

숲가꾸기 산물의 최적용도 개발을 위한 연구 (제1보)

- 단일 수종으로 제조된 크라프트 펄프의 특성 연구 -

박현진 · 김철환[†] · 이지영¹ · 이경선 · 이지영 · M.I. Sheikh
· 심성웅 · 임수진 · 이영민² · 안병일³

접수일(2012년 9월 19일), 수정일(2012년 10월 11일), 채택일(2012년 10월 20일)

Optimum Use of Forest Biomass Generated from the National Forest Management Operation (Part 1)

- Study of Characteristics of Kraft Pulpes Made from Single Wood
Species -

Hyun-Jin Park, Chul-Hwan Kim[†], Jee-Young Lee¹, Gyeong-Sun Lee, Ji-Young Lee,
M.I. Sheikh, Sung-Woong Sim, Su-Jin Yim, Young-Min Lee² and Byung-il Ahn³

Received September 19, 2012; Received in revised form October 11, 2012; Accepted October 20, 2012

ABSTRACT

This study was carried out to investigate pulping properties of the forest biomass arising from the national forest management operation. The forest biomass was collected and classified into many groups according to their species and age. After the chips were made from the forest biomass, the measurement of chip size and chemical analysis were performed. To make the pulps from the forest biomass, the kraft pulping was applied and thereafter the physical and optical properties of kraft pulps were measured. The pulp fibers from the forest biomass had the similar mean fiber length, but their properties became different according to wood species and ages. Differently from the other species, kraft pulps from chestnut wood had the highest kappa number. Acacia, paulownia and chestnut woods made kraft pulps with lower tensile strength and brightness than the others. It could be concluded that acacia, paulownia and chestnut woods

본 논문은 2011년도 산림과학기술개발사업 과제의 지원으로 수행되었습니다.

• 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원 (Dept. of Forest Sciences/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

1. 경상대학교 임산공학과 부교수

2. (주)동우펄프하이텍

3. 고려대학교 식품자원경제학과

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

must be screened out in order to make a good quality of kraft pulps while being collected during Forest Management Operation.

Keywords : forest biomass, forest management operation, kraft pulp, pulp properties, tensile strength

1. 서론

현재 국내에서 발생하고 있는 산림바이오매스에 대한 활용 대안은 다각적으로 모색되고 있으나 각 대안이 가져오는 경제적인 가치나 비용에 대한 분석은 심층적으로 이루어지지 못하고 있어 경제적·효율적 이용이 저해되고 있는 실정이다. 임목 부산물의 일종인 산림 바이오매스는 산림청에서 시행하는 숲가꾸기사업을 통해 상당량 발생하고 있다. 2009년 숲가꾸기사업을 통해 발생한 임목생산량은 3,065천 m^3 로 2007년에 비해 약 2.5배 증가한 것으로 보고되고 있다.^{1,2)} 산림청에서도 2007년도부터 산림바이오매스 활용 촉진사업을 정책사업으로 전환하면서 산림바이오매스의 에너지화에 집중하고 있다.^{3,4)}

현재 중동위기와 석유자원의 고갈 등 에너지 위기에 대한 우려가 높아지면서 화석연료 대체를 목적으로 한 바이오에너지 사용에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내에서도 산림에서 발생하는 숲가꾸기사업 산물들은 목재 펠릿이라는 그린에너지원에 대한 관심이 집중되면서 일차적으로 목재 펠릿의 원료로 활용하는 것에 초점을 맞추고 있다.⁴⁾ 국내의 연간 임목생산 규모가 80만-100만 톤에 불과한 국내 여건에서 정부 주도로 집중 육성하고 있는 목재 펠릿 공급은 숲가꾸기 산물에 의존하지 않을 수밖에 없다.²⁾ 산림청에서는 목재 펠릿의 공급량을 2012년까지 국내에서 40만 톤, 외국에서 35만 톤을 공급할 계획을 세우고 있는데, 국내산 펠릿 40만 톤 생산을 위해서는 상당량의 숲가꾸기 산물을 원료로 이용할 수밖에 없다.^{2,4,5)} 산림청에서 정책적으로 추진하고 있는 목재 펠릿 공급량 확대를 위한 목재 자원의 용도 집중은 산림바이오매스의 균형적 이용 측면에서, 그리고 경제적 이용 측면에서 간과하고 있는 점이 있다.

펄프산업을 예를 들면, 국내 펄프 자급율은 약 20% 수준으로 나머지 80%는 수입에 의존하고 있지만 국내 제지 산업의 지류 생산량은 세계 9위 수준이다.^{6,9)} 국내

에서 소비되는 화학펄프의 양은 200만 톤으로 이중 약 20%에 해당하는 40만 톤을 무림P&P(주) 온산공장에서 생산하고 있고, 향후 활엽수 표백크라프트 펄프공정을 현대화하여 펄프 생산량을 증산할 것으로 예상되고 있기 때문에 이를 위한 원재료 공급이 매우 중요하다. 현재 원재료 가격 하락으로 인한 반사 이익을 보고는 있지만 장기적으로 볼 때 원재료 공급이 국내 유일의 화학펄프 공장의 성과와 매우 밀접한 관련이 있다. 현재 무림P&P(주)에서는 원재료인 칩을 태국(유칼립투스), 인도네시아(아까시나무), 베트남(아까시나무) 등지에서 연간 50만 톤 정도를 수입하고 있으며 국내 수종으로는 활엽수 혼합 수종으로 제조된 칩을 약 21만 톤 정도 사용하고 있다.²⁾ 신문용지 제조업체인 전주페이퍼에서는 국내산 소나무 수종인 육송으로부터 제조된 칩을 100% 사용하는데 약 7만 5천 톤 정도에 해당한다. 기타 섬유판, 기계펄프 제조회사에서도 호주 등지에서 수입하고 있는데 2010년 기준 목재 칩의 수입량은 약 75만 3천 톤 (약 812억 원)에 이른다.⁹⁾ 이와 같이 펄프의 종류에 관계없이 펄프 제조에 사용되는 목재 칩의 상당량을 수입에 의존하고 있고, 이로 인해 많은 외화가 국외로 유출되고 있는 실정이다.

결과적으로 이들 원료의 대부분은 대부분 수입에 의존하고 소량만 국산재로 충당하고 있기 때문에 국내 펄프 자급률을 높이기 위해서는 펄프용 원목의 국내 공급이 매우 중요하다. 따라서 펄프 원목 수입이 95%에 이르는 국내 펄프회사의 원료 자급화에 도움을 줄 수 있는 정책 보완이 필요하고 탄소배출권의 제약에 따른 펄프 원목 별채의 제약이 심화됨에 따라 원활한 원료 공급을 위한 대응책 마련 또한 매우 시급하다. 이를 위해서는 국내에서 정부 사업에 의해 진행되는 숲가꾸기사업의 부산물로 발생하는 목재 자원의 경제적 및 효율적 이용에 대해서 심각히 고려해 볼 필요가 있다. 특히 목재 자원의 공급이 극히 부족한 국내에서 바이오에너지의 일종인 목재 펠릿과 같이 연소시켜 에너지원을 생산하는

것에 숲가꾸기사업의 산물을 대량 사용하고자 하는 정책이 만들어지고 있어 안타까움을 더하고 있다.

펠릿의 원료가 되는 목재 자원은 다양한 용도를 갖는 매우 귀중한 원료이다. 만약 펠릿의 원료가 되는 목재 자원을 펄프용 원재료로 사용한다면 종이의 원료인 펄프 생산이 가능하고, 또한 크라프트 펄핑 공정에서 나오는 부산물인 흑액 (black liquor)을 농축한 후 회수보일러 (recovery boiler)나 가스화 공정을 거쳐 친환경 전기 및 스팀, 그리고 바이오에너지, 바이오케미컬 등을 생산하여 펄프 및 제지업체에 부가적인 이익 창출과 탄소 중립적 공정 운영을 가능하게 한다.¹⁰⁾ 뿐만 아니라 펄프로 생산된 종이는 무한 재활용이 가능한 친환경 자원으로 산림자원의 보호에 일조할 수 있다. 화석 연료의 연소로 인한 온실가스의 발생을 방지하기 위한 목재 펠릿의 사용은 원재료 자체가 갖는 활용 가능성에 대한 가치를 낮게 평가하는 것이라 할 수 있다. 따라서 원재료의 가치를 극대화시키기 위해서는 단 한 순간의 연소로 인한 가치 상실을 지양하고 제품 생산과 함께 파생되는 다양한 부가적 가치에 대한 고려가 반드시 이루어져야 할 것으로 보인다.

본 연구에서는 산림청에서 추진하는 숲가꾸기사업에서 발생하는 산물을 효과적으로 이용하기 위한 제지용 원료로서의 적합성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 숲가꾸기사업 산물들을 이용하여 크라프트 펄프를 제조하였고, 이들 펄프의 물리적 특성을 분석하였다. 또한 숲가꾸기사업의 산물로 제조된 크라프트 펄프를 국

내에서 사용되는 수입용 칩으로 제조된 펄프와 비교하여 그 펄프 적성을 평가하였고, 이를 통해 연소용 원료로만 인식되고 있는 목재 자원을 귀중한 펄프용 원료로도 충분히 활용 가능함을 보이고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

본 실험에서 사용한 숲가꾸기 산물은 지리산 인근 지역 산림조합중앙회에서 수거해 놓은 수종들을 무작위로 수집한 후 수종 및 수령별로 분류하여 사용하였고, 그 종류는 Table 1과 같다. 숲가꾸기 산물들은 체계적 및 계획적으로 분류되지 않기 때문에 수종과 수령의 구분이 제대로 이루어지지 않은 상태이다. 이로 인해 공시 재료 중에서 참나무 2년생과 오동나무 4년생과 같이 잔가지 형태의 가치가 포함될 수 있음을 가정하여 함께 사용하였다. 이들 공시 재료들은 펄프화에 앞서 수피를 모두 제거하였다. 여기서 대조군으로 현재 무림P&P(주)에서 사용하는 아열대산 활엽수칩과 국내산 활엽수 혼합수종을 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 크라프트 펄프화

숲가꾸기 산물의 펄프화를 위해서는 크라프트 펄프화를 적용하였다. 일반적으로 크라프트 펄프화법은 리

Table 1. Classification of wood species by wood ages

Symbol	Wood species	Ages (year)
SLB7, SLB8	벚나무 (<i>Prunus serrulata</i>)	7, 9
SLB9, SLB10, SLB11	밤나무 (<i>Castanea crenata</i>)	6, 8, 10
SLB12, SLB13	오동나무 (<i>Paulownia tomentosa</i>)	4, 8
SLB14, SLB15, SLB16	아까시나무 (<i>Robina pseudoacacia</i>)	7, 15, 24
SLB17, SLB18, SLB19	참나무 (<i>Quercus boissieri</i>)	2, 15, 24
SNB20, SNB21	적송 (<i>Pinus densiflora</i>)	14, 24
SLB22	IA (Indonesia Acacia)	N/A*
SLB23	TE (Thailand Eucalyptus)	N/A
SLB24	VA (Vietnam Acacia)	N/A
SLB25	KO (Korean Mixed Hardwoods)	N/A

* Not available

그린 제거 속도가 빠르고 수지와 같이 목재에서 쉽게 발견되는 오염물질에 대한 내성을 가지고 있어 이상적인 펄프화 방법으로 고려되었다. Table 1에 나타나 있는 수종별, 그리고 영급별로 칩을 제조한 후 실험실용 다이제스터를 이용하여 크라프트 펄프를 제조하였다. 원료 종류별로 제조된 크라프트 펄프의 특성을 비교, 분석하기 위해 모든 원료에 대해 리그닌 제거 효율을 높이기 위해 강한 조건, 즉, 황성알칼리도 20%, 황화도 35% 조건(액비 4:1)에서 210분 동안 다이제스터에서 증해하였다. 증해시 최고 온도는 170°C, 최고 온도까지 도달 시간은 90분, 그리고 최고 온도에서 120시간 유지시킨 후 증해를 완료하였다. 펄프 수율은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

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

(W_1 =oven-dried weight of pulp, W_2 =oven-dried weight of wood chips)

그리고 제조된 크라프트 펄프의 섬유장과 조도는 Metso사의 FiberLab을 사용하여 측정하였다.

2.2.2 크라프트 펄프의 물성 측정

크라프트 펄프 자체의 특성을 알아보기 위하여 여수도를 측정하였다. 각각의 원료가 갖는 최초의 여수 특성이 지료조성단계에서 리파이닝의 방법 및 정도에 영향을 미치기 때문에 ISO 5267에 근거하여 Canadian freeness 시험을 실시하였다. 그리고 숲가꾸기 산물로 제조된 크라프트 펄프의 탈리그닌화 정도, 표백 특성 등을 알아보기 위하여 ISO 302에 근거하여 카파가(kappa number)를 분석하였다. 크라프트 펄프의 백색도 측정을 위해서는 ISO 2470에 근거하여 L&W Elrepho 분광기를 사용하여 ISO 백색도를 측정하였다. 크라프트 펄프의 물리적 성질은 ISO 5270에 의거하여 인장강도, 인열강도, 그리고 파열강도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 섬유장 및 조도

펄프 섬유의 길이는 종이 강도에 절대적으로 영향을 미친다. 기계펄프의 경우를 제외하고는 일반적으로 펄프 섬유의 길이가 증가하면 보다 더 강한 종이 만들어지는 것으로 알려져 있지만 종이 지합에는 부정적 영향을 미칠 수 있다.^{11, 12)} 그리고 펄프 섬유의 조도는 종이 구조에 큰 영향을 미친다.¹¹⁻¹³⁾ 조도가 큰 섬유들은 섬유들 자체가 더 강해지기 때문에 더 강한 종이, 곧 판지를 만들게 된다. 하지만 인쇄용지의 경우에 있어서는 양상이 달라진다. 조도가 큰 섬유들은 섬유 강도, 섬유 파괴, 섬유간 결합에 부정적 영향을 미치고 결국 종이의 지합을 불량하게 한다.¹³⁾ 따라서 펄프 섬유의 길이와 조도는 지중에 따라 종이의 물성에 매우 중요한 영향을 미치기 때문에 매우 중요하게 고려되어야 할 펄프 섬유의 물성이다.

Fig. 1은 숲가꾸기 산물들을 수종별 및 수령별로 분류한 후 특정 조건 하에서 크라프트 펄프를 제조하여 각 펄프들의 평균 섬유장과 조도를 측정하여 비교한 것이다. 침엽수 적층에 해당하는 SNB20과 SNB21을 제외하고 활엽수들의 평균 섬유장은 약 0.72 mm 정도로 모두 유사한 길이를 가졌고, 무림P&P(주)에서 현재 사용하는 수입산 칩들로 제조된 크라프트 펄프의 평균 섬유장과 유사한 값들을 가지고 있는 것으로 분석되었다. 섬유 조도의 경우는 오동나무와 아까시나무 수종을 제외하고 대부분의 펄프 섬유들이 0.1-0.5 mg/mm의 범위에 해당되는 값을 나타내었기 때문에 섬유의 유연성 측면에서 매우 우수한 범위에 해당되었다. 결론적으로 숲가꾸기사업을 통하여 수집되는 산림바이오매스는 다양한 수종과 수령으로 구성되어 있어 일부 수종의 경우에는 펄프용 칩으로 사용되기 어려운 측면이 있는 것으로 인식되어 왔다. 하지만 본 연구를 통해서 밝혀진 결과 숲가꾸기 산물들은 체계적으로 분류된 산림바이오매스 자원으로 취급되지 않을 지라도 화학펄프용 원료 자원으로서 충분한 가치가 있음이 입증되었다.

3.2 펄프 수율

크라프트 펄프의 수율은 주로 목재의 화학 조성, 목재의 해부학적 특성(섬유의 비율), 칩 크기 및 품질, 증해 조건(유효알칼리, 황화도, 온도, 카파가), 증해 장치 등에 의해 영향을 받는다.¹⁴⁾ 숲가꾸기 산물의 경우 다양한 수종 및 수령이 혼재되어 수집되므로 이들 산물의

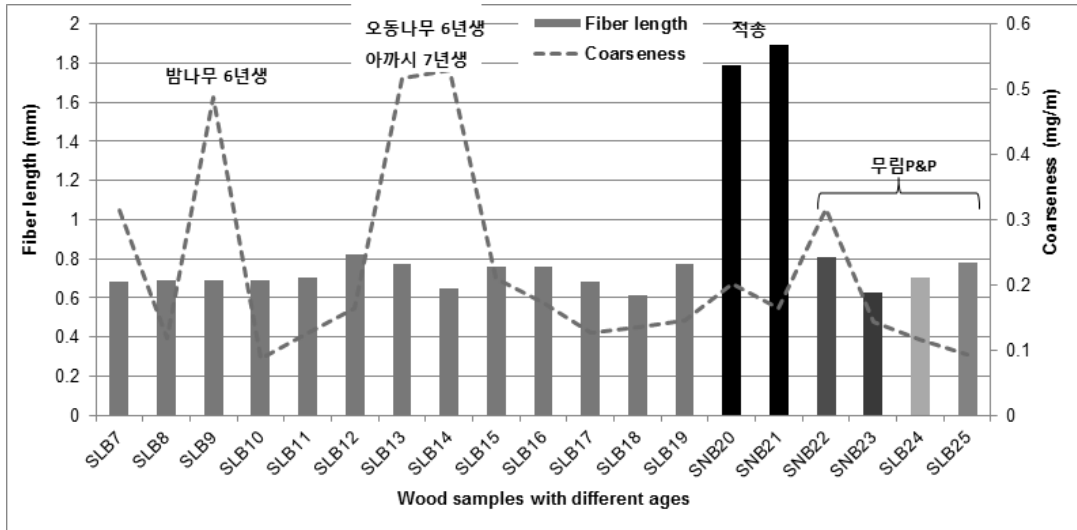


Fig. 1. Fiber length and coarseness of kraft pulp fibers made of different wood species.

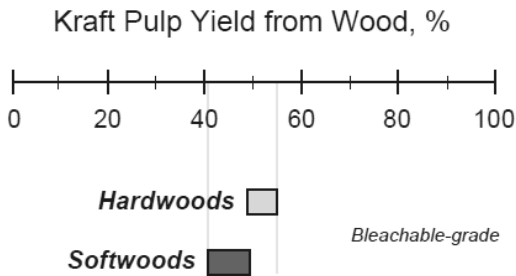


Fig. 2. Yield range of kraft pulp from hardwoods and softwoods.¹⁴⁾

화학 조성이나 해부학적 특성에 큰 영향을 받게 된다. Fig. 2는 세계적으로 널리 사용되는 수종을 이용하여 크라프트 펄프를 제조할 때 표백용 펄프 제조에 이용되는 미표백 크라프트 펄프의 수율 범위를 보여주고 있다. 활엽수의 경우 45-55%, 침엽수의 경우 40-50%에 해당된다.¹⁴⁾

Fig. 3은 숲가꾸기 산물을 수령별·수종별로 구분한 후 크라프트 펄프를 제조한 후 그 수율을 비교한 것이다. 동일 펄핑 조건에서 침엽수 적송에 해당되는 SNB20과 SNB21을 제외하고는 대부분의 활엽수 수종에서 대체로 40% 이상의 수율을 나타내었다. 국내에서는 침엽수 크라프트 펄프는 생산되지 않아 큰 의미가 없지만 섬유판이나 기타 신문용지를 생산하는 열기계 펄프를 생산할 경우에는 침엽수종이 이용되기 때문에 화

학펄프 수율과는 다른 관점에서 비교하여야 한다. 하지만 적송의 수율이 30% 미만으로 나온 것은 성숙재임에도 불구하고 매우 낮은 값이라 할 수 있어 이에 대한 원인 규명을 위해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단되었다. 활엽수의 경우 아까시나무 7년생과 참나무 2년생으로 제조하였을 때 크라프트 펄프의 수율이 38-39% 범위에 해당되었으며 특히 참나무 중에 해당하는 밤나무 종류에서 약 50% 수준에 달하는 가장 높은 수율을 얻을 수 있었다. 이는 현재 국내로 수입되는 아열대산 아까시나무 및 유칼리보다도 높은 수율에 해당되었고, 그 외 수종인 벗나무, 오동나무, 아까시나무, 참나무 등도 40% 이상의 수율을 나타내었다. 보통 펄프용 용재로 사용되는 목재는 14년 이상 된 것을 사용한

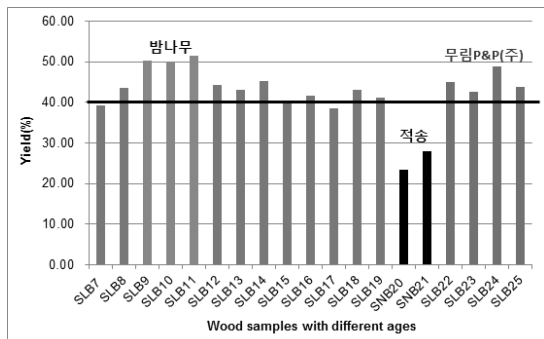


Fig. 3. Yield of kraft pulps made of different wood species.

다. 결론적으로 수중에 따른 차이가 있기는 하지만 4년 이상의 수령을 갖는 활엽수종으로 크라프트 펄프를 제조할 때 수입산 수종과 비교하여 충분히 경제성 있는 펄프 제조가 가능함을 확인할 수 있었다.

3.3 벌크

종이의 벌크는 때로 밀도보다도 더 편리하게 사용된다. 활엽수는 백상지 생산에 있어서 단섬유의 주원료이다. Fig. 4는 숲가꾸기사업을 통해 발생하는 산물들을 수종 및 수령별로 분류한 후 이것들을 이용하여 크라프트 펄프를 제조하였고, 이들 펄프가 갖는 벌크를 비교한 것이다. 아까시나무 24년생으로 제조한 크라프트 펄프를 제외하고는 수종이나 수령에 관계없이 3.0-4.0 cm³/g의 벌크 값을 나타내었다. 보통 상업용으로 유통 중인 침·활엽수 표백크라프트 펄프의 벌크 값은 1.4-3.4 cm³/g인데¹⁵⁾ 비해 국내산 수종으로 제조된 펄프는 이보다 큰 값을 나타내고 있다. 이는 무림P&P(주)에서 사용하는 국내산 활엽수 혼합 수종이나 수입산 칩들로 제조된 크라프트 펄프의 벌크 값도 유사한 결과를 나타내었다. 보통 벌크가 낮으면 섬유들이 갖는 유연성이 매우 좋기 때문에 섬유간 수소결합에 매우 긍정적인 영향을 미친다. 하지만 낮은 벌크를 갖는 펄프는 매우 조밀한 종이를 만들게 되고 결국 그 종이는 두께 감소를 초래하여 벌크를 통한 원가절감을 기대하기 어렵게 한다. 따라서 이를 보완하기 위하여 기계펄프를 첨가하여 종이의 벌크를 보완해 주기도 한다. 숲가꾸기 산물로부터 제조한 펄프가 일반 상업용 펄프의 벌크보다 높은 값을 나타내는 것은 상이한 크라프트 펄프 조건에서 고해를 하지 않고 미표백 상태(여수도 640-720 mL CSF)에서

벌크 값을 측정했기 때문에 이와 같은 결과가 나온 것으로 사료된다. 또한 펄핑 조건의 차이에 따라 벌크가 달라질 수도 있다. 참고로 표백과정을 거치지 않은 화학기계펄프의 경우 표백크라프트 펄프의 벌크보다 높은 4 cm³/g 이상의 벌크 값을 갖는 종류가 상당수 있다.¹⁵⁾ 결론적으로 숲가꾸기사업을 통해 수집되는 산물의 수령이나 수중에 관계없이 약 3 cm³/g 수준의 벌크 값을 갖는 산물은 밤나무와 아까시나무 수종이고 나머지는 이 보다 높은 벌크를 기대할 수 있었다.

3.4 카파가

화학펄프가 갖는 상대적 경도, 표백성, 혹은 탈리그닌화 정도를 결정하기 위해 카파가를 측정한다. 즉, 카파가는 펄프 내에 잔류하는 리그닌의 양을 보여준다. 그러나 카파가는 수종과 탈리그닌화 과정에 따라 달라지기 때문에 카파가와 리그닌 함량 사이에 일반적이고도 명확한 관련성이 있는 것은 아니다.¹⁶⁾ Fig. 5는 숲가꾸기사업을 통해 발생한 산물들을 수종별, 그리고 수령별로 분류한 후 동일 조건 하에서 크라프트 펄프를 제조하여 각각의 카파가를 비교한 것이다. 밤나무 수종으로 제조된 크라프트 펄프의 카파가는 무림P&P(주)에서 사용하는 목재 칩으로 제조된 펄프보다 높은 카파가를 나타내었고, 나머지는 유사하거나 낮은 카파가를 나타내었다. 이는 Fig. 3의 수율 값과 관련지어 비교해 보았을 때 리그닌 함량이나 리그닌의 구조가 분석되지 않은 상태에서 명확한 결론을 내리기는 어렵지만 밤나무 수종은 펄프화 약품에 대해 저항하는 성질이 강하여 높은 수율을 갖게 한 것으로 추정된다.

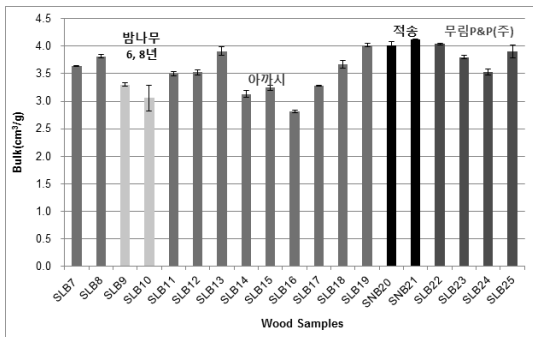


Fig. 4. Bulk of paper made of kraft pulps from different wood species.

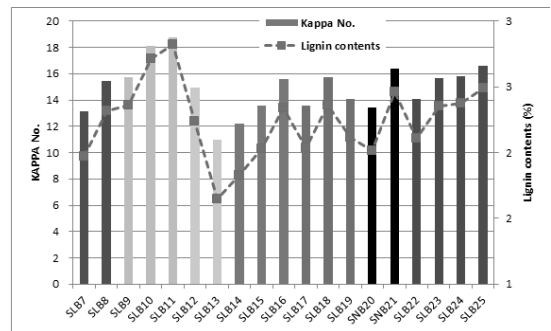


Fig. 5. Kappa number of kraft pulps made from different wood species.

3.5 크라프트 펄프의 물리적 성질

Fig. 6은 숲가꾸기 산물들을 수종 및 수령별로 분류한 후 특정 조건 하에서 크라프트 펄프를 제조하여 그 펄프의 열단장을 비교한 것이다. 열단장은 펄프 섬유가 갖는 강도, 섬유 결합력, 그리고 섬유장의 지표라 할 수 있다. 수령이 10년 미만인 오동나무와 아까시나무 수종으로 제조된 펄프는 낮은 열단장을 나타내었고, 반면에 뽕나무와 밤나무, 참나무 수종으로 제조된 크라프트 펄프가 매우 높은 열단장을 나타내었고 수입산 칩들로 제조된 펄프의 열단장보다도 큰 값에 해당되었다. 앞서 살펴본 바와 같이 숲가꾸기 산물들로부터 제조된 산물들의 섬유장이 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 보아 펄프 섬유의 강도 및 결합력이 수입산 칩들보다 우수함을 의미하는 것이다. 무림P&P(주)에서 사용하는 활엽수 혼합수종의 경우 숲가꾸기 산물들로부터 제조된 것들보다 낮은 0.38 km로 가장 낮은 열단장을 보였다. 따라서 열단장 값이 낮게 나온 숲가꾸기 산물과 기타 활엽수 혼합수종들은 국내에서 사용되는 수입산 칩에 혼합하여 사용하면 일정 수준 이상의 인장강도를 갖는 펄프 제조가 가능할 것으로 예상되었다. 보통 칩입수 펄프의 열단장은 수종과 펄프화 조건 등에 따라 다르지만 대체로 1-5 km의 범위에 해당하는 열단장을 가지지만¹⁵⁾ 적송으로 제조된 크라프트 펄프의 열단장은 칩입수의 평균 열단장보다 다소 낮은 0.8-1.1 km 수준의 열단장을 나타내었다.

Fig. 7은 숲가꾸기 산물들을 수종 및 수령별로 분류한 후 이들로부터 제조된 칩들을 이용하여 크라프트 펄프를 만들어 이들 펄프의 인열 및 파열강도를 수입산 칩

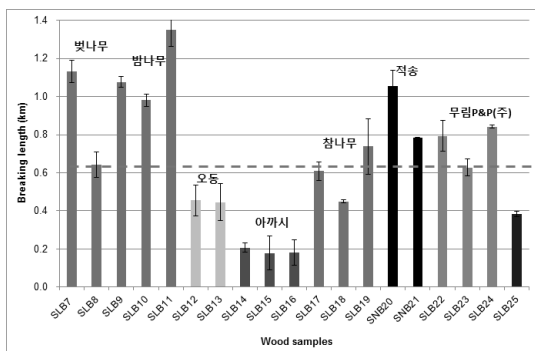


Fig. 6. Breaking length of kraft pulps made from different wood species.

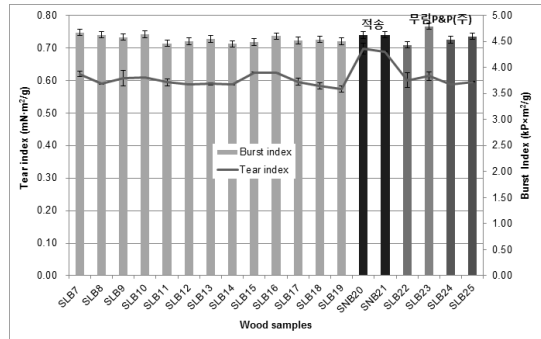


Fig. 7. Tear index and burst index of kraft pulps made from different wood species.

들과 국내산 활엽수 혼합수종으로 제조된 칩들로부터 제조된 크라프트 펄프의 인열 및 파열강도와 비교한 그래프이다. 숲가꾸기 산물의 수종 및 수령에 관계없이 크라프트 펄프의 인열강도는 3.5-3.9 mN·m²/g, 그리고 파열강도는 0.71-0.75 kPa·m²/g였고, 무림P&P(주)에서 사용하는 수입산 칩들과 국내산 활엽수 혼합 칩들로부터 제조된 크라프트 펄프의 인열강도는 3.6-3.8 mN·m²/g, 그리고 파열강도는 0.71-0.74 kPa·m²/g로서 거의 유사한 강도 값을 나타내었다.

3.6 크라프트 펄프의 백색도

크라프트 펄핑 동안 목재 칩 속에 포함되어 있는 화학성분들 중에서 리그닌의 90%, 헤미셀룰로오스의 60%, 그리고 셀룰로오스의 15%가 용해되어 제거된다.¹⁷⁾ 잔류 리그닌의 함량에 따라 미표백 펄프의 백색도는 달라지지만 보통 미표백 크라프트 펄프의 백색도는 보통 15-30% ISO 수준이다. Fig. 8은 숲가꾸기 산물로부터 제조된 크라프트 펄프의 ISO 백색도를 보여주고 있다. 수종별로 상이한 백색도를 나타내었지만 카파가가 높았던 밤나무 수종과, 아까시나무 수종이 가장 낮은 7-17% 수준의 백색도를 나타내었고 카파가가 가장 낮았던 8년산 오동나무가 가장 높은 백색도인 36%를 나타내었다. 이는 해당 수종이 갖는 밀도 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 뽕나무와 참나무의 경우 수령에 관계없이 약 20% 이상의 백색도를 나타내어 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 무림P&P(주)에서 사용하는 국내산 활엽수 혼합수종(SLB25)의 경우 인도네시아, 베트남, 태국 등지에서 수입된 칩으로 제조된 펄프(21-23%)에 비하여 낮은 백색도(14%)를 나타내었다.

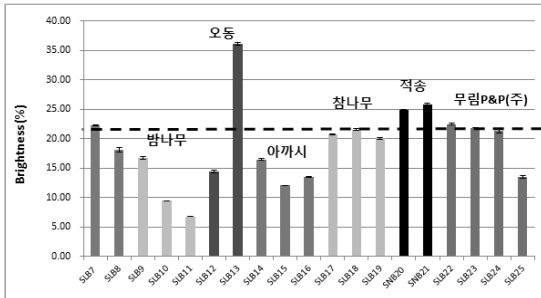


Fig. 8. Brightness of kraft pulps made from different wood species.

결론적으로 숲가꾸기 산물들 중에서 밤나무와 아까시 나무 수종의 경우 백색도에 부정적 영향을 미칠 수 있기 때문에 산물 수집 중에 별도 분리가 반드시 필요한 것으로 판단되었다.

4. 결론

숲가꾸기사업을 통해 발생하는 다양한 수목자원을 경제적 및 효율적으로 이용하기 위한 목적의 일환으로 수령이 상이한 수종들을 서로 혼합하지 않고 단일 수종으로만 크라프트 펄프를 제조한 후 그 물성을 비교 분석하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동일 조건으로 크라프트 펄프를 제조하였을 때 적송을 제외하고는 수령에 관계없이 모든 수종에서 수입산 칩으로 제조된 크라프트 펄프와 유사한 수율을 나타내었다.
2. 카파가의 경우 어두운 재색을 띠는 밤나무 수종을 제외하고는 수입산 칩으로 제조된 크라프트 펄프에 비하여 낮은 값을 나타내었다.
3. 아까시나무와 밤나무를 제외하고는 벌크와 인열 및 파열강도는 수입산 칩으로 제조된 크라프트 펄프와 대체로 유사한 값을 나타내었지만 인장강도에서는 아까시나무와 오동나무로 제조된 크라프트 펄프가 이 보다 낮은 값을 보였다.
4. 백색도의 경우 밤나무, 아까시나무, 그리고 오동나무로 제조된 크라프트 펄프를 제외하고는 수입산 칩으로 제조된 크라프트 펄프와 유사한 값을 나타내었다.

결론적으로 숲가꾸기사업을 통하여 수거되는 바이오매스들 중에서 밤나무, 아까시나무, 오동나무 등과 같은 수종은 크라프트 펄프의 벌크, 카파가, 인장강도, 백색도 등에서 부정적 영향을 미치기 때문에 이들 수종을 선별하여 수거하는 것이 매우 필요한 것으로 판단되었다. 또한 미성숙재가 혼입되는 것도 안정적인 펄프 수율 관리 측면에서 바람직하지 않은 것으로 나타났다.

인용문헌

1. Ahn, B-I, Lee, K-S, Kim, C-H and Lee, J-Y, Estimation of Forest Biomass Arising from Forest Management Operation I, Journal of Korea Tappi 41(4): 15-24 (2009).
2. 산림청, 2010년 산림과 임업동향에 관한 연차보고서, pp317.
3. 석현덕, 민경택, 손철호, 장우환, 목질 바이오매스 열에너지 개발의 경제성 분석과 에너지용 산림폐재의 지속적 확보방안, 한국농촌경제연구원(2005), pp56.
4. 산림청, 목재 펄릿의 에너지 활용대책(2009).
5. 신두식, 목재펠릿산업현황, 산림 1월호: 98-101(2010).
6. 김유진, 국제펠프가격 증기 전망에 따른 국내 제지산업의 수익성 변화, 산업연구(하나금융경영연구소) 제 8호: 5-22(2010).
7. 한국제지공업연합회, 2011년 제지산업통계연보.
8. Kim, C-H, Moon, J-M, Kim, E-G and Ahn, B-I, Input-output Analysis for Pulp, Paper and Paper Product Industries, Journal of Korea Tappi. 42(4): 45-55(2010).
9. Lee, K-H, Kim, C-H, Kim, E-G and Ahn, B-I, Analysis on the Relationship between the Prices of Pulps and Wood Chips, Journal of Korea Tappi. 43(3):128-136 (2011).
10. Argyropoulos, D.S., Materials, Chemicals, and Energy from Forest Biomass: 434-462(2007).
11. Jokinen, O. and Ebeling, K., Flocculation tendency of papermaking fibres, Paperi ja Puu, 67(5): 317-325 (1985).
12. Kerekes, R.J. and Schell, C.J., Effects of fiber length and coarseness on pulp flocculation, Tappi J. 78(2): 133-139 (1995).
13. Horn, R.A., Morphology of pulp fiber from hard-

- woods and influence on paper strength, USDA Research Paper FPL 312: 1-9(1978).
14. Macleod, M., The top ten factors in kraft pulp yield, Paperi ja Puu, 89(4): 1-7(2007).
 15. Nanko, H., Button, A., and Hillman, D., Atlas of Market Pulps, Chapter VII. Market Pulp Atlas, p.113-238 (2004).
 16. Hausalo, T. and Söderhjelm, L., Papermaking Science and Technology, Vo1. 17 Pulp and Paper Testing, Levlin, J-E (ed.), PI and TAPPI Press, p.111-136 (1999).
 17. Smook, G.A., Handbook for Pulp and Paper Technologists, Angus Wilde Publications Inc., pp 78-80 (2002).