

황칠나무 추출물을 함유한 폴리우레탄 나노섬유의 제조 및 특성

강다예 · 이정순[†]
충남대학교 의류학과

Preparation and Characterization of Polyurethane Nanofibers Containing *Dendropanax morbiferus* Extracts

Dayae Kang · Jungsoon Lee[†]

Dept. of Clothing and Textiles, Chungnam National University
Received February 2, 2024; Revised March 11, 2024; Accepted March 25, 2024

Abstract

In this study, we first analyzed the total polyphenol and flavonoid contents and the antioxidant activity of *Dendropanax morbiferus* extracts obtained from different parts using different solvents. We then investigated the possibility of producing *Dendropanax morbiferus* leaf extract loaded polyurethane (PU) nanofibers via electrospinning. The total polyphenol and flavonoid content and the antioxidant activity of the *Dendropanax morbiferus* leaf extracts obtained distilled water were found to be higher than those of the extracts obtained under other conditions, and it was therefore used to prepare the extracts/PU nanofibers by varying the concentrations of both the *Dendropanax morbiferus* leaf extract and PU. The most appropriate fiber morphology were when 1.5% and 1.0% of the *Dendropanax morbiferus* leaf extracts were added to 12% and 13% PU, respectively. Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy and X-ray diffraction (XRD) analyse reveal the successful incorporation of the *Dendropanax morbiferus* leaf extracts into the PU matrix. In addition, the nanofibers containing this leaf extract were confirmed to exhibit antibacterial properties against *Staphylococcus aureus*, suggesting the potential usefulness of nanofacial masks containing the *Dendropanax morbiferus* leaf extract.

Key words: Electrospinning, *Dendropanax morbiferus* extract, Antioxidant, Polyurethane nanofiber, Antibacterial; 전기방사, 황칠나무 추출물, 항산화, 폴리우레탄 나노섬유, 항균성

I. 서 론

질병과 노화를 일으키는 산화적 스트레스는 인체 내에서 정상적 대사과정에서도 발생하는 자연스러운 현상이다. 인체는 산화적 스트레스에 대항 할 수 있는 항산화 효소 시스템을 가지고 있으나 노화가 일어나

면서 스트레스를 견뎌낼 수 있는 능력을 상실하게 된다(Aruoma, 1998). 산화적 스트레스는 염증반응을 일으켜 다시 노화를 촉진하므로 인체 내에서 정상적인 항산화 효소시스템이 운영되기 위해서는 무엇보다도 항산화제의 역할이 중요하다. 일반적으로 인체는 식품의 섭취를 통해 항산화제를 공급 받으므로 안전하고 항산화 물질이 풍부한 천연식품 공급을 위해 인간이 이용 가능한 식물을 찾는 것이 중요하게 여겨지고

[†]Corresponding author
E-mail: jungsoon@cnu.ac.kr

있다(Kim et al., 2018; Shin et al., 2013). 천연 추출물은 친환경적이고 건강증진 효과, 질병예방 효과 등 여러 가지 기능성을 가지고 있으며 현대인들에 관심이 높아지고 있다. 의약품, 식품 뿐만 아니라 화장품, 천연 염색 등 여러 분야에서 응용하고 있다. 최근 다양한 천연 추출물에 관한 연구가 많이 진행되고 있고 천연추출물 함유하는 피부 관리 제품도 다양하게 출시되고 있다. 천연추출물을 이용한 피부 관리 제품 연구로는 도화, 황백, 구찌뽕나무, 산초, 황칠나무, 닥나무 등을 이용한 melanin 생성 억제 및 활성 산소 소거능을 가진 미백 소재 연구가 활발히 진행되고 있으며(Jeong, 2018), 국내 자생하는 천연자원 식물인 박하, 진피, 곱향, 건강, 당귀, 개똥쑥, 어성초, 국화, 구절초, 백출 등의 황산화 효과에 대한 연구를 통해 국화과 식물의 황산화 활성이 뛰어난 것이 밝혀진 바 있다(Kim et al., 2019). 또한 여드름 치료를 목적으로 곱향, 물푸레피, 백작약, 황금, 울무, 황백 등 추출물의 여드름균에 대한 항균기능을 평가한 연구(Kim & Ryu, 2010)와 발모 및 두피 개선에 하수오, 사삼, 꽃송이 버섯, 상괘피, 골쇄보, 상황버섯 등을 부작용 없는 안전한 천연추출물로 이용할 수 있다는 것을 밝힌 연구가 보고되어(Kim, 2014) 천연추출물을 이용한 관리가 가능함을 알 수 있다.

이러한 황산화물질이 풍부한 천연식물을 이용해 피부에 수분을 공급하고, 피부 장벽을 보호하며, 피부의 유분을 조절하는 기능이 입증되어 주름 개선과 노화방지의 목적으로 응용범위를 넓혀가고 있다(Delsin et al., 2015; Liu et al., 2011). 노화방지를 위한 스킨케어 제품 중 마스크시트는 통계적으로 유의하게 거친 피부와 주름을 개선하여 노화방지의 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며(Perugini et al., 2019), 최근에는 영양 성분 전달체인 시트의 역할이 강조되면서 마스크 팩 시트의 소재로 나노섬유가 주목 받고 있다(Byun et al., 2017; Fathi-Azarbayjani, 2010; Jang, 2017; Manatunga et al., 2020). MarkNtel Advisors(2023)는 노화방지 제품을 취급하는 아시아 태평양 노화방지 시장이 2023년부터 2028년까지 연평균성장률이 7.0%일 것으로 예상하여 마스크 팩 시장이 확대될 것으로 예상하였다. 따라서 나노섬유를 활용한 기능성 마스크 팩 시트 개발을 위해 다양한 천연추출물을 함유한 나노섬유의 기능성을 평가해야할 것으로 사료된다.

전기방사는 천연 중합체 및 합성 중합체 용액에 높은 전압을 가하여 나노미터 사이즈의 직경을 갖는 섬

유를 제조할 수 있는 기술이다. 전기방사된 나노섬유 웹은 일반섬유보다 섬유직경이 매우 가늘고 미세 공극 구조를 가지기 때문에 공기가 잘 통하고 세균을 차단하며 방수도 가능할 뿐만 아니라 미세공극 구조에 효소, 박테리아, 약물 등을 함유할 수 있어 보호복, 의료복과 같은 기능성 의류, 식품포장, 방음, 필터, 상처 드레싱 및 지지대 등 다양한 응용 분야에서 주목을 받고 있다(Fadil et al., 2021). Essa et al.(2021)은 시간이 지남에 따라 성능 저하 가능성이 있는 대부분의 정전기 필터 매체 마스크와 달리 기계적 여과를 특징으로 하는 나노섬유 기반 마스크는 효율이 저하되지 않음을 보고하였다. Khil et al.(2003)은 폴리우레탄 나노섬유 상처드레싱은 기공특성에 의해 수분 손실을 조절하고 산소투과율이 훌륭하여 상처치유에 도움을 주는 수단이 될 수 있다고 평가하였다. Chen et al.(2023)과 Woo and Lee(2021)는 황산화성분이 있는 천연추출물을 함유한 폴리우레탄 나노섬유를 제조하여 황산화 활성기능을 가지는 마스크 시트와 같은 헬스케어 응용분야로의 활용 가능성을 제시하였다.

황칠나무(*Dendropanax morbiferus*)는 아시아의 고유식물로 대한민국 남서부에 주로 분포하고 있는 두릅나무과에 속한 상록활엽수이다(Lee, 2015). 황칠나무의 학명에서 *dendro*는 나무, *panax*는 만병통치, *morbifera*는 병을 내쫓는다는 뜻을 가지고 있어 예부터 만병통치나무로 알려져 뿌리, 잎, 줄기는 전통적인 민간요법 약재로 사용되어 왔고, 잎은 우려서 차로 음용하기도 했다(Hwang et al., 2020; Lee et al., 2019). 조선시대의 농업백과사전에서는 황칠나무는 안식향, 구충제와 진정제로 쓰였다고 전해지고 있다(Lee et al., 2007). 황칠나무에 대한 최초의 과학적 연구는 1937년에 황칠의 정유성분에 대한 연구로 주성분은 세스퀴테르펜으로 보고하였다(Yasuda, 1937, as cited in Kim & Chung, 2000). 이후 황칠나무 잎의 메탄올 추출물에는 페놀성 화합물이 열수 추출물에는 리보플라빈의 구성물질 등이 포함되어 있다고 보고하였다(Hyun et al., 2015; Jang, 2015). 이러한 성분을 바탕으로 황칠나무의 다양한 효능에 대한 연구로는 황칠나무 잎의 열수추출물에서 분리 정제된 성분이 탈모를 지연시킨 연구(Lee et al., 2015), 알부틴보다 높은 멜라닌 합성 저해활성을 보여 황산화제 역할을 통해 미백 화장품의 원료로 적용이 가능함을 확인한 연구(Park et al., 2013), 콜레스테롤 합성 효소 저해효과 연구(Youn et al., 2018), 유방암 세

포주에 대한 항암효과에 대한 연구(Im et al., 2015), 황칠나무의 잎과 줄기, 뿌리 추출물의 항산화 기능을 확인한 연구(Hwang et al., 2020) 등이 보고되었다. 이상과 같이 황칠나무 추출물은 기능성 소재로서의 산업적 활용 가능성에 대한 연구는 많이 이루어져 있으나 나노섬유 제조에 응용한 사례를 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 황칠나무 추출물의 부위별, 추출 용매별 항산화 효과를 평가하였다. 또한 적절한 효과를 보인 황칠나무 추출물을 활용하여 Polyurethane(PU)/N,N-dimethylmethanamide(DMF) 용액에 첨가하여 전기방사하였다. 최적의 전기방사 조건을 도출하기 위해 방사용액에 첨가된 황칠나무 추출물의 농도와 PU 농도를 조절하여 그 morphology를 살펴보았다. 제조된 나노섬유는 뽀루지, 농가진 및 표피박탈 증후군과 같은 피부 감염 질환을 일으키는 포도상구균(Dryden, 2010)에 대한 항균성을 평가하여 천연추출물이 함유된 기능성 나노섬유 제조 가능성을 모색하였다.

II. 실험방법

1. 시료 및 시약

황칠나무는 한약재상에서 구입한 전라남도 완도군에서 생산되어 건조한 황칠나무를 잎과 가지를 분리하여 사용하였다. 나노섬유 제조에는 비중 1.12 g/cm^3 , 경도 95A를 갖는 폴리우레탄(polyurethane, E395M, Sunko Ink Co., Ltd., China)을 사용하였다. 폴리페놀 함량 측정을 위해 탄닌산(ACS reagent, Sigma Aldrich Co., USA)을, 플라보노이드 함량 측정을 위해 퀘르세틴(Quercetin)($\geq 95\%$, Sigma Aldrich Co., USA)이 사용하였다. DPPH 라디칼 소거능 활성과 ABTS 라디칼 소거능 활성을 측정하기 위해 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl($\geq 95\%$, Sigma Aldrich Co., USA), 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt($\geq 98.0\%$, Sigma Aldrich Co., USA), Potassium persulfate(99.0%, Samchun, Korea)를 사용하였다. 항균성을 측정하기 위해 5g의 Bacto™ tryptone(Animal origin, Korea), 2.5g의 Yeast extract(Bacterial Media, Acros Organics), 5g의 Sodium chloride(99.0%, Samchun, Korea), 5g의 Agar(100%, Samchun, Korea)로 제조된 LB배지(Luria-Bertani broth)에서 균

을 배양하였고, 균은 충남대학교 분자식물세균학실험실에서 배양된 황색포도상구균(*Staphylococcus aureus*)을 사용하였다.

2. 황칠나무 추출

건조 황칠나무 잎은 $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ 로 자르고, 가지는 잘려진 상태 그대로 하여 증류수와 30% 에탄올에 잎은 액비를 1:20, 가지는 1:3으로 하여 추출하였다. 증류수 추출물은 60°C 에서 60분간 황칠나무 잎과 가지를 각각 침지하여 얻었고 30% 에탄올 추출 방법으로는 25°C 에서 72시간 잎과 가지를 각각 침지시켰으며 모두 3회 반복하여 추출하였고 매회 침전물이 없을 때까지 여과지로 3회 걸러졌다. 회전증발농축기(RV10, IKA®, Germany)를 이용하여 증류수 추출물은 온도 100°C , 회전속도 55rpm으로, 에탄올 추출물은 온도 80°C , 회전속도 55rpm으로 감압농축하고 건조 후 무게의 변화가 없을 때까지 실시하여 고형물상태의 추출물을 얻어 사용하였다.

3. 황칠나무 추출물의 총 폴리페놀 함량 및 플라보노이드 함량 측정

건조된 황칠나무 잎과 가지의 증류수 추출물과 30% 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량을 Folin-Denis법을 변형하여 측정하였다(Swain & Hillis, 1959). 1mg/ml 농도로 희석된 황칠나무 추출물 0.2ml 에 Folin-Denis 요산시약 0.2ml 를 가하여 혼합 후에 실온에서 3분 동안 반응시키고 10% 탄산나트륨을 3ml 를 가해 차광상태의 암실에서 1시간 동안 반응시켰다. 반응시킨 시료는 분광광도계를 이용하여 흡광도를 745nm 에서 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 탄닌산을 증류수를 용매로 하여 $15.625, 31.25, 62.5, 125, 250\mu\text{g/M}$ 농도의 표준곡선을 사용하여 구하였다.

건조된 황칠나무 잎과 가지의 증류수 추출물과 30% 에탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량은 Nieva Moreno의 방법을 변형하여 측정하였다(Moreno et al., 2000). 10mg/ml 농도의 추출물용액 0.1ml 를 80% 0.4ml 의 에탄올과 혼합하고 10% 질산알루미늄 용액 0.1ml 와 1M의 80% 에탄올 4.7ml , 아세트산 칼륨용액 0.1ml 를 가하여 40분간 반응시켰다. 반응시킨 시료는 분광광도계를 이용하여 흡광도 415nm 에서 측정되었다. 총

플라보노이드 함량은 퀘르세틴을 62.5, 125, 250, 500 $\mu\text{g}/\text{Ml}$ 의 농도로 증류수에 희석된 용액의 표준곡선을 사용하여 구하였다.

4. 황칠나무 추출물의 DPPH 라디칼, ABTS 라디칼 소거활성 측정

DPPH 라디칼 소거능은 Brand-Williams 등의 방법을 변형하여 측정하였다(Kim et al., 2018). 용매별 황칠나무 추출물 각각을 1~4mg/ml 농도로 희석한 0.1ml 용액에 0.4mM DPPH 용액 1ml를 혼합하고 에탄올 1.4 ml를 첨가하여 암실에서 30분간 반응시켜 분광광도계를 사용하여 517nm에서 흡광도를 측정하고 <Eq. 1>을 사용하여 DPPH 라디칼 소거능을 계산하였다.

ABTS 라디칼 소거능은 일부 변형된 Re 등의 방법으로 측정하였다(Kim et al., 2018). 1:1(v/v)로 혼합된 14mM ABTS와 4.9mM potassium persulfate 용액을 12~16시간 동안 차광된 암실에서 ABTS를 양이온으로 반응시켜 734nm에서 흡광도 값이 0.7~0.8이 되도록 증류수를 용매로 희석하여 사용하였다. 희석된 0.95ml의 ABTS⁺용액 1~4mg/ml 농도의 황칠나무 추출물 0.05ml를 혼합하고 10분 후 734nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거능은 <Eq. 1>을 사용하여 계산하였다.

$$\text{Radical Scavenging Activity} = \left(1 - \frac{As}{Ac}\right) \times 100$$

..... Eq. 1.

As: Absorbance of the solution with the extract

Ac: Absorbance of the solution without the extract

5. 황칠나무/PU 나노섬유 제조

천연추출물을 첨가하여 PU 전기방사 웹 제조를 수행한 선행연구(Woo & Lee, 2021)에서 N,N-Dimethylformamide(DMF) 용매에 용해한 PU 고분자 용액에 추출물을 첨가했을 때 viscosity가 증가하며 PU 고분자 용액의 viscosity가 1200cP 이상이 되어야 전기방사가 가능하다는 점을 참고하여 본 연구에서는 PU 방사용액의 농도를 12wt%, 13wt%로 하여 전기방사에 이용하였다. DMF에 PU 고분자를 12wt%, 13wt%의 농도로 첨가하여 12시간 교반하고 1시간 초음파 처리하였

다. 각각의 용액에 항산화물질 함유량이 높게 나타난 일 증류수 추출물을 각각 0.5, 1, 1.5, 2wt%를 첨가하여 다시 12시간 교반하고 1시간 초음파 처리함으로써 황칠나무 추출물을 함유하는 황칠나무/PU 복합 방사용액을 제조하였다. 방사용액의 점도는 점도계(viscometer, NDJ-8S, Shanghai)를 이용하여 습도 31%, 온도 16°C 환경에서 3회 측정하였다. 전기방사는 15 kV의 전압과 0.3ml/h의 방출속도, 15cm의 방사거리(TCD, Tip to Collector Distance)로 전기방사를 실시하였다.

6. 황칠나무/PU 나노섬유의 표면형태 측정

황칠나무/PU 나노섬유의 형태를 관찰하기 위해 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)을 이용하였고 얻어진 나노섬유 SEM 이미지는 이미지 분석 프로그램(Image Processing and Analysis, ImageJ, NIH, USA)으로 50군데의 섬유 직경을 측정하였다.

7. 황칠나무/PU 나노섬유의 물리화학적 분석

전기방사를 통해 제조된 황칠나무 추출물/PU 나노섬유의 구조적 특성을 확인하기 위해서 나노섬유를 표면반사 적외선 분광기(FT-IR spectrophotometer, ALPHA-P, Bruker, Germany)를 이용하여 분석하였다. 또한 황칠나무 추출물과 PU가 혼합될 때 두 분자 간의 결합구조가 변화하는지 살펴보기 위해 고분해능 X선 회절분석기(High Resolution Powder X-Ray Diffractometer, SmartLab, RIGAKU)를 통해 측정하였다. Cu K-alpha-1의 X-ray wavelength를 사용하여 diffractogram은 5-70° 범위의 2θ를 Stepsize 0.5°/sec의 속도로 측정하였다.

8. 황칠나무/PU 나노섬유의 항균성

항균 활성 측정은 KS K ISO 20743(Korean Standards Association, 2022)의 평판 계수법(plate count method)을 참고하여 시행되었다. 피부에 염증을 일으킬 수 있다고 알려진 황색포도상구균을 24시간 배양하여 튜브에 1ml씩 옮기고 원심분리기를 이용해 3,000rpm으로 2000초 동안 세균을 워싱하는 과정을 2

회 반복하였다. 워싱턴 세균의 Optical density를 1.0으로 조정하고 페트리디쉬에 올려져 있는 멸균 처리된 나노섬유(50×50mm)에 200μl를 접종한 후 실링하지 않은 상태에서 28°C 인큐베이터에서 24시간 동안 배양하였다. 세균이 배양된 나노섬유는 멸균수가 담긴 팔콘 튜브에 넣어 30초 Vortexing, 30초 초음파처리 과정을 3회 반복하여 나노섬유에 배양된 세균을 탈착시켰다. 세균이 탈착된 용액 100μl를 LB배지에 도말하였다. 이 배지는 실링된 상태로 인큐베이터에서 24시간 동안 28°C의 온도로 배양된 후에 세균의 콜로니 수가 측정되었고 <Eq. 2>에 따라 정균감소율을 산출하였다.

$$Antibacterial\ rate\ (\%) = \frac{(M_b - M_c)}{M_b} \times 100 \dots\dots Eq. 2.$$

M_b: The number of bacteria after incubation of control specimen for 24 hours

M_c: The number of bacteria after incubation of test specimen for 24 hours

III. 결과 및 고찰

1. 황칠나무 추출물의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

건조 황칠나무의 잎과 가지를 증류수와 30% 에탄올을 용매로 추출한 추출물의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량을 <Table 1>에 나타내었다. 황칠나무 잎의 증류수 추출물, 30% 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량은 각각 244mg/g, 99mg/g으로 측정되었고 총 플라보노이드 함량은 각각 1326mg/g, 30% 에탄올 추출물 807mg/g으로 측정되었다. 가지의 총 폴리페놀 함량은 증류수 추출물과 30% 에탄올 추출물 각각 177mg/g,

37mg/g으로 측정되었으며 총 플라보노이드 함량은 각각 732mg/g, 377mg/g으로 측정되었다. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 잎이 가지보다 높았으며 증류수 추출물이 30% 에탄올 추출물보다 높았다. 황칠나무 잎을 메탄올-초음파로 추출한 연구(Park & Han, 2016)에서는 폴리페놀의 함량이 74mg/g, 플라보노이드의 함량이 97mg/g인 것으로 나타났는데, 이를 통해 황칠나무 추출물의 총 폴리페놀과 플라보노이드의 함량은 추출용매에 따라 달라지고 증류수나 30% 에탄올로 추출하면 항산화활성을 보이는 것을 알 수 있다. 황칠나무 잎으로부터 분리되는 퀘르세틴은 페놀성화합물로 항산화활성 능력이 뛰어나다고 보고되고 있는데 (Mahakunakorn et al., 2004; Rice-Evans et al., 1997), 페놀의 히드록실기(-OH)에 의해 질병과 노화를 일으키는 활성산소종(ROS, Reactive oxygen species)(Chung et al., 2006; Kim & Park, 2011)의 산화활동을 억제하고 제거함으로써(Rice-Evans et al., 1997) 항산화작용 및 항염효과를 일으킨다(Cha et al., 1999; Lu & Foo, 2000).

2. 황칠나무 추출물의 DPPH 라디칼 및 ABTS 라디칼 소거능

건조된 황칠나무의 잎과 가지의 증류수 추출물, 30% 에탄올 추출물 각각의 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능의 측정 결과는 <Fig. 1>과 <Fig. 2>에 나타내었다.

DPPH 라디칼 소거 활성은 페놀성 및 방향족 아민 화합물을 함유한 화합물의 항산화 활성을 측정하는데 널리 사용되는 방법이고 ABTS 라디칼 소거 활성은 친수성 및 친유성 물질에 대한 항산화 활성을 측정하는데 사용되는 방법으로, 사슬 차단 항산화제와 수소공여 항산화제를 모두 측정할 수 있다(Choi et al., 2003; Kim & Park, 2011).

건조황칠나무 잎 증류수 추출물과 30% 에탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 각각 77.87~94.04%,

Table 1. Total polyphenol and total flavonoid contents of *Dendropanax morbiferus* extracts

Extracts		Total polyphenol contents (mg/g)	Total flavonoid contents (mg/g)
Leaves	Distilled water extracts	244±11.80	1326±67.63
	30% Ethanol extracts	99±12.76	807±61.32
Branches	Distilled water extracts	177±12.40	732±21.11
	30% Ethanol extracts	37±3.29	77±6.69

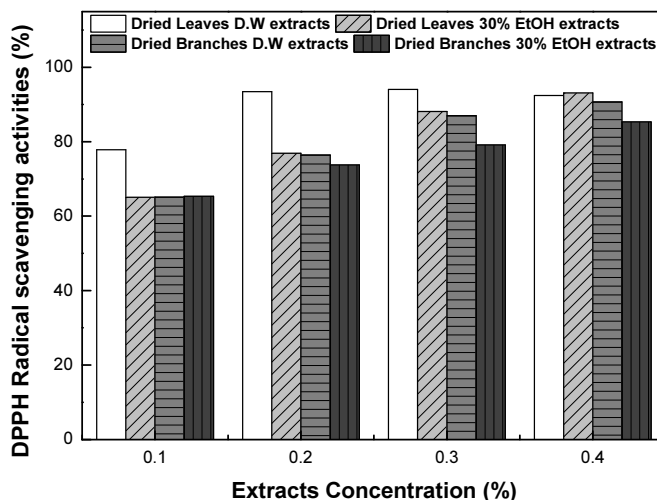


Fig. 1. DPPH Radical scavenging activities of *Dendropanax morbiferus*.

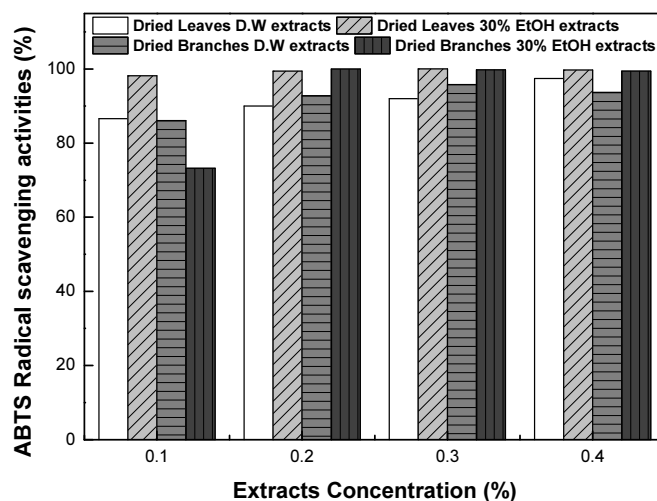


Fig. 2. ABTS Radical scavenging activities of *Dendropanax morbiferus*.

65.07~93.08%로 나타났으며, 가지의 용매별로 각각 65.17~90.68%, 65.19~85.34%로 측정되었다. ABTS 라디칼 소거능은 잎의 증류수 추출물 86.56~97.42%, 30% 에탄올추출물 98.18~100%로 나타났고 가지의 증류수 추출물은 86.05~95.80%, 30% 에탄올 추출물은 73.20~99.96%로 나타났다. 추출 부위별로 잎이 가지보다 높은 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능을 보여 잎이 가지보다 항산화활성이 높음을 알 수 있으며 용매별로 살펴봤을 때 DPPH 라디칼 소거능

은 증류수로 추출했을 때 높게 나타났고, ABTS 라디칼 소거능은 30% 에탄올로 추출했을 때 비교적 높게 나타났다. DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능 모두 농도에 의존적으로 항산화활성이 증가하며 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능 평가를 종합하여 보았을 때 잎의 추출물이 가지의 추출물보다 높은 항산화활성을 나타내었다.

전기방사액과 혼합된 천연추출물 중 아로니아(Woo & Lee, 2021)와 어성초(Chen et al., 2023), 황칠나무의

앞과 가지의 추출물을 비교했을 때 황칠나무의 잎과 가지의 증류수 추출물의 DPPT 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능이 다른 두 추출물보다 약 10.57~58.72% 높으며, 에탄올추출물 또한 DPPT 라디칼 소거능에서 황칠나무의 잎과 가지 추출물이 약 28.10~50.97% 높고 ABTS 라디칼 소거능은 모든 추출물이 97.12~100%로 비슷한 수준을 보이므로 황칠나무 추출물은 전기방사를 이용한 나노섬유 제조에 첨가할 기능성 재료로 이용이 가능할 것으로 보인다.

3. 황칠나무/PU 방사용액의 점도 및 나노섬유의 형태(SEM)

고분자와 용매로부터 작은 크기의 섬유를 얻기 위해 전기방사하면(Pedicini & Farris, 2003) 고분자의 특성이 전기방사조건에 영향을 미친다. 혼합된 두 가지 이상의 성분을 한 번에 같은 노즐에서 방사하기 위해서는 각기 다른 성분 간의 상용성(compatibility)이 없어야 하며 서로 긴밀히 섞일 수 있도록 혼합성이 좋아야 한다(Akanbi et al., 2021; Kim & Park, 2003). 용액의 점도가 전기방사에 알맞은 수준 이하일 경우 섬유에 beads가 형성되고 점도가 전기방사에 적당한 수준보다 클 경우 리본형상의 구조가 나타나게 되어(Demir et al., 2002; Fong et al., 1999; Kim & Lee, 2019; Park et al., 2017) 전기방사에 알맞은 조건을 설정하는 것이 중요하다. 따라서 황칠나무 잎 증류수 추출물이 함유된 나노섬유를 제조할 때 균일하고 안정적인 섬유의 형성 조건을 확인하였다. 황칠나무 잎 증류수 추출물은 잎 30% 에탄올 추출물과 가지의 증류수, 30% 에탄올 추출물보다 폴리페놀함량과 플라보노이드 함량이 높으며 DPPH 라디칼 소거능이 높아 항산화 활성이 확인되어 기능성 나노섬유 제조에 적합할 것으로 사료된다. 첨가된 황칠나무 잎 증류수 추출물의 농도에 따른 방사용액의 점도는 <Table 2>에 나타내었고 전기방사 후 얻어진 나노섬유의 섬유 형태는 <Table 3>에, 직경의 분포는 <Fig. 3>과 <Fig. 4>에 나타내었다. PU 12wt%와 13wt% 방사용액 모두 추출물을 첨가할수록 점도가 높아지고 방사용액의 점도가 높아짐에 따라 섬유의 직경은 증가하는 경향을 보였다. 또한 형성된 나노섬유는 서로 다른 각도로 무작위로 배향되어 있는 것을 확인 할 수 있었다. 12wt% PU용액을 단독방사할 경우 섬유상이 나타나지 않았으며 추출물 0.5, 1wt%를 첨가할 때까지 beads가 나타나 적절한 섬유의 형상

Table 2. Viscosity of electrospinning solution

PU concentration (wt%)	<i>Dendropanax morbiferus</i> extracts concentration (wt%)	Viscosity (centipoise)
12	0	1210±10
	0.5	1276±5
	1	1333±11
	1.5	1370±17
	2	1530±17
13	0	1504±3
	0.5	1542±5
	1	1690±11
	1.5	1777±21
	2	2020±5

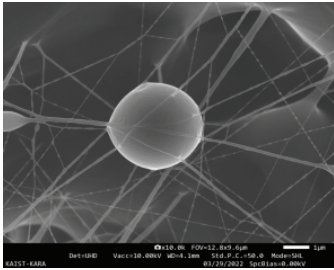
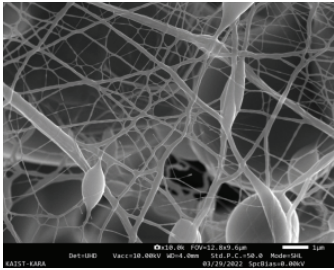
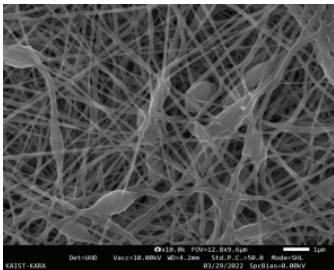
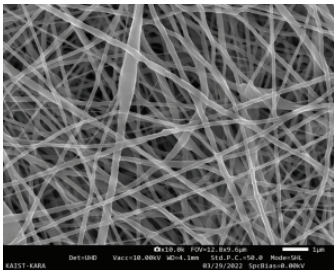
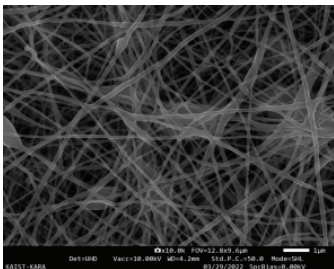
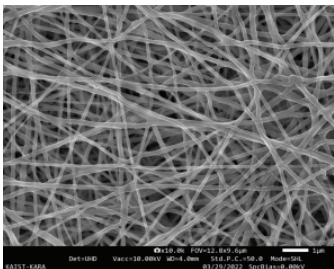
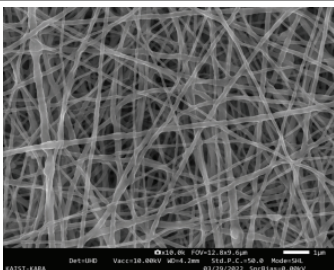
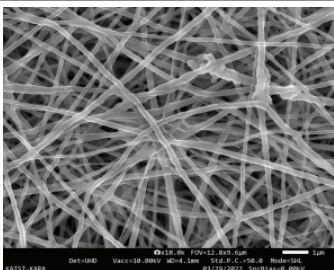
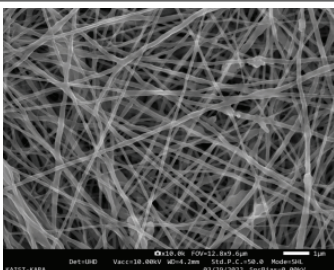
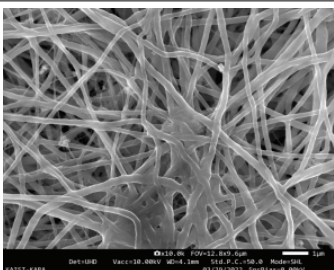
을 보이지 않았고 직경은 각각 94±28, 80±25nm로 나타났다. 추출물 1.5wt%를 첨가했을 때 158±41nm의 직경으로 beads가 없이 적절한 섬유상을 형성했고 2wt% 첨가하면 직경이 140±48nm로 나타났지만 섬유끼리 엉키는 리본형상을 보였다. 13wt% PU 방사용액 역시 단독 방사할 경우 섬유상이 나타나지 않으며 0.5wt% 추출물을 첨가했을 때 평균 165±70nm의 섬유상에 종모양의 섬유형상을 보인다. 추출물 1wt%를 첨가했을 때 140±34nm의 직경으로 beads가 없이 적절한 섬유상을 형성했다. 그러나 1.5wt%, 2wt%를 첨가하여 방사하면 섬유의 직경은 각각 156±47, 192±43nm로 직경이 증가하면서 모두 리본형상을 보였다. 따라서 12% PU에 황칠나무 잎 추출물 1.5%, 13% PU에 황칠나무 잎 추출물 1%를 첨가하는 것이 비교적 균일한 나노 섬유를 제조 할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 황칠나무/PU 나노섬유의 적외선 흡수 스펙트럼(FT-IR)

적외선 흡수 스펙트럼을 통해 황칠나무 잎 증류수 추출물/PU 나노섬유의 화학성분을 분석함으로써 황칠나무 잎 증류수 추출물과 PU 고분자의 상용성을 확인하고자 하였다. 황칠나무 잎 증류수 추출물이 첨가되지 않은 12% PU 나노섬유와 0, 0.5, 1, 1.5, 2wt%의 황칠나무 잎 증류수 추출물을 첨가하여 방사된 12% PU 나노섬유의 적외선 흡수 스펙트럼을 비교한 결과를 <Fig. 5>에 나타내었다.

PU 단독방사 나노섬유와 추출물이 함유된 나노섬

Table 3. The SEM images of the nanofibers

Extract (wt%)	PU(wt%)	
	12	13
0		
0.5		
1		
1.5		
2		

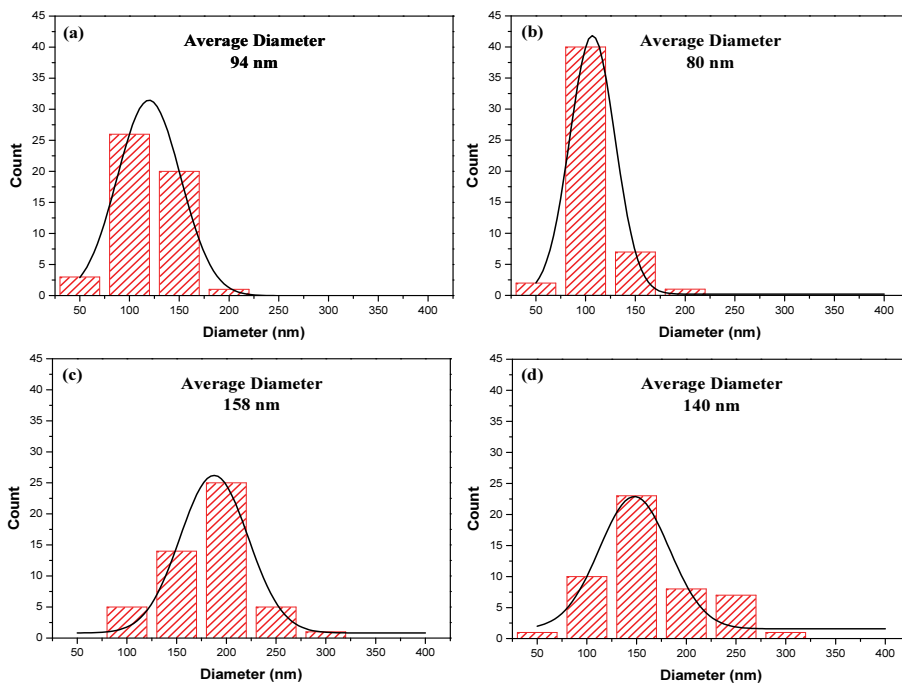


Fig. 3. Diameter distribution histograms of *Dendropanx morbiferus*/12 wt% PU nanofibers: (a) 0.5wt%, (b) 1wt%, (c) 1.5wt%, (d) 2wt%.

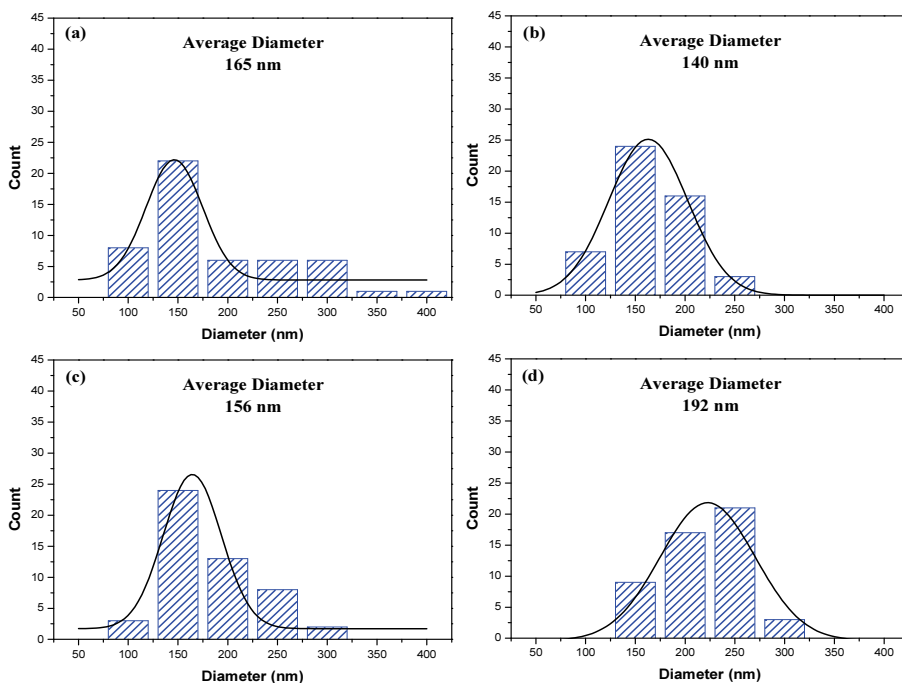


Fig. 4. Diameter distribution histograms of *Dendropanx morbiferus*/13 wt% PU nanofibers: (a) 0.5wt%, (b) 1wt%, (c) 1.5wt%, (d) 2wt%.

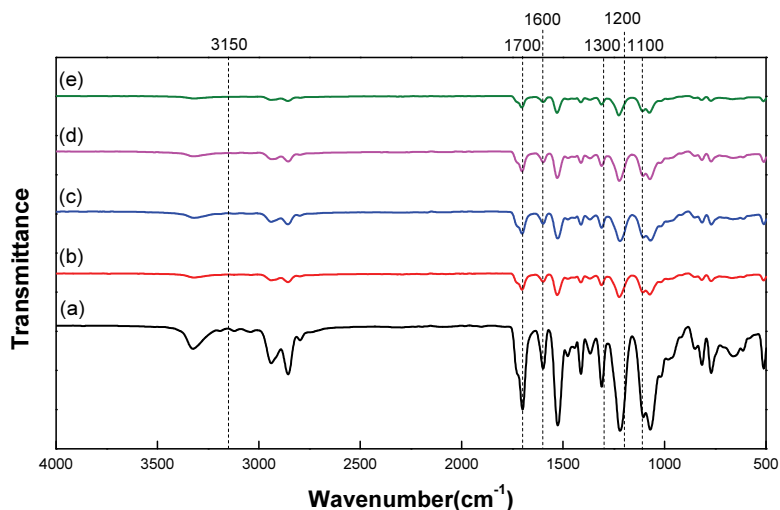


Fig. 5. FT-IR spectra of 12 wt% PU nanofiber by different concentrations of dried *Dendropanax morbiferus* leaves extracts (a) 0, (b) 0.5, (c) 1, (d) 1.5, (e) 2 wt% (Voltage: 15kV, TCD: 15cm and solution feed rate: 0.3ml/h).

유에서 주된 PU의 적외선 흡수 스펙트럼 특징인 3150 cm^{-1} ~3500 cm^{-1} 에서 urethane 그룹의 -NH 신축진동(stretching vibration)이 관찰되었다. 1600 cm^{-1} ~1800 cm^{-1} 에서 카르보닐기 amide I 에서 기인한 C=O 신축진동이, 1200 cm^{-1} ~1300 cm^{-1} 에서 PU-urea-imide copolymer 에서 기인한 흡수피크가 나타났고 1100 cm^{-1} 에서 ether 그룹에서 기인한 C-O-C 신축진동이 확인되었다(Kwon et al., 2022; Mishra et al., 2006; Silva et al., 2011).

적외선 흡수 스펙트럼 분석 결과 황칠나무 잎 추출물의 첨가 없이 단독방사된 나노섬유의 흡수피크의 형태가 추출물을 함유한 PU나노섬유에서도 변화 없이 유지되었다. 이를 통해 황칠나무 잎 추출물은 PU의 분자를 바꾸지 않고 혼합되어 결합했다는 확인할 수 있다.

5. 황칠나무/PU 나노섬유의 X-선 회절분석(XRD)

X-선의 회절현상을 통해 시료를 구성하고 있는 원소들의 결합형태를 통해 결정구조를 분석할 수 있고, 원소들의 고유한 회절패턴에 기반한 조성 해석이 가능하다(Moon & Lee, 2019). 따라서 건조된 황칠나무 잎 증류수 추출물을 0, 0.5, 1, 1.5, 2 wt%의 농도별로 첨가시켜 제조한 PU 나노섬유의 결정구조 및 결정성을 확인하기 위해 X-선 회절분석을 실시하였고 결과를

<Fig. 6>에 나타내었다.

X-선 회절분석 결과, 20°부근에서 PU의 특징 피크를 확인할 수 있었고(Mani et al., 2019; Mishra et al., 2022; Nirmala et al., 2013), 추출물 첨가농도가 증가할수록 그 피크가 완만해지는 것을 보아 결정성이 감소한다는 것으로 분석된다. 이는 PU와 황칠나무 추출물 사이에 수소결합의 내·외부 분자 간 결합이 발생하여 결정화에 기여하는 PU의 분자량이 줄어들기 때문으로 사료된다(Park et al., 2010). 따라서 PU분자와 황칠나무 추출물 분자 간에 상호작용이 이루어져 혼합된 상태에서 방사가 되었다는 것을 알 수 있다.

6. 황칠나무/PU 나노섬유의 항균성

<Table 4>는 황색포도상구균에 대한 항균성 시험 결과를 나타낸 것이다. 황칠나무 잎 추출물이 첨가되지 않은 PU 나노섬유의 경우 평균 황색포도상구균의 수가 $216.5 \pm 8.5 \times 10^0$ CFU/ml로 나타났고, 1.5% 황칠나무 잎 추출물이 첨가된 나노섬유의 경우 $20.5 \pm 4.5 \times 10^0$ CFU/ml로 나타나 황칠나무 추출물을 함유하지 않은 섬유에 비해 약 10배 이상의 항균성을 보였다. 실험 배지의 균수를 계산하여 정균감소율로 <Table 5>에 나타내었다. 황칠나무 잎 추출물을 함유한 나노섬유의 정균감소율이 90.3%로 나타나 황칠나무 잎 추출물

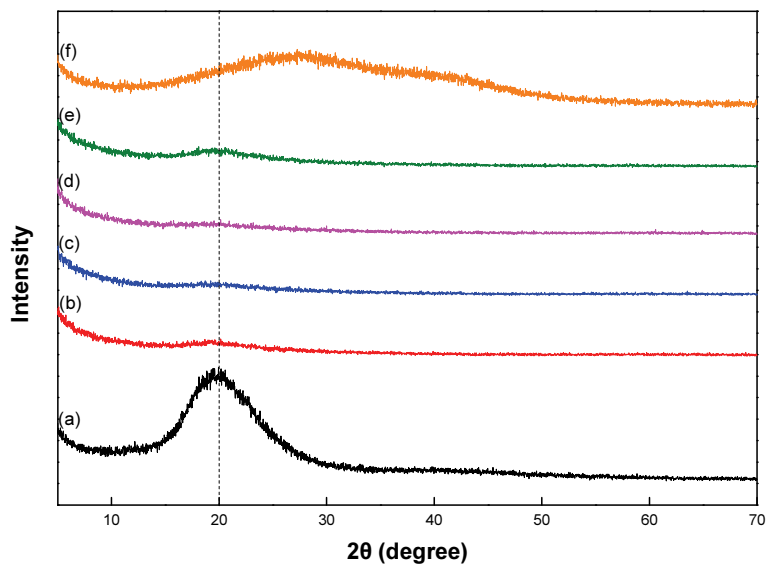


Fig. 6. XRD patterns of 12wt% PU nanofiber by different concentrations of dried *Dendropanax morbiferus* leaves extracts (a) 0, (b) 0.5, (c) 1, (d) 1.5, (e) 2wt% (Voltage: 15kV, TCD: 15cm and solution feed rate: 0.3ml/h), (f) *Dendropanax morbiferus* leaves extracts.

Table 4. Photographs of *Staphylococcus aureus* experiment of 12wt% PU nanofiber with or without *Dendropanax morbiferus* leaves extract (Voltage: 15kV, TCD: 15cm and solution feed rate: 0.3ml/h)

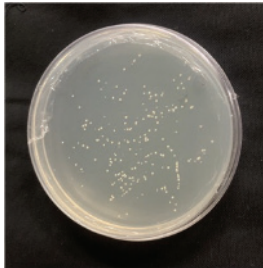
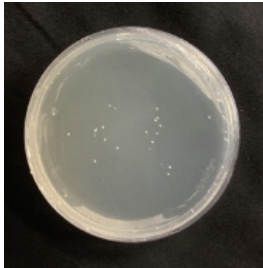
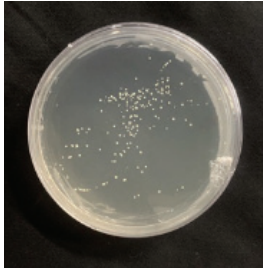
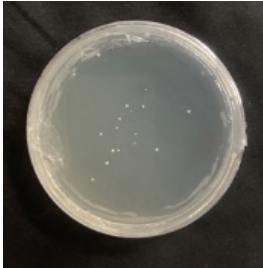
	<i>Dendropanax morbiferus</i> leaves extract concentration (wt%)	
	0	1.5
1st		
2nd		

Table 5. Antibacterial property of 12% PU nanofibers loaded 1.5% *Dendropanax morbiferus* leaves extract

	Colony forming unit (CFU/100ml)		Antibacterial rate (%)
	Control specimen	Test specimen	
1st	225	16	92.88
2nd	208	25	87.98
Average	216.50	20.50	90.43

이 함유된 나노섬유는 황칠나무 잎 추출물이 함유되지 않은 나노섬유에 비해 항균성이 향상되었다.

IV. 결 론

본 연구에서는 30% 에탄올과 증류수를 용매로 하여 황칠나무 잎과 가지를 각각 추출하고 추출물의 항산화 성분과 항산화 활성을 분석하였다. 그 후 PU에 항산화 효과가 좋은 황칠나무 잎 증류수 추출물을 첨가하여 전기방사로 황칠나무 잎 증류수 추출물/PU 나노섬유를 제조하였다. 적절한 황칠나무 잎 증류수 추출물/PU 나노섬유 제조 조건을 찾기 위해 전기방사된 나노섬유의 형태를 확인하고, 폴리우레탄과 황칠나무 잎 추출물의 적합성(compatibility)을 확인하기 위해 물리화학적 구조 변화를 분석하였으며 항균기능성을 살펴보았다.

황칠나무 추출물의 폴리페놀과 플라보노이드 함량을 측정된 결과 잎이 가지보다 항산화성이 높을 것으로 분석되었으며, DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능을 측정된 결과 잎과 가지 모두 농도 의존적으로 항산화활성이 증가하였고 잎이 가지보다 높은 항산화활성을 보였다. DPPH 라디칼 소거능은 증류수 추출물이 높게 나타났고 ABTS 라디칼 소거능은 30% 에탄올로 추출했을 때 높게 나타났다. 폴리페놀과 플라보노이드 함량과 DPPH 라디칼 소거능이 다른 부위와 용매 추출물보다 높다고 확인된 황칠나무 잎의 증류수 추출물을 PU에 교반하여 나노섬유를 제조하고 자할 때 12% PU에 추출물 1.5%를, 13% PU에는 추출물 1.0%를 첨가하는 것이 가장 적절한 섬유상을 형성하는 것으로 분석되었다. 적외선 흡수 스펙트럼, X-선 회절분석 결과 황칠나무 잎 증류수 추출물은 PU matrix 내에 성공적으로 결합했다는 것을 확인 하였다. 황칠나무 잎 증류수 추출물을 첨가한 나노섬유는 피부 질환을 일으킬 수 있는 황색포도상구균에 대한 항균

성은 황칠나무 잎 증류수 추출물이 함유하지 않은 섬유에 비해 약 10배 이상의 항균성을 보였다.

스킨케어 제품의 관심이 높아지며 피부관리에 대한 소비자의 관심 또한 증가할 것으로 전망된다. 피부관리 스킨케어 제품 중 마스크시트는 전기방사를 통해 나노섬유로 제조되어 사용될 수 있으므로 항균성이 향상된 황칠나무 잎 증류수 추출물/PU 나노섬유는 마스크팩으로의 이용이 가능할 것으로 기대된다. 추후 제조된 황칠나무 잎 증류수 추출물/PU 나노섬유의 흡수성, 보습성, 밀착성, 미백효과 등 실험을 통해 피부미용 마스크팩의 기능성을 확인할 수 있는 후속연구가 필요할 것으로 사료된다.

1. 사사

해당사항 없음.

2. 연구윤리

해당사항 없음.

3. 데이터 및 자료 가용성

본 연구에 사용된 데이터는 합당한 요청이 있는 경우 교신저자가 학술적인 증거로서 제공 가능함.

4. 이해관계 상충

해당사항 없음.

5. 연구비 지원

해당사항 없음.

6. 저자의 기여

DK, JL은 실험 설계 및 실험, 데이터 분석, 실험 결과 논의, 원고 작성을 함께 담당하였고, 모든 저자는 최종 원고를 읽고 승인하였음.

7. 저자 정보

강다예 충남대학교 의류학과, 박사과정
이정순 충남대학교 의류학과, 교수

References

- Akanbi, M. J., Jayasinghe, S. N., & Wojcik, A. (2021). Characterisation of electrospun PS/PU polymer blend fibre mat for oil sorption. *Polymer*, *212*, 123129. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.123129>
- Aruoma, O. I. (1998). Free radicals, oxidative stress, and antioxidants in human health and disease. *Journal of American Oil Chemists' Society*, *75*(2), 199–212. <https://doi.org/10.1007/s11746-998-0032-9>
- Byun, S. Y., Cho, M. K., Shim, K. H., Kim, H. J., Song, H. G., & Shin, H. S. (2017). Development of a spirulina extract/alginate-embedded PCL nanofibrous cosmetic patch. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, *27*(9), 1657–1663. <https://doi.org/10.4014/jmb.1701.01025>
- Cha, J.-Y., Kim, H.-J., Chung, C.-H., & Cho, Y.-S. (1999). Antioxidative activities and contents of polyphenolic compound of cudrania tricuspidata. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, *28*(6), 1310–1315.
- Chen, M. X., Haider, M. K., Kim, I. S., & Lee, J.-S. (2023). Characterization of antioxidant Houltuynia cordata extracts loaded polyurethane nanofibers. *Fashion and Textiles*, *10*, 17. <https://doi.org/10.1186/s40691-023-00333-z>
- Choi, Y., Kim, M., Shin, J.-J., Park, J.-M., & Lee, J. (2003). The antioxidant activities of the some commercial teas. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, *32*(5), 723–727. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2003.32.5.723>
- Chung, H. Y., Sung, B., Jung, K. J., Zou, Y., & Yu, B. P. (2006). The molecular inflammatory process in aging. *Antioxidants, & Redox Signaling*, *8*(3–4), 572–581. <https://doi.org/10.1089/ars.2006.8.572>
- Delsin, S. D., Fossa, M. M., Mercurio, D. G., & Maia Campos, P. M. B. G. (2015). Clinical efficacy of dermocosmetic formulations containing Spirulina extract on young and mature skin: Effects on the skin hydrolipidic barrier and structural properties. *Clinical Pharmacology & Biopharmaceutics*, *4* (4), 1000144. <https://doi.org/10.4172/2167-065X.1000144>
- Demir, M. M., Yilgor, I., Yilgor, E., & Erman, B. (2002). Electrospinning of polyurethane fibers. *Polymer*, *43*(11), 3303–3309. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00136-2](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00136-2)
- Dryden, M. S. (2010). Complicated skin and soft tissue infection. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *65*(3), 35–44. <http://doi.org/10.1093/jac/dkq302>
- Essa, W. K., Yasin, S. A., Saeed, I. A., & Ali, G. A. M. (2021). Nanofiber-based face masks and respirators as COVID-19 protection: A review. *Membranes*, *11*(4), 250. <https://doi.org/10.3390/membranes11040250>
- Fadil, F., Affandi, N. D. N., Misnon, M. L., Bonnia, N. N., Harun, A. M., & Alam, M. K. (2021). Review on electrospun nanofiber-applied products. *Polymers*, *13*(13), 2087. <https://doi.org/10.3390/polym13132087>
- Fathi-Azarbayjani, A., Qun, L., Chan, Y. W., & Chan, S. Y. (2010). Novel vitamin and gold-loaded nanofiber facial mask for topical delivery. *American Association of Pharmaceutical Scientists*, *11*(3), 1164–1170. <https://doi.org/10.1208/s12249-010-9475-z>
- Fong, H., Chun, I., & Reneker, D. H. (1999). Beaded nanofibers formed during electrospinning. *Polymer*, *40*(16), 4585–4592. [https://doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00068-3)
- Hwang, C. E., Kim, S. C., Cho, C. S., Song, W. Y., Joo, O. S., & Cho, K. M. (2020). Comparison of chlorogenic acid and rutin contents and antioxidant activity of Dendropanax morbiferus extracts according to ethanol concentration. *Korean Journal of Food Preservation*, *27*(7), 880–887. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2020.27.7.880>
- Hyun, T. K., Ko, Y.-J., Kim, E.-H., Chung, I.-M., & Kim, J.-S. (2015). Anti-inflammatory activity and phenolic composition of Dendropanax morbifera leaf extracts. *Industrial Crops and Products*, *74*(15), 263–270. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.002>
- Jang, H.-I. (2017). A study on the characteristic of mask sheets. *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, *34* (4), 787–798. <https://doi.org/10.12925/jkocs.2017.34.4.787>
- Jang, J. Y. (2015). *Hair protection effects after applying a treatment of Dendropanax Morbifera leaf extract to a permanent wave according to ultraviolet irradiation* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Wonkwang.
- Jeong, S.-H. (2018). A review of current research on natural skin whitening products. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, *16*(8), 599–607. <https://doi.org/10.20402/ajbc.2018.0243>
- Khil, M.-S., Cha, D.-I., Kim, H.-Y., Kim, I.-S., & Bhattariai, N. (2003). Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing. *Journal of Biomedical Materials Research*, *67*(2), 675–679. <http://doi.org/10.1002/jbm.b.10058>
- Kim, D. B., & Park, J. H. (2003). 전기방사에 의한 나노섬유 제조 및 응용 [Electrospinning for nanofiber fabrication and applications]. *The Korean Institute of Electrical Engineers*, *52*(8), 33–40.
- Kim, H. R., & Chung, H. J. (2000). Chemical characteristics of the leaves and the seeds of Korean Dendropanax(Dendropanax morvifera Lev.). *Journal of the Korean Society of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, *43*(1), 63–66.
- Kim, J.-W., Um, M., & Lee, J.-W. (2018). Antioxidant activities of hot water extracts from different parts of Rugosa rose (Rosa rugosa Thunb.). *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, *46*(1), 38–47. <http://doi.org/10.5658/WOOD.2018.46.1.38>

- Kim, K. S. (2014). Research trends relevant hair growth promotion and scalp condition improvement by applying natural extracts. *Korean Journal of Aesthetics and Cosmetology*, 12(1), 17–24.
- Kim, M.-J., & Park, E. (2011). Feature analysis of different in vitro antioxidant capacity assays and their application to fruit and vegetable samples. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 40(7), 1053–1062. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2011.40.7.1053>
- Kim, M. O., & Lee, J. S. (2019). The effect of 10, 12-pentacosadiynoic acid on the morphology and characteristics of electrospun PDA/PU nanofibers. *Fashion and Textiles*, 6, 27. <http://doi.org/10.1186/s40691-019-0183-3>
- Kim, S. S., & Ryu, H. W. (2010). Screen of natural extracts having antimicrobial effects on acnes strains. *Journal of the Korean Society of Esthetics & Cosmeceutics*, 5(3), 27–35.
- Kim, S. Y., Kim, S. M., & Park, S. J. (2019). Antioxidant activities of natural essential oils derived from Korean endemic plants. *Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences*, 31(1), 17–25.
- Korean Standards Association. (2022, August). *KS K ISO 20743*. <https://www.standard.go.kr/streamdocs/view/sd;streamdocid=72622265354633737>
- Kwon, S. Y., Park, S. Y., Paik I. K., & Chung, I. (2022). Synthesis and self-healing properties of waterborne polyurethane based on polycarbonate and polyether polyol. *Journal of Adhesion and Interface*, 23(1), 8–16. <https://doi.org/10.17702/jai.2021.23.1.8>
- Lee, C., Yang, M., & Moon, J.-O. (2019). Antioxidant and hepatoprotective effects of the ethanol extract of *Dendropanax morbifera* Leveille on the t-butyl hydroperoxide-induced HepG2 cell damages. *Korean Journal of Pharmacognosy*, 50(1), 32–36.
- Lee, G. (2015). *이근식의 황칠나무 이야기* [A story about *Dendropanax morbiferus* by Lee]. Nexen Media.
- Lee, H. J., Cho, S. H., Jung, N. W., & Cha, K. H. (Eds.). (2007). *임원십육자: 정조지* [In the agricultural economy]. Gyo-moon.
- Lee, S. Y., Choi, E.-J., Bae, D.-W., Lee, D.-W., & Kim, S. (2015). Effects of 1-tetradecanol and β -sitosterol isolated from *Dendropanax morbifera* Lev. on skin whitening, moisturizing and preventing hair loss. *Journal of the Society of Cosmetic Scientists of Korea*, 41(1), 73–83. <https://doi.org/10.15230/SCSK.2015.41.1.73>
- Im, K.-J., Jang, S.-B., & Yoo, D.-Y. (2015). Anti-cancer effects of *Dendropanax morbifera* extract in MDA-MB-231 cells. *The Journal of Korean Obstetrics and Gynecology*, 28(2), 26–39. <https://doi.org/10.15204/jkobgy.2015.28.2.026>
- Liu, J. G., Hou, C. W., Lee, S. Y., Chuang, Y., & Lin, C. C. (2011). Antioxidant effects and UVB protective activity of Spirulina (*Arthrospira platensis*) products fermented with lactic acid bacteria. *Process Biochemistry*, 46(7), 1405–1410. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.03.010>
- Lu, Y., & Foo, L. Y. (2000). Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace. *Food Chemistry*, 68(1), 81–85. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00167-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00167-3)
- Mahakunakorn, P., Tohda, M., Murakami, Y., Matsumoto, K., & Watanabe, H. (2004). Antioxidant and free radical-scavenging activity of Choto-san and its related constituents. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 27(1), 38–46. <http://doi.org/10.1248/bpb.27.38>
- Manatunga, D. C., Godakanda, V. U., Herath, H. M. L. O. B., Rohini, H. M. L. P., de Silva, R. M., Yeh, C., Chen, J., de Silva, A. A. A., Rajapaksha, S., Nilmini, R., & Silva, K. M. N. (2020). Nanofibrous cosmetic face mask for transdermal delivery of nano gold: Synthesis, characterization, release and zebra fish employed toxicity studies. *Royal Society open Science*, 7(9), 201266. <https://doi.org/10.1098/rsos.201266>
- Mani, M. P., Jaganathan, S. K., & Supriyanto, E. (2019). Enriched mechanical strength and bone mineralisation of electrospun biomimetic scaffold laden with ylang ylang oil and zinc nitrate for bone tissue engineering. *Polymers*, 11(8), 1323. <https://doi.org/10.3390/polym11081323>
- MarkNtel Advisors. (2023, April). *Asia-pacific anti-aging market research report: Forecast (2023-2028)*. <https://www.marknteladvisors.com/research-library/asia-pacific-anti-aging-market.html>
- Mishra, A. K., Chattopadhyay, D., Sreedhar, B., & Raju, K. (2006). FT-IR and XPS studies of polyurethane-urea-imide coatings. *Progress in Organic Coatings*, 55(3), 231–243. <http://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2005.11.007>
- Mishra, S., Nathsarma, S. K., Mishra, K. G., & Paramguru, R. K. (2022). Antimicrobial activity of silver nanoparticles on *Pseudomonas aeruginosa*: Influence of particle size controlled through mixed current. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 58(2), 184–193. <https://doi.org/10.3103/s1068375522020065>
- Moon, D. H., & Lee, M. S. (2019). Possibility about application and interpretation of surface nondestructive X-ray diffraction method for cultural heritage samples by material. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 32(4), 287–301. <http://doi.org/10.9727/jmsk.2019.32.4.287>
- Moreno, M. I. N., Isla, M. I., Sampietro, A. R., & Vattuone, M. A. (2000). Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *Journal of Ethnopharmacology*, 71(1), 109–114. [http://doi.org/10.1016/s0378-8741\(99\)00189-0](http://doi.org/10.1016/s0378-8741(99)00189-0)

- Nirmala, R., Kalpana, D., Navamathavan, R., Lee, Y. S., & Kim H. Y. (2013). Preparation and characterizations of silver incorporated polyurethane composite nanofibers via electrospinning for biomedical applications. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 13(7), 4686–4693. <http://doi.org/10.1166/jnn.2013.7192>
- Park, J. H., Karim, M. R., Kim, I. K., Cheong, I. W., Kim, J. W., Bae, D. G., Cho, J. W., & Yeum, J. H. (2010). Electrospinning fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/montmorillonite/silver hybrid nanofibers for antibacterial applications. *Colloid and Polymer Science*, 288(1), 115–121.
- Park, S. A., Park, J. C. Park, I. Y., Jie, J., Hwang, Y. C., Kim, Y. H., Jeon, S. H., Lee, H. M., Ha, J. H., & Kim, K. J. (2013). Cellular antioxidant activity and whitening effects of *Dendropanax morbifera* leaf extracts. *Microbiology and Biotechnology Letters*, 41(4), 407–415. <https://doi.org/10.4014/kjmb.1311.11001>
- Park, S., Kim, H., & Han, S. (2017). Development of electrospun cellulose acetate membranes using carbon nanotubes for filtration of particulate matter in the air. *Korean Chemical Engineering Research*, 55(1), 68–73. <https://doi.org/10.9713/kcer.2017.55.1.68>
- Park, Y. M., & Han, J. S. (2016). A study on the utilization of *Dendropanax morbifera* Lev. Leaf extract for material of functional cosmetics and hair growth products. *Asian Journal of Beauty & Cosmetology*, 14(3), 277–288. <https://doi.org/10.20402/ajbc.2016.0051>
- Pedicini, A., & Farris, R. J. (2003). Mechanical behavior of electrospun polyurethane. *Polymer*, 44(22), 6857–6862. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2003.08.040>
- Perugini, P., Bleve, M., Redondi, R., Cortinovi, F., & Colpani, A. (2019). In vivo evaluation of the effectiveness of bio-cellulose facial masks as active delivery systems to skin. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(3), 725–235. <https://doi.org/10.1111/jocd.13051>
- Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science*, 2(4), 152–159.
- Shin, Y.-J., Hwang, J.-M., & Lee, S.-C. (2013). Antioxidant and xanthine oxidase inhibitory activities of hot water extracts of medicinal herbs. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 42(10), 1712–1716. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2013.42.10.1712>
- Silva, G. R., Silva-Cunha Jr., A., Behar-Cohen, F., Ayres, E., & Orefice, R. L. (2011). Biodegradable polyurethane nanocomposites containing dexamethasone for ocular route. *Materials Science and Engineering*, 31(2), 414–422. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2010.10.019>
- Swain, T., & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.: The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63–68.
- Woo, H. W., & Lee, J. S. (2021). Characterization of electrospun *Aronia melanocarpa* fruit extracts loaded polyurethane nanoweb. *Fashion and Textiles*, 8, 12. <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00250-z>
- Youn, J. S., Kim, M. S., Na, H. J., Jung, H. R., Song, C. K., Kang, S. Y., & Kim, J. Y. (2018). Screening test for *Dendropanax morbifera* Leveille extracts: In vitro comparison to ox-LDL-induced lipid accumulation, ethanol-induced fatty liver and HMG-CoA reductase inhibition. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 61(1), 1–8. <http://doi.org/10.3839/jabc.2018.001>