

# 나트륨 저감화 식육가공기술로써 단백질 변성 제어를 위한 hot-boning과 cold-batter mixing 기술의 유효성 고찰 – 연구재단 박사후연수 내용을 중심으로

Effects of hot-boning process and cold-batter mixing technology on protein denaturation control system for low-sodium poultry products – NRF2012 Postdoc Fellowship Report

이 홍 철(Lee, Hong Chul)

미시간 주립대학교 농업자원대학 동물과학/식품과학과 인류영양학과  
Department of Animal Science/Food Science & Human Nutrition

## 요약

건강지향의 식육, 육제품에 대한 사회적 요구에 부응하기 위해 기능성 첨가물 대체 연구로부터 원재료인 신선육과 가공 공정 중 식육 단백질의 변성을 제어하고 최적화하기 위한 연구과제로써 온도체 가공/급속동결송풍냉각/저온 세절 혼합 조합 기술(처리구)에 대한 유효성이 평가되었다. 그 결과 새로 제안된 조합 공정기술은 기존의 냉도체/수침냉각/세절 혼합 조합(대조구)과 비교했을 때 단백질 변성 제어를 통한 기능성 단백질 추출성의 향상으로 인해 신선육의 품질 향상뿐만 아니라 가열 처리 후 단백질 겔의 수율과 조직감 모두 증진되었으며, 특히 나트륨을 저감화한 조건(2% → 1%)에서도 기존의 대조구와 유사한 특성을 보여 나트륨 저감화를 위한 기술로 제안될 수 있었다.

## I. 서론

편리성, 기호성, 영양성이라는 장점을 지닌 현대의 가공식품은 선진국 및 개발도상국의 경제발전에 기여한 것이 사실이다. 그럼에도 불구하고 최근 대사성 질환과 식품섭취간의 상관성에 관한 방대한 연구결과 보고에 따르면, 높은 함량의 칼로리나 과량의 나트륨을 섭취에 기인하여 대사성 질환이 증가되고 있다고 하였다. 이에 대하여 각국의 식품, 보건 당국에서는 육류나 가공식품의 섭취를 줄이고, 높은 함량의 칼로리나 나트륨의 섭취 제한을 적극적으로 제안하기에 이르렀다. 하지만 현대인의 식품섭취에 반드시 충족되어야 할 편리성, 기호성, 영양성 등은 현대를 살아가는 소비자들이 직접 관리하기에는 한계가 있는 것이 보편적인 사실이다. 이러한 배경으로 선진국의 영양, 섭취와 관련된 안내서에서는 식품가공업자들의 건강지향적인 식품개발 및 연구의지가 수많은 과학적 근거를 토대로 제안된 식이 섭취 안내를 충족시키는 데 가장 중요한 요인임을 밝히며 관련자들의 노력을 촉구하고 있는 것이다.

이러한 사회적 배경을 감안할 때, 식육, 육제품의 제조에 있어서도 가공공정의 개선이나 새로운 공정의 도입이 필요한 현실이다. 특히, 국내에서도 식품, 보건 당국에서 지난 10년간 가공식품의 트랜스지방산 제로화를 성취한 다음의 제

표 1-1. 우리나라 시중에 판매되는 식육가공품의 영양성 평가  
- 일반성분, 식염 및 당 함량을 중심으로

식육가공품	소시지류			염류	
	천연장	비연나	후랑크	프레스텔	등심텔
1. 일반성분 함량 (%)					
1) 수분	56 ~ 65	53	56 ~ 65	59 ~ 67	68
2) 지방	14 ~ 27	30	16 ~ 29	12 ~ 23	9.2
3) 단백질	14 ~ 18	15	12 ~ 14	16 ~ 17	19
2. 식염 및 당 함량 (%)					
1) 식염	1.5 ~ 2.0	1.9 ~ 2.3	2.0 ~ 2.3	2.0 ~ 3.3	2.2 ~ 2.8
2) 당	4.9 ~ 7.3	5.3 ~ 11.9	5.2 ~ 6.6	5.2 ~ 6.6	9.0 ~ 10.6

어 영양성분으로 나트륨을 지목하였으며, 현재로부터 가공식품에서 나트륨의 저감화를 위한 행정적 및 기술적 조치가 촉구될 예정에 있어 육가공 제품에서도 나트륨 성분을 제어하기 위한 연구가 요구되고 있다.

선진국에서는 식품, 보건 당국의 강력한 제재조치와 함께 과학적인 근거를 바탕으로 식품관련학회와 관련단체의 지속적인 커뮤니케이션을 통해 식품가공업계의 건강지향적인 식육가공품 생산을 위한 근본적인 조치로써 저지방, 나트륨 저감화 조건을 충족시켜 시제품화하기 위한 기능성 첨가물 개발 연구로부터 최종 가공기술의 혁신을 통한 기존의 식육 및 식육가공품과 유사한 기호성, 편리성 및 영양성을 충족시키고 있다(표 1-2).

한편, 우리나라 역시 수년간 식품, 보건당국과 산학연계 모두의 노력으로 식품 전반에 걸쳐 모든 제품에서 트랜스 지방산의 제로화를 충족시킬 수 있었으며, 또한 앞으로는 나트륨을 저감화하기 위한 다각도의 방안을 실시할 계획임을 최근 여러 학회에서 공표된 바 있다. 그러므로 건강지향적인 식육가공품을 생산하기 위해서는 선진국의 연구방향을 참고하여, 천연유래 기능성 첨가물에 대한 지속적인 개발과 함께 가공공정상의 혁신을 위한 연구에 박차를 가해야 한다. 또한 최근 사회전반에서 요구되고 있는 ‘녹색화’와 ‘로컬화’를 근간으로 ‘글로벌화’를 꾀하는 발전방식을 도입하여 지역 식품자원을 기존의 식육 및 식육가공품 제조공정 혁신에 필요한 기능성 첨가물로 이용하기 위한 기초연구로부터 새로운 식육 및 식육가공품 개발까지 종합적인 연구가 필요하다.

표 1-2. 선진국의 식육가공품 건강지향성 추구를 위한 목표  
- 나트륨 저감화

식육가공품	식염모델		목표 함량 (~2010년) g/100 g
	mg Na/100 g	g salt/100 g	
Bacon	750	1.9	1.4 Na/3.5 salt
Ham/cured meats	750	1.9	1 Na/2.5 salt
Sausages	550	1.4	0.6 Na/1.4 salt
Meat pies	300	0.8	
Sausage rolls, pork pies, etc.			0.5 Na/1.5 salt
Cornish pasties, etc.			0.5 Na/1.3 salt
Cooked uncured meats	450	1.1	0.7 Na/1.5 salt
Burgers/grill steaks	300	0.8	0.4 Na/1 salt
Coated poultry products	450	1.1	0.4 Na/1 salt
Canned frankfurters, hot dogs	550	1.4	0.6 Na/1.4 salt

Sources from FSA, available in <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/salttargetsapril06.pdf>.

## II. 본론

### 1. 나트륨 저감화 전략-기능성 첨가물 이용 기술

육가공품 제조에서 나트륨 함량을 제어하기 위한 선행 연구들은 선진국에서 개발되어 사용되고 있는 기능성 첨가물을 기반으로 한 첨가물 재조합 공정에 중점되었다. 한편, 최근 산업전반에서 요구되는 지역화와 녹색화를 통한 글로벌화를 배경으로 최근 연구에서는 지역 식품자원을 활용한 새로운 육가공품 제조 형태를 제시하고 있다. 특히, 이는 지역 생물자원 활용측면에서는 신규성과 독창성을 확보했다 할 수 있으나, 지역 생물자원의 첨가물화 연구는 아직 기초적인 수준이며, 실제 육가공품에 적용하기 위한 대단위 연구는 한계적이었다.

식육 및 식육가공품을 생산하기 위한 전통적인 방법은 식육 유래의 염용성 단백질의 추출성과 기능성을 증진시키기 위한 공정을 기본으로 하고 있어, 공정의 효율성을 충족시키기 위해서는 많은 양의 식염이 필요한 것이 사실이며, 적절한 조직감과 기호성 및 경제성을 만족시키기 위해서는 많은 함량의 지방이 첨가되고 있는 것 또한 사실이다. 세절혼합 공정의 유화시스템, 재구성햄의 결합시스템, 단일근육가공 공정의 염지주사를 통한 수화시스템 모두 많은 양의 식염함량이 필수적이다.

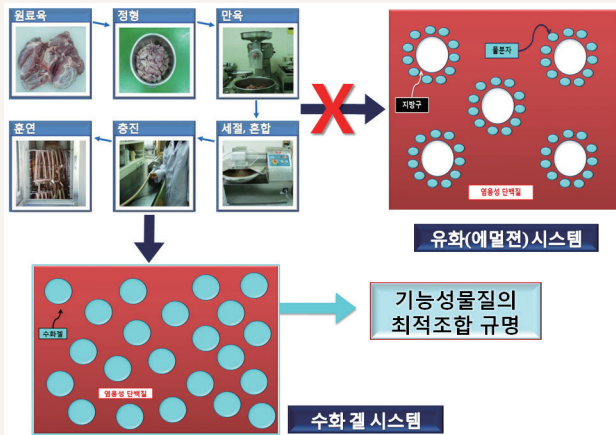
전통적인 식육가공품 생산 공정에서 필수적인 지방과 식염의 기능을 대체하기 위한 본 연구자를 포함한 우리나라에서 수행된 지난 10년의 연구결과를 근거로 최근 저지방, 저 염 식육가공 공정으로 제시된 내용은 그림 1-1과 같다. 세절혼합 공정에서는 유화시스템에서 수화 겔 시스

전남대	선행연구 1	선행연구 2	선행연구 3
1. 과제명	기능성 물질을 이용한 건강지향의 식육 제품개발 연구	식육단백질의 물성증진을 위한 식품효소와 비 육류 첨가물 이용 연구	녹두 유래 물질을 이용한 근원섬유단백질의 물성증진 효과
2. 주요내용	기능성 물질을 이용하여 나트륨 저감화 식육 가공품 개발과 소재 평가	식육단백질의 물성 증진을 위한 식품 효소의 이용과 물성학적 상호작용 규명	식육단백질의 물성 증진을 위한 녹두 유래 기능성물질의 이용과 상호작용 평가
3. 연구결과	친수성 콜로이드와 비 육류 단백질 및 미생물 유래 효소와 비 육류 단백질의 조합으로 식육을 저감화한 세절, 재구성, 염지주사 등심 햄을 각각 개발함	근원섬유단백질의 물성 증진을 위한 미생물 유래 효소와 기능성 첨가물 복합첨가를 통해 단백질 겔의 보수성 및 겔 강도를 효과적으로 증진시킴	녹두가루와 미생물 유래 효소의 복합조합 조건을 통해 나트륨 저감화 세절 육제품의 기능성을 증진시켰고, 효소에 대한 기질 작용을 확인 및 물성 증진 최적 조건을 제시함
4. 연구제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>건강지향 식육제품 제조를 위해 필요한 가공공정상의 개선 연구가 요구됨.</li> <li>가공제품 형태별 대응방안의 차별화 연구가 요구됨.</li> <li>물성학적 기초자료와 새로운 나트륨 저감화 가공기술을 제시함.</li> </ul>		

템으로의 전환이 제시될 수 있었으며, 재구성햄 제조공정에서는 높은 식염함량에 근거한 결합시스템에서 기능성 식품효소를 이용한 효소-기능성 단백질 조합을 이용한 결합시스템이 제안된 바 있다(그림 1-2).

나트륨 저감화를 위한 육가공 제조 기술은 식염이 저감화 된 조건에서의 한계성을 극복하기 위해 기능성 첨가물의 도입에만 중점 하였으나, 역발상으로 원재료인 식육의 생산 공정상 개선을 통해 나트륨 저감화 조건에서 발생할 수 있는 단백질 추출성의 감소와 변성 등을 극복할 방안을 고안할 수 있겠다. 다시 말해서 건강지향의 육가공 제조 기술의 일환으로 식육의 생산 공정상의 개선 연구는 나트륨을 저감화하는 기본 목표를 실현하기 위해 식육단백질의 기능성 증진에 목표를 두고 있다 하겠다.

그림 1-1. 나트륨 저감화 식육가공공정도-세절혼합 공정을 위한 수화 겔 시스템



## 2. 나트륨 저감화 기술-육가공 공정개선 연구

한편, 도축 후 근육은 더 이상 항상성이 유지되지 못함에 따라 혐기적 조건에 의한 ATP의 젖산으로의 전환과 높은 온도 조건에서 낮아진 pH의 조합으로 최종 원료육의 조직감과 보수성은 감소하게 된다. 이를 막기 위해서는 기존의 원료육 처리방법처럼 신속한 도체의 냉각과 함께 결합된 actomyosin의 relaxation 최적 조건까지 미생물 성장억제 조건에서 판매 전까지 숙성시키게 된다. 또는 혐기적 조건에서 젖산생성에 의해 신선육의 pH가 저하되기 전에 hot-boning, pre-blending, 및 cold batter mixing 조건으로 최적의 pH와 온도조건을 유지할 수 있으며, 또한 식염이나 인산염 첨가에 의한 상승효과를 통해 최적의 원료

그림 1-2. 나트륨 저감화 식육가공공정도-재구성 가공육 제조를 위한 단백질 결합시스템

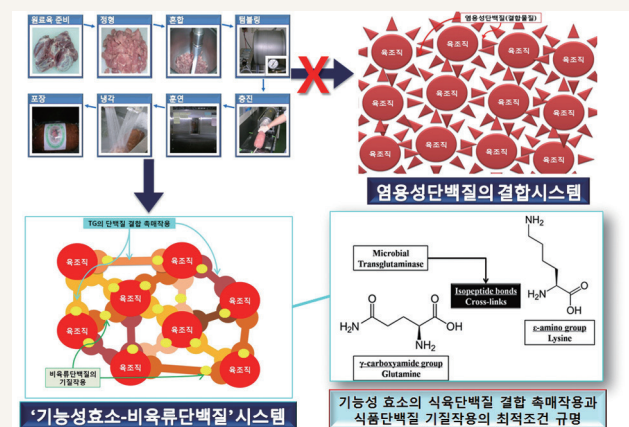
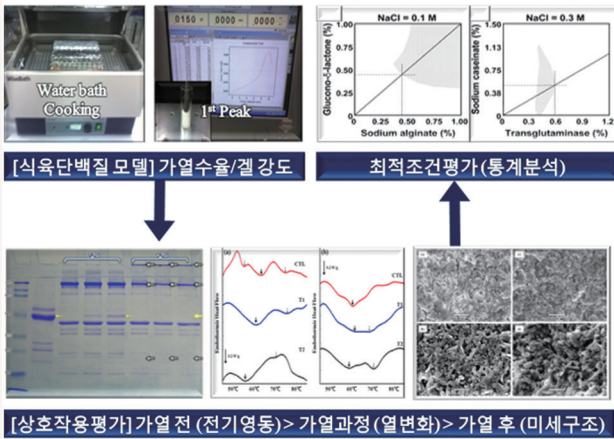




그림 1-3. 나트륨 저감화 식육단백질의 물성 및 기능성 증진을 위한 최적조건 평가방법 도식화



육 기능성(조직감, 보수성)을 유지할 수 있게 된다. 또한 나트륨 저감화 또는 인산염 무첨가 조건에서도 hot-boning과 cold-batter mixing의 조합으로 신선육의 단백질 변성을 제어함으로써 cold-boning 조건으로 가공한 신선육의 단백질 물성 수준이상으로 기능성을 유지할 수 있을 것으로 예상되었다.

육가공품의 원재료인 식육 단백질의 기능성 증진을 평가하기 위해서 현재까지 그 방법의 유효성이 확인되어 널리 이용되고 있는 근원섬유단백질의 물성측정 및 평가방법을 통해 나트륨 저감화 조건에서 식육단백질의 기능성을 최적화하기 위한 가공 공정의 개선 및 처리방법의 유효성을 확인할 수 있다(그림 1-3). 특히, 식육단백질의 기능성 증진에 영향을 주는 요인을 신선육 생산 공정 중 처리(변성) 조건으로부터 2차 가공 중 식염농도나 세절혼합 조건 및 가열처리 방법 등으로 구분하여 각 요인에 따른 식육단백질의 물성을 평가하고, 각 요인간의 상호작용 메커니즘을 규명함으로써 새로운 대안을 제시하는 방법이라 하겠다.

이와 관련하여 미시간 주립대학교 근생물학 및 식육과학 연구팀에서는 식육단백질의 기능성을 최적화하기 위한 조건으로 전통적인 온도체 가공 조건에 급속냉각(송풍동결조건)을 적용하고, 여기에 세절혼합공정 중 낮은 온도를 유지하는 cold-batter mixing 방법을 통해 가열처리

육가공품의 나트륨 저감화를 실현하는 연구를 고안했으며, 필자가 사용해왔던 식육단백질 모델 연구의 방법론과 접목하여 요인별 상호작용 메커니즘 규명을 위한 연구제안에 이르게 되었다.

### 1) 연구기관 소개

Michigan State University(MSU)는 1855년 미국 Michigan 주 East Lansing 지역에 설립되었으며, 농업관련 교육 프로그램을 기반으로 발전하여 미국에서 7번째로 큰 규모의 종합대학이다. 본 대학은 특히 Study Abroad Program 이 미국 내에서 가장 큰 규모로써, “글로벌화”에 매우 적극적인 학교로 유명하여 인지도가 높은 대학에 속한다. 특히, 연구 수행력, 연구비 수주 및 대외 지명도 등을 평가하여 선정하는 ‘세계 100대 대학’의 지위를 현재까지 유지하고 있다.

또한 MSU는 학교의 Motto, “Advancing Knowledge. Transforming Live”에 걸맞는 다양한 프로그램을 활성화하여 각 학제별 융합시너지를 위해 유기적인 프로그램을 진행하고 있다. 특히 Food Safety and Toxicology 프로그램은 MSU의 대표적인 연구프로그램으로써, 식품의 안전성, 독성 및 역학연구를 통해 식품위생에 관한 포괄적인 연구를 수행하고 있다.

MSU의 Meat Processing 시설은 67,000 평방피트 규모로써 Meat Laboratory에는 담당 Specialist가 상주하며, 대가축, 소가축 및 가금류뿐만 아니라 어육가공처리를 위한 도축 및 가공시설을 구비하고 있으며, 강의실에 직접 연결되어 교육과 연구를 연계하기 용이하도록 설계되어 있다. 특히, 도체가공부터 식육가공제품 제조에 이르기까지 일괄작업이 가능하다. 대규모 시설에 걸맞은 다양한 연구가 실제로 이루어지고 있으며, Animal Science, Food Science and Human Nutrition 및 Food Bioengineering 학과 소속 연구자들의 공동연구가 활발히 진행되고 있으며, 국책 연구과제를 공동으로 수주하기 위한 협력연구체계가 잘 갖춰져 있다.

국가명	미국	지역명	East Lansing, Michigan
기관명	Michigan State University	학과명	Animal Science, Food Science and Human Nutrition
연구실명	Muscle Biology and Meat Science	연구분야	Muscle Food Processing
주소	474 S. Shaw Lane, Anthony Hall 3325, Dept. of Animal Science, Food Science and Human Nutrition, Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1225, USA		

## 2) 연구팀 소개

MSU의 근생물학 및 식육과학 연구팀은 Kraft 식품연구소 연구원으로 9년간의 현장 경험을 바탕으로 신선육 생산 및 2차 가공 육제품의 품질향상을 위한 새로운 시스템을 제시하고자 학계로 돌아온 지도교수를 중심으로 공정 개선 시스템의 유효성을 평가하기 위한 연구를 활발히 진행했으며, 단백질 기능성 증진 연구뿐만 아니라 위생안전성의 향상을 위해 소속학과 식품미생물 연구실(Dr. Ryser)과 생물산업공학 식품위생안전성 연구실(Dr. Marks)과 위생안전성 확보를 위한 전략수립 공동연구 또한 활발히 진행해왔다. 특히, 최근 hot-boning 과 cold-batter mixing 기술을 활용하여 다양한 가공조건에서 신선육의 품질 증진 최적화 공정을 시도해왔으며, 다양한 가공 조건에 따라 개선방법을 제시하였다(그림 2).

## 3. 연구동향

### 가. 나트륨 저감화를 위한 육가공 공정개선 연구의 필요성 - 연수 배경

한국연구재단의 연수과제로 "나트륨 저감화 식육가공 기술로써 단백질 변성 제어를 위한 hot-boning과 cold-batter-mixing 기술의 유효성 평가 연구, Effects of hot-boning process and cold-batter mixing technology on protein denaturation control system for low-sodium poultry products"를 제안하기 위해 신선육 단백질 변성을 제어하는 근거 메커니즘을 규명하기 위한 적절한 과학적 방법론을 제시하였고, 또한 단백질 모델연구 방법을 적용하여 기초과학적인 자료의 제시로부터 더 나아가 다양한 식육, 식육가공품 생산 공정을 개선하기 위한 일련의 기술응용을 평가할 수 있음을 피력하였다. 따라서 최신 가공육 가공 기술에 대한 연구동향 부분으로 필자가 제출한 한국연구재단 박사후 연수과제 제안하고 보고한 실적을 기본으로 하여 앞서 소개한 연수기관에 대한 내용에 이어서 현재까지 진행해온 연구결과와 관련된 연구동향을 설명하고자 한다.

미시간주립대	선행연구 1	선행연구 2	선행연구 3
1. 과제명	칠면조 육 단백질의 기능성 증진을 위한 cold-batter-mixing과 hot-boned/crust-frozen 공정의 유효성 평가	계육 냉각공정의 효율과 가슴육 연도 개선을 위한 crust-freezing-air chilling과 muscle-tensioning 공정 평가	계육 도체 표면 유래의 병원성 미생물(살모넬라, 캄필로박터) 및 일반세균에 대한 hot water spray 효과 평가
2. 주요내용	칠면조 육 단백질의 기능성 증진을 위한 가공공정 최적화 연구	계육 공정 효율 개선 및 품질 증진을 위한 가공공정 최적화 연구	계육 유래 병원성미생물의 도체 가공 공정 중 성장억제를 위한 처리방법 연구
3. 연구결과	급속냉각처리 공정과 cold batter mixing의 조합으로 Hot-boned 칠면조 육의 단백질 기능성이 증진됨.	Crust-freezing-air 공정으로 효율을 높였으며, muscle tensioning 과의 조합은 연도를 개선함.	도체가공 공정 중 병원성 미생물의 성장 정도를 파악하였고, hot water spray처리를 통해 미생물의 성장저해 효과를 평가함
4. 연구제시	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 새로운 나트륨 저감화 가공기술로써 hot-boning과 cold batter mixing 기술의 조합 평가</li> <li>• Hot boning과 cold batter mixing 조합의 나트륨 저감화 식육단백질의 기능성 증진 효과</li> <li>• 새로운 가공기술과 물성학적 기초자료를 근거로 새로운 나트륨 저감화 육가공 기술 제시</li> </ul>		

나. 연구 배경

온도체가공은 도체의 심부 온도가 급격히 낮아지기 전 또는 사후강직 전에 식육으로 생산할 단일근육을 발골하는 방법이며, 다양한 이점(에너지 절약, 공정효율 및 가공수를 향상, 냉각시간단축과 저장장소의 절약 등)이 보고되어 왔다(Cuthbertson, 1980; McPhail, 1995; Troy, 2006). 이러한 사후강직 전 온도체 가공 조건은 세절 혼합공정을 통해 유효력과 유효안정성의 향상이 확인되었다. 그러나 온도체 가공 시간의 지연 등 고온 단축을 비롯한 단백질 변성이 초래되어 오히려 조직감 저하와 함께 다즙성 감소 등 단백질 기능성 감소에 따른 품질 저하 현상이 발생할 수 있다(Claus and Sorheim, 2006; Thomas, 2007).

가금육가공 공정은 짧은 시간 내에 온도체 가공을 위한 일괄 공정이 어렵고, 특히 위생처리조건이 엄격하고, 온도 조절이 쉽지 않아 시설 변경을 위한 초기 투자나 작업자의 재교육이 요구되므로 산업에 적용되는데 한계가 있다(Troy, 2006). 이러한 문제들을 해결하기 위해 빠른 시간 안에 도체 심부를 낮은 온도로 냉각하는 공정효율의 이점과 함께 제안된 급속동결송풍냉각 처리공정이 제안되었으며(Hermansen, 1987), 기존의 수침 냉각이나 송풍 냉각에 비해 가공효율을 향상시키며, 동시에 온도체 가공과 혼합 조건에서 시너지 효과를 기대할 수 있으므로, 가공 요인별 영향요인을 평가하여 최적조건을 제시할 수 있다. 이와 함께 세절혼합 공정 중 온도 상승에 따른 단백질 변성을 제어하기 위한 저온세절혼합 기술이 활용될 수 있으며, 특히 단백질의 추출성 향상과 함께 단백질의 급속한 변성을 지연할 수 있을 것으로 기대된다(Bard, 1965).

식육자원으로써의 가금육에 대한 소비 증가가 인구성장 속도와 맞물려 증가하는 추세이다(National Chicken Council, 2015). 특히 미국에서의 식육 및 가금육 산업은 3억명 이상의 인구에게 공급할 수 있는 식자원 생산, 산업경제의 성장, 필수영양원 공급원, 세계 무역에 영향하는 등의 주요한 기여를 하는 것으로 기술되었다(Kang and Singh, 2015). 소비증가에 부응하여 육종역량을 집중한 결과, 가금생산 기간은 단축하면서 육량은 증가시키는 데는

그림 2-1. 신선육 가공방법 비교도(드라이아이스를 이용한 저온세절혼합 공정 제안도)

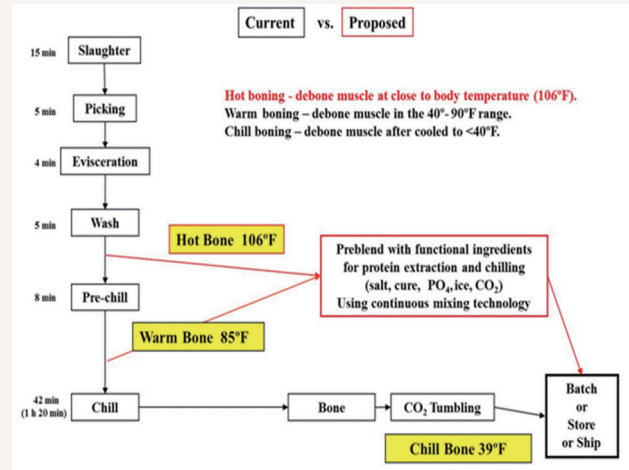
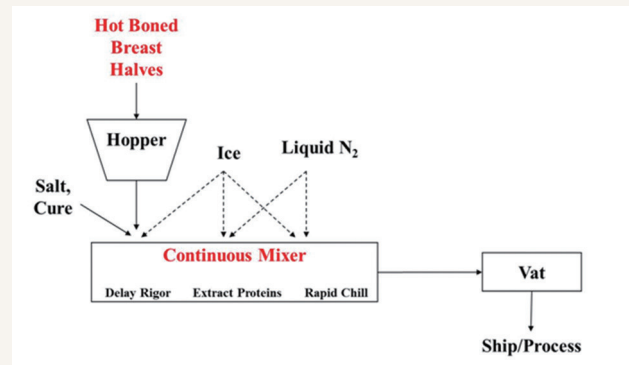


그림 2-2. 온도체 가공과 저온세절혼합 가공(액체질소를 이용한 공정 제안도)



성공하였으나, 근육량의 증가에 따른 이상육(PSE, pale soft exudative meat) 발생이 보고되고 있다. 육종관련하여서는 근육량이 많은 축종으로 선별되어 산업화된 것 (commercial line) 선별되지 않은 전통적인 것(traditional random-breds)에 비해 육질이 저하됨이 확인되었다(Chiang et al. 2008). 또한 기후변화에 따른 고온 스트레스로 인한 이상육 발생 등이 보고되고 있으며, 특히 가공공정 중에도 이미 앞서 언급한 냉각 지연으로 인한 단백질 변성이 초래되어 신선육과 육제품의 품질 저하가 발생할 수 있다. 최근에는 동물복지행동이나 면역영양과 관련한 probiotics 사료를 통한 항생제 대체 연구와 육질연계 연구 등이 보고 되고 있어 다양한 환경요인에 따른 이상육 발생가능성에 대한 대비책과 함께 가공공정상 개선을 통해



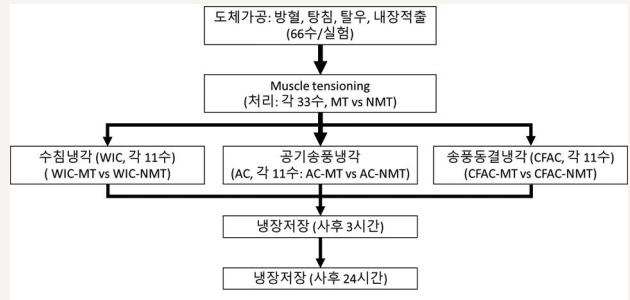
품질을 유지 또는 향상시키는 연구가 요구된다.

### 다. 급속동결 송풍냉각과 저온세절혼합 기술의 응용연구 사례

육계 가슴육의 연도 개선을 위한 연구에서 각각 도축 가공 중 수침냉각(ice/water slurry at 0.2°C), 송풍냉각(air at 1°C/1.5 m/s), 송풍동결냉각(air at -12°C/1.5 m/s)을 실시하여 근육신전성 유지를 위한 muscle tensioning(육계 도체의 양 날개를 뒤로 젖혀 묶어 최대한 가슴살 근육의 수축을 물리적으로 억제하는 방법)의 유효성을 평가하였다. 사후 3시간째에 발골하였고, 가슴살 한쪽은 이화학적 성상을 평가하였으며, 다른 한쪽은 사후 24시간째까지 숙성시켜 가열처리 후 연도(전단력)를 측정하였다(Sansawat et al. 2014; 그림 3-1). 그 결과, 냉각효율은 각각 수침과 송풍동결냉각 시간이 62와 68분으로 유사한 반면에 송풍냉각은 140분으로 2배 이상 소요되어 송풍냉각의 효율을 향상시키는데 송풍동결냉각이 효과적임을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 수침의 경우 열교환 효율이 공기냉각 조건보다 25배 이상 높다는 데 근거하고 있다(열교환 효율: Sams and McKee, 2011). 한편, 사후 3시간째 가슴살의 pH와 전단력 값이 24시간째보다 유의적으로 높게 나타난 반면에 24시간째에서 muscle tensioning처리구의 연도가 무처리대조구보다 개선된 것을 알 수 있었다. 결과적으로 송풍동결(급속)냉각과 muscle tensioning의 조합처리가 공기냉각효율과 가슴살 품질향상에 효과적인 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 단순히 사후강직 과정 중 급속냉각 처리가 냉각단축을 야기하는 것이 아니라 연도개선을 위한 최적조건이 온도조건과 물리적 처리방법의 조합 등에 따라 달리 나타날 수 있음을 시사하고 있다(냉각단축과 연도관계: Dunn et al., 1995; Dunn et al., 2000). 특히, 위 사례를 통해 송풍동결냉각과 muscle tensioning 조합처리 공정의 이점으로 냉각처리 공정효율의 향상, 가슴살 연도 개선 효과, 물 사용량 감소 등을 제시할 수 있었다.

칠면조 육 단백질의 기능성 증진과 나트륨 저감화를 위한 급속동결송풍냉각과 저온세절혼합 처리공정 기술의

그림 3-1. 도체의 냉각처리방법과 공정도



(출처: Sansawat et al. 2014)

조합과 유효성을 평가한 연구에서는 선행연구에서 수침 냉각 대조구(냉도체 가공 조건, 사후 24시간 경과)에 대한 처리구로 각각 전통적인 온도체 가공공정과 산업에 이용되고 있는 드라이아이스를 이용한 저온냉각 세절혼합공정(온도체 가공 조건, 사후강직 전), 이에 더불어 새롭게 제안한 급속송풍동결 냉각공정과 또한 여기에 칠면조 가슴육을 4부분으로 절편화하여 처리한 혼합 처리구의 효과를 평가(온도체 가공 조건, 사후강직 전)하였다(그림 3-2; Lee et al. 2014).

그 결과 제안한 기술은 수침냉각보다 더 높은 가공효율을 보였으며, 특히 품질이 향상된 신선육 생산이 가능하였으며, 2차 가공 조건에서 세절혼합공정 중 섭씨 2도 이하를 유지했던 제안 기술조건의 처리구는 단백질 기능성 증진 효과에 근거하여 각각 가열처리 후 높은 수율과 조직감을 보였다. 무엇보다도 더욱 강조되는 부분으로 제안 기술을 통해 나트륨 저감화를 위한 식염첨가량의 감소(2% → 1%)가 가능하였고(단백질 추출성: Bernthal et al. 1989), 기존의 수침냉각 처리구의 식염 2% 첨가구의 단백질 기능성과 유사했다. 이러한 결과는 미세구조분석을 통해 추출된 단백질이 더 많이 쌓인 지방입자를 확인할 수 있었고(Barbut, 1997), 단백질 변성 제어를 통한 단백질

그림 3-2-1. 사후강직 전 칠면조 도체의 가슴육 발골과 절편화



그림 3-2-2. 실험디자인과 세절혼합 공정도

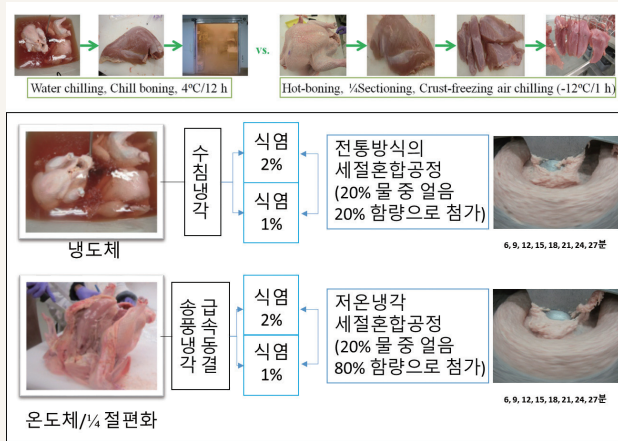
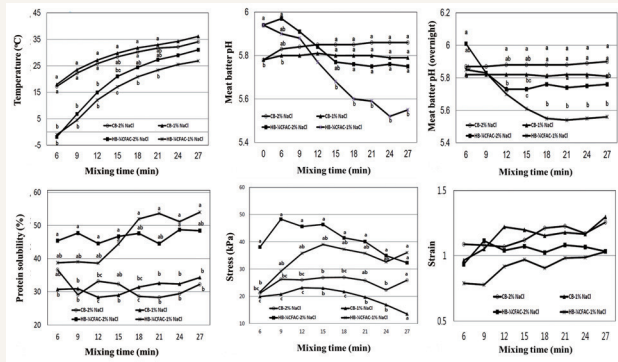
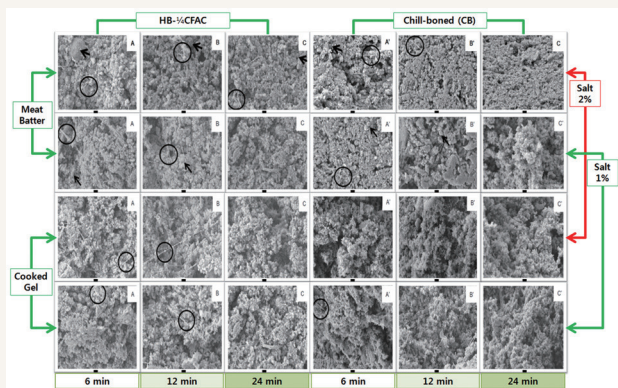


그림 3-2-3. 세절혼합 공정 중 세절시간 증가에 따른 온도변화와 품질특성



(출처: Lee et al. 2014)

그림 3-2-4. 미세구조분석 결과



(출처: Lee et al. 2014)

질 추출성이 향상된 효과임을 결론 내릴 수 있었다(Claus and Sorheim, 2006). 하지만 낮은 온도를 유지하면서 세절

혼합시간을 증가시켜 나트륨 저감화 조건의 세절혼합물의 가열 처리 후 입감 향상을 목적하였으나, 상대적으로 대조구보다 세절혼합시간 경과에 따른 온도 증가를 지연시킨 반면에 15분 이후에는 섭씨 15도를 넘겼으며 세절혼합 종료시간으로 설정한 27분에는 30도에 육박했다(세절혼합시간과 온도: Deng et al. 1981). 추후 계속 연구를 통해서 낮은 온도를 유지할 방법론에 대한 고찰과 함께 그 효과 또한 확인될 것으로 기대한다.

다양한 환경요인(육종계통의 차이-commercial bred, COMM vs traditional random-bred, RB; 가공 중 냉각지연 처리-섭씨 40도 이상 조/30분 경과, no temperature abuse, NTA vs temperature abuse, TA; 냉각조건과 처리방법의 차이-냉도체/수침냉각-WIC vs 온도체/절편화/급속동결 송풍냉각/저온세절혼합의 최적 조합-HB¼-CFAC)에 따른 칠면조 가슴살의 품질과 가열처리 된 단백질 겔의 기능성 증진 효과를 평가한 연구를 통해 냉각의 지연(TA)이나 육종계통의 차이(COMM vs RB)에 의한 단백질 겔 기능성이 저하되는 조건에서도 HB¼-CFAC의 유효성이 유지 또는 보완시킬 수 있는지 확인해보고자 하였다(Lee et al. 2016). 먼저, 선행연구에서는 “육종계통이 다른 조건(COMM vs RB)”에서 공포반응(fear response)와 육질 특성을 평가한 결과에서는 공포반응에 대한 차이에 근거한 육질의 차이는 육종계통의 차이와도 상관없이 유사하게 나타남에 따라 칠면조육의 대사특성을 확인하기 위한 도축 직전의 스트레스 상태를 확인하는 추가 연구가 필요하다고 제안했으며, 다른 종류의 측정방법을 통해 공포반응과 육질 사이의 상관관계를 더 평가해볼 의미가 있고, 다른 종류의 가슴에서 동일 요인의 효과가 다르게 나타나는 지에 대한 연구 등도 제안했다. 특히, 칠면조육의 다른 특성, 예를 들면 연도, 색도, 보수성 등을 평가하는 것을 제안했다(Erasmus et al. 2016).

계속된 연구에서는 육종 계통의 차이, 가공공정 중 냉각 지연 조건에서 급속도체냉각 기술의 효과를 평가하였다(Lee et al. 2016). 먼저, 냉각지연 조건(temperature abuse, TA: 섭씨 40도 이상/30분 경과)은 육종계통의 차이(COMM vs RB)와 상관없이 각각 도체와 칠면조육 가슴



살의 심부 온도를 각각 섭씨 1.3과 4.1도 정도 상승시켰고, 반면에 HB¼-CFAC는 여전히 냉각지연 처리 여부의 동일한 조건(NTA or TA)에서 각각 대조구보다 28%와 50%(COMM-NTA vs TA) 또는 각각 33%와 67%(RB-NTA vs TA)씩 냉각시간을 단축시켜 공정효율 개선 효과를 재확인 시켜주었다. 이어서 칠면조 가슴살의 품질특성을 평가한 결과에서는 먼저, 육종계통의 차이에 의한 효과로는 냉각처리 후 COMM이 RB보다 낮은 pH와 더 높은 황색도를 나타냈다. 이와 달리, TA가 NTA보다 명도가 높았으며, 상대적으로 적색도가 낮아졌다. 한편, 이와 반대로 HB¼-CFAC는 WIC비해 높은 적색도를 나타냈다.

이러한 원료육의 품질특성에 근거하여 가열처리 후 칠면조 육단백질의 기능성을 평가한 결과에서는 COMM은 RB보다 유의적으로 낮은 보수성을 보여주며, 더 많은 유리수분량을 나타냈다. 더욱이 조직감 평가 결과에서는 점성학적 쥬의 강도와 응집성이 모두 유의적으로 낮았고, 조직감 측정을 위한 두번 물림 평가 결과에서는 모든 항목(경도, 탄력성, 검성, 씹힘성)에서 더 낮은 값을 나타냈다. 이와 유사하게 TA는 NTA에 비해 더 낮은 가열수율과 더 많은 유리수분량을 나타냄에 따라 보수력이 상당부분 감소했으며, 이는 냉각지연에 의한 단백질 변성에 기인한 단백질 기능성 저하에 원인이 발생하여 세절혼합 공정 중 단백질 추출성의 저하를 초래하여 가열 중 열 안정성이 상대적으로 낮아진 것으로 평가할 수 있다. 역시 조직감 측정결과에서도 앞서 COMM과 RB의 차이에 따른 효과와 유사하게 탄력성을 제외한 모든 측정항목에서 낮은 조직특성을 보였다. 이와 달리 HB¼-CFAC는 WIC에 비해 보수성이 증진되었고(높은 가열 수율과 낮은 유리수분량), 탄력성을 제외하고 나머지 모든 조직측정 항목에서 유의적으로 높은 조직감을 나타냈다.

### III. 결론

연구동향을 종합해볼 때, 급속동결송풍냉각기술은 온도체의 심부온도는 매우 효과적으로 낮추는 동시에 식육 단백질의 품질과 기능성을 유지하는 것을 확인하였다. 더

At Cal Poly, SLO, CA, USA



불어 저온 세절혼합 공정은 식육단백질의 용출성을 극대화함으로써 낮은 온도조건에서도 단백질 변성을 제어하며 더 오랫동안 세절혼합 공정을 진행할 수 있게끔 하였다. 특히, 다양한 환경요인에 상관없이 그 효과를 유지하며 단백질 기능성 증진에 따른 보수성과 조직감의 향상이 가능하였다. 또한, 가금육 또는 돈육 산업에서 연간 200만 불 이상의 손실을 초래하는 이상육(PSE)의 발생은 다양한 환경요인에 의해 지속적으로 나타나고 있어, 이를 보완하기 위한 기술로써 그 가능성을 확인하였다. 다양한 산업에의 응용을 위해서 수침냉각 조건에서도 동일한 효과를 부여할 수 있는 공정개선 연구와 함께 기능성 첨가물의 부가가치 증진 조건을 함께 고려함으로써, 다양한 사회적 요구에 부응할 수 있는 건강지향의 식육, 육가공 식품을 제안하기 위한 기반 기술로 발전될 수 있을 것이다. 특히, 증진 메커니즘을 구조적 및 기능적 변화에 대한 생화학적 또는 생물리화학적인 규명연구를 통해 확실한 과학적 근거를 제시해야 하겠다.

### 감사의 글

한국연구재단 박사후연수과제 (2012R1A6A3A03041139, Seoul, South Korea)의 지원으로 작성되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. AHA. (2000) American heart association dietary Guidelines, Revision 2000, *Circulation* **102**, 2284–2299
2. Barbut, S. (1997) Microstructure of white and dark turkey meat batters as affected by pH, *Br. Poult. Sci.* **38**: 175–182
3. Bard, J. C. (1965) Some factors influencing extractability of salt-soluble proteins, In: *Proc. Meat Ind. Res. Conf. Am. Meat Sci. Assoc. and Am. Meat Inst. Foundation*, Chicago, IL, pages 96–98
4. Chiang, W., Booren, A., and Strasburg, G. (2008) The effect of heat stress on thyroid hormone response and meat quality in turkeys of two genetic lines, *Meat Sci.* **80**: 615–622
5. Chin, K. B. and Lee, H. C. (2002) Development of low-fat meat processing technology using interaction between meat proteins and hydrocolloids – II, development of low-fat sausages using the results of model study, *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* **31**(4): 629–635
6. Chin, K. B., Kim, K. H., and Lee, H. C. (2006) Physico-chemical and textural properties, and microbial counts of meat products sold at Korean markets, *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **26**(1): 98–105
7. Claus, J. R. and Sorheim, O. (2006). Preserving pre-rigor meat functionality for beef patty production, *Meat Sci.* **73**: 287–294
8. Coffman, C. W. and Garcia, V. V. (1978) Isolation and functional characterization of a protein isolate from mungbean flour, *The 1st international mungbean symposium*, AVRDC, Taiwan, page 69
9. Cuthbertson, A. (1980) Hot processing of meat: a review of the rationale and economic implications, In: *Developments in Meat Science*, 1, Lawrie, R (ed), page 61, London: Applied Science Publishers
10. DeFremery, D. (1966) In: E. J. Briskey, R. G. Cassens, and J. C. Trautmann, eds, *The Physiology and Biochemistry of Muscle as Food*, University of Wisconsin press, Madison, U. S. A., page 205
11. Dunn, A. A., Kilpatrick, D. J., and Gault, N. F. S. (1995) Contribution of rigor shortening and cold shortening to variability in the texture of pectoralis major muscle from commercially processed broilers, *Br. Poult. Sci.* **36**: 401–413
12. Dunn, A. A., Tolland, E. L. C., Kilpatrick, D. J., and Gault, N. F. S. (2000) Relationship between early post-mortem muscle pH and shortening-induced toughness in the Pectoralis major muscle of processed broilers air-chilled at 0°C and –12°C, *Br. Poult. Sci.* **41**, 53–60
13. Erasmus, M. A., Lee, H. C., Kang, I., and Swanson, J. C. (2016) Relationship between temperament and post-mortem muscle characteristics in turkeys of two genetic strains, *Poult. Sci.* **94**: 2018–2026
14. Feng, J. and Xiong, Y. L. (2002) Interaction of myofibrillar and preheated soy proteins, *J. Food Sci.* **67**: 2851–2856
15. Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., and Zaritzky, N. (2006) Diffusion of sodium chloride in pork tissue, *J. Food Eng.* **77**: 910–918
16. Grey, T. C., Jones, J. M., and Robinson, D. S. (1974) The influence of death struggle on the rate of glycolysis in chicken breast muscle, *J. Sci. Fd. Agric.*, **25**: 57–66
17. Hong, G. P. and Chin, K. B. (2010a) Effects of microbial transglutaminase and sodium alginate on cold-set gelation of porcine myofibrillar protein with various salt levels, *Food Hydrocolloids* **24**: 444–451
18. Hong, G. P. and Chin, K. B. (2010b) Evaluation of sodium alginate and glucono- $\delta$ -lactone levels on the cold-set gelation of porcine myofibrillar proteins at different salt concentrations, *Meat Sci.* **85**: 201–209
19. Hamm, R. (1986) Functional properties of the myofibrillar system and their measurements, In: *Muscle as foods*, Bechtel, P. J. (ed.), Academic Press, Inc., pages 135–199
20. Hermansen, P. (1987) Warm boning of pigs including problems of interfactory transport of chilled meat, In: *Accelerated Processing of Meat*: Elsevier, pages 127–130
21. Honikel, K. O., Hamid, A., Fischer, C., and Hamm, R. (1981) Influence of postmortem changes in bovine muscle on the water-holding capacity of beef. Postmortem storage of muscle at various temperatures between 0 and 30°C, *J. Food Sci.* **46**: 23–25, 31
22. Hwang, J. S., Lee, H. C., and Chin, K. B. (2008) Rheological properties of pork myofibrillar protein and sodium caseinate mixture as affected by transglutaminase with various incubation temperatures and times, *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **28**(2): 154–159
23. Kang, I., Booren, A., Jeong, J. Y., Susanto, R., Janardhanan, K. K., and Ng, K. W. Hot boned and rapid frozen turkey process for

industrial scales. US Patent, Pending

24. Kang, I. and Singh, P. (2015) Muscle Proteins. In: Applied Food Protein Chemistry. Ustunol, Z (ed.). John Wiley & Sons, Ltd: Hoboken, NJ, page 363
25. Kang, I., Salman, H., Seman, D., and Olson, L. (2008) Hot boned poultry process. US Patent 20080268115
26. Kang, I., Skaar, G. R., Barron, W. N. G., Painter, C. J., and Colby, J. D. (2009) Washed deboned meat having high protein recovery. US Patent 7569245
27. Kim, I. S., Jin, S. K., and Hah, K. H. (2004) Quality comparison of sausage and can products in Korean market. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **24**(1): 50–56
28. Kuraishi, C., Sakamoto, J., Yamazaki, K., Susa, Y., Kuhara, C., and Soeda, T. (1997) Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. *J. Food Sci.* **62**(3): 488–490, 515
29. Kuraishi, C., Yamazaki, K., and Susa, Y. (2001) Transglutaminase: its utilization in the food industry. *Food Rev. Int.* **17**(2): 221–246
30. Laemmli, U. K. (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* **227**: 680–685
31. Lanier, T. C. (1991) Interaction of muscle and non-muscle proteins affecting heat-set gel rheology. In: *Interaction of Food Proteins*, N. Parris and R. Bradford (ed.), American Chemical Society, Washington, DC., pages 268–284
32. Lee, H. C. and Chin, K. B. (2009a) Effect of transglutaminase, acorn, and mungbean powder on quality characteristics of low-fat/salt pork model sausages. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **29**(3): 374–381
33. Lee, H. C. and Chin, K. B. (2009b) Evaluation of product quality of low-fat sausages as affected by salt levels and different levels of milk proteins. *Food Sci. Biotechnol.* **18**(1): 36–42
34. Lee, H. C. and Chin, K. B. (2010) Application of microbial transglutaminase and functional ingredients for the healthier low-fat/salt meat products: a review. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* **30**(6): 886–895
35. Lee, H. C. (2011) Evaluation of transglutaminase and functional ingredients for the manufacture of low-salt meat products, Ph.D Thesis, Chonnam National University
36. Lee, H. C., Medellin-Lopez, M., Singh, P., Sansawat, T., Chin, K. B., and Kang, I. 2014. Cold-batter mincing of hot-boned and crust-frozen air-chilled turkey breast allows for reduced sodium content in protein gels. *Poult. Sci.* **93**: 2327–2336
37. Lee, H. C., Erasmus, M. A., Swanson, J. C., Hong, H. G., and Kang, I. (2016) Improvement of turkey breast meat quality and cooked gel functionality using hot-boning, quarter sectioning, crust-freeze-air-chilling and cold-batter-mincing technologies. *Poult. Sci.* **93**: 2327–2336
38. LLuch, M. A., Perez-Munuera, I., and Hernando, I. (2001) Proteins in food structures. In: Chemical and Functional Properties of Food Proteins, Sikorski, Z. E. (ed.), Technomic, Lancaster, pages 13–33
39. McCord, A., Smyth, A. B., and O'Neill, E. E. (1998) Heat-induced gelation properties of salt-soluble muscle proteins as affected by non-meat proteins. *J. Food Sci.* **63**: 580–583
40. McMillin, D. J., Sebranek, J. G., and Kraft, A. A. (1981) Microbial quality of hot-processed frozen ground beef patties processed after various holding times. *J. Food Sci.* **46**: 488–490
41. McPhail, N. G. (1995) Implementation of hot boning. In: CSIRO Meat Ind. Res. Conf. Aus. Meat Technol. Pty Ltd, AUS, Pages 5–6. [http://www.meatupdate.csiro.au/data/Meat\\_95\\_73.pdf](http://www.meatupdate.csiro.au/data/Meat_95_73.pdf)
42. National Chicken Council. (2015) Per Capita consumption of poultry and livestock, 1965 to estimated 2015, in pounds
43. Oozumi, T., and Xiong, Y. L. (2006) Identification of cross-linking site(s) of myosin heavy chains in oxidatively stressed chicken myofibrils. *J. Food Sci.* **71**(3): C196–199
44. Pearson, A. M. (1986) Physical and biochemical changes occurring in muscle during storage and preservation. In: *Muscle as foods*, Bechtel, P. J. (ed.), Academic Press, Inc., pages 103–134
45. Pietrasik, Z. (2003) Binding and textural properties of beef gels processed with  $\kappa$ -carrageenan, egg albumin and microbial transglutaminase. *Meat Sci.* **63**: 317–324



46. Ramirez-suarez, J. C. and Xiong, Y. L. (2003) Effect of transglutaminase-induced cross-linking on gelation of myofibrillar/soy protein mixtures, *Meat Sci*, **65**: 899–907
47. Reagan, J. O., and Honikel, K. O. (1985) Weight loss and sensory attributes of temperature conditioned and electrically stimulated hot processed pork, *J. Food Sci*, **50**: 1568–1570
48. Sams, A. R., and McKee, S. R. (2011) First processing: Slaughter through chilling. In: *Poultry Meat Processing*, C. M. Owens, C. Z. Alvarado, and A. R. Sams, ed. CRC Press LLC, Boca Raton, FL., pages 25–49
49. Sanjeewa, W. G. T., Wanasundara, J. P. D., Pietrasik, Z., Shand, P. J. (2010) Characterization of chickpea (*Cicerarietinum* L.) flours and application in low-fat pork bologna as a model system, *Food Res Int*, **43**: 617–626
50. Sansawat, T., Lee, H. C., Singh, P., Kim, H., Chin, K. B., and Kang, I. (2014) Combination of muscle tension and crust-freeze-air-chilling improved efficacy of air chilling and quality of broiler fillets, *Poult. Sci*, **93**: 2314–2319
51. Savenije, B., Lambooj, E., Gerritzen, M. A., Venema, K., and Korf, J. (2002) Effects of feed withdrawal and transport on pre-slaughter blood metabolites, early post mortem muscle metabolite levels and meat quality, *Poult. Sci*, **81**: 699–708
52. Thomas, R., Anjaneyulu, A. S. R., and Kondaiah, N. (2007) Effect of hot-boned pork on the quality of hurdle treated pork sausages during ambient temperature ( $37 \pm 1^\circ\text{C}$ ) storage, *Food Chem*, **107**: 804–812
53. Thompson, L. U. (1977) Preparation and evaluation of mungbean protein isolates, *J. Food Sci*, **42**: 202–206
54. Totosaus, A., Montejano, J. C., Salazar, J. A., and Guerrero, I. (2002) A review of physical and chemical protein-gel induction, *Int. J. Food Sci. Technol*, **37**: 589–601
55. Troy, D. J. (2006) Hot-boning of meat: a new perspective. In: *Advanced technologies for meat processing*. Nollet, L. M. L. and Toldra, F. (eds.), CRC Press: Boca Raton, FL., pages 73–86
56. Waylan, A. T., and Kastner, C. L. (2004) Hot boning and chilling. In: *Encyclopedia of meat sciences 2*, Jensen, W. K, Devine, C. and Dikeman, M. (eds.), Elsevier Academic Press: Oxford, UK., pages 606–613
57. WCRF. (2007) Food, nutrition, physical activity, and the prevention of cancer: a global perspective, World Cancer Research Fund International, chapter 4, foods and drinks, pages 141–147
58. Wyche, R. C., and Goodwin, T. L. (1974) Hot-cutting of broilers and its influence on tenderness and yield, *Poult. Sci*, **53**: 1668–1675
59. Yong, E. Z., Choi, Y. S., and Lee, K. T. (2009) A survey on the perception and usage status of dietitians in food service business for meat products, *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour*, **29(1)**: 121–131



이 흥 철

미시간 주립대학교 농업자원대학 동물과학/식품과학과 인류영양학과