

오일팜 EFB 섬유 적용에 따른 펄프몰드 공정효율 및 제품품질 변화

김동섭 · 성용주[†] · 김철환¹ · 김세빈²

접수일(2016년 1월 16일), 수정일(2016년 2월 5일), 채택일(2016년 2월 12일)

Changes in the Process Efficiency and Product Properties of Pulp Mold by the Application of Oil Palm EFB

Dong-Seop Kim, Yong Joo Sung[†], Chul-Hwan Kim¹ and Se-Bin Kim²

Received January 16, 2016; Received in revised form February 5, 2016; Accepted February 12, 2016

ABSTRACT

The demand of environmental friendly packaging materials such as pulp mold has been increased. The application of the oil palm biomass, EFB (Empty Fruit Bunch) fiber as natural raw materials to the pulp mold could increase the usability of the pulp mold by the reduced production cost brought from the relatively low cost of EFB. The effects of the EFB(Empty Fruit Bunch) fibers on the properties of pulp mold and on the process efficiency were evaluated in this study.

The pulp mold samples were prepared with mixture ONP (Old news paper) and EFB by using laboratory wet pulp molder. The changes in the drying efficiency were measured with the changes in the solid contents of pulp mold samples during drying process. The efficiency of the surface coating treatment on the pulp mold depending on the condition of the pulp mold samples were also evaluated in order to improve the water resistance properties of pulp mold.

The addition of EFB increased the drying efficiency by providing the bulkier structure and the higher water contact angle, which indicated the better water resistance properties. The water resistance were improved by the surface coating treatments and the application of surface coating on the pulp mold at the higher moisture contents resulted in the higher improvement in the water resistance. The bulkier structure originated from

• 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Dept. of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ. Daejeon, Republic of Korea)

1 경상대학교 환경재료과학과/IALS(Dept. of Env. Materials Sci./IALS, Gyeongsang National University, Jinju, 660-701, Korea)

2 충남대학교 농업생명과학대학 산림환경자원학과(Dept. of Environment & Forest Resources, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ., Daejeon, Republic of Korea)

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: yosung17@cnu.ac.kr

the application of EFB fiber reduced the effects of the surface coating, which could be overcome by the control of surface coating process.

Keywords: Pulp mold, oil Palm biomass, EFB, drying efficiency, surface coating

1. 서론

국내의 경제규모의 증대 및 사회발전과 함께 다양한 상품의 저장과 운송 등과 관련된 물류산업은 지속적으로 발전하고 있으며 특히, 인터넷을 기반으로 한 온라인 시장의 증가와 함께 개별소비자를 대상으로 한 소량단위 포장과 관련된 물류규모는 더욱 급격히 증가하고 있는 상황이다.¹⁾ 이에 따라 다양한 제품의 안전한 유통을 위한 포장소재의 수요는 지속적으로 증가하고 있고 신선식품에서 대형가전제품까지 개별단위의 유통이 더욱 확산됨에 따라 포장재의 폐기 및 재활용도 중요한 이슈가 되고 있다. (자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 시행규칙, 환경부령 제 638호)

재활용성이 우수하고 경제성이 우수하여 제품의 최종 포장에 보편적으로 적용되는 골판지 상자 등의 지류포장재와는 달리 제품의 유통과정 중에 파손을 방지하기 용도로 일반적으로 적용되고 있는 완충포장재의 경우에는 주로 합성수지를 발포하여 제조되는 발포스티로폼, 발포폴리에틸렌, 발포폴리프로필렌 등이 사용되고 있다. 이러한 석유 기반의 합성수지 포장재의 경우에 적절하게 회수가 이루어지지 않는 경우 자연환경에서 분해가 거의 일어나지 않기 때문에 다양한 환경오염의 원인이 되는 단점을 가지고 있다. 특히, 대표적인 완충포장재인 발포스티로폼의 경우에는 쉽게 부스러지는 특성을 가지고 있기 때문에 자연환경 속에서 수거 및 회수를 더욱 어렵게 하는 문제를 가지고 있다. 이에, 국내에서는 2003년부터 현재까지 '합성수지 재질로 된 포장재의 연차별 줄이기 기준의 이행여부 확인 및 줄이기 방법 등에 관한 규정(환경부고시 제2015-129호)'을 시행하여 합성수지 기반 완충포장재의 사용을 엄격히 규제하는 등 다양한 노력들이 이루어지고 있다.

펄프몰드는 천연 목재섬유 등을 기반으로 제조된 목재펠트나 신문지, 골판지 등을 재활용한 재생고지를 사용하여 제조되는 완충포장재로서 합성수지 완충재를 대

체할 수 있어서 현재 많은 관심의 대상이 되고 있고 특히, 일회용 포장소재로서 활용이 가속화되고 있다. 그러나 이러한 펄프몰드는 사용되는 목재펠트나 재생고지의 원료 특성에 의해 수분에 노출될 경우, 쉽게 물을 흡수하며 이에 따라 물성 저하 및 구조적 특성의 저하가 발생하는 단점이 있다. 또한 펄프몰드의 주원료인 재생고지는 상대적으로 낮은 가격의 장점으로 많이 활용되고 있는데 재활용의 횟수 증가에 따라 섬유유 각질화(Hornification)²⁾가 발생하여 섬유유 유연성 및 강성이 저하됨에 따른 펄프몰드 자체의 물성이 저하³⁾되며, 해리과정 중 다량의 미세분 발생^{4,5)}으로 인한 펄프몰드 건조시 건조효율의 저하를 가져오는 등 다양한 기술적 보완이 필요한 상황이다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 고지배합 비율을 달리하거나⁶⁾, 원료 조성 및 첨가제 처리⁷⁾, 표면의 개질처리를 통해 펄프몰드의 제품의 물성 및 기능성⁸⁾을 개선하고 공정개선⁹⁾ 및 건조에너지를 절감하기 위한 연구¹⁰⁾가 진행되어 왔다. 하지만 이러한 연구개발의 노력에도 불구하고 펄프몰드 산업규모가 영세하며 이와 관련된 연구기반이 상대적으로 취약하여 실질적인 기술개발과 관련된 신제품개발 등이 여전히 미비한 상황이다. 실제 펄프몰드의 경우 다양한 원료의 적용을 통한 새로운 제품의 개발이 상대적으로 용이한 특성을 가지고 있는데 이러한 새로운 원료의 발굴과 대체 원료의 도입을 통한 실질적인 해결 방안의 도출이 필요한 실정이다.

전 세계적으로 6천만 ha의 이상의 대규모 조림을 기반으로 이루어지고 있는 오일팜 산업은 전제 생산량의 90% 이상을 차지하고 있는 말레이시아 및 인도네시아를 중심으로 집중적인 성장이 이루어지고 있다. 오일팜 산업의 경우 팜오일의 생산 시 상당한 양의 폐기성 바이오매스가 발생하게 되는데 이중 EFB(Empty Fruit Bunch)의 경우 팜오일 생산 공장에서 매일 일정량이 지속적으로 발생하는 리그노셀룰로오스성 섬유자원으로서 오일팜 재배지 1 ha 당 연간 약 20톤 가량이 발생되

는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ 이러한 EFB는 현재 특별한 활용도 없이 인근에 버려지거나, 보일러의 원료 등으로 현지에서 활용되고 있는데, 폐기성 자원으로 경제성이 우수한 EFB의 고도 활용을 위한 다양한 연구들이 지속적으로 진행되고 있다.^{12,13)} 기존의 코이어 섬유와 같은 천연섬유 형태를 가지고 있는 EFB 섬유는 활엽수와 유사한 형태의 미세 피브릴섬유로 구성되어 있으며¹⁴⁾, 표면에 1% 이내의 오일 성분이 잔류되어 있는 특성을 가지고 있다.¹⁵⁾ EFB 섬유화를 실시하여 구조적 개선을 통해 펄프몰드의 원료로 적용하는 경우에 EFB 섬유 자체의 강직성과 소수성 특성으로 수분저항성 증대 등의 제품품질 개선이 가능할 것으로 기대할 수 있다.

본 연구에서는 기존 펄프몰드의 기능성 개선을 위한 방안으로서 새로운 천연섬유 원료인 오일팜 EFB 섬유의 적용과 이를 바탕으로 한 펄프몰드 품질 개질방안에 대하여 알아보았다. 오일팜 EFB의 기계적 미세화를 실시하여 이를 기존의 펄프몰드 원료인 신문고지 펄프와 함께 혼합 첨가한 펄프몰드를 제조하여 습식펄프몰드 제조 공정에서 공정 효율 변화를 평가하였다. 이와 함께 상대적으로 소수성을 가지는 EFB 섬유의 첨가에 따른 펄프몰드 특성변화와 펄프몰드의 수분저항성 강화를 위한 표면처리기술의 적용과 그 효과 등을 비교평가 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 신문고지 펄프(ONP, Old news paper)

신문고지 펄프를 A사에서 분양받아, 실험실용 Valley beater를 이용하여 20분간 해리를 진행하였다. 해리된 신문고지 지료는 Canadian Standard Freeness를 통해 여수도를 측정하였으며, 본 실험에 적용된 신문고지 지료의 여수도는 510 ml CSF 이었다. 또한 신문고지 지료의 성분조성을 평가하여 Table 1에 나타내었다.

2.1.2 EFB 기반 유기충전제

인도네시아 소재의 CPO 생산공장에서 발생한 EFB 지료를 분양 받아 사용하였으며, 펄프몰드에 적용하기 위하여 EFB 전처리를 실시하였는데, EFB 섬유를 24시간 동안 수분에 침지하여 조직연화를 유도하였다. 조직

Table 1. Chemical compositions of old news paper stock and EFB fibers (w.t. %)

	Ash	Alcohol-benzene extract	Klason Lignin	Holo-Cellulose
	(%)	(%)	(%)	(%)
EFB	5.2	0.4	18.3	68.5
ONP	11.7	6.5	7.7	59.4

이 연화된 EFB 섬유를 실험실용 연마석 미세화기(Lab scale rough stone based refiner, 220 v, 5A, 1740 rpm)를 이용하여 연마석 간 간격 1 mm로 조절하고 연화된 EFB 섬유를 3회 통과하여 미세섬유화한 후, 30 mesh ~ 200 mesh로 분급하여 펄프몰드 투입시료를 제조하였다. 전처리된 EFB 섬유의 성분조성을 Table 1에 나타내었다.

2.1.3 코팅 제재

펄프몰드의 수분저항성을 증가시키고 표면완충성을 부여하기 위하여 펄프몰드에 대한 표면코팅을 실시하였으며 이때 표면코팅을 위해서 B사에서 분양받은 암모니아 0.2%를 포함하고 있는 내수성 증대용 천연라텍스(low ammonia natural rubber)를 20% 농도로 희석하고 30분간 교반하여 코팅제재를 조성하였다.

2.2 원료 특성에 따른 특성변화 평가

2.2.1 펄프몰드 시료제조

펄프몰드 제조를 위한 원료 조성 및 원료 개질처리에 대한 조건을 Table 2에 나타내었다. 신문고지 내의 미세분에 의해 펄프몰드의 구조가 치밀해지고 이에 따른 건조효율 감소 등을 평가하기 위하여 200 mesh에서 신문고지를 분급처리하여 미세분을 제거한 후 펄프몰드 시료

Table 2. The raw materials mixing ratio of the pulp mold samples

Symbol	ONP Content (%)	EFB Content (%)	Screening Treatment (200 mesh)
ONP	100	-	None
Treated ONP	100	-	Treated
EFB 10%	90	10	None
EFB 20%	80	20	None

를 제조하였다. 또한 EFB 미세화 섬유의 적용에 펄프몰드 특성변화를 평가하고자 10%, 20% 투입하여 그 영향을 분석하고자 하였다. 각 조건의 펄프몰드는 실험실용 습식몰드 성형기를 적용하여 펄프몰드 시험편을 평량 각 200 g/m²으로 제조하여 평가하였다.

2.2.2 공정 영향 분석 : 건조 시간에 따른 고형분 함량 변화 측정

오일팜 EFB 섬유의 첨가와 ONP 미세분 제거에 따른 펄프몰드의 특성변화가 실제 펄프몰드 제조공정 중 건조 효율에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각각의 조건별로 제조된 펄프몰드의 건조효율을 건조 시간에 따른 고형분 함량 변화를 통해 분석하였다. 각 시험편을 습식성형 후 실험실용 건조기(Oven dryer)를 적용하여 건조를 실시하였으며, 건조시작 후 6, 12, 18, 24, 30분 경과 후 각각의 무게를 측정하여 건조 시간 경과에 따른 고형분 함량 변화를 eq 1을 통해 산출하였다.

$$\text{Solid contents (\%)} = \frac{\text{Dry weight of pulp mold (g)}}{\text{Wet weight of pulp mold (g)}} \times 100 \quad \text{Eq 1.}$$

2.2.3 제품 품질 영향 분석 : 수분 접촉각 측정을 통한 수분저항성 평가

EFB의 첨가 및 함수율 조절에 따른 코팅적용으로 포장 소재인 펄프몰드의 제품 품질 영향을 분석하기 위해 펄프몰드 표면의 수분저항성을 평가하였다. 이러한 수분저항성 증대에 미치는 영향을 분석하기 위해 ONP, EFB 10%, EFB 20%, 각 수분저항 코팅 펄프몰드 표면에 증류수를 떨어뜨려 표면에 맺히는 물방울과 표면의 접촉각

을 측정하였다. 접촉각은 S사의 접촉각 측정기(Surface Electro Optics Co, Ltd., Pheonix 150, Korea)를 이용하여 각 시험편에 20회 측정하여 평균 접촉각을 산출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 원료 조성에 따른 공정 영향 분석

3.1.1 원료 조성 변화에 따른 건조도 변화

지료의 미세분 함량 변화에 따른 펄프몰드의 열풍건조 특성을 알아보기 위하여 분급하지 않은 신문고지 지료와 200 mesh에서 분급을 진행한 신문고지 지료를 사용하여 펄프몰드를 제조하였다. 제조된 펄프몰드의 최초 고형분 함량부터 150℃의 온도에서 건조를 진행하면서 6분 간격으로 고형분 함량을 측정하였으며 이에 따른 결과를

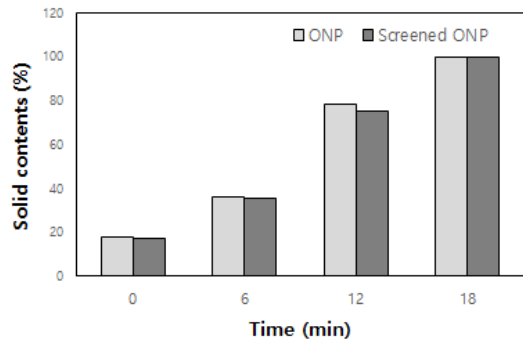


Fig. 1. The changes in the solid contents in pulp mold during drying process by depending on the fines contents in ONP stock.

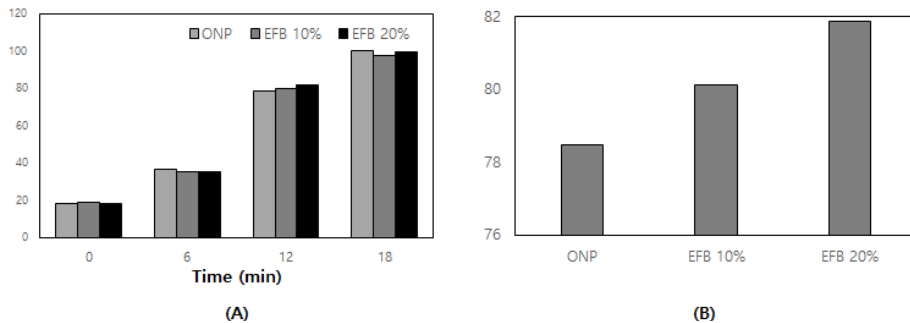


Fig. 2. The changes in the solid contents in pulp mold during drying process by depending on the EFB fibers contents in ONP stock, (A : Changes in the solids contents depending on the drying time, B : Solid contents after 12 minutes drying)

Fig. 1에 나타내었다. 그 결과, 지료 내 미세분의 함량은 건조 효율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 평가되었다. 이는 펄프몰드 제조에 있어서 압착탈수를 실시하지 않기 때문에 종이의 제조와 같이 미세분의 영향이 상대적으로 크지 않을 뿐만 아니라 신문고지 지료의 미세분의 많은 양이 친수성이 낮은 무기충전재이기 때문인 것(Table 1)으로 판단되었다.

EFB 섬유의 첨가에 따른 펄프몰드 건조효율 변화를 평가하고자 EFB 섬유 10%, 20% 각각 적용하여 펄프몰드의 건조효율을 평가한 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 건조가 12분 경과한 조건에서 펄프몰드의 고형분 함량을 측정된 결과 신문고지 100%로 제조된 펄프몰드의 경우에는 78.5%, EFB 섬유가 10% 및 20% 배합된 조건에서 80.1%, 81.2% 고형분이 나타나는 것을 알 수 있었다. 이것은 펄프몰드의 EFB 섬유 첨가가 실제 습식펄프몰드에서의 건조속도를 향상시키는 것을 보여주는 결과로, 펄프몰드의 지필 구조 내에 섬유 강성이 큰 EFB 섬유¹⁴⁾가 첨가되면서 보다 벌크한 지필 구조를 형성함에 따라 공극성이 증대되어 건조 효율이 향상되는 효과¹⁶⁾가 나타난 것으로 판단된다.

3.2 원료 조성에 따른 품질 영향 분석

3.2.1 EFB 섬유첨가에 따른 펄프몰드 수분저항성 변화

EFB 섬유의 첨가가 펄프몰드의 품질특성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 펄프몰드의 수분저항성 변화를 접촉각 측정법으로 비교 평가하였다. 각 제조된 펄프몰드에 증류수 방울을 떨어뜨려 형성된 물방울과 펄프몰드 표면의 접촉각을 측정하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었

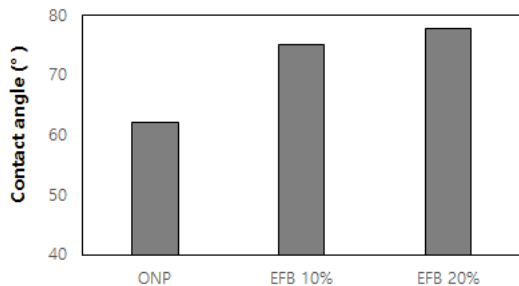


Fig. 3. The changes in water contact angles of the pulp mold surface depending on the contents of EFB fibers.

다. 신문고지로 제조된 기존의 펄프몰드의 경우 원료 특성상 무기물을 다량 포함하고 소수성의 잉크 성분이 잔존하기 때문에 BKP, UBKP와 같은 천연펄프에 비해 높은 접촉각을 나타내는 것으로 알려져 있다.^{8,9)} 본 실험에서 적용된 ONP 지료 기반 펄프몰드의 경우에도 상대적으로 높은 약 62°의 접촉각을 나타내었으나, EFB 섬유의 배합비가 증가할수록 수분접촉각 또한 증가하는 경향을 나타내었다. 상대적으로 소수성을 가지는 EFB 섬유의 활용은 펄프몰드의 수분저항성을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

3.3 펄프몰드의 건조단계별 표면코팅 효율변화

3.3.1 ONP 기반 펄프몰드의 코팅 적용시 수분함량에 따른 표면코팅 효율변화

천연목재펄프를 기반으로 제조되는 펄프몰드에서 표면에서의 수분저항성은 제품포장 시 중요한 품질인자가 될 수 있다. 이러한 펄프몰드의 수분저항성을 증대하기 위하여 다양한 종류의 표면코팅처리가 적용될 수 있는데, 본 연구에서는 완충성 등의 부여도 가능한 수용성 라텍스 코팅제재를 적용하여 펄프몰드의 표면특성 변화를 비교 평가하였다. 이러한 표면코팅의 적용 시 라텍스 입자들은 펄프몰드의 공극을 통해 내부로 유입되어 실제 표면코팅효과가 낮아질 수 있는 단점¹⁷⁾을 가지고 특히, 펄프몰드의 경우에는 종이제품에 비해 상대적으로 벌크하고 표면이 거친 특성을 가지기 때문에 이러한 영향이 더욱 크게 발생하는 단점이 있다.⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 펄프몰드의 표면코팅제가 표면에 가능한 많이 잔류함으로써 표면코팅 효율을 증대하기 위한 방안으로 습식펄프몰드의 제조 시 건조과정 단계에 따라 표면코팅을 실시

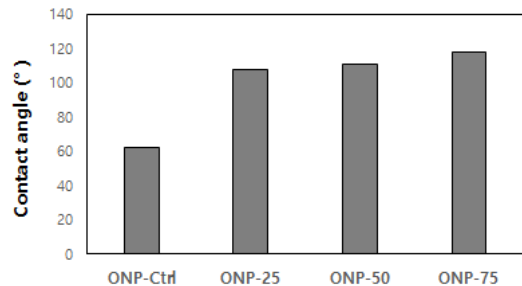


Fig. 4. The changes in water contact angles of the pulp mold surface depending on the water contents of pulp mold made of ONP 100%.

함으로써 표면코팅제의 내부유입을 조절할 수 있는지 여부를 평가하였다. 기존의 신문고지 기반 펄프몰드를 성형하고 제조된 펄프몰드를 150℃의 열판 건조를 진행하면서 함수율 25%, 50%, 75% 조건에서 코팅액을 도포하여 표면코팅을 실시한 후 펄프몰드를 제조하였다. 제조된 펄프몰드의 표면특성은 접촉각을 평가하여 수분저항성의 변화를 평가하였고 이를 Fig. 4에 나타내었다. 라텍스 표면코팅에 의해 펄프몰드의 수분저항성은 증대되는 효과를 나타내는데, 코팅 적용 시 펄프몰드의 함수율이 높을수록 즉, 펄프몰드의 건조가 이루어지지 않은 상태일수록 표면 수분저항성이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 고함수율 조건일 경우 펄프몰드 지필 구조 내의 공극을 수분이 차지하고 있어 코팅액의 펄프몰드 내부침투가 저해되고 또한 내부로 침투한 코팅액도 건조과정 중 마이그레이션 효과¹⁸⁾에 의해 표면으로 이동하는 영향에 의해 나타나는 것으로 판단되었다. 펄프몰드의 건조가 충분히 이루어진 저함수율 조건에서는 반대의 기작으로 코팅액이 펄프몰드 내부로 빠르게 흡수되고 표면의 코팅층이 상대적으로 적게 형성되어 수분저항 코팅 효과가 감소하는 것으로 판단되었다.

3.3.2 EFB 섬유 적용 펄프몰드의 코팅 적용시 수분 함량에 따른 표면코팅 효율변화

EFB 섬유가 적용된 펄프몰드에서 표면코팅 효율증대 효과를 알아보기 위하여 EFB 섬유를 20% 적용한 펄프몰드의 함수율에 따른 코팅 효과를 평가하여 Fig. 5에 나타내었다. EFB 첨가 시 코팅처리를 진행하지 않은 Control 조건에서 EFB 섬유의 상대적인 소수성으로 신문고지뿐만 제조된 펄프몰드에 비해 표면소수성이 높게

나타나는 것을 확인할 수 있었다. 건조단계별 펄프몰드의 수분함량에 따라 라텍스 표면코팅을 진행했을 때 앞서 설명된 것과 같이 수분함량이 높을수록 표면코팅 효율이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으나, EFB 섬유를 첨가하지 않은 조건에서 표면 수분저항성이 더 높게 발현되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 EFB의 첨가로 인한 펄프몰드가 보다 공극성을 갖게 됨에 따라 코팅액 도포 시 보다 많은 양의 코팅액이 펄프몰드 구조 내로 스며들어 표면에 잔류하는 코팅 도막이 상대적으로 적게 형성되는 결과로 판단되어진다.

4. 결론

폐기성 자원인 EFB 섬유의 펄프몰드 적용은 향후 친환경 원충포장재로서 관심이 커져가는 펄프몰드 제조에 있어서 경제적인 원료의 확보 측면에서 중요한 의미가 있다. 본 연구에서는 EFB 섬유의 미세섬유화를 통해 펄프몰드의 원료로 투입하여 그 영향을 평가하여 보았다. 강력한 섬유특성과 상대적 인 소수성을 가지는 EFB 섬유의 투입으로 기존 신문고지 기반의 펄프몰드는 상대적으로 벌크한 특성과 수분저항성이 증대되는 효과를 나타내는 것으로 확인되었다. 특히, EFB 섬유의 투입에 의한 벌크한 특성으로 습식펄프몰드의 제조 시 건조효율이 상대적으로 높게 나타나는 효과를 가져오는 것을 알 수 있었다. 펄프몰드 표면의 수분저항성은 완충포장재의 활용에 있어서 중요한 특성을 가지는데 표면 수분저항성의 증대를 위한 방안으로 표면코팅을 실시하였다. 펄프몰드의 벌크한 구조적 특성상 표면코팅제의 내부흡수가 빠르게 발생하여 표면코팅효율이 저하되는 것을 방지하기 위한 방안으로 펄프몰드의 건조가 충분히 이루어지지 않은 건조단계에서 표면코팅을 실시하고 그 효과를 비교하였다. 실제 미건조된 펄프몰드에 표면코팅을 실시한 결과 코팅제의 내부흡수가 최소화되며 상대적으로 높은 표면 저항성이 발현되는 것을 확인할 수 있었다. EFB 섬유의 적용에 의한 펄프몰드의 공극성 증가가 표면코팅 적용 시 코팅액의 표면잔류를 저해하여 코팅적성 효과를 반감시키는 효과를 가져오지만, 펄프몰드의 건조공정 초기에 표면코팅을 실시함으로써 표면 수분저항성을 향상시킬 수 있는 것을 확인할 수 있었고 향후 다양한 관련 공정기술의 개발을 통해 새로운 펄프몰드의 원료로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

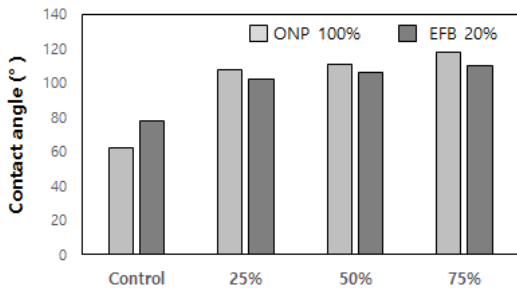


Fig. 5. The changes in water contact angles of the pulp mold surface depending on the water contents of pulp mold made with ONP 100% and OMP 80%, EFB fiber 20%.

사 사

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S111215L070110)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

Literature Cited

- Domestic and international logistics industry statistics, The Korea Chamber of Commerce & Industry, vol 14 (2015).
- Phipps, J., The effects of recycling on the strength properties of paper, *Paper Technology* 35(6):34-40 (1994).
- Minor, J. L., Hornification—its origin and meaning, *Progress in Paper Recycling*, 3 : 93-95 (1994).
- Lee, J. H., Seo, Y. B. and Jeon, Y., Strength property improvement of OCC-based paper by chemical and mechanical treatments (I), *Journal of Korea TAPPI* 32(1):10-18 (2000).
- Lee, J. H., Seo, Y. B. and Jeon, Y., Strength property improvement of OCC-based paper by chemical and mechanical treatments (II), *Journal of Korea TAPPI* 32(2):1-7 (2000).
- Park, I. S., Kim, J. N., Kim, D. Y. and Lee, Y. S., Effects of mixing ratio of ONP and OCC on physical properties of pulp molds for cushion packaging materials, *Journal of Korea TAPPI*, 40(1) : 47-54 (2008).
- Sung, Y. J., Kim, H. M., Kim, D. S. and Lee, J. Y., Evaluation of water resistance properties of pulp mole depending on the types of raw materials and the additives, *Journal of Korea TAPPI*, 47(5) : 112-119 (2015).
- Kim, D. S., Sung, Y. J., Kim, C. H. and Kim, S. B., Changes in the water absorption properties of pulp mold manufactured with oil palm EFB by surface treatments, *Journal of Korea TAPPI*, 47(1) : 75-83 (2015).
- Sung, Y. J., Ryu, J. Y., Kim, H. J., Kim, T. K. and Song, B. K., Improvement of drainage at wet pulp mold process, *Journal of Korea TAPPI*, 36(3) : 52-59 (2004).
- Sung, Y. J., Ryu, J. Y., Kim, H. J., Kim, T. K. and Song, B. K., Optimization of wet pulp mold process and reduction of drying energy, *Journal of Korea TAPPI*, 36(3) : 83-90 (2004).
- Chan, K.W., Biomass production in the oil palm industry. in oil palm and the environment—a malaysian perspective, Malaysian Oil Palm Grower's Council, (1999).
- Rozman, H.D., Saad, M.J. and Mohd Ishak, Z.A., Flexural and impact properties of oil palm empty fruit bunch (EFB) – polypropylene composites – the effect of maleic anhydride chemical modification of EFB, *Polymer Testing*, 22 : 335-341 (2003).
- Baharuddin, A.S., Rahman, N.A.A., Shah, U.K.M., Hassan, M.A., Wakisaka, M. and Shirai, Y., Evaluation of pressed shredded empty fruit bunch (EFB)-palm oil mill effluent (POME) anaerobic sludge based compost using Fourier transform infrared (FTIR) and nuclear magnetic resonance (NMR) analysis, *African Journal of Biotechnology*, 10(41) : 8082-8089 (2011).
- Sreekala, M.S., Kumaran, M.G. and Thomas, S., Oil palm fibers: morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties, *Journal of Applied Polymer Science*, 66(5) : 821-835 (1997).
- Law, K.-N., Daud, W.R.W. and Ghazali, A., Morphological and chemical nature of fiber strands of oil palm empty fruit bunch, *Biore-sources*, 2(3) : 351-362 (2007).
- Kim, D. S., Sung, Y. J., Kim, C. H. and Kim, S. B., Evaluation of the applicability of oil palm EFB fines as a functional organic filler, *Journal of Korea TAPPI*, 46(1) : 56-64 (2014).

17. Jo, J. Y., Min, C. K. and Shin, J. S., Manufacture of water-resistant corrugated board boxes for agricultural products in the cold chain system (II) - Application methods of chemicals for improving water and moisture resistance of corrugated boards, *Journal of Korea TAPPI* 36(2) : 60-69 (2004).
18. Groves, R., Matthews, G. P., Heap, J., McInnes, M. D., Penson, J. E. Ridgway, C. J., Binder migration in paper coatings - A new perspective, *Fundamental Research Symposium; The Science of Papermaking*, vol 2 : 1149-1181 (2001).