

## 산업용지 제조에서 목질계 스페이서의 적용성 개선방안

윤도현 · 성용주<sup>†</sup>

접수일(2015년 8월 14일), 수정일(2015년 8월 23일), 채택일(2015년 8월 25일)

### Methods for Improving the Applicability of Wood Powder Spacers to Liner Board Manufacturing

Do-Hyun Yoon and Yong Joo Sung<sup>†</sup>

Received August 14, 2015; Received in revised form August 23, 2015; Accepted August 25, 2015

#### ABSTRACT

The reduction of energy consumption in papermaking process has been considered as one of the major issue in the paper technology. The energy efficiency of paper mill becomes more significant for the mill which manufacture the board grade products such as linerboard with recycled paper such as OCC. The application of lignocellulose spacer to the board grade paper stock would be the feasible solution by increasing the paper bulk and the drying efficiency. The major defects originated from the application of the lignocellulose spacer could be the loss of strength properties. In this study, the ways for improving the strength properties of the spacer-added linerboard were suggested and evaluated. The effects of the addition of various types polyelectrolytes were tested and the different methods of polyelectrolytes were applied for finding the efficient way. The pretreatments of lignocellulose spacer with the polyelectrolytes during wood spacer hydration resulted in the higher strength properties than the typical application method such as the addition to the mixed stock. Multilayer treatments of the spacer with polyelectrolytes were also evaluated and led to the higher strength properties with the similar bulk improvement.

**Keywords:** Lignocellulose spacer, drying efficiency, bulk, polyelectrolyte

---

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

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

## 1. 서론

전 세계적으로 온난화 등의 기후변화에 대응하기 위한 기후변화 협약, 탄소배출권 거래 등 에너지 감소를 통한 온실가스 발생량 조절을 위한 정책들이 주요한 이슈가 되고 있다.<sup>1)</sup> 국내 주요 업종 에너지 소비증가율을 OECD와 비교해 보았을 때, 제지, 인쇄 산업의 에너지 소비증가율은 약 8.2%로서 다른 선진국들의 평균 증가율을 크게 상회하고 있다.<sup>2)</sup> 실제 고에너지 제조사업군으로 분류되어 관리되고 있는 제지산업에서 생산 에너지 감소는 시급한 당면과제가 되고 있으며 전략적으로 공정 에너지의 상당부분을 차지하는 건조공정의 효율화는 지속적인 관심의 대상이 되고 있다.

공정효율개선을 통한 공정에너지 감소 및 최적화를 시급히 달성해야 하는 국내 산업용지업계는 현재 세계 최고 수준의 92.1% 폐지 회수율을 기록하며 친환경적 포장재 제조 산업으로 경제발전과 함께 지속적으로 성장하고 있다.<sup>3)</sup> 이렇게 폐지를 주원료로 제품을 생산하는 산업용지 현장에서 폐지사용에 따른 다양한 문제들 즉, 원료섬유의 저급화와 오염물질 축적에 따른 공정효율저하 등이 더욱 심화되고 있다. 특히, 반복되는 재활용으로 인해 원료섬유의 각질화 및 단섬유화로 제품의 강도와 탈수효율 등이 지속적으로 저하되고 있으며 이로 인해 초지탈수공정, 압착탈수공정 및 건조공정까지 전체적인 공정효율이 크게 악화되고 있는 상황이다.<sup>4,5)</sup>

재활용 폐지 기반 산업용지 생산 시 지필에 벌크 특성을 부여하면서 탈수 및 건조효율을 개선시키기 위한 방안으로 목분 등의 스페이서를 첨가하는 방법이 최근 들어 많은 관심의 대상이 되고 있고 관련 연구개발이 다양하게 이루어지고 있다.<sup>6-8)</sup> 이러한 목분 및 유기물 분말상의 스페이서는 압착탈수 시 미세한 폐지 섬유들에 의한 습지필의 고밀화를 방지하여 수분의 유동성을 증가시키는 기능을 하게 된다. 이렇게 습지필에서 수분의 잘 빠져나감에 따라 압착탈수 시 압착압력을 더 높게 부여하여도 지필 구조의 망게짐(crushing)을 최소화할 수 있게 되어 압착탈수 공정에서 출구건조도를 향상시킬 수 있게 되는 것으로 보고된 바 있다.<sup>9)</sup> 스페이서의 적용은 벌크의 향상과 탈수 및 건조시 공정효율 증대효과를 가져오는 반면 섬유간 결합 등의 감소로 인한 강도감소 및 지분 등의 발생이 나타나는 단점을 가지고 있다. 이러한 강도의 감소를 보완하는 방법으로 다양한 종류의 지력증

강제를 추가적으로 첨가하거나 또는 양이온성 전분 등을 적용하여 상대적으로 소수성을 나타내는 목분의 표면을 개질하는 방법 등이 소개된 바 있다.<sup>10)</sup>

본 연구에서는 OCC(Old Corrugated Container) 고지를 주원료로 제조되는 산업용지 생산 공정에서 목분 스페이서의 적용 시 고지섬유와 목분 스페이서와의 결합 특성을 개선하여 지필의 강도를 높이기 위한 공정기술에 대하여 알아보았다. 특히 기존 공정에 적용되던 다양한 종류의 고분자 전해질기반 지력증강제를 목분의 수화단계에서 미리 첨가하여 상대적인 효율개선 효과 등을 비교 평가하여 보았다. 실제 고분자전해질이 목분의 표면 특성을 변화시키는 현상을 분석하였으며 서로 다른 전하 특성을 가지는 고분자전해질을 처리하여 그 효과를 비교 평가함으로써 스페이서 처리 효율 증대방안을 알아보았다. 이러한 연구결과들을 기반으로 스페이서의 산업용지 생산에 적용할 경우 더욱 효율적으로 공정을 운영할 수 있는 기반자료를 확보하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 지료

실험에 사용된 지료는 국내 D사에서 분양 받은 OCC 펄프기반 산업용지 원지를 활용하였으며, 분양받은 산업용지 원지를 실험실용 Valley beater를 이용하여 해리 및 고해를 실시하여 OCC 펄프지료를 준비하였으며 이때 여수도는 490 mL CSF로 준비하였다.

#### 2.1.2 목질계 스페이서

본 연구에서는 국내 D사에서 제공받은 캄보디아 산 고무나무의 목재분말을 실험에 사용하였으며 100-150 mesh로 분획된 목분을 적용하였다. 지료에 투입하기 전 24시간 동안 농도 3%로 증류수에 침지하여 수화시킨 후 실험을 실시하였다.

#### 2.1.3 고분자전해질 첨가제

Silica 계열의 7.5%의 활성도를 가진 음이온성 고분자 전해질과 양이온성 고분자전해질인 cationic-PAM을 적용하였고, 고분자량의 음이온성 고분자전해질과 음이

Table 1. Characteristics of polyelectrolyte additives

Type	Characteristics	Properties
Silica-Anionic	Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.05
	Active contents	7.5
	pH	9.2
Cationic-PAM	Active contents (%)	10.5
	M/W	Over 200 million
	Charge (meq/g)	2.5~3.0
Amphoteric-PAM	Active contents (%)	15
	M/W	Over 150 million
	Charge (meq/g)	Below 1.5

온과 양이온을 모두 가지고 있는 양쪽성 고분자 전해질의 amphoteric-PAM의 영향을 각각 비교 평가하였다. 본 실험에 적용된 고분자 전해질의 자세한 특성은 Table 1에 정리하여 나타내었다. 각각의 고분자 전해질 적용함에 있어 균일한 혼합을 위하여 증류수로 고형분 함량의 0.01%로 희석하여 실험에 적용하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 종류별 고분자 전해질 전처리 방법

증류수에 3%로 수화시킨 목분에 고분자 전해질 약액을 목분 전건무게 대비 0.05%로 투입 후 2분간 400 rpm으로 교반하며 반응시켰다. 이후 전처리된 목분을 OCC 지료 대비 전건무게비 10%로 첨가하여 2분간 400 rpm 교반하였고, 이후 수초지를 제조하여 그 영향을 평가하였다. 또한 기존의 고분자 전해질 투입 방식을 대조구로 하

여 수화된 목분과 지료를 혼합한 후 목분대비 0.05%의 고분자 전해질을 처리하여 4분간 400 rpm 교반한 후에 수초지를 제조하여 전처리 효과를 비교 평가하였다.

### 2.2.2 수초지 제조 및 탈수도 평가

실험실용 수초지의 제조는 실험실용 원형수초지기를 사용하였으며, 평량은 일반적인 산업용지 중간층(Middle layer)의 평량과 유사한 72 g/m<sup>2</sup>을 기준으로 하였고 각각의 수초지는 TAPPI Standard Test Method T205 om-8에 의거하여 제조하였다. 수초지 제조 시 압착탈수 방식은 현장 모사를 위해 실험실용 롤 프레스 압력 1000 kg/cm<sup>2</sup>, 압착속도 40 mm/s 의 조건으로 2회 압착탈수를 실시하고 각각의 경우에서 탈수정도 변화를 고형분 변화를 비교 평가함으로써 압착탈수도의 변화를 평가하였다.

### 2.2.3 목질 스페이서의 다층 고분자 전해질 처리 방법

목질 스페이서의 표면처리의 효과 증대를 위한 방안으로 고분자량의 음이온성 고분자 전해질을 목분 전건무게 대비 0.025%로 투입하여 2분간 반응시키고, 이어서 양이온성 고분자 전해질 수용액을 0.025%를 첨가하여 표면 전처리를 실시하였다. 다층 전처리된 목분을 2.2.2와 같은 조건으로 수초지를 제조하여 그 영향을 비교 평가하였다.

### 2.2.4 목분 표면전처리 반응시간 및 첨가량에 따른 영향평가

목분 표면전처리 조건에 따른 영향을 알아보기 위하여 amphoteric PAM 계열의 고분자 전해질을 목분 전건 대

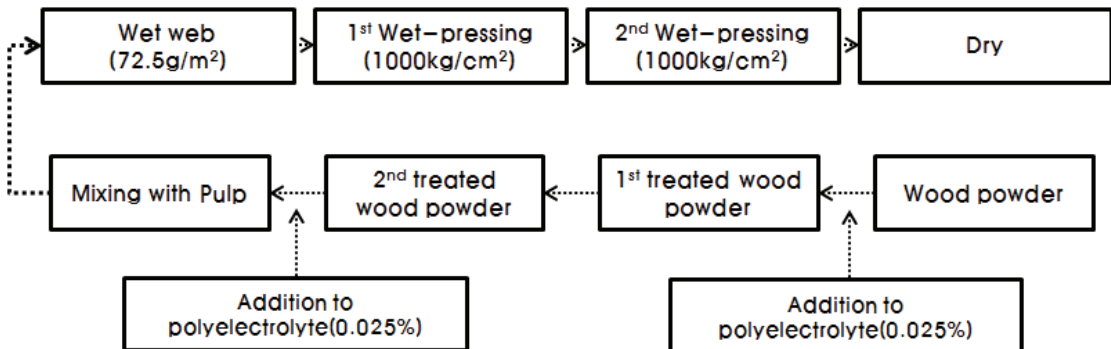


Fig. 1. Schematic diagram of double treatment process with polyelectrolytes on the wood powder spacer.

비 0.05%를 투입한 후 30초, 2분, 5분, 10분로 교반하면서 반응 시간을 달리하고 수초지를 제조하였을 때 물리적 특성의 변화를 비교평가 하였다. 또한 고분자 전해질 투입량을 변화시키며 그 영향을 알아보았다.

### 2.2.5 고분자전해질에 의한 목분 표면 특성 변화 평가

고분자전해질 전처리에 의해 목분표면의 특성변화를 알아보기 위하여 고분자전해질과 반응시킨 증류수로 세척하여 목분에 미흡착된 고분자전해질을 제거하였다. 이때 200 mesh를 사용하여 처리된 목분을 여러번 세척하고 전건하여 표면의 화학적 특성 변화를 ATR-FTIR(Attenuated Total Reflectance FT-IR, ALPHA-P)로 분석하였다.

### 2.2.6 수초지의 물성평가

각각의 완성된 수초지는 TAPPI Standard Test Method 402에 의거하여  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도  $50 \pm 2\%$ 에 24시간 동안 조습처리 하였으며, 조습처리 된 수초지는 미세두께 측정기(L&W micrometer)를 이용하여 밀도 및 벌크를 산출하였으며, 인장강도 측정기(L&W tensile tester)를 활용해, 인장강도(TAPPI Standard Test Method 494 om-88)를 측정하였다.

### 2.2.7 목분 표면처리에 의한 건조효율 변화평가

2차 압착탈수 후 건조 드라이어 투입 직전의 수초지 습지를 원형 수초지의 1/4크기로 절단하여 시료편을  $80^\circ\text{C}$ 의 열판에서  $1 \text{ kg/cm}^2$ 의 압력을 가하며 건조하면서 건조도 변화를 평가하였다. 열판 건조 시 매 5초 간격으로 수초지의 무게 변화를 측정하여 건조효율을 평가하였다.

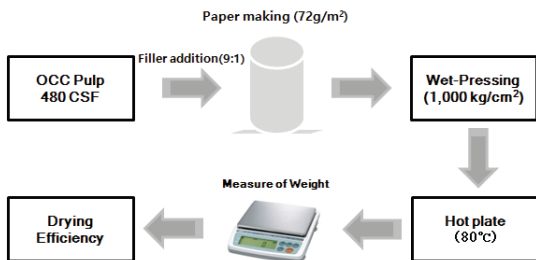


Fig. 2. Experimental process of drying efficiency evaluation.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 고분자전해질 흡착에 따른 목분 표면 특성 변화

다양한 고분자전해질을 목분수화 중에 전처리한 후 목분 표면에서 고분자전해질의 흡착여부를 평가하고자 FT-IR을 적용하여 표면특성 변화를 알아보았다. Fig. 3에서 나타난 바와 같이 실리콘 기반 음이온성 고분자(Silica-Anionic)의 흡착시 고분자전해질에서 유래하는 실리콘 계열의 관능기<sup>11)</sup>가 목분 표면에 나타나는 것을 확인할 수 있었고 양이온성 고분자의 경우 아미이드 관능기<sup>12)</sup>가 전처리된 목분 표면에 존재하는 것을 볼 수 있었다. 양쪽성 고분자전해질과 전처리에 있어서도 아미이드 관능기가 목분 표면에 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 실제 고분자전해질의 전처리를 실시하는 경우 목분 표면에 흡착이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 고분자전해질 처리가 목분 투입 후 물성에 미치는 영향평가

목분 스페이서의 투입에 의한 강도특성의 저하를 보완하기 위해 지력증강을 위한 고분자전해질의 투입이 이루어지는데 이때 같은 양의 고분자전해질을 목분 수화시 직접 전처리하는 경우와 수화된 목분과 펄프지료를 혼합한 후 투입하는 경우에서의 효과 차이를 알아보았다. 고분자전해질의 투입량과 반응시간을 동일하게 유지하고 목분에 대한 직접투입과 목분과 지료가 혼합된 후의 투입에서 강도적 특성의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 실제 목분의 투입에 의해 강도적 특성이 저하되는 것을 대조구의 결과를 통해 알 수 있는데 음이온성 고분자의 투입은 강도의 개선에 큰 효과를 나타내지 않는 것을 알 수 있었다. 양이온성 고분자와 양쪽성 고분자의 첨가로 인해 인장강도의 증가가 크게 나타나고 양이온성 고분자의 투입에서 그 효과가 더욱 큰 것을 확인할 수 있었다. 두 첨가제에서 모두 같은 양의 고분자를 목분 수화시 투입하여 전처리를 하는 경우 강도의 상승이 확연하게 개선되는 것을 확인할 수 있었는데 이는 고분자전해질의 흡착 등이 강도의 저해를 유발하는 목분 스페이서에 집중됨으로써 강도증가 효율이 개선되기 때문인 것으로 판단되었다.

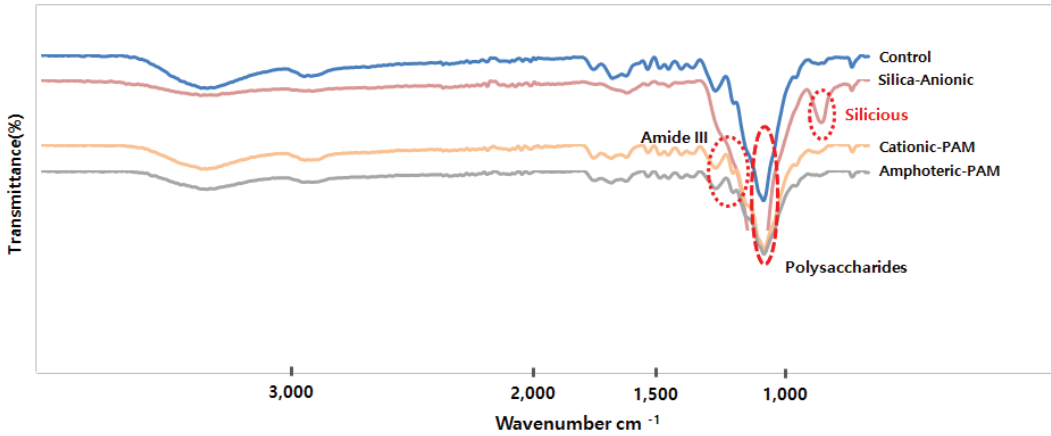


Fig. 3. FT-IR spectra of wood powders after pretreatment with various polyelectrolyte additives.

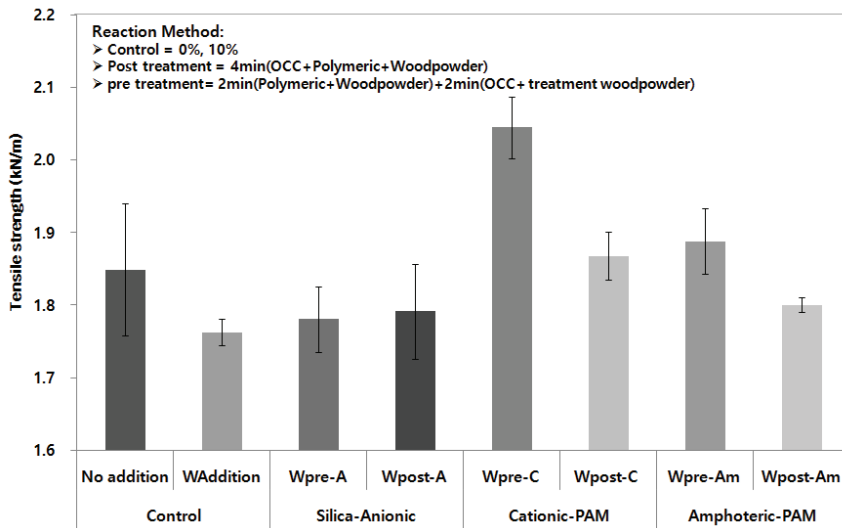


Fig. 4. Changes in the tensile strengths of handsheets depending on the poly electrolyte and the treatment type.

### 3.3 표면전처리 반응시간 및 농도에 따른 물리적 특성평가

목질계 유기충전제에 표면전처리의 적합한 반응시간을 결정하기 위해 표면전처리의 반응시간 및 농도에 따라 물리적 특성변화를 평가하여 그 결과를 Fig. 5에 나타냈다. 목분과 고분자전해질의 표면 전처리 반응시간이 증가 할수록 목분 표면에 흡착된 전해질과 펄프와의 흡착 강도가 강해짐을 알 수 있었으며, 표면전처리에 사용된 고분자전해질의 투입량이 증가할수록 인장강도가 상

승하는 것으로 보아, 제지공정 중 최대한 표면전처리 반응시간을 증가 할수록 또는 전처리에 사용되는 고분자전해질의 투입량이 증가 할수록 물리적 강도의 긍정적 영향을 미칠 것으로 판단된다.

### 3.4 다층 표면전처리에 따른 목분표면 특성평가

수화 시 목분 표면 전처리에 의해 목분 적용성을 개선시킬 수 있음에 따라 목분의 표면특성 개선을 더욱 효율적으로 실시하고자 목분표면을 음이온성 고분자전해질

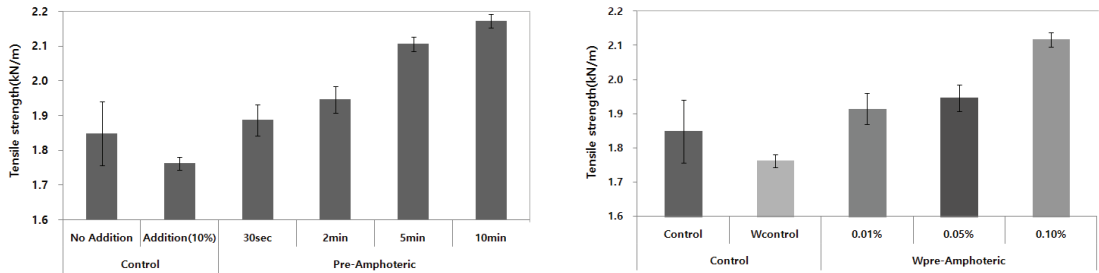


Fig. 5. Changes in strength depending on the treatment time and the level of polyelectrolyte addition.

로 1차 처리하고 양이온성 고분자를 처리하여 고분자 전해질의 흡착특성의 개선효과를 알아보았다. Fig. 6에서 FT-IR을 적용한 표면 관능기의 평가결과를 통해 알 수 있듯이, 목분 표면에 음이온성 고분자 전해질을 부착하였을 때, 고분자의 구조에서 나타나는 실리콘 계열의 관능기가 나타나 1차적으로 목분표면에 음이온성고분자 전해질이 흡착되는 것을 확인할 수 있었다. 음이온성 고분자 전해질을 흡착된 목분에 추가적으로 양이온성 고분자 전해질을 첨가한 경우 목분 표면에서 C-O 에테르 결합과 아마이드 결합이 활성화 되고 음이온성 고분자 전해질의 관능기가 없어지는 것으로 확인할 수 있는데 이는 음이온성 고분자 전해질 관능기에 양이온성 고분자가 흡착된 결과로 판단되었다.

### 3.5 다층 표면전처리에 따른 목분 스페이서 적용성 개선 평가

목분 스페이서의 첨가에 의해 산업용지 벌크가 증가되

는 것을 Fig. 7에서 볼 수 있다. 이때 목분 스페이서를 고분자 전해질로 전처리하여 투입하였을 경우에도 벌크의 상승효과는 큰 변화없이 발휘되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 다층 처리한 경우에도 벌크의 상승효과는 그대로 나타나고 상대적으로 벌크 상승효과가 우수한 음이온성 고분자 전해지 전처리의 경우와 유사한 정도의 벌크 상승효과가 나타나는 것을 알 수 있었다.

전처리된 목분스페이서의 투입에 의한 강도의 변화를 평가·비교하여 Fig. 8에 나타내었다. 실제 목분의 첨가로 인해 산업용지는 상대적으로 인장강도가 감소하게 되는데 고분자 전해질의 전처리를 통해 이러한 강도의 감소를 상쇄하고 오히려 강도적 특성이 개선될 수 있음을 확인할 수 있었다. 같은 양의 고분자 전해질 투입에 있어서 양이온성고분자 단독 처리보다는 음이온성 고분자의 전처리후 추가적으로 양이온성 고분자를 처리하는 다층 표면처리의 경우에서 강도의 개선효과가 높게 나타나는 것을 확인하였다. 이를 통해 간단한 공정의 효율적 운영으

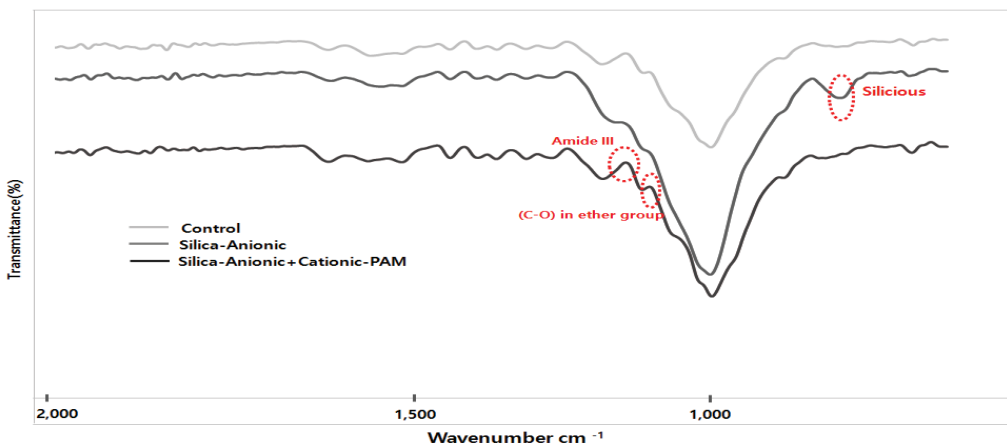


Fig. 6. Changes in FT-IR spectra of wood powder surface depending on multi treatments with anionic polyelectrolytes and cationic polyelectrolytes successively.

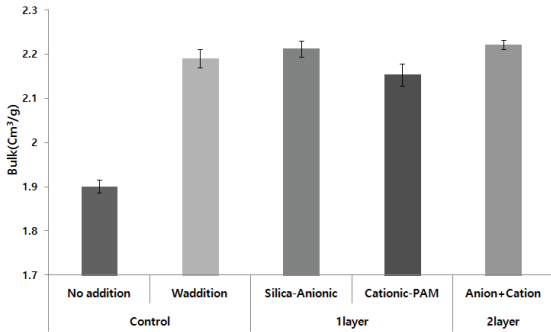


Fig. 7. Changes in handsheet bulk by the addition of wood powder spacers depending on the multi step polyelectrolyte treatments.

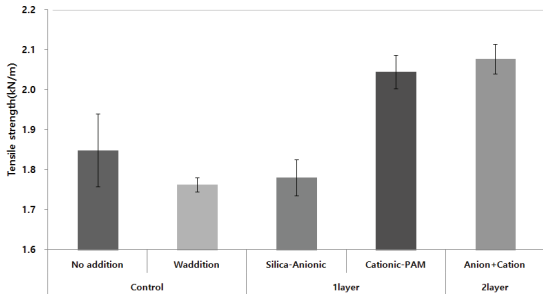


Fig. 8. Changes in handsheet tensile strength by the addition of wood powder spacers depending on the multi step polyelectrolyte treatments.

로 목분 스페이서의 적용성을 경제적으로 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 3.6 다층 표면 전처리에 따른 건조에너지 평가

목분 스페이서의 첨가에 의해 지필의 벌크가 상승하고 그 영향으로 건조공정에서의 지필의 다공성 증가에 따른 효율증대와 상대적으로 소수성이며 결합수 함유량이 적은 목분량 증가로 건조공정에서의 건조효율이 증가되는 것을 알 수 있다. Fig. 9에서 나타난 바와 같이 목분이 첨가된 지필의 경우 건조초기에서의 함수율이 상대적으로 낮고 건조과정 중에서 건조속도도 상대적으로 빠르게 나타나는 것을 알 수 있다. 다층 표면 전처리한 목분의 첨가의 경우 무처리 목분의 경우에 비해 다소 낮은 건조 효율을 나타내는데 이는 벌크 특성의 변화로 인한 것이라기보다는 상대적으로 수분과의 결합특성이 우수한 고분자전해질의 표면흡착으로 인한 목분 자체의 결합수 증가로 인한 영향으로 판단되었다.

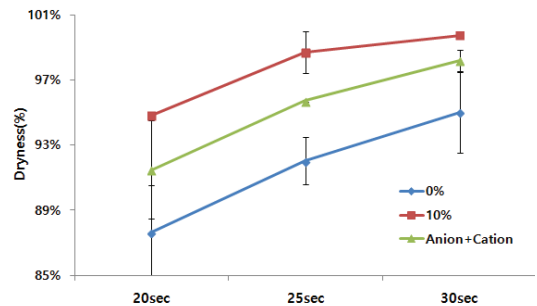
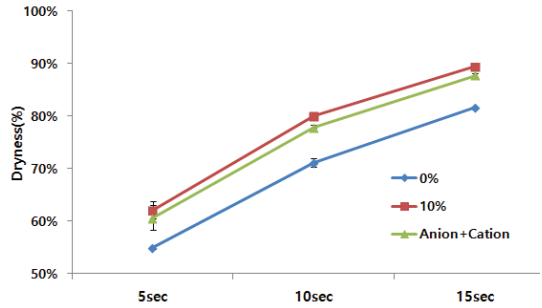


Fig. 9. Changes in drying efficiency during drying process depending on the pretreatments of wood powder spacer.

## 4. 결론

제지공정에서의 공정에너지 감소는 현재 매우 중요한 기술개발 과제가 되고 있다. 특히 고평량의 판지나 산업용지 생산에서 건조에너지의 절감은 공정효율증대, 생산성 강화 및 온실가스배출량 대응 등으로 시급한 현황 과제이다. 이의 해결을 위해 목질계 스페이서의 적용을 통한 지필의 벌크 향상, 펄프원료 절감, 건조에너지 감소 등은 현재 많은 관심의 대상이 되고 있는 기술이다. 그러나 지필구조의 벌크화를 가져오는 스페이서의 적용으로 인한 펄프섬유간의 결합력 약화와 이에 따른 제품 품질의 물리적 성질 감소는 또 다른 해결해야 할 과제가 되고 있다. 본 연구에서는 다양한 고분자전해질의 처리 및 처리방법의 효율적 적용기술을 통해 목분 스페이서의 적용성을 증가시킬 수 있는 방법들을 알아보았다. 실제 산업용지의 강도향상을 위해 습부에서 첨가되는 지력증강용 고분자전해질을 목분 스페이서의 수화 단계에 적용할 경우 목분 표면에 흡착시키는 전처리기술의 적용

을 통해 같은 양의 고분자전해질 투입조건에 상대적으로 높은 강도의 상승효과를 가져옴을 확인할 수 있었다. 특히, 음이온성고분자를 처리하고 이어서 양이온성고분자를 처리하는 다층표면처리의 경우 같은 투입량의 고분자 전해질 처리보다 높은 강도를 나타냄을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 목분 스페이서의 공정투입을 좀 더 효율적이고 경제적으로 운용할 수 있는 기반자료를 확보할 수 있게 되었다.

## 사 사

본 연구는 산업통상자원부 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 에너지기술개발사업(과제명: 에너지 저감을 위한 탈수 압착기술개발. 과제번호 2010T100200472)으로 수행된 연구임.

## Literature Cited

1. Sung, Y. J., Kim, D. S., Um, K. J., Lee, J. W., Kim, S. B., and Park, K. S., Action plans of paper industry correspond to the carbon dioxide emission trading market, *Journal of Korea TAPPI* 44(1):1-13 (2012).
2. Park, H., Energy efficiency analysis and policy implications of domestic manufacturing, *Industry Economic Analysis* (2009).
3. The Recovery of Recycled paper, Tracking the Domestic Paper Industry, Korea Paper Association (2013).
4. 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).
5. Lee, J. H., Seo, Y. B., and Jeon, Y., Strength property improvement of OCC-based paper by chemical and mechanical treatments, *Journal of Korea TAPPI* 32(2):1-7 (2000).
6. Lee, J. Y., Lim, G. B., Kim, Y. H., Lee, S. R., Kim, M. Y., Kim, C. H., Kim, S. Y., and Kim, J. S., Evaluation of the physical properties of organic fillers made from agricultural by-products, *Journal of Korea TAPPI* 45(4):34-41 (2013).
7. Lee, J. Y., Lee, E. K., Lee, D. Y., Yun, K. T., and Sung, Y. J., Study on the application of inorganic byproduct from fertilizer manufacture process as an alternative filler, *Journal of Korea TAPPI* 44(1):52-57 (2012).
8. Seo, J. M., Kim, C. H., and Lee, J. Y., Effects of polyelectrolyte-modified lignocellulosic fillers, *Proceeding of Spring Conference of the Korea TAPPI*, pp. 352-360 (2010).
9. Paulapuro, H., Wet pressing, In *Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End*, Paulapuro, H. (ed.), TAPPI PRESS, USA, pp. 284-340 (2000).
10. Kim, S. Y., Lee, J. Y., Kim, C. H., Lim, G. B., Park, J. H., and Kim, E. H., Surface modifications of organic fillers to improve the strength of paperboard, *BioResources* 10(1):1174-1185 (2015).
11. Zofka, A., Evaluating applications of field spectroscopy devices to fingerprint commonly used construction material, *Transportation Research Board* (2013)
12. Mandru, M., Vlad, S., Clobanu, C., Lebrun, L., and Popa, M., Polyurethane-hydroxypropyl cellulose membranes for sustained release of nystatin, *Cellulose Chem. Technol.* 47(1-2):5-12 (2013).