

## 골절 발생에 따른 돈육 반막모양근의 품질변화

정사무엘<sup>1</sup> · 이한현<sup>2</sup> · 황희태<sup>2</sup> · 임대운<sup>2</sup> · 이철우<sup>1</sup> · 조철훈<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>충남대학교 농업생명과학대학 동물자원생명과학과, <sup>2</sup>축산물품질평가원, <sup>3</sup>서울대학교 농업생명과학대학 농생명공학부

## Influence of bone fracture incidence on the quality of pork semimembranous muscle

Samooel Jung<sup>1</sup>, Hanhyeon Lee<sup>2</sup>, Heetae Hwang<sup>2</sup>, Daewoon Lim<sup>2</sup>, Chulwoo Lee<sup>1</sup>, Cheorun Jo<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Animal Science and Biotechnology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>2</sup>Korea Institute for Animal Products Quality Evaluation, Gumpo 435-010, Korea

<sup>3</sup>Department of Agricultural Biotechnology, Center for Food and Bioconvergence, and Research Institute of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

Received on 7 May 2015, revised on 15 June 2015, accepted on 15 June 2015

**Abstract :** This study was conducted to investigate the incidence of bone-fracture from pig carcass slaughtered in eight processing plants located in Daejeon and Chungnam area, Korea, during the year 2013 and 2014, and to evaluate the quality of semimembranous muscle from bone-fractured carcasses. Twenty semimembranous muscles were collected from bone-fractured carcasses and none bone-fractured (control) ones, respectively, after storage of pig carcass at 5°C for 24 h. The pH, cooking loss, and color of semimembranous muscle were measured as quality parameters. In total 4,865,502 of pig carcasses, the occurrence of bone fracture was 0.328% (15,975 heads) and scored the highest defect (26.31%) in total abnormal carcasses. The pH and cooking loss of semimembranous muscle from bone-fractured carcasses were significantly lower than those of control ( $p < 0.05$ ).  $L^*$  and  $a^*$  values of semimembranous muscle were not significantly different between bone-fractured carcass and control whereas that of  $b^*$  values was significantly higher in bone-fractured carcass than control ( $p < 0.05$ ). Eight out of twenty semimembranous muscle collected from bone-fractured carcasses were confirmed as PSE whereas only one in control. In conclusion, the incidence of bone-fracture pre- and during slaughter of pig may cause serious defects in final meat quality. Therefore, the proper handling and treatment should be implicated to avoid and/or decrease the incidence of bone-fracture of pigs.

**Key words :** Pig carcass, Bone fracture, Meat quality, PSE

### I. 서론

돈육은 모든 필수 아미노산뿐만 아니라 비타민 B군, 주요 미네랄 및 다양한 생리활성 물질을 포함하고 있어 우수 영양 식품으로 인식되고 있다(Reig et al., 2013). 2013년 기준 우리나라 돈육 생산량은 853,000 ton으로 전체 식육 생산량(우육, 돈육 및 계육) 1,586,000 ton 중 50% 이상을 차지하고 있으며 일인당 소비량 또한 2013년 기준 20.89 kg으로 전체 식육 소비량(우육, 돈육 및 계육) 42,77 kg 중 48.8%를 차지하고 있다(MAFRA, 2014). 또한 2013년

기준 우리나라 식육 자급율이 72.8%인 가운데 돈육의 경우 81.3%로 우육 50.1%, 계육 78.2%와 비교하여 가장 높은 자급율을 보이고 있다(MAFRA, 2014). 하지만 최근 우리나라와 여러 국가와의 자유무역협정(Free Trade Agreement) 체결로 인해 외국산 돈육의 수입이 증가할 것으로 예상되며, 우리나라 양돈 농가 및 식육 산업의 보호를 위해 소비자 선호도가 높은 고품질 돈육의 생산이 요구되고 있는 실정이다.

돈육의 품질은 도축 후 도체 및 육의 저장관리에 영향을 받을 뿐만 아니라 도축 전 스트레스 발생여부에 큰 영향을 받는다(Dokmanovic et al., 2014). Josell 등(2003)은 유전적으로 스트레스에 민감한 돼지 및 유전적으로 스트레스

\*Corresponding author: Tel: +82-2-880-4804

E-mail address: cheorun@snu.ac.kr

에 민감하지 않다 하더라도 도축 전 여러 요인들에 의해 스트레스가 발생할 경우 도축 후 돈육의 품질이 낮아진다고 보고하였다. 식육동물의 근육은 도축 후 산소공급이 중단됨에 따라 호기성 에너지 대사가 중단되고 혐기적 에너지 대사가 활발하게 일어나게 되는데 이때 glucose로부터 생성되는 젖산이 축적됨에 따라 근육 내 pH가 저하되며, pH 저하 속도 및 최종 pH에 따라 식육 품질이 영향을 받게 된다(Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). Adzitey와 Nurul (2011)에 따르면 식육동물이 도축 전 스트레스를 받게 되면 도축 후 근육 내 pH가 빠르게 저하되고 최종 pH가 낮아짐에 따라 돈육의 품질이 매우 낮아지며, 육색이 창백하고(pale), 조직이 흐물흐물하며(soft) 식육표면에 삼출물이 다량 발생하는(exudative) PSE 육이 된다고 보고하였다. PSE 육은 DFD(진한 육색, 단단한 조직, 건조한 표면)육과 함께 대표적인 이상육으로 전 세계적으로 돈육에서 빈번하게 발생하며, 낮은 품질로 인해 가공육으로서의 이용성 또한 제한적이어서 양돈 산업에 있어 큰 경제적 손실을 초래하는 문제점이 보고되고 있다(Adzitey and Nurul, 2011).

우리나라의 경우 대부분의 도축장에서 돼지 실신을 목적으로 전기실신(electrical stunning) 방법을 사용하고 있다. 기존의 연구에 따르면 전기실신 방법의 경우 근육 운동의 증가와 함께 혈중으로 catecholamine의 방출을 촉진하여 심각한 물리적 스트레스를 발생시키고, 도축 후 근육 내 해당작용을 촉진하며, 심할 경우 근육의 과도한 수축으로 인해 골절이 발생한다고 보고하였다(Troeger and Woltersdorf, 1990; Wotton et al., 1992). 우리나라 돼지 도체 등급판정 기준에 따르면 골절은 결합 항목 중 하나로 골절이 발생할 경우 정도에 따라 도체 등급을 한 단계 또는 두 단계 하향하고 있어 양돈 농가의 경제적 손실을 초래한다(KAPE, 2014). 게다가 Velarde 등(2000)은 도축 전 골절의 발생은 돼지에 심각한 스트레스를 유발한다고 보고하였다. 따라서 본 연구는 우리나라 대전 및 충남 소재 도축장에서 도축된 돼지 도체를 대상으로 골절발생 현황을 조사하고 골절 발생에 따른 돈육 반막모양근의 품질 변화를 평가하여 골절과 식육 품질의 연관관계를 조사하기 위해 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 돼지 도체 결합 발생 중 골절 발생현황 조사

우리나라 대전 및 충남 소재 8개 도축장에서 2013~2014

년 도축된 총 4,865,502두의 돼지 도체를 대상으로 결합 발생률을 조사하였으며, 축산물품질평가원의 등급판정 결과를 토대로 등급판정 시 결합 항목으로 지정된 골절, 방혈 불량, 이분할 불량, 척추불량, 농양, 근출혈, 호흡기 불량, 피부 불량, 근육제거, 외상 및 기타 항목으로 나누어 전체 결합 발생률 중 각각의 비율을 조사하였다.

## 2. 골절 발생에 따른 돈육 반막모양근 품질 측정

우리나라 충남 소재 한 도축장에서 골절 발생 도체 및 비골절 도체 각각 20 도체로부터 5°C냉장실에서 24 h 저장 후 반막모양근을 채취하여 육질 분석을 진행하였다. 육질 분석항목으로 반막모양근의 pH, 육색 및 가열감량을 분석하였다.

### 2.1 pH 분석

반막모양근의 pH 측정은 3 g 시료에 27 ml의 증류수를 첨가한 후 균질기(T25 basic, IKA GmbH & Co. KG, Germany)를 이용하여 1,130 × g로 1분간 균질하였다. 균질액은 여과지(No. 4 filter paper, Whatman)를 이용 여과하였으며, 여과액의 pH를 pH meter (Mettler-Toledo, GmbH, Schwerzenbach, Switzerland)로 측정하였다.

### 2.2 표면 육색 분석

반막모양근의 표면 육색은 색차계(CM-3500d, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)을 이용하여 CIE L\*(명도), a\*(적색도), b\*(황색도)로 나타내었다. 육색 측정을 위해 반막모양근을 30 mm 직경의 감지부 위에 위치시켜 다른 3 부위를 측정하였으며, 평균값을 최종 값으로 이용하였다.

### 2.3 가열감량

반막모양근 30~40 g을 진공포장 하여 75°C 항온수조에서 시료 심부온도 72°C에 도달할 때까지 가열한 후 가열전·후 중량차를 백분율로 하여 가열감량을 계산하였다.

$$\text{가열감량 (\%)} = \frac{(\text{가열 전 중량} - \text{가열 후 중량})}{\text{가열 전 중량}} \times 100$$

## 3. 통계분석

얻어진 자료의 통계 분석은 SAS program (ver. 9.3,

SAS Institute Inc.)을 이용 PROC GLM 실시한 후 평균 (mean) 및 평균값간의 표준오차(Standard error of the means)를 제시하였다. 측정값 간의 차이가 있는 경우 Tukey의 다중검정법을 사용하여 유의성 검정을 실시하였다( $p < 0.05$ ).

### III. 결과 및 고찰

2013 및 2014년 대전과 충남지역에서 도축된 돼지 총 4,865,502두의 도체를 대상으로 조사한 결함 발생 현황을 Table 1에 나타내었다. 총 결함발생 도체는 60,728로 전체 도체 중 1.247%를 차지하였고 이 중 0.328%가 골절 발생 도체였다. 결함발생 도체 중 골절 발생 도체는 26.31%로 기타를 포함한 총 11개 결함 항목 중에 발생률이 가장 높음이 확인되었다.

골절 발생 및 비골절(대조구) 각각 20도체로부터 채취한 반막모양근의 pH, 가열감량 및 육색(L\*, a\*, b\*) 결과를

Table 2에 나타내었다. 골절 발생 도체 반막모양근의 최종 pH를 측정된 결과 평균 5.57로 나타나 대조구의 평균 최종 pH 5.77보다 유의적으로 낮음이 확인되었다( $p < 0.05$ ). 기존 연구에 따르면 돼지의 도축 전 운송 및 실신 과정에서 스트레스가 발생할 경우 에너지 생산을 위한 해당 작용이 촉진되고 도축 후 해당 작용의 산물인 젖산이 근육에 축적됨에 따라 돈육의 최종 pH가 낮아진다고 보고하였다(Hambrecht et al., 2004). 또한 전기실신에 따른 골절발생의 경우 과도한 근 수축에 따른 결과로 강도 높은 스트레스 발생과 함께 해당작용이 촉진된다(Troeger and Woltersdorf, 1990; Wotton et al., 1992). 본 연구에서 반막모양근의 가열감량을 측정된 결과 골절 발생 도체의 경우 17.05%로 대조구 12.14%와 비교하여 유의적으로 높음이 나타났다( $p < 0.05$ ). Huff-Lonergan과 Lonergan (2005)에 따르면 식육의 pH가 근원섬유 단백질의 등전점에 가까워질수록 근원섬유 단백질과 물분자와의 결합력이 약해지며, 근원섬유 단백질간 반발력이 약해짐에 따라 근섬유 내 물분자가 위치할 수 있

**Table 1.** Occurrence of defects in pig carcasses slaughtered in eight processing plants in Daejeon and Chungnam area, Korea (n=4,865,502).

Defect items	Number of carcasses containing defects	Occurrence of defect (%) in total carcasses	Occurrence of defect (%) in total abnormal carcasses
Poor bleeding	1897	0.039	3.12
Defect of splitting	3275	0.067	5.39
Bone fracture	15975	0.328	26.31
Defect in spine	1924	0.040	3.17
Abscess	6571	0.135	10.82
Blood splash	2544	0.052	4.19
Defect in respiratory organs	7451	0.153	12.27
Defect in skin	8923	0.183	14.69
Excarnation	6076	0.125	10.01
External injury	2083	0.043	3.43
Others	4009	0.082	6.60
Total	60,728	1.247	100

**Table 2.** pH, cooking loss, and meat color (L\*, a\*, and b\*-value) of semimembranous muscle from pig.

	Control	Bone fracture	SEM
pH	5.77 <sup>a</sup>	5.57 <sup>b</sup>	0.034
Cooking loss (%)	12.14 <sup>b</sup>	17.05 <sup>a</sup>	1.083
L*	50.04	51.40	0.706
a*	9.01	9.09	0.367
b*	15.44 <sup>b</sup>	16.16 <sup>a</sup>	0.248

<sup>a,b</sup>Values with different letters within the same row differ significantly ( $p < 0.05$ ).

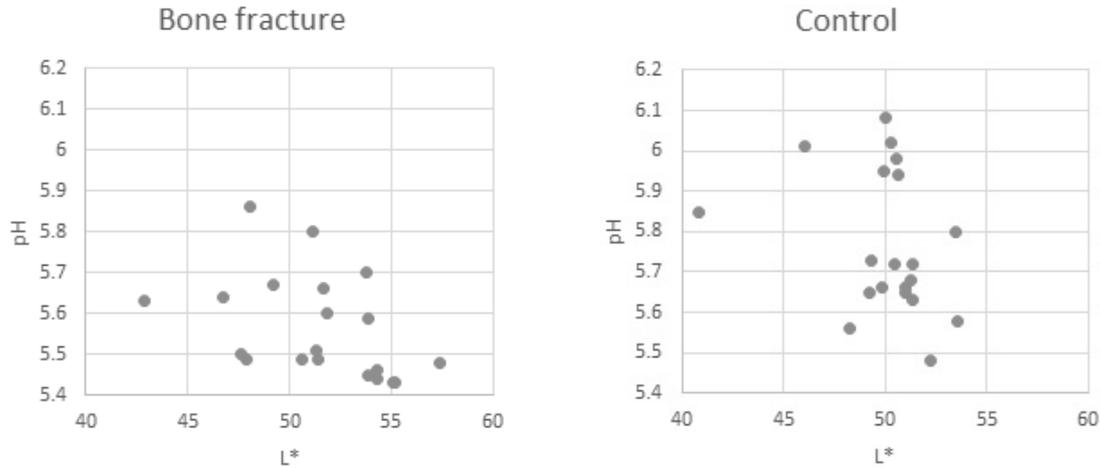


Fig. 1. Dispersal pattern of pH at 24 h postmortem and L\*-value of semimembranous muscles from pig.

는 사이 공간이 좁아져 식육의 보수력이 낮아진다고 보고하였다. 또한 식육의 보수력은 식육의 가열감량에 영향을 미치는데 식육의 가열감량은 식육의 가열과정 중 식육 단백질의 변성 및 근막의 붕괴로 인해 세포 내·외액이 외부로 흘러나옴에 따른 결과로 돈육의 보수력이 낮을수록 가열감량이 증가함이 보고되고 있다(Bertram et al., 2003). 따라서 본 결과는 골절발생 도체 반막모양근의 pH가 대조구에 비해 낮음에 따라 보수력이 낮아 가열감량이 증가한 것으로 생각된다. 반막모양근의 육색 측정 결과 골절 발생 도체의 경우 L\* 값이 51.40으로 대조구 50.04에 비해 높은 경향을 보였지만 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났으며, a\*값 또한 대조구와 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다. 하지만 b\*값은 유의적으로 골절발생 도체의 반막모양근에서 대조구에 비해 높은 것으로 나타났( $p < 0.05$ ). 일반적으로 낮은 pH로 인해 보수력이 낮은 식육의 경우 식육 표면으로 물이 삼출되어 나옴에 따라 빛을 반사시켜 L\*값이 증가하며, 도축 전 스트레스를 심하게 받은 도체의 경우 도축 직 후 높은 도체온도와 낮은 pH로 인해 근형질 단백질이 변성되고 표면에 침착되어 열은 육색과 함께 높은 L\*값을 보인다고 보고하였다(Swatland, 2008). 또한 Brewer 등(2001)은 pH 5.30~6.00 사이의 돈육 등심에서 pH는 L\*( $R^2=0.43$ ) 및 b\*( $R^2=0.30$ )와 부의 상관관계를 보이며 a\*값과는 상관성이 없다고 보고하여 본 연구 결과가 기존의 연구결과와 부분적으로 일치함을 알 수 있었다.

골절 발생 및 대조구에서 PSE 발생률을 보기위해 반막모양근의 L\* 값 및 pH에 따른 분포도를 Figure 1에 나타내었다. Joo 등(1995)에 따르면 돈육의 최종 pH가 5.5보다

낮고 L\*값이 50이상인 돈육을 PSE육이라고 정의하였다. 본 기준에 따라 골절 발생 도체 및 대조구에서 PSE 발생을 확인한 결과 골절 발생 도체의 경우 20개의 반막모양근 중 8개의 시료가 PSE육으로 분류된 반면 대조구의 경우 20개의 반막모양근 중 한 시료만 PSE기준에 해당하였다. 따라서 본 결과를 통해 골절 발생 도체에서 40%가 PSE 도체임을 알 수 있었다.

본 연구의 결과 골절은 가장 높은 결합발생 항목으로 골절 발생 도체의 경우 도축 후 반막모양근의 최종 pH가 낮아지고 가열감량이 증가하였다. 식육의 품질에 있어 가열감량의 증가는 영양 및 관능적 품질의 저하를 의미한다. 식육으로부터 외부로 방출되는 수분은 수용성 단백질, 비타민 및 미네랄들을 포함하고 있어 수분의 방출이 많을수록 영양적 품질이 낮아지며, 잔존 수분이 감소함에 따라 식육의 다즙성이 낮아지고 조직감은 딱딱해져 관능적 품질이 저하된다(Savage et al., 1990; Aaslyng et al., 2003). 또한 본 연구에서 골절 발생 도체의 경우 PSE 발생률이 40%로 나타났다. 따라서 도축 과정 중 골절의 발생은 양돈 농가뿐만 아니라 우리나라 식육산업에 있어서도 큰 경제적 손실을 낳는 문제라고 할 수 있다. 기존 연구에 따르면 도축 과정 중 전기실신방법을 이용함에 따라 골절발생이 증가하며, 또한 전기실신과 이산화탄소를 이용한 가스실신 방법을 비교한 결과 골절이 발생하지 않은 경우에도 이산화탄소를 이용하여 실신한 도체에서 전기실신 도체와 비교하여 효과적으로 PSE의 발생률이 감소하였다고 보고하였다(Wotton et al., 1992; Velarde et al., 2000). 따라서 우리나라 양돈 농가 및 식육산업의 보호를 위한 고품질 돈육

생산을 위해 도축 전 돼지의 관리 및 실신 방법 개선이 필요하다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ0116 172015), 서울대학교 친환경경제동물연구소, 그리고 축산물품질평가원 자체연구조사사업의 지원을 받아 이에 감사를 드립니다.

## 참고 문헌

- Aaslyng MD, Bejerholm C, Ertbjerg P, Bertram HC, Andersen HJ. 2003. Cooking loss and juiciness of pork in relation to raw meat quality and cooking procedure. *Food Quality and Preference* 14(4):277-288.
- Adzitey F, Nurul H. 2011. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences-a mini review. *International Food Research Journal* 18(1):11-200.
- Bertram HC, Andersen HJ, Karlsson AH, Horn P, Hedegaard J, Norgaard L, Engelsen SB. 2003. Prediction of technological quality (cooking loss and Napole Yield) of pork based on fresh meat characteristics. *Meat Science* 65(2):707-712.
- Brewer MS, Zhu LG, Bidner B, Meisinger DJ, McKeith FK. 2001. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Science* 57(2):169-176.
- Dokmanovic M, Velarde A, Tomovic V, Glamoclija N, Markovic R, Janjic J, Baltic MZ. 2014. The effects of lairage time and handling procedure prior to slaughter on stress and meat quality parameters in pigs. *Meat Science* 98(2):220-226.
- Hambrecht E, Eissen JJ, Nooijent RI, Ducro BJ, Smits Ch, den Hartog LA, Verstegen MW. 2004. Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. *Journal of Animal Science* 82(5): 1401-1409.
- Huff-Lonergan E, Lonergan SM. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science* 71(1):194-204.
- Joo ST, Kauffman RG, Kim BC, Kim CJ. 1995. The relationship between color and water-holding capacity in postrigor porcine longissimus muscle. *Journal of Muscle Foods* 6(3):221-226.
- Josell A, von Seth G, Tornberg E. 2003. Sensory quality and the incidence of PSE of pork in relation to crossbreed and RN phenotype. *Meat Science* 65(1):651-660.
- KAPE. 2014. Grading Standard of beef. Korea institute for Animal Products quality Evaluation Accessed at [http://www.apgs.co.kr/view/user/institution/standard\\_cow\\_01.asp](http://www.apgs.co.kr/view/user/institution/standard_cow_01.asp).
- MAFRA. 2014. The number of Hanwoo and households by provinces and breeding scale. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Accessed in [http://www.mafra.go.kr/list.jsp?board\\_kind=&board\\_skin\\_id=&depth=2&division=H&group\\_id=2&link\\_menu\\_id=&link\\_url=&menu\\_id=1107&menu\\_name=&parent\\_code=34&popup\\_yn=N&reference=4&tab\\_yn=N&code=left](http://www.mafra.go.kr/list.jsp?board_kind=&board_skin_id=&depth=2&division=H&group_id=2&link_menu_id=&link_url=&menu_id=1107&menu_name=&parent_code=34&popup_yn=N&reference=4&tab_yn=N&code=left)
- Reig M, Aristoy MC, Toldra F. 2013. Variability in the contents of pork meat nutrients and how it may affect food composition databases. *Food Chemistry* 140(3):478-482.
- Savage AWJ, Warriss PD, Jolley PD. 1990. The amount and composition of the proteins in drip from stored pig meat. *Meat Science* 27(4):289-303.
- Swatland HJ. 2008. How pH causes paleness or darkness in chicken breast meat. *Meat Science* 80(2):396-400.
- Troeger K, Woltersdort W. 1990. Electrical stunning and meat quality in the pig. *Fleischwirtschaft* 70(8):901-904.
- Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Manteca X, Diestre A. 2000. The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Science* 55(3):309-314.
- Wotton SB, Anil MH, Whittington PE, McKinstry JL. 1992. Pig slaughtering procedures: Heat-to-back stunning. *Meat Science* 32(3):245-255.