

간벌소경재 및 폐잔재의 고도 활용방안

김남훈* · 권구중* · 강홍석** · 서경석***

(*강원대학교 산림과학대학 임산공학과 · **(주)화양목재 · ***한국임업후계자협의회)

Utilization of waste woods and thinned small logs

Nam-Hun Kim* · Goo-Jung Kwon* · Hong-Seok Kang** · Kyung-Seok Seo***

*College of Forest Sciences, Kangwon National University

**282-1 Yumokjeongri, Nammyon, Hongchon 250-870, Korea

***143-3 Sidong4ri, Nammyon, Hongchon 250-870, Korea

적 요

본 실험에서는 국내산 소경 칩엽수 2수종(잣나무, 일본잎갈나무)과 활엽수 2수종(신갈나무, 굴참나무)을 PEG(Polyethylene glycol)처리하여 치수안정효과를 검토하고 치수안정성에 영향을 주는 목재내의 PEG분포와 존재상태를 조사하였다. 목재의 치수안정성은 PEG 분자량 1000의 30% 수용액에 침적한 경우가 가장 좋은 효과를 보여주었다. 주사전자현미경으로 관찰한 결과 10%수용액으로 처리한 경우 가도관, 목섬유 및 도관의 내강에 PEG의 존재량이 적었고, 30%수용액으로 처리한 경우 가도관, 목섬유와 도관의 내강에 PEG가 상당량 존재하는 것이 관찰되었다. X선회절법에 의하여 PEG처리재를 분석한 결과 일본 잎갈나무재와 잣나무재의 경우 목재 cellulose에 유래하는 peak 외에 $2\theta = 19^\circ$ 와 23° 부근에서 PEG결정에 유래하는 강한 peak를 보여주었다. 그러나 신갈나무재와 굴참나무재는 PEG결정에 유래하는 peak는 나타나지 않았다. 이러한 결과로부터 신갈나무재와 굴참나무재는 일본잎갈나무재와 잣나무재에 비해 세포벽 팽윤을 구속하는 리그닌의 함량이 낮아 비교적 팽윤이 용이하여 세포벽내로의 PEG침투가 쉬워 세포벽내에 비교적 균일하게 분포함으로써 PEG결정을 형성하지 못하는 것으로 생각되었다.

1. 서론

최근 국내에서도 목질재료에 대한 수요가 증가되면서 많은 양의 원목 및 물리화학적 가공목재를 외국으로부터 수입하고 있는데, 이들 수입재의 안정된 공급에 대한 불안과 수입원가의 상승이 문제점으로 되고 있다. 외국산재는 국산재에 비해 가격이 낮고 목재의 재질면에서도 우수한 점이 많아서 앞으로 수년 정도는 현 상태가 계속되리라 생각된다. 따라서 외국산재의 가격상승과 원목수출 제한 등에 의해 큰

타격을 받을 국내업계를 위해 새로운 원료 제공처를 찾아야 한다.

그 해결책의 하나로 강원도를 중심으로 한 전국에서 생산되고 있는 칩·활엽수재 소경재의 유효활용으로 생각된다. 현재 국내산 목재의 생산은 주로 간벌작업에서 얻어지는 소경재(일반적으로 직경이 15cm이하인 재를 말함)로 국산재 총생산량의 71%를 차지한다(이춘택, 1993). 그러나 이들 소경재는 재질면에서 보면 대부분이 미성숙재로 이루어져 있어 물리적, 역학적 성질 등의 재질이 성숙재보다 크게 떨어지는데, 특히 수축과 팽윤의 이방성이 커서 건조과

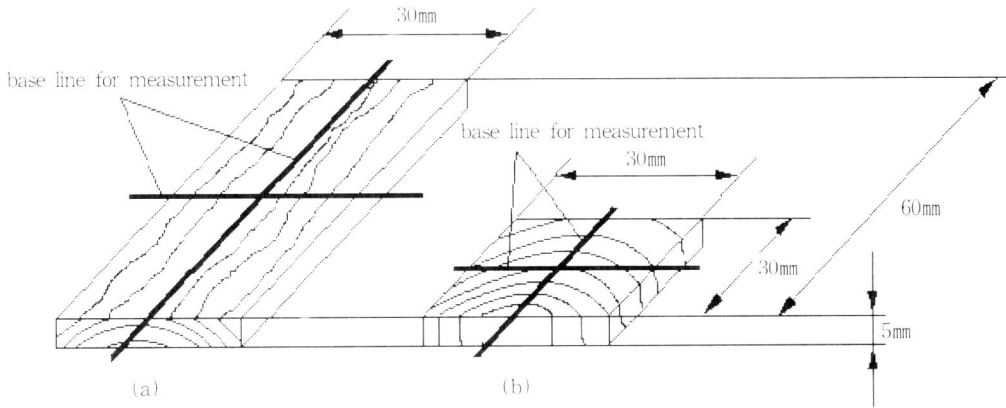


Fig. 1. Shape of test specimens

정이나 마무리 가공할 때 할렬, 뒤틀림 등의 결점발생 확률이 높다. 따라서 소경재의 용도는 펄프용재, 갱목재, 표고자목 등의 한정된 용도로 일반적으로 생각되어지고 있을 뿐 적합한 활용이 이루어지지 않고 많은 양이 화목으로 사용되거나 버려지고 있어 이들의 적극적인 활용방안이 강구되어야 할 것으로 생각된다. 이러한 소경재 자원의 고도이용기술의 개발은 농산촌의 소득증대에도 직결되며, 수입재의 대체재의 효과로 외화절감효과도 있을 것으로 생각된다.

지금까지 국내산 목재에 관한 기초재질에 관한 연구는 비교적 많은 연구자들에 의해 보고되고 있으나, 목재의 함수율 변화에 따른 수축과 팽윤성을 조절할 수 있는 치수안정화처리와 관련시켜 연구한 예는 적은 것으로 생각된다. 국내산 목재의 성질과 치수안정화 처리효과와의 관계를 충분히 파악해서 국산재를 가공하여 활용한다면 비싼 가격으로 수입하지 않고도 고부가가치의 장식가구(응접실용 탁자, 의자, 옷장, 책장 등)의 재료, 고급완구, 레저용품(바둑판, 야구배트 등) 등 여러 분야의 재료로의 활용이 가능할 것으로 생각된다. 수입가격은 상당히 비싸서 마루판, 벽, 천장 등에 목질재료를 사용하는 경우는 건축비가 한층 증가된다.

목재의 치수안정화처리방법 중 Polyethylene glycol(PEG)처리는 함수율이 높은 목재세포벽내의

미세공극(일시공극)에 PEG를 침투시켜 용매와 치환하여 "Bulking 효과"에 의해서 목재 세포벽의 팽윤상태로 유지시켜 좋은 치수안정효과를 보여주는 방법이다(일본목재학회연구분과 보고서, 1993). 또한 PEG 처리는 가격이 저렴하고, 조작이 간단하고, 높은 치수안정성을 부여함으로써 뛰어난 항수축율 효과를 나타내어 실용적으로 넓게 이용되어지고 있다. 그 예를 보면 1956년 Stamm은 처음으로 PEG처리에 의한 목재의 할열방지, 치수안정화, 내광성 향상 등에 관한 연구를 보고하였고, 그 후 PEG 분자량 2,000~4,000의 20~40% 수용액을 이용하여 PEG의 분자량, 농도, 함수율과 치수안정성에 관하여 비교하여 보고하였다(石丸 優, 1986; 佐道 健, 1989).

따라서 본 연구에서는 국내산 간벌 소경재 및 폐산재의 유효활용(수입재의 대체재 효과, 슈퍼목재의 개발)을 위한 기초자료를 얻어 목질신소재의 신기술을 개발할 수 있는 계기를 마련하고 국가기술의 경쟁력을 제고함으로써 외화절감은 물론 국내 목재자원의 고부가가치화로 국민소득을 높이는 데 기여하고자 한다.

따라서 본 실험에서는 X선회절과 주사전자현미경을 이용하여 PEG처리목재내의 PEG분포와 존재상태에 관하여 연구, 검토하였다.

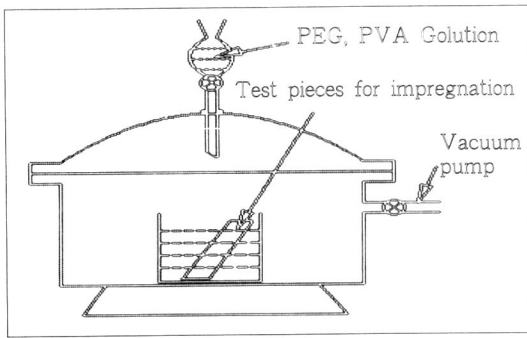


Fig. 2. Apparatus of PEG impregnation

II. 재료 및 방법

1. 재료

가. 공시재료

본 실험에는 강원도 지역의 풍부한 목재자원으로 대량생산이 가능한 일본잎갈나무(*Larix kaempferi* G.) 및 잣나무(*Pinus koraiensis* S. et Z.)와 비교적 수축팽윤성이 커서 건조과정에서 활열이 잘 발생하는 참나무과의 신갈나무(*Quercus mongolica* F.)와 굴참나무(*Quercus variabilis* Bl.)를 사용하였다.

치수안정제로는 시중에 판매되고 있는 PEG (Polyethyleneglycol : Junsei Chemical) 분자량 #1,000을 사용하였다.

2. 실험방법

가. PEG처리

- 1) 본 실험에 사용된 섬유방향 시편(a)은 60mm(L)X5mm(R)X30mm(T), 방사·접선방향(b)은 10mm(L)X30mm(R)X30mm(T)으로 제작하였다(Fig. 1). 각 시편은 변에 중앙부에 길이를 측정할 기준선을 설치하였다.
- 2) 제작된 시료들을 물에 침적시켜 포수상태로 한 후 각 방향의 치수 및 중량을 측정하였다.
- 3) PEG는 분자량 #1000을 이용하여 중량비 10%, 20%, 30%인 수용액을 제조하였다.
- 4) 제작된 시료들은 제조된 PEG수용액에 상온에

서 감압주입하였다. 방법은 Fig. 2와 같은 장치로 12~20mmHg의 압력하에서 1~5시간 동안 주입처리하였다. 또한 상온에서 2주동안 침적처리하였다.

- 5) 시료를 꺼내어 기건상태에서 항량에 도달할 때까지 건조한 후 치수 및 중량을 측정하였다. 처리재의 PEG분포를 조사하였다.
- 6) 조사는 각 단면별(횡단면, 접선단면, 방사단면)로 실시하였다.

$$\cdot \text{密度(density)} = \frac{W}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

W : 시편 질량 (g) V : 시편 체적(cm³)

$$\cdot \text{收縮率(coefficient of shrinkage)} =$$

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

l₁ : 무처리 포수 A의 길이(mm)

l₂ : 처리 후 기건 A의 길이(mm)

나. SEM 관찰

SEM용 시료는 PEG처리된 시편들의 방사·접선방향 수축률 시편에서 관찰할 횡단면을 가로, 세로, 높이 각 5mm정도의 치수로 시편을 제작한 후 ion sputter coater(SEM autocoating unit E 5200)를 사용하여 18mA의 전류로서 약 2분간 Au증착하였다. Au증착된 시편을 강원대학교 공동실험실습관에 설치된 주사전자현미경(Jeol. Model JMS-5410)으로 15~20kV의 가속전압하에서 관찰하였다.

다. X선회절법에 의한 분석

X선 시료는 각 수종별로 두께(방사방향) 약 1mm, 폭(접선방향) 약 10mm, 길이(섬유방향) 약 20mm로 가급적 만재부에서 판목판을 제작하였다. X선회절장치는 본 학과에 설치되어 있는 X선회절장치 X-RAY GENERATOR(RIGAKU사 DMAX 2000)를 사용하였다. X선은 Ni filter로 단색화한 CuK α 선($\lambda=0.1542\text{nm}$)

을 사용하였고, X선 회절장치 조작조건은 40kV, 40mA였다.

면간격은 다음 식에 의해 계산하였다.

$$2d \sin\theta = n\lambda \dots \dots \dots (1)$$

θ : Bragg각, n : 반사차수(정수), λ : x선의 파장
또 카메라장(L), 직사점에서 회절점까지의 거리(r)
및 회절각(θ)의 관계에 의해 다음의 식이 성립한다.

$$L \cdot \tan 2\theta = r \dots \dots \dots (2)$$

이상의 두식에서 d는 다음과 같이 구하였다.

$$d = \lambda / 2 \sin \{ 1/2 \tan^{-1} (r/L) \} \dots \dots \dots (3)$$

라. PEG처리시료의 분석

PEG처리재의 치수 및 중량을 측정하고, SEM과 X선회절법을 이용하여 PEG분포를 분석하였다.

Table 1. Air-dried density of woods

Sample	Untreated	PEG 1,000		PEG 2,000		PEG 4,000	
		10%	30%	10%	30%	10%	30%
<i>Pinus koraiensis</i>	0.46	0.43	0.57	0.43	0.56	0.44	0.57
<i>Larix leptolepis</i>	0.43	0.44	0.57	0.44	0.56	0.44	0.57
<i>Quercus variabilis</i>	0.84	0.86	0.89	0.86	0.89	0.85	0.90
<i>Quercus mongolica</i>	0.79	0.77	0.83	0.81	0.82	0.77	0.84

Table 2. Air-dried shrinkage of woods

Sample		Untreated	PEG 1,000		PEG 2,000		PEG 4,000	
			10%	30%	10%	30%	10%	30%
<i>Pinus koraiensis</i>	L	-0.10	-0.06	-0.08	-0.06	-0.10	-0.01	-0.10
	R	1.00	0.33	0.25	0.41	0.10	0.38	0.15
	T	3.93	1.74	-0.14	1.90	0.74	2.04	1.02
<i>Larix leptolepis</i>	L	0.04	-0.02	0.13	0.13	0.03	0.00	0.05
	R	1.39	0.28	0.05	0.37	-0.15	0.62	-0.04
	T	4.21	1.56	-0.20	1.70	0.27	1.64	0.61
<i>Quercus variabilis</i>	L	0.15	0.05	0.13	0.08	0.17	0.21	0.08
	R	2.47	1.87	0.81	1.84	1.03	1.97	1.05
	T	7.90	5.96	3.07	6.24	3.08	6.54	3.90
<i>Quercus mongolica</i>	L	0.09	0.18	-0.03	0.12	0.08	0.14	0.03
	R	2.31	1.62	0.64	1.69	0.47	1.71	1.25
	T	6.48	4.82	1.92	5.01	1.73	4.86	2.53

Note L: Air-dried shrinkage of longitudinal direction, R: Air-dried shrinkage of radial direction, T: Air-dried shrinkage of tangential direction

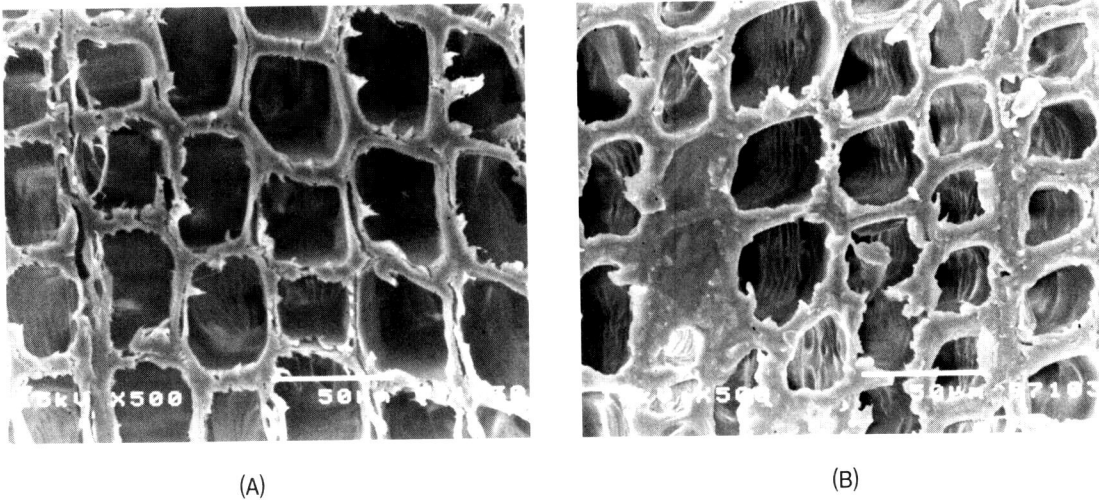


Fig. 3. Scanning electron micrographs of the cross section in *Pinus koraiensis*
 (A) Treated with 10%-PEG(MW 1000) (B) Treated with 30%-PEG(MW 1000)

III. 결과 및 고찰

1. 밀도 및 수축률

본 실험에 사용된 4수종의 PEG처리에 의한 밀도 변화를 Table 1에 나타냈다. 4수종 모두 수용액의 농도증가에 따라 밀도도 다소 증가하는 것으로 나타났다. 그 증가정도는 침엽수가 활엽수재에 비해 크게 나타났다.

본 실험에 사용된 4수종의 목재를 여러 조건으로 PEG 처리를 실시한 후 얻어진 결과는 Table 2와 같다. 잣나무와 일본잎갈나무는 신갈나무와 굴참나무보다 치수안정성이 우수하였다. 전체적으로 PEG #1000-30%인 경우가 좋은 치수안정효과를 보여주었다.

2. SEM에 의한 PEG처리재의 조직 구조 관찰

Fig. 3은 잣나무재의 PEG(MW 1000)처리재의 주사전자현미경 사진이다. 10% PEG로 처리한 재(A)는 세포간극이나 내강에 PEG의 침투가 비교적 적고, 30% PEG로 처리한 재(B)는 세포간극이 PEG로 충전되어 있는 것이 관찰되었다.

Fig. 4는 신갈나무재의 PEG(MW 1000)처리재의 주사전자 현미경 사진이다. 10%처리의 경우(A) 목섬유 및 소도관의 내강에 PEG의 침투가 비교적 적고, 30% 처리의 경우(B)는 목섬유와 소도관의 내강이 상당히 막혀 있는 것이 관찰되었다. 또한 대도관의 형태도 거의 변화없이 원래의 형태를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

3. X선회절에 의한 PEG처리재의 해석

목재 및 천연셀룰로오스 결정의 X선회절도에 나타나는 중요한 격자면은 적도선에서 (1To), (110) 및 (200), 자오선에서 (002) 및 (004)이다. Laue사진법에 의한 결과로부터 비교적 정확히 계산할 수 있는 (200)과 (004)의 면간격을 Table 3에 나타냈다.

Fig. 5는 신갈나무재(A)와 잣나무재(B)의 PEG 처리재의 Laue사진을 나타냈다. 신갈나무재의 경우에 있어서는 무처리 목재와 동일한 회절도를 보여주고 있으나 잣나무재는 목재셀룰로오스 이외의 결정에서 유래하는 격자면의 회절점이 나타났다. 즉 잣나무에서 나타난 a, b의 회절환 각각의 면간격은 0.459nm와 0.382nm였다.

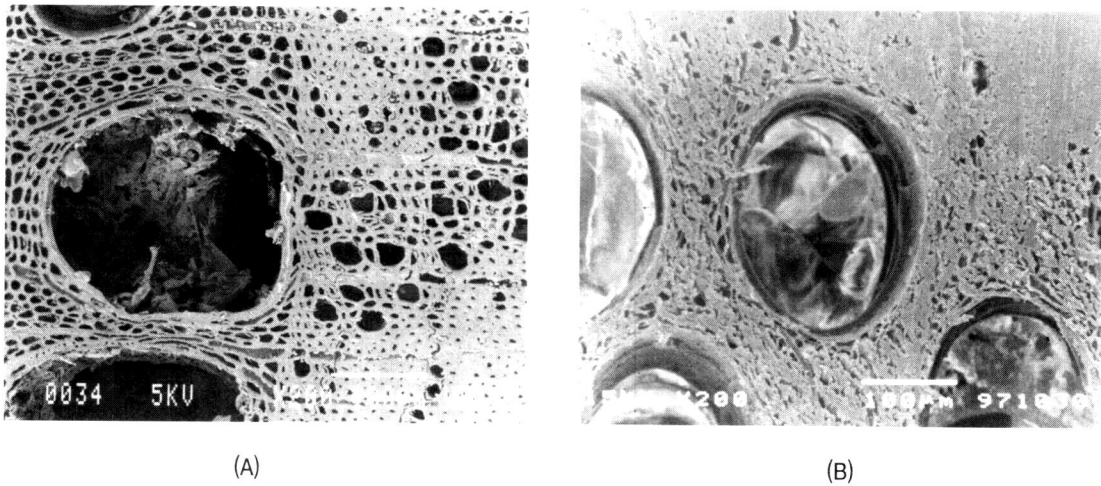


Fig. 4. Scanning electron micrographs of the cross section in *Quercus mongolica*
 (A) Treated with 10%-PEG(MW 1000) (B) Treated with 30%-PEG(MW 1000)

Fig. 6은 잣나무재를 10%, 20%, 30%의 PEG 수용액으로 처리한 Laue사진이다. 10%와 20%의 수용액으로 처리한 경우는 PEG 결정에서 유래하는 회절환이 나타나지 않았지만 30%의 수용액으로 처리한 경우는 PEG결정의 회절환이 뚜렷하게 나타났다.

Fig. 7은 신갈나무재의 10%, 20%, 30% PEG처리한 Laue사진이다. 잣나무재와는 다르게 모든 농도에서 PEG결정에서 유래하는 peak는 나타나지 않았다.

따라서 본 실험의 침탈엽수 4수종 모두 치수안정효과를 나타내는 결과로부터 재내에 PEG의 침투는 양호하지만 존재양식에서 차이가 나는 것으로 생각되었다. 즉 신갈나무재와 굴참나무재는 일본잎갈나무

재와 잣나무재에 비해 세포벽 팽윤을 구속하는 리그닌의 함량이 낮아 비교적 팽윤이 용이하여 세포벽내로의 PEG침투가 쉬워 세포벽내에 비교적 균일하게 분포함으로써 PEG 결정을 형성하지 못하는 것으로 생각되었다.

Fig. 8은 일본잎갈나무와 굴참나무재의 Laue 사진으로 일본잎갈나무재는 잣나무 재와 마찬가지로 목재셀룰로오스 이외의 결정에서 유래하는 격자면의 회절점이 나타났고, 굴참나무재는 신갈나무의 경우처럼 PEG결정에 유래하는 회절환은 나타나지 않았다.

Fig. 9, 10는 일본잎갈나무와 잣나무를 2주간 처리하면서 측정된 수축률 곡선이다. 그림에서 볼 수 있

Table 3. d-spacings of *Quercus mongolica* and *Pinus koraiensis*

(unit : nm)

	Miller indices	Laue method	
		d-spacing	d-spacing
		(<i>Quercus mongolica</i>)	(<i>Pinus koraiensis</i>)
Treated with 30%-PEG	200	0,395	0,390
	004	0,258	0,258
	a		0,459
	b		0,382

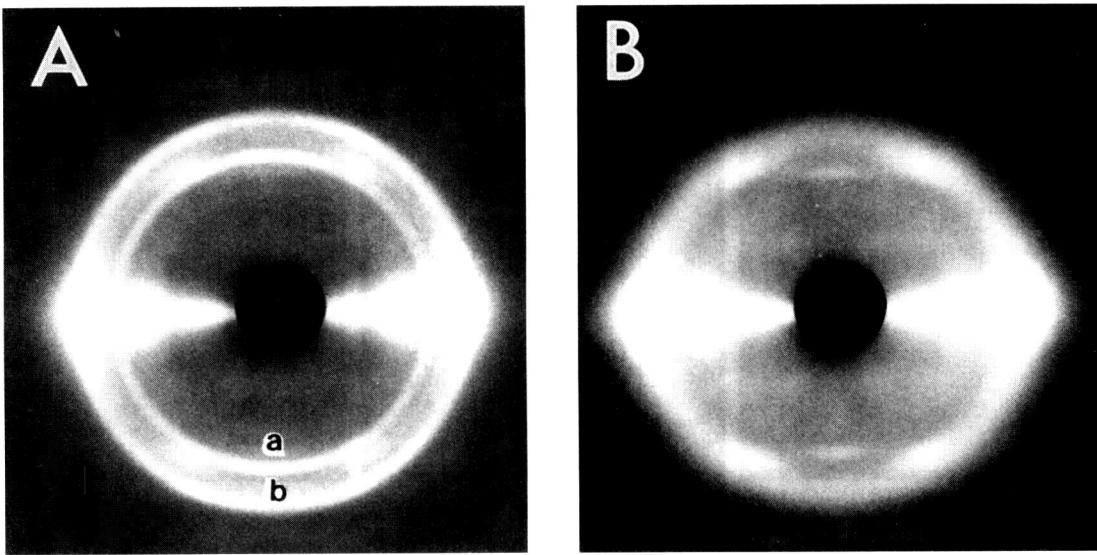


Fig. 5. X-ray diffraction fiber diagrams of PEG treated woods
 A) *Pinus koraiensis* treated with 30%-PEG(MW 1000)
 B) *Quercus mongolica* treated with 30%-PEG(MW 1000)

는 바와 같이 PEG처리를 1일 정도의 단시간 처리에서도 수축률이 크게 감소하여 상당한 치수 안정효과를 보여주는 것을 알 수 있다.

반면 신갈나무(Fig. 11)와 굴참나무(Fig. 12)에 있어서 섬유방향은 일본잎갈나무와 마찬가지로 큰 변화는 없었지만, 방사 및 접선방향에서는 처리시간이 경과함에 따라서 서서히 수축률이 감소하는 경향이 있었다. 즉 신갈나무재는 10일 정도 처리로서 약 50% 정도의 수축이 감소되며 수축곡선이 안정되는 경향이 있었으나 굴참나무재는 다소 빠른 3일 정도에서 수축곡선이 안정되었다.

Fig. 13은 PEG결정의 전형적인 X선회절 강도곡선을 나타낸 것이다. $2\theta=19^\circ$ 와 23° 부근에서 PEG결정의 강한 peak를 보여주고 있다.

앞의 Laue사진에서 얻어진 결과와 마찬가지로 일본잎갈나무재(Fig. 14)와 잣나무재(Fig. 15)는 전형적인 목재 cellulose 적도선의 결정면 peak 이외에 $2\theta=19^\circ$ 에서 PEG 결정의 peak가 나타나고 있다. 이것은 일본잎갈나무 세포내강의 내부로 PEG가 침적되

면서 PEG분자가 결정화되어 강한 X선회절강도 peak를 나타내는 것으로 생각된다. 한편 신갈나무재(Fig. 16)와 굴참나무재(Fig. 17)의 경우 일본잎갈나무재 및 잣나무재와 동일한 처리기간에서도 목재 cellulose 결정 이외의 PEG결정유래의 peak는 나타나지 않았다.

이것은 신갈나무재와 굴참나무재가 일본잎갈나무와 잣나무재에 비해 세포벽 팽윤을 구속하는 리그닌의 함량이 다소 낮아서 세포벽의 팽윤이 용이한 때문이고, 일본잎갈나무재나 잣나무재의 세포벽은 리그닌의 작용에 의하여 팽윤이 억제되어 세포벽내로의 PEG침투가 용이하지 않기 때문으로 생각되었다. 따라서 PEG는 세포벽 중의 일본잎갈나무재와 잣나무재의 미세공극내의 수산기와 결합을 하지 못하고, 내강이나 거대공극내에 침적되면서 PEG분자끼리 결정화되어 큰 결정을 형성함으로써 강한 X선회절 강도 peak를 나타낸 것으로 생각된다. 반면에 신갈나무재나 굴참나무재는 일본잎갈나무재와 잣나무재에 비해 PEG침투가 쉬워 세포벽내에 비교적 균일하게 분포함으로써 PEG결정을 형성하지 못하는 것으로 생각되었다.

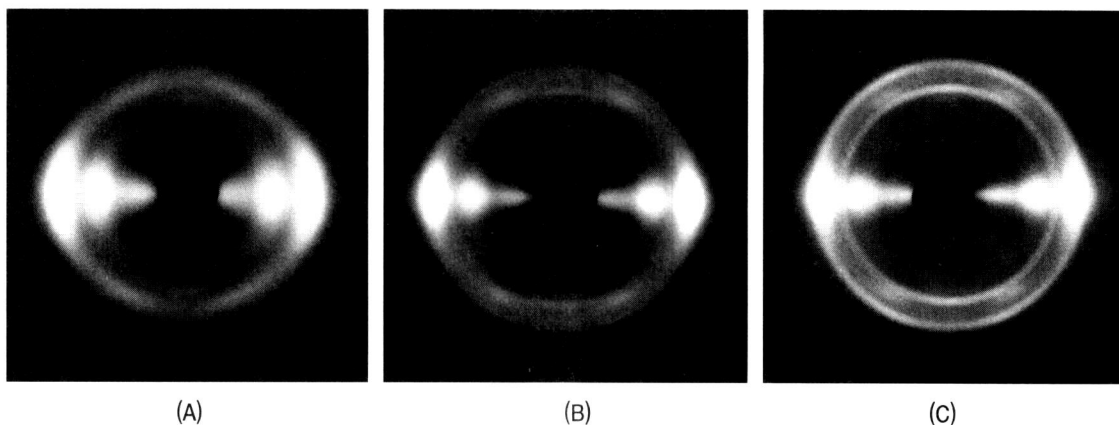


Fig. 6. X-ray diffraction fiber diagrams of PEG treated woods
A) *Pinus koraiensis* treated with 10%-PEG(MW 1000)
B) *Pinus koraiensis* treated with 20%-PEG(MW 1000)
C) *Pinus koraiensis* treated with 30%-PEG(MW 1000)

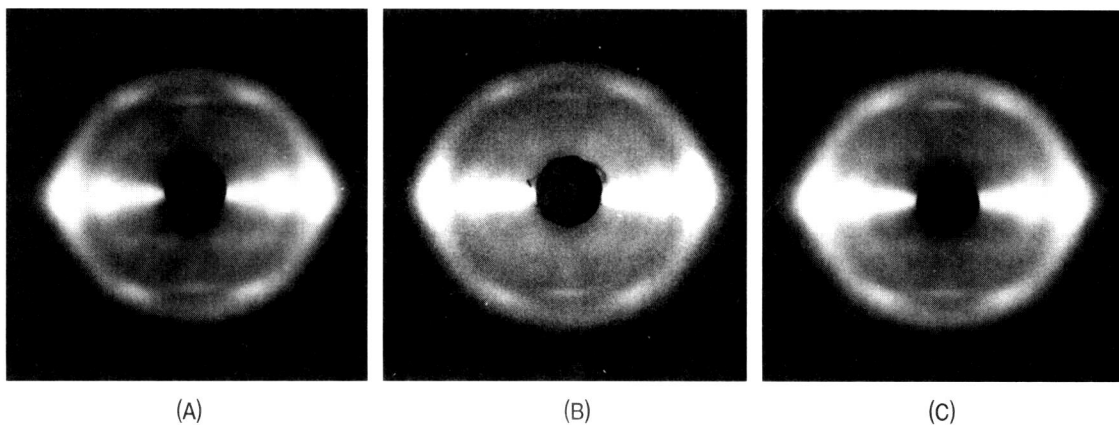


Fig. 7. X-ray diffraction fiber diagrams of PEG treated woods
A) *Quercus mongolica* treated with 10%-PEG(MW 1000)
B) *Quercus mongolica* treated with 20%-PEG(MW 1000)
C) *Quercus mongolica* treated with 30%-PEG(MW 1000)

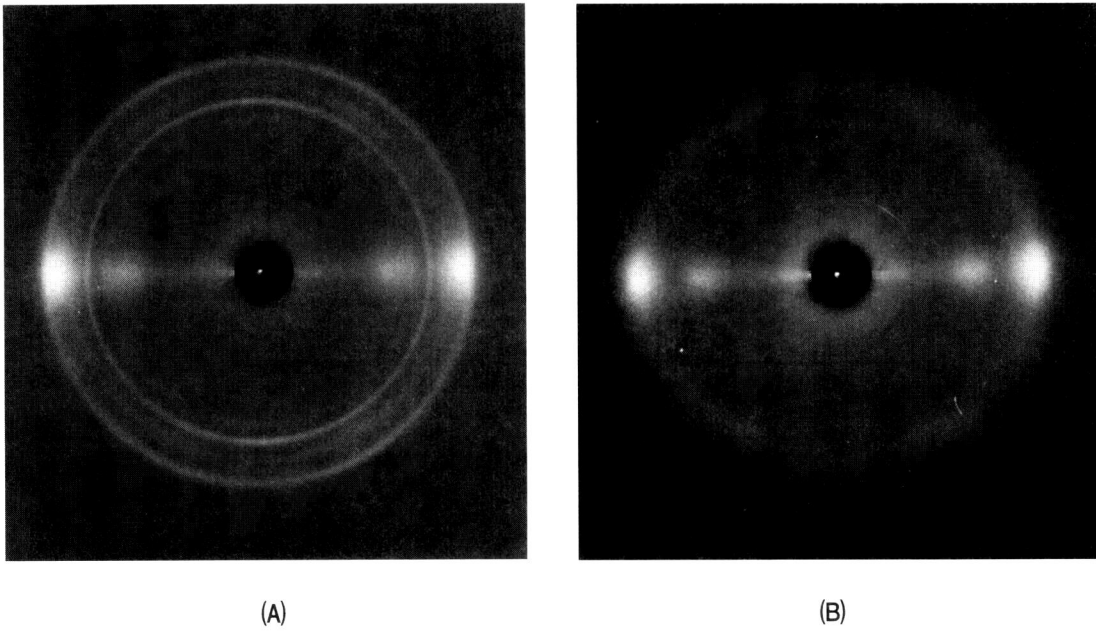


Fig. 8. X-ray diffraction fiber diagrams of PEG treated woods
 A) *Larix leptolepis* treated with 30%-PEG(MW 1000)
 B) *Quercus variabilis* treated with 30%-PEG(MW 1000)

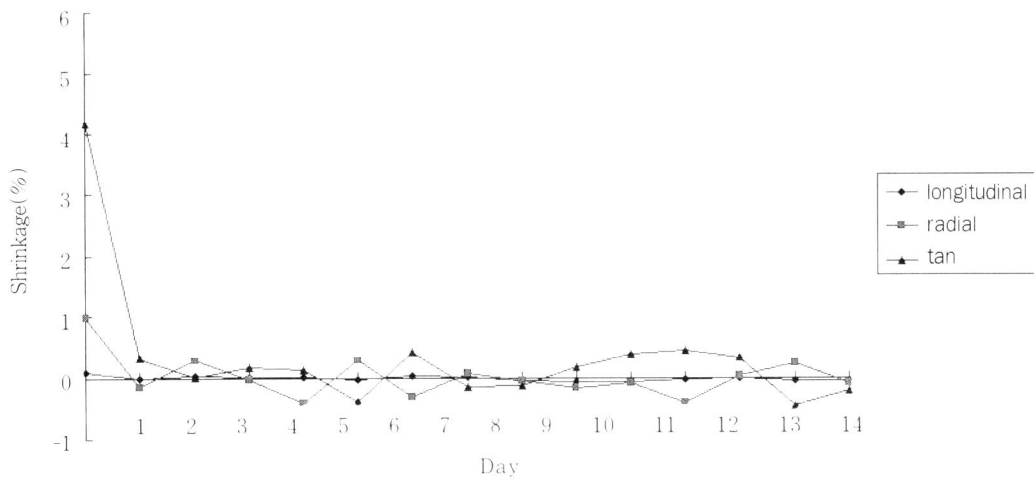


Fig. 9. Air-dried shrinkage of *Larix leptolepis* woods treated with 30% PEG for 14days

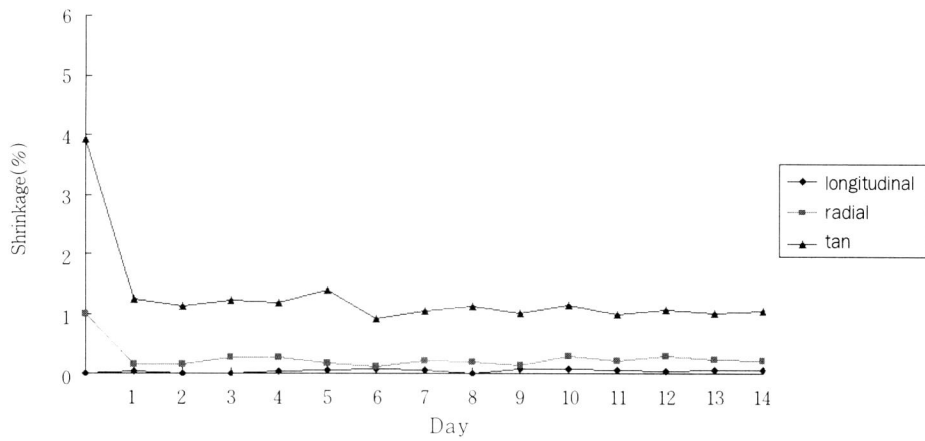


Fig. 10. Air-dried shrinkage of *Pinus koreaiensis* woods treated with 30% PEG for 14days

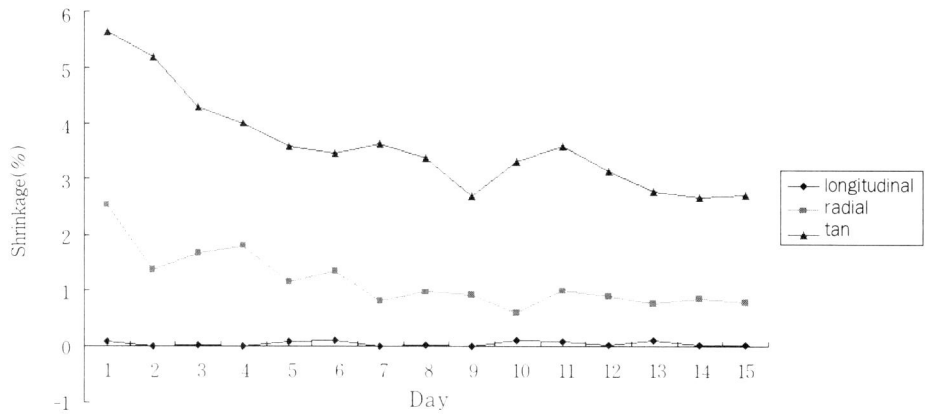


Fig. 11. Air-dried shrinkage of *Quercus mongolica* woods treated with 30% PEG

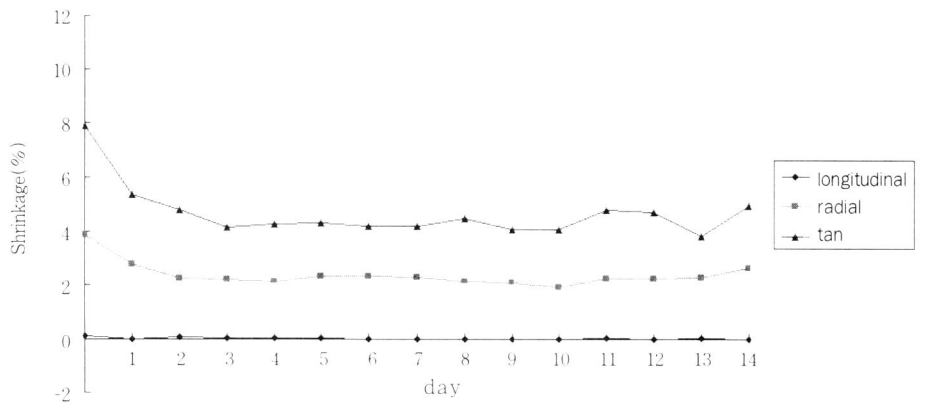


Fig. 12. Air-dried shrinkage of *Quercus variabilis* wood treated with 30% PEG for 14days

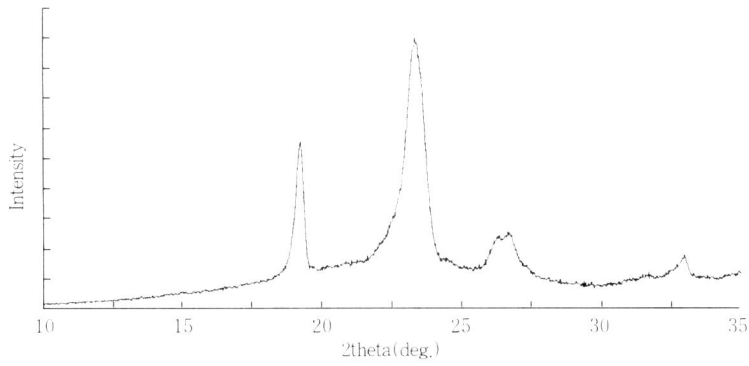


Fig. 13. An X-ray diffractogram of PEG

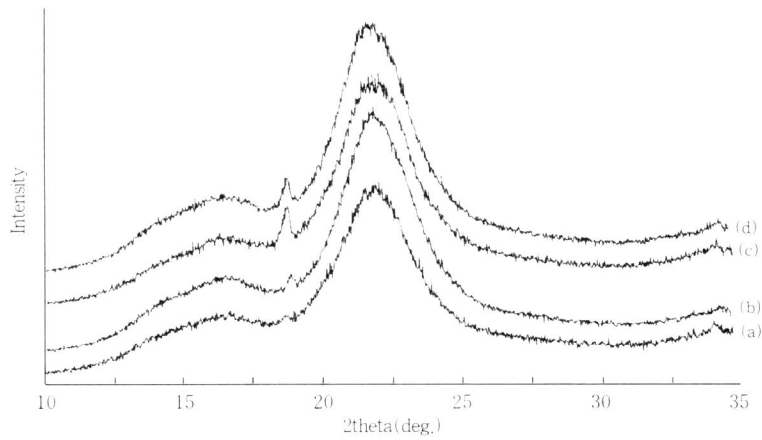


Fig. 14. Equatorial X-ray diffractograms of *Larix leptolepis* woods treated for 1 day(a), 3 days(b), 5 days(c) and 14 days(d)

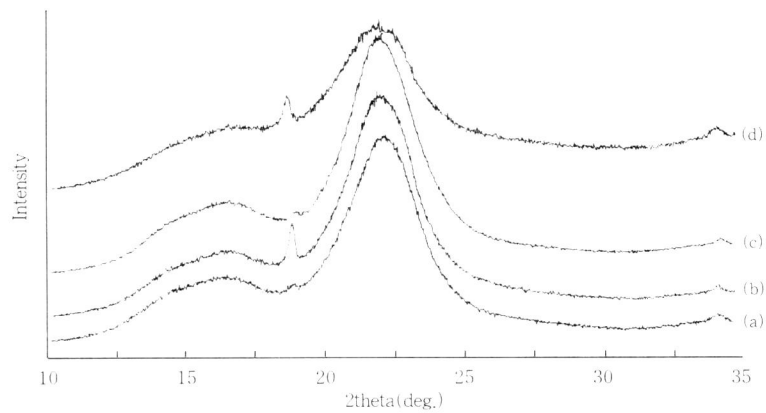


Fig. 15. Equatorial X-ray diffractograms of *Pinus koraiensis* woods treated for 1 day(a), 3 days(b), 5 days(c) and 14 days(d)

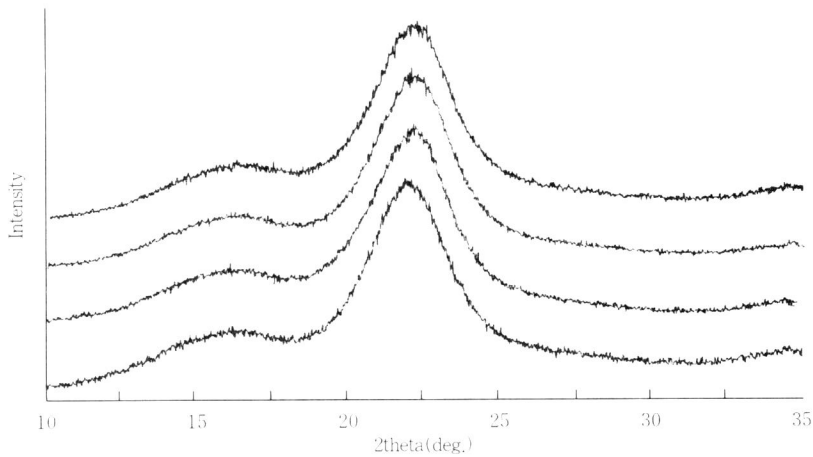


Fig. 16. Equatorial X-ray diffractograms of *Quercus mongolica* wood treated for 1 day(a), 3 days(b), 5 days(c) and 14 days(d)

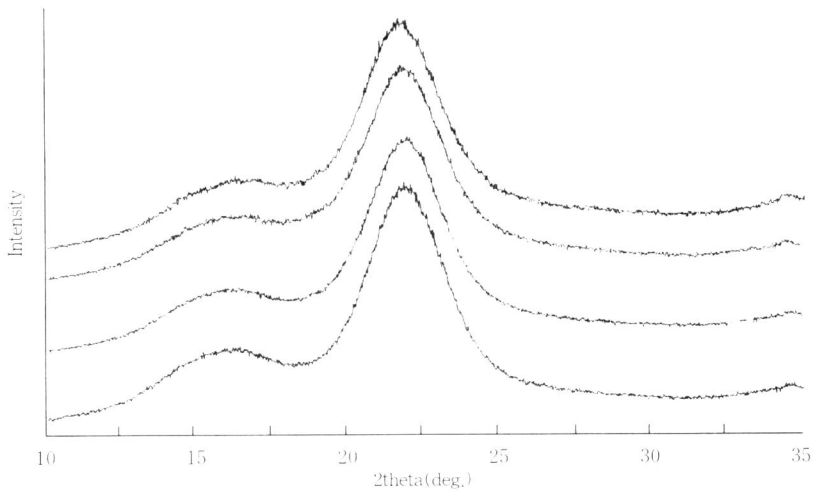


Fig. 17. Equatorial X-ray diffractograms of *Quercus variabilis* wood treated for 1 day(a), 3 days(b), 5 days(c) and 14 days(d)

인용문헌

- 1) 김남훈, 이현중, 권구중(1997), "국내산 소경재를 이용한 목질신소재의 개발에 관한 기초연구," 한국임산에너지학회지 16(1): 79~92.
- 2) 이춘택(1993), "소경재의 이용방안," 목재공학회지 21(1): 65~73.
- 3) 木材の科學と利用技術Ⅲ-ズ-バーウッド-(1993), 日本木材學會, 1~5.
- 4) 石丸 優, 井上惠美子, 佐道 健, 中戸莞二(1986), "ホリエチレングリコール吸着木材の寸法安定性(第1報)-分子量の影響," 木材學會誌 32(11): 888~895.
- 5) 佐道 健(1989), "ホリエチレングリコール處理,"

木材の科學と利用技術, 日本木材學會研究分科會報告書, 520~524.

- 6) Stamm A. J.(1959), "Effect of polyethylene glycol on the dimensional stability of wood," Forest Products Journal: 375~381.

참고문헌

1. 김남훈(1992), "X선회절법에 의한 천연 cellulose 섬유에 알칼리 팽윤구조," 한국목재공학회지 20(1): 38~45.
2. 이원용, 김남훈(1992), "X선회절법에 의한 주요 침.활엽수재의 미세구조," 한국목재공학회지 20(1): 28~37.
3. 임기표, 조종수, 김익주, 나은선(1995), "치수안정화를 위한 목질재료의 고분자 하이브리드화에 관한 연구," 목재공학회지 23(4): 1~9.
4. 大韓民國林業研究院.(1992), "韓國의林産業(D)-韓國における木材生産と木材輸入-," 木材工業 47(2): 59~113.
5. 變わる木材-ズ-パウッドの時代-(1991), 海青社.
6. 新しい木質建材(1995), 日刊木材新聞社.
7. 湊 和也(1992), "木材および木質材料のホルマール化-その應用における可能性と課題-," 木材工業 47(3): 102~107.
8. 湊 和也(1994), "スレイマシ・ユスフ,ホルマール化處理木材," 木材保存21(1): 2~9.
9. 佐立正人(1986), "アセチル化木材について," 木材保存 12(1): 23~26.
10. 谷口 環(1993), "WPCの研究・開發-現狀と將來-," 木材工業 48(7): 304~309.
11. 則元 京(1990), "新しい材料としての木材の可能性," 木材保存 16(5): 2~9.
12. 黒須博司(1989), "化學處理木材の應用," 木材工業 44(11): 519~614.
13. 黒須博司(1993), "21C世紀の「木材の化學加工」," 第23回木材の化學加工研究會シンポジウム講演集: 41~46.
14. Englerth G. H, and H. L. Mitchell(1963), "New horizons in bowl turning," Forest Products Journal: 48~49.
15. Kim N. H., J. Sugiyama and T. Okano(1991), "X-ray and electron study of Na-cellulose I," Journal of the Japan wood research society 37(7): 637~643.
16. Kim N. H, and W. Y. Lee(1994), "Fine structures and crystal transformation of the cellulose of wood used for oak mushroom cultivation," Proceeding of Third Pacific Regional Wood Anatomy Conference.
17. Kondo T, and C. Sawatari(1994), "Intermolecular hydrogen bonding in cellulose/ poly(ethylene oxide) blends : thermodynamic examination using 2, 3-di-O- and 6-O-methylcelluloses as cellulose model compounds," Polymer 35(20): 4423~4428.
18. Kondo T., C. Sawatari, R. St. J. Manley and D. G. Gray(1994), "Characterization of hydrogen bonding in cellulose-synthetic polymer blend systems with regioselectively substituted methylcellulose," Macromolecules 27: 210~215.
19. Mitchell H. L, and H. E. (1959), "Wahlgren, Shrink and swell of walnut gunstocks," Forest Products Journal: 437~441.
20. Mitchell H. L, and E. S.(1961), "Iversen, Seasoning green-wood," Forest Products Journal: 6~7.
21. Norimoto M., J. Gril and R. M. Roger(1992), "Rheological Properties of chemically modified wood: Relationship between dimensional and creep stability," Wood and Fiber Science, 24(1): 25~35.
22. Wallstr m L, and K. A. H. Lindberg(1995), "Wood surface stabilization with Polyethylene glycol, PEG," Wood science and technology 29: 109~119.