

아로니아 부산물 이용한 바이오-탄성소재의 항균 특성

전영상*, 소순영**, 전용진**

*한국과학기술연구원 국가기반연구소

**청운대학교 화학공학과

e-mail:yjchun@chungwoon.ac.kr

Fabrication of Bioelastomer with Aronia waste and its anti-bacterial property

Young-Sang Chun*, Soon-Young Soh**, Yong-Jin Chun**

*National Agenda Research Division, Korea Institute of Science and Technology

**Department of Chemical Engineering, Chungwoon University

요약

이 연구는 농산물 가공산업에서 발생하는 아로니아 부산물의 잔류 유효성분을 고부가가치 원료로 활용하기 위하여 바이오-탄성소재를 제작하여 기능성을 평가하였다. 폴리다이메틸실록세인은 비독성 탄성 소재로 사용하였고, 이에 대조군 (아로니아 열매)과 실험군 (아로니아 부산물)의 함량 비율을 각 50 wt%로 하여 기능성 소재를 제작하였다. DPPH 항산화 시험을 기준으로, 실험군 분말은 대조군 분말 대비 71%의 효능을 보였으며 실험군으로 제작한 소재의 항산화능은 대조군 대비 71%로 바이오-탄성소재의 기능성이 유효함을 확인하였다. 제작된 소재의 항균력 평가는 그람 양성균에서 그람 음성균 보다 더 효과적이었다.

1. 서론

농산물 가공 산업에서 주스 가공 공정은 큰 시장 중 하나이다. 공정에서 발생하는 부산물은 일부 가축 사료로 이용되지만 대부분 폐기되어 환경오염을 야기한다 [1]. 그러나 부산물은 여전히 기능성 물질인 타닌, 플라보노이드, 비타민, 그리고 지방산이 잔존해 있다 [2]. 이러한 천연 기능성 물질들은 항산화 그리고 항균 효능이 있으므로 식품 산업에서 보존제나 포장제로 각광받고 있다. 보고된 문헌에 따르면 부산물을 이용하여 고부가가치 재료로 활용하기 위한 다양한 연구가 있다. 포도씨, 토마토 껍질, 쌀 겨를 폴리프로필렌, 폴리비닐알코올, 폴리에틸렌, 폴리다이메틸실록세인과 같은 고분자와 가공하여 항산화 또는 항균 효능을 지닌 바이오 소재로 개발한다 [3]. 특히, 필름 형태의 기능성 소재는 식품 포장, 화장품, 의료 분야에서 널리 이용 가능한 잠재력이 있다.

아로니아는 플라바놀, 안토시아닌, 그리고 페놀산과 같은 다양한 폴리페놀을 함유한 기능성 열매이다. 폴리페놀은 항산화, 항균, 그리고 항염증성을 보이는 건강기능성 천연 소재이다 [4]. 고기능성 열매인 아로니아는 식품 가공 공정을 통해 소비되지만 건조중량의 약 50%는 부산물이다. 지속가능한 환경의 관점에서, 잔존하는 기능성 천연소재의 이용과 부산물 처리

방법이 필요하다.

폴리다이메틸실록세인은 비독성, 열적안정성, 탄성을 지닌 실리콘 기반 물질로서 식품 및 화장품 분야에서 널리 이용되는 재료이다. 또한 가공이 용이하며, 소수성 표면은 수분 저항성을 보이고 기체 투과도가 낮으므로 식품 포장에 광범위하게 사용가능하다 [5]. Covid-19에 의한 포장 식품에 대한 급격한 수요 증가는 식품 산업에서 가격 효율적이고 안전한 포장재 개발이 필요하다.

이번 연구는 아로니아 부산물에 잔존하는 기능성 천연소재를 이용하여 고부가가치 재료로 개발하는 것이다. 아로니아 부산물의 항산화 효능을 평가하고 필름형태의 재료로 가공하여 기능성을 확인하였다. 고분자 소재로는 폴리다이메틸실록세인을 이용하여 비독성의 유연성 있는 바이오-탄성 소재로 가공하였다. 제작된 소재의 기계적 강도를 평가하였고, 표면 형태를 관찰하여 물리적 특성을 확인하였다. 또한, 바이오-탄성소재의 아로니아 부산물에서 기인한 고기능성 천연소재의 효능을 평가하였다. 필름 형태의 소재는 그람 양성균과 그람음성균에 대하여 각각 항균 효능을 확인하였다.

2. 실험

2.1 바이오-탄성소재 제작

아로니아 부산물 (실험군, E)은 23,000 rpm의 분쇄후 수집하였고 40 °C에서 3일간 건조하였다. 아로니아 과육 (대조군, C)은 동결건조하여 준비하였다. 각각의 분말은 90 μm 이하로 수집하였다. 준비된 분말과 폴리다이메틸실록세인 (Elastosil E43, Wacker)은 5:5의 중량비로 10 ml의 헵테인에 첨가하여 빠른 교반을 통해 분산 시켰다. 현탁액을 Petri dish에 붓고 상온에서 건조하여 필름 형태의 바이오-탄성소재를 제작하였다. 최종적으로, 순수한 필름은 pristine Film, 대조군인 아로니아 과육을 포함하는 필름은 C-Film, 실험군인 아로니아 부산물을 포함하는 필름은 E-Film으로 명명하였다.

2.2 바이오-탄성소재 물리적 특성 평가

바이오-탄성소재의 기계적 강도는 ASTM D882 규격에 따라 만능 시험기 (Universal Testing Machine, model 4467, Instron)를 이용하여 평가하였다. 바이오-탄성소재의 표면 특성은 주사전자현미경 (FE-SEM, S-4800, Hitach)를 이용하여 관찰하였다.

2.3 바이오-탄성소재 항산화능 평가

바이오-탄성소재의 항산화능은 DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거능으로 평가하였다. 2 g의 소재는 20 ml의 50% 에탄올에 담근 후 100 °C에서 1시간 방치하여 추출물을 회수하였다. 500 μl의 추출물은 1:1의 부피비로 0.5 M DPPH 용액과 25 °C에서 30분간 반응시켰다. Epoch Microplate Spectrophotometer(Biotek, USA)를 사용하여 517 nm에서 반응물의 흡광도를 측정하였다. UV 흡광도 분석에서 바탕시료는 메탄올이고, 대조군은 1:1 부피비의 메탄올과 DPPH 용액이다.

2.4 바이오-탄성소재 항균능 평가

바이오-탄성소재의 항균 활성은 그람양성균으로 선정된 *Staphylococcus aureus*와 그람음성균으로 선정된 *Escherichia coli*을 사용하여 평가하였다. 박테리아는 영양배지에서 37 °C에서 24시간동안 150 rpm의 회전배양기에서 성장시켰다. 10⁶ CFU/ml 의 박테리아를 한천 배지에 접종시킨후, 1 cm³의 바이오-탄성소재를 중앙에 놓고 37 °C에서 24시간동안 배양하였다. 항균 활성은 Image J 소프트웨어 (v1.52i, National Institutes of Health)를 이용하여 판단하였다.

3.1 기계적 특성 및 표면 형태

2종의 다른 분말을 포함하는 바이오-탄성소재와 pristine Film의 인장강도를 측정하여 기계적 강도를 평가하였다 (Figure 1). 폴리다이메틸실록세인은 탄성 고분자로서 247%의 변형지점에서 0.07 MPa의 인장강도를 보인다. C-Film의 파단 지점은 110%의 변형지점에서 0.036 MPa을 보이고 E-Film은 148 %의 변형지점에서 0.013 MPa 이다. 바이오-탄성소재의 인장강도 저하는 분말이 폴리다이메틸실록세인 고분자 결합도 감소를 야기함으로 추정된다.

소재의 표면 형태는 분말을 포함함에 따라 폴리다이메틸실록세인 결합도의 변화를 보여준다 (Figure 2). Pristine Film의 매끄러운 표면은 폴리다이메틸실록세인의 견고한 결합에 의한 것이다. 반면, C-Film과 E-Film의 표면은 분말의 함유로 인해 결합도 형성을 방해하는 구멍이 관찰된다. 이 결과는 바이오-탄성소재의 인장강도 감소와 관계가 있음을 보여준다. 따라서, 기계적으로 견고한 바이오-탄성소재 제작은 결합도에 영향을 미치지 않는 최적 분말 함량비 또는 최적 분말 크기가 요구가 판단된다.

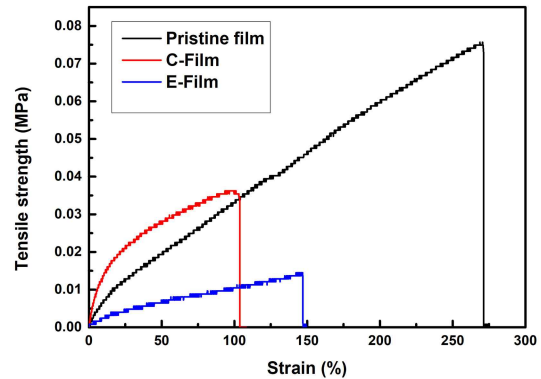


Figure 1. Tensile strength of pristine Film, C-Film, and E-Film.

3.2 항산화 특성

Table 1. Radical scavenging activity of powder-type and film-type.

	Radical scavenging activity (%)
C-Powder	89.1
C-Film	49.3
E-Powder	63.7
E-Film	35.6

DPPH 라디칼 소거능을 이용하여 항산화 특성을 평가하였다 (표 1). 실험군인 아로니아 부산물은 대조군인 아로니아 과육 분말에 비하여 71.3 %의

3. 결과 및 고찰

잔존 기능성 천연물질에 의한 항산화 능력이 확인되었다. E-Film의 소거능 역시 C-Film 대비 71.9%의 항산화 능력이 확인되어 폴리다이메틸실록세인 기반의 바이오-탄성소재의 기능성은 우수함을 확인하였다.

3.3 항균 특성

바이오-탄성소재의 항균 효과는 그람양성균과 그람음성균에 대하여 각각 평가되었다 (Figure 3). 무독성인 폴리다이메틸실록세인은 균 성장에 영향을 미치지 않음이 확인되어 바탕시료로 적합하였다 (Figure 3 (a) and (d)). 바이오-탄성소재에 포함된 아로니아의 기능성 천연물질에 의한 항균 효과는 그람음성균 보다 그람양성균에 대하여 더 높게 확인되었다 (Figure 3 (b), (c), (e), and (f)). 그람양성균 실험의 경우, 실험군인 E-Film이 대조군인 C-Film 보다 확실한 항균 효과가 있음이 관찰되었다. 이는 분말에 포함된 기능성 천연물질의 방출 정도에 영향이 있음으로 추정된다. 주사전자현미경에서 관찰 하였듯이, E-Film에 포함된 아로니아 부산물 분말이 외부에 더 노출되어있기 때문이다.

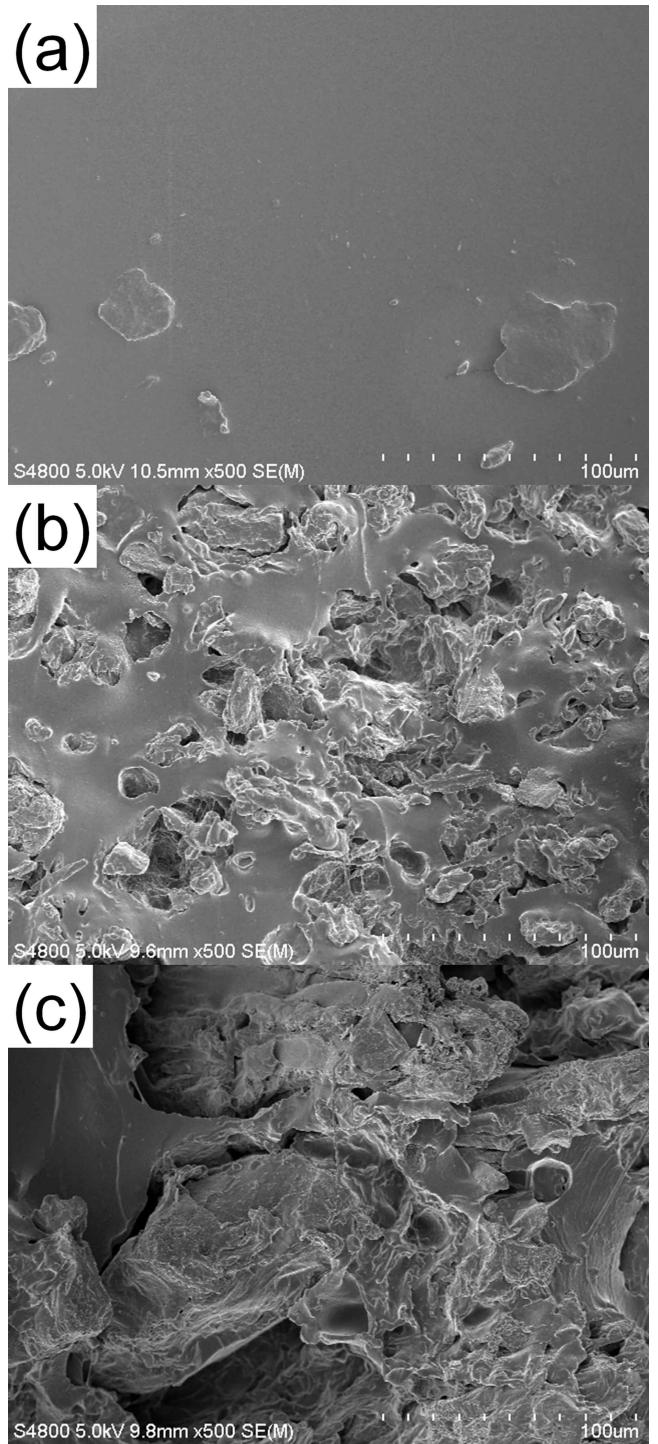


Figure 2. FE-SEM images of (a) Pristine Film, (b) C-Film, and (c) E-Film.

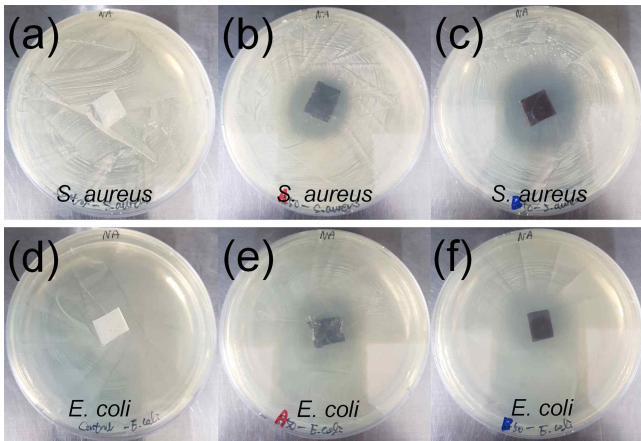


Figure 3. Anti-bacterial activity of Pristine Film (a,d), C-Film (b, e), and E-Film (c, f).

4. 결론

이 연구는 농산물 가공식품 부산물의 고부가가치 물질로 활용 하는 방법에 관한 것이다. DPPH 항산화 평가를 통해, 아로니아 부산물에 잔존하는 천연 항산화 효능은 과육 대비 71%로 우수한 항산화 효능을 확인하였다. 이를 이용하여 50 wt%의 분말을 포함하는 폴리다이메틸실록세인 기반의 기능성 바이오-탄성소재를 제작하였다. 제작된 소재의 항균 효과는 그람음성균 보다 그람양성균에서 우수한 효능을 나타내었다. 반면, 기계적 강도와 표면 분석을 통해 바이오-탄성소재 제작시 분말의 이용은 폴리다이메틸실록세인의 고분자 결합도를 저해하는 것으로 확인되었다. 이는 후속 연구를 통해 혼합비 최적화 또는 분말 크기 제어를 통해 고부가가치 활용 방법을 고안해야 한다.

References

- [1] I. Zerva, N. Remmas, and S. Ntougias, “ Biocatalyst potential of cellulose-degrading microorganisms isolated from orange juice processign waste”, beverages, Vol 5, No. 1, pp. 21, 2019.
<https://doi.org/10.3390/beverages5010021>
- [2] F. Lyu, S. F. Luiz, D. S. P. Azeredo, A. G. Cruz, S. Ajiouni, C. S. Ranadheera, “Apple pomace as a functional and healty ingredient in food products: A review”, proceeses, Vol 8, No. 3, pp. 319, 2020.
<https://doi.org/10.3390/beverages5010021>
- [3] T. N. Tran, J. A. Heredia-Guerrero, B. T. Mai, L. Ceseracciu, L. Marini, A. Athanassiou, I. S. Bayer, “Bioelastomers based on cocoa shell wasete with antioxidant ability” Advanced Sustainable Systems, Vol 1,

No. 7, pp. 1700002, 2017.

<https://doi.org/10.1002/adsu.201700002>

[4] E. Mayer-Miebach, M. Adamuik, D. Behsnilian, “Stability of chokeberry bioactive polyphenols during juice processing and stabilization of a polyphenol-rich material from the by-product”, agriculture, Vol 2, No. 3, pp. 244-258, 2012.

<https://doi.org/10.3390/agriculture2030244>

[5] B. Zhang, Q. Dong, C. E. Korman, Z. Li, M. E. Zaghoul, “Flexible pacaking of solid-state intergrated circuit chips with elastomeric microfluidics” Scientific reports, Vol 3, No. 1098, 2013.

<http://doi.org/10.1038/srep01098>