

## 간벌재 및 소경재의 이용개발에 관한 연구<sup>1\*</sup>

-알칼리 처리 목재의 수축팽윤성-

황원중<sup>2</sup>, 김남훈<sup>2</sup>

## Utilization of Domestic Small Timbers<sup>1\*</sup>

-Shrinkage and Swelling of Alkali-Treated Woods-

Won-Joung Hwang<sup>2</sup> and Nam-Hun Kim<sup>2</sup>

### 요 약

간벌 소경재의 새로운 용도개발을 위한 기초연구로서 국내산 주요 침·활엽수 4수종의 알칼리 팽윤 특성을 조사하였다. 그 결과, 4수종 모두 알칼리 처리후 밀도가 증가하였으며 그 정도는 활엽수재가 더 크게 나타났다. 알칼리처리에 의해 접선방향의 팽윤이 현저한 반면 방사방향의 팽윤은 작았고, 섬유방향은 오히려 감소하는 경향이 있었다. 알칼리 팽윤후 수축율은 활엽수재가 더 컸으며, 특히 기건상태까지의 수축율은 방사방향과 접선방향간에 수축율의 차이가 거의 없이 등방적으로 수축하는 특징을 보여주었다.

### ABSTRACT

The behaviors of alkali swelling in four major Korean woods were examined as a function of concentration of alkali solution. Density of alkali-treated woods increased highly with increasing alkali concentration in both softwoods and hardwoods. Wood samples swelled in dimension during alkali swelling, and thereafter they shrank highly by water washing and air drying. The air-dried wood samples after alkali treatment showed almost isotropic shrinkage in tangential and radial direction.

*Key words* : alkali-treated wood, alkali swelling, shrinkage, swelling, isotropic shrinkage

<sup>1</sup> 접수 1999년 8월 3일 Received on August 3, 1999.

<sup>2</sup> 강원대학교 산림과학대학 임산공학과 Dept. of Wood Science and Technology, College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

\* 본 연구는 1998년도 농림계 특성화대학 강원도지원 연구비에 의하여 수행된 결과의 일부임.

## 서 론

우리 나라는 국토의 65%가 산지로 이루어져 있으나<sup>1)</sup>, 국내 목재류 소비량의 95% 이상을 외재에 의존하고 있다<sup>2,3)</sup>. 또한 국내산 원목 자급율은 14.6%(主伐, 間伐) 정도이며<sup>2)</sup>, 공급되는 목재의 71%가 직경이 15cm이하인 소경재이다<sup>4)</sup>. 이들 소경재는 대부분 미성숙재로 이루어져 있어 물리적, 역학적 성질 등의 재질이 성숙재보다 뒤떨어지며, 특히 수축 및 팽윤의 이방성이 커서 건조과정, 마무리 가공시 할렬이나, 뒤틀림 등의 결점이 발생하기 쉽다<sup>5)</sup>. 따라서, 수분에 의한 수축 및 팽윤은 많은 연구자에 의해 조사되었으며, 목재의 결점중에서 수축 및 팽윤에 보다 안정된 목재를 개발하거나 목재 성질을 개선하려는 시도가 계속적으로 이루어져 왔다.

한편, 화학처리 목재의 대부분은 목재내 비결정영역의 -OH기를 제어하여 어느 정도의 성질을 변화시킬 수 있는데, 목재의 성질을 개선하여 가공을 용이하게 하고자 하는 방법에는 열처리, 아민 및 암모니아 처리, 알칼리 처리 및 microwave 등을 이용하는 방법들이 있다<sup>6,7,8,9)</sup>. 이러한 여러 가지 방법중에서 알칼리처리는 세포벽으로부터 헤미셀룰로오스 및 리그닌의 일부를 용탈시켜 매트릭스에 공극을 형성시켜 매트릭스내에 배향된 microfibril의 경사 또는 굴곡 등의 형태변화가 가능하게 되어 가소성이 부여된다<sup>7)</sup>. 목재의 팽윤은 세포벽의 공극이 확대되는 현상으로 설명할 수 있으므로 목재의 성질을 개선하기 위한 방부제, 내화제, 치수안정화제 등을 목재에 주입하고자 할 때, 더 용이한 주입을 위해서는 목재내의 공극율을 증대시키는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 국산 간벌재 및 소경재의 효율적인 활용을 위한 목적으로서 우선 여러 농도의 알칼리 처리에 의한 목재의 팽윤 거동 즉, 밀도, 팽윤 및 수축 특성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

본 연구에는 강원대학교 연습림 2임반 나소

반에서 채취한 일본잎갈나무(*Larix leptolepis* G.), 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.), 굴참나무(*Quercus variabilis* B.)와 강원대학교 구내림에서 채취한 신갈나무(*Quercus mongolica* F.)의 4수종의 소경재를 공시목으로 사용하였다. 각 수종의 수령은 20-30년이었다.

### 2.2 방법

#### 2.2.1 수축 및 팽윤 시료제작

수축 및 팽윤용 시료는 KS F 2201, 220310)에 따라 변재부에서 방사·접선방향용 시료와 섬유방향용 시료를 각각 30개씩 제작하였다. 하나의 시료에서 각 방향별로 3회 반복 측정하여 평균값을 치수로 하였다.

#### 2.2.2 알칼리 처리 및 수세

제작된 목편 시료는 기건상태의 시료를 종류수에 침적하여 포수상태로 만들었다(1주일간 진공펌프 사용). 포수상태의 시료를 5%, 10%, 15%, 20%, 25% NaOH 수용액의 각기 다른 농도의 알칼리 용액에 5개씩 48시간 침적하였다. 그 후 흐르는 물로 pH가 중성이 될 때까지 계속적으로 수세하였다. 관찰 및 측정은 각 단계에서 모두 실시하였다.

#### 2.2.3 시료의 수축률 및 팽윤율

알칼리 처리 전후의 수축율( $\alpha$ , 이하 수축율이라 함), 기건 시료의 알칼리 처리에 의한 팽윤율( $\beta$ , 이하 팽윤율이라 함) 및 알칼리 팽윤 후 수세 및 전건시킨 시료의 수축율( $\gamma$ , 이하 전수축율이라 함)은 다음과 같이 계산하였다.

$$\alpha = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100, \quad \beta = \frac{l_3 - l_1}{l_1} \times 100$$

$$\gamma = \frac{l_3 - l_4}{l_3} \times 100$$

11 · Dimension in air dry before alkali swelling

12 · Dimension in air dry after alkali swelling

13 · Dimension in alkali swollen state

14 · Dimension in oven dry after alkali swelling

#### 2.2.4 중량감소율

알칼리처리 전후의 중량감소율은 다음의 식에 의해 계산하였다.

$$W(\%) = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100$$

W : Weight loss

$w_1$  : Weight in air dry before alkali swelling

$w_2$  : Weight in air dry after alkali swelling

## 결과 및 고찰

### 3.1 알칼리 처리에 의한 밀도변화

알칼리 처리 전 기건밀도와 처리 후 기건밀도, 처리 후 전건밀도, 처리 전후의 기건밀도비를 Table 1에 나타냈다.

무처리재의 밀도는 일본잎갈나무 0.50-0.52g/cm<sup>3</sup>, 잣나무 0.41-0.44g/cm<sup>3</sup>, 굴참나무 0.85-0.88g/cm<sup>3</sup>, 신갈나무 0.87-0.89g/cm<sup>3</sup>로 나타났다. 알칼리 처리에 의한 변화를 보면 일본잎갈나무와 잣나무는 알칼리 농도 5%, 10% 수용액중에서 처리한 경우 기건밀도의 변화가 거의 없었고, 15%이상의 처리에서 다소 밀도가 증가되었다.

굴참나무와 신갈나무는 5%, 10%의 처리로 20-30% 밀도가 증가하였으며, 15%이상의 처리로 약 40%의 밀도증가율을 보여주고 있어 일본잎갈나무와 잣나무에 비해 밀도가 크게 증가하였다. 일본잎갈나무, 잣나무, 굴참나무, 신갈나무를 105℃에서 24시간 건조한 후의 전건밀도는 기건밀도와 거의 차이가 없었다.

### 3.2 알칼리 처리에 의한 목재의 팽윤 및 수축

#### 3.2.1 기건재의 알칼리 팽윤

기건상태의 치수와 알칼리 팽윤상태의 치수에서 계산한 각 방향별 팽윤율( $\beta$ )과 용적 팽윤율을 Table 2에 나타냈다. 무처리재의 팽윤율은 기건상태와 포수상태의 치수에서 계산한 값이다.

일본잎갈나무와 잣나무에서 방사방향의 팽윤은 접선방향에 비해 상당히 적게 나타나며 오히려 높은 농도에서는 수축현상을 보여주었다.

Table 1. Density before and after alkali swelling.

Species	NaOH concentration	Air-dry density before alkali swelling (g/cm <sup>3</sup> )	Air-dry density after alkali swelling (g/cm <sup>3</sup> )	Oven-dry density after alkali swelling (g/cm <sup>3</sup> )	The ratio of air-dry density (after/before)
<i>Larix leptolepis</i>	0%	0.51			
	5%	0.52	0.49	0.47	0.94
	10%	0.50	0.51	0.49	1.02
	15%	0.50	0.52	0.50	1.04
	20%	0.51	0.56	0.54	1.10
	25%	0.51	0.61	0.60	1.20
<i>Pinus koraiensis</i>	0%	0.41			
	5%	0.41	0.41	0.39	1
	10%	0.41	0.43	0.41	1.05
	15%	0.41	0.47	0.47	1.15
	20%	0.41	0.50	0.50	1.22
	25%	0.44	0.46	0.41	1.05
<i>Quercus variabilis</i>	0%	0.85			
	5%	0.87	1.10	1.09	1.26
	10%	0.87	1.15	1.13	1.32
	15%	0.88	1.21	1.21	1.38
	20%	0.88	1.25	1.25	1.42
	25%	0.87	1.25	1.25	1.44
<i>Quercus mongolica</i>	0%	0.89			
	5%	0.88	1.07	1.06	1.22
	10%	0.88	1.14	1.14	1.30
	15%	0.88	1.23	1.26	1.40
	20%	0.87	1.26	1.27	1.45
	25%	0.88	1.27	1.28	1.44

방사방향의 팽윤율이 작거나 수축하는 이유는 세포벽이 두꺼운 만재부의 팽윤에 기인한 접선방향의 팽윤이 커져서 상대적으로 방사방향으로는 팽윤이 일어나지 못한 때문으로 생각된다. 굴참나무와 신갈나무도 방사방향은 거의 변화가 없고, 길이방향은 다소 수축하는 현상을 보여주었다. 섬유방향의 팽윤율이 적거나 오히려 수축되는 이유는 세포벽내에 알칼리아온이 들어가면서 세포벽을 팽윤시키므로서 Scallan<sup>12)</sup>의 팽윤모델과 같이 방사방향과 접선방향은 팽윤되고, 섬유방향은 수축되는 것으로 생각된다.

용적팽윤율을 보면, 일본잎갈나무와 잣나무는 5~15% 처리에서 팽윤 효과가 크며 농도가 증가하면 감소하였다. 한편, 굴참나무와 신갈나무는 5% 처리로도 크게 팽윤하였으며 농도 증가에 의한 영향은 적었다. 일본잎갈나무와 잣나무에서는 농도증가와 함께 팽윤율은 증가하였으나 그 폭은 크지 않았다.

전체적으로, 일본잎갈나무, 잣나무, 굴참나무, 신갈나무 모두 접선방향 팽윤율이 농도 증가와 함께 증가하는 경향을 보여 주었다. 접선방향의 팽윤 정도는 일본잎갈나무와 잣나무는 약 1.5배~2배, 굴참나무는 2~3배, 신갈나무는 1.5~2배 정도로 굴참나무와 신갈나무가 일본잎갈나무와 잣나무보다 팽윤율이 높았다.

3.2.2 알칼리 팽윤제의 기건수축율

알칼리 처리 전의 기건치수와 알칼리 처리 후 기건치수에서 계산한 각 방향의 수축율( $\alpha$ )과 용적 수축율은 Table 3에 나타났다.

일본잎갈나무와 잣나무는 알칼리 농도증가와 함께 접선, 방사방향 수축율이 일정하게 증가하였다. 일반적인 수분에 의한 목재의 수축은 접선방향이 방사방향보다 2배정도의 이방성을 나타내지만<sup>5)</sup>, 본 실험의 알칼리 처리 시료에서는 두 방향의 수축율이 거의 비슷한 크기를 보여 주어 등방적 수축특성을 보여주었다.

Table 2. Alkali swelling of air-dried samples.

Unit : %

Species	NaOH concentration	Swelling( $\beta$ )			
		L	R	T	V
<i>Larix leptolepis</i>	0%	-0.04	2.19	6.87	9.02
	5%	0.08	2.18	8.79	11.04
	10%	-0.08	1.94	9.47	11.33
	15%	-0.16	1.10	9.41	10.35
	20%	-0.49	-0.70	9.39	8.20
	25%	-1.13	-1.88	9.83	6.82
<i>Pinus koraiensis</i>	0%	0.27	1.65	4.58	6.50
	5%	0.13	1.02	7.82	8.97
	10%	0.32	0.66	8.69	9.68
	15%	0.02	-0.07	8.42	8.37
	20%	-1.00	-1.71	9.96	7.25
	25%	-2.59	-2.14	9.64	4.92
<i>Quercus variabilis</i>	0%	0.05	2.61	6.52	9.18
	5%	-0.17	2.76	15.04	17.63
	10%	-0.23	2.47	15.52	17.76
	15%	-0.29	2.47	15.90	18.08
	20%	-0.36	2.76	17.24	19.63
	25%	-0.80	2.27	17.25	18.73
<i>Quercus mongolica</i>	0%	0.18	3.28	9.22	12.68
	5%	0.16	3.29	15.46	18.91
	10%	0.15	3.12	17.24	20.51
	15%	0.17	3.12	17.38	20.67
	20%	0.04	3.28	18.61	21.48
	25%	-0.68	3.33	18.68	21.32

L : Longitudinal    R : Radial    T : Tangential    V : Volumetric

Table 3. Shrinkage in air dry before and after alkali swelling.

Unit : %

Species	NaOH concentration	Shrinkage( $\alpha$ )			
		L	R	T	V
<i>Larix leptolepis</i>	5%	-0.21	0.81	0.81	1.40
	10%	0.25	1.44	1.78	3.46
	15%	0.26	3.68	4.48	8.41
	20%	0.45	6.73	6.28	13.45
	25%	1.07	9.58	8.64	19.29
<i>Pinus koraiensis</i>	5%	0.16	0.80	1.38	2.34
	10%	0.07	1.92	2.45	4.44
	15%	0.13	4.71	4.72	9.56
	20%	1.38	7.63	7.84	16.84
	25%	3.20	10.04	9.57	22.81
<i>Quercus variabilis</i>	5%	0.54	9.63	17.41	27.58
	10%	1.20	11.84	19.26	32.31
	15%	0.92	13.54	20.21	34.68
	20%	0.53	17.02	18.98	36.54
	25%	1.32	17.93	18.04	37.29
<i>Quercus mongolica</i>	5%	0.27	9.44	14.18	23.89
	10%	0.09	11.75	18.34	30.18
	15%	0.05	14.74	21.31	36.10
	20%	0.51	17.16	18.81	36.47
	25%	1.50	18.54	17.52	37.56

Table 4. Changes in dimension from alkali swollen state to oven-dry.

Unit : %

Species	NaOH concentration	Shrinkage( $\gamma$ )			
		L	R	T	V
<i>Larix leptolepis</i>	0%	0.19	3.79	9.79	13.78
	5%	0.30	4.69	12.76	17.75
	10%	0.19	5.17	14.08	19.44
	15%	0.16	6.68	16.61	23.45
	20%	0.30	8.70	18.37	27.36
<i>Pinus koraiensis</i>	25%	0.14	10.08	20.58	30.80
	0%	0.41	2.59	6.62	9.62
	5%	0.28	3.53	11.85	15.67
	10%	0.47	4.45	13.50	18.43
	15%	0.21	7.05	15.78	23.04
<i>Quercus variabilis</i>	20%	0.71	9.17	20.99	30.87
	25%	0.97	10.79	22.37	34.13
	0%	0.48	4.97	12.77	18.22
	5%	0.38	15.35	32.21	47.94
	10%	0.81	17.67	34.09	52.57
<i>Quercus mongolica</i>	15%	0.62	20.72	35.11	56.45
	20%	0.15	22.78	35.10	58.03
	25%	0.77	23.24	34.64	58.66
	0%	0.35	4.98	10.51	15.85
	5%	0.37	16.42	29.84	46.63
<i>Quercus mongolica</i>	10%	0.69	18.66	34.35	53.70
	15%	0.53	22.05	37.21	59.79
	20%	0.84	24.82	35.91	61.57
	25%	0.82	25.50	35.29	61.61

굴참나무와 신갈나무의 수축율은 일본잎갈나무와 잣나무에 비해 상당히 크며 알칼리 5% 처리로도 전수축율( $\gamma$ )의 50% 이상의 수축을 나타냈다. 또한 굴참나무와 신갈나무에서는 방향별로 수축율의 변화형태가 다소 다르게 나타났다. 즉, 방사방향의 수축은 농도에 따라 일정하게 증가하지만, 접선방향은 15% 처리에서 가장 큰 수축을 보여주고 그 후는 다소 감소하였다. 한편 25% 알칼리 처리의 경우 섬유방향의 수축율이 1% 이상을 나타내고 있으나, 알칼리 처리는 섬유방향 수축율에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 용적수축율은 일본잎갈나무, 잣나무, 굴참나무, 신갈나무 모두 농도에 따라 증가하였다.

3.2.3 알칼리 팽윤제의 전수축율

알칼리 팽윤상태의 치수와 수세 후 전건상태의 치수에서 계산한 각 방향별 전수축율( $\gamma$ )과 용적수축율은 Table 4에 나타냈으며, 알칼리 처리 전후의 목재구조는 Figure 1에 나타났다.

무처리재의 전수축율은 포수상태의 치수와 전건상태의 치수에서 계산한 값이다.

일본잎갈나무, 잣나무, 굴참나무, 신갈나무 모두 무처리재보다 알칼리 처리 시료의 전수축율이 크며 농도 증가에 따라 전수축율도 증가하였다.

일본잎갈나무와 잣나무는 방사방향과 접선방향 모두 농도 증가에 따라 증가하였으나, 길이

방향은 알칼리 처리에 의한 치수변화가 적게 나타났다. 굴참나무와 신갈나무는 방사 및 접선방향에서 5% 알칼리 처리만으로도 무처리재의 것보다 3~4배의 수축율을 보이고 있으며, 농도증가에 따라 다소 증가하는 경향이 있었으나 그 차이는 크지 않았다. 굴참나무와 신갈나무도 역시 일본잎갈나무와 잣나무에서와 같이 길이방향은 알칼리 처리에 의한 치수변화가 거의 없었다. 굴참나무와 신갈나무의 수축은 일본잎갈나무와 잣나무의 그것에 비해 동일조건에서도 2배 이상 크게 나타나고 있으므로 굴참나무와 신갈나무가 알칼리 처리의 영향을 받기 쉬운 것으로 생각된다. 또한 Figure 1에 보여지듯이, 알칼리 처리후 신갈나무는 도판, 방사조직, 목섬유등이 크게 수축되었다.

Lonikar 등<sup>11)</sup>은 mercerization에 의해 목재의 9~30%의 중량이 감소한다고 보고하였다. 이때 주로 용출되는 성분은 헤미셀룰로오스이며, 리그닌이나  $\alpha$ -cellulose는 거의 용출되지 않는다고 하였다. 특히 활엽수에서는 전체 헤미셀룰로오스량의 50%이상이 제거된다고 보고하였다.

3.2.4 알칼리 처리재의 중량감소율

목재 시료의 알칼리 처리에 의한 중량감소율은 Figure 2에 나타났다. Figure 2에서 보여주는 것과 같이 알칼리 처리에 의해 중량이 다소 감소된 것을 알 수 있다.

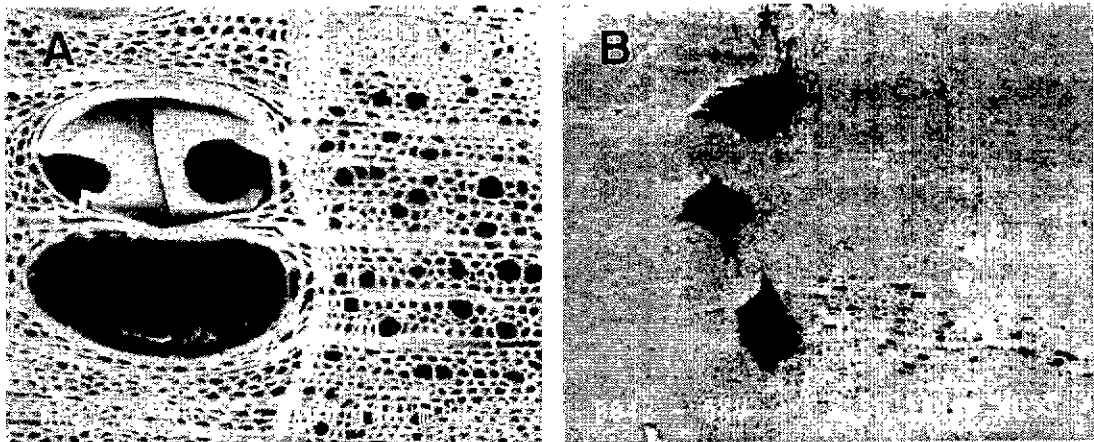


Fig. 1. Scanning electron micrographs of untreated(A) and 20% aqueous NaOH treated(B) woods in *Quercus mongolica*.

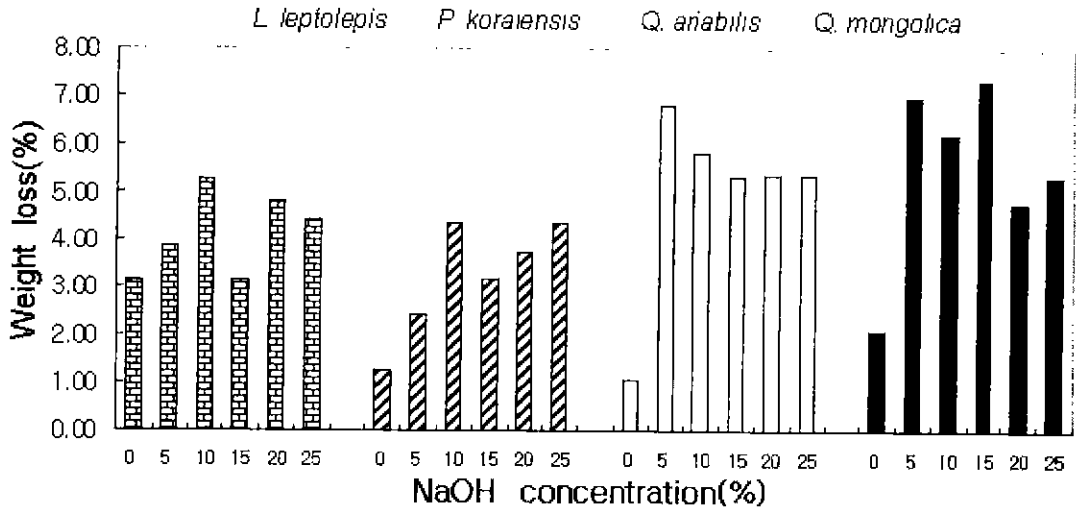


Fig. 2. Changes in weight in air dry before and after alkali swelling.

본 실험에서 알칼리 처리에 의한 중량감소는 일본잎갈나무와 잣나무보다 굴참나무와 신갈나무가 더 크게 나타났다. 이것은 굴참나무와 신갈나무가 일본잎갈나무와 잣나무보다 알칼리 처리에 의해 추출물이 많이 용출된 때문으로 생각된다.

따라서 굴참나무와 신갈나무의 수축이 잣나무와 일본잎갈나무보다 큰 이유는 도관의 찌그러짐과 세포벽층의 성분이 알칼리에 의해 용출됨에 따라 세포벽 실질의 용적이 감소된 것이 큰 원인으로 생각된다.

## 결론

주요 침·활엽수 4수종의 소경재를 이용하여 알칼리처리 목재의 밀도, 팽윤율, 수축률을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 일본잎갈나무와 잣나무는 15%이상의 알칼리수용액으로 처리했을 때 밀도가 다소 증가했으며, 굴참나무와 신갈나무는 5%, 10%의 처리로도 밀도가 20-30% 증가하였으며 15% 이상 처리 시에는 약 40%의 밀도 증가 효과를 나타냈다.

2. 알칼리 처리에 의해 접선방향의 팽윤이 현저한 반면 방사방향의 팽윤은 작았고, 섬유방향은 오히려 감소하는 경향이 있었다.

3. 알칼리 처리 후 기건치수는 처리 전 기건

치수에 비해 상당히 감소하였다. 감소율은 굴참나무와 신갈나무가 더 컸으며 방사방향과 접선방향에서 감소율이 거의 비슷한 등방적 수축의 특징을 보여주었다.

4. 4수종 모두 알칼리 처리에 의해 전수축율( $\gamma$ ) 및 용적수축율이 현저히 증가하였는데 일본잎갈나무와 잣나무는 10-30%, 굴참나무와 신갈나무는 20-60% 정도의 용적수축율을 나타냈다.

## 인용문헌

1. 서왕진. 1998. 미래를 준비하는 생명의 숲 가꾸기 국민운동. 산림 6. 임업협동중앙회. 38-43pp.
2. 임업연구원. 1997. 한국의 목재수급 실태. 임업연구원 연구자료 제133호. 36-40pp.
3. 유병일. 1998. IMF시대 임업의 생존전략. 산림 6. 임업협동중앙회. 54-65pp.
4. 이준택. 1993. 소경재의 이용방안. 목재공학 21(1) : 65-73pp.
5. 이화형, 이원용, 박상진, 홍병화. 1989. 목재 물리 및 역학. 향문사. 82-102pp.
6. 鈴木正治, 徳田迪夫. 1993. 목질자원재료. 해청사. 51-55pp.
7. 日本木材學會. 1993. 木材の科學と利用技術 III -スーパーウッド-. 6-41pp.

8. 佐道 健. 1971. 木材の可塑化. 木材工業 26(11):496-502.
9. 今村 博之, 岡本 --, 後藤輝男, 安江保民, 横田徳郎, 善本知孝. 1983. 木材利用の化學. 284-293pp.
10. 한국공업규격. 1994. 목재의 수축율 시험방법. KS F 2201, 2203.
11. Lonikar, S.V., N.Shiraishi and T.Yokota. 1986. Lattice conversion of cellulose within wood (II). Holzforchung 40:1-8.
12. Scallan, A. M. 1974. The structure of the cell wall of wood -A consequence of anisotropic intermicrofibrillar bonding?. Wood Science 6(3):226-271.