



## 온도편차가 한우고기의 장기간 숙성 중 보수력, 연도, 지방산화 및 육색안전성에 미치는 영향

강선문<sup>1,\*</sup> · 안달래<sup>2</sup> · 성필남<sup>3</sup> · 김진형<sup>1</sup> · 조수현<sup>1</sup> · 박범영<sup>1</sup> · 김윤석<sup>1</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립축산과학원, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립농업과학원, <sup>3</sup>농촌진흥청 연구정책국

Effect of Temperature Deviation on the Water-holding Capacity, Tenderness, Lipid Oxidation, and Color Stability of Korean *Hanwoo* (韓牛) Beef during Long-term Aging

Sun Moon Kang<sup>1,\*</sup>, Dalrae Ahn<sup>2</sup>, Pil-Nam Seong<sup>3</sup>, Jin-Hyoung Kim<sup>1</sup>, Soohyun Cho<sup>1</sup>, Beom-Young Park<sup>1</sup>, Yunseok Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Institute of Animal Science, Rural Development Administration

<sup>2</sup>National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration

<sup>3</sup>Planning and Coordination Bureau, Rural Development Administration

### Abstract

This study investigated the effect of temperature deviation on the water-holding capacity, tenderness, lipid oxidation, and color stability of Korean *Hanwoo* (韓牛) beef during long-term aging. The striploins (*M. longissimus lumborum*) were aged for 56 days at  $2\pm 1^\circ\text{C}$  (T1),  $2\pm 2^\circ\text{C}$  (T2), or  $2\pm 3^\circ\text{C}$  (T3). Drip loss and cooking loss were higher ( $p<0.05$ ) in T3 than in T1 on day 56. The Warner-Bratzler shear force value was similar for all treatments during aging times. On day 56, the content of 2-thiobarbituric acid reactive substances was higher ( $p<0.05$ ) in T3 as compared to T1. The CIE L\* and b\* values were similar for all treatments, but the a\* value was lower ( $p<0.05$ ) in T3 than in T1 on the last day. These findings indicate that high temperature deviation adversely affects the water-holding capacity, lipid oxidation stability, and color stability of Hanwoo beef during long-term aging.

Key Words: Temperature deviation, water-holding capacity, tenderness, oxidation stability, *Hanwoo* beef

## 1. 서 론

한우(韓牛, *Bos taurus coreanae*)는 우리나라의 대표적인 고기용 소 품종으로써 기원전 4천년 전에 *Bos taurus*와 *Bos indicus* 교잡종이 한반도로 이동하여 같은 종끼리 교배하면서 정착한 것으로 추정되고 있다(Lee et al. 2014). 한우고기는 육우고기와 수입산 고기에 비해 근내지방 함량이 매우 높고, 단가불포화지방산과 올레인산(Oleic acid)을 다량 함유하고 있다(Smith et al. 2009). 이러한 특징으로 인해 조직감이 매우 연하고 맛과 향기가 풍부할 뿐만 아니라, 우리나라 소비자들은 한우고기를 최고급육이라고 인식하면서 소비하고 있다.

2018년 우리나라 쇠고기의 총 소비량과 1인당 소비량은 653천톤 및 12.6 kg으로 추정되며, 전년도 대비 12% 및 11.5%씩 급격하게 증가한 수치이다(KREI 2019). 이후에도

연평균 2.6%와 2.3%씩 지속적으로 증가하여 2028년에는 총 소비량과 1인당 소비량이 805천톤과 15.2 kg에 이를 것으로 전망하고 있다. 쇠고기는 돼지고기, 닭고기와 함께 주요 동물성 식품으로써 고품질의 단백질과 미량 영양소를 함유하고 있다(Oh et al. 2017). 최근 식품 소비 트렌드가 품질 중심으로 전환되면서 현대 소비자들은 쇠고기를 구매할 때에 품질을 가장 중요한 구매요인으로 고려할 뿐만 아니라, 품질이 좋다면 비싼 가격을 지불해서라도 구매하기를 원한다(Risius & Hamm 2017).

일반적으로 고기의 품질은 주로 보수력, 연도, 지방산화, 육색을 통해 결정된다. 고기에서 보수력이 좋을수록 가열 조리 시 감량이 감소되고 소비자의 관능적 기호도가 향상되며(Hopkins et al. 2006), 연도는 소비자들이 고기를 먹을 때에 첫 번째로 중요하게 평가하는 항목이다(Miller et al. 2001; Koohmaraie et al. 2002; Starkey et al. 2015). 또한 지방산

\*Corresponding author: Dr. Sun Moon Kang, Animal Products Utilization Division, National Institute of Animal Science, Rural Development Administration, 1500, Kongjwipatji-ro, Iseo-myeon, Wanju, Jeollabuk-do 55365, Korea  
Tel: +82-63-238-7394 Fax: +82-63-238-7397 E-mail: smkang1014@naver.com

화는 변색을 일으키고 독성물질과 악취를 생성함으로써 고기의 인체 안전성과 품질을 떨어뜨린다(Gray et al. 1996).

쇠고기의 품질은 도축 전 사양방법, 급여사료의 종류 및 스트레스의 유무뿐만 아니라, 도축 후 유통조건에 의해 크게 영향을 받는다(Jeremiah & Gibson 2001; Modzelewska-Kapitula et al. 2018; Oliveira et al. 2018; Jorquera-Chavez et al. 2019). 쇠고기의 숙성기간이 장기간 실시될 경우 연도가 크게 향상되지는 않으나, 지방산화와 변색, 신선도의 저하가 현저하게 일어난다(Martin et al. 2013; Garner et al. 2014; Colle et al. 2015a, b). 또한 숙성온도가 높으면 연도가 증가하지만, 육즙의 유출과 지방산화, 육색의 변질이 촉진된다고 보고되었다(Limbo et al. 2010; Coombs et al. 2017). 그러므로 쇠고기의 장기간 숙성기간 동안 숙성고문을 여는 등의 과정을 통해 쇠고기를 외부온도에 노출시키고 숙성고의 온도편차를 크게 만들 경우 숙성 쇠고기의 품질을 크게 떨어뜨릴 수 있다. 하지만 현재까지 장기간 숙성 중 온도편차에 따른 쇠고기의 품질에 대한 연구결과가 보고된 바 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 온도편차가 한우고기의 장기간 숙성 중 보수력, 연도, 지방산화 및 육색안정성에 미치는 영향을 구명하고자 실시했다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 공시재료 및 실험설계

공시재료는 거세한우 채끝(*M. longissimus lumborum*, 1등급)을 지역 육가공업체로부터 구입하여 이용했다. 시료는 약 5 cm 두께로 절단하여 진공포장(FJ-750D, Jiwoo Eng, Hwaseong, Gyeonggi-do, Korea)했다. 이후 3개 처리구(T1: 2±1°C, T2: 2±2°C, T3: 2±3°C)로 나누어 각각을 3개의 다른 2°C 냉장고(DS-95P, Dasol Scientific Co., Ltd., Hwaseong, Gyeonggi-do, Korea)에 넣었다. 모든 냉장고들은 최초 3시간 동안 2°C로 유지시키고, 냉장고문을 주기적으로 열고 닫는 것과 같은 효과가 발생하도록 각각의 냉장고 온도를 1, 3 및 6°C로 전환시켜 3시간 유지시킨 다음 모두 0°C에서 3시간 유지시키고 다시 2°C로 복귀시켜 3시간 유지하도록 반복 프로그램을 설정한 상태로 56일간 저장했다. 각각의 냉장고 온도(0, 1, 2, 3, 6°C)는 시료의 숙성 전에 thermo recorder (TR-71wf, T&D Corp., Matsumoto, Nagano, Japan)를 이용해 검증했다. 시료의 숙성온도와 기간은 한우 대부분할육의 상업적인 유통온도(2°C)와 기한(60일)을 통해 설정했으며, 시료의 보수력, 연도, 지방산화 및 육색은 숙성 0, 14, 28, 42, 56일째에 분석했다.

### 2. 드립감량 측정

드립감량은 Colle et al.(2016)의 방법에 의해 실시했다. 각각의 저장일마다 진공포장을 개봉하여 filter paper No. 1 (Whatman International Ltd., Maidstone, Kent, England)으

로 표면의 육즙을 제거한 후 무게를 측정했다. 최종 결과는 저장 전 시료의 무게에 대한 저장 중 유출된 육즙 무게의 백분율(%)로 산출했다.

### 3. 가열감량 측정

가열감량은 Honikel(1998)의 방법에 의해 실시했다. 시료를 약 3 cm 두께로 절단하여 무게를 측정 후 식품용 저밀도 폴리에틸렌 지퍼백에 넣고, 100°C에서 시료의 중심부 온도가 75°C로 상승할 때까지 가열했다. 중심부 온도는 digital thermometer (305B Model, Tecpel Co., Ltd., Taipei, Taiwan)로 측정했다. 가열이 완료된 시료는 얼음물에 넣어 12시간 동안 냉각한 후 Whatman filter paper No. 1으로 표면의 육즙을 제거하고 무게를 측정했다. 최종 결과는 가열 전 시료의 무게에 대한 가열 중 유출된 육즙 무게의 백분율(%)로 산출했다.

### 4. 전단가 측정

전단가는 Honikel(1998)의 Warner-Bratzler shear force 방법에 의해 실시했다. 가열감량 측정이 완료된 시료를 근섬유 방향과 평행이 되도록 직경 1.27 cm의 원통으로 성형했다. 이후 texture analyzer (Universal Tasting Machine 5543, Instron Corp., Norwood, MA, USA)에 장착된 Warner-Bratzler shear blade로 근섬유 방향의 직각으로 절단했다. 이때 절단 속도는 200 mm/min이었다. 최종 결과는 산출된 피크에서 최고 정점일 때의 힘(kgf)으로 산출했다.

### 5. 지방산화물 함량 측정

지방산화물 함량은 Sinnhuber & Yu(1977)의 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) 방법에 의해 실시했다. 시료 0.5 g을 25 mL 용량의 screw-capped pyrex tube에 정량하고, 항산화제(3% (w/w) BHA-3% (w/w) BHT-40% (w/w) Tween 20-54% (w/w) propylene glycol) 100 mg과 1% TBA-0.3% NaOH 3 mL를 넣은 후 5초간 혼합했다. 연이어 2.5% trichloroacetic acid-36 mM HCl 17 mL를 넣고, teflon-lined cap으로 밀봉한 후 100°C water bath에서 30분 동안 가열했다. 얼음물로 10분 동안 냉각하고, 상층액 5 mL와 chloroform 5 mL를 15 mL 용량의 tube에 옮긴 다음 3,000×g (Avanti J-E Centrifuge, Beckman Coulter, Inc., Fullerton, CA, USA)에서 15분간 원심분리했다. 이후 상등액의 흡광도를 532 nm (ProteomeLab DU-800 UV/Visible spectrophotometer, Beckman Coulter, Inc., Fullerton, CA, USA)에서 측정했다. 최종 결과는 시료 1 kg당 malondialdehyde (MDA) 함량(mg)으로 산출했으며, blank는 증류수 0.5 mL를 이용했다.

### 6. 표면육색 측정

Chroma meter (CR-400, Konica Minolta Optics, Inc.,

Osaka, Kansai, Japan)를 이용하여 시료의 명도(L\*), 적색도(a\*) 및 황색도(b\*)(CIE 2004)를 측정했다. 육색 측정 전 시료 표면을 식품용 선상 저밀도 폴리에틸렌 랩으로 덮은 후 2°C 암실에서 30분 이상 산소화시켰다. Chroma meter는 사용 직전에 white calibration plate (CR-A43, Konica Minolta Sensing, Inc., Japan; light source: illuminant C; L\*=97.46, a\*=0.08 및 b\*=1.81)로 보정했다.

7. 통계분석

본 실험을 통해 얻은 결과는 SPSS (PASW 21, IBM Corp., Armonk, NY, USA) program의 two-way analysis of variance (ANOVA)를 이용하여 통계분석을 실시했다. 처리구간 유의성은 Duncan's multiple range test를 통해 5% 수준에서 검증했다.

III. 결과 및 고찰

1. 드립감량

온도편차가 한우 채끝의 장기간 숙성 중 드립감량에 미치는 영향은 <Table 2>와 같다. 드립감량은 숙성온도편차(p<0.05)와 숙성기간(p<0.001)에 의해 유의적인 영향을 받았다<Table 1>. 온도편차에 따른 드립감량의 차이를 살펴보면, 숙성 42일까지 처리구들간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 56일째에 T3의 드립감량이 2.72%로 T1의 2.30%보다 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05). 각 처리구별로 숙성기간에 따른 드립감량의 변화를 살펴보면, T1은 숙성기간 동안 유의적인 변화를 보이지 않았던 반면(p>0.05), T2와 T3의 경우 저장 14, 42 및 56일째에 유의적으로 증가한 것으로 나타나(p<0.05) T1보다 빠른 증가를 보였다. Cassens et al. (2018)은 0~1.1°C에서 7일간 저장한 후 연이어 3.3~4.4°C에서 7일간 저장한 쇠고기의 드립감량을 0~1.1°C에서 14일간 저장한 쇠고기와 비교했을 때, 0~1.1°C에서 7일간 저장한 후 연이어 3.3~4.4°C에서 7일간 저장한 쇠고기의 드립감량이 높았다고 보고하였으며, 이는 본 실험결과와 유사했다. 또한 숙성기간이 쇠고기의 드립감량에 미치는 영향은 Lepper-Blilie et al.(2016)에 의해 보고된 바 있다. 이들은 쇠고기를 1°C에서 49일간 숙성했을 때, 저장 21일째부터 드립감량이 증가했다고 본 연구와 유사하게 보고했다. 드립감량은 고기의 품질항목 중에서 보수력을 측정하는 지표이다(Duun & Rustad 2007). 즉, 고기의 유통기간 동안 드립감량의 증가는 보수력의 감소를 의미한다. 고기에서 보수력의 감소는 고기에 함유된 영양성분을 더 많이 유출시킬 뿐만 아니라, 다즙성을 떨어뜨려 소비자 기호도를 감소시킨다(Decker et al. 2000). 특히, 숙성온도와 숙성기간이 증가할수록 고기의 보수력이 더 빨리 감소된다. 이러한 이유는 숙성온도가 증가할수록 드립의 점성이 감소되어 근섬유 사이들을 쉽게 이동할 수 있기 때문이다(Lawrie 1988). 또한 숙성기간 동안 오염된 미생물

<Table 1> Effects of temperature deviation, storage time, and their interaction on the experimental parameters

Items	Temperature deviation	Storage time	Interaction
Drip loss	*3)	***	NS
Cooking loss	**	***	NS
WBSF <sup>1)</sup>	NS	***	NS
TBARS <sup>2)</sup>	*	***	NS
L*	NS	***	NS
a*	*	***	NS
b*	NS	***	NS

<sup>1)</sup>Warner-Bratzler shear force value.  
<sup>2)</sup>2-thiobarbituric acid reactive substances.  
<sup>3)</sup>NS: not significant; \*p<0.05; \*\*p<0.01; \*\*\*p<0.001.

<Table 2> Effect of temperature deviation on the drip loss of striploin (*M. longissimus lumborum*) from Korean Hanwoo (韓牛) for 56 days of aging

Item	Storage time (day)	Treatment <sup>1)</sup>			SEM <sup>2)</sup>
		T1	T2	T3	
Drip loss (%)	14	1.27	1.48 <sup>B</sup>	1.60 <sup>C</sup>	0.06
	28	1.57	1.67 <sup>B</sup>	1.92 <sup>BC</sup>	0.12
	42	1.74	1.87 <sup>B</sup>	2.13 <sup>B</sup>	0.15
	56	2.30 <sup>b</sup>	2.58 <sup>abA</sup>	2.72 <sup>aA</sup>	0.08
	SEM <sup>2)</sup>	0.15	0.10	0.11	

<sup>a-b)</sup>Means in the same rows with different superscripts differ significantly (p<0.05).  
<sup>A-C)</sup>Means in the same columns with different superscripts differ significantly (p<0.05).  
<sup>1)</sup>T1: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±1°C; T2: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±2°C; T3: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±3°C.  
<sup>2)</sup>Standard error of the means.

이 분비하는 효소와 고기 자체 내에 함유된 단백질 분해효소의 작용으로 인해 보수와 관련된 기능을 가진 단백질이 점차 분해되거나 변성되기 때문이다(Olsson et al. 2007).

2. 가열감량

온도편차가 한우 채끝의 장기간 숙성 중 가열감량에 미치는 영향은 <Table 3>과 같다. 가열감량 역시 고기의 보수력을 측정하는 지표이며(Pearson & Dutson, 1994), 본 실험결과에서 숙성온도편차(p<0.01)와 숙성기간(p<0.001)에 의해 유의적인 영향을 받는 것으로 나타났다<Table 1>. 처리구들간에 가열감량의 차이를 살펴보면, 숙성 56일째에 T3의 가열감량이 30.16%로 T1의 26.60%보다 유의적으로 높게 나타났다(p<0.05). 각 처리구별로 숙성기간에 따른 가열감량의 변화는 T1이 숙성 28 및 56일째에 유의적인 차이를 보였다(p<0.05). 하지만 T2와 T3의 경우 숙성 14, 42 및 56일째에 유의적으로 증가하여(p<0.05) T1에 비해 가열감량이 빨리 증

<Table 3> Effect of temperature deviation on the cooking loss of striploin (*M. longissimus lumborum*) from Korean Hanwoo (韓牛) for 56 days of aging

Item	Storage time (day)	Treatment <sup>1)</sup>			SEM <sup>2)</sup>
		T1	T2	T3	
Cooking loss (%)	0	17.38 <sup>C</sup>	17.65 <sup>D</sup>	18.54 <sup>D</sup>	0.67
	14	18.69 <sup>C</sup>	20.39 <sup>C</sup>	21.52 <sup>C</sup>	0.46
	28	21.31 <sup>B</sup>	21.81 <sup>BC</sup>	23.45 <sup>BC</sup>	0.29
	42	22.82 <sup>B</sup>	24.07 <sup>B</sup>	24.47 <sup>B</sup>	0.36
	56	26.60 <sup>abA</sup>	29.94 <sup>abA</sup>	30.16 <sup>aA</sup>	0.65
	SEM <sup>2)</sup>	0.47	0.75	0.91	

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

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

<sup>1)</sup>T1: Hanwoo (韓牛) beef aged at  $2 \pm 1^\circ\text{C}$ ; T2: Hanwoo (韓牛) beef aged at  $2 \pm 2^\circ\text{C}$ ; T3: Hanwoo (韓牛) beef aged at  $2 \pm 3^\circ\text{C}$ .

<sup>2)</sup>Standard error of the means.

가하는 것으로 나타났다. 따라서 가열감량 역시 숙성온도편차가 클수록, 숙성기간이 증가할수록 현저하게 증가했다. 본 실험에서 숙성온도편차가 증가할수록 가열감량이 증가하는 현상은 드립감량에 대한 실험결과와 유사하게 나타났다. 또한 쇠고기를  $0^\circ\text{C}$ 에서 63일간 저장했을 때, 가열감량이 21일째부터 증가했다는 Colle et al.(2015b)의 보고와도 유사했다. 현재까지 드립감량과 가열감량의 상관관계에 대한 연구결과는 보고된 바 없으나, 고기의 숙성 중 가열감량이 증가하는 이유 역시 고기를 구성하는 단백질의 분해 때문이라고 판단된다(Shanks et al. 2002).

### 3. 전단가

온도편차가 한우 채끝의 장기간 숙성 중 전단가에 미치는 영향은 <Table 4>와 같다. 전단가는 숙성온도편차에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나( $p > 0.05$ ), 숙성기간에 의해 유의적인 영향을 받았다( $p < 0.001$ ) <Table 1>. T1, T2 및 T3의 전단가(3.89, 3.97 및 3.99 kgf) 모두 숙성기간 동안 지속적으로 감소하여 마지막 숙성 56일째에는 각각 1.59, 1.57 및 1.50 kgf 수준을 보였다. 숙성온도편차에 따른 고기의 장기간 숙성 중 전단가의 변화에 대해 보고된 바 없다. 하지만 Choe et al.(2016)은 양고기를  $-1.5 \sim 7^\circ\text{C}$ 에 14일간 숙성하면서 전단가를 분석했을 때, 숙성온도에 따른 차이가 없었다고 본 실험결과와 유사하게 보고했다. Rosenfold & Wiklund (2011) 역시 숙성온도( $-1.5 \sim 2^\circ\text{C}$ )가 양고기의 숙성기간(22일) 동안 전단가에 현저하게 영향을 미치지 않았다고 유사한 결과를 보고했다. 또한 Colle et al.(2015a)의 연구에서는 쇠고기를  $0^\circ\text{C}$ 에 63일간 숙성하면서 전단가를 분석한 결과, 숙성 14일째부터 현저하게 감소했다고 보고되었으며, 이는 본 연구결과와 동일했다. 도축 후 가축의 근육에서는 칼슘이 근소

<Table 4> Effect of temperature deviation on the Warner-Bratzler shear force (WBSF) value of striploin (*M. longissimus lumborum*) from Korean Hanwoo (韓牛) for 56 days of aging

Item	Storage time (day)	Treatment <sup>1)</sup>			SEM <sup>2)</sup>
		T1	T2	T3	
WBSF (kgf)	0	3.89 <sup>A</sup>	3.97 <sup>A</sup>	3.99 <sup>A</sup>	0.19
	14	2.52 <sup>B</sup>	2.53 <sup>B</sup>	2.30 <sup>B</sup>	0.14
	28	1.82 <sup>C</sup>	1.70 <sup>C</sup>	1.67 <sup>C</sup>	0.08
	42	1.73 <sup>C</sup>	1.68 <sup>C</sup>	1.62 <sup>C</sup>	0.05
	56	1.59 <sup>C</sup>	1.57 <sup>C</sup>	1.50 <sup>C</sup>	0.06
	SEM <sup>2)</sup>	0.12	0.22	0.21	

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

<sup>1)</sup>T1: Hanwoo (韓牛) beef aged at  $2 \pm 1^\circ\text{C}$ ; T2: Hanwoo (韓牛) beef aged at  $2 \pm 2^\circ\text{C}$ ; T3: Hanwoo (韓牛) beef aged at  $2 \pm 3^\circ\text{C}$ .

<sup>2)</sup>Standard error of the means.

포체(Sarcoplasmic reticulum)로부터 방출돼 calpain1, calpain2와 같은 칼슘 의존성 단백질 분해효소들이 활성화된다(Dransfield 1994). 이로 인해 근원섬유단백질(Titin, nebulin, desmin 및 troponin-T)의 분해가 촉진돼 전단가가 감소된다(Hopkins & Thompson 2002; Hoff-Lonergan et al. 2010). Colle & Doumit(2017)은 쇠고기에서 숙성 14일 이후부터 calpain1의 활성은 사라진 반면, calpain2의 활성은 84일까지도 남아있어 쇠고기의 장기간 숙성 중 전단가의 감소에 가장 큰 영향을 미치는 단백질 분해효소는 calpain2라고 보고했다.

### 4. 지방산화물 함량

온도편차가 한우 채끝의 장기간 숙성 중 TBARS 함량에 미치는 영향은 <Table 5>와 같다. 숙성온도편차( $p < 0.05$ )와 숙성기간( $p < 0.001$ )은 한우고기의 TBARS 함량에 각각 현저하게 영향을 미치는 것으로 나타났다<Table 1>. 숙성 42일까지는 처리구들의 TBARS 함량 간에 유의적인 차이를 보이지 않다가 56일째에 T3가 0.83 mg malondialdehyde (MDA)/kg meat로 T1의 0.59 mg MDA/kg meat보다 유의적으로 높게 나타났다( $p < 0.05$ ). 숙성기간에 따른 TBARS 함량의 차이를 살펴보면, 모든 처리구들에서 28일 이후부터 급격한 증가를 보였다( $p < 0.05$ ). 이러한 결과는 Jakobsen & Bertelsen (2000)의  $2 \sim 8^\circ\text{C}$  실험과 Limbo et al.(2010)의  $4.3 \sim 15.5^\circ\text{C}$  실험에서 쇠고기의 TBARS 함량이 숙성 중 급격하게 증가했다는 보고와 유사했다. 뿐만 아니라, Colle et al.(2016) 역시 숙성기간이 증가함에 따라 쇠고기의 TBARS 함량이 현저하게 증가했다고 동일하게 보고했다. 숙성온도가 높을수록 고기의 지방산화가 촉진되는 이유는 산소와 고기를 구성하는 불포화지방의 반응속도가 빨라지기 때문이다(Fennema 1985). 또한 숙성기간 동안 고기의 지방산화물 함량이 증가

<Table 5> Effect of temperature deviation on the 2-thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) content of striploin (*M. longissimus lumborum*) from Korean Hanwoo (韓牛) for 56 days of aging

Item	Storage time (day)	Treatment <sup>1)</sup>			SEM <sup>2)</sup>
		T1	T2	T3	
TBARS (mg MDA <sup>3)</sup> /kg meat)	0	0.22 <sup>D</sup>	0.21 <sup>C</sup>	0.22 <sup>C</sup>	0.01
	14	0.24 <sup>D</sup>	0.25 <sup>C</sup>	0.29 <sup>C</sup>	0.01
	28	0.33 <sup>C</sup>	0.35 <sup>BC</sup>	0.35 <sup>C</sup>	0.01
	42	0.44 <sup>B</sup>	0.49 <sup>B</sup>	0.58 <sup>B</sup>	0.03
	56	0.59 <sup>BA</sup>	0.68 <sup>abA</sup>	0.83 <sup>aA</sup>	0.04
	SEM <sup>2)</sup>	0.02	0.03	0.04	

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

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

<sup>1)</sup>T1: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±1°C; T2: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±2°C; T3: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±3°C.

<sup>2)</sup>Standard error of the means.

<sup>3)</sup>Malondialdehyde.

하는 이유는 고기 내에 함유돼 있던 비타민 E 등과 같은 항산화 물질이 점차 고갈되기 때문이다(Bekhit et al. 2005).

그리고 근육 세포막의 파괴로 인해 세포 내의 지방질이 외부로 유출되고(Morrissey et al. 1998), myoglobin, haemoglobin, ferritin을 구성하는 철원자가 이들로부터 유리됨으로써 지방산화물의 생성을 증가시킨다(Decker & Crum 1993).

5. 표면육색

온도편차가 한우 채끝의 표면육색에 미치는 영향은 <Table 6>과 같다. 명도(L\*)와 황색도(b\*)는 숙성온도편차에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았으나(p>0.05) <Table 1>, 모든 처리구들에서 숙성기간에 의해 유의적인 영향을 받아(p<0.001) <Table 1> 숙성기간이 증가함에 따라 점차적으로 감소했다(p<0.05). 적색도(a\*)의 경우 온도편차에 의해 영향을 받아(p<0.05) <Table 1> 숙성 56일째에 T3 (20.02)가 T1 (22.25)에 비해 유의적으로 낮은 수치를 보였다(p<0.05). 또한 숙성기간에 따른 적색도의 변화를 보면, 모든 처리구들에서 28일 이후부터 급격하게 감소했다(p<0.05). 본 실험결과는 5°C에서 숙성한 쇠고기의 적색도가 0°C에 숙성한 쇠고기보다 빨리 감소했다는 Ramanathan et al.(2014)의 보고와 유사했다. 또한 Martin et al.(2013)도 쇠고기의 숙성기간 동안 명도, 적색도 및 황색도 모두 현저하게 감소했다고 본 연구와 동일한 결과를 보고했다. 일반적으로 고기에서 발생하는 변색

<Table 6> Effect of temperature deviation on the surface color of striploin (*M. longissimus lumborum*) from Korean Hanwoo (韓牛) for 56 days of aging

Items	Storage time (day)	Treatment <sup>1)</sup>			SEM <sup>2)</sup>
		T1	T2	T3	
L* (Lightness)	0	41.67 <sup>A</sup>	41.66 <sup>A</sup>	41.27 <sup>AB</sup>	0.36
	14	41.87 <sup>A</sup>	41.69 <sup>A</sup>	42.06 <sup>A</sup>	0.47
	28	39.26 <sup>B</sup>	40.67 <sup>AB</sup>	39.45 <sup>ABC</sup>	0.44
	42	39.14 <sup>B</sup>	39.19 <sup>AB</sup>	38.77 <sup>BC</sup>	0.36
	56	38.92 <sup>B</sup>	38.07 <sup>B</sup>	38.29 <sup>C</sup>	0.59
	SEM <sup>2)</sup>	0.25	0.44	0.45	
a* (Redness)	0	28.29 <sup>A</sup>	27.51 <sup>A</sup>	27.46 <sup>A</sup>	0.34
	14	28.92 <sup>A</sup>	27.90 <sup>A</sup>	27.94 <sup>A</sup>	0.32
	28	25.65 <sup>B</sup>	24.44 <sup>B</sup>	24.13 <sup>B</sup>	0.30
	42	24.66 <sup>C</sup>	24.39 <sup>B</sup>	23.83 <sup>B</sup>	0.33
	56	22.25 <sup>aD</sup>	21.28 <sup>abC</sup>	20.02 <sup>bc</sup>	0.31
	SEM <sup>2)</sup>	0.31	0.55	0.56	
b* (Yellowness)	0	15.84 <sup>A</sup>	15.11 <sup>A</sup>	15.26 <sup>A</sup>	0.26
	14	15.91 <sup>A</sup>	15.16 <sup>A</sup>	15.27 <sup>A</sup>	0.24
	28	13.56 <sup>B</sup>	13.07 <sup>B</sup>	12.95 <sup>B</sup>	0.19
	42	13.34 <sup>B</sup>	12.94 <sup>B</sup>	12.60 <sup>B</sup>	0.22
	56	11.32 <sup>C</sup>	11.05 <sup>C</sup>	10.42 <sup>C</sup>	0.16
	SEM <sup>2)</sup>	0.21	0.37	0.36	

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

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

<sup>1)</sup>T1: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±1°C; T2: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±2°C; T3: Hanwoo (韓牛) beef aged at 2±3°C.

<sup>2)</sup>Standard error of the means.

의 원인 중 하나는 지방산화이다(Faustman et al. 2010). 즉, 불포화지방산의 산화로 생성된 자유라디칼이 고기의 주요 색소인 myoglobin을 metmyoglobin으로 산화시킴으로써 고기의 색깔을 선홍색에서 점차 갈색으로 변질시킨다(Lin & Hultin 1977; Gatellier et al. 1995). 또 다른 변색의 원인은 고기 내에 미토콘드리아의 기능 저하이다. 고기에서는 미토콘드리아가 산소를 소비함으로써 metmyoglobin을 환원시킨다. 하지만 고기의 숙성온도와 기간이 증가할수록 미토콘드리아의 산소 소비활동이 감소돼 metmyoglobin을 환원시키는 능력이 떨어지게 되고, 이로 인해 고기 내에 metmyoglobin의 농도가 증가돼 변색이 발생하게 된다(Renerre & Labas 1987; Arihara et al. 1995; Mancini & Ramanathan 2014).

#### IV. 요약 및 결론

본 연구는 온도편차가 한우고기의 장기간 숙성 중 보수력, 연도, 지방산화 및 육색안정성에 미치는 영향을 구명하고자 실시했다. 공시재료로 한우 채끝(*M. longissimus lumborum*)을 진공포장한 후 숙성온도편차에 따라 3개 처리구(T1: 2±1°C; T2: 2±2°C; T3: 2±3°C)로 나누어 56일간 숙성했다. 드립감량과 가열감량 모두 숙성 56일째에 T3가 T1 처리구보다 유의적으로 높았다( $p<0.05$ ). 전단가는 숙성기간 동안 모든 처리구들간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 2-thiobarbituric acid reactive substances 함량은 숙성 56일째에 T3가 T1에 의해 유의적으로 높았다( $p<0.05$ ). 명도(L\*)와 황색도(b\*)는 숙성기간 동안 모든 처리구들간에 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 적색도(a\*)는 숙성 56일째에 T3가 T1보다 유의적으로 낮았다( $p<0.05$ ). 따라서 온도편차가 클수록 한우고기의 장기간 숙성 중 보수력, 지방산화안정성 및 육색안정성을 떨어뜨렸다.

#### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립축산과학원 고유연구사업(과제 번호: PJ01231301)에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

#### References

Arihara K, Cassens RG, Greaser ML, Luchansky JB, Mozdzia PE. 1995. Localization of metmyoglobin reducing enzyme (NADH-cytochrome b5 reductase) system components in bovine skeletal muscle. *Meat Sci.*,

39(2):205-213

Behkit A, Llian M, Morton J, Vanhanan L, Sedcole J, Bickerstaffe R. 2005. Effect of calcium chloride, zinc chloride, and water infusion on metmyoglobin reducing activity and fresh lamb color. *J Anim Sci.*, 83(9):2189-2204

Cassens AM, Arnold AN, Miller RK, Gehring KB, Savell JW. 2018. Impact of elevated aging temperatures on retail display, tenderness, and consumer acceptability of beef. *Meat Sci.*, 146:1-8

Choe JH, Stuart A, Kim YHB. 2016. Effect of different aging temperatures prior to freezing on meat quality attributes of frozen/thawed lamb loins. *Meat Sci.*, 116:158-164

CIE. 2004. Technical report: Colorimetry. 3rd ed, CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) Central Bureau, Vienna, Publication 15

Colle MJ, Doumit ME. 2017. Effect of extended aging on calpain-1 and -2 activity in beef *longissimus lumborum* and *semimembranosus* muscles. *Meat Sci.*, 131:142-145

Colle MJ, Gray AR, Day RN, Loucks WI, Sutton HA, Nasados JA, Cochran AS, Richard RP, Doumit ME. 2015a. Influence of extended aging on Warner-Bratzler shear force and sensory perception of four beef muscles. *Meat Sci.*, 101:129-130

Colle MJ, Richard RP, Killinger KM, Bohlsheid JC, Gray AR, Loucks WI, Day RN, Cochran AS, Nasados JA, Doumit ME. 2015b. Influence of extended aging on beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the *gluteus medius* and *longissimus lumborum*. *Meat Sci.*, 110:32-39

Colle MJ, Richard RP, Killinger KM, Bohlsheid JC, Gray AR, Loucks WI, Day RN, Cochran AS, Nasados JA, Doumit ME. 2016. Influence of extended aging in beef quality characteristics and sensory perception of steaks from the *biceps femoris* and *semitendinosus*. *Meat Sci.*, 119:110-117

Coombs C, Holman BWB, Friend M, Hopkins DL. 2017. Long-term red meat preservation using chilled and frozen storage combinations: A review. *Meat Sci.*, 125:84-94

Decker E, Faustman C, Clemente J. 2000. Antioxidants in muscle foods. John Wiley & Sons, Inc., NY, USA. pp 85-133

Decker EA, Crum AD. 1993. Antioxidant activity of carnosine in cooked ground pork. *Meat Sci.*, 34(2):245-253

Dransfield E. 1994. Optimisation of tenderization, ageing and tenderness. *Meat Sci.*, 36(1-2):105-121

Duun AS, Rustad T. 2007. Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Food Chem.*, 105(3):1067-1075

Faustman C, Sun Q, Mancini R, Suman SP. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Sci.*, 86(1):86-94

- Fennema OR. 1985. Food chemistry. Marcel Dekker Inc., NY, USA. pp 139-244
- Garner CM, Unruh JA, Hunt MC, Boyle EAE, Houser TA. 2014. Effects of subprimals type, quality grade, and aging time on display color of ground beef patties. *Meat Sci.*, 98(2):301-309
- Gatellier P, Anton M, Renerre M. 1995. Lipid peroxidation induced by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-activated metmyoglobin and detection of a myoglobin-derived radical. *J. Agr. Food Chem.*, 43(3):651-656
- Gray JI, Goma EA, Buckley DJ. 1996. Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Sci.*, 43(2):S111-S123
- Hoff-Lonergan E, Zhang W, Lonergan SM. 2010. Biochemistry of postmortem muscle-Lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci.*, 86(1):184-195
- Honikel KO. 1998. References methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.*, 49(4):447-457
- Hopkins DL, Hegarty RS, Walker PJ, Pethick DW. 2006. Relationship between animal age, intramuscular fat, cooking loss, pH, shear force and eating quality of aged meat from sheep. *Australian J. Exp. Agr.*, 46(7):879-884
- Hopkins DL, Thompson JM. 2002. Factors contributing to proteolysis and disruption of myofibrillar proteins and the impact of tenderization in beef and sheep meat. *Australian J. Agr. Res.*, 53(2):149-166
- Jakobsen M, Bertelsen G. 2000. Colour stability and lipid oxidation of fresh beef. Development of a response surface model for predicting the effects of temperature, storage time, and modified atmosphere composition. *Meat Sci.*, 54(1):49-57
- Jeremiah LE, Gibson LL. 2001. The influence of storage temperature and storage time on color stability, retail properties and case-life of retail-ready beef. *Food Res. Int.*, 34(9):815-826
- Jorquera-Chavez M, Fuentes S, Dunshea FR, Jongman EC, Warner RD. 2019. Computer vision and remote sensing to assess physiological responses of cattle to pre-slaughter stress, and its impact on beef quality: A review. *Meat Sci.*, 156:11-22
- Koohmaraie M, Kent MP, Shackelford SD, Veiseth E, Wheeler TL. 2002. Meat tenderness and muscle growth: Is there any relationship? *Meat Sci.*, 62(3):345-352
- KREI. 2019. Agricultural Outlook. Korea Rural Economic Institute, Naju, Korea. pp 775-781
- Lawrie RA. 1988. Developments in meat science. Elsevier Applied Science, Amsterdam, The Netherlands. pp 63-243
- Lee SH, Park BH, Sharma A, Dang CG, Lee SS, Choi TJ, Choy Y H, Kim HC, Jeon KJ, Kim SD, Yeon SH, Park SB, Kang HS. 2014. Hanwoo cattle: origin, domestication, breeding strategies and genomic selection. *Korean J. Anim. Sci. Technol.*, 56(1):1-7
- Lepper-Blilie AN, Berg EP, Buchanan DS, Berg PT. 2016. Effects of post-mortem aging time and type of aging on palatability of low marbled beef loins. *Meat Sci.*, 112:63-68
- Limbo S, Torri L, Sinelli N, Franzetti L, Casiraghi E. 2010. Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat Sci.*, 84(1):129-136
- Lin TS, Hultin HO. 1977. Oxidation of myoglobin in vitro mediated by lipid oxidation in microsomal fractions of muscle. *J. Food Sci.*, 42(1):136-144
- Mancini RA, Ramanathan R. 2014. Effects of postmortem storage time on color and mitochondrial in beef. *Meat Sci.*, 98(1):65-70
- Martin JN, Brooks JC, Brooks TA, Legako JF, Starkey JD, Jackson SP, Miller MF. 2013. Storage length, storage temperature, and lean formulation influence the shelf-life and stability of traditionally packaged ground beef. *Meat Sci.*, 95(3):495-502
- Miller MF, Carr MA, Ramsey CB, Crockett KL, Hoover LC. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *J. Anim. Sci.*, 79(12):3062-3068
- Modzelewska-Kapituła M, Tkacz K, Nogalski Z, Karpiska-Tymoszczyk M, Draszanowska A, Pietrzak-Fieko R, Purwin C, Lipiski K. 2018. Addition of herbal extracts to the Holstein-Friesian bulls' diet changes the quality of beef. *Meat Sci.*, 145:163-170
- Morrissey P, Sheehy P, Galvin K, Kerry J, Buckley D. 1998. Lipid stability in meat and meat products. *Meat Sci.*, 49(1):S73-S86
- Oh M, Kim EK, Jeon BT, Tang Y, Kim MS, Seong HJ, Moon SH. 2017. Chemical compositions, free amino acid contents and antioxidant activities of Hanwoo (*Bos taurus coreanae*) beef by cut. *Meat Sci.*, 119:16-21
- Oliveira PPA, Corte RRS, Silva SL, Rodriguez PHM, Sakamoto LS, Pedroso AF, Tullio RR, Berndt A. 2018. The effect of grazing system intensification on the growth and meat quality of beef cattle in the Brazilian Atlantic Forest Biome. *Meat Sci.*, 139:157-161
- Olsson GB, Seppola MA, Olsen RL. 2007. Water-holding capacity of wild and farmed cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) muscle during ice storage. *LWT-Food Sci. Tech.*, 40(5):793-799
- Pearson AM, Dutson TR. 1994. Advances in meat research: Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Blackie Academic & Professional, London, England. pp 125-161

- Ramanathan R, Mancini RA, Van Buiten C. 2014. Effects of aging temperature and time on beef *longissimus* color intensity and stability. *Meat Sci.*, 96(1):491
- Renner M, Labas R. 1987. Biochemical factors influencing metmyoglobin formation in beef muscles. *Meat Sci.*, 19(2):151-165
- Risius A, Hamm U. 2017. The effect of information on beef husbandry systems on consumers' preferences and willingness to pay. *Meat Sci.*, 124:9-14
- Rosenvold K, Wiklund E. 2011. Retail colour display life of chilled lamb as affected by processing conditions and storage temperature. *Meat Sci.*, 88(3):354-360
- Shanks BC, Wulf DM, Maddock RJ. 2002. Technical note: The effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef *longissimus* steaks across several post-mortem aging periods. *J. Anim. Sci.*, 80(8):2122-2125
- Sinnhuber RO, Yu TC. 1977. The 2-thiobarbituric acid reaction, an objective measure of the oxidative deterioration occurring in fats and oils. *J. Japanese Soc. Fish. Sci.*, 26(5):259-267
- Smith SB, Gill CA, Lunt DK, Brooks MA. 2009. Regulation of fat and fatty acid composition in beef cattle. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 22(9):1225-1233
- Starkey CP, Geesink GH, Oddy VH, Hopkins DL. 2015. Explaining the variation in lamb *longissimus* shear force across and within ageing periods using protein degradation, sarcomere length and collagen characteristics. *Meat Sci.*, 105:32-37

---

Received November 5, 2019; revised November 21, 2019; accepted December 2, 2019