

완충 소재의 개발을 위한 펄프 섬유 의 이용

Utilization of Pulp Fibers for Developing Shock-Absorbing Materials

김철환¹⁾ · 송대빈²⁾ · 이영민¹⁾ · 김재옥¹⁾ · 김경윤¹⁾,
신태기¹⁾ · 정효석²⁾ · 박종열¹⁾

¹⁾경상대학교 임산공학과, ²⁾경상대학교 생물산업기계공학과

1. 서 론

현재 지구환경보존이라는 관점에서 난분해성 소재인 EPS(Expanded Polystyrene, 발포스티로폼) 등의 포장완충소재 사용을 대체할 수 있는 환경친화적 완충소재 개발이 시급한 실정이다. 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 환경친화적 원료인 펄프 섬유를 이용하여 완충소재를 제조할 수 있는 기술을 개발하였다. 주원료인 펄프 섬유는 골판지 폐지(OCC), 신문지 폐지(ONP) 및 폐잔재로부터 제조한 TMP가 사용되었고, 보조제는 양성전분(cationic starch)과 탈크(talc)을 사용하였다. 펄프 섬유의 최적의 완충 성능을 위한 열풍·진공감압기를 설계 및 제작하여 1기압(760 mmHg) 정도의 진공감압을 통하여 펄프 현탁액으로부터 과량의 물을 제거한 후 80-180℃ 온도의 열풍으로 잔류 수분을 증발 제거시켜 다양한 형상의 완충소재를 제조하였다. 열풍·진공감압기로부터 제조되어진 완충소재가 충분한 완충 성능을 갖는다면 발포 스티로폼에 의존하고 있는 완충재의 상당부분을 환경친화적 완충소재로 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. 열풍 · 진공감압기의 개발

펄프화 된 섬유를 이용하여 완충소재를 제조하기 위한 열풍 · 진공감압기를 개발하였다. 열풍 · 진공감압기의 열풍은 50-250℃까지 조절가능하며, 진공감압기는 7.5 kW 동력으로 1기압(760 mmHg)의 진공 감압이 가능하도록 설계 및 제작되었다. 진공감압을 통하여 펄프 현탁액으로부터 과량의 물을 제거한 후 80-180℃ 온도의 열풍으로 잔류 수분을 증발 제거시켜 다양한 형상의 완충소재를 제조하였다 또한, 완충소재의 형상유지를 위하여 양성전분과 탈크를 보조제로 사용하였다. 완충소재의 단면 관찰을 위하여 주사전자현미경(JSM-6400, JEOL)을 이용하였다.

2.4. 완충소재의 물성분석

완충소재의 대한 물리적 성질을 측정하기 위하여 물성 분석기(TA-XT2i, Stable Micro Systems)를 사용하여 압축강도(kgf), 탄성계수(kPa), 복원율(%)을 측정 하였다. 또한, 발포 스티로폼과의 실제적인 밀도를 비교하기 위하여 겉보기 밀도(apparent density)를 측정하였다. 겉보기 밀도는 Carl Zeiss Vision사(독일)의 AxioVision(Ver.4.4.)를 사용하여 완충소재의 면적을 측정하였고, 버니어캘리퍼스를 이용하여 평균 두께를

구한 후 소재의 체적(volume)을 구하였고, 소재의 질량을 체적으로 나누어 겉보기밀도를 계산하였다.

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.

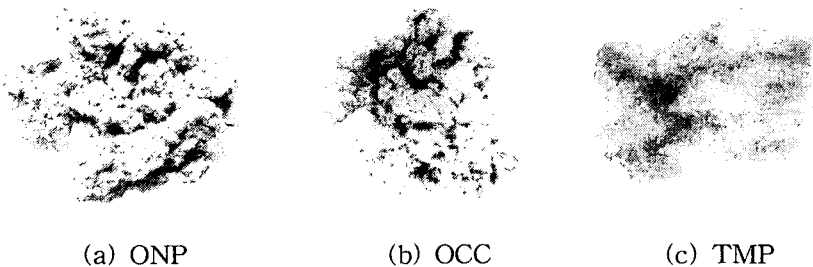


Fig. 1. Fibers of OCC(a), ONP(b) and TMP(c) (Dry-disintegration).

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 열풍 · 진공감압기의 제조

완충소재를 개발하기 위해서 제작된 열풍 · 진공감압기를 Fig. 2에 나타내었다. 열풍 · 진공감압기는 펄프 현탁액으로부터 단시간에 과량의 물을 제거하기 위한 진공감압부(vacuuming compressor), 진공감압에 의해 제거되어진 과량의 물을 저장하는 배수부(water storage tank), 진공감압 후 잔류 수분을 증발 제거시키기 위한 열풍부(hot-air dryer), 열풍의 온도 및 진공감압을 조절할 수 있는 컨트롤 박스(control panel), 완충소재의 형상을 유지하기 위한 성형부(forming part)로 구성하였다.

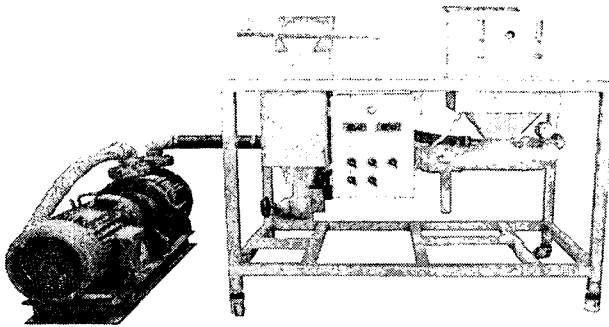


Fig. 2. Forming equipments for making shock-absorbing materials.

3.3 완충소재의 형태적 특성

Fig. 3은 ONP, OCC, TMP 섬유를 이용하여 제조된 판상형의 완충소재를 나타내었다. 완충소재의 형상은 열풍 · 진공감압기의 성형부 형태에 의해 원형과 판상형으로 구분되어지며 단면의 형태적 특성에 따라 완충소재로서의 기능을 더욱 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

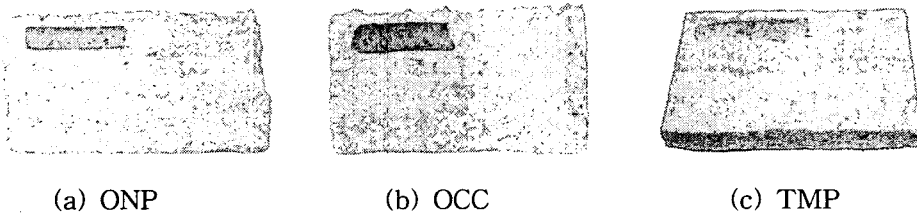
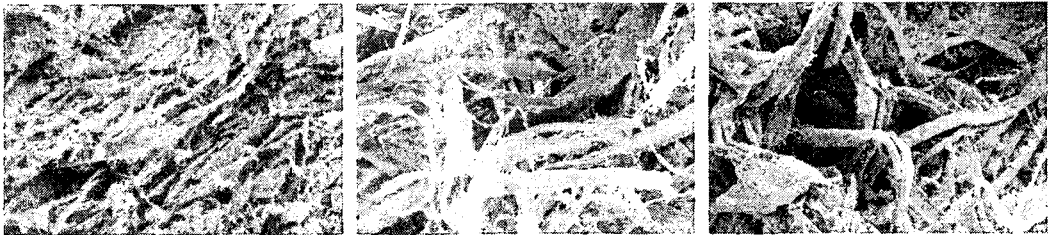


Fig. 3. Effect of forming shapes on shock-absorbing materials.

Fig. 3의 원형 OCC 완충소재의 단면을 촬영한 SEM 사진을 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서 보듯이 진공에 의해 완충소재 외부는 섬유들이 조밀하게 밀집되어 있지만 내부에는 수많은 공극을 생성함으로써 외부 충격을 흡수할 수 있는 완충성능이 가지게 된다.



(a) Surface

(b) Intermediate

(c) Center

Fig. 4. SEM photographs of shock-absorbing materials (OCC).

3.4 완충소재의 물성

Fig. 5는 발포 스티로폼과 판상형 OCC 및 ONP로 제조한 완충소재의 탄성계수를 비교하여 나타내었다. ONP 완충소재의 경우 진공시간이 길어지면서 탄성계수가 증가하고 있으나 OCC 완충소재는 진공시간의 변화와 무관하게 발포스티로폼보다 낮은 탄성계수 값을 나타내고 있다. Fig. 6은 판상형 OCC 및 ONP 완충소재의 겉보기 밀도를 스티로폼과 비교한 그래프이다. 양성전분의 첨가량과 관계없이 OCC 및 ONP로 제조한 완충소재 모두 스티로폼보다 높은 밀도를 보였다. 이는 고지로 제조한 완충소재의 경우 동일한 완충성능을 나타내기 위해 필요한 건물(원료)의 양이 스티로폼보다 많이 필요함을 의미한다. 따라서 고지 섬유로 제조한 완충소재의 경우에는 중량 증가로 인한 포장 물류비용의 상승을 억제하기 위해서는 밀도 증가 요인을 줄일 필요가 있을 것으로 판단되었다. Fig. 7은 TMP로 제조한 완충소재의 탄성계수를 측정한 그래프이다. 탈크 10% 첨가시 섬유간 수소결합의 방해로 인하여 탄성계수의 감소를 초래하여 TMP만으로 제조한 것보다 보다 낮은 탄성계수를 가진 완충소재를 제조할 수 있었다. Fig. 8의 겉보기 밀도에서는 단위 체적의 완충소재가 갖는 고형분의 양이 일정하기 때문에 탈크의 유무와 관계없이 거의 유사한 밀도를 보였고, 또한 TMP 자체가 갖는 특성으로 인하여 완충소재의 비용적(bulk)이 크기 때문에 스티로폼보다 훨씬 낮은 밀도를 나타내어 완충소재가 외부 충격을 흡수할 수 있는 가능성을 더욱 높인 것으로 판단되었다.

따라서 폐지 및 TMP로 제조한 완충소재는 스티로폼을 대체할 수 있는 완충소재의 물성을 보유함으로써 완충소재 제조용 환경친화적 대체 원료로 사용가능함을 확인할 수 있었다.

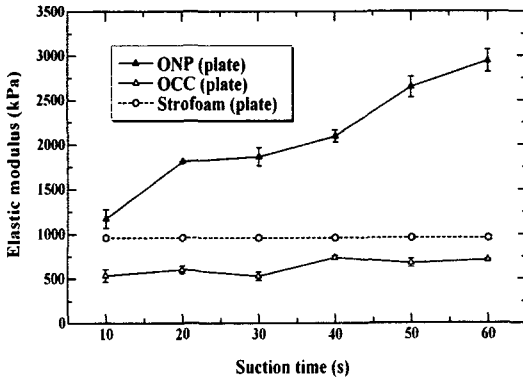


Fig. 5. Elastic modulus of shock-absorbing materials (plate type) by suction time.

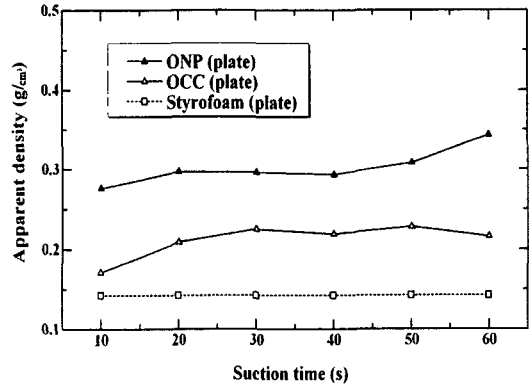


Fig. 6. Apparent density of shock-absorbing materials (plate type) by suction time.

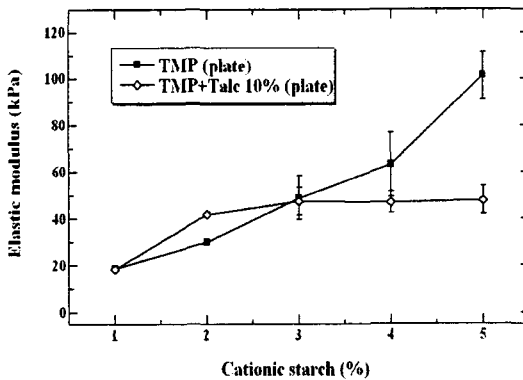


Fig. 7. Effects of Talc preflocculation on materials modulus shock-absorbing materials (plate type).

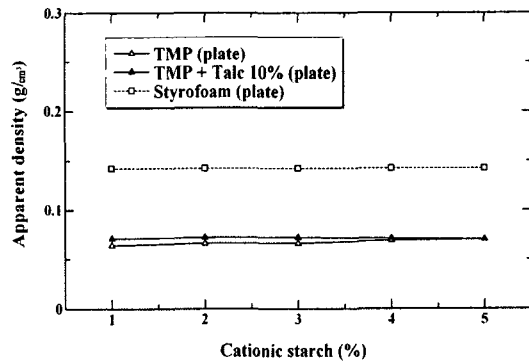


Fig. 8. Apparent density of shock-absorbing materials (plate type) by cationic starch addition.

4. 결론

재활용이 가능한 환경친화적 원료인 OCC, ONP 섬유 및 TMP와 펄프 섬유의 기능

성보조제로써 양성전분과 탈크가 이용된 완충소재의 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. 발포 스티로폼과 판상형 OCC 및 ONP로 제조한 완충소재의 탄성계수를 비교한 결과 ONP 완충소재의 경우 진공시간이 길어지면서 탄성계수가 증가하고 있으나 OCC 완충소재는 진공시간의 변화와 무관하게 발포스티로폼보다 낮은 탄성계수 값을 나타내었다. 또한, TMP 완충소재의 경우 보조제로써 양성전분과 탈크 10% 첨가시 섬유간 수소결합의 방해로 인하여 탄성계수의 감소를 초래하여 TMP만으로 제조한 것보다 낮은 탄성계수를 가진 완충소재를 제조할 수 있었다. 완충소재에 대한 겉보기 밀도는 OCC 및 ONP로 제조한 완충소재의 경우 양성전분의 첨가량과 관계없이 모두 스티로폼보다 높은 밀도를 나타내었으나, TMP로 제조한 완충소재의 경우 TMP 자체가 갖는 특성으로 인하여 완충소재의 비용적(bulk)이 크기 때문에 스티로폼보다 훨씬 낮은 밀도를 나타내어 완충소재가 외부 충격을 흡수할 수 있는 가능성을 더욱 높인 것으로 판단되었다.

펄프 섬유와 양성전분에 대한 최적의 배합비로 열풍·진공감압기를 이용하여 완충성능 극대화 시킨 완충소재를 개발할 수 있었다. 새롭게 개발된 완충소재를 통해서 발포 스티로폼에 의존하고 있는 완충재 시장의 상당 부분을 환경친화적인 펄프 완충소재가 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 인용문헌

1. 임승순, 임대영, 이경락, 열가소성을 갖는 발포전분의 제조, 한국섬유공학회 1993년 1차 학술발표회 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. Gerischer, G., Murray, L. J. and Vanwyk, W. j., "Improved retention of filler clay by means of pre-flocculation and selective dosing", Paperi Ja Puu, 78(1-2): 51-56 (1996).
6. 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.
7. 김현진 외 2명. 2005. 교토의정서 발효 이후의 기업경영. 삼성경제연구소. CEO Information(제 488호)
8. 임업연구원. 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안. 농림부.