

목재 구성세포의 알칼리 팽윤 특성¹

황원중² · 김남훈²

Alkali swelling characteristics of wood elements¹

Won-Joong Hwang² · Nam-Hun Kim²

요 약

목재의 알칼리 팽윤 특성을 해명하기 위해 국내산 주요 침·활엽수 4수종의 주요 구성요소의 알칼리 팽윤 거동을 횡단면 절편을 이용하여 조사하였다. 그 결과, 일본잎갈나무의 가도관 직경은 잣나무보다 크게 팽윤하였으며, 가도관의 벽두께는 10%이상의 알칼리 수용액에 처리시 높은 팽윤율을 나타냈다. 알칼리 처리에 의해 도관의 직경은 방사방향으로 수축하였고, 접선방향으로 다소 팽윤하였다. 목섬유의 세포벽두께는 5%의 알칼리처리에서도 수분팽윤에 비해 3배 이상의 높은 팽윤성을 나타냈고, 알칼리 처리후 일본잎갈나무의 가도관 직경, 목섬유 직경 및 세포벽두께는 거의 등방적인 수축현상을 보여주었다. 또한 미처리 시료에 비해 머서화 처리 구성요소의 세포 직경은 수축되었고, 세포벽은 팽윤되었다. 알칼리처리 과정에서 셀룰로오스 결정형의 변화는 없었지만 상대결정화도와 미결정의 폭이 다소 증가되었다.

결론적으로 알칼리의 농도, 수종, 세포의 종류가 목재의 알칼리 팽윤 특성에 크게 관여하는 것으로 생각되었다.

ABSTRACT

To elucidate the behaviors of alkali swelling of woods, the dimensional change in cross section of cell elements of four major Korean woods during alkali swelling were examined by an optical microscopy, an imaging analysis method and an X-ray diffraction. During alkali swelling, tracheid diameter of *Larix kaempferi* wood showed greater swelling property than that of *Pinus koraiensis* wood, and the cell wall swelled highly over 10% sodium hydroxide solution treatment. The radial diameter of vessel elements in earlywood shrunk, but it swelled slightly in tangential direction. When treated with 5% NaOH, the wall thickness of wood fiber increased about three times over the original one. The thickness of cell wall in all elements and the diameter of wood fiber and tracheid showed almost isotropic shrinkage.

1. 접수 2001년 6월 20일 Received June 20, 2001.

2. 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon 200-701, Korea

The diameter of cell elements during the mercerization process decreased, but cell wall thickness increased. Crystal transformation of cellulose in wood was not occurred by alkali treatments, but relative crystallinity and crystallite width of the woods increased slightly. Consequently, it was demonstrated that the swelling properties of woods were dependant on wood species, cell elements and alkali concentration.

Keywords : alkali swelling, *Larix kaempferi*, *Pinus koraiensis*, cell wall thickness, isotropic shrinkage, relative crystallinity, crystallite width, mercerization

서 론

우리 나라의 목재수요는 매년 증가되고 있으나, 국내재의 자급률은 6%정도에 불과한 실정이다³⁾. 목재를 소재 그대로 사용하는 것은 용도가 한정되어 있으므로 목재산업의 새로운 도약과 목재의 이용을 다변화시키기 위해서는, 기능성을 첨가하거나 목재의 성질을 개선하는 것이 바람직하다. 이와 관련하여 목재의 성질을 개선하기 위해 많은 방법들이 개발되었으며 현재도 많은 연구가 진행되고 있다^{4,6-9)}. 목재에 가소성을 부여하여 휨가공을 용이하게 하는 방법의 하나로 알칼리 처리법⁵⁾이 제안되어 있다. 비목재 셀룰로오스의 경우 알칼리에 의한 팽윤은 셀룰로오스의 결정영역에 알칼리이온이 들어가서 결정내팽윤에 의해, 수분에 의한 수퍼센트의 팽윤보다 상당히 큰 치수변화가 일어나는 것으로 알려지고 있다^{14,15)}.

그러나 목재는 셀룰로오스 이외에 헤미셀룰로오스와 리그닌의 구성비율이 비교적 높으므로 셀룰로오스의 거동에 많은 영향을 주고 있는 것으로 보고되고 있다¹¹⁾. 특히, 목재 세포벽층의 리그닌은 셀룰로오스의 결정내팽윤을 억제하는 특성을 가진다¹⁾.

저자 등은 이전의 연구⁴⁾에서 몇 수종의 알칼리 팽윤 특성을 보고하였다. 그 결과에 의하면 침·활엽수 모두 수분에 의한 팽윤과는 달리 크게 팽윤하였으며, 팽윤된 시료는 건조과정

서 크게 수축하였고 밀도가 크게 증가하였다.

특히 침엽수재보다 활엽수재는 이와 같은 경향이 더욱 뚜렷하였다. 이러한 목재의 알칼리 팽윤 특성을 이해하는 것은 목재의 성질을 개선하여 보다 효율적으로 활용하고자 하는데 중요한 것으로 생각된다. 예를 들면, 中野⁵⁾는 알칼리 팽윤과정 중 목재 세포벽층의 헤미셀룰로오스나 리그닌의 일부가 용탈됨으로 인해 목재 세포벽 중에 미세공극이 형성되어 셀룰로오스 마이크로화이버릴의 형태변화에 의해 가소성이 나타나는 것으로 생각하였다.

따라서 본 연구에서는 수분에 의한 팽윤특성과 다른 목재의 알칼리 팽윤특성을 구명하기 위해 침엽수의 가도관, 활엽수의 목섬유와 도관의 세포에 대하여 직경 및 세포벽의 팽윤율, 수축율을 검토하고 알칼리 처리목재의 미세구조를 조사하였다.

재료 및 방법

2.1 공시목

본 실험에서는 강원대학교 학술림에서 채취한 일본잎갈나무(*Larix kaempferi* Carr.), 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.), 굴참나무(*Quercus variabilis* B.)와 신갈나무(*Quercus mongolica* F.)를 시료로 사용하였다. 공시목의 개요는 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Sample trees.

Species	Tree height(m)	Tree age(year)
<i>Larix kaempferi</i> Carr.	19.9	38
<i>Pinus koraiensis</i> S. et. Z.	20.7	62
<i>Quercus variabilis</i> B.	6.5	28
<i>Quercus mongolica</i> F.	6	27

2.2 방법

2.2.1 시료제작

각 수종의 흉고 부위에서 원판을 채취한 후 최외각 변재부에서 절편 제작용 block을 제작하였다. 시료의 손상을 방지하기 위하여 글리세린/물의 혼합액에 의한 연화처리는 거치지 않고 단지 증류수로 포수상태까지 침지하였다. 포수상태의 시료를 이용하여 sliding microtome으로 10~15 μ m두께의 절편을 제작하였다.

2.2.2 알칼리팽윤 구성요소의 관찰 및 치수 측정

목재의 수축·팽윤성은 세포벽이 두꺼운 세포에 크게 영향을 받는다. 따라서 본 실험에는 만재부 가도관과 목섬유의 직경과 세포벽두께를 측정하였다. 도관의 직경과 벽두께는 도관의 분포가 많은 공권부에서 측정하였다. 다음과 같이 각 단계별로 각각 6개의 세포를 측정하였다.

- 1) 99.5% 알콜로 탈수처리후후 기건상태의 절편
 - 2) 포수상태의 절편
 - 3) 5-25%의 NaOH 수용액에 침지상태의 절편
 - 4) 알칼리 처리후 수세하여 기건상태의 절편
- 관찰 및 측정은 광학현미경(ZEISS Standard 25)과 광학현미경에 연결된 화상분석기(BMI)를 사용하여 실시하였다.

2.2.3 수축률 및 팽윤율의 계산

세포직경과 세포벽의 수축률(α), 팽윤율(β) 및 알칼리처리 전후의 치수변화율(γ)은 다음과 같이 계산하였다.

$$\alpha_1 (\%) = \frac{l_3 - l_2}{l_3} \times 100$$

$$\beta_1 (\%) = \frac{l_3 - l_1}{l_1} \times 100$$

$$\gamma_1 (\%) = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \times 100$$

l_1 : 알칼리 처리 전 기건상태의 세포직경 및 벽두께

l_2 : 알칼리 처리 후 기건상태의 세포직경 및 벽두께

l_3 : 알칼리 팽윤상태의 세포직경 및 벽두께

2.2.4 X선회절 실험

X선회절 실험을 위한 시료는 두께(방사방향) 약 1mm, 폭(접선방향) 약 10mm, 길이(섬유방향) 약 20mm로 제작하였다. X선회절장치는 Rigaku社의 DMAX 2100V를 사용하였으며, X선은 Ni filter로 단색화한 $\text{CuK}\alpha$ 선($\lambda=0.1542\text{nm}$)을 사용하여 40kV, 40mA의 조건에서 실험하였다.

목재 cellulose 결정의 폭과 길이는 Sherrer식¹³⁾에 의해 계산하였고, 상대결정화도는 Segal법¹²⁾에 의해 측정하였다.

결과 및 고찰

3.1 구성요소의 알칼리팽윤(팽윤율, β)

각 구성요소의 방사방향과 접선방향직경의 팽윤율은 Table 2에 나타났다. 그리고 방사벽과 접선벽의 세포벽두께의 변화는 Table 3에 나타났다. 무처리 시료의 팽윤율은 기건상태와 포수상태의 측정치로부터 계산하였다.

3.1.1 세포직경의 변화

· 가도관: 수분에 의한 팽윤거동을 보면, 일본잎갈나무는 10%이상의 팽윤을 보여주고 있으나 잣나무는 2-3%정도의 낮은 팽윤을 보여주었다. 일반적으로 목재의 수분에 의한 팽윤은 접선방향의 팽윤율이 방사방향보다 높게 나타나고 있는 것으로 알려지고 있으나, 단일 세포들을 측정본 실험에서는 일본잎갈나무 가도

Table 2. Change of cell diameter during alkali swelling. (unit : %)

Species	NaOH concentration	Tracheid		Vessel		Wood fiber	
		R	T	R	T	R	T
<i>L. kaempferi</i>	0%	15.24	10.26				
	5%	26.49	19.70				
	10%	22.58	6.98				
	15%	12.83	15.27				
	20%	16.14	28.05				
	25%	45.63	42.78				
<i>P. koraiensis</i>	0%	1.18	2.71				
	5%	-6.61	3.59				
	10%	0.40	3.67				
	15%	0.45	6.15				
	20%	-0.14	3.37				
	25%	0.07	6.32				
<i>Q. variabilis</i>	0%			-1.34	5.23	5.11	12.51
	5%			-8.82	8.39	9.94	10.28
	10%			-18.04	4.36	4.28	31.06
	15%			-15.49	-5.79	15.91	22.40
	20%			-14.59	3.93	31.96	5.09
	25%			-14.47	-2.00	11.15	13.01
<i>Q. mongolica</i>	0%			-2.51	3.19	8.79	10.15
	5%			-6.76	4.75	11.09	18.46
	10%			-14.45	8.07	9.19	24.48
	15%			-19.23	2.26	28.71	36.11
	20%			-14.47	5.71	40.45	34.55
	25%			-19.48	0.16	2.51	45.96

+ : swelling - : shrinkage 0% : saturated with water

Table 3. Change of cell wall thickness during alkali swelling. (unit : %)

Species	Direction	Tracheid				Wood fiber			
		<i>L. kaempferi</i>		<i>P. koraiensis</i>		<i>Q. variabilis</i>		<i>Q. mongolica</i>	
		R	T	R	T	R	T	R	T
NaOH concentration	0%	27.04	29.20	21.08	22.08	25.03	12.32	25.50	19.98
	5%	39.86	55.36	44.58	26.06	82.48	91.77	73.59	71.86
	10%	58.20	78.93	97.17	115.68	175.54	169.53	107.75	87.41
	15%	53.22	62.91	128.98	137.36	132.61	142.71	84.77	88.41
	20%	109.53	86.29	123.91	122.86	116.63	190.06	160.59	119.90
	25%	88.96	127.22	122.91	132.58	79.96	84.88	110.26	82.82

+ : swelling 0% : saturated with water

관의 방사방향이 접선방향보다 크게 팽윤하는 것으로 나타났다. 일본잎갈나무는 알칼리처리에 의해 가도관직경이 잣나무 가도관의 팽윤율보다 다소 크게 나타났다. 잣나무는 알칼리 처리 후 접선방향은 크게 팽윤되었지만 방사방향의 직경은 변화가 거의 없거나 오히려 수축하는 현상을 나타냈다. 따라서 세포벽의 구조나 구성성분의 차이에 기인하는 가도관의 팽윤거동은 두 수종간에 다소 다른 것으로 생각되어진다.

·도관: 두 수종 모두 수분에 의한 팽윤시 방사방향의 세포직경은 수축되었고, 접선방향은 팽윤되었다. 이러한 방사방향의 수축경향은 알칼리 팽윤시료에서도 나타났으며 이 경우 두 수종 모두 수축의 정도가 더욱 심하였다. 그러나 접선방향 직경은 두 수종 모두 거의 변화가 없었다.

·목섬유: 농도에 따른 차이는 있으나 대체적으로 접선방향의 직경이 방사방향보다 다소 크게 팽윤하였다. 방사방향 직경은 20%처리에서 가장 큰 팽윤을 나타냈으며, 접선방향은 일정한 경향이 없었다. 목섬유는 도관에 비해서 큰 팽윤을 나타냈다. 현재까지의 실험에서 알칼리 농도 차이에 의한 목섬유 직경의 팽윤성과의 관련성은 설명하기 곤란하며 이후 이에 관한 연구가 더욱 필요할 것으로 생각된다.

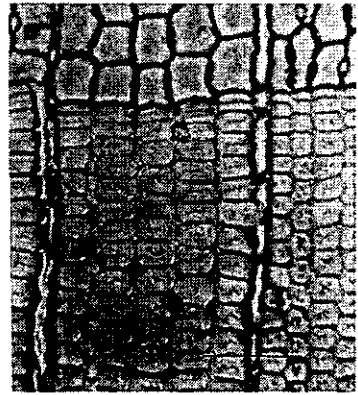
3.1.2 세포벽 두께의 변화

·가도관: 가도관 세포벽은 수분에 의해 21-29%정도로 팽윤하였으며, 방사벽과 접선벽간에 차이가 거의 없었다. 알칼리 처리에 의해 가도관 세포벽두께는 크게 팽윤하였으며, 두 수종 모두 10%이상의 알칼리 수용액 처리시에 높은 팽윤율을 나타냈다. 또한 잣나무의 가도관 세포벽은 일본잎갈나무의 것보다 더 큰 팽윤을 나타냈다.

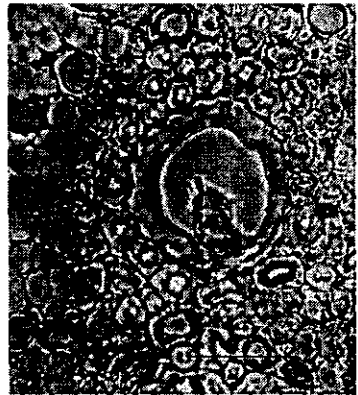
·목섬유: 목섬유벽은 수분에 의한 팽윤에서 가도관벽과 달리 방사벽의 팽윤이 접선벽보다 높았다. 알칼리 수용액 처리시 두 수종 모두

알칼리 수용액 5%처리만으로도 방사벽, 접선벽 모두 수분에 의한 팽윤보다 3-8배의 팽윤을 나타냈다.

이러한 세포벽 두께의 팽윤은 Fig. 1에서 보여주듯이 세포벽의 팽윤은 주로 세포의 내강쪽으로 강하게 팽윤되어 세포의 내강이 거의 보이지 않는 것으로 나타났다.



A : *L. kaempferi* (Scale bar: 100 μ m)



B : *Q. variabilis* (Scale bar: 50 μ m)

Fig. 1. Optical micrographs of alkali swollen woods.

이상에서 살펴보았듯이 일본잎갈나무 가도관은 세포외측으로, 잣나무 가도관은 내강측으로

보다 잘 팽윤되는 특성을 가진 것으로 생각된다. 또한 굴참나무보다는 신갈나무의 목섬유가 팽윤성이 좋은 것으로 생각된다.

3.2 알칼리팽윤후 기건상태까지의 치수변화 (수축률, α)

3.2.1 세포직경의 변화

알칼리 팽윤상태의 절편에서 측정된 각 구성요소의 직경과 알칼리 팽윤 후 수세하여 기건상태의 직경을 측정된 값으로 계산한 세포직경의 변화율은 Table 4에 나타났다. 무처리상태의 변화는 구성요소의 포수상태 측정치와 포수 후 기건상태의 치수에서 계산한 값이다.

- **가도관:** 미처리재의 수분에 의한 수축률은 일본잎갈나무가 잣나무보다 컸으며 방사방향과 접선방향에서 거의 등방적인 수축을 하였다. 알칼리 팽윤처리 후 일본잎갈나무의 가도관 직경은 등방적인 수축을 보여주었으나 잣나무는 알칼리처리에 의해 접선방향 직경이 방사방향보다 더 크게 수축되었으며 농도와 함께 수축률이 증가되는 경향을 보여주었다.

- **도관:** 두 수종 모두 방사방향 직경은 증가되었고, 접선방향 직경은 감소되었다. 농도 증가에 따라 이러한 경향은 더욱 현저한 것으로 생각되었다.

- **목섬유:** 목섬유의 세포직경은 두 수종 모두 5% 알칼리 수용액 처리만으로도 약 20%의 수축률을 나타냈다. 두 수종 모두 양방향으로 등방적 수축을 하였다.

따라서 전보⁴⁾에서 보고한 알칼리 처리에 의한 목재의 등방적 수축현상을 해명하는 요인으로서 목재 구성요소는 중요한 역할을 담당하는 것으로 생각된다.

3.2.2 세포벽두께의 변화

알칼리 팽윤상태의 벽두께와 수세후 기건 세포의 벽두께에서 계산한 세포벽의 변화 정도는 Table 5에 나타났다.

- **가도관:** 일본잎갈나무 가도관의 방사벽은 농도에 따라서 수축률이 증가하였으며, 접선벽은 농도에 따른 차이가 거의 없었다. 알칼리처리에 의한 잣나무 가도관 세포벽두께의 수축률은 일본잎갈나무보다 다소 컸으며 두 수종 모두 등방적 수축을 하였다.

- **목섬유:** 미처리재의 수분에 의한 목섬유 세포벽두께의 방사방향 수축은 두 수종 모두 접선방향보다 크게 나타났다. 알칼리 처리 목섬유의 세포벽두께는 두 수종 모두 등방적 수축을 하였으며, 수분에 의한 수축률보다 2~3배 정도 더 큰 수축을 나타냈다. 또한 알칼리 수용액 5%처리만으로도 다른 농도에서와 비슷한 수축률을 보여주어 가도관보다 알칼리에 의해 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 이것은 세포벽구조는 물론 구성성분의 차이에 기인하는 것으로 생각된다.

3.3 알칼리 처리 전·후의 치수변화(γ)

알칼리 처리 전·후의 구성요소 직경의 변화를 측정된 결과는 Table 6에 나타났다. 알칼리 처리에 의해 가도관 직경은 두 수종 모두 감소되었는데 접선방향이 방사방향보다 다소 크게 감소되었다. 도관의 방사방향 직경은 15% 알칼리 처리시 가장 크게 수축되었으며, 접선방향 직경은 20%이상 고농도에서 수축율이 크게 나타났다. 굴참나무의 목섬유 직경은 신갈나무보다 크게 수축되었으며, 신갈나무의 목섬유 직경은 접선방향보다 방사방향으로 더 크게 수축되었다.

Table 7은 알칼리 처리 전·후의 가도관벽과 목섬유벽의 변화를 나타낸 것이다. 일본잎갈나무 가도관벽은 고농도에서 크게 팽윤되었으며 접선벽의 경우 저농도에서 수축하는 경향을 보여주었다. 잣나무 가도관벽은 방사벽이 접선벽보다 다소 크게 팽윤되었다. 목섬유벽은 알칼리 처리에 의해 대체적으로 팽윤되었으나 일정한 경향을 찾아보기 어려워 금후 좀더 상세한 검토가 필요할 것으로 생각된다.

Table 4. Change of cell diameter from alkali swelling to air dry. (unit:%)

Species	NaOH concentration	Tracheid		Vessel		Wood fiber	
		R	T	R	T	R	T
<i>L. kaempferi</i>	0%	12.86	10.44				
	5%	21.02	16.59				
	10%	23.65	17.45				
	15%	17.24	22.13				
	20%	20.51	20.97				
	25%	27.40	37.26				
<i>P. koraiensis</i>	0%	1.74	1.96				
	5%	-2.10	7.57				
	10%	1.87	8.67				
	15%	5.08	10.26				
	20%	9.35	12.18				
	25%	8.30	17.69				
<i>Q. variabilis</i>	0%			-1.76	4.66	7.49	13.73
	5%			0.30	12.82	23.69	22.54
	10%			-7.09	13.26	29.92	30.14
	15%			8.77	6.90	31.00	31.35
	20%			-7.48	14.58	31.69	26.55
	25%			-23.96	12.37	21.97	23.76
<i>Q. mongolica</i>	0%			-0.99	5.17	8.54	9.67
	5%			-5.77	5.43	19.11	21.35
	10%			-5.55	7.47	22.51	21.43
	15%			-6.05	1.88	21.12	21.91
	20%			-9.04	16.00	23.31	24.96
	25%			-11.98	14.06	20.22	30.09

+ : shrinkage in dimension - : swelling in dimension 0% : saturated with water

Table 5. Change of cell wall thickness from alkali swelling to air dry. (unit:%)

Species	Direction	Tracheid				Wood fiber			
		<i>L. kaempferi</i>		<i>P. koraiensis</i>		<i>Q. variabilis</i>		<i>Q. mongolica</i>	
		R	T	R	T	R	T	R	T
NaOH concentration	0%	20.36	22.67	21.21	12.46	21.95	16.98	25.86	11.95
	5%	28.48	41.63	29.40	23.36	46.29	45.89	40.59	41.84
	10%	25.06	46.05	46.38	50.23	59.35	58.78	43.56	33.83
	15%	27.47	23.25	50.63	56.25	56.93	61.84	39.76	44.70
	20%	34.57	33.16	50.47	52.86	44.86	54.84	51.21	46.57
	25%	42.76	41.35	49.63	51.47	36.94	41.61	56.98	48.10

Table 6. Change of cell diameters in air dry before and after alkali swelling(γ_t). (unit: %)

Species	NaOH concentration	Tracheid		Vessel		Wood fiber	
		R	T	R	T	R	T
<i>L. kaempferi</i>	0%	0.42	-1.25				
	5%	-0.09	-0.15				
	10%	-6.36	-11.72				
	15%	-6.98	-12.27				
	20%	-8.19	0.53				
	25%	5.87	-10.58				
<i>P. koraiensis</i>	0%	-0.56	0.73				
	5%	-4.97	-4.13				
	10%	-1.53	-5.35				
	15%	-4.60	-4.80				
	20%	-9.55	-9.20				
	25%	-8.33	-12.80				
<i>Q. variabilis</i>	0%			0.39	0.32	-2.77	-2.93
	5%			-9.22	-5.50	-17.99	-15.17
	10%			-11.95	-6.18	-27.06	-9.57
	15%			-22.24	-0.27	-23.05	-16.13
	20%			-7.38	-10.77	-12.72	-23.21
	25%			6.66	-13.55	-13.48	-13.78
<i>Q. mongolica</i>	0%			-1.53	-1.89	0.23	0.43
	5%			-1.37	-0.88	-9.72	-7.13
	10%			-9.57	-0.09	-16.16	-2.21
	15%			-14.40	0.43	1.04	6.08
	20%			-6.71	-11.03	-1.85	0.49
	25%			-9.87	-13.76	-18.09	0.43

R: radial direction T: tangential direction +: swelling -: shrinkage 0%: saturated with water

Table 7. Change of cell wall thickness in air after alkali swelling(γ_t). (unit : %)

Species	Direction	Tracheid				Wood fiber			
		<i>L. kaempferi</i>		<i>P. koraiensis</i>		<i>Q. variabilis</i>		<i>Q. mongolica</i>	
		R	T	R	T	R	T	R	T
NaOH concentration	5%	0.02	-9.32	2.22	-3.37	-2.15	3.50	2.97	-0.13
	10%	-11.50	-4.48	5.21	7.14	10.15	8.17	15.46	22.03
	15%	10.94	-27.79	13.06	3.46	-2.71	-7.68	10.12	1.24
	20%	35.96	23.11	10.46	5.03	15.09	26.77	25.74	12.12
	25%	8.21	33.30	12.22	12.60	9.56	7.23	-9.83	-5.00

R: radial direction T: tangential direction +: swelling -: shrinkage 0%: saturated with water

목재는 알칼리처리에 의해 상당히 수축되었지만⁴⁾ 본 실험결과 구성요소의 세포벽은 오히려 팽윤된 것을 알 수 있었다. 따라서 알칼리 처리 목재의 수축현상은 세포직경의 감소에 의한 것이 명확히 밝혀졌다.

3.4 미세구조의 변화

X선회절 실험결과 알칼리 팽윤과정에서 셀룰로오스의 결정구조 변화는 보여지지 않았다. X선회절강도곡선에서 계산한 상대결정화도와 미결정의 폭은 Table 8에 나타냈다.

무처리재의 상대결정화도는 수중간에 다소 차이가 있었고 일본잎갈나무의 상대결정화도가 가장 높게 나타났다.

알칼리 처리재는 20%처리까지 상대결정화도가 다소 높아지는 경향이 있었으나 25%의 고농도에서는 다소 감소되거나 무처리재와 비슷하게 나타났다.

이러한 결과는 상대결정화도가 셀룰로오스 결정영역과 비결정영역의 상대적인 비율이므로 비결정영역에 포함되는 헤미셀룰로오스가 알칼리 처리에 의해 용출되었기 때문으로 생각된다. Lonikar *et al.*¹⁰⁾은 머서화에 의해 목재의 9~30%정도의 중량이 감소하는데 이때 주로 용출되는 성분은 헤미셀룰로오스라고 하였다. 또한 리그닌이나 α -cellulose는 거의 용출되지 않고, 특히 활엽수에서는 전체 헤미셀룰로오스량의 50%이상이 제거된다고 보고하여 상대결

Table 8. Crystallite width and relative crystallinity of sample woods.

Species	NaOH concentration	Relative crystallinity(%)	
		Segal's method	Crystallite width(nm)
<i>L. kaemoferi</i>	0%	62	2.62
	5%	66	3.69
	10%	65	3.61
	15%	64	3.69
	20%	63	2.58
	25%	-	-
<i>P. koraiensis</i>	0%	48	2.66
	5%	57	3.12
	10%	54	3.38
	15%	61	3.96
	20%	40	2.17
	25%	35	1.93
<i>Q. variabilis</i>	0%	57	2.58
	5%	60	3.53
	10%	65	3.78
	15%	62	3.69
	20%	66	2.80
	25%	59	3.45
<i>Q. mongolica</i>	0%	50	2.54
	5%	56	3.53
	10%	60	3.53
	15%	54	2.80
	20%	58	2.50
	25%	51	2.54

정화도의 증대에 기여하는 가능성을 설명해주었다.

적도선의 (200)에서 구한 무처리 일본잎갈나무와 잣나무재의 미결정 폭은 각각 2.62와 2.66 nm, 굴참나무, 신갈나무는 각각 2.54와 2.58nm의 값을 나타냈다. 이것은 李와 金²⁾이 주요 침·활엽수재 연구에서 보고한 침엽수 3.11nm, 활엽수 3.22nm와 비교하면 다소 작은 값으로 생각된다.

네 수종 모두 5~15%의 알칼리 처리에 의해 결정 폭이 다소 증가되는 것으로 나타났다. 이것은 헤미셀룰로오스의 용출과 함께 작은 셀룰로오스의 결정들이 인접한 결정들과 상호결합하여 결정성장과 같은 효과를 나타낸 때문으로 생각된다. 한편, 25%에서 결정의 폭이 감소되는데 이것은 농도가 높아지면 결정내부에 결함을 만들기 쉬워 비결정부분이 다소 증가되기 때문에 결정의 폭이 감소된 때문으로 생각된다.

결론

목재의 알칼리 팽윤 특성을 설명하기 위해 국내산 주요 침·활엽수 4수종의 주요 구성요소의 알칼리 팽윤 거동을 횡단면 절편을 이용하여 조사하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 알칼리 처리에 의해, 일본잎갈나무의 가도관직경은 거의 등방적으로, 잣나무는 이방적으로 팽윤하였다. 가도관벽은 10%이상의 알칼리 처리시에 거의 등방적으로 크게 팽윤되었다. 도관의 방사방향 직경은 크게 수축되었으나, 접선방향은 거의 변화가 없었다. 목섬유의 직경은 대체적으로 접선방향이 방사방향보다 크게 팽윤되었고, 목섬유 벽두께는 5%처리에서도 수분에 의한 팽윤보다 3배정도의 팽윤을 나타냈다.
- 2) 알칼리 팽윤시료의 기건상태까지의 변화에서 일본잎갈나무의 가도관 직경은 등방적인 수축을, 잣나무는 이방적인 수축을 보여

주었다. 도관의 직경은 방사방향으로 팽윤되고 접선방향으로 수축하는 이방적 수축성을 보여주었으나 목섬유의 세포직경은 등방적인 수축성을 나타냈다. 또한 가도관과 목섬유의 벽두께는 등방적인 수축성을 보여주었다.

- 3) 알칼리 처리 전·후의 기건상태에서 가도관, 도관 및 목섬유의 직경은 감소되었으며 세포벽두께는 다소 팽윤되었다.
- 4) 5~15%의 알칼리 처리에 의해 상대결정화도와 미결정의 폭이 다소 증가되었으나 그 이상의 농도에서도 결정형의 변화는 없었다.

인용문헌

- 1) 김남훈, 이선호. 1999. X선회절법을 이용한 목재세포벽중의 셀룰로오스의 구조해석. 임산에너지. Vol. 18(2): 62-69.
- 2) 李元用, 金南勳. 1992. X線回折法에 의한 主要 針·闊葉樹材의 微細構造 解析. 木材工學 20(1): 28-37.
- 3) 임업연구원. 2000. 임업경제동향 연차보고서. 연구자료 제 167호. p.100.
- 4) 황원중, 김남훈. 1999. 간벌재 및 소경재의 이용개발에 관한 연구-알칼리처리 목재의 수축·팽윤성. 임산에너지. Vol. 18(2): 70-77.
- 5) 中野隆人. 1989. アルカリ處理による木材の可塑化-可塑性と微細構造との關係-. 木材學會誌. Vol. 35(5): 431-437.
- 6) 佐道 健. 1971. 木材の 可塑化. 木材工業 26(11): 496-502.
- 7) 日本木材學會. 1991. 木材の科學と利用技術 II -木材の化學處理-. 日本木材學會研究分科會報告書. pp.74-112.
- 8) 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-. pp.1-97.

- 9) 黒順博司. 1993. 木材の表面改質. 木材學會誌. Vol. 39(10): 1105-1110.
- 10) Lonikar, S. V., N. Shiraishi and T. Yokota. 1986. Lattice conversion of cellulose within wood (II). *Holzforschung* 40: 1-8.
- 11) Murase, H., Sugiyama, J. S., Saika, H., Harada, H. 1988. The Effect of Lignin on Mercerization of Cellulose in Wood. (An electron diffraction study on the transformation from cellulose I to cellulose II), *Mokuzai Gakkaishi*, 34: 965-972.
- 12) Segal, L., J. J. Creely., A. E. Martin. Jr. and C. M. Conrad. 1959. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Text. Res. J.* : pp.786-794.
- 13) Sherrer, P. 1918. *Gottinger Nachr.* 2: 98.
- 14) Young, R. A. 1986. Structure, Swelling and Bonding of Cellulose Fibers. pp.91-128 in Young, R. A. and R. M. Rowell. *Cellulose Structure, Modification and Hydrolysis*. John Wiley & Sons. A Willey-Interscience Publication.
- 15) Zeronian, S. H. 1985. Intercrystalline swelling of cellulose. pp.138-180 in T. P. Nevell, S. Haig Zeronian. *Cellulose Chemistry and It's Applications*. John Wiley & Sons. Ellis Horwood Limited.