

古부재 잎갈나무 말뚝의 재질 특성*¹

황 권 환*^{2†} · 박 병 수*²

Strength Properties of Old Korean Larch Pile*¹

Kweonhwan Hwang*^{2†} · Byung-Su Park*²

요 약

구 조선총독부 청사의 기초 말뚝으로 사용된 원주는 1916년 건물 기초를 다지기 위해 사용되었던 것으로 1996년 청사의 철거와 함께 건축 당시 사용되었던 만여 개 중 백여 개가 발굴되었다. 이 말뚝은 문서 및 수종 식별 결과 잎갈나무(*Larix gmelini* var. *principis-ruprechtii* Pilger)로 확인되었으며 현재 남한에서는 축적량이 매우 적은 수종으로 청사 건립 당시 백두산 압록강변에서 벌채한 것으로 기록되어 있다. 발굴된 잎갈나무 말뚝에 대해서 만재율 분포와 강도 특성을 알아보기 위해 주사(scanning)에 의한 횡방향 만재율 분포와 압축, 전단, 휨, 인장 시험을 행하여 그 강도 성능을 검토하였다. 만재율은 수로부터 수피 방향으로 연륜의 증가에 따라 증가하다가 약 25연륜 이후에는 40% 정도로 안정적인 경향을 나타냈다. 그러나 현미경에 의한 관찰에서는 심재부, 심변재 경계부, 변재부로 수령이 증가되면서 만재율은 감소하였다. 종압축강도는 높게 나타났으나 휨강도는 오히려 다소 낮게 나타나 고부재의 경우처럼 열화, 손상 등에 의한 강도적 감소는 압축형 시험보다 인장형 시험에서 영향을 크게 받는 것으로 밝혀졌다. 전단강도와 인장강도에 있어서는 접선단면 시험편의 변이계수가 높게 나타나 안정적인 강도 성능 비교를 위해서는 방사단면 시험편에 의한 강도 값이 채택되어야 할 것으로 검토되었다.

ABSTRACT

Round piles of Korean larch were excavated from the foundation of ex-Chosunchongdokbu (ex-Chosun Governer-General Building), which was constructed in 1916 and dismantled later in 1996. By the record (Huh, 1996), the Korean larch logs were logged from the Yalu river area near Mt. Baekdu in North Korea. At present, however, Korean larch is not so popular in South Korea.

*¹ 접수 2007년 7월 19일, 채택 2007년 8월 17일

*² 국립산림과학원 임산공학부 목재성능과, Div. of Wood Engineering, Dept. of Forest Products, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 황권환(e-mail: m54290@hotmail.com)

The latewood ratio profiles and strength properties (longitudinal compression, shear, longitudinal tensile, and bending) were obtained. The ratio of latewood from pith to bark increased up to 25 years, and then it showed constant tendency at 40% with some variances. From the microscopic observation, however, the latewood ratio decreased from the heartwood to the sapwood. Compression strength was greater and bending strength was a little lower than the previous reports (references 13~15), which might be attributed to the strength reduction of old structural members by aging or damage in the compression specimens than the bending ones. The flat-grained specimens for the shear and tension test showed higher coefficient of variation (COV) than the edge-grained ones. For the better comparison of results, in case of shear and tensile strength tests, the strength values of the edge-grained specimens were thought to be adopted rather than those of flat-grained ones.

Keywords: Korean larch, latewood ratio, strength properties, old members, coefficient of variation (COV)

1. 서 론

정부가 추진 중인 경북궁 복원사업은 1990년부터 2009년까지 20년 동안 이루어지는 대공사로 현재 진행 중이며, 1996년 철거된 구 중앙청(구 조선총독부 청사, 1916년 7월 10일 착공~1917년 3월 말 완공) 자리에 경북궁 흥례문을 중건하는 공사 중 앞갈나무(이깔나무) 기초 말뚝이 다수 발견되었다(박 등, 2000).

이러한 고건축에 이용된 목재 중 앞갈나무(*Larix gmelini* var. *principis-ruprechtii* Pilger)는 소나무과에 속하는 수종으로 근연종인 낙엽송(일본잎갈나무, *Larix kaempferi* (Lamb.) Carriere)과 더불어 문화재급 목조 건축물에 사용된 실적은 거의 없으며 조직학적으로도 서로간의 구분이 매우 어렵다(박 등, 2005). 또한, 대부분의 고건축에서 사용된 부재는 사용되기 이전의 부재에 대한 정확한 기록이 남아 있지 않아 열화 또는 부후 등으로 목재의 손상이 있을 경우 현재의 시점에서 파악하기 어려운 문제점이 있다. 그러나 위와 같이 문헌 기록으로 남아 있는 수종에 한해서는 경과 년도에 따른 재질 및 강도적 성능 변화를 검토할 수 있어 고목재 연구에 있어 매우 귀중한 재료가 되고 있다.

앞갈나무(Korean larch)는 금강산 이북에 자생하며 낙엽성 교목의 침엽수로 그 재질은 매우 견고하

고 곧은결을 가지고 있으며, 낙엽송으로도 명칭되는 일본잎갈나무(Japanese larch)와 근연 관계에 있는 우리나라 자생 수종이다(조 등, 1988). 북한에서는 앞갈나무류가 고산대에 분포하는 침엽수 중에서는 소나무림(45.1%) 다음으로 많이 분포(17.2%)하며 임목 축적량에서는 소나무의 19%보다 많은 20%를 차지하고 있는 것으로 알려져 있다(공, 2006). 그러나, 남한의 앞갈나무는 인공림 조성용으로 식재되는 경우가 흔하지 않으며 강원대학교 임과대학 연습림(강원대학 연습림, 1993) 내 인공 식재되어 현재에도 강원도를 중심으로 소규모로 임지 내에 분포하고 있는 것으로 확인되고 있다.

본 연구에서는 경북궁 내 흥례문 터의 건축 후 80년이 경과한 기초 말뚝용 앞갈나무 원주에 대해 조직세포를 관찰하여 목질 상태를 점검하고, 강도적 성능 변화를 검토하기 위하여 강도시험을 행하여 문헌에 의한 결과와 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

금강산 이북에 자생하는 우리나라 자생 고유 수종인 앞갈나무(Korean larch, *Larix gmelini* var.

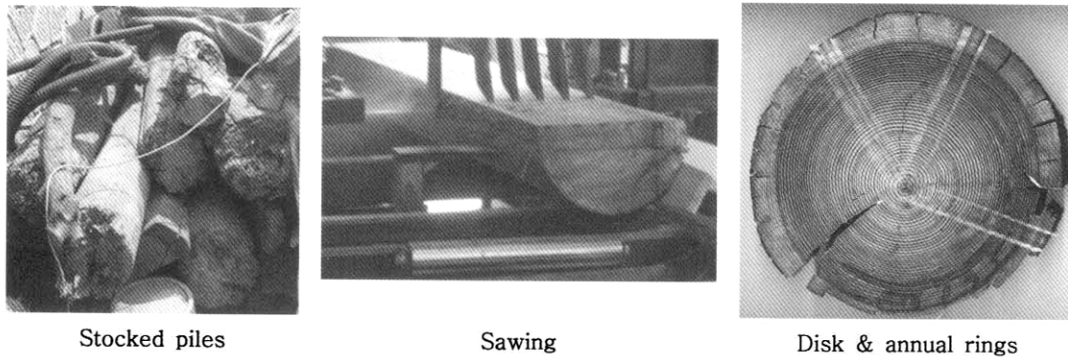


Fig. 1. Log sawing and cross-cutting piles for sample preparation.

principis-ruprechtii Pilger)를 공시재료로 하였으며, 이는 경북궁 중건 사업의 일환인 흥례문 터에서 기초 말뚝 부재로 쓰인 것 중에서 문헌상(허, 1996)으로도 수종이 확인된 고부재이다. 본 연구의 말뚝 부재는 사용 후 80년이 경과한 고목재로서 1996년 발굴된 원주 중 일부를 연구용으로 국립삼림과학원 내에 보관하고 있으며, 그중 3개의 말뚝 부재에 대해 횡방향 연륜별 추재율 분포 분석을 위해 50 mm 원판을 떼어낸 후 나머지 목재에 대해 원목 제재용 띠톱(횡식 제재기)으로 정목 제재를 행하여 강도적 성능 변화 분석에 이용하였다(Fig. 1 참조). 기둥의 직경은 기록(허, 1996)에는 240 mm로 알려져 있으나 평균 270 mm 정도로 수피를 포함했을 경우 300 mm 정도의 수목이었을 것으로 추측되고 있다(박 등, 2000).

2.2. 시험방법

2.2.1. 연륜구조 분석

이 말뚝 부재는 밑 부분이 부후 또는 부식되어 있었기 때문에 건전한 부위가 나오도록 절단한 두께 50 mm의 원판을 연마포지(sandpaper)로 표면용을 조정하고 Windenro™을 이용한 주사(scanning)를 통해 조만제 이행 상태, 만재율 변화, 연륜밀도 분포를 조사하였다(Fig. 1).

2.2.2. 현미경 관찰

말뚝 부재는 헝기 또는 반헝기 상태에서 장기간 매몰되어 있었기 때문에 세포 내 이물질의 침투로 인하여 재색이 변화되었을 가능성이 있다. 세포 내 이물질의 축적 상태를 관찰하기 위하여 심재부, 심변재 경계부, 변재부에서 각각 $5 \times 5 \times 5$ mm의 목편(block)을 제작하여 광학현미경(Carl Zeiss, Axio imager, A1) 및 주사전자현미경(Hitachi, S-3500N)을 이용하여 일반적인 방법(박 등, 1987)에 따라 시료를 조제하고 조직 특징을 관찰하였다.

2.2.3. 기초물성

원판 채취 후의 나머지 목재를 정목 제재하여 기초물성 시험편을 제작하였다(Fig. 1 참조). 정목 제재된 잎갈나무 말뚝 부재의 판재를 75°C의 온화한 조건에서 1주일간 건조한 후 건전한 부분으로부터 압축, 인장, 휨, 전단 시험용 시험편을 각각 제작하여 만능 강도 시험기(Instron 4206, 150kN load cell)로 시험을 행하였다(KS F 2206~2209). 각각의 시험 방법은 현행 KS 기준(한국표준협회, 1999a~d)에 의거하였으며 휨시험 후 파괴가 일어난 부위로부터 가장 가까운 건전한 부분에서 각각 시험편을 절취하여 함수율(한국표준협회, 2001b) 및 비중(한국표준협회, 2001a) 시험을 행하였다.

Table 1. Fundamental physical properties of Korean larch

Results	Age	Diameter (mm)	ARW (mm)	MC (%)	R_a (g/cm ³)	R_o (g/cm ³)
Average	107	287	0.61	8.8	0.52	0.50
s.d.	25.4	23.1	0.38	0.30	0.03	0.03
COV (%)	23.8	8.1	61.9	7.6	6.1	6.0

Legend: ARW, average annual ring width; MC, moisture content; R_a , air-dry density; R_o , oven-dry density; s.d, standard deviation; COV, coefficient of variation

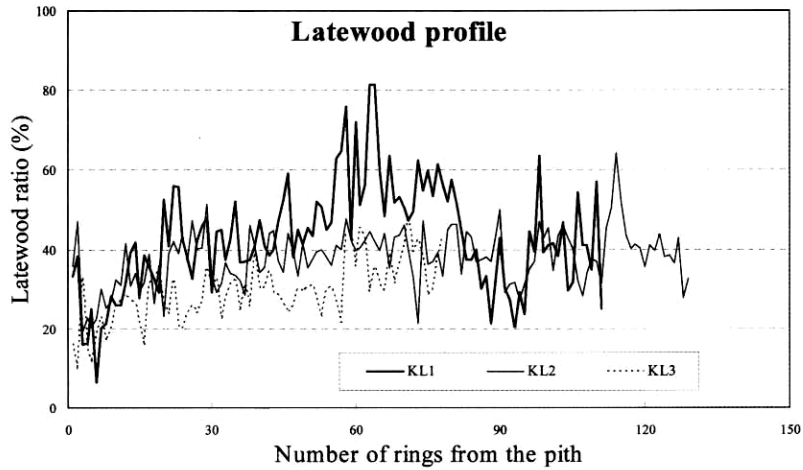


Fig. 2. Latewood ratio profile by scanning method. KL1, KL2, KL3: Specimen number of Korean larch.

3. 결과 및 고찰

3.1. 연륜구조 분석

잎갈나무는 소나무속의 경송류와 함께 조재에서 만재로의 이행이 급진적인 수종이다(박 등, 2005). Fig. 1에서와 같이 채재 전에 원반을 각각 채취, 주사한 표면을 검토한 결과, 횡단면 상의 연륜 전체에 걸쳐 심변재, 조만재의 구분이 명확함을 알 수 있었으며, Table 1에서와 같이 말뚝의 평균 직경은 287 mm, 수령은 79, 112, 129년으로 파악되었다. 수령 및 평균 직경은 박 등(2000)이 조사한 결과와 비슷한 결과를 나타냈다. 심재부에 있어서 20~25년 연륜까지는 연륜폭이 상대적으로 넓고 그 이후는 급격히 조밀해져 변재부에 있어서는 육안으로 헤아리기 어려운 정도로 연륜폭이 극도로 좁게 나타났다.

Fig. 2는 연륜별 주사를 통해 얻어진 만재율 분포를 나타낸 것이다. 조만재의 이행은 육안 및 현미경 관찰에서 그 색상 변화가 급격하게 나타나 조만재의 이행은 급한 것으로 판명되었으며, 평균 만재율은 36.8% 정도였다. 20~25년까지의 미성숙제 단계를 지나면서 만재율의 변화는 안정적으로 나타났으며 60년 부근에서 다소 높게 나타났으나 이후 다시 안정적인 변화를 보이다가 다시 감소하다가 40% 부근에서 안정적인 경향을 띄었다.

3.2. 현미경 관찰

본 시료는 장기간 헝기 또는 반 헝기상태에 매장되어 있었고 발굴 후에도 특별한 보존처리 없이 보관되어 왔던 재료이다. 수종 식별, 재색의 변화 원인 구명, 세포벽의 변화를 알아보기 위하여 광학 및 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

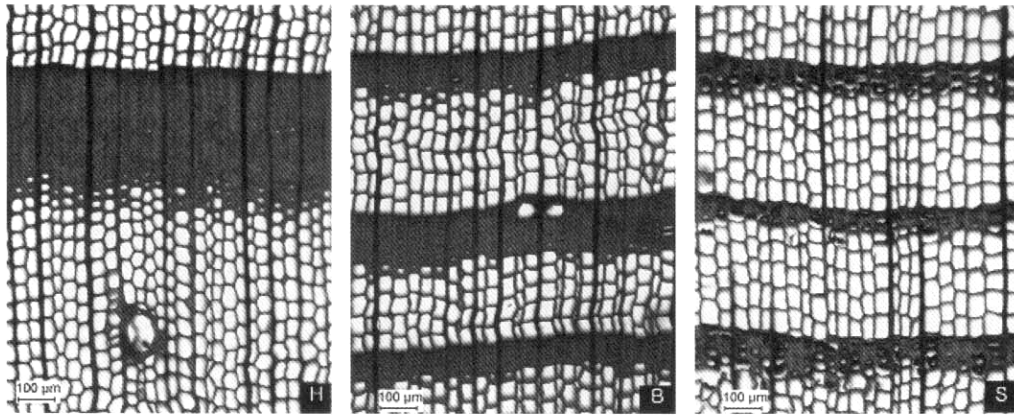


Fig. 3. Light micrographs showing cross surface of heartwood (H), boundary of heartwood and sapwood (B), and sapwood (S).

수종 식별은 3단면상에 나타나는 조직적 특징을 관찰한 결과 잎갈나무속으로 판단할 수 있었다. 우리나라의 대표적인 잎갈나무속 수종으로는 잎갈나무와 일본에서 도입된 일본잎갈나무(낙엽송)가 있는데 이들은 조직적으로는 구분이 불가능하다. 그러나 본 시료는 문헌상(허, 1996)에 암록강 주위에서 벌채 이용한 것으로 기록되어 있다. 또한, 일본잎갈나무는 1904년에 우리나라에 처음으로 도입(이, 1997)된 수종임으로 공시재료의 연륜 분포가 100년 이상인 시료가 많은 것으로 보아 우리 고유수종인 잎갈나무인 것으로 판단된다.

Fig. 3에서 볼 수 있는 것처럼 심재부에서는 만재율이 35%, 심변재 경계부에서 26%, 변재부에서 19% 정도로 나타났다. 또한, 수에서 수피 방향으로 연륜이 증가할수록 연륜폭이 좁아지면서 수지구의 크기도 작아지고 분포 수도 현저하게 감소하였다. 80년 이후의 연륜에서는 연륜폭이 극도로 좁아지는 부분에서는 만재율도 급격히 감소하고 수지구의 분포도 급격히 감소하는 현상이 관찰되었다.

재색의 변화와 관련하여 세포 내 균사 및 이물질의 침지 여부를 관찰한 결과 심재부와 심변재 경계부에서는 정상조직과 별 다른 차이를 관찰할 수 없었다. 그러나 변재부 수피 쪽의 만재부에서는 가도관 내에 검게 착색된 물질이 관찰되었다. 이러한 현상은 생물학적 열화로는 생각되지 않는다. 생물학적

열화의 경우 균사가 관찰되어야 하고 세포벽의 파괴가 관찰되어야 하지만 만재 가도관의 세포벽은 대부분 건전한 상태였으며 조재부 가도관은 찌그러짐과 벽층의 분리가 관찰되었다. 이러한 현상은 장기간 수침 후 대기 중에서 자연건조되면서 발생한 현상으로 생각된다(Fig. 3과 4).

현미경에 의한 만재율 변동 경향(Fig. 3과 4)은 주사에 의한 결과와 다르게 나타났으며, 이는 Fig. 1의 원반 횡단면에서와 같이 변재부의 색상이 뚜렷하지 않고 연륜경계에 대한 구분이 명확하지 않음으로써 생긴 현상으로 추정된다. 밀도 분포의 경우 그 수치 변동이 극심하기 때문에 색상에 의한 구분이 어려운 재면에 대해서는 밀도 분포 자체가 연륜별로 정확히 이루어지지 못하여 신뢰성이 매우 낮은 것으로 판명되었다. 이는 주사에 의한 만재율 및 밀도 분포 관찰은 연륜폭이 조밀하여 연륜 경계를 구분하기 힘든 변재부에서는 정확한 만재율 및 밀도를 측정할 수 없게 되어 신뢰성이 낮게 나타남을 시사한다. 따라서, 횡단면 내 만재율 분포 및 밀도 분포의 경우보다 정밀한 관찰을 위해서는 고해상도의 주사와 X-ray 법과 같은 다른 방법들도 함께 시도되어야 할 것으로 판단되며, 보다 정량적인 분석 및 데이터 수집을 위해서는 현미경에 의한 관찰로 검증이 이루어져야 할 것으로 사료되었다.

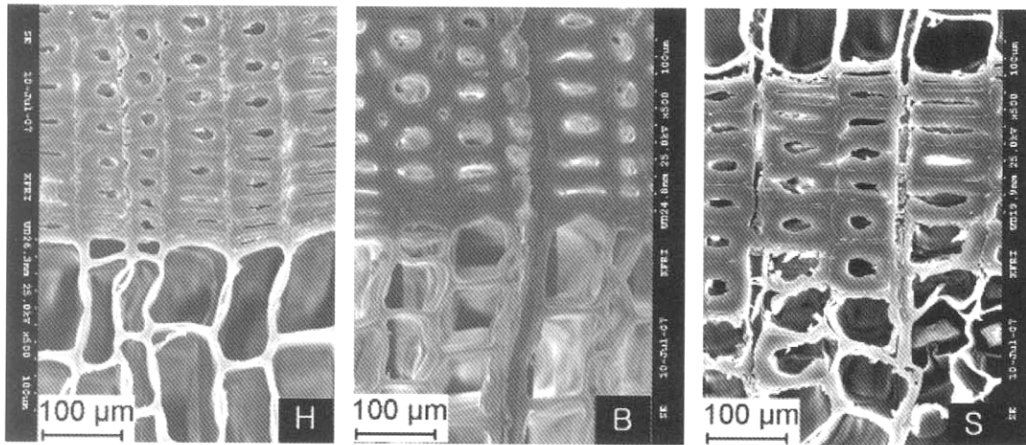


Fig. 4. Scanning electron micrographs showing cross surface of heartwood (H), boundary of heartwood and sapwood (B), and sapwood (S).

Table 2. Strength properties of Korean larch (unit: MPa)

Results	Compression	Shear		Bending		Tensile	
		Radial	Tangential	MOE	MOR	Radial	Tangential
Average (12%)*	66.7	9.8	11.5	9,908	844	881	798
Replication	23	10	10	22	22	10	10
Average	76.9	10.3	12.1	10,436	91.0	95.1	86.0
s.d.	6.2	1.7	2.5	12,117	11.0	15.1	48.9
COV (%)	8.1	16.2	20.8	11.4	12.0	15.8	56.8

Note: * Values are calculated by the method of ASTM D2915(1990).

Legend: MOE, modulus of elasticity; MOR, modulus of rupture; s.d., standard deviation; COV, coefficient of variation

3.3. 기초 물성

조 등(1988)에 의하면 잎갈나무의 기건비중은 0.60, 일본잎갈나무(낙엽송)는 0.61로 잎갈나무와 일본잎갈나무의 비중은 거의 비슷한 것으로 보고하였으나, 이(1997)에 의하면 잎갈나무의 기건비중은 0.54, 낙엽송은 0.50으로 보고하여 공시목 선정 상의 차이를 보이고 있다. 본 연구에서 사용된 말뚝 부재는 기건 밀도가 0.52, 전건밀도가 0.50으로 나타나 문헌 값보다 낮은 것으로 나타났으며 건조 후 함수율(MC)이 평균 8.8%로 측정되어 건조는 충분히 이루어진 것으로 나타났다(Table 1). 이에 대해 KS F 2198 (한국표준협회, 2001a)에 의거 12%로 함수율을 조정하면 기건밀도는 0.53 정도로 나타나 이(1997)의

연구 결과와 거의 동일한 것으로 판단된다. 또한, 평균 연륜폭은 0.61 mm로 나타났으나 그 변이계수(COV)는 62%로 높게 나타나 수간 내 밀도 변화 및 강도 변화가 클 것으로 예측되었다.

3.4. 강도 특성

Table 2는 잎갈나무의 각종 강도시험 결과를 나타낸 것으로 종압축강도는 76.9 MPa, 휨강도는 91.0 MPa 등으로 나타났다. 조 등(1988)에 의하면 잎갈나무의 종압축강도는 51.4 MPa, 휨강도는 89.0 MPa로 보고하여 말뚝용으로 당시에 사용되었던 잎갈나무의 재질은 비교적 우수한 것으로 판명되었다. 한국표준협회(KS F 2152, 2004)와 ASTM D2915

(1990)에 의거하여 함수율 12% 기준으로 강도 값을 조정하여 조 등(1988)의 결과와 비교해 보면 종압축 강도는 실험값이 30% 정도 높게 나타났으나 휨강도에서는 5% 정도 낮게 나타났다. 심 등(2006)은 고목재의 만재율과 전섬유소의 감소, 가도관의 미세 할렐로 인해 강도적 차이가 있으며 휨강도와 압축강도의 감소율은 비슷한 수준이었으며 전단강도보다 감소율이 크게 나타난 것으로 보고하였다.

이로부터 고부재 시험편의 강도적 성질에 있어서 시험 형태에 따라 강도 값이 서로 다르게 표현되는 것을 알 수 있다. 즉, 압축형 시험에서는 섬유 방향의 열화 및 손상 등으로 인한 영향을 적게 받으며, 인장형 시험에 있어서는 섬유 및 조직에 발생한 결점의 영향을 더 많이 받아 나타난 결과로 여겨졌다.

각각의 강도에 있어 변이계수(COV)는 접선단면의 인장강도가 56.8%로 가장 높았으며 접선단면의 전단강도가 20.8%로 나타나 접선단면의 시험편은 그 강도적 성질에 있어 분산 정도가 크게 나타났다. 이는 전단 및 인장 시험을 위한 시편 제작 시 접선방향 시편에서 만재가 차지하는 비율이 상대적으로 크게 변동할 수 있기 때문이다. 강도 시험에 있어 하중이 가해지면 전단시험편의 경계면과 인장시험편의 중앙부처럼 응력이 집중되는 부위의 조직 또는 만재의 분포 상태에 따라 강도는 영향을 받게 된다. 즉, 접선단면에 있어서는 시편 제작 시에 연륜 경사각을 수직으로 구성하기 어렵기 때문에 무늬결을 구성하는 만재의 양이 달라져 응력이 집중되는 부분의 강도적 성능에 변동을 유발하여 변이계수가 증가한 것으로 추측된다. 따라서, 각종 강도 시험에 의한 결과의 비교·분석에 있어서는 변이계수가 큰 접선방향 시험편보다 상대적으로 곧은결을 가지며 변이계수가 낮은 방사방향 시험편의 강도 값을 채택하는 것이 합리적일 것으로 사료된다.

4. 결 론

경북궁 내 흥례문 터에서 구 조선총독부 건립에 쓰여졌던 기초 말뚝에 대한 재질 변동을 살펴보기 위해 현미경과 주사에 의한 조직 및 횡단면상의 연

륜 변동을 관찰하였으며, 강도적 성능 변동을 검토하기 위해 현행 KS 기준에 의거하여 압축, 인장, 전단, 휨 시험을 실시하였다.

1. 문헌 비교와 현미경 관찰에 의해 수종은 잎갈나무로 판명되었으며 부재 내의 세포 및 조직의 부후 및 손상은 관찰되지 않았다.

2. 주사에 의한 추재율 변동은 미성숙재 단계 이후 안정적인 경향을 나타냈으나 현미경 관찰에 의한 검증에서는 추재율의 변화가 수에서 변재부로 이행됨에 따라 감소하는 경향을 나타냈다.

3. 잎갈나무의 기건밀도는 0.52 g/cm^3 , 전건밀도는 0.50 g/cm^3 , 평균 연륜폭은 0.61 mm 였다.

4. 함수율 12%에서의 종압축강도는 66.7 MPa, 전단강도는 방사단면에서 9.8 MPa, 접선단면에서 11.5 MPa, 인장강도는 방사단면에서 88.1 MPa, 접선단면에서 79.8 MPa, 휨탄성계수는 9.9 GPa, 휨강도는 84.40 MPa 로 나타났다. 종압축강도는 문헌 값보다 다소 높게 나타났으나 휨강도는 낮게 나타났으며, 전단강도와 인장강도에 있어서는 접선방향 시편의 변이계수가 높게 나타났다.

5. 부재가 인장응력에 의해 파괴를 일으키는 시험에 있어서는 인장형 시험에서 강도적 성능이 다소 낮게 나타났다. 전단 및 인장 시험에 의한 강도는 나뭇결(만재의 분포)에 따른 변동이 나타났으며 곧은결의 방사단면이 무늬결의 접선단면보다 비교적 변이계수가 낮아 안정적인 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 강원대학교 임과대학 연습림. 1993. 강원대학교 임과대학 연습림 산림조사(1임반). 강원대학교 임과대학 연습림 연구보고. 13: 109~118.
2. 한국표준협회. 1999a. 목재의 압축 시험 방법. KS F 2206.
3. 한국표준협회. 1999b. 목재의 인장 시험 방법. KS F 2207.
4. 한국표준협회. 1999c. 목재의 휨 시험 방법. KS F 2208.
5. 한국표준협회. 1999d. 목재의 전단 시험 방법. KS F 2209.
6. 한국표준협회. 2001a. 목재의 밀도 및 비중 측정 방법. KS F 2198.

7. 한국표준협회. 2001b. 목재의 함수율 측정 방법. KS F 2199.
8. 한국표준협회. 2004. 침엽수 구조용재의 허용 성질 결정 방법. KS F 2152.
9. 박병수, 박정환. 2005. 주요 목조문화재의 수종구성. 국립산림과학원 연구보고 05-14.
10. 박상진, 이원용, 이화행. 1987. 목재조직과 식별. 향문사. pp. 362~374.
11. 박원규, 김요정. 2000. 구 조선총독부 청사(구 중앙청) 기초말뚝 통나무의 수종과 재질. 보존과학회지. 9(1): 48~52.
12. 심국보, 이도식, 박병수, 조성택, 김광모, 여환명. 2006. 소나무 고목재와 건전재의 물리, 기계, 화학적 특성 차이. 임산에너지. 25(2): 1~8.
13. 공우석. 2006. 북한의 자연생태계. 집문당. 223~244.
14. 이필우. 1997. 한국산 목재의 성질과 용도(Ⅰ) - 목재의 구조 및 성질과 용도. 서울대학교 출판부.
15. 임업연구원. 1994. 한국산 주요목재의 성질과 용도. 연구자료. 제95호.
16. 조재명, 강선구, 허남주, 박상진. 1988. 원색세계목재도감. 선진문화사. 13.
17. 허영섭. 1996. 조선총독부, 그 청사 건립의 이야기. 도서출판 한울. 27~108.
18. ASTM D 2915. 1990. Standard practice for evaluating allowable properties for grades of structural lumber. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. PA.