

잣나무와 낙엽송재 방사조직의 연륜 내 및 축방향 변이성*1

김 남 훈*2†

Intraannual and Vertical Variations in Rays of *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* Woods Grown in Korea*1

Nam-Hun Kim*2†

요 약

잣나무와 낙엽송 조림목 수간 내에서 단열방사조직과 방추형방사조직의 연륜 내 및 축방향의 변이성을 조사하였다. 잣나무와 낙엽송의 단열방사조직의 높이는 각기 평균 6.3 및 9.1 세포고로서 낙엽송이 더 높았다. 0.25 mm² 면적당 단열방사조직의 개수는 각각 평균 6.5개 및 7.5개로써 낙엽송이 더 많았으며 방추형방사조직의 높이는 양 수종 모두 평균 20세포고 정도로서 거의 차이가 없었다. 연륜 내에서 조재부에서 만재부로 이행해 감에 따라 단열방사조직과 방추형방사조직의 높이는 감소하였으나 개수에는 거의 변화가 없었다. 축방향으로 단열방사조직의 세포고는 지상고가 증가함에 따라 점차 증가하였다. 단열방사조직의 개수는 잣나무에서 지상고 5.2 m까지 거의 일정하였고 그 이상의 지상고부터 증가하였으나 낙엽송에서는 일관된 경향을 찾아보기 어려웠다. 방추형방사조직의 높이는 지상고가 낮은 수간의 기부에서 가장 낮았으며 수간의 중앙부로 올라감에 따라 높아지다가 수관부에서 다시 낮아지는 경향이 있었다. 본 연구 결과, 연륜 내에서의 방사조직의 변이성은 비교적 뚜렷하였으나 축방향에서의 변이성은 일관된 경향이 없어 그 경향을 명확히 밝히는 것은 어려운 것으로 생각되었다.

ABSTRACT

Variation of wood rays within a growth ring and along axial direction in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*, which are important Korean commercial softwoods, was examined to get some useful information for their effective utilization. Ray height in cell number and ray number per 0.25 mm² in tangential section were investigated by optical microscopy. The average heights of

* 1 접수 2008년 8월 26일, 채택 2008년 12월 27일

* 2 강원대학교 산림환경과학대학. College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

† 주저자(corresponding author) : 김남훈(e-mail: kimnh@kangwon.ac.kr)

uniseriate rays in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* were 6.3 and 9.1 cells, respectively. The average numbers of uniseriate rays per 0.25 mm² in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi* were 6.5 and 7.5, respectively. The average heights of fusiform rays were about 20 cells but were not significantly different in both species. From earlywood to latewood within a growth ring, the heights of uniseriate and fusiform rays decreased but their numbers remained almost constant. Along axial direction, the heights of uniseriate rays in both species increased with the increase of stem height, and the numbers of uniseriate rays per 0.25 mm² in *Pinus koraiensis* were nearly constant from 0.2 m to 5.2 m but increased up to 19.2 m beyond 5.2 m. However, a constant pattern in the numbers of uniseriate rays was not observed in *Larix kaempferi*. The heights of fusiform rays in both species were the highest in middle part of stems but were the lowest in base and top of trees. In conclusion, the ray variation pattern was comparatively clear within a growth ring but not clear along axial direction.

Keywords: ray height, ray number, uniseriate ray, fusiform ray, variation of rays

1. 서 론

목재를 구성하고 있는 세포는 지형, 지역, 기상, 기온, 임분 밀도, 유전적 특성, 보육 방법 등의 환경 조건과 수종, 개체 등에 따라 그 형태, 크기, 구성 비율 등이 다르게 나타나며, 동일 수간 내에서도 수평 방향이나 수고, 조·만재, 번·심재, 수간과 가지 등의 부위에 따라 다르게 나타나고 있다(Tsoumis, 1991).

일반적으로 침엽수재의 세포 구성 비율은 가도관이 90% 이상을 차지하고 있으며, 방사조직이 3~9%, 측방향수지구 및 유세포가 1% 내외로 존재하고 있다(Panshin and Zeeuw, 1980). 따라서 현재까지 침엽수재의 재질을 평가하기 위한 지표로서 주요 구성 세포인 가도관의 치수 변이성에 관련한 연구가 많이 보고되고 있다(Seth, 1981; Malan, 1994; Bergqvist *et al.*, 1997; Herman *et al.*, 1998; Kim & Mishiro, 1998; Rlee & Kim, 2005).

한편, 목재의 재질과 관련하여 방사조직의 특성에 관해서도 여러 연구 보고가 있다. Petric과 Scukanec (1973)는 Yugoslavia에서 생장한 침엽수재의 방사조직의 구성 비율에 대하여, Panshin과 Zeeuw (1980), 島地 등(1985)은 여러 침·활엽수재의 방사조직의 구성 비율에 대하여 종합하여 논술했다.

또한 Imamura (1978)는 삼나무 이상재에 있어 방사조직의 단위면적당 출현수와 구성 비율, 방사유세포의 접선방향 직경 등을 측정하였으며, 정(1984), 김(1985)도 한국산 활엽수재의 방사조직의 높이, 폭, 수 등에 대해 보고한 바 있다. 한편 Panshin과 Zeeuw (1980)는 redwood에서 복열방사조직의 출현을, Gray (1973)는 동일 수종인 redwood에서 단일방사조직의 출현을 관찰하였으며, Kucera와 Bosshard (1975)는 fir (*Abies alba*)에서 복열방사조직의 출현을 보고하였다.

그러나 수간 내에서의 방사조직 변이성에 관한 연구는 비교적 많지 않다. 島地 등(1985)은 *Picea*속의 목재 중에서 방사조직의 세포고가 수에서 약 30연륜까지 급격히 증가하다가 그 후는 천천히 증가한다고 보고하였다. Giraud (1977)는 *Entandrophragma*속의 방사조직 밀도, 폭, 높이, 크기 등의 수평방향의 변이를 보고하였으며 Fujiwara와 Nakayama (1978)는 삼나무 수간 내에서 방사유세포의 수와 방사조직의 분포를 조사하여 방사조직의 수는 수령과 수고에 따라 변화한다고 보고하였다. Lev-Yadun (1998)은 *Pinus halepensis*와 *Pinus pinea*의 방사조직 수와 높이의 방사방향 변이를 조사하여 방사조직 높이는 점차 증가하고 방사조직 수는 감소하는 것으로 보고하였다.

Table 1. Sample trees

Species	Height in tree (m)	Diameter at breast height (cm)	Tree age (year)	Location
<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.	16.2	28.5	45	Chunchon, Korea
<i>Larix kaempferi</i> Carr.	21.2	35.0	52	Chunchon, Korea

은 등(2008)과 은과 김(2008)은 최근 국내에서 생산량과 활용도가 높은 국내산 주요 침엽수재인 잣나무, 낙엽송, 리기다소나무 목재의 효율적인 이용을 위한 기초 연구로써 목재 셀룰로오스의 미세구조 및 마이크로피브릴 경사각의 변이성에 대하여 보고하였다. 본 실험에서는 동일한 목적으로 잣나무와 낙엽송 수간의 1연륜 내 및 축방향의 방사조직 변이성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

2.1.1. 공시목

강원대학교 학술림의 잣나무와 낙엽송의 인공 조림지에서 비교적 생장이 우수한 잣나무와 낙엽송을 각 1본씩 공시목으로 벌채하여 사용하였다. 벌채된 공시목은 수간의 외형적 특징을 조사한 다음 지상고 0.2 m, 1.2 m, 그 이후는 2 m간격으로 잣나무는 13.2 m 부분까지, 낙엽송은 19.2 m 부분까지 각 부위에서 두께 5 cm의 원판을 채취하여 시험편으로 사용하였다.

한편 1.2 m의 흉고 부분에서 채취한 원판에서 재색에 의해 변·심재를 구분하였는데 잣나무는 수심에서 24번째 연륜까지, 낙엽송은 40번째 연륜까지가 심재였고 그 이후는 변재였다. 공시목의 개요는 Table 1 과 같다.

2.1.2. 절편제작

원판을 깨끗하게 포삭하고 수심에서 방사방향으로 수피까지 폭 1.5 cm 정도의 시편을 3개씩 채취한

후 각 연륜이 포함되도록 하고 관찰단면은 10 mm (R) × 10 mm (T) × 20 mm (L)의 시험편을 제작하였다. 제작된 시험편을 이용하여 일반적인 방법(日本木材學會, 2000)에 의해 두께 15~20 μm의 절편을 제작, 사프라닌 염색, 탈수 과정을 거쳐 슬라이드를 제작하였다.

2.2. 방법

본 실험에서는 접선단면에서 단일방사조직과 방추형방사조직의 방사유세포 수를 축방향으로 측정하여 방사조직의 높이(세포고)로 나타냈다. 방사조직의 수는 접선단면 상에서 0.25 mm² 내에 존재하는 방사조직의 수를 측정하였다. 측정에는 광학현미경(Nikon, E600)과 화상분석기(IMT, i-Solution)를 이용하였다.

2.2.1. 1연륜 내에서의 방사조직 높이(세포고)와 수의 측정

1연륜 내에서의 방사조직 높이 변이성을 측정하기 위하여 만재부부터 조재부까지 26개의 절편을 제작하여 절편 당 단일방사조직 50개씩, 방추형방사조직 20개씩 측정하였다. 방사조직의 수는 접선단면상에서 0.25 mm² 내에 포함되는 방사조직의 수를 측정하였으며 이때 하나의 절편에서 각 10회씩 측정하였다.

2.2.2. 축방향의 방사조직 높이(세포고)와 수의 측정

방사조직이 수간 내에서 지상고에 따라 어떻게 변화하는가를 조사하기 위해 잣나무와 낙엽송 두 공시

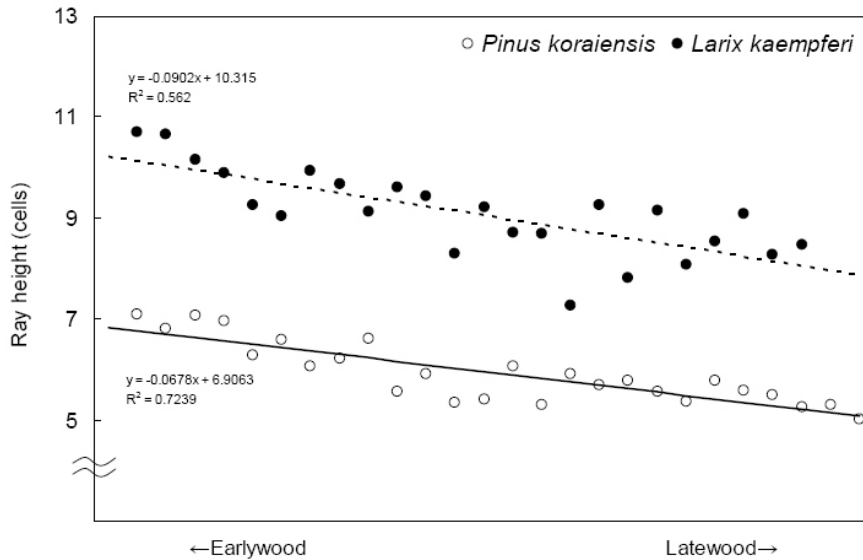


Fig. 1. Variation of uniseriate ray heights within a growth ring in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*.

목의 동일 구간에서의 수피에서 내측방향으로 3번째 연륜을 같은 해에 형성된 동일 성장층으로 간주하고 각 지상고에서 단열방사조직의 높이와 수, 방추형방사조직의 높이를 측정하였다. 각 지상고의 절편에서 조재부와 만재부별로 단열방사조직 각 50개씩, 방추형방사조직 각 20개씩 측정하여 각 연륜의 단열방사조직과 방추형방사조직의 높이로 하였다. 방사조직의 수는 조재부와 만재부의 접선단면 상에서 0.25 mm² 내에 포함되는 방사조직의 수를 측정하였으며 이때 하나의 연륜에서 조재부와 만재부 각 10회씩 측정하여 각 수고의 평균값을 구했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 1연륜 내에서의 방사조직 변이

잣나무와 낙엽송의 1연륜 내에서의 단열방사조직 높이의 변이를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다.

낙엽송 조재부 약 10세포고, 만재부 약 8세포고였고, 잣나무 조재부 약 7세포고, 만재부 약 5세포고로 낙엽송과 잣나무 간에 뚜렷한 차이가 있었고 조

재부가 만재부보다 세포고가 다소 높게 나타났다. 단열방사조직 높이의 1연륜 내 변이성은 두 공시 수종 모두 초기에 형성된 조재부에서 높고 만재부로 이행함에 따라 완만하게 감소되는 경향을 나타내었다.

연륜 내에서 0.25 mm² 내에 존재하는 단열방사조직의 수를 측정한 결과는 Fig. 2에 나타났다. 낙엽송의 단열방사조직의 수는 약 10개/0.25 mm²로 잣나무 약 7개/0.25 mm²보다 많았다. 두 공시 수종 모두 조재부에서 만재부로 이행하면서 단열방사조직의 수는 다소 증가하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 인정되지 않았다(p>0.1).

수평수지도를 포함하고 있는 방추형방사조직의 1연륜 내에서의 높이 변이는 Fig. 3에 나타났다. 잣나무와 낙엽송 모두 초기에 형성된 조재부에서 높고 만재부로 이행하면서 다소 급하게 감소하는 경향을 보여주었다. 양 수종의 방추형방사조직의 높이는 잣나무 조재부 약 19세포고, 만재부 약 18세포고였고, 낙엽송 조재부 약 20세포고, 만재부 약 18세포고로 수종 간 차이는 없는 것으로 생각되었다(p>0.1).

현재까지 1개 연륜 내에서의 가도관이나 목섬유의 길이, 도관요소의 직경이나 길이 또는 마이크로

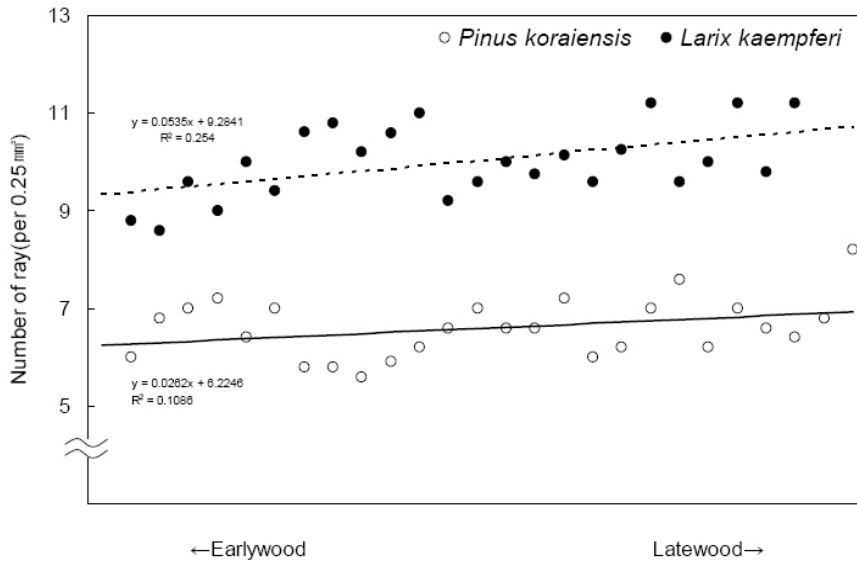


Fig. 2. Variation of uniseriate ray numbers within a growth ring in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*.

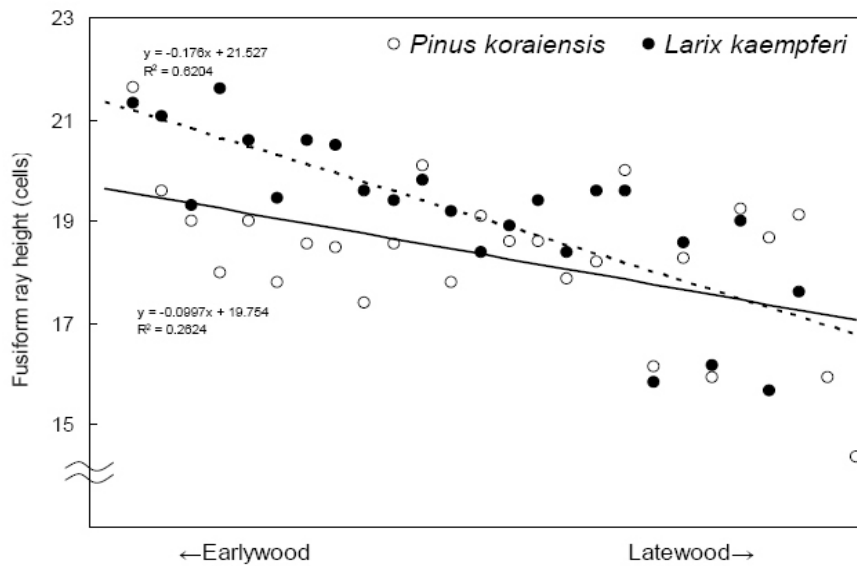


Fig. 3. Variation of fusiform ray heights within a growth ring in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*.

피브릴 경사각 등의 변이에 관한 연구는 비교적 많이 있으나(Panshin and Zeeuw, 1980; 박 등,

1987; Tsumis, 1991), 방사조직의 높이나 수의 연륜 내 변이에 관한 연구는 찾아보기 어렵다.

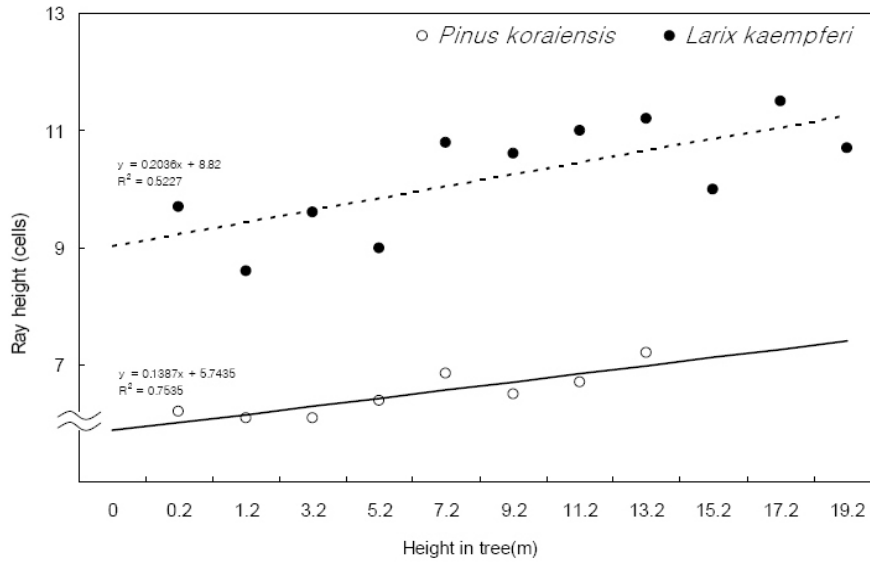


Fig. 4. Axial variation of uniseriate ray heights in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*.

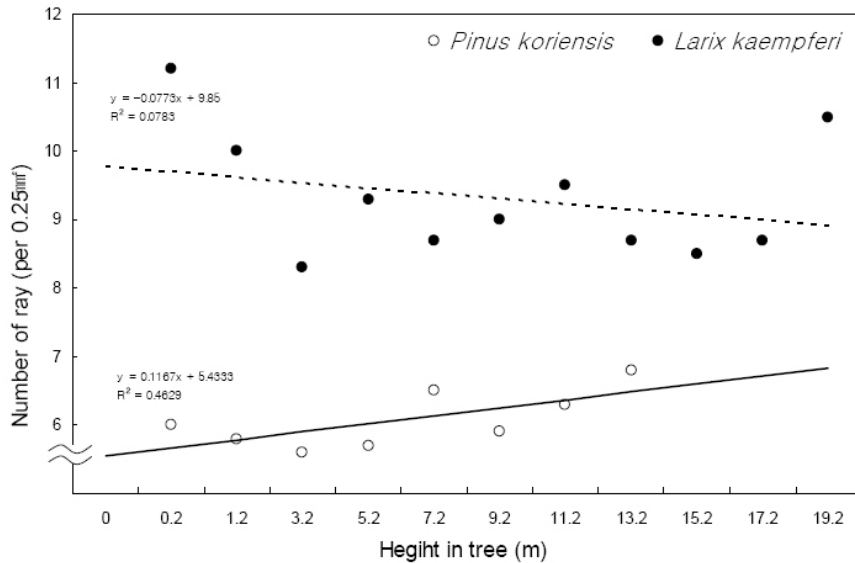


Fig. 5. Axial variation of uniseriate ray numbers in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*.

3.2. 방사조직의 축방향 변이

잣나무와 낙엽송 두 공시목의 수간 내에서 수피로부터 내측방향으로 3번째 연륜에서 각 수고별로 단

열방사조직의 세포고와 수, 방추형방사조직의 세포고를 측정된 결과는 Fig. 4와 같다.

이 결과에 의하면 단열방사조직의 세포고는 두 수종 모두 지상고가 낮은 부위에서 낮고 지상고가 증

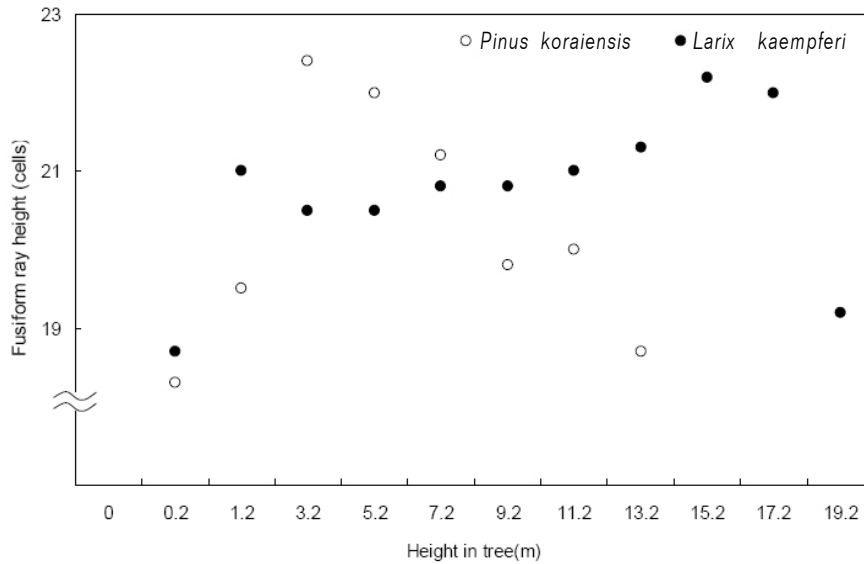


Fig. 6. Axial variation of fusiform ray heights in *Pinus koraiensis* and *Larix kaempferi*.

가함에 따라 그 높이가 점차 증가되는 비례적 관계를 나타내고 있다. 이러한 경향은 지상고가 낮은 부분에서보다 지상고가 높은 곳에서 더욱 뚜렷한 경향을 보이고 있다. 즉, 지상고의 증가에도 불구하고 일정한 지상고(약 5.2 m)까지는 방사조직의 높이는 거의 일정한 경향을 유지하고 있으나 그 이상의 부위에서는 지상고의 증가에 따라 그 높이도 점차 증가되고 있다. 따라서 방사조직의 높이는 지상고의 증가에 따라 변화가 거의 없는 일정한 안정된 영역과 증가되는 영역으로 구분할 수 있을 것으로 사료되며 그 경계가 되는 지상고는 5.2 m 부근으로 생각되었다.

Fig. 5는 0.25 mm² 내에 존재하는 방사조직 개수의 축방향 변이를 조사한 결과이다. 잣나무에서는 방사조직의 수는 지상고 5.2 m까지는 거의 일정하나 그 이상의 지상고부터는 그 수는 다소 증가되는 경향을 보이고 있다. 그러나 낙엽송에서는 이와 반대로 기부와 수관부에서 그 수가 많고 중간부에서는 거의 일정한 경향을 보이고 있어 일관된 경향을 찾아보기가 어려운 것으로 생각되었다.

한편 방추형방사조직 높이의 축방향 변이성은 Fig. 6에 나타냈다. 양 수종 모두 지상고가 낮은 기부에서

그 높이가 가장 낮으며 수간의 중앙부에서 높고, 또한 수관부에서는 감소되는 경향을 보여주었다.

축방향의 변이 특성에 관하여 세포 길이 및 개수, 벽 두께, 세포 직경, 만재율, 셀룰로오스 함량 (Panshin and Zeeuw, 1980; 박 등, 1987; Tsoumis, 1991), 상대결정화도 및 결정의 크기(은 등, 2008), 마이크로피브릴 경사각(은과 김, 2008) 등이 연구되어 왔으나 일정한 경향을 밝혀내는 것은 어려운 것으로 생각된다.

이상의 연구결과로부터 1 연륜 내에서 방사조직 세포고와 수는 변이성을 나타내지만 축방향의 변이는 명확한 경향이 없는 것이 확인되었다. 그러나 현재까지 이와 관련된 문헌을 찾아보기 어려워 금후보다 많은 관련 자료를 축적하여 비교 검토하여야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 강원대학교 산림과학연구소의 지원에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Bergqvist, G., U. Bergsten, and B. Ahlqvist. 1997. Effect of radial increment core diameter on tracheid length measurement in Norway spruce. *Wood Sci Technol.* 31: 241~250.
2. Fujiwara, S. and Y. Nakayama. 1978. Distribution of rays and total number of ray cells in stem of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don). *Mokuzai Gakkaishi* 24: 841~845.
3. Giraud, B. 1977. Statistical analysis of wood structure variation as related to distance from the pith in Entandrophragma. *IAWA Bulletin* 4: 71~75.
4. Gray, R. L. 1973. Multiseriate rays in redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.) *IAWA Bulletin* 1: 7~8.
5. Herman, M., P. Dutilleul, and T. Avella-Shaw. 1998. Intra-ring and inter-ring variations of tracheid length in fast-grown versus slow-grown Norway spruces (*Picea abies*). *IAWA Journal* 19: 3~23.
6. Immamura, Y. 1978. Abnormal ray tissues in excrescence featured wood of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don). *Mokuzai Gakkaishi* 24: 71~74.
7. Kim, B. R. and A. Mishiro. 1998. Studies on variability of wood properties in stems of *Pinus koraiensis* (II). *Mokchae Konghak* 26: 45~50.
8. Kucera, L. and H. H. Bosshard. 1975. The presence of biseriate rays in fir. *IAWA Bulletin* 4: 51~56.
9. Lev-Yadun, S. 1998. The relationship between growth-ring width and ray density and ray height in cell number in the earlywood of *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. *IAWA Journal* 19: 131~139.
10. Malan, F. S. 1994. The quality and wood properties of 4 provenances of South-African-grown *Pinus tecunumanii*. *Ann. Sci. For.* 51: 203~212.
11. Panshin, A. J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology, 4th ed. McGraw-Hill.
12. Petric, B. and V. Scukanec. 1973. Volume percentage of tissues in wood of conifers grown in Yugoslavia. *IAWA Bulletin* 2: 3~7.
13. Rlee, S. M and B. R. Kim. 2005. Studies on variability of wood properties within stem of *Larix kaempferi* (II). *Mokchae Konghak* 33: 21~28.
14. Seth, M. K. 1981. Variation in tracheid length in blue pine (*Pinus walllichiana* A. B. Jackson). *Wood Sci. Technol.* 15: 275~286.
15. Tsoumis, G. 1991. Science and technology of wood. Van Nostrand Reinhold. New York.
16. 김재경. 1985. 한국산 활엽수재의 방사조직에 관한 연구. 경상대학교 박사학위논문.
17. 島地謙, 須藤彰可, 原田浩. 1985. 木材の組織. 森北出版.
18. 박상진, 이원용, 이화형. 1987. 목재조직과 식별. 향문사.
19. 은동진, 권성민, 김남훈. 2008. 국내산 주요 침엽수 3종간의 수간내 목재셀룰로오스의 미세구조 변이. 목재공학 36(1): 12~20.
20. 은동진, 김남훈. 2008. 국내산 주요 침엽수 3종간의 수간내 마이크로피브릴 경사각의 변이. 목재공학 36(4): 77~83.
21. 日本木材學會. 2000. 木質科學實驗マニュアル.
22. 정성호. 1984. 한국산 자작나무속 4수종의 해부학적 성질에 관한 연구. 경상대학교 석사학위논문.