

폐잔재를 원료로 한 환경 친화적 완충소재의 개발을 위한 기초연구

Practical Use of Waste Residual logs for Developing Environment-Friendly Cushioning Materials

김철환¹⁾ · 신태기¹⁾ · 김경윤¹⁾ · 백경길¹⁾ · 최인호¹⁾ · 정호경¹⁾ · 박종열¹⁾

¹⁾경상대학교 임산공학과

1. 서 론

오늘날 지구촌은 산업의 고도 발전과 사회·경제적 변화에 관련하여, 각종 산업폐기물이 및 생활 쓰레기 등이 증폭하여 폐기물 처리 문제가 초미의 과제로 등장하였다. 특히 생활 쓰레기의 경우 우리나라 총 쓰레기 발생량 중 40%로써 음식물 쓰레기를 제외한 대부분이 상품이나 물자를 운반한 포장 폐기물이다. 근래의 포장 및 포장 폐기물 정책은 포장의 재사용, 포장폐기물의 감량, 포장 폐기물의 재활용을 근간으로 하고 있어 포장 재료의 제조 및 사용에 있어서 환경에 주는 영향을 폭넓고 면밀하게 고려하여 이에 알맞은 포장소재의 개발과 연구가 시급하다.

현재 국내의 포장완충재로 널리 사용되는 난분해성 소재인 EPS(Expanded Polystyrene, 발포 스티로폼) 등의 포장완충소재를 대체할 수 있는 환경 친화적 완충소재를 개발하기 위하여 산림이나 기타 목재 가공공장(mill)에서 발생하는 폐재, 간벌재 및 소경목 등의 폐잔재(waste woods)를 펄프화하여 환경 친화적 완충소재를 개발하여 사용한다면 폐잔재의 경제적 활용방안 측면에서도 실효성 있는 연구라 할 수 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

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

조제로는 양이온성 전분(썬캐스타, Samyang Genex Co., Ltd)를 사용하였고, 발수성을 위한 내침제로는 Alkyl Ketene Dimer (AKD, EXPEL series, TGchem industry Ltd.)를 사용하였다.

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 리파이너에서 2분간 해섬하여 열기계펄프(Thermomechanical Pulp, TMP)를 제조하였다. 폐잔재의 해섬시 해섬의 정도에 따라 섬유형상에 큰 영향을 주기 때문에 섬유의 여수도가 약 650-700 mL CSF 되도록 해섬하였다.

2.3. 평판형 완충소재 제조를 위한 열풍 진공감압기

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 발수성 및 열전도도 시험

완충소재의 발수시험은 완충소재의 표면에서 80×15×5 mm의 크기로 시편을 채취 후에 자동접촉각 측정 시스템(AMS-2001, 미래로시스템)을 이용하여 접촉각을 측정하였다. 열전도도를 측정하기 위해 100×50×20mm의 크기로 시편을 제작 후 쾌속 열전도도 측정기(QTM-500, KYOTO electronics Co., Ltd.)를 사용하여 ISO 8894-1의 열선법을 통하여 열전도도를 측정하였다.

2.5. 완충소재의 물성분석

완충소재의 대한 물리적 성질을 측정하기 위하여 물성 분석기(TA-XT2i, Stable Micro Systems)를 사용하여 탄성계수(kPa)를 측정 하였으며, 발포 스티로폼과의 실제적

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

2.6. 완충소재의 낙하 시험

완충 소재의 가장 큰 목적은 외부 충격으로부터 제품을 보호하는 것이다. 이러한 충격은 주로 낙하 충격 시 발생하는 충격력에 의해 제품의 파손 및 성능이 저하 된다. 완충재를 포장재로 사용하였을 경우 낙하 시 충격에 견딜 수 있는 정도를 측정하기 위해 Fig. 1과 같이 KS A1011 포장 화물의 낙하시험 중 방법 A(자유낙하 시험)를 통해 완충재와 EPS (Expanded Polystyrene, 발포 스티로폼)의 성능을 비교 분석하였다.

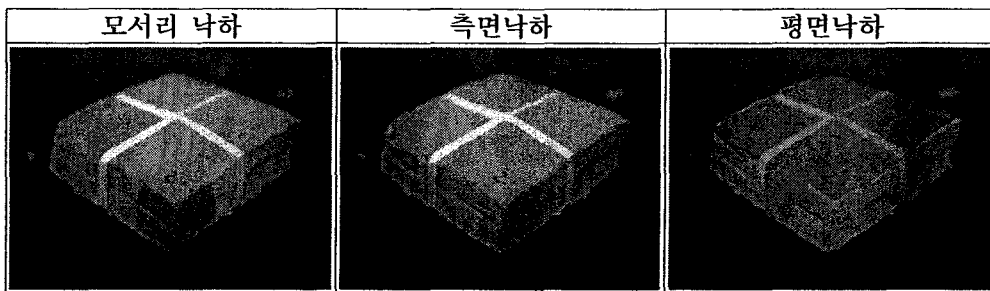


Fig. 1. Types of a drop test.

3. 결과 및 고찰

3.1. 완충소재의 내수성

Fig. 2는 펄프 몰드와 AKD를 0%~ 1%까지 첨가하여 제조한 완충소재의 내수성 발현 정도를 알아보기 위하여 증류수를 투하한 후 1분의 경과시간에 따른 접촉각의 크기를 나타낸 그래프이다. 펄프몰드는 40-45°, 제조된 완충소재는 80-110°의 접촉각을 나타내었으며 이는 제조된 완충소재가 펄프몰드에 비하여 뛰어난 내수성을 가지는 것을 말한다. 그래프에서 나타난 바와 같이 AKD를 0.4%까지 투입했을 때 접촉각의 크기가 최대로 높았으며 0.4% 이상으로 첨가될 시에는 오히려 접촉각의 크기는 감소하였다. 이는 과도한 AKD 투입으로 인하여 사이징 역전 현상(sizing reversion)이 발생하여 발수 효과가 줄어드는 것으로 추정되며 적절한 AKD의 투입량은 0.4% 전후가 적당한 것으로 사료된다.

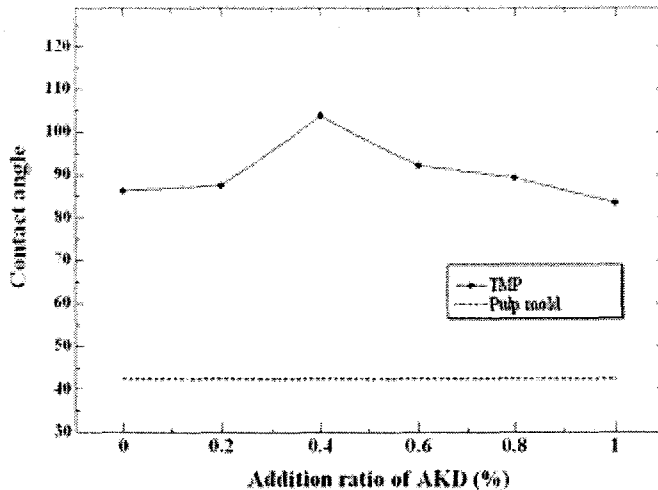


Fig. 2. Contact angle of shock-absorbing materials by AKD addition

3.2 완충소재의 열진도도

Fig. 3는 양이온성 전분의 첨가량을 달리한 완충소재와 시중에 사용되고 있는 펄

프 몰드와 단열재로 쓰이는 EPS의 열전도도(Thermal conductivity)를 비교하여 나타낸 그래프이다. 양이온성 전분 첨가량을 달리한 모든 완충소재에서 KS L9016에 의거하면 단열보온재의 기준인 $0.15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 이하의 양호한 열전도도를 나타내었다.

완충소재의 양이온성 전분 첨가량이 증가함에 따라 열전도도는 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 완충소재는 펄프 몰드와 비교하여 매우 낮은 열전도도를 가지는 것을 알 수 있다. 열전도도는 물체의 단위면적을 통과하여 단위시간당 통과하는 열량을 의미하므로 완충소재의 단열효과 매우 탁월하다는 것을 알 수 있다. 그러므로 완충소재를 이용하여 내부 포장용 소재로 이용한다면 외부 열로 인하여 발생할 수 있는 포장제품의 손상을 보호할 수 있으며 단열재로써도 이용 가능할 것으로 판단된다.

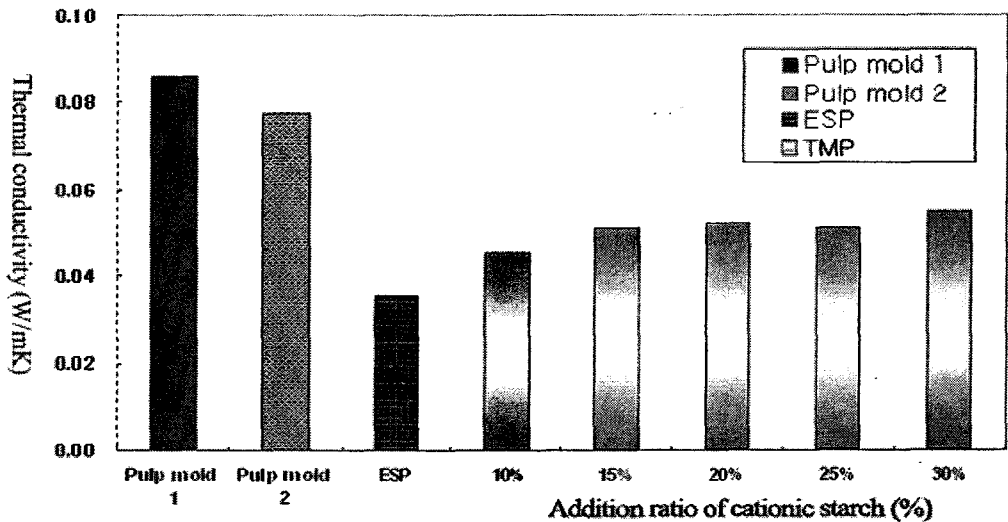


Fig. 3. Change of thermal conductivity of different cushioning materials.

3.3 완충소재의 물성

Fig. 5는 양이온성 전분의 첨가량에 달리한 TMP 완충소재와 발포 스티로폼과 의 탄성계수를 비교하여 나타내었다. 양이온성 전분 첨가량이 높아질수록 탄성계수의 값이 올라갔지만 발포 스티로폼보다는 낮은 값을 나타내었다. Fig. 6은 양이온성 전분의 첨가량에 따른 완충소재의 겉보기 밀도를 스티로폼과 비교한 그래프이다. 그래프에서 나

타난 바와 같이 양이온성 전분 첨가량과 관계없이 폐잔재를 펄프화하여 제조되어진 완충소재는 스티로폼보다 높은 밀도를 보였다. 겉보기 밀도가 증가하면 포장재의 중량증가로 이어져 물류비용의 상승을 초래하며, 완충소재의 탄성계수 역시 지나치게 증가할수록 완충 성능이 저하될 우려가 있다. 그러므로 우수한 물성을 갖춘 완충소재를 제조하기 위해서는 결합력을 높여주고 소재의 형상을 유지시켜주는 양이온성 전분의 투입량이 지나치면 완충소재의 물성에 오히려 역효과를 낼 수 있다.

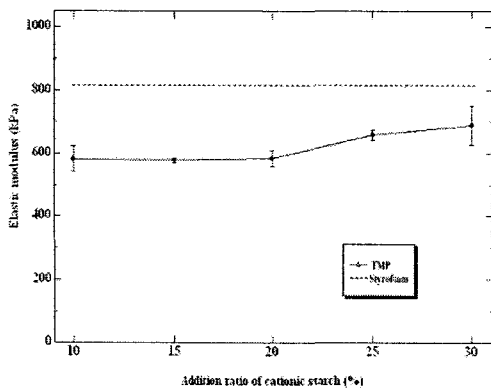


Fig. 5. Elastic modulus of cushioning materials by cationic starch addition.

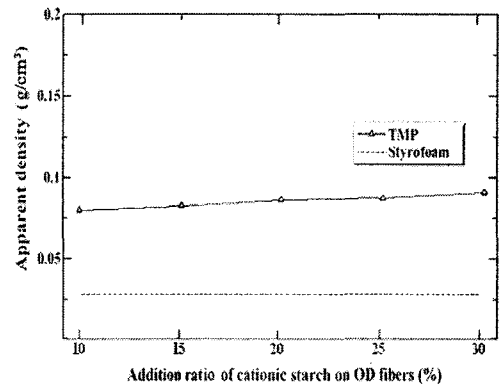


Fig. 6. Apparent density of cushioning materials by cationic starch addition.

Fig. 7은 양이온성 전분의 투입량을 달리한 TMP 완충소재와 펄프 몰드의 공극률을 비교하여 나타내었다. 양이온성 전분의 투입량이 증가 할수록 공극률이 소폭으로 증가 하는 것을 알 수가 있으며 공극률이 높다는 것은 그 만큼 완충소재의 내부 구조가 매우 큰 다공성 구조(porous structure)를 지닌다는 것을 의미한다. 따라서 TMP로 제조된 완충소재의 경우 펄프 몰드와 비교하여 외부 충격을 흡수할 수 있는 매우 큰 다공성 구조를 지녔음을 쉽게 관찰할 수 있다. 따라서 폐잔재로 제조한 완충소재는 밀도 값이 다소 높기는 하나 매우 큰 다공성 구조를 지님으로써 외부 충격을 내부에서 흡수할 수 있음을 의미하고, 동시에 낮은 탄성계수 값으로 인해 완충소재로서 충분한 완충성능을 발휘할 수 있을 것으로 확인할 수 있었다.

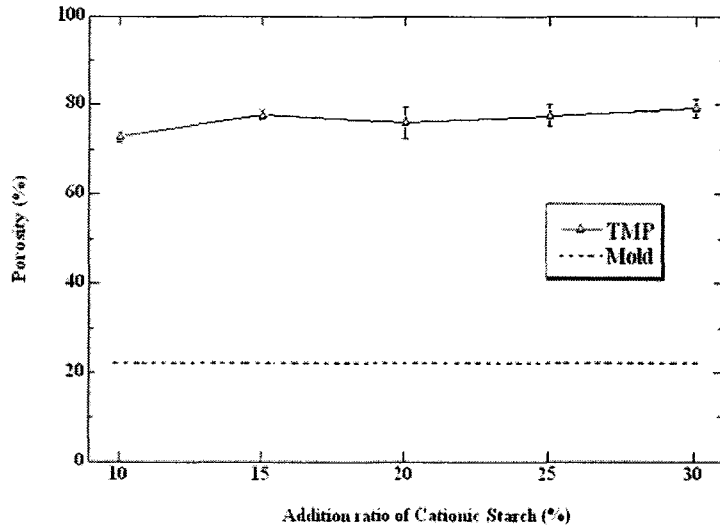


Fig. 6. Porosity of cushioning materials by cationic starch addition.

3.4 완충소재의 낙하 충격시험

양이온성 전분이 15% 첨가된 완충소재와 EPS를 KS A 1011에 규정된 포장 화물의 낙하시험 방법 A에 따라 모서리, 측면, 전면 등을 10회에 걸쳐 낙하시켜 각 낙하면의 변형정도를 비교 하였다. 완충소재와 EPS 모두 중량이 100 g 이하로 KS A 1026의 포장 화물의 평가 시험 방법 통칙에 의거 낙하 높이가 80 cm이지만 낙하 후 변형 정도가 미약하여 높이 200 cm에 누적 낙하 횟수를 10회까지 반복시험 하였다. Table 1의 모서리 낙하의 경우 EPS가 완충소재보다 변형이 덜 하였으나 그 차이는 미미한 정도의 수준이었고, Table 2 및 Table 3에서 보는 바와 같이 측면과 전면 역시 낙하횟수가 10회가 넘어감에도 불구하고 아주 양호한 상태를 나타내었다. 낙하 시험 시 완충소재로부터 떨어져 나오는 TMP 섬유들은 차후에 표면 사이징을 함으로써 이러한 문제들을 충분히 해결 할 수 있을 것으로 사료되었다.

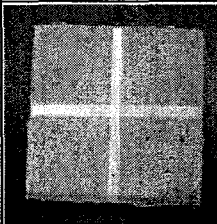
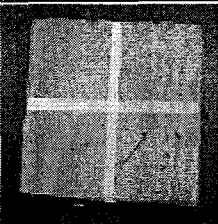
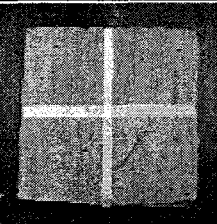

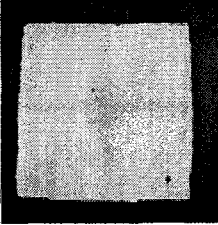
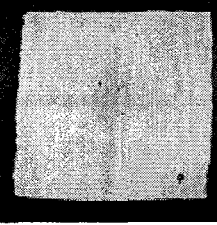
	1차 낙하	5차 낙하	10차 낙하(최종)
완충소재			
	이상 없음	0.6cm 변형 발생	1.1cm의 변형발생
EPS			
	이상 없음	이상 없음	5mm 변형발생

Table 1. Edge drop test of cushioning materials

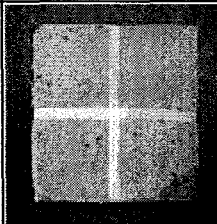
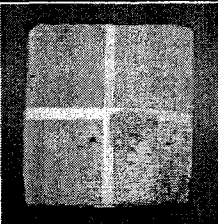
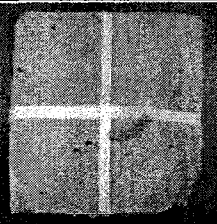
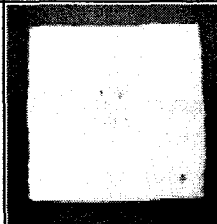
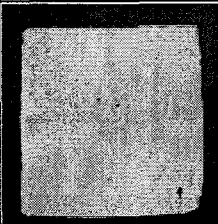
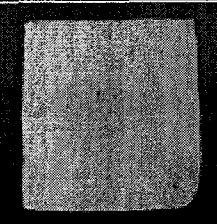
	1차 낙하	5차 낙하	10차 낙하(최종)
완충소재			
	5mm의 변형발생	1cm의 파손 발생 중심부 균열 발생	1.8cm의 변형발생
EPS			
	3mm의 변형발생	7mm의 변형 발생	1.6cm의 변형발생

Table 2. Side drop test of cushioning materials

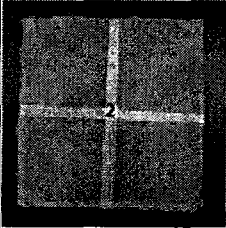
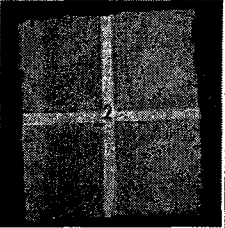
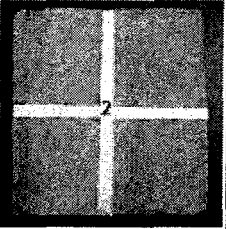
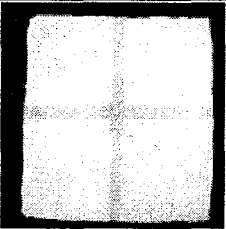
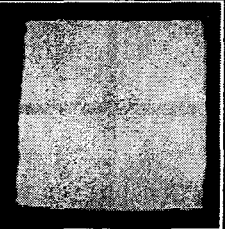
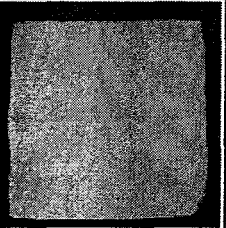
	1차 낙하	5차 낙하	10차 낙하(최종)
완충소재			
		이상 없음	1mm내의 뒤틀림
EPS			
	이상 없음	이상 없음	이상 없음

Table 3. Front drop test of cushioning materials

4. 결 론

이용가치가 낮은 폐잔재를 주원료로 만들어진 완충소재에 발수성을 부여하기 위해 AKD를 첨가하여 접촉각을 측정한 결과 펄프몰드보다 우수한 발수성을 나타내었으며 0.4% 이하의 AKD 첨가량이 최적의 발수도를 발현하였다. 또한 양이온성 전분의 투입량을 달리한 완충소재와 펄프 몰드 2종류 및 EPS의 열전도도 비교실험 결과 모든 시험편에서 단열보온재의 기준인 $0.15 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 이하였으며 특히 완충소재는 펄프 몰드에 비해서 탁월한 열전도도를 보였다.

양이온성 전분의 투입량을 달리한 완충소재의 탄성계수와 겉보기 밀도는 전분 투입량이 증가할수록 증가하였다. 또한 펄프 몰드와 폐잔재로 제조한 완충소재의 공극률을 비교한 결과 완충소재의 공극률이 훨씬 더 높은 값을 나타내었다. 또한 완충소재와 EPS의 낙하시험 비교 결과 완충소재의 우수한 충격 흡수 능력을 가시적으로 확인할 수 있었다.

인용문헌

1. 신동소, 열기계펄프 (TMP) 의 개요(Review of Thermo-mechanical Pulp TMP) 펄프·종이기술 11권 제1호, 1979. 6, pp. 29~22
2. 부성운, 김기택, 정완진, Drop/Impact Analysis of Electronic Products with Packaging Materials 대한기계학회, 1995. 1, pp288~234
3. 홍석인, 김종태, 김철진, 배합조건에 따른 완충포장용 전분 압출물의 물리적 특성 변화, 산업식품공학 2(1): 68-74, 1998.
4. 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.
5. 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.
6. Bottorf, K.J., AKD sizing mechanism, Tappi,77(4):105(1994).
7. 김현진 외 2명. 2005. 교토의정서 발효 이후의 기업경영. 삼성경제연구소. CEO Information(제 488호)
8. 박찬혁 외 2명. 폐 우모[(羽毛): Plumage]를 이용한 친환경적인 내수성 골판지 포장 기술, 유기물자원화 제 12권 2호 2004. 6, pp. 122~126
9. 임업연구원. 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안. 농림부.
10. Patel, M., Green Plastic Jr. 3(4): 14, 2004.
11. Riggle, D., BioCycle, March,: 64-70, 1998.
12. Adamson, A. and Gast, A.P., Physical Chemistry of Surfaces, 6th ed., John Wiley&Sons, New York , 1997.