



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사 학위논문

숙성방법 및 기간이 돈육 및 우육의  
미생물학적 안전성과 이화학적  
특성에 미치는 영향

제주대학교대학원

생명공학부 동물생명공학전공

김 솔 지

2022년 08월

# 숙성방법 및 기간이 돈육 및 우육의 미생물학적 안전성과 이화학적 특성에 미치는 영향

지도교수 류 연 철

김 솔 지

이 논문을 이학 석사학위 논문으로 제출함

2022년 6월

김솔지의 이학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장           도 경 탁           (인)

위        원           이 왕 식           (인)

위        원           류 연 철           (인)

제주대학교 대학원

2022년 6월

Effect of aging methods and time on  
microbiological safety and physicochemical  
properties of pork and beef

Sol-Ji Kim

(Supervised by professor Youn-Chul Ryu)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for  
the degree of Master of Science

2022. 6.

This thesis has been examined and approved.

Faculty of Biotechnology, Animal Biotechnology Major  
GRADUATE SCHOOL  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

## ABSTRACT

Aging is an important factor to capitalize on in the meat industry. It causes a softening effect like protein degradation of muscle fiber proteolytic enzymes in meat as it can improve the tenderness and flavor of the meat and consumer are willing to pay an additional amount for aged meat due to preferring tender and savory meat. This study analyzed different packaging methods, optimal conditions for aging meat such as pH, meat color, shear force, texture profile analysis, crust thickness, volatile basic nitrogen (VBN), thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), microbial analysis and different pots for the aging. We handled packaging bags for aged beef that can compensate for the disadvantages of the dry-aging method and conducted a comparative analysis on the aging method and aging period for dry aging and wet aging during 15, 30, 45, and 60 days. In addition, Pork was aged using normal pots and scoria pots and aged for the 10, 20, and 30 days. Moreover, this study was conducted to find a suitable packaging method for distributing aged pork using pots through microbial analysis after storing aged pork using wrap packaging and vacuum packaging. In the aged beef, almost of the lightness was a significant difference according to the aging period ( $p < 0.001$ ). In the shear force, hardness and torry meter, all aging methods showed significant differences according to the aging period ( $p < 0.01$ ). The cooking loss, aging loss and pH showed a significant difference depending on the aging method ( $p < 0.05$ ). The volatile basic nitrogen (VBN) of aging beef showed a highly significant difference according to all aging methods and aging periods other than 0 days ( $p < 0.001$ ) and dry-aging was the highest in all aging periods. The thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) of aging beef revealed a significant difference according to the aging method after the 15th day of aging ( $p < 0.001$ ). Almost of the number of

aerobic bacteria and yeast in the aging beef were no significant difference according to the aging method and period. The number of *E. coli* and *pseudomonas* were no significant difference in all aging methods and aging periods. In the number of lactic acid bacteria, aged beef showed no significant difference between aging methods and aging periods and it was detected the highest in wet aging while dry packaging aging showed similar values. The number of molds in the exterior of aged beef was significantly different according to the aging period in dry-aging and dry packaging aging ( $p < 0.01$ ). As a result, this study tried to provide primary data on dry-aging and dry packaging. Pork aged in pots did not exceed the safety values of VBN and TBARS until 30 days of aging and microorganisms did not exceed the safety values prescribed by the Ministry of Food and Drug Safety (2018). However, when wrap packaging and vacuum packaging were conducted after aging, most of the methods of using wrap packaging for distribution after aging exceeded the safety values of aerobic bacteria and *E. coli* after 5 days of storage. Therefore, this study recommended that the distribution method using vacuum packaging represents a most appropriate packaging method for distributing aged pork.

# 목 차

ABSTRACT .....	i
목 차 .....	iii
List of Tables .....	vi
List of Figures .....	viii
I. 서 론 .....	1
II. 연구사 .....	3
1. 숙성육 현황 및 유통 .....	3
1.1 숙성육 규정 및 유통 현황	
2. 식육 숙성의 원리 및 방법 .....	6
2.1 건식숙성	
2.2 습식숙성	
2.3 화산 송이(Scoria)를 이용한 숙성	
2.3.1 화산 송이(Scoria)	
2.3.2 화산 송이의 산업적 연구현황	
3. 숙성 중 품질의 변화 .....	11
3.1 육색의 변화	
3.2 pH의 변화	
3.3 연도의 변화	
3.4 보수력의 변화	

3.5	감량의 변화	
3.5.1	가열감량(Cooking loss)	
3.5.2	숙성감량과 손질감량(trimming loss)	
3.6	Volatile basic nitrogen(VBN)의 변화	
3.7	지질 산화	
3.8	아미노산과 풍미 변화	
4.	식육 숙성 중의 미생물 .....	18
4.1	중온성균	
4.1.1	대장균 및 대장균군	
4.2	저온성균	
4.2.1	Pseudomonas	
4.2.2	Listeria	
4.3	효모/곰팡이	
4.4	젖산균(Lactic acid bacteria)	
4.4.1	Lactobacillus	
4.4.2	Carnobacterium	
5.	식품 안전성 .....	24
5.1	국내 HACCP	
5.2	유통기한 설정 요인	

<b>III. 재료 및 방법</b> .....	30
1. 공시 재료 .....	30
2. 숙성방식 및 시료 처리 .....	31
3. pH와 육색 .....	33
4. 보수력 측정 .....	34
5. 물성 측정	
6. 수분활성도 .....	35
7. Volatile basic nitrogen(VBN) .....	36
8. Thiobarbituric Acid Reactive Substance(TBARS)	
9. 토리미터(Torry Meter) .....	37
10. 미생물 분석	
11. 통계 분석	
<b>IV. 결과 및 고찰</b> .....	38
1. 우육 숙성 중 외관의 변화 .....	38
2. 우육 숙성 중 가열감량(Cooking loss)과 물성의 변화 .....	45
3. 우육 숙성 중 안전성의 변화 .....	49
4. 돈육 숙성 및 저장 중 안전성의 변화 .....	60
<b>V. 국문 요약</b> .....	64
<b>VI. 인용 문헌</b> .....	66

## LIST OF TABLES

Table 1. Food poisoning main causative bacteria in '15~'19 .....	24
Table 2. Recommended standard of aerobic bacteria and <i>E. coli</i> in packaged meat .....	27
Table 3. Experimental indicators for setting shelf life by food type .....	28
Table 4. Setting condition for pork aging .....	31
Table 5. packaging Method for the storage after pork aging .....	32
Table 6. Setting condition for beef aging .....	33
Table 7. Shear force Instron conditions .....	35
Table 8. Texture profile analysis conditions .....	35
Table 9. Changes of meat color according to aging method and time .....	39
Table 10. Changes of crust thickness and aging loss(%) according to aging method and time .....	45
Table 11. Cooking loss, shear force and texture profile analysis according to aging method and time .....	48
Table 12. Effects of Aging method and time on pH and water activity of beef <i>longissimus dorsi</i> muscle .....	51
Table 13. Effects of Aging method and time on physicochemical properties of beef <i>longissimus dorsi</i> muscle .....	55
Table 14. Effects of Aging method and time on microbial groups(log CFU/g) of beef <i>longissimus dorsi</i> muscle .....	59
Table 15. Effects of Aging method and time on physicochemical properties of pork <i>longissimus dorsi</i> muscle .....	61

Table 16. Effects of Aging method and time on microbial group(log CFU/g)  
of pork *longissimus dorsi* muscle .....63

## LIST OF FIGURES

Fig 1. Important factors to consider when purchasing aged meat .....	3
Fig 2. Intention to purchase aged meat and maximum willingness to pay for aged meat .....	4
Fig 3. Structure and designation of sacromere .....	7
Fig 4. The effects of myoglobin redox state, ligand and iron valence on the surface color of postmortem muscle .....	12
Fig 5. Food Poisoning Outbreaks in '15-'19 .....	25
Fig 6. The exterior of pot .....	31
Fig 7. Packed pork after aging and dry packaging beef .....	32
Fig 8. Color of 0day aged beef .....	40
Fig 9. Color changes of aged beef(inside) .....	41
Fig 10. Color changes of aged beef(outside) .....	42
Fig 11. Crust of aged beef cuts after blooming .....	44
Fig 12. Measurement of using torry meter .....	53

# I. 서론

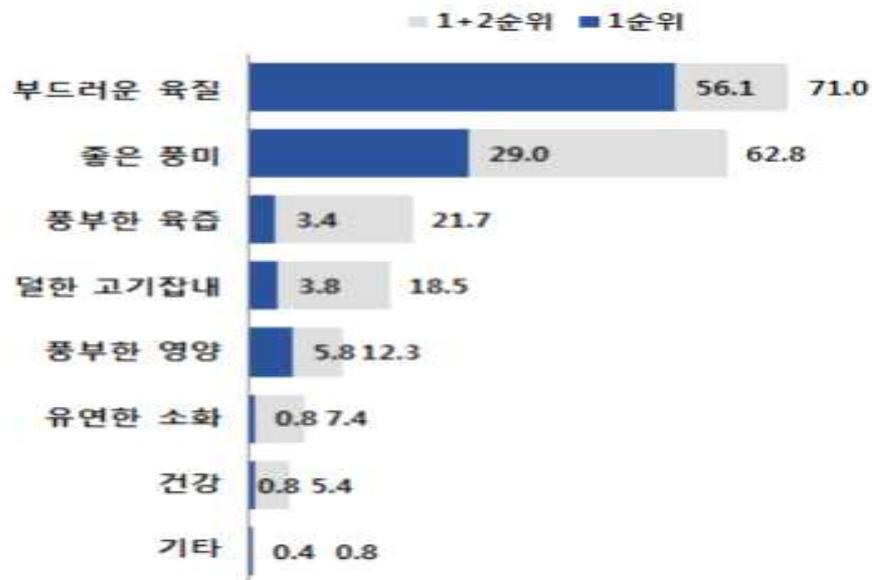
국내에서 돈육의 연간 1인당 소비량은 2020년도 기준으로 27.1kg이었으며, 2021년에는 27.6kg으로 추정된다(한국농촌경제원, 2022). 우육의 연간 1인당 소비량은 2020년도에 12.9kg이었으며, 2021년에는 13.6kg으로 보고되었다(전국한우협회, 2022). 한국농촌경제원(2022)은 돈육과 우육의 1인당 소비가능량은 육류의 공급량이 증가하며 지속적으로 소비가 증가하는 추세가 될 것으로 전망된다고 하였다. 숙성은 식육 내 근섬유 단백질 분해효소의 단백질 분해 작용 등의 연화 과정이 가능하도록 도축 후 식육을 일정 기간 통제된 저온 환경에서 보관하여 고기의 맛을 높이는 과정을 말한다(Koohmaraie, 1996; Hopkins 등, 2009; Khan 등, 2016). 식육은 숙성을 통해 연도, 다즙성, 향미를 향상시키고, 식육의 식감과 식미를 향상시킬 수 있다고 알려져 있다(Kim 등, 2016). 손(2019)은 저지방 부위 숙성육에 대한 소비자의 구입 의향을 조사한바, 부드러운 육질과 좋은 풍미가 숙성육 구입에서 고려되는 중요 요인으로 조사되었다. 조사 대상 중 50.3%가 저지방 부위 숙성육을 구입할 의향이 있다고 하였으며, 조사 대상 중 74.8%가 기존 고기 대비 추가 비용을 지불할 의향이 있다고 하였다. 또한 Joo 등(2013)은 소비자의 영양가 있는 고품질의 신선육에 대한 요구는 육류 산업에 있어 중요하다고 하였다. 이처럼 소비자들은 좋은 풍미와 부드러움이 보장되는 식육에 흔쾌히 추가 금액을 지불할 의향이 있으며, 숙성 기술은 이 기회를 자본화하여 육류 산업에 실질적인 수입원으로 활용될 수 있다(Benjamin 등, 2019). 숙성방법은 건식숙성과 습식숙성으로 나눌 수 있으며, 건식숙성은 식육을 포장하지 않고 저온에서 저장하며 40~60일 정도 보관하여 숙성하는 방법으로 크러스트에서 성장하는 미생물에 의해 건식숙성육만의 풍미, 연도, 식미가 향상하게 된다(Lee 등, 2019b). 하지만 숙성육을 보관하기 위해서는 넓은 공간과 많은 시간이 필요하며(Smith 등, 2008), 크러스트와 지방 제거로 인한 손질감량과 무게감량, 부패 미생물의 오염 가능성이 크다는 단점이 있다(하 등, 2019). 건식숙성방법의 단점을 보완하기 위해 산소와 수분이 통과할 수 있는 건식숙성육 전용 포장 필름을 이용하여 식육을 숙성하는 방법도 있다. 습식숙성은 식육을 진공포장하여 저온 환경에서 포

장하여 숙성하는 방법으로, 건식숙성보다 숙성에 필요한 공간이 작고 손질감량(Trimming loss)이 낮지만, 특유의 풍미가 없고 피 맛과 같은 이취가 발생할 수 있다(Warren 등, 1992a). 또한, 진공포장으로 인한 드립 발생으로 기호도 저하 문제가 발생한다(Thomas 등, 2007; 하 등, 2019). 국외에서 건식숙성육은 높은 가격의 프리미엄 제품으로서 소규모 육류 판매업자에 의해 고급 정육점과 레스토랑 등에서 판매되고 있으며(Li 등, 2014), 국내에서는 습식숙성방법이 보편적으로 널리 이용되고 있다(하 등, 2019). 숙성방법에 관한 연구는 대부분 습식숙성에 관한 것이며(Lepper-Blilie 등, 2016), 건식숙성에 관한 일부 연구도 주로 등심 부위에 한정되어 있다(Li 등, 2014; Kim 등, 2017; 김 등, 2020a). 본 연구는 거세 2등급의 우육 채끝 등심을 건식숙성, 습식숙성과 건식포장숙성을 이용하여 숙성하였으며, 숙성방법과 숙성기간에 따른 육질 검사, 미생물 검사, 지방 산패도, 단백질 변패도를 숙성 15일 간격으로 측정하여 비교 분석하여 숙성육에 대한 위생 안전성에 효율적이고 경제적인 기초자료를 제공하고자 하였다. 또한 우수한 향균성, 자외선 차단성, 흡습성, 우수한 중금속 흡착량 등의 특성을 가진 제주 화산 송이를 활용하여 제조한 향아리를 돈육의 등심을 숙성하는 데에 이용하였다. 따라서 본 연구는 화산 송이의 특성을 활용하여 식육 숙성에 적용하였으며 숙성육의 안전성에 대한 미생물 검사와 이화학적 요소를 숙성 10일 간격으로 측정하였고, 숙성육 유통방법을 고려하였을 때의 저장 안전성에 대해 포장 5일 간격으로 미생물 검사와 측정하여 향아리를 이용하여 숙성한 돈육의 미생물학적 요소와 이화학적 특성에 대한 분석을 진행하였다.

## II. 연구사

### 1. 숙성육 현황 및 유통

소비자들은 우육의 품질을 주로 맛, 향, 육즙(Lopp 등, 2005), 특히 부드러움을 기준으로 평가한다(Boleman 등, 1997; Nowak, 2005; Ristic 등, 2012; Nino 등, 2021). 그리고 소비자들은 좋은 풍미와 부드러움이 보장되는 식육에 흔쾌히 추가 금액을 지불하고, 숙성 기술은 이 기회를 자본화하여 육류 산업에 실질적인 수입원을 제공한다(Benjamin 등, 2019). 그러므로 소비자의 영양가 있는 고품질의 신선육에 대한 요구는 육류 산업에 있어 중요하다(Joo 등, 2013). 우육, 양고기와 같은 식육은 숙성을 통해 연도와 풍미가 향상되는 것으로 알려져 있다(Obuz 등, 2014; Choe 등, 2016; Kim 등, 2018a). 이 사후 식육의 숙성은 내생성 단백질 분해효소에 의해 근육의 구조가 분해되면서 연도, 다즙성, 향미가 향상되어 식육의 식미가 향상된다(Kim 등, 2016).



(숙성육 구입 의향 응답자, N=503, %, 복수응답)

Figure 1. Important factors to consider when purchasing aged meat (손, 2019).

Figure 2에 따르면 총 50.3%가 저지방 부위 숙성육을 구입할 의향이 있다고 하였고, 고기를 자주 먹는 소비자일수록 구입 의향이 높았다. 74.8%가 숙성된 우육을 구입할 경우 기존의 우육보다 비싼 가격을 지불할 의향이 있다고 하였고, 기존 우육 구입비용의 평균 17.7% 가격을 추가 지불할 의향을 보였다.

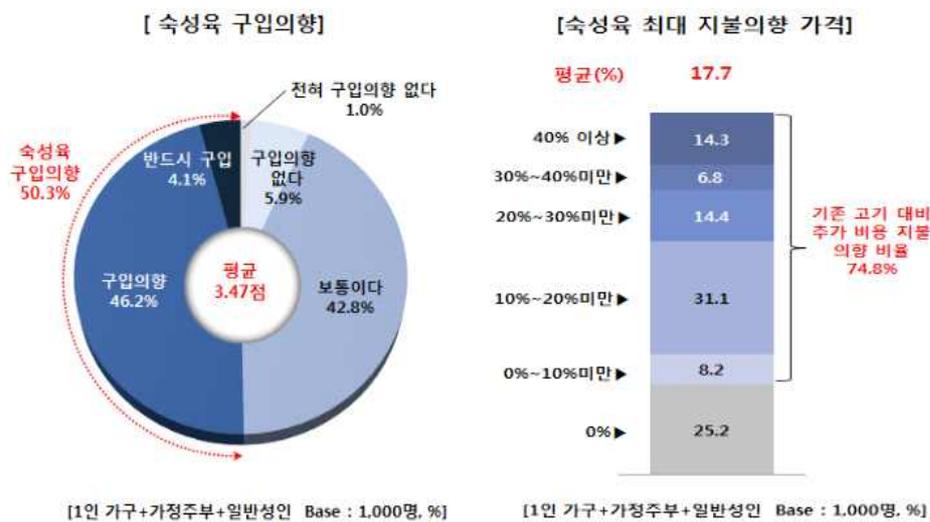


Figure 2. Intention to purchase aged meat and maximum willingness to pay for aged meat(손, 2019).

국내 1인당 육류 소비량 중 가장 높은 비율을 차지하는 것은 돈육으로, 2020년 기준으로 연간 27.1kg을 소비하였으며, 농업관측센터에서 2021년도 돈육 1인당 소비량은 27.6kg로 추정된다고 보고하였다(한국농촌경제연구원, 2022). 돈육은 한국에서 가장 많이 소비되는 식육 중 하나(Lee 등, 2016)지만, 삼겹살 부위와 목살 부위와 같이 돈육의 일부 부위만이 소비되고 있다(Jin 등, 2020). 최근, 식육 소비 시장의 변화로 인하여 새로운 정형방식의 도입을 통해 삼겹살, 목살 외의 부위를 섭취하고, 숙성방식을 도입하는 새로운 시도가 이루어지고 있다. 그러나 건식숙성 및 습식숙성 돈육의 정보는 제한적이고(Hwang 등, 2018), 최근 건식숙성 돈육과 습식숙성 돈육에 대한 육질 및 관능적 특성에 대해 점진적으로 연구되고

있다(Juarez 등, 2011; Kim 등, 2016; Lee 등, 2016; Kim, 2019). 국내의 경우, 진공포장을 이용한 습식숙성방법이 보편적으로 널리 이용되고 있다(하 등, 2019). 또한 숙성에 관한 연구는 습식숙성에 관한 것이 대부분이며(Lepper-Blilie 등, 2016), 건식숙성에 관한 일부 연구도 주로 등심 부위에 한정되어 있다(Li 등, 2014; Kim 등, 2017; 김, 2020a). 국내에서는 저지방 부위의 품질 향상을 위하여 대부분 습식숙성방법을 활용하나 미국과 일본 등 국외에서는 식육의 식감과 향미의 향상을 위해 건식숙성 기술을 현장에서 활용하고 있다(조 등, 2018). 국외의 경우, 건식숙성육은 소규모 육류 판매업자에 의해 고급 정육점과 레스토랑에서 판매되며, 건식숙성육의 향상된 풍미에 따른 기호성으로 시장에서 높은 가격의 프리미엄 제품으로 판매되고 있다(Li 등, 2014). 일본에서는 도체 상태가 부분육 상태보다 상대적으로 건조 수율 감소를 최소화할 수 있을 것으로 기대하기 때문에 도체 상태로 건식숙성을 진행하기도 한다.

### 1.1 숙성육 규정 및 유통 현황

농촌진흥청(2019)은 축산물 위생관리법에서 숙성육에 대한 구체적인 용어 정의가 없기에 숙성육이 식육 또는 포장육 범위에 포함되는 것으로 판단하고 있다. 숙성육에는 식육 또는 포장육을 포장없이 건조하는 숙성방법과 건식숙성 전용 포장필름, 진공포장법을 이용하여 숙성하는 방법이 있다. 건식숙성육의 경우, 수분함량 등을 고려해보면 건조저장육류(육포)에 포함되어야 한다는 의견도 있다. 하지만 다른 화학적 합성품, 식품 등이 첨가되지 않고 식육 또는 포장육 등의 여러 형태로 저온에서 건조해야 한다는 기준으로 판단할 때, 식육 또는 포장육에 포함된다(장, 2020). 건식숙성육을 판매하는 식육포장처리업체는 품목 제조보고서를 담당 지역에 제출하는 과정을 통해 공중위생수준 준수 적합성을 검증받지만, 담당 지역에 따라 검증 수준의 차이가 있다. 그렇기에 식육포장처리업체와 식육 판매업소에서 생산 및 판매를 할 수 있지만, 공중위생 수준 준수 적합 여부에 대한 논란은 계속 제기되고 있다(농촌진흥청 등, 2019; 장, 2020).

축산물품질평가원 등(2016)에 따르면, 건식숙성 우육 취급 유통업체, 식당 및 레

스토랑, 판매업소 등 43개소에 대하여 자료를 수집한바, 건식숙성 후 진공포장(냉장)으로 보관하는 업체가 많았고 일부 건식상태로 또는 냉동보관을 진행하였다. 유통기한은 6~10일 수준인 경우가 3개소, 원료육의 유통기한으로 지정한 경우가 3개소, 제조일로부터 70일에 해당하는 경우 등 업체별로 유통기한이 다양하게 조사되었다. 정육점에서는 건식숙성육을 부위별 또는 모듬 형태로 판매하고 식당 및 레스토랑에서는 스테이크나 구이용으로 판매하고 있다. 또한 건식숙성육은 크리스트와 지방을 제거한 후, 진공포장하여 0~4℃에서 냉장 보관 또는 -8~20℃에서 냉동보관을 한다. 건식숙성육을 썰어서 진공포장한 경우에는 냉장육은 -1~2℃에서 약 7일 이내로 소비하는 것이 좋으며 냉동육은 -18~20℃에서 약 3개월 이내로 소비하는 것이 좋다고 알려져 있다(축산품질평가원 등, 2016). 그러나 건식숙성육을 썰어서 랩으로 포장하였을 때 1~2일 이내로 소비하는 것이 좋다고 알려져 있다(Dashdorj 등, 2016).

## 2. 식육 숙성의 원리 및 방법

숙성은 식육 내 cathepsin enzyme, proteasome, caspase, calpain 등 근섬유 단백질 분해효소의 단백질 분해 작용 등의 연화 과정이 가능하게끔 도축 후, 식육을 일정 기간 통제된 저온 환경에서 보관하여 고기의 맛을 높이는 과정을 말한다(Koohmaraie, 1996; Hopkins 등, 2009; Khan 등, 2016). 사후 식육의 숙성은 calpain-calpastatin 시스템, cathepsin 라이소좀 시스템 및 기질 금속 단백질 분해효소를 포함한 근육 내의 내생성 단백질 분해 과정에 의해 진행된다(Maltin 등, 2003; Oh, 2018). Calpain 시스템은  $\mu$ -calpain과 m-calpain으로 구성되어 있고, 사후 1~2일 이내에  $\mu$ -calpain은 단백질 분해 초기 단계에서 활성화되어 costameres, intermediate filaments와 sarcolemmal membrane에 작용한다. 이후에는 며칠간 m-calpain이 활성화되어 세포골격계 단백질에 작용한다. Calpastatin의 기능은 정확히 밝혀지지 않았지만, 활성화되면 m-calpain의 작용을 억제하여 조절하는 기능이 있다(Doumit 등, 1999). Desmin, filamin, nebulin과 같은 Z-line

의 특정 단백질과 myosin filament와 Z-line을 연결하고 있는 connectin를 분해하는 calpain과 다르게 cathepsin은 myosin과 actin을 직접 분해한다(Jiang 등, 1992; Jiang 등, 1996; Huff-Lonergan 등, 1999). 또한 단백질 분해 효소들은 다양한 수축 단백질에 작용한다. collagenase, stromelysin, gelatinase 등의 효소들은 결합조직 단백질을 분해하고, collagenase에 의해 분해된 콜라겐을 gelatinase가 작은 펩타이드로 분해한다(Seltzer 등, 1990). 숙성 중 단백질 가수분해반응이 식육의 연도와 보수성 개선에 얼마나 영향을 주는지에 대한 여부는 불분명하나 숙성 중 단백질 분해로 인한 유리 아미노산, 올리고펩타이드의 증가와 유리 펩타이드의 분해는 식육의 풍미 개선에 영향을 미친다(김, 2017).

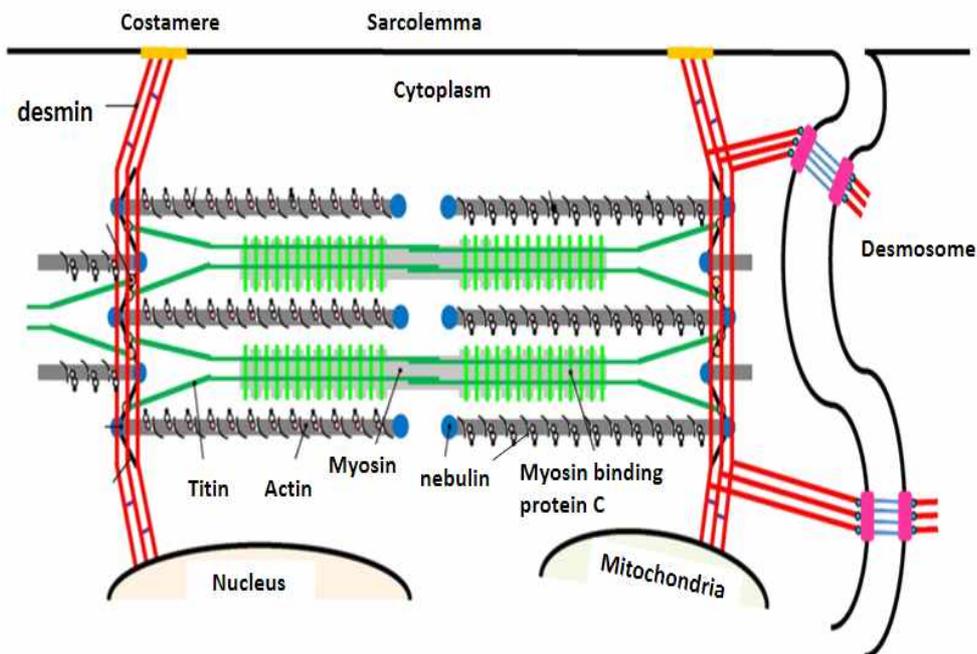


Figure 3. Structure and designation of sarcomere (Valerio 등, 2016)

## 2.1 건식숙성(dry aging)

건식숙성은 식육을 포장하지 않고 통풍이 가능한 냉장 시설에서 온도, 습도 및 풍속 등을 조절하여 전체 또는 일부분의 식육을 포장 없이 0~3℃에서 습도를 75~80%로 유지하며 40~60일 정도 보관하여 숙성하는 방법이다(Smith 등, 2008; 하 등, 2019; 안 등, 2020). Lee 등(2019b)은 건식숙성의 풍미, 연도증진, 식미 향상 등의 장점은 크러스트 내의 다양한 미생물들의 대사활동으로 인해 발생한다고 하였다. Oh 등(2019a)은 건식숙성육의 크러스트를 이용하여 곰팡이 분포를 조사해 건식숙성 지표로 활용하여 실험을 진행하였고, 건식숙성육의 품질 향상과 관련된 효모와 곰팡이를 분리하여 마이크로바이옴 분석을 하였다. 분리된 효모와 곰팡이는 단백질 분해 및 지방산 분해 과정을 통해 유리 아미노산과 지방산을 생성하고 건식숙성육의 연도를 증진해 식육의 품질을 향상하게 했다(Oh 등, 2019b). 숙성기간이 30일 이상 경과된 건식숙성육은 고기 내 수분이 일반 신선육과 비교하여 상대적으로 적기 때문에 공기 중에 노출되면 표면이 빨리 마르고 암적색으로 변한다고 알려져 있다(농촌진흥청 등, 2019). 또한 식육 내 수분이 증발하며 건조된 겉면(크러스트)에서 효모, 곰팡이 등의 미생물들이 성장해 습식숙성육과 다르게 단맛이 나게 되며 고기 특유의 향미, 버터, 구운 견과류와 같은 독특한 건식숙성육만의 풍미를 만들어낸다(Warren 등, 1992b; Campbell 등, 2001; Kim 등, 2016; Lee 등, 2017). 즉, 건식숙성육 내 미생물이 단백질 분해와 지방 분해에 영향을 미쳐 식육의 물리 화학적 특성과 풍미 화합물에 영향을 미친다. 하지만 건식숙성은 수분 손실로 인한 무게감량과 크러스트와 지방을 제거로 인한 손질감량, 넓은 공간과 많은 시간이 필요하다는 단점으로 인해 비용이 많이 든다(Smith 등, 2008; Stenstrom 등, 2014). 또한 포장없이 숙성을 진행하기 때문에 부패 미생물 오염 가능성이 크다는 단점이 있다(하 등, 2019). 이러한 장단점으로 인해 건식숙성육은 일부 소비자의 수요로 몇몇 고급 레스토랑이나 특수 아웃렛에서 이용되고 있다(Smith 등, 2008; Hwang 등, 2018).

## 2.2 습식숙성(wet aging)

습식숙성은 냉장 산업이 발달한 1970년대에 도입되어 최소 3일에서 최대 80일 까지 저온 환경에서 식육을 진공포장하여 숙성하는 방법으로 식육의 오염과 수분 손실을 억제할 수 있다. 하지만 온도가  $-1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 에서 유지되어야 하고 잔류 압력이 낮아야 습식숙성이 유지될 수 있다. 습식숙성은 건식숙성에 비해 숙성에 필요한 공간이 작고 숙성으로 인한 손질감량이 현저히 낮으며, 진공포장을 이용하여 숙성하므로 미생물 증식을 억제하여 유통기한이 연장되고 숙성으로 인해 연도가 개선되는 이점으로 현재 육류 산업에서 가장 많이 이용되고 있다(Kim 등, 2018b). 습식숙성육은 부드러운 육질과 육즙이 많으며 건식숙성육에 비해 무게 손실이 적고 상대적으로 드는 비용이 저렴해 건식숙성육보다 시장에 도입되기 쉽다(Adegoke 등, 2005). 하지만 진공포장 시, 드립 발생으로 기호도 저하 문제가 발생하기도 한다(Thomas 등, 2007; 하 등, 2019).

## 2.3 화산 송이를 이용한 숙성

### 2.3.1 화산 송이(Scoria)

화산 송이(화산석, Scoria)란 용암이 대기 중으로 분출되며 용암 속 화산가스가 빠져 만들어진 다공질의 화산쇄설물 중 하나이다. 화산 송이는 알칼리나 중성의 현무암질 용암으로부터 생성되었고, 주성분은 이산화규소, 산화알루미늄, 산화철로 구성되어 있으며, pH는 7.1~7.3, 양이온치환용량(CEC)은 3.8~6.12cmol/kg이다. 또한 색상에 따라 황갈색, 적갈색, 암회색 및 흑색으로 분류할 수 있으며, 화산의 분출 시기나 용암의 주성분 등에 따라서도 성질이 다르게 나타난다(소, 2002). 화산 송이는 풍부한 미네랄 함량, 항균성, 자외선 차단성, 중금속 흡착력 등의 장점이 있어 다양한 산업에서 연구되어 활용되고 있다.

### 2.3.2 화산 송이의 산업 연구현황

화산 송이는 주로 풍부한 미네랄 함량, 중금속 흡착력, 항균성, 자외선 차단성 등의 장점으로 화장품, 탈취제 같은 제품의 재료로 활용되거나 건축 산업용으로 타일, 벽돌 등의 기능성 건축 재료로써 활용되고 있다(Im 등, 2011). 임(2012)은 제주 화산석을 면직물과 견직물 염색에 천연염료로 활용하였으며, 제주 화산석의 우수한 염색성, 항균성, 소취성, 자외선 차단성, 흡습성 등의 특징으로 천연염료로서 실용적이고 부가가치가 높은 의류·제품개발에 활용할 수 있다고 하였다. 김 등(2019)은 제주의 점토는 70%가 화산재(화산사, 화산탄 등)로 이루어져 있어 점력이 낮고 소성온도의 문제로 용기를 제작하는데 독립적인 점토로 이용하는 것은 어렵다고 하였다. 하지만 용기토와 화산 송이를 같이 배합해 화산 송이만의 독특함을 가진 제주 용기 소지를 개발하여 제주 용기 점토로서 활용성을 높이려 하였다. 또한 화산 송이의 중금속 흡착률을 더 높이기 위해 화산 송이에 알칼리 처리를 하여 제올라이트를 합성하였고, 중금속 이온 제거에 활용한 결과 우수한 성능을 보였다(김 등, 2020b). 화산 송이의 중금속 흡착량과 제거율을 연구한바, 화산 송이의 중금속 흡착량은 양이온치환용량(CEC)이 크거나 표면적이 큰 화산 송이일수록 높았고, 구리이온보다 납이온에 높은 흡착량을 보였다(조, 1999; 감 등, 2002). 또한 화산 송이 양이 증가할수록 중금속 이온의 흡착량은 감소하나 제거율은 증가하였다. 화산 송이를 활용하여 개발된 바이오필터는 쓰레기, 공장, 화학약품, 미생물 대사 등으로 인하여 발생하는 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds; VOCs)과 악취 성분을 효과적으로 제거하였다(Kam 등, 2005).

### 3. 숙성 중 품질 변화

#### 3.1 육색의 변화

식육의 육색은 포장 내 산소압의 정도에 따라 형성된 deoxymyoglobin(자적색), oxymyoglobin(선홍색), metmyoglobin(갈색)의 농도에 의해 달라진다(Faustman 등, 1990). 그리고 육색은 진열상태, 온도, 산소 활성, 빛, 미생물 성장, 포장방법 등에 영향을 받고, 식육의 물리적 상태, pH, 부위별 등 내부적, 외부적 요인에 따른 영향을 받는다(정, 2002). 포장방법에 따른 육색의 변화를 보면, 산소 투과성이 높은 포장필름은 oxymyoglobin 형성을 촉진하고, 저장기간이 길어지면 육색소의 산화가 촉진되어 metmyoglobin을 형성하게 된다(Pierson 등, 1970; Choi 등, 1995). 반면에 산소 투과성이 낮은 필름은 저장기간 동안 식육의 육색을 유지하고 변색하는 것을 최소화할 수 있다(Gokalp 등, 1983). 하지만 이로 인해 deoxymyoglobin의 형성으로 기호도가 낮은 자적색의 육색이 나타난다(강 등, 2014). 포장육에서 숙성온도가 증가하면 환원효소가 활성화되고 지방의 산화가 촉진되고 호기성 미생물 성장은 산소압을 저하해 갈색빛을 내는 metmyoglobin 형성을 촉진하게 되고, 금속 이온들에 의한 myoglobin의 산화를 촉진한다(Judge 등, 1989). 포장 제거 후에는 식육의 표면이 공기와 만나 oxymyoglobin이 형성되어 선홍색을 띠게 되며 적색도가 증가한다. 하지만 식육의 표면이 저산소 환경에서 직접적으로 노출될 경우, deoxymyoglobin이 많이 형성되어 포장 제거 후에도 oxymyoglobin으로 쉽게 전환되지 않는다(강 등, 2014).

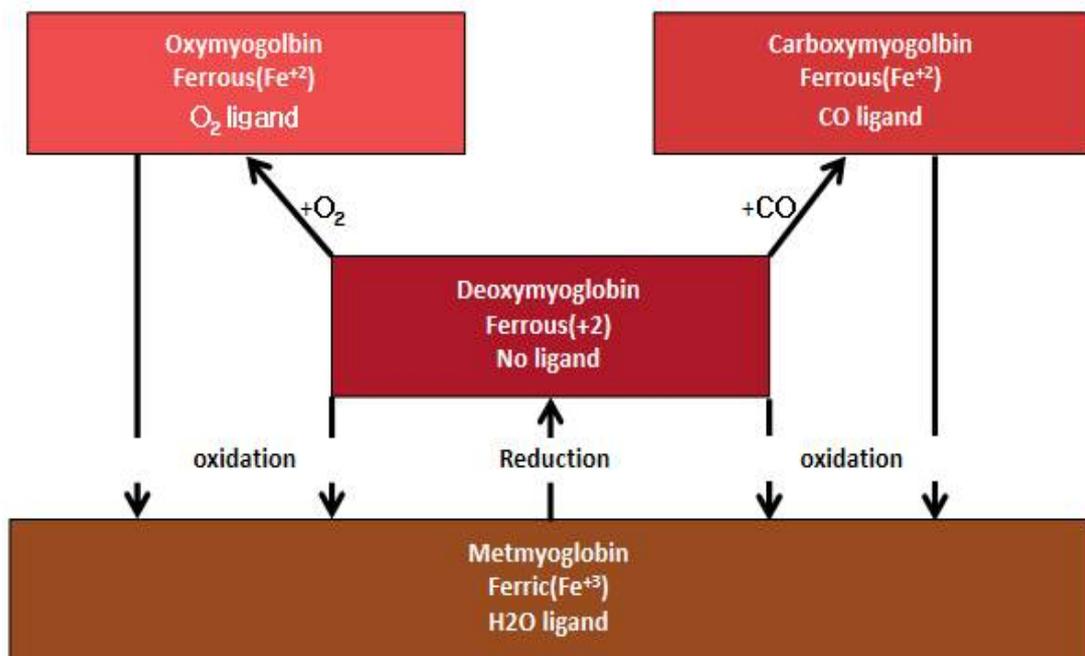


Figure 4. The effects of myoglobin redox state, ligand and iron valence on the surface color of postmortem muscle (Chris, 2016)

### 3.2 pH의 변화

식육의 pH는 보수력, 연도, 다즙성 등 식육의 품질특성과 밀접한 관계가 있다 (Lee 등, 2015). pH 의존 단백질 분해와 같은 사후 단백질 분해로 인해 식육의 pH는 숙성 시 연도와 풍미에 영향을 미친다(Watanabe 등, 1996; O'halloran 등, 1997). Lautenschlager(2012)에 따르면, 우육 등심에서 건식숙성 4주차 동안에는 pH가 증가하다가 그 이후에는 감소하는 경향을 보였다. Dikeman 등(2013)과 Li 등(2014)의 결과에서는 pH가 습식숙성육보다 건식숙성육이 더 높았다. 숙성 중 pH 증가는 식육 내 단백질 분해효소나 미생물이 분비한 효소에 의한 단백질 분해로 생성된 질소화합물, 유리 아미노산 등의 분해 산물로 인해 나타난다(Kook 등, 2005, Obuz 등, 2014). 숙성기간 동안 단백질 분해로 생성된 질소 함유 성분 함량에 따라서도 근육별 pH의 차이가 있을 수 있고(Kim 등, 1996), 또한 숙성 중 미생물의 단백질 분해와 건식숙성의 변수는 pH에 영향을 준다(Nino 등, 2021). 하지만 Kim 등(2019), Kim 등(2016), Li 등(2014)의 연구에서는 부위별과 숙성방법에 따른 숙성육의 pH의 차이가 없었다.

### 3.3 연도의 변화

연도는 육류의 품질을 결정하는 중요한 특성(Shackelford 등, 2001) 중 하나이며, 근섬유의 구성, 수축 상태, 결합 조직의 양, 사후 단백질 분해 정도 등에 영향을 받는다(Hulánková 등, 2018; 안 등, 2020). 또한 다효소 단백질 분해는 품종, 성별, 나이(Davey 등, 1966), 유전적 요인, 근섬유의 근원섬유 간의 결합(Møller 등, 1973), 근질 길이(Ertbjerg 등, 2017) 등과 같은 내부적 요인에 의존하여 일어난다. 도축 후 근육은 혐기적 상태에서 글리코젠 분해로 젖산이 생성되고 ATP가 소모되며 사후강직 상태가 되는데(Lee 등, 2015), 숙성 과정으로 인해 calpain 등 분해효소의 활성화와 단백질 산화 등의 생화학적 변화반응이 일어나며, 연도와 관련된 근원섬유 단백질 분해로 식육의 풍미와 연도가 향상될 수 있다(Huff-Lonergan 등, 2005; Ouali 등, 2006; Ouali 등, 2013).

### 3.4 보수력의 변화

보수력이란 식육에 열처리, 절단 등의 물리적 힘을 가했을 때 식육 내의 수분을 보유해내는 능력이며, 식육의 육색, 다즙성 등에 영향을 미치는 육질의 결정적인 요인 중 하나이다(Kim 등, 1996; 이, 2020). 보수력은 식육의 pH와 연관성이 있는데 근육 내 단백질의 정전하에 따라 고정수나 결합수 물 분자가 많아질수록 pH는 높아진다(Kim 등, 1996). 특히, pH가 근섬유 단백질 등전점(pH 5.2)에 가까워질수록 물 분자와 결합하고자 하는 단백질 분자들이 감소하여 단백질 용해도를 잃게 되어 보수력이 떨어진다(하 등, 2019). 조 등(2018)은 건식숙성 기간이 증가할수록 수분함량은 감소하고 보수력은 유의적으로 증가하였지만, 습식숙성육에서는 수분함량이 숙성기간에 따라 차이가 없었고 따라서 보수력에 영향을 주지 않았다고 하였다.

### 3.5 감량의 변화

#### 3.5.1 가열감량(cooking loss)

일반적으로 식육의 보수력이 높으면 가열감량이 낮아진다고 알려져 있다. 가열 시 식육에서는 단백질 변성과 단백질과 물 분자 사이의 결합력 변화로 수분 손실이 일어난다(이, 2020). 또한 수분 손실은 단백질 변성에 의한 영향뿐만 아니라 식육을 구성하는 성분들과 식육 내 수소이온 농도, 식육 내 이온들의 이온화 강도와도 관련이 있다(Lopez-Bote 등, 1989). Huff-Lonergan 등(2005)은 근원섬유 단백질의 용해도가 증가하면 근원섬유 내의 공간에 수분저장 능력이 높아져서 가열에 의한 수분 손실이 낮아진다고 하였다. 또한 가열했을 때, 근내지방이 용해되어 주위 공간으로 이동해 수분 손실을 낮추며 가열감량을 낮아지게 한다(Breidenstein 등, 1968; Lee 등, 2010). Kim 등(2017)에 따르면 숙성방법별 수분 손실량은 건식숙성육이 습식숙성육에 비해 5% 정도 높았다고 하였다. 가열감량에서 우육의 등급별 차이는 없었으나, 숙성방법별 차이를 살펴보면 숙성감량과

다르게 습식숙성육이 건식숙성육에 비하여 가열감량이 높게 나타났다고 보고되었다(축산물품질평가원 등, 2016).

### 3.5.2 숙성감량과 손질감량(trimming loss)

건식숙성육의 수분 손실은 숙성 중 수분이 증발하는 것에 기초하여 일어나고, 습식숙성 과정에서 수분 손실이 발생하지만 높은 수치는 아니다. 건식숙성에서 표면 건조에 따른 크러스트 발생과 미생물 증식이 진행되기에 비가식 부위를 손질하여 발생하는 손질감량으로 건식숙성육은 약 30~40%의 숙성감량이 발생한다(Dashdorj 등, 2016). 하지만 건식숙성육의 수율을 높이기 위해 숙성실의 온도, 풍속을 조절하는 등의 처리로 숙성감량을 감소시킬 수 있다(Ahnström 등, 2006; Li 등, 2014). 축산물품질평가원 등(2016)은 건식숙성육이 습식숙성육에 비해 숙성감량이 높게 나타났고, 또한 손질감량도 높게 나타났다고 보고하였다. 또한 Kim 등(2017)의 사태와 우둔 부위를 건식·습식숙성한 연구결과, 숙성 20일~40일 사이에 숙성감량이 대략 13%에서 25%로 약 2배 가까이 증가하였고 습식숙성육의 숙성감량은 약 2%에서 5%가 증가하였다.

### 3.6 Volatile basic nitrogen(VBN)의 변화

원료육 및 포장육의 신선도 판정 기준 중 하나인 Volatile basic nitrogen(VBN)은 식육 내 미생물이 분비한 효소로 식육 내 단백질이 분해되어 생성되는 염기성을 가진 암모니아 및 아민류(dimethylamine, trimethylamine 등)를 말한다, 암모니아, 아민류가 증가함에 따라 pH 값은 상승하게 되고, VBN의 수치도 증가한다(Lee 등, 2018a). 건식숙성육이 습식숙성육보다 상대적으로 VBN 함량이 높은 것으로 알려져 있으며, 건식숙성육은 식육의 표면이 공기 중에 노출된 상태로 숙성되기에 미생물의 접촉이 용이해 진공포장하여 숙성하는 습식숙성육보다 단백질 변패가 더 촉진되는 것으로 알려져 있다(하 등, 2019).

### 3.7 지질 산화

지질 산화의 정도는 열, 빛 등 산화 촉진 요소와 식육 내 불포화지방산 함량 등의 여러 요소에 따라 달라질 수 있다(Lee 등, 2018a). 식육 내 지질 산화가 일정 수준 이상 발생하면 이취가 발생하고, 식육의 관능적 특성에 영향을 미친다. 그리고 지질 산화로 식육의 육색 및 영양소 손실 등이 일어나고, 불포화지방산의 산화로 인해 지질 산화물의 독성이 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다(Gray 등, 1996; 강 등, 2018). 또한 지질 산화로 발생한 휘발성 물질들은 식육의 좋지 않은 뒷맛과 쓴맛을 유발할 수 있다(Dashdorj 등, 2015). Ha 등(2019)과 Ribeiro 등(2020)은 지질 산화에 대한 숙성방법과 숙성시간 사이의 상호작용을 연구하였다. 연구한 결과, 56일 동안 숙성한 우육은 건식숙성이 습식숙성보다 지질 산화가 많이 일어났지만 35일 동안 숙성하였을 때 두 숙성방법 간의 차이가 없었다. 그렇기에 Ha 등(2019)은 건식숙성이 장기간으로 진행될수록 지질 산화로 인해 식육의 풍미가 영향을 받을 것이라고 하였다. 또한 Utama 등(2020)은 숙성기간(<40일)이 길어질수록 malondialdehyde와 지질산화량이 더 많이 발생하였으며, 지방산 조성은 숙성 40일 이후에도 변화가 있었고 다불포화지방산(n-6)의 비율이 증가하여 다불포화지방산 비율(n-6/n-3)이 증가했다고 하였다.

### 3.8 아미노산과 풍미 변화

식육의 풍미는 숙성 중 미생물이 분비한 단백질 분해효소나 식육 내 단백질 분해효소에 의해 발생하는 유리 아미노산의 증가로 변한다(Akihito 등, 2021). 아미노산은 고기 특유 풍미, 고소함 및 감칠맛 같은 특성을 나타내는 헤테로고리 화합물의 대부분을 차지하고 있다고 알려져 있다(Ba 등, 2014). 숙성기간 동안 탄수화물은 단맛을 내는 당으로 분해되며 지방과 지질분자는 방향족 지방산으로 분해된다(Dashdori 등, 2016). 방출된 지방족 아미노산은 단맛을 나게 하고, 황을 가진 cysteine, methionine, glutamic acid, aspartic acid, IMP는 감칠맛을 나게 한다(Khan 등, 2015; Kim 등, 2017).

숙성으로 인해 식육의 풍미 전구물질의 수치에 상당한 변화가 나타나고, 이로 인해 숙성방법은 숙성육의 맛과 풍미에 영향을 미친다(Nino 등, 2021). 두 숙성 방법에 대한 차이는 관능 평가에도 영향을 미치는데 Kim 등(2017)의 전자혀 분석 결과, 건식숙성육은 신맛은 낮게, 쓴맛은 높게, 짠맛이 가장 높게 평가되었고, 습식숙성육은 짠맛이 가장 낮게 평가되었다. 또한 건식숙성육은 습식숙성육에 비해 상당히 높은 감칠맛과 풍부한 맛이 난다고 하였다. Bischof 등(2021)은 10가지 대사산물(lactic acid, alanine, methionine, fumaric acid, inosine, inosine monophosphate, creatine, betaine, carnosine, hypoxanthine)의 양은 숙성방법에 따라 크게 달라진다는 것을 발견했다. 이러한 변화는 대부분 가수분해 활성화에 의해 발생하고 풍미 펩타이드의 생산과 관련된 cathepsin, 근육구조의 분해와 관련된 calpain, protease와 같은 다양한 가수분해효소의 활성화로 사후 숙성동안 식육의 풍미 발생에 중요한 기능을 한다(Spanier 등, 1997). 그리고 습식숙성육은 asparagine, serine, phenylalanine, leucine 함량이 많았고, 건식숙성육은 glutamic acid, histidine, glycine, threonine, gamma-aminobutyric acid, valine, tyrosine, lysine 함량이 많았다. 이러한 아미노산 함량은 28일을 숙성한 식육이 숙성되지 않은 식육보다 유리 아미노산 함량이 2배가량 많았다(Polak 등, 2007) 하 등(2019)에 따르면 습식숙성육과 건식숙성육에서 대부분의 풍미 화합물이 증가했지만, 건식숙성육에서 습식숙성육보다 aldehydes, alcohols, hydrocarbons, ketones, pyrazines, furans과 질소화합물 등이 더 많이 검출되었다. 즉, 건식숙성육의 풍미의 향상은 사후숙성 되는 동안 식육에서 IMP, GMP, inosine과 hypoxanthine을 생성할 수 있는 ribonucleotide의 분해, 자유 아미노산의 증가, 당의 감소와 관련이 있다(Spanier 등, 1997; Mottram 등, 1998).

#### 4. 식육 숙성 중의 미생물

신선육의 미생물 군총은 주로 *Firmicute*와 *Proteobacteria*가 우점하고 있다(이, 2017a; Hwang, 2020). 숙성 28일차 건식숙성육과 습식숙성육의 미생물 군총에서도 *Firmicute*와 *Proteobacteria*가 우점하였으나, 숙성방법에 따라 미생물 군총을 우점하고 있는 속에서 차이가 났다. 이(2017a)의 연구결과, *Proteobacteria*에서 건식숙성육이 습식숙성육보다 *Pseudomonas*가 많이 검출되었고, *Firmicutes*에서는 습식숙성육이 건식숙성육보다 *Lactobacillus*가 많이 검출되었다. 또한 건식숙성육과 습식숙성육의 곰팡이와 효모 군집을 비교하였을 때, 습식숙성 조건에서는 곰팡이와 효모가 성장하기 어려우며 건식숙성육에서 성장한 곰팡이는 주로 *Mucoraceae*이고, 효모는 주로 *Debaryomyces*이 검출되었다. 건식숙성기간 동안 공기의 흐름은 미생물 군총에 영향을 미치며 이로 인하여 관능적 특성에 영향을 미치고(Lee 등, 2017), 공기 속도의 변화는 건식숙성육의 크러스트의 미생물 군총에 영향을 준다(Lee 등, 2019a). 이처럼 숙성육의 미생물 군총은 숙성방법, 포장, 유통, 온도 등 다양한 요인에 따라 변화한다(안 등, 2020). Lee 등(2018b)은 숙성육 내 젖산균과 곰팡이, 효모의 대사산물이 서로를 상쇄시켜 안정적인 pH를 유지하게 한다고 하였다. Ryu 등(2018)에 의하면 건식숙성 초기에는 *Candida*, *Cladosporium*, *Rhodotorula* 등이 존재했지만 점차 사라지고, *P. camemberti*와 *Deb. hansenii*가 건식숙성기간 동안 증가했다. 또한 건식숙성방법은 식육 내 호기성균에 영향을 미치지 않았지만, 습식숙성방법은 혐기적 환경에서 숙성이 진행되기 때문에 식육 내 젖산균이 많이 검출되었다(Cambell 등, 2001). 건식숙성육의 경우, 효모와 곰팡이가 식육 표면에서 성장하고 *Pseudomonas*와 젖산균 등의 미생물이 숙성육 내에서 성장한다. 대부분의 미생물은 단백질 분해능과 지질 분해능을 가지고 있어 식육 내 지질 산화와 단백질 변패에 영향을 미치며, Akihito 등(2021)은 대부분의 미생물과 효모균이 단백질 분해 활성을 나타냈고 건식숙성육의 연도에 영향을 미치지 않지만, 내생성 단백질 분해효소보다 미치는 영향이 적다고 하였다. 또한 육류의 지질 산화는 자연적으로 발생할 수 있지만 숙성육의 미생물도 지질 산화에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 숙성 중 미생물 변화는 숙성육의 품질과 안전성에 영향을 미쳐 식육의 부패와 품질 변화를 발생시킬 수 있으

며, 미생물 균총은 숙성방법, 공기의 흐름 등에 따라 변화할 수 있고 효모, 곰팡이는 건식숙성육의 품질에 핵심적인 영향을 미칠 수 있다. 하지만 아직 국내에는 건식숙성육에 대한 신선도·부패도 판정 기준과 미생물 안전기준 등의 안전성 관련 요소에 대한 권장하는 안전기준치가 설정되어 있지 않다.

#### 4.1 중온성균

중온성균은 생육 최적온도가 30~45℃, 최저온도가 5~15℃, 최고온도가 약 45℃인 미생물을 말한다. 중온성균은 가장 넓은 범위로 자연계에 분포하고 많은 효모, 세균, 곰팡이류가 중온성균에 속한다. 대부분의 장내세균과 식중독균들은 중온성균에 속하며 *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Campylobacter*, *Salmonella*, *Bacillus cereus*, *Escherichia* 등이 중온성균에 속한다(방 등, 2017). 대표적으로 *Staphylococcus*는 운동성이 없고 그람양성의 구균 형태의 조건적 혐기성인 *Staphylococci*는 약 40종이 알려져 있고, 증식이 느리고 부패 활성이 강하지 않으나 산소가 없는 환경에서도 성장하기에 진공포장된 식품에서도 성장할 수 있다. 대표적으로 *S. epidermidis*는 비병원성으로 피부, 우유, 치즈 등에서 발견되고, 독소형식중독 원인균 중 하나인 *S. aureus*(황색포도상구균)가 있다. *S. aureus*는 식품의약품안전처(2022)에서 식육가공품 중 햄, 소시지류, 식육간편조리 세트에서 검출기준이 설정되어 있다. *Salmonella*는 운동성이 있고 그람음성 간균으로 포자를 형성하지 않는 통성혐기성 세균이며, 국내에서 *Salmonella*에 의한 식중독이 지속적으로 발생하고 있고 *Salmonella*는 식육가공품에서 n=5, c=0, m=0/25g(살균제품에 해당된다)의 검출기준이 설정되어 있다(식품의약품안전처, 2022). *Salmonella*는 자연에 널리 퍼져 존재하고 특히 가축, 야생동물, 가금류 등의 장내에서 발견되며 동물의 배설물을 통해 *Salmonella*는 외부로 전파되어 주변 환경을 오염시켜 직·간접적으로 농산물, 식품 등의 다양한 식자재에 오염된다. 대표적으로 *S. enteritidis*와 *S. typhimurium*은 세균성 식중독의 원인균이고, *S. typhi*는 경구감염병인 장티푸스 원인균이다.

#### 4.1.1 대장균 및 대장균군

대장균군(coliforms)은 사람이나 동물의 장 내에서 주로 존재하는 그람음성균이자 포자를 생성하지 않는 간균으로 유당을 분해하여 산과 가스를 발생시키는 모든 호기성 또는 통성혐기성 세균을 말한다(한국식육과학연구회, 2018). 대장균군에는 대장균을 포함하여 *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobater* 등이 포함되고, 대장균군에서 44.5°C에서 유당을 이용해 가스를 생성하는 세균들을 분변계 대장균이라고 한다. 식품의약품안전처(2022)에서 동물성 가공식품류, 우유류, 식육가공품, 등 병원성 미생물의 오염 가능성이 있는 식품에 대장균군과 대장균에 대한 검출기준이 설정되어 있다. 또한 새싹 채소와 상추 등의 채소류에도 병원성 대장균 오염 가능성이 있다.

#### 4.2 저온성균

저온성균은 생육 최저온도가 -5~5°C, 최적온도 25~30°C와 최고온도 30~35°C에서 성장하며 대표적으로 *Bacillus*, *micrococcus*, *pseudomonas*, *Lactobacillus*, *Listeria*, *Brochotrix* 등이 저온성균에 속한다. 저온성균은 넓은 범위의 생육환경에서 자랄 수 있으며 단백질 분해력과 지질 분해력을 가지고 있어 낮은 온도에서 각종 식품의 부패를 일으킨다(방 등, 2017).

##### 4.2.1 *Pseudomonas*

*Pseudomonas*는 그람음성의 호기성균으로 극모성 편모가 있어 활발한 운동성을 가지며 야채, 어패류, 우유 등에 널리 분포하는 부패균이다. 대기 중에서도 *P. fluorescens*가 우점하고 있으며, 물속에서 서식할 수 있는 수중균이고 냉장 환경에서도 생장이 가능한 균이다. 또한 질소화합물을 이용할 수 있으며, 단백질 분해능이 있어 다량의 암모니아를 생성한다(방 등, 2017). *Pseudomonas*의 균종들

은 방향족 화합물, 당, 유기산을 산화시키고 황록색의 형광색소, 황색색소 등을 생산한다. 대표적으로 *P. fluorescens*는 dimethylamine, trimethylamine 등을 생성하고 *P. fragi*는 ethyl ester를 생산할 수 있다(정 등, 2006).

#### 4.2.3 *Listeria*

*Listeria*는 운동성이 있는 그람양성의 무포자 간균으로 통성혐기성인 세균이다. *Listeria monocytogenes*는 감염형 식중독균으로 인수공통질병을 일으키고 토양, 동물의 장내 등에서 널리 분포하고 있다(정 등, 2006). 비위생적인 환경에서 식육 및 육가공품을 다루면 *L. monocytogenes*에 오염될 수 있으며, 대표적으로 슬라이스 된 제품에서 *L. monocytogenes*가 많이 검출되고 아이스크림, 채소류, 냉동 식품에서도 검출될 수 있다. 2015년도 국내에서 훈제된 가금육에서 *L. monocytogenes*가 높은 빈도로 검출된 사례가 있으며, 국외에서도 대규모 식중독 사례가 발생했다고 보고되었다(한국식육과학연구회, 2018). 식품의약품안전처(2022)에 따르면 햄류, 소시지류, 건조저장육류 등에서 *L. monocytogenes*는  $n=5, c=0, m=0/25g$ (살균제품 또는 그대로 섭취하는 제품에 제한한다)은 검출기준이 정해져 있다.

#### 4.3 효모/곰팡이

저온 보관하는 식육 및 육제품에서 발견되는 효모는 주로 *Debaryomyces*, *Candida*, *Rhodotorula* 등이 있고, 곰팡이는 주로 *Penicillium*, *Cladosporium*, *Rhizopus*, *Mucor* 등이 발견된다. 곰팡이 중 *P. hirsutum*, *Clad. herbarum*, *Clad. cladosporioides*은 식육에 검은 반점을 만들어내고, *P. corylophilum*은 녹색의 균락을 만든다. 효모는 환경온도에 따라 세포 내 지방산 조성을 변화시키는데, 저온성 효모(*Deb. hansenii* 등)들이 저온 환경에서 세포막 손상을 방지하기 위해 더 많은 다가불포화지방산 잔기를 생성한다(정 등, 2006). 신선한 우유의 미생물

중 효모 우점균은 *Candida*의 *C. lipolitica*와 *C. lambica*였고, 변패된 우육의 효모 우점균은 *C. lipolitica*와 *C. zeranoide*였다(정 등, 2006). 28일차 건식숙성육의 효모 균총은 *Debaryomyces*이 우점하였고, 곰팡이 우점균은 *Mucoraceae*였다(이, 2017a; Oh 등, 2019b). 건식숙성육에서 성장하는 미생물의 종류, 분포 특성에 따라 식육의 품질이 달라질 수 있다(이 등, 2017b). 건식숙성육의 크러스트에서 성장하는 곰팡이, 효모 등 미생물의 단백질 분해능, 콜라겐 분해능 등이 숙성육 품질에 영향을 미칠 수 있다(Dashdorj 등, 2016; 이 등, 2017b). 건식숙성육의 주요 미생물 중 하나인 *Deb. hansenii*는 전 세계적으로 GRAS(generally recognizes as safe; 일반적으로 안전하다고 인정받은 물질)로 인정된 미생물이다(Lee 등, 2018a). 이(2017a)는 단백질 분해능과 지질 분해능을 가진 *Deb. hansenii*와 *P. animala*를 이용하여 저등급 우육 건식숙성에 이용하였고, 숙성육의 연도, 감칠맛, 풍미가 향상되었다고 하였다.

#### 4.4 젖산균(Lactic acid bacteria)

젖산균(Lactic acid bacteria)은 그람양성균에 간균이나 구균 형태의 세균으로, 운동성이 없고 포자를 형성하지 않으며 포도당 등을 발효하여 젖산을 생성하는 세균을 말한다. 또한 catalase를 생성하지 않으며 산소가 적은 미호기성 환경에서 성장하는 균이다. 젖산균이 생산하는 대사산물(유기산, 지방산, 과산화수소 등)은 항균 효과를 가지고 있으며, 특히 젖산은 미생물의 세포 안으로 들어가 세포 내 pH를 저하해 미생물 성장을 저하시킨다. 식육에서 발견되는 구형 젖산균으로 *Enterococcus*, *Leuconostoc* 등이 있고, 간상형 젖산균으로 *Carnobacteria*, *Lactobacillus* 등이 있다. 젖산균 중에서 헤테로 발효, 조건적 헤테로 발효를 하는 젖산간균이 진공포장육이나 가공육제품의 미생물 균총의 대부분을 차지한다(정 등, 2006). 젖산균은 부패균으로서 식육이나 육제품의 변색, 이취, 점액, 우육의 산패, 치즈의 부패 등을 일으키며, 미호기성균이기에 포장된 식품에서도 성장하여 식품 부패의 원인이 된다.

#### 4.4.1 *Lactobacillus*

*Lactobacillus*은 건강증진 기능에 관해 많은 연구가 진행되었으며 장내에서 콜레스테롤의 흡수억제, 다른 미생물의 성장 억제, 장내 유해 물질의 생산 억제 등의 여러 가지 기능을 하고 있다(정 등, 2006). *Lactobacillus*은 우유, 육류, 발효 유제품에서 흔히 발견되는 세균이지만 과일, 병조림, 포장육, 치즈 등에서 일부 균종들이 부패균으로 성장하기도 하며, 대표적인 젖산 발효균으로 *L. bulgaricus*는 당류를 발효시켜 요구르트 제조에 이용되고, *L. casei*는 치즈 숙성에 영향을 미친다(방 등, 2017). 그 외에도 곡류, 발효한 야채에서도 흔히 발견되며 습식숙성육과 건식숙성육에서도 우점균으로서 검출된다.

#### 4.4.2 *Carnobacterium*

*Carnobacterium*은 식육과 육제품에서 흔히 발견되는 부패균이며, 최근 어류에게서도 자주 발견된다(방 등, 2017). 0℃에서도 증식할 수 있어 저온에서 보관하는 포장된 식육이나 육제품에서도 부패균으로서 발견된다. 도축장에서 바로 채취한 돈육의 미생물 균총의 우점균은 *Carnobacterium*이지만, 보관 중 오염이나 환경 변화로 *Carnobacterium*의 특정 종이 식육에서 부패의 원인이 된다(손, 2020). Hwang(2020)은 우육 미생물 균총에서 검출된 *Carnobacterium*은 오염균 집단에서의 핵심적인 역할을 하며, *Carnobacterium*을 오염에 대한 생물학적 지표로써 이용한다면 우육의 품질과 안전성을 판단하는 데에 유용할 것이라고 하였다.

## 5. 식품 안전성

식품산업의 성장과 소비량이 증가함에 따라 더욱 신선하고 안전한 좋은 품질의 식품에 대한 소비자들의 관심이 높아졌고(Ji 등, 2018; Kang, 2021), 식품의 안전성에 대한 소비자들의 우려 또한 증가했다. Table. 1에 따르면 원인불명을 제외한 식중독 발생의 주요 원인균으로 노로바이러스, 병원성 대장균, *Salmonella* 등이 확인되었다. 2015년~2019년까지 총 1,731건의 식중독이 발생하였고, 60%가 음식점에서 식중독이 발생하였으며 학교, 집단급식, 가정집 등에서도 발생하였다(Figure 5) 2020년도에는 164건의 식중독이 발생하였고, 2015년도부터 2020년도까지 총 36,905명의 환자가 발생하였다(통계청, 2022). 세계적으로도 최근 몇 년간 *Salmonella*와 *Campylobacter*와 같은 식중독균에 의한 식중독 감염사례가 증가하고 있다. 특히 식육과 육제품은 다양한 종류의 영양소로 구성되어 있으며, 이러한 다양한 영양성분은 부패 미생물과 식품 매개 병원균의 성장과 증식에 유리한 환경을 제공한다(An, 2017). 또한 도축, 발골 및 유통 등의 공정에서 유해한 미생물에 오염될 가능성이 있다(Park 등, 2010).

Table 1. Food poisoning main causative bacteria in '15~'19

(식품의약품안전처, 2021)

식중독 원인균	식중독 발생 현황(건)
노로바이러스	272
병원성 대장균	221
살모넬라	88
캠필로박터	64
장염비브리오	52

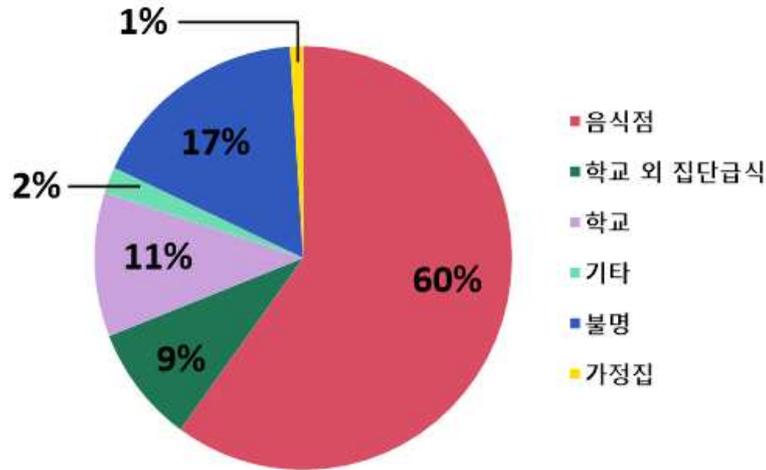


Figure 5. Food Poisoning Outbreaks in '15-'19  
(식품의약품안전처, 2021)

## 5.1 국내 HACCP

식품의약품안전처 산하 공공기관인 한국식품안전관리인증원(HACCP)은 식품·축산물의 안전관리인증 및 지원사업을 체계적으로 수행하는 식품안전관리 전문기관이다(HACCP, 기관소개). HACCP는 Hazard Analysis Critical Control Point의 약자로, HA는 식품 위해요소 분석을 의미하고 CCP는 중점관리점을 의미한다. 위해요소 분석(HA)이란 원료와 공정 단계에서 발생할 수 있는 병원성 미생물, 이물질, 환경오염물질 등의 생물학적, 화학적, 물리적 위해요소를 분석을 의미한다. 중점관리점(CCP)이란 식품의 가공·제조 등 공정에서의 위해요소를 예방·제거 또는 허용 수준으로 최소화할 수 있는 단계 또는 공정을 의미한다. 즉, HACCP은 식품·축산물의 제조·가공·유통·판매 등 모든 과정에서 오염원이 되는 각 과정의 위해요소를 확인하고 평가하여 중점적으로 관리하는 기준이면서 시스템이다(식품위생법 제 48조). 축산물의 위해요소 중에서 생물학적 요소로 *Salmonella*, *Staphylococcus* 등의 병원성 미생물이 있으며 무구조충과 유구조충 등 기생충도 축산물에서 주요 생물학적 위해요소가 된다. 또한 축산물의 화학적 위해요소로

곰팡이독소(아플라톡신), 보존료, 아질산염, 중금속 등이 있으며 물리학적 위해요소는 주삿바늘, 금속조각, 분변 등이 있다.

## 5.2 유통기한 설정 요인

유통기한은 미오글로빈 산화와 관련된 변색(외관)과 미생물 대사에 의해 발생하는 악취를 통해 정의할 수 있다(Mari 등, 2018). 또한 유통기한은 부패할 때까지 소요되는 기간으로 정의할 수도 있지만, 저장기간 동안 내생성 효소에 의한 분해와 단백질과 지질의 분해·산화도 식육의 육색, 풍미 등에 영향을 미쳐 식육의 품질에 영향을 미친다. 유통 중 성장한 미생물의 효소작용으로 식육 내 단백질이 분해되고, 혐기성의 암모니아 및 아민류(dimethylamine 및 trimethylamine 등)가 생성되어 pH가 상승하고 VBN 또한 증가한다(Lee 등, 2018a). 수십 년간, 연구자들은 식육의 신선도를 최대화할 수 있는 필수적인 매개변수에 초점을 맞추고 더 유통기한의 이해도를 높이기 위해 광범위하게 연구해왔다(Mari 등, 2018).

국내에서 유통기한은 제품의 제조일로부터 소비자에게 판매가 허용되는 기한을 말하며, 유통기간은 소비자에게 판매 가능한 최대기간으로 설정실험 등을 통해 산출된 기간으로 정의되어 있다(식품의약품안전처, 2017). 국내에서는 식품의약품안전처 고시에 따라 식품의 신선도·부패도 판정 기준으로 pH, 암모니아 시험, 휘발성 염기 질소(volatile basic nitrogen, VBN) 등을 지정하였고, 식품의 기준과 규격에 따라 신선도·부패도를 판정하는 요인이 달라진다. 식육 및 식육가공품의 유통기한 설정 지표로서 pH 및 VBN 함량, 미생물 등을 이용하고 있다(Table 3.). 포장육의 경우, pH는 6.2 이하, VBN은 20mg% 이하 수준으로 규정되어 있다(식품의약품안전처, 2022). 미생물 권장기준은 식육가공품에 따라 규정되어 있는 미생물이 다르며 포장육의 경우, Table 2와 같이 권장기준이 지정되어 있다. 평균 최소 2주 이상 숙성한 건식숙성육은 VBN 함량이 안전기준치(20mg%)를 초과하였다고 알려져 있다(Jang, 2014). 하지만 Lee 등(2018a)은 VBN 함량이 건식숙성육의 향, 풍미 등 관능적 품질에 영향을 미치지 않았고, 보통 이상의 관능적 품질을 유지할 수 있었다고 하였다. 또한 해당 연구결과를 통해 건식숙성육에

대한 신선도·부패도를 판정하는 유통기한 설정 지표의 재설정이 필요하다고 주장하였다.

Table 2. Recommended standard of aerobic bacteria and *E.coli* in packaged meat  
(식품의약품안전처, 2018)

구분	일반세균 수(CFU/g, cm <sup>2</sup> )			대장균 수(CFU/g, cm <sup>2</sup> )		
	도축장	식육포장 처리장	식육 판매장	도축장	식육포장 처리장	식육 판매장
쇠고기, 양고기	1 × 10 <sup>5</sup> 이하	5 × 10 <sup>6</sup> 이하	5 × 10 <sup>6</sup> 이하	1 × 10 <sup>2</sup> 이하	1 × 10 <sup>3</sup> 이하	1 × 10 <sup>3</sup> 이하
돼지고기	1 × 10 <sup>5</sup> 이하	5 × 10 <sup>6</sup> 이하	5 × 10 <sup>6</sup> 이하	1 × 10 <sup>4</sup> 이하	1 × 10 <sup>4</sup> 이하	1 × 10 <sup>4</sup> 이하
닭고기, 오리고기	1 × 10 <sup>5</sup> 이하	5 × 10 <sup>6</sup> 이하	5 × 10 <sup>6</sup> 이하	1 × 10 <sup>3</sup> 이하	1 × 10 <sup>4</sup> 이하	1 × 10 <sup>4</sup> 이하

열, 산소, 불포화지방산 함량 등 다양한 산화 촉진 요소에 따라서 지질 산화 정도는 달라질 수 있으나, 식육 내 지질 산화가 일정 수준 이상으로 진행된다면 식육이 산패되고 이취가 발생하며 관능적 품질에 영향을 미친다(Lee 등, 2018a). 현재, 냉동식품이나 식육함유가공품일 경우에만 유통기간 설정 지표로서 지방 산패도의 측정이 권장되어 있다(식품의약품안전처, 2017). 식품의약품안전처 고시에 포장육에 대한 신선도·부패도 판정 기준이 지정되어 있지 않지만, 지질 산패도는 유통 중 식육의 품질을 평가할 수 있는 중요한 지표가 될 수 있다(Ladikos 등, 1990; Lee 등, 2018b). 지질 산패도는 2차 지방 산화물인 malonaldehyde(MA, MDA) 함량을 측정하여 TBARS값으로 나타낼 수 있다. 지질 산화로 인해 식육의 변색, 영양소 손실, 식육의 지방산 조성 변화 등이 일어나고, 불포화지방산이 산화되었을 때 발생한 지질 산화물은 잠재적인 독성을 가진다. 그러므로 지질산패도는 유통기한 설정 요소로 고려되어야 한다(Ladikos 등, 1990; Gray 등, 1996;

Lee 등, 2018a). 미생물의 생장으로 인한 식육의 부패는 이취와 이미 등을 발생 시키고 식육의 품질을 저하시킨다. 건식숙성육은 포장없이 장기간 숙성되므로 미생물이 오염되기 쉽고 곰팡이와 효모가 성장하기 쉽다(Lee 등, 2017). 건식숙성육과 습식숙성육의 경우, 저온 상태에서 숙성되어 저온성균들이 성장할 수 있고, 건식숙성육의 저장 안전성은 건조 및 숙성 과정과 환경에 따라 상당한 차이가 난다. 국내 숙성육 생산업체들은 숙성방법, 숙성기간 등에 대해 정해진 방법이 있는 것이 아니기 때문에 각 업체에 맞는 숙성방법을 사용하고 있다(안 등, 2020).

Table 3. Experimental indicators for setting shelf life by food type  
(식품의약품안전처, 2017)

식품 종류		설정실험 지표		
식품군	식품종 또는 유형	이화학적	미생물학적	관능적
식육가공품 및 포장육	햄류 소시지류 베이컨류 건조저장육류 양념육류 포장육	휘발성염기질소 pH	세균수 대장균군 대장균(포장육 에 한함)	성상
	식육추출가공품	휘발성염기질소 pH	세균수 대장균군 대장균	성상
	식육함유가공품	TBA가 휘발성염기질소	세균수 대장균군	성상

많은 연구자가 건식숙성육에 대한 미생물 안전성에 대한 특성을 연구하였으며, 숙성 중 미생물 수의 증가는 숙성육의 품질 저하와 부패에 관련이 있음을 밝혀 냈다. 하지만 건식숙성육은 습식숙성육과 신선육에 비해 저장 안전성에 대한 과

학적인 정보가 없고(Lee 등, 2018b), 식품의약품안전처의 식육 중 미생물 검사에 관한 규정에 따르면 미생물 검사항목은 일반세균과 대장균 수만 지정된 상황이다(Table 2.). 안 등(2020)은 습식숙성육과 건식숙성육의 냉장 보관 유통기간 설정 지표로 중온성균과 저온성균을 분석하여 보관 단계별 미생물학적 변화를 연구하였다. 이(2017a)는 신선육, 건식숙성육, 습식숙성육의 미생물 균총을 분석한 결과, 저온성균인 *Pseudomonas*과 *Lactobacillus*이 우점균으로 검출되었다고 보고하였다. 또한 Ha 등(2019)은 지질 산화로 인해 장기간 건식숙성이 진행될수록 식육의 풍미에 영향을 미칠 것이라 하였고, Lee 등(2018a)은 지질 산화가 이취 발생과 관능적 품질에 영향을 미치므로 유통기한 설정 요소로 고려되어야 한다고 하였다. 즉, 숙성육에 대한 신선도·부패도 판정 기준을 일반세균과 대장균뿐만 아니라 젖산균, 효모, 곰팡이에 대한 지표설정, 지질 산패도에 대한 지표설정과 추가적인 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 숙성육의 안전한 유통을 위해 위생 안전성의 기초자료를 제공하고 숙성육 생산에 대한 안전성을 확보하기 위해 연구를 수행하였다.

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 공시 재료

##### 1.1 돈육

숙성에 이용된 돈육은 삼원교잡종(LYD)으로, 제주도 내 위치한 축산물 전문 판매점에서 도축 후 24시간이 지난 돈육의 미박 등심을 구매하였고 절단하지 않은 상태로 숙성하였으며 돈육을 구매한 당일을 숙성 0일 차로 설정하여 실험을 진행하였다.

##### 1.2 우육

숙성에 이용된 우육은 제주도 내 위치한 축산물 전문 판매점에서 구매하였으며, 거세 2등급의 한우와 육우를 사용하였고 총 6마리의 채끝 전체 부위를 6등분하여 이용하였다. 이력번호를 확인하여 도축 일자를 숙성 0일 차로 설정하여 실험을 진행하였다.

##### 1.3 항아리

숙성용 항아리(Figure 6)는 제주특별자치도 제주시 한경면에 있는 제주 전통 옹기 제작 업체에서 제작하였으며, 같은 가마에서 제작된 일반 항아리(Normal Pot)와 화산 송이 첨가 항아리(Scoria Pot)를 이용하였다. 화산 송이 첨가 항아리는 옹기 내·외부 표면에 화산 송이 분말과 물을 7:3 비율로 희석한 반죽물을 도포하여 제작하였다.



Figure 6. The exterior of pot.

## 2. 숙성방식 및 시료 처리

### 2.1 돈육 항아리 숙성

Table 4와 같이 돈육 항아리 숙성은 2가지 항아리를 이용하여 숙성하였으며, 숙성 10일 간격으로 안전성 검사를 진행하였다.

Table 4. Setting condition for pork aging

	화산 송이 첨가 항아리 (Scoria Pot)	일반 항아리 (Normal Pot)
숙성 조건	2~4℃의 송풍식 냉장고(습도: 65~85%)	
숙성 기간	10일, 20일, 30일	
포장 방법	비포장	

### 2.1.1 돈육 향아리 숙성 후 저장실험

Table 4와 같이 숙성된 돈육을 일정한 크기로 썰어서 진공포장과 랩포장을 하여 저장실험을 진행하였다(Table 5). 숙성된 돈육을 15일 기간 동안 5일 차 간격으로 저장하여 안전성 검사를 진행하였다. 진공포장은 Nylon/PE 재질의 포장재를 이용하였으며, 랩포장은 가정용 랩을 이용하여 포장하였다(Figure 7).

Table 5. Packaging method for the storage after pork aging

	화산 송이 첨가 향아리 (Scoria Pot)	일반 향아리 (Normal Pot)
포장 후 저장 조건	4℃ 이하의 업소용 냉장고(냉장 보관)	
포장 기간	5일, 10일, 15일	
포장 방법	진공포장, 랩포장	

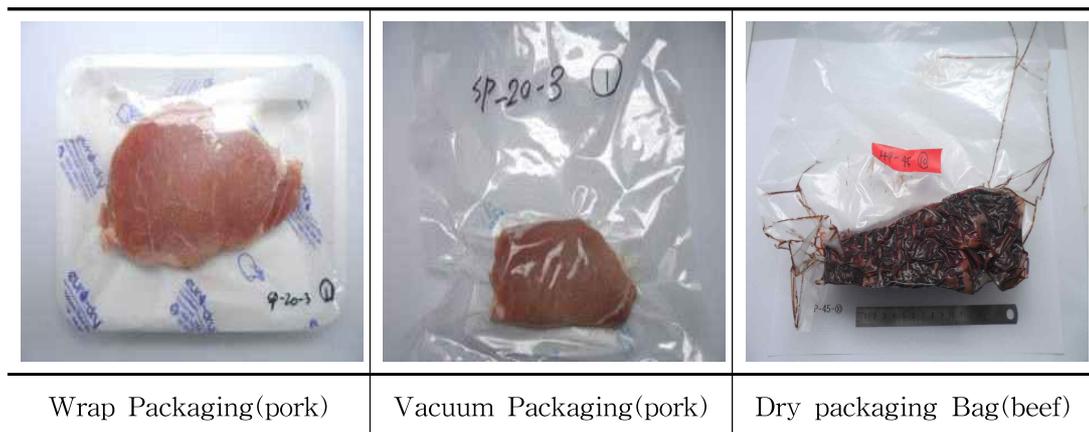


Figure 7. Packed pork after aging and dry packaging beef

## 2.2 우육 건식숙성, 건식포장숙성, 습식숙성

Table 6과 같이 우육 숙성은 3가지 숙성방식을 이용하였으며, 숙성 15일 간격으로 안전성 검사를 진행하였다. 우육 숙성의 경우, 숙성 후 저장실험은 진행하지 않았다. 건식포장숙성에 이용한 숙성 전용 packaging bag(Umai Dry Co., USA)은 PE 재질의 포장재로 38℃, 상대습도 50% 상태에서 수분 투과도는 8000g/15μ/m<sup>2</sup>/24h, 산소 투과도는 2.3mL/m<sup>2</sup>/d이다. 숙성 전용 packaging bag은 striploin나 boneless ribeye를 포장할 수 있는 크기인 30cm×60cm 길이로 구매하여 이용하였다. 진공포장은 Nylon 재질의 포장재(산소 투과도 0.03g/m<sup>2</sup>/24h, 이산화탄소 투과도 0.1g/m<sup>2</sup>/24h)를 이용하였다.

Table 6. Setting condition for beef aging

	건식숙성	건식포장숙성	습식숙성
숙성 조건	2~4℃의 숙성고(습도: 85~90%)		4℃ 이하의 업소용 냉장고(냉장 보관)
숙성 기간	15일, 30일, 45일, 60일		
포장 방법	비포장	숙성 전용 packaging bag	진공포장

## 3. pH와 육색

pH는 potable pH meter(206-pH2, Testo, Germany)를 이용하여 식육에 직접 삽입하여 측정하였다. 육색은 시료의 절단면을 30분 동안 공기 중에 노출시킨 후 Minolta chromameter(Model CR-300, Minolta Camera Co., Japan)를 사용하여 명도(Lightness, L\*), 적색도(Redness, a\*), 황색도(Yellowness, b\*) 값을 5번 반복하여 측정하였다. 이때 표준화 작업은 Y=91.7, x=0.3138, y=0.3200인 표준색판을 사용하였다.

## 4. 보수력 측정

### 4.1 숙성감량(Aging loss) 측정

숙성 이전 무게(숙성 0일 차 무게)를 측정한 후, 우육은 15일 간격으로 60일까지 숙성 이후 무게를 측정하여 백분율로 계산하였다.

$$\text{숙성감량(\%)} = \frac{\text{숙성 전 시료 무게(g)} - \text{숙성 완료 후 무게(g)}}{\text{최초의 시료 무게(g)}} \times 100$$

### 4.2 가열감량(Cooking loss) 측정

숙성이 완료된 식육을 일정한 크기(2cm X 4cm X 6cm)로 잘라내어 무게를 측정한 후 polyethylene bag로 공기가 없도록 밀착하여 썬 후 85℃로 가열해 놓은 water bath(KMC-1205W1, Vision Co., USA)에 넣어 심부 온도가 75℃가 될 때까지 가열하였다. 심부 온도가 75℃에 도달하면 꺼내어 찬물로 20분간 식힌 다음, polyethylene bag에서 꺼내어 표면의 수분을 제거한 후 무게를 측정하여 백분율로 계산하였다.

$$\text{Cooking loss(\%)} = \frac{\text{가열 전 무게(g)} - \text{가열 후 무게(g)}}{\text{가열 전 무게(g)}} \times 100$$

## 5. 물성 측정

### 5.1 전단력(Shear force)

우육을 3cm 두께로 절단하여 polyethylene bag를 이용해 밀봉한 후 항온수조(85℃)에 넣어 심부 온도가 80℃에 도달할 때까지 가열하고 찬물에서 20분간 냉각한 시료를 근섬유 방향에 맞추어 1cm 두께로 절단하였고, 물성 측정기(Texture Analyzer CT3, U.S.A)를 이용하여 측정하였다.

Table 7. Shear force Instron conditions

Items	Conditions
Target Value	20.0mm
Trigger load	10g
Test Speed	1.00mm/s
Cycle Count	1
Probe	TA52
Fixture	TASBA

## 5.2 조직감(Texture profile analyzer)

우유를 3cm 두께로 절단하여 polyethylene bag를 이용해 밀봉한 후 항온수조(85℃)에 넣어 심부 온도가 75℃에 도달할 때까지 가열하고 찬물에서 20분간 냉각한 후, 우유를 일정한 크기(1.5cm X 1.5cm X 1.5cm)로 절단하였고, 시료는 물성 측정기(Texture Analyzer CT3, U.S.A)를 이용하여 측정하였다.

Table 8. Texture profile analysis conditions

Items	Conditions
Pre Test Speed	2.00mm/s
Post Test Speed	4.50mm/s
Target Value	75.0%
Trigger load	10.00g
Test Speed	1.00mm/s
Cycle Count	2
Probe	TA-SBA
Fixture	TA-BT kit

## 6. 수분활성도(water activity, $a_w$ )

수분활성도는 시료를 1cm<sup>3</sup> 정도의 정육면체로 썬 시료 2~3조각을 공기 중 노출 없이 수분활성도 측정기(WA-160A, Amittari, China)를 이용하여 3회 측정 후 평균값으로 나타냈다.

## 7. Volatile Basic Nitrogen(VBN)

Miwa 등(1973)의 방법을 변형하여 세절육 10g에 증류수 90mL를 가하여 균질한 후, centrifuge(Combi-514R, Hanil Science Co)를 이용하여 균질액을 4℃에서 3,500rpm으로 10분간 원심분리하였으며 Whatman No.1으로 다시 여과하였다. 여과액 1mL를 conway unit 외실에 넣고 내실에는 1% 붕산 혼합지시액을 1mL 넣은 후 외실에 탄산칼륨 포화용액을 1mL 넣고 Conway cell 뚜껑을 닫는다. 탄산칼륨 포화용액과 여과액이 잘 섞이게 한 후, 37℃에서 80분간 적응시킨다. 적응 후, 0.02N 황산 용액을 이용해 붕산혼합지시액이 미홍색으로 변할 때까지 적정한다. 계산식에서 0.28014는 0.02N 황산 용액 1mL에 상당하는 휘발성 염기 질소량(mg), a는 공실험 적정값 mL, b는 2회 샘플실험 적정 평균값 mL, W는 시료 무게(g), d는 회석배수, f는 0.02N 황산 용액의 역가를 의미한다.

$$\text{VBN(mg\%)} = 0.28014 * f * (b - a) * d * 100 / W$$

## 8. Thiobarbituric Acid Reactive Substance(TBARS)

지방산 산패도(TBARS) 측정은 Salih 등(1987)의 방법을 변형하여 측정하였다. 세절한 시료 2g을 4% perchloric acid와 18mL와 혼합하였다. 혼합용액에 butylated hydroxyanisole(BHA)을 98% ethanol에 3.75mg/ml로 녹인 용액 0.2 mL를 첨가하여 homogenizer를 이용해 균질(5,000rpm, 1min)하였다. 균질 후, 원심분리기(Combi-514R, Hanil Science Co)를 이용하여 균질액을 4℃에서 3,500rpm으로 10분간 원심분리하였으며 Whatman No.1으로 다시 여과하였다. 여과액 2 mL과 20 mM thiobarbituric acid 2mL를 혼합하여 상온 암실에서 16~17시간 동안 배양하여 분광광도계(Optizen™ POP, KLAB Co)를 이용하여 흡광도 531nm에서 측정하였다. 결과는 mg malonadehyde /kg로 환산하여 나타내었다.

$$\text{TBARS(mg malonadehyde /kg)} = \text{흡광도 값} / 20 * 0.072 * 9.85 * 500$$

## 9. 토리미터(Torry meter)

토리미터(Fish Freshness Meter(Torry meter), Distell, Scotland)는 어류의 신선도 측정기기로 이용됐으며, 세포의 임피던스 변화에 의한 전류 차이를 측정할 수 있으며, 오랫동안 저장하거나 동결되어 세포가 파괴되었을 때 1에 가까운 값을 나타내며 신선할수록 큰 값을 나타낸다. 토리미터를 이용하여 우육의 신선도를 측정하고자 하였으며, 우육의 내부와 외부를 측정하였고 블루밍 후의 우육의 내부도 측정하였다.

## 10. 미생물 분석

우육이나 돈육에서 시료 25g을 채취하고 0.85% 멸균생리식염수 225mL에 혼합하여 Stomacher(LS-700A, BNF Korea Co, Korea)를 이용하여 균질하였다. 균질액은 3M Petrifilm count plates(3M-UK, Bracknell, Berkshire, UK)에 접종한 후 배양하여 집락수를 산정하였으며 시험 방법 및 배양시간은 제조사의 시험 방법을 따라 진행하였다. 일반세균은 3M Petrifilm AC plates, 젖산균은 3M Petrifilm LAB plates, 대장균은 3M Petrifilm EC Plates, 효모와 곰팡이는 3M Petrifilm YM plates, *Pseudomonas*는 Pseudomonas Isolation Agar(Sigma-Aldrich, USA)를 이용하였다. 10진법으로 단계 희석한 시험용액 1mL를 각 3개의 펠트리 필름에 접종하였고, 일반세균과 대장균은 36°C에서 48시간, 젖산균과 효모 및 곰팡이는 25°C에서 72시간 동안 배양하여 집락수를 산정하였다. *Pseudomonas*는 35°C에서 24~48시간 동안 배양하여 집락수를 산정하였다.

## 11. 통계 분석

본 연구결과의 통계는 SAS(Statistics Analysis System, USA) program(2001)을 이용하여 처리하였고 숙성방법과 숙성기간을 요인으로 분산분석을 실시하였다. 또한 Duncan(1955)의 다중검정으로 요인 간의 유의성( $p < 0.05$ )을 비교 분석하였다.

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 우육 숙성 중 외관의 변화

#### 1.1 육색(Meat Color)의 변화

소비자들은 육질을 판단할 때 외관, 풍미, 부드러움을 기준으로 판단하며, 외관 항목 중 육색은 소비자가 구입을 결정 요인이 되어 경제적 측면과 육질 측면에 있어 중요한 요소이다(Jin, 2007). 농촌진흥청(2019)은 숙성을 거친 우육은 밝은 적색을 나타내며 광택이 좋고 탄력이 좋아진다고 하였다. Table 9는 숙성육의 숙성기간에 따른 색상 변화를 나타낸 표이며 육색은 명도(L\*, Lightness), 적색도(a\*, Redness), 황색도(b\*, Yellowness)를 측정하여 나타냈다. 숙성육 절단면(내부)의 명도는 건식숙성과 건식포장숙성에서 숙성기간이 길어질수록 유의하게 낮아졌으며, 습식숙성은 숙성기간에 따른 변화가 없었다(Figure 8, 9). 숙성육 절단면(내부)의 명도는 숙성 45일 차부터 숙성방법 간에 유의적인 차이가 나타났으며 ( $p<0.001$ ), 숙성 60일 차에 건식숙성이 가장 낮은 값(32.21)을 나타냈다. 숙성육 표면(외부)의 명도는 습식숙성의 경우 숙성육 절단면(내부)과 명도 값에 큰 차이는 없었지만, 숙성기간에 따른 변화가 나타났다( $p<0.001$ ). 건식숙성과 건식포장숙성의 표면(외부) 명도는 절단면(내부) 명도보다 낮은 값을 나타냈고, 육안으로도 표면(외부)과 절단면의 육색 차이를 구분할 수 있었다(Figure 9, 10). 숙성육 표면(외부)의 명도는 숙성 15일 차부터 숙성방법 간에 유의적인 차이가 나타났으며 ( $p<0.001$ ), 숙성 60일 차에 건식포장숙성이 가장 낮은 값(22.40)을 나타냈다. 절단면(내부)과 표면(외부)의 적색도는 건식숙성과 건식포장숙성에서는 숙성기간에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였다( $p<0.001$ ). 습식숙성의 경우, 절단면(내부) 적색도는 숙성기간에 따른 변화가 없었으며 숙성육 표면(외부) 적색도는 점차 증가하는 경향을 보였다( $p<0.001$ ). 숙성육 표면(외부) 황색도는 절단면(내부) 황색도보다 낮은 값을 나타냈으며, 습식숙성에서는 숙성기간에 따른 유의적인 변화가 없었고, 건식숙성과 건식포장숙성의 황색도는 숙성기간에 따라 잠시 증가하지만 유의적으로 감소하는 경향을 보였다( $p<0.001$ ).

Table 9. Changes of meat color according to aging method and time

	Aging Time (day)	Aging Method						P-value	
		Wet Aging		Dry Aging		Dry Packaging			
L*	inside	0	37.13	±2.45	36.01 <sup>A</sup>	±2.77	36.06 <sup>A</sup>	±2.66	NS
		15	38.97	±4.53	36.59 <sup>A</sup>	±2.19	37.98 <sup>A</sup>	±2.95	NS
		30	38.53	±3.26	36.90 <sup>A</sup>	±6.56	36.91 <sup>A</sup>	±2.68	NS
		45	38.94 <sup>a</sup>	±4.49	34.75 <sup>Ab</sup>	±3.04	33.56 <sup>Bb</sup>	±2.04	***
		60	37.01 <sup>a</sup>	±3.44	32.21 <sup>Bb</sup>	±2.53	36.50 <sup>Aa</sup>	±4.31	***
	P-value	NS		***		***			
	outside	0	35.26 <sup>C</sup>	±2.73	35.85 <sup>A</sup>	±3.46	35.93 <sup>A</sup>	±3.12	NS
		15	37.90 <sup>Ba</sup>	±3.70	26.00 <sup>Bb</sup>	±1.93	30.43 <sup>Bc</sup>	±3.71	***
		30	37.87 <sup>Ba</sup>	±3.08	26.82 <sup>Bb</sup>	±2.28	25.77 <sup>Cb</sup>	±2.88	***
		45	37.94 <sup>Ba</sup>	±1.53	25.99 <sup>Bb</sup>	±4.06	23.49 <sup>Dc</sup>	±3.48	***
		60	41.90 <sup>Aa</sup>	±4.97	26.53 <sup>Bb</sup>	±3.80	22.40 <sup>Dc</sup>	±2.92	***
P-value	***		***		***				
a*	inside	0	22.86 <sup>a</sup>	±2.27	20.54 <sup>Bb</sup>	±2.72	18.84 <sup>Bc</sup>	±2.47	***
		15	23.40 <sup>a</sup>	±1.30	22.71 <sup>Aa</sup>	±2.27	21.35 <sup>Ab</sup>	±1.96	**
		30	23.91 <sup>a</sup>	±2.29	20.74 <sup>Bb</sup>	±2.27	20.90 <sup>Ab</sup>	±2.34	***
		45	23.41 <sup>a</sup>	±1.68	18.97 <sup>Cb</sup>	±1.18	17.83 <sup>Bc</sup>	±1.56	***
		60	23.03 <sup>a</sup>	±2.02	16.11 <sup>Db</sup>	±2.60	16.43 <sup>Cb</sup>	±2.70	***
	P-value	NS		***		***			
	outside	0	18.80 <sup>Cab</sup>	±1.74	19.48 <sup>Aa</sup>	±2.17	17.53 <sup>Ab</sup>	±2.35	*
		15	19.97 <sup>Ba</sup>	±1.82	13.92 <sup>Bb</sup>	±2.86	15.68 <sup>Ab</sup>	±4.72	***
		30	19.74 <sup>BCa</sup>	±1.53	7.27 <sup>Cb</sup>	±3.09	8.18 <sup>Bb</sup>	±2.25	***
		45	20.55 <sup>Ba</sup>	±1.47	5.63 <sup>CDc</sup>	±2.67	8.15 <sup>Bb</sup>	±2.47	***
		60	21.61 <sup>Aa</sup>	±1.50	5.48 <sup>Db</sup>	±2.61	4.86 <sup>Cb</sup>	±2.41	***
P-value	***		***		***				

b*	inside	0	11.19 <sup>a</sup>	±1.51	9.99 <sup>Bb</sup>	±1.74	9.38 <sup>Bb</sup>	±1.09	***
		15	13.41 <sup>a</sup>	±5.94	11.18 <sup>Aab</sup>	±1.31	10.25 <sup>Ab</sup>	±1.26	*
		30	11.99 <sup>a</sup>	±1.57	10.20 <sup>Bb</sup>	±1.46	10.06 <sup>ABb</sup>	±1.58	***
		45	11.91 <sup>a</sup>	±1.36	8.89 <sup>Cb</sup>	±1.10	7.99 <sup>Cc</sup>	±0.81	***
		60	11.73 <sup>a</sup>	±1.68	7.38 <sup>Db</sup>	±1.42	7.09 <sup>Cb</sup>	±1.11	***
	<i>P</i> -value	NS		***		***			
	outside	0	7.08	±1.50	7.32 <sup>A</sup>	±2.19	6.26 <sup>B</sup>	±1.54	NS
		15	7.73 <sup>a</sup>	±1.36	5.67 <sup>Bb</sup>	±1.77	7.71 <sup>Aa</sup>	±2.56	**
		30	7.06 <sup>a</sup>	±0.99	3.39 <sup>Cb</sup>	±1.46	3.52 <sup>Cb</sup>	±1.73	***
		45	7.19 <sup>a</sup>	±0.94	3.52 <sup>Cb</sup>	±1.74	3.34 <sup>CDb</sup>	±1.33	***
60		7.71 <sup>a</sup>	±1.79	3.00 <sup>Cb</sup>	±1.43	2.29 <sup>Db</sup>	±1.05	***	
<i>P</i> -value	NS		***		***				

L\*(Lightness), a\*(Redness), b\*(Yellowness)

Result presented Means ± SD.

<sup>a-b</sup> Means with different superscripts in the same row significantly differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-D</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

NS, Not significant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

Figure 8. Color of 0day aged beef

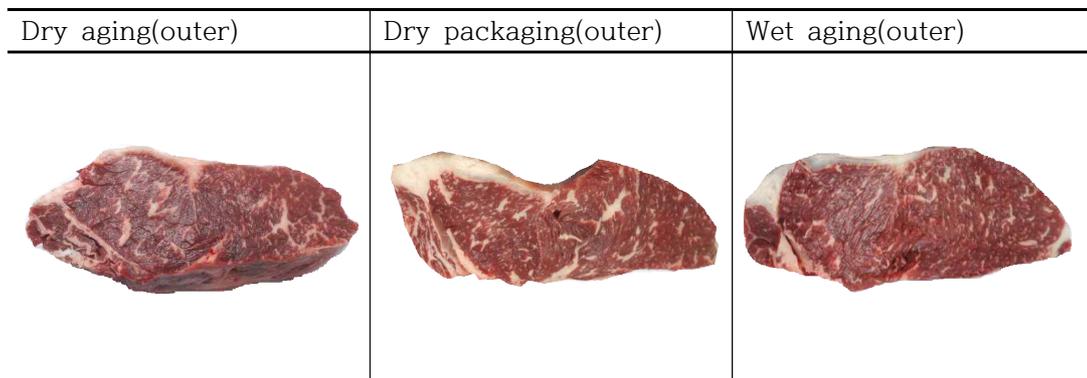


Figure 9. Color changes of aged beef(inside)

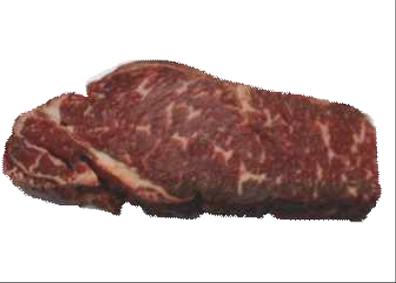
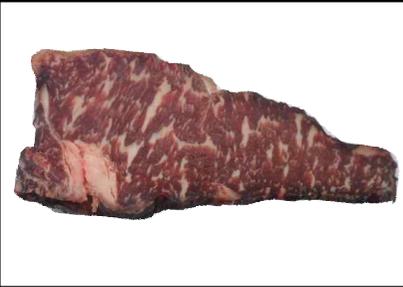
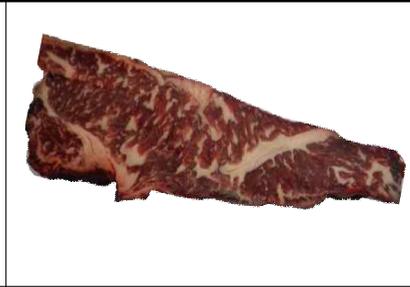
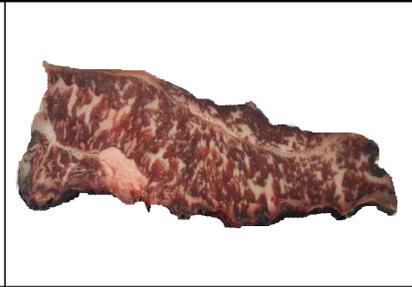
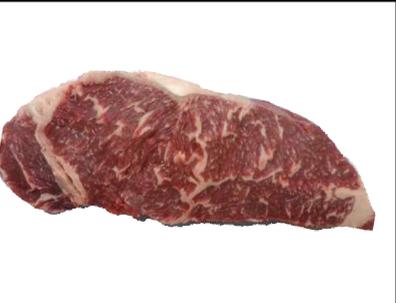
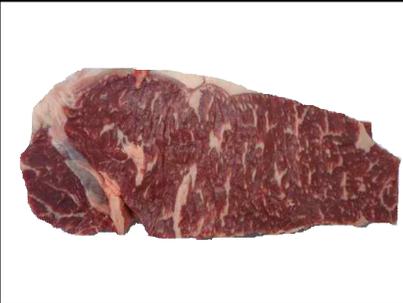
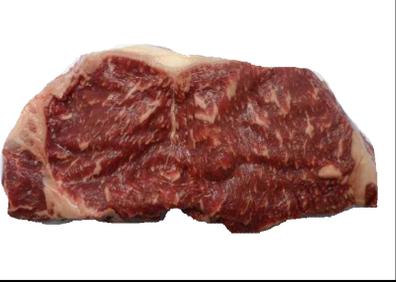
	Aging Time(day)			
	15	30	45	60
Dry aging				
Dry packa ging				
Wet aging				

Figure 10. Color changes of aged beef(outside)

	Aging Time(day)			
	15	30	45	60
Dry aging				
Dry packing				
Wet aging				

## 1.2 숙성감량(Aging loss)과 크러스트 두께(Crust thickness)

건식숙성은 표면 건조에 따른 크러스트 발생과 미생물 증식이 진행되며 약 30~40%의 숙성감량이 발생한다(Dashdorj 등, 2016). 건식숙성육과 건식포장숙성육의 크러스트는 공기와 접촉하여 블루밍 이후에도 색이 변하지 않은 부분을 포함하여 건조된 부분을 측정하였으며(Figure 11), 숙성 이전과 숙성 이후의 무게를 측정하여 숙성감량을 측정하였다. 크러스트 두께는 숙성기간에 따라 감소하다 증가하는 경향을 보였고, 건식숙성이 건식포장숙성보다 유의적으로 더 큰 값을 가졌으며( $p < 0.05$ ) 숙성 60일 차에는 건식숙성과 건식포장숙성 간의 유의차가 없었다. 숙성감량은 숙성방법에 상관없이 숙성기간에 따라 점차 증가하며( $p < 0.01$ ), 모든 숙성기간에서 숙성방법 간의 높은 유의차가 보였다( $p < 0.001$ ). 또한 건식숙성이 모든 숙성기간 동안 가장 큰 값을 나타냈다. Lepper-Blilie 등(2016)에서 숙성 42일 차 건식숙성육(boneless)의 숙성감량은 35.05%, 숙성 42일 차 습식숙성육(boneless)의 숙성감량은 13.50%로 측정되었으며, 본 연구결과의 숙성 45일 차 건식숙성육(35.55%)과 비슷한 결과를 보였으나 숙성 45일 차 습식숙성육(3.35%)은 Lepper-Blilie 등(2016)의 연구결과보다 낮은 결과를 보였다.

Figure 11. Crust of aged beef cuts after blooming

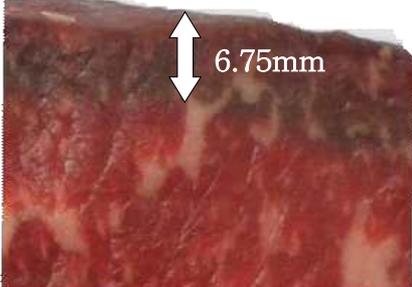
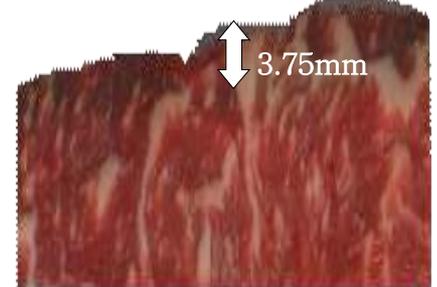
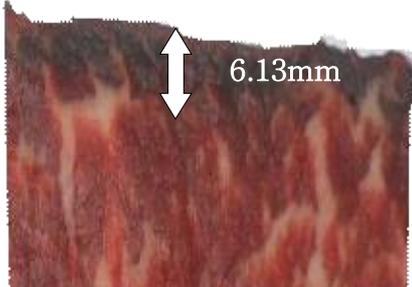
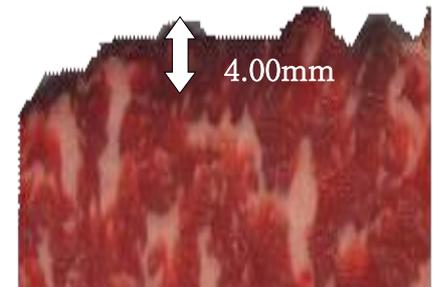
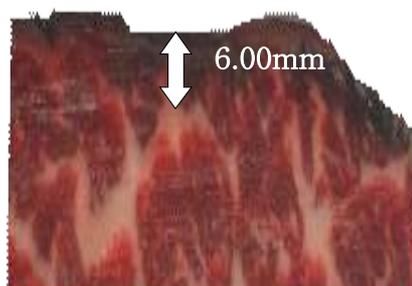
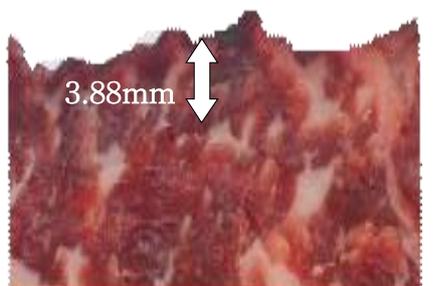
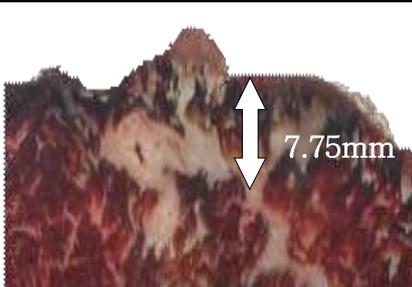
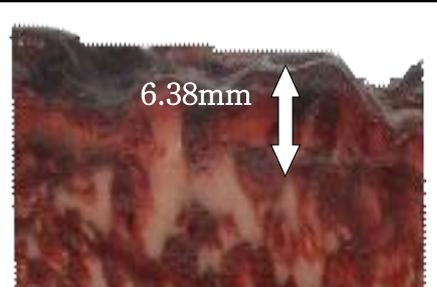
Aging Time (day)	Dry aging	Dry packaging
15		
30		
45		
60		

Table 10. Changes of crust thickness and aging loss(%) according to aging method and time

Aging Time (day)	Crust Thickness(mm)				Aging Loss(%)			
	Dry Aging	Dry Packaging	<i>P</i> -value		Wet Aging	Dry Aging	Dry Packaging	<i>P</i> -value
15	6.75 <sup>ABa</sup> ±1.28	3.75 <sup>Bb</sup> ±0.89	***		1.98 <sup>Bb</sup> ±0.44	16.95 <sup>Da</sup> ±1.85	15.06 <sup>Da</sup> ±1.15	***
30	6.13 <sup>Ba</sup> ±0.83	4.00 <sup>Bb</sup> ±1.85	*		2.33 <sup>Bc</sup> ±0.63	29.49 <sup>Ca</sup> ±3.03	24.57 <sup>Cb</sup> ±0.71	***
45	6.00 <sup>Ba</sup> ±0.76	3.88 <sup>Bb</sup> ±1.55	**		3.35 <sup>Ac</sup> ±0.55	35.55 <sup>Ba</sup> ±1.79	31.79 <sup>Bb</sup> ±1.23	***
60	7.75 <sup>A</sup> ±1.04	6.38 <sup>A</sup> ±2.33	NS		3.39 <sup>Ac</sup> ±0.62	43.66 <sup>Aa</sup> ±2.59	39.82 <sup>Ab</sup> ±0.25	***
<i>P</i> -value	**	*			**	***	***	

Result presented Means ± SD.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same row significantly differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-D</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

NS, Not significant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

## 2. 우육 숙성 중 가열감량(Cooking loss)과 물성의 변화

숙성육의 보수력을 측정하기 위해 가열감량(Cooking loss)을 측정하였으며, 가열감량의 결과는 Table 11에 나타냈다. 실험 결과 숙성 0일 차 가열감량은 Lim 등(2014)의 한우(거세, 2등급)의 가열감량(17.04%) 측정 결과와 비슷한 값을 보였다. 가열감량은 0일 차 이외의 숙성기간에서 숙성방법 간의 유의차가 나타났고, 습식숙성이 모든 숙성기간에서 가장 큰 값을 보였다. 습식숙성은 숙성기간에 따라 유의미한 변화가 없었으나 건식숙성과 건식포장숙성은 숙성기간이 길어질수록 점차 감소하였으며 비슷한 값을 나타냈다( $p < 0.01$ ). Kim 등(2020)의 연구결과에서 30일간 건식숙성한 한우(1등급)는 10.62%, 7일간 습식숙성한 한우(1등급)는 33.28%로 본 연구결과보다 큰 값이 나타났다.

전단력(Shear force)에서 모든 숙성방법이 숙성기간에 따라 유의적으로 감소하였으나( $p < 0.001$ ), 건식숙성과 건식포장숙성은 감소하다 증가하는 경향이 반복되었으나 숙성 0일 차보다 낮은 값의 전단력을 보였다( $p < 0.001$ ). 본 연구결과와 같이 축산물품질평가원 등(2016)의 연구결과, 건식숙성의 전단력이 이와 같은 경향을 보였다. 습식숙성에서 숙성 60일 차에 가장 낮은 값(3095.24)을 보였으나, 숙성 0일 차와 숙성 60일 차를 비교하였을 때 건식포장숙성에서 가장 많이 전단력이 감소한 것을 확인할 수 있었다. Voges 등(2007)은 미국에서 우육의 연도 조사를 시행하였고 연도에 대한 기준을 제시하였고, Kim 등(2008)은 위 기준을 기초로 하여 한우육 부위별 전단력가 분포를 분석하였다. 이들은 연합(3.2-3.9kg), 보통(3.9-4.6kg), 질감(4.6kg 이상)으로 전단력가를 분류하였고, Kim 등(2008)은 국내 시판 한우육 중 높은 비율이 4.6kg 이상의 전단력가를 보였다고 하였다. 또한 이 등(2017b)은 건식숙성 및 습식숙성 모두 연도를 효과적으로 향상시킬 수 있으며 두 숙성방법의 차이가 뚜렷하지 않은 숙성 초기에 식육 내 효소 활성화에 의한 연도증진이 일어나기에 두 숙성방법 간 연도의 차이가 크지 않았다고 하였다. 따라서 숙성방법과 관계없이 숙성을 통한 식육의 연도 향상을 기대할 수 있다.

조직감(texture profile analysis)은 경도(Hardness), 부착성(Adhesiveness), 회복성(Resilience), 응집성(Cohesiveness), 탄력성(Springiness), 겹성(Gumminess), 씹힘성(Chewiness)으로 총 7가지 항목으로 분류하여 측정하였고, 조직감은 식육의

구조, 보수성, 강직 상태 등에 의해 결정되어 객관적인 평가가 어려우며, 소비자들의 감각을 통해 종합적인 감각적 평가로 결정된다(한국식육과학연구회, 2018). 본 연구결과 탄력성, 응집성, 회복성은 모든 숙성기간과 숙성방법에 대한 유의한 차이가 없었다. 경도는 대부분 숙성기간별 숙성방법 간의 유의적인 차이가 없었으나, 모든 숙성방법이 숙성기간에 따라 점차 유의적으로 감소하였다( $p < 0.01$ ). 경도에서 숙성 0일 차에서 숙성 60일 차까지의 차이를 비교했을 때 습식숙성은 943.03g, 건식숙성은 463.32g, 건식포장숙성은 636.20g으로 습식숙성에서 경도가 가장 많이 감소하였고, 숙성 60일 차에서 건식포장숙성이 가장 낮은 값(1881.25g)을 보였으나 다른 숙성방법과의 유의차는 없었다. 부착성은 숙성기간에 따른 유의차가 높게 나타났으며( $p < 0.001$ ), 모든 숙성방법의 부착성은 숙성 0일 차에서 숙성 60일 차까지 3분의 2 이상 감소하였다. 검성도 모든 숙성방법이 숙성기간에 따라 유의하게 감소하는 경향을 보였고( $p < 0.001$ ), 숙성 60일 차 건식숙성이 가장 낮은 값(665.04)을 보였지만 숙성 0일 차에서 숙성 60일 차까지의 검성의 차이는 습식숙성이 가장 크게 나타났다. 씹힘성은 습식숙성과 건식포장숙성에서 숙성기간에 따라 유의하게 감소했지만( $p < 0.05$ ), 건식숙성은 숙성기간에 따라 감소하였으나 유의적 차이가 없었다. 또한 씹힘성은 전반적으로 숙성방법 간의 유의차도 나타나지 않았다. 한국식품연구원(2019)은 건식숙성육 생산업체 3사의 건식숙성방법을 약 6주간 비교 분석하였고, 본 실험과 유사한 방식으로 숙성을 진행한 건식숙성육 생산업체의 채끝의 조직감(샘플 크기,  $2.5 \times 2.5 \times 2.5 \text{cm}^3$ )은 숙성 0일 차에서 경도 9.98kg, 검성 4.94kg, 씹힘성 4.54kg으로 본 실험보다 약 4배가량 높은 수치를 나타냈다. 본 연구와 달리 숙성 4주차부터 경도, 검성, 씹힘성 모두 증가하는 경향을 나타냈으며, 한국식품연구원(2019)은 전반적으로 숙성기간에 따른 물성(경도, 탄력성, 검성, 씹힘성, 응집성)의 유의차가 없었다고 보고하였다.

Table 11. Cooking loss, shear force and texture profile analysis according to aging method and time

	Aging Time (day)	Aging Method						P-value
		Wet aging		Dry aging		Dry Packaging		
Cooking Loss(%)	0	20.12	±3.33	18.20 <sup>A</sup>	±5.31	18.44 <sup>A</sup>	±0.10	NS
	15	20.23 <sup>a</sup>	±1.43	11.32 <sup>ABb</sup>	±1.12	11.96 <sup>Bb</sup>	±2.41	*
	30	23.72 <sup>a</sup>	±0.18	5.07 <sup>BCb</sup>	±0.81	6.52 <sup>Cb</sup>	±1.46	***
	45	21.54 <sup>a</sup>	±0.15	4.96 <sup>BCb</sup>	±2.41	4.40 <sup>CDb</sup>	±0.62	**
	60	20.90 <sup>a</sup>	±3.45	1.54 <sup>Cb</sup>	±0.34	2.12 <sup>Db</sup>	±0.24	**
	P-value		NS		**		***	
Shearforce(g)	0	6356.26 <sup>Ab</sup>	±1409.62	6104.12 <sup>Ab</sup>	±2638.50	8321.91 <sup>Aa</sup>	±2749.94	***
	15	4012.74 <sup>Bb</sup>	±1087.65	4058.65 <sup>Cb</sup>	±933.85	4696.91 <sup>Ba</sup>	±1404.63	*
	30	3501.47 <sup>Cb</sup>	±939.60	4661.80 <sup>BCa</sup>	±1210.41	4951.26 <sup>Ba</sup>	±1579.65	***
	45	3358.35 <sup>C</sup>	±1062.66	3839.27 <sup>C</sup>	±1498.28	4042.55 <sup>B</sup>	±1404.45	NS
	60	3095.24 <sup>Cb</sup>	±983.84	5507.56 <sup>ABa</sup>	±1985.30	4870.17 <sup>Ba</sup>	±1354.82	***
	P-value		***		***		***	
Hardness(g)	0	2978.28 <sup>Aa</sup>	±892.52	2344.57 <sup>ABb</sup>	±710.91	2687.55 <sup>Aab</sup>	±1105.30	*
	15	2171.06 <sup>BCb</sup>	±632.09	2601.55 <sup>Aa</sup>	±719.21	2400.58 <sup>ABab</sup>	±679.38	*
	30	2317.84 <sup>BC</sup>	±522.51	2313.96 <sup>AB</sup>	±449.31	2311.50 <sup>AB</sup>	±424.47	NS
	45	2469.68 <sup>B</sup>	±546.83	2117.52 <sup>BC</sup>	±839.16	2177.15 <sup>B</sup>	±386.09	NS
	60	2035.25 <sup>C</sup>	±440.64	1881.25 <sup>C</sup>	±507.67	2051.35 <sup>B</sup>	±412.96	NS
	P-value		***		**		**	

Adhesiveness	0	1.60 <sup>A</sup>	±1.31	1.21 <sup>A</sup>	±1.01	1.52 <sup>A</sup>	±1.40	NS
	15	0.95 <sup>B</sup>	±0.67	1.24 <sup>A</sup>	±1.01	1.17 <sup>AB</sup>	±1.01	NS
	30	0.86 <sup>BC</sup>	±0.59	0.77 <sup>B</sup>	±0.38	0.98 <sup>B</sup>	±0.55	NS
	45	0.85 <sup>BCa</sup>	±0.57	0.42 <sup>Bb</sup>	±0.31	0.52 <sup>Bb</sup>	±0.22	***
	60	0.52 <sup>C</sup>	±0.43	0.35 <sup>B</sup>	±0.24	0.36 <sup>B</sup>	±0.24	NS
	<i>P</i> -value		***		***		***	
Gumminess	0	1236.08 <sup>A</sup>	±497.75	1046.13 <sup>A</sup>	±380.80	1126.65 <sup>A</sup>	±426.27	NS
	15	1010.15 <sup>B</sup>	±436.49	1064.76 <sup>A</sup>	±461.08	1128.39 <sup>A</sup>	±383.98	NS
	30	870.94 <sup>BC</sup>	±336.74	934.13 <sup>A</sup>	±276.92	915.68 <sup>A</sup>	±279.98	NS
	45	944.35 <sup>BCa</sup>	±296.17	717.22 <sup>Bb</sup>	±325.51	1043.42 <sup>Aa</sup>	±496.07	**
	60	761.06 <sup>C</sup>	±234.81	665.04 <sup>B</sup>	±466.57	714.81 <sup>B</sup>	±252.94	NS
	<i>P</i> -value		***		***		***	
Chewiness	0	92.68 <sup>Aa</sup>	±58.37	62.69 <sup>b</sup>	±33.28	77.07 <sup>ABab</sup>	±37.61	*
	15	74.15 <sup>AB</sup>	±47.24	77.05	±53.20	84.62 <sup>A</sup>	±44.00	NS
	30	64.37 <sup>B</sup>	±37.19	68.18	±32.26	65.42 <sup>AB</sup>	±33.30	NS
	45	65.32 <sup>Bab</sup>	±29.24	51.87 <sup>b</sup>	±29.47	85.61 <sup>Aa</sup>	±63.29	*
	60	52.63 <sup>B</sup>	±22.40	56.29	±53.28	54.83 <sup>B</sup>	±25.73	NS
	<i>P</i> -value		**		NS		*	

Result presented Means ± SD.

<sup>a-b</sup> Means with different superscripts in the same row significantly differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-D</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

NS, Not significant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

### 3. 우육 숙성 중 저장 안전성의 변화

#### 3.1 pH와 수분활성도(water activity, $a_w$ )

pH는 보수력, 연도 등 식육의 품질과 밀접한 관계가 있으며(Lee 등, 2015), 미생물이 분비한 효소나 식육 내 단백질 분해로 영향을 받는다(Nino 등, 2021). 숙성육의 pH는 숙성 중 단백질 분해로 인해 질소화합물이 생성되어 pH가 증가한다고 보고되었다(Obuz 등, 2014). 수분활성도(water activity,  $a_w$ )는 물질 내 수분의 가용성을 말하며, 식육에서 특히 중요한 요소로 화학적 반응에 영향을 미치며 또한 미생물 성장과 관련되어 있다. 즉, pH와 수분활성도는 숙성육의 품질 결정의 중요한 요소이다. 연구결과, pH는 모든 숙성방법에서 숙성기간이 길어질수록 유의하게 증가하였고( $p < 0.001$ ), 숙성 30일 차부터 숙성방법 간의 높은 유의차가 나타났다( $p < 0.001$ ). pH는 숙성기간에 따라 점차 증가하였으나 식품의약품안전처(2022)에서 지정한 포장육의 부패·신선도 판정 기준(pH 6.2)보다 낮은 값이 측정되었다. 숙성육의 수분활성도에서 대부분 숙성방법과 숙성기간에 따른 유의차가 없었고, 숙성 45일 차에서 습식숙성이 가장 큰 값(0.95)을 나타냈고 건식숙성이 가장 낮은 값(0.93)을 나타냈다. 본 연구결과와 같이 조 등(2018)의 수분활성도 측정 결과에서도 60일간 건식숙성한 채끝의 수분활성도는 숙성기간에 따라 감소하지만 큰 유의적인 변화는 없었다.

Table 12. Effects of Aging method and time on pH and water activity( $a_w$ ) of beef *longissimus dorsi* muscle

Aging Time (day)	pH				water activity			
	Wet Aging	Dry Aging	Dry Packaging	P-value	Wet Aging	Dry Aging	Dry Packaging	P-value
0	5.64 <sup>Cb</sup> ±0.07	5.70 <sup>Ca</sup> ±0.05	5.71 <sup>Da</sup> ±0.08	*	.	.	.	.
15	5.77 <sup>B</sup> ±0.10	5.81 <sup>B</sup> ±0.07	5.80 <sup>C</sup> ±0.13	NS	.	.	.	.
30	5.75 <sup>Bb</sup> ±0.03	5.82 <sup>Ba</sup> ±0.07	5.85 <sup>BCa</sup> ±0.08	***	0.95 ±0.02	0.94 ±0.01	0.95 ±0.01	NS
45	5.75 <sup>Bc</sup> ±0.06	5.96 <sup>Aa</sup> ±0.07	5.91 <sup>ABb</sup> ±0.05	***	0.95 <sup>a</sup> ±0.01	0.93 <sup>b</sup> ±0.01	0.94 <sup>ab</sup> ±0.01	*
60	5.85 <sup>Ab</sup> ±0.11	6.02 <sup>Aa</sup> ±0.12	5.96 <sup>Aa</sup> ±0.06	***	0.94 ±0.01	0.94 ±0.01	0.93 ±0.02	NS
P-value	***	***	***		NS	NS	NS	

Result presented Means ± SD.

<sup>a-b</sup> Means with different superscripts in the same row significantly differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-D</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

NS, Not significant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

### 3.2 안전성 중 이화학적 특성

Thiobarbituric acid reactive substance(TBARS), Volatile basic nitrogen(VBN)과 토리미터(Torry meter)는 건식숙성육과 건식포장숙성육의 표면이 오랫동안 공기에 노출되어 있기에 외부(비가식 부위)와 내부(가식부위)를 나누어 측정하였다(Figure 10). Table 13은 숙성기간과 숙성방법에 따른 숙성육의 내·외부 TBARS, VBN과 토리미터의 측정값을 나타낸 표이다. 숙성육의 외부 VBN이 내부 VBN보다 높게 나타났으며 모두 숙성기간에 따라 유의적으로 증가했다( $p<0.001$ ). 숙성육의 외부와 내부 VBN는 모든 숙성기간에서 숙성방법에 따른 유의차가 나타났고( $p<0.001$ ), 모든 숙성기간에서 건식숙성이 가장 큰 값을 보였다. VBN은 부패도·신선도 판정 기준으로 식품의약품안전처의 포장육 기준 20mg% 이하로 검출되어야 한다. 습식숙성의 경우 내·외부 VBN 모두 안전기준치를 초과하지 않았으나 건식숙성의 내부 VBN은 45일 차부터 24.68mg%, 건식포장숙성의 내부 VBN은 60일 차에 24.72mg%로 안전기준치(20mg%)를 초과하였다. Jang(2014)의 연구에서도 호기적 포장으로 최소 2주 이상 숙성한 채끝의 VBN이 26mg%를 초과하였고, 습식숙성한 채끝의 경우, 8주 이상 숙성하여야 20mg%를 초과하여 본 연구와 비슷한 결과를 보였다.

TBARS는 포장육의 부패도·신선도 판정 기준에는 포함되지 않는 요소이나, Campo 등(2006)은 TBARS값이 2mg MDA/kg 이상으로 검출되면 식육의 관능적 품질에 부정적인 영향을 미친다고 하였다. 그러므로 식육 내 지질 산화로 인해 식육이 산패되고 이취가 발생해 관능적 품질에 영향을 미칠 수 있으므로 malonaldehyde(MDA) 값을 측정하여 숙성육의 안전성을 평가하였다. 연구결과, 숙성 15일 차 이후부터 모든 숙성기간에서 숙성방법에 따른 유의차가 나타났고( $p<0.001$ ), 모든 숙성기간에서 건식숙성의 TBARS값이 가장 높게 나타났다. 모든 숙성방법 내·외부 TBARS는 숙성기간에 따라 유의적으로 증가하였으나 TBARS값이 일정하게 증가하는 경향은 나타나지 않았고, 증가하다 감소하는 경향을 보였다. 본 연구결과, 반응성이 강한 MDA는 아미노산, 요소 등과 반응하여 장기간 보관 시 TBARS값이 감소한다는 연구(Gokalp 등, 1983)와 일치하였다. 건식포장숙성육 내부와 습식숙성육의 내·외부는 2mg MDA/kg 이하로 검출되었

으며, 건식숙성육 내부는 숙성 45일 차부터 2mg MDA/kg를 초과하였고 건식숙성육 외부는 숙성 30일 차부터 2mg MDA/kg를 초과하였다.

토리미터는 어류의 신선도 측정용 기기로 스코틀랜드에서 발명된 기기로, 일본에서는 닭고기의 신선도를 측정하기 위한 토리미터를 연구하고 있다(채 등, 2005). 토리미터는 세포의 임피던스 변화에 의한 전류 차이를 측정할 수 있으며, 오랫동안 저장하거나 동결되어 세포가 파괴되었을 때 1에 가까운 값을 나타내며 신선할수록 큰 값을 나타낸다. 또한 10 이상의 값은 매우 신선함을 나타내며, 6 이상은 신선함, 4 이하는 부패했음을 나타낸다. 숙성육의 토리미터 값은 대부분 숙성기간에서 숙성방법 간의 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 내·외부·블루밍(공기 접촉 30분 후 측정) 후에서 모든 숙성방법은 숙성기간에 따라 유의적으로 감소하였다( $p < 0.001$ ). 전반적으로 토리미터 값은 유의적으로 감소하는 경향을 보였고, 일부 감소하다 증가하는 경향을 보이기도 했으나 0일 차보다 유의적으로 낮은 값을 보였으며 4 이상의 값을 나타냈다( $p < 0.001$ ). Jang(2014)에서 15일간 호기적 포장하여 숙성한 채끝의 토리미터 값은 6.78로 본 연구결과보다 낮은 결과를 보였고, 4주간 습식숙성한 채끝의 토리미터 값은 10.85로 본 연구결과보다 높은 결과를 보였다. Lee 등(2018a)은 토리미터를 건식숙성에 적용하기에 크러스트로 인해 기기 측정이 어려우며 건식숙성 초기 토리미터 값의 큰 변화를 고려한다면 건식숙성육에 대한 토리미터 활용이 어렵다고 보고하였다.

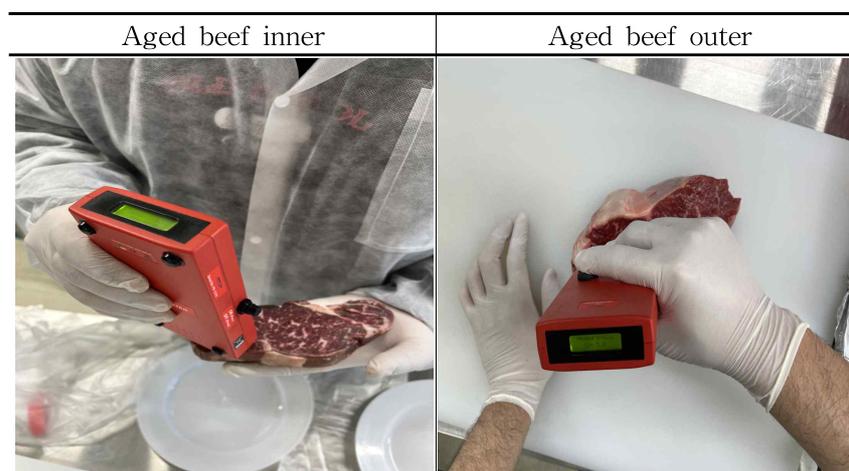


Figure 12. Measurement of using torry meter

Table 13. Effects of Aging method and time on physicochemical properties of beef *longissimus dorsi* muscle

	Aging Time (day)	Aging Method						P-value	
		Wet aging		Dry aging		Dry Packaging			
VBN	Inside	0	8.43 <sup>Db</sup>	±0.69	9.76 <sup>Ea</sup>	±0.41	9.22 <sup>Eab</sup>	±0.84	*
		15	9.48 <sup>CDc</sup>	±0.95	13.63 <sup>Da</sup>	±2.25	11.30 <sup>Db</sup>	±0.65	***
		30	11.25 <sup>Cc</sup>	±0.26	19.73 <sup>Ca</sup>	±3.22	14.31 <sup>Cb</sup>	±0.21	***
		45	14.40 <sup>Bc</sup>	±3.13	24.68 <sup>Ba</sup>	±3.10	18.33 <sup>Bb</sup>	±0.37	***
		60	17.67 <sup>Ac</sup>	±1.63	32.08 <sup>Aa</sup>	±3.33	24.72 <sup>Ab</sup>	±1.71	***
		P-value	***		***		***		
	Outside	0	8.43 <sup>Db</sup>	±0.69	9.76 <sup>Ea</sup>	±0.41	9.22 <sup>Eab</sup>	±0.84	*
		15	9.48 <sup>CDc</sup>	±0.95	13.28 <sup>Da</sup>	±1.40	11.44 <sup>Da</sup>	±0.62	***
		30	11.25 <sup>Cc</sup>	±0.26	21.90 <sup>Ca</sup>	±2.03	14.89 <sup>Cb</sup>	±0.82	***
		45	14.40 <sup>Bc</sup>	±3.13	26.99 <sup>Ba</sup>	±1.88	20.22 <sup>Bb</sup>	±2.09	***
		60	17.67 <sup>Ac</sup>	±1.63	32.19 <sup>Aa</sup>	±2.86	24.77 <sup>Ab</sup>	±1.73	***
	P-value	***		***		***			
TBA	Inside	0	1.15 <sup>B</sup>	±0.06	1.20 <sup>D</sup>	±0.05	1.19 <sup>B</sup>	±0.08	NS
		15	1.21 <sup>Ab</sup>	±0.06	1.33 <sup>Da</sup>	±0.08	1.20 <sup>Bb</sup>	±0.04	***
		30	1.18 <sup>ABb</sup>	±0.05	1.55 <sup>Ca</sup>	±0.31	1.22 <sup>Bb</sup>	±0.08	***
		45	1.19 <sup>Ab</sup>	±0.05	2.10 <sup>Ba</sup>	±0.34	1.13 <sup>Cb</sup>	±0.09	***
		60	1.20 <sup>Ac</sup>	±0.06	2.25 <sup>Aa</sup>	±0.12	1.29 <sup>Ab</sup>	±0.11	***
		P-value	*		***		***		
	Outside	0	1.15 <sup>B</sup>	±0.06	1.20 <sup>D</sup>	±0.05	1.19 <sup>B</sup>	±0.08	NS
		15	1.21 <sup>Ab</sup>	±0.06	1.57 <sup>Da</sup>	±0.40	1.20 <sup>Bb</sup>	±0.08	***
		30	1.18 <sup>ABc</sup>	±0.05	2.50 <sup>Ca</sup>	±0.36	1.42 <sup>Bb</sup>	±0.14	***
		45	1.19 <sup>Ab</sup>	±0.05	5.38 <sup>Ba</sup>	±1.46	1.41 <sup>Bb</sup>	±0.15	***
		60	1.20 <sup>Ac</sup>	±0.06	3.92 <sup>Aa</sup>	±0.74	2.08 <sup>Ab</sup>	±0.85	***
	P-value	*		***		***			

Torry meter	Inside	0	15.03 <sup>A</sup>	±2.80	13.88 <sup>A</sup>	±3.29	13.47 <sup>A</sup>	±2.77	NS
		15	12.11 <sup>B</sup>	±5.16	10.17 <sup>B</sup>	±5.73	9.24 <sup>B</sup>	±4.64	NS
		30	5.57 <sup>Cb</sup>	±0.78	5.74 <sup>Cb</sup>	±0.95	6.93 <sup>Ca</sup>	±2.55	**
		45	6.53 <sup>C</sup>	±3.90	7.18 <sup>C</sup>	±1.60	5.68 <sup>C</sup>	±2.74	NS
		60	5.97 <sup>Cab</sup>	±1.99	7.52 <sup>Ca</sup>	±4.00	5.62 <sup>Cb</sup>	±1.50	*
		<i>P</i> -value	***		***		***		
	Outsi de	0	15.03 <sup>A</sup>	±2.80	13.88 <sup>A</sup>	±3.29	13.47 <sup>A</sup>	±2.77	NS
		15	11.29 <sup>B</sup>	±5.07	11.35 <sup>B</sup>	±4.69	12.60 <sup>A</sup>	±4.37	NS
		30	6.04 <sup>Db</sup>	±1.90	8.53 <sup>Ca</sup>	±3.24	7.92 <sup>Ba</sup>	±6.12	**
		45	8.14 <sup>C</sup>	±4.39	10.86 <sup>B</sup>	±3.73	8.70 <sup>B</sup>	±4.35	NS
		60	5.64 <sup>Db</sup>	±1.39	7.21 <sup>Cab</sup>	±4.31	8.59 <sup>Ba</sup>	±3.67	*
		<i>P</i> -value	***		***		***		
	After 30min	0	15.49 <sup>A</sup>	±2.62	13.81 <sup>A</sup>	±2.53	14.44 <sup>A</sup>	±2.72	NS
		15	12.84 <sup>B</sup>	±4.43	9.63 <sup>B</sup>	±5.13	9.89 <sup>B</sup>	±4.55	NS
		30	6.04 <sup>Cb</sup>	±2.04	5.77 <sup>Cb</sup>	±0.90	7.14 <sup>Ca</sup>	±3.11	*
		45	6.56 <sup>C</sup>	±3.44	6.42 <sup>C</sup>	±1.16	5.39 <sup>C</sup>	±1.55	NS
		60	5.91 <sup>C</sup>	±2.03	7.10 <sup>C</sup>	±3.67	6.54 <sup>C</sup>	±3.13	NS
		<i>P</i> -value	***		***		***		

VBN(Volatile basic nitrogen), TBARS(Thiobarbituric acid reactive substance)

Result presented Means ± SD.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same row significantly differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-E</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

NS, Not significant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

### 3.3 안전성 중 미생물의 변화

포장육의 부패·신선도 판정 기준에는 일반세균과 대장균이 포함되어 있으며 안 등(2020), 이(2017a), 한국식품연구원(2019)은 숙성육의 미생물 분포를 분석하여 우점균 분석을 진행하였고, Lee 등(2018b)은 젖산균(Lactic Acid Bacteria), 효모, 곰팡이를 분석하였다. *Pseudomonas*는 이(2017a)의 연구결과에서 건식숙성육의 우점균으로 *Pseudomonas*가 검출되었으며, 습식숙성육에서는 *Lactobacillus*이 우점균으로 분석되었다. 또한 Kim 등(2021)은 숙성 17주 차까지 숙성육의 외부의 미생물 분포를 연구하였고 qRT-PCR 결과, TBARS와 VBN과 함께 숙성 중의 *Pantoea*(장내세균과)와 *Streptococcus*(젖산균에 속하는 종)의 변화를 통해 건식숙성육의 산패도를 결정하는 데 이용할 수 있다고 보고하였다. Li 등(2014)은 본 연구와 같은 3가지의 숙성방법에 대한 미생물(총균수, 장내세균, 효모 등)을 측정하였고, 건식숙성보다 숙성 전용 packaging bag을 이용한 숙성이 유의적으로 미생물 수가 낮게 나타났다고 보고하였다. 본 연구결과, 숙성육 외부에서 검출된 미생물 수는 숙성육 내부에서 검출된 미생물 수보다 높게 검출되었으며, Table 14는 숙성육의 내·외부 일반세균, 대장균, 젖산균, 효모, 곰팡이, *Pseudomonas*를 측정하여 log CFU/g로 계산하여 숙성기간에 따른 변화를 나타낸 표이다.

일반세균(Aerobic bacteria) 수는 숙성육 외부의 모든 숙성기간에서 숙성방법 간의 유의차가 없었고, 습식숙성의 외부 일반세균 수가 모든 숙성기간에서 가장 큰 값을 가지며 숙성기간에 따라 유의적으로 증가하였다( $p < 0.05$ ). 또한 습식숙성 외부의 일반세균 수는 숙성 30일 차부터 식품의약품안전처(2018)에서 규정한 일반세균 수 값(6.70 log CFU/g)을 초과하였다. Li 등(2014)은 본 연구와 같은 3가지의 숙성방법에 대한 총균수를 측정하였고, 숙성 19일 차의 습식숙성육(5.87)은 본 연구결과의 숙성 15일 차 습식숙성육 외부(5.67)와 비슷한 값을 나타냈으나 숙성 19일 차의 건식숙성육(8.75)과 건식포장숙성육(6.57)의 경우 본 연구결과보다 큰 값을 보였다. 숙성육 내부의 일반세균 수는 건식숙성에서만 숙성기간에 따른 유의적으로 증가하다 감소하는 경향을 보였고( $p < 0.05$ ), 숙성 45일, 60일 차에서 숙성방법 간의 유의차가 나타났다( $p < 0.05$ ). 조 등(2018)의 건식숙성육의 총균수는 본 연구결과의 건식숙성육 내부와 비슷한 값을 나타냈다.

대장균(*E. coli*)수는 숙성육 외부에서 모든 숙성방법과 숙성기간에서 유의차가 없었으며, 대부분 숙성육이 식품의약품안전처(2018)에서 규정한 대장균 수(3.00 log CFU/g)를 초과하지 않았지만, 숙성 15일 차 습식숙성육, 숙성 45일 차 건식숙성육에서 안전기준치를 초과하였다. 숙성육 내부에서 대장균은 숙성 30일 차 이후부터 검출되지 않았으며, 모든 숙성방법과 숙성기간에 따른 유의차가 없었다. 그러나 조 등(2018)은 건식숙성육의 대장균이 숙성 0일 차부터 검출되지 않았다고 하였다.

젖산균(Lactic acid bacteria) 수는 숙성육 외부에서 모든 숙성기간에서 숙성방법 간의 유의차가 없었으며, 습식숙성육이 모든 숙성기간에서 가장 큰 값을 나타냈고, 습식숙성만 숙성기간에 따라 유의적으로 증가하였다( $p < 0.05$ ). 숙성육 내부 젖산균 수는 습식숙성에서 가장 많이 검출되었고, 건식숙성과 건식포장숙성은 비슷한 값을 나타냈으며 숙성방법과 숙성기간에 따른 유의차가 없었다. 안 등(2020)의 숙성 18일 차 습식숙성육(6.09)과 건식숙성육(1.00)의 젖산균 수는 본 연구결과보다 낮게 검출되었으며, Li 등(2014)의 숙성 19일 차 젖산균 수는 본 연구결과와 비슷한 값을 나타냈다.

효모(Yeast) 수는 숙성육 내·외부에서 건식숙성이 가장 큰 값을 나타냈고 습식숙성에서 가장 낮은 값을 보였다. 숙성육 외부의 모든 숙성방법에서 숙성기간에 따른 유의차가 없었으나 숙성 15일, 30일 차에서 숙성방법 간의 유의차가 있었다( $p < 0.05$ ). 숙성육 내부에서는 습식숙성에서 효모는 거의 검출되지 않았으며, 모든 숙성방법에서 숙성기간에 따른 유의차가 없었으나 숙성 45일 차 외의 숙성기간에서 유의차가 있었다( $p < 0.01$ ). Li 등(2014)의 효모 수 측정 결과와 본 연구결과의 값은 일치하지 않으나 본 연구와 같이 건식숙성이 건식포장숙성보다 더 높게 검출되었고 습식숙성이 가장 낮게 검출되었다.

곰팡이(Mold) 수는 효모 수보다 높게 검출되었고, 효모 수와 같이 건식숙성이 모든 숙성기간 동안 가장 큰 값을 나타냈으며 습식숙성이 가장 낮은 값을 나타냈다. 숙성육 외부의 곰팡이 수는 모든 숙성기간에서 숙성방법 간의 유의차가 있었으며( $p < 0.01$ ), 건식숙성과 건식포장숙성에서 숙성기간에 따라 유의하게 증가하다 감소하는 경향이 반복되었다( $p < 0.01$ ). 숙성육 내부의 곰팡이 수는 숙성기간에 따른 유의한 변화는 없었으며, 숙성 15일, 30일 차에 숙성방법 간의 유의차가 있

었다( $p < 0.01$ ). Li 등(2014)은 본 연구결과와 다르게 효모가 곰팡이보다 더 높게 검출되었고 숙성 19일 차 건식숙성육의 곰팡이 수(0.72)는 본 연구의 숙성 15일 차 건식숙성육 내부(4.25)보다 현저히 낮게 검출되었다.

*Pseudomonas*는 신선육이나 부패육에서도 널리 퍼져 있는 저온성균으로 알려져 있다. Table 14와 같이 *Pseudomonas* 수는 숙성육의 내·외부에서 모든 숙성방법과 숙성기간에서 유의차가 없었고, 숙성육 외부 *Pseudomonas* 수는 일반세균 수와 비슷하거나 더 높게 측정되었다. 숙성육 내부 *Pseudomonas* 수는 숙성기간에 따라 감소하다 증가하는 경향이 반복되었으나 유의한 차이는 없었다. 이(2017a)는 건식숙성육과 습식숙성육의 미생물 균총 분포를 연구하였고, 건식숙성(0m/s)에서 *Pseudomonas*가 91.4%를 우점하였고, 습식숙성에서는 *Lactobacillus*(42%), *Pseudomonas*(24.4%)로 우점하였다고 보고하였다. Kim 등(2021)은 qRT-PCR 결과, *Pseudomonas*는 숙성 0일 차에 4~5 log CFU/g에서 숙성 2주 차에 유의하게 8 log CFU/g 이상 검출되었으며 숙성 17주까지 6 log CFU/g 이상으로 검출되었으나 *Pseudomonas*는 산패도를 결정하는 데에 이용할 수 없다고 보고하였다.

Table 14. Effects of Aging method and time on microbial groups(log CFU/g) of beef *longissimus dorsi* muscle

		Outside						Inside							
		Wet Aging		Dry Aging		Dry Packaging		P-value	Wet Aging		Dry Aging		Dry Packaging		P-value
AC	0	3.87 <sup>C</sup>	±0.49	1.99	±2.81	3.92	±1.05	NS	2.76 <sup>b</sup>	±0.03	0.00 <sup>Bc</sup>	±0.00	2.96 <sup>a</sup>	±0.00	***
	15	5.67 <sup>B</sup>	±0.56	5.37	±1.26	4.80	±1.86	NS	2.51	±3.55	3.11 <sup>A</sup>	±0.89	2.02	±2.86	NS
	30	6.87 <sup>AB</sup>	±0.33	5.45	±0.70	5.59	±1.57	NS	4.83	±	ND	±	4.74	±	.
	45	7.08 <sup>AB</sup>	±0.63	5.83	±1.23	5.18	±2.01	NS	5.50 <sup>a</sup>	±0.04	3.59 <sup>Ab</sup>	±	5.70 <sup>a</sup>	±	*
	60	7.25 <sup>A</sup>	±0.69	5.90	±0.72	5.95	±0.41	NS	5.98 <sup>a</sup>	±0.27	0.24 <sup>Bc</sup>	±0.34	3.57 <sup>b</sup>	±0.86	**
	P-value	**		NS		NS			NS		*		NS		
EC	0	2.93	±0.04	0.95	±1.34	2.18	±1.55	NS	1.46	±0.96	0.39	±0.55	0.99	±1.40	NS
	15	3.00	±2.15	ND		ND		NS	1.54	±2.17	ND		ND		NS
	30	ND		ND		1.26	±1.78	NS	ND		ND		ND		.
	45	0.98	±1.39	3.98	±1.14	ND		NS	ND		ND		ND		.
	60	2.11	±2.98	2.24	±3.16	0.48	±0.68	NS	ND		ND		ND		.
	P-value	NS		NS		NS			NS		NS		NS		
LAB	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	15	5.60 <sup>B</sup>	±0.27	4.74	±1.08	3.47	±2.38	NS	3.02	±2.24	2.41	±0.00	1.77	±2.50	NS
	30	7.12 <sup>A</sup>	±0.41	5.92	±1.88	5.22	±1.32	NS	4.37	±	2.54	±0.65	2.71	±1.87	NS
	45	7.14 <sup>A</sup>	±0.05	6.44	±0.27	4.71	±2.47	NS	4.64	±0.37	1.76	±1.13	3.14	±3.50	NS
	60	6.83 <sup>A</sup>	±0.13	5.77	±0.30	4.83	±1.83	NS	5.67	±1.10	1.72	±2.43	4.17	±0.75	NS
	P-value	*		NS		NS			NS		NS		NS		
Yeas t	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	15	1.99 <sup>b</sup>	±0.29	6.02 <sup>a</sup>	±0.64	5.25 <sup>a</sup>	±0.39	**	0.00 <sup>b</sup>	±0.00	4.10 <sup>a</sup>	±0.55	3.64 <sup>a</sup>	±0.52	**
	30	2.67 <sup>b</sup>	±1.01	7.09 <sup>a</sup>	±0.04	6.43 <sup>a</sup>	±0.36	*	0.00 <sup>a</sup>	±0.00	5.13 <sup>b</sup>	±	4.71 <sup>c</sup>	±	***
	45	1.79	±2.53	5.98	±0.028	5.52	±0.80	NS	0.80	±1.13	3.48	±	2.96	±1.41	NS
	60	1.82	±2.57	6.90	±0.38	6.45	±0.06	NS	0.00 <sup>b</sup>	±0.00	4.88 <sup>a</sup>	±0.84	3.62 <sup>a</sup>	±0.13	**
	P-value	NS		NS		NS			NS		NS		NS		

Mold	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	15	2.76 <sup>b</sup>	±0.13	5.38 <sup>Ca</sup>	±0.07	5.35 <sup>Ba</sup>	±0.03	***	0.24 <sup>b</sup>	±0.34	4.25 <sup>a</sup>	±0.47	3.92 <sup>a</sup>	±0.09	**
	30	3.81 <sup>b</sup>	±0.51	8.04 <sup>Aa</sup>	±0.20	7.21 <sup>Aa</sup>	±0.15	**	0.99 <sup>b</sup>	±1.40	5.70 <sup>a</sup>	±0.03	4.94 <sup>a</sup>	±0.53	*
	45	3.79 <sup>b</sup>	±0.81	7.69 <sup>Ba</sup>	±0.05	7.00 <sup>Aa</sup>	±0.23	**	1.29	±1.82	4.78	±0.09	4.66	±0.65	NS
	60	3.98 <sup>b</sup>	±0.70	7.57 <sup>Ba</sup>	±0.01	7.23 <sup>Aa</sup>	±0.24	**	1.37	±1.94	5.50	±1.37	4.57	±0.02	NS
	<i>P</i> -value	NS		***		**			NS		NS		NS		
<i>Pseu</i> <i>dom</i> <i>onas</i>	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	
	15	5.66	±1.20	6.41	±0.09	5.06	±1.87	NS	4.50	±	4.61	±	4.96	±	.
	30	ND		8.02	±	6.66	±1.19	NS	2.98	±0.71	ND		6.29	±	NS
	45	5.73	±1.09	6.26	±0.67	6.14	±2.91	NS	4.49	±0.29	2.01	±0.09	4.44	±2.78	NS
	60	5.31	±1.18	6.99	±0.98	5.78	±0.99	NS	4.47	±0.07	1.66	±2.35	3.60	±1.97	NS
	<i>P</i> -value	NS		NS		NS			NS		NS		NS		

AC(Aerobic bacteria count), EC(*E. coli*), LAB(Lactic acid bacteria)

Result presented Means ± SD.

<sup>a-c</sup> Means with different superscripts in the same row significantly differ ( $p < 0.05$ ).

<sup>A-C</sup> Means with different superscripts in the same column significantly differ ( $p < 0.05$ ).

ND, Not detected

NS, Not significant; \*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*\*\*  $p < 0.001$ .

#### 4. 돈육 숙성 및 저장 중 안전성의 변화

##### 4.1 안전성 중 이화학적 특성

항아리 숙성육은 식품의약품안전처(2022)에 규정된 포장육 규격을 기준으로 안전성 검사를 수행하였으며, 숙성 중 지방 산패도를 측정하기 위해 Thiobarbituric acid reactive substance(TBARS, mg malonaldehyde/kg)를 측정하였다. 일반 항아리 숙성과 화산 송이 항아리 숙성의 Volatile basic nitrogen(VBN, mg%)은 모든 숙성기간에서 포장육 기준 20mg%를 초과하지 않았으며, 일반 항아리 숙성이 화산 송이 항아리 숙성보다 VBN값이 낮게 나타났다. Campo 등(2006)은 TBARS값이 2mg MDA/kg 이상으로 검출되면 식육의 관능적 품질에 부정적인 영향을 미친다고 하였고, 본 연구결과 모든 숙성기간에서 2mg MDA/kg를 초과하지 않았다. VBN값과 마찬가지로 일반 항아리 숙성이 화산 송이 항아리 숙성보다 TBARS값이 낮게 나타났으며, 숙성기간에 따라 감소하다 다시 증가하는 경향을 보였다.

Table 15. Effects of Aging method and time on physicochemical properties of pork *longissimus dorsi* muscle

	Aging Time (day)	Aging Method			
		Scoria Pot		Normal Pot	
VBN	10	7.34	±0.46	6.30	±0.93
	20	7.27	±0.44	6.82	±0.89
	30	8.35	±1.24	7.56	±0.72
TBARS	10	1.05	±0.26	0.90	±0.08
	20	0.88	±0.16	0.91	±0.05
	30	1.01	±0.13	0.99	±0.16

VBN(Volatile basic nitrogen), TBARS(Thiobarbituric acid reactive substance)

Result presented Means ± SD.

## 4.2 안전성 중 미생물 변화

항아리 숙성 돈육은 30일간 항아리 내에서 10일 간격으로 숙성한 후 미생물 검사와 이화학적 요소를 측정하였으며, 숙성 후 각각 랩포장과 진공포장하여 4℃ 이하의 저온 환경에서 저장하여(Figure 7), 15일 기간 동안 5일 간격으로 일반세균(Aerobic bacteria)과 대장균(*E.coli*)수를 측정하였다. 저장 0일 차의 모든 숙성육이 식품의약품안전처(2018)의 일반세균(6.70 log CFU/g)과 대장균(4.00 log CFU/g)의 규격을 초과하지 않았다. 랩포장 저장에서는 숙성방법에 상관없이 대부분 포장 10일 이내로 일반세균과 대장균 안전기준치를 초과하였고, 숙성 30일 차의 일반 항아리 숙성육(7.74, 5.62)과 화산 송이 항아리 숙성육(7.74, 4.75) 모두 랩포장 5일 차부터 일반세균과 대장균 모두 안전기준치를 초과하였다. 진공포장하여 저장한 숙성 30일 차 이전의 일반 항아리와 화산 송이 항아리 숙성육에서는 저장 15일까지 안전기준치 이하의 일반세균과 대장균이 검출되었다. 하지만 숙성 30일 차 화산 송이 항아리 숙성육은 진공포장 5일 차부터 일반세균 수와 대장균 수의 안전기준치를 초과하였다. 일반 항아리 숙성육의 일반세균 수는 진공포장 5일 차부터 안전기준치를 초과하였고 대장균 수는 진공포장 10일 차부터 안전기준치를 초과하였다. 미생물 실험 결과, 화산 송이 도포 불량으로 일반 항아리로 지정한 항아리에서도 화산 송이의 향균, 항습 능력을 기대할 수 있으며, 화산 송이의 향균성, 항습성 등의 효과로 일반세균과 대장균이 식품의약품안전처(2018)에서 지정한 안전기준치 이하로 검출되었음을 기대할 수 있다. 숙성 후 유통 시, 랩포장을 이용하는 방법은 대부분 포장 5일 이후로 일반세균과 대장균이 안전기준치를 초과하므로 숙성육을 유통하는 데에 적합하지 않은 방법으로 판단되며, 진공포장을 이용하여 유통하는 방법이 숙성육을 유통하는데 좀 더 알맞은 포장방법으로 판단된다.

Table 16. Effects of Aging method and time on microbial group(log CFU/g) of pork *longissimus dorsi* muscle

	Pot	Packaging	Aging Time (day)	Storage Time(day)			
				0	5	10	15
AC	scoria	wrap	10	3.60 ±1.09	5.44 ±0.67	5.94 ±0.66	8.00 ±0.00
			20	5.50 ±0.33	6.09 ±1.91	7.79 ±0.25	8.00 ±0.00
			30	4.11 ±1.16	7.74 ±0.00	7.09 ±0.75	8.00 ±0.00
		vacuum	10	3.60 ±1.09	4.20 ±0.74	5.09 ±0.91	3.75 ±2.53
			20	5.50 ±0.33	5.75 ±0.74	5.09 ±0.91	5.39 ±3.68
			30	4.11 ±1.16	7.74 ±0.00	7.59 ±0.18	8.00 ±0.00
	normal	wrap	10	3.29 ±0.36	5.44 ±1.13	6.97 ±0.66	8.00 ±0.00
			20	4.73 ±1.13	4.12 ±1.91	7.30 ±0.25	8.00 ±0.00
			30	2.99 ±2.78	7.74 ±0.00	6.78 ±0.59	8.00 ±0.00
		vacuum	10	3.29 ±0.36	3.78 ±0.74	4.13 ±0.91	4.65 ±2.53
			20	4.73 ±1.13	2.45 ±2.20	6.12 ±0.85	2.58 ±4.47
			30	2.99 ±2.78	7.30 ±0.75	7.41 ±0.36	8.00 ±0.00
EC	scoria	wrap	10	0.57 ±0.25	1.39 ±1.03	1.13 ±1.30	4.54 ±0.81
			20	1.14 ±1.48	2.53 ±1.83	6.00 ±2.37	8.00 ±0.00
			30	2.31 ±1.20	5.62 ±1.02	6.27 ±0.68	8.00 ±0.00
		vacuum	10	0.57 ±0.25	0.49 ±0.81	1.29 ±0.92	3.09 ±0.79
			20	1.14 ±1.48	2.52 ±1.72	3.15 ±2.42	3.78 ±1.59
			30	2.31 ±1.20	4.81 ±1.16	4.74 ±1.32	8.00 ±0.00
	normal	wrap	10	0.32 ±0.28	1.22 ±1.11	2.17 ±0.39	3.78 ±0.58
			20	0.85 ±1.48	1.30 ±2.26	2.67 ±4.62	8.00 ±0.00
			30	1.38 ±1.20	4.75 ±1.71	4.84 ±1.64	8.00 ±0.00
		vacuum	10	0.32 ±0.28	0.81 ±0.75	1.32 ±1.25	2.93 ±0.61
			20	0.85 ±1.48	0.75 ±1.30	0.00 ±0.00	1.91 ±3.31
			30	1.38 ±1.20	3.82 ±3.31	4.52 ±1.05	8.00 ±0.00

AC(Aerobic bacteria count), EC(*E. coli*)

Result presented Means ± SD.

## V. 국문 요약

본 연구는 숙성방법 및 기간이 우육의 미생물학적 안전성과 이화학적 특성에 미치는 영향을 확인하고자 수행되었다. 이를 위해 우육 등심을 3가지의 숙성방법(습식숙성, 건식숙성, 건식포장숙성)으로 60일간 숙성하였다. 숙성기간 동안 15일 간격으로 pH, 육색, 숙성감량, 가열감량, 전단력 및 조직감, 단백질 변패도, 지질 산패도, 미생물 검사를 진행하였다. 숙성한 우육의 품질 검사 항목 중 명도는 절단면(내부)보다 표면(외부)에서 숙성기간에 따른 변화가 크게 나타났으며, 건식숙성과 건식포장숙성의 외부 명도는 숙성기간에 따라 점차 유의하게 감소하였으나 습식숙성의 외부 명도는 숙성기간에 따라 점차 유의하게 증가하였다( $p < 0.001$ ). 숙성감량은 숙성방법에 상관없이 숙성기간에 따라 점차 증가하며( $p < 0.01$ ), 습식숙성이 약 3%, 건식숙성과 건식포장에서 약 30~40%의 숙성감량을 보였다. 가열감량에서 숙성기간에 따른 숙성방법 간의 유의차가 있었고( $p < 0.05$ ), 습식숙성은 약 20%의 가열감량으로 숙성기간에 따른 유의적인 변화가 없었으며, 건식숙성과 건식포장숙성은 숙성기간이 길어질수록 유의적으로 감소하였다( $p < 0.01$ ). 전단력에서 모든 숙성방법이 숙성기간에 따라 유의적으로 감소하였고( $p < 0.001$ ), 건식숙성과 건식포장숙성에서 감소하다 증가하는 경향을 보였으나 0일 차보다 낮은 값의 전단력을 보였으며( $p < 0.001$ ), 숙성육의 조직감 중 경도도 숙성기간에 따라 점차 유의적으로 감소하였다( $p < 0.01$ ). 숙성한 우육의 품질 분석 결과, 전단력과 경도의 감소로 숙성을 통해 식육의 연도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 건식숙성과 건식포장숙성은 높은 숙성감량과 두꺼운 크러스트 두께로 인한 손질 감량이 발생했으나, 습식숙성은 다른 숙성방법보다 현저히 낮은 숙성감량을 보였고 다른 숙성방법보다 경제적이며 효율적으로 전단력을 감소시킬 수 있다. 그러나 풍미, 보수력 등의 특성을 고려한다면, 건식숙성과 건식포장숙성이 습식숙성보다 높은 부가가치를 가질 수 있다고 판단된다. 숙성육의 안전성 검사 결과, pH는 모든 숙성방법에서 숙성기간에 따라 유의하게 증가하였다( $p < 0.001$ ). 숙성육의 내·외부 TBARS와 VBN은 숙성기간에 따라 유의적으로 증가하였으며( $p < 0.05$ ), 모든 숙성기간에서 건식숙성이 가장 큰 값을 보였다. 숙성육의 내·외부와 블루밍

후의 숙성육의 토리미터 값은 대부분 숙성기간에서 숙성방법 간의 유의적인 차이가 나타나지 않았고, 모든 숙성방법은 숙성기간에 따라 유의적으로 감소하였다 ( $p < 0.001$ ). 숙성육의 미생물은 숙성육의 외부가 숙성육의 내부보다 대체로 높게 검출되었고, 대부분의 미생물이 숙성기간에 따라 점차 증가하는 경향을 보였다. 습식숙성에서 젖산균 수와 일반세균 수가 가장 높게 검출되었으며, 그 외의 미생물은 건식숙성과 건식포장숙성에서 가장 높게 검출되었으며 숙성기간에 따라 증가하는 경향을 보였으나, 습식숙성에서는 숙성기간에 따른 뚜렷한 변화가 나타나지 않았다. 또한 숙성한 우육의 안전성 검사 결과, 건식포장숙성이 건식숙성과 습식숙성에 비해 이화학적 요소와 미생물 검사 결과에서 안전기준치 내의 값을 가장 많이 나타냈다. 그러나 건식숙성육은 오랫동안 공기와 접촉한 상태로 숙성되기 때문에 숙성육 표면에 곰팡이, 효모, 젖산균 등의 미생물이 성장할 수 있으므로 추가적인 미생물 균총 분석이 필요하며, 숙성육의 안전성을 판단하는 데에 있어 식약처에서 지정된 미생물과 이화학적 요소 외의 고려해야 할 추가적인 안전성 판단 기준이 필요하다고 판단되었다. 추가적으로 항아리를 이용하여 숙성하는 새로운 숙성방법을 연구하였으며, 항아리 숙성육의 유통 시 저장 안전성을 확인하기 위해 이화학적 요소 측정과 미생물 검사를 진행하였다. 숙성한 돈육의 연구결과, 항아리 숙성 30일 차까지 돈육의 이화학적 요소와 미생물 검사는 안전기준치 내의 값을 보였다. 또한 항아리를 이용하여 숙성한 돈육의 유통 시 저장 안전성을 검사한 결과, 진공포장을 이용하여 유통하는 방법이 숙성육을 유통하는데 좀 더 알맞은 포장방법으로 판단된다. 숙성육을 제조할 때, 산업계에서 일반적으로 습식숙성방법이 많이 이용되었으며 최근 숙성육을 고품질화할 수 있는 건식숙성방법이 이용되고 있다. 본 연구에서 건식포장숙성은 우수한 품질을 보였고, 위생 안전성에서도 건식숙성보다 안전수치 내의 값을 보여 안전하고 간편한 숙성방법으로 평가되었다. 본 연구를 통해 산업현장에서 숙성방법을 선택하고 저장 안전성을 고려한 숙성기간 설정에 필요한 기초결과를 얻을 수 있었으며, 건식숙성의 경우 안전성 평가항목과 한계수치에 대해 추가적인 판단기준 설정이 필요한 것으로 판단된다.

## VI. 인용 문헌

- Adegoke, G.O., Falade, K.O. (2005). Quality of meat. *Journal of Food, agriculture & environment*, 3(1), 87-90.
- Ahnström, M.L., Seyfert, M., Hunt, M.C., Johnson, D.E. (2006). Dry aging of beef in a bag highly permeable to water vapour. *Meat Science*, 73, 674 - 679.
- Akihito Endo, Ryosuke Koizumi, Yozo Nakazawa, Yuh shiwa, Shintaro Maeno, Yoshihiko Kido, Tomohiro Irisawa, Yoshiki Muramatsu, Korato Tada, Masao Yamazaki, Takao Myoda. (2021). Characterization of the microbiota and chemical properties of pork loins during dry aging. *MicrobiologyOpen*, 10(1), e1157.
- An Kyung A. (2017). Effects of Electron Beam Irradiation on the Microbiological Safety and Physicochemical Properties of Duck Meat Products. Kyungpook National University, Daegu. (국내박사학위논문)
- Ba, H.V., Park, K., Dashdorj, D., Hwang, I. (2014). Effect of muscle type and vacuum chiller ageing period on the chemical compositions, meat quality, sensory attributes and volatile compounds of Korean native cattle beef. *Animal Science Journal*, 85(2), 164 - 173.
- Benjamin, W.B.H., Eric N.P., Ashleigh, K.K., Damian C., Tim, P., David L.H. (2019). Moisture content, fatty acid profile and oxidative traits of aged beef subjected to different temperature-time combinations. *Meat Science*, 157, Article 107876.

- Bischof, G., Witte, F., Terjung, N., Januschewski, E., Heinz, V., Juadjur, A., Gibis, M. (2021). Analysis of Aging Type- and Aging Time-Related Changes in the polar fraction of Metabolome of Beef by  $^1\text{H}$  NMR Spectroscopy. *Food chemistry*, 342(16), 128353.
- Boleman, S.J., Boleman, S.L., Miller, R., Taylor, J., Crpss, H., Wheeler, T., Koohmaraie, M., Shackelford, S., Miller, M., West, R., Johnson, D., Savell, J. (1997). Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *Journal of Animal Science*, 75(6), 1521-1524.
- Breidenstein, B.B., Cooper, C.C., Evans, R.G., Bray, R.W. (1968) Influence of marbling and maturity on palatability of beef muscle. I. Chemical and organoleptic considerations. *Journal of Animal Science*. 38, 1532-1541.
- Campbell, R., Hunt, M., Levis, P., Chambers, E. (2001). Dry-aging effects on palatability of beef longissimus muscle. *Journal of Food Science*, 66(2), 196-199.
- Campo, M.N., Nute, G.R., Hughes, S.I., Enser, M., Wood, J.D., Richardson, R.I. (2006). Flavour perception of oxidation in beef. *Meat Science*, 72, 303 - 311.
- Choe, J.H., Stuart, A., Kim, Y.H.B. (2016). Effect of different aging temperatures prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins. *Meat Science*. 116, 158 - 164.

- Choi, Y.I., Kim, Y.K., Lee, C.L. (1995). Animal products and processing; Effects of packaging method and aging temperature on color, tenderness and storage characteristics of korean beef. *Journal of Animal Science and Technology*, 37(6), 639-650.
- Chris R. Kerth. (2016). *The science of meat quality*. Wiley-Blackwell.
- Dashdorj, D., Amna, T., Hwang, I. (2015). Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: An overview. *European Food Research and Technology*, 241(2), 157 - 171.
- Dashdorj, D., Tripathi V.K., Cho S.H, Kim Y.H, Hwang I.H. (2016). Dry aging of beef; Review. *Journal of Animal Science and Technology*, 58(5), 1-11.
- Davey, C.L., Gilbert, K. (1966). Studies in meat tenderness II. Proteolysis and the aging of beef. *Journal of Food Science*, 31(2),135-140.
- Dikeman, M.E., Obuz, E., Gok, V., Akkaya, L., Stroda, S. (2013). Effects of dry, vacuum, and special bag aging; USDA quality grade; and end-point temperature on yields and eating quality of beef longissimus lumborum steaks. *Meat Science*, 94(2), 228 - 233.
- Doumit, M.E., Koohmaraie, M. (1999). Immunoblot analysis of calpastatin degradation: evidence for cleavage by calpain in postmortem muscle. *Journal of animal science*, 77, 1467-1473.

- Ertbjerg, P., Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science*, 132, 139-152.
- Faustman, C., Cassens, R.G. (1990). The biochemical basis for discoloration in fresh meat: A review. *Journal of Muscle Foods*, 1(3), 217-243.
- Gokalp, H.Y., Ockerman, H.W., Plimpton, R.F., Harper, W.J. (1983). Fatty acids of neutral and phospholipids, rancidity scores and TBA values as influenced by packaging and storage. *Journal of Food Science*, 48(3), 829-834.
- Gray, J.I., Gomma, E.A., Buckley, D.J. (1996). Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Science*, 43, 111-123.
- Ha, M., McGilchrist, P., Polkinghorne, R., Huynh, L., Galletly, J., Kobayashi, K., Nishimura, T., Bonney, S., Kelman, K.R., Warner, R.D. (2019). Effects of different ageing methods on colour, yield, oxidation and sensory qualities of Australian beef loins consumed in Australia and Japan. *Food Research International*, 125, Article 108528.
- Hopkins, D.L., Geesink, G.H. (2009). Protein degradation postmortem and tenderization. *Applied Muscle Biology and Meat Science*, 149-174.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S.M. (1999). Postmortem mechanisms of meat tenderization. *Quality Attributes of Muscle Foods*, 229-251.
- Huff-Lonergan, E., Lonergan, S.M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71, 194-204.

- Hulánková, R., Kameník, J., Saláková, A., Závodský, D., Borilova, G. (2018). The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological parameters of organic beef loin muscle. *Lwt-Food Science and Technology*, 89, 559-565.
- Hwang Bo kyoung. (2020). Metagenomic approaches to understand the beef meat microbiota and their interactions. Graduate School of Seoul National University, seoul. (국내석사학위논문)
- Hwang Young Hwa, Sabikun Nahar, Ismail Ishamri, Joo Seon Tea. (2018). Comparison of Meat Quality Characteristics of Wet and Dry-aging Pork Belly and Shoulder Blade. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 38(5), 950-958.
- Im, E.S., Lee, H.S., Han, C.H. (2011). Dyeability and functionality of silk fabrics dyed with jeju scoira. *Textile Coloration and Finishing*, 23(3), 187-194.
- Jang A. (2014). Study of meat freshness (spoilage) standard evaluation. Ministry of Food and Drug Safety.
- Ji, S.H., Ki, S.H., Ahn, J.H., Shin, J. H., Hong, E.J., Kim, Y.J., Choi, E.H. (2018). Inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* on contaminated perilla leaves by Dielectric Barrier Discharge (DBD) plasma treatment. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 643, 32-41.
- Jiang, S.T., Lee, J.J., Chen, H.C. (1996). Proteolysis of actomyosin by cathepsins B, L, L-like, and X from mackerel (*Scomber australasicus*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 769-773.

- Jiang, S.T., Wang, Y.T., Chen, C.S. (1992). Lysosomal enzyme effects on the post mortem changes in tilapia (*Tilapia nilotica* x *T. aurea*) muscle myofibrils. *Journal of Food Science*, 57, 277-279.
- Jin Sang Keun, Yim Dong Gyun. (2020). comparison of effects of two aging method on the physicochemical traits of pork loin. *Food Science Of Animal Resources*, 40(5), 844-851.
- Jin Yeon Jeong. (2007). Influences of muscle type and freeze thaw cycle on meat color stability of Hanwoo beef. 경상대학교, 진주. (국내박사학위논문)
- Joo, S.T., Kim, G.D., Hwang, Y.H., Ryu, Y.C. (2013). Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 95, 828-836.
- Juarez, M., Cainea, W.R., Dugana, M.E.R, Hidirogloub, N., Larsena, I.L., Uttaroa, B., Aalus, J.L. (2011). Effect of dry-ageing on pork quality characteristics in different genotypes. *Meat Science*, 88(1), 117-121.
- Judge, M.D., Aberle, E.D., Forrest, J.C., Hedrick, H.B., Merkel, R.A. (1989). *Principles of meat science*. 2nd ed, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque.
- Kam, S.K., Kang, K.H., Lee, M.G. (2005). Removal Characteristics of Ethyl Acetate and 2-Butanol by a Biofilter Packed with Jeju Scoria. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 15(5), 977-983.

- Kang Tae Min. (2021). Antimicrobial effects and mechanisms of plasma-activated acetic acid against Salmonella Typhimurium and its application for chicken meats. Graduate School of Seoul National University, Seoul. (국내석사학위논문)
- Khan, M.I., Jo, C., Tariq, M.R. (2015). Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors: A systematic review. *Meat Science*, 110, 278-284.
- Khan, M.I., Jung, S., Nam, K.C., Jo, C. (2016). Postmortem aging of beef with a special reference to the dry aging. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 36(2), 159-169.
- Kim, D.G., Jung, K.K., Sung, S.K., Choi, S.B., Kim, D.Y., Choi, B.J. (1996). Effects of castration on the carcass characteristics of Hanwoo and Holstein. *Korean Society Of Animal Sciences*. 38(3), 239-248.
- Kim, J.H., Kim, D.H., Ji, D.S., Lee, H.J., Yoon, D.K., Lee, C.H. (2017). Effect of aging process and time on physicochemical and sensory evaluation of raw beef top round and shank muscles using an electronic tongue. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(6), 823.
- Kim, J.H., Kim, J.H., Yoon, D.K., Ji, D.S., Jang, H.J., Lee, C.H. (2018a). A comparison of dry and wet aging on physicochemical and sensory characteristics of pork loin with two aging times. *Food Science And Biotechnology*, 27(6), 1551-1559.

- Kim, J.H., Kim, T.K., Shin, D.M., Kim, H.W., Kim, Y.B., Choi, Y.S. (2020). Comparative effects of dry-aging and wet-aging on physicochemical properties and digestibility of Hanwoo beef. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 33(3), 501-505.
- Kim, J.H., Seong, P.N., Cho, S.H., Jeong, D.W., In, T.S., Jeong, J.H., Park, B.Y., Lee, J.M., Kim, D.H., Ahn, C.N. (2008). Tenderness survey of branded Hanwoo beef-2007: Assessment of Warner-Bratzler shear for Hanwoo beef by quality grade and subprimal cuts. *Food Science of Animal Resources*, 28(3), 283-288.
- Kim Jung ho. (2019). Effects of aging time and aging method on physicochemical and sensory characteristics of pork loin. Graduate School of Konkuk University, Seoul. (국내석사학위논문)
- Kim, M., Choe, J., Lee, H.J., Yoon, Y., Yoon, S., Jo, C. (2019). Effects of aging and aging method on physicochemical and sensory traits of different beef cuts. *Food Science of Animal Resources*, 39(1), 54-64.
- Kim, S.J., Kim, J.C., Park.S.H., Kim, J. Yoon, Y.H., Lee, H.Y. (2021). Identification of microbial flora in dry aged beef to evaluate the rancidity during dry aging. *Study of Microbiological Safety in the Food Chain*. 9(11), 2049.
- Kim, Y.H.B, Kemp, R., Samuelsson, L.M. (2016). Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Science*, 111, 168-176.

- Kim, Y.H.B, Kemp, R., Samuelsson, L.M. (2018b). Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins. *Meat Science*, 111, 168-176.
- Koohmaraie, M. (1996). Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43(Suppl 1), 193-201.
- Kook, K., Kim., K.H. (2005). Changes of physico-chemical, microbiology and sensory properties on Hanwoo beef fed with supplemental Bamboo vinegar during refrigerated storage. *Food science of Animal Resources*, 25(4), 403-408.
- Ladikos, D., Lougovois, V. (1990). Lipid oxidation in muscle foods: A review. *Food Chemistry*, 35, 295-314.
- Lautenschlager, R. (2012). Latest trends in beef maturation-dry aged versus wet-aged beef. In paper presented at the proceedings of the 58th international congress of meat science and technology.
- Lee, C.W., Lee, J.R., Kim, M.K., Jo, C., Lee, K.H., You, I., Jung, S. (2016). Quality improvement of pork loin by dry aging. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 36(3), 369-376.
- Lee H.Y., Yoon Y.H. (2015). Microbiological safety of dry-aging meat. *Safe Food*, 10(4), 37-41.

- Lee, H.J., Choe, J., Kim, K.T., Oh, J., Lee, D.G., Kwon, K.M., Choi, YI., Jo, C. (2017). Analysis of low-marbled Hanwoo cow meat aged with different dry-aging methods. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30, 1733-1738.
- Lee, H.J., Yoon, Y.H., Jo, C. (2018a). 건식숙성한 우육의 유통관리 방법. *축산식품과학과 산업*, 7(2), 2-9.
- Lee, H.J., Choe, J.H., Yoon, J.W., Kim, S.J., Oh, H.M., Yoon, Y.H., Jo, C. (2018b). Determination of Salable Shelf-life for Wrap-packaged Dry-aged Beef during Cold Storage. *Koreans Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(2), 251-258.
- Lee, H.J., Choe, J.H., Kim, M.S., Kim, H.C., Yoon, J.W., Oh, S.W., Jo, C. (2019a). Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry- and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses. *Meat Science*, 151, 82-88.
- Lee, H.J., Yoon, J.W., Kim, M.S., Oh, H.M., Yoon, Y.H., Jo, C. (2019b). Changes in microbial composition on the crust by different air flow velocities and their effect on sensory properties of dry-aged beef. *Meat Science*, 153, 152-158.
- Lee, Y.J., Kim, C.J., Park, B.Y., Seong, P.N., Kim, J.H., Kang, G.H., Kim, D.H., Cho, S.H. (2010). Chemical composition, cholesterol, trans fatty acids contents, pH, meat color, water holding capacity and cooking loss of Hanwoo beef(korean native cattle) quality grade. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 30(6), 997-1006.

- Lepper-Blilie, A.N., Berg, E.P., Buchanan, D.S. Berg, P.T. (2016). Effects of post-mortem aging time and type of aging on palatability of low marbled beef loins. *Meat Science*, 112, 63-68.
- Li, X., Babol, J., Bredie, W.L., Nielsen, B., Tománková, J., Lundström, K. (2014). A comparative study of beef quality after ageing longissimus muscle using a dry ageing bag, traditional dry ageing or vacuum package ageing. *Meat Science*, 97(4), 433-442.
- Lim, D.G., Cha, J.S., Jo, C., Lee, K.H., Kim, J.J., Nam, K.C. (2014). Comparison of Physicochemical and Functional Traits of Hanwoo Steer Beef by the Quality Grade. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 34(3), 287-296.
- Lopez-Bote, C., Warriss, P.D., Brown, S.N. (1989). The use of muscle protein solubility measurements to assess pig lean meat quality. *Meat Science*. 26, 167-175.
- Lopp, A., Weber, H. (2005). Untersuchungen zur Optimierung der Zartheit von Rindfleisch. *Fleischwirtschaft (Frankfurt)*, 85(3), 111 - 116.
- Maltin, C., Balcerzak, D., Tilley, R., Delday, M. (2003). Determinants of meat quality: tenderness. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62, 337-347.
- Mari Ann Tørngren, Mianne Darré, Annemarie Gunvig, Alexander Bardenshtein. (2018). Case studies of packaging and processing solutions to improve meat quality and safety. *Meat Science*, 144, 149-158.

- Miwa, K., Iida, H. (1973). Studies on ethyl alcohol determination in “Shiokara” by the microfiltration method. *Bulletin of The Japan Society for the Science of Fish.* 39, 1189-1194.
- Møller, A.J., Vestergaard, T., Wismer-Pedersen, J. (1973). Myofibril fragmentation in bovine longissimus dorsi as an index of tenderness. *Journal of Food Science*, 38(5), 824 - 825.
- Mottram, D.S. (1998). Flavor formation in meat and meat products. *Food Chemistry*, 62, 415 - 424.
- Nino Terjung, Franziska Witte, Volker Heinz. (2021). The dry aged beef paradox: Why dry aging is sometimes not better than wet aging. *Meat Science*, 172, Article 108355.
- Nowak, D. (2005). Methods for improving the tenderness of beef-Influence metal ions and temperatures. *Fleischwirtschaft(Frankfurt)*, 85(11), 109-111.
- O’Halloran, G.R., Troy, D.J., Buckley, D.J. (1997). The relationship between early post-mortem pH and the tenderisation of beef muscles. *Meat Science*, 45(2), 239-251.
- Obuz, E., Akkaya, L., Gok, V., Dikeman, M.E. (2014). Effects of blade tenderization, aging method and aging time on meat quality characteristics of longissimus lumborum steaks from cull Holstein cows. *Meat Science*, 96, 1227 - 1232.

- Oh, H., Lee, H.J., Lee, J., Jo, C., Yoon, Y. (2019b). Identification of microorganisms associated with the quality improvement of dry-aged beef through microbiome analysis and DNA sequencing, and evaluation of their effects on beef quality. *Journal of Food Science*, 84(10), 2944 - 2954.
- Oh, J., Lee, H.J., Yoon, J.W., Choe, J., Jo, C. (2019a). Electrical resistance and mold distribution on beef surface as indicators of dry aging. *Journal of Food Process Engineering*, 42(5), Article e13122.
- Oh Jung min. (2018). Establishment of aging indicator for dry-aged beef. Graduate School of Seoul National University, seoul. (국내석사학위논문)
- Ouali, A., Herrera-Mendez, C.H., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., Sentandreu, M.A. (2006). Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Science*, 74(1), 44 - 58.
- Ouali, A., Gagaoua, M., Boudida, Y., Becila, S., Boudjellal, A., Herrera-Mendez, C.H., Sentandreu, M.A. (2013). Biomarkers of meat tenderness: Present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. *Meat Science*, 95(4), 854 - 870.
- Park, J.G., Yoon, Y., Park, J.N., Han, I.J., Song, B.S., Kim, J.H., Kim, W.G., Hwang, H.J., Han, S.B., Lee, J.W. (2010). Effects of gamma irradiation and electron beam irradiation on quality, sensory and bacterial population in beef sausage patties. *Meat Science*, 85, 368-372.

- Polak, T., Gašperlin, L., Žlender, B. (2007). Various instrumental and biochemical parameters as ageing indicators of beef longissimus dorsi muscle and their relation to creatine and creatinine content. *European Food Research and Technology*, 225(5 - 6), 849 - 855.
- Ribeiro, F.A., Lau, S.K., Pflanzner, S.B., Subbiah, J., Calkins, C.R. (2020). Color and lipid stability of dry aged beef during retail display. *Meat Science*, 171(5), Article 108274.
- Ristic, M., Miscevic, B. (2012). Survey of the tenderness of meat of beef, pork, poultry and rabbit - A comparison. *Fleischwirtschaft(Frankfurt)*, 92(2), 100-104.
- Ryu, S., Park, M.R., Maburutse, B.E., Lee, W.J., Park, D.J., Cho, S.H., Hwang, I.H., Oh, S.N., Kim, Y.H. (2018). Diversity and characteristics of the meat microbiological community on dry aged beef. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(1), 105 - 108.
- Salih, A.M., Smith, D.M., Price, J.R., Dawson., L.E. (1987). Modified extraction 2-thiobarbituric acid method for measuring lipid oxidation in poultry. *Poultry Science*. 66, 1483 - 1488.
- Seltzer, J.L., Akers, K.T., Weingarten, H., Grant, G.A., McCourt, D.W., Eisen, A.Z. (1990). Cleavage specificity of human skin type IV collagenase (gelatinase). Identification of cleavage sites in type I gelatin, with confirmation using synthetic peptides. *Journal of Biological Chemistry*, 265, 20409-20413.

- Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., Meade, M.K., Reagan, J.O., Byrnes, B.L., Koohmaraie, M. (2001). Consumer impressions of tender select beef. *Journal Of Animal Science*, 79(10), 2605-2614.
- Smith, R.D., Nicholson, K.L., Nicholson, J.D.W., Harris, K.B., Miller, R.K., Griffin, D.B., Savell, J.W. (2008). Dry versus wet aging of beef: Retail cutting yields and consumer palatability evaluations of steaks from US Choice and US Select short loins. *Meat Science*, 79(4), 631-639.
- Spanier, A.M., Flores, M., McMilli, K.W., Bidne, T.D. (1997). The effect of post-mortem aging on meat flavor quality in Brangus beef. Correlation of treatments, sensory, instrumental and chemical descriptors. *Food Chemistry*, 59, 531 - 538.
- Stenström, H., Li, X., Hunt, M.C., Lundström, K. (2014). Consumer preference and effect of correct or misleading information after ageing beef longissimus muscle using vacuum, dry ageing, or a dry ageing bag. *Meat Science*, 96(2A), 661-666.
- Thomas, R., Anjaneyulu, A.S.R., Gadekar, Y.P., Pragati, H., Kondaiah, N. (2007). Effects of comminution temperature on the quality and shelf life of buffalo meat nuggets. *Food Chemistry*. 103(3), 787-794.
- Utama, D.T., Kim, Y.J., Jeong, H.S., Kim, J., Barido, F.H., Lee, S.K. (2020). Comparison of meat quality, fatty acid composition and aroma volatiles of dry-aged beef from Hanwoo cows slaughtered at 60 or 80 months old. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33(1), 157-165.

- Valerio Azzimato, Nina Genneback, Ali M. Tabish, Byambajav Buyandelger, Ralph Knöll. (2016). Desmin, desminopathy and the complexity of genetics. *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, 92, 93-95.
- Warren, K.E., Kastner, C.L. (1992a). The colour of the adductor muscle as a predictor of pork quality in the loin. *Meat Science*, 73(4), 565-569.
- Warren, K.E., Kastner, C.L. (1992b). A comparison of dry-aged and vacuum-aged beef strip loins, *Journal of Muscle Foods*, 3(2), 151-157.
- Watanabe, A., Daly, C.C., Devine, C.E. (1996). The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Science*, 42(1), 67-78.
- 감상규, 현성수, 이민규. (2002). 제주 스코리아에 의한 구리 및 납 이온의 흡착특성. *대한환경공학회지*, 24(1), 57-69.
- 강석남, 김일석, 남기창, 민병록, 이무하, 임동균, 장애라, 조철훈. (2018). *식육과학 4.0*, 유한문화사.
- 강선문, 강근호, 성필남, 김영춘, 박범영, 조수현. (2014). 포장방법이 한우육의 숙성 중 육색 및 맛 관련 전구물질에 미치는 영향. *동물자원연구*, 25(1), 38-48.
- 김영중 (2020a). 다산 한우채끝을 이용한 건식숙성육 개발에 관한 연구. 강원대학교 대학원, 춘천. (국내박사학위논문)
- 김정태, 이창한, 감상규. (2020b). 제주 스코리아로부터 합성한 제올라이트에 의한  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  및  $Cr^{3+}$ 의 흡착 특성. *한국환경과학회지*, 29(7), 739-748.

김진희, 오창윤. (2019). 제주점토와 스코리아(scoria)를 활용한 용기소지 개발 연구. 한국도자학연구, 16(2), 27-42.

김태경. (2017). 고기의 가치를 높이는 기술. 팜커뮤니케이션.

농촌진흥청 국립축산과학원. (2019). 쇠고기 건식숙성육 생산을 위한 품질 및 위생관리 가이드. 진한엠앤비.

방병호, 채기수, 심상국, 윤원호, 조갑연, 김중배, 황종현, 이문수, 석순자. (2017). 식품 미생물학. 도서출판 진로.

소재관. (2002). 송이(Scoria)의 거동 특성 및 예측에 관한 연구. 제주대학교 대학원, 제주. (국내석사학위논문)

손두원. (2020). 한국의 대규모 소매 유통업체에서 수집한 돼지고기의 미생물 군집 분석. 한림대학교 대학원, 춘천. (국내석사학위논문)

손지용. (2019). 숙성육 관련 소비자 인식과 마케팅 대응방안. 농촌진흥청 국립축산과학원 기술지원과.

식품위생법 제 48조

식품의약품안전처. (2017). 식품, 식품첨가물, 축산물 및 건강기능식품의 유통기한 설정기준. 식품의약품안전처 고시 제2017-89호.

식품의약품안전처. (2018). 식육 중 미생물 검사에 관한 규정. 식품의약품안전처 고시 제2018-2호.

식품의약품안전처. (2021). 식품통계로 알아보는 식중독 발생현황.

- 식품의약품안전처. (2022). 식품공전. 식품의약품안전처 고시 제2022-7호.
- 안설빈, 황선희, 조용선. (2020). 냉장온도에서 생육, 습식숙성육, 건식숙성육의 저장 안전성. 한국식품위생안전성학회지, 35(2), 170-176.
- 이지수. (2020). 한우 우둔의 품질향상을 위한 숙성기간에 관한 연구. 충북대학교, 청주. (국내석사학위논문)
- 이지영. (2017a). 미생물 자원 활용을 통한 저등급 소고기 건조 숙성법 개발. 숙명여자대학교 대학원, 서울. (국내석사학위논문)
- 이현정, 최주희, 윤영권, 윤요한, 조철훈. (2017b). 건식숙성을 이용한 저지방 우육의 고부가가치화. 축산식품과학과 산업, 6(1), 72-79.
- 임은숙. (2012). 제주송이(Scoria)를 이용한 면직물과 견직물의 염색성 및 기능성에 관한 연구. 제주대학교 대학원, 제주. (국내박사학위논문)
- 장희은. (2020). 건조숙성 저지방육의 품질특성에 관한 연구 : 한우 2등급 보섭을 중심으로. 세종대학교 관광대학원, 서울. (국내석사학위논문)
- 전국한우협회. (2022). 문재인 정부의 소고기 수입구조 변화.  
<https://www.ihanwoo.org/news/newletterView?Ncode=newsNinfo&number=119765&bookYear=2022&bookMonth=2&tabsNum=4>
- 정진연. (2002). 진공포장 한우육의 냉수침지 숙성방법이 지방 및 육색소 산화와 포장감량에 미치는 영향. 경상대학교, 진주. (국내석사학위논문)
- 정충일, 백영진, 박승용. (2006). 축산식품 미생물학. 유한문화사.

- 조수현, 강선문, 김윤석, Hoa Van Ba, 김영춘, 김진형, 박범영, 안달래, 이은미, 성필남. (2018). 건조숙성 조건이 한우 설도육의 건조수율, 미생물 성장 및 저장성에 미치는 영향. 동물자원연구, 29(3), 106-114.
- 조영우. (1999). 제주 Scoria의 중금속 흡착특성. 제주대학교 산업대학원, 제주. (국내석사학위논문)
- 채현석, 유영모, 안종남, 정석근, 함준상, 김관태, 원경환. (2005). 닭고기 냉장(4℃) 저장에 따른 Torry meter 및 K값의 변화. 한국축산식품학회, 제 36차 추계 학술발표대회, 259-262.
- 축산물품질평가원, 서울대학교. (2016). 한우고기 건조숙성 방법 설정 연구. 한우 자조금 위원회.
- 통계청. (2022). 식중독 신고건수 및 환자수.  
[http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtIPageDetail.do?idx\\_cd=2761](http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtIPageDetail.do?idx_cd=2761)
- 하윤경, 황인호, 최주희, 강선문, 김윤석, 설국환, 서현우, 김진형, 조수현. (2019). 건조숙성과 습식숙성조건에 따른 저등급 한우 압소 등심, 보섭 및 우둔육의 육질특성 비교. 동물자원연구, 30(3), 121-132.
- 한국농촌경제연구원. (2022). 농업전망 2022: 농업·농촌, 새 희망을 보다.
- 한국식육과학연구회. (2018). 식육과학. 선진문화사.
- 한국식품안전관리인증원(HACCP). 기관소개.  
<https://www.haccp.or.kr/site/haccp/sub.do?key=341>
- 한국식품연구원. (2019). 국내산 숙성 쇠고기의 표준화 연구.

## 감사의 글

논문을 마치며 학부생 시절과 대학원생 시절을 떠올리게 되었고 대학원 졸업에 대한 실감이 아직 나지 않습니다. 어느새 실험실에 들어왔던 학부생 때부터 지금까지 2년이 넘는 시간이 지났고 정말 많은 것을 배울 수 있던 것에 정말 감사드리며 그동안 제게 도움을 주신 모든 분에게 감사의 말씀 드립니다. 특히 취업에 대해 고민이 많았던 학부 4학년 때 대학원 진학이라는 기회를 주셨고 부족한 제게 항상 필요했던 조언을 해주시며 이곳까지 이끌어주신 류연철 교수님께 가장 감사드립니다. 바쁘신 와중에도 논문심사를 해주시고 좋은 조언을 해주신 이왕식 교수님, 도경탁 교수님 감사드립니다. 그리고 제가 대학원 생활에 잘 생활할 수 있게 도와주시고 많은 것을 알려주시고 조언해주신 고경보 학술연구 교수님께도 감사드리며, 같이 과제를 하며 실험을 설계하고 같이 대학원 생활을 보낸 김광훈 선생님, 동균 오빠, 문찬 오빠에게도 정말 감사드립니다. 또한 대학원 생활에 필요한 정보를 주시고 맛있는 밥도 사주셨던 저와 학부생 때부터 알아 온 선배이자 조교 선생님들, 취미생활을 하면서도 정말 좋으신 코치님과 유소년들을 만나 정말 재밌던 시절을 보낼 수 있었습니다. 대학 시절 친구들뿐 아니라 혼자 타지에 내려온 저를 위해 항상 응원하고 안부를 물어보던 제 고등학교 시절 절친들에게도, 서울에서 제주까지 내려와 공부하는 제게 아낌없이 지원해주시고 사랑해주는 부모님께도, 비록 자주 말싸움을 해도 소중한 동생에게도 정말 미안하면서도 많이 감사합니다. 대학원에 들어와 2년 반 동안 돌이켜보면 다양한 과제를 수행할 수 있었고 여러 실험을 직접 설계하고 진행하면서 많은 것을 배울 수 있었습니다. 앞으로 사회에 나가서도 이곳에서 배운 것을 잊지 않고 나아가 후에 만나게 될 사람들과도 잘 지낼 수 있을 것 같습니다. 항상 부족했던 저를 이곳까지 이끌어주셨던 모든 분에게 다시 감사 말씀을 드리며, 제가 받았던 관심과 사랑을 배풀 기회가 오기를 바랍니다.

2022년 8월

김 솔 지