

Research Note

커피 부산물을 활용한 필름 제조 방법 및 품질 특성 연구

오해원 · 이승환*

국립안동대학교 식품생명공학과

A Study on Film Manufacturing Methods and Quality Characteristics Using Coffee By-Products

Hae Won Oh and Seung Hwan Lee*

Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, Andong(36729), Korea

Abstract

As coffee consumption increases, coffee extraction's by-products increase. Research on coffee by-product recycling is fundamental as social costs and environmental problems arise from the course of coffee processing, estimated to be 270,000 tons per year. This study attempted to confirm the possibility of an eco-friendly food packaging material by solvating cellulose from spent coffee grounds. For cellulose solubility, delignification and TEMPO (2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-oxyl) oxidation treatment were performed. An optimal plasticizer (glycerol) and a crosslinking agent (cinnamaldehyde) were added to the film-forming solution for film manufacturing, while physical treatment (high-pressure treatment, 276 MPa, 10 times) was done to improve physical properties. Then, the film was dried by a solution-casting method. Physical properties of food packaging materials such as tensile strength, elongation, water-solubility, thickness, and chromaticity were measured. In particular, the film to which 1.5% glycerol was added showed the highest value among the physical properties of the dried film. These results indicate that TEMPO-SCG films have potential as eco-friendly food packaging materials in the food industry.

Keywords: coffee by-product, cellulose, eco-friendly film, food packaging material

서 론

커피찌꺼기(Spent coffee grounds)는 원두에서 커피를 추출한 성분을 제외한 나머지를 일컫는 커피 추출 폐기물이다(Nam et al., 2017). 커피찌꺼기는 셀룰로오스(Cellulose), 헤미셀룰로오스(Hemicellulose) 및 리그닌(Lignin)을 포함한 섬유질, 단백질, 당류의 성분이 풍부 하며(Murthy et al., 2012), 재생 가능한 요소들을 많이 지니고 있기 때문에 다양한 분야에 재활용 가치가 높은 유가성 자원이지만 현재까지는 가치를 활용하지 못하고 많은 양이 일반 생활 쓰레기로 버려지고 있다(Caetano et al., 2014). 특히, 전 세계적으로 커피 수요가 꾸준히 증가하고 있는 실정이며 커피 찌꺼기의 발생량 또한 매년 증가하고 있어 이를 재활용할 필요성이 점차 확대되고 있다(Hong et al., 2018). 현재 커피 찌꺼기 재활용에 대하여 다양한 연구가 시도되고 있지만

대부분은 아직까지 원천기술개발 수준이고 여전히 실용화 및 활성화에 대한 문제가 남아 있다(Campos-Vega et al., 2015). 커피 한 잔을 마실 경우 커피원두의 0.2% 만을 사용되며 나머지 99.8%의 원두는 커피찌꺼기로서 버려지고 있다(Hong et al., 2018). 커피찌꺼기는 주로 커피 추출과정 및 냉동건조커피의 제조과정에서 발생하게 되는데 이는 일반폐기물로 분류되어 100% 매립되거나 소각된 채 버려지고 있으며(Mussatto et al., 2011), 2014년 기준 연간 약 27만톤에 해당된다. 또한, 커피찌꺼기를 처리하기 위한 사회적 비용은 연간 7,642억 원에 달할 정도로 큰 처리 비용이 발생하며, 커피찌꺼기 처리과정에서 발생하는 이산화탄소로 인한 환경적인 문제도 무시할 수 없는 시점이다(Nam et al., 2017).

한편, 플라스틱 소재는 다양하고 우수한 기능 및 저렴한 가격으로 현대인의 풍요로운 일상생활과 산업발달에 큰 공헌을 해왔다(You et al., 2015). 하지만 대량으로 발생하는 플라스틱 폐기물의 소각이나 매립에 따른 환경 호르몬의 누출, 맹독성의 다이옥신 검출, 폐기물의 불완전 연소에 의한 대기오염 발생 등과 같은 심각한 환경오염의 원인으로 대두되고 있다(Chung et al., 2003). 이를 해결하기 위해 친환경 포장재에 대한 개념이 등장하였는데, 바이오매스와

*Corresponding author: Seung Hwan Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Andong National University, 1375 Gyeongsangbuk-do, 36729, Korea
Tel: +82-54-820-5492; Fax: +82-54-820-6264
E-mail: leesh@anu.ac.kr

Received February 10, 2022; revised March 15, 2022; accepted March 15, 2022

같은 생물자원을 이용하여 제조된 바이오 기반 고분자 플라스틱을 의미한다(Evode et al., 2021).

셀룰로오스는 β -1-4 glucopyranose 단위로 구성된 직선형 탄수화물 고분자이며 중합도가 약 10,000 정도이다(Herrick et al., 1983; Turbak et al., 1983). 셀룰로오스 구조의 수산기(-OH)는 셀룰로오스의 물리적 성질을 지배하는 주요 역할을 한다. 최근 들어 식물로부터 셀룰로오스 마이크로 피브릴을 분리하는 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있으며 우수한 기계적 성질, 저비중, 생분해성, 재생 가능한 바이오매스로부터 쉽게 얻을 수 있다는 점에서 각광을 받고 있다(Klemm et al., 2011). 셀룰로오스 나노섬유는 산 가수분해, 기계적 처리, 또는 화학적 및 기계적 혼합방법에 의해서 만들 수 있다. 셀룰로오스 나노섬유는 염산이나 황산으로 산가수분해를 통하여 만들 수 있고, 초고압 균질기나 호모게나이저를 이용하여 얻을 수 있다. 산가수분해와 기계적 방법을 혼합할 경우 50 nm 이하의 직경을 갖는 훨씬 미세한 셀룰로오스를 제조할 수 있다(Cho and Park, 2010; Abdul Khalil et al., 2014; Lee et al., 2017).

따라서 본 연구에서는 식품 부산물인 커피 부산물 원물을 단일 소재로 하여 비 산처리 방식인 TEMPO (2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-oxyl) 산화 처리 후 최적의 가스제 및 가교제를 첨가하고 기계적 공정을 추가하여 물성을 개선시킨 TEMPO 처리 커피박 필름(TEMPO-SCG films)을 제조하였고, 제조된 필름의 특성을 분석하여 커피박 활용 포장소재 개발 가능성을 확인하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에서 사용한 커피박(Spent coffee grounds, SCG)은 안동대학교 소아즈 카페(SOAS cafe, Andong, Korea)에서 당일 커피를 추출한 시료를 사용하였다. 시료는 미생물의 오염을 방지하고자 당일 1차 분쇄 및 열풍 건조 후 2차 초미립 동결 분쇄하여 사용하였다. 1차 분쇄 및 열풍 건조는 건조 단계에서의 효율적이고 균일한 건조를 위해 원반 모양으로 압축된 형태로 수거된 커피박을 식품 믹서기(HMF-3206S, Hanil Electric, Seoul, Korea)로 60초간 분쇄하여 분말 형태로 해체하고, 70°C에서 24 h 열풍 건조하여 초기 수분함량 50% 이상인 커피박을 5% 이내 수분함량으로 건조하였다. 2차 초미립 동결 분쇄는 전복 순창군에 위치한 블루파크 영농조합에 의뢰하여 초미립 동결 분쇄기(DCH-500D, Duksan Co., Ltd., Siheung, Korea)로 -90°C에서 4,100 rpm으로 분쇄한 후 평균입자 크기 28.61 μ m인 미세 분말을 얻었다.

셀룰로오스 가용화를 위한 물리화학적 처리

분쇄된 커피박 원료로부터 셀룰로오스를 얻는 분리 방법

은 물리적 처리와 화학적 처리를 혼합하여 사용하였다. 물리적 처리 방법으로는 초고압 처리, 화학적 처리 방법으로는 탈리그닌, TEMPO 산화처리 방법을 사용하였다.

탈리그닌 처리(Delignification)

리그닌은 세포벽 내에서 다른 성분들과 상호 교차하여 조직을 견고히 하고 있어 셀룰로오스를 가용화 하는데 방해 요소로 작용한다(Ragauskas et al., 2014). 또한 리그닌은 착색의 원인이 되고, 구조적으로 망상 고분자이기 때문에 불순물로 취급되어 제거하여야 깨끗한 백색의 파우더를 얻을 수 있다(Sun et al., 2004; Kumar et al., 2013). 이에 리그닌만을 선택적으로 용해시켜 분리하는 반응인 탈리그닌 반응을 실시하였다. 탈리그닌 처리는 가장 대표적인 방법인 Wise법으로 알려진 아염소산 나트륨과 초산을 사용하는 방법을 이용하였다(Lim et al., 1997). 1 wt% 커피박 현탁액 200 mL를 자석교반기(PC-420D, Corning)로 30 min간 200 rpm으로 교반한 후 sodium chlorite 0.3 g, acetic acid 0.1 mL을 첨가하여 80°C 항온수조(DS-23SN, Dasol Scientific Co., Ltd., Hwaseong, Korea)에서 1 h 동안 200 rpm으로 교반하였다. 1 h 간격으로 동일한 양의 sodium chlorite, acetic acid을 첨가하여 4 h 동안 반응을 실시한 후 pH 5가 될 때까지 증류수로 반복 세척 및 여과하였다. 시료는 수분을 제거하기 위해 -50°C에서 24 h 동결 건조하여 사용하였다.

TEMPO 산화 처리(TEMPO-mediated oxidation)

셀룰로오스는 섬유와 섬유가 강하게 결합되어 있기 때문에 섬유간의 반발력을 만들어 보다 용이하게 셀룰로오스를 개별화하기 위해서 화학적 전처리를 거치게 되는데, 그 방법으로 TEMPO (2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-oxyl) 산화법이 많이 사용되고 있다(Isogai and Kato, 1998; Saito et al., 2007; Isogai et al., 2011). 커피박 1 g당 증류수 130 mL, TEMPO 0.02 g, sodium bromide 0.1 g을 첨가한 후 자석교반기(PC-420D, Corning)로 10 min간 200 rpm으로 교반하였다. Sodium hypochlorite를 첨가하여 TEMPO 산화 반응이 시작되면, 0.5 M NaOH로 pH 10이 유지되도록 조절하였다. 더 이상의 pH 변화가 없는 지점을 TEMPO 산화 종료 지점으로 보고, ethanol 10 mL를 넣어 반응을 종결시킨다. TEMPO 산화 처리된 커피박 분말을 감압여과 방법에 의해 pH 5가 될 때까지 증류수로 반복 세척 및 여과하였다(Saito et al., 2006; Hietala et al., 2014). 시료는 수분을 제거하기 위해 -50°C에서 24 h 동결 건조하여 사용하였다.

초고압 균질 처리(High-pressure treatment, HPT)

가스제는 고분자에 유연성을 증가시키는 역할을 한다. 분자 사이에 작용하고 있는 강한 결합 사이에 가스제가 분

포되어 마치 윤활유와 같은 기능을 하게 된다(Choi et al., 2011). 가교제는 고분자 사슬 사이에서 가교 역할을 하여 경도나 탄력성 등 기계적 강도와 화학적 안정성을 부여하는 역할을 한다. 이에 가소제와 가교제를 함께 첨가하여 우수한 기계적 강도와 함께 유연성을 가지는 필름을 제조하고자 하였다.

커피박 필름 형성의 물리적 성질을 개선하기 위해 일반적으로 가장 많이 사용되는 가소제 glycerol (GLY)와 가교제 cinnamaldehyde를 첨가하여 필름 형성 용액을 제조하였다. 가소제 함량에 따른 물리적 성질을 비교하고자 가교제 cinnamaldehyde의 첨가량은 0.02 wt%로 고정하고, glycerol (GLY)는 0, 0.5, 1, 1.5, 2 wt% 비율로 첨가하였다. 가소제 및 가교제를 첨가한 필름 형성 용액의 분산을 위해 가장 상용화가 많이 진행된 물리적 처리 방법인 초고압 균질기 (NH500, Ilshin Autoclave, Daejeon, Korea)로 69, 138, 276 MPa를 각각 10 times 조건으로 균질화하였다. 균질화된 용액을 70°C 항온수조에서 30 min간 열처리하고, 실온으로 냉각한 후 진공 펌프를 이용하여 탈기하였다.

필름 형성

초고압 균질을 통해 분산된 필름 형성 용액은 용액 캐스팅 방법과 감압 여과 방법을 통해 비교하였다. 용액 캐스팅 방법을 통한 필름 제조는 필름 형성 용액을 polystyrene petri dish (12×12 cm)에 부어 두께가 균일하도록 수평이 맞는 열풍 건조기(LDO-150F, Daihan Labtech, Namyangju, Korea)로 20°C에서 24 h 건조하였다. 감압 여과 방법을 통한 필름 제조는 TEMPO 처리한 커피박 슬러리를 증류수에 1% 이하의 농도로 희석한 후 여과지(cellulose nitrate membrane filter, Whatman No. 1)를 사용하여 제작하였고, 용액 캐스팅 방법으로 제조한 필름과의 비교를 위해 동일한 조건인 수평이 맞는 열풍건조기로 20°C에서 24 h 건조하였다. 제조된 필름의 색도는 제조된 필름 (5×5 cm)을 분광 색차계(CM-3500d, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, Hunter L^* , a^* , b^* 값으로 나타내었다.

필름 특성

인장강도 및 신장률 측정(Tensile strength and Elongation)

인장강도 및 신장률 측정을 위한 필름은 용액 캐스팅에 의해 제조된 필름을 사용하였다. 가소제와 가교제 사용에 따른 필름의 인장강도 및 신장률은 ASTM Standard Method D882-91 방법에 따라 압축/굽힘 시험기(SDWS-2013-R3, IMADA SEISAKUSHO Co., Ltd, Aichi, Japan)를 사용하여 KS 규격에 준하여 제조한 필름 (2×9 cm)을 시험기 하측과 상측에 고정시킨 후 측정하였다. 측정 중 상하부 물림부에서 시편이 빠지거나 절단된 경우에는 재 측정하여 측정 오차를 최소화하였다. 측정 시 초기 grip간 거리는 5 cm, cross head의 속도는 500 mm/min로 조절

하였다. 인장강도(A) 및 신장률(B)은 각각 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$(A) \text{ TS} = \frac{F}{A}$$

$$(B) \text{ E (\%)} = \frac{(\Delta L \times 100)}{L}$$

(A)에서 F (maximum tensile force)는 필름을 늘려 절단될 때까지 작용한 가장 큰 힘을 의미하며, A (cross sectional area)는 필름의 평균 단면적이다. (B)에서 ΔL 은 필름이 절단될 때까지 움직인 grip간 거리를 의미하며, L은 초기 grip간 거리이다.

가소제와 가교제 사용에 따른 필름의 두께는 제조한 필름을 디지털 캘리퍼스(CD-15APX, MITUTOYO, Kanagawa, Japan)를 이용하여 형성된 필름의 두께를 mm로 나타내었다.

수분 용해도 측정(water solubility, WS)

가소제와 가교제 사용에 따른 필름의 수분 용해도는 ASTM Standard Method E96-85 방법에 따라 제조된 필름 (5×5 cm)을 105°C에서 24 h 건조한 후 초기 무게를 측정하였다. 건조된 필름을 30 mL 증류수가 담긴 비이커에 담아 입구를 parafilm으로 밀봉한 후 shaking incubator로 25°C에서 24 h 동안 120 rpm으로 교반하였다. 24 h 후 용해되지 않고 남은 필름을 다시 105°C에서 24 h 건조하여 최종 무게를 측정하였다. 수분 용해도는 다음 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{WS (\%)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

A는 건조한 후 초기 무게(initial dry weight), B는 건조 후 최종 무게(final dry weight)를 의미한다.

통계 분석

실험 결과의 통계 분석 시 모든 실험은 각각 따로 제조한 필름으로 3회 반복하여 측정하였다. 모든 실험 결과는 평균±표준편차로 표기하였다.

결과 및 고찰

탈리그닌에 따른 색도 변화

분쇄된 커피박은 탈리그닌 처리 횟수(1, 2, 3, 4회)에 따른 뚜렷한 색상 차이를 보이고(Fig. 1), L^* , a^* , b^* 값으로 색상을 정량 수치화한 결과를 Table 1에 나타내었다. 탈리그닌 처리 횟수에 따라 백색도(L^*)는 증가하고, 적색도(a^*)와 황색도(b^*)는 감소하는 결과를 보였다. 따라서 탈리그닌 4회 반복 처리는 백색도 증가에 효과가 있음을 확인하였다.

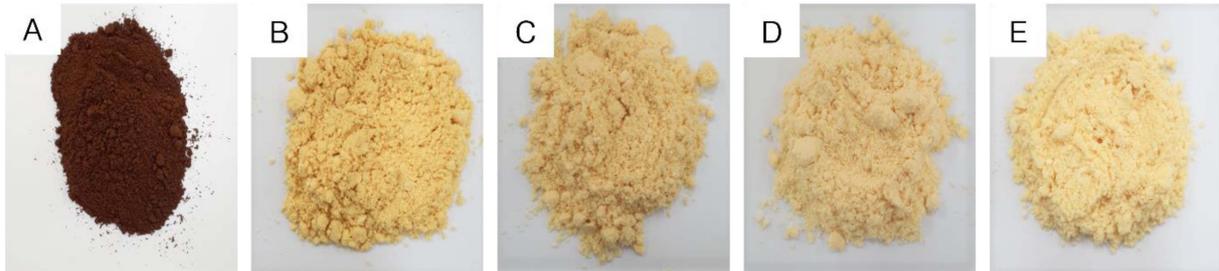


Fig. 1. Color changes of spent coffee grounds according to the number of delignification treatment. (A) Non-treatment, (B) Delignification treatment 1 time, (C) Delignification treatment 2 times, (D) Delignification treatment 3 times, (E) Delignification treatment 4 times.

Table 1. Color properties of spent coffee grounds after delignification

| Sample | Color value | | |
|---------------|-------------|-----------|------------|
| | L* | a* | b* |
| Non-treatment | 34.75±0.59 | 2.94±0.27 | 3.17±0.26 |
| 1 | 82.75±0.32 | 2.99±0.15 | 31.31±0.15 |
| 2 | 85.19±0.07 | 3.12±0.02 | 29.38±0.02 |
| 3 | 88.38±0.48 | 3.70±0.02 | 26.72±0.07 |
| 4 | 89.33±0.01 | 4.98±0.01 | 24.07±0.03 |

Values are expressed as mean±SD.

1: Delignification treatment 1 time, 2: Delignification treatment 2 times, 3: Delignification treatment 3 times, 4: Delignification treatment 4 times, 5: Delignification treatment 5 times

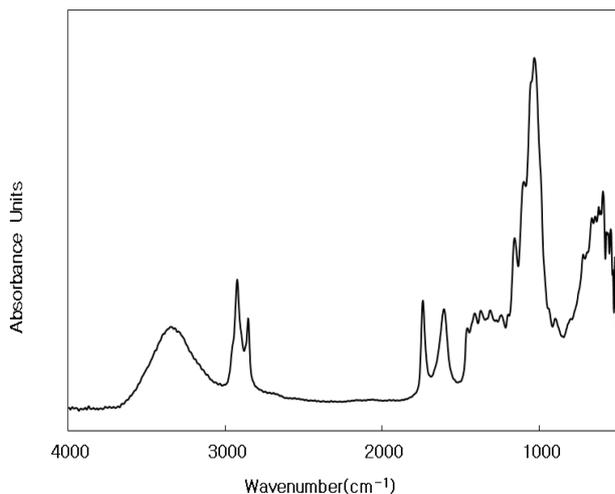


Fig. 2. FT-IR spectra of spent coffee grounds after TEMPO-mediated oxidation.

TEMPO 산화에 의한 화학 구조 및 결정 구조 측정

TEMPO 산화 반응에 따른 작용기 변화를 측정하기 위해 FT-IR 분석을 수행하였다(Fig. 2). 셀룰로오스의 수소결합을 나타내는 O-H stretching vibration $3,340\text{ cm}^{-1}$, 결정성 셀룰로오스를 나타내는 C-O stretching $1,030\text{ cm}^{-1}$, carbonyl C=O ester 결합을 나타내는 $1,732\text{ cm}^{-1}$, aromatic skeletal vibrations plus C=O stretching $1,590\text{ cm}^{-1}$ 피크가 검출되었다. TEMPO 산화 반응에 따른 결정화도를 측정하기 위

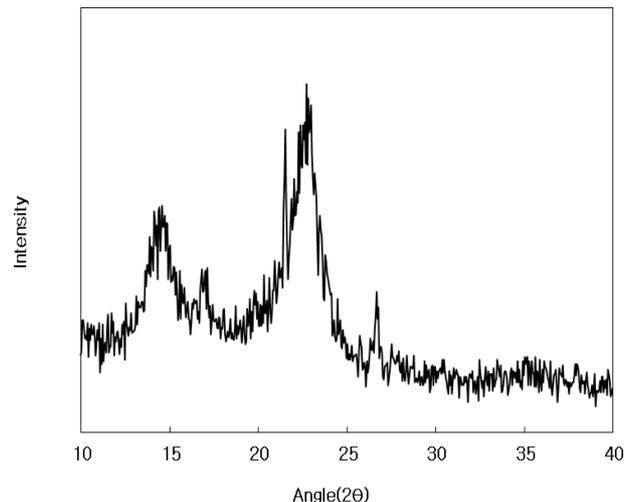


Fig. 3. XRD spectra of spent coffee grounds after TEMPO-mediated oxidation.

해 XRD 분석을 수행하였다(Fig. 3). TEMPO 산화 반응에 따라 16.5° , 22.5° 의 주요 결정성 회절 피크를 나타냈다. TEMPO 산화 처리를 통해 커피박 원료의 비셀룰로오스 성분이 제거하였고, 셀룰로오스 성분이 존재함을 확인하였다.

초고압 균질에 의한 표면 구조 균일화

TEMPO 처리된 커피박 현탁액을 69, 138, 276 MPa의 압력 범위에서 10회 순환 횟수로 고압 균질화 하여 압력이 커피박 시료의 크기와 형상에 미치는 영향을 조사하였다. 현탁액에 포함된 미세 커피박 시료 표면의 미세구조를 전자현미경으로 관찰한 결과이다(Fig. 4). 그 결과 압력이 높아짐에 따라 시료 파쇄가 일어나 점차적으로 셀룰로오스가 미세화 되고 비교적 균일한 형상의 구조를 보이는 것을 확인하였다. 이는 초고압에 의해 발생한 다양한 물리력이 분자 사이의 수소결합을 파괴하는 것으로 판단된다.

필름 형성 방법에 따른 필름 특성

용액 캐스팅과 감압 여과 방법을 통해 20°C 로 건조하여 형성된 필름의 표면 구조를 전자현미경으로 비교 관찰하였

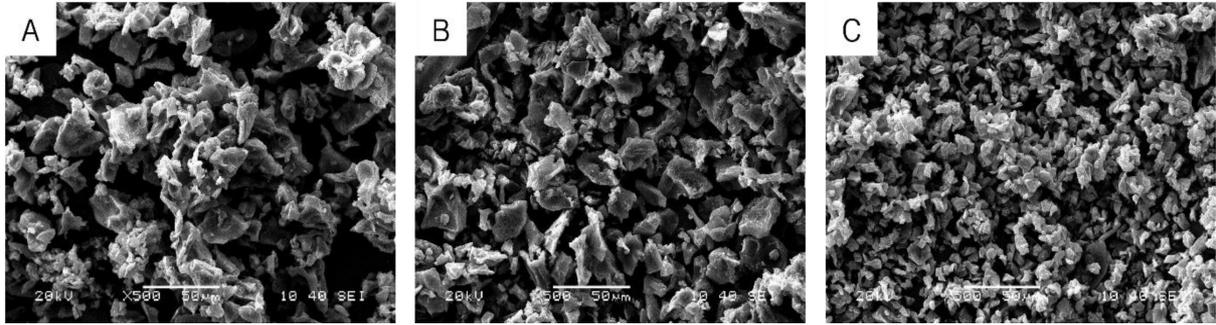


Fig. 4. SEM images according to different high-pressure treatment conditions. (A) 69 MPa 10 cycles, (B) 138 MPa 10 cycles, (C) 276 MPa 10 cycles.

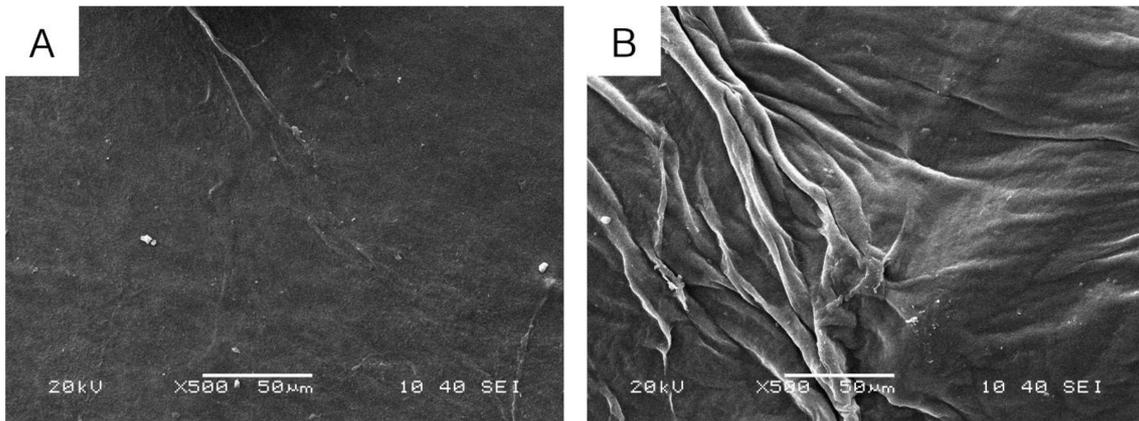


Fig. 5. SEM images according to film drying methods. (A) Solvent casting, (B) Vacuum filtration.

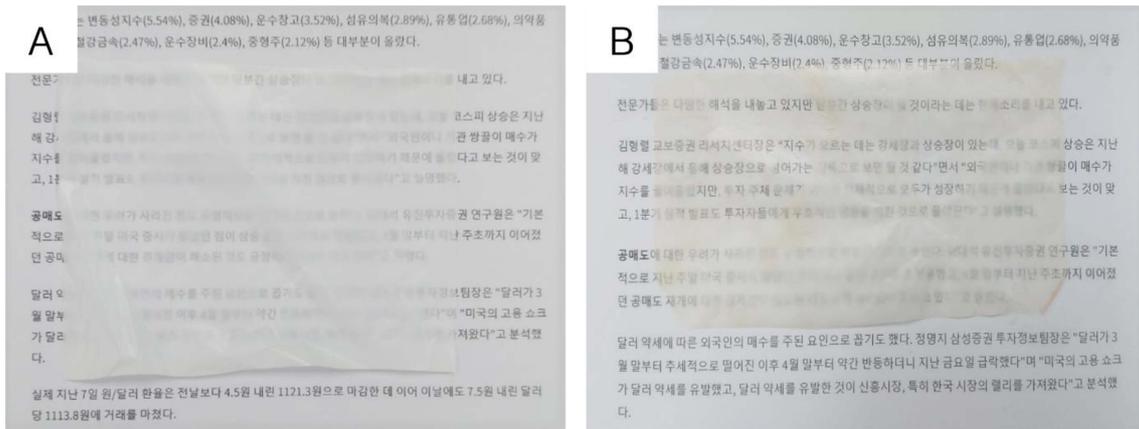


Fig. 6. Morphology of TEMPO-SCG films. (A) Solvent casting, (B) Vacuum filtration.

다(Fig. 5). 용액 캐스팅 방법으로 형성된 필름의 경우 미세 구조 이미지에서 불연속적 이거나 갈라진 부분이 보이지 않고 균일한 표면이 관찰되었다. 감압 여과 방법으로 형성된 필름의 경우 표면에 굴곡이 보여 불균일한 표면을 보였다. 최종 건조된 필름의 색도에 있어 용액 캐스팅 방법에 의한 필름의 백색도가 높음을 확인할 수 있었다(Fig. 6). L^* , a^* , b^* 값으로 색상을 정량 수치화한 결과(Table 2) 용액 캐스팅 방법으로 제조된 필름이 감압 여과 방법으로 제조된 필름 보다 백색도(L^*)가 높았고, 적색도(a^*)와

황색도(b^*)는 큰 차이를 보이지 않았다. 건조 시간의 경우 용액 캐스팅으로 형성된 필름은 20°C에서 수분함량 15% 이내로 건조하는데 최대 3 h가 소요되었고, 감압 여과 방법으로 형성된 필름은 6 h이 소요되어 제조 시간에 있어 감압 여과 방법이 효율적인 방법임을 확인하였다. 하지만 감압 여과 방법의 경우 최종 건조 후 여과지에서 필름을 분리하는 과정이 용이하지 못한 문제와 여과지 크기에 따라 필름 크기가 제한되는 문제가 발견되었다. 추후 후속 연구를 통해 필름의 표면 품질과 건조 효율, 작업성을 확

Table 2. Color properties of TEMPO-SCG film according to film drying methods

| Sample | Color value | | |
|-------------------|-------------|------------|------------|
| | L* | a* | b* |
| Solvent casting | 96.80±0.27 | -2.34±0.44 | 22.82±0.46 |
| Vacuum filtration | 91.08±0.35 | -1.15±0.23 | 23.35±0.66 |

Values are expressed as mean±SD.

Table 3. Physical properties of TEMPO-SCG film according to plasticizers

| Glycerol (%) | Physical properties | | |
|--------------|------------------------|----------------|----------------|
| | Tensile strength (MPa) | Elongation (%) | Thickness (mm) |
| 0 | 4.79±0.53 | 9.26±0.75 | 0.15±0.01 |
| 0.5 | 13.9±1.01 | 17.21±0.88 | 0.19±0.02 |
| 1 | 14.5±0.89 | 30.02±1.03 | 0.17±0.01 |
| 1.5 | 23.3±1.13 | 31.86±0.71 | 0.21±0.03 |
| 2 | 15.5±0.85 | 35.19±0.67 | 0.24±0.02 |

Values are expressed as mean±SD.

Table 4. Water barrier properties of TEMPO-SCG film according to plasticizers

| Glycerol (%) | Water barrier properties | |
|--------------|--------------------------|----------------------|
| | Moisture content (%) | Water solubility (%) |
| 0 | 15.22±0.18 | 50.12±1.49 |
| 0.5 | 14.16±0.22 | 48.13±1.77 |
| 1 | 12.66±0.14 | 45.10±1.68 |
| 1.5 | 10.92±0.16 | 40.44±1.16 |
| 2 | 9.29±0.16 | 39.21±1.22 |

Values are expressed as mean±SD.

보할 수 있는 대량 생산 공정 확보가 필요할 것으로 판단된다.

첨가제 사용에 따른 필름 특성

첨가제 사용에 따른 필름 측정은 용액 캐스팅에 의해 제조된 필름을 사용하였다. 물성 개선을 위한 첨가제로 가소제와 가교제 사용에 따른 필름의 물리적 성질 변화를 조사하였다(Table 3). 가소제로 사용되는 glycerol 첨가 비율이 높아질수록 신장률이 9.26%에서 35.19%로 증가하는 경향을 보였다. 인장강도 또한 첨가 비율이 높아짐에 따라 4.79 MPa에서 23.3 MPa로 증가하였으나 glycerol 2% 첨가에서는 15.5 MPa로 감소하였다. 따라서 가장 높은 인장강도, 신장률 측정값을 보인 glycerol 1.5% 첨가 필름을 최적 필름으로 선정하였다. 가소제 glycerol 첨가 비율에 따른 최종 필름의 수분 함량과 수분 용해도를 조사하였다(Table 4). 가소제 사용량이 증가함에 따라 최종 건조(20°C, 3 h)된 필름의 수분함량은 감소하였고, 건조된 최종 필름을 물에 담구어 교반(25°C, 24 h)한 후 측정된 수분 용해도 역시 가소제 함량이 증가함에 따라 감소하여 수분 흡습 제

어 효과가 있는 것으로 나타났다.

요 약

본 연구에서는 커피 제조 과정 중 발생하는 커피박으로부터 셀룰로오스를 가용화하여 친환경 포장 필름을 제조하고, 그 특성을 분석하여 재활용 소재 활용 가능성을 확대하고자 하였다. 셀룰로오스 필름을 제조하기 위한 탈리그닌, 친환경 비 산처리 방식인 TEMPO 산화 처리, 가소제와 가교제의 첨가, 초고압 처리, 필름 형성 과정 등 각 제조공정을 연구하고 최종 필름의 품질 특성을 조사하였다. 필름 측정은 용액 캐스팅에 의해 제조된 필름을 사용하였고, glycerol 1.5% 첨가 필름을 최적 필름으로 선정하였다. 현재 대부분의 식품 가공 부산물은 퇴비로 사용되거나 버려지는데 이러한 부산물들을 이용해 상업적으로 사용할 수 있는 고부가가치 소재로 재활용함으로써 부산물 처리 비용을 절감할 수 있고, 식품 부산물에 대한 인식을 개선할 수 있을 것이다. 친환경과 자원 순환은 미래 식품 산업에서 가장 중요한 발전 방향으로 지속가능한 자연 친화 포장재 개발과 포장 특성 연구는 식품 산업 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2018학년도 국립안동대학교 학술연구조성비에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

- Abdul Khalil HPS, Davoudpour Y, Nazrul Islam Md, Mustapha A, Sudesh K, Dungani R, Jawaid M. 2014. Production and Modification of Nanofibrillated Cellulose Using Various Mechanical Processes: A Review. *Carbohydr. Polym.* 99:649-65.
- Caetano N, Silva VFM, Melo AR, Martins A, Mata T. 2014. Spent Coffee Grounds for Biodiesel Production and Other Applications. *Clean Technol. Environ. Policy.*
- Campos Vega R, Loarca-Piña G, Vergara-Castañeda H, Oomah B. 2015. Spent Coffee Grounds: A Review on Current Research and Future Prospects. *Trends Food Sci. Technol.* 45(1):24-36.
- Cho MJ, Park BD. 2010. Current Research on Nanocellulose-Reinforced Nanocomposites. *J. Korean Wood Sci. & Tech.* 38(6):587-601.
- Choi HN, Lee TS, Yang JW, Lee SG. 2011. Characteristics of Soybean Protein Resin Modified by Plasticizers and Cross-Linking Agents. *J. Adhes. Interface* 12(2):73-80.
- Chung MS, Lee WH, You YS, Kim HY, Park KM. 2003. Manufacturing Multi-degradable Food Packaging Films and Their Degradability. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35(5):877-83.
- Evode N, Qamar SA, Bilal M, Barceló D, Iqbal HMN. 2021. Plastic Waste and Its Management Strategies for Environmental Sustainability. *Case Studies in Chemical and Environmental*

- Engineering 4:100142.
- Herrick FW, Casebier RL, Hamilton JK, Sandberg KR. 1983. Microfibrillated Cellulose: Morphology and Accessibility. Undefined.
- Hietala M, Rollo P, Kekäläinen K, Oksman K. 2014. Extrusion Processing of Green Biocomposites: Compounding, Fibrillation Efficiency, and Fiber Dispersion. *J. Appl. Polym. Sci.* 131(6).
- Hong HS, Kim YL, Oh MJ, Lee YM, Lee HJ, Cha ES. 2018. Overview for Coffee Grounds Recycling Technology and Future Concerns. *J. Korea soc. waste manag.* 35(7):587-99.
- Isogai A, Kato Y. 1998. Preparation of Polyuronic Acid from Cellulose by TEMPO-Mediated Oxidation. *Cellulose* 5(3):153-64.
- Isogai A, Saito T, Fukuzumi H. 2011. TEMPO-Oxidized Cellulose Nanofibers. *Nanoscale* 3(1):71-85.
- Klemm D, Kramer F, Moritz S, Lindström T, Ankerfors M, Gray D, Dorris A. 2011. Nanocelluloses: A New Family of Nature-Based Materials. *Angew. Chem. Int. Ed.* 50(24):5438-66.
- Kumar R, Hu F, Hubbell CA, Ragauskas AJ, Wyman CE. 2013. Comparison of Laboratory Delignification Methods, Their Selectivity, and Impacts on Physicochemical Characteristics of Cellulosic Biomass. *Bioresour. Technol.* 130:372-81.
- Lee JY, Park TU, Kim EH, Jo HM, Kim CH, Kim TY, Heo YD, Lee JH, Kim JK. 2017. Effect of Production Conditions on the Characteristics and the Drainage of Cellulose Nano-fibrils. *J. of Korea TAPPI* 49(3):126-35.
- Lim KP, Mun SP, Lee MK. 1997. Dissolving Pulp Manufacture : Pure Cellulose Making from the Lignocellulosic Materials. *Polym. Sci. Technol.* 8(5):608-21.
- Murthy PS, Naidu MM. 2012. Sustainable Management of Coffee Industry By-Products and Value Addition—A Review. *Resour. Conserv. Recycl.* 66:45-58.
- Mussatto SI, Carneiro LM, Silva JPA, Roberto IC, Teixeira JA. 2011. A Study on Chemical Constituents and Sugars Extraction from Spent Coffee Grounds. *Carbohydr. Polym.* 83(2):368-74.
- Nam GW, Kim MS, Ahn JH. 2017. Analyses for Current Research Status for the Coffee By-product and for Status of Coffee Wastes in Seoul. *J. Energ. Eng.* 26(4):14-22.
- Ragauskas AJ, Beckham GT, Biddy MJ, Chandra R, Chen F, Davis MF, Davison BH, Dixon RA, Gilna P, Keller M. 2014. Lignin Valorization: Improving Lignin Processing in the Biorefinery. *Science* 344(6185):1246843.
- Saito T, Kimura S, Nishiyama Y, Isogai A. 2007. Cellulose Nanofibers Prepared by TEMPO-Mediated Oxidation of Native Cellulose. *Biomacromolecules* 8(8):2485-91.
- Saito T, Nishiyama Y, Putaux JL, Vignon M, Isogai A. 2006. Homogeneous Suspensions of Individualized Microfibrils from TEMPO-Catalyzed Oxidation of Native Cellulose. *Biomacromolecules* 7(6):1687-91.
- Sun JX, Sun XF, Sun RC, Su YQ. 2004. Fractional Extraction and Structural Characterization of Sugarcane Bagasse Hemicelluloses. *Carbohydr. Polym.* 56(2):195-204.
- Turbak AF, Snyder FW, Sandberg KR. 1983. Microfibrillated Cellulose, a New Cellulose Product: Properties, Uses, and Commercial Potential. *J. Appl. Polym. Sci. Appl. Polym. Symp.* 37:815-827.
- You YS, Oh YS, Hong SH, Choi SW. 2015. International Trends in Development, Commercialization and Market of Bio-Plastics. *Clean Technology* 21(3):141-52.

Author information

오해원: 국립안동대학교 식품생명공학과 대학원생
(박사과정)

이승환: 국립안동대학교 식품생명공학과 부교수