

## 신갈나무의 인장응력재와 대응재의 해부학적 특성\*1

이 승 환\*2 · 황 원 중\*2 · 김 남 훈\*2

## Some Anatomical Characteristics in Tension and Opposite Woods of *Quercus mongolica* Fischer\*1

Seung-Hwan Lee\*2 · Won-Jung Hwang\*2 · Nam-Hun Kim\*2

### ABSTRACT

The lengths of fibers and vessel elements, vessel diameters, and ray spacings of tension and opposite woods in *Quercus mongolica* Fischer and their radial variations were examined. Crystallinity indices and crystallites orientations of tension, opposite and lateral woods were also investigated.

The lengths of fibers and vessel elements, and ray spacings of tension wood were longer and denser than those of opposite wood, respectively. In the latewood, the vessels of tension wood had a little larger diameters than those of opposite wood, whereas the vessel diameters of earlywood were similar in both woods. With the exception of vessel diameters of earlywood, there were differences between tension and opposite woods in all anatomical characteristics examined.

In the radial variation pattern, the fiber lengths of both woods increased markedly to about 15th annual ring and thereafter remained virtually constant. The vessel element lengths of earlywood in tension wood increased to certain annual ring and thereafter were stabilized, but opposite wood had a relatively constant trend from pith to bark. Those of latewood in both woods increased to certain annual ring and thereafter showed constant patterns. Vessel diameters appeared to show similar trend in both woods. Ray spacings decreased to about 15 annual ring and thereafter were stabilized in both woods.

In the fine structures, tension wood had higher crystallinity index and better crystallites orientation than opposite and lateral woods.

**Keywords** : Tension wood, opposite wood, fiber length, vessel element length, vessel diameter, ray spacing, crystallinity index, crystallite orientation

### 1. 서 론

수목은 생육하는 동안에 토질, 지형, 외부응력 등 여

러 생육조건에 의하여 영향을 받게된다. 특히, 경사지에 생육하는 수목이나 바람, 눈 등 외력의 영향을 받으며 생장하는 수목은 한쪽 방향으로 치우쳐 비대생장을 하게 되

\*1 접수 1997년 6월 5일 Received June 5, 1997

\*2 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Science, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

는데, 이렇게 편심되어 성장한 수간의 비대부분의 재부를 응력재(reaction wood)라고 한다(Timell, 1986: 박 등, 1987).

응력재는 침엽수, 활엽수에서 모두 발생하며, 침엽수에서는 경사된 수간의 아래쪽, 즉 압축응력을 받는 쪽에 생기므로 압축응력재(compression wood)라고 하며, 활엽수에서는 윗쪽, 즉 인장응력을 받는 쪽에 생기므로 인장응력재(tension wood)라고 한다. 또한 응력재의 대응부분의 재부를 대응재(opposite wood), 측면부분의 재부를 측면재(lateral wood)라고 부른다(Timell, 1986).

침엽수에서 생기는 압축응력재에 관한 정보들은 이미 많은 연구자들에 의해 얻어져 Timell(1986)에 의해 그 결과들이 집대성된 바 있으나 인장응력재에 관한 연구는 아직 이에 미치지 못하고 있다.

지금까지 알려져 있는 인장응력재의 특징들을 살펴보면, 가장 두드러진 특징으로 젤라틴 함유의 발달을 들 수 있다(Araki *et al.*, 1982; Côte, 1969; Goto *et al.*, 1978; Harada *et al.*, 1971; Norberg & Meier, 1966). 이 젤라틴함유는 정상섬유에 비하여 세포벽이 매우 두껍고, 세장하며, 벽공의 수도 적은 경향을 나타낸다(Panshin & Zeeuw, 1980). 또한 셀룰로오스의 함량이 많고 리그닌 함량은 적으며, 큰 결정화도와 상당히 좋은 결정의 배향성을 가지고 있다(Goto *et al.*, 1978; Panshin & Zeeuw, 1980). 셀룰로오스 마이크로피브릴의 배향은 축방향에 거의 평행하며(Côte, 1969; Goto *et al.*, 1978). 세포벽의 구성도 정상재와는 다른 면을 보이고 있다(Araki *et al.*, 1982; Harada *et al.*, 1971). 그리고 인장응력재의 도관요소의 구성비율과 지름은 정상재에 비해 작은 경향이 있다고 보고되고 있다(Côte, 1969). 이외로 물리적성질과 화학적성질에서도 정상재와는 다른 여러 차이점을 볼 수 있다(Lassen, 1959; Norberg & Meier, 1966; Panshin & Zeeuw, 1980).

현재까지 인장응력재에 관하여 보고된 연구결과들은 주로 정상재와의 비교·연구이며, 인장응력재와 대응재에 대한 특성의 차이점을 보고하는 Park 등(1989)과 Park & Park(1989)의 연구외는 거의 없는 것으로 생각된다. 따라서 본 논문에서는 인장응력재(tension wood)와 대응재(opposite wood)의 성질을 비교하기 위하여 몇가지 해부학적 특성 및 그들의 방사방향 변이를 조사하였다. 또한 인장응력재, 대응재 및 측면재의 세포벽중의 셀룰로오스 결정의 상태를 비교하기 위하여 상대결정화도와 결정의 배향성을 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 재료

공시목은 강원대학교 연습림에서 자생한 흉고직경 32 cm, 수고 15m인 49년생 신갈나무재의 기부에서 인장응력재가 포함된 원편을 사용하였다. 본 실험에서 이용된 시료의 원편은 Fig. 1과 같다.

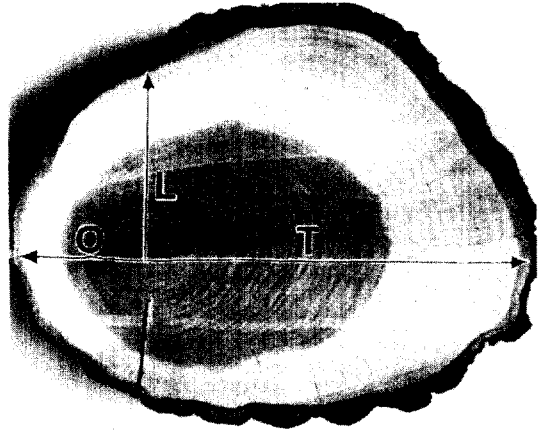


Fig. 1. Cross section of *Quercus mongolica* Fischer  
Notes: T : Tension wood. O : Opposite wood.  
L : Lateral wood

### 2.2 방법

#### 2.2.1 목섬유와 공권부, 공권외부 도관요소의 길이 측정

인장응력재와 대응재로 나누어 수심에서 수피쪽으로 3 연륜의 간격으로 16개의 block을 제작하여 술츠용액으로 해리하였다. 해리된 시편은 사프라닌으로 염색한 후 임시프레파라트를 제작하였고, 100배율 및 400배율의 광학현미경으로 접안마이크로미터를 사용하여 각 시편당 목섬유, 도관요소 50개씩을 측정하여 평균치로 하였다.

#### 2.2.1 공권부, 공권외부 도관의 직경과 방사조직 밀도 측정

10(T)×10(R)×15(L)mm의 block을 해리용 시편과 마찬가지로 인장응력재와 대응재에서 16개씩 만들어 글리세롤과 물(1 : 3)의 혼합액으로 연화하였다. 마이크로톰을 사용하여 횡단면 절편을 제작하였고, 상법의 알콜 시리즈로 탈수를 거쳐 safranin · light green 2중 염색을 한 후 영구 프레파라트를 제작하였다. 접선방향

의 도관직경은 400배율의 광학현미경으로 접안마이크로미터를 사용하여, 각 시편당 50개씩의 도관을 측정하였다. 방사조직 밀도는 횡단면의 접선방향 1mm내의 방사조직의 수로 하였다.

### 2.2.3 상대결정화도와 결정의 배향성 측정

인장응력재, 대응재 및 측면재의 X선 회절도(Fig. 8)와 회절강도곡선(Fig. 9)을 얻어, 상대결정화도는 Segal 법(1959)에 의해 계산하였고, 결정의 배향성은 X선회절도로부터 Preston 방법(1974)으로 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

본 실험에서 얻어진 해부학적 성질의 결과는 표 1과 같다.

### 3.1 목섬유의 길이

인장응력재의 목섬유 길이는  $886.6 \pm 124.4 \mu\text{m}$ 에서  $1276.4 \pm 144.9 \mu\text{m}$ 의 범위였으며, 대응재는  $762.2 \pm 123.7 \mu\text{m}$ 에서  $1217.4 \pm 143.7 \mu\text{m}$ 이었다. 평균값은 각각  $1153.2 \pm 157.4 \mu\text{m}$ 와  $1093.1 \pm 146.0 \mu\text{m}$ 로 T검정 결과 99% 수준의 유의성을 보여 인장응력재의 것이 다소 긴 것을 알 수 있었다. 이 결과는 Park 등(1989)이 보고한 결과와 잘 일치하는 것으로 생각된다. 참고로 신갈나무 정상재의 목섬유 길이는  $1100 \mu\text{m}$ (임업연구원, 1994), 상수리나무와 졸참나무의 그것은 각각  $1,320 \mu\text{m}$ 와  $1,260 \mu\text{m}$ (박 등, 1987)로 보고되고 있다.

최근, Baba 등(1996)은 *Eucalyptus camaldulensis* 인장응력재의 해부학적 특징에 관한 연구에서 목섬유의 길이를 동 수종의 정상재  $670 \mu\text{m}$ 보다 긴  $780 \mu\text{m}$ 로 보고하고 있어 본 실험과 유사한 결과라고 생각되었다.

Fig. 2는 인장응력재와 대응재의 목섬유길이의 방사방향 변이를 나타낸 것으로 인장응력재와 대응재 모두 약

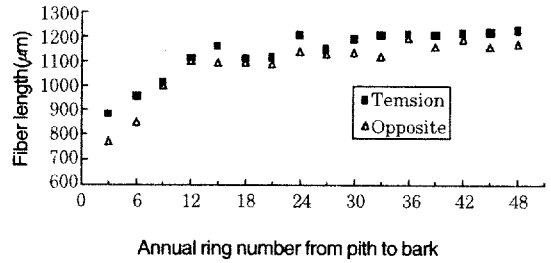


Fig. 2. Radial variation of the fiber lengths in tension and opposite woods of *Quercus mongolica*.

15년륜까지는 현저하게 증가하다가 그 후로 완만해지는 경향을 나타내었다. 이와 같이 인장응력재와 대응재에서도 정상재와 거의 유사한 경향의 방사방향 변이를 갖고 있는 것은 상당히 흥미있는 결과로 생각된다.

### 3.2 도관요소의 길이

인장응력재의 공권부 도관요소 길이의 범위는  $277.1 \pm 67.8 \mu\text{m}$ 에서  $384.1 \pm 71.2 \mu\text{m}$ , 대응재는  $307.2 \pm 69.4 \mu\text{m}$ 에서  $350.4 \pm 63.6 \mu\text{m}$ 이었으며, 평균값은 각각  $345.2 \pm 76.1 \mu\text{m}$ 와  $330.8 \pm 64.8 \mu\text{m}$ 이었다. T검정 결과 유의성은 95% 수준으로 인장응력재가 대응재에 비해 다소 긴 것을 알 수 있었다. Park 등(1989)은 5수종의 활엽수재의 도관요소 길이를 측정하여 3수종(물박달나무, 졸참나무, 산벚나무)은 대응재가 인장응력재보다 다소 길고, 2수종(오리나무, 단풍나무)은 양재에서 거의 차이가 없었다고 보고하고 있어 본 연구의 결과와 상반된 결과를 보고하고 있다. 따라서 도관요소의 길이는 수종간, 개체간에서 변동이 심하여 일정한 경향을 찾기가 어려운 요소로

Table 1. Fiber and vessel element lengths, vessel diameters and ray spacings in tension and opposite woods of *Quercus mongolica*.

	Tension wood	Opposite wood	T-test (p)
Fiber length( $\mu\text{m}$ )	$1153.2 \pm 157.4$	$1093.1 \pm 146.0$	0.001
Earlywood( $\mu\text{m}$ )	VL	$345.2 \pm 76.1$	0.05
	VD	$202.3 \pm 38.8$	no significance
Latewood( $\mu\text{m}$ )	VL	$523.7 \pm 85.4$	0.001
	VD	$30.8 \pm 12.8$	0.001
Ray spacing(number)	$11.9 \pm 1.2$	$11.2 \pm 0.7$	0.05

Notes: VL : vessel element length, VD : vessel diameter.

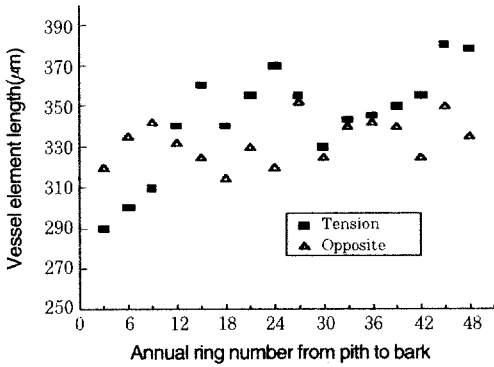


Fig. 3. Radial variation of the vessel element lengths of earlywood in tension and opposite woods of *Quercus mongolica*.

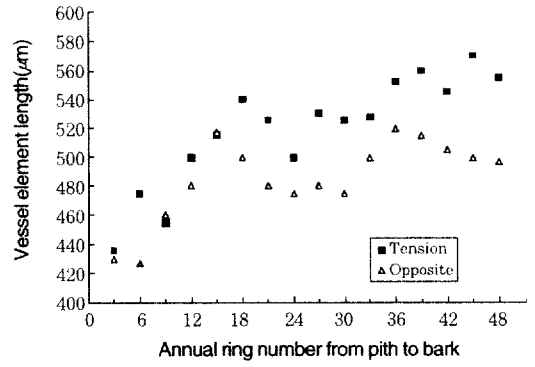


Fig. 4. Radial variation of the vessel element lengths of late wood in tension and opposite woods of *Quercus mongolica*.

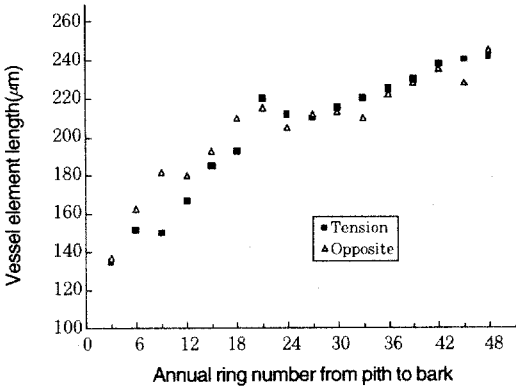


Fig. 5. Radial variation of the vessel diameters of earlywood in tension and opposite woods of *Quercus mongolica*.

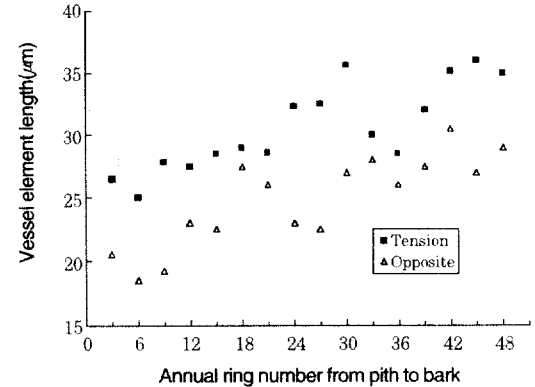


Fig. 6. Radial variation of the vessel diameters of latewood in tension and opposite woods of *Quercus mongolica*.

생각된다. 참고로 신갈나무 정상재의 공권부 도관요소의 길이는  $368\mu\text{m}$ 로 보고되어 있다(Lee, 1991). Fig. 3은 공권부 도관요소 길이의 방사방향 변이를 나타낸 것으로, 인장응력재의 경우는 일정 연륜까지 증가하다가 그 후 안정되어지는 경향이었지만 대응재는 수심부와 수피부에서 거의 차이가 없이 비교적 안정된 경향을 보여 주었다.

공권외부 도관요소의 길이는 인장응력재의 경우  $437.7 \pm 86.6\mu\text{m}$ 에서  $588.5 \pm 71.4\mu\text{m}$ 의 범위였으며, 대응재의 경우는  $433.5 \pm 80.7\mu\text{m}$ 에서  $518.5 \pm 74.4\mu\text{m}$ 의 범위였다. 평균값은 인장응력재와 대응재에서 각각  $523.7 \pm 85.4\mu\text{m}$ 와  $485.1 \pm 71\mu\text{m}$ 로서 T검정 결과 99%수준의 유의성을 보여 인장응력재가 길었다. 참고로 신갈나무 정

상재의 공권외부 도관요소의 길이는  $375\mu\text{m}$ 으로 보고되어 있다(Lee, 1991). Fig. 4에 공권외부 도관요소 길이의 방사방향 변이를 나타내었는데, 인장응력재와 대응재 모두 그 길이가 일정 연륜까지 증가하다가 그 후는 거의 안정되는 경향을 나타내었다.

### 3.3 도관의 직경

공권부에 있어서, 인장응력재의 도관직경의 범위는  $135.3 \pm 34.3\mu\text{m}$ 에서  $240.4 \pm 37.7\mu\text{m}$ 였으며 대응재는  $137.2 \pm 31.6\mu\text{m}$ 에서  $248.8 \pm 53.9\mu\text{m}$ 였다. 평균값은 각각  $202.3 \pm 38.8\mu\text{m}$ 와  $207.2 \pm 46.0\mu\text{m}$ 로 대응재측이 다소 크게 나타났으나 T검정결과 유의성이 인정되지 않아

양재부에서 차이가 없는 것으로 생각되었다. Park 등 (1989)은 졸참나무의 4수종의 연륜 전주내의 도관 직경을 측정하여 인장응력재의 도관직경이 가장 작고 대응재의 그것이 가장 큰 것으로 보고하고 있어 본 연구와는 다른 결과를 보여주고 있다. Lee(1991)는 신갈나무 정상재의 공권부 도관직경을 221.4 $\mu$ m로 보고하고 있다.

공권부 도관직경의 방사방향 변이는 Fig. 5에 나타내었으며, 인장응력재와 대응재 모두 연륜이 증가하면서 거의 같은 경향으로 증가하였다.

공권의부에 있어서, 인장응력재의 도관직경은 25.2 $\pm$ 21.1 $\mu$ m에서 36.0 $\pm$ 20.0 $\mu$ m의 범위였으며, 대응재는 18.0 $\pm$ 7.5 $\mu$ m에서 30.7 $\pm$ 10.9 $\mu$ m의 범위였다. 평균값은 각각 30.8 $\pm$ 12.8 $\mu$ m와 25.1 $\pm$ 9.9 $\mu$ m로서 T검정 결과 99%의 유의성을 보여 인장응력재가 큰 것을 알 수 있었다. 정상재의 공권외부 도관직경은 27.0 $\mu$ m(Lee, 1991)로서 보고되고 있고, 상수리나무와 졸참나무는 각각 60 $\mu$ m와 45 $\mu$ m(박 등, 1987)로서 보고되고 있다. Côté(1969)는 인장응력재 도관의 직경과 구성비율은 정상재에 비해 작고 목섬유의 비율은 증가한다고 보고하고 있다. 본 실험결과 인장응력재의 도관 직경은 정상재에 비해 다소 작은 것으로 생각되었다. Fig. 6은 도관직경의 방사방향 변이를 나타낸 것으로 연륜이 증가하면서 인장응력재와 대응재 모두 같은 경향으로 증가하는 것을 보여주었다.

### 3.4 방사조직 밀도

인장응력재와 대응재의 방사조직 밀도의 범위는 각각 10.6 $\pm$ 1.4에서 15.8 $\pm$ 0.8, 9.2 $\pm$ 0.8에서 14.0 $\pm$ 1.3이었다. 평균값은 각각 11.9 $\pm$ 1.2와 11.2 $\pm$ 0.7로서 양재

부간에 큰 차이가 없는 것으로 생각되었으나 T검정결과는 95%수준의 유의성을 보여주고 있어 인장응력재가 대응재에 비해 방사조직의 밀도가 다소 높은 것을 나타내고 있다. Panshin과 Zeeuw(1980)은 환공재에 있어서 방사조직의 밀도를 5단계로 구분하였는데 본 논문의 인장응력재와 대응재는 약 12의 값으로 중간인 '약간 밀한 것 (fairly close)'으로 평가할 수 있었다. 또한 IAWA(1989)는 3단계로 구분하였는데 이 기준에 의하면 중간정도(4~12개/mm)에 속하는 밀도를 가지고 있는 것으로 생각된다. Fig. 7은 방사조직 밀도의 방사방향 변이를 나타낸 것으로 인장응력재와 대응재 모두 수심부에서 높고 약 15연륜까지 감소하다 안정되는 경향을 보여주었다.

### 3.5 상대결정화도와 결정의 배향성

X선 회절도(Fig. 8)와 회절강도곡선(Fig. 9)에서 얻어진 상대결정화도와 결정의 배향성을 Table 2에 나타내었다.

인장응력재의 상대결정화도는 66%로 대응재의 55%와 측면재의 49%에 비하여 크게 나타났다. 또한 결정의 축방향에 대한 배향도도 인장응력재가 10°로서 대응재의 22°와 측면재의 25°에 비하여 좋은 것을 알 수 있었다. Lee와 Kim(1993)은 버즘나무의 인장응력재, 대응재 및 측면재의 상대결정화도를 각각 60%, 50%, 49%로 보고하고 있어 본 실험의 결과와 유사한 것으로 생각되었다. 또한 Lee와 Kim(1992)은 일반적인 활엽수재의 상대결정화도를 50~60%로 보고하고 있어 인장응력재의 상대결정화도는 동일 수간내의 다른 재부에 비하여 비교적 큰 값을 갖는 것으로 생각되었다. Baba 등(1996)은 *Eucalyptus camaldulensis* 인장응력재의 마이크로피브릴 경사각이 동수종의 정상재 22.3°에서 3.5°로 감소하여 배향성이 좋음을 보고하고 있으며, Panshin과 Zeeuw (1980)은 인장응력재의 젤라틴 섬유의 microfibril이 세포축에 대해 약 5°의 좋은 배향성을 갖는다고 보고하고 있어 본 실험의 결과를 뒷받침하고 있는 것으로 생각되었다.

Table 2. Crystallinity indices and crystallites orientations in tension, opposite and lateral woods of *Quercus mongolica*.

	Tension wood	Opposite wood	Lateral wood
Crystallinity index(%)	66	55	49
Crystallites orientation (°)	10	22	25

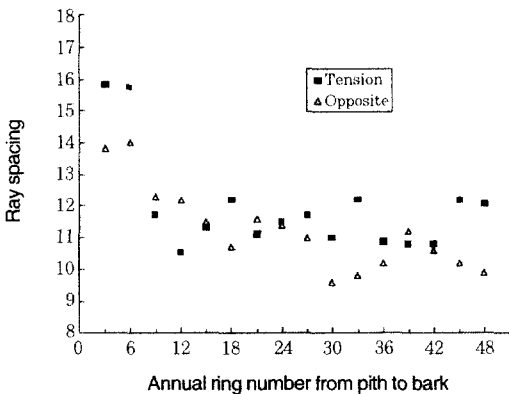


Fig. 7. Radial variation of the ray spacing in tension and opposite woods of *Quercus mongolica*.

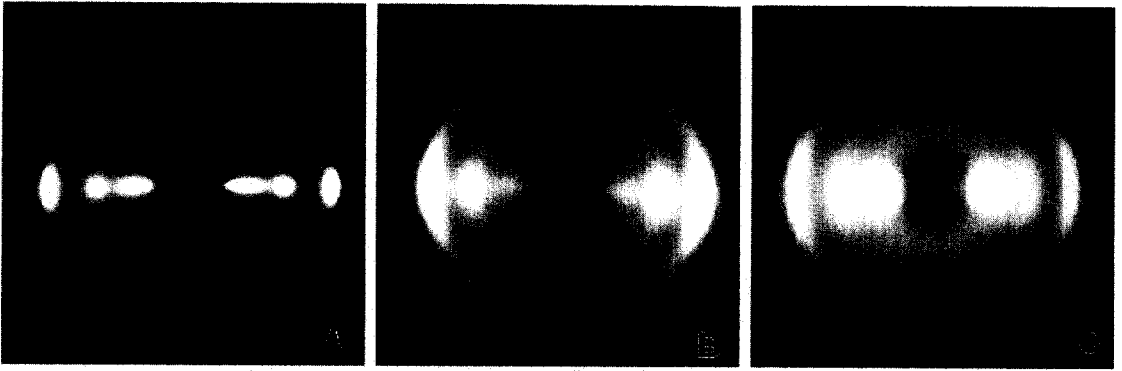


Fig. 8. X-ray diffraction diagrams of tension(A), opposite(B) and lateral(C) woods in *Quercus mongolica*.

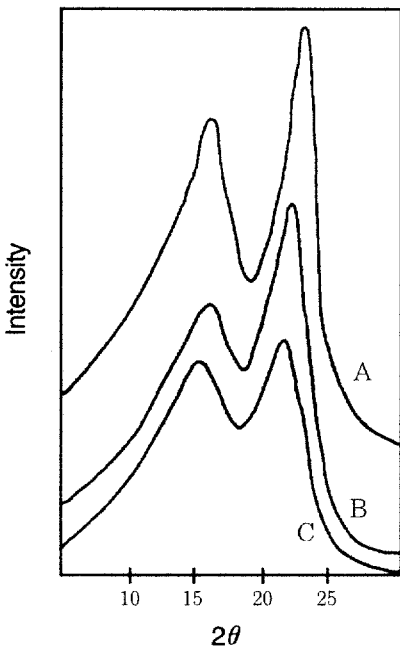


Fig. 9. Equatorial intensity profiles of the diagrams in Fig. 8 by microdensitometer.  
Notes: A: tension wood, B: opposite wood, C: lateral wood.

#### 4. 결론

본 연구에서는 신갈나무의 인장응력재와 대응재의 몇 가지 해부학적 특성, 즉 목섬유 길이, 공권부와 공권외부의 도관요소 길이와 직경, 방사조직밀도, 상대결정화도

및 결정의 배향성을 측정하였으며, 목섬유 및 도관요소의 길이, 도관직경, 방사조직밀도의 방사방향 변이를 조사하였다.

인장응력재의 목섬유와 도관요소 길이는 대응재에 비해 다소 길었으며 방사조직밀도도 다소 조밀하였다. 만재부의 도관직경은 대응재에 비해 인장응력재가 컸으나 조재부는 양 재부에서 비슷하였다. 인장응력재의 상대결정화도와 결정의 배향성은 대응재와 측면재에 비하여 크고 좋게 나타났다.

방사방향변이에 있어서, 목섬유는 양 재부에서 약 15 연륜까지 현저하게 증가하다가 완만해지는 경향을 나타내었다. 도관요소의 길이는 공권부의 경우 인장응력재에서 일정연륜까지 증가하다가 안정되는 경향이었지만, 대응재에서는 수에서 수피로 가면서 길이의 변화없이 비교적 일정한 경향을 나타내었다. 그리고 공권외부의 경우는 양 재부 모두에서 일정 연륜까지 증가하다가 안정되는 경향을 나타내었다. 도관직경의 방사방향변이는 공권부와 공권외부에서, 양 재부 모두 연륜이 증가하면서 거의 같은 경향으로 증가하였다. 방사조직밀도의 방사방향 변이는 양 재부에서 수심부에서는 크고 일정 연륜까지 감소하다 안정되는 경향을 나타내었다.

#### 참고 문헌

1. Araki, N., M. Fujita, H. Saiki, and H. Harada. 1982. Transition of the fiber wall structure from normal wood to tension wood in *Robinia pseudoacacia* L. and *Populus euramericana* G. *Japan Wood Res. Soc.* 28(5) : 267~273

2. Baba K, T. Ona, K. Takabe, T. Itoh, and K. Ito. 1996. Chemical and anatomical characterization of the tension wood of *Eucalyptus cmaldulensis* L.. *J. Japan Wood Res. Soc.* 42(8) : 795~798
3. Côté, W. A. 1969. A contribution to the ultrastructure of tension wood fibers. *Wood Sci. & Tech.* 3 : 257~271
4. Goto, T., H. Harada, and H. Saiki. 1978. Fine structure of cellulose microfibrils in poplar gelatinous layer and valonia. *Wood Sci. & Tech.* 12 : 223~231
5. Harada, H., T. Taniguchi, and A. Kishi. 1971. Ultrastructure of the gelatinous layer in tension wood fibers from *Populus euramericana*. *Bulletin of the Kyoto University Forests* 42 : 221~228
6. Lassen, L. E. 1959. Tension wood in cottonwood. *Forest Prod. J.* 9(3) : 116~120
7. Lee, S. J. 1991. A study on the vessel structure of Fagaceae species in Korea. Master thesis. 16~27. Kangwon National University
8. Lee, W. Y., and N. H. Kim. 1992. Fine structure of some major softwoods and hardwoods by X-ray diffraction methods. *Mokchae Konghak* 20(1) : 28~37
9. Lee, W. Y., and N. H. Kim. 1993. Crystal structure of tension wood by X-ray diffraction method. *Mokchae Konghak* 21(4) : 65~73
10. Norberg, P. H. and H. Meier. 1966. Physical and chemical properties of the gelatinous layer in tension wood fiber of Aspen (*Populus tremula* L.). *Bd. 20, H. 6.* 174~178
11. Panshin, A. J., and Carl de Zeeuw. 1980. *Text book of wood technology.* McGraw-Hill Book Company : 300~320
12. Park, S. J., B. S. Park, and W. T. Soh. 1989. Structure of Opposite Wood in Angiosperms(I). *Mokchae Konghak* 17(2) : 1~12
13. Park, S.J., and B.S. Park. 1989. Structure of Opposite Wood in Angiosperms(II). *Mokchae Konghak* 17(3) : 20~27
14. Preston, R. D. 1974. *The physical biology of plant cell walls.* Chapman and Hall : 276~326
15. Segal, L., J. J. Creely, A. E. Martin J., and C. M. Conrad. 1959. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Text. Res. J.* 786~794
16. Timell, T. E., 1986. *Compression wood in Gymnosperms.* Vol. I, II, III. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
17. 박상진 · 이원용 · 이화형. 1987. 목재조직과 식별. 향문사 : 237~243
18. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 임업연구원 연구자료 95 : 166~210