

# 육류의 가열조리시의 변화

## 조경희

### I. 서론

육류가 사람들에게 주는 기호성은 상당하며, 다양한 조리법들이 사람들의 기호를 충족시키기 위해 소개되어져 왔다. 육류의 기호성에 큰 영향을 주는 texture는 식품과학자들의 지속적인 연구대상이 되어지고 있다. 육류의 texture에 관계하는 식품성분은 근섬유단백질과 결합조직단백질이다. 특히 대부분의 육류는 조리하여 먹는 것이 날상태로 먹는 것보다 선호되는데, 이것은 생고기가 갖고 있는 보수력, 색감, texture의 우수성에도 불구하고, 고기를 조리함으로써 얻는 고기의 특유한 향미와 미생물의 살균효과 때문으로 여겨진다. 그러나 조리로 인한 보수력의 손실과 texture의 저하는 여러 조리방법에 의해 개선해 보려는 노력이 되어 왔다. 본문에서는 육류의 texture에 영향을 미치는 가장 중요한 성분인 근섬유단백질과 결합조직단백질의 가열시의 변화에 대해 다루고자 한다.

### II. 육류의 구조

우리가 조리에 이용하는 육류의 가장 기본적인 조직은 근육조직으로 근섬유조직과 그를 둘러싸고 있는 결합조직으로 이루어져 있다.

#### 1. 근육섬유 조직의 구조

##### 1.1 근원섬유(myofibril)

근육섬유 조직을 이루는 가장 기본단위는 근원섬유(myofibril)로 근절(sarcomere)이라고 불리는 구조(근절의 길이는 약 2.5-3 $\mu$ m)가 연속되어 이루어진 직경이 1-2 $\mu$ m의 긴 원통형의 소기관이다. 근절(sarcomere)은 초원섬유(myofilaments)라고 불리는 여러 성분들이 서로 규칙적으로 배열되어져 구조적 단위를 이루는데, 이를 이루는 구조물로는 H-zone, A-band, I-band, M-line, Z-line이 있다. Thick filaments인 A-band는 직경이 14-15nm, 길이 1.5 $\mu$ m 정도로 myosin이 C-protein에 의해 규칙적인 배열을 이루고 있다. Thin filaments인 I-band는 직경이 6-8nm, Z-line 양쪽에 길이1-2 $\mu$ m로 걸쳐있는데, actin, tropomyosin, troponin단백질이 결합되어 이루어져 있다. M-line에는 M-protein이 존재하여 A-band를 안정하게 유지하고 있고 Z-line에는  $\alpha$ -actinin이 존재한다.

##### 1.2 근섬유(muscle fiber)

근원섬유들이 모여서 이루어진 근섬유는 직경이 10-100 $\mu$ m, 길이가 20 $\mu$ m-수 cm이며, 이를 이루는 근원

표 1. 근원섬유의 구조단백질<sup>1)</sup>

단 백 질	분자량 (10 <sup>4</sup> )	함유량 (%)	소 재	비 고
수축단백질	48	55	thick filament	굵은 머리부분과 120mm길이의 꼬리부분으로 이루어짐 직경이 5.5mm인 구상분자(G-actin)가 중합되어 섬유상 액틴(F-actin)을 형성
actin	4.2	20	thinfilament	
조절단백질	6.8	5	thin filament	두개의 펩타이드체인이 꼬여져, 액틴 7분자가 이위에 걸쳐있는 모습
troponin C	1.8	5	thin filament	actin filament에 주기적으로 반복하고 칼슘이온의 수용체단백질로 actomyosin-tropomyosin의 복합체 형성에 중요한 기능을 함
troponin I	2.4			
troponin T	3.7			
a-actinin	9.5	2	Z-line	actin filament양끝에 존재하며 길이를 일정하게 유지하는 기능을 가진 것으로 알려짐
β-actinin	7.1	0.2	thin filament	
M-protein	16.5	0.5	M-line	A-band전체를 안정하게하는 기능
C-protenin	14	2	thick filament	myosin분자를 thick filaments로 묶어주는 역할
connectin	-	2	근원섬유의 주위	탄성단백질

섬유의 수는 일정하지 않다. 근섬유는 근형질막(sarcolemma)과 근섬유내막(endomysium)으로 둘러싸여 있으며, 근형질막은 독특한 구조인 지질 단백질 단위막구조를 가진 얇은 세포막으로 되어 있다. 이 안에 근원섬유가 배열되어 있고 군데군데 다수의 핵과 미토콘드리아 근소포체등이 존재하며, 공간에는 근형질이 채워져 있다. 근형질은 수분이 75-80%정도이고 그 외에 지방구, 글리코젠, 라이보솜, 여러종류의 단백질, 비단백태 질소화합물 그리고 여러 종류의 무기물이 함유되어 콜로이드를 이루고 있다. 근형질막으로 둘러싸인 근섬유는 결체조직인 근섬유내막(endomysium)이 둘러싸고 있으며, 이 막은 단백질-다당류로 구성되어 있다.

### 1.3 근속(muscle bundle)

근속은 20-40개의 근섬유 등이 모여 이루어지며, 이들은 결체조직성분인 내근주막(perimysium)으로 둘러싸여 있다. 근속의 크기는 근육의 texture와 연관되는 것으로 근속이 클수록 결체조직의 양이 많이 질이 저하된다.

### 1.4 근육(muscle)

내근주막(perimysium)에 둘러싸인 근속들이 모여 근육(muscle)을 이루며, 결체조직 성분인 외근주막(epimysium)으로 둘러싸여 있다.

### 1.5 결체조직

결체조직은 체내의 여러조직을 연결하고 유지하는 조직으로 진결체조직, 결체조직형성세포, 연골, 뼈, 지방조직들을 포함한다. 조리에서 사용하는 근육조직에 들어 있는 결체조직은 이들중 진결체조직에 속한다. gelatin의 원료인 collagen은 육류의 근육조직에 존재하는 collagen을 사용하기보다는 표피, 인대조직, 뼈 등의 다른 결체조직에서의 collagen을 원료로 사용하고 있다. 근육조직속의 진결체조직은 기질(ground substance)과 세포외섬유(extracellular fiber)로 구성되어있다. 기질은 결체조직중 비구조적인 물질로 수용성 당단백질을 함유한 점질성용액으로 mucoprotein과 mucopolysaccharide이 주성분이다. 세포외섬유

(extracellular fiber)로는 collagen, elastin, reticulin이 있다. 근육속에 들어 있는 세포외 섬유는 주로 collagen과 reticulin이 들어 있으며 reticulin은 collagen의 일종으로 여겨진다. 그리고 이 결합조직은 근 섬유를 싸고 있는 부위에 따라 근섬유내막(endomysium), 내근주막(perimysium), 외근주막(epimysium)으로 구성되어 있다.

## 2. 근육섬유조직의 성분

### 2.1 근절(sacmere)의 단백질 성분

근육을 이루는 근절(sacmere)의 단백질 성분은 표1과 같다.<sup>1)</sup>

### 2.2. 근육의 구성성분

근육을 구성하는 단백질은 크게 3구분하여 근섬유 단백질, 근형질 단백질, 결합조직 단백질로 나누는데 대개 3:2:1의 비율로 들어 있다. 표2에서 보는 바와 같이 근육조직에 있어서 단백질은 상당한 비중을 차지하고 있다. 따라서 육조직의 질감은 단백질의 변화와 밀접하게 연관되어 있다.

### 2.3 결합조직의 구성성분

일반적으로 육류의 결합조직의 연구는 collagen을 중심으로 하여 이루어고 있다. collagen은 포유동물 단백질중의 20-25%를 차지하는 가장 양이 많은 단백질로 동물체의 구조단백질로 중요한 기능을 하는 단백질이다. 일반적으로 collagen은 육질의 tenderness에 밀접한 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다. 근육 조직의 collagen이 차지하는 양은 근육 섬유단백질에 비해 적은 양(actin and myosin: collagen and

표2. 포유동물 골격근의 일반적 화학성분량(신선육중의 %)<sup>1)</sup>

성분	%	성분	%	성분	%
수분(65-80)	75	hemoglobin	0.1	유리아미노산	0.3
단백질(16-22)	18.5	cytochrome and	0.1	peptide(anserine,	0.3
1. 근섬유단백질	9.5	3. 결합조직단백질	3.0	기타(creatine, urea, IMP, NAD, NADP etc)	0.1
myosin	5	collagen and reticulin	1.5	탄수화물및 관련물질	1.0
actin	2	elastin	0.1	glycogen(0.5-1.3)	0.8
□ tropomyosin	0.8	기타 비수용성 단백질	1.4	glucose	0.1
troponin C	0.8	지질(1.5-13.0)	3.0	(hexose and trisose-p, lactic acid, citric acid, fumaric acid etc)	0.1
M-protein	0.4	중성지방(0.5-1.5)	1.0	무기물	1.0
C-protein	0.2	phospholipids	1.0	K	0.3
α-actinin	0.2	cerebrosides	0.5	총인(인삼염과 무기인)	0.2
β-actinin	0.1	cholesterols	0.5	유황(유화염포함)	0.2
2. 근형질단백질	6.0	비단백테질소화합물	1.5	Cl	0.1
수용성근형질및 mitochondria 효소	5.5	creatine and creatinephosphate	0.5	Na	0.1
myoglobin	0.3	nucleotides(ATP,ADP)	0.3	기타무기물(Mg, Ca, Fe, Co, Cu etc)	0.1

표 3. 결체조직내의 collagen의 양<sup>2)</sup>

근육의 종류	총 collagen양 (%drywt)	collagen in epimysium(%)	collagen in perimysium(%)	collagen in endomysium(%)
Psoas major	2.24	15	79	24
Longissimus dorsi	2.76	13	80	34
pectoralis profundis	4.96	22	98	42
semitendinosus	4.75	29	54	41

표 4. collagen의 Types과 특징<sup>3)</sup>

functional form	types/molecular length(nm)	Characteristics
fibrous collagen	Types I/300	skin, tendon, bone의 주성분으로 총 collagen중 가장 많은 양을 차지함
	Types II/300	cartilage, disc.
	Types III/300	많은 조직에 조금씩 들어 있음, 근육의 내근주막에 많이 들어 있고 texture에 영향을 준다. 이것은 reticulin과 매우 흡사해 같은 물질로 여겨진다.
non fibrous collagen	Types V/300	
	Types IV/420	basement membranes를 이루는 것으로 chicken wire net 구조를 이룸
filamentous collagen	Types VI/105	extracellular matrix에 편재
	Types VII/450	보통 collagen의 1.5배길이로 long-chain collagen이라 부름

reticulin = 7: 1.5)이다. 표3에서 보는 바와 같이, 근육조직을 둘러싸고 있는 결체조직속에 포함되어 있는 collagen의 양은 근육의 종류에 따라 차이를 나타낸다.

collagen은 다음의 특성을 가진 단백질로 정의되어질 수 있다. 1)연속되어진 Gly-X-Y를 가진 3가닥의 나선구조를 이루는 polypeptide chains 로 이루어져 있다. 2)구성아미노산 중에서 glycine이 1/3을 차지한다. 3)hydroxyprolin과 hydroxylysine을 가진다. 4)특정적인 광학적 성질을 가진다. 이런 구조적 특징은 직경이 1.5nm 정도의 다양한 길이를 가진 안정된 fibrous collagen을 이루고 막대모양을 하고 있다. 특히 glycine의 hydrogen atom이 helix의 안쪽에 위치해 수소결합으로 단단한 구조를 이루고 있다. 이 구조의 안정성은 hydroxyproline의 증가에 따라 높아지며 구조의 변성 온도가 달라진다. 이런 기본구조를 가진 collagen monomer는 collagen이 가지는 중요한 특성중의 하나인 triple helix 끝에 존재하는 globular terminal domains때문에 스스로 회합이 가능해 거대분자구조인 collagen 중합체를 이룬다. collagen 중합체는 3가지 functional form 즉 fibrous collagen, non fibrous collagen and filamentous collagen 으로 나눌 수 있다. 이중 대부분의 collagen은 fibrous collagen을 이루는데 전체양의 95-97%를 차지한다. 구성 polypeptides chains에 따라 여러가지 collagen types이 존재하는데(표4) 보통 fibrous collagens은 Types I, II, III, V, non fibrous collagen은 Type IV, filamentous collagen은 Types VI, VII 이 널리 편재되어 있다. fibrous collagens를 이루는 Types I, II, III, V 는 quarter-staggered packing 의 섬유상 분자구조를 가지며, 직경은 8nm-400nm에 이른다. 그중 근섬유내막의 fibrous

collagen의 직경은 40nm 정도이고 non fibrous collagen을 많이 함유하고, 나머지는 proteoglycans and glycoproteins으로 구성되어 있다. 내근주막에는 fibrous collagen의 직경이 50-95nm 정도의 굵은 섬유로 이루어져 있다.

### Ⅲ. 육조직의 변화

육류식품이 다른 식품과 달리 texture의 변화가 크게 일어나는 것은 육류단백질의 섬유형태의 분자구조에 기인한다. 육조직은 생체가 도체로 될때 많은 변화가 일어난다. 이는 도체안에 들어있는 여러 성분들의 변화에 의해서도 일어나지만, 도체의 처리방법에 따라서도 변화를 가져오게 된다. 여기서는 조리전 과정에서 일어나는 육조직의 변화 즉 texture에 영향을 주는 보수력과 근육수축에 대해 다루고자 한다.

#### 1. pH의 변화

생체조직에서 도체조직으로 변화하는 과정에서 가장 뚜렷하게 나타나는 것이 pH의 변화이다. 도살 직후 대개 pH 6.8-7.0정도이었다가 시간이 지나면서 최종 pH 5.3-5.6에 이르게 된다. 이렇게 변화된 pH는 육류의 보수력과 육류단백질의 변화에 영향을 준다. 대개 pH가 저하되어지는 원인으로는 도체내의 혐기적 에너지 대사의 결과로 생성되어진 젖산과, 저하된 pH로 인해 phosphatase가 활성화되어 체내에 존재하는 ATP를 분해하여 생성된 인산때문이다.

##### 1.1 보수력

고기중의 수분도 다른 식품과 마찬가지로 3가지(결합수, 고정수, 자유수)의 형태로 들어 있다. 고기전체 수분중 약 4-5%를 차지하는 결합수는 양극성을 가진 물분자와 근육단백질중의 전하를 가진 활성기와 결합하여 이루어져 있다. 결합수 다음층을 형성하는 물분자들은 결합수에 이끌리어 그 이동이 어느정도 제한되어 있는 고정수가 있다. 한편 자유수는 단백질 분자와 멀리 떨어져 단백질의 활성기와는 관계없이 표면장력에 의해서만 보유되어 있다. 자유수와 일부의 고정수는 육조직에 가해진 외부의 물리적인 힘에 의하여 고기로부터 쉽게 분리되는 반면에 결합수와 그에 가까운 고정수는 단단히 결합되어 있어 쉽게 분리되지 않는다. 근육단백질의 등전점은 pH 5.1-5.2정도로 도체의 pH와 비슷하여져 보수력이 가장 낮게 나타난다. 이 부근의 pH에서는 근육단백질 서로간의 잡아당김으로 물분자와 결합할 수 있는 단백질 분자중의 활성기의 수가 상당히 적어져 보수력이 저하된다. 등전점 이상 또는 이하의 pH에서는 근육조직단백질의 보수력이 증가하여 팽창(swelling)하게 되어 육질이 부드러워진다. pH의 변화에 따라 보수력과 질감에 큰 차이를 나타내는 것은 적은 양의 결합수 즉 근육조직의 보수력이 고기의 질감에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

##### 1.2 단백질의 변성 및 분해

도체의 낮은 pH는 단백질의 변성 및 분해를 촉진한다. 이는 pH가 저하되면 lysosome에서 단백분해효소인 cathepsin의 분비가 촉진되어 근육 섬유단백질 및 결합단백질의 분해 효과를 가진다.

#### 2. 근섬유단백질의 변화

##### 2.1 actin과 myosin의 교차결합 변화

사후 강제전에는 actin과 myosin사이에는 교차결합이 이루어지지 않고, 사후강직이 시작되면 actin과

myosin 근육 섬유간에 교차결합으로 actomyosin 이 증가되어 근질의 길이가 단축되고, texture나 보수력이 크게 저하된다. 사후 강직후에는 근육섬유간의 교차결합이 근육내의 환경변화에 의해 점차 변형되어지고 약화되어 근질의 길이가 다시 길어지고 texture도 향상되어진다.

## 2.2 근섬유단백질및 결체조직의 분해

칼슘 활성화 효소는  $\alpha$ -line을 선별분해하는 작용으로 근육섬유를 근절단위로 잘라주는 역할을 하므로 질감을 향상시키는 효과를 가져오고, 단백분해효소인 cathepsin의 작용으로 근육 섬유및 결체단백질을 분해할 수 있다.

# IV. 육질에 영향을 주는 요인

## 1. 근섬유

근섬유조직을 이루는 단백질 성분의 구조나 양이 육류의 질감에 직접적으로 영향을 주지는 않지만 단백질 성분에 의해 이루어진 근섬유구조는 육질에 미치는 영향이 매우 크다. 따라서 조리전의 육질의 관리는 사후경직과 숙성중의 변화를 증시하고 있다. 이 시기에 일어나는 근육수축에 초점을 두고 이것을 줄이기 위한 방법들(도살방법, 저장온도등)에 대해 여러 연구들이 행해지고 있다. 같은 도체내에 근육도 질감에 따라 몇 가지 등급으로 나누는데 대개 결체조직의 양에 의해 나뉘어진다. 연한 조직 부위의 근육조직은 결체조직의 양이 적은 외에도 초원섬유 즉 actin과 myosin filaments가 근섬유속에 채워지는 정도가 질긴 조직부위보다 느슨하게 채워져 있다. 대부분 근섬유조직의 질감의 변화는 사후 처리에 의해 증가되어지는 actin과 myosin의 교차결합과 이로 인한 근질의 수축에 근거를 두고 있다. 이때 수축되어진 근섬유는 조리후에도 쉽게 변화하지 않고 씹을때 질긴 인상을 남긴다. 근질의 수축에 큰 영향을 미치는 강직전 근육의 저장온도는 15도 부근에 저장시 근육의 단축이 가장 적었다. 특기할 것은 37도 저장온도에서는 31.5%의 높은 단축율을 보였으나 그의 질감은 예상과는 달리 가장 낮은 전단력을 나타내었다. 이 현상은 잘 설명되어 있지 않지만 단백분해효소의 작용때문으로 추정하고 있다(표5).

표5. Effect of temperature on Tenderness<sup>4)</sup>

Temperaure	15	24	28	34	37
Shortening(%)	11.8	15	17.7	24.5	31.5
Shear force	49.6	53.5	54.1	50.5	42.6

## 2. Collagen

collagen은 육류의 질감에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 많은 연구가 이루어져 왔다. 육질은 동물의 나이, 근육의 부위, 동물의 성에 의해 차이가 존재하는데, 대부분이 결체조직의 양과 성질에 따른다.

### 2.1. collagen의 양

고기의 등급을 매길때 collagen의 양이 증가할수록 질겨지는 것으로 육질이 낮은 것으로 평가되어진다. 하지만 collagen의 양만으로는 육질의 저하를 설명할수 없는 연구 결과들로 인해 육질을 평가하는데 있어

표6. Comparison of some different collagen parameters for Six Beef Muscles varying in inherent Tenderness<sup>3)</sup>

Relative toughness <sup>a</sup>	Relative toughness <sup>a</sup>	Mean perimysial fiber diameter (nm)	Total collagen (% of dry weight)	Type III collagen (% of dry weight)	% of oxo-crosslinks of the total crosslinks	
					perimysium	endomysium
Psoas major	1	54	1.22	0.6	54	72
Longissimus dorsi	2	51	1.46	0.4	58	73
Pectoralis profundis	3	51	4.60	1.9	71	86
Semitendinosus	3	49	3.50	1.5	70	73
Gastrocnemius	4	92	6.70	2.5	70	86
Sternoman-dibularis	5	75	2.77	1.2	73	88

a: 1=tender, 5:tough

collagen의 양만을 절대적인 기준으로 사용할 수 없다. 대개 어린 고기의 육질이 collagen의 양이 성숙된 육조직보다 많지만 질감은 좋게 평가 되어진다. <표6>에 의하면 근육부위에 따른 collagen 함량과 상대적 질감도가 일정한 경향을 보이고 있지 못하다<sup>4)</sup>. Gastrocnemius 근육의 경우에는 collagen의 양이 작은데도 질감이 낮게 평가되었다. 이런 경향은 collagen의 양보다도 질이 문제 되어지는 것을 나타내어준다.

## 2.2. collagen solubility

soluble collagen의 양을 texture의 평가에 사용되어진다. 이것은 동물의 나이가 많아질수록 collagen solubility가 저하되고 질감이 저하된다. collagen solubility와 질감은 상관성이 높다고 보는데, 이 견해에 대한 반대도 있다. 한 예로 같은 근육 조직내에서도 위치에 따라 collagen solubility의 차이를 나타내는 보고가 있다<sup>5)</sup>. collagen에 의한 texture를 평가하는데는 collagen solubility보다 cross linking의 양과 형태를 반영하는 것이 바람직하다. collagen에 존재하는 4가지 type의 cross-linking은 dilute acid and heat labile aldimines, dilute acid and heat stable oxo-imines, heat stable mature crosslinks, disulfide 결합이다. 어린 근조직에 많은 heat labile aldimine crosslinked collagen과 uncrosslinked collagen은 쉽게 용해되어진다, 나이가 들어가면서 heat labile crosslinks가 heat stable cross links로 되어지면서 collagen solubility는 낮아진다. 따라서 heat and acid labile aldimine cross-links이 많을수록 texture가 향상되어진다.

## 2.3. collagen fiber의 크기

collagen fiber의 size는 texture에 영향을 미치는 것으로 여겨진다. 하지만 collagen 섬유 크기는 조직마다 다르고 나이에 따라 다르게 나타난다. <표6>에서와 같이 texture가 저하될수록 내근주막의 섬유크기가 커지는 경향을 나타낸다. 이것은 섬유크기가 커질수록 육조직의 분해에 장애가 되어 질감이 저하되는 것으로 생각된다. 특히 collagen 섬유의 단백분해를 위한 conditioning 동안에 collagen fiber의 크기가 크면 단백분해작용도 저하되어진다.

## 2.4 Collagen Type

Collagen type도 육류의 texture에 차이를 주는 것으로 알려져 있다. Type III가 많을수록 질감이 저

표 7. 체조직중의 Type III collagen 함량<sup>2)</sup>

Muscle	total type III collagen(% of dry wt)	type III collagen in perimysium(%)	type III collagen in endomysium(%)
Psoas major	0.6	43.2	55.2
Longissimus dorsi	0.4	24.5	53.3
Pectoralis profundis	1.9	40.7	58.5
Semitendinosus	1.5	41.7	56.4
Gastrocnemius	2.5	36.5	58.6
Sternomandibularis	1.2	40.5	58.1

하되어진다. conditioning하는 경우 Type III가 훨씬 단백질해작용에 강하다. Type III는 주로 근형질내막과 내근주막에 들어 있는데 총양이 차지하는 비율로 보면 내근주막에 많이 들어 있다. 또 근육의 부위에 따라 Type III가 들어 있는 양의 차이를 나타내며 연한 근육에 적게 들어 있다(표7).

## V. 고기의 조리

고기의 조리법으로는 수분의 사용여부에 따라 건열조리법과 습열조리법으로 나누어지며, 습열조리법은 일반적으로 결체조직의 양이 많은 질긴고기의 조리에 효과적으로 사용되고 있다. 열원으로부터의 식품으로의 열전달은 복사, 전도, 대류의 방법으로 이루어진다. 열원이 육류에 직접 전달되는 broiling 방법과 전자렌지에 의한 roasting 방법은 열침투속도가 매우 빠른 방법이지만, 육류에 가해지는 주위온도가 broiling 방법에서는 200도 이상의 고온이 유지되나 전자렌지에 의한 roasting 방법에서는 훨씬 낮은 온도에서 조리되어지는 차이를 가진다. 건열조리법에서는 육류의 외부온도와 내부온도가 큰 차이를 나타내어 내부가 수축하는 온도에 이르게 되어질 경우 외부는 수축정도가 심해진다. 반면 습열조리에 있어서는 빠른 열침투속도에 의해 균일한 조직의 육류를 얻게 된다. 일반적으로 조리시 육류에 가해지는 외부 온도는 oven roasting 방법에서는 150-175도, 기름frying시엔 150-180도, 압력솥으로 조리시 121도, 물에 끓이는 방법시에 100도, 그 외의 일반적인 조리방법으로는 85도정도이다. 육류의 가열정도는 대개 3단계인 약, 중, 강으로 나뉘는데 이는 육류의 내부온도가 단계에 따라 60도, 70도, 80도부근에 이르게 된다. 육류의 가열정도의 단계의 결정은 소비자의 기호에 의한것으로, 각 온도에 따른 장단점이 주어진다. 육류조리의 마감온도와 육류의 조리방법의 다양성이 육조직에 미치는 영향은 다음과 같다.

### 1. 가열에 의한 육성분의 영향

육류를 가열처리하게 되어짐으로 발생되어지는 변화는 가장 많은 양을 차지하는 단백질의 변화에 초점을 두고 있다. 특히 근섬유와 collagen 섬유의 가열에 의한 변화를 이해되어야 한다. 단백질은 일반적으로 가열에 의하여 단백질 분자내의 변화로 구조변화가 일어나는 변성현상이 시작되며, 이로 인해 단백질의 가용성이 감소되고 응고된다. 즉 근육단백질의 변성시 펩타이드 사슬이 풀려지다가 응고의 단계에서는 풀려진 펩타이드사슬간에 수소결합과 이황화물결합이 생긴다. 근육조직을 각온도별로 처리하여 얻은 전단력을 비교하여 보면 60도 부근에서 질감이 가장 낮게 나타나고 있다(그림1). 40-55도 부근에서는 근장 및 근섬유단백질의 변성응고가 일어나 전단력이 증가하는것으로 보여지고, 55-65도 부근에서는 collagen 섬유수



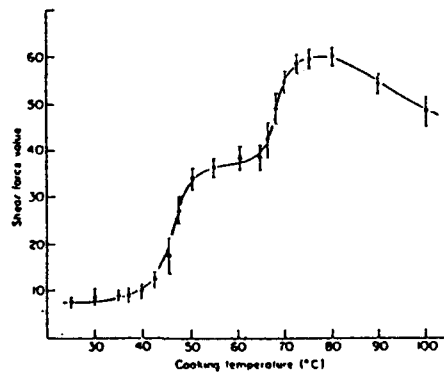


그림 1. 근육의 조리온도와 전단력의 비교<sup>5)</sup>

표 8. Changes in protein during cooking<sup>4)</sup>

change	°C	change	°C
Sarcoplasmic proteins	40-60	Myofibillar protein	
Sarcoplasmic proteins lose Solubility and denature		Denature of Myofibrillar protein	40-50
Maillard reaction	40-50	Coagulation of Myofibrillar protein	57-75
Flavor changes/meat flavor development	>70	unfoldin of actomysin molecules	<71
Structural changes		myosin loses solubility	45-50
Sarcomere shortening and decrease in fiber diameter	40-50	actin loses solubility	<80
Bire fringence begins to diminish	54-56	Collagen	
Loss of M-line structure, disintergration of thin and thick filaments	60-80	sollagen solubilization	60-70
Tenderness changes		collagen shrinkage	60-75
denaturation of contractile proteins(first toughening step)	40-50	collagen conversion to gelatin	65
collagen shrinkage(second toughening step)	65-70	collagen fiber disintergration	60-80
Tenderization begins	54		

축에 의해 전단력이 저하되었다가, 70-75도 부근에서는 단백질 경화현상으로 전단력이 증가되어진다. 80도 이상에서는 collagen 섬유의 gelatin화와 근섬유의 분리로 연화현상이 시작되어진다.

### 1.1 근형질 단백질

근세포내에 존재하는 단백질중에서 근섬유 단백질성분을 제외한 단백질에 해당되는 것으로, 전체 단백질의 약 30% 정도 차지한다. 일반적인 단백질과 마찬가지로 근형질단백질은 가열시 40-90도의 온도범위내에서 변성, 응고현상을 나타낸다. 가열에 의해 육색이 변화되는 것은 근형질 단백질에 속하는 myoglobin의 변성에 의해 일어나는 것이다. 이 단백질이 변성되어짐으로 육질에 영향을 주는 부분은 보수력의 저하에 기인하는 것으로 전체 질감에 영향을 주는 부분은 아주 적은 것으로 여겨진다.

### 1.2 근섬유 단백질의 변화

가열에 의한 육류의 texture의 저하는 근육 전체 단백질량의 50%정도를 차지하는 근육섬유단백질의 변

성과 응고에 의한 것이다. 근섬유단백을 이루고 있는 여러 종류의 단백질은 각각 열에 대한 변성온도가 다르게 나타나고 있다(표8). Z-line에 존재하는  $\alpha$ -actinin이 가장 낮은 온도인 50에서 응고하고 myosin은 55도, actin은 70-80도에서 tropomyosin은 80도 이상에서 응고한다. collagen의 변화가 거의 일어나지 않는 40-60도에서의 육류의 질김현상은 근육섬유 단백질중 많은 양을 차지하는 단백질인 myosin 단백질의 변성과 응고가 주요 원인으로 여겨진다.

### 1.3 결체조직의 변화

collagen은 40-60도 부근의 온도에서 근육섬유의 수축으로 인해 생겨난 수분으로 인해 팽윤현상을 가지다가, 55-65도에서 자체 섬유단백의 변성으로 인해 수축을 일으켜 원래길이의 1/3-1/4으로 단축되어지고, 시간이 지남에 따라 가수분해되어 gelatin화 되면서 용해도가 증가한다. collagen의 gelatin화는 65-80도 사이에서 단시간내에 gelatin화 하며 내부온도가 80도로 상승한다해도 더 빨리 연해지지 않는다. 일반적으로 수분의 존재하에 장시간 가열시 collagen의 gelatin화는 많이 이루어지는 것으로 설명된다.

## 2. 가열방법에 따른 근육 단백질섬유와 collagen섬유의 변화

식품과학자들은 육류의 질감에 영향을 주는 주요 성분들인 근섬유단백과 콜라겐 섬유단백에 대한 가열시 일어나는 변화를 연구해 왔다. 가열에 사용되어지는 변화요인으로는 온도, 조리방법, 조리시간, 수분의 유무를 들수 있다. 이 중에서 무엇보다도 조리마감온도가 크게 영향을 주는 것으로 보고 있다.

### 2.1 근육섬유의 가열시의 변화

#### A. 온도

##### 1) 근섬유의 변화

##### 1.1) 근섬유 직경의 변화

온도증가에 따라 근원섬유를 이루는 성분인 actin filaments와 myosin filaments 사이의 공간이 줄어들어 filaments 사이가 밀착되어지게 되어져 근원섬유가 모여 이루어진 근섬유다발의 직경이 줄어들는다. 45도에서 근섬유의 직경이 줄어들기 시작하며, 45-62도 사이에 급속히 감소되어 어느 시점에서 완성된다. 이것은 근섬유를 둘러싸고 있는 근섬유내막과의 공간증가로 쉽게 확인된다. 이로인해 myosin의 용해도의 급격한 감소, 보수력의 저하현상이 나타난다.

##### 1.2) 근섬유 길이의 변화

40-90도 까지의 온도증가시 한가닥의 근섬유 일때는 직경은 감소되나 길이의 변화는 관찰되지 않았으나, 근속(muscle bundle)의 크기나 조각크기의 근육(muscle strip)인 경우는 직경과 길이가 모두 짧아진다. 길이의 수축은 55도에서 일어나지 않으며 55-65도사이에서 급속히 이루어진다. 65-80도에서도 수축은 계속되나 크지 않다. 이것은 collagen 섬유 수축으로 인한 tension이 수분의 손실을 야기하며 근섬유의 수축에 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

##### 1.3) 근질의 변화

온도의 변화에 있어서 근질은 그 섬세함을 잃어간다. 온도의 증가에 따라 근질은 수축함을 보이나 고온으

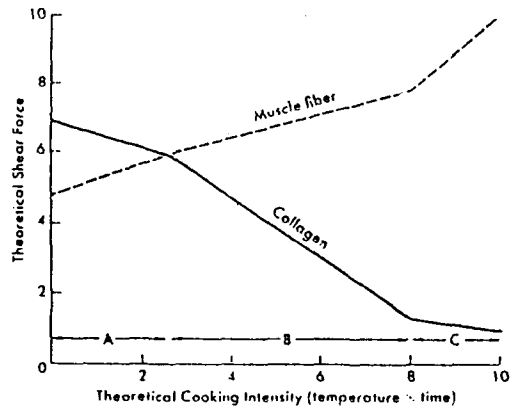


그림 2. 근육섬유와 collagen의 조리시 전단력의 변화<sup>9)</sup>

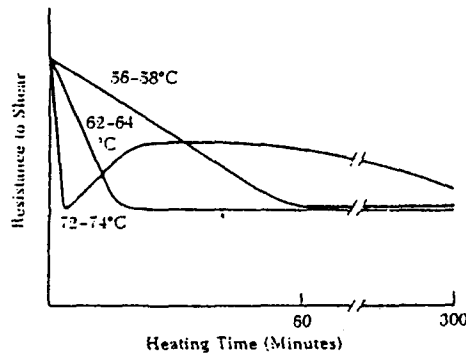


그림 3. 가열 시간과 온도에 따른 전단력의 변화<sup>11)</sup>

로 가열하는 경우에도 그의 근질의 외형적인 모습은 유지되어진다. 근질의 수축은 actin과 myosin의 결합으로 전체 근질에서 A-band가 차지하는 비율이 상당히 높아진다. 지속적인 온도증가에 있어 근질을 이루는 actin filaments와 myosin filaments의 변성과 응고로 인한 분자간 재결합으로 큰 분자물질로 변하여 65-75도에서부터 경화현상을 나타낸다. 이에 따라 근질내의 수분을 위한 공간이 부족해짐에 따라 조직의 질감을 나빠지게 한다. 60도에서 근질의 수축과 Z-line의 분해를 주로 지적하고 있으며 이는  $\alpha$ -actinin이 열에 제일 먼저 응고되어지는 특성을 반영하고 있다. 70-80도에서는 A-band와 I-band 모두 변화가 심해지며, 80-90도에서는 초원 섬유가 무정형이 되어지며 그러나 밴딩모양은 유지된다.

#### B. 조리방법

조리방법의 차이는 수분함량과, 가열환경(외부 온도), 열침투 속도의 차이로 볼수 있다. 가장 열침투 속도가 빠른 것으로 알려진 전자렌지 방법은 oven의 낮은 조리온도와 짧은 조리시간으로 인하여 근섬유조직에 적은 물리적인 변화를 가져와 근섬유구조에 파괴가 크지 않다<sup>7)</sup>. 그 외의 일반조리방법의 열침투속도는 근섬유의 분리형태와 정도에 영향을 준다. 내부온도가 65도 되게 끓는 물에 넣어 삶은 고기와 roasting한 고기를 비교한 결과 물에 끓인 것이 훨씬 부드러운데 이를 열침투 속도가 빠른 것때문으로 설명하고 있다<sup>8)</sup>. 이것은 actin과 myosin사이의 분해에 의한것이다. 압력을 사용했을때는 Z-line이 없어졌으며, 압력은

myosin filaments의 불가역적인 응고를 초래한다.

### C. 조리시간

〈그림2〉은 시가근섬유와 콜라젠 섬유의 시간과 온도의 증가에 따른 전단력의 변화를 보여준다. 시간이 지남에 따라 근섬유의 전단력은 증가하며 콜라젠 섬유의 전단력은 감소되어지는 것을 보여준다.

60도에서는같은 온도하에서도 시간이 길어질수록 근절 길이의 차이가 나타나지만 90도에서는 조리시간에 영향을 받지 않는다<sup>10)</sup>. 천천히 가열하는 것은 근섬유의 응고와 분해에 더 많은 영향을 준다. 조리시간과 가열온도는 전단력의 차이를 갖게한다(그림3). 이 표에 의하면 근육을 3간격의 온도처리시 시간의 경과에 따라 전단력의 감소에 차이를 갖지만 어느 일정시간후의 전단력은 큰차이를 갖지 않는다. 72도 부근의 근육은 시간이 지남에 따라 전단력의 증가를 나타내는데 이것은 단백질 경화현상으로 보여진다.

### D. 근육의 종류

근육의 부위에 따라 texture의 차이가 보고되지만 서로 상반되는 결과들이다. 즉 연한 고기의 근절은 변화가 적는데 이것은 근섬유가 느슨하기 때문이고 또 I band가 넓기때문이라하는 반면, 다른 보고에서는 연한고기가 더 큰 변화를 가진다고 보고되었다<sup>12,13)</sup>. 사후강직전과 사후강직후의 육조직의 반응도 texture의 차이를 가지며 강직전의 육조직은 가열시 급격한 근섬유의 분해로 연화효과가 있다고 한다<sup>14)</sup>.

## 2.2 collagen 섬유의 가열시 변화

다양한 근육에 존재하는 collagen은 그 양과 type과 교차결합의 형태가 다르기 때문에 가열에 대해 다르게 반응할수있다. 이중에서 교차결합의 형태가 같은 온도에 대한 질감의 차이를 갖게하는데 크게 기여한다. 이것은 polymerising cross-links의 성질에 달려있다. 즉 heat stable oxo-imine cross links 의 양이 많으면 열에 의해 collagen이 분리되어 나오기가 어렵고 따라서 gelatin을 형성하기 어렵다. 이것은 100도의 고온으로 처리되더라도 거의 용해되어지지 않는다. 이렇게 용해되어지지 않은 섬유는 매우 탄력이 강한 물질로 되어진다.

### A. 온도

일반적으로 collagen은 열에 대해 수축하고 더 나아가 gelatin화 한다. 70도 이상에서 collagen은 수축 후 분해되어 gelatin화 하지만 충분한 시간이 주어지지 않으면 100도에서도 모든 collagen은 gelatin화 되어지지 않고, 115-125도의 온도에서 거의 gelatin화 되어진다. 따라서 낮은온도에서 오랫동안 가열하거나 온도를 높임에 따라 근육조직이 부드러워지는 것은 collagen의 역할때문으로 생각된다.

#### 1) 팽윤

근육섬유가 변성을 일으켜 근섬유의 직경이 작아지면서 수분이 용출되어지면 그를 둘러싸고 있는 근섬유 내막은 수분이 많아져 팽윤하게 되어진다. 물론 이것은 collagen의 수축이 일어나기전의 온도 즉, 40-60도 사이에서 이루어진다. collagen이 팽윤하면 보수력이 증가되어지고 이에 따라 장력이 저하되어진다.

#### 2) 변성

collagen이 단량체로 존재시 가열을 하면 좁은 온도범위내에서 변성이 일어나는데 이것은 두단계로 1) triple helix의 구조에서 polypeptides들이 분리됨, 2) 그들의 helical form이 변성되어진다. 이때 collagen분

자의 변성온도는 여러 요인에 따라 15-50도 정도로 다양한 온도범위를 보인다. 이것은 collagen 분자내의 total amino acid content(proline+hydroxy proline)에 따라 달라지며 이 양이 증가할수록 collagen의 변성온도가 증가된다.

### 3) 수축

collagen이 섬유로 모여있을때의 변성은 섬유구조의 붕괴와 그에 따른 수축현상을 들수있는데, 이렇게 짧아진 섬유는 조직내에서 상당한 tension을 발생시키는 요인이 되고 있다. 대개 이것은 단량체가 변성되어지는 온도보다 22-27도 정도로 차이가 나는 높은 온도를 필요로 하고 있다. 이것은 섬유속에 밀집되어진 분자들사이의 상호작용으로 인한 결정화 에너지때문이다. 포유동물의 collagen 수축온도는 대개 65도정도로 용액속의 분자가 수축되어지는데 요구되는 온도인 39도보다 높다. 수축온도도 분자내의 hydroxy-proline함량에 좌우되며, hydroxyproline외에 내적요인으로는 non collageous connective tissue components 인 glycosaminoglycans and proteoglycans로 변성에 안정화효과를 가지고 있다. 이것의 수축온도에 주는 영향은 추정하기 힘들다.

### 4) 용해화

collagen의 용해화는 조직의 연화작용에 중요한 요인으로 고려되고 있다. 온도가 높아질수록 collagen의 soluble material이 증가된다. 이것은 heat labile aldimine bonds가 잘라짐으로 알수있다. 그러나 가열에 의해 용해화하는 결체조직의 양은 매우 적은 것으로 총 내근주막의 12-15%만이 용해된 물질로 변한다. 즉 85-88%의 내근주막에 존재하는 collagen이 insoluble shrunken materix에 남아 있다. 그러나 이것이 제품의 texture에 미치는 효과는 크다. collagen이 용해되어지면 gelatin을 형성한다. collagen 분자속에 heat labile aldimine cross-links가 많을 수록 gelatin형성이 쉬워진다. 이 결합은 70-75도에서 분리되어 대부분의 collagen은 gelatin으로 되어진다. collagen의 gelatin화는 60도에서는 거의 변화없고 65도에서는 상당한 시간이 요구되며, 65-80도 사이에는 상당히 빨라진다. 질긴고기를 물에 넣어 낮은 온도로 조리하는데는 상당한 시간이 걸리는데 이것은 collagen이 gelatin로 전환되어 섬유가 쉽게 분리될 수 있도록 함이다. 이것의 전환은 85도보다 100도, 그보다 121도에서 더 전환이 잘된다.

### 5) 결체조직의 변화

결체조직중에서 근섬유내막과 내근주막의 변화는 다르게 나타난다. 근섬유내막의 collagen섬유는 직경이 50nm정도이고 섬세한 collagen 섬유가 불연속적인 네트워크를 통해 관모양을 하고 있다. 50도에서는 변화하지 않고 60도 부근에서 섬유상 collagen의 모습이 없어지면서 엉기기 시작하여, 섬유상 collagen에 특징적으로 나타나는 67nm periodicity를 잃어버린다. 65-80도 사이에서 수축하며, 90도에 이르면 거의 섬유상 collagen이 존재하지 않는 것이 나타난다. 내근주막은 다량의 섬유상 collagen과 조금의 비섬유상 근단백질이 있다. 내근주막은 근섬유내막보다 조금 높은 온도에서 변화되어진다. 즉 섬유의 크기가 큰 것이 더 높은 온도에서 변화하기 시작한다. 60도에서는 부분만 젤화되어지고 나머지는 원래모습으로 남아 있는데 내근주막의 열수축으로 구조적인 결합력이 붕괴되며 섬세함을 잃어버린다. 60도 이상에서는 이것은 굵은 섬유상의 형태로 조금씩 팽창하여 젤화되어지는 것으로 나타난다. 외근주막이 가장 적게 영향받는데 온도의 증가에 따라 collagen이 팽창되어 굵은 섬유의 형태로 되어진다. collagen type도 온도에 대한 반응이 다른데 type I이 type III보다 더 잘 용해진다<sup>15)</sup>.

## B. 조리방법에 의한 변화

collagen은 조리방법에 영향을 많이 받는다. collagen의 함량이 많아 등급이 낮은 근육은 대개 수분을 첨가하여 조리하는 것이 권장되고 있다. 건열을 사용하는 조리시의 낮은 온도(93도)에서 roasting 하는 것이 높은 온도에서(149도) 조리하는 것보다 tenderness가 증가되어지는데 이것은 조리시간이 증가됨으로 설명되어진다<sup>16)</sup>. 근육의 내부온도를 collagen의 수축이 일어나는 60도를 유지하면서 조리 시간의 차이를 비교하면 조리시간이 길어질수록 질감이 향상되어지는데 이것은 60도 부근에서 단백질해효소의 작용때문으로 여겨진다. 전자렌지의 조리방법은 다른 조리방법에서보다 collagen의 용해도를 증가시킨다<sup>17,18)</sup>.

### 2.3. 전자렌지와 일반 oven의 육류 조리 방법

가정용 전자렌지가 우리에게 소개되어지면서 전통적인 조리방법과의 비교가 많이 행해져 왔다. 하지만 두 방법간의 차이를 보면 일치된 결론을 내기 어렵게 많은 상반된 결과를 보고하고 있다. 이것의 원인으로 실험들간의 실험조건의 차이(전자렌지의 power 차이, 조리후 최종내부온도의 차이등)를 들수있다. power의 변화를 주지 못했던 기존의 전자렌지의 사용은 심한 수분손실과 이로 인한 기호성의 저하를 보고하였고, 그후에 다양한 power를 사용할 수 있는 전자렌지의 출현후, 조리방법의 비교실험에서는 거의 차이를 나타내 보이지 않고 있다. 3가지 최종 내부온도로 실험한 2가지 방법(전자렌지와 일반 oven)을 비교해 보면 수분손실에 있어 두가지 방법이 온도에 의한 차이가 뚜렷하다. 즉 일반 oven과 전자렌지에서 roasting시 60도에서의 수분손실은 5.6%와 10.6%, 70도에서는 9.6%와 11.7% , 80도에서는 14%와 16.3%로 보고하고 있다. 이것을 보면 60도에서의 수분손실에 두 방법사이에 큰차이를 나타내는데 이것은 전자렌지가 콜라겐의 용해도가 높다고 하는 것과 관계있는 것으로 생각된다<sup>19,20)</sup>

## VI. 맺음말

점차로 육류의 소비증가와 더불어 육류의 기호성을 높이고자 많은 노력이 이루어지고 있다. 조리과학자들의 노력은 육류의 기호성을 높이기 위해 다양한 조리방법과 부재료의 효과를 연구하고 있다. 육류를 조리하는데는 조리방법도 영향을 주지만 무엇보다 조리마감온도가 기호성에 중요한 영향을 끼치는 것으로 생각되어진다. 본문에서는 육질이 가열시 변화하는 상태에 초점을 맞추어보고자 하였다. 육류의 기호성의 평가는 주로 flavor, juiciness, texture를 조사하는데, 이에 사용되는 주관적 방법이나 객관적 방법들이 서로 상관성이 높지 못하다. 근육의 texture에 영향을 끼치는 성분을 규명하고자 하는 노력이 계속되지만 여러 변수들의 상호작용에 의해 쉽게 이루어지지 않고 있다. 일반적으로 근육의 수축이나 collagen solubility가 육류의 texture에 영향을 크게 주지만 이들의 변화와 texture의 연관성이 명확히 규명되지 않고 있다. 이들을 밝히고자하는 노력으로 전자 현미경을 이용한 미세구조의 관찰이나 collagen solubility를 측정하지만 이들의 결과 또한 육류의 texture를 측정하는데, 이들 또한 객관적인 측정방법으로서의 문제점을 가지고 있다.

## 참고문헌

1. 김영교 외, 1992. 축산식품학, p.233 선진문화사
2. Bailey, A.J. and Light, ND. 1989. Connective tissue in meat and meat products. Elsevier Applied Science. p139 & 175
3. Pearson, A.M. and Dutson, T.R. 1985. Vol.5, Collagen as a Food, advances in Meat Research. and Avi Book.-4. 93 & 94
4. Bechtel, P.J. 1986. Muscle as Food, Academic Press, Inc. p.85-291.
5. Priestley, R.J. 1979. Effects of Heating on Foodstuffs, Applied Science Publishers LTD. London. p.178.
6. Bendal, J.R. and Restall, D.J. 1983. The cooking of single myofibres, small myofibre bundles and muscle strips from beef M. psoas and M. sternomandibularis muscles at varying heating rates and temperatures. Meat Science 8:93.
7. Hsieh, Y.P.C., Cornforth, D.P. and Pearson, A.M. 1980. Ultrastructural changes in pre- and post-rigor beef muscle caused by conventional and microwave cookery. Meat Science. 4:299
8. Weidemann, J.F., Kaess, G. and Carruthers, L.D. 1967. The histology of pre-rigor and post-rigor ox muscle before and after cooking and its relation to tenderness. J. Food Science 32:7.
9. Charley, H. 1982. Food science, John Wiley sons, Inc. p.407.
10. Bouton, P.E., Harris, P.V., and Shorthose, W.R. 1975. Changes in shear parameters of meat associated with structural changes produced by aging, cooking and myofibrillar contraction. J. Food Science 40:1122.
11. Judge, M.D., Aberle, E.d., Forrest, J.C., Hedrick, H.B. and Merkel, R.a. 1989. Principles of Meat Science. Kendall/Hunt publishing company, p.283.
12. Cheng, C.S. and Perish, F.C. 1976. SEM of bovine muscle: Effect of heating on ultrastructure. J. Food Science 41:1449.
13. Leander, R.C. 1977. Effect of heating on the ultrastructure of bovine muscle. Proceedings of the 30th Reciprocal Meat Conference 30:99.
14. Cia, G. and Marsh, B.B. 1976. Properties of beef cooked before rigor onset. J. Food Science 41:1259.
15. Burson, D.E. and Hunt, M.C. 1986. Heat-induced changes in the proportion of Types I and III collagen in bovine longissimus dorsi. Meat Science 17:153.
16. Hearne, L.E., Penfield, M.P. and Goertz, G.E. 1978. Heating effects on bovine semitendinosus: shear, muscle fiber measurements, and cooking losses. J. Food Science 43:10.
17. McCrae, S.E. and Paul, P.C. 1974. Rate of heating as it affects the solubilization of beef

- muscle collagen. *J. Food Science* 39:18
18. Zayas, J.F. and Naewbanij, J.O. 1986. The influence of microwave heating on the textural properties of meat and collagen solubilization. *J. Food Processing and Preservation*. 10:203.
  19. Cho, K.H. 1994. Effect of microwave cooking on different masses of roast. *Korean J. Society of Food Science* 10(4):85.
  20. Sanderson, M. and Vail, G.E. 1963. Fluid content and tenderness of three muscles of beef cooked to three internal temperatures. *J. Food Science* 28:590.