

소나무의 해부학적 특성과 종압축강도와의 관계*1

오 승 원*2

Relationship between Compression Strength Parallel to Grain and Anatomical Characters in *Pinus densiflora* S. et. Z. *1

Seung-Won Oh*2

ABSTRACT

This study was carried out to find the relationship between anatomical characters and compression strength parallel to grain of *Pinus densiflora* S. et. Z., the representative conifer species in Korea. The results were as follows :

1. The compression strength parallel to grain increased with the increase of tracheid length and wall thickness. The strength, however, decreased with the increase of height of uniseriate ray and microfibril angle.
2. The major factors affecting compression strength parallel to grain in heartwood were radial diameter of latewood tracheid and wall thickness of earlywood tracheid but length and tangential diameter of latewood tracheid were the important factors in sapwood.

Keywords : *Pinus densiflora*, compression strength, microfibril angle, tracheid

1. 서 론

목재자원은 인구 증가와 생활 수준의 향상으로 그 수요가 급증할 것으로 생각되며, 우리나라도 경제성장과 생활수준의 질적 향상으로 목재 소비량이 증가하고 있으나 목재류 총수요량의 90% 이상을 해외에 의존하고 있는 실정이다(정 등, 1994). 또한 세계적인 환경보전 추세, 산림자원 보유국의 벌채량 감소와 수출 억제정책, 가공 목재의 수출 전략화로 자국의 목재 산업을 보호 육성하는 방향으로 정책을 펴 나가고 있어 목재 파동이 예견되며,

최근의 남양재 가격 상승과 자원의 고갈로 대체재로서의 침엽수 자원에 대한 소비량이 증가될 것으로 생각된다(주 등 1994). 그러나 국내 산림 투자는 정부 예산의 우선 순위에서 밀려 사업량이 감소되고 있다. 그러므로 국내에서도 목재 자원의 효율적인 이용방법에 대한 다각적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

목재는 각종 세포로 구성되어 있는 이방성 물질이기 때문에 수종간은 물론 동일 개체 내에서도 변이가 매우 다양하여 이러한 목재의 성질을 이해하기 위하여 먼저 기초 재질에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 생각된다. 목

*1 접수 1997년 2월 28일 Received February 28, 1997

본 연구는 1995년도 전북대학교 학술재단의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

*2 전북대학교 농과대학 College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

재의 강도에 영향을 미치는 인자는 세포의 종류, 세포벽의 구조, 목리방향, 함수율, 비중, 연륜폭 등 내적 인자와 시험편의 모양과 크기, 온도, 하중방법 등 외적 인자로 구분된다(Bodig *et al.*, 1982; Kollmann *et al.*, 1968; 이 등, 1989). 이중 해부학적 특성과 역학적 성질과의 관계에 관한 연구로는 강도의 차이는 각 수종의 해부학적 특성 차이에 기인하며 특히 침엽수재는 추재와 수지구의 영향 그리고 활엽수재는 관공의 배열과 크기, 방사조직의 크기 등의 요인에 기인한다고 Gerhards(1982)가 보고한 바 있다. Bendtsen 등(1981)은 미류나무 및 미류나무와 양버들 교잡종에 있어 12가지 해부학적 특성에 따른 기계적 성질을 조사한 결과 일반적으로 목섬유 길이, microfibril경사각 및 방사조직이 강도적 성질과 밀접한 관계가 있다고 보고하였다. 특히 microfibril 경사각은 목재의 물리 및 기계적 성질에 크게 영향을 미치며(Bendtsen, 1978; 藤崎, 1984; Grossman *et al.*, 1971; Kucera *et al.*, 1982; Meylan *et al.*, 1968; Salmen *et al.*, 1985), microfibril 경사각이 종압축강도와 탄성계수를 결정하는 중요한 인자로 여겨지고 있다(Taylor *et al.*, 1992). 小田 등(1988)은 삼나무로 실험한 결과 microfibril 경사각과 종압축강도와의 관계는 부(-)의 상관관계가 있다고 밝힌바 있다.

한편 본 연구에서 공시목으로 사용한 소나무는 우리나라의 대표적인 침엽수재로서 1993년 기준 전체 용재 생산량의 50%(399천 m^3)를 차지하고 있다(산림청, 1994). 이와 같이 많은 양의 생산에도 불구하고 그 동안의 연구가 단순히 해부, 물리, 역학적 성질에 국한되어 있어 종합적인 상호관계에 대한 연구는 미흡한 실정에 있다. 따라서 본 연구는 소나무(*Pinus densiflora* S. et. Z.)를 대상으로 심·변제별, 조·만제별로 해부학적 특성에 따른 종압축강도와의 관계를 규명함으로써 소나무 자원의 합리적인 이용 방안을 위한 기초 자료를 얻기 위하여 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 공시목

본 연구에서 사용한 공시목은 전북 부안군 소재 전북대학교 농과대학 부속 연습림에서 비교적 생장이 우수하고 통직한 임목을 10본 벌채하여 사용하였으며 공시목의 개요는 Table 1과 같다.

2.1.2 종압축강도 측정용 시험편 제작

벌채된 원목의 흉고 부위를 중심으로 KS F 2206(1980)

Table 1. Description of sample trees.

| Species | Sample tree No. | D.B.H. (cm) | Height (m) | Age (year) |
|-------------------------|-----------------|-------------|------------|------------|
| <i>Pinus densiflora</i> | 1 | 30 | 17.5 | 40 |
| | 2 | 32 | 17.5 | 41 |
| | 3 | 28 | 15.0 | 38 |
| | 4 | 26 | 16.5 | 37 |
| | 5 | 30 | 17.5 | 39 |
| | 6 | 28 | 16.5 | 38 |
| | 7 | 30 | 18.0 | 42 |
| | 8 | 26 | 15.5 | 37 |
| | 9 | 28 | 16.5 | 38 |
| | 10 | 26 | 15.0 | 35 |

에 준하여 20(R)×20(T)×60(L)mm의 크기로 시험편을 제작하였다. 제작된 시험편은 항온항습기(온도 20±1℃, 습도 65%)에서 조습처리하여 평형함수율(12%)에 도달시킨 다음 종압축강도 측정을 위한 시험편으로 사용하였다.

2.1.3 해부학적 특성 측정용 시험편 제작

강도 시험이 끝난 후 비중과 함수율 등 물리적 성질은 같으나 강도에 차이가 있는 시험편을 선별하여 약 15×15×15mm의 시편을 채취하고 실온에서 24시간 물속에 침지한 다음 고압부에서 30분 연화시켰다. 연화된 시편을 활주식 microtome으로 15~20 μ m 두께의 3단면 절편을 절삭하고 safranin액으로 염색시켰다. Alcohol 계열로 탈수시킨 후 xylene에 침지하고 canada balsam으로 봉입하여 영구 slide를 제작하였다.

또한 3단면 절편의 제작에 이용된 시편에서 두께 1~2mm, 길이 15mm정도의 측목을 채취하여 Schultze 액에 침지시켜 해리한 다음 safranin 액으로 염색하여 일시 slide를 만들었다.

2.2 측정방법

2.2.1 물리적 특성 측정

파괴 근접 부위에서 채취한 시편의 연륜폭, 추재율, 비중 등을 측정하였다.

2.2.2 종압축강도 측정

항온항습기에서 조습처리한 후 KS F 2206(1980)에 준하여 측정하였는데, 측정기로는 만능강도시험기(Every Dension Co. Model 7117 M/D/T 84439)를 사용하였으며 아래의 식을 이용하여 종압축강도를 계산하였다.

$$\text{종압축강도(kgf/cm}^2\text{)} = \text{최대 하중(kg)} / \text{단면적(cm}^2\text{)}$$

2.2.3 해부학적 특성 측정

2.2.3.1 가도관 길이

해리된 시편으로 부터 심·변재, 조·만재별 일시 slide 를 만들어 광학 현미경(Kyowa Model LSCB-VC-2B-L) 아래서 100배 확대하여 100개씩 측정하였다.

2.2.3.2 가도관의 폭 및 벽후

제작된 영구 slide의 횡단면상에서 심·변재, 조·만재별로 접선방향과 방사방향의 폭과 벽후를 400배 확대하여 100개씩 측정하였다.

2.2.3.3 방사조직 높이

제작된 영구 slide의 접선단면에서 방사조직의 세포고를 100개씩 측정하였다.

2.2.3.4 Microfibril 경사각

Microtome으로 자른 방사단면을 건조시킨 후 200 Å 두께의 gold를 coating하고 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 10~15kV의 가속전압하에서 사진을 찍어 가도관 축과 microfibril 주향과의 각도를 측정함으로써 microfibril경사각을 구하였다.

2.3 통계분석

시험결과 각 해부학적 특성이 종압축강도에 미치는 영향 인자를 규명하기 위한 통계분석은 Stepwise regression technique를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조직의 크기에 따른 종압축강도

종압축강도 측정이 끝난 시편중 연륜폭(3.4mm), 추재율(36.1%) 및 비중(0.60)과 함수율(120.5%)은 같으나 강도에 차이가 있는 시편을 무작위로 추출하고 심·변재별로 구분하여 측정된 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에 나타난 바와 같이 10개의 요인중 조·만재 가도관의 길이, 조재 가도관의 방사방향 직경, 조·만재 가도관의 접선반향 직경, 조·만재 가도관의 방사방향 벽 후 등은 변재가 더 큰 것으로 나타났다. 또한 평균 종압축강도는 심재가 569.7kg/cm², 변재가 580.6kg/cm²로 변재의 강도가 약간 큰 것으로 나타났다.

심·변재별 각 구성요소의 크기에 따른 종압축강도의 변이는 Fig. 1~4에 나타난 바와 같이 가도관의 길이, 가도관의 방사방향 벽후가 증가함에 따라 종압축강도는 증가하는 경향을 보인 반면, 단열방사조직의 세포고, microfibril 경사각이 증가함에 따라 종압축강도는 감소하는 경향을 보였다.

심재와 변재의 강도차이에 대해서 박 등(1987)은 강도의 차이가 있을만한 뚜렷한 이유는 없지만 실제로 차이가 있는 이유는 조직내 침착되어 있는 특수한 물질이나 각

Table 2. Anatomical characters and compression strength parallel to grain of *Pinus densiflora* S. et. Z.

| | Heartwood | | | | Sapwood | | | |
|-----|-----------|--------|-------|--------|---------|--------|-------|--------|
| | Max. | Min. | SD. | Mean | Max. | Min. | SD. | Mean |
| X1 | 2980.0 | 2430.0 | 161.2 | 2732.0 | 3419.0 | 2730.0 | 238.1 | 3038.9 |
| X2 | 3217.0 | 2580.0 | 189.3 | 2917.9 | 3480.0 | 2770.0 | 277.2 | 3115.3 |
| X3 | 38.3 | 26.3 | 4.5 | 33.0 | 43.2 | 29.5 | 4.2 | 38.2 |
| X4 | 29.5 | 15.7 | 3.8 | 22.6 | 25.1 | 18.3 | 1.9 | 21.9 |
| X5 | 36.1 | 26.2 | 3.8 | 32.3 | 37.3 | 30.2 | 3.1 | 33.1 |
| X6 | 32.5 | 27.0 | 1.9 | 30.2 | 34.8 | 27.5 | 2.8 | 31.4 |
| X7 | 3.3 | 2.3 | 0.3 | 2.9 | 3.3 | 2.6 | 0.2 | 3.0 |
| X8 | 5.6 | 3.8 | 0.6 | 4.7 | 6.2 | 4.7 | 0.4 | 5.4 |
| X9 | 11.0 | 8.0 | 1.1 | 9.1 | 9.0 | 6.0 | 1.0 | 7.8 |
| X10 | 20.3 | 13.5 | 2.7 | 16.3 | 14.8 | 10.8 | 1.7 | 11.9 |
| Y | 700.3 | 450.3 | 84.9 | 569.7 | 713.8 | 440.5 | 82.4 | 580.6 |

Notes : X1 : Length of earlywood tracheid(μm), X2 : Length of latewood tracheid(μm).

X3 : Radial diameter of earlywood tracheid(μm), X4 : Radial diameter of latewood tracheid(μm).

X5 : Tangential diameter of earlywood tracheid(μm), X6 : Tangential diameter of latewood tracheid(μm).

X7 : Radial wall thickness of earlywood tracheid(μm), X8 : Radial wall thickness of latewood tracheid(μm).

X9 : Height of uniseriate ray in cell number, X10 : Microfibril angle(°).

Y : Compression strength parallel to grain(kg/cm²).

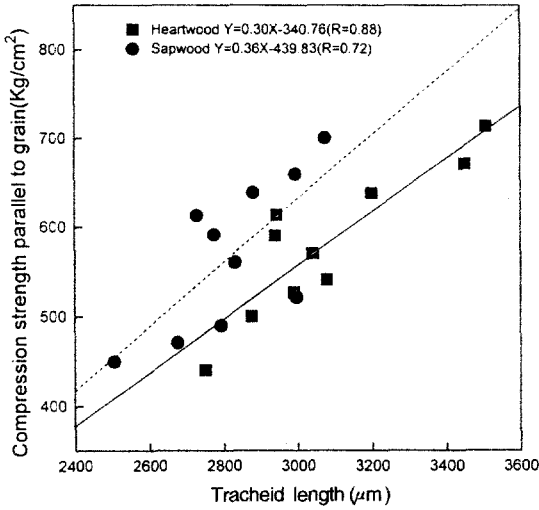


Fig. 1. Relationship between tracheid length and compression strength parallel to grain.

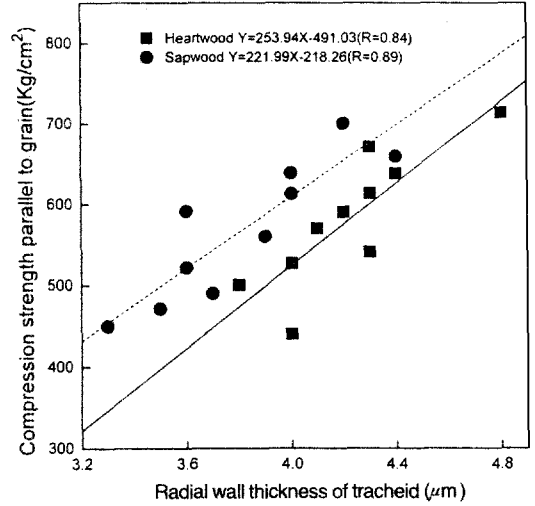


Fig. 2. Relationship between radial wall thickness of tracheid and compression strength parallel to grain.

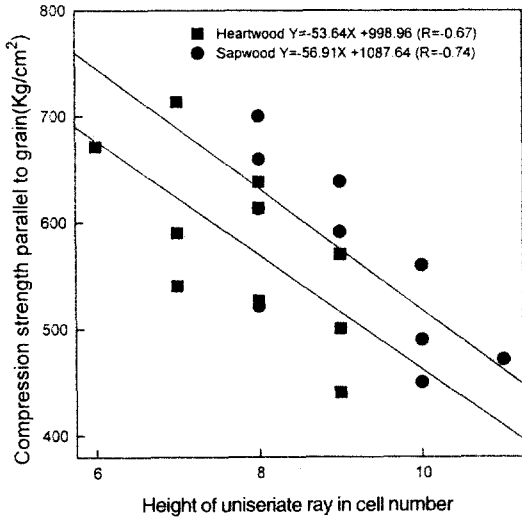


Fig. 3. Relationship between height of uniseriate ray in cell number and compression strength parallel to grain.

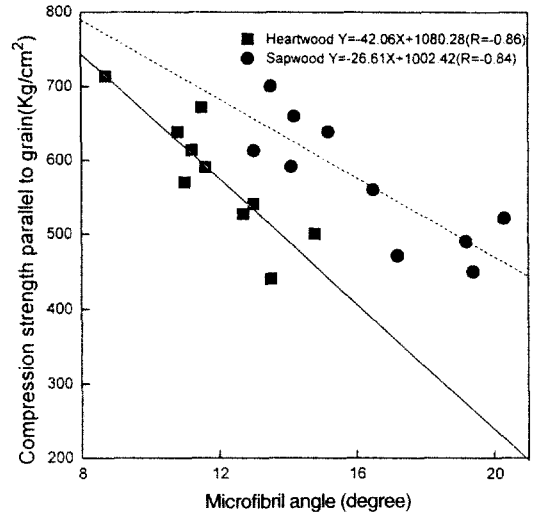


Fig. 4. Relationship between microfibril angle and compression strength parallel to grain.

조직 구성요소의 차이에 기인된다고 하였으며, Wanggaard(1950)는 변재보다 심재의 추출물이 많은 수종인 redwood, eastern red cedar, black locust 등은 심재의 강도가 강하나 심재와 변재간 추출물량의 차이가 적은 수종은 결점이 없을 경우 변재의 강도가 컸다고 보고한 바 있다. 또한 심과 정(1975)은 강원도산 소나무 심·

변재의 물리적 성질을 측정된 결과 심재보다 변재의 강도가 컸다고 보고한 바 있다.

Bendtsen(1978)은 테다소나무로 실험한 결과 가도관이 길수록 그리고 목리 경사각이 작을수록 강도가 크다고 보고한 바 있으며, Bendtsen과 Senft(1986)는 미류나무와 테다소나무의 해부학적 특성과 강도적 성질 조

Table 3. Coefficient of determination and regression equations of compression strength parallel to grain in *Pinus densiflora* S. et. Z.

| | No. | Independent variables | Coefficient of determination | Regression equations |
|-----------|-----|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| Heartwood | 1 | 4 | 0.84*** | $Y = -384.17 + 0.14X_2$ |
| | 2 | 4 7 | 0.92** | $+ 9.77X_4 + 115.64X_7$ |
| | 3 | 4 7 2 | 0.95** | |
| Sapwood | 1 | 2 | 0.78*** | $Y = -413.66 + 0.15X_2$ |
| | 2 | 2 6 | 0.94*** | $+ 13.26X_3 - 20.66X_4$ |
| | 3 | 2 6 3 | 0.97** | $+ 5.51X_5 + 8.89X_6$ |
| | 4 | 2 6 3 4 | 0.98** | |
| | 5 | 2 6 3 4 5 | 0.99** | |

Notes : ***: $P < 0.01$, **: $P < 0.05$.

Legends : see Table 2.

사에서 fibril angle이 크고 섬유 길이와 추재율이 작을수록 강도가 감소한다고 하였다.

3.2 해부학적 특성과 종압축강도와의 관계

소나무의 종압축강도 측정결과 종압축강도에 영향을 미치는 해부학적 인자를 알아보기 위하여 Stepwise 방식으로 다중 회귀 분석한 결과는 Table 3과 같다.

심·변재별 종압축강도에 영향을 미치는 인자로는 Table 3에 나타난 바와 같이 심재는 만재 가도관의 방사방향 직경, 조재 가도관의 방사방향 벡후, 만재 가도관의 길이 등이었으며 변재는 만재 가도관의 길이, 조·만재 가도관의 접선방향 직경, 조·만재 가도관의 방사방향 직경 등임을 알수 있었다. Bendtsen 등(1981)은 미류나무와 양버들 교잡종에서 해부학적 성질에 따른 역학적 성질을 측정하고 fibril 경사각과 비중이 종압축강도에 가장 큰 영향을 미친다고 보고한 바 있고, Kaya와 Smith(1993)도 red pine으로 종압축강도를 측정하고 Stepwise 방식으로 다중 회귀 분석한 결과 상대 밀도와 가도관의 길이가 종압축강도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 우리나라 침엽수재의 대표 수종인 소나무(*Pinus densiflora* S. et. Z.)를 대상으로 해부학적 특성과 종압축강도와의 관계를 심·변재별로 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 해부학적 특성 중 가도관의 길이, 방사방향 벡후가 커짐에 따라 종압축강도는 증가하는 경향을 보였으

며, 단열방사조직의 세포고, microfibril 경사각이 증가함에 따라 종압축강도는 감소하는 경향을 보였다.

2. 심·변재별 종압축강도에 영향을 미치는 주요 인자로는 심재의 경우 만재 가도관의 방사방향 직경, 조재 가도관의 방사방향 벡후이었으며 변재의 경우 만재 가도관의 길이, 만재 가도관의 접선방향 직경이었다.

참 고 문 헌

1. Bendtsen, B. A. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Prod. J.* 28(10): 61~72.
2. Bendtsen, B. A., and J. Senft. 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cotton wood and loblolly pine. *Wood & Fiber Sci.* 18(1): 23~38
3. Bendtsen, B. A., J. Senft, R. R. Maeglin, and F. Deneke. 1981. Comparison of mechanical and anatomical properties of eastern cottonwood and Populus hybrid NE-237. *Wood Sci.* 14(1): 1~14
4. Bodig, J., and B. A. Jyene. 1982. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, New York
5. Gerhards, C. C. 1982. Effect of moisture content and temperature on the mechanical

- properties of wood: An analysis of immediate effect. *Wood & Fiber* 14(1): 4~36
6. Grossman, P. U. A., and M. B. Wold. 1971. Compression fracture of wood parallel to the grain. *Wood Sci. & Tech.* 5 : 147~156
 7. Kaya F., and I. Smith. 1993. Variation in crushing strength and some related properties of a red pine. *Wood Sci. & Tech.* 27 : 229~239
 8. Kollmann, F. F., and W. A. Cote. 1968. Principle of wood science and technology I. Solid wood. Springer-Verlag, New York
 9. Kucera, L. J., and M. Bariska. 1982. On the fracture morphology in wood. Part 1: A SEM-study of deformation in wood of spruce and aspen upon ultimate axial compression load. *Wood Sci. & Tech.* 16: 241~259
 10. Meylan, B. A., and M. C. Probine. 1968. Microfibril angle as a parameter in timber quality assessment. *Forest Products J.* 19(4): 30~33
 11. Salmen, L., and Alf de Ruvo. 1985. A model for the prediction of fiber elasticity. *Wood & Fiber Sci.* 17(3): 336~350
 12. Taylor, S. E., D. A. Bender, D. E. Kline, and S. K. Karen. 1992. Comparing length effect models for lumber tensile strength. *Forest Prod. J.* 42(2): 23~30
 13. Wangaard, F. F. 1950. The mechanical properties of wood. John Wiley and Sons, Inc. New York; Chapman and Hall Ltd., London.
 14. 박상진, 이원용, 이화형. 1987. 목재조직과 식별. 향문사, 서울
 15. 산림청. 1994. 임산물 생산동향. 임산물통계. 서울
 16. 심종섭, 정희석. 1975. 강원도산 소나무 심·번재의 물리적 성질. *학술원 논문집* 14 : 293~305
 17. 이화형, 위 흡, 이원용. 1989. 목재물리및 역학. 향문사, 서울
 18. 정상기, 박용배, 윤여창. 1994. 우리나라 목재소비 실태. *임연 연보* 50 : 18~34
 19. 주린원, 이성주, 이진규. 1994. 해외 침엽수자원의 육성도입 타당성 비교분석. *임연 연보* 50 : 35~51
 20. 한국 공업규격. 1980. K.S.F.2206. 목재의 압축 시험방법. 공업진흥청, 서울
 21. 藤崎謙次郎. 1984. スギにおけるヤング率と假道管長およびマイクロフィブリル 傾角との関係について. *愛媛大演報* 11 : 11~19
 22. 小田幸, 古賀信也, 提壽一. 1988. 材質育種にむけてのスギ 品種の年輪構造. *九大演報* 58 : 109~122