 조성보다 유사하였음. 기존에 판매되고 있는 식물성 패티의 필수 아미노산 조성은 30.31%로 동물성 패티의 필수 아미노산 조성 (36.90%)와 비교하여 약 6.6% 부족한 반면, 본 연구를 통해 개발된 대체육 패티의 필수 아미노산 조성은 36.29%로 기존에 판매되고 있는 식물성 패티의 필수 아미노산 조성보다 약 6.0%정도 높았으며 동물성 패티의 필수 아미노산 조성보다 유사한 수치를 보였음.
- 본 연구를 통해 개발된 대체육 소시지, 패티, 햄은 기존에 판매되고 있는 동물성 및 식물성 제품들과 필수 아미노산 조성의 유사하게 측정되었고, 특히 패티의 경우 기존에 판매되고 있는 식물성 패티는 동물성 패티와 비교하여 필수 아미노산 조성이 부족한 반면에, 개발된 대체육 패티는 필수 아미노산 조성이 동물성 패티와 유사하였음. 따라서, 본 연구를 통해 개발된 대체육 제품의 필수 아미노산 조성은 동물성 제품들과 유사하여 기존에 판매되고 있는 동물성 및 식물성 제품들을 대체하여 사용될 수 있음을 확인하였음.

표 21. 개발된 대체육 소시지의 아미노산 조성

Essential amino acid	Composition			Non-essential amino acid	Composition		
	(% of total amino acid)				(% of total amino acid)		
	DSA	CVS	MS		DSA	CVS	MS
Histidine	1.82	1.75	2.14	Cystein	1.82	1.37	1.63
Threonin	5.19	4.28	5.16	Asparagine	5.19	9.02	5.68
Valine	6.19	6.36	5.96	Glutamine	6.19	17.82	13.14
Methionine	1.79	2.20	0.92	Serine	1.79	7.86	6.21
Isoleucine	5.07	5.13	4.97	Glycine	5.07	6.50	10.63
Leucine	8.30	7.97	7.90	Arginine	8.30	4.12	6.32
Phenylalanine	3.17	4.48	3.39	Alanine	3.17	7.12	9.69
Tryptophan	0.00	0.00	0.00	Proline	0.00	7.67	6.60
Lysine	4.84	3.40	6.53	Tyrosine	4.84	2.95	3.13
Total	36.37	35.57	36.97	Total	36.37	64.43	63.03

DSA, developed sausage analogue; CVS, commercial vegetable sausage; MS, meat sausage.

표 22. 개발된 대체육 패티의 아미노산 조성

Essential amino acid	Composition			Non-essential amino acid	Composition		
	(% of total amino acid)				(% of total amino acid)		
	DPA	CVP	MP		DPA	CVP	MP
Histidine	1.01	1.51	1.90	Cystein	0.82	0.98	1.07
Threonin	4.78	3.30	4.80	Asparagine	6.03	4.02	7.48
Valine	6.51	5.06	5.66	Glutamine	15.18	28.02	16.88
Methionine	1.08	1.26	1.77	Serine	7.69	6.63	6.60
Isoleucine	5.66	4.27	5.00	Glycine	8.20	6.37	7.63
Leucine	9.22	7.50	8.13	Arginine	6.47	3.98	6.23
Phenylalanine	4.45	4.45	3.88	Alanine	8.16	4.97	7.76
Tryptophan	0.00	0.00	0.00	Proline	7.74	11.91	6.56
Lysine	3.58	2.96	5.76	Tyrosine	3.42	2.81	2.89
Total	36.29	30.31	36.90	Total	63.71	69.69	63.10

DPA, developed patty analogue; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

표 23. 개발된 대체육 햄의 아미노산 조성

Essential amino acid	Composition			Non-essential amino acid	Composition		
	(% of total amino acid)				(% of total amino acid)		
	DHA	CVH	MH		DHA	CVH	MH
Histidine	2.43	1.51	2.42	Cystein	1.28	1.29	1.67
Threonin	4.44	4.09	5.05	Asparagine	7.58	6.48	6.30
Valine	6.28	6.00	6.16	Glutamine	16.31	18.91	13.84
Methionine	2.02	1.61	0.95	Serine	8.00	7.43	5.94
Isoleucine	5.17	4.90	5.31	Glycine	7.10	6.87	9.01
Leucine	8.14	8.21	8.38	Arginine	4.82	5.21	5.67
Phenylalanine	4.70	4.64	3.93	Alanine	7.19	6.64	9.13
Tryptophan	0.00	0.00	0.00	Proline	7.49	8.07	6.79
Lysine	4.05	5.12	6.44	Tyrosine	3.00	3.02	3.01
Total	37.23	36.08	38.64	Total	62.77	63.92	61.36

DHA, developed ham analogue; CVH, commercial vegetable ham; MH, meat ham.

○ 대체육 제품의 물리학적 특성 조사

- 개발된 대체육 제품의 물리학적 특성을 조사하기 위하여 조리 손실률, 경도, 부착성, 응집성, 검성, 씹힘성, 탄성, 탄력성 및 색도를 분석하였음. 개발된 대체육 제품들의 가열 전후 중량을 비교하여 조리 손실률을 조사한 결과는 표 24와 같음. 개발된 대체육 제품들의 굽기에 의한 조리 손실률은 소시지가 약 $10.67 \pm 0.88\%$, 패티가 약 $11.32 \pm 1.99\%$, 햄이 약 $8.00 \pm 0.01\%$ 였음.

표 24. 개발된 대체육 제품들의 조리 손실률

	Developed sausage analogue	Developed patty analogue	Developed ham analogue
Cooking loss (%)	10.67 ± 0.88	11.32 ± 1.99	8.00 ± 0.01

- 개발된 대체육 제품들의 물성 분석은 $2 \times 2 \times 2$ cm의 크기로 절단한 제품들을 대상으로 texture analyser (TAXT plus/50 Stable Micro Systems)를 사용하여 측정하였음. 분석 조건은 pre-test speed 2.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, post test speed 2.0mm/s이었던

으며, 원통 probe를 이용하여 측정하였고, 경도 (hardness), 부착성 (adhesiveness), 탄력성 (springiness), 응집성 (cohesiveness), 검성 (gumminess), 씹힘성 (chewiness), 탄성 (resilience) 등을 조사하였음.

- 개발된 대체육 소시지의 물성은 표 25와 같음. 부착성, 응집성, 탄성은 본 연구를 통해 개발된 대체육 소시지와 기존에 판매되고 있는 동물성 소시지 및 식물성 소시지가 유사한 수치를 보였음. 그러나 대체육 소시지의 경도, 탄력성, 검성 및 씹힘성은 식물성 소시지 또는 동물성 소시지보다 유의적으로 높게 나타났음. 개발된 대체육 패티의 물성은 표 26과 같음. 개발된 대체육 패티의 탄성은 기존에 판매되고 있는 동물성 패티 및 식물성 패티와 비교하여 유의적으로 낮은 수치를 보였음. 탄성을 제외한 경도, 부착성, 탄력성, 응집성, 검성, 씹힘성 등의 물성은 대체육 패티, 식물성 패티, 동물성 패티 간에 유의적인 차이를 보이지 않아 본 연구를 통해 개발된 대체육 패티는 기존에 판매되고 있는 동물성 패티 및 식물성 패티와 유사한 물성임을 확인하였음. 개발된 대체육 햄의 물성은 표 27과 같음. 경도, 탄력성, 응집성, 씹힘성은 본 연구를 통해 개발된 대체육 햄과 기존에 판매되고 있는 동물성 햄 및 식물성 소시지가 통계적으로 유사한 수치를 보였음. 또한, 대체육 햄의 부착성, 검성, 탄성은 동물성 햄과 비교하여 유의적으로 높게 나타났으며 식물성 햄과는 유사한 수치를 나타냈음.

표 25. 개발된 대체육 소시지의 물성 분석

	DSA	CVS	MS	SEM	p-value
Hardness (g)	3673±109.65 ^a	3765±419.07 ^a	2558±134.39 ^c	151.185	0.031
Adhesiveness (gs)	-6.61±0.80	-6.51±1.11	-2.51±1.42	0.658	0.072
Springiness (mm)	1.00±0.00 ^a	0.67±0.02 ^b	1.00±0.00 ^a	0.006	<.001
Cohesiveness (g/s)	0.64±0.04	0.72±0.19	0.54±0.03	0.068	0.571
Gumminess (g/s)	2348±222.43 ^a	2615±235.93 ^a	1373±65.96 ^b	110.348	0.009
Chewiness (g)	2350±221.56 ^a	2536±304.95 ^a	1373±65.96 ^b	127.622	0.020
Resilience (g)	0.23±0.02	0.21±0.02	0.17±0.01	0.009	0.093

DSA, developed sausage analogue; CVS, commercial vegetable sausage; MS, meat sausage.

표 26. 개발된 대체육 패티의 물성 분석

	DPA	CVP	MP	SEM	<i>p</i> -value
Hardness (g)	122,091±20,022	182,833±12,996	42,118±4,586	20,662	0.060
Adhesiveness (gs)	-32.66±7.27	-10.41±6.81	-11.05±3.42	4.381	0.062
Springiness (mm)	0.63±0.03	0.80±0.05	0.43±0.06	0.065	0.170
Cohesiveness (g/s)	2.73±0.21	7.31±1.54	1.26±0.27	2.765	0.410
Gumminess (g/s)	333,989±66,374	134,688±35,008	52,639±5,454	586,570	0.356
Chewiness (g)	213,328±51,848	109,096±33,838	22,815±2,783	590,465	0.343
Resilience (g)	0.43±0.02 ^c	0.59±0.03 ^b	0.73±0.06 ^a	0.041	0.020

DPA, developed patty analogue; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

표 27. 개발된 대체육 햄의 물성 분석

	DHA	CVH	MH	SEM	<i>p</i> -value
Hardness (g)	48,569±8,453	44,493±8,912	74,622±5,170	6,088	0.064
Adhesiveness (gs)	-16.62±7.00 ^a	-12.11±7.19 ^a	-289.51±105.76 ^b	55.17	0.03
Springiness (mm)	0.56±.025 ^b	0.76±.11 ^a	0.93±.055 ^a	0.06	0.03
Cohesiveness (g/s)	6.54±2.25	8.77±2.73	2.04±.40	1.42	0.14
Gumminess (g/s)	281,611±47,719 ^a	342,536±45,087 ^a	148,721±20,515 ^b	34,825	0.03
Chewiness (g)	158,617±2,480	268,334±66,056	141,169±25,935	29,400	0.15
Resilience (g)	0.43±0.03 ^a	0.41±0.02 ^a	0.31±0.00 ^b	0.02	0.01

DHA, developed ham analogue; CVH, commercial vegetable ham; MH, meat ham.

- 개발된 대체육 제품들의 색도 분석은 색차계 (CR-400 Konica Minolta)를 사용하여 분석하였음. 기기에 표준 색판을 사용하여 보정하였고, 절단된 시료를 원형 cell에 넣어 L (명도, Lightness), a (적색도, Redness), b (황색도, Yellowness) 값을 측정하였음. 대체육 소시

지의 색도 결과는 표 28과 같음. 본 연구를 통해 개발된 대체육 소시지의 명도는 동물성 소시지, 대체육 소시지, 식물성 소시지 순서로 높았으며 적색도 및 황색도는 식물성 소시지가 가장 높았고 대체육 소시지, 동물성 소시지 순서로 높았음. 대체육 소시지의 색도는 전체적으로 기존에 판매되고 있는 동물성 소시지와 식물성 소시지의 중간 값으로 측정되었음. 대체육 패티의 색도 결과는 표 29와 같음. 대체육 패티의 명도 및 황색도는 동물성 패티 및 식물성 패티와 비교하여 유의적으로 낮은 반면 적색도는 3개의 패티 중 가장 높았음. 대체육 햄의 색도 결과는 표 30과 같음. 명도는 동물성 햄, 대체육 햄, 식물성 햄의 순서로 높았으며 적색도는 대체육 햄, 식물성 햄, 동물성 햄의 순서로 높았음. 황색도는 식물성 햄이 동물성 햄 및 대체육 햄보다 유의적으로 높게 나타났음.

표 28. 개발된 대체육 소시지의 색도 분석

	DSA	CVS	MS	SEM	<i>p</i> -value
L (lightness)	61.18±0.48 ^b	44.28±0.16 ^c	71.31±0.10 ^a	0.171	<.001
a (redness)	3.22±0.05 ^b	7.11±0.08 ^a	1.15±0.03 ^c	0.032	<.001
b (yellowness)	16.20±0.16 ^b	16.60±0.03 ^a	15.33±0.05 ^c	0.057	<.001

DSA, developed sausage analogue; CVS, commercial vegetable sausage; MS, meat sausage.

표 29. 개발된 대체육 패티의 색도 분석

	DPA	CVP	MP	SEM	<i>p</i> -value
L (lightness)	36.68±0.69 ^c	42.98±0.44 ^b	47.99±1.35 ^a	1.414	<.001
a (redness)	8.16±1.04 ^a	6.86±0.14 ^b	2.96±0.13 ^c	0.684	<.001
b (yellowness)	11.55±0.52 ^c	12.98±0.20 ^b	14.24±0.36 ^a	0.346	<.001

DPA, developed patty analogue; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

표 30. 개발된 대체육 햄의 색도 분석

	DHA	CVH	MH	SEM	<i>p</i> -value
L (lightness)	48.94±0.93 ^b	45.32±0.99 ^c	52.03±0.25 ^a	1.04	0.003
a (redness)	8.31±0.46 ^a	6.97±0.08 ^b	2.49±0.03 ^c	0.88	<.001
b (yellowness)	9.50±0.22 ^c	17.53±0.18 ^a	15.81±0.02 ^b	1.22	<.001

DHA, developed ham analogue; CVH, commercial vegetable ham; MH, meat ham.

< 3차년도 >

○ 고단백 대체육 소재의 대량생산 공정 개선

- 1~2차년도에 설정한 조건을 토대로 대체육 제품 (소시지, 패티, 햄 등)에 적용할 고단백 대체육 소재의 대량 생산 공정을 개선하기 위하여 핵심 공정인 pH 처리 및 반응 시간 조건을 조정하였음. 증류수를 이용한 혼합과정 이후 단백질 성분을 분리하기 위한 최적 조건을 설정하기 위하여 pH 조건 (7-11) 을 달리한 뒤 1~2차 년도에 설정한 조건을 토대로 반응시켜 고단백 대체육 소재의 수율을 조사한 결과는 그림 23 & 24와 같음. 고단백 대체육 소재의 수율은 pH 9로 조정하였을 때 약 45.76%까지 유의적으로 증가한 뒤 pH를 10 이상으로 조정하여도 큰 변화가 없었음. 고단백 대체육 소재의 단백질 추출 효율 또한 pH를 9로 조정하였을 때 약 86.05%까지 유의적으로 증가한 뒤 pH를 10이상으로 조정한 결과 큰 변화가 없었음. 따라서 기존의 설정된 방법을 수정하여 고단백 대체육 소재를 대량 생산하기 위한 pH 조정 단계는 pH 9로 설정하였음.

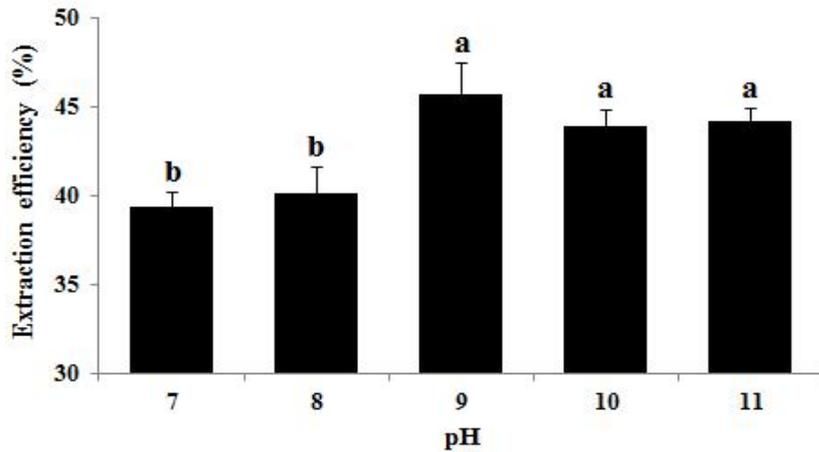


그림 23. pH 조건에 따른 고단백 대체육 소재의 수율

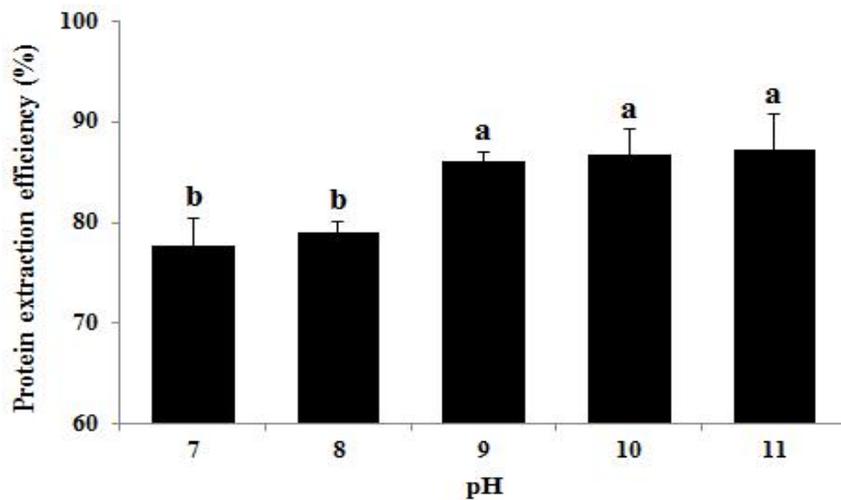


그림 24. pH 조건에 따른 고단백 대체육 소재의 단백질 추출 효율

- 고단백 대체육 소재를 대량 생산하기 위한 pH 조정 단계의 조건을 설정한 후 반응시간 (3-6시간)을 달리하여 개발된 소재의 수율을 조사하였음 (그림 25 & 26). 고단백 대체육 소재는 pH를 9로 조정 한 뒤 4시간 동안 반응시켰을 때 수율이 약 42.2%까지 통계적으로 유의하게 증가한 뒤 반응시간을 증가시킨 후에도 큰 변화가 없었음. 고단백 대체육 소재의 단백질 추출 효율 또한 4시간 동안 반응시켰을 때 약 83.3%까지 유의하게 증가한 뒤 반응시간을 증가시킨 후에도 유의적인 변화가 없었음. 따라서 고단백 대체육 소재를 생산하기 위한 대량 생산 조건은 단백질을 추출하기 위해 pH를 조정하는 단계에서 pH를 9로 조정 한 후 4시간 동안 반응시키는 것으로 설정하였음 (그림 27).

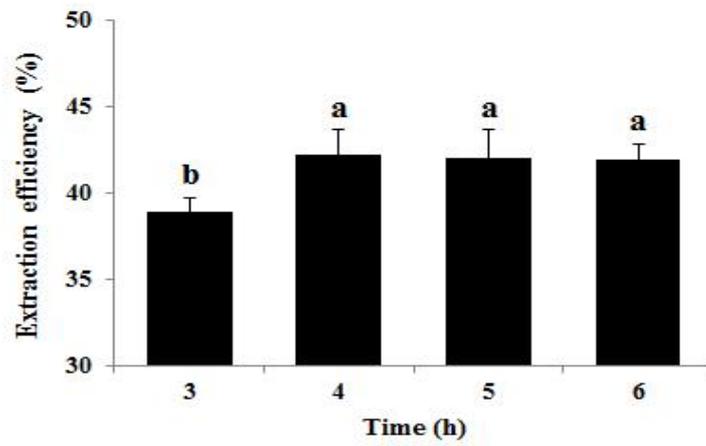


그림 25. 반응 시간에 따른 고단백 대체육 소재의 수율

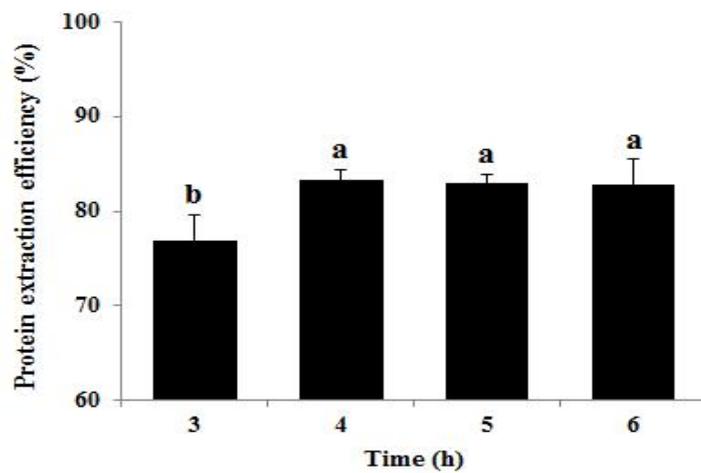


그림 26. 반응 시간에 따른 고단백 대체육 소재의 단백질 추출 효율

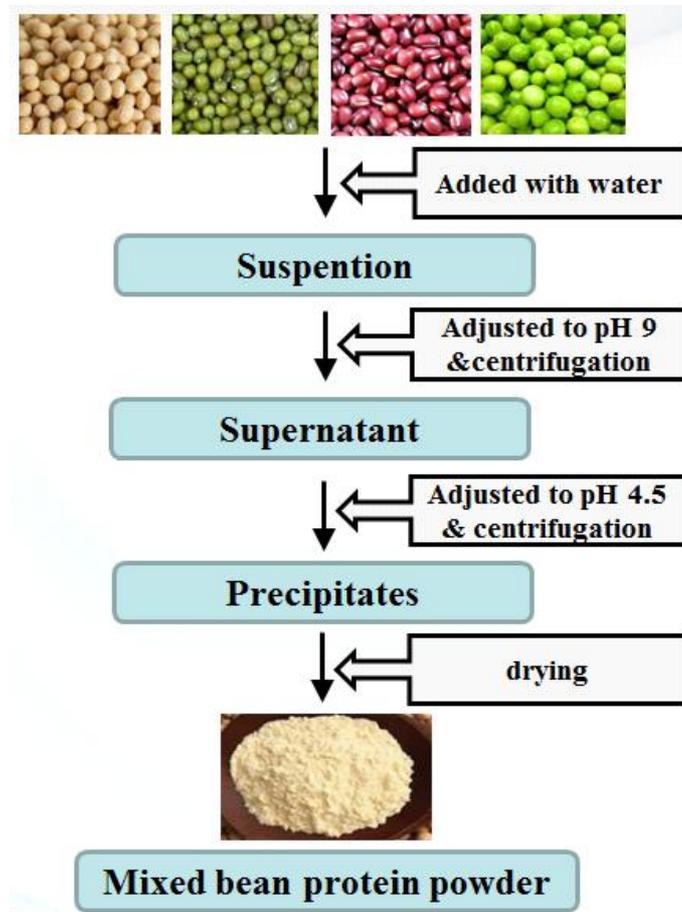


그림 27. 고단백 대체육 소재의 대량 생산을 위한 최적 공정

○ 고단백 대체육 소재의 특성분석

- 대량생산된 고단백 대체육 소재는 옅은 황색을 띄고 있으며 향과 맛은 기존에 판매되고 있는 대두단백조직과 유사한 특성을 보였음. 또한, 대량 생산된 고단백 대체육 소재의 특성을 조사하기 위하여 수분흡수력, 지방흡수력, 유화 활성 및 유화 안정성을 분석하였음. 수분흡수력은 시료 2 g에 증류수 20 mL를 혼합한 뒤 30초 동안 voltex mixer를 이용하여 교반하고 10분간 정치시켰음. 이 과정을 5번 반복한 후 4,000 rpm에서 20분간 원심분리하고 상등액을 제거한 뒤 10분간 정치시켜 침전물의 중량을 측정하여 조사하였음. 유지흡수력은 시료 1 g에 10 mL의 카놀라유를 혼합한 뒤 60초 동안 voltex mixer를 이용하여 교반하고 실온에서 10분간 방치한 후 4,000 rpm 30분간 원심분리한 뒤 상등액을 제거하고 10분간 정치시킨 후, 침전물의 중량을 측정하여 조사하였음. 질소용해도는 시료 500 mg을 50 mL의 증류수에 첨가시키고 0.1 N HCl 또는 0.1 N NaOH 용액으로 pH를 조정하면서 30분 동안 교반한 후 4,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 얻어진 상등액 1 mL 중의 단백질함량을 Folin-Lowry 기법을 이용하여 조사하였음. 흡광도는 750 nm에서 측정하였고 bovine serum albumin 시약을 이용하여 표준곡선을 작성하여 계산하였음. 유화 활성 (emulsifying activity) 및 유화 안전성 (emulsifying stability)은 시료 0.5 g에 증류수 5 mL

를 가하여 균질기로 5,000 rpm에서 1분간 균질화한 뒤 옥수수기름 5 mL를 다시 첨가하여 동일한 방법으로 균질화 하였음. 유화 활성은 균질액을 1,600 rpm에서 5분간 원심분리하여 계산하였으며, 유화 안정성은 유화액을 80℃ 항온수조에서 30분간 가열한 후 15℃로 냉각한 다음 1,600 rpm에서 5분간 원심분리하여 조사하였음. 각각의 특성을 조사한 결과 대량생산된 고단백 대체육 소재의 수분흡수지수는 $202.2 \pm 3.87\%$, 지방흡수력은 $269.60 \pm 29.04\%$, 유화활성은 $42.17 \pm 0.76\%$, 유화안정성은 $46.67 \pm 1.89\%$ 로 1~2차년도에 대두, 완두, 적두, 녹두를 대상으로 조사한 결과와 큰 차이가 없었음. 따라서 본 연구를 통해서 대두, 완두, 적두, 녹두를 혼합하여 개발한 고단백 대체육 소재는 소시지, 패티, 햄 등의 대체육제품을 제조하기 위한 제품적용 특성의 장점을 유지한 후, 4가지의 국내산 농산물을 효과적으로 사용하였으며, 특히 지방흡수력은 일반적으로 많이 사용되는 올리브유, 식용유, 카놀라유 등 3종의 기름을 대상으로 실험을 수행하였고, 각각의 지방흡수력은 296.73%, 250.43%, 261.64%로 측정되었으나, 통계적으로 유의적인 차이를 보이지 않아 본 연구를 통해 개발된 대체육 소재는 제품개발 시 다양한 기름에 혼합되어 사용할 수 있음을 확인하였음.

○ 대체육 제품의 대량 생산 조건 설정 및 공정 확립

- 1,2차년도의 연구결과들을 토대로 대체육 제품 (소시지, 패티, 햄 등)들의 제조 조건을 설정하였음. 대체육 소시지의 재료 조성은 표 31과 같으며 제조 과정은 그림 28과 같음. 조직 대두 단백질과 조직 식물성 단백질 중량의 6배에 해당하는 증류수 (w/w)를 각각 넣고 2시간 동안 수화한 후 탈수하였음. 소시지를 제조하기에 앞서 글루텐 29%, 스모크향 분말 15%, 정제소금 10%, 설탕 16%, 마늘 분말 5%, 삼육시즈닝 8%, 아라비아 검 2.1%, 히드록시 프로필 메틸 셀룰로스 2.1%, 인산염명신 NO.30 2.1%, 피클링소금 1.6%, 고수 분말 0.5%, 진저 스파이스 0.5%, 카라기난 3%, 호박산 2%, L-글루탐산나트륨 2%, 마늘향 분말 0.1%, 검 믹스 1%를 골구로 혼합하여 프리믹스를 제조하였음. 소시지 제조를 위하여 100% 기준으로 물 17%, 오일 13% (옥수수유 6% + 코코넛유 7%), 난백분 3%, 백후추 0.5%, 사과농축액 2%, 소세지 향 1%, 감귤향 0.2%, 레시틴 0.3%, 비타민C 0.2%, 홍국적 색소 0.3%, 비트 분말 0.1%를 60초 동안 균질화하여 향과 색이 첨가된 혼합유화액을 제조하였음. 탈수된 조직 식물성 단백질 25%와 혼합 유화액을 믹서기를 이용하여 갈아준 후 미리 제조해 놓은 프리믹스 8%, 혼합농축콩단백 4.4% 및 조직 대두 단백질 25%를 첨가하여 완전히 혼합한 뒤 충전기를 이용하여 지름 2.6 cm 셀룰로오스 케이싱에 충전하였음. 케이싱에 충전된 소시지는 훈연기를 이용하여 80℃에서 1시간 동안 훈연하고, 훈연된 소시지는 찜기에 넣고 80~100℃에서 30분 동안 열탕 및 살균한 뒤 찬물에서 냉각시켜 제조하였음.

표 31. 개발된 대체육 소시지의 재료 조성

Ingredients	Developed sausage analogue (%)
TVP	25
TSP	25
MBPC	4.4
Premix	8
White pepper	0.5
Oil	13
Lecithin	0.3
Apple concentrate	2
Citrus flavor	0.2
Water	17
Albumin	3
Sausage flavor	1
Vitamin C	0.2
Monascus Color	0.3
Hydrated beetroot	1.1
total	100

TSP, textured soybean protein; TVP, textured vegetable protein, MBPC, mixed bean protein concentrate



그림 28. 대체육 소시지의 제조 과정

- 개발된 대체육 패티의 재료 조성은 표 32와 같으며, 제조 과정은 그림 29와 같음. 조직 대 두 단백질 중량의 6배에 해당하는 증류수 (w/w)를 각각 넣고 2시간동안 수화한 후 탈수하였 음. 패티를 제조하기 앞서 소금 8%, 설탕 32%, 양파 분말 7%, 마늘 분말 4.1%, 표고버섯 분말 19%, 진저 스파이스 1%, 고수 분말 1.5%, 백후추 1%, 석류 분말 10.3%, 삼육 시즈닝 16.1%를 골구로 혼합하여 프리믹스를 제조하였음. 육류 패티의 육즙을 재현하기 위해 언 기름 100% 기준으로 물 24.8%, 코코넛 오일 49.5%, 코코아버터 24.8%, 메틸셀룰로스 HV 0.5%, 삼육시즈닝 0.5%를 균질화하여 혼합한 후 -18℃에서 냉동보관 하였음. 패티 제조를 위하여 100% 기준으로 물 12.5%, 훈제향 0.3%, 레몬즙 0.3%, 오일 1.6% (카놀라유 0.6% + 바비큐 향 0.7% + 훈제향 0.3%), 비트 액 5.8%을 60초 동안 균질화 하여 향과 색이 첨가된 혼합 유화액을 제조하였음. 탈수된 조직 대두 단백질 45%와 혼합 유화액을 믹서기를 이용하여 갈아준 후 미리 제조해 놓은 프리믹스 5.1%, 감자 전분 2.1%, 혼합농축콩단백 2.3%, 메틸 셀룰로스 HV 1.2%, 흑후추 0.1%, 잔탄검 0.2%, 염화 칼륨 0.1%, 훈제향 분말 0.5%, 영양 효모 플레이크 1.2%와 탈수한 조직 대두 단백질을 믹서기 에 갈아 혼합해준 뒤, 느타리버섯 7%, 눈개승마 3%를 곱게 다져준 뒤 혼합하여 반죽하였 음. 육즙을 재현하기 위해 미리 제조해둔 언기름 11.7%를 잘게 깎둑썰기 하여 혼합해 준 뒤 패티 반죽을 60±2으로 떼어내어 패티 모양으로 성형하여 제조하였음.

표 32. 개발된 대체육 패티의 재료 조성

Ingredients(%)	Developed patty analogue
TVP	45
Premix	5.1
Starch	2.1
MBPC	2.3
Methylcellulose HV	1.2
Black pepper	0.1
Xanthan gum	0.2
Potassium chloride	0.1
Smoked flavor powder	0.5
Nutritional yeast flakes	1.2
Water	12.5
Smoke flavor soluble	0.3
Lemon juice	0.3
Oil	1.6
Oyster mushroom	7
Aruncus dioicus	3
Hydrated beetroot water	5.8
Frozen oil	11.7
Total	100

TVP, textured vegetable protein, MBPC, mixed bean protein concentrate



그림 29. 대체육 패티의 제조 과정

- 개발된 대체육 햄의 재료 조성은 표 33과 같으며 제조 과정은 그림 30과 같음. 조직 대두 단백질의 중량의 6배에 해당하는 증류수 (w/w)를 넣고 2시간 동안 수화한 후 탈수하였음. 햄을 제조하기에 앞서 글루텐 35.3%, 스모크 향 분말 14%, 소금 12.3%, 설탕 8%, 마늘 분말 6.2%, 양파 분말 4.9%, 표고버섯 분말 3.5%, 다시마 분말 3.5%, 진저 스파이스 0.4%, 아라비아 검 2.1%, 히드록시 프로필 메틸 셀룰로스 2.1%, 인산염명신 NO. 30 2.1%, 후추 0.3%, 넛맥 분말 0.4%, 삼육 시즈닝 4.9%를 골고루 혼합하여 프리믹스를 제조하였음. 햄 제조를 위하여 100% 기준으로 물 18.5%, 오일 12% (옥수수유 6% + 코코넛유 5% + 참기름 1%), 난백분 3%, 감귤향 0.1%, 소세지향 0.6%, 레시틴 0.3%, 훈제향 0.5%, 비트 분말 1.6%를 60초 동안 균질화하여 향과 색이 첨가된 혼합유화액을 제조하였음. 탈수된 조직 대두 단백질 44% 혼합액을 믹서기를 이용하여 갈아준 후 미리 제조해 놓은 프리믹스 9%, 혼합농축콩단백 4.4%, 옥수수 전분 2.4%, L-글루탐산나트륨 0.6%, 찹쌀가루 3%를 첨가하여 완전히 혼합한 뒤 햄 틀을 이용하여 성형하였음. 성형된 햄을 찜기에 넣고 80~100℃에서 1시간 열탕 및 살균하고 훈연기를 이용하여 80℃에서 1시간 동안 훈연하여 대체육 햄을 제조하였음.

표 33. 개발된 대체육 햄의 재료 조성

Ingredients(%)	Developed ham analogue
TVP	44.6
Starch	2.4
MBPC	4.4
Premix	9
Glutinous rice flour	3
Oil	6
Coconut oil	5
Sesame oil	1
Citrus flavor	0.1
Water	18.5
Albumin	3
Sausage flavor	0.6
Lecithin	0.3
Smoke flavor	0.5
Hydrated beetroot	1.6
Total	100

TVP, textured vegetable protein, MBPC, mixed bean protein concentrate

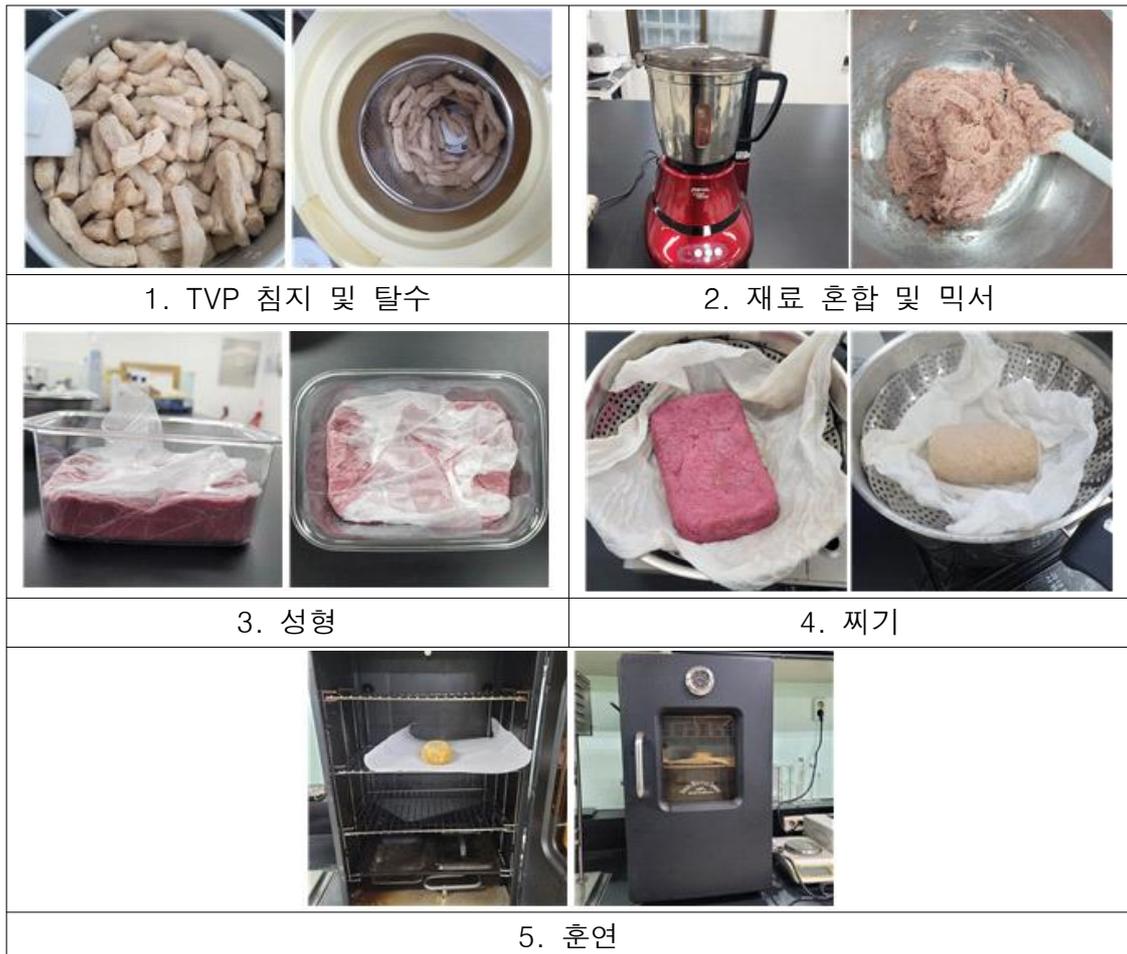


그림 30. 대체육 햄의 제조 과정

- 소시지, 패티, 햄등의 대체육 제품의 제조 조건을 설정한 뒤 대량 생산을 위한 공정을 확립하였음 (그림 31-33). 기존에 설정된 조건을 기반으로 대량 생산이 원활하게 수행될 수 있도록 일부 공정의 세부조건 등을 보완하였음. 대체육 소시지는 immersion, material mixing, molding, smoke, steam, coolin의 총 6단계로 공정을 설정하였고, 대체육 패티는 immersion, material handling, material mixing, molding, roast 순서로 5단계의 공정으로 설정하였으며, 대체육 햄의 공정은 immersion, material mixing, molding, steam, smoke, cooling의 6단계로 설정하였음.

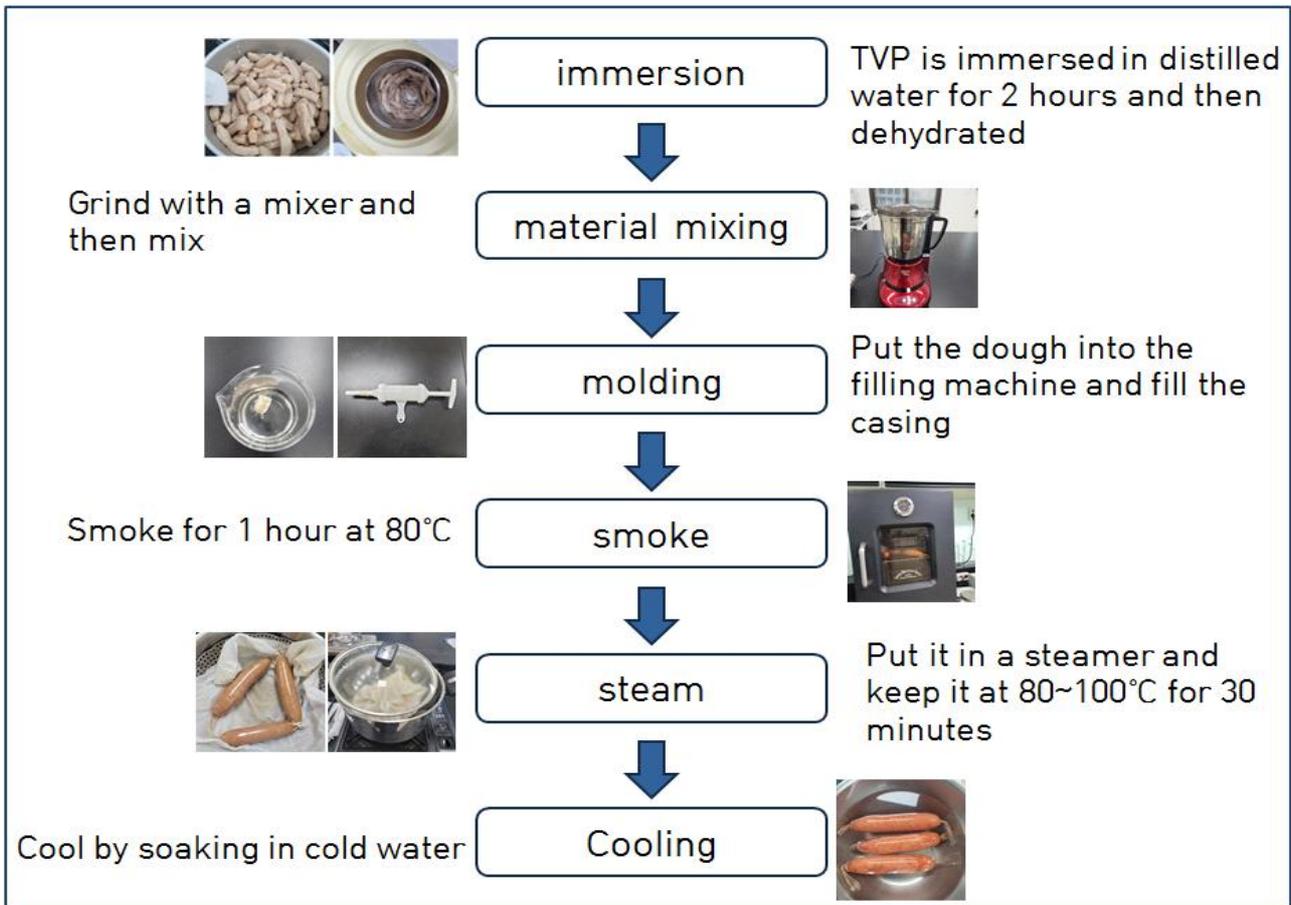


그림 31. 개발된 대체육 소시지의 대량 생산 공정

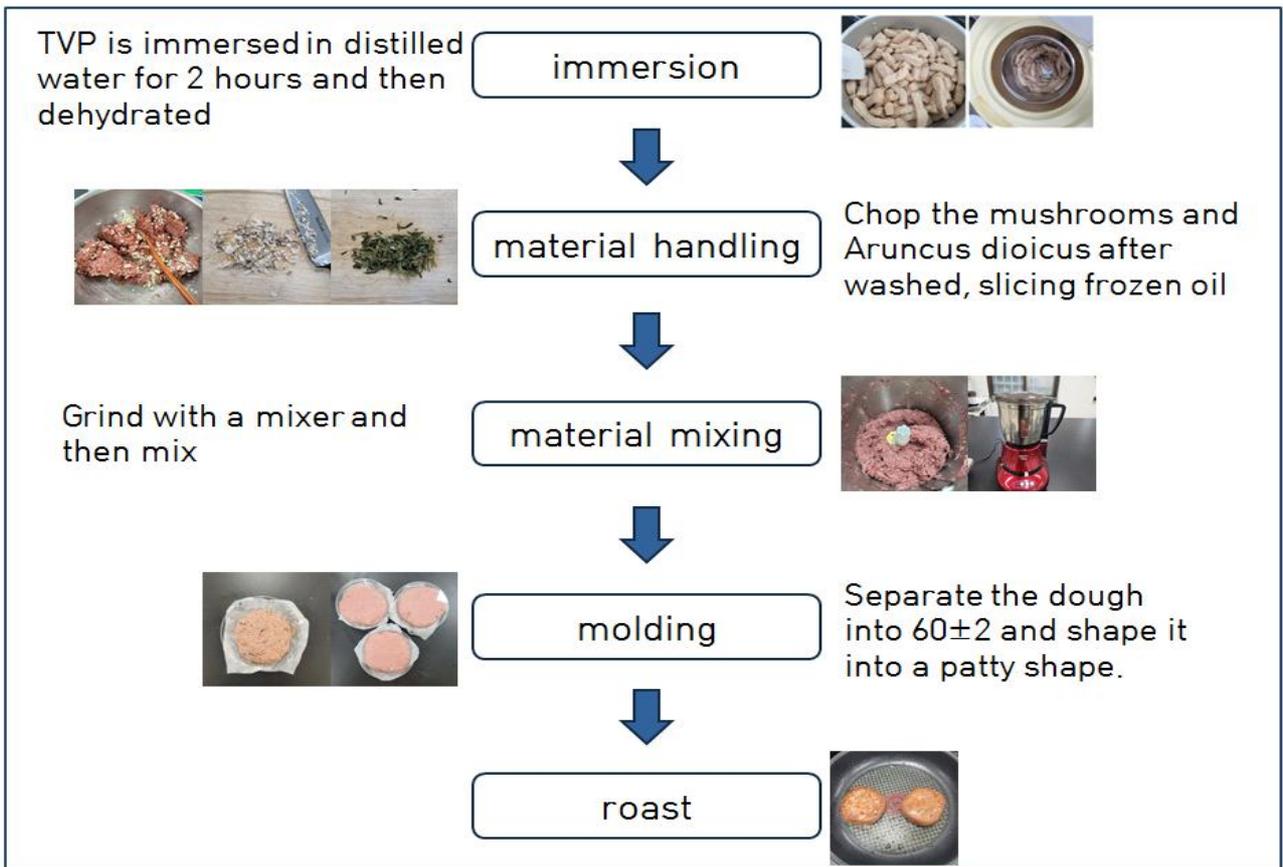


그림 32. 개발된 대체육 패티의 대량 생산 공정

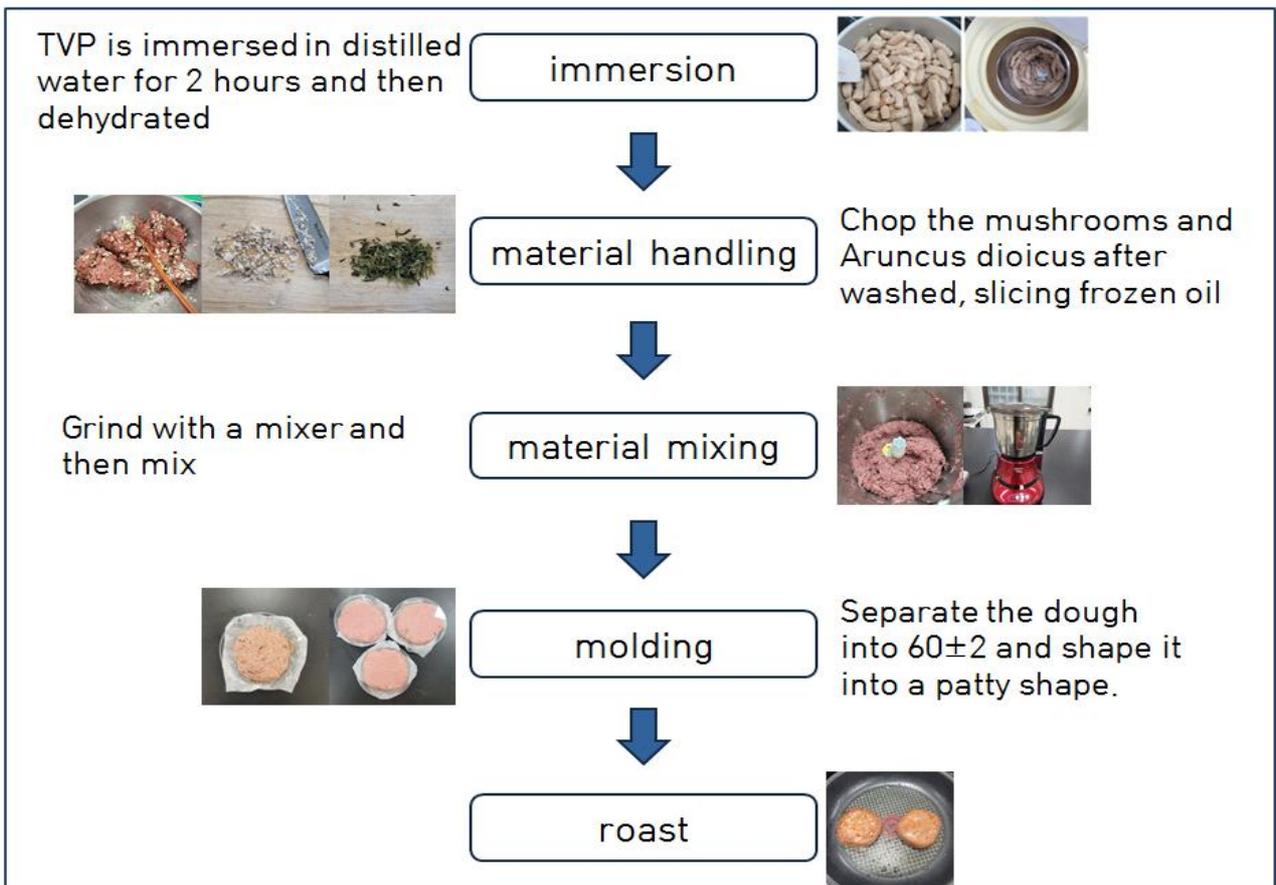


그림 33. 개발된 대체육 햄의 대량 생산 공정

○ 대체육 제품의 영양성 분석

- 본 연구를 통해 개발된 대체육 제품 (소시지, 패티, 햄)의 영양성분 중에 가장 중요한 아미노산 조성을 분석하였음 (표 34-36). 개발된 대체육 제품들은 전반적으로 기존에 판매되고 있는 식물성 제품 및 동물성 제품들과 아미노산 조성에 큰 차이를 보이지 않았음. 개발된 대체육 소시지의 필수아미노산 함량은 36.91%로 기존에 판매되고 있는 식물성 소시지 (36.06%) 및 동물성 소시지 (37.58%)와 유사하였고, 개발된 대체육 패티의 필수아미노산 함량은 36.20%로 기존에 판매되고 있는 식물성 패티 (34.27%) 및 동물성 패티 (40.06%)와 큰 차이를 보이지 않았음. 개발된 대체육 햄의 필수아미노산 함량은 36.17%로 기존에 판매되고 있는 동물성 햄 (42.36%)보다는 다소 낮았으나 식물성 햄 (32.77%) 보다 높게 나타났음. 따라서, 본 연구를 통해 개발된 대체육 소시지, 패티, 햄 등의 대체육 제품들은 기존에 판매되고 있는 식물성 및 동물성 제품과 비교하여 아미노산 조성이 유사하며 특히 필수아미노산 함량에 큰 차이가 없는 것이 확인되었음.

표 34. 개발된 대체육 소시지의 아미노산 조성

Amino acid	Composition (% of total amino acid)		
	DSA	CVS	MS
Asparagine	6.70	9.15	5.77
Threonin	6.70	4.34	5.25
Serine	2.31	7.97	6.31
Glutamine	7.99	18.06	13.35
Proline	8.51	7.78	6.71
Glycine	6.54	6.59	10.81
Alanine	4.09	7.22	9.85
Valine	7.99	6.45	6.06
Methionine	2.31	2.23	0.94
Isoleucine	6.54	5.20	5.05
Leucine	10.71	8.08	8.03
Tyrosine	6.24	2.99	3.18
Phenylalanine	4.08	4.54	3.45
Lysine	6.24	3.45	6.64
Histidine	2.35	1.77	2.18
Arginine	10.70	4.18	6.42
Total	100	100	100

DSA, developed sausage analogue; CVS, commercial vegetable sausage; MS, meat sausage.

표 35. 개발된 대체육 패티의 아미노산 조성

Amino acid	Composition		
	(% of total amino acid)		
	DPA	CVP	MP
Asparagine	11.48	12.99	10.11
Threonin	4.29	4.21	5.10
Serine	6.32	5.98	4.73
Glutamine	22.33	19.83	17.90
Proline	4.43	4.71	3.69
Glycine	4.42	4.46	6.47
Alanine	4.97	5.25	6.94
Valine	3.98	4.14	4.33
Methionine	0.77	0.01	1.80
Isoleucine	4.14	4.34	3.91
Leucine	8.37	8.98	8.01
Tyrosine	3.21	4.26	3.09
Phenylalanine	5.62	5.99	3.96
Lysine	6.47	4.04	9.49
Histidine	2.56	2.56	3.46
Arginine	6.64	8.25	7.01
Total	100	100	100

DPA, developed patty analogue; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

표 36. 개발된 대체육 햄의 아미노산 조성

Amino acid	Composition		
	(% of total amino acid)		
	DHA	CVH	MH
Asparagine	9.70	8.44	9.91
Threonin	3.82	3.33	4.67
Serine	5.72	5.07	4.62
Glutamine	26.12	18.36	17.85
Proline	4.75	4.09	3.75
Glycine	3.88	3.28	5.75
Alanine	4.29	3.94	6.09
Valine	4.39	3.88	4.20
Methionine	2.86	3.38	5.03
Isoleucine	3.97	3.30	3.71
Leucine	7.76	6.47	7.78
Tyrosine	3.10	2.50	3.02
Phenylalanine	5.38	6.13	4.54
Lysine	5.53	4.20	8.51
Histidine	2.45	2.08	3.91
Arginine	6.28	4.31	6.65
Total	100	100	100

DHA, developed ham analogue; CVH, commercial vegetable ham; MH, meat ham.

○ 대체육 제품의 관능특성 분석

- 본 연구를 통해 개발된 대체육 제품들(패티, 햄, 소시지)의 관능평가를 수행한 결과는 표 37과 같음. 기본적인 색, 향, 맛, 전체적인 기호도를 7점 척도법으로 조사하였으며 향과 맛은 대체육 제품들 사이에 유의적인 차이가 없었으나 색은 햄과 비교하여 패티 및 소시지 제품이 각각 6.08점, 6.31점으로 높았으며 전체적인 기호도는 소시지 제품이 5.77점으로 다른 대체육 제품들과 비교하여 가장 높았음.

표 37. 개발된 대체육 제품들의 관능평가 점수

Measurement	Samples			P-value
	Patty	Ham	Sausage	
Color	6.08 ± 0.95 ^a	4.23 ± 1.24 ^b	6.31 ± 0.75 ^a	< 0.01
Flavor	5.00 ± 1.35	4.62 ± 0.96	5.54 ± 1.51	0.203
Tastes	4.54 ± 1.56	4.38 ± 1.71	4.57 ± 1.66	0.693
Overall acceptanbility	4.88 ± 0.87 ^b	4.69 ± 0.66 ^b	5.77 ± 0.73 ^a	< 0.01

- 제조된 제품들 중 관능평가 점수가 가장 좋았던 소시지는 본 연구를 통해 개발된 레시피 및 제조공정을 개량한 뒤 다른 제품들과 비교하여 추가로 관능평가를 수행하였음. 관능검사에 대한 정보를 교육받고 훈련받은 대학생 29명 (남자 9명, 여자 20명)을 대상으로 실시하였으며 시료로 사용된 소시지들은 동일한 온도에서 동일한 크기로 제공되었음. 선발된 패널들을 대상으로 3개의 시료들에 대한 색 (color), 외관 (appearance), 냄새 (odor), 맛 (taste), 조직감 (texture) 및 전반적인 기호도 (overall acceptance)에 대하여 7점 척도법을 이용하여 평가하였음. 각 시료의 소시지 특성에 대한 묘사는 CATA 기법을 이용하여 나타냈으며, 각 항목들은 Horita 등 (2017)의 연구에서 묘사된 소시지의 외관, 맛, 향 및 물성을 특성으로 채택하였고, 대체 소시지의 특성에 맞게 약간 변형하여 사용하였음. 또한, 대체육 소시지에 대한 소스 및 조리법에 대한 소비자 기호도 조사는 순위법을 사용하였고, 3종의 소시지들에 대한 6가지 항목 (색, 외관, 냄새, 맛, 조직감 및 전반적인 기호도)에 대하여 순위법을 적용하여 관능평가를 수행하였음.
- 관능 평가에 참여한 조사대상자의 일반적 특성은 표 38과 같음. 조사대상자 중 남자는 31.0%, 여자는 69.0%로 여자의 비율이 높았으며, 모두 20대였음. 대상자의 소시지 구입 경험을 알아보고자 3개월 내 소시지 구입횟수에 대한 조사를 진행하였으며, 3개월 내에 1회 이하 구입 경험이 있는 대상자가 65.5%, 2회 구입 경험이 있는 대상자 17.2%, 3회 구입 경험이 있는 대상자 13.8%, 5회 이상 구입 경험이 있는 대상자가 3.4%로, 3개월 내

‘1회 이하’의 구입 경험이 있는 대상자의 비율이 가장 높았음. 소시지를 먹을 때 사용하는 조리법으로는 ‘구이’ (39.4%)로 선택하는 응답자가 가장 많았고, 다음으로 ‘볶음’ (30.3%), ‘튀김’ (24.2%)으로 많았으며, 삶기 및 전자레인지는 약 3.0% 였음.

표 38. 관능평가 조사 대상자들의 일반 특성

Variables	n (%)
Gender	
Male	9 (31.0)
Female	20 (69.0)
Purchase frequency of sausages within 3 months	
less than once	19 (65.5)
twice	5 (17.2)
three times	4 (13.8)
four times	0 (0)
more than five times	1 (3.4)
How to cook sausages? (multiple response)	
by boiling	1 (3.0)
by stirring	10 (30.3)
by roasting	13 (39.4)
by frying	8 (24.2)
by a microwave	1 (3.0)

- 관능평가 참여자들의 채식 및 대체육 소시지에 대한 관심도는 표 39와 같음. 조사 대상자의 37.9%는 채식 식단 관심 정도에 대해 ‘보통’으로 응답하였고, 24.1%는 ‘적음’, 13.8%는 ‘매우 적음’, 13.8%는 ‘없음’, 6.9%는 ‘많음’, 3.4%는 ‘매우 많음’ 순으로 응답하였음. 조사 대상자의 대체육 소시지에 대한 관심 정도는 55.2%는 ‘없음’, 27.6%는 ‘보통’, 6.9%는 ‘적음’, 6.9%는 ‘매우 적음’, 3.4%는 ‘많음’으로 응답하였음. 남성과 여성의 채식에 대한 관심도와 남성과 여성의 콩 소시지에 대한 관심도는 서로 관련성이 없는 것으로 나타났음. 대체육 소시지를 먹어본 경험이 있는지에 대한 문항에 62.1%가 ‘있다’, 37.9%가 ‘없다’고 응답하였으며 대체육 소시지를 먹어본 적이 없는 조사 대상자에게 대체육 소시지를 먹어 볼 의향에 대한 질문 응답으로 54.5%가 ‘있다’고 하였고, 45.5%가 ‘없다’로 응답하여 대체육 소시지를 먹는 것에 대하여 50% 이상이 관심 있는 것으로 나타났음.

표 39. 관능평가 대상자들의 채식 및 대체육 소시지에 대한 관심도

Variables	n (%)
Interest in vegetarian diets	
extremely interested	1 (3.4)
very interested	2 (6.9)
somewhat interested	11 (37.9)
slightly interested	7 (24.1)
very slightly interested	4 (13.8)
not interested	4 (13.8)
Interest in soy sausages	
extremely interested	0 (0)
very interested	1 (3.4)
somewhat interested	8 (27.6)
slightly interested	2 (6.9)
very slightly interested	2 (6.9)
not interested	16 (55.2)
Have you ever eaten soy sausages?	
Yes	18 (62.1)
No	11 (37.9)
If not, do you want to try them?	
Yes	6 (54.5)
No	5 (45.5)

- CATA 방법을 이용한 대체육 소시지, 부분적 대체육 소시지 및 육류 소시지에 대한 특성 및 어울리는 소스의 빈도 분석 결과는 표 40과 같음. 조사 대상자들은 대체 소시지에 대하여 ‘밝은 색’ 19번, ‘부드러운’ 11번, ‘외부가 견고한’ 10번, ‘짠맛이 나는’ 8번, ‘갈색의’ 6번, ‘콩 향이 있는’ 6번으로 응답하였고, 대체육 및 부분적 대체 소시지의 특성으로 ‘밝은 색’ 21번, ‘소시지향이 있는’ 13번, ‘짠맛이 나는’ 12번, ‘부드러운’ 9번, ‘콩 향이 있는’ 6번으로 응답하였으며 육류 소시지의 특성으로는 ‘밝은 색의’ 26번, ‘짠맛이 나는’ 15번, ‘부드러운’ 11번, ‘마늘향이 있는’ 9번, ‘기름 맛이 나는’ 6명, ‘조리된 고기 향이 나는’ 6번, ‘조미료 맛이 나는’ 6번, ‘훈제향이 나는’ 6번으로 응답하였음.
- 대체육 소시지와 어울리는 소스는 스위트 칠리 (17), 케첩 (15), 머스터드 (12), 허니 머스터드 (12), 핫 칠리 (11), 바비큐 소스 (9) 순서로 응답하였고, 부분적 대체육 소시지와 어울리는 소스는 케첩 (18), 핫 칠리 (16), 스위트 칠리 (15), 허니 머스터드 (15), 바비큐 소스 (12), 머스터드 (11) 으로 응답하였으며, 육류 소시지와 어울리는 소스는 스위트 칠리 (19), 케첩 (16), 핫 칠리 (16), 허니 머스터드 (14), 머스터드 (12), 바비큐 소스 (12), 마요네즈 (6)로 응답하여 3종의 소시지들은 선호되는 소스의 종류가 유사하였음. 이러한 결

과는 대체육 소시지의 ‘제품화’를 위한 연구에 도움이 될 것으로 판단됨.

- 3종의 소시지에 어울리는 조리법 항목으로 생것, 삶기, 찜, 구이, 볶음, 튀김 및 전자레인지 등 총 7가지 조리법을 제시한 결과 3순위 안에 드는 항목은 구이, 볶음 및 튀김으로 3종의 소시지가 모두 유사한 결과를 보였으며 조사 대상자들이 평소에 자주 이용하는 소시지의 조리법과 항목이 일치하였음.

표 40. 대체육 소시지의 특성 및 소스 선호도

	DSA	PSA	MS
Attributes	Brown color (6)		Brightness (26)
	Brightness (19)	Brightness (21)	Garlic aroma (9)
	Beany aroma (6)	Sausage flavor (13)	Cooked meat aroma (6)
	Salty taste (8)	Beany aroma (6)	Salty taste (15)
	External hardness (10)	Salty taste (12)	Fat flavor (6)
	Softness (11)	Softness (9)	Smoky flavor (6)
			Seasoning flavor (6)
		Softness (11)	
Sauces	Ketchup (15)	Ketchup (18)	Mayonnaise (6)
	Barbecue sauce (9)	Barbecue sauce (12)	Ketchup (16)
	Mustard (12)	Mustard (11)	Barbecue sauce (12)
	Honey mustard (12)	Honey mustard (15)	Mustard (12)
	Hot chilli sauce (11)	Hot chilli sauce (16)	Honey mustard (14)
	Sweet chilli sauce (17)	Sweet chilli sauce (15)	Hot chilli sauce (16)
			Sweet chilli sauce (19)

DSA, developed sausage analogue; PSA, partial sausage analogue; MS, meat sausage.

- 3종의 소시지에 대하여 관능성을 조사한 결과는 그림 34와 같음. 대체육 소시지는 색 4.07점, 외관 4.57점, 냄새 4.07점, 맛 3.39점, 조직감 3.60점, 전반적인 수용가능성 3.71점이었으며, 부분적 대체육 소시지는 색 4.00점, 외관 4.21점, 냄새 3.90점, 맛 3.48점, 조직감 3.66점, 전반적인 수용가능성 3.59점이었으며, 육류 소시지는 색 3.14점, 외관 3.17점, 냄새 4.10점, 맛 3.48점, 조직감 3.10점, 전반적인 수용가능성 3.28점으로 응답하였음. 3종의 소시지에 대한 기호도를 조사한 결과는 표 41과 같음. 대체육 소시지는 육류 소시지와 비교하여 색, 외관, 냄새, 조직감 및 전반적인 수용가능성 등이 유의하게 높았음. 맛에 대한 선호도는 3종의 소시지가 모두 유사한 결과를 보였으며 개발된 대체육 소시지는 육류 소시지와 비교하여 경도, 응집성, 검성, 씹힘성 및 탄성 등의 물성이 유의적으로 높았으며 이러한 특성이 외관 및 조직감에 대한 대체육 소시지의 품질 특성에 긍정적인 영향을 준 것으로 판단됨.

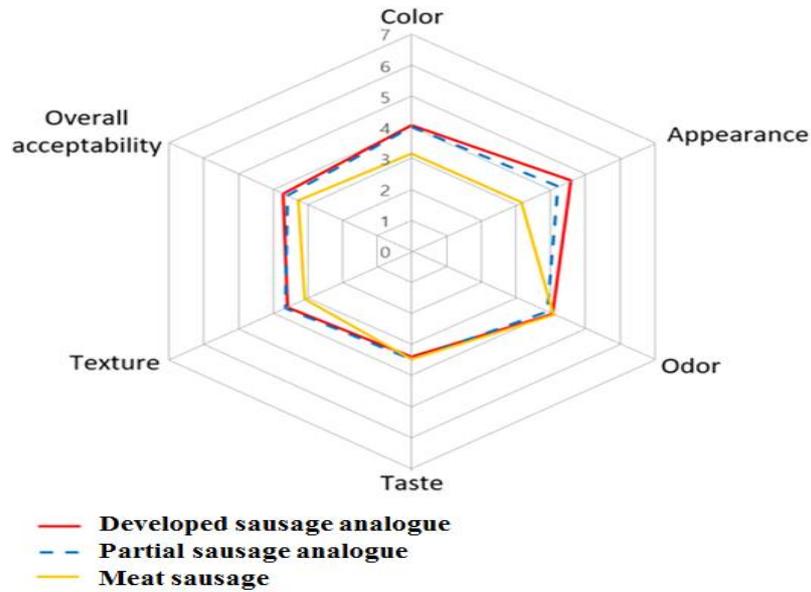


그림 34. 개발된 대체육 소시지에 대한 관능 특성

표 41. 개발된 대체육 소시지의 기호도

	DSA	PSA	MS	SEM	<i>p</i> -value
Color	2.48±0.63 ^a	2.34±0.55 ^a	1.17±0.54 ^b	0.088	<.001
Appearance	2.50±0.58 ^a	2.29±0.66 ^a	1.21±0.57 ^b	0.090	<.001
Odor	2.21±0.74 ^a	2.25±0.70 ^a	1.54±0.84 ^b	0.090	<.001
Taste	2.11±0.79	2.18±0.72	1.71±0.90	0.090	0.073
Texture	2.24±0.69 ^a	2.45±0.57 ^a	1.31±0.71 ^b	0.088	<.001
Overall acceptability	2.29±0.71 ^a	2.18±0.77 ^a	1.54±0.79 ^b	0.090	<.001

DSA, developed sausage analogue; PSA, partial sausage analogue; MS, meat sausage.

○ 대체육 제품의 저장성 조사

- 개발된 대체육 제품들을 저장성을 조사하기 위하여 일반세균, 대장균, 곰팡이 검출 실험을 수행하였음 (그림 35-37). 기존에 보고된 논문 및 연구결과들을 참고하여 냉장 온도(4℃)에서 저장하였으며 총 4주간 1주일 간격으로 미생물 검출 실험을 수행하였고, 일반세균은 PCA 배지, 대장균은 EMB배지, 곰팡이는 PDA배지를 이용하여 검출하였음. 총 4주간의 실험을 수행한 결과 4주가 지난 후에도 일반세균, 대장균, 곰팡이가 검출되지 않아 미생물학적 안전성을 확인하였음.

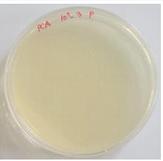
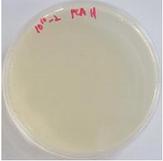
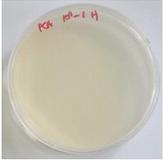
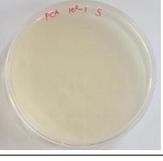
	0 week	1 week	2 week	3 week	4 week
Patty					
Ham					
Sausage					

그림 35. 개발된 대체육 제품들의 일반세균 검출 결과

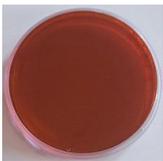
	0 week	1 week	2 week	3 week	4 week
Patty					
Ham					
Sausage					

그림 36. 개발된 대체육 제품들의 대장균 검출 결과

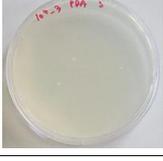
	0 week	1 week	2 week	3 week	4 week
Patty					
Ham					
Sausage					

그림 37. 개발된 대체육 제품들의 곰팡이 검출 결과

- 개발된 대체육 제품들의 미생물검출 실험외에도 pH, 지방 산패도, 단백질 변패도를 조사한 결과는 그림 38과 같음. 대체육 햄과 소시지 제품의 pH는 실험을 수행하는 동안 큰 변화가 없었으나 대체육 패티 제품은 2주후 부터 pH가 감소하는 경향을 보였음. 반면, 지방 산패도는 대체육 패티는 실험을 수행하는 동안 큰 변화가 없었으나 대체육 햄 제품은 3주후 부터, 대체육 소시지 제품은 1주후부터 지방산패도가 증가하는 양상을 보였음. 단백질 변패도는 각각의 대체육 제품마다 차이가 있으나 시험을 시작한지 1주후부터 증가하는 양상을 보였음.

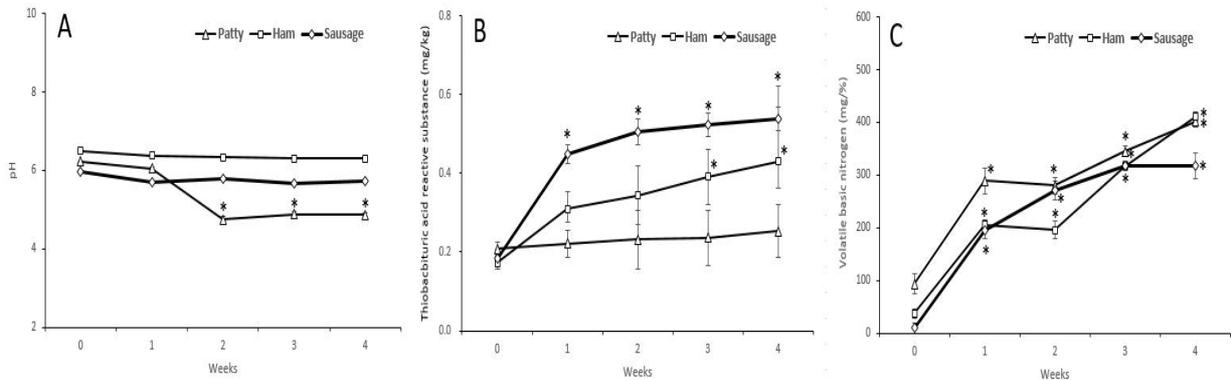


그림 38. 저장기간에 따른 대체육 제품들의 (A) pH, (B) 지방 산패도, (C) 단백질 변패도 변화

○ 레그헤모글로빈을 첨가한 대체육 패티의 개발 및 품질 특성 조사

- 레그헤모글로빈은 임파서블푸드 회사 같은 대체육 제품을 판매하는 회사에서 기존의 육류 제품과 비슷한 관능성을 부여하기 위하여 대체육 제품 제조 시 사용되는 첨가물로 콩과식물의 뿌리혹에 존재하고 있음. 본 연구팀은 레그헤모글로빈의 생산 및 이를 활용한 대체육 제품을 개발하기 위해 대두를 재배한 뒤 레그헤모글로빈을 추출하고, 대체육 패티에 첨가한 뒤 영양성분 분석을 포함하여 다양한 특성들을 조사하였음. 1,2차 년도 연구를 수행하여 확립한 방법으로 대두를 재배한 뒤 대두 뿌리혹에서 레그헤모글로빈을 추출하였음. 대두 뿌리혹의 pH를 6.5로 맞춘 다음, 0.1 M phosphate buffer로 대두 뿌리혹을 침지 및 균질화 시키고 30% polyvinylpyrrolidone을 혼합하고 원심분리 하였음. 원심분리 후 분리된 상등액을 회수한 뒤 황산암모늄을 첨가하고 다시 원심분리하여 침전물을 회수하였음. 마지막 단계로 침전물을 0.1 mM EDTA가 포함된 0.1 M Tris-HCL 용액에 용해시키고 한외여과하여 레그헤모글로빈을 회수하였음. SDS-PAGE 실험을 수행하여 뿌리혹으로부터 레그헤모글로빈이 정상적으로 추출되었음을 확인하였고, 표 42 및 그림 39과 같이 레그헤모글로빈이 첨가된 패티를 제조하였음. 또한, 레그헤모글로빈이 첨가된 패티의 가열 감소량 및 일반성분을 조사하고 기호도를 평가하였음.

표 42. 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티의 조성

Ingredient (%)	Alternative meat patty
TVP	17.5
TSP	5.8
Oil	11.5
Canola oil	0.6
Leghemoglobin extract	1.0
Water	48.6
High-viscosity methylcellulose	1.1
Xanthan gum	0.1
Starch	1.1
Potassium chloride	0.1
Hydrated beetroot	0.1
Smoke flavor	4.2
Nutritional yeast flakes	1.1
MBPC	2.5
Premix	4.7
Total	100

TVP, textured vegetable protein; TSP, textured soybean protein; MBPC: mixed bean protein concentrate.

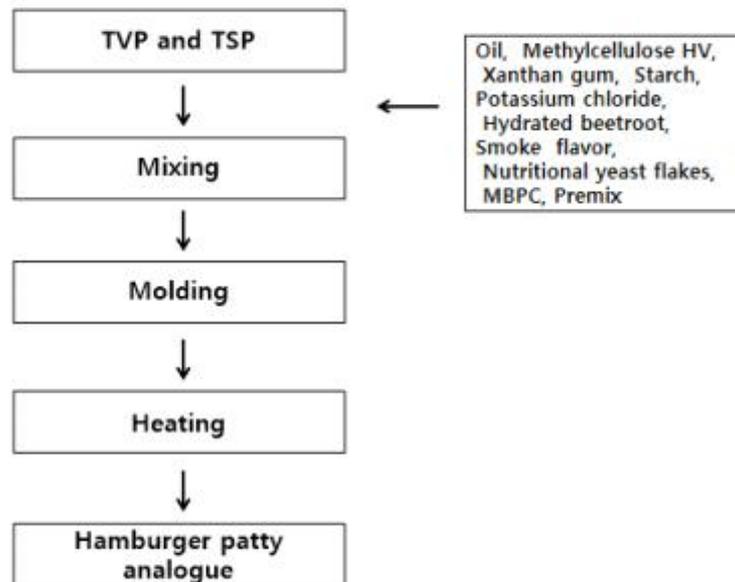


그림 39. 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티의 생산 모식도

- 레그헤모글로빈을 첨가하여 생산된 대체육 패티의 외관은 그림 40과 같음. 조리전 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티의 전체면은 기존에 판매되고 있는 식물성 및 동물성 패티와 비교하여 적색도가 높아 레그헤모글로빈의 붉은색 특성이 개발된 대체육 패티에 잘 반영된 것을 확인할 수 있었음.



그림 40. 레그헤모글로빈을 첨가하여 제조한 대체육 패티. DAP, developed alternative patty; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

- 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티의 가열 감소량 및 일반성분을 조사한 결과는 표 43과 같음. 개발된 대체육 패티의 가열 감소량은 시판되고 있는 식물성 패티보다 유의적으로 높게 나타났으나 동물성 패티와는 유사한 특성을 보였음. 일반성분은 동물성 패티와 유사한 단백질 함량을 보유하고 있으면서 지방 및 탄수화물 함량은 감소하였고, 회분은 증가하는 특성을 보였음.

표 43. 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티의 가열 감소량 및 일반성분

Composition (%)	Samples			F-value
	DAP	CVP	MP	
Cooking loss (%)	11.32±1.99 ^a	7.15±5.13 ^b	11.98±2.65 ^a	9.782*
Moisture	53.56±0.91	53.59±0.27	53.81±0.31	1.511
Protein	19.33±0.83 ^b	26.73±0.11 ^a	19.40±2.11 ^b	11.232**
Fat	9.47±1.01 ^b	7.87±0.34 ^c	15.57±0.28 ^a	7.897**
Ash	4.09±0.07 ^a	2.10±0.07 ^b	1.88±0.10 ^c	3.456**
Carbohydrate	13.53±0.62 ^b	9.69±0.12 ^c	16.57±0.54 ^a	10.235**

Values are means±S.D.

DAP, developed alternative patty; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

- 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티의 기호도는 관능검사에 대한 교육을 받고 잘 훈련된 식품영양학과 대학생 20명 (남자 10명, 여자 10명)으로 대상으로 실시하였음 (표 44). 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티와 시판되고 있는 식물성 및 동물성 패티를 동일한 조건으로 조리하여 블라인드 테스트로 진행하였고, 3개의 패티에 대한 색, 향, 맛 및 전반적인 기호도를 7점 척도로 평가하여 조사하였음. 3개의 패티에 대한 기호도 평가 결과 색과 향은 시판되고 있는 식물성 및 동물성 패티와 유사한 특성을 보였으나 맛과 전체적인 기호도는 동물성 패티보다 낮게 나타났고 기존에 시판되는 식물성 패티와는 유사한 특성을 보였음. 본 연구를 통해서 개발된 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티는 색과 향기는 기존에 판매되고 동물성 패티와 유사한 특성을 보여 레그헤모글로빈을 첨가에 따른 장점이 나타났고, 전체적인 선호도에서 식물성 패티와는 유사한 특성을 보였으나 동물성 패티보다 맛 측면에서 선호도가 낮게 측정되어 레그헤모글로빈의 첨가시 기존에 개발된 대체육 패티의 레시피를 조정하는 지속적인 연구를 통해서 전체적인 기호도를 높일 수 있을 것이라 판단됨.

표 44. 레그헤모글로빈이 첨가된 대체육 패티의 기호도

	DAP	CVP	MP	F-value
Color	5.25±1.24	5.12±1.35	5.34±1.23	1.813
Flavor	5.21±1.32	5.45±1.27	5.52±1.54	0.991
Tastes	5.44±1.62 ^b	5.13±1.21 ^b	6.15±1.26 ^a	3.518*
Overall acceptability	5.71±1.22 ^b	5.21±1.53 ^b	6.32±1.22 ^a	4.219*

Values are means±S.D.

DAP, developed alternative patty; CVP, commercial vegetable patty; MP, meat patty.

○ 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 개발 및 품질 특성 조사

- 눈개승마(*Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* Hara)는 고산지대 수림에서 자생하는 장미과 다년생 식물로서 근경이나 종자로 번식하며 쫄깃한 식감이 있어 대체육 패티 제조시 동물성 패티의 식감을 구현하는데 효과적임. 또한, 눈개승마의 기능성 (항산화 활성, 당뇨 및 고지혈증 완화, 해독작용, 항균효과 등)에 대한 다양한 연구결과들을 볼 때, 눈개승마는 대체육 패티의 식감을 개선할 뿐만 아니라, 영양적인 측면에서도 뛰어난 효과를 보일 수 있음. 따라서 본 연구를 통해 개발된 대체육 패티 레시피에 눈개승마를 추가하면서 일부 레시피를 수정 및 보완하여 눈개승마를 첨가한 대체육 패티를 개발하고 품질 특성을 조사하였음. 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 조성은 표 45와 같으며 패티의 제조 방법은 본 연구를 통해 설정한 공정으로 제조하였음.

표 45. 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 조성

Ingredients (%)	Substitute meat patty (%)
TVP	45
TSP	2.3
Starch	1.8
Premix	5.1
Methylcellulose HV	1.2
black pepper	0.1
Xanthan gum	0.1
Potassium chloride	0.1
Smoke flavor powder	0.5
Canola oil	0.6
Beef flavor powder	0.3
Nutritional yeast flakes	1.2
Water	12.5
Smoke flavor	0.3
Lemon juice	0.3
Barbecue flavor	0.7
Smoked products flavor	0.3
Beet powder+cocoa powder	5.8
Oil (water+ Methylcellulose HV+coconut oil+cocoa utter+sahmyook seasoning)	11.7
Oyster mushroom	7
<i>Aruncus dioicus</i> var. <i>kamtschaticus</i> Hara	3
Total	100

TSP, textured soybean protein; TVP, textured vegetable protein

- 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 영양성분을 분석한 결과는 표 46과 같음. 일반성분 중 수분, 단백질 및 회분은 눈개승마를 첨가한 대체육 패티와 동물성 패티가 유사한 특성을 보였으며 지방은 유의적으로 감소하는 특성을 보였음. 유리당 및 비타민 함량 또한 눈개승마가 첨가된 대체육 패티가 동물성 패티와 유사한 값을 보였으며, 콜레스테롤 수치는 동물성 패티와 비교하여 현저하게 낮았음. 오메가 3 지방산의 함량은 눈개승마가 첨가된 대체육 패티가 동물성 패티와 비교하여 약 1.7배 높았으며 오메가 6 지방산은 약 2.8배 정도 높아 눈개승마의 첨가가 대체육 패티의 영양성을 개선할 수 있음을 확인하였음. 이러한 영양특성은 눈개승마의 첨가 비율에 따라 조절될 수 있으며 기호성과 영양성이 균형잡힌 대체육 패티의 개발을 위한 지속적인 연구를 수행할 계획임.

표 46. 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 영양성분 분석

Composition	Three types of patties		
	SMP	CVP	CMP
General ingredients (%)			
Moisture	62.48±0.54 ^a	60.59±1.00 ^{ab}	62.40±2.77 ^a
Protein	19.33±0.83 ^b	26.73±0.11 ^a	19.40±2.11 ^b
Fat	6.08±0.15 ^c	12.43±0.17 ^b	16.50±0.71 ^a
Ash	1.76±0.08 ^b	2.51±0.12 ^a	1.55±0.11 ^b
pH	6.12±0.06	6.39±0.07	5.59±0.10
Variety (g/100 g)			
Fruit sugar	0.4±0.01	0.0±0.00	0.5±0.01
Glucose	0.8±0.01	0.1±0.01	0.1±0.01
Lactose	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00
Saccharose	1.7±0.01	0.6±0.01	0.0±0.01
Maltose	0.7±0.01	0.0±0.01	0.0±0.01
Vitamin A	-	-	0.1±0.01
Vitamin C	0.0±0.00	0.0±0.00	0.0±0.00
Vitamin E	2.3±0.01	4.8±0.01	1.0±0.01
β-carotene	0.3±0.01	0.1±0.01	-
Saturated fat	6.9±0.01	5.4±0.01	7.9±0.01
Trans fat	0.0±0.00	0.0±0.00	0.6±0.01
Cholesterol	0.0±0.00	0.0±0.00	81.6±0.01
ω-3 fatty acid	64.0±0.01	55.8±0.01	37.5±0.01
ω-6 fatty acid	635.9±0.01	4,984.0±0.01	225.3±0.01

SMP: substitute meat patties developed using *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* Hara, CVP: commercial vegetable patty, CMP: commercial meat patty (*p<0.05).

- 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 아미노산 조성은 표 47과 같음. 눈개승마를 첨가한 패티와 식물성 패티의 필수아미노산은 leucine > phenylalanine > threonine > Isoleucine 순으로 함량이 높았으며, 동물성 패티는 lysine > threonine > valine > phenylalanine > Isoleucine 순으로 함량이 높았음. 글루타민산은 모든 패티에서 비필수아미노산 중 가장 높은 수치를 보였으며 특히, 비필수 아미노산의 경우 세 가지 패티 모두 glutamic acid > aspartic acid > arginine 순으로 함량이 높았음. 아미노산은 펩티드, 아민, 핵산, 당 및 유기산 등의 비휘발성 화합물과 함께 가열에 의해 맛을 내기 위해 기호성을 예측하는 인자로 활용이 되며 특히 glutamic acid 및 aspartic acid는 감칠맛을 내는 인자로 보고되었음. 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 glutamic acid 및 aspartic acid 비율은 동물성 패티와 비율과 비슷하여 본 연구를 통해 개발된 대체육 패티가 아미노산 조성을 통한 감칠맛 측면에서 동물성 패티와 유사한 특성을 보일 수 있다는 사실을 확인하였음.

표 47. 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 아미노산 조성 분석

Variety (mg/100 g)	Three types of patties		
	SMP	CVP	CMP
Essential amino acid			
Threonine	471.0±0.01	515.2±0.01	792.8±0.01
Valine	436.7±0.01	507.3±0.01	673.2±0.01
Methionine	84.1±0.01	–	278.8±0.01
Isoleucine	454.8±0.01	531.4±0.01	607.2±0.01
Leucine	919.4±0.01	1,099.2±0.01	1,244.1±0.01
Phenylalanine	617.1±0.01	732.7±0.01	615.3±0.01
Lysine	710.4±0.01	949.7±0.01	1,473.6±0.01
Histidine	281.1±0.01	313.6±0.01	537.2±0.01
Non-essential amino acid			
Aspartic acid	1,260.1±0.01	1,590.7±0.01	1,570.1±0.01
Serine	693.8±0.01	731.7±0.01	734.2±0.01
Glutamic acid	2,452.1±0.01	2,427.8±0.01	2,780.7±0.01
Proline	486.1±0.01	576.0±0.01	572.6±0.01
Glycine	485.1±0.01	545.7±0.01	1,004.2±0.01
Alanine	545.9±0.01	643.0±0.01	1,078.3±0.01
Tyrosine	352.4±0.01	521.1±0.01	479.2±0.01
Arginine	729.6±0.01	1,009.9±0.01	1,089.1±0.01
L-amino acid			
Taurine	2.2±0.01	4.1±0.01	22.0±0.01
L-serine	14.9±0.01	7.5±0.01	5.3±0.01
L-glutamic acid	30.1±0.01	51.7±0.01	3.0±0.01
L-alanine	41.9±0.01	54.0±0.01	30.6±0.01
L-valine	14.1±0.01	11.4±0.01	3.8±0.01
L(-)-cystine	–	27.0±0.01	–
L-isoleucine	13.8±0.01	8.0±0.01	2.9±0.01
L-leucine	33.3±0.01	14.7±0.01	6.1±0.01
L-tyrosine	10.9±0.01	4.9±0.01	3.1±0.01
L-phenylalanine	27.5±0.01	8.3±0.01	3.5±0.01
β-alanine	12.8±0.01	1.8±0.01	–
L-lysine	34.8±0.01	8.6±0.01	4.6±0.01
L-anserine	24.0±0.01	–	–

SMP: substitute meat patties developed using *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* Hara, CVP: commercial vegetable patty, CMP: commercial meat patty (*p<0.05).

- 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 색도 및 물성조사 결과는 표 48과 같음. 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 명도는 동물성 패티와 비교하여 유의적으로 높은 반면, 적색도와 황색도는 유의적으로 낮은 수치를 보였음. 물성 중 경도, 검성, 씹힘성은 눈개승마를 첨가한 대체육 패티가 가장 낮은 반면, 탄력성, 응집성은 세 가지 패티 사이에 큰 차이가 없었음. 대체육 패티의 색도 및 물성은 눈개승마의 첨가 비율에 따라 조절될 수 있으며, 기존에 판매되는 동물성 패티와 유사한 색도 및 물성을 나타내면서도 눈개승마 첨가를 통해 영양적인 가능성이 강화된 대체육 패티의 개발을 위한 지속적인 연구를 수행할 계획임.

표 48. 눈개승마를 첨가한 대체육 패티의 색도 및 물성

	Three types of patties		
	SMP	CVP	CMP
Colorimetric analysis			
L (lightness)	34.10±1.45 ^a	33.30±0.50 ^{ab}	27.90±1.77 ^b
a (redness)	7.50±0.10 ^c	8.90±0.63 ^b	9.80±0.17 ^a
b (yellowness)	8.70±0.30 ^b	10.30±0.45 ^a	10.40±1.32 ^a
Ttexture analysis			
Hardness (g)	365.68±84.84 ^b	501.81±19.34 ^b	1026.23±123.97 ^a
Adhesiveness (gs)	-122.56±3.89	-8.87±3.45	-23.38±3.12
Springiness (mm)	1.00±0.00	1.00±00	1.00±0.00
Cohesiveness (g/s)	2.43±0.63	2.72±0.25	2.34±0.04
Gumminess (g/s)	923.01±456.01 ^c	1372.56±179.41 ^b	2397.90±250.04 ^a
Chewiness (g)	923.01±456.01 ^c	1376.00±183.50 ^b	2398.80±248.77 ^a
Resilience (g)	0.04±0.00 ^c	0.05±0.00 ^b	0.09±0.00 ^a

SMP: substitute meat patties developed using *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* Hara, CVP: commercial vegetable patty, CMP: commercial meat patty (*p<0.05).

○ 영양성이 강화된 대체육 햄 제품의 성분 및 특성 분석

- 본 연구를 통해 개발된 대체육 햄 제품의 레시피 및 공정을 보완하여 영양성이 강화된 대체육 햄 제품을 제조한 뒤 성분 및 특성을 분석하였음 (표 49-50). SMH에서 단백질과 탄수화물 함량이 높았으며, CVH에서는 탄수화물 함량이 높았고, CMH에서는 지방과 나트륨 함량이 높게 관찰되었음 (p<0.05). 그러나 3개의 햄의 열량 함량은 유의한 차이가 없었음. 지방 조성 중 트랜스 지방과 포화지방은 100 g당 CMH에서 각각 0.14±0.01 g와 7.6±0.1 g로 다른 두 햄에 비해 높았음 (p<0.05). 또한 콜레스테롤 함량은 다른 두 햄에서는 발견이 되지 않았으며, CMH에서 100 g당 49.19±0.01 g로 나타났음 (p<0.05).

표 49. 대체육 햄의 일반성분, 지방산 조성 및 미생물 검출 결과

Composition	Three types of hem		
	SMH	CVH	CMH
General ingredients			
energy (Kcal/100 g당)	242.8±0.1 ^b	272.6±0.1 ^a	271.4±0.1 ^a
Moisture (%)	50.7±0.1	51.4±0.1	55.5±0.1
Protein (%)	19.3±0.1 ^a	11.2±0.1 ^b	13.0±0.1 ^b
Fat (%)	13.2±0.1 ^c	19.4±0.1 ^b	23.0±0.1 ^a
Ash (%)	2.8±0.1	2.0±0.1	2.8±0.1
Carbohydrate (%)	14.0±0.1 ^b	16.0±0.1 ^a	5.7±0.1 ^c
Fiber (%)	4.6±0.1	5.4±0.1	5.2±0.1
Na (mg/100 g)	819.81±0.01 ^a	709.15±0.01 ^b	833.67±0.01 ^a
Nitrite ion	0.001	0.001	-
Fatty acid composition (g/100 g)			
Trans fat	0.03±0.01 ^b	0.09±0.01 ^b	0.14±0.01 ^a
Saturated fat	5.1±0.1 ^b	2.7±0.1 ^c	7.6±0.1 ^a
Cholesterol	-	-	49.19±0.01
Variety (CFU/g)			
Escherichia coli qualitative test	Negative	Negative	Negative
Number of general bacteria	0/g	70/g	0/g
Vibrio parahaemolyticus	Negative	Negative	Negative
Staphylococcus aureus (Quality)	Negative	Negative	Negative

SMH: substitute meat ham, CVH: commercial vegetable ham, CMH: commercial meat ham (*p<0.05).

- 아미노산 조성 중 SMH와 CVH에서는 glutamic acid > aspartic acid > leucine 순으로 함유되어 있으며, CMH에는 glutamic acid > aspartic acid > lysine 순으로 함유되었음. 또한 SMH에는 methionine을 제외하고 다른 아미노산 성분의 함량이 높았으며, 특히 시판용 동물성 햄과 비교했을 때, 아미노산 함량이 유의하게 높았음 (p<0.05).

표 50. 대체육 햄의 아미노산 조성

Variety (mg/100g)	Three types of hem		
	SMH	CVH	CMH
Aspartic acid	1,774.2±0.1 ^a	1,042.8±0.1 ^c	1,224.6±0.1 ^b
Threonine	699.4±0.1 ^a	411.4±0.1 ^c	577.5±0.1 ^b
Serine	1,047.2±0.1 ^a	626.7±0.1 ^b	570.8±0.1 ^c
Glutamic acid	4,776.0±0.1 ^a	2,268.6±0.1 ^b	2,205.5±0.1 ^b
Proline	869.5±0.1 ^a	504.9±0.1 ^b	463.7±0.1
Glycine	710.6±0.1 ^a	405.2±0.1 ^c	710.2±0.1 ^a
Alanine	785.0±0.1 ^a	486.5±0.1 ^b	752.0±0.1 ^a
Valine	802.6±0.1 ^a	479.7±0.1 ^c	519.5±0.1 ^b
Methionine	523.3±0.1 ^b	417.5±0.1 ^c	620.9±0.1 ^a
Isoleucine	726.6±0.1 ^a	407.8±0.1 ^b	458.7±0.1 ^b
Leucine	1,419.9±0.1 ^a	799.4±0.1 ^c	960.9±0.1 ^b
Tyrosine	565.2±0.1 ^a	308.7±0.1 ^b	373.5±0.1 ^b
Phenylalanine	984.7±0.1 ^a	575.6±0.1 ^b	561.4±0.1 ^b
Lysine	1,011.8±0.1 ^a	518.1±0.1 ^b	1,051.9±0.1 ^a
Histidine	447.9±0.1 ^a	256.8±0.1 ^b	482.5±0.1 ^a
Arginine	1,148.8±0.1 ^a	533.0±0.1 ^c	821.3±0.1 ^b

SMH: substitute meat ham, CVH: commercial vegetable ham, CMH: commercial meat ham (*p<0.05).

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 단백질 함량이 80% 이상 (건물 함량 대비) 함유된 국내산 농산물 소재의 개발
대두, 녹두, 완두, 적두 등 국내산 농산물을 활용하여 건물 함량 대비 단백질 함량이 80% 이상인 국내산 농산물 소재를 개발하였을 뿐만 아니라, 각 농산물의 장점을 활용하면서 대체육 제품 제조 시 원활하게 사용할 수 있도록 4종의 농산물을 혼합한 고단백 대체육 소재를 개발하였음. 개발된 고단백 대체육 소재는 아미노산 조성 등 영양성이 뛰어나 기존의 제품을 대체할 수 있으며 이러한 장점을 기반으로 국내산 농산물 소재로부터 제조된 고단백 대체육 소재에 대한 특허를 등록하였음.

 - 대체육 제품 생산을 위한 국내산 농산물 소재 3종 개발
대체육 제품을 생산하기 위한 국내산 농산물 선별과정을 통해 고단백 대체육 소재로 활용하기에 적합한 국내산 농산물로 대두, 녹두, 완두, 적두를 선정하였고, 각각의 농산물을 활용하여 총 4종의 국내산 농산물 소재를 개발하였음.

 - 국내산 농산물 소재를 이용하여 3종의 대체육 제품 개발
본 연구를 통해 국내산 농산물 소재를 활용하여 소시지, 패티, 햄 등 3종의 대체육 제품을 개발하였음. 실험실 수준에서 대체육 제품의 재료 조성 및 제조 과정을 연구하고 이를 토대로 대량생산에 적합한 공정을 확립하였으며 각 대체육 제품의 영양성, 물리·화학적 특성, 관능특성 등을 분석하여 기존에 판매되는 식물성 및 동물성 제품과 특성이 유사한 대체육 제품을 제조하였음. 또한, 지속적인 레시피 보완을 통해 기호성이 개선된 대체육 제품을 개발하였음.
-

(2) 정량적 연구개발성과

성과 목표	사업화지표										연구기반지표									
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육 지도	인력 양성	정책 활용 홍보		기 타 (타 연구 활용 등)	
	특 허 출원	특 허 등록	품 종 등록	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		논 문 평 균 IF			학 술 발 표	정 책 활 용		홍 보 전 시
												SCI	비 SCI							
단위	건	건	건	건	원	백만 원	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건			
가중치	5	5		5	5	30	15		15				5	5		5	5			
최종목표	2	2		2	4	3	10		2			2	1	1.0	3	2	1			
1차 연 도	목 표	1																		
	실 적	1												2						
2차 연 도	목 표	1							1			1		1.0	2	1				
	실 적	1							1				2	2	1					
3차 연 도	목 표		2		2	4	3	10	1			1	1	1.0	1	1		1		
	실 적	2	2		2	4	3		1			1		2	1		1			
4차 연 도	목 표																			
	실 적																			
5차 연 도	목 표																			
	실 적																			
소 계	목 표	2	2		2	4	3	10	2			2	1	1.0	3	2		1		
	실 적	4	2		2	4	3		2				3	6	2		1			
종료 1차연도								10												
종료 2차연도								15												
종료 3차연도								20												
종료 4차연도								25												
종료 5차연도								30												
소 계								100												
합 계		4	2		2	4	3		2			3		6		2		1		

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Studies on the characteristics of concentrated soy protein	Korean journal of food science and technology	차서희	52	대한민국	한국식품과학회	비SCIE	2020년 10월		100
2	A study on the physicochemical properties of sausage analogue made with mixed bean protein concentrate	Korean journal of food science and technology	차서희	52	대한민국	한국식품과학회	비SCIE	2020년 12월		100
3	Development of a alternative meat patty using leghemoglobin extracted from soybean root nodules	The East Asian Society of Dietary Life	김정연	31	대한민국	동아시아식생활학회	비SCIE	2021년 10월		100

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국식품영양과학회	차서희	2019.10.23	제주 ICC	대한민국
2	한국식품영양과학회	차서희	2019.10.23	제주 ICC	대한민국
3	한국영양학회	김정연	2020.11.06	온라인	대한민국
4	한국영양학회	이재림	2020.11.06	온라인	대한민국
5	한국식품영양과학회	신경옥	2020.10.23	부산 벅스코	대한민국
6	한국식품영양과학회	한경식	2020.10.23	부산 벅스코	대한민국

[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	식물성 혼합 농축 단백질 추출물의 제조방법 및 상기 상법으로부터 얻어지는 식물성 대체육 소재 및 그 용도	대한민국	삼육대학교 산학협력단	2019.11.27	10-2019-0154334				100		
2	혼합농축콩단백을 이용한 대체 소시지 제조방법	대한민국	삼육대학교 산학협력단	2020.07.21	10-2020-0090170				100		
3	대두 뿌리로부터 LB(Leghemoglobin)의 추출방법 및 식품에의 사용	대한민국	삼육대학교 산학협력단	2021.07.26	10-2021-0097716				100		
4	혼합농축콩단백을 이용한 대체 패티 제조방법 및 동 방법에 의해 제조된 혼합농축콩단백을 이용한 대체 패티	대한민국	삼육대학교 산학협력단	2021.09.30	10-2021-0129879				100		
5	식물성 혼합 농축 단백질 추출물의 제조방법 및 상기 방법으로부터 얻어지는 식물성 대체육 소재 및 그 용도	대한민국				삼육대학교 산학협력단	2021.07.06	10-2276314-0000	100		
6	혼합농축콩단백을 이용한 대체 소시지 제조방법	대한민국				삼육대학교 산학협력단	2021.07.06	10-2276311-0000	100		

○ 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
1	√									
2	√									
3	√									
4	√									
5	√									
6	√									

[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	기술이전	수경재배 기술이전 양수·양도계약서	농업법인 량(주)	2022. 1. 7	오백만원	2022. 2. 20
2	기술이전	식물성대체육 레시피 기술이전 양수·양도계약서	(주)금빛나래농업법인	2022. 1. 7	오백만원	2022. 2. 20

* 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 수치 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 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
	수출				

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)		합계
			2020년	2021년	
1		(주)위드바이오코스팜	4		4
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]

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	석사졸업	2020		1				1					
2	박사졸업	2021	1				1		1				

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	동영상(온라인)	농기평(주관), (주)에프엔피파트너스	2021 농식품 R&D 유망기술 발표회(제목: 국내 농산물 유래 고품량 단백질 소재 활용 식물성대체육 개발)	2021년 12월 14 ~ 16일
2	동영상(온라인)	농기평(주관)	2021년 농식품 과학기술대전	2021년 9월 8(수) ~ 11일(토)
3	PPT(온라인)	농기평(주관)	2020년 농기평 과학기술대전	2020년 9월

2) 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 고단백 소재를 활용한 대체육의 대량 생산 기술 개발	○ 국내산 농산물 소재를 이용하여 고단백 대체육 소재를 개발한 뒤 소시지, 패티, 햄 등에 적용하여 3종의 대체육 제품을 개발하였음 ○ 각각의 대체육 제품을 생산하기 위하여 대체육 소시지, 패티, 햄을 생산하기 위한 재료 조성 및 제조 기술을 개발하였음 ○ 개발된 제조 기술을 이용하여 생산된 대체육 제품들은 영양성, 관능특성, 물리·화학적 특성 등 다방면에 걸친 분석을 수행하여 기존에 판매되고 있는 제품들과 비교분석 하였고, 분석된 결과를 대체육 제품의 제조 과정에 반영하여 대체육 제품의 대량생산에 적합한 공정을 확립하였음	100
○ 대체육 생산을 위한 국내산 농산물의 소재화 기술 개발	○ 다양한 국내산 농산물을 대상으로 고단백 대체육 소재를 개발하기 위한 선별 실험을 수행하여 고단백 대체육 소재로 활용하기에 적합한 국내산 농산물로 대두, 녹두, 완두, 적두를 선정하였음 ○ 각각의 농산물을 대상으로 건물 함량 대비 단백질 함량이 80%이상 되도록 고단백 대체육 소재의 생산 조건을 확립하였음. 개발된 생산기술을 토대로 대량 생산에 적합하도록 일부 과정을 보완하여 국내산 농산물 유래 고단백 대체육 소재를 생산할 수 있는 공정을 확립하였고 해당 기술에 대하여 특허를 등록하였음	100
○ 고단백 함유 대체육 소재의 가공 적성 및 제품화 공정 개발	○ 본 연구를 통해 개발된 고단백 대체육 소재를 이용하여 소시지, 패티, 햄 등의 대체육 제품을 개발하기 위해 고단백 대체육 소재의 제품 가공 적성을 분석한 결과 대체육 제품 제조시 사용되는 기존의 소재를 대체하여 사용할 수 있다는 결과가 확인되었음	100

	○ 또한, 본 연구를 통해서 생산된 고단백 대체육 소재를 이용하여 소시지, 패티, 햄 등의 대체육 제품을 생산할 수 있는 조건을 설정하고 대량생산을 위한 과정을 보완하여 고단백 대체육 소재를 활용한 대체육 제품의 제품화 공정을 확립하였음	
--	--	--

4. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 실제 고기와 대체육간의 맛의 차이점을 극복하고 수득을 향상을 위한 최적의 공정 기술을 확보할 수 있으며 특허출원을 통한 권리 확보 및 과학적인 자료를 바탕으로 연구논문 작성이 가능함.
- 본 연구의 결과를 토대로 대체육 생산을 위한 효율적 생산관리 방식을 제시하며 품질관리 및 업무 프로세스의 간소화로 원가 및 비용을 감소시킬 수 있는 여건을 마련할 수 있음.
- 주원료인 식물성 대체육 제조 기술은 리놀렌산, 식이섬유, 식물성 단백질 등으로 인하여 기존 육류제품에 비해 영양학적 가치와 체지방 감소 그리고 만성퇴행성질환 예방, 다이어트의 효과 및 영유아 건강식 등에 활용될 것으로 기대함.
- 인공 첨가물을 가미할 수밖에 없는 두유 제품군과 다이어트 보조식품 시장, 건강기능성 시장에 “식물성 추출 단백질을 이용한 제품 개발 관련 기술”은 신제품 개발에 활용할 수 있으며, 기업의 고용창출과 매출증대 및 향후 세계시장 진출로 외화획득과 함께 국가경제에 기여하고 국민의 건강증진에 도움이 될 수 있음.
- 최근 트렌드에 맞는 대체육 개발은 국내·외에서 다양한 마케팅을 통해 판로확보를 개척하고 식품관련 박람회, 전시회 참가로 지속적인 R&D와 품질관리로 기업의 이윤창출에 기여할 수 있음.
- 본 연구에서 개발된 제품을 바탕으로 글로벌 수출역량 강화를 위해 KOTRA의 해외 지사화 사업에 참여하여 해외시장 개척과 해외 전시회, 바이어 접촉을 통해 해외 매출향상에 기여하도록 하며 지속적인 거래를 활성화할 수 있음.

5. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 본 연구를 통해 국내산 농산물을 활용한 고단백 소재를 개발하고 이를 활용한 대체육 제조 기술을 확보함. 특허 출원과 함께 관련 업체로의 기술 이전을 포함한 산업화 및 실용화를 추진함으로써 농산물의 고부가가치화와 대체육의 국가 경쟁력을 제고할 수 있음.
- 사업화 계획은 국내의 경우 매출 실적이 없는 새로운 사업으로 과제사업 완료 1년 전 예비제품 (햄버거 패티, 만두 등)을 생산하여 소비자 및 요식업계 등 유사관련 업체들의 평가를 실시하고, 결과에 따라 매출계획을 수립 하고자 함. 다음 단계로 식품사업규모 대비

매 해 매출을 30% 이상 확장하고 3~5년내 10~30억원 매출 달성을 목표로 함. 식물성 대체육의 개발은 동물성 육류 소비를 기피하는 소비자를 위한 내수 시장 확대와 한국형 제품을 브랜드화하여 대형 식품관련업체 (동원 F&B, 풀무원, CJ등)의 협력과 기타투자사의 컨설팅과 투자를 받아 1차적으로 동남아시아 (중국, 홍콩, 대만, 일본 등)와 2차적으로 미국 및 유럽 등지에 수출 효과를 기대하고자 함.

- 국내의 경우 식물성 대체육 개발 관련 연구는 기초단계에 머물러 있는 실정으로 학문적으로나 산업적으로 가치가 높을 것으로 판단됨.
- 생산계획은 현재 국내 대체육 제품은 육제품의 관능성에 미치지 못하면서 가격은 큰 차이가 없는 문제로 인해 육제품을 완전하게 대체하지 못하고 있는 실정임. 따라서, 본 연구를 통해 생산될 대체육 제품을 크게 2개의 라인 (일반 제품, 프리미엄 제품)으로 나누어 최종 제품을 생산하여 판매할 계획이며, 1, 2차년도 사업 완료 후 3차년도 시작부터 3개월에 걸쳐 주관기관 소재 (경기도 수동) 공장 내 50평 규모의 공간에 제품생산 라인을 설비 완료하고 시험 생산 및 양산 완료할 예정임.
- 주요 원자재인 대두, 완두, 보리 등의 주재료 및 부재료 원료확보는 조합 (경기 파주, 포천, 영월 등) 및 다양한 곡물업체 중 (광복농산 등) 국내산으로 가격을 비교하여 구매하거나 직접 농가와 계약재배를 통해 계약단가를 결정하고 수급할 예정이며, 제조 단가 포함 마진율을 15~25% 대비 공급단가 및 판매단가를 결정 하고자 함. 본 연구과제를 통해 국내산 농산물을 이용하여 대체육 제품에 사용될 수 있는 소재 개발로 인해 국내농산물 활용 및 농가 수입 증대 그리고 소비자에게는 건강하고 smart한 대체육 제품을 제공할 예정임.
- 상용화 계획은 현재 국내 대체육 제품을 생산하는 기업들이 기호성 보다는 제품의 생산 자체에 큰 비중을 두고 대체육 제품을 생산하는 단계에 머물러 있어 매출이 저조한 실정임. 본 연구를 통해 개발한 농산물 유래 소재와 부재료를 이용하여 육제품의 관능특성을 재현하여 기호성이 부족한 기존의 대체육 제품과 차별화된 제품 그리고 육제품과 비교하여도 경쟁력이 있는 제품을 개발해서 적절한 판매 전략을 수립하고 일반제품 및 프리미엄 대체육 제품 2가지로 상용화할 예정임.
- 또한 일반제품은 단가에 초점을 두어 개발하되 대두만을 이용하여 생산되고 있는 기존의 제품들과는 달리 본 연구를 통해 대체육 제품에 활용 가능한 소재들을 선별하여 대두 외의 국내산 농산물이 함유된 대체육 제품을 생산함. 또한, 건강성에 중점을 두어 마케팅을 실시하고 단체급식 시설이나 대형마트 등에 판매할 계획임. 프리미엄 제품은 기호성을 향상시키고자 본 연구를 통해 선별된 국내산 농산물 소재들에 다양한 부재료 배합조건을 달리하고, 천연색소 등을 첨가하여 기존 육제품과 유사한 관능 특성을 보이도록 생산하며 온라인 및 국내 식품업체에 초점을 맞추어 판매할 계획임.

주 의

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