

팽연 완충 소재의 개발을 위한 펄프 섬유의 이용

Utilization of Pulp Fibers for Developing Expanded Shock-Absorbing Materials

김철환¹⁾ · 송대빈²⁾ · 이영민¹⁾ · 김재옥¹⁾ · 정효석²⁾ · 박종열¹⁾

1) 경상대학교 임산공학과, 2) 경상대학교 생물산업기계공학과

1. 서론

세계적으로 환경보호 인식이 높아짐에 따라 환경공해 문제를 일으키는 EPS(Expanded Polystyrene, 발포스티로폼) 등의 포장완충소재를 사용하는데 규제가 강화되고 있다. 이는 고분자 수지의 큰 장점으로 간주되던 내구성과 미생물에 대한 내안정성으로 인해 사용 후 폐기되는 포장완충재가 자연 상태에서는 전혀 분해되지 않을 뿐만 아니라 소각(incineration)시 막대한 비용과 함께 다이옥신(Dioxin) 등의 유해가스를 유발하며, 매립(landfill)시에는 매립지의 부족, 토양오염을 유발하는 문제점을 안고 있다. 또한, 재활용은 자원 절약 측면이란 긍정적인 면이 있으나 수거비용이 막대할 뿐만 아니라 재활용을 하기 위해서는 높은 기술력이 요구되는 등의 큰 제약이 따른다.

본 연구에서는 고분자 수지의 이용을 대신해 재활용이 가능한 친환경 원료인 펄프 섬유를 이용하여 팽연완충소재를 제조할 수 있는 기술을 개발하였다. 주원료인 펄프 섬유는 골판지 폐지(OCC), 신문지 폐지(ONP) 및 폐잔재를 이용한 TMP가 사용되었고, 팽연보조제는 밀가루 전분(wheat starch)을 사용하였다. 또한, 펄프 섬유의 최적 팽연을 위한 압출기를 설계 및 제작하여 180-200℃ 온도에서 다양한 형상의 팽연 소재를 제조하였다. 펄프 섬유의 팽연화가 성공적으로 이루어진다면 발포 스티로폼에 의존하고 있는 포장 완충재 시장을 상당 부분 친환경적 펄프 완충재로 대체함으로써 폐기 완충재의 개발로 인한 환경 부담을 크게 경감시킬 수 있으리라 사료되어진다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

국내에서 수집된 OCC (Old Corrugated Container)와 ONP(Old Newspaper)를 사용하였고 폐잔재는 경상대학교 덕산(지리산) 학술림에서 채취한 직경이 15 cm 미만의 침엽수류(*Pinus rigida*, *Pinus densiflora*)를 사용하였다.

2.2 OCC, ONP 섬유 및 TMP 제조

OCC, ONP의 펄프화를 위해 전건 기준 25-30 g을 Wonder Blender (WB-08, Sanplatec corp., Japan)를 이용하여 2500 rpm의 속도로 20초간 처리하는 건식 해섬 과정으로 제조되었다. TMP(Thermo mechanical Pulp)는 직경이 15 cm 미만의 소경재를 이용하여 약 2.5×2.5×10 mm 크기로 칩핑한 후 다이제스터에서 120-140℃, 3-4 kg/cm³로 1시간 예열한 후 싱글디스크 리파이너를 이용한 습식 해섬 과정으로 제조되었다.

2.3. 팽연화

펄프화 된 섬유의 팽연화를 위해서 경상대학교 펄프제지연구실과 생물산업기계공학 연구실에서 자체 제작한 단축스크류형 팽연화기를 사용하였다. 팽연화기의 배럴 온도는 공급부, 압축부, 혼련 및 압출부의 온도를 100-200℃로 각각 설정하여 압출 속도를 30 kg/hr로 조정하였다. 압출되는 팽연 소재의 형상은 다이(Die)의 형상에 따라 원형 및 파이프형 등으로 여러 형상이 가능하도록 하였다. 또한, 팽연소재의 압출 및 팽연 성능을 향상시키기 위해서 밀가루전분을 팽연 보조제로 사용하였다. 팽연 소재의 단면 관찰을 위하여 주사전자현미경(JSM-6400, JEOL)을 이용하였다.

2.4. 펄프 섬유의 성질 분석

팽연 원료에 대한 팽연 전후의 물리적 성질을 분석하기 위하여 X-ray diffractometer (Bruker, GADDS)를 사용하여 결정화도를 분석 하였으며, Thermal Analyser (Labsys/ DSC141, France)를 이용하여 열분해 성질을 분석하였다. 팽연 원료를 압출 팽연 시킨 후 압출물의 물성을 측정하기 위하여 물성 분석기(TA-XT2i, Stable Micro Systems)를 사용하여 압축강도(kgf)와 탄성계수(kPa)를 측정 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 OCC-ONP 섬유 및 TMP

Fig. 1은 건식 해섬 과정으로 제조된 OCC-ONP 섬유와 습식 해섬 과정으로 제조된 TMP를 나타내었다. 건식 해섬 방법으로 제조된 OCC-ONP 섬유에서 보듯이 기계적인 마찰력과 회전력으로만 폐지의 펄프 섬유화가 가능한 것을 확인하였다. Table 1에서 보듯이 건식과 습식 해섬 방법에 의한 섬유장의 변화가 없는 것을 확인하였다. 이는 여러 단계 과정을 거쳐서 펄프 섬유를 제조하는 습식 과정보다 간단한 기계적인 처리만으로 펄프 섬유를 제조할 수 있는 건식법을 사용하는 것이 더욱 효율적인 방법으로 사료된다.

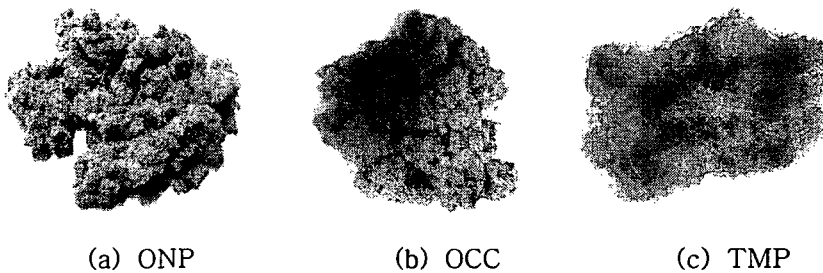


Fig. 1. Fibers of OCC(a), ONP(b) and TMP(c) (Dry-disintegration).

Table 1. Length-weighted mean fiber length of ONP and OCC

(단위: mm)

Wastepaper types	Wet-disintegration	Dry-disintegration
ONP	0.94	0.94
OCC	1	1.08
TMP	1.56	1.41

3.2 단축식 팽연화기 제작

팽연완충소재를 개발하기 위해서 제작된 단축식 팽연화기를 Fig. 2에 나타내었다. 팽

연화기는 해섬된 펄프 섬유를 공급하는 공급부(feeding), 배럴 내부의 온도 및 스크루의 회전수를 조절할 수 있는 컨트롤 박스(control box), 팽연 원료가 통과하는 배럴(barrel), 팽연된 완충재의 모양 및 크기를 조절할 수 있는 다이(Die)와 팽연된 완충재를 일정한 크기로 절단할 수 있는 재단부(cutter)로 구성하였다.

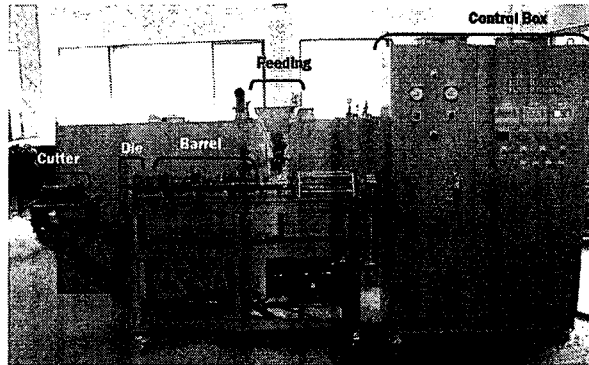
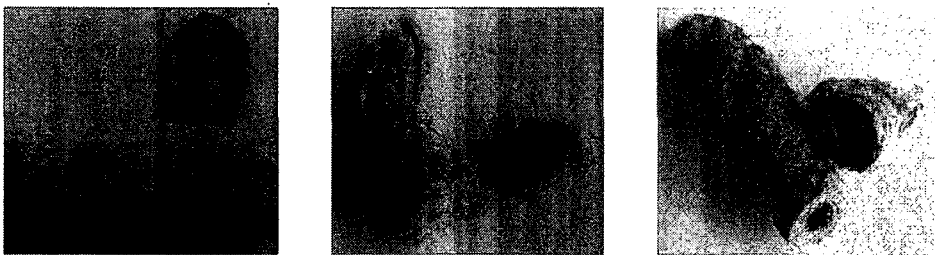


Fig. 2. Single-axis expander.

3.3 팽연완충소재의 형태적 특성

Fig. 3은 OCC 섬유를 이용하여 제조된 팽연완충소재를 나타내었다. 팽연완충소재의 단면은 팽연화기의 다이(Die) 모양에 의해 변형을 줄 수 있었고, 단면의 형상에 변형으로 완충소재로서의 기능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. Fig. 4는 TMP에 밀가루 전분의 첨가량을 달리해서 압출된 팽연소재를 나타내었다.



(a) Little expansion (b) Expanded material (c) Expanded material

Fig. 3. Effect of die shapes on expanded product (OCC).

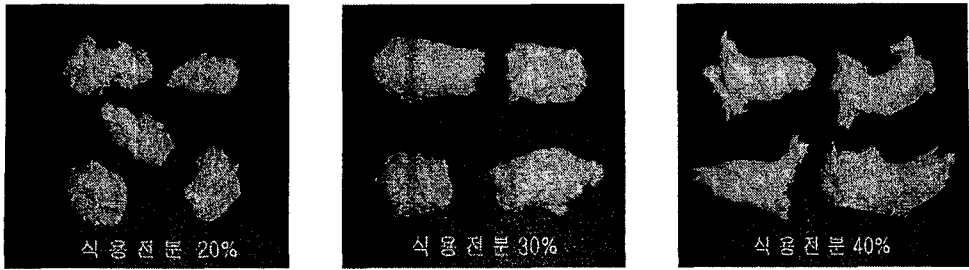
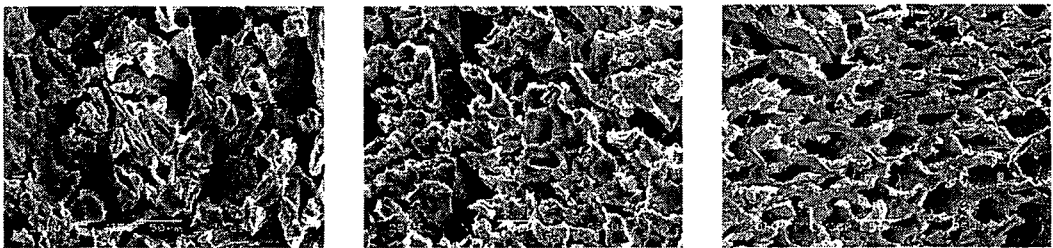


Fig. 4. Effect of the additive rate of expanding agent on expanded product (TMP).

Fig. 4의 압출된 팽연 소재의 단면을 SEM 촬영한 사진을 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보듯이 20 %의 밀가루 전분이 첨가된 팽연 소재는 내부에 공극을 생성함으로써 전체적인 팽연율이 향상되지만 식용전분의 첨가량이 40 %로 증가할 경우에는 팽연 소재 내부에서 섬유와 밀가루 전분 간의 과도한 응집으로 팽연율이 현저히 감소하여 팽연 소재로써 가능성이 낮은 것으로 사료된다.



(a) Wheat starch 20 % (b) Wheat starch 30 % (c) Wheat starch 40 %

Fig. 5. SEM photograph of expanded products.

3.4 팽연완충소재의 물성

3.4.1 결정화도 분석

팽연 전·후의 펄프 섬유율의 XRD 분석결과를 Table 2에 나타내었다. 각 지종에 따라 사용된 펄프 혹은 원료의 종류가 상이하기 때문에 상대결정화도 역시 펄프 섬유율의 중

류에 따라 많은 차이를 나타내고 있다. 하지만 펄프 섬유에서는 팽연을 통하여 셀룰로오스의 결정화가 더 진행된 것을 알 수 있다. 이는 폐지의 재활용 횟수가 많아질수록 셀룰로오스 섬유의 각질화가 진행되어 섬유의 결정화도 증가에 기여하는 것으로 알려져 있기 때문에 팽연 과정의 반복이 각 폐지 지종별 셀룰로오스 섬유의 결정화도 증가와 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 팽연 원료별로 열분해 특성이 매우 다르게 나타났다. 이는 각 원료별로 사용된 펄프 수종 및 펄프화 방법에 따라서 셀룰로오스 섬유의 결정화도가 매우 달라짐을 의미하는 것이다.

Table 2. Variation of relative crystallinity by the expansion

Wastepaper grade	Crystallinity (Before expansion)	Crystallinity (After expansion)
ONP	0.73	0.76
OCC	0.66	0.73
TMP	0.55	0.58

Fig. 7은 밀가루 전분의 첨가량에 따른 팽연율을 나타내었고 팽연율은 공식 1에 의해 산출되었다.

$$Expanding\ Efficiency(\%) = \frac{\text{압출 후 시료 직경}(m)}{\text{다이 직경}(m)} \times 100 \quad [Eq. 1]$$

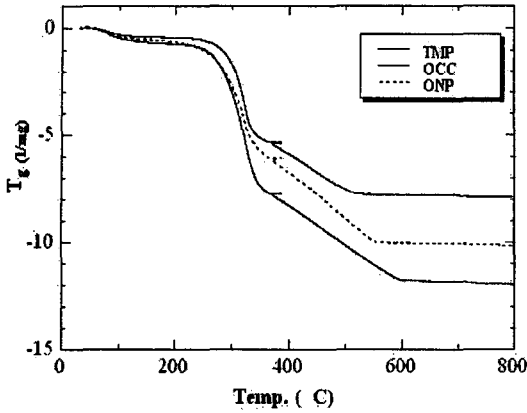


Fig. 6. Thermal analysis of expanded products.

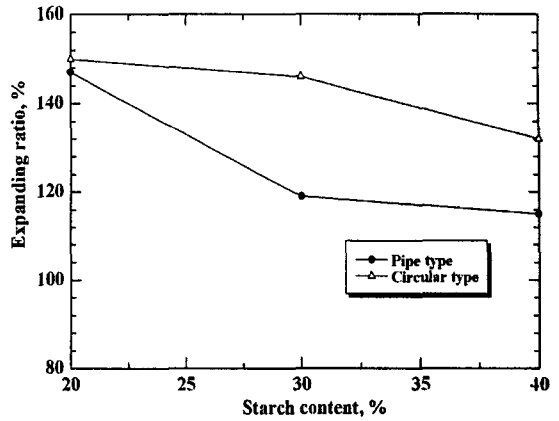


Fig. 7. Strength properties of expanded products by Edible starch addition.

Fig.7에서 보듯이 밀가루 전분의 첨가량이 증가할수록 팽연율이 감소하고, 다이 (Die)의 형태를 원형 타입보다 파이프 타입으로 압출 성형할 경우에 팽연율이 더욱 향상되는 것으로 나타났다. 이는 밀가루 전분의 첨가량이 증가할수록 섬유와 밀가루 전분의 과도한 응집을 유발시켜 팽연율이 감소되었고, 다이의 형태가 원형 타입보다 파이프 타입을 사용할 경우에 압출물의 내부에 공극을 생성시켜 상대적으로 팽연율이 증가한 것으로 보인다.

4. 결론

재활용이 가능한 친환경 원료인 OCC, ONP 섬유 및 TMP와 팽연보조제인 밀가루 전분이 이용된 팽연완충소재의 생산 기술을 개발하였다. 폐지나 폐잔재를 펄프화 시키기 위한 건식 해섬법은 습식 해섬법에 비해서 해섬과정이 간단한 뿐만 아니라 섬유에 미치는 영향이 낮기 때문에 효율적인 해섬법으로 사료되었다. 건식 해섬법으로 제조된 펄프 섬유의 결정화도는 지중에 따라 사용된 펄프 혹은 원료의 종류가 상이하기 때문에 상대결정화도 XRD와 열분해 특성을 분석한 결과 펄프 섬유의 종류에 따라 많은 차이를 나타내었고 팽연을 통하여 셀룰로오스의 결정화가 더 진행된 것을 알 수 있었다.

펄프섬유와 밀가루 전분을 최적의 배합비로 팽연화기를 이용하여 팽연율을 극대화시킨 팽연완충소재를 개발할 수 있었다. 새롭게 개발된 팽연완충소재를 통해서 발포스티로폼에 의존하고 있는 완충재 시장의 상당 부분을 친환경적인 펄프 완충소재가 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

1. 임승순, 임대영, 이경락, 열가소성을 갖는 발포전분의 제조, 한국섬유공학회 1993년 1차학술발표회 초록집, 서울대학교: 45-46(1993).
2. 김진성, 김영기, 임승순, 송자량, 임대영, 임상현, 완충재용 전분발포물의 구조와 물성에 관한 연구, 한국섬유공학회 94년 추계학술발표회 초록집, 전남대학교: 51-52(1994).
3. 이영목, 이대훈, 김의화, 유웅렬, 전분 발포체의 제조조건과 압축성질에 관한 연구, 한국섬유공학회지 36(7): 545-554(1999).
4. 홍석인, 김종태, 김철진, 배합조건에 따른 완충포장용 전분 압출물의 물리적 특성 변화, 산업식품공학 2(1): 68-74(1998).
5. Sarko, A., Recent X-ray Crystallographic Studies of Celluloses, Cellulose, Structure, Modification and Hydrolysis edited by Young, R. A. & Rowel, R. M., John Wiley & Sons, 1986.
6. 김현진 외 2명. 2005. 교토의정서 발효 이후의 기업경영. 삼성경제연구소. CEO Information(제 488호)
7. 임업연구원. 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안. 농림부.