Journal of Korea TAPPI
Vol.38.No.2, 2006
Printed in Korea

폐잔재의 펄프화를 통한 환경친화적 완충소재의 개발

이영민 · 김철환† · 김재옥 · 김경윤 · 신태기 · 송대빈*1 · 박종열

(2006년 3월 21일 접수: 2006년 5월 10일 채택)

Development of Environment-friendly Cushioning Materials by Pulping of Waste Residual Woods

Young-Min Lee, Chul-Hwan Kim†, Jae-Ok Kim, Gyeong-Yun Kim, Tae-Gi Shin,

Dae-Bin Song*1, and Chong-Yawl Park

(Received on March 21, 2006: Accepted on May 10, 2006)

ABSTRACT

Environment-friendly shock-absorbing (cushioning) materials were made using a vacuum forming method from waste wood collected from local mountains in Korea. The waste wood was pulped by thermomechanical pulping. The TMP cushions showed superior shock-absorbing properties with lower elastic moduli compared to EPS(Expanded Polystyrene) and pulp mold. Even though the TMP cushions made using at different suction times had many free voids in their inner fiber structures, their apparent densities were a little higher than EPS and much lower than pulp mold. The addition of cationic starch improved elastic modulus of the TMP cushions without increasing the apparent density, which was different from surface sizing with starch. The porosity of the TMP cushions was a little greater than EPS and much less than pulp mold. Finally, the TMP cushions have great potential to endure external impacts occurring during goods distribution.

Keywords : *shock-absorbing materials, waste woods, pulp fibers, vacuum forming method, plate-like cushioning materials*

• 본 연구는 2004년 농업기술관리센터 주관의 농림기술개발 연구사업의 지원으로 수행되었음.
• 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest products/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)
*1 경상대학교 생물산업기계공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Bio-industrial Machinery Engineering,/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)
† 주저자(Corresponding author): E-mail: jameskim@gnu.ac.kr

1. 서 론

플라스틱류 포장재가 사용되기 시작한 것은 석유화학공업이 발전하기 시작한 1920-1930년경이었고 1950년에는 LDPE(Low-Density Polyethylene) 포장재질이 등장하면서 압출 박판(sheet)과 필름의 가공 기술의 발달과 함께 PP(Polypropylene), Nylon, PS(Polystyrene) 등의 소재가 급속 성장하게 되었다. 가볍고 경제적이면서 성형이 용이하고 완충성능이 뛰어나기 때문에 다른 소재와 경쟁없이 현재까지 포장완충소재로 널리 이용되었다. 그러나 이러한 석유계 플라스틱류 포장재는 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 유발하는 등의 많은 환경적인 문제들로 인해 최근 인간과 생태계까지 위협하고 있다. 이에 전세계적으로 EPS(Expanded Polystyrene, 발포스티로폼) 등의 난분해성 포장완충소재 사용에 대한 규제가 강화되었으며, 스티로폼을 대체할 수 있는 분해성 소재를 이용한 환경친화적인 포장완충소재에 대한 관심이 더욱 커져가고 있다.[1,2]

현재 국내에서는 환경친화적인 포장완충소재에 대한 개발과 기존의 분해성 포장재에 대한 용도개발은 많은 분야에서 연구되어지고 있지만 실효를 거두지 못하고 있는 실정이다. 대표적인 분해성 포장소재로는 종이류, 골판지, 목모 등의 셀룰로오스계와 옥수수 전분 등의 전분계를 들 수 있으며, 국내의 경우 농산물용의 계란난좌, 청과물 트레이 그리고 공산품용의 가전제품 포장재들이 고지를 원료로 제조한 펄프몰드로 이용되고 있다.[3] 그러나 고지를 이용한 펄프몰드의 경우 성형공정 동안 높은 압력과 고진공의 영향으로 포장재 자체 밀도가 높아 물류 운송비의 증가를 초래하게 되며, 완충성능이 매우 열악하여 외부의 충격에 의해 포장재 내부 물품의 손상을 초래할 가능성이 있다. 또한 고지의 사용량 증가로 인해 원료의 상대적인 가격상승을 피할 수 없게 된다. 따라서 환경친화적인 완충소재는 외부의 충격에도 내부의 물품을 보호할 수 있는 충분한 완충성능을 가져야 하며 동시에 원료에 대한 경제적인 측면이 고려되어야 한다.

현재 국내의 폐잔재 발생량은 연간 총 목재 사용량의 40% 수준이며, 이를 톱밥 및 원료 등으로 재활용하는 비율은 43.4%에 그치고 있고, 소각 및 매립 등의 방법으로 폐기되는 비율이 56.6%이다.[4] 이는 자원부족으로 대부분의 자원을 수입에 의존하는 국내 여건을 감안한다면 엄청난 손실이 아닐 수 없다. 이에 최근 정부에서는 국내에서 발생하는 폐잔재에 대해 제품의 다양화, 유통체계의 개선 및 재활용 제품에 대한 홍보 등을 통해 폐잔재 재활용에 대한 지원 및 법적 기반을 마련하고 그에 대한 촉진방안을 모색하고 있다. 또한 현재 목재칩, 연료, 퇴비 및 톱밥 등으로 이용되고 있는 폐잔재 재활용제품에 대한 선호도가 저가라는 가격측면에서 품질에 대한 만족과 제품의 다양성에 대한 요구로 이동하고 있는 실정이다. 따라서 폐잔재를 보다 경제적으로 재활용하는 측면에서 난분해성 완충소재를 대체할 수 있는 환경친화적인 완충소재의 원료로 이용될 수 있는지 가능성을 확인하고자 하였다.

본 연구에서는 완충소재 원료에 대한 경제적인 측면과 완충성능을 고려하여 이용가치가 낮은 폐재 및 간벌재 등의 목질계 원료를 환경친화적 방법으로 펄프화시킨 후 진공성형방식에 의해 우수한 완충성능을 가지는 생분해성 완충소재를 개발하고자 하였다.

폐잔재를 이용한 완충소재의 우수한 완충성능을 위하여 진공성형 방식을 이용한 평판형 열풍-진공 감압기를 설계 및 제작하였으며, 저진공 하에서 진공시간의 변화에 따른 완충소재를 제조하여 기존의 펄프몰드와 스티로폼과의 물성을 비교 분석하였다. 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 표면사이즈제(surface-sizing agent)로 이용하였다. 완충소재의 제조는 저진공도(1-780 mmHg)에서 진공시간에 변화에 따라 섬유 현탁액으로부터 과량의 물을 제거한 후 80-180℃ 열풍을 10분간 불어넣어 증발을 통해 잔류 수분을 제거하는 방식으로 제조하였다. 완충소재의 백색도(brightness), 겉보기밀도(apparent

density), 압축강도(compressive strength), 탄성계수(elastic modulus), 그리고 공극률(porosity) 등의 물성 측정을 통하여 폐잔재를 이용한 완충소재가 기존의 난분해성 완충소재를 대체할 수 있는지 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

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 25 mm × 25 mm × 10 mm 크기로 칩핑한 후 다이제스터(대일기공)에서 120-140℃, 3-4 kg/cm^{2}로 3분간 예열한 후 싱글디스크 리파이너(대일기공)에서 2분간 해섬하여 열기계펄프를 제조하였다. 폐잔재의 해섬시 해섬의 정도에 따라 섬유의 형상에 큰 영향을 주기 때문에 섬유의 여수도가 약 650-700 mL CSF가 되도록 해섬하였다.

현재 가장 널리 사용되는 완충소재인 발포스티로폼은 흰색을 띠고 있어 소비자들에게 시각적으로 각인되어 있는 상태이다. 이에 백색도 증진을 목적으로 TMP 펄프를 표백 처리한 후 완충소재를 제조하여 표백 전·후의 물성을 비교하였다. 폐잔재 TMP의 표백 조건은 Table 1과 같으며, 환경 및 경제적 측면을 고려하여 알칼리 및 과산화수소 표백만을 실시하였다.

또한, 최근 재활용 측면이 문제시 되고 있는 폐MDF를 Wonder Blender (WB-08, Sanplatec Corp., Japan)를 이용하여 2500 rpm의 속도로 20초간 처리하는 건식 해섬 방법으로 펄프화한 후 완충소재를 제조하여 성형성 및 완충성능 등을 비교 분석하였다.

2.3 평판형 열풍 · 진공성형기

펄프 현탁액을 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 최소하기 위하여 양이온성 전분(Samyang Genex Corp)을 1%로 호화하여 완충소재의 표면을 사이징 처리하였다. 표면사이징 처리 후 물리적 성질의 변화를 측정하기 위하여 물성 분석기(TA-XT2i,

Table 1. Bleaching-condition of wastewood

	Bleaching chemicals	Typical addition levels (%)*
Bleaching	NaOH	2.0
	H_2O_2	2.0
Processing condition	Bleaching temp.: 80℃ pH 7.5 Bleaching time: 60 min, Bleaching consistency: 1%(v/v)	

* Addition levels based on oven-dried pulp weight(g).

Stable Micro Systems)를 사용하여 압축강도(compressive strength, kgf), 탄성계수(elastic modulus, kPa)를 측정하였다.

2.5 완충소재의 제조

완충소재 제조는 원료의 펄프화 및 원료조성, 성형기에서 진공탈수, 열풍을 통한 건조, 그리고 표면사이징 및 105±3℃에서 완전 건조 단계로 이루어진다. Fig. 1은 완충소재 제조공정의 간단한 모식도이다. 먼저 잔재 및 소경재를 다이제스터와 싱글디스크 리파이너를 이용하여 펄프화한 후 이를 3% 농도로 희석하였다. 폐잔재를 이용하여 제조된 TMP의 경우 리그닌이 다량 함유된 열기계펄프 자체의 강직함때문에 수소결합만으로는 섬유간 결합이 매우 약하기 때문에 성형이 매우 어렵다. TMP 섬유의 결합 성능을 보조하기 위하여 치환도(DS) 0.06인 양이온성 전분을 섬유의 전건중량에 대하여 0%, 10%, 20% 그리고 30% 첨가하였다. 전분은 완충소재 성형상자에 투입하기에 앞서서 약 80-85℃ 온도에서 20-25분간 호화(gelatinization)시킨 후 1%로 희석하여 사용하였다. 전분이 혼합된 펄프 현탁액은 교반기를 이용하여 800 rpm에서 1분간 해리시켜 이용하였다. 전분이 배합된 3% 지료를 진공성형장치에 넣은 후 진공탈수 시간을 10-60초 범위(10초 간격)에서 변화시켜 완충소재를 제조하였다.

성형된 완충소재는 약 150℃의 온도로 가열된 공기를 송풍기를 통하여 완충소재 쪽으로 10분간 강제 송풍시켜 완충소재에 잔류되어 있는 과량의 수분을 제거한 후 건조 오븐(drying oven)에서 대기상태의 함수율(5-8%)까지 건조시켰다.

건조된 완충소재의 표면은 약한 수소결합에 의하여 결합된 미세섬유들로 구성되어 있기 때문에 사용 중 접촉 혹은 마찰로 인하여 지분의 형태로 쉽게 탈리되는 경향이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 호화된 1% 전분용액으로 완충소재의 표면을 3회 반복 표면사이징(surface sizing) 처리를 한 후 완충소재의 물성을 측정하였다.

2.6 완충소재의 물성분석

완충소재의 대한 물리적 성질을 측정하기 위하여 물성 분석기(TA-XT2i, Stable Micro Systems)를 사용하여 압축강도, 탄성계수를 측정하였으며, 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.)을 사용하여 완충소재의 면적을 측정하였고, 버니어캘리퍼스를 이용하여 평균 두께를 구한 후 소재의 체적(volume)을 구하였고, 소재의 질량을 체적으로 나누어 겉보기밀도

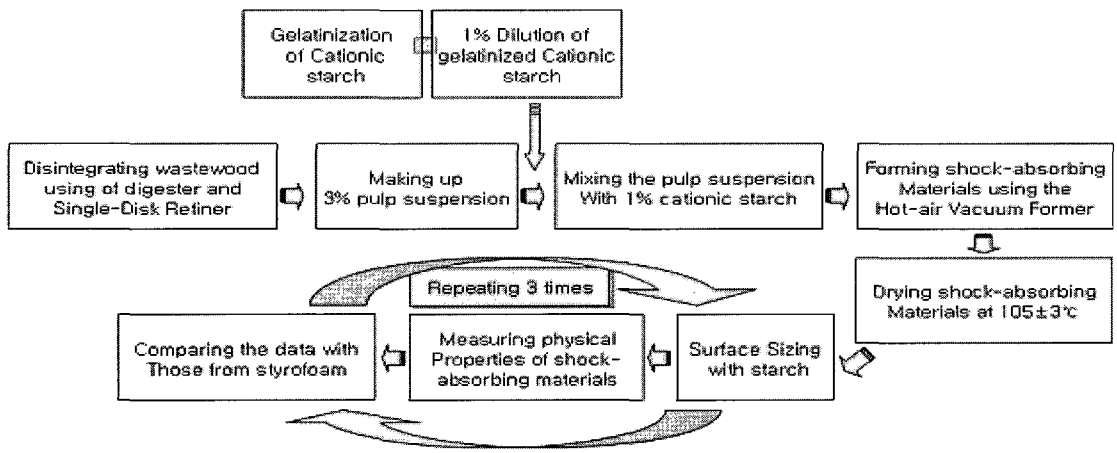


Fig. 1. Manufacturing process of shock-absorbing materials.

를 계산하였다. 또한 완충소재 내부의 구조를 확인하고자 완충소재의 공극률 측정하였다. 완충소재의 공극률은 완충소재의 일부분을 채취하여 포매(embedding)를 통해 약 20 ㎛ 두께의 미세 박편을 만든 후 1% Toludine Blue 용액에서 염색하여, Olympus사(SZ61, Japan)의 광학현미경을 이용하여 단면 사진을 촬영한 후(Fig. 2의 a, c), Carl Zeiss사(Germany)의 Axiovision 4.4 화상분석프로그램으로 영상을 검은색과 흰색 영역으로 이진화(Fig. 2의 b, d)시킨 후, 이들 영상 중에서 검은색 영역에 해당하는 면적이 공극(voids)에 해당되므로 이들 면적을 측정한 후 이들 값을 아래의 식 1에 대입하여 공극률을 계산하였다. 실제의 공극률은 부피 개념이지만, 20 ㎛ 두께의 단면은 화상분석시 영상이 평면으로 인식되기에 공간(공극)에 대한 면적으로 계산되었다.

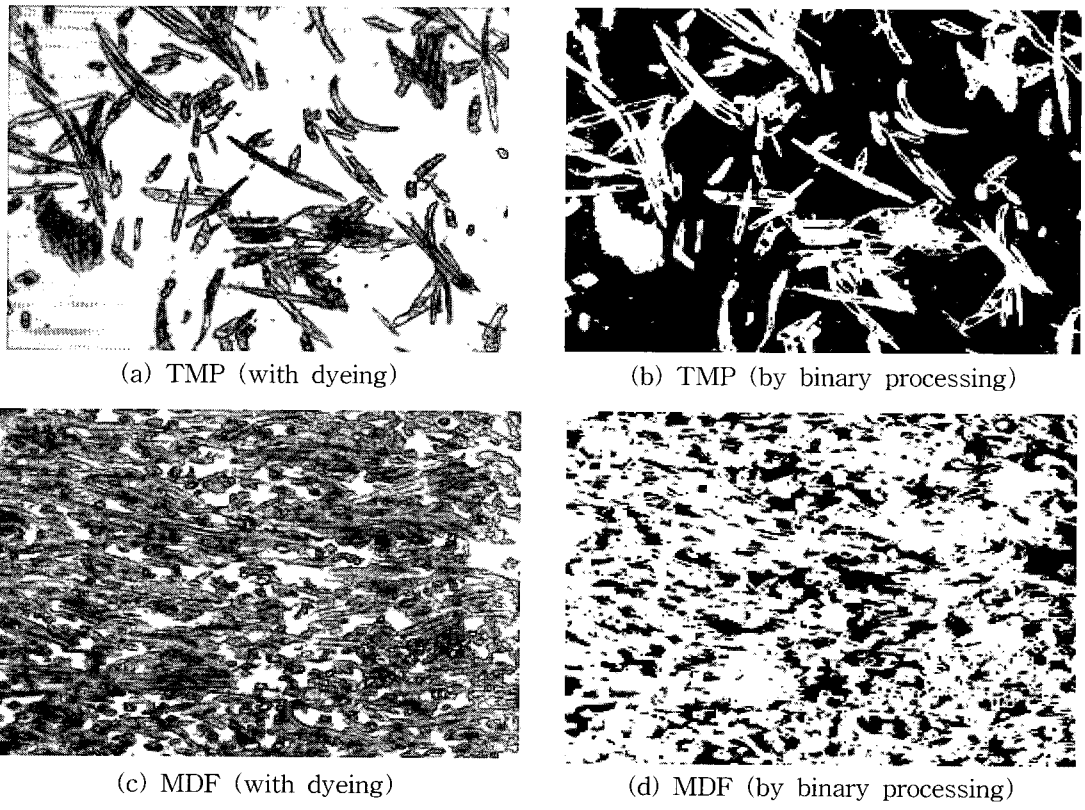
$$Porosity(\%) = \frac{A_t - A_s}{A_t} \times 100 \quad [1]$$

At - As = Area occupied by voids,
At = Total area.

3. 결과 및 고찰

3.1 완충소재의 단면 형상

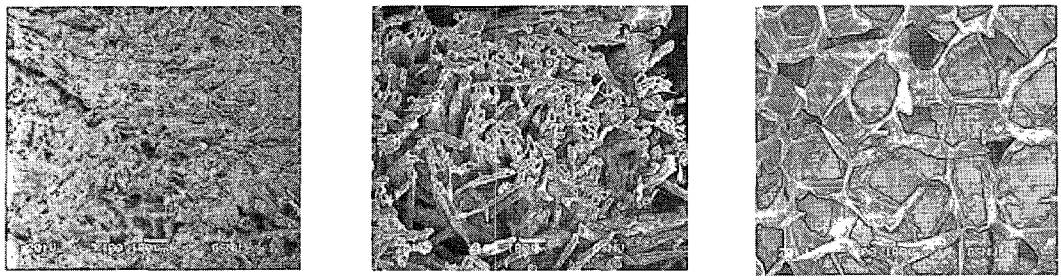
완충소재는 외부로부터 충격이 가해졌을 때 그 충격을 흡수하여 포장된 물품에 손상이 가해지지 않도록 해야 한다. 충격 흡수를 위해서는 완충소재의 내부 구조가 매우 큰 다공성 구조(porous structure)를 지녀야 하고, 결국 밀도가 낮은 구조(bulky structure)가 되어야 한다. 현재 유통되어지고 있는 몰드 형태로 만들어진 완충소재의 경우 그 조직이 매우 규칙적이면서도 치밀하여 외부 충



(a) TMP (with dyeing) (b) TMP (by binary processing)

(c) MDF (with dyeing) (d) MDF (by binary processing)

Fig. 2. Cross-sections of shock-absorbing materials(×40).



(a) Pulp mold (b) TMP (c) Styrofoam

Fig. 3. Cross-sectional views of various packing cushions.

격을 흡수하는 것이 매우 어렵다. 즉, 펄프 몰드는 Fig. 3의 (a)와 같이 외부 충격이 그대로 포장물품에 전달되는 중간 매개체 역할을 하게 된다. 이에 반해 스티로폼은 Fig. 3의 (c)와 같이 외부 충격을 흡수하기 위해 98% 이상의 공극을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 폐잔재 섬유를 원료로 하여 제조되어진 완충소재의 경우 Fig. 3의 (b)에서 보는 바와 같이 펄프 몰드의 단면 조직과는 달리 내부 구조가 무질서하면서도 느슨하게 형성되어 수많은 공극(voids)들이 존재하므로 발포 스티로폼과 유사하다. 진공 성형된 완충소재에는 외부로부터 완충소재에 충격이 가해지더라도 그 충격을 흡수할 수 있는 여유 공간들이 형성되어 있기 때문에 외부충격의 대부분이 완충소재 내부에서 제거되어 버린다. 따라서 완충소재가 외부 충격으로부터 포장 물품을 보호하는 역할을 하게 된다.

3.2 완충소재의 물성

3.2.1 진공탈수시간에 따른 물성변화

물리적 측면에서 완충소재로서의 기능을 평가하는데 있어서 가장 중요한 요소는 완충소재의 탄성계수(kPa)와 밀도(g/cm^3)이다. Fig. 4는 폐잔재 TMP를 성형할 때 완충소재의 형상유지에 필요한 양이온성 전분의 양을 10% 첨가하여 진공시간(suction time)에 따른 겉보기 밀도의 변화를 스티로폼과 펄프몰드의 값을 비교하여 나타낸 그래프이다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 폐잔재 TMP로 제조한 완충소재의 경우 초기 진공탈수에서는 겉보기 밀도가 다소 증가하였지만 30초 이후부터 증가 폭이 미미하였다. 이는 폐잔재 TMP로 제조한 완충소재의 경우 TMP 자체가 리그닌을 다량 함유한 강직한 섬유로 이루어져 있기 때문에 일정 시간 이상의 저진공(low vacuum) 탈수에 의해서는 섬유간 결합에 필요한 Campbell력이 더 이상 작용하지 않아 완충소재의 조직이 치밀해지는 경향이 거의 없어지는 것으로 판단된다.[5]

Fig. 4에 나타난 바와 같이 발포 스티로폼의 밀도는 약 0.03 g/cm^3 정도로 펄프 몰드의 0.3 g/cm^{3}에 비하여 10배 정도 낮은 값을 보이고 있다. 반면에 폐잔재 TMP로 만든 완충소재는 진공 시간의 변화에 따라 0.08 - 0.12 g/cm^3 의 밀도를 가짐으로써 스티로폼의 밀도에 비하여 2-4 배 정도 더 크지만 펄프 몰드에 비해서는 훨씬 더 낮은 밀도를 나타내었다. 이는 펄프 몰드의 경우, 제조 과정 중에서

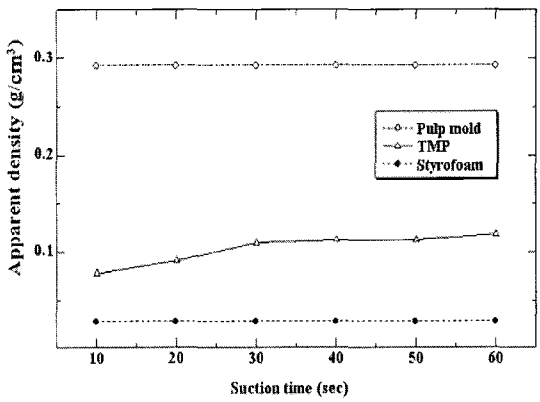


Fig. 4. Effect of suction time on apparent densities of cushioning materials.

진공압착 공정에 의하여 섬유들간의 고밀화가 진행되어 밀도가 상당히 높아진 것으로 판단되며, 반면 TMP 완충소재는 진공 성형이후 압착 공정이 생략되었기 때문에 섬유들의 고밀화가 미미하게 진행되어 펄프 몰드에 비하여 밀도가 매우 낮은 것으로 판단된다. 또한 TMP 완충소재는 섬유 자체의 강직함으로 인해 섬유간 결합이 매우 느슨하게 되어 밀도가 낮은 다공성의 내부구조(bulky structure)를 가지는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 폐잔재 TMP에 대해 양이온성 전분을 10% 첨가하여 진공시간의 변화에 따라 제조되어진 완충소재의 탄성계수를 스티로폼의 탄성계수와 비교하여 나타낸 그래프이다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 폐잔재 TMP로 제조한 완충소재의 탄성계수 값은 진공 탈수시간에 따라 증가 폭이 다소 높은 경향이 있으나 Fig. 4의 겉보기 밀도 결과와 유사한 결과 값을 보이는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 진공 탈수시간의 증가가 완충소재의 밀도 상승에는 큰 영향을 미치지 않지만 결합보조제로 첨가된 전분과 섬유들 사이의 결합력을 상승시켜 탄성계수를 상승시키는 것으로 판단되어진다. 완충성능을 평가하는데 있어서 탄성계수가 지나치게 높게 나타나면 외부 충격을 포장 물품 쪽으로 전이하는 힘이 커지는 것을 의미하기 때문에 포장 물품의 파손을 초래할 수 있다. 하지만 탄성계수가 너무 낮은 경우 외부충격에 의해 완충 소재 자체의 변형이나 파손이 일어나 내부 포장품의 손상을 유발할 수 있

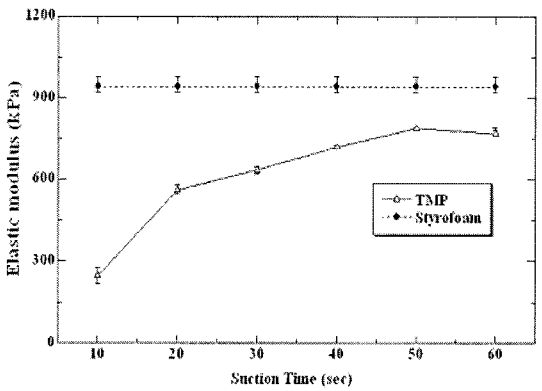


Fig. 5. Effect of suction time on elastic modulus of cushioning materials.

으므로 내부 포장품의 용도에 맞는 탄성계수가 필요할 것으로 판단된다. 따라서 완충소재 제조 시 탈수시간의 변화를 통해 포장 물품에 적합한 탄성계수를 가지는 완충소재 제조가 가능할 것으로 판단된다.

3.2.2 양이온성 전분 첨가량에 따른 물성변화

완충소재는 일반 종이류와는 달리 비용적(bulk)이 큰 상태로 제조되기 때문에 이웃한 섬유들 사이의 결합이 매우 약하게 이루어진다. 만약 이러한 상태로 완충소재가 제조된다면 완충성능은 상당히 개선될 것으로 기대할 수 있지만 완충소재의 형상이 쉽게 파괴될 가능성이 매우 높다. 따라서 이러한 부분을 개선하기 위해서는 섬유간 수소결합을 향상시킬 수 있도록 건조지력증가제(dry-strength additives)의 첨가가 필요하다. 그러나 적정 수준 이상의 건조지력증강제를 첨가하게 된다면 완충소재 조직의 과도한 고밀화(excessive consolidation)를 촉진시켜 완충성능의 손실을 초래하게 된다.[6] Figs. 6과 7은 스티로폼과 비교하여 건조지력증강제인 양이온성 전분을 사용함에 따른 폐잔재 TMP, BTMP, 그리고 폐MDF를 원료로 하여 제조한 완충소재의 겉보기밀도와 탄성계수 값을 나타내었다.

Fig. 6에서 나타난 바와 같이 원료 종류에 관계없이 양이온성 전분의 첨가량이 증가하면서 겉보기밀도가 조금씩 증가하였다. 이는 양이온성 전분이 섬유간 수소결합을 증가시켜 밀도 상승에 기여한 것으로 판단된다. 폐MDF, TMP 및 BTMP 중에서는 폐MDF로 제조한 완충소재가 가장 높은 밀도 값을 나타내었고, TMP로 제조한 완충소재가 가장 낮은 밀도 값을 나타내었다. 폐MDF로 제조한 완충소재의 밀도가 높은 이유는 보드의 강도적 성질 향상을 목적으로 투여되는 열경화성 수지와 이들 수지의 접착력 발현을 위하여 가한 높은 열압의 영향으로 건식 해섬된 섬유들 중에 미해리된 결속 섬유가 다량 존재하게 되고, 이러한 결속 섬유들이 완충소재의 겉보기밀도 상승에 기여한 것으로 보인다. BTMP로 제조한 완충소재의 경우에는 BTMP 섬유들이 Table 1의 표백 공정을 통해 리그닌의 발색단이 제거되어 섬유의 유연성과 함께

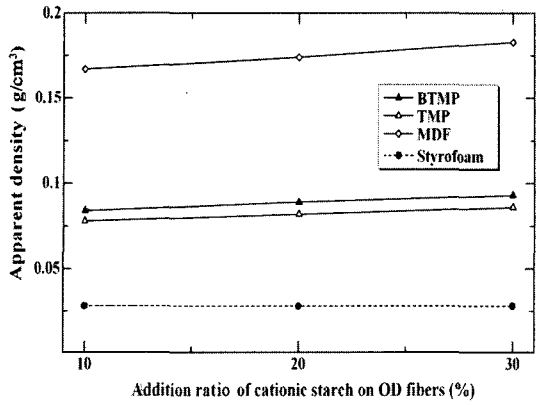


Fig. 6. Effect of cationic starch addition on apparent density of cushioning materials.

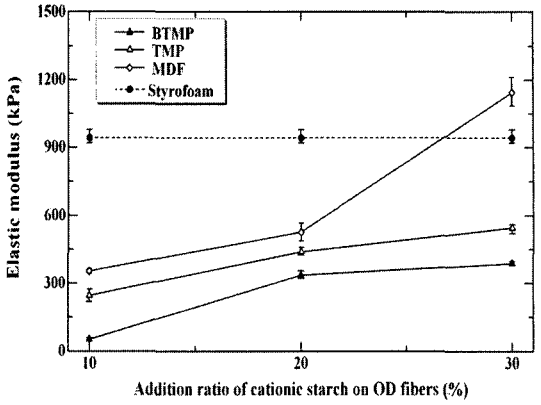


Fig. 7. Effect of cationic starch addition on elastic modulus of cushioning materials.

결합력을 증가시켜 겉보기밀도의 상승을 유도하였고, 결국 BTMP로 만들어진 완충소재의 겉보기밀도가 TMP로 만들어진 완충소재의 겉보기밀도에 비해서 전분 첨가량에 관계없이 다소 증가하였다.

Fig. 7에서는 양이온성 전분 첨가량이 30%일 때, 폐MDF로 제조한 완충소재를 제외하면 폐잔재를 펄프화하여 제조한 완충소재의 탄성계수 값이 발포 스티로폼보다 낮은 값을 나타남을 확인할 수 있었다. 특히 BTMP의 경우 전분 첨가량이 10%일 때 약 245 kPa의 탄성계수 값을 나타내는 TMP에 비해 약 3배 정도 낮은 값인 약 51 kPa 을 나타내었다. 하지만 탄성계수가 지나치게 낮으면 외부로부터 충격을 받았을 때 완충소재가 파괴되어 포장 물품에 손상을 초래할 가능성이 있으므로 양이온성 전분을 일정량 이상 첨가하여 적정 수준 이상의 탄성계수를 유지할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.2.3 표면사이징 처리에 대한 물성변화

완충소재는 외부로부터 충격이 가해졌을 때 충격 흡수를 위해서는 완충소재의 내부 구조가 다공성 구조를 지녀야 하고, 결국 밀도가 낮은 구조가 되어야 한다. 하지만 다공성 구조에 의해 밀도가 낮아질 경우 완충소재의 형상 유지가 어려워질 가능성이 커진다. 이는 외부의 충격이 완충소재가 가지고 있는 내부 결합력을 뛰어 넘을 경우 형상의 변형을 초래할 수도 있다는 것이다. 따라서 완충소

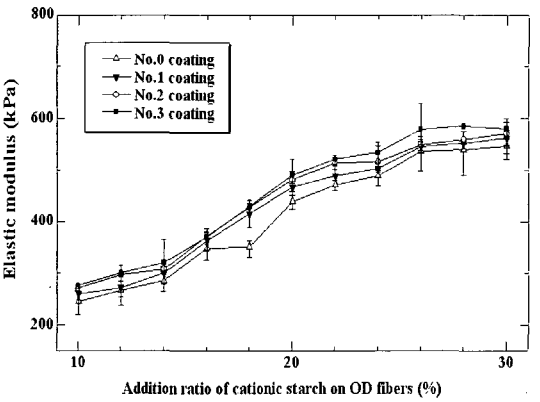


Fig. 8. Effect of surface sizing and starch addition on elastic modulus of TMP cushions.

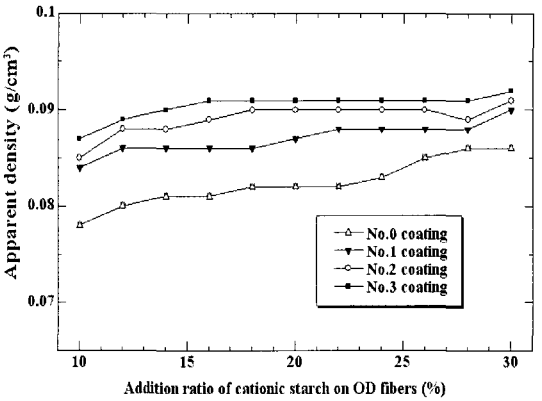


Fig. 9. Effect of surface sizing and starch addition on apparent density of TMP cushions.

재를 제조할 때 완충소재의 품질 향상 및 외부충격에 의한 변형을 최소화하기 위하여 건조공정 후 완충소재의 표면에 표면사이징 처리를 하는 것이 필요하다.[6,7]

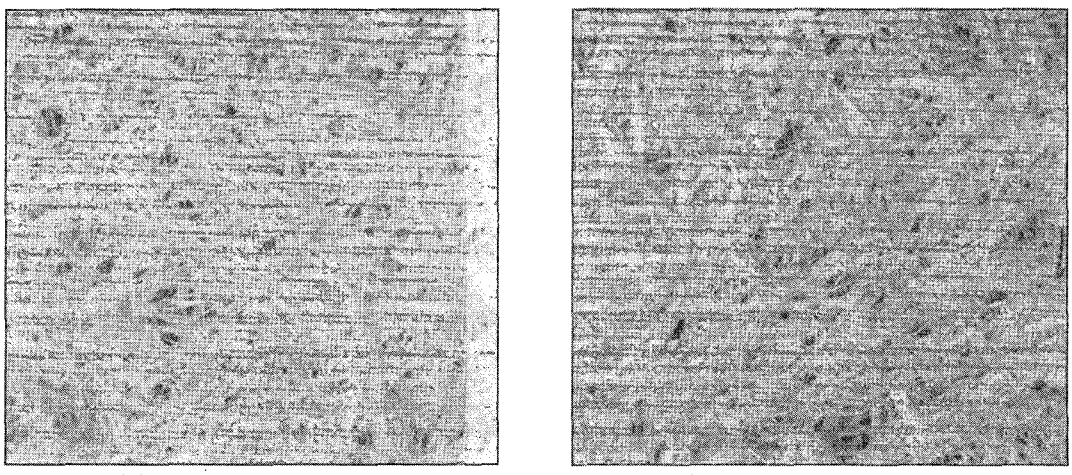
Fig. 8와 Fig. 9는 표면사이징 처리에 따른 완충소재의 탄성계수의 변화와 겉보기밀도 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 나타난 바와 같이 표면사이징 처리 횟수가 증가할수록 탄성계수와 겉보기밀도 값이 증가하였으나 그 변화폭은 크지 않음을 확인 할 수 있었다. Fig. 10은 표면사이징 처리 전·후의 표면 변화를 Olympus사의 실체 현미경을 통해 촬영한 것이다. Fig. 10 (b)에 나타난 바와 같이 표면사이징 처리 이후 완충소재 표면에 필름막이 형성되어 표면사이징처리 이전과 비교하여 완충소재 표면의 공극이 줄어 매우 치밀해지는 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 것으로 판단된다.

3.2.4 완충소재의 공극률 변화

완충소재의 완충성능은 완충소재의 내부 조직이 갖는 구조와 밀접한 연관이 있다. Fig. 2의 현미경 사진에서 살펴본 바와 같이 발포 스티로폼의 내부 구조는 스티로폼을 구성하는 단위 비드(bead)들이 팽창하여 형성된 거대한 공극들이 충격을 흡수하는 역할을 하게 된다. 따라서 폐잔재 TMP로 제조한 완충소재도 내부조직이 다공성의 구조를 형성하는 것이 바람직할 것이다.

Fig. 11은 TMP를 원료로 제조한 완충소재와 펄프 몰드가 갖는 공극률을 계산한 후 그 결과를 양이온성 전분의 첨가량에 따른 공극률 변화로 나타낸 그래프이다. Fig. 11은 완충소재 제조 시 첨가되는 양이온성 전분의 양을 달리하더라도 완충소재의 공극률에는 큰 차이를 나타내지 않음을 보여주고 있다. 이는 TMP 섬유로 이루어진 완충소재에 양이온성 전분을 첨가하면 섬유간 결합력의 향상에는 기여하지만 조직의 고밀화에는 큰 영향을 미치지 않음을 의미하는 것이다. 양이온성 전분 첨가량이 증가할 때 탄성계수가 증가하는 것이 바로 결합력 향상과 관련이 있는 것이다.

완충소재의 공극률은 진공 탈수시 탈수 속도에 큰 영향을 미친다. 완충소재의 조직 내부에 공극이 많으면 진공 탈수 시 수분의 이동 속도가 증가하게 되어 짧은 시간의 감압으로도 많은 양의 수분을 제거 할 수 있게 된다. 건조시간의 단축으로 완충소재의 제조단가도 낮출 수 있기 때문에 물리적 측면이나 경제적 측면에서 완충소재의 공극 형성은 완충소재의 제조 공정에서 매우 중요한 요소(key



(a) Non-sized material (b) Surface sized material

Fig. 10. Microphotography of the surface of a TMP cushioning materials before and after surface sizing.

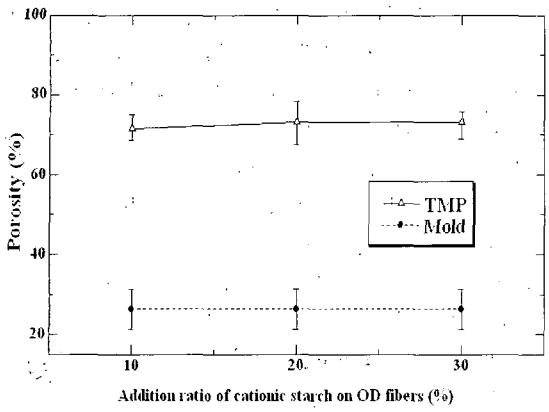


Fig. 11. Porosity of cushioning materials by cationic starch addition.

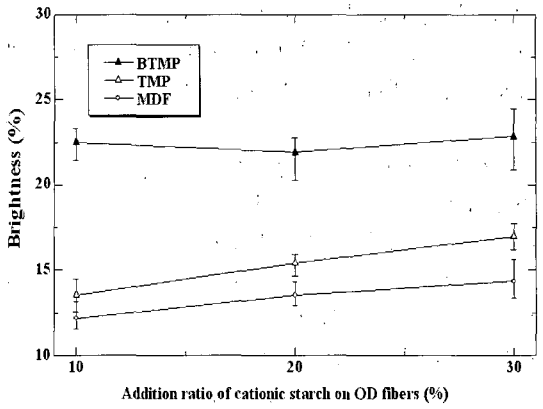


Fig. 12. Brightness changes of cushioning materials by cationic starch addition.

factor)라 사료된다.

3.2.5 표백 전·후 완충소재의 백색도 변화

현재 가장 널리 사용되고 있는 포장 완충재인 발포 스티로폼은 대부분 흰색을 띠고 있어서 소비자들도 포장 완충재가 흰색이어야 된다는 인식을 하고 있다. 폐잔재를 이용한 완충소재의 경우 원료 자체에 리그닌을 다량 함유되어 있기에 갈색을 띠고 있으므로 소비자들이 선호하는 밝은 색 계통으로 바꾸기 위해서는 표백 공정이 필요하다. 기계펄프의 표백은 표백 이후에도 고수율을 유지하기 위하서 리그닌 보존표백을 하는 것이 일반적이다.[8,9] Table. 1의 표백 공정과 같이 2단 표백을 통해 TMP를 표백한 후 완충소재를 제조하여 완충성능 변화를 알아보고자 하였다.

Fig. 12는 MDF를 원료로 제조한 완충소재와 표백 전·후의 TMP 완충소재의 백색도를 측정한 결과 값을 나타낸 그래프이다. TMP 섬유를 표백처리한 BTMP 섬유로 완충소재를 제조하였을 때 TMP 및 폐MDF 섬유로 제조한 완충소재에 비하여 훨씬 더 높은 백색도를 나타내었다. BTMP 완충소재는 전분 첨가량 증가에 따른 백색도 변이도 거의 나타나지 않았다. 그러나 MDF와 TMP 완충소재는 전분 첨가량이 증가할수록 백색도가 향상되었는데, 이는 백색 분말의 전분이 다량 첨가되어 백색도 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.

결론적으로 폐잔재나 소경재를 펄프화하여 완충소재를 제조할 때 표백을 통하여 흰색 계통의 완충소재를 제조할 수 있지만, 표백 약품의 사용으로 인한 폐수 처리 비용과 추가적인 표백 비용의 발생으로 인한 제조단가의 상승을 초래할 수 있기 때문에 표백 공정은 피하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 또한 환경적인 측면에서도 표백으로 인한 수질오염 문제도 발생할 우려가 있기 때문에 표백은 바람직하지 않은 것으로 사료되었다. 소비자들이 느끼는 미적인 감각보다는 환경을 생각하는 철학적 사고가 더 필요한 것으로 인지시킬 필요가 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 활용가치가 낮은 폐재, 간벌재 및 소경목 등의 폐잔재를 경제적으로 활용할 수 있는 새로운 방안으로써 폐잔재를 펄프화하여 난분해성 포장 완충재인 발포 스티로폼을 대체할 수 있는 환경친화적 완충소재를 제조할 수 있는 기술을 개발하였다. 완충소재 제조 시 기능성보조제는 양이온성 전분을 이용하여 환경적인 부담을 최소화하였으며, 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 물

성을 나타내었다. 또한 펄프 몰드와 폐잔재로 제조한 완충소재의 공극률 비교를 통해 폐잔재로 제조한 완충소재가 외부 충격에 대해 충분히 완충성능을 발현 할 수 있는 내부구조를 가짐을 확인하였다. 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.

폐잔재의 펄프화를 통해 환경친화적인 완충소재 제조 시 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 기대되었다.

사 사

본 연구는 2004년 농업기술관리센터 주관의 농림기술개발 연구사업의 지원으로 수행되었습니다.

인용문헌

1. Fritz, J., Link. U., and Braun, R., Environmental impacts of bio-based/biodegradable packaging, Starch, 53: 105-109 (2001).
2. DICER TECHINFO, 성장기에 들어선 그린 플라스틱 시장의 현상과 과제, Digital Information Center for Environment Research, Part III, Vol.3(11): 588-592 (2004).
3. N. H. Park., Development of manufacturing system of degradable packaging materials using rice straw, Korea Food Research, Institute (1996).
4. W. J. Kim., Waste-wood collected system improvement & recycled promotion plan, Korea Forest Research Institute (2000).
5. Adamson, A. and Gast, A. P., Physical Chemistry of Surfaces, 6th ed., John Wiley & Sons, New York (1997).
6. Adams, A. A., Effect of size press treatment on coating holdout, Tappi J. 66(5): pp.
7. Lee, H. L., Shin, J. Y., Koh, C. H., Ryu, H., Lee, D. J., and Sohn, C., Surface sizing with cationic starch: its effect on paper quality and the papermaking process. Tappi Journal, 1(1):34-40 (2002).
8. Minor, J. L., Recycling Bleach Technology, Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 266.
9. Parker, M. L., Mauldon, R. G., and Chapman, D. R., Bleaching and Environment, Australian Government Publishing Service, Report No.1, May 21 (1990).