

## 증기 자가방출 스마트 전자레인지 포장재 적용을 위한 복합필름 특성연구

송우석<sup>†</sup> · 신호준<sup>†</sup> · 서종철<sup>\*</sup>

연세대학교 과학기술융합대학 패키징및물류학과

## Properties of Smart Vapor Self-Releasing Composite Films to Microwave Packaging

Wooseok Song<sup>†</sup>, Hojun Shin<sup>†</sup>, and Jongchul Seo<sup>\*</sup>

Department of Packaging & Logistics, Yonsei University, 1 Yonseidae-gil, Wonju, Kangwon-do, 26493, South Korea

**Abstract** The demands for Home Meal Replacement (HMR) products are continuously increasing owing to the convenience of instant food and online food delivery. Ready-to-heat (RTH) products have received massive attention in the HMR industry because these products can be easily warmed using a microwave oven. However, the conventional microwave packaging should be opened before microwave heating to prevent bursting or food loss owing to the steam-pressure build-up inside the package. Open packaging might lead to non-uniform food heating and cross-contamination. Therefore, packaging materials that are able to release steam without opening are of interest to the HMR industry. In this study, polylactic acid(PLA)/polyethylene glycol(PEG)/nanoclay composite films were manufactured using an extrusion method as packaging materials with a smart steam-releasing function. The introduction of PEG to the PLA imparted a steam self-releasing feature to the composite films owing to the morphology change of composite films during microwave heating. Further, PEG increased the ductility of PLA, which in turn prevented bursting caused due to the steam-pressure build-up. The uniform dispersion of nanoclay obtained by a twin-screw extrusion led to stronger mechanical properties. Therefore, the smart composite films developed here can be applied as microwave packaging materials with a self-releasing function.

**Keywords** HMR, Smart packaging, Self-venting, Microwave

### 서 론

최근 1인 가구의 증가와 여성의 경제활동 참여, 편의성 추구 등의 사회적 환경의 변화는 현대인의 식생활에 많은 변화를 가져오고 있다<sup>1,2)</sup>. 이러한 식생활의 변화는 많은 시간을 할애하여 음식을 직접 요리하는 방식에서, 짧은 시간 간편하게 조리하여 먹을 수 있는 가정간편식(HMR, Home Meal Replacement)에 대한 관심과 소비가 급속하게 증가하는 계기가 되었다. 한국농촌경제연구원에 따르면, 국내 HMR시장은 2008년 3,588억 원에서 2018년 3조300억 원으로 8배 이상 증가하였고 2025년까지 5조 원 규모로 성장할 것으로 예상

된다<sup>3,4)</sup>. HMR은 간단한 조리 과정으로 간편하게 먹을 수 있는 제품으로 즉석섭취식품, 즉석조리식품, 신선편의식품으로 분류되고, 신선편의식품을 제외한 대부분은 전자레인지를 통해 조리하는 방식을 사용한다<sup>5)</sup>. 이는 전자레인지 조리를 통해 조리 시간의 단축, 다양한 종류의 음식 섭취, 간편한 조리 등 다양한 이점을 얻을 수 있기 때문이다. 이러한 이유로, 전자레인지 조리가 가능한 다양한 즉석식품과 그에 따른 포장재에 대한 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

또한, 소비자는 포장을 통해 단순히 제품을 보호하고 담는 기능 뿐만 아니라 안정성, 사용성, 편의성, 환경성 등 다양한 부가기능을 요구한다<sup>6,7)</sup>. 현재 시중에 유통되고 있는 전자레인지 조리 포장은 포장된 상태 그대로 조리가 가능하지만, 전자레인지 조리 시 빠른 시간 내에 120°C 부근까지 온도가 상승하여 포장 내부에서 발생하는 수증기로 포장재가 터져 식품 손실 및 소비자 안전성의 문제를 야기할 수 있다<sup>8)</sup>. 더욱이, 대부분의 전자레인지 조리식품은 많은 수분을 함유한 채로 저장, 유통되고 있어, 조리 환경에서

<sup>†</sup>These authors contributed equally.

<sup>\*</sup>Corresponding Author: Jongchul Seo

Department of Packaging & Logistics, Yonsei University, 1 Yon-seidae-gil, Wonju, Kangwon-do, 26493, South Korea  
Tel: +82-33-760-2697  
E-mail: jcseo@yonsei.ac.kr

대량의 수증기를 발생시킬 수밖에 없는 실정이다. 따라서 현재 소비자들은 수증기 배출을 위해 조리 전 포장을 일부 개봉하고 있으며, 이는 가열의 불균일 및 번거로움을 초래하고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해, 포장 산업계에서는 소비자의 요구에 맞춰 소비자가 만족할 만한 기능을 갖춘 스마트 소재를 개발하는 것이 주요 과제로 남아있다.

현재 시장에 유통되고 있는 전자레인지 전용 포장재는 주로 polypropylene(PP), polyethylene(PE), polyethylene terephthalate(PET) 등으로 제조된 필름 형태와 PP, crystallized-PET, high density polyethylene (HDPE) 등으로 제조된 트레이 형태로 대부분 석유기반 플라스틱이 사용되고 있다<sup>9,10</sup>). 그러나, 최근 전세계적으로 석유기반 플라스틱의 환경오염 문제가 주요 이슈로 떠오르면서 소비자들도 환경 문제에 대해 많은 관심을 갖게 되었다. 이러한 관심에 발맞춰 포장 산업계에서도 석유기반 플라스틱을 친환경성 플라스틱으로 대체하고자 많은 노력을 기울이고 있으며, 그 중 polylactic acid(PLA)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. PLA는 우수한 기계적 특성, 열적 특성, 생분해성, 생체 적합성, 가공성 등으로 대량생산 공정이 발달되어 있고 친환경적인 이점이 있어 석유기반 플라스틱을 대체하여 주로 사용되는 소재이다<sup>11</sup>). 하지만 PLA 고유의 단단하고 뻣뻣한 특성으로 인해 유연성이 필요한 필름 또는 연포장에는 사용이 제한된다. 따라서, PLA를 연포장에 적용하기 위해 타 소재와의 혼합, 첨가제 도입 등 필름에 연성을 부여하고자 하는 많은 연구가 진행되고 있다.

Polyethylene glycol(PEG)는 생체적합성과 생분해성의 이점을 갖고 있고, PLA와 우수한 혼화성으로 필름 제작 시 연성을 향상시키기 위해 주로 사용되는 가소제이다<sup>12</sup>). 또한, PEG는 상변화 물질(PCM, Phase Change Material)로써, 상이 변화할 때 많은 양의 잠열을 흡수, 방출하는 온도 반응성 물질 중 하나이다<sup>13</sup>). PEG는 60°C 부근에서 용융점을 가지며, 열 에너지를 저장하여 전자레인지 조리 포장에 적용 시 품질 보존 및 보온 효과를 기대할 수 있다. 또한, 고분자는 녹는점 부근에서 분자체인의 유동성이 증가하여, 필름 제조 시 고온에서 높은 기체 투과도를 보인다<sup>14</sup>). 이러한 특성으로 인해 전자레인지내 수증기 발생 온도에서 필름의 증기 자가방출 효과를 기대할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 소비자의 요구에 맞춰 전자레인지 조리 시 발생하는 포장 내부의 수증기를 스스로 방출할 수 있는 PLA 기반 스마트 복합필름을 제조하고 그 기능을 평가하였다. 고온에서 PLA 매트릭스 내 PCM물질로써의 PEG의 누설을 방지하고 필름의 형상 유지를 위해 nanoclay를 첨가하였다. 복합필름의 열적, 기계적 특성 분석을 진행하였고, 온도 별 가스 투과도 및 전자레인지 모의 적용 평가를 진행하여 제조한 스마트 복합필름의 수증기 자가방출 가능성을 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

PLA (Ingeo Biopolymer 2003D; density: 1.24 g/cm<sup>3</sup>, Nature Works LCC, Minnetonka, USA)를 구입하였다. 또한, PEG flake (MW 35000 g/mol, Sigma-Aldrich Korea Ltd., Yongin, Korea)와 nanoclay (Montmorillonite clay based, octadecylamine 15-35 wt.%, aminopropyltriethoxysilane 0.5-5 wt.%, surface modified, Sigma-Aldrich Korea Ltd., Yongin, Korea)를 구매하여 사용하였다.

### 2. 필름 제조방법

Pure PLA, PEG, nanoclay복합필름의 균일한 분산을 위해 실험실 규모의 이축압출기 (BA-19, L/D=40:19, Bautech Co., Uijeongbu, Korea)를 이용하여 제작하였다. 복합필름에서의 PLA/PEG wt.%는 65/35로 고정하였으며, PLA/PEG 대비 nanoclay의 비율을 5%, 10%로 제작하였다. Nanoclay의 매트릭스에 PEG의 침투 및 균일한 분산을 위해 1차로 마스터배치, 2차로 필름을 제작하는 두 단계의 압출공정을 실시하였다. 1차 압출은 압출기 투입구에서 토출구의 온도를 60, 65, 65, 65, 65, 65, 70°C로 설정하여 PEG-nanoclay 마스터배치를 제작하였다. 그 후, 60°C에서 24시간 이상 건조된 PLA와 마스터배치를 비율에 맞추어 2차 압출하여 필름을 제작하였으며, 온도조건은 압출기 투입구에서 토출구의 온도를 150, 150, 155, 155, 155, 155, 155°C로 설정하였다. 모든 필름의 두께는 디지털 두께 측정 게이지 (547-401, Mitutoyo Co., Kawasaki-shi, Japan)를 이용하여 최소 5회 이상 측정하였고, 80 ± 5 μm로 조절하였다. 본 연구에서 사용된 pure PLA와 복합필름의 샘플명과 조성비는 Table 1에 정리하였다.

### 3. 실험 방법

#### 3.1. 복합필름의 열적 특성

본 연구에서 제조한 pure PLA 및 PLA-PEG/Clay 복합 필름의 열적 특성을 조사하기 위하여 필름의 용융 온도, 용융 엔탈피, 냉결정화온도, 냉결정화 엔탈피를 측정하였다. 필름의 용융 및 결정화 온도는 시차주사 열량계(DSC, Differential Scanning Calorimetry, TA Instrument Q10, TA Instruments Inc., New Castle, USA)를 이용하여 분석

**Table 1.** Compositions and sample code of PLA-PEG/Clay composite films

Sample	Composition (wt.%)		
	PLA	PEG	Clay
Pure PLA	100	0	0
PLA-PEG/Clay 5%	65	35	5
PLA-PEG/Clay 10%	65	35	10

하였다. 측정 온도 범위는  $-50$ 에서  $200^{\circ}\text{C}$ , 승온 속도는  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 고분자 시료의 분해를 막기 위해 질소 기류 하에서 진행하였다.

### 3.2. 복합필름의 기계적 특성

본 연구에서 제조한 pure PLA 및 PLA-PEG/Clay 복합필름의 기계적 강도를 측정하기 위해 필름의 인장강도와 신장율은 ASTM D638에 따라 만능시험기(UTM, Universal Testing Machine, QM100T\_C, Qmesys Co., Ltd., Uiwang, Korea)를 이용하여 측정하였으며,  $20\text{ kg}$ 의 로드셀과  $50\text{ mm}/\text{min}$  인장속도로 진행하였다.

### 3.3. 복합필름의 기체 투과도

본 연구에서 제조한 pure PLA 및 PLA-PEG/Clay 복합필름의 기체 투과도는 가스 투과도 시험기 (GTR, Gas Transmission Rate, BT-1 Gas transmission rate tester, Toyo Seiki Seisaku-sho, Co., Ltd., Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다. 모든 필름은  $40$ ,  $50$ ,  $55$ ,  $60$ ,  $65$  그리고  $70^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 산소를 이용한 기체 투과도를 측정하였다.

### 3.4. 복합필름의 전자레인지 모의 평가

본 연구에서 제조한 pure PLA 및 PLA-PEG/Clay 복합필름의 전자레인지 조리 시 증기 자가방출 가능성을 조사하기 위해 전자레인지 모의 적용 평가를 진행하였으며 출력과 시간 조절이 가능한 전자레인지(Microwave oven, MAS-II Plus, Sineo Co., China)를 이용하여 측정하였다. 또한, 시험 시 내부 온도의 변화는 열전대(Thermocouple, K type, 0602 5792, Testo Co., Ltd., Seoul, Korea)와 데이터 로거(Data logger, Testo 176 T4, Testo Co., Ltd., Seoul, Korea)를 통해 측정하였다. 내부 압력의 변화는 폴리우레탄 플라스틱 튜브(polyurethane plastic tube)와 연결된 무선압력센서(Wireless pressure sensor, PS-3203, Pasco scientific Inc, Roseville, USA)를 사용하여 측정하였고, 그 결과값은 스마트폰과 블루투스로 연결하여 기록하였으며, 실험의 모식도는 Fig 1에 나타났다. 물  $5\text{ mL}$ 를 넣은 용기( $154\text{ mm} \times 113\text{ mm} \times 60\text{ mm}$ ,  $370\text{ mL}$ , Komex Corp., Seoul, Korea)의 상부에 필름( $2.5\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ )을 부착하고 데이터 로거와 무선압력센서를 설치한 후 가정용 전자레인지의 출력인  $700\text{ W}$ 으로 설정 후 2 분간 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. Pure PLA와 복합필름의 열적 특성 분석

제조된 복합필름에서 PEG와 nanoclay의 첨가가 PLA의 열적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 DSC 열분석을 실시하였다. Pure PLA와 복합필름의 nanoclay 함량에 따

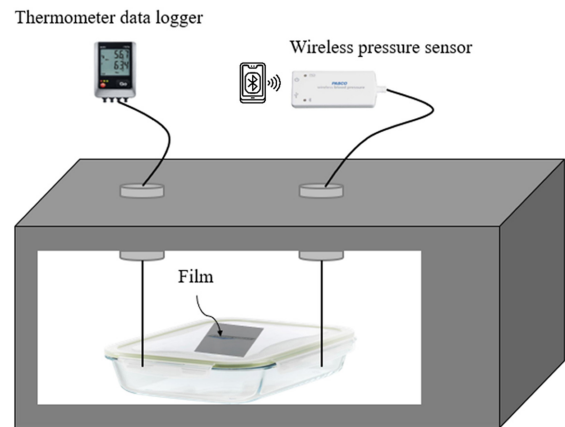


Fig. 1. Schematic of steam releasing test using the microwave oven.

른 분석 결과는 Fig. 2에 나타났고, Table 2에는 DSC에서 확인할 수 있는 필름의 용융온도( $T_m$ ), 냉결정화온도( $T_{cc}$ ), 용융 엔탈피( $\Delta H_m$ ) 값을 정리하여 나타냈다. Pure PLA의 경우  $T_{cc}$ 는  $123^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{m1}$ 는  $148^{\circ}\text{C}$ , PEG 35000의 경우  $T_{m1}$ 이  $63^{\circ}\text{C}$ 인 것을 확인할 수 있었다. 반면, PEG와 nanoclay가 함유된 복합필름의 경우,  $T_{m1}$ 은  $64^{\circ}\text{C}$ 로 PEG 35000의 용융온도와 유사한 값을 보였지만,  $123^{\circ}\text{C}$ 에서 발견되었던  $T_{cc}$ 가  $84^{\circ}\text{C}$ 로 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 PLA 매트릭스 내에 분포된 PEG가 PLA의 상호작용을 약화시켜 PLA 고분자사슬의 유동성을 증가시킨 것에 기인한다<sup>15)</sup>. 또한 이를 통하여 PLA 사슬의 재결정화가 용이하게 되어  $T_{cc}$ 가 감소하는 것이다<sup>16,17)</sup>. 반면,  $\Delta H_{cc}$ 는 소폭 감소하였는데 이는 PEG가 PLA 분자사슬 사이에 존재하여 비교적 결정화도를 낮추기 때문이다. 반면, nanoclay의 함량이 증

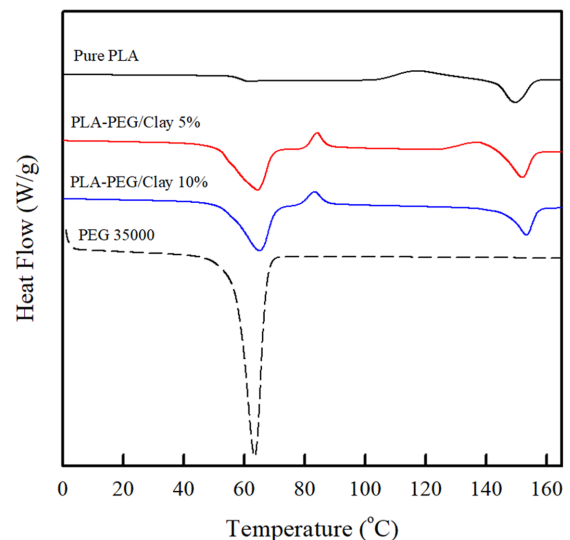


Fig. 2. DSC curves of pure PLA and PLA-PEG/Clay composite films.

**Table 2.** Thermal properties of PEG, pure PLA and PLA-PEG/Clay composite films measured by DSC

Sample	$T_{m1}$ (°C) <sup>a</sup>	$\Delta H_{m1}$ (J/g) <sup>b</sup>	$T_{cc}$ (°C) <sup>c</sup>	$\Delta H_{cc}$ (J/g) <sup>d</sup>	$T_{m2}$ (°C) <sup>e</sup>	$\Delta H_{m2}$ (J/g) <sup>f</sup>
PEG 35000	63.8 ± 0.2	157.9 ± 1.3	-	-	-	-
Pure PLA	-	-	123.2 ± 0.5	14.8 ± 0.3	148.8 ± 0.2	15.4 ± 0.1
PLA-PEG/Clay 5%	64.2 ± 0.1	50.2 ± 0.3	84.1 ± 0.2	10.9 ± 0.5	152.5 ± 0.9	19.0 ± 3.2
PLA-PEG/Clay 10%	64.8 ± 0.2	50.1 ± 1.2	83.2 ± 0.1	9.5 ± 0.1	153.0 ± 0.4	20.3 ± 0.2

<sup>a</sup>The melting temperature relating to PEG

<sup>b</sup>The enthalpy for the fusion relating to PEG

<sup>c</sup>The cold-crystalline temperature relating to PLA

<sup>d</sup>The enthalpy for the cold-crystalline phase of PLA

<sup>e</sup>The melting temperature relating to PLA

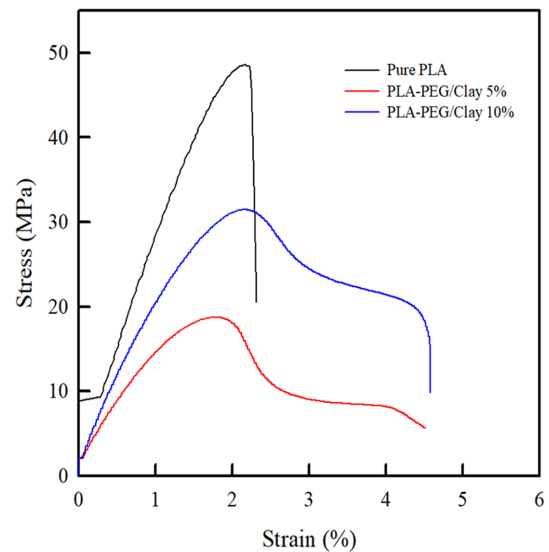
<sup>f</sup>The enthalpy for the fusion relating to PLA

가하면서  $T_{m2}$ 와  $\Delta H_{m2}$ 가 소폭 증가한 것을 볼 수 있는데, Park 등<sup>18)</sup>에 따르면, 이는 PLA의 결정화도가 증가하였음을 나타내며 nanoclay가 핵제로 작용하여 나노 크기의 nanoclay가 PLA의 결정화를 위한 핵생성 효과를 유도한 것이라 보고하였다. 또한, nanoclay가 PLA 매트릭스 내에 분산되면서 열 안정성이 향상된 것에 기인한다<sup>19,20)</sup>.

이러한 DSC 결과를 통해 PLA와 PEG사이에 강한 화학적 상호작용이 발생함을 알 수 있으며, 특히 PEG에 의한 고분자 사슬의 유동성 증가로 인해 결정화도를 포함한 morphology 변화는 온도에 따른 투과도 변화를 나타낼 수 있을 것으로 판단된다.

## 2. Pure PLA와 복합필름의 기계적 특성 분석

포장이 제품을 담고 구조체 역할을 수행하기 위해 기본적으로 요구되는 기계적 물성은 UTM 분석을 통해 파악할 수 있다. Fig 3은 pure PLA와 복합필름의 nanoclay 함량에 따른 stress-strain curve이다. 각 필름의 인장강도, modulus 및 연신율은 Table 3에 요약하여 나타냈다. Pure PLA의 경우 상대적으로 높은 인장강도를 갖지만 낮은 연신율을 보였다. 반면, 복합필름의 경우 PEG의 가소제 역할로 인해 인장강도와 연신율의 변화가 나타났다. 이는 PEG가 PLA 분자사슬 사이에 분포되어 PLA의 분자간 인력이 감소하여 필름의 인장강도는 감소했지만, 연성의 PEG로 인해 분자사슬의 가동성은 증가하였기 때문이다<sup>21)</sup>. 반면, nanoclay의 함량이 증가함에 따라 인장강도와 modulus가 증가하는 경향을 보이는데, 이는 나노 수준의 nanoclay가 PLA 매트릭스 내에 분산되어 전표면적의 증가와 입자 간의 거리를 감소시켜 PLA 분자사슬과 nanoclay의 입자 또는 nanoclay입자 간의 상호작용이 증가하여 PEG에 의해 감소된 인장강

**Fig. 3.** Stress-strain curves of pure PLA and PLA-PEG/Clay composite films.

도와 modulus가 일부 회복된 것으로 사료된다<sup>22,23)</sup>.

이러한 결과를 통해 본 연구에서 제작된 PLA-PEG/Clay 복합필름은 PEG의 가소제 효과로 인해 PLA의 인장강도는 감소하였지만, 연성을 향상시켰으며, nanoclay의 도입으로 감소된 인장강도와 modulus를 일부 회복할 수 있음을 확인하였다.

## 3. Pure PLA와 복합필름의 기계 투과도 분석

제조된 복합필름을 전자레인지 적용가능한 포장재로써 적용하기 위해서는 PEG의 용융온도를 지나면서 포장 내부의

**Table 3.** Mechanical properties of pure PLA and PLA-PEG/Clay composite films

Material	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Strain at break (%)
Pure PLA	46.7 ± 4.2	2101.9 ± 11.7	2.4 ± 0.1
PLA-PEG/Clay 5%	20.2 ± 2.1	1078.0 ± 101.0	5.0 ± 2.1
PLA-PEG/Clay 10%	28.5 ± 2.6	1248.3 ± 176.8	4.8 ± 1.6

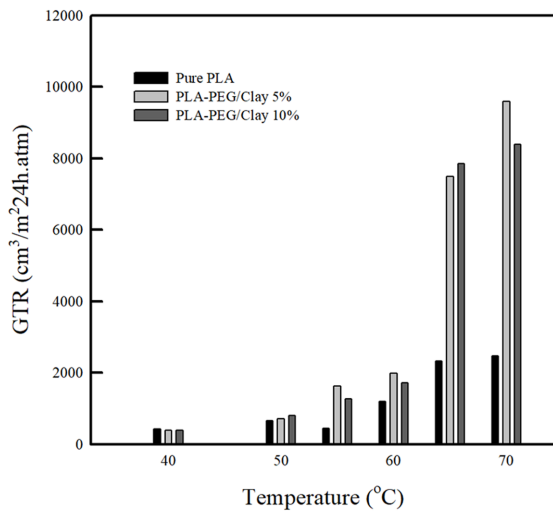


Fig. 4. GTR test results of pure PLA and PLA-PEG/Clay composite films.

수증기를 효과적으로 방출해야 한다. Fig 4는 pure PLA와 복합필름의 nanoclay 함량에 따른 40, 50, 55, 60, 65 그리고 70°C에서의 산소를 이용한 기체 투과도를 나타낸 것이다. Pure PLA와 복합필름 모두 40°C에서는 유사한 거동을 보이며 타 온도에 비해 상대적으로 낮은 GTR값을 보였다. 이는 DSC 상에서 확인할 수 있듯이, PEG의  $T_{m1}$  이하에서는 PLA 매트릭스 내에서 용융되지 않고 부피를 차지하고 있어 기체 분자의 이동에 제한이 발생한 것으로 보인다. 반면, 65°C 이상부터 pure PLA에 비해 복합필름의 투과도는 비약적으로 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 PEG의  $T_{m1}$  이상에서 PLA 매트릭스 내에 존재하는 PEG가 용융되면서 차지하고 있던 부피가 감소하고 분자사슬의 가동성이 증가하여 기체 분자가 통과할 수 있는 공간이 생성된 것으로<sup>24)</sup>, DSC의 결과와 일치한다.

이러한 결과를 통해, 제조된 복합필름은 상온에서는 비교적 낮은 기체 투과도를 갖지만, PEG의 용융온도 이상에서는 pure PLA에 비해 높은 기체 투과도를 보여 전자레인지 조리 시 포장 내부에서 발생하는 수증기를 방출할 수 있을 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구에서는 이중 압출 공정을 이용하여 자가 증기방출 역할을 수행하는 PLA-PEG/Clay 복합필름을 성공적으로 제작하였다.

#### 4. Pure PLA와 복합필름의 전자레인지 모의 적용 평가 분석

GTR분석을 통해 PEG의 용융온도보다 높은 온도에서, 복합필름의 기체 투과도가 비약적으로 증가하는 것을 확인하였다. 다만, 제조된 복합필름이 HMR포장재로서의 적용 가능성을 판단하기 위해서는 실제 전자레인지에 적용하였을 시 고온에서도 형상을 유지한 채로 필름 내부에서 발생하

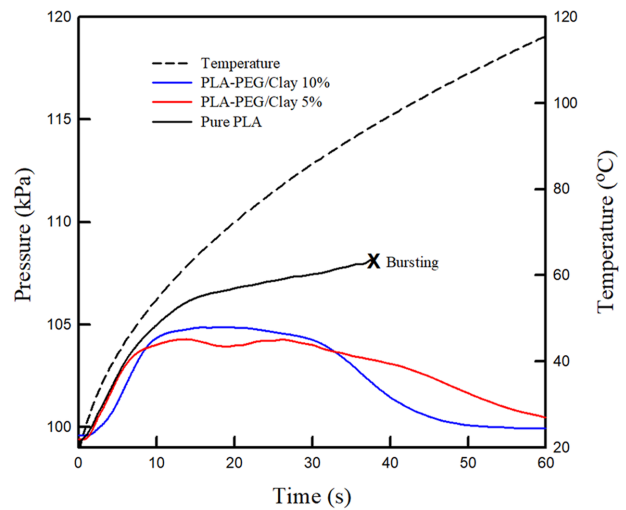


Fig. 5. Pressure change inside the tray packaged with pure PLA and PLA-PEG/Clay composite films.

는 수증기를 자가 방출할 수 있으며, 파단이 발생하지 않아야 한다. 따라서 본 연구에서는 복합필름의 전자레인지 모의 적용 평가를 진행하였고, pure PLA와 복합필름의 nanoclay 함량에 따른 실험 결과는 Fig. 5에 나타났다. Pure PLA의 경우 전자레인지 조리 시 포장 내부에서 발생하는 수증기로 인한 압력의 증가를 버티지 못해 37 초 경과 후 필름이 파열된 것이 확인되었다. 반면, 복합필름의 경우 내부의 발생하는 수증기로 인해 압력이 증가하다가 PEG의  $T_{m1}$  부근부터 필름의 파열 없이 내부 압력이 서서히 줄어드는 것이 확인되었다. 또한, 복합필름은 pure PLA에 비해 내부 압력이 현저히 감소되었는데, 이는 GTR결과와 동일하게 필름 내부에서 발생한 증기는 PEG의  $T_{m1}$  이하에서는 방출되지 못해 포장 내부에 계속 머물지만,  $T_{m1}$  이상의 온도부터는 PEG가 PLA 매트릭스 내에서 용융되고 분자사슬의 거동성이 비약적으로 증가하여 점차 기체가 투과될 공간이 생성되어 내부 증기가 방출되었기 때문이다. 이에 따라, 필름에 마이크로파 및 증기로 인한 열이 충분히 전달된 후에는, 내부 증기압이 감소함에 따라 증기의 자가방출이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

전자레인지 모의 적용 평가 결과에 따라, 본 연구에서 제조한 스마트 복합필름은 전자레인지 조리 시 효과적으로 내부 수증기를 방출할 수 있다는 것을 확인하였다. 본 모의 평가에서는 물을 첨가하여 식품이 함유하고 있는 수분을 대체하였지만, 실제 식품이 함유한 수분량에 따라 복합필름의 면적을 조절하여 수증기 배출량을 조절하는 등의 응용이 가능하다. 따라서 본 연구에서 제조한 스마트 복합필름은 향후 전자레인지 조리 HMR 제품의 포장소재로서 검토될 수 있다.

## 요 약

본 연구에서는 전자레인지 조리 시 발생하는 포장 내부의 수증기를 스스로 방출할 수 있는 PLA 기반 스마트 복합 필름을 제조하였다. 제조된 복합필름의 전자레인지 조리가 가능한 HMR 제품의 포장재로써 적용가능성을 평가하기 위해 DSC, UTM, GTR 및 전자레인지 모의 적용 평가를 통해 열적 특성, 기계적 특성, 온도 구간별 기체 투과도 및 전자레인지 적용성을 평가하였다. 복합필름의 열적 특성을 확인한 결과, PLA와 PEG의 강한 화학적 상호작용을 확인하였고 본 연구에서 기대한 전자레인지 조리 온도 내에서 PEG가 용융되는 것을 확인하였다. 또한, 제조된 복합필름은 PEG의 첨가로 인해 인장강도는 감소하였지만 연신율이 증가하였고, nanoclay의 함량이 증가함에 따라 감소된 인장강도가 일부 회복한 것을 확인하였다. 또한, 기체 투과도의 경우 PEG의  $T_{m1}$  이상인 65°C 부터 PEG가 용융되면서 투과도가 비약적으로 증가한 것을 확인하였다. 전자레인지 모의 적용 평가를 통해 pure PLA는 내부 수증기를 방출하지 못하고 그 압력을 버티지 못해 폭발한 것에 비해, 복합필름의 경우 전자레인지 수증기 발생 온도에서 그 형태를 유지하며 효과적으로 내부 수증기를 자가방출한 것을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구에서 제조한 스마트 복합필름은 포장재로써 향후 전자레인지 조리 HMR식품 포장재로써 적용될 수 있다.

## 감사의 글

이 논문은 2020년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 과제의 결과임 [과제번호 : 2020R1A2B5B01001797].

## 참고문헌

- Park, M.H., Kwon, M.W. and Nah, K. 2019. Study on repurchase intention of RTP HMR products: Focused on meal kit. *The Journal of the Korea Contents Association* 19(2): 548-557.
- Lee, Y.J., Kim, Y.K. and Yoon, A.R. 2021. A Study on the problems and solutions in the HMR market. *Journal of Foodservice Management Society of Korea* 24(5): 55-79.
- Park, S.J., Choi, J.W. and Heo, S.Y. 2015. A study on the status and policy issues the home meal replacement (HMR) industry in Korea. *Korea Rural Economic Institute R742*: 1-150.
- Jang, S.H. 2017. Trend and future direction for domestic HMR products. *Food Industry And Nutrition*. 22(1): 13-17.
- Lee, B.S., Park, K.H. and Cho, J.H. 2011. A study on the effect of selection attributes on consumer satisfaction and repurchase intention about HMR-In case of ready-to-end-cook. *Culinary Science and Hospitality Research*. 17(2): 85-97.
- Han, H.K. and Park, C.Y. 2001. Functional food packaging film. *Polymer Science and Technology*. 12(2): 174-182.
- Vermeiren, L., Devlieghere, F., van Beest, M., de Kruijff, N. and Debevere, J. 1999. Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science & Technology*. 10(3): 77-86.
- Yoon, C.S., Hong, S.I., Cho, A.R., Lee, H.S., Park, H.W. and Lee, K.T. 2015. Analysis of the causes of deformation of packaging materials used for ready-to-eat foods after microwave heating. *Korean Journal of Food Science and Technology*. 47(1): 63-69.
- 유현정, 채우영, 김현경, 서백채, 이진영. 2020. 간편식품의 가공과 식품안전. *식품저장과학기술*. 19(2): 134-145.
- Lee, H.S., Cho, A.R., Moon, S.K., Yoon, C.S. and Lee, K.T. 2015. Investigation on the heating patterns depending on the packaging materials during microwave cooking. *Korea Society of Packaging Science & Technology*. 21(1): 27-34.
- Auras, R., Harte, B. and Selke, S. 2004. An overview of polylactides as packaging materials. *Macromolecular bioscience*. 4(9): 835-864.
- Park, B.S., Song, J.C., Park, D.H. and Yoon, K.B. 2011. PLA/chain-extended PEG blends with improved ductility. *Journal of Applied Polymer Science*. 123(4): 2360-2367.
- Paberit, R., Rilby, E., Gohl, J., Swenson, J., Refaa, Z., Johansson, P. and Jansson, H. 2020. Cycling stability of poly (ethylene glycol) of six molecular weights: influence of thermal conditions for energy applications. *ACS Applied Energy Materials*. 3(11): 10578-10589.
- Zhen, S.J. 2001. The effect of chain flexibility and chain mobility on radiation crosslinking of polymers. *Radiation Physics and Chemistry*. 60(4-5): 445-451.
- Mohapatra, A.K., Mohanty, S. and Nayak, S.K. 2014. Effect of PEG on PLA/PEG blend and its nanocomposites: A study of thermo mechanical and morphological characterization. *Polymer Composites*. 35(2): 283-293.
- Hassouna, F., Raquez, J.M., Addiego, F., Dubois, P., Toniazzo, V. and Ruch, D. 2011. New approach on the development of plasticized polylactide (PLA): Grafting of poly (ethylene glycol) (PEG) via reactive extrusion. *European Polymer Journal*. 47(11): 2134-2144.
- Lee, G.G., Lee, H.M. and Kim, Y.H. 2019. Thermal and mechanical properties of poly (L-lactic acid) films plasticized with propylene carbonate. *Polymer (Korea)*. 43(1): 113-122.
- Park, S.J., Jun, B.R., Song, S.Y., Choi, G.Y. and Rhee, J.M. 2003. Effects of dispersivity of clay on thermal stabilities of PP/clay nanocomposites. *Polymer (Korea)*. 27(5): 458-463.
- Peelman, N., Ragaert, P., Ragaert, K., De Meulenaer, B., Devlieghere, F. and Cardon, L. 2015. Heat resistance of new biobased polymeric materials, focusing on starch, cellulose, PLA, and PHA. *Journal of Applied Polymer Science*. 132(48): 42305-42320.
- Darie, R.N., Păslaru, E., Sdrobis, A., Pricope, G.M., Hitruc, G.E., Poiață, A., Baklavariadis, A. and Vasile, C. 2014. Effect of nanoclay hydrophilicity on the poly (lactic acid)/clay nanocomposites properties. *Industrial & Engineering Chemistry*

- Research. 53(19): 7877-7890.
21. Shin, H., Thanakkasaranee, S., Sadeghi, K. and Seo, J. 2022. Preparation and characterization of ductile PLA/PEG blend films for eco-friendly flexible packaging application. *Food Packaging and Shelf Life*. 34: 100966.
22. Oh, W.T., Lee, E.K. and Choi, S.Y. 2009. A Study on the mechanical properties of organo-clay filled NR/MMT nanocomposites. *Elastomers and Composites*. 44(4): 455-465.
23. Cheon, J.M., Jeong, B.Y., Yoo, C.S., Park, D.J., Bae, J.K. and Chun, J.H. 2007. Synthesis and characterization of waterborne polyurethane using nanoclay. *Journal of Adhesion and Interface*. 8(4): 1-7.
24. Thanakkasaranee, S., Kim, D. and Seo, J. 2018. Preparation and characterization of poly (ether-block-amide)/polyethylene glycol composite films with temperature-dependent permeation. *Polymers*. 10(2): 225.

투고: 2022.11.11 / 심사완료: 2022.11.21 / 게재확정: 2022.12.05