

## Transglutaminase를 첨가한 돈육 근원섬유단백질과 카제인염 혼합물의 배양온도와 시간에 따른 물성변화

황지숙 · 이홍철 · 진구복\*

전남대학교 동물자원학부 및 농업과학기술연구소

## Rheological Properties of Pork Myofibrillar Protein and Sodium Caseinate Mixture as Affected by Transglutaminase with Various Incubation Temperatures and Times

Ji Suk Hwang, Hong Chul Lee, and Koo Bok Chin\*

Department of Animal Science and Institute of Agricultural Science and Technology,  
Chonnam National University, Gwangju 500-600, Korea

### Abstract

To investigate the rheological properties of protein mixed gels mediated by microbial transglutaminase (MTGase), pork myofibrillar protein (MFP), sodium caseinate (SC) and their mixture (MS), the various gels were incubated at different temperatures for various times. Extracted MFP, SC and their mixture (MS, 1:1) were incubated at different temperatures (4°C vs 37°C) for various times (0, 0.5, 2, 4 hr), and assessed for viscosity, gel strength and other characteristics using differential scanning calorimeter (DSC) and sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE). DSC measurements showed that incubation at 37°C rather than 4°C caused marked changes in thermal transition, and MS displayed similar thermal curves (three endothermic transitions) to MFP and SC alone. After incubation at 37°C for 2 hrs, the viscosity (cP) of MS increased ( $p < 0.05$ ) due to induction by MTGase, whereas no differences were observed at 4°C. However, gel strength values were no different, regardless of incubation temperatures and times. Future research will address how longer incubation times affect the functionality of protein mixed gels mediated by MTGase.

**Key words:** rheological properties, transglutaminase, myofibrillar protein, sodium caseinate, incubation time and temperature

### 서 론

최근 소비자들의 건강에 대한 관심이 고조되면서 육제품 분야에서도 식염이나 지방과 같은 식품 첨가물들의 함량을 줄인 웰빙(well-being) 식품들이 다양하게 개발되고 있다. 그러나 육제품 가공 시 중요한 기능을 가지고 있는 식염과 지방을 줄이면 육제품의 관능성, 조직감 및 저장성 등 기타 여러 가지 문제점이 발생하기 때문에 저염, 저지방 육제품 개발을 위해서는 지방과 식염을 대체할 첨가물이 필요로 된다(Chin and Ahn, 2005).

Transglutaminase(TGase)는 밀, 난, 우유 및 대두단백질과

같은 몇몇의 단백질에서 내부와 외부의  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamyl)lysine 교차결합(G-L 결합)을 촉매시키는 작용을 한다. 이 효소와 식품단백질간의 겔화와 중합반응은 물리화학적인 특징을 변경시킴으로써 많은 식품의 품질, 특히 물성에 영향을 준다(Tseng and Lai, 2002; Ramirez-suarez and Xiong, 2003). 또한 단백질의 기능성은 가공과정 중의 변화와 이 화학적 특성에 기인하여 용해성, 표면장력, 친수성 및 소수성, 유화특성 등의 다양한 특성을 보임으로써 식품에 널리 적용되어 사용되고 있다(Vojdani and Whitaker, 1994). 특히 단백질 중에서도 우유단백질, 그 중에서도 카제인 염은 표면 단백질 분자가 유화되는 동안 지방-물 표면에 급속하게 흡수되어 정전기와 입체 안정성의 결합을 통해 오랫동안 유화안정성을 유지시켜준다. 뿐만 아니라 다른 단백질에 비해 열에 안정적이고 오랜 열처리에도 응고되지 않는 특성을 가지고 있어 육제품 분야에서도 첨가물로써

\*Corresponding author : Koo Bok Chin, Department of Animal Science, Chonnam National University, Gwangju 500-600, Korea. Tel: 82-62-530-2121, Fax: 82-62-530-2129, E-mail: kbchin@chonnam.ac.kr

많이 이용, 연구되고 있다(Mulvihill and Ennis, 2003).

Kilic(2003)은 육계로 만든 케밥에 TGase만 첨가한 경우와 TGase와 카제인염을 혼합하여 첨가한 처리구 간의 조직감을 비교한 결과, TGase만 첨가한 처리구에 비하여 카제인 염을 혼합 첨가한 처리구에서 조직감이 더 좋아지는 경향을 보였다고 보고하였다. 또한 카제인 염 단백질 이외에도 Ramirez-Suarez와 Xiong(2003)은 육계의 근원섬유 단백질에 대두단백질과 TGase를 첨가하여 열적변화와 겔화반응을 알아본 결과 TGase를 첨가하였을 때 열변화는 열적 변성온도만 약간 변화하였으나 탄성력에서는 첨가하지 않았을 때보다 크게 증가하였다고 보고하였고, Ramirez-Suarez 등(2005)은 육계의 근원섬유단백질에 밀단백질과 TGase를 첨가하였을 때의 열적 변화와 겔화 반응을 조사하여 본 결과, 탄성력이 크게 증가하였을 뿐 아니라 열적 변성온도에서 차이를 나타내 근육단백질과 비근육단백질 간의 상호작용의 가능성을 제시하였다. 이상의 선행연구에서 TGase의 기능성을 검증하였으나 비육류 단백질과 근육 단백질의 상호 작용을 촉매할 수 있는 TGase의 최적 온도와 가열시간 등의 기초 자료는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 근육단백질과 우유단백질인 카제인염 간의 상호작용에 대한 촉매제로서 TGase를 이용하여 식육가공 공정의 최적화를 위한 온도와 배양시간을 결정하기 위하여 실시하였다

## 재료 및 방법

### 시료 준비

Myofibrillar Protein(MFP)은 돈육의 등심부위를 이용하여 4배의 0.1 M NaCl, 50 mM Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> buffer로 3회 원심분리하여, 그 pellet을 다시 8배의 0.1 M NaCl로 원심분리시켜서 추출하였다(Xiong, 1993). 추출된 MFP를 Lowry 정량법(Lowry *et al.*, 1951)을 이용해 단백질 함량을 구하였다. 처리구는 근원섬유단백질, 근원섬유단백질과 카제인염(Sodium Caseinate, SC)의 혼합액(1:1)으로 구성하였으며, 카제인염에 Transglutaminase(Activa TG-B, Ajinomoto, Japan)를 각각 첨가하여 사용하였다. 배양온도는 4, 37°C로, 배양시간은 0, 0.5, 2, 4시간으로 설정하여 실험하였다.

### 열량 분석기를 이용한 가열 중 단백질의 열량 변화

MFP, SC, MFP:SC(1:1)(단백질 농도 4.5%)에 TGase를 1:10(효소:기질) 비율로 첨가하고 배양시간과 온도에 따른 열안정성의 변화를 살펴보기 위하여 Differential scanning calorimetry(DSC, S-650, Scinco, Korea)를 이용하여 측정하였다. 시료를 알루미늄 캡슐에 정확히 12 mg을 첨가하여 봉합한 후 10-80°C까지 가열온도를 1분당 10°C씩 증가시키면서 그 열량 변화를 측정하였다.

### 점도/겔 강도 측정

MFP, SC, MFP:SC(1:1)(단백질 농도 4.5%)에 1:10(효소:기질)의 비율로 TGase를 첨가한 후 배양조건에 따라 점도계(RC01-R, Rheotec, Germany)를 이용하여 측정하였다. 겔 강도는 점도측정 샘플과 동일한 방법으로 준비한 다음, 3 g의 샘플을 배양 시험판(1.7 cm×1.7 cm, culture test plate, Sewon Co., Seoul, Korea)에 각각 넣고, 밀봉한 다음 80°C로 예열된 중탕기(waterbath)에서 30분 동안 가열하였다. 가열된 시료의 겔 강도를 측정하기 위해 Instron Universal Testing Machine(Model 3344, Instron, USA)의 Merlin program에서 puncture test로 설정한 다음, 분당 50 mm 속도로 하강하는 조건에서 측정하였다. 탐침은 flat faced probe를 사용하였다.

### 전기영동

Mini protein electrophoresis assay unit(Bio-Rad Laboratories, Richmond, CA, USA)을 이용하여 Laemmli(1970) 방법에 준하여 각각 12% 및 3%의 separation gel과 stacking gel을 제조하였고, polyacrylamide gel을 이용하여 단백질을 분리하였다. 추출한 단백질과 sample buffer를 혼합하여 최종 1%의 단백질이 loading 되도록 조정하였고, 이미 염색된 단백질 표준액(Prestained SDS-PAGE Standards, Broad Range 161-0318, BIO-RAD, CA, USA)와 함께 불용성 단백질을 제거하기 위하여 100°C의 끓는 물에 5분 동안 가열하고 원심분리를 시켜 loading 하였다. 150 V에서 약 1시간 30분 동안 분리시킨 후, 겔을 떼어내서 1% 염색용액(Coomassie Brilliant Blue R-250, BIO-rad, CA, USA)에 넣고, Roker (Model RK-1020, New Power ENG. Co., Ltd., Korea)에서 가볍게 진동을 주면서 30분 동안 염색시켰다. 염색된 겔은 증류수로 1번 세척한 후 30분 동안 탈색시킨 후 보관용액에 넣어 보관하였다.

### 통계처리

점도와 겔강도의 결과는 SPSS 12.0 program(2003)을 이용하여 배양시간과 배양온도 간을 요인으로 상호작용 유무를 확인하였고, 이원배치 분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 오차범위 0.05% 이내에서 유의차가 있을 때, Duncan 다중검정법(multiple range test)을 이용하여 각 처리구 간의 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 열량변화

열량분석기로 근원섬유단백질과 카제인염 단백질 그리고 1:1로 혼합한 혼합물의 가열 중 열량의 변화를 실시하였으며 그 결과는 Fig. 1과 같다.

근원섬유단백질과 카제인염의 1:1 혼합물의 경우 53°C,

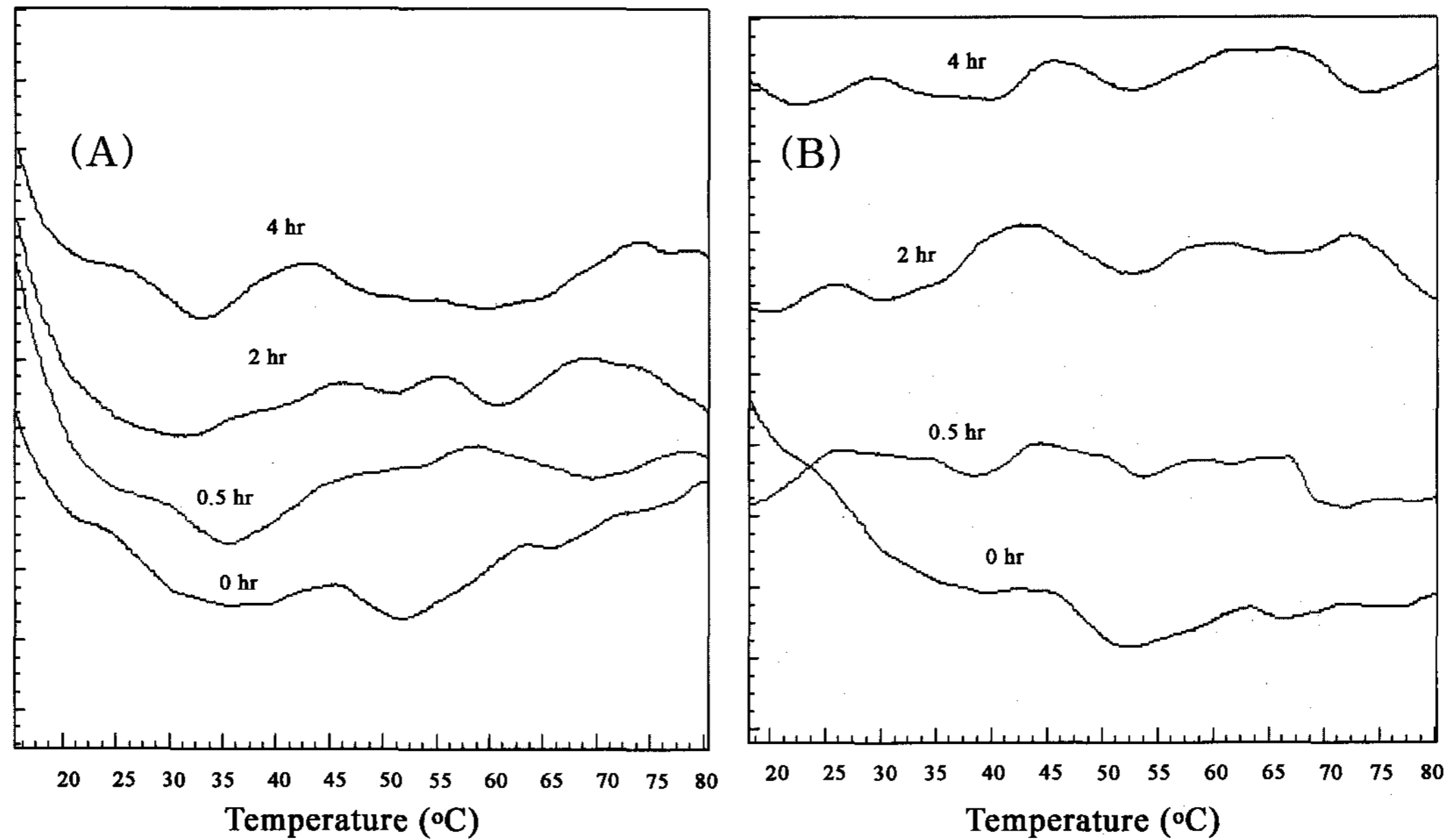


Fig. 1. Differential scanning calorimetry (Heat flow) of porcine myofibrillar protein and sodium caseinate mixture as affected by various incubation times and temperatures. (A)= 37°C, (B)=4°C.

66°C 그리고 75-80°C 사이에서 peak를 나타냈고 이것은 각각 myosin heavy chain(MHC), light chain, 그리고 actin 분자로 추측된다(Ramirez-Suarez *et al.*, 2005). TGase를 첨가하고 배양했을 때 각 피크의 크기가 점차 상쇄되는 것으로 보아 TGase의 단백질간의 공유결합에 의한 겔화가 이루어지고 있으며 특히 37°C가 4°C에 비하여 더 빠른 속도로 상쇄됨을 찾아볼 수 있다. 그리고 MHC에 해당되는 부분이 light chain에 비하여 빨리 반응함으로써 heavy chain이 더 TGase에 민감함을 알 수 있다.

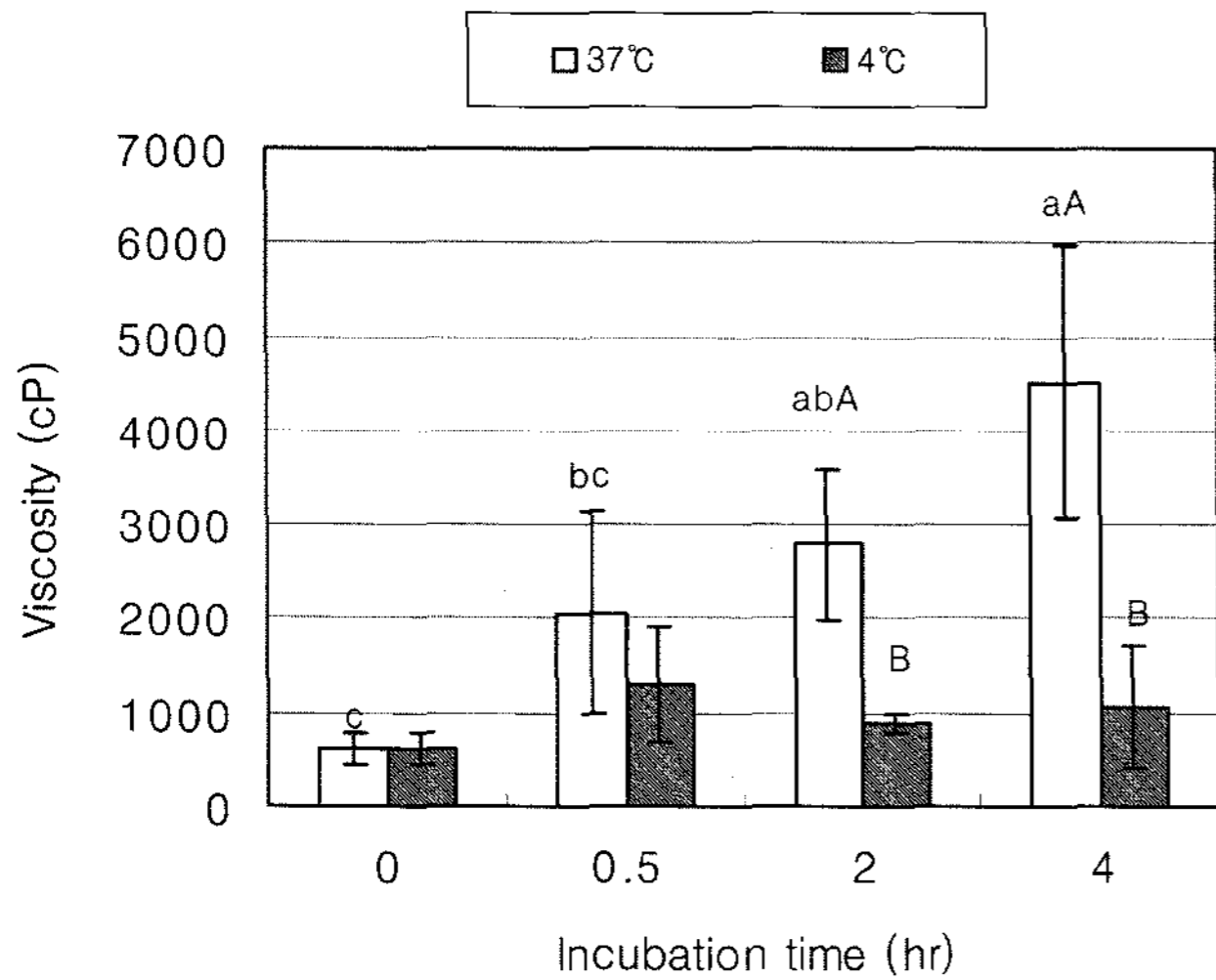
카제인 염 단독의 경우, 37°C에서 배양했을 때, TGase를 첨가한 직후, 52, 65, 77°C 지점에서 peak가 나타났고, 또한 0.5, 2시간이 지남에 따라 더 높은 온도에서 열량변화를 보였다. 그러나 배양 전에 나타나던 큰 열량변화는 보이지 않았다. 4시간 배양했을 때 역시 큰 열량변화를 나타내지 않았으며 61, 71°C에서 약간의 열량변화만이 나타났다. 4°C일 때는 30분과 4시간 배양했을 때는 동일한 시간으로 배양한 37°C와 유사한 결과를 보였으나, 2시간 배양한 경우에는 37°C에서 2시간 배양한 것보다 열량변화가 큰 것으로 나타났다. 한편, 30분과 2시간 배양했을 때 더 낮은 온도에서 peak를 나타냈고, 4시간일 때는 열량변화는 많이 없었으나 49°C에서 또 다른 peak를 보여주었다. 근원섬유단백질과 카제인 염의 혼합액의 경우에는 37°C에서 배양하고 TGase를 첨가했을 경우 35, 53, 67°C에서 0.02 J/g 이상의 peak를 보인 반면 30분 배양 시 36, 54, 70°C로 이동해갔으며 2시간 배양했을 경우에는 30부근의 peak는 나타나지 않았고 50과 61°C에 또 다른 peak가 생성된 것으로 나타났다. 또한 4시간 배양했을 때에는 33, 49, 65°C에서 열량변화를 나타내었다. 반면 4°C에서는

4시간 배양했을 때 37°C의 2시간 배양한 것과 유사한 경향을 나타내었다.

이와 같이 열량변화는 Brunton 등(2006)이 우육의 *biceps femoris* 부위의 열량변화 결과와 Ramirez-Suarez 등(2005)이 육계의 근원섬유단백질의 열량변화를 측정하고 거의 유사하게 근원섬유단백질인 myosin heavy chain의 변성온도인 61°C, myosin light chain의 변성온도인 66°C 그리고 actin의 변성온도인 78°C 부근에서 3개의 주요 피크를 보이며 각 단백질 별로 열량변화 패턴이 상이하게 나타났다. 근원섬유 단백질과 카제인 염 단백질의 혼합액은 근원섬유와 카제인 염 단백질 각각의 피크가 혼합되어 나타나는 양상을 보였으며 이러한 결과는 Ramirez-suarez 등(2005)이 육계의 근원섬유단백질에 밀단백질과 TGase를 첨가하였을 때 각각의 열량변화보다 밀단백질과 TGase를 같이 첨가했을 때 더 높은 온도에서 열량변화를 나타낸 결과와 유사하였다. 즉 각각의 단백질 peak보다 근원섬유 단백질에 카제인염과 TGase를 첨가하였을 때 더 안정하였고 또한 배양시간에 따른 TGase의 반응에 있어서 2시간에서도 작은 열량변화를 나타냈으며 4시간동안 배양했을 때와 유사한 경향을 나타내었다. 반면 온도에 따라서는 큰 차이를 나타내지는 않았으나 4°C일 때 보다 37°C에서 비교적 더 안정하였다.

#### 점도

각 단백질 별 온도에 따른 점도의 변화는 Fig. 2에 나타났다. 37°C의 경우 근원섬유단백질(MFP)과 카제인염(SC)을 혼합한 혼합물(MFP:SC=1:1)에 TGase를 반응시킨 후 2시간 배양했을 때부터 배양 초기에 비하여 점도의 차이가



**Fig. 2. Viscosity of myofibrillar protein and sodium caseinate mixture as affected by different incubation time and temperature.** <sup>a-c</sup>Means with same letter at increased incubation times are not different ( $p>0.05$ ). <sup>A,B</sup>Means with same capital letter at different incubation temperatures are not different ( $p>0.05$ ).

나타났으며, 0, 0.5시간보다는 2, 4시간 배양했을 때 유의적으로 점성이 높게 측정되었다. 그러나 2시간과 4시간 사이에는 유의차가 없었다( $p>0.05$ ). 반면에 4°C에서는 배양 시간에 따른 변화는 나타나지 않았고 37°C와 비교하여 2시간 배양하였을 때 유의적으로 낮게 나타났다( $p>0.05$ ).

본 실험의 결과와는 상이하게 일반적으로 점도는 온도가 증가할수록 낮아지고, 온도가 낮아질수록 점도가 증가한다고 알려져 있으며 이것은 저온에서 분자 운동성의 저하로 인한 점도의 증가 현상으로 설명할 수 있다(Han *et al.*, 2004). 또한 Lee 등(1991)은 반고체 식품과 혼합 균주를 이용하여 직접 제작한 청국장을 온도를 달리하여(10, 20, 30°C) 점도를 측정된 결과, 온도가 증가함에 따라 점도가 낮아지는 결과를 얻었다고 보고하여 본 실험의 결과와는 상이하여 일반적으로 온도가 증가함에 따라 점도가 낮아진다는 일반적인 결과를 뒷받침하고 있다.

이 결과를 종합하면 본 실험에서 온도차에 따른 점도의 차이는 TGase가 4°C의 낮은 온도보다는 37°C에서 활성을 더 갖기 때문이라고 사료되며, 따라서 이 결과는 곧 TGase가 효소로서 높은 활성을 갖게 하기 위해서는 낮은 온도인 4°C보다 37°C에서 사용함이 바람직하다고 사료된다.

### 겔 강도

추출한 근원섬유 단백질을 일정한 농도(4.5%)에서 가열에 의한 겔 강도를 나타낸 결과는 Table 1과 같다. 겔 강도는 배양온도와 시간에 따라 일정한 경향을 나타내지 않았다( $p>0.05$ ). 이것은 각 반복실험별로 표준편차가 크게 나타냄으로써 배양온도에 따른 겔강도의 유의적인 차이를 나타내지는 않았다( $p>0.05$ ). 단백질의 겔화는 식육 가공에 있어서 조직감에 관여하여 육제품의 품질특성을 부여한다. Sakamoto 등(1994)은 카제인염 단백질의 겔화에 있어서 배양시간에 따른 변화는 배양온도와 배양시간이 증가함에 따라 겔 강도가 증가함을 보였으며 최적조건은 50°C에서 pH 9일 때 breaking strength가 높다고 보고하였다. 반면에 본 연구에서 TGase를 첨가할 경우 겔화는 진행되지만, 이전 연구결과와는 다르게 배양온도와 시간에 따라 유의차를 보이지 않았다. 이러한 결과는 단백질의 농도, 효소의 농도 등이 상이한 것에 기인된다고 판단되는데 본 연구에서 각 처리구 별 편차가 심하기 때문에 배양시간의 증가와 온도의 차이에 따른 변화를 보이지 않았으나 Kilic(2003)은 미생물 유래 TGase와 카제인염 단백질로 제조한 도나케밥(doner kebab)은 미생물 유래 TGase를 첨가하지 않거나 미생물 유래 TGase와 카제인염을 첨가한 것과 비교하여 높은 경도와 저작성을 관찰함으로써 계육단백질과 카제인염이 TGase에 의하여 결합력이 증가됨을 확인하였다.

### 전기영동

근원섬유 단백질과 카제인염 단백질은 1:1로 혼합하고 전기영동을 실시한 결과는 Fig. 3과 같다. 근원섬유단백질의 경우 4°C에서 배양했을 때 시간이 경과함에 따라 myosin heavy chain (MHC)과 카제인염 분획이(32-34 kDa) 점차적으로 사라지고 있으며(lane 2-5), 반면에 37°C 배양한 경우(lane, 6-9) 단백질 분획의 분해가 빨라져 30분 이상 경과했을때 카제인 염의 분획이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 이와 같이 37°C의 경우 MHC와 카제인염의 분획이 점차 사라짐에 따라 고분자 biopolymer가 형성된 것으로 평가되지만(lane 8, 9), 4°C에서는 4시간 이내의 biopolymer의 형성을 관찰할 수 없었다. 이 결과는 4°C에서 배양할 경우 MHC와 카제인염의 공유결합에 의한 biopolymer의 생성을 위하여 4시간 이상의 배양시간이 필요함을 증명하는 자료로 평가되며, 더 선명한 밴드를 보이며 큰 변화를 나타내지 않았다. 근원섬유/카제인염 단백

**Table 1. Gel strength of myofibrillar protein as affected by various incubation times (hr) and temperatures (°C)**

	Incubation time (hr)				Incubation temperature (°C)	
	0	0.5	2	4	37	4
MFP	8.30±2.78 <sup>a</sup>	7.41±2.36 <sup>a</sup>	8.57±4.86 <sup>a</sup>	6.16±1.19 <sup>a</sup>	7.18±1.76 <sup>A</sup>	8.04±4.03 <sup>A</sup>

Means with same superscript in a same row are not different ( $p>0.05$ ).

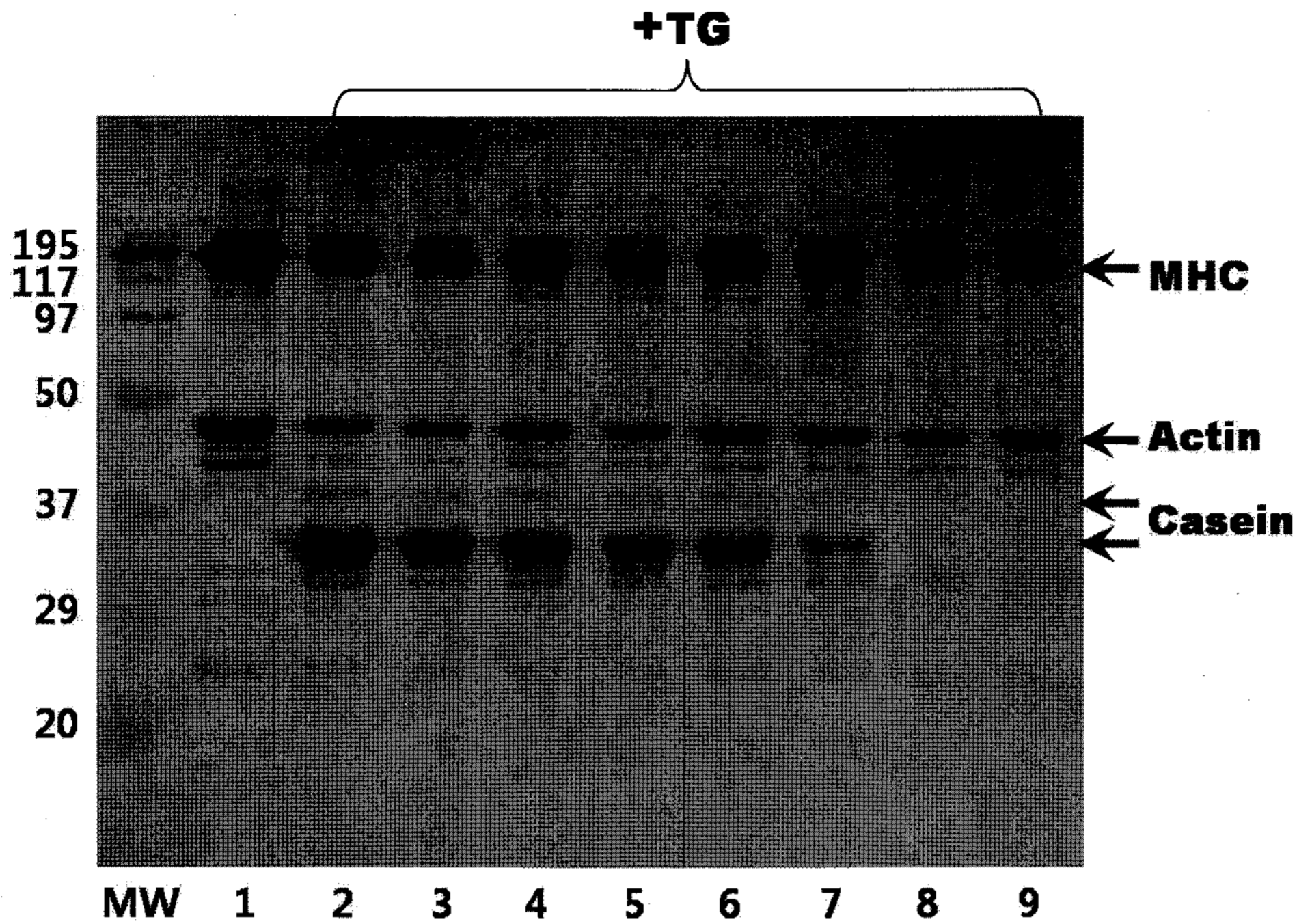


Fig. 3. Protein profiles of mixed gels as affected by incubation time and temperature. MW: Pre-stained SDS-PAGE Standards, 1: Myofibrillar protein(MFP), 2: MS (0 hr at 4°C), 3: MS (0.5 hr at 4°C), 4: MS (2 hr at 4°C), 5: MS (4 hr at 4°C), 6: MS (0 hr at 37°C), 7: MS (0.5 hr at 37°C), 8: MS (2 hr at 37°C), 9: MS (4 hr at 37°C).

질의 혼합액의 경우 37°C에서 시간이 경과함에 따라 24-34 kDa의 밴드가 희미해져 감을 알 수 있었고 2시간 경과했을 때는 38 kDa 이하의 밴드가 전체적으로 사라짐을 알 수 있었다. TGase를 첨가한 후 배양시간이 지남에 따라 단백질 간의 교차결합이 형성되면서 저분자 밴드가 사라져가고 고분자 peptide가 형성된다는 연구결과는 많이 보고되어 있다(Ramirez-Suarez and Xiong, 2003). Tang 등 (2006)은 대두단백질과 TGase를 37°C에서 변화를 살펴본 결과 45분 경과했을 때부터 고분자 peptide가 형성이 되고 2, 4시간 지났을 때 확연히 저분자 peptide가 사라져가면서 고분자 peptide가 형성해 감을 보인 결과로 볼 때 30분과 2시간 사이에 단백질 간의 교차결합이 급속히 진행되어 감을 알 수 있었다고 보고하였다. Kilic(2003)은 계육으로 제조한 재구성 육제품인 도나케밥(doner kebab)에서 첨가한 카제인염과 계육단백질간의 공유결합이 형성되어 biopolymer를 형성하였고, 이것은 myosin heavy chain의 농도가 약해지는 대신 biopolymer의 양이 진해진다는 사실을 전기영동상에서 관찰하여, TGase에 의한 육단백질과 카제인염 단백질간의 공유결합을 확인하였다. 따라서 이와 같이 공유결합에 의하여 형성된 biopolymer는 식육단백질의 조직감에 기여할 것으로 평가되며, 특히 가열하지 않는 재구성햄의 제조에 식염과 인산염의 대체제로서 널리 사용되고 있다(Dimitrakopoulou *et al.*, 2005).

## 요 약

근육단백질과 카제인염 단백질간의 상호작용의 촉매제로서 TGase의 배양시간과 온도에 따른 물성효과를 측정하기 위하여 본 연구를 실시하였다. 돈육 등심부위의 근원섬유단백질을 추출하였고 배양온도는 4°C, 37°C로, 배양시간은 0, 0.5, 2, 4시간으로 단백질의 열량분석, 점도, 겔 강도, 전기영동상 패턴의 변화를 측정하였다. 단백질 열량변화는 각 단백질 별로 열량변화 패턴이 상이하게 나타났으며 근원섬유와 카제인염의 혼합액은 각각의 단백질 피크와 유사하게 나타났고 배양시간과 온도에 따라 차이를 보여 4°C에 비하여 37°C에서 열량변화의 차이가 크게 나타났다. 점도의 경우 배양하지 않은 것과 비교했을 때 37°C에서 2시간 배양했을 때부터 유의적인 차이를 보이며 증가하였다. 근원섬유단백질을 4.5%의 농도로 가열에 의한 겔의 강도를 측정한 결과, 배양시간이나 온도에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 전기영동의 경우에도 4°C와 37°C의 배양의 경우 myosin heavy chain과 카제인염 단백질 분획이 배양시간이 경과함에 따라 점차 감소하였고, 특히 37°C에서 30분까지는 큰 변화를 나타내지 않았으나 2시간부터 32-34 kDa 분자량을 갖는 카제인염단백질의 저분자의 밴드가 사라지고 고분자의 biopolymer를 형성하였다. 이상의 결과를 종합하면 4°C보다 37°C에서 단백질 분자간의 상호작용에 의한 TGase의 효과가 뚜렷하였으며 37°C에서 2시간 이상 배양시 TGase에 의한 현저

한 물성의 차이를 보인 것으로 평가된다.

### 참고문헌

1. Brunton, N. P., Lyng, J. G., Zhang, L., and Jacquier, J. C. (2006) The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef *biceps femoris* muscle during cooking from 5 to 85°C. *Meat Sci.* **72**, 236-244.
2. Chin, K. B. and Ahn, E. H. (2005) Evaluation of sodium lactate and potassium lactate on the quality characteristics and shelf-life of low-fat sausage during refrigerated storage. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **25**, 52-59.
3. Dimitrakopoulou, M. A., Ambrosiadis, J. A., Zetou, F. K., and Bloukas, J. G. (2005). Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder. *Meat Sci.* **70**, 743-749.
4. Han, D. S., Chun, E. W., Bae, S. S., Chi, G. Y., and Cho, I. S. (2004) Effect viscosity variation on temperature in mixed surfactant system. *Appl. Chem.* **8**, 9-12.
5. Kilic, B. (2003) Effect of microbial transglutaminase and sodium caseinate on quality of chicken doner kebab. *Meat Sci.* **63**, 417-421.
6. Laemmli, U. K. (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4, *Nature* **227**, 680-685.
7. Lee, B. Y., Kim, D. M., and Kim, K. H. (1991) Measurement of the viscosity of semi-solid foods by extrusion capillary viscometer. *J. Korean Soc. Food Nutr.* **20**, 509-512.
8. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., and Randall, R. J. (1951) Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* **193**, 265-275.
9. Mulvihill, D. M. and Ennis, M. P. (2003) Functional milk proteins - production and utilization. In: *Advanced dairy chemistry (Part B)*. Fox, P. F. and McSweeney, P. L. H. (3rd eds), Kluwer Academic/Plenum Publishers, NY, pp. 1175-1228.
10. Ramiraz-Suarez, J. C. and Xiong, Y. L. (2003) Effect of transglutaminase-induced cross-linking on gelation of myofibrillar/soy protein mixtures. *Meat Sci.* **65**, 899-907.
11. Ramiraz-Suarez, J. C., Addo, K., and Xiong, Y. L. (2005) Gelation of mixed myofibrillar/wheat gluten proteins treated with microbial transglutaminase. *Food Res. Int.* **38**, 1143-1149.
12. Sakamoto, H., Kumazawa, Y., and Motoki, M. (1993) Strength of protein gels prepared with microbial as related to reaction conditions. *J. Food Sci.* **59**, 866-871.
13. Tang, C. H., Chen, Z., Li, L. and Yang, X. Q. (2006) Effects of transglutaminase treatment on the thermal properties of soy protein isolates. *Food Res. Int.* **39**, 704-711.
14. Tseng, C. S. and Lai, H. M. (2002) Physicochemical properties of wheat flour dough modified by microbial transglutaminase. *J. Food Sci.* **67**, 750-755.
15. Vojdani, F. and Whitaker, J. R. (1994) Chemical and enzymatic modification of proteins for improved functionality. In: *Protein functionality in food systems*. Hettiarachchy, N. S. and Ziegler, G. R. (eds), Marcel Dekker, Inc., NY, Vol. 9, pp. 261-263.
16. Xiong, Y. L. (1993) A comparison of the rheological characteristics of different fractions of chicken myofibrillar proteins. *J. Food Biochem.* **16**, 217-227.

(2008. 2.27 접수/2008. 6. 13 수정/2008. 6. 13 채택)