

# 러시아산 가문비와 낙엽송, 그리고 미얀마산 대나무로 제조한 열기계펄프 특성 연구<sup>1</sup>

이 지 영<sup>2</sup> · 김 철 환<sup>2,†</sup> · 남 혜 경<sup>2</sup> · 박 형 훈<sup>2</sup> · 권 솔<sup>2</sup> · 박 동 훈<sup>2</sup>

## Characteristics of Thermomechanical Pulps Made of Russian Spruce and Larix, and Myanmar Bamboo<sup>1</sup>

Ji-Young Lee<sup>2</sup> · Chul-Hwan Kim<sup>2,†</sup> · Hyegeong Nam<sup>2</sup> · Hyunghun Park<sup>2</sup> ·  
Sol Kwon<sup>2</sup> · Dong-Hun Park<sup>2</sup>

### 요 약

국내에서는 열기계펄프 생산을 국내산 소나무(*Pinus densiflora*)만을 사용하고 있다. 가격적 측면에서 장점이 있지만 지속적인 수급이나 피치와 같은 문제점이 내재되어 있기 때문에 주원료를 대체할 수 있는 방안이 강구되어야 한다. 열기계펄프의 원료로서 국내산 소나무를 대체할 수 있는 수종으로 러시아산 가문비(*Picea jezoensis*), 러시아산 낙엽송(*Larix leptolepis*), 그리고 미얀마산 대나무(*Phyllostachys bambusoides*)를 선정하여 열기계펄프 특성을 분석하였다. 이들 원료들은 동일한 조건 하에서 열기계펄프로 제조되었다. 러시아산 낙엽송과 미얀마산 대나무는 펄프화 공정에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 추출물 함량이 과량 검출되었다. 러시아산 가문비는 다른 수종들과는 달리 shive와 피치의 함량이 가장 적게 정량되었고, 리파이닝 에너지도 국내산 소나무에 수준으로 매우 적게 소모되었다. 열기계펄프의 백색도면에서는 가문비가 가장 높은 백색도를 나타내어 표백 약품의 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대되었다. 결론적으로 러시아산 가문비가 공정 에너지 절감과 펄프 품질 향상 측면에서 국내산 소나무를 대체할 수 있는 가장 우수한 수종인 것으로 나타났다.

### ABSTRACT

Three fiber sources including Russian spruce (*Picea jezoensis*) and larix (*Larix leptolepis*), and Myanmar bamboo (*Phyllostachys bambusoides*) for thermomechanical pulp were explored to replace domestic pine (*Pinus densiflora*) pulp that has some limitations in an aspect of supply and pitch trouble. Thermomechanical pulps were manufactured under the identical condition, and then compared with their representative pulp properties and pulping process. Both Russian larix and Myanmar bamboo contained large amounts of extractives that would negatively affect mechanical pulping processes. Russian spruce showed the least contents in shives and pitch. Russian spruce and domestic pine reached an

<sup>1</sup> Date Received September 30, 2015, Date Accepted October 30, 2015

<sup>2</sup> 경상대학교 농업생명과학대학 환경산림과학부 임산공학과. Department of Environmental Materials Science, Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University 52828, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 김철환(e-mail: jameskim@gnu.ac.kr)

optimum freeness level within a short pulp processing time, which consumed less amount of refining energy compared to larch and bamboo. In particular, the spruce wood showed the highest brightness level which might lead to a less consumption of bleaching chemicals. It was expected that Russian spruce could be replaced with the domestic pine wood in respect of both pulping process and pulp quality.

**Keywords :** thermomechanical pulp, *Pinus densiflora*, Russian spruce, shives, pitch

## 1. 서 론

일반적으로 열기계펄프 제조를 위해 사용되는 원료는 침엽수가 주를 이룬다. 국내에서는 전라북도 전주에 위치한 전주페이퍼(주)에서 유일하게 열기계펄프를 제조하고 있고, 여기서 사용하는 수종은 국내산 소나무(*Pinus densiflora*)만을 사용하고 있다. 열기계펄프 제조를 위해 국내산 수종을 사용하게 되면 원료 확보, 물류 등의 측면에서 유리한 측면이 있지만 국내산 소나무를 필요로 하는 수요처가 다양하게 존재하고 있기 때문에 원료의 안정적 공급 측면에서 대체 원료에 대한 고민을 심각하게 할 필요가 있다. 뿐만 아니라 소나무 수종은 열기계펄프 제조 공정과 제품 품질에 있어서 심각한 문제를 야기하는 수지(pitch)를 다량 포함하고 있어 이를 개선하기 위한 대체 수종의 마련이 매우 시급하다. 국내 임야에서 생산되는 목재의 용도별 분포를 보면 보드용 30%, 펄프용 20%, 바이오매스 연료용 14%, 제재용 14%, 기타 22% 등이다(산림청 2014년 목재수급 계획 참조). 이러한 용도는 침엽수와 활엽수 모두를 포함하는 비율이고, 산림청에 따르면 현재 침엽수보다 활엽수재의 생산량 증가가 더 되고 있다고 한다. 특히 보드용에 사용되는 수종이 대부분 침엽수라는 점을 감안할 때 유니드, 동화기업 등에서 제조공장을 증설하면서 침엽수 수요량이 보다 더 증가할 것으로 전망된다. 이로 인해 소나무 생산량에 절대적으로 의존하는 열기계펄프 제조업체의 입장에서는 결코 낙관적인 전망만을 할 수 없는 상황인 셈이다.

국내산 소나무의 사용으로 인한 또 다른 문제는 수지 문제라 할 수 있다. 현재 관련 업체에서는 수지로 인한 공정과 제품 품질 상의 문제점을 최소화하기 위한 다양한 방안이 시도되고 있지만 아직까지도

만족할만한 대안이 나오고 있지 않은 상황이다. 현재 수지 문제를 해결하기 위해 화학적, 그리고 생물학적 방법이 사용되고 있지만 이 역시도 만족할 만한 해법이 되지 않고 있다. 가장 이상적인 방법은 열기계펄프 제조에 사용되는 주원료를 수지가 적은 수종으로 대체하는 것이다.

생산되는 펄프의 균일성과 펄프 공장에서의 생산성은 많은 인자들에 의해 영향을 받기도 하지만 원료 자체에 대한 영향이 중요한 인자로 고려되어야 한다. 정상적인 조업 조건 하에서 원료가 갖는 변이, 즉 수종, 밀도, 함수율 등으로 인해 10-15% 변이가 발생할 수 있다(Wood, 1996). 결국 열기계펄프화 공정에서 목재 수종을 포함한 원료 칩의 품질이 펄프화 공정과 최종 제품에 큰 영향을 미친다(Wood, 2000; 2001; Lundqvist 등, 2003; Persson 등, 2005; Varhimo 등, 1999; Nam 등, 2015).

전 세계적으로 열기계펄프의 생산에 있어서 절대적인 지표로 활용되고 있는 수종은 가문비이다. 가문비는 섬유 길이, 섬유 조도, 섬유벽 구조, 추출물 함량, 목재 밀도, 목재의 재색 등과 같은 인자들을 고려할 때 매우 선호할 만한 성질들을 가지고 있다. 가문비로 제조된 열기계펄프는 강도, 백색도, 그리고 표면 성질에 있어서 뛰어난 특성을 지닌다. 국내에서도 가문비가 2013년 기준 약 87,000 m<sup>3</sup>가 수입되고 있지만 주로 건축재, 악기재로 사용되고 펄프용재로는 사용되고 있지 않다. 이는 국내산 소나무를 대신하여 수입산 목재를 사용하게 되면 가격 경쟁력이 없기 때문인 것으로 판단되지만 공정이나 제품 품질 상의 문제로 인한 가격 상승 요인이 수입산 원료를 사용하는 것보다 더 크다면 수입산 목재의 사용에 대해 진지하게 고민해 볼 필요가 있을 것이다. 현재 저렴한 수입산 목재의 도입을 통한 제지

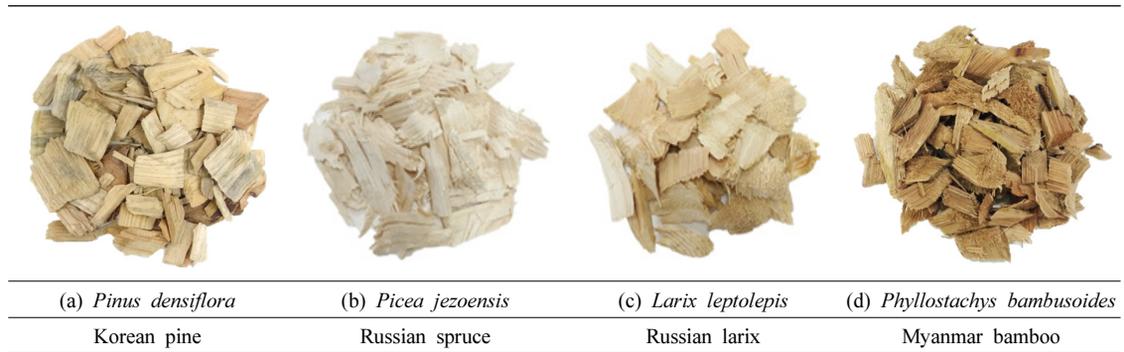


Fig. 1. Raw materials used for making TMP.

용 유기충전제로 사용하는 방안이나 펄릿용 원료로서의 사용 가능성에 관해서도 다수의 연구자들에 의해 연구가 진행 중이다(Sung 등, 2014; Seo 등, 2014; Kim 등, 2014; Kwak 등, 2014; Seo 등, 2014).

본 연구에서는 원료 확보의 다변화를 도모하고 동시에 국내산 소나무 사용으로 인한 pitch 문제를 개선할 수 있는 방안을 찾기 위하여 수입산 목재가 갖는 원료로서의 적합성을 진단해 보고자 하였다. 이를 통해 국내 열기계펄프 제조업체가 공정 중에 발생하는 문제점을 해소하고 제품의 품질을 향상하는데 있어서 긍정적인 기여를 하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

공시재료는 TMP 제조용으로 전주페이퍼(주)에서 사용하고 있는 소나무 칩, 미얀마산 대나무, 그리고 러시아산 가문비와 낙엽송을 사용하였다. Fig. 1의 (b)와 (c)에 나타나 있는 가문비와 낙엽송은 우리나라와 가장 근접거리에 있는 러시아에서 이들 목재를 수입한다면 루블화의 폭락과 맞물려 가격적인 장점이 있을 것으로 판단했기 때문에 선정하였다. Fig. 1의 (d)에 나와 있는 미얀마산 대나무는 국내 펄프제조업체가 원조 차원에서 미얀마에 신문용지를 수출한 후 해당 선박에 해당 국가의 대나무를 실어 오게

한다면 원료나 물류 측면에서 유리할 것으로 판단하였기 때문에 공시재료 중 하나로 선정하였다. 아열대산 대나무는 사계절 내내 생장을 지속하기 때문에 나무의 속에 해당하는 부분이 거의 채워져 있어 Fig. 2에서 보는 바와 같이 목질부의 비율이 국내산 소나무에 비하여 훨씬 더 높은 편이다.

### 2.2. 원료 분석

목재 칩의 회분 정량은 TAPPI Test Method T 211, 냉수와 온수 추출은 TAPPI Test Method T 207, 알코올-벤젠 추출은 TAPPI Test Method T 204에 근거하여 분석하였다. 리그닌 함량은 TAPPI Test Method T 222에 근거하여 분석하였다.

### 2.3. 열기계펄프 제조

#### 2.3.1 전처리

목재 칩의 전처리는 크게 세척, 함침, 그리고 증기 전처리로 구분하여 실시하였다. 먼저 목재 칩에 포함된 이물질 제거를 위하여 바스켓 형태의 스크린에 일정량의 목재 칩을 넣은 후 물을 부어 주면서 동시에 격렬하게 흔들어 주었다. 목재 칩에 대한 세척이 완료되면 약 40℃의 물에 10분간 함침시켜 칩의 평균 함수율이 50-55%에 도달하도록 조절하였다. 증기 전처리 단계에서 목재 칩을 연화시키기 위하여 액비 2:1 (전건 칩:물)의 비율로 혼합한 후 실험실용 다

**Table 1.** Chemicals for peroxide bleaching

Chemicals	Hydrogen peroxide	Sodium silicate	Magnesium sulfate	DTPA
Concentration, %	30	100	100	98



**Fig. 2.** Bamboo in a subtropical region, Myanmar.

이제스터를 사용하여 120℃에서 10분간 증기 전처리를 실시하였다. 이때 알칼리 처리가 칩의 해섬에 미치는 영향을 분석하기 위하여 전건 칩의 중량에 대해 1%의 NaOH를 투입하였다. 증기 전처리 후 목재 칩만 걸러내어 리파이닝을 실시하였다.

### 2.3.2. 리파이닝

전처리가 완료된 칩은 경상대학교 펄프종이신소재 연구실에서 제작한 Single Disk Refiner (Fig. 3 참조)를 이용하여 bar 간격 약 0.6 mm를 조절한 후 3회 통과시켰다. 리파이닝 단계에서 1차 리파이닝 후, 그리고 2차 리파이닝 후 리파이너로부터 배출된 펄프를 120℃에서 10분간 증기처리를 반복하여 실시하였다. 리파이닝 단계에서 원료의 함수율은 40-45%였다. 리파이닝 끝난 펄프는 10 mesh wire를 통과한 펄프만(수율 70-75%)을 대상으로 실험실용 Valley beater를 이용하여 1.57%의 농도에서 25분간 리파이닝을 추가로 실시하였다. 리파이닝이 완료된 펄프를 대상으로 shive 함량과 pitch 함량을 측정하였다. 해섬된 완료된 펄프는 TAPPI Standard Method T 207에 의거하여 여수도(ml CSF)를 측정하였다.



**Fig. 3.** Laboratory single-disk refiner.

### 2.3.3. 열기계펄프의 표백과 백색도 측정

열기계펄프의 표백에 사용된 약품으로는 Table 1과 같이 총 네 종류의 약품을 사용하였다. 각 수종별로 미표백 열기계펄프 20 g (전건 중량 기준)을 취하여 polyethylene bag에 넣은 후 총 농도 10%가 되도록 한 후 Table 2의 조건으로 표백 약품과 증류수를 투입하였다. 펄프와 표백 약액이 충분히 혼합되도록 충분히 주물러 표백액이 펄프에 잘 침투하도록 하였고, 이중 밀봉된 펄프는 70℃의 항온수조에서 60분간 표백을 실시하였다. 표백이 진행되는 동안 표백 약품이 균일하게 혼합되도록 10분에 한번 씩 주물러

**Table 2.** Bleaching conditions of TMP using peroxide

Chemicals	Dosage (%, on dry pulp)
Hydrogen peroxide	4
Sodium silicate	3.5
Magnesium sulfate	0.5
DTPA	0.5

주었다.

열기계펄프의 백색도를 측정하기 위하여 사각추조지기를 이용하여 평량 100 g/m<sup>2</sup>의 수초지를 제작한 후 TAPPI Standard Method T 452에 근거하여 ISO 백색도(%)를 측정하였다.

## 2.4. Shive 함량

열기계펄프에 포함된 shive 함량을 측정하기 위하여 TAPPI Test Method 275에 근거하여 전건무게 기준 50 g의 열기계펄프를 취하여 Somerville screen (slot 폭 0.15 mm)에 투입하여 20분 동안 shive와 섬유를 분류하였다. 분류된 shive를 채취하여 건조시킨 후 무게를 측정하여 shive 함량을 계산하였다.

## 2.5. 피치 정량

TMP에 포함된 pitch를 측정하기 위하여 소수성 pitch만을 선택적으로 염색시킬 수 있는 수단 IV 염료를 사용하였다. 수단 IV 0.7 g을 70% 에탄올 100 ml에 혼합하여 12시간 이상 교반시키면서 용해시켰다. 용해된 수단IV 용액은 여과지를 이용하여 녹지 않은 고형분을 걸러낸 후 50% 에탄올에 침지시킨 시편을 수단 IV 용액 속에 침지시키고, 침지 동안 수단IV 용액의 온도는 약 37℃ 이상 유지하면서 12시간 이상 염색시켰다. 염색된 시편은 50% 에탄올에 반복하여 넣어 과량의 염색 시약을 씻어 내었다.

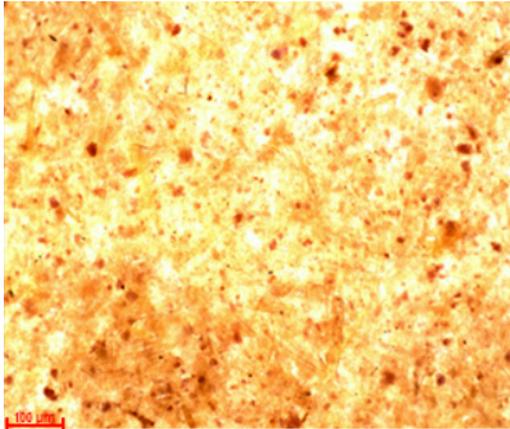
수단IV로 염색된 시편을 이용하여 pitch의 개수와 pitch가 차지하는 면적 측정을 위하여 실제 현미경으

로 pitch 영상(면적 10.95 mm<sup>2</sup>)을 촬영한 후 화상분석 프로그램인 Axiovision (Carl Zeiss, Ver.4.8.2, Germany)을 이용하여 측정하였다(Fig. 3 참조).

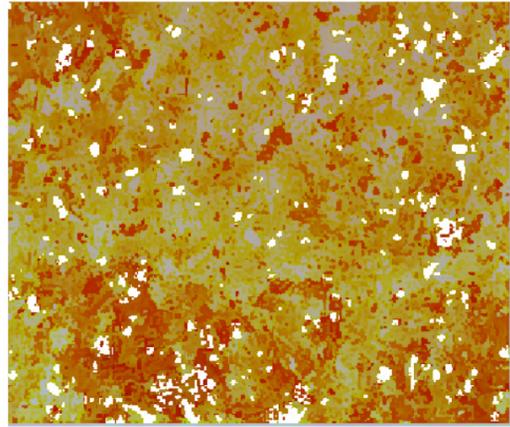
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 수종별 추출물과 회분 함량 비교

Fig. 4는 TMP 제조에 사용된 온수, 냉수, 그리고 유기용매 추출물 함량과 회분 함량을 비교한 그래프이다. 일반적으로 냉수 추출을 통해 무기 화합물, 타닌, 검, 당, 그리고 착색 물질의 일부를 제거할 수 있고, 온수 추출을 통해서 냉수 추출을 통해 추출되는 추출 성분과 함께 전분이 함께 제거된다. 따라서 온수 추출은 냉수 추출에 비하여 더 많은 추출물을 제거한다. 유기용매 추출은 사용되는 추출 용매의 종류에 따라 제거되는 추출 성분도 달라지는데 알코올-벤젠 추출은 저분자량의 탄수화물, 염, 기타 수용성 물질, 왁스, 지방, 수지, photosterol, 기타 비휘발성 탄화수소 등을 제거한다. 기계펄프화 과정에서 대부분의 목재 추출물은 섬유강(fiber lumen)과 수지강(resin canal)으로 압출되어 공정상에 축적된다. 특히 지방산 계통의 추출물은 종이 제품과 초지 공정상에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Cho 등, 2014; Zhang 등, 2007). Fig. 4에서는 러시아산 낙엽송이 온수와 냉수 추출을 통해 12% 이상의 높은 비율의 추출물 함량을 나타내었고, 다음으로 미얀마산 대나무가 5-7% 수준의 추출물 함량을 나타내었다. 유기용매에 있어서는 대나무가 가장 많은 약 6% 수준의 추출물 함량을 나타내었고 다음으로 낙엽송, 소나무, 가문비 순으로 나타났다. 회분 함량에 있어서는 대나무가 약 3% 수준의 회분 함량을 나타냄으로써 과다한 양이 검출되었고, 나머지 수종에서는 1% 미만의 회분 함량이 검출되었다. 결론적으로 추출물과 회분 함량으로만 판단했을 때는 미얀마산 대나무와 러시아산 낙엽송은 TMP 원료로 적합하지 않은 것으로 나타났다.

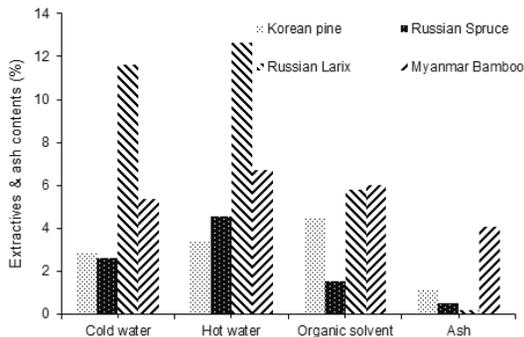


(a) Red-stained pitches detected in TMP

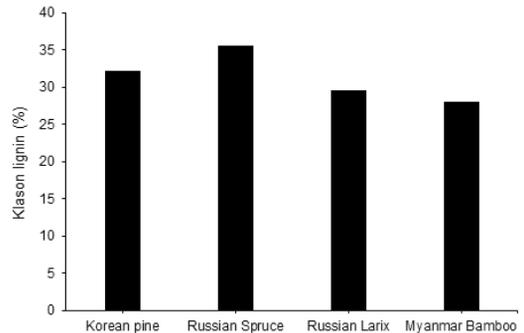


(b) Isolated pitches through image analysis

**Fig. 3.** (a) Red-stained pitches in TMP, and (b) isolated pitches (white spots on the image) through image analysis.



**Fig. 4.** Extractives and ash contents of different wood species.



**Fig. 5.** Lignin contents of different wood species.

### 3.2. 수종별 리그닌 함량 비교

열기계펄프화 공정에서 원료 칩에 대해 가압식 증기를 적용하고 있는데 이는 리그닌을 연화시켜 리파이닝 단계에서 쉽게 해섬하기 위한 목적이다. 일반적으로 리그닌이 많이 함유되어 있는 수종은 열기계펄프화 단계에서 에너지 소비를 증가시키고, 동시에 펄프 섬유의 유연성을 떨어뜨려 섬유간 결합력에 부정적인 영향을 미칠 수 있기 때문에 가급적이면 리그닌 함량이 적은 수종을 선택하는 것이 바람직하

다. Fig. 5는 수종별 리그닌 함량을 비교한 그래프인데 낙엽송과 대나무가 약 28% 수준의 리그닌을 함유하였고, 소나무와 가문비가 32-35% 수준의 리그닌을 함유하고 있는 것으로 나타났다. 소나무와 가문비는 추출물 함량에서 살펴본 바와는 달리 리그닌 함량이 낙엽송과 대나무에 비하여 5-7% 정도 더 많이 함유되어 있어 리파이닝 단계에서 에너지 소모에 대하여 세심하게 살펴볼 필요가 있을 것으로 판단되었다.

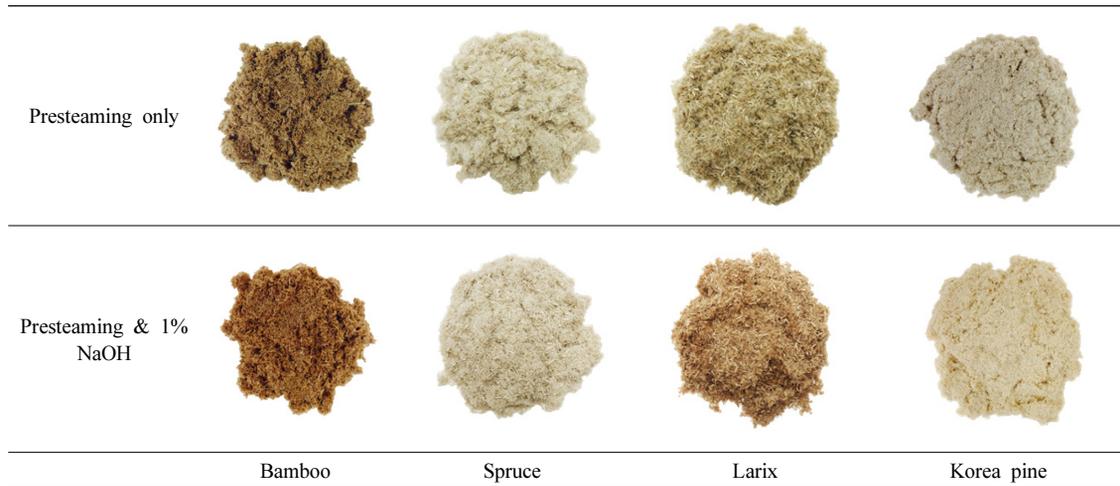


Fig. 6. Thermomechanical pulps made of different wood species.

### 3.3. 수종별 열기계펄프 섬유 색상 비교

Fig. 6은 리파이닝 후 수종별 열기계펄프 섬유의 색상을 비교한 것이다. 미얀마산 대나무의 경우 스팀 처리 단계에서부터 수분을 흡수하면서 암갈색의 상태를 띠었고, 러시아산 가문비는 육송을 포함한 다른 수종과는 달리 가장 밝은 색상을 띠고 있었다. 러시아산 낙엽송도 추출물이 많이 함유하고 있는 관계로 짙은 어두운 색상을 나타내었다. 표백 단계에서의 약품 사용을 고려했을 때 러시아산 가문비가 표백 약품을 적게 사용하여 가장 효과적인 표백 효과를 기대할 수 있을 것으로 기대하였고, 미얀마산 대나무와 러시아산 낙엽송은 표백 약품의 과다 사용을 초래할 것으로 판단되었다.

그리고 증기 전처리 단계에서 NaOH 1%를 처리하게 되면 펄프의 색상에 있어서 변화가 나타났다. 대나무와 낙엽송의 경우 색상이 더 짙어졌고, 가문비와 소나무는 색상이 더 밝게 변하였다. 증기 전처리 단계에서 알칼리 처리는 밝은 색상의 재색을 띠는 수종의 경우 긍정적인 영향을 기대할 수 있지만 어두운 재색과 함께 추출물 함량이 많은 수종의 경우 부정적인 영향을 미친다는 사실을 확인할 수 있었다.

### 3.4. 수종별 열기계펄프 섬유 내에 포함된 shive 함량 비교

Shive는 단위 섬유보다 큰 모든 입자들을 일컫는데 실제로 충분히 큰 입자 혹은 섬유 다발과 같은 것인데 종지와 판지의 품질(린팅, 인크 pick out, 코터 긁힘, 인쇄 품질, 기타 결점) 혹은 생산성(지질)에 있어서 심각한 문제를 야기한다.

Fig. 7은 원료 종류별로 열기계펄프 섬유의 shive 함량을 비교한 그래프이다. 가장 많은 양의 shive를 갖는 원료는 미얀마산 대나무로서 NaOH 처리에 관계없이 20% 이상의 shives가 발생하였고, 러시아산 가문비는 약 3% 이하로 가장 적은 양의 shive가 발생하였다. 소나무는 약 5%, 러시아산 낙엽송은 약 4%의 shive가 발생하였다. 각 원료별로 NaOH 처리는 shive 생성에 큰 영향을 끼치지 못하였다.

### 3.5. 수종별 열기계펄프의 여수도 비교

Fig. 8은 동일한 조건을 적용하여 제조한 열기계펄프의 여수도를 수종별로 비교한 그래프이다. 여수도가 클수록 일정 수준의 여수도에 도달할 때까지 추가로 리파이닝을 실시해야 한다는 것을 의미하기 때문에 열기계펄프 제조에 사용되는 리파이닝 에너지

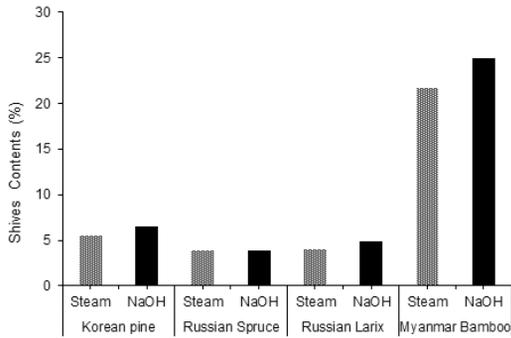


Fig. 7. Shives contents of thermomechanical pulps made of different wood species.

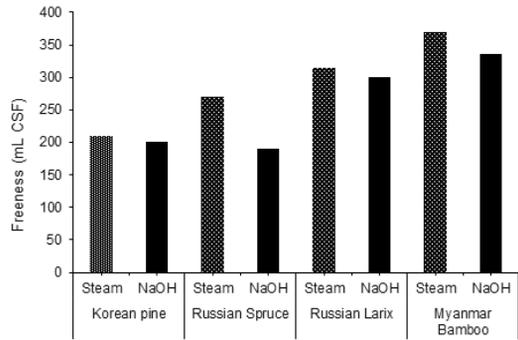


Fig. 8. Freeness comparison of thermomechanical pulps made of different wood species.

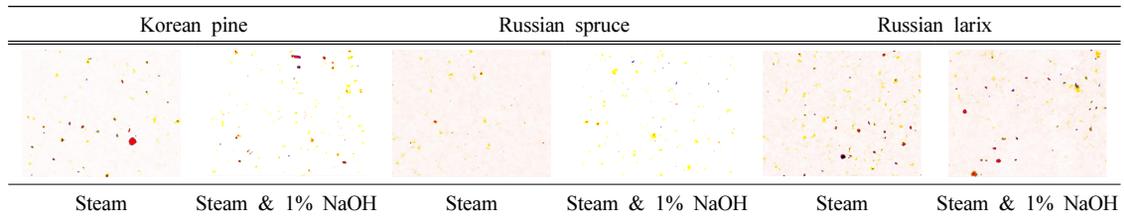


Fig. 9. Pitches observed on stereomicroscope images of thermomechanical pulps made of different wood species.

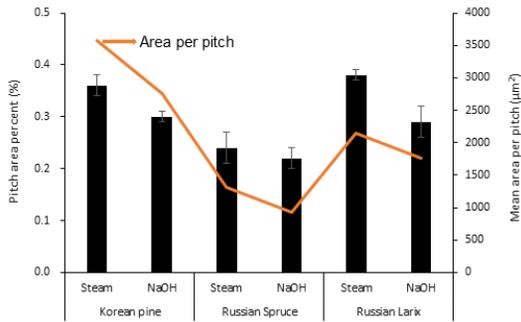
가 더 많이 소요됨을 의미한다.

동일 조건으로 리파이닝된 열기계펄프의 여수도를 비교해 보면 소나무 210 ml CSF, 가문비 270 ml CSF, 낙엽송 315 ml CSF, 그리고 대나무 370 ml CSF의 순서로 나타났다. 결과적으로 러시아산 낙엽송과 미얀마산 대나무가 리파이닝 효율 면에서 다른 두 수종(소나무와 가문비)에 비하여 더 많은 리파이닝 에너지를 필요로 하였다. 낙엽송의 경우 목재 비중이 약 0.6 수준으로 가문비(약 0.4)와 소나무(약 0.5)에 비하여 더 높기 때문에 해섬 속도에 부정적인 영향을 미친 것으로 보인다. 그리고 소나무에 비해 더 많은 리그닌을 함유하고 있는 러시아산 가문비는 국내산 소나무에 비해 조금 더 많은 리파이닝 에너지가 요구되었다. 열기계펄프 제조 동안 증기 전처리 단계에서 알칼리 처리를 하게 되면 수중에 관계없이 동일한 제조 조건 하에서 여수도 감소가 더 빨리 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 증기 전처리 단계에서 첨가된 알칼리 약품이 목재 칩의 연화 속도

를 촉진시켜 리파이닝 효과 발현이 더 빨리 일어나게 했기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.6. 수종별 열기계펄프의 pitch 함량 비교

Fig. 9는 국내산 소나무, 러시아산 가문비, 그리고 러시아산 낙엽송으로 제조된 열기계펄프를 pitch 특이성 염색 시약으로 염색한 후 pitch를 관찰한 영상이다. 미얀마산 대나무는 침엽수와 달리 pitch로 인한 문제가 없기 때문에 pitch 측정 대상에서 제외하였다. 실제 현미경으로 촬영한 영상을 화상처리를 통해 pitch만을 선별적으로 나타낸 결과, 소나무와 낙엽송으로 제조한 열기계펄프에서 상당히 많은 수의 pitch 입자들이 관찰되었다. 이에 반해 가문비로 제조한 열기계펄프에서 발견된 pitch 입자들의 수는 소나무와 낙엽송에 비하여 훨씬 더 적은 것을 확인할 수 있다. 또한 소나무와 낙엽송으로 제조된 열기계펄프에서 관찰된 pitch 입자들은 가문비로 제조된 열기



**Fig. 10.** Pitch contents of thermomechanical pulps made of different wood species.

계펄프에서 관찰된 pitch 입자들에 비해서 조대한 입자들이 더 많이 관찰되었다.

증기 전처리 단계에서 NaOH 1%를 함께 처리한 경우 실제 현미경의 영상만으로 비교하였을 때 긍정적인 효과가 있는지에 대한 절대적인 판단이 어렵기 때문에 화상분석을 통한 정량분석법이 필요하였다.

Fig. 10은 소나무, 러시아산 가문비, 그리고 러시아산 낙엽송으로 제조한 열기계펄프에서 pitch 함량을 정량한 결과를 비교한 그래프이다. 전체 측정 영역 중에 pitch가 차지하는 면적을 비교하였을 때 러시아산 가문비가 0.24%로 가장 낮은 pitch 함량을 나타내었고, 소나무와 낙엽송은 각각 0.36%와 0.38% 수준으로 유사한 pitch 함량을 나타내었다. Pitch 하나 당 평균 면적을 비교하였을 때 앞서 실제 현미경 영상에서 관찰한 바와 같이 pitch 함량이 높을수록 pitch의 개별 면적도 크게 나타났다. 그리고 증기 전처리 단계에서 NaOH 1%를 함께 처리하였을 경우에는 증기 처리만 한 것에 비하여 pitch를 감소시키는데 있어서 어느 정도 효과적인 기여를 한 것으로 확인되었다.

결론적으로 열기계펄프 제조 공정에서 pitch로 인한 공정상의 문제점을 고려하였을 때 러시아산 가문비가 원료적 측면에서 pitch 문제를 최소화시키는데 있어서 가장 적합한 원료인 것으로 판단되었다. 이는 열기계펄프 제조 과정에서 pitch로 인한 공정상의 문제점과 종이 품질상의 문제점을 최소화시키기 위해서는 원료 선정도 매우 중요하게 고려하여야 함을

의미한다.

### 3.7. 수종별 열기계펄프의 표백 효과 비교

원료 종류별로 동일한 조건으로 제조된 열기계펄프의 표백 전후 백색도를 비교하였다. Fig. 11은 표백 전후 열기계펄프의 백색도를 육안으로 비교한 것이다. 소나무와 가문비와는 달리 낙엽송과 대나무는 과산화수소 표백에도 불구하고 백색도 개선 효과가 크게 나타나지 않았다. 이는 표백 전 열기계펄프의 색상 자체가 어두운 암갈색 상태였기 때문에 산화 표백을 하더라도 백색도 향상 효과가 거의 나타나지 않았다. 이에 반해 소나무와 가문비는 표백 전에도 열기계펄프의 색상 자체가 낙엽송과 대나무에 비해서 매우 밝은 색상을 띠고 있기 때문에 과산화수소를 이용한 표백 효과가 매우 효과적으로 발현된 것을 확인할 수 있었다. 특히 가문비는 동일한 표백 조건 하에서도 소나무에 비해 보다 더 밝은 색상을 띠어 표백 약품의 절감에 기여할 수 있을 것으로 기대되었다. 그리고 육안 상으로는 NaOH 1% 처리 유무에 따른 백색도 개선 효과를 확인하기가 어려웠다.

Fig. 12는 소나무, 가문비, 낙엽송, 그리고 대나무로 제조된 열기계펄프의 표백 전후 백색도를 비교한 그래프이다. Fig. 11의 육안 비교 결과에서 살펴본 바와 같이 가문비로 제조한 열기계펄프가 표백 전과 표백 후 모두에서 가장 높은 백색도를 나타내었다. 다음으로 소나무, 낙엽송, 그리고 대나무 순으로 나타났다. 이것은 열기계펄프의 백색도 향상 효과를 기대하기 위해서는 수종의 선택이 매우 중요함을 의미하는 것이다. 따라서 가문비와 같이 밝은 재색을 띠는 수종은 일정 수준 이상의 백색도를 얻기 위한 표백 처리 단계에서 약품 처리량을 줄이는데 큰 기여를 할 것으로 사료되었다.

## 4. 결 론

러시아산 가문비, 러시아산 낙엽송, 그리고 미얀마산 대나무로 제조한 열기계펄프를 국내산 소나무로 제조한 열기계펄프와 제조 특성을 비교하였다. 미얀

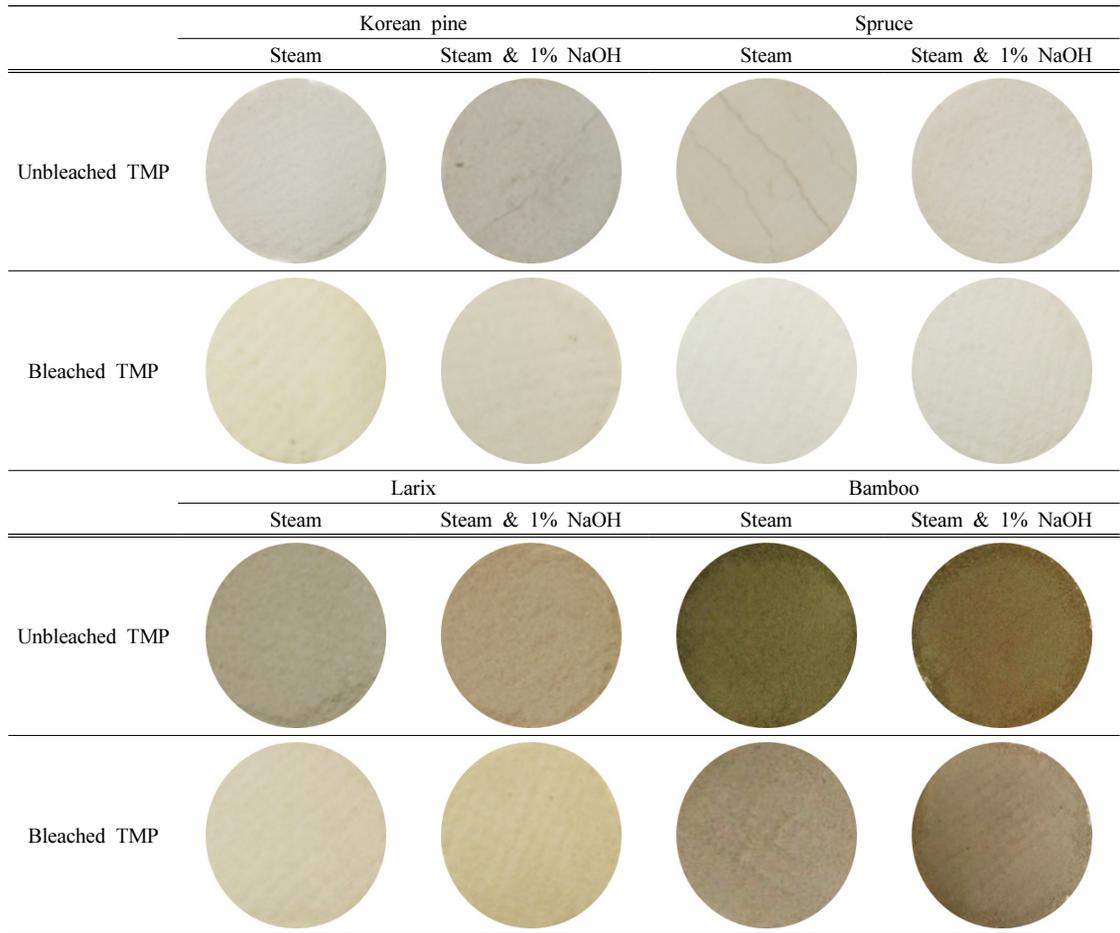


Fig. 11. Color comparison of thermomechanical pulps made of different wood species.

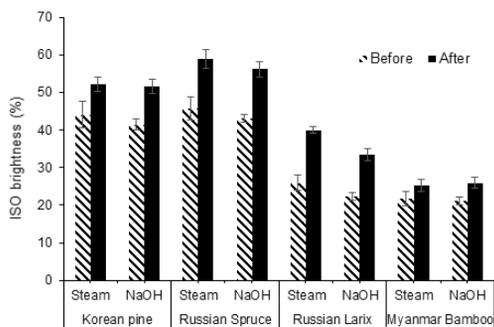


Fig. 12. Brightness change of thermomechanical pulps made of different wood species before and after bleaching.

마산 대나무는 가문비, 낙엽송, 소나무에 비해서 리그닌 함량은 낮았지만 회분 함량이 약 3%로 매우 높은 값을 나타내었다. 낙엽송은 리그닌 함량은 가문비와 육송에 비해 낮았지만 냉수와 온수 추출물이 12% 이상 높게 나와 추출물로 인한 공정상의 문제점을 야기할 가능성이 매우 높았다. Shive 함량은 대나무가 20% 이상으로 가장 많은 양의 shive가 발생하였고, 가문비가 3% 이하로 가장 적은 양의 shive가 발생하였다. Pitch에 있어서는 낙엽송이 가장 많은 pitch가 검출되었고, 다음으로 소나무, 그리고 가문비의 순서였다. Pitch로 인한 공정 및 제품 상의 문제는 가문비 사용을 통하여 어느 정도 해결할 수 있

을 것으로 기대되었다. 리파이닝 에너지는 낙엽송과 대나무가 매우 큰 리파이닝 에너지를 소모하였고, 소나무와 가문비는 비슷한 수준의 리파이닝 에너지를 소모하였다. 열기계펄프 제조에 소모되는 에너지 절감 차원에서는 가문비가 리파이닝 효과 발현에 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 백색도는 미얀마산 대나무와 러시아산 낙엽송의 경우 백색도 개선 효과를 크게 기대하기가 어려웠고, 러시아산 가문비가 가장 우수한 백색도 개선 효과를 기대할 수 있었다. 결론적으로 원료 종류에 따라 열기계펄프 제조 적성이 상당히 큰 영향을 받기 때문에 열기계펄프 제조용 수종 선택이 제조공정의 개선과 펄프 품질의 향상에 매우 중요하다. 국내산 소나무를 대체할 수 있는 수종으로는 인접 국가인 러시아에서 쉽게 구할 수 있는 가문비가 가장 적합하고, 가문비의 사용을 통해 펄프제조공정 상의 문제를 줄이면서 제조 원가 절감과 펄프 품질 향상에도 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대할 수 있을 것이다.

## 사 사

본 연구는 2014년 한국연구재단 주관 중견연구자 연구자지원사업(과제번호: 2014R1A2A2A01002947)와 전주페이퍼(주)의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Cho, H.-S., Sung, Y.J., Kim, C.-H., Lee, G.-S., Yim, S.-J., Nam, H.-G., Lee, J.-Y., Kim, S.-B. 2014. Study of oil palm biomass resources - (Part 3) torrefaction of oil palm biomass. *Journal of Korea TAPPI* 46(1): 18-26(2014).
- Kim, D.-S., Sung, Y.J., Kim, C.-H., Kim, S.-B. 2014. Evaluation of the applicability of oil palm EFB fines as a functional organic filler. *Journal of Korea TAPPI* 46(1): 56-64.
- Kwak, G.H., Cho, B.-U., Lee, Y.-K., Won, J.M. 2014. Effect of PCC pretreatment with pulp powder on the paper properties, *Journal of Korea TAPPI* 46(1): 39-45.
- Lundqvist, S.-O., Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Olsson, L., Wilhelmsson, L. 2003. "Selective use of European resources of spruce fibers for improved pulp and paper quality," 2003 International Mechanical Pulping Conference. Quebec, Canada, June 2-5, 59-66.
- Nam, H., Kim, C.-H., Lee, J.-Y., Park, H., Kwon, S., Cho, H.-S., Lee, G.-S. 2015. Optimization Technology of Thermomechanical Pulp Made from *Pinus densiflora* (L). *Journal of Korea TAPPI* 47(1): 35-44.
- Persson, E., Sundström, L., Xu, E. 2005. "Differences between Norway spruce and Scots pine with respect to refining response and content of extractives," 2005 International Mechanical Pulping Conference. Oslo, Norway, 143-148.
- Seo, Y.B., Kim, H.J. 2014. Improvement of thickness in white duplex board by utilization of defibrated fibers (1) - Utilization of defibrated fibers. *Journal of Korea TAPPI* 46(6): 34-40.
- Seo, Y.B., Jung, J.G., Lee, Y.J., Sung, Y.-J. 2014. Utilization of wood flour for drying energy saving of old corrugated container. *Journal of Korea TAPPI* 46(6): 8-15.
- Sung, Y.J., Kim, D.-S., Lee, J.-Y., Seo, Y.-B., Im, C.-K., Gwon, W.-O., Kim, J.-D. 2014. Application of conifer leave powder to the papermaking process as an organic filler. *Journal of Korea TAPPI* 46(4): 62-68.
- Varhimo, A., Tuovinen, O. (1999). "Process Control," In: Papermaking Science and Technology, Kauko Leiviskä (ed.), Chapter 7, "Process control in mechanical pulping," Atlanta: Finnish Paper Engineer's Association and TAPPI.
- Wood, J.R. 1996. "Chip quality effects in mechanical pulping - A selected review," TAPPI

- Pulping Conference. Proceedings, 491-497.
- Wood, J.R. 2000. "Wood-induced variations in TMP quality - Their origins and control," TAPPI Pulping/ Process and Product Quality Conference, 259-267.
- Wood, J.R. 2001. "Controlling wood-induced variation in TMP quality," Tappi Journal 84(6): 32-34.
- Zhang, X., Nguyen, D., Paice, M.G., Tsang, A., and Renaud, S. 2007. Degradation of wood extractives in thermo-mechanical pulp by soybean lipoxygenase. *Enzyme and Microbial Technology* 40: 866-873.