

Mechanical Characteristics of Korean Red Pines according to Provinces (Goseong, Hongcheon and Bonghwa-gun)¹

Min-Ji Kim² · Ji-Yeol Kim³ · Byung-Ro Kim ^{3,†}

ABSTRACT

This study investigated mechanical characteristics of pine trees in Yeongdong (Goseong-gun), Yeongseo (Hongcheon-gun), and Yeongnam (Bonghwa-gun) to define differences in the material quality among pine trees of the three regions. The compressive strength, hardness and shear strength of pine trees of each region were measured. There were no differences in the compressive strength of the juvenile woods among the regions, while the heartwood and sapwood in Bonghwa generally showed the highest compressive strength followed by those in Hongcheon and in Goseong. The hardness of the cross-section of pines in Bonghwa was the highest, and in terms of the hardness of the radial and tangential sections, pines in Goseong topped the list. There were no difference among heartwoods of each region in terms of the shear strength, but, but sapwood from Bonghwa had higher shear strength than those of the other two regions, which may be attributed to differences in tracheid length and microfibril angle among pines in each region. This study identifies the quality differences among pines of different region, and therefore, is expected to add value by helping choose the domestic pine tree material effectively and selectively, and also select a plus tree.

Keywords: Korean red pine (*pinus densiflora*), different provinces (areas, regions), compressive strength, hardness, shear strength

1. INTRODUCTION

Even the same tree species show regional differences in anatomical and physical properties due to various factors such as climate, growth area and environment, and genetic inheritance (Koch, 1985). These regional differences in quality should be taken into account and effectively utilized to use wood and serve as indicators to select genetically superior wood. Many experts who deal with Korean woods say that pine trees

show different qualities depending on regions, and in a survey on quality difference, 70% of respondents mentioned that there exist differences among trees (Han, 2015). Wood has an internal resistance force against any external force, and the maximum resistible stress, which is the stress at the moment of breakage, is called strength. The strength properties of wood is affected by a number of factors including internal factors such as cell wall structure and microstructure, fiber strike, moisture content, specific gravity, annual

¹ Date Received July 30, 2020, Date Accepted August 12, 2020

² Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, 57 Heogiro, Donfdaemun-gu, Seoul 02455, Republic of Korea

³ Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Republic of Korea

† Corresponding author: Byung-Ro KIM (e-mail: brkim@cbnu.ac.kr, ORCID: 0000-0001-5800-2058)

ring width, and knots and external factors such as temperature, load conditions, and growth environment (Kang *et al.*, 2008). Jeong and Kim (2015) reported that *alnus glutinosa* from Yugoslavia had two times wider diameter at breast height than those in other origins and showed superior mechanical properties in a study that determined sources of superior seeds in terms of material quality through an analysis of correlation between growth speed and mechanical properties of *alnus glutinosa* from four different seed origins (Yugoslavia, Italy, Britain, and Bulgaria). Han *et al.* (2014) also concluded that the better the growth and development of a tree is, the better its mechanical characteristics in a study that investigated relationships between growth speed and material quality of 5 *Quercus rubra* trees from the US and Canada. Han *et al.* (2016) reports that the differences in average compressive and bending strength of pine trees that grew in Anmyeon-do and Sogwang-ri were mainly caused by differences in annual ring width and latewood proportion depending on age group in addition to the differences caused by regional factors in his study on correlation of physical and mechanical properties of pine wood from different growth areas. According to the precedent studies on anatomical features (Kim *et al.*, 2018), physical features (Kim and Kim, 2018), and microfibril angles (Kim *et al.*, 2020) of Korean pine trees, pine trees show different qualities depending on regions and the features are associated with one another. Therefore, the purpose of this study is to define mechanical characteristics by regions by investigating mechanical features of pine trees from

different regions and analyzing its relationship with genetic, physical, and microfibril angle features.

2. MATERIALS and METHODS

2.1. Testing materials

The subjects are pine trees from Yeongdong (Goseong-gun), Yeongseo (Hongcheon-gun), and Yeongnam (Bonghwa-gun) that were owned by the East Sea Wood Distribution Center under the National Forestry Cooperative Federation and were granted for in 2015. At the time of grant, the trees were in the form of about 20 cm-thick disks and their age, DBH (diameter of basal height), average tree-ring width, latewood proportion, and tree trimming year are shown in Table 1.

2.2. Methodology

2.2.1. Compressive strength

Compressive strength was tested based on the compression test method of KS F 2206 wood. The dimensions of the specimens were set as 2 cm (T) × 2 cm (R) × 4 cm (L), and four to seven specimens were created for each of juvenile wood, heartwood, and sapwood. They were humidified at 20°C and relative humidity of 65% in a thermo-hygrostat (DAIHAN labtech LHT- 2250C) and then measured by a universal strength tester (INSTRON, Model 4206).

2.2.2. Hardness

Hardness was tested based on the hardness test method of KS F 2212 wood. The dimensions of the specimens were 4 cm (T) × 4 cm (R) × 4 cm (L),

Table 1. Information on experimental samples

Province	No. of Tree ring	Diameter (cm)	Average of ring width (mm)	Latewood proportion (%)	Tree trimming year
Goseong-gun	85	48	3.1	22.87	2013
Hongcheon-gun	82	42	2.6	20.19	2012
Bonghwa-gun	76	46	3.1	18.57	2014

and three specimens were created for each part of wood. They were humidified at 20°C and relative humidity of 65% in a thermo-hygrostat (DAIHAN labtech LHT-2250C) and then measured by a universal strength tester (INSTRON, Model 4206).

2.2.3. Shear strength

Shear strength was tested based on the shear test method of KS F 2209 wood. The dimensions of the specimens were 2 cm (T) × 2 cm (R) × 3 cm (L), and one to six specimens were created for each part of wood to be measured on the tangential section. They were humidified at 20°C and relative humidity of 65% in a thermo-hygrostat (DAIHAN labtech LHT-2250C) and then measured by a universal strength tester (INSTRON, Model 4206).

For the statistical analysis of the data, Duncan test was conducted using IBM SPSS Statistics 24, and the significance level was set at 0.05 for analysis.

3. RESULTS and DISCUSSION

3.1. Compressive strength

Table 2 shows the compressive strength of pine wood from Goseong, Hongcheon, and Bonghwa: Strength of juvenile wood was 46.24 N/mm² for Goseong, 42.12 N/mm² for Bonghwa, and 37.79 N/mm² for Hongcheon; strength of heartwood was 51.37 N/mm² for Bonghwa, 38.97 N/mm² for Hongcheon, and 38.17 N/mm² for Goseong; and strength of sapwood was 51.19 N/mm² for Bonghwa, 34.50 N/mm² for Hongcheon, and 29.86

N/mm² for Goseong. The Duncan test which was conducted to examine differences in compressive strength among regions showed that there was no difference in compressive strength among juvenile wood, but the wood from Bonghwa had higher compressive strength than those from Goseong and Hongcheon. Oh (1997) reported that the longer the tracheid length is, the higher the compressive strength. In the precedent study conducted by Kim *et al.* (2018), there was no difference intracheid length among juvenile wood, but heartwood and sapwood in Bonghwa had the longest tracheid, followed by those in Hongcheon, and those in Goseong. The compressive strength in this study was the highest among trees in the order of Bonghwa, Hongcheon, and Goseong, and it seems that the wood from Bonghwa showed higher strength than those of other regions because the tracheid in Bonghwa is longer than the ones in Goseong and Hongcheon. As for the relationship between microfibril angle and tracheid, it was reported that micro fibril angle decreases when the tracheid increases and vice versa (Watanabe, 1963; Hiller, 1964; Kim and Min, 1999; Rlee and Kim, 2005). The precedent study by Kim *et al.* (2020) showed that the microfibril angle of pine tree in Goseong was the highest, followed by that in Hongcheon, and that the in Bonghwa. The relationship between the tracheid lengths in the study by Kim *et al.* (2018) and the microfibril angles in the study by Kim *et al.* (2020) was consistent with the results of existing studies. Therefore, the compressive strength which was the highest in the order of trees

Table 2. Compressive strength of each province

(N/mm²)

Province Position	Goseong-gun	Hongcheon-gun	Bonghwa-gun
Juvenile wood	46.24 ± 0.74 A*	37.79 ± 1.60 A	42.12 ± 3.58 A
Heartwood	38.17 ± 7.27 b	38.97 ± 2.16 b	51.37 ± 2.31 a
Sapwood	29.86 ± 5.81 β	34.50 ± 4.55 β	51.19 ± 2.52 α

* Duncan's, significance level: 0.05, ±: standard deviation.

Juvenilewood = Capital letter, Heartwood = Small letter, Sapwood = Greek.

in Bonghwa, Hongcheon, and Goseong is attributed to the relationship between tracheid length and microfibril angle. In comparison with compressive strength of pine wood in another report, Cho (1994) found compressive strength of pine wood at 42.14 N/mm² and compare this result with the overall figures in this study, the figures in Goseong and Hongcheon were lower and those in Bonghwa were higher. Kang *et al.* (2008) reported that strength of wood highly relies on specific gravity; the higher the specific gravity is, the stronger the wood is. Given that the precedent study by Kim and Kim (2018), the wood from Bonghwa had the highest specific gravity, therefore specific gravity seems to be one of factors contributing to higher compressive strength. As the heartwood and sapwood from Goseong and Hongcheon showed significant differences in terms of compressive strength, but the those from Bonghwa did not (51.37 N/mm² for heartwood and 51.19 N/mm² for sapwood), which means that the wood from Bonghwa may be determined to possess superior material quality with uniform and high compressive strength.

Table 3 shows proportional limits for each of the regions: juvenile wood was measured at 21.77 N/mm² in Goseong, 20.17 N/mm² in Bonghwa, and 18.96 N/mm² in Hongcheon; heartwood was measured at 27.86 N/mm² in Bonghwa, 19.76 N/mm² in Hongcheon, and 16.13 N/mm² in Goseong; and sapwood at 27.19 N/mm² in Bonghwa, 17.10 N/mm² in Hongcheon, and 13.72 N/mm² in Goseong. The Duncan test which was conducted to examine difference of trees among showed that the juvenile wood did not display any differences in qualities. Any, but there were quality differences among heartwood and sapwood. The proportional limits of trees in Bonghwa also had the highest value just like compressive strength. It seems that the difference in the proportional limits of trees between the regions may be explained by the compressive strength.

3.2. Hardness

Table 4 shows hardness of the wood from Goseong, Hongcheon, and Bonghwa: the cross sections of trees in Bonghwa showed 53.68 N/mm², 39.68 N/mm² in Hongcheon, 39.15 N/mm² in Goseong; the radial sec-

Table 3. Proportional limit stress of each province

(N/mm²)

Province Position	Goseong-gun	Hongcheon-gun	Bonghwa-gun
Juvenile wood	21.77 ± 1.18 A*	18.96 ± 1.75 A	20.17 ± 3.39 A
Heartwood	16.13 ± 3.37 c	19.76 ± 0.82 b	27.86 ± 2.54 a
Sapwood	13.72 ± 1.85 β	17.10 ± 2.73 β	27.19 ± 2.14 α

* Duncan's, significance level: 0.05, ±: standard deviation.

Juvenilewood = Capital letter, Heartwood = Small letter, Sapwood = Greek.

Table 4. Hardness of each province

(N/mm²)

Province Section	Goseong-gun	Hongcheon-gun	Bonghwa-gun
Cross section	39.15 ± 8.40 B*	39.68 ± 5.14 B	53.68 ± 10.33 A
Radial section	19.05 ± 9.13 a	15.03 ± 2.74 b	16.94 ± 2.95 ab
Tangential section	20.61 ± 7.06 α	14.15 ± 3.00 β	18.84 ± 10.33 β

* Duncan's, significance level: 0.05, ±: standard deviation.

Cross section = Capital letter, Radial section = Small letter, Tangential section = Greek.

tions of trees in Goseong showed 19.05 N/mm², 16.94 N/mm² in Bonghwa, and 15.03 N/mm² in Hongcheon; and the tangential sections of trees in Goseong showed 20.61 N/mm², 18.84 N/mm² in Bonghwa, and 14.15 N/mm² in Hongcheon, all of which proved to be statistically significant. The cross section of wood from Bonghwa was the hardest and the one from Goseong was the hardest in terms of tangential and radial section. It is because the wood from Bonghwa had longer tracheid and smaller microfibril angle, leading to higher hardness on cross sections and lower hardness on tangential and radial sections. On the contrary, the wood from Goseong had shorter tracheid and bigger microfibril angle, reducing hardness on cross sections and enhancing hardness on tangential and radial sections (Kim *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2020). According to the report by Cho (1994), pine wood showed hardness of 44.10 N/mm² on cross sections, 10.88 N/mm² on radial sections, 11.76 N/mm² and tangential sections. Comparing these values with the results of study, wood from Goseong showed higher values in terms of radial and tangential sections, but lower value on cross sections, and wood from Hongcheon showed higher values in terms of tangential and radial sections except for cross sections. Wood from Bonghwa showed higher values in all the sections.

3.3. Shear strength

Table 5 shows shear strength of wood from each of the regions. The shear strength of heartwood in Bonghwa was 11.52 N/mm², 10.75 N/mm² in Hongcheon,

and 10.63 N/mm² in Goseong. Sapwood in Bonghwa showed 11.48 N/mm², 8.72 N/mm² in Goseong, and 7.14 N/mm² in Hongcheon. The Duncan test which was conducted to examine any regional differences did not show any difference in heartwood, but wood from Bonghwa showed higher values than the ones from Goseong and Hongcheon. As it seems that lignin content, which is associated with adhesion strength, affects the results of the shear strength, additional chemical analysis is required. Cho (1994) reported that the shear strength of radial sections of pine wood was 9.51 N/mm² and of cross sections 10.19 N/mm². Like compressive strength, shear strength was different by heartwood and sapwood between Goseong and Hongcheon, but heartwood and sapwood from Bonghwa did not show a significant difference in terms of shear strength (11.52 N/mm² for heartwood, 11.48 N/mm² for sapwood), making it a superior material with consistent and high shear strength. Park *et al.* (2006) stated that there is no definitive cause for the difference in the strength of heartwood and sapwood, but the actual difference is caused by differences in special materials deposited within the tissues.

4. CONCLUSION

This study investigated mechanical characteristics of pine wood from different regions. The relationship with existing anatomical, physical and microfibril angle properties were analyzed to determine mechani-

Table 5. Shearing strength of each province

(N/mm²)

Position	Province		
	Goseong-gun	Hongcheon-gun	Bonghwa-gun
Heartwood	10.63 ± 0 A*	10.75 ± 1.05 A	11.52 ± 1.32 A
Sapwood	8.72 ± 1.35 b	7.14 ± 1.33 b	11.48 ± 0.88 a

* Duncan's, significance level: 0.05, ±: standard deviation.
Heartwood = Capital letter, Sapwood = Small letter.

cal characteristics by regions. Wood from Bonghwa showed higher compressive and shear strength in categories of both heartwood and sapwood, and wood from Goseong and Hongcheon showed significant differences in categories of heartwood and sapwood, however, wood from Bonghwa did not. Wood from Bonghwa had higher hardness on cross sections and the one from Goseong had higher values on radial and tangential sections. It is thought that these values resulted from the difference such as tracheid and microfibril angles by regions. This study's verification of the differences in the material characteristics is expected to help choose the domestic pine wood more effectively and selectively thereby adding more values.

REFERENCES

- Cho, J.M. 1994. Wood properties and uses of the major tree species grown in Korea. Forestry Research Institute. Research Material No. 95. Seoul, Korea.
- Han, G.S. 2015. Study on improvement site management system and supply system of timber for repairing culture properties. Cultural Heritage Administration. Daejeon Korea.
- Han, M.S., Lee, C.J., Park, B.S., Kim, B.R. 2014. Studies on wood quality and growth of *quercus rubra* (24 Years old) in Korea: Physical and mechanical properties. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 42(3): 327-338.
- Han, Y.J., Lee, H.M., Eom, C.D. 2016. Physical and mechanical properties of Korean red pine wood from different growth sites and correlations between Them. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 44(5): 695-704.
- Hiller, C.H. 1964. Pattern of variation of fibril angle within annual rings of *pinus attenuuradiata*. Res. Note FPL-034, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
- Jeong, G.H., Kim, B.R. 2015. Wood quality and growth of *alnus glutinosa* (L.) gaertn. in Korea: Compressive and bending strength properties. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 43(3): 287-294.
- Kang, C.W., Kim, N.H., Kim, B.R., Kim, Y.S., B, H.S., Soe, W.T., Yoe, H.M., Ho, S.W., Lee, W.H., Lee, H.Y. 2008. wood physics and mechanical. Hyangmoonsa, Seoul Korea.
- Kim, B.R., Min, D.S. 1999. Studies on variability of wood properties in stem of *pinus koraiensis* (III): Variations in tracheid length and width, microfibril angle and compression strength in the longitudinal direction. *Journal of the Korean Forest Energy* 18(1): 1-5.
- Kim, M.J., Kim, B.R. 2018. Physical characteristics of Korean red pines according to provinces (Goseong, Hongcheon and Bonghwa-gun). *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 46(5): 437-448.
- Kim, J.Y., Kim, S.C., Kim, B.R. 2020. Microfibril angle characteristics of Korean pine trees from depending on provinces. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 48(4): 569-576.
- Kim, M.J., Seo, J.W., Kim, B.R. 2018. Anatomical characteristics of Korean red pines cording to provinces. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 46(1): 100-106.
- Koch, P. 1985. Utilization of hardwoods growing on southern pine sites. vol. III. products and prospective. US Department of Agriculture Forest Service Handbook No. 605. Washington DC, USA.
- Oh, S.W. 1997. Original articles: Relationship between compression strength parallel to grain and anatomical characters in *pinus densiflora* S. et. Z.. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 25(2): 27-32.

- Park, B.S., Park, J.H., Han, S.U. 2006. Variation of material properties of Korean red pine of superior families. *Journal of the Korean Forest Energy* 25(2): 9-15.
- Rlee. S.M., Kim. B.R. 2005. Studies on variability of wood properties within stem of *larix kaemferi* (2): Difference in tracheid length and width, microfibril angle, and strength in south and north sides of stem. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 33(1): 21-28.
- Watanabe, H., Tsutsumi, J., Kojima, K. 1963. Studies on juvenil wood. I. Experiment on stems of sugi trees (*Crytomeria japonica* D. Don). *Mokuzai Gakkaishi* 9(6): 225-230.

APPENDIX

(Korean Version)

한국산 소나무의 지역(고성, 홍천 및 봉화군)에 따른 역학적 특성

초록 : 본 연구는 태백산맥을 기준으로 영동(고성군), 영서(홍천군), 영남(봉화군) 세 지역 간 소나무의 재질 차이 유무를 알기 위해 역학적 특성을 조사하였다. 측정된 역학적 성질은 압축강도, 경도 및 전단강도였다. 압축강도는 미성숙재에서 지역 간 차이가 없으며, 심재부와 변재부에서는 봉화, 홍천, 고성군 순으로 크게 나타났다. 경도는 횡단면에서는 봉화군이, 방사 및 접선 단면에서는 고성군이 크게 나타났다. 전단강도는 심재부에서는 차이가 없었으며, 변재부에서는 봉화군이 고성, 홍천군에 비해 높게 나타났다. 이는 지역 간 가도관장, 마이크로피브릴경각 차이에 의한 것으로 생각된다. 지역 간 재질특성의 차이 규명으로 국내산 소나무재를 효율적이고 선택적으로 사용하여 부가가치를 높이고, 또한 우수한 수형목을 선발하는데 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

1. 서론

목재의 해부 및 물리적 특성은 동일수종 일지라도 기후, 생장지역 및 환경, 유전적인 형질 등 여러 요인의 영향으로 인해 지역 간 차이를 나타낸다(Koch, 1985). 이러한 지역 간 재질 특성차이는 목재 이용 시 선택 및 효율적 사용이 필요하고, 또한 유전적 우수한 목재 선발에 지표가 된다. 국내 목재를 다루는 여러 관계자들은 지역에 따라 소나무가 품질차이를 보인다고 말하며, 품질차이 유무에 대한 설문에서도 약 70 %가 차이를 보인다고 하였다(Han, 2015). 목재는 외력이 작용하면 이에 대해 저항하는 내력을 지니며, 저항할 수 있는 최대응력 즉 파괴되는 순간의 응력을 강도라 말한다. 강도는 세포벽의 구조 및 미세구조, 섬유주향, 함수율, 비중, 연륜폭, 용이 등의 내적 인자와 온도, 하중조건, 생육환경 등 여러 영향인자들이 관련되어 목재의 강도적 성질에 영향을 끼치는 요인이 된다(Kang *et al.*, 2008). Jeong and Kim (2015)은 종자 산지가 다른 4개 국가(유고슬라비아, 이태리, 영국, 불가리아)의 글루티노사오리나무를 이용하여 생장속도와 역학적 특성과의 상호관련성 분석을 통해 재질적으로 우수한 종자 산지를 규명하는 연구에서 유고슬라비아산이 좋은 수고생장으로 인해 다른 산지의 약 2배의 흉고직경을 나타내고 역학적 특성도 가장 우수하다고 보고하였다. 또한, Han *et al.* (2014)이 미국과 캐나다 지역 5 개체의 루브라참나무를 이용하여 생장속도와 목재의 재질과의 관계를 규명한 연구에서도 생장이 좋을수록 역학적 특성이 우수하게 나타난다고 보고하였다. Han *et al.* (2016)은 생장지역별 소나무재의 물리적, 역학적 특성과 상호 상관관계에서 안면도와 소광리에서 생장한 소나무의 평균 압축강도와 평균 휨강도는 두 지역 간의 차이는 생장지역에 따른 차이도 있지만, 영급에 의한 연륜폭과 만재율 등의 차이에 의해 나타났다고 보고하고 있다. 본 연구의 전보인 한국산 소나무의 지역에 따른 해부학적 특성(Kim *et al.*, 2018), 물리적 특성(Kim and Kim, 2018), 마이크로피브릴경각 특성(Kim *et al.*, 2020)의 연구에 따르면 지역에 따라 소나무 성질이 차이를 보이며 각 특성이 서로 관련이 있다고 보고하고 있다. 따라서 본 연구에서는 소나무의 지역에 따른 역학적 특성을 조사하고 해부학적, 물리적 및 마이크로피브릴경각 특성과의 관계를 분석하여 지역에 따른 역학적 특성을 규명하는 것이다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

산림조합 동해목재유통센터에서 보유하고 있던 영동(고성군, Goseong-gun), 영서(홍천군, Hongcheon-gun), 영남(봉화군, Bonghwa-gun)지역의 소나무를 2015년에 불하 받아 연구대상으로 하였다. 불하 시 두께 약 20 cm의 디스크상태였으며 이들의 수령, 흉고직경, 평균연륜폭 및 만재율, 벌채연도는 Table 1과 같다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 압축강도

압축강도 시험은 KS F 2206 목재의 압축시험방법에 의거하여 실시하였다. 시편 크기는 2 cm (T) × 2 cm (R) × 4 cm (L)로 하였고, 미성숙재, 심재, 변재로 구분하여 4~7 개씩 제작하여 사용하였다. 이들을 항온항습기(DAIHAN labtech LHT-2250C)에서 온도 20℃, 관계습도 65% 조건에서 조습시킨 후 만능강도시험기(INSTRON사, Model 4206)를 이용하여 측정하였다.

2.2.2. 경도

경도 시험은 KS F 2212 목재의 경도시험방법에 의거하여 실시하였다. 시편의 크기는 4 cm (T) × 4 cm (R) × 4 cm (L)로 3개씩 제작하여 사용하였다. 이들을 향온항습기(DAIHAN labtech LHT-2250C)에서 온도 20°C, 관계습도 65% 조건에서 조습시킨 후 만능강도시험기(INSTRON사, Model 4206)를 이용하여 측정하였다.

2.2.3. 전단 강도

전단강도 시험은 KS F 2209 목재의 전단 시험 방법에 의거하여 실시하였다. 시편의 크기는 2 cm(T) × 2 cm(R) × 3 cm(L)로 1~6개씩 제작하여 사용하였으며, 접선단면을 측정단면으로 하였다. 이들을 향온항습기(DAIHAN labtech LHT-2250C)에서 온도 20°C, 관계습도 65% 조건에서 조습시킨 후 만능강도시험기(INSTRON사, Model 4206)를 이용하여 측정하였다.

이들 데이터의 통계분석은 IBM SPSS Statistics 24를 이용하여 Duncan test를 실시하였으며, 유의수준은 0.05로 설정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 압축강도

Table 2는 고성, 홍천, 봉화군소나무(고성, 홍천, 봉화군) 세 지역 간 압축강도를 나타낸 것으로 미성숙재부는 고성군 46.24 N/mm², 봉화군 42.12 N/mm², 홍천군 37.79 N/mm² 순으로 측정되었고, 심재부는 봉화군 51.37 N/mm², 홍천군 38.97 N/mm², 고성군 38.17 N/mm² 순으로 측정되었고, 변재부는 봉화군 51.19 N/mm², 홍천군 34.50 N/mm², 고성군 29.86 N/mm² 순으로 측정되었다. 지역별 압축강도의 차이유무를 알아보기 위해 던컨테스트를 실시한 결과 미성숙재에서는 차이가 없는 것으로 나타났고, 심재와 변재에서는 봉화군이 고성과 홍천군보다 높은 압축강도를 나타냈다. Oh (1997)는 가도관장이 길어짐에 따라 압축강도가 증가한다는 보고하였다. 전보인 Kim *et al.* (2018)의 연구에서 가도관장이 미성숙재에서는 차이를 보이지 않았으나, 심재와 변재부에서는 봉화, 홍천, 고성군 순으로 나타났다고 보고하였다. 본 연구결과에서 압축강도가 봉화, 홍천, 고성군 순으로 차이가 나타나며, 봉화군의 압축강도가 다른 산지보다 높은 강도를 보이는 것은 봉화군 가도관장이 고성군 및 홍천군 가도관장보다 길기 때문이라고 생각한다. 또한 마이크로피브릴경각과 가도관장의 관계에 있어 가도관장이 길면 마이크로피브릴경각이 작고, 가도관장이 짧을수록 마이크로피브릴경각이 커지는 것으로 보고되었다(Watanabe, 1963; Hiller, 1964; Kim and Min, 1999; Rlee and Kim, 2005). 전보인 Kim *et al.* (2020)의 연구에 따르면 마이크로피브릴경각은 고성, 홍천, 봉화군 순으로 크게 나타났다고 보고하였다. Kim *et al.* (2018)의 가도관장과 Kim *et al.* (2020)의 마이크로피브릴경각과의 관계는 기존연구들과 동일한 결과를 나타내었다. 따라서 압축강도가 봉화, 홍천, 고성군 순으로 나타난 것은 가도관장과 마이크로피브릴경각과의 관계에 의한 것으로 생각한다. 다른 보고의 소나무 압축강도와 비교하면 Cho (1994)는 소나무 압축강도를 42.14 N/mm²로 나타냈는데 이는 본 실험의 전체 수지와 비교하였을 때 고성, 홍천군은 위 보고보다 낮았고, 봉화군은 더 높은 강도를 나타낸 것을 알 수 있었다. Kang *et al.* (2008)은 목재의 강도는 비중에 의하여 크게 영향을 받게 되며 비중이 클수록 목재의 강도가 증가하게 된다고 보고하였다. 전보인 Kim and Kim (2018)의 연구에서 비중은 봉화군이 가장 크게 나타났고, 따라서 비중도 봉화군이 높은 압축강도를 나타낸 하나의 요인이라고 생각된다. 또한 압축강도의 심·변재 사이에서 고성군과 홍천군은 차이를 보였지만 봉화군은 심재(51.37 N/mm²)와 변재(51.19 N/mm²)의 차이가 크게 나타나지 않으므로 균일하고, 높은 압축강도로 우수한 재질로 판단할 수가 있다.

Table 3은 고성, 홍천, 봉화군 지역별 비례한도강도를 나타낸 것으로 미성숙재부는 고성군 21.77 N/mm², 봉화군 20.17 N/mm², 홍천군 18.96 N/mm² 순으로 측정되었고, 심재부에서 봉화군 27.86 N/mm², 홍천군 19.76 N/mm², 고성군 16.13 N/mm² 순으로 측정되었고, 변재부에서 봉화군 27.19 N/mm², 홍천군 17.10 N/mm², 고성군 13.72 N/mm² 순으로 측정되었다. 각 산지의 차이유무를 알아보기 위해 던컨테스트를 한 결과 미성숙재에서는 유의차를 보이지 않았지만, 심재와 변재에서는 유의차를 보였다. 비례한도도 압축강도와 마찬가지로 봉화군이 가장 큰 값을 보였다. 비례한도강도에서 지역 간 차이를 보인 것은 압축강도의 설명으로 말 할 수 있을 것이라 생각한다.

3.2. 경도

Table 4는 고성, 홍천, 봉화군 지역별 경도를 나타낸 것으로 횡단면은 봉화군 53.68 N/mm², 홍천군 39.68 N/mm², 고성군 39.15 N/mm² 순으로 측정되었고, 방사단면에서 고성군 19.05 N/mm², 봉화군 16.94 N/mm², 홍천군 15.03 N/mm² 순으로 측정되었고,

접선단면에서는 고성군 20.61 N/mm², 봉화군 18.84 N/mm², 홍천군 14.15 N/mm² 순으로 측정되었고, 통계적으로도 유의한 것으로 나타났다. 단면 별 경도는 횡단면에서 봉화군이 크고 접선, 방사단면에서는 고성군이 크게 나타났다. 이는 봉화군이 가도관장이 길고 마이크로피브릴경각이 작아 횡단면 경도가 높고, 접선 및 방사단면 경도가 낮게 나타난 것으로 생각되며, 반대로 고성군은 가도관장이 짧고 마이크로피브릴경각이 커서 횡단면의 경도는 작지만 접선과 방사단면의 경도는 크게 나타난 것으로 생각된다 (Kim *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2020). Cho (1994)가 보고한 자료에서 소나무 경도 값은 횡단면이 44.10 N/mm², 방사단면이 10.88 N/mm², 접선단면이 11.76 N/mm²였다. 본 연구와 비교 시 고성군은 방사와 접선단면에서 높은 값을 보이지만 횡단면은 낮은 값을 보였고, 홍천군은 횡단면을 제외한 접선단면과 방사단면이 높은 값을 보였다. 봉화군은 모든 단면에서 높은 값을 보였다.

3.3. 전단강도

Table 5는 고성, 홍천, 봉화군 지역별 전단강도를 나타낸 것으로 심재부에서 봉화군 11.52 N/mm², 홍천군 10.75 N/mm², 고성군 10.63 N/mm² 순으로 측정되었고, 변재부에서는 봉화군 11.48 N/mm², 고성군 8.72 N/mm², 홍천군 7.14 N/mm² 순으로 측정되었다. 각 지역의 차이 유무를 알아보기 위해 던컨테스트를 실시한 결과 심재에서는 차이가 없었지만 변재에서는 봉화군이 고성군과 홍천군보다 높은 값을 나타냈다. 전단강도에서 이러한 결과를 보인 것은 목재의 접착강도와 관련이 있는 리그닌 함량에 의한 것으로 추측되어 화학분석이 필요할 것으로 판단된다. Cho (1994)가 보고한 자료에서 소나무의 전단강도를 방사방향 9.51 N/mm², 접선방향 10.19 N/mm²로 나타냈다. 전단강도도 압축강도와 같이 심·변재 사이에서 고성군과 홍천군은 차이를 보였지만 봉화군은 심재(11.52 N/mm²)와 변재(11.48 N/mm²)의 차이가 크게 나타나지 않으므로 균일하고, 높은 전단강도로 우수한 재질로 판단할 수가 있다. 심재와 변재의 강도 값의 차이에 대해서 Park *et al.* (2006)은 심·변재의 강도차이에 대해 뚜렷한 이유는 없지만 실제로 차이가 있는 이유는 조직 내 침적되는 특수한 물질의 차이에 기인된다고 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 소나무의 지역에 따른 역학적 성질을 조사하였다. 기존 해부학적, 물리적 및 마이크로피브릴경각 성질과의 관계를 분석하여 지역에 따른 역학적 특성을 규명하였다. 압축강도와 전단강도는 심, 변재 모두에서 봉화군이 높은 강도를 나타냈으며 심, 변재 간에는 고성군과 홍천군의 경우 강도차가 뚜렷하게 나타났지만 봉화군의 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 경도의 경우 횡단면은 봉화군, 방사와 접선단면은 고성군이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가도관장, 마이크로피브릴경각 등의 지역 간 차이에 기인한 것으로 판단된다. 지역 간 재질특성의 차이 규명으로 국내산 소나무재를 효율적이고 선택적으로 사용하여 부가가치를 높일 것으로 생각한다.