

발간등록번호

11-1543000-004617-01

소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발

2024.05.22.

주관연구기관 / (주)신세계푸드
공동연구기관 / 국립공주대학교
공동연구기관 / 강원대학교
공동연구기관 / 이화여자대학교

농림축산식품부
(전문기관) 농림식품기술기획평가원

소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형
식물 기반 식품 생산을 위한 단백질
소재화 및 적용 기술 개발

최종보고서

2024

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발”(개발기간 : 2021.04.01 ~ 2023.12.31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

납본일자 2024.05.22.

주관연구기관명 : (주)신세계푸드

(대표자) 송현석 (인)

공동연구기관명 : 국립공주대학교 산학협력단 (대표자) 김송자



공동연구기관명 : 강원대학교 산학협력단

(대표자) 장철성



공동연구기관명 : 이화여자대학교 산학협력단 (대표자) 이준성



주관연구책임자 : (주)신세계푸드

주범진



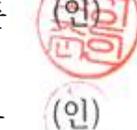
공동연구책임자 : 국립공주대학교

류기형



공동연구책임자 : 강원대학교

조성준



공동연구책임자 : 이화여자대학교

이진규



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

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		고부가가치식품기술개발사업			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)		
내역사업명 (해당 시 작성)		미래대응 식품기술개발			연구개발과제번호		RS-2021-IP321021
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 식품가공학 LB1704	50 %	2순위 식품공정공학 LB1706	30 %	3순위 식품저장/유통/포장 LB1705	20%
	농림식품 과학기술분류	1순위 식품가공·공정 PA0103	70 %	2순위 기타 농생명 신소재· 시스템 CA0199	20 %	3순위 식품저장·유통 PA0104	10%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)		소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발					
연구개발과제명		소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발					
전체 연구개발기간		2021.04.01.~2023.12.31					
총 연구개발비		총 2,404,000 천원 (정부지원연구개발비: 1,742,000천원, 기관부담연구개발비: 662,000 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[✓] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준(3단계) 종료시점 목표(9단계)	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)		지정공모					
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)		-					
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 신규 식물단백원료 탐색 및 소재화 기술 개발 (제조공정 포함/ 대두, 완두, 녹두 등) ▷ 국내산 소고기와 질감이 유사한 식물조직단백 제조 및 제품화 ▷ 국내산 소고기 유사 분쇄형 식물성 대체육 개발 및 제품화 (미트볼, 패티 등) ▷ 소고기 조직감 및 풍미를 보유한 비분쇄형 식물성 대체육 개발 (불고기, 비프스트립 등) ▷ 3D 프린팅 활용한 식물성 대체육 개발 및 제조 					
	전체 내용	<p>[쉐인세계푸드]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 대체육 영양강화와 품질 개선 소재 발굴 및 이들의 적용 기술 개발 • 소고기 질감 유사 식물조직단백 제품화 • 품질 개선 소재를 활용한 분쇄형 식물성 대체육 개발 • 소고기 질감 유사 분쇄형 식물성 대체육 제품화 • 소고기 질감 유사 비분쇄형 식물성 대체육 개발 <p>[공주대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 압출성형 기술을 통한 신규 식물조직단백 최적화 연구 • 저수분 압출성형 기술을 통한 기존 및 신규 식물조직단백 개발 및 품질 특성 비교 연구 • 비가열 초고압 공정을 활용한 식물성 대체육 제품 내 유해미생물 저감화 효과 규명 					

		<ul style="list-style-type: none"> 고수분 압출성형 기술을 통한 식물조직단백 개발 연구 초고압 및 기존 가열 처리 공정 적용에 따른 개발 품목별 품질 특성 비교 검증 및 최적화 <p>[강원대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> 신규 식물단백 소재 개발 및 양산화 기존 및 신규 식물단백 소재 개량 기술 개발 소고기 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기의 조직감 및 조리 특성 규명 조리방법에 따른 소고기 부위별 영양성분 규명 및 풍미성분 분석 소고기 유사 분쇄육 식품 소재화를 위한 조직감, 가공특성, 영양 성분, 풍미성분 및 관능특성 분석 가공적성 및 영양 최적 식물조직단백 제조 배합비 개발 첨가물을 이용한 식물조직단백 품질 개선 식물성 대체육의 상강도와 관능개선을 위한 식물성 지질의 소재화 및 조리 특성 규명 식물성 대체육 가공 전후 지질 안정성 평가 식물성 대체육의 관능특성 및 풍미성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명 <p>[이화여자대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> 신규 식물단백 탐색 및 이화학적 특성 분석 섬유 방사 프린팅에 의한 식물 유래 단백질 조직화 기술 개발 연구 식물조직단백·지방 소재의 3D 프린팅용 카트리지가 적합도 확인 및 소재화 연구 반응표면분석법을 통한 식물조직단백·지방의 제조공정 최적화 연구 3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리 가공에 따른 지질 안정성 평가 3D 프린팅 기술을 이용한 비분쇄형 대체육 최적 생산기술 개발
1단계	목표	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 제품화 ▷ 소고기 질감 유사 분쇄형 식물성 대체육 개발 ▷ 압출성형 공정을 이용한 신규 식물단백 조직화 기술 최적화 ▷ 신규 식물단백 소재 개발 및 기존 단백질 개량기술 개발 ▷ 신규 식물단백 소재 양산화 및 신규 단백질 개량기술 개발 ▷ 국내산 소고기의 질감 및 조리 특성 규명 ▷ 식물성 분쇄형 대체육과 기존 소고기와의 특성 비교 ▷ D프린터를 활용한 식물단백 조직화 연구
	내용	<p>[㈜신세계푸드]</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 대체육 영양 강화 및 품질 (풍미, 색, 식감) 개선 소재 검토 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 소고기 영양과 질감이 유사한 소재 발굴 및 이화학적 특성 확인 ▷ 품질 개선 소재를 이용한 식물성 분쇄형 대체육 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 단백질소재, 베이스조직, 대체지방, 육색 등 품질 개선 소재 적용 연구 진행 및 적용 특성 파악 ▷ 소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 양산화 및 제품화 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존/신규 단백질 활용 식물조직단백 제품 적용 테스트 통한 개

		<p>선 방향 확립</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Plant-scale에서의 식물조직단백 소재 최적조건 설정 및 제품화 <p>▷ 소고기 질감 유사 분쇄형 식물성 대체육 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 품질 개선 소재를 이용한 분쇄형 식물성 대체육 개발 및 실제육과의 비교 분석 <p>[공주대학교]</p> <p>▷ 소고기 질감 유사 식물조직단백 제조를 위한 압출성형 공정 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 저수분/고수분 조건에서의 식물조직 단백질 이화학적 및 품질 특성 비교 ▪ 저수분 조건에서의 기존/신규 식물단백 활용 식물조직단백 최적 조건 규명 <p>▷ 기존/신규 식물단백과 부원료의 배합비율 및 압출성형 공정 최적화</p> <p>▷ 압출성형 공정을 이용한 신규 식물단백 조직화 기술 최적화</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 저수분 조건에서의 신규단백 활용 식물조직단백 최적 배합비, 공정변수 규명 <p>▷ 비가열 초고압 공정 활용 식물성 대체육 유해 미생물 저감화</p> <p>[강원대학교]</p> <p>▷ 신규 식물단백 소재 개발 및 기존 단백질 개량기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 신규 단백질소재 분리·정제 기술 개발 ▪ 신규 단백질소재 품질 지표 분석 ▪ 기존 단백질소재의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발 <p>▷ 신규 식물단백 소재 양산화 및 신규 단백질 개량기술 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 신규 단백질소재 양산화 기술 개발 ▪ 양산된 신규 단백질소재의 품질 검증 ▪ 신규 단백질소재의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발 <p>▷ 국내산 소고기의 질감 및 조리 특성 규명</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 소고기의 다(多)이용 부위별 및 조리방법별 소고기 조직감 및 조리 특성 규명 ▪ 조리한 소고기 질감에 영향을 미치는 영양성분 규명 <p>▷ 소고기 부위별 풍미 비교 분석</p> <p>▷ 식물성 분쇄형 대체육과 기존 소고기와 특성 비교</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 소고기 유사 식물성 분쇄형 대체육의 조직감 및 가공 특성 확인 ▪ 식물성 대체육과 기존 소고기와 풍미 및 영양성분 비교 분석 <p>[이화여자대학교]</p> <p>▷ 3D 프린터를 활용한 식물단백 조직화 기술 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 섬유 방사 프린팅에 의한 식물단백 조직화 기술 개발 연구 ▪ 식물조직단백 소재의 3D 프린팅용 카트리지 적합도 확인 및 소재화 연구 ▪ 반응표면분석법을 통한 식물조직단백 제조공정 최적화 연구
2단계	목표	<p>▷ 소고기 질감 유사 분쇄형 식물성 대체육 제품화</p> <p>▷ 소고기 질감 유사 비분쇄형 식물성 대체육 개발</p> <p>▷ 고수분 압출성형 공정에 따른 식물조직단백 조직화 특성 분석</p> <p>▷ 대체육의 저장 안정성 확보</p> <p>▷ 기존 및 신규 단백질소재 배합 통한 품질 개선</p> <p>▷ 소고기 조직감과 풍미를 보유한 식물성 대체육 검증 및 지질 안정성 평가</p> <p>▷ 식물성 근섬유, 지질, 결체 조직 등을 보유한 3D 프린팅 대체육 개발</p>

		<p>[㈜신세계푸드]</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 소고기 질감 유사 분쇄형 식물성 대체육 제품화 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 제품별 plant-scale에서의 최적 공정 설계 및 최적 공정 적용 제품화 진행 ▷ 소고기 질감 유사 비분쇄형 식물성 대체육 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 소고기 조직감 및 풍미 보유 저수분/고수분 식물조직단백 특성 규명 ▪ 저수분/고수분 식물조직단백 활용 비분쇄형 대체육 최적 공정 설계 ▷ 식물성 근섬유, 지질, 결체조직 보유 대체육 (분쇄/비분쇄) 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 식물성 대체지방의 개발 및 비분쇄형 대체육 적용 ▪ 섬유상 조직 구현 식물조직단백 활용 비분쇄형 대체육 개발 ▷ 대체육 저장 안전성 및 양산화 검증 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 살균 방법별 미생물 저감화 및 유통기한 검증 연구 ▪ 양산화 제품 미생물 제어 연구 및 데이터 확보 <p>[공주대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 개발된 식물단백 소재 기반 고수분 압출성형 공정에 따른 식물조직단백 조직화 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 신규 식물조직단백 최적 비율 및 소고기와 조직감 유사성 규명 ▷ 대체육의 저장 안정성 확보 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 초고압 및 기존 가열 공정 (레토르트) 처리에 따른 식물성 대체육 품질 및 미생물 저감화 규명 <p>[강원대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 기존 및 신규 단백질소재 배합 통한 품질 개선 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 영양학적/가공적 특성 최적화 배합비 개발 ▪ 식육대비 품질 특성 비교 ▪ 품질 개선을 위한 수화기술 개발 ▷ 소고기 조직감과 풍미를 보유한 식물성 대체육 검증 및 지질 안정성 평가 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 실제 및 식물성 분쇄형 대체육의 조리 후 특성 및 지질 안정성 확인 ▪ 식물성 대체육의 관능 특성 및 풍미 성분과의 상관도 분석 및 소고기 유사성 규명 <p>[이화여자대학교]</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 식물성 근섬유, 지질, 결체 조직 등을 보유한 대체육 개발 <ul style="list-style-type: none"> ▪ 3D 프린팅 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리 가공에 따른 지질 안정성 평가 ▪ 식물성 근섬유 및 지질 소재 적용한 식물성 대체육 개발
--	--	--

연구개발성과	<p>1. 사업화지표</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 특허출원 4건, 기술이전(실시) 4건, 기술료 55백만원, 제품화 12건, 매출액 232백만원, 고용창출 9건 <p>2. 연구지표</p> <ul style="list-style-type: none"> ▷ SCI 논문 8건, 비 SCI 논문 4건, 학술발표 55건, 인력양성 9건
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>1. 활용계획</p> <p>[식물단백소재 분야]</p> <ul style="list-style-type: none"> • 본 과제에서 개발한 개량녹두단백의 기포형성능 및 단백질-다당류 복합체 형성 관련 개선 효과를 확인하였음. 개량녹두단백의 기포형성능 및 단백질-다당류 복합체 형성 관련 개선 효과를 평가하고 개선원리를 규명하여 학술지에 관련 논문을 투고할 계획임.

- 무기질 수용액을 이용한 조직화단백 재수화방법 관련 연구로 salt bridge 형성 현상과 조직화단백의 관능적 품질 특성 변화에 대한 추가적인 연구를 통해 관련 논문을 투고할 계획임.

[식물조직단백 분야]

- 분리대두단백을 대체하여 본 과제에서 연구된 분리완두단백을 첨가할 때의 저수분 압출성형공정 식물조직단백은 일반적으로 보이는 다수의 기공이 감소하는 경향을 보여 이와 관련된 원리 및 결과를 학술지에 투고할 계획임.
- 본 과제에서 수행된 고수분 압출성형공정을 통해 분리녹두단백을 주원료로 분리대두단백을 대체한 고수분 대체육의 제조 가능성을 확인하였으며, 이와 관련된 이화학적 및 조직화 특성에 관한 결과를 학술지에 투고할 계획임.

[3D 프린팅 기술 분야]

- 본 과제에서 식물성 원료의 구성, 3D 프린터 기술, 조리조건 등을 통해 우둔, 등심 등의 물성을 확보하였으며, 이와 관련된 실제 육류의 물성 구현 및 제조기술에 대해 학술지에 관련 논문을 투고할 계획임.
- 또한, 3D 프린팅 기술을 통한 확보된 식물성 단백질 원료의 조직화 기술을 기반으로 해외수출 진출 및 국내외 산업화/표준화 기반을 마련하고자 함.

[사업화 분야]

- 현재 2023년 12월 기준으로 소고기 유사 식물성 대체육 제품을 분쇄형 (패티, 미트볼, 민스 등), 비분쇄형 (비프스트립, 마리네이드 비프 등) 타입으로 다양하게 제품화 및 출시하였으며 계획 대비 약 70% 매출액 달성하였음.
- 특히나 저수분 식물조직단백을 활용하여 개발한 원물형 식물성 대체육 (비프스트립, 마리네이드 비프 등) 같은 경우에는 내부관능 통해 확인하였을 때, 질감 면에서 실제육과 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있었음. 이를 보완하기 위해 수분함량이 높고 조밀한 구조로 실제육과 유사한 표현이 가능한 고수분 식물조직단백의 파일럿스케일 이상의 제조기술을 확보하여 실제육과 유사한 특성을 갖기 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료됨.
- 이후, 해당 제품들에 대한 지속적인 홍보 활동 및 식음 비즈니스를 통해 매출액 증대를 기대함.

2. 기대효과

[기술적 분야]

- 소고기 가공제품과 식물성 대체육의 품질 및 풍미 성분 유사도 분석을 통한 고품질 대체식품 개발을 위한 데이터 확보하여 소고기 유사 식물성 대체육 연구에 기여 가능
- 조리 특성에 따른 소고기 및 식물성 대체육의 조직감 및 풍미 성분 분석을 통한 식물성 대체육 제품의 최적 조리 방법 설정 가능
- 구조개량기술을 이용한 조직화단백의 물성 개선 연구: 조직화단백의 물성을 개선하는 새로운 시도로 논문 출판을 통해 관련 연구 분야 발전에 기여 가능
- 무기질 수용액을 이용한 조직화단백 수화기술 개발: 새로운 조직화단백 수화기술로 조직화단백의 가공기술 관련 분야 발전에 기여 가능
- 대두 외 식물성 단백질원료를 활용한 압출성형 식물조직단백을 제조하는데 필요한 기초자료 확보하여 다양하게 활용 가능
- 기계적 전단을 받아 다른 열 공정에 비해 생체 고분자의 공유 결합을 깨뜨릴 수 있으며, 구조적 붕괴와 혼합으로 식품 성분의 기능적 특성 변경 및 조직화 촉진이 가능한 기술 확보하여 소고기 질감과 유사한 구조 형성 가능
- 3D 프린터 이용 대체육류 제조공정 (마블링 구성 등) 기술 확보하여 식감, 풍미 및 영양학적인 요소 등 맞춤형 대체육류 디자인 가능

[산업적/환경적 분야]

- 연속공정인 압출성형공정 활용 및 다양한 공정변수 설정으로 대체육의 대량생산 기술 확보
- 개발한 단백질소재 양산기술을 이용하여 국내 식물성 단백질소재 산업화 및 식물성 단백질소재의 해외 의존도 축소 가능
- 식물성 단백질소재 및 대체육 제품 제조를 통한 환경오염 및 동물복지 문제 해결 가능
- 국내 대체육 제조 기술력 증대에 따른 소비자의 기대 충족 및 대체육 소비 확대를 통한 산업 활성화 기대
- 가축사육으로 인한 자연환경파괴, 탄소배출 등 기후변화 영양요인의 하나인 축산업을 대체할 수 있는 효과적인 대응 전략 기대

연구개발성과의 비공개여부 및 사유	-											
연구개발성과의 등 록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정 보	실 물
	12	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
국문핵심어 (5개 이내)	소고기 대체육		식물성 조직단백		식물단백 소재		압출성형		3D 프린팅			
영문핵심어 (5개 이내)	Beef-like Plant-based Meat		Texturized Vegetable Protein		Isolated Vegetable Protein		Extrusion		3D Printing			

〈 목 차 〉

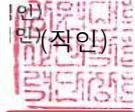
1. 연구개발과제의 개요	12
1) 연구 배경 및 필요성	12
(1) 우리나라 소고기 소비 현황 및 식물 기반 대체육의 필요성	12
(2) 식물성 대체육 (Plant Based Meat, PBM)의 필요성	12
(3) 신규 식물성 단백질원료 탐색 필요성	13
(4) 압출성형에 의한 HMMA(High moisture meat analogue) 개발의 필요성	15
(5) 3D 프린터를 이용한 대체육 제조 필요성	16
2) 연구기관별 역할	17
3) 연구개발과제의 목표	18
2. 연구개발과제의 수행 내용 및 성과	19
1) 정성적 연구개발성과	19
(1) 단계별 연구개발성과	19
(2) 세부 정성적 연구개발성과	22
[식물조직단백 및 식물성 대체육 제품화]	44
[압출성형 활용 식물단백 조직화 기술 연구]	82
[신규 단백질원료 소재화 및 양산화 기술 개발]	157
[소고기 부위별 특성 분석 및 대체육과의 유사성 규명]	218
[3D 프린터 활용 식물성 대체육 제조 기술 연구]	391
2) 정량적 연구개발성과	425
(1) 세부 정량적 연구개발성과	425
3) 목표 달성 수준	435
4) 목표 미달 시 원인분석 및 보완활동	440
3. 연구개발성과 활용에 따른 기대효과	441
1) 기술적 분야	441
2) 산업적/환경적 분야	441
4. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	441

최종보고서										보안등급		
										일반[<input checked="" type="checkbox"/>]보안[<input type="checkbox"/>]		
중앙행정기관명		농림축산식품부			사업명	사업명		고부가가치 식품기술개발				
전문기관명		농림식품기술기획평가원				내역사업명		미래대응식품 기술개발				
공고번호		2021000001			총괄연구개발 식별번호			RS-2021-IP321021				
					연구개발과제번호							
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 식품가공학 LB1704	50%	2순위 식품공정공학 LB1706		30%	3순위 식품저장/유통/포장 LB1705		20%			
	농림식품과학기술분류	1순위 식품가공·공정 PA0103	70%	2순위 기타 농생명 신소재·시스템 CA0199		20%	3순위 식품저장·유통 PA0104		10%			
총괄연구개발명		국문	소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발									
		영문	Development of Protein Materialization and Application technology for the Production of Beef-like Plant-based Meat									
연구개발과제명		국문	소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발									
		영문	Development of Protein Materialization and Application technology for the Production of Beef-like Plant-based Meat									
주관연구개발기관		기관명	(주)신세계푸드			사업자등록번호		215-81-47377				
		주소				법인등록번호		110111-0305288				
연구책임자		성명	주범진			직위		팀장				
		연락처	직장전화			휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호						
연구개발기간		전체	2021-04-01~2023-12-31									
		단계	1단계	2021-04-01~2022-12-31								
			2단계	2023-01-01~2023-12-31								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
					지방자치단체		기타					
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		1,742,000	99,300	562,700	0	0	0	0	1,841,300	562,700	2,404,000	0
1단계	1년차	475,000	18,750	106,250	0	0	0	0	493,750	106,250	600,000	0
	2년차	633,500	40,500	229,500	0	0	0	0	674,000	229,500	903,500	0
2단계	1년차	633,500	40,050	226,950	0	0	0	0	673,550	226,950	900,500	0
구분		기관명	책임자	직위		휴대전화		전자우편		기관유형		
공동연구개발기관		국립공주대학교	류기형	교수						대학 (4년이상)		
		강원대학교	조성준	조교수						대학 (4년이상)		
		이화여자대학교	이진규	교수						대학 (4년이상)		

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

2024년 02월 29일

주관연구책임자: (주)신세계푸드	주범진 (인)
주관연구개발기관의 장: (주)신세계푸드	송현석 (직인)
공동연구개발기관의 장: 국립공주대학교 산학협력단	김송자 (직인)
공동연구개발기관의 장: 강원대학교 산학협력단	장철성 (직인)
공동연구개발기관의 장: 이화여자대학교 산학협력단	이준성 (직인)



농림축산식품부장관·농림식품기술기획평가원장 귀하

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구 배경 및 필요성

(1) 우리나라 소고기 소비 현황 및 식물 기반 대체육의 필요성

- 식육은 필수아미노산들이 고르게 함유한 고품질 단백질뿐만 아니라 인체 필수적인 여러 지방산 및 미량 비타민, 광물질 등이 풍부한 식품 (Lee et al., 2019)으로 우리나라 2020년 연간 1인당 육류 소비량은 62.16kg로 지난 5년간 계속 증가하였으며, OECD 국가의 1인당 육류 섭취량 또한 증가하고 있는 추세임 (OECD, 2020).

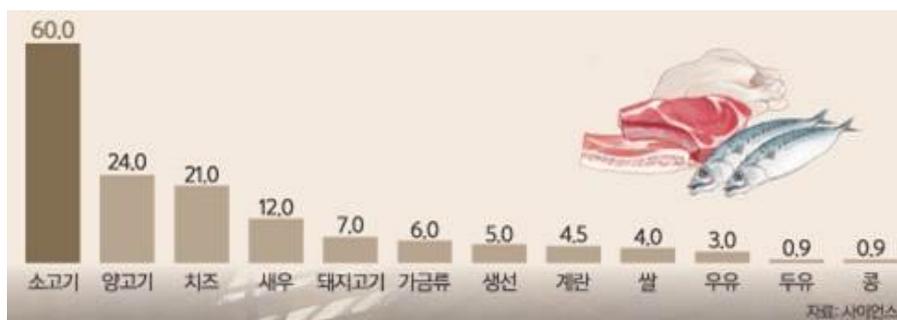


[우리나라 연간 육류 섭취량]



[OECD 국가 평균 연간 육류 섭취량]

- 가축은 인간이 식품으로 소비하는 총 단백질의 1/4 (총 에너지의 15%)을 공급하는 유용한 식량 자원임. 그러나 가축 생산으로 발생하는 온실가스 (greenhouse gases)는 전체 온실가스 배출량의 12%를 차지하고 있음 (Jeong & Jo, 2018). 특히 소고기는 닭고기보다 10배 정도 많은 온실가스를, 완두콩과 같은 식물성 단백질에 비해서는 60배 넘게 환경오염에 부정적 영향을 주는 것으로 나타남 (사이언스, 2020).



[식품 1kg당 발생하는 온실가스량(단위:kgCO₂-eq)]

- 또한, 다량의 육류섭취는 심혈관질환 및 암과 같은 질병에 관련성이 높다는 보고가 있어 소비자들의 부정적인 인식이 존재함.
- 따라서 기존의 가축 사육을 대체하여 단백질 공급과 에너지원으로 이용하기 위한 육류 대체 식품에 대한 연구 및 기술 개발이 필요한 실정임.

(2) 식물성 대체육 (Plant Based Meat, PBM)의 필요성

- 육류 대체식품은 크게 ① 식물성 대체육 (Plant-Based Meat, PBM), ② 세포 배양육, ③ 곤충 단백질 제품의 세 종류로 구분되며 (농식품수출정보, 2020), 이 중 식물성 대체육은 식품으로써의 안전성, 경제성 등의 장점을 가져 활발한 연구가 진행 중임.

특징 및 요인	일반 육류 (Traditional meat)	모조육 (Imitation meat)	배양육 (Cultured meat)	식용 곤충류 (Edible insects)
생산 또는 제조방법	전통적 방식의 가축 사양 및 도축 후 식육화	- 조직화 대두단백, 밀 단백질 등 식물성 단백질 이용 - 단백질 함량이 높은 전곡류를 발효하여 미생물과 영양소가 결합된 단백질 고형물에 각종 양념, 허브, 계란흰자, 감자추출물 등을 배합 후 성숙질을 혼합하여 제조	줄기세포, 근세포를 직접 실험실에서 배양하여 식육 생산	곤충의 유충, 성충을 건조하여 그대로 식용화하거나, 건조 및 분말화 하여 단백질원으로 대체
자원의 사용량	높음	매우 적음	매우 적음	비교적 적음
온실가스 배출량	높음	감소	집재적으로 감소	감소
건강관련 효과	변화 없음	단백질 함량 높음 콜레스테롤 함량 감소	지방산 조성 개선, 철분함량 감소	단백질 및 무기질함량 높음
안전성	변화 없음	식중독 감소	검증된 제품 부재	소규모 제조는 안전 대규모 생산방식은 미검증
대량생산 가능성	높지만 한계가 있음	높음	현재 기술적 장벽 존재	높음
가격	상승 중	저렴	매우 고가	보통
동물복지 문제	상존	없음	없음	없음
소비자 기호도	수요 증가	낮은 식미 문제	새로운 것에 대한 두려움(neophobia), 과학기술 공포증(technophobia)	새로운 것에 대한 두려움(neophobia) 곤충 혐오

[일반 육류와 대체육류의 특징 (Jeong & Jo, 2018)]

- 식물성 대체육은 1960년대에 조직식물단백 (Textured vegetable protein, TVP)에서 유래되었으며, 기존의 TVP는 동물성 단백질을 섭취하고 싶지 않은 채식주의자를 위한 것이었으나 최근에는 고기를 좋아하는 사람들 또한 만족시킬 수 있도록 변화하고 있음 (He et al., 2021).
- 대표적인 식물성 대체육 브랜드는 임파서블 버거 (Impossible burger)와 비욘드 미트 (Beyond meat)가 있으며, 임파서블 버거는 채식주의자를 위한 ‘콩고기’를 넘어서 고기를 좋아하는 사람들에게 입맛에 맞도록 맛과 식감을 갖는 것이 특징이며 (Jeong & Jo, 2018), 소고기 각종 미량 성분들을 혼합한 Magic Mix를 첨가하여 160℃로 가열함으로써 기존 소고기의 풍미와 맛을 갖도록 고안된 제품임(Impossible Foods, 2018).



[비욘드 미트와 임파서블 버거]



[다양한 식물성 대체육(Quorn)제품]

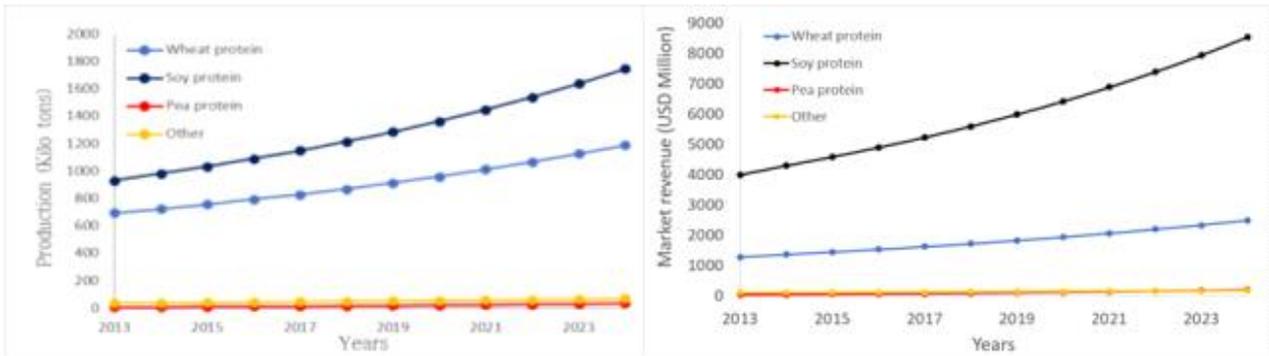
- 이러한 식물성 대체육에 대해 아직까지 분석, 평가, 비교하는 방법에 대한 표준화가 부족한 실정이며 (McClements et al., 2020), 대체육 내 풍미관련 물질 (지방산, 향기성분 등)과 관능 특성에 대한 연구가 부족하여 실질적인 제품개발에 어려움이 있어 체계적인 연구가 필요한 실정임.

(3) 신규 식물성 단백질원료 탐색 필요성

- 전 세계 식물성 단백질원료 규모는 2020년 기준 약 240만톤, 약 8.6억 달러로 추정됨.
- 물량기준으로 대두단백이 136만톤으로 약 57%, 밀단백이 96만톤으로 약 38%를 차지하며, 이 2개 단백질소재가 전체 식물성 단백질 시장의 95%를 점유하고 있음.
- 금액 기준으로는 대두단백의 경우 분리대두단백(isolated soy protein)이나 조직화대두단백

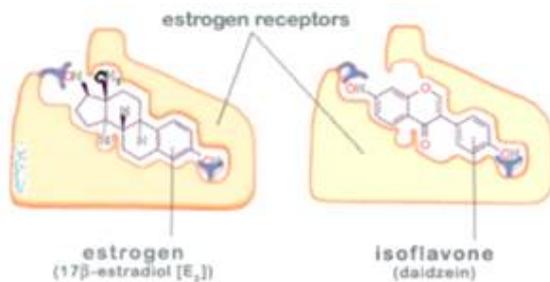
(textured soy protein)과 같이 고부가가치 제품이 많아 금액비중이 더 큼.

- 위 2개 단백질원을 제외한 다른 단백질원의 생산량 및 종류는 상대적으로 부족하여 다양한 동물성 대체 식물성단백소재를 만들기 위해서는 원료 단백질의 다양성을 확보할 필요가 있음(Global market insight).



[세계 단백질 소재 시장의 물량 및 매출 규모]

- 이뿐만 아니라 대두는 한국인에게 주된 식물성 단백질 공급원이지만 잠재된 문제점을 가지고 있음. 대두 알레르기 유발물질로 여러 가공식품에 다양한 형태로 포함되어 있기 때문에 섭취 시 주의가 필요함. 극심한 정도의 알러지를 유발하는 단백질으로는 대두 단백질의 70%를 구성하는 주요 단백질인 b-conglycinin (7S Globulin)과 Glycinin (11S Globulin)으로 알려져 있음. 대두로 인한 알레르기 증상은 두드러기, 소화불량, 호흡곤란 및 아나필락시스 반응 등으로 다양함 (Thomas, 2009).
- 대두의 이소플라본은 에스트로겐과 매우 유사한 구조를 갖고 있으며 에스트로겐 수용체와 결합해 인체 내에서 호르몬으로 작용할 수 있음. 이소플라본의 섭취는 신체 내 호르몬을 조절함으로써 암, 비만, 당뇨, 고혈압, 심혈관계 질환 예방과 같은 긍정적인 효과를 나타내 콩과 식물의 대표적인 기능성 성분으로 알려져 있음 (Hsiao, 2020). 하지만 반대로 이소플라본을 과다 섭취 시에 변비, 메스꺼움, 식욕 부진, 알러지 반응 등을 유발할 수 있음. (The Health Benefits of Isoflavones, 2020)
- 이렇게 소비자들의 건강에 대한 관심과 대두의 문제점 (알러지, 이소플라본)에 대한 인식이 높아지면서 기존 제품에서 대두를 제외하고 제조한 계란, 드레싱, 과자 등의 Soy-free 제품이 출시되어 판매되고 있으며, 우리나라도 잠재적인 리스크 해결을 위해 대두 이외의 다양한 단백질원을 확보할 필요가 있음.



[에스트로겐 및 이소플라본 화학 구조]



[해외 soy-free 제품 및 soy-free 마크]

- 동물성 단백질 대비 식물성 단백질의 큰 단점은 아미노산 조성의 불균형인데 이는 다양한 단백질원을 배합하여 개선할 수 있음. 대두의 경우, 라이신은 다른 식물성 단백질 대비 풍부하나 시스테인이

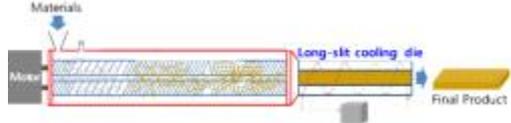
나 메티오닌과 같은 함황 아미노산의 함량은 부족함. 녹두나 쌀의 단백질은 대두에 부족하기 쉬운 함황 아미노산이 비교적 다량 함유하고 있어서 대체육의 아미노산 불균형을 보완할 수 있음. 또한 녹두 단백질은 다른 단백질에 비해 소수성 아미노산 잔기를 많이 함유하고 있는데, 이로 인한 녹두 단백질의 유화능과 유지흡수력은 대체육의 식감을 증진할 수 있음 (Mengxia Du, 2017).

Amino acid (%)	Protein			
	Soy	Pea	Mung bean	Rice
Aspartic acid	12.1	11.5	7.5	9.1
Threonine	3.6	3.9	4.7	3.7
Serine	5.7	5.3	3.8	5.1
Glutamic acid	20.4	16.8	16.2	17.5
Glycine	4.2	4.1	2.9	4.4
Alanine	4.2	4.3	3.7	5.5
Valine	4.5	5.0	0.1	5.6
Cystein	1.4	1.0	6.3	1.9
Mehtionine	1.4	1.1	0.9	2.7
Isoleucine	4.3	4.5	5.4	4.3
Leucine	7.8	8.4	9.8	8.3
Tyrosine	4.1	3.8	3.4	5.4
Phenylalanine	5.4	5.5	7.7	5.8
Lysine	6.5	7.2	7.7	3.8
Histidine	2.7	2.5	3.3	2.4
Arginine	8.0	8.7	7.8	8.4
Proline	5.3	4.5	8.8	4.6
Tryptophan	1.0	1.0	-	1.4

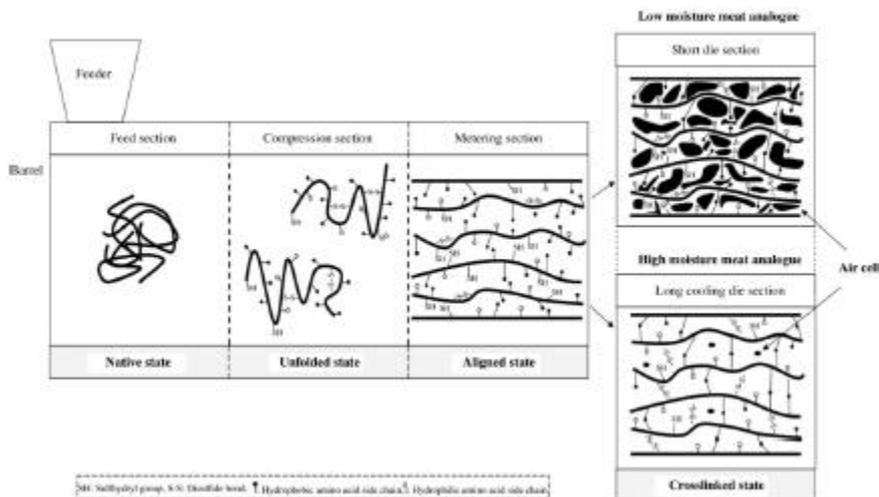
[식물성 원료간 아미노산 조성 비교]

- 물성적인 측면에서도 원료에 따라 다양한 가공 적성을 보이며 이들 배합을 통해 대체육 개발에 적합한 최적 물성을 가진 식물단백원료를 제조할 수 있음.
- 주로 구상 구조로 이루어진 식물성 단백질은 육류의 섬유상 단백질에 기인한 특유의 탄성, 조직감, 저작감 등을 관능적 물성을 구현하는데 한계가 있음. 이와 같은 관능적 물성은 단백질의 수분 및 유지 흡수력, 유화능, 겔 형성능과 같은 물리적 특성과 밀접한 관련이 있으며, 식물성 단백질 소재의 개량을 통해 이들 물성을 개선 할 수 있을 것으로 예상함 (Gaspar, 2015). 특히, transglutaminase를 이용한 단백질간 공유결합의 증가나 효소분해를 이용한 분자량 조절을 통해 젤 강도의 조절, 유화지표의 변화가 가능할 것으로 기대됨. 또한, 제한적인 화학적 변성을 통해 단백질의 가공적성을 개선 할 수 있음.

(4) 압출성형에 의한 HMMA(High moisture meat analogue) 개발의 필요성

구분	저수분 TVP	고수분 TVP
압출 공정		
단백질 구조	 큰 기공 형성 및 스펀지 같은 질감, 높은 탄력성	 작은 기공 형성 및 조밀한 구조, 높은 경도

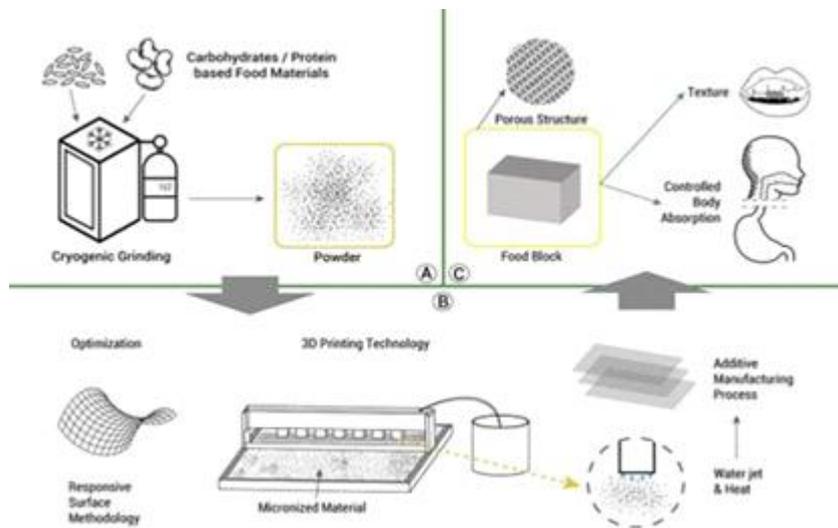
- 국내에서 유통되고 있는 압출성형 식물조직단백은 저수분에서 제조되었기 때문에 팽화에 의한 기공이 형성되어 있어 육류의 질감과는 차이가 크며, 건조된 제품이기 때문에 조직이 단단하여 식품의 조리 시 양념의 흡수가 어려워 콩단백 특유의 이취를 느낄 수 있음
- 소고기를 활용한 우리 전통식품인 불고기, 장조림, 육개장 등은 기존에 개발된 대체육 제품과는 그 질감이 달라 한식에서의 이용에 제한이 있으며, 특히 장조림, 육개장과 같은 섬유상을 형성하는 조직감은 고수분 압출성형에서 구현 가능함 (Samard, 2019).
- 압출성형 시 배럴의 최소온도는 130℃ 이상이며, 식물성 단백질은 압출성형기의 배럴의 내부에서 스크루 회전에 의한 전단력, 수분, 온도에 의해 변성이 일어나고 단백질의 구조가 파괴되어 펩타이드 결합으로 연결된 아미노산 사슬이 풀림. 이때 변성된 단백질 사슬 간의 amide 결합, disulfide 결합, 수소결합에 의한 가교결합의 형성이 사출구 부위 방향의 배럴에서 시작됨. 가교결합이 형성된 단백질 용융물은 사출구를 통과하면서 사출구의 길이 방향으로 단백질 매트릭스와 층류의 흐름이 형성되고 조직화로 인한 성형이 이루어짐 (류 & 조, 2018).
- 저수분 압출성형 식물조직단백은 사출구 내부에서 과열 증기는 점탄성을 가지는 용융물의 내부에 존재하다가 사출구를 통과하면서 급격한 압력의 저하와 함께 단백질 매트릭스의 팽화가 일어나 기공이 형성됨.
- 냉각다이를 사용한 고수분 압출성형 식물조직단백은 사출구 부위를 냉각할 경우 과열증기가 액화되어 사출구를 통과할 때 증기가 없어서 팽화가 이루어지지 않고, 단백질 용융물은 가교결합을 가진 펩타이드 사슬이 일정한 방향으로 섬유상 조직이 형성됨.



[압출성형에 의한 식물성 단백질의 조직화 기작 (Samard, 2019)]

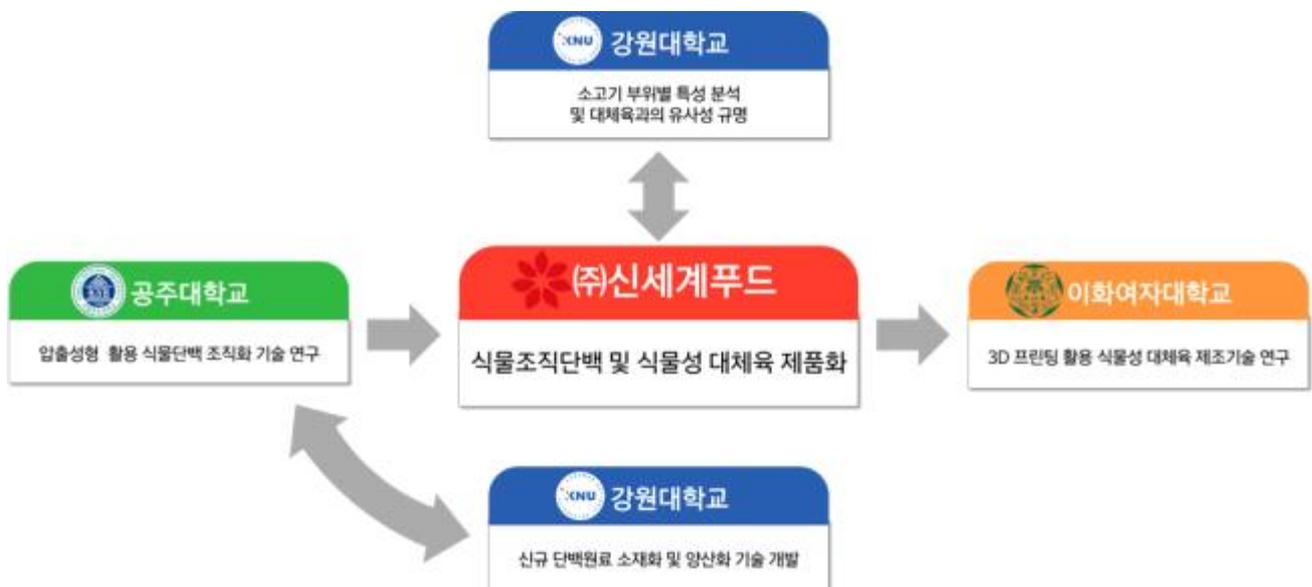
(5) 3D 프린터를 이용한 대체육 제조 필요성

- 식품 3D 프린팅 기술은 3D 스캐너 및 CAD를 통해 만들어진 3차원적인 디지털 디자인을 바탕으로 영양학적 데이터, 식품구성 비율 등을 반영하여 식품 원료를 토출 및 적층하여 3차원으로 재구성하는 식품제조기술임.
- 식품 3D 프린팅 기술은 단순히 식품제조공정에 집중하는 것이 아닌 새로운 질감, 형태 및 개인 맞춤형 식품을 디자인 하는 것과 관련됨. 곡류, 채소류, 육류 등 필수적인 식품 및 3D 프린팅 기술을 통해 새로운 구조적 특징을 결합하여 시너지 효과를 만드는 것을 목적으로 함 .
- 최근 환경 및 건강을 고려하여 고기를 대체할 수 있는 식물 단백질에 대한 관심이 증가하고 있으며, 인구 고령화가 진행됨에 따라 저작, 소화 및 흡수가 어려운 고기 대신 대체할 수 있는 새로운 음식의 필요성이 대두되고 있음.
- 식품 3D 프린팅 기술은 고분자, 단백질 소재 등 식품 원료와 함께 활용하여 식품학적 특성 개선 및 물성을 제어하여 육류의 조직감을 재현뿐만 아니라 영양성분을 강화하여 시니어용 식품 개발도 가능함.



[3D 프린팅 제조공정]

2) 연구기관별 역할



3) 연구개발과제의 목표

(1) 최종 목표

【정성적 목표】

- 신규 식물단백원료 탐색 및 소재화 기술 개발 2건 (제조공정 포함/대두, 완두, 녹두 등)
- 국내산 소고기와 질감이 유사한 식물조직단백 제조 및 제품화
- 국내산 소고기 유사 분쇄형 식물성 대체육 개발 및 제품화 (미트볼, 패티 등)
- 소고기 조직감 및 풍미를 보유한 비분쇄형 식물성 대체육 개발 (불고기, 찹스테이크 등)
- 3D 프린팅 활용한 식물성 대체육 개발 및 제조

【정량적 목표】

구분	성과	목표	달성
사업화 지표	특허출원(등록)	4건	4건
	기술이전(실시)	4건	4건
	기술료	30백만원	55백만원
	제품화	6건	12건
	매출액	300백만원	232백만원
	고용창출	3건	9건
연구 지표	SCI논문	8건	8건
	비SCI논문	4건	4건
	학술발표	11건	55건
	인력양성	4건	9건

(2) 기관별 단계 목표

1단계		
주관	(주)신세계푸드	<ul style="list-style-type: none"> • 대체육 영양강화와 품질 개선 소재 발굴 및 이들의 적용 기술 개발 • 소고기 질감 유사 식물조직단백 제품화 • 품질 개선 소재를 활용한 분쇄형 식물성 대체육 개발
공동	공주대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 압출성형 기술을 통한 신규 식물조직단백 최적화 연구 • 저수분 압출성형 기술을 통한 기존 및 신규 식물조직단백 개발 및 품질 특성 비교 연구 • 비가열 초고압 공정을 활용한 식물성 대체육 제품 내 유해미생물 저감화 효과 규명
	강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 식물단백 소재 개발 및 양산화 • 기존 및 신규 식물단백 소재 개량 기술 개발 • 소고기 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기의 조직감 및 조리 특성 규명 • 조리방법에 따른 소고기 부위별 영양성분 규명 및 풍미성분 분석

		<ul style="list-style-type: none"> • 소고기 유사 분쇄육 식품 소재화를 위한 조직감, 가공특성, 영양성분, 풍미성분 및 관능특성 분석
	이화여자대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 식물단백 탐색 및 이화학적 특성 분석 • 섬유 방사 프린팅에 의한 식물 유래 단백질 조직화 기술 개발 연구 • 식물조직단백·지방 소재의 3D 프린팅용 카트리지가 적합도 확인 및 소재화 연구 • 반응표면분석법을 통한 식물조직단백·지방의 제조공정 최적화 연구

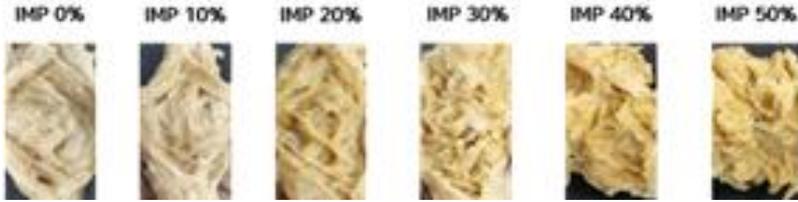
2단계		
주관	(주)신세계푸드	<ul style="list-style-type: none"> • 소고기 질감 유사 분쇄형 식물성 대체육 제품화 • 소고기 질감 유사 비분쇄형 식물성 대체육 개발
공동	공주대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 고수분 압출성형 기술을 통한 식물조직단백 개발 연구 • 초고압 및 기존 가열 처리 공정 적용에 따른 개발 품목별 품질 특성 비교 검증 및 최적화
	강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 가공적성 및 영양성 최적 식물조직단백 제조 배합비 개발 • 첨가물을 이용한 식물조직단백 품질 개선 • 식물성 대체육의 상강도와 관능개선을 위한 식물성 지질의 소재화 및 조리 특성 규명 • 식물성 대체육 가공 전후 지질 안정성 평가 • 식물성 대체육의 관능특성 및 풍미성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명
	이화여자대학교	<ul style="list-style-type: none"> • 3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리 가공에 따른 지질 안정성 평가 • 3D 프린팅 기술을 이용한 비분쇄형 대체육 최적 생산기술 개발

2. 연구개발과제의 수행 내용 및 성과

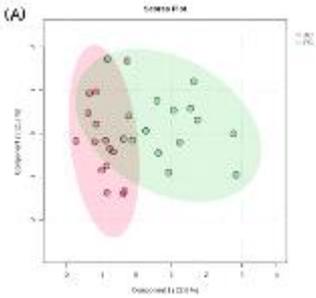
1) 정성적 연구개발성과

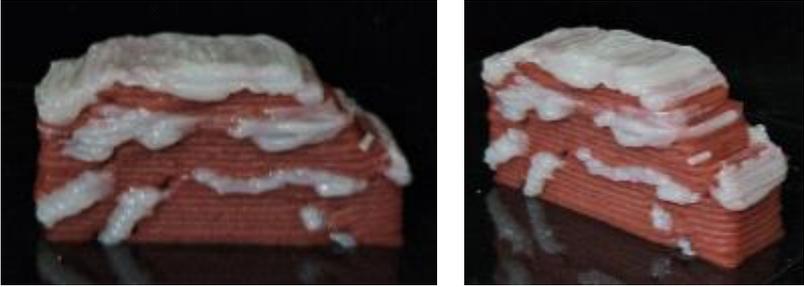
(1) 단계별 연구개발성과

1단계	
기관	신세계푸드
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 소고기대비 영양강화 대체육 개발 위한 고단백 및 고올레산 소재 발굴 • 대체육 품질개선 위한 신규 소재 발굴 및 적용 연구 : 단백질, 베이스조직, 대체지방, 육색 등 • 기존 (대두+완두)과 신규 (대두+녹두) 단백질원료 활용한 식물조직단백 제품화 • 개발된 소재를 적용한 분쇄형 식물성 대체육 3종 개발

	 <p>[콜드컷] [미트볼] [패티]</p>
기관	공주대학교
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 (대두, 완두) 및 신규 (녹두, 쌀) 저수분 식물조직단백 품질 특성 비교 • 저수분 식물조직단백 품질향상 위한 압출성형공정 최적조건 선정 • 신규 단백질원료 활용한 저수분 식물조직단백 조직화 기술 개발 • 비가열초고압 공정 활용한 유해미생물 생육 저감화 효과 규명  <p>[단백원료 함량별 저수분 식물조직단백 섬유구조]</p>
기관	강원대학교
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 단백질원료 3종 (녹두, 햄프씨드, 쌀) 분리·정제 및 양산화 기술 개발 • pH shifting 개량법을 이용한 개량 단백질 소재 개발 • 기능성 및 소화율 분석을 통한 신규·개량 단백질 소재의 품질 확인 및 개선 • 소고기 대표부위별 및 조리방법별 조직감, 영양성분, 풍미성분 규명 • 소고기와 식물성 대체육의 조직감, 영양성분, 풍미성분 등 품질 비교  <p>[녹두, 햄프씨드, 쌀] [콜드컷 실제육, 대체육 비교]</p>
기관	이화여자대학교
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 3D 식물성 대체육을 조직화하기 위한 원료 및 가공방법 선정 • 식물유래 단백질·지방을 조직화하기 위한 Fiber mat 제조 및 최적 방사각도 확인 • 소고기 우둔 구현 위한 식물유래 단백질·지방 카트리리지 소재화 및 물성 최적화  <p>[대체 단백질 구조체] [대체 지방 구조체]</p>

2단계

기관	신세계푸드																																												
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 분쇄형 식물성 대체육 개선 및 제품화 (패티, 미트볼 등) • 소고기 조직감 및 풍미 보유한 비분쇄형 식물성 대체육 개발 • 식물성 지질소재 연구 및 이에 대한 식물성 대체육 품질 평가 • 식물성 대체육 저장 안전성 확보와 양산화 및 검증 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">[비분쇄형 식물성 대체육 개발]</p>																																												
기관	공주대학교																																												
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 소고기 유사 질감 고수분 압출성형 식물조직단백 제조 : 기존 (완두) 및 신규 (녹두, 쌀) 단백질 활용 (w/신세계푸드) • 대체육의 저장 안전성 확보 및 대량생산 확립 연구 : 초고압/레토르트 살균 통한 제품 내 미생물 제어효과 규명 및 유통기한 설정 <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="3"></th> <th colspan="4">Fibrous structure</th> <th rowspan="3">SMBP contents (%)</th> <th rowspan="3">0</th> <th rowspan="3">10</th> <th rowspan="3">20</th> <th rowspan="3">30</th> <th rowspan="3">40</th> <th rowspan="3">50</th> </tr> <tr> <th colspan="2">55%</th> <th colspan="2">60%</th> </tr> <tr> <th>150 rpm</th> <th>250 rpm</th> <th>150 rpm</th> <th>250 rpm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>140°C</td> <td></td> </tr> <tr> <td>160°C</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">[단백원료 함량별 고수분 식물조직단백 섬유구조]</p>		Fibrous structure				SMBP contents (%)	0	10	20	30	40	50	55%		60%		150 rpm	250 rpm	150 rpm	250 rpm	140°C												160°C											
	Fibrous structure				SMBP contents (%)	0								10	20	30	40	50																											
	55%		60%																																										
	150 rpm	250 rpm	150 rpm	250 rpm																																									
140°C																																													
160°C																																													
기관	강원대학교																																												
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 및 신규단백소재 배합 통한 품질 개선 (보수력, 조직감 등) : 영양학적 및 가공적성 특성 최적화 배합비 개발 : 품질 개선 위한 수화 기술 개발 • 식물성 대체육 조리방법에 따른 품질 특성 분석 및 가공전후 지질 안정성 평가 • 식물성 대체육의 상관도 분석 통한 소고기 유사성 규명 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p style="text-align: center;">[개량단백 및 수화기술 개발 통한 조직단백 비교] [콜드컷 실제육, 대체육 유사성 규명]</p>																																												

기관	이화여자대학교
연구성과	<ul style="list-style-type: none"> • 식물성 근섬유 및 지질 소재 적용한 식물성 대체육 개발 • 관능 특성 및 조리 가공에 따른 지질 안정성 평가 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  </div> <p style="text-align: center;">[3D 프린팅 활용 소고기 유사 식물성 대체육 개발]</p>

(2) 세부 정성적 연구개발성과

주관연구기관: (주)신세계푸드

세부과제명	식물조직단백 및 식물성 대체육 제품화	
연도	세부연구목표	연구개발수행내용
1차년도 (2021)	<p>대체육 영양강화와 품질(풍미, 색, 식감 등) 개선 소재 발굴 및 이들의 적용 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 소고기 대비 영양강화된 대체육 개발하기 위해 고단백 대두 및 고올레산 대두유 지방산을 분석하였음. • 고단백 대두는 일반 대두보다 단백질 함량 약 5.9g/g, 포화 지방 함량 2.6g/g 높았음. 또한, 일반 대두보다 포화지방 함량이 높고 소고기보다는 낮아 소고기와 유사성을 가지는 동시에 지방, 트랜스지방, 콜레스테롤이 낮아 영양학적 가치를 올릴 수 있다 판단됨. • 고올레산 대두유 지방산 분석 결과 소고기 중 함량이 가장 높은 oleic acid의 brisket point 대비 고올레산 대두유가 약 4.5배 높은 함량을 가짐을 확인. 고올레산 대두유는 소고기 풍미에 관여하는 oleic acid가 높아 소고기와 유사한 풍미를 구현한 식물성 대체육으로의 적용 가능성을 확인함. • 대체육 품질을 개선하기 위한 적합한 신규 소재 탐색 및 이화학적 특성을 확인하였음.
	<p>품질 개선 소재를 이용한 식물성 분쇄육가공품 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 대체육 기반 소재 탐색 및 이를 실제 제품에 적용하는 연구(단백소재, 베이스조직, 대체지방, 육색 등)를 진행하였음. • 단백소재별(쌀단백, 녹두단백, 농축대두단백)로 적용한 식물성 페퍼로니를 제작하여 조직감을 비교한 결과 경도는 모두 비슷한 양상이

		<p>나 농축대두단백에서 더 높았고 탄력성, 응집성, 씹힘성은 쌀농축단백이 좋다는 의견을 보였음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 국가별/형태별 식물성 조직단백 비교(이취, 식감 등) 연구를 통해 향후 제품 적용에 가장 적합한 식물성 조직단백 선정. • 육류 지방 대체물 제조를 위해 오일 종류에 따른 열적 특성을 확인하였음(아자유, 아자경화유). 아자유를 포함한 유화물은 28℃, 아자경화유를 포함한 유화물은 35℃에서 액체로 상전이 되었음. 우지방 용점이 40~50℃인 것을 감안하면 아자경화유가 더 적합할 것으로 사료되나 제품 특성별 대체지방이 개발될 수 있도록 지속적인 연구가 필요함. • 내열성 색소 종류 및 함량에 따른 색 변화 연구를 진행하였음 (홍국색소, 치자적색소). 치자적색소 단일로 사용 시 소고기 가열전 색상과 가장 비슷한 색상을 보였음.
<p>2차년도 (2022)</p>	<p>소고기 질감 유사 식물 조직단백 소재 양산화 기술 및 제품화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 단백질(대두+완두) 및 신규 단백질(대두+녹두) 활용 식물조직단백의 조직감 및 수화력을 비교하고, 이를 활용한 비분쇄형 대체육 제품(육포)을 개발하였음. • 기존 단백질 활용 식물조직단백 비교 결과 분리완두단백 함량에 따른 조직감에는 차이를 보이지 않았지만, 수화력에서는 완두단백이 20% 첨가된 샘플에서 수화력이 더 우수함을 확인함. 하지만, 상용화를 위해 수화력 증진 개선 연구가 필요할 것으로 사료됨. • 신규 단백질 활용 식물조직단백 비교 결과 분리녹두단백 함량이 증가할수록 조직감은 우수하였지만, 수화력은 감소되는 것을 확인함. 상용화를 위한 최적의 조건으로 분리녹두단백 함량 20% 식물조직단백이 가장 유리한 것으로 사료되나 적정 대체육 제품으로의 적용을 위한 분리녹두단백 함유 식물 조직단백소재의 개선 연구가 필요함. • 식물단백소재 활용 식물성 소고기 육포의 개발 및 관능평가 결과 실제 소고기 육포와의 외관상 형태 및 식감에서는 큰 차이를 보이지 않음. 하지만, 실제 소고기 육포와의 풍미 차이, 특유의 콩취로 인한 이미

		<p>와 이취 등의 관능적 저해 요인이 있어 이를 보완하기 위한 masking 연구가 필요할 것으로 사료됨.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 자사의 압출성형기를 활용하여 Flake type의 식물조직단백 개발을 완료하였으며, 추후 대체육 제품에 활용될 수 있을 것으로 사료됨.
	<p>개발된 식물조직단백, 품질(풍미, 색, 식감 등) 개선 소재 적용한 식물성 분쇄육가공품 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 식물조직단백 및 품질 개선 소재 연구를 통해 식물성 소고기 분쇄육제품(콜드컷 쉐켄, 미트볼, 패티)을 개발하였으며, 강원대와의 협업을 통해 실제 소고기와 식물성 소고기 분쇄육제품의 비교 연구를 진행하였음. • 식물성 소고기 분쇄육제품(콜드컷 쉐켄) 개발을 위해 쉐켄 제품의 기반이 될 수 있는 전분소재별 Gel 배합물의 호화물성 및 다당류와 해조류 이용 Gel 배합물의 이수율을 비교하였음. 이를 토대로 식물성 소고기 쉐켄의 최적 배합비 및 공정을 선정하였음. 개발한 식물성 소고기 쉐켄 제품과 실제 소고기 콜드컷 제품의 관능을 비교한 결과 식물성 소고기 쉐켄의 aroma, off-flavor, taste, overall acceptability가 실제 제품과 유사한 선호도를 보이며 소비자에게 높은 접근성을 보이는 것을 확인함. • 식물성 소고기 분쇄육제품(미트볼) 개발을 위해 1차년도 연구 수행한 조직대두단백을 형태별 4가지 선정하여 조밀도를 비교하였으며, 조밀도는 Chunk type과 Granule type이 가장 우수함을 확인함. 조밀도가 우수하였던 두 가지 type의 조직대두단백을 이용하여 식물성 소고기 미트볼을 개발하였고, 내부 관능평가를 진행하여 최적 배합비와 공정을 선정하였음. 개발한 식물성 소고기 미트볼 제품과 실제 소고기 미트볼 제품의 관능을 비교한 결과 color와 tenderness는 실제 소고기 제품과 유사함을 확인함. 하지만, 조리된 상태에서 aroma 및 taste와 조리 여부와 상관없이 overall acceptability에서는 식물성 소고기 미트볼이 실제 소고기 제품보다 낮은 점수를 받음. 연구 결과를 통해 식물성 미트볼의 외관과 식감 보다는 향

		<p>과 맛을 개선하기 위한 연구가 필요할 것으로 사료됨.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 식물성 소고기 분쇄육제품(패티) 개발을 위해 패티에 적용할 야자유(고용점 식물유지) 이용 대체지방을 제조하였으며, 실제 제품과 유사한 색을 갖는 식물성 패티를 개발하기 위해 색소(비트색소, 카라멜색소) 함량별 테스트를 진행함. 연구 내용을 통해 개발한 식물성 소고기 패티는 내부 관능평가를 진행하여 최적 배합비와 공정을 선정함. 개발한 식물성 소고기 패티 제품과 실제 소고기 패티 제품의 관능을 비교한 결과 조리후 tenderness는 식물성 소고기 패티가 우수하였지만 color, aroma, off-flavor, taste, juiciness, overall acceptability는 실제 소고기 패티가 우수함을 확인함. 연구 결과를 통해 식물성 소고기 패티의 맛과 향 등 전반적인 관능 개선 연구가 필요할 것으로 사료됨.
<p>3차년도 (2023)</p>	<p>소고기 질감 유사 식물성 분쇄육가공품 공정 설계 및 제품화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 식물성 콜드컷은 종합적 기호도가 실제육과 유의적인 차이가 없어 plant-scale에서의 공정 설계 및 제품화 진행하였음. 해당 제품은 2023년 4월 출시 완료함. • 식물성 미트볼은 향과 맛에서 실제육과 유의적인 차이가 있어 이를 개선해나감. 향신료 함량을 줄이고, 대체지방을 넣어 풍미와 다즙성을 부여하는 등 제품을 개선해나가고 이를 토대로 plant-scale에서의 공정을 설계함. 해당 제품은 2023년 9월 출시 완료함. • 식물성 소고기패티는 향과 맛에서 실제육과 유의적인 차이가 있어 이를 토대로 배합비 및 공정을 재설정해나감. 개선 후, plant-scale로 scale-up하여 공정을 설계했으며 해당 제품은 2023년 12월 출시 완료함.
	<p>소고기 조직감 및 풍미를 보유한 비분쇄형 대체육 제조 공정 최적화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 저수분 식물조직단백을 활용한 비분쇄형 식물성 대체육을 개발함. Chunk type의 식물조직단백을 2가지 타입 (대두단백, 대두+완두단백)으로 제조하여 비분쇄형 식물성 대체육에 적용하여 적합 가능성을 확인함. 그 결과, 대두단백만 들어간 Type 1이 기공이 크

		<p>고 많아 조미소재가 잘 흡수될 것으로 예상되어 Type 1을 선정하였음. 이를 활용하여 마리네이드 비프를 개발하였음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 고수분 식물조직단백을 활용한 비분쇄형 식물성 대체육을 개발함. 고수분 식물조직단백을 활용하여 불고기 타입 비분쇄형 식물성 대체육을 개발하기 위해 후단 공정 (절단, 양념 등)을 추가하였음. 이러한 후단 공정은 고수분 식물조직단백의 부족한 식감을 보완할 수 있음을 확인하였음. 그 결과 소고기와 유사한 불고기 풍미와 식감을 구현할 수 있었음.
	<p>식물성 근섬유, 지질, 결체조직 등을 보유한 대체육(분쇄/비분쇄) 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 자사에서 개발한 식물성 대체지방을 활용하여 식물성 소고기패티, 미트볼을 개발하였음. 그 결과, 실제육과 유사한 다즙성과 풍미를 느낄 수 있었음. • 실제육의 섬유상 조직을 구현하기 위해 자사에서 개발한 식물조직단백을 활용하여 비프스트립을 개발하였음. 해당 제품은 2023년 12월 출시 완료함.
	<p>대체육 저장안전성 확보와 양산화 및 검증</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 대체육 저장안전성 확보를 위해 초고압, 레토르트 살균 방법을 통하여 미생물 제어 유무 및 유통기한 검증 연구를 진행하였음. • 자사에서 개발한 식물성 소고기패티에 초고압 살균 처리한 결과, 대장균군, 일반세균 모두 저감화된 것을 확인하였음. 또한, 10℃ 저온 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석한 결과 대장균군은 증식하지 않았으나 일반세균은 6일차에 5 log CFU/g 이상으로 증식하는 것을 확인하였음. • 자사에서 개발한 식물성 소고기패티에 레토르트 살균 처리한 결과, 일반세균과 대장균/대장균군 모두 검출한계 이하로 검출되지 않았음. 또한, 10℃ 저온 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석한 결과에 따르면 60일 동안 일반세균과 대장균/대장균군 모두 증식하지 않은 것을 확인하였음.

제1공동연구기관: 공주대학교

세부과제명	압출성형 활용 식물단백조직화 기술 연구
-------	-----------------------

연도	세부연구목표	연구개발수행내용
1차년도 (2021)	<p>압출성형 공정을 이용한 신규 식물 단백질 조직화 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 압출성형 대체육의 공정변수는 배럴온도 150℃, 스크루 회전속도 250 rpm, 원료사입량 100 g/min로 결정하였음. • 수분함량에 따른 저수분 및 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성 비교하여, 압출성형공정에서 수분함량은 대체육의 조직화에 큰 영향을 미치며, 고수분 대체육이 저수분 대체육과 비교하여 많은 섬유상의 구조를 형성하여 고수분 대체육이 육류 대체식품 소재로 활용도가 더 높을 것으로 판단됨. • 대체육에 사용되는 식물성 단백질소재 품질 특성 비교를 통해 분리대두단백, 분리쌀단백, 분리녹두단백, 밀 글루텐의 품질 특성을 분석하였음. 이에 식물성 단백질소재의 원산지, 제조사, 용도 등에 따라 원료의 품질에 차이가 있음을 확인하였음. • 압출성형공정에서 대체육 품질에 부원료의 영향에 대한 연구를 통해 부원료로 첨가한 느타리버섯 (식이섬유)은 조직감 향상 및 향산화 활성과 같은 기능적 특성을 향상시킨다는 결론을 도출하였음.
	<p>저수분 조건에서의 기존 식물단백(대두) 대체육과 신규 식물단백(쌀, 완두, 녹두) 대체육의 품질 특성 비교</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 분리완두단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향에 대해 분석하였음. 저수분 대체육은 분리완두단백의 비율이 높아질수록 씹음성, 수직 방향과 흐름 방향 절단강도, 조직잔사지수는 증가했고, 수분흡수력, 탄력성, 응집성, 수용성질소지수는 감소하였음. 이는 분리완두단백은 대체육 원료 소재로 활용도가 높으며, 알레르기 등의 문제를 가지는 분리대두단백을 대체하는 것이 가능하다고 판단됨. • 분리쌀단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향에 대해 분석하였음. 수분흡수력과 탄력성과 응집성은 10%까지는 감소하다 15%부터는 증가하는 경향을 보였고, 조직잔사지수, 씹음성, 조직화 정도는 10%까지 증가하고 15%부터 감소하는 경향을 보였음. 수용성질소지수와 아미노산 조성의 경우 유의적으로 차이를 보이지 않았음. • 분리녹두단백이 저수분 압출성형 대체육에

		<p>미치는 영향에 대해 분석하였음. 분리녹두단백이 증가할수록 수분흡수력과 NSI는 감소했으며, 조직잔사지수는 증가하였음. 조직감의 경우, 탄력성, 응집성, 씹음성, 절단강도는 분리녹두단백 함량이 30%까지 증가했으며, 40% 이상부터는 감소하였음. 분리녹두단백을 조직화하면 분리완두단백과 유사한 조직감 변화 양상을 보였으며, 완두와 쌀과는 달리 분리대두단백을 모두 대체 가능할 것으로 보임. 이는 다른 대체 단백질과 비교하여 분리녹두단백이 단백질 조직화에 활용도가 높을 것으로 사료됨.</p>
<p>2차년도 (2022)</p>	<p>압출성형 공정을 이용한 신규 식물단백 조직화 기술의 최적화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 분리완두단백의 저수분 압출성형 조직화 기술 조건을 최적화하였음. 수분함량이 증가할수록 조직잔사지수, 씹음성, 절단강도가 증가했고, 수분흡수력은 감소하였음. 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가할수록 수분흡수력, 조직잔사지수, 씹음성, 절단강도가 증가하였음. 저수분 압출성형공정에서 분리완두단백을 이용할 때에는 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 향상된 조직감의 대체육이 제조되었음. • 분리쌀단백의 저수분 압출성형 조직화 기술 조건을 최적화하였음. 분리쌀단백이 10% 첨가된 대체육의 공정 최적화를 통해 3D 표면도를 모델링하였고, 높은 수분흡수력과, 향상된 조직감을 가지는 최적조건을 선정하였음. 저수분 압출성형공정에서 분리쌀단백을 이용할 때는 높은 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도일 때 향상된 수화력과 조직감을 가지는 대체육이 제조되었음. • 분리녹두단백의 저수분 압출성형 조직화 기술 조건을 최적화하였음. 녹두단백이 50% 첨가된 대체육의 공정 최적화를 통해 3D 표면도를 모델링하였고, 높은 수분흡수력과, 향상된 조직감을 가지는 최적조건을 선정하였음. 저수분 압출성형공정에서 분리녹두단백을 이용할 때는 낮은 수분함량과 높은 배럴온도, 스크루 회전속도일 때 향상된 수화력과 조직감을 가지는 대체육이 제조되었음. <p>저수분 조건에서의 압</p> <ul style="list-style-type: none"> • 높은 수화력과 향상된 조직감을 바탕으로

	출성형에 의한 식물 유래 단백질 제품 개발	분리완두단백, 분리쌀단백, 분리녹두단백의 조직화 중간소재의 배합비와 공정변수를 선정함.
	고수분(50%이상) 조건에서의 압출성형에 의한 식물 유래 단백질 조직화 기술 개발 연구	<ul style="list-style-type: none"> • 분리완두단백이 고수분 압출성형 대체육에 미치는 영향에 대해 분석하였음. 분리완두단백의 고수분 압출성형 조직화는 분리대두단백을 모두 대체 가능했던 저수분 압출성형 공정보다 고수분 압출성형공정에서 조직화 범위가 좁았으며, 최대 30%의 첨가가 가능하였음. 이는 분리완두단백을 활용하여 고수분 대체육을 제조하는데 첨가량을 선정하는 기초 연구가 될 것으로 사료됨. • 분리쌀단백이 고수분 압출성형 대체육에 미치는 영향에 대해 분석하였음. 저수분 압출성형 대체육에서도 분리쌀단백 10~15% 첨가되었을 때 가장 향상된 조직감을 가진 것처럼, 고수분 대체육에서도 동일한 양상을 보임. 이는 분리쌀단백질이 단백질의 조직화 보다는 부원료로서의 가능성을 확인하는 기초 연구로 활용될 수 있음. • 분리녹두단백이 고수분 압출성형 대체육에 미치는 영향에 대해 분석하였음. 저수분 압출성형 대체육에서도 분리녹두단백 50% 첨가되었을 때 분리대두단백을 모두 대체 가능했던 것처럼, 고수분 대체육에서도 동일한 양상을 보임. 이는 분리녹두단백질이 고수분 대체육을 제조하는데 분리대두단백의 대체 가능성을 확인하는 기초 연구로 활용될 수 있음.
	비가열 초고압 공정을 활용한 식물성 단백질 소재 활용 제품 내 유해미생물 저감화 효과 규명	<ul style="list-style-type: none"> • 패티 (비가열) 1종, 패티 (가열) 1종에 대한 초고압 처리 후 (600 MPa, 최대 3분 처리) 일반세균, 대장균/대장균군 및 식중독균 저감화 정도를 확인하였음. 식중독균은 모든 샘플에서 검출되지 않았으며 패티 (비가열) 제품의 경우, 대장균군이 존재하였으나 초고압 처리에 따라 모두 사멸하는 것을 확인하였음. 일반세균의 경우 600 MPa 압력으로 3분간 처리하였을 때 모두 사멸되지 않았으며 일정량의 세균이 잔류하는 것을 확인함. 잔류하는 세균을 확인하기 위해 16S rRNA sequencing을 실시한 결과, 초고압 처리 후

		<p>잔류하는 일반 세균은 주로 포자를 생성하는 미생물 종인 것을 알 수 있었음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 초고압 처리 후 저온 저장 (10℃)에 따른 샘플 내 미생물 생육 양상을 분석하였을 때, 패티 (비가열) 제품의 경우 저온 저장에 따라 미생물의 점진적인 증가가 확인되었으며 저장 30일차에 초기균 대비 4 log 정도의 균수 증가가 확인되었음. 패티 (가열) 제품의 경우 대조군과 초고압 처리군 간 초기 미생물 수의 유의적인 차이는 없었으나 초고압 처리군에서 저온 저장 시 일반세균의 증식 속도가 대조군 대비 느린 것을 확인하였음.
<p>3차년도 (2023)</p>	<p>소고기 유사 질감 고수분 (50% 이상) 압출성형 식물조직단백의 제조 공정 최적화 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 분리완두단백의 고수분 압출성형 조직화 기술 조건을 최적화하였음. 수분함량이 증가할수록 조직잔사지수, 씹음성, 절단강도가 증가했고, 수분흡수력은 감소하였음. 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가할수록 수분흡수력, 조직잔사지수, 씹음성, 절단강도가 증가하였음. 저수분 압출성형공정에서 분리완두단백을 이용할 때에는 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 향상된 조직감의 대체육이 제조되었음. • 분리쌀단백의 고수분 압출성형 조직화 기술 조건을 최적화하였음. 분리쌀단백이 15% 첨가된 대체육의 공정 최적화를 통해 3D 표면도를 모델링하였고, 높은 수분흡수력과, 향상된 조직감을 가지는 최적조건을 선정하였음. 고수분 압출성형공정에서 분리쌀단백을 이용할 때는 높은 수분함량과 배럴온도, 스크루 회전속도일 때 향상된 수화력을 낮은 수분함량 높은 배럴온도, 스크루 회전속도일 때 향상된 조직감을 가지는 대체육이 제조되었음. • 분리녹두단백의 고수분 압출성형 조직화 기술 조건을 최적화하였음. 녹두단백이 30% 첨가된 대체육의 공정 최적화를 통해 3D 표면도를 모델링하였고, 높은 수분흡수력과, 향상된 조직감을 가지는 최적조건을 선정하였음. 고수분 압출성형공정에서 분리녹두단백을 이용할 때는 낮은 수분함량과 높은 배

		<p>렬온도, 스크루 회전속도일 때 향상된 수화력과 조직감을 가지는 대체육이 제조되었음.</p>
	<p>고수분 (50% 이상) 조건에서의 압출성형에 의한 소고기 유사 질감의 식물 유래 단백질 제품 개발 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 수분함량 50% 이상에서 온도, 스크루 회전속도를 달리하여 얻은 고수분 대체육의 경우, 쌀단백은 20%, 녹두단백은 30%, 완두단백은 40%정도 대체하여 소고기의 조직감에 접근. • 조직감을 소고기와 비교하여 분석한 결과, 조직화지수는 소고기와 유사하였지만 조직감지수는 항목별 차이는 있었음.
	<p>초고압 및 기존 가열 처리 공정 적용에 따른 개발 품목별 품질 특성 비교 검증 및 최적화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 비가열 패티 제품에 대해 600 MPa, 2분 초고압 처리 후 미생물 저감화 정도를 확인하였으며 10℃ 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석함. 식중독균은 샘플에서 검출되지 않았으며 대장균군은 약 2.5 log 존재하였으나 초고압 처리에 따라 모두 사멸하는 것을 확인하였음. 일반세균의 경우 600 MPa 압력으로 2분간 처리하였을 때 모두 사멸되지 않았으며 약 2 log의 세균이 잔류하는 것을 확인함. 비가열 패티를 10℃ 저장 시 대조군의 경우 6일차, 초고압 처리군의 경우 18일차에 일반세균이 5 log CFU/g 이상으로 증식하는 것을 확인함. • 소고기 패티 제품에 대해 레토르트 처리 후 10℃ 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석함. 레토르트 처리 후 일반세균, 대장균, 대장균군은 샘플에서 검출되지 않았으며 저장 60일차까지 미생물 증식은 확인되지 않음.

제2공동연구기관: 강원대학교 (1)

세부과제명	신규 단백질원료 소재화 및 양산화 기술 개발	
연도	세부연구목표	연구개발수행내용
1차년도 (2021)	신규 단백질 분리·정제 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 3종의 신규 원료 (녹두, 햄프씨드, 쌀)의 pH에 따른 단백질 용해도를 측정하고 확보한 데이터를 통하여 단백질의 최적 추출 조건과 최적 침전 조건을 선정하였음. • 단백질의 추출 및 침전 조건 최적화를 통하여 녹두단백 (단백순도: 85.3%), 햄프씨드단백 (단백순도: 88.2%)과 쌀단백 (단백순도: 40.7%)의 분리·정제 기술을 개발하였음.

	<p>신규 단백질소재의 품질 지표 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 단백질소재의 일반성분, 구성 아미노산 함량 분석, In vitro 소화율 지표 분석을 통해 신규 단백질소재의 영양적 품질을 분석하였음. • 녹두단백은 60.2 mg/g의 고함량의 페닐알라닌을 함유하며 햄프씨드단백은 각각 16.4 mg/g, 10.5 mg/g에 달하는 메티오닌과 트립토판을 함유함. 쌀단백은 높은 수준의 메티오닌 구성비율(1.9%)과 트립토판 구성비율(1.2%)을 나타내었음. • 녹두단백 위·소장소화물의 건조소화율 및 단백질소화율은 대두단백 소화물의 소화율보다 낮게 측정되었음. 햄프씨드단백 위장소화물의 소화율은 대두단백 대비 더 높았으며 햄프씨드단백 소장소화물의 소화율은 대두단백 대비 더 낮았음. 쌀단백 위·소장소화물의 건조소화율은 대두단백 대비 낮게 측정되었으며 쌀단백의 위·소장소화물의 단백질소화율은 대두단백 대비 높게 측정되었음.
	<p>기존 단백질소재의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 단백질용해도 및 표면소수성 분석을 통하여 개량에 의한 단백질의 구조변화를 모니터링함으로써 최적화된 개량 방법을 개발함. • Acid shifting 개량법을 이용하여 대두단백의 유지흡수력, 유화능을 개선하였으며 완두단백의 유지흡수력, 겔 형성능을 개선하였음. 소화율 지표 분석 결과, 대두단백 및 완두단백의 소화율에 대한 유의적인 효과는 없었음. • Alkaline shifting 개량법을 이용하여 대두단백의 수분흡수력, 유지흡수력, 유화능을 개선하였으며 완두단백의 유지흡수력, 겔 형성능을 개선하였음. 또한, 대두단백의 위장에서 건물소화율과 단백질소화율을 증가시켰으며 완두단백의 위장에서 건물소화율과 단백질소화율을 증가시켰음. • pH shifting 개량법은 단백질소재의 단백질기능성과 소화율을 개선할 수 있을 것으로 예상됨.
<p>2차년도 (2022)</p>	<p>신규 단백질소재 양산화 기술 개발</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 단백질소재 (녹두단백, 햄프씨드단백)의 Pilot scale 양산화 기술 확보를 통해 산업성을 검증하였음.

		<ul style="list-style-type: none"> 단백소재의 양산화를 통해 신규 단백질소재의 제조 프로세스에 대한 물질수지 (material balance) 데이터를 확보함.
	양산된 신규 단백질소재의 품질 검증	<ul style="list-style-type: none"> 양산한 신규 단백질소재의 일반성분, 아미노산 조성 분석을 진행하였으며 lab scale 단백질과의 영양성분 비교를 통해 양산한 단백질소재의 영양학적 품질을 검증하였음. lab scale에서 생산한 단백질과의 비교를 통해 양산한 신규 단백질소재의 기능성 품질을 검증하였음. 양산단백의 소화율은 In vitro 소화율 지표분석을 통하여 검증하였음.
	신규 단백질소재의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> pH shifting 녹두단백의 기능성 분석결과, Acid shifting과 Alkaline shifting은 녹두단백의 유지흡수력을 증가시켰음. Alkaline shifting은 48%였던 녹두단백의 겔 최소 형성농도를 32%로 감소시킴으로써 녹두단백의 겔 형성능을 개선하였음. pH shifting 녹두단백의 소화율 지표분석 결과, Acid shifting은 위장소화물의 건물소화율과 단백질소화율 그리고 녹두단백 소장소화물의 단백질소화율을 유의적으로 증진시켰으며 Alkaline shifting은 위장소화물의 단백질소화율을 증진시켰음. Acid shifting과 Alkaline shifting은 햄프씨드 단백질의 수분흡수력과 유지흡수력, 유화안정성을 유의적으로 개선시켰음. 특히 Acid shifting은 햄프씨드단백의 유화 안정성을 32.4%에서 96.2%로 3배 수준으로 개선하였음. pH shifting 햄프씨드단백의 소화율 지표분석 결과, Acid shifting 및 Alkaline shifting 모두 위·소장 소화물의 건물소화율과 단백질소화율 유의적으로 증진시켰음. 단백 개량을 통하여 수분흡수력, 유지흡수력, 유화안정성 및 겔 형성능을 포함한 신규 단백질의 단백질 기능성을 개선하였으며 개량된 신규 단백질은 대체육의 조직감 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단됨.
3차년도	기존 및 신규 단백질소재	<ul style="list-style-type: none"> 개량녹두 조직화단백은 녹두 조직화단백 대

(2023)	배합을 통한 품질 개선	<p>비, 더 높은 경도 및 씹음성을 나타내었음. 특히, 대두:개량녹두 비율이 20:30인 조직화단백의 경도 및 씹음성이 가장 높았으며 20:30의 비율인 대두:녹두 조직화단백의 씹음성의 248%에 달하는 높은 씹음성을 나타내었음.</p> <ul style="list-style-type: none"> 개발한 단백질소재의 조직화단백 가공적성 (조직감) 및 영양학적 특성을 고려하여 아미노산 점수 0.9의 조직화단백 최적배합 (대두:개량녹두:글루텐:옥수수전분=20:30:40:10)을 개발하였음.
	식육대비 품질 특성 비교	<ul style="list-style-type: none"> 개발한 최적배합 조직화단백의 건물소화율 및 단백질소화율은 조리된 우둔살 대비, 유의적인 차이가 없는 유사한 수준의 소화율을 나타내었음. 이를 통해 개발한 조직화단백의 영양성을 검증하였음. 최적배합 조직화단백은 기존의 대두 조직화단백 대비, 증가된 경도, 씹음성, 조직잔사지수, 수분 및 유지흡수력을 나타내었으며 감소된 재수화율, KOH 용해도를 나타내었음. 최적배합 조직화단백은 대두 조직화단백 대비, 식육(우둔살)과 더 유사한 물성을 나타내었음. 무기질 수용액을 이용한 수화방법을 통해 수화된 조직화단백의 섬유구조 간의 결합을 형성하여 최적단백 조직화단백의 조직감, 조직화특성 등을 개선하였음.

제2공동연구기관: 강원대학교 (2)

세부과제명	소고기 부위별 특성 분석 및 대체육과의 유사성 규명	
연도	세부연구목표	연구개발수행내용
1차년도 (2021)	소고기의 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기의 조직감 및 조리 특성 규명	<ul style="list-style-type: none"> 등심은 전자레인지법과 오븐조리법이 낮은 연도를 나타내었고, 관능적으로 전자레인지, 팬그릴링, 오븐법을 선호함. 안심은 전자레인지법, 삶기법이 낮은 연도를 나타내었고, 관능적으로 팬그릴링과 오븐법을 선호함. 갈비살은 삶기법과 팬그릴링법이 낮은 연도를 나타내었고, 관능적으로 팬그릴링법을 선호함.

		<ul style="list-style-type: none"> • 우둔은 수비드법이 낮은 연도를 나타내었고, 관능적으로도 우수하게 평가됨. • 양지는 전자레인지법보다는 삶기법이 연도가 낮았으며, 관능적으로는 조리방법에 따른 차이를 보이지 않음.
	<p>조리한 소고기의 질감에 영향을 미치는 영양성분 규명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 우둔은 유의적으로 높은 수분과 조단백질, 조회분 함량을 나타내었으며, 조지방은 갈비살에서 가장 높았음. • 단맛을 나타내는 아미노산 함량은 유의적으로 안심에서 높게 나타났으며, 쓴맛을 나타내는 아미노산 함량은 갈비살에서 낮게 나타남. • 향미에 긍정적인 영향을 미치는 단가불포화 지방산 함량이 갈비살에서 유의적으로 가장 높게 나타남. • 양지는 다른 부위보다 유의적으로 높은 K과 Mg 함량을 나타내었으며, 우둔은 다른 부위보다 높은 Na, Ca 함량을 나타내었음. 또한 P은 등심과 안심에서 높게 나타났으며, Fe은 등심에서 가장 높게 나타남. • 갈비살, 우둔, 양지 부위는 등심과 안심보다 유의적으로 높은 콜라겐 함량을 나타내었음.
<p>2차년도 (2022)</p>	<p>소고기의 부위별 풍미 비교 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 조리방법에 따른 유리아미노산 중 Umami와 관련된 glutamic acid는 등심 1.63~2.29 mg/100g, 안심 3.16~4.07 mg/100g, 갈비 2.64~3.85 mg/100g, 양지 0.68~1.24 mg/100g, 우둔 2.79~8.14 mg/100g를 나타내었음. • 조리방법에 따른 지방산 조성 중 소고기의 풍미에 가장 큰 영향을 미치는 oleic acid는 등심 41.49~41.80%, 안심은 44.78~47.34%, 갈비는 48.33~49.64%, 양지는 45.28~47.88%, 우둔은 46.91~48.72%를 나타내었음. • 조리방법에 따른 핵산물질 중 감칠맛을 나타내는 IMP는 등심 136.81~167.34 mg/100g, 안심 117.28~150.23 mg/100g, 갈비 15.34~28.32 mg/100g, 양지 54.02~65.93 mg/100g, 우둔

		<p>44.39~124.94 mg/100g을 나타내었음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 휘발성 유기화합물 조성은 등심의 경우 팬 그릴링 조리방법에서 Esters가 가장 많은 비율을 나타내었으며, 전자레인지, 삶기, 찌기, 오븐 조리방법에서는 Aldehydes가 가장 많은 비율을 나타내었음. 안심의 경우 찌기 조리방법에서 Aldehydes가 가장 많았으며, 전자레인지, 삶기, 팬그릴링, 오븐 조리방법에서는 Esters가 가장 많았음. 갈비, 양지는 모든 조리방법에서 Hydrocarbons가 가장 많았음. 우둔에서는 모든 조리방법에서 Aldehydes가 가장 많았음.
	<p>소고기 유사 분쇄육의 식품 소재화를 위한 조직감 및 가공 특성 확인</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 주사전자현미경으로 촬영한 결과 유사분쇄육 콜드컷은 고기 콜드컷보다 더 크고 많은 구멍을 나타냈으며, 거친 표면과 약한 단백질 네트워크를 보였음. 이에 따라 유사분쇄육 콜드컷은 낮은 경도, 씹힘성, 응집성을 나타내었음. • 유사분쇄육 미트볼의 표면이 고기 미트볼보다 거친 모습을 보였으나 구멍 크기는 큰 차이를 보이지 않았음. • 유사분쇄육 패티는 유사분쇄육 미트볼과 유사하였음.
	<p>가공 후 소고기 유사 분쇄육의 조리 특성 및 조직감 개선 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 관능평가 결과 콜드컷은 조리특성과 상관없이 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 간의 차이가 없었음. 미트볼과 패티의 경우 조리특성과 상관없이 고기 미트볼, 패티가 유사분쇄육 미트볼, 패티보다 유의적으로 선호도가 높았음. • 조리 특성에 따른 가열감량은 콜드컷, 미트볼과 패티 모두 유사분쇄육에서 높은 가열감량을 나타내었으나, 패티 전자레인지 조리방법에서만 차이가 없었음. • pH는 콜드컷과 미트볼에서 조리특성과는 상관없이 유사분쇄육에서 높았으며, 패티의 경우는 고기 패티와 유사분쇄육 패티에서 차이가 없었음. • 육색은 유사분쇄육 콜드컷이 고기 콜드컷보다 L*값과 b*값은 높았고 a*값은 낮으며, 미트볼의 경우 조리 전 L*값은 유사분쇄육

		<p>미트볼이 높았고 a*값과 b*값은 차이가 없었으나 조리 시 L*값은 감소하였고 a*값은 증가하였음, 패티의 경우 조리 전 L*값과 a*값은 유사분쇄육 패티가 높았고 조리 시 b*값은 고기 패티에서 차이가 없었지만 유사분쇄육 패티에서 증가하였음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 콜드컷과 패티는 고기 콜드컷, 패티가 유사분쇄육 콜드컷, 패티 보다 전단력, 경도, 탄력성, 씹힘성, 검성, 응집성 모두 높았음. 미트볼의 경우 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼간의 유사한 전단력과 TPA를 나타내었으나, 조리방법에 따른 차이를 나타냄.
	<p>최적 소고기 유사 분쇄육 내 단백질과 지방의 휘발성 및 비휘발성 풍미 성분 모니터링</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 콜드컷의 경우 총 유리 아미노산의 함량은 고기 콜드컷이 많았고 단맛, 쓴맛, 신맛, 우마미 맛을 나타내는 아미노산의 총 함량은 모두 고기 콜드컷에서 많이 나타났음, 미트볼의 경우 총 유리 아미노산의 함량은 고기 미트볼이 많았고 단맛과 쓴맛을 나타내는 아미노산의 총 함량은 고기 미트볼이 신맛과 우마미 맛을 나타내는 아미노산의 총 함량은 유사분쇄육 미트볼이 많이 나타났음, 패티의 경우 총 유리 아미노산의 함량은 고기 패티가 많았으며 단맛, 쓴맛, 신맛, 우마미 맛을 나타내는 아미노산의 총 함량은 모두 고기 패티에서 많았으며 고기 패티를 팬그릴링 조리 시 그 양이 증가하였고 유사분쇄육 패티 조리 시 쓴맛을 나타내는 아미노산의 총 함량이 증가하였음. • 고기 콜드컷의 주요 지방산은 Palmitic acid (C16:0), Steraric acid (C18:0), Oleic acid (C18:1n9c), Linoleic acid (C18:2n6c)이며 유사분쇄육 콜드컷의 주요 지방산은 Palmitic acid (C16:0), Oleic acid (C18:1n9c), Linoleic acid (C18:2n6c), α-Linolenic acid+Heneicosanoic acid (C18:3n3+C21:0)으로 나타났음. 고기 미트볼의 주요 지방산 Palmitic acid (C16:0), Steraric acid (C18:0), Oleic acid (C18:1n9c)이며 유사분쇄육 미트볼의 주요 지방산은 Palmitic acid (C16:0), Oleic acid (C18:1n9c), Linoleic acid

		<p>(C18:2n6c)으로 나타났음. 고기 패티의 주요 지방산 Palmitic acid (C16:0), Steraric acid (C18:0), Oleic acid (C18:1n9c)이며 유사분쇄육 패티의 주요 지방산은 Lauric acid (C12:0), Myristic acid (C14:0), Palmitic acid (C16:0)으로 나타났음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 감칠맛을 나타내는 IMP는 콜드컷과 미트볼은 유사분쇄육 보다 고기 콜드컷과 미트볼에서 높은 함량을 나타내었으나, 패티에서는 유사분쇄육 패티에서 높은 함량을 나타내었음. • 휘발성 유기화합물 조성은 고기 콜드컷에서 Hydrocarbons이 유사분쇄육 콜드컷에서 Alcohols이 가장 많이 나타났고, 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼에서 조리 특성과 관계없이 Hydrocarbons이 가장 많이 나타났고, 고기 패티에서 Hydrocarbons가 가장 많으며 조리 시 그 양이 감소했고 유사분쇄육 패티에서 Esters가 가장 많으며 조리 시 그 양이 증가함.
	<p>최적 소고기 유사분쇄육 내 영양성분 비교 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 고기 콜드컷, 미트볼, 패티가 유사분쇄육 콜드컷, 미트볼, 패티보다 단백질 함량이 높았으며, 칼로리는 유사분쇄육 콜드컷이 가장 낮았고, 유사분쇄육 패티가 가장 높았음. • 유사분쇄육 콜드컷은 고기 콜드컷보다 나트륨과 칼슘의 함량이 높았으며, 유사분쇄육 미트볼과 패티는 고기 미트볼과 패티보다 무기질 (칼륨, 나트륨, 마그네슘, 칼슘, 인, 철)이 많았음. • 콜라겐 함량은 고기 콜드컷, 미트볼, 패티가 유사분쇄육 콜드컷, 미트볼, 패티보다 높았음. • 콜드컷의 구성아미노산은 처리군 간에 차이가 없었으며, 미트볼은 조리 시 Glutamic acid와 Tyrosine는 증가, Histidine은 감소하였으며, 패티는 조리 시 유사분쇄육 패티에서 Aspartic acid와 Proline이 감소, 고기 패티에서 Proline만 감소하였고 Histidine은 유사분쇄육 패티에서 유의적으로 낮았음.
<p>3차년도 (2023)</p>	<p>식물성 대체육의 상강도와 관능개선을 위한</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 주사전자현미경 측정 결과 개선후 식물성 미트볼과 패티는 고기 미트볼과 패티보다

	<p>식물성 지질의 소재화 및 조리 특성 규명</p>	<p>거칠고 다공성의 구조를 나타내었음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 조리방법과 상관없이 미트볼과 패티에서는 전단력, 경도, 검성, 씹힘성은 고기 미트볼보다 개선후 식물성 미트볼에서 낮았음. • 미트볼에서 가열감량과 pH는 조리 여부 및 방법과 상관없이 고기 미트볼이 개선후 식물성 미트볼보다 낮았으며, 패티에서는 전자레인지 방법을 적용하였을 때 가열감량에 차이가 없었던 반면 팬그릴링과 오븐 방법을 적용하였을 때 가열감량과 pH는 고기 패티보다 개선후 식물성 패티에서 높았음. • 육색의 경우 미트볼에서 조리 방법과 상관없이 L*값과 b*값은 고기 미트볼이 개선후 식물성 미트볼보다 높았고 전자레인지와 오븐 조리방법을 적용하였을 때 a*값은 차이가 없었으며, 패티에서는 조리 방법과 상관없이 L*값과 b*값은 고기 패티가 개선후 식물성 패티보다 높았고 전자레인지를 적용하였을 때 a*값은 차이가 없었음. • 관능평가 결과 미트볼에서 전자레인지와 오븐 방법을 적용하였을 때 연도와 다즙성은 차이가 없었고 색, 이취, 향, 맛, 종합적 기호도는 고기 미트볼이 개선후 식물성 미트볼보다 좋았다고 나타났으며, 패티에서는 전자레인지 방법을 적용하였을 때 연도와 다즙성에 차이가 없었으며, 향, 이취, 맛에서 고기 패티가 개선후 식물성 패티보다 좋다고 나타났음.
	<p>식물성 대체육 가공전 후 지질 안정성 평가</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 저장기간과 상관없이 pH는 비조리, 조리 패티 모두 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 높았음. • 저장기간과 상관없이 육색의 경우 비조리 패티에서 L*값은 소고기 패티보다 식물성 대체육 패티에서 높았고 a*값은 ascorbic acid를 첨가한 소고기 패티에서 가장 높았고, 조리 패티의 경우 저장기간이 길어짐에 따라 모든 패티의 L*값은 증가하였음. • 육즙감량의 경우 비조리 패티에서 육즙감량은 저장 1일차와 15일차에 모든 처리구에서 차이가 없었으며, 조리 패티는 저장기간이 길어짐에 따라 증가하였으며 저장 15일차에

		<p>식물성 대체육 패티보다 소고기 패티에서 더 많은 육즙감량이 나타났음.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 미생물 분석결과 비조리 패티의 총균수는 저장 1일차 때 소고기 패티보다 식물성 대체육 패티에서 많았으나, 저장기간이 지남에 따라 소고기 패티의 미생물만 증가하여 저장 15일차에 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티에서 많았고 조리 패티의 총균수는 모든 저장 일차에서 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 많았음. • 산가는 비조리 패티에서 저장 1일차에 소고기 패티보다 식물성 대체육 패티에서 높았으며 저장 기간에 따라 소고기 패티의 산가만 증가하여 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티와 소고기 패티의 산가는 차이가 없었고 조리 패티에서 ascorbic acid를 첨가한 소고기 패티는 가장 낮은 산가를 보였으나 저장 기간이 증가함에 따라 저장 20일차에 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티와 유사한 산가를 나타냈음. • TBARS 측정 결과 비조리 패티에서 ascorbic acid를 첨가한 소고기 패티는 모든 저장일차에서 식물성 대체육 패티와 유사한 수치를 나타냈으며, 조리 패티에서는 저장 기간이 길어짐에 따라 식물성 대체육 패티의 TBARS 값은 변화가 없어 저장 20일차에 소고기 패티보다 식물성 대체육 패티에서 낮은 값을 보였음.
	<p>식물성 대체육의 관능 특성 및 풍미 성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 품질특성에 대한 상관도 분석 결과 콜드컷은 b*값에서 미트볼은 a*, b*, 탄수화물, 조지방, 조지방, pH, 응집성에서 패티는 응집성, 탄성력, L*값, 조지방, pH에서 유사한 특성을 보였음. • 관능특성에 대한 상관도 분석 결과 콜드컷은 고기 콜드컷과 식물성 콜드컷은 유사한 클러스터를 형성하였고 미트볼은 고기 미트볼과 개선전 식물성 미트볼에서 유사한 클러스터를 형성하였으며 패티에서 고기 패티는 식물성 패티와 유사한 클러스터를 형성하지 않았음. • 풍미성분에 대한 상관도 분석 결과 콜드컷

		<p>은 경우 고기 콜드컷과 식물성 콜드컷은 서로 다른 클러스터를 형성하였고 미트볼의 경우 휘발성 유기화합물에서 개선 후 식물성 미트볼이 개선전 식물성 미트볼보다 고기 미트볼에 가까운 클러스터를 형성하였고 패티의 경우 휘발성 유기화합물에서 개선 후 식물성 패티가 개선전 식물성 패티보다 고기 패티에 가까운 클러스터를 형성하였음.</p>
--	--	---

제3공동연구기관: 이화여자대학교

세부과제명	3D 프린터 활용 식물성 대체육 제조 기술 연구	
연도	세부연구목표	연구개발수행내용
1차년도 (2021)	<p>신규 식물단백 원료 탐색 및 이화학적 특성 분석</p>	<ul style="list-style-type: none"> 3D 식물성 대체육을 조직화하기 위한 신규 식물단백 원료의 가공방법을 선정하기 위해 sieve를 이용하여 53 $\mu\text{m} \geq$, 53-100 μm 및 100-200 μm로 입자크기를 분리함. 입자크기별로 구분한 식물단백 원료의 이화학적 특성을 분석하기 위해 particle shape, particle size, dispersion stability 및 texture analysis를 진행함. 이화학적 특성 분석 결과, 53 $\mu\text{m} \geq$ 및 53-100 μm 크기가 100-200 μm 크기의 원료에 비해 입자의 형태가 균일하고, 분산 안정성이 높아 반죽물의 조밀도가 더 촘촘한 형태로 나타났으며, 경도가 높음을 확인함. 따라서, 신규 식물단백의 원료 가공 방법으로 53$\mu\text{m} \geq$ 및 53-100 μm의 크기로 분리하는 방법을 선정함. 녹두단백, 완두 및 파바빈단백의 이화학적 특성 분석을 통해 신규 식물단백 원료를 선정하였으며, 녹두단백에서 입자크기, 입형 모양 등의 특성이 우수하여 녹두단백 원료를 선정함.
	<p>섬유 방사 프린팅에 의한 식물 유래 단백질 지방 조직화 기술 개발 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> 식물유래 단백질·지방을 조직화하기 위한 방법으로 fiber mat를 제조하였으며, zein, gelatin 및 chitosan 원료를 선정함. Fiber mat는 45°, 60° 및 90°의 각도로 방사하였으며, 방사 각도에 따라 제조된 섬유

		<p>의 물성을 확인한 결과, 45°에서 TS 및 EAB가 17.44±1.91MPa 및 17.78±0.96%로 가장 높은 강도 및 연신율을 가지는 것으로 나타남.</p>
<p>2차년도 (2022)</p>	<p>식물조직단백·지방 소재의 3D 프린팅용 카트리지를 적합도 확인 및 소재화 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 대체 단백질은 우둔의 물성을 구현하고자 하였으며, 식물조직단백 원료는 대두를 대체하여 물성이 비슷한 완두단백과 아미노산 조성이 비슷한 녹두단백을 혼합하여 사용함. • 혼합 단백질은 점성적 및 탄성적 성질이 너무 높거나 낮은 경우, 노즐에서 토출이 어렵거나 토출 후, 지지되기 힘들기 때문에 중간값으로 원활하게 토출되는 완두:녹두=5:5 비율을 선정함. • 이후, 혼합 단백질 물성조절 방법을 확립하여 우둔의 물성을 구현하고자, 대체 단백질에 이온화 및 pH에 따른 물성을 확인함. 확인 결과, CaCl₂는 물성을 낮추고, pH는 중성을 제외한 pH 4 및 pH 10을 이용할 때, 물성을 향상시키는 결과로 나타남. • 대체 지방은 우지의 물성을 구현하고자 하였으며, 식물성 기반 지방 소재는 β-sitosterol, γ-oryzanol 및 해바라기유를 이용하여 조성에 따른 3D 프린팅능을 확인하였음. 확인 결과, phytosterol 함량이 높을수록 강한 oleogel을 형성하여 적층성이 우수함을 확인함.
	<p>반응표면분석법(RSM)을 통한 식물조직단백·지방의 제조 공정 최적화 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 식물성 대체 단백질은 확립된 혼합단백질 비율을 기반으로 단백질 함량:글루텐 비율 및 저온 저장시간에 따른 물성 최적화를 진행함. • 식물성 대체 단백질 물성 최적화 결과, 단백질 함량:글루텐=7.87:2.13, 저온저장 시간은 1.48 day로 도출됨. • RSM을 통해 도출된 값을 적용하여 식물성 대체 단백질을 제조 후, 물성을 확인한 결과, 우둔의 hardness 및 gumminess와 유의적인 차이가 없어 유사한 것으로 확인됨. • 식물성 대체 지방은 조성에 따른 3D 프린팅능을 확인 후 phytosterol concentration 및 β-sitosterol ratio에 따른 물성 최적화를

		<p>진행함.</p> <ul style="list-style-type: none"> • 식물성 대체지방 물성 최적화 결과, phytosterol concentration은 17.2121, β-sitosterol ratio는 52.7273으로 도출됨. • RSM을 통해 도출된 값을 적용하여 식물성 대체 지방을 제조 후, 물성을 확인한 결과, 우지의 hardness, cohesiveness 및 springness 모두 유의적인 차이가 없어 유사한 것으로 확인됨.
<p>3차년도 (2023)</p>	<p>3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리 가공에 따른 지질 안정성 평가 및 안전성 확보</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1, 2차년도 연구수행 결과에서 최적화된 단백질과 지방 소재를 이용하여 식물성 대체육을 제조하였으며, 전자레인지, 오븐, 후라이팬 등을 이용하여 조리 특성을 분석함. • 후라이팬 조리 (front side 3 min, back side 2 min 30 s)시, 샘플의 내·외부의 색 변화가 가장 적었음. • 이후, 지방의 위치에 따른 대체육의 특성을 분석한 결과, 지방 함량이 증가함에 따라 hardness 및 springiness는 감소하고, cohesion은 유의적 차이가 나타나지 않았음. • 3D 프린팅 기술을 이용하여 제조된 대체육의 안전성을 확보하기 위해 3D 프린팅 노즐과 카트리지 이행에 따른 물질 시험을 분석하고, 식품 카트리지, 제품 기준 및 규격 시험을 진행한 결과, 불검출 또는 기준치 이하로 적합함을 확인함.

식물조직단백 및 식물성 대체육 제품화

(주)신세계푸드
연구책임자 : 주범진

[식물조직단백 및 식물성 대체육 제품화]

(주관연구기관-㈜신세계푸드)

1) 대체육 영양강화와 품질 (풍미, 색, 식감 등) 개선 소재 발굴 및 이들의 적용 기술 개발

A. 대체육 영양 강화를 위한 대두 기반 소재 조사 및 영양성분 분석

- 영양성분 비중이 높은 포화지방과 단백질 함량 조절을 위해 대두 기반의 소재 연구를 진행하였다. 고단백 대두와 고올레산 대두유에 대해 영양성분을 분석하였으며, 이를 통해 신규 소재가 대체육 영양학적 가치를 올릴 수 있다 판단되나 아직 상용화에 어려움이 있을 것으로 예상되어 실제로 적용하지는 않았다.

(1) 신규원료로서 고단백 대두 영양성분 분석

- 신규 원료 (고단백 대두)의 조직식물단백 (textured vegetable protein, TVP) 및 분리대두단백 (Isolated soy protein, ISP), 농축대두단백 (concentrated soy protein, CSP) 적용 가능성을 확인하기 위해 일반 대두, 소고기와의 영양성분을 비교하였다 (Table 1).
- 고단백 대두는 일반 대두 보다 단백질 함량이 5.6g, 포화지방 함량이 2.6g 더 높은 것으로 확인되었으며 소고기보다 낮은 지방 및 트랜스지방, 콜레스테롤 함량을 가지는 것으로 나타났다.
- 이는 고단백 대두가 일반 대두보다 높은 포화지방을 가져 소고기와 유사성을 보임과 동시에 소고기보다 지방, 트랜스지방, 콜레스테롤 함량이 적어 영양학적 가치가 높은 신규 원료로서의 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

Table 1. Nutritional value of new protein sources

Source	Weight (g)	Nutrition value								
		Energy value (kcal)	Sugar (g)	Carbo- hydrate (g)	Protein (g)	Fat (g)	Saturat- ed fat (g)	Trans- fat (g)	Cholest- erol (mg)	Na (mg)
고단백 대두 (미국산)	100	432.00	4.80	25.30	40.40	18.80	2.60	0.01	0.00	4.10
일반 대두	100	442.00	0.00	36.90	34.50	18.20	0.00	0.00	0.00	3.00
소고기* (한우, 등심)	100	304.00	0.00	0.00	15.61	23.95	10.83	0.78	78.96	56.00

*Source : 국가표준식품성분표

(2) 품질 차별화를 위한 대체지방용 신규 지방원료 지방산 분석

- 신규 지방원료 (고올레산 대두유)의 대체지방 적용 가능성을 확인하기 위해 고올레산 대두유와 일반 대두유의 지방산 조성을 비교하였다.
- 고올레산 대두유는 일반 대두유 보다 oleic acid 함량이 높음을 확인할 수 있었으며, 소고기

중 함량이 높은 oleic acid의 Brisket Point (약 16,172mg/100g) 대비 약 4.5배 높은 함량을 가졌다.

- 이는 소고기 풍미에 관여된 oleic acid가 풍부한 고올레산 대두유를 활용한 대체지방을 통해 소고기와 유사한 풍미를 구현할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

Table 2. Comparison of fatty acid composition between alternative fat sources

Fatty acid composition (mg/100g)	고올레산 대두유	일반 대두유	고올레산-일반
Myristic Acid(C14:0)	0.044	0.1	-0.056
Pentadecanoic Acid(C15:0)	0.011	- ¹⁾	0.011
Palmitic Acid(C16:0)	7.035	11	-3.965
Palmoleic Acid(C16:1)	0.073	-	0.073
Heptadecanoic Acid(C17:0)	0.078	-	0.078
cis-10-Heptadecanoic Acid(C17:1)	0.083	-	0.083
Stearic Acid(C18:0)	3.789	4	-0.211
Elaidic Acid(C18:1n9t)	0.039	-	0.039
Oleic Acid(C18:1n9c)	74.462	23.4	51.062
Linoleaidic Acid(C18:2n6t)	0.316	-	0.316
Linoleic Acid(C18:2n6c)	8.376	53.2	-44.824
Arachidic Acid(C20:0)	0.394	-	0.394
γ-Linolenic Acid(C18:3n6)	0.306	-	0.306
cis-11-Eicosenoic Acid(C20:1)	0.746	-	0.746
Linolenic Acid(C18:3n3)	1.127	7.8	-6.673
Heneicosanoic Acid(C21:0)	0.057	-	0.057
cis-11,14-Eicosadienoic Acid(C20:2)	0.034	-	0.034
Behenic Acid(C22:0)	0.425	-	0.425
Arachidonic Acid(C20:4n6)	0.049	0.3	-0.251
Lignoceric Acid(C24:0)	0.191	-	0.191
Cholesterol	-	-	-
saturated fatty acids	12	15.6	-3.6
Trans fat	0.35	-	-

¹⁾ not detected

B. 대체육 품질 (색, 식감, 풍미 등) 개선 소재 적용에 따른 식물성 분쇄육 제품 품질 검증

- 분쇄형 식물성 대체육을 개발하기 위해 품질 (색, 식감, 풍미 등) 개선 소재 탐색 및 적용을 통해 적합성을 확인해보았다.

구분	단백소재	베이스조직	대체지방	육색
개요	<ul style="list-style-type: none"> • 텍스처 형성의 기초 • 건식·습식 조직단백 	<ul style="list-style-type: none"> • 단백질 간의 결합 역할 • 메틸셀룰로스, 전분 	<ul style="list-style-type: none"> • 고기 다즙성, 풍미 재현 • 식물성 유지 및 유 	<ul style="list-style-type: none"> • 천연 색소 및 추출물

		등	화공정	
연구 내용	<ul style="list-style-type: none"> 단백소재별 조직감 연구 (대두, 쌀, 감자, 완두) 업체별 TVP 특성 비교 	<ul style="list-style-type: none"> MC에 따른 패티 품질 비교 MC 함량에 따른 물성 변화 	<ul style="list-style-type: none"> 오일별 열적 특성 확인 (야자유, 야자경화유) 	<ul style="list-style-type: none"> 내열성 색소 종류·함량 연구 (홍국색소, 치자적색소)

(1) 연구수행 방법

가. 단백질소재별 조직감 연구

가) 실험재료

- 실험에 사용된 단백질소재 (대두, 쌀, 감자, 완두)는 업체를 통해 구입하였으며, 그 외 정제수, 다당류, 식물성 유지, 조미소재 등과 혼합한 후 조직을 형성하여 실험에 이용하였다.

나) 실험방법

- 단백소재별 조직감 차이를 구분하기 위해 4.4% 수준으로 단백질소재를 첨가하고 그 외 원재료는 가열 후 조직을 형성할 수 있는 수준으로 구성하여 배합하였다 (Table 3). 배합물은 진공 충전하여 80℃ 항온수조에서 1시간 20분간 가열 후 냉각, 성형하여 물성을 측정하였다.

Table 3. Formulation of Plant based protein formation.

Ingredient (%)	A	B	C	D
정제수	80	80	80	80
다당류	7.6	7.6	7.6	7.6
식물성 유지	4.7	4.7	4.7	4.7
조미소재	3.3	3.3	3.3	3.3
대두단백	4.4	-	-	-
쌀단백	-	4.4	-	-
감자단백	-	-	4.4	-
완두단백	-	-	-	4.4
Total	100	100	100	100

A, Plant based protein formation with soy protein; B, Plant based protein formation with rice protein; C, Plant based protein formation with potato protein; D, Plant based protein formation with pea protein

다) 식물성 페퍼로니 제조방법

- 단백소재별 조직감 특성이 대체육 제조에 어떠한 영향을 주는지 알기 위해 각 단백질소재를 1% 수준으로 식물성 페퍼로니 배합물에 첨가하였으며 (Table 4), 각 소재별 배합물을 직경 450mm, 길이 20cm의 플라스틱 케이싱에 충전하여 80℃ 항온수조에서 40분간 가열 후 유수 냉각하여 냉장보관 하였다.

Table 4. Formulation of plant based pepperoni

Ingredient (%)	A	B	C
식물성 쿡페퍼로니 배합물	99.0	99.0	99.0
쌀단백	1.0	-	-
녹두단백	-	1.0	-
대두단백	-	-	1.0
Total	100	100	100

A, Plant based pepperoni with 1% rice protein; B, Plant based pepperoni with 1% mung bean protein; C, Plant based pepperoni with 1% concentrated soy protein.

라) 조리방법

- 일반 가정용 후라이팬을 이용하였으며, 식물성 페퍼로니를 2mm 두께로 슬라이스 후 예열한 팬에 10초간 가열하였다.

마) 관능평가

- 가열 조리된 단백질소재별 식물성 페퍼로니의 관능평가를 실시하여 육안 및 조직감 테스트(탄력성, 응집성, 씹힘성, 경도)를 진행하였다.

나. 조직단백 특성 확인 및 그에 따른 활용 가능성 검토

가) 실험재료

- 특성 검토에 사용된 TVP는 업체를 통해 구입하였으며 국가별 (중국, 프랑스, 브라질, 러시아), 형태별 (후레이크, 그레놀, 청크)로 구입한 TVP를 특성 비교에 이용하였다.

나) 실험방법

- 약 20℃의 정제수를 이용하여 TVP를 수화하였으며, 1시간가량 수화 후 탈수 진행하였다.
- 수화 및 탈수된 TVP의 관능평가를 실시하여 이취, 씹힘성, 조직감 등을 테스트하였다.

다. Methyl Cellulose (MC) 첨가량에 따른 물성 변화 비교

가) 실험재료

- MC는 업체를 통해 구입하여 이용하였으며, MC 첨가량에 따른 물성 변화 비교를 위해 (주)신세계푸드 식물성 패티 배합 (소고기패티 프리믹스 + 정제염 + TVP)에 MC 함량을 증가시켜가며 실험에 이용하였다.

나) 제조방법

- MC 함량별 식물성 패티의 물성 변화를 비교하기 위해 동일한 식물성 패티 배합물에 MC 함량을 1.8%, 2.5%, 3.0%, 4.0%로 증가시켜 패티를 제조하였다 (Table 5).
- 소고기패티 프리믹스 및 MC의 혼합에는 가정용 핸드믹서를 이용하였으며, 배합물 성형 후 -40℃ 이하의 온도에서 급속 냉동하여 냉동고에 보관하였다.

Table 5. Formulation of plant based patty by MC content

Ingredient (%)	Sample			
	A	B	C	D
식물성 패티 배합물	98.2	97.5	97.0	96.0
MC	1.8	2.5	3.0	4.0
Total	100	100	100	100

다) 조리방법

- 일반 가정용 후라이팬을 이용하여 일정량 식용유 투입하여 1분간 예열한 후 냉동패티를 앞면 2분, 뒷면 1분 30초간 가했다. (심부온도 약 75℃)

라) 관능평가

- 커드 유화물은 자체적 육안테스트 및 관능테스트 실시하여 MC 함량에 따른 식물성 패티의 물성 변화를 조리전후를 비교하였다.

라. 육류 지방 대체물 제조 및 오일 종류에 따른 열적 특성 확인

가) 실험재료

- 실험에 사용된 야자유와 야자경화유는 업체를 통해 구입하였으며, 오일 종류에 따른 열적 특성 확인을 위해 각 야자유와 야자경화유를 Table 6의 배합비로 육류 지방 대체물을 제조하였다.

Table 6. Formulation of fat analogue by oil type

Ingredient (%)	Sample	
	A	B
야자유	69	-
야자경화유	-	69
정제수	25	25
녹말	5	5
유화제	1	1
Total	100	100

나) 제조방법

- 야자유 및 야자경화유 이용 육류 지방 대체물은 약 3:1의 비율로 혼합된 기름 및 물에 유화제를 첨가한 후 균질화 과정을 거쳐 제조하여 냉동 보관하였다.

다) 녹는점 비교

- 열적 특성을 확인하기 위해서 냉동 상태로 보관된 육류 지방 대체물을 test tube에 동일한 분량 투입 후 초기 온도가 15℃인 향온수조기에 넣어 50℃까지 온도를 올리면서 녹는점을 비교하였다.

마. 내열성 색소의 종류 및 함량에 따른 색 변화 검토

가) 실험재료

- 실험에 사용된 홍국색소 및 치자적색소는 업체를 통해 구입하였으며, 색소 종류 및 함량에 따른 색 변화를 검토하기 위해 Table 7의 배합비로 식물성 패티를 제조하였다.

Table 7. Formulation of plant based patty by pigment type and content

Ingredient (%)	Sample					
	A	B	C	D	E	F
식물성 패티 배합물	100	99.8	99.8	99.8	99.8	99
홍국색소	-	0.1	0.2	-	0.15	0.05
치자적색소	-	0.1	-	0.2	0.05	0.15
Total	100	100	100	100	100	100

나) 제조방법

- 홍국색소 및 치자적색소가 첨가된 식물성 패티 배합물을 레토르트용 알루미늄 재질의 내열성 파우치에 밀봉 후 내열성 홀씨의 살균 조건인 116°C, 1.5kgf/cm²의 조건에서 20분간 가열살균 실시하였다.

다) 내열성 색소의 색상 비교

- 홍국색소 및 치자적색소가 첨가된 식물성 패티 배합물을 가열 전, 상태에서 색소가 배합물에 미치는 효과를 관찰하였으며, 가열 후, 고온·고압 조건이 색소에 미치는 영향을 비교하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 단백질별 조직감 연구

- 단백질별 겔 형성물의 결과는 Figure 1과 Table 8에 나타내었다.
- 대두단백은 경도가 가장 낮고 탄력성은 가장 높은 값을 보여 가장 유연한 물성으로 확인된다.
- 쌀단백은 경도가 가장 높고 탄력성과 응집성은 가장 낮은 값으로 다른 원료에 비해 힘을 가했을 때 회복력이 부족한 것으로 판단된다.
- 감자단백은 황색에 가까운 색상을 보이며 완두단백은 분말에 단백질 특유의 이취가 있어 활용 시, 이 점에 대한 보완이 필요할 것으로 보인다.

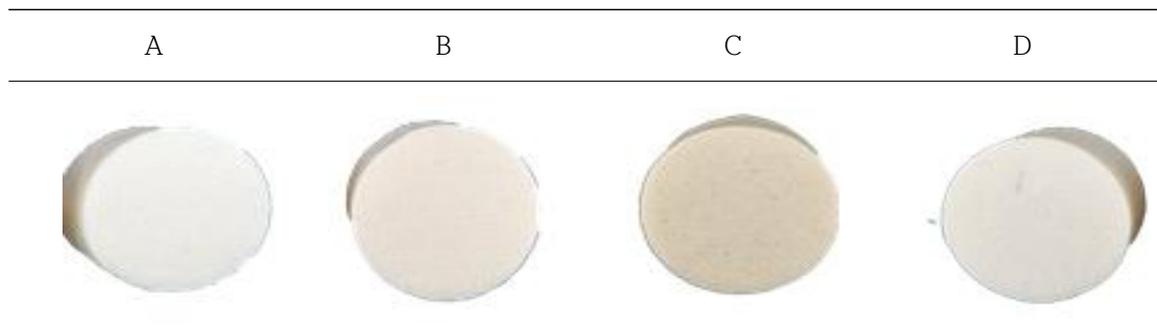


Figure 1. Cross section of plant based protein formation. (A) Soy (B) Rice (C) Potato (D) Pea

Table 8. Texture profile analysis of plant based protein formation with different protein material.

구분	Hardness (N)	Adhesiveness (J/m ²)	Cohesiveness	Springness	Chewiness	Resilience
A	23.42±3.14	7852.7±1911.23	0.52±0.01	0.94±0.03	11.54±1.08	0.18±0.01
B	37.18±0.48	9315.87±2128.44	0.49±0.02	0.91±0.01	16.51±0.98	0.19±0.01
C	33.23±0.95	8954.06±2825.59	0.51±0.04	0.92±0.01	15.73±1.69	0.19±0.02
D	30.41±1.93	7464.37±640.83	0.55±0.02	0.93±0.01	15.54±1.55	0.2±0.01

A, Plant based protein formation with soy protein; B, Plant based protein formation with rice protein; C, Plant based protein formation with potato protein; D, Plant based protein formation with pea protein

- 이를 바탕으로 단백질별 식물성 페퍼로니 조직감을 비교한 결과는 Figure 2와 Table 9에 나타내었다.
- 가열 후 식물성 페퍼로니의 탄력성, 응집성, 씹힘성은 쌀단백 첨가 식물성 페퍼로니가 가장 우수하였다.
- 경도는 세 가지 원료 모두 비슷한 경향을 보였으나 농축대두단백이 경도 부분에서 높은 경향을 보였다.
- 이와 같은 결과는 위의 단백질별 조직감 테스트와 다른 결과를 나타내고 있다. 이는 단백소를 적용하는 제품별 원료 및 함량에 따라 다르므로 이를 고려하여 다양한 단백질 적용 테스트가 필요할 것으로 보인다.

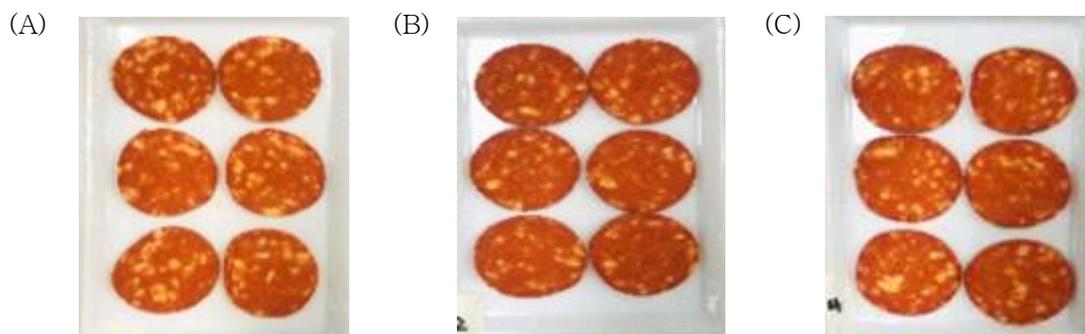


Figure 2. Representative image of plant based pepperoni with various protein ingredients. A, Plant based pepperoni with 1% rice protein; B, Plant based pepperoni with 1% mung bean protein; C, Plant based pepperoni with 1% concentrated soy protein.

Table 9. Comparison of texture for plant based pepperoni by various protein ingredients

Cohesiveness	Springiness	Chewiness	Hardness
(A) 쌀단백	(A) 쌀단백	(A) 쌀단백	(C) 대두단백

A, Plant based pepperoni with 1% rice protein; B, Plant based pepperoni with 1% mung bean protein; C, Plant based pepperoni with 1% concentrated soy protein

나. 조직단백 특성 확인 및 그에 따른 활용 가능성 검토

- 국가별 및 형태별 TVP의 관능적 특성을 비교한 결과 G 제품의 관능적 특성 (이취, 씹힘성, 조직감 등)이 향후 연구 개발하고자 하는 대체육 구사 목표치에 유사하다고 판단하였다 (Figure 3).
- 그러나 TVP의 형태에 국한되지 않고 다양한 가공공정 (분쇄, 염지공정 등)을 통해 대체육 제품에 적용이 가능할 것으로 판단한다.

구분	A	B	C	D	E	F	G	H
원산지	중국	중국	중국	중국	중국	프랑스	브라질	러시아
형태	후라이크	후라이크	그라늘	형크	형크	후라이크	그라늘	그라늘
수취 전								
수취 후								

Figure 3. Comparison of sensory properties of various TVP

다. Methyl Cellulose (MC) 첨가량에 따른 물성 변화 비교

- MC 함량별 식물성 패티의 조리전/조리후 물성변화를 비교한 결과는 Figure 4에 나타내었다.
- 조리전 식물성 패티는 MC 함량이 증가할수록 패티 배합물의 점성, 응집성, 탄력성 등 전반적인 물성 관련 요소들의 강도가 높아지는 경향을 보였다.
- 조리후 식물성 패티는 MC 함량 1.8%와 2.5% 수준에서는 큰 차이를 보이지 않았지만, MC 함량을 3% 이상의 수준으로 첨가한 패티에서는 함량이 올라갈수록 경도, 탄력성, 씹힘성 등의 물성 관련 요소들의 강도가 뚜렷하게 증가함을 확인할 수 있었다.
- 하지만, 국내 식품의약품안전처 고시 MC 첨가 기준인 2% 이내에서의 첨가량에서 실제 소고기 패티와 유사한 식감을 구현하기 위해서는 MC 이외의 식감 구현 소재 및 첨가물의 활용 패티 배합비 개발 또는 MC 첨가 기준 개정을 위한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

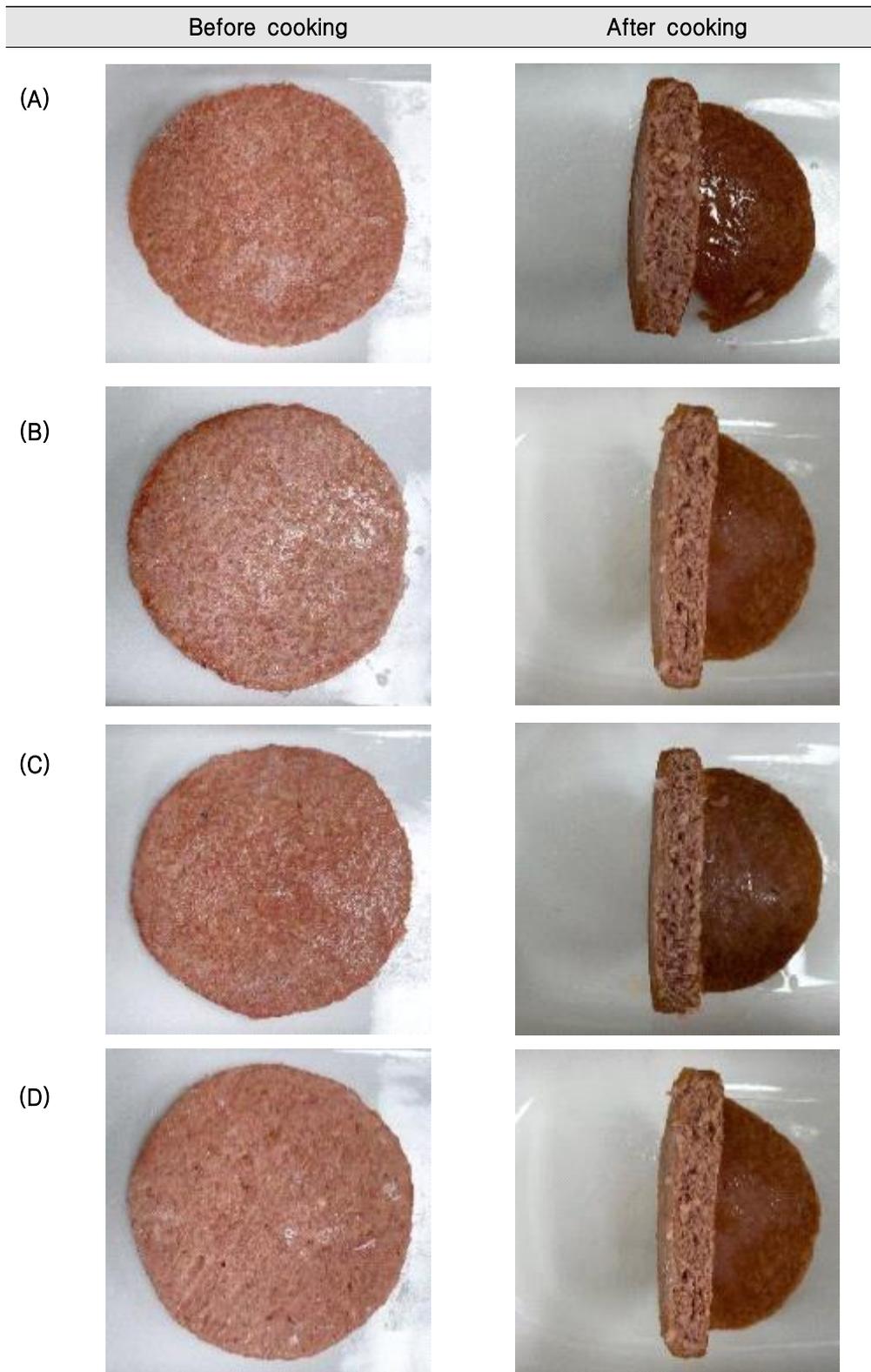


Figure 4. Comparison of plant based patty texture by MC content
 A, plant based patty mix + 1.8% MC; B, plant based patty mix + 2.5% MC;
 C, plant based patty mix + 3.0% MC; D, plant based patty mix + 4.0% MC

라. 육류 지방 대체물 제조 및 오일 종류에 따른 열적 특성 확인

- 야자유와 야자경화유의 녹는점을 비교한 결과, 야자유는 28℃에서 액체로 상전이가 일어났고, 야자경화유는 35℃에서 액체로 상전이가 일어나 야자경화유가 녹는점이 더 높음을 확인할 수 있었다.

- 다음과 같은 결과를 토대로 오일 종류별 대체지방의 특성을 고려하여 대체육 제품별 대체지방의 적절한 사용 및 이를 위한 지속적인 테스트가 필요할 것으로 사료된다.

마. 내열성 색소의 종류 및 함량에 따른 색 변화 검토

- 가열전/가열후 내열성 색소의 종류 및 함량에 따른 식물성 패티의 색상 변화는 Figure 5과 Figure 6에 나타내었다.
- 가열 전후 내열성 색소의 색 변화를 비교한 결과, 치자적색소를 0.2% 수준으로 단일 사용한 식물성 패티에서 색변화가 가장 적음을 확인할 수 있었다.
- 홍국색소가 들어간 식물성 패티의 경우 착색된 홍국색소가 가열 과정을 거치며 변색되어 색 변화가 뚜렷하게 나타났다.

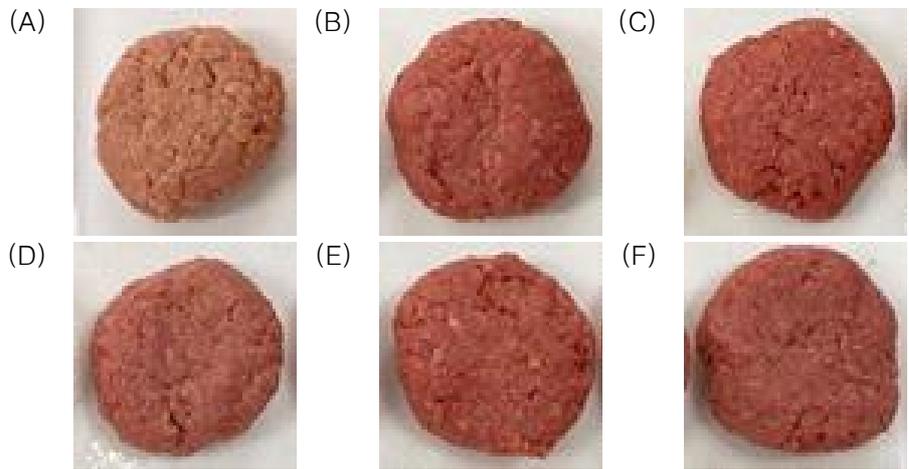


Figure 5. Comparison of color plant based patties before heating by pigment type and content. A, Standard; B, 홍국색소 0.1% + 치자적색소 0.1%; C, 홍국색소 0.2%; D, 치자적색소 0.2%; E, 홍국색소 0.15% + 치자적색소 0.05%; F, 홍국색소 0.05% + 치자적색소 0.15%.

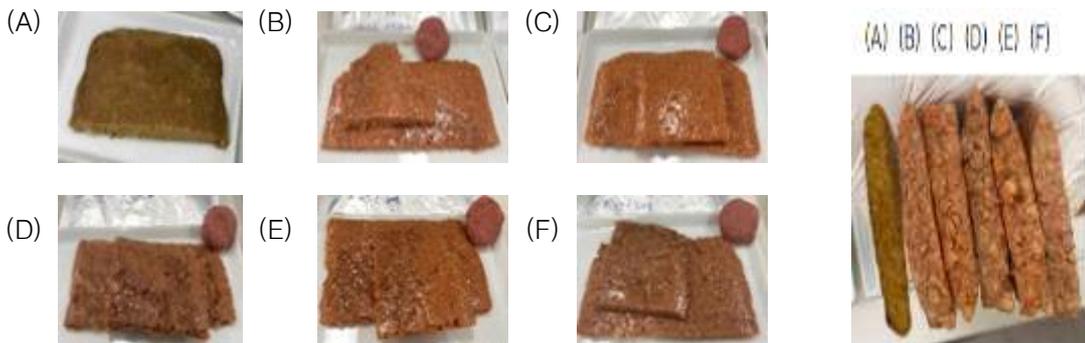


Figure 6. Comparison of color plant based patties before heating by pigment type and content. A, Standard; B, 홍국색소 0.1% + 치자적색소 0.1%; C, 홍국색소 0.2%; D, 치자적색소 0.2%; E, 홍국색소 0.15% + 치자적색소 0.05%; F, 홍국색소 0.05% + 치자적색소 0.15%.

2) 소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 양산화 기술 및 제품화

(1) 연구수행 방법

가. 기존 단백질(대두+완두) 활용 식물조직단백소재 비교

가) 실험재료

- 실험에 사용된 식물조직단백소재는 공주대학교 압출성형결과물을 사용하였다.

나) 실험방법

- 분리대두단백과 분리완두단백을 비율별로 혼합하여 사출, 건조를 진행한 압출성형물(식물조직단백)에 질량 5배수의 물(온도 25℃)을 가수하여 수화 완료 시간을 비교 확인하였다.
- 조직감 확인은 수화 후 탈수 진행 없이, 물리적 관능으로 진행하였다.

Table 10. Comparison of Isolated pea protein contents.

Ingredient (%)	Sample	
	A	B
IPP	20	30
ISP	30	20
밀글루텐	40	40
옥수수전분	10	10
Total	100	100

* IPP(Isolated pea protein), ISP(Isolated soy protein)

나. 신규 단백질(대두+녹두) 활용 식물조직단백소재 비교

가) 실험재료

- 실험에 사용된 식물조직단백소재는 공주대학교 압출성형결과물을 사용하였다.

나) 실험방법

- 분리대두단백과 분리녹두단백을 비율별로 혼합하여 사출, 건조를 진행한 압출성형물(식물조직단백)에 질량 5배수의 물(온도 25℃)을 가수하여 수화 완료 시간을 비교 확인하였다.
- 조직감 확인은 수화 후 탈수 진행 없이, 물리적 관능으로 진행하였다.

Table 11. Comparison of Isolated mungbean protein contents.

Ingredient (%)	Sample				
	A	B	C	D	E
IMBP	10	20	30	40	50
ISP	40	30	20	10	0
밀글루텐	40	40	40	40	40
옥수수전분	10	10	10	10	10
Total	100	100	100	100	100

* IMBP(Isolated mungbean protein), ISP(Isolated soy protein)

다. 식물조직단백소재를 이용하여 제조한 식물성 소고기(원물형, 분쇄형) 육포

- 식물조직단백소재를 이용하여 비분쇄형 식물성 소고기 제품 개발이 가능한지 검토하기 위해 식물성 육포 개발을 진행하였다.

가) 실험재료

- 실험에 사용된 식물조직단백소재는 외부 업체를 통하여 구입하였으며, 소고기 질감의 육포를 구현하기 위해 색소, 설탕, 조미 소재 등을 사용하였다.
- 신세계푸드 식물성 분쇄육 제품인 소고기 패티를 사용하였다.

나) 실험방법

- 소고기 육포의 질감을 표현하기 위해 분리대두단백 기반의 식물조직단백소재를 수화하고 건조하여 사용하였다.
- 대조군으로 사용한 신세계푸드 식물성 분쇄육 제품인 소고기 패티 또한 건조하여 사용하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 기존 단백질(대두+완두) 활용 식물조직단백소재 비교

- 기존 단백질 활용 식물조직단백소재 비교 내용은 Figure 7에 나타내었다.
- 물리적 관능으로 수화가 완료되었다고 판단한 시간을 비교했을 때, 샘플 A는 1시간, 샘플 B는 2시간이 걸렸다.
- 샘플 A, B의 조직감은 식물성 제품의 소재로 사용하기에 두 샘플 모두 양호하였다. (Figure 7)
- 식물성 제품의 소재로 사용하기 위해서 샘플 A, B 모두 수화 시간을 단축시키기 위한 개선이 필요할 것으로 사료되며, 식물조직단백소재 A, B를 제품에 적용시 씹힘성, 풍미의 조화 등을 함께 확인해볼 필요가 있다.

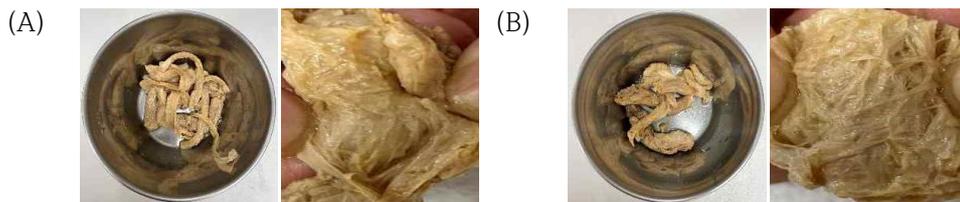


Figure 7. Comparison of texture by isolated pea protein contents.
A, 분리완두단백 20%; B, 분리완두단백 30%

나. 신규 단백질(대두+녹두) 활용 식물조직단백소재 비교

- 신규 단백질 활용 식물조직단백소재 비교 내용은 Figure 8과 Figure 9에 나타내었다.
- 신규 단백질 활용 식물조직단백소재의 수화시간을 비교한 결과 분리녹두단백의 함량에 따른 수화 시간에 차이가 있었으며, E>D>C>B>A 순으로 수화 시간이 짧음을 확인할 수 있었다. (Figure 8)
- 탄력과 조직감은 A>B>C>D>E 순으로 좋은 결과를 보여주었다. (Figure 9)
- 분리녹두단백의 함량이 많아질수록 수화시간은 짧아지나, 조직감의 물러짐이 확인되었으며, 이 중, 제품 상용화를 위한 최적의 조건으로 분리녹두단백 20% 함유한 식물조직단백이 유리한 특성을 나타내었다.
- 식물성 육제품에 도입 시 제품의 형태와 물성에 맞는 식물조직단백소재의 선정이 필요할 것으로 사료되며, 식물조직단백소재의 개선을 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

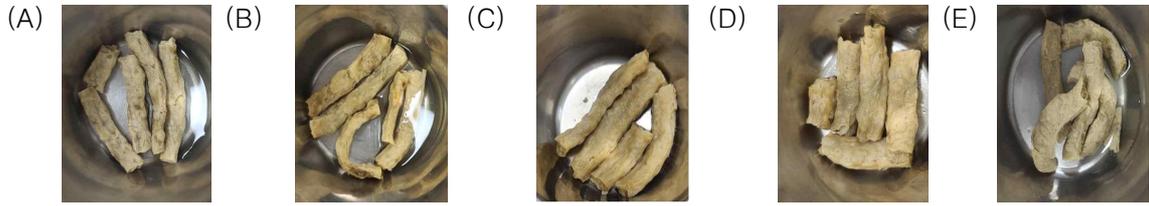


Figure 8. Comparison of hydrated time by Isolated mungbean protein contents.

A, 분리녹두단백 10%; B, 분리녹두단백 20%; C, 분리녹두단백 30%; D, 분리녹두단백 40%; E, 분리녹두단백 50%



Figure 9. Comparison of texture change by Isolated mungbean protein contents.

A, 분리녹두단백 10%; B, 분리녹두단백 20%; C, 분리녹두단백 30%; D, 분리녹두단백 40%; E, 분리녹두단백 50%

다. 식물조직단백소재를 이용하여 제조한 식물성 소고기 (원물형, 분쇄형) 육포

- 식물단백소재를 이용한 식물성 소고기 육포 (원물)의 제조 과정을 Figure 10에 식물성 소고기 육포(분쇄형)의 제조 과정을 Figure 11에 나타내었다.
- 식물조직단백소재를 활용하여 만든 원물형 소고기 육포는 실제 소고기 육포 (항진축산, 소고기육포)와 비교하였을 때, 외관상 차이가 크지 않았으며, 식물조직단백소재 특유의 질감으로 식감면에서도 큰 차이를 보이지 않았다.
- 신세계푸드 식물성 분쇄육 제품인 소고기 패티를 이용한 분쇄형 소고기 육포는 실제 분쇄형 소고기 육포 (비첸향푸드, 미니이지비프)와 외관상 큰 차이를 보이지 않았다.
- 위와 같은 결과는 식물조직단백소재를 활용하여 식물성 육포 개발이 가능함을 확인하였으며, 현 데이터를 통해 다양한 비분쇄형 식물성 소고기 제품에 활용될 수 있을거라 사료된다.
- 그러나 식물성 소고기 육포 (원물, 분쇄형)와 실제 소고기 육포의 풍미 차이가 있으며, 식물성 소고기 특유의 콩취가 강하게 느껴진다. 제품에서 느껴지는 이미, 이취의 제거 혹은 masking 능력이 강하게 요구될 것으로 보인다. 미생물에 대한 안전성 확보 등의 문제도 추가적인 검토가 필요하다.

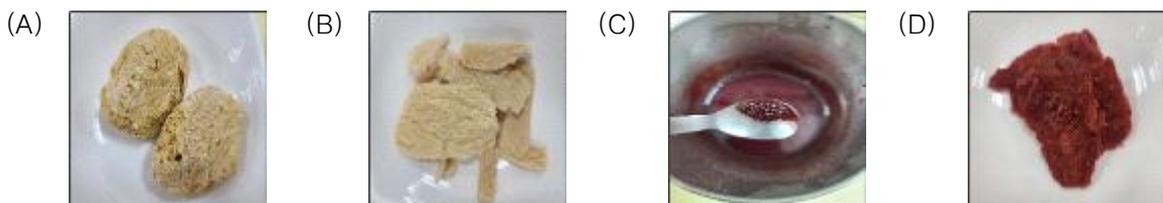


Figure 10. Manufacturing process of plant based jerky(original).

A, 식물조직단백소재; B, 식물조직단백소재 수화; C, 양념 배합; D, 양념 버무린 후 건조

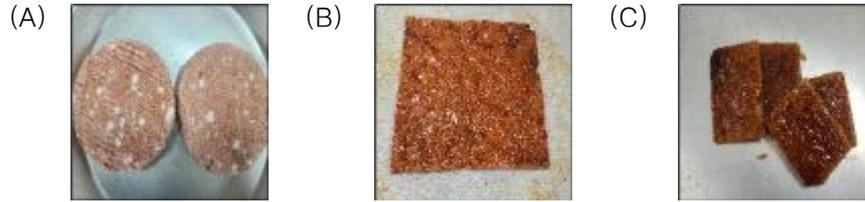


Figure 11. Manufacturing process of plant based jerky(ground).
A, 신세계푸드 식물성 소고기 패티; B, 오븐 1차 가열; C, 건조

(3) 소고기 질감 유사 식물조직단백 제품화

가. 최적 배합비 및 가공 조건 설정

- 자사는 이축 압출성형기를 투자하여 소고기 질감과 유사한 식물조직단백 제조 및 제품화하였다.
- 공주대에서 제공받은 조직단백 샘플 (대두+완두, 대두+녹두)을 토대로 수화시간 및 조직감을 비교하였으며, 자사 설비를 이용하여 제조했을 경우 가공 적합성, 수화시간 등을 고려하여 원료의 함량을 결정하였다.
- 제품화 진행을 위한 설정 원료비율은 아래와 같다 (Table 12 , Table 13).

Table 12. Formulation of Textured Vegetable Protein (Soy + Pea)

Ingredient	Formulation (%)
원료 A (대두, 완두단백)	60 미만
원료 B (기타 원료)	20 미만
원료 C (정제수)	20 미만
total	100

Table 13. Formulation of Textured Vegetable Protein (Soy + Mungbean)

Ingredient	Formulation (%)
원료 A (대두, 녹두 단백질)	60 미만
원료 B (기타 원료)	20 미만
원료 C (정제수)	20 미만
total	100

- 설정한 원료를 적용하여 압출성형기로 조직화 과정을 진행하였다.

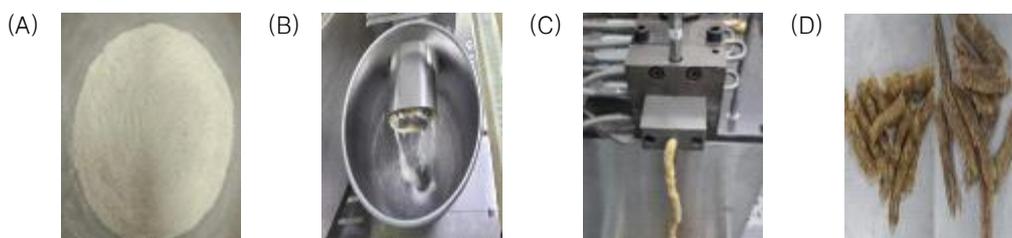


Figure 12. Manufacturing process of Textured Vegetable Protein
A, 원료 혼합 ; B, 원료 투입 ; C, 조직화 진행 ; D, 커팅 및 건조

나. 기존 소고기와 비교 분석 통한 품질 검증

- 소고기 유사 조직을 구현하기에 충분한지 검증하기 위해 압출성형을 통해 조직화가 완료된 샘플 A (대두+완두), 샘플 B (대두+녹두)에 후단 가공 처리하여 분쇄타입으로 진행하였다.
- 분쇄된 샘플 A, B를 각각 수화하여 식감, 외관, 색상 등의 관능적 품질을 확인하였다.
- 그 결과, 시판 제품과 수화력에 크게 차이가 없어 기존 식물성 대체육 제품에 조직단백을 대체하여 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

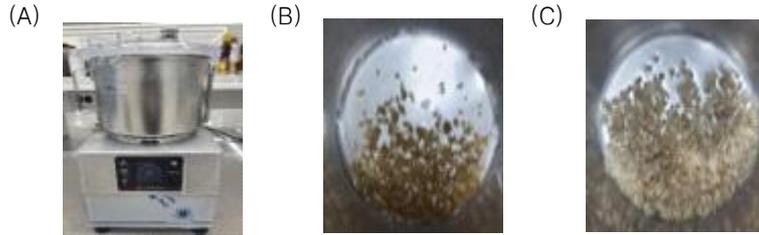


Figure 13 . Grinding and hydration process of Textured Vegetable Protein

A, 샘플 분쇄 ; B, 수화 전 ; C, 수화 후

3) 개발된 식물조직단백, 품질(풍미, 색, 식감 등) 개선 소재 적용한 식물성 분쇄육가공품 개발

- 신규 품질 개선소재를 적용 등 사전 연구를 통해 제품별 최적 배합비 및 공정을 설정하였다. 개발한 제품은 강원대학교에 품질 특성 및 소비자 관능평가를 진행하여 개선 방향성을 검토해나갔다.

A. 식물성 콜드컷 쉐켄 사전 연구 및 최적 배합비 설정

(1) 연구수행 방법

가. 전분 소재별 호화물성 연구

- 콜드컷의 물성에 영향을 미치는 전분에 대한 호화물성 사전 연구를 진행하였다.

가) 실험재료

- 실험에 사용된 전분 소재는 업체를 통해 구입하였으며, 전분 소재별 호화물성을 검토하기 위해 Table 14의 배합비로 전분 겔을 제조하였다.

Table 14. Formulation of gel by starch type

Ingredient (%)	Sample			
	T1	T2	T3	T4
A	16.7	-	-	-
B	-	16.7	-	-
C	-	-	16.7	-
D	-	-	-	16.7
정제수	83.3	83.3	83.3	83.3
Total	100	100	100	100

A, 타피오카 변성전분; B, 타피오카 변성전분+덱스트린 혼합 조제품; C, 타피오카전분+구아검+덱스트린 혼합 조제품; D, 타피오카 변성전분+활성글루텐+덱스트린 혼합 조제품

나) 실험방법

- 전분 소재와 정제수의 혼합 비율은 사전 예비 테스트를 통해 전분의 호화물성을 비교할 수 있는 최적 비율을 선정하였다.
- 전분 소재와 정제수 혼합물은 원형 틀 (직경 50mm)에서 전자레인지(1000w)를 이용 1분간 열처리 통해 호화 겔을 제조하였으며, 제조한 전분 소재별 호화 겔은 형태 및 물성을 비교하였다.

나. 배합 온도별 Gel 배합물 이수율 비교 연구

- 콜드컷의 탄력성 있는 식감을 얻기 위해서는 콜드컷의 기반이 되는 Gel 배합물의 이수율이 중요하다.

가) 실험재료

- 실험에 사용된 원료는 업체를 통해 구입하였으며, 최종 배합온도가 이수율에 미치는 영향을 파악하기 위해 온도별로 배합물을 제조하여 실험하였다.
- Gel 배합물은 Table 15의 배합비로 제조하였다.

Table 15. Formulation of gel compounds

Ingredient	Formulation (%)
다당류	1.58
해조류	1.00
염화칼륨	0.28
정제수	97.14
Total	100

나) 실험방법

- Gel 배합물은 원료의 투입순서와 관계없이 동시에 투입하였고 고속커터믹서를 이용하여 배합하였으며 7.6℃, 11℃, 15℃, 20℃, 25℃의 최종온도에 맞춰 제조하였다 (Table 16).
- 각 온도에 맞춘 Gel 배합물은 폴리에틸렌 재질의 파우치에 진공 포장하여 80℃의 조건에서 2시간 20분간 가열살균 한 후 냉각 24시간 진행하였다.

Table 16. Temperature of gel emulsion

	Sample				
	A	B	C	D	E
Temperature (°C)	7.6	11	15	20	25

다) 이수율 테스트

- 이수율 측정은 다음의 공식을 이용하였다. Gel 배합물의 이수량은 시료 무게를 측정함

후, 파우치를 개봉하여 표면에 있는 모든 수분을 제거한 Gel 배합물과 파우치의 무게를 차감한 값이다.

$$\frac{A-B-C}{A} \times 100\% = \text{이수율}(\%)$$

(A): 냉각 후 시료 무게 (g)

(B): 파우치 개봉 후, 표면에 있는 수분을 제거한 Gel 배합물 무게(g)

(C): 수분을 제거한 파우치 무게(g)

(A)-(B)-(C): 이수량



Figure 14. Measurement method for the water loss of gel compounds.
A, 냉각후 시료; B, 파우치 개봉 후 표면에 있는 수분을 제거한 Gel 배합물;
C, 수분을 제거한 파우치

(2) 연구수행 결과

가. 전분 소재별 호화물성 연구

- 전분 소재별 호화 겔의 형태 및 물성은 Figure 15과 Figure 16에 나타내었다.
- 전분 소재별 호화 겔의 형태 및 물성을 비교한 결과 겔의 탄력은 A>B>C>D 순으로 높음을 확인할 수 있었다.
- 반면, 겔의 강도는 D>C>B>A로 반대의 경향을 보이는 것을 확인할 수 있었다.
- 각 전분 소재별 호화 겔의 물성 파악을 통해 식물성 분쇄육 제품에 도입 시 제품의 형태와 물성에 맞는 소재 선정이 필요할 것으로 사료된다.

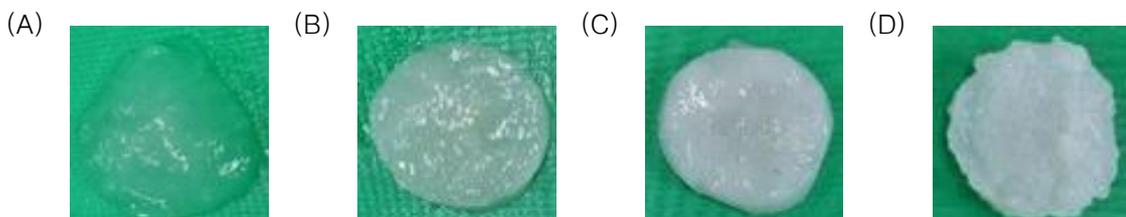


Figure 15. Comparison of gel morphology by starch type.

A, 타피오카 변성전분; B, 타피오카 변성전분+덱스트린 혼합 조제품; C, 타피오카전분+구아검+덱스트린 혼합 조제품; D, 타피오카 변성전분+활성글루텐+덱스트린 혼합 조제품

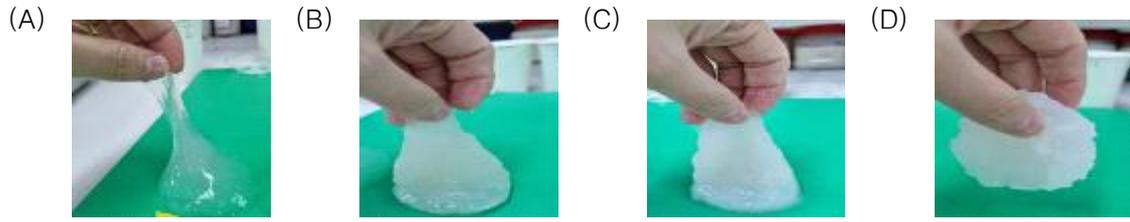


Figure 16. Comparison of physical properties of gel by starch type.

A, 타피오카 변성전분; B, 타피오카 변성전분+덱스트린 혼합 조제품; C, 타피오카전분+구아검+덱스트린 혼합 조제품; D, 타피오카 변성전분+활성글루텐+덱스트린 혼합 조제품

나. 배합 온도별 Gel 배합물 이수율 비교 연구

- 배합 온도에 따른 이수율 결과는 Figure 17에 나타내었다.
- 배합 온도가 높을수록 이수율이 적어지는 경향을 보였고 탄력이 점진적으로 생성되는 것을 확인할 수 있었다.
- 하지만 배합물의 온도가 25°C에 도달하는 것이 최적의 조건인지는 제조과정 중 생산성의 부하, 미생물에 대한 안전성 확보 등의 문제로 추가적인 검토가 필요하다.

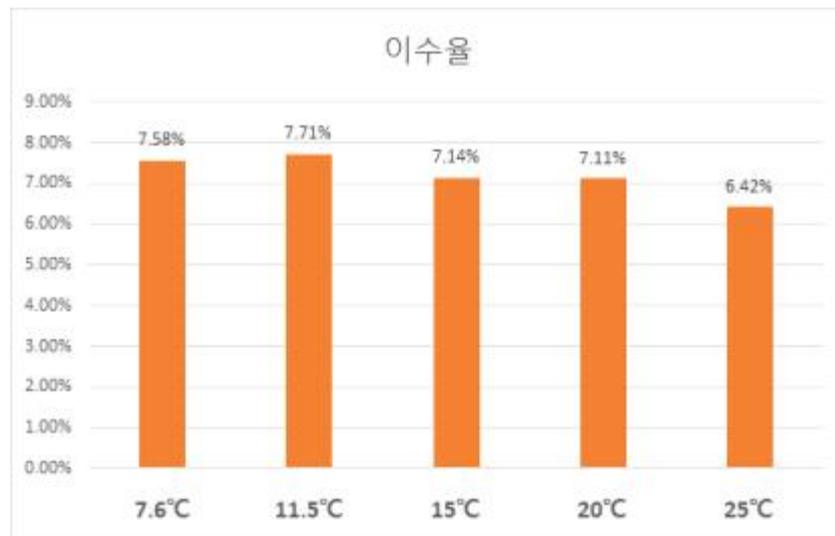


Figure 17. Water loss rate of gel compounds according to temperature

다. 최적 배합비 및 가공 조건 설정

- 식물성 분쇄육제품 (콜드컷 싱켄)의 최적 배합비 선정을 위해 신세계푸드 내부 관능평가를 진행하였으며, 관능평가 결과 식감, 맛, 풍미 등 가장 선호도가 높은 배합비를 다음과 같이 선정하였다. (Table 17)

Table 17. Formulation of cold-cut analogue.

Ingredient	Formulation (%)
원료 A	9.5~14.9
원료 B	5 미만
원료 C (정제수)	80.1~85.5
Total	100

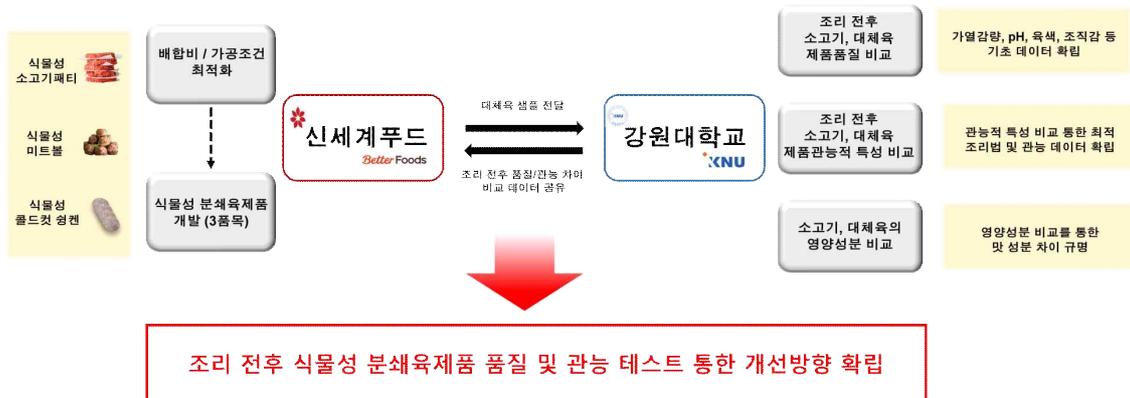
- 식물성 분쇄육제품 (콜드컷 싱켄)의 최적 가공 조건 설정을 위해 lab-scale에서 가정용 핸드믹서를 이용하여 사전 테스트를 진행하였다.
- 이후 plant-scale로서의 scale-up을 과정으로 신세계푸드 파일럿 생산설비를 이용하여 최적의 가공 조건을 선정하였다 (Figure 18).



Figure 18. Manufacturing process of cold-cut analogue.

라. 조리 전후 변화 품질 및 개선 방향

- 선정된 최적 배합비 및 가공 조건을 적용한 식물성 분쇄육제품 3품목 (소고기패티, 미트볼, 콜드컷 싱켄)을 개발하였으며, 조리 전후의 품질, 관능적 특성, 영양성분 등을 분석하기 위해 공동연구기관인 강원대학교에 식물성 분쇄육제품을 전달하여 테스트를 진행하였다.
- 개발한 식물성 분쇄육제품이 실제 소고기 제품과 어느 정도의 유사성을 갖는지 확인하기 위해 시중에서 판매되는 소고기 제품 (라이틀리 저칼로리 한끼 소고기 패티 (청정원), 냉동 푸드마켓 알레만스레텐 미트볼 (이케아), 델리미트 모타델라 (존쿡))를 대조군으로 분석에 이용하였다.



- 조리 전후 식물성 분쇄육제품 (콜드컷 싱켄)과 실제 소고기 제품 (델리미트 모타델라)의 관능적 특성 비교는 Figure 19에 나타내었다.
- 강원대학교의 연구에서 조리 전후 두 제품 간 관능적 특성을 비교한 결과 aroma, off-flavor, taste는 식물성 분쇄육제품과 소고기 제품 모두 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 전반적인 기호도를 나타내는 overall acceptability 부분도 실제 소고기 제품과 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있었다.
- 반면, 조리 전후 tenderness와 juiciness는 식물성 분쇄육제품이 유의적으로 높았으며, 조리

후의 경우 식물성 분쇄육제품의 color의 유의적으로 낮음을 확인할 수 있었다.

- 식물성 분쇄육제품과 실제 소고기 제품의 관능적 특성을 비교한 결과 aroma, off-flavor, taste, overall acceptability가 실제 제품과 유사하게 나타나며 소비자에게 높은 접근성을 가질 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 식물성 분쇄육제품의 juiciness 및 tenderness가 높아 실제 소고기 제품 보다 연한 식감과 다즙함을 가질 수 있어 제품의 우수함을 확인할 수 있었다.

Trait	Cold-cut		Cold-cut analogue		SEM
	Before cooking	Microwave	Before cooking	Microwave	
Color	7.20 ^a	7.80 ^a	7.00 ^{ab}	7.20 ^b	0.173
Aroma	7.13	7.13	6.87	6.87	0.226
Off-flavor	7.13	7.33	7.00	7.07	0.213
Taste	6.73	7.20	6.67	6.33	0.239
Tenderness	6.87 ^b	6.53 ^b	8.07 ^a	8.07 ^a	0.174
Juiciness	6.60 ^b	6.53 ^b	7.47 ^a	7.47 ^a	0.165
Overall acceptability	6.93	7.13	6.73	7.13	0.199

Figure 19. Comparison of sensory characteristics between cold-cut and cold-cut analogue before and after cooking. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

B. 식물성 미트볼 사전 연구 및 최적 배합비 설정

(1) 연구수행 방법

가. 조직단백별 미트볼 제조 및 조직감 비교 연구

가) 실험재료

- 실험에 사용된 조직대두단백은 다양한 업체를 통해 구입하였으며, 수화 테스트하여 조직감을 비교하였다.
- 수화 테스트한 결과를 토대로 아래 Table 18과 같이 미트볼을 제조하였다.

Table 18. Formulation of Plant-based meatball

Ingredient (%)	Sample		
	T1	T2	T3
원료 (분말 및 오일 등)	30	30	30
A	5	5	10
B	5	-	-
C	-	5	-
정제수	60	60	60
Total	100	100	100

A, Flake type 조직대두단백; B, Chunk type 조직대두단백; C, Flat type 조직대두단백

나) 제조방법

- 조직대두단백과 정제수를 1:6 비율로 약 1시간 정도 수화하고 고속커터믹서로 분쇄하여 조직감을 확인하였다.
- 조직단백별 조직감을 확인한 후, 동일 배합비에 조직대두단백을 Table 18과 같은 비율로

고속커터믹서를 이용하여 배합하였다. 배합물 성형 후, 가열하여 -40°C 이하의 온도에서 급속 냉동하여 냉동고에 보관하였다.

다) 관능평가

- 제조한 미트볼을 자체적 육안 테스트 및 관능테스트를 실시하여 비교 분석하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 조직단백별 미트볼 제조 및 조직감 비교 연구

- 조직단백은 식물성 대체육의 식감에 중요한 요인으로 이에 따라 다양한 식감을 구현할 수 있다. 따라서 소고기 미트볼과 유사한 식감을 구현하기 위해서는 조직단백의 역할이 중요하다. 1차년도의 조직단백 데이터를 기반으로 4가지를 선정하여 이에 대한 조밀도를 확인하였다.
- 조직단백별 수화 후 형태는 Figure 20과 같다.
- 조직단백별 형태 및 조밀도를 육안으로 비교한 결과, 조밀도는 $A > D > B > C$ 순으로 높음을 확인할 수 있었다.
- A는 가장 조밀한 형태로 찢기며 밀도가 높은 편이었다. B는 밀도가 가벼운 편이고 D는 B와 찢기는 형상이 비슷하나 보다 탱글한 느낌이 강했다. C는 B와 비슷하게 찢기나 이취가 있어 사용하기 어려울 것으로 판단된다.

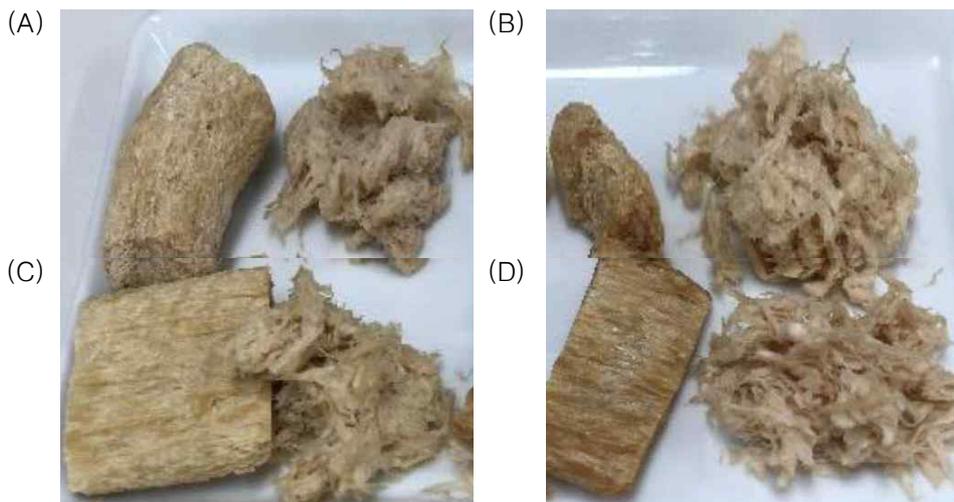


Figure 20. Comparison of physical properties of textured vegetable protein.

A, Chunk type TVP; B, Granule type TVP; C, Flat type TVP; D, Flat type TVP'

- 위와 같이 수화 테스트 후, 미트볼 특유의 촉촉한 식감을 구현할 수 있게, 조밀한 구조를 가진 조직대두단백 A와 D를 선별하여 실제 식물성 미트볼을 제조하였다 (Figure 21).



Figure 21. Comparison of physical properties of plant-based meatball

A, Flake type TVP 100%; B, Chunk type TVP 50+Flake type TVP 50%; C, Flat type TVP 50+Flake type TVP 50%

- 제품 A의 입자감이 가장 크게 느껴지며 수분감이 다른 두 제품에 비해 부족한 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 Chunk나 flat type와 같은 조직단백은 기공이 크기 때문에 물을 보유하는 능력 (보수력)이 flake type보다는 높음을 알 수 있었고, 이렇게 조직단백을 다양하게 혼합하여 사용하면 실제 미트볼의 촉촉한 식감을 재현할 수 있을 것이라 사료된다.

나. 최적 배합비 및 가공 조건 설정

- 사전연구를 기반으로 배합비별 식물성 미트볼을 제조하여 최적 배합비 선정을 위해 신세계푸드 내부 관능평가를 진행하였으며, 관능평가 결과 식감, 맛, 풍미 등 가장 선호도가 높은 배합비를 다음과 같이 선정하였다. (Table 19)

Table 19. Formulation of plant-based meatball.

Ingredient	Formulation (%)
원료 A (식이섬유, 전분 등)	8~10
원료 B (대두 단백질)	8~20
원료 C (향신료)	5 미만
원료 D (식물성 오일)	15 미만
원료 E (정제수)	50~65
Total	100

- 식물성 미트볼의 최저 가공 조건 설정을 위해 lab-scale에서 가정용 핸드믹서를 이용하여 사전 테스트를 진행하였다.
- 이후 plant-scale로서의 scale-up을 과정으로 신세계푸드 파일럿 생산설비를 이용하여 최적의 가공 조건을 선정하였다 (Figure 22).

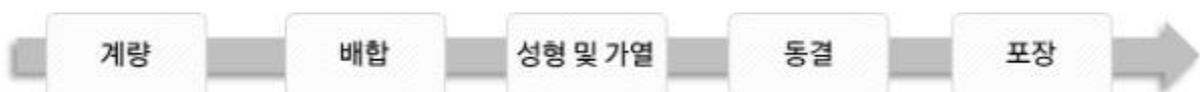


Figure 22. Manufacturing process of plant-based meatball.

다. 조리 전후 변화 품질 및 개선 방향

- 선정된 최적 배합비 및 가공 조건을 적용한 식물성 분쇄육제품 3품목 (소고기패티, 미트볼, 콜드컷 싱켄)을 개발하였으며, 조리 전후의 품질, 관능적 특성, 영양성분 등을 분석하기 위해 공동연구기관인 강원대학교에 식물성 분쇄육제품을 전달하여 테스트를 진행하였다.
- 개발한 식물성 분쇄육제품이 실제 소고기 제품과 어느 정도의 유사성을 갖는지 확인하기 위해 시중에서 판매되는 소고기 제품 (라이틀리 저칼로리 한끼 소고기 패티 (청정원), 냉동 푸드마켓 알레만스레텐 미트볼 (이케아), 델리미트 모타델라 (존쿡))를 대조군으로 분석에 이용하였다.
- 이 중 조리 전후 식물성 미트볼과 실제 소고기 미트볼 (알레만스레텐 미트볼)의 관능적 특성을 비교해보았다. (Figure 23)

Trait	Meatball			Meatball analogue			SEM
	Microwave	Pan-grilling	Oven	Microwave	Pan-grilling	Oven	
Color	7.20	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	0.181
Aroma	7.60 ^a	7.27 ^{ab}	7.27 ^{ab}	6.33 ^{bc}	7.20 ^{ab}	6.20 ^c	0.232
Off-flavor	7.13	7.27	7.13	6.67	7.20	6.40	0.239
Taste	7.33 ^{ab}	7.67 ^a	7.07 ^{ab}	5.80 ^c	6.67 ^{abc}	6.33 ^{bc}	0.250
Tenderness	7.60	7.60	7.60	7.47	7.67	7.13	0.205
Juiciness	6.87	6.73	6.87	6.27	6.47	6.27	0.174
Overall acceptability	7.33 ^{ab}	7.80 ^a	7.60 ^{ab}	6.33 ^c	6.93 ^{bc}	6.13 ^c	0.210

Figure 23. Comparison of sensory characteristics between meatball and meatball analogue before and after cooking. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

- 조리 전후 두 제품 간 관능적 특성을 비교한 결과, 전자레인지와 오븐으로 조리했을 때는 aroma와 taste 모두 식물성 미트볼보다 소고기 미트볼이 기호도가 높았음을 확인할 수 있었다. 또한 overall acceptability는 조리방법과 상관없이 소고기 미트볼이 식물성 미트볼보다 좋다고 나타났다.
- 다만 색상과 식감에서는 식물성 미트볼과 소고기 미트볼이 유의적인 차이가 없는 것으로 보아 외관과 식감 보완보다는 실제 소고기 미트볼과 비슷한 향을 구현하기 위한 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

C. 식물성 소고기패티 사전 연구 및 최적 배합비 설정

(1) 연구수행 방법

가. 색소별 식물성 소고기패티 제조 및 색상 비교 연구

가) 실험재료

- 실험에 사용된 비트색소와 카라멜색소는 업체를 통해 구입하였으며, 색소 함량에 따른 색 변화를 검토하기 위해 Table 20의 배합비로 식물성 패티를 제조하였다.

Table 20. Formulation of plant based patty by pigment type and content

Ingredient (%)	Sample		
	A	B	C
식물성 패티 배합물	99.0	98.8	98.8
비트색소	1.0	1.2	1.0
카라멜색소	-	-	0.2
Total	100	100	100

나) 실험방법

- 식물성 패티 배합물에 비트 색소를 함량별 혼합하여 성형 -40℃ 이하에서 급속 냉동하여 냉동 보관하였다.
- 패티의 조리에는 일반 가정용 후라이팬을 이용하였다. 일정량 카놀라유를 투입하여 1분간 예열한 후 냉동된 패티를 앞면 3분30초, 뒷면 3분간 가열하여 심부온도 약 70℃ 부근에서 조리를 종료하였다.

나. 대체지방 제조 연구

가) 실험재료

- 실험에 사용된 원료는 업체를 통해 구입하였으며, 1차년도에서 오일 종류에 따른 열적 특성 확인 후 야자유를 선택 후 대체지방을 제조하였다.

나) 실험방법

- 야자유를 이용 육류 지방 대체물은 약 1.2:1의 비율로 혼합된 기름 및 물 등을 균질과 과정을 거쳐 제조하여 냉동보관 하였다.
- 냉동보관 된 대체지방은 반해동 과정을 거쳐 분쇄기를 사용하여 육류 지방 대신 첨가하여 사용하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 색소별 식물성 소고기패티 제조 및 색상 비교 연구

- 1차년도에서는 가열 조건에서도 안정한 내열성 색소를 첨가하여 실험을 진행하였으나, 소고기 패티 특성상 고온조건에서의 조리과정이 불필요하기에 2차년도에서는 내열성이 약한 비트색소를 선정하여 함량에 따른 가열 전/후 색상 변화를 비교하였다.
- 비트색소를 혼합한 식물성 패티의 가열 전 색변화를 비교한 결과, 1.2% 함량의 색소를 혼합한 식물성 패티가 가열 전 소고기 패티와 가장 비슷한 것을 확인할 수 있었다.
- 식물성 패티와 소고기 패티의 가열조리 후 색변화를 비교하였을 때 소고기 패티의 색상과 유사하지 않아 가열후의 식물성 패티 색상에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.



Figure 24. Comparison of color plant based patties before cooking by pigment type and content. A, 비트색소 1.0%; B,비트색소 1.2%; C, 비트색소 1.0% + 카라멜색소 0.2%

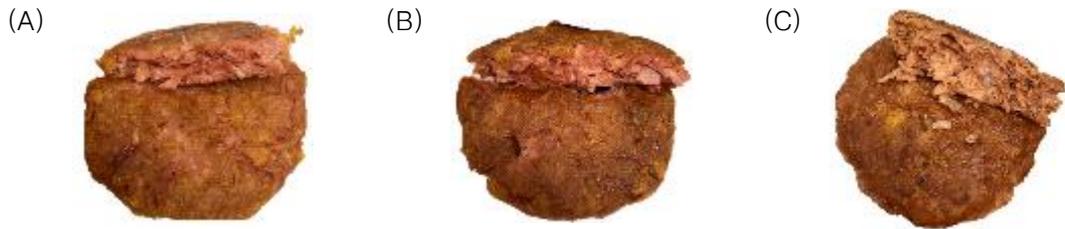


Figure 25. Comparison of color plant based patties after cooking by pigment type and content. A, 비트색소 1.0%; B,비트색소 1.2%; C, 비트색소 1.0% + 카라멜색소 0.2%

나. 대체지방 제조 연구

- 1차년도 결과에서 야자경화유의 경우 35℃에서 액체로 상전이가 일어나 녹는점이 더 높음을 확인하여 소고기 대체지방에 적합할 것으로 사료되었으나 경화유에 대한 안전 이슈와 팬 조리 시 제품의 품온 온도에 따라 완전한 액체로의 상전이가 일어나기에 적합한 야자유를 선택하였다.
- 야자유 경우 대체육의 첨가 후, 완제품을 팬 조리하였을 때 잔여물이 흰색의 색상보다는 투명한 상태의 육즙 및 녹은 지방의 모습과 비슷한 형태를 나타내었다.
- 냉동보관된 대체지방은 반해동 과정을 거쳐 다음과 같이 분쇄하여 육류 지방 대신 첨가하여 사용할 수 있었다.
- 대체지방을 첨가한 제품 외관에서 육류 지방과 비슷한 형태의 외관을 관찰할 수 있었으며 첨가된 대체지방은 가열 조리 시 육즙의 형태처럼 녹아내리는 것을 확인할 수 있었다.



Figure 26. Comparison of color plant based patties after cooking by pigment type and content. A, 비트색소 1.0%; B,비트색소 1.2%; C, 비트색소 1.0% + 카라멜색소 0.2%

다. 최적 배합비 및 가공 조건 설정

- 식물성 소고기패티의 최적 배합비 선정을 위해 신세계푸드 내부 관능평가를 진행하였으며, 관능평가 결과 식감, 맛, 풍미 등 가장 선호도가 높은 배합비를 다음과 같이 선정하였다.

Table 21. Formulation of plant based patty analogue.

Ingredient	Formulation (%)
원료 A (분말 원료)	25 미만
원료 B (식물성 오일, 정제수)	60.5~65.5
원료 C (대체지방)	15 미만
Total	100

- 식물성 소고기패티의 최적 가공 조건 설정을 lab-scale에서 가정용 핸드믹서를 이용하여 사전 테스트를 진행하였다. 이후 plant-scale로서의 scale-up을 과정으로 신세계푸드 파일럿 생산설비를 이용하여 최적의 가공 조건을 선정하였다 (Figure 27).

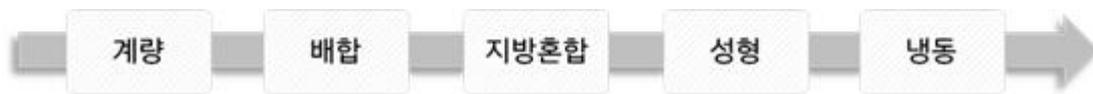


Figure 27. Manufacturing process of plant based patty analogue.

라. 조리 전후 변화 품질 및 개선 방향

- 선정된 최적 배합비 및 가공 조건을 적용한 식물성 분쇄육제품(소고기패티)의 조리 전후의 품질, 관능적 특성, 영양성분 등을 분석하기 위해 공동연구기관인 강원대학교에 식물성 분쇄육 제품을 전달하여 테스트를 진행하였다. 개발한 식물성 소고기패티가 실제 소고기 제품과 어느 정도의 유사성을 갖는지 확인하기 위해 시중에서 판매되는 소고기 제품(라이틀리 저칼로리 한끼 소고기 패티/청정원)을 대조군으로 분석에 이용하였다.
- 강원대학교의 연구에서 조리 전후 두 제품 간 관능적 특성을 비교한 결과 aroma, off-flavor, taste는 식물성 분쇄육제품과 소고기 제품 모두 유의적인 차이를 보였으며, 전반적인 기호도를 나타내는 overall acceptability 부분도 실제 소고기 제품과 차이가 있음을 확인할 수 있었다.
- 반면, 조리 후 tenderness는 식물성 소고기패티가 유의적으로 높았지만, 이외에 color, aroma, off-flavor, taste, juiciness는 조리 후의 경우 식물성 분쇄육제품이 유의적으로 낮음을 확인할 수 있었다.
- 식물성 소고기패티와 실제 소고기 제품의 관능적 특성을 비교한 결과, 조리 후 전반적인 부분에서 실제 소고기 제품보다 떨어지는 경향을 보여 이를 개선하기 위한 추가적인 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Trait	Patty			Patty analogue			SEM
	Microwave	Pan-grilling	Oven	Microwave	Pan-grilling	Oven	
Color	7.60	7.47	7.75	6.87	6.93	7.13	0.212
Aroma	7.67 ^a	7.67 ^a	7.47 ^a	6.27 ^b	5.53 ^b	5.53 ^b	0.212
Off-flavor	7.80 ^a	7.73 ^a	7.60 ^a	5.40 ^b	5.53 ^b	5.33 ^b	0.244
Taste	7.20 ^a	7.87 ^a	7.07 ^a	4.27 ^b	4.13 ^b	4.33 ^b	0.266
Tenderness	6.73 ^b	7.53 ^{ab}	7.33 ^{ab}	7.87 ^a	7.80 ^a	7.87 ^a	0.242
Juiciness	6.60	7.33	7.13	7.00	6.80	6.67	0.230
Overall acceptability	7.40 ^a	7.87 ^a	7.27 ^a	4.87 ^b	4.40 ^b	4.33 ^b	0.213

Figure 28. Comparison of sensory characteristics between patty and patty analogue before and after cooking. Different letters on the bars indicate significant differences ($p < 0.05$).

4) 소고기 질감 유사 식물성 분쇄육가공품 공정 설계 및 제품화

구분	개선점	실제육	대체육	
			개선 전	개선 후 출시제품
콜드컷	-	 델리미트 모타델라 (존콕)		
미트볼	Taste	 알레만스레텐 미트볼 (이케아)		
패티	Color Aroma Taste	 라이틀리 소고기패티 (청정원)		

A. 개선 방향에 따른 식물성 콜드컷 공정 설계 및 제품화

(1) Plant-scale 에서의 공정 설계를 통한 대량생산 기반 확립

- 식물성 콜드컷은 다른 식물성 분쇄육 제품과 달리 종합적 기호도가 실제 소고기 제품과 유의적인 차이가 없어 lab-scale에서의 배합비 최적 조건 바탕으로 plant-scale 공정 설계를 진행하였다.
- 실제 슬라이스 햄 식감을 유사 구현하는 것을 목표로 사전 연구 및 최적 배합비 설정을 완료하였으며, lab-scale 제조 공정을 토대로 아래와 같이 plant-scale의 공정을 설계하였다. (Figure 29)



Figure 29. 식물성 콜드컷 제조공정

(2) 제품 표준화 및 출시 완료

- 제품 품질 안정화를 위해 공정별 기준을 아래 항목 토대로 규격화하여 관리하고 있다.

Table 22. 공정별 규격화 항목

구분	배합	충진	가열	슬라이스
콜드컷	- 배합순서 - 시간 - 공정별 온도 등	- 케이싱 종류 - 충진 직경 등	- 가열방법 - 가열시간 - 품온 기준 등	- 절단 규격 - 포장 규격 등

- 현 제품은 2023년 4월에 출시하여 다양한 유통채널에 샌드위치, 샐러드 등으로 판매되고 있다. (Figure 30)



Figure 30. 식물성 콜드컷 제품화



Figure 31. 식물성 콜드컷을 활용한 다양한 메뉴 (예시)

B. 개선 방향에 따른 식물성 미트볼 공정 설계 및 제품화

(1) 개선 방향에 따른 식물성 미트볼 최적 배합비 및 가공조건 재설정

- 2차년도 강원대 관능평가 결과를 토대로 개선점을 도출하여 배합비를 재설정하는 과정을 거쳤다.
- 관능특성 분석 결과, 외관이나 물성에서는 유의적 차이가 나지 않으나 향과 맛에서 유의적 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 이를 토대로 실제육과 유사한 향과 맛을 구현하도록 배합비를 재설정하였다.
- 개선 방향은 아래 Table 23와 같다.

Table 23. 식물성 미트볼 개선 방향점

개선사항	기존	개선
원료 변경	• 향신료 특유 이취로 인해 맛에 대한 거부감이 있음	• 향신료 함량을 줄여 특유 이취를 줄임

대체지방	<ul style="list-style-type: none"> 고온에서 지방이 산화반응을 통하여 나타나는 특유의 휘발성 풍미 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 자사 식물성 대체지방 활용하여 풍미와 다즙성 부여
사진	 <p>[가열 전] [가열 후]</p>	 <p>[가열 전] [가열 후]</p>

(2) Plant-scale 에서의 공정 설계를 통한 대량생산 기반 확립

- 식물성 미트볼을 위와 같이 개선 후, 이를 바탕으로 scale-up하여 아래와 같이 plant-scale의 공정을 설계하였다. (Figure 32)



Figure 32. 식물성 미트볼 제조공정

(3) 제품 표준화 및 출시 완료

- 제품 품질 안정화를 위해 공정별 기준을 아래 항목을 토대로 규격화하여 관리하고 있다.

Table 24. 공정별 규격화 항목

구분	TVP 수화	배합	성형 및 가열	포장
미트볼	<ul style="list-style-type: none"> 원료 선별 수화 시간 수화 온도 등 	<ul style="list-style-type: none"> 배합순서 시간 공정별 온도 등 	<ul style="list-style-type: none"> 가열온도 가열시간 공정별 중량 제품 품온 등 	<ul style="list-style-type: none"> 포장 규격 등

- 현 제품은 2023년 9월에 출시하여 다양한 유통채널에 판매되고 있다. (Figure 33)



Figure 33. 식물성 미트볼 제품화



Figure 34. 식물성 미트볼을 활용한 다양한 메뉴 및 제품 (예시)

C. 개선 방향에 따른 식물성 소고기패티 공정 설계 및 제품화

(1) 개선 방향에 따른 식물성 소고기패티 최적 배합비 및 가공조건 재설정

- 2차년도 강원대 관능평가 결과를 토대로 개선점을 도출하여 배합비 및 가공조건을 재설정하는 과정을 거쳤다.
- 관능특성 분석 결과, 색, 향과 맛에서 가장 크게 유의적 차이가 나는 것을 확인할 수 있었다. 이를 토대로 이를 토대로 실제육과 유사한 색, 향과 맛을 구현하도록 배합비를 재설정하였다.
- 또한 scale-up 과정에서 발생하는 문제점 (지방 및 수분 유출 현상, 다즙성 부족 등)을 해결하기 위해 일부 공정을 변경하여 개선해나갔다.
- 개선 방향은 아래 Table 25와 같다.

Table 25. 식물성 소고기패티 개선 방향점

개선사항	기존	개선
색상 변경	• 가열 전의 실제 패티 색상 구현	• 가열 후의 실제 패티 색상 구현
원료 변경	• 가열 후 지방 및 수분 유출 현상 발생	• 부형제 변경 통한 지방 및 수분 유출 현상 개선
공정 변경	• 대체지방 후 투입 →지방의 보임성 강조	• 대체지방 선 투입 →유화력 강화 및 풍미와 다즙성 증가
사진	<p>[가열 전] [가열 후]</p>	<p>[가열 전] [가열 후]</p>

(2) Plant-scale 에서의 공정 설계를 통한 대량생산 기반 확립

- 식물성 소고기패티를 위와 같이 개선 후, 이를 바탕으로 scale-up하여 아래와 같이 plant-scale의 공정을 설계하였다. (Figure 35)



Figure 35. 식물성 소고기패티 제조공정

(3) 제품 표준화 및 출시 완료

- 제품 품질 안정화를 위해 공정별 기준을 아래 Table 26의 항목을 토대로 규격화하여 관리

하고 있다.

Table 26. 공정별 규격화 항목

구분	TVP 수화	배합	성형	포장
패티	- 원료 선별 - 수화 시간 - 수화 온도 등	- 배합순서 - 시간 - 공정별 온도 등	- 성형 중량 등	- 포장 규격 등

- 현 제품은 2023년 12월에 출시하여 B2B 채널에 유통하고자 준비 중이다.



Figure 36. 식물성 소고기 패티 제품화

5) 소고기 조직감 및 풍미를 보유한 비분쇄형 대체육 제조 공정 최적화

(1) 연구수행 방법

가. 저수분 식물조직단백 활용한 비분쇄형 식물성 대체육 개발

가) 실험재료

- 실험에 사용된 Chunk 타입의 저수분 식물조직단백은 “공주대학교의 저수분 식물조직단백 기술 최적화” 연구 결과를 토대로 신세계푸드 압출성형 파일럿 설비 조건에 맞춰 2가지 타입 (Type 1 : 대두 / Type 2 : 대두 + 완두)을 제작하였다.

나) 실험방법

- Chunk 타입의 저수분 식물조직단백 (Type 1 : 대두 / Type 2 : 대두 + 완두)은 약 20℃의 정제수를 이용하여 TVP를 2시간가량 수화 진행하였다.
- 수화된 TVP는 육안평가 (확대경 사용)를 진행하여 수화 후 기공의 크기 및 수량 등의 특성을 확인하였다.
- 수화된 TVP의 관능평가를 실시하여 향미, 조직감 등을 평가하였고, 관능적으로 우수한 Chunk 타입의 저수분 식물조직단백을 선정 및 비분쇄형 식물성 대체육 (마리네이드 비프) 적용 테스트를 진행하였다.

나. 고수분 식물조직단백 활용한 비분쇄형 식물성 대체육 개발

가) 실험재료

- 실험에 사용된 고수분 식물조직단백은 공주대학교에서 제작한 고수분 식물조직단백 (완두 30% + 대두 20%)을 공급받아 테스트를 진행하였다.

나) 실험방법

- 공주대학교와의 협업을 통해 불고기의 식감과 형태를 구현할 수 있는 고수분 식물조직단백에 대한 최적의 배합비를 선정하여 제작하였다. 또한 제작한 샘플에 대한 육안 및 관능평가를 통해 샘플 특성을 파악하였다.
- 선정된 최적의 고수분 식물조직단백을 활용하여 비분쇄형 식물성 대체육 적용 테스트를 진행하였으며, 관능 및 식감적으로 우수한 배합 비율을 선정하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 저수분 식물조직단백 활용한 비분쇄형 식물성 대체육 개발

- 수화 후 저수분 식물조직단백의 특성 및 관능적 차이를 비교한 결과, 대두 (Type 1)를 활용한 저수분 식물조직단백은 기공이 크고 많은 특성을 가지고 있었으며 관능적으로 조직감이 단단하고, 탄력있는 식감을 나타냈다.
- 반면, 대두 및 완두 (Type 2)를 활용한 저수분 식물조직단백은 기공이 작은 특성을 보였으며 관능적으로 Type 1 저수분 식물조직단백과 비교하여 부드러운 조직감을 나타냈다.
- 저수분 식물조직단백의 비교를 통해 비분쇄형 식물성 대체육 (마리네이드 비프) 개발을 위한 최적의 조직감과 식감을 보유한 식물조직단백으로 Type 1을 선정하였다.

Table 27. Comparison of characteristics and texture for low-moisture textured vegetable protein

구분	대두 (Type 1)	대두+완두 (Type 2)
이미지		
내용	<ul style="list-style-type: none"> • 수화 후 기공이 크고 많은 것을 확인함 • 조직감이 단단하고 탄력있는 식감을 형성함 	<ul style="list-style-type: none"> • 수화 후 대두단백보다 기공이 작은 것을 확인함 • 대두단백만 사용했을 때 대비 조직감이 부드러움

- 비분쇄형 식물성 대체육 개발 시, 맛과 풍미를 더하기 위해 조미소재 및 향신료를 식물조직단백 Type 1에 첨가하였다. 또한 제품 적용의 편의성을 위해 침지 및 포장을 진행하였으며, 냉장 후 냉동 공정을 진행하였다.
- 해당 제품은 2023년 12월에 출시하여 다양한 메뉴로 식음매장에 공급하고자 테스트 중이다.



Figure 37. Manufacturing process of Marinated Plant based beef

A, 소재 혼합; B, 침지; C, 포장



Figure 38. 마리네이드 비프를 활용한 다양한 메뉴 및 제품 (예시)

나. 고수분 식물조직단백 활용한 비분쇄형 식물성 대체육 개발

- 불고기 형태의 고수분 식물조직단백의 육안 및 관능평가를 통해 특성을 확인한 결과, 섬유상 구조는 실제 불고기와 유사한 결의 특성을 가짐을 확인하였으며, 식감은 실제 불고기 보다 부드러운 식감을 가지고 있었다.



Figure 39. Bulgogi type high-moisture textured vegetable protein

- 고수분 식물조직단백에 불고기 제조공정을 적용하기 위해 절단 및 후단 공정을 추가하였고, 자사 불고기 양념을 적용하여 실제 맛과 풍미를 더하여 냉장과 냉동 공정을 추가 진행하였다.



Figure 40. Manufacturing process of Bulgogi type high-moisture textured vegetable protein

- 자사의 불고기양념을 적용하여 고수분 식물조직단백의 조직감 및 식감을 비교한 결과, 후단 공정을 통해 식감은 보완할 수 있음을 확인할 수 있었으며, 양념을 통해 불고기의 풍미와 외관을 구현할 수 있었다.



Figure 41. Bulgogi type high-moisture textured vegetable protein with sauce

6) 식물성 근섬유, 지방, 결체조직 등을 보유한 대체육 (분쇄/비분쇄) 개발

- 실제 소고기와 유사한 근섬유 조직 및 지방 풍미를 구현하기 위해 자사에서 개발한 대체지방과 식물조직단백을 각각 분쇄형, 비분쇄형 식물성 대체육에 적용하여 개발하였다.

가. 식물성 대체지방을 보유한 분쇄형 식물성 대체육 (소고기패티, 미트볼) 개발

- 자사에서 개발한 식물성 대체지방을 약 8mm로 분쇄하여 소고기패티 및 미트볼 배합 단계에서 배합물과 함께 혼합하여 개발하였다.

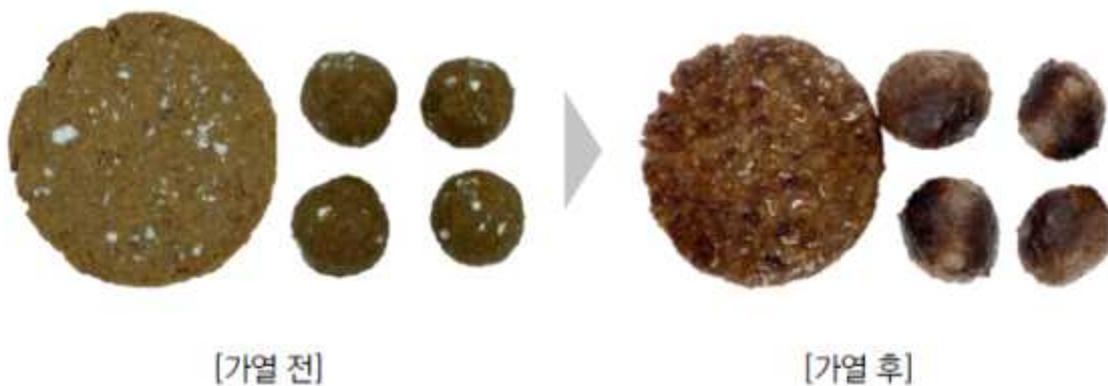


Figure 42. 대체지방 적용 전후 소고기패티 성상

- 그 결과, 식물성 대체지방 적용 시 실제 고기의 육즙처럼 구현되어 다즙성의 특징을 띠고 실제 고기와 유사한 풍미 또한 느낄 수 있었다.

나. 근섬유 조직을 구현한 비분쇄형 식물성 대체육 (비프스트립) 개발

- 섬유상 조직을 살리기 위해 TVP 제조 시 다양한 공정변수 (온도, 압력 등)를 조정하여 실제 육과 유사한 식감 및 질감을 구현하고자 노력했다.
- 이를 위해 저수분 TVP의 Flake type이 아닌 원물 형태로 소고기 양념육 형태로 개발 진행하였다.
- 이에 더해 다양한 후공정 (혼합, 가열 등)으로 실제육과 유사한 맛과 질감을 나타내었다 (Figure 43).



Figure 43. 비프스트립 제조공정

- 위와 같이 비프스트립을 제조한 결과, 실제 고기의 육즙 및 질감을 유사하게 구현한 것을 확인할 수 있었으며, 이를 바탕으로 plant-scale까지 scale-up하여 대량생산 구축까지 완료하였다.
- 위 제품은 2023년 12월에 출시하여 현재 다양한 채널에 유통하고자 준비 중이다.



Figure 44. 비프스트립 완제품



Figure 45. 비프스트립을 활용한 다양한 메뉴 및 제품 (예시)

7) 대체육 저장안전성 확보와 양산화 및 검증

- 대체육의 저장안전성 확보를 위해 2가지 살균방법을 통해 미생물 제어 유무 및 유통기한 검증 연구를 진행하였다.
- 식물성 대체육은 국내에서는 대부분 냉장유통 제품 (10℃ 이하)으로 이를 타겟으로 실험을 진행하였다.

(1) 연구수행 방법

가. 초고압 살균 처리 및 저장에 따른 식물성 대체육 제품 미생물 분석

가) 실험재료

- 자사에서 개발한 식물성 소고기 패티를 사용하였으며 실험 전까지 냉동 보관하였다가 실험 전날 냉장 보관하여 해동 후 실험에 사용되었다.

나) 실험방법

- 초고압 살균 처리는 2차년도 공주대학교 연구결과를 토대로 600MPa, 2분으로 공주대학교에서 진행하였다.
- 이를 냉장 유통온도(10℃)에서 약 30일간 저장하며 미생물 생육 양상을 분석하였다.
- 분석 대상 미생물은 일반세균, 대장균/대장균군이며 모든 미생물 시험은 식품공전 미생물 시험법의 정량 시험법을 따라 진행하였다.

나. 레토르트 살균 처리 및 저장에 따른 식물성 대체육 제품 미생물 분석

가) 실험재료

- 자사에서 개발한 식물성 소고기 패티를 사용하였으며 원물로는 살균처리가 어려워 소스와 혼합하여 살균 처리하였다.



Figure 46. 식물성 소고기 패티 제품 (소스 혼합형태)

나) 실험방법

- 일반 냉장제품 살균 조건으로 레토르트 살균 처리하여 (1차, 95℃ 10분/2차, 121℃ 20분) 이를 냉장 유통온도 (10℃)에서 약 60일간 저장하며 미생물 생육 양상을 분석하였다.
- 분석 대상 미생물은 위와 동일하게 일반세균, 대장균/대장균군이며 모든 미생물 시험은 식품공전 미생물 시험법의 정량 시험법을 따라 진행하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 초고압 살균 처리 및 저장에 따른 식물성 대체육 제품 미생물 분석

- 초고압 처리 전 패티에서 대장균은 검출되지 않았으며 대장균군의 경우 2.6 log CFU/g 수준으로 검출되었다. 또한 일반세균의 경우 3.9 log CFU/g 수준으로 검출되었다.
- 600 MPa의 압력으로 2분간 초고압 처리를 진행하였을 때, 패티에 존재하는 대장균군의 경우 검출한계 (1 log CFU/g) 이하로 저감화되는 것을 확인하였다.
- 하지만 일반 세균의 경우 약 2 log 수준 저감화되고 1.9 log CFU/g 수준의 일반 세균이 잔존하는 것을 확인하였다. 일반 세균이 잔존하는 이유는 2차년도 연구 결과에서 도출된 바와 같이 식물성 원료에 다수 존재하는 포자 생성 미생물 때문인 것으로 생각된다.
- 10℃ 저온 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석한 결과 대장균군은 30일간의 저장 기간 중 증식하지 않는 것을 확인하였다.
- 일반 세균의 경우 초고압을 처리하지 않은 패티에서는 저장 기간 6일차에 5 log CFU/g 이상으로 증식하는 것을 확인하였으며 초고압 처리 패티에서는 저장 기간 18일차에 5 log CFU/g 이상으로 증식하는 것을 확인하였다.

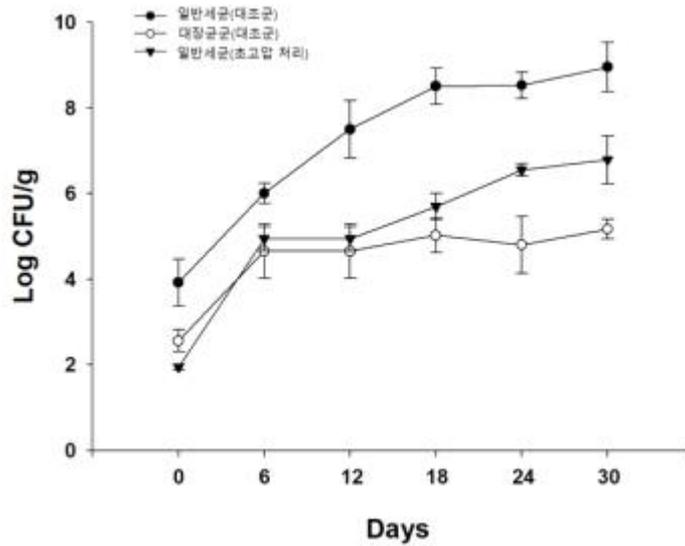


Figure 47. 초고압 살균처리 전후에 따른 패티 내 미생물 수

나. 레토르트 살균 처리 및 저장에 따른 식물성 대체육 제품 미생물 분석

- 레토르트 처리 후의 패티 제품에서 일반세균과 대장균/대장균군은 검출한계 이하로 검출되지 않았다.
- 10°C 저온 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석한 결과, 60일 동안 일반세균과 대장균/대장균군 모두 증식하지 않은 것을 확인하였다.
- 이를 통해 초고압 살균 처리가 미생물 저감화 및 증식 제어에 효과가 있으나 대중적으로 사용하는 레토르트 살균 처리에 비해서는 아직 효과가 미비해 좀더 다양한 연구가 필요할 것을 사료된다.

압출성형 활용 식물단백 조직화 기술 연구

공주대학교

연구책임자 : 류기형

[압출성형 활용 식물단백 조직화 기술 연구]

(제1공동연구기관-공주대학교)

1) 압출성형 공정을 이용한 신규 식물 단백질 조직화 기술 개발

- 저수분 압출성형 조건에서 식물단백 (기존/신규)의 조합과 부원료 (글루텐, 전분, 지방, 식이섬유 등)의 배합비율 최적화

(1) 연구수행 방법

가. 공정변수 결정

가) 온도, 스크루 회전속도, 원료 사입량 결정

- 배럴온도를 130, 140, 150℃로 하여 압출성형 대체육을 비교 분석했다.
- 스크루 회전속도 200, 250, 300 rpm으로 하여 압출성형 대체육을 비교 분석했다.
- 원료 사입량 100, 120, 130 g/min으로 하여 압출성형 대체육을 비교 분석했다.

나) 고수분 압출성형공정에서의 온도 결정

- 수분함량 65%, 스크루 회전속도 150 rpm로 고정하고, 배럴온도를 140, 150, 160, 170℃로 하여 제조한 압출성형 대체육을 비교 분석했다.

나. 수분함량에 따른 저수분 및 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성 비교

가) 실험재료

- 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 50:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

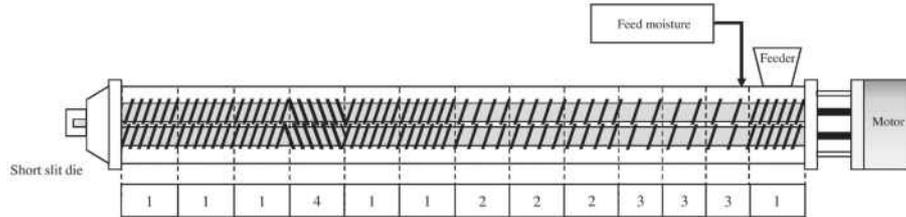
나) 압출성형공정

- 실험에 사용된 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)로 스크루의 직경은 30mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1과 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1A는 저수분 압출성형 시스템으로 8 cm의 짧은 다이를 사용하여 팽화된 대체육을 제조했으며, Figure 1B는 고수분 압출성형 시스템으로 Figure 1A와 스크루 배열은 같으나 냉각 다이를 설치해 팽화가 억제된 대체육을 제조했다. 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 저수분 대체육에서 수분함량의 영향을 살펴보고자, Gu와 Ryu (2017)의 연구를 참고하여 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴온도 150℃로 고정했고, 수분함량을 25, 30, 35%로 조절했다. 제조한 대체육은 열풍건조기 (FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서 12시간 건조해 보관했다.
- 고수분 대체육에서 수분함량의 영향을 살펴보고자 Samard et al. (2019)의 연구를 참고하여 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 150 rpm, 배럴온도를 160℃로 고정했고,

수분함량을 55, 60, 65, 70%로 조절했다. 제조한 대체육은 냉장고 (R-B63AM, LG Electronics Inc., Seoul, Korea)로 -20℃에서 냉동 보관했다.

- 저수분, 고수분 대체육은 열풍건조기로 60℃에서 12시간 건조하여 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말을 이용하여 수용성질 소지수를 측정했다.

A Experimental setup for low moisture extrusion cooking



B Experimental setup for high moisture extrusion cooking

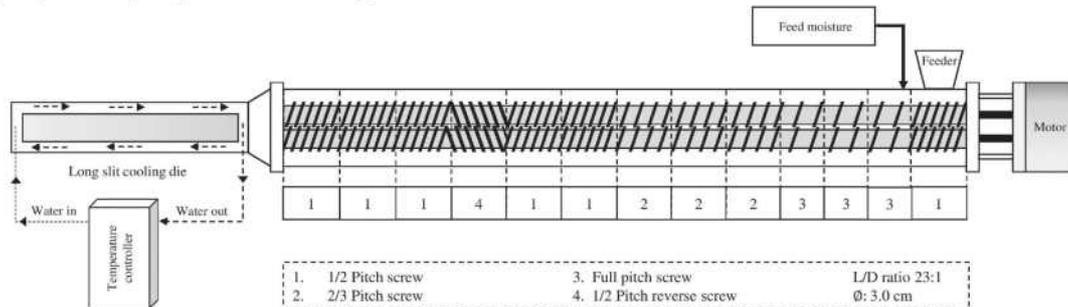


Figure 1. Schematic diagram of low- (A) and high-moisture (B) extrusion cooking with details of the screw and die configuration.

다. 대체육에 사용되는 식물성 단백질소재의 품질 특성

가) 실험재료

- 재료로 분리대두단백 (Solae Co., St. Louis, Missouri, USA), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 분리녹두단백 (Et Protein, Suzhou, China), 미국산 분리완두단백 (The Green Labs LLC, Clifton, USA), 중국산 분리완두단백 (Yantai Suangta Food Co., Ltd. Shandong China), 분리쌀단백 (RP-80, Vedan Enterprise Corp., Ltd. Dong, Vietnam)과 분리쌀단백 (VRT-80N, Vedan Enterprise Corp., Ltd. Dong, Vietnam)을 구입하여 사용했다.

나) 실험방법

- 수분흡수력, 유지흡수력, 유화활성, 유화안정성, 수용성질소지수, DPPH 라디칼 소거능, 총페놀 함량을 측정하여 품질특성을 비교 분석했다.

라. 부원료로써 식이섬유(느타리버섯)의 영향 분석

- 기본 배합비 (전지콩(FFS):글루텐:전분=50:40:10)에 느타리버섯을 0, 4, 8, 12% 첨가했다.
- 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도, 원료 사입량, 냉각다이의 온도를 각각 55%, 170℃, 150 rpm, 100 g/min, 20-25℃로 고정했다.

(2) 연구수행 결과

가. 공정변수 결정

가) 온도, 스크루 회전속도, 원료 사입량 결정

- 배럴온도 150℃, 스크루 회전속도 250 rpm, 원료사입량 100 g/min으로 결정했다.
※ 원료의 특성에 따라 일부 변경.

나) 고수분 압출성형공정에서의 온도 결정

- 수분함량 65%, 스크루 회전속도 150 rpm의 조건에서 배럴온도를 140℃로 결정했다.
※ 원료의 특성에 따라 일부 변경.



Figure 2. Appearance of high-moisture meat analog on different barrel temperature.

나. 수분함량에 따른 저수분 및 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성 비교

가) 외관

- 압출성형 타입과 수분함량에 따른 대체육의 수직 방향 단면과 흐름 방향의 단면은 Figure 2에, 섬유상의 구조는 Figure 3에 나타냈다.
- 저수분 대체육은 Figure 2와 같이 수직 방향 단면과 흐름 방향 단면은 압력 차이에 의한 수분의 상변화로 팽화가 발생하고 많은 공기층이 형성된 스펀지와 같은 구조가 나타났다. 수분함량이 증가할수록 대체육 내부의 공기층의 크기는 커졌다. 또한, Figure 3와 같이 수분함량이 증가할수록 섬유상의 구조가 감소하는 것으로 나타났다.
- 반면에 고수분 대체육은 Figure 3와 같이 팽화가 억제되어 공기층이 관찰되지 않았고, 조밀한 섬유상의 구조가 나타났다. 수분함량이 증가할수록 섬유상의 구조가 증가했지만, 70% 수분함량에서는 섬유상의 구조가 감소한 것으로 나타났다.
- Samard et al. (2019)은 저수분 압출성형공정을 거친 대체육은 짧은 다이와 낮은 수분으로 다공성의 구조를 나타낸다고 했으며, 모든 저수분 대체육에서 크고 많은 공기층이 분포한다고 했다.
- 또한, 고수분 압출성형공정에서 긴 냉각 다이는 대체육의 팽화를 방지하는 역할을 하며, 이는 조밀하고 층이 있는 섬유상의 구조를 형성한다고 했다. 이는 제조된 대체육의 외관과 동일한 경향을 보였으며, 수분함량이 변화할 때는 저수분, 고수분 대체육 모두 조직이 유의적으로 변화했다는 결과를 얻었다.

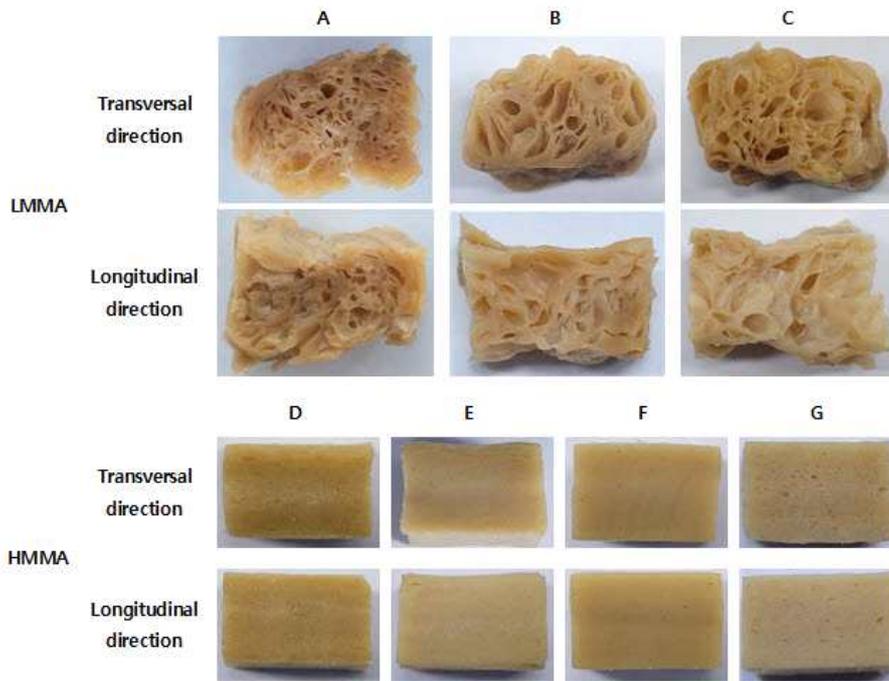


Figure 3. Cross section of extruded meat analog at different moisture and extrusion type. Low moisture meat analog (LMMA), high moisture meat analog (HMMA). A: moisture content 25%, B: moisture content 30%, C: moisture content 35%, D: moisture content 55%, E: moisture content 60%, F: moisture content 65%, G: moisture content 70%.

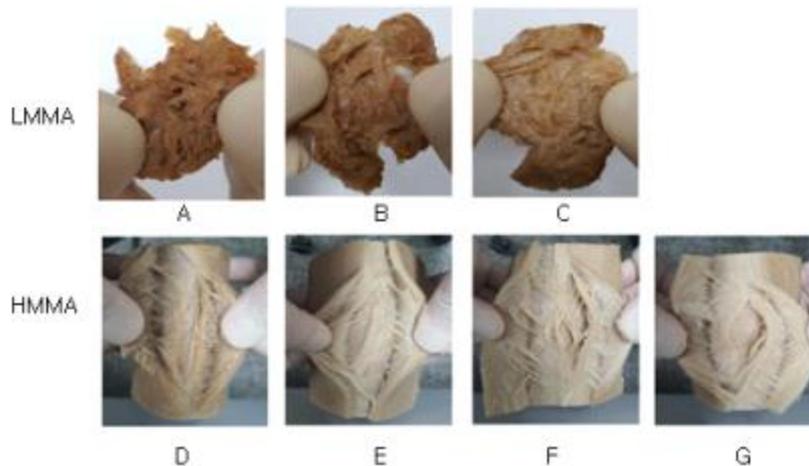


Figure 4. Fibrous structure of extruded meat analog at different moisture and extrusion type. Low moisture meat analog(LMMA), high moisture meat analog(HMMA). A: moisture content 25%, B: moisture content 30%, C: moisture content 35%, D: moisture content 55%, E: moisture content 60%, F: moisture content 65%, G: moisture content 70%.

나) 수분흡수력

- 수분흡수력은 대체육 내부의 공기층에 영향을 받으며, 수분함량과 배럴온도는 수분흡수력에서 중요한 요소로 작용한다. 그리고 대체육은 내부의 공기층이 크게 확장될수록 수화시 수분을 더 많이 흡수하게 되면서 수분흡수력이 높아졌다. 수분흡수력은 저수분 대체육에 한하여 측정했으며, 고수분 대체육의 경우 건조하지 않고 해동하여 즉시 사용할 수 있어 수분흡수력을 측정하지 않았다. 저수분 대체육의 수분흡수력은 Table 1에 나타냈다.
- 저수분 압출성형공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 대체육의 수분흡수력은

2.33±0.03, 3.13±0.04, 4.67±0.01g/g으로 증가했다. 이는 Figure 4와 같이 수분함량이 높을수록 다이에서 증발하는 수분이 증가하여 큰 다공성의 구조를 형성하여 수분흡수력이 높아진 것으로 판단된다. 이러한 결과는 45~55%로 수분함량이 증가하면서 수분흡수력이 증가한 Park et al. (2017)의 결과와 일치했다.

Table 1. Water holding capacity of extruded meat analog with different moisture content

Extrusion parameters		Water holding capacity (g/g)
Extrusion type	Moisture content (%)	
Low moisture extrusion	25	2.33±0.03 ^{c1)}
	30	3.13±0.04 ^b
	35	4.67±0.01 ^a

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

다) 조직감

- 탄력성, 응집성, 씹음성은 압출성형을 거친 대체육의 조직감을 수치상으로 나타내어 평가하는 데이터이다. 탄력성은 시료에 변형력이 제거되고 나서 원상태로 돌아가는 비율, 응집성은 씹힘에 대한 저항성을 이용하여 조직 형성력, 씹음성은 단단한 음식을 씹는 데 필요한 힘이며(Trinh과 Glasgow, 2012), 절단강도는 압출성형물의 섬유상 구조를 절단하는 데 필요한 면적 당 힘으로 정의할 수 있다 (Han et al., 2003). 절단강도는 대체육이 사출되는 방향으로 절단하는 흐름 방향 (longitudinal direction)과 흐름 방향에 수직으로 절단하는 수직 방향(transversal direction)을 측정했다. 압출성형 타입과 수분함량에 따른 조직감과 절단강도는 Table 2에 나타냈다.
- 저수분 압출성형공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 대체육의 탄력성은 88.12±4.11, 90.46±1.55, 90.69±2.49%, 응집성은 82.22±4.70, 86.90±2.29, 87.22±3.03%로 증가하였고, 씹음성은 655.37±125.54, 395.16±216.69, 272.81±101.55 g으로 감소했다. 이는 고온에서 수분함량이 증가할수록 다이를 통과할 때 증발하는 수분의 양이 많아 대체육 내부의 공기층이 커지고 스펀지와 같은 구조를 가지면서 나타난 결과이다.
- 절단강도는 수직 방향으로 521.56±64.96, 400.97±88.55, 319.45±20.06g/cm², 흐름 방향으로 437.29±91.88, 269.88±53.61, 241.49±23.42g/cm²로 감소했다. 이는 수분함량이 증가할수록 대체육 내부의 빈 공기층이 커지면서 절단에 필요한 힘이 감소하면서 나타난 결과라고 생각된다.
- 고수분 압출성형공정에서 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 대체육의 탄력성은 93.63±0.18, 94.19±1.25, 93.04±0.85, 91.26±0.99%로 수분함량 70%를 제외하고는 유의적 차이를 보이지 않았고, 응집성은 85.05±0.79, 87.04±2.30, 81.30±0.76, 81.13±1.46%로 감소했다. 씹음성도 6432.24±642.54, 6255.20±415.94, 6165.41±336.18, 3740.74±487.19 g으로 감소했다. 이는 수분함량이 증가할수록 단단한 조직에서 부드러운 조직으로 변화하여 나타난 결과라고 생각된다.
- 절단강도는 수직 방향으로 689.96±36.39, 1014.20±138.25, 1089.96±168.77, 924.05±87.26 g/cm², 흐름 방향으로 667.74±54.72, 858.04±86.58,

765.18±130.13, 469.90±41.35 g/cm²로 수분함량이 증가할수록 증가하는 추세를 보이다 감소했다. 이는 수분함량이 증가할수록 많은 섬유상의 구조를 형성하다가 70%의 수분함량부터 오히려 조직의 형성을 감소시켜 나타난 결과라고 생각된다.

- 고수분 압출성형 대체육은 저수분 대체육과 비교하여 탄력성과 응집성은 유의적 차이가 크지 않았고, 씹음성과 절단강도는 높은 값을 나타냈다. 이는 고수분 압출성형 대체육은 팽화를 막아 공기층이 없고, 조밀한 섬유상의 구조로 강하게 결합하고 있어 나타난 결과라고 판단된다.

Table 2. Texture profile analysis and cutting strength of extruded meat analog with different moisture content

Extrusion parameters		Cutting Strength (g/cm ²)				
Extrusion type	Moisture content (%)	Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Transversal direction	Longitudinal direction
Low moisture extrusion	25	88.12±4.11 ^(d1)	82.22±4.70 ^b	655.37±125.54 ^c	521.56±64.96 ^d	437.29±91.88 ^d
	30	90.46±1.55 ^c	86.90±2.29 ^a	395.16±216.69 ^c	400.97±88.55 ^e	269.88±53.61 ^e
	35	90.69±2.49 ^c	87.22±3.03 ^a	272.81±101.55 ^c	319.45±20.06 ^e	241.49±23.42 ^e
High moisture extrusion	55	93.63±0.18 ^a	85.05±0.79 ^a	6432.24±642.54 ^a	689.96±36.39 ^c	667.74±54.72 ^c
	60	94.19±1.25 ^a	87.04±2.30 ^a	6255.20±415.94 ^a	1014.20±138.25 ^{ab}	858.04±86.58 ^a
	65	93.04±0.85 ^{ab}	81.30±0.76 ^b	6165.41±336.18 ^a	1089.96±168.77 ^a	765.18±130.13 ^b
	70	91.26±0.99 ^{bc}	81.13±1.46 ^b	3740.74±487.19 ^b	924.05±87.26 ^b	469.90±41.35 ^d

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

라) 조직화도

- 조직화도는 Figure 5에 나타냈다. 저수분 압출성형공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 대체육의 조직화도는 1.21±0.13, 1.50±0.21, 1.33±0.09로 변화했으며, 수분함량 30%에서 가장 높았다.
- 저수분 압출성형공정에서 25, 35%의 대체육의 경우 수분함량 30% 대체육에 비해 조직화도가 감소한 것으로 나타났는데, 수분함량이 30%보다 낮거나 높으면 오히려 단백질 배열과 조직 형성을 감소시키며 수분함량 30%가 가장 좋은 조직화도를 나타낸다고 판단된다.
- 반면에 고수분 압출성형공정에서는 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 1.04±0.03, 1.18±0.12, 1.43±0.11, 1.97±0.08으로 변화했으며, 수분함량 70%에서 가장 높았다. 수분함량이 높을수록 조직화도가 높아졌는데, 고수분 압출성형공정에서는 수분함량이 높을수록 점도가 높아져 용융물 내부의 단백질이 재배열과 조직의 형성이 향상했다고 판단된다.
- 고수분 압출성형 대체육은 저수분 대체육과 비교하여 수분함량 55%를 제외하고 조직화도가 높은 값을 나타냈다. 이는 고수분 압출성형 대체육은 팽화가 억제되고 조밀하게 결합한 구조가 형성되기 때문에 나타난 결과라고 판단된다.

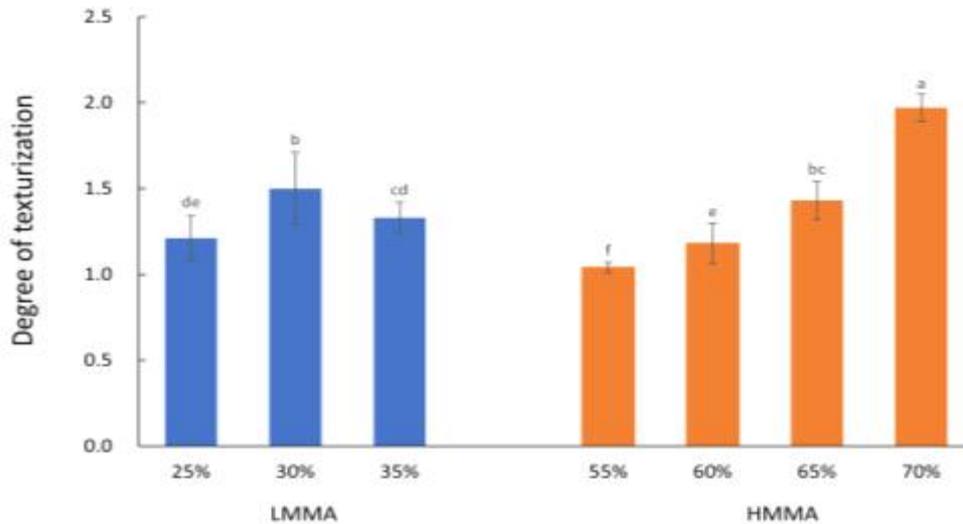


Figure 5. Changes in texturization degree of extruded meat analog by different moisture content. Bar values followed by the same superscript (a-f) are not significantly different ($P < 0.05$). Low moisture meat analog (LMMA), high moisture meat analog (HMMA).

마) 조직잔사지수

- 압출성형 통해 제조한 대체육 조직화 정도는 관능평가로 평가하지만, 섬유상의 구조를 가진 대체육의 조직 보존력을 수치상으로 나타내기 어렵다 (Park et al., 2017). 따라서 섬유상의 구조를 가진 대체육의 조직 보존력을 수치상으로 표현하기 위해 Gu와 Ryu (2017)의 방법을 응용하여 조직잔사지수를 측정했다. 압출성형 타입과 수분함량에 따른 조직잔사지수는 Table 3에 나타냈다.
- 저수분 압출성형공정에서는 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 조직잔사지수가 70.39 ± 0.63 , 69.86 ± 1.71 , $66.62 \pm 3.44\%$ 로 감소했다. 사출되는 수분량이 증가하면서 공기층의 크기가 커지고, 생성된 공기층은 조직의 결합을 방해하기 때문으로 판단된다. 이는 분리대두단백을 압출성형 했을 때 수분함량이 증가할수록 조직잔사지수가 감소한다는 Han et al. (1989)의 연구와 일치했다.
- 고수분 압출성형공정에서는 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 조직잔사지수가 93.01 ± 0.68 , 82.10 ± 1.19 , 81.56 ± 1.15 , $66.39 \pm 1.65\%$ 로 감소했다. 수분함량이 55%에서는 적은 섬유상 구조를 가졌지만 단단한 조직을 형성하여 높은 조직잔사지수가 나타났고, 수분함량이 증가할수록 많은 섬유상의 구조를 가졌다. 하지만 수분함량 70%에서는 조직잔사지수가 크게 감소했는데, 높은 수분이 오히려 조직의 형성을 감소시켰다고 판단된다.
- 고수분 압출성형 대체육은 저수분 압출성형 대체육과 비교하여 조직잔사지수가 더 높은 값을 나타냈다. 이는 고수분 압출성형공정을 통해 제조한 대체육이 더 강한 결합을 하며, 조직을 더 잘 유지한다고 판단할 수 있다.

바) 수용성 질소 지수

- 수용성질소지수는 단백질이 조직화 되면서 변성 정도를 수치화한 지표이며 (Park et al., 2017), 조직잔사지수와 음의 상관관계를 가져 조직화 정도를 판단할 수 있다 (Gu와 Ryu, 2017). 압출성형 타입과 수분함량에 따른 수용성질소지수는 Table 3에 나타냈다.

- 저수분 압출성형공정에서 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 수용성질소지수는 59.87 ± 2.42 , 61.00 ± 0.32 , $70.30 \pm 2.72\%$ 로 증가했고, 고수분 압출성형공정에서 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 수용성질소지수는 45.58 ± 1.66 , 50.59 ± 4.13 , 64.24 ± 0.89 , $64.17 \pm 0.95\%$ 로 증가했다. 이는 수분함량이 높을수록 용융물의 점도가 감소하여 전단력이 감소하고 단백질 변성이 감소한 것으로 판단되며, 수분함량이 높을수록 수용성질소지수가 증가한 Gu와 Ryu(2019)의 결과와 일치했다.
- 고수분 압출성형 대체육은 저수분 대체육과 비교하여 수용성질소지수가 더 낮은 값이 나타났다. 이는 고수분 압출성형공정을 통해 제조한 대체육이 단백질 변성이 더 많이 이루어졌다고 판단된다.

Table 3. Integrity index and nitrogen solubility index of extruded meat analog with different moisture content

Extrusion parameters		Integrity index (%)	NSI (%)
Extrusion type	Moisture content(%)		
Low moisture extrusion	25	$70.39 \pm 0.63^{c1)}$	59.87 ± 2.42^c
	30	69.86 ± 1.71^c	61.00 ± 0.32^{bc}
	35	66.62 ± 3.44^d	70.30 ± 2.72^a
High moisture extrusion	55	93.01 ± 0.68^a	45.58 ± 1.66^e
	60	82.10 ± 1.19^b	50.59 ± 4.13^d
	65	81.56 ± 1.15^b	64.24 ± 0.89^b
	70	66.39 ± 1.65^d	64.17 ± 0.95^b

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

사) 요약

- 본 연구는 수분함량을 달리하여 제조한 저수분, 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 비교했다.
- 저수분 대체육은 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴온도 150°C로 고정하고, 수분함량을 25, 30, 35%로 조절하여 제조했다.
- 고수분 대체육은 스크루 회전속도 150 rpm, 배럴온도 160°C로 고정하고, 수분함량 55, 60, 65, 70%로 조절하여 제조했다.
- 저수분 대체육은 수분함량이 25, 30, 35%로 증가하면서 수분흡수력, 탄력성, 응집성은 증가했고, 씹음성, 수직 방향과 흐름 방향 절단강도는 감소했다. 조직화도는 30%까지 증가하다가 35%에서 감소했다.
- 고수분 대체육은 수분함량이 55, 60, 65, 70%로 증가하면서 탄력성은 수분함량 70%를 제외하고는 유의적인 차이를 보이지 않았고, 응집성, 씹음성은 감소했다. 절단강도는 수직, 흐름 방향 모두 증가하는 추세를 보이다 감소했다. 조직화도는 55%의 수분함량에서 가장 높은 수치를 나타냈고 수분함량이 증가할수록 감소했다.
- 또한, 저수분과 고수분 대체육은 수분함량이 증가하면서 조직잔사지수가 감소하였고, 수용성질소지수는 증가했다. 고수분 대체육과 저수분 대체육을 비교했을 때 탄력성, 응집성, 씹음성, 절단강도, 조직잔사지수는 증가했고 수용성질소지수는 감소했다. 결론적으로 수분함량은 대체육의 조직화에 큰 영향을 미치며, 고수분 대체육이 저수분 대체육과 비교

하여 많은 섬유상의 구조를 형성하여 고수분 대체육이 육류 대체 식품 소재로 활용도가 더 높을 것으로 판단된다.

다. 대체육에 사용되는 식물성 단백질소재의 품질 특성

가) 수분흡수력 및 유지흡수력

- 수분흡수력 (water absorption capacity)은 보통, 단백질 분자의 구조적 특성, 단백질 분자 내 아미노산의 친수성 및 소수성의 균형 이외에 다양한 매개변수에 영향을 받으며, 유지흡수력 (oil absorption capacity)은 단백질 내에 소수성, 비공유결합과 같은 단백질 분자와 지질의 상호작용에 영향을 받는다 (Cha et al., 2020; Adiamo et al., 2016).
- 식물단백원료의 수분흡수력과 유지흡수력은 Figure 6에 나타내었다. 수분흡수력은 분리대두단백 (ISP)이 353.54 ± 2.87 로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 뒤를 분리녹두단백 324.65 ± 0.23 , 중국산 분리완두단백 (Pea 2) 296.83 ± 0.79 의 순으로 높게 나타났으며, 분리쌀단백 VPT-80N(Rice 2)가 231.56 ± 0.72 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 분리대두단백(ISP)과 분리녹두단백 소재 대체육의 수분흡수력 값이 밀 글루테이나 분리완두단백 소재보다 높은 값을 나타내었다는 Samard et al. (2021)의 보고와도 일치하는 바, 분리대두단백 (ISP) 소재와 분리녹두단백의 높은 용해도와 친수성 아미노산의 함량이 이에 영향을 미친 것으로 생각된다.
- 유지흡수력은 밀 글루테이 109.83 ± 0.08 로 가장 높은 값을 나타내었으며, 수분흡수력의 결과와 같이 분리쌀단백 VPT-80N (Rice 2)이 48.17 ± 0.08 로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 친유성 아미노산의 함량이 상대적으로 큰 글루테의 친유성 단백질 분자들이 유지와의 강한 상호작용을 통해 높은 유지흡착 및 보유력을 나타낸 것으로 생각된다.
- 수분흡수력에서는 미국산 (Pea 1)과 중국산 분리완두단백 (Pea 2) 간에 큰 차이를 보이지 않았지만, 유지흡수력에서 각각, 108.83 ± 0.13 , 98.23 ± 0.13 으로 미국산 분리완두단백 (Pea 1)이 보다 높은 값을 나타내었다. 이는 동일한 분리완두단백 소재라도 미국산 (Pea 1)의 단백질 분자 크기가 크고, 분자 간의 밀도가 상대적으로 낮기 때문인 것으로 생각되며, 또한, 이는 참깨 및 대두 단백질의 겔보기 밀도와 유지흡수력 간에 음의 상관관계가 성립했다는 Dench 등(1981)의 보고와도 일치했다.
- 수분흡수력과 유지흡수력에서 모두 가장 낮은 값을 나타낸 분리쌀단백 VPT-80N (Rice 2)의 경우, 다른 소재보다 높은 탄수화물 함량이 단백질 분자 간 조밀성에 영향을 준 것으로 생각된다(Cha et al., 2020). 분리쌀단백 RP-80 (Rice 1)과 분리쌀단백 VPT-80N (Rice 2) 간 비교에서는, 수분 및 유지흡수력에서 각각 236.01 ± 2.97 , 57.99 ± 0.30 으로 모두 더 높은 값을 나타낸 분리쌀단백 RP-80 (Rice 1)이 단백질 분자의 크기가 상대적으로 크고 밀도가 낮아 수분 및 유지를 포획하고 보유하는 능력이 큰 것으로 생각된다.

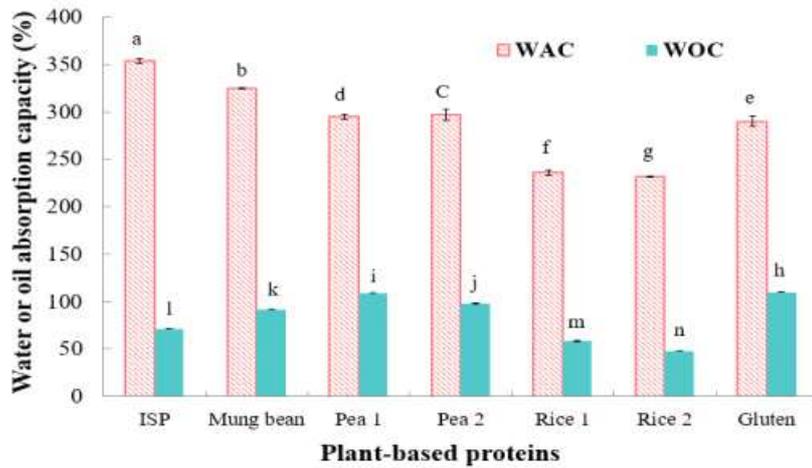


Figure 6. Water oil absorption capacity and oil absorption capacity of plant proteins. Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

나) 유화활성 및 유화안정성

- 단백질은 천연계에 존재하는 천연유화제로서 유화과정에서 물과 기름의 계면 장력을 낮추어 유화액 형성을 용이하게 하고, 형성된 유화액을 안정화시키는 역할을 한다 (Cha et al., 2020).
- 식물단백원료의 유화성을 측정하기 위한 두 가지 지표인 유화활성 (emulsifying activity) 과 유화안정성 (emulsion stability) 값은 Figure 7에 나타내었다.
- 유화활성과 유화안정성 모두, 밀 글루텐이 각각, 54.47 ± 0.20 , 86.64 ± 0.02 로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 뒤를 미국산 분리완두단백 (Pea 1)이 50.33 ± 0.33 , 85.78 ± 0.18 , 중국산 분리완두단백 (Pea 2)이 43.83 ± 0.02 , 75.96 ± 0.83 의 순으로 높은 값을 나타내었다.
- 반면, 분리쌀단백 VPT-80N (Rice 2)의 유화활성과 안정성이 23.40 ± 0.03 , 36.47 ± 0.38 으로 가장 낮은 값을 나타내었다.
- 이는 분리완두단백이나 밀 글루텐의 경우 대체육 패티 및 샐러드 드레싱에 적합한 유화성이 높은 소재로 응고나 침전이 적은 특성 때문인 것으로 생각되며, 분리완두단백과 밀 글루텐의 유화활성과 유화안정성이 분리녹두단백이나 분리대두단백보다 높은 값을 나타내었다는 Samard et al. (2021)의 보고와도 일치했다.
- 또한, 동일 분리완두단백 소재인 미국산 (Pea 1)과 중국산 분리완두단백 (Pea 2)과의 비교에서, 높은 유지흡수력을 지닌 미국산 (Pea 1)의 유화활성과 유화안정성이 더 높게 나타났다. 이는 미국산 분리완두단백 (Pea 1)의 단백질 분자가 유지와의 강한 상호작용을 통해 단백질 막을 견고하게 형성하여 응집과 유착 정도가 감소하였기 때문으로 생각된다 (Lee와 Lee, 1997).
- 가장 낮은 값을 나타낸 분리쌀단백 (Rice 1,2) 경우, 다른 소재에 비하여 상대적으로 적은 단백질 함량 때문에 유화 점도가 떨어져 낮은 유화활성과 유화안정성 값을 나타낸 것으로 생각되며, 이는 분리대두단백의 단백질 농도가 증가할수록 유지의 입도가 감소하고 유화 점도가 증가하여 유화안정성이 증가하였다는 Hwang et al. (1992)의 보고와도 일치했다.

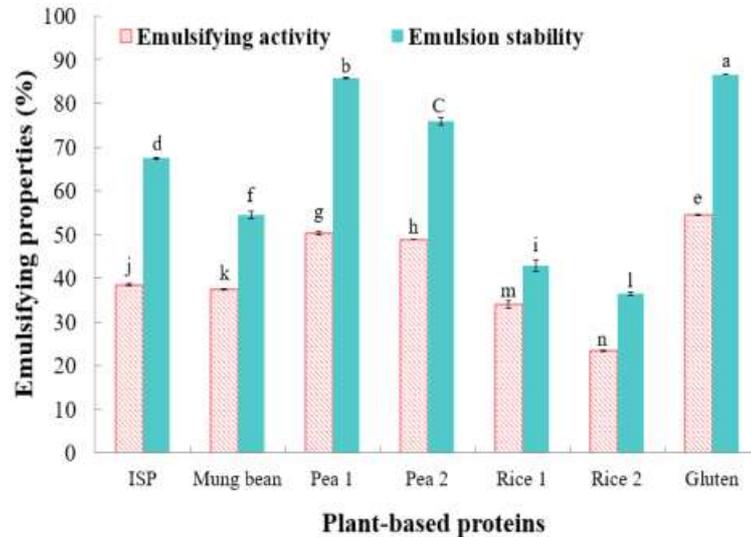


Figure 7. Emulsifying activity and emulsion stability of plant proteins. Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

다) 수용성 질소 지수

- 수용성질소지수는 물에 용해되어 분산되는 수용성 단백질의 측정을 위하여 널리 사용된다 (Cho, 2021).
- 단백질 시료 중 분리대두단백 (ISP)이 94.52 ± 0.03 으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 그 뒤를 밀 글루텐이 93.22 ± 0.71 , 분리녹두단백 90.92 ± 0.01 의 순으로 높게 나타났다 (Figure 8). 반면, 분리쌀단백 VPT-80N (Rice 2)이 81.19 ± 0.53 으로 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 친수성 아미노산의 함량이 많고 수분흡수력이 높은 분리대두단백 (ISP)의 단백질 분자들이 물 분자와의 강한 상호작용을 통해 높은 분산성을 나타낸 것으로 생각되며, 분리대두단백 (ISP)의 용해도가 분리완두단백이나 분리녹두단백에 비하여 높은 값을 나타내었다는 Cha et al. (2020)의 보고와도 일치했다.
- 또한, 분리쌀단백이 다른 소재에 비하여 전분질과 지질 함량이 높아 용해되는 수용성 단백질의 함량이 적어 가장 낮은 수용성질소지수를 나타낸 것으로 생각된다.
- 미국산과 중국산 분리완두단백의 비교에서, 미국산이 88.58 ± 0.01 로 87.45 ± 0.03 인 중국산보다 높은 수용성질소지수를 나타내었다.
- 분리쌀단백 간에서는 수분흡수력 및 유지흡수력에서 모두 높은 값을 나타낸 분리쌀단백 RP-80 (Rice 1)이 단백질 분자의 크기가 크고 밀도가 낮아 구조의 해리가 용이하기 때문에 비교적 높은 수용성질소지수를 나타낸 것으로 생각되며, 이는 시료의 밀도가 감소할수록 수용성질소지수가 증가하였다는 Cho와 Ryu (2017)의 보고와도 일치했다.

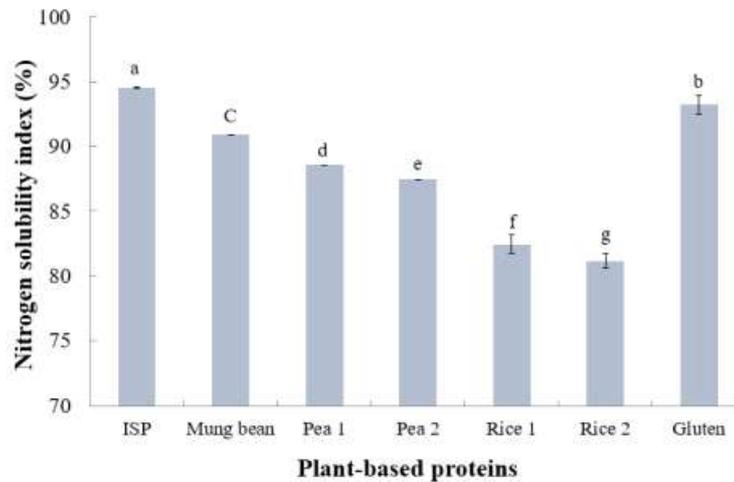


Figure 8. Nitrogen solubility index of plant proteins. Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

라) 항산화 특성

- 폴리페놀 화합물 (total phenolic content)은 식물에만 존재하는 생리활성 물질로서 강한 항산화능을 지니며, 안정한 형태의 free radical인 DPPH의 소거 활성능은 추출물의 항산화 활성을 평가하는 척도가 된다 (Seleshe와 Kang, 2019).
- 식물성 단백질료의 항산화 특성 요인인 총 폴리페놀 화합물 함량과 DPPH 라디칼 소거 활성에서 분리녹두단백이 각각, 444.04 ± 1.63 , 55.06 ± 2.97 로 가장 높은 값을 나타내었다 (Figure 9A, B). 그 뒤를 중국산 분리완두단백 (Pea 2)이 406.41 ± 1.37 , 48.05 ± 0.05 , 미국산 분리완두단백 (Pea 1)이 402.62 ± 0.93 의 순으로 높은 값을 나타내었다. 이는 녹두에 함유된 특유의 생리활성 물질인 vitexin과 isovitexin의 외에도, 다른 단백질 시료들에 비해 높은 총 폴리페놀 화합물 함량 때문인 것으로 생각된다 (Kim et al., 2014). 두 분리완두단백 간의 비교에서는 중국산 분리완두단백 (Pea 2)이 미국산 (Pea 1)보다 더 높은 항산화 특성을 보였다. 이는 동일한 종류의 시료라도 그 품종이나 추출조건 및 추출방법에 따라 항산화 특성에 차이가 있기 때문인 것으로 생각된다 (Jeon et al., 2015). 반면, 가장 낮은 총 폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거활성 값을 나타낸 분리쌀단백 RP-80 (Rice 1)와 분리쌀단백 VPT-80N (Rice 2) 간에는 유의적인 차이가 없어, 항산화 기능성 면에서 두 시료가 유사한 것으로 나타났다.
- 또한, 식물성 단백질료의 총 폴리페놀 화합물과 DPPH 라디칼 소거 활성 값은 동일한 패턴을 나타내었으며, 이는 식물성 원료의 항산화 특성은 함유된 총 폴리페놀 화합물과 양의 상관관계를 가진다는 Cho (2021)의 보고와도 일치했다.

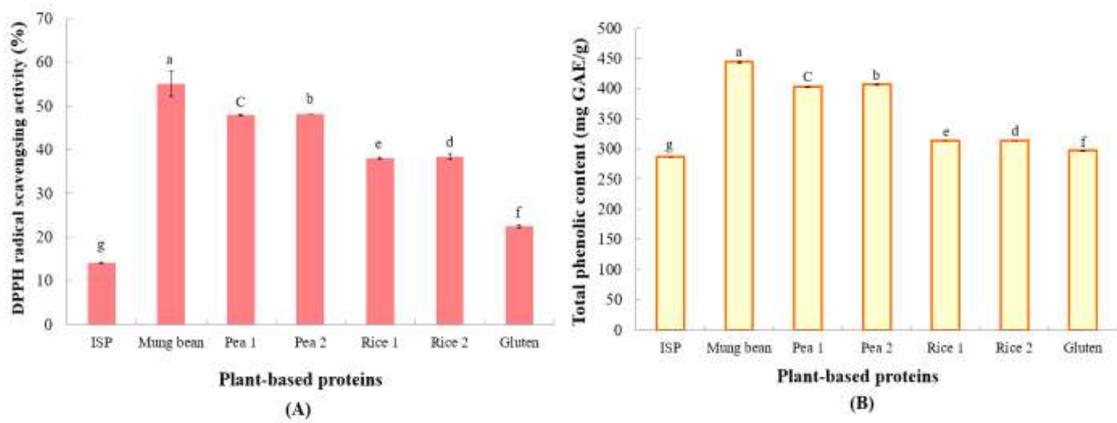


Figure 9. DPPH radical scavenging activity(A) and total phenolic content(B) of plant proteins. Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

마) 요약

- 본 연구는 조직감 및 기능성 면에서 우수한 대체육의 제조를 위하여, 이의 재료가 되는 식물성 단백질 원료인 분리대두단백, 분리녹두단백, 밀 글루텐과 원산지과 상품명이 각각 다른 분리완두단백과 분리쌀단백의 품질 특성에 대하여 살펴보았다.
- 수분흡수력에서는 분리대두단백이, 유지흡수력에서는 밀 글루텐이 가장 높은 값을 나타내었다. 또한, 유지흡수력에서 미국산 분리완두단백이 중국산 분리완두단백보다 높은 값을 나타내었으며, 분리쌀단백 RP-80이 수분 및 유지흡수력에서 분리쌀단백 VPT-80N보다 높은 값을 나타내었다.
- 유화활성과 유화안정성 모두에서 밀 글루텐이 가장 높은 값을 나타내었고, 미국산 분리완두단백의 유화활성과 유화안정성이 중국산보다 더 높게 나타났다. 가장 낮은 유화활성과 유화안정성을 나타낸 분리쌀단백의 경우, RP-80이 VPT-80N보다 더 높은 값을 나타내었다.
- 수용성질소지수는 분리대두단백에서 가장 높았고, 미국산이 중국산보다, 분리쌀단백 RP-80이 VPT-80N보다 더 높은 값을 나타내었다. 항산화 특성인 DPPH radical 소거활성과 총 폴리페놀 화합물에서 모두 분리녹두단백이 가장 높은 값을 나타내었으며, 중국산 분리완두단백이 미국산보다 높은 값을, 쌀 단백질 RP-80과 VPT-80N 간에는 유의적인 차이가 없어, 항산화 기능성 면에서 두 시료가 유사한 것으로 나타났다.
- 식물성 단백질의 종류와 성분뿐만 아니라, 동일 종의 단백질도 원산지와 제조사, 용도에 따라 그 품질에 차이가 있음을 확인하였으며, 이는 차후 대체육 제조를 위한 식품학적 적용에 좋은 참고 자료가 될 것이다.

라. 부원료로써 식이섬유(느타리버섯)의 영향 분석

가) 조직감

- 버섯 함량에 따른 FFS 기반 압출성형 대체육의 경도, 탄력성, 응집성, 씹음성 및 절단강도를 포함한 조직 프로파일 특성은 Table 4와 같다.
- 가장 높은 경도와 씹음성은 버섯 함량이 12%인 FFS 기반 압출성형 대체육에서 18.93 N, 12.15 N으로 관찰되었다. 느타리버섯 함량이 증가할수록 경도와 씹음성이 증가했다.
- 가로 및 세로 단면력을 포함한 절단강도는 느타리버섯 함량이 0에서 12% (625.93,

681.00, 710.07, 762.80g/cm²)로 증가함에 따라 증가했다. 이는 압출성형 대체육에서 교차 결합 형성의 복잡한 효과를 초래한 단백질-폴리페놀 결합에 의한 것으로 생각된다 (Quan et al., 2019). Ma & Ryu (2019)는 녹차 함량이 0, 5, 10 및 15% 증가함에 따라 ISP 기반 압출성형 대체육의 경도와 씹음성이 증가한다고 했다. 또한 Cho & Ryu (2020)는 ISP 기반 압출성형 대체육 느타리버섯 함량 (0, 4, 8, 12)이 증가함에 따라 경도, 응집성, 탄력성, 씹음성 및 절단강도가 모두 증가한다고 보고했다. 이는 압출성형 대체육의 응집성 및 탄력성이 구조의 내부 저항에 대한 가교 형성에 주로 영향을 받는다는 보고와 관련이 있을 수 있다 (Ma & Ryu, 2019).

- 특히, 탄력성은 주로 압출성형 대체육에서 1차 압축과 2차 압축 사이의 회복에 의존한다. 또한 이러한 요인은 일반적으로 이황화 결합과 관련된 단백질 함량의 영향을 받는다 (Samard et al., 2019). 따라서 단백질 함량이 낮고 지방 함량이 높은 FFS 기반은 ISP 기반에 비해 일정하지 않은 패턴을 보였다 (Cho & Ryu, 2020).

Table 4. Texture profile analysis and cutting strength of FFS-based extruded meat analog with different oyster mushroom content

Mushroom Content (%)	Hardness (N)	Springiness (N)	Cohesiveness (N)	Chewiness (N)	Cutting strength (g/cm ²)
0	15.99 ± 0.12 ^d	7.6 × 10 ⁻³ ± 0.48 ^b	5.2 × 10 ⁻³ ± 1.30 ^f	9.13 ± 0.12 ^d	625.93 ± 0.47 ^d
4	17.36 ± 0.31 ^c	8.0 × 10 ⁻³ ± 1.46 ^a	5.6 × 10 ⁻³ ± 2.34 ^e	9.40 ± 0.14 ^e	681.00 ± 0.54 ^e
8	17.57 ± 0.90 ^b	7.4 × 10 ⁻³ ± 1.36 ^c	5.4 × 10 ⁻³ ± 0.27 ^b	10.97 ± 0.46 ^b	710.07 ± 0.77 ^b
12	18.93 ± 1.13 ^a	7.0 × 10 ⁻³ ± 0.25 ^d	5.3 × 10 ⁻³ ± 0.27 ^d	12.15 ± 2.12 ^a	762.80 ± 0.54 ^a

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

나) 느타리버섯 첨가 압출성형 대체육의 섬유상 구조

- 느타리버섯 함량이 다른 FFS 기반 압출성형 대체육의 섬유상 구조를 확인하기 위한 디지털 사진은 Figure 10과 같다. 느타리 버섯 함량이 0 %에서 12 %로 증가함에 따라 섬유상 구조가 밀집된 층이 나타난다 (Figure 10). 이는 느타리버섯 함량 (0, 4, 8, 12%)이 증가함에 따라 ISP 기반 압출성형 대체육의 층 및 섬유 배열이 증가한다고 보고한 Cho & Ryu (2020)의 보고와 일치한다.
- 결과를 바탕으로, 느타리버섯 추가는 이황화 결합 및 가교와 관련된 단백질-폴리페놀 복합체 때문일 수 있는 압출성형 대체육에서 섬유질 구조를 생성하는 데 기여한다 (Samard et al., 2019; Quan et al., 2019).

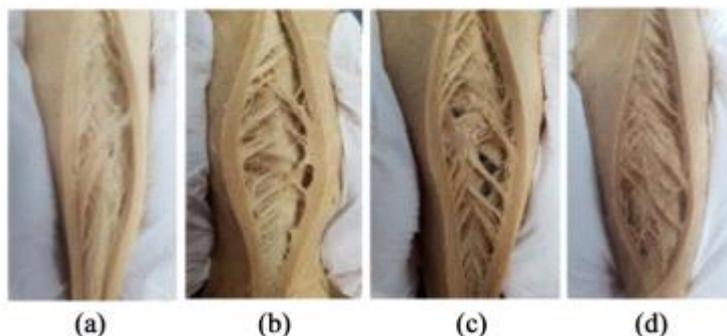


Figure 10. Digital photographs of full fat-soy (FFS)-based extruded meat analog with under different oyster mushroom contents (a) 0%, (b) 4%, (c) 8%, (d) 12%.

다) 조직잔사지수

- 조직잔사지수는 압출성형 대체육을 수화, 고압증기멸균, 균질화 및 건조 후 잔류 조직의 양을 나타내는 것으로 압출성형 대체육의 품질을 나타내는 중요한 특성이다 (Samard et al., 2019; Ma & Ryu, 2019).
- 느타리버섯 함량이 다른 FFS 기반 압출성형 대체육의 조직잔사지수는 Figure 11에 나타내었다. 가장 높은 조직잔사지수는 12% 느타리버섯 함량에서 81.75%로 나타났다. 느타리버섯 함량이 증가할수록 조직잔사지수가 증가했다. 이는 동일한 패턴의 느타리버섯 함량이 증가함에 따라 ISP 기반 압출성형 대체육의 조직잔사지수도 증가한다고 보고한 Cho & Ryu (2020)와 일치한다. ISP 기반 압출성형 대체육의 조직잔사지수는 녹차 함량이 증가함에 따라 증가한다고 보고했다.
- 조직잔사지수의 증가는 느타리버섯의 폴리페놀 추출물과 대두단백의 조합으로 인해 압출성형 공정 중 단백질-폴리페놀 복합체를 담당하는 조직화 개선으로 이어질 수 있다 (Ma & Ryu, 2019). 더욱이, 높은 조직잔사지수는 압출성형공정을 통한 고압 및 고온 동안 형성되는 다당류 및 섬유 상호작용으로 유변학적 안정성을 개선하기 때문일 수 있다.
- 또한 FFS 기반 압출성형 대체육의 조직잔사지수와 절단강도의 관계를 Figure 11에 나타내었다. 조직잔사지수와 절단강도는 양의 상관관계가 있었다 ($R^2 = 0.9747$). Samard et al.(2019)에서도 유사한 연구가 보고되었다. Samard et al.(2019)은 절단강도가 높을수록 더 단단한 조직감과 관련된 조직잔사지수가 높아진다고 했다.

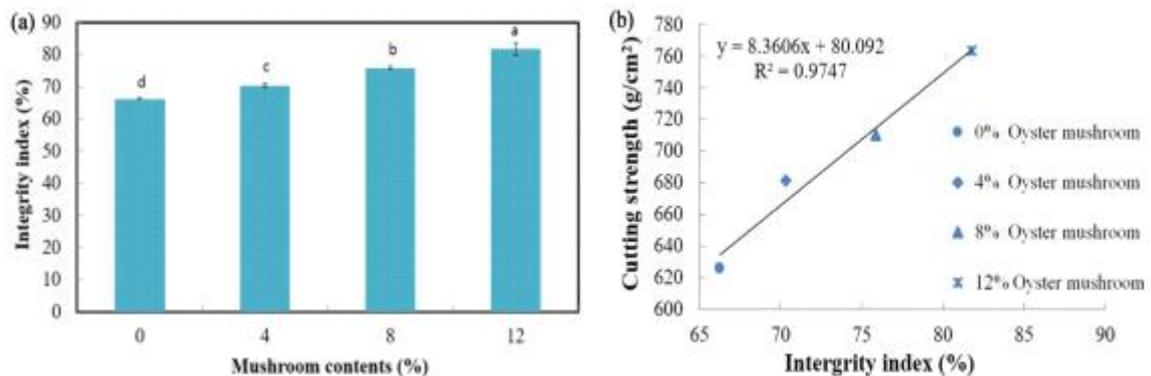


Figure 11. Integrity index of full fat-soy (FFS)-based extruded meat analog with oyster mushroom contents (a) and correlations between integrity index and cutting strength of FFS-based extruded meat analog with different oyster mushroom contents (b). Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

라) 수용성 질소 지수

- 수용성질소지수 (NSI)는 가용성 단백질을 포함하는 물 분산성 질소 및 압출성형 대체육 제조 중 생성된 단백질 변성을 결정하는 데 사용된다 (Samard et al., 2019). 느타리버섯 함량이 다른 FFS 기반 압출성형 대체육의 NSI는 Figure 12에 나타내었다. 가장 높은 NSI는 0%의 느타리버섯 함량을 갖는 FFS 기반 압출성형 대체육에서 66.42%로 관찰되었으며, 가장 낮은 NSI는 12% 느타리버섯 함량에서 47.49%로 관찰되었다. NSI는 느타리버

섯 함량이 증가함에 따라 감소했다. 이러한 결과는 느타리버섯을 첨가하면 NSI가 감소한다고 보고한 Cho & Ryu (2020)의 연구결과와 일치한다. 연구자는 또한 NSI의 감소는 느타리버섯을 증가시켜 단백질 기질로 폴리페놀을 축진시키는 불용성 구조의 증가 때문이라고 보고하였다 (Ma & Ryu, 2019).

- 또한 FFS 기반 압출성형 대체육의 NSI와 조직화지수의 관계는 Figure 12와 같다. FFS 기반 압출성형 대체육의 NSI와 조직화지수는 음의 상관관계로 나타났다 ($R^2 = 0.9653$). 이와 유사하게 ISP 기반 압출성형 대체육의 NSI는 가교구조를 생성하는 용해도가 낮아 느타리버섯 함량이 증가함에 따라 감소한다고 표현한 Cho & Ryu (2020)에서도 유사한 결과를 발견했다.

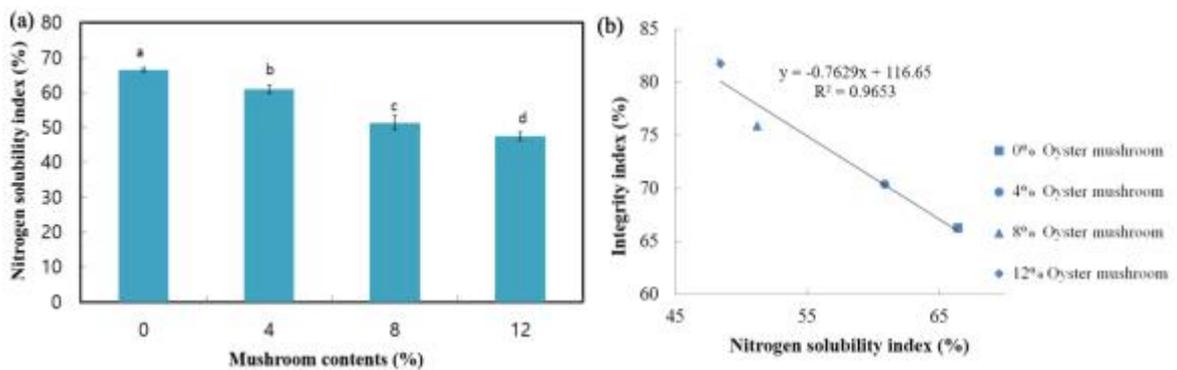


Figure 12. Nitrogen solubility index of full fat-*soy* (FFS)-based extruded meat analog with oyster mushroom contents (a) and correlations between nitrogen solubility index and integrity index of FFS-based extruded meat analog with different oyster mushroom contents (b). Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

마) 수분흡수력

- 수분흡수력 (WHC)은 재수화 후 세포막을 변화시키지 않고 육류 샘플의 수축된 구조에서 수분의 양을 유도하는 능력으로 정의된다 (Lin et al., 2002).
- Figure 13은 느타리버섯 함량이 다른 FFS 기반 압출성형 대체육의 WHC를 나타낸 것이다. 가장 높은 WHC는 느타리버섯 함량이 4%인 FFS 기반 압출성형 대체육에서 330.59%, 가장 낮은 WHC는 느타리버섯 함량 12%가 289.08%로 나타났다. 본 연구에서는 느타리버섯의 첨가가 응집성 및 탄력성의 결과와 같은 패턴을 주도했다.

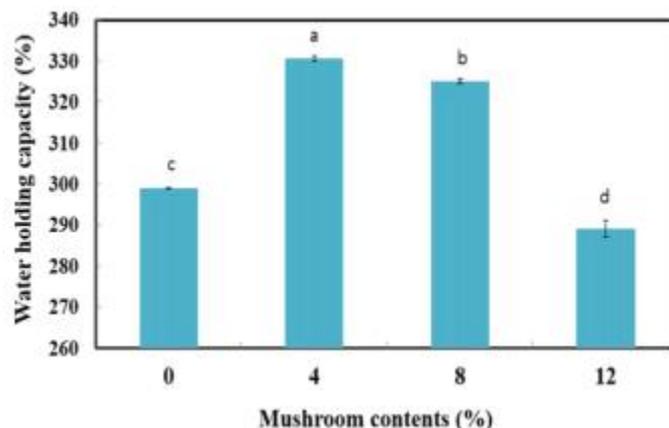


Figure 13. Water holding capacity of full fat-soy (FFS)-based extruded meat analog with oyster mushroom contents. Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

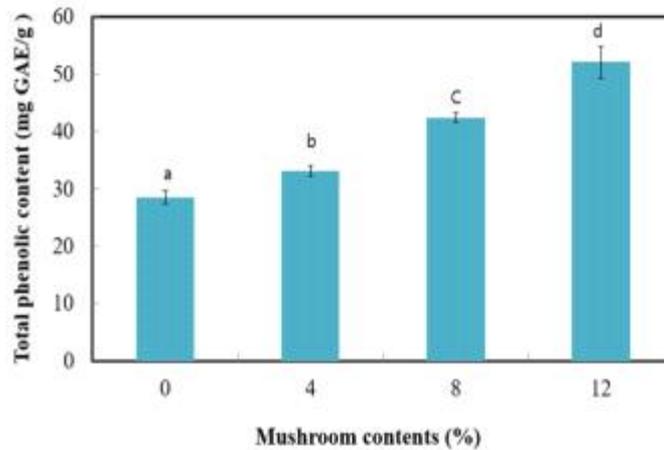


Figure 14. Total phenolic content of full fat-soy (FFS)-based extruded meat analog with oyster mushroom contents. Different letters on the bars indicate significant differences ($P < 0.05$).

2) 저수분 조건에서의 기존 식물단백(대두) 대체육과 신규 식물단백(쌀, 완두, 녹두) 대체육의 품질 특성 비교

(1) 연구수행 방법

가. 분리대두단백의 대체 원료로써 분리완두단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향

가) 실험재료

- 본 실험에는 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 40:10의 비율로 고정하고, 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China)과 분리완두단백 (Yantai Shuangta Food Co., Jinling, China)을 각각 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50으로 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1A와 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1A는 저수분 압출성형기로 짧은 8 cm의 사출구를 사용하여 팽화된 저수분 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리완두단백과 분리대두단백의 배합비에 따른 대체육의 특성을 살펴보고자 Choi와 Ryu (2022)의 연구를 참고하여 공정변수는 원료 투입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴온도 150℃, 수분함량을 35%로 고정했다.
- 제조한 대체육은 열풍건조기 (FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서 12시간 건조해 보관했으며, 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수 측정에 사용했다.

나. 분리대두단백의 대체 원료로써 분리쌀단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향

가) 실험재료

- 본 실험에 사용한 재료는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea), 분리쌀단백 (Vedan VietNam Enterprise Co., Ltd, Nai Province, Vietnam)을 사용했다. 대체육 제조에 사용되는 원료는 밀 글루텐과 옥수수 전분을 40:10으로 고정하고, 분리대두단백의 함량을 감소시키고 분리쌀단백의 함량은 증가시켜, 분리대두단백과 분리쌀단백을 50:0, 45:5, 40:10, 35:15, 30:20의 비율로 혼합하여 원료를 사용했다.

나) 압출성형공정

- 본 실험에 사용된 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였고 스크루의 직경은 3.0 cm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1, 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1A와 같다 (Samard와 Ryu, 2019). 8 cm의 사출구를 사용하여 분리쌀단백 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 공정변수는 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴온도 140℃, 수분함량을 40%로 고정하여 압출했다.
- 제조한 대체육은 열풍건조기 (FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서 24시간 건조한 대체육은 1.5 cm x 1.5 cm 크기로 절단하여 물리적 특성실험에 이용하였고, 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말을 이용하여 화학적 특성 실험에 이용했다.

다. 분리대두단백의 대체 원료로써 분리녹두단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향

가) 실험재료

- 본 실험에 사용한 재료는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea), 분리녹두단백 (ETprotein, Panjin, China)을 사용했다. 대체육 제조에 사용되는 원료는 밀 글루텐과 옥수수 전분을 40:10으로 고정하고, 분리대두단백과 분리녹두단백의 비율을 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50로 조절하여 압출성형공정에 이용했다.

나) 압출성형공정

- 본 실험에 사용된 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였고 스크루의 직경은 3.0 cm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1, 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1A와 같다 (Samard와 Ryu, 2019). 8 cm의 사출구를 사용하여 분리녹두단백 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 공정변수는 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴온도 150℃, 수분함량을 40%로 고정하여 압출했다.
- 제조한 대체육은 열풍건조기 (FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서

24시간 건조 후 1.5 cm x 1.5 cm 크기로 절단하여 물리적 특성실험에 이용하였고, 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말을 이용하여 화학적 특성실험에 이용했다.

(2) 연구수행 결과

가. 분리대두단백의 대체 원료로써 분리완두단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향

가) 외관

- 분리대두단백과 분리완두단백의 혼합 비율에 따른 대체육과 실제 고기의 수직 방향 단면 및 흐름 방향의 단면은 Figure 15, 섬유상의 구조는 Figure 16에 나타났다. Figure 15G, H와 Figure 16G, H는 Samard (2019)의 사진을 인용했다.
- 저수분 압출성형으로 제조한 대체육은 Figure 15A, B와 같이 분리대두단백의 비율이 높을수록 수직 방향, 흐름 방향 단면 모두 압력 변화에서 기인한 상변화로 팽화가 발생하여 크고 많은 공기층이 나타났다. 반면에 Figure 15C, D, E, F와 같이 분리완두단백의 비율이 높아질수록 수직 방향, 흐름 방향 단면 모두 팽화가 억제되고 조밀한 구조가 나타났다.
- Figure 16A, B와 같이 분리대두단백의 비율이 높을수록 섬유상의 구조는 적었던 반면, Figure 16C, D와 같이 분리완두단백과 분리대두단백의 비율이 비슷할 때 섬유상의 구조는 증가했다. 하지만, Figure 16E, F와 같이 분리완두단백의 비율이 높아지면 섬유상의 구조는 Figure 16C, D와 비교하여 감소했다.

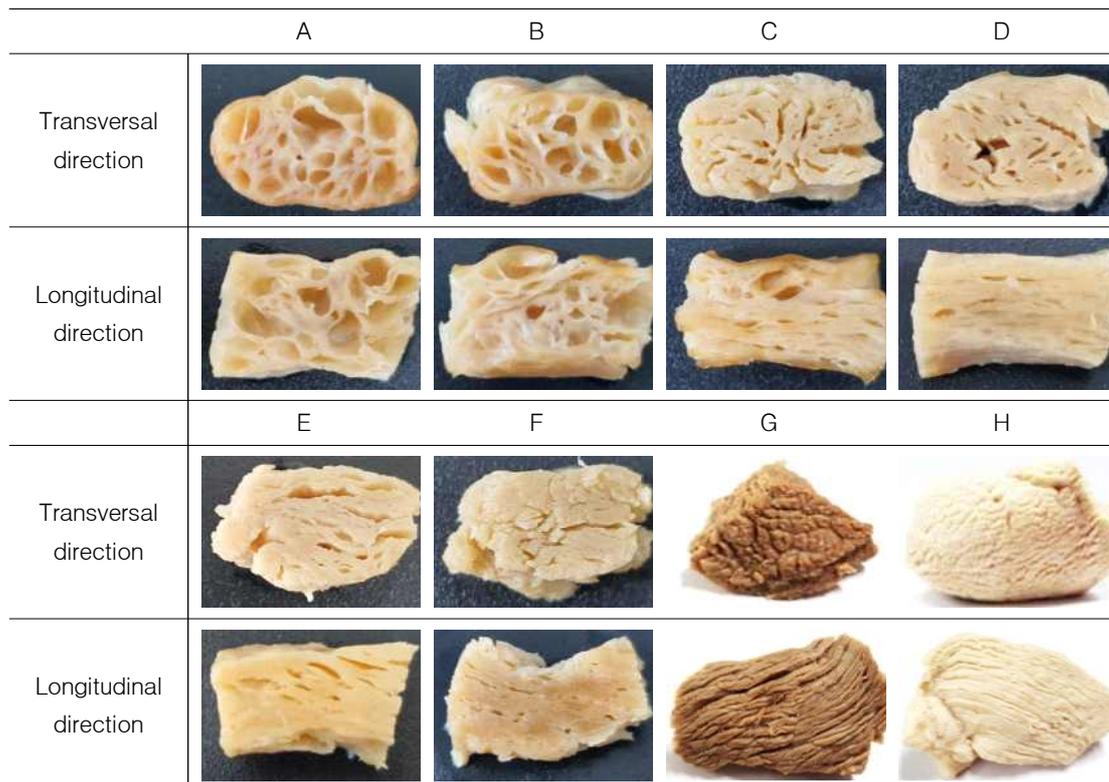


Figure 15. Cross section of extruded meat analog according to ISP and IPP ratios change. A: ISP:IPP=50:0, B: 40:10, C: 30:20, D: 20:30, E: 10:40, F: 0:50, G: beef, H: chicken (Samard et al., 2019).

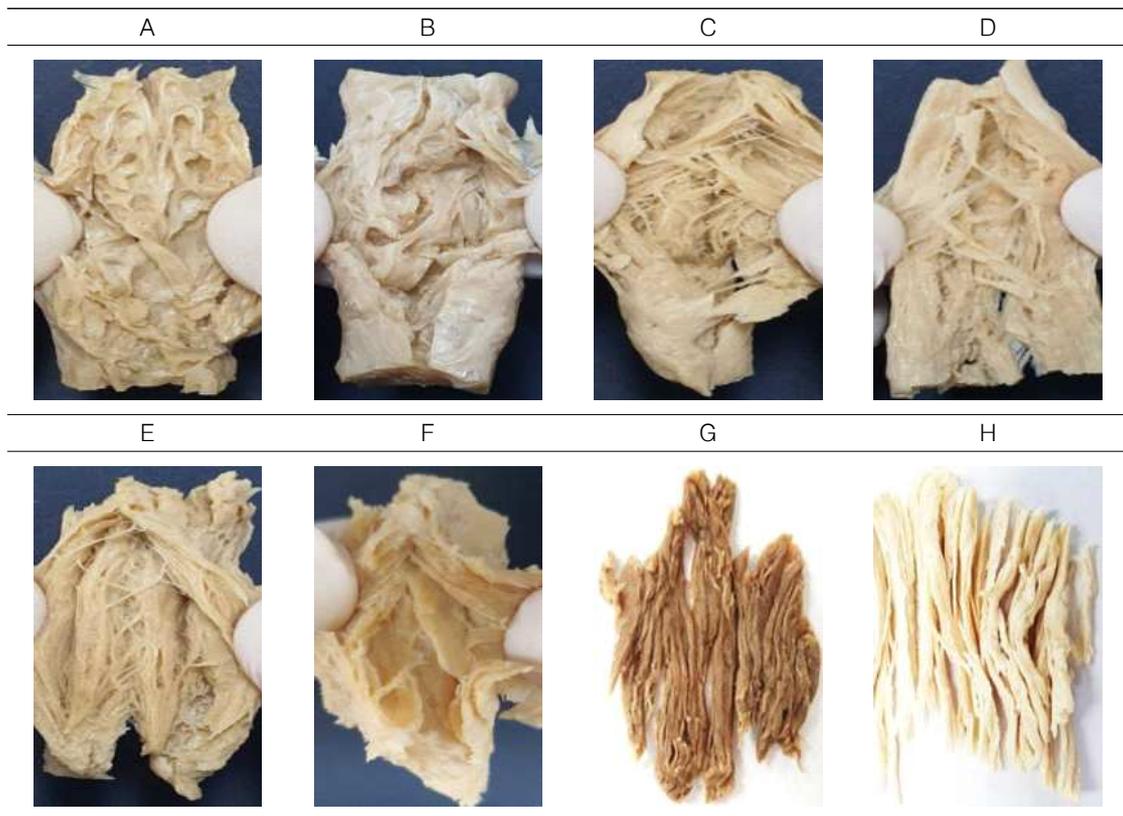


Figure 16. Fibrous structure of extruded meat analog according to ISP and IPP ratios change. A: ISP:IPP=50:0, B: 40:10, C: 30:20, D: 20:30, E: 10:40, F: 0:50, G: beef, H: chicken (Samard et al., 2019).

- Park et al. (2017)은 대체육을 제조할 때 분리대두단백과 밀 글루텐의 비율에 따라 외관의 변화가 나타났으며, Gu와 Ryu (2018)은 동일한 비율의 분리대두단백과 밀 글루텐의 혼합물에 옥수수 전분의 함량이 변화하면 팽화율이 증가하고 단백질 조직화가 증가한 섬유 조직이 관찰됐다고 했다. 동일한 비율의 밀 글루텐과 옥수수 전분의 혼합물에 분리대두단백과 분리완두단백의 비율을 변화하면서 제조한 대체육이 앞서 언급한 연구들의 경향과 유사하게 외관상에서 큰 변화를 보인 것을 미루어볼 때, 대체육을 제조하는 분리대두단백과 분리완두단백의 배합 비율이 대체육의 물성에 큰 영향을 줬다고 판단된다.
- 또한, Figure 15C, D, E, F와 Figure 16C, D, E, F의 외관을 살펴보면 Figure 15A, B, Figure 16A, B와 배럴온도, 수분함량, 스크루 회전속도는 동일함에도 불구하고 Figure 16C, D, E, F는 섬유상의 구조가 뚜렷하게 나타났다. 이는 공정변수, 압출성형기의 타입 외에도 투입되는 원료의 비율에 변화를 주어 다양한 특성을 나타내는 단백질 조직화를 이루어 낼 수 있다고 판단된다.
- Figure 15C, D, E, F는 실제 고기인 Figure 15G, H와 비교했을 때 절단면에서 유사한 모습을 보였으며, 분리완두단백의 비율이 20~40%인 Figure 16C, D, E의 섬유상의 구조를 살펴보면 실제 고기인 Figure 16G, H와 비교했을 때 유사한 형태를 보였다.
- Samard 등(2019)은 분리대두단백을 주원료로 한 저수분 압출성형 대체육은 크고 많은 공기층의 구조, 고수분 압출성형 대체육은 공기층이 적고 조밀하면서 섬유상의 구조가 형성된다고 했으며, 압출성형기의 타입에 따라 대체육이 구조적으로 변화가 나타난다고 했다. 이는 실제 고기와 비슷한 섬유상의 구조를 가지는 대체육은 고수분 압출성형 대체육

에서 많이 나타난 경향이었으나, 분리대두단백과 분리완두단백을 혼합함으로써 저수분 압출성형공정에서도 실제 고기의 섬유상 구조와 유사한 형태를 구현해낼 수 있다고 판단된다.

나) 수분흡수력

- 수분흡수력은 대체육 내부의 공기층 크기와 사용한 원료의 특성에 따라 변화하며, 이는 대체육의 수분 흡수 및 보유 능력을 판단하는 척도가 된다. Lin et al. (2000)은 대체육 내부의 공기층의 크기가 클수록 수화 과정에서 물을 더 많이 흡수하여 수분흡수력이 높아진다고 보고했다. 분리대두단백과 분리완두단백의 비율에 따른 저수분 대체육의 수분흡수력은 Table 5에 나타냈다.
- 저수분 압출성형 대체육에서 분리완두단백의 비율이 0%에서 50%로 증가하면서 대체육의 수분흡수력은 5.14 ± 0.11 , 5.05 ± 0.10 , 2.94 ± 0.07 , 2.49 ± 0.04 , 2.36 ± 0.17 , 2.01 ± 0.14 g/g으로 감소했다. 분리대두단백 원료 대체육은 사출될 때 급격한 상변화에 의해 내부의 수분이 증발과 동시에 팽화된다. 하지만 분리완두단백이 증가할수록 용융물의 물성에 변화를 주어 수분의 증발 및 팽화가 억제되고 Figure 15C, D, E, F와 같이 조밀한 구조가 형성되어 수분흡수력이 낮아진 것으로 판단된다. 또한, 분리완두단백의 비율이 20%부터 수분흡수력은 급격하게 감소했는데, 이는 Figure 15B와 Figure 15C를 비교했을 때 공기층의 크기가 급격하게 변화했기 때문으로 판단된다. 이 결과는 Gu와 Ryu (2017)의 조밀한 조직의 대체육이 제조되었을 때 수분흡수력이 감소한 결과와 일치했다.

Table 5. Water holding capacity of extruded meat analog according to ISP and IPP ratios change

Raw material ratio		Water holding capacity (g/g)
ISP (%)	IPP (%)	
50	0	$5.14 \pm 0.11^{a1)}$
40	10	5.05 ± 0.10^a
30	20	2.94 ± 0.07^b
20	30	2.49 ± 0.04^c
10	40	2.36 ± 0.17^c
0	50	2.01 ± 0.14^d

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

다) 조직감

- 탄력성, 응집성, 씹음성은 주관적인 압출성형 대체육의 조직감을 객관적인 수치로 표현하기 위해 측정된다.
- 탄력성은 대체육에 가해지는 변형력이 제거되고 기존 형태로 돌아가는 비율, 응집성은 외부로부터 가해지는 힘에 대한 저항성, 씹음성은 단단한 음식을 씹는 데 필요한 힘 (Trinh 과 Glasgow, 2012), 절단강도는 압출성형물을 절단하는데 필요한 면적에 대한 힘으로 정의된다 (Han et al., 2003). 절단강도는 압출성형물의 진행 방향으로 절단하는 흐름 방향 (longitudinal direction)과 진행 방향과 수직 방향으로 절단하는 수직 방향 (transversal direction)을 측정했다. 분리대두단백과 분리완두단백의 비율에 따른 저수분 대체육의 조직감과 절단강도는 Table 6에 나타냈다.
- 분리완두단백의 비율이 증가할수록 저수분 대체육의 탄력성은 93.31 ± 2.31 , 92.04 ± 1.42 ,

76.59±3.44, 79.89±3.56, 76.27±4.36, 83.10±3.45%, 응집성은 87.97±3.46, 84.93±1.19, 66.94±6.27, 72.38±5.95, 71.49±4.22, 74.26±5.96%로 분리완두단백 함량이 40%까지 감소하다가 50%부터 소량 증가했다. 씹음성은 840.82±364.76, 888.49±269.69, 1389.87±144.10, 1925.23±462.05, 1720.30±331.13, 1662.08±366.91 g으로 분리완두단백 함량이 30%까지 증가하다가 유의적 차이는 적었지만 40% 이상부터 감소했다.

- 탄력성, 응집성, 씹음성 모두 분리완두단백 함량이 20%에서 급격하게 변화했는데, 이는 Figure 15을 살펴볼 때 분리완두단백에 의해 팽화가 억제되어 공기층의 구조가 급격하게 감소하고 조밀한 구조가 형성되어 나타난 결과라고 판단된다. 이는 Gu와 Ryu (2017)도 조직감이 대체육 내부 공기층의 구조에 영향을 받는다는 결과와 유사한 경향을 나타냈다.
- 분리완두단백 함량이 20~30%로 제조한 대체육은 낮은 탄력성과 응집성에 비해 높은 씹음성이 나타났는데, 이는 분리완두단백이 첨가된 대체육이 분리완두단백만을 사용한 대체육에 비해 경도가 높아 나타난 결과라고 판단된다. 높은 씹음성은 실제 씹는 식감에 긍정적인 영향이 될 수 있지만, 낮은 탄력성과 응집성은 가공과정에 여러 제한이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.
- 절단강도는 수직 방향으로 243.06±13.50, 323.80±28.44, 507.66±44.68, 774.33±59.94, 712.14±136.27, 696.26±61.21 g/cm², 흐름 방향으로 141.60±14.85, 231.93±34.22, 397.61±31.54, 497.84±78.61, 462.05±35.04, 432.98±131.43g/cm²로 분리완두단백 함량이 30%까지 증가하다가 유의적 차이는 크지 않았지만 40% 이상부터 감소했다.
- 분리완두단백 30%까지 수직, 흐름 방향 절단강도 모두 증가했고 40% 이상부터는 감소했는데, Figure 16를 살펴볼 때 섬유상의 구조가 분리완두단백 40%부터 감소했기 때문에 나타난 결과라고 판단된다. 이는 내부 공기층의 크기가 감소하면서 절단에 필요한 에너지가 감소하면서 나타난 결과라고 판단된다.

Table 6. TPA and cutting strength of extruded meat analog according to ISP and IPP ratios change

Raw material ratio		Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
ISP (%)	IPP (%)				Transversal direction	Longitudinal direction
50	0	93.31±2.31 ^{a1)}	87.67±3.46 ^a	840.82±364.76 ^c	243.06±13.50 ^c	141.60±14.85 ^d
40	10	92.04±1.42 ^a	84.93±1.19 ^a	888.49±269.69 ^c	323.80±28.44 ^c	231.93±34.22 ^c
30	20	76.59±3.44 ^c	66.94±6.27 ^c	1389.87±144.10 ^b	507.66±44.68 ^b	397.61±31.54 ^b
20	30	79.89±3.56 ^{bc}	72.38±5.95 ^{bc}	1925.23±462.05 ^a	774.33±59.94 ^a	497.84±78.61 ^a
10	40	76.27±4.36 ^c	71.49±4.22 ^{bc}	1720.30±331.13 ^{ab}	712.14±136.27 ^a	462.05±35.04 ^{ab}
0	50	83.10±3.45 ^b	74.26±5.96 ^b	1662.08±336.91 ^{ab}	696.26±61.21 ^a	432.98±131.43 ^{ab}

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

라) 조직잔사지수

- 압출성형을 통해 섬유상의 구조를 가진 대체육의 조직 유지 능력을 수치상으로 표현하기

위해 Gu와 Ryu (2017)의 방법을 응용하여 조직잔사지수를 측정했다. 분리대두단백과 분리완두단백의 비율에 따른 저수분 대체육의 조직잔사지수는 Table 7에 나타났다.

- 분리완두단백의 비율이 증가할수록 저수분 대체육의 조직잔사지수는 62.62 ± 10.82 , 66.84 ± 4.23 , 76.07 ± 0.84 , 78.61 ± 0.08 , 78.82 ± 1.87 , $80.61 \pm 0.67\%$ 로 증가했다.
- 이는 분리완두단백의 비율이 증가하면서 팽화에 의한 공기층의 구조는 감소하고 조밀한 구조가 형성되어 열, 압력 등의 물리적인 에너지에도 조직을 유지한 결과라고 판단된다. 특히, 분리완두단백의 비율이 10%와 비교하여 20% 이상부터는 조직잔사지수가 10% 이상 증가한 것으로 나타났는데, 20% 이상의 혼합 비율부터는 분리완두단백의 영향으로 섬유상의 구조가 많아지고 공기층의 구조가 감소해 조직이 조밀하게 형성하여 외부의 힘에 의해서도 조직을 유지한 결과라고 판단된다. 이는 대체육의 팽화가 많이 일어났을 때 낮은 조직잔사지수가 나타난 Gu와 Ryu (2017)의 결과와 일치하는 경향을 보였다.

마) 수용성 질소 지수

- 수용성질소지수는 단백질이 조직화 되면서 변성 정도를 수치화한 지표이며 (Park et al., 2017), 조직잔사지수와 음의 상관관계를 가져 조직화 정도를 판단할 수 있다 (Gu와 Ryu, 2017). 분리대두단백과 분리완두단백의 비율에 따른 저수분 대체육의 수용성질소지수는 Table 7에 나타났다.
- 분리완두단백의 비율이 증가할수록 저수분 대체육의 수용성질소지수는 17.59 ± 0.7 , 22.25 ± 1.8 , 21.93 ± 4.1 , 21.67 ± 3.7 , 19.88 ± 0.3 , $17.65 \pm 1.0\%$ 로 감소하는 추세를 보였지만 유의적인 차이가 없었다. 수용성질소지수는 분리완두단백의 비율이 증가하여도 분리대두단백을 주원료로 하는 대체육과 큰 차이가 없었다. 이는 대체육의 주된 원료로 사용되는 단백질에 따라 용용물의 물성이 달라져 외관적으로 나타나는 조직의 형태는 달라질 수 있지만, 수용성 단백질의 변성 정도는 분리대두단백과 분리완두단백에 따라서는 큰 차이가 나타나지 않음을 시사한다.

Table 7. Integrity index and nitrogen solubility index of extruded meat analog according to ISP and IPP ratios change

Raw material ratio		Integrity index (%)	NSI (%)
ISP (%)	IPP (%)		
50	0	$62.62 \pm 10.82^{b1)}$	17.59 ± 0.68^a
40	10	66.84 ± 4.23^b	22.25 ± 1.78^a
30	20	76.07 ± 0.84^a	21.93 ± 4.10^a
20	30	78.61 ± 0.08^a	21.67 ± 3.42^a
10	40	78.82 ± 1.87^a	19.88 ± 0.28^a
0	50	80.61 ± 0.67^a	17.65 ± 0.99^a

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) by Duncan's multiple range test.

바) 요약

- 본 연구는 분리완두단백을 분리대두단백이 대체하여 제조한 저수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 비교했다. 공정변수는 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴온도 150°C, 수분함량 35%로 고정했다. 원료 배합비는 밀 글루텐과 옥수수 전분을 40:10으로 고정하고 분리대두단백과 분리완두단백을 각각 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50으로 혼합하여 제조했다.
- 저수분 대체육은 분리완두단백의 비율이 높아질수록 씹음성, 수직 방향과 흐름 방향 절단 강도, 조직잔사지수는 증가했고, 수분흡수력, 탄력성, 응집성, 수용성질소지수는 감소했다.
- 결론적으로 분리대두단백을 기반으로 한 대체육과 비교했을 때 분리완두단백은 대체육 원료로서 조직에 큰 영향을 미치며, 분리완두단백이 20~30% 분리대두단백과 혼합됐을 때 섬유상의 구조는 실제 고기와 비슷한 형태를 나타냈다. 이는 대체육 원료 소재로 분리완두단백은 활용도가 높으며, 알레르기 등의 문제를 가지는 분리대두단백을 대체하는 것이 가능하다고 판단된다.

나. 분리대두단백의 대체 원료로써 분리쌀단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향

가) 외관

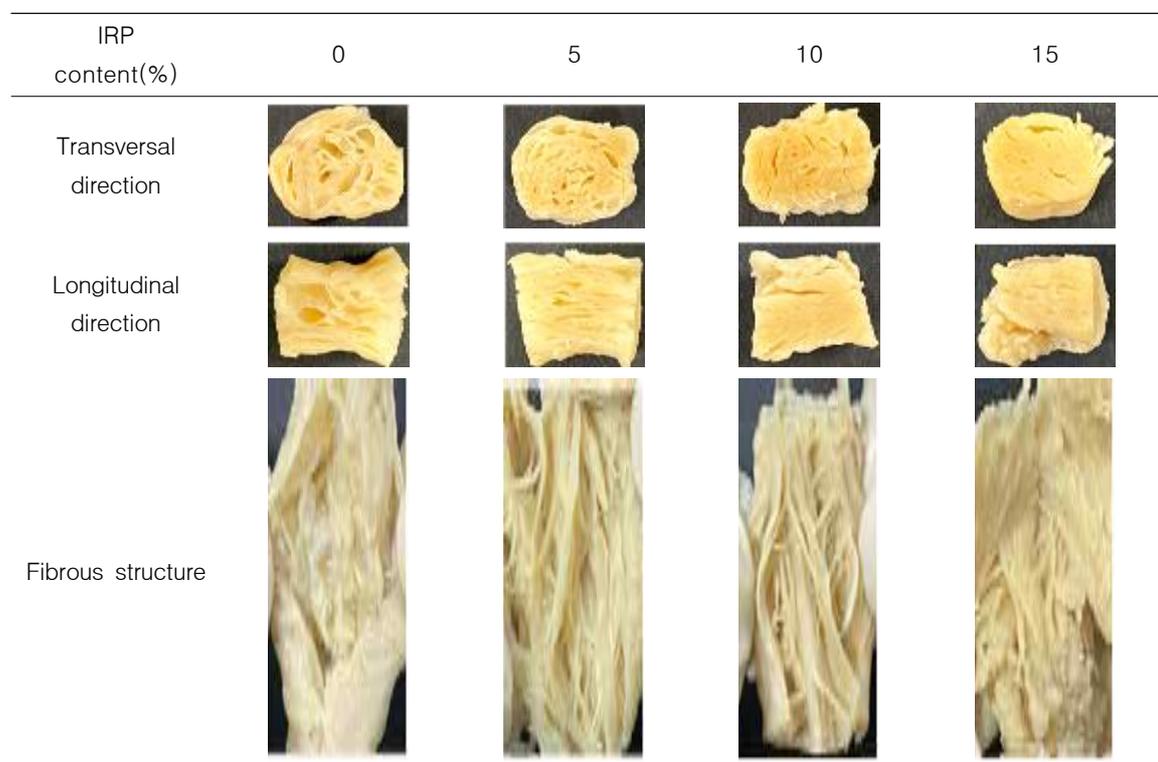


Figure 17. Cross section and fibrous structure of extruded meat analog with different isolated rice protein contents.

나) 수분흡수력

- 분리쌀단백 첨가한 대체육의 수분흡수력은 Figure 18 에 나타났다. 분리쌀단백 함량이 0, 5, 10, 15%로 증가하면서 대체육의 수분흡수력은 4.04 ± 0.3 , 2.17 ± 0.2 , 1.69 ± 0.2 , $1.74 \pm 0.1 \text{g/g}$ 로 감소했다. 이는 Figure 17 과 같이 분리쌀단백의 함량을 증가함에 따라 기공의 크기가 작아지는 것을 볼 수 있고, 기공이 작아진 만큼 수분을 보유하는 능력이

낮아진 것을 알 수 있다.

- 또한, Lee et al. (2010)은 분리대두단백과 분리쌀단백의 수분흡수력이 $7.2 \pm 0.1 \text{ ml/g}$, $4.1\text{--}4.9 \text{ ml/g}$ 의 범위에 있다고 보고하였는데, 분리쌀단백 함량이 증가할수록 수분흡수력이 낮아진 것의 결과로 판단된다. 10%에서 15%로 분리쌀단백 함량이 증가할 때 조직이 갈라지며 표면적이 증가함에 따라 수분흡수력이 증가한 것으로 사료된다.

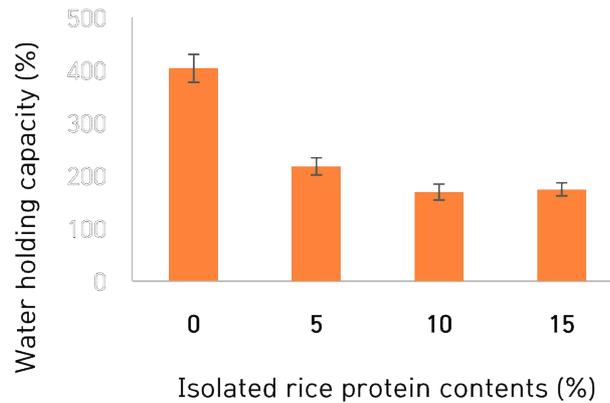


Figure 18. Water holding capacity of extruded meat analog with different isolated rice protein contents.

다) SDS-PAGE 분석

- 쌀은 수용성 단백질 (알부민), 알코올 용해성 단백질 (프롤라민), 염 용해성 단백질 (글로불린), 알칼리 용해성 단백질 (글루텔린)을 포함하고, 그 중 글루텔린이 약 80% 차지하고 있는 것으로 보고되었다 (Liu et al., 2018). 쌀 글루텔린에 대해 MW가 30–40 (α 또는 산성) 및 19–23 kDa (β 또는 염기성)인 2개의 주요 폴리펩타이드 소단위체가 보고되었다 (Agboola et al., 2005).
- Figure 19의 IRP에서 글루텔린과 같은 분자량 크기의 밴드를 확인 가능하였고, RIRP 10%, EIRP 10% 분자량에서 고분자 구간이 많아진 것도 있고, 저분자가 되어 밴드가 얇아진 것을 확인할 수 있었다. 이것은 단백질 변성에 의해 단백질이 새로운 분자로 재배열되거나 단백질의 가교결합을 통해 더 큰 분자로 단백질이 변성되었기 때문이라고 보고했다 (Chen et al., 2010).

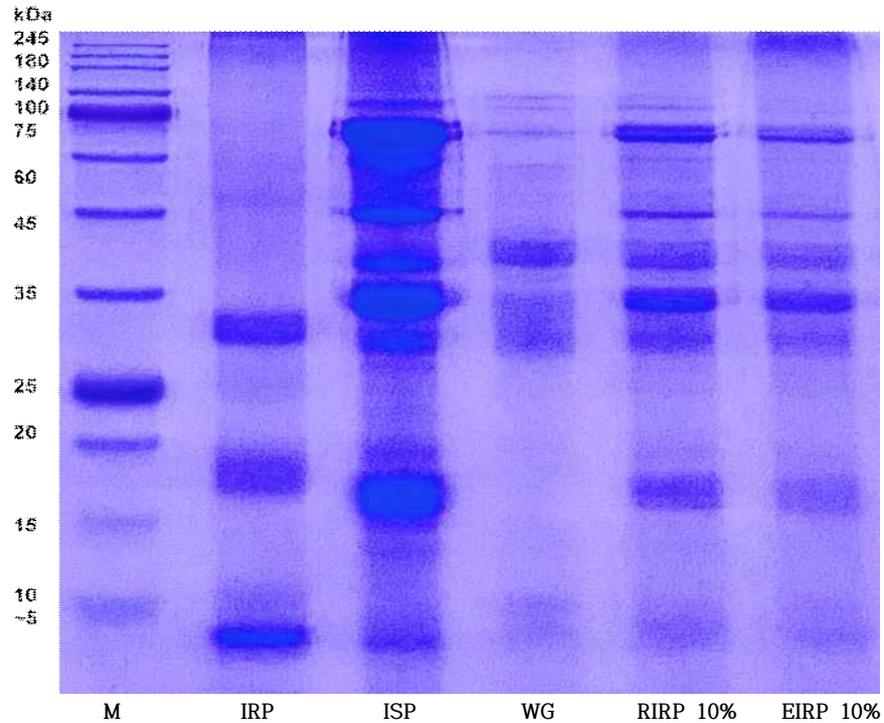


Figure 19. SDS-PAGE profiles of protein from raw materials and extruded meat analog with 10% isolated rice protein content. M: maker, IRP: Isolated rice protein, ISP: Isolated soy protein, WG: Wheat gluten, RIRP 10%: Raw material isolated rice protein content 10%. , EIRP 10%: Extruded isolated rice protein content 10%

라) 아미노산 조성 분석

- 대체육의 원료와 분리쌀단백 10% 대체육의 아미노산 조성은 Table 8에 나타냈다. 분리쌀단백의 아미노산 조성은 분리대두단백에 비해 함황 아미노산이 약 2배 가량 높았고, 아스파탐과 글루탐산의 함량은 분리대두단백에 비해 적게 함유되어 있었다. 분리쌀단백 10%의 압출성형 전후의 비교에서는 함황 아미노산이 증가하였는데 Guzmán-Ortiz et al. (2015)에 따르면 분리대두단백과 옥수수 전분을 압출성형 했을 때, 함황 아미노산이 증가했다는 연구결과와 일치했다.

Table 8. Amino acid contents of raw materials and extruded meat analogs

Amino acid (%)	Raw material			Extruded meat analog
	Isolated soy protein	Isolated rice protein	10% isolated rice protein content	10% isolated rice protein content
Aspartic acid	9.56	6.87	5.43	5.68
Threonine	3.20	2.92	2.39	2.50
Serine	4.47	4.12	3.80	3.94
Glutamic acid	15.90	13.81	19.16	20.00
Glycine	3.38	3.45	2.65	2.78
Alanine	3.43	4.41	2.58	2.69
Valine	3.56	4.46	2.99	3.14
Isoleucine	3.45	2.96	2.57	2.71
Leucine	6.50	6.46	5.26	5.49
Tyrosine	3.04	3.90	2.57	2.69
Phenylalanine	4.27	4.22	3.70	3.88
Lysine	5.16	2.45	2.79	2.84
Histidine	2.07	1.86	1.65	1.72
Arginine	6.31	6.32	4.12	4.26
Cystine	0.99	1.86	1.24	1.26
Methionine	1.00	2.04	1.06	1.10
Proline	4.42	3.72	6.09	6.42
Total amino acid	80.71	75.93	70.05	73.1

마) 조직화 특성

- 조직잔사지수, 수용성질소지수, 조직화 정도는 대체육을 수화시켰을 때, 조직 특성을 나타내는 지표이다 (Cho와 Ryu, 2017). 조직화특성은 Table 9에 나타냈다.
- 조직잔사지수는 대체육 조직의 물리적 힘에 견디는 정도를 보기 위해 측정한다. 분리쌀단백 10% 첨가한 대체육이 $65.0 \pm 3.6\%$ 로 가장 높았고, 분리쌀단백을 첨가하지 않은 대체육은 48.8 ± 1.0 , 5% 첨가한 대체육은 $60.0 \pm 0.3\%$ 의 값을 보였다. 분리쌀단백 15%를 첨가한 대체육은 $51.3 \pm 3.0\%$ 로 가장 낮은 값을 보였는데 이는 분리쌀단백 첨가 15%부터는 조직 형성을 방해되었기에 따른 결과로 사료된다.
- 수용성질소지수는 분리쌀단백을 첨가함에 따라 22.5 ± 3.3 , 29.7 ± 4.6 , 27.6 ± 2.9 , $24.8 \pm 4.6\%$ 의 값을 가졌는데 유의적으로 차이가 없었다. 이는 일반적으로 압출성형 시 배럴온도가 증가함에 따라 압출성형물의 사출되는 속도가 빨라져 단백질 변성이 감소하여 수용성질소지수가 증가하는 것으로 보고했다 (Lee와 Chan, 2010). 수용성질소지수가 유의적으로 차이가 없었던 것은 스크루 스피드와 배럴온도를 고정하여 압출한 것이 원인이라고 판단된다. 이는 공정변수를 고정하여 압출하여 수용성질소지수를 나타낸 Lee와 Chan (2010)의 연구결과와 일치했다.
- 조직화 정도는 조직잔사지수와 마찬가지로 분리쌀단백을 10% 첨가하였을 때 $176.0 \pm 17.3\%$ 로 가장 높은 값을 보였고, 분리쌀단백이 15% 첨가하였을 때 감소했다. 이는 분리쌀단백을 15% 첨가하였을 때 조직이 형성되기 전, 사출구로 나와 조직이 갈라져서 나온 것으로 사료된다.

Table 9. Integrity index, nitrogen solubility index, and degree of texturization of extruded meat analog with different isolated rice protein content

Isolated Rice protein content (%)	Integrity index (%)	NSI (%)	Degree of texturization (%)
0	48.8±1.0 ^{c1)}	22.5±3.3 ^a	124.9±26.7 ^b
5	60.0±0.3 ^b	29.7±4.6 ^a	162.8±17.0 ^a
10	65.0±3.6 ^a	27.6±2.9 ^a	176.0±17.3 ^a
15	51.3±3.0 ^c	24.8±4.6 ^a	160.1±21.5 ^a

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

바) 조직감

- 분리쌀단백을 첨가한 대체육의 조직감은 Table 10에 나타났다. 수화된 대체육의 탄력성은 분리쌀단백 함량 0%에서 94.8±2.1%로 가장 높았고, 분리쌀단백 10%에서 85.4±3.3%에서 가장 낮은 수치를 보였다.
- 응집력도 탄력성과 마찬가지로 90.8±2.1%에서 83.5±2.9로 분리쌀단백 함량 10%까지는 감소하는 경향을 보였다. 탄력성과 응집성은 수분흡수력과 양의 상관관계가 있다는 Gu와 Ryu (2017)의 결과와 일치했다.
- 씹음성은 분리쌀단백 함량 10%에서 5.6±1.9kg로 가장 높았고, 조직잔사지수와 조직화 정도와 마찬가지로 10%까지는 증가하고 15%부터는 감소하는 경향을 보였다. 씹음성은 경도가 증가하여 씹음성이 증가한 것으로 판단된다.
- 절단강도는 종단면, 횡단면의 절단강도는 씹음성과 마찬가지로 10%까지 증가하다가 15%부터 감소하는 경향을 보였다. 절단강도도 마찬가지로 경도가 포함되었기 때문에 증가하다가 감소하는 경향을 보인다. 기공층이 없고, 조밀한 섬유상의 구조로 강하게 결합하고 있어 나타난 결과라고 판단된다.

Table 10. Texture profile analysis and cutting strength of extruded meat analog with different isolated rice protein content

Isolated rice protein content (%)	Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (kg)	Cutting Strength (g/cm ²)	
				Transversal direction	Longitudinal direction
0	94.8±2.1 ^{a1)}	90.8±2.1 ^a	4.0±0.5 ^b	469.8±21.0 ^d	393.7±105.1 ^b
5	89.1±3.5 ^b	85.8±5.4 ^b	4.4±0.4 ^{ab}	695.4±67.6 ^c	428.5±31.7 ^b
10	85.4±3.3 ^c	83.5±2.9 ^b	5.6±1.9 ^a	1110.2±77.3 ^a	633.6±35.6 ^a
15	89.5±2.9 ^b	86.7±3.4 ^{ab}	4.1±0.9 ^{ab}	1001.8±65.6 ^b	631.0±55.7 ^a

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

사) 미세구조

- 분리쌀단백 함량 0%와 10%의 대체육의 미세구조를 Figure 20 에 나타났다. 500배로 확대한 결과 분리쌀단백 함량 0%에서는 기공이 크고 조직이 매끈한 표면을 가지고 있었다. 분리쌀단백 함량 10%에서는 분리쌀단백 함량 0%에 비해 기공이 작아진 것을 확인할 수

있었고, 섬유와 같은 겉을 형성하여 섬유상의 구조를 나타냈다. 이를 보았을 때 분리쌀단백을 10%까지 첨가하였을 때, 섬유상의 구조를 형성한다는 결과를 알 수 있었다.

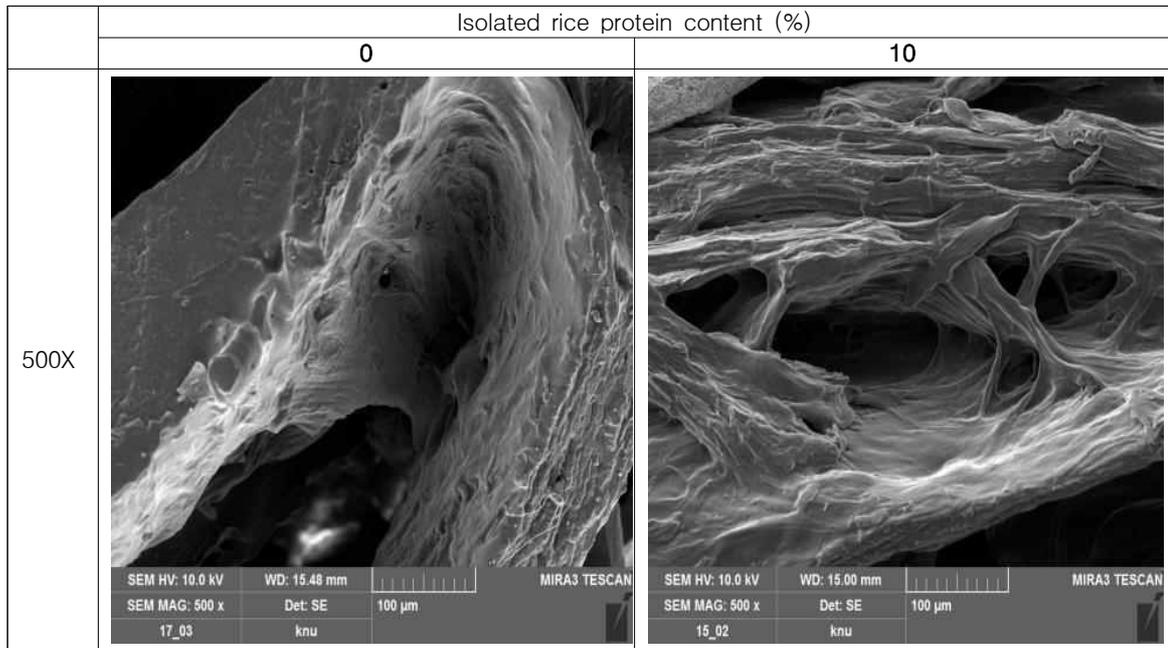


Figure 20. Micro-structure 500x of extruded meat analog with isolated rice protein contents 5% and 10%.

아) 요약

- 본 연구는 분리쌀단백을 첨가하여 제조한 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 알아보았다. 대체육의 원료는 밀 글루텐 40%, 옥수수 전분 10% 비율로 고정시켜 사용하였고 분리대두단백의 비율을 줄여가며 사용하였고, 분리쌀단백은 0%~15%로 5% 간격으로 사용했다. 총 4개의 시료를 가지고 수분함량 40%, 스크루 회전속도 250 rpm, 중간 배럴온도는 140℃로 고정하여 압출했다.
- 수분흡수력, 탄력성, 응집성은 10%까지는 감소하다 15%부터는 증가하는 경향을 보였고, 조직잔사지수, 씹음성, 조직화 정도는 10%까지 증가하고 15%부터 감소하는 경향을 보였다. 수용성질소지수와 아미노산 조성의 경우 유의적으로 차이를 보이지 않았다. 이에 본 연구에서는 분리쌀단백을 10%까지 첨가하여 대체육 제조할 시 조직화 측면에 품질을 향상과 분리쌀단백을 첨가한 대체육의 기초 연구자료로써 활용될 수 있다고 사료된다.

다. 분리대두단백의 대체 원료로써 분리녹두단백이 저수분 압출성형 대체육에 미치는 영향

가) 외관

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 혼합 비율에 따른 대체육의 절단면 및 섬유상의 구조는 Figure 21 에 나타냈다.
- 저수분 압출성형으로 제조한 대체육은 Figure 21 와 같이 분리녹두단백의 함량이 증가할 수록 팽화된 공기층의 크기와 수가 감소했으며, 섬유상의 구조는 분리녹두단백 20~30%에서 최대로 나타냈다. 다른 식물성 단백질소재 (완두, 쌀)과는 달리 분리대두단백 (50%)을 모두 대체할 수 있었으며, 50% 첨가량임에도 안정적인 형태로 조직화되었다.

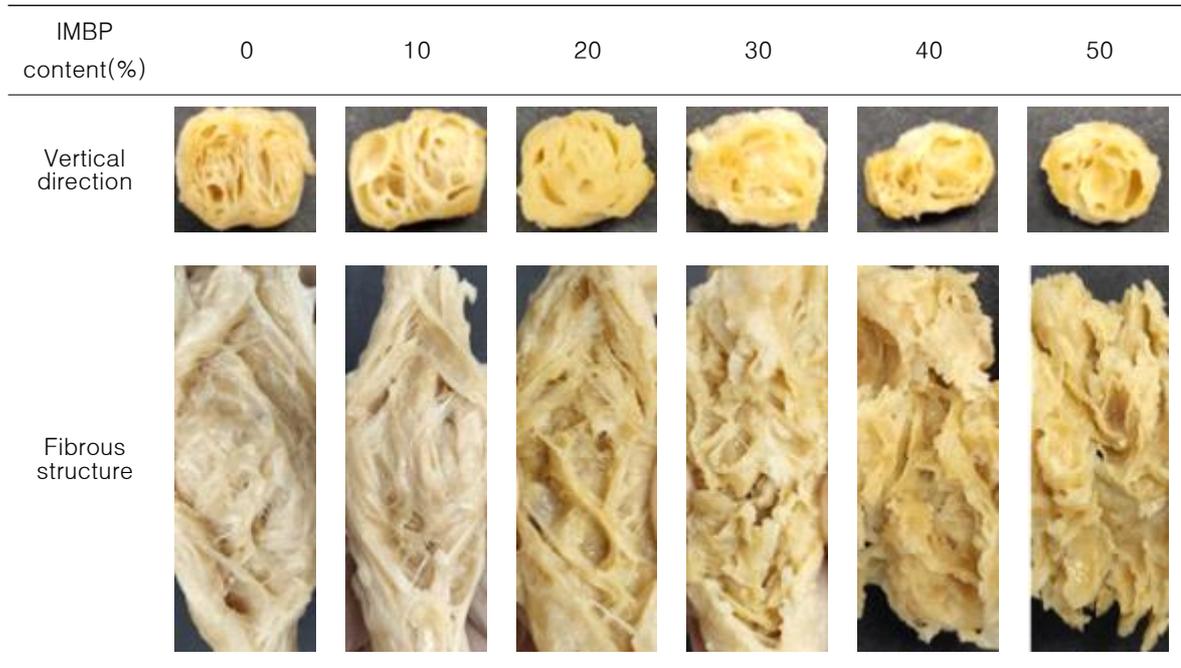


Figure 21. Cross section and fibrous structure of extruded meat analog with different isolated mung bean protein contents.

나) 수분흡수력

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 비율에 따른 저수분 대체육의 수분흡수력은 Figure 22에 나타냈다.
- 저수분 압출성형 대체육에서 분리녹두단백의 비율이 0%에서 50%로 증가하면서 대체육의 수분흡수력은 감소했다. 분리녹두단백의 함량이 높아질수록 저수분 대체육은 전체적인 부피와 팽화가 감소하면서 수분을 보유할 수 있는 공기층이 작아지고 이에 상응하여 수분흡수력이 감소했다.

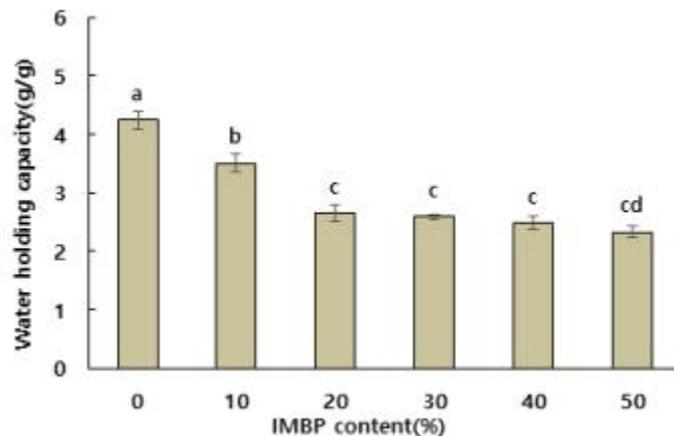


Figure 22. Water holding capacity of extruded meat analog with different isolated mung bean protein contents.

다) 조직감

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 비율에 따른 저수분 대체육의 조직감과 절단강도는

Table 11에 나타냈다.

- 분리녹두단백의 함량이 증가함에 따라 탄력성과 응집성은 유의적 차이가 없었으나, 씹음성은 분리녹두단백이 30%까지 증가했다가 40%이상부터 감소했다. 이는 분리녹두단백을 첨가함으로써 대체육의 구조가 조밀해지고 분리녹두단백과 분리대두단백의 상호작용으로 혼합 비율이 유사한 30%까지는 섬유상의 구조가 증가하여 씹음성이 증가한 것으로 판단된다.
- 절단강도는 분리녹두단백의 함량이 30%일 때 횡단면 절단강도는 최대이며, 종단면 절단강도는 분리녹두단백 함량이 증가할수록 비례하여 증가했다. 절단강도도 씹음성과 마찬가지로 최대응력(경도)을 지표로 하여 나타내는 수치로써 분리녹두단백을 첨가하여 조밀하고 섬유상 구조가 증가한 대체육이 제조되어 나타난 결과라고 판단된다.
- 분리녹두단백 첨가량이 50%인 경우 30%와 비교하여 씹음성과 절단강도의 수치는 낮지만, 분리대두단백만을 사용한 대체육과 비교하여 조직감이 향상되었고 분리대두단백을 대체하여 조직화되었기 때문에 분리녹두단백의 활용도가 높다고 판단할 수 있다.

Table 11. Texture profile analysis and cutting strength of extruded meat analog with different isolated mung bean protein content

Isolated mungbean protein content (%)	Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
				Transversal direction	Longitudinal direction
0	69.10±4.22 ^{c1)}	63.24±4.04 ^b	576.76±41.48 ^d	625.21±40.22 ^c	285.61±58.40 ^b
10	80.39±2.64 ^b	73.87±3.73 ^a	785.80±156.61 ^c	698.53±63.22 ^b	349.44±108.11 ^b
20	81.94±5.16 ^b	71.63±1.13 ^a	1108.75±118.93 ^a	784.20±45.58 ^a	469.95±50.83 ^a
30	86.77±1.92 ^a	74.23±2.34 ^a	1000.39±181.90 ^{ab}	737.71±69.40 ^{ab}	473.61±72.30 ^a
40	88.62±1.83 ^a	73.95±4.44 ^a	834.21±184.56 ^{bc}	691.35±34.28 ^b	451.97±63.49 ^a
50	89.59±0.82 ^a	71.51±4.68 ^a	834.20±205.84 ^{bc}	618.01±47.83 ^c	522.75±64.73 ^a

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

라) 조직잔사지수 및 수용성 질소 지수

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 비율에 따른 저수분 대체육의 조직잔사지수와 수용성질소지수는 Figure 23 에 나타냈다.
- 분리녹두단백의 함량이 증가함에 따라 조직잔사지수는 증가했다. 조직잔사지수가 증가하는 요인에는 조밀한 구조나 강한 섬유상의 구조로 단백질 간의 결합력에 따라 결정된다. 분리녹두단백 함량이 증가할수록 Figure 21 와 같이 대체육의 공기층이 감소하여 단백질 간의 결합이 증가했고 고온 및 고압 환경에서도 조직을 유지했다고 생각된다.
- 분리녹두단백의 함량이 증가할수록 대체육의 수용성질소지수는 감소했다. 분리녹두단백은 분리대두단백과 비교하여 같은 조건의 압출성형공정에서 더 많은 수용성 단백질의 변성이 일어났다. 이는 식물성 단백질의 조직화 과정에서 단백질의 변성이 많을수록 단백질 간의 결합이 증가했다고 판단된다.

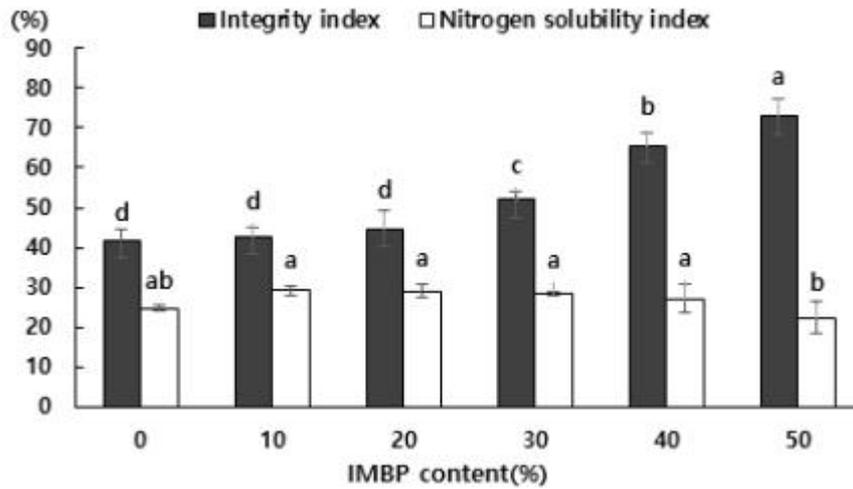


Figure 23. Integrity index and NSI of extruded meat analog with different isolated mung bean protein contents.

마) 요약

- 본 연구는 분리녹두단백을 첨가하여 제조한 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 분석했다. 대체육의 원료는 밀 글루텐을 40%, 옥수수 전분을 10%로 고정했고, 분리대두단백의 비율을 감소하여 사용하여 분리녹두단백을 0%~50%로 10% 간격으로 혼합하여 사용했다. 압출성형 공정변수는 수분함량 40%, 배럴온도 150℃, 스크루 스피드 250 rpm으로 설정하여 압출했다.
- 수분흡수력은 대체육의 공기층의 수와 크기에 비례하여 감소했으며, 조직잔사지수는 분리녹두단백의 첨가량에 비례하여 증가했다. 수용성질소지수는 분리녹두단백의 함량이 증가할수록 분리대두단백과 비교하여 많은 단백질 변성이 일어났다. 본 연구에서는 분리녹두단백을 50% 첨가하여 대체육을 제조하였으며, 다른 식물성 단백질과 비교하여 안정적인 구조를 형성했으며, 분리대두단백을 대체하는 대체 단백질로서 녹두단백 분석의 기초 자료로 활용될 수 있다고 판단된다.

3) 압출성형 공정을 이용한 신규 식물단백 조직화 기술의 최적화

(1) 연구수행 방법

가. 분리완두단백을 활용한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리완두단백 (Yantai Shuangta Food Co., Jinling, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 20:30:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co.,

Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1A와 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1A는 저수분 압출성형기로 짧은 8 cm의 사출구를 사용하여 팽화된 저수분 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.

- 분리완두단백을 30% 첨가한 대체육의 공정변수에 의한 이화학적 특성을 살펴보고자 Maung과 Ryu (2021)의 연구를 참고하여 공정변수는 원료 투입량 100 g/min, 수분함량 35, 40%, 배럴온도 140, 160℃, 스크루 회전속도 200, 300 rpm으로 선정하여 2x2x2 factorial 분석에 활용했다.
- 제조한 대체육은 열풍건조기(FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서 12시간 건조해 보관했으며, 가정용 분쇄기(FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수 측정에 사용했다.

나. 분리쌀단백을 활용한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리쌀단백 (Vedan VietNam Enterprise Co., Ltd, Nai Province, Vietnam), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 40:10:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 본 실험에 사용된 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였고 스크루의 직경은 3.0 cm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1, 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1A와 같다 (Samard와 Ryu, 2019). 8 cm의 사출구를 사용하여 분리쌀단백 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리쌀단백을 10% 첨가한 대체육의 공정변수에 의한 이화학적 특성을 분석하고자 원료 사입량 100 g/min, 수분함량은 30, 35, 40%, 배럴온도 140, 150, 160℃, 스크루 회전속도는 200, 250, 300 rpm으로 선정하고 반응표면분석법 (Response surface methodology, RSM)을 활용하여 Box-Behnken법에 활용하여 총 15개 샘플 (중심점 3개)을 선정했다.
- 제조한 대체육은 열풍건조기 (FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서 24시간 건조 후 1 cm 크기로 절단하여 물리적 특성실험에 이용하였고, 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말을 이용하여 화학적 특성실험에 이용했다.

다. 분리녹두단백을 활용한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리녹두단백 (ETprotein, Panjin, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 50:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 본 실험에 사용된 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였고 스크루의 직경은 3.0 cm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)는 23:1, 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1A와 같다 (Samard와 Ryu, 2019). 8 cm의 사출구를 사용하여 분리완두단백 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리완두단백을 50% 첨가한 대체육의 공정변수에 의한 이화학적 특성을 분석하고자 원료 사입량 100 g/min, 수분함량은 30, 35, 40%, 배럴온도 140, 150, 160℃, 스크루 회전속도는 150, 200, 250 rpm으로 선정하고 반응표면분석법 (Response surface methodology, RSM)을 활용하여 Box-Behnken법에 활용하여 총 15개 샘플 (중심점 3개)을 선정했다.
- 제조한 대체육은 열풍건조기 (FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서 24시간 건조 후 1 cm 크기로 절단하여 물리적 특성실험에 이용하였고, 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말을 이용하여 화학적 특성실험에 이용했다.

(2) 연구수행 결과

가. 분리완두단백을 활용한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 외관

- 분리완두단백이 30% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도에 따른 절단면과 섬유상의 구조는 Figure 24에 나타냈다.
- 압출성형공정에서 수분함량이 증가할수록 대체육의 절단면은 팽화된 구조가 감소했으며, 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가할수록 팽화가 많이 발생하여 대체육의 공기층은 증가했다.
- 대체육의 섬유상의 구조는 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 증가했다.
- 분리완두단백을 첨가한 대체육은 낮은 수분함량과 배럴온도가 낮을수록 섬유상의 구조가 감소하면서 조직화가 잘 이루어지지 않는 것으로 나타났다.

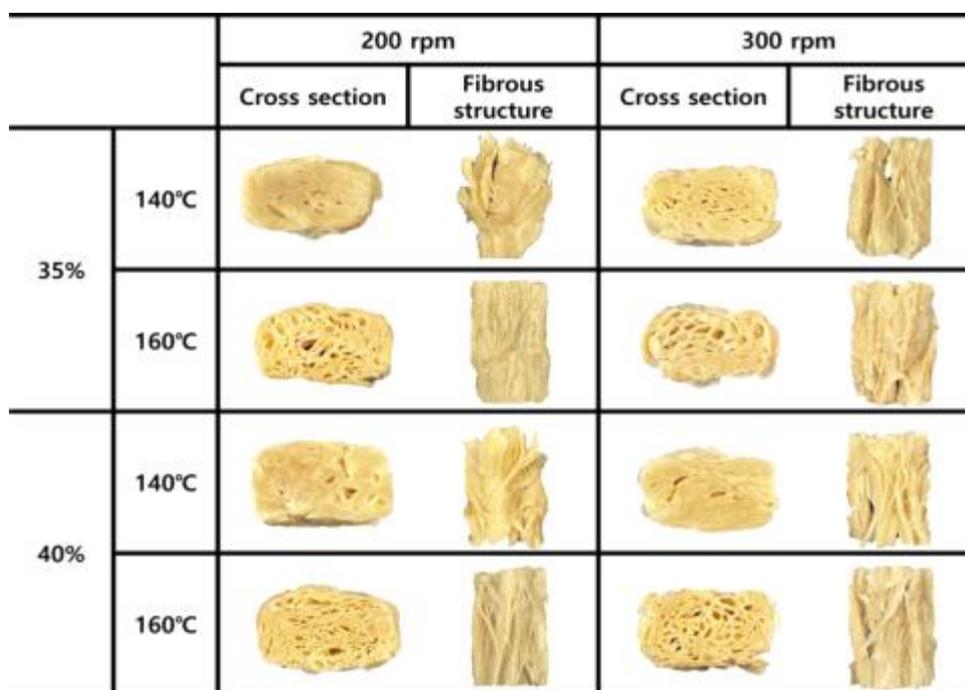


Figure 24. Cross section and fibrous structure of extruded meat analog according to process parameter added isolated pea protein.

나) 비기계적 에너지 투입량 (SME input)

- 분리완두단백이 30% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 비기계적 에너지 투입량은 Table 12에 나타났다.
- 비기계적 에너지 투입량은 생산되는 대체육에 대한 압출성형기에 투입되는 에너지 총량의 비로 배럴 내부 용융물의 점도 등의 물성에 따라 변화한다.
- 압출성형공정에서 수분함량과 배럴온도가 증가할수록 용융물의 점도가 감소하면서 압출성형기에 투입되는 에너지량은 감소했으며, 스크루 회전속도가 증가할수록 전단력이 상승함에 따라 에너지 투입량은 증가했다.

Table 12. SME input, water holding capacity, integrity index and nitrogen solubility index, of extruded meat analog according to process parameters

Extrusion parameters			SME input (kJ/kg)	Water holding capacity (g/g)	Integrity index (%)	NSI (%)
Moisture content (%)	Barrel temperatur e (°C)	Screw speed (rpm)				
35	140	200	223.59±3.61 ^{d1)}	2.39±0.16 ^e	52.99±2.27 ^e	11.41±0.16 ^d
		300	294.08±3.35 ^a	2.77±0.13 ^d	67.15±2.97 ^{bc}	11.96±0.42 ^{cd}
	160	200	226.03±4.30 ^d	3.97±0.08 ^b	71.29±0.79 ^a	13.02±0.80 ^{ab}
		300	282.19±3.19 ^b	4.28±0.16 ^a	69.23±1.96 ^{ab}	11.49±0.18 ^d
40	140	200	200.47±5.07 ^e	2.08±0.17 ^f	61.23±1.54 ^d	11.77±0.20 ^d
		300	285.63±4.80 ^b	2.49±0.13 ^e	64.66±1.01 ^c	11.45±0.08 ^d
	160	200	189.93±1.37 ^f	3.57±0.12 ^c	64.69±0.47 ^c	13.81±1.15 ^a
		300	264.64±3.78 ^c	4.05±0.24 ^{ab}	68.84±1.33 ^{ab}	12.76±0.28 ^{bc}

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

다) 수분흡수력

- 분리완두단백이 30% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 수분흡수력은 Table 12에 나타났다.
- 압출성형공정에서 수분함량이 증가할수록 대체육의 공기층의 수가 적어져 수분을 보유할 수 있는 공간이 감소하여 수분흡수력이 감소했으며, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 팽화가 증가하여 수분흡수력이 증가했다.

라) 조직감

- 분리완두단백이 30% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 탄력성, 응집성, 씹음성, 절단강도는 Table 13에 나타났다.
- 탄력성과 응집성은 수분함량과 스크루 회전속도가 증가할수록 증가하고, 배럴온도가 증가할수록 감소한다. 분리완두단백을 사용한 대체육은 공기층이 탄력성에 영향을 미치지 만, 분리완두단백을 원료로 제조한 대체육은 조직 간의 결합력이 더 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 씹음성은 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 증가했다. 분리완두단백을 첨가한 대체육은 높은 수분함량과 배럴온도, 강한 전단력이 작용할수록 향상된 조직화가 이루어져 섬유상의 구조가 증가했고 그로 인하여 씹음성이 증가한 것으로 생각된다.
- 절단강도 결과에서 횡단면 절단강도는 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 증가하는 반면, 종단면 절단강도는 유의적인 차이가 적었다. 압출성형 공정변수에 의 해 섬유상의 구조가 많아지면 수직으로 절단하는 횡단면 절단강도가 증가하는데, 높은 수 분함량과 배럴온도, 고전단력이 횡단면 절단강도의 증가를 유도한 것으로 판단된다.

Table 13. Texture profile analysis and cutting strength of extruded meat analogs according to process parameters

Extrusion parameters			Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
M.C* (%)	B.T (°C)	S.S (rpm)				Vertical direction	Parallel direction
35	140	200	75.87±8.18 ^{bc1)}	68.94±9.31 ^c	244.75±33.68 ^c	567.28±56.82 ^d	376.57±104.18 ^a
		300	81.55±2.34 ^a	71.60±4.04 ^{abc}	466.12±43.03 ^b	686.34±129.90 ^{cd}	362.22±94.52 ^a
	160	200	74.28±3.11 ^a	74.47±4.00 ^{abc}	498.76±40.00 ^b	685.10±62.28 ^{cd}	357.69±75.80 ^a
		300	80.57±3.88 ^{ab}	76.05±1.07 ^{ab}	482.15±75.90 ^b	783.23±87.30 ^{bc}	345.71±64.91 ^a
40	140	200	82.60±5.63 ^a	77.84±4.84 ^a	475.21±93.35 ^b	775.62±160.60 ^{bc}	460.74±167.03 ^a
		300	79.38±4.03 ^{ab}	74.46±7.96 ^{abc}	471.00±74.63 ^b	716.78±126.54 ^c	346.97±90.90 ^a
	160	200	73.53±2.64 ^c	69.50±0.79 ^{bc}	528.04±53.93 ^{ab}	1042.16±133.00 ^a	426.35±102.63 ^a
		300	82.21±1.91 ^a	75.83±2.51 ^{ab}	570.88±64.39 ^a	886.92±92.91 ^b	387.68±88.14 ^a

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test. *M.C(moisture content), B.T(barrel temperature), S.S(screw speed)

마) 조직잔사지수

- 분리완두단백이 30% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 조직잔사지수는 Table 12에 나타났다.
- 수분함량에 의한 조직잔사지수는 유의적인 차이가 적었지만, 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가할수록 조직잔사지수가 증가했다. 조직잔사지수는 씹음성과 절단강도와 양의 상관관계를 나타냈으며, 강한 전단력과 높은 배럴온도가 향상된 조직감을 이끌어 물리적인 힘을 가해도 조직을 잘 유지할 수 있었다고 판단된다.

바) 수용성 질소 지수

- 분리완두단백이 30% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 수용성질소지수는 Table 12에 나타났다.
- 압출성형공정에서 수분함량의 증감은 수용성질소지수에 유의적인 변화를 주지 않았다. 하지만, 높은 배럴온도는 단백질 용융물의 점도를 감소시켜 압출성형기 외부로 사출되는 속도가 증가하고 단백질 변성이 상대적으로 짧은 시간 동안 이루어져 수용성질소지수가 증가했다. 반면, 스크루 회전속도가 증가할수록 용융물에 작용하는 높은 전단력에 의해 수용성질소지수가 감소했다.

사) 요약

- 분리완두단백이 30% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도 등의 공정변수에 따른 이화학적 특성을 비교했다.
- 분리완두단백을 첨가하여 제조한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성은 비기계적 에너지 투입량 및 보수력에서 분리완두단백과 유사한 변화 양상을 나타냈으나, 사출 시 외관 및 조직감 측면에서 분리완두단백이 분리대두단백에 비해 불안정한 조직화가 나타났다.
- 분리완두단백을 첨가한 대체육은 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 향상된 조직감을 가지며 뚜렷한 섬유상의 구조를 가졌다.

나. 분리쌀단백을 활용한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 반응표면분석법 (Response surface methodology, RSM)

- 분리쌀단백을 10% 첨가하여 제조한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 최적화를 위해 실험설계법인 response surface methodology의 Box-Behnken 디자인 설계법을 사용했다.
- Box-Behnken 디자인은 Figure 25에 나타냈고, Box-Behnken 설계를 위해 선정된 15개의 공정변수는 Table 14에 나타났다.

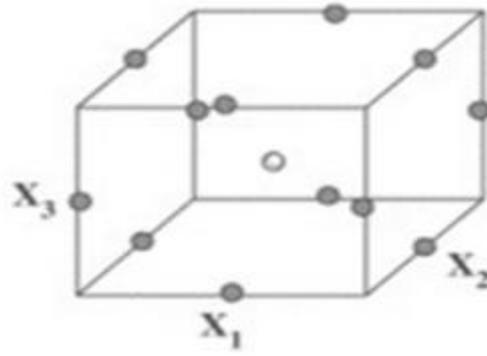


Figure 25. Box-Behnken design of response surface methodology

Table 14. Extrusion process parameters designed to optimize the extrusion process of isolated rice protein

No.	Moisture content (%)	Barrel temperature (°C)	Screw speed (rpm)
1	30	160	300
2	35	150	250
3	35	140	200
4	40	160	250
5	35	150	250
6	40	150	300
7	35	140	300
8	30	150	300
9	30	140	250
10	35	150	250
11	35	160	300
12	35	160	200
13	30	150	200
14	40	150	200
15	40	140	250

나) 수분흡수력

- 분리쌀단백을 10% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수분흡수력의 최적화 3D 모형은 Figure 26에 나타냈다.

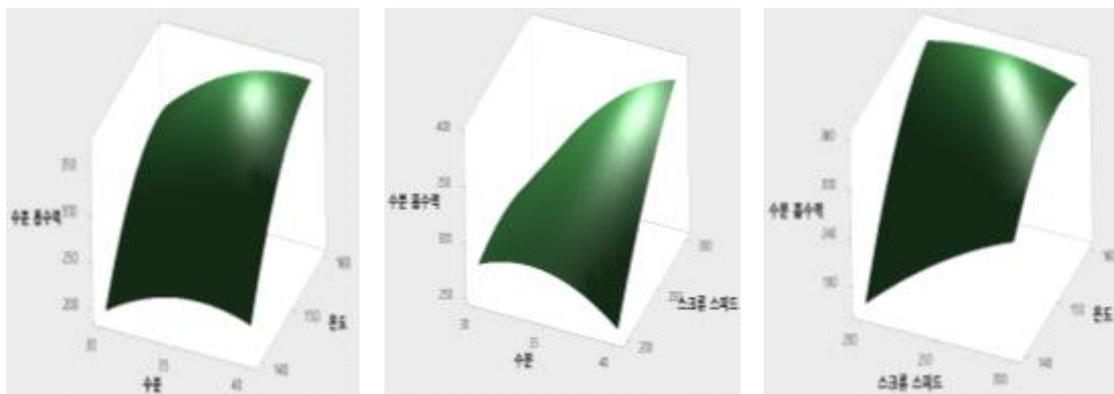


Figure 26. Water holding capacity optimization 3D model of low-moisture meat analog added

10% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

다) 조직감

- 분리쌀단백을 10% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직감의 최적화 3D 모형은 Figure 27에, 절단강도의 3D 모형은 Figure 28에 나타냈다.

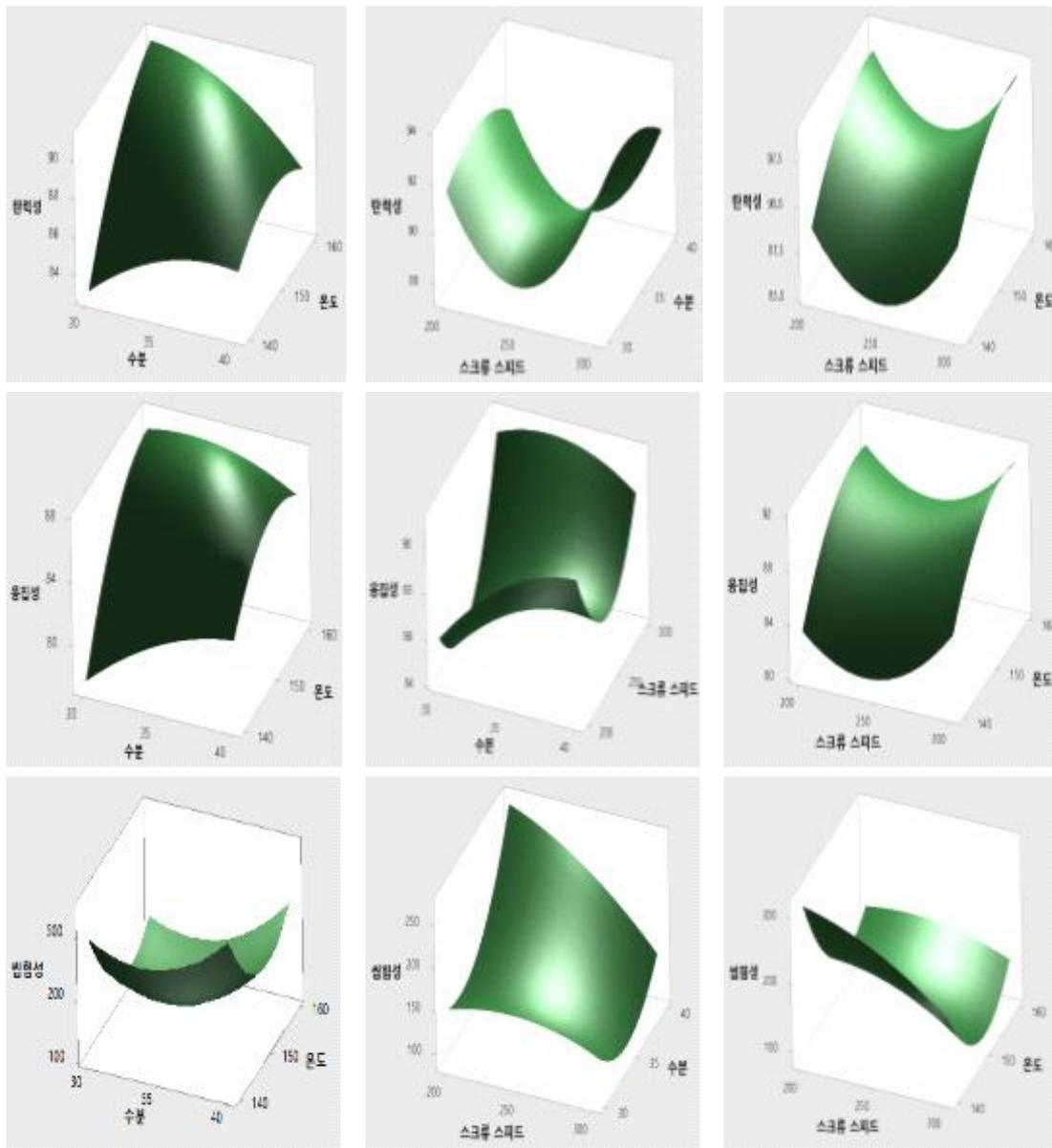


Figure 27. TPA optimization 3D model of low-moisture meat analog added 10% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

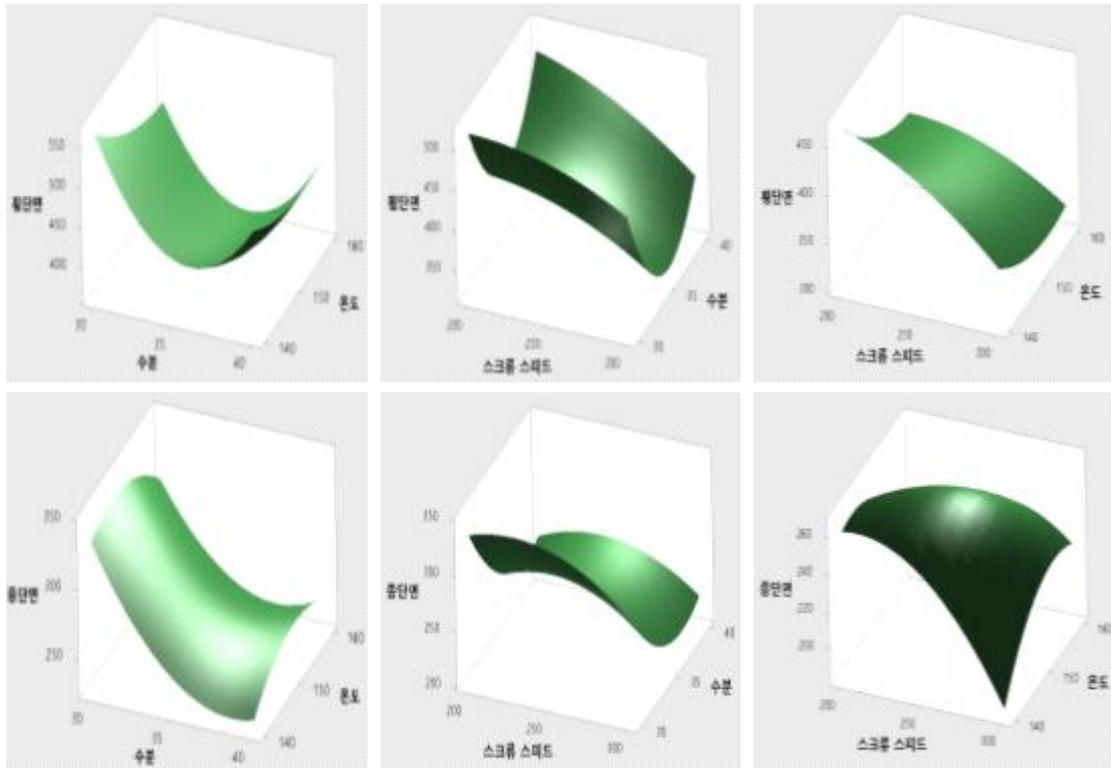


Figure 28. Cutting strength optimization 3D model of low-moisture meat analog added 10% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

라) 조직잔사지수

- 분리쌀단백을 10% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직잔사지수의 최적화 3D 모형은 Figure 29에 나타냈다.

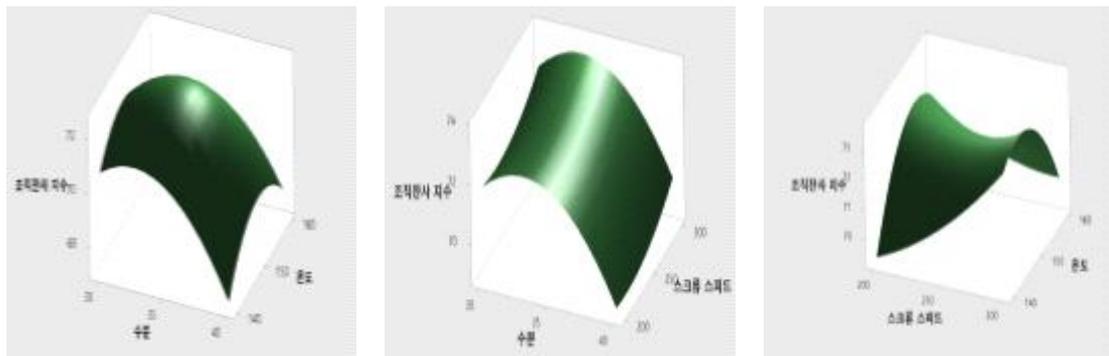


Figure 29. Integrity index optimization 3D model of low-moisture meat analog added 10% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

마) 수용성 질소 지수

- 분리쌀단백을 10% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수용성질소 지수의 최적화 3D 모형은 Figure 30에 나타냈다.

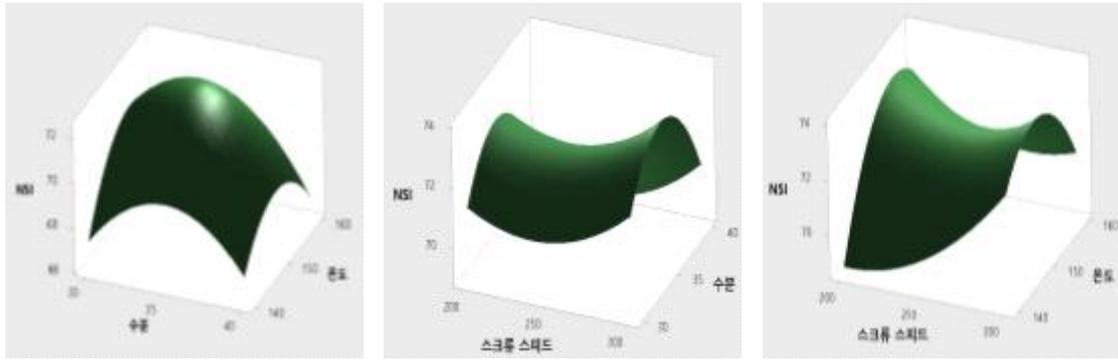


Figure 30. Nitrogen solubility index optimization 3D model of low-moisture meat analog added 10% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

바) 요약

- 분리쌀단백이 10% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량 (30, 35, 40%), 배럴온도 (140, 150, 160℃), 스크루 회전속도 (200, 250, 300 rpm) 등의 공정변수에 따른 이화학적 특성을 비교했다.
- 15가지의 압출성형 공정변수를 디자인하여 각각의 공정변수가 분리쌀단백 첨가 저수분 대체육의 이화학적 특성의 변화를 분석했고, 각 조건에 따른 분석 결과를 예측하는 3D 모델링을 통해 목적으로 하는 대체육의 제조를 위한 압출성형 공정변수를 최적화했다.

다. 분리녹두단백을 활용한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 반응표면분석법 (Response surface methodology, RSM)

- 분리녹두단백을 50% 첨가하여 제조한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 최적화를 위해 실험설계법인 response surface methodology의 Box-Behnken 디자인 설계법을 사용했다.
- Box-Behnken 디자인은 Figure 25에 나타냈고, Box-Behnken 설계를 위해 선정된 15개의 공정변수는 Table 15에 나타냈다.

Table 15. Extrusion process parameters designed to optimize the extrusion process of isolated mung bean protein

No.	Moisture content (%)	Barrel temperature (°C)	Screw speed (rpm)
1	40	160	200
2	35	160	150
3	40	140	200
4	30	140	200
5	30	150	250
6	30	160	200
7	30	150	150
8	35	160	250
9	35	150	200
10	35	150	200
11	40	150	250
12	35	140	150
13	40	150	150
14	35	150	200
15	35	140	250

나) 수분흡수력

- 분리녹두단백을 50% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수분흡수력의 최적화 3D 모형은 Figure 31에 나타냈다.

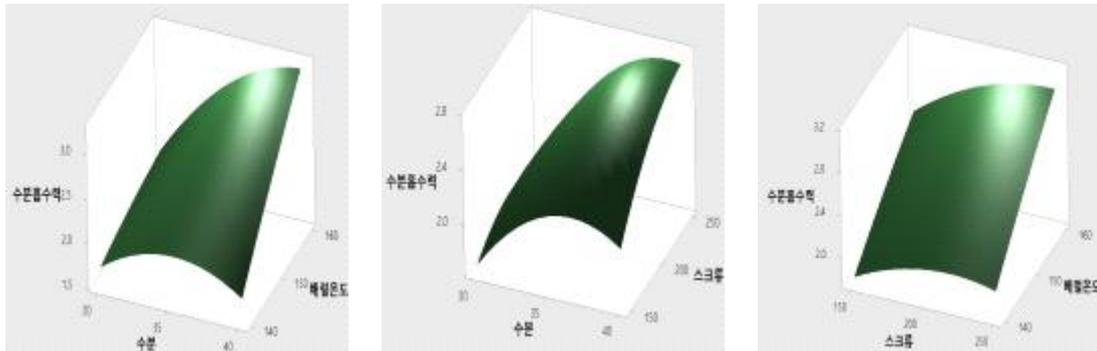


Figure 31. Water holding capacity optimization 3D model of low-moisture meat analog added 50% isolated mung bean protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

다) 조직감

- 분리녹두단백을 50% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직감의 최적화 3D 모형은 Figure 32에, 절단강도의 최적화 3D 모형은 Figure 33에 나타냈다.

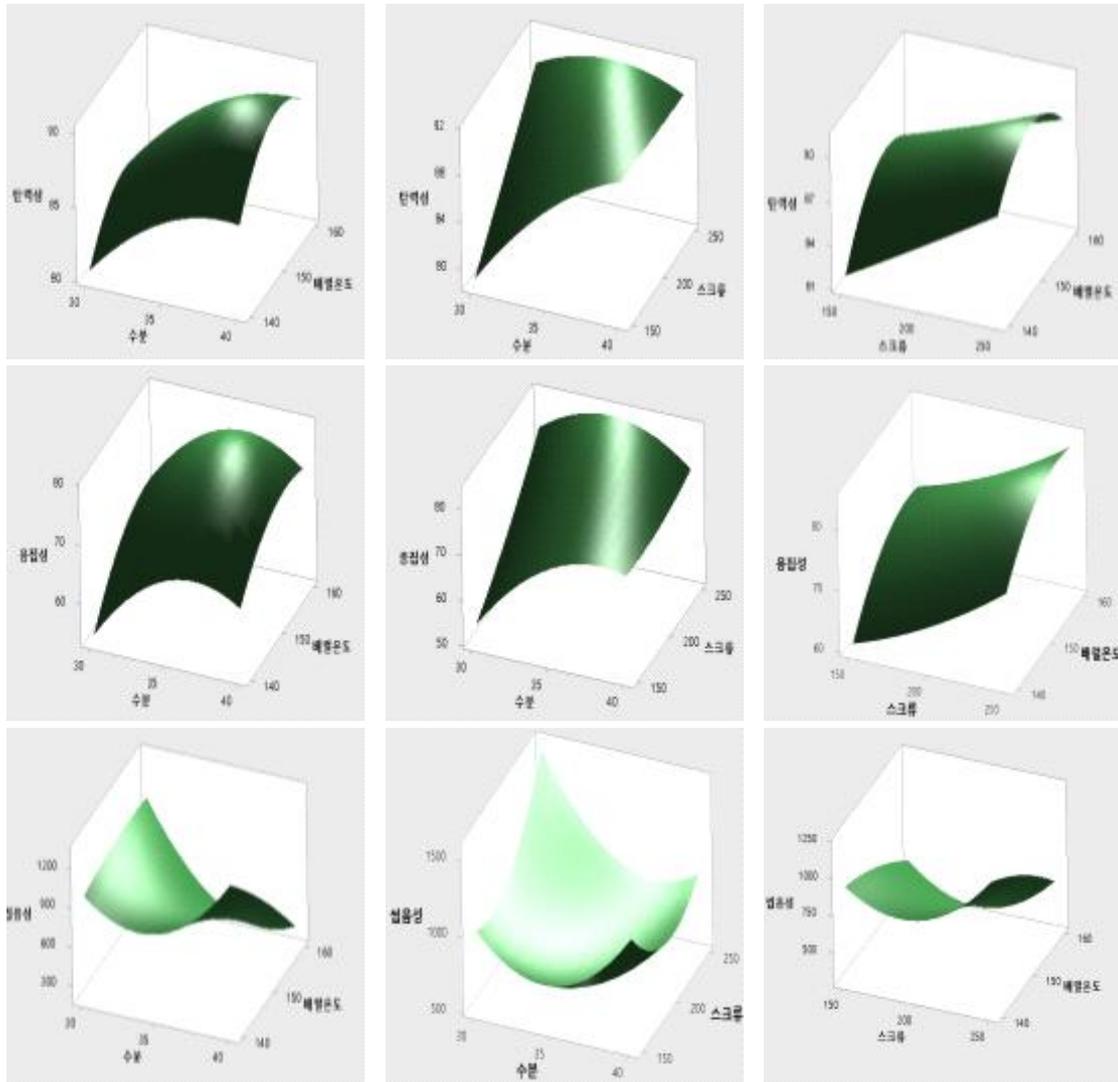


Figure 32. TPA optimization 3D model of low-moisture meat analog added 50% isolated mung bean protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

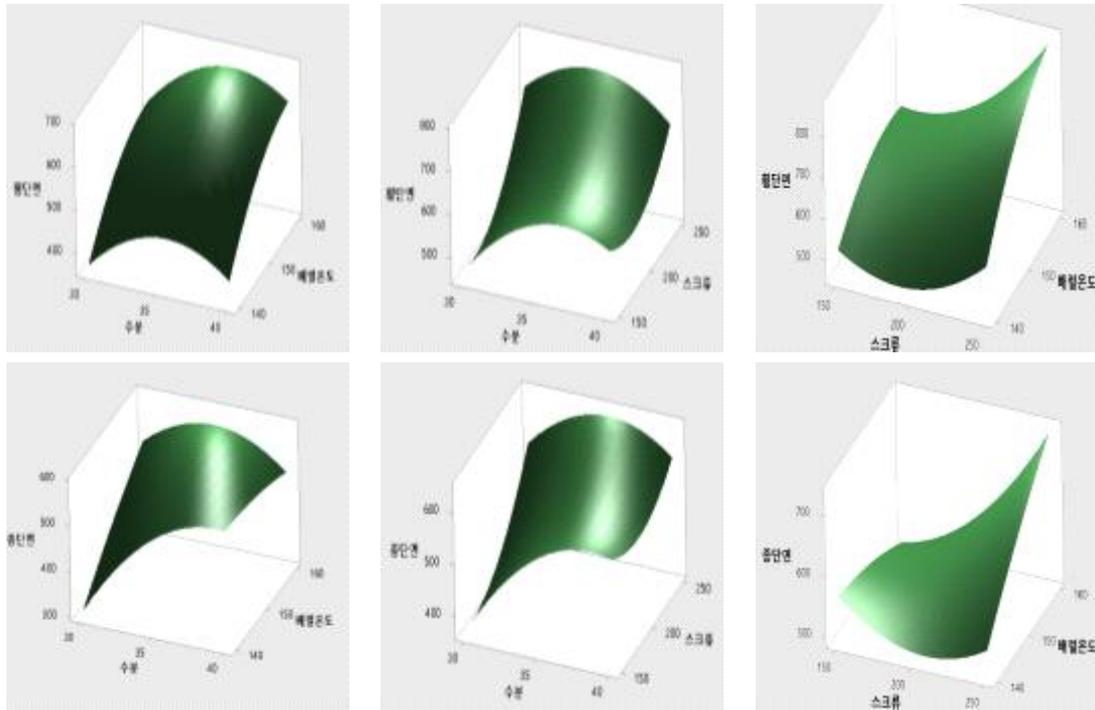


Figure 33. Cutting strength optimization 3D model of low-moisture meat analog added 50% isolated mung bean protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

라) 조직잔사지수

- 분리녹두단백을 50% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직잔사지수의 최적화 3D 모형은 Figure 34에 나타냈다.

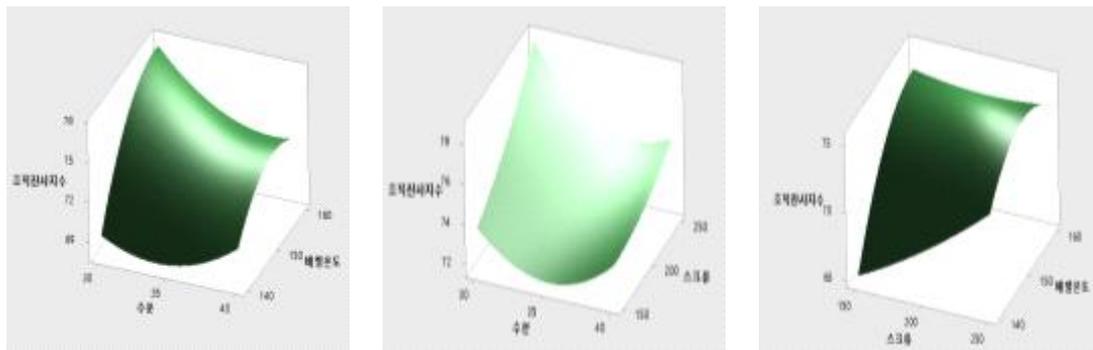


Figure 34. Integrity index optimization 3D model of low-moisture meat analog added 50% isolated mung bean protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

마) 수용성 질소 지수

- 분리녹두단백을 50% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수용성질소지수의 최적화 3D 모형은 Figure 35에 나타냈다.

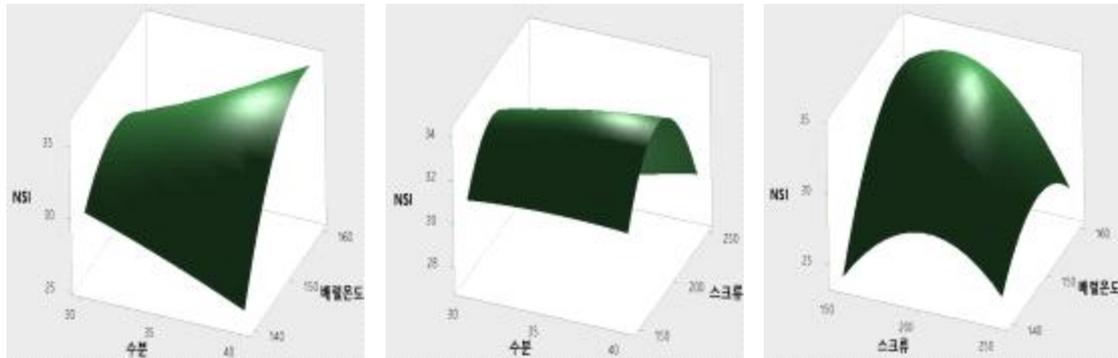


Figure 35. Nitrogen solubility index optimization 3D model of low-moisture meat analog added 50% isolated mung bean protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

바) 요약

- 분리녹두단백이 50% 첨가된 저수분 압출성형 대체육의 수분함량 (30, 35, 40%), 배럴온도 (140, 150, 160℃), 스크루 회전속도 (150, 200, 250 rpm) 등의 공정변수에 따른 이화학적 특성을 비교했다.
- 15가지의 압출성형 공정변수를 디자인하여 각각의 공정변수가 분리녹두단백 첨가 저수분 대체육의 이화학적 특성의 변화를 분석했고, 각 조건에 따른 분석 결과를 예측하는 3D 모델링을 통해 목적으로 하는 대체육의 제조를 위한 압출성형 공정변수를 최적화했다.

4) 고수분(50%이상) 조건에서의 압출성형에 의한 식물 유래 단백질 조직화 기술 개발 연구

(1) 연구수행 방법

가. 분리완두단백이 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성에 미치는 영향

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리완두단백 (Yantai Shuangta Food Co., Jinling, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 사용했다. 밀 글루텐, 옥수수 전분은 40:10의 비율로 고정하며, 분리대두단백과 분리완두단백의 함량을 변화시켜 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50의 비율로 원료를 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1B와 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1B는 고수분 압출성형기로 냉각 사출구(냉각다이)를 사용하여 고수분 압출성형 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리완두단백 첨가량에 따른 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 살펴보고자 공정변수는 원료 투입량 100 g/min, 수분함량 60%, 배럴온도 150℃, 스크루 회전속도 250 rpm으로

고정하여 이화학적 특성을 분석했다.

- 제조한 고수분 대체육은 -20°C 냉동고에서 냉동하고 72시간 동결건조하여 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수 측정에 사용했다.

나. 분리쌀단백이 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성에 미치는 영향

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리쌀단백 (Vedan VietNam Enterprise Co., Ltd, Nai Province, Vietnam), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 사용했다. 밀 글루텐, 옥수수 전분은 40:10의 비율로 고정하며, 분리대두단백과 분리쌀단백의 함량을 변화시켜 50:0, 45:5, 40:10, 35:15, 30:20, 25:25의 비율로 원료를 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1B와 같다 (Samard et al., 2019). Fig. B는 고수분 압출성형기로 냉각 사출구 (냉각다이)를 사용하여 고수분 압출성형 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리쌀단백 첨가량에 따른 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 살펴보고자 공정변수는 원료 투입량 100 g/min, 수분함량 55%, 배럴온도 170°C , 스크루 회전속도 150 rpm으로 고정하여 이화학적 특성을 분석했다.
- 제조한 고수분 대체육은 -20°C 냉동고에서 냉동하고 72시간 동결건조하여 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수 측정에 사용했다.

다. 분리녹두단백이 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성에 미치는 영향

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리녹두단백 (ETprotein, Panjin, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 사용했다. 밀 글루텐, 옥수수 전분은 40:10의 비율로 고정하며, 분리대두단백과 분리녹두단백의 함량을 변화시켜 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50의 비율로 원료를 혼합하여 사용했다.

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리녹두단백 (ETprotein, Panjin, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 사용했다. 밀 글루텐, 옥수수 전분은 40:10의 비율로 고정하며, 분리대두단백과 분리녹두단백의 함량을 변화시켜 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50의 비율로 원료를 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1B와 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1B는 고수분 압출성형기로 냉각 사출구(냉각다이)를 사용하여 고수분 압출성형 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리녹두단백 첨가량에 따른 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 살펴보고자 공정변수는 원료 투입량 100 g/min, 수분함량 60%, 배럴온도 160℃, 스크루 회전속도 150 rpm으로 고정하여 이화학적 특성을 분석했다.
- 제조한 고수분 대체육은 -20℃ 냉동고에서 냉동하고 72시간 동결건조하여 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수, 수분흡착능력, 유지흡착능력 측정에 사용했다.

(2) 연구수행 결과

가. 분리완두단백이 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성에 미치는 영향

가) 외관

- 분리대두단백과 분리완두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 대체육의 외관과 섬유상의 구조는 Figure 36에 나타냈다.
- 분리완두단백의 함량이 증가할수록 저수분 압출성형공정과는 달리 섬유상의 구조가 감소하고 조직화가 감소했다. 분리완두단백의 겔화 능력이 낮고, 저수분 압출성형공정보다 많은 수분함량으로 인해 조직화가 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 분리완두단백이 30% 일 때까지는 조직화가 되었지만, 40%이상부터는 조직화가 되지 않았다.



Figure 36. Appearance and fibrous structure of high-moisture extruded meat analog with different isolated pea protein contents.

나) 조직감

- 분리대두단백과 분리완두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 압출성형 대체육의 조직감은 Table 16에 나타났다.
- 분리완두단백의 혼합비율이 높아질수록 탄력성, 응집성, 씹음성에서 모두 감소하는 경향이 나타났다. 분리완두단백은 분리대두단백과 비교하여 겔 형성능이 떨어지며, 동일한 조건의 압출성형공정에서 분리완두단백은 비교적 불안정하게 조직화되어 조직 간의 결합력이 감소하고 섬유상의 구조가 감소한 것으로 판단된다.
- 분리완두단백이 증가할수록 절단강도는 횡단면, 종단면 모두 감소한 것으로 나타났으며, Figure 36와 같이 분리완두단백은 분리대두단백과 비교하여 약하게 결합하여 절단강도가 감소하는 것으로 사료된다.

Table 16. TPA and cutting strength of high-moisture extruded meat analog with different isolated pea protein contents

Raw material ratio		Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
ISP (%)	IPP (%)				Transversal direction	Longitudinal direction
50	0	92.45±1.78 ^{ab1)}	82.26±0.73 ^a	5896.11±246.10 ^a	1205.63±222.33 ^a	860.36±153.59 ^a
40	10	93.09±0.91 ^a	81.21±0.35 ^a	4696.22±163.35 ^b	1027.93±28.08 ^b	933.08±243.35 ^a
30	20	93.35±1.22 ^a	79.46±2.07 ^a	3750.90±337.33 ^c	818.71±43.86 ^c	757.22±133.58 ^{ab}
20	30	89.95±1.01 ^b	74.86±1.97 ^b	3520.50±193.36 ^c	608.28±30.27 ^d	564.54±80.46 ^{bc}
10	40	82.54±2.96 ^c	68.00±5.26 ^c	2464.87±373.33 ^d	540.43±30.10 ^d	359.44±67.86 ^c
0	50			-		

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

다) 조직잔사지수

- 분리대두단백과 분리완두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 압출성형 대체육의 조직잔사지수는 Table 17에 나타났다.
- 분리완두단백 함량이 증가할수록 대체육의 조직 결합력이 약해지고 섬유상의 구조가 감소하면서 대체육에 작용한 물리적인 힘에 대한 유지력이 감소한 것으로 판단된다.
- 고수분 압출성형의 냉각다이는 저수분 압출성형의 다이와 달리 단백질 용융물에 포함되어 있는 수분의 상변화를 억제시켜 비교적 수분이 많은 대체육을 생산한다. 분리대두단백의 함량이 높은 고수분 대체육은 수분과 단백질 간 높은 수화력을 바탕으로 강한 결합을 나타낸 반면, 분리완두단백의 경우 겔 형성이 낮은 상황에서 다량의 수분에 의해 조직화가 방해되어 나타난 결과라고 판단된다.

Table 17. Integrity index and NSI of high-moisture extruded meat analog with different isolated

pea protein contents

Raw material ratio		Integrity index (%)	NSI (%)
ISP (%)	IPP (%)		
50	0	84.27±0.49 ^a	17.27±0.28 ^a
40	10	83.65±0.49 ^a	15.86±0.41 ^a
30	20	79.69±1.30 ^b	16.14±0.34 ^a
20	30	77.05±1.89 ^{bc}	15.78±0.82 ^a
10	40	73.91±1.92 ^c	17.13±0.94 ^a
0	50	-	-

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

라) 수용성 질소 지수

- 분리대두단백과 분리완두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 압출성형 대체육의 수용성질소 지수는 Table 17에 나타냈다.
- 분리완두단백 함량이 증가할수록 수용성질소지수는 감소했다. 분리완두단백 함량이 증가할수록 수용성 단백질의 변성은 양적으로 많았지만, 조직화와 양의 상관관계를 갖지는 않았다. 이는 분리대두단백과 분리완두단백의 단백질 변성에 따른 조직화의 차이 때문이라고 판단된다. 분리대두단백은 분리완두단백에 비교하여 적은 단백질 변성에도 조직화가 잘 이루어졌지만, 분리완두단백은 더 많은 단백질 변성이 필요하다고 판단된다.

마) 요약

- 본 연구는 분리대두단백 함량을 감소시키고 분리완두단백 함량을 증가시켜 제조한 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 비교했다. 압출성형 공정변수는 수분함량 60%, 배럴온도 150℃, 스크루 회전속도 250 rpm으로 고정했으며, 원료 배합비는 밀 글루텐과 옥수수 전분의 혼합비를 40:10으로 고정하고 분리대두단백과 분리완두단백을 각각 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50으로 혼합하여 제조했다.
- 분리완두단백 함량이 증가한 고수분 대체육은 30%까지 조직화되었고, 조직잔사지수, 탄력성, 응집성, 씹음성, 절단강도가 감소하면서 저수분 압출성형 대체육과 달리 분리완두단백 함량이 증가할수록 조직감이 감소하는 경향이 나타났다.
- 결론적으로 분리대두단백을 대체하여 분리완두단백을 활용한 고수분 압출성형 대체육은 높은 수분 환경에서 단백질 네트워크 형성이 다소 불안정하게 나타났다.
- 고수분 압출성형공정에서 분리완두단백을 활용하기 위해 추후 공정변수 변화를 통해 조직화를 증가시킬 수 있어 추가적인 연구가 필요하다.

나. 분리쌀단백이 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성에 미치는 영향

가) 외관

- 분리대두단백과 분리쌀단백의 혼합 비율에 따른 고수분 압출성형 대체육의 외관은 Figure 37에 나타냈다.

- 팽화에 의한 공기층을 가진 저수분 대체육과 달리 분리쌀단백을 첨가한 고수분 대체육은 공기층이 관찰되지 않았으며, 조밀하고 층이 있는 섬유상 구조를 가졌다. 분리쌀단백 함량 0~15%까지는 섬유상 구조가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 분리쌀단백 함량이 20%부터는 섬유상의 구조가 감소했다.



Figure 37. Fibrous structure of high-moisture extruded meat analog with different isolated rice protein contents.

나) 조직감

- 분리대두단백과 분리쌀단백의 혼합 비율에 따른 고수분 대체육의 조직감과 절단강도는 Table 18에 나타냈다.
- 탄력성과 응집성은 분리쌀단백 함량이 증가할수록 감소하였으며, 분리쌀단백 함량이 증가할수록 탄력성과 응집성이 감소했다. 이는 단백질 함량이 많이 함유한 미강의 첨가량이 증가할수록 탄력성과 응집성이 감소한다는 고수분 대체육의 연구 결과와 일치하였다 (Jiang et al., 2022)
- 씹음성은 분리쌀단백 함량 15%까지 증가 후 20%부터 감소하는 경향을 보였는데, 15% 분리쌀단백 첨가가 조밀한 섬유상의 구조를 형성하여 나타낸 결과로 판단된다. 이는 미강을 10%까지 첨가했을 때 이황화 결합의 증가로 인해 씹음성이 증가한다는 Jiang et al. (2022)의 연구 결과와 일치했다.
- 고수분 대체육의 횡단, 종단면 절단강도는 씹음성과 마찬가지로 분리쌀단백 함량 20%까지 증가하다 감소하는 경향을 보였다.

Table 18. TPA and cutting strength of high-moisture extruded meat analog with different isolated rice protein contents

Raw material ratio		Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
ISP (%)	IRP (%)				Transversal direction	Longitudinal direction
50	0	93.7±0.9 ^{a1)}	87.3±1.7 ^a	4598.3±905.0 ^{de}	1585.2±155.2 ^{ab}	1157.1±100.3 ^a
45	5	93.5±0.6 ^a	86.6±2.0 ^{ab}	5396.3±815.3 ^b	1596.9±214.4 ^{ab}	1170.9±145.0 ^a
40	10	92.1±1.8 ^b	85.8±1.3 ^{abc}	5794.6±560.9 ^{ab}	1625.6±217.9 ^{ab}	1189.3±180.4 ^a
35	15	92.0±0.3 ^b	85.2±1.6 ^{bc}	5987.6±352.8 ^a	1775.3±254.3 ^a	1256.0±94.1 ^a
30	20	91.8±1.6 ^b	84.7±1.0 ^c	4929.5±194.0 ^{cd}	1483.4±301.7 ^b	1167.3±182.1 ^a
25	25	89.8±1.7 ^c	76.2±1.9 ^d	4067.6±518.9 ^e	1417.2±72.7 ^b	1155.6±99.3 ^a

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

다) 조직잔사지수

- 분리대두단백과 분리쌀단백의 혼합 비율에 따른 고수분 대체육의 조직잔사지수는 Table 19 에 나타냈다.
- 분리쌀단백 함량 0~15%까지 조직잔사지수가 증가하는 경향을 보였으며, 20~25%부터 감소하는 경향을 보였다. 이는 씹음성이 증가함에 따라 분리쌀단백 15% 첨가가 조직의 결합력을 강화하여 조직잔사지수가 증가한 것으로 판단된다 (Kim et al., 2022).

Table 19. Integrity index, NSI, and degree of texturization of high-moisture extruded meat analog with different isolated rice protein contents

Raw material ratio		Integrity index (%)	NSI (%)
ISP (%)	IRP (%)		
50	0	81.6±4.2 ^b	21.1±2.2 ^a
45	5	84.9±1.2 ^{ab}	21.2±0.5 ^a
40	10	86.3±0.1 ^a	21.1±0.7 ^a
35	15	86.4±1.2 ^a	20.9±0.3 ^a
30	20	84.9±0.3 ^{ab}	20.5±0.7 ^a
25	25	84.3±1.5 ^{ab}	18.8±3.1 ^a

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

라) 수용성 질소 지수

- 분리대두단백과 분리쌀단백의 혼합 비율에 따른 고수분 대체육의 수용성질소지수는 Table 19에 나타냈다.
- 수용성질소지수는 분리쌀단백 함량이 증가함에 따라 유의적인 차이를 보이지는 않았지

만, 전체적인 경향을 미루어볼 때 분리쌀단백 함량 0~15%까지 수용성질소지수가 감소했다.

마) 요약

- 본 연구는 분리쌀단백이 분리대두단백을 대체하여 제조한 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 비교했다. 공정변수는 수분함량 55%, 배럴온도 170℃, 스크루 회전속도 150 rpm으로 고정했다. 원료 배합비는 밀 글루텐과 옥수수 전분을 40:10으로 고정하고 분리대두단백과 분리쌀단백을 각각 50:0, 45:5, 40:10, 35:15, 30:20, 25:25로 혼합하여 제조했다.
- 고수분 대체육은 분리쌀단백의 비율이 15%까지는 섬유상의 구조가 증가하나 20%부터 감소했다. 분리쌀단백 함량이 증가할수록 탄력성, 응집성은 감소했으며, 15% 첨가까지 씹음성, 조직잔사지수가 증가했다.
- 결론적으로 분리쌀단백은 분리대두단백을 완전히 대체하지 못했지만, 섬유상의 구조와 식감을 개선하는 첨가제로써의 가능성을 확인할 수 있었다.

다. 분리녹두단백이 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성에 미치는 영향

가) 외관

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 압출성형 대체육의 외관은 Figure 38에 나타냈다.
- 팽화에 의한 공기층을 가진 저수분 대체육과 달리 분리녹두단백을 첨가한 고수분 대체육은 공기층이 관찰되지 않았으며, 조밀하고 층이 있는 섬유상 구조를 가졌다. 분리녹두단백 함량 0~50%까지는 섬유상 구조가 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

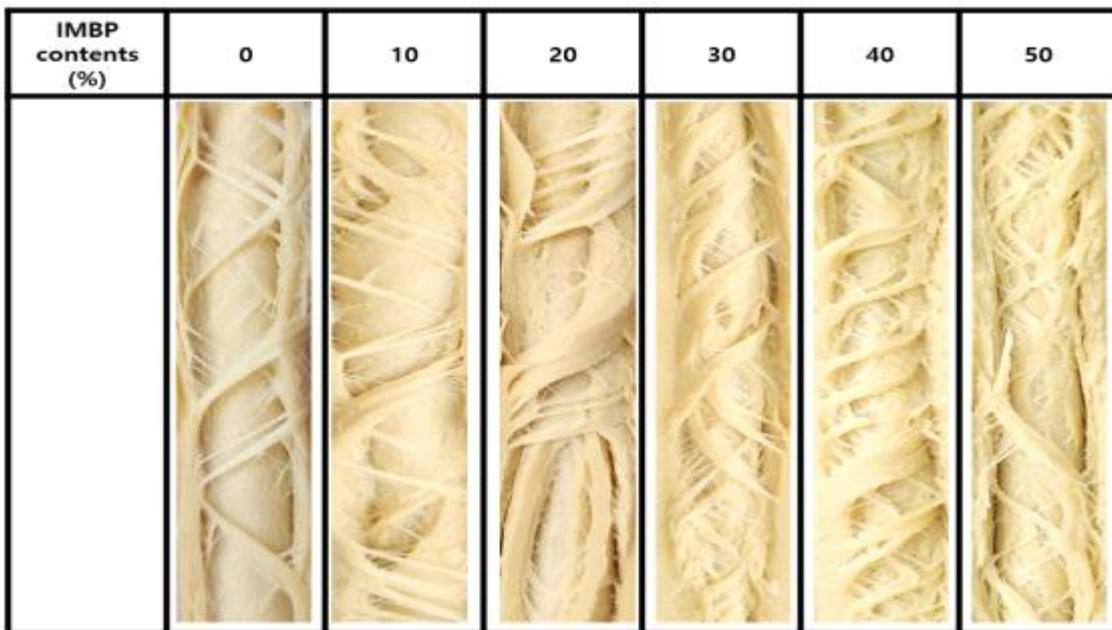


Figure 38. Fibrous structure of high-moisture extruded meat analog with different isolated mung bean protein contents.

나) 조직감

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 대체육의 조직감과 절단강도는 Table 20에 나타냈다.
- 분리녹두단백 함량이 증가할수록 탄력성과 응집성이 감소했다. 이는 대체육의 단백질 함량과 탄력성은 양의 상관관계가 있다는 연구결과와 일치하였고(Zhang et al., 2022) 분리대두단백분자가 분리녹두단백분자보다 더 강한 분자간 단백질 상호작용을 형성하여 분리녹두단백의 함량이 증가할수록 내부 결합의 강도가 감소한 것으로 판단된다(lee, Oh, Choi, Yoon, & Han, 2022).
- 씹음성은 분리녹두단백 함량 40%까지 증가 후 50%부터 감소하는 경향을 보였는데, 이는 대체육의 3차원 내부 구조를 형성하는 주요 구성 요소 중 이황화 결합의 감소 때문으로 판단된다(Kaleda et al.,)

Table 20. TPA and cutting strength of high-moisture extruded meat analog with different isolated mung bean protein contents

IMBP (%)	Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
				Transversal direction	Longitudinal direction
0	91.26±0.82 ^{a1)}	76.89±2.45 ^a	4724.33±455.26 ^b	915.68±119.57 ^d	905.28±53.85 ^a
10	91.60±0.75 ^a	76.14±1.03 ^{ab}	5817.87±489.18 ^a	1158.92±126.64 ^b	901.25±83.73 ^a
20	91.68±0.70 ^a	73.27±3.41 ^{bc}	5436.76±190.11 ^a	1085.63±43.65 ^{bc}	894.49±53.68 ^a
30	91.15±0.49 ^a	73.16±2.27 ^{bc}	5591.23±372.06 ^a	1321.03±193.65 ^a	732.53±48.51 ^b
40	90.15±1.38 ^b	70.17±4.42 ^c	5441.18±492.71 ^a	959.85±26.26 ^{cd}	721.16±53.03 ^b
50	84.49±0.58 ^c	55.81±1.77 ^d	3649.69±281.40 ^c	746.18±49.58 ^e	632.89±23.12 ^c

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

다) 조직잔사지수

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 압출성형 대체육의 조직잔사지수는 Table 21에 나타냈다.
- 분리녹두단백의 함량 40%까지 증가 후 50%에서는 감소하였다. 이는 조직감 분석에서 분리녹두단백의 첨가로 조직감 요인인 씹힘성(chewiness)이 40%까지 증가한 것으로 볼 때, 단백질 분자 간의 강한 겔 네트워크 형성으로 고온 및 고압의 환경에서도 조직 구조를 유지하고 보존되는 것으로 생각된다.

Table 21. Integrity index and NSI of high-moisture extruded meat analog with different isolated mung bean protein contents

Raw material ratio		Integrity index (%)	NSI (%)
ISP (%)	IMBP (%)		
50	0	65.41±1.86 ^c	43.37±0.99 ^a
40	10	77.73±1.55 ^b	41.85±1.37 ^a
30	20	78.84±1.10 ^{ab}	34.37±0.82 ^c
20	30	80.82±3.66 ^{ab}	33.87±0.29 ^c
10	40	83.29±4.48 ^a	30.03±1.1 ^d
0	50	77.84±2.46 ^b	37.27±0.67 ^b

¹⁾ Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

라) 수용성질소지수

- 분리대두단백과 분리녹두단백의 혼합 비율에 따른 고수분 압출성형 대체육의 수용성질소 지수는 Table 21에 나타냈다.
- 고수분 대체육의 수용성 질소 지수는 분리녹두단백의 함량 40%까지 감소 후 50%에서는 증가하였다. 40%까지의 수용성 질소의 감소는 고수분 압출 과정 중에 발생한 단백질 변성으로 인해 단백질 분자의 조직화가 증가한 것으로 판단되며(Samard & Ryu, 2019), 이후 50%에서는 분리녹두단백이 분리대두단백에 비해 상대적으로 높은 겔을 형성하고 이는 배럴 내부에 분산상의 형태로 존재하는 단백질 겔 네트워크의 분자 내 또는 분자 간 상호작용에 작용하는 전단력의 감소로 이어져 새로운 단백질 네트워크의 결합이 줄어들었기 때문에 수용성 질소가 증가한 것으로 판단된다(Meng et al. 2022).

마) 요약

- 본 연구는 분리대두단백 함량을 감소시키고 분리녹두단백 함량을 증가시켜 제조한 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성을 비교했다. 압출성형 공정변수는 수분함량 60%, 배럴온도 160℃, 스크루 회전속도 150 rpm으로 고정했으며, 원료 배합비는 밀 글루텐과 옥수수 전분의 혼합비를 40:10으로 고정하고 분리대두단백과 분리녹두단백을 각각 50:0, 40:10, 30:20, 20:30, 10:40, 0:50으로 혼합하여 제조했다.
- 분리녹두단백 함량이 증가한 고수분 대체육은 분리녹두단백을 첨가한 저수분 대체육과 동일하게 분리대두단백을 50%까지 대체할 수 있었다. 분리녹두단백의 함량이 증가할수록 섬유상의 구조는 증가하였고, 분리녹두단백이 40~50%일 때, 고기와 가장 유사한 섬유상의 구조를 나타내었다. 분리녹두단백의 함량이 증가할수록 탄력성, 응집성은 감소하였고, 씹음성은 40%까지 증가 후 50%에서 감소하였다. 조직잔사지수 또한 씹음성과 유사한 경향을 나타냈다.
- 고수분 압출성형공정에서 분리녹두단백을 활용하기 위해 추후 공정변수 변화를 통해 조직화를 증가시킬 수 있어 추가적인 연구가 필요하다.

5) 비가열 초고압 공정을 활용한 식물성 단백질 소재 활용 제품 내 유해미생물 저감화 효과 규명

(1) 연구수행 방법

가. 초고압 처리에 따른 식물성 단백질 소재 제품 미생물 저감화 양상 분석

가) 실험재료

- 실험에는 식물성 단백질 소재 활용 패티 (비가열) 1종, 패티 (가열) 1종을 사용하였으며 실험에 사용된 제품은 (주)신세계푸드로부터 제공받았다. 실험에 사용된 제품은 실험 전까지 냉동 보관하였으며 실험 전날 냉장 보관하며 해동 후 실험에 활용하였다.

나) 실험방법

- 분석 대상 미생물은 일반세균, 대장균/대장균군, 살모넬라, 황색포도상구균, 장출혈성대장균, 리스테리아 모노사이토제네스, 클로스트리디움 퍼프린젠스이며 모든 미생물 시험은 식품공전 미생물 시험법의 정량 및 정성시험법을 따라 진행하였다.

나. 초고압 처리 후 잔류 미생물의 동정

가) 실험방법

- 초고압 처리 후 잔류하는 일반세균의 분석을 위해 초고압 처리 후 tryptic soy agar (TSA)에 도말 평판을 실시하였다. 형상이 다른 콜로니를 새로운 TSA 배지에 획선평판하였으며 분리된 미생물을 16S rRNA sequencing을 통해 동정하였다. 미생물 동정은 미생물 분석 업체인 바이오닉스를 통해 진행하였다.

다. 초고압 처리 후 냉장 저장에 따른 제품 내 미생물 생육 양상 분석

가) 실험재료

- 실험에는 (주)신세계푸드로부터 제공받은 식물성 단백질 소재 활용 패티 (비가열) 1종, 패티(가열) 1종을 사용하였다.

나) 실험방법

- 패티 (비가열) 1종, 패티 (가열) 1종에 동일하게 600 MPa의 압력으로 3분간 초고압 처리를 진행한 후 10℃에서 30일간 저온 저장하였다. 6일마다 미생물 검사를 통해 초고압 처리 후 제품 내 미생물 생육 양상을 분석하였다. 분석대상 미생물은 상기 실험과 동일하게 일반세균, 대장균/대장균군, 살모넬라, 황색포도상구균, 장출혈성대장균, 리스테리아 모노사이토제네스, 클로스트리디움 퍼프린젠스이며 모든 미생물 시험은 식품공전 미생물 시험법의 정량 및 정성시험법을 따라 진행하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 초고압 처리에 따른 식물성 단백질 소재 제품 미생물 저감화 양상 분석

- 초고압 처리 전 패티 (비가열), 패티 (가열)에서 살모넬라, 황색포도상구균, 장출혈성대장균, 리스테리아 모노사이토제네스, 클로스트리디움 퍼프린젠스 등의 식중독균은 검출되지 않았다.

- 대장균군의 경우 패티 (비가열) 제품에서 2.79 log CFU/g의 농도로 검출되었으며 패티 (가열) 제품에서는 검출되지 않았다. 일반세균의 경우 모든 제품에서 2-3 log CFU/g의 농도로 검출되었다.
- 600 MPa의 압력으로 1분 및 3분간 초고압 처리를 진행하였을 때, 패티 (가열) 제품 내 일반 세균수는 대조군 대비 유의적인 저감화가 나타나지 않았다. 패티 (비가열) 제품의 경우 600 MPa 1분 처리에 따라 약 2 log 수준의 유의적인 저감화가 나타났으나 처리 시간이 3분으로 늘어남에 따른 추가적인 저감화는 나타나지 않았다.
- 패티 (비가열) 제품에 존재하는 대장균군의 경우 600 MPa의 압력으로 1분 처리하였을 때 검출한계 (1 log CFU/g) 이하로 저감화되는 것을 확인하였다.

Table 22. Populations(log CFU/g) of total aerobic bacteria and coliform in meat analog product after treatment with high hydrostatic pressure.

Treatment	Total aerobic count		Coliform
	Patty (thermal treated)	Patty (non-thermal treated)	Patty (non-thermal treated)
Control	3.80±0.07a ¹⁾	3.53±0.22a	2.79±0.08a
600 MPa (1 min)	3.63±0.09a	1.62±0.15b	< 1.00b
600 MPa (3 min)	3.59±0.10a	1.52±0.07b	< 1.00b

¹⁾ Values followed by the same lowercase letters within rows are not significantly different (p > 0.05).

나. 초고압 처리 후 잔류 미생물의 동정

- 상기 실험 결과로부터 초고압 처리를 통해 저감화 할 수 없는 미생물이 제품 내에 존재한다는 것을 확인하였으며 이를 확인하기 위해 초고압 처리 후 잔류하는 미생물을 분리하여 동정을 진행하였다.
- 동정 결과 패티 분리군 6종 중 5종이 바실러스 속의 포자 생성균으로 확인되었다. 이는 식물성 원료를 사용하는 제품의 특성상 포자 생성균의 오염 가능성이 높기 때문으로 생각되며 포자 생성균의 경우 단순한 초고압 처리만으로는 저감화가 어렵기 때문에 추후 다른 기술과의 병행 처리 방법을 모색하여야 할 것으로 생각된다.

Table 23. Identification of microorganisms isolated from plant based meat analog products

Samples	Description	Coverage (% of identity)
Patty 1	<i>Bacillus subtilis</i> strain DSM 10 16S ribosomal RNA	99 (100%)
Patty 2	<i>Macrococcus caseolyticus</i> subsp. hominis strain CCM 7927 16S ribosomal RNA	99 (99.5%)
Patty 3	<i>Bacillus subtilis</i> strain DSM 10 16S ribosomal RNA	99 (100%)
Patty 4	<i>Bacillus subtilis</i> strain DSM 10 16S ribosomal RNA	99 (99.8%)
Patty 5	<i>Bacillus velezensis</i> strain FZB42 16S ribosomal RNA	99 (99.7%)
Patty 6	<i>Bacillus licheniformis</i> strain DSM 13 16S ribosomal RNA	99 (99.9%)

다. 초고압 처리 후 냉장 저장에 따른 제품 내 미생물 생육 양상 분석

- 초고압 처리 후 저온 저장 (10°C)에 따른 샘플 내 미생물 생육 양상을 분석하였다. 패티 (비가열), 패티 (가열)에서 살모넬라, 황색포도상구균, 장출혈성대장균, 리스테리아 모노사이토제네스, 클로스트리디움 퍼프린젠스 등의 식중독균은 검출되지 않았으며 패티 (비가열) 제품에 존재하는 대장균군의 경우 초고압 처리 후 완전히 사멸되는 것을 확인하였기에 냉장 저장에 따른 제품 내 미생물 생육 양상은 일반세균만을 대상으로 진행하였다.
- 패티 (비가열) 제품의 경우 초고압 처리 후 초기 일반세균이 1.5 log CFU/g수준으로 잔류하였으며 이후 저온 저장에 따라 점진적인 linear한 형태의 일반세균 증가가 확인되었다. 30일 저장 후 일반세균 수는 대략 4 log CFU/g 수준으로 초기 균수 대비 약 2.5 log의 일반세균

2D Graph 1

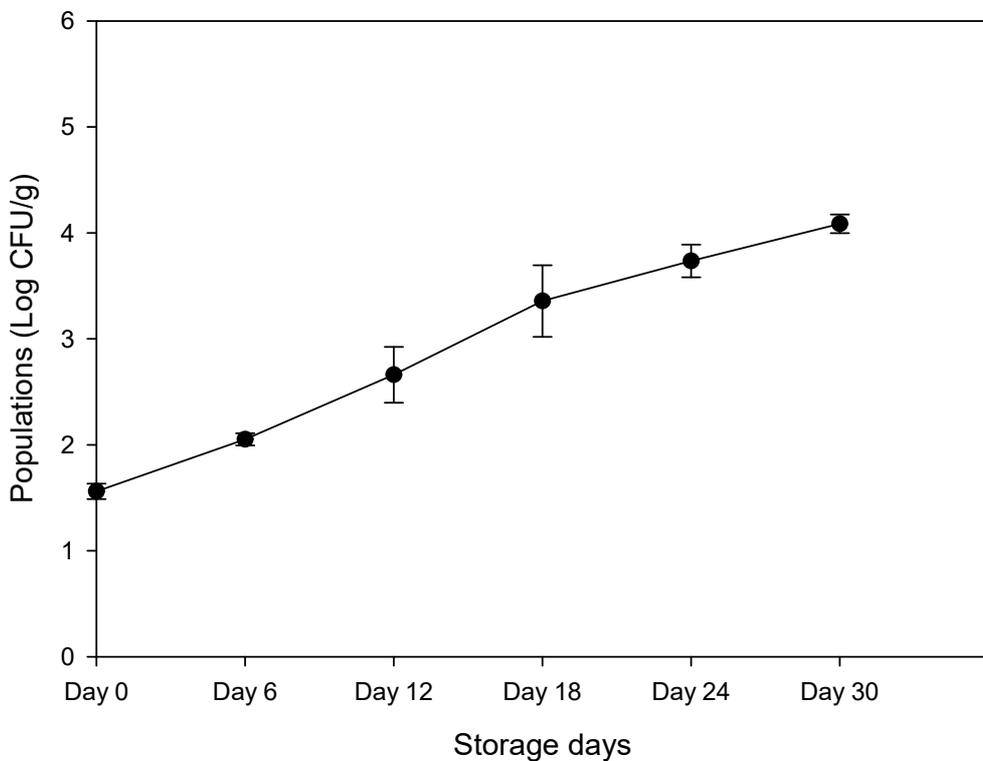


Figure 39. Microbial populations on patty(non-thermal treated) during storage at 10°C for 30 days.

- 패티 (가열) 제품의 경우 대조군과 초고압 처리군 간 초기 미생물 수의 유의적인 차이는 없었으나 초고압 처리군에서 저온 저장 시 일반세균의 증식 속도가 대조군 대비 느린 것을 확인하였다. 이는 초고압 처리에 따라 미생물의 sub-lethally injury가 발생하여 초고압 처리를 받지 않은 미생물에 비해 생육 전 회복하는 기간이 소요되었기 때문으로 생각된다.

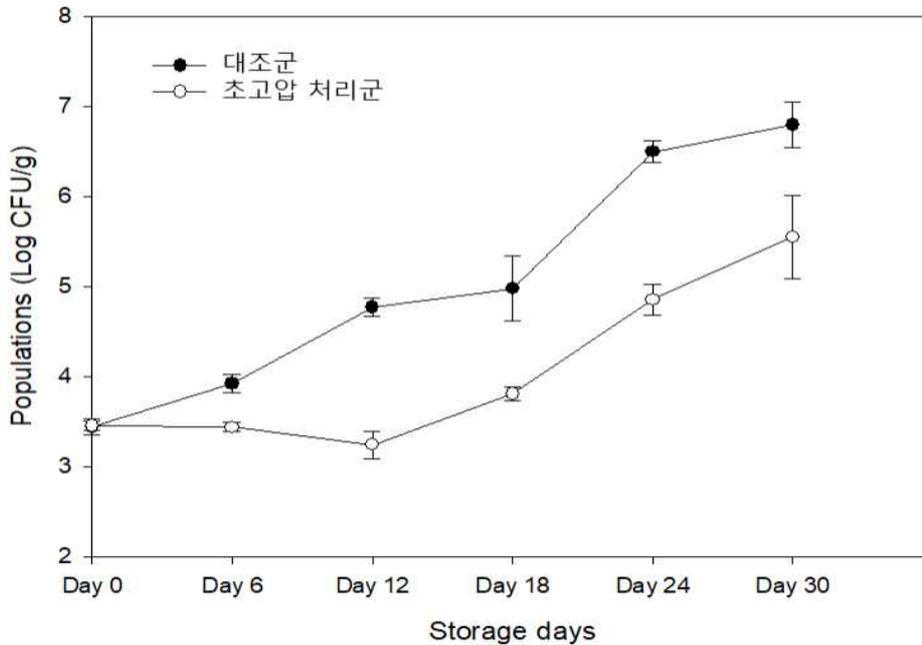


Figure 40. Microbial populations on patty(thermal treated) during storage at 10°C for 30 days.

6) 소고기 유사 질감 고수분(50% 이상) 압출성형 식물조직단백의 제조 공정 최적화 연구

(1) 연구수행 방법

가. 분리완두단백을 활용한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리완두단백 (Yantai Shuangta Food Co., Jinling, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 20:30:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1B와 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1B는 고수분 압출성형기로 냉각 사출구(냉각다이)를 사용하여 고수분 압출성형 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴온도를 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리완두단백을 30% 첨가한 고수분 대체육의 공정변수에 의한 이화학적 특성을 살펴보고자 Maung과 Ryu (2021)의 연구를 참고하여 공정변수는 원료 투입량 100 g/min, 수분 함량 55, 60%, 배럴온도 140, 160°C, 스크루 회전속도 150, 250 rpm으로 선정하여 2x2x2 factorial 분석에 활용했다.
- 제조한 고수분 대체육은 -20°C 냉동고에서 냉동하고 72시간 동결건조하여 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수 측정에 사용했다.

나. 분리쌀단백을 활용한 저수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리쌀단백 (Vedan VietNam Enterprise Co., Ltd, Nai Province, Vietnam), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 35:15:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1B와 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1B는 고수분 압출성형기로 냉각 사출구(냉각다이)를 사용하여 고수분 압출성형 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴온도를 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리쌀단백을 15% 첨가한 고수분 대체육의 공정변수에 의한 이화학적 특성을 분석하고자 원료 사입량 100 g/min, 수분함량은 50, 55, 60%, 배럴온도 160, 170, 180℃, 스크루 회전속도는 100, 150, 200 rpm으로 선정하고 반응표면분석법 (Response surface methodology, RSM)중 Box-Behnken 실험법을 활용하여 총 15개 샘플 (중심점 3개)을 선정했다.
- 제조한 고수분 대체육은 -20℃ 냉동고에서 냉동하고 72시간 동결건조하여 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수 측정에 사용했다.

다. 분리녹두단백을 활용한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 본 실험에는 분리대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 분리녹두단백 (ETprotein, Panjin, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 20:30:40:10의 비율로 혼합하여 사용했다.

나) 압출성형공정

- 실험에는 동방향 트윈-스크루 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)을 사용했고, 스크루의 직경은 30 mm, 직경과 길이의 비 (L/D ratio)는 23:1, 사용한 압출성형기의 스크루 구조는 Figure 1B와 같다 (Samard et al., 2019). Figure 1B는 고수분 압출성형기로 냉각 사출구(냉각다이)를 사용하여 고수분 압출성형 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴온도를 전열기와 냉각수를 이용하여 조절했다.
- 분리녹두단백을 30% 첨가한 고수분 대체육의 공정변수에 의한 이화학적 특성을 분석하고자 원료 사입량 100 g/min, 수분함량은 50, 55, 60%, 배럴온도 140, 150, 160℃, 스크루 회전속도는 150, 200, 250 rpm으로 선정하고 반응표면분석법 (Response surface methodology, RSM)중 Box-Behnken 실험법을 활용하여 총 15개 샘플 (중심점 3개)을 선정했다.

- 제조한 고수분 대체육은 -20℃ 냉동고에서 냉동하고 72시간 동결건조하여 가정용 분쇄기 (FM-909T, Hanil, Haman, Korea)로 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh 사이의 분말만을 사용하여 수용성질소지수 측정에 사용했다.

(2) 연구수행 결과

가. 분리완두단백을 활용한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 외관

- 분리완두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 섬유상의 구조는 Figure 41에 나타냈다.
- 수분함량이 증가할수록 섬유상의 구조가 감소하고, 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가할수록 섬유상의 구조가 증가했다.
- Choi와 Ryu(2022)에 따르면 고수분 압출성형과정에서 ISP는 수분함량이 증가할수록 섬유상의 구조가 증가하여 조직화가 향상된다고 했지만, 겔 형성능력이 ISP에 비해 낮은 IPP는 60%이상의 수분함량에서 조직화가 감소하는 결과가 나타났다. 반면, 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가하면 섬유상의 구조가 증가했다.
- 배럴온도가 낮을 때 조직화 및 섬유상의 구조가 크게 감소하는 경향이 나타났다.
- 수분함량이 증가할수록 조직화가 향상된 저수분 대체육과는 달리 수분함량이 증가하면 고수분 대체육은 조직화가 감소했다.
- 결과적으로 IPP를 조직화하기 위해서는 높은 열에너지와 전단력이 필요하며, 과량의 수분함량은 조직화를 감소시킨다고 판단할 수 있다.

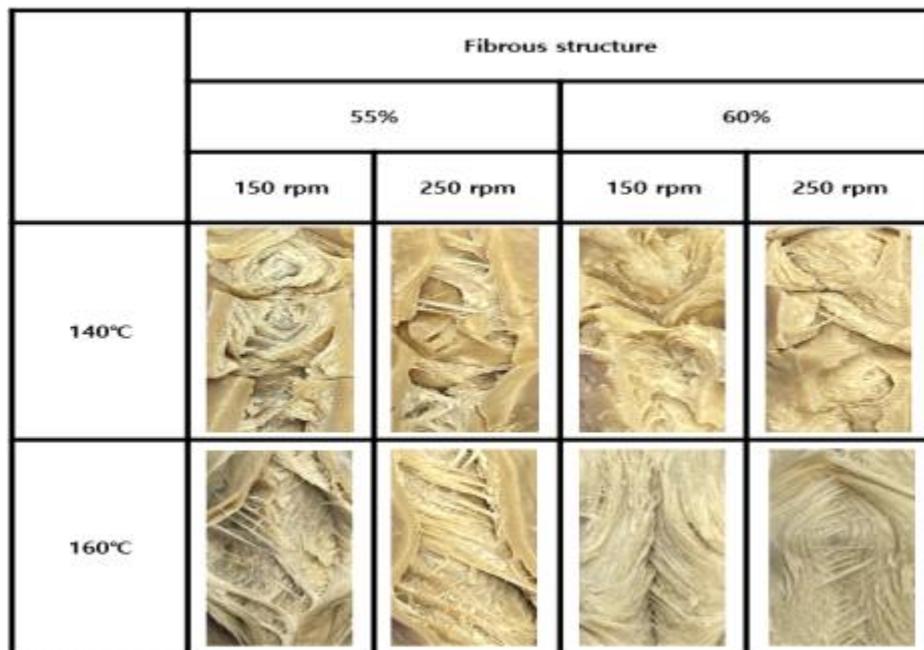


Figure 41. Fibrous structure of high-moisture extruded meat analog according to process parameter added isolated pea protein.

나) 비기계적 에너지 투입량 (SME input)

- 분리완두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전

속도에 따른 비기계적 에너지 투입량은 Table 24에 나타냈다.

- 수분함량과 배럴온도가 증가할수록 비기계적 에너지 투입량은 감소했고, 스크루 회전속도가 증가할수록 비기계적 에너지 투입량은 증가했다.
- 비기계적 에너지 투입량은 압출성형과정 시 스크루를 회전시키기 위한 기계적 에너지값으로 스크루에 작용하는 저항이나 회전속도에 따라 달라진다. 즉, 압출성형과정에서 투입되는 원료의 물리적 특성에 따라 비기계적 에너지는 변화한다.
- 고수분 대체육의 수분함량과 배럴온도가 증가하면 내부의 단백질 용융물 점도가 감소하여(Woldeyes 등, 2020) 스크루 회전에 대한 저항값이 낮아지면서 에너지 투입량이 감소했고, 스크루 회전속도가 증가하면 기어 구동부에 작용하는 기계적 에너지가 증가하면서 에너지양이 증가했다. 비기계적 에너지 투입량은 대체육의 투입되는 기계적 전단 및 발열 에너지로 전환되는 운동에너지로 대체육 구조 형성에 영향을 미쳐 압출 가공에서 중요한 요인이다.

Table 24. SME input, water holding capacity, integrity index and nitrogen solubility index, of high-moisture extruded meat analog according to process parameters

Extrusion parameters			SME input (kJ/kg)	Water holding capacity (g/g)	Integrity index (%)	NSI (%)
Moisture content (%)	Barrel temperature (°C)	Screw speed (rpm)				
55	140	150	64.14±0.21 ^e	2.78±0.10 ^a	77.33±1.17 ^d	11.76±0.24 ^d
		250	106.89±0.43 ^a	2.83±0.04 ^a	87.50±0.12 ^a	12.29±0.14 ^d
	160	200	64.23±0.33 ^e	2.65±0.26 ^{ab}	79.20±0.46 ^c	14.80±0.68 ^b
		300	102.92±0.42 ^b	2.43±0.12 ^c	88.27±0.90 ^a	13.87±0.57 ^c
60	140	200	30.98±0.35 ^f	2.85±0.05 ^a	58.30±0.91 ^f	14.59±0.08 ^{bc}
		300	91.67±1.45 ^d	2.81±0.01 ^a	71.49±0.60 ^e	16.52±0.11 ^a
	160	200	30.05±0.18 ^f	2.47±0.08 ^{bc}	81.03±1.10 ^b	16.64±0.38 ^a
		300	92.86±0.49 ^c	2.70±0.12 ^a	80.70±0.73 ^b	16.14±0.64 ^a

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test.

다) 수분흡수력

- 분리완두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도에 따른 수분흡수력은 Table 24에 나타냈다.
- 수분함량이 높은 조건에서 IPP를 첨가한 대체육은 상대적으로 약한 결합에 의한 불안정한 겔을 형성한다. 이는 조직화 과정에서 단백질의 -OH기와 물 분자가 경쟁적으로 결합하여 상대적으로 많은 수분을 보유한 대체육일수록 친수성 그룹이 분자 표면에 더 많이 노출되어(Mazaheri 등, 2017) 수화 과정에서 물 분자의 결합이 많아진 것으로 판단된다. 마찬가지로, 배럴온도가 증가할수록 단백질 결합의 정량적 증가로 물 분자가 침투하고 확산하기 위한 모세관이 감소하여 수분흡수력이 감소한 것으로 판단된다.

라) 조직감

- 분리완두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도에 따른 탄력성, 응집성, 씹음성, 절단강도는 Table 25에 나타냈다.

- 탄력성, 응집성, 씹힘성은 높은 수분함량에서 감소했으며, 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가할수록 증가했다. 절단강도는 수분함량이 감소하고 배럴온도, 스크루 회전속도가 증가할수록 횡단면과 종단면에서 모두 증가했다.
- IPP를 활용한 고수분 대체육은 수분함량이 55%에서 상대적으로 높은 씹힘성을 바탕으로 조밀한 섬유상의 구조가 나타나 조직감 측면에서 향상된 대체육이 제조되었지만, 수분함량이 60%부터는 응집성이 낮은 반죽과 같은 조직감이 나타났기 때문으로 생각된다. 또한, 동일한 수분 조건에서 배럴온도가 140℃보다는 160℃에서 응집성과 씹힘성이 증가했다. 이는 O'Kane 등(2004)의 연구에서 완두 단백질은 레구민으로 구성되며 반복적 혹은 더 많은 열에너지를 가해 단백질 사슬의 재배열 과정에서 강한 겔을 형성한다는 결과와 일치했다.

Table 25. Texture profile analysis and cutting strength of high-moisture extruded meat analogs according to process parameters

Extrusion parameters			Springiness (%)	Cohesiveness (%)	Chewiness (g)	Cutting Strength (g/cm ²)	
M.C* (%)	B.T (°C)	S.S (rpm)				Vertical direction	Parallel direction
55	140	150	86.63±0.74 ^e	70.37±2.14 ^f	3804.47±300.51 ^d	810.12±40.99 ^c	669.19±96.05 ^a
		250	88.81±2.00 ^d	76.16±2.42 ^{cd}	4521.01±227.24 ^c	910.48±89.45 ^c	743.05±221.93 ^a
	160	150	92.71±0.43 ^{ab}	78.38±0.54 ^{bc}	5065.46±142.85 ^b	1391.11±208.03 ^a	713.62±258.42 ^a
		250	93.45±0.59 ^a	82.46±1.25 ^a	6374.08±240.16 ^a	1348.74±126.25 ^a	777.82±86.36 ^a
60	140	150	81.63±2.07 ^f	64.02±1.83 ^g	1390.91±179.24 ^h	637.59±58.88 ^d	581.02±96.18 ^{ab}
		250	90.73±1.04 ^c	72.19±3.36 ^{ef}	2839.43±315.75 ^g	564.46±12.04 ^d	478.10±116.59 ^b
	160	150	91.44±1.23 ^{bc}	73.96±1.61 ^{de}	3180.68±179.38 ^f	812.28±103.18 ^c	609.59±139.45 ^b
		250	93.87±1.25 ^a	80.19±0.98 ^{ab}	3515.33±133.07 ^e	1109.56±123.43 ^b	697.74±82.04 ^a

¹⁾Values with different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05) by Duncan's multiple range test. *M.C(moisture content), B.T(barrel temperature), S.S(screw speed)

마) 조직잔사지수

- 분리완두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 조직잔사지수는 Table 24에 나타냈다.
- 수분함량이 증가할수록 조직잔사지수가 감소했으며, 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가할수록 조직잔사지수는 증가했다.
- 고수분 대체육에서 수분함량이 증가하면 IPP의 겔 형성능과 다량의 수분으로 인해 불안정한 조직이 형성되어 결합력이 약한 대체육이 제조되며, 많은 수분함량으로 인해 가압과 균질 과정에서 분산되어 조직잔사지수가 감소했다. 반면, 저수분 대체육과 마찬가지로 배럴온도와 스크루 회전속도가 증가하면 대체육 간의 결합력이 향상되어 조직잔사지수가 증가했다.

바) 수용성질소지수

- 분리완두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도에 따른 수용성질소지수는 Table 24에 나타냈다.

- 수분함량, 배럴온도, 스크루회전속도가 증가할수록 수용성질소지수가 증가했다.
- 수분함량과 배럴온도가 증가할수록 단백질 용융물의 점도가 감소하여 전단력의 작용이 감소하고 배럴에 체류하는 시간이 감소하여 수용성질소지수가 증가한 것으로 판단된다.
- 높은 수분의 고수분 압출성형공정은 상대적으로 낮은 점도가 형성되기 때문에 스크루 회전속도가 증가할수록 스크루에 작용하는 저항이 낮아 단백질 용융물의 체류시간 감소에 의해 수용성질소지수가 증가한 것으로 판단된다(Park 등, 2016).

사) 요약

- 분리완두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전 속도 등의 공정변수에 따른 이화학적 특성을 비교했다.
- 분리완두단백을 첨가하여 제조한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성에서 수용성질소지수는 대체육의 구조적 특성에 대한 메커니즘을 위해서는 수용성 질소지수 외에 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- 분리완두단백을 첨가한 고수분 압출성형 대체육은 수분함량과 스크루 회전속도는 낮고, 배럴온도가 증가할수록 뚜렷한 섬유상의 구조를 가졌다.

나. 분리쌀단백을 활용한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 반응표면분석법 (Response surface methodology, RSM)

- 분리쌀단백을 15% 첨가하여 제조한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 최적화를 위해 실험설계법인 response surface methodology의 Box-Behnken 디자인 설계법을 사용했다.
- Box-Behnken 디자인은 Figure 42에 나타냈고, Box-Behnken 설계를 위해 선정된 15개의 공정변수는 Table 26에 나타냈다.

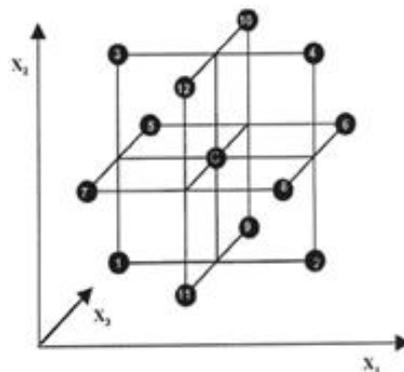


Figure 42. Box-Behnken design of response surface methodology.

Table 26. Extrusion process parameters designed to optimize the extrusion process of isolated rice protein

No.	Moisture content (%)	Barrel temperature (°C)	Screw speed (rpm)
1	55	180	200
2	55	180	100
3	55	170	150
4	60	170	150
5	50	170	200
6	50	180	150
7	60	170	100
8	50	170	100
9	50	160	150
10	60	170	200
11	55	160	200
12	55	160	100
13	60	180	150
14	55	170	150
15	55	170	150

나) 수분흡수력

- 분리쌀단백을 15% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수분흡수력의 최적화 3D 모형은 Figure 43에 나타냈다.

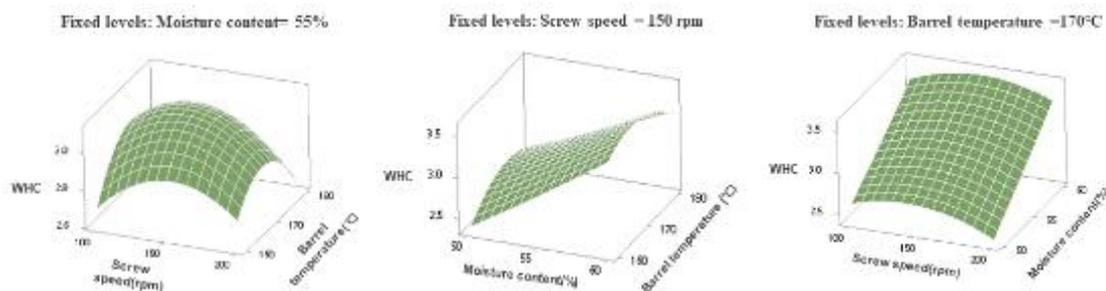


Figure 43. Water holding capacity optimization 3D model of high-moisture meat analog added 15% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

다) 조직감

- 분리쌀단백을 15% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직감의 최적화 3D 모형은 Figure 44에, 절단강도의 3D 모형은 Figure 45에 나타냈다.

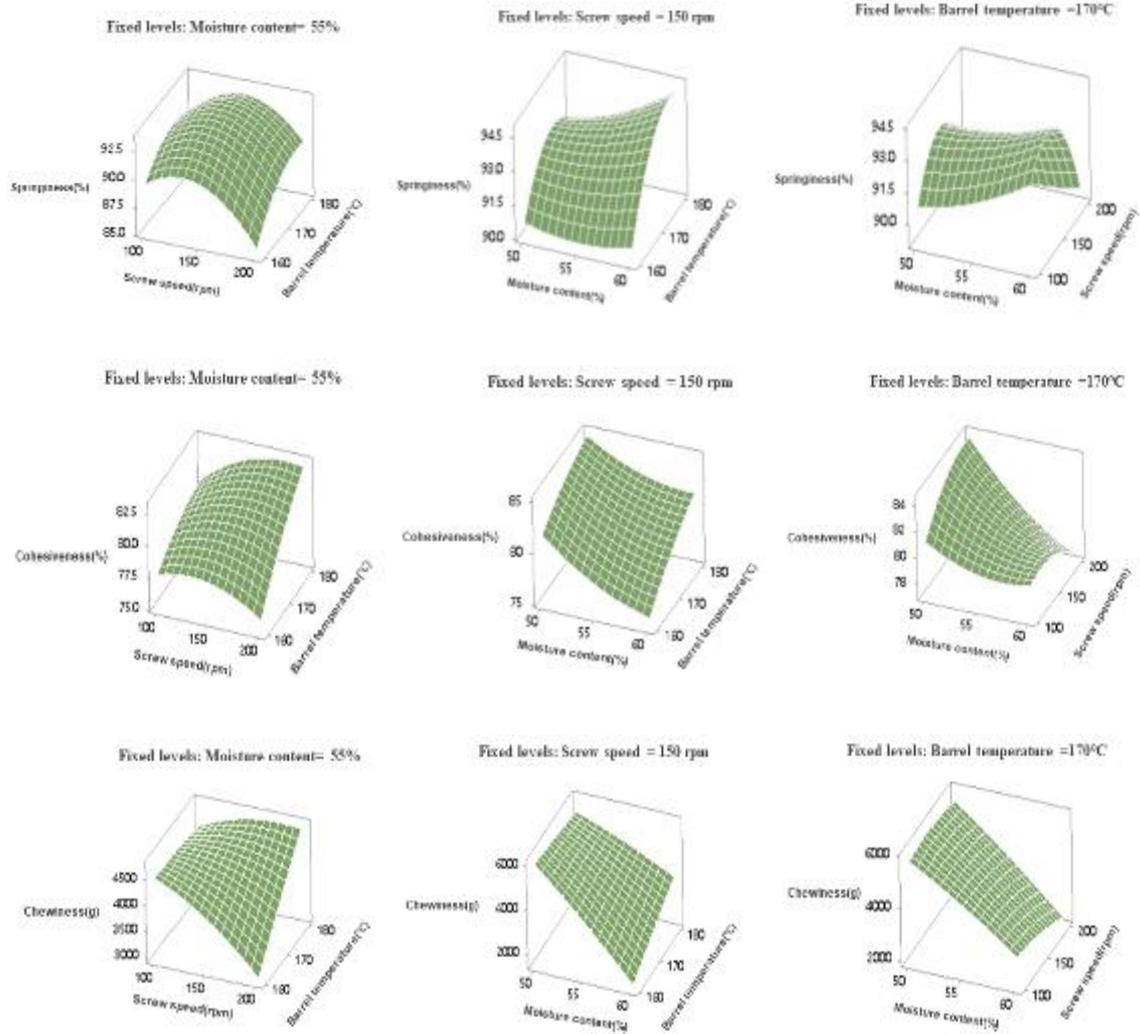


Figure 44. Response surface plots of texture profile analysis based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

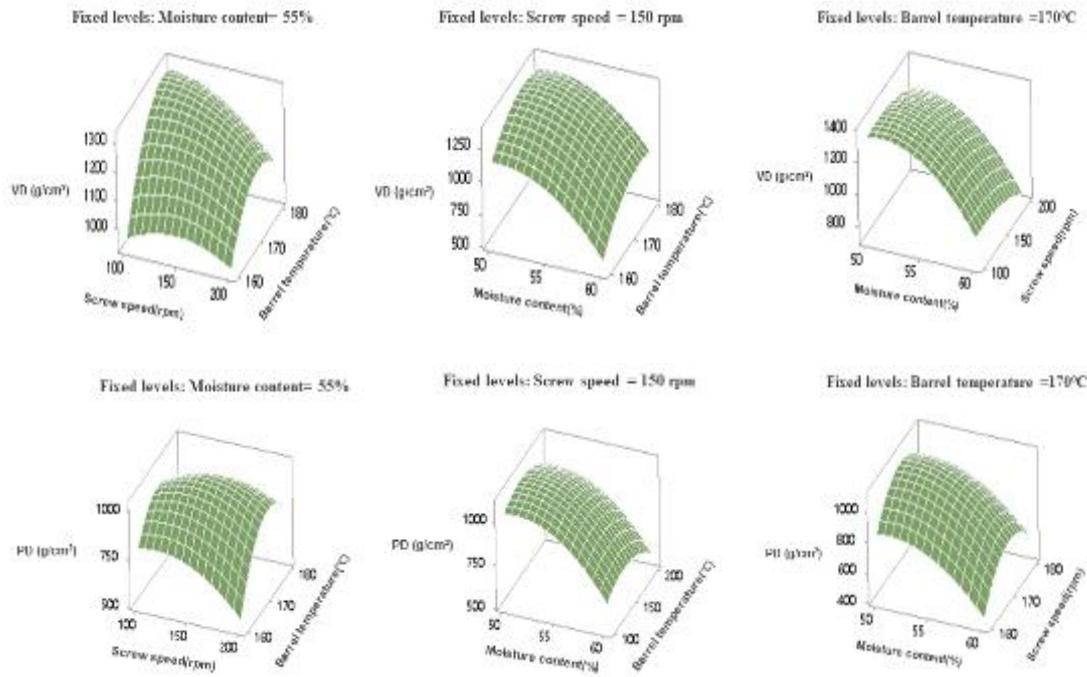


Figure 45. Cutting strength optimization 3D model of high-moisture meat analog added 15% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

라) 조직잔사지수

- 분리쌀단백을 15% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직잔사지수의 최적화 3D 모형은 Figure 46에 나타냈다.

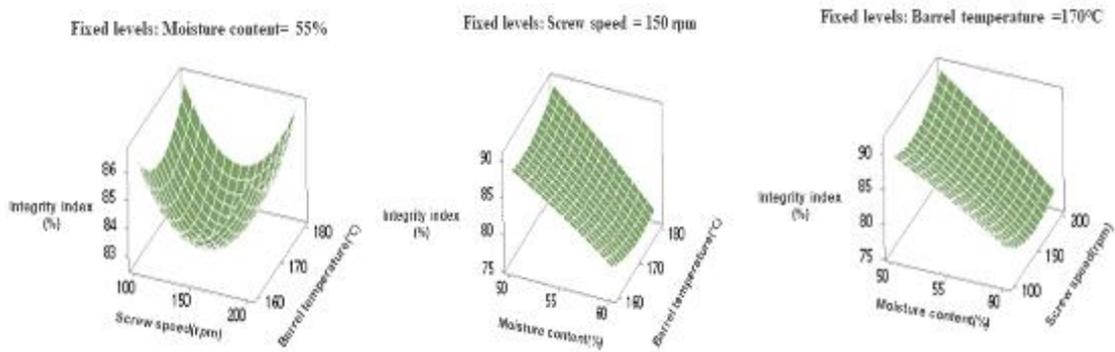


Figure 46. Integrity index optimization 3D model of low-moisture meat analog added 15% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

마) 수용성질소지수

- 분리쌀단백을 15% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수용성질소지수의 최적화 3D 모형은 Figure 47에 나타냈다.

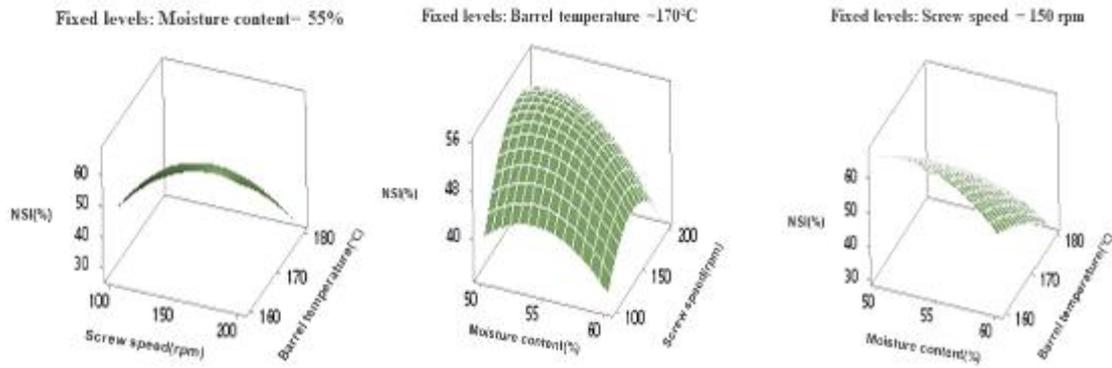


Figure 47. Nitrogen solubility index optimization 3D model of low-moisture meat analog added 15% isolated rice protein according to moisture content, barrel temperature, and screw speed.

바) 요약

- 분리쌀단백이 15% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량 (50, 55, 60%), 배럴온도 (160, 170, 180 °C), 스크루 회전속도 (100, 150, 200 rpm) 등의 공정변수에 따른 이화학적 특성을 비교했다.
- 15가지의 압출성형 공정변수를 디자인하여 각각의 공정변수가 분리쌀단백 첨가 고수분 대체육의 이화학적 특성에 미치는 변화를 분석했다.
- 조직감은 대체육 제품의 주요 특성이다(Carmo 등, 2021). 모델의 유의적인 차이가 있는 수분흡수력, 씹힘성, 절단강도 및 수용성질소지수를 최적화 도구로 사용하였다. 수분흡수력과 절단강도는 최댓값으로 선택하였으며 수용성 질소지수와 씹힘성의 목표값은 실제 육류와 대체육을 이화학적 특성을 비교한 Samard 등(2019)의 데이터에서 소고기를 목표값을 설정하였다. 이와 같은 물리적, 기능적 특성을 최대화 할 수 있는 조건을 Minitab software의 ‘response optimizer’를 통해 예측하였다.
- 그 결과 최적 조건의 공정변수는 수분 함량 56.16%, 스크루 회전속도 152.53 rpm, 배럴 온도 167.88 °C으로 예측되었다.
- RSM을 통한 원하는 목표제품의 우수한 물리적 특성과 영양 가치를 지닌 제품을 생산할 수 있을 것으로 판단되며 타겟제품에 따른 최적 공정변수를 예측할수 있다.

다. 분리녹두단백을 활용한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 변화에 따른 이화학적 특성 분석

가) 반응표면분석법(Response surface methodology, RSM)

- 분리녹두단백을 30% 첨가하여 제조한 고수분 압출성형 대체육의 공정변수 최적화를 위해 실험설계법인 response surface methodology의 Box-Behnken 디자인 설계법을 사용했다.
- Box-Behnken 디자인은 Figure 42에 나타냈고, Box-Behnken 설계를 위해 선정된 15개의 공정변수는 Table 27에 나타냈다.

Table 27. Extrusion process parameters designed to optimize the extrusion process of isolated mung bean protein

No.	Moisture content (%)	Barrel temperature (°C)	Screw speed (rpm)
1	60	250	150
2	60	150	150
3	55	250	160
4	55	200	150
5	55	150	140
6	60	200	140
7	60	200	160
8	50	150	150
9	55	150	160
10	55	250	140
11	50	250	150
12	50	200	160
13	55	200	150
14	50	200	140
15	55	200	150

나) 수분흡수력

- 분리녹두단백을 30% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수분흡수력의 최적화 3D 모형은 Figure 48에 나타냈다.

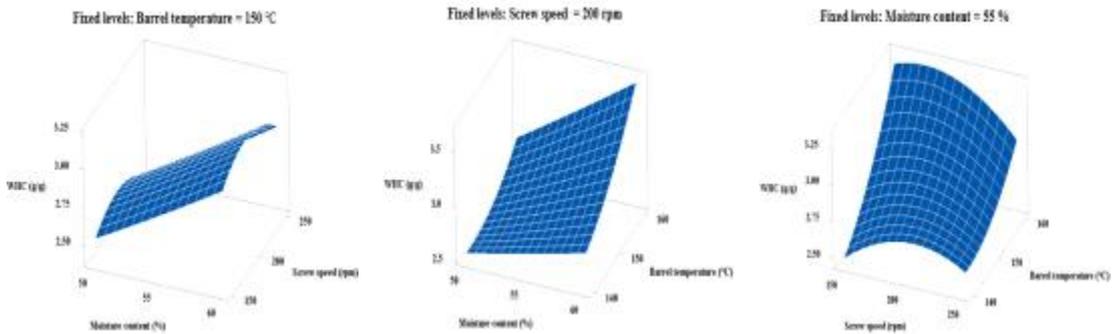


Figure 48. Response surface plots of water holding capacity based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

다) 조직감

- 분리녹두단백을 30% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직감의 최적화 3D 모형은 Figure 49에, 절단강도의 최적화 3D 모형은 Figure 50에 나타냈다.

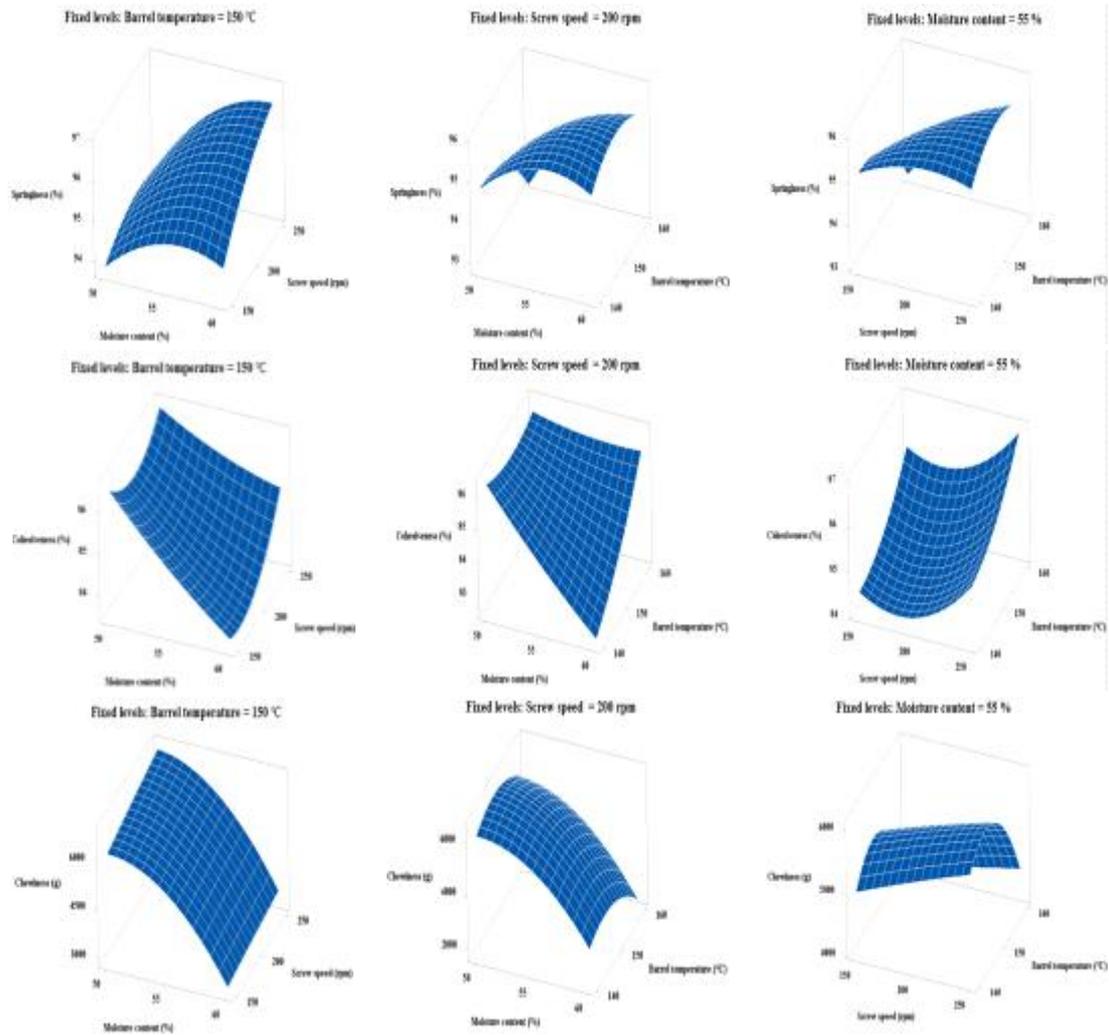


Figure 49. Response surface plots of texture profile analysis based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

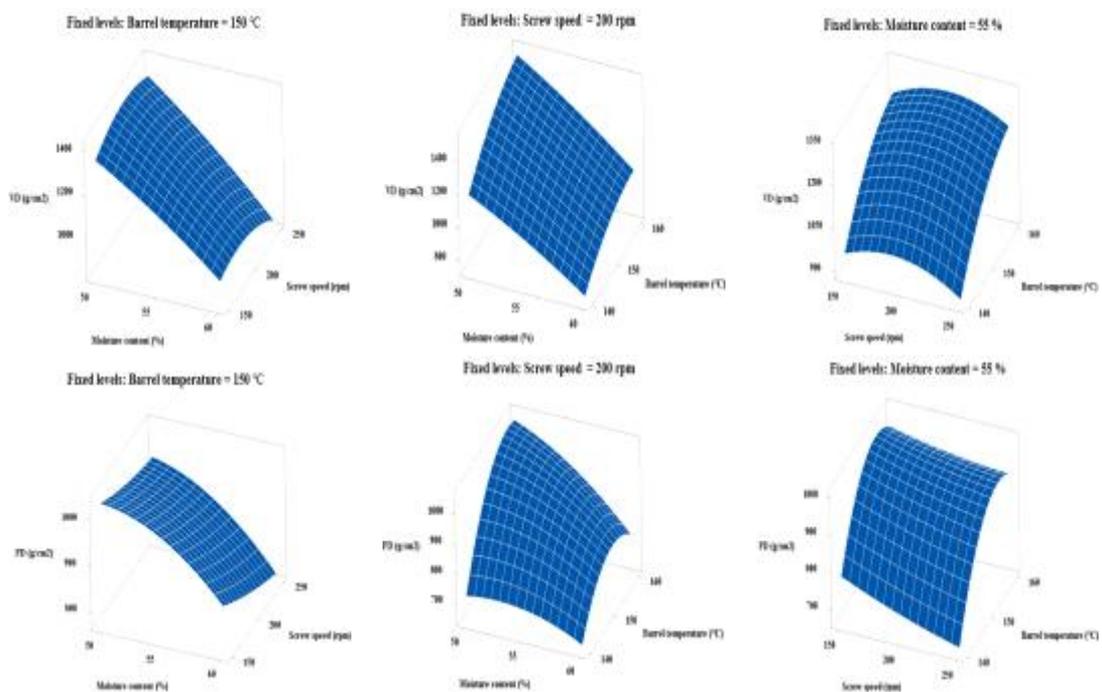


Figure 50. Response surface plots of cutting strength based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

라) 수분흡착능력

- 분리녹두단백을 30% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수분흡착능력의 최적화 3D 모형은 Figure 51에 나타냈다.

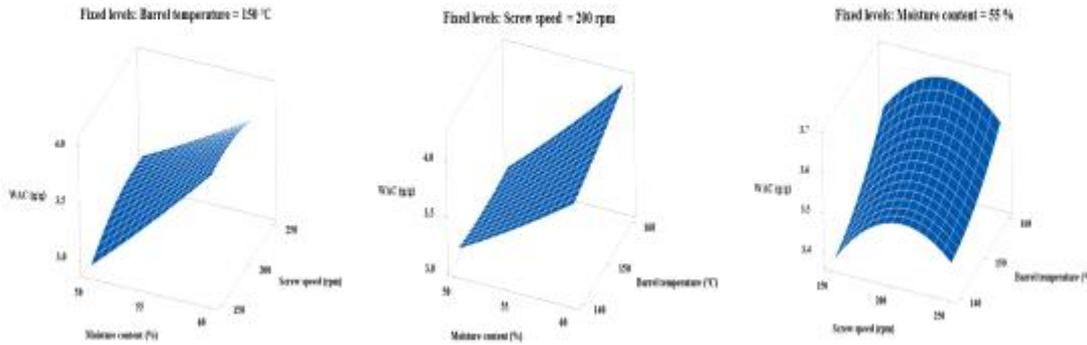


Figure 51. Response surface plots of water absorption capacity based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

마) 유지흡착능력

- 분리녹두단백을 30% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 유지흡착능력의 최적화 3D 모형은 Figure 52에 나타냈다.

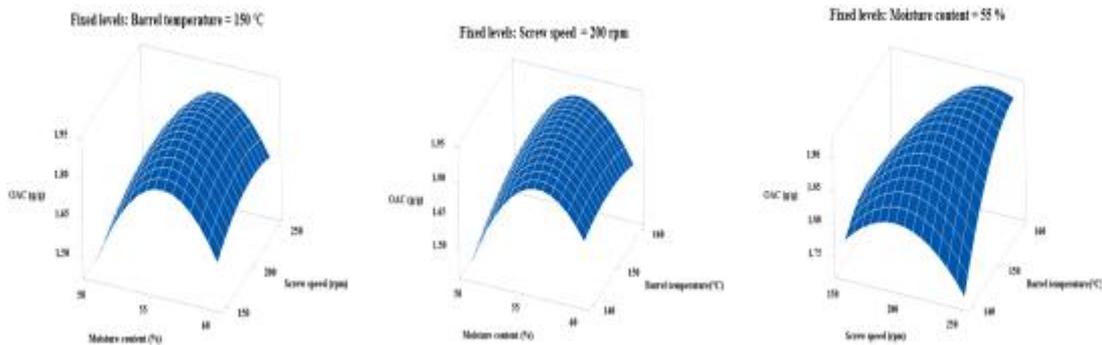


Figure 52. Response surface plots of oil absorption capacity based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

바) 조직잔사지수

- 분리녹두단백을 30% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 조직잔사지수의 최적화 3D 모형은 Figure 53에 나타냈다.

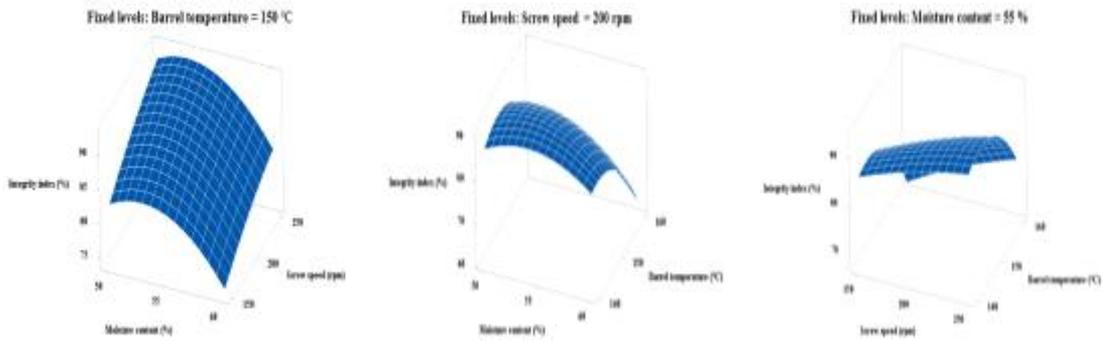


Figure 53. Response surface plots of integrity index based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

사) 수용성 질소지수

- 분리녹두단백을 30% 첨가한 수분함량, 배럴온도, 스크루 회전속도 변화에 따른 수용성 질소지수의 최적화 3D 모형은 Figure 54에 나타냈다.

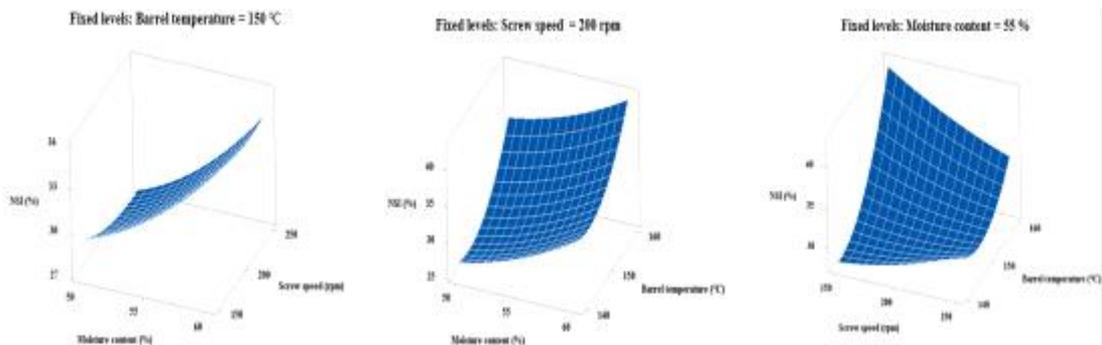


Figure 54. Response surface plots of nitrogen solubility index based on three independent variables: moisture content, screw speed, and barrel temperature.

아) 요약

- 분리녹두단백이 30% 첨가된 고수분 압출성형 대체육의 수분함량 (50, 55, 60%), 배럴온도 (140, 150, 160°C), 스크루 회전속도 (150, 200, 250 rpm) 등의 공정변수에 따른 이화학적 특성을 비교했다.
- 15가지의 압출성형 공정변수를 디자인하여 각각의 공정변수가 분리녹두단백 첨가 고수분 대체육의 이화학적 특성에 미치는 변화를 분석했다.
- 대체육 제품의 이상적인 물리적, 기능적 특성에는 높은 수분흡수력, 조직감, 조직잔사지수, 수분흡착능력과 유지흡착능력이 포함된다(Chen 등, 2010; Riaz, 2011). 반면, 수용성 질소지수와 씹힘성의 목표값은 실제 육류와 대체육을 이화학적 특성을 비교한 Samard 등(2019)의 데이터를 참고하여 목표값을 설정하였다. 이와 같은 물리적, 기능적 특성을 최대화 할 수 있는 조건을 Minitab software의 'response optimizer'를 통해 예측하였다.
- 그 결과 최적 조건의 공정변수는 수분 함량 56.16%, 스크루 회전속도 226.77 rpm, 배럴온도 158.79°C으로 예측되었다.

7) 초고압 및 기존 가열 처리 공정 적용에 따른 개발 품목별 품질 특성 비교 검증 및 최적화

(1) 연구수행 방법

가. 초고압 처리 및 저온 저장에 따른 식물성 단백질 소재 제품 미생물 분석

가) 실험재료

- 실험에는 식물성 단백질 소재 활용 비가열 패티 1종을 사용하였으며 실험에 사용된 제품은 (주)신세계푸드로부터 제공받았다. 실험에 사용된 제품은 실험 전까지 냉동 보관하였으며 실험 전날 냉장 보관하며 해동 후 실험에 활용하였다.

나) 실험방법

- 초고압 처리는 2차년도 연구 결과를 토대로 600 MPa 2분으로 진행하였다. 초고압 처리 직후 미생물 분석을 진행하였으며 추가적으로 10℃ 저온 저장을 하며 일자별 미생물 증식 양상을 분석하였다. 분석 대상 미생물은 일반세균, 대장균/대장균군이며 모든 미생물 시험은 식품공전 미생물 시험법의 정량 시험법을 따라 진행하였다.

나. 레토르트 처리 및 저온 저장에 따른 식물성 단백질 소재 제품 미생물 분석

가) 실험재료

- 실험에는 식물성 단백질 소재 활용 소고기 패티 1종을 사용하였으며 실험에 사용된 제품은 (주)신세계푸드로부터 레토르트 처리 후 제공받아 활용하였다.

나) 실험방법

- 상기 실험과 동일하게 레토르트 처리된 소고기 패티 제품을 10℃ 저온 저장하며 일자별 미생물 증식 양상을 분석하였다. 분석 대상 미생물은 일반세균, 대장균/대장균군이며 모든 미생물 시험은 식품공전 미생물 시험법의 정량 시험법을 따라 진행하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 초고압 처리 및 저온 저장에 따른 식물성 단백질 소재 제품 미생물 분석

- 초고압 처리 전 비가열 패티에서 대장균은 검출되지 않았으며 대장균군의 경우 2.6 log CFU/g 수준으로 검출되었다. 또한 일반세균의 경우 3.9 log CFU/g 수준으로 검출되었다.
- 600 MPa의 압력으로 2분간 초고압 처리를 진행하였을 때, 비가열 패티에 존재하는 대장균군의 경우 검출한계 (1 log CFU/g) 이하로 저감화되는 것을 확인하였다.
- 하지만 일반 세균의 경우 약 2 log 수준 저감화되고 1.9 log CFU/g 수준의 일반 세균이 잔존하는 것을 확인하였다. 일반 세균이 잔존하는 이유는 2차년도 연구 결과에서 도출된 바와 같이 식물성 원료에 다수 존재하는 포자 생성 미생물 때문인 것으로 생각된다.
- 10℃ 저온 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석한 결과 대장균군은 30일간의 저장 기간 중 재증식하지 않는 것을 확인하였다.
- 일반 세균의 경우 초고압을 처리하지 않은 비가열 패티 제품에서는 저장 기간 6일차에 5 log CFU/g 이상으로 증식하는 것을 확인하였으며 초고압 처리 비가열 패티 제품에서는 저

장 기간 18일차에 5 log CFU/g 이상으로 증식하는 것을 확인하였다.

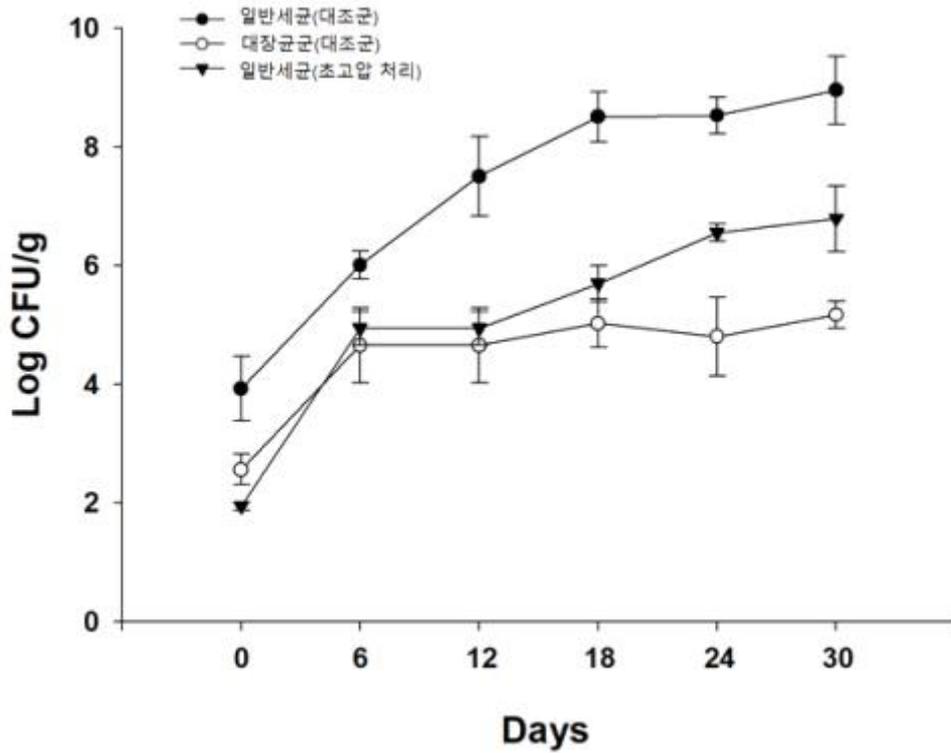


Figure 55. Microbial populations on high pressure treated patty(non-thermal treated) during storage at 10°C for 30 days.

- 또한 초고압을 처리하지 않은 비가열 패티의 경우 30일 저장 후 샘플에서 곰팡이 증식이 육안상으로 확인되었으나 초고압 처리군의 경우 육안상 곰팡이 증식이 확인되지 않았다.

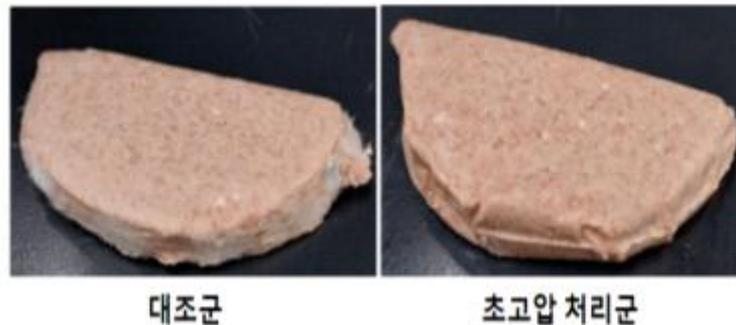


Figure 56. Appearance of patty(non-thermal treated) after storage at 10°C for 30 days.

나. 레토르트 처리 및 저온 저장에 따른 식물성 단백질 소재 제품 미생물 분석

- 레토르트 처리 후 소고기 패티에서 일반 세균과 대장균/대장균군은 검출되지 않았다.
- 10°C 저온 저장에 따른 미생물 증식 양상을 분석한 결과 60일간의 저장 기간 중 일반 세균과 대장균/대장균군 모두 재증식하지 않는 것을 확인하였다.

Table 28. Microbial populations on retort treated patty during storage at 10°C for 60 days.

저장 기간 (일)	지표 미생물	
	일반세균	대장균/대장균군
0	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
6	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
12	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
18	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
24	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
30	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
36	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
42	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
48	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
54	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g
60	< 0.70 log CFU/g	< 0.70 log CFU/g

신규 단백질원료 소재화 및 양산화 기술 개발

강원대학교

연구책임자 : 조성준

[신규 단백질원료 소재화 및 양산화 기술 개발]

(제2공동연구기관-강원대학교) - 조성준

1) 신규 단백질 분리·정제 기술 개발

(1) 연구수행 방법

가. 신규단백 후보 원료의 단백질 특성 평가 (pH, salting-in/out 등 용해도 특성 비교)

가) 실험재료

- 녹두 (미안마산)는 대흥물산 (한국)에서 구매하였으며 햄프씨드 (캐나다산)와 쌀 (국산)은 각각 두보식품 (한국)과 모리정미소 (한국)에서 구매하여 실험에 사용하였다.
- 실험에 사용한 단백질원료는 Figure 1과 같다.

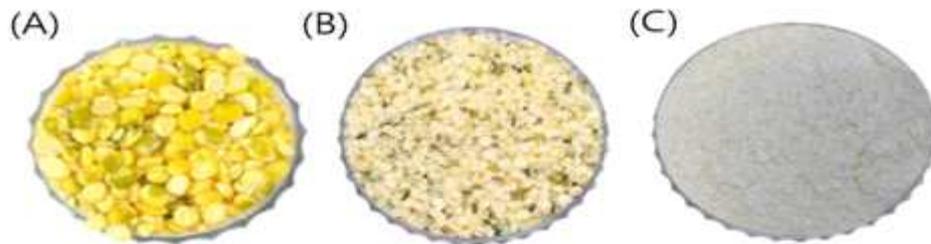


Figure 1. Plant protein sources (A: mung bean, B: hemp seed, C: rice)

나) 실험방법

(가) 용해도 측정

- 시료의 등전점과 최적 단백질 추출 pH를 확인하기 위해 pH에 따른 단백질 용해도를 측정하였다.
- 2 g의 시료를 90 mL의 증류수에 10분간 수화시킨 후, 2부터 11까지의 pH로 각각 조절하여 2시간 동안 단백질을 추출하였다. 이후, 혼합액을 3,200xg로 15분간 원심 분리하였으며 필요한 경우 PES Syringe filter (0.45 μ m)를 이용하여 여과하였다. 단백질 분석기 (Kjeltec8200, Foss, 덴마크)를 이용하여 상등액의 조단백 함량을 측정한 후 다음과 같은 계산식에 대입하여 단백질 용해도를 산출하였다.

$$\text{단백 용해도(\%)} = \frac{\text{상등액에 용해된 단백질무게}}{\text{원료내총 단백질무게}} \times 100$$

나. 단백질 추출 및 분리·정제 특성 최적화

가) 실험재료

- 녹두 (미안마산)는 대흥물산 (한국)에서 구매하였으며 햄프씨드 (캐나다산)와 쌀 (국산)은 각각 두보식품 (한국)과 모리정미소 (한국)에서 구매하여 실험에 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 신규 단백질 추출 및 분리·정제

- 낮은 지방함량 (1.1%)의 녹두는 탈지과정 없이 분말화하여 실험에 사용하였으며, 많은 지방을 함유한 햄프씨드는 Hexane을 이용해 지방을 제거하여 실험에 사용하였다.
- 단백을 알칼리조건에서 추출하여 각 단백질의 등전점 (isoelectric point)에서 침전시키는 방법으로 녹두단백 및 햄프씨드단백을 제조하였다.
- 녹두단백을 제조하기 위해 100 g의 녹두에 800 mL의 증류수를 첨가하고 2 N NaOH를 이용해 pH 8으로 조절한 후, 2시간 동안 단백질을 추출하였다. 추출한 혼합액을 3,200xg로 15분간 원심 분리하였으며 sieve (100 μ m)로 여과하였다. 여과한 혼합액을 2 N HCl을 이용하여 pH 4.5로 조절한 후, 30분간 교반하였다. 혼합액을 3,200xg에서 15분간 원심 분리하였으며, 상등액을 제거한 침전 단백을 1 N NaOH를 이용해 pH 7으로 중화하였다. 중화한 단백질은 동결 건조하였다.
- 햄프씨드에 함유되어 있는 고함량의 지방은 원료의 5배에 해당하는 hexane과 원료를 함께 1시간 동안 교반하고 여과하는 과정을 4회 반복하여 지방을 제거하였다. 햄프씨드단백을 제조하기 위해 100 g의 탈지햄프씨드에 800 mL의 증류수를 첨가하고 2 N NaOH를 이용해 pH 11으로 조절한 후, 2시간 동안 단백질을 추출하였다. 추출한 혼합액을 3,200xg로 15분간 원심 분리하였으며 sieve (100 μ m)로 여과하였다. 여과한 혼합액을 2 N HCl을 이용하여 pH 6으로 조절한 후, 30분간 교반하였다. 혼합액을 3,200xg에서 15분간 원심 분리하였으며, 상등액을 제거한 침전 단백을 1 N NaOH를 이용해 pH 7으로 중화하였다. 중화한 단백질은 동결 건조하였다.
- 쌀단백을 제조하기 위해 100 g의 쌀에 800 mL의 증류수를 첨가하고 2 N NaOH를 이용해 pH 12으로 조절한 후, 2시간 동안 단백질을 추출하였다. 추출한 혼합액을 3,200xg로 15분간 원심 분리하였으며 sieve (100 μ m)로 여과하였다. 여과한 혼합액을 2 N HCl을 이용하여 pH 6로 조절한 후, 30분간 교반하였다. 혼합액을 3,200xg에서 15분간 원심 분리하였으며, 상등액을 제거한 침전 단백을 1 N NaOH를 이용해 pH 7으로 중화하였다. 중화한 단백질은 동결 건조하였다.
- 녹두단백, 햄프씨드단백 쌀단백의 제조과정은 Figure 2와 같다.



Figure 2. Manufacturing process of plant protein isolates (A: mung bean protein isolate, B: hemp seed protein isolate, C: rice protein isolate)

(2) 연구수행 결과

가. 신규단백 후보 원료의 단백질 특성 평가 (pH, salting-in/out 등 용해도 특성 비교)

- 단백질원료에서 단백을 추출하기 전에 각 단백질의 최적 추출 pH와 최적 침전 pH를 확인하기 위하여 pH에 따른 원료의 단백질 용해도를 분석하였다.
- 녹두단백 용해도 분석 결과, 녹두단백 용해도는 pH 7이상의 pH에서 대략 70%에 해당하는 단백질 용해도를 나타내었으며 pH 7부터는 pH가 증가함에 따라 단백질 용해도가 변화하지 않거나 소폭 상승하였다. pH 7과 pH 8에서 녹두단백 용해도 차이는 없지만 pH 7 이하의 pH에서 단백질 용해도가 급격히 감소하므로 일정한 품질의 단백질제조에 유리한 pH 8을 녹두단백의 최적 추출 pH로 결정하였으며 최적 침전 pH는 4.5로 결정하였다.
- 헵프씨드의 단백질 용해도는 11과 12에서 가장 높게 측정되었으며 6 이하의 pH에서 10% 미만의 낮은 단백질 용해도를 나타내었다. 녹두와 같은 근거로 헵프씨드의 최적 추출 pH는 11, 최적 침전 pH는 4.5로 결정하였다.
- 쌀의 단백질 용해도는 pH가 10에서 12로 증가함에 따라 약 20%에서 85%까지 증가하였으며 5에서 8 pH에서 10% 미만의 낮은 단백질 용해도를 나타내었다. 이와 같은 결과를 통해서 쌀의 최적 추출 pH와 최적 침전 pH는 각각 12와 6으로 결정하였다.
- 녹두, 탈지헵프씨드 및 쌀의 단백질 용해도는 Figure 3에 나타내었다.

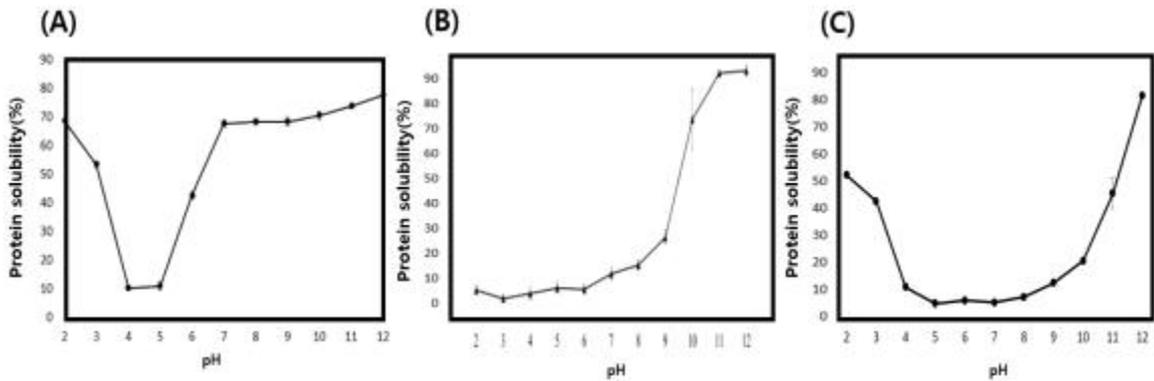


Figure 3. Protein solubility of protein sources(A: Mung bean, B: Defatted hemp seed, C: Rice)

나. 단백질 추출 및 분리·정제 특성 최적화

- 각 단백질원의 추출 특성을 분석하였으며 분석을 통해 최적화된 추출 및 분리·정제 조건을 이용하여 아래와 같은 녹두단백, 햄프씨드단백, 쌀단백을 개발하였다.
- 녹두단백, 햄프씨드단백, 쌀단백의 사진은 Figure 4에 나타내었다.

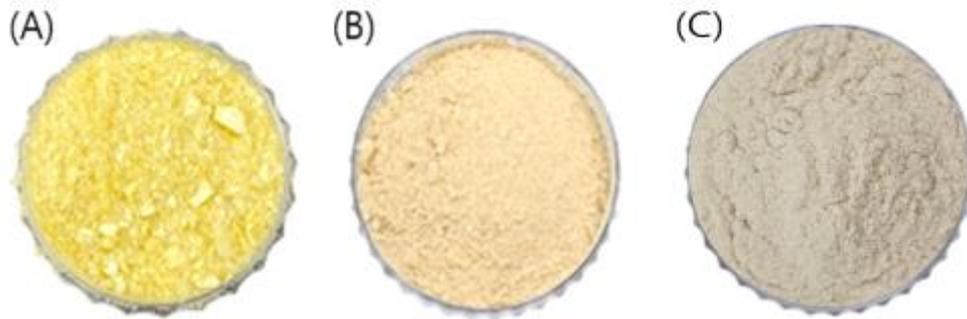


Figure 4. Plant protein isolate (A: Mung bean protein isolate, B: Hemp seed protein isolate, C: Rice protein isolate)

2) 신규 단백질소재의 품질 지표 분석

(1) 연구수행 방법

가. 일반 성분 분석: 조단백, 조지방, 조회분 등

가) 실험재료

- 시료로 직접 제조한 녹두단백, 햄프씨드단백, 쌀단백을 사용하였다. 시료의 제조방법은 1). 나. (가)의 내용과 같다.

나) 실험방법

(가) 일반 성분 분석

- 시료의 일반성분은 수분, 조단백, 조지방, 조회분의 함량을 측정하였다.
- 수분은 상압가열건조법으로 105°C에서 실시하였으며 조단백 함량은 단백질 분석기

(Kjeltec8200, Foss, 덴마크)를 이용한 Kjeldahl법에 따라 측정하였으며 질소 계수 6.25를 이용하여 결과를 산출하였다.

- 조지방 함량은 자동지방추출기 (SOXTEC AVANTI SYSTEM 2050, Foss, 덴마크)를 이용하여 에테르추출법에 따라 측정하였다.
- 조회분 함량은 시료를 회화로 (MF-03, CORETECH, 한국)에서 600℃로 가열하여 남은 재의 무게를 이용하여 산출하였다.

(나) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

나. 분자량 및 아미노산 조성 분석

가) 실험재료

- 직접 제조한 녹두단백, 햄프씨드단백, 쌀단백을 시료로 사용하였다. 시료의 제조방법은 1). 나. (가).의 내용과 같다.

나) 실험방법

(가) 분자량

- SDS-PAGE (Sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel)을 이용해 시료 내 단백질의 분자량을 확인할 수 있다.
- 시료 10 mg을 β -mercaptoethanol, SDS, Bromophenol blue를 포함한 1 mL의 sample buffer (Dynebio, 한국)를 첨가하였다. 혼합액을 5분간 sonication 처리한 후, 6분간 끓는 물에서 가열하였다. 혼합액을 방랭한 후, 1분간 12,000 rpm에서 원심 분리하였으며 상등액 10 μ l을 10% 아크릴아마이드 겔에 주입하여 전기영동장치 (PowerPacTM Basic, Bio-Rad Laboratories, CA, 미국)를 이용해 200V로 전개하였다. 전개된 겔은 0.05% Coomassie brilliant blue로 염색하였으며, destaining buffer(acetic acid: methanol: deionized water = 2:5:5, v/v/v)로 탈색하였다.

(나) 아미노산 조성

- 시료의 아미노산 조성을 분석하기 위하여 시료 0.075 g을 분취하여 Vial에 넣고 25 mL 6 N HCl을 첨가하여 110℃에서 22시간 동안 산가수분해 하였다. 가수분해된 시료를 Paper filter로 여과하여 감압 농축한 후, 30 mL 0.02 N HCl로 희석하여 기기분석에 사용하였다.
- 시료의 아미노산 함량은 Amino acid analyzer(L-8900A, HITACHI, 일본)를 이용하여 측정하였다. 검출기로 Spectrophotometer detector를 사용하였으며, 컬럼으로 HITACHI HPLC Packed Ion Exchange column(4.6 mm x 60 mm)을 사용하였다.

다. In vitro 소화율 지표 분석

가) 실험재료

- 직접 제조한 녹두단백, 햄프씨드단백, 쌀단백을 시료로 사용하였다. 시료의 제조방법은 1). 나. 단백질 추출 및 분리·정제 특성 최적화의 내용과 같다.

나) 실험방법

(가) 소화물 제조

- Brodtkorb et al., (2019)의 방법의 일부를 변형하여 소화물을 제조하였다.
- 4 g의 분말시료에 8 mL의 증류수와 9.6 mL의 1.25X simulated salivary fluid (SSF)를 첨가하였으며 pH를 7으로 조절한 후 증류수를 이용해 24 g으로 정용하였다. 혼합액에 19.2 mL의 1.25X simulated gastric fluid (SGF)을 넣고 2N HCl을 첨가하여 pH를 3으로 조절 후 증류수를 이용해 47 g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 1 mL의 3.84% pepsin stock 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 250 rpm 으로 교반하여 반응시켰다. 반응이 끝난 혼합액에 0.1 mL의 0.48 mM pepstatin A 용액을 첨가하여 pepsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 위장 소화물로 하였다. 위장 소화물에 38 mL의 1.25X simulated intestinal fluid (SIF)를 첨가한 후, 2N NaOH를 이용하여 pH를 7로 조절한 후 증류수를 이용해 소화물을 89 g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 5 mL의 27.8% porcine pancreatin stock 용액과 2 mL의 14.7% bovine bile stock 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 250 rpm 으로 교반하여 반응시켰다. 반응이 끝난 혼합액에 0.5 mL의 136 mM phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF) 용액을 첨가하여 trypsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 소장 소화물로 하였다.

(나) Solid solubility

- 시료의 건물소화율을 측정하기 위하여 소화물을 Whatman No.3로 감압 여과하여 미소화 고형물을 분리하고, 분리된 고형물은 여과지와 함께 dry oven을 이용하여 105°C에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 시료의 소화율은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{건물소화율 (\%)} = 100 - (A / B \times 100)$$

A = 미소화 고형물 무게, B = 소화 전 시료의 고형물 무게

(다) Protein solubility

- 시료의 단백질소화율을 측정하기 위하여 소화물을 3,220xg로 원심 분리하여 상등액을 분리하였다. 조단백 분석기(Kjeltec8200, Foss, 덴마크)를 이용해 Kjeldahl법에 따라 소화액 상등액 내 조단백 함량을 측정하였으며 질소 계수는 6.25를 사용하였다. 각 소화물 내 단백질 용해도는 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{단백소화율 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 여과된 내 소화액에 용해된 단백질 무게, B = 소화 전 시료 내 단백질 무게

(라) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 P<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든

결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

(2) 연구수행 결과

가. 일반 성분 분석: 조단백, 조지방, 조회분 등

- 신규단백으로 제조한 녹두단백의 조단백 함량은 85.3%이며 햄프씨드단백의 조단백 함량은 88.2%이다. 녹두단백의 단백질순도는 산업적으로 사용되는 대두단백의 조단백 함량(85%수준)과 유사하였으며 햄프씨드단백의 단백질순도는 88.2%로 대두단백의 조단백 함량과 비교했을 때 더 높았다. 쌀단백의 순도는 40.7%로 다른 신규단백 대비 낮았으며 분리과정 중 전분이 충분히 분리되지 못함에 기인한다.
- 녹두단백, 햄프씨드단백 및 쌀단백의 조지방 함량은 각각 $1.0 \pm 0.0\%$, $1.9 \pm 0.3\%$, $1.2 \pm 0.1\%$ 으로 낮은 수준으로 측정되었으며 이를 통해 신규단백원료 내 단백질과 지방이 정제과정에서 효과적으로 분리되었음을 확인하였다.
- 신규단백의 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Proximate analysis of protein sources and protein isolates.

	Samples	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Crude ash (%)
Protein sources	Mung bean	$25.3 \pm 0.2^{b*}$	1.1 ± 0.2^b	3.7 ± 0.2^c
	Hemp seed	38.4 ± 0.1^c	50.3 ± 0.4^c	7.6 ± 0.2^b
	Rice	6.7 ± 0.1^a	0.1 ± 0^a	0.4 ± 0^a
Protein isolates	Mung bean protein isolate	85.3 ± 0.2^b	1.0 ± 0.0^b	5.6 ± 0.4^c
	Hemp seed protein isolate	88.2 ± 0.2^c	1.9 ± 0.3^a	3.2 ± 0.2^a
	Rice protein isolate	40.7 ± 0.4^a	1.2 ± 0.1^c	1.4 ± 0.1^b

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

나. 분자량 및 아미노산 조성 분석

- SDS-PAGE 겔 상의 단백질 크기분포를 보았을 때, 신규단백원료와 신규단백간 단백질 크기 분포가 큰 차이가 없음을 확인하였다. 이를 통해 녹두, 햄프씨드, 쌀의 단백질이 대부분 효율적으로 추출되었음을 확인할 수 있다. 녹두단백의 주요 단백질 분자량은 대략 40~75 kDa이며 햄프씨드단백의 주요 단백질 분자량과 쌀단백의 주요 단백질 분자량은 각각 대략 15~32 kDa와 대략 25 kDa 및 15 kDa로 확인하였다.
- 신규단백의 SDS-PAGE 분석결과는 Figure 5와 같다.

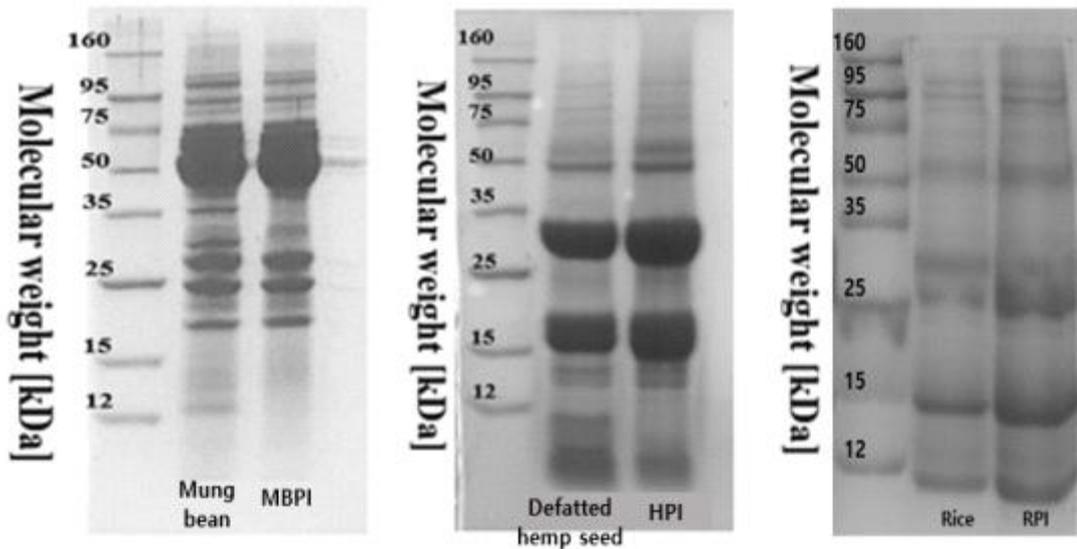


Figure 5. SDS-PAGE gel of protein isolates (MBPI: mung bean protein isolate, HPI: hemp seed protein isolate, RPI: rice protein isolate)

- 녹두단백의 필수아미노산 조성 분석결과, 개발된 녹두단백의 필수아미노산의 함량은 336.0 mg/g으로 전체 아미노산 중 43.4%의 비율을 차지한다 (Mohsen, Fadel, Bekhit, Edris, & Ahmed, 2009). 녹두단백의 페닐알라닌 함량은 60.2 mg/g으로 측정되었으며 이는 대두단백의 1.25 배 수준으로 높은 편이다. 페닐알라닌은 타이로신의 전구체이자 신경 발달과 신경작용에 관여하는 필수 아미노산이다 (Wu, 2009).
- 제조한 햄프씨드단백의 필수아미노산 함량은 전체 아미노산 함량의 38.4%인 334.2 mg/g으로 대두단백의 메티오닌 함량에 1.37 배에 달하는 16.4 mg/g의 메티오닌과 대두단백의 트립토판(tryptophan) 함량에 1.17 배에 달하는 10.5 mg/g의 트립토판을 함유한다. 쌀단백의 필수아미노산 구성 비율 분석결과, 쌀단백은 대두단백의 메티오닌 구성 비율에 1.58 배에 달하는 1.9%의 메티오닌 구성 비율을 갖고 있으며 1.33배에 달하는 4%의 트립토판 구성 비율을 갖는다. (Mohsen, Fadel, Bekhit, Edris, & Ahmed, 2009). 메티오닌은 항산화제인 타우린(taurine), 베타인(Betaine) 그리고 신체 내 유전자 발현에 참여하는 DCSAM 등의 생성에 관여하는 필수 아미노산이며 트립토판은 신체에서 세로토닌(serotonin), 멜라토닌(Melatonin) 등의 전구체로서 신경안정, 항산화 효과를 나타내는 필수 아미노산이다 (Wu, 2009).
- 개발한 신규단백의 아미노산 분석결과는 Table 2,3,4에 나타내었다.

Table 2. Amino acid contents of mung bean protein isolate

Amino acid	contents (mg/g)	ratio(%)	
Essential amino acid	Tyrosine	20.2	2.6
	Lysine	48.7	6.3
	Leucine	69.9	9.0
	Methionine	8.4	1.1
	Valine	38.2	4.9
	Isoleucine	35.9	4.6
	Threonine	25.1	3.2
	Phenylalanine	60.2	7.8
	Histidine	20.3	2.6
Tryptophan	9.2	1.2	
Total Essential A.A.	336.0	43.4	
Non- Essential amino acid	Glycine	26.2	3.4
	Serine	52.2	6.7
	Alanine	29.5	3.8
	Glutamic acid	142.2	18.4
	Arginine	52.2	6.7
	Aspartic acid	97.2	12.5
	Proline	37.1	4.8
Cystein	2.5	0.3	
Total Non-essential A.A.	439.0	56.7	
Total	775.0	100	

Table 3. Amino acid contents of hemp seed protein isolate

Amino acid	contents (mg/g)	ratio(%)	
Essential amino acid	Tyrosine	29.1	3.3
	Lysine	32.4	3.7
	Leucine	64.5	7.4
	Methionine	16.4	1.9
	Valine	43.1	4.9
	Isoleucine	34.3	3.9
	Threonine	34.2	3.9
	Phenylalanine	44.9	5.2
	Histidine	24.7	2.8
Tryptophan	10.5	1.2	
Total Essential A.A.	334.2	38.4	

	Glycine	41.6	4.8
	Serine	49.5	5.7
	Alanine	41.5	4.8
Non- Essential amino acid	Glutamic acid	157.5	18.1
	Arginine	119.4	13.7
	Aspartic acid	99.2	11.4
	Proline	26.8	3.1
	Cystein	1.5	0.2
Total Non-essential A.A.		536.9	61.6
Total		871.1	100

Table 4. Amino acid contents of rice protein isolate

	Amino acid	contents (mg/g)	ratio(%)
Essential amino acid	Tyrosine	10.3	2.9
	Lysine	13.4	3.7
	Leucine	31.1	8.7
	Methionine	6.8	1.9
	Valine	19.9	5.6
	Isoleucine	13.2	3.7
	Threonine	14.2	4.0
	Phenylalanine	20.7	5.8
	Histidine	9.2	2.6
	Tryptophan	4.4	1.2
Total Essential A.A.		143.3	40.2
Non- Essential amino acid	Glycine	17.7	5.0
	Serine	21.7	6.1
	Alanine	19.9	5.6
	Glutamic acid	70.9	19.9
	Arginine	31.3	8.8
	Aspartic acid	35.8	10.0
	Proline	15.6	4.4
	Cystein	0.7	0.2
Total Non-essential A.A.		213.5	59.8
Total		356.8	100.0

다. In vitro 소화율 지표 분석

- 신규단백의 In vitro 소화율 지표 기능성 분석 결과, 녹두단백의 위장소화물 건물소화율은 $51.8 \pm 17.3\%$ 으로 대두단백의 위장소화물 건물소화율($48.5 \pm 1.0\%$) 대비 유의적인 차이가 없었으며 녹두단백의 소장소화물 건물소화율은 $84.1 \pm 0.1\%$ 으로 대두단백의 소장소화물 건물소화율(88.1 ± 0.5) 대비 유의적으로 더 낮았다. 녹두단백의 위장소화물 단백질소화율과 소장소화물 단백질소화율은 각각 $40.6 \pm 3.2\%$, $79.6 \pm 2.3\%$ 로 대두단백 위장소화물의 단백질소화율($48.3 \pm 0.8\%$), 대두단백 소장소화물의 단백질소화율($92.5 \pm 1.0\%$)보다 유의적으로 더 낮다.
- 햄프씨드단백의 위장소화물의 건물소화율과 단백질소화율은 각각 $53.9 \pm 0.3\%$, $76.2 \pm 1.2\%$ 으로 대두단백 위장소화물의 건물소화율과 단백질소화율 대비 더 높게 측정되었다. 하지만

위장소화물의 소화율 비교분석 결과와 달리, 햄프씨드단백의 소장소화물의 건물소화율과 단백질소화율은 각각 $74.9 \pm 0.3\%$, $86.9 \pm 5.2\%$ 으로 대두단백 소장소화물의 건물소화율과 단백질소화율 대비 더 낮게 측정되었다.

- 쌀단백의 위장소화물의 건물소화율과 소장소화물의 건물소화율은 각각 $25.2 \pm 2.2\%$, $85.4 \pm 1.3\%$ 으로 대두단백 위장소화물 건물소화율과 소장소화물의 건물소화율 대비 더 낮게 측정되었다. 하지만 건물소화물의 소화율 비교분석 결과와 달리, 쌀단백의 위장소화물의 단백질소화율과 소장소화물의 단백질소화율은 각각 $69.4 \pm 4.4\%$, $94.8 \pm 3.7\%$ 으로 햄프씨드단백의 소장소화물의 건물소화율과 단백질소화율은 각각 $74.9 \pm 0.3\%$, $86.9 \pm 5.2\%$ 으로 대두단백 위장소화물 단백질소화율과 소장소화물의 단백질소화율 대비 더 높게 측정되었다.
- 단백질소화율은 소화될 단백질의 아미노산 조성 및 용해도와 효소와의 affinity 등의 영향을 받으며 이에 대한 작용기작을 해석하기 위해서는 추가적인 분석이 필요하다.
- 이어지는 본 연구에서 신규단백의 개량을 통하여 단백질의 용해도 및 단백질표면소수성을 증가 시킴으로써 신규단백의 소화율 개선을 기대할 수 있다.
- 신규단백의 In vitro 소화율 지표 분석결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Digestibility of new plant protein isolates

Sample	Solid digestibility (%)		Protein digestibility (%)	
	Gastric	intestinal	Gastric	intestinal
Mung bean protein isolate	$51.8 \pm 17.3^{b*}$	84.1 ± 0.1^b	40.6 ± 3.2^a	79.6 ± 2.3^a
Hemp seed protein isolate	53.9 ± 0.3^b	74.9 ± 0.3^a	76.2 ± 1.2^d	86.9 ± 5.2^b
Rice protein isolate	25.2 ± 2.2^a	85.4 ± 1.3^b	69.4 ± 4.4^c	94.8 ± 3.7^c
Soy protein isolate	48.5 ± 1.0^b	88.1 ± 0.5^c	48.3 ± 0.8^b	92.5 ± 1.0^c

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

3) 기존 단백질의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발

(1) 연구수행 방법

가. 상용화된 대두 및 완두단백을 기반으로 단백질 modification 적용 기술 개발

가) 실험재료

- 실험에 사용한 대두단백은 Shandong Wonderful Biotech Co. Ltd.(China, Shandong)에서 제공받았으며 완두단백은 Roquette Frères(France, Lestrem)에서 구매하여 사용하였다.

나) 실험방법

(가) pH-shifting 처리

- pH shifting 시간에 따른 단백질의 구조변화를 분석하기 위하여 20 g의 시료에 400 mL

의 증류수를 첨가하여 30분간 수화하였으며, 2 N HCl 또는 2 N NaOH를 이용하여 pH 2 또는 12로 조절한 후 300 rpm으로 교반하였다. 반응중인 혼합용액을 2시간 단위로 20 mL씩 채취하여 0.5 N HCl 또는 0.5 N NaOH를 이용하여 pH를 7로 조절하여 제조한 pH shifting 단백질용액을 4°C에서 보관하였다.

- pH shifting 단백을 제조하기 위하여 20 g의 시료에 400 mL의 증류수를 첨가하여 30분간 수화하였으며, pH를 2 N HCl 또는 2 N NaOH를 이용하여 pH 2 또는 pH 12로 조절한 후 6시간 동안 교반하였다. 반응이 끝난 후, 1N HCl 또는 1N NaOH를 이용하여 단백질용액의 pH를 7로 조절한 후 10분간 300 rpm으로 교반하였다. 교반이 끝난 pH shifting 단백질용액은 동결 건조하였다.

나. 개량한 기존단백의 단백질 특성 분석

가) 실험재료

- 3). 가. (가).와 같은 방법으로 pH-shifting 처리한 대두단백용액 및 완두단백용액을 시료로 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 단백질 용해도

- 시료의 단백질용해도를 분석하기 위하여 Pierce™ BCA Protein Assay Kit(Thermo Fisher Scientific Inc., MA, USA)를 사용하였다. 시료 20 μ l를 96well-plate에 주입한 후 180 μ l의 BCA working solution을 주입하여 30분간 37°C에서 암소반응하였다. 반응이 끝난 plate를 Spectrophotometer(Molecular devices, SPECTRAMax PLUS6, CA, USA)를 이용하여 562nm의 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 Bovine serum albumin을 사용하였다. 원료 내 총 단백질량은 단백질 분석기(Kjeltec8200, Foss, Denmark)를 이용한 Kjeldahl법에 따라 측정하였으며 질소 계수 6.25를 이용하였다. 단백질 용해도는 아래와 같은 식을 이용하여 산출하였다.
- 단백질 용해도(%) = $\frac{\text{상등액에 용해된 단백질무게}}{\text{원료내총 단백질무게}} \times 100$

(나) 표면소수성

- 단백질의 표면소수성을 분석하기 위하여 ANS fluorescence assay를 사용하였다 (Mishyna, Martinez, Chen, & Benjamin, 2019). 3.6 mL의 10 mM sodium phosphate buffer (pH 7.2) 용액에 다양한 농도로 희석한 시료를 0.4 mL를 첨가하였다. 이 용액에 6 μ l의 ANS solution(8 mM)을 첨가하였으며 15분간 실온·암소 조건에서 반응하였다. 반응이 끝난 후 형광분광계(LS-55, Perkinelmer, MA, USA)를 사용하여 excitation wavelength와 emission wavelength를 각각 365 nm, 484 nm으로 설정하여 Intensity를 측정하였다. 결과는 시료의 Intensity와 시료의 단백질농도를 각각 y축, x축으로 하는 그래프의 slope로 산출하였다.

(다) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일

원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

다. 개량한 기존단백의 단백질기능성 및 In vitro 소화율 지표 분석

가) 실험재료

- 3). 가. (가).와 같은 방법으로 pH-shifting 처리한 대두단백용액 및 완두단백용액을 동결 건조하여 분말화하여 실험에 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 수분흡수력

- 5 g의 시료에 일정 부피의 증류수를 넣고 충분히 교반하였다. 이 후, 3,000xg으로 10 분간 원심 분리하여 상등액을 제거하고 침전물의 무게를 측정하였다. 아래와 같은 계산식에 대입하여 시료의 수분흡수력을 산출하였다.
- 수분흡수력 = $\frac{\text{시료의 흡수된 수분 함량}}{\text{시료의 고형분 무게}} \times 100$

(나) 유지흡수력

- 1 g의 시료에 10 mL의 대두유를 첨가하여 충분히 교반하였다. 이 후, 3,000xg으로 10 분간 원심 분리하여 상등액을 제거하고 침전물의 무게를 측정하였다. 아래와 같은 계산식에 대입하여 시료의 유지흡수력을 산출하였다.
- 유지흡수력 = $\frac{\text{시료에 포함된 기름의 무게}}{\text{시료의 고형분 무게}} \times 100$

(다) 유화력 및 유화안정성

- 2 g의 시료에 25 mL의 증류수와 25 mL의 대두유를 넣고 20,000 rpm으로 1분간 균질화(Homogenization)하였다. 균질화한 혼합액 40 mL를 50 mL Conical tube에 담아 1,480xg로 5분간 원심 분리하였다. 유화된 부분의 부피를 V_1 이라 하였다. 유화액이 담긴 튜브를 80°C의 항온수조에 넣고 30분간 가열한 후 상온에서 방랭하였다. 방랭한 튜브를 1,480xg로 5분간 원심 분리하였다. 유화된 부분의 부피를 V_2 라 하였다. 아래와 같은 계산식에 대입하여 유화력 및 유화안정성을 산출하였다.

유화력(Emulsifying capacity, %) = $\frac{V_1}{V_3} \times 100$	유화안정성(Emulsifying stability, %) = $\frac{V_2}{V_3} \times 100$
---	--

V_1 = 균질화 후 유화액 부피, V_2 = 가열 후 유화액 부피, V_3 = 혼합액 총 부피

(라) 겔 형성 최소농도

- 단백을 다양한 농도로 75 mM potassium phosphate buffer (pH 7.6)에 용해한 후, 3 mL를 15 mL Conical tube에 넣은 후 30분간 가열하였다. 1시간 동안 방랭한 후 4°C에서 하룻밤 동안 정치하였다. 위와 같은 방법을 통해 겔이 형성되는 단백질의 최소농도를 측정하였다.

(마) In vitro 소화율 지표 분석

- 시료의 In vitro 소화율 지표 분석은 2). 다. (가-다).의 방법과 동일한 방법으로 진행하였다.

(바) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

(2) 연구수행 결과

가. 상용화된 대두 및 완두단백을 기반으로 단백질 modification 적용 기술 개발

- pH shifting은 단백을 극한의 알칼리성 또는 산성 pH에서 단백질의 소수성결합, 수소결합, 이황결합 등의 결합을 분해하여 단백을 unfolding한 후 다시 중성 pH에서 refolding하여 기존의 단백질 구조를 변형시키는 방법이다. 변화된 단백질구조는 단백질용해도, 단백질표면소수성, 단백질입자크기 등의 단백질특성의 변화를 일으키는데 다음과 같은 단백질특성의 변화는 유화능, 겔 형성능 등의 단백질 기능성에 중요한 영향을 미칠 수 있다(Li, 2020 and Zhang, 2021)
- pH shifting 처리한 대두단백 및 완두단백은 Figure 6, 7과 같다.

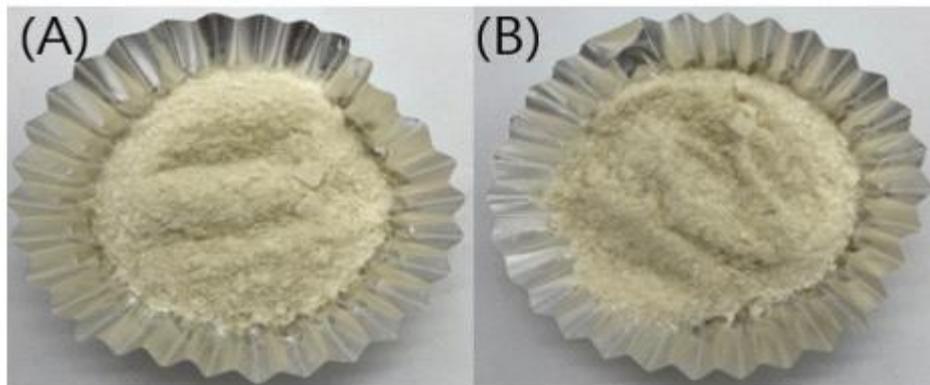


Figure 6. pH-shifting treated soy protein isolate (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

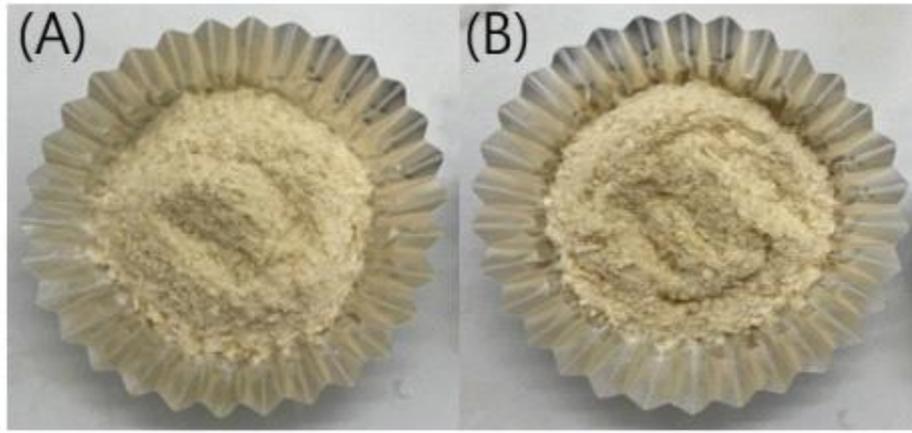


Figure 7. pH-shifting treated pea protein isolate (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

나. 개량한 기존단백의 단백질 특성 분석

- Alkaline shifting된 완두단백의 단백질 용해도는 pH shifting 처리 2시간 이후 26%에서 52%로 증가하였으며 Alkaline shifting된 대두단백의 단백질 용해도는 유의미한 변화가 없었으며 Acid shifting된 대두단백과 완두단백의 단백질 용해도는 감소하였다. pH shifting 후의 상이한 증감추세는 분리단백을 구성하는 주요단백의 종류에 기인한다. Tian et al.(2020)의 연구에 따르면 대두의 주요구성단백인 7S globulin을 Acid shifting하였을 때 7S globulin의 용해도가 감소함을 확인하였다.
- Acid shifting된 완두단백을 제외한 모든 pH shifting 처리된 단백질의 표면소수성이 증가하였다. 자연 상태에서 단백질의 소수성 잔기는 주로 단백질 내측에 존재하는데 pH shifting 처리에 의해 단백질 내측의 소수성 결합 또는 이황화 결합이 분해되면서 단백질 표면으로 노출되는 소수성 잔기의 양이 증가할 수 있다.
- pH shifting에 의한 단백질의 구조변화를 모니터링하기 위하여 pH shifting 처리 시간에 따른 단백질 용해도와 표면소수성을 분석하였다. 대두단백과 완두단백 모두 pH shifting을 2시간 하였을 때 구조가 급격히 변화되고 6시간까지 미비하게 변화하여 기존단백의 최적 pH shifting 처리 시간을 6시간으로 선정하였다.
- pH shifting 처리 시간에 따른 기존단백의 용해도 분석결과는 Figure 8, 9와 같으며 표면소수성 분석결과는 Figure 10, 11과 같다.

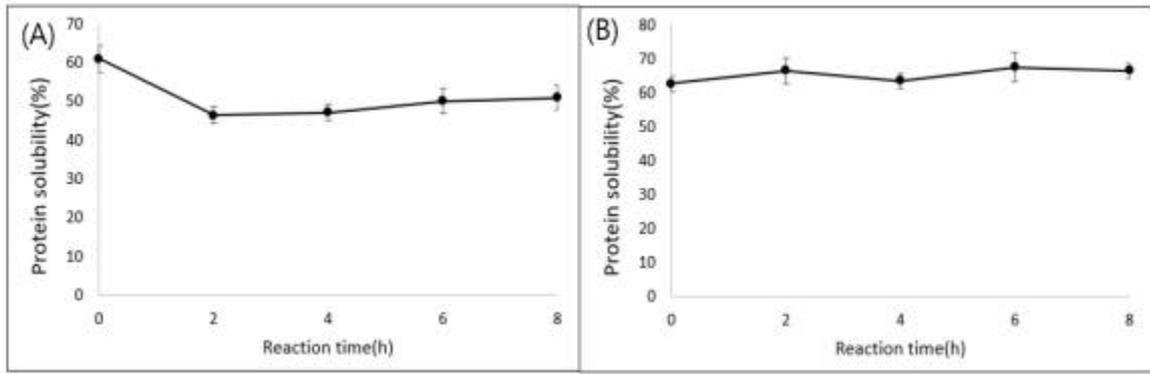


Figure 8. Protein solubility of soy protein isolate treated by pH-shifting (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

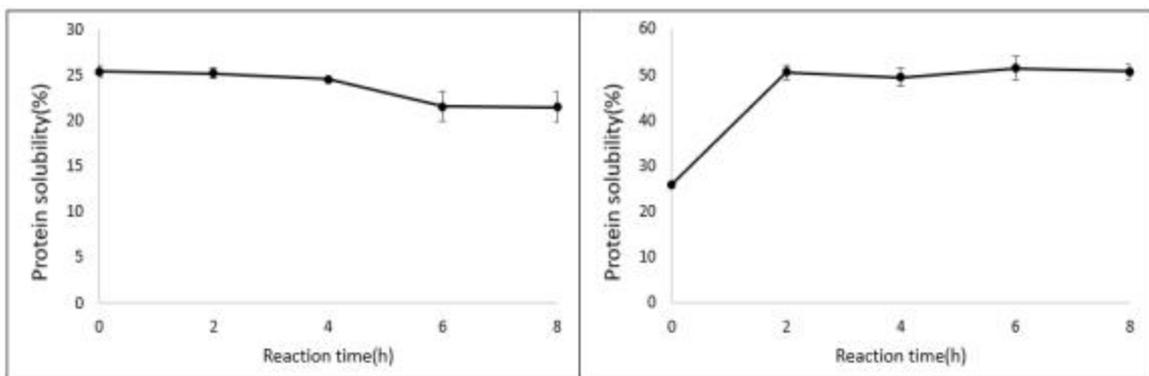


Figure 9. Protein solubility of pea protein isolate treated by pH-shifting (A: acid shifting, B: Alkaline shifting)

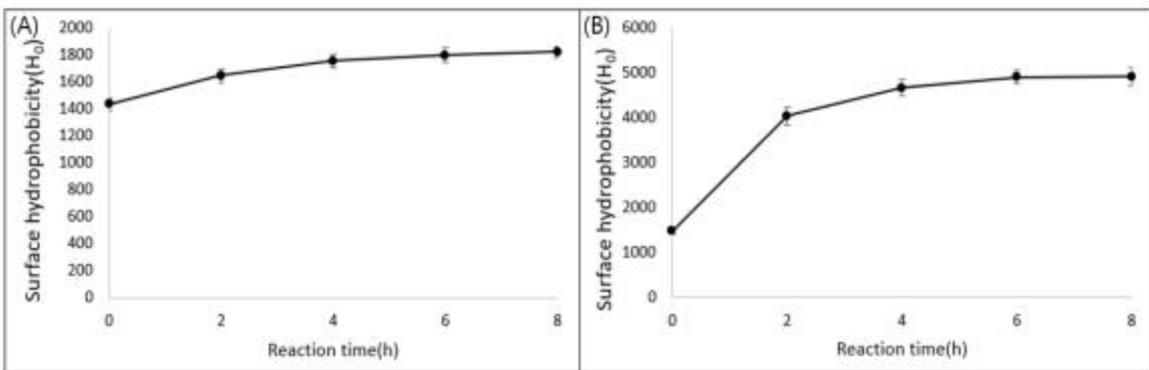


Figure 10. Protein surface hydrophobicity of soy protein isolate treated by pH-shifting (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

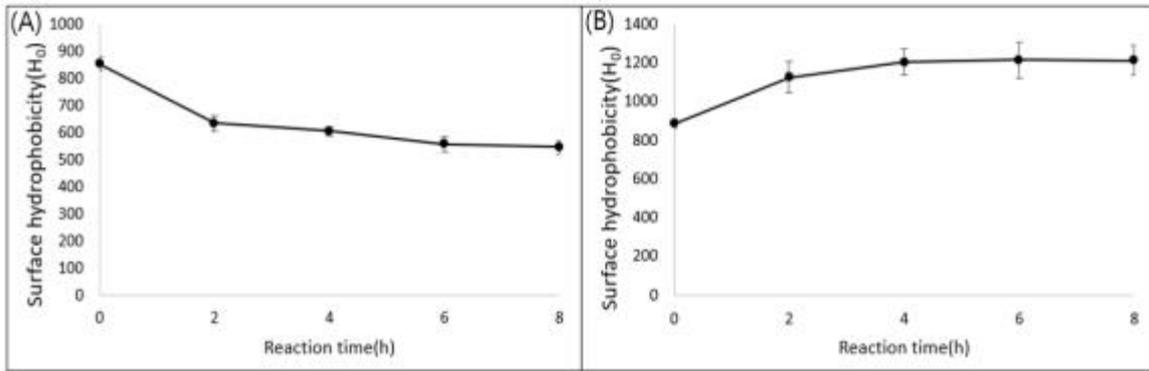


Figure 11. Protein surface hydrophobicity of pea protein isolate treated by pH-shifting (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

다. 개량한 기존단백의 단백질기능성 및 In vitro 소화율 지표 분석

- Acid shifting은 대두단백의 유지흡수력과 유화력을 각각 기존대비 23%, 14% 증가시켰으며 Alkaline shifting 대두단백의 수분흡수력, 유지흡수력, 유화능을 각각 기존대비 62.9%, 103.5%, 20.6% 증가시켰다. pH shifting에 의하여 변성된 단백질은 대두단백의 수분흡수력과 유지흡수력을 증가시켰는데 이는 복잡한 α -helix 구조가 β -turn, random coil 구조로 변하면서 더 많은 아미노산 잔기가 단백질 표면에 노출되면서 수분과 유지를 포집하는 능력이 증진되었다고 사료된다 (Yan et al., 2021). 한 연구에 따르면 대두단백을 각각 pH 2와 pH 12에서 pH shifting 처리하였을 때, 대두단백의 유화능이 $10.34 \pm 0.30 \text{ m}^2/\text{g}$ 에서 각각 $12.97 \pm 0.18 \text{ m}^2/\text{g}$, $13.62 \pm 0.20 \text{ m}^2/\text{g}$ 으로 증가시켰으며 이 결과는 본 실험의 결과와 유사하다 (Yan et al., 2021).
- Acid shifting과 Alkaline shifting은 완두단백의 유지흡수력을 각각 기존대비 106%, 214% 증가시켰으며 $19.5 \pm 0.5\%$ 였던 최소 겔 형성농도를 각각 18%, 17%로 감소시켰으므로 겔 형성능을 개선하였다. Zhu et al.,(2021)의 연구결과에 따르면 완두단백을 pH 12에서 pH shifting 처리하였을 때, 완두단백으로 제조한 겔의 강도와 전단력을 증진시켰다. Figure 12와 같이 pH shifting 처리가 구형의 완두단백의 표면의 전자량과 정전기적 반발력 (electrostatic repulsion)을 증가시키고 이에 의해 단백질의 구조가 유연해지며 수분을 포집하기 유리한 구조로 변할 수 있다.
- pH shifting을 이용한 단백질 개량을 통하여 수분흡수력, 유지흡수력, 유화능 및 겔 형성능을 포함한 기존단백의 단백질기능성을 개선하였으며 개량된 기존단백은 대체육의 조직감 개선에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.
- pH shifting 처리된 대두단백 및 완두단백의 단백질기능성분석 결과는 Table 6, 7과 같다.

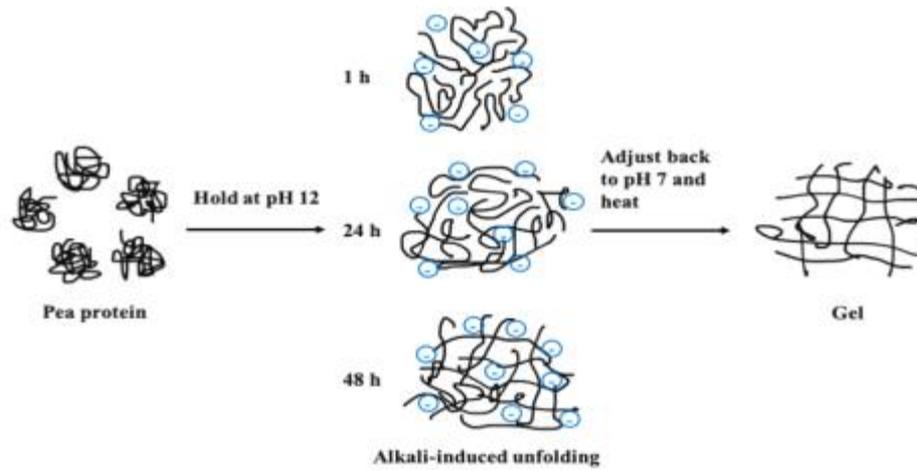


Figure 12. Progress of pH-shifting treatment for pea protein isolate

Table 6. Techno-functional properties of soy protein isolate treated by pH-shifting.

Samples	Water holding capacity (g/g)	Oil holding capacity (g/g)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Gel formation ability (%)
Soy protein isolate(SPI)	6.6±0.2 ^{a*}	2.2±0.2 ^a	43.8±0.3 ^a	97.5±0.3 ^b	9.5±0.5 ^{ab}
Acid shifting SPI	6.4±0.3 ^a	2.8±0.3 ^b	50±0 ^b	97.5±0.3 ^b	9.0±0.5 ^a
Alkaline shifting SPI	10.6±0.3 ^b	4.6±0.3 ^c	52.8±0.3 ^c	95±0 ^a	10±0 ^b

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 7. Techno-functional properties of pea protein isolates treated by pH-shifting

Samples	Water holding capacity (g/g)	Oil holding capacity (g/g)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Gel formation ability (%)
Pea protein isolate(PPI)	3.6±0.2 ^{a*}	2.1±0.2 ^a	56.3±0.3 ^b	90±0 ^b	19.5±0.5 ^c
Acid shifting PPI	3.6±0.1 ^a	4.4±0.2 ^b	50±0.3 ^a	87.5±0 ^a	18±0 ^b
Alkaline shifting PPI	3.7±0.1 ^a	6.6±0.5 ^c	58.5±0.3 ^c	87.5±0.5 ^a	17±0 ^a

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

- pH shifting 처리는 대두단백과 완두단백의 위장에서의 소화율을 개선하였다. Alkaline shifting은 대두단백의 위장에서의 건물소화율을 48.5±1.0%에서 54.5±0.9%으로 증가시켰으며 단백질소화율을 48.3±0.8%에서 52.4±1.3%으로 증가시켰다. 또한 Alkaline shifting은 완두단백의 위장에서의 건물소화율을 49.9±1.2%에서 56.3±2.2%으로 증가시켰으며 56.3±1.6% 이었던 단백질소화율을 60.4±1.4%로 증가시켰다. 이와 같은 소화율 개선 효과는 pH shifting에 의하여 증가된 단백질의 표면소수성과 용해도에 기인한다. 위장에서 분비되는 protease인 pepsin은 소수성이 강한 단백질 표면에 결합하여 활성화되는 특성을 갖고 있

으며

- 증가된 용해도는 단백질과 pepsin의 구조적인 결합을 용이하게 하여 단백질 분해 활성을 증진시킬 수 있다.
- 대두단백과 완두단백의 소장에서의 소화율 분석 결과, pH shifting에 의한 소화율 변화는 유의적으로 없거나 근소하였다. pH shifting 처리 여부와 관계없이 대두단백과 완두단백이 소장에서 대부분 분해됨을 확인하였다. 대두단백의 소장에서의 건물소화율과 단백질소화율은 각각 86.8%, 90.1% 이상으로 측정되었으며 완두단백의 소장에서의 건물소화율과 단백질소화율은 각각 82.1%, 89.1% 이상으로 측정되었다. 두 단백질간의 소장에서의 소화율 차이는 두 단백질의 조단백 함량의 차이(대두단백: 92%, 완두단백: 85%)에 기인하며 건물소화율과 단백질의 조단백 함량을 비교하였을 때, 소장에서 대부분의 대두단백과 완두단백이 분해됨을 유추할 수 있다.
- pH shifting을 이용한 단백질 개량을 통하여 기존단백의 소화율을 개선하였으며 개량된 기존 단백질은 대체육의 소화율 개선에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.
- pH shifting 처리된 대두단백 및 완두단백의 In vitro 소화율 지표 분석결과는 Table 8, 9와 같다.

Table 8. Digestibility of soy protein isolate treated by pH-shifting

Sample	Solid digestibility (%)		Protein digestibility (%)	
	Gastric	intestinal	Gastric	intestinal
Soy protein isolate(SPI)	48.5±1.0 ^{a*}	88.1±0.5 ^a	48.3±0.8 ^a	92.5±1.0 ^b
Acid shifting SPI	53.5±1.2 ^{ab}	86.8±0.8 ^a	50.1±1.1 ^b	90.1±1.2 ^a
Alkaline shifting SPI	54.5±0.9 ^b	87.6±0.8 ^a	52.4±1.3 ^b	91.2±0.8 ^{ab}

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 9. Digestibility of pea protein isolate treated by pH-shifting

Sample	Solid digestibility (%)		Protein digestibility (%)	
	Gastric	intestinal	Gastric	intestinal
Pea protein isolate(PPI)	49.9±1.2 ^{a*}	82.5±0.9 ^a	56.3±1.6 ^b	92.1±0.7 ^b
Acid shifting PPI	50.0±2.2 ^a	82.1±0.7 ^a	47.4±1.7 ^a	89.1±0.8 ^a
Alkaline shifting PPI	56.3±2.2 ^b	82.7±1.2 ^a	60.4±1.4 ^c	90.3±0.8 ^a

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

4) 신규 단백질소재 양산화 기술 개발

(1) 연구수행 방법

가. 파일럿 설비(ton-level)를 활용한 신규 단백질소재의 양산공정 검증

가) 실험재료

- 단백질 양산에 사용한 녹두분말과 햄프씨드박은 각각 대구농산(주)(한국, 경주)과 제이햄프 코리아(한국, 안동)에서 구매하였다.

나) 실험방법

(가) 신규단백 양산

- 신규 단백질 양산은 강원도 횡성군에 위치한 웰빙특산물산업화센터의 500 L(한국테크노팩, 한국), 데칸터(AD-150, KANSAI, 일본), 산업용 고속원심분리기(No.180-HO, KANSAI, 일본)와 강원도 춘천시에 위치한 춘천바이오산업진흥센터의 분무건조기((주)아인시스템, 한국)를 활용하여 수행하였다.
- 신규 단백질소재의 양산공정을 검증하기 위하여 시료 30 kg과 240 kg의 시수를 500 L 추출기에 30분간 수화시켰으며 2 N NaOH를 이용하여 용액의 pH를 녹두의 경우 7, 햄프씨드박의 경우 12로 조절한 후 2 시간 동안 교반하여 반응시켰다. 이 후 용액을 데칸터를 이용하여 고형물과 상등액을 분리하였다. 분리된 상등액은 2 N HCl을 이용하여 모두 pH 4.5로 조절한 후 30분간 교반하여 반응시켰다. 이 후, 고속원심분리기를 이용하여 15,600xg로 단백질침전물을 물로부터 분리시켰다. 분리한 단백질침전물을 중화하기 위하여 침전물에 2 N NaOH와 시수를 첨가 및 교반하여 단백질을 pH 7로 중화하였다. 중화한 단백질은 Sieve(850 μ m)를 이용하여 체별하였으며 체별된 단백질용액을 분무건조기를 이용하여 건조하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 파일럿 설비(ton-level)를 활용한 신규 단백질소재의 양산공정 검증

- 신규 단백질소재의 양산공정을 검증하기 위하여 500 L 추출기, 데칸터, 산업용고속원심분리기, 중형분무건조기를 이용하여 녹두단백과 햄프씨드단백을 생산하였으며 양산공정을 검증하였다. 각 공정별 유입 또는 유출되는 시료의 무게를 포함한 양산공정의 물질수지 도표(material balance)는 Figure 13과 같다.
- 30 kg의 녹두 및 햄프씨드박으로부터 각각 3.8 kg의 녹두단백과 6.9 kg의 햄프씨드단백을 양산하였으며 녹두단백과 햄프씨드단백의 수율은 각각 13.4%, 23.4%이다. 양산한 단백질의 사진은 Figure 14와 같다.

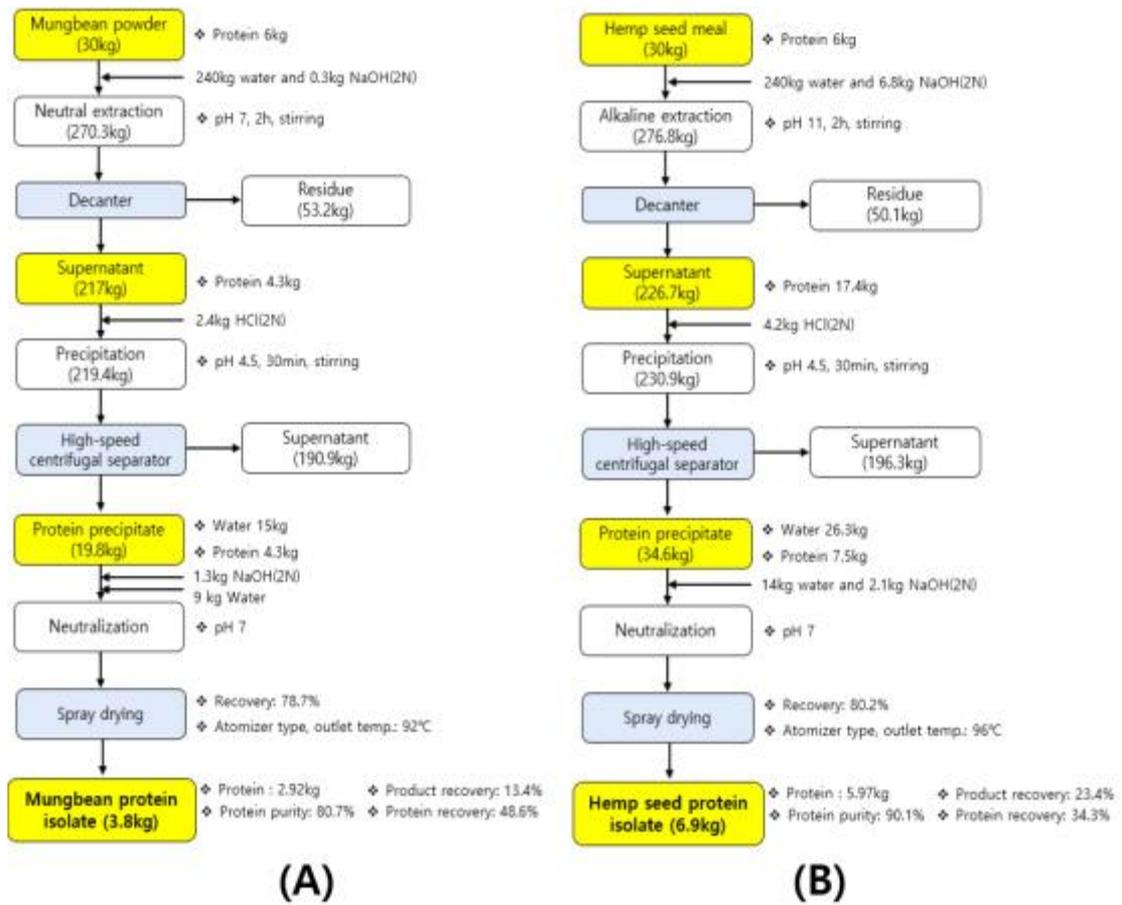


Figure 13. Material balances of mass-produced plant protein isolate (A: mung bean protein isolate, B: hemp seed protein isolate)

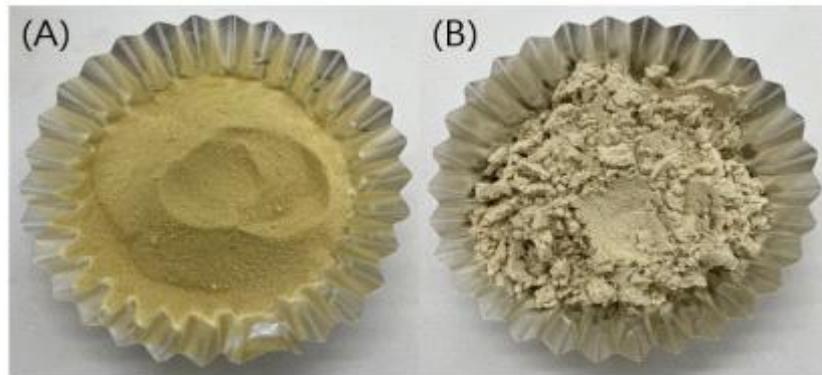


Figure 14. Mass-produced plant protein isolate (A: mung bean protein isolate, B: hemp seed protein isolate)

5) 양산된 신규 단백질소재의 품질 검증

(1) 연구수행 방법

가. 단백질 함량, 분자량, 아미노산 조성 분석

가) 실험재료

- 직접 양산한 녹두단백 및 햄프씨드단백을 시료로 사용하였다. 시료의 제조방법은 4) 신규단백소재 양산화 기술 개발과 같다.

나) 실험방법

(가) 일반성분

- 조단백 함량은 단백질 분석기(Kjeltec8200, Foss, 덴마크)를 이용한 Kjeldahl법에 따라 측정하였으며 질소 계수 6.25를 이용하여 결과를 산출하였다.
- 조지방 함량은 자동지방추출기(SOXTEC AVANTI SYSTEM 2050, Foss, 덴마크)를 이용하여 에테르추출법에 따라 측정하였다.
- 조회분 함량은 시료를 회화로(MF-03, CORETECH, 한국)에서 600℃로 가열하여 남은 재의 무게를 이용하여 산출하였다.

(나) 분자량

- SDS-PAGE (Sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel)을 이용해 시료 내 단백질 분자량을 확인할 수 있다.
- 시료 10 mg을 β -mercaptoethanol, SDS, Bromophenol blue를 포함한 1 mL의 sample buffer (Dynebio, Korea)를 첨가하였다. 혼합액을 5분간 sonication 처리한 후, 6분간 끓는 물에서 가열하였다. 혼합액을 방랭한 후, 1분간 12,000 rpm에서 원심 분리하였으며 상등액 10 μ l을 10% 아크릴아마이드 겔에 주입하여 전기영동장치 (PowerPacTM Basic, Bio-Rad Laboratories, CA, USA)를 이용해 200V로 전개하였다. 전개된 겔은 0.05% Coomassie brilliant blue로 염색하였으며, destaining buffer(acetic acid: methanol: deionized water = 2:5:5, v/v/v)로 탈색하였다.

(다) 아미노산 조성

- 시료의 아미노산 조성을 분석하기 위하여 시료 0.075 g을 분취하여 Vial에 넣고 25 mL 6 N HCl을 첨가하여 110℃에서 22시간 동안 산가수분해 하였다. 가수분해된 시료를 Paper filter로 여과하여 감압 농축한 후, 30 mL 0.02 N HCl로 희석하여 기기분석에 사용하였다.
- 시료의 아미노산 함량은 Amino acid analyzer(L-8900A, HITACHI, Japan)를 이용하여 측정하였다. 검출기로 Spectrophotometer detector를 사용하였으며, 컬럼으로 HITACHI HPLC Packed Ion Exchange column(4.6 mm x 60 mm)을 사용하였다.

(라) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 P<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

나. 수분 및 유지흡수력, 유화안정성 등 단백질기능성 분석

가) 실험재료

- 직접 양산한 녹두단백 및 햄프씨드단백을 시료로 사용하였다. 시료의 제조방법은 4) 신규단백소재 양산화 기술 개발과 같다.

나) 실험방법

(가) 수분흡수력

- 5 g의 시료에 일정 부피의 증류수를 넣고 충분히 교반하였다. 이 후, 3,000xg으로 10 분간 원심 분리하여 상등액을 제거하고 침전물의 무게를 측정하였다. 아래와 같은 계산식에 대입하여 시료의 수분흡수력을 산출하였다.
- 수분흡수력 = $\frac{\text{시료의 흡수된 수분 함량}}{\text{시료의 고형분 무게}} \times 100$

(나) 유지흡수력

- 1 g의 시료에 10 mL의 대두유를 첨가하여 충분히 교반하였다. 이 후, 3,000xg으로 10 분간 원심 분리하여 상등액을 제거하고 침전물의 무게를 측정하였다. 아래와 같은 계산식에 대입하여 시료의 유지흡수력을 산출하였다.
- 유지흡수력 = $\frac{\text{시료에 포함된 기름의 무게}}{\text{시료의 고형분 무게}} \times 100$

(다) 유화력 및 유화안정성

- 2 g의 시료에 25 mL의 증류수와 25 mL의 대두유를 넣고 20,000 rpm으로 2분간 균질화(Homogenization)하였다. 균질화한 혼합액 40 mL를 50 mL Conical tube에 담아 1,480xg로 5분간 원심 분리하였다. 유화된 부분의 부피를 V1이라 하였다. 유화액이 담긴 튜브를 80°C의 항온수조에 넣고 30분간 가열한 후 상온에서 방랭하였다. 방랭한 튜브를 1,480xg로 5분간 원심 분리하였다. 유화된 부분의 부피를 V2라 하였다. 아래와 같은 계산식에 대입하여 유화력 및 유화안정성을 산출하였다.

$\text{유화력(Emulsifying capacity, \%)} = \frac{V_1}{V_3} \times 100$	$\text{유화안정성(Emulsifying stability, \%)} = \frac{V_2}{V_3} \times 100$
---	--

V1 = 균질화 후 유화액 부피, V2 = 가열 후 유화액 부피, V3 = 혼합액 총 부피

(라) 겔 형성 최소농도

- 단백을 다양한 농도로 3 mL의 75 mM potassium phosphate buffer (pH 7.6)에 용해한다. 용액이 담긴 Vial을 항온수조를 이용하여 90°C에서 30분간 가열하였다. 가열한 용액을 1시간 동안 상온에서 방랭한 후 4°C에서 하룻밤 동안 정치하였다. 위와 같은 방법을 통해 겔이 형성되는 단백질의 최소농도를 측정하였다.

다. In vitro 소화율 지표 분석

가) 실험재료

- 직접 양산한 녹두단백 및 햄프씨드단백을 시료로 사용하였다. 시료의 제조방법은 4) 신규단백소재 양산화 기술 개발과 같다.

나) 실험방법

(가) 소화물 제조

- Brodkorb et al., (2019)의 방법의 일부를 변형하여 소화물을 제조하였다.
- 4 g의 분말시료에 8 mL의 증류수와 9.6 mL의 1.25X simulated salivary fluid (SSF)를 첨가하였으며 pH를 7으로 조절한 후 증류수를 이용해 24 g으로 정용하였다. 혼합액에 19.2 mL의 1.25X simulated gastric fluid (SGF)을 넣고 2N HCl을 첨가하여 pH를 3으로 조절 후 증류수를 이용해 47 g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 1 mL의 3.84% pepsin stock 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 250 rpm 으로 교반하여 반응시켰다. 반응이 끝난 혼합액에 0.1 mL의 0.48 mM pepstatin A 용액을 첨가하여 pepsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 위장 소화물로 하였다. 위장 소화물에 38 mL의 1.25X simulated intestinal fluid (SIF)를 첨가한 후, 2N NaOH를 이용하여 pH를 7로 조절한 후 증류수를 이용해 소화물을 89 g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 5 mL의 27.8% porcine pancreatin stock 용액과 2 mL의 14.7% bovine bile stock 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 250 rpm 으로 교반하여 반응시켰다. 반응이 끝난 혼합액에 0.5 mL의 136 mM phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF) 용액을 첨가하여 trypsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 소장 소화물로 하였다.

(나) 건물소화율

- 시료의 건물소화율을 측정하기 위하여 소화물을 Whatman No.3로 감압 여과하여 미소화 고형물을 분리하고, 분리된 고형물은 여과지와 함께 dry oven을 이용하여 105°C에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 시료의 소화율은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{건물소화율 (\%)} = 100 - (A / B \times 100)$$

A = 미소화 고형물 무게, B = 소화 전 시료의 고형물 무게

(다) 단백소화율

- 시료의 단백소화율을 측정하기 위하여 소화물을 3,220xg로 원심 분리하여 상등액을 분리하였다. 조단백 분석기(Kjeltec8200, Foss, 덴마크)를 이용해 Kjeldahl법에 따라 소화액 상등액 내 조단백 함량을 측정하였으며 질소 계수는 6.25를 사용하였다. 각 소화물 내 단백질 용해도는 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{단백소화율 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 여과된 내 소화액에 용해된 단백질 무게, B = 소화 전 시료 내 단백질 무게

(라) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 P<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

(2) 연구수행 결과

가. 단백질 함량, 분자량, 아미노산 조성 분석

- 양산한 녹두단백의 일반성분 분석결과, 실험실에서 제조한 녹두단백의 일반성분과 비교했을 때 조단백 함량이 $80.7 \pm 0.3\%$ 으로 유의적으로 4.59% 더 낮았으며 조지방 함량은 $1.3 \pm 0\%$ 으로 유의적으로 0.3% 더 높았다.
- 양산한 헴프씨드단백 또한 실험실에서 제조한 헴프씨드단백의 일반성분과 비교했을 때 조단백 함량은 $90.1 \pm 0.1\%$ 으로 유의적으로 1.9% 더 높게 측정되었으며 조지방 함량 또한 $4.0 \pm 0.2\%$ 로 2.1% 더 높게 측정되었다.
- 다음과 같은 두 시료간의 단백질순도 차이는 Pilot scale의 단백질분리공정에 사용되는 데칸터 설비의 낮은 분리능의 한계로 사료된다. 실험실에서는 추출한 단백을 분리할 때 원심분리기를 사용하기 때문에 높은 순도의 단백질 추출 상등액을 분리할 수 있지만 Pilot scale에서 사용되는 데칸터는 고형물로부터 높은 분리능으로 상등액을 분리하는 데 한계가 있어 생산된 단백질의 순도가 감소할 수 있다.
- 양산한 신규 단백질의 일반성분 분석결과는 Table 10과 같다.

Table 10. Proximate analysis of mass-produced mung bean protein isolate and hemp seed protein isolate from lab and pilot plant

	Samples	Crude protein (%, dry basis)	Crude fat (%,dry basis)	Crude ash (%,dry basis)
Mung bean protein isolate	Lab-scale	85.3 ± 0.2^b *	1.0 ± 0.0^a	5.6 ± 0.4^a
	Pilot-scale	80.7 ± 0.3^a	1.3 ± 0.0^b	5.7 ± 0.1^a
Hemp seed protein isolate	Lab-scale	88.2 ± 0.2^a	1.9 ± 0.3^a	3.2 ± 0.2^a
	Pilot-scale	90.1 ± 0.1^b	4.0 ± 0.2^b	2.8 ± 0.6^b

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

- 양산된 녹두단백과 헴프씨드단백의 SDS-PAGE 분석결과, 녹두단백과 헴프씨드단백 각각 35~75 kDa, 35kDa 미만의 크기의 단백을 포함한 대부분의 주요단백이 추출·분리되었음을 확인할 수 있다. 또한, 두 단백질 모두 양산한 단백질과 실험실 규모에서 제조한 단백질의 분자량의 차이는 매우 작으며 이를 통해 신규단백이 양산공정을 통해 효과적으로 추출·분리되었음을 확인할 수 있다.
- 양산한 신규 단백질의 SDS-PAGE 분석결과는 Figure 15와 같다.

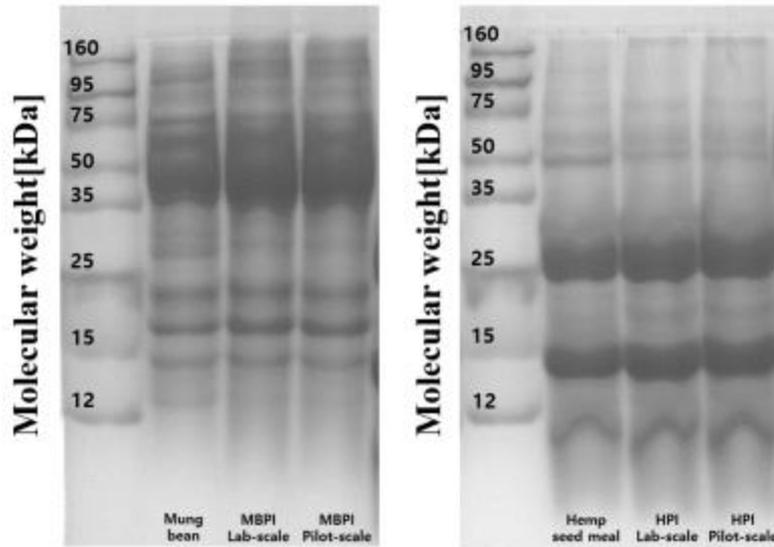


Figure 15. SDS-PAGE of mass-produced new protein isolates (MBPI: mung bean protein isolate, HPI: hemp seed protein isolate)

- 양산한 녹두단백과 헴프씨드단백의 총 아미노산 양은 각각 737.79 mg/g, 782.41 mg/g 으로 실험실에서 제조한 녹두단백과 헴프씨드단백의 총 아미노산 함량보다 각각 37.22 mg/g, 88.64 mg/g 만큼 더 낮게 측정되었는데 이는 실험실에서 제조한 신규단백 대비 더 낮은 양산 신규단백의 단백질 순도에 기인한다.
- 양산한 신규단백의 아미노산조성 분석결과, 양산한 신규단백이 실험실에서 제조한 신규단백보다 단백질의 순도가 낮았지만 신규단백의 아미노산 성분간의 비율은 상이하지 않고 유사한 수준으로 양산한 신규단백의 영양성을 검증하였다.
- 양산한 신규 단백질의 아미노산조성 분석결과는 Table 11, 12와 같다.

Table 11. Amino acid contents of mass-produced mung bean protein isolate

Amino acid		Lab-scale MBPI	Pilot-scale MBPI
Essential amino acid (mg/g)	Tyrosine	20.2 (2.6%)	21.4 (2.9%)
	Lysine	48.7 (6.3%)	53.5 (7.3%)
	Leucine	69.9 (9.0%)	63.7 (8.6%)
	Methionine	8.4 (1.1%)	9.6 (1.3%)
	Valine	38.2 (4.9%)	38.5 (5.2%)
	Isoleucine	35.9 (4.6%)	31.0 (4.2%)
	Threonine	25.1 (3.2%)	24.1 (3.3%)
	Phenylalanine	60.2 (7.8%)	50.5 (6.8%)
	Histidine	20.3 (2.6%)	22.2 (3.0%)
	Tryptophan	9.2 (1.2%)	7.2 (1.0%)
Total Essential A.A.		336.0 (43.4%)	321.7 (43.6%)
Non-Essential amino acid (mg/g)	Glycine	26.2 (3.4%)	27.2 (3.7%)
	Serine	52.2 (6.7%)	42.6 (5.8%)
	Alanine	29.5 (3.8%)	30.3 (4.1%)
	Glutamic acid	142.2 (18.3%)	136.9 (18.6%)
	Arginine	52.2 (6.7%)	54.8 (7.4%)
	Aspartic acid	97.2 (12.5%)	90.1 (12.2%)
	Proline	37.1 (4.8%)	32.0 (4.3%)
	Cystein	2.5 (0.3%)	2.2 (0.3%)
Total Non-essential A.A.		439.0 (56.6%)	416.1 (56.4%)
Total		775.0 (100%)	737.8 (100%)

Table 12. Amino acid contents of mass-produced hemp seed protein isolate

Amino acid		Lab-scale HPI	Pilot-scale HPI
Essential amino acid (mg/g)	Tyrosine	29.1 (3.3%)	28.2 (3.6%)
	Lysine	32.4 (3.7%)	25.2 (3.2%)
	Leucine	64.5 (7.4%)	53.7 (6.9%)
	Methionine	16.4 (1.9%)	18.6 (2.4%)
	Valine	43.1 (4.9%)	34.4 (4.4%)
	Isoleucine	34.3 (3.9%)	27.8 (3.6%)
	Threonine	34.2 (3.9%)	27.4 (3.5%)
	Phenylalanine	44.9 (5.2%)	38.0 (4.9%)
	Histidine	24.7 (2.8%)	23.2 (3.0%)
	Tryptophan	10.5 (1.2%)	7.8 (1.0%)
Total Essential A.A.		334.2 (38.4%)	284.3 (36.3%)
Non-Essential amino acid (mg/g)	Glycine	41.6 (4.8%)	35.4 (4.5%)
	Serine	49.5 (5.7%)	43.9 (5.6%)
	Alanine	41.5 (4.8%)	33.6 (4.3%)
	Glutamic acid	157.5 (18.1%)	149.0 (19.0%)
	Arginine	119.4 (13.7%)	112.0 (14.3%)
	Aspartic acid	99.2 (11.4%)	88.7 (11.3%)
	Proline	26.8 (3.1%)	29.4 (3.8%)
	Cystein	1.5 (0.2%)	6.3 (0.8%)
Total Non-essential A.A.		536.9 (61.6%)	498.2 (63.7%)
Total		871.1 (100%)	782.4 (100%)

나. 수분 및 유지흡수력, 유화안정성 등 단백질기능성 분석

- 양산한 녹두단백의 유지흡수력(1.7 ± 0.1 g/g)은 실험실에서 제조한 녹두단백의 유지흡수력(2.3 ± 0.1 g/g)보다 낮게 측정되었으며 겔 형성능의 지표인 최소 겔 형성농도는 $52 \pm 0\%$ 으로 실험실에서 제조한 녹두단백($48 \pm 0\%$)보다 낮은 겔 형성능을 나타내었다.
- 양산한 햄프씨드단백의 기능성 분석 결과, 수분흡수력, 유지흡수력, 유화능은 실험실에서 제조한 햄프씨드단백의 기능성 결과와 유사한 수준으로 측정되었으나 유화안정성은 $32.4\% \pm 0.4$ 로 실험실에서 제조한 햄프씨드단백의 유화안정성보다 58.6% 더 낮게 측정되었으며 겔 최소형성 농도는 $55.0 \pm 0\%$ 으로 실험실에서 제조한 햄프씨드단백의 겔 형성능보다 더 낮은 겔 형성능을 나타내었다.
- 실험실에서 제조한 단백질의 기능성 대비 양산한 신규단백의 기능성이 낮은 이유는 단백질순도의 차이에 기인한다. 양산한 녹두단백의 단백질순도는 $80.7 \pm 0.3\%$ 으로 실험실에서 제조한 녹두단백의 단백질순도보다 4.6% 더 낮았으며 양산한 햄프씨드단백의 단백질순도는 $90.1 \pm 0.1\%$ 으로 실험실에서 제조한 단백질의 순도보다 1.9% 더 높게 측정되었다. 단백질순도에 따라 기능적 작용을 할 수 있는 단백질의 양이 변하기 때문에 단백질의 기능성에 직접적인 영향을 미친다.
- 수분흡수력 테스트 시, 녹두단백은 완전히 물에 용해되어 측정이 수분흡수력 측정이 불가할 정도로 높은 중성 pH의 물에 대한 용해도를 나타내어 대두단백, 완두단백, 햄프씨드단백 등 다른 단백질과 차별된 특성을 나타내었다.
- 양산한 신규 단백질의 기능성 분석결과는 Table 13, 14와 같다.

Table 13. Techno-functional properties of mass-produced mung bean protein isolate

Samples	Water holding capacity (g/g)	Oil holding capacity (g/g)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Gel formation ability (%)
Lab-scale mung bean protein isolate	*ND	$2.3 \pm 0.1^{b**}$	58.2 ± 1.5^b	95.0 ± 0.8^a	48 ± 0^b
Pilot-scale mung bean protein isolate	ND	1.7 ± 0.1^a	56.2 ± 1.9^b	94.6 ± 1^a	52 ± 0^c
Soy protein isolate	6.6 ± 0.2	2.2 ± 0.2^b	43.8 ± 0.3^a	97.5 ± 0.3^b	9.5 ± 0.5^a

* Not determined: water holding capacity was not able to be determined due to high solubility of protein.

**Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 14. Techno-functional properties of mass-produced hemp seed protein isolate

Samples	Water holding capacity (g/g)	Oil holding capacity (g/g)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Gel formation ability (%)
Lab-scale Hemp seed protein	1.1 ± 0^a	1.6 ± 0.1^a	46.3 ± 0.4^b	90.4 ± 1.3^b	23.0 ± 0^c
Pilot-scale Hemp seed protein	1.0 ± 0.1^a	1.5 ± 0.2^a	47.3 ± 5.6^b	32.4 ± 0.4^a	55.0 ± 0^b
Soy protein isolate	6.6 ± 0.2^c	2.2 ± 0.2^b	43.8 ± 0.3^a	97.5 ± 0.3^c	9.5 ± 0.5^a

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

다. In vitro 소화율 지표 분석

- 양산한 녹두단백 및 헴프씨드단백의 In vitro 소화율 지표분석 결과, 양산한 녹두단백 및 헴프씨드단백의 위·소장 내 건물소화율과 소장 내 단백질소화율은 실험실에서 제조한 단백질 대비 유의적인 차이가 없었다. 단, 양산한 녹두단백 및 헴프씨드단백의 위장 내 단백질소화율은 각각 34.2±1.0%, 72.1±1.8%으로 실험실에서 제조한 녹두단백 및 헴프씨드단백의 위장 내 단백질소화율 대비 각각 6.4%, 4.1% 더 낮게 측정되었다.
- 양산 단백질의 건조과정에 사용되는 분무건조는 실험실에서 제조한 단백질의 건조에 사용되는 동결건조와 다르게 단백질의 열변성을 일으켜 단백질의 용해도를 감소시킬 수 있으며 이는 단백질의 소화작용을 저해할 수 있다.
- 양산 신규단백의 소화율은 In vitro 소화율 지표분석을 통하여 검증하였다.
- 양산 신규단백의 In vitro 소화율 지표 분석결과는 Table 15와 같다.

Table 15. Digestibility of mass-produced protein isolates

Sample	Solid digestibility (%)		Protein digestibility (%)	
	Gastric	intestinal	Gastric	intestinal
Lab-scale Mung bean protein isolate	51.8±17.3 ^{a*}	84.1±0.1 ^a	40.6±3.2 ^b	79.6±2.3 ^a
Pilot-scale Mung bean protein isolate	48.5±3.5 ^a	83.1±1.5 ^a	34.2±1.0 ^a	80.4±1.7 ^a
Lab-scale Hemp seed protein	53.9±0.3 ^a	74.9±0.3 ^a	76.2±1.2 ^b	86.9±5.2 ^a
Pilot-scale Hemp seed protein	52.5±3.4 ^a	73.8±1.6 ^a	72.1±1.8 ^a	87.5±2.2 ^a

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

라. 기존 단백질(대두) 대비 양산 신규단백의 단백질품질 평가

- 기존 대두단백과 양산신규단백 간의 단백질기능성 비교분석 결과, 유화능은 유사한 수준이었으나 이를 제외한 수분흡수력, 유지흡수력 및 겔 형성능의 지표는 상대적으로 낮게 측정되었다. 두 신규단백 모두 단백질이 수분과 유지를 포집하는 활성이 기존의 대두단백에 비해 약하다고 판단되며 이러한 한계점을 극복하기 위해 단백질 개량을 통해 신규단백의 기능성을 개선하고자 한다.

6) 신규 단백질소재의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발

(1) 연구수행 방법

가. 개량신규단백 개발

가) 실험재료

- 직접 양산한 녹두단백 및 헴프씨드단백을 시료로 사용하였다. 시료의 제조방법은 4). 가. (가).와 같다.

나) 실험방법

(가) pH-shifting 처리

- 20 g의 시료에 400 mL의 증류수를 첨가하여 30분간 수화하였으며, 2 N HCl 또는 2 N NaOH를 이용하여 pH 2 또는 12로 조절한 후 2시간 동안 상온에서 300 rpm으로 교반하였다. 반응이 끝난 혼합액의 pH를 2 N HCl 또는 2 N NaOH를 이용하여 pH 7으로 조절한 후 10분간 300 rpm으로 교반하였다. 교반이 끝난 pH shifting 단백질 용액은 4℃에서 저장하거나 동결 건조하여 pH shifting 단백질 분말로 분말화하였다.

나. 개량한 신규단백의 단백질 특성 분석

가) 실험재료

- 가. pH shifting 처리 에서 제조한 pH shifting 단백질 용액을 시료로 사용하였다.

나) 실험방법

- 실험방법은 3) 나. 단백질 특성 분석의 방법과 같다.

다. 개량한 신규단백의 단백질 기능성 및 In vitro 소화율 지표 분석

가) 실험재료

- 6). 가. (가)와 같은 방법으로 pH shifting 처리한 녹두단백 및 햄프씨드단백 용액을 실험에 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 단백질 용해도

- 시료의 단백질 용해도를 분석하기 위하여 Pierce™ BCA Protein Assay Kit(Thermo Fisher Scientific Inc., MA, USA)를 사용하였다. 시료 20 μ l를 96well-plate에 주입한 후 180 μ l의 BCA working solution을 주입하여 30분간 37℃에서 암소반응하였다. 반응이 끝난 plate를 Spectrophotometer(Molecular devices, SPECTRAMax PLUS6, CA, USA)를 이용하여 562nm의 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 Bovine serum albumin을 사용하였다. 원료 내 총 단백질량은 단백질 분석기(Kjeltec8200, Foss, Denmark)를 이용한 Kjeldahl법에 따라 측정하였으며 질소 계수 6.25를 이용하였다. 단백질 용해도는 아래와 같은 식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{단백 용해도(\%)} = \frac{\text{상등액에 용해된 단백질무게}}{\text{원료내총 단백질무게}} \times 100$$

(나) 표면소수성

- 단백질의 표면소수성을 분석하기 위하여 ANS fluorescence assay를 사용하였다 (Mishyna, Martinez, Chen, & Benjamin, 2019). 3.6 mL의 10 mM sodium phosphate buffer (pH 7.2) 용액에 다양한 농도로 희석한 시료를 0.4 mL를 첨가하였다. 이 용액에 6 μ l의 ANS solution(8 mM)을 첨가하였으며 15분간 실온·암소 조건에서 반응하였다. 반응이 끝난 후 형광분광계(LS-55, PerkinElmer, MA, USA)를 사용하여

excitation wavelength와 emission wavelength를 각각 365 nm, 484 nm으로 설정하여 Intensity를 측정하였다. 결과는 시료의 Intensity와 시료의 단백질도를 각각 y축, x축으로 하는 그래프의 slope로 산출하였다.

(다) 소화물 제조

- Brodtkorb et al., (2019)의 방법의 일부를 변형하여 소화물을 제조하였다.
- 4 g의 분말시료에 8 mL의 증류수와 9.6 mL의 1.25X simulated salivary fluid (SSF)를 첨가하였으며 pH를 7으로 조절한 후 증류수를 이용해 24 g으로 정용하였다. 혼합액에 19.2 mL의 1.25X simulated gastric fluid (SGF)을 넣고 2N HCl을 첨가하여 pH를 3으로 조절 후 증류수를 이용해 47 g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 1 mL의 3.84% pepsin stock 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 250 rpm 으로 교반하여 반응시켰다. 반응이 끝난 혼합액에 0.1 mL의 0.48 mM pepstatin A 용액을 첨가하여 pepsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 위장 소화물로 하였다. 위장 소화물에 38 mL의 1.25X simulated intestinal fluid (SIF)를 첨가한 후, 2N NaOH를 이용하여 pH를 7로 조절한 후 증류수를 이용해 소화물을 89 g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 5 mL의 27.8% porcine pancreatin stock 용액과 2 mL의 14.7% bovine bile stock 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 250 rpm 으로 교반하여 반응시켰다. 반응이 끝난 혼합액에 0.5 mL의 136 mM phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF) 용액을 첨가하여 trypsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 소장 소화물로 하였다.

(라) 건물소화율

- 시료의 건물소화율을 측정하기 위하여 소화물을 Whatman No.3로 감압 여과하여 미소화 고형물을 분리하고, 분리된 고형물은 여과지와 함께 dry oven을 이용하여 105°C에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 시료의 소화율은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{건물소화율 (\%)} = 100 - (A / B \times 100)$$

A = 미소화 고형물 무게, B = 소화 전 시료의 고형물 무게

(마) 단백질소화율

- 시료의 단백질소화율을 측정하기 위하여 소화물을 3,220xg로 원심 분리하여 상등액을 분리하였다. 조단백 분석기(Kjeltec8200, Foss, 덴마크)를 이용해 Kjeldahl법에 따라 소화액 상등액 내 조단백 함량을 측정하였으며 질소 계수는 6.25를 사용하였다. 각 소화물 내 단백질 용해도는 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{단백소화율 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 여과된 내 소화액에 용해된 단백질 무게, B = 소화 전 시료 내 단백질 무게

(바) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 P<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

(2) 연구수행 결과

가. pH shifting 처리

- pH shifting 처리를 통해 제조한 개량녹두단백 및 개량햄프씨드단백은 Figure 16, 17과 같다.

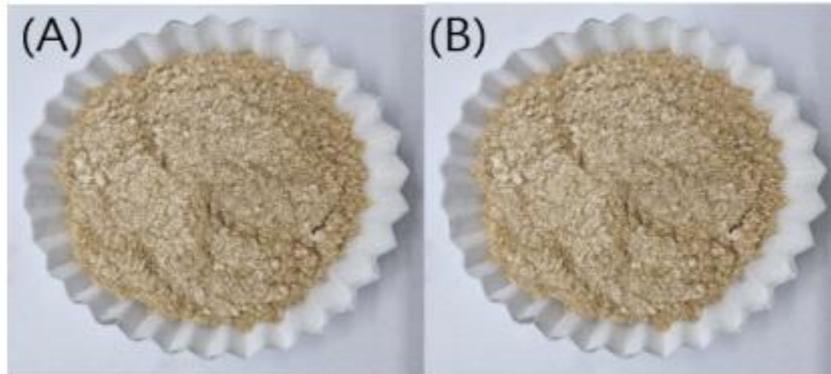


Figure 16. pH-shifting treated mung bean protein isolate (A: acid shifting, B: alkaline shifting)



Figure 17. pH-shifting treated mung bean protein isolate (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

나. 개량한 신규단백의 단백질 특성 분석

- pH shifting 처리 후, Alkaline shifting된 녹두단백, Acid shifting된 햄프씨드단백, Alkaline shifting된 햄프씨드단백의 용해도는 유의적으로 증가하였으며 Acid shifting된 녹두단백의 용해도는 pH shifting 처리 이후 유의적으로 감소하였다. pH shifting 처리 중 정전기적 반발력 (electrostatic repulsion)에 의해 unfolding된 단백질은 더 flexible한 구조를 갖게 되며 물에 더 쉽게 용해될 수 있는 구조로 변할 수 있다.
- Alkaline shifting된 녹두단백과 햄프씨드단백의 표면소수성은 기존대비 증가하였지만 Acid shifting된 녹두단백과 햄프씨드단백의 표면소수성은 감소하였다. pH shifting 처리에 의해 표면으로 노출된 소수성 잔기에 의해 단백질의 표면소수성이 증가할 수도 있지만 표면에 노출된 많은 양의 소수성 잔기는 단백질이 중성에서 다시 refolding될 때 단백질간의 소수성결합을 유도할 수 있기 때문에 단백질의 표면소수성을 감소시킬 수 있다.
- pH shifting에 의한 단백질의 구조변화를 모니터링하기 위하여 pH shifting 처리 시간에 따른 단백질용해도와 표면소수성을 분석하였다. 녹두단백과 햄프씨드단백 모두 pH shifting을 2시

간 하였을 때 구조가 급격히 변화되고 6시간까지 미비하게 변화하여 기존단백의 최적 pH shifting 처리 시간을 6시간으로 선정하였다.

- pH shifting 처리 시간에 따른 신규단백의 용해도 분석결과는 Figure 18, 19와 같으며 표면 소수성 분석결과는 Figure 20, 21과 같다.

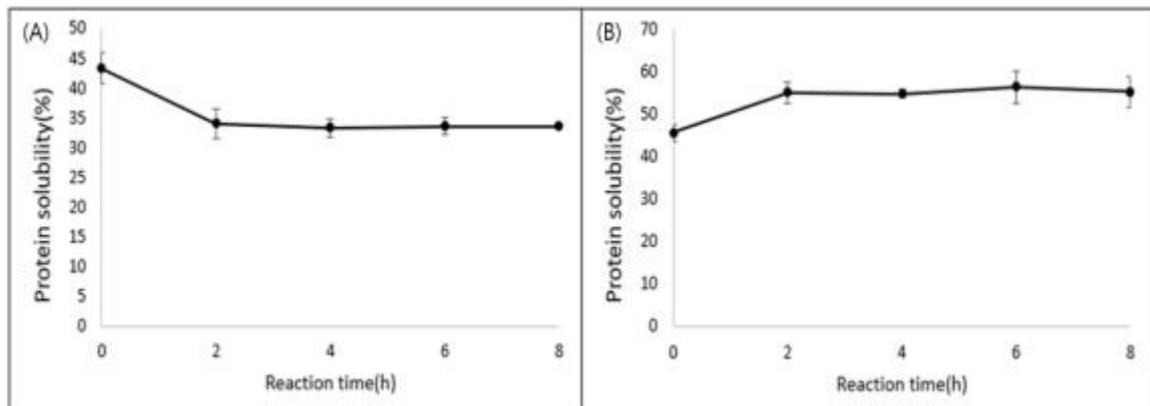


Figure 18. Protein solubility of mung bean protein isolate treated by pH-shifting (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

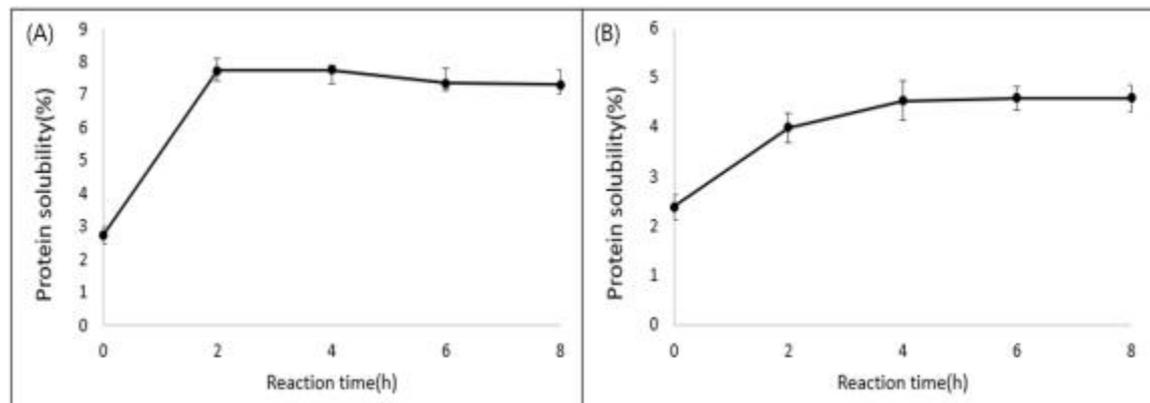


Figure 19. Protein solubility of hemp seed protein isolate treated by pH-shifting (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

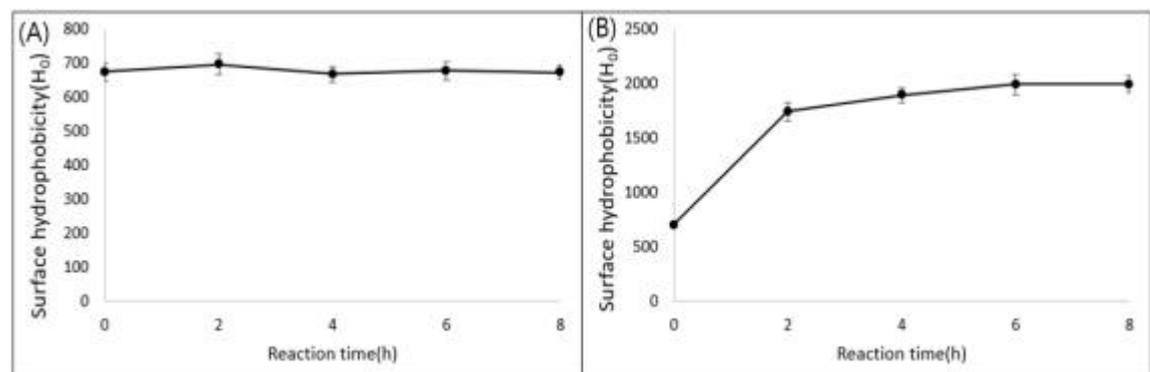


Figure 20. Protein surface hydrophobicity of mung bean protein isolate treated with pH shifting (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

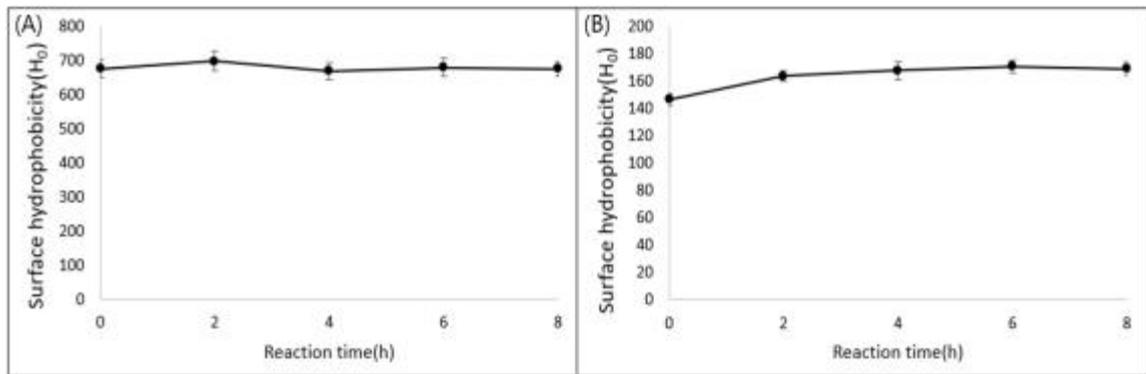


Figure 21. Protein surface hydrophobicity of hemp seed protein isolate treated with pH shifting (A: acid shifting, B: alkaline shifting)

다. 개량한 기존단백의 단백질기능성 및 In vitro 소화율 지표 분석

- pH shifting 녹두단백의 기능성 분석결과, Acid shifting과 Alkaline shifting은 2.44 ± 0.16 g/g 였던 녹두단백의 유지흡수력을 각각 3.25 ± 0.07 g/g, 4.02 ± 0.07 으로 증가시켰다. 이는 pH shifting 처리에 따른 단백질 내측의 소수성 잔기의 노출을 포함한 단백질의 구조변화에 기인한다. 또한, Alkaline shifting은 $95.0 \pm 0.8\%$ 였던 녹두단백의 유화안정성을 $97.6 \pm 2.5\%$ 로 유의적으로 증가시켰다. pH shifting 처리에 의해 증가한 단백질의 표면소수성, 용해도, 단백질자의 유연성은 단백질의 표면의 아미노산 잔기의 활성을 증대하여 단백질의 유화능을 개선할 수 있다 (Yildiz et al., 2017).
- Alkaline shifting은 $48 \pm 0\%$ 였던 녹두단백의 겔 최소 형성농도를 $32 \pm 0\%$ 로 감소시킴으로써 녹두단백의 겔 형성능을 개선하였다. 이는 pH shifting 처리에 의하여 증가한 녹두단백의 용해도 및 정전기적 반발력에 의해 단백질이 수분을 포집하기 유리한 구조로 변한 결과이다 (Zhu et al., 2021).
- pH shifting 햄프씨드단백의 기능성 분석결과, Acid shifting과 Alkaline shifting은 0.97 ± 0.02 g/g 였던 햄프씨드단백의 수분흡수력을 각각 1.59 ± 0.01 g/g, 1.30 ± 0.01 g/g 로 개선시켰으며 1.49 ± 0.17 g/g 였던 유지흡수력을 각각 2.72 ± 0.12 g/g, 4.87 ± 0.09 g/g 로 유의적으로 개선시켰다. 또한 Acid shifting은 $32.4 \pm 0.4\%$ 로 낮은 수준의 햄프씨드단백의 유화안정성을 $96.2 \pm 4.6\%$ 로 개선하였다. 위와 같은 단백질 결과는 pH shifting에 의하여 햄프씨드단백 내부의 존재하는 수분 또는 유지와 결합할 수 있는 소수성 또는 친수성 아미노산 잔기의 단백질 표면으로의 노출에 기인한다.
- pH shifting을 이용한 단백질 개량을 통하여 수분흡수력, 유지흡수력, 유화안정성 및 겔 형성능을 포함한 신규단백의 단백질기능성을 개선하였으며 개량된 신규단백은 대체육의 조직감 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
- pH shifting 처리한 녹두단백과 햄프씨드단백의 기능성 분석결과는 Table 16, 17과 같다.

Table 16. Techno-functional properties of mung bean protein isolate treated by pH-shifting

Samples	Water holding capacity (g/g)	Oil holding capacity (g/g)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Gel formation ability (%)
Mung bean protein isolate(MBPI)	*ND	2.44±0.16 ^a	55.6±3.1 ^b	95.0±0.8 ^a	48±0 ^b
Acid shifting MBPI	ND	3.25±0 ^b	49.4±0.4 ^a	98.7±0.9 ^b	**ND
Alkaline shifting MBPI	ND	4.02±0.07 ^c	51.9±0.4 ^a	97.6±2.5 ^b	32±0 ^a

* Not determined: water holding capacity was not able to be determined due to high solubility of protein.

** Not determined: protein gel was not formed.

Table 17. Techno-functional properties of hemp seed protein isolate treated by pH-shifting

Samples	Water holding capacity (g/g)	Oil holding capacity (g/g)	Emulsifying capacity (%)	Emulsifying stability (%)	Gel formation ability (%)
Hemp seed protein isolate(HPI)	0.97±0.02 ^{a*}	1.49±0.17 ^a	47.3±5.6 ^a	32.4±0.4 ^a	55±0 ^b
Acid shifting HPI	1.59±0.01 ^c	2.72±0.12 ^b	49.4±2.7 ^a	96.2±4.6 ^b	51±0 ^a
Alkaline shifting HPI	1.30±0 ^b	4.87±0.09 ^c	49.4±0.4 ^a	91.1±6.3 ^b	59±0 ^c

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

- pH shifting 녹두단백의 In vitro 소화율 지표 분석결과, Acid shifting은 녹두단백 위장소화물의 건물소화율과 단백질소화율 그리고 녹두단백 소장소화물의 단백질소화율을 유의적으로 개선하였다. 또한, Alkaline shifting은 40.6±3.2%이었던 녹두단백의 위장소화물의 단백질소화율을 48.4±0.9%로 증진시켰다. 햄프씨드단백의 pH 7에서의 중성용해도는 3% 미만으로 매우 낮지만 위장의 산성 환경에서 높은 용해도를 나타내어 pepsin에 의해 원활히 분해되어 70%대의 높은 단백질소화율을 나타낸 것이라 사료된다. Acid shifting 및 Alkaline shifting 모두 위장소화물과 소장소화물의 건물소화율 및 소장소화물의 단백질소화율을 유의적으로 개선하였으며 특히 Acid shifting은 햄프씨드단백 소장소화물의 단백질소화율을 86.9±5.2%에서 결과적으로 94.1±0.3%까지 개선시켜 단백질의 생체 이용률을 증진하였다. 위와 같은 pH shifting 신규단백 소화율 개선은 pH shifting 과정에서 증가된 단백질의 용해도 및 표면소수성과 소수성표면에 결합해 작용하는 pepsin의 활성 특성에 기인한다.
- pH shifting을 이용한 단백질 개량을 통하여 신규단백의 소화율을 개선하였으며 개량된 신규단백은 대체육의 소화율 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.
- pH shifting 처리한 녹두단백과 햄프씨드단백의 In vitro 소화율 지표 분석결과는 Table 18, 19와 같다.

Table 18. Digestibility of mung bean protein isolate treated by pH-shifting

Sample	Solid digestibility (%)		Protein digestibility (%)	
	Gastric	intestinal	Gastric	intestinal
Mung bean protein isolate(MBPI)	51.8±17.3 ^{a*}	84.1±0.1 ^b	40.6±3.2 ^a	79.6±2.3 ^a
Acid shifting MBPI	60.3±8.7 ^b	84.8±0.3 ^b	56.8±4.3 ^c	78.5±2 ^a
Alkaline shifting MBPI	52.8±5.1 ^a	82.0±0.4 ^a	48.4±0.9 ^b	75.0±8.2 ^a

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

Table 19. Digestibility of hemp seed protein isolate treated with pH shifting

Sample	Solid digestibility (%)		Protein digestibility (%)	
	Gastric	Intestinal	Gastric	Intestinal
Hemp seed protein isolate(HPI)	53.9±0.3 ^{a*}	74.9±0.3 ^a	76.2±1.2 ^a	86.9±5.2 ^a
Acid shifting HPI	58.5±0.3 ^b	76.8±0.1 ^b	71.4±6.3 ^a	94.1±0.3 ^b
Alkaline shifting HPI	54.3±0.1 ^a	76.9±0.2 ^b	77.4±0.4 ^a	91.3±1.1 ^{ab}

*Means that do not share a letter are significantly different ($p < 0.05$).

7) 기존 및 신규 단백질배합을 통한 품질 개선

(1) 가공적성 특성 최적화를 위한 배합비 개발

가) 실험재료

- 본 실험에 사용한 재료는 대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea)을 구매하여 사용하였으며 녹두단백, 햄프씨단백, 개량녹두단백은 본 과제에서 개발한 제조방법을 이용하여 제조하였다. 대체육 제조에 사용되는 원료는 밀 글루텐과 옥수수 전분을 40:10으로 고정하고, 대두단백:녹두단백/햄프씨단백/개량녹두단백의 비율을 각각 50:0, 30:20, 20:30, 0:50로 조절하여 압출성형공정에 이용했다.

나) 실험방법

(가) 조직화 단백질 제조

- 본 실험은 공주대학교 (연구책임자: 류기형)에서 진행되었다.
- 본 실험에 사용된 압출성형기는 동방향 쌍축 압출성형기 (THK31-No. 4, Incheon Machinery Co., Incheon, Korea)를 사용하였고 직경은 3.0 cm, 직경과 길이의 비(L/D ratio)가 23:1인 스크루를 사용하였다 (Samard와 Ryu, 2019). 8 cm의 사출구를 사용하여 분리녹두단백 대체육을 제조했으며, 각각의 배럴 구역의 온도는 전열기와 냉각수를

이용하여 조절했다.

- 공정변수는 원료 사입량 100 g/min, 스크루 회전속도 250 rpm, 배럴온도 150℃, 수분 함량을 40%로 고정하여 압출했다.
- 제조한 대체육은 열풍건조기 (FC-PO-250, Lap House, Pocheon, Korea)로 60℃에서 24시간 건조하였다.

나. 영양학적 특성 최적화를 위한 단백질 소재 개발

가) 실험재료

- 대두단백은 Shandong Wonderful Biotech Co. Ltd.(China, Shandong)에서 제공받았으며 완두단백은 Roquette Frères(France, Lestrem)에서 구매하여 사용하였다. 녹두단백, 햄프씨드단백은 1). 나). (가).의 방법을 통해 제조하였으며, 개량녹두단백은 6). 가). (가).의 방법을 이용하여 제조하였다.

나) 실험방법

(가) 아미노산 함량

- 시료의 아미노산 조성을 분석하기 위하여 시료 0.075 g을 분취하여 Vial에 넣고 25 mL 6 N HCl을 첨가하여 110℃에서 22시간 동안 산가수분해 하였다. 가수분해된 시료를 Paper filter로 여과하여 감압 농축한 후, 30 mL 0.02 N HCl로 희석하여 기기분석에 사용하였다.
- 시료의 아미노산 함량은 Amino acid analyzer(L-8900A, HITACHI, 일본)를 이용하여 측정하였다. 검출기로 Spectrophotometer detector를 사용하였으며, 컬럼으로 HITACHI HPLC Packed Ion Exchange column(4.6 mm x 60 mm)을 사용하였다.

(나) 아미노산 점수

- 시료의 아미노산 점수는 각 아미노산 함량 (mg/g protein)에 각 표준 아미노산 함량을 나눈 값으로 나타내었다. 표준 아미노산 점수는 건강기능식품공전의 제3.1-27 단백질의 [아미노산스코어 환산을 위한 기준 필수아미노산 조성표]를 참고하였다.

$$\text{아미노산 점수} = A / B$$

A = 시료의 개별 아미노산 함량, B = 표준 아미노산 함량

다. 식물성 대체육 적용특성을 반영하여 소화율 개선 단백질원료와 물성개선 단백질원료의 최적 배합비 확보

가) 실험방법

(가) 최적 배합비 개발

- 최적 배합비는 개발한 가공적성 배합비의 아미노산 점수를 증진하기 위하여 가공적성 배합비의 제한 아미노산을 보강할 수 있는 식물성 단백질원료로 가공적성 배합비의 일부를 대

체하는 방식으로 진행하였다. 가공적성 배합비 및 다양한 식물성 단백질의 아미노산 점수를 비교 및 분석하여 가공적성 배합비 중 대체되는 비율을 최소화하면서 아미노산 점수를 최고화할 수 있는 최적 배합비를 개발하였다. 모든 배합비 및 단백질의 아미노산 점수는 건강기능식품공전의 제3.1-27 단백질의 [아미노산스코어 환산을 위한 기준 필수아미노산 조성표]를 참고하여 산출하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 가공적성 특성 최적화를 위한 배합비 개발

- 녹두단백 및 개량녹두단백 첨가비율별 조직화단백의 조직감 분석 결과는 Figure 22-25와 같다.
- 본 과제에서 개발한 신규단백소재를 조직화단백 제조에 적용하기 위하여 신규소재인 녹두단백과 햄프씨드단백을 이용하여 조직화단백을 제조하였다. 녹두단백의 첨가비율이 20에서 50%으로 높아질수록 조직화단백의 탄성 (Springiness)은 $89.3 \pm 2.7\%$ 에서 $82.5 \pm 5.1\%$ 으로 유의적으로 감소하였고 응집성 (Cohesiveness)이 $79.2 \pm 2.8\%$ 에서 $64.7 \pm 4.5\%$ 까지 유의적으로 감소하였으며 씹음성 (Chewiness)이 840 ± 100 g에서 1267 ± 179 g로 유의적으로 증가하였다.
- 대두 조직화단백은 기공이 큰 구조로 다른 식물성 조직화단백에 비하여 경도가 낮으며 스펀지와 유사한 물성을 나타낸다. 녹두 조직화단백은 대두 조직화단백 대비, 기공의 크기가 작은 구조로 조직화단백의 섬유구조가 결합력과 밀도가 높은 구조로 형성되었어 경도 및 씹음성을 증가시킨 것으로 사료된다. 반면, 햄프씨드단백은 압출성형에 의한 단백질의 조직화가 이루어지지 않았으며 이는 햄프씨드단백의 낮은 용해도 특성에 기인하는 것으로 사료된다.
- 식육과 유사한 조직감을 구현하기 위해서는 식물성 조직화단백의 탄성 및 응집성을 감소시키며 경도 및 씹음성을 증진시켜야 한다. 이를 위해 배합에 사용되는 녹두단백을 pH-shifting 기술을 이용하여 구조개량하였으며 이에 따른 조직화단백 조직감 개선 효과를 확인하였다. 개량녹두 조직화단백 및 녹두단백 조직화단백의 응집성과 탄성은 유의적으로 유사한 수준으로 측정되었지만, 개량녹두 조직화단백의 씹음성이 유의적으로 더 높게 측정되었다. 특히, 첨가비율 30%일 때, 개량녹두 조직화단백의 씹음성이 3020 ± 381 g로 가장 높게 측정되었으며 이는 녹두 조직화단백 씹음성의 248%에 해당한다.
- pH-shifting 처리에 의해 개량된 개량녹두단백은 개량되지 않은 녹두단백 대비, unfolding된 flexible한 구조를 나타내며 표면에 노출된 아미노산 잔기의 양이 더 많다 (Jeong & Cho, 2024). 표면으로 노출된 더 많은 양의 아미노산 잔기가 압출성형 시에 용융된 단백질구조가 더 많은 단백질간의 결합 (소수성 결합 및 이황 결합 등)을 촉진하고 더 밀도 높은 섬유상 구조를 형성시킨 것으로 사료된다.
- 따라서, 4 종의 조직감 지표를 고려하여 경도 및 씹음성이 가장 높은 대두단백:개량녹두단백=20:30을 본 과제의 가공적성 배합비로 선정하였다.

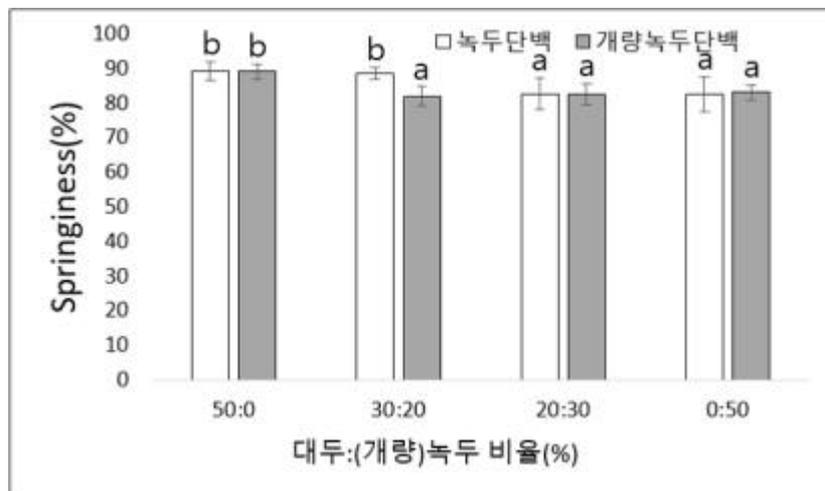


Figure 22. Springiness of textured vegetable proteins with different ratio of mung bean protein isolate and modified mung bean protein isolate. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

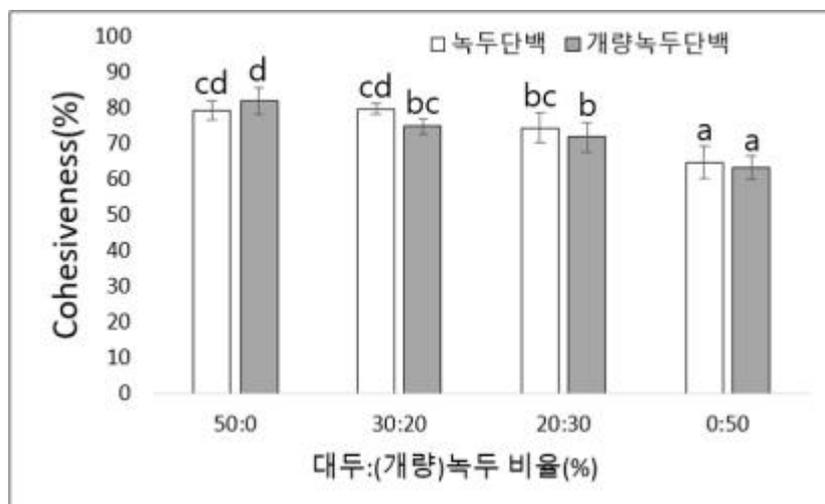


Figure 23. Cohesiveness of textured vegetable proteins with different ratio of mung bean protein isolate and modified mung bean protein isolate. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

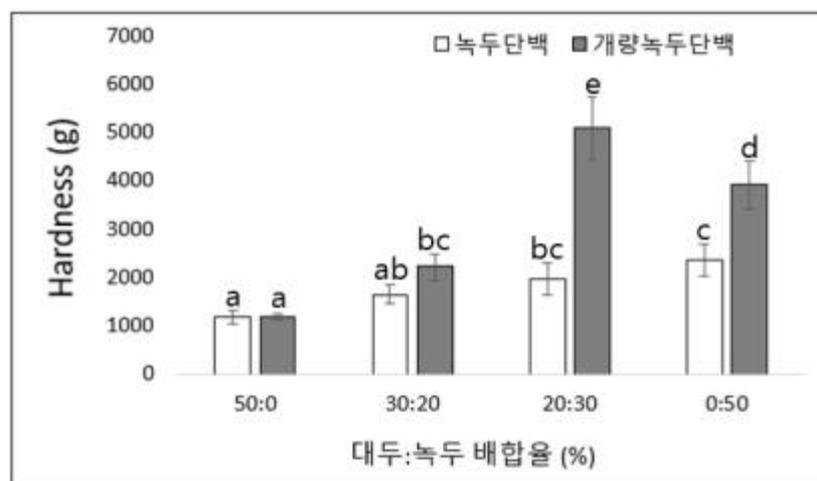


Figure 24. Hardness of textured vegetable proteins with different ratio of mung bean protein isolate and modified mung bean protein isolate. Different letters on top of the columns

represent significant differences ($p < 0.05$)

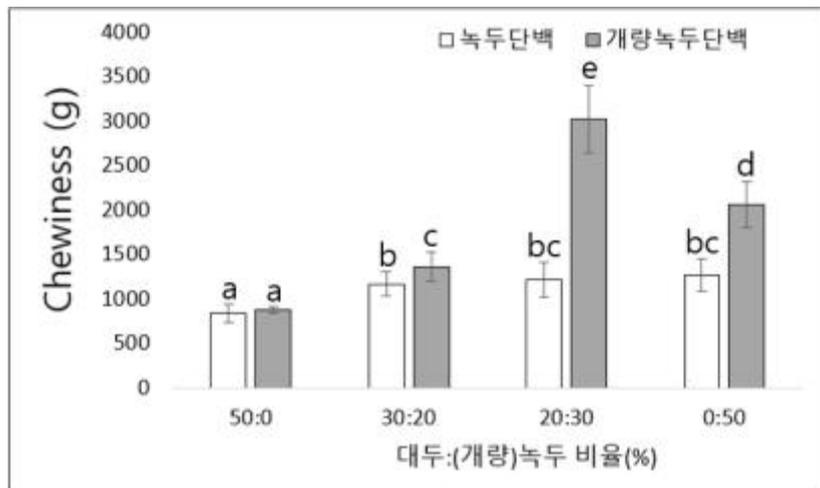


Figure 25. Chewiness of textured vegetable proteins with different ratio of mung bean protein isolate and modified mung bean protein isolate. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

나. 영양학적 특성 최적화를 위한 단백질 소재 개발

- 기존 및 신규단백의 표준 아미노 산 함량 및 아미노산 점수는 각각 Table 20과 Table 21에 나타내었다.
- 대두단백, 녹두단백 그리고 개량녹두단백은 서로 유사한 아미노산 프로필을 나타내었다. 3종의 단백질의 제한 아미노산은 Cys+Met으로 아미노산 점수는 각각 0.9, 0.83, 0.91으로 측정되었다. 햄프씨단백 및 글루텐의 제한 아미노산은 Lys으로 아미노산 점수는 각각 0.68, 0.33으로 측정되었다.
- 가공적성 배합의 제한 아미노산은 Lys으로 가공적성 배합의 아미노산 점수는 0.9 이다. 글루텐은 가공적성 배합의 40% 비율로 포함되는데 글루텐의 제한 아미노산인 Lys의 낮은 함량이 가공적성 배합의 아미노산 점수 및 영양성을 감소시켰다.

Table 20. Amino acid contents of plant protein isolates and gluten

Amino acid	**SPI	MBPI	HPI	Modified MBPI	Gluten	*Standard
Histidine	27.2	27.3	27.2	27.7	20.7	15
Isoleucine	53.2	43.4	39.7	44.3	41.3	30
Leucine	90.8	83.1	65.1	83.7	68.7	59
Lysine	67.7	67.5	30.7	70.3	14.7	45
Cystein+ Methionine	19.8	18.2	45.9	20	36.3	22
Phenylalanine +Tyrosine	94.1	90.7	78.6	91.9	82.0	38
Threonine	38.8	29.2	31.4	29.7	24.7	23
Tryptophan	10.4	9.2	8.6	9	9.7	6
Valine	52.6	52.0	47.9	53.1	42.3	39

* Standard: Standard amino acid contents from Korea's health functional food show.

** SPI: soy bean protein isolate, MBPI: mung bean protein isolate, Modified MBPI: modified mung bean protein isolate by pH-shifting.

Table 21. Amino acid score of plant protein isolates and gluten

Amino acid	SPI	MBPI	HPI	Modified MBPI	Gluten
Histidine	1.81	1.82	1.81	1.85	1.38
Isoleucine	1.77	1.45	1.32	1.48	1.38
Leucine	1.54	1.41	1.10	1.42	1.16
Lysine	1.50	1.50	0.68	1.56	0.33
Cystein+ Methionine	0.90	0.83	2.09	0.91	1.65
Phenylalanine +Tyrosine	2.48	2.39	2.07	2.42	2.16
Threonine	1.69	1.27	1.37	1.29	1.07
Tryptophan	1.73	1.53	1.43	1.50	1.62
Valine	1.35	1.33	1.23	1.36	1.08

* SPI: soy bean protein isolate, PPI: pea protein isolate, MBPI: mung bean protein isolate, Modified MBPI: modified mung bean protein isolate by pH-shifting.

다. 식물성 대체육 적용특성을 반영하여 소화율 개선 단백원료와 물성개선 단백원료의 최적 배합비 확보

- 본 과제에서 개발한 조직화단백의 최적 배합비는 대두단백 20%, 개량녹두단백 30%, 밀 글루텐 40%, 옥수수 전분 10%이다. 조직화단백의 가공적성 (조직감)이 가장 높게 측정되었던 가공적성 배합비 (대두:개량녹두=20:30)의 합산 50% 비율을 차지하는 대두단백 및 개량녹두단백의 제한 아미노산은 모두 황함유 아미노산 (Cystein+Methionine)이며, 배합비 중 40%를 차지하는 글루텐의 제한아미노산은 Lysine이었다. 이에 따라, 가공적성 배합비의 제1 제한 아미노산은 Lysine (0.9)이며 제2 제한 아미노산은 황함유 아미노산 (1.11)과 Valine (1.11)으로 분석되었다. 현재 보유하고 있는 식물성단백 중 Lysine을 보강할 수 있는 단백질 부재한 실정으로 대두단백 20%와 개량녹두단백 30%, 밀 글루텐 40%, 옥수수 전분 10%가 포함된 배합비를 본 과제의 최적 배합비로 선정하였다. 조직화단백의 최적 배합비와 최적 배합비의 아미노산 함량 및 아미노산 점수 결과는 각각 Table 22와 Table 23에 나타내었다.
- 글루텐은 압출성형 시, 조직화와 섬유구조 형성에 필수적인 소재로 본 과제에서는 배합비 중 글루텐의 배합비를 40%로 고정하여 압출성형 실험을 진행하였다. 추후, 압출성형 공정 조건을 조절함으로써 글루텐의 배합비율을 대두단백 및 개량녹두단백으로 일부 대체하여 배합비를 대두단백:개량녹두단백:글루텐:옥수수전분 = 24:36:30:10으로 변경했을 때 아미노산 점수를 1.02로 높일 수 있다.

Table 22. Optimized mixing ratio of textured vegetable protein

Ingredients	Ratio (%)
Soy bean protein isolate	20
Modified mung bean protein isolate	30
Wheat gluten	40
Corn starch	10

Table 23. Amino acid contents and scores of optimized mixing ratio

Amino acid	Amino acid contents	Amino acid score
Histidine	20.2	1.47
Isoleucine	40.4	1.35
Leucine	70.7	1.20
Lysine	40.5	0.9
Cystein+ Methionine	24.5	1.11
Phenylalanine +Tyrosine	79.2	2.08
Threonine	26.5	1.15
Tryptophan	8.7	1.44
Valine	43.4	1.11

8) 식육대비 품질 특성 비교

(1) 연구수행 방법

가. 영양학적 특성 비교

가) 실험재료

- 본 실험에 사용한 재료로 대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 밀 글루텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea), 한우 우둔살 (Nonghyup, Chuncheon, Korea)을 사용하였다. 한우 우둔살은 두께 2.54cm로 절단하여 후라이팬을 이용해 가열조리하여 실험에 사용하였다. 대두 조직화단백 및 최적배합 조직화단백은 대두단백:개량녹두단백:밀 글루텐:옥수수 전분 비율이 각각 50:0:40:10, 20:30:40:10과 같으며 다음과 같은 배합을 이용하여 7). 가. (가)의 방법으로 압출성형하여 실험에 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 소화물 제조

- Andre Brodtkorb (2019)의 방법의 일부를 변형하여 소화물을 제조하였다. 대체육 4 g 에 100 mL의 증류수를 가하여 90°C에서 1시간 수화 후 20 mesh 체에서 15분간 물기를 제거하였으며, 우둔살은 조리 후 12 g을 사용하였다. 시료에 9.6mL의 1.25X simulated salivary fluid (SSF)와 19.2mL의 1.25X simulated gastric fluid (SGF)를 혼합한 후 1N HCl을 이용하여 pH를 3으로 조절한 후 증류수를 이용하여 48g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 1mL의 3.84% pepsin stock (in SGF) 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 150rpm으로 교반하여 반응하였다. 반응이 끝난 혼합액은 0.1mL의 0.48mM pepstatin A 용액을 첨가 후 pH 7.0으로 조절하여 pepsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 위장 소화물로 하였다. pH 조절하기 전 위장 소화물에 38mL의 1.25X simulated intestinal fluid (SIF)를 첨가한 후, 1N NaOH를 이용하여 pH 7.0으로 조절한 후 증류수를 이용해 소화물을 89g으로 정용하였다. 정용한 혼합액에 5mL의 27.8% porcine pancreatin stock (in SIF) 용액과 2mL의 14.7% bovine bile stock (in SIF) 용액을 첨가한 후, 2시간 동안 37°C의 항온수조에서 150rpm으로 교반하여 반응시켰다. 반응이 끝난 혼합액에 0.5mL의 136mM Phenylmethylsulfonyl fluoride (PMSF) 용액을 첨가하여 trypsin의 활성을 억제하였으며 이 혼합액을 소장 소화물로 하였다.

(나) *In vitro* 소화율

- 시료의 건물소화율을 측정하기 위하여 소화물을 Whatman No.3로 감압 여과하여 미소화 고형물을 분리하고, 분리된 고형물은 여과지와 함께 dry oven을 이용하여 105°C에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 시료의 소화율은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{건물소화율 (\%)} = 100 - (A / B \times 100)$$

A = 미소화 고형물 무게, B = 소화 전 시료의 고형물 무게

- 시료의 단백소화율을 측정하기 위하여 소화물을 3,200xg로 원심 분리하여 상등액을 분리하였다. 조단백 분석기 (Kjeltec8200, Foss, Denmark)를 이용해 Kjeldahl법에 따라 소화액 상등액 내 조단백 함량을 측정하였으며 질소 계수는 6.25를 사용하였다. 각 소화물 내 단백질 용해도는 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{단백소화율 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 여과된 내 소화액에 용해된 단백질 무게, B = 소화 전 시료 내 단백질 무게

(다) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 P<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

나. 가공적성 특성 비교

가) 실험재료

- 본 실험에 사용한 재료로 대두단백 (Wachsen Industry Co., Qingdao, China), 밀 글루

텐 (Roquette Freres, Lestrem, France), 옥수수 전분 (Samyang LTD., Ulsan, Korea), 한우 우둔살 (Nonghyup, Chuncheon, Korea)을 사용하였다. 한우 우둔살은 두께 2.54cm로 절단하여 후라이팬을 이용해 가열조리하여 실험에 사용하였다. 대두 조직화단백 및 최적배합 조직화단백은 대두단백:개량녹두단백:밀 글루텐:옥수수 전분 비율이 각각 50:0:40:10, 20:30:40:10과 같으며 다음과 같은 배합을 이용하여 7). 가. (가)의 방법으로 압출성형하여 실험에 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 재수화율

- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백 및 건조된 우둔살을 1.5-2.0cm로 절단한 시료 5g에 증류수 100mL를 가하고 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화시킨 다음 20mesh 표준체에서 15분간 물을 제거하고 수화된 시료의 무게를 측정하였다. 시료의 재수화율은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{재수화율 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 시료가 흡수한 물의 무게 (g), B = 수화 전 시료의 무게 (g)

(나) 조직잔사지수

- 최적배합 조직화단백 및 대두 조직화단백을 5g에 증류수를 100mL 첨가하였으며 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화하였다. 이후, 121℃에서 30분간 고압 가열하였으며 물기를 제거하여 실험에 사용하였다. 5 g의 조리된 우둔살을 121℃에서 30분간 고압 가열하였다. 이 후, 흐르는 물에 냉각시킨 후 100mL의 증류수를 첨가하여 homogenizer (T25 Digital Ultra-Turrax, IKA, Setaufen, Germany)로 10,000rpm에서 1분간 균질하였다. 균질한 시료를 20 mesh sieve에서 흐르는 물에 1 회 세척하였으며 105℃에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 시료의 조직잔사지수는 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{조직잔사지수 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 건조된 조직잔사 무게 (g), B = 건량 기준 시료의 무게 (g)

(다) KOH 용해도

- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백을 및 조리된 우둔살을 30℃에서 12 시간동안 건조하여 실험에 사용하였다. 시료를 가정용 분쇄기를 이용하여 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh sieve를 이용하여 중간 크기로 체별된 분말만을 회수하였다. 회수한 시료 1 g에 50mL의 0.5% KOH 용액을 가하여 30℃, 120rpm에서 20분간 반응하였다. 반응 후 용액을 3,200 x g로 원심 분리하여 상등액을 분리하였다. 조단백 분석기 (Kjelttec8200, Foss, Denmark)를 이용해 시료의 총 질소 함량 및 상등액 내 질소 함량을 측정하였다. 시료의 KOH 용해도는 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{KOH 용해도 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 상등액 내 질소 무게 (mg), B = 시료내 총 질소 무게 (mg)

(라) 수분흡수력

- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백을 및 조리된 우둔살을 30℃에서 12 시간동안 건조하여 실험에 사용하였다. 시료를 가정용 분쇄기를 이용하여 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh sieve를 이용하여 중간 크기로 체별된 분말만을 회수하였다. 회수한 시료 1 g에 10 mL의 증류수를 첨가하여 수화하였다. 수화한 혼합액을 3,200 x g로 원심분리하여 상등액을 제거한 후 무게를 측정하였다. 시료의 수분흡수력은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{수분흡수력 (g/g)} = A / B$$

A = 시료가 흡수한 물의 무게 (g), B = 수화 전 시료의 무게 (g)

(마) 유지흡수력

- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백을 및 조리된 우둔살을 30℃에서 12 시간동안 건조하여 실험에 사용하였다. 시료를 가정용 분쇄기를 이용하여 분쇄한 뒤, 50과 70 mesh sieve를 이용하여 중간 크기로 체별된 분말만을 회수하였다. 회수한 시료 1 g에 10mL의 공기름을 첨가하여 혼탁시켰다. 혼탁액을 3,200 x g로 원심분리하여 상등액을 제거한 후 무게를 측정하였다. 시료의 유지흡수력은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{유지흡수력 (g/g)} = A / B$$

A = 시료가 흡수한 공기름의 무게 (g), B = 용매화 전 시료의 무게 (g)

(바) 조직감 측정

- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백을 및 조리된 우둔살을 30℃에서 12 시간동안 건조하여 실험에 사용하였다. 수화한 시료를 15 x 12 x 7.5 mm³으로 절단한 뒤 조직감 분석기 (TA.XTplus100C, Stable Micro System, Godalming, UK)를 이용하여 측정하였다. 측정에 사용된 probe는 직경 2cm의 cylinder probe를 사용하였으며, 측정조건은 deformation target value 30%, trigger load 5g, test speed 1.7mm/s, adjust beam 18.0mm로 진행되었다.

(사) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 P<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

다. 품질 개선을 위한 첨가물 스크리닝 및 적용

가) 실험재료

- 본 실험에 사용한 재료는 8). 가. (가)에 설명된 재료와 동일하다.

나) 실험방법

(가) 무기질 수용액 농도 최적화

- 1.5–2.0cm로 절단한 최적배합 조직화단백 5 g에 각각 100 mL의 CaCl₂ 용액 및 MgCl₂ 용액을 0.1%에서 0.5%까지 농도별로 제조하여 첨가하였으며 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화시킨 다음 20 mesh 표준체에서 15분간 물을 제거하고 수화된 시료의 무게를 측정하였다.

(나) 재수화율

- 1.5–2.0cm로 절단한 최적배합 조직화단백 5 g에 각각 100 mL의 0.2% CaCl₂, 0.2%, MgCl₂, 증류수를 첨가하였으며 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화시킨 다음 20 mesh 표준체에서 15분간 물을 제거하고 수화된 시료의 무게를 측정하였다. 시료의 재수화율은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{재수화율 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 시료가 흡수한 물의 무게 (g), B = 수화 전 시료의 무게 (g)

(다) 조직잔사지수

- 1.5–2.0cm로 절단한 최적배합 조직화단백 5 g에 100 mL의 0.2% CaCl₂ 수용액, 0.2%, MgCl₂ 수용액 또는 증류수를 첨가하였으며 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화하였다. 이후, 121℃에서 30분간 고압 가열하였으며 물기를 제거하여 실험에 사용하였다. 5 g의 조리된 우둔살을 121℃에서 30분간 고압가열하였다. 이 후, 흐르는 물에 냉각시킨 후 100mL의 증류수를 첨가하여 homogenizer (T25 Digital Ultra-Turrax, IKA, Setaufen, Germany)로 10,000rpm에서 1분간 균질하였다. 균질한 시료를 20 mesh sieve에서 흐르는 물에 1 회 세척하였으며 105℃에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 시료의 조직잔사지수는 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{조직잔사지수 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 건조된 조직잔사 무게 (g), B = 시료의 건물 무게 (dry basis) (g)

(라) 고형분손실률

- 최적배합 조직화단백을 1.5–2.0 cm로 절단한 시료 1g에 20 mL의 0.2% CaCl₂, MgCl₂ 수용액 또는 증류수를 첨가하였으며 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화시킨 다음 20mesh 표준체에서 15분간 물을 제거한 시료를 105℃에서 항량이 될 때까지 건조하였다. 시료의 고형분손실률은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{고형분손실률 (\%)} = 100 - (A / B \times 100)$$

A = 수화 및 건조 후 시료 무게 (g), B = 수화 전 시료의 건물 무게 (g)

(마) 단백질손실률

- 최적배합 조직화단백을 1.5–2.0 cm로 절단한 시료 1 g에 20 mL의 0.2% CaCl₂ 수용액, 0.2%, MgCl₂ 수용액 또는 증류수를 첨가하였으며 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화시킨 다음 용액을 3,220 x g로 원심 분리하여 상등액을 분리하였다. 조단백 분석기 (Kjeltec8200, Foss, Denmark)를 이용해 상등액 내 단백질 함량을 측정하였다. 시료의 단백질손실률은 아래와 같은 계산식을 이용하여 산출하였다.

$$\text{단백손실률 (\%)} = A / B \times 100$$

A = 상등액 내 단백질 무게 (g), B = 시료의 단백질 무게 (g)

(바) 조직감 측정

- 최적배합 조직화단백을 각각 100 mL의 0.2% CaCl₂ 수용액, 0.2%, MgCl₂ 수용액 또는 증류수를 첨가하였으며 항온수조를 이용하여 90℃에서 60분간 수화하였다. 수화시킨 시료와 우둔살을 15 x 12 x 7.5 mm³으로 절단한 뒤 조직감 분석기 (TA.XTplus100C, Stable Micro System, Godalming, UK)를 이용하여 조직감을 측정하였다. 측정에 사용된 probe는 직경 2cm의 cylinder probe를 사용하였으며, 측정조건은 deformation target value 30%, trigger load 5g, test speed 1.7mm/s, adjust beam 18.0mm로 진행되었다.

(사) 통계 분석

- 모든 실험의 결과는 SPSS 통계분석프로그램(IBM SPSS Statistics 26)을 이용하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 후 P<0.05 수준에서 유의성을 검정하였다. 모든 결과는 평균값과 표준오차로 나타내었다.

(2) 연구수행 결과

가) 영양학적 특성 비교

(가) In vitro 소화율

- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백 및 조리한 우둔살의 건물소화율과 단백질소화율은 각각 Figure 26과 Figure 27에 나타냈다.
- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백 및 조리한 우둔살 위장소화물의 건물소화율은 각각 27.90±3.44%, 29.52±5.10%, 27.14±0.97%로 실험군 간의 유의적 차이가 없었다. 단백질소화율은 또한 각각 18.99±4.73%, 21.84±6.70%, 25.27±4.80%로 유의적인 차이가 없었다.
- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백 및 조리한 우둔살의 소장소화물의 건물소화율은 각각 81.55±2.50%, 84.00±2.87%, 79.48±6.62%로 서로간의 유의적 차이가 없었다. 단백질소화율은 또한 각각 70.04±5.04%, 72.46±7.18%, 72.89±9.47%로 유의적인 차이가 없었다.
- 조직화단백은 압출성형에 의한 강한 열변성으로 낮은 소화율을 나타내며 위장에서 더 부록함을 유발할 수 있기 때문에 In vitro 위장 소화모델 실험과 같은 소화율 평가가 필수적이다. 본 과제에서 개발한 최적배합 조직화단백은 우둔살과 유의적 차이가 없는 유사한 수준의 높은 소화율을 나타내었다.

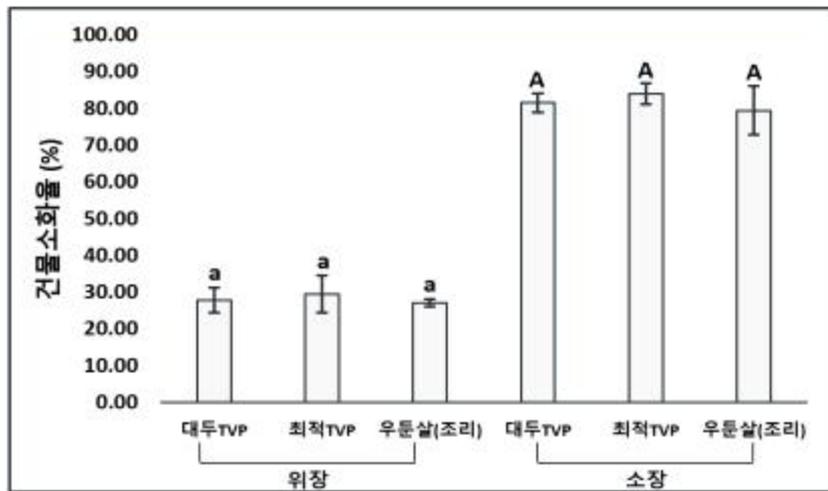


Figure 26. Solid digestibility of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

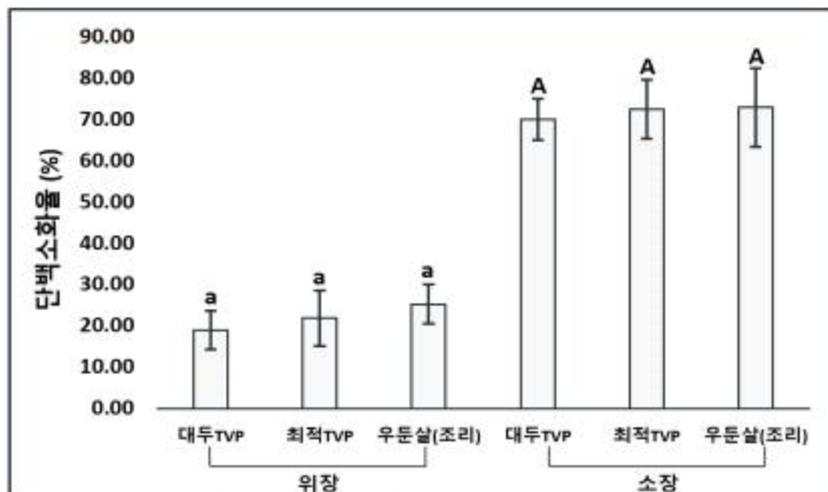


Figure 27. Protein digestibility of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

(나) 단백질 소화율 교정 아미노산 점수 (PDCAAS, Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score)

- 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백 및 조리한 우둔살의 PDCAAS는 Table 24에 나타냈다.
- 최적배합 조직화단백에 함유된 대두단백 및 녹두단백의 제한 아미노산은 황 함유 아미노산(Cystein+Methionine)이지만, 배합의 40%를 차지하는 글루텐의 제한 아미노산인 Lysine의 낮은 함량의 영향으로 최적배합 조직화단백의 제한아미노산은 Lysine이었다.
- 글루텐의 낮은 Lysine 함량의 영향으로 최적배합 조직화단백의 단백질 소화율 교정 아미노산 점수(PDCAAS) 또한 0.65로 비교적 낮은 수준으로 측정되었다. 추후, 글루텐 비율을 감소시키고 동시에 황 함유 아미노산이 풍부한 햄프씨단백을 배합에 첨가하는 방식으로 최적배합 조직화단백의 영양성을 강화할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 24. Protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) of optimized textured

vegetable protein and rump

Amino acid	PDCAAS	
	최적TVP	우둔살
Histidine	1.06	2.04
Isoleucine	0.98	2.32
Leucine	0.87	1.00
Lysine	0.65	1.58
Cystein+	0.81	1.25
Methionine		
Phenylalanine	1.51	1.40
+Tyrosine		
Threonine	0.84	3.29
Tryptophan	1.05	-
Valine	0.81	1.67

나) 가공적성 특성 비교

(가) 재수화율

- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 재수화율은 Figure 28에 나타냈다.
- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 재수화율은 각각 $647.30 \pm 39.24\%$, $301.65 \pm 17.94\%$, $78.13 \pm 3.19\%$ 로 두 조직화단백의 재수화율이 우둔살 대비 높게 측정되었으며 대두 조직화단백의 재수화율이 가장 높게 측정되었다.
- 건식 조직화단백은 일반적으로 고온의 수용액 상에서 식이하기 전에 수화하는 과정을 거치게 되며 조직화단백의 구조가 다공성 구조일수록 큰 기공을 형성하여 스펀지와 같은 원리로 더 많은 수분을 흡수할 수 있게 된다. 조직화단백의 섬유구조가 더 치밀할수록 기공의 크기가 감소하여 재수화율은 감소하는 경향을 나타내었다.
- 우둔살의 재수화율은 $78.13 \pm 3.19\%$ 으로 두 조직화단백 대비 낮은 재수화율을 보였다. 개량녹두단백이 포함된 최적배합 조직화단백은 대두 조직화단백 대비 더 조밀한 섬유구조를 갖어 비교적 더 낮은 재수화율을 나타낸 것으로 사료된다.

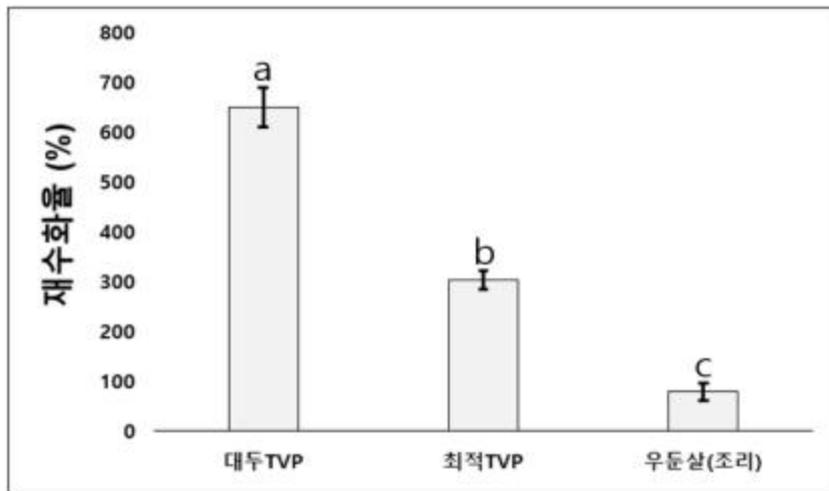


Figure 28. Rehydration rate of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

(나) 조직잔사지수

- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 조직잔사지수는 Figure 29에 나타났다.
- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 조리한 우둔살의 조직잔사지수는 각각 $3.38 \pm 1.37\%$, $36.47 \pm 0.56\%$, $58.97 \pm 2.70\%$ 로 두 조직화단백의 조직잔사지수가 우둔살 대비 더 낮게 측정되었으며 대두 조직화단백의 조직잔사지수가 가장 낮게 측정되었다.
- 조직잔사지수는 섬유상의 구조의 조직화단백의 결합력을 간접적으로 나타내는 지표로 조직잔사지수가 높을수록 조직화단백의 섬유구조가 더 강하게 결합되었음을 의미한다. 최적배합 조직화단백의 조직잔사지수는 대두 조직화단백의 조직잔사지수보다 더 높게 측정되었으며 이와 같은 결과는 최적배합 조직화단백의 더 강하게 결합된 섬유구조에 기인한다.

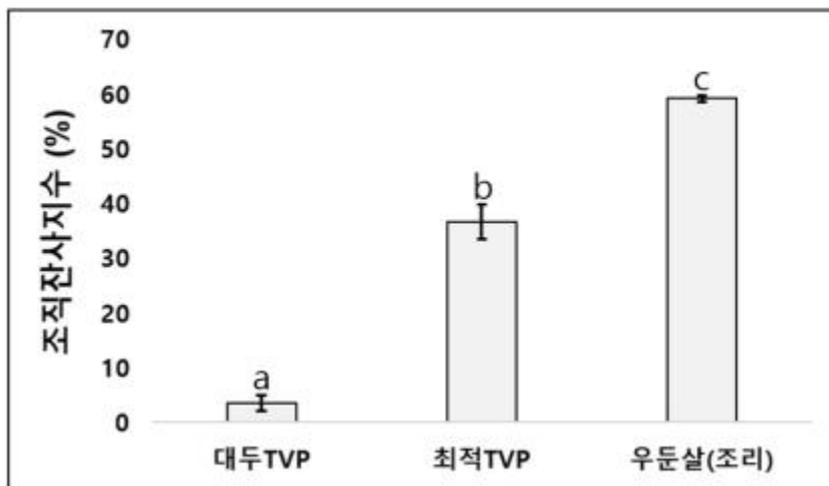


Figure 29. Integrity index of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

(다) KOH 용해도

- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 KOH 용해도는 Figure 30에 나타냈다.
- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 KOH 용해도는 각각 $37.94 \pm 1.81\%$, $32.26 \pm 1.94\%$, $26.48 \pm 1.25\%$ 로 두 조직화단백의 KOH 용해도는 우둔살 대비 높게 측정되었다.
- KOH 용해도는 압출성형에서 단백질이 고온고압의 환경에서 조직화되는 과정에서 열변성되는 정도를 나타내는 지표이다. 단백질은 열변성 시 단백질간의 소수성 잔기 간의 결합이 형성되어 강하게 결합될 수 있다. 열변성 정도가 강할수록 높은 알칼리성 KOH 수용액에서 용해되지 않으며 섬유구조가 강하게 결합되었다고 해석할 수 있다.
- 최적배합 조직화단백의 KOH 용해도가 우둔살에 비해 높으며 대두 조직화단백에 비해 낮은 것을 미루어 보았을 때, 최적배합 조직화단백의 결합력은 우둔살 대비 약하지만 대두 조직화단백 대비 더 강하다고 해석할 수 있다.

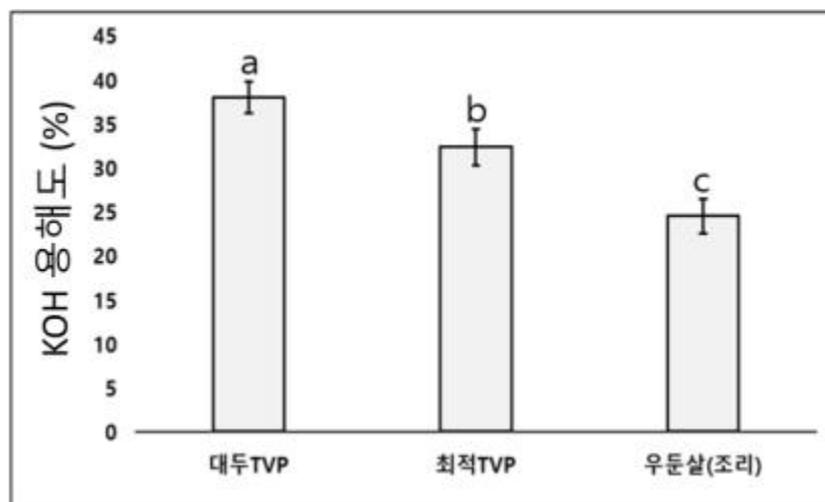


Figure 30. KOH solubility of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

(라) 수분흡수력 및 유지흡수력

- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 수분흡수력 및 유지흡수력은 각각 Figure 31과 Figure 32에 나타냈다.
- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 수분흡수력은 각각 $3.70 \pm 0.15\%$, $3.02 \pm 0.18\%$, $2.87 \pm 0.24\%$ 으로 대두 조직화단백이 유의적으로 가장 높았으며, 유지흡수력은 각각 2.09 ± 0.21 , 2.14 ± 0.12 , 1.99 ± 0.06 으로 실험군 간의 유의적인 차이가 없었다.
- 대두 조직화단백과 최적배합 조직화단백은 우둔살 대비 동일한 수준의 유지흡수력과 더 높은 수준의 수분흡수력을 가지기 때문에 미트볼, 패티 등 분쇄육의 제조에서 착즙성과 관련된 식감을 재현함에 유리할 것으로 판단된다.

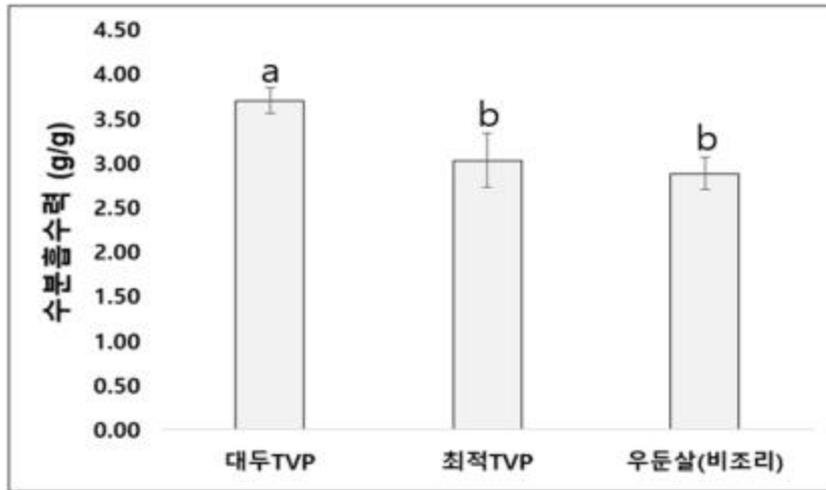


Figure 31. Water holding capacity of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

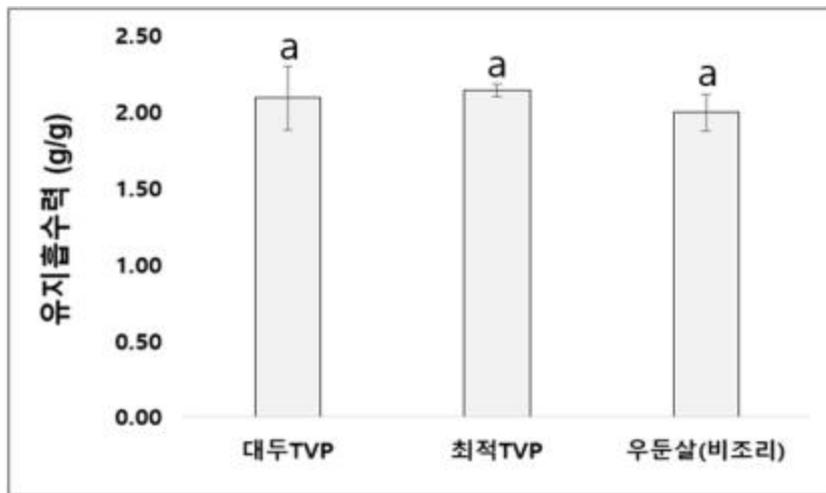


Figure 32. Oil holding capacity of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

(마) 조직감

- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 조리한 우둔살의 조직감 측정 결과는 Figure 33-36에 나타났다.
- 대두 조직화단백, 최적배합 조직화단백 및 우둔살의 경도는 각각 $2266.00 \pm 286.45\text{g}$, $6715.00 \pm 1155.52\text{g}$, $13122.50 \pm 914.95\text{g}$, 탄성은 각각 1.00 ± 0.06 , 0.92 ± 0.05 , 0.77 ± 0.05 , 응집성은 각각 0.73 ± 0.05 , 0.50 ± 0.02 , 0.56 ± 0 으로 측정되었다. 세 지표를 곱하여 산출한 조직감 지표인 씹음성은 각각 1578.74 ± 277.86 , 3080.94 ± 624.29 , 5647.07 ± 541.83 으로 측정되어 우둔살, 최적배합 조직화단백, 대두 조직화단백 순서로 높게 측정되었다.
- 대두 조직화단백은 기공이 큰 구조로 최적배합 조직화단백과 우둔살에 비해 경도가 낮고 탄성이 높아 스펀지와 유사한 물성을 나타내었으며 최적배합 조직화단백은 기공이 작고 밀도가 높은 섬유구조를 나타내어 비교적 우둔살과 유사한 물성을 나타내었다. 시료 내부의 기공 크기가 작고 조직화단백의 섬유구조가 결합력과 밀도가 높을수록 경

도 및 씹음성이 높은 경향을 나타내었다.

- 본 연구과제에서는 신규개량단백을 배합에 추가하여 최적배합을 개발함으로써 기존 조직화단백 대비, 씹음성이 개선된 조직화단백을 개발하였다. 하지만, 최적배합 조직화단백의 씹음성은 식육(우둔살)에 비하여 낮으며 추가적인 처리를 통한 조직감 개선이 필요한 것으로 사료된다.

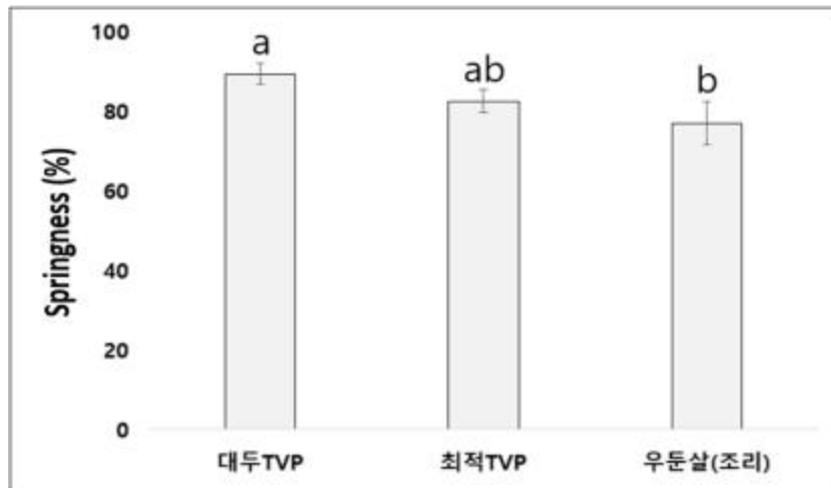


Figure 33. Springiness of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

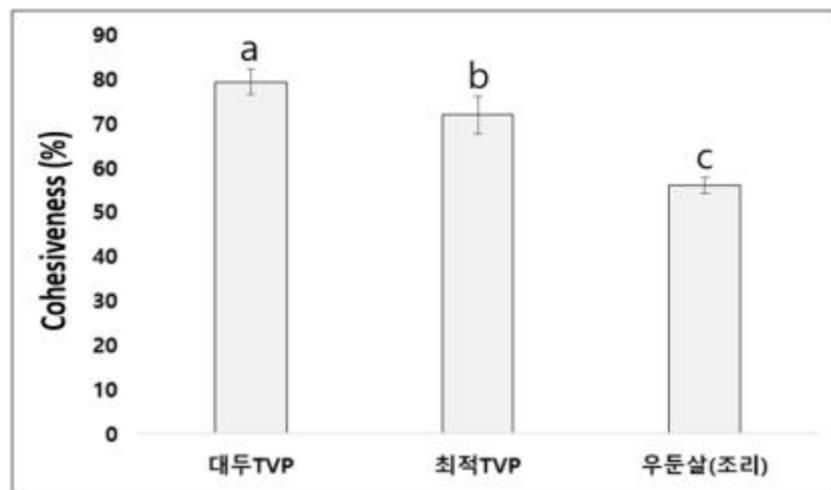


Figure 34. Cohesiveness of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

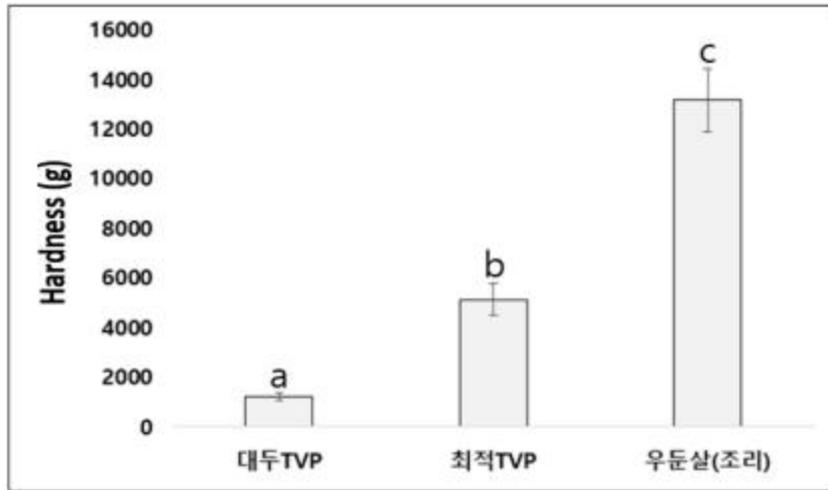


Figure 35. Hardness of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

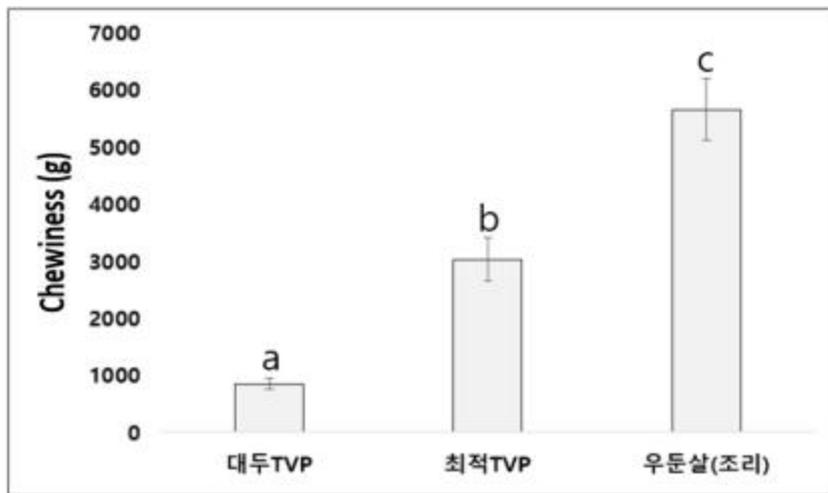


Figure 36. Chewiness of textured vegetable proteins and cooked rump. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

다) 품질 개선을 위한 첨가물 스크리닝 및 적용 특성 비교

(가) 무기질을 이용한 수화방법 개발

- 수용액 상에서 양전하를 나타내는 칼슘 또는 마그네슘은 glutamic acid와 lysine과 결합함으로써 salt bridge를 형성할 수 있다.
- 칼슘 또는 마그네슘이 포함된 수용액에서 수화된 조직화단백은 salt bridge가 형성됨에 따라 구조가 더 강하게 결합될 수 있다. 이에 따라 대조군 대비, 높은 조직화단백의 조직잔사지수, 씹음성과 더 낮은 재수화율, 고형분손실률 및 단백질손실률을 나타내었다. 본 과제에서 개발한 조직화단백 배합의 40%를 차지하는 글루텐 내 다량 함유된 glutamic acid가 salt bridge 형성을 촉진한 것으로 사료된다.
- 무기질 용액을 이용하여 수화한 대두 조직화단백의 단면사진은 Figure 37에 나타냈다.



Figure 37. Soybean textured proteins of hydrated in distilled water and CaCl_2 solution (left: distilled water, right: CaCl_2 solution).

(나) 무기질 수용액 농도 최적화

- 다량의 무기질은 조직화단백의 관능 및 영양에 악영향을 미칠 수 있으므로 수용액 상 무기질 농도 최적화가 필요하다.
- 재수화율은 수화된 조직화단백의 기공의 크기와 비례하며 재수화율과 반비하는 경향을 나타낸다. 따라서, 조직화단백의 재수화율의 감소될수록 수화된 조직화단백의 기공의 크기가 감소하고 결착력이 증가할 것이라고 예상할 수 있다.
- 무기질 수용액 최적 농도는 무기질 농도가 증가함에 따른 재수화율의 감소폭이 감소하는 농도로 설정하였다. 칼슘 및 마그네슘 수용액 모두 0.2%의 수용액에서 재수화율의 감소폭이 감소하여 0.2%를 칼슘 및 마그네슘 수용액의 최적 농도로 선정하였다. 이에 따라 무기질 수용액의 농도를 0.2%로 고정하여 추가적인 실험을 진행하였다.
- 무기질 수용액의 농도에 따른 조직화단백의 재수화율 결과는 Figure 38과 Figure 39에 나타내었다.

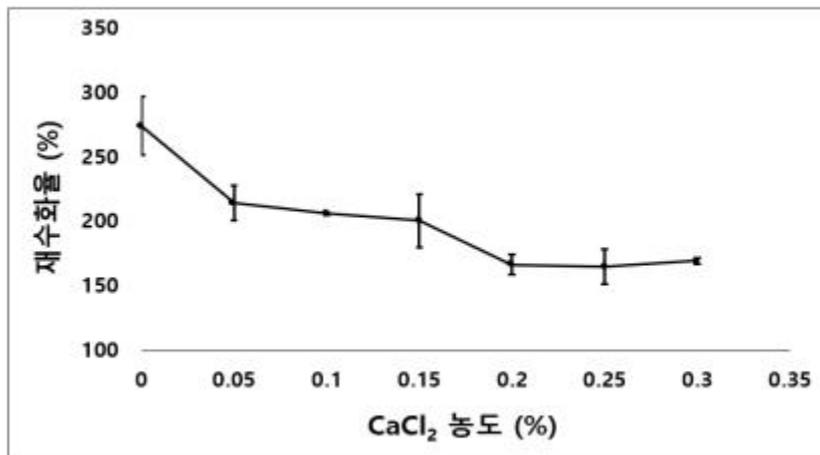


Figure 38. Rehydration rate of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution at different concentrations ($p < 0.05$).

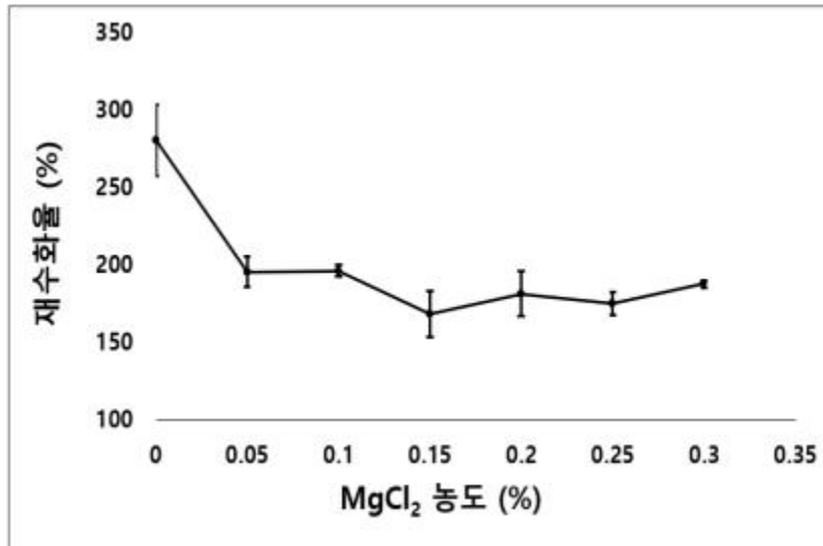


Figure 39. Rehydration rate of optimized textured vegetable protein hydrated in MgCl₂ solution at different concentrations ($p < 0.05$).

(다) 재수화율

- 무기질 용액을 이용하여 수화한 최적배합 조직화단백의 재수화율은 Figure 40에 나타내었다.
- 대조군, 칼슘 첨가군 그리고 마그네슘 첨가군의 재수화율은 각각 $285.91 \pm 22.99\%$, $177.29 \pm 19.49\%$, $187.17 \pm 14.55\%$ 로 측정되었다. 무기질 첨가군의 재수화율이 더 낮게 측정되었으며 이와 같은 결과는 무기질에 의해 형성된 아미노산 잔기 간의 salt bridge에 기인한다.
- 수화 과정 중, salt bridge에 의해 무기질 첨가군의 아미노산 잔기 간의 결합이 형성됨에 따라 조밀한 높은 밀도의 섬유구조가 형성되었을 것으로 사료되며, 조직화단백 단면 사진을 통하여 더 작은 기공이 형성되었음을 확인하였다 (Figure 37).

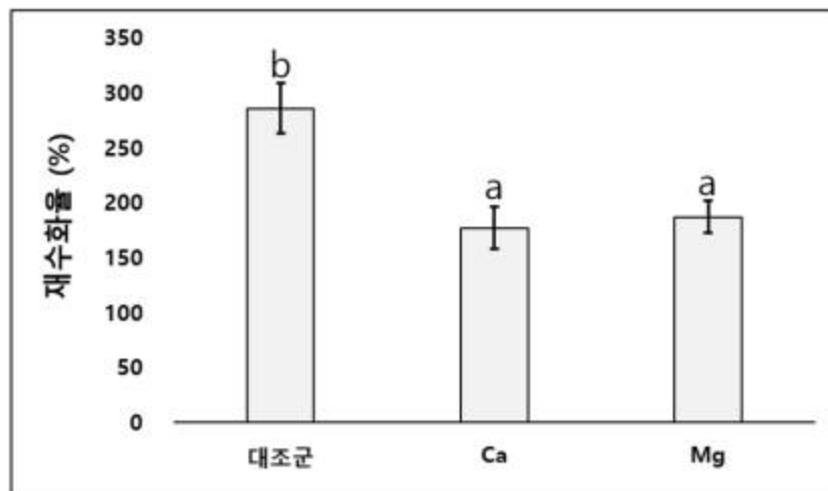


Figure 40. Rehydration rate of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl₂ solution and MgCl₂ solution. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$).

(라) 조직잔사지수

- 무기질 용액을 이용하여 수화한 최적배합 조직화단백의 조직잔사지수는 Figure 41에 나타내었다.
- 대조군, 칼슘 첨가군 그리고 마그네슘 첨가군의 조직잔사지수는 각각 $38.79 \pm 2.23\%$, $55.79 \pm 5.58\%$, $49.57 \pm 6.52\%$ 로 측정되었으며, 칼슘 첨가군의 조직잔사지수가 가장 높게 측정되었다. 대조군 대비 증가된 무기질 첨가군의 조직잔사지수는 무기질을 매개로 한 아미노산 잔기 간의 salt bridge 형성으로 더 강하게 결합된 조직화단백의 섬유구조에 기인한다.

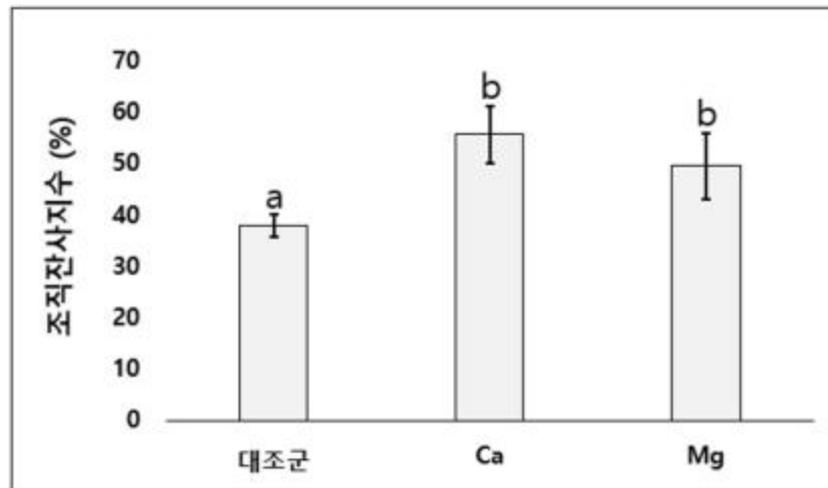


Figure 41. Integrity index of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution and MgCl_2 solution. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

(마) 고형분손실률 및 단백질손실률

- 무기질 용액을 이용하여 수화한 최적배합 조직화단백의 고형분손실률 및 단백질손실률은 Figure 42-43에 나타내었다.
- 대조군, 칼슘 첨가군 그리고 마그네슘 첨가군의 고형분손실률은 각각 $4.96 \pm 0.52\%$, $3.22 \pm 0.07\%$, $3.50 \pm 0.01\%$ 로 측정되었으며, 단백질손실률은 각각 $1.73 \pm 0.08\%$, $0.95 \pm 0.02\%$, $1.06 \pm 0.09\%$ 로 측정되었다. 무기질 첨가군의 고형분손실률 및 단백질손실률이 더 낮게 측정되었으며 이와 같은 결과는 무기질에 의해 형성된 아미노산 잔기 간의 salt bridge에 기인한다.
- salt bridge로 인해 더 강하게 결합한 조직화단백의 섬유구조가 수화 시, 고온의 수용액에서 조직화단백으로부터 분리되는 고형분 및 용해되는 수용성 물질의 양을 감소시킨 것으로 사료된다. 위와 같은 고형분손실률 및 단백질손실률의 감소는 수화 과정 이후 조직화단백의 회수율과 영양성을 증진할 수 있다.

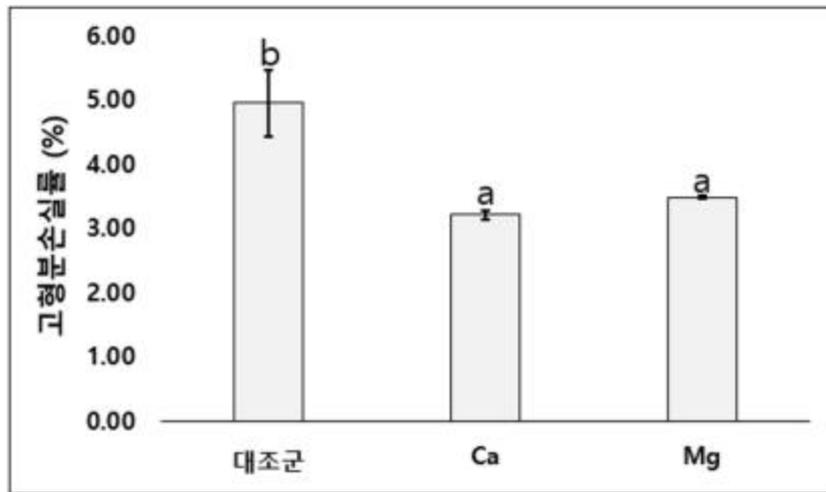


Figure 42. Solid loss rate index of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution and MgCl_2 solution. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

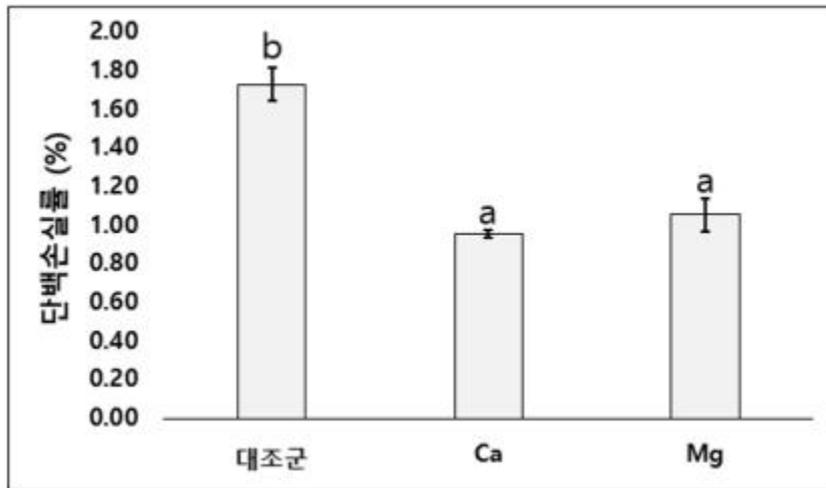


Figure 43. Protein loss rate index of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution and MgCl_2 solution. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

(바) 조직감

- 무기질 용액을 이용하여 수화한 최적배합 조직화단백의 조직감은 Figure 44-47에 나타내었다.
- 대조군, 칼슘 첨가군, 마그네슘 첨가군 그리고 우둔살의 경도는 각각 $6510 \pm 1234.63\text{g}$, $10881.25 \pm 2047.87\text{g}$, $8700 \pm 1508.98\text{g}$, $13122.50 \pm 914.95\text{g}$ 로 측정되었으며, 탄성은 각각 $94.37 \pm 3.76\%$, $96.15 \pm 4.44\%$, $86.54 \pm 3.85\%$, $76.92 \pm 5.44\%$ 로 측정되었다. 대조군, CaCl_2 첨가군, MgCl_2 첨가군 그리고 우둔살의 응집성은 각각 $87.40 \pm 9.47\%$, $67.20 \pm 9.10\%$, $64.44 \pm 7.75\%$, $55.99 \pm 1.82\%$ 로 측정되었으며, 씹음성은 각각 $4831.75 \pm 1196.08\text{g}$, $6951.64 \pm 1074.27\text{g}$, $4925.85 \pm 1339.25\text{g}$, $5647.07 \pm 541.832\text{g}$ 로 측정되었다.
- 칼슘 첨가군 및 마그네슘 첨가군은 대조군 대비 유의적으로 낮은 응집성과 높은 경도 및 씹음성을 나타내었다. 또한, 마그네슘 첨가군은 대조군 대비 유의적으로 낮은 탄성

을 나타내었다. 두 무기질 첨가군은 대조군 대비 응집성이 감소되고 경도가 증가하는 유사한 변화 양상을 나타냈지만 탄성 및 씹음성의 경우 상호 상이한 변화 양상을 나타내었습니다. 이와 같이 수화 시, 용액에 첨가하는 무기질 종류에 따라 다양한 조직감을 구현할 수 있을 것으로 사료됩니다.

- 무기질 첨가군의 대조군 대비 감소한 응집성과 증가된 경도는 무기질이 단백 아미노산 잔기 간기 간의 salt bridge를 형성함으로써 조직화단백 섬유구조의 기공의 크기가 작아지고 단백질간의 결합을 통해 더 조밀하게 변화한 결과로 사료된다.
- 칼슘 첨가군은 우둔살 대비 유의적으로 높은 응집성과 씹음성을 나타내었으며 더 낮은 경도를 나타내었다. 또한, 마그네슘 첨가군은 우둔살 대비 유의적으로 높은 응집성을 나타내었으며 더 낮은 경도와 씹음성을 나타내었다. 두 무기질 첨가군 모두, 우둔살 대비 높은 응집성 및 탄성과 낮은 경도를 나타내었다. 식육과 유사한 조직감을 구현하기 위해서는 탄성 및 응집성은 감소시키고 경도를 증가시킬 수 있도록 조직화단백의 기공 크기를 줄이고 결합력을 높일 수 있는 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

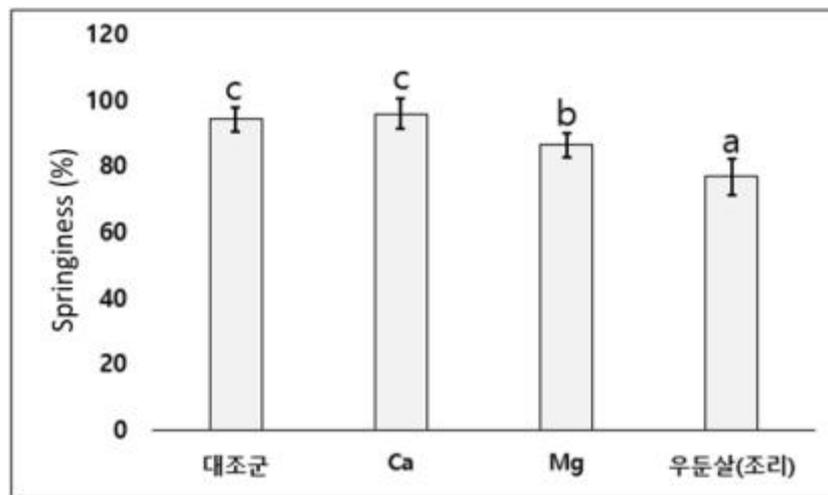


Figure 44. Springiness of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution and MgCl_2 solution. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

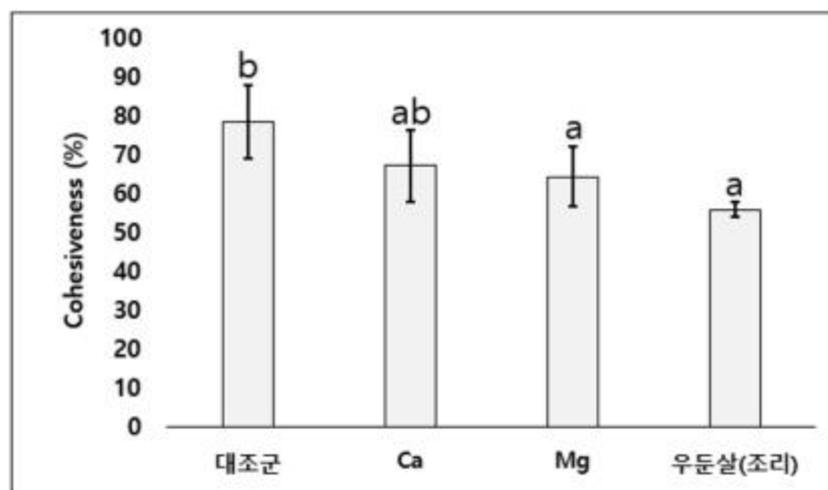


Figure 45. Cohesiveness of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution and MgCl_2 solution. Different letters on top of the columns represent significant differences

($p < 0.05$)

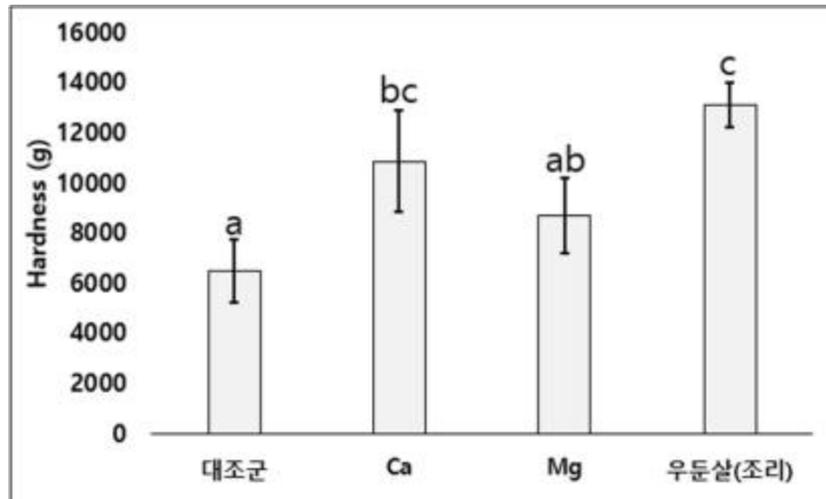


Figure 46. Hardness of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution and MgCl_2 solution. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$)

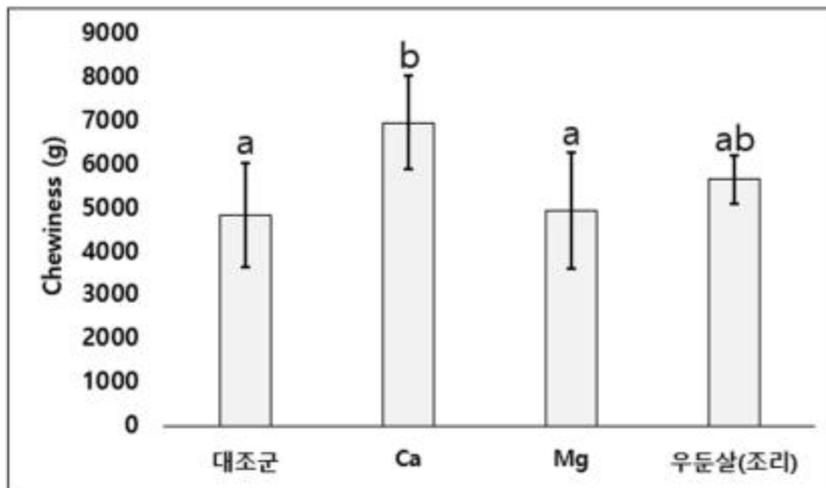


Figure 47. Chewiness of optimized textured vegetable protein hydrated in CaCl_2 solution and MgCl_2 solution. Different letters on top of the columns represent significant differences ($p < 0.05$).

소고기 부위별 특성 분석 및 대체육과의 유사성 규명

강원대학교

연구자 : 장애라

[소고기 부위별 특성 분석 및 대체육과의 유사성 규명]

(제2공동연구기관-강원대학교) - 장애라

1) 소고기 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기의 조직감 및 조리 특성 규명

(1) 연구수행 방법

가. 소고기의 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기 전단력, TPA, pH, 가열감량, 육색, 관능적 특성 분석

가) 실험재료

- 실험에 사용된 소고기의 5부위는 등심, 안심, 갈비, 양지, 우둔으로 도축 후 14일 이내의 육우 2등급 소고기를 서울 소재 축산물 도매 업체에서 구입하였다.
- 등심, 안심, 갈비, 양지, 우둔을 두께가 2.54cm 및 표면적이 약 25cm²가 되도록 자른 뒤 조리에 사용하였다.

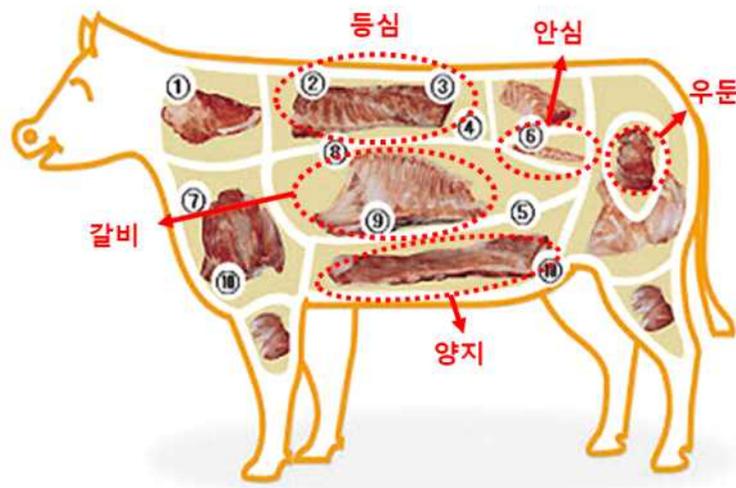


Figure 1. Representative portion of beef.

나) 실험방법

- 등심, 안심, 갈비의 경우 전자레인지, 삶기, 찌기, 팬그릴링, 오븐 조리를 적용했으며, 양지의 경우 전자레인지, 삶기 조리를 적용했다. 또한, 우둔의 경우 전자레인지, 삶기, 수비드 조리를 적용했다.
- 모든 조리방법은 심부 온도가 71℃ 이상이 되는 시점을 기준으로 하였다.

(가) 전자레인지 (Microwave)

- 전자레인지 (MW202LW, LG, Seoul, Korea)에 샘플을 전용 용기에 올려 1분 20초간 조리하였다.

(나) 삶기 (Boiling)

- 3-ply stainless steel (직경 20cm x 높이 10.5cm, kitchenflower, korea) 용기를 사용

하여 시료가 잠길 정도 (약 5배)의 증류수를 넣고 100℃에서 10분간 조리하였다.

(다) 찌기 (Steam)

- 전기 찌기 (DG6210, Bomann, Kempen, Germany)를 100℃로 예열하여 17분간 조리하였다.

(라) 팬그릴링 (Pan-grilling)

- 전기그릴 (가로 55cm x 세로 31cm x 높이 14cm, KAG-1455, Kitchenart, Incheon, Korea)를 180℃로 예열하여 앞면 11분, 뒷면 10분으로 총 21분간 조리하였다.

(마) 오븐 (Oven)

- 전기오븐 (KAJ-2020J, Kitchenart, Incheon, Korea)을 5분동안 170℃에서 예열한 뒤 15분간 조리하였다.

(바) 수비드 (Sous-vide)

- 항온수조 (JSWB-22T, Gongju, Korea)를 60℃로 예열한 뒤 진공팩에 시료를 넣고 진공포장 후 12시간 동안 조리하였다.

(사) 전단력 (shear force)

- 전단력은 Kim & Jang (2021)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료를 각 조리방법에 따라 가열한 후 근섬유 방향과 직각이 되도록 2×1×2.5cm로 잘라 준비하였다. 전단력은 Texture Analyzer TA 1 (LLOYD instruments, Fareham, UK)을 이용하여 V blade로 측정하였다. Texture Analyzer의 측정 조건은 test speed는 50mm/min, load cell은 500N이었다.

(아) Texture profile analysis (TPA) 분석

- 물성측정은 Texture Analyzer TA 1(LLOYD instruments, Fareham, UK)을 이용하여 측정하였다. 시료를 1.5 × 1.5 × 2.5cm의 형태로 자른 후 pre-test speed 10 mm/min, test speed 60 mm/min, compression ratio 75%, trigger force 20 gf 조건으로 분석하였다.

(자) pH

- 시료 10g을 90mL의 증류수와 함께 homogenizer (PolyTron ® PT-2500E, Kinematica, Switzerland)로 균질한 후, pH meter (Orion 230A, Thermo Fisher Scientific, Inc., Waltham, MA, USA)로 측정하였다.

(차) 가열감량 (cooking loss)

- 가열감량은 시료를 각 조리방법에 의하여 가열 후 꺼내어 방냉 후 무게를 측정하였으며, 다음의 식을 통하여 감량 (%)를 구하였다.
- 가열감량(%) = [(가열 전 시료무게(g)) - (가열 후 시료무게(g))] / 가열 전 시료무게(g) x 100

(카) 육색 (meat color)

- 육색은 색차계 (Colormeter CR-300, Minolta Co., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였다. Lightness (L^* , 명도), redness (a^* , 적색도), yellowness (b^* , 황색도)의 값은 동일한 방법으로 반복 측정하여 평균값을 나타내었다.

(타) 관능적 특성 (sensory characteristics)

- 관능적 특성은 훈련된 관능검사요원 15명을 선별하여 각 시험구별로 9점 척도법을 사용하여 평가하였다.
- 관능 항목은 육색, 맛, 냄새, 풍미, 연도, 다즙성, 종합적 기호도로 9점 척도법으로 평가하였다. 즉, 각 검사 요인별로 육색, 맛, 냄새, 풍미, 종합적 기호도는 1점이 매우 나쁘다, 9점이 매우 좋다고 평가하고, 연도는 1점이 매우 질기다, 9점이 매우 부드럽다, 다즙성은 1점이 매우 건조하다, 9점이 매우 다즙하다고 평가하였다.

(파) 통계분석 (statistical analysis)

- 본 실험의 결과는 SAS 프로그램의 General Linear Model (GLM)을 이용하여 일원배치 분산분석 (one-way ANOVA) 후 Tukey 방법에 의해 $P < 0.05$ 수준에서 유의성을 검정하였다. 결과는 평균값과 평균값의 표준평균오차 (standard error of means, SEM)으로 나타내었다. 모든 분석은 3반복 이상 실시하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 소고기의 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기 전단력, TPA, pH, 가열감량, 육색, 관능적 특성 분석

가) 조리방법별 소고기 등심의 조직감 및 조리 특성

Table 1. Shear force and TPA of beef loin by cooking method

Traits	Cooking method					SEM
	Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
Shear force (N)	33.18 ^b	37.40 ^{ab}	40.87 ^{ab}	36.36 ^{ab}	42.86 ^a	1.744
Hardness (N)	88.51 ^b	123.07 ^{ab}	124.34 ^{ab}	124.67 ^{ab}	150.48 ^a	11.042
Springiness	0.76 ^{ab}	0.60 ^{bc}	0.72 ^{ab}	0.79 ^a	0.53 ^c	0.035
Gumminess (N)	44.45	48.04	54.68	42.59	39.54	3.336
Chewiness (N)	22.66 ^b	31.26 ^a	32.41 ^a	32.05 ^a	34.68 ^a	1.590
Cohesiveness	0.46 ^a	0.41 ^{ab}	0.40 ^{ab}	0.43 ^{ab}	0.40 ^b	0.013

a-c Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 등심의 전단력 및 TPA 분석 결과는 Table 1에 나타내었다.
- 전자레인지법은 오븐조리법 보다 낮은 전단력과 경도를 나타내어 연도가 연한 것으로 판단되었다 ($p < 0.05$). 또한, 전자레인지법은 다른 조리방법보다 유의적으로 낮은 씹힘성을 나타내었다.
- 반면에 오븐조리법은 낮은 탄력성과 응집성을 나타내었다 ($p < 0.05$).

Table 2. The pH and meat color of beef loin by cooking method

Traits	Raw	Cooking method					SEM
		Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
pH	5.78	5.72 ^b	5.70 ^b	5.77 ^a	5.75 ^a	5.75 ^a	0.006
CIE L*	39.37	45.70 ^b	53.44 ^a	50.84 ^a	39.27 ^c	41.38 ^c	0.850
CIE a*	21.21	6.61 ^c	5.77 ^b	6.04 ^b	10.10 ^a	9.91 ^b	0.424
CIE b*	11.82	11.48 ^b	11.85 ^b	12.31 ^b	16.03 ^a	13.17 ^b	0.397

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05.

- 조리방법별 소고기 등심의 pH와 육색 분석 결과는 Table 2에 나타내었다.
- 조리하기 전의 생육 등심의 pH는 5.78로 일반적인 신선육의 범위를 나타내었으며, 조리 방법에 따라 팬그릴링법과 오븐법이 방법보다 높은 pH를 나타내었다 (p<0.05).
- 육색의 경우 L*값은 삶기법과 찌기법에서 유의적으로 높게 나타났으며, a*값과 b*값은 팬그릴링법에서 높게 나타났다 (p<0.05).

Table 3. Cooking loss and sensory characteristics of beef loin by cooking method

Traits	Cooking method					SEM
	Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
Cooking loss (%)	32.98	32.23	33.30	32.36	30.38	1.094
Sensory characteristics						
Color	7.80	7.13	7.53	6.80	7.60	0.265
Aroma	7.13	6.80	7.27	7.60	6.67	0.296
Taste	7.00	6.53	7.07	7.40	6.73	0.281
Flavor	6.80	6.07	6.53	7.13	7.07	0.272
Juiciness	5.73 ^{ab}	4.20 ^b	5.40 ^{ab}	5.40 ^{ab}	6.13 ^a	0.410
Tenderness	6.53 ^a	4.67 ^b	5.00 ^{ab}	5.73 ^{ab}	5.53 ^{ab}	0.414
Overall acceptability	7.07	6.00	6.30	6.97	6.97	0.278

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05

- 조리방법에 따른 소고기 등심의 가열감량 및 관능특성은 Table 3에 나타내었다. 조리방법에 따른 가열감량은 30.38~33.30%로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 관능특성 분석 결과, 전자레인지법이 높은 육색, 연도를 나타내는 경향을 보였으며, 삶기법은 낮은 연도와 다즙성을 나타내었다. 팬그릴링법은 높은 냄새와 맛을 나타내었으며, 오븐법은 높은 육색과 풍미, 다즙성을 나타내었다.
- 종합적으로 판단하였을 때 등심 부위의 경우 조리법 중 전자레인지, 팬그릴링, 오븐 방법을 선호하는 경향을 나타내었다.

나) 조리방법별 소고기 안심의 조직감 및 조리 특성

Table 4. Shear force and TPA of beef tenderloin by cooking method

Traits	Cooking method					SEM
	Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
Shear force (N)	29.88 ^c	30.76 ^{bc}	30.19 ^c	33.54 ^b	40.14 ^a	0.708
Hardness (N)	89.37 ^b	77.63 ^b	129.20 ^a	133.01 ^a	155.12 ^a	6.591
Springiness	0.70 ^c	0.86 ^a	0.83 ^{ab}	0.85 ^{ab}	0.77 ^{bc}	0.017
Gumminess (N)	56.66 ^{ab}	35.14 ^b	65.75 ^a	70.69 ^a	54.99 ^{ab}	5.365
Chewiness (N)	41.46 ^{bc}	30.39 ^c	49.31 ^b	62.53 ^a	50.04 ^{ab}	2.710
Cohesiveness	0.42 ^{ab}	0.39 ^b	0.43 ^{ab}	0.45 ^a	0.45 ^a	0.010

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 안심의 전단력 및 TPA 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전자레인지법, 삶기법은 오븐조리법 보다 낮은 전단력과 경도를 나타내어 연도가 연한 것으로 판단되었다 ($p < 0.05$). 또한, 전자레인지법과 삶기법은 다른 조리방법보다 유의적으로 낮은 씹힘성을 나타내었다.

Table 5. The pH and meat color of beef tenderloin by cooking method

Traits	Raw	Cooking method					SEM
		Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
pH	5.36	5.64 ^a	5.55 ^b	5.50 ^c	5.54 ^b	5.38 ^d	0.008
CIE L*	37.24	44.74 ^a	47.06 ^a	46.59 ^a	34.74 ^b	37.67 ^b	1.143
CIE a*	28.12	7.66 ^b	7.36 ^b	6.85 ^b	9.32 ^a	9.91 ^a	0.192
CIE b*	14.90	11.52 ^b	10.78 ^b	10.21 ^b	15.80 ^a	11.12 ^b	0.453

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 안심의 pH와 육색 분석 결과는 Table 5에 나타내었다. 조리하기 전의 생육 등심의 pH는 5.36로 일반적인 신선육의 범위를 나타내었으며, 조리방법에 따라 전자레인지법이 유의적으로 가장 높은 pH를 나타내었다 ($p < 0.05$). 육색의 경우 L*값은 전자레인지법, 삶기법과 찌기법에서 유의적으로 높게 나타났으며, a*값은 팬그릴링과 오븐법에서 b*값은 팬그릴링법에서 높게 나타났다 ($p < 0.05$).

Table 6. Cooking loss and sensory characteristics of beef tenderloin by cooking method

Traits	Cooking method					SEM
	Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
Cooking loss (%)	32.98	32.23	33.30	32.36	30.38	1.554
Sensory characteristics						
Color	6.40	6.33	6.47	5.77	6.07	0.394
Aroma	5.27 ^b	5.60 ^b	5.73 ^b	7.23 ^a	6.47 ^{ab}	0.369
Taste	6.20 ^{ab}	5.87 ^{ab}	5.57 ^b	7.03 ^a	6.47 ^{ab}	0.342
Flavor	5.67	5.80	5.43	6.87	6.33	0.383
Juiciness	4.40	6.00	4.40	4.47	5.60	0.428
Tenderness	6.07	6.27	5.40	5.93	5.73	0.434
Overall acceptability	5.67 ^{ab}	5.90 ^{ab}	5.57 ^b	6.87 ^a	6.43 ^{ab}	0.303

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 소고기 안심의 가열감량 및 관능특성은 Table 6에 나타내었다. 조리방법에 따른 가열감량은 30.38~32.98%로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 관능특성 분석 결과, 팬그릴링법과 오븐법은 높은 냄새, 맛, 풍미, 종합적 기호도를 나타내었다. 특히 팬그릴링법은 찌기법보다 유의적으로 높은 냄새, 맛, 종합적 기호도를 나타내었다 ($p < 0.05$). 또한, 오븐법과 삶기법은 높은 다즙성을 나타내었다.
- 종합적으로 판단하였을 때 안심 부위의 경우 조리법 중 팬그릴링과 오븐 방법을 선호하는 경향을 나타내었고 이는 냄새와 맛에 대한 높은 선호도 때문인 것으로 사료된다.

다) 조리방법별 소고기 갈비의 조직감 및 조리 특성

Table 7. Shear force and TPA of beef rib by cooking method

Traits	Cooking method					SEM
	Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
Shear force (N)	29.20	36.70	32.06	37.77	30.16	2.392
Hardness (N)	151.74 ^b	202.18 ^a	124.05 ^c	68.62 ^d	150.74 ^b	4.702
Springiness	0.68 ^a	0.52 ^b	0.84 ^a	0.77 ^a	0.72 ^a	0.035
Gumminess (N)	50.47 ^{bc}	78.38 ^a	63.24 ^{ab}	34.58 ^d	46.61 ^{cd}	3.327
Chewiness (N)	42.44 ^{ab}	47.43 ^a	33.17 ^{bc}	23.51 ^c	36.23 ^b	2.183
Cohesiveness	0.34	0.40	0.43	0.48	0.37	0.033

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 갈비살의 전단력 및 TPA 분석 결과는 Table 7에 나타내었다. 전단력은 모든 조리방법에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 삶기법과 팬그릴링법은 낮은 경도를 나타내어 연도가 연한 것으로 판단되었다 ($p < 0.05$). 또한, 팬그릴링법은 다른 조리방법보다 유의적으로 낮은 점착성과 씹힘성을 나타내었다 ($p < 0.05$). 반면에 삶기법은 높은 경도, 점착성, 씹힘성을 나타내었다 ($p < 0.05$).

Table 8. The pH and meat color of beef rib by cooking method

Traits	Raw	Cooking method					SEM
		Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
pH	6.14	6.42 ^a	6.43 ^a	6.28 ^b	6.43 ^a	6.37 ^a	0.015
CIE L*	38.57	39.02 ^a	40.96 ^a	43.37 ^a	25.14 ^b	36.65 ^a	2.403
CIE a*	22.30	9.28	8.63	7.71	10.24	8.87	0.670
CIE b*	12.35	12.60 ^a	11.71 ^{ab}	11.00 ^{ab}	9.36 ^b	13.26 ^a	0.510

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05.

- 조리방법별 소고기 갈비살의 pH와 육색 분석 결과는 Table 8에 나타내었다. 조리하기 전의 생육 등심의 pH는 6.14로 일반적인 신선육의 범위를 나타내었으며, 조리방법에 따라 찌기법이 다른 방법보다 낮은 pH를 나타내었다 (p<0.05). 육색의 경우 L*값과 b*값이 팬그릴링법에서 유의적으로 낮게 나타났다.

Table 9. Cooking loss and sensory characteristics of beef rib by cooking method

Traits	Cooking method					SEM
	Microwave	Boiling	Steam	Pan-grilling	Oven	
Cooking loss (%)	29.65	31.75	30.80	29.45	29.74	2.056
Sensory characteristics						
Color	7.27	7.10	7.27	7.63	7.37	0.248
Aroma	6.80 ^b	6.53 ^b	6.53 ^b	8.03 ^a	6.73 ^b	0.291
Taste	7.07 ^b	6.80 ^b	6.70 ^b	8.27 ^a	6.80 ^b	0.284
Flavor	6.67 ^b	6.73 ^b	6.67 ^b	8.40 ^a	6.77 ^b	0.284
Juiciness	6.07	6.90	6.77	7.20	7.10	0.304
Tenderness	6.20	6.73	6.43	6.93	7.10	0.349
Overall acceptability	6.57 ^b	6.67 ^b	6.40 ^b	8.33 ^a	6.93 ^b	0.244

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05.

- 조리방법에 따른 소고기 갈비살의 가열감량 및 관능특성은 Table 9에 나타내었다. 조리방법에 따른 가열감량은 29.45~31.75%로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 관능특성 분석 결과, 팬그릴링법이 높은 냄새, 맛, 풍미, 종합적 기호도를 나타내었다 (p<0.05).
- 종합적으로 판단하였을 때 갈비살 부위는 조리법 중 팬그릴링을 가장 선호하였다.

라) 조리방법별 소고기 양지의 조직감 및 조리 특성

Table 10. Shear force and TPA of beef brisket by cooking method

Traits	Cooking method		SEM
	Microwave	Boiling	
Shear force (N)	94.59 ^a	76.94 ^b	4.003
Hardness (N)	185.89 ^a	105.28 ^b	8.033
Springiness	0.80 ^b	0.89 ^a	0.013
Gumminess (N)	72.98 ^a	48.50 ^b	6.098
Chewiness (N)	78.54 ^a	41.85 ^b	3.924
Cohesiveness	0.52	0.53	0.012

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 양지의 전단력 및 TPA 분석 결과는 Table 10에 나타내었다. 삶기법은 전자레인지법보다 낮은 전단력과 경도, 점착성, 씹힘성을 나타내어 연도가 연한 것으로 판단되었다 ($p < 0.05$).

Table 11. The pH and meat color of beef brisket by cooking method

Traits	Raw	Cooking method		SEM
		Microwave	Boiling	
pH	5.49	5.72 ^a	5.61 ^b	0.007
CIE L*	39.57	36.60 ^b	44.88 ^a	1.528
CIE a*	22.22	8.28 ^a	7.43 ^b	0.203
CIE b*	10.95	11.55	11.62	0.343

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 양지의 pH와 육색 분석 결과는 Table 11에 나타내었다. 조리하기 전의 생육 양지의 pH는 5.49로 일반적인 신선육의 범위를 나타내었으며, 조리방법에 따라 전자레인지법이 삶기법보다 높은 pH를 나타내었다($p < 0.05$). 육색의 경우 L*값은 삶기법에서 유의적으로 높게 나타났으며, a*값은 전자레인지법에서 높게 나타났다 ($p < 0.05$).

Table 12. Cooking loss and sensory characteristics of beef brisket by cooking method

Traits	Cooking method		SEM
	Microwave	Boiling	
Cooking loss(%)	30.31	31.65	1.557
Sensory characteristics			
Color	6.93	7.13	0.211
Aroma	6.27	6.27	0.292
Taste	6.13	6.07	0.232
Flavor	6.13	5.77	0.352
Juiciness	4.87	4.97	0.362
Tenderness	3.80	3.87	0.352
Overall acceptability	5.53	5.40	0.236

- 조리방법에 따른 소고기 양지의 가열감량 및 관능특성은 Table 12에 나타내었다. 조리방법에 따른 가열감량은 30.31~31.65%로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 관능특성 분석 결과, 전자레인지법과 삶기법에 의해 관능적 차이를 느끼지 못하는 것으로 나타났다.

마) 조리방법별 소고기 우둔의 조직감 및 조리 특성

Table 13. Shear force and TPA of beef round by cooking method

Traits	Cooking method			SEM
	Microwave	Boiling	Sous vide	
Shear force (N)	70.56 ^b	87.46 ^a	49.57 ^c	3.150
Hardness (N)	114.12 ^{ab}	154.34 ^a	96.56 ^b	12.309
Springiness	0.80	0.75	0.83	0.039
Gumminess (N)	38.13 ^{ab}	32.47 ^b	40.49 ^a	1.625
Chewiness (N)	35.90	25.35	31.31	2.796
Cohesiveness	0.46 ^a	0.32 ^b	0.39 ^{ab}	0.020

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 우둔의 전단력 및 TPA 분석 결과는 Table 13에 나타내었다. 수비드법은 다른 조리법보다 낮은 전단력과 경도를 나타내어 연도가 연한 것으로 판단되었다 ($p < 0.05$). 반면에 삶기법은 낮은 점착성과 응집성을 나타내었다.

Table 14. The pH and meat color of beef round by cooking method

Traits	Raw	Cooking method			SEM
		Microwave	Boiling	Sous vide	
pH	5.33	5.43 ^b	5.42 ^b	5.48 ^a	0.004
CIE L*	42.52	40.35 ^b	44.87 ^a	34.02 ^c	0.678
CIE a*	26.46	11.50 ^a	8.39 ^b	6.56 ^c	0.417
CIE b*	14.84	12.83	12.72	12.17	0.314

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법별 소고기 우둔의 pH와 육색 분석 결과는 Table 14에 나타내었다. 조리하기 전의 생육 우둔의 pH는 5.33로 일반적인 신선육의 범위를 나타내었으며, 조리방법에 따라 수비드법이 다른 방법보다 높은 pH를 나타내었다 ($p < 0.05$). 육색의 경우 수비드법에서 유의적으로 낮은 L*값과 a*값을 나타내었다.

Table 15. Cooking loss and sensory characteristics of beef round by cooking method

Traits	Cooking method			SEM
	Microwave	Boiling	Sous vide	
Cooking loss (%)	30.82	31.78	28.32	0.958
Sensory characteristics				
Color	7.00	6.93	7.43	0.193
Aroma	6.53 ^{ab}	6.20 ^b	7.50 ^a	0.283
Taste	5.73 ^b	5.20 ^b	7.07 ^a	0.387
Flavor	5.53 ^{ab}	5.00 ^b	6.87 ^a	0.405
Juiciness	4.07	3.93	5.07	0.396
Tenderness	3.73 ^b	3.67 ^b	5.87 ^a	0.365
Overall acceptability	5.47 ^{ab}	5.03 ^b	6.53 ^a	0.358

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 소고기 우둔의 가열감량 및 관능특성은 Table 15에 나타내었다. 조리방법에 따른 가열감량은 28.32~31.78%로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 관능특성 분석 결과, 수비드법은 모든 관능특성이 전자레인지와 삶기보다 높은 경향을 나타내었다. 특히 수비드법은 맛과 연도에서 유의적으로 높은 선호도를 나타내었다 ($p < 0.05$).
- 종합적으로 판단하였을 때 우둔 부위는 조리법 중 수비드 방법을 가장 선호하였다.

2) 조리한 소고기의 질감에 영향을 미치는 영양성분 규명

(1) 연구수행 방법

가. 조리한 소고기의 질감에 영향을 미치는 일반성분 및 열량, 유리아미노산, 지방산조성, 미네랄, 콜라겐 함량 분석

가) 실험재료

- 실험재료는 1) - (1) - 가 - 가)와 같다.

나) 실험방법

(가) 일반성분 및 열량 (proximate composition and calories)

- 일반성분 조성 분석은 AOAC의 방법(1995)에 따라 수분, 조지방, 조회분, 조단백질 함량을 측정하였다. 수분은 105℃ 상압가열건조법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 550℃ 건식회화법, 조단백질은 Kjeldahl법을 이용하여 분석하였다. 열량은 단백질 1g당 4kcal, 지방 1g당 9kcal를 각각 곱하여 나타내었다.

(나) 유리아미노산 (free amino acid)

- 시료 5g에 증류수 15mL을 넣은 후 10,000rpm에서 균질화한 다음 3,000xg에서 10분간 원심분리 하였다. 상층액 1mL과 5% trichloroacetic acid(TCA) 1mL을 넣고 혼합한 다음 원심분리 12,000rpm, 15분 원심분리하여 상층액을 0.22µm membrane filter로 여과한 다음 분석 시료로 사용하였다. 유리 아미노산의 분석은 자동아미노산 분석기 (HITACHI L-8900 Amino Acid Analyzer)로 하였으며, 분석 조건은 HITACHI HPLC Packed Column(4.6 x 60mm, Ion Exchange column), column 온도는 37℃, 반응 온도는 135℃로 하였고, 분석시간은 120분으로 하였다. 각각 표준물질은 Sigma(St. Louis, Missouri, USA)에서 구입하여 사용하였으며, 표준물질의 농도에 따른 면적 비율을 계산하여 mg/100g로 나타내었다. 총 sweet, bitter, acid free amino acid의 합은 다음의 계산식을 통하여 구하였다.
- * Sweetness flavor = \sum of alanine, glycine, threonine, and serine
- * Bitterness flavor = \sum of leucine, valine, isoleucine, methionine, and phenylalanine
- * Acidic flavor = \sum of glutamic acid, aspartic acid, and histidine
- * Umami flavor = \sum of aspartic acid and glutamic acid.

(다) 지방산 조성 (fatty acid composition)

- 지방산 분석은 Folch (1957)등의 방법에 따라 Folch 용액(chloroform:methanol=2:1)을 사용하여 지방을 추출하였으며, 시료를 시험관에 취한 후, 0.5N의 NaOH 메탄올 용액 1.5mL를 첨가하여 vortex로 혼합한 뒤에 100℃에서 5분 동안 가열하였다. 다음 찬물에서 냉각 후, BF-메탄올 용액(약 10%, Supelco, Bellefonte, PA, USA) 2mL를 첨가하고 vortex 한 후에 100℃에서 2분 동안 다시 가열한 후 냉각하였다. 지방산 메틸에스테르(fatty acid methyl ester, FAME)들을 추출하기 위하여 iso-octane 2mL를 첨가한 후 1분 동안 vortex 하였다. 다음 포화 NaCl용액 1mL를 가한 후 1분 동안 충분히 vortex 한 후에, 원심분리기(2,000 rpm, 3분)를 이용하여 층 분리 하였다. FAME를 포함한 상층액(iso-octane층)을 GC vial에 옮겨 Table 16조건에 따라 GC 분석하였다.

Table 16. GC operating conditions for determination of fatty acid

Item	Condition
Instrument	Agilent 7890N, Agilent Technologies, USA
Column	Omegawax250 (30m × 0.25mm id, 0.25µm film thickness; Supelco, Bellefonte, PA, USA)
Detector	Flame Ionization Detector
Carrier gas	Helium(99.99%, Research purity)
Column flow rate	1.2mL/min
Split ratio	100:1, 1µL (Injection volume)
Injection port temperature	250°C
Detection port temperature	260°C
Oven temperature	150°C, hold for 2min 4°C/min up to 220°C, hold for 30min

(라) 미네랄 조성 (mineral composition)

- 미네랄 성분은 시료를 질산 습식법으로 전처리 후 유도결합플라즈마 분광기(OPTIMA 7300 DV, PerkinElmer, Shelton, CT, USA)로 분석하였다.

(마) 콜라겐 함량 (collagen content)

- 콜라겐 함량은 hydroxyproline을 표준물질로 하여 측정하였다(Kim et al. 2019). 시료 4g에 7N 황산을 30mL을 첨가하여 105°C dry oven에서 16시간 가수분해한 후 이를 여과하여 증류수를 이용하여 500mL로 정용하였다. 정용한 가수분해물 중 2mL을 취하여 이에 산화 용액 1mL을 첨가, 실온에서 20분간 반응시켰다. 산화된 용액에 발색시약 1mL을 첨가, 60°C에서 15분간 반응시켜 UV/VIS 분광광도계(SpectraMax M2e, Molecular Devices, USA)를 이용, 558nm에서 흡광도를 측정하였다. 농도별로 희석한 hydroxyproline을 통하여 시료 중 hydroxyproline의 양을 측정하였으며, 콜라겐 함량은 이에 상수 8을 곱하여 계산하였다.

(바) 통계분석 (statistical analysis)

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(2) 연구수행 결과

가. 조리한 소고기의 질감에 영향을 미치는 일반성분 및 열량, 유리아미노산, 지방산조성, 미네랄, 콜라겐 함량 분석

Table 17. Proximate composition and calories of beef cuts

Traits	Cuts					SEM
	Loin	Tenderloin	Rib	Round	Brisket	
Proximate composition (%)						
Moisture	63.92 ^c	69.80 ^b	56.88 ^d	72.79 ^a	70.56 ^b	0.264
Crude protein	19.07 ^c	21.63 ^b	15.34 ^d	23.57 ^a	20.02 ^c	0.326
Crude fat	15.02 ^b	6.54 ^c	24.37 ^a	5.03 ^c	6.87 ^c	0.419
Crude ash	0.88 ^{cd}	1.02 ^b	0.84 ^d	1.19 ^a	0.99 ^{bc}	0.029
Calories(kcal/100g)	211.43 ^b	145.35 ^c	280.67 ^a	139.54 ^c	141.87 ^c	4.466

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 부위별 소고기 내 일반성분 및 열량을 분석한 결과는 Table 17에 나타내었다. 부위별 수분 함량은 56.88~72.79%를 나타내었으며, 우둔육이 가장 높은 수분함량을 나타내었다 ($p < 0.05$). 조단백질 함량은 15.34~23.57%를 나타내었으며, 우둔육이 가장 높은 조단백질 함량을 나타내었다($p < 0.05$). 조지방 함량은 부위별로 큰 차이를 나타내어 갈비살이 24.37%로 가장 높게 나타났으며, 안심, 우둔, 양지는 5.03~6.87%로 낮은 조지방 함량을 나타내었다($p < 0.05$). 조회분 함량은 0.84~1.19%를 나타내었으며 우둔육이 유의적으로 높은 조회분 함량을 나타내었다.
- 부위별 100그램당 열량을 산출한 결과, 갈비살이 지방함량이 높아 280.67kcal/100g으로 가장 높은 열량을 나타내었으며, 반면에 지방함량이 낮았던 우둔과 양지는 각각 139.54와 141.87kcal/100g의 낮은 열량을 나타내었다($p < 0.05$).

Table 18. Free amino acid contents of beef cuts

Free amino acid (mg/100g)	Cuts					SEM
	Loin	Tenderloin	Rib	Round	Brisket	
Taurine	25.95 ^c	69.15 ^a	24.75 ^c	27.87 ^c	42.22 ^b	1.887
Phosphoethanol amine	0.76 ^b	1.36 ^a	1.15 ^{ab}	0.77 ^b	1.54 ^a	0.080
Urea	20.80 ^a	17.43 ^{ab}	10.10 ^c	13.99 ^{bc}	20.71 ^a	0.850
Aspartic acid	0.55 ^c	0.51 ^c	1.21 ^a	0.44 ^c	0.90 ^b	0.033
Theonine	7.25 ^{ab}	7.84 ^a	6.19 ^{bc}	6.01 ^{bc}	5.64 ^c	0.278
Serine	9.43 ^{ab}	11.04 ^a	8.59 ^b	7.86 ^{bc}	6.59 ^c	0.342
Asparagine	5.15 ^{ab}	5.67 ^a	4.19 ^{bc}	3.64 ^c	4.19 ^{bc}	0.190
Glutamic acid	7.70 ^a	7.60 ^a	9.64 ^a	9.50 ^a	3.68 ^a	2.763
Glutamine	57.24 ^c	99.81 ^b	116.60 ^a	51.37 ^{cd}	43.04 ^d	2.217
Glycine	11.12 ^a	9.36 ^{ab}	8.35 ^b	9.16 ^{ab}	11.01 ^{ab}	0.475
Alanine	37.76 ^{ab}	43.55 ^a	38.76 ^{ab}	30.42 ^b	40.68 ^a	1.750
Valine	8.54 ^{ab}	9.76 ^a	4.81 ^d	7.49 ^{bc}	6.46 ^{cd}	0.326
Methionine	4.27 ^b	5.28 ^a	2.22 ^c	4.31 ^b	2.70 ^c	0.135

Isoleucine	6.62 ^b	8.36 ^a	3.17 ^d	6.12 ^b	4.54 ^c	0.236
Leucine	12.39 ^b	17.34 ^a	6.55 ^c	11.63 ^b	8.29 ^c	0.451
Tyrosine	7.44 ^a	8.20 ^a	3.17 ^c	7.23 ^a	5.35 ^b	0.274
Phenylalanine	6.99 ^b	8.47 ^a	3.45 ^d	7.17 ^{ab}	5.08 ^c	0.245
β-Alanine	0.34 ^d	0.48 ^{cd}	0.76 ^a	0.52 ^b	0.63 ^{ab}	0.026
γ-Amino-n-butyric acid	0.08 ^b	0.00 ^c	0.09 ^{ab}	0.00 ^c	0.11 ^a	0.003
Tryptophan	2.06 ^a	1.41 ^b	0.67 ^d	1.42 ^b	1.09 ^c	0.045
Ethanol amine	0.07 ^b	0.00 ^c	0.12 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.000
Ammonia	9.95 ^b	12.51 ^a	6.73 ^c	10.82 ^{ab}	9.56 ^b	0.418
Ornithine	2.36 ^{bc}	2.76 ^b	4.06 ^a	2.09 ^c	2.15 ^{bc}	0.109
Lysine	10.84 ^a	10.63 ^a	6.27 ^b	8.73 ^{ab}	10.40 ^a	0.456
Histidine	5.61 ^a	4.59 ^{ab}	4.30 ^b	4.24 ^b	4.81 ^{ab}	0.216
Anserine	50.91 ^b	87.27 ^a	20.43 ^c	96.95 ^a	58.52 ^b	2.709
Carnosine	260.66 ^b	267.59 ^b	155.13 ^c	341.28 ^a	254.99 ^b	11.114
Arginine	9.94 ^a	9.24 ^a	6.61 ^b	7.89 ^{ab}	9.68 ^a	0.421
Totals	582.78 ^{bc}	727.20 ^a	458.07 ^c	678.92 ^{ab}	564.54 ^{bc}	23.985

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 부위별 소고기 내 유리아미노산 함량 분석 결과는 Table 18에 나타내었다. 유리아미노산은 풍미에 관여하는 수용성의 전구물질로서 고기의 맛에도 중요한 역할을 한다(Wasserman & Gray, 1965; Macleod & Ames, 1986).
- 맛을 나타내는 각각의 유리아미노산은 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛 및 우마미(umami)와 같은 맛으로 구분할 수 있다(Kirimura et al., 1969; Brand & Bryant, 1994). 단맛 계열의 유리아미노산은 serine, asparagine, glycine, alanine, methionine, lysine 및 proline 등이 있고, 쓴맛 계열은 valine, isoleucine, leucine, tyrosine, tryptophan, histidine, phenylalanine 및 arginine 등이 있으며, 신맛 계열은 aspartic acid 등에 의하여 나타난다(Macleod, 1994; Spanier et al., 1992). 우마미는 단맛, 신맛, 쓴맛, 짠맛과 더불어 다섯 가지 기본맛 중의 하나이다. Glutamic acid가 우마미를 나타내는데 monosodium glutamate (MSG)의 주성분으로서 정미에 가장 큰 영향을 미치며, 다른 정미성분과 공존할때 맛의 상승작용을 나타낸다(Kurihara, 1987).
- 총 유리아미노산의 함량은 458.07~727.20mg/100g을 나타내었으며, 안심이 727.20mg/100g으로 가장 높은 총 유리아미노산 함량을 나타내었다($p < 0.05$). 감칠맛을 나타내는 glutamic acid는 부위별로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 신맛을 나타내는 aspartic acid 함량은 등심, 안심, 우둔 부위에서 낮게 나타났다($p < 0.05$). 단맛을 나타내는 asparagine, alanine 함량은 안심에서 높게 나타났다($p < 0.05$). 쓴맛을 나타내는 valine, tyrosine, tryptophan, histidine, arginine 함량은 갈비살에서 낮게 나타내었다($p < 0.05$).

Table 19. Fatty acid composition of beef cuts

Fatty acid (%)	Cuts					SEM
	Loin	Tenderloin	Rib	Round	Brisket	

C14:0(myristic acid)	4.86 ^a	3.05 ^d	3.41 ^c	2.86 ^e	4.11 ^b	0.017
C16:0(palmitic acid)	29.82 ^a	27.24 ^c	26.11 ^d	26.09 ^d	28.73 ^b	0.026
C16:1n7(palmitoleic acid)	5.51 ^b	3.74 ^e	5.05 ^c	4.52 ^d	6.83 ^a	0.013
C18:0(stearic acid)	12.39 ^b	13.40 ^a	11.12 ^c	10.57 ^d	9.14 ^e	0.033
C18:1n9(oleic acid)	42.32 ^d	45.96 ^b	48.42 ^a	48.44 ^a	45.22 ^c	0.044
C18:1n7(vaccenic acid)	2.06 ^d	2.24 ^c	2.65 ^a	2.27 ^c	2.51 ^b	0.025
C18:2n6(linoleic acid)	2.29 ^e	3.13 ^b	2.61 ^c	3.64 ^a	2.53 ^d	0.004
C18:3n6(r-linolenic acid)	0.00 ^d	0.02 ^c	0.05 ^b	0.07 ^a	0.06 ^b	0.002
C18:3n3(a-linolenic acid)	0.00 ^c	0.00 ^c	0.08 ^b	0.10 ^a	0.08 ^b	0.004
C20:1n9(eicosenoic acid)	0.23 ^b	0.34 ^a	0.22 ^b	0.14 ^c	0.16 ^c	0.003
C20:4n6(arachidonic acid)	0.32 ^d	0.70 ^b	0.19 ^e	1.11 ^a	0.50 ^c	0.003
C20:5n3(eicosapentaenoic acid)	0.12 ^a	0.03 ^b	0.00 ^c	0.02 ^b	0.00 ^c	0.007
C22:4n6(adrenic acid)	0.08 ^c	0.16 ^a	0.08 ^c	0.16 ^a	0.12 ^b	0.005
C22:6n3(docosahexaenoic acid)	0.00 ^a	0.000				
SFA	47.07 ^a	43.68 ^b	40.64 ^d	39.52 ^e	41.99 ^c	0.038
UFA	52.93 ^e	56.32 ^d	59.36 ^b	60.48 ^a	58.01 ^c	0.038
MUFA	50.12 ^e	52.28 ^d	56.35 ^a	55.38 ^b	54.71 ^c	0.032
PUFA	2.81 ^e	4.04 ^b	3.01 ^d	5.10 ^a	3.30 ^c	0.010
MUFA/SFA	1.07 ^e	1.39 ^b	1.40 ^a	1.20 ^d	1.30 ^c	0.002
PUFA/SFA	0.06 ^e	0.07 ^d	0.13 ^a	0.09 ^b	0.08 ^c	0.000

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$; SFA, saturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid.

- 부위별 소고기 내 지방산 조성 분석 결과는 Table 19에 나타내었다. 부위별 소고기 내 주요 지방산은 palmitic acid(C16:0), stearic acid(C18:0), oleic acid(C18:1n9)로 나타났었다.
- 소고기의 풍미에 가장 큰 영향을 미치는 oleic acid는 부위별로 42.32~48.44%를 나타내었으며, 갈비살과 우둔에서 유의적으로 높게 나타났었다. 필수지방산인 linoleic acid(C18:2n6)와 stearic acid 함량이 증가하는 것은 향미에 좋지 않은 영향을 주는 것으로 보고되었는데(Beare, 1962), linoleic acid는 등심육에서 가장 낮게 나타났으며 stearic acid는 양지부위에서 가장 낮게 나타났었다($p < 0.05$).
- 부위별 소고기 내 총 포화지방산은 39.52~47.07%로 나타났으며 등심이 유의적으로 가장 높은 총 포화지방산 함량을 나타내었다. 불포화지방산 중 단가불포화지방산(MUFA)은 식육의 기호도에 영향을 미칠수 있는데(Seol et al., 2015) 갈비살에서 가장 높은 MUFA 함량을 나타내었고 이에 따라 MUFA/SFA 비율 또한 가장 높았다($p < 0.05$).

Table 20. Mineral contents of beef cuts

Minerals (mg/100g)	Cuts					SEM
	Loin	Tenderloin	Rib	Round	Brisket	
K	286.02 ^c	317.23 ^b	199.60 ^e	268.21 ^d	332.42 ^a	3.247
Na	51.22 ^c	60.13 ^{bc}	69.67 ^b	85.98 ^a	56.82 ^c	2.529
Mg	18.80 ^{bc}	22.13 ^{ab}	16.27 ^c	21.17 ^{ab}	24.10 ^a	0.783
Ca	4.40 ^{ab}	4.38 ^{ab}	3.73 ^c	4.48 ^a	3.90 ^{bc}	0.109
P	202.10 ^a	198.03 ^a	110.00 ^d	145.47 ^c	166.75 ^b	2.671
Fe	4.30 ^a	3.90 ^b	2.93 ^c	2.70 ^{cd}	2.55 ^d	0.073

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 부위별 소고기 내 무기질 함량은 Table 20에 나타내었다. 양지는 다른 부위보다 유의적으로 높은 K과 Mg 함량을 나타내었으며, 우둔은 다른 부위보다 높은 Na, Ca 함량을 나타내었다 ($p < 0.05$). 또한, P은 등심과 안심에서 높게 나타났으며, Fe은 등심에서 가장 높게 나타났다 ($p < 0.05$).

Table 21. Collagen contents of beef cuts

Trait	Cuts					SEM
	Loin	Tenderloin	Rib	Round	Brisket	
Collagen (g/100g)	1.45 ^b	0.96 ^c	2.08 ^a	2.13 ^a	2.33 ^a	0.090

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 부위별 소고기 내 콜라겐 함량은 Table 21에 나타내었다. 갈비살, 우둔, 양지 부위는 등심과 안심보다 유의적으로 높은 콜라겐 함량을 나타내었으며, 안심은 가장 낮은 콜라겐 함량을 나타내었다($p < 0.05$).

3) 소고기 부위별 풍미 비교 분석

(1) 연구수행 방법

가. 조리한 소고기의 풍미에 영향을 미치는 유리아미노산, 지방산조성, 핵산 물질, 휘발성 유기 화합물 분석

가) 실험재료

- 실험재료는 1) - (1) - 가 - 가)와 같다.

나) 실험방법

(가) 조리방법

- 조리방법은 1) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(나) 유리아미노산 (free amino acid)

- 유리아미노산 분석은 2) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(다) 지방산 조성 (fatty acid composition)

- 지방산조성 분석은 2) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(라) 핵산 물질 함량 (nucleotide contents)

- 핵산물질 분석은 핵산 물질 조성은 Lee et al. (1984) 방법을 일부분 변형하여 분석하였다. 샘플에 0.7M perchloric acid (PCA)를 첨가 및 균질하였다. 이후 2,000xg, 15분, 0°C에서 원심분리 후 Whatman No. 4 여과지를 사용하여 여과 후 5N KOH를 이용하여 pH 6.5로 조정 후 매스 플라스크에 0.7M PCA (pH 6.5, 5N KOH로 조정)로 100ml로 조정 후 냉각 후 1,000xg, 10분, 0°C에서 원심분리 후 상층액을 0.22um syringe filter로 여과 후 HPLC (Agilent 1260 Infinity, Agilent technologies)로 분석하였다. 분석 조건은 Nova-pak C18 column (150 × 3.9 mm, 4-µm particles; Waters, Milford MA, USA)을 이용하여 1.0mL/min 유속으로 1% trimethylamine · phosphoric acid (pH 6.5)를 사용하였으며, injection volume 10uL, running time 30분, column temperature 40°C, detection wavelength 254nm 조건으로 분석하였다. AMP, ADP, ATP, IMP, inosine, hypoxanthine (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 standard로 하여 얻은 standard curve를 이용하여 각 핵산물질의 함량을 정량분석하였다. HPLC 조건은 아래 테이블과 같다.

Table 22. HPLC operating conditions for determination of nucleotide

Item	Condition
Instrument	Agilent Infinity 1260 series, Agilent Technologies, USA
Column	Nova-Pak C18 column(3.9 x 150mm, 4µm, waters, USA)
Column temperature	40°C
Mobile phase	1% triethylamine(phosphoric acid, pH7.0)
flow rate	1ml/min
Injection volume	10µL
Detector	254nm

(마) 휘발성 유기 화합물 (volatile organic compound)

- 휘발성 유기 화합물 (VOC) 분석은 Lv et al. (2019)의 headspace SPME-GC/MS 방법을 이용하여 분석하였다. 시료 5g을 glass vial에 취한 뒤 60°C의 water bath에서 25분간 인큐베이팅 후, DVB/ CAR/PDMS—50/30 µm (needle length 1 cm, needle size 24 ga) (Sigma Aldrich) fiber를 이용하여 vial 내부에 삽입 후 headspace 공간에서 30분간 60°C에서 흡착 후 fiber를 제거하여 바로 GC/MS에 injection 하여 분석하였다. 분석은 Agilent 8890 gas chromatograph coupled to an Agilent 5977B mass spectrometer (Agilent technologies) 장비를 이용하여 He 가스를 carrier gas

(constant flow 1.3mL/min)로 하여 DB-5MS column (30 m, 0.25 mm i.d., 0.25 µm film thickness, Agilent Technologies)을 이용하여 분석하였다. Oven temperature는 40°C에서 10분간 유지하고, 분당 5°C씩 250°C까지 증가 시켰다. MS의 경우 electron energy는 70eV 및 scan range는 30-300m/z (scan rate: 4.37 scans/s, gain factor: 1, resulting EM voltage: 1140 V), MS source는 230°C quadrupole 150°C로 설정하였다.

(바) 통계분석 (statistical analysis)

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(2) 연구수행 결과

가. 조리한 소고기의 풍미에 영향을 미치는 유리아미노산, 지방산조성, 핵산 물질, 휘발성 유기 화합물 분석

가) 유리아미노산 분석

- 유리아미노산은 Maillard 반응과 Strecker 반응을 통해 고기의 좋은 풍미와 맛에 기여하는 것으로 알려져 있다(Macleod & Ames, 1986; Dashmaa et al., 2015).
- 유리아미노산은 맛의 기준에 따라 구분이 가능하며, 단맛, 짠맛, 신맛, 쓴맛 및 umami (감칠맛)와 같은 맛으로 구분이 가능하다(Kirimura et al., 1969; Brand & Bryant, 1994).
- 단맛을 내는 아미노산에는 methionine, alanine, glycine, proline, serine, lysine 및 asparagine 등이 있고, umami맛을 내는 아미노산에는 glutamic acid와 aspartic acid가 있으며(Cindy et al., 2016), 이로 인하여 glutamic acid와 aspartic acid 함량의 합을 통해 umami score를 계산할 수 있다(Kim et al., 2017). 또한, 쓴맛을 내는 아미노산에는 valine, isoleucine, leucine, tyrosine, tryptophan, histidine, phenylalanine 및 arginine이 있으며, 신맛의 경우 aspartic acid가 해당된다(Spanier et al., 1992; Dashmaa et al., 2015).
- 또한 carnosine의 경우 수용성 펩타이드의 한 종류로 MSG-like taste와 관계되어 있으며, 고기의 umami 풍미를 부여한다(Dashdorj et al., 2015).
- 황을 함유하는 아미노산(sulfur-containing free amino acid)의 경우 methionine과 cysteine이 대표적인데, 이들은 meat-like sweet flavor에 기여할 수 있으며, 또한 phenylalanine과 tyrosine의 경우 acidic amino acid인 aspartic acid와 glutamic acid의 존재 하에 고기의 savory 또는 umami 풍미에 기여할 수 있다(Dashdorj et al., 2015).

Table 23. Free amino acids of dairy beef loin by cooking methods

Free amino acid (mg/100g)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Tau (Taurine)	25.95 ^a	5.83 ^b	7.38 ^b	7.03 ^b	7.73 ^b	5.88 ^b	0.387
PEA (Phosphoethanol amine)	0.76 ^a	0.19 ^b	0.25 ^b	0.27 ^b	0.27 ^b	0.22 ^b	0.020
Urea	20.81 ^a	6.76 ^d	8.61 ^{bc}	9.24 ^b	9.45 ^b	7.67 ^{cd}	0.198
Asp (Aspartic acid)	0.55 ^a	0.10 ^c	0.16 ^b	0.09 ^c	0.07 ^c	0.11 ^c	0.008
Thr (Theonine)	7.26 ^a	1.82 ^c	2.20 ^{bc}	2.16 ^{bc}	2.43 ^b	1.92 ^c	0.077

Ser (Serine)	9.43 ^a	2.02 ^c	2.44 ^{bc}	2.39 ^{bc}	2.78 ^b	2.10 ^c	0.102
AspNH2 (Asparagine)	5.15 ^a	1.10 ^c	1.31 ^{bc}	1.38 ^{bc}	1.52 ^b	1.16 ^c	0.058
Glu (Glutamic acid)	7.71 ^a	1.63 ^b	2.01 ^b	1.87 ^b	2.29 ^b	1.63 ^b	0.121
GluNH2 (Glutamine)	57.25 ^a	9.85 ^b	11.34 ^b	11.37 ^b	10.57 ^b	9.54 ^b	0.682
Gly (Glycine)	11.12 ^a	3.35 ^d	4.08 ^{bc}	4.22 ^{bc}	4.60 ^b	3.59 ^{cd}	0.119
Ala (Alanine)	37.76 ^a	9.50 ^c	11.43 ^{bc}	11.52 ^{bc}	13.15 ^b	9.77 ^c	0.392
Val (Valine)	8.54 ^a	2.41 ^c	2.87 ^{bc}	2.85 ^{bc}	3.33 ^b	2.51 ^c	0.098
Met (Methionine)	4.27 ^a	1.07 ^c	1.28 ^{bc}	1.23 ^{bc}	1.57 ^b	1.01 ^c	0.077
Ile (Isoleucine)	6.62 ^a	1.89 ^d	2.30 ^{bc}	2.24 ^{cd}	2.66 ^b	2.00 ^{cd}	0.073
Leu (Leucine)	12.39 ^a	3.32 ^c	3.99 ^{bc}	3.86 ^{bc}	4.59 ^b	3.47 ^c	0.142
Tyr (Tyrosine)	7.45 ^a	2.02 ^c	2.37 ^{bc}	2.28 ^{bc}	2.64 ^b	2.02 ^c	0.099
Phe (Phenylalanine)	6.99 ^a	1.88 ^c	2.23 ^{bc}	2.09 ^{bc}	2.43 ^b	1.94 ^c	0.072
b-Ala (β -Alanine)	0.34 ^a	0.10 ^b	0.12 ^b	0.13 ^b	0.08 ^b	0.11 ^b	0.031
g-ABA (γ -Amino-n-butyric acid)	0.09 ^a	0.02 ^c	0.03 ^{bc}	0.03 ^{bc}	0.04 ^b	0.02 ^c	0.003
Trp (Tryptophan)	2.06 ^a	0.48 ^c	0.58 ^{bc}	0.55 ^{bc}	0.69 ^b	0.51 ^c	0.028
EOH2 (Ethanolamine)	0.07 ^a	0.02 ^b	0.02 ^b	0.03 ^b	0.06 ^a	0.02 ^b	0.004
NH3 (Ammonia)	9.95 ^a	3.59 ^d	4.34 ^c	4.39 ^c	5.72 ^b	4.02 ^{cd}	0.108
Orn (Ornithine)	2.36 ^a	0.38 ^b	0.46 ^b	0.47 ^b	0.49 ^b	0.40 ^b	0.023
Lys (Lysine)	10.84 ^a	2.94 ^d	3.63 ^{bc}	3.56 ^{bd}	3.87 ^b	3.04 ^{cd}	0.119
His (Histidine)	5.62 ^a	1.42 ^c	1.69 ^{bc}	1.66 ^{bc}	1.87 ^b	1.49 ^c	0.061
Ans (Anserine)	50.91 ^a	20.86 ^d	23.35 ^{cd}	25.28 ^{bc}	27.51 ^b	21.79 ^d	0.518
Car (Carnosine)	260.66 ^a	104.89 ^d	123.45 ^{bc}	128.85 ^{bc}	137.21 ^b	113.48 ^{cd}	3.092
Arg (Arginine)	9.94 ^a	2.76 ^c	3.36 ^{bc}	3.26 ^{bc}	3.63 ^b	2.80 ^c	0.127
Sweet FAA	65.56 ^a	16.68 ^c	20.14 ^{bc}	20.29 ^{bc}	22.95 ^b	17.36 ^c	0.686
Bitter FAA	38.80 ^a	10.55 ^c	12.66 ^{bc}	12.25 ^{bc}	14.58 ^b	10.91 ^c	0.446
Acid FAA	13.86 ^a	3.14 ^b	3.85 ^b	3.62 ^b	4.23 ^b	3.22 ^b	0.193
Totals	582.78 ^a	192.14 ^d	227.23 ^{bcd}	234.25 ^{bc}	253.21 ^b	204.16 ^{cd}	6.675

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 등심의 유리아미노산 조성을 Table 23에 나타내었다.
- 총 유리아미노산은 모든 조리방법에 의해 감소했으며($p < 0.05$), 이 중 boiling의 총 아미노산함량이 가장 낮았으며, oven 및 pan과 유의적인 차이를 보였으나 microwave와 steam과는 유의적인 차이가 없었다.
- 이는 glycine, alanine, serine, proline, tyrosine 등 15여개의 아미노산이 수용성으로 (Dashdorj et al., 2015), 물을 직접적으로 사용하는 boiling 조리 과정에서 다량의 수용성 아미노산들이 cooking medium으로 용출되었기에 가장 적은 경향을 보인 것으로 사료된다.
- Umami 관련 아미노산의 경우 glutamic acid는 pan, microwave, oven 순으로 높았으며, boiling과 steam은 동일한 양을 보였으나 조리육 간에 유의적인 차이는 없었다. 또한 aspartic acid의 경우 microwave, steam, boiling, oven, pan 순으로 높았으며 microwave가 가장 높은 함량을 보였고($p < 0.05$), 나머지 조리육 간의 유의적인 차이는 없었다. glutamic acid는 monosodium glutamate (MSG)의 주성분으로서 정미에 가장 큰 영향을 미치며, 다른 정미성분과 공존할 때 맛의 상승작용을 나타낸다는 점을 미루어 볼 때(Kurihara, 1987), 건열로 조리하는 방식인 pan, microwave, oven이 습열인 steam과 boiling에 비하여 비교적 glutamic acid를 더 보유할 수 있다고 판단된다.
- Carnosine의 경우 모든 유리아미노산 중 가장 많은 양으로 분석되었으며, pan, oven, microwave, steam, oven 순으로 높았으며 pan이 습열 조리방식인 boiling 및 steam과 비교하여 유의적으로 높은 수치를 보여주었다. 이 또한 glutamic acid와 마찬가지로 수분을 사용하는 조리방법이 그렇지 않은 방법에 비하여 조리 중 carnosine을 더 많이 용출

시켰을 것으로 사료된다.

Table 24. Free amino acids of dairy beef tenderloin by cooking methods

Free amino acid (mg/100g)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro- wave	Oven	Pan- grilling	Steam	
Tau (Taurine)	69.15 ^a	30.12 ^c	39.06 ^b	32.21 ^{bc}	37.12 ^{bc}	29.80 ^c	1.354
PEA (Phosphoethanol amine)	1.36 ^a	0.37 ^b	0.46 ^b	0.36 ^b	0.43 ^b	0.34 ^b	0.071
Urea	17.44 ^a	5.02 ^c	6.46 ^{bc}	7.63 ^b	7.96 ^b	5.78 ^c	0.273
Asp (Aspartic acid)	0.51 ^a	0.09 ^c	0.12 ^{bc}	0.14 ^b	0.14 ^b	0.15 ^b	0.005
Thr (Theonine)	7.84 ^a	1.41 ^d	1.69 ^{cd}	2.28 ^{bc}	2.54 ^b	1.63 ^{cd}	0.128
Ser (Serine)	11.04 ^a	1.96 ^d	2.37 ^{cd}	3.10 ^{bc}	3.59 ^b	2.12 ^{cd}	0.188
AspNH ₂ (Asparagine)	5.68 ^a	0.94 ^d	1.17 ^{cd}	1.47 ^{bc}	1.68 ^b	1.01 ^d	0.079
Glu (Glutamic acid)	7.60 ^a	3.16 ^a	3.75 ^a	3.60 ^a	4.07 ^a	3.33 ^a	2.512
GluNH ₂ (Glutamine)	99.81 ^a	31.98 ^c	40.66 ^b	33.63 ^{bc}	30.81 ^{cd}	23.49 ^d	1.329
Gly (Glycine)	9.36 ^a	2.22 ^d	2.71 ^{cd}	3.47 ^{bc}	3.94 ^b	2.32 ^d	0.179
Ala (Alanine)	43.56 ^a	12.02 ^c	15.25 ^{bc}	16.19 ^{bc}	19.06 ^b	12.13 ^c	0.783
Val (Valine)	9.76 ^a	1.78 ^d	2.06 ^{cd}	3.05 ^{bc}	3.61 ^b	2.00 ^d	0.182
Met (Methionine)	5.28 ^a	0.86 ^c	0.97 ^c	1.56 ^b	1.98 ^b	0.71 ^c	0.092
Ile (Isoleucine)	8.36 ^a	1.37 ^d	1.57 ^{cd}	2.35 ^{bc}	2.83 ^b	1.56 ^{cd}	0.145
Leu (Leucine)	17.35 ^a	2.75 ^d	3.12 ^{cd}	4.61 ^{bc}	5.42 ^b	3.11 ^{cd}	0.293
Tyr (Tyrosine)	8.20 ^a	1.46 ^c	1.69 ^c	2.58 ^b	2.93 ^b	1.58 ^c	0.147
Phe (Phenylalanine)	8.47 ^a	1.50 ^d	1.72 ^{cd}	2.47 ^{bc}	2.85 ^b	1.73 ^{cd}	0.139
b-Ala (β-Alanine)	0.49 ^a	0.16 ^c	0.19 ^{bc}	0.18 ^{bc}	0.22 ^b	0.18 ^{bc}	0.011
Trp (Tryptophan)	1.42 ^a	0.20 ^d	0.20 ^d	0.41 ^c	0.49 ^b	0.20 ^d	0.014
NH ₃ (Ammonia)	12.51 ^a	4.53 ^c	5.70 ^c	5.61 ^c	8.20 ^b	5.55 ^c	0.291
Orn (Ornithine)	2.76 ^a	0.63 ^c	0.81 ^b	0.90 ^b	0.85 ^b	0.57 ^c	0.03
Lys (Lysine)	10.63 ^a	1.71 ^c	2.06 ^c	3.14 ^b	3.46 ^b	1.93 ^c	0.185
His (Histidine)	4.59 ^a	1.13 ^d	1.34 ^{cd}	1.67 ^{bc}	1.92 ^b	1.14 ^d	0.093
Ans (Anserine)	87.27 ^a	33.88 ^b	39.52 ^b	34.95 ^b	42.18 ^b	36.15 ^b	1.760
Car (Carnosine)	267.59 ^a	87.88 ^c	102.04 ^{bc}	108.67 ^{bc}	123.88 ^b	95.48 ^{bc}	5.436
Arg (Arginine)	9.24 ^a	1.85 ^d	2.32 ^{cd}	3.19 ^{bc}	3.53 ^b	2.20 ^d	0.160
Sweet FAA	71.79 ^a	17.60 ^d	22.00 ^{bcd}	25.03 ^{bc}	29.12 ^b	18.19 ^{cd}	1.266
Bitter FAA	49.20 ^a	8.25 ^d	9.42 ^d	14.02 ^{bc}	16.68 ^b	9.10 ^{cd}	0.851
Acid FAA	12.69 ^a	4.38 ^a	5.21 ^a	5.40 ^a	6.12 ^a	4.62 ^a	2.438
Totals	727.20 ^a	230.93 ^c	278.98 ^{bc}	279.35 ^{bc}	315.63 ^b	236.12 ^c	11.595

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 안심의 유리아미노산 조성을 Table 24에 나타내었다.
- 총 유리아미노산은 모든 조리방법에 의해 감소했으며($p < 0.05$), 조리방법 중 boiling의 총 아미노산함량이 가장 낮은 경향을 보였으며, steam의 경우 가장 높은 값을 나타내었다. 또한 steam의 경우 pan과 비교하여 유의적으로 낮은 값을 보였으나 나머지 조리육과는 차이가 없었다. 등심과 유사하게 건열 조리가 습열에 비하여 더 많은 유리아미노산을 보유할 수 있다고 사료된다.
- Umami 관련 아미노산의 경우 glutamic acid는 조리육 간에는 유의적인 차이가 없었으나 pan, microwave, oven, steam, boiling 순으로 높은 경향을 보여주어 건열 조리가 더 많은 glutamic acid를 보유하여 등심과 유사한 경향을 보여주었다. 생육의 glutamic acid 함량은 안심과 등심이 유사했으나 조리육의 함량에서는 안심에서 더 많은 glutamic acid가 남아있었다. 또한, aspartic acid의 경우 steam, pan, oven, microwave, boiling 순으로 높은 경향을 보였으며 boiling이 oven, pan, steam에 비하여 유의적으로 낮았으며,

glutamic acid와는 다르게 등심과 경향이 다른 모습을 보여주었다.

- Carnosine의 경우 등심과 마찬가지로 가장 많은 양을 차지하는 아미노산이었다. boiling이 pan에 비하여 유의적으로 낮은 값을 보인 것을 제외하면 처리구 간의 유의적인 차이는 없었다. 하지만 pan, oven, microwave의 방식이 상대적으로 높은 경향을, steam 및 boiling이 낮은 경향을 보여주어 등심과 동일한 경향을 보여주었다. 그럼에도 불구하고 carnosine 총량은 안심이 등심보다 낮은 수준을 보여주었다.

Table 25. Free amino acids of dairy beef rib by cooking methods

Free amino acid (mg/100g)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Tau (Taurine)	24.75 ^a	7.72 ^e	12.29 ^c	13.16 ^b	12.46 ^c	9.56 ^d	0.107
PEA (Phosphoethanol amine)	1.16 ^a	0.39 ^c	0.64 ^b	0.61 ^{bc}	0.63 ^{bc}	0.41 ^{bc}	0.044
Urea	10.10 ^a	3.43 ^c	4.85 ^b	4.60 ^b	4.59 ^b	3.69 ^c	0.074
Asp (Aspartic acid)	1.21 ^a	0.22 ^c	0.42 ^b	0.32 ^{bc}	0.26 ^{bc}	0.16 ^c	0.031
Thr (Theonine)	6.19 ^a	1.80 ^c	2.60 ^b	2.56 ^b	2.63 ^b	1.76 ^c	0.072
Ser (Serine)	8.59 ^a	2.50 ^c	3.82 ^b	3.68 ^b	3.83 ^b	2.48 ^c	0.09
AspNH2 (Asparagine)	4.19 ^a	1.20 ^c	1.75 ^b	1.67 ^b	1.77 ^b	1.18 ^c	0.034
Glu (Glutamic acid)	9.64 ^a	2.74 ^c	3.62 ^{bc}	3.85 ^b	3.52 ^{bc}	2.64 ^c	0.184
GluNH2 (Glutamine)	116.60 ^a	34.19 ^d	62.96 ^b	46.69 ^c	50.84 ^c	30.88 ^d	1.053
Gly (Glycine)	8.35 ^a	2.56 ^d	3.75 ^{bc}	3.57 ^c	3.89 ^b	2.56 ^d	0.047
Ala (Alanine)	38.76 ^a	12.72 ^d	20.56 ^b	18.25 ^c	20.78 ^b	13.54 ^d	0.242
Val (Valine)	4.81 ^a	1.47 ^{cd}	1.66 ^{bd}	1.92 ^b	1.78 ^{bc}	1.33 ^d	0.065
Met (Methionine)	2.23 ^a	0.74 ^d	0.83 ^c	0.99 ^b	0.94 ^b	0.62 ^e	0.012
Ile (Isoleucine)	3.18 ^a	1.09 ^{cd}	1.18 ^c	1.41 ^b	1.26 ^{bc}	0.99 ^d	0.034
Leu (Leucine)	6.55 ^a	2.11 ^{de}	2.38 ^{cd}	2.79 ^b	2.55 ^{bc}	1.96 ^e	0.061
Tyr (Tyrosine)	3.17 ^a	1.28 ^c	1.28 ^c	1.60 ^b	1.36 ^{bc}	1.12 ^c	0.049
Phe (Phenylalanine)	3.45 ^a	1.18 ^{cd}	1.27 ^c	1.53 ^b	1.33 ^c	1.08 ^d	0.03
b-Ala (β-Alanine)	0.77 ^a	0.29 ^d	0.35 ^c	0.33 ^c	0.38 ^b	0.28 ^d	0.005
g-ABA (γ-Amino-n-butyric acid)	0.09 ^a	0.04 ^{bc}	0.04 ^{bc}	0.04 ^{bc}	0.05 ^b	0.04 ^c	0.002
Trp (Tryptophan)	0.67 ^a	0.29 ^c	0.28 ^c	0.37 ^b	0.28 ^c	0.18 ^d	0.007
EOHNH2 (Ethanolamine)	0.12 ^a	0.04 ^c	0.06 ^b	0.05 ^{bc}	0.06 ^{bc}	0.02 ^d	0.003
NH3 (Ammonia)	6.73 ^a	2.81 ^e	3.76 ^c	3.78 ^c	5.21 ^b	3.40 ^d	0.048
Orn (Ornithine)	4.07 ^a	1.61 ^e	3.03 ^b	2.04 ^d	2.48 ^c	1.67 ^{de}	0.068
Lys (Lysine)	6.28 ^a	2.08 ^{cd}	2.48 ^{bc}	2.58 ^b	2.41 ^{bc}	1.86 ^d	0.074
His (Histidine)	4.3 ^a	1.41 ^c	2.00 ^b	1.92 ^b	2.01 ^b	1.44 ^c	0.031
Ans (Anserine)	20.43 ^a	6.97 ^d	8.45 ^c	9.23 ^b	8.62 ^c	6.44 ^e	0.076
Car (Carnosine)	155.13 ^a	58.32 ^c	53.06 ^d	64.60 ^b	59.40 ^c	48.13 ^e	0.548
Arg (Arginine)	6.61 ^a	2.56 ^{cd}	2.96 ^{bc}	3.13 ^b	2.94 ^{bc}	2.25 ^d	0.085
Sweet FAA	61.89 ^a	19.56 ^d	30.72 ^b	28.05 ^c	31.13 ^b	20.34 ^d	0.437
Bitter FAA	20.21 ^a	6.57 ^{de}	7.31 ^{cd}	8.64 ^b	7.84 ^{bc}	5.97 ^e	0.202
Acid FAA	15.14 ^a	4.36 ^c	6.04 ^b	6.09 ^b	5.79 ^b	4.23 ^c	0.241
Totals	458.07 ^a	153.68 ^c	202.27 ^b	197.22 ^b	198.21 ^b	141.61 ^c	2.458

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 갈비의 유리아미노산 조성을 Table 25에 나타내었다.
- 총 유리아미노산은 모든 조리방법에 의해 감소했으며($p < 0.05$) 이는 등심 및 안심과 동일하였다. 이 중 steam의 총 아미노산 함량이 가장 낮았으며, oven, pan 및 microwave와

차이를 보였으나 boiling과는 차이가 없었다($p < 0.05$). 등심 및 안심과 유사하게 건열 조리가 습열에 비하여 더 많은 유리아미노산을 보유할 수 있다고 사료되며 갈비에서 특이적으로 생육의 아미노산이 등심 및 안심과 비교하여 적었으며 이로 인하여 조리육의 총 함량도 적은 양을 나타내었다.

- Umami 맛을 내는 glutamic acid의 경우 oven, microwave, pan, boiling, steam 순으로 많았으며, oven의 경우 boiling 및 steam보다 유의적으로 높았으며 건열 방식인 oven, microwave, pan 간의 차이는 없었다($p < 0.05$). 안심과 비교하여 생육의 glutamic acid 함량이 많았음에도 불구하고 조리 후의 양은 전반적으로 안심에 비해 적은 양을 보여주어 갈비살의 조리가 비교적 많은 양의 glutamic acid의 손실을 가져올 수 있다고 사료된다. Aspartic acid의 경우 microwave, oven, pan, boiling, steam 순으로 높은 경향을 보였으며, microwave는 boiling 과 steam에 비하여 유의적으로 높았으며 그 외의 조리육 간에 차이는 없었다($p < 0.05$). 등심과 안심 생육의 aspartic acid의 양은 비슷했으며, 그 감소량도 유사했다. 하지만 갈비의 경우 생육의 aspartic acid의 양이 등심과 안심에 비해 높은 함량을 보여주었고 이로 인하여 조리 후에도 상대적으로 많은 양이 남아있었으나 손실량은 비슷하였다. 그럼에도 불구하고 glutamic acid와는 다르게 aspartic acid의 경우 등심, 안심, 갈비 모두에서 조리방법에 따른 감소량이 일관되지 않아 aspartic acid는 조리 방법보다는 원료육 자체의 특성에서 영향을 많이 받는 것으로 사료된다.
- Carnosine의 경우 등심 및 안심과 동일하게 모든 아미노산 중 가장 우세한 아미노산이었으나 microwave 조리의 경우 glutamine이 가장 많은 함량을 보여 제외되었다. 이런 이유로 인하여 등심과 안심과는 다르게 boiling이 microwave와 steam에 비하여 더 높은 carnosine 함량을 보여주었다($p < 0.05$).

Table 26. Free amino acids of dairy beef brisket by cooking methods

Free amino acid (mg/100g)	Raw	Cooking methods		SEM
		Boiling	Microwave	
Tau (Taurine)	42.22 ^a	11.75 ^b	17.34 ^b	2.217
PEA (Phosphoethanol amine)	1.54 ^a	0.44 ^b	0.52 ^b	0.049
Urea	20.71 ^a	5.51 ^b	8.22 ^b	1.044
Asp (Aspartic acid)	0.90 ^a	0.18 ^c	0.43 ^b	0.020
Thr (Theonine)	5.64 ^a	1.45 ^b	2.06 ^b	0.292
Ser (Serine)	6.59 ^a	1.64 ^b	2.34 ^b	0.336
AspNH ₂ (Asparagine)	4.19 ^a	1.05 ^b	1.56 ^b	0.211
Glu (Glutamic acid)	3.69 ^a	0.68 ^b	1.24 ^b	0.211
GluNH ₂ (Glutamine)	43.04 ^a	10.08 ^b	19.38 ^b	2.105
Gly (Glycine)	11.02 ^a	2.76 ^b	4.07 ^b	0.558
Ala (Alanine)	40.68 ^a	10.7 ^b	15.68 ^b	2.058
Val (Valine)	6.46 ^a	1.76 ^b	2.29 ^b	0.324
Met (Methionine)	2.70 ^a	0.92 ^b	1.12 ^b	0.110
Ile (Isoleucine)	4.54 ^a	1.31 ^b	1.67 ^b	0.226
Leu (Leucine)	8.29 ^a	2.26 ^b	2.91 ^b	0.411
Tyr (Tyrosine)	5.35 ^a	1.49 ^b	1.94 ^b	0.267
Phe (Phenylalanine)	5.08 ^a	1.41 ^b	1.82 ^b	0.249
b-Ala (β -Alanine)	0.63 ^a	0.19 ^b	0.26 ^b	0.032
g-ABA (γ -Amino-n-butyric acid)	0.11 ^a	0.03 ^b	0.04 ^b	0.005
Trp (Tryptophan)	1.09 ^a	0.31 ^b	0.40 ^b	0.047
NH ₃ (Ammonia)	9.56 ^a	3.12 ^b	4.18 ^b	0.480

Orn (Ornithine)	2.15 ^a	0.57 ^b	1.16 ^b	0.107
Lys (Lysine)	10.40 ^a	2.69 ^b	3.73 ^b	0.512
His (Histidine)	4.81 ^a	1.38 ^b	1.99 ^b	0.241
Ans (Anserine)	58.53 ^a	18.43 ^b	25.09 ^b	2.998
Car (Carnosine)	254.99 ^a	81.71 ^b	103.30 ^b	12.547
Arg (Arginine)	9.68 ^a	2.55 ^b	3.66 ^b	0.472
Sweet FAA	63.91 ^a	16.55 ^b	24.14 ^b	3.247
Bitter FAA	27.07 ^a	7.65 ^b	9.80 ^b	1.323
Acid FAA	9.39 ^a	2.24 ^b	3.65 ^b	0.471
Totals	564.54 ^a	166.33 ^b	228.31 ^b	28.032

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 양지의 유리아미노산 조성을 Table 26에 나타내었다.
- 총 유리아미노산은 모든 조리방법에 의해 감소했으며($p < 0.05$) 이는 등심, 안심, 갈비와 동일하였다. 조리육 간에 유의적인 차이는 없었으며, 등심, 안심, 갈비와 동일하게 microwave가 boiling에 비하여 더 높은 함량을 보여주었다.
- Umami 맛을 내는 glutamic acid는 등심, 안심, 갈비와 달리 원료육에서 매우 적은 양이 존재하였으며 조리 후에는 microwave가 boiling에 비하여 더 높은 양을 보유하였으나 유의적인 차이는 없었다. aspartic acid의 경우 원료육의 양은 갈비와 등심 및 안심의 사이였으며 microwave가 boiling에 비하여 더 높은 함량을 보여주었다($p < 0.05$).
- Carnosine은 가장 많이 함유된 아미노산이었으며 microwave가 boiling에 비하여 높은 함량을 보였으나 유의적인 차이는 나타나지 않아 전반적으로 등심 및 안심과 유사한 경향을 보여주었다.

Table 27. Free amino acids of dairy beef round by cooking methods

Free amino acid (mg/100g)	Raw	Cooking methods			SEM
		Boiling	Microwave	Sous-vide	
Tau (Taurine)	27.88 ^a	11.69 ^b	11.67 ^b	6.42 ^b	1.043
PEA (Phosphoethanol amine)	0.77 ^a	0.20 ^b	0.21 ^b	0.15 ^b	0.022
Urea	13.99 ^a	3.90 ^b	4.85 ^b	4.28 ^b	0.384
Asp (Aspartic acid)	0.44 ^a	0.14 ^b	0.07 ^c	0.51 ^a	0.012
Thr (Theonine)	6.01 ^a	1.60 ^c	1.71 ^c	4.06 ^b	0.151
Ser (Serine)	7.86 ^a	1.96 ^c	2.07 ^c	4.07 ^b	0.183
AspNH ₂ (Asparagine)	3.64 ^a	0.93 ^c	1.00 ^c	2.74 ^b	0.086
Glu (Glutamic acid)	9.51 ^a	3.19 ^c	2.79 ^c	8.14 ^b	0.181
GluNH ₂ (Glutamine)	51.37 ^a	21.03 ^b	18.33 ^b	8.46 ^c	1.234
Gly (Glycine)	9.17 ^a	2.45 ^c	3.01 ^{bc}	3.95 ^b	0.248
Ala (Alanine)	30.42 ^a	9.06 ^b	10.00 ^b	11.78 ^b	0.870
Val (Valine)	7.50 ^a	1.99 ^c	2.14 ^c	6.16 ^b	0.186
Met (Methionine)	4.31 ^a	1.28 ^c	1.43 ^c	2.87 ^b	0.114
Ile (Isoleucine)	6.12 ^a	1.69 ^c	1.79 ^c	4.58 ^b	0.157
Leu (Leucine)	11.63 ^a	3.21 ^c	3.27 ^c	8.82 ^b	0.289
Tyr (Tyrosine)	7.23 ^a	1.86 ^c	1.99 ^c	4.74 ^b	0.154
Phe (Phenylalanine)	7.17 ^a	2.02 ^c	2.17 ^c	6.11 ^b	0.180
b-Ala (β-Alanine)	0.52 ^a	0.16 ^b	0.19 ^b	0.20 ^b	0.014
Trp (Tryptophan)	1.43 ^a	0.33 ^c	0.37 ^c	1.25 ^b	0.019
NH ₃ (Ammonia)	10.82 ^a	3.79 ^b	4.41 ^b	4.77 ^b	0.365

Orn (Ornithine)	2.09 ^a	0.84 ^b	0.80 ^b	0.75 ^b	0.071
Lys (Lysine)	8.73 ^a	2.18 ^c	2.45 ^c	5.33 ^b	0.216
His (Histidine)	4.25 ^a	1.26 ^c	1.45 ^c	2.45 ^b	0.125
Ans (Anserine)	96.96 ^a	34.25 ^b	41.19 ^b	31.64 ^b	3.385
Car (Carnosine)	341.28 ^a	106.14 ^b	129.65 ^b	104.73 ^b	10.376
Arg (Arginine)	7.90 ^a	2.16 ^c	2.33 ^c	3.60 ^b	0.199
Sweet FAA	53.44 ^a	15.06 ^c	16.77 ^{bc}	23.85 ^b	1.453
Bitter FAA	36.72 ^a	10.18 ^c	10.78 ^c	28.53 ^b	0.923
Acid FAA	14.19 ^a	4.59 ^c	4.30 ^c	11.10 ^b	0.302
Totals	678.93 ^a	219.23 ^b	251.27 ^b	242.50 ^b	20.053

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 우둔의 유리아미노산 조성을 Table 27에 나타내었다.
- 총 유리아미노산은 모든 조리방법에 의해 감소했으며($p < 0.05$) 이는 등심, 안심, 갈비 및 양지 등 모든 부위와 동일하였다. 조리육 간에 유의적인 차이는 없었으며, 등심, 안심, 갈비와 동일하게 microwave가 boiling에 비하여 더 높은 함량을 보여주었다. 특히하게도 sous-vide 조리의 경우 동일하게 물을 cooking medium으로 사용한 boiling과는 달리 microwave의 총 함량과 유사했는데, 이는 boiling의 경우 고온에서 가열하여 더 높은 cooking loss를 유발하여 수용성 펩타이드나 아미노산이 더 많이 용출되기 때문에 (Pereira-Lima et al., 2000) 진공포장을 통해 조리 시 방출된 drip이 장시간 고기와 닿아 있고 비교적 저온에서 조리하였기 때문에 더 높은 함량을 보였을 것이라고 사료된다.
- Umami 맛을 내는 glutamic acid의 경우 원료육은 갈비와 비슷한 양을 보였으며, 조리육의 경우 sous-vide가 가장 높은 함량을 보였고 microwave와 boiling 간 차이는 없었다 ($p < 0.05$). 다른 부위와는 다르게 microwave와 같은 건열이 아닌 sous-vide, boiling의 습열 조리가 더 많은 glutamic acid를 보유했으며, 특히 sous-vide의 경우 glutamic acid의 손실이 거의 나타나지 않았다. Aspartic acid의 경우 sous-vide, boiling, microwave 순으로 유의적으로 많은 함량을 나타내었다.
- carnosine의 경우 다른 부위와 마찬가지로 가장 많은 아미노산이었으며, 조리육 간 유의적인 차이는 없었으며, microwave가 가장 많은 양을 보였고, boiling, sous-vide 순으로 많은 양을 보여주었다.

나) 지방산 조성 분석

- 소고기의 대표적으로 많이 함유되어 있는 지방산은 palmitic acid, oleic acid, stearic acid이며, 일반적으로 소는 돼지나 가금류의 비해 linoleic acid와 α -linolenic acid와 같은 polyunsaturated fatty acid (PUFA)가 부족한 편이다(Bassam et al., 2022).
- 특히 oleic acid의 경우 대표적인 monounsaturated fatty acid (MUFA)로 소고기의 지방의 양과 긍정적인 관계가 있으며(Kim & Jang., 2021), 높은 마블링 스코어를 가진 부위일수록 더 많은 oleic acid의 양을 가진다(Joo et al., 2017).
- 또한 MUFA의 양은 식육의 관능적인 특성에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다고 알려져 있다(Seol et al., 2015; Kim et al., 2019). 추가적으로, 필수지방산인 linoleic acid(C18:2n6)와 stearic acid 함량이 증가하는 것은 향미에 좋지 않은 영향을 주는 것으로 보고되었다(Beare, 1962).
- 영양적인 관점에서 식육의 지방에서 PUFA/SFA은 nutritional quality를 판단하는 지표이며 0.4~0.5가 권장되고 있다(Kang et al., 2013). 추가적으로 American Heart

Association에 따르면 SFA:MUFA:PUFA의 비율이 1:1.5:1이 되는 것을 권장하고 있다.

Table 28. Fatty acid composition of dairy beef loin by cooking methods

Fatty acid (%)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
C14:0 (myristic acid)	4.94 ^a	5.02 ^a	5.21 ^a	5.26 ^a	5.18 ^a	5.17 ^a	0.068
C16:0 (palmitic acid)	30.28 ^b	31.04 ^a	31.07 ^a	31.20 ^a	30.95 ^a	31.17 ^a	0.065
C16:1n7 (palmitoleic acid)	5.59 ^{ab}	5.26 ^b	5.56 ^{ab}	5.81 ^a	5.67 ^a	5.33 ^b	0.071
C18:0 (stearic acid)	11.89 ^{ab}	12.21 ^a	11.66 ^{ab}	11.17 ^b	11.64 ^{ab}	12.25 ^a	0.164
C18:1n9 (oleic acid)	42.33 ^a	41.53 ^c	41.80 ^b	41.68 ^{bc}	41.74 ^{bc}	41.49 ^c	0.057
C18:1n7 (vaccenic acid)	1.96 ^a	1.86 ^d	1.89 ^c	1.92 ^b	1.90 ^c	1.86 ^d	0.003
C18:2n6 (linoleic acid)	2.32 ^{ab}	2.35 ^a	2.25 ^{bc}	2.34 ^a	2.34 ^a	2.20 ^c	0.019
C18:3n6 (r-linolenic acid)	0.06 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	0.06 ^a	0.003
C18:3n3 (a-linolenic acid)	0.09 ^a	0.08 ^{ab}	0.07 ^b	0.07 ^b	0.08 ^{ab}	0.07 ^b	0.003
C20:1n9 (eicosenoic acid)	0.15 ^{ab}	0.15 ^a	0.14 ^{ab}	0.13 ^{ab}	0.13 ^b	0.14 ^{ab}	0.004
C20:4n6 (arachidonic acid)	0.31 ^b	0.35 ^a	0.22 ^e	0.28 ^c	0.25 ^d	0.19 ^f	0.005
C20:5n3 (eicosapentaenoic acid)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.000
C22:4n6 (adrenic acid)	0.09 ^{ab}	0.09 ^a	0.07 ^c	0.08 ^{bc}	0.07 ^c	0.07 ^c	0.003
C22:6n3 (docosahexaenoic acid)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.000
SFA	47.11 ^e	48.27 ^b	47.95 ^c	47.63 ^d	47.76 ^{cd}	48.59 ^a	0.052
UFA	52.89 ^a	51.73 ^d	52.05 ^c	52.37 ^b	52.24 ^{bc}	51.41 ^e	0.052
MUFA	50.02 ^a	48.79 ^c	49.40 ^b	49.54 ^b	49.44 ^b	48.82 ^c	0.035
PUFA	2.87 ^{ab}	2.94 ^a	2.66 ^c	2.83 ^b	2.80 ^b	2.59 ^c	0.023
MUFA/SFA	1.06 ^a	1.01 ^c	1.03 ^b	1.04 ^b	1.04 ^b	1.00 ^c	0.002
PUFA/SFA	0.06 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a	0.05 ^b	0.000

^{a-f} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05; SFA, saturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid

- 조리방법에 따른 등심의 지방산 조성을 Table 28에 나타내었다.
- 소고기의 풍미에 가장 큰 영향을 미치는 oleic acid는 조리방법에 따라 41.49~41.80%의 범위를 나타내었으며, microwave가 가장 높은 경향을 보였으며, boiling 및 steam에 비하여 유의적으로 높은 oleic acid 함량을 나타내었다. 이를 제외한 조리육 간 유의적인 차이는 없었으나 glutamic acid와 유사하게 건열 조리인 microwave, pan, oven이 습열인 steam과 boiling에 비해 높은 oleic acid 경향을 보여주었다.
- linoleic acid의 경우 microwave와 steam을 제외한 조리법은 linoleic acid 함량이 원료육 대비 증가하는 경향을 보였으며, boiling, pan 및 oven이 가장 높은 경향을 보였으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. stearic acid의 경우 boiling과 steam의 경우 조리 방법에 따라 증가하는 경향을 보였으며, oven 조리의 경우 가장 낮은 경향을 보여주었다.
- MUFA/SFA 비율의 경우 조리 방법에 따라 전부 감소하였으며(p<0.05), 건열 조리인 microwave, oven, pan이 습열조리인 boiling 및 steam에 비하여 더 높은 수치를 보였다(p<0.05).

Table 29. Fatty acid composition of dairy beef tenderloin by cooking methods

Fatty acid (%)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
C14:0 (myristic acid)	2.92 ^b	3.56 ^a	2.80 ^c	3.58 ^a	2.88 ^{bc}	2.84 ^{bc}	0.024
C16:0 (palmitic acid)	26.78 ^b	27.69 ^a	26.75 ^b	27.76 ^a	26.93 ^b	26.87 ^b	0.082
C16:1n7 (palmitoleic acid)	4.02 ^c	4.35 ^b	3.72 ^e	4.41 ^a	3.48 ^f	3.92 ^d	0.01
C18:0 (stearic acid)	13.03 ^c	13.00 ^c	13.74 ^b	12.74 ^d	14.78 ^a	13.06 ^c	0.024
C18:1n9 (oleic acid)	46.48 ^b	44.78 ^d	47.27 ^a	45.65 ^c	46.70 ^b	47.34 ^a	0.068
C18:1n7 (vaccenic acid)	2.40 ^b	2.26 ^d	2.44 ^b	2.30 ^c	2.42 ^b	2.50 ^a	0.008
C18:2n6 (linoleic acid)	3.20 ^a	3.23 ^a	2.57 ^c	2.80 ^b	2.34 ^d	2.70 ^{bc}	0.027
C18:3n6 (r-linolenic acid)	0.05 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	0.04 ^{ab}	0.03 ^b	0.003
C18:3n3 (a-linolenic acid)	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.05 ^{cd}	0.06 ^{bc}	0.05 ^{de}	0.04 ^e	0.002
C20:1n9 (eicosenoic acid)	0.19 ^b	0.18 ^b	0.22 ^a	0.19 ^b	0.22 ^a	0.22 ^a	0.004
C20:4n6 (arachidonic acid)	0.70 ^a	0.66 ^a	0.31 ^c	0.36 ^{bc}	0.11 ^d	0.39 ^b	0.012
C20:5n3 (eicosapentaenoic acid)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.000
C22:4n6 (adrenic acid)	0.16 ^a	0.16 ^a	0.08 ^c	0.10 ^b	0.05 ^d	0.09 ^{bc}	0.003
C22:6n3 (docosahexaenoic acid)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.000
SFA	42.73 ^d	44.25 ^{ab}	43.29 ^c	44.08 ^b	44.59 ^a	42.77 ^d	0.087
UFA	57.27 ^a	55.75 ^{cd}	56.71 ^b	55.92 ^c	55.41 ^d	57.23 ^a	0.087
MUFA	53.09 ^c	51.57 ^e	53.65 ^b	52.55 ^d	52.82 ^{cd}	53.98 ^a	0.063
PUFA	4.19 ^a	4.18 ^a	3.06 ^c	3.37 ^b	2.59 ^d	3.25 ^{bc}	0.041
MUFA/SFA	1.24 ^a	1.17 ^c	1.24 ^a	1.19 ^b	1.18 ^{bc}	1.26 ^a	0.005
PUFA/SFA	0.10 ^a	0.09 ^a	0.07 ^c	0.08 ^b	0.06 ^d	0.08 ^{bc}	0.002

^{a-f} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$; SFA, saturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid

- 조리방법에 따른 안심의 지방산 조성을 Table 29에 나타내었다.
- 소고기의 풍미에 가장 큰 영향을 미치는 oleic acid는 조리방법에 따라 44.78~47.34%의 범위를 보여 등심에 비해 더 높은 조성을 보여주었으며, steam과 microwave가 높았으며, boiling이 가장 낮은 수치를 나타내었다($p < 0.05$).
- linoleic acid의 경우 boiling을 제외한 나머지 조리방법은 linoleic acid의 양을 감소시켰으며, 처리군 간에서는 pan이 가장 낮았다($p < 0.05$). stearic acid의 경우 pan과 microwave는 조리법에 따라 증가하였으며, oven 조리가 가장 낮은 값을 나타내어($p < 0.05$) 등심과 유사한 경향을 보여주었다.
- MUFA/SFA 비율은 등심과 달리 steam은 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었으며, microwave는 변함이 없었다. boiling이 pan을 제외한 나머지 처리구들과 비교하여 가장 낮은 수치를 나타내었다($p < 0.05$).

Table 30. Fatty acid composition of dairy beef rib by cooking methods

Fatty acid (%)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
C14:0 (myristic acid)	3.44 ^a	3.15 ^d	3.07 ^e	3.26 ^b	3.11 ^d	3.19 ^c	0.008
C16:0 (palmitic acid)	26.29 ^a	25.58 ^{bc}	25.07 ^d	25.82 ^b	25.02 ^d	25.52 ^c	0.061
C16:1n7 (palmitoleic acid)	5.02 ^a	4.76 ^{cd}	4.92 ^{ab}	4.66 ^d	4.70 ^d	4.85 ^{bc}	0.027
C18:0 (stearic acid)	10.93 ^c	11.26 ^b	11.03 ^c	11.77 ^a	11.36 ^b	11.28 ^b	0.03
C18:1n9 (oleic acid)	48.19 ^e	48.98 ^c	49.34 ^b	48.33 ^e	49.64 ^a	48.72 ^d	0.056

C18:1n7 (vaccenic acid)	2.95 ^b	2.89 ^c	2.99 ^a	2.76 ^e	2.90 ^c	2.82 ^d	0.01
C18:2n6 (linoleic acid)	2.56 ^c	2.73 ^b	2.76 ^b	2.74 ^b	2.58 ^c	2.82 ^a	0.01
C18:3n6 (r-linolenic acid)	0.02 ^a	0.01 ^a	0.03 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	0.011
C18:3n3 (a-linolenic acid)	0.08 ^a	0.002					
C20:1n9 (eicosenoic acid)	0.26 ^{ab}	0.22 ^{ab}	0.32 ^{ab}	0.20 ^b	0.31 ^{ab}	0.34 ^a	0.027
C20:4n6 (arachidonic acid)	0.19 ^c	0.22 ^b	0.28 ^a	0.22 ^b	0.17 ^d	0.23 ^b	0.003
C20:5n3 (eicosapentaenoic acid)	0.00 ^a	0.000					
C22:4n6 (adrenic acid)	0.08 ^c	0.10 ^{ab}	0.11 ^a	0.10 ^b	0.08 ^c	0.10 ^{ab}	0.003
C22:6n3 (docosahexaenoic acid)	0.00 ^a	0.000					
SFA	40.67 ^a	39.99 ^b	39.16 ^c	40.85 ^a	39.49 ^c	39.99 ^b	0.089
UFA	59.33 ^c	60.01 ^b	60.84 ^a	59.15 ^c	60.51 ^a	60.01 ^b	0.089
MUFA	56.41 ^c	56.85 ^b	57.58 ^a	55.96 ^d	57.55 ^a	56.73 ^{bc}	0.076
PUFA	2.92 ^d	3.16 ^c	3.26 ^{ab}	3.19 ^{bc}	2.96 ^d	3.28 ^a	0.017
MUFA/SFA	1.39 ^c	1.42 ^b	1.47 ^a	1.37 ^c	1.46 ^a	1.42 ^b	0.005
PUFA/SFA	0.07 ^d	0.08 ^b	0.08 ^a	0.08 ^b	0.07 ^c	0.08 ^a	0.001

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$; SFA, saturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid

- 조리방법에 따른 갈비의 지방산 조성을 Table 30에 나타내었다.
- 소고기의 풍미에 가장 큰 영향을 미치는 oleic acid는 조리방법에 따라 48.33~49.64%의 범위를 보여 등심과 안심에 비해 더 높은 조성을 보여주었으며, pan 조리가 가장 높은 값을 보여주었으며, microwave, boiling, steam이 다음으로 높았다($p < 0.05$). oven 조리가 가장 낮은 값을 보여주어 안심과 유사한 경향을 보여주었다($p < 0.05$).
- linoleic acid는 조리 방법에 따라 전부 증가하는 경향을 보여주었으며, steam 조리가 가장 높은 값을 나타내었고 boiling, microwave, oven 간 차이는 없었으며, pan 조리가 가장 낮은 값을 나타내었다($p < 0.05$). stearic acid의 경우 linoleic acid와 마찬가지로 조리 방법에 따라 전부 증가하는 경향을 보여주었으며, oven이 가장 높은 값을 나타내었고, microwave가 가장 낮은 값을 보여주었다($p < 0.05$).
- MUFA/SFA는 oven 조리를 제외하고는 조리 방법에 따라 증가하였으며($p < 0.05$), microwave와 pan 조리가 가장 높은 값을 보여주었고, boiling 및 steam이 낮은 값을 보여주었다($p < 0.05$).

Table 31. Fatty acid composition of dairy beef brisket by cooking methods

Fatty acid (%)	Raw	Cooking methods		SEM
		Boiling	Microwave	
C14:0 (myristic acid)	4.06 ^b	3.86 ^c	4.24 ^a	0.01
C16:0 (palmitic acid)	29.52 ^a	26.67 ^c	28.13 ^b	0.022
C16:1n7 (palmitoleic acid)	5.41 ^c	7.19 ^b	7.88 ^a	0.007
C18:0 (stearic acid)	10.02 ^a	7.70 ^c	7.90 ^b	0.022
C18:1n9 (oleic acid)	44.15 ^c	47.88 ^a	45.28 ^b	0.013
C18:1n7 (vaccenic acid)	2.27 ^b	2.95 ^a	2.96 ^a	0.046
C18:2n6 (linoleic acid)	3.14 ^a	2.75 ^b	2.65 ^c	0.005

C18:3n6 (r-linolenic acid)	0.07 ^a	0.05 ^a	0.03 ^a	0.01
C18:3n3 (a-linolenic acid)	0.10 ^a	0.07 ^{ab}	0.07 ^b	0.007
C20:1n9 (eicosenoic acid)	0.15 ^c	0.21 ^a	0.18 ^b	0.006
C20:4n6 (arachidonic acid)	0.92 ^a	0.55 ^b	0.55 ^b	0.006
C20:5n3 (eicosapentaenoic acid)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.000
C22:4n6 (adrenic acid)	0.20 ^a	0.13 ^b	0.12 ^b	0.006
C22:6n3 (docosahexaenoic acid)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.000
SFA	43.60 ^a	38.22 ^c	40.27 ^b	0.04
UFA	56.40 ^c	61.78 ^a	59.73 ^b	0.04
MUFA	51.97 ^c	58.23 ^a	56.30 ^b	0.043
PUFA	4.43 ^a	3.55 ^b	3.42 ^c	0.014
MUFA/SFA	1.19 ^c	1.52 ^a	1.40 ^b	0.002
PUFA/SFA	0.10 ^a	0.09 ^b	0.09 ^c	0.002

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$; SFA, saturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid

- 조리방법에 따른 양지의 지방산 조성을 Table 31에 나타내었다.
- 소고기의 풍미에 가장 큰 영향을 미치는 oleic acid는 boiling이 47.88% 및 microwave가 45.28%를 나타내어 유의적인 차이를 보여 등심, 안심 및 갈비와는 다른 경향을 보여주었다.
- linoleic acid와 stearic acid 모두 조리에 따라 감소했으며($p < 0.05$), linoleic acid는 boiling이 더 많았으며, 반면에 stearic acid는 microwave가 더 많은 함량을 나타내었다($p < 0.05$).
- MUFA/SFA 비율은 조리에 따라 증가했으며($p < 0.05$), boiling이 microwave보다 더 높은 비율을 보였으며 이는 PUFA/SFA 비율에서도 동일하였다($p < 0.05$).

Table 32. Fatty acid composition of dairy beef round by cooking methods

Fatty acid (%)	Raw	Cooking methods			SEM
		Boiling	Microwave	Sous-vide	
C14:0 (myristic acid)	2.61 ^b	2.60 ^b	1.99 ^c	2.99 ^a	0.008
C16:0 (palmitic acid)	25.75 ^a	25.46 ^b	24.11 ^c	25.70 ^a	0.028
C16:1n7 (palmitoleic acid)	4.14 ^b	3.38 ^d	3.53 ^c	4.40 ^a	0.011
C18:0 (stearic acid)	10.85 ^d	13.38 ^a	11.79 ^b	11.46 ^c	0.008
C18:1n9 (oleic acid)	47.04 ^b	46.91 ^c	47.07 ^b	48.72 ^a	0.027
C18:1n7 (vaccenic acid)	2.59 ^b	2.53 ^c	2.93 ^a	2.52 ^c	0.011
C18:2n6 (linoleic acid)	4.64 ^b	4.20 ^c	5.98 ^a	3.16 ^d	0.012
C18:3n6 (r-linolenic acid)	0.08 ^a	0.07 ^b	0.08 ^a	0.06 ^c	0.002
C18:3n3 (a-linolenic acid)	0.12 ^a	0.09 ^b	0.11 ^a	0.08 ^b	0.004
C20:1n9 (eicosenoic acid)	0.13 ^b	0.17 ^a	0.17 ^{ab}	0.16 ^{ab}	0.008
C20:4n6 (arachidonic acid)	1.78 ^b	1.02 ^c	1.91 ^a	0.64 ^d	0.006
C20:5n3 (eicosapentaenoic acid)	0.04 ^b	0.00 ^c	0.05 ^a	0.00 ^c	0.002
C22:4n6 (adrenic acid)	0.24 ^b	0.18 ^c	0.28 ^a	0.12 ^d	0.003
C22:6n3 (docosahexaenoic acid)	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.00 ^a	0.000
SFA	39.20 ^c	41.45 ^a	37.90 ^d	40.15 ^b	0.039
UFA	60.80 ^b	58.55 ^d	62.10 ^a	59.85 ^c	0.039

MUFA	53.90 ^b	52.99 ^d	53.69 ^c	55.79 ^a	0.032
PUFA	6.89 ^b	5.56 ^c	8.41 ^a	4.06 ^d	0.016
MUFA/SFA	1.37 ^c	1.28 ^d	1.42 ^a	1.39 ^b	0.002
PUFA/SFA	0.18 ^b	0.13 ^c	0.22 ^a	0.10 ^d	0.002

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$; SFA, saturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acid

- 조리방법에 따른 우둔의 지방산 조성을 Table 32에 나타내었다.
- 소고기의 풍미에 가장 큰 영향을 미치는 oleic acid는 boiling을 제외하고는 조리 방법에 따라 유의적으로 증가했으며, sous-vide가 가장 높은 값을 보였고, microwave가 그 다음으로 높은 수치를 나타내었다($p < 0.05$).
- Stearic acid는 조리 방법에 따라 전부 증가하여 양지의 결과와 상반되는 경향을 나타냈다. 조리법 중 boiling이 가장 높은 값을 보였으며, sous-vide가 가장 낮은 값을 보였었다 ($p < 0.05$). linoleic acid는 stearic acid와는 달리 microwave를 제외하고는 전부 감소했으며, 특히 sous-vide가 가장 낮은 함량을 보여주었다($p < 0.05$).
- MUFA/SFA 비율은 microwave는 조리 방법에 따라 증가했으며, boiling과 sous-vide는 감소했고, boiling이 가장 낮은 비율을 보여주었다($p < 0.05$).

다) 핵산 물질 조성 분석

- 핵산물질은 고기에 다양한 종류로 존재하면서 고기 특유의 풍미에 크게 기여하는 물질이며, 특히 meaty, brothy, mouth-filling, dry quality를 강화시키는 역할을 한다(Dashdorj et al., 2015).
- 핵산물질은 식품의 sweet, sour, oily/fatty, starchy, burnt 특성에 영향을 미치지 않으면서도 sulfurous flavor만 억제하기에 다양한 식품에서 flavor enhancer로 사용한다(Liu et al., 2007; Kuninaka, 1981).
- 일반적으로 핵산 물질인 ATP (adenosine triphosphate)는 ADP (adenosine diphosphate) 및 AMP (adenosine monophosphate)로 분해되고 AMP는 다시 IMP (inosine monophosphate)로 전환되어, 이는 고기 풍미에 기여한다. 더 나아가 IMP는 inosine과 hypoxanthine (Hx)으로 연속적으로 분해되어 쓴맛을 나타낸다(Kim et al., 2012).
- 특히 IMP의 경우 umami를 내는 대표적인 핵산 물질로 특히, MSG의 존재 하에 그 영향이 더욱 증가되는 효과가 있다(Chen & Zhang, 2007).

Table 33. Nucleic acid content of dairy beef loin by cooking methods

Nucleotide content (mg/100g)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Hx	26.43 ^a	20.87 ^e	23.53 ^c	24.93 ^b	26.53 ^a	21.87 ^d	0.184
IMP	94.41 ^e	136.81 ^d	158.38 ^b	159.20 ^b	167.34 ^a	144.44 ^c	1.517
inosine	25.75 ^c	22.15 ^e	27.11 ^b	26.61 ^{bc}	35.07 ^a	23.59 ^d	0.285
AMP	5.57 ^d	12.82 ^c	12.43 ^c	17.73 ^b	19.28 ^a	12.66 ^c	0.168
ADP	8.94 ^{ab}	7.65 ^{bc}	9.73 ^a	6.74 ^c	7.00 ^c	8.79 ^{ab}	0.282
ATP	5.27 ^b	3.61 ^c	6.32 ^a	2.70 ^d	2.04 ^d	4.64 ^b	0.159

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 등심의 핵산 물질 조성을 Table 33에 나타내었다.
- 모든 조리방법은 고기 내의 IMP의 양을 증가시켰으며, pan이 가장 높은 함량을 나타내었다($p < 0.05$). oven과 microwave가 그 다음으로 높은 양을 보였으며 boiling이 가장 낮은 양을 나타내었다($p < 0.05$). 이는 수용성 핵산 물질이 steam과 boiling의 조건에서 조리 과정 중 고기 외부로 용출된 것으로 사료된다.
- Hx의 경우 pan을 제외하고는 원료육 대비 낮아졌으며($p < 0.05$), 이 중 boiling이 가장 낮은 값을 보였으며 steam이 그 다음으로 나타났다($p < 0.05$). 이러한 경향은 inosine에서도 나타났으며, boiling이 가장 낮은 inosine 함량을 보였고 steam이 그 다음으로 나타났다. 이 역시 IMP와 마찬가지로 상대적으로 높은 Hx와 inosine이 조리 중 cooking medium으로 용출된 것에 의한 것으로 사료된다.

Table 34. Nucleic acid content of dairy beef tenderloin by cooking methods

Nucleotide content (mg/100g)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Hx	34.36 ^d	30.52 ^e	37.04 ^c	40.88 ^b	50.33 ^a	28.19 ^f	0.442
IMP	128.16 ^{bc}	118.25 ^d	132.68 ^b	117.28 ^d	123.23 ^{cd}	150.23 ^a	1.516
inosine	34.78 ^c	30.67 ^d	37.49 ^b	36.15 ^{bc}	44.35 ^a	30.85 ^d	0.417
AMP	7.28 ^d	18.91 ^b	13.7 ^c	19.46 ^b	21.58 ^a	14.4 ^c	0.332
ADP	8.76 ^c	3.91 ^e	10.36 ^a	7.19 ^d	9.54 ^b	9.23 ^b	0.096
ATP	6.2 ^a	1.24 ^d	5.81 ^a	2.47 ^c	2.55 ^c	4.83 ^b	0.167

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 안심의 핵산 물질 조성을 Table 34에 나타내었다.
- IMP의 경우 등심과는 다르게 microwave와 steam 조리만 IMP 함량을 증가시켰으며 steam 조리만 원료육과 비교하여 유의적으로 높았다.
- Hx에서는 등심과 비슷한 경향이 나타났다. pan, oven, microwave 순으로 조리 방법에 따라 그 함량이 증가했으며($p < 0.05$), 반면 steam이 가장 낮았으며 boiling이 그 다음으로 나타났다($p < 0.05$). inosine의 경우 Hx와 비슷한 경향을 보였다. pan, microwave 및 oven이 boiling 및 steam에 비해 더 높은 수치를 나타내었다($p < 0.05$).

Table 35. Nucleic acid content of dairy beef rib by cooking methods

Nucleotide content (mg/100g)	Raw	Cooking methods					SEM
		Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Hx	35.98 ^c	34.39 ^c	48.28 ^b	48.22 ^b	52.94 ^a	31.62 ^d	0.481
IMP	27.67 ^a	28.32 ^a	15.34 ^c	27.99 ^a	18.96 ^b	19.68 ^b	0.564
inosine	16.58 ^c	14.53 ^d	15.94 ^c	18.29 ^b	23.92 ^a	12.83 ^e	0.28
AMP	2.44 ^f	9.69 ^c	8.49 ^d	13.63 ^a	11.46 ^b	7.59 ^e	0.099
ADP	12.24 ^a	4.81 ^d	6.9 ^b	5.11 ^d	6.22 ^c	4.18 ^e	0.094
ATP	1.88 ^c	3.09 ^b	6.65 ^a	2.64 ^{bc}	1.78 ^c	3.05 ^b	0.188

^{a-f} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 갈비의 핵산 물질 조성을 Table 35에 나타내었다.
- IMP의 경우 boiling과 oven 조리는 조리 방법에 따라 증가하는 경향을 보였으나 원료육과의 유의적인 차이는 없었다. 조리 방법 간에는 pan과 steam이 비슷한 함량을 나타내었으며 microwave가 가장 낮은 함량을 나타내었다($p < 0.05$).
- Hx의 경우 등심 및 안심과 비슷한 경향을 보였다. 건열 조리인 microwave, oven, pan의 경우 조리 방법에 따라 원료육 대비 유의적으로 증가하였으며, boiling 및 steam의 경우 낮아지는 경향을 보였으나 boiling은 원료육과 유의적인 차이가 없었다. inosine의 경우 Hx의 경향과 비슷하였으나 microwave의 경우 조리 방법에 따라 감소하였으나 원료육과 유의적인 차이가 없었다. 조리방법 중 steam이 가장 낮은 inosine 및 Hx 함량을 보여주었다.

Table 36. Nucleic acid content of dairy beef brisket by cooking methods

Nucleotide content (mg/100g)	Raw	Cooking methods		SEM
		Boiling	Microwave	
Hx	32.53 ^b	24.90 ^c	34.50 ^a	0.349
IMP	50.95 ^b	54.02 ^b	65.93 ^a	2.256
inosine	32.97 ^b	27.71 ^c	36.70 ^a	0.546
AMP	7.77 ^b	10.34 ^a	9.88 ^a	0.171
ADP	9.05 ^a	6.78 ^b	9.08 ^a	0.113
ATP	6.64 ^b	5.34 ^c	9.23 ^a	0.129

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 양지의 핵산 물질 조성을 Table 36에 나타내었다.
- 조리는 양지의 IMP의 양을 증가시켰으나 microwave만 유의적으로 증가하여 조리육 중 가장 높은 값을 보였다.
- Hx와 inosine의 경우 등심, 안심, 갈비와 유사한 경향을 나타내었다. microwave 조리는 Hx와 inosine 함량을 증가시킨 반면, boiling은 함량을 감소시켰다($p < 0.05$).

Table 37. Nucleic acid content of dairy beef round by cooking methods

Nucleotide content (mg/100g)	Raw	Cooking methods			SEM
		Boiling	Microwave	Sous-vide	
Hx	36.05 ^c	33.61 ^d	38.55 ^b	43.19 ^a	0.426
IMP	92.28 ^c	96.94 ^b	124.94 ^a	44.39 ^d	0.65
inosine	36.76 ^c	31.02 ^d	39.10 ^b	57.48 ^a	0.49
AMP	3.39 ^c	15.83 ^a	16.03 ^a	11.94 ^b	0.281
ADP	15.15 ^a	6.07 ^c	9.21 ^b	2.53 ^d	0.372
ATP	2.31 ^c	4.15 ^b	6.51 ^a	0.00 ^d	0.271

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 조리방법에 따른 우둔의 핵산 물질 조성을 Table 37에 나타내었다.
- IMP의 조성의 경우 microwave와 boiling의 경우 조리 방법에 따라 IMP 함량을 증가시켰으나 ($p < 0.05$), sous-vide 조리는 유의적으로 감소시켰다.
- Hx과 inosine 경우 microwave는 우둔의 Hx의 양을 증가시켰으며, boiling은 감소시켜 다른 부위와 유사한 경향을 나타내었다($p < 0.05$).
- 하지만 sous-vide 조리는 Hx와 inosine의 양을 증가시켰는데($p < 0.05$), 이는 sous-vide가 비교적 낮은 조건(60°C)에서 지속되어 온도의 증가가 천천히 일어나기 때문에 IMP decomposition enzyme과 같은 온도 의존적인 효소의 불활성화가 더디지면서 더 많은 IMP가 분해되어 inosine 및 Hx로 전환되었을 것으로 사료된다(Ishiwatari et al., 2013).

라) 휘발성 유기 화합물 (VOC) 분석

- 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOC) 조성은 여러 화합물로 구성이 되며 이런 화합물은 다양한 class로 나뉠 수 있으며 각각의 class가 가지는 특성과 개별 화합물의 특성으로 인하여 고기 풍미에 핵심적인 역할을 할 수 있다(Bassam et al., 2022).
- Aldehyde는 carbonyl과 함께 지질 산화의 대표적인 생성물로 saturated와 unsaturated aldehyde로 나뉘며 대표적인 aldehyde로 octanal, hexanal, heptanal, nonanal 등이 존재한다(Bassam et al., 2022). 관능적인 특성에서 octanal과 nonanal은 pleasant aroma를 구성하고 hexanal과 pentanal은 unpleasant aroma를 구성하는 것으로 알려져있다(Barido et al., 2022).
- Alcohol은 지방의 분해로 인해 발생되며 1-octen-3-ol과 같은 성분이 육류에서 주로 발견되며 고기의 풍미에 영향을 끼칠 수 있으나 일반적으로 Alcohol은 높은 odor threshold를 가지기에 중요도는 떨어진다(Bassam et al., 2022).
- Ketone은 aldehyde와 유사하게 지질 산화 또는 maillard reaction 등으로 생성되며 특히 methylketone 또는 2-ketone류의 경우 고기 풍미의 중점적인 역할을 한다(Song et al., 2011).
- Hydrocarbon은 지질 산화로 주로 생성되며 고기 풍미의 pleasant flavor를 줄 수 있으나 과 생성 또는 조리 온도에 따라 off-flavor에 영향을 줄 수 있다. acid의 경우 지질 산화나 지질 산화의 2차 대사물질인 hexanal 등이 분해되어 생성되며 고기 풍미에 긍정적 또는 부정적인 효과를 준다(Chang et al., 2020).

Table 38. Volatile organic compounds of dairy beef loin by cooking methods

VOC (A.U. x 10 ⁶)	m/z	LRI	Raw	Cooking methods					SEM
				Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Alcohols									
Benzyl alcohol	108	1039	0.00 ^c	0.01 ^b	0.00 ^c	0.01 ^a	0.01 ^b	0.00 ^c	0.000
2-Octen-1-ol, (E)-	57	1078	0.00 ^b	1.67 ^a	0.00 ^b	2.15 ^a	0.00 ^b	1.70 ^a	0.135
1-Heptanol	70	964	0.06 ^d	1.88 ^{bc}	1.04 ^{cd}	2.93 ^a	0.28 ^d	2.35 ^{ab}	0.207
1-Octen-3-ol	57	975	0.85 ^c	23.80 ^{ab}	18.34 ^b	24.15 ^{ab}	5.60 ^c	26.03 ^a	1.334
1-Octanol	56	1081	0.10 ^c	1.93 ^{ab}	0.85 ^{bc}	2.49 ^a	0.30 ^c	1.82 ^{ab}	0.264
1-Dodecanol	69	1477	0.00 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-oxopropyl)phenol	233	1642	0.01 ^{ab}	0.02 ^a	0.02 ^a	0.01 ^b	0.01 ^{ab}	0.02 ^a	0.001
1-Hexadecanol	83	1883	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
1-Hexanol, 2-ethyl-	57	1036	0.00 ^d	0.00 ^d	0.39 ^b	0.53 ^a	0.24 ^c	0.38 ^b	0.019
1-Nonen-4-ol	55	1104	0.00 ^c	0.61 ^{ab}	0.33 ^{bc}	0.70 ^a	0.06 ^c	0.85 ^a	0.074
1-Nonanol	56	1176	0.00 ^c	0.04 ^{ab}	0.02 ^b	0.05 ^a	0.00 ^c	0.05 ^a	0.004
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56	788	0.13 ^b	1.79 ^a	1.36 ^a	1.82 ^a	0.42 ^b	1.97 ^a	0.189
Aldehydes									
1,2-Oxaborolane, 2-ethyl-4,5-dimethyl-	55	716	0.00 ^b	0.00 ^b	0.08 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.011
Hexanal, 5-methyl-	70	850	0.09 ^b	12.48 ^a	9.97 ^a	12.13 ^a	1.60 ^b	13.97 ^a	1.295
Octanal	57	1003	0.06 ^b	7.95 ^a	5.73 ^a	8.23 ^a	1.13 ^b	8.37 ^a	0.906
Benzeneacetaldehyde	91	1047	0.07 ^c	0.33 ^b	0.33 ^b	0.43 ^b	1.44 ^a	0.39 ^b	0.041
2-Octenal, (E)-	70	1065	0.02 ^b	1.18 ^a	0.94 ^a	1.43 ^a	0.00 ^b	1.41 ^a	0.131
Nonanal	57	1113	0.42 ^b	15.20 ^a	11.4 ^a	16.98 ^a	2.99 ^b	16.22 ^a	1.446
Decanal	57	1206	0.03 ^d	0.27 ^{ab}	0.18 ^{bc}	0.33 ^a	0.11 ^{cd}	0.28 ^{ab}	0.024
2-Decenal, (E)-	70	1265	0.01 ^d	0.35 ^{bc}	0.18 ^{bd}	0.75 ^a	0.03 ^{cd}	0.50 ^{ab}	0.070
Dodecanal	57	1409	0.01 ^d	0.07 ^b	0.05 ^c	0.09 ^a	0.02 ^{cd}	0.07 ^{ab}	0.005
Tridecanal	57	1514	0.01 ^d	0.12 ^{ab}	0.08 ^{bc}	0.17 ^a	0.03 ^{cd}	0.12 ^{ab}	0.014
Tetradecanal	57	1613	0.01 ^d	0.08 ^{bc}	0.05 ^{cd}	0.15 ^a	0.03 ^d	0.10 ^{ab}	0.010
Pentadecanal-	57	1717	0.01 ^d	0.11 ^{bc}	0.06 ^{cd}	0.19 ^a	0.03 ^d	0.13 ^{ab}	0.014
Hexadecanal	57	1818	0.03 ^d	0.14 ^a	0.06 ^{cd}	0.11 ^{ab}	0.11 ^{ab}	0.09 ^{bc}	0.009
2H-Pyran-2-carboxaldehyde, 3,4-dihydro-	83	937	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
2,4-Heptadienal, (E,E)-	81	1013	0.00 ^c	0.08 ^{ab}	0.06 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.09 ^a	0.005
5-Ethylcyclopent-1-ene carboxaldehyde	95	1033	0.00 ^b	0.55 ^a	0.51 ^a	0.50 ^a	0.08 ^b	0.67 ^a	0.045
4-Decenal, (E)-	84	1195	0.00 ^b	0.17 ^a	0.13 ^a	0.19 ^a	0.03 ^b	0.19 ^a	0.014
2,4-Nonadienal, (E,E)-	81	1215	0.00 ^d	0.14 ^{bc}	0.09 ^{cd}	0.27 ^a	0.00 ^d	0.23 ^{ab}	0.026
2,4-Decadienal, (E,Z)-	81	1298	0.00 ^b	0.24 ^a	0.20 ^a	0.28 ^a	0.03 ^b	0.31 ^a	0.028
Undecanal	57	1311	0.00 ^d	0.06 ^{ab}	0.04 ^{bc}	0.08 ^a	0.02 ^{cd}	0.06 ^a	0.005
2,4-Decadienal, (E,E)-	81	1320	0.00 ^c	0.57 ^{ab}	0.33 ^{bc}	0.73 ^a	0.00 ^c	0.74 ^a	0.071
2-Undecenal	70	1366	0.00 ^d	0.25 ^{bc}	0.13 ^{cd}	0.56 ^a	0.02 ^d	0.37 ^{ab}	0.049
Benzaldehyde, 4-pentyl-	120	1463	0.00 ^c	0.02 ^{ab}	0.01 ^b	0.04 ^a	0.00 ^c	0.02 ^b	0.002
Esters									
Hydrogen isocyanate	43	570	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
2-Butenoic acid, 2-methyl-, 2-methylpropyl ester, (E)-	55	1104	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.84 ^a	0.014
Benzoyl isothiocyanate	77	630	0.31 ^d	4.69 ^a	4.64 ^{ab}	4.10 ^{bc}	3.53 ^c	4.84 ^a	0.123
n-Caproic acid vinyl ester	43	982	0.44 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	8.14 ^a	0.00 ^c	0.082
Hexanoic acid, ethyl ester	88	1002	0.15 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.006
Methyl salicylate	120	1194	0.01 ^c	0.22 ^b	0.00 ^c	0.34 ^a	0.3 ^{ab}	0.22 ^b	0.022
Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	71	1376	0.04 ^b	0.04 ^b	0.05 ^b	0.00 ^c	0.05 ^b	0.07 ^a	0.003
Decanoic acid, ethyl ester	88	1396	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Dibutyl phthalate	149	1966	0.05 ^a	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.005
Hexadecanoic acid, butyl ester	56	2169	0.04 ^a	0.00 ^c	0.01 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.002
Diphosphoric acid, diisooctyl ester	55	672	0.13 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001

Formic acid, hexyl ester	56	900	0.00 ^b	0.07 ^a	0.06 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.08 ^a	0.005
Thiophosphordiamide, S-methyl ester	126	949	0.00 ^b	0.00 ^b	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.005
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	712	20.67 ^a	16.56 ^{ab}	15.71 ^b	15.77 ^b	17.61 ^{ab}	15.15 ^b	0.904
Vinyl caprylate	57	1187	0.00 ^c	0.11 ^b	0.05 ^{bc}	0.20 ^a	0.00 ^c	0.12 ^{ab}	0.018
Di-sec-butyl phthalate	149	1873	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Hydrocarbons									
Hexane, 2,2,5,5-tetramethyl-	57	812	0.07 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.005
Oxetane, 3,3-dimethyl-	56	600	0.00 ^c	0.11 ^b	0.00 ^c	0.17 ^a	0.00 ^c	0.16 ^a	0.009
Cyclopentane, 1,1-dimethyl-	55	672	0.00 ^b	0.16 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.010
7-Methyl-1,6-octadiene	54	895	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	105	1020	0.00 ^c	0.01 ^b	0.00 ^c	0.03 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.002
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	119	1122	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.04 ^a	0.04 ^a	0.03 ^a	0.003
1,3,7-Octatrien-5-yne	104	821	0.19 ^d	0.96 ^b	1.14 ^a	1.18 ^a	0.41 ^c	0.88 ^b	0.036
Undecane, 3-methyl-	57	1174	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
2,3-Diazabicyclo[2.2.2] oct-2-ene	54	712	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.11 ^a	0.001
Hexane, 3-ethyl-	43	772	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.11 ^b	0.17 ^a	0.09 ^b	0.008
1,2-Cyclooctadiene	79	804	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.001
Nonane, 2-methyl-	57	952	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.08 ^b	0.17 ^a	0.06 ^{bc}	0.016
Nonane, 2,5-dimethyl-	57	1017	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.08 ^b	0.23 ^a	0.09 ^b	0.010
o-Cymene	119	1025	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.03 ^a	0.00 ^c	0.02 ^b	0.001
Nonane, 2,6-dimethyl-	71	1027	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.13 ^b	0.33 ^a	0.13 ^b	0.031
Arsine	76	578	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	8.09 ^a	0.00 ^b	0.238
Ethyl-1-propenyl ether	57	600	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^b	0.33 ^a	0.00 ^b	0.013
Heptane, 3,4,5-trimethyl-	85	946	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.004
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	105	985	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.001
Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	121	996	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.2 ^a	0.00 ^b	0.001
Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	135	1087	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.39 ^a	0.00 ^b	0.005
Decane, 2,4-dimethyl-	57	1109	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.001
5H-Cyclopentapyrazine, 6,7-dihydro-2,5-dimethyl-	133	1223	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.000
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	71	1285	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.004
Dodecane, 4,6-dimethyl-	71	1330	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
1-Octene, 3,3-dimethyl-	56	1138	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
(2Z,4Z,6E)-2,4,6-Undecatriene	79	1234	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Octane, 2,2,6-trimethyl-	57	961	0.13 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
Decane	57	999	0.03 ^c	0.65 ^{bc}	0.12 ^c	0.92 ^{ab}	1.43 ^a	0.84 ^{ab}	0.143
Methane-d, trichloro-	84	577	0.01 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01 ^a	0.001
Methane, isocyanato-	57	798	0.06 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.65 ^a	0.00 ^b	0.018
2,2,7,7-Tetramethyloctane	57	1027	0.19 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
D-Limonene	68	1029	0.03 ^{cd}	0.08 ^{ab}	0.06 ^{bc}	0.11 ^a	0.00 ^d	0.06 ^{bc}	0.010
Octane, 2,3,6-trimethyl-	57	1058	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Benzene, 1-isocyano-3-methyl-	117	1145	0.01 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.02 ^a	0.001
Naphthalene	128	1181	0.02 ^{bc}	0.03 ^a	0.03 ^{ab}	0.02 ^{ac}	0.02 ^c	0.02 ^{ac}	0.001
Dodecane	57	1200	0.19 ^{bc}	0.00 ^c	0.17 ^{bc}	0.59 ^a	0.45 ^{ab}	0.00 ^c	0.066
Benzene, 1,3-bis(1,1-dimethylethyl)-	175	1258	0.35 ^{ab}	0.18 ^{bc}	0.16 ^c	0.35 ^a	0.22 ^{ac}	0.14 ^c	0.037
Pentane, 3-methyl-	43	585	0.99 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07
Tridecane	57	1304	0.11 ^b	0.30 ^a	0.22 ^a	0.32 ^a	0.11 ^b	0.32 ^a	0.022
Tetradecane	57	1400	0.07 ^c	0.14 ^{ac}	0.10 ^{bc}	0.24 ^a	0.15 ^{ac}	0.18 ^{ab}	0.021
Pentadecane	57	1503	0.06 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.07 ^{ab}	0.11 ^a	0.05 ^b	0.08 ^{ab}	0.01
Methane, dichloronitro-	83	589	2.44 ^a	0.09 ^b	3.04 ^a	0.07 ^b	0.08 ^b	0.15 ^b	0.305
Hexadecane	71	1600	0.06 ^a	0.04 ^a	0.00 ^b	0.06 ^a	0.05 ^a	0.00 ^b	0.007
Heptadecane	57	1702	0.02 ^b	0.00 ^b	0.02 ^b	0.06 ^a	0.02 ^b	0.00 ^b	0.006

Oxetane, 3-(1-methylethyl)-	55	653	0.37 ^c	4.55 ^a	3.25 ^{ab}	4.77 ^a	1.23 ^{bc}	4.63 ^a	0.430	
1,3-Hexadien-5-yne	78	600	0.00 ^c	0.00 ^c	0.18 ^{ab}	0.16 ^b	0.00 ^c	0.24 ^a	0.014	
1,6-Heptadien-3-yne, 5-methyl-	91	763	0.00 ^c	0.14 ^b	0.17 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.007	
2,2,6,6-Tetramethylheptane	57	945	0.00 ^b	0.00 ^b	0.36 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.019	
Undecane	57	1109	0.00 ^c	0.09 ^{ab}	0.06 ^b	0.11 ^a	0.00 ^c	0.08 ^{ab}	0.008	
(E,E)-1,3,5-Undecatriene	79	1178	0.00 ^b	0.04 ^a	0.03 ^a	0.05 ^a	0.00 ^b	0.05 ^a	0.005	
Pyridine, 2-butyl-	93	1198	0.00 ^c	0.00 ^c	0.04 ^b	0.08 ^a	0.00 ^c	0.06 ^{ab}	0.005	
Bicyclo[2.2.2]octane, 1-methoxy-4-methyl-	84	1346	0.00 ^c	0.09 ^{ab}	0.04 ^{bc}	0.14 ^a	0.00 ^c	0.09 ^{ab}	0.014	
Hexathiane	192	1493	0.00 ^b	0.04 ^a	0.04 ^a	0.05 ^a	0.04 ^a	0.05 ^a	0.005	
4-Nonenal, (E)-	55	1106	0.00 ^c	0.13 ^{ab}	0.07 ^{bc}	0.16 ^a	0.02 ^c	0.14 ^{ab}	0.015	
2-Nonenal, (E)-	83	1153	0.00 ^c	0.51 ^b	0.05 ^c	0.93 ^a	0.06 ^c	0.11 ^c	0.072	
Ketones										
2-n-Butyl-2-cyclopentanone	67	1130	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000	
3(2H)-Furanone, 4-hydroxy-5-methyl-	43	1046	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.002	
Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-	109	1069	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.60 ^a	0.00 ^b	0.014	
1-(5-Methyl-2-pyrazinyl)-1-ethanone	136	1122	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.000	
4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	144	1148	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.002	
Acetophenone	105	1071	0.04 ^b	0.00 ^c	0.06 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.000	
2,3-Butanedione	43	583	0.67 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.63 ^a	0.53 ^a	0.00 ^b	0.050	
2-Nonanone	58	1101	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001	
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	43	1456	0.02 ^{ab}	0.01 ^b	0.00 ^c	0.03 ^a	0.02 ^{ab}	0.00 ^c	0.002	
2-Butanone	43	585	0.00 ^c	1.79 ^{ab}	2.18 ^a	0.93 ^{bc}	1.14 ^{ac}	1.82 ^{ab}	0.259	
N,N'-Bis(2,6-dimethyl-6-nitrosohept-2-en-4-one)	83	644	0.00 ^b	0.03 ^a	0.02 ^a	0.04 ^a	0.00 ^b	0.03 ^a	0.004	
3-Octen-2-one	55	1046	0.00 ^c	0.05 ^b	0.04 ^b	0.13 ^a	0.00 ^c	0.12 ^a	0.004	
2(3H)-Furanone, 5-ethylidihydro-	85	1061	0.00 ^c	0.07 ^{ab}	0.06 ^b	0.08 ^a	0.00 ^c	0.08 ^{ab}	0.005	
Furan, 2-pentyl-	81	988	0.00 ^c	7.70 ^b	6.81 ^b	6.39 ^b	1.48 ^c	9.65 ^a	0.399	
Acids										
Heptanoic acid	60	1090	0.02 ^b	0.00 ^c	0.03 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.002	
Octanoic acid	60	1179	0.06 ^a	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.004	
n-Decanoic acid	73	1369	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001	
Tetradecanoic acid	73	1762	0.03 ^b	0.01 ^b	0.02 ^b	0.10 ^a	0.02 ^b	0.02 ^b	0.005	
(E)-Hexadec-9-enoic acid	55	1943	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000	
n-Hexadecanoic acid	73	1963	0.13 ^b	0.14 ^b	0.19 ^b	0.64 ^a	0.14 ^b	0.16 ^b	0.044	
cis-Vaccenic acid	69	2126	0.04 ^a	0.00 ^b	0.02 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004	
Octadecanoic acid	73	2147	0.02 ^b	0.03 ^b	0.04 ^b	0.05 ^b	0.03 ^b	0.71 ^a	0.052	
Sulfur compounds										
Cyclic octaatomic sulfur	64	2026	0.00 ^c	0.20 ^a	0.10 ^b	0.13 ^b	0.14 ^b	0.13 ^b	0.010	
Others										
Dimethylphosphinic fluoride	81	613	0.00 ^b	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002	
5H-Tetrazol-5-amine	85	946	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.11 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.007	
Silicon tetrafluoride	85	706	0.01 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.07 ^b	0.01 ^c	0.18 ^a	0.006	
sec-Butylamine	44	597	0.05 ^c	12.87 ^{ab}	13.55 ^{ab}	10.11 ^b	1.62 ^c	15.93 ^a	1.087	
Formamide, N,N-dibutyl-	72	1308	0.00 ^d	0.06 ^{ab}	0.05 ^b	0.06 ^{ab}	0.03 ^c	0.07 ^a	0.003	

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05. m/z, quantitative ion; LRI, linear retention index.

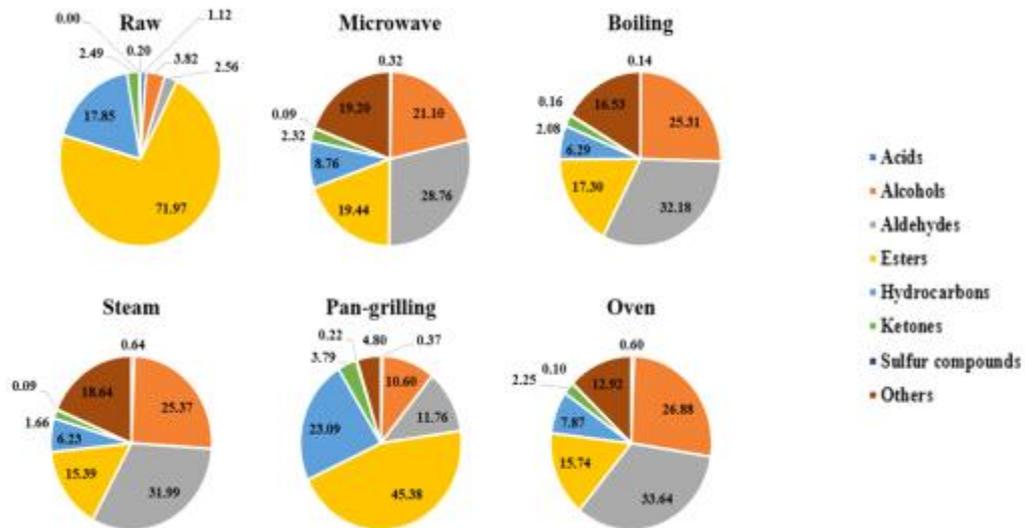


Figure 2. Total VOCs composition of dairy beef loin by cooking.

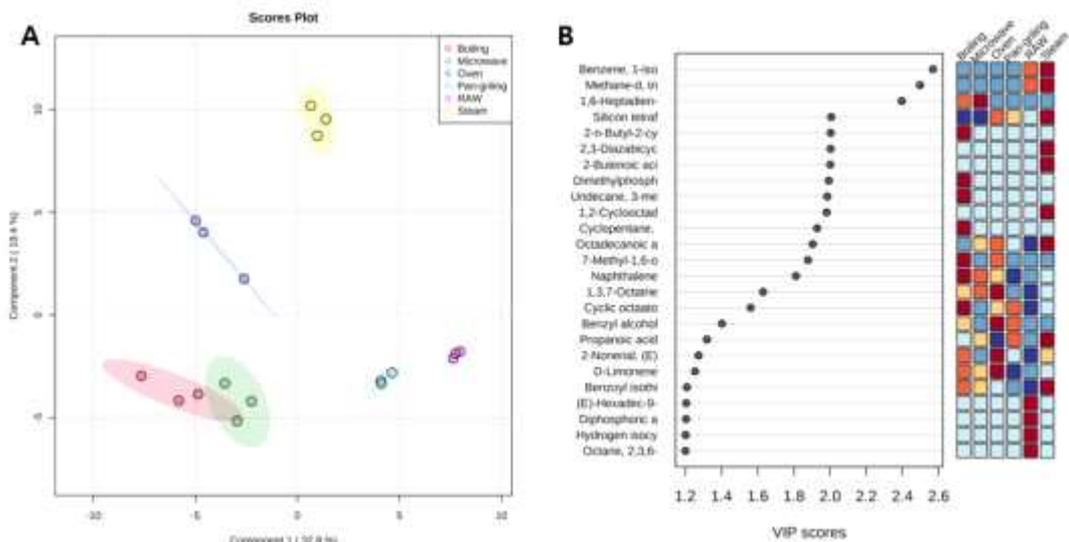


Figure 3. Partial least squares–discriminant analysis (PLS-DA) (A) and its variable importance in projection scores (VIP scores) (B) from dairy beef loin by cooking methods.

- 조리방법에 따른 등심의 VOC 조성을 Table 38 및 Figure 2, 3에 나타내었다.
- 등심에서는 총 135개의 서로 다른 화합물이 검출되었으며 이들은 hydrocarbon (56), aldehyde (23), ester (16), ketone (14), alcohol (12), acids (8), sulfur compounds (1), others (5)로 구성되었다.
- Microwave, boiling, steam, oven 조리는 원료육 대비 총 ester와 acid의 감소를 유발했으나 pan 조리의 경우 ester는 상대적으로 높은 비율을 보였고, acid의 경우 증가하였다.
- 이런 이유로 pan 조리의 aldehyde와 alcohol 함량은 타 조리방법과 비교하여 더 낮은 비율을 차지하는 것을 보여주었다.
- 1-Octen-3-ol (raw, fishy, oily, earthy, fungal, chicken, mushroom, green)의 경우 가장 많은 alcohol이었으며, boiling, oven 및 steam이 높은 함량을 보였으며 pan이 유익적으로 가장 낮은 함량을 보였다.
- Octanal (lemon, citrus, soap, orange peel, fat, waxy, fatty, aldehydic, green) 및

nonanal (citrus, green, fishy, waxy, fresh, fatty, peely, aldehydic, orris)의 경우 pan 조리에서 가장 적은 양으로 검출되었으며 그 외의 조리법 간에는 유의적인 차이가 없었으나 octanal의 경우 steam이 가장 많았으며 nonanal의 경우 oven이 가장 많았다.

- 2,3-Butanedione (butter, caramel, oily, creamy, sweet, pungent, strong)의 경우 고기에서 긍정적인 풍미를 주는 2-ketone 중 하나인데, 조리법 중 oven과 pan에서만 검출되었다.
- Multivariate analysis로 이들 화합물의 영향을 비교해본 결과 boiling과 microwave는 완전히 분리되지 않았으며, 그 외의 조리방법은 각각의 그룹을 형성하였다. pan 조리의 경우 생육과 가장 근접한 조리방법으로 나타났다.
- VIP score에서는 Benzene, 1-isocyano-3-methyl- (odorless), Methane-d, trichloro- (odorless), 1,6-Heptadien-3-yne, 5-methyl- (odorless)의 세 물질이 VIP score 2.4 이상으로 나타나 처리구 간 분포 형성에 있어서 기여도가 높을 것으로 사료된다.

Table 39. Volatile organic compounds of dairy beef tenderloin by cooking methods

VOC (A.U. x 10 ⁶)	m/z	LRI	Raw	Cooking methods					SEM
				Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Alcohols									
Benzyl alcohol	108	1039	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.02 ^a	0.001
cis-11-Tetradecen-1-ol	57	1688	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.000
Cyclohexanol, 2,4-dimethyl-	57	1038	0.00 ^c	0.14 ^{ab}	0.15 ^a	0.14 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.003
n-Tridecan-1-ol	69	1577	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56	789	0.27 ^e	1.63 ^c	2.12 ^b	2.55 ^a	0.57 ^{de}	0.69 ^d	0.071
1-Hexanol, 2-ethyl-	57	1036	0.21 ^b	0.36 ^b	0.00 ^c	0.26 ^b	1.16 ^a	0.96 ^a	0.041
1-Octen-3-ol	57	975	1.39 ^e	22.62 ^c	27.11 ^b	34.29 ^a	7.68 ^d	9.84 ^d	0.733
1-Octanol	56	1081	0.17 ^c	2.72 ^b	4.47 ^a	4.55 ^a	0.48 ^c	0.57 ^c	0.088
1-Heptanol	70	965	0.13 ^c	2.85 ^b	4.88 ^a	4.98 ^a	0.38 ^c	0.54 ^c	0.102
Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-	71	1176	0.05 ^a	0.00 ^b	0.001				
p-Cresol	107	1088	0.03 ^a	0.00 ^b	0.000				
1-Nonanol	56	1176	0.02 ^c	0.05 ^b	0.08 ^a	0.09 ^a	0.00 ^d	0.00 ^d	0.004
1-Dodecanol	69	1477	0.00 ^b	0.04 ^a	0.03 ^{ab}	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^b	0.007
11-Tridecen-1-ol	57	1577	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
1-Nonen-4-ol	55	1104	0.00 ^c	0.27 ^b	0.00 ^c	0.63 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.007
2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-oxopropyl)phenol	233	1642	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01 ^b	0.01 ^{ab}	0.01 ^a	0.00 ^c	0.000
2-Octen-1-ol, (E)-	57	1078	0.00 ^d	1.47 ^b	2.28 ^a	2.21 ^a	0.62 ^c	0.80 ^c	0.059
Aldehydes									
Benzaldehyde, 4-pentyl-	120	1463	0.00 ^c	0.17 ^{ab}	0.21 ^a	0.16 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.009
Heptadecanal	82	1922	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Nonanal	57	1113	0.43 ^d	20.98 ^b	24.68 ^a	27.01 ^a	3.36 ^c	3.47 ^c	0.516
Undecanal	43	1312	0.00 ^b	0.17 ^a	0.17 ^a	0.18 ^a	0.02 ^b	0.02 ^b	0.017
Hexanal, 5-methyl-	70	851	0.22 ^d	13.85 ^c	16.17 ^b	21.38 ^a	1.20 ^d	1.79 ^d	0.344
Hexadecanal	82	1818	0.21 ^c	0.57 ^{ab}	0.69 ^a	0.74 ^a	0.38 ^{bc}	0.22 ^c	0.056
Octanal	57	1003	0.14 ^d	8.82 ^c	10.54 ^b	12.69 ^a	0.9 ^d	1.12 ^d	0.242
Benzeneacetaldehyde	91	1048	0.12 ^c	0.36 ^{bc}	0.34 ^{bc}	0.51 ^b	1.73 ^a	0.35 ^{bc}	0.060
Tetradecanal	57	1613	0.04 ^c	0.42 ^b	0.55 ^a	0.48 ^{ab}	0.05 ^c	0.05 ^c	0.024
Pentadecanal-	57	1718	0.04 ^b	0.61 ^a	0.75 ^a	0.66 ^a	0.05 ^b	0.06 ^b	0.034
Decanal	57	1207	0.03 ^e	0.52 ^c	0.65 ^b	0.74 ^a	0.14 ^d	0.12 ^d	0.016
Tridecanal	57	1514	0.01 ^b	0.42 ^a	0.52 ^a	0.41 ^a	0.03 ^b	0.04 ^b	0.025
Octadecanal	82	2020	0.01 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.02 ^a	0.00 ^c	0.001

Dodecanal	57	1410	0.00 ^b	0.27 ^a	0.30 ^a	0.30 ^a	0.03 ^b	0.03 ^b	0.018
2,4-Decadienal, (E,E)-	81	1320	0.00 ^d	0.57 ^c	0.96 ^b	1.46 ^a	0.00 ^d	0.00 ^d	0.019
2,4-Decadienal, (E,Z)-	81	1298	0.00 ^d	0.21 ^c	0.32 ^b	0.58 ^a	0.00 ^d	0.00 ^d	0.004
2,4-Nonadienal, (E,E)-	81	1215	0.00 ^c	0.00 ^c	0.35 ^b	0.59 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.005
2-Decenal, (E)-	70	1265	0.00 ^d	1.40 ^c	2.24 ^a	1.71 ^b	0.02 ^d	0.07 ^d	0.033
2-Nonenal, (E)-	70	1164	0.00 ^d	1.19 ^c	1.75 ^b	2.13 ^a	0.05 ^d	0.10 ^d	0.036
2-Octenal, (E)-	70	1065	0.00 ^c	1.68 ^b	1.99 ^b	3.51 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.213
2-Octenal, 2-butyl-	71	1376	0.00 ^b	0.00 ^b	0.10 ^a	0.11 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
2-Undecenal	57	1366	0.00 ^d	1.16 ^c	1.86 ^a	1.31 ^b	0.00 ^d	0.00 ^d	0.025
4-Decenal, (E)-	84	1195	0.00 ^d	0.24 ^c	0.31 ^b	0.40 ^a	0.00 ^d	0.00 ^d	0.006
4-Nonenal, (E)-	55	1106	0.00 ^c	0.17 ^b	0.21 ^a	0.24 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.006
5-Ethylcyclopent-1-ene carboxaldehyde	67	1032	0.00 ^d	0.52 ^b	0.51 ^b	1.26 ^a	0.03 ^{cd}	0.10 ^c	0.018
Benzaldehyde, 2-hydroxy-	122	1044	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Benzaldehyde, 3-ethyl-	134	1166	0.00 ^b	0.00 ^b	0.43 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.006
Esters									
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	713	19.78 ^a	14.82 ^b	12.64 ^b	14.03 ^b	14.80 ^b	14.34 ^b	0.462
Butyl isocyanatoacetate	57	582	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Dibutyl phthalate	149	1966	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^b	0.04 ^b	0.04 ^b	0.15 ^a	0.011
Di-sec-butyl phthalate	149	1873	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Benzoyl isothiocyanate	77	631	0.45 ^c	5.90 ^a	4.70 ^b	0.28 ^c	5.58 ^{ab}	4.79 ^b	0.196
Propanoic acid, 2-methyl-2-ethyl-3- hydroxyhexyl ester	71	1376	0.00 ^b	0.16 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Hexadecanoic acid, butyl ester	56	2170	0.36 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.041
Vinyl caprylate	57	1187	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.17 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Hexanoic acid, ethyl ester	88	1002	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Hydrogen isocyanate	43	570	0.09 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.68 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.050
Propanoic acid, 2- methyl-3-hydroxy- 2,2,4-trimethylpentyl ester	71	1376	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.05 ^a	0.005
n-Caproic acid vinyl ester	43	983	0.93 ^c	25.65 ^a	26.61 ^a	0.00 ^c	8.60 ^b	14.72 ^b	1.309
Octadecanoic acid, butyl ester	56	2363	0.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
Methyl salicylate	120	1194	0.90 ^b	3.87 ^a	3.70 ^a	4.91 ^a	0.96 ^b	0.66 ^b	0.426
2-Butenoic acid, 2- methyl-, 2-methylpropyl ester	55	1104	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.23 ^a	0.00 ^b	0.004
2-Ethylhexyl salicylate	120	1809	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
2-Propenoic acid, 3-(4-methoxyphenyl)-, 2-ethylhexyl ester	178	2152	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Hydrocarbons									
Oxetane, 3-(1-methylethyl)-	55	653	0.60 ^d	3.68 ^b	5.69 ^a	5.41 ^a	0.98 ^{cd}	1.52 ^c	0.158
Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl-	119	1155	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	105	1020	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07 ^a	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.003
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	119	1125	0.00 ^d	0.12 ^{ab}	0.08 ^{ac}	0.12 ^a	0.04 ^{bcd}	0.03 ^{cd}	0.016
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	105	986	0.00 ^c	0.06 ^b	0.06 ^b	0.00 ^c	0.19 ^a	0.06 ^b	0.007
Benzene,	119	1085	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.001

1-ethyl-2,4-dimethyl- Benzene,	105	968	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.000
1-ethyl-4-methyl- Benzene,	105	1055	0.00 ^c	0.05 ^b	0.17 ^a	0.20 ^a	0.05 ^b	0.00 ^c	0.007
1-methyl-2-propyl- Benzene, 1-methyl-	119	1025	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
3-(1-methylethyl)- Benzene,	119	1091	0.00 ^b	0.15 ^a	0.11 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01
2-ethyl-1,3-dimethyl- Decane	57	999	0.57 ^c	7.25 ^a	3.43 ^{bc}	6.41 ^{ab}	2.40 ^c	1.70 ^c	0.715
Benzocyclodecene, tetradecahydro-	57	1584	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Bicyclo[2.1.1]hex-2-en e, 2-ethenyl-	91	778	0.00 ^c	0.40 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.44 ^{ab}	0.46 ^a	0.010
Bicyclo[2.2.2]octane, 1-methoxy-4-methyl-	84	1346	0.00 ^c	0.17 ^b	0.25 ^a	0.26 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.005
Cyclopentane, 1,1-dimethyl-	55	672	0.00 ^b	0.00 ^b	0.13 ^a	0.14 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.013
Dodecane Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	281	1009	0.00 ^b	0.00 ^b	30.63 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	32.82 ^a	1.54
Decane, 2,4-dimethyl-	57	1109	0.00 ^b	0.00 ^b	0.2 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.007
Dodecane, 4,6-dimethyl-	71	1330	0.00 ^b	0.19 ^a	0.15 ^a	0.00 ^b	0.03 ^b	0.03 ^b	0.014
Heptane, 3,4,5-trimethyl-	85	946	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.28 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.011
Heptane, 3,4-dimethyl-	57	847	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.11 ^a	0.00 ^b	0.003
Heptane, 4-azido-	57	650	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.002
Hexathiane	192	1494	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.04 ^a	0.002
Indane	117	1034	0.00 ^b	0.01 ^a	0.01 ^a	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.000
Methane, isocyanato-	57	615	0.00 ^b	0.00 ^b	0.35 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.008
Methane-d, trichloro-	84	578	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.06 ^a	0.001
n-Hexane	43	585	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.45 ^a	0.00 ^b	0.019
Nonane, 5-methyl-	85	946	0.00 ^c	0.00 ^c	0.16 ^a	0.00 ^c	0.10 ^b	0.00 ^c	0.004
Pyrazine, 2,5-dimethyl- 3-(3-methylbutyl)-	122	1320	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.001
Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	121	996	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.26 ^a	0.00 ^b	0.001
Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	135	1088	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.52 ^a	0.00 ^b	0.011
Pyridine, 2,3,6-trimethyl-	121	998	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Pyridine, 2-butyl-	93	1197	0.00 ^b	0.13 ^a	0.14 ^a	0.15 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.005
Silane, dimethoxydimethyl-	105	631	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07 ^a	0.00 ^b	0.001
Tris(tert-butyl)dimethylsily loxy)arsane	207	1177	0.00 ^b	0.78 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.098
Undecane	57	1109	0.00 ^c	0.37 ^a	0.30 ^{ab}	0.40 ^a	0.18 ^b	0.00 ^c	0.038
Undecane, 2,4-dimethyl-	85	1212	0.00 ^b	0.09 ^a	0.06 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.005
Undecane, 2,5-dimethyl-	57	1216	0.00 ^c	0.00 ^c	0.27 ^b	0.47 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.035
Undecane, 2-methyl-	57	1169	0.00 ^c	0.12 ^a	0.11 ^{ab}	0.19 ^a	0.04 ^{bc}	0.00 ^c	0.017
Undecane, 3-methyl-	57	1169	0.00 ^c	0.00 ^c	0.09 ^a	0.00 ^c	0.05 ^b	0.00 ^c	0.004
Undecane, 5-methyl-	71	1162	0.00 ^b	0.09 ^a	0.05 ^{ab}	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.013
Tridecane	57	1293	0.19 ^{bc}	0.11 ^{cd}	0.09 ^d	0.13 ^{cd}	0.28 ^a	0.24 ^{ab}	0.019
Tetradecane	57	1400	0.17 ^b	1.25 ^a	1.06 ^a	1.05 ^a	0.24 ^b	0.27 ^b	0.097
Hexane, 3-ethyl-	43	772	0.16 ^d	0.81 ^b	0.57 ^c	1.12 ^a	0.26 ^d	0.18 ^d	0.041
Benzene, 1,3-bis (1,1-dimethylethyl)-	175	1258	0.15 ^c	2.37 ^b	2.43 ^b	3.65 ^a	0.33 ^c	0.24 ^c	0.230
Hexadecane	71	1600	0.14 ^{ac}	0.24 ^a	0.23 ^{ab}	0.15 ^{ac}	0.10 ^c	0.11 ^{bc}	0.027

Pentane, 2,3-dimethyl-	56	682	1.20 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	19.58 ^a	2.31
Nonane, 2,6-dimethyl-	71	1027	0.1 ^c	1.17 ^a	0.73 ^b	0.17 ^c	0.26 ^c	0.17 ^c	0.065
Pentadecane	57	1503	0.09 ^c	0.32 ^{ab}	0.35 ^a	0.26 ^b	0.08 ^c	0.08 ^c	0.015
Nonane, 2,5-dimethyl-	57	1017	0.08 ^d	0.65 ^{ab}	0.45 ^{bc}	0.95 ^a	0.16 ^{cd}	0.10 ^{cd}	0.077
Nonane, 2-methyl-	57	953	0.04 ^d	0.43 ^{ab}	0.29 ^{bc}	0.60 ^a	0.15 ^{cd}	0.08 ^d	0.037
Decane, 3-methyl-	71	1071	0.04 ^b	0.70 ^a	0.36 ^{ab}	0.55 ^{ab}	0.00 ^b	0.00 ^b	0.123
Heptadecane	57	1703	0.04 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.03 ^b	0.03 ^b	0.001
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	71	1285	0.03 ^b	0.39 ^a	0.30 ^a	0.46 ^a	0.07 ^b	0.06 ^b	0.043
Undecane, 2,6-dimethyl-	57	1216	0.03 ^a	0.00 ^b	0.002				
Naphthalene	128	1182	0.03 ^a	0.00 ^b	0.05 ^a	0.04 ^a	0.05 ^a	0.04 ^a	0.004
D-Limonene	68	1029	0.03 ^c	0.07 ^b	0.08 ^b	0.13 ^a	0.17 ^a	0.15 ^a	0.009
Heptane, 4-ethyl-	57	847	0.02 ^b	0.23 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.006
Benzene, 1-isocyano-3-methyl-	117	1145	0.02 ^b	0.00 ^d	0.02 ^a	0.00 ^c	0.00 ^{cd}	0.00 ^d	0.000
Oxetane, 3,3-dimethyl-	56	600	0.86 ^a	0.00 ^c	0.19 ^b	0.27 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.02
Nonane, 4-methyl-	57	949	0.02 ^d	0.18 ^b	0.13 ^{bc}	0.26 ^a	0.07 ^{cd}	0.03 ^d	0.015
(E,E)-1,3,5-Undecatriene	79	1185	0.00 ^c	0.04 ^b	0.04 ^{ab}	0.07 ^a	0.02 ^{bc}	0.02 ^{bc}	0.006
alpha-Phellandrene	93	1007	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07 ^a	0.00 ^b	0.001
1,3,7-Octatrien-5-yne	104	821	0.00 ^c	0.00 ^c	0.62 ^b	0.79 ^a	0.77 ^a	0.75 ^a	0.022
1,3-Hexadien-5-yne	78	600	0.00 ^c	0.00 ^c	0.24 ^b	0.51 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.008
1,6-Heptadien-3-yne, 5-methyl-	91	764	0.00 ^b	0.31 ^a	0.016				
Methane, dichloronitro-	83	589	0.84 ^{ab}	0.08 ^b	2.64 ^a	0.10 ^b	0.17 ^b	0.27 ^b	0.484
1-Nonylcycloheptane	83	1680	0.00 ^b	0.04 ^a	0.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
2,4-Dimethyldodecane	85	1268	0.00 ^b	0.29 ^a	0.00 ^b	0.39 ^a	0.06 ^b	0.00 ^b	0.038
2,3-Butanedione	43	609	0.83 ^a	0.09 ^b	0.08 ^b	0.72 ^a	0.98 ^a	0.34 ^b	0.067
2,6-Dimethyldecane	71	1117	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.005
Ketones									
4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	144	1148	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.003
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	43	1456	0.00 ^c	0.00 ^c	0.05 ^a	0.00 ^c	0.03 ^b	0.02 ^b	0.003
Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-	109	1070	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.71 ^a	0.00 ^b	0.016
Furan, 2-pentyl-	81	988	0.15 ^d	8.47 ^b	8.01 ^b	17.39 ^a	1.98 ^c	2.39 ^c	0.257
Ethanone, 1-(4,5-dihydro-2-thiazolyl)-	43	1111	0.15 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.35 ^a	0.00 ^c	0.005
Acetophenone	105	1072	0.04 ^a	0.00 ^b	0.001				
1-(5-Methyl-2-pyrazinyl)-1-ethanone	136	1122	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
1-Propanone, 1-(5-methyl-2-furanyl)-	109	1150	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
2(3H)-Furanone, 5-ethyldihydro-	85	1061	0.00 ^b	0.00 ^b	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
2-Butanone	43	586	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	2.39 ^a	1.00 ^b	0.157
2-n-Butyl-2-cyclopentanone	67	1130	0.00 ^c	0.00 ^c	0.10 ^b	0.14 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.003
2-Nonanone	58	1102	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.10 ^a	0.00 ^b	0.001
Acids									
Benzoic acid	122	1170	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Nonanoic acid	73	1274	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.07 ^a	0.005
Octadecanoic acid	73	2147	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.03 ^b	0.04 ^a	0.001
n-Hexadecanoic acid	73	1963	0.10 ^b	0.76 ^a	0.09 ^b	0.18 ^b	0.21 ^b	0.22 ^b	0.055
Octanoic acid	60	1179	0.08 ^c	0.23 ^a	0.17 ^{ab}	0.00 ^d	0.15 ^{bc}	0.14 ^{bc}	0.016
Heptanoic acid	60	1090	0.03 ^a	0.00 ^b	0.002				
n-Decanoic acid	73	1368	0.03 ^a	0.00 ^b	0.003				
Tetradecanoic acid	73	1762	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.02 ^a	0.003
Hexanoic acid	60	990	0.61 ^a	1.14 ^a	0.89 ^a	1.49 ^a	1.77 ^a	1.98 ^a	0.438

Sulfur compounds

Cyclic octaatomic sulfur 64 2027 0.00^d 0.06^{bd} 0.11^{abc} 0.04^{cd} 0.16^a 0.14^{ab} 0.018

Others

Dimethylphosphinic fluoride 81 613 0.00^b 0.00^b 0.00^b 0.00^b 0.00^b 0.03^a 0.000

Formamide, N,N-dibutyl- 72 1308 0.00^c 0.10^a 0.06^b 0.00^c 0.02^c 0.00^c 0.005

Hydroxyurea 44 570 0.00^b 0.00^b 1.79^a 0.00^b 0.00^b 0.00^b 0.024

sec-Butylamine 44 611 0.00^c 10.2^a 9.13^b 0.00^c 0.50^c 0.72^c 0.225

Silicon tetrafluoride 85 1062 0.00^b 0.07^a 0.00^b 0.00^b 0.00^b 0.00^b 0.004

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05. m/z, quantitative ion; LRI, linear retention index.

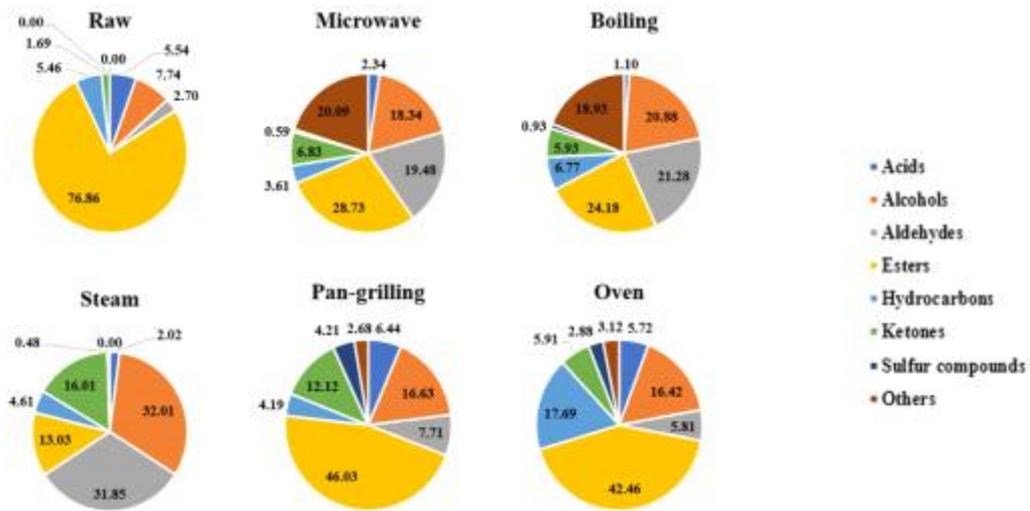


Figure 4. Total VOCs composition of dairy beef tenderloin by cooking methods.

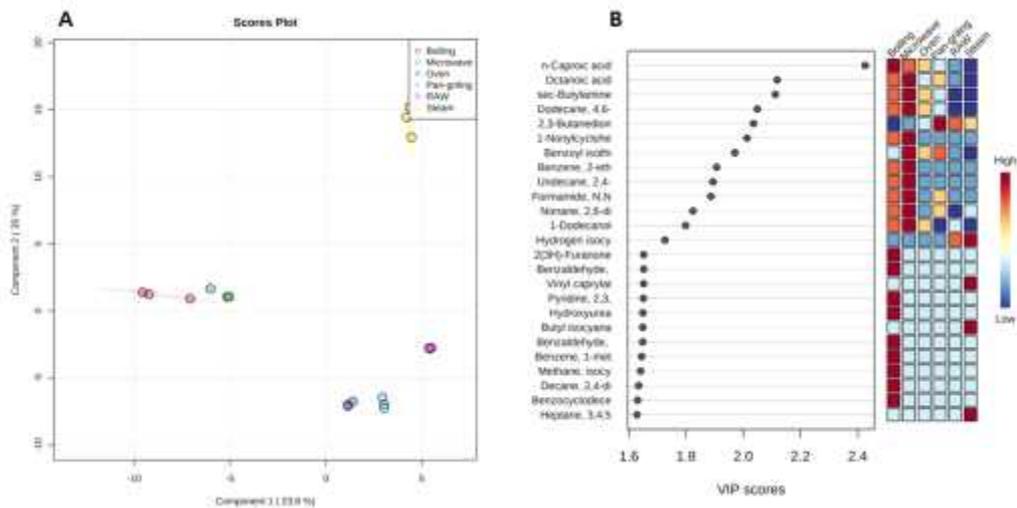


Figure 5. Partial least squares–discriminant analysis (PLS-DA) (A) and its variable importance in projection scores (VIP scores) (B) from dairy beef tenderloin by cooking methods.

- 조리방법에 따른 안심의 VOC 조성을 Table 39 및 Figure 4, 5에 나타내었다.
- 안심에서는 총 159개의 서로 다른 화합물이 검출되어 등심보다 24개 더 많았으며, 이들은 hydrocarbon (71), aldehyde (27), ester (17), alcohol (17), ketone (12), acids (9), sulfur compounds (1), others (5)로 구성되었다. ketone이 2개 감소하고 sulfur

compound와 기타 화합물을 제외한 class에서 등심에 비해 모두 증가하였으며 hydrocarbon이 15개로 가장 높은 증가량을 보여주었다.

- 등심과 동일하게 안심 원료육에서 가장 많은 화합물을 차지하는 것은 ester로 나타났다. microwave, boiling, steam의 경우 ester가 차지하는 비율이 50% 이상 감소했으며 pan과 oven 경우 다른 조리법에 비하여 적은 감소량을 나타내어 등심과 유사한 경향을 보였다.
- steam 조리의 경우 총 VOC 조성에서 aldehyde와 alcohol 그리고 ketone이 차지하는 비율이 다른 조리법에 비하여 가장 높았으며, 반면에 acid는 적은 비율을 차지하였다.
- 1-Octen-3-ol, 1-Octanol (burnt, orange, rose, waxy, chemical, metal, aldehydic, mushroom, green) , 1-Heptanol (leafy, coconut, herbal, peony, strawberry, chemical, musty, sweet, woody, violet, green)은 alcohol의 대부분을 차지하는 물질로 타나났으며, 공통적으로 boiling, microwave, oven이 pan 및 steam 보다 높은 수치를 나타내었다($p < 0.05$).
- Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester (odorless)와 n-Caproic acid vinyl ester (odorless)는 ester에서 가장 많은 양을 차지하는 물질이며, Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester의 경우 조리법에 따라 감소했으며 조리방법 간의 차이는 없었다 ($p < 0.05$). 하지만 n-Caproic acid vinyl ester의 경우 조리법에 따라 유의적으로 증가했으며, oven 조리의 경우 검출되지 않았으며 pan 조리의 경우 조리방법 중 가장 낮은 함량을 보여주었다($p < 0.05$). 따라서 pan과 oven의 ester 조성은 n-Caproic acid vinyl ester에 의해 영향을 받았을 것으로 사료된다.
- Furan, 2-pentyl- (greenbean, butter)은 ketone 중 가장 많은 양을 차지하는 물질로 furan 류는 고기에서 sugar와 같은 풍미를 부여하는데 기여하는데(Bassam et al., 2022), 조리법에 따라 증가했으며, oven이 가장 많은 양을 나타내었고, pan과 steam이 가장 적은 양을 나타내었다($p < 0.05$).
- Multivariate analysis로 분석한 결과 boiling과 microwave는 근접한 조성을 나타내었다. 또한 pan의 경우 생육에서 가장 근접한 조리방법이었으며 oven 또한 유사한 경향을 나타내었다. steam은 생육에서 가장 먼 거리를 나타내는 조리방법으로 확인되었다. 전반적으로 oven 조리를 제외한 나머지 조리방법은 등심과 유사한 경향을 나타내었다.
- VIP score의 경우 n-Caproic acid vinyl ester가 VIP score 2.4 이상으로 나타나 처리구 간 분포 형성에 있어 높은 기여도를 가졌을 것으로 사료된다.

Table 40. Volatile organic compounds of dairy beef rib by cooking methods

VOC (A.U. x 10 ⁶)	m/z	LRI	Raw	Cooking methods					SEM
				Boiling	Micro-wave	Oven	Pan-grilling	Steam	
Alcohols									
1-Dodecanol	55	1479	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.004
1-Hexadecanol	83	1884	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.000
1-Octadecanol	83	2088	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
1-Heptanol	70	965	0.14 ^c	0.31 ^{ac}	0.17 ^{bc}	0.49 ^a	0.24 ^{bc}	0.34 ^{ab}	0.039
1-Octen-3-ol	57	976	2.58 ^{bc}	4.13 ^{abc}	2.54 ^{bc}	4.94 ^{ab}	1.85 ^c	5.65 ^a	0.561
1-Octanol	56	1082	0.13 ^d	0.28 ^{bc}	0.18 ^{cd}	0.50 ^a	0.25 ^{bc}	0.35 ^b	0.023
p-Cresol	107	1091	0.02 ^a	0.00 ^b	0.02 ^a	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
1-Nonanol	55	1177	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Benzyl alcohol	108	1041	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01 ^b	0.00 ^c	0.01 ^a	0.00 ^c	0.001
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56	791	0.39 ^a	0.26 ^a	0.20 ^a	0.33 ^a	0.18 ^a	0.39 ^a	0.049

2-Octen-1-ol, (Z)-	57	1079	0.00 ^b	0.26 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.009
1-Nonen-4-ol	55	1105	0.00 ^b	0.09 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.007
Ethanol, 2-phenoxy-	94	1223	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
Aldehydes									
Undecanal	57	1313	0.00 ^c	0.01 ^b	0.00 ^c	0.02 ^a	0.00 ^c	0.01 ^b	0.001
Tridecanal	57	1515	0.00 ^d	0.01 ^c	0.00 ^d	0.01 ^a	0.00 ^d	0.01 ^b	0.001
Pentadecanal-	57	1719	0.00 ^b	0.01 ^{ab}	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.01 ^a	0.002
Tetradecanal	57	1615	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.01 ^a	0.001
Hexanal, 5-methyl-	70	852	0.16 ^c	1.78 ^{ab}	1.17 ^{ac}	1.56 ^{ab}	0.75 ^{bc}	2.16 ^a	0.253
5-Ethylcyclopent-1-ene carboxaldehyde	67	1033	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.002
Octanal	43	1004	0.14 ^c	1.14 ^{ab}	0.82 ^{ac}	1.17 ^{ab}	0.53 ^{bc}	1.39 ^a	0.148
Benzeneacetaldehyde	91	1048	0.02 ^d	0.10 ^{cd}	0.09 ^{cd}	0.22 ^b	1.67 ^a	0.15 ^{bc}	0.021
Nonanal	57	1114	0.51 ^d	2.77 ^{ab}	2.45 ^{bc}	2.59 ^{bc}	1.66 ^c	3.70 ^a	0.219
Decanal	57	1207	0.02 ^c	0.05 ^{ac}	0.06 ^{ab}	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.04 ^{bc}	0.007
2-Decenal, (E)-	70	1266	0.02 ^d	0.05 ^{bc}	0.03 ^{cd}	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.09 ^a	0.006
2,4-Decadienal, (E,E)-	81	1299	0.02 ^{bc}	0.03 ^b	0.03 ^{bc}	0.05 ^b	0.00 ^c	0.09 ^a	0.007
2-Undecenal	41	1367	0.01 ^d	0.03 ^{bc}	0.01 ^{cd}	0.03 ^{ab}	0.03 ^b	0.04 ^a	0.003
2-Nonenal, (E)-	70	1165	0.00 ^c	0.10 ^b	0.08 ^b	0.12 ^b	0.08 ^b	0.23 ^a	0.012
Dodecanal	57	1411	0.00 ^c	0.01 ^b	0.01 ^b	0.02 ^a	0.00 ^c	0.01 ^b	0.001
Hexadecanal	57	1820	0.00 ^d	0.05 ^a	0.01 ^{cd}	0.03 ^{bc}	0.05 ^a	0.03 ^b	0.004
3-Cyclohexene-1-carbo xaldehyde, 4-methyl-	67	1033	0.00 ^b	0.05 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.18 ^a	0.017
2-Octenal, (E)-	70	1066	0.00 ^c	0.21 ^b	0.00 ^c	0.25 ^b	0.00 ^c	0.56 ^a	0.029
4-Decenal, (E)-	84	1196	0.00 ^c	0.01 ^b	0.00 ^c	0.02 ^b	0.00 ^c	0.03 ^a	0.002
2,4-Nonadienal, (E,E)-	81	1215	0.00 ^c	0.03 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.07 ^a	0.005
Esters									
Carbonic acid, dodecyl vinyl ester	57	1704	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Butyl isocyanatoacetate	57	584	0.00 ^b	0.19 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Triisobutyl phosphate	99	1526	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.002
2-Ethylhexyl trans- 4-methoxycinnamate	178	2327	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.002
Benzoyl isothiocyanate	105	942	0.03 ^c	1.24 ^{ab}	1.26 ^{ab}	0.98 ^b	0.91 ^b	1.43 ^a	0.094
n-Caproic acid vinyl ester	43	983	1.06 ^b	10.25 ^b	7.62 ^b	7.63 ^b	2.93 ^b	20.74 ^a	2.137
Hydrogen isocyanate	43	596	0.5 ^a	0.00 ^c	0.21 ^b	0.11 ^{bc}	0.25 ^b	0.24 ^b	0.033
Methyl salicylate	120	1195	0.19 ^{bc}	0.08 ^c	0.26 ^{ab}	0.31 ^{ab}	0.35 ^a	0.08 ^c	0.026
Diphosphoric acid, diisooctyl ester	55	672	0.15 ^a	0.09 ^b	0.11 ^{ab}	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01
Propanoic acid, 2- methyl-3-hydroxy- 2,2,4-trimethylpentyl ester	71	1378	0.03 ^c	0.05 ^{bc}	0.09 ^a	0.08 ^{ab}	0.08 ^a	0.04 ^c	0.007
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	713	8.16 ^a	5.98 ^a	7.45 ^a	6.98 ^a	8.85 ^a	7.28 ^a	0.785
Pentanedioic acid, dimethyl ester	100	1147	0.00 ^b	0.00 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Hydrocarbons									
Pentane, 3-methyl-	57	585	0.84 ^a	0.00 ^c	0.67 ^a	0.38 ^b	0.00 ^c	0.09 ^c	0.039
Hexane, 2,2,5,5-tetramethyl-	57	814	0.15 ^a	0.08 ^b	0.16 ^a	0.12 ^{ab}	0.00 ^c	0.00 ^c	0.009
Tris(tert-butyl)dimethylsily loxy)arsane	207	1178	0.00 ^b	0.18 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
Oxetane, 3,3-dimethyl-	56	601	0.00 ^b	0.03 ^a	0.003				
Butane, 2-azido- 2,3,3-trimethyl-	43	650	0.00 ^b	0.07 ^a	0.003				
Cyclopentane, 1,1-dimethyl-	70	672	0.00 ^b	0.03 ^a	0.001				
Cyclopentene, 1-ethenyl-3-methylene-	91	826	0.05 ^a	0.00 ^b	0.001				
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	105	968	0.00 ^b	0.02 ^a	0.001				
Nonane, 4,5-dimethyl-	57	1037	0.00 ^b	0.15 ^a	0.014				
Cyclopropane, octyl-	55	1101	0.00 ^b	0.03 ^a	0.001				
Pentadecane	57	1504	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.04 ^{ab}	0.06 ^a	0.02 ^{bc}	0.005
(E,E)-1,3,5-Undecatriene	79	1178	0.00 ^b	0.01 ^a	0.000				
n-Hexane	57	601	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.20 ^a	0.00 ^b	0.018
2,2,6,6-Tetramethylhept ane	57	945	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	1.09 ^a	0.00 ^b	0.053

Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	121	996	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.26 ^a	0.00 ^b	0.022
Decane, 4-methyl-	71	1069	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.09 ^a	0.00 ^b	0.006
Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	135	1088	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.51 ^a	0.00 ^b	0.018
Pyrazine, 2,6-diethyl-	135	1094	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.002
Decane, 2,4-dimethyl-	71	1117	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
Heptane, 3-ethyl-	57	874	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.09 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.005
8-Heptadecene	83	1680	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.000
Heptadecane	57	1703	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.02 ^b	0.10 ^a	0.00 ^c	0.001
Heptane, 2,2,3,5-tetramethyl-	57	893	0.08 ^a	0.00 ^b	0.09 ^a	0.07 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.007
Octane, 2,4,6-trimethyl-	57	945	1.30 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.89 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.074
Octane, 2,2,6-trimethyl-	57	962	0.35 ^a	0.00 ^c	0.37 ^a	0.17 ^b	0.28 ^{ab}	0.00 ^c	0.032
Methane, dichloronitro-	83	589	0.24 ^a	0.21 ^{ab}	0.07 ^b	0.05 ^b	0.05 ^b	0.36 ^a	0.035
Decane	57	1000	0.20 ^{bc}	0.27 ^b	0.33 ^b	0.25 ^{bc}	0.57 ^a	0.08 ^c	0.036
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	281	1009	30.34 ^a	19.22 ^a _b	16.39 ^b	17.81 ^a _b	16.34 ^b	29.55 ^a	2.737
Nonane, 2,6-dimethyl-	57	1017	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	105	1021	0.02 ^a	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
Nonane, 2,5-dimethyl-	57	1024	0.02 ^{bc}	0.00 ^c	0.04 ^{ab}	0.06 ^a	0.07 ^a	0.00 ^c	0.007
2,2,7,7-Tetramethyloctane	57	1028	0.63 ^{ab}	0.41 ^{bc}	0.76 ^a	0.50 ^{ab}	0.67 ^{ab}	0.19 ^c	0.063
Nonane, 3,7-dimethyl-	57	1037	0.43 ^a	0.00 ^b	0.46 ^a	0.33 ^a	0.47 ^a	0.00 ^b	0.029
Octane, 2,3,6-trimethyl-	57	1059	0.02 ^c	0.03 ^{bc}	0.07 ^a	0.05 ^{ab}	0.00 ^d	0.00 ^d	0.003
Undecane	57	1109	0.07 ^{ab}	0.06 ^b	0.09 ^a	0.07 ^{ab}	0.10 ^a	0.00 ^c	0.007
Benzene, 1,2-dichloro-4-methyl-	125	1125	0.03 ^{ab}	0.03 ^b	0.04 ^a	0.03 ^{ab}	0.04 ^a	0.03 ^b	0.002
Benzene, 1-isocyano-3-methyl-	117	1146	0.01 ^a	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.001
Oxetane, 3-(1-methylethyl)-	42	654	0.81 ^{ab}	1.24 ^a	0.70 ^{ab}	1.27 ^a	0.41 ^b	0.98 ^{ab}	0.121
Dodecane	57	1201	0.17 ^{bc}	0.09 ^c	0.23 ^b	0.48 ^a	0.27 ^b	0.14 ^{bc}	0.028
Benzene, 1,3-bis(1,1-dimethylethyl)-	175	1259	0.57 ^{bc}	0.42 ^{cd}	0.91 ^a	0.74 ^{ab}	0.89 ^a	0.28 ^d	0.042
Tridecane	57	1305	0.05 ^b	0.00 ^c	0.06 ^{ab}	0.08 ^a	0.00 ^c	0.05 ^b	0.005
Tetradecane	57	1401	0.04 ^b	0.04 ^b	0.07 ^b	0.18 ^a	0.10 ^b	0.04 ^b	0.016
1-Pentene, 2-methyl-	56	590	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07 ^a	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.006
Pentane, 2,3-dimethyl-	56	681	0.00 ^b	20.67 ^a	15.15 ^a	17.41 ^a	0.00 ^b	26.56 ^a	2.474
Hexane, 2,2,4-trimethyl-	57	799	0.00 ^b	0.00 ^b	0.18 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
1,3,7-Octatrien-5-yne	104	822	0.00 ^b	0.00 ^b	0.30 ^b	0.23 ^b	1.69 ^a	0.00 ^b	0.084
Nonane, 2-methyl-	57	953	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.02 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.004
Octane, 3,4,5,6-tetramethyl-	57	970	0.00 ^b	0.00 ^b	0.16 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.005
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	105	986	0.00 ^b	0.08 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a	0.00 ^b	0.08 ^a	0.005
Octane, 6-ethyl-2-methyl-	71	997	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Methane, isocyanato-	57	1010	0.00 ^c	0.02 ^{bc}	0.02 ^b	0.00 ^c	0.13 ^a	0.02 ^b	0.003
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	119	1026	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
D-Limonene	68	1030	0.00 ^d	0.06 ^b	0.04 ^{bc}	0.08 ^a	0.04 ^c	0.04 ^c	0.004
Hexane, 3-ethyl-	43	772	0.05 ^b	0.00 ^b	0.22 ^a	0.06 ^b	0.06 ^b	0.00 ^b	0.019
1-Undecene	55	1101	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	119	1126	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01 ^{bc}	0.02 ^{ab}	0.03 ^a	0.00 ^c	0.002
Undecane, 2,6-dimethyl-	57	1216	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	71	1286	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Bicyclo[2.1.1]hex-2-ene, 2-ethenyl-	91	779	0.12 ^{bc}	0.11 ^{bc}	0.13 ^{ab}	0.13 ^{ab}	0.16 ^a	0.09 ^c	0.008
Dodecane, 4,6-dimethyl-	71	1331	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Hexathiane	192	1496	0.00 ^c	0.01 ^c	0.04 ^{ab}	0.04 ^a	0.02 ^{bc}	0.01 ^c	0.005
Hexadecane	71	1602	0.00 ^c	0.01 ^b	0.02 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001

alpha-Phellandrene	93	1007	0.00 ^c	0.00 ^c	0.03 ^b	0.05 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001
1,6-Heptadien-3-yne, 5-methyl-	91	764	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Naphthalene	128	1182	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.001
(3Z,5E)-1,3,5-Undecatriene	79	1186	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01 ^a	0.001
Ketones									
Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-	109	1072	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.16 ^a	0.00 ^b	0.013
1-(5-Methyl-2-pyrazinyl)- 1-ethanone	136	1126	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.001
2(3H)-Furanone, 5-ethylidihydro-	85	1062	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Furan, 2-pentyl-	81	989	0.19 ^c	0.57 ^b	0.39 ^{bc}	0.59 ^b	0.21 ^c	0.96 ^a	0.072
Acetophenone	105	1072	0.00 ^b	0.03 ^a	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Acids									
(E)-Hexadec-9-enoic acid	55	1945	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.000
cis-Vaccenic acid	55	2143	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	0.00 ^c	1.51 ^a	0.25 ^b	0.003
Benzoic acid	105	1174	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.04 ^a	0.00 ^b	0.004
Pentadecanoic acid	73	1865	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.00 ^b	0.001
Hexanoic acid	60	994	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.48 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.032
Octanoic acid	60	1182	0.04 ^b	0.03 ^b	0.06 ^{ab}	0.09 ^a	0.10 ^a	0.02 ^b	0.01
Nonanoic acid	60	1277	0.02 ^c	0.02 ^c	0.04 ^b	0.05 ^b	0.08 ^a	0.02 ^c	0.005
n-Decanoic acid	73	1371	0.02 ^{ab}	0.00 ^c	0.00 ^c	0.03 ^a	0.03 ^a	0.01 ^{bc}	0.003
Myristoleic acid	55	1754	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Tetradecanoic acid	73	1765	0.03 ^{bc}	0.06 ^b	0.02 ^c	0.05 ^{bc}	0.23 ^a	0.02 ^{bc}	0.008
n-Hexadecanoic acid	73	1965	0.26 ^{cd}	1.13 ^b	0.13 ^d	0.49 ^c	4.86 ^a	0.54 ^c	0.072
Octadecanoic acid	73	2165	0.04 ^b	0.36 ^b	0.02 ^b	0.28 ^b	2.34 ^a	0.21 ^b	0.077
Heptanoic acid	60	1093	0.00 ^c	0.00 ^c	0.03 ^b	0.04 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.002
1,2-Benzenedicarboxylic acid	104	1319	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Sulfur compounds									
Cyclic octaatomic sulfur	64	2032	0.00 ^b	0.03 ^b	0.14 ^a	0.11 ^a	0.04 ^b	0.05 ^b	0.013
Others									
2H-Pyran, 3,4-dihydro -4-methyl-	41	756	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.001
Urea	43	588	0.00 ^b	0.00 ^b	0.60 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.053
sec-Butylamine	44	611	0.00 ^d	2.14 ^b	1.50 ^{bc}	1.51 ^{bc}	0.49 ^{cd}	3.61 ^a	0.305
Silicon tetrafluoride	85.1	1062	0.00 ^c	0.00 ^c	0.02 ^b	0.00 ^c	0.03 ^a	0.03 ^a	0.002
Glutarimide	42.1	1158	0.00 ^c	0.00 ^c	0.01 ^b	0.02 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001
Formamide, N,N-dibutyl-	72	1309	0.00 ^c	0.02 ^b	0.04 ^a	0.03 ^b	0.00 ^c	0.02 ^b	0.002
Dimethylphosphinic fluoride	81	613	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05. m/z, quantitative ion; LRI, linear retention index.

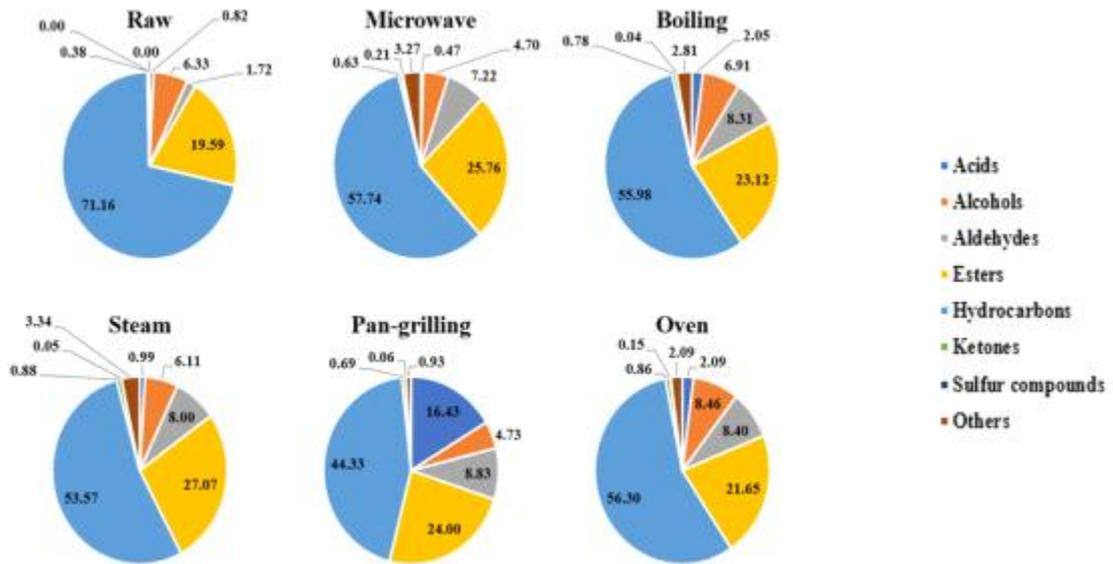


Figure 6. Total VOCs composition of dairy beef rib by cooking methods.

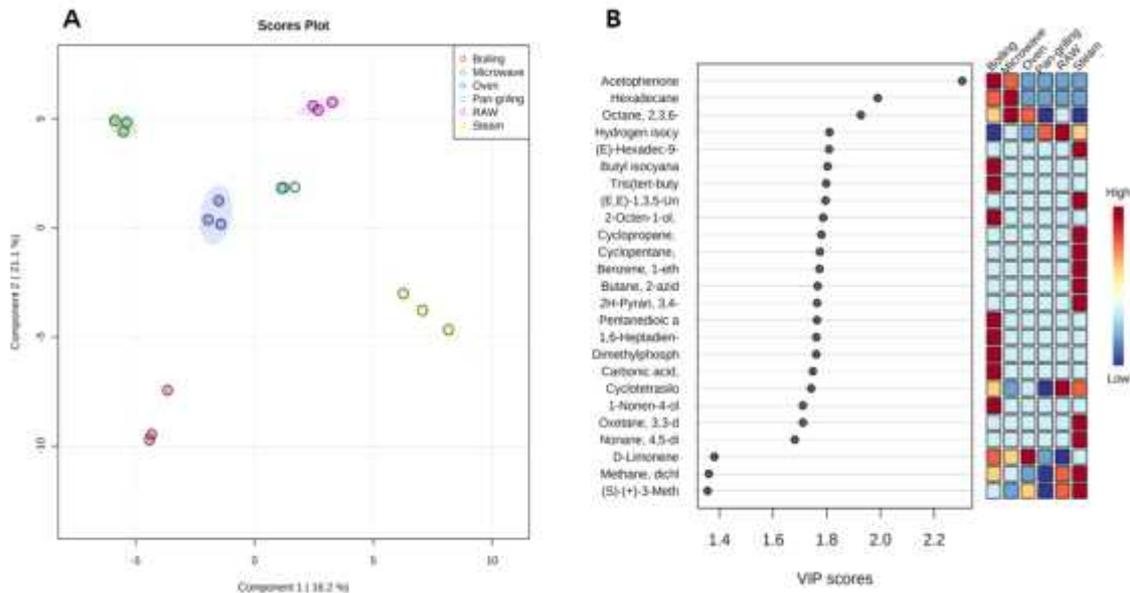


Figure 7. Partial least squares–discriminant analysis (PLS–DA) (A) and its variable importance in projection scores(VIP scores) (B) from dairy beef rib by cooking methods.

- 조리방법에 따른 갈비의 VOC 조성을 Table 40 및 Figure 6, 7에 나타내었다.
- 갈비에서는 총 138개의 서로 다른 화합물이 검출되어 등심과 안심의 중간이었으며, 이들은 hydrocarbon (66), aldehyde (20), acids (14), alcohol (13), ester (12), ketone (5), sulfur compounds (1), others (7)로 구성되었다. 특이적으로 hydrocarbon이 모든 부위를 통틀어서 47.8%로 가장 높은 구성비율을 나타내었다. 또한 acid가 차지하는 비율이 10.1%로 다른 부위들의 평균인 6.0%보다 더 높았다.
- 원육에서 등심, 안심과 달리 hydrocarbon의 비율이 가장 높았으며, 조리육에서 또한 마찬가지로 hydrocarbon이 가장 높은 조성을 나타내었다. 이는 hydrocarbon이 주로 지질산화로 유래하는 물질이며(Toldra & Reig, 2012), 이로 인하여 갈비에 포함된 다량의 지방(24.37%)이 다른 부위인 등심(15.02%) 및 안심(6.54%)보다 더 높은 hydrocarbon

생성에 기여했을 것으로 사료된다.

- 조리방법 간 ester, alcohol, aldehyde의 조성은 각 21.65~27.07%, 4.70~8.46% 및 7.22~8.83%로 비슷한 수준을 나타내었으나 pan 조리의 acid 함량이 0.47~2.05%의 수준을 나타낸 다른 조리방법에 비하여 16.43%로 높은 수치를 나타내어 다른 방법에 비해 acid 함량을 크게 증가시키는 것으로 나타났다.
- 1-Octen-3-ol은 alcohol 중 가장 많은 양을 차지하는 물질로 pan 조리만 유의적으로 감소하였으며, microwave는 감소하는 경향을 보여주었고 boiling 및 oven은 증가하였으나 유의적인 차이는 보이지 않았으며 steam은 유의적으로 증가하였다. 전체적으로 1.85~5.65의 수치를 보이고 있으며 이는 등심과 안심보다 낮은 수치로 나타났다. 하지만 일반적으로 alcohol은 높은 threshold를 가지기에(Dominguez et al., 2014) 절대적인 양이 부위 별 조리육의 풍미에 큰 차이를 유발하지 않았을 것으로 사료된다.
- 다른 조리방법에 비해 pan 조리에서 유의적으로 높은 양이 검출된 acids의 경우 cis-Vaccenic acid (odorless), Nonanoic acid (cultured dairy, fat, waxy, green, dirty, cheese), Tetradecanoic acid (fatty, soapy, waxy, coconut), n-Hexadecanoic acid (fatty, waxy), Octadecanoic acid (fatty, mild)로 나타났으며 대부분의 물질이 fatty한 profile을 가져 특유의 고기 풍미 기여도가 높았을 것으로 사료된다.
- Multivariate analysis로 분석한 결과 등심과 안심과는 달리 boiling과 microwave가 상대적으로 근접한 조성을 보이지 않았으며 각각의 조리방법이 전부 개별의 그룹을 형성하여 갈비의 경우 조리방법이 특유의 풍미 형성에 크게 기여할 수 있다고 사료된다.
- VIP score 분석 결과 Acetophenone (mimosa, hawthorn, sweet, acacia, almond, pungent, hawthorn, chemical, flower, bitter, musty)이 VIP score 2.2 이상으로 나타나 처리구 간 분포 형성에 중요하게 기여하였을 것으로 사료된다.

Table 41. Volatile organic compounds of dairy beef brisket by cooking methods

VOC (A.U. x 10 ⁶)	m/z	LRI	Raw	Cooking methods		SEM
				Boiling	Micro-wave	
Alcohols						
Cyclohexanol, 2,4-dimethyl-	55	1039	0.00 ^b	0.11 ^a	0.00 ^b	0.008
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56	791	0.10 ^b	1.05 ^a	0.81 ^a	0.072
1-Heptanol	70	965	0.07 ^b	1.34 ^a	1.16 ^a	0.127
1-Octen-3-ol	57	976	1.22 ^c	18.65 ^a	11.14 ^b	1.391
1-Hexanol, 2-ethyl-	57	1037	0.22 ^a	0.30 ^a	0.00 ^b	0.033
2-Octen-1-ol, (E)-	57	1079	0.08 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
1-Octanol	56	1082	0.14 ^b	1.53 ^a	1.25 ^a	0.097
p-Cresol	107	1090	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
1,1,3,3,5,5,7,7-Octamethyl-7-(2-methylpropoxy)tetrasiloxan-1-ol	281	1243	0.09 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.008
1-Dodecanol	55	1478	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Benzyl alcohol	108	1041	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.000
2-Octen-1-ol, (Z)-	57	1079	0.00 ^b	0.00 ^b	0.90 ^a	0.010
1-Nonen-4-ol	55	1105	0.00 ^b	0.53 ^a	0.40 ^a	0.064
1-Nonanol	56	1177	0.00 ^c	0.05 ^a	0.03 ^b	0.001
Aldehydes						
Benzaldehyde, 4-pentyl-	120	1465	0.00 ^c	0.02 ^a	0.01 ^b	0.001
2,4-Heptadienal, (E,E)-	81	1013	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.003
2,6-Dodecadien-1-al	69	1451	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.000
Hexanal, 5-methyl-	70	851	0.08 ^b	6.66 ^a	6.81 ^a	0.466
Octanal	57	1004	0.09 ^b	5.11 ^a	4.49 ^a	0.181
Benzeneacetaldehyde	91	1048	0.03 ^b	0.35 ^a	0.28 ^a	0.023
Nonanal	57	1114	0.51 ^b	11.13 ^a	10.54 ^a	0.530

Decanal	57	1207	0.02 ^b	0.19 ^a	0.17 ^a	0.010
2-Decenal, (E)-	55	1266	0.01 ^b	0.50 ^a	0.58 ^a	0.020
Undecanal	43	1313	0.01 ^b	0.04 ^a	0.04 ^a	0.002
2-Undecenal	55	1367	0.01 ^b	0.37 ^a	0.44 ^a	0.046
Dodecanal	57	1411	0.01 ^b	0.04 ^a	0.04 ^a	0.001
Tridecanal	57	1515	0.01 ^b	0.07 ^a	0.07 ^a	0.009
Tetradecanal	57	1615	0.01 ^b	0.07 ^a	0.06 ^a	0.008
Pentadecanal-	57	1719	0.01 ^c	0.09 ^a	0.06 ^b	0.005
Hexadecanal	82	1819	0.02 ^b	0.07 ^a	0.04 ^b	0.004
3-Cyclohexene-1-carboxaldehyde, 4-methyl-	67	1033	0.00 ^b	0.00 ^b	0.28 ^a	0.013
2-Octenal, (E)-	70	1066	0.00 ^b	1.41 ^a	1.06 ^a	0.085
4-Nonenal, (E)-	55	1107	0.00 ^b	0.10 ^a	0.10 ^a	0.007
2-Nonenal, (E)-	83	1154	0.00 ^b	0.84 ^a	0.07 ^b	0.036
4-Decenal, (E)-	84	1196	0.00 ^c	0.19 ^a	0.11 ^b	0.017
2,4-Nonadienal, (E,E)-	81	1216	0.00 ^b	0.19 ^a	0.19 ^a	0.006
2,4-Decadienal, (E,E)-	81	1322	0.00 ^b	0.78 ^a	0.48 ^a	0.069
Esters						
Benzoyl isothiocyanate	106	941	0.24 ^c	4.78 ^a	3.55 ^b	0.055
n-Caproic acid vinyl ester	43	983	0.80 ^b	0.00 ^b	41.79 ^a	0.902
Methyl salicylate	120	1195	1.18 ^a	0.18 ^c	0.46 ^b	0.044
Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	71	1377	0.09 ^a	0.13 ^a	0.15 ^a	0.016
Triisobutyl phosphate	99	1526	0.05 ^b	0.11 ^a	0.02 ^b	0.012
Carbonic acid, dodecyl vinyl ester	57	1704	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Dibutyl phthalate	149	1967	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	713	9.42 ^a	7.60 ^b	6.27 ^c	0.274
Vinyl caprylate	57	1187	0.00 ^b	0.07 ^a	0.08 ^a	0.006
Hydrocarbons						
Pentane, 3-methyl-	57	585	0.21 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.006
Hexane, 3-ethyl-	43	772	0.07 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.004
Hexathiane	64	1495	0.00 ^b	0.03 ^a	0.03 ^a	0.002
D-Limonene	58	1030	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.004
Bicyclo[2.1.1]hex-2-ene, 2-ethenyl-	91	779	0.20 ^a	0.21 ^a	0.21 ^a	0.022
Indane	117	1035	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.003
Benzene, n-butyl-	91	1061	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.003
Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl-	119	1092	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.004
Pyridine, 2-butyl-	93	1198	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.003
Methane, isocyanato-	57	799	0.03 ^b	0.00 ^b	0.12 ^a	0.007
Cyclopentene, 1-ethenyl-3-methylene-	91	826	0.03 ^b	0.00 ^c	0.05 ^a	0.004
Octane, 2,2,6-trimethyl-	57	962	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Methane, dichloronitro-	83	589	0.10 ^a	0.13 ^a	0.10 ^a	0.017
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	105	986	0.07 ^b	0.00 ^c	0.20 ^a	0.011
Decane	57	1000	0.12 ^b	0.39 ^a	0.32 ^a	0.033
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	281	1009	33.58 ^a	22.58 ^a	31.53 ^a	3.358
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	105	1021	0.02 ^b	0.05 ^a	0.05 ^a	0.004
Nonane, 2,5-dimethyl-	57	1024	0.02 ^b	0.03 ^{ab}	0.07 ^a	0.009
1-Pentene, 2-methyl-	56	591	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Undecane	57	1109	0.05 ^b	0.09 ^{ab}	0.10 ^a	0.011
Benzene, 1,2-dichloro-4-methyl-	125	1125	0.02 ^b	0.00 ^c	0.07 ^a	0.001
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	119	1126	0.03 ^a	0.03 ^a	0.02 ^a	0.003
Oxetane, 3,3-dimethyl-	56	601	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Benzene, 1-isociano-3-methyl-	117	1145	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Naphthalene	128	1182	0.04 ^a	0.05 ^a	0.05 ^a	0.005
Dodecane	57	1201	0.17 ^a	0.28 ^a	0.21 ^a	0.026
Benzene, 1,3-bis(1,1-dimethylethyl)-	175	1259	0.27 ^b	0.15 ^b	1.29 ^a	0.096
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	71	1285	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Dodecane, 2,7,10-trimethyl-	71	1331	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Tetradecane	57	1401	0.07 ^b	0.15 ^a	0.10 ^{ab}	0.016
Heptane, 4-azido-	43	650	0.06 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Oxetane, 3-(1-methylethyl)-	42	654	0.28 ^c	2.33 ^a	1.90 ^b	0.082
Tridecane	57	1305	0.08 ^b	0.18 ^a	0.14 ^a	0.011
Hexane, 2,2,5,5-tetramethyl-	57	815	0.00 ^b	0.00 ^b	0.08 ^a	0.004
Octane, 2,4,6-trimethyl-	57	946	0.00 ^b	0.00 ^b	0.82 ^a	0.068

Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	105	969	0.00 ^b	0.04 ^a	0.03 ^a	0.005
2,2,7,7-Tetramethyloctane	57	1028	0.00 ^b	0.00 ^b	0.35 ^a	0.000
Pentane, 2,3-dimethyl-	56	682	1.29 ^c	54.77 ^a	44.01 ^b	1.836
Nonane, 4,5-dimethyl-	57	1037	0.00 ^b	0.00 ^b	0.38 ^a	0.034
Benzene, 1-methyl-2-propyl-	105	1056	0.00 ^c	0.10 ^a	0.07 ^b	0.007
(3Z,5E)-1,3,5-Undecatriene	79	1178	0.00 ^b	0.05 ^a	0.04 ^a	0.002
(E,E)-1,3,5-Undecatriene	79	1186	0.00 ^c	0.05 ^a	0.03 ^b	0.001
Bicyclo[2.2.2]octane, 1-methoxy-4-methyl-	84	1347	0.00 ^b	0.08 ^a	0.06 ^a	0.005
Ketones						
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	43	1457	0.00 ^b	0.02 ^a	0.01 ^a	0.001
2-Butanone	43	586	0.00 ^c	0.51 ^b	1.91 ^a	0.053
N,N'-Bis(2,6-dimethyl-6-nitrosohept-2-en-4-one)	55	643	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.001
1-Octen-3-one	55	973	0.00 ^b	0.08 ^a	0.00 ^b	0.005
Furan, 2-pentyl-	81	989	0.13 ^c	4.22 ^a	2.81 ^b	0.173
Acetophenone	105	1072	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Ethanone, 1-(4,5-dihydro-2-thiazolyl)-	43	1112	0.07 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
2,3-Butanedione	43	609	0.13 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.008
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-	43	1457	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
3-Octen-2-one	55	1046	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.003
2(3H)-Furanone, 5-ethylidihydro-	85	1062	0.00 ^b	0.05 ^a	0.04 ^a	0.002
Acids						
Guanidineacetic acid	43	1069	0.00 ^b	0.56 ^a	0.00 ^b	0.037
Octanoic acid	60	1181	0.04 ^b	0.04 ^{ab}	0.05 ^a	0.002
Nonanoic acid	60	1277	0.05 ^a	0.04 ^a	0.05 ^a	0.009
n-Decanoic acid	60	1371	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Dodecanoic acid	55	1566	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Tetradecanoic acid	73	1764	0.04 ^a	0.02 ^b	0.03 ^{ab}	0.004
n-Hexadecanoic acid	73	1965	0.17 ^{ab}	0.26 ^a	0.11 ^b	0.021
Octadecanoic acid	55	2165	0.02 ^b	0.03 ^a	0.03 ^a	0.002
Hexanoic acid	60	994	0.00 ^b	0.92 ^a	0.75 ^a	0.043
Sulfur compounds						
Cyclic octaatomic sulfur	64	2031	0.00 ^b	0.18 ^a	0.06 ^b	0.022
Others						
Formamide, N,N-diethyl-	101	924	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.001
Trimethylaluminum	57	965	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
sec-Butylamine	44	612	0.00 ^c	8.58 ^a	6.1 ^b	0.158
Dimethylphosphinic fluoride	81	614	0.00 ^c	0.05 ^a	0.03 ^b	0.002
Indan, 1-methyl-	117	1092	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.004
Formamide, N,N-dibutyl-	72	1309	0.00 ^c	0.07 ^a	0.04 ^b	0.001

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$. m/z, quantitative ion; LRI, linear retention index.

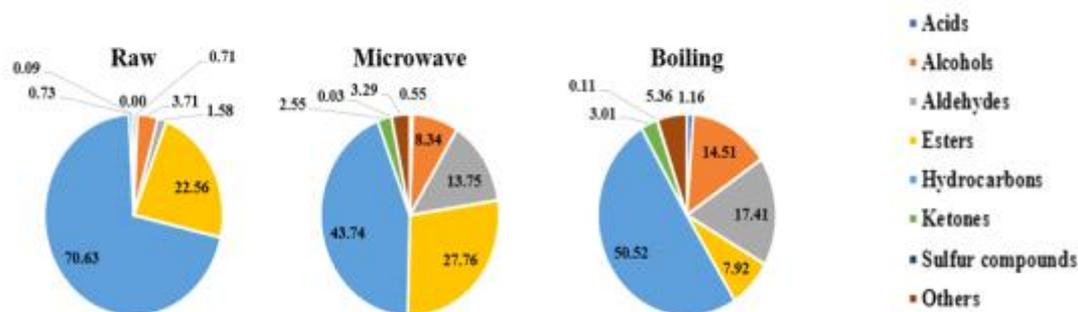


Figure 8. Total VOCs composition of dairy beef brisket by cooking method.

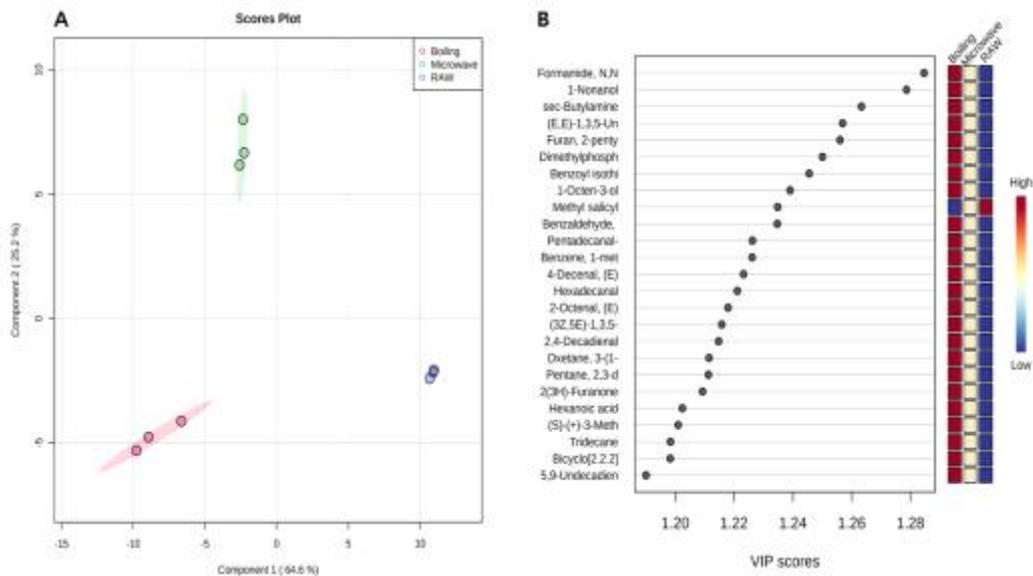


Figure 9. Partial least squares–discriminant analysis (PLS–DA) (A) and its variable importance in projection scores (VIP scores) (B) from dairy beef brisket by cooking methods.

- 조리방법에 따른 양지의 VOC 조성을 Table 41 및 Figure 8, 9에 나타내었다.
- 양지에서는 총 116개의 서로 다른 화합물이 검출되어 모든 부위 중 가장 적은 함량을 나타내었다. 이는 적은 조리방법에 의한 것으로 판단되며, 조리방법이 고기의 풍미 구성에 큰 영향을 끼칠 수 있음을 시사한다. 양지는 hydrocarbon (43), aldehyde (23), alcohol (14), ketone (11), ester (9), acids (9), sulfur compounds (1), others (6)로 구성되었다.
- 갈비와 유사하게 원료육을 포함한 조리육에서 또한 hydrocarbon이 높은 비율을 나타내었으며, boiling은 aldehyde와 alcohol이 높은 조성을 보였고, microwave는 ester가 높은 조성을 나타내었다.
- 1-Octen-3-ol은 다른 부위와 동일하게 가장 높은 함량을 보여주는 alcohol로 조리 방법에 따라 증가하였으며, boiling이 microwave보다 더 높은 함량을 보여주었다($p < 0.05$).
- Aldehyde 중 가장 높은 함량을 가진 물질은 nonanal로 조리법 간의 유의적인 차이는 없었으나 boiling이 다소 높은 경향을 보여주었다.
- 특이적으로 microwave의 ester 함량에서 가장 높은 비율을 차지하는 물질은 n-Caproic acid vinyl ester로 나타났으며 총 ester 함량의 79.8%를 차지하였으며 boiling에서는 검출되지 않은 물질로 나타났다.
- Multivariate analysis로 분석한 결과 모든 조리법과 원료육간에 뚜렷한 구분이 나타났으며 등심과 안심과는 달리 boiling과 microwave가 명확히 구분되었다.
- VIP score 분석 결과 24개의 물질이 VIP score 1.20~1.28의 범위를 보였으며, 등심, 안심, 갈비와는 달리 24개의 모든 물질의 함량이 조리방법에 따라 명확하게 구분되었다.

Table 42. Volatile organic compounds of dairy beef round by cooking methods

VOC (A.U. x 10 ⁶)	m/z	LRI	Raw	Cooking methods			SEM
				Boiling	Micro-wave	Sous-vide	
Alcohols							
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56	790	0.24 ^c	1.54 ^b	1.53 ^b	2.69 ^a	0.056
n-Tridecan-1-ol	57	1577	0.00 ^c	0.12 ^a	0.11 ^a	0.06 ^b	0.006

Cyclododecanol	57	1585	0.00 ^c	0.08 ^a	0.07 ^a	0.03 ^b	0.004
(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol	55	1898	0.00 ^c	0.04 ^a	0.03 ^b	0.00 ^c	0.002
Benzyl alcohol	79	1039	0.00 ^c	0.02 ^b	0.00 ^c	0.03 ^a	0.001
2-Nonen-1-ol, (E)-	57	1174	0.00 ^b	0.07 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
7-Octen-2-ol	43	957	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.20 ^a	0.008
Cyclohexanol, 2,4-dimethyl-	55	1038	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07 ^a	0.003
2-Ethylhexanal ethylene glycol acetal	73	1166	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	14.13 ^a	0.461
1-Heptanol	70	965	0.13 ^c	3.88 ^b	3.23 ^b	4.60 ^a	0.152
1-Octen-3-ol	57	975	2.51 ^c	29.92 ^b	31.88 ^b	36.81 ^a	0.784
1-Hexanol, 2-ethyl-	57	1036	0.15 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
1-Hexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-	57	1066	0.08 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.011
2-Octen-1-ol, (E)-	57	1078	0.17 ^c	2.58 ^b	2.43 ^b	4.24 ^a	0.050
1-Octanol	56	1081	0.25 ^c	4.86 ^a	3.91 ^b	5.00 ^a	0.104
p-Cresol	107	1088	0.04 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.05 ^a	0.001
1-Nonanol	56	1176	0.01 ^c	0.09 ^a	0.07 ^b	0.09 ^a	0.002
1,1,3,3,5,5,7,7-Octamethyl-7-(2-methylpropoxy)tetrasiloxan-1-ol	281	1242	0.18 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.007
1-Undecanol	55	1376	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
1-Dodecanol	55	1477	0.02 ^c	0.06 ^a	0.00 ^d	0.03 ^b	0.003
2,4-Di-tert-butylphenol	191	1518	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
1-Nonen-4-ol	55	1104	0.00 ^c	0.53 ^b	0.45 ^b	0.68 ^a	0.029
Aldehydes							
4-Decenal, (E)-	84	1195	0.00 ^b	0.46 ^a	0.47 ^a	0.38 ^a	0.020
2,4-Nonadienal, (E,E)-	81	1215	0.00 ^d	0.31 ^b	0.19 ^c	0.63 ^a	0.012
2,4-Decadienal, (E,E)-	81	1321	0.00 ^d	0.67 ^b	0.39 ^c	1.65 ^a	0.036
2-Octenal, 2-butyl-	71	1376	0.00 ^c	0.16 ^a	0.15 ^a	0.06 ^b	0.01
Benzaldehyde, 4-pentyl-	120	1464	0.00 ^c	0.23 ^a	0.21 ^a	0.11 ^b	0.016
13-Methyltetradecanal	57	1680	0.00 ^c	0.00 ^c	0.07 ^a	0.04 ^b	0.002
Hexanal, 5-methyl-	70	851	0.14 ^b	14.05 ^a	13.48 ^a	14.01 ^a	0.566
Heptadecanal	82	1922	0.00 ^d	0.15 ^a	0.10 ^b	0.05 ^c	0.008
2H-Pyran-2-carboxaldehyde, 3,4-dihydro-	83	937	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.05 ^a	0.001
2,4-Heptadienal, (E,E)-	81	1013	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.13 ^a	0.001
2,4-Decadienal, (E,Z)-	81	1298	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.47 ^a	0.006
2,6-Dodecadien-1-al	69	1450	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.000
Octanal	43	1003	0.13 ^b	12.99 ^a	12.88 ^a	10.82 ^a	0.57
Benzeneacetaldehyde	91	1048	0.14 ^c	0.46 ^b	0.40 ^b	2.21 ^a	0.028
Nonanal	57	1113	0.68 ^c	31.28 ^a	31.25 ^a	25.88 ^b	0.737
Decanal	57	1207	0.03 ^c	0.84 ^a	0.79 ^a	0.53 ^b	0.022
2-Decenal, (E)-	70	1266	0.01 ^d	1.42 ^b	0.80 ^c	1.86 ^a	0.023
Undecanal	57	1312	0.01 ^c	0.26 ^a	0.24 ^a	0.16 ^b	0.009
Phthalic anhydride	104	1318	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
2-Undecenal	57	1366	0.01 ^d	1.27 ^b	0.72 ^c	1.44 ^a	0.031
Dodecanal	57	1410	0.01 ^c	0.46 ^a	0.40 ^a	0.24 ^b	0.025
Tridecanal	57	1514	0.03 ^c	1.16 ^a	1.15 ^a	0.53 ^b	0.058
Tetradecanal	57	1614	0.04 ^c	1.34 ^a	1.18 ^a	0.53 ^b	0.076
Pentadecanal-	57	1718	0.05 ^c	2.06 ^a	1.68 ^a	0.80 ^b	0.106
Hexadecanal	82	1818	0.31 ^b	2.24 ^a	1.93 ^a	2.09 ^a	0.083
13-Octadecenal, (Z)-	55	1997	0.01 ^b	0.03 ^a	0.02 ^{ab}	0.02 ^{ab}	0.003
Octadecanal	82	2022	0.03 ^b	0.12 ^a	0.11 ^a	0.10 ^a	0.008
5-Ethylcyclopent-1-enecarboxaldehyde	67	1033	0.00 ^d	0.42 ^b	0.35 ^c	0.70 ^a	0.007
Benzaldehyde, 2-hydroxy-	122	1045	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.00 ^b	0.000
2-Octenal, (E)-	70	1065	0.00 ^d	1.41 ^b	1.01 ^c	2.24 ^a	0.029
4-Nonenal, (E)-	55	1106	0.00 ^b	0.24 ^a	0.21 ^a	0.24 ^a	0.012
2-Nonenal, (E)-	70	1165	0.00 ^d	1.01 ^b	0.64 ^c	1.76 ^a	0.021
Esters							
Hydrogen isocyanate	43	570	0.09 ^b	0.45 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.010
Vinyl caprylate	57	1187	0.00 ^c	0.33 ^a	0.32 ^a	0.21 ^b	0.018
Di-sec-butyl phthalate	149	1873	0.00 ^b	0.00 ^b	0.01 ^a	0.00 ^b	0.001
n-Caproic acid vinyl ester	43	983	1.06 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.086
Benzoyl isothiocyanate	77	1024	0.03 ^c	8.49 ^b	10.73 ^a	10.92 ^a	0.28
Butyl isocyanatoacetate	41	601	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Methyl salicylate	120	1194	0.43 ^b	1.59 ^a	1.34 ^a	1.67 ^a	0.195
Dibutyl phthalate	149	1966	0.05 ^b	0.11 ^a	0.05 ^b	0.06 ^b	0.007
Formic acid, hexyl ester	56	900	0.00 ^c	0.10 ^b	0.15 ^a	0.10 ^b	0.007
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	713	11.32 ^a	10.27 ^a	11.21 ^a	10.37 ^a	0.390

Formic acid, heptyl ester	70	1035	0.00 ^b	0.00 ^b	0.29 ^a	0.00 ^b	0.013
Hydrocarbons							
Hexane, 3-ethyl-	43	773	0.05 ^b	0.00 ^b	0.35 ^a	0.00 ^b	0.024
Undecane, 2-methyl-	57	1169	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.004
Undecane, 3-methyl-	57	1174	0.00 ^b	0.00 ^b	0.09 ^a	0.00 ^b	0.003
1,3,5-Undecatriene	79	1185	0.00 ^c	0.16 ^a	0.17 ^a	0.08 ^b	0.015
Pyridine, 2-butyl-	93	1198	0.00 ^b	0.15 ^a	0.15 ^a	0.15 ^a	0.006
(2Z,4Z,6E)-2,4,6-Undecatriene	79	1234	0.00 ^b	0.02 ^a	0.03 ^a	0.00 ^b	0.002
1-Tridecyne	57	1282	0.00 ^b	0.06 ^a	0.06 ^a	0.00 ^b	0.002
Bicyclo[2.2.2]octane, 1-methoxy-4-methyl-	84	1346	0.00 ^c	0.26 ^a	0.16 ^b	0.26 ^a	0.015
Hexathiane	64	1495	0.00 ^c	0.06 ^a	0.06 ^a	0.05 ^b	0.001
n-Hexane	56	601	0.00 ^b	0.10 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
1-Octadecyne	57	1789	0.00 ^b	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Methane, isocyanato-	57	962	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
1,3-Hexadien-5-yne	78	600	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.16 ^a	0.007
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	105	968	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	105	986	0.08 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Decane	57	999	0.16 ^b	1.14 ^a	1.49 ^a	1.12 ^a	0.126
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	105	1020	0.03 ^c	0.07 ^b	0.12 ^a	0.02 ^c	0.007
Nonane, 2,5-dimethyl-	57	1023	0.01 ^d	0.10 ^b	0.19 ^a	0.08 ^c	0.004
Nonane, 2,6-dimethyl-	57	1027	0.06 ^c	0.18 ^b	0.31 ^a	0.15 ^b	0.014
Indane	117	1034	0.03 ^c	0.05 ^b	0.08 ^a	0.01 ^d	0.004
Methane, dichloronitro-	83	589	0.07 ^b	0.00 ^d	0.10 ^a	0.02 ^c	0.003
Benzene, 1-methyl-2-propyl-	105	1056	0.04 ^c	0.15 ^b	0.29 ^a	0.00 ^c	0.013
Octane, 2,3,6-trimethyl-	57	1071	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.003
Undecane	57	1109	0.05 ^c	0.20 ^b	0.30 ^a	0.11 ^{bc}	0.020
Decane, 2,4-dimethyl-	71	1117	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
1H-Indene, 2,3-dihydro-4-methyl-	117	1152	0.02 ^c	0.06 ^b	0.10 ^a	0.00 ^c	0.004
Tris(tert-butyl)dimethylsilyloxyarsane	207	1177	0.13 ^a	0.18 ^a	0.00 ^b	0.19 ^a	0.016
Naphthalene	128	1182	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^a	0.002
Dodecane	57	1200	0.22 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.83 ^a	0.058
Benzene,1,3-bis (1,1-dimethylethyl)-	175	1258	0.15 ^b	0.49 ^a	0.42 ^a	0.38 ^a	0.048
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	71	1285	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Tridecane	57	1305	0.14 ^d	0.86 ^b	1.25 ^a	0.64 ^c	0.035
Tetradecane	57	1400	0.16 ^c	0.88 ^a	0.99 ^a	0.48 ^b	0.024
4-Pyridinecarboxamide	122	1404	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Pentadecane	57	1503	0.09 ^d	0.31 ^b	0.42 ^a	0.21 ^c	0.017
Hexadecane	71	1600	0.11 ^b	0.19 ^a	0.22 ^a	0.11 ^b	0.013
Heptane, 4-azido-	57	650	0.05 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Heptadecane	57	1703	0.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.002
Oxetane, 3-(1-methylethyl)-	42	654	0.52 ^d	4.45 ^b	3.52 ^c	6.61 ^a	0.136
1-Pentene, 2-methyl-	56	591	0.00 ^b	0.00 ^b	0.08 ^a	0.00 ^b	0.003
Butane, 2-azido-2,3,3-trimethyl-	57	649	0.00 ^b	0.00 ^b	0.12 ^a	0.00 ^b	0.006
Cyclopentane, 1,1-dimethyl-	70	672	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07 ^a	0.00 ^b	0.007
2,3-Diazabicyclo[2.2.2]oct-2-ene	54	712	0.00 ^b	0.00 ^b	0.15 ^a	0.00 ^b	0.002
2-Methyl-1-hepten-3-yne	79	804	0.00 ^b	0.00 ^b	0.03 ^a	0.00 ^b	0.001
Nonane, 2-methyl-	57	952	0.00 ^c	0.09 ^b	0.18 ^a	0.00 ^c	0.019
Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	105	968	0.00 ^b	0.00 ^b	0.08 ^a	0.00 ^b	0.003
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	281	1009	0.00 ^c	21.59 ^b	32.70 ^a	22.05 ^b	1.871
Benzene, n-butyl-	91	1061	0.00 ^c	0.09 ^b	0.16 ^a	0.00 ^c	0.007
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	119	1126	0.00 ^c	0.08 ^a	0.09 ^a	0.04 ^b	0.008
1-Octene, 3,3-dimethyl-	56	1138	0.00 ^c	0.15 ^a	0.18 ^a	0.09 ^b	0.008
Ketones							
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	43	1456	0.00 ^b	0.09 ^a	0.06 ^a	0.06 ^a	0.008
N,N'-Bis(2,6-dimethyl-6-nitrosohept-2-en-4-one)	83	644	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.002
2-Octanone	58	990	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.15 ^a	0.001
3-Octen-2-one	55	1046	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.11 ^a	0.001
2-n-Butyl-2-cyclopentenone	67	1131	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.09 ^a	0.001
Furan, 2-pentyl-	81	988	0.14 ^d	11.51 ^b	14.26 ^a	8.10 ^c	0.508
D-Limonene	68	1029	0.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
2,3-Butanedione	43	609	0.34 ^b	0.10 ^c	0.07 ^c	0.92 ^a	0.051
2-Butanone	43	585	0.00 ^c	2.27 ^{ab}	2.70 ^a	0.95 ^{bc}	0.314
Acids							
Hexanoic acid	60	996	0.00 ^b	2.00 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.036
Guanidineacetic acid	43	1068	0.00 ^b	0.65 ^a	0.00 ^b	0.65 ^a	0.015

Heptanoic acid	60	1090	0.02 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
Octanoic acid	60	1180	0.10 ^c	0.32 ^a	0.20 ^b	0.17 ^b	0.011
Nonanoic acid	73	1275	0.06 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.006
n-Decanoic acid	73	1369	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
n-Hexadecanoic acid	73	1963	0.10 ^b	0.86 ^a	0.19 ^b	0.15 ^b	0.074
Sulfur compounds							
Cyclic octaatomic sulfur	64	2030	0.00 ^c	0.23 ^b	0.42 ^a	0.24 ^b	0.031
Borane-methyl sulfide complex	62	576	0.28 ^a	0.00 ^c	0.16 ^b	0.00 ^c	0.006
Others							
Silicon tetrafluoride	85	1061	0.00 ^b	0.07 ^a	0.00 ^b	0.08 ^a	0.003
Indan, 1-methyl-	117	1085	0.01 ^b	0.00 ^c	0.06 ^a	0.00 ^c	0.002
Formamide, N,N-dibutyl-	72	1308	0.04 ^b	0.06 ^{ab}	0.07 ^a	0.05 ^{ab}	0.005
sec-Butylamine	44	612	0.08 ^c	12.99 ^a	12.35 ^a	10.45 ^b	0.385
1H-Indole, 2-methyl-	130	1388	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.00 ^b	0.000
Dimethylphosphinic fluoride	81	613	0.00 ^b	0.00 ^b	0.12 ^a	0.00 ^b	0.002

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$. m/z, quantitative ion; LRI, linear retention index.

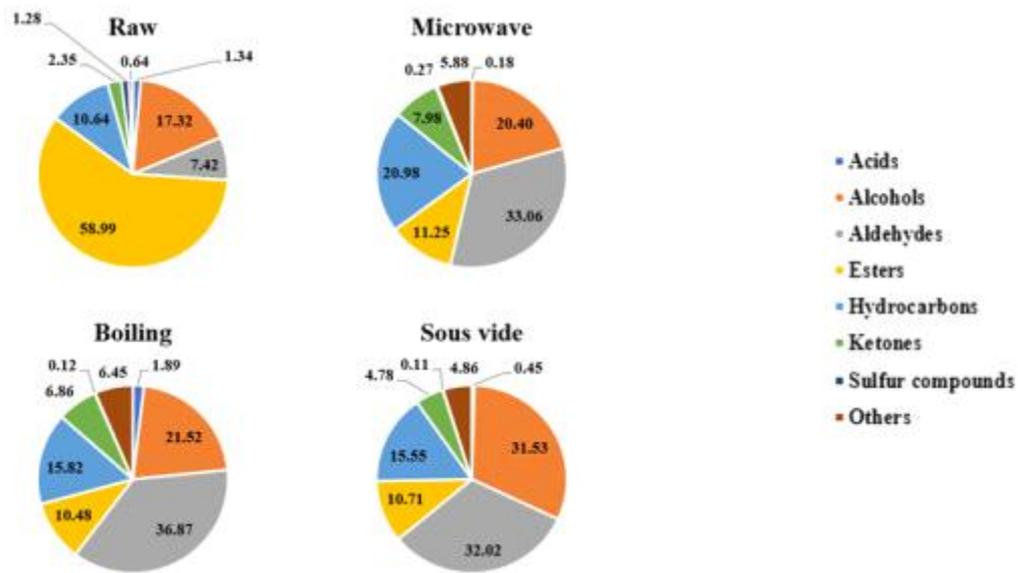


Figure 10. Total VOCs composition of dairy beef round by cooking methods.

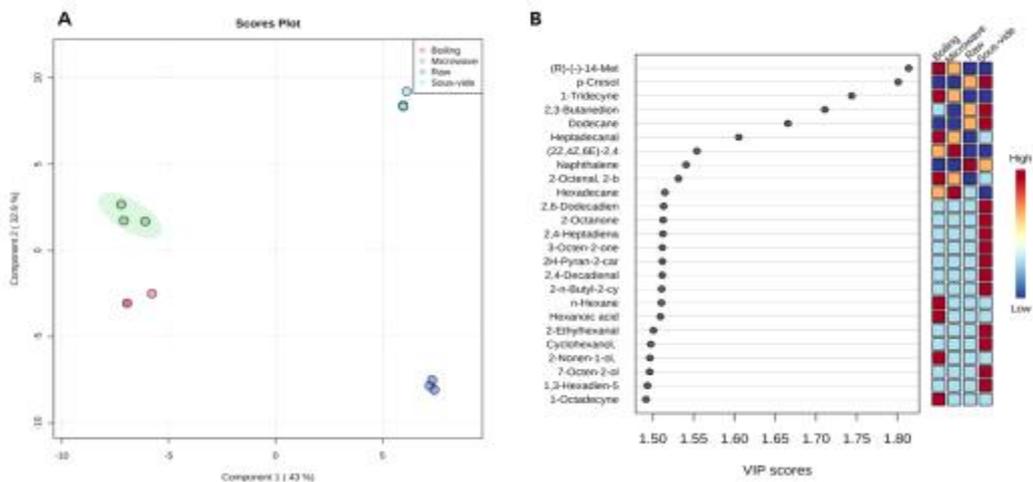


Figure 11. Partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) (A) and its variable importance in projection scores (VIP scores) (B) from dairy beef round by cooking methods.

- 조리방법에 따른 우둔의 VOC 조성을 Table 42 및 Figure 10, 11에 나타내었다.

- 우둔에서는 총 139개의 서로 다른 화합물이 검출되어 조리방법의 수가 적음에도 불구하고 등심, 갈비와 유사한 양을 나타내어 수비드 조리방법에 의해 다양한 물질이 생성되었을 것으로 사료된다. 우둔은 hydrocarbon (50), aldehyde (32), alcohol (22), ester (11), ketone (9), acids (7), sulfur compounds (2), others (6)로 구성되었다.
- 원료육에서는 등심 및 안심과 동일하게 ester가 가장 높은 조성을 나타내었으며, 조리에 따라 ester의 비율이 20% 이하로 감소하였다. 또한 모든 조리방법은 aldehyde의 비율을 32.02~36.87%의 범위로 증가시켰다. 동일한 조리방법임에도 불구하고 양지와 달리 우둔에서 hydrocarbon이 차지하는 비율은 적는데 이는 원료육 자체의 특성인 것으로 사료된다. 또한 수비드 조리의 경우 boiling과 microwave alcohol 평균인 20.96%보다 더 높은 31.53%를 나타내었다.
- 이는 수비드의 장시간 조리가 불포화지방산의 산화를 유발하여 다량의 alcohol를 생성했을 것으로 사료된다. 또한 수비드 alcohol 함량에 영향을 준 물질은 1-Octen-3-ol, 2-Ethylhexanal ethylene glycol acetal (odorless), (S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol (cocoa, cognac, fruity, fusel, green), 1-Heptanol (leafy, coconut, herbal, peony, strawberry, chemical, musty, sweet, woody, violet, green), and 2-Octen-1-ol, (E)-(citrus, green, plastic, soap)로 다른 조리법에 비하여 수비드에서 유의적으로 증가하였다.
- 모든 부위에서 검출된 sulfur compound인 Cyclic octaatomic sulfur (odorless)와는 달리 우둔에서는 추가적으로 Borane-methyl sulfide complex (odorless)가 검출되었다. 다만 수비드 및 boiling 조리에서는 검출되지 않고 원료육과 microwave에서만 검출되어 원료육 자체의 특성으로 사료된다.
- Multivariate analysis로 분석한 결과 모든 조리법과 원료육간에 뚜렷한 구분이 나타났으며 수비드의 경우 boiling, microwave 및 원료육과 뚜렷한 거리를 나타내어 수비드가 특유의 고기 풍미를 나타내었을 것으로 사료된다.
- VIP score 분석 결과 (R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol (odorless)와 p-Cresol (smoke, animal phenol, mimosa, medicine)의 두 물질이 VIP score 1.8 이상으로 나타나 처리구 간 분포 형성에 중요한 역할을 기여했을 것으로 사료된다.

4) 소고기 유사 분쇄육의 식품 소재화를 위한 조직감 및 가공 특성 확인

(1) 연구수행 방법

가. 소고기의 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기 SEM 측정

가) 실험재료

- 실험에 사용되었던 고기 콜드컷은 존콕델리미트를 통해 모타델리, 고기 미트볼은 이케아코리아 유한회사를 통해 이케아 냉동 미트볼, 고기 패티는 라이리틀을 통해 한끼소고기 불고기맛을 구입하였다.
- 실험에서 사용된 유사분쇄육 콜드컷, 미트볼, 패티는 신세계푸드를 통해 공급받았다.
- 조리 방법에 따른 샘플 사진은 아래 나타내었다.

Meat based cold cut	Plant based cold cut
---------------------	----------------------

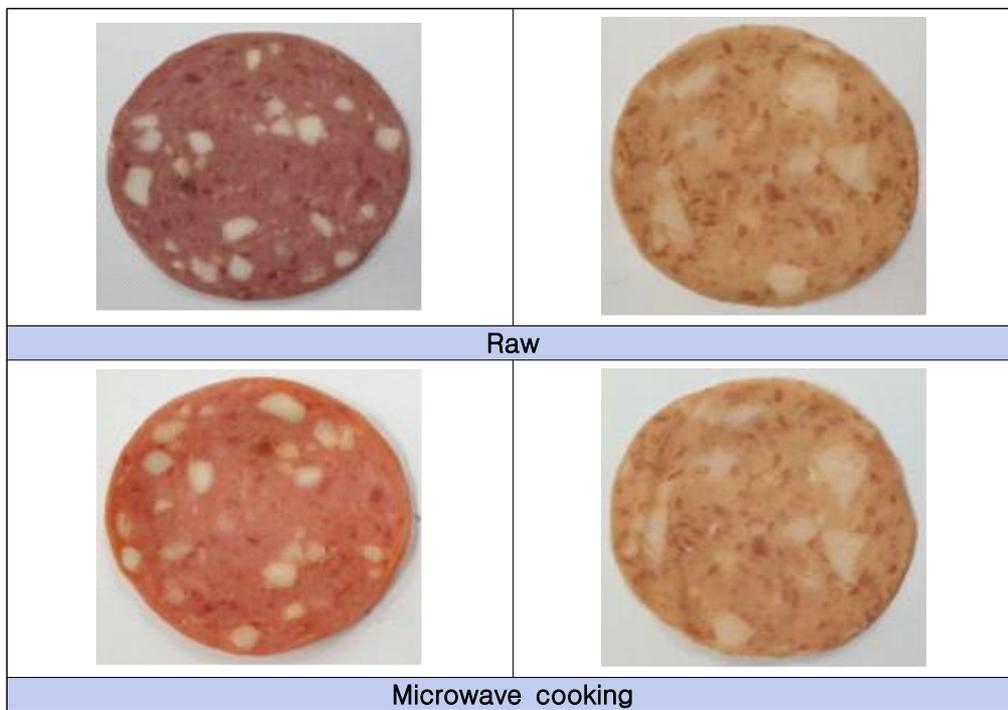
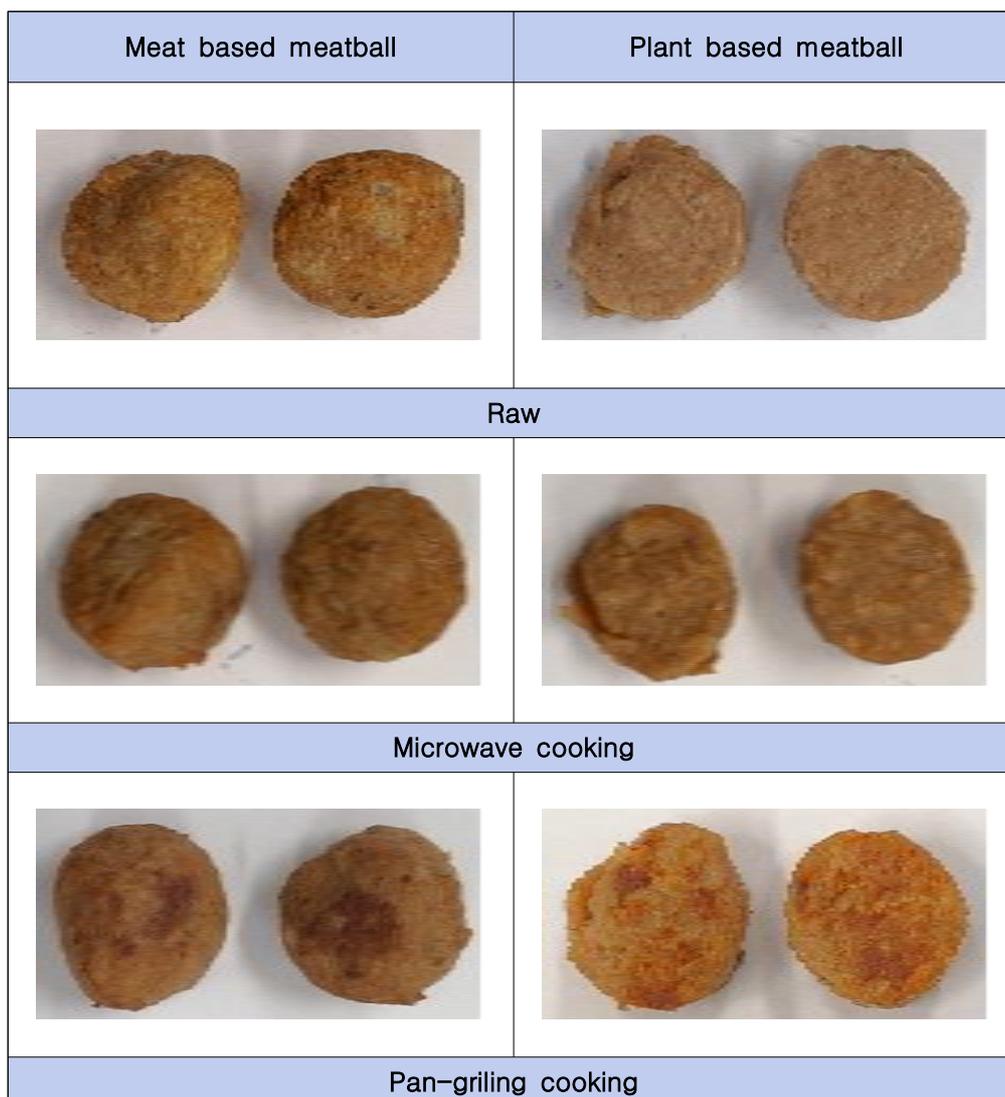


Figure 12. Images of meat based cold cut and plant based cold cut by microwave.



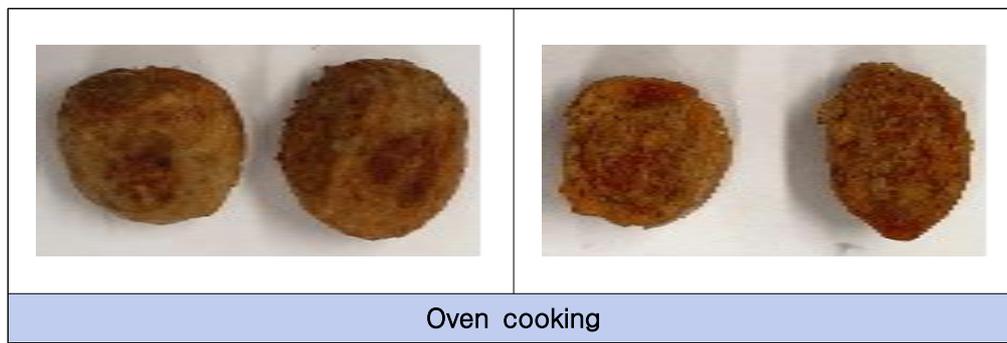


Figure 13. Images of meat based meatball and plant based meatball by cooking method.

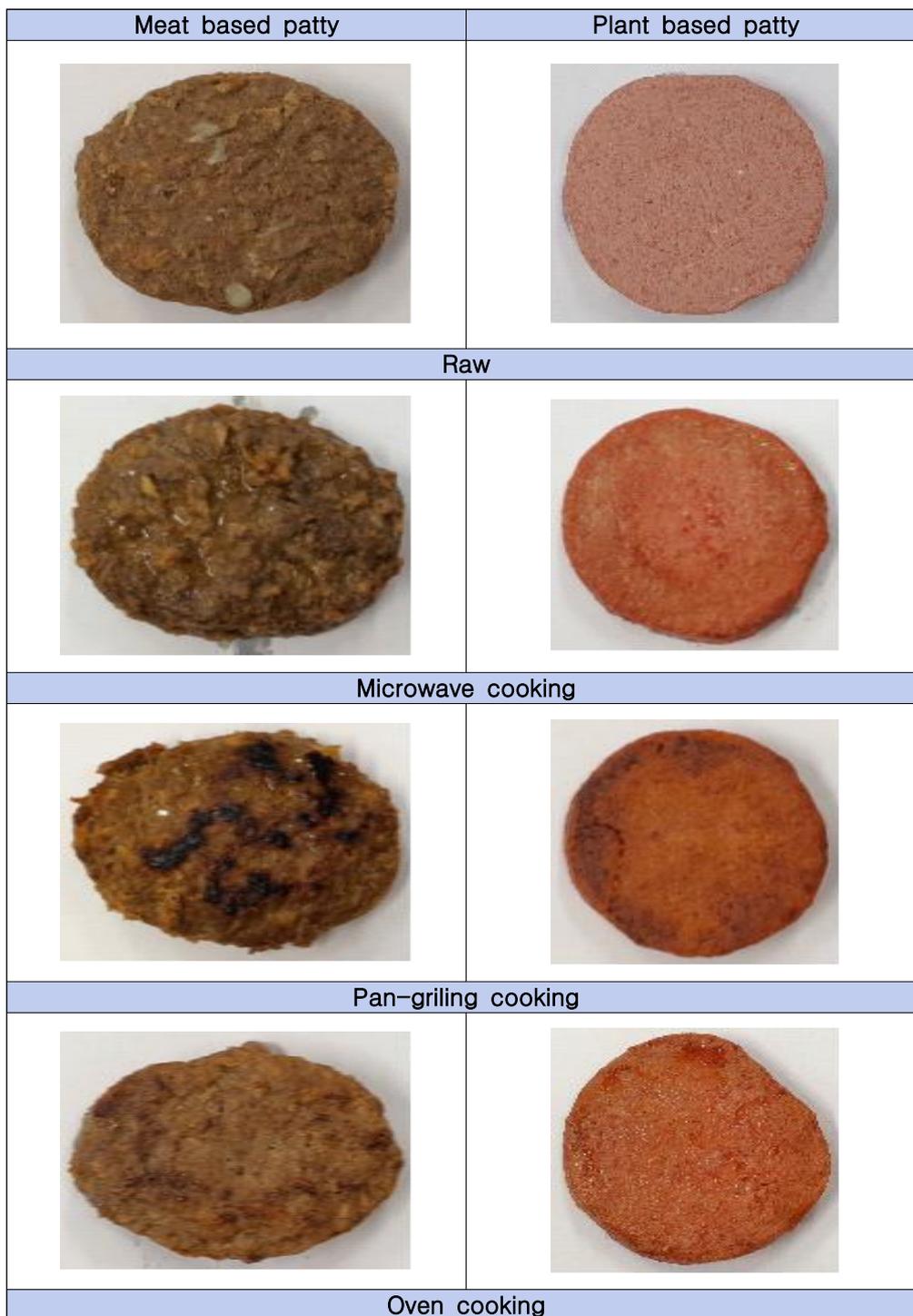


Figure 14. Images of meat based patty and plant based patty by cooking method.

나) 실험방법

(가) 조리방법

- 콜드컷의 경우 전자레인지 조리 방법을 적용했으며, 미트볼과 패티는 전자레인지, 팬 그릴, 오븐 조리방법을 적용하였다.
- 모든 조리방법은 심부 온도가 71℃ 이상이 되는 시점을 기준으로 하였다.

(나) 전자레인지 (Microwave)

- 전자레인지(MW202LW, LG, Seoul, Korea)에 샘플을 전용 용기에 시료를 올려 조리하였다. 콜드컷, 미트볼, 패티의 조리 시간은 각각 15초, 1분, 1분 30초로 설정하였다.

(다) 팬그릴링 (Pan-grilling)

- 전기그릴(가로 55cm x 세로 31cm x 높이 14cm, KAG-1455, Kitchenart, Incheon, Korea)을 170℃로 예열하여 팬에 시료를 올려 앞, 뒷면에 열을 가하여 조리하였다. 조리 시간은 미트볼과 패티 각각 한 면 당 3분 30초와 4분으로 설정하였다.

(라) 오븐 (Oven)

- 전기오븐(KAJ-2020J, Kitchenart, Incheon, Korea)을 5분동안 170℃로 예열한 후 시료를 오븐에 넣어 조리하였다. 미트볼과 패티의 조리 시간은 5분과 8분으로 설정하였다.

(마) Scanning Electron Microscope (SEM) 분석

- 주사전자현미경으로 분석하기 전 샘플을 10X10X10mm 크기로 얇게 자른 후 -70℃에서 동결건조 하였다. 그리고 동결건조 된 샘플은 양면 접착 테이프로 고정시켜 알루미늄 스테르브에 올리고 얇은 금박으로 덮어서 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope-II, JSM-7900F, JEOL)으로 분석을 시행하였다. 분석 시 현미경 배율은 x 50과 x 200으로 측정하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 소고기의 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기 SEM 측정

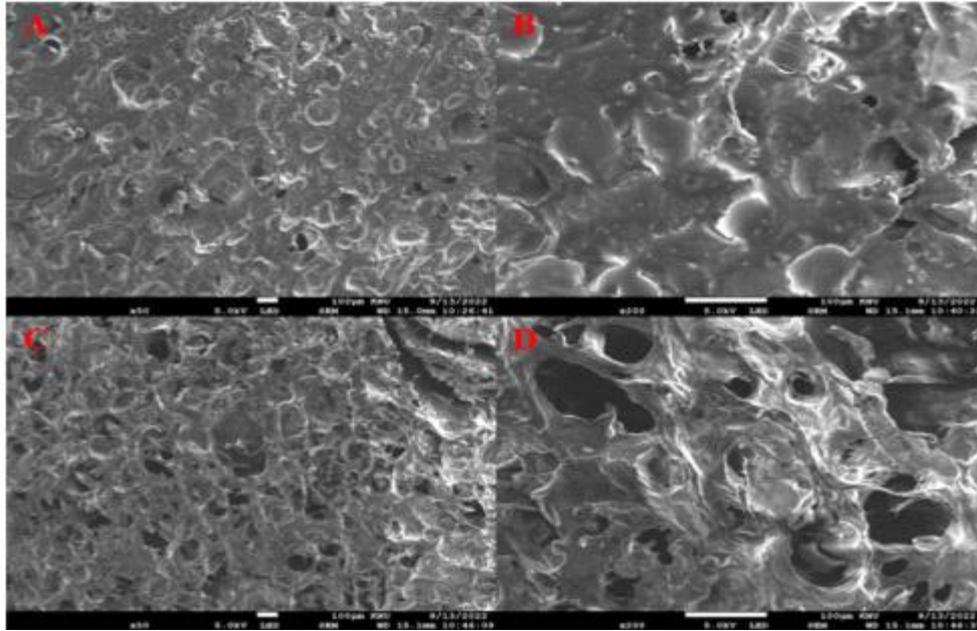


Figure 15. SEM of meat based cold cut and plant based cold cut. A: Meat based cold cut(x 50); B: Meat based cold cut(x 200); C: Plant based cold cut(x 50); D: Plant based cold cut(x 200)

- 주사전자현미경으로 촬영한 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 표면 사진을 Figure 15에 나타내었다. 주사전자현미경을 통하여 시료 표면의 미세구조를 관찰하였다.
- 단백질의 크기와 모양은 시료의 다공질 특성에 영향을 줄 수 있다(Li, Wang, Liu, et al, 2019). 주사전자현미경으로 관찰한 결과 유사분쇄육 콜드컷은 고기 콜드컷보다 더 크고 많은 구멍을 나타냈으며 구멍 사이의 벽은 고기 콜드컷에서 더 두꺼운 모습을 나타내었다. 또한, 유사분쇄육 콜드컷은 고기 콜드컷보다 거친표면과 약한 단백질 네트워크를 보였다. 이에 따라 유사분쇄육 콜드컷은 낮은 경도, 씹힘성, 응집성을 나타냈다($p < 0.05$).

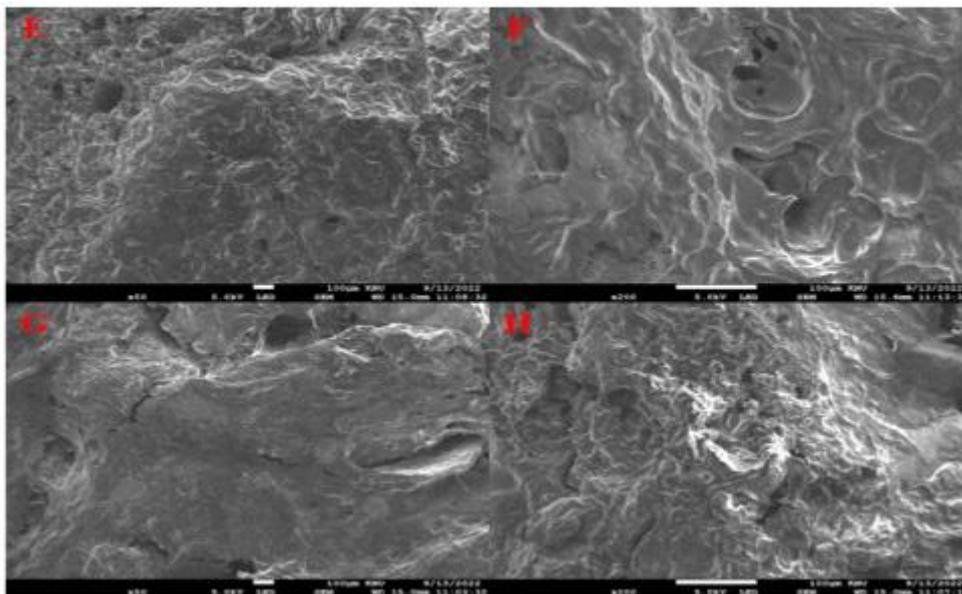


Figure 16. SEM of meat based meatball and plant based meatball. E: Meat based meatball(x 50); F: Meat based meatball(x 200); G: Plant based meatball(x 50); H: Plant based meatball(x 200)

- 주사전자현미경으로 촬영한 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 표면 사진을 Figure 16에 나타

내었다.

- 주사전자현미경으로 관찰한 결과 처리군 간의 구멍 크기와 개수는 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 유사분쇄육 미트볼의 표면이 고기 미트볼보다 거친 모습을 나타냈다.

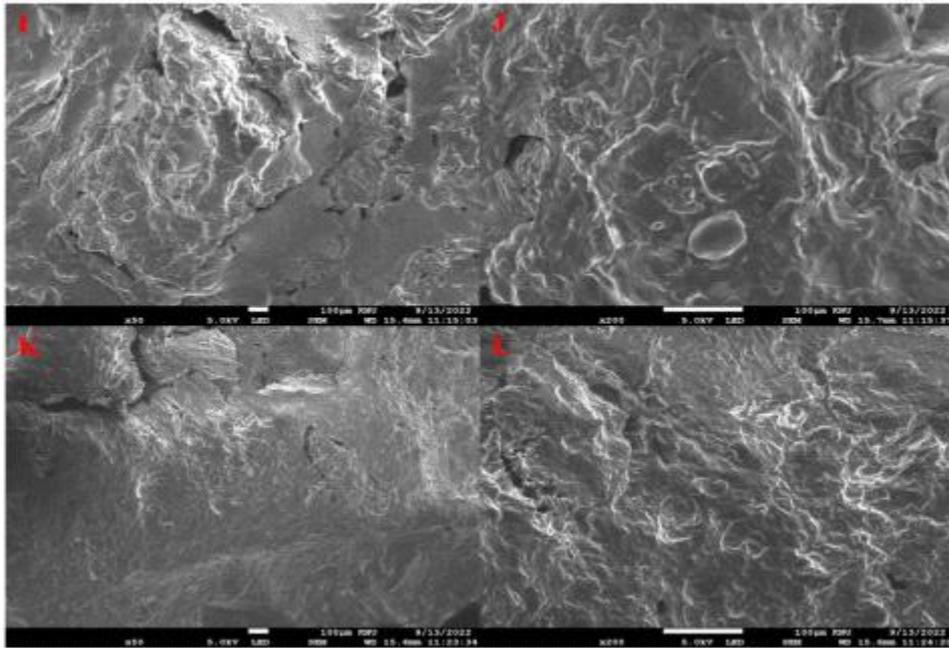


Figure 17. SEM of meat based patty and plant based patty. I: Meat based patty(x 50); J: Meat based patty(x 200); K: Plant based patty(x 50); L: Plant based patty(x 200)

- 주사전자현미경으로 촬영한 고기 패티와 유사분쇄육 패티 표면 사진을 Figure 17에 나타내었다.
- 처리군 간의 구멍 크기와 개수는 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 유사분쇄육 패티의 표면이 패티 표면보다 거친 모습을 나타냈다.

5) 가공 후 소고기 유사 분쇄육의 조리 특성 및 조직감 개선 연구

(1) 연구수행 방법

가. 가공 후 소고기 유사 분쇄육의 조리 특성 및 조직감 개선을 위한 전단력, TPA, 가열감량, pH, 육색, 관능적 특성 분석

가) 실험재료

- 실험재료는 4) - (1) - 가 - 가)와 같다.

나) 실험방법

(가) 조리방법

- 조리방법은 4) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(나) 전단력 (shear force)

- 전단력은 1) - (1) - 가 - 나) - (사)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(다) Texture profile analysis (TPA) 분석

- 물성측정은 1) - (1) - 가 - 나) - (아)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(라) pH

- pH 측정은 1) - (1) - 가 - 나) - (자)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(마) 가열감량 (cooking loss)

- 가열감량은 1) - (1) - 가 - 나) - (차)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(바) 육색 (meat color)

- 육색은 1) - (1) - 가 - 나) - (카)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(사) 관능적 특성 (sensory characteristics)

- 관능적 특성은 1) - (1) - 가 - 나) - (타)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(아) 통계분석 (statistical analysis)

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나) - (파)와 같다.

(2) 연구수행 결과

가. 가공 후 소고기 유사 분쇄육의 조리 특성 및 조직감 개선을 위한 전단력, TPA, 가열감량, pH, 육색, 관능적 특성 분석

가) 조리방법별 콜드컷의 전단력, TPA, 가열감량, pH, 육색, 관능적 특성 분석

Table 43. Shear force and TPA of meat based cold cut and plant based cold cut by microwave

Traits	Meat based cold cut		Plant based cold cut		SEM
	Raw	MW	Raw	MW	
Shear force (N)	11.68 ^a	11.89 ^a	4.74 ^b	4.80 ^b	0.197
Hardness (N)	106.13 ^a	103.40 ^a	40.17 ^b	32.10 ^c	1.789
Springiness	0.93 ^a	0.85 ^a	0.33 ^c	0.48 ^b	0.023
Gumminess (N)	23.52 ^b	40.08 ^a	4.67 ^c	3.36 ^c	1.364
Chewiness (N)	19.97 ^b	36.44 ^a	1.60 ^c	1.62 ^c	1.372
Cohesiveness	0.21 ^b	0.38 ^a	0.12 ^c	0.10 ^c	0.016

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05.

MW, Microwave

- 조리특성에 따른 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷의 전단력 및 TPA 분석결과 Table 43에 나타내었다.
- 고기 콜드컷은 유사분쇄육 콜드컷보다 높은 전단력과 TPA값을 나타냈다(p<0.05). 낮은 전단력과 경도를 보았을 때 유사분쇄육 콜드컷은 고기 콜드컷보다 연도가 연한 것으로 나타났(p<0.05). 또한, 유사분쇄육 콜드컷을 전자레인지로 조리할 경우 경도가 40.17N에서 32.10N으로 감소하였고 탄성력이 0.33에서 0.48으로 증가하였다(p<0.05).

Table 44. Cooking loss, pH, color of meat based cold cut and plant based cold cut by microwave

Traits	Meat based cold cut		Plant based cold cut		SEM
	Raw	MW	Raw	MW	
Cooking loss (%)		3.60 ^b		4.60 ^a	0.129
pH	6.33 ^c	6.33 ^c	6.76 ^a	6.71 ^b	0.005
L*	57.45 ^b	54.84 ^c	68.33 ^a	67.87 ^a	0.363
Color a*	17.37 ^b	18.56 ^a	10.82 ^c	10.93 ^c	0.271
b*	11.11 ^b	11.36 ^b	16.25 ^a	16.38 ^a	0.202

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave

- 조리특성에 따른 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷의 가열감량, pH와 육색의 분석결과 는 Table 44에 나타내었다.
- 콜드컷 유사분쇄육의 가열감량은 4.60%로 고기 콜드컷보다 높았다($p < 0.05$).
- 고기 콜드컷에서 사용되는 고기는 도축 시 해당과정을 통해 pH가 감소하지만 유사분쇄 육 콜드컷에서 사용되는 TVP는 약알카리성(pH7.42~7.43)의 성질을 갖고 있다(Kamani et al., 2019, Chauhan et al., 2019). 따라서 pH는 고기 콜드컷이 6.33, 유사분쇄육 콜드컷이 6.71~6.76으로 유사분쇄육 콜드컷이 높았으며 유사분쇄육 콜드컷을 조리할 경우 pH가 감소하였다($p < 0.05$).
- 육색의 경우 유사분쇄육 콜드컷이 고기 콜드컷보다 L*값과 b*값이 높으며 a*값은 낮게 나타내었다($p < 0.05$).

Table 45. Sensory analysis of meat based cold cut and plant based cold cut by microwave

Traits	Meat based cold cut		Plant based cold cut		SEM
	Raw	MW	Raw	MW	
Color	7.20 ^a	7.80 ^a	7.00 ^{ab}	7.20 ^b	0.173
Aroma	7.13	7.13	6.87	6.87	0.226
off-flavor	7.13	7.33	7.00	7.07	0.213
Taste	6.73	7.20	6.67	6.33	0.239
Tenderness	6.87 ^b	6.53 ^b	8.07 ^a	8.07 ^a	0.174
Juiciness	6.60 ^b	6.53 ^b	7.47 ^a	7.47 ^a	0.165
Overall acceptability	6.93	7.13	6.73	7.13	0.199

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave

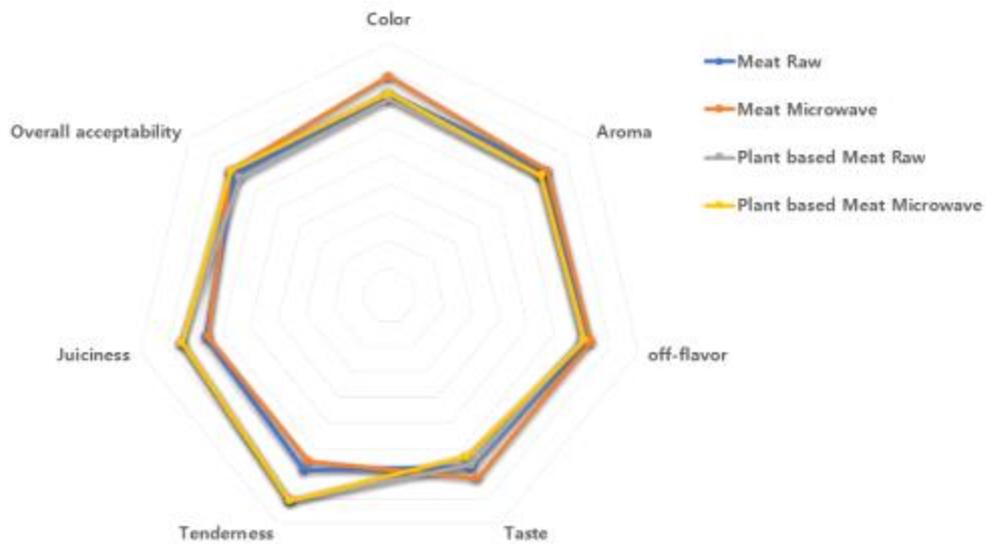


Figure 18. Radar chart for sensory characteristics of meat based cold cut and plant based cold cut by microwave

- 조리특성에 따른 고기 콜드컷과 콜드컷 유사분쇄육의 관능적특성은 Table 45에 나타내었다. 관능특성 분석결과, 육색은 전자레인지로 조리하였을 때 고기 콜드컷이 콜드컷 유사분쇄육보다 좋게 나타났다($p < 0.05$). 하지만, 조리특성과 관계없이 유사분쇄육 콜드컷이 고기 콜드컷보다 높은 연도와 다즙성을 나타내었다($p < 0.05$).
- 종합적 기호도는 조리특성과 관계없이 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 간의 유의적인 차이가 없었다.

나) 조리방법별 미트볼의 전단력, TPA, 가열감량, pH, 육색, 관능적 특성 분석

Table 46. Shear force and TPA of meat based meatball and plant based meatball by cooking method

Traits	Meat based meatball				Plant based meatball				SEM
	Raw	MW	PG	OV	Raw	MW	PG	OV	
Shear force (N)	9.86 ^{bc}	10.64 ^b	11.32 ^b	10.99 ^b	7.03 ^d	9.01 ^c	14.51 ^a	11.36 ^b	0.336
Hardness (N)	46.47 ^{bc}	48.87 ^b	49.66 ^b	49.80 ^b	38.97 ^c	84.16 ^a	81.16 ^a	79.75 ^a	2.043
Springiness	0.96 ^a	0.91 ^b	0.84 ^c	0.82 ^c	0.83 ^c	0.75 ^d	0.66 ^e	0.86 ^{bc}	0.012
Gumminess (N)	10.27 ^b	11.57 ^b	9.90 ^b	9.68 ^b	12.40 ^b	23.21 ^a	20.65 ^a	21.56 ^a	0.658
Chewiness (N)	9.86 ^c	10.20 ^c	8.76 ^{cd}	6.93 ^d	10.58 ^{bc}	17.97 ^a	13.23 ^b	18.35 ^a	0.639
Cohesiveness	0.22 ^{cd}	0.21 ^{de}	0.20 ^{de}	0.19 ^e	0.33 ^a	0.26 ^b	0.24 ^{bc}	0.26 ^b	0.005

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave; PG, Pan-grilling; OV, Oven

- 조리특성에 따른 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 전단력 및 TPA 분석결과는 Table 46에 나타내었다.
- 조리 전 고기 미트볼이 유사분쇄육 미트볼보다 높은 전단력을 나타냈지만 팬그릴로 조리 시 유사분쇄육 미트볼이 고기 미트볼보다 높은 전단력을 나타내었다($p < 0.05$). 또한, 조

리 전 경도는 처리군 간의 유의적인 차이가 존재하지 않았지만 조리 시 유사분쇄육 미트볼의 경도는 유의적으로 증가하였다. 따라서 팬그릴링으로 조리 시 유사분쇄육 미트볼이 고기 미트볼보다 질겨진다고 나타내었다. 반면, 고기 미트볼을 팬그릴링법으로 조리 했을 때 낮은 검성, 씹힘성, 응집성을 나타냈다($p < 0.05$).

Table 47. Cooking loss, pH, color of meat based meatball and plant based meatball by cooking method

Traits	Meat based meatball				Plant based meatball				SEM	
	Raw	MW	PG	OV	Raw	MW	PG	OV		
Cooking loss (%)		7.55 ^c	7.64 ^c	7.98 ^c		18.22 ^a	16.10 ^b	18.63 ^a	0.341	
pH	6.28 ^d	6.29 ^d	6.28 ^d	6.28 ^d	6.83 ^a	6.69 ^c	6.74 ^b	6.67 ^c	0.006	
L*	50.41 ^b	40.80 ^d	33.23 ^e	39.13 ^d	59.93 ^a	48.19 ^c	39.11 ^d	49.59 ^{bc}	0.425	
Color	a*	7.92 ^c	9.68 ^b	12.08 ^a	10.50 ^b	7.99 ^c	9.45 ^b	12.45 ^a	9.94 ^b	0.281
	b*	21.77 ^{cd}	21.94 ^{bcd}	17.62 ^e	21.67 ^{cd}	20.58 ^d	23.69 ^{ab}	22.73 ^{abc}	24.47 ^a	0.417

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave; PG, Pan-grilling; OV, Oven

- 조리특성에 따른 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 가열감량, pH와 육색의 분석결과 는 Table 47에 나타내었다.
- 유사분쇄육 미트볼 내 조리방법에 따른 가열감량은 팬그릴로 조리하였을 때 16.10%로 가장 낮았다($p < 0.05$). 하지만, 조리방법과 관계없이 고기 미트볼의 가열감량이 유사분쇄육 미트볼보다 유의적으로 낮았다.
- pH는 가열감량과 같이 고기 미트볼에서 조리특성에 영향을 받지 않았지만 유사분쇄육 미트볼은 조리를 하였을 때 pH가 감소하였다($p < 0.05$).
- 육색의 경우 조리 전 L*값은 유사분쇄육 미트볼이 고기미트볼보다 유의적으로 높았으며 a*값과 b*값은 유의적인 차이가 없었다. 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼은 모두 조리 시 L*값이 감소했고 a*값은 증가하였으며 팬그릴링법을 적용하였을 때 가장 많은 변화를 나타내었다($p < 0.05$).

Table 48. Sensory analysis of meat based meatball and plant based meatball by cooking method

Traits	Meat based meatball			Plant based meatball			SEM
	MW	PG	OV	MW	PG	OV	
Color	7.20	7.13	7.13	7.13	7.13	7.13	0.181
Aroma	7.60 ^a	7.27 ^{ab}	7.27 ^{ab}	6.33 ^{bc}	7.20 ^{ab}	6.20 ^c	0.232
off-flavor	7.13	7.27	7.13	6.67	7.20	6.40	0.239
Taste	7.33 ^{ab}	7.67 ^a	7.07 ^{ab}	5.80 ^c	6.67 ^{abc}	6.33 ^{bc}	0.250
Tenderness	7.60	7.60	7.60	7.47	7.07	7.13	0.205
Juiciness	6.87	6.73	6.87	6.27	6.47	6.27	0.174
Overall acceptability	7.33 ^{ab}	7.80 ^a	7.60 ^{ab}	6.33 ^c	6.93 ^{bc}	6.13 ^c	0.210

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave; PG, Pan-grilling; OV, Oven

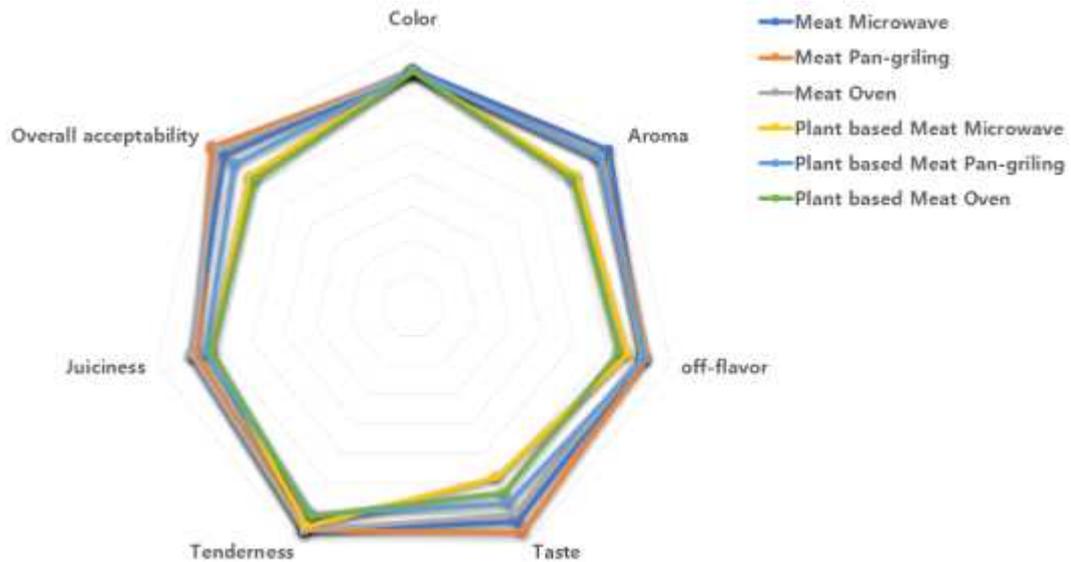


Figure 19. Radar chart for sensory characteristics of meat based meatball and plant based meatball by cooking method.

- 조리특성에 따른 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 관능적 특성은 Table 48에 나타내었다. 관능특성 분석결과, 팬그릴을 사용하여 조리하였을 때 냄새와 맛은 두 처리군 간의 유의적인 차이는 발생하지 않았다. 반면, 전자레인지와 오븐으로 조리를 하였을 때 맛은 고기 미트볼이 유사분쇄육 미트볼보다 좋다고 나타났다($p < 0.05$).
- 종합적 기호도는 조리특성과 상관없이 고기 미트볼이 유사분쇄육 미트볼보다 높게 나타내었다($p < 0.05$). 따라서 유의적인 차이가 존재하는 향, 맛, 종합적 기호도를 고려하였을 때 미트볼을 팬그릴로 조리하는 것이 선호도가 높다고 사료된다.

다) 조리방법별 패티의 전단력, TPA, 가열감량, pH, 육색, 관능적 특성 분석

Table 49. Shear force and TPA of meat based patty and plant based patty by cooking method

Traits	Meat based patty				Plant based patty				SEM
	Raw	MW	PG	OV	Raw	MW	PG	OV	
Shear force (N)	7.53 ^c	9.28 ^b	11.54 ^a	9.92 ^b	4.45 ^d	3.01 ^e	5.08 ^d	4.17 ^d	0.214
Hardness (N)	59.55 ^c	90.38 ^a	71.55 ^b	69.93 ^b	16.07 ^f	26.90 ^e	34.39 ^d	38.62 ^d	1.110
Springiness	0.88 ^a	0.82 ^{bc}	0.83 ^b	0.78 ^c	0.69 ^d	0.57 ^e	0.65 ^d	0.67 ^d	0.009
Gumminess (N)	14.15 ^c	25.36 ^a	22.24 ^b	20.38 ^b	0.90 ^e	2.92 ^{de}	3.84 ^d	5.00 ^d	0.579
Chewiness (N)	12.40 ^c	20.70 ^a	18.97 ^{ab}	17.61 ^b	0.63 ^e	1.54 ^{de}	2.41 ^{de}	3.24 ^d	0.390
Cohesiveness	0.25 ^c	0.27 ^b	0.32 ^a	0.29 ^b	0.06 ^f	0.10 ^e	0.11 ^e	0.14 ^d	0.005

^{a-e} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave; PG, Pan-grilling; OV, Oven

- 조리특성에 따른 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 전단력 및 TPA 분석결과는 Table 49에 나타내었다.
- 전단력은 고기 패티가 유사분쇄육 패티보다 유의적으로 높았다. 고기 패티는 조리 하였

을 때 조리 전에 비해 전단력이 유의적으로 증가하였지만 유사분쇄육 패티는 조리전에 비해 유의적인 차이가 없었다 오히려 유사분쇄육 패티를 전자레인지로 조리하였을 때 전단력은 감소하였다($p < 0.05$).

- 고기 패티의 TPA는 유사분쇄육 패티보다 유의적으로 높았다. 고기 패티를 전자레인지로 조리했을 때 높은 경도, 검성, 씹힘성을 나타냈고 팬그릴링법으로 조리했을 때 높은 씹힘성과 응집성을 나타냈다($p < 0.05$). 반면, 유사분쇄육 패티를 전자레인지로 조리했을 때 낮은 경도, 탄력성, 검성, 씹힘성, 응집성을 나타냈다($p < 0.05$). 이는 패티에 있는 근원섬유들이 네트워크를 형성했기 때문으로 보고된다(Kamani et al., 2019).

Table 50. Cooking loss, pH, color of meat based patty and plant based patty by cooking method

Traits	Meat based patty				Plant based patty				SEM	
	Raw	MW	PG	OV	Raw	MW	PG	OV		
Cooking loss (%)		12.92 ^a	7.77 ^b	6.55 ^b		13.61 ^a	15.04 ^a	15.47 ^a		
pH	6.44 ^b	6.40 ^{def}	6.42 ^{bcd}	6.41 ^{ef}	6.48 ^a	6.44 ^{bc}	6.42 ^{cde}	6.39 ^f	0.004	
L*	44.27 ^b	35.10 ^e	36.20 ^{cde}	35.43 ^{de}	63.33 ^a	39.10 ^c	39.03 ^c	38.48 ^{cd}	0.678	
Color	a*	5.95 ^d	8.26 ^c	8.06 ^c	7.96 ^c	17.35 ^b	19.63 ^a	17.38 ^b	17.26 ^b	0.292
	b*	15.51 ^{de}	16.25 ^d	17.11 ^{cd}	15.95 ^{de}	14.02 ^e	18.75 ^c	23.36 ^a	21.35 ^b	0.429

^{a-f} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave; PG, Pan-grilling; OV, Oven

- 조리특성에 따른 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 가열감량, pH와 육색의 분석결과는 Table 50에 나타내었다.
- 유사분쇄육 패티의 가열감량은 13.61~15.47%로 조리방법에 따른 차이는 발생하지 않았으나 반면, 고기 패티는 전자레인지로 조리하였을 때 12.91%로 가장 높았다($p < 0.05$). 하지만 전자레인지를 이용하여 조리 할 경우 가열감량은 처리군 간에 차이가 없었다($p < 0.05$).
- 조리 전 pH는 고기 패티가 유사분쇄육 패티보다 낮았으나 조리 후 조리방법과 관계없이 차이가 없었다($p < 0.05$).
- 육색의 경우 조리 전 L*값과 a*값은 유사분쇄육 패티가 고기 패티보다 높았다($p < 0.05$). 유사분쇄육 패티를 전자레인지로 조리하였을 경우 a*값은 유의적으로 증가하였다. 고기 패티를 조리 할 경우 조리 전과 비교하였을 때 b*값은 유의적인 차이가 없었지만 유사분쇄육 패티는 유의적인 차이가 있었다. 특히, 팬그릴로 조리한 유사분쇄육 패티가 가장 높은 b*값을 나타내었다($p < 0.05$).

Table 51. Sensory analysis of meat based patty and plant based patty by cooking method

Traits	Meat based patty			Plant based patty			SEM
	MW	PG	OV	MW	PG	OV	
Color	7.60	7.47	7.73	6.87	6.93	7.13	0.212
Aroma	7.67 ^a	7.67 ^a	7.47 ^a	6.27 ^b	5.53 ^b	5.53 ^b	0.212
off-flavor	7.80 ^a	7.73 ^a	7.60 ^a	5.40 ^b	5.53 ^b	5.33 ^b	0.244
Taste	7.20 ^a	7.87 ^a	7.07 ^a	4.27 ^b	4.13 ^b	4.33 ^b	0.266
Tenderness	6.73 ^b	7.53 ^{ab}	7.33 ^{ab}	7.87 ^a	7.80 ^a	7.87 ^a	0.242
Juiciness	6.60	7.33	7.13	7.00	6.80	6.67	0.230
Overall acceptability	7.40 ^a	7.87 ^a	7.27 ^a	4.87 ^b	4.40 ^b	4.33 ^b	0.213

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

MW, Microwave; PG, Pan-grilling; OV, Oven

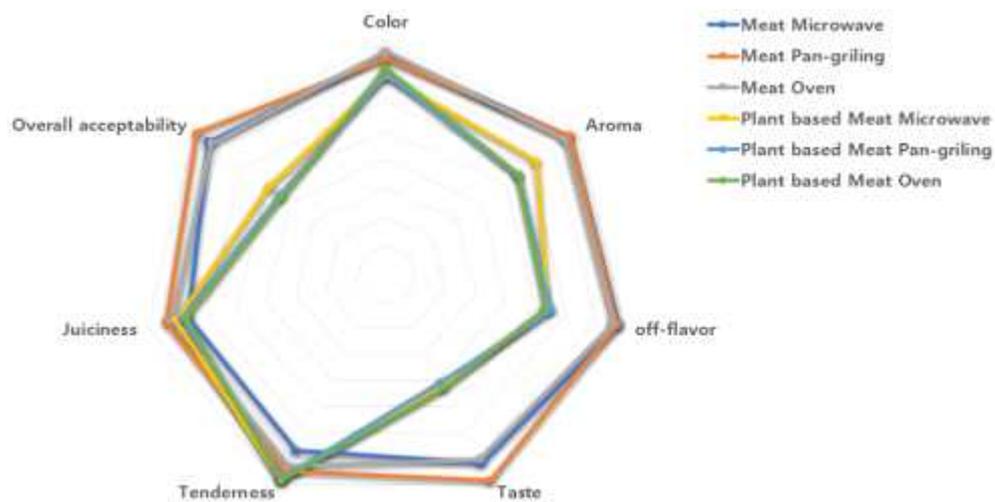


Figure 20. Radar chart for sensory characteristics of meat based patty and plant based patty by cooking method.

- 조리특성에 따른 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 관능적특성은 Table 51에 나타내었다. 관능특성 분석결과, 조리특성과 관계없이 고기 패티가 유사분쇄육 패티보다 향과 맛이 좋고 이취가 적다고 나타났다($p < 0.05$). 팬그릴과 오븐으로 조리하였을 때 연도는 고기 패티와 유사분쇄육 패티 간의 차이가 없었지만 전자레인지로 조리하였을 때 유사분쇄육 패티가 고기 패티보다 높다고 나타났다($p < 0.05$).
- 종합적 기호도는 조리특성과 관계없이 고기 패티가 유사분쇄육 패티보다 유의적으로 높게 나타났다.

6) 최적 소고기 유사 분쇄육 내 단백질과 지방의 휘발성 및 비휘발성 풍미 성분 모니터링

(1) 연구수행 방법

가. 최적 소고기 유사 분쇄육 내 영양성분 비교를 위한 유리아미노산, 지방산, 휘발성 유기 화합물, 핵산 물질 분석

가) 실험재료

- 실험재료는 4) - (1) - 가 - 가)와 같다.

나) 실험방법

(가) 조리방법

- 조리방법은 4) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(나) 유리아미노산 (free amino acid)

- 유리아미노산 분석은 2) - (1) - 가 - 나) - (나)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(다) 지방산 조성 (fatty acid composition)

- 지방산 분석은 2) - (1) - 가 - 나) - (다)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(라) 휘발성 유기 화합물 (volatile organic compound)

- 휘발성 유기 화합물은 3) - (1) - 가 - 나) - (마)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(마) 핵산 물질 함량 (nucleotide contents)

- 핵산 물질은 3) - (1) - 가 - 나) - (라)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(바) 통계분석 (statistical analysis)

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나) - (파)와 같다.

(2) 연구수행 결과

가. 최적 소고기 유사 분쇄육 내 영양성분 비교를 위한 유리아미노산, 지방산, 휘발성 유기 화합물, 핵산 물질 분석

가) 조리방법별 콜드컷의 유리아미노산, 지방산, 휘발성 유기 화합물, 핵산 물질 분석

Table 52. Free amino acid of meat based cold cut and plant based cold cut

Free amino acid (mg/100g)	Meat based cold cut	Plant based cold cut	SEM
P-Ser (Phosphoserine)	0.00	0.00	0.000
Tau (Taurine)	10.56 ^a	0.00 ^b	0.026
PEA (Phosphoethanol amine)	0.32 ^a	0.00 ^b	0.006
Urea	3.25 ^a	0.00 ^b	0.035
Asp (Aspartic acid)	0.25 ^a	0.10 ^b	0.003
Thr (Threonine)	1.19 ^a	0.13 ^b	0.069
Ser (Serine)	1.44 ^a	0.05 ^b	0.008
AspNH ₂ (Asparagine)	0.74 ^a	0.15 ^b	0.016
Glu (Glutamic acid)	20.73 ^a	12.48 ^b	0.060

GluNH ₂ (Glutamine)	4.36 ^a	0.00 ^b	0.072
Sar (Sarcosine)	0.00	0.00	0.000
Gly (Glycine)	2.32 ^a	0.04 ^b	0.013
Ala (Alanine)	6.79 ^a	0.13 ^b	0.031
Cit (Citrulline)	0.00 ^b	0.01 ^a	0.000
α-ABA (α-amono-n-butyric acid)	0.00 ^b	0.03 ^a	0.000
Val (Valine)	1.29 ^a	0.04 ^b	0.019
Cys (Cysteine)	0.00 ^b	0.21 ^a	0.002
Met (Methionine)	0.78 ^a	0.01 ^b	0.008
Cysthi (Cystathionine)	0.00	0.00	0.000
Ile (Isoleucine)	1.05 ^a	0.04 ^b	0.021
Leu (Leucine)	2.02 ^a	0.07 ^b	0.025
Tyr (Tyrosine)	1.04 ^a	0.02 ^b	0.009
Phe (Phenylalanine)	1.14 ^a	0.05 ^b	0.016
β-Ala (β-Alanine)	0.73 ^a	0.00 ^b	0.002
β-AiBA (β-Amino isobutyric acid)	0.00	0.00	0.000
γ-ABA (γ-Amino-n-butyric acid)	0.00 ^b	0.02 ^a	0.000
Trp (Tryptophan)	0.22 ^a	0.02 ^b	0.003
EOHNH ₂ (Ethanol amine)	0.25 ^a	0.00 ^b	0.000
NH ₃	2.61 ^a	0.38 ^b	0.018
Hyls (Hydroxylysine)	0.00	0.00	0.000
Orn (Ornithine)	0.42 ^a	0.02 ^b	0.020
Lys (Lysine)	1.66 ^a	0.12 ^b	0.019
1Mehis (1-Methylhistidine)	0.00	0.00	0.000
His (Histidine)	0.67 ^a	0.02 ^b	0.007
3Mehis (3-Methylhistidine)	0.00	0.00	0.000
Ans (Anserine)	4.00 ^a	0.00 ^b	0.027
Car (Carnosine)	76.39 ^a	0.00 ^b	0.470
Arg (Arginine)	1.90 ^a	0.56 ^b	0.074
Sweet FAA	11.74 ^a	0.35 ^b	0.094
Bitter FAA	6.28 ^a	0.20 ^b	0.090
Acid FAA	21.64 ^a	12.60 ^b	0.062
Umami FAA	20.98 ^a	12.58 ^b	0.058
Total	148.10 ^a	14.69 ^b	0.264

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05.

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 내 유리 아미노산 조성을 분석한 결과는 Table 52에 나타내었다.
- 총 유리 아미노산의 함량은 유사분쇄육 콜드컷이 고기 콜드컷보다 유의적으로 적었다.
- 맛을 나타내는 아미노산의 총량을 비교하였을 때 단맛, 쓴맛, 신맛, 우마미 맛을 나타내는 유리 아미노산의 총량은 모두 유사분쇄육 콜드컷보다 고기 콜드컷에서 높은 수준을 보였다 ($p < 0.05$).
- Phosphoserine, Sarcosine, Cystathionine, β -Amino isobutyric acid, Hydroxylysine, 1-Methylhistidine, 3-Methylhistidine은 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 모두 검출되지 않았다.
- Taurine, Phosphoethanol amine, Urea, Glutamine, β -Alanine, γ -Amino-n-butyric acid, Ethanol amine, Anserine, Carnosine은 고기 콜드컷에서만 검출된 반면 Citrulline, α -amono-n-butyric acid, γ -Amino-n-butyric acid는 유사분쇄육 콜드컷에서만 검출되었다.
- Carnosine은 고기 콜드컷에서 가장 많이 검출된 유리 아미노산으로 유사분쇄육 콜드컷에서는 검출되지 않았다($p < 0.05$). 반면, 유사분쇄육 콜드컷에서 가장 많이 검출된 유리 아미노산은 우마미 맛을 내는 Glutamic acid로 고기 콜드컷보다 유의적으로 낮은 함량을 나타냈다.
- 필수아미노산인 Valine, Leucine, Isoleucine, Methionine, Threonine, Lysine, Phenylalanine, Tryptophan은 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷에서 전부 검출되었으며 유사분쇄육 콜드컷보다 고기 콜드컷에서 유의적으로 많은 함량을 나타냈다.

Table 53. Fatty acid composition of meat based cold cut and plant based cold cut

Fatty acid composition (%)	Meat based cold cut	Plant based cold cut	SEM
C6:0 (Caproic acid)	0.00	0.00	0.000
C8:0 (Caprylic acid)	0.00 ^b	0.17 ^a	0.008
C10:0 (Capric acid)	0.00 ^b	0.16 ^a	0.008
C12:0 (Lauric acid)	0.00 ^b	0.23 ^a	0.053
C14:0 (Myristic acid)	2.70 ^a	0.31 ^b	0.028
C16:0 (Palmitic acid)	36.92 ^a	10.97 ^b	0.301
C16:1 (Palmitoleic acid)	3.48 ^a	0.09 ^b	0.022
C17:0 (Margaric acid)	0.00 ^b	0.10 ^a	0.003
C17:1 (Margaric acid <i>cis</i> -10)	0.00 ^b	0.06 ^a	0.001
C18:0 (Stearic acid)	18.95 ^a	4.46 ^b	0.474
C18:1n7 (Vaccenic acid)	2.37 ^a	0.00 ^b	0.530
C18:1n9t (Elaidic acid)	0.00 ^b	0.05 ^a	0.004
C18:1n9c (Oleic acid)	12.23 ^b	22.29 ^a	1.514
C18:2n6c (Linoleic acid)	20.35 ^b	52.99 ^a	0.223
C18:3n6 (γ -Linolenic acid)	0.05 ^b	0.32 ^a	0.005
C20:0 (Arachidic acid)	0.00 ^b	0.37 ^a	0.013
C20:1n9 (Eicosenoic acid)	1.21 ^a	0.17 ^b	0.018
C20:2 (Eicosadienoic acid)	0.00 ^b	0.06 ^a	0.009
C20:3n6 (Dihome- γ -linolenic acid)	0.00	0.00	0.000
C20:5n3 (Eicosapentaenoic acid, EPA)	0.03 ^a	0.00 ^b	0.001
C22:0 (Behenic acid)	0.00 ^b	0.14 ^a	0.006

C22:4n6 (Adrenic acid)	0.17 ^a	0.00 ^b	0.003
C22:6n3 (Docosahexaenoic acid, DHA)	0.04 ^a	0.00 ^b	0.001
C18:3n3+C21:0 (α -Linolenic acid+Heneicosanoic acid)	0.96 ^b	7.06 ^a	0.010
C23:0+C20:4n6 (Tricosanoic acid+Arachidonic acid)	0.54 ^a	0.01 ^b	0.010
SFA	58.57 ^a	16.91 ^b	0.752
UFA	41.43 ^b	83.09 ^a	0.752
MUFA	19.29	22.66	0.977
PUFA	22.14 ^b	60.43 ^a	0.238
MUFA/SFA	0.33 ^b	1.34 ^a	0.022
PUFA/SFA	0.38 ^b	3.57 ^a	0.019

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

SEM: Standard error of means.

- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 내 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 53에 나타내었다. 고기 콜드컷의 주요 지방산은 Palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid, Linoleic acid이며 유사분쇄육 콜드컷의 주요 지방산은 Palmitic acid, Oleic acid, Linoleic acid, α -Linolenic acid+ Heneicosanoic acid으로 나타났다.
- 포화지방산은 고기 콜드컷 지방산에서 58.57%를 차지하며 유사분쇄육 콜드컷보다 높게 나타났고 불포화지방산은 유사분쇄육 콜드컷 지방산에서 83.09%를 차지하며 고기 콜드컷보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 단가불포화지방산은 처리군 간의 유의적인 차이가 없었지만 다가불포화지방산은 유사분쇄육 콜드컷이 고기 콜드컷보다 유의적으로 높았다. MUFA/SFA와 PUFA/SFA 비율 또한 유사분쇄육 콜드컷이 고기 콜드컷보다 높게 나타났다 ($p < 0.05$).

Table 54. Nucleotide contents of meat based cold cut and plant based cold cut

Nucleotide contents (mg/100g)	Meat based cold cut	Plant based cold cut	SEM
Hypoxanthine	18.71 ^a	1.14 ^b	0.123
IMP	33.78 ^a	1.38 ^b	0.549
Inosine	39.41 ^a	1.80 ^b	1.522
AMP	9.36 ^a	0.00 ^b	0.066
ADP	0.00	0.00	0.000
ATP	0.00	0.00	0.000

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

SEM: Standard error of means.

- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 내 핵산물질 함량을 분석한 결과는 Table 54에 나타내었다. 핵산 물질은 고기의 맛에서 중요한 역할을 하는 정미성분에 기여하는 물질이다. IMP와 AMP는 우마미 맛을 나타내는 성분이지만 IMP에 의해 생성되는 2차 분해산물인 Hypoxanthine은 쓴맛을 내는 특징을 가지고 있다(Tikk, M. et al., 2006).
- 고기 콜드컷에서 Hypoxanthine, IMP, Inosine, AMP의 함량은 각각 18.71mg/100g, 33.78mg/100g, 39.41mg/100g, 9.63mg/100g이고 유사분쇄육 콜드컷에서 각각 1.14mg/100g, 1.38mg/100g, 1.80mg/100g, 0mg/100g으로 나타내었다. Hypoxanthine, IMP, Inosine, AMP은 고기 콜드컷이 유사분쇄육 콜드컷보다 많은 핵산함

량을 나타냈다($p < 0.05$). ADP와 ATP는 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 모두 검출되지 않았다.

Table 55. Volatile organic compounds of Meat based cold cut and plant based cold cut

Volatile organic compounds (A.U. x 10 ⁶)	M/Z	LRI	Meat based cold cut	Plant based cold cut	SEM
Acids					
Methyleugenol	178.1	1406	0.000 ^b	5.291 ^a	0.1070
n-Decanoic acid	73	1366	0.016 ^b	1.784 ^a	0.2126
n-Hexadecanoic acid	73	1958	0.025	0.143	0.0592
subtotal			0.041 ^b	7.217 ^a	0.2614
Alcohols					
(1R,2R,4R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-ol	93.1	1103	0.000 ^b	0.498 ^a	0.0129
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56.1	785	0.658 ^a	0.450 ^b	0.0632
. α .-Terpineol	59	1191	0.303 ^b	3.531 ^a	0.0500
.tau.-Cadinol	161.1	1646	0.000 ^b	0.112 ^a	0.0202
1,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]hept-5-en-2-ol	108	1131	0.000 ^b	0.079 ^a	0.0229
1-Hexanol, 2-ethyl-	57	1031	0.204 ^a	0.000 ^b	0.0434
1-Nonanol	56	1175	0.049 ^a	0.000 ^b	0.0107
1-Octanol	56	1077	0.126 ^a	0.000 ^b	0.0109
1-Octen-3-ol	57	969	0.321 ^b	2.134 ^a	0.0307
2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-4-(1-oxopropyl)phenol	232.9	1642	0.008	0.012	0.0019
2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	93.1	1126	0.000 ^b	0.416 ^a	0.0110
2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, trans-	93.1	1143	0.000 ^b	0.335 ^a	0.0089
2-Cyclohexen-1-ol, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	84.1	1208	0.000 ^b	0.260 ^a	0.0461
2-Methoxy-4-vinylphenol	150.1	1318	0.000 ^b	0.169 ^a	0.0029
2-Propen-1-ol, 3-phenyl-	92	1310	0.014 ^a	0.000 ^b	0.0037
3,4'-Isopropylidenediphenol	213.1	2180	0.858	0.000	0.3040
3-Phenylpropanol	117	1232	0.038 ^a	0.000 ^b	0.0057
5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	93	1070	0.000 ^b	0.444 ^a	0.0095
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, (R)-	69	1231	0.079	0.073	0.0223
Benzenemethanol, . α ., . α ., 4-trimethyl-	135	1186	0.102 ^b	0.844 ^a	0.1590
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, (1S-endo)-	95	1168	0.637 ^a	0.000 ^b	0.0493
endo-Borneol	95.1	1168	0.000 ^b	1.222 ^a	0.0239
Eucalyptol	81	1028	0.000 ^b	4.384 ^a	0.0449
Eugenol	164	1361	0.008 ^b	20.537 ^a	0.1846
Fenchol	81	1119	0.000	0.083	0.0257
Geraniol	69	1258	0.204 ^a	0.000 ^b	0.0204
Guaiol	161.1	1602	0.000 ^b	0.163 ^a	0.0041
Isospathulenol	119	1634	0.008 ^b	0.030 ^a	0.0066
Linalool	71.1	1106	6.850 ^b	43.623 ^a	0.6028
Maltol	126	1116	0.000 ^b	0.349 ^a	0.0337
Phenol	94	978	0.000 ^b	0.416 ^a	0.0047
Phenol, 2-methoxy-	124	1094	0.000 ^b	0.945 ^a	0.1675
Phenol, 2-methyl-5-(1-methylethyl)-	135	1307	0.000 ^b	5.317 ^a	0.1069
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	137	1283	0.022 ^b	0.411 ^a	0.0049
Phenylethyl Alcohol	91.1	1117	0.526 ^a	0.128 ^b	0.0435
Terpinen-4-ol	71.1	1179	0.064 ^b	11.619 ^a	2.0589

Thymol	135	1297	0.015 ^b	9.889 ^a	0.2077
trans-Isoeugenol	164	1453	0.000 ^b	0.367 ^a	0.0028
subtotal			11.093 ^b	108.840 ^a	2.7173
Aldehydes					
2,4-Decadienal, (E,E)-	81	1321	0.000 ^b	0.753 ^a	0.0175
2-Decenal, (E)-	70.1	1265	0.000 ^b	0.086 ^a	0.0024
3-Isopropylbenzaldehyde	133	1242	0.036	0.000	0.0120
Benzeneacetaldehyde	91.1	1044	0.118 ^b	0.370 ^a	0.0108
Cinnamaldehyde, (E)-	131	1273	0.886 ^a	0.000 ^b	0.1338
Decanal	57.1	1206	0.020 ^b	0.128 ^a	0.0249
Hexadecanal	82.1	1815	0.009 ^a	0.000 ^b	0.0011
Hexanal, 5-methyl-	70.1	847	0.148 ^b	0.349 ^a	0.0177
Octanal	41	999	0.053 ^b	0.144 ^a	0.0119
subtotal			1.270 ^b	1.831 ^a	0.1291
Esters					
. α -Terpinyl acetate	121	1354	0.000 ^b	3.066 ^a	0.0567
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	71.1	1599	0.048 ^a	0.000 ^b	0.0136
2-Propenoic acid, 3-phenyl-, methyl ester, (E)-	131	1385	0.000 ^b	0.062 ^a	0.0017
4-Hexen-1-ol, acetate	67	1006	0.000 ^b	0.377 ^a	0.0671
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	95.1	1356	0.021	0.039	0.0117
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	700	9.739	11.099	0.6131
Benzoyl isothiocyanate	105	936	0.973 ^b	3.472 ^a	0.1331
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	95.1	1291	0.051 ^b	5.598 ^a	0.0846
Decanoic acid, methyl ester	74	1329	0.000 ^b	0.195 ^a	0.0064
Dibutyl phthalate	149	1964	0.015	0.070	0.0173
Ethyl 2-(5-methyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-yl)propan-2-yl carbonate	59	1077	0.000 ^b	0.110 ^a	0.0319
Geranyl acetate	69.1	1385	0.332 ^b	0.667 ^a	0.0547
Hydrogen isocyanate	43.1	558	0.000 ^b	0.528 ^a	0.1561
Linalyl acetate	93	1260	0.000 ^b	0.775 ^a	0.0107
Methyl salicylate	120	1194	0.033 ^b	0.353 ^a	0.0240
Octanoic acid, methyl ester	74	1132	0.000 ^b	0.606 ^a	0.0107
Phthalic acid, di(2-propylpentyl) ester	149	2545	0.029	0.000	0.0174
Triacetin	43	1356	0.000 ^b	9.016 ^a	0.5403
subtotal			11.240 ^b	36.031 ^a	0.7595
Hydrocarbons					
(+)-4-Carene	93	996	0.000 ^b	2.098 ^a	0.0516
(2S,4aR,8aR)-4a,8-Dimethyl-2-(prop-1-en-2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydronaphthalene	161	1525	0.016 ^a	0.000 ^b	0.0037
(E)-Stilbene	99	1711	0.005 ^b	0.015 ^a	0.0019
. α -Calacorene	157	1549	0.029	0.021	0.0055
. α -Cubebene	161	1354	0.054 ^a	0.000 ^b	0.0090
. α -Guaiene	105	1444	0.000 ^b	0.042 ^a	0.0021
. α -Phellandrene	93.1	996	14.572 ^a	0.000 ^b	4.295
. β -Bisabolene	93	1514	0.121 ^b	0.299 ^a	0.0218
. β -Myrcene	93	983	8.129 ^a	0.000 ^b	2.2141
. γ -Muurolene	161	1483	0.063 ^a	0.000 ^b	0.0079
. γ -Terpinene	93.1	1061	0.401 ^b	2.285 ^a	0.1182
1,2,4-Metheno-1H-indene, octahydro-1,7a-dimethyl-5-(1-methylethyl)-, [1S-(1.	161	1370	0.033 ^a	0.000 ^b	0.005

α .,2. α .,3a. β .,4. α .,5. α .,7a. β .,8S)]-					
1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	93	1052	0.081 ^b	0.923 ^a	0.0411
1,3-Benzodioxole, 4-methoxy-6-(2-propenyl)-	192	1527	0.000 ^b	7.119 ^a	0.1752
1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	121.1	1011	0.524 ^b	1.273 ^a	0.1871
1,3-Cyclohexadiene, 5-(1,5-dimethyl- 4-hexenyl)-2-methyl-[S-(R*,S*)]-	119.1	1501	0.437	0.338	0.0966
2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-	121.1	1135	0.018 ^a	0.000 ^b	0.0053
2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	121	1135	0.000 ^b	0.221 ^a	0.0054
3-Carene	93.1	1003	16.396 ^a	0.972 ^b	3.0384
5-Methyl-1,2,3,4-tetrathiane	170	1365	0.072 ^a	0.000 ^b	0.0071
Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-	119	1488	0.412 ^b	0.966 ^a	0.0683
Benzene, 1-(1,5-dimethylhexyl)-4-methyl-	119.1	1451	0.047 ^a	0.000 ^b	0.0117
Benzene, 1,2,3-trimethoxy- 5- (2-propenyl)-	208	1559	0.000 ^b	0.919 ^a	0.0093
Benzene, 1,2-dimethoxy-4-(1-propenyl)-	178.1	1502	0.000 ^b	0.563 ^a	0.0081
Benzene, 1-methoxy-4-(1-propenyl)-, (Z)-	148.1	1256	0.000 ^b	0.347 ^a	0.0040
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethenyl)-	132.1	1087	0.090 ^a	0.000 ^b	0.0166
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	119	1021	7.395 ^a	0.000 ^b	1.8790
Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl-	93.1	916	0.467 ^a	0.000 ^b	0.7499
Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-(1S)-	93.1	957	9.957 ^a	1.640 ^b	2.0455
Bicyclo[5.2.0]nonane, 2-methylene-4,8,8-trimethyl-4-vinyl-	93	1411	0.090 ^b	1.321 ^a	0.0425
Caryophyllene oxide	93	1589	0.000 ^b	0.057 ^a	0.0019
Copaene	161.1	1380	0.877 ^a	0.339 ^b	0.1396
Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethen yl)-, [1S-(1. α .,2. β .,4. β .)]-	93	1395	0.083	0.110	0.0127
Cyclohexene, 1-methyl-4- (1-methylethylidene)-	136.1	1092	1.135	0.629	0.3248
Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	95	1017	0.054	0.000	0.0242
Cyclohexene, 4-ethenyl-4-methyl-3- (1-methylethenyl)-1-(1-methylethyl)-, (3R-trans)-	121.1	1343	0.786	0.328	0.2479
Cyclopentane, butyl-	83	935	0.000 ^b	0.240 ^a	0.0037
Cyclopentene, 1-ethenyl-3-methylene-	91	823	0.845 ^a	0.000 ^b	0.0787
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	281	1004	21.757	19.841	2.7903
D-Limonene	68	1026	24.660 ^a	4.639 ^b	3.3366
Dodecane	57.1	1200	0.094 ^a	0.000 ^b	0.0084
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	71	1285	0.023 ^a	0.000 ^b	0.0065
Hexadecane	71.1	1599	0.000 ^b	0.192 ^a	0.0128
Humulene	93.1	1460	0.323	0.328	0.0531
Humulene epoxide I	93.1	1589	0.006 ^a	0.000 ^b	0.0014
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro -7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl) -(1. α .,4a. β .,8a. α .)-	161.1	1521	0.000 ^b	0.294 ^a	0.0083
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7 -dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	159	1529	0.314	0.256	0.0658
Naphthalene, 1,6-dimethyl-4- (1-methylethyl)-	183	1681	0.005 ^a	0.000 ^b	0.0013
Naphthalene, decahydro-4a-methyl- 1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4a. α .,7. α .,8a. β .)]-	105	1493	0.051	0.039	0.0168
o-Cymene	119.1	1021	15.271	3.791	3.6587
Pentadecane	57.1	1503	0.000 ^b	0.115 ^a	0.0337
Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	121.1	990	0.000 ^b	0.048 ^a	0.0140
Pyrazine, trimethyl-	122.1	993	0.000 ^b	3.690 ^a	0.0349
Safrole	162	1293	0.000 ^b	2.532 ^a	0.0396
sec-Butylamine	44	585	0.000 ^b	0.513 ^a	0.0943
Tetradecane	57.1	1400	0.053 ^b	0.293 ^a	0.0482

trans-. α .-Bergamotene	119	1440	0.000 ^b	0.919 ^a	0.0341
trans-. β .-Ocimene	93.1	1041	0.081 ^b	1.378 ^a	0.0427
Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl-	93	894	6.520 ^a	0.622 ^b	1.5377
Tridecane	71	1284	0.016	0.000	0.0053
subtotal			132.362 ^a	62.556 ^b	16.2610
Ketones					
(+)-2-Bornanone	95.1	1147	0.154 ^b	1.653 ^a	0.0268
2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	82	1258	0.027 ^b	0.089 ^a	0.0185
2-Nonanone	58.1	1099	0.000 ^b	0.145 ^a	0.0025
2-Pentadecanone	57.1	1700	0.000 ^b	0.219 ^a	0.0287
2-Undecanone	58.1	1298	0.046 ^a	0.000 ^b	0.0060
4,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-3-en-2-one	150	1316	0.011	0.000	0.0037
5-Hepten-2-one, 6-methyl-	43	979	0.000 ^b	0.224 ^a	0.0007
7-Octen-4-one, 2,6-dimethyl-	85.1	1057	0.000 ^b	0.199 ^a	0.0040
D-Carvone	82	1247	0.000 ^b	2.847 ^a	0.8223
Furan, 2-pentyl-	81	984	0.000 ^b	4.034 ^a	0.1116
subtotal			0.239 ^b	9.410 ^a	0.8000
Sulfur compounds					
(Z)-1-(Prop-1-en-1-yl)-2-propyldisulfane	148	1097	0.993 ^a	0.000 ^b	0.0794
1-Allyl-3-propyltrisulfane	115	1317	0.030 ^a	0.000 ^b	0.0033
2-Acetylthiazole	43	1014	0.000 ^b	0.107 ^a	0.0040
Carbon disulfide	76	546	0.000	0.584	0.2221
Cyclic octaatomic sulfur	64	2031	0.000 ^b	0.003 ^a	0.0007
Diallyl disulphide	41.1	1082	9.846 ^a	7.026 ^b	0.4793
Disulfide, dipropyl	150	1111	4.823 ^a	0.000 ^b	0.4131
Sulfur dioxide	32.1	538	2.387 ^a	0.000 ^b	0.643
Trisulfide, dipropyl	182	1330	0.073 ^a	0.000 ^b	0.0106
Trisulfide, methyl 2-propenyl	87	1140	0.000 ^b	0.421 ^a	0.0081
subtotal			18.152 ^a	8.142 ^b	1.4372
Others					
2-((3,3-Dimethyloxiran-2-yl)methyl)-3-methylfuran	95	1178	0.110 ^a	0.000 ^b	0.0211
4-Methyl-1,2,3-trithiolane	138	1152	0.551 ^a	0.000 ^b	0.0399
Coumarin	146	1440	0.105 ^a	0.000 ^b	0.0164
Cyclopenta[g]-2-benzopyran, 1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethyl-	243.1	1858	0.000 ^b	0.019 ^a	0.0035
Dimethylphosphinic fluoride	81	587	0.000 ^b	0.510 ^a	0.0149
Nitrous oxide	44	1356	0.000 ^a	0.178 ^a	0.0614
subtotal			0.765 ^a	0.707 ^a	0.4727
Total			175.161 ^b	234.734 ^a	17.7933

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

SEM: Standard error of means.

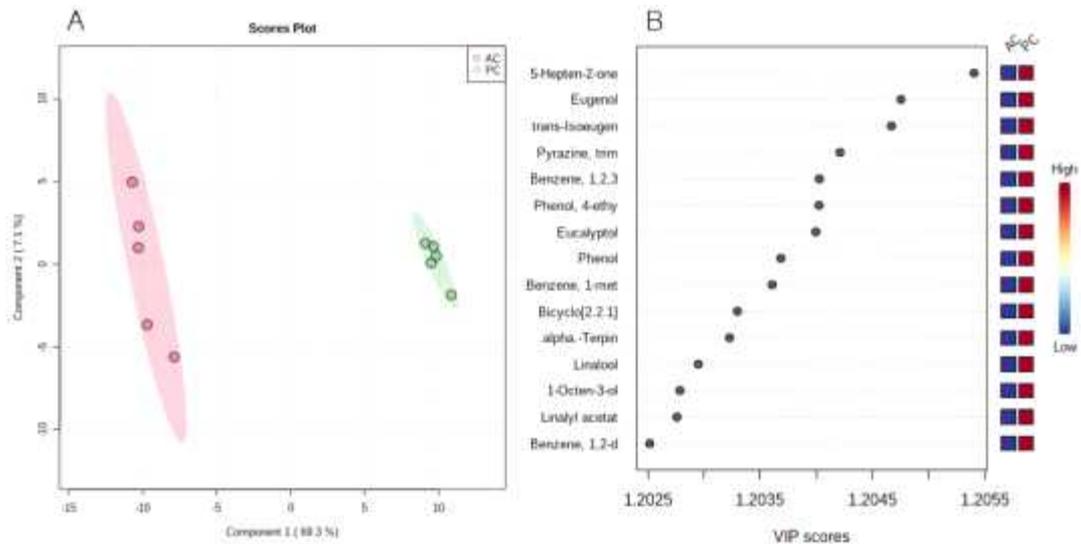


Figure 21. Partial least squares–discriminant analysis (PLS–DA) (A) and its variable importance in projection scores(VIP scores) (B) from meat based cold cut and plant based cold cut (AC: Animal based cold cut, PC: Plant based cold cut).

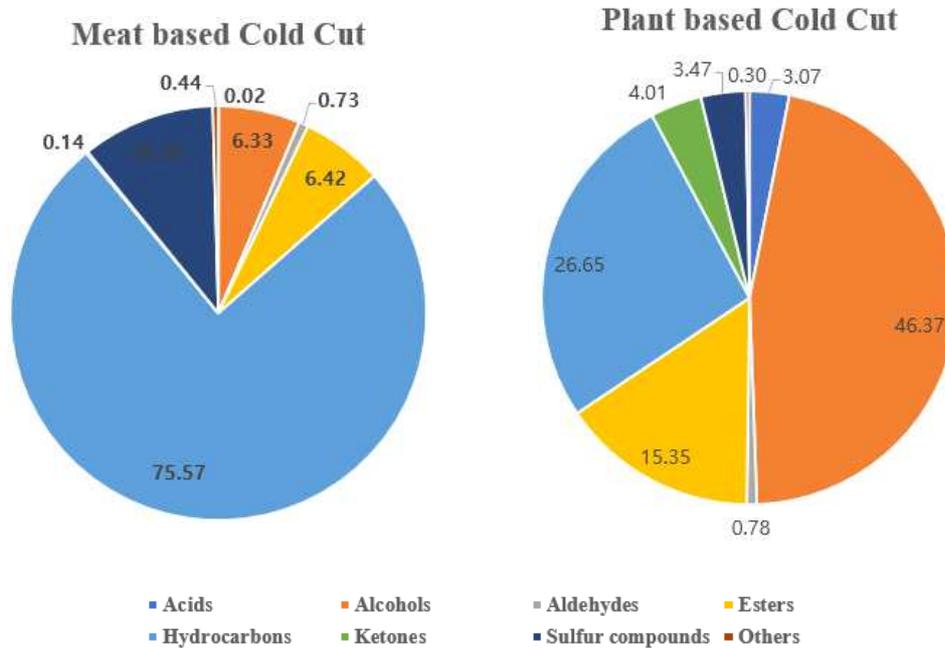


Figure 22. Total VOCs composition of meat based cold cut and plant based cold cut by percentage.

- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷의 휘발성 유기화합물 결과는 Table 55와 Figure 21, 22에 나타내었다.
- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷에서 휘발성 유기화합물은 Hydrocarbons (60), Alcohols (38), Esters (18), Acids (3), Ketones (10), Sulfur compounds (10), Aldehydes (9), Others (6)로 구성되어있다. 고기 콜드컷의 주요 휘발성 유기화합물은 Hydrocarbons, Sulfur compounds, Esters, Alcohols로 각각 75.57%, 10.36%, 6.42%, 6.33%를 나타냈고 유사분쇄육 콜드컷의 주요 휘발성 유기화합물은 Alcohols, Hydrocarbons, Esters로 각각 48.62%, 26.62%, 11.51%를 나타냈다. 유사분쇄육 콜드컷은 고기 콜드컷보다 Acids, Alcohols, Aldehydes, Esters, Ketones가 많이 나타났다

($p < 0.05$).

- GC-MS에 의해 측정된 Figure 21의 (A)를 통해 샘플 유형을 판별하였다. 제 1주성분을 통해 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷의 향이 차이가 난다는 것을 확인하였다.
- VIP score가 1.0을 초과할수록 그 물질은 샘플을 구분하는데 중요한 바이오마커로 취급된다(Rui Xin et al., 2018). 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷에서 VIP score가 가장 높은 VOC는 5-Hepten-2-one, 6-methyl- (mushroom, pepper, rubber)로 나타났다. 이 성분은 유사분쇄육 콜드컷에서는 나타났지만 고기 콜드컷에서는 나타나지 않았다.
- Linalool (blueberry, bois de rose, citrus, floral, green, lavender, lemon, orange, sweet)는 유사분쇄육 콜드컷에서 가장 많이 발견되는 Alcohols로 고기 콜드컷보다 유의적으로 많이 나타났다. 또한, 유사분쇄육 콜드컷에서 Alcohols성분 중 Eugenol (cinnamon, clove, honey, woody)도 많이 발견되었는데 이는 클로브에서 발견되는 VOC로 향진균효과를 갖고 있다고 알려져있다(Xie et al., 2021).
- Aldehydes 성분 중 2,4-Decadienal, (E,E)- (fried)는 밀이 들어간 음식에서 중요한 향미 물질로 알려져 있으며 유사분쇄육 콜드컷에서만 유의적으로 나타났다(Vermeulen et al., 2006).
- Esters 성분 중 Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester (odorless)는 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷에 가장 많이 나타났고 Triacetin(tropical, mild, bitter, fruity, clean)은 유사분쇄육 콜드컷에서만 다량 나타났다. Triacetin 식품용 플라스틱 용기에 사용되는 물질로 향진균효과를 나타낸다(Panseri et al., 2014).
- D-Limonene (mint, lemon, citrus, orange, fresh, sweet)은 고기 콜드컷에서 가장 많이 발견되는 Hydrocarbons으로 rancidity를 억제하는 효과를 가지고 있다고 보고되었다(Maggiolino et al., 2022). 이 성분은 유사분쇄육 콜드컷보다 고기 콜드컷에서 유의적으로 많이 나타났다($p < 0.05$).
- Diallyl disulphide (Garlic)는 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷에서 가장 많이 발견되는 Sulfur compounds로 유사분쇄육 콜드컷 보다 고기 콜드컷에서 유의적으로 많이 발견되었다.

나) 조리방법별 미트볼의 유리아미노산, 지방산, 휘발성 유기 화합물, 핵산 물질 분석

Table 56. Free amino acid of meat based meatball and plant based meatball by pan-grilling

Free amino acid (mg/100g)	Meat based meatball		Plant based meatball		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
P-Ser (Phosphoserine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Tau (Taurine)	7.96 ^a	8.03 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.032
PEA (Phosphoethanol amine)	0.21 ^a	0.23 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.011
Urea	3.19 ^a	2.77 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.185
Asp (Aspartic acid)	0.39 ^a	0.38 ^a	0.23 ^b	0.24 ^b	0.005
Thr (Threonine)	0.93 ^a	0.93 ^a	0.21 ^b	0.21 ^b	0.006
Ser (Serine)	1.04 ^a	1.08 ^a	0.21 ^b	0.23 ^b	0.020
AspNH ₂ (Asparagine)	1.33 ^a	1.31 ^a	0.31 ^b	0.32 ^b	0.011
Glu (Glutamic acid)	2.23 ^b	2.44 ^b	20.16 ^a	20.83 ^a	0.242
GluNH ₂ (Glutamine)	11.84 ^a	11.59 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.063
Sar (Sarcosine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000

Gly (Glycine)	1.78 ^a	1.77 ^a	0.13 ^b	0.13 ^b	0.014
Ala (Alanine)	5.26 ^a	5.26 ^a	0.64 ^b	0.66 ^b	0.029
Cit (Citrulline)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^a	0.04 ^a	0.001
a-ABA (α -amono-n-butyric acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Val (Valine)	0.86 ^a	0.86 ^a	0.35 ^b	0.35 ^b	0.011
Cys (Cysteine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Met (Methionine)	0.38 ^a	0.39 ^a	0.09 ^b	0.08 ^b	0.004
Cysthi (Cystathionine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Ile (Isoleucine)	0.58 ^a	0.58 ^a	0.32 ^b	0.29 ^b	0.022
Leu (Leucine)	1.05 ^a	1.07 ^a	0.55 ^b	0.49 ^b	0.047
Tyr (Tyrosine)	0.62 ^a	0.62 ^a	0.20 ^b	0.19 ^b	0.011
Phe (Phenylalanine)	0.48 ^a	0.49 ^a	0.31 ^b	0.28 ^b	0.029
b-Ala (β -Alanine)	0.40 ^b	0.41 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.003
b-AiBA (β -Amino isobutyric acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
g-ABA (γ -Amino-n-butyric acid)	0.26 ^a	0.27 ^a	0.14 ^b	0.15 ^b	0.006
Trp (Tryptophan)	0.28 ^a	0.25 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.003
EOH ₂ NH ₂ (Ethanol amine)	0.11 ^b	0.11 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001
NH ₃	1.59 ^b	1.64 ^a	0.30 ^c	0.31 ^c	0.009
Hylys (Hydroxylysine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Orn (Ornithine)	0.42 ^a	0.43 ^a	0.03 ^b	0.02 ^b	0.006
Lys (Lysine)	1.32 ^a	1.32 ^a	0.15 ^b	0.14 ^b	0.023
1Mehis (1-Methylhistidine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
His (Histidine)	0.57 ^a	0.56 ^a	0.06 ^b	0.05 ^b	0.007
3Mehis (3-Methylhistidine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Ans (Anserine)	4.04 ^a	3.93 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.032
Car (Carnosine)	48.72 ^a	48.64 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.403
Arg (Arginine)	4.84 ^a	4.87 ^a	0.58 ^b	0.61 ^b	0.169
Sweet FAA	9.019 ^a	9.044 ^a	1.185 ^b	1.233 ^b	0.052
Bitter FAA	3.359 ^a	3.390 ^a	1.615 ^b	1.499 ^b	0.111
Acid FAA	3.178 ^b	3.382 ^b	20.439 ^a	21.120 ^a	0.247
Umami FAA	2.611 ^b	2.821 ^b	20.382 ^a	21.073 ^a	0.246
Total	102.69 ^a	102.25 ^a	24.98 ^b	25.64 ^b	0.729

^{a-c}Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 내 유리 아미노산 조성을 분석한 결과는 Table 56에 나타내었다.
- 총 유리 아미노산의 함량은 유사분쇄육 미트볼이 고기 미트볼보다 유의적으로 적게 나타났다.
- 단맛과 쓴맛을 나타내는 아미노산의 총 함량은 고기 미트볼이 유사분쇄육 미트볼보다 높은 수준을 나타내었고 신맛과 우마미맛을 나타내는 아미노산의 총 함량은 유사분쇄육 미트볼이 고기 미트볼보다 높은 수준을 나타냈다($p < 0.05$). 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 모

두 팬그릴링 조리 시 맛을 나타내는 유리 아미노산의 총 함량에 대하여 유의적인 차이를 나타내지 않았다.

- Phosphoserine, Sarcosine, α -amono-n-butyric acid, Cysteine, Cystathionine, β -Amino isobutyric acid, Hydroxylysine, 1-Methylhistidine, 3-Methylhistidine는 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼에서 공통적으로 검출되지 않았다.
- Taurine, Phosphoethanol amine, Urea, Glutamine, β -Alanine, Tryptophan, Ethanol amine, Anserine, Carnosine은 고기 미트볼에서만 검출된 반면, Citrulline은 유사분쇄육 미트볼에서만 검출되었다.
- Carnosine은 고기 미트볼에서 가장 많이 검출된 유리 아미노산으로 유사분쇄육 미트볼에서 검출되지 않았다. 유사분쇄육 미트볼에서는 Glutamic acid가 가장 많이 검출되었으며 고기 미트볼과 비교하였을 때 유의적으로 높은 함량을 나타내었다.
- 필수아미노산은 고기 미트볼에서 전부 검출되었으며 유사분쇄육 미트볼에서는 Tryptophan을 제외한 모든 필수아미노산이 검출되었다. 필수아미노산인 Valine, Leucine, Isoleucine, Methionine, Threonine, Lysine, Phenylalanine, Tryptophan은 고기 미트볼이 유사분쇄육 미트볼보다 유의적으로 많은 함량을 나타냈다.
- 고기 미트볼을 팬그릴로 조리 시 Ethanol amine와 NH₃의 함량은 증가한 반면, Tryptophan의 함량은 감소하였다($p < 0.05$). 유사분쇄육 미트볼의 경우 조리 시 유리 아미노산에 대한 유의적인 변화는 나타나지 않았다.

Table 57. Fatty acid composition of meat based meatball and plant based meatball by pan-grilling

Fatty acid composition(%)	Meat based meatball		Plant based meatball		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
C6:0 (Caproic acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C8:0 (Caprylic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.09 ^a	0.06 ^a	0.012
C10:0 (Capric acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.08 ^a	0.06 ^{ab}	0.012
C12:0 (Lauric acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.13 ^a	0.08 ^a	0.016
C14:0 (Myristic acid)	2.83 ^a	2.90 ^a	0.16 ^b	0.13 ^b	0.069
C16:0 (Palmitic acid)	25.17 ^a	25.28 ^a	10.77 ^b	10.76 ^b	0.633
C16:1 (Palmitoleic acid)	2.86 ^a	2.89 ^a	0.11 ^b	0.09 ^b	0.066
C17:0 (Margaric acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.12 ^a	0.10 ^a	0.015
C17:1 (Margaric acid <i>cis</i> -10)	0.00	0.00	0.05	0.06	0.017
C18:0 (Stearic acid)	17.47 ^a	17.24 ^a	4.44 ^b	4.43 ^b	0.509
C18:1n7 (Vaccenic acid)	2.19 ^a	1.95 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.417
C18:1n9t (Elaidic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.06 ^a	0.00 ^b	0.005
C18:1n9c (Oleic acid)	39.67 ^a	40.30 ^a	23.4 ^b	23.38 ^b	1.088
C18:2n6c (Linoleic acid)	6.88 ^b	6.68 ^b	52.78 ^a	52.74 ^a	0.184
C18:3n6 (γ -Linolenic acid)	0.02 ^b	0.02 ^b	0.51 ^{ab}	0.76 ^a	0.108
C20:0 (Arachidic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.41 ^a	0.44 ^a	0.015
C20:1n9 (Eicosenoic acid)	0.38 ^b	0.37 ^b	0.88 ^a	0.93 ^a	0.029
C20:2 (Eicosadienoic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.07 ^a	0.06 ^a	0.004
C20:3n6 (Dihomo- γ -linolenic acid)	0.00	0.00	0.02	0.00	0.006
C20:5n3 (Eicosapentaenoic acid, EPA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C22:0 (Behenic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.15 ^a	0.17 ^a	0.007

C22:4n6 (Adrenic acid)	0.06 ^a	0.05 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001
C22:6n3 (Docosahexaenoic acid, DHA)	0.08 ^a	0.07 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001
C18:3n3+C21:0 (α -Linolenic acid+Heneicosanoic acid)	2.11 ^b	2.01 ^b	5.77 ^a	5.74 ^a	0.047
C23:0+C20:4n6 (Tricosanoic acid+Arachidonic acid)	0.27 ^a	0.25 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.007
SFA	45.47 ^a	45.42 ^a	16.35 ^b	16.23 ^b	1.199
UFA	54.53 ^b	54.58 ^b	83.65 ^a	83.77 ^a	1.199
MUFA	45.12 ^a	45.50 ^a	24.5 ^b	24.47 ^b	1.421
PUFA	9.42 ^b	9.08 ^b	59.15 ^a	59.30 ^a	0.260
MUFA/SFA	1.00 ^b	1.01 ^b	1.50 ^a	1.51 ^a	0.060
PUFA/SFA	0.21 ^b	0.20 ^b	3.62 ^a	3.65 ^a	0.033

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 내 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 57에 나타내었다. 고기 미트볼의 주요 지방산 Palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid이며 유사분쇄육 미트볼의 주요 지방산은 Palmitic acid, Oleic acid, Linoleic acid으로 나타났다.
- 포화지방산은 고기 미트볼에서 45.42~45.47%를 차지하며 유사분쇄육 미트볼보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 반면, 불포화지방산은 유사분쇄육 미트볼에서 83.65~83.77%를 차지하며 고기 미트볼보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 단가불포화지방산은 고기 미트볼에서 45.12 ~45.50%를 차지하며 유사분쇄육 미트볼보다 높았으며 다가불포화지방산은 미트볼 유사분쇄육에서 59.15~59.30%를 차지하며 고기 미트볼보다 높게 나타났다 ($p < 0.05$). 또한, MUFA/SFA와 PUFA/SFA 비율은 유사분쇄육 미트볼이 고기 미트볼보다 유의적으로 높게 나타났다.

Table 58. Nucleotide contents of meat based meatball and plant based meatball by pan-grilling

Nucleotide contents (mg/100g)	Meat based meatball		Plant based meatball		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
Hypoxanthine	7.40 ^a	7.89 ^a	1.30 ^b	1.38 ^b	0.345
IMP	53.97 ^a	56.23 ^a	1.40 ^b	0.98 ^b	2.296
Inosine	19.93 ^a	21.02 ^a	1.09 ^b	1.13 ^b	0.751
AMP	7.13 ^a	6.75 ^a	1.79 ^b	2.17 ^b	0.388
ADP	4.12 ^a	4.22 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.153
ATP	3.09 ^a	3.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.085

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 내 핵산물질 함량을 분석한 결과는 Table 58에 나타내었다.
- Hypoxanthine, IMP, Inosine, AMP, ADP, ATP의 함량은 고기 미트볼이 유사분쇄육 미트볼보다 많이 나타났다($p < 0.05$). 유사분쇄육 미트볼에서 ADP와 ATP는 존재하지 않았다

($p < 0.05$). 조리여부에 따른 핵산함량의 차이는 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼에서 나타나지 않았다($p < 0.05$).

Table 59. Volatile organic compounds of meat based meatball and plant based meatball by pan-grilling

Volatile organic compounds(A.U. x 10 ⁶)			Meat based meatball		Plant based meatball		SEM
	M/Z	LRI	Raw	PG	Raw	PG	
Acids							
n-Hexadecanoic acid	73.1	1958	0.201	0.000	0.000	0.000	0.0846
Methyleugenol	178.1	1407	20.663 ^a	21.200 ^a	0.341 ^b	0.317 ^b	0.2414
subtotal			20.864 ^a	21.200 ^a	0.341 ^b	0.317 ^b	0.2588
Alcohols							
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56.1	786	0.19 ^{bc}	0.189 ^c	0.39 ^{ab}	0.451 ^a	0.0497
. α .-Terpineol	59	1191	0.374 ^b	0.390 ^b	1.459 ^a	1.477 ^a	0.0229
.tau.-Cadinol	161	1647	0.000 ^b	0.000 ^b	0.095 ^a	0.095 ^a	0.0024
1-Decanol, 2-hexyl-	57	1787	0.055 ^a	0.068 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0042
1-Octanol	55.1	1077	0.097 ^b	0.182 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0086
1-Octen-3-ol	57.1	970	0.791	0.812	0.741	0.786	0.0271
1-Propanol	31	548	1.858 ^a	1.549 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1391
2-Furanmethanol,							
5-ethenyltetrahydro-. α ., α .,5	59.1	1077	0.000	0.000	0.121	0.129	0.0363
-trimethyl-, cis-							
2-Octen-1-ol, (E)-	57.1	1074	0.171 ^a	0.175 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0221
2-Propanol, 1-methoxy-	45	648	0.000 ^b	0.000 ^b	0.025 ^{ab}	0.041 ^a	0.0077
2-Propen-1-ol	57	548	0.000 ^c	0.000 ^c	0.863 ^a	0.442 ^b	0.0577
3-Cyclohexen-1-ol,							
4-methyl-1-(1-methylethyl)-,	71	1179	0.000 ^b	0.000 ^b	1.369 ^a	0.868 ^a	0.1781
(R)-							
5-Isopropyl-2-methylbicyclo[93	1070	0.000 ^b	0.000 ^b	0.218 ^a	0.235 ^a	0.0170
3.1.0]hexan-2-ol							
5-Thiazoleethanol, 4-methyl-	112	1281	0.000 ^b	0.000 ^b	0.829 ^a	0.538 ^a	0.1009
Benzenemethanol,							
. α ., α .,4-trimethyl-	135.1	1184	0.088 ^c	0.164 ^{bc}	0.279 ^a	0.235 ^{ab}	0.0194
Benzyl alcohol	108	1034	0.020 ^b	0.021 ^b	0.045 ^{ab}	0.074 ^a	0.0100
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol,	95	1168	0.000 ^b	0.000 ^b	2.184 ^a	2.27 ^a	0.3959
1,7,7-trimethyl-, (1S-endo)-							
Eucalyptol	81.1	1029	0.000 ^b	0.000 ^b	7.373 ^a	7.779 ^a	0.1235
Isospathulenol	119.1	1634	0.016	0.021	0.028	0.021	0.0035
Linalool	71.1	1106	0.750 ^b	0.722 ^b	15.854 ^a	16.540 ^a	0.2101
Phenylethyl Alcohol	91.1	1117	0.965 ^b	1.070 ^a	0.210 ^c	0.193 ^c	0.0227
p-Mentha-1,5-dien-8-ol	59.1	1169	0.014 ^{ab}	0.014 ^{ab}	0.083 ^a	0.000 ^b	0.0176
Terpinen-4-ol	71.1	1179	0.197 ^a	0.248 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0253
subtotal			5.587 ^b	5.625 ^b	32.165 ^a	32.174 ^a	0.5830
Aldehydes							
1,3-Cyclohexadiene-1-carbo							
xaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	107	1208	0.075 ^a	0.077 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0019
2-Decenal, (E)-	70.1	1265	0.047 ^b	0.079 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0026
2-Octenal, (E)-	55	1062	0.035 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0076
2-Undecenal	57.1	1366	0.044 ^b	0.058 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0018
3-Isopropylbenzaldehyde	133	1242	0.038 ^a	0.045 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0053
4-Isopropylcyclohexa-1,3-die	79.1	1289	0.000 ^c	0.000 ^c	0.180 ^a	0.166 ^b	0.0029
neccarbaldehyde							

5-Methylsalicylic acid, 2TMS derivative	73	1598	0.000 ^b	0.000 ^b	0.013 ^a	0.000 ^b	0.0032
Benzaldehyde, 4-(1-methylethyl)-	133	1243	0.000 ^b	0.000 ^b	2.635 ^a	2.583 ^a	0.0390
Benzeneacetaldehyde	91.1	1044	0.209 ^c	0.400 ^c	1.301 ^b	2.241 ^a	0.0562
Benzeneacetaldehyde, . α .-ethylidene-	117	1277	0.000 ^c	0.000 ^c	0.018 ^b	0.021 ^a	0.0007
Decanal	57.1	1206	0.035 ^c	0.089 ^a	0.043 ^{bc}	0.060 ^b	0.0053
Hexanal, 5-methyl-	70.1	847	0.316 ^b	0.444 ^a	0.103 ^c	0.127 ^c	0.0102
Octanal	57	999	0.171 ^b	0.334 ^a	0.071 ^c	0.088 ^c	0.0077
Piperonal	149	1337	0.000 ^b	0.000 ^b	0.137 ^a	0.121 ^a	0.0232
Propanal, 2-methyl-	43	549	0.000 ^b	0.000 ^b	0.173 ^{ab}	0.241 ^a	0.0460
Undecanal	57	1312	0.000 ^b	0.014 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0032
subtotal			0.970 ^d	1.541 ^c	4.675 ^b	5.647 ^a	0.1054
Esters							
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, formate	93.1	1215	0.077 ^a	0.063 ^{ab}	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0160
11-Tetradecen-1-ol, acetate, (Z)-	82.1	1815	0.009 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0011
2-Propenoic acid, 3-phenyl-,methyl ester, (E)-	131	1385	0.000 ^b	0.000 ^b	0.572 ^a	0.527 ^a	0.0119
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	700	13.082 ^{ab}	14.576 ^a	13.322 ^{ab}	12.684 ^b	0.4482
Benzoic acid, ethyl ester	105	1173	0.000 ^b	0.000 ^b	0.050 ^a	0.049 ^a	0.0018
Benzoyl isothiocyanate	106	936	0.481 ^b	0.864 ^b	2.840 ^a	3.577 ^a	0.3582
Butyl isocyanatoacetate	57.1	609	0.028 ^{ab}	0.03 ^{ab}	0.098 ^a	0.000 ^b	0.0229
Carbonic acid, dimethyl ester	59	618	0.154 ^a	0.252 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0320
Dibutyl phthalate	149	1964	0.151	0.090	0.000	0.055	0.0746
Geranyl acetate	69	1386	0.000 ^c	0.000 ^c	0.128 ^a	0.117 ^b	0.0020
Hydrogen isocyanate	43.1	542	0.832 ^a	0.084 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1482
Methyl cis-cinnamate	131	1311	0.000 ^b	0.000 ^b	0.338 ^a	0.320 ^a	0.0060
Methyl salicylate	120.1	1194	0.161 ^{ab}	0.370 ^a	0.190 ^{ab}	0.000 ^b	0.0645
n-Caproic acid vinyl ester	43.1	977	0.599 ^a	0.818 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0759
Octanoic acid, methyl ester	74	1132	0.000 ^b	0.000 ^b	0.267 ^a	0.274 ^a	0.0055
Propanoic acid, 2-methylpropyl ester	57	855	0.205 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0420
Triacetin	43.1	1355	0.000 ^b	0.000 ^b	0.223 ^a	0.160 ^a	0.0220
subtotal			15.777 ^b	17.147 ^{ab}	18.028 ^a	17.763 ^a	0.4006
Hydrocarbons							
. α .-Calacorene	157	1549	0.007 ^b	0.007 ^b	0.069 ^a	0.076 ^a	0.0019
. α .-Corocalene	185	1629	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.008 ^a	0.0010
. α .-Cubebene	161.1	1355	0.056 ^b	0.065 ^b	0.508 ^a	0.505 ^a	0.0076
. α .-Guaiene	107	1445	0.011 ^b	0.014 ^b	0.073 ^a	0.076 ^a	0.0035
. α .-Phellandrene	93.1	996	1.649 ^c	1.709 ^c	9.691 ^b	10.57 ^a	0.2117
. β .-Bisabolene	69.1	1514	0.010 ^b	0.015 ^b	0.260 ^a	0.243 ^a	0.0042
. β .-Myrcene	93.1	984	1.346 ^b	1.334 ^b	8.449 ^a	9.143 ^a	0.2024
. γ .-Muurolene	161	1483	0.000 ^b	0.000 ^b	0.092 ^a	0.091 ^a	0.0016
. γ .-Terpinene	93.1	1061	0.122 ^b	0.129 ^b	2.101 ^a	2.310 ^a	0.0521
1,2,3-Trimethoxybenzene	168	1319	0.000 ^b	0.000 ^b	0.187 ^a	0.181 ^a	0.0046
1,2,4-Metheno-1H-indene, octahydro-1,7a-dimethyl-5-(1-methylethyl)-,	161.1	1371	0.000 ^b	0.000 ^b	0.035 ^a	0.047 ^a	0.0054

[1S-(1.α.,2.α.,3a.β.,4.α.,5.α.,7a.β.,8S*)]- 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	93.1	1052	0.000 ^b	0.000 ^b	0.271 ^a	0.000 ^b	0.0063
1,3,7-Octatrien-5-yne	104	820	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	2.085 ^a	0.0753
1,3,8-p-Menthatriene	119.1	1117	0.000 ^b	0.000 ^b	0.051 ^{ab}	0.077 ^a	0.0144
1,3-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	121	1011	0.059 ^c	0.063 ^c	0.673 ^b	0.780 ^a	0.0207
1H-1,2,3,4-Tetrazole, 5-hydrazino-	43	673	0.000 ^c	0.000 ^c	2.182 ^a	1.864 ^b	0.0239
2,6,10-Trimethyltridecane	71	1465	0.075 ^b	0.095 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0028
2,6-Bis(1,1-dimethylethyl)-4 -(1-oxopropyl)phenol	233	1642	0.021	0.007	0.004	0.004	0.0080
2-Butene, 2,3-dimethyl-	69.1	610	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.149 ^a	0.0310
2-Pentene, 3-ethyl-	98	709	0.561 ^a	0.531 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0114
3,3-Dimethyl-1,2-epoxybutane	42.1	632	0.143 ^a	0.157 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0036
3,7,11,15-Tetramethylhexade c-2-ene	70.1	1846	0.109 ^a	0.136 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0070
3-Carene	93	1003	6.337 ^b	6.488 ^b	20.693 ^a	21.948 ^a	0.4671
4,11,11-trimethyl-8-methylen ebicyclo[7.2.0]undec-3-ene	105	1456	0.000 ^b	0.000 ^b	0.091 ^a	0.096 ^a	0.0041
4a,8-Dimethyl-2-(prop-1-en -2-yl)-1,2,3,4,4a,5,6,7-octa hydronaphthalene	189	1502	0.000 ^b	0.000 ^b	0.126 ^a	0.000 ^b	0.0257
5-Ethyldecane	57	1139	0.074 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0153
5-Methyl-1,2,3,4-tetrathiane	169.9	1365	0.000 ^b	0.000 ^b	0.325 ^a	0.332 ^a	0.0104
6-Ethyl-4,5,7,8-tetrathiaunde cane	73.1	1791	0.009 ^a	0.011 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0020
Allyl ethyl ether	57	572	0.014 ^b	0.045 ^b	0.162 ^a	0.208 ^a	0.0232
Anethole	148	1290	0.122 ^a	0.107 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0095
Azulene, 1,4-dimethyl-7- (1-methylethyl)-	183	1782	0.000 ^b	0.000 ^b	0.005 ^a	0.005 ^a	0.0002
Benzene, 1-(1,5-dimethyl- 4-hexenyl)-4-methyl-	119	1488	0.000 ^b	0.000 ^b	0.106 ^a	0.098 ^a	0.0019
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	105	981	0.214 ^a	0.112 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0029
Benzene, 1,2-dimethoxy-	138	1152	0.000	0.000	0.143	0.098	0.0418
Benzene, 1,2-dimethoxy-4- (1-propenyl)-	178.1	1502	0.381 ^a	0.376 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0110
Benzene, 1,3-bis(1,1- dimethylethyl)-	175	1258	0.104 ^b	0.336 ^a	0.087 ^b	0.169 ^{ab}	0.0414
Benzene, 1-methyl-3- (1-methylethenyl)-	132	1087	0.036 ^b	0.037 ^b	0.096 ^a	0.103 ^a	0.0040
Benzene, 1-methyl-3- (1-methylethyl)-	119.1	1021	3.146 ^a	3.168 ^a	0.303 ^b	0.000 ^b	0.1015
Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl-	93.1	916	0.038 ^b	0.042 ^b	0.406 ^a	0.421 ^a	0.0096
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate,	95.1	1291	0.000 ^b	0.000 ^b	0.470 ^a	0.496 ^a	0.0075
(1S-endo)- Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6- dimethyl-2-methylene-, (1S)-	93	957	1.657 ^b	1.704 ^b	7.730 ^a	4.577 ^{ab}	0.9433
Bicyclo[5.2.0]nonane, 2-methylene-4,8,8-trimethyl- 4-vinyl-	133	1425	3.999 ^c	4.490 ^{bc}	9.818 ^a	7.936 ^{ab}	0.8879
Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene, 4,11,11-trimethyl-8-methylen e-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]-	93	1411	0.067 ^a	0.096 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0093
Bicyclosesquiphellandrene	161.1	1471	0.000 ^b	0.000 ^b	0.080 ^a	0.078 ^a	0.0140
Bromochloronitromethane	129	657	0.000 ^b	0.002 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0004
Butane, 1-isocyano-	41.1	1001	0.000	0.000	1.941	0.000	0.4845
Caryophyllene oxide	93.1	1589	0.025 ^b	0.026 ^b	0.048 ^a	0.043 ^a	0.0016

cis-. α -Bergamotene	119	1419	0.000 ^b	0.000 ^b	0.108 ^a	0.134 ^a	0.0138
Copaene	161	1380	0.493 ^b	0.601 ^b	4.347 ^a	4.336 ^a	0.0519
Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1. α .,2. β .,4. β .)]-	93	1395	0.092 ^b	0.107 ^b	0.338 ^a	0.325 ^a	0.0044
Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	136.1	1092	0.425 ^b	0.452 ^b	2.217 ^a	2.040 ^a	0.1358
Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	136.1	1091	0.000 ^b	0.000 ^b	0.818 ^a	0.548 ^a	0.1132
Cyclohexene, 4-ethenyl-4-methyl-3-(1-methylethenyl)-1-(1-methylethyl)-, (3R-trans)-	121.1	1343	1.304 ^c	1.534 ^b	3.601 ^a	3.595 ^a	0.0387
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	281	1004	17.814 ^b	26.910 ^a	12.854 ^b	12.776 ^b	1.9345
Decane	57	995	0.365	0.814	0.693	0.844	0.1525
Decane, 2,4,6-trimethyl-	71	1132	0.211 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0478
Decane, 3,6-dimethyl-	57.1	1085	0.309 ^a	0.233 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0086
Decane, 3,8-dimethyl-	57	1139	0.000 ^b	0.064 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0136
Decane, 3-methyl-	57.1	1062	0.000 ^b	0.188 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0418
Decane, 4-methyl-	71	1065	0.048 ^{ab}	0.096 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0153
Decane, 5,6-dimethyl-	71	1130	0.110 ^a	0.147 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0267
D-Limonene	68.1	1026	5.147 ^c	5.280 ^c	22.023 ^b	23.866 ^a	0.4205
Dodecane	57	1200	0.223 ^b	0.571 ^a	0.462 ^{ab}	0.512 ^a	0.0625
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	71.1	1285	0.000 ^b	0.063 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0093
Estragole	148.1	1198	0.153 ^b	0.162 ^b	7.455 ^a	7.397 ^a	0.1095
Eugenol	164	1361	5.359 ^a	5.715 ^a	0.911 ^b	0.862 ^b	0.1112
Furaneol	128	1073	0.000 ^b	0.000 ^b	1.546 ^a	1.273 ^a	0.1333
Heptadecane	57	1701	0.080 ^a	0.062 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0126
Hexadecane	57	1599	0.054 ^a	0.064 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0081
Hexane, 3-ethyl-	43	767	0.000 ^b	0.077 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0160
Humulene	93.1	1460	0.641 ^b	0.718 ^b	1.663 ^a	1.613 ^a	0.0194
Methane-d, trichloro-	84.1	545	0.000 ^b	0.009 ^a	0.004 ^{ab}	0.000 ^b	0.0017
Naphthalene	128	1182	0.015 ^a	0.013 ^{ab}	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0032
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-4a,8-dimethyl-2-(1-methylethenyl)-[2R-(2. α .,4a. α .,8a. β .)]-	189	1503	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.160 ^a	0.0201
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1. α .,4a. β .,8a. α .)-	161.1	1521	0.000 ^b	0.000 ^b	0.259 ^a	0.256 ^a	0.0033
Naphthalene, 1,2,3,5,6,7,8,8a-octahydro-1,8a-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1. α .,7. β .,8a. α .)]-	161.1	1483	0.017 ^a	0.014 ^{ab}	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0035
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	161	1530	0.113 ^b	0.129 ^b	0.647 ^a	0.619 ^a	0.0087
Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-[4aR-(4a. α .,7. α .,8a. β .)]-	105	1494	0.040 ^b	0.046 ^b	0.183 ^a	0.181 ^a	0.0042
n-Butyl ether	57	854	0.000 ^b	0.266 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0332
Nonane, 2,2,4,4,6,8,8-heptamethyl-	57.1	1325	0.07 ^a	0.084 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0091
Nonane, 2,5-dimethyl-	57	1012	0.033 ^{ab}	0.093 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0171

Nonane, 2,6-dimethyl-	71.1	1022	0.000 ^b	0.128 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0268
Nonane, 4-methyl-	57	947	0.000 ^b	0.050 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0104
Octadecane	57	1798	0.049 ^a	0.054 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0041
o-Cymene	119.1	1019	0.759 ^b	0.232 ^b	12.738 ^a	11.162 ^a	1.3557
Phenol	94.1	977	0.000 ^b	0.000 ^b	0.372 ^a	0.363 ^a	0.0076
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	137.1	1284	0.000 ^b	0.000 ^b	0.142 ^a	0.137 ^a	0.0029
Propane, 1,2-dimethoxy-	45	618	0.159 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0327
Pyrazine, 2,6-diethyl-	135.1	1084	0.000 ^c	0.000 ^c	0.444 ^b	0.475 ^a	0.0069
Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	121.1	991	0.031 ^c	0.177 ^b	0.325 ^a	0.317 ^a	0.0080
Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	135	1084	0.153 ^b	0.399 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0090
Tetradecane	57	1400	0.115 ^b	0.181 ^a	0.083 ^b	0.090 ^b	0.0096
Thymol	135.1	1297	0.080 ^b	0.078 ^b	0.357 ^a	0.289 ^a	0.0284
trans-.α.-Bergamotene	119	1440	0.000 ^b	0.000 ^b	1.036 ^a	1.023 ^a	0.0156
trans-.β.-Ocimene	93	1041	0.000 ^c	0.000 ^c	0.105 ^b	0.260 ^a	0.0154
Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl-	93.1	895	0.578 ^b	0.587 ^b	4.248 ^a	3.664 ^a	0.3573
Tridecane	57.1	1304	0.062 ^{ab}	0.097 ^a	0.000 ^c	0.044 ^b	0.0093
Trimethylene oxide	58.1	542	2.089 ^a	1.923 ^a	0.000 ^b	0.278 ^b	0.2720
Undecane, 2-methyl-	57	1168	0.086 ^a	0.099 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0053
Undecane, 3-methyl-	57	1174	0.142 ^a	0.142 ^a	0.000 ^b	0.027 ^b	0.0081
Undecane, 4-methyl-	71.1	1164	0.091 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0187
Undecane, 5-methyl-	57	1154	0.045 ^{ab}	0.103 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0252
Undecane, 6-methyl-	57.1	1144	0.173 ^a	0.111 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0149
subtotal			58.123 ^b	70.174 ^b	147.255 ^a	144.284 ^a	3.9740
Ketones							
(-)-Carvone	82.1	1247	0.000 ^b	0.000 ^b	0.594 ^a	0.966 ^a	0.1220
(+)-2-Bornanone	95	1147	0.000 ^b	0.000 ^b	1.888 ^a	1.981 ^a	0.0328
2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	82.1	1258	0.033 ^a	0.043 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0041
2-Cyclopenten-1-one, 2,3-dimethyl-	110	1038	0.000 ^b	0.000 ^b	0.093 ^a	0.091 ^a	0.0020
2-Undecanone	58	1299	0.000 ^b	0.000 ^b	0.082 ^a	0.080 ^a	0.0012
3-Cyclohexen-1-one, 2-isopropyl-5-methyl-	82	1258	0.000 ^b	0.000 ^b	0.072 ^a	0.070 ^a	0.0126
3-Octen-2-one	55	1041	0.000 ^b	0.000 ^b	0.051 ^a	0.069 ^a	0.0068
4,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-3-en-2-one	150	1316	0.013 ^a	0.022 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0023
4-Methyleneisophorone	150	1255	0.027 ^a	0.027 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0011
Bicyclo[3.1.1]hept-3-en-2-one, 4,6,6-trimethyl-, (1S)-	107	1210	0.000 ^b	0.000 ^b	0.508 ^a	0.512 ^a	0.0092
Camphor	95	1147	0.055 ^a	0.046 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0060
Carvone	82.1	1247	0.024 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0049
D-Carvone	82	1247	0.026	0.027	0.000	0.000	0.0077
Furan, 2-pentyl-	81	984	0.000 ^c	0.000 ^c	4.213 ^b	4.814 ^a	0.1005
subtotal			0.178 ^c	0.165 ^c	7.499 ^b	8.583 ^a	0.1934
Sulfur compounds							
(E)-1-(Prop-1-en-1-yl)-2-propylsulfane	148.1	1120	0.285 ^a	0.281 ^a	0.095 ^b	0.097 ^b	0.0056
(E)-1-(Prop-1-en-1-yl)-3-propylsulfane	180	1338	0.258 ^b	0.271 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0023
(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl)sulfane	41	1097	0.000 ^b	0.000 ^b	0.391 ^a	0.253 ^a	0.0523
(Z)-1-(Prop-1-en-1-yl)-2-propylsulfane	148.1	1097	0.137 ^a	0.175 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0174
1-Allyl-3-propylsulfane	115	1317	0.000	0.000	0.164	0.237	0.0589

2-Acetylthiazole	127	1013	0.000 ^b	0.000 ^b	0.267 ^a	0.253 ^a	0.0039
2-Propanethiol	76	557	1.088 ^a	1.277 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1420
Diallyl disulphide	41	1083	0.000 ^b	0.000 ^b	12.815 ^a	13.08 ^a	0.1876
Disulfide, dipropyl	150	1112	19.792 ^a	20.227 ^a	0.309 ^b	0.317 ^b	0.2840
Disulfide, methyl 1-(methylthio)propyl	89	1260	0.143 ^a	0.112 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0147
Methyl isopropyl disulphide	122	892	5.517 ^a	5.198 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1362
Trisulfide, di-2-propenyl	113	1305	0.000 ^c	0.000 ^c	1.271 ^a	1.040 ^b	0.0348
Trisulfide, dipropyl	182	1331	0.998 ^a	1.023 ^a	0.070 ^b	0.064 ^b	0.0212
Trisulfide, methyl 2-propenyl	87	1140	0.000 ^b	0.000 ^b	1.677 ^a	1.672 ^a	0.0341
Trisulfide, methyl propyl	154	1153	0.092 ^a	0.073 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0033
subtotal			28.31 ^a	28.637 ^a	17.059 ^b	17.014 ^b	0.5620
Others							
Dimethylphosphinic fluoride	81	588	0.000 ^b	0.000 ^b	0.194 ^a	0.188 ^a	0.0037
Phosphoramidous difluoride	85	1132	0.216 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0281
subtotal			0.216 ^a	0.000 ^b	0.194 ^a	0.188 ^a	0.0284
Total			130.027 ^b	144.489 ^b	227.216 ^a	225.969 ^a	4.1421

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

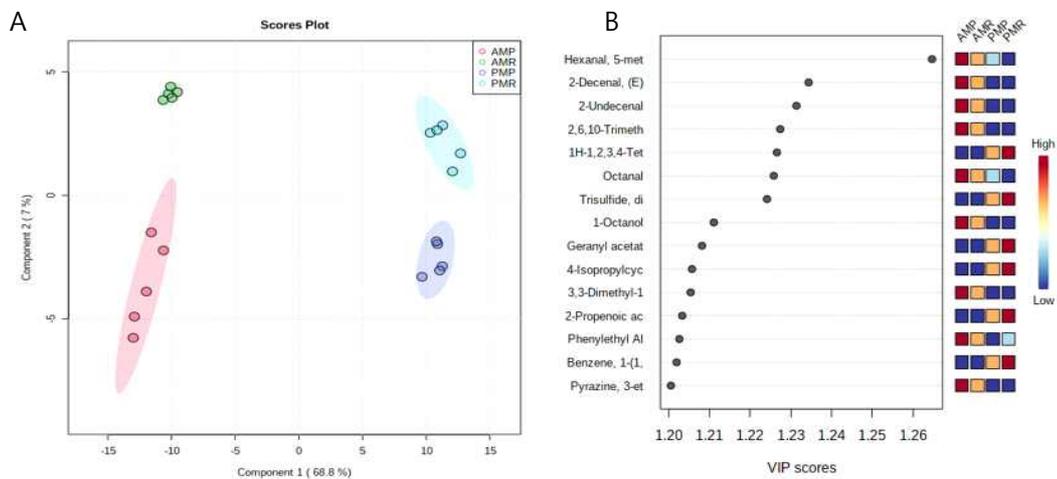


Figure 23. Partial least squares–discriminant analysis (PLS–DA) (A) and its variable importance in projection scores(VIP scores) (B) from meat based meatball and plant based meatball (AMR: Animal based meatball raw, AMP: Animal based meatball pan–grilling, PMR: Plant based meatball raw, PMP: Plant based meatball pan–grilling).

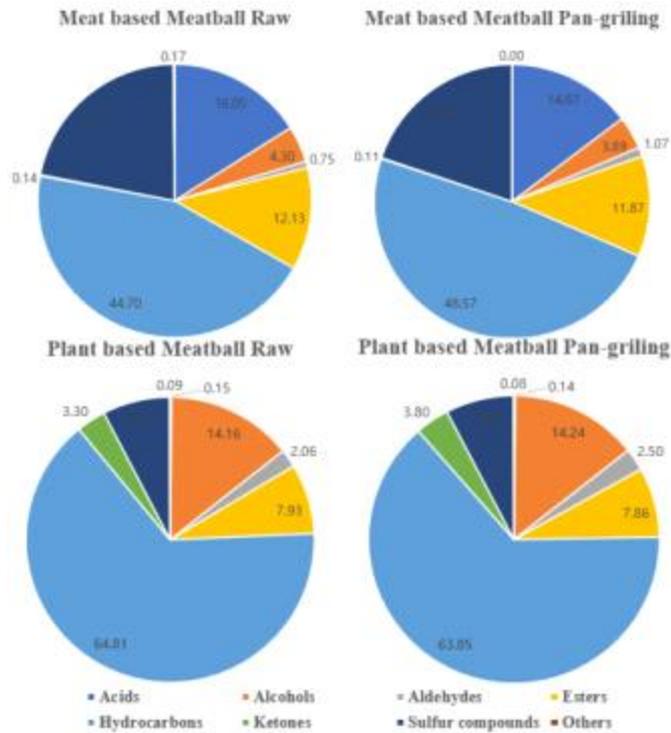


Figure 24. Total VOCs composition of meat based meatball and plant based meatball by percentage.

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 VOC 결과는 Table 59와 Figure 23, 24에 나타내었다.
- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼에서 휘발성 유기화합물은 Hydrocarbons (103), Alcohols (23) Aldehydes (16), Esters (16), Sulfur compounds (15), Ketones (14) Acids (3) Others (2)로 구성되었다. 고기 미트볼의 주요 휘발성 유기화합물은 Hydrocarbons, Sulfur compounds, Esters, Acids로 각각 60.59~63.24%, 19.82~21.77%, 11.87~12.13%, 14.67~16.05%를 나타냈다. 유사분쇄육 미트볼의 주요 휘발성 유기화합물은 Hydrocarbons, Alcohols, Esters, Sulfur compounds로 각각 63.85~64.81%, 14.16~14.24%, 7.74~7.82%, 7.51~7.53%를 나타냈다. 유사분쇄육 미트볼은 고기 미트볼보다 Alcohols, Aldehydes, Esters, Hydrocarbons, Ketones의 함량이 많이 나타났다($p < 0.05$).
- GC-MS에 의해 측정된 그림(A)를 통해 샘플 유형의 판별하였다. 이를 통해 제 1주성분에 의해 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 향이 차이가 난다는 것을 확인하였다. 그리고 제 2주성분을 통해 팬그릴 조리 시 미트볼의 향이 조리 전과 차이가 난다는 것이 나타났다.
- VIP score가 가장 큰 물질인 Hexanal, 5-methyl- (odorless)는 처리군 간 VOC 분포에 영향을 미치는 가장 큰 물질로 고기 미트볼을 팬그릴로 조리 할 때 가장 많이 나타났다 ($p < 0.05$). 그 다음으로 VIP score 큰 물질인 2-Decenal, (E)- (orange, rose, floral, green)와 2-Undecenal (citrus, soap, orange peel, sweet, fruity, green)는 유사분쇄육 미트볼에 존재하지 않았으며 고기 미트볼을 팬그릴링법으로 조리 시 유의적으로 증가하였다.
- Alcohols 성분 중 유사분쇄육 미트볼에서 가장 많이 발견 된 VOC는 Linalool (blueberry, bois de rose, citrus, floral, green, lavender, lemon, orange, sweet)으로 나타났다. Linalool는 고기 미트볼보다 유사분쇄육 미트볼에서 유의적으로 많이 발견되었으며 팬그

릴 조리시 유의적인 차이는 없었다.

- Hydrocarbons 성분 중 D-Limonene (mint, lemon, citrus, orange, fresh, sweet), Cyclotetrasiloxane, octamethyl- (odorless)과 3-Carene (lemon, citrus, sweet)이 많이 나타났다. D-Limonene과 3-Carene는 고기 미트볼보다 유사분쇄육 미트볼에서 많이 발견되었으며 유사분쇄육 미트볼을 팬그릴로 조리 할 때 더 많이 나타났다($p < 0.05$). Cyclotetrasiloxane, octamethyl-는 유사분쇄육 미트볼보다 고기 미트볼에서 많이 나타났으며 고기 미트볼을 팬그릴로 조리 시 더 많이 나타났다($p < 0.05$).
- Esters 성분 중 Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester (odorless)가 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼에서 가장 많이 발생하였으며 팬그릴로 조리 시 고기 미트볼에서 더 많이 나타났다. ($p < 0.05$)
- Sulfur compounds 성분 중 Disulfide, dipropyl (Cooked Meat, Garlic, Onion, Pungent, Sulfur)가 고기 미트볼에서 가장 많이 나타났다. Disulfide, dipropyl는 유사분쇄육 미트볼보다 고기 미트볼에서 많이 나타났다. ($p < 0.05$) 유사분쇄육 미트볼에서 Sulfur compounds 성분 중 Diallyl disulphide (Garlic)이 가장 많이 발견되었으며 고기 미트볼에서는 발견되지 않았다. ($p < 0.05$)

다) 조리방법별 패티의 유리아미노산, 지방산, 휘발성 유기 화합물, 핵산 물질 분석

Table 60. Free amino acid of meat based patty and plant based patty by pan-grilling

Free amino acid (mg/100g)	Meat based patty		Plant based patty		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
P-Ser (Phosphoserine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Tau (Taurine)	4.33 ^b	4.55 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.030
PEA (Phosphoethanol amine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Urea	1.53 ^a	1.48 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.012
Asp (Aspartic acid)	3.54 ^a	3.53 ^a	0.66 ^b	0.64 ^b	0.040
Thr (Threonine)	1.68 ^b	1.82 ^a	0.32 ^c	0.34 ^c	0.013
Ser (Serine)	2.05 ^a	2.11 ^a	0.38 ^b	0.42 ^b	0.032
AspNH ₂ (Asparagine)	2.16 ^a	2.26 ^a	0.18 ^b	0.21 ^b	0.046
Glu (Glutamic acid)	137.58 ^b	145.14 ^a	59.57 ^c	59.18 ^c	0.990
GluNH ₂ (Glutamine)	6.96 ^a	7.04 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.072
Sar (Sarcosine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Gly (Glycine)	2.19 ^b	2.30 ^a	0.40 ^c	0.42 ^c	0.021
Ala (Alanine)	7.23 ^b	7.89 ^a	0.93 ^c	1.03 ^c	0.033
Cit (Citrulline)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
a-ABA (α -amono-n-butyric acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Val (Valine)	1.82 ^b	1.94 ^a	0.58 ^d	0.66 ^c	0.013
Cys (Cysteine)	0.00 ^c	0.00 ^c	0.04 ^b	0.04 ^a	0.001
Met (Methionine)	0.53 ^c	0.56 ^c	1.57 ^b	1.73 ^a	0.013
Cysthi (Cystathionine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Ile (Isoleucine)	1.87 ^b	2.03 ^a	0.48 ^d	0.55 ^c	0.013
Leu (Leucine)	3.00 ^b	3.25 ^a	0.77 ^c	0.87 ^c	0.024
Tyr (Tyrosine)	0.94 ^b	0.99 ^a	0.23 ^c	0.22 ^c	0.008

Phe (Phenylalanine)	1.80 ^b	2.00 ^a	0.47 ^c	0.49 ^c	0.020
b-Ala (β -Alanine)	0.50 ^b	0.53 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.004
b-AiBA (β -Amino isobutyric acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
g-ABA (γ -Amino-n-butyric acid)	1.12 ^b	1.19 ^a	0.10 ^c	0.13 ^c	0.008
Trp (Tryptophan)	0.38 ^a	0.18 ^{ab}	0.00 ^b	0.00 ^b	0.051
EOH ₂ NH ₂ (Ethanol amine)	0.16 ^b	0.22 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.013
NH ₃	2.46 ^b	2.70 ^a	0.91 ^c	0.97 ^c	0.018
Hyls (Hydroxylysine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Orn (Ornithine)	0.80 ^b	0.84 ^a	0.06 ^c	0.05 ^c	0.006
Lys (Lysine)	2.68 ^b	2.91 ^a	0.30 ^c	0.31 ^c	0.024
1Mehis (1-Methylhistidine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
His (Histidine)	0.88 ^b	0.92 ^a	0.09 ^c	0.09 ^c	0.005
3Mehis (3-Methylhistidine)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
Ans (Anserine)	4.31 ^b	4.51 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.034
Car (Carnosine)	32.57 ^b	33.77 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.239
Arg (Arginine)	6.57 ^b	6.86 ^a	0.85 ^c	0.89 ^c	0.055
Sweet FAA	13.16 ^b	14.11 ^a	2.02 ^c	2.21 ^c	0.065
Bitter FAA	9.03 ^b	9.77 ^a	3.88 ^d	4.30 ^c	0.065
Acid FAA	141.99 ^b	149.60 ^a	60.32 ^c	59.91 ^c	1.026
Umami FAA	141.11 ^b	148.68 ^a	60.23 ^c	59.82 ^c	1.022
Total	231.65 ^b	243.50 ^a	68.89 ^c	69.25 ^c	1.592

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

- 고기 패티와 유사분쇄육 패티 내 유리 아미노산 조성을 분석한 결과는 Table 60에 나타내었다.
- 총 유리 아미노산의 함량은 유사분쇄육 패티가 고기 패티보다 유의적으로 적게 나타났다. 고기 패티의 경우 팬그릴로 조리 시 총 유리 아미노산의 함량은 증가하였고 유사분쇄육 패티는 차이가 없었다($p < 0.05$).
- 맛을 나타내는 아미노산의 총량을 비교하였을 때 단맛, 쓴맛, 신맛, 우마미 맛을 나타내는 유리 아미노산의 총량은 모두 유사분쇄육 패티보다 고기 패티에서 높은 수준을 보였다 ($p < 0.05$). 고기 패티의 경우 팬그릴로 조리 시 단맛을 나타내는 Alanine, Glycine, Threonine, 쓴맛을 내는 Leucine, Isoleucine, Valine, Phenylalanine, 신맛을 내는 Glutamic acid, Histidine, 우마미 맛을 내는 Glutamic acid의 양이 유의적으로 증가하였다. 이에 따라 단맛, 쓴맛, 신맛, 우마미 맛을 나타내는 아미노산의 총량은 모두 증가하였다($p < 0.05$). 유사분쇄육 패티의 경우 조리 시 쓴맛을 나타내는 아미노산인 Leucine, Valine, Methionine의 총량이 증가하였으며 이에 따라 쓴맛을 나타내는 아미노산의 총량도 증가하였다($p < 0.05$).
- Phosphoserine, Phosphoethanol amine, Sarcosine, Citrulline, α -amono-n-butyric acid, Cystathionine, β -Amino isobutyric acid, Hydroxylysine, 1-Methylhistidine, 3-Methylhistidine는 고기 패티와 유사분쇄육 패티에서 공통적으로 검출되지 않았다.

- Taurine, Urea, Glutamine, β -Alanine, Tryptophan, Ethanol amine, Anserine, Carnosine 은 고기 패티에서만 검출된 반면, Cysteine은 유사분쇄육 패티에서만 검출되었다.
- Glutamic acid는 고기 패티와 유사분쇄육 패티에서 가장 많이 검출된 유리 아미노산으로 유사분쇄육 패티보다 많은 함량을 나타냈다($p < 0.05$).
- 필수아미노산은 고기 패티에서 모두 검출되었으며 유사분쇄육 패티에서는 Tryptophan을 제외한 모든 필수아미노산이 검출되었다. 필수아미노산 중 Valine, Leucine, Isoleucine, Threonine, Lysine, Phenylalanine, Tryptophan은 유사분쇄육 패티보다 고기 패티에서 많은 양이 검출되었던 반면 Methionine은 고기 패티보다 유사분쇄육 패티에서 많은 양이 검출되었다.

Table 61. Fatty acid composition of meat based patty and plant based patty by pan-grilling

Fatty acid composition(%)	Meat based patty		Plant based patty		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
C6:0 (Caproic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.19 ^a	0.20 ^a	0.003
C8:0 (Caprylic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	5.63 ^a	5.80 ^a	0.081
C10:0 (Capric acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	5.51 ^a	5.68 ^a	0.034
C12:0 (Lauric acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	46.35 ^a	46.93 ^a	0.143
C14:0 (Myristic acid)	3.70 ^b	3.72 ^b	17.49 ^a	17.80 ^a	0.081
C16:0 (Palmitic acid)	30.27 ^a	30.25 ^a	9.89 ^b	9.88 ^b	0.090
C16:1 (Palmitoleic acid)	4.8 ^a	4.79 ^a	0.00 ^b	0.03 ^b	0.013
C17:0 (Margaric acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C17:1 (Margaric acid <i>cis</i> -10)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C18:0 (Stearic acid)	16.78 ^a	16.95 ^a	2.61 ^b	2.63 ^b	0.136
C18:1n7 (Vaccenic acid)	1.68 ^b	1.93 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.013
C18:1n9t (Elaidic acid)	0.00	0.00	0.05	0.05	0.019
C18:1n9c (Oleic acid)	39.64 ^a	39.42 ^a	7.77 ^b	7.45 ^b	0.196
C18:2n6c (Linoleic acid)	2.03 ^b	1.93 ^b	4.13 ^a	3.35 ^a	0.211
C18:3n6 (γ -Linolenic acid)	0.07 ^b	0.07 ^a	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001
C20:0 (Arachidic acid)	0.00 ^b	0.00 ^b	0.10 ^a	0.00 ^b	0.011
C20:1n9 (Eicosenoic acid)	0.16 ^a	0.14 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.003
C20:2 (Eicosadienoic acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C20:3n6 (Dihomo- γ -linolenic acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C20:5n3 (Eicosapentaenoic acid, EPA)	0.06 ^a	0.06 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
C22:0 (Behenic acid)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000
C22:4n6 (Adrenic acid)	0.02 ^a	0.02 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.001
C22:6n3 (Docosahexaenoic acid, DHA)	0.01 ^a	0.01 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.001
C18:3n3+C21:0 (α -Linolenic acid+Heneicosanoic acid)	0.63 ^a	0.57 ^a	0.27 ^b	0.19 ^b	0.023
C23:0+C20:4n6 (Tricosanoic acid+Arachidonic acid)	0.15 ^a	0.13 ^b	0.00 ^c	0.00 ^c	0.003
SFA	50.75 ^b	50.92 ^b	87.78 ^a	88.93 ^a	0.357
UFA	49.25 ^a	49.08 ^a	12.22 ^b	11.07 ^b	0.357
MUFA	46.27 ^a	46.28 ^a	7.82 ^b	7.53 ^b	0.208
PUFA	2.98 ^b	2.80 ^b	4.40 ^a	3.54 ^{ab}	0.234
MUFA/SFA	0.91 ^a	0.91 ^a	0.09 ^b	0.08 ^b	0.008
PUFA/SFA	0.06 ^a	0.06 ^a	0.05 ^{ab}	0.04 ^b	0.003

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 패티와 유사분쇄육 패티 내 지방산 조성을 분석한 결과는 Table 61에 나타내었다. 고기 패티의 주요 지방산 Palmitic acid, Stearic acid, Oleic acid이며 유사분쇄육 패티의 주요 지방산은 Lauric acid, Myristic acid, Palmitic acid으로 나타났다.
- 포화지방산은 유사분쇄육 패티의 지방산에서 87.78~88.93%를 차지하며 고기 패티보다 높게 나타났으며 불포화지방산은 고기 패티에서 49.08~49.25%를 차지하며 유사분쇄육 패티보다 높게 나타났다($p < 0.05$). 단가불포화지방산은 고기 패티에서 46.27~46.28%로 유사분쇄육 패티보다 유의적으로 높았다. 다가불포화지방산은 조리 전 고기 패티가 유사분쇄육 패티보다 높았으나 팬그릴로 조리 시 차이가 없었다($p < 0.05$). 또한, MUFA/SFA 비율은 고기 패티가 유사분쇄육 패티보다 높았고 PUFA/SFA 비율은 고기 패티와 유사분쇄육 패티 간의 차이는 없었지만 팬그릴로 조리 시 고기 패티가 높게 나타났다($p < 0.05$)

Table 62. Nucleotide contents of meat based patty and plant based patty by pan-grilling

Nucleotide contents (mg/100g)	Meat based patty		Plant based patty		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
HX	9.63 ^b	10.24 ^a	2.14 ^c	2.60 ^c	0.156
IMP	21.28 ^c	17.23 ^c	37.10 ^b	47.88 ^a	2.132
INOSINE	27.86 ^a	28.67 ^a	8.19 ^b	9.94 ^b	0.517
AMP	4.73 ^a	4.48 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.124
ADP	3.63 ^a	3.19 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.128
ATP	3.22 ^a	2.91 ^a	0.00 ^b	0.00 ^b	0.095

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 패티와 유사분쇄육 패티 내 핵산물질 함량을 분석한 결과는 Table 62에 나타내었다.
- 고기 패티의 Hypoxanthine, Inosine, AMP, ADP, ATP의 함량은 유사분쇄육 패티보다 많았으며 IMP의 함량은 유사분쇄육 패티가 고기 패티보다 많이 나타났다($p < 0.05$). 고기 패티는 팬그릴로 조리를 하였을 때 Hypoxanthine이 유의적으로 증가하였으며 유사분쇄육 패티는 팬그릴로 조리하였을 때 IMP가 유의적으로 증가하였다. 유사분쇄육 패티에서 AMP, ADP, ATP는 검출되지 않았다.

Table 63. Volatile organic compounds of meat based patty and plant based patty by pan-grilling

Volatile organic compounds (A.U. x 10 ⁶)	M/Z	LRI	Meat based patty		Plant based patty		SEM
			Raw	PG	Raw	PG	
Acids							
Borinic acid, diethyl-	57	554	0.721 ^a	0.410 ^{ab}	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1272
Dodecanoic acid	73	1564	0.000 ^b	0.000 ^b	0.239 ^a	0.072 ^{ab}	0.0416
Methyleugenol	178.1	1406	4.753 ^a	4.624 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1357
n-Decanoic acid	73	1370	0.000 ^b	0.000 ^b	0.359 ^a	0.049 ^b	0.0275
n-Hexadecanoic acid	73	1958	0.721	0.173	0.106	0.000	0.3007
Octadecanoic acid	73.1	2162	0.249	0.000	0.000	0.000	0.1134
Octanoic acid	60	1185	0.000 ^b	0.000 ^b	3.292 ^a	0.707 ^b	0.2331
Tetradecanoic acid	73	1760	0.056 ^a	0.000 ^b	0.016 ^{ab}	0.000 ^b	0.0129

subtotal			6.500 ^a	5.207 ^{ab}	4.013 ^b	0.829 ^c	0.5100
Alcohols							
(1R,2R,4R)-2,7,7-Trimethylbicyclo[2.2.1]heptan-2-ol	93	1102	0.170 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0232
(S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol	56	784	0.306 ^c	0.000 ^d	1.025 ^a	0.773 ^b	0.0513
.α.-Terpineol	59.1	1191	1.028 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0182
1-Decanol, 2-hexyl-	70.1	1787	0.551 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0124
1-Heptanol	70.1	958	0.000 ^b	0.000 ^b	0.104 ^a	0.09 ^a	0.0049
1H-Tetrazol-5-amine	57.1	844	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.012 ^a	0.0027
1-Octen-3-ol	57	969	0.838 ^c	0.895 ^c	8.140 ^a	6.401 ^b	0.3992
2-Cyclohexen-1-ol, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-, cis-	93.1	1125	0.053 ^b	0.070 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0038
5-Isopropyl-2-methylbicyclo[3.1.0]hexan-2-ol	93	1069	0.204 ^b	0.250 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0094
5-Thiazoleethanol, 4-methyl-Benzenemethanol,	112	1281	0.000 ^b	0.000 ^b	5.439 ^a	3.445 ^a	0.6421
.α.,.α.,4-trimethyl-Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol,	135.1	1186	0.586 ^a	0.591 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0131
1,7,7-trimethyl-, (1S-endo)-Carveol	95.1	1168	0.665 ^b	0.778 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.2341
cis/trans-2-methyl-3-tetrahydro-furanthiol	92	1201	0.321 ^a	0.279 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0356
Citronellol	74	918	0.000 ^b	0.000 ^b	4.316 ^a	0.801 ^b	0.2071
Eugenol	69	1231	0.111 ^a	0.115 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0028
Furaneol	164.1	1361	0.129 ^a	0.133 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0042
Furaneol	128	1068	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	3.013 ^a	0.0420
Isospathulenol	119	1634	0.100 ^a	0.092 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0032
Linalool	71	1106	2.145 ^a	2.285 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0716
Maltol	126	1115	0.654 ^{ab}	0.918 ^a	0.253 ^c	0.569 ^b	0.0663
Phenol	94	978	0.000 ^c	0.000 ^c	0.585 ^a	0.470 ^b	0.0154
Phenol, 2-methoxy-	109	1094	0.000 ^c	0.000 ^c	0.530 ^a	0.424 ^b	0.0182
Phenylethyl Alcohol	91.1	1117	1.704 ^a	1.702 ^a	0.107 ^b	0.087 ^b	0.0259
p-Mentha-1,5-dien-8-ol	94.1	1163	0.235 ^b	0.413 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0387
Terpinen-4-ol	71.1	1179	3.060 ^a	2.648 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.3407
Thymol	135	1306	0.077 ^a	0.100 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0099
subtotal			12.937 ^{bc}	11.269 ^c	20.498 ^a	16.085 ^b	0.8460
Aldehydes							
1,3-Cyclohexadiene-1-carboxaldehyde, 2,6,6-trimethyl-	107	1208	0.167 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0030
1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde	95	1010	0.000 ^b	0.000 ^b	0.111 ^a	0.141 ^a	0.0152
2,6-Octadienal, 3,7-dimethyl-, (E)-	69	1275	0.152 ^a	0.210 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0200
2-Decenal, (E)-	70	1265	0.000 ^b	0.110 ^a	0.000 ^b	0.077 ^a	0.0166
2-Undecenal	70	1366	0.000 ^b	0.073 ^a	0.000 ^b	0.029 ^b	0.0081
5-Acetoxyethyl-2-furaldehyde	126	1313	0.000 ^b	0.000 ^b	0.031 ^a	0.000 ^b	0.0063
5-Ethylcyclopent-1-enecarboxaldehyde	67.1	1029	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.074 ^a	0.0005
Benzaldehyde, 3-hydroxy-	93	1320	0.000 ^b	0.000 ^b	0.035 ^a	0.000 ^b	0.0072
Benzeneacetaldehyde	91.1	1043	3.218 ^b	3.431 ^{ab}	2.169 ^c	3.948 ^a	0.1623
Benzeneacetaldehyde, .α.-ethylidene-	115	1277	0.036 ^b	0.046 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0013
Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene-2-carboxaldehyde,	79.1	1196	0.000 ^b	0.049 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0100
6,6-dimethyl-Decanal	57	1206	0.031 ^{bc}	0.076 ^a	0.020 ^c	0.038 ^b	0.0029
Ethanone, 1-(1-methyl-1H-pyrrol-2-yl)-	108	1078	0.023 ^a	0.020 ^{ab}	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0050

Hexadecanal	82	1816	0.018 ^a	0.015 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0021
Hexanal, 5-methyl-	70	847	0.162 ^b	0.305 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0066
Nonanal	57	1111	0.312 ^c	1.050 ^a	0.208 ^c	0.610 ^b	0.0460
Octanal	43	999	0.000 ^d	0.204 ^a	0.063 ^c	0.106 ^b	0.0089
Piperonal	149.1	1337	0.356 ^a	0.455 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0461
Propanal, 2-methyl-	43	548	0.000 ^c	0.000 ^c	0.376 ^b	0.591 ^a	0.0510
Undecanal	57.1	1312	0.000 ^b	0.019 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0027
subtotal			4.476 ^b	6.064 ^a	3.012 ^c	5.615 ^a	0.2363
Esters							
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, formate 2-Butenoic acid,	93.1	1215	0.293 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0368
2-methyl-, 2-methylpropyl ester	83	1101	0.000 ^b	0.000 ^b	0.033 ^a	0.000 ^b	0.0048
4-Thiazoleethanol, 5-methyl-, acetate	125	1396	0.000 ^b	0.000 ^b	1.151 ^a	0.987 ^a	0.0432
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	95	1357	0.052 ^a	0.051 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0014
6-Octenoic acid, 3,7-dimethyl-, methyl ester	69	1265	0.031 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0004
Acetic acid, phenylmethyl ester	108	1168	0.000 ^c	0.000 ^c	3.324 ^a	1.673 ^b	0.0897
Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester	207	699	13.555	12.430	12.594	11.858	0.5626
Benzoic acid, ethyl ester	105	1173	0.000 ^b	0.000 ^b	0.044 ^a	0.042 ^a	0.0030
Benzoyl isothiocyanate	105	935	1.424 ^b	1.743 ^b	6.812 ^a	7.513 ^a	0.2067
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-ol, 1,7,7-trimethyl-, acetate, (1S-endo)-	95	1291	0.146 ^b	0.170 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0053
Butyl isocyanatoacetate	57.1	554	0.227	0.000	0.000	0.000	0.0851
Dibutyl phthalate	149.1	1964	0.087	0.122	0.022	0.074	0.0531
Geranyl acetate	69	1386	0.175 ^a	0.180 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0046
Glycerol 1,2-diacetate	43.1	1248	0.000 ^b	0.000 ^b	4.214 ^a	4.043 ^a	0.5996
Hydrogen isocyanate	43	537	0.000	0.000	0.380	0.104	0.1558
L-Alanine, N-(2,3,4-trifluorobenzoyl)-, methyl ester	159.1	1552	0.010 ^a	0.014 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0015
Methyl salicylate	120.1	1194	0.262	0.275	0.150	0.178	0.0543
n-Caproic acid vinyl ester	43	977	0.257 ^a	0.253 ^a	0.000 ^c	0.068 ^b	0.0148
Octanoic acid, ethyl ester	88	1199	0.053 ^b	0.080 ^b	0.269 ^a	0.049 ^b	0.0282
Octanoic acid, methyl ester	74	1132	0.000 ^b	0.000 ^b	0.196 ^a	0.037 ^b	0.0102
Triacetin	43.1	1356	0.000 ^c	0.000 ^c	22.405 ^b	40.231 ^a	1.4367
subtotal			16.572 ^c	15.318 ^c	51.594 ^b	66.859 ^a	2.1574
Hydrocarbons							
. α .-Calacorene	157	1549	0.072 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0021
. α .-Cubebene	161.1	1355	0.585 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0123
. α .-Guaiene	105	1444	0.127 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0028
. α .-Phellandrene	93.1	996	12.513 ^a	0.000 ^b	0.03 ^b	0.000 ^b	0.3169
. β .-Bisabolene	69	1514	0.821 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0141
. β .-Myrcene	93	983	10.107 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.057 ^b	0.2038
. γ .-Terpinene	93	1061	1.079 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0418
1,2,4-Metheno-1H-indene, octahydro-1,7a-dimethyl-5- (1-methylethyl)-, [1S-(1. α .,2. α .,3a. β .,4. α .,5.	105.1	1372	0.052 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0053

α ,7a, β ,8S*)]- 1,3,6-Octatriene, 3,7-dimethyl-, (Z)-	93.1	1052	0.24 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0048
1,3,7-Octatrien-5-yne	104	820	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	5.560 ^a	0.2528
1,3-Benzodioxole, 4-methoxy-6-(2-propenyl)- 1,3-Cyclohexadiene,	192	1527	4.308 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1223
1-methyl-4-(1-methylethyl)- 1,3-Cyclohexadiene,	121.1	1011	0.629 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0271
5-(1,5-dimethyl-4-hexenyl) -2-methyl-, [S-(R*,S*)]- 10,10-Dimethyl-2,6-dimethyl enebicyclo[7.2.0]undecane	119.1	1501	4.291 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1332
1-butoxycyclohexene	97	1163	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.158 ^a	0.0324
1-Trifluoroacetoxy-10-unde cene	55	1312	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.004 ^a	0.0008
2,2,7,7-Tetramethyloctane	57	1024	0.000 ^b	0.000 ^b	0.296 ^a	0.000 ^b	0.0233
2,3-Dimethyl-5-ethylpyrazine	135.1	1091	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.292 ^a	0.0070
2,6,10-Trimethyltridecane	71.1	1465	0.105 ^a	0.107 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0022
2-Butene, 2,3-dimethyl-	69.1	611	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.085 ^a	0.0175
2-Ethyl-3,5-dimethylpyridine	134	1115	0.000 ^b	0.000 ^b	0.021 ^a	0.000 ^b	0.0045
2-Mercapto-3,4-dimethyl-2 ,3-dihydrothiophene	113	1133	0.030 ^a	0.031 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0039
3,4-Dimethoxytoluene	152	1242	0.000 ^b	0.000 ^b	0.009 ^a	0.010 ^a	0.0022
3,7,11,15-Tetramethylhexad ec-2-ene	70.1	1846	0.318 ^a	0.278 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0094
3-Carene	93	1003	27.784 ^b	31.374 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.7421
3-Methyl-3-hexene	98	708	0.443 ^a	0.412 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0149
5H-5-Methyl-6,7-dihydrocy clopentapyrazine	119	1143	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.042 ^a	0.0057
Azulene, 1,4-dimethyl-7- (1-methylethyl)-	183	1782	0.010 ^a	0.010 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0006
Benzene, 1-(1,5-dimethyl- 4-hexenyl)-4-methyl- Benzene, 1,1'-(1,2- cyclobutanediyl)bis-, trans-	119.1	1488	2.209 ^a	2.294 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0343
Benzene, 1,2,3-trimethoxy- 5-(2-propenyl)-	104	1755	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.017 ^a	0.0023
Benzene, 1,2,4-trimethyl- Benzene, 1,2-dimethoxy-4- (1-propenyl)-	208	1559	0.992 ^a	0.904 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0287
Benzene, 1,3-bis(1,1-dimethylethyl)- Benzene, 1-methyl-3- (1-methylethenyl)- Benzene, 1-methyl-3- (1-methylethyl)-	105	981	0.000 ^c	0.000 ^c	0.054 ^a	0.042 ^b	0.0011
Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl- Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene, 4-methyl-1-(1-methylethyl)- Bicyclo[3.1.1]heptane,	178.1	1502	1.003 ^a	0.948 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0307
6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)- Bicyclo[5.2.0]nonane, 2-methylene-4,8,8-trimethyl -4-vinyl- Bicyclo[7.2.0]undec-4-ene,	175	1258	0.000 ^c	0.000 ^c	0.040 ^b	0.079 ^a	0.0040
4,11,11-trimethyl-8-methyle ne-, [1R-(1R*,4Z,9S*)]- Butane,	132	1086	0.125 ^a	0.118 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0036
2-azido-2,3,3-trimethyl- Caryophyllene oxide	119	1021	9.217 ^a	0.801 ^b	0.091 ^b	0.000 ^b	1.0914
Copaene	93	916	0.124 ^a	0.142 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0050
	93	957	0.000 ^c	0.000 ^c	0.070 ^a	0.048 ^b	0.0045
	93.1	957	10.264 ^b	11.849 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.3302
	133.1	1426	13.293 ^b	15.565 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.2527
	133	1424	0.000	0.000	0.007	0.006	0.0020
	57.1	581	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.069 ^a	0.0143
	93.1	1589	0.067 ^a	0.068 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0031
	161	1380	4.265 ^b	5.274 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0804

Cubenene	119.1	1539	0.135 ^a	0.160 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0062
Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.α.,2.β.,4.β.)]-	93	1395	0.643 ^b	0.754 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0146
Cyclohexane, 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-	93	1003	0.000 ^b	0.000 ^b	0.070 ^a	0.000 ^b	0.0146
Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	136	1092	2.754 ^b	3.134 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0911
Cyclohexene, 3-methyl-6-(1-methylethylidene)-	136.1	1090	0.814 ^b	1.323 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.1075
Cyclohexene, 4-ethenyl-4-methyl-3-(1-methylethenyl)-1-(1-methylethyl)-, (3R-trans)-	121.1	1343	6.496 ^b	7.873 ^a	0.005 ^c	0.000 ^c	0.1244
Cyclopentane, butyl-	83	934	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.205 ^a	0.0262
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	281	1004	14.153	13.390	12.118	13.657	1.6614
Decane	57	995	0.000 ^b	0.000 ^b	0.422 ^a	0.429 ^a	0.0333
D-Limonene	68	1027	21.928 ^a	24.081 ^a	0.107 ^b	0.084 ^b	0.5567
Dodecane	57	1200	0.159 ^c	0.239 ^b	0.366 ^a	0.295 ^{ab}	0.0182
Heptadecane	57	1701	0.073 ^a	0.052 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0104
Heptane, 4-ethyl-2,2,6,6-tetramethyl-	57	1068	0.319 ^a	0.277 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0186
Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	71.1	1809	0.073 ^a	0.064 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0019
Hexane, 3-ethyl-	43	769	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.066 ^a	0.0054
Humulene	93	1460	2.704 ^b	3.166 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0645
Methane, dichloronitro-	83	560	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.020 ^a	0.0029
Methane, isocyanato-	57	1082	0.083	0.058	0.058	0.112	0.0299
Naphthalene	128	1182	0.067 ^a	0.062 ^a	0.027 ^b	0.000 ^c	0.0059
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1.α.,4a.β.,8a.α.)-	161.1	1521	0.133 ^a	0.135 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0061
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	161	1530	1.528 ^b	1.690 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0349
Naphthalene, 2-methyl-	142	1313	0.005	0.005	0.000	0.000	0.0014
Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-[4aR-(4a.α.,7.α.,8a.β.)]-	105	1494	0.492 ^b	0.552 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0130
Neophytadiene	95.1	1839	0.069 ^a	0.060 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0028
Neral	69.1	1244	0.086 ^a	0.092 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0028
Nonane, 3,7-dimethyl-	57	1033	0.199 ^a	0.169 ^{ab}	0.189 ^a	0.000 ^b	0.0432
Nonane, 4-methyl-	57	948	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.018 ^a	0.0032
Octadecane	57	1798	0.069 ^a	0.060 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0020
Octane, 2,3,6-trimethyl-	57	1055	0.263 ^a	0.225 ^a	0.282 ^a	0.000 ^b	0.0272
o-Cymene	119.1	1021	11.396 ^a	12.334 ^a	0.000 ^b	0.100 ^b	0.3707
Pentadecane	57.1	1503	0.000 ^b	0.000 ^b	0.018 ^a	0.025 ^a	0.0032
Pyrazine, 2,6-diethyl-	135	1084	0.000 ^b	0.715 ^a	0.082 ^b	0.146 ^b	0.0412
Pyrazine, 2-ethyl-6-methyl-	121	990	0.053 ^d	0.321 ^b	0.179 ^c	0.450 ^a	0.0286
Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	135	1084	0.000 ^c	0.000 ^c	0.827 ^b	1.202 ^a	0.0381
Pyridine, 2-(1-methylethyl)-	106	930	0.000 ^b	0.000 ^b	0.014 ^a	0.000 ^b	0.0019
Pyridine, 2,5-dimethyl-	107	915	0.000 ^c	0.000 ^c	0.054 ^a	0.028 ^b	0.0021
Safrole	162.1	1293	1.335 ^a	1.467 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0457

Tetradecane	57	1400	0.054	0.087	0.064	0.082	0.0090
Thiophene, 2-pentyl-	97	1163	0.000 ^b	0.000 ^b	0.309 ^a	0.000 ^b	0.0111
Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,3,3-trimethyl-	93.1	894	4.031 ^b	4.637 ^a	0.000 ^c	0.000 ^c	0.1374
Trimethylene oxide	58	541	1.268 ^a	1.113 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0461
subtotal			176.551 ^a	148.468 ^b	15.810 ^c	23.389 ^c	4.1375
Ketone							
2-Acetylthiazole	127	1013	0.000 ^c	0.000 ^c	5.840 ^a	4.62 ^b	0.1657
2-Cyclohexen-1-one, 3-methyl-6-(1-methylethyl)-	82	1257	0.222 ^a	0.237 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0065
2-Undecanone	58	1298	0.309 ^a	0.347 ^a	0.000 ^b	0.023 ^b	0.0099
3-Octen-2-one	55	1042	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.071 ^a	0.0091
4,7,7-Trimethylbicyclo[4.1.0]hept-3-en-2-one	150	1316	0.122 ^a	0.125 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0064
4-Hexen-3-one, 4,5-dimethyl-	97	1100	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.121 ^a	0.0020
4H-Pyran-4-one, 2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	144	1146	0.000 ^b	0.109 ^a	0.111 ^a	0.086 ^{ab}	0.0269
4-Methyleneisophorone	150	1255	0.086 ^a	0.093 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0018
5-Hepten-2-one, 6-methyl-	43	979	0.163 ^a	0.182 ^a	0.021 ^b	0.000 ^b	0.0126
Ethanone, 1-(2,4-dihydroxyphenyl)-	137.1	1283	0.000 ^b	0.02 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0025
N,N'-Bis(2,6-dimethyl-6-nitrosohept-2-en-4-one)	55.1	622	0.000 ^b	0.000 ^b	0.014 ^{ab}	0.027 ^a	0.0058
subtotal			0.902 ^c	1.112 ^c	5.985 ^a	4.947 ^b	0.1568
Sulfur compounds							
(E)-1-(Prop-1-en-1-yl)-2-propyl disulfane	148.1	1120	0.819 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0205
(E)-1-Allyl-2-(prop-1-en-1-yl) disulfane	73.1	1104	0.407 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0102
(Z)-1-(Prop-1-en-1-yl)-2-propyl disulfane	148	1097	1.875 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0501
1-Allyl-3-propyl trisulfane	115	1317	0.065 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0083
Diallyl disulphide	41	1082	9.367 ^a	9.713 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.1842
Disulfide, dipropyl	150	1111	2.922 ^a	2.939 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0986
Methyl isopropyl disulphide	122	891	0.988 ^a	0.989 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0295
Trisulfide, dipropyl	182	1330	0.294 ^a	0.242 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.0113
Trisulfide, methyl propyl	154	1152	0.066 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0021
subtotal			16.803 ^a	13.882 ^b	0.000 ^c	0.000 ^c	0.3836
Others							
1,3-Dioxolane, 4-methyl-2-pentyl-	87	1089	0.000 ^c	0.000 ^c	0.336 ^a	0.205 ^b	0.0287
1,4-Dimethyl-pyridinium chloride	107	816	0.000 ^c	0.000 ^c	0.139 ^a	0.067 ^b	0.0146
1H-1,2,3,4-Tetrazole, 5-hydrazino-	43	673	0.000 ^b	0.000 ^b	2.074 ^a	1.605 ^a	0.2199
1H-Pyrazole, 1-methyl-	82	710	0.000 ^b	0.000 ^b	0.212 ^a	0.193 ^a	0.0094
1-Propyl-1H-imidazole	110	1078	0.000 ^b	0.000 ^b	0.082 ^a	0.066 ^a	0.0134
Allyl ethyl ether	41	572	0.000 ^c	0.243 ^b	0.173 ^b	0.477 ^a	0.0280
Camphor	95	1147	0.139 ^a	0.161 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0058
Diethylcyanamide	55.1	912	0.000 ^b	0.000 ^b	0.021 ^a	0.021 ^a	0.0014
Ethanone, 1-(1H-pyrrol-2-yl)-	109.1	1064	0.145 ^b	0.355 ^a	0.095 ^b	0.302 ^a	0.0214
Furan, 2-[(methylthio)methyl]-	81	1211	0.000 ^c	0.000 ^c	0.158 ^a	0.125 ^b	0.0060
Furan, 2-pentyl-	81	984	0.000 ^c	1.441 ^b	3.245 ^a	3.478 ^a	0.3222
Furan, 3,3'-dithiobis[2-methyl-	113	1535	0.000 ^b	0.000 ^b	0.014 ^a	0.020 ^a	0.0028
trans-Isomyristicin	192	1620	0.037 ^a	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.0078

Urea	43.1	557	0.000 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b	0.762 ^a	0.1666
subtotal			0.322 ^a	2.201 ^a	6.549 ^a	7.321 ^a	0.5445
Total			235.063 ^a	203.521 ^b	107.461 ^c	125.045 ^c	5.8885

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05.

PG, Pan-grilling

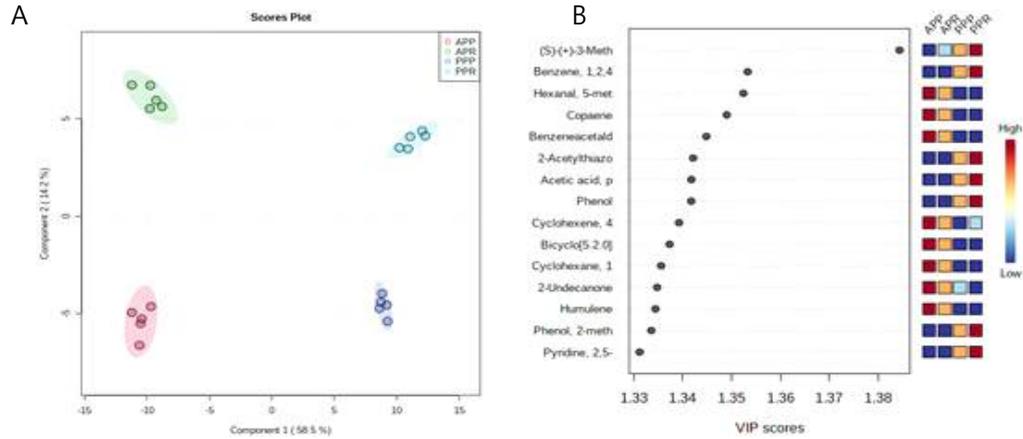


Figure 25. Partial least squares–discriminant analysis (PLS–DA) (A) and its variable importance in projection scores (VIP scores) (B) from meat based meat based patty and plant based patty (APR: Animal based patty raw, APP: Animal based patty pan-grilling, PPR: Plant based patty raw, PPP: Plant based patty pan-grilling).

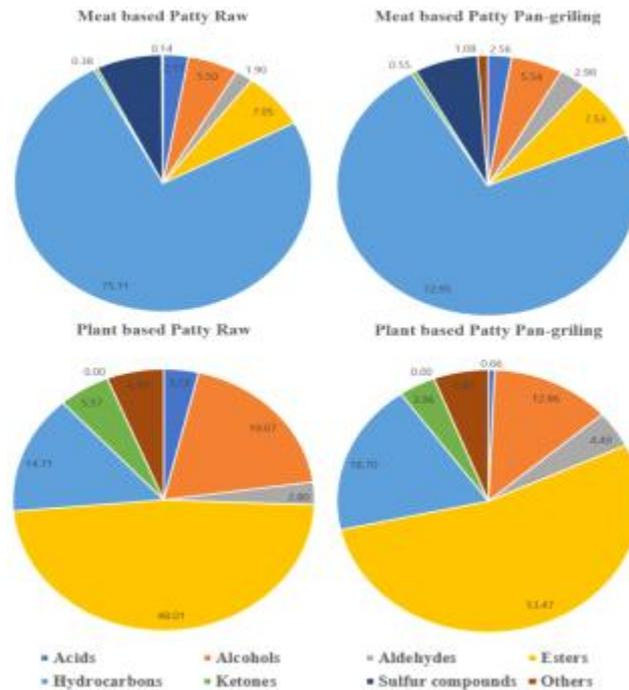


Figure 26. Total VOCs composition of meat based patty and plant based patty by percentage.

- 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 VOC 결과는 Table 63와 Figure 25, 26에 나타내었다.
- 고기 패티와 유사분쇄육 패티에서 휘발성 유기화합물은 Hydrocarbons (85), Alcohols (26) Aldehydes (20), Esters (21), Ketones (11), Sulfur compounds (9), Acids (8), Others (14)로 구성되었다. 고기 패티의 주요 휘발성 유기화합물은 Hydrocarbons, Esters, Sulfur compounds로 각각 72.95~75.11%, 7.05~7.53%, 6.82~7.15%를 나타냈다. 유사분쇄육 패티의 주요 휘발성 유기화합물은 Esters, Alcohols, Hydrocarbon로

각각 48.01~53.47%, 12.86~19.07%, 14.71~18.70%, 7.51~7.53%를 나타냈다. Sulfur compounds는 유사분쇄육 패티에서 나타나지 않았다. 유사분쇄육 패티는 고기 패티보다 Alcohols, Esters, Ketones의 함량이 많이 나타났다($p < 0.05$).

- GC-MS에 의해 측정된 Figure 25의 (A)를 통해 샘플 유형의 판별하였다. 이를 통해 제 1주성분에 의해 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 향이 차이가 난다는 것을 확인하였다. 그리고 제 2주성분을 통해 팬그릴 조리 시 패티의 향이 조리 전과 차이가 난다는 것이 나타났다.
- VIP score가 가장 높은 물질인 (S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol (cocoa, cognac, fruity, fusel, green)는 고기 패티보다 유사분쇄육 패티에서 많이 나타났으며 고기 패티와 유사분쇄육 패티를 팬그릴로 조리 할 경우 감소하였다. ($p < 0.05$) (S)-(+)-3-Methyl-1-pentanol는 망고에서 주로 발견되는 VOC로 향수 제조 시 주로 사용된다고 보고되었다(McGinty et al., 2010).
- Hydrocarbons 성분 중 고기 패티에서 D-Limonene (mint, lemon, citrus, orange, fresh, sweet), 3-Carene(lemon, citrus, sweet)이 많이 발견되었다($p < 0.05$). Cyclotetrasiloxane, octamethyl- (odorless)는 유사분쇄육 패티에서 가장 많이 발견되는 Hydrocarbons 성분으로 그 양은 고기 패티와 유의적인 차이가 없었다.
- Esters 성분 중 Arsenous acid, tris(trimethylsilyl) ester (odorless)는 고기 패티에서 가장 많이 발견되었으며 유사분쇄육 패티와 유의적인 차이는 없었다. Triacetin (tropical, mild, bitter, fruity, clean)은 유사분쇄육 패티에서만 나타난 가장 많은 Hydrocarbons으로 팬그릴 조리 시 증가했다($p < 0.05$).
- Sulfur compounds 성분 중 Diallyl disulphide (Garlic)는 유사분쇄육 패티에서 발견되지 않았으며 고기 패티에서 다량 나타났다. 고기 패티를 조리 할 경우 Diallyl disulphide의 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

7) 최적 소고기 유사분쇄육 내 영양성분 비교 분석

(1) 연구수행 방법

가. 최적 소고기 유사 분쇄육 내 영양성분 비교 분석을 위한 일반성분, 열량, 미네랄, 콜라겐, 구성 아미노산 분석

가) 실험재료

- 실험재료는 4) - (1) - 가 - 가)와 같다.

나) 실험방법

(가) 조리방법

- 조리방법은 4) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(나) 일반성분 및 열량 (proximate composition and calories)

- 수분, 조단백질, 조지방, 조회분 조성 분석은 2) - (1) - 1- 마) -1)과 같은 실험방법으로 측정하였다. 탄수화물 조성 분석은 100에서 수분, 조단백질, 조지방, 조회분함량을

합친 것을 빼서 계산하였다.

- 열량은 에트워터 계수를 이용하여 계산하였다. 단백질은 1g당 4kcal, 지방은 1g당 9kcal, 탄수화물은 1g당 4kcal로 설정하였다.

(다) 미네랄 조성 (mineral composition)

- 미네랄 성분은 2) - (1) - 가 - 나) - (라)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(라) 콜라겐 함량 (collagen content)

- 콜라겐 함량은 2) - (1) - 가 - 나) - (마)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(마) 구성 아미노산 분석 (amino acid composition)

- 구성 아미노산 분석은 시료 0.5g과 10ml의 6N HCl을 삼각플라스크에 넣고 혼합한 다음 110°C에서 24시간 가수분해하였다. 가수분해물을 0.2N sodium citrate buffer(pH 2.2)에 희석시키고 0.45µm 멤브레인 필터로 여과하였다. 여과한 시료는 아미노산 분석기(SYKAM S433, Sykam GmbH, Eresing, Germany)를 이용하여 분석하였다.

(바) 통계분석 (statistical analysis)

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나) - (파)와 같다.

(2) 연구수행 결과

가. 최적 소고기 유사 분쇄육 내 영양성분 비교 분석을 위한 일반성분, 열량, 미네랄, 콜라겐, 구성 아미노산 분석

가) 조리방법별 콜드컷의 일반성분, 열량, 미네랄, 콜라겐, 구성 아미노산 분석

Table 64. Proximate composition and calories of meat based cold cut and plant based cold cut

Traits	Meat based cold cut	Plant based cold cut	SEM
Moisture (%)	56.97 ^b	78.30 ^a	0.194
Protein (%)	15.85 ^a	4.72 ^b	0.478
Lipid (%)	19.59 ^a	2.94 ^b	0.301
Carbohydrate (%)	5.70 ^b	10.71 ^a	0.439
Ash (%)	1.89 ^b	3.32 ^a	0.559
Calories (kcal/100g)	262.51 ^a	88.25 ^b	1.849

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at p<0.05.

SEM: Standard error of means.

- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 내 일반성분 및 열량을 분석한 결과는 Table 64에 나타내었다. 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷의 일반성분은 각각 수분 조성은 56.97%와 78.30%, 조단백질 조성은 15.85%와 4.72%, 조지방 조성은 19.59%와 2.94%, 탄수화물 조성은 5.70%와 10.71%, 조회분 조성은 1.89와 3.32%를 나타내었다. 수분, 탄수화물, 조회분 조성은 고기 콜드컷이 유사분쇄육 콜드컷보다 낮으며 조단백질, 조지방 조성

은 높게 나타내었다($p < 0.05$).

- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷을 100g당 열량으로 산출한 결과, 유사분쇄육 콜드컷의 열량이 88.25kcal/100g으로 고기 콜드컷 보다 낮게 나타내었다($p < 0.05$). 이는 유사분쇄육 콜드컷이 콜드컷보다 적은 지방함량을 갖기 때문으로 사료된다.

Table 65. Mineral and collagen contents of meat based cold cut and plant based cold cut

Mineral (mg/100g)	Meat based cold cut	Plant based cold cut	SEM
K	239.63 ^a	212.70 ^b	0.463
Na	561.233 ^b	884.650 ^a	1.862
Mg	18.15 ^a	12.23 ^b	0.037
Ca	9.50 ^b	104.52 ^a	0.197
P	196.57 ^a	127.58 ^b	0.564
Fe	0.98	1.00	0.012
Collagen (g/100g)	1.730 ^a	0.322 ^b	0.023

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

SEM: Standard error of means.

- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 내 미네랄, 콜라겐 함량을 분석한 결과는 Table 65에 나타내었다.
- 미네랄은 무기물로 에너지 만들지 못하지만 체내 많은 대사과정에 관여하기 때문에 인간이 살아가는데 있어 필수적인 영양소로 보고된다(Malhotra, 1998; Eruvbetine, 2003).
- 칼륨(K)은 체내 산-염기 완충작용, 삼투압조절, 신경전달, 골격근 수축, Na⁺/K⁺-ATPase에 관여한다(Soetan et al., 2010).
- 나트륨(Na) 신경전달, 근육수축에 관여한다(Hana et al, 2013).
- 마그네슘(Mg)은 체내의 뼈, 이빨의 구성성분이며 다양한 효소들의 조효소로 역할을 한다(Murray et al., 2000).
- 칼슘(Ca)은 뼈와 이빨을 구성하고 신경과 근육의 기능을 조절한다. 인(P)은 세포를 구성하는 인지질의 성분으로 뼈, 이빨, ATP를 구성한다. 인간의 체내에서 Ca²⁺: P 비율이 비정상적이면 질병을 발생할 수 있다(Malhotra, 1998; Murray et al., 2000; Soetan et al., 2010).
- 철(Fe)은 헤모글로빈, 마이오글로빈, 사이토크롬의 구성성분으로 산소운반에 필수적인 성분으로 고기는 좋은 공급원으로 알려져있다(Soetan et al., 2010).
- 유사분쇄육 콜드컷이 고기 콜드컷보다 많은 나트륨, 칼슘 함량을 나타냈고 적은 칼륨, 마그네슘, 인 함량을 나타냈다($p < 0.05$). 철 함량은 두 처리군 간 유의적인 차이는 없었다.
- 콜라겐은 결합조직 단백질로 많은 양의 콜라겐은 고기의 연도를 감소시켜 소비자 선호도를 감소시킬 수 있는 요인으로 알려져있다(Weston et al., 2002).
- 유사분쇄육 콜드컷은 고기 콜드컷보다 적은 콜라겐 함량을 나타내었다($p < 0.05$).

Table 66. Amino acid composition of meat based cold cut and plant based cold cut

Amino acid (%)	Meat based cold cut	Plant based cold cut	SEM
Aspartic acid	1.11	1.14	0.073
Threonine	0.47	0.46	0.062
Serine	0.47	0.49	0.029
Glutamic acid	2.42	2.32	0.208
Proline	0.50	0.51	0.033
Glycine	0.53	0.53	0.094
Alanine	0.57	0.57	0.112
Valine	0.53	0.55	0.068
Isoleucine	0.51	0.52	0.059
Leucine	0.84	0.87	0.109
Tyrosine	0.40	0.41	0.042
Phenylalanine	0.53	0.53	0.043
Histidine	0.43	0.45	0.073
Lysine	0.82	0.82	0.168
Arginine	0.76	0.77	0.061
Total	10.91	10.25	0.814

- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 내 구성 아미노산의 조성을 분석한 결과는 Table 66에 나타내었다.
- 콜드컷의 총 아미노산의 조성은 고기 콜드컷 10.91%고 유사분쇄육 콜드컷 10.25%로 유의적인 차이가 없었다.
- 고기 콜드컷과 유사분쇄육 콜드컷 간의 모든 아미노산의 조성은 차이가 없었다($p < 0.05$).

나) 조리방법별 미트볼의 일반성분, 열량, 미네랄, 콜라겐, 구성 아미노산 분석

Table 67. Proximate composition and calories of meat based meatball and plant based meatball by pan-grilling

Traits	Meat based meatball		Plant based meatball		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
Moisture (%)	62.88 ^a	61.79 ^b	55.23 ^c	49.21 ^d	0.162
Protein (%)	14.55 ^a	14.85 ^a	8.88 ^c	9.81 ^b	0.225
Lipid (%)	11.54 ^a	11.35 ^a	6.46 ^c	8.47 ^b	0.182
Carbohydrate (%)	9.55 ^c	10.42 ^c	26.73 ^b	29.43 ^a	0.372
Ash (%)	1.47 ^c	1.58 ^c	2.69 ^b	3.08 ^a	0.656
Calories (kcal/100g)	200.31 ^b	203.26 ^b	200.62 ^b	233.18 ^a	1.136

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 내 일반성분 및 열량을 분석한 결과는 Table 67에 나타내었다. 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 수분조성은 각각 61.79~62.88%와 49.21~55.23%를 나타내었다. 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 모두 팬그릴로 조리하였을 때 수분조성이 유의적으로 감소하였다. 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 조단백질 조성은 14.55~14.85%와 8.88~9.81%, 조지방 조성은 11.54~11.35%와 6.46~8.47%으로 고기 미트볼에서 높은 조성을 나타내었다($p < 0.05$). 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼의 탄수화물조성은 9.55~10.42%와 26.73~29.43%, 조회분 조성은 1.47~1.58%와 2.69~3.08%으로 유사분쇄육 미트볼에서 높은 조성을 나타내었다($p < 0.05$).
- 팬그릴을 이용하여 조리한 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼을 100g당 열량으로 산출한 결과, 유사분쇄육 미트볼을 팬그릴로 조리하였을 때 적은 수분함량과 많은 탄수화물함량으로 인하여 233.18kcal/100g로 가장 높은 열량을 나타내었다($p < 0.05$).

Table 68. Mineral and collagen contents of meat based meatball and plant based meatball by pan-grilling

Mineral (mg/100g)	Meat based meatball		Plant based meatball		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
K	214.15 ^c	220.05 ^b	242.03 ^a	244.95 ^a	0.702
Na	395.87 ^c	399.65 ^c	682.497 ^b	702.783 ^a	1.316
Mg	16.23 ^d	16.80 ^c	40.83 ^b	43.75 ^a	0.061
Ca	15.33 ^c	14.58 ^c	78.85 ^b	84.20 ^a	0.324
P	127.42 ^d	140.63 ^c	210.65 ^b	227.55 ^a	0.553
Fe	1.05 ^c	1.25 ^a	1.20 ^b	1.25 ^a	0.000
Collagen (g/100g)	2.462 ^a	2.498 ^a	0.478 ^b	0.503 ^b	0.065

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 내 미네랄, 콜라겐 함량을 분석한 결과는 Table 68에 나타내었다.
- 조리 전 유사분쇄육 미트볼은 고기 미트볼보다 Table 68에 제시된 모든 미네랄 함량이 많이 나타났($p < 0.05$). 유사분쇄육 미트볼을 조리 하였을 경우 칼륨을 제외한 미네랄 성분의 함량이 유의적으로 증가하였다. 팬그릴로 조리 하였을 때 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 간 철 함량은 차이가 없었으며 그 외 미네랄 성분은 유사분쇄육 미트볼에서 많았다($p < 0.05$).
- 유사분쇄육 미트볼은 고기 미트볼보다 적은 콜라겐 함량을 나타내었다($p < 0.05$).

Table 69. Amino acid composition of meat based meatball and plant based meatball by pan-grilling

Amino acid (%)	Meat based meatball		Plant based meatball		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
Aspartic acid	1.05	1.13	1.05	1.13	0.050
Threonine	0.52	0.49	0.52	0.51	0.027
Serine	0.47	0.52	0.47	0.52	0.030
Glutamic acid	1.90 ^b	2.59 ^a	1.90 ^b	2.63 ^a	0.146
Proline	0.80	0.74	0.80	0.74	0.107
Glycine	1.18	0.79	1.18	0.80	0.170
Alanine	0.97	0.68	0.97	0.67	0.103
Valine	0.83	0.59	0.83	0.58	0.061
Isoleucine	0.60	0.56	0.60	0.54	0.028
Leucine	0.96	0.94	0.96	0.94	0.037
Tyrosine	0.33 ^b	0.42 ^a	0.33 ^b	0.46 ^a	0.014
Phenylalanine	0.60	0.58	0.60	0.60	0.026
Histidine	0.58 ^a	0.46 ^b	0.58 ^a	0.46 ^b	0.020
Lysine	0.93	0.89	0.93	0.84	0.034
Arginine	0.84	0.84	0.84	0.82	0.042
Total	12.57	12.22	12.53	11.52	0.631

^{a-b} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 내 구성 아미노산의 조성을 분석한 결과는 Table 69에 나타내었다.
- 미트볼의 총 아미노산의 조성은 고기 미트볼 12.22~12.57%고 유사분쇄육 미트볼

11.52~12.53%로 유의적인 차이가 없었다.

- Glutamic acid는 aspartic acid와 함께 식품에서 우마미 맛 성분으로 천연 조미료 역할을 하는 것으로 보고되었고 해독작용, 당과 지질대사에 관여하는 성분으로 알려져 있다 (Hong et al., 1989; Kwon et al., 1987).
- Tyrosine은 세포의 수용체의 성분으로 다양한 대사과정의 신호전달에 관여한다 (Hubbard& Till, 2000).
- Glutamic acid와 Tyrosine는 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 간의 유의적인 차이가 없었으나 두 처리군 모두 조리 시 증가하였다($p<0.05$).
- Histidine은 항산화 및 항염증기능을 갖고 있는 아미노산으로 내피세포의 염증을 억제하는 기능을 갖고 있다 (Hasegawa et al., 2012).
- Histidine은 고기 미트볼과 유사분쇄육 미트볼 간의 유의적인 차이가 없었으나 두 처리군 모두 조리 시 감소하였다($p<0.05$).

다) 조리방법별 패티의 일반성분, 열량, 미네랄, 콜라겐, 구성 아미노산 분석

Table 70. Proximate composition and calories of meat based patty and plant based patty by pan-grilling

Traits	Meat based patty		Plant based patty		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
Moisture (%)	60.95 ^a	58.92 ^b	51.92 ^c	47.82 ^d	0.259
Protein (%)	16.94 ^a	17.19 ^a	9.27 ^c	10.62 ^b	0.291
Lipid (%)	12.17 ^c	12.38 ^c	25.56 ^a	24.16 ^b	0.176
Carbohydrate (%)	8.09 ^d	10.02 ^c	11.36 ^b	14.98 ^a	0.332
Ash (%)	1.85 ^b	1.50 ^c	1.90 ^b	2.42 ^a	0.623
Calories (kcal/100g)	209.65 ^d	220.22 ^c	312.53 ^b	319.83 ^a	1.342

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p<0.05$.

PG, Pan-grilling

- 고기 패티와 유사분쇄육 패티 내 일반성분 및 열량을 분석한 결과는 Table 70에 나타내었다. 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 수분 조성은 58.92~60.95%와 47.82~51.92%를 나타내었다. 고기 패티와 유사분쇄육 패티 모두 팬그릴링법으로 조리하였을 때 수분 조성이 유의적으로 감소하였다. 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 조단백질 조성은 16.94~17.19%와 9.27~10.62%로 고기 패티가 높은 조성을 나타내었다($p<0.05$). 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 조지방 조성은 12.17~12.38%와 24.16~25.56%, 탄수화물 조성은 8.09~10.02%와 11.36~14.98%로 유사분쇄육 패티가 고기 패티보다 더 높게 나타내었다($p<0.05$). 고기 패티와 유사분쇄육 패티의 회분 조성은 1.50~1.85%와 1.90~2.42%를 나타내었다.
- 팬그릴을 이용하여 조리한 고기 패티와 유사분쇄육 패티를 100g당 열량으로 산출한 결과, 유사분쇄육 패티를 팬그릴로 조리하였을 때 적은 수분함량과 많은 탄수화물함량으로 인하여 233.18kcal/100g로 가장 높은 열량을 나타내었다($p<0.05$).

Table 71. Mineral and collagen contents of meat based patty and plant based patty by pan-grilling

Mineral (mg/100g)	Meat based patty		Plant based patty		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
K	213.23 ^d	229.97 ^c	274.18 ^b	311.33 ^a	0.463
Na	412.00 ^d	442.57 ^c	469.27 ^b	533.77 ^a	0.801
Mg	22.40 ^d	24.72 ^c	40.37 ^c	47.08 ^a	0.180
Ca	34.73 ^d	35.75 ^c	63.32 ^b	75.13 ^a	0.103
P	148.88 ^d	164.75 ^b	153.63 ^c	188.02 ^a	0.249
Fe	1.45 ^b	1.40 ^c	1.35 ^d	2.17 ^a	0.008
Collagen (g/100g)	2.152 ^a	2.388 ^a	0.416 ^b	0.444 ^b	0.061

^{a-d} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG: Pan-grilling, SEM: Standard error of means.

- 고기 패티와 유사분쇄육 패티 내 미네랄, 콜라겐 함량을 분석한 결과는 Table 71에 나타내었다.
- 조리 전 유사분쇄육 패티가 고기 패티보다 철을 제외한 미네랄 함량이 많이 나타났다 ($p < 0.05$). 조리 후 고기 패티와 유사분쇄육 패티에서 Table 71에 제시된 모든 미네랄 함량이 증가하는 경향을 보였으며 유사분쇄육 패티가 고기 패티보다 모든 미네랄 함량이 많이 나타났다. ($p < 0.05$).
- 유사분쇄육 패티는 고기 패티보다 적은 콜라겐 함량을 나타내었다 ($p < 0.05$).

라) 최적 소고기 유사분쇄육 내 구성아미노산 비교 분석

Table 72. Amino acid contents of meat based patty and plant based patty by pan-grilling

Amino acid (%)	Meat based patty		Plant based patty		SEM
	Raw	PG	Raw	PG	
Aspartic acid	1.04 ^a	0.83 ^{ab}	1.06 ^a	0.79 ^b	0.052
Threonine	0.42	0.38	0.43	0.18	0.074
Serine	0.43	0.34	0.46	0.34	0.029
Glutamic acid	1.88	1.87	1.86	1.84	0.127
Proline	0.48 ^a	0.37 ^b	0.50 ^a	0.36 ^b	0.021
Glycine	0.49	0.31	0.52	0.31	0.066
Alanine	0.56	0.33	0.55	0.31	0.077
Valine	0.53	0.36	0.53	0.35	0.048
Isoleucine	0.50	0.35	0.49	0.34	0.042
Leucine	0.80	0.56	0.81	0.53	0.076
Tyrosine	0.28	0.13	0.30	0.28	0.068
Phenylalanine	0.50	0.39	0.50	0.38	0.029
Histidine	0.49 ^a	0.39 ^b	0.45 ^{ab}	0.28 ^c	0.020
Lysine	0.79	0.48	0.77	0.42	0.112
Arginine	0.71	0.53	0.71	0.54	0.045
Total	9.92	7.62	10.87	7.24	0.784

^{a-c} Means within a row with different superscript differ significantly at $p < 0.05$.

PG: Pan-grilling

- 고기 패티와 유사분쇄육 패티 내 구성 아미노산의 조성을 분석한 결과는 Table 72에 나타내었다.

- 패티의 총 아미노산의 조성은 고기 미트볼 7.62~9.92%고 유사분쇄육 미트볼 10.87~7.24%로 유의적인 차이가 없었다.
- Aspartic acid는 고기에서 우마미 맛을 내는 아미노산으로 신경계 보호기능을 한다고 알려져있다 (Lee & Choi, 2021; Antimo D'Aniello, 2006).
- Proline은 세포에서 생화학적, 생리학적 조절물질로 arginine, polyamine, 단백질 합성등에 기여하며 mTOR를 자극해 세포 신호전달을 활성화하는 역할을 한다 (Wu et al. 2011).
- Aspartic acid, Proline은 고기 패티와 유사분쇄육 패티 간의 유의적인 차이가 없었다. 유사분쇄육 패티를 조리 할 경우 Aspartic acid와 Proline의 조성은 감소했으나 고기 패티를 조리 할 경우 Proline만 유의적으로 감소하였다.
- Histidine은 조리 전 두 처리군 간의 유의적인 차이가 없었지만 조리 시 고기 패티가 유사분쇄육 패티보다 높은 조성을 나타냈다. 두 처리군 모두 조리 시 Histidine의 조성은 감소하였다.

8) 식육대비 품질 특성 비교

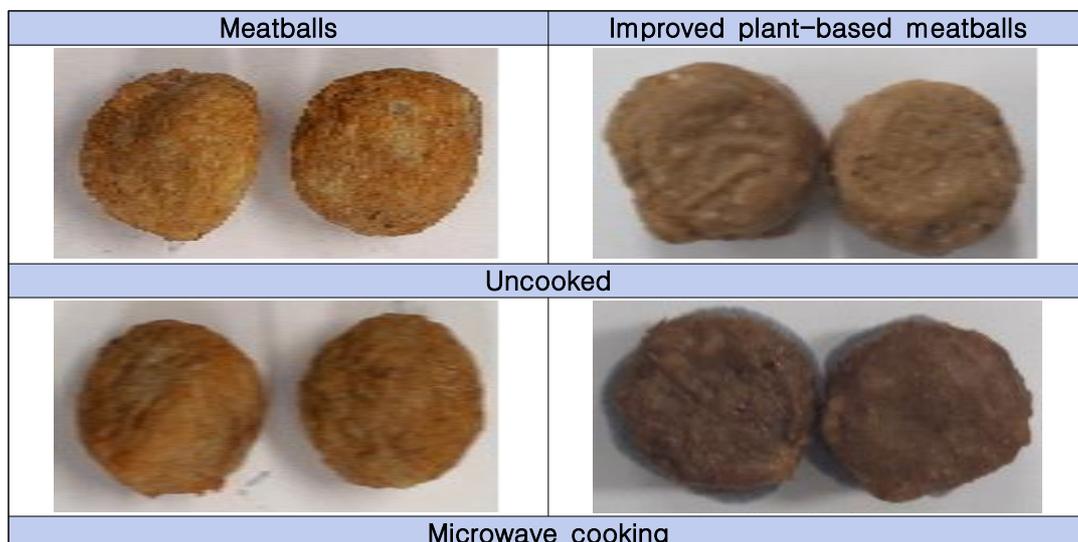
(1) 연구수행 방법

가. 식물성 대체육의 상강도와 관능개선을 위한 식물성 지질의 소재화 및 조리 특성 규명

가) 실험재료

- 실험에 사용되었던 고기 미트볼은 이케아 코리아 유한회사의 이케아 냉동 미트볼을 고기 패티는 라이리틀의 한끼소고기 불고기맛을 구매하여 사용하였다.
- 개선후 식물성 대체육 미트볼과 패티는 신세계 푸드로부터 공급받았다.
- 샘플은 분석 당일까지 -18℃에서 보관되었으며, 분석 당일날 샘플을 진공포장하여 20분간 유수해동하였다.
- 샘플 사진은 아래 Table 73와 74에 나타내었다.

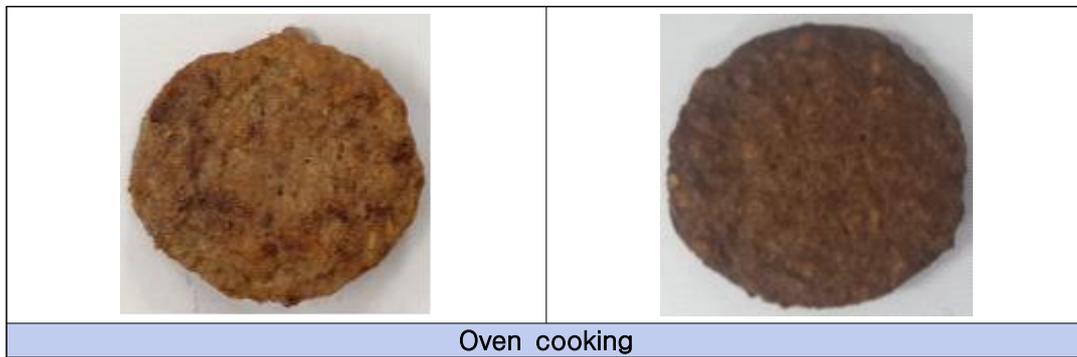
Table 73. Images of animal and plant-based meatballs



	
Pan-grilling cooking	
	
Oven cooking	

Table 74. Images of animal and plant-based patties

Patties	Improved plant-based patties
	
Uncooked	
	
Microwave cooking	
	
Pan-grilling cooking	



나) 실험방법

(가) 전자레인지(Microwave)

- 전자레인지(MW202LW, LG, Seoul, Korea)에 샘플을 전용 용기에 시료를 올려 조리하였다. 미트볼, 패티의 조리 시간은 각각 1분, 1분 30초로 설정하였다.

(나) 팬그릴링(Pan-grilling)

- 후라이팬을 170℃로 예열하여 팬에 시료를 올려 앞, 뒷면에 열을 가하여 조리하였다. 조리 시간은 미트볼과 패티 각각 한 면 당 3분 30초와 4분으로 설정하였다.

(다) 오븐(Oven)

- 전기오븐(KAJ-2020J, Kitchenart, Incheon, Korea)을 5분동안 170℃로 예열한 후 시료를 오븐에 넣어 조리하였다. 미트볼과 패티의 조리 시간은 5분과 8분으로 설정하였다.

(라) Scanning Electron Microscope (SEM)

- 주사전자현미경은 4) - (1) - 가 - 나) - (마)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(마) 전단력(Shear force)

- 전단력은 1) - (1) - 가 - 나) - (사)과 같은 실험방법으로 측정하였다.

(바) Texture profile analysis (TPA)

- TPA는 1) - (1) - 가 - 나) - (아)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(사) pH

- pH는 1) - (1) - 가 - 나) - (자)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(아) 육색(Meat color)

- 육색은 1) - (1) - 가 - 나) - (카)과 같은 실험방법으로 측정하였다.

(자) 가열감량(Cooking loss)

- 가열감량은 1) - (1) - 가 - 나) - (차)과 같은 실험방법으로 측정하였다.

(차) 관능적 특성(Sensory characteristics)

- 관능적 특성은 1) - (1) - 가 - 나) - (타)과 같은 실험방법으로 측정하였다.

(카) 통계분석(Statistical analysis)

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나) - (파)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 식물성 대체육의 상강도와 관능개선을 위한 식물성 지질의 소재화 및 조리 특성 검증을 위한 SEM, 전단력, TPA, 가열감량, pH, 육색, 관능적 특성 분석 결과

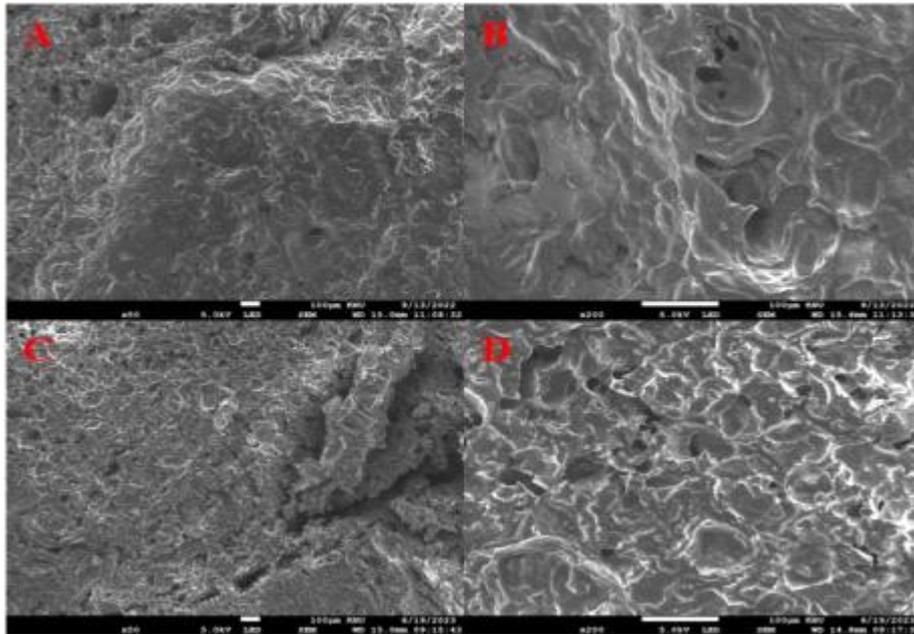


Figure 27. SEM of uncooked animal and plant-based meatballs. (A, Animal-based meatballs (x50); B, Animal-based meatballs (x200); C, Improved plant-based meatballs (x50); D, Improved plant-based meatballs (x200))

- 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 표면을 주사전자현미경으로 측정한 이미지를 Figure 27에 나타내었다.
- 개선된 식물성 대체육 미트볼은 고기 미트볼과 비교하였을 때 다공성의 구조를 갖으며 거친 표면을 나타내었다.

Table 75. Shear force and texture profile analysis (TPA) of animal and improved plant-based meatballs by various cooking methods

Traits		Uncooked	MW	PG	OV	SEM
Shear force (N)	AM	9.86 ^{Ab}	10.64 ^{Aab}	11.32 ^{Aa}	10.99 ^{Aab}	0.290
	IPM	5.92 ^{Bb}	7.65 ^{Ba}	7.94 ^{Ba}	5.21 ^{Bb}	0.204
	SEM	0.267	0.185	0.258	0.282	
Hardness (N)	AM	46.47 ^A	48.87 ^A	49.66 ^A	49.80 ^A	2.233
	IPM	9.22 ^{Bd}	25.86 ^{Bb}	37.96 ^{Ba}	20.29 ^{Bc}	0.511
	SEM	1.127	2.827	0.744	0.821	
Springiness	AM	0.96 ^{Aa}	0.91 ^{Ab}	0.84 ^{Ac}	0.82 ^C	0.011
	IPM	0.71 ^{Ba}	0.46 ^{Bb}	0.41 ^{Bb}	0.74 ^a	0.028
	SEM	0.018	0.019	0.012	0.031	
Gumminess (N)	AM	10.27 ^{Aab}	11.57 ^{Aa}	9.90 ^{Aab}	9.68 ^{Ab}	0.414
	IPM	1.51 ^{Bd}	6.12 ^{Bb}	8.02 ^{Ba}	4.24 ^{Bc}	0.208
	SEM	0.258	0.485	0.165	0.317	
Chewiness (N)	AM	9.86 ^{Aa}	10.20 ^{Aa}	8.76 ^{Aa}	6.93 ^{Ab}	0.420
	IPM	1.08 ^{Bc}	2.84 ^{Bb}	3.38 ^{Ba}	2.63 ^{Bb}	0.108
	SEM	0.246	0.438	0.191	0.295	
Cohesiveness	AM	0.22 ^{Aa}	0.21 ^{Bb}	0.20 ^{bc}	0.20 ^{Bc}	0.002
	IPM	0.17 ^{Bc}	0.24 ^{Aa}	0.21 ^b	0.24 ^{Aa}	0.006
	SEM	0.003	0.003	0.002	0.008	

^{a-d} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean within the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of mean; MW, microwave cooking; PG, pan-grilling cooking; OV, oven cooking; AM, animal-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리 방법에 따른 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 전단력과 TPA 결과는 Table 75에 나타내었다.
- 조리 전 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 전단력은 각각 9.86과 5.92 N으로 고기 미트볼이 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 높았다($p < 0.05$). 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼 모두 팬그릴링 조리 시 조리 전보다 전단력이 유의적으로 증가하였다. 하지만, 조리 방법과 상관없이 전단력은 고기 미트볼이 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 높았다($p < 0.05$).
- 개선된 식물성 대체육 미트볼에서 팬그릴링 조리 방법의 적용은 가장 높은 경도, 검성, 씹힘성을 보여줬다($p < 0.05$). 하지만, 조리 여부 및 방법과 상관없이 경도, 검성, 씹힘성은 고기 미트볼이 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 유의적으로 높았다.
- 탄성 회복력을 나타내는 탄성력은 조리 전 고기 미트볼이 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 높았다($p < 0.05$). 오븐 조리 방법 적용 후 고기 미트볼의 탄성력은 감소하였으며 개선된 식물성 대체육 미트볼과 유의적인 차이가 나타나지 않았다.
- 형상을 유지하고자 하는 힘을 나타내는 응집성은 조리 전 고기 미트볼이 개선된 식물성 대체육 미트볼 보다 높았다($p < 0.05$). 하지만, 조리 후 응집성은 고기 미트볼에서 유의적으로 감소하였고 개선된 식물성 대체육 미트볼에서는 유의적으로 증가하였다. 그 결과 팬그릴링 조리 방법을 적용한 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 응집성은 유의적인 차이가 나타나지 않았다($p < 0.05$).

Table 76. Cooking loss, pH, color of meatballs and improved plant-based meatballs analogues by various cooking methods

Traits		Uncooked	MW	PG	OV	SEM
Cooking loss (%)	AM	–	7.55 ^B	7.64 ^B	7.98 ^B	0.181
	IPM	–	17.89 ^{Aa}	19.22 ^{Aa}	14.73 ^{Ab}	0.379
	SEM	–	0.422	0.264	0.127	
pH	AM	6.28 ^B	6.29 ^B	6.28 ^B	6.28 ^B	0.007
	IPM	6.39 ^{Aa}	6.36 ^{Ab}	6.32 ^{Ac}	6.35 ^{Ab}	0.003
	SEM	0.007	0.003	0.007	0.003	
CIE L*	AM	50.41 ^{Aa}	40.80 ^{Ab}	33.23 ^{Ad}	39.13 ^{Ac}	0.399
	IPM	48.44 ^{Ba}	32.67 ^{Bc}	24.41 ^{Bd}	35.53 ^{Bb}	0.531
	SEM	0.345	0.369	0.484	0.627	
CIE a*	AM	7.92 ^c	9.68 ^b	12.08 ^{Aa}	10.50 ^b	0.289
	IPM	8.42 ^c	9.33 ^b	9.49 ^{Bab}	10.22 ^a	0.201
	SEM	0.258	0.188	0.352	0.150	
CIE b*	AM	21.77 ^a	21.94 ^{Aa}	17.62 ^{Ab}	21.67 ^{Aa}	0.486
	IPM	21.73 ^a	15.22 ^{Bc}	9.48 ^{Bd}	17.48 ^{Bb}	0.476
	SEM	0.563	0.307	0.649	0.305	

^{a-d} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean within the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of mean; ND, not detected; MW, microwave cooking; PG, pan-grilling cooking; OV, oven cooking; AM, animal-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리 방법에 따른 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 가열감량, pH와 색도 측정 결과는 Table 76에 나타내었다.
- 가열감량은 고기 미트볼에서 조리 방법에 따라 차이가 없었지만 개선된 식물성 대체육 미트볼에서 오븐 조리 방법을 적용하였을 때 14.73%로 가장 낮았다($p < 0.05$). 하지만, 조리 방법과 상관없이 고기 미트볼의 가열감량이 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 유의적으로 낮았다.
- 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 조리 전 pH는 각각 6.28과 6.39로 고기 미트볼에서 유의적으로 낮았다. 조리 후 고기 미트볼의 pH는 유의적인 차이가 없었지만 개선된 식물성 대체육 미트볼을 조리하였을 때 감소하였고 특히, 팬그릴링 조리 시 가장 많이 감소하였다($p < 0.05$). 하지만, 조리 전처럼 조리 후에도 개선된 식물성 대체육 미트볼의 pH는 고기 미트볼보다 높았다.
- 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 L*값은 조리 후 감소하였지만, 모든 처리구에서 고기 미트볼이 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 높은 L*값을 보였다($p < 0.05$). 조리 전 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 a*값은 유의적인 차이가 없었으며 전자레인지와 오븐 조리 방법을 적용하였을 때도 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 조리 전 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 b*값은 차이가 없었으나 조리 후 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 고기 미트볼에서 높은 b*값을 나타냈다. 이는 조리 후 개선된 식물성 대체육 미트볼의 b*값이 감소된 결과로 사료된다.

Table 77. Sensory quality characteristics of meatballs and improved plant-based meatballs analogues by various cooking methods

Traits		MW	PG	OV	SEM
Color	AM	7.53 ^A	7.80 ^A	7.33 ^A	0.157
	IPM	6.27 ^{Ba}	5.13 ^{Bb}	6.13 ^{Ba}	0.247
	SEM	0.199	0.219	0.202	
Aroma	AM	7.20 ^A	7.67 ^A	7.27 ^A	0.190
	IPM	4.33 ^B	4.73 ^B	4.07 ^B	0.262
	SEM	0.238	0.240	0.206	
Off-flavor	AM	3.13 ^{Ba}	2.33 ^{Bb}	2.93 ^{Bab}	0.203
	IPM	5.47 ^A	5.20 ^A	6.13 ^A	0.292
	SEM	0.274	0.266	0.211	
Taste	AM	6.80 ^{Ab}	7.73 ^{Aa}	6.73 ^{Ab}	0.204
	IPM	3.73 ^B	4.33 ^B	3.60 ^B	0.264
	SEM	0.273	0.220	0.210	
Tenderness	AM	7.13	6.87 ^A	7.33	0.190
	IPM	6.87	6.13 ^B	7.00	0.286
	SEM	0.236	0.236	0.255	
Juiciness	AM	6.07 ^b	6.73 ^{Aab}	6.87 ^a	0.202
	IPM	6.67	5.73 ^B	6.53	0.301
	SEM	0.259	0.258	0.265	
Overall acceptability	AM	6.93 ^{Ab}	7.80 ^{Aa}	7.00 ^{Ab}	0.156
	IPM	4.33 ^B	4.20 ^B	4.00 ^B	0.287
	SEM	0.220	0.233	0.239	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean within the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of mean; MW, microwave cooking; PG, pan-grilling cooking; OV, oven cooking; AM, animal-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

Color, aroma, taste, tenderness, juiciness, overall acceptability rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very bad and 9 being very good, Off-flavor rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very weak and 9 being very intense.

- 조리 방법에 따른 고기 미트볼과 개선된 식물성 대체육 미트볼의 관능평가 결과는 Table 77에 나타내었다.
- 조리 방법과 상관없이 색, 향, 맛, 종합적 기호도 항목에서 고기 미트볼이 개선된 식물성 대체육 미트볼보다 좋고 이취가 적다고 나타났다($p < 0.05$). 다즙성과 연도는 전자레인지와 오븐 조리 방법에서 고기 미트볼과 개선된 유사분쇄육 미트볼 간의 유의적인 차이가 나타나지 않지만, 팬그릴링 조리 방법을 적용하였을 때 고기 미트볼이 개선된 유사분쇄육 미트볼보다 좋다고 나타났다($p < 0.05$).
- 개선된 유사분쇄육 미트볼은 색을 제외한 모든 항목에서 조리 방법에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았고 팬그릴링 조리 방법을 적용하였을 때 색이 가장 좋지 않다고 나타났다($p < 0.05$).
- 반면, 고기 미트볼에서 팬그릴링 조리 방법은 맛과 종합적 기호도가 가장 좋고 이취가 가장 적다고 나타났다($p < 0.05$).

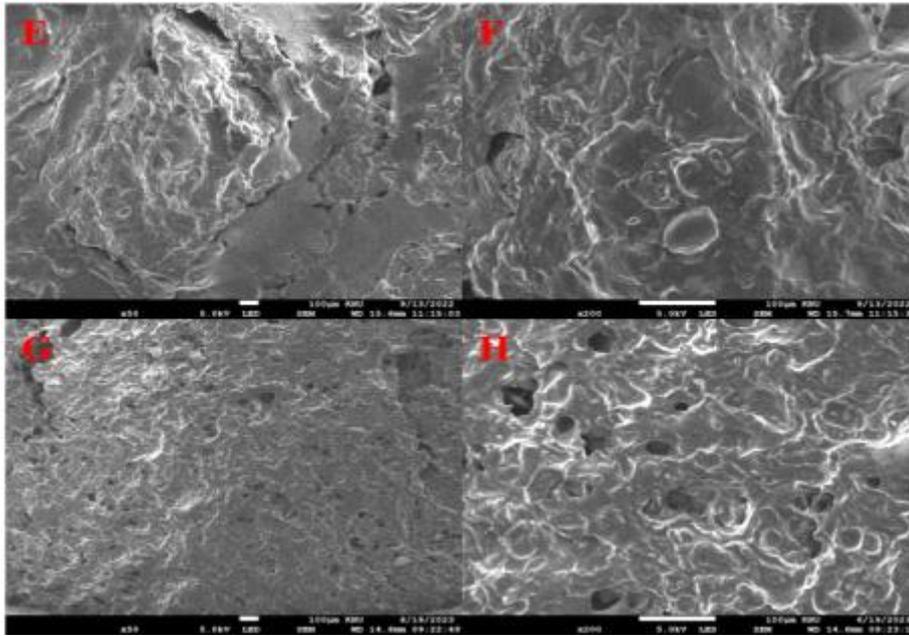


Figure 28. Scanning electron microscope images of uncooked patty and improved plant-based patty. (A, Patty (X50); B, Patty (X200); C, Improved plant-based patty (X50); D, Improved plant-based patty (X200))

- 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 표면을 주사전자현미경으로 측정된 이미지를 Figure 28에 나타내었다.
- 개선된 식물성 대체육 패티는 고기 패티와 비교하였을 때 다공성의 구조를 갖으며 거친 표면을 나타내었다.

Table 78. Shear force and texture profile analysis of animal and plant-based patties by pan-grilling

Traits		Uncooked	MW	PG	OV	SEM
Shear force (N)	AP	7.53 ^{Ac}	9.28 ^{Ab}	11.54 ^{Aa}	9.92 ^{Ab}	0.280
	IPP	4.86 ^{Bc}	4.75 ^{Bc}	6.15 ^{Ba}	5.49 ^{Bb}	0.155
	SEM	0.195	0.223	0.300	0.163	
Hardness (N)	AP	59.55 ^{Ac}	90.38 ^{Aa}	71.55 ^{Ab}	69.93 ^{Ab}	1.231
	IPP	9.39 ^{Bd}	30.15 ^{Bb}	38.55 ^{Ba}	20.82 ^{Bc}	0.363
	SEM	0.207	1.194	0.305	1.315	
Springiness	AP	0.88 ^a	0.82 ^{Bbc}	0.83 ^{ab}	0.78 ^{Bc}	0.012
	IPP	0.87 ^b	0.89 ^{Aa}	0.84 ^c	0.87 ^{Ab}	0.005
	SEM	0.009	0.005	0.007	0.014	
Gumminess (N)	AP	14.15 ^{Ac}	25.36 ^{Aa}	22.24 ^{Ab}	20.38 ^{Ab}	0.806
	IPP	2.08 ^{Bd}	8.71 ^{Bb}	11.71 ^{Ba}	5.77 ^{Bc}	0.248
	SEM	0.124	0.916	0.391	0.645	
Chewiness (N)	AP	12.40 ^{Ac}	20.70 ^{Aa}	18.97 ^{Ab}	17.61 ^{Ab}	0.542
	IPP	1.86 ^{Bd}	7.80 ^{Bb}	9.68 ^{Ba}	4.77 ^{Bc}	0.207
	SEM	0.166	0.701	0.326	0.220	
Cohesiveness	AP	0.25 ^{Ac}	0.27 ^{Bbc}	0.32 ^{Ba}	0.29 ^b	0.006
	IPP	0.23 ^{Bd}	0.29 ^{Ab}	0.33 ^{Aa}	0.28 ^c	0.003
	SEM	0.004	0.003	0.002	0.007	

^{a-d} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean within the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of mean; MW, microwave cooking; PG, pan-grilling cooking; OV, oven

cooking; AP, animal-based patty; IPP, improved plant-based patty.

- 조리 방법에 따른 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 전단력과 TPA 결과는 Table 78에 나타내었다.
- 조리 전 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 전단력은 각각 7.53과 4.86 N으로 고기 패티가 개선된 식물성 대체육 패티보다 높았다($p < 0.05$). 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티는 팬그릴링 조리 방법에서 가장 높은 전단력을 나타냈다($p < 0.05$). 하지만, 모든 조리 방법에서 전단력은 고기 패티가 개선된 식물성 대체육 패티보다 높았다($p < 0.05$).
- 개선된 식물성 대체육 패티에서 팬그릴링 조리 방법의 적용은 가장 높은 경도, 검성, 씹힘성을 보여줬다($p < 0.05$). 하지만, 조리 여부 및 방법과 상관없이 경도, 검성, 씹힘성은 고기 패티가 개선된 식물성 대체육 패티보다 유의적으로 높았다.
- 조리 전 탄력성은 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티 사이에 유의적인 차이가 없었다. 고기 패티에서 전자레인지와 오븐 조리 방법을 적용하였을 때 탄력성은 유의적으로 감소하였고 개선된 식물성 대체육 패티에서 전자레인지 조리 방법을 적용하였을 때 유의적으로 증가하였다. 전자레인지와 오븐 조리 방법을 적용하였을 때 탄력성은 고기 패티보다 개선된 식물성 대체육 패티에서 높았다($p < 0.05$).
- 조리 전 응집성은 고기 패티가 개선된 식물성 대체육 패티보다 유의적으로 높았다. 개선된 식물성 대체육 패티는 조리 후 응집성이 증가하였다($p < 0.05$). 전자레인지와 팬그릴링 조리 방법을 적용하였을 때 고기 패티보다 개선된 식물성 대체육 패티에서 유의적으로 높은 응집성을 나타냈다.

Table 79. Cooking loss, pH, color of patties and improved plant-based patties analogues by various cooking methods

Traits		Uncooked	MW	PG	OV	SEM
Cooking loss (%)	AP	–	12.92 ^a	7.77 ^{Bb}	6.55 ^{Bb}	0.480
	IPP	–	16.00 ^b	21.75 ^{Aa}	13.21 ^{Ab}	1.115
	SEM	–	1.053	0.805	0.672	
pH	AP	6.44 ^a	6.40 ^{Ac}	6.42 ^{Ab}	6.41 ^{Ac}	0.004
	IPP	6.43 ^a	6.38 ^{Bb}	6.26 ^{Bc}	6.38 ^{Bb}	0.004
	SEM	0.005	0.004	0.004	0.003	
CIE L*	AP	44.27 ^{Ba}	35.10 ^{Ab}	36.20 ^{Ab}	35.43 ^{Ab}	0.358
	IPP	46.80 ^{Aa}	26.00 ^{Bc}	25.03 ^{Bc}	29.23 ^{Bb}	0.498
	SEM	0.318	0.481	0.376	0.528	
CIE a*	AP	5.95 ^{Bb}	8.26 ^a	8.06 ^a	7.96 ^{Ba}	0.173
	IPP	7.94 ^{Ab}	7.89 ^b	8.44 ^b	9.41 ^{Aa}	0.228
	SEM	0.116	0.224	0.247	0.200	
CIE b*	AP	15.51 ^{Bb}	16.25 ^{Aab}	17.11 ^{Aa}	15.95 ^{Ab}	0.227
	IPP	21.03 ^{Aa}	11.85 ^{Bc}	10.01 ^{Bd}	14.93 ^{Bb}	0.299
	SEM	0.211	0.356	0.194	0.270	

^{a-d} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean within the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of mean; ND, not detected; MW, microwave cooking; PG, pan-grilling cooking; OV, oven cooking; AP, animal-based patty; IPP, improved plant-based patty.

- 조리 방법에 따른 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 가열감량, pH와 색도 측정 결과는 Table 79에 나타내었다.
- 가열감량은 고기 패티에서 전자레인지 조리 방법보다 팬그릴링과 오븐 조리 방법이, 개선된

식물성 대체육 패티에서 팬그릴링 조리 방법보다 전자레인지와 오븐 조리 방법이 낮았다 ($p < 0.05$). 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 가열감량은 전자레인지 조리 방법을 적용하였을 때 각각 12.92%와 16.00%로 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

- 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 pH는 조리 전 각각 6.44와 6.43으로 유의적인 차이가 없었으나 조리 후 조리 방법과 상관없이 개선된 식물성 대체육 패티보다 고기 패티의 pH가 높았다($p < 0.05$). 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티 모두 조리 후 pH는 유의적으로 감소하였는데 팬그릴링 조리 방법을 적용하였을 때 고기 패티 pH는 6.42로 가장 높았고 개선된 식물성 대체육 패티 pH는 6.26으로 가장 낮았다($p < 0.05$).
- 조리 전 L^* , a^* , b^* 값은 개선된 식물성 대체육 패티가 고기 패티보다 높았다($p < 0.05$). 조리 후 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 L^* 값은 모두 유의적으로 감소하였지만 조리 전과 반대로 고기 패티에서 높은 L^* 값이 관찰되었다($p < 0.05$). 고기 패티는 조리하였을 때 조리 방법과 상관없이 a^* 값이 유의적으로 증가하였지만 개선된 식물성 대체육 패티에서는 전자레인지와 팬그릴링 조리 방법을 적용하였을 때 a^* 값이 유의적으로 변하지 않았다. 이러한 결과 때문에 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티 사이에 a^* 값에 대한 유의적인 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다. 조리 전 b^* 값은 고기 패티보다 개선된 식물성 대체육 패티에서 높았지만($p < 0.05$), 조리 방법과 상관없이 조리 후 개선된 식물성 대체육 패티의 b^* 값이 유의적으로 감소하여서 고기 패티보다 낮은 b^* 값을 나타냈다.

Table 80. Sensory quality characteristics of patties and plant-based patties analogues by various cooking methods

Traits		MW	PG	OV	SEM
Color	PT	AP	6.73 ^A	5.93	0.157
	PPTA	IPP	5.20 ^{Bb}	5.87 ^a	0.247
	SEM	SEM	0.236	0.242	
Aroma	PT	AP	7.07 ^A	6.93 ^A	0.190
	PPTA	IPP	5.47 ^B	5.33 ^B	0.262
	SEM	SEM	0.287	0.259	
Off-flavor	PT	AP	2.40 ^B	2.13 ^B	0.203
	PPTA	IPP	4.80 ^A	4.20 ^A	0.292
	SEM	SEM	0.316	0.259	
Taste	PT	AP	7.27 ^A	7.07 ^A	0.204
	PPTA	IPP	4.27 ^{Ba}	3.20 ^{Bb}	0.264
	SEM	SEM	0.258	0.321	
Tenderness	PT	AP	7.20 ^A	7.07 ^B	0.190
	PPTA	IPP	6.60 ^{Bb}	7.87 ^{Aa}	0.286
	SEM	SEM	0.195	0.232	
Juiciness	PT	AP	6.40	5.73 ^B	0.202
	PPTA	IPP	6.33 ^b	7.27 ^{Aa}	0.301
	SEM	SEM	0.223	0.351	
Overall acceptability	PT	AP	7.07 ^A	6.80 ^A	0.156
	PPTA	IPP	4.20 ^{Ba}	3.13 ^{Bb}	0.287
	SEM	SEM	0.246	0.277	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean within the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of mean; MW, microwave cooking; PG, pan-grilling cooking; OV, oven cooking; AP, animal-based patty; IPP, improved plant-based patty.

Color, aroma, taste, tenderness, juiciness, overall acceptability rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very bad and 9 being very good, off-flavor rated on a scale of 1 to 9,

with 1 being very weak and 9 being very intense.

- 조리 방법에 따른 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 관능평가 결과는 Table 80에 나타내었다.
- 조리 방법과 상관없이 향, 맛, 종합적 기호도 항목에서 고기 패티가 개선된 식물성 대체육 패티보다 좋고 이취가 적다고 나타났다($p < 0.05$). 오븐 조리 방법을 적용하였을 때 고기 패티와 개선된 식물성 대체육 패티의 색은 유의적인 차이가 없었지만, 고기 패티보다 개선된 식물성 대체육 패티가 더 다즙하고 연도가 좋다고 나타났다($p < 0.05$).
- 모든 항목에서 조리 방법에 따른 고기 패티의 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 개선된 식물성 대체육 패티에서 팬그릴링 조리 방법은 맛과 종합적 기호도가 가장 좋다고 평가받았다. 하지만, 개선된 식물성 대체육 패티에서 팬그릴링 조리 방법과 전자레인지 조리 방법은 맛과 종합적 기호도에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

9) 가공여부에 따른 식물성 대체육의 풍미성분 변화 규명

(1) 연구수행 방법

가. 가공여부에 따른 식물성 대체육의 풍미성분 변화 규명

가) 실험재료

- 실험에 사용되었던 고기 미트볼은 이케아 코리아 유한회사의 이케아 냉동 미트볼을 고기 패티는 라이리틀의 한끼소고기 불고기맛을 구매하여 사용하였다.
- 개선전 식물성 대체육 미트볼과 패티, 개선후 식물성 대체육 미트볼과 패티는 신세계 푸드로부터 공급받았다.
- 샘플은 분석 당일까지 -18°C 에서 보관되었으며, 분석 당일날 샘플을 진공포장하여 20분간 유수해동하였다.
- 샘플 사진은 아래 Table 81와 82에 나타내었다.

Table 81. Images of animal and plant-based meatballs

	Uncooked	Pan-grilling
Animal-based meatballs (AM)		
Plant-based meatballs analogues (PM)		
Improved plant-based meatballs analogues (IPM)		

Table 82. Images of animal and plant-based patties

	Uncooked	Pan-grilling
Animal-based patties (AP)		
Plant-based patties analogues (PP)		
Improved plant-based patties analogues (IPP)		

나) 실험방법

(가) 조리방법(Cooking method)

- 해동된 샘플을 170℃로 달궈진 후라이팬을 이용하여 심부 온도가 71℃가 되는 시점을 기준으로 조리하였다.
- 미트볼과 패티의 가열시간은 각각 한 면 당 3분 30초, 4분이었으며 양면을 한번씩 가열하였다.

(나) 유리아미노산 함량(Free amino acid contents)

- 유리아미노산 함량은 2) - (1) - 가 - 나) - (나)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(다) 지방산 조성(Fatty acid composition)

- 지방산 조성은 2) - (1) - 1 - 나) - (다)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(라) 핵산 물질 함량(Nucleotide contents)

- 핵산 물질 함량은 3) - (1) - 가 - 나) - (라)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(마) 휘발성 유기 화합물(Volatile organic compounds)

- 휘발성 유기 화합물은 3) - (1) - 가 - 나) - (마)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(바) 통계분석

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나) - (파)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 가공여부에 따른 식물성 대체육의 풍미성분 변화 규명

Table 83. Free amino acid contents (mg/100g) of animal and plant-based meatballs by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
P-Ser (Phosphoserine)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Tau (Taurine)	AM	7.96 ^A	8.03 ^A	0.045
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.015	0.034	
PEA (Phosphoethanol amine)	AM	0.21 ^A	0.23 ^A	0.016
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.001	0.013	
Urea	AM	3.19 ^A	2.77 ^A	0.262
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.024	0.212	
Asp (Aspartic acid)	AM	0.39 ^B	0.38 ^B	0.004
	PM	0.23 ^C	0.24 ^C	0.006
	IPM	0.63 ^{Aa}	0.52 ^{Ab}	0.026
	SEM	0.010	0.019	
Thr (Threonine)	AM	0.93 ^A	0.93 ^A	0.007
	PM	0.21 ^C	0.21 ^B	0.005
	IPM	0.28 ^B	0.26 ^B	0.013
	SEM	0.006	0.011	
Ser (Serine)	AM	1.04 ^A	1.08 ^A	0.028
	PM	0.21 ^{Cb}	0.23 ^{Ba}	0.003
	IPM	0.32 ^B	0.28 ^B	0.014
	SEM	0.005	0.025	
AspNH2 (Asparagine)	AM	1.33 ^A	1.31 ^A	0.015
	PM	0.31 ^B	0.32 ^B	0.005
	IPM	0.21 ^C	0.18 ^C	0.010
	SEM	0.010	0.012	
Glu (Glutamic acid)	AM	2.23 ^{Cb}	2.44 ^{Ca}	0.049
	PM	20.16 ^B	20.83 ^B	0.339
	IPM	51.69 ^A	45.62 ^A	2.309
	SEM	1.016	1.613	
Sar (Sarcosine)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Gly (Glycine)	AM	1.78 ^A	1.77 ^A	0.020
	PM	0.13 ^{Cb}	0.13 ^{Ca}	0.002
	IPM	0.43 ^B	0.39 ^B	0.019
	SEM	0.011	0.020	
Ala (Alanine)	AM	5.26 ^A	5.26 ^A	0.040
	PM	0.64 ^B	0.66 ^B	0.012
	IPM	0.66 ^B	0.60 ^B	0.030
	SEM	0.010	0.041	
Cit (Citrulline)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.04 ^A	0.04 ^A	0.001
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.001	0.001	

a-ABA (α -amono-n-butyric acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	1.61 ^{Aa}	0.84 ^{Ab}	0.179
	SEM	0.130	0.066	
Val (Valine)	AM	0.86 ^A	0.86 ^A	0.009
	PM	0.35 ^C	0.35 ^C	0.013
	IPM	0.51 ^B	0.50 ^B	0.024
	SEM	0.007	0.022	
Cys (Cysteine)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.10 ^{Aa}	0.07 ^{Ab}	0.006
	SEM	0.004	0.002	
Met (Methionine)	AM	0.38 ^B	0.39 ^B	0.003
	PM	0.09 ^C	0.08 ^B	0.005
	IPM	1.50 ^A	1.37 ^A	0.079
	SEM	0.024	0.060	
Cysthi (Cystathionine)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Ile (Isoleucine)	AM	0.58 ^A	0.58 ^A	0.007
	PM	0.32 ^C	0.29 ^B	0.031
	IPM	0.35 ^B	0.33 ^B	0.016
	SEM	0.007	0.028	
Leu (Leucine)	AM	1.05 ^A	1.07 ^A	0.015
	PM	0.55 ^B	0.49 ^B	0.065
	IPM	0.54 ^B	0.53 ^B	0.028
	SEM	0.022	0.055	
Tyr (Tyrosine)	AM	0.62 ^A	0.62 ^A	0.004
	PM	0.20 ^B	0.19 ^B	0.015
	IPM	0.11 ^C	0.13 ^C	0.025
	SEM	0.021	0.013	
Phe (Phenylalanine)	AM	0.48 ^A	0.49 ^A	0.004
	PM	0.31 ^B	0.28 ^B	0.041
	IPM	0.26 ^B	0.22 ^B	0.016
	SEM	0.014	0.033	
b-Ala (β -Alanine)	AM	0.40 ^A	0.41 ^A	0.004
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.002	0.003	
b-AiBA (β -Amino isobutyric acid)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
g-ABA (γ -Amino-n-butyric acid)	AM	0.26 ^A	0.27 ^A	0.003
	PM	0.14 ^B	0.14 ^B	0.007
	IPM	0.11 ^C	0.10 ^B	0.005
	SEM	0.004	0.007	
Trp (Tryptophan)	AM	0.28 ^{Aa}	0.25 ^{Ab}	0.005
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.003	0.003	
EOHNH2 (Ethanol amine)	AM	0.11 ^{Ab}	0.11 ^{Aa}	0.002
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.000	0.001	

NH ₃	AM	1.59 ^A	1.64 ^A	0.012
	PM	0.30 ^C	0.31 ^C	0.005
	IPM	1.08 ^B	1.05 ^B	0.043
	SEM	0.013	0.035	
Hyls (Hydroxylysine)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Orn (Ornithine)	AM	0.42 ^A	0.43 ^A	0.008
	PM	0.03 ^B	0.02 ^B	0.004
	IPM	0.01 ^B	0.01 ^B	0.001
	SEM	0.006	0.004	
Lys (Lysine)	AM	1.32 ^A	1.32 ^A	0.018
	PM	0.15 ^C	0.14 ^B	0.028
	IPM	0.24 ^B	0.21 ^B	0.013
	SEM	0.017	0.024	
1Mehis (1-Methylhistidine)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
His (Histidine)	AM	0.57 ^A	0.56 ^A	0.005
	PM	0.06 ^C	0.05 ^C	0.009
	IPM	0.20 ^B	0.19 ^B	0.009
	SEM	0.005	0.010	
3Mehis (3-Methylhistidine)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Ans (Anserine)	AM	4.04 ^A	3.93 ^A	0.046
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.006	0.037	
Car (Carnosine)	AM	48.72 ^A	48.64 ^A	0.571
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.179	0.430	
Arg (Arginine)	AM	4.84 ^A	4.87 ^A	0.049
	PM	0.58 ^B	0.61 ^B	0.235
	IPM	1.00 ^B	0.87 ^B	0.045
	SEM	0.134	0.147	
Sweet FAA	AM	9.02 ^A	9.04 ^A	0.072
	PM	1.19 ^C	1.23 ^B	0.018
	IPM	1.68 ^B	1.52 ^B	0.074
	SEM	0.026	0.081	
Bitter FAA	AM	3.36 ^A	3.90 ^A	0.031
	PM	1.62 ^B	1.50 ^B	0.154
	IPM	3.17 ^A	2.95 ^A	0.152
	SEM	0.061	0.168	
Acid FAA	AM	3.18 ^{Cb}	3.38 ^{Ca}	0.045
	PM	20.44 ^B	21.12 ^B	0.346
	IPM	52.52 ^A	46.33 ^C	2.343
	SEM	1.029	1.638	
Umami FAA	AM	2.61 ^C	2.82 ^C	0.048
	PM	20.38 ^B	21.07 ^B	0.235
	IPM	52.32 ^A	46.14 ^A	2.335
	SEM	1.025	1.632	

Total	AM	102.69 ^A	102.25 ^A	0.808
	PM	24.98 ^C	25.64 ^B	0.640
	IPM	61.85 ^B	54.25 ^C	2.685
	SEM	1.097	2.076	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리 전후에 따른 고기 미트볼, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼의 유리 아미노산 분석 결과는 Table 83에 나타내었다.
- 단맛을 나타내는 아미노산의 함량은 조리 전 상태에서 개선후 식물성 미트볼이 개선전 식물성 미트볼보다 유의적으로 많았으나, 조리를 하였을 때 유의적인 차이가 나타나지 않았다.
- 쓴맛과 신맛을 나타내는 아미노산의 함량은 조리 여부와 상관없이 개선후 식물성 미트볼에서 유의적으로 많은 함량을 보였다.
- 우마미 맛을 나타내는 aspartic acid는 조리여부와 상관없이 개선전 식물성 미트볼과 개선후 식물성 미트볼 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 반면, 우마미 맛을 나타내는 glutamic acid의 함량은 개선전 식물성 미트볼보다 개선후 식물성 미트볼에서 유의적으로 적은 함량이 검출되었다. 고기 미트볼과 비교하였을 때 개선전, 개선후 식물성 미트볼 모두 aspartic acid와 glutamic acid 함량이 유의적으로 적었다.
- 단맛, 쓴맛, 우마미 맛을 나타내는 아미노산의 함량은 고기 미트볼이 식물성 미트볼보다 많은 함량을 보였으며, 신맛을 나타내는 아미노산 함량은 고기 미트볼이 식물성 미트볼보다 적은 함량을 보였다($p < 0.05$).
- Anserine과 carnosine은 고기 미트볼에서만 검출되었고 식물성 미트볼에서는 검출되지 않았다.

Table 84. Fatty acid composition (%) of animal and plant-based meatballs by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
C6:0 (Caproic acid)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
C8:0 (Caprylic acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.09 ^B	0.06 ^B	0.017
	IPM	5.82 ^A	5.72 ^A	0.237
	SEM	0.161	0.109	
C10:0 (Capric acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.08 ^B	0.06 ^B	0.017
	IPM	5.93 ^A	5.75 ^A	0.090
	SEM	0.056	0.050	
C12:0 (Lauric acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.13 ^B	0.08 ^B	0.023
	IPM	50.42 ^A	48.58 ^A	0.709
	SEM	0.321	0.482	
C14:0 (Myristic acid)	AM	2.83 ^A	2.90 ^B	0.095
	PM	0.16 ^C	0.13 ^C	0.020
	IPM	18.88 ^A	18.87 ^A	0.833
	SEM	0.555	0.401	
C16:0	AM	25.17 ^A	25.28 ^A	0.893

(Palmitic acid)	PM	10.77 ^B	10.76 ^B	0.058
	IPM	10.84 ^B	10.87 ^B	0.126
	SEM	0.626	0.391	
C16:1 (Palmitoleic acid)	AM	2.86 ^A	2.89 ^A	0.091
	PM	0.11 ^B	0.09 ^B	0.020
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.067	0.037	
C17:0 (Margaric acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.12 ^A	0.10 ^A	0.021
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.016	0.006	
C17:1 (Margaric acid <i>cis</i> -10)	AM	0.00	0.00 ^B	0.000
	PM	0.05	0.06 ^A	0.024
	IPM	0.00	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.017	0.009	
C18:0 (Stearic acid)	AM	17.47 ^A	17.24 ^A	0.720
	PM	4.44 ^B	4.43 ^B	0.005
	IPM	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	SEM	0.433	0.398	
C18:1n7 (Vaccenic acid)	AM	2.19 ^A	1.95 ^A	0.590
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.361	0.319	
C18:1n9t (Elaidic acid)	AM	0.00 ^B	0.00	0.000
	PM	0.06 ^{Aa}	0.00 ^b	0.007
	IPM	0.00 ^B	0.00	0.000
	SEM	0.006	0.000	
C18:1n9c (Oleic acid)	AM	39.67 ^A	40.30 ^A	1.538
	PM	23.40 ^B	23.38 ^B	0.049
	IPM	1.14 ^C	1.60 ^C	0.000
	SEM	1.040	0.714	
C18:2n6c (Linoleic acid)	AM	6.88 ^B	6.68 ^B	0.242
	PM	52.78 ^A	52.74 ^A	0.095
	IPM	5.11 ^C	6.46 ^B	0.139
	SEM	0.259	0.473	
C18:3n6 (γ -Linolenic acid)	AM	0.02	0.02 ^B	0.002
	PM	0.51	0.76 ^A	0.153
	IPM	0.00	0.00 ^B	0.608
	SEM	0.122	0.027	
C20:0 (Arachidic acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.41 ^A	0.44 ^A	0.021
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.010	0.014	
C20:1n9 (Eicosenoic acid)	AM	0.38 ^B	0.37 ^B	0.022
	PM	0.88 ^B	0.93 ^B	0.035
	IPM	1.87 ^A	2.15 ^A	0.000
	SEM	0.131	0.214	
C20:2 (Eicosadienoic acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.07 ^A	0.06 ^A	0.006
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.304
	SEM	0.001	0.004	
C20:3n6 (Dihomo- γ -linolenic acid)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.02	0.00	0.009
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.007	0.000	
C20:5n3 (Eicosapentaenoic acid, EPA)	AM	0.00	0.00	0.000
	PM	0.00	0.00	0.000
	IPM	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	

C22:0 (Behenic acid)	AM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PM	0.15 ^A	0.17 ^A	0.010
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.008	0.002	
C22:4n6 (Adrenic acid)	AM	0.06 ^{Aa}	0.05 ^{Ab}	0.002
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.001	0.001	
C22:6n3 (Docosahexaenoic acid, DHA)	AM	0.08 ^{Aa}	0.07 ^{Ab}	0.002
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.001	0.001	
C18:3n3+C21:0 (α -Linolenic acid+Heneicosanoic acid)	AM	2.11 ^B	2.01 ^B	0.066
	PM	5.77 ^A	5.74 ^A	0.014
	IPM	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	SEM	0.044	0.033	
C23:0+C20:4n6 (Tricosanoic acid+Arachidonic acid)	AM	0.27 ^A	0.25 ^A	0.010
	PM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPM	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.005	0.007	
SFA	AM	45.47 ^B	45.42 ^B	1.688
	PM	16.35 ^C	16.23 ^C	0.163
	IPM	91.88 ^A	89.79 ^A	0.881
	SEM	1.157	1.047	
UFA	AM	54.53 ^B	54.58 ^B	1.688
	PM	83.65 ^A	83.77 ^A	0.163
	IPM	8.12 ^C	10.21 ^C	0.881
	SEM	1.157	1.047	
MUFA	AM	45.12 ^A	45.50 ^A	2.009
	PM	24.50 ^B	24.47 ^B	0.043
	IPM	3.01 ^C	3.75 ^C	0.356
	SEM	1.316	1.021	
PUFA	AM	9.42 ^B	9.08 ^B	0.322
	PM	59.15 ^A	59.30 ^A	0.178
	IPM	5.11 ^C	6.46 ^C	0.608
	SEM	0.321	0.483	
MUFA/SFA	AM	1.00 ^B	1.01 ^B	0.084
	PM	1.50 ^A	1.51 ^A	0.014
	IPM	0.03 ^C	0.04 ^C	0.004
	SEM	0.056	0.043	
PUFA/SFA	AM	0.21 ^{Ba}	0.20 ^{Bb}	0.001
	PM	3.62 ^A	3.65 ^A	0.046
	IPM	0.06 ^B	0.07 ^C	0.007
	SEM	0.036	0.012	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리 전후에 따른 고기 미트볼, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼의 지방산 조성 분석 결과는 Table 84에 나타내었다.
- 고기 미트볼의 주요 지방산은 palmitic acid (C16:0)과 oleic acid (C18:1n9c)로 각각 25.17~25.28%, 39.67~40.30%로 나타났다. 개선전 식물성 미트볼의 주요 지방산은 oleic acid (C18:1n9c)와 linoleic acid (C18:2n6c)로 각각 23.38~23.40%, 52.74~52.74%로 나타났다. 개선후 식물성 미트볼의 주요 지방산은 lauric acid (C12:0)과 myristic acid

(C14:0)로 각각 48.58~50.42%와 18.38~18.87%로 나타났다.

- 조리여부와 상관없이 포화 지방산 조성은 고기 개선후 식물성 미트볼에서 가장 높았으며, 불포화 지방산의 조성은 개선전 식물성 미트볼에서 가장 높았다($p < 0.05$). 단가 불포화 지방산의 조성은 고기 미트볼에서 가장 높았던 반면, 다가 불포화 지방산의 조성은 개선전 미트볼에서 가장 높았다($p < 0.05$).
- 소고기에서 풍미에 대한 관능적 특성을 향상시킨다고 알려진 palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1n9c)를 비교하였을 때 조리여부와 상관없이 palmitic acid (C16:0)는 비조리 상태에서 개선전 식물성 미트볼과 개선후 식물성 미트볼 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 조리여부와 상관없이 stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1n9c)는 개선전 식물성 미트볼과 비교하였을 때 개선후 식물성 미트볼에서 유의적으로 낮은 조성을 보였다. 하지만, 고기 미트볼과 비교하였을 때 palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1n9c)는 고기 미트볼보다 식물성 미트볼에서 낮은 조성을 보였다($p < 0.05$).

Table 85. Nucleotide contents (mg/100g) of animal and plant-based meatballs by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
ATP	AM	3.25 ^A	2.95 ^A	0.121
	PM	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	IPM	1.28 ^B	1.27 ^B	0.003
	SEM	0.091	0.037	
ADP	AM	4.40 ^A	4.11 ^A	0.218
	PM	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	IPM	1.51 ^B	1.49 ^B	0.015
	SEM	0.167	0.064	
AMP	AM	7.64 ^A	6.78 ^A	0.527
	PM	1.85 ^B	2.00 ^B	0.154
	IPM	2.29 ^B	2.19 ^B	0.055
	SEM	0.306	0.330	
IMP	AM	58.52 ^A	55.62 ^A	3.244
	PM	1.25 ^B	1.06 ^C	0.152
	IPM	2.42 ^{Bb}	3.43 ^{Ba}	0.126
	SEM	2.628	0.365	
Inosine	AM	21.24 ^A	20.31 ^A	1.061
	PM	1.08 ^B	1.11 ^B	0.019
	IPM	20.42 ^A	20.21 ^A	0.919
	SEM	0.941	0.655	
Hypoxanthine	AM	8.03 ^A	7.65 ^A	0.481
	PM	1.32 ^B	1.31 ^B	0.082
	IPM	1.95 ^{Ba}	1.78 ^{Bb}	0.033
	SEM	0.371	0.149	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리여부 따른 고기 미트볼, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼의 핵산 함량 측정 결과는 Table 85에 나타내었다.
- 우마미 맛을 나타내는 핵산 물질인 AMP는 조리여부와 상관없이 개선전 식물성 미트볼과 개선후 식물성 미트볼간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 하지만, 우마미 맛을 나타내는

IMP는 조리하였을 때 개선전 식물성 미트볼보다 개선후 식물성 미트볼에서 유의적으로 높은 함량을 나타냈다.

- 쓴맛을 나타내는 핵산 물질인 hypoxanthine은 개선전 식물성 미트볼과 개선후 식물성 미트볼 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다.
- 분석된 모든 핵산 물질은 식물성 미트볼보다 고기 미트볼에서 많은 함량이 검출되었다 ($p < 0.05$).

Table 86. The class of volatile organic compounds (A.U. $\times 10^6$) of animal and plant-based meatballs by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
Acids	AM	21.25 ^A	21.72 ^A	0.447
	PM	0.34 ^{Ca}	0.32 ^{Cb}	0.007
	IPM	2.22 ^B	3.28 ^B	0.388
	SEM	0.316	0.366	
Alcohols	AM	5.31 ^C	5.20 ^C	0.244
	PM	32.17 ^B	32.17 ^A	0.795
	IPM	52.06 ^{Aa}	18.18 ^{Bb}	5.703
	SEM	4.674	0.552	
Aldehydes	AM	0.91 ^{Bb}	1.51 ^{Ca}	0.046
	PM	4.68 ^{Ab}	5.65 ^{Aa}	0.143
	IPM	5.93 ^A	2.84 ^B	0.531
	SEM	0.433	0.126	
Esters	AM	14.55 ^{Bb}	16.81 ^{Aa}	0.364
	PM	18.03 ^{AB}	17.76 ^A	0.545
	IPM	27.28 ^{Aa}	8.25 ^{Bb}	3.121
	SEM	2.573	0.399	
Hydrocarbons	AM	59.42 ^{Bb}	70.54 ^{Ba}	3.290
	PM	147.26 ^A	144.28 ^A	4.559
	IPM	156.64 ^{Aa}	59.12 ^{Bb}	19.233
	SEM	15.800	4.261	
Ketones	AM	0.07 ^C	0.08 ^C	0.013
	PM	7.50 ^{Ab}	8.58 ^{Aa}	0.273
	IPM	2.29 ^{Ba}	0.83 ^{Bb}	0.297
	SEM	0.312	0.106	
Sulfur compounds	AM	28.31 ^A	28.64 ^A	0.708
	PM	17.06 ^B	17.01 ^B	0.361
	IPM	14.21 ^{Ca}	4.03 ^{Cb}	0.580
	SEM	0.666	0.449	
Others	AM	0.22 ^a	0.00 ^{Bb}	0.040
	PM	0.19	0.19 ^B	0.005
	IPM	6.25	8.19 ^A	2.605
	SEM	2.098	0.349	
Total	AM	130.03 ^{Bb}	144.49 ^{Ba}	3.679
	PM	227.22 ^{AB}	225.97 ^A	4.559
	IPM	266.87 ^{Aa}	104.72 ^{Cb}	30.198
	SEM	24.73	4.360	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

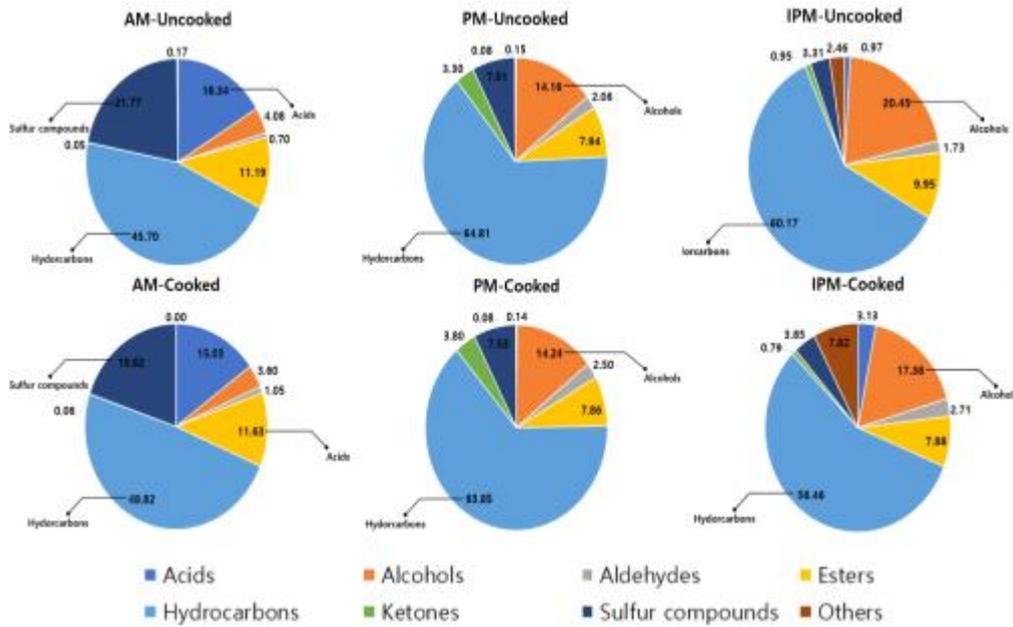


Figure 29. Total VOCs composition of animal and plant-based meatballs by pan-grilling.

- 조리여부 따른 고기 미트볼, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼의 휘발성 유기화합물 측정 결과는 Table 86와 Figure 29에 나타내었다.
- 조리여부와 상관없이 고기 미트볼의 주요 VOCs 클래스는 hydrocarbons, acids, sulfur compounds, 개선전 식물성 미트볼의 주요 VOCs 클래스는 hydrocarbons, alcohols 개선후 식물성 미트볼의 주요 VOCs 클래스는 hydrocarbons, alcohols로 나타났다.
- 조리 전 hydrocarbons과 alcohols의 함량은 개선전 식물성 미트볼보다 개선후 식물성 미트볼에서 많았으며, 조리 후 hydrocarbons과 alcohols의 함량은 개선후 식물성 미트볼보다 개선전 식물성 미트볼에서 많았다($p < 0.05$).
- 조리 전 VOCs 총 함량은 고기 미트볼보다 개선후 식물성 미트볼에서 많았으며($p < 0.05$), 조리 시 개선후 식물성 미트볼의 VOCs 총 함량이 유의적으로 줄어들면서 미트볼 중 가장 적은 VOCs 함량을 보였다.

Table 87. Free amino acid contents (mg/100g) of animal and plant-based patties by pan-grilling

Free amino acid		Uncooked	Pan-grilling	SEM
P-Ser (Phosphoserine)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Tau (Taurine)	AP	4.33 ^{Ab}	4.55 ^{Aa}	0.042
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.030	0.016	
PEA (Phosphoethanol amine)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	

Urea	AP	1.53 ^A	1.48 ^A	0.017
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.007	0.012	
Asp (Aspartic acid)	AP	3.54 ^A	3.53 ^A	0.057
	PP	0.66 ^{Ba}	0.64 ^{Bb}	0.003
	IPP	0.58 ^{Bb}	0.62 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.043	0.017	
Thr (Threonine)	AP	1.68 ^{Ab}	1.82 ^{Aa}	0.017
	PP	0.32 ^B	0.34 ^B	0.008
	IPP	0.25 ^{Cb}	0.31 ^{Ba}	0.006
	SEM	0.012	0.010	
Ser (Serine)	AP	2.05 ^A	2.11 ^A	0.044
	PP	0.38 ^{Bb}	0.42 ^{Ba}	0.007
	IPP	0.29 ^{Bb}	0.32 ^{Ca}	0.003
	SEM	0.033	0.016	
AspNH2 (Asparagine)	AP	2.16 ^A	2.26 ^A	0.065
	PP	0.18 ^{Bb}	0.21 ^{Ba}	0.004
	IPP	0.19 ^{Bb}	0.21 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.038	0.037	
Glu (Glutamic acid)	AP	137.58 ^{Ab}	145.14 ^{Aa}	1.318
	PP	59.57 ^B	59.18 ^B	0.471
	IPP	47.27 ^{Cb}	51.49 ^{Ca}	0.784
	SEM	1.236	0.436	
Sar (Sarcosine)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Gly (Glycine)	AP	2.19 ^A	2.30 ^A	0.029
	PP	0.40 ^B	0.42 ^B	0.006
	IPP	0.40 ^{Bb}	0.45 ^{Ba}	0.006
	SEM	0.018	0.017	
Ala (Alanine)	AP	7.23 ^{Ab}	7.89 ^{Aa}	0.046
	PP	0.93 ^{Bb}	1.03 ^{Ba}	0.009
	IPP	0.60 ^{Cb}	0.72 ^{Ca}	0.005
	SEM	0.009	0.037	
Cit (Citrulline)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
α-ABA (α-amono-n-butyric acid)	AP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	1.08 ^A	0.82 ^A	0.106
	SEM	0.004	0.086	
Val (Valine)	AP	1.82 ^{Ab}	1.94 ^{Aa}	0.018
	PP	0.58 ^{Bb}	0.66 ^{Ba}	0.005
	IPP	0.47 ^{Cb}	0.56 ^{Ca}	0.006
	SEM	0.016	0.005	
Cys (Cysteine)	AP	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	PP	0.04 ^{Bb}	0.04 ^{Ba}	0.001
	IPP	0.08 ^{Aa}	0.06 ^{Ab}	0.001
	SEM	0.001	0.001	

Met (Methionine)	AP	0.53 ^{Cb}	0.56 ^{Ca}	0.004
	PP	1.57 ^{Ab}	1.73 ^{Aa}	0.018
	IPP	1.39 ^{Bb}	1.58 ^{Ba}	0.010
	SEM	0.010	0.014	
Cysthi (Cystathionine)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Ile (Isoleucine)	AP	1.87 ^{Ab}	2.03 ^{Aa}	0.019
	PP	0.48 ^{Cb}	0.55 ^{Ba}	0.005
	IPP	0.33 ^{Bb}	0.39 ^{Ca}	0.005
	SEM	0.014	0.008	
Leu (Leucine)	AP	3.00 ^{Ab}	3.25 ^{Aa}	0.032
	PP	0.77 ^{Bb}	0.87 ^{Ba}	0.011
	IPP	0.51 ^{Cb}	0.59 ^{Ca}	0.006
	SEM	0.025	0.012	
Tyr (Tyrosine)	AP	0.94 ^{Ab}	0.99 ^{Aa}	0.009
	PP	0.23 ^B	0.22 ^B	0.007
	IPP	0.13 ^{Cb}	0.16 ^{Ca}	0.002
	SEM	0.009	0.003	
Phe (Phenylalanine)	AP	1.80 ^{Ab}	2.00 ^{Aa}	0.027
	PP	0.47 ^{Bb}	0.49 ^{Ba}	0.003
	IPP	0.23 ^{Cb}	0.30 ^{Ca}	0.007
	SEM	0.018	0.015	
b-Ala (β-Alanine)	AP	0.50 ^{Ab}	0.53 ^{Aa}	0.005
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.004	0.002	
b-AiBA (β-Amino isobutyric acid)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
g-ABA (γ-Amino-n-butyric acid)	AP	1.12 ^{Ab}	1.19 ^{Aa}	0.011
	PP	0.10 ^{Bb}	0.13 ^{Ba}	0.001
	IPP	0.10 ^B	0.54 ^{AB}	0.288
	SEM	0.009	0.235	
Trp (Tryptophan)	AP	0.38 ^A	0.18	0.072
	PP	0.00 ^B	0.00	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00	0.000
	SEM	0.001	0.059	
EOH ₂ NH (Ethanol amine)	AP	0.16 ^A	0.22 ^A	0.018
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.002	0.015	
NH ₃	AP	2.46 ^{Ab}	2.70 ^{Aa}	0.024
	PP	0.91 ^{Cb}	0.97 ^{Ca}	0.009
	IPP	1.00 ^{Bb}	1.17 ^{Ba}	0.014
	SEM	0.012	0.020	
Hyls (Hydroxylysine)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	

Orn (Ornithine)	AP	0.80 ^{Ab}	0.84 ^{Aa}	0.008
	PP	0.06 ^B	0.05 ^B	0.002
	IPP	0.01 ^C	0.01 ^C	0.001
	SEM	0.006	0.003	
Lys (Lysine)	AP	2.68 ^{Ab}	2.91 ^{Aa}	0.034
	PP	0.30 ^B	0.31 ^B	0.006
	IPP	0.23 ^B	0.24 ^C	0.006
	SEM	0.024	0.016	
1Mehis (1-Methylhistidine)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
His (Histidine)	AP	0.88 ^{Ab}	0.92 ^{Aa}	0.007
	PP	0.09 ^C	0.09 ^C	0.001
	IPP	0.18 ^{Bb}	0.21 ^{Ba}	0.007
	SEM	0.005	0.007	
3Mehis (3-Methylhistidine)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
Ans (Anserine)	AP	4.31 ^{Ab}	4.51 ^{Aa}	0.048
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.037	0.014	
Car (Carnosine)	AP	32.57 ^A	33.77 ^A	0.338
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.265	0.079	
Arg (Arginine)	AP	6.57 ^A	6.86 ^A	0.075
	PP	0.85 ^B	0.89 ^C	0.023
	IPP	0.91 ^{Bb}	1.01 ^{Ba}	0.009
	SEM	0.063	0.012	
Sweet FAA	AP	13.16 ^{Ab}	14.11 ^{Aa}	0.090
	PP	2.02 ^{Bb}	2.21 ^{Ba}	0.014
	IPP	1.53 ^{Cb}	1.81 ^{Ca}	0.020
	SEM	0.050	0.058	
Bitter FAA	AP	9.03 ^{Ab}	9.77 ^{Aa}	0.085
	PP	3.88 ^{Bb}	4.30 ^{Ba}	0.037
	IPP	2.93 ^{Cb}	3.43 ^{Ca}	0.030
	SEM	0.070	0.037	
Acid FAA	AP	141.99 ^{Ab}	149.60 ^{Aa}	1.373
	PP	60.32 ^B	59.91 ^B	0.471
	IPP	48.03 ^{Cb}	52.32 ^{Ca}	0.791
	SEM	1.278	0.433	
Umami FAA	AP	141.11 ^{Ab}	148.68 ^{Aa}	1.366
	PP	60.23 ^B	59.82 ^B	0.472
	IPP	47.85 ^{Cb}	52.11 ^{Ca}	0.790
	SEM	1.274	0.430	
Total	AP	231.65 ^{Ab}	243.50 ^{Aa}	2.184
	PP	68.89 ^B	69.25 ^B	0.548
	IPP	56.24 ^{Cb}	61.78 ^{Ca}	0.936
	SEM	1.856	0.721	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP,

improved plant-based patty.

- 조리 전후에 따른 고기 패티, 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 패티의 유리 아미노산 분석 결과는 Table 87에 나타내었다.
- 단맛과 쓴맛을 나타내는 아미노산 함량은 조리 하였을 때 모든 패티에서 유의적으로 증가하였지만, 가공여부와 상관없이 고기 패티에서 가장 많았고 개선후 식물성 패티에서 가장 적었다 ($p < 0.05$).
- 신맛을 나타내는 아미노산 함량은 조리 여부와 상관없이 고기 패티에서 가장 많았고 개선후 식물성 패티에서 가장 적었다($p < 0.05$).
- 우마미 맛을 나타내는 aspartic acid는 조리여부와 상관없이 개선전 식물성 패티와 개선후 식물성 패티 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 반면, 우마미 맛을 나타내는 glutamic acid의 함량은 조리여부와 상관없이 개선전 식물성 패티보다 개선후 식물성 패티에서 유의적으로 적은 함량이 검출되었다. 고기 패티와 비교하였을 때 개선전, 개선후 식물성 패티 모두 aspartic acid와 glutamic acid 함량이 유의적으로 적었다.
- Anserine과 carnosine은 고기 패티에서만 검출되었고 식물성 패티에서는 검출되지 않았다.

Table 88. Fatty acid composition (%) of animal and plant-based patties by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
C6:0 (Caproic acid)	AP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PP	0.19 ^A	0.20 ^A	0.005
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.002	0.003	
C8:0 (Caprylic acid)	AP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PP	5.63 ^A	5.80 ^A	0.114
	IPP	5.30 ^A	5.67 ^A	0.186
	SEM	0.090	0.154	
C10:0 (Capric acid)	AP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	PP	5.51 ^A	5.68 ^A	0.056
	IPP	5.61 ^A	5.84 ^A	0.115
	SEM	0.078	0.069	
C12:0 (Lauric acid)	AP	0.00 ^B	0.00 ^C	0.000
	PP	46.35 ^A	46.93 ^B	0.203
	IPP	48.16 ^A	50.49 ^A	1.213
	SEM	0.708	0.712	
C14:0 (Myristic acid)	AP	3.70 ^C	3.72 ^B	0.017
	PP	17.49 ^B	17.80 ^A	0.114
	IPP	19.29 ^A	18.95 ^A	0.561
	SEM	0.204	0.421	
C16:0 (Palmitic acid)	AP	30.27 ^A	30.25 ^A	0.122
	PP	9.89 ^C	9.88 ^B	0.035
	IPP	10.74 ^B	9.94 ^B	0.519
	SEM	0.081	0.429	
C16:1 (Palmitoleic acid)	AP	4.80 ^A	4.79 ^A	0.016
	PP	0.00 ^B	0.03 ^B	0.010
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.008	0.013	
C17:0 (Margaric acid)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
C17:1	AP	0.00	0.00	0.000

(Margaric acid <i>cis</i> -10)	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
C18:0 (Stearic acid)	AP	16.78 ^A	16.95 ^A	0.187
	PP	2.61 ^B	2.63 ^B	0.043
	IPP	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	SEM	0.117	0.104	
C18:1n7 (Vaccenic acid)	AP	1.68 ^{Ab}	1.93 ^{Aa}	0.018
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.011	0.010	
C18:1n9t (Elaidic acid)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.05	0.05	0.027
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.016	0.015	
C18:1n9c (Oleic acid)	AP	39.64 ^A	39.42 ^A	0.259
	PP	7.77 ^B	7.45 ^B	0.101
	IPP	1.74 ^C	1.50 ^C	0.306
	SEM	0.293	0.168	
C18:2n6c (Linoleic acid)	AP	2.03 ^B	1.93 ^C	0.042
	PP	4.13 ^{AB}	3.35 ^B	0.295
	IPP	6.55 ^A	5.36 ^A	0.906
	SEM	0.717	0.304	
C18:3n6 (γ -Linolenic acid)	AP	0.07 ^{Ab}	0.07 ^{Aa}	0.001
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.008	0.001	
C20:0 (Arachidic acid)	AP	0.00 ^B	0.00	0.000
	PP	0.10 ^{Aa}	0.00 ^b	0.016
	IPP	0.00 ^B	0.00	0.000
	SEM	0.013	0.000	
C20:1n9 (Eicosenoic acid)	AP	0.16 ^{Ba}	0.14 ^{Bb}	0.004
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	2.62 ^A	2.26 ^A	0.281
	SEM	0.113	0.200	
C20:2 (Eicosadienoic acid)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
C20:3n6 (Dihomo- γ -linolenic acid)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
C20:5n3 (Eicosapentaenoic acid, EPA)	AP	0.06 ^A	0.06 ^A	0.002
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.000	0.002	
C22:0 (Behenic acid)	AP	0.00	0.00	0.000
	PP	0.00	0.00	0.000
	IPP	0.00	0.00	0.000
	SEM	0.000	0.000	
C22:4n6 (Adrenic acid)	AP	0.02 ^{Aa}	0.02 ^{Ab}	0.001
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.000	0.001	
C22:6n3 (Docosahexaenoic acid, DHA)	AP	0.01 ^A	0.01 ^A	0.001

	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.001	0.000	
C18:3n3+C21:0 (α -Linolenic acid+Heneicosanoic acid)	AP	0.63 ^{Aa}	0.57 ^{Ab}	0.007
	PP	0.27 ^B	0.19 ^B	0.032
	IPP	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	SEM	0.018	0.021	
C23:0+C20:4n6 (Tricosanoic acid+Arachidonic acid)	AP	0.15 ^A	0.13 ^A	0.004
	PP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	IPP	0.00 ^B	0.00 ^B	0.000
	SEM	0.001	0.003	
SFA	AP	50.75 ^B	50.92 ^C	0.305
	PP	87.78 ^A	88.93 ^B	0.402
	IPP	89.10 ^A	90.89 ^A	1.315
	SEM	1.094	0.356	
UFA	AP	49.25 ^A	49.08 ^A	0.305
	PP	12.22 ^B	11.07 ^B	0.402
	IPP	10.90 ^B	9.11 ^C	1.315
	SEM	1.094	0.356	
MUFA	AP	46.27 ^A	46.28 ^A	0.281
	PP	7.82 ^B	7.53 ^B	0.090
	IPP	4.36 ^C	3.75 ^C	0.462
	SEM	0.397	0.207	
PUFA	AP	2.98 ^B	2.80 ^B	0.049
	PP	4.40 ^{AB}	3.54 ^B	0.327
	IPP	6.55 ^A	5.36 ^A	0.906
	SEM	0.721	0.316	
MUFA/SFA	AP	0.91 ^A	0.91 ^A	0.011
	PP	0.09 ^B	0.08 ^B	0.001
	IPP	0.05 ^C	0.04 ^C	0.006
	SEM	0.008	0.006	
PUFA/SFA	AP	0.06	0.06 ^{AB}	0.001
	PP	0.05	0.04 ^B	0.004
	IPP	0.07	0.06 ^A	0.011
	SEM	0.009	0.004	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty.

- 조리여부에 따른 고기 패티, 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 패티의 지방산 조성 측정 결과는 Table 88에 나타내었다.
- 고기 패티의 주요 지방산은 palmitic acid (C16:0)와 oleic acid (C18:1n9c)로 각각 30.25~30.27%, 39.64~39.42%로 나타났었다. 개선전 식물성 패티의 주요 지방산은 lauric acid (C12:0)와 myristic acid (C14:0)로 각각 46.35~46.93%, 17.49~17.80%로 나타났었다. 개선후 식물성 패티의 주요 지방산은 lauric acid (C12:0)과 myristic acid (C14:0)로 각각 48.16~50.49%와 18.95~19.29%로 나타났었다.
- 포화지방산 조성은 고기 패티보다 식물성 패티에서 높았으며, 불포화 지방산 조성은 식물성 패티보다 고기 패티에서 높았다($p < 0.05$). 단가 불포화 지방산의 조성은 개선전 식물성 패티가 개선후 식물성 패티보다 유의적으로 높았으며, 다가 불포화 지방산 조성은 개선전 식물성 패티보다 개선후 식물성 패티에서 유의적으로 높았다.

- 소고기에서 풍미에 대한 관능적 특성을 향상시킨다고 알려진 palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1n9c)를 비교하였을 때 palmitic acid (C16:0)는 조리 전 상태에서 개선전 식물성 패티보다 개선후 식물성 패티에서 유의적으로 높았던 반면, 조리 후 유의적인 차이가 나타나지 않았다. Stearic acid (C18:0)와 oleic acid (C18:1n9c)는 개선후 식물성 패티보다 개선전 식물성 패티에서 유의적으로 높았다. 하지만, 고기 패티와 비교하였을 때 palmitic acid (C16:0), stearic acid (C18:0), oleic acid (C18:1n9c)는 고기 패티보다 식물성 패티에서 낮은 조성을 보였다.

Table 89. Nucleotide contents (mg/100g) of animal and plant-based patties by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
ATP	AP	3.10 ^A	3.03 ^A	0.133
	PP	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	IPP	1.31 ^B	1.27 ^B	0.012
	SEM	0.080	0.074	
ADP	AP	3.50 ^A	3.15 ^A	0.181
	PP	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	IPP	1.52 ^B	1.57 ^B	0.033
	SEM	0.096	0.116	
AMP	AP	4.72 ^A	4.28 ^A	0.177
	PP	0.00 ^C	0.00 ^C	0.000
	IPP	2.44 ^B	2.31 ^B	0.092
	SEM	0.023	0.161	
IMP	AP	20.80 ^{Ba}	17.32 ^{Bb}	0.541
	PP	37.94 ^A	48.95 ^A	2.965
	IPP	2.50 ^{Cb}	4.16 ^{Ca}	0.126
	SEM	1.287	2.100	
Inosine	AP	27.33 ^A	29.07 ^A	0.609
	PP	8.63 ^B	9.81 ^C	0.404
	IPP	22.97 ^C	20.75 ^B	1.080
	SEM	0.531	0.923	
Hypoxanthine	AP	9.51 ^{Ab}	10.40 ^{Aa}	0.215
	PP	2.22 ^{Bb}	2.58 ^{Ba}	0.070
	IPP	2.07 ^{Ba}	1.79 ^{Cb}	0.046
	SEM	0.094	0.164	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리여부 따른 고기 패티, 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 패티의 핵산 함량 측정 결과는 Table 89에 나타내었다.
- 우마미 맛을 나타내는 핵산 물질인 AMP는 조리여부와 상관없이 개선전 식물성 패티에서 검출되지 않았던 반면, 개선후 식물성 패티에서는 검출되었다. 하지만, 고기 패티와 비교하였을 때 개선후 식물성 패티의 AMP 함량은 유의적으로 적었다.
- 우마미 맛을 나타내는 핵산 물질인 IMP는 조리 여부와 상관없이 개선전 식물성 패티에서 가장 많았고 개선후 식물성 패티에서 가장 적었다($p < 0.05$).
- 쓴맛을 나타내는 핵산 물질인 hypoxanthine은 조리 전 상태에서 개선전 식물성 미트볼과 개선후 식물성 미트볼 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 하지만, 조리 시 개선전 식물성

패티의 hypoxanthine 함량은 증가하였고 개선 후 식물성 패티의 hypoxanthine 함량은 증가하였다($p < 0.05$). 그 결과 조리 후 hypoxanthine의 함량은 개선 후 식물성 패티보다 개선 전 식물성 패티에서 유의적으로 많은 함량이 검출되었다.

- 분석된 모든 핵산 물질은 식물성 미트볼보다 고기 미트볼에서 더 많은 함량이 검출되었다 ($p < 0.05$).

Table 90. The class of volatile organic compounds (A.U. $\times 10^6$) of animal and plant-based patties by pan-grilling

Class of VOCs		Uncooked	Pan-grilling	SEM
Acids	AP	21.25 ^A	21.72 ^A	0.447
	PP	0.341 ^{aC}	0.317 ^{bC}	0.007
	IPP	2.22 ^B	3.28 ^B	0.506
	SEM	0.412	0.366	
Alcohols	AP	5.31 ^B	5.20 ^C	0.244
	PP	32.17 ^A	32.17 ^A	0.795
	IPP	52.06 ^{aA}	18.18 ^{bB}	8.354
	SEM	6.832	0.552	
Aldehydes	AP	0.91 ^{bB}	1.51 ^{aC}	0.046
	PP	4.68 ^{bA}	5.65 ^{aA}	0.143
	IPP	5.93 ^A	2.84 ^B	1.048
	SEM	0.856	0.126	
Esters	AP	14.55 ^b	16.81 ^{aA}	0.364
	PP	18.03	17.76 ^A	0.545
	IPP	27.28 ^a	8.25 ^{bB}	4.289
	SEM	3.520	0.399	
Hydrocarbons	AP	59.42 ^{bB}	70.54 ^{aB}	3.290
	PP	147.26 ^A	144.28 ^A	4.559
	IPP	156.64 ^{aA}	59.12 ^{bB}	25.418
	SEM	20.824	4.261	
Ketones	AP	0.07 ^C	0.08 ^C	0.013
	PP	7.50 ^{bA}	8.58 ^{aA}	0.273
	IPP	2.29 ^{aB}	0.83 ^{bB}	0.386
	SEM	0.372	0.106	
Sulfur compounds	AP	28.31 ^A	28.64 ^A	0.708
	PP	17.06 ^B	17.01 ^B	0.361
	IPP	14.21 ^{aB}	4.03 ^{bC}	2.491
	SEM	2.087	0.449	
Others	AP	0.22 ^a	0.00 ^{bB}	0.040
	PP	0.19	0.19 ^B	0.005
	IPP	6.25	8.19 ^A	2.605
	SEM	2.098	0.349	
Total	AP	130.03 ^{bB}	144.49 ^{aB}	3.679
	PP	227.22 ^{AB}	225.97 ^A	4.559
	IPP	266.87 ^{aA}	104.72 ^{bC}	42.773
	SEM	34.979	4.360	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

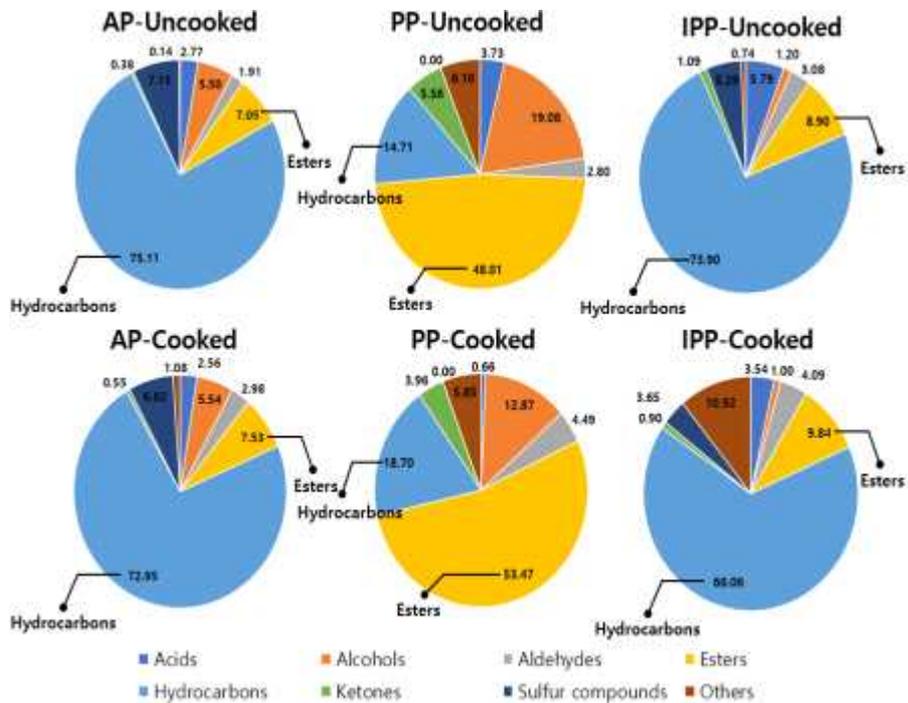


Figure 30. Total VOCs composition of animal and plant-based patties by pan-grilling.

- 조리여부 따른 고기 패티, 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 패티의 휘발성 유기 화합물 클래스 조성 측정 결과는 Table 90와 Figure 30에 나타내었다
- 조리여부와 상관없이 고기 패티의 주요 VOCs 클래스는 hydrocarbons, aldehydes, sulfur compounds, 개선전 식물성 패티의 주요 VOCs 클래스는 esters, hydrocarbons, alcohols 개선후 식물성 패티의 주요 VOCs 클래스는 hydrocarbons, esters로 나타났다.
- 조리여부와 상관없이 개선전 식물성 패티의 esters의 함량은 개선후 식물성 패티보다 개선 전 식물성 패티에서 많았고 hydrocarbons의 함량은 개선전 식물성 패티보다 개선후 식물성 패티에서 많았다($p < 0.05$).
- 조리 전 VOCs 총 함량은 고기 패티에서 가장 많았으며($p < 0.05$), 조리 시 고기 패티의 VOCs 총 함량이 유의적으로 줄어들면서 개선후 식물성 패티의 VOCs 총 함량과 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

10) 조리여부에 따른 식물성 대체육의 영양성분 변화

(1) 연구수행 방법

가. 조리여부에 따른 식물성 대체육의 영양성분 변화 규명

가) 실험재료

- 실험재료는 9) - (1) - 가 - 가)와 같다.

나) 실험방법

(가) 조리방법(Cooking method)

- 조리방법은 9) - (1) - 가 - 나) - (가)와 같다.

(나) 일반성분 및 열량(Proximate composition and calories)

- 일반성분과 열량은 7) - (1) - 가 - 나) - (나)와 같다.

(다) 미네랄 조성(Mineral composition)

- 미네랄 조성은 7) - (1) - 가 - 나) - (다)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(라) 콜라겐 함량(Collagen contents)

- 콜라겐 함량은 7) - (1) - 가 - 나) - (라)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(마) 구성아미노산(Amino acid composition)

- 구성아미노산은 7) - (1) - 가 - 나) - (마)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(바) 통계분석

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나) - (파)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 조리여부에 따른 식물성 대체육의 영양성분 변화 규명

Table 91. Proximate composition (%) and calories (kcal/100g) of animal and plant-based meatballs by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
Moisture	AM	62.88 ^{Aa}	61.79 ^{Ab}	0.058
	PM	55.23 ^{Ba}	49.21 ^{Cb}	0.221
	IPM	53.51 ^C	51.64 ^B	0.279
	SEM	0.163	0.245	
Crude protein	AM	14.55 ^A	14.85 ^B	0.187
	PM	8.88 ^{Bb}	9.81 ^{Ca}	0.218
	IPM	13.97 ^{Ab}	16.58 ^{Aa}	0.474
	SEM	0.245	0.397	
Crude lipid	AM	11.54 ^C	11.35 ^B	0.057
	PM	6.46 ^{Bb}	8.47 ^{Ca}	0.177
	IPM	19.49 ^A	16.84 ^A	0.029
	SEM	0.253	0.267	
Carbohydrate	AM	9.55 ^B	10.42 ^C	0.231
	PM	26.73 ^{Ab}	29.43 ^{Aa}	0.404
	IPM	10.77 ^B	12.10 ^B	0.468
	SEM	0.380	0.433	
Crude ash	AM	1.47 ^C	1.58	0.339
	PM	2.69 ^{Ab}	3.08 ^{Aa}	0.073
	IPM	2.26 ^B	2.85 ^B	0.293
	SEM	0.061	0.051 ^C	
Calories	AM	200.31 ^B	203.26 ^C	0.991
	PM	200.62 ^{Ba}	233.18 ^{Bb}	1.266
	IPM	274.36 ^A	266.23 ^A	2.900
	SEM	1.422	2.304	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리여부에 따른 고기 미트볼, 개선전 식물성 대체육 미트볼, 개선후 식물성 대체육 미트볼의 일반성분 측정 결과는 Table 91에 나타내었다.
- 고기 미트볼의 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 61.79~62.88%, 14.55~14.85%, 11.35~11.54%, 9.55~10.42%, 1.47~1.58%, 개선전 식물성 대체육 미트볼의 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 49.21~55.23%, 8.88~9.81%, 6.46~8.47%, 26.73~29.43%, 2.69~3.08%, 개선후 식물성 대체육 미트볼의 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 51.64~53.51%, 13.97~16.58%, 16.84~19.49%, 10.77~12.10%, 2.26~2.85%로 나타났다.
- 조리 여부와 상관없이 개선후 식물성 대체육 미트볼의 조단백질, 탄수화물, 조회분의 함량은 개선전 식물성 대체육 미트볼보다 유의적으로 적었으나, 조지방 함량은 개선후 식물성 대체육 미트볼보다 유의적으로 많았다.
- 고기 미트볼과 비교하였을 때 수분, 조단백질 함량은 개선후 식물성 대체육 미트볼이 적었고 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 더 많았다($p < 0.05$).

Table 92. Mineral contents (mg/100g) and collagen (g/100g) of animal and plant-based meatballs by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
K	AM	214.15 ^{Cb}	220.05 ^{Ca}	0.268
	PM	242.03 ^B	244.95 ^B	0.956
	IPM	352.63 ^{Ab}	419.700 ^{Aa}	0.353
	SEM	0.700	0.500	
Na	AM	395.87 ^{Cb}	399.65 ^{Ca}	0.867
	PM	682.50 ^{Ab}	702.78 ^{Aa}	1.743
	IPM	554.91 ^{Bb}	662.42 ^{Ba}	0.347
	SEM	1.325	0.796	
Mg	AM	16.23 ^{Cb}	16.80 ^{Ca}	0.055
	PM	40.83 ^{Bb}	43.75 ^{Ba}	0.066
	IPM	56.13 ^{Ab}	70.61 ^{Aa}	0.060
	SEM	0.062	0.059	
Ca	AM	15.33 ^{Ca}	14.58 ^{Cb}	0.078
	PM	78.85 ^{Bb}	84.20 ^{Ba}	0.452
	IPM	94.67 ^{Ab}	114.65 ^{Aa}	0.116
	SEM	0.193	0.335	
P	AM	127.42 ^{Cb}	140.63 ^{Ca}	0.555
	PM	210.65 ^{Ab}	227.55 ^{Aa}	0.552
	IPM	169.72 ^B	170.65 ^B	0.456
	SEM	0.460	0.579	
Fe	AM	1.05 ^{Cb}	1.25 ^{Ba}	0.000
	PM	1.20 ^{Bb}	1.25 ^{Ba}	0.000
	IPM	3.67 ^{Aa}	2.13 ^{Ab}	0.017
	SEM	0.010	0.010	
Collagen	AM	2.46 ^A	2.50 ^A	0.091
	PM	0.48 ^{Bb}	0.50 ^{Ba}	0.007
	IPM	0.49 ^{Ba}	0.39 ^{Bb}	0.011

SEM 0.027 0.071

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different (p<0.05).
^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different (p<0.05).
SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리여부에 따른 고기 미트볼, 개선전 식물성 대체육 미트볼, 개선후 식물성 대체육 미트볼의 미네랄과 콜라겐 함량 측정 결과는 Table 92에 나타내었다.
- 개선전 식물성 대체육 미트볼과 비교하였을 때 개선후 식물성 대체육 미트볼은 조리여부와 상관없이 칼륨, 마그네슘, 칼슘, 철 함량이 많았고 나트륨, 인 함량이 적었다(p<0.05).
- 고기 미트볼과 비교하였을 때 개선후 식물성 대체육 미트볼보다 고기 미트볼에서 칼륨, 나트륨, 마그네슘, 칼슘, 인, 철 함량이 적었다(p<0.05).
- 개선전 식물성 대체육 미트볼과 개선후 식물성 대체육 미트볼의 콜라겐 함량은 유의적인 차이가 없었지만, 고기 미트볼과 비교하였을 때 식물성 대체육 미트볼에서 유의적으로 적은 콜라겐 함량이 나타났다.

Table 93. Amino acid composition (%) of animal and plant-based meatballs by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
Aspartic acid	AM	1.05 ^A	1.13 ^A	0.046
	PM	1.05 ^A	1.13 ^A	0.053
	IPM	0.67 ^{Bb}	0.83 ^{Ba}	0.011
	SEM	0.025	0.053	
Threonine	AM	0.52 ^A	0.49 ^A	0.027
	PM	0.52 ^A	0.51 ^A	0.026
	IPM	0.20 ^{Bb}	0.24 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.029	0.013	
Serine	AM	0.47 ^A	0.52 ^A	0.023
	PM	0.47 ^A	0.52 ^A	0.035
	IPM	0.29 ^{Bb}	0.35 ^{Ba}	0.006
	SEM	0.004	0.034	
Glutamic acid	AM	1.90 ^b	2.59 ^a	0.150
	PM	1.90 ^b	2.63 ^a	0.139
	IPM	2.02 ^b	2.52 ^a	0.008
	SEM	0.055	0.158	
Proline	AM	0.80	0.74	0.107
	PM	0.80	0.74	0.107
	IPM	0.43 ^b	0.54 ^a	0.007
	SEM	0.094	0.080	
Glycine	AM	1.18 ^A	0.79 ^A	0.170
	PM	1.18 ^A	0.80 ^A	0.169
	IPM	0.29 ^{Bb}	0.34 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.186	0.061	
Alanine	AM	0.97 ^A	0.68 ^A	0.103
	PM	0.97 ^A	0.67 ^A	0.104
	IPM	0.28 ^{Bb}	0.33 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.111	0.044	
Valine	AM	0.83 ^{Aa}	0.59 ^{Ab}	0.059
	PM	0.83 ^{Aa}	0.58 ^{Ab}	0.063
	IPM	0.33 ^{Bb}	0.40 ^{Ba}	0.006
	SEM	0.064	0.029	
Isoleucine	AM	0.60 ^A	0.56 ^A	0.025

	PM	0.60 ^A	0.54 ^A	0.031
	IPM	0.31 ^{Bb}	0.39 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.022	0.024	
Leucine	AM	0.96 ^A	0.94 ^A	0.032
	PM	0.96 ^A	0.94 ^A	0.041
	IPM	0.50 ^{Bb}	0.62 ^{Ba}	0.006
	SEM	0.013	0.041	
Tyrosine	AM	0.33 ^{Ab}	0.42 ^{Aa}	0.018
	PM	0.33 ^{Ab}	0.46 ^{Aa}	0.009
	IPM	0.13 ^{Bb}	0.16 ^{Ba}	0.003
	SEM	0.003	0.016	
Phenylalanine	AM	0.60 ^A	0.58 ^A	0.025
	PM	0.60 ^A	0.60 ^A	0.027
	IPM	0.35 ^{Bb}	0.43 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.005	0.030	
Histidine	AM	0.58 ^{Aa}	0.46 ^{Ab}	0.015
	PM	0.58 ^{Aa}	0.46 ^{Ab}	0.024
	IPM	0.27 ^{Bb}	0.34 ^{Ba}	0.005
	SEM	0.006	0.023	
Lysine	AM	0.93 ^A	0.89 ^A	0.030
	PM	0.93 ^A	0.84 ^A	0.037
	IPM	0.38 ^{Bb}	0.47 ^{Ba}	0.009
	SEM	0.024	0.032	
Arginine	AM	0.84 ^A	0.84 ^A	0.043
	PM	0.84 ^A	0.82 ^A	0.041
	IPM	0.44 ^{Bb}	0.56 ^{Ba}	0.007
	SEM	0.015	0.047	
Total	AM	12.57 ^A	12.22 ^A	0.614
	PM	12.57 ^A	12.23 ^A	0.647
	IPM	6.85 ^{Bb}	8.48 ^{Ba}	0.059
	SEM	0.313	0.659	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball.

- 조리여부에 따른 고기 미트볼, 개선전 식물성 대체육 미트볼, 개선후 식물성 대체육 미트볼의 구성아미노산 측정 결과는 Table 93에 나타내었다.
- 조리여부와 상관없이 개선후 식물성 대체육 미트볼의 분석된 모든 필수아미노산(threonine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine, histidine, lysine, arginine) 조성은 고기 미트볼과 개선전 식물성 대체육 미트볼보다 유의적으로 적었다.
- 조리여부와 상관없이 고기 미트볼과 개선전 식물성 대체육 미트볼의 분석된 모든 필수아미노산 조성에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다.
- 조리여부와 상관없이 구성 아미노산의 총량은 개선후 식물성 대체육 미트볼에서 가장 적었으며($p < 0.05$), 고기 미트볼과 개선전 식물성 대체육 미트볼간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

Table 94. Proximate composition (%) and calories (kcal/100g) of animal and plant-based patties by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
Moisture (%)	AP	60.95 ^{Aa}	58.92 ^{Ab}	0.167
	PP	51.92 ^{Ca}	47.82 ^{Cb}	0.326

	IPP	53.69 ^{Ba}	49.65 ^{Bb}	0.168
	SEM	0.194	0.266	
Crude protein (%)	AP	16.94 ^A	17.19 ^A	0.227
	PP	9.27 ^{Cb}	10.62 ^{Ba}	0.344
	IPP	14.00 ^{Bb}	17.68 ^{Aa}	0.681
	SEM	0.342	0.553	
Crude lipid (%)	AP	12.17 ^C	12.38 ^C	0.171
	PP	25.56 ^{Aa}	24.16 ^{Ab}	0.181
	IPP	19.79 ^{Ba}	16.70 ^{Bb}	0.449
	SEM	0.365	0.205	
Carbohydrate (%)	AP	8.09 ^{Cb}	10.02 ^{Ca}	0.291
	PP	11.36 ^{Bb}	14.98 ^{Ba}	0.368
	IPP	16.72 ^{Ab}	21.61 ^{Aa}	0.335
	SEM	0.350	0.314	
Crude ash (%)	AP	1.85 ^{Ba}	1.50 ^{Cb}	0.057
	PP	1.90 ^{Bb}	2.42 ^{Ba}	0.068
	IPP	2.32 ^{Ab}	2.89 ^{Aa}	0.058
	SEM	0.062	0.060	
Calories (kcal/100g)	AP	209.65 ^{Cb}	220.22 ^{Ca}	0.764
	PP	312.53 ^{Ab}	319.83 ^{Aa}	1.737
	IPP	300.98 ^B	307.48 ^B	3.192
	SEM	2.324	1.947	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty.

- 조리여부에 따른 고기 패티, 개선전 식물성 대체육 패티, 개선후 식물성 대체육 패티의 일반 성분 측정 결과는 Table 94에 나타내었다.
- 고기 패티의 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 58.92~60.95%, 16.94~17.19%, 12.17~12.38%, 8.09~10.02%, 1.50~1.85%, 개선전 식물성 대체육 패티의 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 47.82~51.92%, 9.27~10.62%, 24.16~25.56%, 11.36~14.98%, 1.90~2.42%, 개선후 식물성 대체육 패티의 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 49.65~53.69%, 14.00~17.68%, 16.70~19.79%, 16.72~21.61%, 2.32~2.89%로 나타났다.
- 조리여부와 상관없이 개선후 식물성 대체육 패티의 조단백질, 조지방 함량은 개선전 식물성 대체육 패티보다 적었고 수분, 탄수화물, 조회분 함량은 많았다($p < 0.05$).
- 고기 패티와 비교하였을 때 조리여부와 상관없이 개선후 식물성 대체육 패티는 고기 패티보다 수분, 조단백질 함량이 적었고, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량이 많았다($p < 0.05$).

Table 95. Mineral contents (mg/100g) and collagen (g/100g) of animal and plant-based patties by pan-grilling

Traits		Uncooked	Pan-grilling	SEM
K	AP	213.23 ^{Cb}	229.97 ^{Ca}	0.373
	PP	274.18 ^{Bb}	311.33 ^{Ba}	0.538
	IPP	360.90 ^{Ab}	432.65 ^{Aa}	0.579
	SEM	0.566	0.435	
Na	AP	412.00 ^{Cb}	442.57 ^{Ca}	0.992
	PP	469.27 ^{Bb}	533.77 ^{Ba}	0.548
	IPP	570.98 ^{Ab}	669.60 ^{Aa}	1.067

	SEM	0.968	0.824	
Mg	AP	22.40 ^{Cb}	24.72 ^{Ca}	0.159
	PP	40.37 ^{Bb}	47.08 ^{Ba}	0.200
	IPP	63.23 ^{Ab}	71.67 ^{Aa}	0.078
	SEM	0.127	0.177	
Ca	AP	34.73 ^{Cb}	35.75 ^{Ca}	0.094
	PP	63.32 ^{Bb}	75.13 ^{Ba}	0.111
	IPP	104.82 ^{Ab}	120.13 ^{Aa}	0.207
	SEM	0.168	0.200	
P	AP	148.88 ^{Cb}	164.75 ^{Ca}	0.271
	PP	153.63 ^{Bb}	188.02 ^{Ba}	0.224
	IPP	168.65 ^{Ab}	189.98 ^{Aa}	0.634
	SEM	0.460	0.373	
Fe	AP	1.45 ^{Ba}	1.40 ^{Cb}	0.000
	PP	1.35 ^{Cb}	2.17 ^{Ba}	0.012
	IPP	2.42 ^{Ab}	2.92 ^{Aa}	0.017
	SEM	0.010	0.014	
Collagen	AP	2.15 ^A	2.39 ^A	0.086
	PP	0.42 ^{Bb}	0.44 ^{Ba}	0.008
	IPP	0.49 ^{Ba}	0.36 ^{Bb}	0.005
	SEM	0.049	0.051	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty.

- 조리여부에 따른 고기 패티, 개선전 식물성 대체육 패티, 개선후 식물성 대체육 패티의 미네랄과 콜라겐 함량 측정 결과는 Table 95에 나타내었다.
- 개선전 식물성 대체육 패티와 비교하였을 때 개선후 식물성 대체육 패티는 조리여부와 상관없이 칼륨, 나트륨, 마그네슘, 칼슘, 인, 철 함량이 유의적으로 많았다.
- 고기 패티와 비교하였을 때 개선후 식물성 대체육 패티보다 고기 패티에서 칼륨, 나트륨, 마그네슘, 칼슘, 인, 철 함량이 적었다($p < 0.05$).
- 개선전 식물성 대체육 패티와 개선후 식물성 대체육 패티의 콜라겐 함량은 유의적인 차이가 없었지만, 고기 패티와 비교하였을 때 식물성 대체육 패티에서 유의적으로 적은 콜라겐 함량이 나타났다.

Table 96. Amino acid composition (%) of animal and plant-based patties by pan-grilling

Traits		Uncooked	PG	SEM
Aspartic acid	AP	1.04 ^{Aa}	0.83 ^{Ab}	0.052
	PP	1.06 ^{Aa}	0.79 ^{Bb}	0.052
	IPP	0.71 ^{Bb}	0.84 ^{Aa}	0.006
	SEM	0.060	0.008	
Threonine	AP	0.42	0.38	0.084
	PP	0.43 ^a	0.18 ^b	0.061
	IPP	0.19 ^b	0.22 ^a	0.005
	SEM	0.056	0.064	
Serine	AP	0.43 ^{AB}	0.34	0.030
	PP	0.46 ^{Aa}	0.34 ^b	0.027
	IPP	0.30 ^{Bb}	0.35 ^a	0.003
	SEM	0.033	0.005	
Glutamic acid	AP	1.88	1.87 ^B	0.131

	PP	1.86	1.84 ^B	0.122
	IPP	2.09 ^b	2.78 ^{Aa}	0.021
	SEM	0.055	0.137	
Proline	AP	0.48 ^a	0.37 ^{Bb}	0.024
	PP	0.50 ^a	0.36 ^{Bb}	0.017
	IPP	0.46 ^b	0.62 ^{Aa}	0.003
	SEM	0.023	0.007	
Glycine	AP	0.49	0.31 ^B	0.055
	PP	0.52	0.31 ^B	0.076
	IPP	0.31 ^b	0.38 ^{Aa}	0.006
	SEM	0.077	0.006	
Alanine	AP	0.56	0.33 ^B	0.074
	PP	0.55	0.31 ^B	0.080
	IPP	0.30 ^b	0.37 ^{Aa}	0.005
	SEM	0.086	0.005	
Valine	AP	0.53	0.36 ^B	0.048
	PP	0.53	0.35 ^B	0.047
	IPP	0.35 ^b	0.44 ^{Aa}	0.007
	SEM	0.055	0.005	
Isoleucine	AP	0.50	0.35 ^B	0.043
	PP	0.49	0.34 ^B	0.041
	IPP	0.34 ^b	0.39 ^{Aa}	0.006
	SEM	0.049	0.005	
Leucine	AP	0.80	0.56 ^B	0.074
	PP	0.81	0.53 ^B	0.078
	IPP	0.55 ^b	0.65 ^{Aa}	0.009
	SEM	0.088	0.008	
Tyrosine	AP	0.28	0.13 ^B	0.070
	PP	0.30	0.28 ^A	0.066
	IPP	0.14	0.14 ^B	0.003
	SEM	0.078	0.006	
Phenylalanine	AP	0.50	0.39 ^B	0.029
	PP	0.50 ^a	0.38 ^{Bb}	0.029
	IPP	0.38 ^b	0.46 ^{Aa}	0.006
	SEM	0.033	0.005	
Histidine	AP	0.49 ^a	0.39 ^{Ab}	0.021
	PP	0.45 ^a	0.28 ^{Bb}	0.019
	IPP	0.31 ^b	0.37 ^{Aa}	0.003
	SEM	0.022	0.006	
Lysine	AP	0.79	0.48 ^A	0.109
	PP	0.77	0.42 ^B	0.115
	IPP	0.39 ^b	0.47 ^{Aa}	0.005
	SEM	0.129	0.009	
Arginine	AP	0.71 ^{Aa}	0.53 ^{Bb}	0.043
	PP	0.71 ^A	0.54 ^B	0.047
	IPP	0.46 ^{Bb}	0.59 ^{Aa}	0.006
	SEM	0.052	0.007	
Total	AP	9.92	7.62 ^B	0.791
	PP	9.94	7.24 ^B	0.776
	IPP	7.28 ^b	9.07 ^{Aa}	0.040
	SEM	0.889	0.174	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different (p<0.05).

^{A-B} Mean with the same column with different letters are significantly different (p<0.05).

SEM, standard error of the mean; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty.

- 조리여부에 따른 고기 패티, 개선전 식물성 대체육 패티, 개선후 식물성 대체육 패티의 구성 아미노산 측정 결과는 Table 96에 나타내었다.
- 조리전 arginine을 제외한 분석된 모든 필수아미노산은 모든 패티에서 유의적인 차이가 없었으며, arginine은 고기 패티와 개선전 식물성 대체육 패티보다 개선후 식물성 대체육 패티에서 유의적으로 낮은 조성을 보였다.
- 조리후 threonine을 제외한 분석된 모든 필수아미노산은 개선전 식물성 대체육 패티보다 개선후 식물성 대체육 패티에서 유의적으로 높은 조성을 보였으며, threonine은 모든 패티에 성 용적인 차이가 나타나지 않았다.
- 조리전 구성 아미노산의 총량은 모든 패티에서 유의적인 차이가 없었으며, 조리후 개선후 식물성 대체육 패티에서 가장 많은 함량을 보였다.

11) 식물성 대체육의 관능 특성 및 풍미 성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명

(1) 연구수행 방법

가. 식물성 대체육 가공 전후 pH, 육색, 육즙감량, 미생물, 산가, TBARS, 관능평가 결과

가) 실험재료

- 실험에 사용된 개선후 식물성 대체육 패티는 신세계 푸드로부터 공급 받았으며 상업용 식물성 대체육 패티는 비온드 미트의 비온드 버거 패티를 구입하여 사용하였다.
- 개선후 식물성 대체육 패티와 상업용 식물성 대체육 패티는 분석 전날까지 -18°C 에서 보관되었다.
- 실험에 사용된 소고기 패티는 2등급 한우 우둔살, 우지방, 소금, ascorbic acid를 이용하여 만들었으며, 사용된 우둔살과 우지방은 춘천 소재 식육 판매점으로부터 구입하였다.
- 우둔살의 지방과 결체조직을 제거하였고 우지방과 함께 -18°C 에서 보관하였다.
- 분석 전날 냉동된 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티, 상업용 식물성 대체육 패티, 우둔살과 우지방을 4°C 에서 16시간 동안 해동시켰다.
- 해동된 우둔살은 5mm, 우지방은 3mm의 직경의 헤드커터를 이용하여 분쇄기 (THMGF350A, Tenfly, Germany)로 분쇄하였고 소고기 패티의 원료로 이용하였다.
- 실험에 사용된 소고기 패티(Control)와 ascorbic acid가 첨가된 소고기 패티(Positive control)를 제조하기 위해 Table 97과 같은 비율로 재료를 반죽기(SKPM50, KitchenAid, USA)에 넣고 5분간 혼합한 후 90g의 반죽을 직경 90mm, 높이 15mm의 페트리디쉬를 이용하여 성형하였다.

Table 97. The mixing ratio of control and positive control

Ingredients (%)	Control	Positive control
Beef round	83.89	83.98
Beef back at	15	15
Salt	1.11	1.11
Ascorbic acid	Not add	0.05

- 성형 후 비조리 상태의 Control, Positive control, 개선된 식물성 대체육 패티, 상업용 식물성 대체육 패티는 스티로폼 트레이에 2개씩 올려 선상저밀도 폴리에틸렌(LDD-PE)포

장재를 사용하여 함기포장한 후 4°C에서 15일 동안 저장하였다.

- 저장 1, 6, 9, 12, 15일차에 샘플을 꺼내 당일에 분석에 이용하였다.
- 저장 기간에 따른 비조리 패티 샘플 사진은 Table 98에 나타내었다.
- 성형 후 조리한 Control, Positive control, 개선된 식물성 대체육 패티, 상업용 식물성 대체육 패티 또한 비조리 패티와 같은 방법으로 함기포장 한 후 4°C에서 20일 동안 저장하였다.
- 저장 1, 10, 15, 20일차에 샘플을 꺼내 당일에 분석에 이용하였다.
- 저장 기간에 따른 조리 패티 샘플 사진은 Table 99에 나타내었다.

Table 98. Images of uncooked beef and plant-based meat patty during cold storage

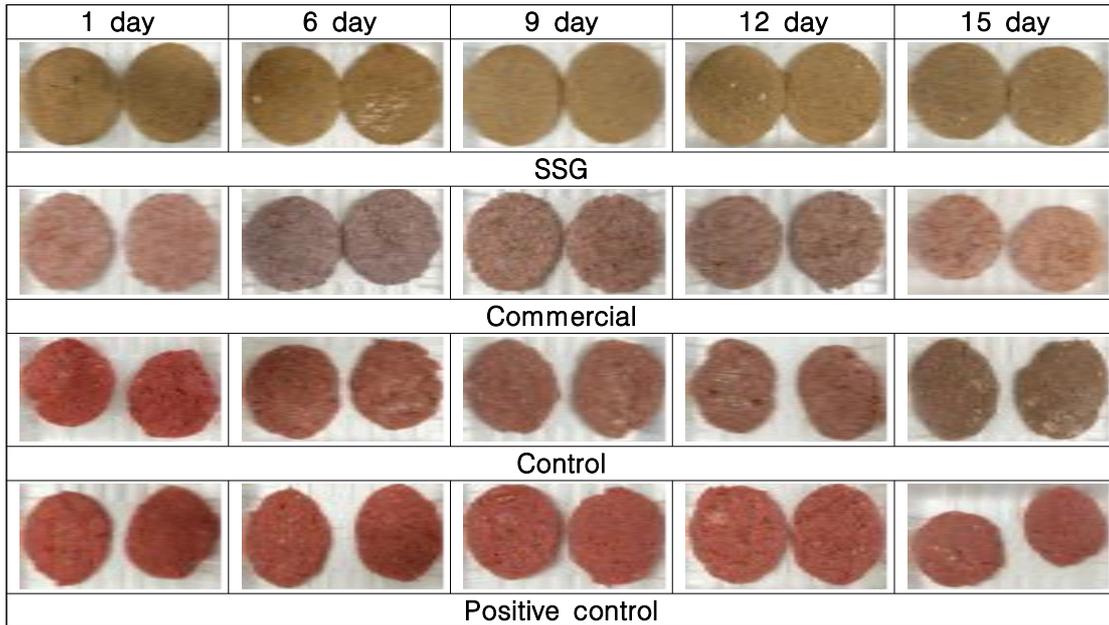
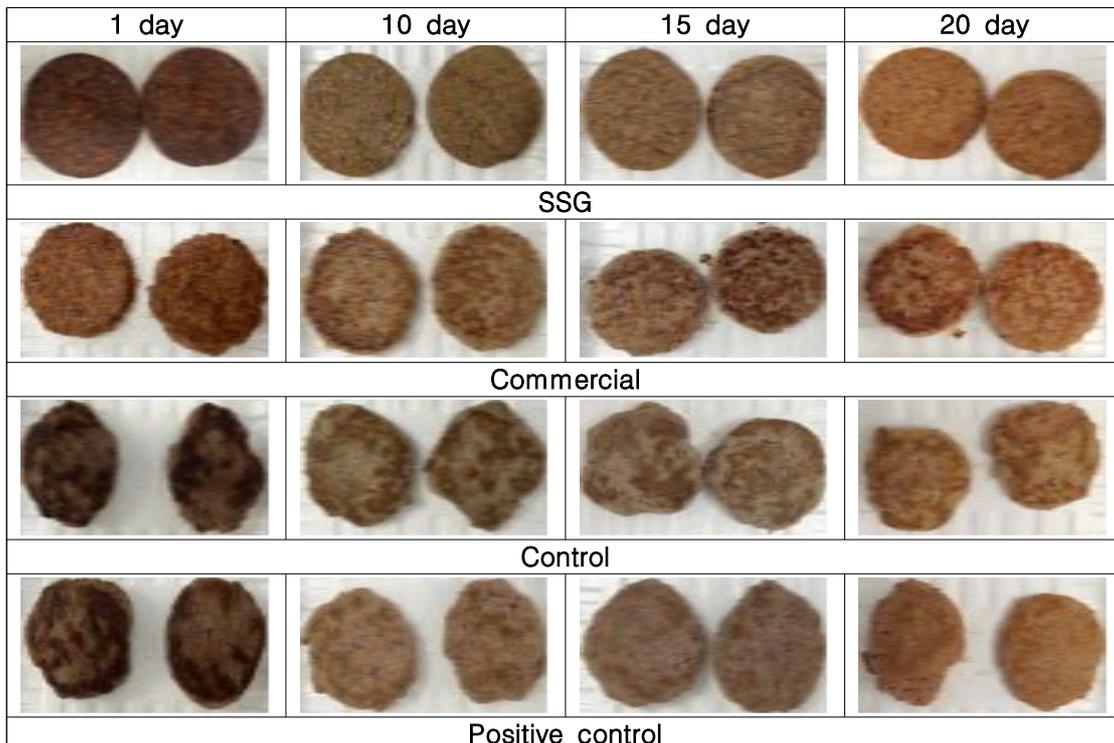


Table 99. Images of cooked beef and plant-based meat patty during cold storage



나) 실험방법

(가) 조리방법(Cooking method)

- 패티 조리는 성형 후 180℃로 달궈진 후라이팬을 이용하여 양면을 한 번씩 조리하였으며, Control과 Positive control은 한 면당 6분 15초, 신세계 푸드의 개선된 식물성 대체육 패티는 한 면당 3분 15초, 상업용 식물성 대체육 패티는 한 면당 8분 동안 열을 강해 심부온도가 71℃가 도달하게 하였다.

(나) 일반성분

- 일반성분 측정은 7) - (1) - 가 - 나) - (나)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(다) 가열감량

- 가열감량은 1) - (1) - 가 - 나) - (차)과 같은 실험방법으로 측정하였다.

(라) pH

- pH 측정은 1) - (1) - 가 - 나) - 9)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(마) 육색(Meat color)

- 육색은 1) - (1) - 가 - 나) - 11)과 같은 실험방법으로 측정하였다.

(바) 육즙감량(Drip loss)

- 육즙감량(Drip loss)은 각 시료에 대한 포장 전 무게와 포장 개봉 후 무게를 측정하였으며 다음의 식을 통하여 감량(%)을 구하였다.
- 육즙감량(%) = $\frac{\text{포장 전 시료무게(g)} - \text{포장 후 시료무게(g)}}{\text{포장 전 시료무게(g)}} \times 100$

(사) 미생물(Microbial analysis)

- 총균수와 대장균/대장균군은 Petrifilm (Aerobic Count Plates, Coliform/E.coli Count Plates, 3M, USA)을 이용하여 측정하였다. 시료 10g을 채취한 다음 멸균 생리 식염수 90mL과 함께 멸균 bag에 넣고, stomacher (BagMixer 400; Interscience, France)를 이용하여 1분 동안 균질화하였다. 균질액을 멸균 생리 식염수로 희석하여 Petrifilm에 1mL를 접종하였다. Petrifilm은 37℃에서 48시간 배양 한 후, 균락 수를 계수하여 나타내었다.

(아) 산가(Acid value)

- 산가 측정은 식품공전 방법(2023)을 이용하여 유지를 추출한 후 측정하였다.
- 시료 10g을 삼각플라스크에 취한 후 에테르 100ml을 넣고 650rpm으로 2시간 동안 반응시켰다. 반응 후 샘플이 유출되지 않도록하여 Whatman No1로 여과하고 다시 50ml의 에테르 삼각 플라스크에 넣어 30초 동안 흔들어서 섞은 후 반복 여과하였다. 여액을 분별깔대기에 옮기고, 70ml의 증류수를 넣어 30초간 격렬하게 흔든 후 하층액을 버렸으며 이 조작을 2회 반복하였다. 에테르층을 분취하여 무수황산나트륨으로 탈수한 후, 질소가스를 이용하여 40℃의 수욕상에서 감압하여 에테르를 완전히 날려 유지를 추출하였다.

- 유지 검체 2g을 에탄올:에테르 혼합액(1:2) 100ml과 혼합하여 실온에서 10분간 정치시켰다. 이후 1% 페놀프탈레인 시약 50 μ l를 첨가한 후 엷은 홍색이 30초간 지속될 때까지 0.1N 에탄올성 수산화칼륨용액으로 적정하였다.
- 공시험은 에탄올:에테르 혼합액(1:2)를 이용하였으며 다음과 같은 식을 통하여 산가를 구하였다.
- 산가(mg/g)=5.611 x [검체에 대한 0.1N 에탄올성 수산화칼륨용액의 소비량(ml)-공시험에 대한 0.1N 에탄올성 수산화칼륨용액의 소비량(ml)] x 0.1N 에탄올성 수산화칼륨용액의 역가/검체의 채취량

(자) TBARS(thiobarbituric acid reactive substances)

- 시료 5g에 증류수 15ml과 7.2% BHA 50 μ l을 가하여 균질하였다. 균질액 1ml에 2ml의 TCA/TBA 시약(+TBA)을 가하여 혼합 후 90 $^{\circ}$ C에서 15분간 가열하였다. 가열 후 찬물에서 식힌 다음 2,000xg의 속도로 10분간 원심분리하였다. 상층액을 UV/VIS spectrophotometer (Molecular Device, M2e, Sunnyvale, CA, USA) 를 이용하여 440, 532, 600nm에서 측정하였고, 공시험은 균질물에 TBA가 첨가되지 않은 TCA 시약을(-TBA) 사용하였다. TBARS 값은 아래와 같은 공식을 이용하였고 mg of malondialdehyde/kg of sample로 나타내었다.
- $[(Abs_{532+TBA})-(Abs_{600+TBA})-(Abs_{532-TBA}-Abs_{600-TBA})]=A$
- $[(Abs_{440+TBA}-Abs_{600+TBA})0.0571]=B$
- $MDA\ equivalents(nmol/ml)=(A-B/157000)10^6$

(차) 관능평가(Sensory evaluation)

- 관능적 특성은 1) - (1) - 가 - 나) - 12)와 같은 실험방법으로 측정하였다.

(카) 통계분석(Statistical analysis)

- 통계분석은 1) - (1) - 가 - 나)와 같다.

(2) 연구수행 결과

가. 가. 식물성 대체육 가공 전 지질 안정성 평가

Table 100. Proximate composition (%) and cooking loss (%) of uncooked beef and plant-based meat patty

Items	SSG	Commerical	Control	Positive control	SEM
Moisture	53.17 ^c	60.55 ^b	63.19 ^a	63.49 ^a	0.269
Crude protein	13.85 ^b	14.25 ^b	19.40 ^a	18.36 ^a	0.518
Crude lipid	19.84 ^a	15.54 ^b	16.01 ^b	15.69 ^b	0.347
Carbohydrate	10.81 ^a	8.14 ^b	0.79 ^c	0.80 ^c	0.613
Crude ash	2.33 ^a	1.52 ^c	1.72 ^{bc}	1.91 ^c	0.071
Cooking loss	15.52 ^c	22.68 ^b	28.51 ^a	29.18 ^a	0.211

^{a-c} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

- 비조리 패티의 일반성분과 가열감량 측정 결과는 Table 100에 나타내었다.
- 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티에서는 53.17%, 13.85%, 19.84%, 10.81%, 2.33%, 상업용 식물성 대체육 패티에서는 60.55%, 14.25%, 15.54%, 8.14%, 1.52%, 소고기 패티에서는 63.19%, 19.40%, 16.01%, 0.79%, 1.72%, ascorbic acid를 첨가한 소고기 패티는 63.49%, 18.36%, 15.69%, 0.80%, 1.91%로 나타났다.
- 수분과 조단백질 함량은 식물성 대체육 패티와 비교하였을 때 소고기 패티인 Control과 Positive control에서 유의적으로 높았으며, 탄수화물 함량은 식물성 대체육 패티에서 유의적으로 높은 함량이 나타났다.
- 조지방 함량은 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티가 가장 많았으며($p < 0.05$), 상업용 식물성 대체육 패티, Control, Positive control에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.
- 가열감량은 소고기 패티와 비교하였을 때 식물성 대체육 패티가 유의적으로 낮았으며, 신세계 식물성 패티에서 가장 낮은 값이 나타났다($p < 0.05$).

Table 101. The pH, color, Drip loss of uncooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)					SEM
		1	6	9	12	15	
pH	SSG	6.35 ^{Bb}	6.38 ^{Ba}	6.33 ^{Bc}	6.29 ^{Bd}	6.29 ^{Bd}	0.004
	Commercial	7.06 ^A	7.00 ^A	7.02 ^A	7.05 ^A	7.00 ^A	0.021
	Control	5.55 ^{Cc}	5.64 ^{Ca}	5.63 ^{Ca}	5.60 ^{Cb}	5.55 ^{Dc}	0.004
	Positive control	5.48 ^{Cd}	5.61 ^{Da}	5.60 ^{Dab}	5.57 ^{Dc}	5.59 ^{Cab}	0.003
	SEM	0.023	0.006	0.005	0.006	0.004	
L*	SSG	52.59 ^{Aa}	48.56 ^{Ab}	48.69 ^{Ab}	48.59 ^{Bb}	48.72 ^{Ab}	0.552
	Commercial	49.52 ^B	49.40 ^A	48.90 ^A	50.34 ^A	49.63 ^A	0.485
	Control	43.36 ^{Dab}	42.26 ^{Bab}	44.35 ^{Ba}	42.50 ^{Dbc}	41.50 ^{Bc}	0.403
	Positive control	45.41 ^{Ca}	43.69 ^{Ba}	44.76 ^{Ba}	44.17 ^{Ca}	40.41 ^{Bb}	0.550
	SEM	0.470	0.449	0.666	0.404	0.476	
a*	SSG	7.90 ^{Ca}	7.26 ^{Db}	7.09 ^{Dbc}	7.04 ^{Dbc}	6.66 ^{Cc}	0.135
	Commercial	13.31 ^{Ba}	11.68 ^{Cb}	11.24 ^{Cbc}	10.65 ^{Ccd}	10.43 ^{Bd}	0.165
	Control	27.24 ^{Aa}	17.95 ^{Bb}	15.55 ^{Bc}	13.41 ^{Bd}	10.36 ^{Be}	0.250
	Positive control	26.57 ^{Aa}	24.95 ^{Ab}	25.62 ^{Aab}	23.27 ^{Ac}	21.40 ^{Ad}	0.233
	SEM	0.202	0.199	0.163	0.161	0.264	
b*	SSG	22.32 ^A	24.11 ^A	20.20 ^A	20.18 ^A	19.72 ^A	1.722
	Commercial	11.85 ^C	11.39 ^B	11.83 ^D	11.75 ^C	12.04 ^C	0.235
	Control	16.01 ^{Ba}	13.04 ^{Bb}	12.99 ^{Cb}	12.42 ^{Cc}	12.53 ^{Cbc}	0.171
	Positive control	16.38 ^{Ba}	15.36 ^{Bb}	15.77 ^{Bb}	14.52 ^{Bc}	13.52 ^{Bd}	0.139
	SEM	0.268	1.914	0.182	0.186	0.166	
Drip loss (%)	SSG	0.00 ^c	0.00 ^{Bc}	0.20 ^{ABb}	0.41 ^{Ba}	0.14 ^{bc}	0.035
	Commercial	0.00	0.13 ^{AB}	0.10 ^B	0.05 ^C	0.31	0.032
	Control	0.00	0.31 ^{AB}	0.71 ^{AB}	0.58 ^B	0.56	0.289
	Positive control	0.00 ^b	0.44 ^{Aab}	1.00 ^{Aab}	1.02 ^{Aab}	1.44 ^a	0.246
	SEM	0.000	0.090	0.199	0.083	0.357	

^{a-e} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-D} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive

control, beef patty with ascorbic acid.

- 저장기간에 따른 비조리 패티의 pH, 육색, 드립로스 측정 결과는 Table 101에 나타내었다.
- 저장 1일차에서 Positive control의 pH는 5.48로 Control보다 낮았다($p < 0.05$). Control은 저장 6일과 9일차에 가장 높은 pH를 보였으나 저장기간이 길어짐에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였다. 신세계 식물성 대체육 패티는 6일차에 pH가 증가하였으나 15일차까지 유의적으로 감소하였다. 반면, 상업용 식물성 대체육 패티는 저장기간에 따른 pH의 변화가 나타나지 않았다. pH는 모든 저장 일차에서 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티에서 유의적으로 낮았다.
- 모든 저장 일차에서 L*값은 식물성 대체육 패티가 고기 패티보다 높은 값을 보였다($p < 0.05$). 상업용 패티의 L*값은 저장기간에 따라 유의적인 변화가 없었지만, 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티, Control, Positive control은 저장기간이 증가함에 따라 L*값이 감소하였다($p < 0.05$).
- 저장 1일차에 소고기 패티가 식물성 대체육 패티보다 높은 a*값을 나타냈다($p < 0.05$). 모든 처리구에서 a*값은 저장기간이 증가함에 따라 유의적으로 감소하였으며, 저장 15일차에 Control과 상업용 식물성 대체육 패티의 a*값에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 또한, 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 저장 1일차와 동일하게 저장 15일차에도 가장 낮은 a*값을 보였다($p < 0.05$).
- 저장 1일차에 소고기 패티의 b*값은 상업용 식물성 대체육 패티보다 높았고 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티보다 낮았다($p < 0.05$). 저장기간에 따라 b*값은 소고기 패티에서 유의적으로 감소하였지만, 식물성 대체육 패티의 b*값은 유의적인 변화가 나타나지 않았으며, 모든 일차에서 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 모든 처리구에서 가장 높은 b*값을 보였다($p < 0.05$).
- 저장 1일차에 모든 패티들의 드립로스는 없었다. Positive control의 경우 저장 기간이 길어짐에 따라 드립로스가 증가하였고 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 저장 12일까지 드립로스가 증가하였다($p < 0.05$). 반면, Control과 상업용 식물성 대체육 패티의 드립로스는 저장기간에 따른 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

Table 102. Microorganisms of uncooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)					SEM
		1	6	9	12	15	
Total aerobic bacteria (log CFU/g)	SSG	3.62 ^B	3.67 ^B	3.67 ^C	3.53 ^B	3.68 ^C	0.095
	Commercial	4.26 ^A	4.00 ^A	3.99 ^B	3.96 ^B	4.09 ^B	0.083
	Control	2.76 ^{Cb}	2.59 ^{Cb}	5.40 ^{Aa}	5.58 ^{Aa}	5.30 ^{Aa}	0.090
	Positive control	2.55 ^{Cb}	2.82 ^{Cb}	5.24 ^{Aa}	5.62 ^{Aa}	5.19 ^{Aa}	0.102
	SEM	0.132	0.073	0.066	0.116	0.047	
Coliforms (log CFU/g)	SSG	1.93 ^{Aa}	1.82 ^{Aa}	1.86 ^{Aa}	1.78 ^{Aa}	1.37 ^{Ab}	0.070
	Commercial	ND ^B	0.000				
	Control	ND ^B	0.000				
	Positive control	ND ^B	0.000				
	SEM	0.041	0.021	0.021	0.028	0.028	
E.coli (log CFU/g)	SSG	ND	ND	ND	ND	ND	0.000
	Commercial	ND	ND	ND	ND	ND	0.000
	Control	ND	ND	ND	ND	ND	0.000
	Positive control	ND	ND	ND	ND	ND	0.000
	SEM	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

^{a-e} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-D} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; ND, not detected; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

- 저장기간에 따른 비조리 패티의 미생물 검사 결과는 Table 102에 나타내었다.
- 저장 1일차에 총균수는 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 많았다($p < 0.05$). 저장 9일차부터 총균수는 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티가 유의적으로 많았다. 모든 저장 일차에서 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티보다 상업용 식물성 대체육 패티가 유의적으로 많은 총균수를 나타냈다.
- 대장균군은 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티에서만 검출되었고 저장 15일차에 대장균군은 유의적으로 감소하였다. 대장균은 저장기간동안 모든 패티에서 검출되지 않았다.

Table 103. Acid value and 2-thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) of uncooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)					SEM
		1	6	9	12	15	
Acid value (mg/g)	SSG	0.98 ^B	1.06 ^B	1.01 ^B	1.14 ^B	1.59 ^B	0.059
	Commercial	2.29 ^A	2.53 ^A	2.57 ^A	2.50 ^A	2.43 ^A	0.082
	Control	0.61 ^{Cd}	0.98 ^{Bbc}	0.93 ^{Bc}	1.22 ^{Bab}	1.31 ^{Ba}	0.058
	Positive control	0.59 ^{Cc}	0.90 ^{Bb}	0.91 ^{Bb}	1.21 ^{Ba}	1.45 ^{Ba}	0.057
	SEM	0.063	0.047	0.058	0.074	0.077	
TBARS (mg MDA/kg)	SSG	0.31 ^B	0.32 ^B	0.36 ^B	0.32 ^B	0.35 ^B	0.022
	Commercial	0.37 ^B	0.43 ^B	0.37 ^B	0.40 ^B	0.38 ^B	0.022
	Control	0.89 ^{Ac}	8.87 ^{Ab}	8.10 ^{Ab}	12.01 ^{Aa}	11.62 ^{Aa}	0.287
	Positive control	0.34 ^{Bd}	0.61 ^{Bb}	0.70 ^{Ba}	0.74 ^{Ba}	0.51 ^{Bc}	0.014
	SEM	0.024	0.161	0.161	0.150	0.172	

^{a-d} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

- 저장기간에 따른 비조리 패티의 산가, TBARS 측정 결과는 Table 103에 나타내었다.
- 비조리 상태의 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티, 상업용 대체육 패티, 소고기 패티인 Control과 positive control은 각각 19.84, 15.54, 16.01, 15.69%로 나타났으며, 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티의 조지방 함량이 유의적으로 가장 높은 값을 나타냈다. 반면, 상업용 식물성 대체육 패티와 Control, Positive control은 조지방 함량에 있어 유의적인 차이가 없었다.
- 산가는 유지 1g에 함유된 유리지방산을 중화하는데 필요한 수산화칼륨의 mg수로 유지의 신선도를 측정하는 기준 중 하나다, 저장 1일차에 산가는 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티인 Control과 Positive control에서 낮았다($p < 0.05$). 하지만, 상업용 식물성 대체육 패티와 비교하였을 때 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 유의적으로 낮은 산가를 보였다. 저장기간이 지남에 따라 소고기 패티인 Control과 Positive control의 산가는 유의적으로 증가한 반면, 식물성 대체육 패티에서 산가는 유의적인 변화가 없었다. 이에 따라 저장 15일차에서 산가는 신세계푸드의 식물성 대체육 패티와 소고기 패티들과의 유의적인 차이가 없었

다.

- TBARS는 다가불포화지방산의 분해로부터 생산되는 malondialdehydes를 측정하여 지방의 산패도를 측정하는 방법으로, 저장기간이 지남에 따라 TBARS 값은 식물성 대체육 패티에서 유의적인 변화가 없었다. 반면, 소고기 패티인 Control과 Positive control은 유의적으로 증가하였다. 하지만, 모든 일차에서 소고기 패티인 Control이 가장 높은 값을 나타냈고 ($p < 0.05$), 식물성 대체육 패티들과 항산화제인 ascorbic acid를 첨가한 소고기 패티인 Positive control 간에 유의적인 차이는 없었다.

Table 104. Sensory evaluation of uncooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)					SEM
		1	6	9	12	15	
Color	SSG	3.87 ^B	4.33 ^C	4.27 ^B	4.87 ^B	4.20 ^B	0.309
	Commercial	4.20 ^{Bab}	4.07 ^{Cab}	4.00 ^{Bb}	5.33 ^{Ba}	3.53 ^{Bb}	0.327
	Control	8.07 ^{Aa}	5.93 ^{Bb}	5.13 ^{Bbc}	4.60 ^{Bc}	4.33 ^{Bc}	0.294
	Positive control	7.47 ^A	7.80 ^A	7.53 ^A	7.87 ^A	7.33 ^A	0.241
	SEM	0.246	0.304	0.328	0.313	0.273	
Aroma	SSG	5.53 ^B	4.87	4.80 ^B	5.73 ^A	5.87 ^A	0.355
	Commercial	5.80 ^{AB}	5.33	5.47 ^{AB}	6.20 ^A	5.86 ^A	0.385
	Control	6.47 ^{ABa}	5.60 ^{ab}	5.00 ^{ABbc}	3.87 ^{Bcd}	3.07 ^{Bd}	0.335
	Positive control	6.80 ^{Aa}	6.13 ^a	6.33 ^{Aa}	5.53 ^{Aab}	4.53 ^{Ab}	0.334
	SEM	0.324	0.366	0.390	0.310	0.369	
Off-flavor	SSG	3.87	4.87	4.20 ^{AB}	4.93	3.87 ^C	0.361
	Commercial	3.33	4.80	4.33 ^{AB}	4.73	4.67 ^{BC}	0.410
	Control	2.87 ^d	4.07 ^{cd}	5.00 ^{Abc}	5.53 ^b	7.07 ^{Aa}	0.369
	Positive control	2.67 ^c	3.53 ^{bc}	3.33 ^{Bbc}	4.60 ^{ab}	5.93 ^{ABa}	0.335
	SEM	0.328	0.366	0.383	0.380	0.398	
Overall acceptability	SSG	4.67 ^B	5.07 ^B	4.87 ^B	5.13 ^{AB}	5.40 ^A	0.323
	Commercial	5.40 ^B	4.93 ^B	5.33 ^{AB}	5.60 ^A	5.20 ^A	0.311
	Control	7.40 ^{Aa}	5.80 ^{ABb}	4.93 ^{Bbc}	4.07 ^{Bcd}	3.40 ^{Bd}	0.272
	Positive control	7.13 ^{Aa}	6.80 ^{Ab}	6.53 ^{Aab}	5.87 ^{Abc}	5.00 ^{Ac}	0.302
	SEM	0.245	0.269	0.341	0.327	0.320	

^{a-d} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

Color, aroma and overall acceptability rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very bad and 9 being very good; Off-flavor rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very weak and 9 being very strong.

- 저장기간에 따른 비조리 패티의 관능평가 결과는 Table 104에 나타내었다.
- 색은 저장 1일차에 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티가 더 좋다고 평가되었다($p < 0.05$). 저장기간이 지남에 따라 소고기 패티인 Control의 색에 대한 기호도는 유의적으로 감소하였고 저장 9일차부터 15일차까지 식물성 대체육 패티와 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 반면, ascorbic acid를 첨가한 소고기 패티인 Positive control은 모든 일차에서 식물성 대체육 패티보다 색이 좋다고 나타났다.
- 향은 저장 1일차부터 9일차까지 Control이 식물성 대체육 패티와 유의적인 차이가 없다고 나타났다. 하지만 저장 12일차부터 Control은 모든 패티 중 향이 좋지 않다고 나타났다 ($p < 0.05$).

- 이취는 저장 1일차에 모든 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 저장기간이 지남에 따라 식물성 대체육 패티들의 이취는 차이가 유의적인 변화가 없었던 반면, 소고기 패티는 이취가 심해졌다고 나타났다($p < 0.05$). 저장 20일차에 Control은 식물성 대체육 패티보다 이취가 심하다고 나타났다($p < 0.05$).
- 종합적 기호도는 저장 1일차에 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티가 더 좋다고 나타났다 ($p < 0.05$), 저장기간이 지남에 따라 종합적 기호도는 소고기 패티에서 유의적으로 감소한 반면, 식물성 대체육 패티에서 유의적인 변화가 없었다. 저장 20일차에 Control은 가장 낮은 종합적 기호도를 나타냈고($p < 0.05$), 신세계 식물성 대체육 패티, 상업용 식물성 대체육 패티, Positive control 패티간에 유의적인 차이는 없었다.

나. 식물성 대체육 가공 후 지질 안정성 평가

Table 105. Proximate composition (%) of cooked beef and plant-based meat patty

Items	SSG	Commerical	Control	Positive control	SEM
Moisture	52.12 ^c	53.78 ^b	55.64 ^a	56.27 ^a	0.291
Crude protein	16.14 ^c	19.24 ^b	25.68 ^a	25.35 ^a	0.390
Crude lipid	16.06	15.41	15.99	16.13	0.275
Carbohydrate	13.12 ^a	9.60 ^b	0.03 ^c	0.04 ^c	0.279
Crude ash	2.55 ^a	1.96 ^b	2.43 ^{ab}	2.49 ^b	0.125

^{a-c} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

- 조리 패티의 일반성분 측정 결과는 Table 105에 나타내었다.
- 수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분 함량은 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티에서는 52.12%, 16.14%, 16.06%, 13.12%, 2.55%, 상업용 식물성 대체육 패티에서는 53.78%, 19.24%, 15.41%, 9.60%, 1.96%, 소고기 패티에서는 55.64%, 25.68%, 15.99%, 0.03%, 2.43%, ascorbic acid를 첨가한 소고기 패티는 56.27%, 25.35%, 16.13%, 0.04%, 2.49%로 나타났다.
- 소고기 패티인 Control과 Positive control은 식물성 대체육 패티보다 높은 수분과 조단백질, 적은 탄수화물, 조회분 함량을 보였다($p < 0.05$). 또한, 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 상업용 패티와 비교하였을 때, 유의적으로 적은 수분, 조단백질 함량을 보였다

Table 106. The pH, color, Drip loss of cooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)				SEM
		1	10	15	20	
pH	SSG	6.28 ^{Bc}	6.32 ^{Ba}	6.30 ^{Bb}	6.29 ^{Bc}	0.003
	Commercial	6.96 ^{Aa}	6.95 ^{Aa}	6.91 ^{Ab}	6.89 ^{Ab}	0.009
	Control	5.79 ^{Ca}	5.80 ^{Ca}	5.79 ^{Ca}	5.76 ^{Cb}	0.004
	Positive control	5.73 ^{Db}	5.76 ^{Da}	5.75 ^{Dab}	5.71 ^{Dc}	0.005
	SEM	0.007	0.004	0.005	0.006	
L*	SSG	31.93 ^{Ab}	35.81 ^{Ba}	36.69 ^{Ba}	36.85 ^{Ba}	0.337
	Commercial	32.64 ^{Ab}	40.99 ^{Aa}	41.45 ^{Aa}	40.42 ^{Aa}	0.477
	Control	29.58 ^{Bd}	35.02 ^{Bc}	37.60 ^{Bb}	40.30 ^{Aa}	0.424
	Positive control	31.58 ^{Ab}	38.87 ^{Aa}	40.42 ^{Aa}	39.30 ^{Aa}	0.527
	SEM	0.457	0.611	0.403	0.286	
a*	SSG	8.63 ^C	8.42 ^C	8.68 ^C	8.66 ^B	0.101
	Commercial	11.88 ^{Aa}	10.17 ^{Ab}	10.69 ^{Ab}	10.51 ^{Ab}	0.205
	Control	9.66 ^{Ba}	9.34 ^{Ba}	8.10 ^{Cb}	7.05 ^{Cc}	0.134
	Positive control	9.70 ^{Ba}	9.97 ^{ABa}	9.52 ^{Bab}	8.94 ^{Bb}	0.145
	SEM	0.156	0.179	0.157	0.100	
b*	SSG	15.36 ^{Bd}	17.06 ^{Bc}	18.21 ^{Ab}	19.23 ^{Aa}	0.213
	Commercial	17.72 ^A	18.92 ^A	18.26 ^A	18.56 ^{AB}	0.387
	Control	12.40 ^{Dc}	18.11 ^{Aab}	18.63 ^{Aa}	17.68 ^{Bb}	0.228
	Positive control	14.04 ^{Cb}	16.20 ^{Ba}	15.91 ^{Ba}	16.39 ^{Ca}	0.270
	SEM	0.235	0.235	0.356	0.313	
Drip loss (%)	SSG	0.00 ^c	0.01 ^c	0.27 ^{Ab}	0.65 ^a	0.020
	Commercial	0.00 ^c	0.01 ^c	0.25 ^{Ab}	0.61 ^a	0.042
	Control	0.00 ^b	0.00 ^b	0.04 ^{Bb}	0.53 ^a	0.048
	Positive control	0.00 ^b	0.00 ^b	0.02 ^{Bb}	0.65 ^a	0.045
	SEM	0.000	0.003	0.027	0.076	

a-e Mean with the same row with different letters are significantly different (p<0.05).

A-D Mean with the same column with different letters are significantly different (p<0.05).

SEM, standard error of the mean; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

- 저장기간에 따른 조리한 패티의 pH, 육색, 드립로스 측정 결과는 Table 106에 나타내었다.
- 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티와 Positive control은 저장 10일차에 최대 pH를 보였으며 저장기간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 상업용 식물성 대체육 패티와 Control은 각각 저장 15일차와 20일차에 pH가 유의적으로 감소하였다. 모든 저장일차에서 pH는 상업용 식물성 대체육 패티, 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티, Control, Positive control 순으로 높은 값을 보였다(p<0.05).
- 저장 1일차에 L*값은 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티, 상업용 대체육 패티, Positive control은 유의적인 차이가 없었고 Control에서 가장 낮은 값을 보였다(p<0.05). 모든 패티는 저장기간이 지남에 따라 L*값이 유의적으로 증가하는 경향을 보였으며, 저장 20일차에 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티의 L*값이 유의적으로 가장 낮은 값을 보였다.
- 저장 1일차에 a*값에 대하여 상업용 대체육 패티, Control, Positive control은 유의적인 차이가 없었고 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 가장 낮은 값을 보였다(p<0.05). 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티를 제외한 모든 패티들은 저장기간이 지남에 따라 a*값이 유의적으로 감소하는 경향을 보였으며, 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 저장기간에 따른 a*값의 유의적인 변화가 없었다. 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 저장 15일차에 Control과 저장 20일차에 Positive control과 유사한 a*값을 나타냈다.
- 저장 1일차에 b*값은 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 높았다(p<0.05). 상업용 식물

성 패티를 제외한 모든 패티들은 저장 1일차와 비교하였을 때 저장 10, 15, 20일차에 유의적으로 높은 b*값을 나타냈고, 상업용 식물성 패티는 저장기간에 따른 b*값의 유의적인 변화가 없었다. 저장 15일차부터 b*값은 Positive control에서 가장 낮은 값을 나타냈다 (p<0.05).

- 저장 1일차에 모든 패티들의 드립로스는 없었다. 저장기간이 길어짐에 따라 모든 패티의 드립로스는 유의적으로 증가하였다. 저장 15일차에 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티의 드립로스가 적었으나(p<0.05), 저장 20일차에 모든 패티들의 드립로스에는 유의적인 차이가 없었다.

Table 107. Microorganisms of cooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)				SEM
		1	10	15	20	
Total aerobic bacteria (log CFU/g)	SSG	3.42 ^{Aa}	3.36 ^{Aab}	3.22 ^{Abc}	3.14 ^{Ac}	0.040
	Commercial	1.30 ^{Bab}	1.54 ^{Ba}	1.30 ^{Bab}	1.06 ^{Bb}	0.099
	Control	ND ^C	ND ^C	0.40 ^C	0.40 ^C	0.173
	Positive control	ND ^C	ND ^C	ND ^C	ND ^C	
	SEM	0.051	0.046	0.141	0.130	
Coliforms (log CFU/g)	SSG	ND	ND	ND	ND	0.000
	Commercial	ND	ND	ND	ND	0.000
	Control	ND	ND	ND	ND	0.000
	Positive control	ND	ND	ND	ND	
	SEM	0.000	0.000	0.000	0.000	
E.coli (log CFU/g)	SSG	ND	ND	ND	ND	0.000
	Commercial	ND	ND	ND	ND	0.000
	Control	ND	ND	ND	ND	0.000
	Positive control	ND	ND	ND	ND	
	SEM	0.000	0.000	0.000	0.000	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different (p<0.05).

^{A-B} Mean with the same column with different letters are significantly different (p<0.05).

SEM, standard error of the mean; ND, not detected; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

- 저장기간에 따른 조리한 패티의 미생물 검사 결과는 Table 107에 나타내었다.
- 저장기간에 따라 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티의 총균수는 유의적으로 감소하였고 상업용 식물성 대체육 패티의 총균수는 저장 10일차와 비교하였을 때 저장 20일차에 유의적으로 감소하였다. 총균수의 경우 Positive control에서는 검출되지 않았고 Control은 저장 15일차부터 검출되었다. 모든 저장 일차에서 총균수는 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티에서 가장 많았고 소고기 패티인 Control과 Positive control에서 가장 적었다(p<0.05). 대장균과 대장균은 저장 기간 동안 모든 패티들에서 검출되지 않았다.

Table 108. Acid value and 2-thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) of cooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)				SEM
		1	10	15	20	
Acid value (mg/g)	SSG	0.89 ^{Ba}	0.87 ^{Ba}	0.91 ^{Ba}	0.71 ^{Bb}	0.023
	Commercial	3.42 ^A	3.32 ^A	3.25 ^A	3.34 ^A	0.086
	Control	0.91 ^B	0.80 ^B	0.93 ^B	0.88 ^B	0.032
	Positive control	0.62 ^{Cb}	0.79 ^{Ba}	0.73 ^{Ca}	0.74 ^{Ba}	0.022
	SEM	0.056	0.025	0.043	0.064	
TBARS (mg MDA/kg)	SSG	0.38 ^B	0.35 ^C	0.39 ^C	0.40 ^C	0.036
	Commercial	0.65 ^B	0.63 ^C	0.74 ^C	0.67 ^C	0.029
	Control	2.22 ^{Ac}	13.51 ^{Ab}	17.69 ^{Aa}	16.75 ^{Aa}	0.309
	Positive control	0.50 ^{Bc}	3.87 ^{Bb}	4.26 ^{Bb}	5.35 ^{Ba}	0.120
	SEM	0.078	0.245	0.149	0.154	

^{a-c} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-C} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

- 저장기간에 따른 조리한 패티의 산가, TBARS 측정 결과는 Table 108에 나타내었다.
- 가공한 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티, 상업용 대체육 패티, 소고기 패티인 Control과 positive control은 각각 16.06, 15.41, 15.99, 16.13%로 나타났으며, 모든 패티에서 유의적인 차이는 나타나지 않았다.
- 산가는 저장 1일차에 상업용 식물성 패티가 가장 높았고 Positive control이 가장 낮았다 ($p < 0.05$). 저장기간이 지남에 따라 산가는 신세계 식물성 대체육 패티는 저장 20일차에 감소하였고 Positive control은 저장 10일차에 증가하였다($p < 0.05$). 산가는 저장 20일차에 상업용 식물성 대체육 패티에서 가장 높았으며($p < 0.05$), 신세계 식물성 패티, Control, Positive control간에 유의적인 차이는 없었다.
- TBARS 값은 저장 1일차에 Control에서 가장 높았으며($p < 0.05$), 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티, 상업용 식물성 대체육 패티, Positive control 간에 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 저장기간이 지남에 따라 TBARS 값은 식물성 대체육 패티에서 유의적인 변화가 없었던 반면, 소고기 패티인 Control과 Positive control은 유의적으로 증가하였다. 저장 10일차부터 20일차까지 식물성 대체육 패티의 TBARS 값은 소고기 패티인 Control과 Positive control 보다 낮은 값을 보였다($p < 0.05$).

Table 109. Sensory evaluation of cooked beef and plant-based meat patty during cold storage

Items	Treatment	Storage (days)				SEM
		1	10	15	20	
Color	SSG	6.00	4.73 ^B	4.87 ^B	5.53 ^B	0.339
	Commercial	7.07	6.47 ^A	6.13 ^{AB}	6.93 ^A	0.266
	Control	6.73 ^a	5.87 ^{Ab}	6.07 ^{ABb}	5.87 ^{ABb}	0.311
	Positive control	6.93	6.07 ^A	6.73 ^A	6.13 ^{AB}	0.310
	SEM	0.306	0.257	0.354	0.305	
Aroma	SSG	5.47 ^B	5.07 ^B	5.47	5.73 ^{AB}	0.361
	Commercial	6.07 ^{ABa}	4.87 ^{Bb}	5.00 ^b	5.07 ^{Bab}	0.271
	Control	6.73 ^A	5.60 ^{AB}	5.20	5.20 ^B	0.279
	Positive control	6.67 ^A	6.27 ^A	6.00	6.13 ^A	0.239
	SEM	0.269	0.279	0.359	0.244	
Flavor	SSG	5.67 ^B	5.00 ^B	4.80 ^B	ND	0.292
	Commercial	5.60 ^{Ba}	4.73 ^{Bab}	4.40 ^{Bb}	ND	0.259
	Control	7.40 ^{Aa}	6.27 ^{Ab}	6.20 ^{Ab}	ND	0.267

	Positive control	7.40 ^A	6.93 ^A	6.60 ^A	ND	0.259
	SEM	0.244	0.241	0.316		
Taste	SSG	4.87 ^B	4.73 ^B	4.53 ^B	ND	0.253
	Commercial	5.53 ^{Ba}	4.87 ^{Bab}	3.93 ^{Bb}	ND	0.334
	Control	7.27 ^A	6.20 ^A	6.40 ^A	ND	0.326
	Positive control	7.47 ^A	6.87 ^A	6.87 ^A	ND	0.262
	SEM	0.293	0.260	0.331		
Tenderness	SSG	7.00	6.60 ^A	6.73 ^A	ND	0.241
	Commercial	6.20	6.53 ^A	6.60 ^A	ND	0.224
	Control	6.20 ^a	4.93 ^{Bb}	5.20 ^{Bb}	ND	0.251
	Positive control	6.27	5.60 ^B	5.53 ^B	ND	0.233
	SEM	0.243	0.201	0.264		
Juiciness	SSG	7.07 ^{Aa}	5.67 ^{Ab}	6.53 ^{Aa}	ND	0.232
	Commercial	6.33 ^{ABab}	5.33 ^{Ab}	6.47 ^{Aa}	ND	0.294
	Control	5.80 ^{Ba}	3.80 ^{Bb}	4.93 ^{Ba}	ND	0.313
	Positive control	5.40 ^B	4.67 ^{AB}	5.27 ^B	ND	0.303
	SEM	0.305	0.273	0.283		
Overall acceptability	SSG	5.67 ^B	5.07 ^B	4.73 ^B	5.53	0.295
	Commercial	5.87 ^{Ba}	5.20 ^{Bab}	4.67 ^{Bb}	5.53 ^{ab}	0.247
	Control	7.20 ^{Aa}	5.87 ^{ABb}	6.13 ^{Ab}	5.53 ^b	0.243
	Positive control	7.13 ^{Aa}	6.53 ^{Aab}	6.73 ^{Aab}	6.20 ^b	0.226
	SEM	0.232	0.231	0.310	0.233	

^{a-b} Mean with the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

^{A-B} Mean with the same column with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

SEM, standard error of the mean; ND, not detected; SSG, plant-based meat analogue patty of Shinsegae food; Commercial, commercial plant-based meat analogue patty; Control, beef patty; Positive control, beef patty with ascorbic acid.

Color, aroma, flavor, taste and overall acceptability rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very bad and 9 being very good; Tenderness rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very hard and 9 being very soft; Juiciness rated on a scale of 1 to 9, with 1 being very dry and 9 being very juicy.

- 저장기간에 따른 조리한 패티의 관능평가 결과는 Table 109에 나타내었다.
- 색은 저장 1일차에 모든 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 저장 10일과 20일 차에는 상업용 식물성 대체육 패티보다 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티가 더 색이 좋지 않다고 나타났($p < 0.05$).
- 향은 저장 1일차에서 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티가 더 좋다고 나타났으며($p < 0.05$), 저장 20일차에는 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티와 Control간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티와 상업용 식물성 대체육 패티를 비교하였을 때 모든 저장 일차에서 향에 대한 유의적인 차이는 없었다.
- 풍미와 맛은 모든 저장 일차에서 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티가 더 좋다고 나타났($p < 0.05$).
- 연도는 저장 1일차에 모든 처리구에서 유의적인 차이가 없었던 반면 저장 10일과 15일차에 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 좋다고 나타났($p < 0.05$).
- 다즙성은 저장 1일차에 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 더 다즙하다고 나타났($p < 0.05$). 저장 15일차에는 식물성 대체육 패티가 소고기 패티보다 더 다즙하다고 나타났($p < 0.05$).
- 저장 1일차부터 15일차까지 종합적 기호도는 식물성 대체육 패티보다 소고기 패티가 더 좋다고 나타났. 저장기간이 지남에 따라 신세계 푸드의 식물성 대체육 패티는 종합적 기호

도에 유의적인 변화가 없던 반면, 소고기 패티인 Control과 Positive control은 저장기간이 증가함에 따라 종합적 기호도가 유의적으로 감소하였다. 이에 따라, 저장 20일차에서 모든 처리구에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

12) 식물성 대체육의 관능 특성 및 풍미 성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명

(1) 연구수행 방법

가. 식물성 대체육의 관능 특성 및 풍미 성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명

가) 실험재료

- 실험재료 중 콜드컷은 4) - (1) - 가 - 가)와 같다.
- 실험재료 중 미트볼과 패티는 9) - (1) - 가 - 가)와 같다.

나) 실험방법

(가) 조리방법(Cooking method)

- 미트볼과 패티의 조리방법은 9) - (1) - 가 - 나) - (가)와 같다.

(나) 통계분석

- 식물성 대체육 제품과 소고기 가공 제품의 품질 및 풍미 성분 차이 규명과 관능특성의 상관도 분석을 통한 유사성을 규명하기 위해 Metaboanalysis 5.0을 사용하여 PLS-DA, Biplot, Heatmap을 분석하였다.
- 품질특성의 유사성 규명을 위한 분석항목으로는 일반성분(수분, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 조회분), 칼로리, 전단력, TPA(Texture profile analysis), 육색, pH, 가열감량 데이터를 적용하였다.
- 관능특성의 유사성 규명을 위한 분석항목으로는 색, 향, 이취, 맛, 연도, 다즙성, 종합적 기호도 데이터를 적용하였다.
- 풍미성분의 유사성 규명을 위한 분석항목으로는 핵산물질(AMP, IMP, Hypoxanthine), 아미노산(aspartic acid, glutamic acid, anserine, carnosine), 지방산(palmitic acid, stearic acid, oleic acid), VOCs 데이터를 적용하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 식물성 대체육의 품질 특성의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명

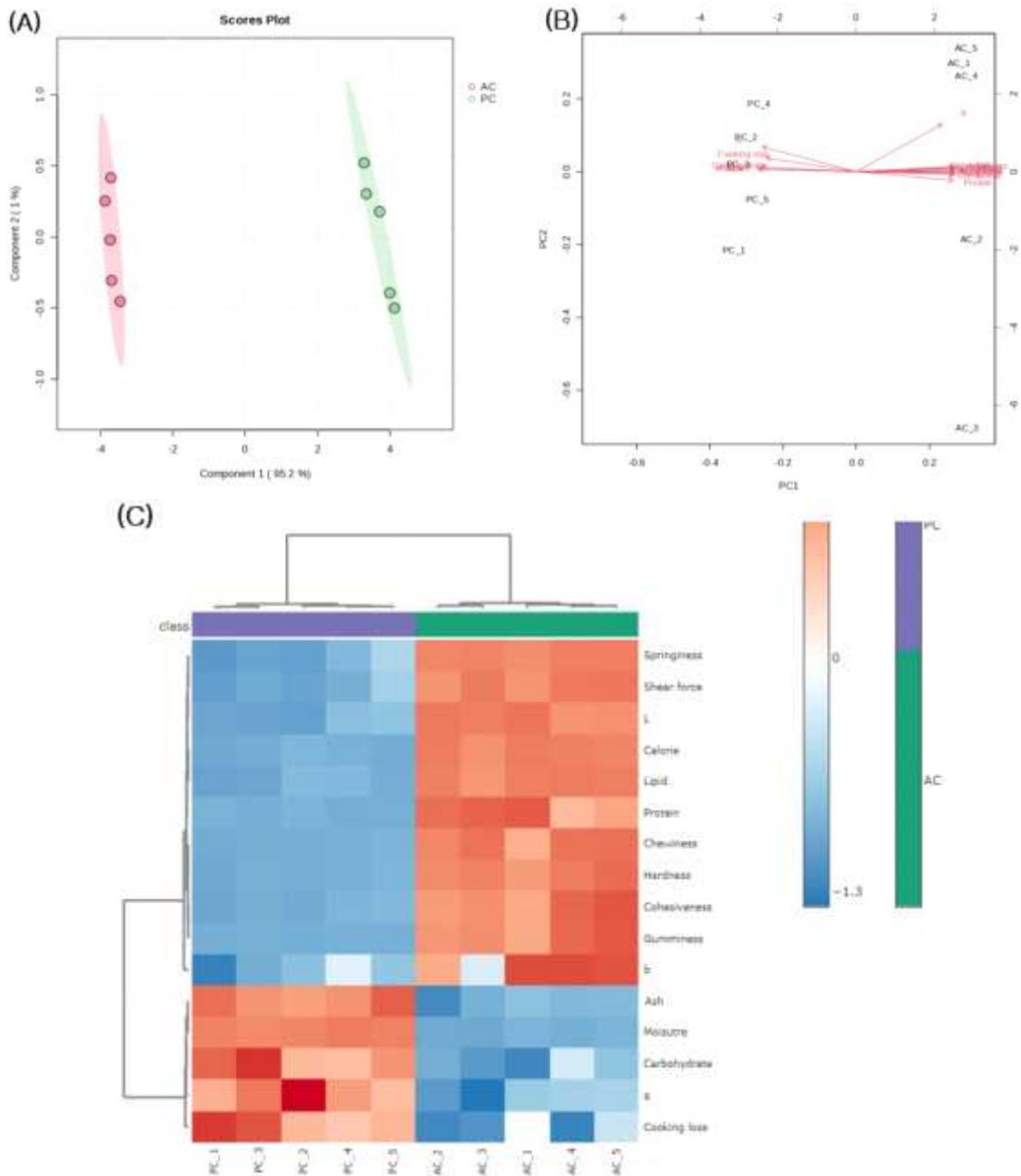


Figure 31. PLS-DA, biplot and heatmap of quality characteristic of animal and plant-based cold cut.(A, PLS-DA; B, Biplot; C, Heatmap; AC, animal-based cold cut; PC, plant-based cold cut; Analysis items, proximate composition, calories, shear force, TPA, color, pH, cooking loss.)

- 식물성 콜드컷의 품질 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 31에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 품질특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 95.2%, 제2 주성분은 1%로 나타났으며, 식물성 콜드컷과 고기 콜드컷은 품질 특성에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 하지만, 육색 b*값에 대해 일부 유사한 특성을 보였다.

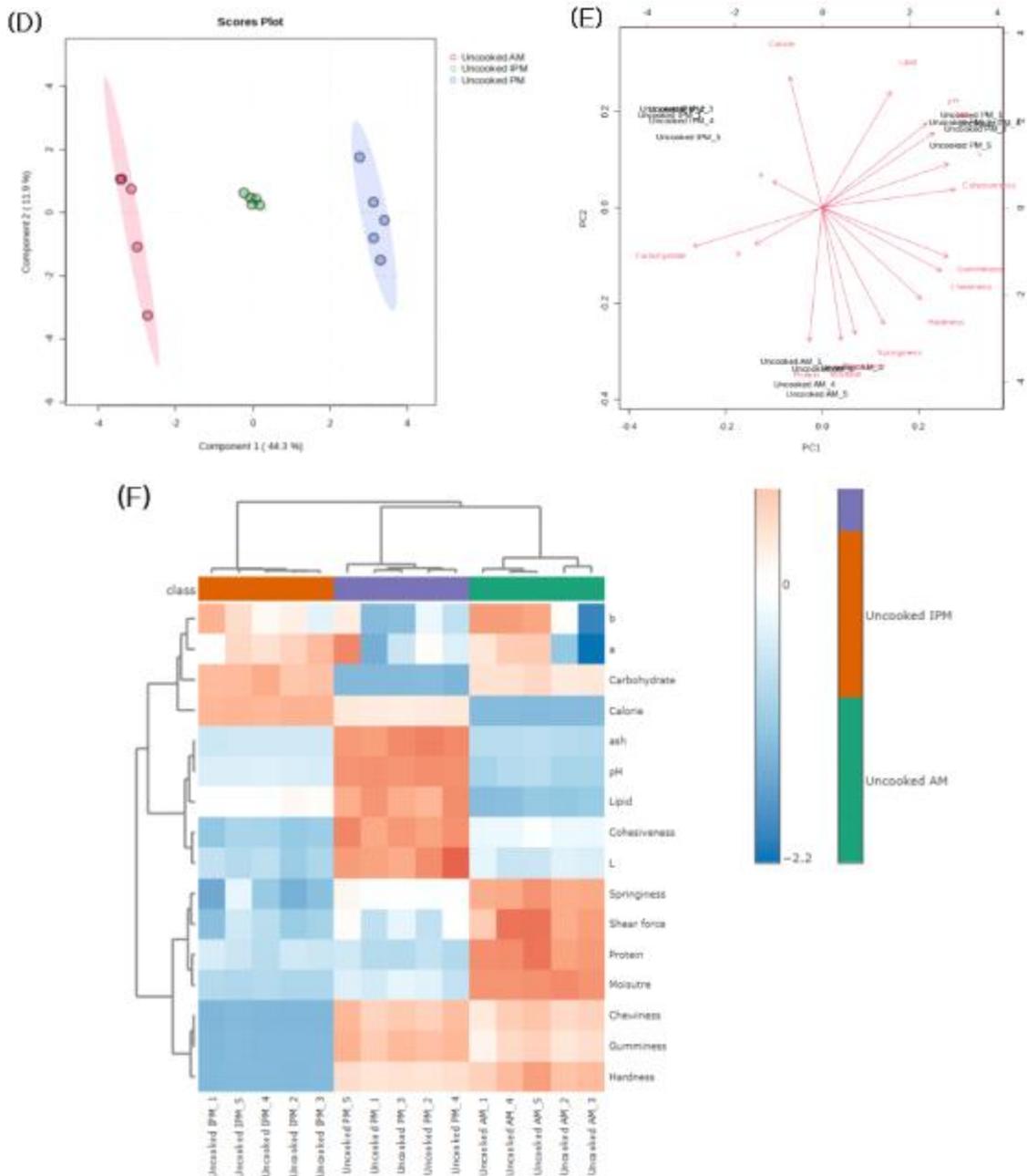


Figure 32. PLS-DA, biplot and heatmap of quality characteristic of uncooked animal and plant-based meatballs.(D, PLS-DA; E, Biplot; F, Heatmap; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball; Analysis items, proximate composition, calories, shear force, TPA, color, pH.)

- 비조리 식물성 미트볼의 품질 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 32에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 품질 특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 44.3%, 제2 주성분은 11.9%로 나타났으며, 품질 특성에 대해 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼, 고기 미트볼 모두 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 하지만, 개선후 식물성 미트볼과 비교하였을 때 개선전 식물성 미트볼은 고기 미트볼과 가까운 클러스터를 나타냈다.
- 또한, 고기 미트볼과 개선후 식물성 미트볼은 육색의 a*, b*값, 탄수화물, 조지방 함량, pH에 대해 일부 유사한 특성을 보였다.

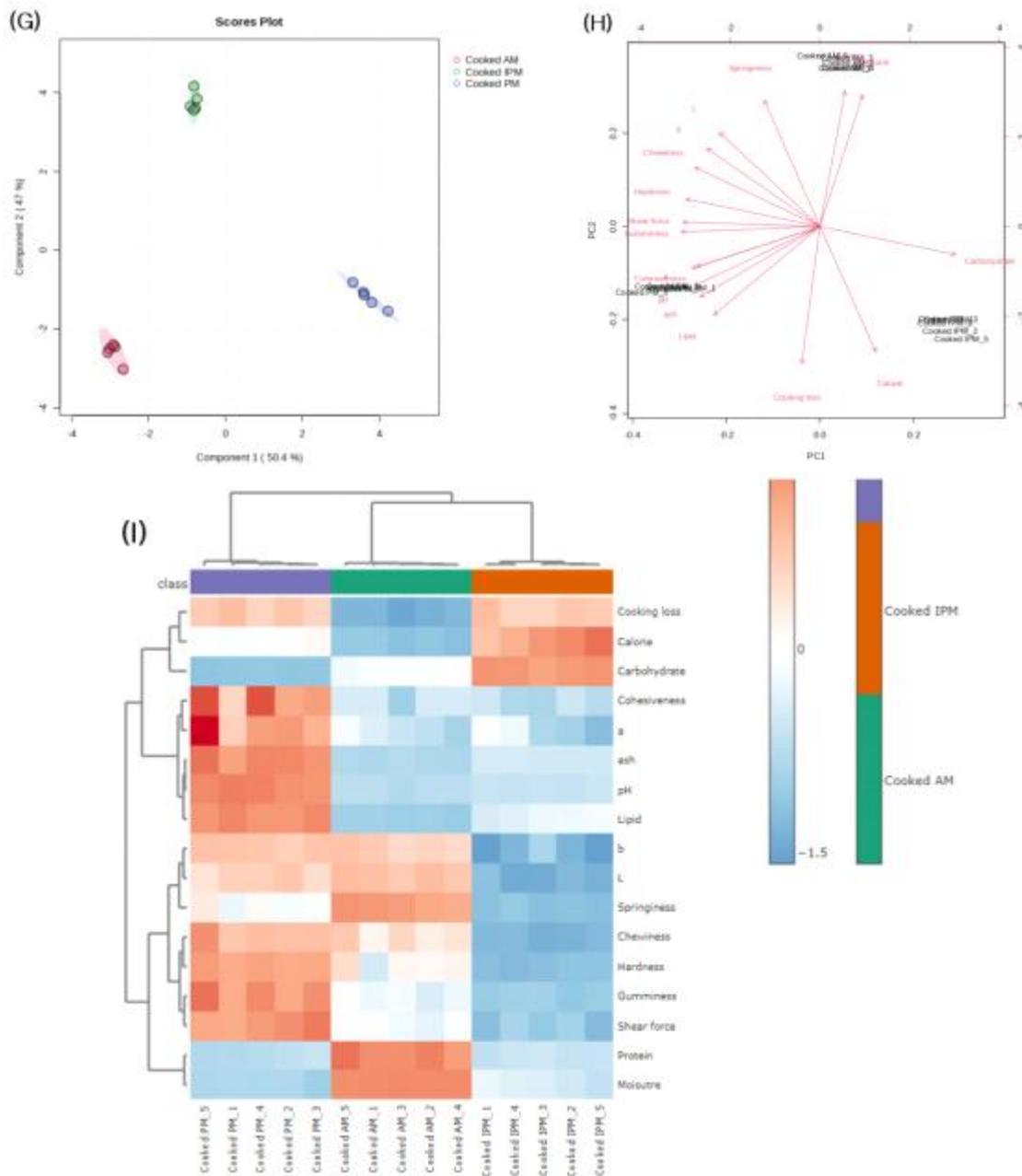


Figure 33. PLS-DA, biplot and heatmap of quality characteristic of cooked animal and plant-based meatballs.(G, PLS-DA; H, Biplot; I, Heatmap; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball; Analysis items, proximate composition, calories, shear force, TPA, color, pH, cooking loss.)

- 조리한 식물성 미트볼의 품질 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 33에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 품질 특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 50.4%, 제2 주성분은 47.0%로 나타났으며, 품질 특성에 대해 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼, 고기 미트볼 모두 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 고기 미트볼과 개선후 식물성 미트볼은 pH, 응집성, 육색의 a^* 값에 대해 일부 유사한 특성을 보였다.

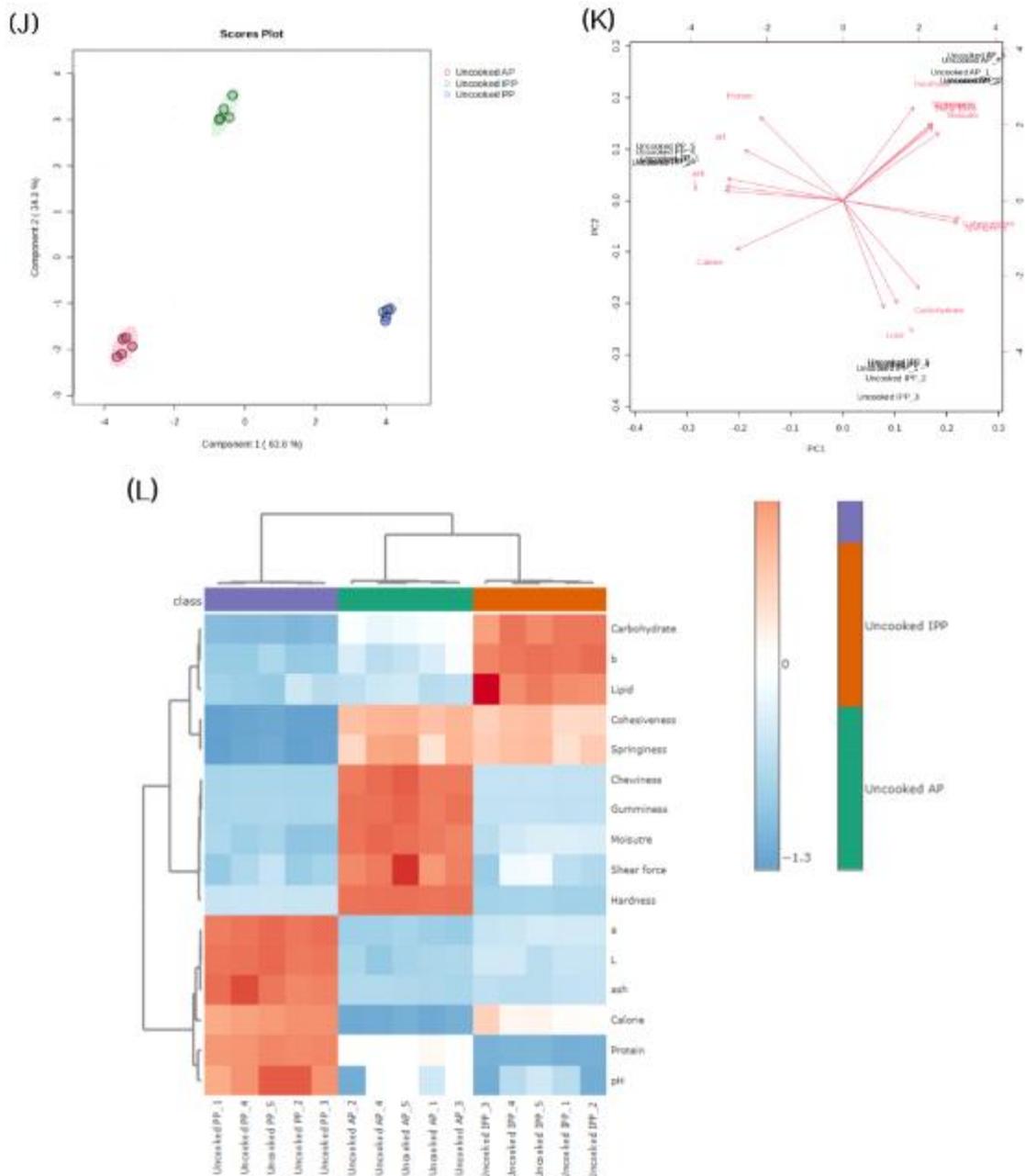


Figure 34. PLS-DA, biplot and heatmap of quality characteristic of uncooked animal and plant-based patties.(J, PLS-DA; K, Biplot; L, Heatmap; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty; Analysis items, proximate composition, calories, shear force, TPA, color, pH.)

- 비조리 식물성 패티의 품질 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 34에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 품질특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 63.8%, 제2 주성분은 34.4%로 나타났으며, 품질 특성에 대해 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 패티, 고기 패티 모두 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 고기 패티와 개선후 식물성 패티는 응집성, 탄성력, 육색의 L*값, 조화분 함량, pH에 대해 일부 유사한 특성을 보였다.

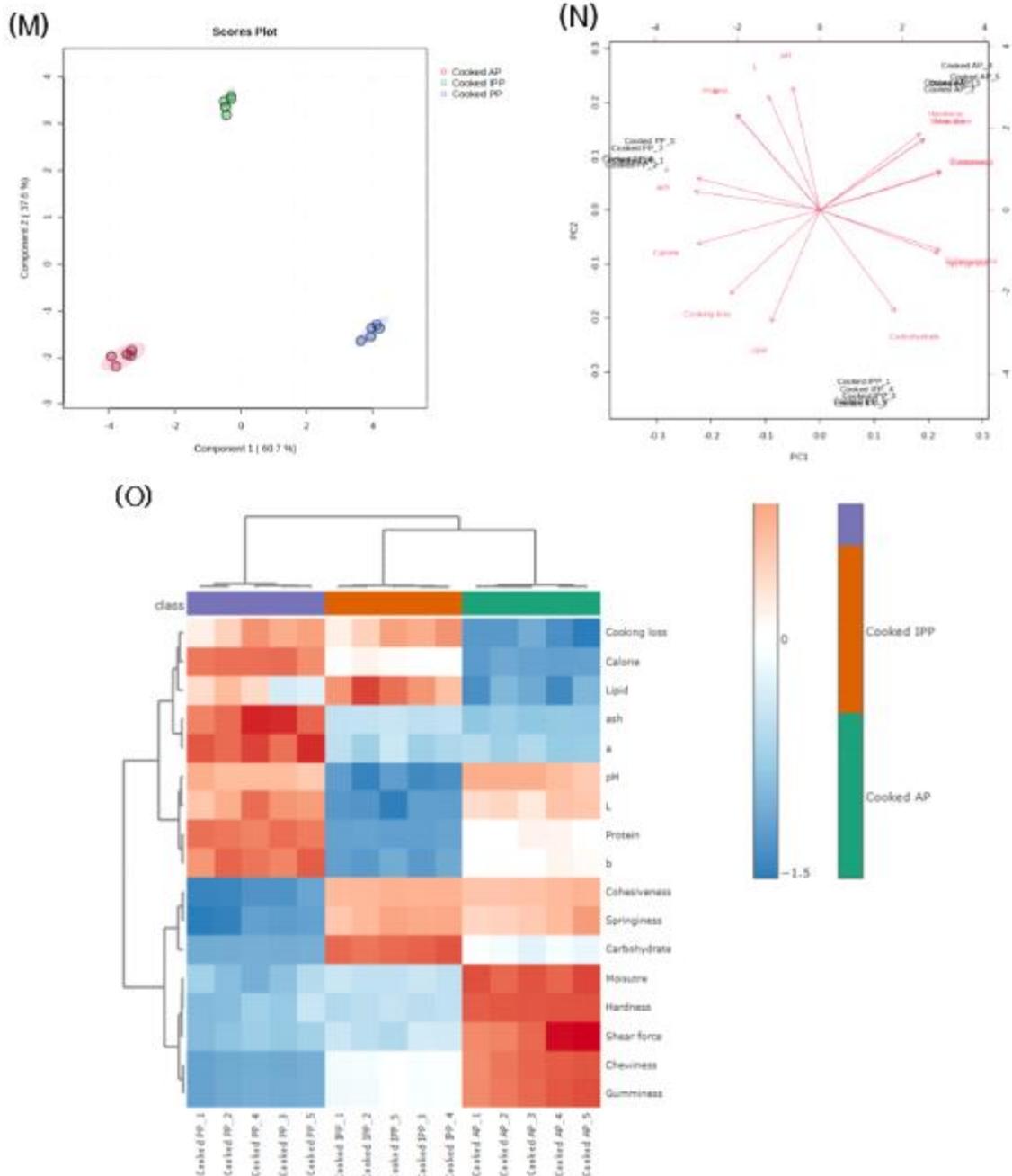


Figure 35. PLS-DA, biplot and heatmap of quality characteristic of cooked animal and plant-based patties.(M, PLS-DA; N, Biplot; O, Heatmap; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty; Analysis items, proximate composition, calories, shear force, TPA, color, pH, cooking loss.)

- 조리한 식물성 패티의 품질 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 35에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 품질 특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 60.7%, 제2 주성분은 37.6%로 나타났으며, 품질 특성에 대해 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 대체육 패티, 고기 패티 모두 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 고기 패티와 개선후 식물성 패티는 조희분 함량과 육색의 a^* 값에 대해 일부 유사한 특성을 보였다.

나. 식물성 대체육의 관능 특성의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명

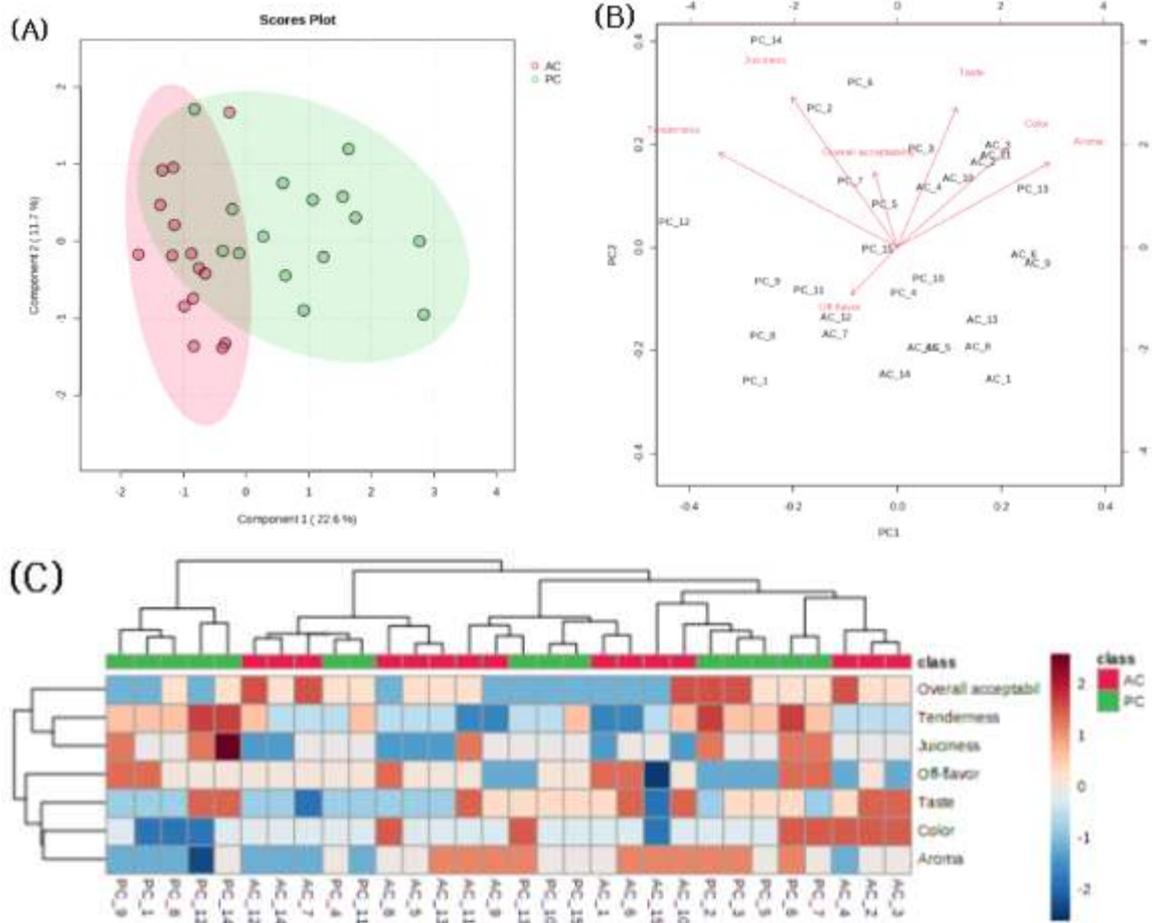


Figure 36. PLS-DA, biplot and heatmap of sensory characteristic of animal and plant-based cold cuts.(A, PLS-DA; B, Biplot; C, Heatmap; AC, animal-based cold cut; PC, plant-based cold cut; Analysis items, color, aroma, off-flavor, taste, tenderness, juiciness, overall acceptability.)

- 식물성 콜드컷의 관능 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 36에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 품질특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 22.6%, 제2 주성분은 11.7%로 나타났으며, 관능 특성에 대해 유사한 패턴을 보여주었다.

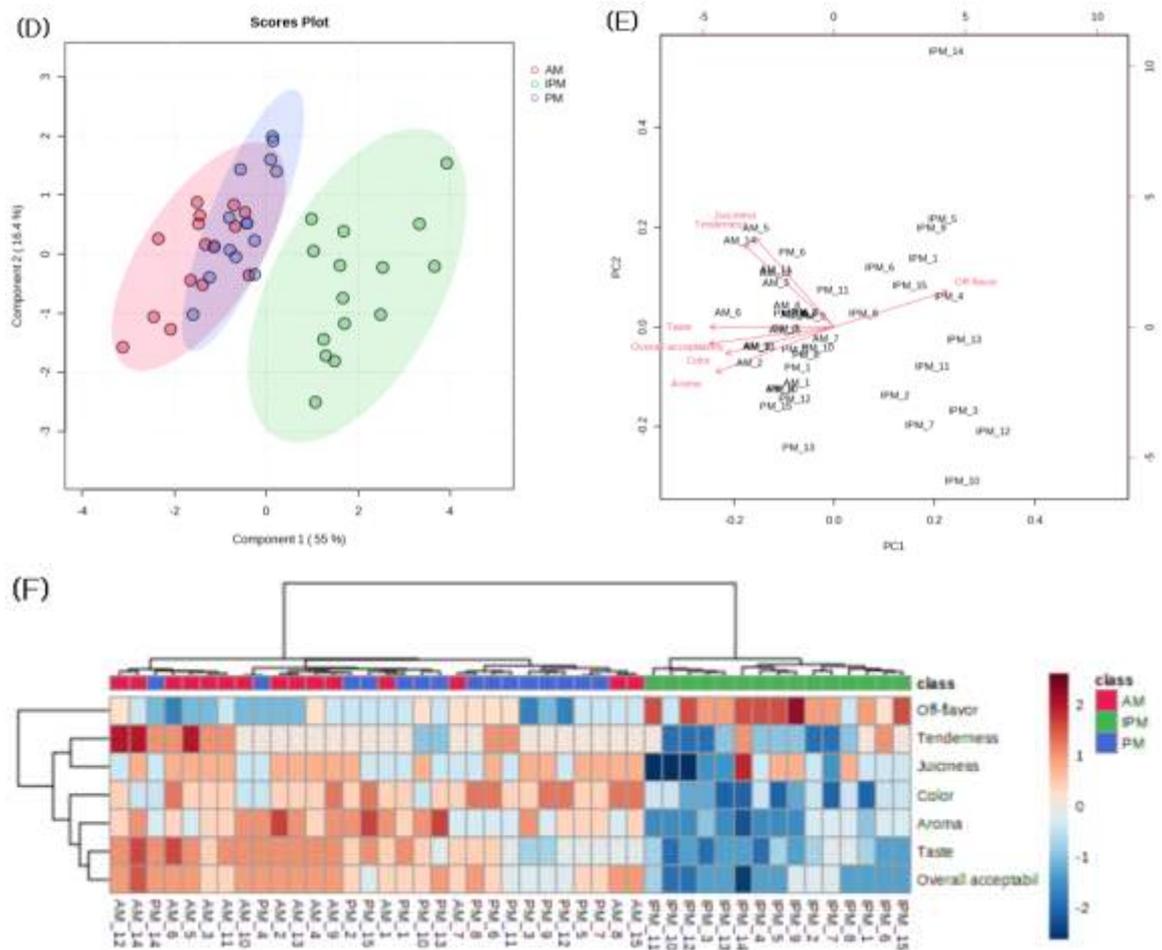


Figure 37. PLS-DA, biplot and heatmap of sensory characteristic of animal and plant-based meatballs.(D, PLS-DA; E, Biplot; F, Heatmap; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball; Analysis items, color, aroma, off-flavor, taste, tenderness, juiciness, overall acceptability.)

- 식물성 미트볼의 관능 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 37에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 관능 특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 55.0%, 제2 주성분은 16.4%로 나타났으며, 관능 특성에 대해 고기 미트볼과 개선전 식물성 대체육 미트볼은 유사한 패턴을 보여주었다.
- 반면, 개선후 식물성 미트볼은 개선전 식물성 미트볼, 고기 미트볼과 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

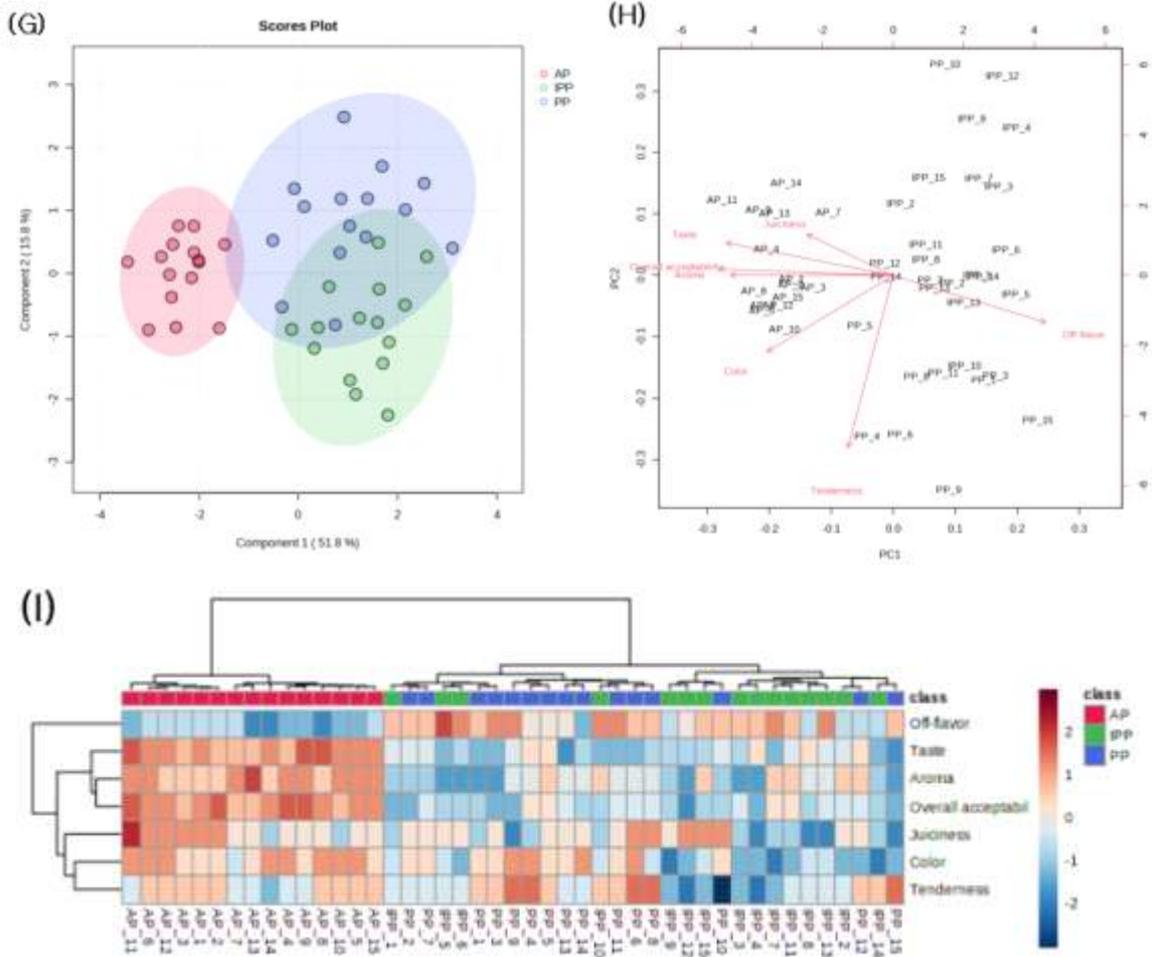


Figure 38. PLS-DA, biplot and heatmap of sensory characteristic of animal and plant-based patties.(G, PLS-DA; H, Biplot; I, Heatmap; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty; Analysis items, color, aroma, off-flavor, taste, tenderness, juiciness, overall acceptability.)

- 식물성 패티의 관능 특성에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 38에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 관능 특성의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 51.8%, 제2 주성분은 15.8%로 나타났으며, 관능 특성에 대해 개선전 식물성 패티는 고기 패티와 개선후 식물성 패티와 유사한 패턴을 보여주었다.
- 반면, 개선후 식물성 패티는 고기 패티와 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

다. 식물성 대체육의 풍미 성분의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명

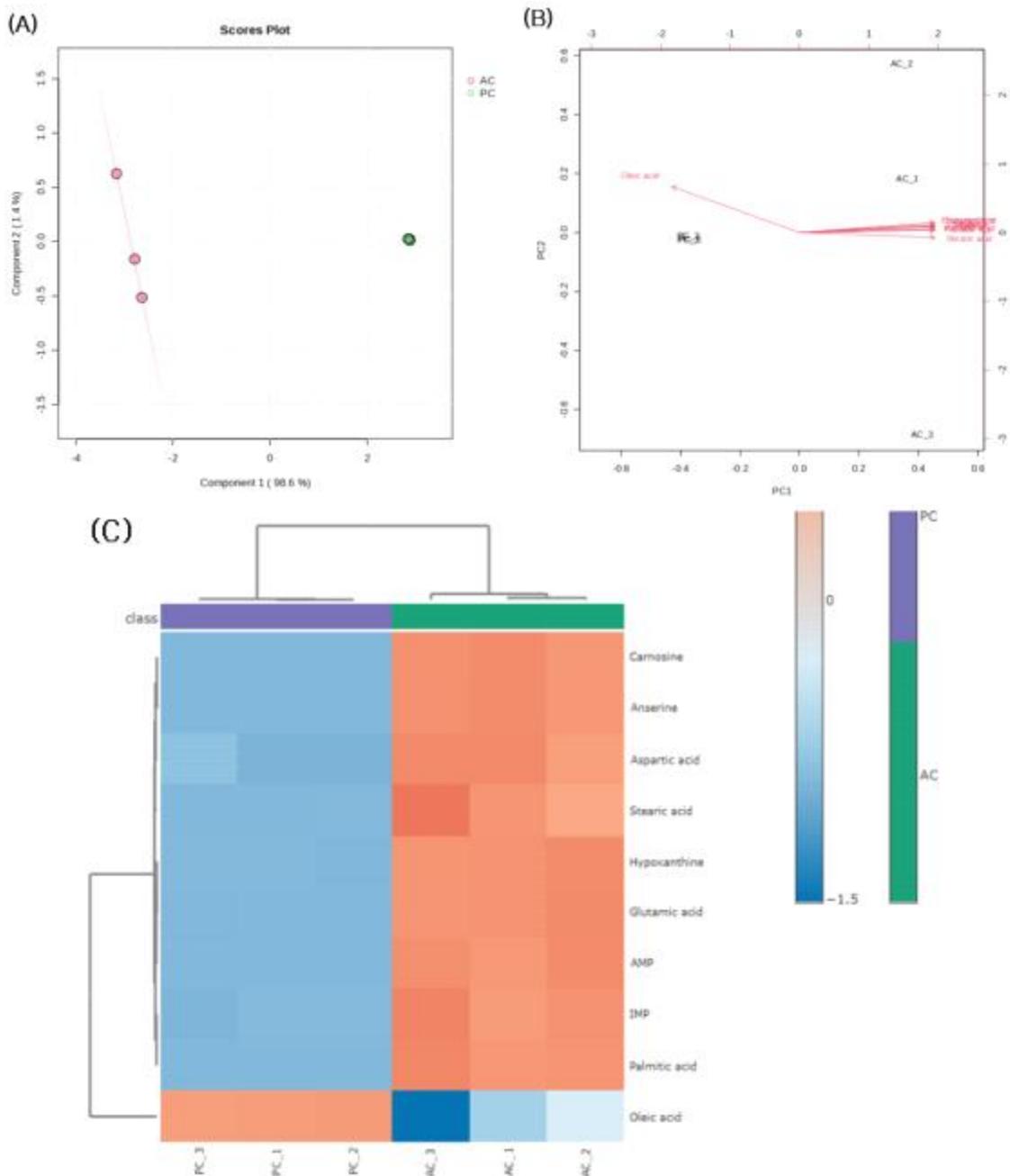


Figure 39. PLS-DA, biplot and heatmap of flavor compounds of animal and plant-based cold cuts. (A, PLS-DA; B, Biplot; C, Heatmap; AC, animal-based cold cut; PC, plant-based cold cut; Analysis items, AMP, IMP, Hypoxanthine, aspartic acid, glutamic acid, anserine, carnosine, palmitic acid, stearic acid, oleic acid.)

- 식물성 콜드컷의 풍미 성분에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 39에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 98.6%, 제2 주성분은 1.4%로 나타났으며, 식물성 콜드컷과 고기 콜드컷은 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

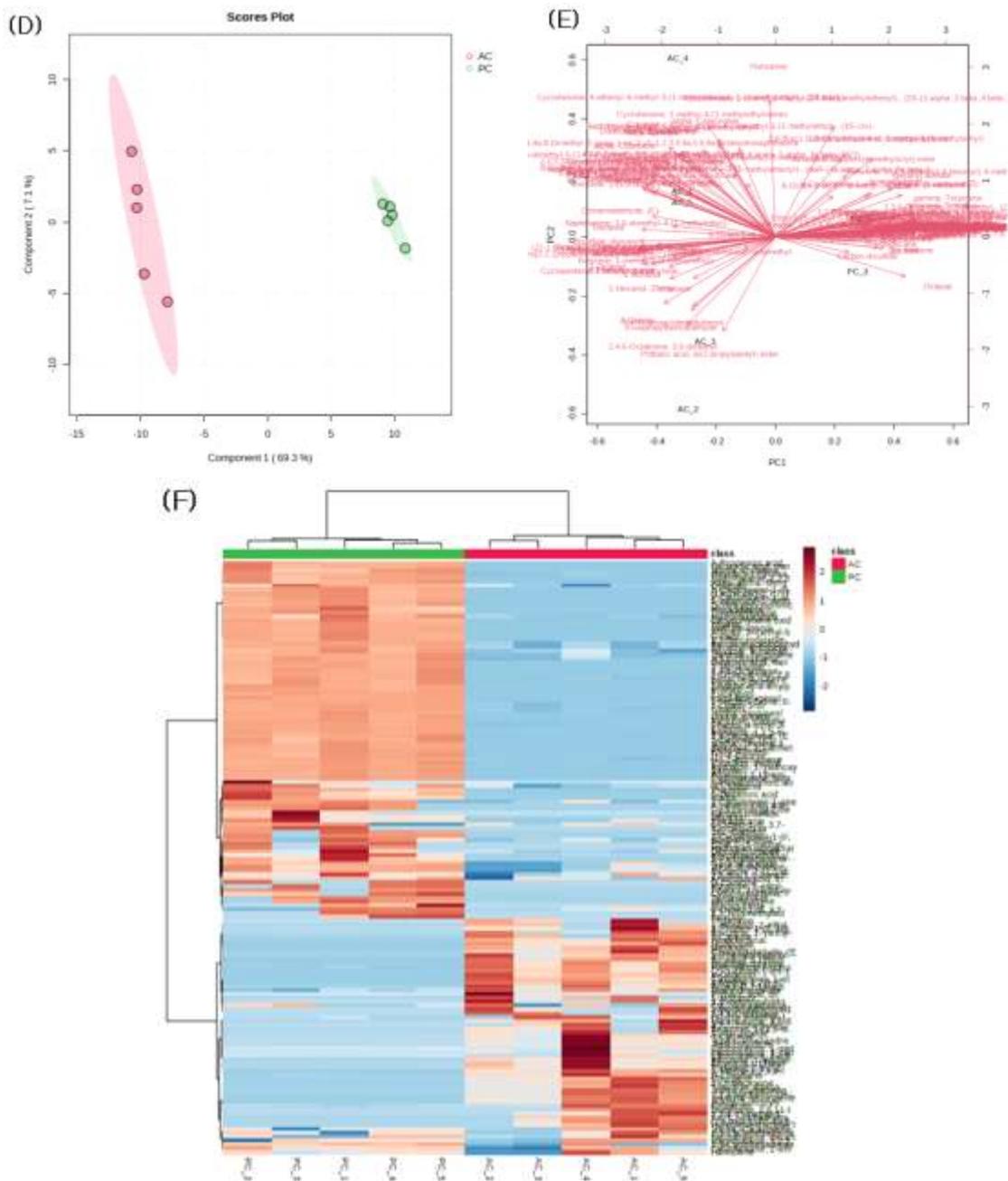


Figure 40. PLS-DA, biplot and heatmap of volatile organic compounds of animal and plant-based cold cuts. (D, PLS-DA; E, Biplot; F, Heatmap; AC, animal-based cold cut; PC, plant-based cold cut; Analysis items, VOCs.)

- 식물성 콜드컷의 휘발성 유기화합물에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 40에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 69.3%, 제2 주성분은 7.1%로 나타났으며, 식물성 콜드컷과 고기 콜드컷은 휘발성 유기화합물에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

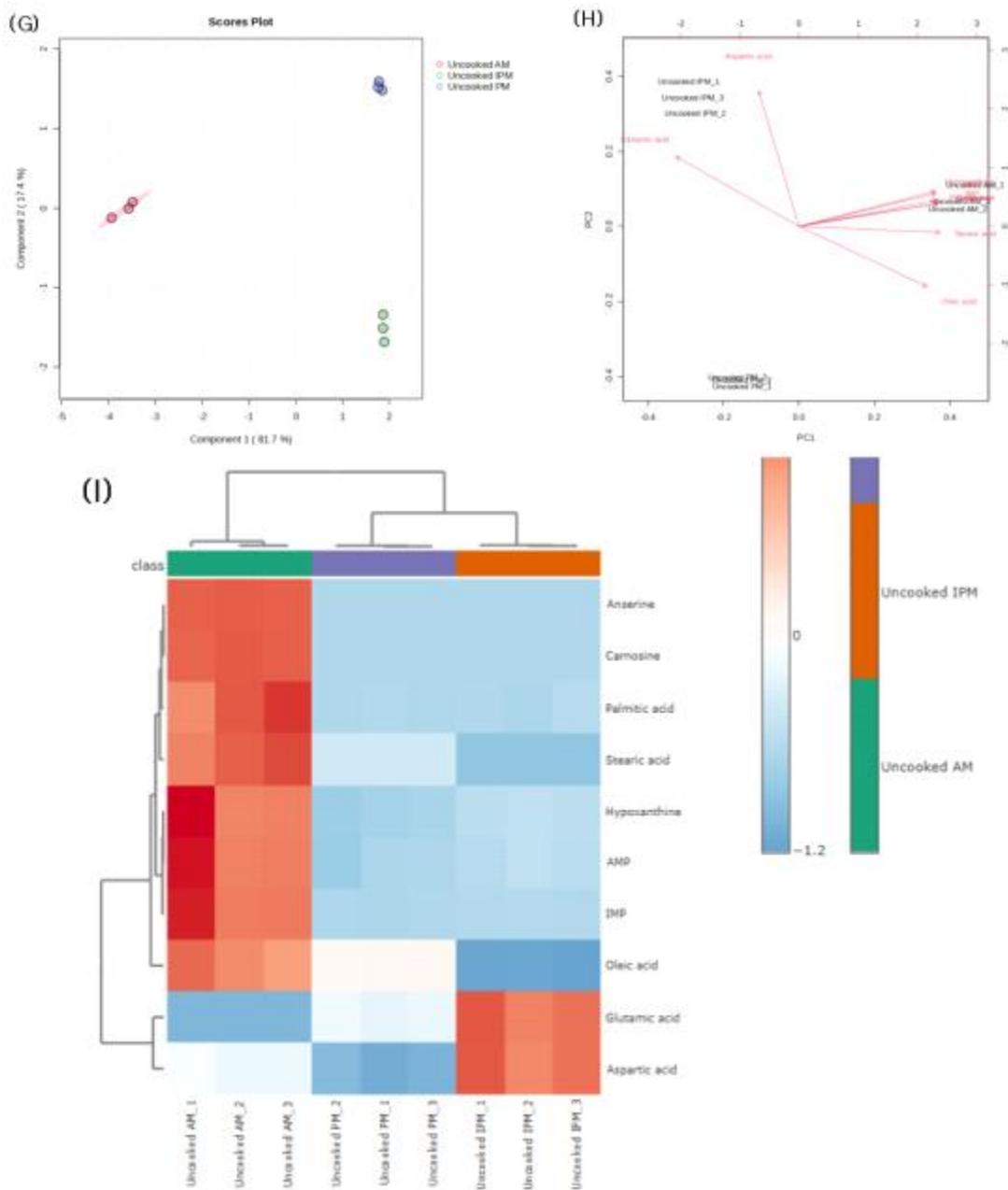


Figure 41. PLS-DA, biplot and heatmap of flavor compounds of uncooked animal and plant-based meatballs. (G, PLS-DA; H, Biplot; I, Heatmap; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball; Analysis items, AMP, IMP, Hypoxanthine, aspartic acid, glutamic acid, anserine, carnosine, palmitic acid, stearic acid, oleic acid.)

- 비조리 식물성 미트볼의 풍미 성분에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 41에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 81.7%, 제2 주성분은 17.4%로 나타났으며, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼, 고기 미트볼 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

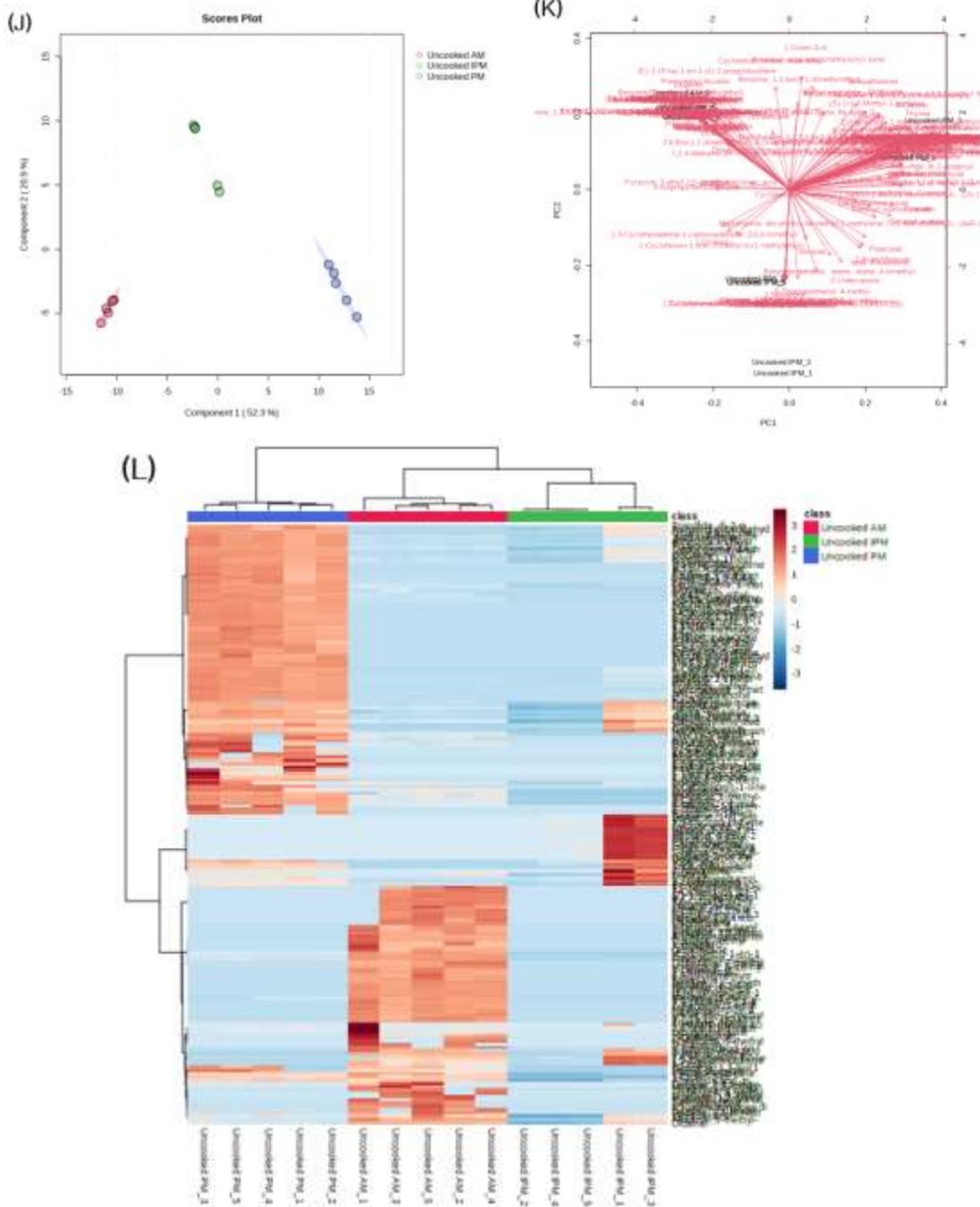


Figure 42. PLS-DA, biplot and heatmap of volatile organic compounds of uncooked animal and plant-based meatballs. (J, PLS-DA; K, Biplot; L, Heatmap; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball; Analysis items, VOCs.)

- 비조리 식물성 미트볼의 휘발성 유기화합물에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 42에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 52.3%, 제2 주성분은 20.9%로 나타났으며, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼, 고기 미트볼 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 하지만, 개선후 식물성 미트볼은 개선전 식물성 미트볼보다 고기 미트볼에 가까운 클러스터를 나타냈다.

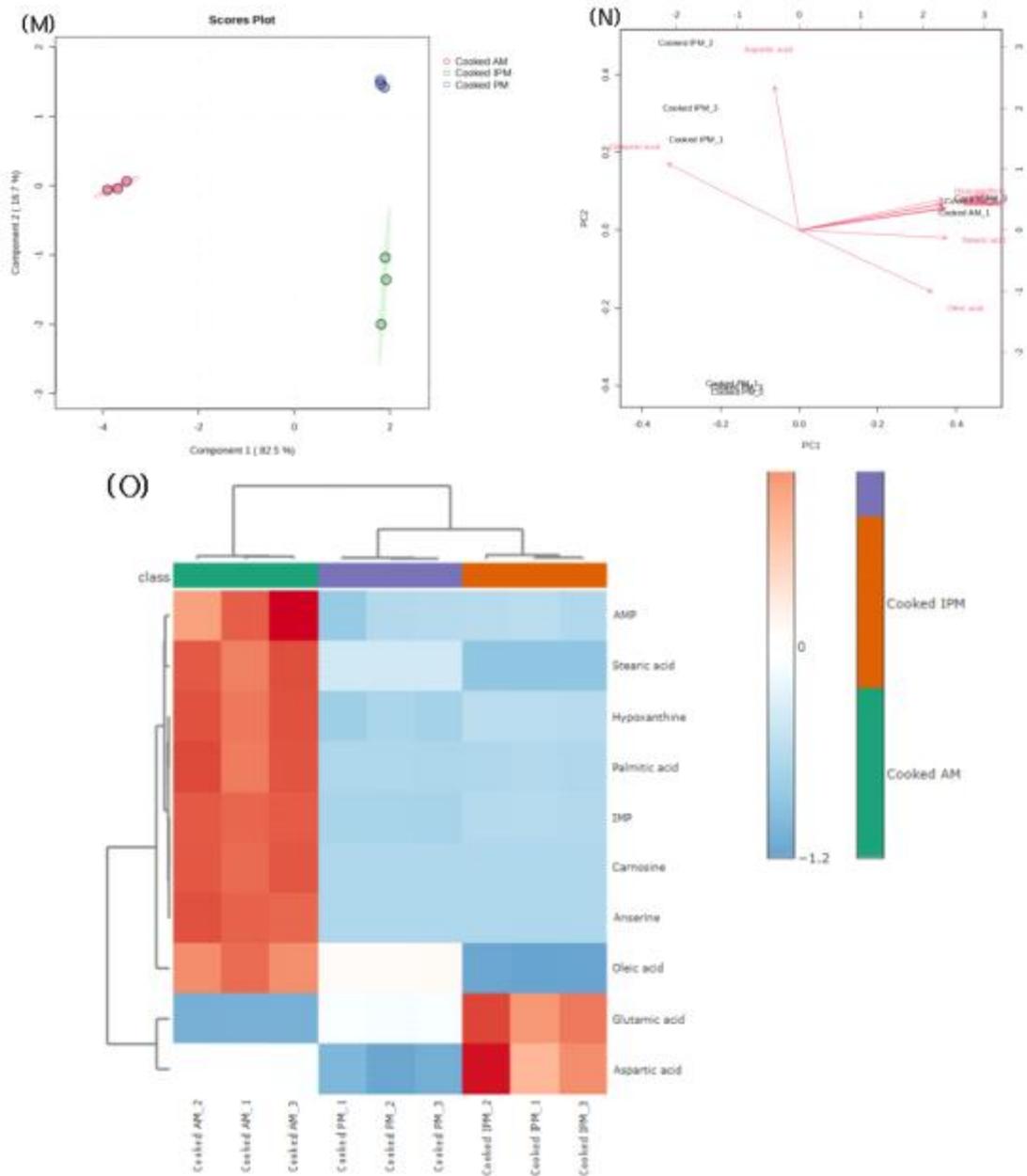


Figure 43. PLS-DA, biplot and heatmap of flavor compounds of cooked animal and plant-based meatballs. (M, PLS-DA; N, Biplot; O, Heatmap; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball; Analysis items, AMP, IMP, Hypoxanthine, aspartic acid, glutamic acid, anserine, carnosine, palmitic acid, stearic acid, oleic acid.)

- 조리한 식물성 미트볼의 풍미 성분에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 43에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 82.5%, 제2 주성분은 16.7%로 나타났으며, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼, 고기 미트볼 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

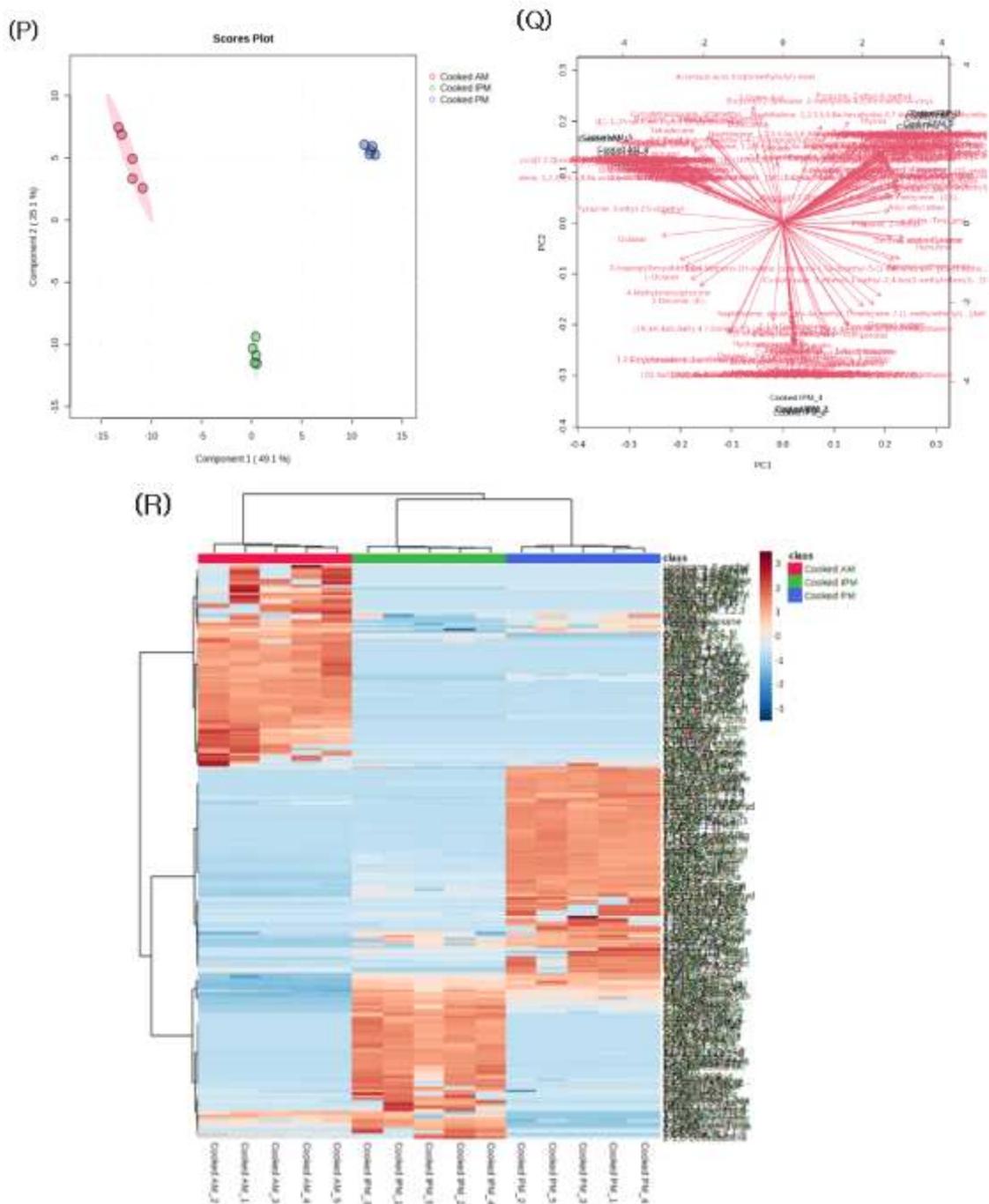


Figure 44. PLS-DA, biplot and heatmap of volatile organic compounds of cooked animal and plant-based patties. (P, PLS-DA; Q, Biplot; R, Heatmap; AM, animal-based meatball; PM, plant-based meatball; IPM, improved plant-based meatball; Analysis items, VOCs.)

- 조리한 식물성 미트볼의 휘발성 유기화합물에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 44에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 49.1%, 제2 주성분은 35.1%로 나타났으며, 개선전 식물성 미트볼, 개선후 식물성 미트볼, 고기 미트볼 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 하지만, 개선후 식물성 미트볼은 개선전 식물성 미트볼보다 고기 미트볼에 가까운 클러스터를 나타냈다.

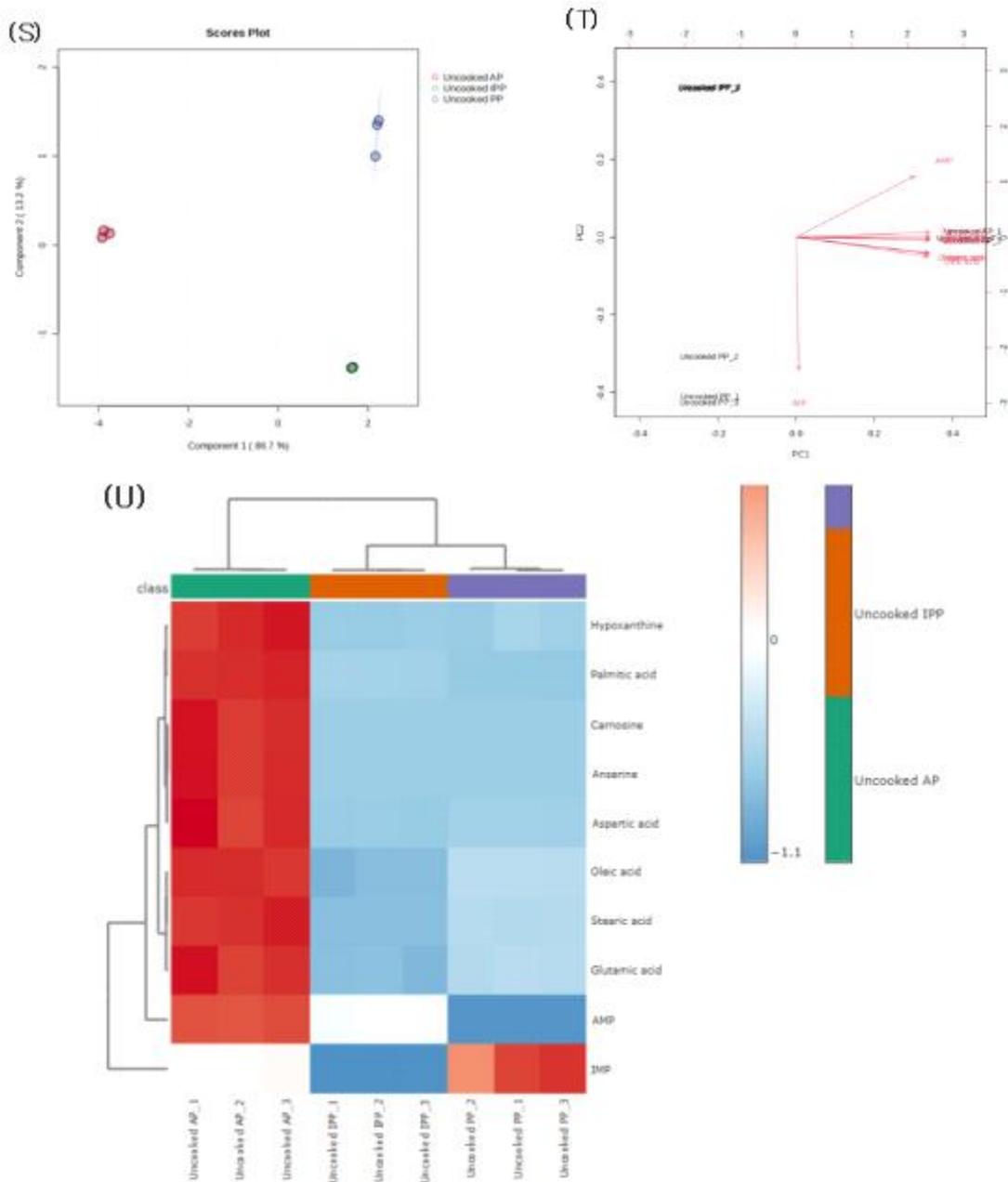


Figure 45. PLS-DA, biplot and heatmap of flavor compounds of uncooked animal and plant-based patties. (S, PLS-DA; T, Biplot; U, Heatmap; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty; Analysis items, AMP, IMP, Hypoxanthine, aspartic acid, glutamic acid, anserine, carnosine, palmitic acid, stearic acid, oleic acid.)

- 비조리 식물성 패티의 풍미 성분에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 45에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 86.7%, 제2 주성분은 13.2%로 나타났으며, 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 패티, 고기 패티 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

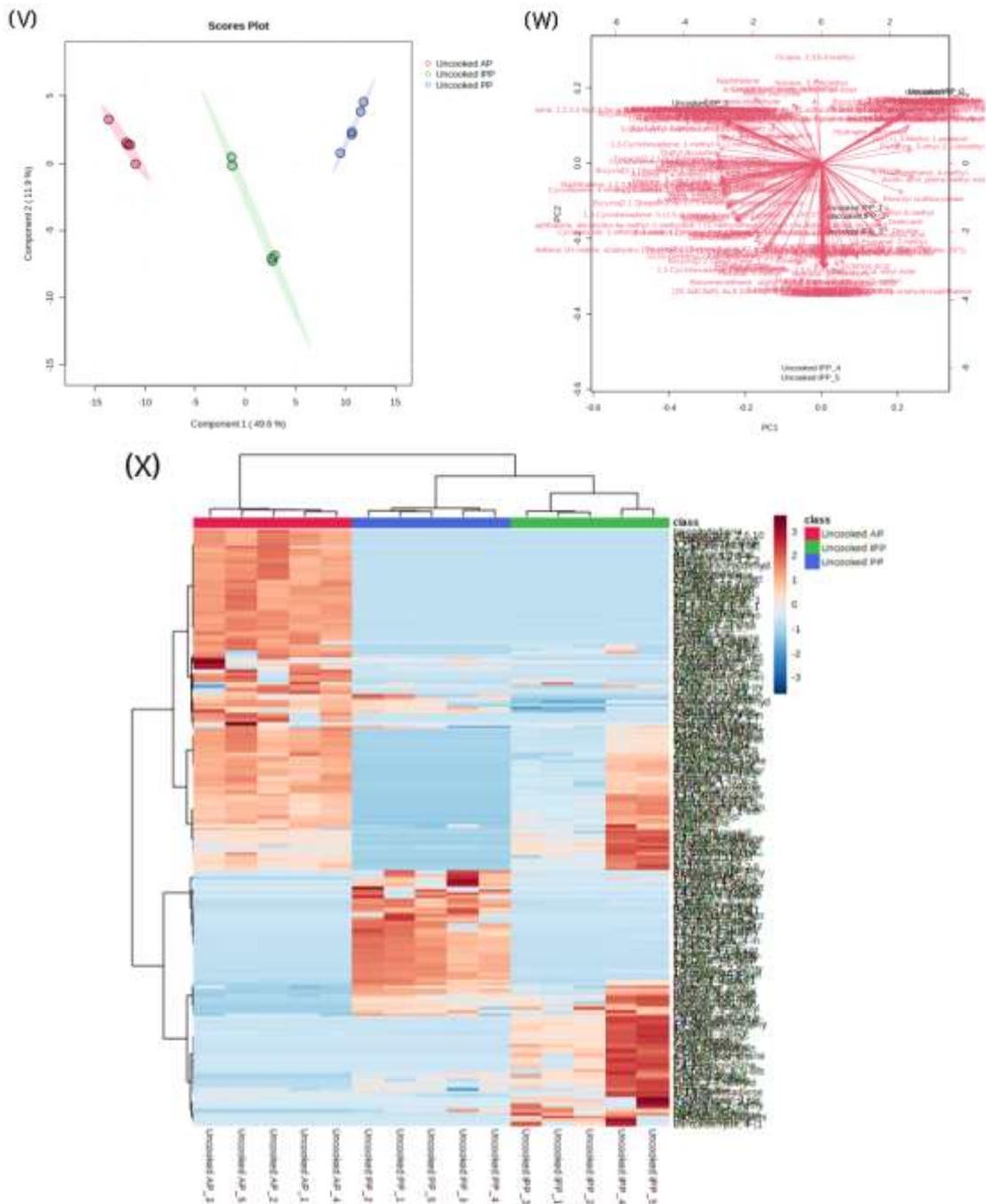


Figure 46. PLS-DA, biplot and heatmap of volatile organic compounds of cooked animal and plant-based patties. (V, PLS-DA; W, Biplot; X, Heatmap; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty; Analysis items, VOCs.)

- 비조리 식물성 패티의 휘발성 유기화합물에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 46에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 휘발성 유기화합물의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 49.5%, 제2 주성분은 11.9%로 나타났으며, 개선전 식물성 패티, 개선 후 식물성 패티, 고기 패티 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 하지만, 개선 후 식물성 패티는 개선 전 식물성 패티보다 고기 패티에 가까운 클러스터를 나타냈다.

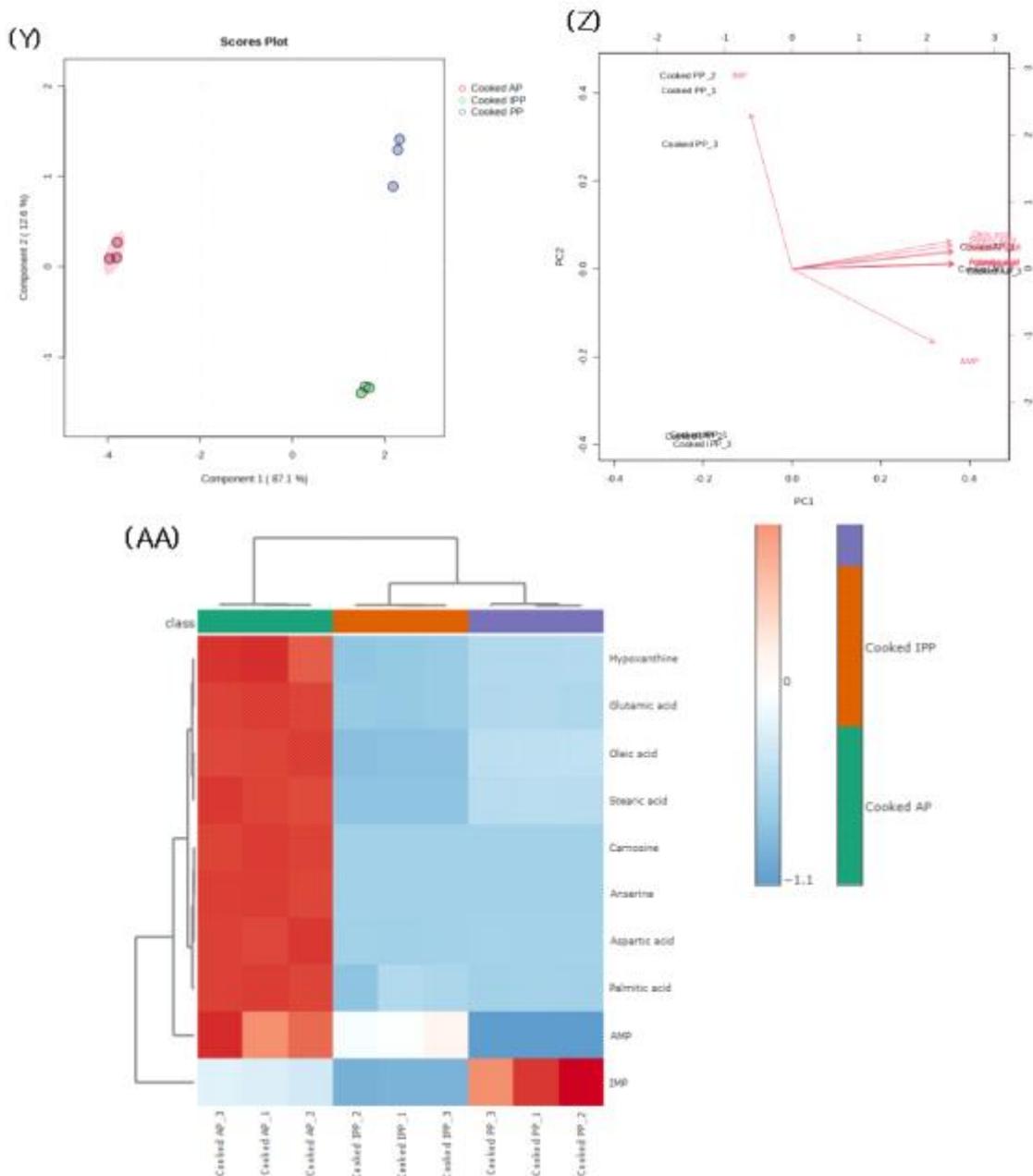


Figure 47. PLS-DA, biplot and heatmap of flavor compounds of cooked animal and plant-based patties. (Y, PLS-DA; Z, Biplot; AA, Heatmap; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty; Analysis items, AMP, IMP, Hypoxanthine, aspartic acid, glutamic acid, anserine, carnosine, palmitic acid, stearic acid, oleic acid.)

- 조리한 식물성 패티의 풍미 성분에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 47에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 풍미 성분의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 87.1%, 제2 주성분은 12.6%로 나타났으며, 개선전 식물성 패티, 개선후 식물성 패티, 고기 패티 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.

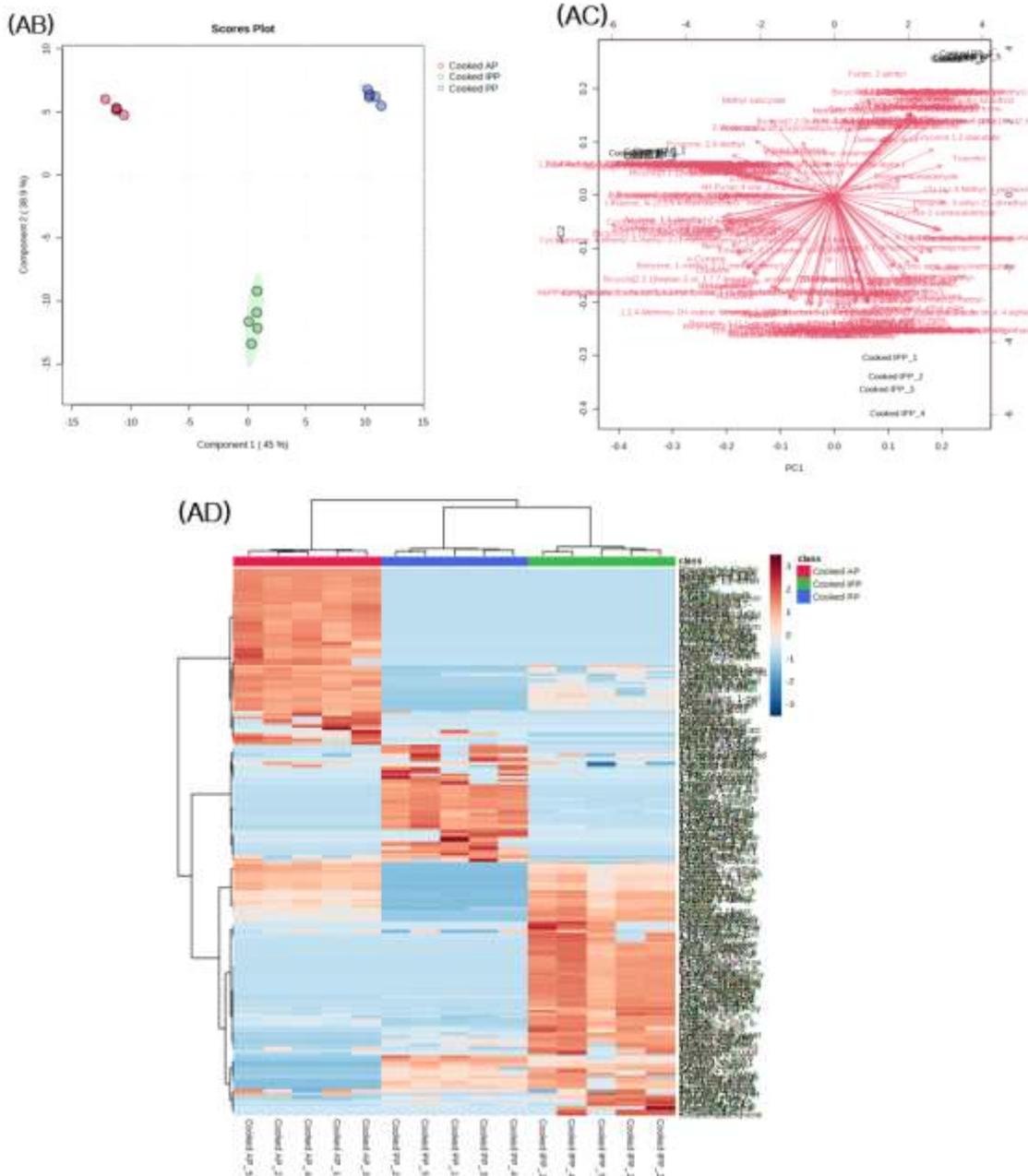


Figure 48. PLS-DA, biplot and heatmap of volatile organic compounds of cooked animal and plant-based patties. (AB, PLS-DA; AC, Biplot; AD, Heatmap; AP, animal-based patty; PP, plant-based patty; IPP, improved plant-based patty; Analysis items, VOCs.)

- 조리한 식물성 패티의 휘발성 유기화합물에 대한 소고기 유사성 규명 결과는 Figure 48에 나타내었다.
- 제품 특성에 따른 휘발성 유기화합물의 유사성 및 차이를 규명하기 위해 PLS-DA를 분석한 결과 제1 주성분은 45.0%, 제2 주성분은 38.9%로 나타났으며, 개선전 식물성 패티, 개선 후 식물성 패티, 고기 패티 모두 풍미 성분에 대해 서로 다른 클러스터를 나타냈다.
- 하지만, 개선 후 식물성 패티는 개선전 식물성 패티보다 고기 패티에 가까운 클러스터를 나타냈다.

3D 프린터 활용 식물성 대체육 제조 기술 연구

이화여자대학교
연구책임자 : 이진규

[3D 프린터 활용 식물성 대체육 제조 기술 연구]

(제3공동연구기관-이화여자대학교)

1) 신규 식물단백 원료 탐색 및 이화학적 특성 분석

(1) 연구수행 방법

가. 3D 식물성 대체육 조직화를 위한 신규 식물단백 원료의 가공 방법에 대한 연구

가) 실험재료

- 실험에 사용된 완두단백은 Piowald (Germany), 글루텐은 Chunggeun (South Korea) 제품을 이용하였다.

나) 실험방법

(가) 식물단백 원료의 가공 조건 확립

- 식물단백 원료의 가공 조건을 달리하였을 때 생성되는 분말의 물리화학적 특성을 연구하였으며, 완두단백분말을 이용하여 가공 방법을 확립하고자 하였다. Sieve를 이용하여 분말을 $\geq 53 \mu\text{m}$, $53-100 \mu\text{m}$ 및 $100-200 \mu\text{m}$ 입자크기별로 분리하였다.

(나) Morphology

- 먼저, 입자크기별로 분리한 완두단백 분말 특성을 확인하고자 particle shape을 분석하였으며, 주사전자현미경 (TM3030Plus, HITACHI, Japan)을 이용하여 100 및 600배율로 관찰하였다.

(다) Analysis of particle size

- 조직화를 위한 식물단백 원료의 가공방법을 선정하고자 입자크기별로 분리한 완두단백 분말의 입도 및 주관기관 (주)신세계푸드에서 공급받은 식물단백 원료의 particle size를 분석하였다.

(라) Analysis of dispersion stability

- 분산안정성은 zeta potential(제타전위) 측정을 통해 분석하였으며, 제타전위의 크기는 같은 전자 사이의 반발력을 나타낸다.
- 제타전위가 높을수록 같은 전자끼리의 반발력이 커서 교질 (콜로이드) 내에 입자가 안정적으로 분산된다.
- 입자크기에 따른 식물단백 원료의 분산안정성을 확인하고자 dynamic light scattering (DLS, ELS-2000, Otsuka Electronics Co., Ltd. Japan)를 이용하여 zeta potential을 측정하였다.

(마) Analysis of rheology

- 입자 표면에 다양한 가공변수를 갖는 단백질 분말 기반 원료를 이용하여 대체 단백질

의 ink를 제조하고 노즐에 미치는 토출 거동을 확인하고자 하였다. 토출 거동은 rheometer (MCR102, Anton Paar, Austria)를 이용하여 분석하였으며, 1% strain, 25°C의 조건으로 frequency sweep을 분석하였다.

(바) 식물성 기반 대체 단백질의 3D 프린팅

- 유변학적 특성 분석을 통해, 토출거동을 확인하고 식물성 기반 대체 단백질 ink를 구조화 시키고자, 3D 프린터의 default printing speed는 180 mm/min, X/Y axis speed는 240 mm/min, Z axis speed는 480 mm/min, infill 밀도는 80%로 설정하였으며, 직육면체 형태 (18x18x5 mm)로 출력하였다.

(사) Analysis of texture

- 입자크기별 완두단백 원료가 물성에 미치는 영향을 확인하기 위해 입자크기별 완두단백 2.5 g, 글루텐 2.5 g 및 D.W. 8 g을 혼합하여 반죽물을 제조하였다.
- 입자크기별 완두단백 반죽물은 2 g씩 소분하여 pre-test speed, test speed, post-test speed, strain 및 trigger force를 각각 1 mm/sec, 5 mm/sec, 5 mm/sec, 75% 및 5 g으로 설정하여 TPA로 3번 반복하여 측정하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 식물단백 원료의 가공 조건 확립

- 분석결과, 입자크기가 작아질수록 입자크기가 균일하고 분산안정성 및 경도가 높아지는 것으로 나타났다.
- 따라서, 3D 프린터를 이용하여 비분쇄육 대체육을 제조하기 위해 노즐에서 식품 ink가 원활하게 토출되고 햄류의 물성이 아닌 실제 육류 조직감 및 단단함을 구현하고자 $\geq 53 \mu\text{m}$ 입자 크기를 식물단백 원료 가공방법으로 선정하였다.

나. Morphology

- 입형 분석결과는 Figure 1과 같으며, 전반적인 완두단백 분말의 입형은 표면이 매끄럽고 타원형, 굴곡이 많은 형태 등으로 관찰되었다.
- A는 가공 전의 분말 상태로 다양한 크기로 나타났으며, 입자크기가 작아질수록 비슷한 모양과 균일한 크기로 나타났다 (Figure 1).
- 입자크기별 완두단백 분말을 이용하여 반죽물을 제조하고 SEM으로 단면도를 측정한 결과, 입자 크기가 작아질수록 반죽물의 공기층이 적어 조밀도가 더 촘촘하고, 분말 형태의 잔여물이 적어 혼합이 잘 이루어지는 것을 확인할 수 있다 (Figure 2).
- 조직화를 위한 신규 식물단백 원료를 선정하고자 주관기관 (주)신세계푸드에서 완두단백, 파바빈단백 및 녹두단백을 공급받았다. 공급 받은 식물단백 원료의 입형은 100 및 600 배율로 관찰하였으며, 분석 결과, 녹두단백은 매끄럽고 동그란 형태를 가지고 있는 반면, 완두 및 파바빈 단백질의 경우, 표면이 거칠고 다각형의 형태로 나타났다 (Figure 3).

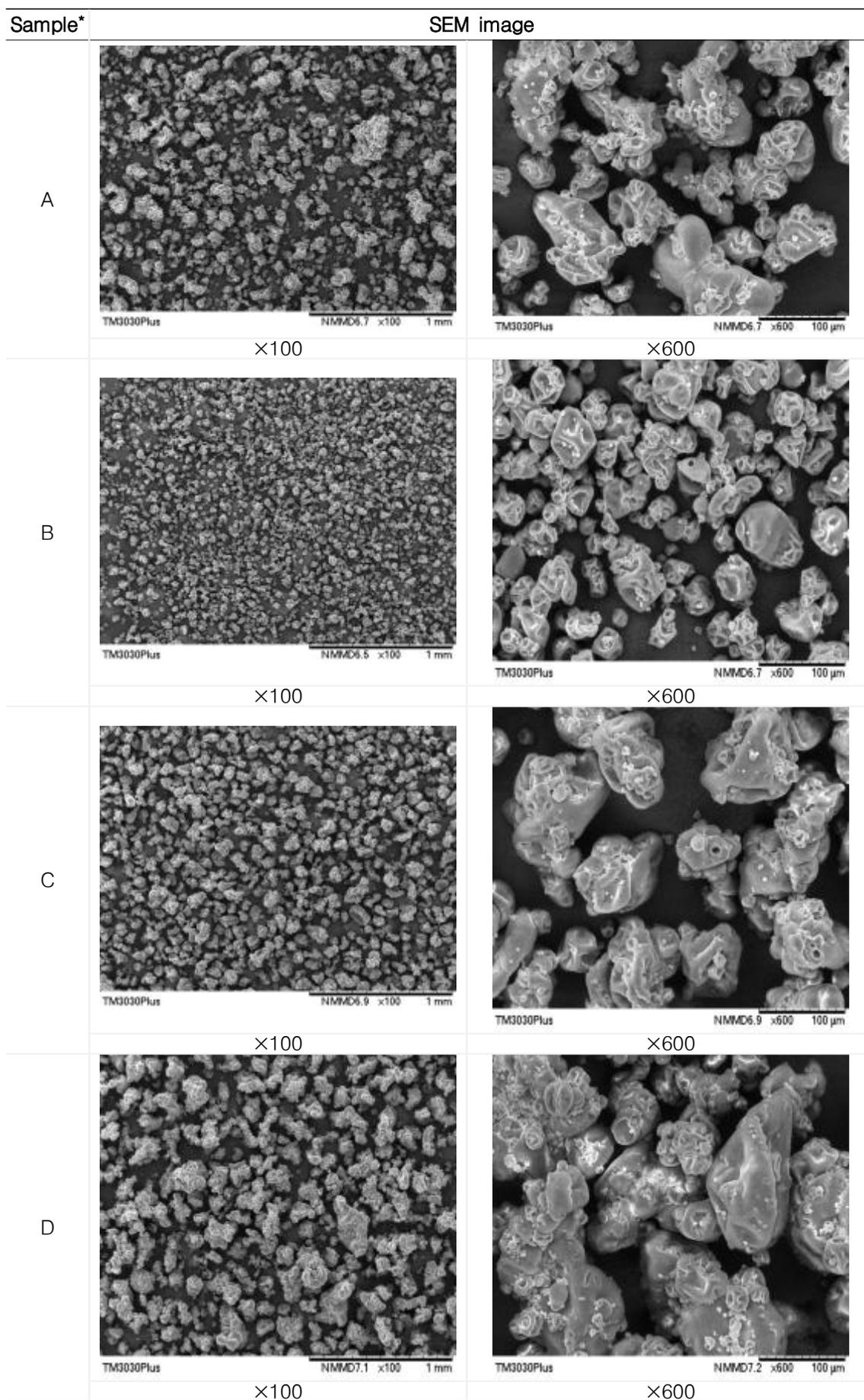
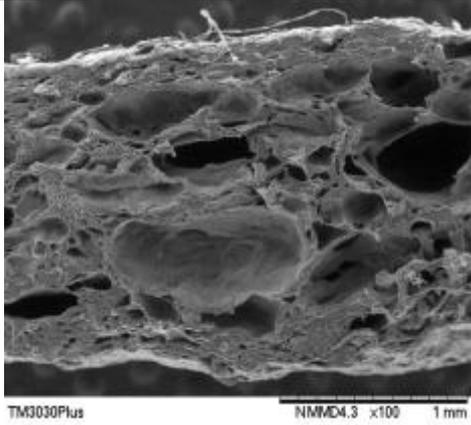
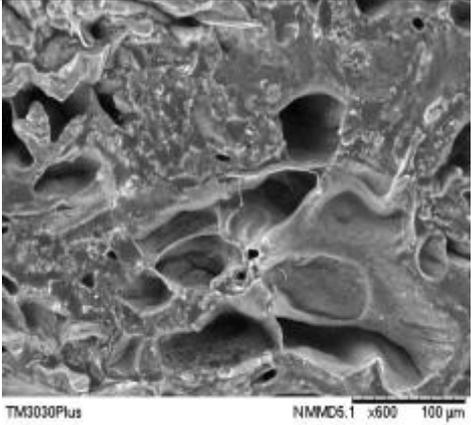
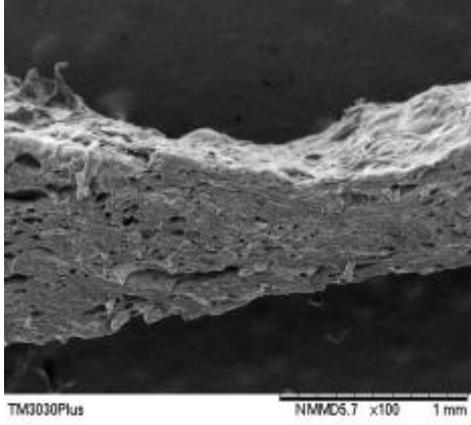
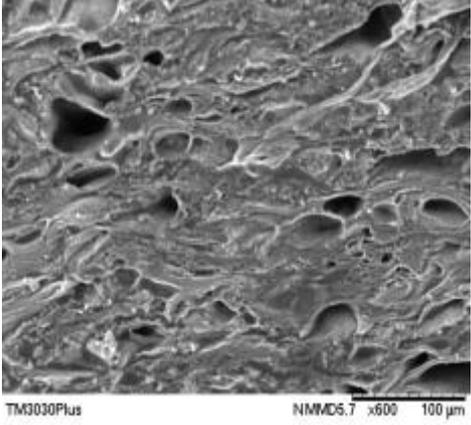
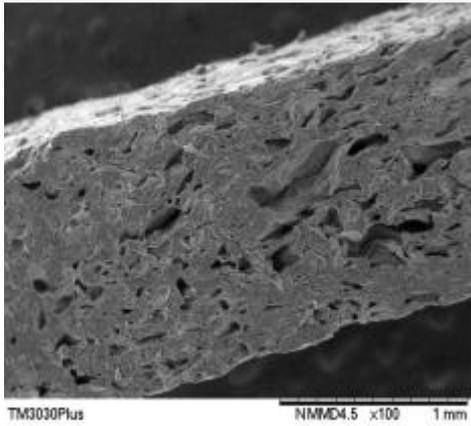
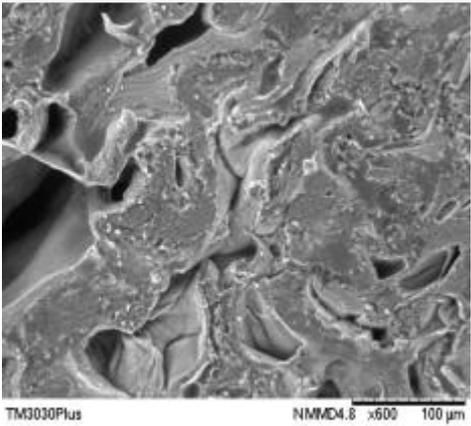


Figure 1. SEM image of pea protein powder according to particle size. A, Powder before processing; B, Powder after processing ($53 \mu\text{m} \geq$); C, Powder after processing ($53\text{--}100 \mu\text{m}$); D,

Powder after processing (100–200 μm).

Sample*	SEM image	
A		
	×100	×600
B		
	×100	×600
C		
	×100	×600

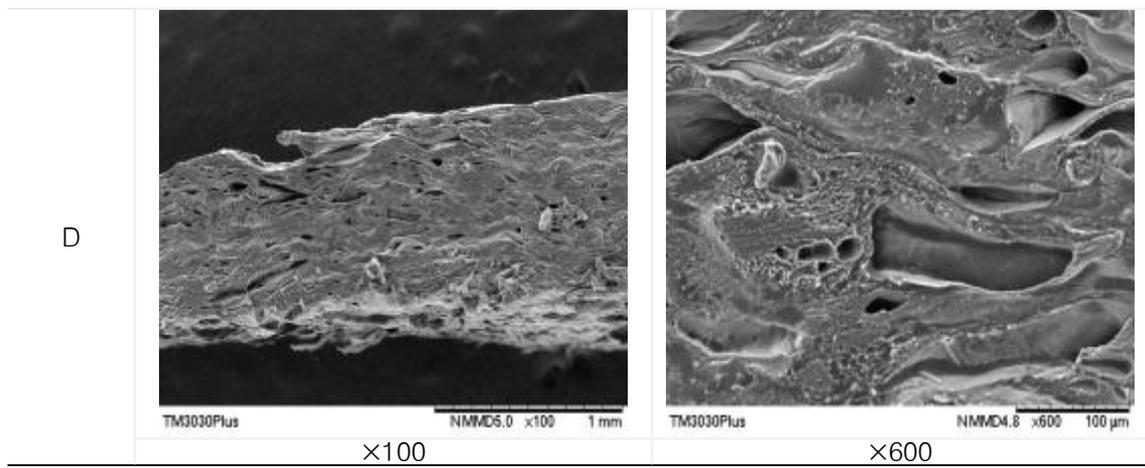
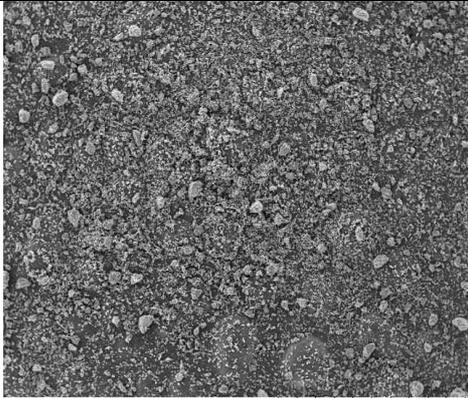
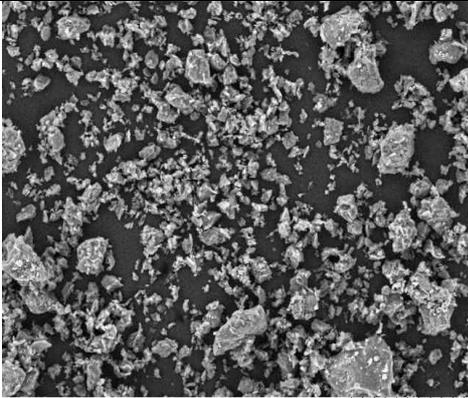
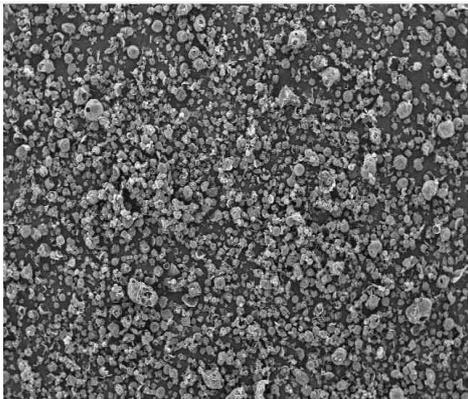
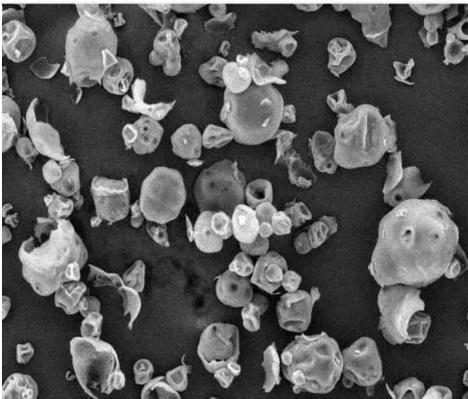


Figure 2. SEM image of pea protein mixture according to particle size. A, Mixture using powder before processing; B, Mixture using powder after processing ($53\ \mu\text{m} \geq$); C, Mixture using powder after processing ($53\text{--}100\ \mu\text{m}$); D, Mixture using powder after processing ($100\text{--}200\ \mu\text{m}$).

Sample	SEM image	
Pea		
	×100	×600
Mung bean		
	×100	×600

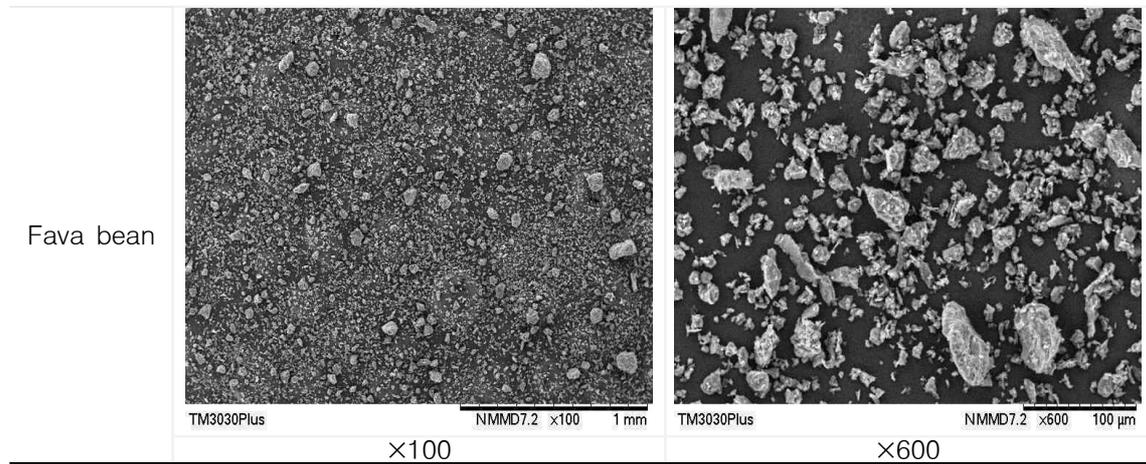


Figure 3. SEM image according to vegetable protein powder.

다. Analysis of particle size

- D10은 시료 10%에 해당하는 크기, D50은 시료 50%에 해당하는 크기, D90은 시료 90%에 해당하는 크기, mean D는 평균 크기를 뜻한다.
- Table 1은 입자크기별로 분리한 완두단백 분말의 입도분석 결과로 D10, D50, D90 및 mean D에서 모두 유의적인 차이가 나타났으며, 완두단백 분말의 입자를 분리가공하기 전과 비교하여 분리 후, 입자크기가 작을수록 입도 분석 결과에서도 작게 나타난 것을 확인하였다.
- Table 2는 신규 식물단백 원료 물질을 선정하고자 (주)신세계푸드에서 공급받은 식물단백 원료의 입도분석 결과로 Table 1과 마찬가지로 D10, D50, D90 및 mean D에서 모두 유의적인 차이가 나타났으며, 녹두단백에서 D10, D50, D90 및 mean D 값이 각각 $1.92 \pm 0.29 \mu\text{m}$, $7.95 \pm 0.56 \mu\text{m}$, $21.18 \pm 0.54 \mu\text{m}$ 및 $7.07 \pm 0.52 \mu\text{m}$ 로 가장 작은 입자 사이즈를 가진 것으로 나타났다.
- 입자 사이즈는 3D 프린팅 시, 식품 ink가 노즐에서 막힘현상 없이 용이하게 토출되기 위해서 고려해야할 중요한 요소 중 하나로 입자 크기가 작고 균일할수록 식품 ink가 노즐에서 원활하게 토출되므로 입도 크기를 고려 시, 녹두단백이 적합한 원료로 판단된다.

Table 1. Particle size distribution of pea protein powder according to particle size

Sample*	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)	Mean D (μm)
A	12.00 ± 1.81^a	65.08 ± 5.63^b	137.86 ± 6.32^b	50.46 ± 4.24^b
B	5.01 ± 0.25^b	24.85 ± 1.08^d	65.26 ± 1.83^c	20.78 ± 0.85^d
C	6.75 ± 0.33^b	51.69 ± 2.94^c	143.73 ± 4.78^b	39.48 ± 1.80^c
D	9.84 ± 2.55^a	79.57 ± 3.93^a	214.26 ± 3.97^a	59.06 ± 5.61^a

*A, Powder before processing; B, Powder after processing ($\geq 53 \mu\text{m}$); C, Powder after processing ($53\text{--}100 \mu\text{m}$); D, Powder after processing ($100\text{--}200 \mu\text{m}$).

*Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

Table 2. Particle size distribution according to vegetable protein powder

Sample*	D10 (μm)	D50 (μm)	D90 (μm)	Mean D (μm)
Pea	3.65 \pm 0.12 ^b	15.64 \pm 0.51 ^b	58.83 \pm 6.37 ^a	14.76 \pm 0.77 ^b
Mung bean	1.92 \pm 0.29 ^c	7.95 \pm 0.56 ^c	21.18 \pm 0.54 ^b	7.07 \pm 0.52 ^c
Fava bean	4.32 \pm 0.15 ^a	18.07 \pm 0.78 ^a	68.74 \pm 6.86 ^a	17.28 \pm 0.94 ^a

*Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at p<0.05 (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

라. Analysis of dispersion stability

- 완두단백 분말의 입자크기별 분산안정성 측정결과, 일반적으로 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났으며, 입자 크기가 작을수록 분산안정성이 더 높은 것으로 확인되었다 (Table 3).
- 분산안정성은 $\leq 53 \mu\text{m}$, 53–100 μm 크기에서는 유의적인 차이가 나타나지 않은 것으로 보아 $\leq 100 \mu\text{m}$ 의 입자 크기에서 분산이 안정적인 것으로 판단되었다.
- 신규 식물단백 원료를 선정하기 위해 녹두, 완두 및 파바빈 단백질의 분산안정성을 확인하였으며, 측정결과, 유의적인 차이는 없었으나 Table 3의 A~D 시료와 비교 시, 절대 값이 더 큰 것으로 보아 분산안정성이 높은 것을 확인하였다 (Table 4).

Table 3. Dispersion stability of pea protein powder according to particle size

Sample*	Zeta potential
A	-12.48 \pm 0.41 ^b
B	-18.15 \pm 0.17 ^c
C	-18.67 \pm 0.47 ^c
D	-9.67 \pm 0.38 ^a

*A, Powder before processing; B, Powder after processing ($53 \mu\text{m} \geq$); C, Powder after processing (53–100 μm); D, Powder after processing (100–200 μm).

*Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at p<0.05 (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

Table 4. Dispersion stability according to vegetable protein powder

Sample*	Zeta potential
Pea	-25.13 \pm 1.09 ^a
Mung bean	-25.43 \pm 0.69 ^a
Fava bean	-25.81 \pm 1.65 ^a

*Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at p<0.05 (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

마. Analysis of rheology

- 대체 단백질의 토출 거동성을 확인하고자 유변학적 특성을 분석한 결과 (Figure 4), 식물성 기반 대체 단백질의 ink는 입자 표면에 관계없이 모두 shear-thinning의 특성으로 나타나 노즐에서 원활하게 토출됨을 확인하였다.
- Tan δ (Loss factor)는 G'에 대한 G''의 비율, G' (저장 탄성률, storage modulus)은 탄성적특성, G'' (손실 탄성률, loss modulus)은 점성적특성을 나타내며, tan δ 는 1 미만으로 모든 시료에서 탄성적 거동으로 나타났으며, angular frequency가 높아짐에 따라 탄성적

거동이 더 강해지는 것을 확인하였다.

- 유변학적 특성 분석 결과, 입자의 표면적이 작을수록 탄성적 특성 및 점성적 특성이 높아졌으며, 일반적으로 G' 및 G'' 값이 낮을수록 토출이 더 용이하였다.

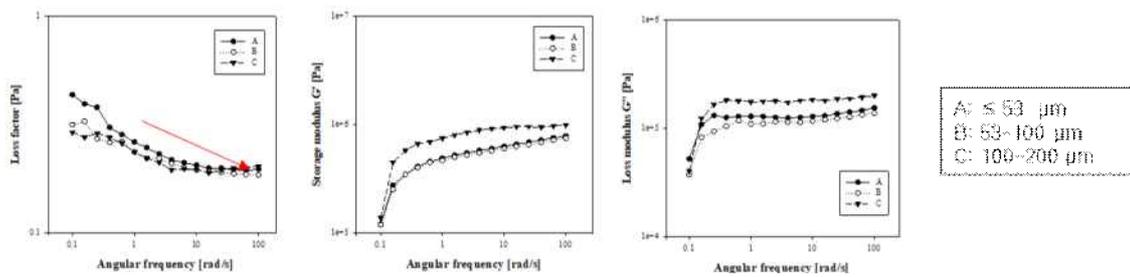


Figure 4. Results of rheology property about ink of protein according to particle size. A, $\geq 53 \mu\text{m}$; B, $53\text{--}100 \mu\text{m}$; C, $100\text{--}200 \mu\text{m}$.

바. 식물성 기반 대체 단백질의 3D 프린팅

- 식물성 대체 단백질의 가공 변수에 따른 출력능을 확인하고자 3D 프린팅을 진행하였으며, 분석결과는 Figure 5와 같다.
- 유변학적 특성에서 확인한 결과와 마찬가지로 shear-thinning을 띄는 대체 단백질 ink는 모두 원활하게 출력되었으나 출력물의 크기 및 infill 밀도에 차이가 나타났다.
- $53 \mu\text{m}$ 이하 시료의 경우, 주어진 infill 80%와 유사하게 간격이 있는 것으로 나타났으나, $53\text{--}100 \mu\text{m}$, $100\text{--}200 \mu\text{m}$ 의 경우 CAD 모델링과 달리 크기가 크고 infill 밀도가 촘촘하게 나타나 3D 프린팅 해상도가 다소 떨어졌다.
- 식물성 대체 단백질의 가공 변수에 따른 3D 프린팅 해상도 결과로 보아, 3D 프린팅 시, 입자의 크기가 작을수록 3D 프린팅능이 높은 것으로 판단된다.

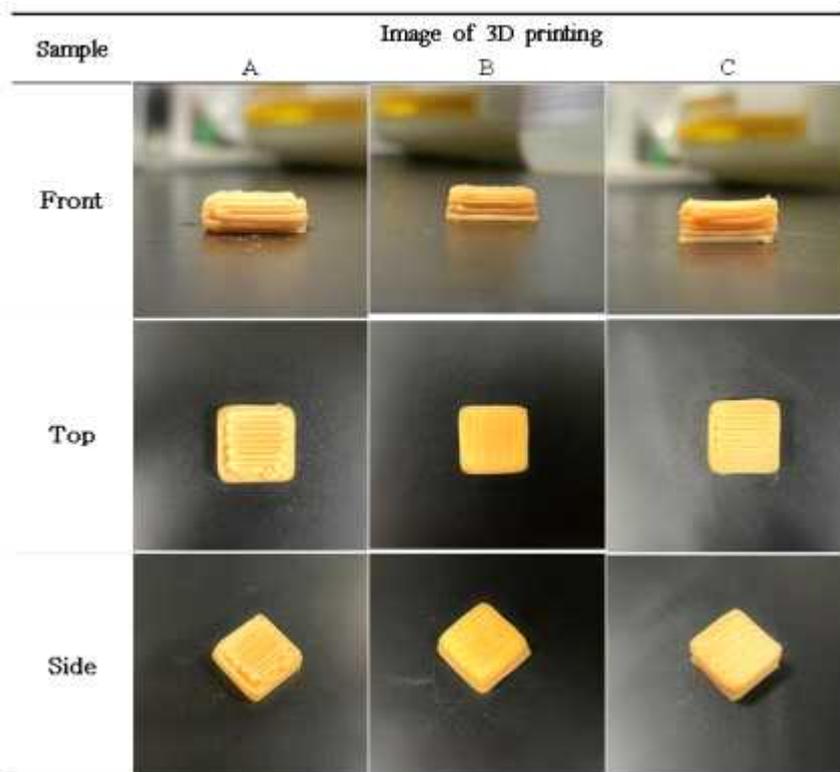


Figure 5. Appearance of 3D plant-based protein. A, $\geq 53 \mu\text{m}$; B, $53\text{--}100 \mu\text{m}$; C, $100\text{--}200 \mu\text{m}$.

사. Analysis of texture

- TPA는 hardness, adhesiveness, cohesion 및 springiness에 대해 측정하였으며, 측정결과, hardness 및 springiness에서 유의적인 차이가 나타났으며, adhesiveness 및 cohesion은 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 5).
- Hardness의 경우 시료 A 및 B에서 각각 $1,487.41 \pm 376.62 \text{ g}$ 및 $1,455.64 \pm 336.33 \text{ g}$ 으로 입자 크기가 작아질수록 Hardness가 높아지는 것을 확인하였다.
- 물체가 외부에서 힘을 받았을 때 튀기는 힘이 있는 성질인 springiness는 시료 B 및 C에서 각각 $69.05 \pm 19.17\%$ 및 $92.13 \pm 0.60\%$ 로 높은 것을 확인하였다.

Table 5. Texture analysis of pea protein powder according to particle size

Sample*	Hardness (g)	Adhesiveness (g.sec)	Cohesion	Springiness (%)
A	$1,487.41 \pm 376.62^a$	-100.41 ± 37.11^a	0.63 ± 0.08^a	39.54 ± 10.54^b
B	$1,455.64 \pm 336.33^a$	-190.67 ± 85.19^a	0.71 ± 0.12^a	69.05 ± 19.17^a
C	703.79 ± 49.39^b	-135.91 ± 5.48^a	0.73 ± 0.00^a	92.13 ± 0.60^a

*A, Powder after processing ($53 \mu\text{m} \geq$); B, Powder after processing ($53\text{--}100 \mu\text{m}$); C, Powder after processing ($100\text{--}200 \mu\text{m}$). Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

2) 섬유 방사 프린팅에 의한 식물 유래 단백질·지방 조직화 기술 개발 연구

(1) 연구수행 방법

가. Fiber mat 제조공정 확보 및 형태 관찰

가) 실험재료

- 실험에 사용된 zein은 Sigma (USA), gelatin은 이든타운에프앤비 (South Korea), chitosan은 BioFinest (USA) 제품을 이용하였다.

나) 실험방법

- 식물 유래 단백질·지방을 조직화하기 위한 방법으로 fiber mat를 제조하고자 하였으며, 사전 연구를 통해 zein, gelatin 및 chitosan 원료를 선정하여 방사 각도별로 fiber mat를 제조하여 물성 차이를 분석하고자 하였다.
- Fiber mat는 zein 및 gelatin을 1:1로 혼합하였으며, 총 고형분 함량은 30%로 80% acetic acid 용매에 용해하고 chitosan 4.5%를 첨가하여 자석교반기로 교반 후, 분산시켰다.
- Table 6와 같은 slime webbing (Figure 6) 파라미터를 설정하고 제조한 solution을 이용하여 fiber mat를 제조하였다.
- Fiber mat에 인장력이 가해졌을 때 나타나는 재료의 강도를 측정하기 위해 tensile strength (TS)을 측정하였으며, elongation at break (EAB)는 인장 시험 시, fiber mat가 늘어나는 비율을 확인하고자 측정하였다.

Table 6. Slime webbing parameters for manufacturing fiber mat based on protein materials

Parameter	Condition
Probe speed	10000 mm/min
Contents	2 mL
Gap	5.0 mm
Angle	45°, 60° and 90°
Lifting time	2 second
Distance	200 mm



Figure 6. Image of slime webbing (SW).

(2) 연구수행 결과

가. Fiber mat 제조공정 확보 및 형태 관찰

- 식물 유래 단백질을 조직화하기 위한 방법으로 fiber mat를 이용하였으며, 사전 연구를 통해 zein의 농도를 선정 후, 원료에 따른 섬유를 제조하였다.
- 식품 원료 및 방사각도별로 제조한 fiber mat는 주사전자현미경을 이용하여 100 및 600 배율로 관찰하였으며, 관찰 결과, 시료 모두 원료 또는 방사 각도에 관계없이 정교한 격자 형태를 보이는 것으로 나타났다 (Figure 7, 8).
- Table 7 및 8은 fiber mat의 물성을 분석한 결과로, tensile strength (TS)은 인장시험 시 물체가 잡아당기는 힘에 견딜 수 있는 최대한의 응력 (저항력)을 의미하고, 재료의 기계적 강도를 표시하는 값이다. Elongation at break (EAB)은 인장 시험 시, 시편이 끊어지는 지점으로 EAB값이 높을수록 잘 늘어나는 소재임을 의미한다.
- 식물성 원료만 함유되어 있는 경우 (Table 7A), gelatin 및 chitosan이 첨가된 섬유 (Table 7B)보다 TS 및 EAB가 모두 낮으므로 단백질을 조직화하기 위해 gelatin 및 chitosan을 첨가하여 물성을 증가시키고자 하였다.
- 이후, zein, gelatin 및 chitosan으로 구성된 fiber mat의 물성을 측정된 결과 (Table 8), 모두 유의적인 차이가 나타났으며, TS 및 EAB는 시료 A에서 각각 17.44 ± 1.91 MPa 및 $17.78 \pm 0.96\%$ 로 가장 높은 강도 및 연신율을 가지는 것으로 나타났다.

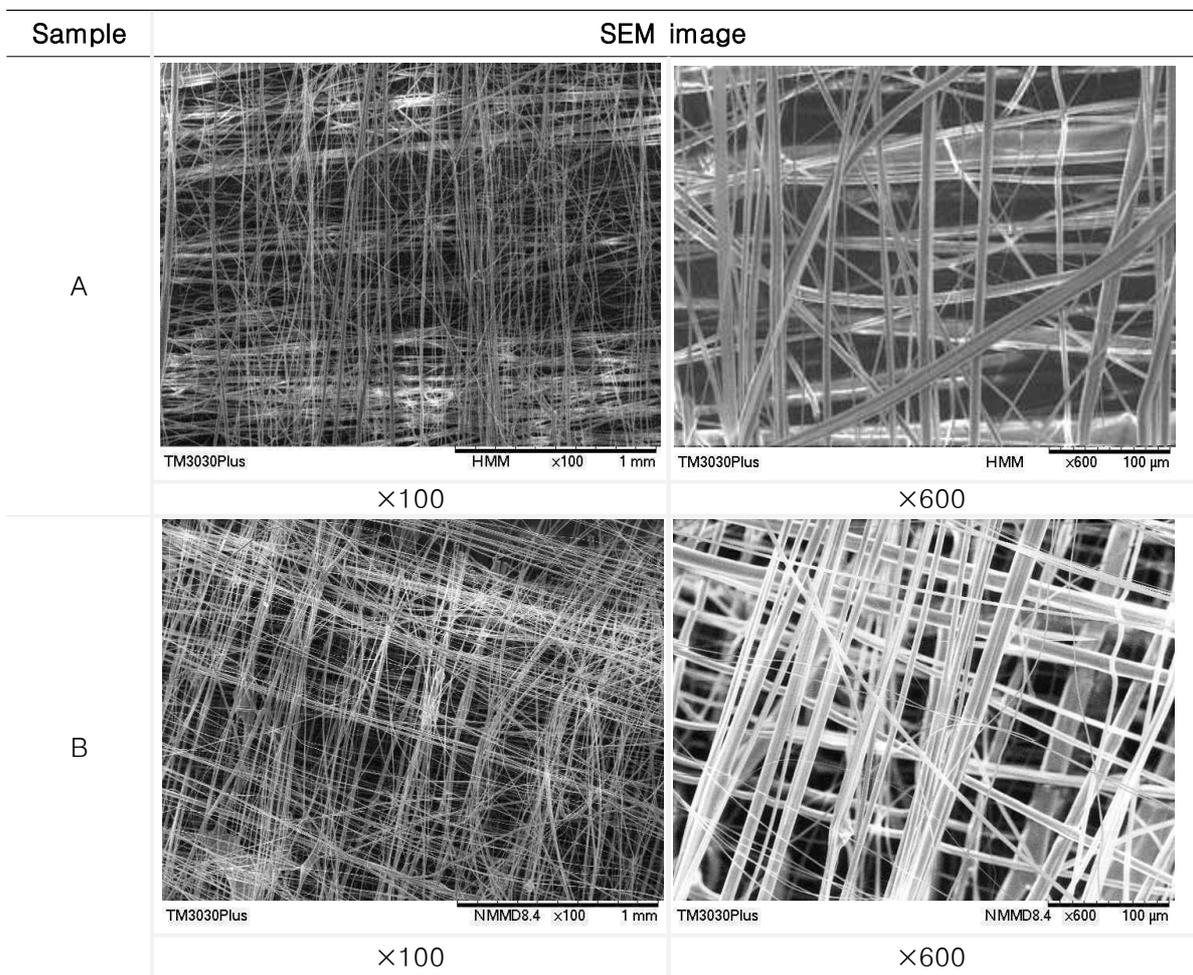
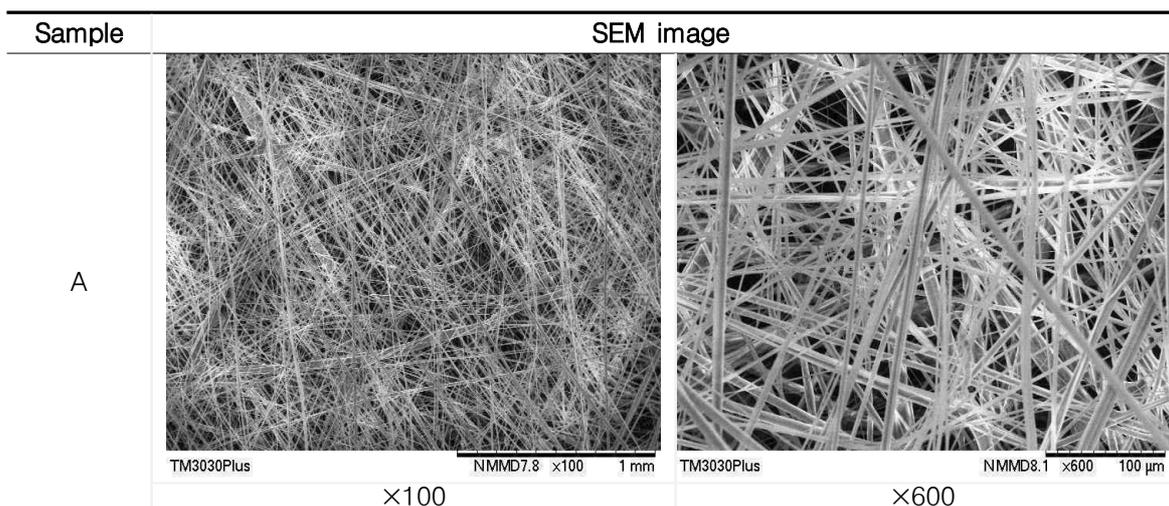


Figure 7. SEM image of fiber mat by slime webbing. *A, Fiber mat made by zein; B, Fiber mat made by zein, gelatin and chitosan.



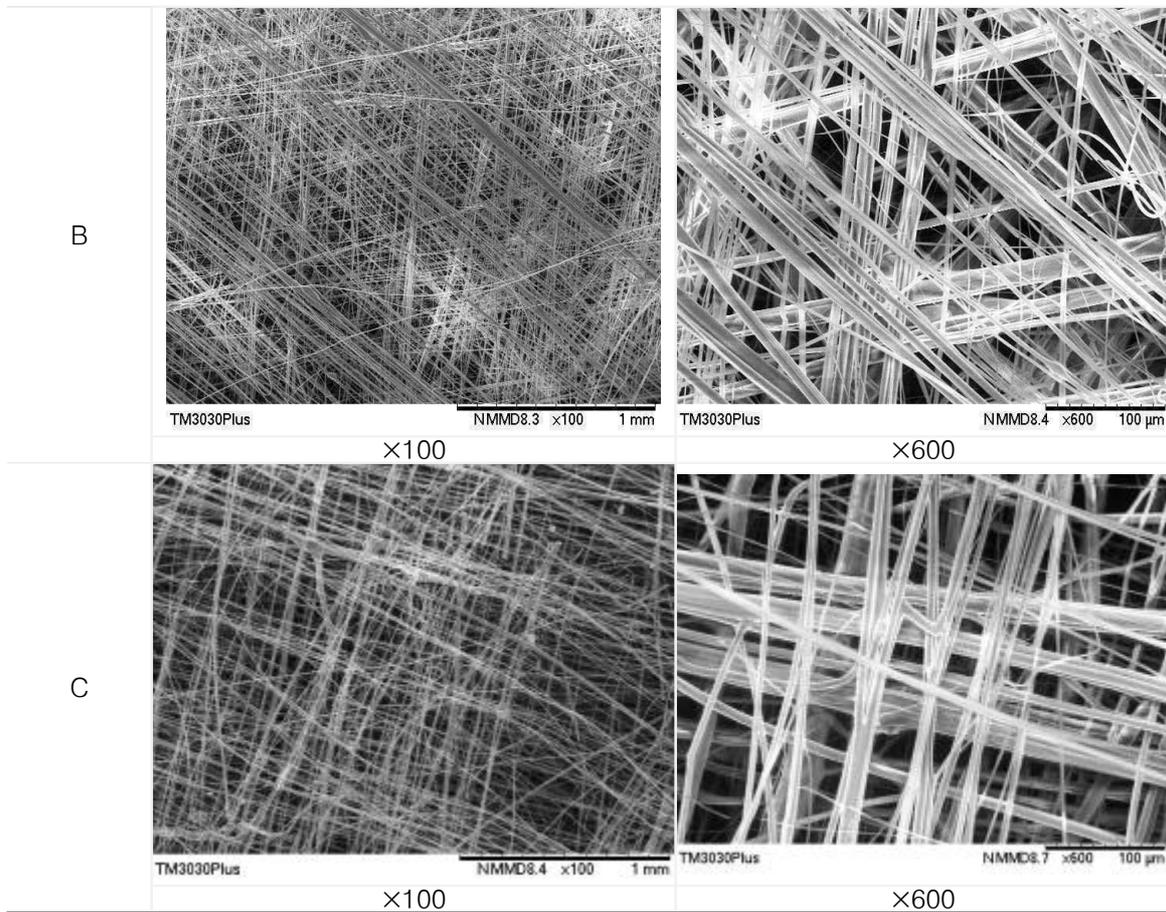


Figure 8. SEM image of fiber mat according to spinning angle. *A, Fiber mat of 45°; B, Fiber mat of 60°; C, Fiber mat of 90°.

Table 7. Texture analysis of fiber mat by slime webbing.

Sample*	TS (MPa)	EAB (%)
A	0.35±0.08	1.11±0.14
B	15.16±0.17	13.33±0.00

* Values are mean ± SD (n=3). A, Fiber mat made by zein; B, Fiber mat made by zein, gelatin and chitosan.

Table 8. Texture analysis of fiber mat according to spinning angle

Sample*	TS (MPa)	EAB (%)
A	17.44±1.91 ^a	17.78±0.96 ^a
B	13.46±0.97 ^b	11.11±1.92 ^b
C	15.16±0.17 ^{ab}	13.33±0.00 ^b

**A, Fiber mat of 45°; B, Fiber mat of 60°; C, Fiber mat of 90°. Values are mean ± SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at p<0.05 (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

3) 식물조직단백·지방 소재의 3D 프린팅용 카트리지 적합도 확인 및 소재화 연구

(1) 연구수행 방법

가. 식물조직단백 소재의 3D 프린팅용 카트리지 적합도 확인 및 소재화 연구

가) 실험재료

- 실험에 사용된 재료는 완두단백분말은 Comida (South Korea), 녹두단백분말은 HARBIN HADA STARCH CO., (China), coconut oil은 Cocol (South Korea), 비트분말은 Sghjlab (South Korea), 글루텐은 Chamtor (France), lecithin은 Daejung (South Korea), κ -carrageenan은 Marcel trading co., (Philippines), 감자전분은 Jfoodsurvice (South Korea), alkali water는 Hanguk Alkalisu (South Korea), NaCl은 Daejung (South Korea), zein은 Sigma (USA) 제품을 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 식물성 기반 대체 단백질 ink 제조

- 식물성 소재의 가공변수를 확립 후, 일반적으로 사용하고 있는 대두를 대체하여 알레르기 반응이 낮은 완두 단백질과 대두와 유사한 아미노산 조성을 가지는 녹두를 이용하여 식물성 대체 단백질을 제조하였으며, 물리·화학적 특성 분석을 통해 완두 및 녹두 단백질의 비율을 확보하고자 하였다.

(나) 식물성 기반 대체 단백질 ink의 유변학적 특성 분석

- 기존 식물성 육류 제조 원료로 사용중인 대두를 대체하여 새로운 식물성 원료를 이용하고자 완두단백 및 녹두단백의 혼합비율 (7:3, 5:5, 3:7)에 따른 물성 분석을 통해 신규 식물성 소재의 높은 3D 출력능의 소재를 확보하였다. 이후, 선정된 혼합 비율의 식물성 단백질에 이온화 및 pH 처리에 따른 물성 변화를 확인하고자 유변학적 특성을 분석하였다.

(다) 식물성 기반 대체 단백질 물성 분석

- 우둔의 물성 구현을 위해 식물성 단백질 원료의 질감을 확인하고자 하였으며, 식물성 혼합 단백질의 함량 및 저온 저장 시간에 따른 물성을 texture analyzer (TA.XT2i Plus, Stable Microsystem, United Kingdom)를 이용하여 분석하였다.

나. 식물성 기반 지방 소재의 3D 프린팅용 카트리지가 적합도 확인 및 소재화 연구

가) 실험재료

- 실험에 이용된 β -sitosterol은 Sigma-Aldrich (France), γ -oryzanol은 Daejung (South Korea), sunflower oil은 Glove (South Korea) 및 beef tallow는 Ottogi (South Korea) 제품을 이용하였다.

나) 실험방법

(가) 시료준비

- β -sitosterol 및 γ -oryzanol은 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 및 0:100의 비율로 준비하여 해바라기유에 8 wt%, 16 wt% 및 20 wt%의 고형분 함량으로 첨가하여 95 \pm 5 $^{\circ}$ C, 200~300 rpm으로 가열 교반 후, 5 $^{\circ}$ C에서 12시간 냉각하여

phytosterol-oleogel을 제조하였다.

(나) 식물성 지방 소재의 유변학적 특성 분석

- Phytosterol-oleogel의 유변학적 특성 분석을 통해 동물성 지방 (우지)과의 특성을 비교하고, 식물성 지방 소재의 3D 출력 가능성을 확인하고자 flow curve (0.1 to 300 s⁻¹ at 20°C) 및 frequency sweep test (0.1~100 rad/s, shear strain 0.05% at 20°C)를 진행하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 식물조직단백 소재의 3D 프린팅용 카트리지 적합도 확인 및 소재화 연구

가) 식물성 기반 대체 단백질 ink의 유변학적 특성 분석

- 신규 식물성 단백질 물질을 확보하고, 3D 프린팅능이 높은 혼합 단백질의 비율을 확보하고자 완두단백:녹두단백의 비율을 7:3, 5:5 및 3:7로 식품 ink를 준비하여 유변학적 특성을 분석하였다.
- 분석 결과 (Figure 9), 식품 ink는 shear-thinning의 특성으로 혼합비율에 관계없이 노즐에서 모두 토출되는 특성으로 나타났다.
- Tan δ는 1미만으로 시료 모두 탄성적 거동으로 나타났으며, angular frequency에 따른 변화없이 일정하게 유지되었으며, 완두단백의 비율이 높을수록 점성적 및 탄성적 성질이 높았으며, 이러한 결과는 3D 프린터 출력능이 감소하는 결과를 보여주었다.
- Temperature sweep의 경우, 온도가 상승 및 냉각에 따른 변화 없이 tan δ 값이 일정하였으나, 가열보다는 냉각의 경우, 점성에 가까워지는 특성으로 나타났다.
- 3D 프린팅을 진행하기 위해서는 점성적 성질 및 탄성적 성질이 너무 높거나 낮으면, 노즐에서의 토출이 어렵거나 토출 이후, 구조체의 지지능이 떨어져 구조물의 제조가 어렵다. 따라서, 유변학적 특성 분석결과, 점성적 성질 및 탄성적 성질이 중간 값인 완두단백 및 녹두단백의 혼합비율 5:5가 적합한 3D 프린팅능을 가지는 것으로 판단된다.

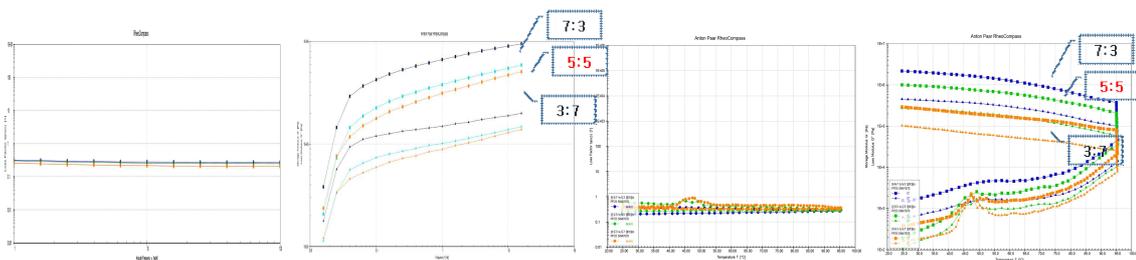


Figure 9. Analysis of rheology properties according to protein mixing ratio.

- 단백질 혼합 비율을 선정한 이후, 이온화 처리 및 pH에 따른 물성을 조절하고자 하였으며, 완두단백:녹두단백=5:5에 이온화 (1% CaCl₂) 처리한 결과 (Figure 10), 시료 모두 shear-thinning의 특성으로 이온화 처리 여부에 관계없이 노즐에서 모두 토출되는 특성으로 나타났다.
- 1% CaCl₂의 처리는 D.W.를 사용했을 때 보다 탄성적 성질 및 점성적 성질이 낮은 것으로 보아, 물성을 낮추고자 할 때, CaCl₂를 이용하면 가능할 것으로 판단된다.

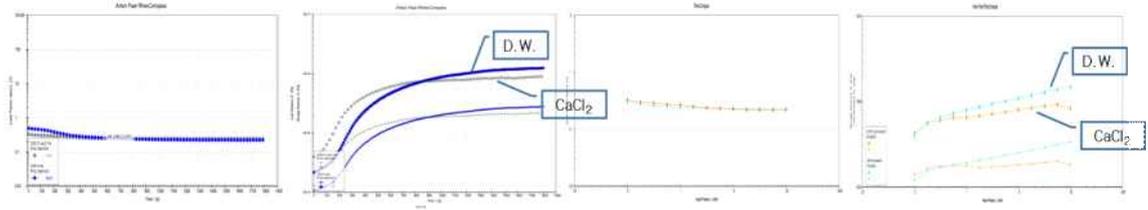


Figure 10. Analysis of rheological properties of mixed proteins according to ionization.

- 완두단백:녹두단백=1:1에 pH 4, 7 및 10을 처리한 결과 (Figure 11), 탄성적 성질 및 점성적 성질은 pH 10 > 4 > 7 순으로 높았으며, pH 7을 기준으로 물성을 향상시킬 때, pH 4 및 pH 10을 적용 시 가능할 것으로 판단된다.

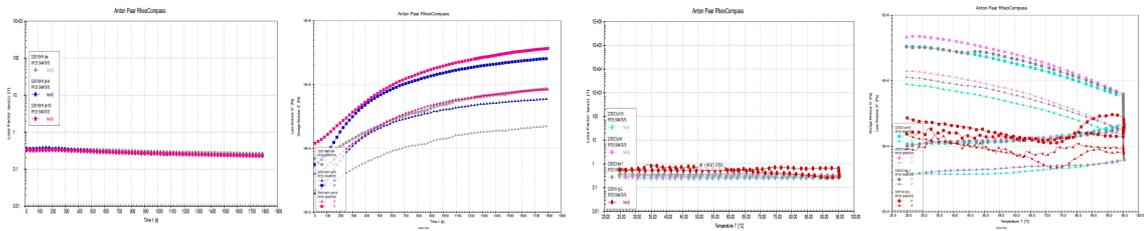


Figure 11. Analysis of rheological properties of mixed proteins according to pH.

나) 식물성 기반 대체 단백질 물성 분석

- 식물성 대체 단백질의 경우, 우둔 (육우)의 물성을 구현하고자 하였으며, 식물성 단백질 함량 및 저온 저장 시간에 따른 질감 정도를 확인하고 최적화를 통해 식물성 대체 단백질 ink 제조 방법을 확립하고자 하였다.
- 식물성 대체 단백질 ink의 물성은 texture analyzer를 이용하여 hardness, chewiness 및 gumminess를 측정하였으며, 우둔의 경우, 빨간색 선을 기준으로 시료의 물성을 비교하였다. 측정 결과 (Figure 12), 식물성 단백질의 함량이 증가할수록, 저온저장 시간이 감소할수록 우둔의 물성과 유사하게 나타났다. 이후, 우둔의 물성을 최적화하고자 반응표면 분석법을 진행하였다.

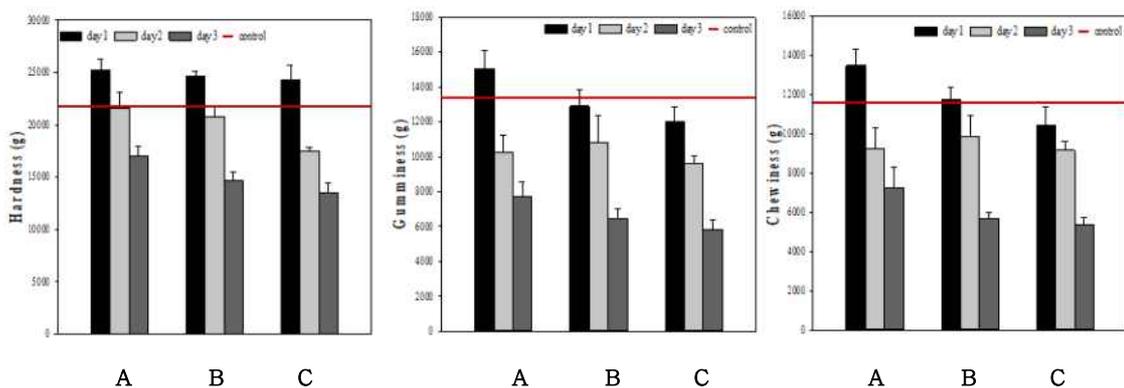


Figure 12. Analysis of texture properties of alternative-proteins according to content of protein and cold storage time. A, Content of protein 70%; B, Content of protein 80%; C, Content of protein 90%.

나. 식물성 기반 지방 소재의 3D 프린팅용 카트리리지 적합도 확인 및 소재화 연구

가) Phytosterol 및 plant-based oil을 이용한 대체 지방의 구조화

- Phytosterol은 LDL-콜레스테롤을 낮춰 심혈관 질환을 예방하는 효과를 가지고 있다. 본 연구에서는 phytosterol을 이용하여 oleogel 제조를 통해 우지의 물성 구현 및 지방을 구조화시키고자 하였으며, 이는 3D 프린팅 시, 지방 소재의 적층 가능성을 나타내는 firmness를 통해 확인하였다.
- 우지의 물성을 구현하기 전, 지방을 구조화시키고자 β -sitosterol, γ -oryzanol 및 해바라기유를 이용하여 gelation이 일어나는 비율을 확보하고자 하였다. β -sitosterol 및 γ -oryzanol의 비율은 20:80, 40:60 및 60:40으로 하여 해바라기유에 8 wt%, 16 wt% 및 20 wt%의 고형분 함량으로 첨가하여 gelation을 확인하였다. 확인 결과 (Figure 13), P.K. Okuro et al (2018)와 동일하게 β : γ =40:60에서 gelation이 가장 잘 일어남을 확인하였다.

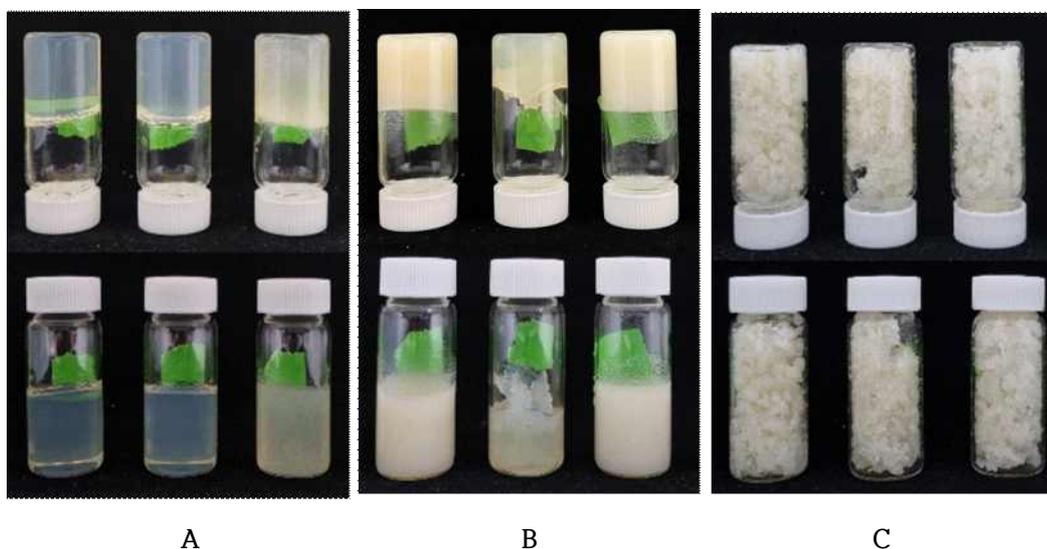


Figure 13. Mixtures of A) 8%; B) 16%; and C) 20%. β -sitosterol+ γ -oryzanol in sunflower oil in various sterol (ester) ratios. The β -sitosterol: γ -oryzanol ratio from left to right_20:80; 40:60; 60:40.

나) 식물성 지방 소재의 유변학적 특성 분석

- Phytosterol의 비율 및 함량에 따른 시료의 점탄성 성질을 확인하여 우지의 물성과 유사한 시료를 확보하고자 frequency sweep test를 진행하였다. Complex shear modulus 값은 total resistance에 대한 deformation을 나타낸 값으로 gel strength를 의미한다.
- 우지와 비교한 결과 (Figure 14), phytosterol 함량이 8%인 시료 중, β -sitosterol: γ -oryzanol=20:80 및 β -sitosterol: γ -oryzanol=60:40을 제외하고 모든 시료가 우지보다 gel strength가 더 높았으며, gel strength는 β -sitosterol: γ -oryzanol이 40:60 > 60:40 > 20:80으로 phytosterol 함량에 관계없이 나타났다.
- Tan δ 는 점/탄성의 비를 나타낸 값으로 1보다 낮을 경우, 탄성의 성질, 1보다 높을 경우, 점성의 성질을 나타낸다. 본 연구에 사용된 우지 및 모든 시료는 tan δ 가 1 미만의 값으로 탄성적 거동이 우세한 것으로 나타났으며, 지방 모사 oleogel 식물성 소재가 동물성 지방과 유사한 물성으로 나타나 대체 지방소재로서 활용 가능성을 확인하였다.

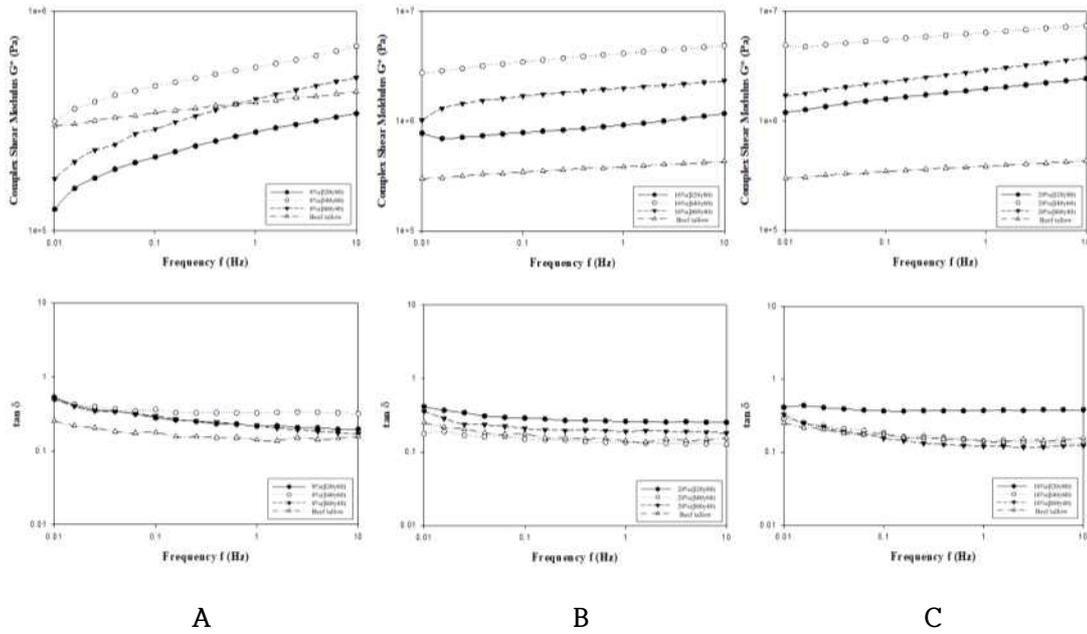


Figure 14. Complex modulus of A) 8%; B) 16%; and C) 20%β-sitosterol+γ-oryzanol in sunflower oil and tan δ of A) 8%; B)16%; C) 20 β -sitosterol+γ-oryzanol in sunflower oil phase.

- Phytosterol oleogel 기반 대체 지방 ink의 토출 가능성을 확인하고자 유변학적 특성을 분석하였으며, 분석 결과 (Figure 15), 우지 및 모든 시료가 shear-thinning의 특성을 가져 노즐에서 원활하게 토출됨을 확인하였다. 또한, 일반적으로 phytosterol 중 β 함량 및 shear rate가 증가할수록 viscosity가 감소하는 경향으로 나타났다.

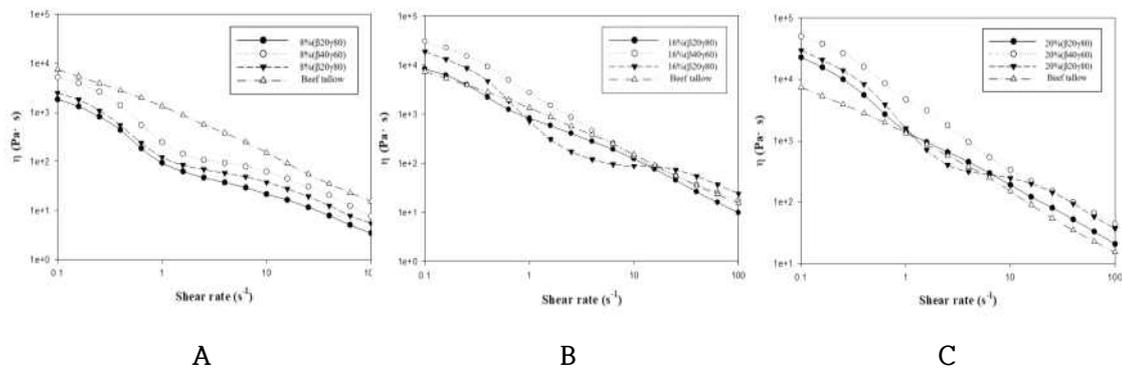


Figure 15. Flow curves for all samples. A, 8% sunflower oil; B, 16% sunflower oil; C, 20% sunflower oil.

4) 반응표면분석법(RSM)을 통한 식물조직단백·지방의 제조 공정 최적화 연구

(1) 연구수행 방법

가. 식물조직단백 소재의 제조 공정 최적화 및 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 실험에 사용된 재료는 완두단백분말은 Comida (South Korea), 녹두단백분말은 Hispoon (South Korea), coconut oil은 Cocol (South Korea), 비트분말은 Sghjlab (South Korea), 글루텐은 Chamtor (France), lecithin은 Daejung (South Korea), κ -carrageenan은 Marcel trading co., (Philippines), 감자전분은 Jfoodsurvice (South Korea), alkali water는 Hanguk Alkalisu (South Korea), NaCl은 Daejung (South Korea), zein은 Sigma (USA) 제품을 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 식물성 기반 대체 단백질 제조 및 공정 최적화

- 우둔의 물성과 유사한 식물성 기반 대체 단백질 ink의 최적 제조 공정을 확보하기 위해 단백질 소재인 알칼리수, κ -carrageenan, 감자전분, 레시틴, 코코넛오일 및 비트분말을 첨가하였으며, 단백질 소재를 제외한 배합 정보는 Table 9와 같다.

Table 9. Information of formulation of alternative protein

Ingredient	Content (g)
감자전분	0.36
κ -카라기난	0.24
레시틴	0.10
코코넛오일	0.06
알칼리용액	6.21
비트분말	0.26

- 이후, 단백질 함량 (완두단백+녹두단백:글루텐), 저온저장시간에 따른 조직감의 반응표면분석법 (RSM, response surface methodology)을 통해 우둔의 물성을 확보하고자 하였다 (Table 10).

Table 10. Experimental values and coded levels of the independent variables for central composite face centered design

Independent variable	Levels		
	1	2	3
Wheat gluten	1	2	3
Storage days	1	2	3

(나) 식물성 기반 대체 단백질 ink의 유변학적 특성 분석

- 혼합단백의 함량에 따른 최적 제조 방법을 확립 후, ink를 제조하여 temperature sweep 및 frequency sweep을 통해 유변학적 특성을 분석하였다.
- Temperature sweep test의 경우, 25~95°C, shear strain 1%, 25 mm diameter of plate, frequency 1 Hz의 조건으로 측정하였다.
- Frequency sweep test는 frequency 0.1~100 rad/s, 25°C, shear strain 0.1%, 25 mm diameter of plate의 조건으로 측정하였다.

(다) 3D 프린팅을 이용한 식물성 기반 대체 단백질 구조체 제조 및 morphology 분석

- 최적화된 제조공정을 이용하여 대체단백질 ink를 제조 후, 구조체화 시키기 위해 3D 프린터를 이용하였으며, 1 mm nozzle, default printing speed 400 mm/min, 직육면체 형태 (15x15x10 mm), 90% infill의 조건으로 출력하였다.
- 이후, 주사전자현미경을 통해 대체단백질의 표면미세구조를 관찰하였다.

(라) 최적화된 식물성 기반 대체 단백질 구조체의 물성 분석

- 최적화된 식물성 기반 3D 대체 단백질의 물성을 분석하고자 texture analyzer (TA.XT2i Plus, Stable Microsystem, United Kingdom)를 이용하여 double-cycle compression test, 25 mm diameter of probe, strain 75%, trigger force 5 g, pre-test 1 mm/s, test 5 mm/s, post-test 5 mm/s 조건으로 분석하였다.

(마) 식물성 기반 대체 단백질의 조직화 개선 morphology 확인

- 최적화된 식물성 기반 대체단백질의 조직화를 개선하고자 식물성 기반 fiber mat를 첨가하였으며, 조직화 여부는 육안 및 주사전자현미경 (TM3030Plus, HITACHI, Japan)을 이용하여 15.0 kv에서 100배 및 600배로 표면미세구조를 관찰하였다.

나. 식물성 기반 지방 소재의 제조공정 최적화 및 이화학적 특성 분석

가) 실험재료

- 실험에 이용된 β -sitosterol은 Sigma-Aldrich (France), γ -oryzanol은 Daejung (South Korea), sunflower oil은 Glove (South Korea) 및 beef tallow는 Ottogi (South Korea) 제품을 이용하였다.

나) 실험방법

(가) 3D 프린터를 이용한 식물성 기반 대체 지방 구조체 제조 및 morphology 분석

- 대체 지방 ink를 제조 후, 구조체화 시키기 위해 3D 프린터를 이용하였으며, default printing speed 400 mm/min, 90% infill, 직육면체 형태 (10×10×15 mm)의 조건으로 출력하였으며, 이후, 지방 구조체의 front, top 및 side view를 관찰하였다.

(나) 식물성 기반 대체 지방 구조체의 물성 분석 및 제조공정 최적화

- 3D 대체 지방의 물성을 분석하고자 texture analyzer (TA.XT2i Plus, Stable Microsystem, United Kindom)를 이용하여 double-cycle compression test, 25 mm diameter of probe, strain 80%, trigger force 5 g의 조건으로 분석하였다.
- Phytosterol concentration 및 β -sitosterol ratio에 따른 조직감의 반응표면분석법 (response surface methodology, RSM)을 통해 우지의 물성을 확보하고자 하였다 (Table 11).

Table 11. Experimental values and coded levels of the independent variables for central composite face centered design

Independent variable	Levels		
	-1	0	1
Phytosterol concentration	8	16	20
β -sitosterol ratio	20	40	60

(다) 최적화된 식물성 기반 지방 구조체의 물성 분석

- 최적화된 식물성 기반 지방 소재 구조체의 물성을 분석하고자 texture analyzer를 이용하여 hardness, cohesiveness 및 springness를 분석하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 식물조적단백 소재의 제조 공정 최적화 및 이화학적 특성 분석

가) 식물성 기반 대체 단백질의 제조 공정 최적화

- 우둔의 물성과 유사한 식물성 기반 대체단백질 ink의 최적 제조 공정을 확보하기 위해 단백질 함량 (완두+녹두단백:글루텐), 저온저장시간에 따른 조직감을 반응표면분석(response surface methodology, RSM)을 진행하였으며, 그 결과는 Figure 16과 같다.
- 우둔의 hardness, chewiness 및 gumminess는 각각 21,831.5 g, 10,184.5 및 11,285.7이었으며, 최적화 결과 단백질 (완두+녹두단백):글루텐 비율은 7.87:2.13, 저온 저장 시간은 1.48 days로 도출되었다.

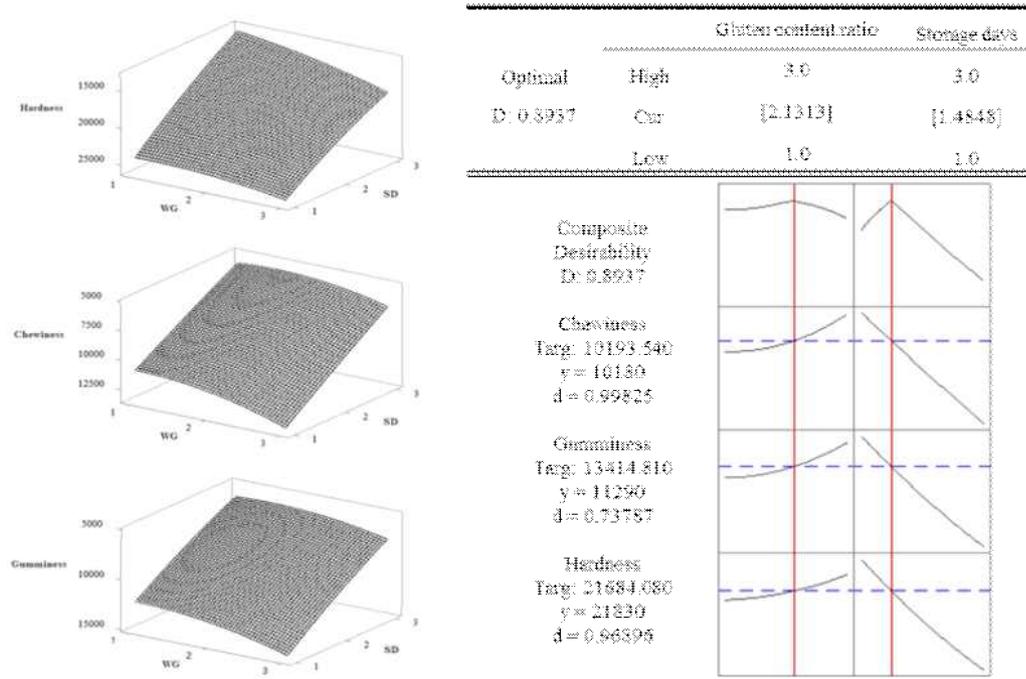


Figure 16. Response surface diagram and results of optimization.

나) 식물성 기반 대체 단백질 ink의 유변학적 특성 분석

- 최적화된 제조공정으로 제조한 식물성 기반 대체단백질 ink의 경우, 유변학적 특성 분석 결과 (Figure 17), shear-thinning의 pseudo plasticity fluid 특성으로 나타나 3D 프린팅

시, 토출이 원활하게 출력되는 것으로 판단된다.

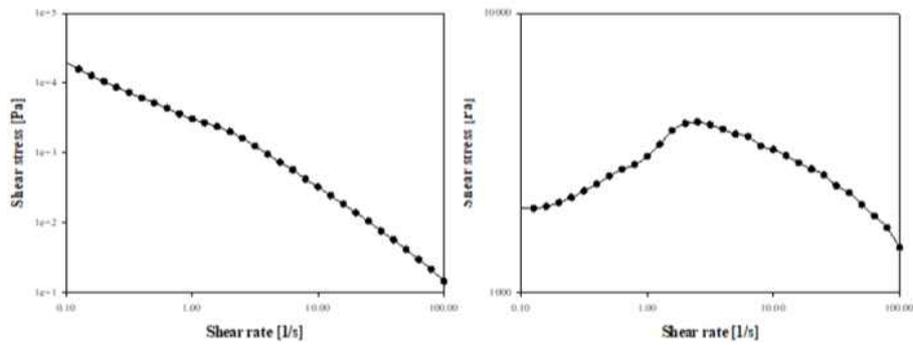


Figure 17. Shear flow behaviour.

다) 3D 프린팅을 이용한 식물성 기반 대체 단백질 구조체 제조

- 3D 프린팅 결과 (Figure 18), 최적화된 대체단백질 ink는 적층 line이 밀리거나 퍼지지 않고 노즐을 통해 용이하게 압출 및 적층되었다. X,Y 및 Z축은 설계된 디자인과 비교하여 표준편차가 모두 0.5 mm 이하로 나타나 인쇄 성능이 높음을 확인하였다. 최적화된 대체 단백질 ink는 3D 프린팅을 이용하여 제품 제조 시, 형태의 무너짐 없이 설계된 CAD design대로 출력이 가능할 것으로 판단된다.
- 또한, 주사전자현미경을 통해 표면미세구조를 확인한 결과 (Figure 19), 노즐을 통해 압출된 대체단백질은 line간에 빈틈없이 서로 잘 부착되어 있는 것으로 보아 출력된 대체단백질의 결합이 우수한 것으로 판단된다.

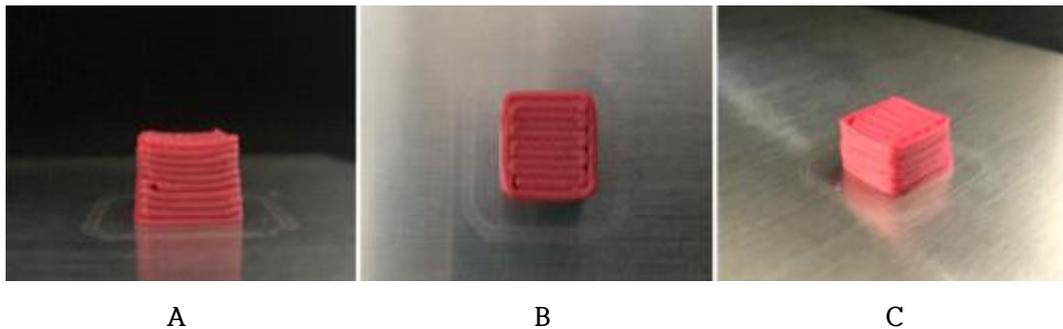


Figure 18. Structure of meat analog. A, View of Front; B, View of Top; C, View of Side.

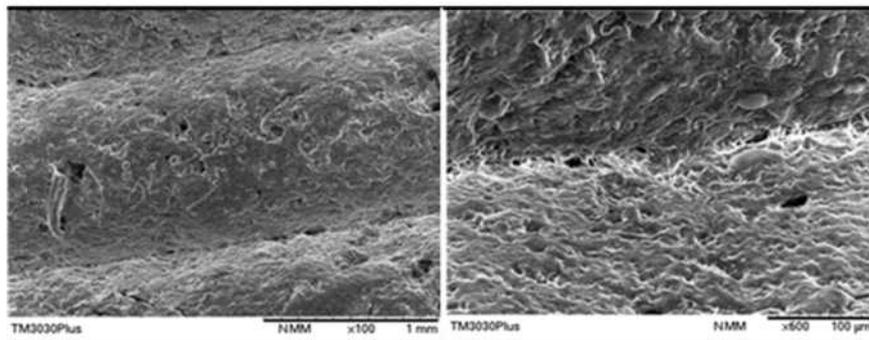


Figure 19. SEM images of structure of meat analog.

라) 최적화된 식물성 기반 3D 대체 단백질의 물성 분석

- 최적화된 식물성 기반 대체 단백질의 조직화를 개선시키기 위해 fiber mat를 적용하여 식품 ink를 제조하였으며, 구조체 제조 후, 물성을 측정한 결과 (Table 12), chewiness를 제외하고 hardness 및 gumminess 값에서 실제 육류인 우둔과 유의적인 차이가 없어 유사한 것으로 확인되었다.

Table 12. Results of texture properties of 3D alternative protein manufactured by the optimal manufacturing process.

Sample	Response variable		
	Hardness (g)	Chewiness	Gumminess
Predictive model	21831.5	10184.5	11285.7
Beef	21684.1±873.63 ^a	10193.5±1406.64 ^b	13414.8±667.99 ^a
Printed meat analog	21838.4±762.53 ^a	12215.2±680.40 ^a	13060.9±275.46 ^a

마) 식물성 기반 대체 단백질의 조직화 개선 morphology 확인

- 최적화된 제조 방법으로 제조된 식물성 기반 대체 단백질의 조직화를 개선하고자 식물성 기반 zein 단백질로 제조된 fiber mat를 첨가하여 육안 및 표면 미세구조를 확인하였다. 확인결과 (Figure 20), 육안으로 관찰 시, 섬유를 첨가한 대체단백질에서 고기와 같은 fiber가 관찰되었으며, 식물성 대체 단백질이 쉽게 끊어지지 않고, 섬유를 통해 늘어남을 확인하였다.

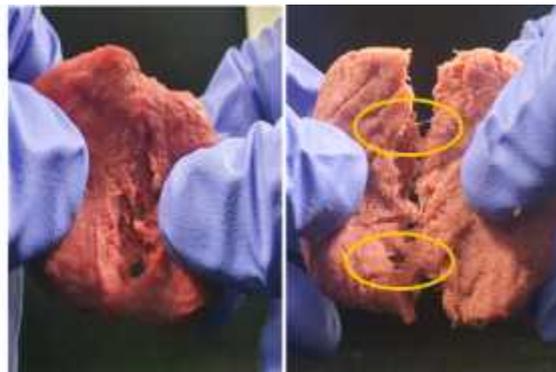


Figure 20. Morphology of visual appearance (Left, Meat analog; Right, Zein fiber-added meat analog).

- 주사전자현미경을 통해 섬유 첨가 여부에 따른 대체단백질 및 우둔의 표면미세구조를 관찰한 결과 (Figure 21), 섬유를 첨가하지 않은 대체 단백질의 표면이 매끈한 특성을 지닌 것과 달리, zein 섬유가 첨가된 대체단백질에서 fiber 형성으로 인해 우둔과 유사한 섬유가 관찰되었다.
- 섬유를 첨가하여 육안 및 표면 미세구조와 물성을 확인하였을 때, 우둔과 같은 섬유가 일부 관찰되었고, 물성에 유의적인 차이가 없는 것으로 보아 실제육류가 가지는 섬유질 특성처럼 식물성기반 대체단백질에서도 섬유질 모사 구현을 통해 비분쇄육 제조가 가능할 것으로 판단된다.
- 대체육의 조직 유지 정도를 평가하기 위해 조직잔사지수 (integrity index)를 측정한 결과, 섬유가 첨가된 대체육 ink의 조직 유지 정도가 약 6배 높은 것으로 나타나 제인의 네트워크 형성으로 인해 대체 단백질에서 조직화가 존재함을 확인하였다 (Table 13).

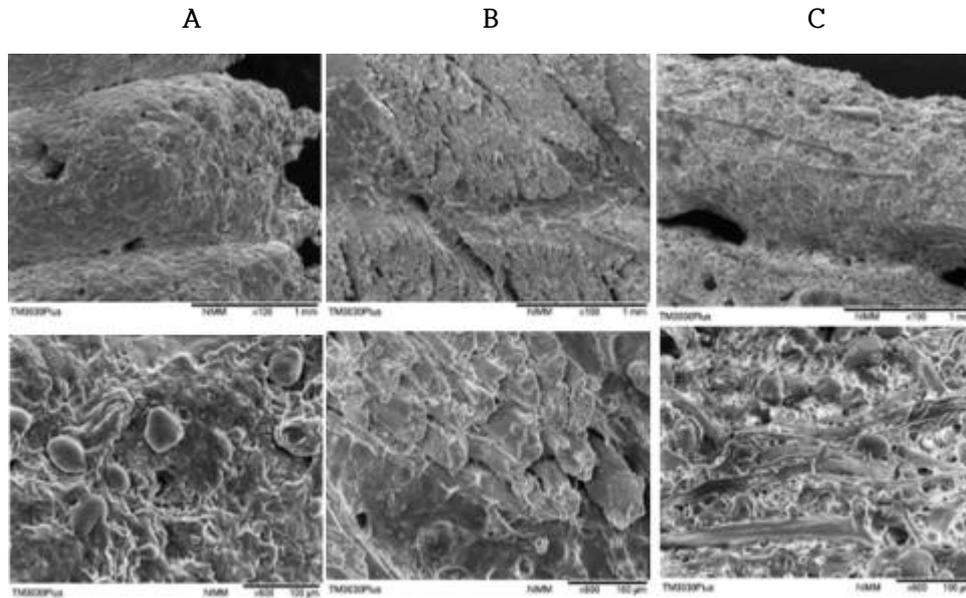


Figure 21. Comparison of surface microstructure. A, Meat analog; B, Rump; C, Zein fiber-added meat analog.

Table 13. Integrity index of zein fiber mat and zein, gelatin and chitosan fiber mat.

Sample*	Integrity index (%)
A	3.76±1.03
B	22.08±1.07

*A, zein fiber mat; B, zein, gelatin and chitosan fiber mat. Values are mean ± SD (n=3).

나. 식물성 기반 지방 소재의 제조공정 최적화 및 이화학적 특성 분석

가) 3D 프린팅을 통한 식물성 기반 대체 지방 구조체 제조

- 3D 프린팅을 이용하여 마블링이 함유된 스테이크형 대체육을 제조하기에 앞서 마블링을 구현할 수 있는 대체지방의 제조 및 물성을 확보하고자 하였다. Phytosterol 함량이 낮은 시료는 tubular structure 형성이 충분하지 않아 적층 안정성이 약하여 구조체가 무너지는 결과로 나타났으나, phytosterol 함량이 높을수록 강한 oleogel을 형성하여 적층 안정성이 우수함을 확인하였다.
- 또한, phytosterol을 비율별로 확인하였을 때 (Figure 22), 유변학적 특성에서 gel strength가 가장 높았던 β -sitosterol: γ -oryzanol=40:60에서 표면이 매끄럽고 3D 프린팅 해상도가 높게 나타났다. 이는 gel strength가 가장 높다고 알려진 molar ratio 1:1 (β -sitosterol: γ -oryzanol=40:60)의 시료에서도 가장 인쇄성이 좋은 것으로 나타났다.

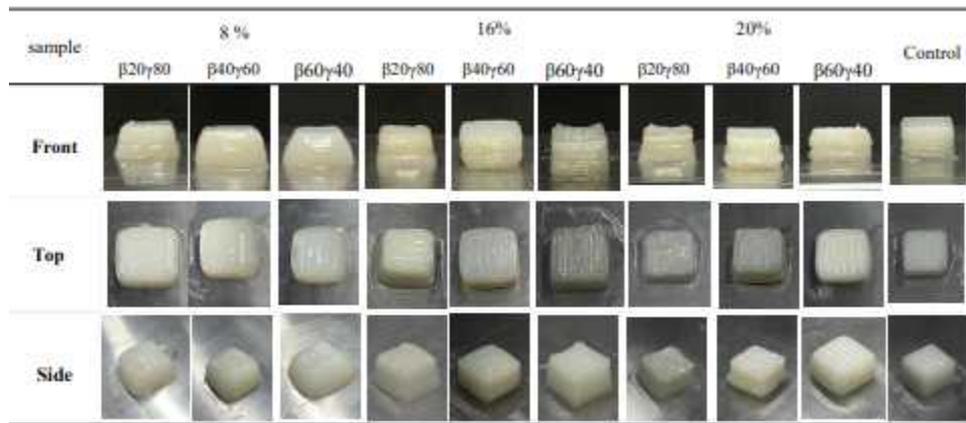


Figure 22. Appearance views of 3D printed structure of phytosterol oleogel according to phytosterol ratio and concentration. Control, Beef tallow.

나) 3D 식물성 기반 대체 지방의 물성 분석 및 제조공정 최적화

- 우지의 hardness, cohesiveness 및 springness는 각각 409.48 g, 0.78 및 96.62%이었으며 (Figure 23), 최적화 결과 (Figure 24), phytosterol concentration은 17.2121, β -sitosterol ratio는 52.7273으로 도출되었다.

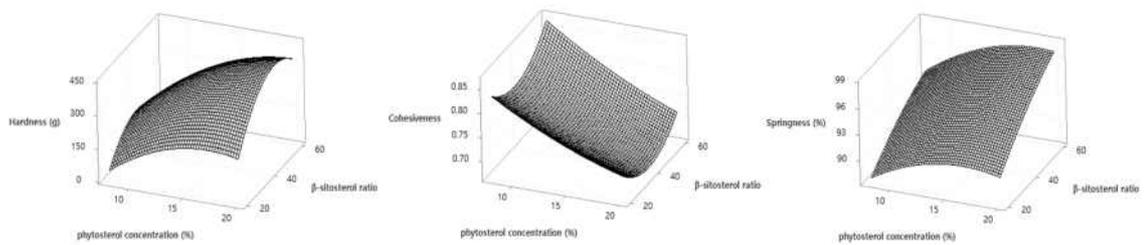


Figure 23. Response surface describing the effects of phytosterol concentrations and β -sitosterol ratio on the hardness, cohesiveness and springness of 3D printed phytosterol-oleogel.

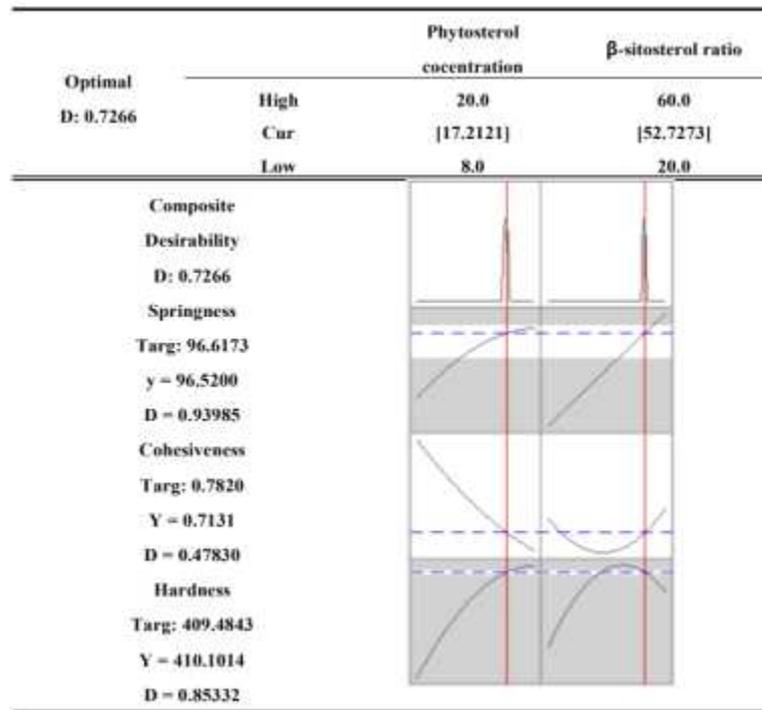


Figure 24. Multiple response optimization plot.

다) 최적화된 식물성 기반 3D 대체 지방의 물성 분석

- 최적화된 식물성 기반 대체 지방 ink를 제조 후, 구조체화 하였으며, 물성을 측정한 결과 (Table 14), hardness, cohesiveness 및 springness 값 모두 우지와 유의적인 차이가 없어 유사한 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 최적화시킨 phytosterol concentration 및 β -sitosterol ratio를 적용시킨 식물성 기반 지방소재는 우지를 대체하여 대체육류의 마블링을 구현 시, 적용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 14. Results of texture properties of 3D alternative fat manufactured by the optimal manufacturing process.

Sample	Response variable		
	Hardness (g)	Cohesiveness	Springness (%)
Predictive model	410.1	0.7	96.62
Beef tallow	409.5±4.4 ^a	0.8±0.1 ^a	96.6±0.4 ^a
Printed phytosterol-oleogel	378.2±31.4 ^a	0.7±0.0 ^a	96.6±2.3 ^a

5) 3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리 가공에 따른 지질 안정성 평가 및 안전성 확보

(1) 연구수행 방법

가. 3D 구조 식물성 대체육의 조리 가공에 따른 안정성 및 안전성 평가

가) 실험재료

- 실험에 사용된 재료는 완두단백분말은 Comida (South Korea), 녹두단백분말은 Hispoon (South Korea), coconut oil은 Cocol (South Korea), 비트분말은 Sghjlab (South

Korea), 글루텐은 Chamtor (France), lecithin은 Daejung (South Korea), κ-carrageenan은 Marcel trading co., (Philippines), 감자전분은 Jfoodsurvice (South Korea), alkali water는 Hanguk Alkalisu (South Korea), NaCl은 Daejung (South Korea), zein은 Sigma (USA), β-sitosterol은 Sigma-Aldrich (France), γ-oryzanol은 Daejung (South Korea), sunflower oil은 Glove (South Korea) 제품을 사용하였다.

나) 실험방법

(가) 3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리가공에 따른 지질 안정성 평가 및 안전성 확보

- 조리손실율, 수분 및 유지보유력, 저작 물성 확인 등을 통하여 3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리가공에 따른 지질 안정성 평가를 진행하였다.
- 3D 프린팅 노즐 및 카트리지가 이행에 따른 물질 시험 분석 등을 통하여 3D 식물성 대체육의 안전성 평가를 진행하였다.

(2) 연구수행 결과

가. 3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리가공에 따른 지질 안정성 평가

가) 치수정확도 비교를 통한 3D 식물성 대체육의 관능 특성 비교

- 국내산 소고기 질감과 유사한 3D 식물성 대체육의 관능 특성을 확인하기 위해 압출성 test로 팽윤비를 분석하였으며, 압출물의 직경과 노즐 직경의 비로 계산하였다.
- 3D 프린팅 시, 점성이 있는 식품잉크의 경우, 전단 희석이 요구되며, 전단특성이 없을 경우, 노즐 끝에서 압출물의 직경이 노즐 직경보다 크게 나타나는 다이 팽창을 나타낸다.
- 관능 특성을 비교하기 위해 내경 1.2 mm의 노즐을 이용하여 식품 잉크의 팽윤비를 확인하였으며, 그 결과 (Table 15), 대체 단백질 및 지방 잉크는 각 1.33 ± 0.02 , 1.24 ± 0.02 로 나타나 모두 1과 가까워 3D 프린팅에 이상적인 소재임을 확인하였다.

Table 15. Swelling ratio of plant-based fat and plant-based protein

Sample*	Swelling ratio
Plant-based fat	1.33 ± 0.02
Plant-based protein	1.24 ± 0.02

*Values are mean \pm SD (n=3).

- 1단계 연구 내용을 토대로 최적화된 대체 단백질 및 지방의 비율을 조절하여 지방 함량의 증가에 따른 지질 안정성을 평가하였으며, 3D 프린팅 결과 (Figure 25), 지방의 함량에 관계없이 모두 무너짐 현상이 발견되지 않았다.
- 3D 프린팅된 대체육의 정확도를 확인한 결과 (Table 16), X축 및 Y축은 CAD 디자인과 유의적인 차이가 없었으나 Z축은 유의적인 차이가 나타났다. 이는 단백질 시료에 포함된 글루텐에 의해 단백질 잉크가 팽창되어 높이가 증가한 것으로 생각되며, 최종적으로 최적화된 시료는 CAD 디자인과 유사하게 모두 출력됨을 확인하였다.

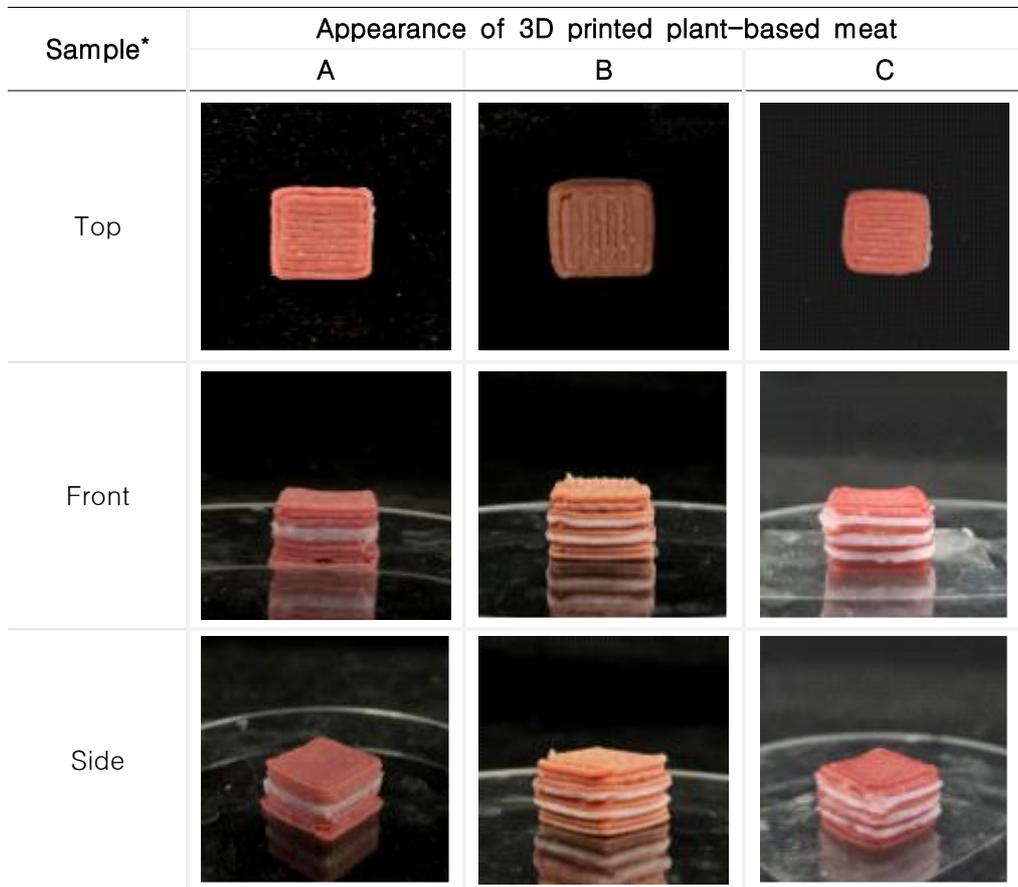


Figure 25. Appearance of 3D printed plant-based meat.

*A, 1 layer substitute fat out of total layer; B, 2 layer substitute fat out of total layer; C, 3 layer substitute fat out of total layer.

Table 16. Deviation of 3D printed plant-based meat

Sample*	Width	Length	Height
CAD Design	15.00±0.00 ^a	15.00±0.00 ^a	10.00±0.00 ^a
A	15.60±0.66 ^a	15.24±0.20 ^a	10.51±0.42 ^b
B	15.34±0.50 ^a	14.69±0.60 ^a	10.31±0.20 ^b
C	15.07±0.04 ^a	15.09±0.04 ^a	10.06±0.05 ^b

*CAD Design, optimized design adjusted by optimized material ratio; A, 1 layer substitute fat out of total layer; B, 2 layer substitute fat out of total layer; C, 3 layer substitute fat out of total layer. Values are mean ± SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at p<0.05 (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

나) 조리가공에 따른 3D 식물성 대체육의 morphology

- 3D 식물성 대체육은 전자레인지, 오븐, 후라이팬 굽기 방법을 이용하여 조리특성을 확인하였다. 모든 조리방법은 심부 온도가 71℃ 이상이 되는 시점을 기준으로 하였다.
- 오븐은 170℃, 5 min 예열 후, 8 min, 후라이팬 굽기는 150℃, 앞·뒷면 각각 3 min, 2 min 30 s, 전자레인지는 400 W, 1 min 30 s의 조건으로 조리가공하였다.
- 조리 가공에 따른 3D 식물성 대체육은 오븐 조리 시, 단백질 layer 간의 들뜸 현상이 발생하여 지방층 간에 공간이 발생하였으며, 외부 단면에서만 색 변화가 관찰되었다

(Figure 26).

- 전자레인지 조리는 샘플의 내·외부 모두 오버쿡되어 색 변화가 가장 크게 발생하였다.
- 후라이팬 굽기는 색 변화가 가장 적었으며, 시료의 내·외부의 색 차이가 적었으며, 지방층이 남아있음을 확인하여 이후 후라이팬 조리 방법을 통해 3D 식물성 대체육의 특성을 분석하였다.

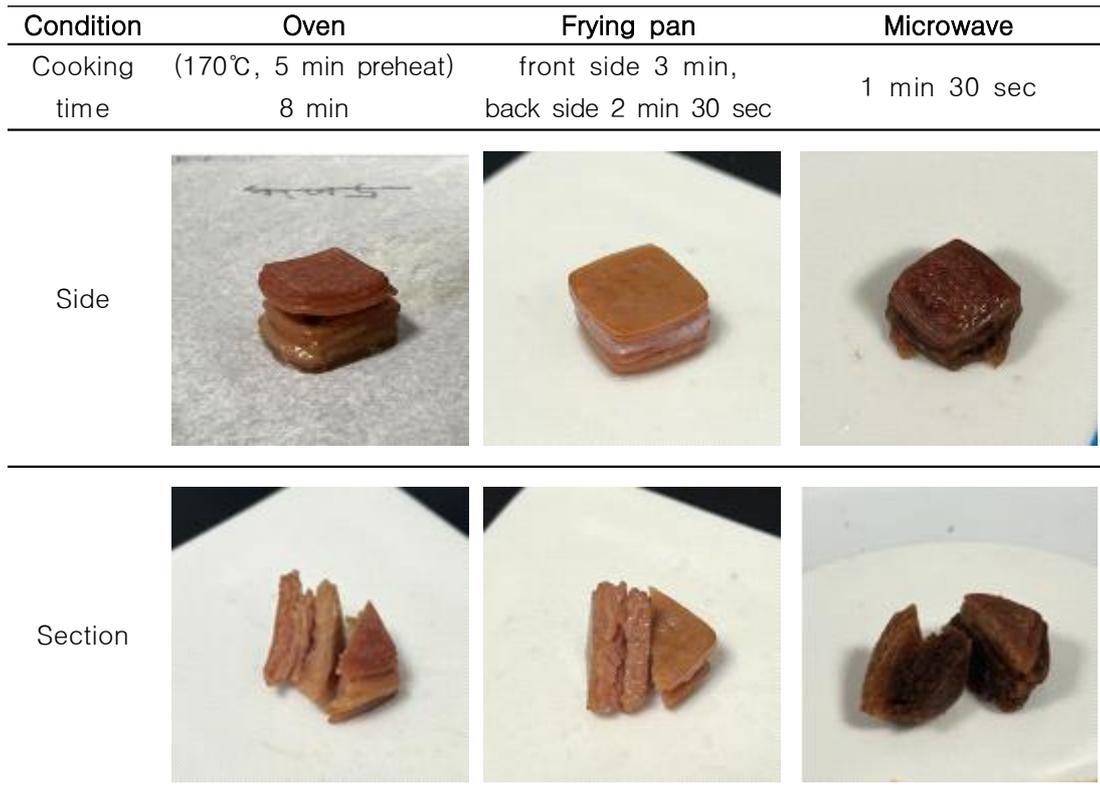


Figure 26. Appearance of 3D printed plant-based meat by 3 different cooking method. All cooking conditions were based on the core temperature of the sample at about 70°C.

다) 조리가공에 따른 3D 식물성 대체육의 물성

- 3D 식물성 대체육의 저작특성을 확인하기 위해 TPA를 측정하였다. 시료의 견고성을 나타내는 hardness의 경우, 지방층이 증가함에 따라 감소하였으며 (Table 17), 이는 지방이 상대적으로 밀도가 낮아 matrix 내 축적되는 지방의 함량이 높아짐에 따라 육류 제품의 부피 밀도가 감소하여 부드러움이 증가한 것으로 생각된다.
- 시료의 구조적 복구 가능성을 나타내는 cohesion은 지방 함량에 따른 유의적인 차이가 발견되지 않았고, 고무의 특성을 나타내는 springiness는 지방층이 증가함에 따라 감소하였으며, 이는 조리가공으로 인한 지방의 용출로 인한 것으로 생각된다 (Table 17).

Table 17. Texture analysis of 3D printed plant-based meat after cooking

Sample*	Hardness (g)	Cohesion	Springiness (%)
A	8850±714.90 ^a	0.34±0.03 ^a	73.32±2.36 ^a
B	6725.67±207.86 ^b	0.37±0.04 ^a	51.56±11.14 ^b
C	5409.06±841.3 ^b	0.31±0.05 ^a	51.43±6.77 ^b

*A, 1 layer substitute fat out of total layer; B, 2 layer substitute fat out of total layer; C, 3 layer substitute fat out of total layer. Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

라) 조리가공에 따른 3D 식물성 대체육의 조리손실을

- Cooking loss는 육류 단백질의 열 변성과 그에 따른 수축으로 인해 육류 제품 후처리 과정에서 흔히 발생하는 변화이다.
- Cooking loss 측정 결과, 지방 층수 1 layer, 2 layer 및 3 layer는 각 9.08%, 15.52% 및 20.46%로 지방층이 증가함에 따라 cooking loss가 증가하는 경향으로 나타났으며 (Table 18), 3D 식물성 대체육은 열의 수축 압력에 의한 수분 방출과 지방의 수축이 동시에 발생하였기 때문으로 생각된다.

Table 18. Cooking loss of 3D printed plant-based meat after cooking

Sample*	Cooking loss (%)
A	9.08 \pm 1.18 ^c
B	15.52 \pm 0.57 ^b
C	20.455 \pm 0.311 ^a

*A, 1 layer substitute fat out of total layer; B, 2 layer substitute fat out of total layer; C, 3 layer substitute fat out of total layer. Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

마) 조리가공에 따른 3D 식물성 대체육의 수분보유력

- 수분보유력은 AOAC 방법을 이용하였으며, 지방층이 증가하면서 수분 보유력이 감소하는 경향으로 나타났다 (Table 19). 이는 열처리 중 단백질의 수축으로 인해 수분의 손실이 유발되어 충전재의 밀도와 지방 함량, 그리고 이들의 상호작용에 의한 것으로 생각된다.

Table 19. Water holding capacity of 3D printed plant-based meat after cooking

Sample*	Water holding capacity (%)
A	64.16 \pm 5.49 ^a
B	56.37 \pm 1.52 ^b
C	54.41 \pm 1.90 ^b

*A, 1 layer substitute fat out of total layer; B, 2 layer substitute fat out of total layer; C, 3 layer substitute fat out of total layer. Values are mean \pm SD (n=3). Values with different alphabet letter significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA with post-hoc by Duncan test).

바) 조리가공에 따른 3D 식물성 대체육의 지질안정성 평가

- 3D 식물성 대체육의 지질안정성은 조리 후, 외관특성 및 질감 분석을 통해 평가하였다.
- 조직화된 식물성 기반 대체육은 조리 후, 3D 프린팅 직후와 유사한 형상으로 관찰되어 구조적 안정성이 있음을 확인하였다 (Figure 27).

- 이후, 등심 (대조구)의 물성을 확보하기 위해 지방층을 함유하고 조직화에 따른 대체육의 물성을 분석하였다.
- 분석결과 (Table 20), 대체육을 조직화하였을 때, 등심의 물성을 가지는 것을 확인하였으며, 이는 섬유질의 표면적이 증가함에 따라 섬유가 타소재와 결합을 통해 조직감을 향상시키는 것으로 생각된다.
- 최종 등심의 물성을 가지는 3D 식물성 대체육 소재를 적용하여 스테이크 타입의 시제품을 제조하였으며, 결과는 Figure 28과 같다.

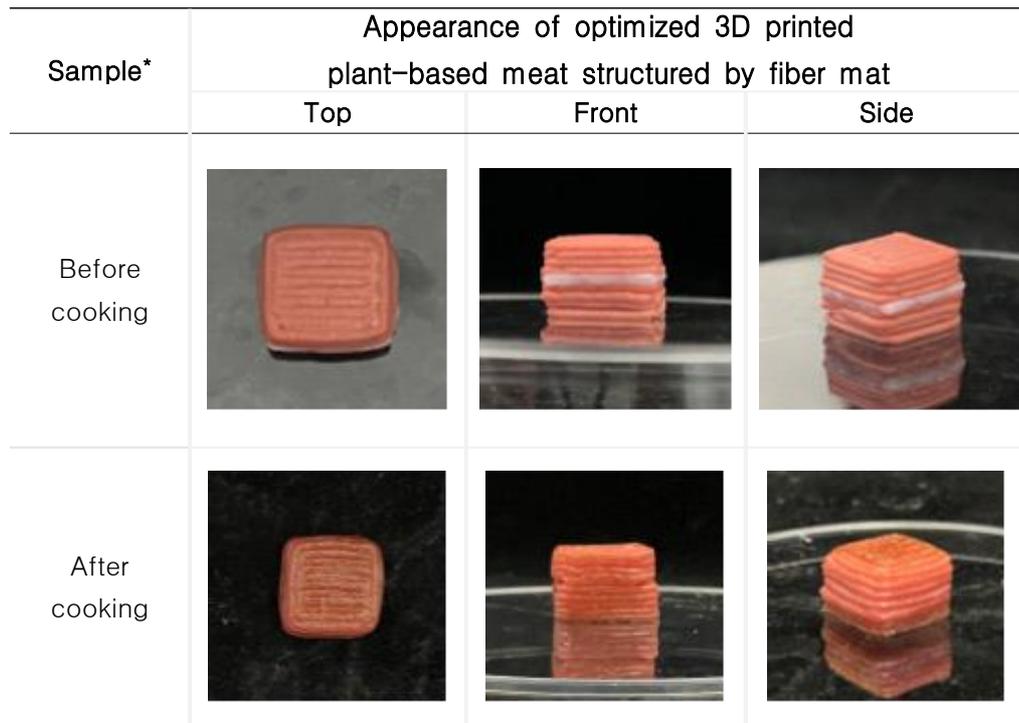


Figure 27. Appearance of optimized 3D printed plant-based meat structured by fiber mat *A, 1 layer CAD design optimized 3D printed plant-based meat structured by fiber mat.

Table 20. Texture analysis of sirloin steak and 3D printed plant-based meat structured by fiber mat after cooking

Sample*	Hardness (g)	Cohesion	Springiness (%)
A	12280.37±562.08 ^a	0.48±0.03 ^a	60.97±7.69 ^{ab}
B	8850.01±714.90 ^b	0.34±0.03 ^b	73.32±2.36 ^a
C	11397.90±433.98 ^a	0.29±0.07 ^b	50.54±12.96 ^b

*A, control (sirloin steak); B, 1 layer substitute fat out of total layer; C, 1 layer substitute fat out of total layer structured by fiber mat. All tests were done 3 times, repeatedly. Values are presented as mean standard deviation. Different letters, within the same column, indicate significant differences at $p < 0.05$ (ANOVA with Independent Samples t-test).

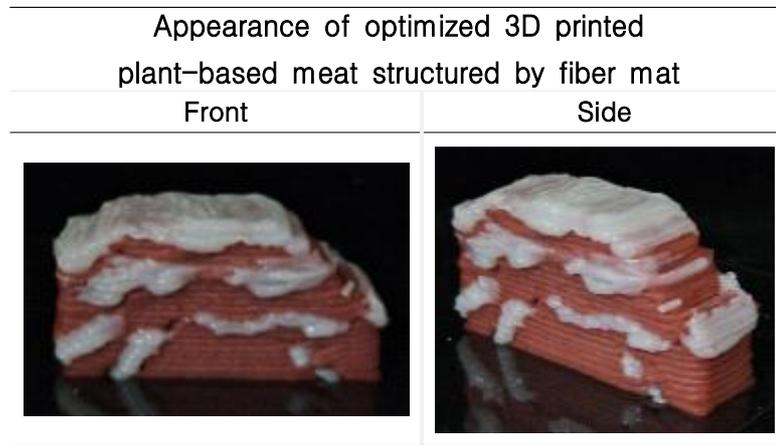


Figure 28. Appearance of prototype optimized 3D printed plant-based meat structured by fiber mat.

사) 3D 프린팅 기술을 이용한 비분쇄형 대체육의 안전성 평가

- 3D 프린팅 가공 기술을 이용하여 제조된 대체육의 안전성을 확보하기 위해 3D 프린팅 노즐과 카트리지가 이행에 따른 물질 시험을 분석하고 식품 카트리지, 제품 기준 및 규격 시험을 진행하였다 (한국식품연구원, 수원여자대학교 식품분석연구센터, 한국건설생활환경시험연구원 등).
- 분석 결과, 시린지와 시린지 플러저는 시험항목에 대하여 모두 불검출로 3D 프린팅 노즐 및 카트리지는 안전성이 있음을 확인하였다 (첨부 시험성적서).



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT23-099294K
2. 의뢰자
 - 업체명 : 이화여자대학교신학협력단
 - 주소 : [REDACTED]
3. 시험기간 : 2023년 11월 08일 ~ 2023년 11월 17일
4. 시험성적서의 용도 : 참고용(연구개발)
5. 시료명 : 시란지
6. 시험방법
 - (1) 식품용 기구 및 용기·포장 공전

7. 시험결과

1) 시란지

시험항목	단위	기준치	시험방법	시험결과	비고
용출 납	ng/L	1 이하	(1)	불검출	-
용출 과망간산칼륨소비량	ng/L	10 이하	(1)	1	-
용출 총용출량 4% 초산	ng/L	30 이하	(1)	4	-
용출 총용출량 물	ng/L	30 이하	(1)	2	-
용출 총용출량 n-헵탄	ng/L	150 이하	(1)	6	-

확인	작성자 성명	유보희	기술책임자 성명	유병철	주명철
비고:	1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 한계치범에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다. 4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kci.re.kr)에서 확인 가능합니다. 5. 이 성적서는 「식품·의약품분야 시험·검사 등에 관한 법률」에 따른 것이 아니며, 위 법률에 관하여 어떠한 효력도 없습니다.				

2023년 11월 17일

한국건설생활환경시험연구원



결과문의 :

총 2페이지 중 1페이지

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 시본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.



시험성적서

1. 성적서 번호 : CT23-099295K
2. 의뢰자
 - 업체명 : 이화여자대학교산학협력단
 - 주소 : [REDACTED]
3. 시험기간 : 2023년 11월 08일 ~ 2023년 11월 17일
4. 시험성적서의 용도 : 참고용(연구개발)
5. 시료명 : 시린지 플러저
6. 시험방법
 - (1) 식품용 기구 및 용기·포장 공전

7. 시험결과

1) 시린지 플러저

시험항목	단위	기준치	시험방법	시험결과	비고
용출 납	ng/L	1 이하	(1)	불검출	-
용출 과망간산칼륨소비량	ng/L	10 이하	(1)	1	-
용출 총용출량 4% 초산	ng/L	30 이하	(1)	4	-
용출 총용출량 물	ng/L	30 이하	(1)	2	-
용출 총용출량 n-헵탄	ng/L	150 이하	(1)	7	-
용출 1-헵센 4% 초산	ng/L	3 이하	(1)	불검출	-
용출 1-헵센 물	ng/L	3 이하	(1)	불검출	-
용출 1-헵센 n-헵탄	ng/L	3 이하	(1)	불검출	-
용출 1-옥탄 4% 초산	ng/L	15 이하	(1)	불검출	-
용출 1-옥탄 물	ng/L	15 이하	(1)	불검출	-
용출 1-옥탄 n-헵탄	ng/L	15 이하	(1)	불검출	-

확인	작성 자 명	유보희	<i>yu</i>	기술책임자 성 명	유병철	<i>유병철</i>
비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명에 한정된 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다. 2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다. 3. 이 성적서의 일부만을 발췌하여 사용한 결과는 보증할 수 없습니다. 4. 이 성적서의 진위여부는 홈페이지(www.kcl.re.kr)에서 확인 가능합니다. 5. 이 성적서는 「식품·의약품분야 시험·검사 등에 관한 법률」에 따른 것이 아니며, 위 법률에 관하여 어떠한 효력도 없습니다.						

2023년 11월 17일

한국건설생활환경시험연구원



결과문의 :

☎ 2881410 ~ 1880141

전자문서본(Electronic Copy)

※ 이 성적서는 원본(재발행 포함)만 유효하며, 서본 및 전자문서본은 시험결과에 대한 참고용입니다.

2) 정량적 연구개발성과

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명				연도	1단계 (2021~2022)	2단계 (2023)	계
전담기관 등록·기탁 지표	과학적 성과	논문 (SCIE)	목표(단계별)	4	4	8	
			실적(누적)	5	3	8	
		논문 (비SCIE)	목표(단계별)	3	1	4	
			실적(누적)	2	2	4	
		학술발표	목표(단계별)	7	4	11	
			실적(누적)	37	18	55	
	기술적 성과	특허 (출원)	목표(단계별)	3	1	4	
			실적(누적)	3	1	4	
		특허 (등록)	목표(단계별)	-	1	1	
			실적(누적)	-	-	0	
연구개발과제 특성 반영 지표	경제적 성과	기술실시 (이전)	목표(단계별)	1	3	4	
			실적(누적)	2	2	4	
		기술료	목표(단계별)	10,000	20,000	30,000	
			실적(누적)	5,000	50,000	55,000	
		제품화	목표(단계별)	2	4	6	
			실적(누적)	2	10	12	
	매출액	목표(단계별)	-	300,000	300,000		
		실적(누적)	-	231,799	231,799		
	사회적 성과	고용창출	목표(단계별)	2	1	3	
			실적(누적)	8	1	9	
		인력양성	목표(단계별)	3	1	4	
			실적(누적)	7	2	9	
	홍보전시	홍보전시	목표(단계별)	-	-	-	
			실적(누적)	2	-	2	
포상 및 수상		목표(단계별)	-	-	-		
		실적(누적)	5	3	8		

(1) 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	Effects of the main ingredients of the fermented food, kimchi, on bacterial	Food Research International	송혜선, 이세희, 노성운, 이진규	149	네덜란드	Elsevier	SCIE	2021.11.01	0963-9969	30%

	composition and metabolite profile									
2	수분함량에 따른 저수분 및 고수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성 비교	한국식품영양과학회지	최현우	51(2)	대한민국	한국식품영양과학회	비SCIE	2022.02.28	1226-3311(print) 2288-5978(online)	40%
3	분리쌀단백 첨가에 따른 저수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성	한국식품영양과학회지	김주원	51(9)	대한민국	한국식품영양과학회	비SCIE	2022.09.30	1226-3311(print) 2288-5978(online)	40%
4	Unraveling the phase behavior of cricket protein isolate and alginate in aqueous solution	Food chemistry	MD. Abdur Razzak	394	영국	Elsevier	SCIE	2022.11.15	0308-8146	50%
5	Molecular characterization of capsaicin binding interactions with ovalbumin and casein	Food hydrocolloid	MD. Abdur Razzak	133	미국	Elsevier	SCIE	2022.12.01	0268-005X	50%
6	Physicochemical and functional properties of capsaicin loaded cricket protein isolate and alginate complexes	Journal of Colloid and Interface Science	MD. Abdur Razzak	631	미국	Elsevier	SCIE	2022.12.14	0021-9797	50%
7	Printing optimization of 3D structure	Journal of Microbiology and	강현아, 오유림	제 12호	대한민국	한국미생물생명공학회	SCIE	2022.01.01	1017-7825	50%

	with lard texture using a beeswax-based oleogel alternative fat	Biotechnology								
8	분리대두 단백질과 분리녹두 단백질의 함량에 따른 저수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성	한국식품 영양과학 회지	황남기	52(8)	대한민국	한국식품영 양과학회	비SCIE	2023.08.31	1226-3311 (print) 2288-5978 (online)	50%
9	Effects of process variables on the physicochemical, textural, and structural properties of an isolated pea protein-based high-moisture meat analog	Foods	Zhang Yu		스위스	MDPI	SCIE	2023.12.08	2304-8158	50%
10	냉압착 대두박을 이용한 대두분리 단백질의 품질 특성 평가	한국식품 영양과학 회지	정민수	52	대한민국	한국식품영 양과학회	비SCIE	2023.05.04	1226-3311	50%
11	Effect of Microbial Transglutaminase Treatment on the Techno-Functional Properties of Mung Bean Protein Isolate	Foods	문수현	12	스위스	MDPI	SCIE	2023.05.15	2304-8158	50%
12	Physicochemical Properties	Food Sci Anim Resour	Yousung Jung	43(5)	대한민국	한국축산식품 학회	SCIE	2023.07.10.	2636-0772	

and Volatile Organic Compounds of Dairy Beef Round Subjected to Various Cooking Methods									
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	김주원	2021.07.09	대전컨벤션센터	대한민국
2	2021 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	최현우	2021.07.09	대전컨벤션센터	대한민국
3	2021 (사)한국산업식품공학회 추계 정기총회 및 학술대회	최현우	2021.10.14	강릉 라카이샌드파인리조트 컨벤션센터	대한민국
4	2021 KFN International Symposium and Annual Meeting	최현우	2021.10.29	부산 벅스코	대한민국
5	2021 KFN International Symposium and Annual Meeting	김주원	2021.10.29	부산 벅스코	대한민국
6	2021 KFN International Symposium and Annual Meeting	김민정	2021.10.29	부산 벅스코	대한민국
7	2021 KFN International Symposium and Annual Meeting	김민정	2021.10.29	부산 벅스코	대한민국
8	53 rd KoSFA International Symposium and Annual Meeting	김혜진, 김동욱, 권지선, 장애라	2021.05.28	온라인	대한민국
9	Experimental Biology	오유림, 이남근, 이진규	2021.05.14	버추얼	미국

10	Experimental Biology	강현아, 이남근, 이진규	2021.05.14	버추얼	미국
11	Experimental Biology	정소영, 이남근, 이진규	2021.05.14	버추얼	미국
12	Experimental Biology	배정빈, 오유림, 이남근, 이진규	2021.05.14	버추얼	미국
13	ILSI Korea (Safe and sustainable supply of alternative proteins by plant/cell-based processing)	이진규	2021.05.25	버추얼	대한민국
14	2021년 5월 푸드테크포럼	이진규	2021.05.31	스타트업브랜치 (서울 코엑스 2F)	대한민국
15	2021년 농식품과학기술대전	이진규	2021.09.09	버추얼	대한민국
16	2021년 농식품과학기술대전	이진규	2021.09.11	버추얼	대한민국
17	2021년 대한민국식품대전	이진규	2021.10.20	버추얼	대한민국
18	2021 KFN International Symposium and Annual Meeting	이진규	2021.10.29	부산 벅스코	대한민국
19	2022 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting (대학원생 구두발표)	최현우	2022.07.07	부산 벅스코	대한민국
20	2022 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	Zhang Yu	2022.07.07	부산 벅스코	대한민국
21	2022 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	김주원	2022.07.08	부산 벅스코	대한민국
22	2022 KoSFoST	황남기	2022.07.08	부산 벅스코	대한민국

	International Symposium and Annual Meeting				
23	2022 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	최현우	2022.07.08	부산 벅스코	대한민국
24	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	최현우	2022.10.20	제주국제컨벤션센터	대한민국
25	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	황남기	2022.10.20	제주국제컨벤션센터	대한민국
26	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	신지희	2022.10.20	제주국제컨벤션센터	대한민국
27	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	Zhang Yu	2022.10.20	제주국제컨벤션센터	대한민국
28	2022 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	안재식	2022.07.08	부산 벅스코	대한민국
29	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	박주현	2022.10.21	제주국제컨벤션센터	대한민국
30	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	문수현	2022.10.21	제주국제컨벤션센터	대한민국
31	54th KoSFA International Symposium and Annual Meeting	김혜진, 김동욱, 정효진, 이희정, 정유성, 장애라	2022.05.20	완주 한국식품연구원	대한민국
32	The 19th AAAP (Asian-Australasian Association of Animal Production) Animal Science Congress	김혜진, 김동욱, 정효진, 이희정, 정유성, 장애라	2022.08.23	제주국제컨벤션센터	대한민국
33	2022 Experimental Biology	오유림, 이남근, 이진규	2022.04.05	Philadelphia	미국
34	2022 한국식품과학회	오유림, 구본빈, 하유림, 이남근, 이진규	2022.07.08	부산 벅스코	대한민국
35	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	오유림, 이남근, 이진규	2022.10.20	제주국제컨벤션센터	대한민국
36	2022 KFN International	구본빈, 오유림, 함예현, 이남근,	2022.10.20	제주국제컨벤션센터	대한민국

	Symposium and Annual Meeting	이진규			
37	2022 KFN International Symposium and Annual Meeting	하유림, 오유림, 김은지, 함예현, 이승민, 이남근, 이진규	2022.10.20	제주국제컨벤션센터	대한민국
38	2023 (사)한국산업식품공학회 춘계 정기총회 및 학술대회	황남기	2023.04.27	강릉 라카이샌드파인리조트 컨벤션센터	대한민국
39	2023 (사)한국산업식품공학회 춘계 정기총회 및 학술대회	신지희	2023.04.27	강릉 라카이샌드파인리조트 컨벤션센터	대한민국
40	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	황남기	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국
41	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	신지희	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국
42	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	Zhang Yu	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국
43	2023 KFN International Symposium and Annual Meeting	황남기	2023.10.19	부산 벅스코	대한민국
44	2023 KFN International Symposium and Annual Meeting	Zhang Yu	2023.10.19	부산 벅스코	대한민국
45	2023 KFN international symposium and annual meeting	박주현	2023.10.20	부산 벅스코	대한민국
46	2023 KFN international symposium and annual meeting	신희선	2023.10.20	부산 벅스코	대한민국
47	55 th KoSFA International Symposium and Annual Meeting	오수민, 정유성, 김동욱, 장애라	2023.05.18	광주 김대중컨벤션센터	대한민국
48	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	오유림, 이승민, 이남근, 이진규	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국
49	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	구본빈, 손지호, 이진규	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국
50	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	하유림, 손지호, 이진규	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국

51	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	함예현, 이진규	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국
52	2023 KoSFoST International Symposium and Annual Meeting	김은지, 이진규	2023.06.30	제주국제컨벤션센터	대한민국
53	2023 한국환경생물학회 정기학술대회	이진규	2023.10.19	소노캄 제주	대한민국
54	혁신을 통한 식문화 패러다임의 변화	이진규	2023.11.03	한양대학교	대한민국
55	The 19th 한국해양바이오학회 정기 총회 및 학술발표회	이진규	2023.11.10	부산항국제전시컨벤션센터	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	특허/분리완두단백 첨가와 공정변수 변화를 활용한 저수분 압출성형 대체육의 향상된 섬유구조 구현	대한민국	공주대학교산학협력단	2022.11.30	10-2022-0164364	-	-	-	-	100	-
2	특허/햄프씨드 단백질 및 이의 제조 방법	대한민국	강원대학교산학협력단	2022.01.06	10-2022-0002024	-	-	-	-	100	활용
3	특허/대체 단백질의 물성 조절용 섬유형 첨가제, 대체 단백질, 식품 및 대체 단백질의 제조방법	대한민국	이화여자대학교산학협력단	2022.12.20	10-2022-0179793	1108210456	-	-	-	100	미활용 (활용예정)
4	특허/분리대두단백과 분리녹두단백의 함량에 따른 저수분 압출성형 대체육의 이화학적 특성	대한민국	공주대학교산학협력단	2023.07.06	10-2023-0087822	-	-	-	-	100	-

[경제적 성과]

□ 기술 실시(이전)

번호	기술이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	기술이전 (공주대)	식물 단백질 기반 대체육의 조직화	위미트	2021.09.24	5,000,000	0
2	직접실시	소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 제품화	(주)신세계푸드	2022.12.31	0	0
3	양도	햄프씨드 단백질 및 이의 제조 방법	(주)알트랩	2023.08.31	50,000,000	0
4	직접실시	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화	(주)신세계푸드	2023.12.31	0	0

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹⁾	사업화 형태 ²⁾	지역 ³⁾	사업화명	형태	제품명	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명					
								국내 (천원)	국외 (달러)							
1	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화	비분쇄형 제품	마리네이드 비프 외 1건	(주)신세계푸드	-	-	-	-					
2	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화				-	-	-	-					
3	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화	분쇄형 제품	식물성 리얼 패티 외 6건	(주)신세계푸드	231,800	2023	-	-					
4	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화						-	-					
5	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화						-	-					
6	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화						-	-					
7	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화						-	-					
8	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화						-	-					
9	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화						-	-					
10	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화						식물조직 단백질	식물성단백S 외 2건	(주)신세계푸드	-	-	-	-
11	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 제품화									-	-	-	-
12	자기실시	신제품 개발	국내	소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 제품화	-	-	-	-								

시험성적서			
신세계푸드 식용안료			
발급번호	W-2305-00996	외판번호	523050066-2305011868
제품명	소시지패티	식용·축산물 유형	가짜가공물·가열하여 섭취하는 냉동 식품
제조일자/제조일자	2023-04-29	소제일자	2024-04-23
검수일자	2023-05-04	시험일자	2023-05-04 ~ 2023-05-18
사업장명	외판처		
시험목적	신제품시험·영양성분		
기타사항	식용공급업체 의한 분석		
시험항목 및 결과			
No.	시험항목	단위	시험결과
1	나트륨	mg/100 g	631.61
2	단백질	g/100 g	6.45
3	지방	g/100 g	0.36
4	열량	kcal/100 g	238.87
5	지방	g/100 g	17.55
6	콜레스테롤	mg/100 g	0.00
7	탄수화물	g/100 g	16.79
8	포화지방	g/100 g	0.07
9	포화지방	g/100 g	0.36
종합비교			
기타비교			
확인 시험자 서명 승인자 서명			
<small>* 본 성적서의 결과는 식별단계의 위해 계층을 시료에 한정 결과이며, 실제 사용 용량과 실제 사용량에 따라 달라질 수 있습니다. <small>* 본 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025:2018 KOLAS 인증과 관련 내용을 포함합니다.</small> </small>			
(주) 신세계푸드 식품안전팀장  2023년 05월 18일			

<식물성 소시지패티 영양성분 성적서>

시험성적서			
신세계푸드 식용안료			
발급번호	W-2305-00996	외판번호	523050066-2305011869
제품명	미트볼	식용·축산물 유형	가짜가공물·가열하여 섭취하는 냉동 식품
제조일자/제조일자	2023-04-28	소제일자	2024-04-27
검수일자	2023-05-04	시험일자	2023-05-04 ~ 2023-05-18
사업장명	외판처		
시험목적	신제품시험·영양성분		
기타사항	식용공급업체 의한 분석		
시험항목 및 결과			
No.	시험항목	단위	시험결과
1	나트륨	mg/100 g	632.29
2	단백질	g/100 g	6.98
3	지방	g/100 g	0.38
4	열량	kcal/100 g	265.93
5	지방	g/100 g	18.57
6	콜레스테롤	mg/100 g	0.00
7	탄수화물	g/100 g	15.72
8	포화지방	g/100 g	0.06
9	포화지방	g/100 g	2.60
종합비교			
기타비교			
확인 시험자 서명 승인자 서명			
<small>* 본 성적서의 결과는 식별단계의 위해 계층을 시료에 한정 결과이며, 실제 사용 용량과 실제 사용량에 따라 달라질 수 있습니다. <small>* 본 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025:2018 KOLAS 인증과 관련 내용을 포함합니다.</small> </small>			
(주) 신세계푸드 식품안전팀장  2023년 05월 18일			

<식물성 미트볼 영양성분 성적서>

시험성적서			
신세계푸드 연구분석팀			
발급번호	W-2401-00060	외판번호	5240101546-2401000002
제품명	민스	식용·축산물 유형	가짜가공물·가열하여 섭취하는 냉동 식품
제조일자/제조일자	2023-09-01	소제일자	2024-08-26
검수일자	2024-01-03	시험일자	2024-01-03 ~ 2024-01-17
사업장명	외판처		
시험목적	일반시험·영양성분		
기타사항	식용공급업체 의한 분석		
시험항목 및 결과			
No.	시험항목	단위	시험결과
1	나트륨	mg/100 g	482.11
2	단백질	g/100 g	9.40
3	지방	g/100 g	0.21
4	열량	kcal/100 g	245.55
5	지방	g/100 g	17.63
6	콜레스테롤	mg/100 g	0.00
7	탄수화물	g/100 g	12.32
8	포화지방	g/100 g	0.06
9	포화지방	g/100 g	0.72
종합비교			
기타비교			
확인 시험자 서명 승인자 서명			
<small>* 본 성적서의 결과는 식별단계의 위해 계층을 시료에 한정 결과이며, 실제 사용 용량과 실제 사용량에 따라 달라질 수 있습니다. <small>* 본 성적서는 KS Q ISO/IEC 17025:2018 KOLAS 인증과 관련 내용을 포함합니다.</small> </small>			
(주) 신세계푸드 연구분석팀장  2024년 01월 17일			

<식물성 민스 영양성분 성적서>

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
소고기 질감 유사 식물성 대체육 개발 및 제품화	2023	231,799	-	231,799	자사 발주 데이터
합계		231,799	-	231,799	-

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2022년	2023년	
	청년고용 친화형 R&D 3종 패키지	(주)신세계푸드	2	-	-	2
	-	(주)신세계푸드	-	6	1	7
	합계		2	6	1	9

□ 고용 효과

고용 효과	구분	고용 효과(명)	
		개발 전	개발 후
	연구인력	8	-
		-	17
	생산인력	-	-
		-	-

[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	공주대학교	2022		3			3			3			
		2023	1	1			1	1		2			
2	강원대학교	2021	1	2				3	3				
3	이화여자대학교	2021		1				1	1				

□ 전시회 참가 (전시회, 박람회, 제품설명회 등)

번호	유형	행사명칭	참여품목	주관기관	일자	국내외	장소
1	박람회	Plant Based World Expo 2022	-	(주)신세계푸드	2022.09.08~2022.09.09	국외	미국/뉴욕
2	박람회	제17회 서울국제식품산업전	-	(주)신세계푸드	2022.11.02~2022.11.05	국내	대한민국/서울

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	학술발표회	KFN STAR 발표상	학술발표상	학생연구원 (김주원)	2021.10.29	한국식품영양과학회
2	학술발표회	KFN STAR 발표상	학술발표상	학생연구원 (최현우)	2021.10.29	한국식품영양과학회
3	학술발표회	대학원생 우수논문 발표 석사 부문 3등	학술발표상	학생연구원 (최현우)	2022.07.08	한국식품과학회
4	학술발표회	우수포스터선발	학술발표상	학생연구원 (김주원)	2022.07.08	한국식품과학회
5	학술발표회	우수포스터선발	학술발표상	학생연구원 (신지희)	2022.10.21	한국식품영양과학회
6	학술발표회	우수포스터선발	학술발표상	학생연구원 (신지희)	2023.06.30.	한국식품과학회
7	학술발표회	우수포스터선발	학술발표상	학생연구원 (황남기)	2023.10.19.	한국식품영양과학회
8	학술발표회	제품개발경진대회 금상	학술발표상	학생연구원 (황남기, 신지희)	2023.10.20.	한국식품영양과학회

3) 목표 달성 수준

연구기관명	추진 목표	달성 내용	달성도 (%)
주관연구기관 신세계푸드	<ul style="list-style-type: none"> 대체육 영양강화와 품질(풍미, 색, 식감 등) 개선 소재 발굴 및 이들의 적용 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 국내산 소고기 유사 품질과 기존 소고기 대비 영양을 강화하기 위한 소재 국내외 조사 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 국내산 소고기 육색 모사를 위한 Meat color scale 분석 및 육색 블렌딩 기술력 확보 	90
		<ul style="list-style-type: none"> 대체육에 적합한 신규 소재 탐색 및 이화학적 특성 확인: 용해도, 내열성, 안정성 등 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 확보된 소재 적용에 따른 대체육(분쇄/비분쇄) 품질 개선 검증 	100
	<ul style="list-style-type: none"> 품질 개선 소재를 이 	<ul style="list-style-type: none"> 품질 개선 소재 배합비 및 가공조건에 따른 	100

용한 식물성 분쇄육가공품 개발	식물성 분쇄육가공품 품질 변화 특성 연구	100
	• 품질개선 소재를 보유한 식물성 분쇄육가공품 최적조건 설정 및 공정 구축	
• 소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 양산화 기술 및 제품화	• Plant-scale 에서의 소고기 질감 유사 식물조직단백 소재 최적조건 설정	100
	• 원재료 수급 및 원가, 생산 가능성을 고려한 경제성 분석	100
	• 반복 수행에 의한 제품의 규격 및 표준화 구축	100
	• 식물조직단백 물리화학적 변화 및 기존 소고기와의 비교 분석 통한 품질 검증	100
• 개발된 식물조직단백, 품질(풍미, 색, 식감 등) 개선 소재 적용한 식물성 분쇄육가공품 개발	• 개발된 식물조직단백을 이용한 식물성 분쇄육 가공품 개발	100
	• 영양 및 품질 개선 소재를 적용한 식물성 분쇄육 가공품 개발	100
	• 배합비에 따른 식물성 분쇄육가공품 최적 조건 설정	100
	• 조리 전후 변화 품질 및 관능적인 유의 차이 개선: 식물조직단백, 영양, 품질(풍미, 색, 식감 등) 변화 측정	100
• 대체육 저장안전성 연구 및 가공 공정 확립	• 대체육 유통기한 연장 위한 살균 기술 검토 및 공정 확립	100
	• 살균 공정 전후에 따른 대체육 품질 및 미생물 안전성 연구	100
• 소고기 질감 유사 식물성 분쇄육가공품 공정 설계 및 제품화	• Plant-scale에서의 소고기 질감 유사 식물성 분쇄육가공품 최적조건 설정	100
	• 식물성 분쇄육가공품 공정 설계를 통한 대량생산 기반 확립	100
	• 원재료 수급 및 원가를 고려한 경제성 분석	100
	• 제품의 규격 및 표준화 구축	100
• 소고기 조직감 및 풍미를 보유한 비분쇄형 대체육 제조 공정 최적화	• 영양 및 품질 개선 소재를 적용한 식물성 비분쇄육 가공품 개발 및 공정 구축	100
	• 배합비에 따른 식물성 비분쇄육 가공품 최적 조건 설정	100
• 다양한 가공 조건에 따른 대체육(분쇄/비분쇄) 관능 품질 변화 분석 및 공정 개선	• 개발한 식물성 대체육 조리방법에 따른 관능적 품질 변화 분석 및 공정 개선	100
	• 조리방법에 따른 기존 소고기와의 이화학 및 물리학적 특성 비교 연구	100
• 식물성 근섬유, 지질, 결체조직 등을 보유한 대체육(분쇄/비분쇄) 개발	• 기존 소고기 질감과 유사한 대체육 개발을 위한 식물성 근섬유 및 지질 소재 적용	100
	• 지질 소재 배합비에 따른 대체육 품질 변화 연구 및 최적화 조건	100
	• 지질 소재 적용한 식물성 대체육 조리 방법에 따른 관능 평가	100
• 대체육 저장안전성 확	• 시제품 사전 분석을 통한 유통기한 검증 및	100

제1공동연구기관 공주대학교	보와 양산화 및 검증	안전성 확보 • 생산성 향상과 균일한 품질을 위한 규격 표준화 및 기반 구축	100
	• 압출성형 공정을 이용한 신규 식물 단백질 조직화 기술 개발	• 저수분(30~50%)에서의 압출성형에 의한 식물 유래 단백질 조직화 기술 연구	100
		• 저수분 조건에서 원료 배합비 및 압출성형 조건에 따른 식물 유래 단백질 조직화 기술 연구	100
	• 저수분 조건에서의 기존 식물단백(대두) 대체육과 신규 식물단백(쌀, 완두, 녹두) 대체육의 품질 특성 비교	• 저수분 조건에서 완두, 쌀, 녹두 단백을 활용한 압출성형 대체육과 대두 기반 압출성형 대체육의 품질 비교 연구	100
	• 압출성형 공정을 이용한 신규 식물단백 조직화 기술의 최적화	• 반응표면분석법을 통한 저수분 압출성형 식물조직단백의 제조 공정 최적화 연구	100
		• 배합비, 압출성형 공정변수(배럴온도, 스크루 스피드), 식물 유래 단백질 종류에 따른 최적화 공정 연구	100
	• 저수분 조건에서의 압출성형에 의한 식물 유래 단백질 제품 개발	• 식물유래 단백질 종류 및 압출성형 공정에 따른 소고기 유사 분쇄형가공품 개발	100
	• 고수분(50%이상) 조건에서의 압출성형에 의한 식물 유래 단백질 조직화 기술 개발 연구	• 고수분 조건(55~70%)에서 완두, 쌀 단백을 활용한 함량별 단백질 조직화 기술 연구	100
	• 비가열 초고압 공정을 활용한 식물성 단백질 소재 활용 제품 내 유해미생물 저감화 효과 규명	• 식물성 단백질 소재 활용 모델 제품 및 제어 대상 미생물 선정(일반세균수, 대장균군, 장출혈성 대장균, <i>Salmonella spp.</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> 등)	100
		• 초고압 공정 조건(압력, 온도 등)에 따른 제어 대상 미생물 저감화 효과 규명 및 모델링 분석을 통한 저감화 결과의 정량적 분석	100
• 소고기 유사 질감 고수분 (50% 이상) 압출성형 식물조직단백의 제조 공정 최적화 연구	• 배합비, 압출성형 공정변수(배럴온도, 스크루 스피드), 식물 유래 단백질 종류에 따른 최적화 공정 연구	100	
	• 반응표면분석법을 통한 소고기 유사 질감의 고수분 (50% 이상) 압출성형 식물조직단백의 제조 공정 최적화 연구	100	
• 고수분 (50% 이상) 조건에서의 압출성형에 의한 소고기 유사 질감의 식물 유래 단백질 제품 개발 연구	• 식물성 단백질을 활용한 불고기, 육개장 등의 제품 개발	100	

	<ul style="list-style-type: none"> 초고압 및 기존 가열 처리 공정 적용에 따른 품목별 품질 특성 비교 검증 및 최적화 	<ul style="list-style-type: none"> 식물성 단백질 활용 분쇄형 제품(패티, 미트볼, 만두, 햄/소시지 등) 및 비분쇄형 제품(양념육, 불고기, 갈비찜, HMR 육개장, 미역국, 소고기 무국 등)별 지표 미생물 및 품질 지표 선정 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 초고압 및 기존 가열 처리 공정 적용에 따른 미생물학적, 관능적 품질 특성 비교 검증을 통한 초고압 공정의 적용 가능성 탐색 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 초고압 공정 적용 가능 개발 제품별 최적 처리 조건 확립 	100
제2공동연구기관 강원대학교	<ul style="list-style-type: none"> 신규 단백질 분리·정제 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 신규단백 후보 원료의 단백질 특성 평가 (pH, salting-in/out 등 용해도 특성 비교) 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 단백질 추출 및 분리·정제 특성 최적화 	100
	<ul style="list-style-type: none"> 신규 단백질소재의 품질 지표 분석 	<ul style="list-style-type: none"> 일반 성분 분석: 단백질, 지방, 조회분 등 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 분자량 및 아미노산 조성 분석 	100
		<ul style="list-style-type: none"> In vitro 소화율 지표 분석 	100
	<ul style="list-style-type: none"> 기존 단백질의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 상용화된 대두 및 완두단백을 기반으로 단백질 가수분해 및 modification 적용 기술 개발 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 물리, 화학, 효소적 개량법을 이용한 품질 개선 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 제한적 효소분해를 이용한 소화율 개선 	50
	<ul style="list-style-type: none"> 소고기의 다(多)이용 대표부위별 및 조리방법별 소고기의 조직감 및 조리 특성 규명 	<ul style="list-style-type: none"> 소고기 다(多)이용 대표 부위 이용: 등심(채끝), 갈비살, 안심, 우둔, 양지 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 대표 부위에 따른 조리방법: 전자레인지법, 삶기, 찌기, 팬프라이, 굽기 등 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 소고기의 조리방법별 질감 규명: 전단력, TPA분석 (경도 등) 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 소고기의 조리 특성 규명: pH, 가열감량, 육색, 관능적 특성 	100
	<ul style="list-style-type: none"> 조리한 소고기의 질감에 영향을 미치는 영양성분 규명 	<ul style="list-style-type: none"> 일반성분(단백질, 지방, 수분, 조회분) 및 열량 분석 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 아미노산, 지방산, 미네랄 조성 규명 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 결체조직 (콜라겐) 함량 분석 	100
	<ul style="list-style-type: none"> 신규 단백질소재 양산화 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 파일럿 설비를 활용한 신규 단백질소재의 양산 공정 검증 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 단백질의 추출-분리-정제-소재화 프로세스 검증 및 제조공정 확립 	100
	<ul style="list-style-type: none"> 양산된 신규 단백질소재의 품질 검증 	<ul style="list-style-type: none"> 단백질 함량, 분자량, 아미노산 조성 분석, in vitro 소화율 지표 분석 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 수분 및 유지흡수력, 용해도, 유화안정성 등 분석 	100
		<ul style="list-style-type: none"> 기존 단백질(대두) 대비 양산 신규단백의 단백질 품질 평가 	100
<ul style="list-style-type: none"> 신규 단백질소재의 대체육 적용을 위한 개량 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 상용화된 대두 및 완두단백을 기반으로 단백질 가수분해 및 modification 적용 기술 개발 	100	
	<ul style="list-style-type: none"> 물리, 화학, 효소적 개량법을 이용한 품질 개선 	100	

		• 제한적 효소분해를 이용한 소화율 개선	50
• 소고기의 부위별 풍미 비교 분석		• 소고기 다(多)이용 대표 부위 이용: 등심(채끝), 갈비살, 안심, 우둔, 양지	100
		• 맛 성분 분석: 유리아미노산, 지방산 조성, 핵산물질	100
		• 냄새 성분 분석: 휘발성물질(VOCs)	100
• 소고기 유사 분쇄육의 식품 소재화를 위한 조직감 및 가공 특성 확인		• 조직감: 전단력, TPA(응집성, 탄력성, 경도, 씹힘성)	100
		• 가공 특성: pH, 육색	100
• 가공 후 소고기 유사 분쇄육의 조리 특성 및 조직감 개선 연구		• 조직감: 전단력, TPA(응집성, 탄력성, 경도, 씹힘성), 미세조직구조(SEM) 측정	100
		• 조리 특성: pH, 육색, 가열감량, 관능적 특성	100
• 최적 소고기 유사 분쇄육 내 단백질과 지방의 휘발성 및 비휘발성 풍미 성분 모니터링		• 비휘발성 풍미 성분: 유리아미노산, 지방산 조성, 핵산물질	100
		• 휘발성 풍미 성분: 휘발성 물질 (VOCs)	100
• 최적 소고기 유사분쇄육 내 영양성분 비교 분석		• 일반성분(단백질, 지방, 수분, 조회분) 및 열량	100
		• 아미노산, 지방산, 미네랄 조성 규명	100
		• 결체조직 (콜라겐) 함량	100
• 기존 및 신규 단백질 재배합을 통한 품질 개선		• 영양학적 특성(In vitro 소화율, 아미노산 조성, PDCASS 등) 최적화를 위한 단백질 배합비 개발	70
		• 가공적성 특성(수분 및 유지 흡수력, 용해도, 유화안정성 등) 최적화를 위한 배합비 개발	100
		• 식물성 대체육 적용특성을 반영하여 소화율 개선 단백질원과 물성 개선 단백질원의 최적 배합비 확보	100
• 식육대비 품질 특성 비교		• 영양학적 특성 비교 (In vitro 소화율, 아미노산 조성, PDCASS 등)	100
		• 가공적성 특성 비교 (수분 및 유지 흡수력, 용해도, 유화안정성 등)	100
		• 품질 개선을 위한 첨가물 스크리닝 및 적용	100
• 식물성 대체육의 상강도와 관능개선을 위한 식물성 지질의 소재화 및 조리 특성 규명		• 관능적 선호도 조사: 육색, 냄새, 풍미, 다즙성, 연도, 맛, 종합적 기호도 등	100
		• 조리방법에 따른 조리특성 및 조직감 규명: 전자렌지법, 삶기, 찌기, 팬프라이, 굽기	100
		• 조리특성: pH, 육색, 가열감량	100
		• 조직감: 전단력(shear force), TPA(응집성, 탄력성, 경도, 씹힘성), 미세조직구조(SEM) 측정	100
• 식물성 대체육 가공전 후 지질 안정성 평가		• 가공 전후 유사분쇄육 내 저장기간 중 지질 안정성 평가: TBARS, 산가	100
		• 가공 후 저장기간별 품질 변화 규명: pH, 미생물, 육즙감량, 육색	100
		• 관능적 선호도 조사: 육색, 냄새, 맛, 풍미,	100

		다즙성, 연도, 종합적 기호도 등	
	• 식물성 대체육의 관능 특성 및 풍미 성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명	• 식물성 대체육의 가공 전후에 따른 지방산, 아미노산, 핵산 물질, 휘발성 물질 분석 • 가공 후 식물성 대체육의 관능 특성 분석: 육색, 냄새, 풍미, 다즙성, 연도, 맛, 종합적 기호도 등	100 100
		• 식물성 대체육의 관능특성 및 풍미성분과의 상관도 분석을 통한 소고기 유사성 규명	100
		• 전자코를 이용한 식물성 대체육과 소고기의 향기성분 차이 규명	100
제3공동연구기관 이화여자대학교	• 신규 식물단백 원료 탐색 및 이화학적 특성 분석	• 조직화를 위한 식물단백 원료의 가공 적용 (초저온미세분쇄 가공 조건 최적화-분쇄온도 및 속도 등) • 식물단백 원료의 이화학적 특성 분석 (입형, 입자 사이즈 및 분포도 등)	100 100
	• 섬유 방사 프린팅에 의한 식물 유래 단백질·지방 조직화 기술 개발 연구	• Fiber mat 제조 공정 (속도, 두께 및 방사 각도 등) 최적화 및 물성 분석	100
	• 식물조직단백·지방 소재의 3D 프린팅용 카트리지가 적합도 확인 및 소재화 연구	• 식물조직단백·지방의 유변학적 특성 (점성, 탄성 등) 분석	100
	• 반응표면분석법(RSM)을 통한 식물조직단백·지방의 제조 공정 최적화 연구	• 반응표면분석법을 이용한 식물조직단백·지방의 3D 프린팅 제조공정 최적화 (CAD 모델링 및 3D 프린터 파라미터 등) 및 물성 분석	100
	• 3D 식물성 대체육의 관능 특성 및 조리 가공에 따른 지질 안정성 평가 및 안전성 확보	• 3D 구조 식물성 대체육의 조리 가공에 따른 안정성(수분 및 유지 보유력, 단백질-지방 결합력, 저작 물성 확인 등) 및 안전성 평가(3D 프린팅 노즐 및 카트리지 이행에 따른 물질 시험 분석 등)	100

4) 목표 미달 시 원인분석 및 보완활동

연구기관명	연구 내용	원인 분석	보완 활동
주관연구기관 신세계푸드	-	-	-
제1공동연구기관 공주대학교	-	-	-
제2공동연구기관 강원대학교	[1,2차년도] • 물리, 화학, 효소적 개량법을 이용한 품질 개선	• 채택한 modification (pH shifting) 기술에 대한 집중적인 연구로의 방향 재설정이 필요함	• 개량한 단백질의 구조 및 물리화학적 특성 분석 진행
	[1,2차년도] • 제한적 효소분해를 이용한 소화율 개선		• 단백질 개량을 통한 단백질 소화율 개선 및 데이터 확보
	[2차년도]	• 연구 주제명을 연구의 흐름	• 양산화된 신규단백의

	<ul style="list-style-type: none"> • 기존 단백질(대두)와 물리화학적 특성 및 단백질 소화율 데이터 확보 	<p>름에 더 적합하게 변경할 필요가 있음</p>	<p>In vitro 소화율 분석을 통한 양산 신규단백의 lab-scale 대비 영양학적 품질 평가 진행</p>
제3공동연구기관 이화여자대학교	-	-	-

3. 연구개발성과 활용에 따른 기대효과

1) 기술적 분야

- 소고기 가공제품과 식물성 대체육의 품질 및 풍미 성분 유사도 분석을 통한 고품질 대체식품 개발을 위한 데이터 확보하여 소고기 유사 식물성 대체육 연구에 기여 가능
- 조리 특성에 따른 소고기 및 식물성 대체육의 조직감 및 풍미 성분 분석을 통한 식물성 대체육 제품의 최적 조리 방법 설정 가능
- 구조개량기술을 이용한 조직화단백의 물성 개선 연구: 조직화단백의 물성을 개선하는 새로운 시도로 논문 출판을 통해 관련 연구 분야 발전에 기여 가능
- 무기질 수용액을 이용한 조직화단백 수화기술 개발: 새로운 조직화단백 수화기술로 조직화단백의 가공기술 관련 분야 발전에 기여 가능
- 대두 외 식물성 단백질원료를 활용한 압출성형 식물조직단백을 제조하는데 필요한 기초 자료 확보하여 다양하게 활용 가능
- 기계적 전단을 받아 다른 열 공정에 비해 생체 고분자의 공유 결합을 깨뜨릴 수 있으며, 구조적 붕괴와 혼합으로 식품 성분의 기능적 특성 변경 및 조직화 촉진이 가능한 기술 확보하여 소고기 질감과 유사한 구조 형성 가능
- 3D 프린터 이용 대체육류 제조공정 (마블링 구성 등) 기술 확보하여 식감, 풍미 및 영양학적인 요소 등 맞춤형 대체육류 디자인 가능

2) 산업적/환경적 분야

- 연속공정인 압출성형공정 활용 및 다양한 공정변수 설정으로 대체육의 대량생산 기술 확보
- 개발한 단백질소재 양산기술을 이용하여 국내 식물성 단백질소재 산업화 및 식물성 단백질소재의 해외 의존도 축소 가능
- 식물성 단백질소재 및 대체육 제품 제조를 통한 환경오염 및 동물복지 문제 해결 가능
- 국내 대체육 제조 기술력 증대에 따른 소비자의 기대 충족 및 대체육 소비 확대를 통한 산업 활성화 기대
- 가축사육으로 인한 자연환경파괴, 탄소배출 등 기후변화 영양요인의 하나인 축산업을 대체할 수 있는 효과적인 대응 전략 기대

4. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

[식물단백소재 분야]

- 본 과제에서 개발한 개량녹두단백의 기포형성능 및 단백질-다당류 복합체 형성 관련 개선 효과를 확인하였음. 개량녹두단백의 기포형성능 및 단백질-다당류 복합체 형성 관련 개선 효과를 평가하고 개선원리를 규명하여 학술지에 관련 논문을 투고할 계획임.
- 무기질 수용액을 이용한 조직화단백 재수화방법 관련 연구로 salt bridge 형성 현상과 조직화

단백의 관능적 품질 특성 변화에 대한 추가적인 연구를 통해 관련 논문을 투고할 계획임.

[식물조직단백 분야]

- 분리대두단백을 대체하여 본 과제에서 연구된 분리완두단백을 첨가할 때의 저수분 압출성형공정 식물조직단백은 일반적으로 보이는 다수의 기공이 감소하는 경향을 보여 이와 관련된 원리 및 결과를 학술지에 투고할 계획임.
- 본 과제에서 수행된 고수분 압출성형공정을 통해 분리녹두단백을 주원료로 분리대두단백을 대체한 고수분 대체육의 제조 가능성을 확인하였으며, 이와 관련된 이화학적 및 조직화 특성에 관한 결과를 학술지에 투고할 계획임.

[3D 프린팅 기술 분야]

- 본 과제에서 식물성 원료의 구성, 3D 프린터 기술, 조리조건 등을 통해 우둔, 등심 등의 물성을 확보하였으며, 이와 관련된 실제 육류의 물성 구현 및 제조기술에 대해 학술지에 관련 논문을 투고할 계획임.
- 또한, 3D 프린팅 기술을 통한 확보된 식물성 단백질 원료의 조직화 기술을 기반으로 해외수출 진출 및 국내외 산업화/표준화 기반을 마련하고자 함.

[사업화 분야]

- 현재 2023년 12월 기준으로 소고기 유사 식물성 대체육 제품을 분쇄형 (패티, 미트볼, 민스 등), 비분쇄형 (비프스트립, 마리네이드 비프 등) 타입으로 다양하게 제품화 및 출시하였으며 계획 대비 약 70% 매출액 달성하였음.
- 특히나 저수분 식물조직단백을 활용하여 개발한 원물형 식물성 대체육 (비프스트립, 마리네이드 비프 등) 같은 경우에는 내부관능 통해 확인하였을 때, 질감 면에서 실제육과 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있었음. 이를 보완하기 위해 수분함량이 높고 조밀한 구조로 실제육과 유사한 표현이 가능한 고수분 식물조직단백의 파일럿스케일 이상의 제조기술을 확보하여 실제육과 유사한 특성을 갖기 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료됨.
- 이후, 해당 제품들에 대한 지속적인 홍보 활동 및 식음 비즈니스를 통해 매출액 증대를 기대함.

1단계 : 대체육 홍보 활동	2단계 : 식음 비즈니스
<p>• 브랜드 인지도 제고 위한 홍보 활동</p> <ul style="list-style-type: none"> - 식물성 대체육 브랜드 'Better Meat' 런칭 - 다양한 사업명역에서 대체육을 활용한 홍보 활동으로 브랜드 인지도 제고 : 군남 및 급식 사업장, 베이커리 등 - 다양한 SNS 활동 통해 소비자에게 대체육에 대해 긍정적인 영향 전달 	<p>• 대체육을 활용한 다양한 어플리케이션 제품 판매</p> <ul style="list-style-type: none"> - 유통채널 : 단체급식 · 외식 사업장, F&B 등 - 자사 유통 역량을 활용하여 제품의 소비자 접근성 제고 예정  <p>[단체급식] [식재용급]</p> <p>• 자사 식물성 대체육 레스토랑 '유아왓유잇' 런칭</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자사 식물성 대체육 레스토랑에 다양한 메뉴로 제공 예정 ex. 비프스트립: 샌드위치, 덮밥 등 / 마리네이드 비프: 떡국, 장조림 등 

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 4년 이내			
		2024	2025	2026	2027
국외논문	SCIE	4	3	1	1
	비SCIE				
국내논문	SCIE				
	비SCIE				
특허출원	국내				
	국외				
특허등록	국내	2			
	국외				
인력양성	학사	2	4	4	4
	석사	5	3	6	5
	박사		2		
사업화	시제품개발				
	상품출시				
	기술이전				
	공정개발				
	매출액(단위 : 천원)	400,000	600,000	800,000	
	수출액(단위 : 천원)				

< 별첨 자료 >

중앙행정기관 요구사항	별첨 자료
1. 공통 요구자료	1) 자체 평가의견서
	2) 연구성과 활용계획서
	3) 연구부정행위 예방 확인서

주 의

1. 이 보고서는 농식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업 소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 농식품부(농림식품기술기획평가원)에서 시행한 고부가가치식품기술개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

[별첨 1]

자체 평가의견서

1. 과제 현황

		과제번호	RS-2021-IP321021		
사업구분	-				
연구분야	식품, 식품영양, 식물성 대체육	과제구분	단위		
사업명	고부가가치식품기술개발		주관		
총괄과제	기재하지 않음	총괄책임자	기재하지 않음		
과제명	소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발	과제유형	(개발)		
연구개발기관	(주)신세계푸드	연구책임자	주범진		
연구기간 연구개발비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2021.04.01.~2021.12.31	475,000	125,000	600,000
	2차년도	2022.01.01.~2022.12.31	633,500	270,000	903,500
	3차년도	2023.01.01.~2023.12.31	633,500	267,000	900,500
	계	-	1,742,000	662,000	2,404,000
참여기업	(주)신세계푸드				
상대국	-	상대국연구개발기관	-		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2024.02.28

3. 평가자(연구책임자) : 주범진

소속	직위	성명
(주)신세계푸드	팀장	주범진

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을
확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확약	
----	---

[별첨 1]

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : 우수

본 연구에서는 소고기 유사 식물성 대체육을 개발하기 위해 신규 식물단백소재 양산화부터 시작하여 조직단백 제조, 더 나아가 소고기의 품질을 나타낼 수 있는 결착, 지방, 육색 소재를 다양하게 활용하여 실제육과 유사한 관능 기호도를 보이는 제품을 개발하였음. 이를 통해 식물성 대체육의 주요 소재 및 소고기 유사 식물성 대체육에 대한 제조 기술의 내재화가 이루어졌음을 확인할 수 있고 이는 국내에서 차별화되는 연구 성과라 사료됨.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : 우수

- 식물단백소재, 식물조직단백 등의 소재에 대한 생산역량확보를 통해 수입의존도 감소를 기대할 수 있음.
- 특히, 식물단백소재의 개량 기술을 통하여 조직단백의 물성을 개선하는 새로운 시도를 하고 더 나아가 양산 공정까지 구축함으로써 국내 단백질소재 산업 발전에 큰 기여를 할 것이라 봄.
- 저수분뿐 아니라 고수분 식물조직단백 제조기술을 확보함으로써 분쇄형 제품이 많은 국내 식물성 대체육 시장에서의 제품 카테고리 확장 (비분쇄형 등) 및 품질 고도화를 기대해볼 수 있음.
- 국내 대체육 제조 기술력 증대에 따라 소비자가 원하는 식물성 대체육 품질을 충족시킬 수 있고 이는 대체육 소비 확대로 이어져 관련 산업의 활성화도 기대해볼 수 있음. 특히나 3D 프린터를 이용한 대체육 제조공정 기술 확보는 식감, 풍미 및 영양학적 인 요소 등 맞춤형 대체육 디자인이 가능할 것으로 기대됨.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : 우수

- 본 연구에서 진행한 조리 특성에 따른 소고기 및 식물성 대체육의 조직감 및 풍미 성분 분석 데이터는 식물성 대체육 제품의 최적 조리 방법 설정하는데 활용될 것으로 예상됨.
- 본 연구를 통해 개발된 신규 식물단백소재는 조직단백의 원료 역할뿐 아니라 단독 원료로서 다양한 제품 (대체육, 단백질음료 등)에 활용될 가능성이 있음.
- 개발된 완제품은 다양한 유통채널에 메뉴로 활용되어 소비자에게 식물성 대체육에 대한 접근성 제고할 예정임.
- 3D 프린팅 기술을 통해 확보된 식물성 단백질 원료의 조직화 기술은 국내외 산업화/표준화 기반을 구축하는데 활용될 예정임.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : 우수

모든 연구개발계획을 당초 목표대로 성실히 수행하였으며, 일부 초과달성한 부분도 있음. 특히 제품화, 기술료, 고용창출 등 사업화 지표에서 계획 대비 약 200프로 이상의 우수한 성과를 거두었음.

5. 공개발표된 연구개발성과 (논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : 우수

특허 출원 4건, SCI 논문 8건, 비SCI 논문 4건, 학술발표 55건, 인력양성 9건 등으로 초과 달성한 성과가 많음. 특히 대체식품 박람회 참가를 통해 국내 식물성 대체육 제품에 대한 인지도를 높인 바가 있음.

[별첨 1]

II. 연구목표 달성도

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
신규 식물단백원료 탐색 및 소재화 기술 개발	20	100	<ul style="list-style-type: none"> 신규 식물단백 소재 개발 및 양산화뿐만 아니라 가공적성 및 영양 최적 식물조직단백을 제조하기 위한 개량기술도 선보임. (양산화 제조공정도 확보)
국내산 소고기 질감 유사 식물조직단백 기술 개발	30	100	<ul style="list-style-type: none"> 소고기 질감과 유사한 식물조직단백을 제조하기 위한 단백질원료 선정 및 압출성형 공정 변수 조건 최적화를 진행하였음. (품목제조보고서 확보)
국내산 소고기 질감과 영양이 유사한 분쇄형 식물성 대체육 제품화	35	100	<ul style="list-style-type: none"> 다양한 품질 개선 소재 (단백원료, 육색 등)을 활용하여 소고기와 유사한 분쇄형 식물성 대체육 개발 및 출시 완료 (품목제조보고서 확보)
소고기 조직감 및 풍미 보유 비분쇄형 식물성 대체육 개발	15	100	<ul style="list-style-type: none"> 근섬유 조직 유사 구현 위한 식물조직단백 제조 및 비분쇄형 식물성 대체육 개발 완료 실제육 지방 유사 구현 위한 대체지방 제조 및 이를 활용한 식물성 대체육 개발 완료
합계	100점		

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

대체식품의 원천기술 확보가 중요하기 때문에 다양한 소재기술에 대한 연구를 수행하였으며 좋은 성과를 냄.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

원천소재를 이용한 제품화 연구에도 충실히 수행했으나 아직 대체식품에 대한 필요성 부족과 국내 소비자들의 인식이 좋지 않으므로 매출 확대에는 시간이 좀더 걸릴 것으로 보임.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

현재까지 소재연구 결과를 바탕으로 고기 품질을 더욱 모사하기 위한 연구를 고도화할 예정임.

[별첨 1]

IV. 보안성 검토

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

2. 연구개발기관 자체의 검토결과

연구성과 활용계획서

1. 연구과제 개요

사업추진형태	<input type="checkbox"/> 자유응모과제 <input checked="" type="checkbox"/> 지정공모과제		분야	식품, 식품영양, 식물성 대체육
연구과제명	소고기 유사 분쇄형 및 비분쇄형 식물 기반 식품 생산을 위한 단백질 소재화 및 적용 기술 개발			
주관연구개발기관	(주)신세계푸드		주관연구책임자	주범진
연구개발비	정부지원연구개발비	기관부담연구개발비	기타	총연구개발비
	1,742,000천원	662,000 천원	-	2,404,000 천원
연구개발기간	2021.04.01.~2023.12.31			
주요활용유형	<input checked="" type="checkbox"/> 산업체이전(자가실시) <input type="checkbox"/> 교육 및 지도 <input type="checkbox"/> 정책자료 <input type="checkbox"/> 기타() <input type="checkbox"/> 미활용 (사유:)			

2. 연구목표 대비 결과

당초목표	당초연구목표 대비 연구결과
① 신규 식물단백원료 탐색 및 소재화 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 신규 식물단백원료 3종 발굴 (완두, 녹두, 쌀) • 단백질 소재화 위한 최적 제조기술 개발
② 국내산 소고기와 질감이 유사한 식물조직단백 제조 및 제품화	<ul style="list-style-type: none"> • 발굴한 식물단백원료 활용 식물조직단백 3종 제품화 (식물성단백S 외 2건)
③ 국내산 소고기 유사 분쇄형 식물성 대체육 개발 및 제품화	<ul style="list-style-type: none"> • 품질개선소재 활용 분쇄형 식물성 대체육 7종 제품화 (식물성 리얼 패티 외 6건)
④ 소고기 조직감 및 풍미를 보유한 비분쇄형 식물성 대체육 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 저수분/고수분 식물조직단백 개발 및 적용 비분쇄형 식물성 대체육 2종 제품화 (마리네이드 비프 외 1건)
⑤ 3D 프린팅 활용한 식물성 대체육 개발 및 제조	<ul style="list-style-type: none"> • 식물성 근섬유, 지질, 결합 조직 등을 보유한 3D 프린팅 대체육

* 결과에 대한 의견 첨부 가능

3. 연구목표 대비 성과

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과목표	사업화지표										연구기반지표							
	지식재산권			기술실시(이전)		사업화				기술인증	학술성과			교육지도	인력양성	정책·홍보		기타 (타연구활용예정)
	특허출원	특허등록	품종등록	S M A R	건수	기술료	제품화	매출액	수출액		고용창출	투자유치	논문			학술발표	논문평균 I	
										S C I				비 S C	학술발표			

				T										I	F					
단위	건	건	건	평면면적	건	백만원	건	백만원	백만원	명	백만원	건	건	건	건	명	건	건	건	
가중치	10				5	5	15	10		15						20	20			
최종 목표	4	1			4	30	6	300		3			8	4		11	4			
당해 년도	목표	4	1		4	30	6	300		3			8	4		11	4			
	실적	4	0		4	55	12	232		9			8	4		55	9		2	8
달성률 (%)	100	0			100	183.3	200	77.3		300			100	100		500	225			

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

[별첨 2]

(23쪽 중 21쪽)

4. 핵심기술

구분	핵심기술명
①	소고기의 조리특성 규명을 통한 소고기 유사 식물성 분쇄형 제품 조직감 및 풍미 검증
②	신규 단백질소재(녹두단백 및 햄프씨드단백) 분리·정제 및 양산 기술
③	녹두분리단백 염기성 pH-shifting 구조개량기술
④	압출성형공정을 활용한 소고기 질감 유사 식물조직단백 제조 기술
⑤	3D 프린터를 이용한 마블링 구현 비분쇄형 식물성 대체육류 제조기술
⑥	소고기 유사 풍미 및 식감 보유 식물성 분쇄형/비분쇄형 대체육 제품 개발 기술

5. 연구결과별 기술적 수준

구분	핵심기술 수준					기술의 활용유형(복수표기 가능)				
	세계 최초	국내 최초	외국기술 복제	외국기술 소화·흡수	외국기술 개선·개량	특허출원	산업체이전(상품화)	현장애로결해	정책자료	기타
①의 기술		√								
②의 기술		√								
③의 기술					√	√	√			
④의 기술					√	√	√			
⑤의 기술				√		√			√	
⑥의 기술		√					√			

* 각 해당란에 √ 표시

6. 각 연구결과별 구체적 활용계획

핵심기술명	핵심기술별 연구결과활용계획 및 기대효과
①의 기술	소고기와 식물성 대체육의 관능특성 및 풍미 성분과의 상관도 분석을 통한 소고기의 맛과 유사한 식물성 대체육 개발하여 고품질 사업화 선도할 것으로 기대됨.
②의 기술	타 식물성 단백질원의 분리·정제 및 양산에 대한 적용 및 국내 식물성 단백질소재 산업화 기여할 것으로 기대됨.
③의 기술	개량녹두단백의 구조변화 및 기능성에 대한 논문 출판 및 산업용 대체육 단백질소재로서의 활용될 예정임.
④의 기술	대두를 대체할 수 있는 다양한 원료를 이용하여 소고기 질감 유사 압출성형 대체육을 대량으로 제조할 수 있는 기초 자료로서 활용될 것이며, 본 과제를 통해 수행된 결과들을 학술지에 투고할 계획임.
⑤의 기술	3D 프린팅 기술을 통해 식품 내부 구조 설계에 따른 식감을 부여하여 물성조절형 식품을 제조하고자 함.
⑥의 기술	소고기 유사 식물성 분쇄형/비분쇄형 대체육 제품들에 대한 지속적인 홍보 활동 및 식품 비즈니스를 통한 매출액 증대와 국내 소비자들에 대한 식물성 대체육 인식 개선 효과를 기대함.

7. 연구종료 후 성과창출 계획

(단위 : 건수, 백만원, 명)

성과 목표	사업화지표											연구기반지표									
	지식 재산권				기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과				교육 지도	인력 양성	정책 활용·홍 보		기타 (타연구 활용등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	S M A R T	건 수	기 술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표	정 책 활 용			홍 보 전 시		
												SCI	비 SCI	논 문 평 관 I F							
단위	건	건	건	건	건	백 만 원	건	백 만 원	백 만 원	명	백 만 원	건	건	건	명	건	건				
가중치	10				5	5	15	10		15				20		20					
최종목표	4	1			4	30	6	300		3		8	4	11		4					
연구기간 내 달성실적	4	0			4	55	12	232		9		8	4	55		9		2	8		
연구종료 후 성과장출 계획		2										9				35					

[별첨 2]

(23쪽 중 22쪽)

8. 연구결과의 기술이전조건(산업체이전 및 상품화연구결과에 한함)

연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

※ 주관·공동·위탁과제별로 연구책임자가 자체 점검 후 작성·제출

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	○	
변조	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	○	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	○	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	○	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	○	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	○	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	○	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	○	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	○	
부당한 중복 게재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	○	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	○	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	○	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 29.

기관명 : (주)신세계푸드

점검자 : 주범진

 (서명)

농림식품기술기획평가원장 귀하

연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

※ 주관·공동·위탁과제별로 연구책임자가 자체 점검 후 작성·제출

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	√	
	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	√	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	√	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	√	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	√	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	√	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	√	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	√	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	√	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	√	
부당한 중복 게재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	√	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	√	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	√	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 29.

기관명 : 공주대학교

점검자 : 류 기 형

(서명)

농림식품기술기획평가원장 귀하

연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

※ 주관·공동·위탁과제별로 연구책임자가 자체 점검 후 작성·제출

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	v	
변조	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	v	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	v	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	v	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	v	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	v	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	v	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	v	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	v	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	v	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	v	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	v	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	v	
부당한 중복 게재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	v	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	v	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	v	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 29.

기관명 : 강원대학교 산학협력단

점검자 : 조성준

(서명)

연구진실성 관련 연구부정행위 예방을 위한 확인서

※ 주관·공동·위탁과제별로 연구책임자가 자체 점검 후 작성·제출

구분	번호	내용	예	아니오
위조	1	연구 수행 전과정에서 존재하지 않는 데이터 또는 결과 등을 거짓으로 만들거나 기록한 사실이 없는가?	○	
	2	연구수행 과정에서 데이터 또는 결과 등을 임의적으로 사실과 다르게 변형, 삭제, 왜곡하여 기록한 사실이 없는가?	○	
표절	3	이미 발표된 타인의 독창적인 아이디어나 연구성과물을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	4	일반적 지식이 아닌 타인의 독창적인 개념, 용어, 문장, 표현, 그림, 표, 사진, 영상, 데이터 등을 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	5	타인의 연구성과물을 그대로 쓰지 않고 풀어쓰기(paraphrasing) 또는 요약(summarizing)을 하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	6	외국어 논문이나 저서를 번역하여 활용하면서 출처를 정확하게 표기하였는가?	○	
	7	2차 문헌을 활용하면서 재인용 표기를 하지 않고 직접 원문을 본 것처럼 1차 문헌에 대해서만 출처를 표기한 적이 없는가?	○	
	8	출처 표기를 제대로 했으나, 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	○	
	9	타인의 저작물을 여러 번 인용한 경우 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처를 표기하였는가?	○	
	10	타인의 저작물을 직접 인용 할 경우, 적절한 인용 표기를 했는가?	○	
부당한 저자 표기	11	연구에 지적 기여를 한 연구자에게 저자의 자격을 부여하였는가?	○	
	12	연구에 지적 기여를 하지 않은 연구자에게는 저자의 자격을 제외하였는가?	○	
	13	저자들의 표기 순서와 연구 기여도가 일치하는가?	○	
부당한 중복 계재	14	자신의 이전 저작물을 활용하면서 적절한 출처 표기를 하였는가?	○	
	15	자신의 이전 저작물을 여러 번 활용하면서 모든 인용 부분들에 대해 정확하게 출처 표기를 하였는가?	○	
	16	자신의 이전 저작물을 활용하면서 출처 표기를 제대로 했으나 인용된 양 또는 질이 해당 학문 분야에서 인정하는 범위 이내 라고 확신할 수 있는가?	○	

점검결과를 위와 같이 연구윤리 위반 사항이 없음을 확인하며, 위반사실이 확인될 경우 「국가연구개발혁신법」 제32조1항에 따라 참여제한, 연구비 환수 등 처분을 받게 됨을 인지하고 아래와 같이 서명합니다.

2024. 02. 29.

기관명 : 이화여자대학교 산학협력단

점검자 : 이진규

 (서명)

농림식품기술기획평가원장 귀하