

포장용 Sodium Caseinate(CasNa)/Transglutaminase(TG) 코팅지 제조 및 특성 분석

황지현 · 김도완*

강릉원주대학교, 생명과학대학, 식품가공유통학과

Preparation and Characterization of Sodium Caseinate (CasNa)/ Transglutaminase (TG)-coated Papers for Packaging

Jihyeon Hwang and Dowan Kim*

Department of Food Processing & Distribution, College of Life Science, Gangneung-Wonju National University, 25457,
Republic of Korea

Abstract Paper is a promising alternative to petroleum-based plastic materials for sustainable packaging applications. However, paper exhibits poor gas and water vapor barrier properties, which restrict its effective application in the packaging industry. To enhance the properties of papers, sodium caseinate (CasNa)/transglutaminase (TG) coating solutions with various TG contents were prepared and coated on the papers. The chemical and morphological structures, mechanical properties, seal strength, and water vapor barrier properties of the coated papers were thoroughly investigated. The paper properties depended significantly on the chemical and morphological structures. Pristine CasNa and CasNa/TG coating solutions were evenly coated on the paper surfaces, without any cracks. The chemical structure of the CasNa/TG coated papers was slightly influenced by TG addition, resulting in increased elongation at break and enhanced water barrier properties. To promote the use of CasNa-coated papers in packaging applications, additional investigations must be performed to prevent gas and moisture permeation and enhance the mechanical strength of these papers via chemical reactions and introduction of organic/inorganic composites.

Keywords Paper based packaging, Sodium caseinate, transglutaminase, coating, physical properties

서 론

종이의 주성분은 셀룰로오스 섬유이며 단량체인 베타포도당 내 하이드록실기(-OH)를 가지고 있어 분자 간 수소결합과 같은 물리적 결합을 형성하고 있다. 그 결과 기계적 강도가 우수하여 식품, 전자, 유통, 의료기기 등의 포장소재로서 널리 사용되고 있다^{1,2)}. 하지만, 종이는 다공성 섬유 구조인 형태학적 특성과 친수성인 화학적 특성을 보유하고 있기 때문에 기체, 수분과 오일 등과 같은 물질의 이동이 용이하다. 특히 수분의 경우 셀룰로오스 섬유 내 하이드록

실기와 수소결합을 형성하여 셀룰로오스 간 수소결합 형성을 방해하여 종이의 기계적 강도를 약화시키는 문제가 있다¹⁾. 이러한 수분과 같은 물질의 이동이 야기한 종이의 기계적 강도 저하 문제 해결과 접착성 부여를 위하여 폴리에틸렌, 폴리프로필렌과 같은 플라스틱필름과 다층구조의 형태로 사용되고 있지만, 종이의 장점인 재활용성과 생분해성이 저하되는 문제가 있다^{1,2)}. 국내외 선행연구에서는 플라스틱 필름 대신에 물에 용해 가능한 합성고분자인 폴리비닐알코올(Polyvinyl alcohol)^{3,4)}과 천연고분자인 나노셀룰로오스(nanocellulose)^{3,5)}, 전분(starch)^{3,4)}, 카제인 단백질^{1,5)} 등을 활용하여 코팅지를 제조하고자 하는 움직임이 있다.

우유의 주요성분인 카제인(casein)을 활용한 연구가 광범위하게 진행되고 있다. 카제인나트륨(sodium caseinate, CasNa)은 산성조건에서 침전된 우유 커드(curd)를 수산화나트륨 수용액에 용해시킨 다음, 분무 건조를 하여 제조된다.

*Corresponding Author: Dowan Kim
Department of Food Processing & Distribution, College of Life Science, Gangneung-Wonju National University, 25457, Republic of Korea
Tel: +82-33-640-2337
E-mail: dowankim@gwnu.ac.kr

CasNa는 분자내 하이드록실기와 아미노산과 같은 극성기 비율이 높아서 강한 물리적 상호작용(수소결합, 정전기적 인력)을 하고 있어 산소, 이산화탄소 및 향과 같은 기체에 대한 차단성이 우수하다⁶⁾. 또한, CasNa는 수용성 코팅과 블로우 압출공정과 같은 상업적 필름제조공정으로 필름 형성이 가능하다⁷⁻⁹⁾. CasNa의 우수한 필름형성능력과 기체차단특성 때문에 CasNa의 가식성 필름과 생분해성 필름으로의 적용가능성에 대하여 광범위한 연구가 진행되었다. 하지만, CasNa는 친수성구조로 인해 수분차단성이 낮으며 고습환경에서 기계적 강도가 감소하는 단점이 있다. 또한, CasNa 내 존재하고 있는 친수성기와 소수성기들 간 강한 상호작용 때문에 응집력이 증가하여 고온 건조 시 필름이 수축되고, 그 결과 취성이 발생하는 단점이 있다^{7,8)}. 일반적으로 글리세롤과 소비톨과 같은 가소제를 첨가하여 CasNa필름의 취성은 개선이 가능하지만, 강성은 저하되는 단점이 있다고 보고되고 있다^{7,10)}.

트랜스글루타미네이스(transglutaminase, TG)¹¹⁾, 칼슘이온⁸⁾, 탄닌산(tannic acid)¹²⁾등의 가교제를 활용하여 단백질 내 가교 결합을 형성하여 제한된 물성을 개선하기 위한 연구가 진행되었다. 이 중 TG는 미생물로부터 생성되는 전달효소이며 단백질 내 아실전달반응을 촉진하여 아실공여체인 글루타민의 카르복시아미드와 아실수용체인 리신의 아미노그룹 간 공유결합을 형성시켜 점탄성적 특성을 가진 단백질이 형성된다. 따라서, 식품의 조직감, 단백질의 용해도, 점도 개선 등을 위하여 널리 사용되고 있다. Liu등은 TG를 첨가하여 분리대두단백질/CasNa 복합필름을 제조하면 분자간 강한 공유결합이 형성되고 그 결과 인장강도와 수증기차단성이 개선되었다고 보고하였다¹¹⁾. Schmid등은 유청단백질 내 TG를 첨가하게 되면 아미노산과 같은 극성기에서 가교 결합이 형성되어 분자 내 극성기가 감소하게 되며, 그 결과 수분에 대한 용해성과 수증기 차단성이 개선된다고 보고하였다¹³⁾. Yilmaz¹⁴⁾등은 TG를 멸치 부산물 유래 단백질에 혼합하여 TG함량에 따른 단백질의 화학적구조가 변화되는 것을 확인하였고, 이에 따라 인장강도와 신장율에 영향을 주는 것을 확인하였다¹⁴⁾.

선행연구들에서는 TG를 CasNa에 혼합하여 필름을 제조

하여 물성 변화를 평가하는 연구는 진행되었지만, CasNa/TG코팅액을 제조하고, 제조한 코팅액을 종이 표면에 코팅하여 TG함량변화에 따라 코팅지의 물성을 비교하는 연구는 미비하였다. 본 연구의 목적은 CasNa/TG코팅지들을 제조하고 화학적 구조, 형태학적특성, 기계적 강도, 열접착강도, 수증기차단특성을 TG함량에 따라 분석하여 포장소재로서의 적용가능성을 연구하는 것이다.

재료 및 방법

1. 재료

본 연구에서 사용된 재료는 다음과 같다. CasNa(ES식품원료, 대한민국), TG (Activa TG-B powder sprinkle type, 아지노모토, 일본), 글리세롤(99.0%, 삼전순약공업(주), 대한민국) 및 원지(명량 80 g/m² 신장지, (주)오피아이, 대한민국)를 구입하여 사용하였다.

2. 방법

2.1. CasNa/TG 코팅액 및 코팅지 제조

본 연구의 CasNa/TG 코팅액은 Table 1의 조성으로 구성하였다. CasNa를 증류수에 넣은 다음 자력교반기(JSHS-18D, JSR, 대한민국)를 이용하여 23°C, 600 rpm, 10분 동안 교반하였다. 제조한 CasNa혼합물에 GY를 넣어 50°C, 600 rpm, 2시간 동안 교반하여 pristine CasNa 코팅액을 제조하였다. CasNa/TG코팅액을 제조하기 위하여 TG를 증류수에 넣어 자력교반기(JSHS-18D, (주)제이에스리서치, 대한민국)를 이용하여 23°C, 600 rpm, 30분 동안 교반하여 TG수용액을 제조하였다. 제조한 TG수용액을 pristine CasNa코팅액에 넣어 23°C, 600 rpm, 30분 동안 교반하여 CasNa/TG코팅액을 제조하였다. 제조한 pristine CasNa와 CasNa/TG코팅액의 pH와 점도를 Table 1에 나타내었다. 점도는 점도계(DVE ELVTJO, Ametek, Inc. Brookfield, 미국)와 spindle number 61을 사용하여 100 rpm 조건에서 측정하였으며, pH는 pH측정기(F-71G, 호리바코리아(주), 대한민국)를 이용하여 측정하였다. 로드(Rod, Meyer bar 20호, 대한민국)를 이용하여 제조한 코팅액을 종이 표면에 1차 코팅하여 건조

Table 1. Compositions, viscosity, pH, and grammage of pristine CasNa- and CasNa/TG-coated papers

Sample code	Compositions (g)					pH	Viscosity (cP)	Grammage (g/m ²)
	CasNa coating solution		GY	TG solution				
	CasNa	D.I. Water		TG	D.I. Water			
Base paper	-	-	-	-	-	-	-	80.0
Pristine CasNa	15	135	7.5	-	-	6.4	58.1 ± 0.5	90.6 ± 1.1
CasNa/TG 0.3%	15	100	7.5	0.45	35	6.5	61.3 ± 0.2	89.1 ± 0.8
CasNa/TG 0.5%	15	100	7.5	0.75	35	6.5	77.0 ± 1.3	89.1 ± 0.8
CasNa/TG 1%	15	100	7.5	1.5	35	6.5	87.2 ± 2.0	89.4 ± 0.6
CasNa/TG 2%	15	100	7.5	1.8	35	6.5	103.9 ± 1.1	89.7 ± 0.8

한 다음, 2차 코팅하여 pristine CasNa와 CasNa/TG코팅지를 제조하였다.

2.2. Pristine CasNa와 CasNa/TG코팅지들의 물성분석

2.2.1. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

본 연구에서는 원지, 제조한 pristine CasNa와 CasNa/TG 코팅지의 화학적구조를 확인하기 위하여 Spectrum 65 FTIR spectrometer (Perkin Elmer Co. Ltd., 미국)을 사용하여 ATR 모드에서 분석하였다.

2.2.2. 형태학적 특성

원지, CasNa 및 CasNa/TG코팅지 표면의 형태학적 특성을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM, SU8020, Hitachi, 일본)을 사용하여 확인하였다.

2.2.3. 기계적 강도

원지, CasNa 및 CasNa/TG코팅지의 인장강도와 신장율은 KS M ISO 1924-2:2008에 따라 만능재료시험기(Universal Testing Machine, QM100T, ㈜큐머시스, 대한민국)를 사용하여 10회 반복 측정하였다(15). 이때, 시편은 종이의 기계 방향으로 $0.015\text{ m} \times 0.18\text{ m}$ 로 제조하였고, 200 mm/min 의 조건에서 시험을 진행하였다.

2.2.4. 열접착 강도

ASTM F-88 방법에 따라 UTM을 이용하여 열접착강도를 확인하였다. 코팅지를 $0.025\text{ m} \times 0.075\text{ m}$ 으로 재단하여 Impulse sealer(NI300, HANA Corporation Ltd., South Korea)를 이용하여 6초간 접착하여 제조하였다. UTM의 두 그립(grip) 간 거리는 0.025 m 이고, cross-head speed는 200 mm/min 이었다(16).

2.2.5. 수증기차단특성

제조한 코팅지의 수증기에 대한 차단특성을 확인하기 위하여 Water vapor transmittance rate (Permatran-W Model 3/34, Mocon Inc., 미국)를 37.8°C , RH 100%조건에서 측정하였다.

2.2.6. 통계분석

기계적강도, 열접착강도 및 수증기투과특성 분석을 통해 얻은 데이터는 SPSS Inc., Ver. 20 (Chicago, IL, USA)을 이용하여 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

한 TG의 영향을 확인하였고 Table 1에 결과를 나타내었다. Pristine CasNa의 pH는 6.4로 확인되었고, CasNa 코팅액 내 TG 함량이 증가함에도 불구하고 크게 변화하지 않음을 확인하였다. Pristine CasNa의 점도는 $58.1 \pm 0.5\text{ cP}$ 로 확인되었고, TG함량이 증가함에 따라 CasNa/TG코팅액 내 점도가 증가하는 것을 확인하였다. 이는 CasNa와 TG간 분자간 상호작용과 가교 결합이 형성되었고, 그 결과 분자 내 가교 밀도가 증가하여 점도가 증가한 것으로 판단되며, 이는 선행연구결과와 일치한다. Liu 등은 단백질내 TG가 도입되면 가교 결합에 의해 단백질의 분자량과 입자 크기의 증가 때문에 점도가 증가한다고 보고하고 있다(11).

2. 코팅지의 화학적 특성

FTIR분석은 특성 피크 생성 유무, 이동, 세기 변화를 통해서 CasNa와 TG간의 화학적 결합에 대한 정보를 확인할 수 있다. 본 연구에서는 TG함량변화에 따라 제조한 코팅지 표면의 FTIR분석을 실시하였고 그 결과를 Figure 1에 나타내었다. 원지에서 나타나는 셀룰로오스의 특성 피크인 -OH 그룹은 3391 cm^{-1} 와 C-H 그룹 2890 cm^{-1} 와 1373 cm^{-1} 에서 나타남을 확인하였다(17). Pristine CasNa에서 나타나는 -OH와 -NH 그룹은 3279 cm^{-1} , -CH₂그룹은 2934 cm^{-1} , N-H와 결합된 C=O그룹을 나타내는 amide I는 1634 cm^{-1} , N-H와 C-N그룹을 나타내는 amide II는 1530 cm^{-1} , 그리고 N-H와 C-N그룹을 나타내는 amide III는 1238 cm^{-1} 에서 확인되었다. TG함량이 증가함에 따라 대부분의 특성피크들의 위치는 크게 변하지 않았지만, -CH₂피크의 위치가 2934 cm^{-1} 에서 2925 cm^{-1} 로 이동하는 것을 확인하였다. 또한, TG함량이 증가함에 따라 피크 세기가 감소하는 것을 확인하였다.

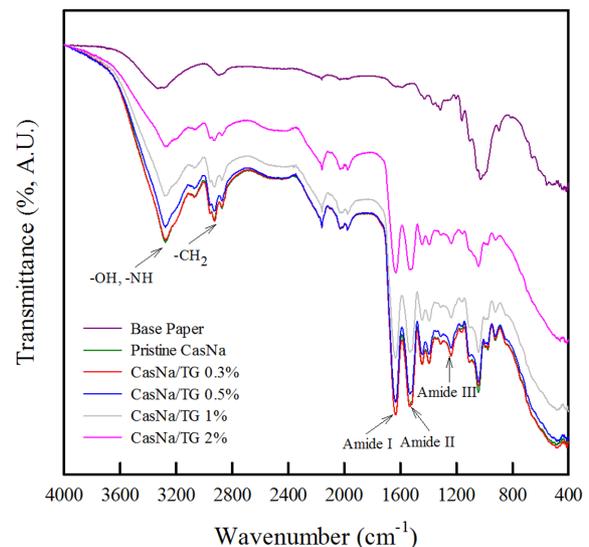


Fig. 1. FTIR spectra of the base paper and pristine CasNa- and CasNa/TG-coated papers.

결과 및 고찰

1. 코팅액의 pH, 점도 및 코팅지의 평량

Pristine CasNa 및 CasNa/TG 코팅액의 pH와 점도에 대

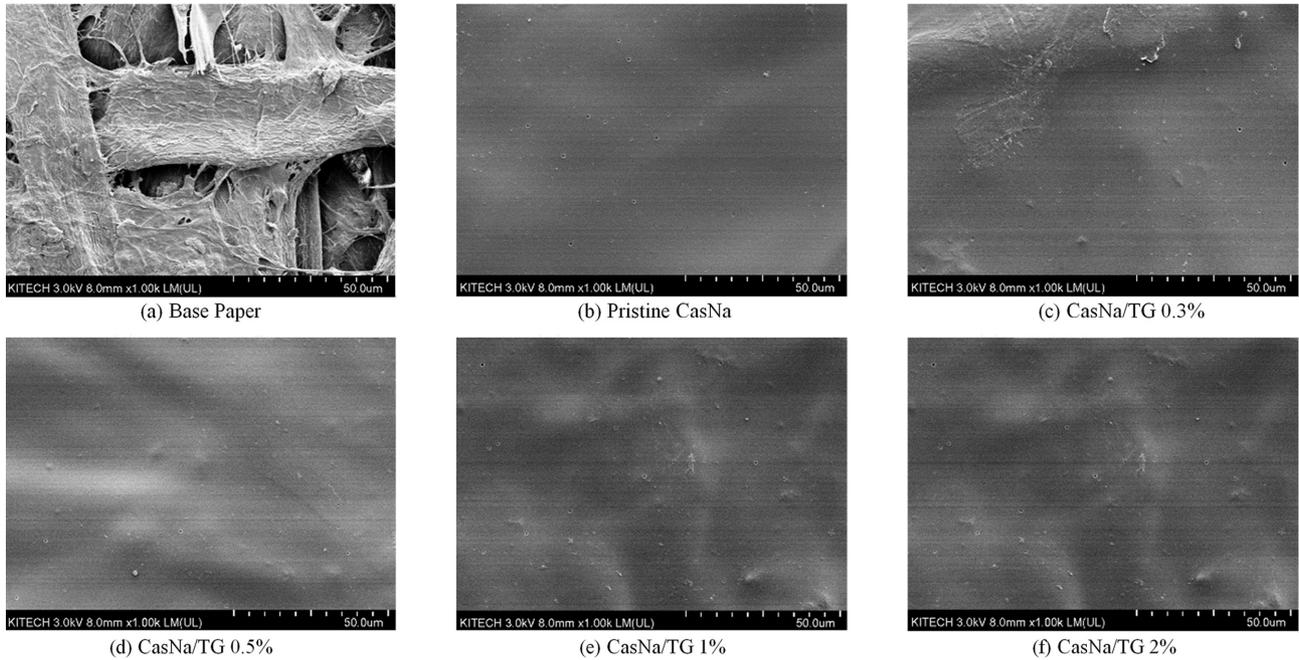


Fig. 2. SEM images of the base paper and pristine CasNa- and CasNa/TG-coated papers.

이는 TG혼합에 의하여 CasNa 내 분자 간 상호작용이 변화되어 발생한 것으로 판단되며, 보고된 연구결과들과 유사함을 확인하였다. Cheng 등은 가교 결합에 의해 단백질 분자 내 -OH, -NH, -CH 간 수소결합을 나타내는 $-CH_2$ 피크의 세기와 위치가 변화할 수 있다고 보고하고 있다¹⁸⁾. Liu 등은 TG가 단백질 내 도입되면 아민기에서 가교 결합이 형성되어 amide II에서 나타내는 특성 피크 세기가 감소된다고 보고하고 있다¹¹⁾. 따라서, TG도입에 의한 CasNa의 화학적 변화가 코팅지의 물리적 특성에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3. 형태학적 특성

TG함량변화에 따른 CasNa/TG코팅지 표면의 형태학적 특성을 확인하기 위하여 SEM분석을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 CasNa 및 CasNa/TG코팅액이 미처리된 원지 표면의 SEM이미지이며 다공성 섬유 구조를 확인할 수 있다. CasNa 코팅지 표면의 경우 다공성 섬유 구조가 보이지 않는 균일한 코팅층이 형성되어 있음을 확인하였지만, 미세 기공이 다수 형성된 것을 확인하였다(Fig. 2(b)). 이는, 종이 내 -OH그룹과 다공성 구조 내 결합되어 있던 수분 또는 기포가 건조공정에서 제거됨으로 CasNa 및 CasNa/TG 코팅지 표면에 기공이 형성된 것으로 판단된다. CasNa/TG 코팅지 표면에도 균일한 코팅층이 형성되었고 상대적으로 미세 기공의 수가 감소되는 것으로 확인되었다(Fig. 2(c)-(f)). 이는 TG 함량이 증가함에 따라 가교 결합이 증가되어 밀도가 높은 CasNa구조가 형성되었고,

건조 시 CasNa/TG코팅지 표면에 기공 형성이 방지된 것으로 판단된다⁵⁾.

4. 기계적 강도

종이 포장 소재의 경우 포장재로 가공하고, 제품을 담고, 소비자에게 제품이 전달되고 사용될 때까지 다양한 힘에 노출되기 때문에 종이의 인장강도, 신장율, 파열강도 등과 같은 기계적 강도를 평가하는 것은 매우 중요하다⁶⁾. 본 연구

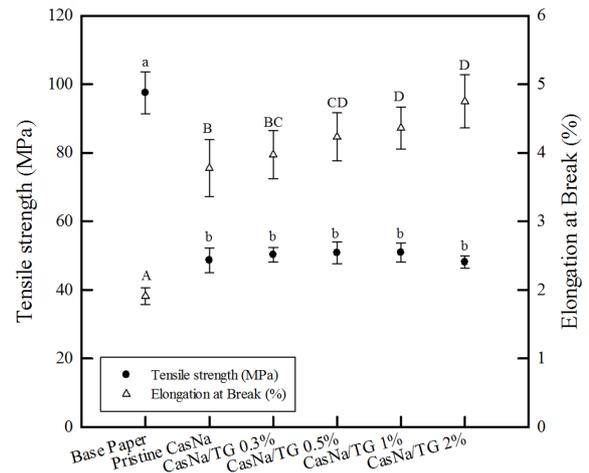


Fig. 3. Tensile strength and elongation at break of the base paper, pristine CasNa-, and CasNa/TG-coated papers. Lowercase (a-b) and uppercase letters (A-D) indicate the statistically significant differences ($p < 0.05$).

에서는 원지, pristine CasNa와 CasNa/TG 코팅지들의 인장강도와 신장율을 확인하였고 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 원지의 인장강도 97.5 ± 6.1 MPa이며, 신장율은 $1.9 \pm 0.1\%$ 이다. TG가 미첨가된 pristine CasNa코팅지의 인장강도는 48.6 ± 3.7 MPa로 크게 감소하였다. CasNa의 첨가는 셀룰로오스 분자간 강한 수소결합을 방해하였고, 또한 셀룰로오스 분자간 상호작용이 셀룰로오스와 CasNa 분자간 수소결합보다 강하기 때문에 인장강도가 감소되었다고 판단된다. TG함량이 증가함에 따라 CasNa/TG코팅지들의 인장강도 간 유의적 차이가 없음을 확인하였다. Pristine CasNa의 신장율은 $3.8 \pm 0.4\%$ 로 원지보다 높음을 확인하였고, TG함량이 증가함에 따라 CasNa/TG코팅지들의 신장율의 경우 $4.7 \pm 0.4\%$ (CasNa/TG 2%)까지 증가하였다. 이는 코팅공정동안 사용된 코팅액 내 증류수에 의한 원지 내 응력완화 때문으로 사료되며, 이는 Khwaldia 등이 실시한 연구결과와 유사함을 확인하였다^{1,19)}. 또한, CasNa와 CasNa/TG코팅을 함으로써 종이 표면과 섬유 내에서 원지보다 더 유연한 구조를 형성하였기 때문으로 사료된다.

5. 열접착강도

제품의 안전한 보관, 저장 및 품질 유지라는 관점에서 종이를 다양한 분야에 적용하기 위해서는 열접착특성이 필요하다. 본 연구에서는 제조한 코팅지를 Impulse sealer로 접착한 다음, 어느 정도의 힘까지 견디는지 TG함량변화에 따라 확인하였고 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Pristine CasNa 코팅지의 열접착 강도는 508 ± 22 N/m이었고, TG첨가시 열접착강도는 572 ± 51 N/m(CasNa/TG 0.3%)임을 확인하였다. Su등의 연구에서는 단백질 필름의 열접착특성은 마이

아르 반응의 결과로서 발생된다고 보고하고 있다²⁰⁾. 또한, TG는 열처리 없이 공유결합에 의해 단백질 간 접착성을 향상시킨다고 보고하고 있다²¹⁾. 따라서, CasNa와 CasNa/TG도 입시 종이 내 접착 특성이 구현되는 것으로 사료된다. 하지만, TG함량이 증가함에 따라 CasNa/TG 내 통계적으로 유의적 차이를 확인할 수 없었다 ($p > 0.05$). Huang등은 단백질의 화학적 구조가 변경되면, 접착을 위한 작용기가 감소되어 열접착강도 감소에 영향을 주는 것으로 보고하였다²²⁾. 따라서, TG함량이 증가해도 CasNa의 접착 특성에 크게 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

6. 수증기차단특성

수증기의 포장 내 이동은 유통 및 저장 중 포장된 제품의 조직감과 미생물 성장에 영향을 미치기 때문에, 제품의 품질 및 안정성을 유지하기 위해서는 포장재의 수증기 투과특성에 대한 분석이 매우 중요하다. Pristine CasNa 코팅지의 수증기투과도는 $10816 \text{ g/m}^2\text{-day}$ 임을 확인하였고, CasNa 내 TG함량이 1%까지 증가했지만 수증기 차단 특성은 통계적으로 유의적 차이를 확인할 수 없었다($p > 0.05$). 하지만, CasNa/TG 2%코팅지의 경우 수증기 차단 특성 ($10816 \text{ g/m}^2\text{-day}$)이 개선됨을 확인하였다($p < 0.05$). Pristine CasNa 및 CasNa/TG코팅지 내 수증기차단특성의 개선은 형태학적특성과 화학적 특성과 관련된 것으로 판단된다. Fig. 2의 형태학적 특성의 결과에서 보는 바와 같이, pristine CasNa와 CasNa/TG코팅지들에서 균일한 표면의 코팅층을 확인하였고, 이에 따라 수증기 투과에 대한 차단 특성이 개선된 것으로 판단된다. 코팅층 표면의 화학적특성은 수증기의 투과특성에 영향을 미치는 중요한 요인이다. 또한, Fig. 5의 FTIR

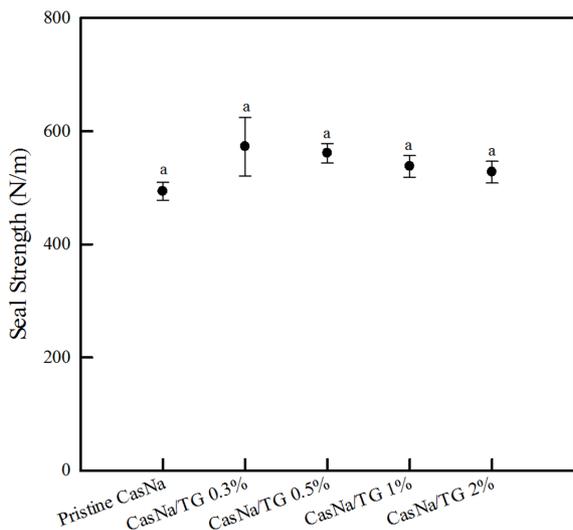


Fig. 4. Seal strength of pristine CasNa- and CasNa/TG-coated papers. Lowercase letters indicate statistically significant differences ($p < 0.05$).

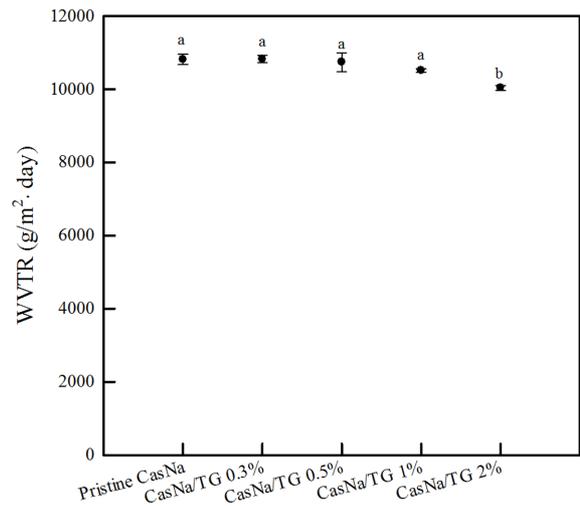


Fig. 5. WVTR of pristine CasNa- and CasNa/TG-coated papers. Lowercase indicate statistically significant differences ($p < 0.05$).

결과에서 보는 바와 같이 TG혼합에 의하여 CasNa 내 화학적구조가 변화되어 상대적으로 수증기 투과성이 개선되었고, 수증기 투과에 대한 이동경로를 증가시켜 수증기 차단 특성이 개선된것으로 판단된다. Lin 등⁶⁾과 Yilmaz등도 가교 결합이 단백질필름의 수증기 차단성을 향상시킨다는 유사한 결과를 보고하였고, 이는 가교 구조 형성은 단백질 분자 간 밀도를 높여 수증기가 필름으로 투과하는 것을 제한하였기 때문으로 보고하고 있다⁶⁾.

한편, CasNa/TG코팅지의 경우 PE, PP 및 PET등과 같은 플라스틱 소재에 비해서는 낮은 수증기 차단특성을 보유하고 있다. 또한, 온도 및 습도에 대한 영향이 코팅지의 차단특성에 크게 영향을 미칠 것으로 판단되며 지속 가능한 포장 소재로 사용하기 위해서는 이에 대한 추가적인 연구가 필요한것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 CasNa와 TG를 혼합하여 5종의 CasNa/TG코팅액을 제조하였고, 제조한 코팅액을 종이 표면에 코팅하여 CasNa/TG 코팅지들을 제조하였다. 제조한 코팅지는 TG 함량에 따라 형태학적 특성, 인장강도 및 신장율, 열접착강도, 수증기 투과 특성에 대하여 분석하였다. CasNa/TG 코팅지의 경우 pristine CasNa 코팅지보다 신장율, 수증기 투과 특성이 개선됨을 확인하였다. FTIR 분석 결과, TG 함량이 증가함에 따라 피크의 세기가 변화하는 것을 확인하였다. 또한 SEM 분석 결과, TG 함량이 증가함에 따라 깨짐 없는 균일한 코팅층이 형성된 것을 확인하였다. 이는 TG의 도입으로 인한 CasNa 내 화학적 구조의 변화가 CasNa 기반 코팅액과 코팅지에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 이로 인해 신장율, 수증기 투과 특성이 개선되는 것으로 판단된다. CasNa 기반 코팅지의 경우 지속 가능한 포장 소재로서 응용될 가능성이 클 것으로 예상된다. 하지만, 셀룰로오스 나노파이버, 폴리에틸렌 이민 등과 같은 첨가제를 활용하여 CasNa의 화학적·물리적 변화에 관한 추가적인 연구와 포장 소재로 사용하기 위해 요구되는 물성인 산소 및 수분 차단 특성, 내열성 등에 대하여 추가적인 연구가 필요한것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 강릉원주대학교 신입교원 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Khwaldia, K. 2010. Water vapor barrier and mechanical

- properties of paper-sodium caseinate and paper-sodium caseinate-paraffin wax films. *J. Food Biochem.* 34: 998-1013.
2. Hamdani, S. S., Li, Zhao., Sirinakbumrung, N. and Rabnawaz, M. 2020. Zein and PVOH-based bilayer approach for plastic-free, repulpable and biodegradable oil- and water-resistant paper as a replacement for single-use plastics. *Ind. Eng. Chem. Res.* 59: 17856-17866.
3. Sharma, M., Aguado, R., Murtinho, D., Valente, A.J.M., Sousa, A.P.M.D. and Ferreira, P.J.T. 2020. A review on cationic starch and nanocellulose as paper coating components. *Int. J. Biol. Macromol.* 162: 578-598.
4. Christophliemk, H., Johansson, C., Ullsten, H. and Järnström, L. 2017. Oxygen and water vapor transmission rate of starch-poly(vinyl alcohol) barrier coatings for flexible packaging paper. *Prog. Org. Coat.* 113: 218-224.
5. Pereda, M., Amica, G., Rácz, I. and Marcovich, N.E. 2011. Structure and properties of nanocomposite films based on sodium caseinate and nanocellulose fiber. *J. Food Eng.* 103: 76-83.
6. Lin, H-C., Wang, B-J. and Weng, Y-M. 2020. Development and characterization of sodium caseinate edible films cross-linked genipin. *LWT-Food Sci. Technol.* 118: 108813.
7. Belyamani, I., Prochazka, F. and Assezat, G. 2014. Production and characterization of sodium caseinate edible films made by brown-film extrusion. *J. Food Eng.* 121: 39-47.
8. Belyamani, I., Prochazka, F., Assezat, G. and Debeaufort, F. 2014. Mechanical and barrier properties of extruded film made from sodium and calcium caseinates. *Food Packag. Shelf Life.* 2: 65-72.
9. Khan, M.R., Volpe, S., Valentino, M., Miele, N.A., Cavella, S. and Torrieri, E. 2021. Active casein coatings and films for perishable foods: structural properties and shelf-life extension. *coatings.* 11: 899.
10. Chevalier, E., Assezat, G., Prochazka, F. and Oulhal, N. 2018. Development and characterization of a novel edible extruded sheet based on different casein sources and influence of the glycerol concentration. *Food Hydrocoll.* 75: 182-191.
11. Liu, K., Xu, X., Liu, H., Liu, Z., Zhao, K., Ma, Y. and Zhang, K. 2021. Mechanical properties and water sensitivity of soybean protein isolate film improved by incorporation of sodium caseinate and transglutaminase. *Prog. Org. Coat.* 153: 106154.
12. Picchio, M.L., Linck, Y.G., Monti, G.A., Gugliotta, L.M., Minari, R.J. and Igarzabal, C.I.A. 2018. Casein films crosslinked by tannic acid for food packaging applications. *Food Hydrocoll.* 84: 424-434.
13. Schmid, M., Sänglerlaub, S., Wege, L. and Stäbler, A. 2014. Properties of transglutaminase crosslinked whey protein isolate coating and cast films. *Packag. Technol. Sci.* 27: 799-817.
14. Yilmaz, K., Turhan, S., Saricaoglu, F.T. and Tural, S. 2020. Improvement of physicochemical, mechanical, thermal and surface properties of anchovy by-product protein films by addition of transglutaminase, and the correlation between secondary structure and mechanical properties. *Food Packag.*

- Shelf Life. 24: 100483.
15. KS M ISO 1924-2:2008, Paper and board-Determination of tensile properties-Part 2: Constant rate of elongation method (20 mm/min).
 16. KS M ISO 1924-2:2008, Paper and board- Determination of tensile properties-Part 2: Constant rate of elongation method (20 mm/min).
 17. Oh, S. Y., Yoo, D.I., Shin, Y. and Seo, Gon. 2005. FTIR analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide. *Carbohydr. Res.* 340: 417-428.
 18. Cheng, S., Wang, W., Li, Yu., Gao, G., Zhang, K., Zhou, J. and Wu, Z. 2019. Cross-linking and film-forming properties of transglutaminase-modified collagen fibers tailored by denaturation temperature. *Food Chem.* 271: 527-535.
 19. Khwaldia, K., Basta, A.H., Aloui, H. and El-Saied-H. 2014. Chitosan-caseinate bilayer coating for paper packaging materials. *Carbohydr. Polym.* 99: 508-516.
 20. Su, J-F., Yuan, X-Y., Huang, Z., Wang, X-Y., Lu, X-Z., Zhang, L-D. and Wang, S-B. 2012. Physicochemical properties of soy protein isolate/carboxymethyl cellulose blend films crosslinked by Maillard reactions: color, transparency and heat-sealing ability. *Mater. Sci. Eng. C.* 32: 40-46.
 21. Miwa, N. 2020. Innovation in the food industry using microbial transglutaminase: keys to success and future prospects. *Anal. Biochem.* 597: 113638.
 22. Huang, X., Luo, X., Liu, L., Dong, K., Yang, R., Lin, C., Song, H., Li, S. and Huang, Q. 2020. Formation mechanism of egg white protein/ κ -Carrageenan composite film and its application to oil packaging. *Food Hydrocoll.* 105: 105780.

투고: 2022.07.19 / 심사완료: 2022.07.26 / 게재확정: 2022.07.27