

# 다당류 및 TGase를 활용한 동결 무지개송어육(*Oncorhynchus mykiss*)의 물성개선 및 저장성 향상 효과

이종봉<sup>†</sup> · 박혜민<sup>†</sup> · 안병규 · 이우진 · 이정진 · 한형구 · 손승아 · 배연주 · 심길보\*

부경대학교 식품공학과

## Effect of Texture Improvement and Shelf Life Extension of Frozen Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* Treated with TGase and Polysaccharides

Jong Bong Lee<sup>†</sup>, Hye Min Park<sup>†</sup>, Byoung Kyu An, Woo Jin Lee, Jung Jin In, Hyeong Gu Han, Seung Ah Son, Yeon Joo Bae and Kil Bo Shim\*

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

This study investigated the effect of transglutaminase (TGase) and polysaccharide kappa carrageenan on the texture, chemical, and microbiological qualities of refrigerated unmarketable rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Gel strength increased substantially in TGase-treated samples, and was adding kappa carrageenan resulted in no significant difference. SDS-PAGE results confirmed that the myosin heavy chain band with a molecular weight of 205–250 kDa was weakened in trout meat treated with 1% TGase, which led to cross-linking reactions between proteins. The volatile basic nitrogen (VBN) increased in all samples during storage at 4°C for 10 days; however, the samples treated with 0.5% and 1% kappa carrageenan had the lowest VBN. The viable cell count increased in all samples treated with TGase and kappa carrageenan; however, an increase in TGase enzyme and kappa carrageenan concentration successfully hindered total bacteria growth. Thus, adding 1% TGase and 1% kappa carrageenan to refrigerated unmarketable rainbow trout formulations can optimize quality characteristics.

Keywords: Kappa carrageenan, *Oncorhynchus mykiss*, Rainbow trout, Transglutaminase, Texture

### 서론

무지개송어는 연어목, 연어과 어종이지만 다른 연어과 어종과 달리 민물에서 성장한다. 우리나라 무지개송어 양식은 1965년부터 시작되었으며, 근육의 빛깔과 형태 등이 연어와 유사하여 연어 대체품으로 주목받고 있다(Beak and Park, 2016). 무지개송어는 냉수성 어종의 생태적 특성 및 소규모 생산에 따른 유통의 어려움으로 도시보다 생산지나 관광지에서 횡감으로 소비되고 있어 취식 경험이 매우 제한적인 어종이다(Park et al., 2018). 그리고 최근 젊은 세대의 생선회 선호도 감소, 식생활 패턴의 다양화 및 고급화, 1인 가구 확대 등 사회 구조의 변화에 따라 무지개송어도 소비자의 요구에 맞춰 가공품 생산의 변화가 필요한 실정이다. 무지개송어는 높은 생산 단가, 수급 불안정, 대형어로의 사육 한계 등으로 인해 가공품 생산 시 어려움이 많아 진공

포장된 fillet 형태의 가공품을 제외하면 거의 전무한 상태이다. 특히 무지개 송어는 원료 단가가 높고, 생산량이 한정적이기에 아가미 변형과 같은 외관의 문제로 인하여 상품성이 현저히 떨어지거나 선도저하가 적은 폐사물량 및 과다 생산에 의한 잉여 물량을 가공품 원료로 활용하는 것이 필요하다. 하지만 어육을 동결 저장 후 사용하는 경우 해동 시 과다한 드립(drip) 발생 및 색 변색 등으로 품질 저하가 빠르게 발생한다. 또한 동결 어육 가공 시 드립은 수분 분리 및 탄력 있는 겔 형성을 방해하므로, transglutaminase (TGase)과 같은 탄력보강제와 식염을 첨가하여 물성을 개선하고 있다(Lee and Chin, 2009; Sun and Holly, 2011). TGase는 glutamyl-lysine 공유결합을 촉매시키는 가교중합 효소로, 펩타이드 중 glutamine 잔기의 r-carboxamide기와 amine간의 acyl 전이 반응을 촉매하여 단백질 간의 가교결합으로 겔을 형성하여 겔 강도와 탄성뿐만 아니라 향미를 증진

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5834 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: kbshim@pknu.ac.kr <sup>†</sup>Contributed equally.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0505>

Korean J Fish Aquat Sci 56(4), 505-511, August 2023

Received 10 February 2023; Revised 6 March 2023; Accepted 26 June 2023

저자 직위: 이종봉(대학원생), 박혜민(대학원생), 안병규(대학원생), 이우진(대학원생), 이정진(대학원생), 한형구(대학원생), 손승아(대학원생), 배연주(대학원생), 심길보(교수)

시킬 수 있다(Lee et al., 2001). 반면 TGase로 인한 단백질 간의 결합은 수분과 단백질의 결합력을 약화시켜 수분 손실이 일어나므로 이를 해결하기 위해서 hydrocolloid를 활용하고 있다(Chin et al., 2009; Hong and Chin, 2010). 대표적인 hydrocolloid는 겔화제인 kappa carrageenan, starch, gluco-mannan 등이 있고, 비겔화제인 xanthan gum, guar gum 등이 있다(Dipjyoti and Suvendu, 2010). 그 중 kappa carrageenan은 홍조류에서 추출한 다당류로 푸딩, 젤리, 두부, 아이스크림, 축육식품 등에 겔화제, 증점제, 안정제로 널리 사용되고 있다(Muhammad et al., 2022). 또한 kappa carrageenan은 다른 hydrocolloid와 상호작용하여 이수현상을 개선시키는 효과가 있어 전분과 상호작용하여 부드러운 겔을 형성한다(Verbeke et al., 2004).

따라서 본 연구는 동결저장으로 인해 품질 저하된 무지개송어에 TGase와 kappa carrageenan을 혼합첨가하여 물성 개선 및 저장성 증진효과를 확인하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용한 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)는 2022년 6월에 경상북도 상주 소재의 양식장에서 확보하였으며, 비살균화 개체의 머리 및 내장을 제거하여 -20°C에서 1개월 미만으로 동결저장한 후, 4°C에서 해동하였다. 무지개송어는 껍질과 뼈를 제거한 가식부에 TGase (Bisionbiochem, Sungnam, Korea) 및 kappa carrageenan (ES Food, Gunpo, Korea)을 농도별로 첨가하여 homogenizer (Polytron PT-300D; Kinematica, Lucerne, Switzerland)로 마쇄하여 시료로 사용하였다.

### 물성 측정

물성 측정은 Tahergorabi et al. (2012)의 방법을 참고하여 TGase와 kappa carrageenan을 함량별로 첨가한 시료를 지름 25 mm, 높이 25 mm의 원통형으로 성형하여, 10 kg 로드셀이 장착된 texture analyzer (CR-100; Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)로 직경 20 mm 원판 probe를 이용하여 시료 높이의 60% 까지 60 mm/min 속도로 2회 압축하여 겔 강도를 측정하였다.

### SDS-PAGE를 이용한 단백질 패턴분석

근원섬유단백질(myofibrillar)의 추출은 Yang (1970)의 방법을 변형하여 추출하였다. 4°C에서 시료 중량의 5배의 0.16 M KCl-0.04 M tris-HCl (pH 7.5)를 가하여 homogenizer로 7,000 rpm에서 1분간 균질화 후 원심분리(2,000 g, 10분)하였다. 침전물에 중량 4배의 0.16 M KCl을 가하여 2,000 g에서 원심분리 10분씩 3번 반복한 후, 침전물 중량의 4배 0.16 M KCl 용액을 첨가한 다음 멸균 거즈로 여과하였다.

Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)는 Laemmli (1970)의 방법에 따라 5% acryl-

amide stacking gel과 7.5% acrylamide separating gel을 제조하여 단백질을 분리하였다. 단백질농도는 bovine serum albumin를 표준물질로 하여 Biuret법으로 정량하였으며, 시료는 sample buffer 5x (LOB005; Noble Bio, Hwaseong, Korea)와 혼합하여 100°C에서 5분간 열처리 후, 10 µL loading하였다. 전기영동장치(Bio-Rad, Hercules, CA, USA)를 이용하여 90 mA 조건에서 30분, 110 mA 조건에서 1시간 30분 동안 전기영동을 실시하였다. 전기영동 후의 SDS 겔은 염색용액(Coomassie Brilliant Blue R-250; Bio-Rad)으로 10분간 염색한 다음 methanol-water-acetic acid (9:9:2, v:v:v)의 혼합용액으로 30분씩 2번 탈색시켰다. 염색과 탈색을 2회 반복 후 보관하였다. 단백질의 분자량은 동일한 조건하에서 전기영동한 표준 단백질(BenchMark™ Protein Ladder 40 kDa to 220 kDa; BioD, Gwangmyeong, Korea)의 이동거리와 대조하여 구하였다. 단백질 변화는 사진 촬영 후 Image Lab™ software (BioRad Laboratories Inc., Hercules, CA, USA)를 이용하여 확인하였다.

### 일반세균수 측정

일반세균수는 식품공전(MFDS, 2022a)에 따라 시료 25 g에 0.1 M PBS (phosphate buffered saline, pH 7.2) 225 mL를 가하여 stomacher (BagMixer 400VW; Intersciences, Saint Nom, France)로 2분간 균질화 하였다. 시료 균질액 1 mL를 집진희석법에 따라 희석하고 각 단계 희석액을 PCA (plate count agar, Becton Dickinson, NJ, USA)에 분주하여 접종한 후 35 ± 1°C에서 48 ± 2시간동안 배양하였으며, 생성된 세균 집락 수를 계수하여 산출하였다.

### 휘발성염기질소(VBN) 함량

휘발성염기질소 함량은 conway unit을 사용하는 미량확산법(MFDS, 2022b)을 일부 변형하여 측정하였다. 휘발성염기질소 함량 측정은 시료 10 g에 10% trichloroacetic acid (TCA) 약 30 mL를 가하여 homogenizer로 1분간 균질화하고 여과한 후, 여과된 상층액을 10% TCA용액으로 50 mL 정용한 것을 시험용액으로 하였다. 이후, conway unit의 외실 양쪽에 각각 시험용액 1 mL와 50% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 용액 1 mL를, 내실에 0.01 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 용액 1 mL를 가한 다음 conway unit를 뚜껑으로 밀폐하고 조심스럽게 흔들어 준 다음 37°C에서 120분간 반응시켰다. 이어서 반응이 끝난 conway unit 외실에 brunswick지시약 10 µL가한 후, 0.01 N NaOH 용액으로 적정하여 측정된 후 함량을 계산하였다.

### pH 측정

pH는 시료 5 g에 중량 10배의 증류수를 가하여 마쇄 후, pH meter (Orion star A111; Thermo Scientific Inc., Fort Collins, USA)를 이용하여 측정하였다.

### 통계처리

통계처리는 TGase 및 carrageenan을 함량별로 첨가한 시료를 각 저장일수별로 비교하였으며, 각 분석항목의 평균결과값은 ANOVA test를 이용하여 분산 분석한 후, Duncan의 다중위검정으로 최소 유의차 검정(5% 유의수준)을 실시하였다 ( $P < 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 겔강도 변화

동결 무지개송어육에 TGase 및 carrageenan을 농도별로 첨가하여 4°C에서 10일간 저장 중 겔강도의 변화를 조사하였다(Table 1). 대조구의 저장 초기 겔강도는 0.018 N·m에서 저장 3일 이후부터 0.015 N·m으로 감소한 반면, TGase 첨가구는 저장 초기 0.016–0.020 N·m이었으며, 저장 10일 이후 0.028–0.032 N·m으로 유의적인 차이가 없었다( $P > 0.05$ ). 또한 carrageenan 첨가구의 겔강도는 0.017–0.018 N·m이었으며, carrageenan 1% 첨가구는 저장 5일 이후, 2% 첨가구는 저장 7일 이후부터 0.02–0.021로 증가했다. 반면 carrageenan 0.5% 첨가구는 저장 일수에 따른 유의적인 차이가 없었다. 이들 시료 중 1% TGase 첨가구가 대조구 및 기타 시료에 비하여 겔강도가 가장 높았다 ( $P > 0.05$ ). 이는 TGase가 근육 단백질의 겔을 형성하는데 효과적이며, 식육가공품의 조직감을 개선하기 위한 대표적인 첨가물이라는 선행연구의 결과와 일치하였다(Seguro et al., 1995; Ashie and Lanier, 1999; Lee et al., 2001).

### 근원섬유단백질의 SDS 전기영동 패턴 변화

TGase 및 carrageenan을 함량에 따라 첨가한 동결 무지개송어육의 저장 중 근원섬유단백질의 SDS 전기영동 패턴 변화는 대조구 및 모든 처리구에서 205–250 kDa 부근인 myosin heavy chain (MHC) 밴드가 확인되었으며, 42–45 kDa 부근의 actin 밴드, tropomyosin, light-chain components 밴드가

확인되었다(Fig. 1, Fig. 2). TGase 처리구는 대조구와 비교하여 TGase 함량이 높을수록 MHC 밴드가 약화되었으며, 특히 1.0% TGase 첨가한 시료의 MHC 변화가 가장 큰 것으로 확인되었다. 이러한 변화는 어육에 TGase를 첨가하면 단백질 간의 가교결합을 유도하여 myosin 밴드의 단백질이 biopolymer를 생성한다는 선행연구와 일치하였다(Araki and Seki, 1993). 반면 carrageenan 처리구는 저장기간에 따른 MHC 밴드의 큰 변화는 나타나지 않았다. 따라서 동결 무지개송어육의 TGase 첨가량이 높을수록 단백질 간 가교결합을 통해 biopolymer를 생성 능력이 커지는 것으로 판단된다.

### 일반세균수 변화

동결 무지개송어육에 TGase 및 carrageenan 첨가에 따른 저장 중 일반세균수의 변화를 조사한 결과, 0일차에는 2.7–2.99 log CFU/g로 수준으로 나타났으며, 저장기간 경과에 따라 대조구 및 모든 처리구에서 일반세균수는 증가하였다(Table 2).

대조구는 저장 초기 일반세균수가 2.90 log CFU/g이었으며, 저장 5일 이후 크게 증가하여 3.82–4.20 log CFU/g으로 나타났다. 0.2% 및 0.5% TGase 처리구는 저장 초기 2.70–2.90 log CFU/g에서 저장 7일 이후부터 3.95–4.05 log CFU/g으로 크게 증가하였다.

Carrageenan 처리구는 저장초기 2.95–2.99 log CFU/g에서 0.5% 처리구의 경우 5일부터 3.65 log CFU/g로 크게 증가하고, 1.0% 및 2.0% 처리구는 저장 7일부터 크게 증가하여 3.59–3.77 log CFU/g였다.

1% TGase 처리구는 저장 10일동안 일반세균수의 변화가 가장 작았으며, 그 다음으로 0.5 TGase, 1.0% carrageenan 처리구가 유의적인 차이가 없었다( $P > 0.05$ ). 대조구와 0.2% TGase 처리구가 가장 일반세균수가 가장 높았다.

이는 carrageenan이 당류 기질로 부적합하다는 연구(Laurra and Elner, 1989)에 따라 일반세균수의 억제 효과 발생했다고

Table 1. Comparison of texture property of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* mince with various concentrations of TGase and kappa carrageenan during storage at 4°C for 10 days

Treatment	Gel strength (N·m)					
	0	1	3	5	7	10
Storage time (Days)						
Control	0.018±0.001 <sup>1ab</sup>	0.017±0.001 <sup>ab</sup>	0.015±0.001 <sup>b</sup>	0.018±0.002 <sup>ab</sup>	0.018±0.001 <sup>ab</sup>	0.023±0.004 <sup>a</sup>
T 0.2	0.016±0.001 <sup>c</sup>	0.017±0.002 <sup>c</sup>	0.016±0.003 <sup>c</sup>	0.027±0.002 <sup>ab</sup>	0.021±0.000 <sup>bc</sup>	0.028±0.002 <sup>a</sup>
T 0.5	0.019±0.002 <sup>c</sup>	0.021±0.003 <sup>bc</sup>	0.023±0.004 <sup>bc</sup>	0.026±0.001 <sup>abc</sup>	0.029±0.001 <sup>ab</sup>	0.032±0.002 <sup>a</sup>
T 1.0	0.020±0.002 <sup>a</sup>	0.022±0.001 <sup>a</sup>	0.024±0.004 <sup>a</sup>	0.030±0.008 <sup>a</sup>	0.028±0.001 <sup>a</sup>	0.029±0.003 <sup>a</sup>
C 0.5	0.017±0.000 <sup>a</sup>	0.018±0.001 <sup>a</sup>	0.018±0.001 <sup>a</sup>	0.021±0.001 <sup>a</sup>	0.017±0.007 <sup>a</sup>	0.019±0.001 <sup>a</sup>
C 1.0	0.018±0.000 <sup>c</sup>	0.019±0.000 <sup>bc</sup>	0.019±0.001 <sup>bc</sup>	0.02±0.001 <sup>b</sup>	0.022±0.000 <sup>a</sup>	0.023±0.000 <sup>a</sup>
C 2.0	0.018±0.001 <sup>bcd</sup>	0.018±0.000 <sup>cd</sup>	0.016±0.000 <sup>d</sup>	0.019±0.001 <sup>abc</sup>	0.021±0.002 <sup>ab</sup>	0.022±0.000 <sup>a</sup>

T 0.2, Rainbow trout treated with TGase 0.2%; T 0.5, Rainbow trout treated with TGase 0.5%; T 1.0, Rainbow trout treated with TGase 1.0%; C 0.5, Rainbow trout treated with kappa carrageenan 0.5%; C 1.0, Rainbow trout treated with kappa carrageenan 1.0%; C 2.0, Rainbow trout treated with kappa carrageenan 2.0%. Values with different letters within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ).



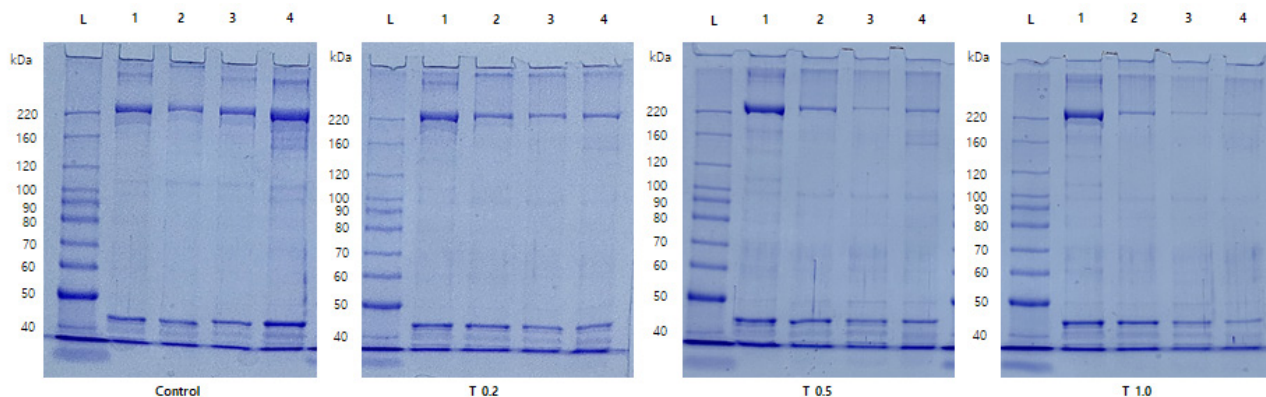


Fig. 1. Electrophoretic patterns of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* treated with various concentrations of TGase during storage at 4°C for 10 days. L, Molecular weight marker; 1, 0 day; 2, 1 day; 3, 5 day; 4, 10 day, respectively.

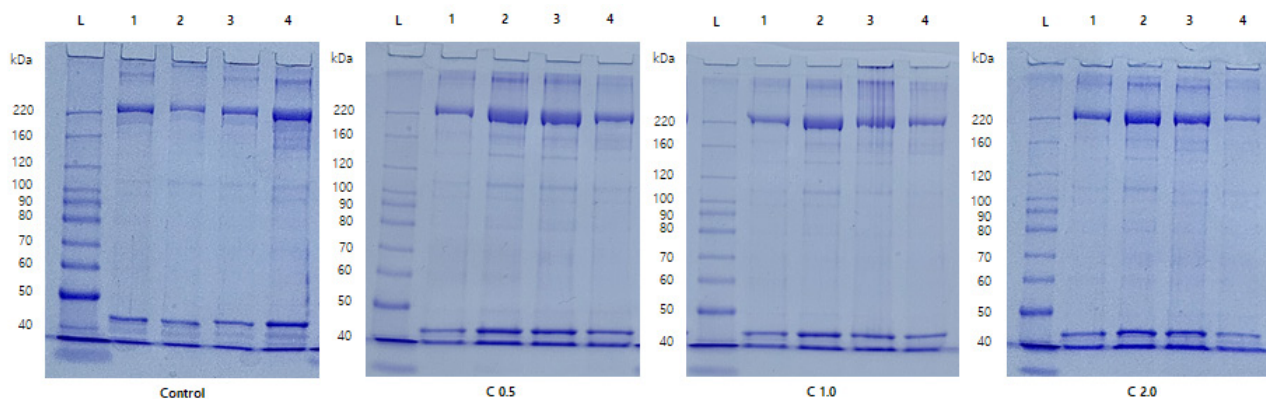


Fig. 2. Electrophoretic patterns of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* treated with various concentrations of kappa carrageenan during storage at 4°C for 10 days. L, Molecular weight marker; 1, 0 day; 2, 1 day; 3, 5 day; 4, 10 day, respectively.

판단된다.

따라서 본 실험에서 TGase 및 carrageenan을 첨가한 동결 무

지개송어육을 4°C에서 10일 동안 저장한 경우 모든 처리구에서 일반세균수가  $10^5$  CFU/g 이하로 세균학적 품질이 양호하였으

Table 2. Comparison of viable cell count of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* mince with various concentrations of TGase and kappa carrageenan during storage at 4°C for 10 days

(Unit: log CFU/g)

Treatment	Storage time (Days)					
	0	1	3	5	7	10
Control	2.90±0.01 <sup>1e</sup>	3.06±0.02 <sup>d</sup>	3.07±0.03 <sup>d</sup>	3.96±0.00 <sup>b</sup>	3.82±0.03 <sup>c</sup>	4.20±0.13 <sup>a</sup>
T 0.2	2.90±0.04 <sup>d</sup>	3.10±0.06 <sup>cd</sup>	2.85±0.01 <sup>d</sup>	3.30±0.02 <sup>c</sup>	3.95±0.11 <sup>b</sup>	4.23±0.23 <sup>a</sup>
T 0.5	2.70±0.04 <sup>c</sup>	3.05±0.11 <sup>bc</sup>	3.13±0.03 <sup>bc</sup>	3.30±0.02 <sup>b</sup>	4.05±0.34 <sup>a</sup>	3.77±0.28 <sup>a</sup>
T 1.0	3.03±0.05 <sup>bc</sup>	2.96±0.04 <sup>c</sup>	2.93±0.11 <sup>c</sup>	3.16±0.03 <sup>ab</sup>	3.17±0.05 <sup>ab</sup>	3.26±0.03 <sup>a</sup>
C 0.5	2.99±0.00 <sup>e</sup>	3.07±0.05 <sup>e</sup>	3.29±0.02 <sup>d</sup>	3.65±0.06 <sup>c</sup>	3.82±0.10 <sup>b</sup>	4.29±0.04 <sup>a</sup>
C 1.0	2.95±0.03 <sup>e</sup>	3.06±0.04 <sup>d</sup>	3.06±0.05 <sup>d</sup>	3.20±0.05 <sup>c</sup>	3.59±0.06 <sup>b</sup>	3.82±0.03 <sup>a</sup>
C 2.0	3.82±0.03 <sup>a</sup>	2.97±0.01 <sup>d</sup>	3.04±0.01 <sup>d</sup>	3.20±0.00 <sup>c</sup>	3.77±0.02 <sup>b</sup>	3.94±0.04 <sup>a</sup>

Treatment and <sup>1</sup> are the same as explained in Table 1.

며, 유통기한 연장 효과가 TGase 1.0% 및 carrageenan 1.0% 처리구에서 우수할 것으로 판단된다.

**휘발성염기질소 함량 변화**

동결 무지개송어육의 저장 중 휘발성염기질소 함량의 변화를 조사한 결과, 대조구는 저장직후 12.35 mg/100 g에서 10 일 간 저장 후 15.14 mg/100 g으로 증가하였다. TGase 처리구 저장 10일 후 각각 13.83–14.54 mg/100 g으로 대조구와 같이 증가하는 경향을 보였다. 반면 carrageenan 처리구는 저장 10일 후 12.63–12.99 mg/100 g으로, 저장기간동안 유의적인 차이가 없었다( $P>0.05$ , Table 3). 이는 돈육 껍질에 TGase 및 carrageenan 첨가 시 10일 이후부터 휘발성염기질소 함량이 급격히 증가하는 경향과 유사하였다(Jin and Yang, 2012). 특히, carrageenan과 같은 다당류는 단백질이 계면에서 정전기적으로 받는 환경적 영향을 줄여 물리적 안정성을 부여한다고 알려져 있어(Harjinder et al., 2003; Lucia et al., 2013), carrageenan 처리구의 휘발성염기질소 함량 변화 양상은 다당류에 의한 단백질 분해 억제가 원인으로 판단된다.

**pH 변화**

TGase 및 carrageenan을 함량별로 첨가한 시료의 저장 중 pH 변화는 대조구와 모든 처리구에서 0일차 6.65에서 10일차에 pH 6.48–6.60으로 저장기간 동안 감소하였다(Table 4). 저장 10일 이후에는 대조구의 pH 6.0으로 가장 높았으며, 0.5% carrageenan 처리구의 pH가 6.48로 가장 낮았다( $P<0.05$ ). 이는 돈육 모델 소시지에 TGase의 첨가 유무가 pH에 영향을 미치지 않는다는 연구 결과(Lee and Chin, 2009)와 프랑크푸르트 소시지에 carrageenan의 첨가 유무가 pH에 영향을 미치지 않는다고 보고한 내용과 일치하였다(Candogan and Kolsarici, 2003).

본 연구에서는 동결 무지개송어를 활용하기 위해 TGase 및 carrageenan을 함량별로 첨가하여 품질 특성을 비교하였다. 동결 시 단백질의 변성으로 인한 물성 저하는 TGase 첨가 시 물성 측정 및 SDS-PAGE를 통해 개선효과가 있음을 확인하였다. 그 중 TGase의 함량이 많을수록 가교결합을 통한 고분자 biopolymer 생성으로 물성이 개선되었다. 그리고 carrageenan은 일반세균수 및 휘발성염기질소 함량의 상승을 억제하여 저장성을 향상시키는 효과를 확인하였다. 따라서 동결 무지개송어를 가공품 원료로 활용하기 위한 물성 개선과 저장성 향상을 위해서 TGase 및 carrageenan의 첨가량이 각 1.0%가 가장 적

Table 3. Comparison of VBN value of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* mince with various concentrations of TGase and kappa carrageenan during storage at 4°C for 10 days

Treatment <sup>1</sup>	Storage period (Days)				
	0	1	3	7	10
Control	12.35 ± 0.01 <sup>ct</sup>	12.32 ± 0.15 <sup>c</sup>	12.70 ± 0.01 <sup>bc</sup>	13.17 ± 0.36 <sup>b</sup>	15.14 ± 0.03 <sup>a</sup>
T 0.2	12.35 ± 0.01 <sup>b</sup>	12.55 ± 0.16 <sup>ab</sup>	12.67 ± 0.48 <sup>ab</sup>	12.84 ± 0.48 <sup>ab</sup>	13.83 ± 0.36 <sup>a</sup>
T 0.5	12.35 ± 0.01 <sup>c</sup>	12.70 ± 0.31 <sup>bc</sup>	12.88 ± 0.01 <sup>bc</sup>	13.35 ± 0.01 <sup>b</sup>	14.54 ± 0.37 <sup>a</sup>
T 1.0	12.35 ± 0.01 <sup>e</sup>	12.40 ± 0.02 <sup>d</sup>	12.85 ± 0.00 <sup>c</sup>	13.05 ± 0.00 <sup>b</sup>	14.20 ± 0.02 <sup>a</sup>
C 0.5	12.35 ± 0.01 <sup>a</sup>	12.69 ± 0.00 <sup>a</sup>	12.83 ± 0.36 <sup>a</sup>	12.24 ± 0.15 <sup>a</sup>	12.63 ± 0.01 <sup>a</sup>
C 1.0	12.35 ± 0.01 <sup>a</sup>	12.34 ± 0.04 <sup>a</sup>	12.62 ± 0.13 <sup>a</sup>	12.40 ± 0.01 <sup>a</sup>	12.98 ± 0.35 <sup>a</sup>
C 2.0	12.35 ± 0.01 <sup>a</sup>	12.45 ± 0.04 <sup>a</sup>	12.69 ± 0.00 <sup>a</sup>	12.61 ± 0.17 <sup>a</sup>	12.99 ± 0.33 <sup>a</sup>

Treatment and <sup>1</sup> are the same as explained in Table 1.

Table 4. Comparison of pH of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* mince with various concentrations of TGase and kappa carrageenan during storage at 4°C for 10 days

Treatment	Storage period (days)				
	0	1	3	7	10
Control	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.61±0.05 <sup>a</sup>	6.64±0.03 <sup>a</sup>	6.63±0.00 <sup>a</sup>	6.60±0.03 <sup>a</sup>
T 0.2	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.63±0.01 <sup>a</sup>	6.64±0.00 <sup>a</sup>	6.63±0.01 <sup>a</sup>	6.58±0.02 <sup>b</sup>
T 0.5	6.65±0.00 <sup>ab</sup>	6.66±0.00 <sup>a</sup>	6.64±0.01 <sup>b</sup>	6.64±0.00 <sup>b</sup>	6.55±0.01 <sup>c</sup>
T 1.0	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.64±0.00 <sup>ab</sup>	6.62±0.03 <sup>ab</sup>	6.61±0.01 <sup>b</sup>	6.55±0.01 <sup>c</sup>
C 0.5	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.66±0.01 <sup>a</sup>	6.64±0.00 <sup>a</sup>	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.48±0.02 <sup>b</sup>
C 1.0	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.66±0.01 <sup>a</sup>	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.67±0.01 <sup>a</sup>	6.55±0.01 <sup>b</sup>
C 2.0	6.65±0.00 <sup>a</sup>	6.60±0.01 <sup>b</sup>	6.57±0.00 <sup>c</sup>	6.59±0.01 <sup>b</sup>	6.55±0.00 <sup>d</sup>

Treatment and <sup>1</sup> are the same as explained in Table 1.

합하다고 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2022학년도 부경대학교의 지원(202205970001)을 받아 수행한 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

- Araki H and Seki N. 1993. Comparison of reactivity of transglutaminase to various fish actomyosin. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59, 711-716. <https://doi.org/10.2331/suisan.59.711>.
- Ashie INA and Lanier TC. 1999. High pressure effects on gelation of surimi and turkey breast muscle enhanced by microbial transglutaminase. *J Food Sci* 64, 704-708. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb15115.x>.
- Baek JY and Park KI. 2016. An economic analysis of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) aquaculture farms. *J Fish Mar Sci Edu* 28, 1280-1289. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.5.1280>.
- Candogan K and Kolsarici N. 2003. The effects of carrageenan and pectin on some quality characteristics of low-fat beef frankfurters. *Meat Sci* 64, 199-206. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00181-x](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00181-x).
- Chin KB, Go MY and Xiong YL. 2009. 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. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.10.012>.
- Dipjyoti S and Suvendu B. 2010. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *J Food Sci Technol* 47, 587-597. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>.
- Harjinder S, Michelle T, Yacine M and Peter AM. 2003. Interfacial compositions, microstructure and stability of oil-in-water emulsions formed with mixtures of milk proteins and  $\kappa$ -carrageenan: 2. Whey protein isolate (WPI). *Food Hydrocoll* 17, 549-561. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(03\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(03)00016-X).
- Hong GP and Chin KB. 2010. Effects of microbial transglutaminase and sodium alginate on cold-set gelation of porcine myofibrillar protein with various salt levels. *Food Hydrocoll* 24, 444-451. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.011>.
- Jin SK and Yang HS. 2012. Effects of glucomannan, carrageenan, carboxymethyl cellulose, and transglutaminase-B on the quality properties of pork patties containing pork skin connective tissue. *J Anim Sci Technol* 54, 307-313. <https://doi.org/10.5187/jast.2012.54.4.307>.
- Laemmli UK. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227, 680-685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>.
- Laura JP and Elmer HM. 1989. Behavior of *Listeria monocytogenes* in the presence of cocoa, carrageenan, and sugar in a milk medium incubated with and without agitation. *J Food Prot* 53, 30-37. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-53.1.30>.
- Lee HC and Chin KB. 2009. Effect of transglutaminase, acorn, and mungbean powder on quality characteristics of low-fat/salt pork model sausages. *Food Sci Anim Resour* 29, 374-381. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2009.29.3.374>.
- Lee YS, Jeong YH and Yoo BS. 2001. Effect of transglutaminase on the rheological properties of fried surimi gel. *Korean J Food Sci Technol* 33, 474-478.
- Lucia S, Noemi B, Domenico G, Francesca R and Bruno DC. 2013. The influence of carrageenan on interfacial properties and short-term stability of milk whey proteins emulsions. *Food Hydrocoll* 32, 373-382. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.01.020>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022. Korea food code. In: Chapter 8. General Testing Method (Hygiene Indicator Bacteria and Foodborne Pathogens). Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC?searchNm=%EC%9D%BC%EB%B0%98%EC%84%B8%EA%B7%A0%EC%88%98&itemCode=FC0A209003004A210> on Jan 26, 2023.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2022b. Korea food code. In: Chapter 8. General Testing Method (Volatile basic nitrogen). Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC?searchNm=%ED%9C%98%EB%B0%9C%EC%84%B1%20%EC%97%BC%EA%B8%B0%EC%A7%88%EC%86%8C&itemCode=FC0A340004005A341> on Jan 26, 2023.
- Muhammad HS, Mohd LK, Fathin FZ, Sharizal H, Noor HU, Shafinas A, Nur AMH, Yong CT and Zainuddin Z. 2022. Application of carrageenan extract from red seaweed (Rhodophyta) in cosmetic products: A review. *J Indian Chem Soc* 99, 100613. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2022.100613>.
- Park KI, Baek JY and Park MJ. An analysis on proception of trouts for trout consumption. *J Fish Mar Sci Edu* 30, 47-55. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2018.02.30.1.47>.
- Seguro K, Kumazawa Y, Ohtsuka T, Toiguchi S and Motoki M. 1995. Microbial transglutaminase and  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamyl) lysine crosslink effects on elastic properties of kamaboko gels. *J Food Sci* 60, 305-311. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05661.x>.
- Sun XD and Holley RA. 2011. Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 10, 33-51. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00137.x>.
- Tahergorabi R, Beamer SK, Matak KE and Jaczynski J. 2012. Functional food products made from fish protein isolate recovered with isoelectric solubilization/precipitation. *LWT Food Sci Technol* 48, 89-95. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.018>.
- Verbeken D, Thas O and Dewettinck K. 2004. Textural properties

of gelled dairy desserts containing  $\kappa$ -carrageenan and starch. *Food Hydrocoll* 18, 817-823. <https://doi.org/10.1016/j.food-hyd.2003.12.007>.

Yang R, Okitani A and Fujimaki M. 1970. Studies on myofibrils from the stored muscle: Part I. Post-mortem changes in adenosine triphosphatase activity of myofibrils from rabbit muscle. *Agric Biol Chem* 34, 1765-1772. <https://doi.org/10.1080/00021369.1970.10859851>.