

셀룰로오스 나노 파이버를 적용한 레토르트 포장재 개발

Development of Retort Packaging Material Using Cellulose Nano Fiber

*Corresponding author

Kang Koo
(kookang@anpolyinc.com)

이진희, 최정락¹, 구강^{2*}

중앙대학교 식물생명공학과, ¹한국섬유개발연구원, ²쥬에이엔폴리

Jinhee Lee, Jeongrak Choi¹ and Kang Koo^{2*}

Department of Plant Science and Technology, Chung-Ang University, Anseong, Korea

¹Korea Textile Development Institute, Daegu, Korea

²ANPOLY INC., Pohang, Korea

Received_February 01, 2021
Revised_February 16, 2021
Accepted_February 22, 2021

Abstract As modern society develops, it becomes very complex and diverse, and interests in the convenience of life and the natural environment are gradually increasing. Products used in our daily life are also changing according to the needs of consumers, and food packaging is one of them. In particular, retort packaging materials have been used for the purpose of long-term preservation of contents, but the appearance of products suitable for recent environmental issues has been somewhat delayed. Therefore, in order to develop eco-friendly and human-friendly products by replacing the metals used in the existing retort packaging materials, the possibility of substitution was examined using cellulose nanofibers, a natural material. As a result, it can be seen that all functions can be replaced according to the existing long-term storage characteristics for retort packaging films. In particular, not only oxygen permeability and water vapor permeability, which are one of the most important factors, but also heat resistance, which is heating durability, is evaluated as applicable to commercialization compared to products using metals currently in use.

Textile Coloration and Finishing

TCF 33-1/2021-03/40-47

© 2021 The Korean Society of Dyers and Finishers

Keywords cellulose nano fiber, retort packaging film, laminate, oxygen permeability, water vapor permeability, biodegradable

1. 서 론

현대 사회의 중요한 부분은 보다 쾌적하고 안정적이며 안전한 생활을 영위하는 것이고 또 이것이 인류의 열망이다. 이는 우리 생활 주변의 다양한 사물에 의해 편리함과 익숙함에 속달 되어 있지만 처음에는 생활의 편리함으로 사용하는 것이 주 목적이었지만 지금은 지구환경에 영향을 적게 주는 제품 즉 전세계적으로 주목받고 있는 이산화탄소나 에너지 저감 등으로 이어지는 친환경 및 인간친화성에 관심을 모으고 있다.

현재 우리 주변에서 없어서는 안될 중요한 상품포장재로서 레토르트 포장재는 식료품에서부터 공산품의 포장에 매우 다양

하게 또 보편적으로 사용되는 포장재이다. 레토르트 포장재용 필름은 각각의 필름을 여러겹 라미네이트하여 여러 레이어를 가지는 다층 구조로 구성된다. 그 이유는 내용물의 변질을 막기 위해 산소나 수증기 투과를 최대한 억제하고 취급이 편리하게 하기 위함이다. 그러므로 지금까지의 레토르트 포장재는 주로 알루미늄 호일을 사용하거나 알루미늄을 증착한 필름을 사용해 왔다. 이러한 제품들은 유통기간 중에 접착한 가장자리에 크랙이 생기는 경우가 있어 내부의 제품이 변질하는 경향을 보이기도 했다. 이를 개선하기 위해서 금속성의 필름을 사용하지 않는 완전 새로운 셀룰로오스 나노 파이버(cellulose nano fiber, CNF) 필름을 사용하여 레토르트용 포장재를 제조하면 기존의 포장재와는 다른 친환경적이며 상대적 경량성을 나타내

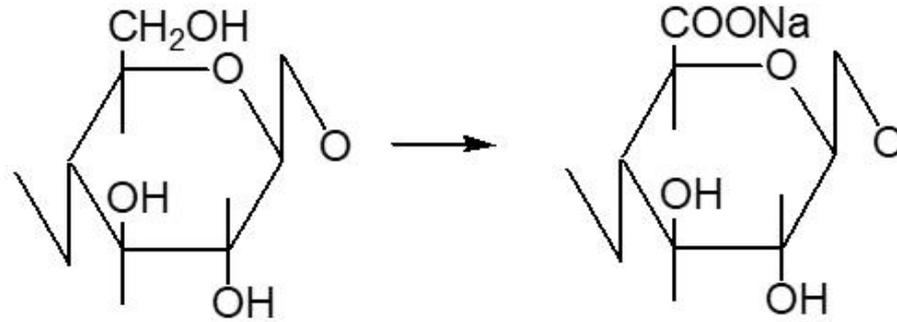


Figure 1. Chemical structure of TEMPO-CNF.

고 알루미늄을 사용할 때와는 다른 이지케어성을 나타낼 수 있는 친환경 포장재를 제조할 수 있게 된다.

셀룰로오스 나노파이버는 펄프의 세포벽에서 추출한 직경이 나노 오더의 섬유로서 주성분이 천연의 셀룰로오스이며 특히 aspect ratio가 커서 다양한 분야에서 적용 가능한 소재로 평가 받고 있다. 여기에서는 이러한 새로운 CNF 포장재를 제조하여 기존의 Al 호일을 사용한 포장재나 PET 필름 위에 Al 증착(Alox-PET)한 포장재와 비교함으로써 대체제로서의 가능성을 알아보고 금속을 사용하고 있는 현재의 레토르트 포장재의 환경 부담과 인간친화성을 개선하고자 한다. 우리보다 10여년 이상 먼저 연구를 시작한 일본의 경우에도 포장재의 실용화에 대한 제품 개발은 아직 전무한 상태이다.

이에 일본에서의 기초연구 사례를 바탕으로 기존의 물성은 유지하며 Al을 사용한 레토르트 필름을 대체하고 이산화탄소 저감이나 생분해성 등의 세계적 이슈에 적합한 제품의 가능성에 한걸음 다가서는 새로운 레토르트 포장재를 제조하여 비교, 분석하였다.

2. 실험

2.1 Cellulose nano fiber

사용된 액상의 CNF는 (주)에이엔폴리에서 제공된 1%의 제품

Table 1. Characteristics of cellulose nano fiber

Spec.	Result	Remark
Solid	1% Aqueous gel	TEMPO-CNF method
pH	7.01	
Density	10001g/cm ²	
Width	2~9nm	Aspec ratio 50~150
Crystallinity	61%	

을 사용하였고, TEMPO-CNF의 구조는 Figure 1에 나타냈으며 그 물리적 특성을 Table 1에 나타냈다.

2.2 Wet-laid cellulose nano fiber 레토르트 필름 제조

레토르트 포장재는 내부로부터 CPP(Controlled polypropylene, Unstretched polypropylene)+Nylon+Al foil+PET 필름으로 구성하거나 Al 증착을 한 PET 필름을 제조하여 CPP+Nylon+Al 증착 PET 필름을 라미네이트한 후, 전면과 후면의 필름을 각각 제조한 후 인쇄하여 라미네이트하고 전·후면의 필름을 열접착하여 완성한다. 그 개념은 Figure 2에 나타냈다.

이 실험에서는 1% 액상 CNF를 사용하여 습식의 부직포 제조기술로 부직포를 제조하고 이후에 캘린더 가공하여 CNF필름을 제조하는 것이 관건이고 CNF 필름을 제조하기 위해서는 주로 다음의 두가지 방법을 사용한다. 우선 하나는 CNF가 첨가된 마스트 배치를 제조하여 blown 방식으로 필름화 하거나 다른 한 가지는 습식 방법을 사용해서 PE 단섬유와 CNF를 혼합하여 부직포를 제조한 후 가공하여 필름화 하는 방법이다. 이 연구에서는 후자의 방법으로 진행하게 되었다.

Figure 3에 CNF 레토르트 포장재의 제조 공정을 나타냈다.

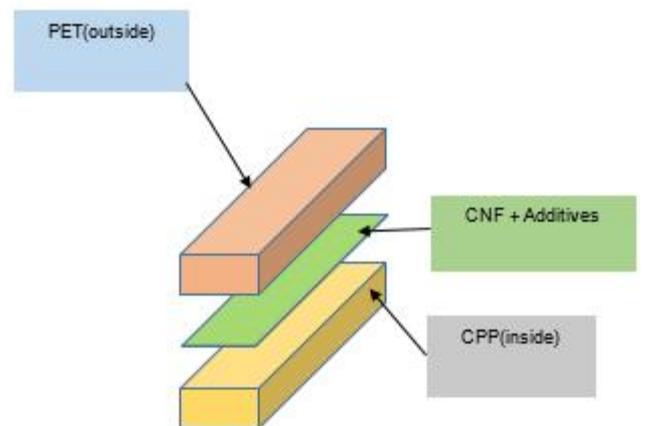


Figure 2. Scheme of cellulose nano fiber for retort packaging.

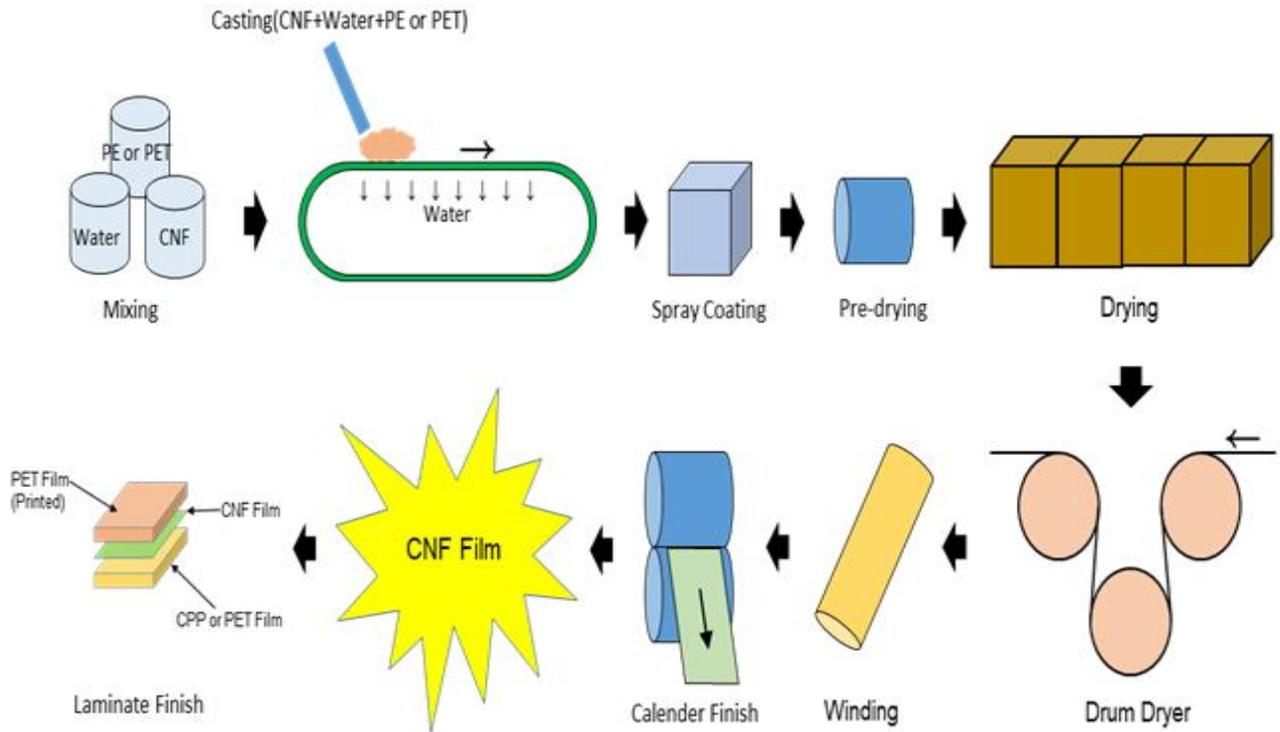


Figure 3. Manufacturing for wet-laid CNF retort film.

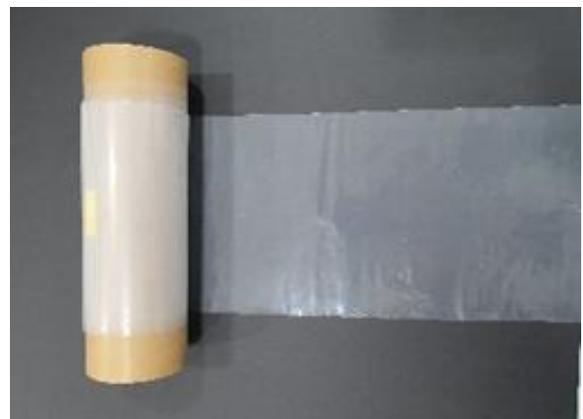
여기에서는 CNF 필름의 제조에 1%의 액상 CNF와 PET 단섬유를 wt 1:1로 섞어 습식방법으로 부직포를 제조하고, 이를 일정 온도 220°C에서 캘린더 가공하여 두께 21 μ m의 CNF 필름을 제조하였다. 이 후 두께 10 μ m PET 필름 위에 인쇄하고 두께 30 μ m PP 필름을 사용하여 Figure 2과 같이 라미네이트를 진행하였으며, 사용된 접착제는 주성분이 Ethyl acetate인 강남화성의 CL-100과 KUB-385S-60을 혼합하여 사용했으며, 산소 배리어성을 향상시키기 위해 첨가제를 wt 2% 추가하여 라미네이

트하고 레토르트용 포장재를 제조한 후에 라미네이트 효과를 증대시키기 위해 에이징을 50°C에서 시행하여 경시변화를 측정하여 최적의 접착성을 도출했다.

최종 레토르트 포장재는 두께 61 μ m로 제조했다. 이러한 레토르트 포장재의 두께는 두꺼울수록 가스 배리어성이 좋아지겠지만 상품의 특성상 조절해야 하고 요구되는 카레나 육포의 포장재로서는 현재 수출하고 있는 포장재의 두께인 60~70 μ m를 벗어 나지 않도록 조절했다.



CNF wet-laid nonwoven



CNF film

Figure 4. Photos of CNF wet-laid type nonwoven and calendering treated film.

Figure 4에 습식부식포와 캘린더 가공한 CNF필름의 사진을 나타냈다.

2.3 산소 투과도 및 수증기 투과도

레토르트 포장재의 가장 중요한 요소 중에 하나인 산소 투과도는 ASTM D 3985에 따라 MOCON社 Permatran-O, Model 3/61을 사용하였고, 수증기 투과도는 ASTM F 1249-13에 따라 Permaran Model 3/61을 사용하여 측정하였다.

2.4 내열성

레토르트 필름은 일반적으로 사용할 경우 중탕이나 전자레인지에서 가열하게 된다. 그러므로 그에 따른 내구성이 요구되기 때문에 그 기준이 되는 130°C/15min에 견디는 내구성이 필요하므로 내용물을 넣은 후에 전자레인지 내에서 파열 테스트를 시행했다.

2.5 생분해성

CNF 레토르트 포장재의 생분해성은 친환경적인 측면에서 습식부식포 방식으로 제조한 제품을 검토했다. KS M ISO 14855-1 퇴비화 조건에서 플라스틱 재료의 호기성 생분해도의 측정(방출된 이산화탄소의 분석에 의한 방법-제1부 일반적 방법)법으로 진행했다.

생분해도는 시험 물질의 이론적 이산화탄소 발생량과 실제 시험물질로부터 발생하는 이산화탄소량의 비율로 결정되고 시험 물질로부터 발생할 수 있는 이론적 이산화탄소 발생량(ThCO₂)(g/용기)은 다음 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$ThCO_2 = M_{TOT} \times C_{TOT} \times 4/12 \quad (1)$$

where,

M_{TOT} : Total dry solids among test substances added to compost at the start of the experiment(g)

C_{TOT} : The percentage of organic carbon contained in the total dry solids of the test substance(g/g)

44, 12 : The molecular weight of carbon dioxide and the atomic weight of carbon

방출된 이산화탄소의 누적량으로부터 각 측정 간격별로 시험물질의 생분해도(Dt)는 다음 식(2)을 이용하여 계산하였다.

$$Dt = (CO_2)T - (CO_2)B / ThCO_2 \times 100(\%) \quad (2)$$

where,

(CO₂)T : The cumulative amount of carbon dioxide generated from the composting container in the test substance(g)

(CO₂)B : Average of the accumulated amount of carbon

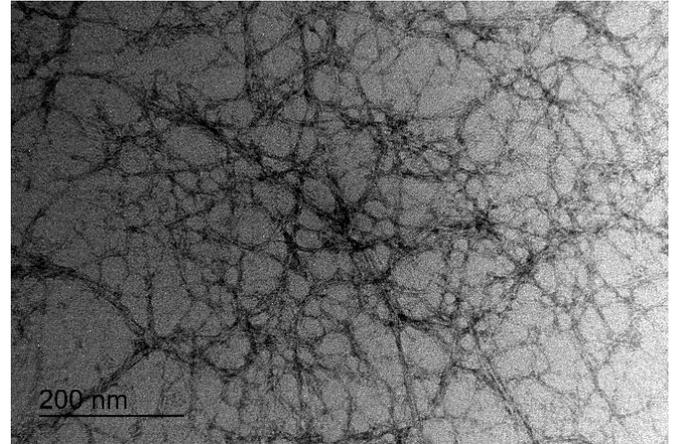


Figure 5. TEM photograph of CNF.

dioxide generated from the container

ThCO₂ : Theoretical amount of carbon dioxide generated by the test substance in the container(g)

3. 결과 및 고찰

3.1 Cellulose nano fiber 특성

실험에서 상기한 바와 같이 TEMPO-CNF의 TEM 사진에서 보면 비교적 균일한 직경의 나노파이버가 얼어짐을 알 수 있고, CNF의 출발이 증점제로서의 첨가제라는 사실에서부터 접근해 보면 30일간의 보존에서도 점도의 변화가 크게 다르지 않다는 것을 알 수 있으므로 액상으로 보존하더라도 잘 분산된 상태에서 유지되며 CNF의 첨가에 따른 최종 제품의 물성에도 안정적으로 사용 가능한 것으로 생각된다¹⁻¹²⁾.

Figure 5에 실험에 사용된 CNF의 TEM 사진을 나타냈다. 사진에서 보는 바와 같이 전술한 바와 같이 직경 약 2~9nm 이내의 나노파이버가 제조되었음을 알 수 있다.

Table 2에서는 1% CNF의 경시변화에 따른 점도 변화를 나타냈으며 30일간의 경시변화에도 점도의 변화가 크지 않음을 알 수 있었다. 이는 첨가제로서 사용 시에도 증점제로서의 역할을 기대할 수 있다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Changes of viscosity according to time

Sample	Viscosity
1% CNF (0 day)	7,332 cP
1% CNF (15 day)	7,488 cP
1% CNF (30 day)	7,116 cP

Table 3. Heat property for CNF retort film

Sample	Item	Unit	Method	Condition	Direction	Result
CPP/CNF/PET	Shrinkage rate	%	KS M ISO 11501	130°C/15min	X	0.45
					Y	0.59

3.2 Cellulose nano fiber 필름의 열적 특성

레토르트 포장재의 특성상 중탕을 하거나 전자레인지에서 사용하게 되므로 필름의 내열성이 필요하게 된다.

Table 3에 CNF 레토르트 필름의 내열 특성에 대해서 나타냈다. 내열 특성은 일반적으로 130°C/15min이 인증기준(KSMISO11501)이며 X축방향 0.45%, Y축방향 0.59%의 신장과 기준 온도에서의 유통 내구성을 나타냈다. 레토르트 필름의 표준 내열특성을 보면 보통 중탕이나 전자레인지에서 사용되는 130°C에서의 내열 특성이므로 그에 따른 실험결과 X, Y축에서 각각 0.45, 0.59%의 신장이 일어나고 이는 상용성에 합당한 내구성의 조건을 충족시키는 것이다.

3.3 레토르트 포장재의 에이징에 따른 접착강도 변화

전술한 바와 같이 CNF 필름을 라미네이트한 후에 에이징을 거쳐 접착강도를 높이는 공정을 시행하게 되나 에이징의 시간에 따라 강도의 변화가 상이하게 되고 이는 최종 레토르트 포장재의 물성에 영향을 미치게 되므로 최적의 조건을 도출한다. 접착성의 경시에 따른 변화를 Figure 6에 나타냈다.

위의 결과에 따라 72시간 이후에는 접착강도가 크게 차이 나지 않으나 72시간의 경우가 가장 효율적인 결과를 얻어 최적 조건으로 설정한다. 이는 72시간에서 접착제의 결합력이 안정화되는 것을 알 수 있다. 경시변화가 더 진행되어도 그 효과는 큰 차이가 없어 72시간으로 설정한다.

3.4 레토르트 포장재의 산소 및 수증기 투과 특성

상기 Figure 2에 나타난 바와 같이 PET 단섬유와 CNF를 1:1로 섞어 습식부직포를 제조하고 캘린더 가공하여 필름화한 후 PET+CNF+CPP 필름으로 라미네이트하고 그 물성을 평가했다. 레토르트용 포장재에서 가장 중요한 특성은 산소와 수증기 투과도 그리고 내열 특성이고 위의 실험 방법으로 라미네이트한 후 제조된 레토르트용 포장재의 산소 및 수증기 투과도를

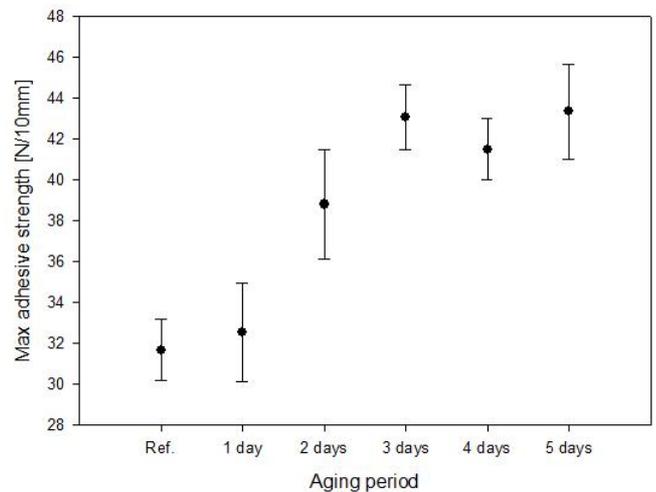


Figure 6. Changes of adhesive strength according to aging time.

Table 4. Characteristics of CNF retort film

Samples	Oxygen permeability (cc/m ² ·day)	Water vapor permeability (g/m ² ·day)	Retort film type
A	0.050	0.295	Alox-PET [*] +Nylon+CPP
B	0.010	0.646	Alox-PET [*] +Nylon+CPP
C	0.025	0.008	PET+Al foil+Nylon+CPP
CNF retort film	0.180	1.201	PET+CNF+CPP ^{**}

^{*}Alox-PET: Aluminum deposition on PET film, ^{**}PET+CNF+CPP: Laminate 3 films

Table 5. Result of biodegradable

Sample	Average biodegradability calculated by carbon dioxide emissions (%)	Time (day)	Observation
Standard material (Cellulose)	81.55	45	No specific matters such as moisture content, color, and odor of the sample
CNF wet-laid nonwoven	63.13	45	No specific matters such as moisture content, color, and odor of the sample

Biodegradability of test substance(CNF wet-laid nonwoven) compared to standard sample (%): 78.29

기존의 포장재와 비교하여 Table 4에 나타냈다.

Table 4에 나타낸 바와 같이 기존의 레토르트 포장재 중에서 AI호일을 사용한 제품 C는 미국방부에서 사용되는 전투식량 수준의 산소투과도와 수증기 투과도를 나타내고 있으며 A와 C는 PET 필름 위에 AI을 증착한 제품으로 현재 가장 많이 사용되는 제품이다. 그에 비해 CNF 포장재는 산소 투과도 0.180과 수증기 투과도 1.201로 AI을 사용한 제품에는 다소 미비하지만 상용면에서는 충분한 성능을 지니는 것을 알 수 있다.

이는 레토르트용 CNF 필름의 경우 AI 호일을 사용하면 유통 과정에서 포장재의 가장자리 금속에 crack이 발생하여 내용물에 악영향을 미치는 것을 적극 개선할 수 있는 방법으로 아직 선진국에서는 개발이 되지 못한 것으로 유통면에서 장점을 부각할 수 있다고 판단된다. 수치상의 결과는 기존의 제품에 미

치지 못하지만 산소투과도가 0.18이면 상업용으로 충분히 사용 가능한 수준이고 또 용도에 따라 적용 가능한 것 뿐만 아니라 수분이 상대적으로 적은 건조식품(빵, 음료, 육포 등)의 경우 산소투과도가 4.0 이하면 충분히 사용 가능하기 때문에 용도면에서도 적용 가능성이 높다고 여겨진다.

3.5 Wet-laid cellulose nano fiber의 생분해성

포장재의 소재로서 CNF는 단독으로 사용되지 못하고 타 고분자 필름과의 라미네이트 등으로 구성되기 때문에 샌드위치 방식의 가운데에 들어가는 CNF의 생분해성은 한계가 있기 마련이다. 그러므로 이 결과는 레토르트 필름으로 라미네이트 되기 전 단계인 CNF 필름 상태에서 실험한 결과이다.

생분해성 고분자가 미생물에 의해 분해되기 위해서는 미생물

Table 6. Food safety evaluation

Item (Elution experiment)	Unit	Result	Evaluation standard
Pb	mg/L	0	Ministry of Food and Drug Safety Notice No. 2019-2
Consumption of KMnO ₄	mg/L	0	
Total elution(water)	mg/L	4	
Total elution(4% acetic acid)	mg/L	4	
Total elution(n-heptane)	mg/L	24	
1-Hexene(water)	mg/kg	0	
1-Hexene(4% acetic acid)	mg/kg	0	
1-Hexene(n-heptane)	mg/kg	0	
1-Octene(water)	mg/kg	0	
1-Octene(4% acetic acid)	mg/kg	0	
1-Octene(n-heptane)	mg/kg	0	

이 분해하는 효소의 촉매작용으로 고분자 소재가 붕괴되고 저분자화 되는 ‘1차 분해’가 발생하여야 하고, 1차적으로 분해된 저분자 물질을 미생물이 흡수하여 대사 작용을 한 후 최종적으로 생체물질(biomass)과 물, 이산화탄소 등을 생성하는 ‘최종 분해’ 과정으로 이루어진다.

Table 5에서 이산화탄소 방출에 의한 생분해성을 보면 셀룰로오스가 81.55%인데 반해 CNF 습식 부직포는 63.13%로 셀룰로오스 대비 78.29%의 생분해성을 나타낸다. 특히 이는 습식 부직포 제조시에 PET 단섬유가 CNF와 wt 1:1로 첨가되는 것을 감안하면 63.13%의 평균 분해도는 6개월의 기간동안 60% 이상 생분해되면 생분해성 고분자이라는 기준에 포함되는 것으로 생분해성 고분자에 포함된다고 판단된다.

3.6 식품 안정성

식품용 레토르트 경우에는 당연히 식품안정성에 대한 성능 기준에 따라 측정하여 Table 6에 나타냈다.

식품의약품안전처 고시에 따른 실험결과 용출에 따른 식품안정성은 기준에 적합하여 식품용 포장재로서의 사용에 문제없음을 나타낸다. 이는 기존의 필름을 제외한 CNF필름이 천연소재로서 무해한 원료임을 잘 나타내고 있다고 생각한다.

3.7 레토르트 포장재 필름의 제품화

Figure 7에는 최종적으로 제조된 CNF 레토르트 포장재의 사진을 나타냈다. 전·후면 모두에 CNF 필름이 샌드위치 방식으로 라미네이트하여 사용하였고 CPP+CNF+PET로 구성된 제품으로 양면을 열 압착해서 제조한다. 아직 전세계적으로 CNF 필름이 레토르트 포장재로서 사용 가능하다는 평가는 나오고 있지만 아직 제품화 된 사례는 유일한 것으로 판단된다.

현재는 수작업으로 라미네이트를 진행하여 제품으로서의 특성이 조금 미흡하지만 기계적으로 연속 공정 현장에서 적용하게 되면 산소 및 수증기 투과율이 Al 호일이나 Alox-PET에 버



Figure 7. CNF retort film.

금가는 물성이 나올 것을 판단되나 추후에 더욱 우수한 연구자들의 과제가 될 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 CNF를 적용하여 레토르트 포장재용 필름을 제작하고 그 물성을 측정하여 기존의 금속을 사용하는 제품의 대체 가능성을 알아보고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 지금까지의 결과로부터 보면 CNF는 직경 2~9nm의 나노섬유이고 열에 의한 변형이 X축과 Y축이 각각 0.45, 0.59로서 매우 안정적이라는 것을 알 수 있다.
2. 레토르트 필름을 제조하는 단계에서 라미네이트를 시행함에 있어서 접착강도를 보다 향상시키기 위해서 라미네이트한 후 에이징을 72시간 실시하는 것이 가장 효과적이다. 레토르트 포장재는 그 품질을 결정하는 중요한 3대 핵심 요소를 생각해 볼 수 있다. 첫번째는 무엇보다도 CNF필름 자체의 특성이고 그 다음은 라미네이트를 시행함에 있어서 CNF 필름과 내외면 필름과의 접착성이다. CNF는 필름을 제조할 때 수축하는 특성을 나타낸다. 이를 개선하기 위해 용도에 따라 다소 차이는 있지만 접착 후 최소 3일간의 에이징을 거치고 이 때 필름 내부의 기포나 접착성이 개선된다.
3. 그 다음으로 가장 중요한 요소 중 하나인 산소 투과율과 수증기 투과율을 보면 0.180과 1.201을 나타내고 레토르트 포장재용 필름으로서의 용도 전개 면에서 사용화가 가능한 것을 판단된다. 그리고 이는 수작업을 통한 라미네이트의 결과 값이므로 연속식의 라미네이트에서는 더욱 우수한 결과를 얻을 수 있으리라 추측된다.
4. 식품용의 필름이므로 식품안정성 면의 용출 실험에서도 무해한 성분이 무검출되거나 무해한 수준에서 안정적인 결과를 얻었다.
5. CNF 습식부직포의 생분해성을 측정해 본 결과 필름 두께에 따라 다르지만 60%/6months의 기준에 부합하는 미생물에 의한 생분해성이 있다는 것을 알 수 있다.

그 외에 실험으로 얻을 수 있는 경험은 CNF의 농도에 있어서도 함량이 높을수록 기체 차단성은 향상되나 아직 국내에서는 필히 원가 상승의 원인이 되므로 기능성 발현을 위해서는 CNF의 함량이 30% 이상을 유지하는 것이 성능면에서 바람직하다. 이러한 사항은 가격경쟁력으로 귀결된다.

최근에는 국제적으로 저가의 제품이 생산되어 판매가 이루어지기 시작하고 있다. 그러므로 국내에서도 가격 경쟁력 있는 제품이 절실히 지고 있다. 현재 국내에서는 10,000~160,000원/kg(모든 화학처리와 해설처리 포함)으로 가격이 형성되어 있으나 올해 후반부터 일본 제품의 가격이 5,000원/kg으로 판매할 계획이라고 하니 국내에서도 원료에서부터 생산공정에 이르기 까지 효율적인 공정을 개발하여 생산하는 연구와 기획이 필요하다.

현재까지는 국제적으로 레토르트 포장재의 품질 규격이 정해

진 바가 없으며 미국의 FDA에서도 그러한 기준은 없다. 그러나 수출입활동을 위해 간이 형태의 평가를 SGS로부터 확인 받을 수가 있어서 이를 전세계에 통용하고 있는 실정이다. 국내에서 이러한 표준을 마련한다면 더욱 더 명확한 제품 표준화가 이루어 질 수 있으리라 생각해 본다.

감사의 글

본 논문은 소재부품산업전문기술개발사업 섬유생활스트림간 협력사업으로 수행된 연구결과입니다(과제 번호: 10070161, 과제명 나노셀룰로오스 습식부직포 제조를 통한 기체투과율 90% 이상 선도유지 포장재 및 산소차단성 5cc/m²·day 미만 레토르트 식품포장재 개발).

References

1. A. Isogai, H. Fukuzumi, and T. Saito, TEMPO-oxidized Cellulose Nanofibers, *Nanoscale*, **3**, 71(2011).
2. H. Yano, Cellulose Nanofibers for Structural Utilization, *Bioindustry*, **30**, 44(2013).
3. M. Kawasaki, Manufacturing Method of TEMPO-oxidized Cellulose Nanofibers, *Bioindustry*, **30**, 15(2013).
4. T. Saito, Y. Nishiyama, J. Putaux, M. Vignon, and A. Isogai, Homogeneous Suspensions of Individualized Microfibrils from TEMPO-Catalyzed Oxidation of Native Cellulose, *Biomacromolecules*, **7**, 1687(2006).
5. T. Saito, S. Kimura, Y. Nishiyama, and A. Isogai, Cellulose Nanofibers Prepared by TEMPO-Mediated Oxidation of Native Cellulose, *Biomacromolecules*, **8**, 2485(2007).
6. H. Ono, "Dispersion Technology and Application Examples for Cellulose Nanofiber Resin", Technology Information Exchange, Tokyo, p.205, 2012.
7. Nano Tech 2017, Cellulose Nanofiber Program, Tokyo Big Sight, Nano Tech Executive Committee, Tokyo, 2017.
8. Future Markets, "The Global Market for Cellulose Nanofibers", Future Markets Inc., Edinburgh, p.120, 2019.
9. Mitsubishi Chemical Techno-research Ltd., Research Report on Domestic and Overseas Research and Development, Application Development, Commercialization and Patent Application Trends on Cellulose Nanofibers, Japan, 2013.
10. H. Ono, R&D for Cellulose Nanofiber Nonwoven Fabrics, *Function and Materials*, **29**, 43(2009).
11. K. Kamino, Highly Functional Technology of Cellulose Nano Fiber(CNF)/Thickening and Gelation, *Bioindustry*, **30**, 29(2013).
12. A. Isogai, TEMPO-oxidized Cellulose Nanofibers, Proceeding of the Society of Polymer Science Japan, Vol. 58, No. 2, pp.90-91, 2009.

Authors

이진희 중앙대학교 식물생명공학과 박사수료
최정락 한국섬유개발연구원 연구원
구 강 ㈜에이엔폴리 기술고문