

숲가꾸기 산물의 최적용도 개발을 위한 연구 (제2보)

– 산물의 혼합을 통한 크라프트 펄프화 적성 연구 –

이지영 · 김철환[†] · 박현진 · 김성호 · 김경철 · M.I. Sheikh ·
조후승 · 심성웅 · 이영민¹ · 안병일²

접수일(2012년 9월 19일), 수정일(2012년 12월 5일), 채택일(2012년 12월 7일)

Study for Optimum Use of Forest Biomass Generated from the National Forest Management Operation (Part 2)

– Fitness of Mixed Wood Species as Raw Materials for Kraft Pulp –

Jee-Young Lee, Chul-Hwan Kim[†], Hyun-Jin Park, Sung-Ho Kim, Gyung-Chul Kim,
M.I. Sheikh, Hu-Seung Cho, Sung-Woong Shim, Young-Min Lee¹ and Byung-il Ahn²
Received September 19, 2012; Received in revised form December 5, 2012; Accepted December 7, 2012

ABSTRACT

This study was carried out to explore optimum use of the products generated from the National Forest Management Operation (NFMO) as raw materials for kraft pulp. First of all, different wood species from NFMO were randomly mixed, and then they were used to make kraft pulp under the specified condition. All kraft pulps made from the mixed species displayed equal physical properties to those from foreign wood chips used in Moorim P&P Co. Ltd. For optical properties, most of the unbleached pulps had high brightness but the pulp made from wood species containing chestnut tree showed the lowest brightness due to its high kappa number. Finally, the products from NFMO had little negative effects on the properties of kraft pulps. This means that they could be used as complementary raw materials for kraft pulps with foreign wood chips.

Keywords: Forest biomass, forest management operation, kraft pulp, physical properties, brightness

• 본 논문은 2011년도 산림과학기술개발사업 과제 지원으로 수행되었습니다.
• 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원(Dept. of Forest Products/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

1. ㈜동우펄프하이텍

2. 고려대학교 식품자원경제학과

† 주저자 (Corresponding author) : E-mail : jameskim@gnu.ac.kr

1. 서론

우리나라는 지속적인 경제성장과 더불어 종이 및 판지 생산면에서 매년 5~7%의 성장률을 보이고 있어 종이의 원료인 펄프를 제조하기 위하여 막대한 양의 목재가 소비되고 있다.¹⁾ 하지만 국내의 목재 자급률은 16%에 불과하며 국내펄프 자급율은 약 20% 수준으로 나머지는 수입에 의존하고 있다.²⁾ 수입 의존도가 높은 상황에서 경제 수종이 거의 없는 관계로 펄프용 자원이 극히 부족하기 때문에 숲가꾸기사업과 같은 정부 주도의 산물 수집이 극히 필요한 시점이다. 국내 펄프회사의 원료 자급화에 도움을 줄 수 있는 정책 보완이 필요하고 탄소배출권의 제약에 따른 펄프 원목 별채의 제약이 심화됨에 따라 원활한 원료 수급을 위한 대응책 마련이 매우 시급하다. 특히 정부 주도의 숲가꾸기사업에서 발생하는 산림 바이오매스는 제지용 주원료인 펄프의 핵심 원료임에도 불구하고 최근 국내에서는 숲가꾸기 사업을 통해 발생하는 산림 바이오매스를 칩이나 톱밥 형태로 제조한 후 바이오연료의 용도로 대량 사용하려는 경향이 있어 안타까움을 더하고 있다.³⁾

국내의 연간 임목생산 규모가 80만~100만 톤에 불과한 국내 여건에서 정부 주도로 집중 육성하고 있는 목재 펄릿 공급은 숲가꾸기 산물에 의존하지 않을 수밖에 없다. 산림청에서는 목재 펄릿의 공급량을 2012년까지 국내에서 40만 톤, 외국에서 35만 톤을 공급할 계획을 세우고 있는데, 국내산 펄릿 40만 톤 생산을 위해서는 상당량의 숲가꾸기 산물을 원료로 이용할 수밖에 없다.⁴⁾ 국내에서 정부 사업에 의해 진행되는 숲가꾸기 사업의 부산물로 발생하는 목재 자원의 경제적 및 효율적 이용에 대해서 심각히 고려해 볼 필요가 있다. 숲가꾸기 산물들을 연소를 목적으로 한 펄릿 제조의 원료로 상당량 사용하는 것은 탄소 순환에 있어서도 매우 부정적인 측면이 존재한다. 만약 이와 같은 산림바이오매스를 화학펄프의 원료로 사용한다면 고부가가치를 창출하는 종이 및 판지 제품을 생산할 수 있고, 동시에 화학펄프 제조 과정에서 발생하는 흑액 (black liquor)을 농축하여 펄프 및 제지공정에 필요한 에너지원을 생성하는 회수보일러 (recovery boiler)의 연소원으로 사용될 수 있기 때문에 펄프·종이 생산 단계에서 탄소 배출을 최소화 시킬 수 있다.⁵⁾ 여기에 덧붙여 흑액 재처

리 단계에서 바이오리파이너리 (biorefinery) 공정을 도입한다면 바이오에너지 함께 바이오케미컬의 전구물질까지 생산이 가능하다. 뿐만 아니라 펄프·제지공정에서 생산된 셀룰로오스 제품들은 펄릿과는 달리 유의미하게 재활용될 수 있는 귀중한 자원이기 때문에 산림자원의 보호 측면에서도 큰 의미를 지닌다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 숲가꾸기사업을 통해서 발생하는 산림바이오매스를 더 효과적이고 경제적으로 사용할 수 있는 최적용도 개발을 위한 연구를 하였다. 이를 위해 숲가꾸기 산업 산물들을 혼합한 후 일정 조건 하에서 크라프트 펄프화하여 상업용 칩들과 국내에서 생산되는 목재 칩들로부터 제조된 펄프의 물리적 및 광학적 특성을 분석하여, 숲가꾸기 산물들이 귀중한 펄프용 자원으로도 충분히 활용 가능함을 확인하고, 이를 통해 연소용 원료로 대량 사용되는 있는 목재 자원을 귀중한 펄프용 자원으로도 활용 가능함을 보이고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 연구에서 사용한 숲가꾸기 산물은 지역 산림조합 중앙회에서 숲가꾸기사업을 통해 수집해 놓은 산물들을 Table 1과 같이 무작위로 수집한 후 일정 혼합비로

Table 1. Wood samples collected from the National Forest Management Operation

Wood species	Ages (year)	Stem dia. (mm)
벚나무 (<i>Prunus sargentii</i> Rehder)	15	150
밤나무 (<i>Castanea crenata</i>)	10	140
오동나무 (<i>Paulownia corean</i>)	8	200
아까시 (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.)	15	180
굴참나무 (<i>Quercus variabilis</i> Bl.)	24	245
<i>Acacia</i> spp.	N/A*	N/A*
<i>Eucalyptus botryoides</i>	N/A	N/A
<i>Acacia auriculiformis</i>	N/A	N/A
<i>Korean Mixed Hardwoods</i>	N/A	N/A

*Not available

Table 2. Mixing ratios of wood species collected from Forest Management Operations

Symbol	Mixing ratios of different wood species
MLB26	Mixed Korea hardwood : : <i>Acacia auriculiformis</i> : <i>Eucalyptus botryoides</i> (4:3:3)
MLB27	<i>Quercus variabilis</i> Bl. : <i>Castania crenata</i> : <i>Robinia pseudoacacia</i> . L. (4:3:3)
MLB28	<i>Castania crenata</i> : <i>Robinia pseudoacacia</i> . L. : <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> (4:3:3)
MLB29	<i>Robinia pseudoacacia</i> . L. : <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> : <i>Paulownia coreana</i> (4:3:3)
MLB30	<i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> : <i>Paulownia coreana</i> : <i>Quercus variabilis</i> Bl. (4:3:3)
MLB31	<i>Quercus variabilis</i> Bl. : <i>Castania crenata</i> : <i>Robinia pseudoacacia</i> . L. (5:3:2)
MLB32	<i>Castania crenata</i> : <i>Robinia pseudoacacia</i> . L. : <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> (5:3:2)
MLB33	<i>Robinia pseudoacacia</i> . L. : <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> : <i>Paulownia coreana</i> (5:3:2)
MLB34	<i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> : <i>Paulownia coreana</i> : <i>Quercus variabilis</i> Bl. (5:3:2)
MLB35	<i>Paulownia coreana</i> : <i>Quercus variabilis</i> Bl. : <i>Acacia</i> spp. : mixed Korea hardwood (2:2:3:3)
MLB36	<i>Paulownia coreana</i> : <i>Quercus variabilis</i> Bl. : <i>Acacia auriculiformis</i> : <i>Eucalyptus botryoides</i> (2:2:3:3)
MLB37	<i>Quercus variabilis</i> Bl. : <i>Castania crenata</i> : <i>Acacia</i> spp. : mixed Korea hardwood (2:2:3:3)
MLB38	<i>Quercus variabilis</i> Bl. : <i>Castania crenata</i> : <i>Acacia auriculiformis</i> : <i>Eucalyptus botryoides</i> (2:2:3:3)
MLB39	<i>Robinia pseudoacacia</i> . L. : <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> : <i>Acacia</i> spp. : mixed Korea hardwood (2:2:3:3)
MLB40	<i>Robinia pseudoacacia</i> . L. : <i>P. serrulata</i> var. <i>spontanea</i> : <i>Acacia auriculiformis</i> : <i>Eucalyptus botryoides</i> (2:2:3:3)

혼합한 후 사용 하였다. 대조군으로 현재 무림P&P(주)에서 사용하는 베트남산 아까시 (*Acacia auriculiformis*), 태국산 유칼립투스 (*Eucalyptus botryoides*), 인도네시아산 아까시 (*Acacia* spp.) 등 아열대산 활엽수 칩과 국내산 활엽수 혼합수종 (*Mixed Korea hardwoods*)을 사용하였으며, 이들 원료의 혼합비를 Table 2에 나타내었다.

2.2 실험방법

2.2.1 크라프트 펄프화

Table 1에 나타나 있는 박피 과정을 거친 숲가꾸기 산물들은 펄프화를 위해 디스크 칩퍼를 이용하여 약 29×16 mm 크기의 칩을 제조한 후 크라프트 펄프화시켰다. 원료 종류별로 제조된 크라프트 펄프의 특성을 비교, 분석하기 위해 모든 원료에 대해 Na₂O 기준 일정한 조건, 즉, 황성알칼리도 20%, 황화도 35% 조건(액비 4:1)에서 회전식 다이제스터를 이용하여 증해시켰다.

증해시 최고 온도는 170℃, 최고 온도까지 도달시간은 90분, 그리고 최고 온도에서 120시간 유지시킨 후 증해를 완료하였다. 일반적으로 활엽수를 크라프트 펄프화할 때에는 20% 미만의 황성 알칼리도를 적용하는 것이 일반적이지만 예비 실험 결과 다양한 수종이 존재되어 있는 경우 펄프화이 제대로 되지 않는 경우가

있어 20%로 고정시켜 펄프화 효과를 비교하였다. 펄프화 효과에 황성알칼리도에 비해서는 작은 효과를 나타 내기는 하지만 황화도도 최적 펄프화 효과를 내기 위하여 35%로 고정시켜 펄프화하였다. 펄프의 수율은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$Yield(\%) = \frac{W_1}{W_2} \times 100$$

(W₁ = oven-dried weight of pulp, W₂ = oven-dried weight of wood chips)

그리고 제조된 크라프트 펄프의 섬유장과 조도는 Metso사의 FiberLab을 사용하여 측정하였다.

2.2.2 크라프트 펄프의 표백

미표백 크라프트 펄프의 표백 특성을 알아보기 위하여 NaOH, NaOCl, ClO₂, 그리고 H₂O₂의 순서대로 4단 표백을 실시하였고, 표백 조건은 Table 3과 같다.

2.2.3 크라프트 펄프의 물성 측정

숲가꾸기 산물로 제조된 크라프트 펄프 자체의 물성을 평가하기 위하여 미고해 상태의 펄프 자체를 25×25 cm 크기의 사각수초지기에서 평량 60 g/m²로 초지하였다. 그리고 제조된 펄프의 탈리그닌화 정도,

Table 3. Bleaching sequence for unbleached pulps

Bleaching sequences	Amount (% based on OD pulp)	Consistency (%)	Time (hr)	Temperature (°C)	pH
ClO ₂	2	5	3	80	3.5-4.0
NaOH	8	5	2	70	12
NaOCl	2	5	2	60	11-11.5
H ₂ O ₂	6	5	2	80	

표백 특성 등을 알아보기 위하여 ISO 302에 근거하여 카파가 (kappa number)를 분석하였다. 크라프트 펄프의 백색도 측정을 위해서는 ISO 2470에 근거하여 L&W Elrepho 분광기로 ISO 백색도를 측정하였고, 크라프트 펄프의 물리적 성질은 ISO 5270에 의거하여 벌크를 포함한 인장강도, 인열강도, 그리고 파열강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 섬유장 및 조도

종이 성질은 시트를 구성하는 다양한 섬유들의 구조적 성질에 따라 달라진다. 이들 특징 중에 가장 중요한 두 가지 성질은 섬유장과 섬유벽의 두께이다. 섬유간 결합에 있어 최소한의 길이가 요구되고 인열강도의 경우 섬유장에 비례한다. 만약 섬유벽의 두께가 얇은 섬유는 시트 형성 시 리본 형태로 쉽게 줄어들어 섬유간 결합에 기여를 하지만, 두꺼운 섬유벽을 갖는 섬유들은 높은 인열강도와 낮은 파열강도를 갖는 벌크한 시트를 만든다. 따라서 종이의 물성에 영향을 미치는 지로로 섬유장과 조도가 많이 이용된다.

Fig. 1은 숲가꾸기 산물들을 일정 비율로 혼합한 후 크라프트 펄프를 제조하여 그 펄프 섬유들의 섬유장과 조도를 측정된 값들을 비교한 것이다. 무림P&P(주)에서 사용하고 있는 칩들로 제조한 펄프 섬유의 평균 섬유장과 조도는 각각 0.74 mm와 0.093 mg/m이고, 숲가꾸기 산물들을 일정 비율로 혼합하여 제조한 크라프트 펄프 섬유의 섬유장과 조도 또한 이와 유사한 값들을 나타내었다. 하지만 국내에서 수집된 산물들 중에서 오동나무와 굴참나무를 현재 무림P&P(주)에서 사용하고 있는 수입산 칩들과 혼합하여 크라프트 펄프를 제조하였을 때 베트남산 아까시와 태국산 유칼리와 혼합된 활엽수 펄프 섬유의 섬유장과 조도가 2.5

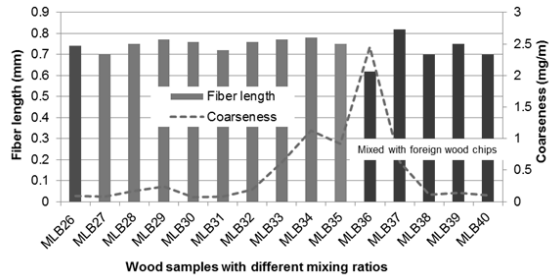


Fig. 1. Fiber length and coarseness of kraft pulp fibers made of different mixing ratio.

mg/m로 다른 혼합 수종들에 비하여 더 짧은 섬유장과 더 큰 조도 값을 나타내었다.

따라서 숲가꾸기사업으로부터 발생하는 산물을 수집하는 단계에서 오동나무 수종은 제외하는 것이 양호한 종이 물성을 위해 바람직한 것으로 확인되었다. 특히 오동나무가 포함된 MLB34, MLB35, 그리고 MLB36은 모두 높은 조도를 나타내었기 때문에 오동나무가 큰 조도 값을 갖는 원인 수종으로 확인되었다. 숲가꾸기 사업 동안에는 다양한 수종과 상이한 수령을 갖는 산물들이 수집되어 칩으로 제조되기 때문에 이러한 이종 산물들로 제조된 화학펄프의 품질 관리가 매우 힘들 것으로 우려되었다. 하지만 일부 수종을 제외하고는 숲가꾸기 산물들로 제조한 화학펄프의 섬유장과 조도가 일반 상업용 혹은 수입산 칩들로 제조한 화학펄프 섬유에 준하는 섬유장과 조도를 갖는 것으로 분석되어 중요한 펄프 제조용 원료 자원으로 활용할 수 있을 것으로 판단되었다.

3.2 펄프 수율

Fig. 2는 숲가꾸기 산물들을 일정 비율로 혼합하여 제조한 크라프트 펄프의 수율과 무림P&P(주)에서 사용하는 수입산 원료들을 상이한 혼합비로 크라프트 펄프를 제조한 후 그 수율을 비교한 것이다. 보통 크라프트

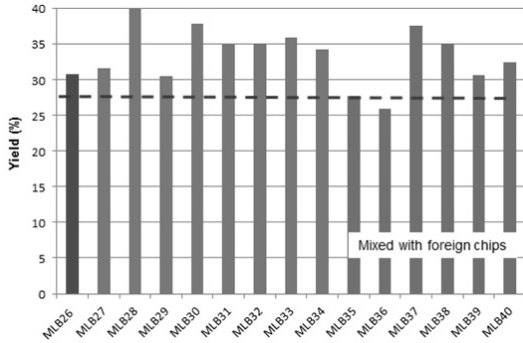


Fig. 2. Kraft pulp yields made from wood samples with different mixing ratios.

트 펄프의 수율은 수종, 해부학적 특성, 칩 크기, 칩 품질, 펄프화 조건, 다이제스터 상태 등에 따라 달라진다.⁶⁾ 여기서는 혼합 비율이나 혼합 수종의 종류에 관계없이 제조된 크라프트 펄프의 수율은 모두 30% 이상 되었다. 특히, 숲가꾸기사업에서 발생되는 산물들만으로 제조한 크라프트의 펄프의 수율이 40% 이상으로 무림P&P(주)에서 사용하는 수입산 및 국내산 혼합수종의 펄프 수율보다 높게 나왔다. 즉, 이는 동일한 조건으로 크라프트 펄프화 할 때 국내산 혼합수종의 경우 수입산 칩에 준하는 수율을 기대할 수 있음을 의미한다. 하지만 본 연구에서 적용한 크라프트 펄프화 조건이 활엽수 수종에 적합한 펄프화 조건에 비하여 강한 조건을 적용하였기 때문에 실제 현장에서 얻어지는 펄프 수율에 비하여 낮은 수율이 얻어졌음을 고려하여야 한다.

현재 무림P&P(주)에서 미표백크라프트 펄프를 제조할 때 수입산 칩들과 국내산 활엽수 혼합수종으로 제조된 칩들을 혼합하여 사용하고 있다. 임목축적이 낮고 경제 수종이 매우 부족한 국내에서는 목재 자급률이 16% 정도 밖에 되지 않기 때문에 화학펄프 및 열기계펄프를 제조할 때 수입산 목재 칩들에 대한 의존도가 매우 높을 수밖에 없다. 따라서 본 연구를 통해 얻어진 연구결과는 숲가꾸기사업을 통해 발생하는 산림바이오메스가 다양한 수종, 수령을 갖는 혼합수종들로 구성되지만 국내 화학펄프 제조를 위해 사용하는 수입산 칩을 일부 대체할 수 있는 중요한 경제적 자원임을 확인할 수 있는 근거 있는 자료가 될 수 있다.

3.3 벌크

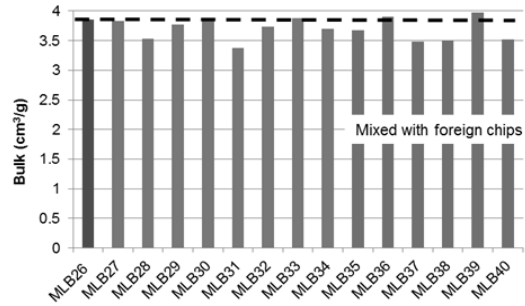


Fig. 3. Bulk of kraft pulps made from woods with different mixing ratios.

Fig. 3은 숲가꾸기 산물을 혼합하여 크라프트 펄프를 제조한 후 이들 펄프로 제조한 평량 60 g/m²의 수조지가 갖는 벌크를 비교한 것이다. 보통 높은 벌크를 갖는 펄프는 인쇄용지를 제조할 때 주어진 종이 두께에서 평량 감소가 가능하고 원가절감에 기여할 수 있고 결국 시트의 건조 비용까지 감소시킬 수 있어 매우 유리하다. 혼합 비율이나 혼합 수종의 종류에 관계없이 모든 미고해 펄프의 벌크는 3-3.8 cm³/g의 범위에 해당되어 매우 높은 값을 나타내었다. 미고해 펄프의 높은 벌크는 크라프트 펄프화 조건이 상이하고, 미고해 상태 (640-680 mL CSF)에서 측정된 것이기 때문에 일반적인 펄프의 벌크 값인 1.5-3.4 cm³/g 보다 높게 나온 것으로 사료된다.⁷⁾ 더군다나 숲가꾸기 산물과 수입산 칩들을 일정 비율로 혼합하여 제조한 크라프트 펄프의 벌크도 이 범위에 해당되어 산물 혼합에 따른 벌크의 영향은 거의 없는 것으로 확인되었다.

3.4 카파가

카파가는 표백 단계에서 산화제의 필요량을 추정하는데 유용하게 사용되며, 펄프를 사용하는 화학 실험에서 리그닌의 함량 추정에 사용되기도 한다. 일반적으로 목재에 포함된 리그닌은 일반적인 크라프트 펄프화 동안에 92-98%가 제거되고, 카파가는 약 12-32이다. Fig. 4는 숲가꾸기 산물로 제조된 목재 칩을 혼합하여 일정조건하에서 크라프트 펄프화법으로 제조한 펄프에 잔류한 리그닌 양을 카파가로 측정하여 나타내었다. 일정비율로 혼합한 카파가의 경우는, 오통나무가 혼합된 펄프들 (MLB34, MLB35)은 대조군 (MLB26)의 카파가인 13 보다 낮은 10 수준의 카파가를 나타내었고, 반면에 밤나무와 아까시 수종과 일정비율로 혼합된

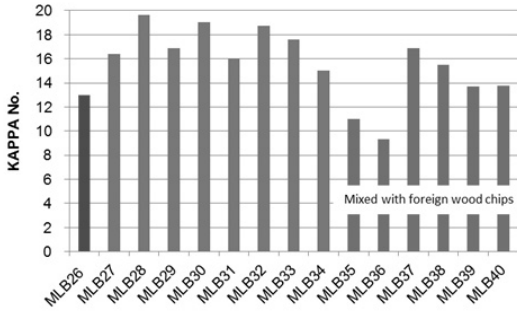


Fig. 4. Kappa number of kraft pulps made of wood samples with different mixing ratios.

펄프 (MLB28, MLB30, MLB32)에서 대조군 (MLB26)보다 높은 18 이상의 값을 나타내었다. 이는 표백 단계에서 미표백펄프의 표백성을 개선하기 위해서는 밤나무와 아까시 수종의 혼입을 지양하는 것이 바람직함을 의미하는 것이다.

3.5 물리적 특성

Fig. 5는 숲가꾸기 산물들로부터 제조된 칩들을 수종별로 일정 비율로 혼합한 후 미고해 상태에서 평량 60 g/m²의 수초지를 제조한 후 이들 미표백, 미고해 펄프 수초지의 열단장을 비교한 그래프이다. 국내산 활엽수 혼합 칩들과 베트남 아까시, 그리고 태국산 유칼리를 혼합하여 제조한 크라프트 펄프 (MLB26)의 열단장이 가장 큰 값을 나타내었고, 숲가꾸기 산물들 중에서 오동나무와 수입산 혼합 칩들로 제조된 크라프트 펄프들 (MLB35, MLB36)의 열단장은 가장 낮은 열단장을 나타내었다. 아까시와 밤나무, 그리고 국내산 혼합 칩들로 함께 혼합하여 제조한 크라프트 펄프의 열단장도 0.33 km와 0.52 km로서 낮은 열단장을 나타내었다. 이는 수종별 섬유장에 있어서 큰 차이를 나타내지 않음을 고려할 때 섬유 자체의 강도와 섬유 결합력이 약한 아까시와 국내산 혼합 활엽수 칩들이 혼합되었기 때문으로 사료된다.

그러나 참나무와 밤나무 수종과 수입산 칩 혹은 국내산 활엽수 혼합 칩들을 함께 혼합하여 제조한 크라프트 펄프들 (MLB37, MLB38)의 열단장은 0.71-0.78 km의 범위에 해당되어 아까시와 밤나무 수종들보다 높은 값들을 나타내었다. 숲가꾸기 산물들로만 혼합하여 제조한 크라프트 펄프의 열단장 (MLB27-MLB34)은

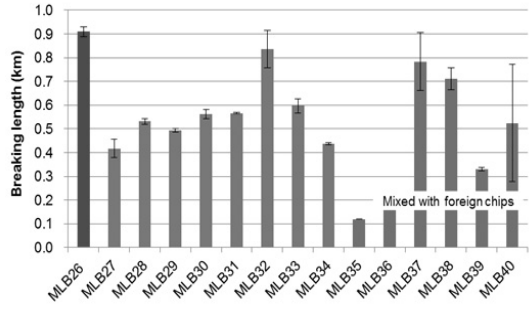


Fig. 5. Breaking length of kraft pulps made of wood chips in different mixing ratios.

0.42-0.84 km의 범위에 해당되어 양호한 강도 값을 나타내었다. 하지만 미고해 상태의 펄프로 제조된 수초지는 지합이 균일하지 않아 일반적인 펄프의 열단장인 약 1.0 km 이상의 값보다 낮은 값을 나타낸 것도 고려해야 할 부분이다.

Fig. 6은 숲가꾸기 산물들로부터 제조된 칩들을 수종별로 일정 비율로 혼합한 후 일정 조건 하에서 크라프트 펄프를 제조하여 해당 펄프의 인열 및 파열강도를 측정된 값들과 그래프이다. 숲가꾸기 산물들로만 혼합된 칩들로 제조된 크라프트 펄프들 (MLB27-MLB34)의 인열강도 및 파열강도는 각각 3.6-3.8 mN·m²/g, 0.74-0.76 kPa·m²/g였고, 이것들을 수입산 칩들과 일정 비율로 혼합하여 제조한 크라프트 펄프들 (MLB35-MLB40)의 인열 및 파열강도는 각각 3.6-3.7 mN·m²/g, 0.74-0.80 kPa·m²/g로 인열강도와 파열강도에 있어서 큰 차이를 보이지 않았다. 무림P&P(주)에서 사용하는 국내산 활엽수 혼합 수종으로 제조

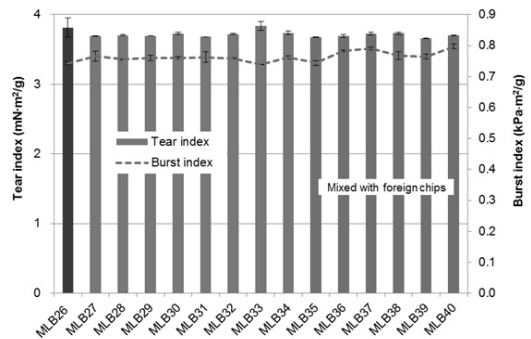


Fig. 6. Tear index and burst index of kraft pulps made of wood chips in different mixing ratios.

된 칩들과 수입산 칩들을 섞어 제조한 크라프트 펄프 (MLB26)의 인열 및 파열강도도 유사한 값들을 나타내었다. 이는 인열강도의 경우 미고해 상태의 펄프로 제조된 수초지로 측정되어 상이한 혼합 조건에도 불구하고 섬유장의 차이가 크지 않은 것에서 그 원인을 찾을 수 있을 것이다. 파열강도의 경우에는 미고해 상태의 수초지가 갖는 약한 섬유간 결합력으로 인해 상이한 수종별 혼합 조건에 따른 파열강도의 차이를 정확히 비교하기가 어려웠던 것으로 사료되었다.

3.6 광학적 특성

3.6.1 미표백 크라프트 펄프의 백색도 비교

Fig. 7은 숲가꾸기 산물로 제조된 목재 칩을 수종별 혼합별로 일정 조건 하에서 펄프화 한 후, 평량 80 g/m²의 수초지를 제작하여 백색도를 측정하여 나타낸 것이다. 오동나무 수종과 혼합된 펄프들이 다른 수종과 혼합된 펄프에 비해 가장 높은 백색도를 나타내었고, 밤나무, 아까시 수종과 수입산 칩들과 혼합된 펄프 (MLB37)에서는 대조군 (MLB26) 보다 낮은 백색도 값을 나타내었다. 두 수종을 제외한 모든 혼합 칩들이 대조군보다 높은 백색도 값을 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 따라서 숲가꾸기 산물 수집 시 밤나무와 아까시 수종에만 별도로 분리하는 작업이 필요하다고 판단되었다.

3.6.2 표백 크라프트 펄프의 백색도 비교

Fig. 8은 Fig. 7에서 사용된 각 혼합 조건별 미표백 크라프트 펄프를 4단 표백한 후 백색도를 비교한 그래프이다. 표백 후에도 숲가꾸기 산물로만 제조된 표백

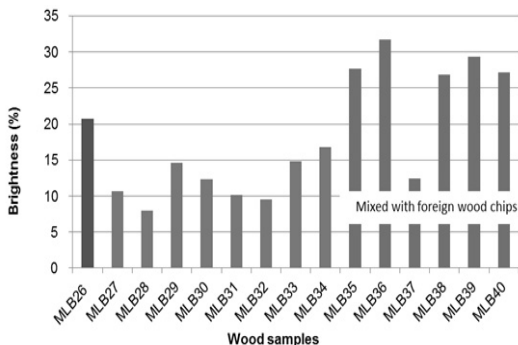


Fig. 7. Brightness of kraft pulps from wood chips with different mixing ratio.

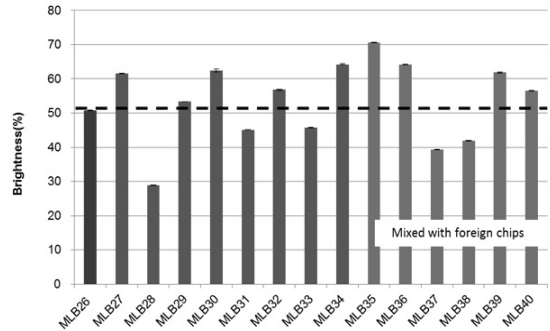


Fig. 8. Brightness of kraft pulps made from wood chips with different mixing ratios.

펄프의 백색도는 미표백 펄프에서와 마찬가지로 아까시 수종이 포함된 표백 펄프(MLB28, MLB31, MLB33)의 경우 대조군 (MLB26)보다 낮은 백색도를 나타내었다. 이는 Fig. 4에 나와 있는 카파가와 밀접한 관련이 있고, 이를 통해 높은 카파가를 갖는 혼합 수종의 펄프들이 표백 후 백색도에도 부정적 영향을 미침을 확인할 수 있었다. 또한 숲가꾸기 산물들을 수입산 칩들과 혼합시켜 제조한 표백 펄프에서도 아까시와 밤나무 수종이 포함된 펄프 (MLB37, MLB38)의 경우 대조군보다 낮은 백색도를 나타내었다. 결론적으로 숲가꾸기 산물들은 수입산 목재 칩들과 함께 사용한다면 광학적 성질에 긍정적 영향을 기대할 수 있을 것으로 사료되었다. 또한 탈리그닌화 과정과 추가적인 표백 단계를 첨가한다면 상업용 펄프가 가져야 할 88% 이상의 백색도가 달성할 수 있을 것으로 기대되었다.

4. 결론

본 연구에서는 숲가꾸기사업을 통해 발생하는 부산물을 효과적 및 경제적으로 이용하기 위하여 수입산 칩들과 서로 혼합비를 달리한 후 일정 조건에서 크라프트 펄프화하여 물리적 및 광학적 특성을 분석하였다.

1. 펄프의 수율의 경우 오동나무와 일정 비율로 혼합했을 시 대조군에 비해 낮은 수율 값을 나타 내었다. 이를 제외한 모든 수종들은 대부분 대조군과 유사하거나 높은 수율 값을 나타내었다.
2. 섬유장 및 조도 값은 오동나무 수종과 혼합한 크라

프트 펄프를 제외 한 모든 수종이 대부분 1 미만의 낮은 조도 값을 나타내었고, 섬유장 또한 대조군과 비슷한 값을 확인 할 수 있었다.

3. 혼합비를 달리하여 크라프트 펄프화한 펄프의 물성 경우, 파열강도와 인열강도는 대조군과 유사하거나 혹은 더 높은 강도 값을 나타내었다. 하지만 인장강도의 경우, 아까시, 오동나무와 혼합한 수종에서 낮은 강도 값을 나타내었다.
4. 광학적 특성의 경우 밤나무 수종과 일정 비율로 혼합한 펄프에서 대부분 대조군보다 낮은 백색도 값을 나타내었다.

결론적으로 숲가꾸기 산물들을 펄프 제지 산업에 이용했을 시 부정적인 영향을 미치는 요인은 거의 발견되지 않았다. 단지 밤나무 수종과 아까시 수종과 혼합한 수종에서 백색도를 저하시켜 이 두 수종은 높은 백색도를 요하는 지종에는 제외할 필요가 있다. 이처럼 숲가꾸기사업과 같은 국가 주도 사업을 잘 이용한다면 원료의 상당 부분을 수입에 의존하고 있는 국내 제지산업에

좋은 대안이 될 수 있을 것이다.

인용문헌

1. Korea Forest Service, 2011 Annual Report on the Trends of Forest and Forestry in Korea.
2. 민경택, 장철수, 허경태, 기후변화에 대응한 목재수급 정책과제, 2011 한국농촌경제연구원 정책연구보고.
3. 산림청, 목재 펄릿의 에너지 활용대책(2009).
4. 김정대, 박준석, 도인환, 배재근, 목질계 바이오매스 에너지화를 위한 처리 기술 및 방안 검토, 유기성자원학회 2008년 공동 심포지엄 및 춘계학술발표회, pp 97(2008).
5. Argyropoulos, D.S., Materials, Chemicals, and Energy from Forest Biomass, American Chemical Society, 2007.
6. Macleod, M., The top ten factors in kraft pulp yield, Paperi ja Puu, 89(4): 1-7(2007).
7. Nanko, H., Button, A. and Hillman, D., Atlas of Market Pulps, WOMP and LLC (2003).