

금강송의 기계적 성질에 관한 연구*1

김 동 우*2† · 황 성 옥*3 · 이 원 희*3†

A Study on The Mechanical Properties of Korean Red Pine (Geumgangsong, *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki)*1

Dong-Woo Kim*2† · Sung-Wook Hwang*3 · Won-Hee Lee*3†

요 약

울진산 금강송의 재질특성 조사의 일환으로 기계적 성질을 조사하였다. 종압축강도는 36.2 N/mm²로 국산 소나무재와 잣나무재보다 다소 낮은 값을 나타내었다. 수로부터의 거리에 따른 종압축강도는 수에서 60 mm 떨어진 지점에서 최대값을 나타내었다. 휨강도는 76.5 N/mm²로 나타났으며, 국산 소나무재와 잣나무재보다 다소 높은 값을 나타내었다. 그리고 수로부터 60 mm 떨어진 지점에서 최대값을 나타내었다. 전단강도는 높은 비중을 나타내었던 수 부근에서 10.4 N/mm²로 최대값을 나타내었으며, 80 mm 지점에서 9.1 N/mm²로 최소값을 나타내었다. 표면경도는 횡단면이 43.7 N/mm², 방사단면이 12.0 N/mm², 접선단면이 13.7 N/mm²으로 나타났다. 이러한 결과는 비슷한 비중을 나타낸 소나무의 표면경도 값과 유사하다. 금강송의 기계적 성질은 비슷한 비중을 가지는 소나무과 수종인 소나무 및 잣나무와 비슷하였다. 그리고 금강송의 기계적 성질은 평균연륜폭보다 비중에 의해 더욱 큰 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

We investigated the mechanical properties of Korean red pine (*Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki) of Uljin province in Korea as a basic research to investigated the material properties. Compressive strength of Korean red pine was 36.2 N/mm², which was slightly lower than the pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) in Korea. The compressive strength of Korean red pine showed the maximum value at a distance of 60 mm from the pith. Bending strength of Korean red pine was 76.5 N/mm², which was slightly higher than the pine (*Pinus densiflora* S. et Z.) and nut pine (*Pinus koraiensis*) in Korea. Similar to the compressive strength, bending strength of Korean red pine showed the maximum value at a distance of 60 mm from the pith. On the other hand, the shearing strength showed the maximum value at part of including the pith. This result does not coincide with the results of compressive and bending

*1 접수 2013년 12월 5일, 채택 2014년 1월 6일

*2 한국임업진흥원. Korea Forestry Promotion Institution, Seoul 121-904, Korea

*3 경북대학교 농업생명과학대학 임산공학과. Department of Wood Science & Technology, College of Agriculture & Life Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 김동우(e-mail: kimdw@kofpi.or.kr)

strength, in consideration of the specific gravity, which is consistent. Surface hardness of Korean red pine was 43.7 N/mm² in cross section, 12.0 N/mm² in radial section and 13.7 N/mm² in tangential section respectively. The mechanical properties of Korean red pine were similar to the pine and nut pine having a similar specific gravity. The mechanical properties were greatly affected on the specific gravity than the annual ring width.

Keywords : *pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki, compressive strength, bending strength, shearing strength, hardness

1. 서 론

소나무는 한국인이 가장 좋아하는 나무이다(한국 꺾임, 2004). 43.8%의 국민이 가장 좋아하는 나무로 소나무를 꼽았는데, 이는 2위인 은행나무(4.4%)보다 월등히 높은 수치이다. 이러한 소나무 중에서 금강송은 소나무의 왕이라 불린다. 금강송은 예전부터 여러 이름으로 불리었는데, 암석과 같이 단단하다고 하여 금강송(金剛松)이라 불리고, 수피가 붉다고 하여 적송(赤松)이라 하며, 재면이 누런빛을 띤다고 하여 황장목(黃腸木)이라고도 한다. 그리고 하늘 높이 매끈하게 잘 뻗은 모습을 보고 미인송(美人松), 춘양지에서 활발히 거래되었다고 하여 춘양목(春陽木)이라고도 한다.

Uyeki(1928)는 조선산 적송의 연구에서 한반도에 분포하고 있는 소나무를 수형에 따라 동부형, 평지형, 고지형, 위봉형, 안강형 및 금강형 등 6개의 형으로 구분한 바 있다. 또한 금강형 소나무의 식목은 강원도 금강산출기의 계곡과 산복에서 태백산맥을 따라 경상북도 울진, 봉화, 문경 일대에까지 분포한다. 그리고 수간이 곧고 재질이 뛰어나며, 수관은 좁고 곁가지는 가늘고 짧다. 지하고는 길고 수피색깔은 아래쪽이 회갈색이며 위쪽은 황적색이다. 연륜폭이 균등하고 좁으며, 목리가 곧다고 하여 이 지역의 소나무를 지역품종, 즉 *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki라고 명명하고 금강형 소나무를 줄여서 금강송(Geumgangsng)으로 불려왔다(홍성천, 2000). 이처럼 우리나라의 소나무분포는 생육지역에 따라 그 형태가 모두 다르다는 것을 알 수 있다. 이런 차이에 대해 송(宋) 등(1995)은 유전인자에 의한 차이도 있지만 환경인자의 영향이 더 중요한 요인이라 보고한 바 있다.

김 등(1999)은 강송의 기초적 재질에 관한 연구를

실시하여 금강송의 우수한 강도발현은 생육환경의 차이에 의한 좁은 연륜폭과 높은 심재율에 기인한다고 판단하였다. 이러한 생육환경에 의한 재질의 차이는 강송의 조림지별 재질 특성을 비교에 관한 김 등(2002)의 연구에서도 찾을 수 있는데, 이들은 그 연구에서 강송의 재질과 관련된 특성들은 산지뿐만 아니라 조림지 환경별로도 많은 차이가 있다고 보고하였다. 그리고 간벌재를 이용하여 금강송의 기계적 강도 특성을 연구한 김 등(2010)의 연구에서는 금강송 간벌재가 소나무와 낙엽송보다 뛰어난 강도 특성을 가진다고 보고하였다.

울진군 소광리 금강송숲은 금강송의 최대 군락지이다. 1,600 ha에 걸쳐 200~300년 된 소나무가 8만 여 그루, 500년생도 다섯 그루가 있고, 또한 조선시대 왕실 전용소나무 군락지임을 알려주는 황장봉계표석이 있어, 금강송의 우수성을 증명해 주고 있다. 이러한 울진군 금강송의 체계적 관리와 유지를 위해서는 지역적 특성과 역사적 배경, 그리고 금강송의 정의에 대한 물리적 재질 특성, 식물 분류학적 및 생리적 특성을 명확하게 밝힐 필요가 있다. 그리고 금강송의 정의에 대한 기초적 지견이 필요하며, 금강송의 우수성에 대한 정확한 데이터의 도출이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 울진군 금강송 군락지가 지닌 다양한 기능적 역할을 지속적으로 제고하고, 울진 금강송의 우수성을 밝히기 위한 재질특성 조사의 일환으로 금강송의 기계적 특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

울진군으로부터 95년생과 108년생 울진산 금강송

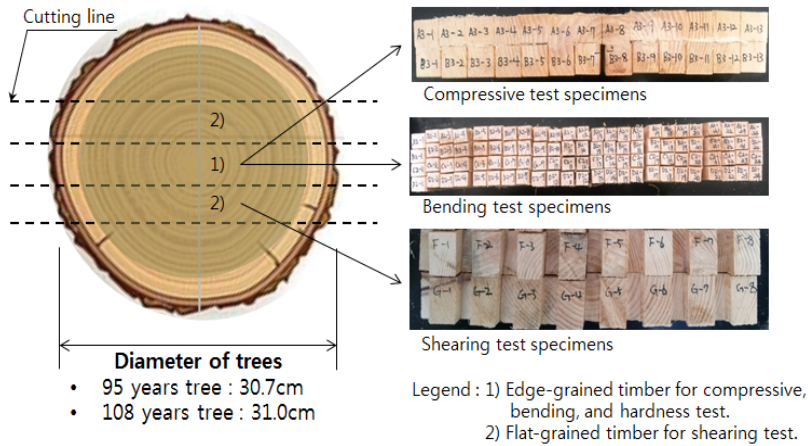


Fig. 1. Test specimen preparation of Korean red pine.

2분을 분양반이 기계적 성능 시험에 이용하였다. 95년생 공시목의 심재율은 76.7%로써 강도 측정용 시험편을 기준으로 할 때 수로부터의 거리 100 mm를 기준으로 심재와 변재를 구분할 수 있었다. 그리고 108년생 공시목의 심재율은 91.5%였으며 수로부터의 거리 110 mm를 기준으로 심재와 변재가 구분되었다. 95년생 공시목으로는 종압축강도, 전단강도, 경도 측정용 시험편을 제작하였고, 108년생 공시목은 휨강도 시험편 제작에 이용하였다(Fig. 1).

기계적 성능 시험의 시험편 채취를 위해 락톱(톱날두께 0.8 mm)을 이용하여 공시목을 판재로 절삭하였다. 수로부터의 거리에 따른 기계적 성능을 측정하기 위해 절삭된 정목판재를 수를 기준으로 이등분하여 종압축강도, 휨강도, 경도 측정용 시험편을 제작하였다. 전단강도 시험편의 경우, 나머지 판목판재 중 정목판재에 가장 가까운 판재를 선별하여 전단강도 측정용 시험편을 제작하였다. 제작된 모든 시험편 중에서 무결점 시험편만을 선정하여 온도 20°C, 상대습도 65% 조건으로 설정된 항온항습기에 넣어 8주간 조습 처리하였다. 기계적 성능 시험에 이용된 만능재료시험기는 종압축강도, 전단강도, 표면경도의 경우 AG-X 100kN (Shimadzu Corp.)를 이용하였으며, 휨강도는 AG-X plus 10kN (Shimadzu Corp.)를 이용하여 실시하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 종압축강도

종압축강도 시험은 KS F 2206에 의거하여 실시하였다. 금강송 정목판재를 40(L) × 20(R) × 20(T) mm의 크기로 재단하여 시험편을 제작하였으며, 만능재료시험기를 이용하여 3 mm/min의 하중속도로 시험을 실시하였다. 총 379개의 시험편 중 결함 시험편 35개를 제외한 344개의 시험편을 이용하여 종압축강도를 측정하였다.

2.2.2. 휨강도

휨강도 시험은 KS F 2208에 의거하여 3-point bending test를 실시하였다. 시험편의 치수는 160(L) × 10(R) × 10(T) mm로 재단하였고 스펠길이는 150 mm이었으며, 하중속도는 3 mm/min로 실시하였다. 총 380개의 시험편 중 69개의 결함 시험편을 제외한 311개의 시험편을 이용하여 휨강도를 측정하였다.

2.2.3. 전단강도

전단강도 시험은 KS F 2209에 의거하여 실시하였다. 시험편을 40(L) × 30(R) × 30(T) mm의 크기로 재단하여 의자형 전단시험편을 제작하였다. 하중속도 1 mm/min로 실시하였으며, 주로 방사단면을 전

Table 1. Information of Korean red pine (Geumgangsong) specimens by mechanical test

Test type	Specific gravity (Air dried)	Moisture content (%)	Annual ring width (mm)
Compressive test	0.47	10.8	2.02
Bending test	0.44	9.1	2.04
Shearing test	0.46	10.7	2.29
Hardness test	0.48	10.3	1.97

Table 2. Mechanical properties of major Pinaceae¹⁾ in Korea for compared with Korean red pine

Species	Specific gravity (Air dried)	Compressive strength (N/mm ²)	Bending strength (N/mm ²)	Shearing strength (N/mm ²)	Hardness (N/mm ²)		
					C.S. ²⁾	R.S. ³⁾	T.S. ⁴⁾
<i>Pinus densiflora</i>	0.47	42.1	73.2	10.2	44.1	15.7	11.8
<i>Pinus koraiensis</i>	0.45	41.7	75.6	9.4	39.2	10.8	11.8
<i>Larix kaempferi</i>	0.61	52.1	96.6	10.8	77.4	21.6	16.7

1) Wood properties and uses of the major tree species grown in Korea. 1994. Forest Research Institute, Seoul, Korea
 2) Cross section. 3) Radial section. 4) Tangential section

단면으로 하였다. 결함이 있는 시험편을 제외한 무결점 시험편 33개의 전단강도를 측정하였다.

2.2.4. 표면경도

표면경도 시험은 KS F 2212에 의거하여 브리넬경도를 측정하였다. 40(L) × 30(R) × 30(T) mm 크기의 시험편 10개를 제작하여 횡단면, 접선단면, 방사단면 등 각 단면별로 6회씩 측정하였다. 하중속도는 0.5 mm/min이었으며, 압입깊이는 0.32 mm이었다.

기계적 특성 시험 후 측정된 각 기계적 성능 데이터를 기존의 문헌(임업연구원, 1994)에서 보고된 국산 소나무과(pinaceae) 주요수종인 소나무, 잣나무, 낙엽송의 기계적 성능(Table 2)과 비교·검토를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 종압축강도

Fig. 2에 종압축강도 시험 결과를 나타내었다. 금

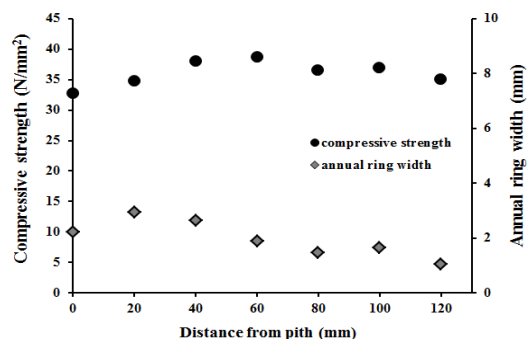


Fig. 2. Compressive strength and annual ring width of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

강송의 종압축강도는 36.2 N/mm²로 나타났다. 수로부터 60 mm 떨어진 지점에서 38.6 N/mm²으로 최대값을 나타내었으며, 수를 포함하고 있는 지점이 32.7 N/mm²으로 최소값을 나타내었다.

종압축강도를 심재와 변재로 구분하여 살펴보면 심재의 종압축강도는 36.2 N/mm², 변재는 36.1 N/mm²로 거의 비슷한 값을 나타내었다. 평균연륜폭은 심재

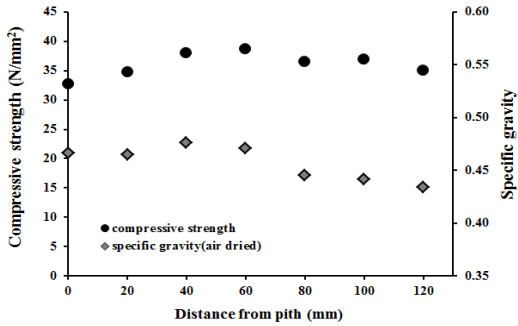


Fig. 3. Compressive strength and specific gravity of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

가 2.23 mm, 변재가 1.36 mm이었으며, 비중은 심재 0.46, 변재 0.44이었다. 심과 정(1982)이 실시한 강원도산 소나무 심·변재의 물리적 성질에 관한 연구에서는 변재의 종압축강도가 심재보다 높게 나타났다고 보고하였다. 종압축강도는 추출물에 의해 다소 영향을 받는다는 보고가 있었으나, 아직까지 심재와 변재간의 강도 차이에 관한 확립된 정론은 없다. 따라서 추후 이와 관련하여 심화된 연구가 요구된다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 수로부터 수피 방향으로 갈수록 평균연륜폭은 감소하는 경향이 나타났다. 종압축강도와 평균연륜폭과의 관계는 전반적으로 평균연륜폭이 감소할수록 종압축강도가 증가하는 경향을 나타내었지만, 수로부터의 거리 20 mm와 100 mm에서 볼 수 있듯이 평균연륜폭의 증가와 함께 종압축강도가 증가하는 부분도 나타났다.

수로부터의 거리에 따른 종압축강도와 비중을 Fig. 3에 나타내었다. 수에서 40~60 mm 떨어진 부분의 비중이 0.48~0.47로 가장 높은 값을 나타내었으며, 이후 감소하여 수로부터 120 mm 떨어진 변재부에서 비중이 0.43으로 최저값을 나타내었다. 이러한 비중의 변화는 종압축강도의 변화와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있었다.

소나무의 해부학적 특성과 종압축강도와의 관계를 연구한 오(1997)의 연구에서는 가도관의 길이, 가도관의 방사방향 벡후가 증가함에 따라 종압축강도는 증가하는 반면, 단열방사조직의 세포고, 마이크로피

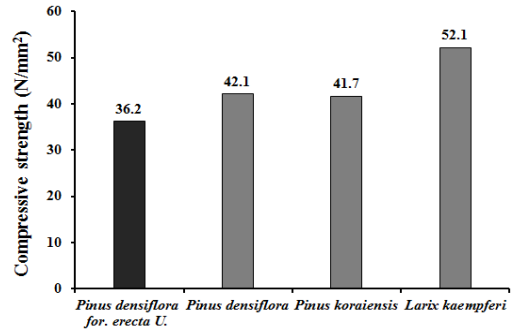


Fig. 4. Compressive strength of major Pinaceae in Korea.

브릴 경사각이 증가함에 따라 종압축강도는 감소하는 경향을 보인다고 보고하였다. 본 연구와 함께 진행되었던 조직학적 시험에서 방사조직의 세포고를 조사한 결과, 종압축강도가 가장 높게 나타났던 수에서 약 60 mm 떨어진 지점의 세포고는 5.7개로 나타났다. 이 수치는 평균인 6.0개 보다는 적은 수치이지만, 최저값을 나타낸 약 100 mm 떨어진 지점의 세포고 5.5개 보다는 높은 수치이다. 그리고 100 mm 떨어진 지점의 종압축강도는 80 mm 지점보다 낮은 비중과 넓은 연륜폭임에도 불구하고 다소 높은 종압축강도 값을 나타내었는데, 이러한 결과는 100 mm 떨어진 지점의 방사조직의 낮은 세포고의 영향도 있으리라 판단된다. 그리고 강송의 기초적 재질에 관한 김 등(1999)의 연구에서는 울진 소광리산 금강송재의 마이크로피브릴 경사각이 수심에서 수피방향을 향하여 증가하는 경향을 보인다고 보고한 바 있다. 따라서 수로부터 60 mm 지점까지 종압축강도가 증가하는 것은 마이크로피브릴 경사각의 영향도 있을 것이라 추정할 수 있다.

소나무 우량 가계별 기초 재질 변이에 관한 박 등(2006)의 연구에 의하면 국산 소나무의 경우 연령 11년~13년을 기점으로 미성숙재와 성숙재를 구분할 수 있을 것이라 보고하였다. 이러한 결과를 본 연구에 적용할 경우, 연령이 11년 되는 지점은 수로부터 약 40 mm 떨어진 지점이다. 따라서 40 mm 이전의 영역에서 비교적 낮은 종압축강도를 나타낸 것은 미

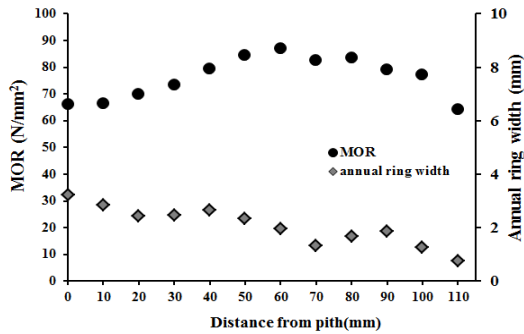


Fig. 5. MOR and annual ring width of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

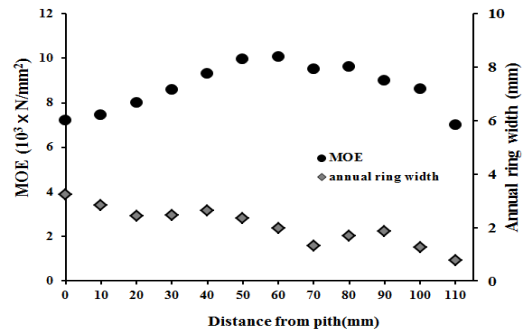


Fig. 6. MOE and annual ring width of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

성숙재에 의한 영향이 있었을 것으로 판단된다.

Fig. 4에서는 국산 주요 소나무과 수종(소나무, 잣나무, 낙엽송)과 본 연구에서 실시한 금강송의 종압축강도를 비교하였다. 낙엽송이 52.1 N/mm²로 가장 높은 종압축강도 값을 나타낸 반면, 금강송은 소나무(42.1 N/mm²)와 잣나무(41.7 N/mm²)보다 낮은 값을 나타내었다. 좁은 평균연륜폭을 가진 금강송의 종압축강도가 크게 나타날 것이라는 예상과는 달리 금강송의 종압축강도가 가장 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 만재율의 차이에 기인한다고 판단된다. 본 연구에 이용된 공시목인 금강송의 만재율은 17.7%로 비교적 낮은 값이라 할 수 있다. 공시목의 만재율이 낮게 나타나는 것은 울진지역 특유의 생장 환경에 의해 좁은 연륜폭이 형성되어 만재의 발육이 억제된 것으로 추정된다. 따라서 본 연구에서 금강송이 낮은 종압축강도를 나타낸 것은 생육환경에 의한 낮은 만재율에 기인하는 것으로 판단된다.

3.2. 휨강도

Fig. 5와 6에 금강송의 휨강도 시험 결과를 나타내었다. 휨강도 또한 종압축강도와 동일하게 수로부터 60 mm 지점에서 가장 높은 MOR 87.1 N/mm²과 MOE 10.05(×10³) N/mm² 값을 나타내었다. 그리고 수에서 110 mm 떨어진 지점인 변재부에서 MOR 64.2 N/mm²와 MOE 6.99(×10³) N/mm²으로 최소값을 나타내었다.

심·변재의 구분에 따른 휨강도는 심재의 MOR이 77.2 N/mm², 변재가 64.2 N/mm²로 심재가 변재보다 약 20% 높은 값을 나타내었다. 연륜폭의 경우 심재 2.18 mm, 변재 0.76 mm이었으며, 비중은 심재 0.44, 변재 0.39였다. 이러한 휨강도의 차이는 기본적으로 심·변재간의 비중 차이에 의한 것으로 판단된다.

오(2001)의 연구에 의하면 라디에타소나무의 경우, 조재 가도관의 길이와 방사방향 벽의 두께가 증가함에 따라 휨강도는 증가하는 경향을 나타낸다고 보고하였다. 일반적으로 가도관의 길이 신장률을 기준으로 신장률이 1% 이하인 지점을 미성숙재와 성숙재를 구분하는 기준 지표로 활용한다. 따라서 앞에서 언급했던 박 등(2006)의 연구에 기초하여 본 휨강도 공시목의 미성숙재에서 성숙재료의 전환 연령을 11~13년이라 추정할 때, 연령이 11~13년 되는 지점은 수로부터 약 40 mm 떨어진 지점이라 할 수 있다. 따라서 40 mm 이전의 지점에서 비교적 낮은 기계적 성질이 나타나는 것에는 미성숙재에 의한 영향이 있으리라 판단된다. 이러한 미성숙재의 영향은 비중의 차이에서도 확연히 볼 수 있는데, 수로부터 30 mm 떨어진 지점의 비중이 0.40인데 반해, 40 mm 지점의 비중은 0.44로 큰 차이를 확인할 수 있었다.

MOE, MOR과 평균연륜폭의 관계를 살펴보면 종압축강도 결과와 동일하게 전반적으로 평균연륜폭이 감소함에 따라 MOR과 MOE는 증가하였다. 전반적인 경향은 이와 같이 나타났지만 모든 경우에 있어 좁은 연륜폭이 높은 강도를 나타내는 것은 아니었다.

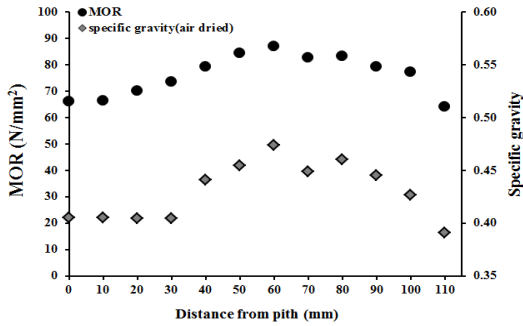


Fig. 7. MOR and specific gravity of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

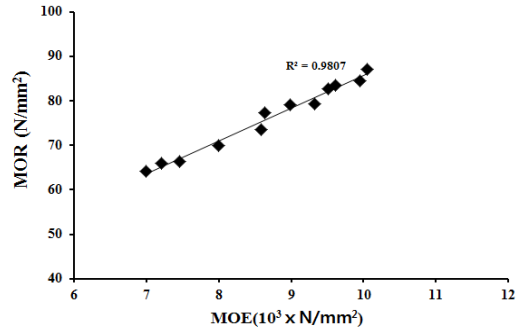


Fig. 9. Relationship between MOR and MOE.

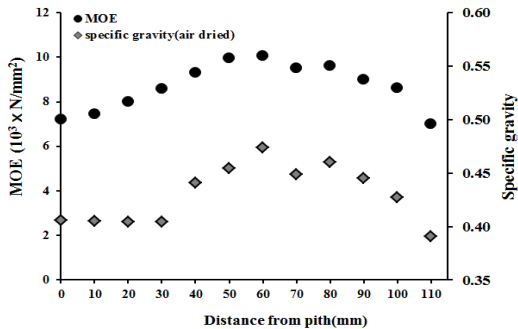


Fig. 8. MOE and specific gravity of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

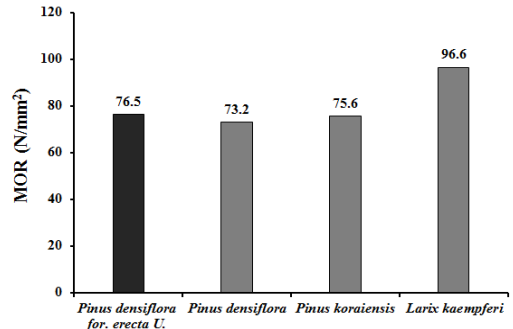


Fig. 10. MOR of major Pinaceae in Korea.

Fig. 7과 8에 수로부터의 거리에 따른 MOR, MOE와 비중과의 관계를 나타내었다. 종압축강도 결과와 마찬가지로 비중의 변화에 따라 MOR과 MOE 값도 거의 동일하게 변화되었다. 비중은 목재의 실질량과 관계된다. 따라서 비중이 커지거나 만재율이 높아질수록 목재의 강도는 증가하게 된다. 그리고 침엽수재에서는 연륜폭이 넓어지면 조재부위가 많아져 결과적으로 비중과 강도가 감소된다고 알려져 왔다(강등, 2008).

본 연구에서의 종압축강도와 휨강도의 결과에 의하면 목재의 강도적 성질은 연륜폭의 너비보다는 비중에 의해 더욱 큰 영향을 받는다고 판단된다. 소나무의 밀도에 영향을 미치는 인자를 조사한 Turbell (1948)의 연구에 의하면 동일한 수간 높이에서 단면을 비교할 때 연륜폭보다는 수로부터 얼마나 떨어져

있느냐에 따라 비중이 크게 영향을 받는다고 보고하였다. 즉, 좁은 연륜폭이 높은 비중을 의미하는 것은 아니며, 따라서 임목의 빠른 성장속도나 연륜폭이 넓을수록 목재의 강도를 저하시킨다는 통념은 의문이 존재한다고 할 수 있다. 즉, 침엽수재에서 극단적으로 좁은 연륜폭은 오히려 강도저하의 한 원인으로 생각되었다.

Fig. 9에는 MOE와 MOR의 관계를 나타내었다. MOE에 대한 MOR의 값이 거의 직선을 나타내었는데, 이러한 결과는 목재의 외력에 대한 저항(MOE)이 증가할수록 휨강도(MOR)도 증가한다는 사실을 잘 보여주고 있다.

Fig. 10에서 금강송과 국산 주요 소나무과 수종들의 휨강도를 비교해보면 금강송은 소나무, 잣나무와 비슷한 휨강도 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이들

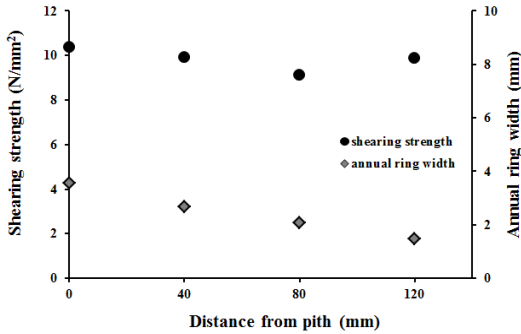


Fig. 11. Shearing strength and annual ring width of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

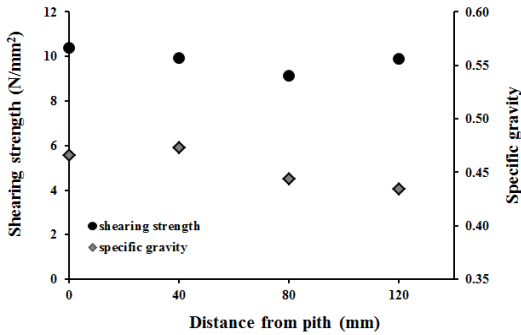


Fig. 12. Shearing strength and specific gravity of *Pinus densiflora* forma *erecta* Uyeki by distance from pith.

수종들이 비슷한 강도 값을 나타내는 것은 비중의 값이 0.45~0.47로 비슷하기 때문인 것으로 판단된다.

3.3. 전단강도

전단강도 시험 결과를 Fig. 11과 12에 나타내었다. 금강송의 전단강도는 9.8 N/mm²로 나타났다. 종압축강도와 휨강도와는 달리 수와 가장 가까운 부위에서 10.4 N/mm²로 가장 큰 값을 나타내었으며, 80 mm 떨어진 지점에서 9.1 N/mm²로 가장 낮은 값을 나타내었다. 수 부근에서 높은 전단강도를 나타낸 것은 기본적으로 비중이 0.47로 비교적 높았기 때문이며, 80 mm 떨어진 지점에서 낮은 전단강도를 나타

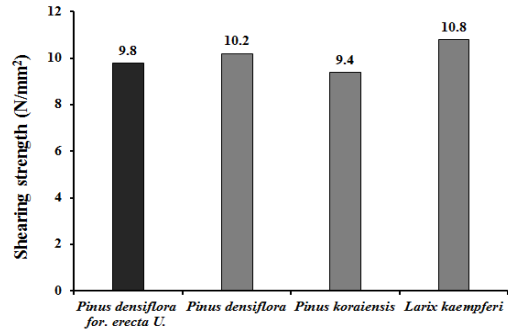


Fig. 13. Shearing strength of major Pinaceae in Korea.

낸 것은 비중이 0.44로 비교적 낮았기 때문이다.

심·변재를 구분하여 전단강도를 살펴보면 심재의 전단강도가 9.8 N/mm², 변재는 9.9 N/mm²로 큰 차이가 나타나지 않았다. 연륜폭은 심재가 2.72 mm, 변재가 1.4 mm이었으며, 비중은 심재 0.46, 변재 0.43이었다. 95년생 공시목을 이용한 종압축강도와 전단강도의 심·변재간 차이가 거의 없었던 반면, 108년생 공시목을 이용한 휨강도의 심·변재간의 차이는 심재가 약 20% 높게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 심·변재간의 기계적 강도 차이는 동일 수종 내에서도 개체에 따라 차이가 있음을 확인할 수 있었다.

기계적 강도와 비중과의 상관관계에서 전단강도 시험 결과의 경우, 종압축강도와 휨강도 시험 결과와는 다소 상반되는 결과가 나타났다. 즉, 수로부터 120 mm 떨어진 지점의 비중은 0.43으로 가장 낮았음에도 불구하고 9.99 N/mm²의 비교적 높은 전단강도를 나타내었다.

이러한 결과는 시험편의 연륜경사각에 의한 영향이 있으리라 판단된다. 국내산 목재의 연륜경사각에 따른 전단강도에 관한 연구를 실시한 차(2012)의 연구에 의하면 잣나무와 낙엽송의 경우 방사단면의 전단강도가 접선단면보다 높게 나타난 반면, 소나무의 경우, 접선단면이 높게 나타났다. 본 연구의 전단강도 시험편의 경우 주로 방사단면을 전단면으로 하였으나, 수로부터의 거리가 증가함에 따라 연륜경사각이 감소되는 경향이 있었다. 따라서 이러한 연륜경사각의 변

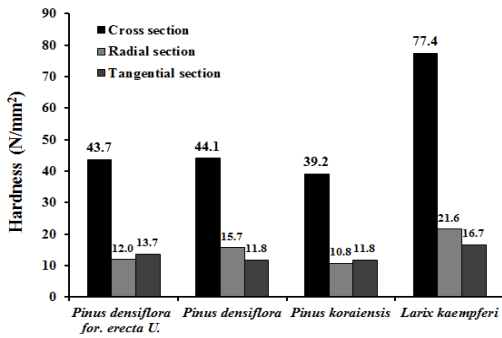


Fig. 14. Surface hardness of major Pinaceae in Korea.

화가 전단강도에 영향을 미쳤을 것이라 추정된다.

3.4. 표면경도(Brinell hardness)

금강송의 표면경도는 횡단면에서 43.7 N/mm²로 최대값을 나타내었고 방사단면이 12.0 N/mm²로 최소값을 나타내었으며, 접선단면이 13.7 N/mm²로 나타났다. 횡단면과 방사 및 접선단면의 경도차이는 목재의 이방성에 기인한다. 재면에 따라 강구를 압입시킬 때의 변형이 횡단면에서는 주로 목재의 종압축에 관여하고, 방사 및 접선단면에서는 횡압축 외에 섬유방향의 인장이 관여하기 때문이다.

국산 주요 소나무과 수종들과 비교해보면 금강송은 잣나무보다 다소 높은 표면경도를 나타내었으며, 소나무와 비슷한 값을 나타내었다. 이러한 결과는 가장 우선적으로 각 수종들의 비중에 기인한다고 판단된다.

4. 결 론

금강송의 기계적 성질을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) 종압축강도는 36.2 N/mm²로 국산 소나무재와 잣나무재보다 다소 낮은 값을 나타내었다. 수로부터의 거리에 따른 종압축강도는 수에서 60 mm 떨어진 지점에서 최대값을 나타내었으며, 수를 포함한 지점에서 최소값이 나타났다. 심·변재간의 종압축강도 차이는 거의 없었다. 종압축강도는 평균연륜폭보다

비중에 의해 더욱 큰 영향을 받았다.

2) 휨강도는 76.5 N/mm²로 나타났으며, 국산 소나무재와 잣나무재보다 다소 높은 값을 나타내었다. 수로부터 60 mm 떨어진 지점에서 최대값을 나타내었으며, 110 mm 떨어진 지점인 변재부에서 최소값을 나타내었다. 심재의 휨강도가 변재보다 약 20% 높게 나타났다. 그리고 휨강도는 비중의 변화와 함께 변화되었다.

3) 전단강도는 9.8 N/mm²로 나타났다. 비중이 높은 수 부근에서 10.4 N/mm²로 최대값을 나타내었으며, 80 mm 지점에서 9.1 N/mm²로 최소값을 나타내었다. 전단강도의 심·변재간의 차이는 거의 없었다. 금강송의 전단강도는 국산 잣나무보다 다소 높고 소나무보다는 다소 낮은 값을 나타내었다.

4) 표면경도는 횡단면이 43.7 N/mm², 방사단면이 12.0 N/mm², 접선단면이 13.7 N/mm²로 나타났다. 이러한 결과는 비슷한 비중을 나타낸 소나무의 표면경도 값과 유사하다.

금강송의 기계적 성질은 비슷한 비중을 가지는 소나무과 수종인 소나무 및 잣나무와 비슷하며, 기계적 성질은 평균연륜폭보다 비중에 의해 더욱 큰 영향을 받는다는 것을 확인하였다.

사 사

이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비 및 울진군 용역연구 울진금강송의 우수성연구에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

- 강춘원, 김남훈, 김병로, 김영숙, 변희섭, 소원택, 여환명, 오승원, 이원희, 이화형. 2008. 신고 목재물리 및 역학. 향문사. p. 284.
- 김동인, 김건호, 홍순일. 2010. 금강송의 기계적 강도 특성. 한국목재공학 학술발표논문집. pp. 165-166.
- 김정환, 이원희, 홍성천. 1999. 강송의 기초적 재질에 관한 연구(제1보). 한국가구학회지 10(2):

- 55-61.
4. 김정환, 정인석, 이원희, 홍성천. 2002. 강송의 기초적 재질에 관한 연구(제2보). 지역별 소나무재의 가도관 형태 및 강도비교. 한국임학회지 91(3): 241-246.
 5. 박병수, 박정환, 한상익. 2006. 소나무 우량 가계별 기초재질 변이 - 가도관, 마이크로피브릴 경사각, 수지구 분포 및 전건비율을 중심으로. 임산에너지 25(2): 9-15.
 6. 심중섭, 정희석. 1982. 강원도산 소나무 심변재의 물리적 성질에 관한 연구. 목재공학 10(3): 88-95.
 7. 오승원. 1997. 소나무의 해부학적 특성과 종압축 강도와의 관계. 목재공학 25(2): 27-32.
 8. 오승원. 2001. 라디에타 소나무의 해부학적 성질과 휨강도와의 관계. 전북대학교 농대논문집 32: 18-25.
 9. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. pp. 122-126.
 10. 차재경. 2012. 국내산 목재의 연륜경사에 따른 전단강도 및 나사못 유지력 영향. 목재공학 40(6): 363-369.
 11. 한국갤럽. 2004. 한국인이 좋아하는 40가지. 한국갤럽 창립 30주년 기념 여론조사 보고서(자연) p. 10.
 12. 한국표준협회. 2004. KS F 2206. 목재의 압축 시험 방법.
 13. 한국표준협회. 2004. KS F 2208. 목재의 휨 시험 방법.
 14. 한국표준협회. 2004. KS F 2209. 목재의 전단 시험 방법.
 15. 한국표준협회. 2004. KS F 2212. 목재의 경도 시험 방법.
 16. 홍성천. 2000. 강송림의 생태종 개발에 관한 연구. 농림부 연구보고서 p. 2.
 17. 宋鎬京, 金聖德, 張圭寬. 1995. TWINSPAN과 DCCA에 의한 金剛소나무 및 春陽木소나무 群集과 環境의 相關關係 分析. 한국임학회지 84(2): 266-267.
 18. Turbell, J. M. 1948. Some factors affecting wood density in pine stems. Journal of the South African Forestry Association 16(1): 22-43.
 19. Uyeki, H. 1928. On the physiognomy of *pinus densiflora* growing in Korea and silvicultural treatment for its improvement. Bulletin of Agriculture and forestry College of Suwon, Korea. No.3 p. 263.