

국내산 상수리나무와 일본 잎갈나무의 수축율과 열전도율에 대한 주기적인 함수율 변화의 영향*¹

문성희*² · 차재경*^{2†}

Effect of Cyclic Moisture Content Changes on Shrinkage and Thermal Conductivity in Domestic *Quercus acutissima* Carr. and *Larix Kaempferi* Carr.*¹

Sung-Hee Mun*² · Jae-Kyung Cha*²

요 약

국산재의 합리적이고 효율적인 사용을 위하여 상수리나무와 일본잎갈나무의 소형 무결점 시편에 대한 열전도율과 수축율 실험을 실시하였다. 모든 시편은 상대습도 86, 66, 20% 및 온도 23℃인 항온항습기에서 함수율 18, 12, 5%순으로 3회 반복 · 조습처리하였다. 상수리나무와 일본잎갈나무의 방사방향 및 접선방향의 수축율은 모든 함수율에서 주기(cycle)의 증가에 따라 감소하였다. 또한 전건비중이 증가할수록 방사방향 및 접선방향 수축율은 증가하였다. 열전도율은 주기가 증가하면 모든 함수율에서 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고 열전도율과 수축율은 전건비중 및 함수율과 매우 높은 상관계수를 나타냈다.

ABSTRACT

Small clear specimens of *Quercus acutissima* Carr. and *Larix kaempferi* Carr. were used to measure shrinkage and thermal conductivity for the reasonable and effective use. All samples were conditioned to 18, 12, 5% moisture contents in a humidity chamber of 86, 66, 20% relative humidity(RH), respectively and room temperature(23℃). All specimens were conducted on the shrinkage and thermal conductivity test at each MCs. These processes(cycle) were repeated three times.

The radial and tangential shrinkages of *Quercus acutissima* Carr. and *Larix kaempferi* Carr. decreased at each level of MCs, with the increasing cycles. The radial and tangential shrinkages increased as the specific

*¹ 접수 2002년 1월 30일, 채택 2002년 4월 3일.

*² 국민대학교 삼림과학대학, College of Forestry, Kookmin Univ., Seoul 136-702, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 차재경(e-mail: jcha@mail.kookmin.ac.kr)

gravity(on oven-dry weight and volume basis) increased. Thermal conductivities of the radial and tangential direction of *Quercus acutissima* Carr. and *Larix kaempferi* Carr. increased at each levels of MCs, with increasing cycles. Good correlations were obtained between shrinkages and thermal conductivities of radial and tangential direction, and specific gravity (on oven-dry weight and oven-dry volume basis) and MC.

Keywords: *Larix kaempferi* Carr., *Quercus acutissima* Carr., moisture content (MC), shrinkage, specific gravity (SG), thermal conductivity

1. 서 론

국내에 공급되는 원목 중 건축·토목용이 차지하는 비율은 1991년에 전체사용량 가운데 51.2%로 가장 많았으며, 1995년에는 59.2%로 증가하였다. 특히 국산재의 점유율은 1991년에는 16.3%이던 것이 1995년에는 25.1%로 증가하였으며, 현재에도 지속적인 증가추세에 있다(산림청 1998). 일본잎갈나무와 참나무류의 수요량이 국산원목에서 차지하는 비율은 1995년에 각각 15.1%와 10.8%를 차지하고 있는 매우 중요한 목재자원이다. 또한 일본잎갈나무와 참나무류는 많은 이용가치를 지니고 있는 우리나라의 대표적인 주요 조림수종의 하나로써 이에 대한 합리적인 효율적인 개발이 매우 시급하며, 국산재의 좀더 나은 이용을 위하여 더 많은 연구가 필요하다.

목재의 물리적 성질을 개선하고 사용 중에 일어날 수 있는 단점들을 개선시킬 목적으로 수축율에 대한 많은 연구(Hernández & Bizon 1994; McAlister & Powers 1994; Shupe et al 1995; Dumail & Castera 1997; Koubaa et al 1998; 심 등 1974; 정 등 1994)가 이루어져 왔으나, 4계절이 뚜렷하고 하루 중에도 시간에 따라 온도와 습도의 변화가 큰 우리나라의 기후 특성으로 인한 주기적인 함수를 변화에 따른 수축과 팽창이 주기적으로 발생되고, 특히 장기간 노출되었을 때 뒤틀림 등의 결함을 일으키게 된다. 따라서 이와 같은 사용 중에 발생될 수 있는 치수변화에 대한 보완 및 방지를 위해 계절에 따른 주기적인 함수를 변화와 관계된 연구가 이루어져야 한다. 하지만 국산재에 대한 이와 관련된 연구는 미흡한 실정이다. 또한 주택에서 목재 사용의 급속한 증가와 그에 따른 국산

재 수요량의 증가에도 불구하고 건축부재, 온돌 마루판 및 내장재의 재료로써 사용되는 목재의 열적 성질에 관련된 많은 연구가 국외에서 활발하게 이루어지고 있으나(Lee 1985; Kamke & Zylkowski 1989; Lopez et al 1996; Matias et al 1997), 국산재에 대한 이와 관련된 연구 또한 전무한 실정이다.

국산재의 마루판재 등 내장재와 건축부재로의 이용 확대 및 고부가가치를 도모하기 위하여 우리나라의 기후조건(기상청 정보 1996)인 목재 평형함수율(5~18%)에 도달하도록 하기 위한 온도 23℃와 상대습도 86, 66, 20%로 항온항습기를 이용하여 함수율을 각각 18, 12, 5% 순으로 조습처리를 한 다음 이 처리를 3회 반복하여 주기(cycle) 및 함수율에 따른 국산 상수리나무와 일본잎갈나무의 수축율 및 열전도율의 변화를 구명하였다.

2. 재료 및 방법

목재의 조직적·물리적 특성이 서로 다른 침엽수와 활엽수에서 각각 한 수종씩 선택하여 목리의 방향별 수축율 및 열전도율을 측정하였다.

2.1. 공시수종 및 시편 제작

강원도 춘천시 소재의 제재소로부터 상수리나무(*Quercus acutissima* Carr.)와 일본잎갈나무(*Larix kaempferi* Carr.) 원목을 각각 7본씩 구입하였다. 두 수종(평균 말구직경 : 상수리나무 - 31 cm, 일본잎갈나무 - 34 cm, 평균연륜폭 : 상수리나무 - 3.10 mm, 일본잎갈나무 - 3.13 mm)의 원목을 두께 45 mm로

제제한 다음 연륜이 곧고, 웅이가 없는 것을 선별하고, 폭이 45 mm가 되도록 제재하여 평활하게 재면을 조정한 다음, 두께는 7 mm가 되도록 종방향으로 방사단면 및 접선단면과 횡방향으로 횡단면을 따라 등근 톱으로 잘랐다. 수종별로 각 7본의 원목으로부터 만든 소형 무결점 시편을 각 3방향으로 구분하여 총 42개(7본 × 3방향 × 2수종)를 선별하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 평균연륜폭 측정

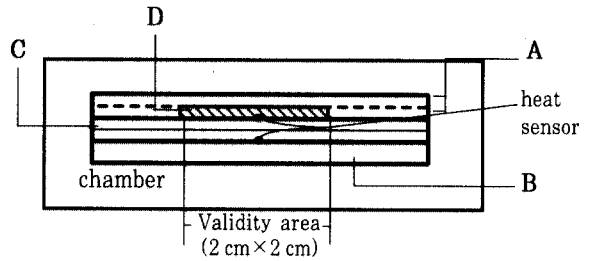
시편들은 24시간 동안 수조에 침지하여 함수율을 섬유포화점 이상으로 처리한 다음, 평균연륜폭을 조사하기 위해 표준시험방법인 KS F 2202에 의해 시험편의 횡단면상에서 연륜과 직각방향의 길이 및 연륜의 개수를 측정하였다.

2.2.2. 조습처리

모든 시편들의 조습처리는 항온항습기를 사용하였으며, 온도 23℃에서 상대습도를 86% → 66% → 20%로 변화시키고 이를 3회 반복하면서 일정시간 간격으로 무게의 변화를 관찰하였고, 모든 시편들이 일정한 무게에 도달될 때까지 처리하였다. 조습 중의 함수율 측정은 여분의 시편들을 이용하여 각 조건의 상대습도에서 조습이 진행될 때마다 일정한 무게에 도달된 시편을 수종별로 항온항습기에서 꺼내어 무게를 측정하고 전건시킨 다음 전건무게를 측정하고 함수율을 계산한 뒤 목표함수율에 도달하였는지를 점검하였다.

2.2.3. 수축율 측정

수축율 측정은 주기(cycle)가 진행되는 동안 각 함수율에서 표준시험방법인 KS F 2203에 의해 실시하였다. 시편들의 각 방향 즉, 섬유방향, 방사방향 및 접선방향에 해당하는 기준선을 표시하고 수조에 24시간 가량 침지시킨 다음 표면의 물기를 깨끗한 헝겊으로 제거한 후 섬유방향, 접선방향 및 방사방향에 대한 기준선의 길이를 측정하였다.



- A = Plate for protecting thermal diffusion
- B = Low temperature plate
- C = Specimen
- D = High temperature plate

Fig. 1. Apparatus for thermal conductivity measurements.

생체상태인 시편의 기준선 길이를 측정한 다음, 시편들은 온도 23℃와 주기별로 함수율 18 → 12 → 5%의 조건에서 조습처리된 시편의 무게와 기준선의 길이를 측정하였다.

2.2.4. 열전도율 측정

열전도율 측정은 표준시험방법(KS L 9016)에 의해 실시하였으며, 열전도율 측정을 위해 사용된 장치는 자체 주문 제작한 열전도율 측정기(Fig. 1)를 사용하였다.

열이 가해지는 고열판의 횡단면 면적은 2 cm × 2 cm이고, 시험편의 두께는 평균 7 mm이다. 열전도율을 측정할 때 시편의 가장자리 부분이 수분의 출입이나 항온조 내부와 열의 흐름이 발생되기 때문에 4 × 10⁻⁴ m²의 유효측정 영역이 사용되었으며, 온도의 측정은 고열판과 저열판의 중앙부에 설치된 온도센서에 의해 이루어졌다. 고열판은 40℃의 온도로 가열하였으며 가열이 진행되는 동안 일정 시간 간격으로 고열판과 저열판의 온도를 관찰하였고 저열판의 온도가 1℃ 상승할 때까지 걸린 시간과 열량(W; watt)을 측정하였다. 열전도율 실험은 수축율 실험이 끝난 다음 시편의 방사 및 접선방향에 대해 각 주기마다 함수율 18%, 12%, 5%에서 실시하였다.

Table 1. Physical properties of specimens

Species	Ring width (mm)	SG _{od} ³	Actual-MC (%)		
			18	12	5
<i>Quercus acutissima</i>	3.10 ¹ (0.92) ²	0.72 (0.054)	18.79 (0.72)	12.15 (0.46)	4.91 (0.45)
<i>Larix caempferi</i>	3.13 (0.83)	0.57 (0.075)	18.28 (0.53)	12.14 (0.45)	4.98 (0.49)

¹ mean

² Standard deviation

³ Specific gravity, based on oven-dry weight and volume.

2.2.5. 비중 및 함수율 측정

모든 시편들에 대한 수축율 및 열전도율 실험이 완료된 다음, 전기오븐을 사용하여 온도 103℃에서 건조시켰다. 주기에 따른 비중, 함수율 및 수축율과 각 시편들의 전수축율을 측정하기 위하여 전건이 완료된 시편들의 무게 및 전건상태에서의 길이, 두께, 폭을 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에 사용된 상수리나무와 일본잎갈나무의 물리적 특성인 각 조건의 실제 함수율(MC), 전건비중(SG_{od}) 및 평균 연륜폭은 Table 1과 같다. Table에 나타난 값들은 실험에서 사용된 모든 시편들의 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다.

3.1. 수축율

온도 23℃와 상대습도 86, 66, 20%에서 각 주기별 목표함수율 18, 12, 5%에서 각 방향에 대한 수축율과 전수축율에 대한 평균 및 표준편차는 Table 2와 같다.

상수리나무의 섬유방향 전수축율은 평균 0.44%였고, 방사방향 전수축율은 4.80%였으며, 접선방향 전수축율은 10.74%였다. 정 등(1994)은 상수리나무의 섬유방향 전수축율이 평균 0.49%, 방사방향 전수축율이 5.76%였으며 접선방향 전수축율이 11.27%라고

Table 2. Longitudinal, radial, tangential and overall shrinkages of two species

Species	Directions	Level of MC (%)	Shrinkage (%)						Overall shrinkage (%)	
			1 cycle		2 cycle		3 cycle			
			Mean	SD ¹	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
<i>Quercus acutissima</i>	Longitudinal	18	0.17	0.03	0.16	0.03	0.15	0.02	0.44	0.15
		12	0.23	0.02	0.22	0.03	0.22	0.03		
		5	0.31	0.04	0.29	0.05	0.27	0.06		
	Radial	18	1.60	0.35	1.38	0.35	1.00	0.49	4.80	0.64
		12	2.66	0.44	2.40	0.45	2.21	0.45		
		5	4.16	0.55	4.04	0.57	3.73	0.37		
	Tangential	18	5.06	0.76	3.99	0.61	3.18	0.76	10.74	0.81
		12	7.26	0.68	6.74	0.64	6.13	0.57		
		5	9.75	0.78	9.39	0.69	9.04	0.64		
<i>Larix caempferi</i>	Longitudinal	18	0.16	0.03	0.15	0.04	0.14	0.04	0.33	0.14
		12	0.20	0.04	0.18	0.03	0.17	0.03		
		5	0.30	0.08	0.25	0.08	0.24	0.07		
	Radial	18	0.73	0.12	0.52	0.12	0.41	0.16	3.39	0.44
		12	1.58	0.28	1.47	0.28	1.39	0.28		
		5	2.81	0.39	2.74	0.39	2.64	0.37		
	Tangential	18	1.77	0.23	1.45	0.24	1.30	0.20	7.40	0.87
		12	3.65	0.45	3.44	0.46	3.25	0.45		
		5	6.05	0.61	5.96	0.62	5.83	0.68		

¹ Standard Deviation.

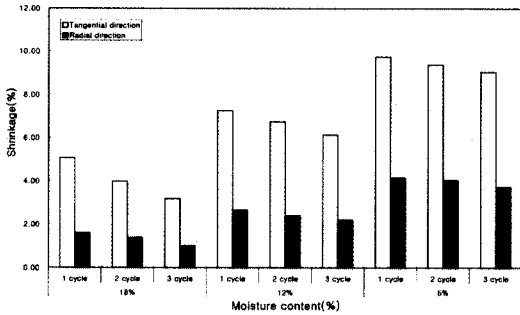


Fig. 2. Changes of shrinkage of *Quercus acutissima* for 3-cycles.

하였다. 이는 본 연구의 결과보다 약간 크게 나타났는데 그 이유는 실험에 사용된 시편의 비중 차이 때문인 것으로 사료된다.

일본잎갈나무의 섬유방향 전수축율은 0.33%였고, 방사방향 전수축율은 3.39%였으며, 접선방향 전수축율은 7.40%였다. 이에 대해 정 등(1994)은 일본잎갈나무의 섬유방향 전수축율이 0.17%, 방사방향 전수축율은 4.67%, 접선방향 전수축율은 8.44%라고 하였다. 이는 방사방향과 접선방향의 전수축율이 본 실험의 결과에 비하여 각각 1.28%와 1.04% 정도 더 크게 나타났는데 그 이유는 시편의 비중 차이가 원인인 것으로 사료된다.

3.1.1. 함수율의 영향

주기별로 함수율에 따라 수축율이 차이가 있는지를 조사하기 위해 유의성 검정을 실시했다. 상수리나무와 일본잎갈나무 모두 방사방향과 접선방향 수축율은 5%의 유의수준에서 차이가 있는 것으로 나타났다.

동일 함수율에서 주기에 따라 수축율이 수종별로 서로 차이가 있는지를 조사하기 위해 유의성 검정을 실시하였다. 상수리나무와 일본잎갈나무 모두 섬유방향 수축율은 5% 수준에서 유의성이 없었다. 그러나 상수리나무의 경우 방사방향 수축율은 함수율 18%에서 주기에 대한 유의성이 나타났고 접선방향의 경우 18%와 12%에서 주기에 대한 유의성이 나타났다. 일본잎갈나무의 경우 방사방향과 접선방향 수축율 모두

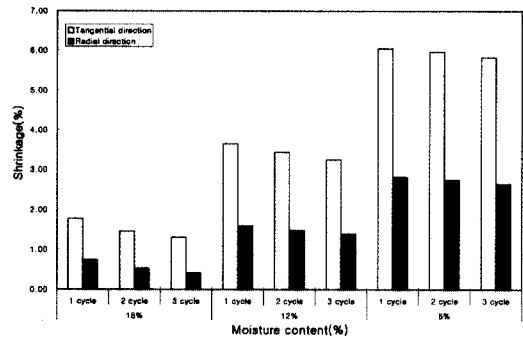


Fig. 3. Changes of shrinkage of *Larix caempferi* for 3-cycles.

함수율 18%와 12%에서 상수리나무와 마찬가지로 5% 유의수준에서 주기에 대한 유의성이 나타났다. Fig. 2는 주기별로 함수율 18, 12, 5%에서 상수리나무의 수축율의 추이를 나타낸 그래프이고, 마찬가지로 Fig. 3은 일본잎갈나무의 수축율의 추이를 나타낸 것으로 주기가 증가할수록 수축율은 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 주기가 증가하므로 자기이력 현상에 의한 평형함수율의 감소가 원인으로 판단된다.

3.1.2. 비중의 영향

수축율(y)과 전건비중(SG_{0d}) 사이의 관계는 $y = a(SG_{0d}) + b$ 로 나타낼 수 있었다. Table 3에 나타난 바와 같이 방사방향 수축율($R^2=0.71\sim0.84$) 및 접선방향 수축율($R^2=0.55\sim0.67$)은 전건비중이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 상관계수(R^2)는 비교적 낮았는데 그 이유는 전건비중의 변이가 작기 때문으로 사료된다. Killmann(1983)은 코코넛야자수의 전건비중과 방사방향 및 접선방향의 수축율간의 관계를 선형으로 나타냈고, 각각의 상관계수(R^2)는 방사방향 수축율의 경우 0.56, 접선방향 수축율의 경우 0.58로 이는 본 결과와 거의 일치되었다.

3.1.3. 함수율 및 비중과 수축율의 관계

함수율(MC)과 전건비중(SG_{0d})을 독립변수로 하여 수축율(y)과의 관계는 $y = a(MC) + b(SG_{0d}) + c$ 로

Table 3. Regression equations and correlation coefficients between shrinkage(Sh) and specific gravity(SG_{od})

Species	Directions	Level of MC (%)	Sh = a(SG _{od} ¹) + b (%)		R ²
			a	b	
<i>Quercus acutissima</i>	Radial	18	4.778	-2.081	0.32
		12	5.911	-1.856	0.39
		5	7.354	-1.348	0.50
	Tangential	18	0.640	3.936	0.31
		12	1.794	5.381	0.55
		5	3.053	7.134	0.33
<i>Larix caempferi</i>	Radial	18	1.360	-0.161	0.35
		12	3.474	-0.290	0.28
		5	7.099	-1.000	0.61
	Tangential	18	0.277	1.276	0.30
		12	3.097	1.545	0.39
		5	3.478	3.893	0.67
Total	Radial	18	3.906	-1.446	0.71
		12	4.739	-1.007	0.74
		5	6.443	-0.672	0.84
	Tangential	18	13.271	-6.141	0.55
		12	17.227	-6.582	0.62
		5	18.365	-4.627	0.67

¹ Specific gravity, based on oven-dry weight and volume.

나타낼 수 있었다. Table 4는 방사방향 수축율 및 접선방향 수축율을 전건비중 및 함수율로 나타낸 다중 회귀식과 상관계수를 나타낸 것이다.

Table 4에서 나타낸 함수율 및 전건비중과 방사방향 및 접선방향 수축율 사이의 관계에서 각각의 상관계수를 비교하여 보았을 때 상수리나무의 방사방향 수축율은 0.89~0.93로 매우 높은 상관계수를 보였으며, 접선방향 수축율의 상관계수는 0.90~0.96로 더 큰 값을 나타냈다. 일본잎갈나무에서 방사방향 수축율의 상관계수는 0.87~0.90을 나타냈으며, 접선방향 수축율의 상관계수는 0.94~0.95를 보였다. 이는 수축율이 전건비중과 함수율에 매우 밀접한 관계가 있음을 입증한다.

Table 4. Regression equations and correlation coefficients relating shrinkage(Sh) to moisture content(MC) and specific gravity(SG_{od})

Species	Directions	Cycle	Sh = a(MC ¹) + b(SG _{od} ²) + c (%)			R ²
			a	b	c	
<i>Quercus acutissima</i>	Radial	1	-0.164	5.907	0.777	0.89
		2	-0.165	7.097	-0.193	0.93
		3	-0.160	6.331	-0.031	0.92
	Total		-0.162	6.700	-0.003	0.88
	Tangential	1	-0.313	6.813	6.579	0.90
		2	-0.364	7.707	6.030	0.96
3		-0.375	7.722	5.637	0.94	
Total		-0.347	8.338	5.410	0.89	
<i>Larix caempferi</i>	Radial	1	-0.144	3.041	1.951	0.87
		2	-0.156	3.450	1.702	0.90
		3	-0.154	3.776	1.395	0.90
	Total		-0.151	3.440	1.670	0.87
	Tangential	1	-0.300	5.759	4.563	0.94
		2	-0.325	4.729	5.127	0.94
3		-0.325	4.583	4.950	0.95	
Total		-0.316	5.073	4.849	0.93	

¹ Moisture content(%)

² Specific gravity based on oven-dry weight and volume.

3.2. 열전도율

각 함수율 조건에서 주기에 따른 열전도율의 영향에 대하여 알아보았다. 함수율(18, 12, 5%)별로 주기의 증가에 따른 상수리나무와 일본잎갈나무의 방사방향 및 접선방향 열전도율의 평균과 표준편차는 표 5와 같다.

3.2.1. 함수율의 영향

두 수종에 대해 각 주기에서 함수율에 따른 열전도율의 값들간에 차이가 있는지를 조사하기 위하여 유의성 검정을 하였다. 상수리나무와 일본잎갈나무 모두 방사방향과 접선방향의 열전도율은 함수율에 대해 5%의 유의수준에서 유의성을 나타냈다.

Table 5. Thermal conductivity of *Quercus acutissima* and *Larix caempferi*

Species	Directions	Level of MC (%)	Thermal conductivity (kcal/m · hr · °C)					
			1 cycle		2 cycle		3 cycle	
			Mean	SD*(×10 ⁻²)	Mean	SD(×10 ⁻²)	Mean	SD(×10 ⁻²)
<i>Quercus acutissima</i>	Radial	18	0.161	0.30	0.164	0.31	0.166	0.27
		12	0.142	0.50	0.143	0.41	0.145	0.43
		5	0.122	0.34	0.124	0.35	0.125	0.30
	Tangential	18	0.157	0.23	0.159	0.23	0.162	0.26
		12	0.137	0.53	0.139	0.32	0.140	0.35
		5	0.119	0.25	0.121	0.36	0.122	0.31
<i>Larix caempferi</i>	Radial	18	0.160	0.45	0.164	0.57	0.166	0.53
		12	0.139	0.50	0.142	0.50	0.143	0.52
		5	0.120	0.59	0.123	0.56	0.123	0.48
	Tangential	18	0.153	0.08	0.158	0.21	0.160	0.21
		12	0.136	0.27	0.137	0.19	0.139	0.17
		5	0.116	0.29	0.119	0.22	0.121	0.24

* Standard deviation.

동일 함수율에서 주기에 따른 열전도율이 수종과 방향에 대하여 차이를 나타내는지를 알아보기 위해 유의성 검정을 실시하였다. 상수리나무와 일본잎갈나무 모두 함수율 18%에서 방사방향과 접선방향 열전도율은 각 주기간에 유의성이 있었다. 그러나 함수율 12%와 5%에서 방사방향과 접선방향 열전도율은 유의성이 나타나지 않았다. 함수율 12%와 5%에서 방사방향 열전도율과 접선방향 열전도율은 유의성이 인정되지 않았으나 주기의 증가에 따라 점차적으로 증가하는 경향을 나타냈다. Fig. 4는 주기별로 함수율이 18, 12, 5%일 때 상수리나무의 열전도율의 경향을 나타낸 그래프이고, 마찬가지로 Fig. 5는 일본잎갈나무의 열전도율의 경향을 나타낸 것이다. 모든 그래프에서 함수율이 증가하면 열전도율이 증가하는 경향을 보여주고 있다. Steinhagen(1977)은 함수율 30% 이하의 경우 함수율에 따라 열전도율이 비례적으로 증가한다고 하였다. 또한 모든 함수율에서 주기가 증가함으로 열전도율이 증가하는 것을 보여주고 있다. 이는 주기가 증가함으로 평형함수율의 감소로 비중이 증가하였기 때문으로 판단된다.

방사방향 열전도율이 접선방향 열전도율보다 두 수종 모두 크게 나타났다. Steinhagen(1977)은 방사방

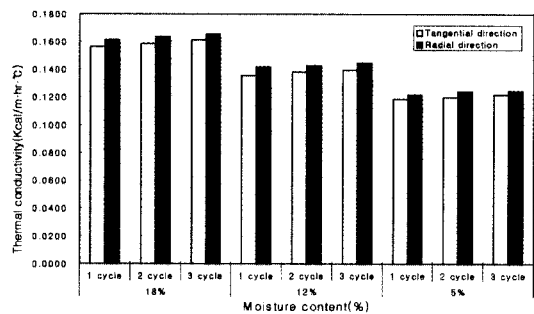


Fig. 4. Changes of thermal conductivity of *Quercus acutissima* for 3-cycles.

향 열전도율이 접선방향 열전도율보다 크다고 하였으며, 그 원인으로 활엽수재는 방사조직, 그리고 침엽수재는 비중이 높은 추재에 의한 영향 때문이라고 하였다.

3.2.2. 비중의 영향

열전도율(k)와 전건비중(SG_{od})의 관계는 $y = a(SG_{od}) + b$ 로 나타났다. 같은 함수율에서 방사방향 및 접선방향 열전도율과 전건비중의 상관관계는 Table 6과 같다. 방사방향 열전도율($R^2=0.37\sim0.72$) 및 접선방향 열전도율($R^2=0.48\sim0.71$)은 전건비중

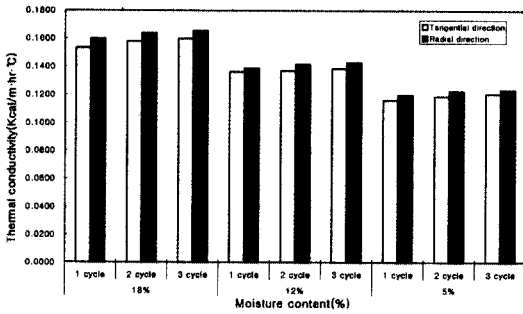


Fig. 5. Changes of thermal conductivity of *Larix caempferi* for 3-cycles.

이 증가함에 따라 증가하였으며, 방사방향보다 접선 방향에서 더욱 큰 상관계수(R^2)를 나타냈다. Kamke (1989)는 삭편판, 합판, 섬유판 등 9가지 형태의 목질 판상재료에 대한 연구에서 함수율 3~7%일 때의 비중과 열전도율 사이에는 직선적인 관계가 성립한다고

보고하였는데 상관계수(R^2)는 0.55로써 본 실험의 결과와 매우 유사함을 보였다.

3.2.3. 함수율과 비중과 열전도율의 관계

함수율(MC)과 전건비중(SG_{od})을 독립변수로 하여 열전도율(k)과의 관계는 $k = a(MC) + b(SG_{od}) + c$ 로 나타났다. Table 7은 방사방향 및 접선방향 열전도율과 전건비중 및 함수율간의 관계에 대한 회귀식과 상관계수를 나타냈다. Table 6에서 나타냈던 전건비중과 방사방향 및 접선방향 열전도율간의 상관계수(R^2)보다 Table 7에서 나타난 함수율 및 전건비중과 열전도율간의 상관계수(R^2)가 상수리나무와 일본잎갈나무 모두 매우 높게 나타났다. 이는 열전도율 또한 함수율 및 전건비중과 매우 밀접한 관계가 있음을 보여준다.

Table 6. Regression equations and the correlation coefficients between thermal conductivity(k) and specific gravity(SG_{od})

Species	Directions	Level of MC (%)	$k = a(SG_{od}^1) + b$ (kcal/m · hr · °C)		R^2
			a ($\times 10^{-1}$)	b	
<i>Quercus acutissima</i>	Radial	18	0.216	0.147	0.68
		12	0.737	0.086	0.48
		5	0.284	0.102	0.59
	Tangential	18	0.316	0.137	0.71
		12	0.465	0.111	0.58
		5	0.235	0.104	0.62
<i>Larix caempferi</i>	Radial	18	0.199	0.151	0.72
		12	0.651	0.103	0.37
		5	0.957	0.065	0.71
	Tangential	18	0.086	0.152	0.63
		12	0.140	0.129	0.48
		5	0.208	0.107	0.63
Total	Radial	18	0.189	0.149	0.33
		12	0.256	0.124	0.48
		5	0.260	0.104	0.44
	Tangential	18	0.166	0.148	0.55
		12	0.201	0.126	0.45
		5	0.203	0.107	0.68

¹ Specific gravity, based on oven-dry weight and volume.

Table 7. Regression equations of the correlation relating thermal conductivity(k) to moisture content(MC) and specific gravity(SG_{od})

Species	Directions	Cycle	$k = a(MC^1) + b(SG_{od}^2) + c$ (kcal/m · hr · °C)			
			a (10 ³)	b (10 ²)	c (10 ²)	R ²
<i>Quercus acutissima</i>	Radial	1	295	0.78	10.40	0.96
		2	295	0.05	10.81	0.96
		3	291	1.03	9.96	0.96
		Total	294	0.72	10.31	0.96
	Tangential	1	287	0.66	9.99	0.96
		2	283	1.12	11.31	0.96
3		284	0.78	10.27	0.97	
	Total	285	0.10	10.53	0.96	
<i>Larix caempferi</i>	Radial	1	3.27	2.13	9.25	0.90
		2	3.16	3.71	8.46	0.92
		3	3.12	4.07	7.87	0.93
		Total	3.17	3.30	8.54	0.90
	Tangential	1	2.96	0.79	9.80	0.98
		2	2.93	1.13	9.87	0.98
3		2.84	1.01	9.61	0.98	
	Total	2.91	1.00	9.78	0.97	

¹ Moisture Content(%)

² Specific gravity, based on oven-dry weight and volume.

4. 결 론

상수리나무(*Quercus acutissima* Carruth.)와 일본잎갈나무(*Larix caempferi* Carr.)를 공시수종으로 하여 주기별 함수율 조건인 18, 12, 5%에 따른 수축율 및 열전도율에 대한 실험 결과는 다음과 같다.

1) 함수율 18%에서 주기에 따라 상수리나무와 일본잎갈나무의 접선방향 및 방사방향 수축율은 분명한 차이가 나타났으며, 함수율 12%와 5%에서 유의성은 없었으나 주기가 증가하면 상수리나무와 일본잎갈나무의 수축율은 모두 감소하는 경향을 나타냈으며, 함수율이 5 → 12 → 18%로 증가할수록 주기에 대한 효과가 크게 나타났다.

2) 비중이 증가함에 따라 수축율은 증가하였으며, 전건비중과 수축율의 상관계수는 0.55~0.84로 나타났다.

3) 상수리나무와 일본잎갈나무의 접선방향 및 방사

방향 열전도율은 목표함수율 18%에서 주기의 증가에 따라 증가하였으며, 함수율 12%와 5%에서 유의성은 없었으나 상수리나무와 일본잎갈나무의 열전도율은 주기의 증가에 따라 모두 증가하였다.

4) 비중이 증가함에 따라 열전도율은 증가하였으며, 전건비중과 열전도율의 상관계수는 0.33~0.68로 나타났다.

5) 전건비중 및 함수율과 수축율의 관계, 그리고 전건비중 및 함수율과 열전도율의 관계를 나타낸 다중회귀식은 매우 높은 상관관계(수축율의 상관계수 = 0.90~0.97, 열전도율의 상관계수 = 0.87~0.93)를 나타냈다.

함수율과 비중 뿐 아니라 다른 인자들의 좀더 폭넓은 연구를 비롯하여 온도에 따른 열전도율에 대한 연구와 함께 다른 속성수에 관한 연구가 앞으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Dumail, J. F. and P. Castera. 1997. Transverse shrinkage in maritime pine juvenile wood. *Wood Sci. and Technol.* 31: 251~264.
2. Hernández, R. E. and M. Bizon. 1994. Changes in shrinkage and tangential compression strength of sugar maple below and above the fiber saturation point. *Wood and Fiber* 26(3): 360~369.
3. Kamke, F. A. and S. C. Zylkowski. 1989. Effects of wood-based panel characteristics on thermal conductivity. *Forest Prod. J.* 39(5): 19~24.
4. Killmann, W. 1983. Some physical properties of the Coconut Palm stem. *Wood Sci. and Technol.* 17: 167~185.
5. Koubaa, A., R. E. Hernández M. Beaudoin. 1998. Shrinkage of fast-growing hybrid poplar clones. *Forest Prod. J.* 48(4): 82~87.
6. Lee, W. C. 1985. Bending and thermal insulation properties of cement-bonded cypress. *Forest Prod. J.* 35(11/12): 57~58.
7. Lopez, J. A., S. A. Tomas, H. Vagargas, V. Olalde-portogal, R. Baquero, I. Delgadillo, J. M. Yanez-limon, J. J. Alv- arado-gil, J. Faias-hernández, L. Scheinvar, C. Falconi, M. D. Silva, and L. C. Miranda. 1996. Photoacoustic thermal characterization of wood. *Forest Prod. J.* 46(4): 84~89.
8. Matias, L., C. Santos, M. Reis, and L. Gil. 1997. Declared value for thermal conductivity coefficient of insulation corkboard. *Wood Sci. and Technol.* 31: 355~365.
9. McAlister, R. H. and H. R. Powers. 1994. A comparison of some physical and mechanical properties of full-sib and half-sib loblolly pines. *Forest Prod. J.* 44(2): 42~44.
10. Shupe, T. F., E. T. Choong, and M. D. Gibson. 1995. Differences in moisture content and shrinkage between outerwood, middlewood and corewood of two yellow poplar trees. *Forest Prod. J.* 45(9): 85~90.
11. Steinhagen, H. P. 1977. Thermal conductive properties of wood, green or dry, from -40°C to +100°C: A literature review. U.S. Department of Agriculture Forest Service Forest Products Laboratory, Madison, WIS.
12. 기상청. 1996. 12 기상월보. 4~8.
13. 산림청. 1998. 임업통계연보. 제 28호. 158~163
14. 심종섭, 조계명, 강선구, 이영대, 정희석, 안정모. 1974. 포플러재의 성질. 임업연구원 연구보고 제 21호. 187~205.
15. 정성호, 심근, 박종영, 조성택, 공영토, 윤승락, 노정관, 정두진, 서진석, 이동훈. 1994. 한국산 주요 목재의 성질과 이용. 임업연구원 연구보고. 제 95호. 1~270.
16. 한국표준협회. 1965. 한국산업규격(KS). F 2202. 목재의 평균 나이테 간격 MC 및 비중 측정방법.
17. 한국표준협회. 1994. 한국산업규격(KS). F 2203. 목재의 수축율 시험 방법.
18. 한국표준협회. 1995. 한국산업규격(KS). L 9016. 보온재의 열 전도율 측정방법.