

PEG(Polyethylene glycol)처리에 의한 국내산 주요 소경재의 치수 안정화에 관한 연구*¹

권 구 중*² · 김 남 훈*²

Dimensional Stability of Domestic Small-diameter Timbers Treated with Polyethylene Glycol*¹

Goo-Jung Kwon*² · Nam-Hun Kim*²

요 약

PEG처리에 의한 국내산 주요 소경재 다섯 수종(소나무, 잣나무, 일본잎갈나무, 신갈나무, 굴참나무)의 치수안정성을 조사하고, 목재내의 PEG분포를 X선회절법에 의해 검토하였다.

그 결과 공시수종 모두 PEG 30%의 수용액에서 좋은 치수안정 효과를 보여주었다. 또한 PEG농도 증가에 따라 PEG처리 목재의 증량증가율과 벌킹효과가 증가하였는데 침엽수종이 활엽수종에 비해 그 정도가 크게 나타났다.

X선회절 결과, 잣나무는 만재와 조재 모두 $2\theta = 19^\circ$ 와 $2\theta = 23^\circ$ 부근에서 PEG 결정유래의 피크가 출현하였으나, 신갈나무는 공권부와 공권외부에서 목재 셀룰로오스결정 이외의 PEG결정 유래의 피크가 나타나지 않았다. 이러한 X선회절 결과는 잣나무재내에 신갈나무재보다 더 많은 양의 PEG가 존재하는 것을 의미하는 것으로서 치수안정성이 큰 이유를 설명해 주는 증거의 하나로 생각되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the dimensional stability of three softwoods (*Pinus densiflora* S. et Z., *Pinus koraiensis* S. et Z., *Larix kaempferi* CARR.) and two hardwoods (*Quercus mongolica* F., *Quercus variabilis* BL.) treated with polyethylene glycol (PEG). Existence of PEG in wood was examined by an X-ray diffraction method.

Shrinkage of the sample woods decreased with increasing concentration of PEG. The dimensional stability of five species had improved highly in thirty percent solutions of PEG with molecular weight 1000~4000,

* 1 접수 2001년 9월 5일, 채택 2001년 10월 30일

* 2 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, ChunCheon 200-701, Korea

and the dimension of PEG-treated softwoods was more stable than that of PEG-treated hardwoods. Weight gain and bulking effect of the woods treated with PEG increased with increasing concentration of PEG. X-ray diffractograms of *Pinus koraiensis* wood treated with PEG showed two peaks derived from PEG crystal at $2\theta = 19^\circ$ and $2\theta = 23^\circ$. However, the diffractograms of *Quercus mongolica* wood did not present any peaks caused by PEG crystal. From the result of X-ray diffraction, it was revealed that the content of PEG in *Pinus koraiensis* wood was higher than that in *Quercus mongolica* wood.

Keywords: Dimensional stability, shrinkage, polyethylene glycol(PEG), bulking effect, X-ray diffraction, weight gain

1. 서 론

현재 우리나라의 목재수요에 대한 공급은 주로 수입재에 의존하고 있는 실정이다. 최근의 자료를 보면 '99년도의 목재공급량에서 수입재(원목기준)가 총 공급량의 80%를 차지하고 있으며, 국내재는 총 공급량의 20%에 불과하며, 그 중 국내재의 전체 생산량의 약 75% 정도가 III등급 이하인(~30년생) 말구직경이 16 cm 이하의 소경재이다(산림청, 2000). 이들 소경재는 대부분이 미성숙재로 이루어져 있어 물리적, 역학적 성질 등의 재질이 성숙재보다 떨어지고, 특히 수축과 팽윤의 이방성이 커서 건조과정이나 마무리 가공시 할렬, 뒤틀림 등의 결점이 발생하기 쉽다.

수분변화에 따른 목재의 변형을 개선시키고 치수안정성을 부여하기 위하여 화학처리나 다른 재료와의 복합화에 의해 목재의 성질을 개선하려는 연구가 이전부터 많이 진행되어 왔다(鈴木·徳田編, 1993; 日刊木材新聞社編, 1995). 그 중에서 폴리에틸렌 글리콜(Polyethylene glycol, PEG)처리는 초기 함수율이 높은 생재에 PEG수용액을 침투시켜 벌킹효과에 의해 목재를 팽윤상태로 유지시키는 방법으로서 처리비용이 저렴하고, 조작이 간단하면서도 높은 치수안정성을 부여하는 것으로 생각되고 있다(佐道, 1989).

PEG처리에 의한 목재의 치수안정성에 관한 집중적인 연구는 Stamm(1959)의 연구에서부터 시작되었다. 그는 southern pine 원편의 건조실험에서 30%-PEG 1000 수용액에 침지처리한 결과, 수축율이 감소되고 할렬이 발생되지 않았다고 보고하였다. 또한 Tarkow(1966)는 용질배제법에 의한 Non-Solvent

Water(NSW)의 정량에 의해서 분자량 3000 이상의 PEG는 목재의 일시공극 중에 침입할 수 없다는 결과를 보고하였다. 堀岡 등(1968)은 너도밤나무재의 실험에서 PEG 함침을 25% 정도가 최대의 항수축율(ASE : Anti-Shrinkage Efficiency), 항팽윤율(AE : Anti-swelling Efficiency)을 나타내는 것을 밝혔고, 岡本·増澤(1984)은 비중이 저하되고 공극율이 높아진 出土木材의 보존처리를 위해서는 분자량 4000의 PEG가 적당하다고 보고하였다. 그 후 여러 연구자들이 할렬방지, 치수안정화, 내광성 향상 등에 관한 연구를 수행하여 많은 성과를 얻고 있다(Tarkow, 1966; 堀岡 등, 1966, 1968, 1973; 鈴木·徳田編, 1993; 日本木材學會編, 1993; 山口 등, 1999; Wallström & Lindberg, 1999).

따라서 본 연구에서는 국내산 소경재의 보다 효율적인 이용을 위하여 치수안정성 증대 방안을 모색하고자 다양한 조건으로 PEG처리한 목재의 수축, 팽윤 특성을 조사하였다. 또한 X선회절법을 이용하여 처리재내의 PEG분포를 해석함으로써 목재의 치수안정성 기구를 구명하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 실험에 사용한 공시재는 Table 1과 같으며 흉고 직경 20 cm 이하의 입목을 벌채하여 이용하였다.

PEG(Polyethylene glycol : Kanto chemical Co. INC.)는 분자량 1000, 2000, 4000의 것을 사용하였다.

Table 1. Sample trees.

Species	Tree Age (year)	Locality
<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	35	Samcheok, Kangwon
<i>Pinus koraiensis</i> S. et Z.	24	Chuncheon, Kangwon
<i>Larix kaempferi</i> CARR.	21	Chuncheon, Kangwon
<i>Quercus mongolica</i> F.	22	Chuncheon, Kangwon
<i>Quercus variabilis</i> BL.	31	Chuncheon, Kangwon

2.2 방법

2.2.1 수축률 측정용 시편제작

목재의 수축률 측정방법(KS F 2201, 2203)에 의한 규격에 따라 방사 및 접선방향의 수축률 측정시료를 5 mm(L)×30 mm(R)×30 mm(T)의 치수로 제작하였다. 시편은 가급적 변재 부분에서 채취하였고, 측정 항목당 3개씩 제작하였다.

2.2.2 PEG處理

제작된 시편들은 105℃에서 24시간 전건시킨 후 각 방향별 치수와 중량을 측정하였다. 그 후 감압용 수조 내에서 증류수에 침지하여 30분 동안 감압주입을 실시하고, 1주일동안 방치시켜 포수상태로 한 후 각 방향의 치수 및 중량을 측정하였다. PEG수용액은 분자량 1000, 2000, 4000인 것을 이용하여 중량비 10%, 20%, 30% 농도로 제조하였고, 포수상태인 시료를 여러 농도의 PEG 수용액에 침지한 후 상온, 50℃, 70℃에서 각각 1주일 동안 처리하였다. 침지처리 시료의 치수 및 중량은 표면에 묻어 있는 PEG를 종이로 닦아낸 후 측정하였다. 그 후 60℃에서 3일 동안 건조시킨 후 다시 치수 및 중량을 측정하였다.

2.2.3 PEG 처리재의 치수안정성 평가

수축률, 중량증가율(Weight Gain : W.G.), 벌킹효과(Bulking Effect : B.E.)를 山口 등(1999)의 방법에 의해 다음과 같은 식으로 계산하였다.

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

l_2 : PEG 함침 후 60℃에서 3일 동안 건조한 후 길이(mm)

l_1 : 처리 전 포수시의 길이(mm)

$$W.G.(\%) = \frac{G_T - G_0}{G_0} \times 100$$

G_T : PEG 함침 후 60℃에서 3일 동안 건조한 후 중량

G_0 : 처리 전 전건시의 중량

$$B.E.(\%) = \frac{A_{T0} - A_0}{A_s - A_0} \times 100$$

A_{T0} : PEG 함침 후 60℃에서 3일 동안 건조한 후의 횡단면 면적

A_0 : 처리 전 전건한 후 횡단면 면적

A_s : 처리 전 포수시의 횡단면 면적

2.2.4 목재내의 PEG분포 분석

목재내의 PEG분포를 분석하기 위하여 PEG처리재를 20 mm(L), 1 mm(R), 10 mm(T)의 치수로 제작하여 X선회절실험에 이용하였다. X선회절장치는 RIGAKU社의 DMAX 2100V를 이용하였다. X선은 Ni filter로 단색화한 CuK α 선($\lambda = 0.1542$ nm)를 사용하였으며, 조작조건은 40 kV, 40 mA였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 수축률

공시수종의 미처리재 및 PEG처리재의 수축률을 측정된 결과는 Table 2와 같다.

각 수종에 있어서 PEG처리에 의해 수축률이 크게 감소하는 효과가 있었고, PEG처리 농도가 증가할수록 수축률이 감소하여 좋은 치수 안정효과를 보여주었다. 즉 모든 분자량의 30% 수용액의 경우가 좋은 치수안정효과를 나타냈다. 본 실험 결과는 堀岡 등(1968)과 저자 등(1997)이 보고한 연구내용과 일치하였다. 수종간의 치수안정성을 비교하여 보면 잣나무

Table 2. Oven-dried shrinkage of sample woods.

Species	PEG		PEG 1000			PEG 2000			PEG 4000		
	Treatment		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
<i>Pinus densiflora</i>	Untreated	r	3.50								
		t	6.72								
	Treated at R.T.	r	1.53	0.55	0.08	2.27	0.66	0.17	2.88	1.36	0.51
		t	3.12	1.76	0.74	4.39	1.72	1.27	5.53	3.45	1.78
	Treated at 50°C	r	2.50	0.13	0.07	2.28	2.13	0.75	2.86	1.30	0.82
		t	5.02	0.79	0.37	4.12	3.04	1.52	4.83	2.66	1.81
	Treated at 70°C	r	2.20	0.47	0.41	2.54	1.10	0.37	2.99	1.54	0.36
		t	4.08	1.18	0.49	4.35	1.76	0.70	4.72	2.57	0.81
<i>Pinus koraiensis</i>	Untreated	r	3.58								
		t	5.95								
	Treated at R.T.	r	0.48	-0.10	0.01	0.76	0.10	0.00	0.70	0.41	0.18
		t	2.63	0.62	0.30	3.86	1.38	0.55	3.44	2.41	1.22
	Treated at 50°C	r	0.53	0.04	-0.15	0.70	-0.06	-0.25	0.48	0.17	-0.04
		t	2.92	0.64	0.07	3.45	0.94	0.35	3.04	1.21	0.73
	Treated at 70°C	r	0.46	0.12	0.04	0.82	0.15	0.09	0.55	0.35	0.00
		t	2.22	0.51	-0.07	3.37	0.51	0.07	2.36	1.08	0.26
<i>Larix kaempferi</i>	Untreated	r	3.39								
		t	6.96								
	Treated at R.T.	r	2.11	1.22	0.64	2.63	1.34	0.84	1.91	1.79	1.13
		t	5.32	2.70	0.92	5.51	3.41	1.81	5.40	4.35	2.84
	Treated at 50°C	r	2.13	1.08	0.55	2.14	1.08	0.62	1.76	1.72	0.85
		t	4.54	2.81	1.00	5.22	2.61	1.47	4.88	2.87	1.93
	Treated at 70°C	r	1.92	1.03	0.57	2.29	1.22	0.69	2.25	1.30	0.98
		t	4.88	1.85	0.67	5.05	3.25	1.22	4.56	2.30	1.70
<i>Quercus mongolica</i>	Untreated	r	5.25								
		t	9.78								
	Treated at R.T.	r	3.67	2.47	1.54	3.52	2.73	2.00	3.02	3.07	2.31
		t	6.91	6.14	4.32	7.47	6.30	5.38	7.77	7.39	5.53
	Treated at 50°C	r	2.76	1.83	1.24	3.29	2.15	1.57	3.50	2.26	1.66
		t	6.89	4.79	4.02	7.59	5.80	4.78	7.07	6.18	4.64
	Treated at 70°C	r	2.88	1.64	1.43	4.10	1.35	1.66	3.80	3.06	1.93
		t	6.55	5.20	4.25	8.43	6.82	5.02	7.78	6.89	5.00
<i>Quercus variabilis</i>	Untreated	r	4.65								
		t	10.51								
	Treated at R.T.	r	4.64	2.68	1.89	3.34	2.75	2.25	3.38	4.11	2.32
		t	7.11	6.83	4.77	8.17	7.41	4.58	8.38	5.81	5.81
	Treated at 50°C	r	3.04	2.11	1.45	3.36	2.51	2.01	3.19	2.25	1.85
		t	7.89	6.11	4.48	8.08	6.72	5.84	7.51	5.86	5.01
	Treated at 70°C	r	3.00	2.22	1.43	3.92	2.56	1.88	3.31	1.87	2.39
		t	7.71	5.83	3.89	8.21	5.95	4.92	7.94	6.10	6.04

* R.T : Room Temperature r: radial direction t: tangential direction

재는 본 실험에서 사용한 다른 수종들보다 높은 치수 안정성을 나타냈다. 또한 침엽수재가 활엽수재에 비해 치수안정효과가 좋았는데, 이것은 오·전(1987)의 연구와 일치하는 결과를 보여 주었다. 한편 본 실험에서 PEG분자량과 처리온도는 목재의 치수변화에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

3.2 중량증가율

PEG처리에 의한 목재의 중량증가율을 측정한 결과는 Table 3과 같다. 각 수종 모두 PEG처리 농도가 증가할수록 중량도 증가하였다. 잣나무재의 경우 다른 수종에 비해 높은 중량증가율을 보였다. 또한 침엽수재가 활엽수재보다 약 3~4배 정도 높은 중량증가율을 보여 주었다. 이 결과는 조 등(1975)과 전·오(1985)가 보고한 바와 같이 비중이 낮은 수종이 비중이 높은 수종보다 PEG주입율이 높다고 한 결과와 일치하는 것으로 생각된다. 이렇게 침엽수재가 활엽수재보다 PEG주입율이 높은 것은 목재의 조직구조와 관련하여 설명할 수 있을 것으로 생각된다. 일반적으로

로 침엽수재는 수분통도 기능을 하는 가도관과 가도관상호간을 연결시켜주는 유연벽공이 목재조직내로 PEG침투를 용이하게 하는 반면, 활엽수재인 신갈나무와 굴참나무재는 수분통도 기능을 하는 도관내에 타이로시스의 존재 및 가도관에 비해 내강이 좁은 목섬유와 기밀성이 큰 유세포의 존재에 의해 침투를 어렵게 하는 것으로 생각된다. 또한 PEG분자량과 처리온도는 중량증가율에도 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

3.3 벌킹효과

PEG처리에 의한 목재의 벌킹효과를 Table 4에 나타냈다. 각 수종 모두 PEG처리 농도 증가에 따라 벌킹효과가 증가하였고, 모든 분자량의 30% 수용액에서 가장 높은 벌킹효과를 보여 주었다. 그리고 벌킹효과는 분자량이 커질수록 대체로 감소하였으며 침엽수재가 활엽수재보다 높았고, 침엽수재 중에서도 소나무, 잣나무가 일본잎갈나무재 보다 높았다. 침엽수재에 있어서 분자량 4000의 PEG로 처리한 경우에 있어

Table 3. Weight gain of sample woods treated with PEG in different condition.

Species	Treatment	PEG 1000			PEG 2000			PEG 4000		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
<i>Pinus densiflora</i>	Treated at R.T.	12.4	24.9	38.7	13.1	24.4	39.2	12.5	24.7	39.4
	Treated at 50℃	12.1	27.4	39.9	11.4	18.8	30.9	10.9	22.2	34.7
	Treated at 70℃	12.3	26.4	29.5	10.8	23.7	35.9	10.1	17.6	32.2
<i>Pinus koraiensis</i>	Treated at R.T.	16.4	33.2	52.1	16.4	34.5	55.3	15.1	32.8	54.2
	Treated at 50℃	15.6	33.5	50.4	15.8	33.9	51.8	18.1	30.0	48.3
	Treated at 70℃	18.1	33.6	52.9	17.6	30.4	44.3	15.3	34.3	48.1
<i>Larix kaempferi</i>	Treated at R.T.	9.1	22.8	36.2	9.6	22.0	36.6	10.2	22.3	32.8
	Treated at 50℃	9.5	20.3	34.6	9.6	23.6	34.5	9.2	21.2	36.1
	Treated at 70℃	9.9	22.7	39.0	10.6	23.5	34.8	11.7	20.5	37.2
<i>Quercus mongolica</i>	Treated at R.T.	3.5	7.6	13.1	3.0	7.1	12.1	3.5	7.4	12.2
	Treated at 50℃	5.3	9.8	14.9	3.8	8.4	14.1	3.6	8.0	13.0
	Treated at 70℃	4.3	8.2	16.3	3.7	7.6	13.5	5.7	6.1	13.1
<i>Quercus variabilis</i>	Treated at R.T.	3.8	8.4	12.8	3.3	6.1	9.6	2.7	6.8	9.9
	Treated at 50℃	7.9	8.5	13.3	3.8	7.6	11.6	4.0	5.9	10.2
	Treated at 70℃	4.2	9.5	15.7	3.4	6.9	11.3	3.2	5.3	12.0

Table 4. Bulking effect of sample woods treated with PEG in different condition.

Species	Treatment	PEG 1000			PEG 2000			PEG 4000		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%	10%	20%	30%
<i>Pinus densiflora</i>	Treated at R.T.	61.9	80.6	93.2	45.1	80.0	87.9	30.6	60.0	80.9
	Treated at 50℃	38.0	92.2	96.2	48.1	59.5	81.9	42.3	68.2	78.3
	Treated at 70℃	47.0	86.0	93.3	44.4	76.8	91.4	39.0	68.5	90.6
<i>Pinus koraiensis</i>	Treated at R.T.	67.9	94.2	96.7	53.7	85.2	94.2	57.4	70.6	85.6
	Treated at 50℃	64.9	92.9	101.1	56.8	89.1	99.0	63.6	77.0	91.4
	Treated at 70℃	74.2	93.4	100.2	58.3	88.7	96.7	60.5	80.9	95.6
<i>Larix kaempferi</i>	Treated at R.T.	33.3	63.3	83.3	24.1	49.4	70.5	28.1	44.2	60.1
	Treated at 50℃	32.6	62.7	84.8	26.9	64.6	77.7	32.9	56.1	73.1
	Treated at 70℃	30.7	70.0	88.4	23.2	53.5	81.2	30.5	62.0	71.9
<i>Quercus mogolica</i>	Treated at R.T.	22.4	39.4	55.2	17.1	31.5	43.3	19.4	26.9	43.3
	Treated at 50℃	28.3	48.0	60.5	20.7	40.9	53.6	21.9	39.5	53.7
	Treated at 70℃	25.9	51.4	58.4	12.4	32.9	49.7	13.2	24.9	44.2
<i>Quercus variabilis</i>	Treated at R.T.	17.1	33.3	53.3	12.7	24.7	48.1	13.1	30.3	39.4
	Treated at 50℃	19.3	39.4	57.0	16.9	33.5	44.2	21.0	34.4	44.9
	Treated at 70℃	16.0	39.5	60.2	14.4	29.4	46.1	11.6	38.2	33.0

서는 처리온도가 높을수록 벌킹효과가 다소 향상되는 것을 보여주었는데, 이것은 山口 등(1999)의 연구결과와 일치하는 것으로 생각된다.

3.4 목재내의 PEG분포

Fig. 1은 PEG의 X선회절 강도곡선을 나타낸 것으로, 회절각 $2\theta = 19^\circ$ 와 $2\theta = 23^\circ$ 부근에서 PEG결정에 유래하는 강한 피크를 보여주고 있다. 잣나무재의 만재(Fig. 2A)와 조재(Fig. 2B)의 X선회절 강도곡선에서 전형적인 목재 셀룰로오스 결정의 적도선 회절강도 곡선의 피크 이외에 $2\theta = 19^\circ$, $2\theta = 23^\circ$ 부근에서 PEG 결정유래의 피크가 출현하고 있다. 이것은 잣나무재 내부로 PEG가 침투하면서 PEG분자가 결정화되어 강한 X선 회절 강도 피크를 나타내는 것으로 생각된다. 조재와 만재를 비교해 보면 조재가 만재보다 높은 PEG결정 피크를 보여주고 있어 조재가도 관에 더 많은 PEG가 침투되어 존재하는 것을 알 수 있다.

신갈나무재의 공권부(Fig. 3A)와 공권외부(Fig.

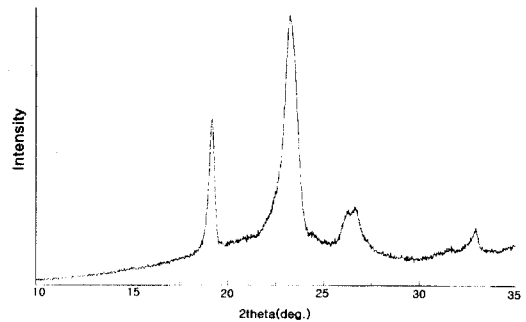


Fig. 1. An equatorial X-ray diffractogram of Polyethylene glycol.

3B)는 전형적인 목재 셀룰로오스결정에서 유래하는 강도곡선을 나타내고 있는데, PEG결정에 유래하는 피크는 보이지 않았다.

이것은 앞에서 나타낸 중량증가율로 설명이 가능할 것으로 생각된다. 즉 잣나무재가 중량증가율이 약 52%인데 반해 신갈나무재는 약 13%를 나타내 상당히 낮은 중량증가율을 보여 주었다. 따라서 잣나무재는 많은 양의 PEG가 세포내강 혹은 세포벽 중에 존재하므로 PEG분자간에 결정화할 수 있는 가능성이 높

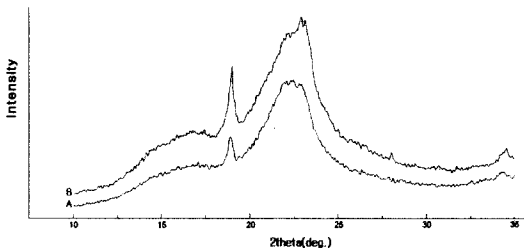


Fig. 2. Equatorial X-ray diffractograms of *Pinus koraiensis* wood treated with 30%-PEG1000 at room temperature; A) latewood, B) earlywood.

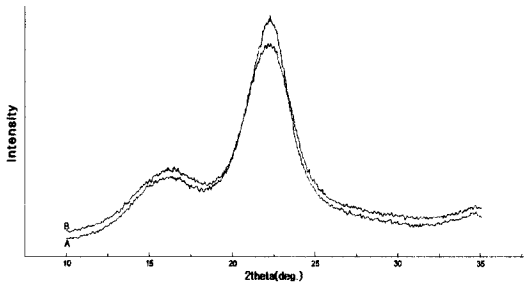


Fig. 3. Equatorial X-ray diffractograms of *Quercus mongolica* wood treated with 30%-PEG1000 at room temperature; A) pore zone, B) non-pore zone.

지만, 신갈나무재내의 소량의 PEG는 결정화되기 어렵기 때문에 생각된다.

4. 결 론

PEG처리에 의한 국내산 주요 소경재의 치수안정성을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 공시수종 모두 PEG처리 농도증가에 따라서 수축률이 감소하였고, 모든 분자량의 30% 수용액에서 좋은 치수안정 효과를 보여주었다. PEG분자량 및 처리온도는 수축률 변화에 크게 영향을 주지 못하였다.
- 2) PEG처리에 따른 중량증가율과 벌킹효과는 PEG처리 농도증가에 따라서 증가하였으며, 침엽수재가 활엽수재보다 높았다.
- 3) 잣나무의 PEG처리재는 만재와 조재 모두 PEG

결정의 피크를 보여주었지만, 신갈나무는 공권부와 공권외부에서 PEG결정 유래의 피크가 나타나지 않았다.

이상의 실험결과에서 전체적으로 농도증가에 따라 치수안정성이 좋게 나타났다. 또한 침엽수재가 활엽수재에 비해 좋은 치수안정 효과를 보여주었는데 그것은 침엽수재가 활엽수재에 비해 3~4배 정도 높은 중량증가율을 보여주어 많은 양의 PEG가 세포내강 혹은 세포벽 중에 존재하여 높은 치수안정 효과를 보여주는 것으로 생각되었다.

참 고 문 헌

1. Stamm A. J. 1959. Effect of polyethylene glycol on the dimensional stability of wood. *Forest Products Journal* 9: 375~381.
2. Tarkow. H. 1966. Interaction of wood with polymeric materials, Penetration versus molecular size. *Forest Products Journal* 16: 61~65.
3. Wallström L. and K.A.H. Lindberg. 1999. Measurement of cell wall penetration in wood of water-based chemicals using SEM/EDS and STEM/EDS technique. *Wood Science and Technology* 33: 111~122.
4. 堀岡邦典, 千葉保人, 内田英三. 1966. 材質改良に關する研究 第20報. ポリエチレングリコールによる寸法安定化處理について. 東京農工大學農學部演習林報告(5): 18~34.
5. 堀岡邦典, 富永洋司, 千葉保人. 1968. 材質改良に關する研究 第21報. ポリエチレングリコールによる寸法安定化處理について(その2). 東京農工大學農學部演習林報告(7): 89~107.
6. 堀岡邦典, 清川伸夫, 千葉保人, 川口正夫. 1973. 材質改良に關する研究 第31報. かてまつ寸法安定化處理について(その1). 東京農工大學農學部演習林報告(10): 139~174.
7. 岡本 一, 増澤文武. 1984. 出土木材, その材質と保存處理. *木材工業* 39(6): 265~271.
8. 鈴木正治, 徳田迪夫 編. 1993. 木質資源材料. 海青社: 19~72.
9. 山口 透, 石丸 優, 浦上弘辛. 1999. 溫度效果から見たPEGによる木材の寸法安定性の發現機構(第1報). *木材學會誌* 45(6): 434~440.
10. 日刊木材新聞社編. 1995. 新しい木質建材. 日刊木材新聞

PEG(Polyethylene glycol)치리에 의한 국내산 주요 소경재의 치수 안정화에 관한 연구

- 社: 145~166.
11. 日本木材學會編. 1993. 木材の科學と利用技術Ⅲ -ズ-パ-ウッド-. 日本木材學會: 1~5.
 12. 佐道 健. 1989. 木材の科學と利用技術 -寸法安定化-. 日本木材學會研究分科會報告書: 520~524.
 13. 김남훈, 권구중, 이현중. 1997. 국내산 소경재를 이용한 목질신소재의 개발에 관한 기초연구. 한국임산에너지학회지 16(1): 79~92.
 14. 산림청. 2000. 임업통계연보: 46~297.
 15. 오정수, 전 철. 1987. 목재의 치수 안정화에 관한 연구, Polyethylene Glycol의 혼합액을 중심으로. 한국임학회지 76(2): 119~126.
 16. 전 철, 오정수. 1985. Polyethylene Glycol의 분자량이 목재의 치수안정화에 미치는 영향. 한국임학회지 71(2): 14~21.
 17. 조남석, 조재명, 배규용. 1975. 폴리에치렌 글리콜-400에 의한 木材의 치수安定化. 목재공업 3(1): 3~15.