



# 식육 가공의 Microbial Transglutaminase 이용 및 작용기작

## Utilization and Mechanism of Microbial Transglutaminase on Meat Processing

장호식 · 진구복\*

Ho-Sik Jang and Koo-Bok Chin\*

진남대학교 동물자원학부 및 기능성 식품 연구센터

Department of Animal Science and Functional Foods Research Institute, Chonnam  
National University, Gwangju 500-757, Korea

### 1. 서론

식품의 기능성을 증진시키기 위하여 다양한 첨가물이나 효소제재들이 사용되고 있는데, 특히 미생물이 생성하는 트랜스글루타미네이스(Microbial transglutaminase, MTG)는 특정 식품의 단백질이 가지고 있는 lysine 잔기들의  $\epsilon$ -amino 그룹을 포함하여 glutamine 잔기들의  $\gamma$ -carboxyamide 그룹 사이의 acyl 전이 반응을 촉매하여 단백질 상호간의  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamyl)lysine isopeptide 결합을 형성할 수 있게 도와주는 효소로 알려져 있다(Motoki and Seguro, 1998; Nio *et al.*, 1986) (그림 1). 이와 같이 glutamine과 lysine간의 교차결합(cross-linking)으로 MTG는 다양한 식품 가공품에 다양하게 적용되고 있다(Ramirez-Suarez and Xiong, 2003). MTG는 일반적으로 수산물, 어육, 유가공 제품, 계란, 콩, 빵, 밀, 육제품 등에서 널리 사용되고 있는데(Gauche *et al.*, 2008; Trespalacios and Pla, 2007), 그 이유는 MTG

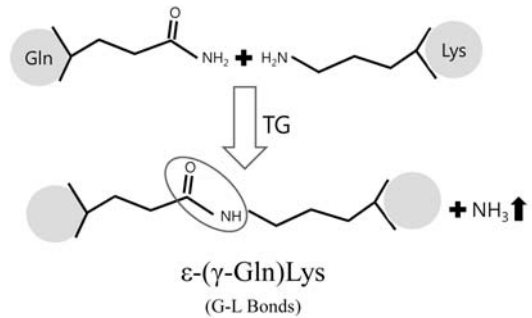


Figure 1. The cross-linking of  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamyl)lysine isopeptide by transglutaminase

의 이용은 다양한 식품분야에서 기능성 특성인 단백질 용해도(protein solubility)와 보수력(water holding capacity)을 증진시킬 뿐만 아니라 경도 및 탄력성을 증진시켜 단단한 겔을 형성할 수 있기 때문이다(Chin *et al.*, 2009a; Lee and Chin, 2010). 더욱이 조각조각의 육류나 어류 등을 이용하여 가열하지 않고 MTG에 의한 재구성 육제품 및 수산물 제품으로

Corresponding author: Koo-Bok Chin  
Department of Animal Science, College of Agriculture and Life Sciences,  
Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea  
Tel: 82-62-530-2121  
Fax: 82-62-530-2129  
E-mail: kbchin@chonnam.ac.kr

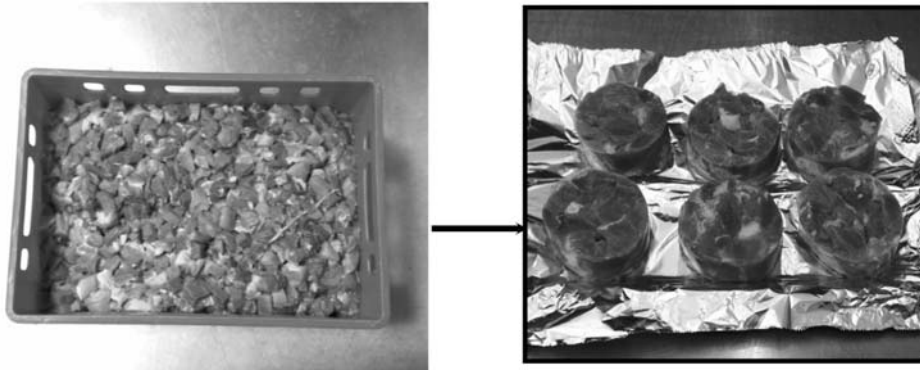


Figure 2. Cold-set gel of restructured meats products using MTG

생산될 수 있다 (Motoki and Seguro, 1998) (그림 2). 이 이외에도 MTG는 식감을 개량할 수 있으며, 원가 절감을 위해서 식품 물성을 개량할 수 있고 더욱이 본래의 식품에 대한 풍미를 유지시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 이와 같은 MTG의 특징 때문에 현재까지 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다.

최근 전 세계적으로 비만, 고혈압, 동맥경화 및 고지혈증 그리고 심근경색 등의 문제로 건강지향적인 식품산업으로 발전함에 따라 식품의 소금 섭취량을 줄이고 지방을 줄이기 위해 여러 분야에서 연구하고 있는 실정이다(Chin, 2002). 하지만 식염과 지방을 줄임에 따라 전형적인 식품의 기능성은 감소할 것이며 특히 식육제품의 낮은 조직감과 보수력 그리고 식감이 감소할 것이다. 이와 같은 문제를 개선하기 위하여 식염 및 지방대체제에 대한 연구가 앞으로도 계속 연구가 될 전망이다. 더 나아가 지방대체제를 활용함으로써 바람직한 향미와 조직감을 개선하는 식품의 개발 또한 증가할 전망이다. 따라서 소비자들이 이러한 건강기능성 식품을 선호하는 추세가 더욱 더 증가할 것이며 식염과 지방을 대체하는 연구는 앞으로도 강조될 것이다. 결국 MTG를 활용한 식품산업은 원가를 절감하고 저염, 저지방 제품에 분자내 구조를 형성하여 바람직한 조직감을 형성할 수 있게 도와주며 기능성 특성을 개선시킬 수 있다는 점에서 많은 장점을 가지고 있는 효소이다. 따라서 본 논고는 여러 식품분야에서 단백질 간의 결합을 촉매하는 MTG를 활용한 조직감 증진 기술에 대해 알아보고 MTG의 작용기작에

대해 설명하여 앞으로의 식품산업에 MTG를 활용 가능성에 대해 타진 해 보고자 한다.

## II. 본 론

### I. Microbial transglutaminase의 구조와 식품에의 작용기전

MTG의 구조적 특징으로는 약 38,000 Da의 분자량을 가지는 단순단백질로 331개의 아미노산을 가지고 있다(Motoki and Seguro, 1998). MTG의 등전점은 8.9로 비교적 넓은 pH범위에서 활성을 보이며 (4~9) pH 6-7에서 안정된 활성을 보인다고 보고되었다. 또한 효소활성 온도는 0~65°C 부근까지 온도 안정성을 보이며 최적온도는 50~55°C까지로 알려져 있다(Jaros *et al.*, 2006).

MTG의 기능적 특징은 lysine과 glutamine의 결합에 의한 공유결합으로 단백질의 구조를 일부 변화시켜 용해성이나 수분보유력 또는 열안정성을 개선시키고, 이로 인해 고기, 생선, 곡류, 우유, 젤라틴 등 다양한 식품에 적용될 수 있는 장점이 있으며 이러한 효소활성의 최적화를 위하여 pH는 5~9 그리고 온도는 50°C 범위가 적절한 것으로 나타났다. 따라서, 이를 이용한 식품 단백질과의 기질로서 MTG의 첨가는 식품산업의 발전에 많은 기여를 하고 있다 (그림 3).

MTG의 식품에의 이용은 1980년 초에 돼지 간 또는 소의 혈장에서 분리된 MTG를 사용하여 카제인염

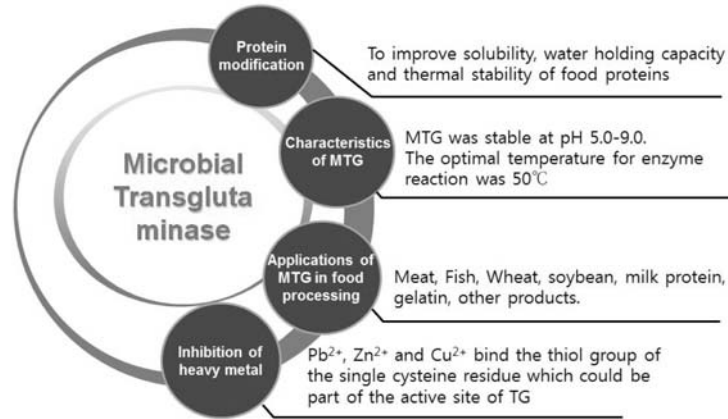


Figure 3. Functional properties of microbial transglutaminase

단백질(Sodium Caseinate, SC) 또는 대두 단백질의 기능성 특징을 개선시킬 수 있다는 가능성이 증명되었다 (Motoki and Seguro, 1998). 그 후 많은 식품 분야에서 MTG의 활용 가능성이 대두가 되었으며 현재까지도 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 식품에서 MTG의 촉매반응은 아미노산인 글루타민과 라이신 사이의 교차결합의 결과로  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutaminy) lysine isopeptide 결합을 형성하게 되며 높은 분자 크기를 가지는 polymer를 형성할 수 있게 도와준다. 특히 미생물로 유래된 MTG는 포유류로 유래시킨 다른 효소와는 달리 Ca<sup>2+</sup> 비의존적인 효소로 알려져 있기 때문에 식품 단백질의 기능성 특징을 개선시키는데 매우 유용하게 사용되며  $\gamma$ -glutamyl- $\epsilon$ -lysine 공유결합에 의해 특정 단백질의 교차결합을 분자 및 분자간 촉매작용 하는 역할을 한다 (Nio *et al.*, 1986).

## 2. 식품 가공에서 Microbial transglutaminase (MTG)의 첨가 효과

### 가. 육가공 제조의 Microbial transglutaminase (MTG)의 필요성

육가공제품제조에서 지방과 식염은 꼭 필요한 첨가물로서 지방의 경우 육제품에 첨가되어 맛과 풍미 및 바람직한 조직감을 부여하며 첨가량은 육제품의 종류에 따라 달라질 수 있다. 유화형 소시지의 경우 30%

이내의 지방을 함유하고 있으며 국내 유화형 소시지의 지방함량은 10~25% 범위이며 대체적으로 15% 내외의 지방을 함유하고 있다(Chung, 2001). 지방의 첨가는 육제품의 관능성이나 영양성을 위하여 꼭 필요하지만 과도한 지방의 섭취는 비만, 고혈압, 동맥경화 및 심장질환의 원인으로 그 섭취를 제한하고 있는 실정이다(AHA, 1978). 특히 지방의 섭취 중 동물성 단백질에 많이 포함되어 있는 포화지방산이 이와 같은 성인병에 주요인이 된다는 사실이 밝혀짐에 따라서 그 섭취가 제한되고 있다. 하지만 소비자들은 이러한 지방의 감소로 나타나는 관능성의 저하로 인하여 저지방식품을 기피하게 되었고 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 다양한 연구가 실시되고 있다. 지방을 대체하기 위한 방안으로 지방대체제를 첨가하여 조직감을 보완할 수 있는 방법을 소개하였으며(Chin, 2002), 특히 konjac flour와 같은 친수성 콜로이드와 우유나 대두단백질을 이용한 비육류단백질의 단일 또는 혼합으로 조직감을 보완할 수 있었다고 보고하였다 (Chin *et al.*, 1998a, 1998b, 1999, 2000; Choi and Chin 2002).

육제품의 식염첨가는 맛, 풍미, 조직감 및 저장성을 증진시킬 목적으로 사용되고 있으며 국내 육가공제품의 식염첨가량은 첨가범위가 2~3% 이며 평균 1.5% 정도를 첨가하고 있다. 따라서 육가공제품에 첨가하는 식염은 꼭 필요하지만 과도한 식염의 섭취는 고혈압

및 암 발생과 직접적인 연관이 있기 때문에 전 세계적으로 그 섭취량을 줄이고 있는 실정이다. 특히 과도한 나트륨의 섭취는 심혈관계 질환과 위암관련성을 설명하고 있다(WCRF, 2007). 이러한 배경을 근거로 식염과 지방의 함량을 낮추는 건강 지향적인 육가공제품 개발의 필요성이 증가하고 있는 추세이다. 그러므로 저지방/저염 식육가공품의 기호성 및 품질을 대체할 수 있는 방법의 일환으로 MTG를 사용하게 되었으며 제품별 이용현황을 아래와 같다.

### 나. 다양한 Meat model 기초연구 및 육제품에서 MTG 이용현황

#### 1) Meat Model 연구

일반적인 제품을 만들기 전에 순수한 근원섬유단백질(myofibrillar protein)과 첨가물을 첨가하여 다양한 조건하에서 MTG 효과를 측정하는 연구들을 기초로 산업적으로 이용하게 되는데, 이러한 Model study는 실제적인 제품과는 차이가 있기 때문에 model 연구를 산업화하기 위하여서는 pilot plant-scale up 효과를 점검하여 실제제품을 예측할 수 있다. (Chin *et al.*, 2000). Nielsen 등(1995)은 MTG(XIIIa)를 돈육등심을 이용하여 배양하였을 때 경도와 탄력성이 증가하였고 특별히 식염농도 1%와 인산염 0.2% 그리고 MTG 0.4%를 첨가하였을 때 현저한 장력(tensile strength)을 보였다고 보고하였다. 따라서 재구성육과 같은 결합력을 요하는 제품에는 필수적으로 작용할 것으로 예측하였다. Ramirez-suarez와 Xiong (2002)은 Model 연구에서 근원섬유단백질을 추출하여 유청단백질과 혼합 후 다양한 조건하에서 겔 강도를 측정하는 결과 75°C 이상으로 가열시 유청은 단백질과 상호결합을 하지 않을지라도 분자간의 활성을 증진시킴으로써 겔 강도를 증가시켰다고 보고하였다. Westphalen 등(2005)은 돈육단백질의 가열에 의한 열변성정도는 pH에 의존적으로 변화되며 겔 형성되는 속도는 보수력에 영향을 미친다고 보고하여 pH와 겔생성 속도가 겔의 특성에 지대한 영향을 미침을 시사하고 있다. Pitrasik 등(2007)은 4가지의 비육류단백질과 MTG 첨가가 돈육의 겔형성에 미치는 영향을 조사하였고 카

제인 염 단백질이나 혈장단백질은 MTG 첨가에 따라 기능성이나 조직감이 증가되어 세절 유화소시지의 제조시 유리할 것으로 평가되었다.

Chin 등(2009a)은 카제인염 단백질(sodium caseinate, SC)을 돈육 근원섬유 단백질에 첨가하였을 때 MTG 처리시 강한 겔을 형성할 수 있었다고 평가하였으며, 더욱이 콘작(konjac)을 첨가하여 공유결합에 의한 수분 유리를 막을 수 있다고 보고하였다. 이러한 효과는 염의 농도가 높아짐에 따라서 가열감량의 저하와 겔 강도의 증가로 나타났으며 따라서 돈육 단백질과 MTG 및 대두단백질의 가교결합과 함께 콘작의 수분결합력에 의한 상승효과를 제시하였다. 이어서 Chin 등(2009b)은 대두단백질(SPI)을 카제인염 단백질(SC)로 대체하기 위하여 SPI:SC 비율을 2:1과 1:2로 나누어 cold-set gel과 heat-induced gel 로 구분하여 분석하였으며 cold-set gel 생성의 경우 시간이 경과함에 따라 겔 강도가 증가하였고, 가열감량도 역시 증가하였다. 하지만 SPI와 SC의 비율에 따라서는 차이를 보이지 않음으로써 SC가 SPI의 대체가 가능한 것으로 판단하였다.

한편 MTG의 냉각 겔 형성에 관한 식염의 농도와 Calcium Alginate(CA)와 결합에 미치는 영향을 조사한 결과 0.3 M의 식염농도에서는 0.6% MTG와 0.25% Sodium Alginate (SA) 및 0.008%의 Calcium Carbonate (CC) 및 0.25% GdL이 주효하였으나 식염의 함량이 낮아짐에 따라서는 0.5%의 시스템에서 TG의 효과는 미미하였다(Hong and Chin, 2009). 따라서 cold-set gel의 물성증진은 MTG 이외에 sodium alginate, calcium carbonate 및 glucono-delta lactone (GdL)과 같은 CA시스템에 영향을 받고 있음을 시사하고 있다. 한편 Hong과 Chin (2010a,b)은 이와 같은 SA 시스템이 MTG와 반응하여 MTG나 SA를 단독으로 처리한 것 보다 더 시너지 효과가 있었으며 더욱이 이러한 효과는 오히려 저염조건에서는 cold-set gel 형성에 유리하다는 결과를 나타내었다(그림 4). Hong 등(2011)은 다양한 pH의 조건하의 유화상태에서 MTG와 CA 결합관계를 분석한 결과 유화상태의 물성에 영향을 주었으며 pH가 증가할수록 MTG가 겔강도에 미치는 영향이 현저하였으며 CA시스템



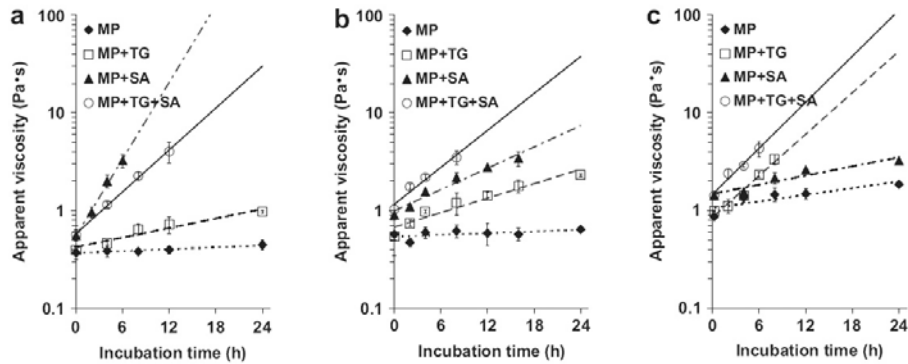


Figure 4. Changes in apparent viscosities of samples at (a) 0.1 M, (b) 0.2 M and (c) 0.3 M salt concentration as a function of incubation time. MP, TG and SA indicated myofibrillar protein, the transglutaminase system and sodium alginate system, respectively (adapted from Hong and Chin, 2010b)

은 낮은 pH에서 오히려 효과적임을 알 수 있었다. 따라서 이 두가지를 결합하여 안정적이고 pH에 덜 민감한 유화체계를 개발하였다. 이어서 Hong과 Xiong (2012)의 연구에서는 MTG 첨가시 다양한 pH 조건과 식염 농도 조건에 의해 육단백질과 MTG 사이의 상호작용이 다르다는 것을 규명하였으며, 특히 MTG의 반응은 MTG와 돈육 근원섬유단백질의 정전기적인 결합에 의하여 나타나며 이러한 결합 역시 pH나 식염농도와 같은 요인에 의하여 변함을 시사하였다.

## 2) 재구성 육제품 (Restructured meat products)

가공식품에서 MTG의 첨가 효과는 다양한 식품에서 나타났으며 특히 재구성 식육 제품에 MTG의 결합효과는 많은 연구 결과가 발표되었다. Kuraishi 등 (1997)은 재구성 육제품 제조시 식염이나 가열과정 대신 MTG를 첨가하여 재구성 육제품을 제조하였으며 이때 카제인염 단백질(sodium caseinate, SC), 대두단백질, 유청단백질, 젤라틴을 MTG가 작용하는 기질로 사용하여 결합력(binding strength)을 측정한 결과 카제인 염 단백질이 가장 좋은 MTG의 기질로서 반응하여 MTG가 구조적 결합을 유도시켜 높은 결합력을 나타냈다고 보고하였다. 특히 SC의 경우 1.0% 첨가시 가장 높은 결합력을 나타내었으며(그림 5), SC의 함량(~ 6%)과 MTG의 첨가량(0~0.1%) 사이에 결합력을 측정한 결과 MTG의 함량이 높아짐에 따라서

결착력이 증가하였고 모든 MTG 첨가량에서 1%의 SC가 가장 높은 결합력을 보였으나 1% 이상의 SC첨가는 오히려 결합력을 낮게 하는데 이러한 것은 과도한 카제인 겔이 고기입자 사이로 들어가 결합력을 오히려 방해한다고 설명하여 1.0% 수준의 SC의 첨가는 MTG와의 기질로써 재구성 식육제품의 조직감을 증진시킬 수 있을 것으로 평가되었다(그림 6). 이러한 결과는 MTG를 첨가하여 식품내의 식염의 함량을 줄일 수 있고 가열하지 않고도 단백질간의 결합으로 비가열 겔 (Nonthermal gelation)을 형성할 수 있다는 점

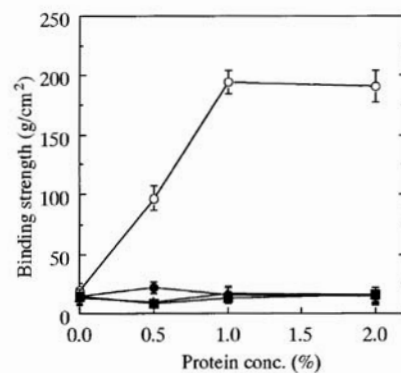


Figure 5. Effect of MTGase and food proteins on binding strength. 0.1% MTG and each protein at different level ○: caseinate; ●: SPI ▲: Gelatin; ■: Whey Protein (adapted from Kuraishi et al., 1997)

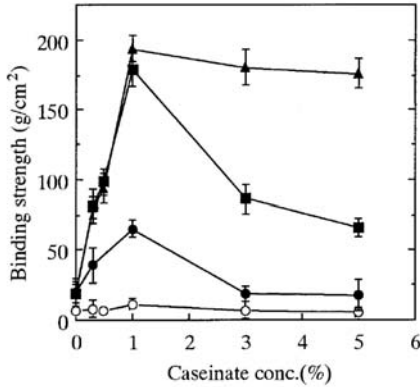


Figure 6. Effect of MTGase and caseinate on binding strength.  
 ○: control; ●: 0.01% MTG ■: 0.05% MTG ▲: 0.1% MTG; (adapted from Kuraishi *et al.*, 1997)

에서 큰 의미가 있다고 하겠다(그림 2).

또한 Taso 등(2002)은 저염 재구성 육제품 (restructured pork sticks) 제조시에 5%의 대두단백질과 0.1% NaHSO<sub>3</sub>-MTG 20 unit을 첨가하였을 때 재구성 식육제품에서 식염을 충분히 대체할 수 있다고 평가하였다. Chin과 Chung(2003)은 저지방 저염 재구성 육제품 제조시 MTG에 의한 식염감소와 유화물 대체효과를 가지고 있다고 보고하였다. Uresti 등 (2004)은 저염 surimi 제품에서 SC와 유청 단백질 첨가시 MTG가 기질로써 반응하여 저염 제품의 겔 특성이 개선된다고 보고하였으며, 또한 인산염을 첨가하지 않는 재구성 돈육 식육제품에서 식염 처리구 1과 2%를 비교할 때 0.15% MTG 첨가시 1% 식염 첨가가 2% 식염 첨가를 충분히 대체할 수 있을 뿐만 아니라 가열조건에 따라 가열감량과 탄력성, 다즙성을 개선시킬 수 있다고 평가하였다(Dimitrakopoulou *et al.*, 2005). Ramirez 등 (2007)은 저염 재구성 식육제품에 유청 단백질을 첨가하였을 때 MTG는 유청 단백질과 기질로써 반응하여 식염을 줄일 수 있다고 평가하였다.

### 3) 기타 제품

Kumazawa 등(1993)은 일본의 건조수산물인 “Himono” 제조시 MTG에 의한 아미노산인 Glutamine과 Lysine 결합사이에 공유결합이 관여하여 이

로 인하여 조직감이 상승되었다고 보고하였다. 그 외에도 MTG를 이용하여 surimi 겔의 이화학적 특성을 측정하는 연구들이 많이 있다(Lee *et al.*, 1997). 전통적인 fish cake인 kamaboko 제조시 MTG첨가량을 적절히 조절하여 사용하면 조직감(breaking stress)의 증진을 가져 올 수 있다고 보고하였다 (Seguro *et al.*, 1995). Ramirez 등(2002)은 fish를 이용한 재구성 육제품을 제조하였으며, 0.3% MTG와 1.0% NaCl을 조합하였을 때 조직감과 기능성을 증진시킨 재구성 육제품 제조가 가능하다고 보고하였다. Norziah 등 (2009)은 또한 surimi 제품에서 적절한 양의 MTG 첨가시 겔 특성 효과를 볼 수 있으며 식품에 유용한 첨가물이라고 평가하였다.

Tseng 등(2001)은 저염(<1%) 치킨 미트볼을 제조하는 과정으로 pig plasma transglutaminase와 함량에 따른 겔 강도를 측정하는 결과 TG 함량(0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0%)이 점차 증가 할수록 1.0%까지 겔 강도가 증가하였고 (그림 7) 주사현미경적 관찰에서도 MTG의 첨가량이 증가 할수록 겔구조가 더욱 규칙적이고 견고하게 결합 됨을 발견하였다(그림 8). 이러한 주사현미경적 결과는 MTG 첨가에 의한 glutamine과 Lysine 간의 공유결합에 의한 결합력의 증가로 인한 조직감의 증가를 설명해주고 있다. Muguruma 등 (2003)은 인산염을 줄이기 위해 대두단백질과 우유 단백질을 첨가한 MTG와의 상호작용을 통해 치킨 소시지에서 0.2% 인산염을 0.05%로 줄일 수 있다고 평가

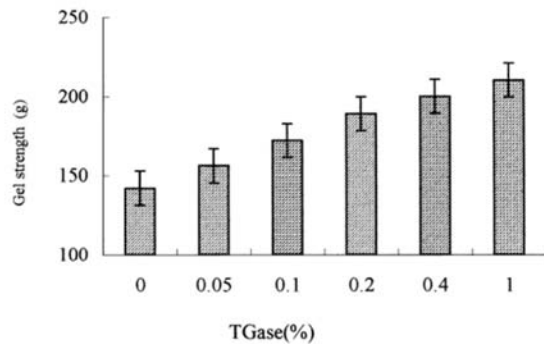


Figure 7. Effect of the levels of TGase on the gel strength of low salt chicken meat ball (adapted from Tseng *et al.*, 2000)

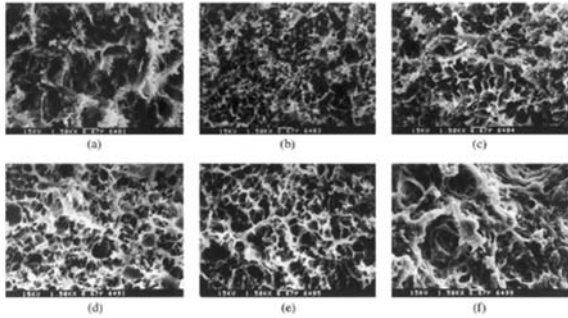


Figure 8. Effect of the levels of TGase on the microstructure of low-salt chicken-balls  
a,b,c,d,e, and f were 0, 0.05, 0.1, 0.2 0.4 and 1.0% (adapted from Tseng *et al.*, 2000)

하였다. 한편 Chin과 Chung(2003)은 0.1% MTG 첨가로 저지방소시지의 식염함량을 1.5%에서 1.0%로 0.5%를 줄일 수 있었다고 보고하였다.

그 외에도 MTG는 다양한 기능성 첨가물을 첨가하여 기존의 식염 및 인산염 첨가를 대체하고 건강지향적 식품가공품 제조에 관한 연구가 많이 진행되고 있는 실정이다(Lee and Chin, 2010). 수산제품에 관한 MTG 연구와 비육류 단백질 첨가시 MTG와의 기질로써 작용되는 연구등 다양한 연구 성과가 보고되었으며, 그 외에도 비육류 단백질과의 기질로써의 MTG 반응은 MTG의 다양한 함량, 비육류 단백질 함량, pH 조건, 반응시간, 가열온도, 식품특성 등의 여러 조건에 의해 조사되었으며 총체적 결과 식품가공품의 단백질들은 MTG와 교차결합을 통해 그물망 구조를 형성하여 제품의 경도 및 탄력성 그리고 다즙성 등을 증진시키고 또한 결착증진 효과를 통해 점성 및 겔 특성이 개선된다고 보고했다(Agyare *et al.*, 2008; Babiker *et al.*, 1997; Jang and Chin, 2011; Lee, 2005; Pietrasik and Jarmoluk 2003; Ramirez-suarez and Xiong, 2002; Xiong *et al.*, 2008).

### III. 결 론

최근 식품산업은 더 건강하고 안전한 식품을 섭취하기 위하여 저염/저지방 기능성 식품을 선호하고 있는 추세이다. 하지만 식품첨가물 중 중요한 식염과 지방을 줄이게 되면 제품의 품질과 식감이 떨어지게 되는 단점 때문에 식염과 지방을 낮추면서 제품의 품질을 대체할 수 있는 대체재의 연구가 많이 진행되고 있는 실정이다. 그 중 Microbial transglutaminase (MTGase)는 glutamin과 lysine의 상호 공유결합을 통한 점성 및 겔 특성이 개선될 뿐만 아니라 식품의 경도 및 탄력성 등의 물성을 증진시켜 육가공, 유가공 및 수산가공 등 다양한 분야에서 그 응용도가 높아지고 있다. 이와 같은 추세로 MTG 첨가 가공기술은 미래의 식품 가공에서 단백질과의 결합 능력과 관련하여 보다 다양하게 적용될 것으로 판단된다. 차후의 연구로 MTG와 비육류 단백질, 친수성 콜로이드 등을 적절하게 첨가하여 식염과 지방을 대체할 뿐만 아니라 보수력 및 조직감을 증진되는 기능성 식육제품이 산업화되어 다양한 식품산업으로 적용될 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. Agyare, K. K., Xiong, Y. L., and Addo, K. (2008) Influence of salt and pH on the solubility and structural characteristics of transglutaminase treated wheat gluten hydrolysate. *Food Chem.* **107**, 1131-1137.
2. American Herat Association (AHA), (1978) Diet and coronary heart disease. *Circulations*, **58**, 762A-766A
3. Babiker, E. F. E., Khan, M. A. S., Matsudomi, N., and Kato, A. (1997) Polymerization of soy protein digests by microbial transglutaminase for improvement of the functional properties. *Food Res. Int.* **29**, 627-634.
4. Chin, K. B. (2002) Manufacture and evaluation of low-fat meat products (A review). *Korea J. Food Sci. Ani. Resour.* **22**, 363-372.
5. Chin, K. B. (2000) Functional properties of heat-induced gels prepared with salt soluble proteins, non-meat proteins and hydrocolloids in a model system. *Food Sci. Biotechnol.* **9**, 368-371.
6. Chin, K. B. and Chung, B. K. (2003) Utilization of transglutaminase for the development of low-fat, low-salt sausages and restructured meat products manufactured with pork hams and

- loins. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* **16**, 261-265.
7. Chin, K. B., Keeton, J. T., Longnecker, M. T., and Lamkey, W. (1998a) Functional, textural and microstructural properties of low-fat bologna (model system) formulated with a konjac blend. *J. Food Sci.* **63**, 801-807.
  8. Chin, K. B., Keeton, J. T., Longnecker, M. T., and Lamkey, W. (1998b) Low-fat bologna in a model system with varying types and levels of konjac blends. *J. Food Sci.* **63**, 808-813.
  9. Chin, K. B., Keeton, J. T., Longnecker, M. T., and Lamkey, W. (1999) Utilization of soy protein isolate in a low-fat bologna model system with two level and two types of konjac blends. *Meat Sci.* **53**, 45-57.
  10. Chin, K. B., Keeton, J. T., Longnecker, M. T., and Lamkey, W. (2000) Evaluation of konjac blends and soy protein isolate as fat replacements in a low-fat bologna. *J. Food Sci.* **65**, 756-763.
  11. Chin, K. B., Go, M. Y., and Xiong, Y. L. (2009a) Konjac flour improved textural and water retention properties of transglutaminase-mediated, heat-induced porcine myofibrillar protein gel: Effect of salt level and transglutaminase incubation. *Meat Sci.* **81**, 565-572.
  12. Chin, K. B., Go, M. Y., and Xiong, Y. L. (2009b) Effect of soy protein substitution for sodium caseinate on the transglutaminase-induced cold and thermal gelation of myofibrillar protein. *Food Res. Int.* **42**, 941-948.
  13. Choi, S. H. and Chin, K. B. (2002) Development of low-fat comminuted sausage manufactured with various fat replacers similar textural characteristics to those with a regular fat counterpart. *Korean J. Food Sci. Technol.* **34**(4), 577-582.
  14. Chung, H. D. (2001) Evaluation of products quality of comminuted sausage in sold Gwangju. B.S Thesis. Dept. of Animal Science, Chonnam National University, Gwangju, Korea.
  15. 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.
  16. Gauche, C., Vieira, J. T. C., Ogliari, P. J., and Bordignon-Luiz, M. T. (2008) Crosslinking of milk whey proteins by transglutaminase. *Process Biochem.* **43**, 788-794.
  17. Hong, G. P. and Chin, K. B. (2009) Optimization of calcium alginate and microbial transglutaminase systems to form a porcine myofibrillar protein gel. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **29**, 590-598.
  18. Hong, G. P. and Chin, K. B. (2010a) Evaluation of sodium alginate and glucono- $\delta$ -lactone levels on the cold-set gelation of porcine myofibrillar proteins at different salt concentrations. *Meat Sci.* **85**, 201-209.
  19. Hong, G. P. and Chin, K. B. (2010b) Effect of microbial transglutaminase and sodium alginate on cold-set gelation of porcine myofibrillar protein with various salt levels. *Food Hydrocol.* **24**, 444-451.
  20. Hong, G. P., Min, S. G., and Chin, K. B. (2011) Emulsion properties of pork myofibrillar protein in combination with microbial transglutaminase and calcium alginate under various pH conditions. *Meat Sci.* **90**, 185-193.
  21. Hong, G. P. and Xiong, Y. L. (2012) Microbial transglutaminase induced structural and rheological changes of cationic and anionic myofibrillar protein. *Meat Sci.* **91**, 36-42.
  22. Jang, H. S. and Chin, K. B. (2011) Effect of red bean protein and microbial transglutaminase on gelling properties of myofibrillar protein. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* **31**, 782-790.
  23. Jaros, D., Partscheffel, C., Henle, T., and Rhom, H. (2006). The transglutaminase in dairy products: chemistry, physics, applications. *J. Texture Studies* **37**, 113-155.
  24. Kumazawa, Y., Seguro, K., Takamura, M., and Motoki, M. (1993) Formation of  $\epsilon$ ( $\gamma$ -Glutamyl) lysine Cross-link in cured Horse Mackerel Meat Induced by Drying. *J. Food Sci.* **58**, 1062-1064, 1083.
  25. Kuraishi, C., Sakamoto, J., Yamazaki, K., Susa, Y., Kuhara, C., and Soeda, T. (1997) Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. *J. Food Sci.* **62**, 488-515.
  26. Lee, D. S. (2005) Improvement of emulsion stability of food proteins by microbial transglutaminase. *Korea J. Food Sci. Technol.* **37**, 164-170.
  27. Lee, H. C. and Chin, K. B. (2010) Application of microbial transglutaminase and functional ingredients for the healthier low-fat/salt meat products: A review. *Korea J. Food Sci. Ani. Resour.* **6**, 886-895.
  28. Lee, H. G., Lanier, T. C., Hamann, D. D., and Knopp, J. A. (1997) Transglutaminase effects on low temperature gelation of fish protein sols. *J. Food Sci.* **62**, 20-24.
  29. Motoki, M. and Seguro, K. (1998) Transglutaminase and its use for food processing. *Food Sci. Technol.* **9**, 204-210.
  30. Muguruma, M., Tsuruoka, K., Katayama, K., Erwanto, Y., Kawahara, S., Yamauchi, K., Sathe, K. K., and Soeda, T. (2003) Soybean and milk proteins modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduced levels of phosphate. *Meat Sci.* **63**, 191-197.
  31. Nio, N., Motoki, M., and Takinami, K. (1986) Gelation mechanism of protein solution by transglutaminase. *Agric. Biol. Chem.* **50**, 851-855.
  32. Nielsen, G. S., Petersen, B. R., and Moller, A. J. (1995) Impact of salt, phosphate, and temperature on the effect of a transglutaminase (F XIIIa) on a texture of restructured meat. *Meat Sci.* **41**, 293-299.





33. Norziah, M. H., Al-Hassan, A., Khairulnizam, A. B., Mordi, M. N., and Norita, M. (2009) Characterization of fish gelatin from surimi processing wastes: Thermal analysis and effect of transglutaminase on gel properties. *Food Hydrocol.* **23**, 1610-1616.
34. Pietrasik, Z. and Jarmoluk, A. (2003) Effect of sodium caseinate and k-carrageenan on binding and textural properties of pork muscle gels enhanced by microbial transglutaminase addition. *Food Res. Int.* **36**, 285-294.
35. Pitrasik, Z., Jarmouluk, A., and Shand, P. J. (2007) Effect of non-meat protein on hydration and textural properties of pork meat gels enhanced with microbial transglutaminase. *LWT* **40**, 915-920.
36. Ramirez, J. A., Del Angel, A., Uresti, R. M., Velazquez, G., and Vazquez, M. (2007) Low-salt restructured products from striped mullet (*Mugil cephalus*) using microbial transglutaminase or whey protein concentrate as additives. *Food Chem.* **102**, 243-249.
37. Ramirez, J., Uresti, R., Tellez, S., and Vazquez, M. (2002) Using salt and microbial transglutaminase as binding agents in restructured fish products resembling hams. *J. Food Sci.* **67**, 1778-1784.
38. Ramirez-Suarez, J. C. and Xiong, Y. L. (2002) Transglutaminase cross-linking of whey/myofibrillar proteins and the effect on protein gelation. *J. Food Sci.* **67**, 2885-2891.
39. Ramirez-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.
40. Seguro, K. Kumazawa, Y., Ohtsuka, T., Toiguchi, S., and Motoki, M. (1995) Microbial transglutaminase and £(γ-Glutamyl) lysine crosslinking effect on elastic properties of kamaboku gels. *J. Food Sci.* **60**, 305-311.
41. Trespalacios, P. and Pla, R. (2007) Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels. *Food Chem.* **100**, 264-272.
42. Tsao, C. Y., Kao, Y. C., Hsieh, J. F., and Jiang, S. T. (2002) Use of soy protein and microbial transglutaminase as a binder in low-sodium restructured meats. *J. Food Sci.* **67**, 3502-3506.
43. Tseng, T. F., Liu, D. C., and Chen, M. T. (2000) Evaluation of transglutaminase on the quality of low-salt chicken meatballs. *Meat Sci.* **55**, 427-431.
44. Uresti, R. M., Tellez-Luis, S. J., Ramirez, J. A. and Vazquez, M. (2004) Use of dairy proteins and microbial transglutaminase to obtain low-salt fish products from filleting waste from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) *Food Chem.* **86**, 257-262.
45. Westphalen, A. D., Briggs, J. L., and Lonergan, S. M. (2005) Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation. *Meat Sci.* **70**, 293-299.
46. WCRF (2007) Food, nutrition, physical activity, the prevention of cancer; a global perspective, World Cancer Research Funds International, London, pp. 141-147.
47. Xiong, Y. L., Agyare, K. K., and Addo, K. (2008) Hydrolyzed wheat gluten suppresses transglutaminase-mediated gelation but improves emulsification of pork myofibrillar protein. *Meat Sci.* **80**, 535-544.