

국산 솜대와 인도네시아산 TALI를 이용한 대나무 Zephyr의 형태적 특성 비교*¹

김 유 정*² · 정 기 호*² · 박 상 진*² · 노 정 관*³

A Morphological Comparison of Bamboo Zephyr Produced from *Phyllostachys nigra* var. *henonis* and Indonesian *Gigantochloa apus**¹

Yu-Jung Kim*² · Ki-Ho Jung*² · Sang Jin Park*² · Jeang-Kwan Roh*³

요 약

본 연구는 국산 솜대와 인도네시아산 TALI를 원료로 하여 제조한 Zephyr의 기본조직특성을 SEM관찰 및 화학분석법을 이용하여 조사하였다.

SEM관찰의 결과, 국산 솜대 Zephyr의 형태는 유관속초를 구성하는 후벽섬유의 세포벽이 두껍고 세포내강이 거의 없으며 조직이 치밀하였다. 세포간층의 분리가 어렵기 때문에 유관속초간의 집단적인 할렬이 두드러졌고 할렬형태가 균일하지 않았다. 이에 비해 인도네시아산 TALI Zephyr의 형태는 유관속초를 구성하는 후벽섬유의 세포벽이 얇고 세포내강이 크며 세포간극이 많아 세포간층의 분리가 쉬웠으며 가늘고 균일하게 할렬되었다.

화상분석법으로 두 종류의 횡단면상의 유관속초울과 이들을 구성하는 후벽섬유의 세포벽울을 조사한 결과, 국산 솜대의 유관속초울은 인도네시아산 TALI보다 낮았지만, 후벽섬유 세포벽울은 더 높았다.

이상의 결과로 국산 솜대와 인도네시아산 TALI는 유관속초를 구성하는 후벽섬유의 양과 분포양식의 차이에 의해 제조된 Zephyr의 형상에 차이가 있음을 알 수가 있었다.

* 1 접수 2001년 3월 9일, 채택 2001년 5월 25일.

* 2 경북대학교 임산공학과 Wood Science and Technology, College of Agriculture, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

* 3 진주산업대학교 임산공학과 Chinju National University, Chinju 660-758, Korea.

ABSTRACT

To investigate morphological characteristics of zephyr produced from two bamboo species, *Phyllostachys nigra* var. *henonis* and *Gigantochloa apus*, basic anatomic properties were examined by scanning electron microscopy and image analysis.

According to SEM observation, zephyr from *Phyllostachys nigra* var. *henonis* was not of uniform in shape and showed macro crack between vascular bundle sheaths. This may be attributes to the sclerenchymatous fibers connected closely, thus resulting in difficult separation of intercellular layer. Zephyr from *Gigantochloa apus* was of uniform in shape, which may be caused by easy separation of intercellular layer of sclerenchymatous fibers having thin cell wall and large cell lumen.

By image analysis in cross section of two species, the ratio of vascular bundle sheaths and cell wall ratio of sclerenchymatous fibers were examined. The ratio of vascular bundle sheaths in *Phyllostachys nigra* var. *henonis* was lower than that in *Gigantochloa apus*. However, cell wall ratio of sclerenchymatous fibers in *Phyllostachys nigra* var. *henonis* was higher than that in *Gigantochloa apus*.

Keywords: bamboo zephyr, SEM observation, image analysis, morphological characteristics, the ratio of vascular bundle sheath, cell wall ratio of sclerenchymatous fiber

1. 서 론

현재, 전 세계적으로 질 좋은 원목의 공급감소와 지구환경 보전문제 등이 대두되고 있어 목질패널산업이 당면하고 있는 원료난의 해결책이 시급한 과제이다. 따라서 지금까지 목재에 의존해 왔던 목질계 재료개발에서 탈피하여 목재를 대체할 수 있는 새로운 목질자원을 확보하는 것이 필요하게 되었다. 이러한 현실에 직면하여 새로운 목질재료의 원료로써 갱신이 용이하며 섬유방향의 강도가 뛰어난 대나무를 이용하는 방안인 'Zephyr'화 기술을 모색하게 되었다.

Zephyr화는 목질재료의 원료로서의 새로운 이용기술로써, 즉 저질목재, 미이용재, 속성수 등의 저질 원료를 V자 모양의 구(溝)가 부착된 몇 대의 롤러(roller)의 상하 간극에 통과시켜 얻어진 압착된 망상 섬유속(網狀纖維束) 형상의 엘리먼트로 재구성하는 기술이다. 본래, 엘리먼트를 Zephyr화하는 것은 목재를 대상으로 개발되었지만(金, 1995), 목재는 활렬성이 낮기 때문에 섬유가 끊기어 떨어지는 등의 문제점이 있어서 고품질의 Zephyr를 얻기가 어려운 점이 있었다. 이에 반해 대나무는 축방향으로 섬유속이 길게

연결되어 있어 섬유방향의 강도가 높으며, 아울러 섬유간에서 활렬이 쉽게 일어나는 성질이 있다. 이러한 특성상, 균일하며, 가늘고 긴 섬유로 활렬하는 데에 대나무가 적합하다고 판단되어, 패널재료의 원료로써의 이용기술인 Zephyr화를 대나무에 적용하고자 계획하게 되었다. 또한 대나무는 성장기간이 짧아 3~5년이면 성숙(成竹)이 되어 가공 이용할 수 있는 큰 장점이 있다.

본 연구에서는 대나무를 패널재료의 원료로써 이용하기 위해 국산 숭대(경남 밀양산)와 열대산대(인도네시아산 TALI)의 두 죽종을 대상으로 Zephyr화를 시도하였으며, 두 죽종으로 제조된 Zephyr의 형태적 특성을 SEM관찰 및 화상분석법을 이용하여 구성세포의 형태적인 차이점을 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

기전 상태의 국산 숭대(경남 밀양산, *Phyllo-*

stachys nigra var. *henonis*)와 열대산대(인도네시아산 TALI, *Gigantochloa apus*)의 성죽을 공시재료로 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 Zephyr의 제조

국산 솜대와 인도네시아산 TALI를 길이 약 1m 정도로 각각 절단한 후 할죽기를 이용하여 직경에 따라 3~4등분하였다. 분할된 각 대나무 시편은 Zephyr 제조 전에 상온의 물에 24시간 침지시켰다(함수율: 약 60~70%). 죽간 두께가 약 10~14mm 정도인 각 죽종 시편은 Zephyr제조용 기계의 상·하 롤러 사이를 통과시킨 후, 얇아진 두께정도에 따라 롤러 간격을 다시 조정해 나가는 방법으로 10~20회 반복 통과시켜 두께가 약 1.5~3mm 정도가 되도록 가늘고 긴 섬유다발 모양의 Zephyr를 제조하였다. Zephyr 제조 과정에서 두 죽종 모두 수분이 유출되었으며 유세포의 부스러기가 떨어졌다. Fig. 1은 Zephyr 제조 전의 대나무 시편과 Zephyr화된 대나무의 형태를 나타낸 것이며, Fig. 2는 실제현미경으로 관찰된 Zephyr의 형상이다.

2.2.2 주사전자현미경(SEM) 관찰용 시편의 제작

2.2.2.1 대나무시편의 제작

할죽한 대나무 시편에서 죽간 전체가 포함되도록 1×1×3cm 크기의 장방형의 블록을 채취하여, glycerin과 물의 1:3 혼합액을 넣은 환류냉각기에서 연화시켰다. 연화된 시편은 트리밍(trimming)을 하기 위해 paraffin embedding 처리를 하였다. Paraffin처리 방법은 시편을 세척한 후 30% ETOH, 2hr → 50% ETOH, 2hr → 70% ETOH, 2hr → 95% ETOH, 2hr → 99.9% ETOH, 12hr의 과정으로 alcohol 계열 탈수처리를 하였다. 다시 xylene으로 치환(99.9% ETOH 1: xylene 1, 12hr → xylene, 24hr)하여 각각 액상 xylene 1: paraffin 1, 12hr → paraffin, 3~4hr 단계로 하여 60°C의 건조기에서 처리하였다. 다음으로 액상의 paraffin을 시편과 함께 입방체의 틀에 부어

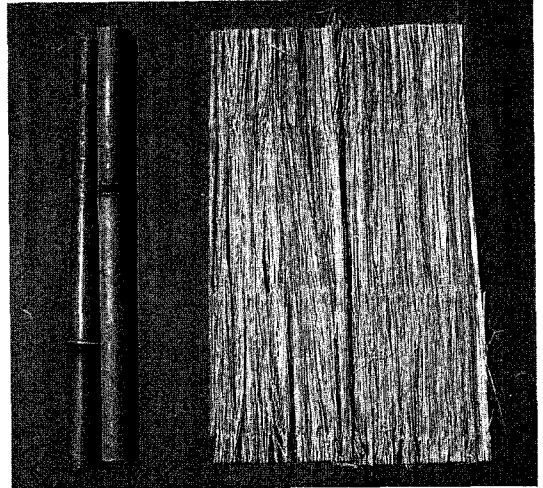


Fig. 1. Bamboo and bamboo zephyr.

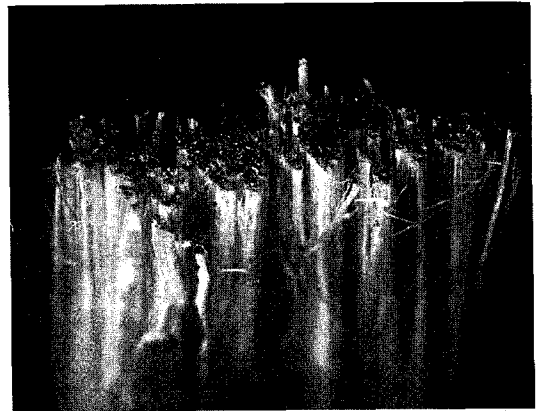


Fig. 2. Bamboo zephyr observed by stereomicroscope (×40).

일정한 형태를 갖추어 경화시킨 후 날카로운 칼을 이용하여 적절한 크기로 다듬었다.

제작된 블록은 관찰할 횡단면을 slide microtome을 이용하여 시편을 제작한 다음 Xylene을 이용하여 paraffin을 제거한 후 동결건조를 하였다.

2.2.2.2 대나무 Zephyr 시편의 제작

국산 솜대와 열대산 TALI로 제조된 Zephyr의 횡단면을 날카로운 면도날을 이용하여 다듬은 후 0.5×0.5×1cm 크기의 Zephyr 시편을 채취하여 SEM 관찰

을 위해 동판에 에폭시 수지계열의 araldite접착제로 수직 접착하였다.

2.2.3 주사전자 현미경 관찰

준비된 시편들의 횡단면을 관찰하기 위해 양면테이프를 이용하여 시료대에 횡단면이 잘 보이도록 고착한 후 ion-coating을 하여 SEM으로 관찰하였다.

2.2.4 화상분석법에 의한 유관속초울과 후벽섬유의 세포벽률 조사

SEM 관찰로 찍은 사진을 HP포토 스캐너에서 동일한 해상도로 고정하여 스캔 작업을 하였다. 이후 Adobe의 Photoshop 5.0에서 죽간을 외연에서 내연까지 같은 비율로 5등분하여 각 image에 대해 image making을 하여 분석에 필요한 유관속초, 유관속과 후벽섬유의 내강으로 구분하여 서로 다른 image file로 만들어 저장하였다. Image Analyzer(Matrox Inspector 2.0; Matrox Electronic System. Ltd)를 이용하여 각 image를 측정 한 후 블록을 설정하여 각각의 면적, 개수를 구하여 평균을 계산하였다. 유관속초울과 후벽섬유 세포벽률의 산출방법은 다음과 같다. 유세포, 유관속과 후벽섬유의 내강을 횡단면상에서 blob로 나타내었다. Image 상에서 이들을 측정할 때 블록을 설정하였으며 설정된 블록에 포함된 blob의 면적을 측정하였다. 그 후 blob 면적의 총합을 블록의 면적으로 나누어 백분율로 환산하여 각각의 면적을 산출하였다.

2.2.4.1 유관속초울

유관속초와 유관속을 포함한 면적에서 유관속 면적을 뺀 값을 전체면적으로 나누어 백분율로 환산한 값이다. 다음의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{유관속초울(\%)} = \frac{(A+B)-B}{D} \times 100$$

유관속초면적 = A

유관속면적 = B

전체면적 = D

2.2.4.2 후벽섬유의 세포벽률

유관속초와 유관속을 포함한 면적에서 유관속과 후벽섬유 내강의 면적을 뺀 값을 유관속초와 유관속을 더한 면적으로 나누어 백분율로 환산한 값이다. 다음의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{후벽섬유세포벽률(\%)} = \frac{(A+B)-(B+C)}{A+B} \times 100$$

유관속초면적 = A

유관속면적 = B

후벽섬유 내강 = C

3. 결과 및 고찰

3.1 SEM 관찰을 통한 기본조직 특성 조사

3.1.1 국산 숭대와 인도네시아산 TALI의 기본조직 특성

두 죽종의 기본조직 특성을 비교·조사하기 위하여 죽간의 외연에서부터 수강에 인접한 내연까지 죽간 전체가 포함되도록 횡단면 절편을 만들었다. 이를 같은 배율(×50)에서 관찰한 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 두 죽종 모두 죽간의 외연에 가까워질수록 유관속초의 발달이 현저하여 후벽섬유의 양이 많아지나, 유관속의 발달이 미약하다. 특히 죽간의 가장 바깥 표피쪽에는 유관속이 거의 발달하지 않았고 후벽섬유만으로 구성된 유관속초가 길쭉한 모양을 이루고 있다. 그러나 죽간의 외연에서 내연으로 갈수록 유관속을 둘러싸고 있는 유관속초의 발달이 미약하여 후벽섬유의 양이 적어지나, 유관속의 발달이 현저해지고 기본조직을 이루는 유세포의 양도 많아진다. 이것은, 이·박(1987)이 담양산 왕대속 4종에서 밝힌 조직특성과 동일한 결과로서 유관속, 유관속초, 유세포 등 모든 세포가 죽간의 내연에서 외연으로 향할수록 유관속의 배열, 세포치수 등의 변이성이 컸다.

한편, 김(1975, 1977, 1978)이 지리산 죽류, Sasa, Bambusa속의 유관속초의 형태를 관찰한 보고에서

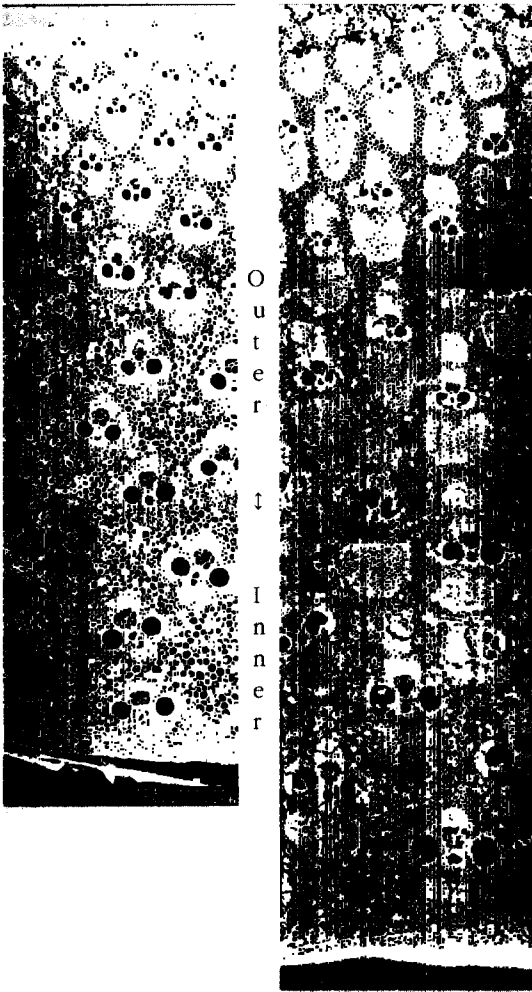


Fig. 3. Sector of culm-wall from outer to inner zone in cross section(left : *Phyllostachys nigra*, right : *Gigantochloa apus*).

죽간의 높이와 죽종에 따라 유관속초의 형태가 상이(相異)했던 결과와 같이 본 연구에서도 두 죽종간에 유관속의 형태에 차이가 있음을 알 수가 있다. 즉, Fig. 4와 Fig. 5에서 보여지는 후벽섬유의 집단인 유관속초의 관찰에서는 두 죽종간에 형태적인 차이가 명확하다. 국산 솜대의 경우, 유관속초를 구성하는 개개의 후벽섬유의 내강이 거의 없을 정도로 세포벽이 비후해 있으며, 세포간극도 거의 관찰되지 않는다.

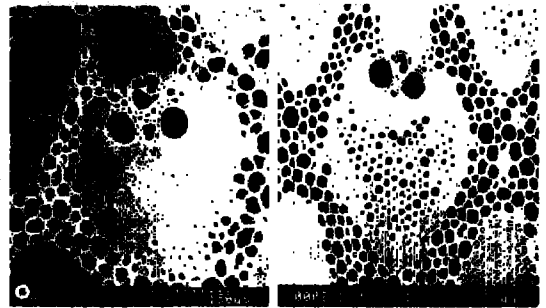


Fig. 4. Comparison of vascular bundle sheaths in *Phyllostachys nigra*(left) and *Gigantochloa apus*(right).

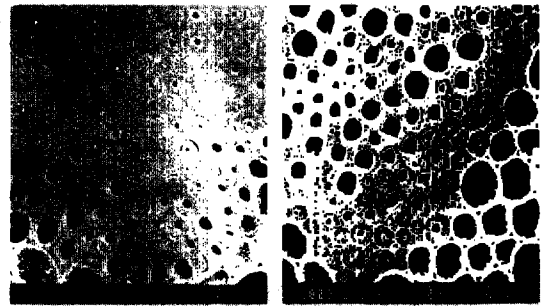


Fig. 5. Comparison of sclerenchymatous fibers in *Phyllostachys nigra*(left) and *Gigantochloa apus*(right).

이에 비해, 인도네시아산 TALI는 유관속초가 전체적으로 크고 길쭉하며, 세포내강이 크고 세포벽이 얇으며 세포간극이 비교적 뚜렷한 후벽섬유가 많이 관찰된다.

3.1.2 국산 솜대와 인도네시아산 TALI zephyr의 조직특성

Fig. 6은 두 죽종의 Zephyr화한 후의 형태적 변화를 관찰한 결과이다. 두 죽종 모두 롤러 압축에 의해 유관속과 함께 세포벽이 얇은 유세포가 쉽게 압괴되지만, 후벽섬유로 구성된 유관속초의 할렬 경향은 다르다. 세포내강이 거의 없고 두꺼운 세포벽을 가지고 있으며 조직이 치밀한 국산 솜대의 후벽섬유는 세포간층의 분리에 의한 섬유간의 할렬이 균일하지 않

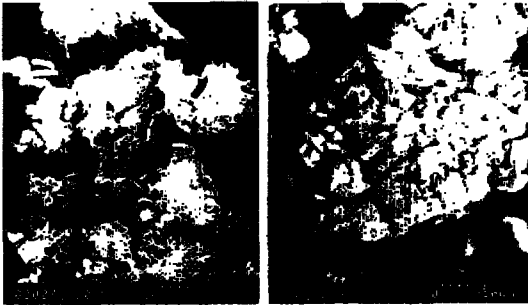


Fig. 6. Bamboo zephyrs produced from *Phyllostachys nigra*(left) and *Gigantochloa apus*(right).

다. 즉 비후된 후벽섬유간의 할렬이 용이한 부분과 그렇지 못한 부분이 혼재하고 있어 유관속초간의 집단적인 파괴가 두드러진다. 그 결과 Zephyr의 횡단면의 형태가 굵고 도톰한 형상을 가진 것이 많이 관찰된다. 이에 비해, 인도네시아산 TALI의 후벽섬유는 큰 세포내강과 얇은 세포벽을 가진 것이 많아 잘 압피되며 세포간층의 분리가 쉬워 가늘고 균일한 섬유로 할렬되기 때문에 두 죽종 간에 제조된 Zephyr의 형상에 차이가 있음을 알 수가 있다.

3.2 화상분석에 의한 두 죽종의 유관속초의 특성 비교

국산 숭대와 인도네시아산 TALI로 제조된 Zephyr의 형태적 차이의 원인으로 추정되는 후벽섬유의 양과 분포양식을 명확하게 규명하기 위하여 화상분석법을 이용하여 두 죽종의 유관속초율과 후벽섬유 세포벽율을 조사한 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7은 국산 숭대와 인도네시아산 TALI의 유관속초율을 비교한 것이다. 두 죽종 모두 죽간의 내연에서 외연으로 가까워질수록 유관속초율이 높아지고 있는 것은 동일한 경향이다. 또한, 국산 숭대는 내연에서 30%인 유관속초율이, 외연에 이르렀을 때에는 59%에 달하며, 인도네시아산 TALI는 내연에서 35%, 외연에서는 62% 정도였다. 이것은 전체적으로 국산 숭대보다 인도네시아산 TALI가 5% 정도 유관속초

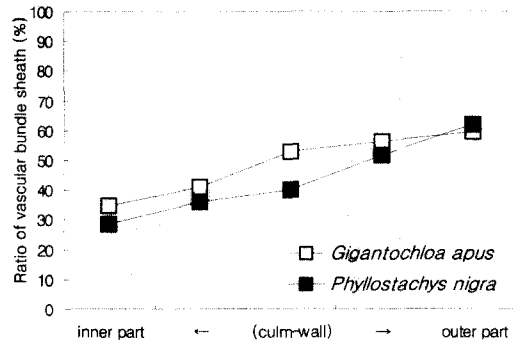


Fig. 7. Comparison between *Phyllostachys nigra* and *Gigantochloa apus* in the ratio of vascular bundle sheaths.

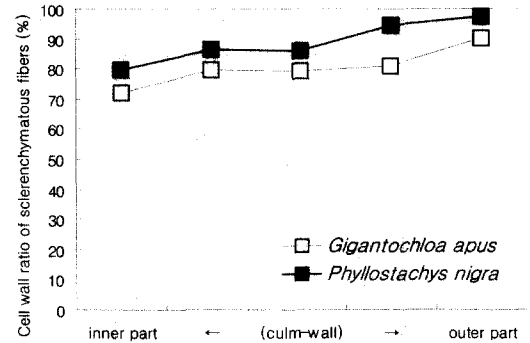


Fig. 8. Comparison between *Phyllostachys nigra* and *Gigantochloa apus* in cell wall ratio of sclerenchymatous fibers.

율이 높은 것을 나타내고 있으나, 죽간의 가장 외연 부위에서는 인도네시아산 TALI 보다 오히려 국산 숭대가 조금 더 높은 값을 나타내고 있다. 또, 죽간의 내·외연의 유관속초율의 차이는 국산 숭대가 인도네시아산 TALI 보다 약간 더 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 국산 숭대와 인도네시아산 TALI의 후벽섬유 세포벽율을 비교한 것이다. 국산 숭대가 인도네시아산 TALI에 비해 후벽섬유 세포벽율이 높은 결과를 나타내고 있다. 이는 Fig. 4와 Fig. 5에서도 알 수 있듯이 국산 숭대는 유관속초를 구성하는 개개의 후벽섬유의 내강이 거의 없을 정도로 세포벽이 비후해 있으나, 인도네시아산 TALI는 유관속초의 후벽섬유

내강이 크게 발달하여 세포벽의 두께가 얇기 때문에 생각된다. 또 후벽섬유 세포벽물은 죽간의 내연에서 외연부위로 갈수록 점점 높아지는 경향을 나타내고 있다. 이것은 박 등(1987)이 언급한 바와 같이 유관속초와 같은 기계적 조직이 특히 죽간의 외연에 발달함으로 죽간의 가운데가 비어 있는 현상과 함께 지하경이 받는 힘의 외력에 대하여 극히 합리적인 구조를 가지고 있기 때문일 것으로 판단된다.

4. 결 론

이상의 결과로 국산 솜대와 인도네시아 TALI는 두 죽종 간의 구성세포의 형태적인 차이에 의해 제조된 Zephyr의 형태에 차이가 있음을 알 수 있었다.

1. 두 죽종의 기본조직 특성은 죽간의 외연부분일수록 후벽섬유로 이루어진 유관속초의 발달이 현저하였으며 유관속의 발달이 미약하였다. 또 죽간의 내연부분으로 갈수록 후벽섬유로 이루어진 유관속초의 발달이 미약하였으며, 유관속의 발달과 함께 유세포의 양도 많아졌다.
2. 국산 솜대 zephyr의 형태는 후벽섬유의 세포벽이 두껍고 세포내강이 거의 없으므로 유관속초간의 집단적인 할렬이 두드러졌고 할렬 형태가 균일

하지 않았다.

3. 인도네시아산 TALI zephyr의 형태는 후벽섬유의 세포벽이 얇고 큰 세포내강과 세포간극이 많이 존재하여 가늘고 균일하게 할렬된 형상을 나타내었다.
4. 화상분석법으로 횡단면상의 유관속초율과 후벽섬유 세포벽율을 조사한 결과, 국산 솜대가 인도네시아산 TALI에 비해 유관속초율은 낮았지만, 후벽섬유 세포벽율은 더 높은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 金柔延. 1995. 低質木材原料をローラー壓潰して作るセファーストランドをエレメントとする新しい構造用木質材料の開発に關する研究. 東京大學 博士學位論文.
2. 김재생. 1975. 대나무류의 유관속초에 의한 형태학적 연구. 한국임학회지. 25: 13-47.
3. 김재생. 1977. 지리산 죽류의 유관속초에 의한 형태학적 연구. 한국임학회지. 34: 47-56.
4. 김재생. 1978. Sasa와 Bambusa속의 유관속초형에 의한 비교연구. 한국임학회지. 39: 35-46.
5. 박상진, 이원용, 이화형. 1987. 목재조직과 식별. 향문사: pp. 170-173.
6. 이재기, 박상진. 1987. 담양지방 왕대속 4종의 조직 및 간내변이성. 목재공학회지. 15(3): 14-23.