

## 기능성 섬유원료 개발을 위한 연잎줄기 펄프의 특성

최태호<sup>†</sup> · 서지철 · 이지년

(2010년 5월 29일 접수: 2010년 6월 15일 채택)

## Characteristics of Lotus (*Nelumbo nucifera* G.) Leafstalk Pulp for the Development of High Performance Paper

Tae-Ho Choi,<sup>†</sup> Ji-Cheol Seo and Ji-Nyeon Lee

(Received May 29, 2010; Accepted June 15, 2010)

### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the pulping and papermaking characteristics of lotus (*Nelumbo nucifera* G.) leafstalk for the development of high performance paper. Anatomical and chemical properties of the lotus leafstalk were analyzed. The pulping and papermaking properties of the lotus leafstalk by conventional alkali and sulfomethylated pulping processes were also evaluated.

The length and width of fibers were 0.06-3.32 mm (av. 1.23 mm) and 3.47-25.6  $\mu\text{m}$  (av. 20.7  $\mu\text{m}$ ), respectively. The length and width of vessel elements were 0.07-0.78 mm (av. 0.20 mm) and 14.1-330.0  $\mu\text{m}$  (av. 54.13  $\mu\text{m}$ ), respectively. The fiber length/fiber width ratio was 60.20.

The extractives (cold water, hot water, 1% NaOH and ethanol-benzene) and lignin content of lotus leafstalk were higher than those of plant bast fiber. The contents of holocellulose, lignin, and ash were 73.8%, 24.3%, and 4.3%, respectively.

The pulp yields based on pulping methods were sulfomethylated pulping av. 52%, and alkaline pulping av. 42%. The conventional alkaline pulping shows better pulp and sheet properties than the sulfomethylated pulping which was modified pulping processes. But the sulfomethylated pulping shows higher brightness than alkali pulping.

In the consequence of FE-SEM observation, lotus leafstalk pulp consists of various kinds of thin walled fibers which have large amount of small pits.

**Keywords** : lotus, leafstalk, alkaline pulping, high performance paper

• 충북대학교 목재·종이과학과(Dept. of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea).

† 주저자(Corresponding author): E-mail: tchoi@cbnu.ac.kr

## 1. 서론

21세기 우리 인류가 당면한 가장 큰 과제는 우리의 삶의 터전인 지구 환경을 보전하면서도 어떻게 하면 풍요로운 삶을 영속할 수 있을 것인가 하는 것이다. 이 문제는 동전의 양면과 같이 서로 상반되는 것으로 그 해결점을 도출한다는 것은 쉽지 않다. 지금까지 인간의 욕심에서 비롯된 자원의 수탈과 이로 인한 환경파괴는 우리의 생존 자체를 위협하는 대재앙으로 발전 가능한 징조들이 나타나고 있다. 이러한 당면 과제의 해결을 위하여 전 세계적으로 지구 온난화의 주범인 온실가스의 감축과 지구환경 보전을 위한 녹색기술 개발이 중요한 화두가 되고 있다.

세계적으로 종이의 소비량은 문화수준의 향상으로 매년 높은 수준으로 증가하고 있으며, 종이의 원료인 펄프를 제조하기 위하여 막대한 양의 목재가 소모되고 있다. 그러나 세계적인 목재자원의 감소로 얻어지는 펄프의 품질이 점차 조악해지고 있으며, 재활용자원인 고지 또한 재활용 횟수의 증가에 의해 그 물성이 더욱 열악해지고 있다. 목질계 펄프가 갖지 못하는 다양한 특성을 지닌 비목질계 펄프의 활용은 자원부족의 해소와 환경부하의 경감을 위한 하나의 방안으로 제시되어 왔다. 따라서 비목질계 섬유자원의 개발 및 이용에 관한 연구는 환경문제 및 펄프 자원의 다양화와 다원화를 위하여 매우 중요한 영역이라 생각된다.

비목재 펄프화 및 활용에 관한 국내 연구로는 조 등<sup>1)</sup>의 양마를 이용한 한지 제조 특성, 정 등<sup>2,3)</sup>의 어저귀를 이용한 한지 제조, 박 등<sup>4)</sup>의 갈만의 펄프화, 김<sup>5)</sup>의 수세미 섬유의 펄프화, 이 등<sup>6)</sup>의 신서란 섬유를 이용한 종이 제조 특성, 윤 등<sup>7)</sup>의 맹종죽의 죽령별 알칼리 펄프화 특성, 이 등<sup>8,9)</sup>의 뽕나무 자원을 이용한 한지제조 특성, 이 등<sup>10)</sup>의 국내산 Kenaf 이용에 관한 연구, 서 등<sup>11,12)</sup>의 해조류를 이용한 한지 및 인쇄용지 제조와 관련된 연구, 최 등<sup>13)</sup>의 채종용 대마의 펄프화 특성에 관한 연구 등이 있다.

최근 들어 국민들의 생활수준 향상과 건강에 대한 관심의 증가는 다양한 관광자원의 개발과 건강식품에 대한 수요 확대를 가져오고 있다. 그 중에서도 특히 연은꽃의 아름다움뿐만 아니라 뿌리, 잎, 꽃, 종자 모두 다양한 식재료, 한약재 및 차로 활용되고 있다. 연의 이러한 다양한 활용 가치 때문에 전국적으로 그 재배면적이 점

차 확대되고 있다. 그러나 연잎의 줄기는 일반 제지원료와는 달리 부엽식물 고유의 잘 발달된 특수한 통기조직을 가지고 있음에도 불구하고 유용자원으로 활용되지 못하고 재배지에 그대로 방치되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 자원의 유효활용, 환경보호 및 기능성 원료섬유의 개발이라는 측면에서 미이용 비목재 섬유자원인 연잎 줄기의 펄프화 특성을 구명함으로써 특수 기능성 섬유원료로서의 이용가능성 검토를 목적으로 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

충북 청원군 문의면 연(*Nelumbo nucifera*) 재배농가에서 연잎줄기를 11월 말에 채취하여 음건하여 공시재료로 사용하였다.

### 2.2 원료의 특성 분석

#### 2.2.1 해부학적 특성

채취한 연잎줄기 중에서 무작위로 5본을 선발하여 전장에 대해 저부, 중앙부, 상부에서 각각 3 cm 길이의 해섬용 시료를 채취하여 Schultze 용액[KClO<sub>3</sub> (1V) : HNO<sub>3</sub> (2V) : H<sub>2</sub>O (1V)]을 이용 실온에서 1주일간 해섬 처리 하였다. 해섬된 섬유는 증류수로 세척한 후 Safranin으로 염색하고 Image analyzer 및 광학현미경을 이용하여 섬유 및 도관요소의 장/폭을 3부위별로 100개씩 측정하고 이것으로부터 변이계수 및 섬유의 장/폭 비를 구하였다.

#### 2.2.2 화학 조성분석

공시재료에 대하여 추출물, 전섬유소, 리그닌 및 회분의 함량을 TAPPI Test Methods에 의거하여 분석하였다.

### 2.3 펄프화 특성

#### 2.3.1 펄프화 및 수율 측정

공시재료를 3~5 cm 길이로 절단한 다음, 알칼리 펄프화(Alkali pulping, AK)는 활성알칼리 농도 18%의 NaOH, 설포메틸 펄프화(Sulfomethylated pulping,

SM)<sup>14,15)</sup>는 1M Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>에 0.3M HCHO 첨가액을 사용하여 액비 1:6로 150°C에서 60분간 증해하였다.

증해가 끝난 펄프를 해리기를 이용하여 해리한 다음, 부흐너 여과기로 여과하고 충분히 세척한 후 105°C의 항온 건조기에서 소정시간 건조하여 전수율을 구하였다.

### 2.3.2 초지 및 물성 측정

TAPPI Test Methods에 의거하여 미고해 펄프의 여수도(CSF)를 측정하였으며 물성 측정용 시료는 평량 60g/m<sup>2</sup>이 되도록 수초지하였다. 제조된 종이는 TAPPI T 402 am-88에 의거하여 조습처리 하였으며, 종이의 제물성은 TAPPI Test Methods에 의거하여 측정하였다.

## 2.4 주사전자현미경 관찰

초지한 종이의 표면 및 섬유 특성은 종이를 gold coating하고 FE-SEM (LEO-1530)을 이용하여 50X, 200X 및 500X로 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 해부학적 특성

공시재료인 연잎줄기의 섬유특성을 분석하기 위하여 줄기 전체에 대하여 저부, 중앙부, 상부의 3부위로

구분하고 각각의 부위에 대하여 섬유 및 도관의 길이와 폭을 측정된 결과를 Table 1에 나타냈다.

부위별 섬유장 측정결과 0.06-3.32 mm의 범위로 평균 1.23 mm를 나타냈다. 하부가 평균 1.48 mm로 상부나 중앙부보다 길었으며, 섬유장의 변이는 상부로 갈수록 크지는 경향을 나타냈다. 연잎 줄기의 섬유장은 수생식물인 왕골 줄기의 3.4 mm보다는 짧았으나 왕골 잎의 1.8 mm, 부들의 줄기 1.7 mm, 잎의 1.0 mm<sup>16)</sup>와는 비슷한 것으로 나타났다. 또한 kenaf 인피섬유의 2.20 mm<sup>1)</sup>, 어저귀 인피섬유의 2.4 mm<sup>2)</sup>보다 짧았으나 화본과 식물인 벼짚의 1.4 mm, 귀리의 2.0 mm, 울무의 1.6 mm, 갈대의 1.5 mm<sup>16)</sup>와 맹종죽 펄프의 1.23-1.36 mm<sup>7)</sup>와는 비슷한 것으로 나타났으며, 목재 펄프인 가문비의 3.3-3.5 mm보다는 짧으나 활엽수인 사시나무 1.04 mm, 자작나무 1.85 mm 및 너도밤나무 1.20 mm<sup>17)</sup>와는 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 연잎 줄기의 섬유장은 수생 식물인 왕골과 부들, 화본과 식물 및 활엽수인 사시나무, 자작나무, 너도밤나무의 섬유장과 비슷한 것으로 나타났다.

섬유폭은 3.47-25.6 μm의 범위로 평균 20.7 μm를 나타냈으며, 하부가 평균 24.5 μm로 가장 넓고 상부로 갈수록 좁아지는 경향을 나타냈다. 섬유폭의 변이 또한 상부로 갈수록 크지는 경향을 나타냈다. 연잎 줄기의 섬유폭은 수생식물인 왕골의 14.5-19.4 μm보다는 크고 21.6-23.0 μm인 부들<sup>16)</sup>과는 비슷한 것으로 나타났다. 또한 화본과 식물인 귀리 23.8 μm, 울무 22.3 μm, 갈대의

**Table 1. Anatomical properties of lotus leafstalk**

| Fiber morphology | Part       | Range  | Mean       | C.V.* | Length/width |       |
|------------------|------------|--------|------------|-------|--------------|-------|
| Fiber            | length(mm) | Upper  | 0.06-3.13  | 1.23  | 52.05        | 71.97 |
|                  |            | Middle | 0.42-2.58  | 0.99  | 37.32        | 48.28 |
|                  |            | Lower  | 0.09-3.32  | 1.48  | 36.45        | 60.36 |
|                  | width(μm)  | Upper  | 3.47-18.7  | 17.1  | 32.67        | -     |
|                  |            | Middle | 5.33-22.5  | 20.5  | 23.37        | -     |
|                  |            | Lower  | 5.61-25.6  | 24.5  | 21.95        | -     |
| Vessel           | length(mm) | Upper  | 0.08-0.78  | 0.24  | 69.86        | 4.45  |
|                  |            | Middle | 0.07-0.37  | 0.19  | 34.27        | 3.78  |
|                  |            | Lower  | 0.09-0.55  | 0.17  | 32.23        | 2.95  |
|                  | width(μm)  | Upper  | 14.1-140.0 | 53.9  | 48.11        | -     |
|                  |            | Middle | 26.9-330.0 | 50.3  | 33.76        | -     |
|                  |            | Lower  | 31.8-120.0 | 57.6  | 36.27        | -     |

\*Coefficient of variability

18.3  $\mu\text{m}$ 와는 비슷하지만 벗짚 7.7  $\mu\text{m}$ <sup>16)</sup>와 맹종죽 펄프의 12.3-14.3  $\mu\text{m}$ <sup>7)</sup>보다는 넓은 것으로 나타났으며, 초본계 인피섬유인 kenaf 인피섬유의 17.2  $\mu\text{m}$ ,<sup>1)</sup> 어저귀 인피섬유의 18.0  $\mu\text{m}$ <sup>2)</sup>보다 넓은 것으로 나타났다. 목재 펄프와 비교했을 때, 25-30  $\mu\text{m}$ 인 가문비, 20-36  $\mu\text{m}$ 인 자작 나무보다는 작지만 10-27  $\mu\text{m}$ 의 사시나무, 16-22  $\mu\text{m}$ 의 너도밤나무와<sup>17)</sup>는 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 연잎 줄기의 섬유폭은 화본과 식물인 귀리, 울무, 갈대와 활엽수인 사시나무 및 너도밤나무의 섬유폭과 비슷한 것으로 나타났다.

섬유의 장/폭 비는 48.28-71.97의 범위로 평균 60.20을 나타냈으며, 상부가 가장 큰 것으로 나타났다. 연잎 줄기 섬유의 장/폭 비는 일반적인 펄프 원료섬유인 목재 등에 비하여 낮았으나 60인 벗짚<sup>17)</sup>과 유사한 것으로 나타났다.

도관요소의 길이는 0.07-0.78 mm의 범위로 평균 0.20 mm를 나타냈으며, 하부보다 상부로 갈수록 길어지는 경향을 나타냈다. 도관요소의 폭은 14.1-330.0  $\mu\text{m}$ 의 범위로 매우 다양하였으며, 평균 54.13  $\mu\text{m}$ 로 섬유폭에 비해 배 이상 넓은 것으로 나타났다. 부위별 도관요소의 폭은 하부가 가장 넓고 중앙부가 가장 좁은 것으로 나타났다. 도관요소의 장/폭 비는 2.95-4.45의 범위로 하부가 가장 작은 것으로 나타났다.

### 3.2 화학적 특성

펄프화 적성을 판단하는데 있어 펄프화 대상 원료의 화학적 조성을 분석하는 것은 매우 중요하다. 공시재료인 연잎 줄기의 화학적 조성을 분석한 결과를 Table 2에 나타냈다.

**Table 2. Chemical composition of lotus leafstalk**

| Chemical components                | Contents(%) |
|------------------------------------|-------------|
| Extractives                        |             |
| Cold water                         | 8.8         |
| Hot water                          | 9.9         |
| 1% NaOH                            | 49.2        |
| EtOH-C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> | 4.5         |
| Holocellulose                      | 73.8        |
| Lignin                             | 24.3        |
| Ash                                | 4.3         |

연잎 줄기의 전체적인 추출물 함량은 초본계 인피섬유인 채종용 대마,<sup>13)</sup> kenaf,<sup>10)</sup> 및 어저귀<sup>2)</sup>의 함량보다 높게 나타났다. 냉수추출물의 함량은 8.8%로 kenaf 10.7%,<sup>1)</sup> 어저귀 9.6%<sup>2)</sup>, 채종용 대마 11.2%<sup>13)</sup>보다 낮았으며, 열수추출물의 함량 또한 9.9%로 kenaf 13.9%,<sup>1)</sup> 어저귀 12.6%<sup>2)</sup>, 채종용 대마 15.2%<sup>13)</sup>보다는 낮게 나타났다. 알칼리 추출물의 함량은 49.2%로 kenaf 30.0%,<sup>1)</sup> 어저귀 27.0%<sup>2)</sup>, 채종용 대마 34.5%<sup>13)</sup>보다 매우 높은 특성을 나타냈다. 이것은 기타 추출물의 함량, 전섬유소의 함량 및 리그닌의 함량으로 추정할 때, 헤미셀룰로오스의 함량이 매우 높은 것으로 사료된다. 유기용제 추출물 함량의 경우 4.5%로 채종용 대마 2.6%,<sup>13)</sup> kenaf 2.3%,<sup>1)</sup> 어저귀 2.1%<sup>2)</sup>에 비하여 상당히 높게 나타났다. 이것은 연이 부엽식물인 관계로 줄기의 표면이 내수성의 왁스로 피복되어 있기 때문으로 사료된다.

펄프화 적성 평가의 가장 중요한 요소 중의 하나인 전섬유소의 함량은 73.8%로 채종용 대마 인피섬유의 62.9%<sup>13)</sup>보다 높고 kenaf의 79.4%,<sup>1)</sup> 어저귀 79.0%<sup>2)</sup>보다 낮은 함량을 나타냈으나 69-75%인 목재<sup>10)</sup>와 유사한 함량을 나타냈다.

리그닌의 함량은 24.3%로 초본계 인피섬유인 채종용 대마 5.7%,<sup>13)</sup> kenaf 11.0%,<sup>10)</sup> 어저귀 14.0%<sup>2)</sup>보다 월등히 높은 함량을 나타냈으며, 활엽수의 리그닌 함량<sup>10)</sup>과 유사하였다.

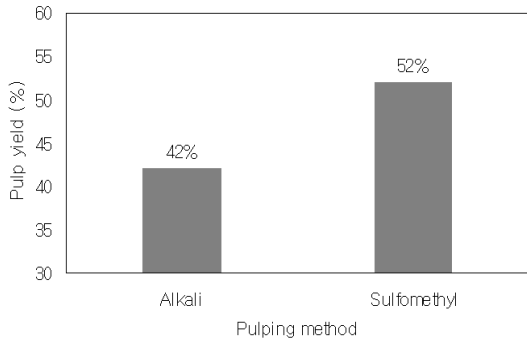
회분의 함량은 4.3%로 목재에 비해 월등히 높은 초본류의 특성을 나타냈으며, 초본계 인피섬유인 채종용 대마 5.5%,<sup>13)</sup> kenaf 3.6%,<sup>1)</sup> 어저귀 4.8%<sup>2)</sup>와 유사한 함량을 나타냈다.

전반적으로 연잎 줄기의 화학조성은 초본계 인피섬유에 비하여 알칼리 및 유기용제 추출물의 함량과 리그닌의 함량이 매우 높은 특징을 나타냈다.

### 3.3 펄프화 특성

비목재 섬유의 펄프화에 쉽게 적용 가능한 펄프화법인 알칼리법과 새로운 펄프화법의 하나인 설포메틸화법을 이용하여 연잎 줄기의 펄프화를 실시하고 얻어진 결과를 Fig. 1에 나타냈다.

연잎 줄기의 리그닌의 함량이 활엽수와 유사하지만 2가지 펄프화법 모두 150°C에서 60분 처리로 충분한 펄프화가 이루어졌다. 펄프화법별 펄프의 수율은 설포



**Fig. 1. Relationship between pulp yields and pulping methods.**

메틸화 펄프화법이 52%로 일반적으로 사용 가능한 알칼리 펄프화법의 42%보다 월등히 높은 수율을 나타냈다. 따라서 이상의 결과와 초본계 인피섬유인 kenaf, 어저귀 및 채종용 대마의 펄프화 결과를 종합하여 판단할 때, 연잎 줄기와 같은 비목재 섬유의 펄프화에 있어 수율 향상을 위하여 새로운 펄프화법의 하나인 설포메틸화법을 적용하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

### 3.4 펄프의 특성

연잎 줄기를 알칼리 펄프화법 및 설포메틸 펄프화법으로 제조한 펄프를 이용하여 제조한 종이의 특성 조사 결과를 Table 3에 나타냈다.

알칼리 펄프화법 및 설포메틸 펄프화법으로 제조한 미고해 펄프의 초기 여수도는 알칼리 펄프가 380 mL

**Table 3. Characteristics of lotus leafstalk pulps**

| Properties                          | Alkali pulp | Sulfomethyl pulp |
|-------------------------------------|-------------|------------------|
| Freeness(mL,CSF)                    | 380         | 280              |
| Apparent density(g/m <sup>3</sup> ) | 0.47        | 0.45             |
| Brightness(ISO,%)                   | 25.3        | 49.6             |
| Opacity(ISO,%)                      | 97.9        | 89.5             |
| Porosity(mL/min)                    | 46.9        | 26.1             |
| Roughness(μm)                       | 10.9        | 8.9              |
| Stiffness(mgf)                      | 139.5       | 117.3            |
| Tear index(mN·m <sup>2</sup> /g)    | 3.92        | 3.40             |
| Burst index(kPa·m <sup>2</sup> /g)  | 2.32        | 2.12             |
| Breaking length(km)                 | 5.47        | 5.36             |
| Elongation(mm)                      | 1.1         | 0.9              |
| MIT folding endurance(times)        | 7           | 11               |

CSF로 설포메틸화 펄프의 280 mL CSF보다 높게 나타났다. 설포메틸화 펄프의 여수도가 낮게 나타난 이유는 펄프화에 사용되는 Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>의 작용에 의하여 펄프 중의 리그닌에 설포기가 도입되어 펄프 친수성이 향상되었기 때문으로 사료된다. 두 가지 펄프화법으로 제조한 연잎 줄기 미고해 펄프의 초기 여수도는 일반적인 미고해 목재 펄프의 초기 여수도보다 매우 낮은 것으로 나타났는데 이것은 연잎 줄기의 섬유 특성이 주된 요인으로 판단된다.

종이의 겉보기 밀도는 종이의 물리적 강도, 투기성 및 광학적 성질에 영향을 미치며 섬유의 조성, 해부학적 특성 및 고해정도에 따라 영향을 받는다. 2가지 펄프화법 모두 겉보기 밀도에는 차이를 보이지 않았다.

펄프의 백색도는 물속에 녹아 있는 철, 구리, 망간 등의 금속이온들과 펄프중의 리그닌 함량 등 다양한 인자들로부터 영향을 받으며 종이의 백색도를 결정하는 가장 중요한 영향인자로 작용한다. 펄프화법별로는 설포메틸화법이 49.6%로 알칼리법의 25.3%보다 월등히 높은 것으로 나타났다. 불투명도는 펄프화법의 종류에 따라 차이를 보였으나 펄프화법의 종류에 관계없이 비교적 높게 나타났다. 펄프화법별로는 알칼리법이 97.9%로 매우 높은 값을 나타냈으며 설포메틸화법도 90%에 가까운 높은 불투명도를 나타냈다.

제조된 종이의 투기도는 밀도와 관계없이 알칼리 펄프가 설포메틸화 펄프보다 두 배정도 높게 나타났다. 이것은 펄프의 초기 여수도에서 알 수 있듯이 알칼리 펄프가 설포메틸화 펄프에 비하여 섬유의 유연성 및 펄프의 친수성이 낮기 때문으로 사료된다. 종이의 roughness는 알칼리 펄프에 비해 설포메틸화 펄프가 다소 낮게 나타났다.

종이의 stiffness는 알칼리 펄프가 설포메틸화 펄프에 비하여 다소 높게 나타났다. 종이의 stiffness에 영향을 미치는 인자로는 두께, 밀도, 평량 및 섬유의 배향성 등을 들 수 있다. 평량 및 밀도가 유사한 연잎 줄기 펄프에서 종이의 stiffness에 차이가 나는 것은 펄프화법의 종류에 따른 섬유특성의 변화가 주된 요인으로 생각된다. 연잎 줄기 펄프의 stiffness는 일반 목재 펄프에 비하여 매우 낮은 특성을 나타냈다.

알칼리 및 설포메틸화 펄프화법으로 제조한 연잎 줄기 펄프의 인열지수 및 열단장을 비교분석한 결과를 Fig. 2에 나타냈다.

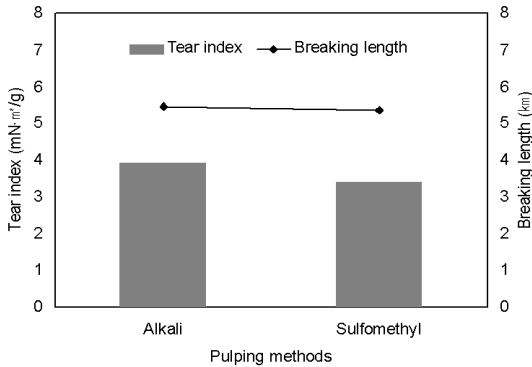


Fig. 2. Tear index and breaking length of lotus leafstalk handsheet.

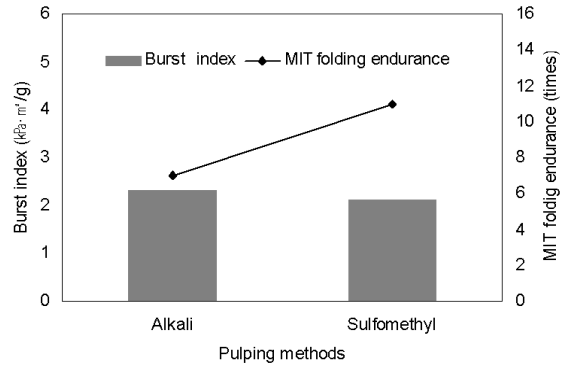


Fig. 3. Burst index and folding endurance of lotus leafstalk handsheet.

인열강도는 지층구조로부터 섬유를 잡아당기는 힘과 섬유를 절단하는 힘, 두 가지가 포함되어 있다. 일반적으로 섬유장이 길수록 강하고 고해가 진행되어 섬유간 결합면적이 증가되어 최적면적을 초과하면 인장강도나 파열강도와는 반대로 저하되는 경향을 나타낸다.<sup>18)</sup> 인열강도는 알칼리법이 설포메틸화법에 비하여 다소 높게 나타났다.

종이의 인장강도는 단섬유의 강도, 섬유장, 지합 및 섬유간 결합의 양과 질에 의하여 크게 영향을 받는다.<sup>18)</sup> 펄프화법별 열단장의 변화는 인열강도와 동일하게 일반적인 알칼리 펄프화법이 설포메틸화법에 비하여 우수한 것으로 나타났으나 그 차이는 미미하였다.

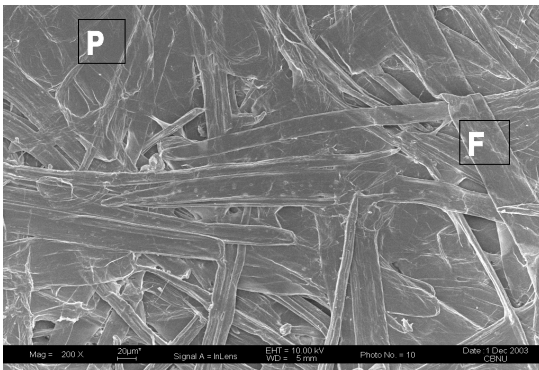
Fig. 3은 알칼리 및 설포메틸화 펄프화법으로 제조한 연잎 줄기 펄프의 파열강도와 내절도를 비교분석한

결과이다.

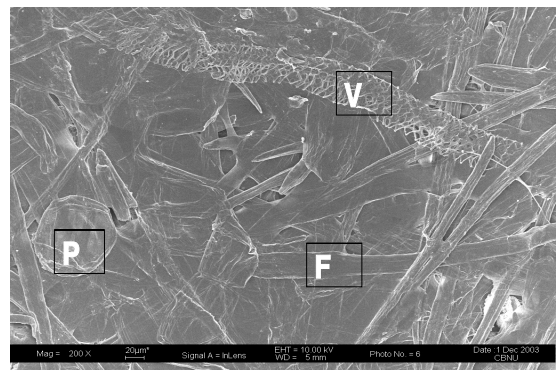
일반적으로 종이의 파열강도는 섬유장과 섬유간 결합이 깊이 관여하는 강도로서 섬유장이 길고 질긴 원질로부터는 밀도가 낮고 파열강도가 높은 종이 만들어지고, 섬유장이 짧고 수화된 원질로부터는 밀도와 파열강도가 높은 종이 제조된다.<sup>18)</sup> 제조된 종이의 파열강도는 알칼리 펄프화법이 설포메틸화법에 비하여 우수한 것으로 나타났으나 그 차이는 미미하였다. 연잎 줄기 펄프의 내절도는 인열강도, 인장도 및 파열강도의 특성과는 달리 설포메틸화법이 알칼리 펄프화법보다 다소 우수한 것으로 나타났으나 그 차이는 크지 않았다.

### 3.5 주사전자현미경 관찰

Fig. 4 및 Fig. 5는 알칼리 및 설포메틸화 펄프화법으



Alkali



Sulfomethyl

Fig. 4. Scanning electron micrograph of lotus leafstalk handsheet. (V; vessel, P; parenchyma cell, F; fiber)

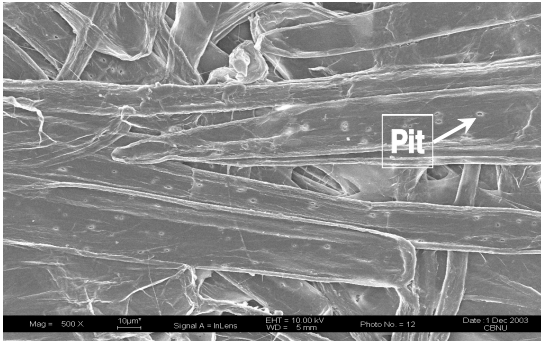


Fig. 5. Fine structure of lotus leafstalk handsheet.

로 제조한 연잎 줄기 펄프로 수초지 한 종이를 주사전자 현미경으로 관찰한 사진이다.

관찰결과 연잎 줄기 펄프는 초본류 펄프의 특징인 다양한 종류의 세포로 구성되어 있었으며, 각각의 구성요소는 목재 펄프나 인피섬유 펄프에 비하여 세포벽이 얇아 치밀한 섬유결합을 이루고 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 섬유 특성은 펄프의 여수도, roughness 및 stiffness가 낮은 것과 관련이 있는 것으로 사료된다. 펄프화법간의 차이는 설포메틸화법으로 제조한 것이 알칼리법으로 제조한 것보다 보다 치밀한 섬유간 결합을 형성하고 있는 것으로 여겨지며, 이것은 수초지의 투기도, roughness 및 stiffness의 측정값으로부터 확인할 수 있었다. 그리고 미세구조 관찰결과 Fig. 5에서 보는 바와 같이 연잎 줄기 펄프는 많은 수의 소벽공을 가지는 세포가 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 치밀하며 다공성이 요구되는 기능성 제지 원료로서의 연잎 줄기 펄프 이용 가능성을 확인하였다.

## 4. 결론

본 연구는 자원의 유효활용, 환경보호 및 기능성 원료섬유의 개발이라는 측면에서 미이용 비목재 섬유자원으로 부엽식물 고유의 잘 발달된 특수한 통기조직을 가지고 있는 연잎 줄기의 펄프화 특성을 구명함으로써 특수 기능성 섬유원료로서의 이용가능성 검토를 목적으로 실시하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

해부학적 특성은 섬유장의 경우, 수생식물인 왕골과

부들, 화본과 식물 및 활엽수인 사시나무, 자작나무, 너도밤나무와 유사하였다. 섬유폭은 화본과 식물인 귀리, 울무, 갈대와 활엽수인 사시나무 및 너도밤나무와 비슷하였으며, 섬유의 장/폭 비는 벚짚과 유사한 것으로 나타났다.

화학조성은 초본계 인피섬유에 비하여 알칼리 및 유기용제 추출물의 함량과 리그닌의 함량이 매우 높았으며, 홀로셀룰로오스의 함량은 목재와 유사한 특징을 나타냈다. 회분의 함량은 목재에 비하여 월등히 높았다.

펄프화법별 펄프의 수율은 설포메틸화 펄프화법이 52%로 알칼리 펄프화법의 42%보다 높았다. 펄프의 백색도는 설포메틸화법이 알칼리법보다 월등히 높은 반면, 불투명도는 알칼리법이 매우 높은 값을 나타냈으며 설포메틸화법도 90%에 가까운 높은 불투명도를 나타냈다.

투기도, roughness 및 stiffness는 알칼리법이 다소 높았으며 roughness 및 stiffness는 목재 펄프에 비하여 매우 낮은 특성을 나타냈다. 펄프의 인열강도, 인장도 및 파열강도는 알칼리 펄프화법이, 내절도는 설포메틸화법이 다소 우수하였으나 그 차이는 미미하였다.

FE-SEM 관찰결과 다양한 종류의 박벽세포로 구성되어 있어 치밀한 섬유간 결합을 형성하였으며, 미세구조 관찰결과 많은 수의 소벽공을 가지는 세포가 다량으로 존재하였다. 따라서 연잎 줄기 펄프는 치밀하며 다공성이 요구되는 여과지와 같은 기능성 제지 원료로서의 이용 가능성을 확인하였다.

## 사 사

“이 논문은 2008년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

## 인용문헌

1. Nam-Seok Cho and Tae-Ho Choi, Manufacturing of Korean Traditional Paper(Hanji) from Fast-Growing New Fiber Plant, Kenaf (*Hibiscus cannabinus*), Journal of KTAPPI 28(4): 7-16 (1996).
2. 정선화, 조남석, 최태호, 대용섬유자원으로써 어저귀를 이용한 판지제조 (제1보), 목재공학 30(2):

- 144-150 (2002).
3. 정선화, 조남석, 최태호, 대용섬유자원으로써 어저귀를 이용한 한지제조 (제2보), 목재공학 32(1): 1-8 (2004).
  4. Yong Hwan Park, Soon Kyo Han and Ki Dae Nam, Studies on Kraft Pulping of Arrowroot (*Pueraria thunbergiana*) Vines, Journal of KTAPPI 19(3): 17-29 (1987).
  5. 김종규, 수세미의 섬유(*Luffa cylindrica* L.)의 펄프화 특성에 관한 연구, 충남대학교 대학원 박사학위 논문 (1998).
  6. Hyun Cheol Lee and Bong Yong Kim, Manufacture and Characterization of Papers Made from New-Zealand Hemp Fibers, Journal of KTAPPI 36(1): 67-74 (2004).
  7. Seung-Lak Yoon, Hyun-Jin Jo, Byung-Su Park, Ha-Young Kang and Kyu-Young Kang, Alkali Pulping Charactics of Moso Bamboo(*Phyllostachys pubescens* Mazel) with Various Ages, Journal of KTAPPI 38(3): 29-37 (2006).
  8. Il-Roh Yi, Tae-Ho Choi and Nam-Seok Cho, A New Hanji Manufacturing form *Morus* Resources, Journal of KTAPPI 38(3): 40-46 (2006).
  9. Il-Roh Yi and Nam-Seok Cho, Sheet Formation Properties of *Morus* Hanji, Journal of KTAPPI 38(3): 47-60 (2006).
  10. Myoung-Ku Lee and Seung-Lak Yoon, Utilization of Kenaf Cultivated in Korea (Ⅱ), -Physical properties of kenaf TMP and KP-, Journal of KTAPPI 39(4): 45-52 (2007).
  11. Byong Hyun Kim and Yung Bum Seo, Application of Sea Algae fiber for the Improvement of Compressibility and Physical Properties of Letter Press Printing Paper, Journal of KTAPPI 40(1): 15-22 (2008).
  12. Yung Bum Seo, Yong Wook Kim, Min Woo Lee, and Sun Young Jung, Improvements in the Physical Properties of Hanji by Using Red Algae Pulp, Journal of KTAPPI 41(5): 33-37 (2009).
  13. 최태호, 황우림, 채중용 대마의 펄프화 특성, *J. Agr. Sci.* 25(1): 43-47 (2009).
  14. De Groote, R. A. M. C., M. G. Neumann, J. R. Lechat, A. A. S. Curvelo, and J. Alaburda, The Sulfomethylation of lignin, *Tappi* 70(3):139-140 (1987).
  15. 大井 洋, 中野準三, 石津 敦, 針葉樹材のキノン添加亞硫酸ナトリウム・ホルムアルデヒド蒸解に関する研究, *Japan Tappi* 41(8):708-716 (1987).
  16. 이상현, 고문현 출전 한지의 원료 섬유식별, 충북대학교 대학원 석사학위논문 (2006).
  17. Smook, G. A., Handbook for pulp & paper technologist (3rd ed.), pp.5-16, Angus Wilde Publications Inc., Vancouver, B. C., (2002).
  18. Scott, W. E. and S. Trosset, Properties of Paper: An Introduction, TAPPI PRESS, Atlanta, pp.1-122 (1989).