

# 환경친화적 완충재의 개발을 위한 폐지 섬유 이용

## Utilization of Wastepaper Fibers for Developing Environment-friendly Shock-Absorbing Materials

김철환<sup>1)</sup> · 송대빈<sup>2)</sup> · 이영민<sup>1)</sup> · 김경윤<sup>1)</sup> · 신태기<sup>1)</sup> · 박종열<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>경상대학교 임산공학과 <sup>2)</sup>경상대학교 생물산업기계공학과

### 1. 서론

현재 사용되는 대부분의 포장용 완충소재로 발포스티로폼(Expanded Polystyrene, EPS)이 사용되어지고 있다. 그러나 포장재로 인한 환경오염의 문제의식이 세계적으로 고조되고 있으며 환경보호 규제와 자원의 재활용 측면에서 스티로폼의 사용을 금지하려는 움직임이 대두되고 있다. 발포스티로폼의 내구성과 미생물에 대한 내안정성으로 인해 폐기되는 포장완충재가 자연 상태에서 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.

본 연구에서는 난분해성 완충소재들을 대체하기 위하여 재활용이 용이하고 환경친화적인 완충재를 제조하기 위하여 폐지 섬유를 이용하여 완충소재를 제조할 수 있는 기술을 개발하였다. 주원료로는 국내산 골판지 고지(KOCC)와 국내산 신문지 고지(KONP)를 사용하였으며, 성형보조제로는 양이온성 전분(cationic starch)을 사용하였으며 최적의 완충 성능을 부여하기 위하여 열풍·진공성형장치를 이용하였다. 이러한 환경친화적 완충소재의 개발을 통하여 난분해성 완충소재인 발포 스티로폼의 사용을 감소시킬 수 있을 것이며, 환경적인 오염부담을 크게 경감시킬 수 있으리라 판단된다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 공시재료

열풍·진공성형방식을 이용한 완충소재 제조를 위하여 국내산 골판지 고지(Korea

Old Corrugated Container, KOCC)와 국내산 신문지 고지(Korea Old Newspaper, KONP)를 사용하였다.

## 2.2 KOCC, KONP 및 Milk Carton의 해섬

KOCC, KONP 및 Milk Carton을 섬유상으로 해섬하기 위하여 전진 기준 25-30g을 Wonder Blender (WB-08, Sanplatec corp., Japan)를 이용하여 2500 rpm의 속도로 20초간 처리하는 건식 해섬 과정으로 제조되었다.

## 2.3. 열풍 · 진공감압장치

해섬처리된 펄프섬유를 이용하여 완충소재를 제조하기 위한 열풍 · 진공감압장치를 이용하였다. 열풍 · 진공감압장치에서 진공장치는 7.5 kW동력으로 1기압(760 mmHg)의 진공 감압이 가능하며 폐지 성형물로부터 과량의 물을 제거하는데 이용되었으며, 열풍 장치는 50-250℃까지 조절가능하며 진공감압 후 성형물에 잔류하는 수분을 증발 제거시키는데 이용되었다.

## 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 측정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 겉보기 밀도(apparent density)를 측정하였다. 공극률(porosity)을 계산하기 위해서 제조된 완충소재를 포매(embedding)시킨 후, 회전형 마이크로톰(HistoSTAT-820, Reichert)을 이용하여 미세박편을 만들었으며, Carl Zeiss Vision사(독일)의 AxioVision(Ver.4.4.) 화상분석프로그램을 이용하여 이진화 영상으로 전환하여 공극률을 산출하였다.

# 3. 결과 및 고찰

## 3.1 진공시간에 따른 물성 변화

포장용 완충소재로 적합한 성능을 알아보기 위해서 물리적 성질을 측정하도록 하였다. 완충소재가 가지고 있어야할 중요한 요소는 탄성계수(kPa)와 밀도( $\text{g/cm}^3$ )라고 할

수 있다. Fig. 1과 2에서는 KOCC와 KONP 섬유를 일차로 재생하여 완충소재를 제조할 때 진공시간(suction time)을 달리하여 각각의 완충소재를 제조한 후, 겉보기밀도(apparent density)와 탄성계수(elastic modulus)를 스티로폼(styrofoam)과 펄프 몰드(pulp mold)의 값들과 비교한 결과를 나타낸 그래프이다.

Fig. 1을 살펴보면 진공 탈수 시간이 길어짐에 따라 KOCC와 KONP로 만들어진 완충소재의 겉보기밀도가 조금씩 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 완충소재의 밀도가 증가한다는 것은 완충소재의 조직이 보다 더 치밀해진다는 것을 의미하며 완충성능의 감소를 유발하게 된다. 그리고 KONP와 KOCC로 만든 완충소재는 진공 시간의 변화에 따라  $0.12\text{--}0.17\text{ g/cm}^3$ 의 밀도를 나타내며 스티로폼의 밀도에 대하여 3-5 배정도 더 크지만 펄프 몰드에 비해서는 훨씬 더 작은 상태로 제조되는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 KOCC와 KONP로 제조된 완충소재의 탄성계수를 나타낸 그래프이다. 탄성계수가 지나치게 높게 나타나게 되면 외부 충격이 포장된 물품에 전이하는 힘이 크다는 것을 의미하므로 포장 물품의 파손을 초래할 수 있다. 따라서 완충소재로 사용되기 위해서는 가능하면 탄성계수가 낮은 것이 유리하다. 스티로폼의 탄성계수가 약 941 kPa로 KOCC와 KONP로 제조된 완충소재에 비하여 더 높은 값을 보였다. 이것은 두 종류의 폐지로 만들어진 완충소재가 스티로폼보다 더 우수한 완충성능을 보유하고 있음을 의미하는 것이다.

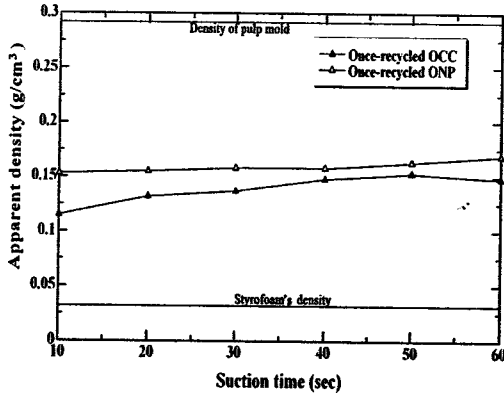


Fig. 1. Apparent density of once recycled shock-absorbing materials by suction time.

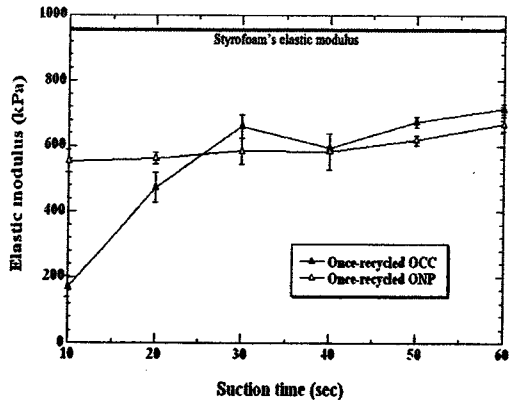


Fig. 2. Elastic modulus of once recycled shock-absorbing materials by suction time.

### 3.2 양이온성 전분 첨가량과 폐지 재생횟수에 따른 물성 변화

Fig. 3과 4는 KOCC와 KONP를 이용한 양이온성 전분 첨가량과 완충소재의 재활용 횟수에 따른 완충소재의 탄성계수 변화를 나타낸 것이다. 양이온성 전분 첨가량이 4% 이상이 되었을 경우에 완충소재의 탄성계수가 약간 높아지는 것을 알 수 있지만 4% 미만의 첨가량에서는 재활용 횟수와 상관없이 의미 있는 차이를 확인하기가 어려웠다. 이는 양이온성 전분의 첨가가 탄성계수에 큰 영향을 미치지 않으면서 내부 결합력만 상승시킴으로써 완충소재의 형상 유지에 긍정적인 효과를 미침을 의미한다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 재활용이 전혀 되지 않은 KONP로 제조된 완충소재의 탄성계수 변화와 같이 양이온성 전분의 첨가로 인하여 가파른 상승이 초래된다면 완충소재 내부 조직의 고밀화와 완충성능의 감소를 가져올 수 있기 때문에 완충소재에 요구되는 물성이 부적합하게 된다. 따라서 탄성계수의 가파른 상승을 초래하지 않은 상태에서 내부 결합력만 상승시킬 수 있는 적정수준의 양이온성 전분을 첨가가 이루어져야 할 것이다.

화학펄프 섬유는 재활용이 반복될수록 각질화(hornification)가 반복적으로 일어나면서 섬유의 강직화를 초래하고, 이로 인해 섬유의 결합력이 감소하게 된다. 반면에 이러한 원리는 완충소재의 탄성계수가 낮추는 효과를 가져왔으며 이로 인하여 외부 충격을 흡수하고 포장 물품을 보호하는 효과가 높았으며 완충소재의 완충성능을 개선하는 결과를 가져왔다.

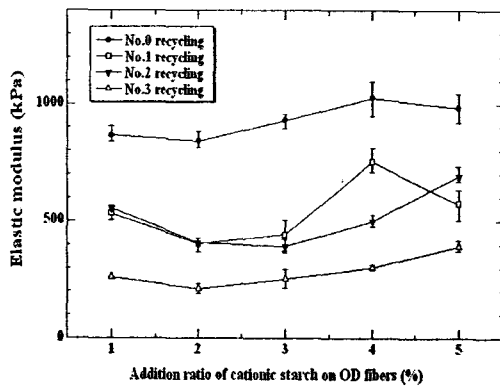


Fig. 3. Elastic modulus of shock-absorbing materials by addition ratio of starch on OD fibers and recycling.

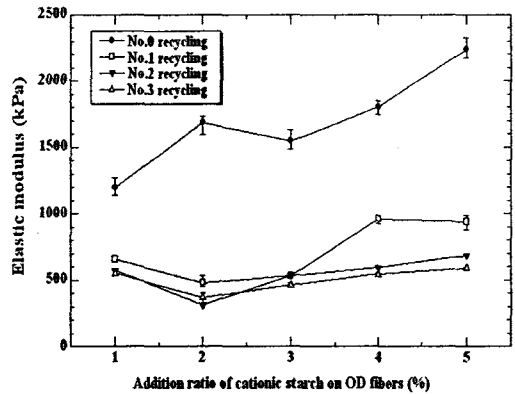


Fig. 4. Elastic modulus of shock-absorbing materials by addition ratio of starch on OD fibers and recycling.

### 3.4 펄프 몰드와 완충소재의 단면사진

Fig. 5는 펄프 몰드와 KOCC 및 KONP로 제조된 완충소재의 단면사진( $\times 40$ )이다. (a)에서는 매우 치밀하게 형성된 펄프 몰드의 단면을 보여주며 섬유들 사이에 형성된 넓은 영역의 유리 공간(free space)이 거의 존재하지 않기 때문에 밀도가 매우 큰 소재임을 알 수 있다. 이와 달리 (b)와 (c)에서는 KOCC와 KONP로 만들어진 완충소재의 단면 사진들을 보여주며 결합된 섬유들 사이에 매우 큰 영역의 유리 공간들이 형성되어 있는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 이러한 유리 공간들은 외부 충격이 가해질 때 충격을 완화(alleviation) 혹은 흡수(absorption)하는 역할을 하게 된다.

KOCC와 KONP 완충소재의 단면을 비교하여 보면 KONP 완충소재가 KOCC 완충소재에 비하여 유리 공간이 더 적은 상태, 즉 보다 더 치밀하게 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 KONP 완충소재가 완충성능 면에서 KOCC 완충소재보다 더 떨어진다는 사실을 가시적으로 확인시켜 주는 결과이다.

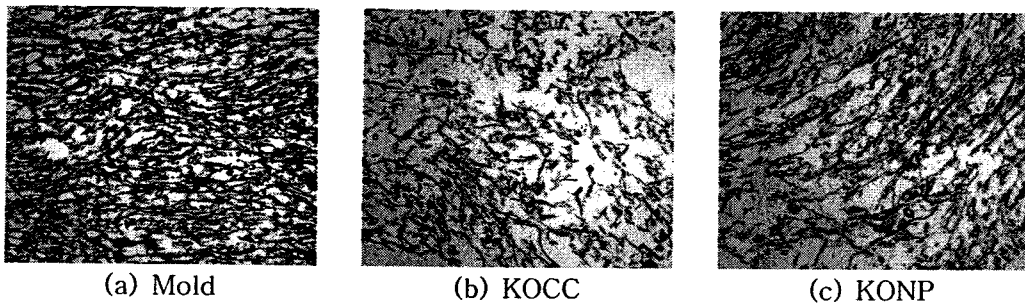


Fig. 5. Section pictures of mold and shock-absorbing materials( $\times 40$ ).

### 3.5 양성전분 첨가량에 따른 공극률 변화

Fig. 6은 양이온성 전분의 첨가량 변화에 따른 공극률 변화를 KOCC, KONP, 그리고 펄프 몰드에 대해서 나타낸 그래프이다. Fig. 6에서 보는 것처럼 5% 이하의 양이온성 전분이 첨가되었을 때 KOCC 및 KONP로 제조된 완충소재의 공극률은 큰 변화를 보이지 않았다. 그러므로 양이온성 전분의 첨가가 완충소재의 내부 구조를 고밀화시키는데 거의 영향을 미치지 않기 때문에 공극률에도 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 완충소재의 형상을 유지하기 위해 사용된 양이온성 전분은 섬유들 사이의 수소결

합(interfiber hydrogen bonding)을 보완하는 역할만 하는 것으로 보인다. Fig. 5의 (b)와 (c)에서 살펴본 바와 같이 KOCC와 KONP로 제조한 완충소재의 공극률을 비교해 보면 KOCC로 제조한 완충소재가 KONP로 제조한 완충소재에 비하여 훨씬 더 많은 공극을 함유하고 있다. 이는 KOCC로 만든 완충소재의 완충성능이 더 우수함을 보여주는 결과이다.

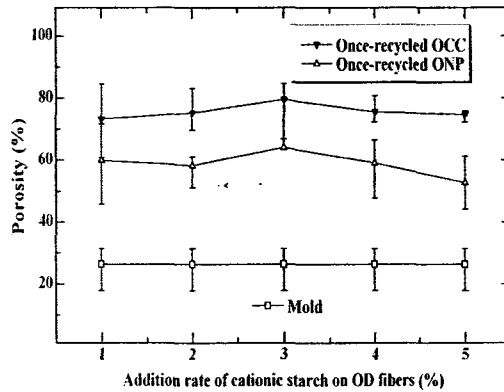


Fig. 6. Porosity of shock-absorbing materials by addition ratio of starch on OD fibers.

#### 4. 결론

자연상태에서 분해가 어려운 난분해성 완충소재들을 대체하기 위하여 재활용이 가능하며 환경친화적 원료인 KOCC, KONP 펄프섬유를 사용하여 완충소재의 생산 기술을 개발하였다. 열풍·진공성형 방식으로 제조한 완충소재는 KOCC와 KONP 모두 발포 스티로폼에 비하여 훨씬 더 낮은 탄성계수를 보임으로써 우수한 완충성능을 나타내었다. 그러나 폐지 완충소재가 외부 충격을 흡수할 수 있는 매우 큰 유리 공간들을 가지고 있지만 그 밀도(0.12-0.17 g/cm<sup>3</sup>)가 발포 스티로폼의 밀도에 비하여 3-5 배정도 더 높게 나타남으로써 포장완충을 목적으로 사용시 포장상자의 무게를 증가시킬 수 있는 요인이 된다. KOCC 및 KONP로 제조한 완충소재의 물성을 각각 비교해 보았을 때 KOCC로 제조한 완충소재의 물성이 KONP로 제조한 완충소재에 비하여 훨씬 더 우수

한 것으로 나타났다. 결론적으로 KOCC와 KONP 폐지로 제조한 완충소재의 경우 완충 성능이나 밀도 면에서 펄프 몰드보다는 훨씬 더 우수하고, 발포 스티로폼보다는 밀도 면에서만 다소 떨어지는 것으로 확인이 되었지만 이를 대체할 수 있는 충분한 가능성을 확인할 수 있었다.

## 사 사

본 연구는 2004년 한국환경기술진흥원 주관의 차세대핵심환경기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 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 추계 학술발표회 초록집, 전남대학교: 51-52 (1994).
3. 이영목, 이대훈, 김의화, 유웅렬, 전분 발포체의 제조조건과 압축성질에 관한 연구, 한국섬유공학회지 36(7): 545-554(1999).
4. 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.
5. 김현진 외 2명. 2005. 교토의정서 발효 이후의 기업경영. 삼성경제연구소. CEO Information(제 488호)