

폐잔재의 펄프화를 통한 완충소재의 개발

Developing Environment-Friendly Shock-Absorbing Materials by Pulping of Wastewood

김철환¹⁾ · 송대빈²⁾ · 이영민¹⁾ · 김재욱¹⁾ · 김경윤¹⁾ · 신태기¹⁾ · 박종열¹⁾

¹⁾경상대학교 임산공학과, ²⁾경상대학교 생물산업기계공학과

1. 서 론

현재 국내의 산림이나 기타 목재 가공공장(mill)에서 발생하는 폐재, 간벌재 및 소경목 등의 폐잔재(wastewood)는 수집 후 목분(saw dust)이나 칩(chip)으로 처리되어 농가의 사료나 마루판 회사의 원료 등으로 이용되고 있다. 그러나 국내에서 발생하는 폐잔재를 수집할 때 소요되는 비용과 더불어 이를 가공하여 이차산물로 만들어 판매할 때의 가격이 지나치게 높게 책정되기 때문에 폐잔재의 활용 가치는 경제적인 측면에서 매우 낮은 것으로 여겨지고 있다. 따라서 본 연구에서는 폐잔재에 대한 경제적 활용 방안을 탐색하기 위한 연구의 일환으로 폐잔재 펄프화를 통하여 현재 널리 이용되고 있는 난분해성 소재인 EPS(Expanded Polystyrene, 발포 스티로폼) 등의 포장완충소재를 대체할 수 있는 환경친화적 완충소재를 개발하고자 하였다. 발포 스티로폼 등의 완충소재는 고분자 수지의 큰 장점으로 간주되던 내구성과 미생물에 대한 내안정성으로 인해 사용 후 폐기시 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. 따라서 발포 스티로폼을 대체하기 위한 환경친화적 완충소재의 개발은 폐잔재의 경제적 활용방안 측면에서 실효성 있는 연구라고 사료되어진다.

본 연구에서는 환경친화적 완충소재 제조를 위하여 진공성형 방식을 이용한 평판형

열풍·진공감압기를 설계 및 제작하였으며, 주원료인 폐잔재의 펄프화를 위하여 섬유 손상이 비교적 낮은 열기계펄프화법(thermomechanical pulping)을 이용하였다. 또한 완충소재 제조를 위한 보조제로써 양이온성 전분(cationic starch)을 결합보조제 및 표면 사이즈제(surface-sizing agent)로 이용하였다. 완충소재의 제조는 평판형 열풍·진공감압기를 이용하여 저진공(1~780mmHg)에서 섬유 현탁액으로부터 과량의 물을 제거한 후 80-180℃ 온도의 열풍으로 잔류 수분을 증발 제거시켜 다양한 형상의 완충소재를 제조하였다. 진공성형 방식을 이용한 완충소재의 물성을 측정하기 위하여 백색도(brightness), 겉보기밀도(apparent density), 압축강도(compressive strength), 탄성계수(Elastic modulus), 그리고 공극률(porosity)을 측정하였다. 진공성형 방식을 통한 친환경적 완충소재가 충분한 완충성능을 갖는다면 폐잔재에 대한 재활용 측면에서나 발포스티로폼 등의 완충소재의 대체를 통한 지구환경보전이라는 측면에서 매우 유용한 기술이라 사료되어진다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험의 공시 재료로는 경상대학교 덕산(지리산) 학술림에서 채취한 직경이 15 cm 미만의 침엽수류(*Pinus rigida*, *Pinus densiflora*), 참나무류(*Fagus multinervis*, *Quercus acutissima*, *Quercus variabilis*) 등을 이용하였다.

2.2 폐잔재의 펄프화

폐잔재를 펄프화하기 위하여 약 2.5×2.5×10 mm 크기로 치핑한 후 다이제스터(대일기공)에서 120-140℃, 3-4 kg/cm²로 2분간 예열한 후 싱글디스크 리파이너(single-disk refiner, 대일기공)에서 2분간 해섬하여 열기계펄프(Thermo-mechanical Pulp, TMP)를 제조하였다. 폐잔재의 해섬시 해섬의 정도에 따라 섬유의 형상에 큰 영향을 주기 때문에 섬유의 여수도가 약 650-700 mL CSF 되도록 해섬하였다. 본 실험의 펄프화는 섬유의 손상을 최소화하기 위하여 습식 해섬하여 펄프 섬유를 생산하는 열기계펄프화법(thermomechanical pulping)을 이용하였다.

TMP 펄프에 대한 표백 처리 전후의 물성을 비교 분석하였다. 폐잔재 TMP의 표백

조건은 환경 및 경제적 측면을 최소화하기 위하여 수산화나트륨(NaOH)과 과산화수소(H₂O₂)만을 이용하였다. 또한, 최근 재활용 측면이 문제시 되고 있는 폐MDF의 펄프화 통해 완충소재를 제조 후 성형성, 완충효능 등을 비교 분석 하였다. 폐MDF의 펄프화는 Wonder Blender (WB-08, Sanplatec corp., Japan)를 이용하여 2500 rpm의 속도로 20초간 처리하는 건식 해섬 방법을 이용하였다.

2.3. 평판형 열풍·진공감압기의 개발

펄프화 된 섬유를 이용하여 완충소재를 제조하기 위한 평판형 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 위한 결합보조제는 양이온성 전분을 사용하였다.

2.4. 완충소재의 표면사이징

외부 충격에 대한 완충소재의 형상 변형을 최소화하기 위하여 양이온성 전분(Cationic starch, Samyang Genex Corp.)을 1%로 호화하여 완충소재의 표면을 사이징 처리하였다. 표면사이징 처리 후 물리적 성질의 변화를 측정하기 위하여 물성 분석기(TA-XT2i, Stable Micro Systems)를 사용하여 압축강도(kgf), 탄성계수(kPa)를 측정하였다.

2.5. 완충소재의 물성분석

완충소재의 대한 물리적 성질을 측정하기 위하여 물성 분석기(TA-XT2i, Stable Micro Systems)를 사용하여 압축강도(kgf), 탄성계수(kPa)를 측정 하였으며, 백색도는 미국 Technidyne사의 Brighterimeter Micro S-5/BOC를 이용하였다. 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. 완충소재의 공극률은 포매(embedding)를 통해 약 20 μm 두께의 미세 박편을 만든 후 1%

Toludine Blue 용액에서 염색하여, Olympus의 광학현미경을 이용하여 단면 사진을 촬영한 후 Carl Zeiss사(Germany)의 Axiovision 4.4 화상분석프로그램으로 영상을 검은색과 흰색 영역으로 이진화 하였다. 이진화 되어진 영상 중 검은색 영역에 해당하는 면적이 공극(voids)에 해당되므로 이들 면적을 구하여 공극률을 계산하였다. 실제의 공극률은 부피 개념이지만, 20 μm 두께의 단면은 화상분석시 영상이 평면으로 인식되기에 공간(공극)에 대한 면적으로 계산되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면사이징처리에 대한 완충소재 물성변화

Fig. 1 와 fig. 2는 표면사이징 처리에 따른 완충소재의 탄성계수의 변화와 겔보기밀도 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 나타난 바와 같이 표면사이징 처리 횟수가 증가할수록 탄성계수와 겔보기밀도 값이 증가하였으나 그 변화 폭은 크지 않음을 확인할 수 있었다.

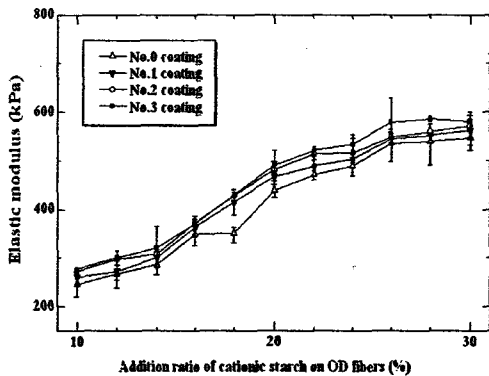


Fig. 1. Effect of surface sizing and starch addition on elastic modulus of TMP cushion.

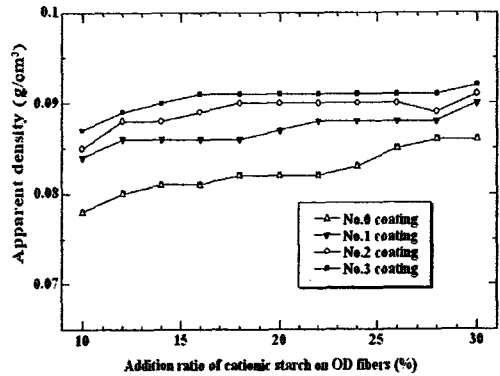


Fig. 1. Effect of surface sizing and starch addition on apparent density of TMP cushion.

Fig. 3는 표면사이징 처리 전·후의 표면 변화를 Olympus(SZ61, Japan) 실제 현미경을 통해 촬영한 것이다. fig. 3(b)에 나타난 바와 같이 표면사이징 처리 이후 완충소재 표면에 필름막이 형성되어 표면사이징처리 이전과 비교하여 완충소재 표면의 공극이 줄어들어 매우 치밀해지는 것을 확인하였다. 따라서 표면사이징 처리에 의해 완충소재의

표면으로부터 섬유들이 탈리되어 나오는 것을 방지할 뿐만 아니라 외부 마찰 혹은 충격으로 완충소재의 형상이 파괴되는 것을 방지하는 효과를 기대할 수 있을 것이다.

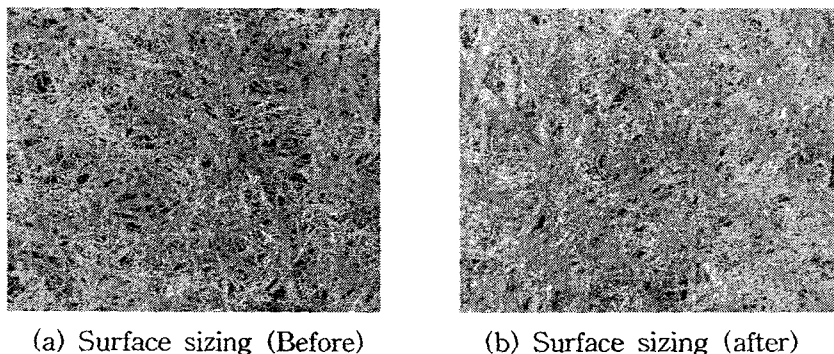


Fig. 3. Microphotography of a surface of a TMP cushion before and after surface sizing.

3.2 완충소재의 물성

Fig. 5는 양이온성 전분의 첨가량에 따른 발포 스티로폼과 TMP, BTMP 및 폐MDF로 제조한 완충소재의 탄성계수를 비교하여 나타내었다. 양이온성 전분 첨가량이 30%일 때, 폐MDF로 제조한 완충소재를 제외하면 폐잔재를 펄프화하여 제조되어진 완충소재의 탄성계수 값이 발포 스티로폼보다 낮은 값을 나타내었다. Fig. 6은 양이온성 전분의 첨가량에 따른 발포 스티로폼과 TMP, BTMP 및 폐MDF로 제조한 완충소재의 겉보기 밀도를 스티로폼과 비교한 그래프이다. 그래프에서 나타난 바와 같이 양이온성 전분 첨가량과 관계없이 폐잔재를 펄프화하여 제조되어진 완충소재 모두 스티로폼보다 높은 밀도를 보였다. 이는 완충소재의 중량 증가로 인한 포장 물류비용의 상승을 초래하므로 밀도 증가 요인을 줄일 필요가 있을 것으로 판단되었다.

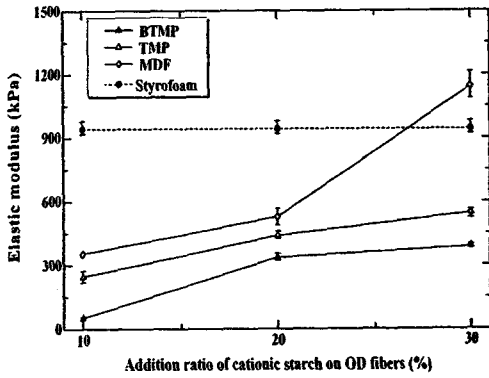


Fig. 5. Elastic modulus of shock-absorbing materials by cationic starch addition.

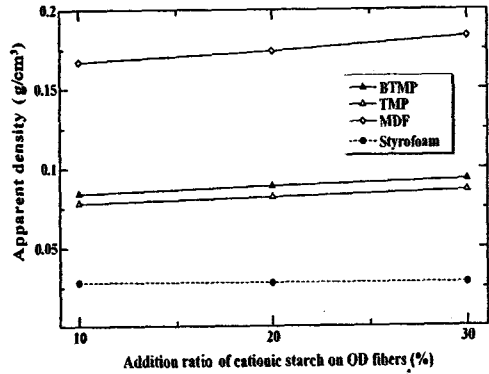


Fig. 6. Apparent density of shock-absorbing materials by cationic starch addition.

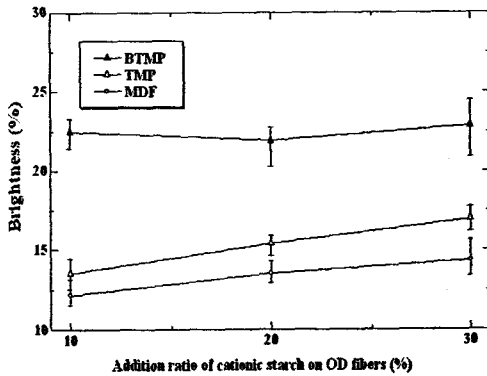


Fig. 7. Brightness of shock-absorbing materials by cationic starch addition.

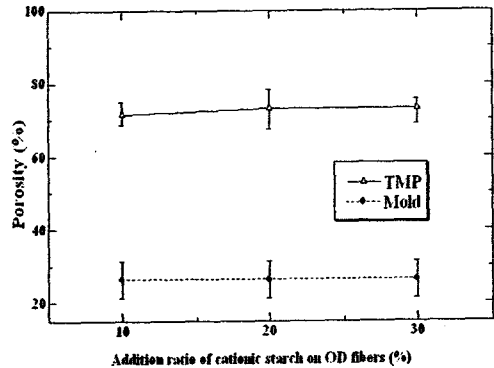


Fig. 8. Porosity of shock-absorbing materials by cationic starch addition.

Fig. 7은 양이온성 전분의 첨가량에 따른 완충소재의 백색도를 비교하여 나타내었다. 그래프에 나타난 바와 같이 양이온성 전분 첨가량에 따른 백색도의 변화는 완충소재에 큰 영향을 미치지 않았으나, TMP 및 펄MDF로 제조한 완충소재와 비교하여 표백공정을 거친 BTMP의 경우 다소 높은 백색도를 나타내었다. 그러나 표백 약품의 사용으로 인한 폐수 처리 비용과 추가적인 표백 비용의 발생으로 인한 제조단가의 상승을 감안한다면 표백공정 되도록 피하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. Fig. 8은 TMP로 제조한 완충소재와 Mold의 공극률을 비교하여 나타내었다. 공극률 높다는 것은 그 만

큼 완충소재의 내부 구조가 매우 큰 다공성 구조(porous structure)를 지닌다는 것을 의미한다. 따라서 TMP로 제조된 완충소재의 경우 Mold와 비교하여 외부 충격을 흡수할 수 있는 매우 큰 다공성 구조를 지닌다고 판단되어진다.

4. 결론

현재 활용가치가 낮은 폐재, 간벌재 및 소경목 등의 폐잔재를 경제적으로 활용할 수 있는 새로운 방안으로써 폐잔재를 펄프화 하여 난분해성 포장 완충재인 발포 스티로폼을 대체할 수 있는 환경친화적 완충소재를 제조할 수 있는 기술을 개발하였다. 완충소재 제조시 기능성보조제는 양이온성 전분을 이용하여 환경적인 부담을 최소화 하였으며, 진공성형 방식을 통해 완충성능 향상을 도모하였다. 발포 스티로폼과 폐잔재로 제조한 완충소재의 물성을 양이온성 전분첨가량에 따라 비교·분석한 결과 겉보기 밀도는 발포 스티로폼에 비하여 다소 높게 나타났으나 탄성계수는 매우 우수한 물성을 나타내었다. 또한 Mold와 폐잔재로 제조한 완충소재의 공극률을 비교한 결과 폐잔재로 제조한 완충소재의 공극률이 매우 높은 값을 나타내었다. 따라서 폐잔재로 제조한 완충소재는 밀도 값이 다소 높기는 하나 내부 구조가 매우 큰 다공성 구조를 지님으로써 외부의 충격을 내부에서 흡수할 수 있음을 의미함과 동시에 매우 낮은 탄성계수 값으로 인해 완충소재로써 충분한 완충성능을 지님을 확인할 수 있었다.

폐잔재를 펄프화 하여 환경친화적인 완충소재 제조시 밀도 상승 요인만 줄일 수 있다면, 국내의 이용가치가 낮은 폐잔재 자원의 재활용을 통해 경제적 가치를 고양시키고, 지역 임업농가 및 산림조합 등에서 발생하는 간벌재 및 폐재가 임업농가의 부가 소득원으로 이용될 수 있고, 또한 다양한 물품의 포장에 환경친화적 포장 완충소재가 이용됨으로써 난분해성 포장완충재 시장의 상당 부분을 환경친화적인 폐잔재 완충소재가 대체할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 2004년 농업기술관리센터 주관의 농림기술개발 연구사업의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

1. 홍석인, 김종태, 김철진, 배합조건에 따른 완충포장용 전분 압출물의 물리적 특성 변화, 산업식품공학 2(1): 68-74, 1998.
2. 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.
3. 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.
4. 김현진 외 2명. 2005. 교토의정서 발효 이후의 기업경영. 삼성경제연구소. CEO Information(제 488호)
5. 임업연구원. 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안. 농림부.
6. Patel, M., Green Plastic Jr. 3(4): 14, 2004.
7. Riggle, D., BioCycle, March, 64-70, 1998.
8. Adamson, A. and Gast, A.P., Physical Chemistry of Surfaces, 6th ed., John Wiley&Sons, New York , 1997.