

환경친화적 완충재의 개발을 위한 폐지 섬유 이용

김경윤 · 김철환[†] · 이영민 · 송대빈^{*1} · 신태기 · 김재옥 · 박종열
(2006년 3월 22일 접수: 2006년 5월 10일 채택)

Utilization of Wastepaper Fibers for Development of Environment-friendly Shock-Absorbing Materials

Gyeong-Yun Kim, Chul-Hwan Kim[†], Young-Min Lee, Dae-Bin Song^{*1}, Tae-Gi Shin,
Jae-Ok Kim and Chong-Yawl Park

(Received on March 22, 2006: Accepted on May 10, 2006)

ABSTRACT

Environment-friendly shock-absorbing materials were made of wastepaper such as Korean old corrugated containers(KOCC) and Korean old newsprint (KONP) with a vacuum forming method. The plate-like cushioning materials made of KOCC and KONP respectively by vacuum forming showed superior shock-absorbing properties with lower elastic moduli compared to expanded polystyrene (EPS) and pulp mold. Even though the plate-like materials had many free voids in their fiber structure, their apparent densities ($\approx 0.1 \text{ g/cm}^3$) were a little higher than that of EPS ($\approx 0.03 \text{ g/cm}^3$) and much lower than that of pulp mold ($\approx 0.3 \text{ g/cm}^3$). However, the elastic moduli of the cushioning materials made of wastepaper were much lower than that of EPS or pulp mold. This finding implies that the cushioning materials made of KOCC fibers containing more lignin than KONP show better shock-absorbing properties than KONP. Moreover, the cushioning materials made of KOCC and KONP respectively showed greater porosity than pulp mold. The addition of cationic starch to the cushioning materials contributed to the increase in the elastic modulus to the same level as that of EPS. Furthermore, the deterioration in fiber quality by repeated use of wastepaper played a positive role in improving shock-absorbing ability.

• 본 연구는 2004년 한국환경기술진흥원 주관의 차세대핵심환경기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

• 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest Sciences, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

*1 경상대학교 생물산업기계공학과/농업생명과학연구원 (Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

† 주저자(Corresponding author) : E-mail: jameskim@gnu.ac.kr

Keywords : wastepaper, shock-absorbing materials, deterioration, expanded polystyrene, pulp mold

1. 서론

세계적으로 물품 포장에 사용되는 EPS (expanded styrofoam : 발포 스티로폼)의 문제점이 광범위하게 인지되고 있는 상황이지만 이를 대체하기 위한 소재 개발 연구는 거의 진행되고 있지 않다. 발포 스티로폼은 과도한 부피 팽창으로 인한 포장 체적의 증가를 초래하고, 난분해성 특성으로 환경오염을 유발한다. 발포 스티로폼 용기에서 검출된 styrene dimer/trimer 등과 같은 호르몬의 기능 장애를 초래할 것으로 생각되는 내분비계 장애 추정물질(환경 호르몬)이 방출된다는 결과가 발표되어 사회적 파장을 일으키기도 하였다. 또한, 2002년 건축 단열재로 사용된 발포 스티로폼을 제외한 포장재 용도로 판매된 스티로폼의 양은 약 85,000톤이고, 이중에서 약 55% 정도만 재활용되고 나머지는 자연 상태에서 방치되거나 폐기되고 있어 토양오염을 가중시키고 있다. 따라서 이것을 자연에서 쉽게 분해되는 친환경적 소재로 대체한다면 난분해 특성으로 인한 토양오염 문제를 경감시킴으로써 환경에 대한 충격의 영향을 상당히 줄일 수 있다. 또한 93년도부터는 난분해성 포장재로 인한 환경영향을 줄이고자, 사용량을 줄이고 친환경재질로 대체하는 포장폐기물 발생억제 정책이 추진되어지고 있으며, EU 등에서는 포장 폐기물의 감축을 위해 재활용을 촉진하고 있으며 환경규제를 가하고 있다.¹⁻³⁾ 이에 대한 대안으로 생분해성 포장완충소재의 개발에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있지만 현재까지 폐지만큼 적당한 대체 소재가 개발되지 못하고 있다. 그러나 폐지 재활용도 발포 스티로폼 수준의 물성을 갖는 완충소재를 개발하는데 목적이 있는 것이 아니라 진공압착 방식으로 매우 치밀한 조직을 갖는 펄프몰드(mold)로 성형하는 것에 초점을 맞추고 있다.⁴⁾

따라서 국내 폐지의 재활용률을 높이고, 재활용이 어려운 저급 폐지의 용도 개발을 위해서 난분해성 완충소재인 발포 스티로폼을 대체할 수 있는 환

경친화적 완충소재를 개발할 필요가 있다. 특히 골판지 상자 제조에 사용된 폐지의 경우 고도로 재활용된 종이의 섬유로 구성되어 있을 뿐만 아니라 이를 이용한 지함 상자 제조시 중량 기준 약 5% 정도의 파지가 발생한다. 이들 파지는 지함 제조 공장에서 다시 수거되어 골심지 제조에 다시 사용됨으로써 골판지 상자의 압축강도 손실에 심각한 원인을 제공하고 있다. 따라서 섬유 품질이 고도로 열화된 KOCC(Korean Old Corrugated Container)와 기타 신문지(Korean Old Newsprint)와 같이 생활속에서 버려지는 폐지를 수거하여 완충소재를 개발한다면 재활용이 어려운 저급폐지의 재활용률을 증대시키고, 저급 폐지 자원을 활용한 고부가가치 소재를 제조할 수 있는 기술을 개발함으로써 폐지 자원의 가치를 극대화시키는데 큰 기여를 할 수 있을 것이다. 그리고 폐지를 이용한 완충소재는 무한정 재활용이 가능하고 자연계에 노출되더라도 천연 셀룰로오스가 주성분으로 구성되어 있기 때문에 미생물에 의하여 쉽게 분해되기 때문에 발포 스티로폼에 의한 환경적 충격도 상당히 경감시킬 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 발포스티로폼을 대체할 수 있는 완충소재의 개발을 위해 주원료로 국내산 골판지 폐지(KOCC)와 국내산 신문지 폐지(KONP)를 이용하였으며, 완충소재의 물리적 성질을 압축강도, 겉보기밀도, 공극률 등을 측정하여 펄프 몰드와 발포 스티로폼과 비교하여 알아보도록 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

열풍진공성형방식을 이용한 완충소재 제조를 위하여 국내산 골판지 폐지(KOCC)와 국내산 신문지 폐지(KONP)를 수집하여 사용하였다. 수집된 폐지의 재활용 횟수에 따른 완충소재의 물성 변이를 알

아보기 위하여 해리, 침지, 성형 및 건조 과정을 반복한 횟수를 달리하여 각각의 완충소재를 제조하였다.

2.2 KOCC, KONP의 해섬 및 전처리

완충소재를 제조하기 위하여 수집한 KOCC, KONP를 Wonder Blender (WB-08, Sanplatec Corp., Japan)를 이용하여 섬유상으로 건식 해섬하도록 하였다. 전건 기준 25-30 g의 폐지를 넣고 2,500 rpm의 속도로 10-15초간 처리하여 건식 해섬 과정을 통해 펄프섬유를 제조하였다. 건식해섬된 펄프섬유를 3% 농도로 희석시켰으며, 폐지 섬유의 결합력 강화를 위하여 치환도 0.06인 양이온성 전분(삼양제넥스)을 해리 섬유의 전건중량에 대하여 1-5% 배합하였으며, 완충소재의 전건중량이 100 g이 되도록 3,400 mL를 취하여 열풍진공감압장치에 투입하였다. 사용되는 전분은 약 80-85°C 온도에서 호화(gelatinization)시킨 후 1%로 희석하여 사용하였다.

2.3 열풍 · 진공감압장치

건식 해섬 처리와 전처리과정을 거친 펄프섬유를 사용하여 완충소재를 제조하기 위해 열풍진공감압장치를 이용하였다. 열풍진공감압장치에서 진공장치를 이용하여 7.5 kW 동력을 통한 1기압(760 mmHg)의 압력과 10-60초 범위(10초 간격)로 진공시간을 달리하여 폐지 성형물에 잔류하게 되는 과량의 물을 제거하였으며 열풍장치를 이용하여 진공감압 후에도 폐지 성형물에 잔류하는 수분을 증발 제거하기 위하여 150°C로 10분간 강제 송풍시켜 완충소재를 제조하였다. 또한 완충소재의 재활용이 완충성능에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해 제조된 완충소재를 위의 과정을 반복하여 1회, 2회, 그리고 3회 재활용하여 제조하였다.

2.4. 완충소재의 물성분석

완충소재의 물리적 성질을 측정하기 위하여 물성분석기(TA-XT2i, Stable Micro Systems)를 사용하여 압축강도(kgf), 탄성계수(elastic modulus, kPa), 복원율(%)을 측정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 겉보기 밀도(apparent density)를 측

정하였다. 공극률(porosity)을 계산하기 위해서 제조한 완충소재를 포매(embedding)시킨 후, 회전형 마이크로톰(HistoSTAT-820, Reichert)을 이용하여 미세박편(약 20 μm)을 만들어 완충소재의 단면을 관찰하고 Carl Zeiss Vision사(독일)의 AxioVision(Ver.4.4.) 화상분석프로그램을 이용하여 단위 면적당 빈 공간의 비율을 측정하여 공극률을 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 진공시간에 따른 완충소재의 물성 변화

완충소재가 적합한 완충성능을 가지는지를 알아보기 위하여 물리적 성질을 측정하였다. 완충소재가 가지고 있어야할 중요한 특성은 탄성계수와 밀도라고 할 수 있다. Fig. 1과 Fig. 2는 KOCC와 KONP 섬유를 일차로 재생하여 진공시간(suction time)을 달리하여 완충소재를 제조한 후, 겉보기밀도와 탄성계수를 스티로폼과 펄프 몰드의 값들과 비교한 결과를 나타낸 그래프이다.

Fig. 1을 살펴보면 진공 탈수 시간이 길어짐에 따라 KOCC와 KONP로 만들어진 완충소재의 겉보기밀도가 조금씩 증가하는 것을 확인할 수 있다. 진공탈수에 따른 밀도의 차이는 KOCC 및 KONP로 제조한 완충소재 모두에서 큰 차이를 나타내지 않았다. KONP와 KOCC로 만든 완충소재는 진공

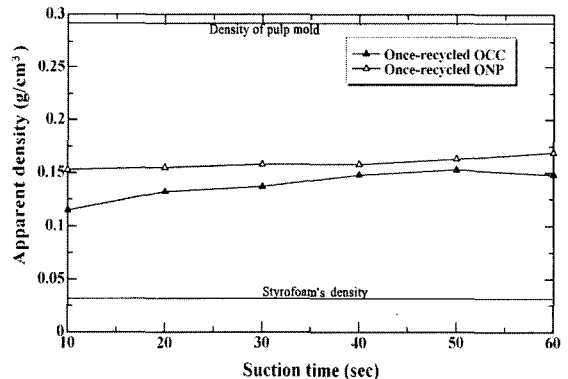


Fig. 1. Apparent density of once recycled shock-absorbing materials depending on suction time.

시간의 변화에 따라 0.12-0.17 g/cm³의 밀도를 나타내었으며, 이는 스티로폼의 밀도에 비해서 3-5 배정도 더 높고 펄프 몰드에 비해서는 훨씬 더 낮은 밀도이다. 따라서 펄프 몰드와 같이 밀도가 큰 완충소재는 그 자체만으로는 충격 흡수가 매우 어렵기 때문에 충격을 흡수할 수 있는 일정한 공간을 갖도록 성형하여 물품을 포장한다. 반면에 스티로폼과 같이 밀도가 매우 낮은 완충소재는 그 자체만으로 외부에서 가해진 충격을 상당부분 흡수하기 때문에 펄프 몰드와 같이 여유 공간을 주지 않아도 되기 때문에 포장 공간을 상당 부분 경감시킬 수 있다. 그러나 스티로폼이 발포 혹은 팽연 방식을 통하여 제조되기 때문에 소재 자체의 두께가 매우 커지기 때문에 이 역시도 불필요한 포장 용적을 차지하게 한다. 따라서 펄프 몰드의 밀도보다는 낮고 스티로폼의 밀도보다는 높은 폐지 완충소재가 매우 이상적인 완충소재가 될 수 있을 것으로 사료되었다.

또한 KOCC와 KONP로 만들어진 완충소재 간에도 밀도의 차이가 있다. KOCC와 KONP로 제조한 동일 평량의 완충소재들이 갖는 겉보기밀도는 KONP로 제조한 완충소재의 겉보기밀도가 진공탈수 시간에 관계없이 KOCC로 제조한 완충소재의 겉보기밀도보다 더 높게 나타났다. 이는 KONP를 구성하는 폐지의 등급(지종, paper grade)이 KOCC와 다르기 때문에 이와 같은 결과가 나타나는 것으로 보인다. 국내산 신문용지를 제조할 때에는 열기계펄프(thermomechanical pulp, TMP)를 사용하는 구미 선진국과는 달리 잡지 폐지(old magazine paper, OMP)와 신문지 폐지(ONP)를 거의 100% 사용하고 있다. 신문지 폐지만을 사용하여 종이를 제조하게 되면 단섬유와 미세분의 증가로 매우 높은 밀도를 갖기 때문에 두께가 낮고 천연 펄프(virgin pulp)로 제조한 종이에 비해 마찰계수가 낮은 종이가 만들어진다.⁵⁾

반면에 골판지는 라이너(liner)와 골심지(corrugating medium)로 이루어져 있는데, 라이너는 미표백크라프트 펄프(unbleached kraft pulp)로 제조되거나 100% OCC로 제조되고 골심지는 100% 골심지로 만들어진다.⁵⁾ 국내에서 유통되는 대부분의 골판지 상자의 라이너는 AOCC(American Old Corrugated Container)로 만들어

지고 있지만 일부 미표백크라프트 펄프를 혼용하여 제조하기도 한다. 따라서 골판지에는 신문지에 비하여 상당히 많은 양의 리그닌이 존재하고 있기 때문에 리그닌이 제거된 섬유에 비하여 더 강직한 섬유들로 구성되어 있다. 즉, KONP는 표백크라프트 펄프로 제조되는 잡지 폐지의 사용에 의해 미표백크라프트 펄프를 이용한 KOCC보다 더 적은 리그닌으로 구성되어 있다는 것을 말한다. KONP로 제조된 완충소재가 KOCC로 제조된 완충소재에 비하여 더 큰 밀도를 갖는 것은 KONP로 제조한 완충소재가 리그닌이 보다 많이 제거된 섬유들로 구성되어 있기 때문이다. 이는 KOCC로 제조한 완충소재가 외부 충격을 흡수할 수 있는 더 많은 공극을 가짐을 의미한다.

Fig. 2는 KOCC와 KONP로 제조한 완충소재의 탄성계수를 나타낸 그래프이다. 진공시간에 따른 완충소재의 탄성계수 변화를 보면 진공탈수 시간 10초와 20초를 제외하고는 KOCC로 만든 완충소재가 KONP로 만든 완충소재보다 다소 큰 탄성계수를 나타내었다. 그러나 두 탄성계수 사이의 차이가 크지 않고 경제적인 진공탈수 시간이 20초 이하가 되는 것이 바람직하고, 그 이상의 진공탈수시간은 완충소재의 조직(밀도)만 더욱 치밀하게 할 뿐이다. 따라서 20초 이하의 진공탈수 시간에서 KOCC와 KONP 완충소재의 탄성계수를 비교했을 때 KOCC가 훨씬 더 낮은 탄성계수를 나타낸 것으로 판단해 볼 때 KOCC 섬유가 완충소재를 만드는

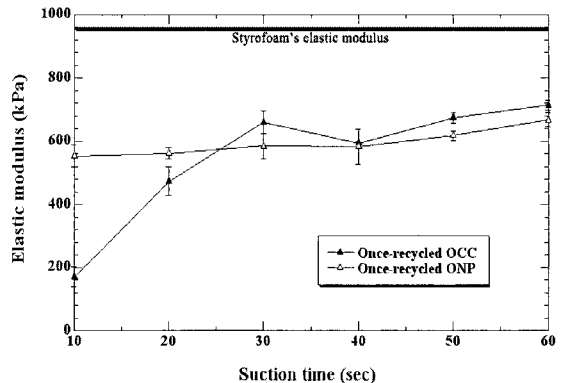


Fig. 2. Elastic modulus of once - recycled shock-absorbing materials depending on suction time.

데 있어서 보다 더 나은 원료로 간주될 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 1의 겉보기밀도 결과에서도 본 바와 같이 KOCC로 제조한 완충소재의 밀도가 KONP로 제조한 완충소재의 밀도보다 더 낮은 것도 완충소재의 탄성계수가 더 낮을 것이라는 사실로부터 쉽게 예측이 가능하다. KOCC를 구성하는 원료의 종류가 리그닌을 다량 함유한 강직한 미표 백크라프트 펄프로 이루어져 있기 때문에 매우 짧은 진공탈수 시간 동안에는 섬유간 결합에 필요한 Campbell힘이 강하게 작용하지 못하였을 것으로 판단된다. 따라서 느슨한 결합 조직을 갖는 완충소재가 만들어져서 KONP보다 낮은 탄성계수를 갖는 완충소재가 만들어 진 것으로 보인다. KOCC와 KONP로 제조된 완충소재는 스티로폼의 탄성계수인 약 941 kPa에 비하여 훨씬 더 작은 값을 보이고 있다. 이것은 두 종류의 폐지로 만들어진 완충소재가 스티로폼보다 더 우수한 완충성능을 보유하고 있음을 의미하는 것이다. 탄성계수가 지나치게 높게 나타나게 되면 외부 충격을 흡수한 완충소재가 흡수한 충격의 일부를 포장된 물품에 쉽게 전이할 수 있음을 의미하므로 포장 물품의 파손을 초래할 수 있다.

3.2 양이온성 전분 첨가량과 폐지 재생횟수에 따른 겉보기밀도 변화

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 파괴되는 현상이 일어날 가능성이 매우 높다. 따라서 이러한 부분을 개선하기 위해서는 섬유간 수소결합을 향상시킬 수 있도록 건조지력증가제의 첨가가 필요하다. 그러나 적정 수준 이상의 건조지력증가제를 첨가하게 된다면 완충소재 조직의 과도한 고밀화(excessive consolidation)를 촉진시켜 완충성능의 손실을 초래하게 된다. 따라서 양이온성 전분 첨가량에 따른 완충소재의 물성 변화를 알아보고자 하였다. 또한 폐지로 제조한 완충소재는 스티로폼과는 달리 재활용이 무한정 가능해야 한다는 친환경적 측면을 가져야 하기 때문에 제조한 완충소재를 재활용하여 완충소재를 새로이 제조하였을 때 그에 따른 완충소재의 물성이 어떻게 변하는지를 알아보았다.

Fig. 3과 Fig. 4은 KOCC와 KONP로 제조된 완충소재의 겉보기밀도 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 리사이클링 횟수에 관계없이 폐지 섬유의 전건 중량에 대하여 4% 미만의 양이온성 전분이 첨가될 때 완충소재의 겉보기밀도는 큰 변화를 보이지 않았고, 4% 이상 첨가되어야만 겉보기밀도가 상승하는 경향을 나타내었다. 그러나 그 상승폭이 미비하기 때문에 4-5% 수준에서 전분을 첨가한다면 완충

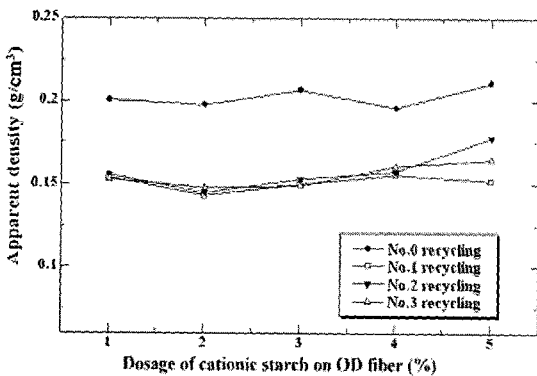


Fig. 3. Apparent density of shock-absorbing materials made of KOCC depending on dosage of starch on OD fibers and number of recycling.

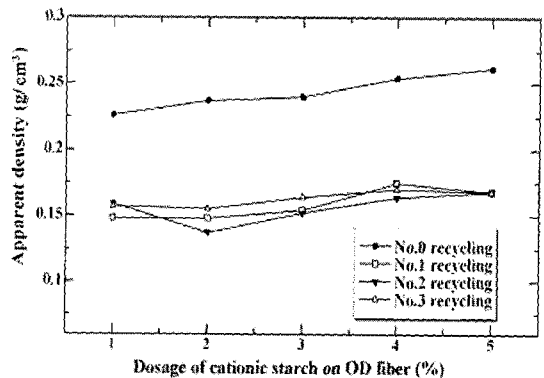


Fig. 4. Apparent density of shock-absorbing materials made of KONP depending on dosage of starch on OD fibers and recycling.

소재 조직의 고밀화에 큰 영향을 미치지 않고서도 결합 보조제로서의 역할을 통하여 완충소재의 형상 유지에 긍정적인 기여를 할 수 있을 것으로 판단되었다. 특히 KOCC나 KONP와 같이 폐지 종류에 상관없이 재활용 횟수에 따른 전분 첨가량의 효과는 거의 미미한 것으로 나타났다.

여기서 한 가지 중요한 사실이 발견되었는데, 일차적으로 수집된 KOCC와 KONP를 이용하여 완충소재를 제조했을 때 완충소재의 겉보기밀도가 약 0.2 g/cm^3 으로 나타나 매우 치밀하게 형성되는 것을 볼 수 있다. 이러한 수준의 겉보기밀도를 나타낸다면 완충소재로서 사용하기에는 매우 부적합한 수준이어서 별도의 기술적 처리를 가해야만 완충소재로서의 기능을 할 수 있다. 그러나 Fig. 3과 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 이것을 다시 건식해섬(dry defiberation)하여 완충소재를 제조했을 때, 즉 일차로 재활용했을 때는 최초 겉보기밀도의 약 50-75% 이하 수준까지 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 재활용된 완충소재를 다시 건식해섬하여 이차 및 삼차로 재활용했을 때는 일차로 재활용했을 때의 겉보기밀도와는 큰 차이를 나타내지 않는 것은 매우 흥미로운 발견이다. 화학펄프로 제조된 종이를 반복적으로 재활용할 때에 나타날 수 있는 섬유 열화현상(각질화, fiber hornification)으로 인하여 섬유의 강직화가 진행되면서 단섬유와 미세분이 지속적으로 증가하는 현상이 발생하는 것으로 알려져 있다.^{6,7)} 이러한 섬유 열화 현상은 재활용된 종이 섬유를 지속적으로 재활용할 수 있는 가능성을 감소시킴으로써 종이의 물리적 성질 감소에 절대적인 영향을 미치게 된다.

그러나 완충소재 제조 시에는 종이와는 다른 경향을 나타내는 것으로 드러났다. 즉, 완충소재 제조 시에는 섬유의 각질화(열화)와 건식해섬에 따른 섬유의 컬(curl)화가 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 폐지 섬유의 재활용에 따라 유연성이 매우 감소된 섬유를 건식해섬시키게 되면 OCC의 섬유의 경우 컬 지수가 8.0%에서 12.7%로 증가하였고, ONP 섬유의 경우에는 8.6%에서 15.8%로 증가하여 건식해섬 자체가 섬유의 결합력을 감소시키는 데 큰 기여를 하는 것으로 쉽게 예측할 수 있다. 그러나 OCC와 ONP 섬유를 재활용하였을 때는

완충소재의 겉보기밀도 감소를 섬유 컬로부터 그 원인을 찾는 것은 무리가 따른다. 왜냐하면 OCC 및 ONP 섬유의 재활용에 따른 컬 지수 변화는 큰 경향성을 보이지 않았기 때문이다. OCC의 경우 재활용을 반복함에 따라 컬 지수가 12.7%, 13.1% 및 13.3%로 나타났고, ONP는 16%, 14.9% 및 14.5%였다. 한번 컬이 진행되고 나면 재활용을 반복하더라도 컬이 더 이상 진행되지 않는 것으로 나타났다. 결론적으로 Fig. 3과 Fig. 4에 나타난 바와 같이 섬유 재활용에 따른 겉보기밀도의 차이는 섬유 각질화가 고도로 진행된 폐지 섬유의 물성 열화에서 그 원인을 찾을 수 있을 것으로 판단되었다. 특히 완충소재 제조 동안에는 종이 제조 공정에 필수적인 압착(press) 공정이 생략되고 진공 탈수 후 바로 건조 공정으로 이어지기 때문에 비용적이 큰 상태에서 완충소재의 건조가 이루어지게 된다. 반복된 재활용으로 섬유의 열화가 진행되어 개별 섬유의 결합 능력이 떨어진 상태 하에서 건조가 진행되므로 완충소재의 비용적이 큰 상태, 즉 밀도가 낮은 상태를 유지하는 것으로 보인다.

결론적으로 KOCC와 KONP를 사용하여 완충소재를 제조할 때 결합보조제로서 첨가되는 전분의 양이 폐지 섬유의 전건 중량에 대하여 4-5% 수준에서 첨가되면 완충소재의 밀도에 큰 영향을 미치지 않으면서 완충소재의 형상 유지에 긍정적 효과를 기대할 수 있다. 또한 KOCC와 KONP 폐지 섬유를 회수한 후 바로 완충소재를 제조한 것에 비하여 습식 해리와 건조과정을 한 번 거친 후 건식해섬하여 완충소재를 제조하는 것이 보다 나은 비용적 가치를 갖는 완충소재를 제조할 수 있다. 또한 사용된 완충소재를 회수 후 다시 완충소재를 제조하면 완충소재 내부의 완충 공간(shock-absorbing voids) 형성에 보다 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3.3 양이온성 전분 첨가량과 폐지 재생횟수에 따른 탄성계수 변화

Fig. 5와 Fig. 6은 KOCC와 KONP를 사용했을 때 양이온성 전분 첨가량과 완충소재의 재활용 횟수에 따른 완충소재의 탄성계수 변화를 나타낸 것

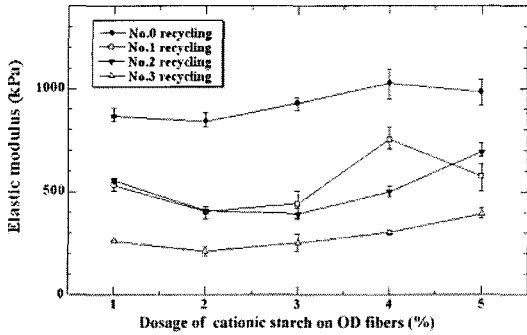


Fig. 5. Elastic modulus of shock-absorbing materials made of KOCC depending on dosage of starch on OD fibers and number of recycling.

이다. 양이온성 전분 첨가량이 4% 이상이 되었을 경우에 완충소재의 탄성계수가 약간 높아지는 것을 알 수 있지만 4% 미만의 첨가량에서는 재활용 횟수와 상관없이 의미있는 차이를 확인하기가 어려웠다. 이는 양이온성 전분의 첨가가 탄성계수에 큰 영향을 미치지 않으면서 내부 결합력만 상승시킴으로써 완충소재의 형상 유지에 긍정적인 효과를 미침을 의미한다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 재활용이 전혀 되지 않은 KONP로 제조한 완충소재의 탄성계수 변화와 같이 양이온성 전분의 첨가로 인하여 가파른 상승이 초래된다면 완충소재 내부 조직의 고밀화가 발생하고 완충능력의 감소를 가져올 수 있기 때문에 완충소재에 요구되는 물성이 부적합하게 된다. 따라서 탄성계수의 가파른 상승을 초래하지 않으면서 내부 결합력만 상승시킬 수 있는 적정수준의 양이온성 전분의 첨가가 이루어져야 할 것이다. 또한 KONP의 경우에는 재활용 횟수에 따른 탄성계수의 변화가 KOCC의 경우와는 다른 경향을 보였다. 재활용이 반복되면서 완충소재의 탄성계수가 재활용을 하지 않았을 때보다 약 50% 이하 수준까지 떨어지는 경향을 보였다. KOCC와 마찬가지로 재활용이 반복되면서 섬유들의 각질화가 진행되면서 섬유가 뻣뻣(brittle)해지고 강직(stiff)해진다. 즉, 건조 및 젖음(wetting)이 반복되면서 섬유 내부의 결합영역이 증가되면서 섬유의 유연성이 떨어지기

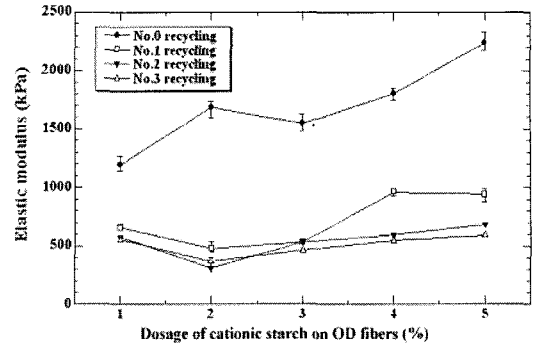


Fig. 6. Elastic modulus of shock-absorbing materials made of KONP depending on dosage of starch on OD fibers and number of recycling.

때문이다.⁸⁾ 그러나 KONP 섬유들은 기계펄프와 화학펄프가 혼합되어 있는 잡지 폐지(magazine newspaper)와 ONP 섬유들로 구성되어 있기 때문에 Fig. 6에서 보는 것처럼 KOCC 섬유들과 다른 경향을 보인다. 보통 기계펄프 섬유의 경우에는 리그닌이 함유되어 있기 때문에 건조 및 젖음 과정이 반복되더라도 물을 취할 수 있는 공간이 만들어진다.⁹⁾ 이것은 섬유의 유연성을 증진시켜 KOCC 섬유와는 달리 섬유 각질화가 느리게 진행되어 오히려 섬유의 물성을 증진시키는 효과가 나타난다. 이것이 KOCC로 만든 완충소재와 KONP로 만든 완충소재의 탄성계수가 다른 경향을 보이는 이유가 된다.

결론적으로 KOCC와 KONP로 제조된 완충소재의 탄성계수는 폐지 섬유의 전건중량에 대하여 4% 미만의 양이온성 전분을 첨가하였을 때 큰 변화를 보이지 않고 완충소재의 내부 결합력만 향상시키는 경향이 나타났다. 또한 재활용을 반복할수록 재활용을 시키지 않는 폐지 섬유에 비하여 완충소재의 완충능력이 오히려 향상되는 것으로 나타났다.

3.4 완충소재의 단면사진과 양성전분 첨가량에 따른 공극률 변화

Fig. 7은 펄프 몰드와 KOCC 및 KONP로 제조된 완충소재의 단면사진($\times 40$)이다. (a)에서는 매우 치밀하게 형성된 펄프 몰드의 단면을 보여주며 섬

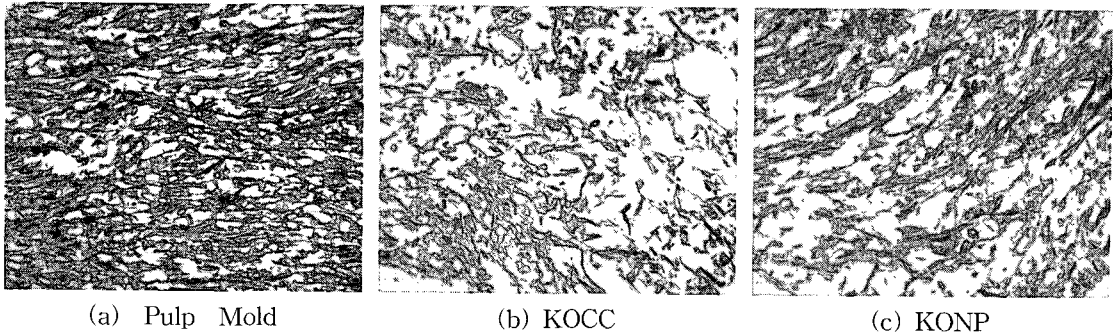


Fig. 7. Section pictures of mold and shock-absorbing materials($\times 40$).

유들 사이에 형성된 큰 공극이 거의 존재하지 않기 때문에 밀도가 매우 큰 소재임을 알 수 있다. 이와 달리 (b)와 (c)에서는 결합된 섬유들 사이에 매우 큰 공극들이 형성되어 있는 것을 쉽게 관찰할 수 있다. 이러한 공극들은 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 공극이 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. 8은 양이온성 전분의 첨가량 변화에 따른 공극률 변화를 KOCC, KONP, 그리고 펄프 몰드에

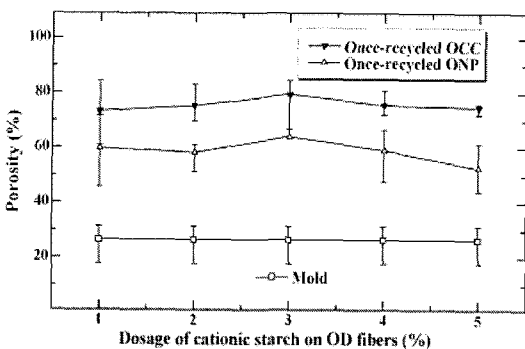


Fig. 8. Porosity of shock-absorbing materials depending on dosage of starch on OD fibers.

대해서 나타낸 그래프이다. Fig. 8에서 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 수소결합을 보완하는 역할만 한다는 것을 알 수 있다. Fig. 7의 (b)와 (c)는 KOCC와 KONP로 제조한 완충소재의 공극률을 비교한 결과를 나타낸 그래프인데, KOCC로 제조한 완충소재가 KONP로 제조한 완충소재에 비하여 훨씬 더 많은 공극을 함유하고 있다. 이는 KOCC로 만든 완충소재의 완충성능이 더 우수함을 보여주는 결과이다.

공극률이 높다는 것은 진공탈수할 때 탈수 속도가 향상될 수 있으며 이는 건조비용에도 큰 영향을 미친다. 완충소재의 조직 내부에 공극이 많으면 진공탈수시 수분의 이동 속도가 빠르게 되어 짧은 시간의 감압으로도 많은 양의 수분을 제거할 수 있게 된다. 건조시간의 단축으로 완충소재의 제조단가도 낮출 수 있기 때문에 물리적 측면이나 경제적 측면에서 완충소재의 공극 형성은 완충소재의 제조 공정에서 매우 중요한 요소이다.

4. 결론

자연 상태에서 분해가 어려운 난분해성 완충소재들을 대체하기 위하여 재활용이 가능하며 환경친

화적 원료인 KOCC, KONP 펄프섬유를 활용하는 완충소재의 생산 기술을 개발하였으며, 적합한 완충성을 가지는지를 알아보기 위해 물리적 성질을 분석한 결과는 다음과 같다. KOCC와 KONP로 제조한 완충소재는 진공시간의 변화에 따라 0.12-0.17 g/cm³의 밀도를 나타내었으며 스티로폼의 밀도에 비해서 3-5배정도 더 높고 펄프 몰드에 비해서는 훨씬 더 낮은 밀도이다. 또한, KONP로 제조한 완충소재가 KOCC로 제조한 완충소재에 비하여 더 높은 밀도를 가지는 결과를 나타내었으며, KOCC로 제조한 완충소재가 외부 충격을 흡수할 수 있는 더 많은 공극을 가짐을 알 수 있었다. 20초 이하의 진공탈수 시간에서 KOCC와 KONP의 탄성계수를 비교하면 KOCC가 훨씬 더 낮은 탄성계수를 나타낸 것으로 판단해 볼 때 KOCC 섬유가 완충소재를 만드는데 있어서 보다 더 나은 원료로 간주될 수 있다. 섬유의 전진중량에 대하여 1-5%까지 양이온성 전분을 첨가하여 완충소재를 제조하였다. KOCC와 KONP로 제조한 완충소재의 겉보기밀도는 전분 첨가량에 따라 완충소재의 겉보기밀도는 큰 변화를 보이지 않았으며, 4% 이상 첨가될 때 겉보기밀도가 상승하는 경향도 미미하였다. 또한 양이온성 전분의 첨가가 완충소재의 탄성계수에 큰 영향을 미치지 않으면서 내부 결합력만 상승시키는 것으로 나타났다. 한 번 사용된 완충소재를 회수하여 다시 완충소재를 제조하면 완충소재 내부의 완충 공간(shock-absorbing voids) 형성에 보다 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구를 통해 KOCC와 KONP 폐지로 제조한 완충소재의 경우 밀도나 완충성능 면에서 토양 중에

서 분해가 어려운 난분해성 발포 스티로폼을 대체할 수 있는 충분한 가능성을 확인할 수 있었다.

인용문헌

1. 포장폐기물 발생억제를 위한 실무편람, Corrugated Packaging & Logistics, 7: 37-42 (2003).
2. Jung-Su Yoon, 2004년 폐기물관리 정책방향, National Environmental Technology Information Center, pp.1-6 (2004).
3. Jun-Ho Lee and Tae-Sic Kim, 교토의정서 발효 등 환경규제 강화에 따른 중소기업의 대응과제, Korea Small Business Institute, pp.13-18 (2005).
4. Mochizuki Masahiko, Wada Yasushi, Kaku Kunio and Toshima Takeaki, Use of recyclable packing materials, Yokokawa Technical Forum (English Edition): 20-21 (2001).
5. Mckinney, R.W.J., Technology of Paper Recycling, Blackie Academic & Professional, pp.286-310 (1995).
6. Scallan, A. and Tigerstrom, A.C., Elasticity of the wet fiber wall: effects of pulping and recycling, J. Pulp Paper Sci. 18(5): J188-J193 (1992).
7. Howard, R.C., The Effects of Recycling on Paper Quality, Paper Technology, 32(4): 20-25 (1991).
8. Howard, R.C. and Bichard, W., The basic effects of recycling on paper properties, J. Pulp Paper Sci. 18(4):J151-J159 (1992).
9. Eriksson, I., Lunabba, P., and Pettersson, A., "Recycling potential of printed thermomechanical fibers for newsprint", 1995 CPPA 3rd Research Forum on Recycling, CPPA, Montreal, p.269.