

팜 섬유의 자원화 연구

Availability of Palm Thread Fibers as Valuable Resources

정호경, 김철환, 이지영, 서정민, 김성호, 강하륜
경상대학교 임산공학과

1. 서 론

열대 및 아열대 기후인 동남아 국가에서 코코야자 또는 야자 씨의 배젓을 고온, 고압 처리를 거쳐 추출한 Palm Oil은 비누나 화장품의 원료, 야자유, 알코올 등으로 다양하게 사용하고 있다. 하지만 Palm Oil 제조 시 발생하는 유기성 폐기물 가운데 하나인 Palm Thread(palm slush, oil palm empty fruit bunch, PT)는 적정처리나 재활용 되지 않고 대부분 산림이나 팜유 제조 공장 근처에 방치되고 있어 이들의 처리 및 자원화 기술이 매우 요구되고 있다.¹⁾

목재 펄프는 비교적 풍부하고 구입이 용이할 뿐 아니라 펄프화 수율이 다른 원료에 비하여 높고, 품질도 뛰어났기 때문에 종이의 주원료로 이용되어 왔다.²⁾ 하지만 지구 온난화와 더불어 높아지는 환경에 대한 관심과 환경규제로 인해 펄프 원료의 수급이 더욱 어려워질 전망이다. 더구나 원료의 대부분을 수입에 의존하는 우리나라는 목재 펄프를 대체할 비목재 펄프의 개발 필요성이 더욱 요구되고 있는 실정이다.

난분해성 소재인 EPS(Expanded Polystyrene, 발포 스티로폼)은 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 토양오염을 유발하는 가능성을 안고 있기 때문에 친환경적인 대체소재 연구는 필요한 것으로 사료되어진다.³⁾

따라서 본 연구에서는 팜 스레드를 이용하여 펄프를 제조한 후 수초하여 제지 원료로 이용 가능성을 알아보고자 하였으며, 평판형 진공성형기를 이용하여 완충소재를 제조하고 겉보기 밀도, 압축강도를 측정하여 완충성능을 평가하였다. 팜 스레드의 펄프화를 통해 제지용 펄프 및 완충소재로 이용이 가능하다면 자원 재활용 측면과 환경보전

이라는 측면에서 매우 유용할 것으로 사료되어 진다.

2. 재료 및 방법

2.1 펄프 스테드 섬유 특성 관찰 및 수초지 제작

제지 및 완충소재의 원료로 이용하기 위해 펄프 스테드를 증해하여 펄프를 제조하였다. 제조된 펄프는 표백을 하여 섬유의 특성을 관찰하였고 아트지와 고급상질지를 생산하는 M사에서 분양받은 Sw-BKP 및 Hw-BKP와 비교해 보았다. 그리고 펄프를 실험실용 Vally Beater를 이용하여 여수도 450 mL CSF까지 고해시킨 후 혼합하여 평량 $100 \pm 5 \text{ g/m}^2$ 의 수초지를 제조하여 항온항습실에서 24시간동안 조습처리를 하였다.

2.2 수초지의 물리·광학적 성질

조습처리된 수초지를 TAPPI Standard Method에 의거하여 인장강도, 파열강도, 인열강도, 벌크, 백색도, 불투명도를 측정하였다.

2.3 완충소재 제조

열기계 펄프화 방법을 이용해 펄프 스테드 펄프를 제조한 후 감압진공방식으로 완충소재를 제작하였다. 이 때 섬유간의 결합을 원활히 하고 형상유지를 위해 바인더를 투입하였고, 제조된 완충소재는 약 150°C 의 온도로 가열된 공기 송풍기를 이용하여 과량의 수분을 제거한 후 건조기에서 건조시켰다. 제조된 완충소재 겉보기 밀도(apparent density), 압축강도(compressive strength), 열전도도(thermal conductivity)를 측정하고 비교를 위해 스티로폼의 물성을 함께 측정하였다.⁴⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 펄프 스테드의 특성

Fig. 1은 펄프 스테드를 증해하기 전 육안으로 관찰한 모습이고, Fig. 2에서는 펄프 스테드를 증해 시킨 후 표백을 거친 섬유를 염색하고 광학적으로 관찰한 사진이다. 육안적으로 살펴보면 펄프 스테드는 실타래처럼 섬유상의 형상을 하고 있었으며 황토색을 띠고

있다. Fig. 2는 펄프화 이후 표백한 팜 섬유를 염색하여 현미경으로 관찰한 모습으로 목질계 섬유들과 비슷한 형태를 보여주고 있다.

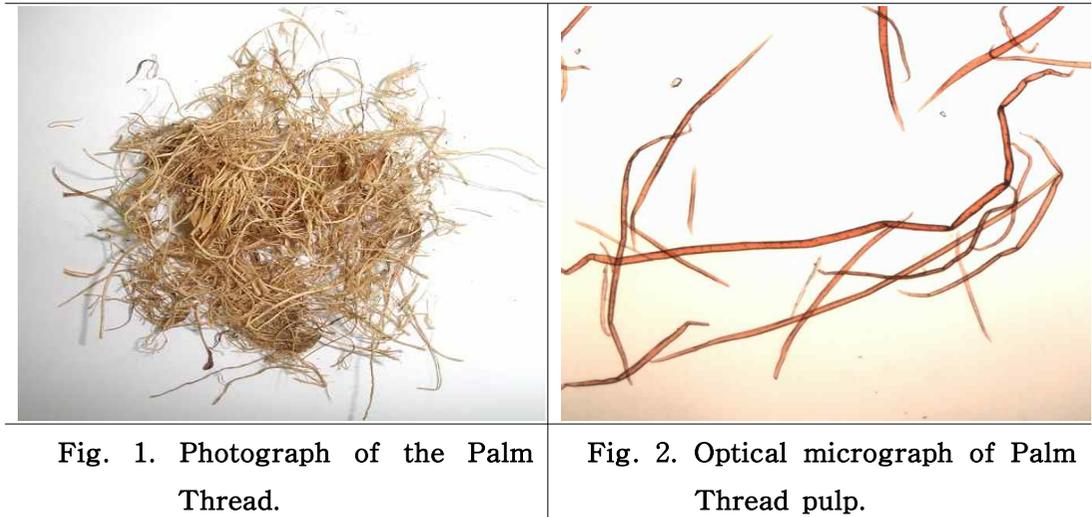


Table 1은 제지용 원료로 만들어진 팜 섬유의 특성을 Hw-BKP, Sw-BKP와 비교해 나타낸 것이다. 일반적으로 비목질계 섬유들의 특성이 목재에 비해 크게 떨어지는 특성을 가지고 있는데 반해, 팜 섬유의 길이는 활엽수와 거의 비슷한 수치를 나타내었으며, 섬유폭은 약간 더 넓은 것으로 나타났다. 초기 여수도는 활엽수보다 조금 낮은 530 ml CSF를 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로 팜 섬유는 제지용 펄프로 이용 가능할 것으로 판단되었다.

Table 1. Characteristics of wood and Palm pulp

Source	Average fiber length (mm)	Average fiber width (μm)	Initial Freeness (ml CSF)
Hw-BKP	0.71 - 0.85	13.19 - 13.57	620
Sw-BKP	2.38 - 2.73	26.88 - 26.99	750
Palm pulp	0.78 - 0.91	15.77 - 15.94	530

3.2 팜 섬유를 이용한 수초지의 물성

Table 2는 팜 섬유와 섬유장이 비슷한 Hw-BKP를 비교하고, 팜 섬유에 Sw-BKP의

첨가량을 달리하여 제조한 수초지의 물리적 성질을 나타낸 표이다. 팜 섬유와 Hw-BKP를 100%로 제조한 수초지의 Bulk 값은 팜 섬유 수초지가 높게 나왔다. 전반적인 물리적 성질은 Hw-BKP 수초지가 높게 나왔으며, 특히 인열강도에서 큰 차이를 보였다. 팜 섬유에 Sw-BKP의 첨가량 달리하여 제조한 수초지는 첨가량이 40%까지는 Bulk 값이 줄어드는 것을 관찰할 수 있었고, Bulk 값이 줄어들면서 밀도와 강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 종이의 물리적 성질은 섬유가 network를 형성해가는 과정에서 섬유간의 수소 결합에 의해 발생하는 것으로서, 일반적으로 Bulk 값이 크면 섬유간의 결합력 면적이 줄어들어 물리적 성질이 줄어드는데 이는 섬유의 유연성이 떨어진다는 것을 의미한다.⁵⁾ 하지만 초기 벌크 값이 큰 섬유들은 판지나 라이너 혹은 골심지 등에 사용될 때 주원료 사용량을 줄일 수 있기 때문에 고품량지 제조시 활엽수 펄프에 비해서 제조비용 감소에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단되었다. Hw-BKP와 Sw-BKP를 혼합한 수초지와 비교를 했을 때에도 모든 조건에서 Bulk 값이 크다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Sw-BKP 혼합비율이 30% 이후로는 강도적 특성 또한 일반 인쇄용지에 준하거나 더 큰 값을 나타내어 긍정적인 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 목질계 펄프를 대체하기에 팜 섬유의 물리적 성질은 적절한 조건을 가지고 있는 것으로 판단되었다.

Table 2. Physical properties of the handsheet made from the mixture of Palm Thread pulp and Sw-BKP

Sw-BKP addition (%)	Thickness (μm)	Bulk (cm^3/g)	Density (g/cm^3)	Tensile index (Nm/g)	Burst index ($\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$)	Tear index ($\text{mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$)
Hw-BKP	195	1.90	0.119	29.73	2.12	2.35
0	239	2.32	0.145	23.20	1.96	0.78
10	225	2.19	0.137	30.72	2.06	1.07
20	217	2.13	0.133	32.19	2.15	1.74
30	211	2.09	0.130	34.62	2.73	2.42
40	201	1.98	0.124	42.01	3.09	2.43
50	190	1.89	0.118	40.95	3.40	2.93
Control*	180	1.76	0.110	35.61	2.32	2.80

*Hw-BKP:Sw-BKP = 7 : 3

3.3 팜 섬유를 이용한 수초지의 광학적 특성

Fig. 3에서는 팜 섬유에 Sw-BKP의 첨가량에 따른 백색도와 불투명도의 변화를 나타낸 그림이다. 팜 섬유의 초기 백색도가 상대적으로 Hw-BKP와 Sw-BKP에 비해 낮은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었고, 그러므로 팜 섬유의 비율이 높을수록 수초지의 불투명도는 증가하는 경향을 나타내었다.

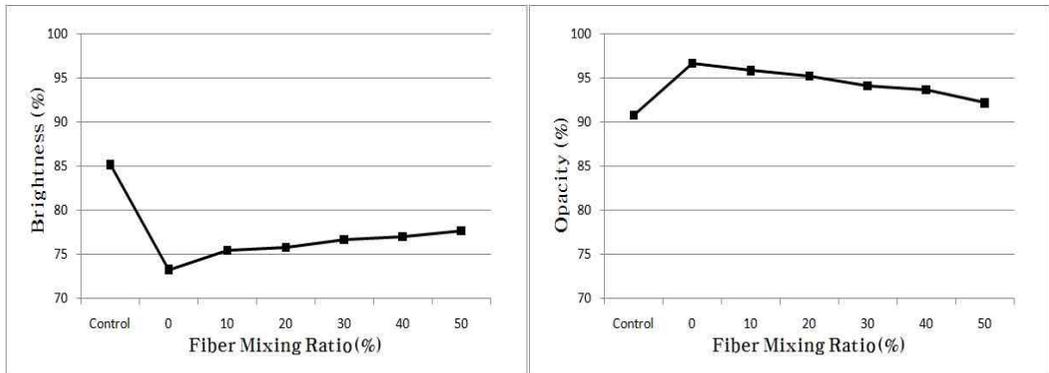


Fig. 3. Brightness and Opacity of the handsheet.

3.4 팜 섬유를 이용한 완충소재의 물리적 특성

Fig. 4에서는 열기계필프화법을 이용해 제조한 팜 섬유를 나타낸 사진이다. 팜 스테드 상태일 때 뭉쳐 있었던 섬유들이 필핑과정을 거친 뒤에는 해섬된 섬유들의 모습을 관찰할 수 있었다. 이러한 팜 섬유들은 리그닌 성분이 남아 있어 섬유간의 결합력이 낮다. 따라서 완충소재의 구조에서 충격흡수 역할을 하는 공극들을 만드는데 큰 기여를 할 수 있다. 팜 섬유를 이용해 제조한 완충소재의 모습을 Fig. 5에 나타내었다.



Fig. 4. Surface structure of cushioning materials made of palm fibers.



Fig. 5. Shock absorbing material.

Table 3과 Fig. 6에서는 제조된 완충소재의 두께에 따른 겉보기 밀도의 변화를 나타낸 것이다. 팜 섬유를 혼합한 비율에 따라 두께와 겉보기밀도는 큰 차이를 보이고 있다. 완충소재의 경우 두께가 크고 밀도가 낮을수록 완충성능이 향상되기 때문에 1 mm 미만의 섬유들로 구성된 팜 섬유는 그 혼합비율이 증가할수록 완충소재의 조직이 치밀해지면서 완충소재의 두께가 작아지고 밀도는 증가하기 때문에 완충성능의 감소에 영향을 미칠 것으로 쉽게 판단할 수 있다. 팜 섬유의 혼합 비율이 60% 수준 이하에서는 팜 섬유 100%로 제조된 것에 비하여 반 이상 밀도가 감소하여 완충성능의 향상에 큰 기여를 하고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 3. Apparent density of Shock absorbing material

TMP addition (%)	0	10	20	30	40	50
Thickness (mm)	24	23	24	27	29	33
Apparent density (g/cm³)	0.27	0.17	0.16	0.14	0.13	0.13

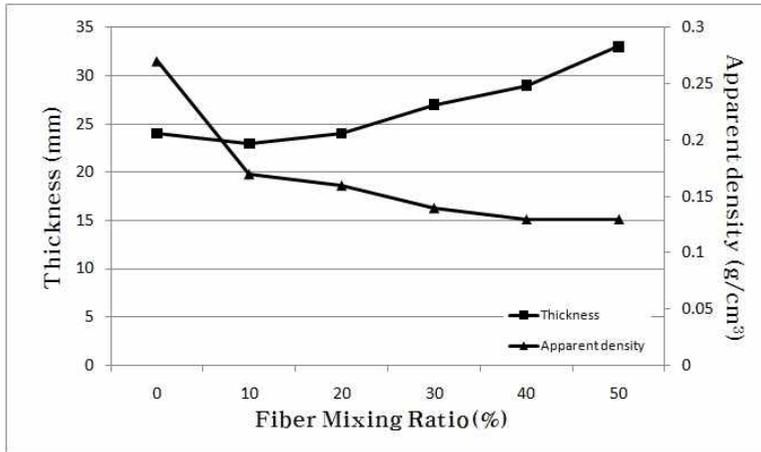


Fig. 6. Apparent density of cushioning material.

Fig. 7은 폼 섬유로 제조된 완충소재의 압축강도 변화를 보여준다. 완충소재의 압축강도는 15.7 mm/min의 재하속도로 5×5 cm의 면적에 8 mm까지 하중을 가하였을 때까지 소모된 최대 하중(kN)을 압축강도로 나타내었다. 완충성능이 작을수록 최대 하중이 크고 완충성능이 클수록 최대 하중이 낮게 나온다. 즉, 완충소재의 압축강도가 작을수록 완충능력이 우수하다. 폼 섬유로 제조한 완충소재의 경우 폼 섬유의 함량이 작을수록 압축강도가 감소하였고 폼 섬유의 함량 50% 수준에서 가장 작은 압축강도 값을 나타내었다. 참고로 스티로폼의 압축강도는 0.31 kN으로 폼 섬유의 비율이 90-100% 범위의 완충소재들의 압축강도 값 사이에 있었다.

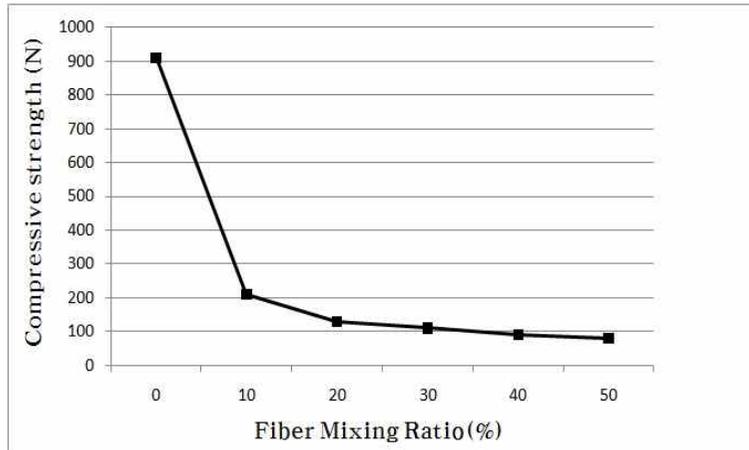


Fig. 7. Compression strength of cushioning materials.

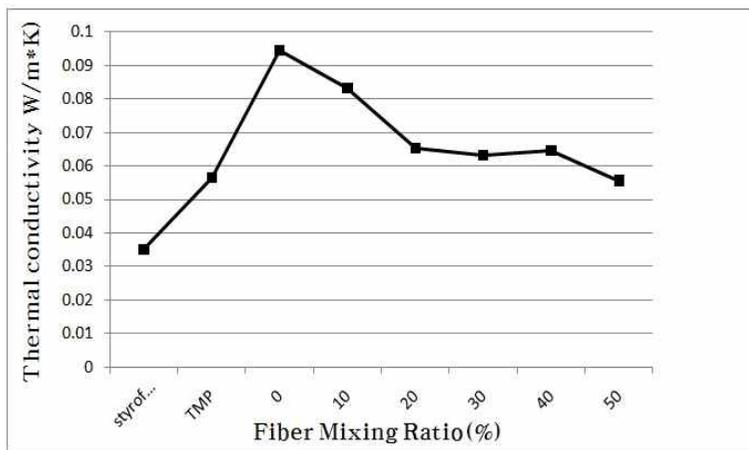


Fig. 8. Thermal conductivity of cushioning materials.

폼 섬유로 만든 완충소재가 갖는 단열성을 평가하여 완충소재가 외부 열을 어느 정도 차단할 수 있는가를 분석하였다. Fig. 8은 폼 섬유로 제조된 완충소재의 열전도도 (thermal conductivity)를 보여준다. 일반적으로 단열재로 사용되기 위해서는 열전도도가 $0.1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 이하가 되어야 하는데 완충소재의 경우 폼 섬유의 함량에 관계없이 모두 단열재에 해당하는 열전도도를 나타내었다.

4. 결 론

열대 및 아열대 지역에서 단기 순환 수목이자 바이오연료용 용도로 다량 재배되고 있는 팜 오일 나무로부터 열매들을 수확하여 팜유를 추출하고 난 후 슬러지 형태(palm thread)로 발생하는 팜 섬유들을 크라프트 펄프 및 열기계펄프로 제조하였다. 크라프트 펄프로 만들어진 팜 섬유를 이용하여 수초지를 제조하였고, 활엽수 및 침엽수와 혼합한 수초지와 비교 하였다. 팜 섬유의 특성은 활엽수 섬유와 비슷한 섬유장을 가지고 있었으며, 활엽수에 비해 Bulk 값이 높은 특징을 가지고 있었다. 마찬가지로 활엽수와 침엽수를 혼합한 수초지와 비교할 때에도 거의 비슷한 물성을 가지는 반면 Bulk 값은 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 하지만 광학적 특성에서 낮은 백색도 값을 보였다. 하지만 이를 보완한다면 활엽수 펄프를 대체할 수 있는 우수한 자원이 될 것이다.

열기계펄프로 만들어진 팜 섬유를 이용하여 감압성형방식에 의해 완충소재를 제조하였고, 이 때 완충소재의 완충성능을 보완해 주기 위하여 침엽수 열기계펄프와 양이온성 전분을 함께 첨가하였다. 완충소재의 완충성능은 완충소재를 구성하는 팜 섬유의 비율이 낮을수록 우수한 완충성능을 나타내었고, 팜 섬유 혼합 비율을 조절함으로써 완충소재의 물성을 자유롭게 조절이 가능하였다. 특히 팜 섬유로 제조된 완충소재의 열전도율이 팜 섬유의 비율에 관계없이 모두 $0.1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 미만의 값을 나타내어 단열재로도 사용이 가능함을 확인할 수 있었다.

인용문헌

1. 김경수 외, 복합퇴비화와 부식질 추출을 통한 Palm Oil Waste로부터 액상부식질비료의 제조 공정, 대한환경공학회 2004 추계학술연구발표회 논문집, pp.1401-1402(2004).
2. 원종명, 옥수수대 펄프의 제지용 원료로서의 잠재성, 한국펄프·종이공학회 2004년 춘계학술발표논문집, pp.77-84(2004).
3. 김철환 외, 폐잔재의 펄프화를 통한 환경친화적 완충소재의 개발, 펄프·종이기술 Vol.38(2), pp.61-71(2006).
4. 신태기 외, 폐잔재를 원료로 한 환경 친화적 완충소재의 개발을 위한 기초연구, 한국펄프·종이공학회 2007년 춘계학술발표논문집, pp.340-349(2007).
5. 이진호 외, 섬유의 특성이 종이의 bulk 특성에 미치는 영향, 한국펄프·종이공학회 2005년 추계학술발표논문집, pp.350-356(2005).