

## 지력증강제 적용에 따른 고벌크 펄프몰드 특성변화 평가

성용주<sup>1</sup>, 이유진<sup>2</sup>, 권혜빈<sup>2</sup>, 이지영<sup>3†</sup>

접수일(2021년 7월 5일), 수정일(2021년 8월 4일), 채택일(2021년 8월 5일)

### Effects of Strength Additives on the Properties of High Bulk Pulp Mold

Yong Joo Sung<sup>1</sup>, Yu-jin Lee<sup>2</sup>, Hye-bin Kwon<sup>2</sup>, Ji Young Lee<sup>3†</sup>

Received July 5, 2021; Received in revised form August 4, 2021; Accepted August 5, 2021

#### ABSTRACT

The bulkier structure would be one of the most important properties of the pulp mold as promising packaging materials. The low-polar solvent mixing at the forming process of wet pulp mold manufacturing resulted in the bulkier pulp mold. But the strength properties of the pulp mold would decreased. In this study, the effects of various types of paper strength additives on the strength of the pulp mold were evaluated depending on the forming condition in order to improving the strength properties of the bulker pulp mold. The dry strength and the wet strength of pulp mold were increased by the addition of the strength additives, but the effects of the additives were relatively lower in case of the low-polar solvent mixing condition. The application of the strength additives resulted in the higher increase in the strength properties of the pulp mold made of ONP than those of the pulp mold made of unbeaten BKP. The dry elongation of the pulp mold made at the low-polar solvent mixing condition showed the higher value of the pulp mold made at the water 100% condition. Although the strength properties of the pulp mold made at the low-polar solvent mixing condition were decreased, the application of the strength additives on the pulp mold could compensate for the reduction in the strength properties of the bulkier pulp mold.

**Keywords:** Pulp mold, low-polar solvent, strength additives, bulk

1 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Department of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Republic of Korea), 교수

2 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과(Department of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Republic of Korea), 학생

3 경상국립대학교 환경재료과학과/농업생명과학연구원(Dept. of Environmental Materials Science/IALS, Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea), 교수

† 교신저자(Corresponding Author): E-mail: papyryj@gnu.ac.kr (Address: Dept. of Environmental Materials Science/IALS, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Republic of Korea)

## 1. 서론

전 세계적으로 환경오염 악화와 그에 따른 다양한 문제가 더욱 심화됨에 따라 각 국가별로 환경오염 문제에 대응하기 위한 다양한 노력들이 이루어지고 있다. 생활수준의 향상과 함께 편의성을 중시하는 소비문화가 지속적으로 확대됨에 따라서 비닐과 플라스틱 기반의 다양한 일회용품과 포장재 등이 광범위하게 활용되어 왔으나<sup>1)</sup> 이러한 플라스틱 기반의 생활 폐기물들의 재활용 및 처리가 적절히 이루어지지 않음에 따라 전 세계적으로 환경오염이 심화되고 있다.<sup>2)</sup> 이에 각 국가별로 환경오염의 주요한 원인이 되고 있는 플라스틱 폐기물의 발생을 줄이기 위한 “탈플라스틱” 정책과 실천이 폭넓게 이루어지고 있다. 이러한 정책의 성공적인 정착과 이를 통한 환경오염 감소를 위해서는 기존의 다양한 플라스틱 기반의 제품들을 대체할 수 있는 친환경적인 소재의 개발과 보급이 필수적이고 시급한상황이다.<sup>3,4)</sup>

일회용 생활용품과 포장소재 등으로 활용성이 우수하며 재활용률이 높고 용이할 뿐만 아니라 지속가능한 천연원료를 사용하면서 폐기 시에도 생분해성이 뛰어나 환경오염 부담이 크게 낮은 대표적인 소재로는 목재로 대표되는 바이오매스 기반의 지류제품을 들 수 있다. 이러한 지류포장들은 골판지 상자, 비닐 대체 종이포장, 종이컵, 종이빨대 등 다양한 용도로 활용되고 있으며 관련 기술의 발전과 함께 그 용도도 더욱 확장되고 있다. 그러나 대량생산을 위한 제지공정을 기반으로 하는 종이의 경우 신축성이 낮고 열 성형성이 충분하지 않은 한계로 다양한 구조 및 형태가 요구되는 완충포장재나 일회용 트레이 등의 생활용품 등 특정 모양으로 성형하여 제품화하기에는 많은 어려움이 있다. 이러한 종이기반 제품의 가공 한계를 보완할 수 있는 펄프물드가 개발되었는데 펄프물드는 종기와 같은 원료를 사용하지만 성형 시 일정한 구조적 형태를 가지도록 몰딩하여 각각의 일정한 형태로 제조되는 제품이다. 펄프물드는 종이제조와 같이 셀룰로오스 기반 종이원료 섬유들이 성형 및 건조과정 중 수소결합에 의한 섬유 간 결합 및 구조형성을 가져옴에 따라 추가적인 접착제 등의 적용 없이 일정한 형태로 적정수준의 강도를 가지는 몰드제품으로 제조된다. 성형 조건에 따라 높은 평량과 두께를 가지는 제품의 제조도 가능하고 종이에 비해 상대적으로 높은 벌크를 가지게 할 수 있음에 따라 농축산물용 포장트레이 및 산업용 제

품의 완충재 등 다양한 용도로 활용되고 있다. 특히, 재활용 고지 및 다양한 바이오매스 펄프원료를 사용하여 펄프물드는 생산공정이 제지공정에 비해 상대적으로 간단하며 폐수 등의 발생이 거의 없이 다양한 특성과 형태를 가지는 제품의 생산이 용이한 장점으로 현재 기존의 다양한 플라스틱 일회용품을 대체할 수 있는 소재로서 관심과 수요가 더욱 높아지고 있다.

현재 제한적인 펄프물드의 적용성을 극복하고 더욱 다양한 플라스틱 기반 일회용품과 생활용품들을 대체하기 위하여 펄프물드의 기능성과 활용성을 높이기 위한 다양한 연구개발들이 지속적으로 이루어져 왔다.<sup>5,6)</sup> 생산성이 우수하여 농축산 제품 포장용으로 대량생산되는 펄프물드의 제조를 위해 주로 활용되는 습식펄프물드의 공정효율과 품질개선을 위한 연구개발들이 이루어져 왔으며 다양한 바이오매스 원료들의 적용을 통한 펄프물드의 기능성 강화 연구<sup>7)</sup>와 표면구조의 개선을 통한 품질강화 연구들<sup>8,9)</sup> 소개된 바 있다.

또한 펄프물드의 주요한 장점인 벌크특성은 완충포장 특성과 단열성 등에 직접적인 영향을 미치는 특성으로서 이러한 펄프물드의 벌크특성을 극대화하기 위한 연구들이 최근에 소개된 바 있다.<sup>10-12)</sup> 특히, 펄프물드의 성형 시 저극성 용매의 혼합적용을 통해 펄프물드의 성형 및 건조과정 중 과도한 섬유 수축을 방지함으로써 고별크화하는 기술이 소개되었는데<sup>11)</sup> 이러한 방법의 적용 시 제조되는 펄프물드의 벌크를 크게 증가시킬 수 있음이 확인된 바 있다. 향후 완충성과 활용성을 증가시킨 고별크 펄프물드 제품화를 위하여 유용한 기술로 판단되나 이러한 저극성 용매의 적용에 따른 고별크화는 섬유 간 결합을 상대적으로 감소시킴에 따라 강도적 특성의 저하를 가져올 수 있다.

따라서 본 연구에서는 저극성 용매를 적용하여 고별크 펄프물드를 제조하는 저극성 용매 혼합 습식펄프물드 제조공정에서 다양한 특성의 지력증강제를 적용함으로써 성형 시 용매조건과 원료종류 등에 따라 벌크 특성과 강도적 특성의 변화를 알아보았다. 특히 전하 발현 특성 등이 다르게 나타날 수 있는 저극성 용매 혼합 성형조건에서 각 지력증강제의 효과를 비교함으로써 향후 고별크화 펄프물드 제조 시 품질의 최적화를 위한 지력증강제 적용 기반자료를 확보하고자 하였다.

## 2. 실험 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 펄프

본 연구에서는 H사에서 분양받은 활엽수 표백 크라프트 펄프(hardwood bleached kraft pulp, HwBKP, Eucalyptus, Brazil)와 신문고지(Old Newspaper Pulp, ONP)를 실험실용 벨리비터(Valley beater, 대일기공사, 대한민국)로 해리하여 사용하였다. 고별크 펄프몰드 제조를 위한 방법으로 해리 후 추가적인 고해처리는 실시하지 않았으며 사용된 시료의 여수도(CSF)는 HwBKP의 경우 CSF 670 mL ONP의 경우에는 CSF 422 mL이었다.

#### 2.1.2 지력증강제

본 연구에서는 국내 D사로부터 일반적으로 제지공장에서 활용되고 있는 3종의 건조지력증강제와 1종의 습윤지력증강제를 분양받아 사용하였다. 건조지력증강제는 PAM 계열의 제품을 사용하였고 이온성과 분자량이 서로 다른 제품을 사용하여 그 영향을 알아보았다. 또한 습윤지력증강제는 일반적으로 많이 사용되고 있는 PAE (polyamideamine-epichlorohydrin) 수지 계열 제품을 사용하였다. 본 연구에 적용된 각각의 지력증강제의 특성을 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 펄프몰드 제조 및 지력증강제 적용

펄프몰드 시험편 제조는 실험실용 습식 펄프몰드 성형기를 사용하여 평량  $100 \pm 10 \text{ g/m}^2$ 의 펄프몰드 시험편을 제조하였다. 성형 시 성형 와이어는 80 mesh 와이어를 적용하였으며, 성형진공압력은 0.04 MPa로 설정하여 성형하였다. 펄프몰드 시험편을 성형한 이후 습지는 원형틀로 고정하여 160℃에서 열풍건조하여 시험편을 제조하였다. 고별크 펄프몰드 시험편의 제조 시에는 성형 시 용매를 저극성 용매인 에탄올과 혼합하여 성형하였다. 이때 물과 에탄올의 혼합비는 1:1로 조정하여 저극성 용

매 혼합 성형을 실시하였고 성형 시 성형농도는 0.5% 이었다. 각 지력증강제의 적용 시 적용 지력증강제를 각각 0.1%(w/w) 농도로 희석한 후, 지료의 전건무게 대비 1%를 첨가하고 교반기를 사용하여 600 rpm으로 3 분간 교반하였다. 습윤지력증강제 첨가량에 따른 영향을 평가하는 경우 각 지료의 전건무게 대비 0.5%, 1%, 1.5%로 각각 첨가하고 교반하여 시험편을 제조하여 물성변화를 평가하였다.

### 2.3 펄프몰드 물성 평가

제조된 펄프몰드 시편은 온도  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , 상대습도  $50 \pm 2\%$ 의 조건에서 24시간 동안 조습처리하였으며, 조습처리 이후 평량은 KS M ISO 536에 의거하여 측정하였고 밀도 및 벌크는 KS M ISO 534에 의거하여 평가하였다. 인장강도 및 신장율은 KS M ISO 1924-2에 의거하여 측정하였고 습윤인장강도 및 신장율은 KS M ISO 3781에 의거하여 평가하였다. 습윤인장강도 및 신장율 측정 시에는 시험편을 증류수에 1 분간 침지하여 습윤처리 후 측정을 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 성형용매 종류에 따른 건조지력증강제 종류에 따른 영향 비교

고별크화를 위한 저극성 용매 50% 혼합 성형조건과 기존의 물 100% 성형조건에서 특성이 상이한 건조지력증강제들의 적용에 따른 효과를 비교 평가하였다. 각 조건 별로 ONP 지료에 각각의 건조지력증강제를 지료 전건무게 대비 1% 투입하여 펄프몰드 시험편을 제조하고 제조된 시험편의 물성을 비교평가하였다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 물 100% 성형조건에서 제조된 펄프몰드 시험편의 경우 건조지력증강제 첨가에 따라 인장강도가 증가하는 것을 확인할 수 있었는데 특히, 양이온성 건조지력증강제

Table 1. Properties of strength additives

	Symbol	Ionicity	Molecular Weight, g/mol
Amphoteric Dry Strength Additive_A	A	Anionic	1,000,000~1,200,000
Amphoteric Dry Strength Additive_C	B	Cationic	300,000~400,000
Cationic Dry Strength Additive	C	Cationic	100,000~200,000
Wet Strength Additive	D	Cationic	N.A.

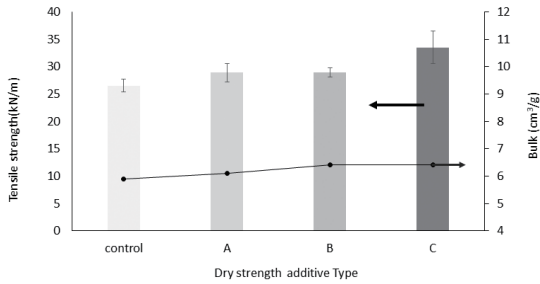


Fig. 1. Changes in the tensile strength and the bulk of ONP pulp mold made with water 100% forming condition depending on the type of dry strength additives.

를 적용한 경우 상대적으로 높은 지력증강효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

저극성 용매인 에탄올을 성형 시 50% 혼합하여 물과 에탄올이 50:50 비(w/w)로 조성된 성형조건에서 제조되는 고벌크 펄프몰드 제조 시 각 건조지력증강제의 적용 효과를 비교하여 Fig. 2에 나타내었다. 저극성 용매 혼합 성형조건에서는 기존 물 100% 성형조건에서 제조된 일반적인 펄프몰드 시편에 비해 약 200% 정도의 벌크향상 효과가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 표면장력이 물보다 낮은 저극성 용매의 혼합으로 섬유 간 존재하는 용액의 표면장력이 상대적으로 감소하고 이에 따라 의한 탈수과정 중 물이 탈수되며 발생하는 섬유 사이의 인력도 저하되며 이로 인한 섬유 간 밀착과 섬유 간 수소 결합이 감소하면서 나타난 결과로 판단되었다. 이러한

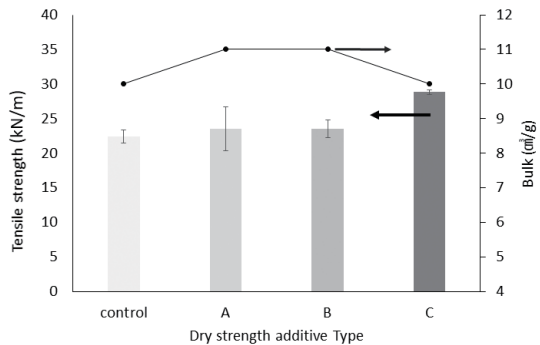


Fig. 2. Changes in the tensile strength and the bulk of ONP pulp mold made with water/ethanol (50:50 w/w ratio) forming condition depending on the type of dry strength additives.

저극성 용매 적용에 따른 고벌크화 효과에 따라 섬유 간 결합력이 감소되면 인장강도의 감소가 나타나는 것을 확인할 수 있었고 추가적인 건조지력증강제의 투입에 따른 강도 증가 효과도 물 100% 성형조건에 비해 상대적으로 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있었으나, 양이온성 건조지력증강제의 경우에는 인장강도의 상승효과가 저극성 용매 혼합조건에서도 상대적으로 뚜렷하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 펄프종류와 성형용매 종류에 따른 지력증강제 적용 효과

#### 3.2.1 건조지력증강제 적용에 따른 효과

펄프몰드 제조를 위한 원료로서 신문고지와 활엽수 표백펄프를 각각 적용하여 물 100%로 성형조건과 물과 에탄올 50:50 혼합성형 조건에서 펄프몰드 시료를 제조하고 벌크 및 인장강도의 특성변화를 비교평가하였다. 특히, 각각의 조건에서 강도증가 효과가 높은 양이온성 지력증강제를 1% 첨가하여 나타나는 각각의 강도증가 효과를 평가하였다.

Fig. 3에서 나타난 바와 같이 ONP와 BKP 지료 모두에서 저극성 용매 적용 성형 시 벌크가 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다. ONP 지료로 제조된 펄프몰드에 비해 BKP 지료 사용 시 펄프몰드 벌크가 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이것은 미고해 BKP 지료를 사용한 결과로 판단되었다. 건조지력증강제를 첨가하는 경우 미고해 BKP 지료의 경우 펄프몰드 시편에서는 벌크가 일정정도 감소하는 경향이 나타났지만 ONP 지료의 경우에는 벌크의 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다.

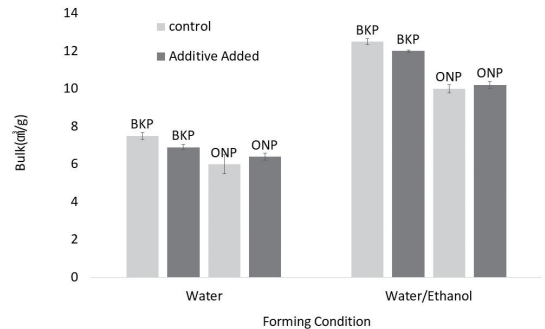


Fig. 3. Effects of forming condition and dry strength additives on the pulp mold bulk made of ONP and BKP.

Fig. 4에서는 원료별로 저극성 용매 적용 성형유무와 건조지력증강제 적용에 따른 인장강도의 변화를 비교평가하여 나타내었다. 저극성 용매의 적용으로 벌크의 향상효과는 나타나지만 인장강도는 두 가지 치료원료에서 모두 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 건조지력증강제의 적용으로 이러한 벌크증가에 따른 강도저하를 상쇄할 수 있는 것을 확인할 수 있었는데 특히 강도특성이 상대적으로 우수한 ONP 치료의 경우 저극성 용매 성형으로 인한 강도저하를 지력증강제의 적용을 통해 보완할 수 있는 것으로 확인되었다.

각각의 시편에서의 신장률의 비교 평가하여 Fig. 5에 나타내었는데, 성형 시 저극성 용매를 적용하지 않은 경우에는 건조지력증강제의 투입으로 신장률이 10% 이상 증가하는 것을 확인할 수 있었으나 저극성 용매 성형 시에는 건조지력증강제에 의한 신장률 증가가 유의하게 나타나지 않았다. 저극성용매 성형 시 벌크의 상승과 함께

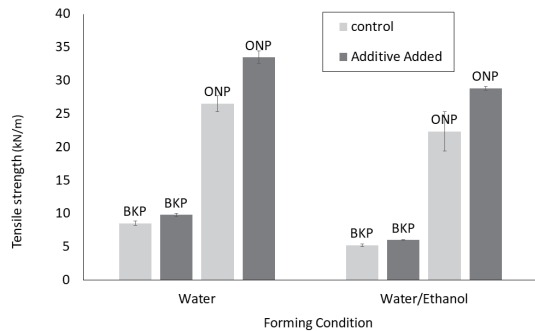


Fig. 4. Effects of forming condition and dry strength additives on the tensile strength of pulp mold made of ONP and BKP.

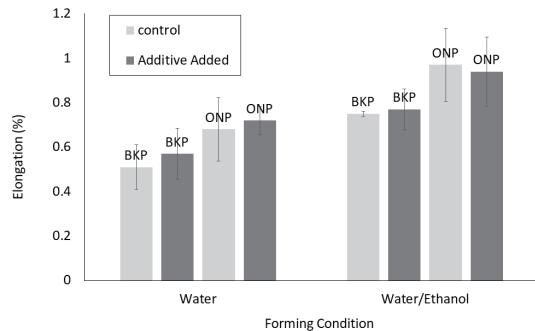


Fig. 5. Effects of forming condition and dry strength additives on the elongation of pulp mold made of ONP and BKP.

신장률이 상대적으로 두 가지 치료조건 모두에서 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 저극성 용매 적용 조건에서 인장강도가 감소하는 것과 달리 신장률은 오히려 증가하는 결과가 나타나는 것으로 보아 저극성 용매 적용으로 섬유 간 결합이 약해지고 고벌크화됨에 따라 지필에 가해지는 응력의 분산이 상대적으로 용이하게 나타난 영향으로 판단되었다.

### 3.2.2 습윤지력증강제 적용에 따른 효과

친수성 셀룰로오스 섬유로 제조되는 펄프몰드의 특성 상 수분에 의한 특성변화는 매우 중요한 품질특성으로 수분에 의한 강도저하를 조절하기 위한 방안으로 습윤지력증강제 적용효과를 비교평가하였다. 특히, 저극성 용매를 적용한 고벌크 펄프몰드 제조 조건에서의 습윤지력증강제 적용효과를 각 치료별로 비교평가하였다. 각 조건별로 제조된 펄프몰드 시편의 습윤인장강도를 보여주는 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 습윤지력증강제를 처리하지 않은 경우 각각의 펄프몰드 시편들은 Fig. 4에서 나타난 건조인장강도와 비교해 매우 낮은 습윤인장강도를 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 습윤지력증강제의 적용으로 습윤인장강도가 크게 높아지는 것을 확인할 수 있는데 저극성용매를 적용하여 고벌크화한 경우 건조지력증강제 적용 시와 마찬가지로 강도증가효과가 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 확인할 수 있었다.

Fig. 7에서는 습윤지력증강제 적용에 의한 습윤신장률 변화를 보여주고 있다. 습윤신장률은 Fig. 5에서 나타난 건조신장률에 비해 상대적으로 높은 값을 나타내는 것을

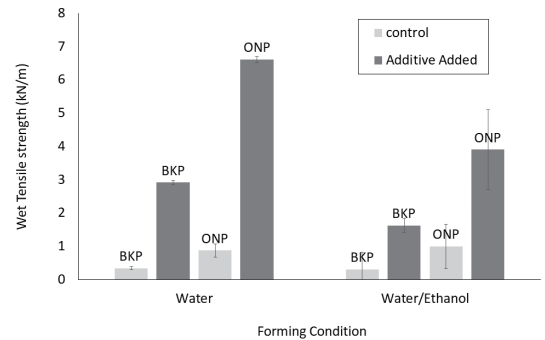


Fig. 6. Effects of forming condition and wet strength additives on the wet tensile strength of pulp mold made of ONP and BKP.

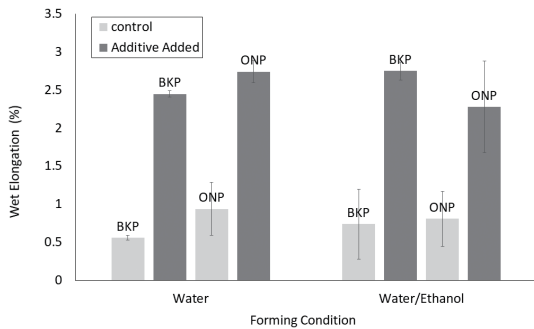


Fig. 7. Effects of forming condition and wet strength additives on the wet elongation of pulp mold made of ONP and BKP.

확인할 수 있는데 이는 습윤처리에 의해 섬유 간 결합이 일정 정도 약해짐에 따라 섬유 간 이동이 상대적으로 용이하게 발생되면서 응력의 분산으로 나타난 결과로 판단되었다. 습윤지력증강제를 적용한 경우 습윤신장률이 크게 증가되는 것을 확인할 수 있었는데 습윤인장강도와는 달리 저극성 용매 적용 시편의 경우에도 높은 습윤신장률 증가가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

저극성 용매를 적용한 고벌크화 펄프몰드 제조 시 습윤지력증강제 첨가량에 따른 습윤인장강도 변화를 평가하여 Fig. 8에 나타내었다. 각 지료별로 습윤지력증강제의 처리량이 증가함에 따라 습윤인장강도는 비례적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 6에서 나타난 것과 같이 저극성 용매를 적용하지 않은 기존의 펄프몰드에 비해 상대적으로 낮은 효율의 습윤지력증강제 효과가 나

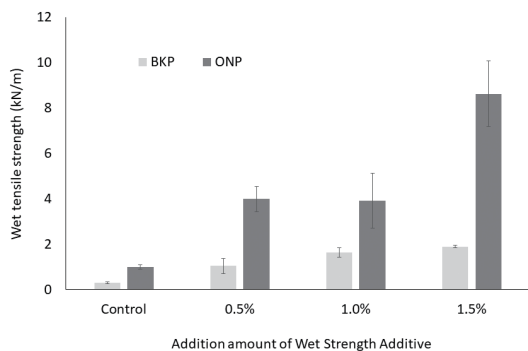


Fig. 8. Effects of addition amount of wet strength additives on the wet tensile strength of pulp mold made at the condition of water and ethanol mixing solution.

타나는 저극성 용매 적용 조건에서 습윤지력증강제의 첨가량을 증가시키기에 따라 추가적인 습윤지력증강효과를 가져올 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 향후 펄프몰드의 용도에 따라 고벌크화의 구조를 가지는 펄프몰드 제조 시 벌크 상승에 따른 강도저하를 지력증강제의 적용을 통해 보완할 수 있음을 보여주는 결과로 판단되었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 다양한 플라스틱 기반 일회용 제품들을 대체할 수 있는 친환경 소재로 많은 관심의 대상이 되고 있는 펄프몰드의 품질개선을 위한 방안으로 저극성 용매 적용 성형방법 적용에 따른 고벌크화와 이때 발생하는 강도적 특성 저하를 보완하기 위한 방안으로 지력증강제의 적용효과를 알아보았다. 일반적으로 펄프몰드 제조 시 사용되고 있는 활엽수 표백펄프와 신문고지 지료를 사용하여 기존 물 100% 성형조건과 저극성 용매 에탄올을 50% 적용한 고벌크 성형조건에서 각각 펄프몰드 시편을 제조하고 다양한 특성의 지력증강제를 적용하여 그 효과를 비교평가하였다.

저극성 용매를 적용한 고벌크화 펄프몰드는 고벌크 구조를 나타내지만 상대적으로 낮은 인장강도를 가지게 되는데 이때 건조지력증강제의 적용을 통해 강도적 특성을 보완할 수 있음을 확인할 수 있었다. 저극성 용매 성형조건에서는 건조지력증강제의 적용효율이 상대적으로 낮게 나타남을 확인할 수 있었으나 벌크 증가에 따른 인장강도 저하를 건조지력증강제, 특히 양이온성 건조지력증강제의 적용으로 보완할 수 있음을 확인할 수 있었다. 습윤인장강도의 경우에 습윤지력증강제의 적용효과가 유의하게 나타나는 것을 알 수 있는데 펄프몰드 시편의 경우 습윤인장강도가 매우 낮음에 따라 습윤지력증강제의 적용효과가 상대적으로 더욱 높게 나타났고 이러한 습윤인장강도의 증가는 저극성 용매 적용 성형방식에서도 뚜렷하게 나타나 그 효과는 상대적으로 낮은 것으로 확인되었다.

저극성 용매 적용 성형 시 지력증강제 적용에 따른 효과는 기존 물 기반 성형방식에 비해 상대적으로 낮은 것으로 확인되었으나 지력증강제 적용을 통해 고벌크화로 인한 강도저하를 보완할 수 있으며 지력증강제 투입량

조절을 통해 지력증강제 발현효과 저하를 상쇄할 수 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 기반으로 향후 다양한 용도로 적용이 가능한 저극성 용매 적용 성형을 통한 고벌크화 펄프몰드 제조 시 벌크화 공정에 의한 품질 저하를 품질개선이 가능할 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 실용화 지원사업 ‘(FTIS 2021304A00-2121-AD02)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## Literature cited

- Han, J., Decomposition Analysis on Non-Recycled Plastics in Domestic Residential Wastes, *Journal of Environmental Policy and Administration* 28(2):70-100 (2020).
- You, Y. S., Oh, Y. S., Hong, S. H., and Choi, S. W., International trends in development, commercialization and market of bio-plastics, *Clean technology* 21(3):141-152 (2015).
- Ko, E., S. W., Lee, H., Kang, W., Shin, J., Kwon, O., and Kim, J., The current status of recycling process and problems of recycling according to the packaging waste of korea., *Korean journal of packaging science & technology* 24(2):65-71 (2018).
- Kim, H. W., Um, N. I., Kim, W. I., Lee, Y. K., and Kim, K. H., Causes and countermeasures on the rejection of household plastic wastes collection, *J. Korea Soc. Waste Manag.* 36(4):346-353 (2019).
- Sung, Y. J., Kim, D. S., Choi, G. S., Go, S. M., Lee, Y. J., Kim, S. H., and Lee, J. Y., Evaluation of Drying Efficiency Depending on the Conditions of Wet Pulp Mold Manufacturing Process, *Journal of Korea TAPPI* 51(6):84-90 (2019).
- 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).
- Kim, D. S. and Sung, Y. J., Manufacturing functional pulp mold with citrus pomace, *Journal of Korea TAPPI* 52(3):58-66 (2020).
- Kim, H. M., Sung, Y. J., Park, Y. S., and Shin, J. C., Manufacturing and characterization of pulp mold with rice husk fiber, *Journal of Korea TAPPI* 36(3):83-90 (2004).
- Kang, J. H. and Lim, H. A., Development of higher functional coating agents for pulp mold (I) -Investigation of functions synthetic and natural coating agents-, *Journal of Korea TAPPI* 34(4):37-43 (2002).
- Kim, D. S., Kim, S. H., and Sung, Y. J., Changes in Properties of Pulp Mold Depending on the Forming Conditions of Wet Pulp Mold Manufacturing, *Journal of Korea TAPPI* 52(4):81-88 (2020).
- Kim, D. S., Choi, G. S., Noh, J. H., and Sung, Y. J., Study of Water Absorption Properties of Water Absorption Core Made of Pulp Mold, *Journal of Korea TAPPI* 52(3):67-76 (2020).
- Kim, D. S., Go, S. M., and Sung, Y. J., Studies on Manufacturing Methods for High-bulk Structure at Local Area Of Pulp Mold, *Journal of Korea TAPPI* 52(5):117-126 (2020).