

# 제지용 원료로서의 비목재 자원

## 원종명

강원대학교 제지공학과

### 1. 비목재 섬유의 과거, 현재, 미래

#### 전쟁 기간과 1950년대

영국에서 과거에 종이 제조용 원료로 사용되었던 에스파르토(esparto)가 제2차 세계대전이 발발되면서 북미로부터의 유입이 중단됨에 따라 다른 비목재 펄프화가 시도되었으며, 벚짚펄프의 전성기를 이루었던 1945년, 347,000톤의 벚짚펄프가 생산되었으나 과거에 에스파르토에 사용되었던 펄핑 장치, 표백 공정 및 지료조성 시스템이 벚짚펄프에 적합하지 않았을 뿐만 아니라, 벚짚펄프로 만든 종이는 많은 이물질을 포함하였고, 강도도 매우 약했다. 또한 벚짚이 농부들에 의하여 수집 공급되었기 때문에 펄프 및 종이 제조에 적합하도록 사전 처리가 되지 못했다. 전쟁 직 후 품질이 좋고 값싼 목재 펄프가 이용 가능하게 됨에 따라 벚짚 펄프의 생산은 급감되었다.

1950년대 말 강과 그 어귀의 정화 작업을 추진하게 됨에 따라 각종 펄프공장에 대한 조치도 이루어지게 되었다. 영세 펄프 공장들은 약액 회수 장치를 설치하기에는 재정적인 능력이 따르지 못하여 결국 공장 문을 닫게 되었고, 많은 공장들이 스칸디나비아와 북미로 이동을 하게 되었다. 또한 일부 소규모 목재펄프 공장도 문을 닫게 되었다.

#### 1960-1970년대

1960년대 중반 루마니아에서 가동하고 있던 벚짚 펄프 공장은 기존 목재 펄프공장에 단지 칩 제조기(chipper) 대신에 절단기(chopper)를 설치하여 펄프를 생산하였다. 이들은 벚짚이 목재와 다른 독특한 성질을 지니고 있다는 사실을 간과하였고, 결국 많은 문제가 수반되었다. 뒤늦게 탈수 문제가 있음을 인식하였고, 또한 흑액 증발, 약액 회수, 표백 및 지료조성도 문제의 소지가 있음을 알게 되었다. 벚짚펄프는 목재펄프와 같은 정도의 고해가 필요하지 않다는 것을 알게 됨에 따라 벚짚펄프의 탈수 문제에 대

하여 불평을 하는 대신 고택을 감소시켜 에너지와 비용 절감 효과를 얻을 수 있었다.

1974년 오일 위기가 닥침에 따라 목재 운반비의 부담이 가중됨에 따라 다시 근처에서 원료 수급이 가능한 벗짚의 펄프화에 대한 관심이 고조되었고, 영국 정부로부터의 집중적인 재정 지원이 이루어졌었지만, 에너지 위기 및 펄프 공급 부족에 대한 기억을 곧 잊어버리고 벗짚 펄프에 대한 관심이 다시 떨어졌다.

Arthur Staniforth의 노력으로 다행히 벗짚의 이용에 대한 관심이 유지되었고, 1974년 옥스퍼드 벗짚 학술발표회가 열렸다. 이 학술대회의 주제는 벗짚의 완전 이용이었다. 즉 벗짚으로부터 펄프, 약품, 에너지를 동시에 생산함으로써 벗짚 전체를 하나도 버리지 않고 이용하는 방안에 대하여 발표가 이루어졌다.

폴란드, 루마니아, 불가리아, 헝가리 및 그리스에서는 이미 1960년대에 벗짚 펄프공장들이 건설되었으며, 덴마크는 1950년대 초에 이미 이루어졌다. 네덜란드는 아직도 벗짚 펄프공장이 그대로 가동되고 있으며, 이탈리아에서도 아직 많은 벗짚 펄프공장이 가동되고 있고, 터키에도 벗짚 펄프공장이 건설되었었다. 그러나 근대 제지업자들의 의견이 부상됨에 따라 벗짚 펄프공장이 고통을 겪게 되었다. 그럼에도 불구하고 목면, 황마(jute), 아바카, 사이잘, 대마 및 아마와 같은 다른 비목재 섬유들은 그 당시의 많은 저항에도 불구하고 그들의 특수지 제조 분야에서 위치를 유지하고 있었으며, 대나무와 바가스 펄프의 대중화가 시도되었다.

불행하게도 오일 위기와 목재 펄프 공급이 부족했던 시기에 비목재 펄프를 목재 펄프의 대체 수단으로 검토했던 사람들이 아직 펄프 제지산업계에 많이 남아있으며, 이들은 목재 펄프와 비목재 펄프가 서로 보완성을 지니고 있으며, 함께 개발될 수 있음을 이해하지 못했다.

## 1990년대

1900년대에 접어들면서 비목재 섬유 중 벗짚이 주요 비목재 섬유로 고려된 반면, 장섬유를 지니는 아마와 대마는 가격 문제 때문에 그 대상에서 제외되기는 했지만 폐지를 사용하는 지종의 보강용으로 사용될 수 있는 가능성이 인정되었다.

중국에서는 일부의 보다 큰 생산 용량을 지니는 벗짚 펄프공장이 있기는 하지만 대부분이 연산 5,000톤 미만의 공장이 넓은 지역에 분산되어 가동되었다. 물론 영세 규

모가 되다보니 폐액 처리 및 약액 회수 시설이 설치되지 않았다. 최근 중국 정부에서는 환경 악화 문제의 심각성을 인식하고, 폐수 처리 및 약액 회수 시스템의 설치를 법제화하기 시작했고, 이를 감당할 수 없는 공장은 영국에서와 마찬가지로 폐쇄할 수밖에 없는 운명에 처하게 되었다.

### 미래

목재자원이 부족한 나라에서는 현재뿐만 아니라 미래에도 비목재 섬유 자원의 활용에 대한 관심이 계속될 것이나 거대한 자금이 투자되지 않는 한 비목재 펄프화의 발전은 매우 느리게 진행될 것이다. 최근 환경 악화가 심화되고, 온실 가스 배출 감축에 대한 압력 증가는 비목재 섬유의 활용에 대한 관심을 증가시키는 하나의 원인으로 작용될 것으로 예상된다.

## 2. 목재 섬유와 비목재 섬유의 비교

### 비목재 섬유의 분류

비목재 섬유는 그 발생원에 따라 Fig. 1과 같이 농업 폐기물, 산업적인 경작 및 천연적으로 자란 식물로 분류될 수 있다.

	Agricultural byproducts	Industrial crops	Naturally growing plants
Long fiber ↓ Short fiber	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ bagasse</li> <li>■ cereal straw</li> <li>■ rice straw</li> <li>■ bagasse</li> <li>■ cornstalk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ flax</li> <li>■ hemp</li> <li>■ jute (bast)</li> <li>■ kenaf (bast)</li> <li>■ abaca</li> <li>■ sisal</li> <li>■ cotton linters</li> <li>■ kenaf (core)</li> <li>■ jute (core)</li> <li>■ coconut husks</li> <li>■ oil palm bunches</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ sabai</li> <li>■ bamboo</li> <li>■ esparto</li> <li>■ bamboo</li> <li>■ reeds</li> </ul>

Figure 1. Classification of nonwood fibers<sup>1)</sup>.

### 섬유의 성질

비목재 섬유는 목재 섬유에 비하여 더 많은 종류의 섬유를 함유하며, 미세분의 함량이 높다. 목재의 경우와 마찬가지로 섬유의 물리적 화학적 성질이 부위에 따라 다를 뿐만 아니라 동일한 수간 내, 수종, 생육 조건 등 다양한 인자들에 의하여 큰 변이를 나타낸다. 일반적으로 제지에 있어서 단섬유는 활엽수처럼 거동하며, 장섬유는 침엽수 섬유와 같은 거동을 보인다. 일반적으로 아마와 대마와 같은 장섬유의 비목재 섬유는 리그닌 함량이 낮고, 셀룰로오스 함량이 높으나, 헤미셀룰로오스는 다른 비목재 섬유에 비하여 낮다. 목면은 거의 순수한 셀룰로오스로 구성되며, 실리카와 회분 함량이 낮다. 벚짚, 바가스, 에스파르토, 갈대 등은 리그닌 함량이 목재보다 낮으나 헤미셀룰로오스 함량은 높다. 대나무는 침엽수보다 리그닌 함량이 높고, 헤미셀룰로오스 함량은 활엽수와 유사한 것으로 알려져 있다. 밀짚, 벚짚은 회분과 실리카 함량이 높으며, 대나무는 실리카 함량이 낮다. 실리카는 특히 잎에 많이 함유되어 있으며, 토양의 상태에 따라 큰 영향을 받는다.

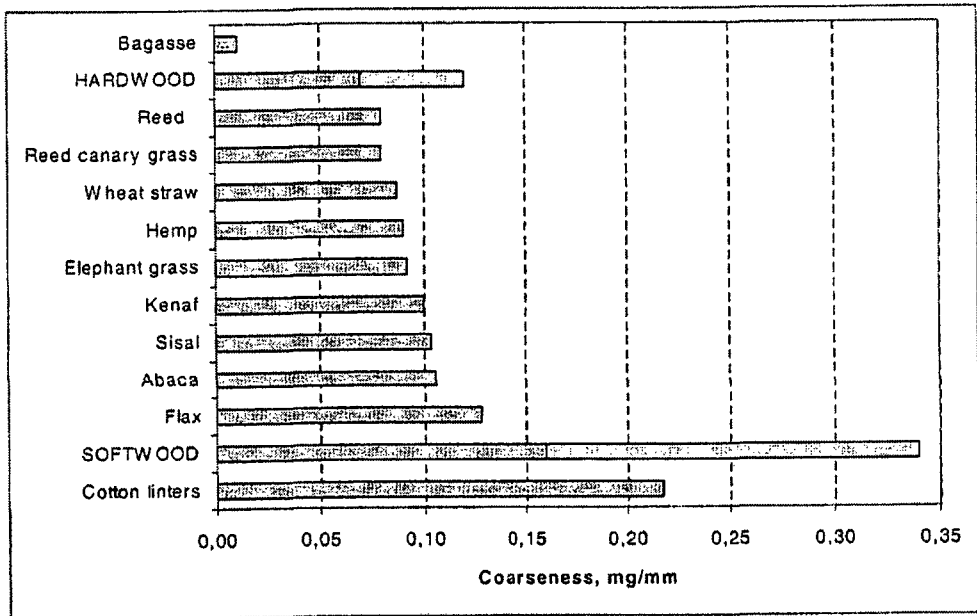


Figure 2. Coarseness of nonwood and wood fibers.

### 섬유의 구조적, 화학적 성질의 영향

앞에서 언급한 바와 같이 비록 일부 비목재 섬유는 리그닌 함량이 높은 경우도 있지만 대부분의 비목재 섬유는 리그닌 함량이 낮고 펄프화에 적합한 구조를 지니고 있기 때문에 목재에 비하여 약한 조건으로 펄프화가 가능하다. 그러나 비목재 섬유의 종류에 따라 서로 다른 특성들을 지니고 있기 때문에 Figure 3에 도시된 바와 같이 생산하고자 하는 종이의 종류와 원료의 화학적 특성을 감안하여 펄프화 방법을 선택하여야 한다. 대부분의 비목재 섬유들이 실리카 함량이 많은 단점을 지니고 있으나 적절한 전처리를 통하여 미세분, 티, 오염물 등을 제거함으로써 펄프 수율의 향상, 표백성 및 제지 공정에서의 문제점들이 해결될 수 있다.<sup>2)</sup> 또한 헤미셀룰로오스 함량이 높은 미세분 함량이 높은 것도 탈수 문제의 원인으로 작용하며, 인쇄 시 린팅 및 피킹과 같은 문제가 발생할 수 있는데, 장섬유의 혼합 및 표면 사이징 처리로 해결될 수 있다.<sup>3)</sup>

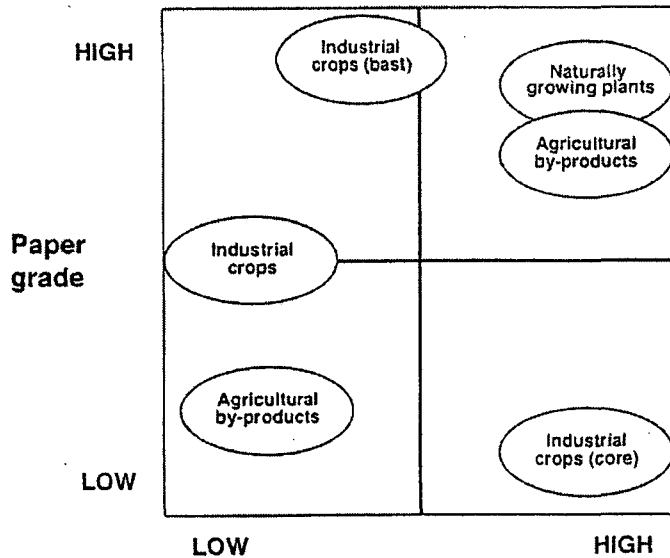


Figure 3. Pulping method for nonwood fibers in different paper grades.

### 제지 원료로서의 잠재성

비목재 섬유는 특별한 용도로 사용되는 장섬유와 별키한 제품의 생산에 사용되는 단

섬유오 나누어질 수 있다. 단섬유의 비목재 섬유가 일반적으로 열등한 성질을 지니고 있는 것으로 알려져 있으나 적절한 기술과 장치가 사용될 경우 비목재 펄프로 목재 펄프의 상당 부분을 대체하는 것이 가능하다.

길고 강한 특성을 지니는 비목재 섬유는 높은 인열강도를 제공할 수 있음과 동시에 낮은 조도(coarseness)를 지니고 있어서 우수한 표면 특성을 제공해준다. 하지만 헤미셀룰로오스의 함량이 낮아 동일 수준의 인장강도를 얻는데 필요한 에너지가 침엽수 펄프보다 높다. 특히 아바카 섬유는 매우 강할 뿐만 아니라 내열성이 매우 우수하며, 사이잘 섬유는 높은 흡습성을 지니고, 목면 섬유는 높은 화학적 순수성을 지닌다.

벼짚, 바가스 및 갈대 섬유는 헤미셀룰로오스 함량이 높은 단섬유와 많은 미세분을 함유하고 있어서 섬유간 결합 측면에서는 유리하나 탈수가 불리한 단점을 지닌다. 그러나 섬유막이 두꺼운 에스파르토 섬유는 높은 벌크를 제공해준다.

#### 비목재 섬유의 용도

양마(kenaf)와 사이잘과 같은 장섬유는 침엽수와 비교할만한 강도적 특성을 지닌다. 아바카, 아마, 대마 및 목면은 섬유가 길고, 조도가 낮으며, 강하여 제품에 우수한 표면 특성과 강도를 제공해줄 수 있다. 이들 섬유는 증권, 산업용지 및 박엽지와 같은 특수지 제조에 사용되며, 특히 높은 강도를 지니고 있어서 목재 펄프와 가격 경쟁만 있다면 저평량 도공 기계펄프 인쇄용지의 보강용으로도 사용될 수 있다.

벼짚, 바가스, 대나무, 갈대와 같은 단섬유 펄프는 인쇄적성이 우수하고 적절한 강도를 제공하기 때문에 필기 인쇄용지 제조 시 활엽수 펄프의 대체가 가능하다. 또한 골심지의 원료로 사용할 경우 힘강성을 개선시켜주는 효과를 얻을 수 있다. 바가스 섬유는 거의 모든 지종의 제조에 사용될 수 있으나 속 부분 함량의 변이가 심해 이 부분의 제거가 필수라 할 수 있다. 에스파르토 섬유는 높은 벌크, 양호한 다공성(잉크 흡수성), 평활도 및 찻수안정성을 필요로 하는 고품질 저평량 인쇄 필기용지의 제조에 적합하나, 비용과 공급에 제한이 따른다. 대나무는 워낙 종류가 많아 그 섬유의 특성도 매우 다양하나 일부 대나무 섬유는 침엽수와 유사한 섬유장을 지니며, 높은 조도 때문에 도공지에의 사용이 곤란하다.

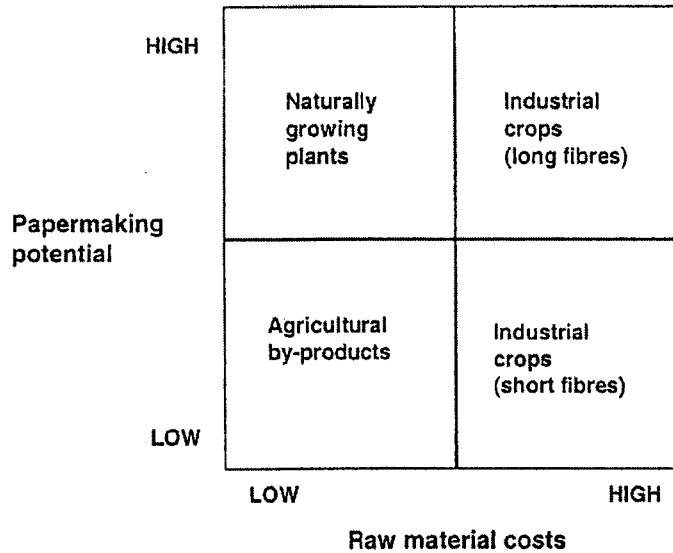


Figure 4. Quality and cost competitiveness of different nonwood raw material.<sup>4)</sup>

### 3. 비목재의 펄프화 기술 개요

#### 1) 전형적인 펄프화 공정

##### - 소오다법

소오다법은 거의 모든 비목재 원료에 적합하며, 특히 밀짚과 바가스 펄프화에 적합하다. 소오다법의 주요 약품은 수용성 가성소오다 용액이며, 안트라퀴논의 첨가를 통하여탈리그닌을 개선시킬 수 있다. 그러나 이 촉매는 회수가 불가능하다.

Table 1. Typical soda cooking conditions and pulp characteristics

	Bagasse	Bamboo	Reed	Straw
Cooking conditions				
NaOH(%)	10-16	16	13-16	10-14
AQ(%)			0.1	
Cooking temperature(°C)	165	160	160	150
Time to cooking temp.(min.)	120	200	120	120
Cooking time(min.)	20	30-50	20-40	0-30
Pulp characteristics				
Screened yield(%)	50-55	45	45	40-50
Kappa number	16-30	20-25	15-20	10-20
Brightness	30-50	40	30-40	30-45

Source : Jaakko Pöyry Consulting Oy, Non-wood Fibre, Finland, 1998

- 크라프트법

크라프트법은 비목재 펄프화법 중 소오다법 다음으로 많이 사용되는 방법으로 모든 비목재에 적용 가능하다. 전술한 바와 같이 화학 조성분의 특성상 비목재의 크라프트 펄프화는 목재에 비하여 온화한 조건이 적용된다.

Table 2. Typical kraft cooking conditions and pulp characteristics

	Bagasse	Bamboo	Reed	Straw
Cooking conditions				
Active alkali(%)	11	14	14	12
Sulphidity(%)	20	20	20	20
Cooking temperature(°C)	155	160	160	160
Cooking time(min.)	45	45	60	45
Pulp characteristics				
Screened yield(%)	52	47	47	40
Kappa number	15	30	28	15
Brightness	40	32	35	35

Source : Jaakko Pöyry Consulting Oy, Non-wood Fibre, Finland, 1998



## - 아황산법

비목재에 적용할 수 있는 다양한 아황산법이 개발되었으나, 산 아황산법은 약액 회수 시스템이 적용될 수 없는 매우 큰 단점을 지니고 있다. 마그네슘 중아황산법(magnesium bisulphite)과 암모니움 중아황산법(ammonium bisulphite)이 주로 사용되고 있다. 암모니움 중아황산법은 폐액을 비료로 사용할 수 있기 때문에 약액의 회수가 필수 조건이 아니다. 칼리 아황산법(potassium sulphite)의 경우에도 폐액을 비료로 사용할 수 있다. 중성 아황산법도 사용이 가능하며, 안트라퀴논을 첨가함으로써 개선 효과를 얻을 수 있다. 알칼리 아황산법은 밀집과 갈대에 대하여 검토되었으며, 중국에서는 벗짚 펄프화에 적용되고 있다.

## - 기타

기타 전형적인 비목재 펄프화법으로는 NACO법과 Celdecor-Pomilio법이 있다. NACO법은 주로 탄산소오다와 가성소오다 용액에서의 산소 탈리그닌을 이용하며, 1단 과산화물 표백으로 brightness를 80%까지 올릴 수 있고, 주로 밀짚에 적용되고 있다. Celdecor-Pomilio법은 벗짚, 바가스 및 에스파르토에 적용될 수 있으나, 원소 염소와 가성 소오다가 혼합된 용액을 사용하기 때문에 장치의 부식과 환경 문제를 일으키는 이유로 별로 사용되지 않고 있다.

## 2) 개량 펄프화법

### - 천연법

천연법(natural pulping process, NP)은 특히 1년생 식물에 적합한 방법으로 밀짚, 벗짚 또는 바가스 뿐만 아니라 심지어는 침엽수에도 적용이 가능하다. 펄프화에 사용되는 약품은 개미산 수용액이나 개미산과 초산을 혼합한 것이 더 바람직하다. 경우에 따라서는 소량의 과산화수소가 첨가되기도 한다. 전형적인 증해 조건, 공정 및 TCF 표백 결과는 각각 Table 3, Figure 5 및 6과 같다.

Table 3. NP cooking conditions

	NP basic lab. scale	NP Hitemp. lab scale
Pulping medium	Formic acid 75-95% Water : 25-5%	Formic acid : 5% Acetic acid : 70% DPA : 10% Water : 15%
Active main chemicals	Hydrogen peroxide 1-3%	None
Cooking temperature(°C)	80-95	170-180
Pressure	Normal pressure	5-6 bar
Time to cooking temp.(min.)	0-15	60
Cooking time(min.)	60-120	5-60

Source : Natural Pulping AG

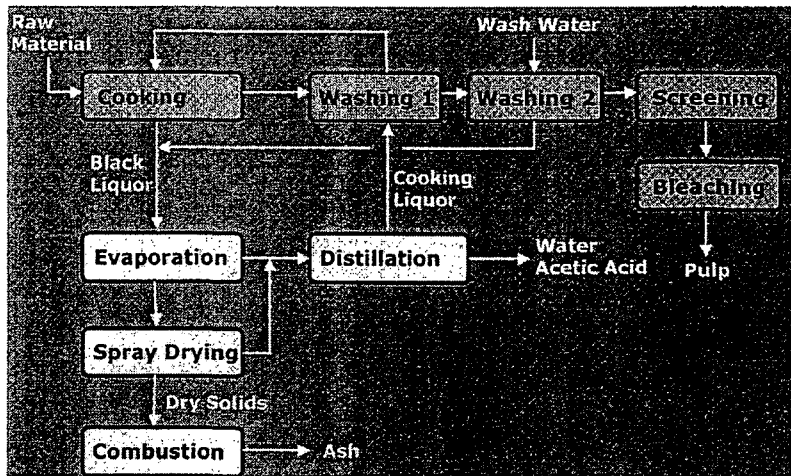


Figure 5. NP process flow sheet.

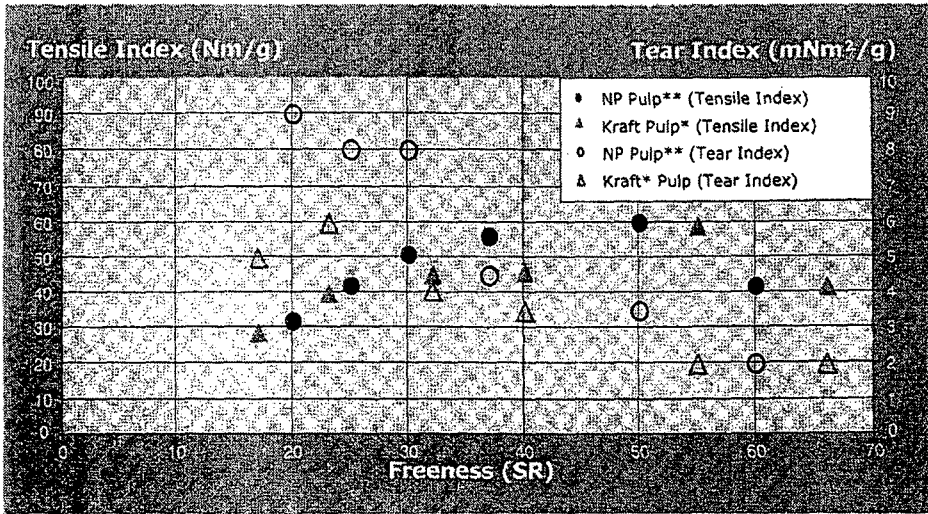


Figure 6. TCF bleached kraft pulp and NP pulp from wheat straw.

\* Laboratory scale : kraft pulp, 180°C, 240 min, 6 bar, sulphidity 30%, TCF bleaching

\*\* Laboratory scale : NP pulp, 95°C, 60 min, 95% HCOOH, 2% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TCF bleaching

#### - 기타

기타 비목재 펄프화법은 2개의 그룹으로 나누어진다. 첫 번째 그룹은 이미 실용화가 시도되었던 것으로 Organocell(목재용)과 Alcell이 있는데 모두 실패했다. 두 번째 그룹은 개발이 진행되고 있는 것으로 PA process, Milox, Acetosolv/Acetocell, Formacell, IDE process 등이 있다.

## 5. 결 론

제지산업에서 비목재 섬유를 활용한 역사는 오래 되었지만 비목재 섬유 자체가 지니는 단점 및 펄프공장의 영세성, 풍부하고 쉽게 확보가 가능했던 목재 펄프화법의 발전 등으로 겨우 명맥만 유지할 해왔고, 일부 특수지의 제조 용도로만 이용되어 왔었다. 그러

나 최근들어 특히 환경 오염 및 생태계 파괴, 지구 온난화, 기후 급변 등의 자연 재해 증가로 말미암아 환경 보호를 위한 관심이 더욱 고조되고 있다. 특히 남극 지방에서의 오존층 파괴는 놀라운 정도로 급속히 진행되어 인류를 포함한 지구 상의 모든 생태계가 크게 위협을 받게 됨에 따라 비목재 섬유 자원의 활용과 삼림자원 보호의 필요성이 널리 인식되고 있다. 그러나 이러한 과제의 실현을 위해서는 비목재 섬유 자원들이 지니는 단점을 극복하고, 목재 펄프를 대체할 수 있는 기술 개발을 위한 집중적인 투자가 절실히 요구된다.

## 6. 참고문헌

1. Paavilainen, L. european prospects for using nonwood fibers. Nonwood fiber for paper in North America. PPI 40(6):61-66(1998).
2. Paavilainen, L., Tulppala, J., Finell, M and Rehnberg, O. Reed canary grass pulp produced on mill scale. TAPPI Pulping Conference, pp. 335-341(1999).
3. Paavilainen, L., Paltakari, J., Cheng, Z. and Tuhkanen, T. Behaviour of special reed pulp on the paper machine. 3rd International Nonwood Fibre Pulping and Papermaking Conference, pp. 562-572(1996).
4. Paavilainen, L. Quality competitiveness of Asian short fibre raw materials for future. Pulping 2000. AEL/METSKO, Insko seminar, Kouvola, Finland(2000).