

木材의 치수 安定化에 關한 研究¹
—Polyethylene Glycol의 混合液을 中心으로—

吳 正 壽² · 全 哲²

Studies on the Dimensional Stabilization of Wood.¹

—Especially by the Solution of Different Composition
by PEG Molecular Weight—

Joung Soo Oh² · Cheol Cheon²

要 約

본 연구는 闊葉樹材인 층층나무(*Cornus Controversa* Hemsl), 굴참나무(*Quercus variabilis* Blume) 및 산벚나무(*Prunus sargentii* Redher)를 試驗片으로 하여 치수安定化效果를 높일 수 있는 PEG 적정분자량과 混合方法을 혼합비 I, II, III, IV 및 V 중에서 찾는 데 그 목적이 있었으며 실험결과는 다음과 같았다.

1. 木材內 PEG 注入率은 비중에 따른 영향을 받았으며 굴참나무를 제외하고 만족할만한 주입율을 나타내어 적정혼합방법은 PEG V임을 알았다.
2. PEG V용액에서의 膨潤效果는 층층나무, 산벚나무에서 높았으며, 굴참나무의 膨潤效果를 높이기 위해서는 防水性藥劑의 塗裝이 필요하다.
3. PEG V용액에서 산벚나무가 82.59%로 가장 높은 抗收縮能을 보였고 굴참나무가 62.79%로 가장 낮은 값을 보여 주었다.
4. 闊葉樹材의 치수安定化는 PEG의 혼합방법에 따라 커다란 차이를 나타내지 않았다.
5. 이상과 같은 실험결과를 종합 분석한 결과 비중이 높은 闊葉樹材의 경우에는 PEG-400과 PEG-1000으로 혼합하되 외부인자를 충분히 고려할 필요가 있다.

ABSTRACT

This study was carried out to elucidate the desirable PEG molecular weight and its blending methods which can promote the dimensional stabilization of *Cornus controversa*, *Quercus variabilis* and *Prunus sargentii*.

The results may be summarized as follows:

1. PEG polymer loading in woods was affected by specific gravity of wood. And the PEG polymer loading was satisfactory except in *Quercus variabilis*, which shows the blending method of PEG V was proper.
2. Bulking coefficient of PEG V was high in *Cornus controversa* and *Prunus sargentii*, and it is necessary to paint or coat water-proofing wood preservative for high bulking coefficient of *Quercus variabilis*.
3. In the treatment of PEG V, the antishrink efficiency of *Prunus sargentii* was 82.59% and that of *Quercus variabilis* 62.79%.

¹ 接受 4月 20日 Received on April 20, 1987

² 圓光大學校 農科大學 College of Agriculture, Won Kwang University, Iri, Korea

4. Dimensional stabilization of hardwoods did not have apparant relation with PEG blending method.
5. Judging from results, PEG-400 and PEG-1000 would be enough for dimensional stabilization of hardwood having high specific gravity if other factors are considered well.

Key words: PEG blending method; dimensional stabilization; molecular weight.

緒 論

木材는 물리적이나 화학적 방법으로 변형시킬 수 있으며 그 자체를 결합할 수도 있다. 그러나 이러한 변형이나 결합을 통하여 木材 자체가 가지고 있는 결합을 어느 정도 개선했느냐에 따라 그 목재의 용도상 적합여부가 판정된다. 실제로 목재는 cellulose, polyoses 및 lignin으로 구성된 天然高分子複合體로서 異方性 吸濕性 吸水性을 지니는 물론 解剖學的 구조 및 物理學的 성질이 매우 복잡한 물질이다. 많은 연구 결과에 의하면 木材 자체가 가지고 있는 收縮 및 膨脹의 결합은 상당한 정도까지 개선될 수 있다. 이와 같은 材質改良은 木材 고유의 아름다움과 부드러움은 물론이고 木製品의 치수 安定性을 한층 높여 주어 木材加工時 제품의 質과 수명을 연장시켜 준다. 그리고 木材資源의 절약과 효율적인 이용을 초래해 木材需要量의 80% 이상을 外材에 의존하고 있는 현 실정의 타개책이 되기도 할 것이다. 따라서 본 연구는 木材의 효율적인 이용을 위하여 木材의 치수 安定化를 피하고저 實驗的으로 입증된 Polyethylene Glycol(PEG)의 分子量中 著者의 실험논문³⁾에서 집중적인 연구가 요구된 PEG 혼합비율에 따른 치수 安定化를 피하고저 PEG-200, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 4000, 6000의 적정 혼합비율을 찾는데 그 목적이 있다.

研 究 史

용적처리방법으로 치수 安定化를 피하고저 高分子化合物을 이용한 것은 Backeland(1909)¹⁾가 phenolic resin을 木材에 주입 처리한 것을 효시로 Loughborough(1948)¹⁶⁾가 diethylene glycol을 사용하여 木材의 화학적 건조를 시도하였다. 그 이후부터 polyethylene glycol은 치수 安定劑로서 많은 관심을 끌기 시작하였으며 Stamm(1956)²⁸⁾(1964)³¹⁾은 PEG-1000이 木材內 浸透가 용이하고 抗收縮率도 가장 좋았음을 밝혔고 Mitchell

(1959)¹⁷⁾, (1961)¹⁸⁾, (1962)¹⁹⁾, (1963)⁷⁾ 등도 PEG-1000이 木材木刻製品의 乾燥時 割裂 彎曲 등의 방지를 위한 抗收縮劑로서의 효과를 증명하였으며 호도나무 原板材를 이용하여 PEG 처리 스케줄을 만들기도 하였다. 그리고 Stamm(1959)²⁸⁾ 및 Pankiewicz(1968)²³⁾은 PEG 처리濃度 및 그 浸透 정도에 비례하여 처리효과도 증대됨을 확인하였다. 산업적 규모로의 실제적인 이용은 1962년 미국 임산물연구소의 Dawson(1962)⁶⁾ 등에 의하여 총개머리판의 PEG 처리에 적용되었으며 木材乾燥時 발생하는 割裂 變形 등 여러 가지 결합을 개선하기 위한 前處理劑로서 실용화 되었다. 그리고 Kenaga(1963)¹¹⁾에 의하면 PEG는 水溶性 물질이기 때문에 처리할 木材는 纖維飽和點이하라야 좋은 효과를 얻을 수 있다고 했으나 후에 纖維飽和點 이상의 木材를 약 60℃로 처리할 경우 역시 만족스런 결과를 얻을 수 있다고 보고 하였다. Moren(1965)²¹⁾은 10~20%의 PEG-400 처리에 의해 소나무單板의 觸斷收縮率을 30~55% 減少시켰으며, Nanno(1965)²²⁾ 등은 삼나무用材의 치수 安定化를 위해 PEG를 처리한 후 耐水性 塗裝을 하여 PEG를 고정할 필요가 있다고 하였다. Bryant(1966)²⁾에 의하면 PEG는 물에 잘 녹고 증기압이 낮으며 phenolic resin과는 달리 가열에 의해 重合反應을 나타내지 않으며 細胞壁에 왁스와 같은 상태로 잔존하여 木材를 膨潤狀態로 유지한다고 보고 하였다. Sadoh(1967)²⁵⁾는 PEG 처리재의 彈性 및 粘彈性 거동을 밝혔고 Sadoh(1968)²⁶⁾ 및 Stamm(1968)³²⁾은 PEG가 치수 안정에 미치는 영향을 조사하기 위하여 細胞壁과 細胞內腔 사이에서의 PEG 이동과 細胞壁 PEG complex의 吸濕性에 대한 연구를 통해 치수 安定機構를 밝혔다. Kitani(1970)¹⁴⁾ 등과 Ishimura(1976)⁹⁾는 膨潤木材에 있어서 PEG의 흡착에 따른 分子量의 의존성에 대해 밝혔으며 Hallock(1972)⁸⁾ 등은 PEG-1000에 의한 단풍나무 마루판의 처리 스케줄을 확립하였다. 그리고 Sadoh와 Hashihira(1973)²⁰⁾는 PEG-200~2000으로 일본산 자작나무를 처리하여 그

膨潤機轉를 구명하였다. 한편 우리나라의 趙(1975)⁴⁾ 등은 PEG-400으로 국내산 闊葉樹材 6樹種을 처리하여 비중이 낮을수록 또 처리온도가 높을수록 注入率이 높았으며 치수 安定效果도 그와 비례함을 밝혔다. 또한 PEG는 다른 高分子에 의한 複合體 제조시와는 달리 注入率에 따라 모든 기계적 성질의 감소를 가져왔는데 그중 인장강도가 22.83~36.83%의 강도減少率을 초래하여 다른 기계적 성질의 減少率보다 조금 높게 나타났다고 보고하였다. Ishimura(1977)¹⁰⁾ 등은 PEG 分子量의 선택성에 관해 보고 하였다. 木材遺物の 保存을 위해 金(1977)¹³⁾ PEG-2000을 열을 가해 용해시킨 다음 溶液을 목재 표면에 도포하여 목재 내부까지 침투시킨 후 다시 PEG-4000을 용해시켜 표면에 도포 경화시켜 保存하게 되면 표면의 색이 검게 되고 약간의 광택을 내는 결점이 있다고 보고 하였다. 따라서 PEG를 이용한 文化財保存도 아직은 완전하게 체계화되지 않았음을 알 수 있다. 그후 金(1985)³⁾ 등은 針·闊葉樹로 區分하여 PEG의 분자량별로 처리했을 때 치수 安定化效率은 針葉樹材보다 闊葉樹材가 월등히 높다고 보고하면서 일반적으로 분자량이 작을수록 우수하였으나 분자량 4000 이상에서는 별로 차이를

나타내지 않았다고 보고한 바 있다.

材料 및 方法

1. 材 料

1) 供試樹種

본 실험에 사용된 供試樹種은 圓光大學校 農科大學 演習林(全北 鎭安郡 聖壽面 重吉里 山14-1番地)에서 채취하였으며 그 일반적 성질은 Table 1과 같다.

2) 供試材의 調製

供試原本은 흉고직경 양부위에서부터 25 mm 정도의 크기로 횡절하고 3단면의 방향이 뚜렷이 나타나도록 30(R) × 20(T) × 20(L)mm의 크기로 조제하여 연마하였으며 邊材率이 80% 가량 되게 조제하였다.

3) 試驗片의 수량

PEG 혼합액별 및 수종별로 각각 10개씩 조제하였으며 樹種別로 PEG 無處理用 試驗片 역시 10개씩 조제하였다.

4) 치수 安定劑

치수 安定劑로는 環狀 ethylene oxide의 重合物

Table 1. Characteristics of sample woods tested

Species	Properties						
	Aspect	Slope (°)	Altitude (m)	Height (m)	Aver D. B. H. (cm)	Sp. Gr. (O. D. basis)	M. C. (A. D. basis)
<i>Cornus controversa</i> Hemsl.	SE	5	350	5.4	16.2	0.65	13.4
<i>Quercus variabilis</i> Blume.	S	20	400	14.5	10.4	0.87	12.6
<i>Prunus sargentii</i> Rehder.	SE	10	350	6.0	12.5	0.74	13.8

Table 2. Characteristics of PEG

Reagent	Aver. mol. wt. range	Freezing range (C)	Specific gravity	Viscosity (centistokes at 210 F)	Solubility (%)	mixture ratio	Classification
PEG - 200	190-210	—	1.127	43	100	30	I
- 6,000	7,000-9,000	56-63	1.210	470-900	50	20	
PEG - 400	380-420	4-8	1.128	7.3	100	30	II
- 4,000	3,000-3,700	54-58	1.212	76-110	50	20	
PEG - 600	570-630	20-25	1.128	10.5	100	30	III
- 2,000	1,900-2,100	50-53	1.120	—	62	20	
PEG - 1,000	950-1,050	38-41	1.117	17.4	70	30	IV
- 1,500	1,300-1,600	44-48	1.210	25-32	70	20	
PEG - 400	380-420	4-8	1.128	7.3	100	30	V
- 1,000	950-1,050	38-41	1.117	17.4	70	20	

(-CH₂CH₂O)_n로서 重合度에 따라 액상(n = 5 ~ 15)과 고형상(n = 23 ~ 200)으로 분류할 수 있는 일급 Polyethylene Glycol(Wako : Pure chemical industries Ltd. Japan)을 木材內로의 침투성과 PEG의 특성을 고려하여 Table 2와 같은 용적비를 적용하였다.

2. 實驗方法

1) 試驗片의 測定

試驗片의 3 단면의 중앙부에 표선을 한 후 통풍이 잘 되는 실내에서 함수율 10 ~ 15%에 이르도록 陰乾시키고 실온상태에서 3 단면의 표선의 길이와 중량을 정밀도 0.01 mm의 micrometer 와 정밀도 0.1 mg 인 electronic analytical balance 로 측정했다.

그리고 곧바로 증류수에 48 시간동안 침지시킨 후 다시 표선의 길이와 중량을 측정하였다.

2) PEG 처리

곧 이어 준비된 PEG 용액 I, II, III, IV, V에 각각 3 수종의 試驗片 10 개씩을 구분하여 恒溫器內에서 60 ± 2°C로 72 시간 동안 충분히 침지시킨 후 흡수지로 試驗片 表面에 남은 잉여분의 PEG 액을 제거하고 3 단면의 길이 변화 및 중량 변화를 측정하였다. 그리고 24 시간 동안 방치 후 다시 乾燥器內에서 103 ± 2°C로 48 시간 동안 全乾시킨 후 3 단면의 PEG 처리 試驗片을 室溫狀態에서 증류수에 침지 처리시켜 24 시간 방치 후 꺼내어 表面의 수분을 흡수지로 닦아낸 다음 길이 및 중량변화를 조사하였다. 이때 無處理材 試驗片은 PEG 混合液에 침지시키는 과정을 제외하고는 위와 동일한 조건으로 각각의 변화율을 조사하였다.

3) PEG 혼합액에 처리한 試驗片의 효과 분석

각 수종별로 PEG 혼합액별에 따른 치수 및 중량 부피를 각각 구한 후 10개의 시험편으로 산술평균한 값을 前報(1985)³⁾의 방법과 동일하게 측정 조사하였다.

結果 및 考察

1. PEG 注入率

PEG 용액이 木材의 微細構造 속으로 확산하여 스며 들어가 木材內에서 일으키는 고정작용은 木材細胞膜의 格子狀微細構造 속에 흡착되어 있는 수분을 PEG 분자가 스며 들어가 치환하는 것이므로 木

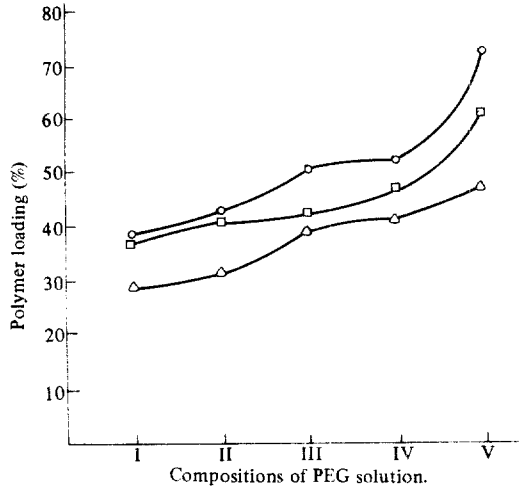


Fig. 1. Relation between the composition of PEG solution and polymer loading.

- : *Cornus controversa*.
- △ : *Quercus variabilis*.
- : *Prunus sagentii*.

材 자체의 침투성과 처리농도 및 비율은 PEG 주입 처리시 많은 영향을 받는 것으로 보고된 바 있다.^{6,20} 따라서 본 실험은 含水率 處理溫度 處理濃度 등을 일정하게 하고 PEG 注入率을 조사하였던 바 그 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 비교적 비중이 높은 闊葉樹材는 Taneda 등(1979)²⁴⁾ 趙 등(1975)²⁾ 과 全 등(1985)³⁾ 이 보고한 바와 같이 針葉樹材보다 낮은 注入率을 나타냈지만 PEG V용액에서 총 침나무는 72.46%의 PEG 注入率을 나타냈으며 비중이 가장 높았던 椴나무 試驗片은 46.54%로 가장 낮은 注入率을 나타냈다. 그리고 일률적으로 PEG V용액에서 樹種別로 가장 높은 注入率을 나타내어 低分子량과 高分子量의 혼합보다도 비교적 低分子에 속하면서 分子量의 차이가 적은 PEG 혼합 용액에서 높은 注入率을 나타냄으로서 단일분자량의 PEG 注入率보다 높은 注入率을 나타냈다. 이와 같은 현상은 PEG-400과 PEG-1000의 分子量이 細胞壁 및 細胞腔에 고르게 침투할 수 있었기 때문이며 PEG 처리시 全乾을 시켜도 쉽게 용탈되지 않았기 때문이다. 반면에 PEG I의 용액으로 처리한 試驗片의 橫斷面에 PEG 잉여분이 많이 남아있는 것은 확산에 의해 저분자인 PEG-200의 분자가 木材內에 침투한 후 고분자인 PEG-6000이 被膜을 형성하면서 잉여분으로 남아있는 것으로 사료된다. 이러한 현상은 表面의 왁스성을 높여 주기는 하나 실제로는 木材內에 注入된 低分子가 대기 중에 노

출되면 쉽게 용출되기 때문에 PEG 注入率로서 표면의 가공처리 여부를 결정한다는 것은 신중히 검토해야 할 것으로 사료된다.

2. 膨潤效果

膨潤效果(부피膨潤率)는 細胞壁의 膨潤劑로서 이용되는 PEG를 사용하여 木材의 微細構造인 macro-fibril 사이에 이를 침투시켜 膨潤된 狀態로서 木材의 寸數 安定을 기하고자 하는 것으로서 PEG 分子가 木材細胞壁으로 확산되면서 細胞壁에 흡착되어 있던 分子가 PEG 용액 속으로 확산되는 상호 확산작용에 의해 木材의 微細構造까지 침투하게 되는 바 처음에는 水分자의 확산이 활발하여 확산속도의 차이가 생겨 탈수현상이 일어나 오랫동안 용액속에 침지해 두면 纖維飽和點 이상으로 되어 平衡狀態를 이룬다고 설명하고 있다.²⁴⁾ 이때 膨潤效果는 膨潤劑의 농도와 분자량에 따라 달라지나 PEG 처리시 木材의 흡수율이 가장 큰 영향을 주는 바 Sadoh와 Hashihira(1973)²⁷⁾는 纖維飽和點 이상의 木材를 PEG 수용액에 침지해야 양호한 결과를 가져온다고 보고하고 있으며 Sadoh(1968)²⁸⁾는 PEG 200 ~ 2000을 사용하여 木材의 膨潤에 대한 실험을 한 결과 70 ~ 80%의 수용액 중에서 木材가 최대의 膨潤을 나타낸다고 보고 하였다. 이와 같은 조건을 충분히 만족시켜 주기 위하여 본 실험에서는 시험편

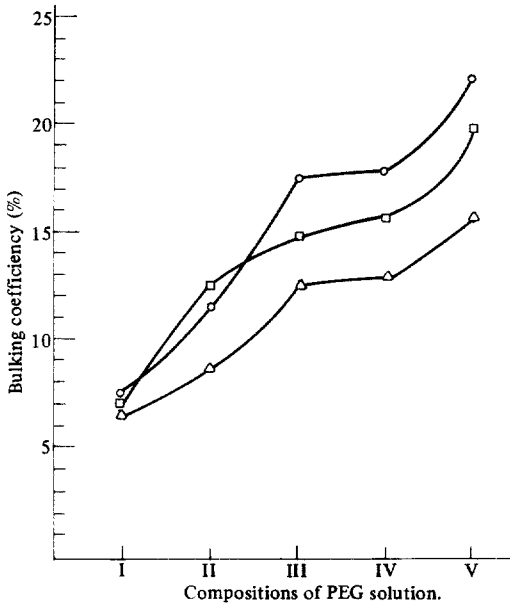


Fig. 2. Relation between the composition of PEG solution and bulking coefficient.

을 48 시간 동안 증류수에 침적한 후 PEG I, II, III, IV, V 용액을 처리한 결과는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 樹種別로는 PEG V용액에서 총참나무가 21.4%로서 3수종 가운데 가장 높은 膨潤效果를 나타냈는데 PEG 注入率과 비례함을 보여 주었으며 굴참나무가 용액에 관계없이 가장 낮은 膨潤效果를 보여 주었는데 이는 導管內腔에 흔히 존재하는 tylosis의 영향을 받아 PEG 注入率이 낮은 원인이 있겠지만 *Quercus*類가 갖는 특징인 放射組織이 발달하여 쉽게 水分자와 PEG 분자가 함께 용출되었기 때문이다. 그러므로 *Quercus*類와 같은 解剖學的 성질을 가지고 있는 樹種은 PEG의 용출을 막기 위해서는 PEG 처리 후 防水性藥劑로 塗裝하면 효과가 있을 것으로 思料된다.

3. 抗収縮能

木材가 收縮과 膨潤을 일으키는 주요 원인은 細胞壁內에 있는 吸着水와 毛管凝縮水의 증감에 기인된다. 이때 細胞壁을 구성하고 있는 주성분인 cellulose는 강한 친수성을 나타내는 glucose가 線狀으로 결합되어 있고 인접한 chain 사이에 水素結合과 반데르발스힘이 작용하여 結晶化되면서 fibril을 형성한 다음 수축狀의 micelle을 형성하고 macro-fibril까지 형성하게 된다.^{5,12,15)} 이때 우수한 유리수산기들은 서로 인접고리와 강하게 결합이 되어 규칙바르게 배열하고 밀도가 큰 結晶性을 보여 주는 結晶質領域과 수소결합을 하지 않은 非結晶質領域이 생기게 되는데 결정질영역은 化學的 不活性領域인 반면 비결정질영역은 活性領域으로서 물이 쉽게 침투 흡수되어 膨潤現象을 일으키게 된다. 이때의 膨潤現象은 木材의 구조적 성질에 기인된 것으로 이를 줄이기 위해서는 미리 木材를 膨潤시켜 주위의 關係濕度 변화에 따른 收縮과 膨潤을 방지, 감소시켜 그 효과를 얻어야 한다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 산벚나무가 PEG V 용액에서 82.59%의 좋은 抗収縮能(부피膨潤減少率)을 보여 주었으며 PEG III, IV 용액으로 처리했을 때도 역시 50% 이상의 효과를 보여 주고 있는데 이는 Stamm(1962)³⁰⁾, (1968)³²⁾이 우수한 水溶性膨潤劑로 인정한 바와 같다. 이와 같은 현상은 PEG 注入率 및 膨潤效果에서 언급한 바와 같이 細胞壁內로의 高分子浸透 용이성에 의한 것으로 思料되며 Stamm(1977)³³⁾의 연구 결과에서 보고한 것처럼 PEG 分子量 1000은 注入이 용이하고 抗収

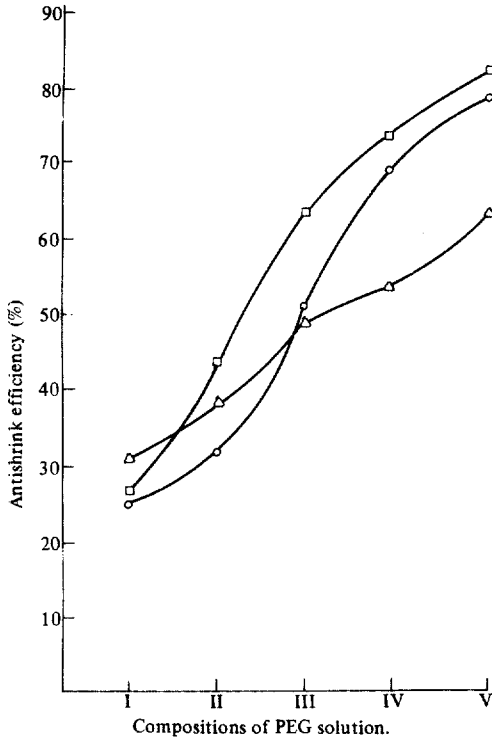


Fig. 3. Relation between the composition of PEG solution and antishrink efficiency.

縮能이 높아 效用的인 것으로 밝혀졌다. 대체로 闊葉樹材는 비중이 커 膨潤의 가능성이 높으므로 抗收縮能의 효과가 큰 것으로 생각되며 趙(1975)⁴⁾ 등의 PEG 注入率 60% 이상 달했을 때 抗收縮能이 급격한 증가를 보인다는 보고와는 달리 본 실험에서는 PEG 注入率과 일정한 관계를 나타내지 않았으나 비중과는 밀접한 관계를 보여 주었다.

4. 치수 安定化 效率

PEG 混合液 및 樹種別 치수 安定化를 정확히 분석하기 위하여 각 PEG 注入率에 대한 抗收縮能의 비를 구하였던 바 Fig. 4와 같았다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 PEG 混合液別 樹種別로 커다란 치수 安定化 效率을 나타내지는 않았으며 氣乾比重이 가장 큰 굴참나무는 모두 1.00 이하로서 치수 安定의 效果가 가장 적었는데 이는 낮은 PEG 注入率과 抗收縮能에 기인된 것이며 PEG 混合液別 치수 安定化 效率은 I, II 용액과 같이 저분자와 고분자를 혼합한 용액은 IV, V 용액과 같이 분자량의 차이가 적은 혼합용액보다 컸는데 이는 PEG 注入率이 적었기 때문인데 그 이유는 저분자량의 PEG는 細胞壁

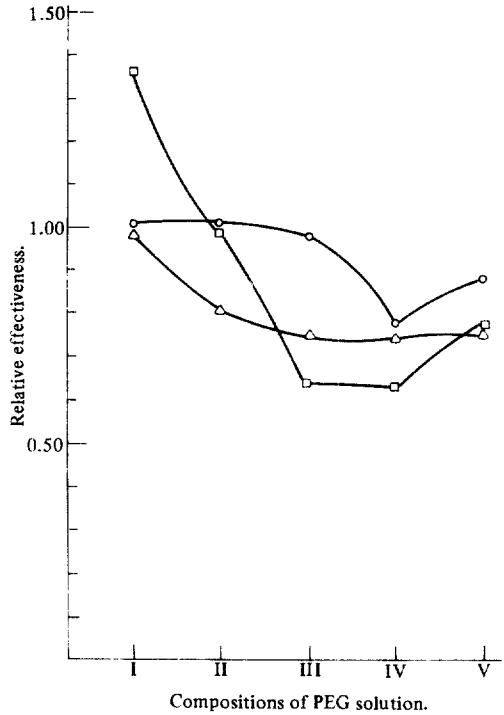


Fig. 4. Relation between the composition of PEG solution and relative effectiveness.

에 침투했어도 쉽게 용출되어 버린 반면 고분자의 PEG는 극히 일부만이 細胞壁에 흡착된 상태이기 때문에 대기의 온도변화에 쉽게 용출될 확률이 많다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 細胞壁과 細胞腔에 고르게 PEG 注入率을 높여 주어야 하는데 이때 그 수종의 비중과 해부학적 성질 등 외부인자가 관여하게 되며 PEG의 적정분자량의 혼합과 그 比率 및 濃度 등이 충분히 고려되어야 한다.

위와 같은 여러 요인을 고려해 본다면 오히려 용액 IV, V가 치수 安定化 效率이 높은 것으로 생각되어지며 PEG 處理材의 關係濕度下에서의 乾燥 스케줄^{15,20)}과 接着劑의 개발, 야외에서 PEG 處理材 사용시 토양과 접해 있는 부분의 防濕 防腐效果를 높일 수 있는 藥劑開發¹⁵⁾이 이루어진다면 PEG 혼합용액 IV, V로서도 충분히 경제성을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

引用 文 獻

1. Backeland, L. H. 1909. The synthesis, constitution, and uses of bakelite. Jour. Ind. & Eng.

- Chem. 1: 149-161.
2. Bryant, B. S. 1966. The chemical modification of wood from the point of view of wood science and economics. *FPJ*. 16(2): 20-27.
 3. 全哲, 吳正壽. 1985. Polyethylene Glycol 의 分子量이 木材의 치수 安定化에 미치는 影響. 韓國林學會誌. 71: 14-21.
 4. 趙南奭, 趙在明, 裴圭用. 1975. 폴리에틸렌 글리콜 - 400 에 의한 木材의 치수 安定化. 목재공업 3(1): 20-27.
 5. Chudnoff, M. & E. Goytia. 1967. Dimensional stabilization of tropical hardwoods with PEG. *Turrialba* 17(2): 208-214.
 6. Dawson, R. E., E. G. Usher & H. L. Mitchell. 1962. Stabilized wood gunstocks in marine corps marksmanship competition. *USDA, For. Ser. FPL, Rep.* 2245: 1-11.
 7. Englorth, G. H. & H. L. Mitchell. 1963. New horizons in bowl turning. *FPJ*. 13(2): 48-49.
 8. Hallock, H. & E. Bulgrin. 1972. Stabilization of hard maple flooring with PEG-1000. *USDA, For. Ser. Rep.* 187: 1-8.
 9. 石丸優. 1976. 膨潤木材へのポリエチレングリコール의 吸着(第 1 報). 木材學會誌. 22(1): 22-28.
 10. 石丸優, 高橋靖司. 1977. 膨潤木材へのポリエチレングリコール의 吸着(第 2 報). 木材學會誌. 23(9): 451-458.
 11. Kenaga, D. L. 1963. Effect of treating conditions on the dimensional behavior of wood during PEG soak treatments. *FPJ*. 13(8): 345-349.
 12. _____. 1966. Unusual chemical improves wood properties. *FPJ*. 16(2): 21-26.
 13. 金炳虎. 1977. 木材, 金屬, 石材遺物保存處理에 對한 一般的 考察. 文化財. 11: 35-55.
 14. 木谷良明, 大澤純二, 中戸莞二. 1970. 膨潤木材へのポリエチレングリコール吸着における 分子量依存性. 木材學會誌. 16(7): 326-333.
 15. 李弼宇. 1974. 木材의 치수安定劑 「폴리에틸렌글리콜(PEG)의 性質과 利用. 목재공업. 2(1): 19-22.
 16. Loughborough, W. K. 1948. Its effectiveness and present status. *USDA, For. Ser., FPL Rep.* 1721: 13.
 17. Mitchell, H. L. & H. E. Wahlgren. 1959. New chemical treatment curbs shrink and swell of walnut gunstocks. *FPJ*. 9(12): 437-441.
 18. _____. & E. S. Iversen. 1961. Seasoning green wood carvings with PEG-1000. *FPJ*. 11(1): 6-7.
 19. _____. & E. W. Fobes. 1962. Protect imported carvings with PEG. *FPJ*. 12(10): 476-477.
 20. Mitchell, P. H. & H. M. Barnes. 1986. Effect of drying temperature on the clear wood strength of southern pine treated with CCA-Type A. *FPJ*. 36(3): 8-12.
 21. Moren, R. 1965. PEG impregnation of wood and its effect in wood drying and wood working. *Holz als roh - und werk - stoff*. 23(4): 142-152.
 22. 南野竹男, 三島茂次, 奥井鉄男. 1965. スキー用材の寸法安定性を目的としたポリエチレングリコール處理. 木材工業. 20(4): 19-25.
 23. Pankiewicz, E. R. 1968. Control of shrinkage in Australian timbers. *CSIRO Div. For. Prods. Tech. No.* 54: 12.
 24. Rowell, R. M. & R. L. Youngs. 1981. Dimensional stabilization of wood in use. *USDA, For. Ser., Research Note.* FPL-0243: 1-8.
 25. 佐道健. 1967. ポリエチレングリコール處理過程における木材の寸法變化と處理木材の 2, 3 の彈性的 性質. 木材學會誌. 13(2): 41-45.
 26. _____. 1968. ポリエチレングリコール處理による木材の寸法安定化の機構. 木材學會誌. 14(7): 353-357.
 27. Sadoh, T. & M. Hashihira. 1973. A note on the swelling of wood with polyethylene glycol. *Bull. Kyoto. Univ.* 45: 227-237.
 28. Stann, A. J. 1956. Dimensional stabilization of wood with carbowaxes. *FPJ*. 6(5): 201-205.
 29. _____. 1959. Effect of polyethylene glycol on the dimensional stability of wood. *FPJ*. 9(10): 375-381.
 30. _____. 1962. Stabilization of wood - a view of current methods. *FPJ*. 12(4): 158.
 31. _____. 1964. Factors affecting the bulking

- and dimensional stabilization of wood with polyethylene glycols. FPJ. 14(9) 403-408.
32. _____. 1968. Penetration of cell wall of water saturated wood and of cellophane by polyethylene glycols. TAPPI 51(1): 62.
33. _____. 1977. Dimensional changes of wood and their control. Wood Technology, chemical aspects, ACS symposium series 43: 115-140.
34. 種田健造, 川上英夫, 石田茂雄, 大谷 淳. 1979. WPC 内 ポリマーの觀察(第 1 報). 木質部の溶解と分離したポリマーの形態. 木材學會誌. 25 (3) : 209-215.