

한우의 육질향상을 위한 사후초기 도체처리조건

고려대학교 자연자원연구소 이 민석

I. 서론

근육이 식육으로 전환되는 과정은 두 과정으로 구별할 수 있다. 첫번째 양상은 ATP, creatine phosphate, glycogen 같은 고에너지화합물이 거의 고갈되는 시기이다(Greaser, 1986). Glycogen이 해당과정에 의해 젖산으로 축적되면 근육의 pH가 약 7.2에서 5.5로 떨어지게 된다. ATP 농도가 극도로 낮아지게 되면 myofibril의 myosin filament가 actin filament와 교차결합을 이루게 되고, 결과적으로 근육은 신전성을 잃고 강직되는데 이시점에서 근육은 최대로 질겨진다. 두번째 시기는 근육이 식육으로 전환되는 과정으로 사후 저장 중 연도의 점진적 향상이 일어나는 것으로 대표된다. 이러한 숙성과정은 연한 고기를 생산하는데 가장 중요한 과정으로 생각된다(Koohmaraie, 1994).

Collagen의 특성은 숙성 중에 큰 변화가 없기 때문에 육의 연도의 증가는 myofibril의 구조적 소실로 맞춰지고 있다. 구조적 완전성을 잃게하는 단백질 분해는 적어도 부분적이지만 육의 연화에 영향을 미친다(Asghar와 Bhatti, 1987; Koohmaraie, 1988, 1994; Dransfield, 1994). 첫번째는 근육내 myofibril의 변화, 즉 Z-disk의 약화 또는 붕괴에 의한 것으로 추측되고 있는데(Geesink, 1993; Taylor 등, 1995), 이와 같은 Z-disk의 붕괴로 인해 숙성된 육은 숙성되지 않은 것에 비해 소편화의 비율이 높게 나타나고 있다. 두번째는 myofibrillar protein의 변화, 즉 점진적인 troponin T의 소멸과 동시에 30 kD component의 출현에 의한 것이며(Koohmaraie 등, 1991; Ho 등, 1994), 이외에 desmin의 붕괴(Hwan과 Bandman, 1989)와 titin의 소멸(Robson, 1995; Taylor 등, 1995) 등에 기인한 것이다. 그러나 주된 contractile protein인 myosin과 actin의 변화는 나타나지 않는다(Koohmaraie 등, 1984a,b,c; Bandman과 Zdanis, 1988). 이 분야의 연구는 근원섬유단백질을 분해시키는 단백질 분해효소의 두 그룹에 초점이 맞춰져 있다(Asghar와 Bhatti, 1987; Koohmaraie, 1994). 하나는 lysosomal enzymes으로 pH 6 이하에서 최적활성을 나타낸다. 두번째는 sarcoplasmic enzymes인 calpains으로 칼슘이온에 의해 활성화되며 최적활성은 pH 7~8이다.

사후 연화에 대한 기작에 대해 명백하지는 않지만 고급육을 생산해내기 위한 조건으로는 그 기작의 조절이 필요하다. 이와 같은 단백질 분해는 사후 24시간 이내의 처리와 숙성에 의해 발생하며 사후 저장기간 동안의 조건(온도, pH, 냉각 속도)에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 연도를 빠르게 증진시킬 수 있는 어떠한 조건이 설정된다면 고급육을 생산하기 위해 우육을 8~14일 까지 숙성시키는 조치가 필요없도록 할 수 있는 기술로 사용될 수 있을 것이다.

II. 본 론

II-1. 강직전 대사와 효소활성도의 변화

1) 연구배경

근육이 식육으로 전환되는 과정에서 도체처리나 근육이 놓인 환경에 따라 사후 대사 속도의 변이는 크고 강직현상과 단축정도도 다르게 나타난다. 사후 초기의 다양한 도체 처리에 의해 대사의 차이가 난다면 그에 따른 근육내 변화가 발생할 것이며 연도에 영향을 미칠 수 있는 효소시스템의 변화도 있을 것으로 기대된다. 따라서 효소활성을 증진시킬 수 있는 사후 처리방안과 그와 관련된 대사속도의 범주를 연계하여 한우육의 특성을 모색해야 할 것이다. 그 접근방법으로는 사후 대사속도를 조절하기 위해 다양한 도체처리를 이용하는 것이다. 현장 안전성을 고려한 저전압 전기자극과 사후 3시까지 2, 16, 30℃에 저장하는 온도처리를 조합하여 실시함으로써 그에 따른 대사속도의 차이를 유도하여 사후 대사가 어떠한 처리에 의해 영향을 받는지에 대해 강직전의 각 단계 별로 사후 변화를 다양한 방법으로 측정한다.

2) 실험방법

동일환경에서 사양한 520~580 kg의 한우 수소 12두를 이용하여 6두는 방혈 직후 저전압으로 전기자극(50 V, 60 Hz, 20 sec, impulse duration of 200 μ sec)하였고 6두는 대조구로 설정하였다. 이분체 공정에서 등심근을 온도채발골한 후 3등분하여 각각 2, 16, 30℃에 사후 3시까지 온도처리하였고, 사후 3시 이후에 모두 저온실(2℃)에 저장하면서 사후 1, 3, 9, 24시에 pH, 온도, R-values, glycogen 함량, calpains의 효소활성을 측정하였다.

3) 결과 및 고찰

저전압 전기자극과 세가지 온도처리를 조합하여 그 차이를 유도한 결과 저전압 전기자극과 30℃ 온도처리는 초기 사후 대사를 촉진시키는 것으로 나타났다(Table 1, 2). 또한 저전압 전기자극 처리로 calpain system의 활성을 상당히 증진시킬 수 있었다(Table 3, 4). 온도처리 중에서는 30℃ 처리에 의해 활성증진이 되는 것으로 나타났으나 전기자극의 효과에 비해서는 떨어졌다. 사후 대사촉진의 효과는 전기자극과 30℃ 처리를 조합할 때 더 뚜렷하게 나타났다(Fig. 1). 본 실험에서 사용한 사후 대사속도 측정항목 간의 상관관계는 높은 것으로 나타났다(Table 5). 이러한 결과로 본 장에서는 사후 대사를 촉진시킬 수 있는 처리로 저전압 전기자극과 사후 3시까지의 온도처리가 효과적인 것으로 생각되며 특히 저전압 전기자극과 30℃ 온도처리를 조합하여 처리하였을 때 사후 대사촉진 효과는 더 큰 것으로 나타났다. 또한 사후 대사속도 측정항목인 pH, 온도, glycogen 함량, R-values는 서로 상관도가 높은 것으로 나타났으며, 세가지 R-value로 대사속도를 추정할 때 R-values 중에서는 R₂₅₈이 가장 바람직한 것으로 생각되었다. 또한 μ -calpain과 calpastatin의 활성도는 온도처리의 효과보다는 저전압 전기자극에 의해 그 활성을 증진시킬 수 있으며 활성도의 감소는 사후 대사속도와 관계되는 것으로 판단되었다.

Table 1. Least-square means of R_{248} and R_{258} of *M. longissimus* between treatments during postmortem time

Trt/Time (hr)		1	3	9	24
R_{248}	ES ¹	0.720 ^a	0.757	0.959	1.287 ^a
		(0.004) ³	(0.011)	(0.025)	(0.019)
	NES ²	0.750 ^b	0.785	0.906	1.217 ^b
		(0.004)	(0.011)	(0.025)	(0.019)
R_{258}	ES	1.239	1.180 ^a	1.007 ^a	0.811 ^a
		(0.006)	(0.013)	(0.022)	(0.006)
	NES	1.245	1.251 ^b	1.099 ^b	0.875 ^b
		(0.006)	(0.013)	(0.022)	(0.006)

¹ Electrical stimulation after bleeding

² Non-electrical stimulation

³ Standard error of least-square means

^{a,b} Least-square means with different superscripts in the same column significantly differ ($p < 0.05$).

Table 2. Least-square means of glycogen content (mg / g tissue) of *M. longissimus* for the interaction of postmortem time with electrical stimulation and non-electrical stimulation

Time(hr)	ES ¹	NES ²		
		SE ³		SE
1	4.12 ^{ab}	0.17	5.37 ^f	0.17
3	3.42 ^{bc}	0.17	4.19 ^a	0.17
9	2.47 ^d	0.17	2.92 ^{cd}	0.20
24	1.05 ^e	0.17	0.85 ^e	0.17

¹ Electrical stimulation after bleeding

² Non-electrical stimulation

³ Standard error of least-square means

^{a-f} Least-square means with different superscripts significantly differ ($p < 0.05$).

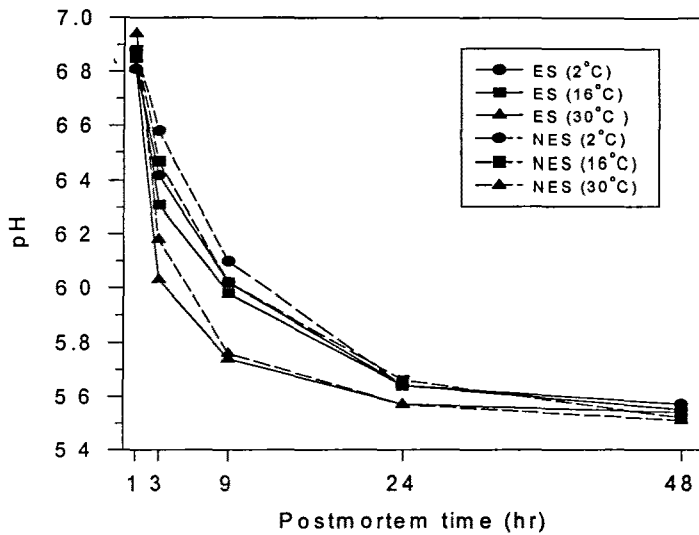


Figure 1. The combined effects of electrical stimulation and temperature conditioning on postmortem changes in pH.

Table 3. Least-square means of μ -calpain (unit/50 g muscle) of *M. longissimus* for the interaction of postmortem time with electrical stimulation and non-electrical stimulation

Time(hr)	ES ¹	NES ²		SE
		SE ³		
1	38.54 ^a	0.41	45.25 ^e	0.41
3	34.61 ^b		41.13 ^f	
9	26.94 ^c		34.43 ^b	
24	20.88 ^d		25.05 ^g	

¹ Electrical stimulation after bleeding

² Non-electrical stimulation

³ Standard error of least-square means

^{a-g} Least-square means with different superscripts significantly differ ($p < 0.05$).

Table 4. Least-square means of m-calpain (unit/50 g muscle) and calpastatin (% inhibition) of *M. longissimus* between treatments during postmortem time

Trt/Time(hr)	1	3	9	24	
m-Calpain	ES ¹	38.67 ^a	38.10 ^a	35.45 ^a	32.91 ^a
		(0.23) ³	(0.33)	(0.23)	(0.39)
	NES ²	46.40 ^b	45.23 ^b	42.11 ^b	39.33 ^b
		(0.23)	(0.33)	(0.23)	(0.39)
Calpastatin	ES	47.15 ^a	44.52 ^a	37.77 ^a	29.97 ^a
		(0.08)	(0.43)	(0.67)	(0.78)
	NES	50.96 ^b	49.13 ^b	44.10 ^b	34.49 ^b
		(0.08)	(0.43)	(0.67)	(0.78)

¹ Electrical stimulation after bleeding

² Non-electrical stimulation

³ Standard error of Least-square means

^{a,b} Least-square means with different superscripts in the same column significantly differ ($p < 0.05$).

Table 5. Correlation coefficients among postmortem metabolic parameters in electrical stimulated treatment

	Temp ¹	R ₂₄₈	R ₂₅₈	R ₂₅₀	Glyco ²	μ -Cal ³	m-Cal ⁴	Calpa ⁵
pH	.885**	-.854**	.871**	-.855**	.803**	.918**	.548**	.820**
Temp		-.716**	.752**	-.736**	.603**	.849**	.507**	.792**
R ₂₄₈			-.972**	.993**	-.798**	-.892**	-.606**	-.847**
R ₂₅₈				-.985**	.783**	.901**	.669**	.867**
R ₂₅₀					-.785**	-.895**	-.637**	-.865**
Glyco						.776**	.393**	.651**
μ -Cal							.654**	.906**
m-Cal								.768**

¹ Temperature (°C), ² Glycogen content, ³ μ -Calpain, ⁴ m-Calpain, ⁵ Calpastatin
** $p < 0.01$

II-2. 숙성 중 연도변화와 육질

1) 연구배경

강직전 단계에서의 변화를 관찰한 후 숙성을 실시하여 관계되는 육질의 특성과 변화를 다각적으로 모색해야 한다. 사후 근육내 변화에 따른 단축, 연도, 보수성, 육색 등의 육질의 변이가 생성될 것이며 그에 따른 숙성 중의 변화가 예측된다. 한우육의 숙성 중 육단백질의 변화와 미세구조를 관찰하여 연도증진의 요인을 살피고 보수성, 육색 등에 초점을 맞추어 육질을 증진시킬 수 있는 사후 처리방안과 경제성을 고려한 알맞는 숙성단계와 저장 중 보존성에 대해서도 종합적으로 고찰되어야 할 것이다.

2) 실험방법

사후 24시에 각 등심근을 2.5 cm 두께로 모두 절단하여 진공포장한 후 저온실(2±2℃)에 저장하며 사후 1, 2, 3, 7, 14일에 실험을 실시하였다. 근원섬유단백질의 변화는 전기영동, western blot으로 초미세구조는 전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 연도 측정은 전단력, 근소편화지수, 기계적 조직감을, 보수력은 포장 후 감량, 여과지흡수법, 유리육흡량, 가열감량을 측정하였다. 이외에 근절길이, 육색, thiobarbituric acid value, 총세균수 측정을 실시하였다.

3) 결과 및 고찰

II-1의 결과로 사후 대사속도와 효소활성이 도체처리조건에 따라 다르게 나타났고 이러한 효과가 육질에 어떠한 영향을 미치는 지를 모색하였다. 본 연구의 결과로 숙성 14일까지의 연도변화와 단백질 분해, 초미세구조의 변화로 살펴볼 때, 사후 대사가 빠르게 진행되며 효소활성도가 낮은 처리구는 숙성 중 단백질 분해가 빠르고 연도가 증진되는 것으로 판단되어 연화 촉진에 좋은 효과를 나타냈다. 처리구 중 저전압 전기자극과 30℃ 조합처리구의 경우 사후 2일부터 calpains의 기질인 titin, nebulin, desmin, troponin T의 분해와 초미세구조의 변화가 가장 빠르게 진행되었고(Fig. 2, 3, 4), 연도와 관련된 데이터(Table 6, 7)로 비교할 때 무전기자극 2, 16℃와 비교하여 7일의 숙성기간을 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 저전압 전기자극은 가열감량에서 감량이 증가하였지만 나머지 보수력, 육색(Table 8), 산패도에 좋은 효과를 나타냄으로써 한우의 도체처리에 적합한 것으로 판단되었다. 또한 연도의 증가는 근절길이의 변화에 따른 차이가 아닌 사후 대사속도와 연관을 갖는 것으로 평가되어 사후 대사속도의 변화가 육질에 가장 큰 원인으로 작용하였다. 따라서 본 실험의 결론은 저전압 전기자극과 사후 3시간까지의 30℃ 조합처리가 위생상의 문제도 발생되지 않는 가장 바람직한 처리방법으로 제안할 수 있고, 연도증가의 원인으로 calpains가 부분적으로 분명히 관여하고, 사후 대사속도의 조절이 육질을 좌우한다는 것이다.

Table 6. Least-square means of Instron shear value (kgF/cm²) of *M. longissimus* between treatments during postmortem time

Trt/Time (day)	1	2	3	7	14
ES ¹	7.40 ^a	7.89 ^a	6.99	5.63 ^a	4.61
	(0.28) ³	(0.28)	(0.33)	(0.35)	(0.34)
NES ²	9.27 ^b	9.04 ^b	7.91	6.81 ^b	5.23
	(0.28)	(0.31)	(0.33)	(0.35)	(0.35)

¹ Electrical stimulation after bleeding

² Non-electrical stimulation

³ Standard error of least-square means

^{a,b} Least-square means with different superscripts in the same column significantly differ (p<0.05).

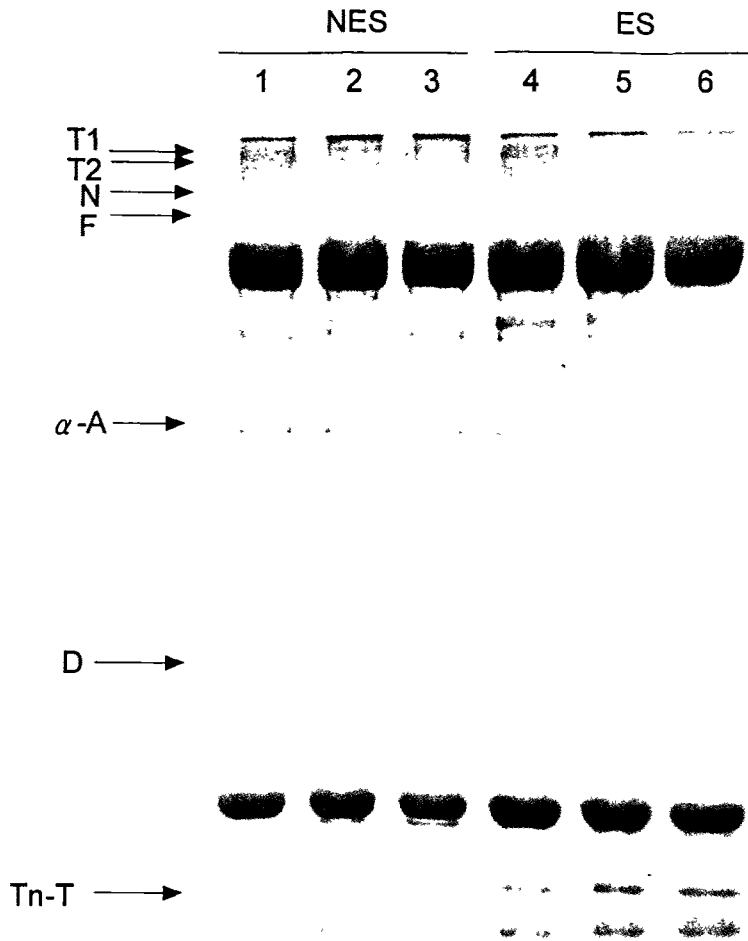


Figure 2. SDS-Polyacrylamide Gel Electrophoresis of myofibrillar proteins extracted from *M. longissimus* at 14 day postmortem. The gel was 8% acrylamide, 0.06% bis-acrylamide, pH 8.8. Lane identification: 1~3, non-electrical stimulation (lane 1, 2°C; lane 2, 16°C; lane 3, 30°C); 4~6, electrical stimulation (lane 4, 2°C; lane 5, 16°C; lane 6, 30°C). Protein identified: T1 and T2, titin; N, nebulin; F, filamin; α-A, α-actinin; D, desmin; TnT, troponin T.

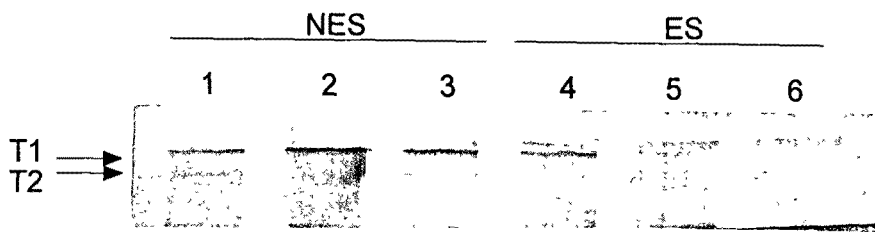


Figure 3. Western blots showing rates of degradation of titin after 14 day of postmortem storage. Lane 1~3 show non-electrical stimulation samples (lane 1, 2°C; lane 2, 16°C; lane 3, 30°C) Lane 4~6 show electrical stimulation samples (lane 4, 2°C; lane 5, 16°C; lane 6, 30°C). Proteins identified: T1 and T2, titin.

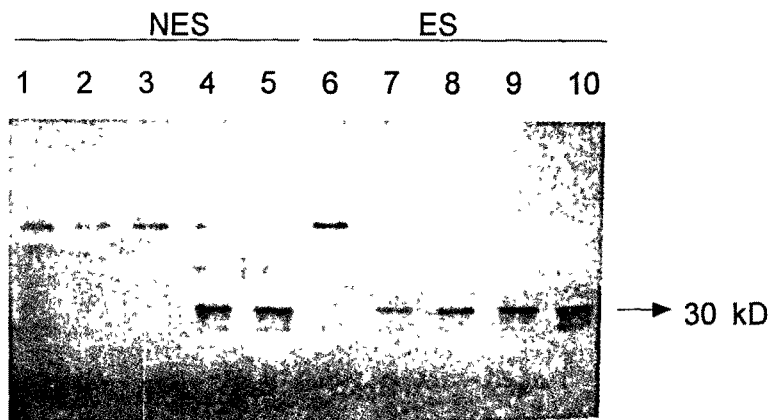


Figure 4. Western blots showing rates of degradation of troponin T during postmortem storage. Lane 1~5 show non-electrical stimulation samples (lane 1, 1 d; lane 2, 2 d; lane 3, 3 d; lane 4, 7 d; lane 5, 14 d). Lane 6~10 show electrical stimulation samples (lane 6, 1 d, lane 7, 2 d; lane 8, 3 d; lane 9, 7 d; lane 10, 14 d).

Table 7. Least-square means of myofibril fragmentation index¹ at 14 day storage of *M. longissimus* for the interactions of electrical stimulation and non-electrical stimulation with temperature conditioning

ES ²			NES ³		
2°C ⁴	16°C ⁵	30°C ⁶	2°C	16°C	30°C
77.97 ^a	85.76 ^{ab}	100.61 ^b	85.17 ^{ab}	85.68 ^{ab}	78.19 ^a
(5.85) ⁷	(5.85)	(5.85)	(5.85)	(6.67)	(5.85)

¹ Absorbance at 540 nm × 200

² Electrical stimulation after bleeding

³ Non-electrical stimulation

⁴ Storage conditioning at 2°C

⁵ Temperature conditioning at 16°C until 3 hr postmortem

⁶ Temperature conditioning at 30°C until 3 hr postmortem

⁷ Standard error of least-square means

^{a,b} Least-square means with different superscripts in the same row significantly differ (p<0.05).

Table 8. Least-square means of CIE L* of *M. longissimus* for the interaction of temperature with electrical stimulation and non-electrical stimulation

Temp/Trt	ES ¹	NES ²		
		SE ³		SE
2°C ⁴	30.92 ^a	0.23	30.82 ^a	0.24
16°C ⁵	30.98 ^{ab}	0.23	30.74 ^a	0.24
30°C ⁶	31.92 ^b	0.23	30.77 ^a	0.24

¹ Electrical stimulation after bleeding

² Non-electrical stimulation

³ Standard error of least-square means

⁴ Storage conditioning at 2°C

⁵ Temperature conditioning at 16°C until 3 hr postmortem

⁶ Temperature conditioning at 30°C until 3 hr postmortem

^{a,b} Least-square means with different superscripts significantly differ (p<0.05).

II-3. 사후 대사속도 측정항목을 이용한 연도 추정 모델

1) 연구배경

강직전 사후 대사변화를 실험한 II-1의 결과로 사후 대사속도는 도체 처리조건에 따라 차이가 분명하게 나는 것으로 판별되었다. 또한 숙성 중 연도변화와 육질을 평가한 II-2의 결과로 그에 따른 연도의 변이도 있는 것으로 분석되었으며 사후 14일까지의 숙성에 의해서 변화의 정도는 구분되는 것으로 생각된다. 일단 다양한 대사속도의 차이를 가지고 어떠한 대사속도의 범주가 육질에 좋은 효과를 줄 수 있는지와 연화정도를 판별하는데 바람직한 사후 초기 추정항목은 무엇인가를 모색하여야 한다.

2) 실험방법

사후 초기에 저전압 전기자극(50 V, 60 Hz, 20 sec, impulse duration of 200 μ sec)과 온도처리(2, 16, 30 $^{\circ}$ C)한 시료 [N=36, 2(전기자극, 무전기자극) \times 6(각 6두) \times 3(2, 16, 30 $^{\circ}$ C)]의 사후 1, 3, 9, 24시의 대사속도, 효소활성 측정항목과 연도측정항목인 전단력, 근소편화지수의 사후 1, 7, 14일의 데이터를 이용하여 회귀분석과 군집분석을 실시하였다. 회귀분석은 근소편화지수, 전단력을 반응변수로, pH, 온도, glycogen 함량, R₂₅₈, calpain system을 설명변수로 설정하여 선형회귀분석을 하였다. 군집분석은 전단력, 근소편화지수로 tender, intermediate, tough 세 그룹으로 군집한 후 대사속도, 효소활성 측정항목에 대해 분산분석을 실시하였다.

3) 결과 및 고찰

본 연구에서는 사후 대사속도 측정항목을 이용한 연도 추정모델을 분석하였다. II-2, 3의 결과로 연도증가가 사후 대사속도와 calpain system에 의한 것인지를 판단하고, 만약에 그러한 요인에 의한 것이라면 연화를 예측할 수 있는 적합한 모델을 설정하고 예측치를 탐색하기 위한 실험이었다. 본 연구의 결과로 사후 24시의 연도나 속성에 의한 연화정도는 사후 대사속도의 변이로 분명하게 차이가 나며 calpain system이 연도에 미치는 영향도 있는 것으로 나타나(Table 9, 10) II-2, 3의 예측결과를 확신할 수 있었다. 연도를 예견할 수 있는 predictor로는 pH가 가장 좋은 것으로 생각되지만 R₂₅₈도 연화의 정도를 예측할 수 있는 좋은 인자로 인식되었다. 또한 사후 1, 3시의 측정인자로 연화 정도를 예측할 수 있었지만, 사후 9시에 그 변화가 뚜렷하게 구분되어 이 시간대의 측정이 연화정도를 평가할 수 있는 가장 좋은 시간대로 판단되었다. 따라서 본 장의 종합적 결론은 연도의 변이를 줄이기 위해서는 저전압 전기자극이 효과적이고 사후 대사속도와 calpain system이 연화정도에 영향을 미친다는 것이다.

Table 9. Variable equations of calpains of *M. longissimus* in electrical stimulated treatment for Instron shear value at 14 day postmortem obtained by linear regression

Number of variables	Independent variables	Intercept	β	Adjusted R-square	t	F
1	μ -calpain 1 h ^a	-7.781	0.321	0.19	2.227	4.958*
1	μ -calpain 3 h	-14.096	0.540	0.37	3.345	11.187**
1	μ -calpain 9 h	-6.562	0.415	0.35	3.174	10.072**
1	μ -calpain 24 h	-4.600	0.441	0.49	4.155	17.262**
1	calpastatin 24 h	-7.977	0.420	0.52	4.424	19.571**
1	pH 1 h	-63.212	9.943	0.21	2.362	5.579*
1	pH 3 h	-18.623	3.715	0.28	2.758	7.609*
1	pH 9 h	-22.508	4.585	0.53	4.468	19.963**
1	pH 24 h	-39.888	7.924	0.31	2.959	8.758**
1	Temperature 3 h	7.768	-0.136	0.29	-2.814	7.921*
4	μ -calpain 24 h	-26.639	0.142	0.65	1.023	8.954**
	calpastatin 24 h		0.282		2.600	
	pH 24 h		3.594		1.375	
	Temperature 3 h		-0.015		-0.344	

^a Postmortem time (hr)

*p<0.05, **p<0.01

Table 10. Means of metabolic rate parameters and calpains of *M. longissimus* for Instron shear value at 7 day postmortem obtained by clustering in meat tenderness

Parameter/Group	Tender	Intermediate		Tough		
	(N=6)	SE ¹	(N=24)	SE	(N=6)	SE
μ -calpain ² 1 h*	37.99 ^a	1.29	42.16 ^{ab}	0.93	44.73 ^b	2.10
pH 1 h*	6.78 ^a	0.05	6.88 ^b	0.01	6.87 ^b	0.02
pH 3 h*	6.21 ^a	0.11	6.30 ^a	0.05	6.55 ^b	0.08
R ₂₄₈ ³ 3 h*	0.914 ^a	0.084	0.750 ^b	0.030	0.713 ^b	0.012
R ₂₅₈ ⁴ 3 h**	1.090 ^a	0.055	1.232 ^b	0.020	1.274 ^b	0.027
R ₂₅₀ ⁵ 3 h*	0.979 ^a	0.075	0.828 ^b	0.027	0.784 ^b	0.014
μ -calpain 9 h	27.43 ^a	1.91	30.49 ^{ab}	0.95	34.74 ^b	2.95
pH 9 h**	5.78 ^a	0.06	5.92 ^a	0.05	6.17 ^b	0.08
R ₂₄₈ 9 h**	1.115 ^a	0.066	0.920 ^b	0.034	0.803 ^b	0.042
R ₂₅₈ 9 h**	0.973 ^a	0.050	1.055 ^b	0.022	1.166 ^c	0.032
R ₂₅₀ 9 h**	1.168 ^a	0.061	0.991 ^b	0.029	0.875 ^b	0.039
μ -calpain 24 h*	21.14 ^a	1.26	22.67 ^{ab}	0.70	25.97 ^b	1.43
Calpastatin ⁶ 24 h**	28.83 ^a	1.16	32.02 ^a	0.72	36.50 ^b	2.78
pH 24 h*	5.54 ^a	0.03	5.62 ^{ab}	0.02	5.70 ^b	0.03
R ₂₄₈ 24 h**	1.313 ^a	0.026	1.248 ^{ab}	0.014	1.206 ^b	0.041

*p<0.05, **p<0.01

¹ Standard error of means

² Unit/50 g muscle

³ R₂₄₈ (A248/A260)

⁴ R₂₅₈ (A258/A250)

⁵ R₂₅₀ (A250/A260)

⁶ Inhibition (%)

^{a-c} Means with different superscripts in the same row significantly differ (p<0.05).

III. 결론

본 연구의 결과를 종합해 볼 때 한우의 육질을 증진시킬 수 있는 사후 초기 처리방안을 설정하였고, 대사속도와 calpain system이 한우의 연도를 결정하는 가장 중요한 요인임을 밝혔으며, 그와 관련하여 연화정도를 예측할 수 있었다. 그러나, 여러 요인의 복합적인 상호작용에 의거하여 나타나는 연도의 변이에 대해서는 완전한 결론을 내릴 수는 없었다. 이러한 변이에 대해 조금 더 접근하려면 한우의 근육형태, 결체조직의 양과 용해성, 근원섬유단백질내 또다른 구조적 단백질의 변화, 근세포내 이온강도의 변화 등에 대한 연구가 다각적으로 모색되어야 한다. 또한 이러한 연구결과들이 식육산업에 적용되기 위한 방향으로서는 현장시스템을 고려한 또다른 냉각조건이나 발골시간 등의 실질적인 연구가 중요한 추후 과제들인 것으로 생각된다.

IV. 인용문헌

- Asghar, A. and Bhatti, A.R. 1987. Endogenous proteolytic enzymes in skeletal muscle: Their significance in muscle physiology and during postmortem aging events in carcasses. *Adv. Food Res.* 31:343.
- Bandman, E. and Zdanis, D. 1988. An immunological method to assess protein degradation in post-mortem muscle. *Meat Sci.* 22:1.
- Dransfield, E. 1994. Optimisation of tenderisation, ageing and tenderness. *Meat Sci.* 36:105.
- Geesink, G.H. 1993. Postmortem muscle proteolysis and beef tenderness with special reference to the action of the calpain/capastatin system. Ph. D. Dissertation. Utrecht, The Netherlands.
- Greaser, M.L., Yates L.D., Krzywicki, K. and Roelke, D.J. 1983. Electrophoretic methods for the separation and identification of muscle proteins. *Proc. Recip. Meat Conf.* 36:87.
- Ho, C.Y., Stromer, M.H. and Robson, R.M. 1994. Identification of the 30 kDa polypeptide in postmortem skeletal muscle as a degradation product of troponin-T. *Biochimie.* 76:369.
- Hwan, S.F. and Bandman, E. 1989. Studies of desmin and α -actinin degradation in bovine *semitendinosus* muscle. *J. Food Sci.* 54:1426.
- Koohmaraie, M. 1988. The role of endogenous proteases in meat tenderness. *Proc. Recip. Meat Conf.* 41:89.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Sci.* 36:93.
- Koohmaraie, M., Kennick, W.H., Elgasim, E.A. and Anglemeier, A.F. 1984a. Effect of pre-rigor pressurization on the activity of calcium-activated factor. *J. Food Sci.* 49:680.
- Koohmaraie, M., Kennick, W.H., Elgasim, E.A. and Anglemeier, A.F. 1984b. Effect of postmortem storage on muscle protein degradation: Analysis by SDS-polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Food Sci.* 49:292.
- Koohmaraie, M., Whipple, G., Kretchmar, D.H., Crouse, J.D. and Mersmann, H.J. 1991. Postmortem proteolysis in *longissimus* muscle from beef, lamb and pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 69:617.
- Robson, R.M. 1995. In expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality. Ph.D. Dissertation. Utrecht, The Netherlands.
- Taylor, R.G., Geesink, G.H., Thompson, V.F., Koohmaraie, M., and Goll, D.E. 1995. Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? *J. Anim. Sci.* 73:1351.