

PEG처리재의 특성

권 구 중, 권 성 민, 김 남 훈
(강원대학교 산림과학대학)

1. 서론

현재 우리나라의 목재수요에 대한 공급은 주로 수입재에 의존하고 있다. 최근의 자료¹⁾를 보면 1999년도 국내 목재공급량중에서 수입재(원목기준)가 총 공급량의 80%를 차지하고 있으며, 국내재는 총 공급량의 20%에 불과하다. 그 중 국내재의 전체 생산량의 약 75%정도가 III영급이하인(~30년생) 말구직경이 15cm이하의 소경재이다. 이들 소경재는 대부분이 미성숙 재로 이루어져 있어 수축, 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^{2,3)}. 그 중에서 Polyethylene glycol(PEG)처리하는 초기 함수율이 높은 생재에 PEG수용액을 침투시켜 벌킹효과에 의해 목재를 팽윤상태로 유지시키는 방법으로서 처리비용이 저렴하고, 조작이 간단하면서도 높은 치수안정성을 부여하는 것으로 생각되고 있다⁴⁾.

목재의 치수안정화를 위해 PEG가 이용되어진 것은 Stamm⁵⁾이 목재 건조시 횡단면의 건조할렬 방지를 위해 southern pine 원판에 PEG 1000의 30%수용액으로 주입 또는 도포한 결과, 수축률이 감소되고 할렬이 발생되지 않았다고 보고한 이래로 지금까지 계속해서 많은 연구가 되고 있다. Tarkow 등⁶⁾은 용질배제법에 의한 Non-Solvent Water(NSW)의 정량에 의해서 분자량 3000 이상의 PEG는 목재의 일시공극 중에 침입할 수 없다는 결과를 보고하였다. 堀岡 등⁷⁾은 너도밤나무재의 실험에서 PEG 함침율 25%정도가 최대의 항수축율(ASE: Anti-Shrinkage Efficiency)과 항팽윤율(AE: Anti-swelling Efficiency)을 나타내는 것을 밝혔고, Wallström 등^{8,9)}은 *Pinus sylvestris*재와 potassium으로 염색된 PEG사이의 상호작용을 이용하여 조사한 결과 X선 회절법으로 PEG처리된 목재에서 주입된 시료에서 PEG가 free상태로 존재하는 것을 밝혔고, STEM/EDS를 이용하여 생재상태인 목재를 처음 건조할 때 형성된 microcrack들로 인하여 화학물질이 세포벽에 균일하지 않게 분포되었음을 보고하였다.

따라서 국내산 소경재의 보다 효율적인 이용을 위하여 치수안정성 증대 방안을 모색하고자 이전에 다양한 조건으로 PEG처리한 목재의 치수안정성을 수축률, 중량증가율, 벌킹효과와 관련하여 보고^{10,11)}하였고, 또한 PEG처리재의 역학적 성질¹²⁾과 치수안정성에 대한 기구¹³⁾에 대해서 발표하였다. 본 연구에서는 PEG처리한 침, 활엽수재의 특성에 대해 전반적으로 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

본 실험에 사용한 공시재는 Table 1과 같으며, 흉고직경 20cm이하의 임목을 벌채하여 이용하였다.

Table	1.	Sample	trees
	Species	Tree Age	Locality
Softwood	<i>Pinus densiflora</i> S. et Z.	35	Chunchon, Kangwon
	<i>Pinus koraiensis</i> S. et Z.	24	Chunchon, Kangwon
	<i>Larix kaempferi</i> CARR.	21	Chunchon, Kangwon

Hard wood	Ring porous wood	<i>Quercus mongolica</i> FISCH	22	Chunchon, Kangwon
		<i>Quercus variabilis</i> BLUME	31	Chunchon, Kangwon
		<i>Fraxinus rhynchophylla</i> HANCE	38	Chunchon, Kangwon
		<i>Paulownia coreana</i> UYEKI	9	Chunchon, Kangwon
	Diffuse porous wood	<i>Prunus sargentii</i> REHDER	22	Chunchon, Kangwon
		<i>Betula davurica</i> PALL	19	Chunchon, Kangwon
		<i>Populus tomentiglandulosa</i> T. LEE	12	Chunchon, Kangwon
		<i>Cornus controversa</i> HEMSLEY	44	Chunchon, Kangwon

PEG는 시중에 판매되고 있는 Kanto Chemical社의 분자량 1000, 2000, 4000인 것을 사용하였다.

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 가급적 변재부에서 채취하여 제작하였다.

2.2.2 PEG處理

제작된 시편들은 105℃에서 24시간 전건시킨 후 각 방향별 치수와 중량을 측정하였다. 그 후 감압용 수조내에서 증류수에 침지하여 30분동안 감압주입을 실시하고, 1주일동안 방치시켜 포수상태로 한 후 각 방향의 치수 및 중량을 측정하였다. PEG수용액은 분자량 1000, 2000, 4000인 것을 이용하여 증량비 10%, 20%, 30% 농도의 수용액을 제조하였다. 포수상태인 시료를 여러 농도의 PEG 수용액에 침지한 후 상온, 50℃, 70℃에서 각각 1주일동안 처리 후 치수 및 중량을 측정하였다. 이 때 시료에 묻어있는 과잉의 PEG는 종이로 닦아낸 후 실시하였다. 그 후 60℃에서 3일 동안 건조시킨 후 다시 치수 및 중량을 측정하였다.

2.2.3 PEG 처리재의 치수안정성 평가

PEG처리에 의한 치수안정성을 평가하기 위하여 이전에 보고¹⁴⁾한 방법으로 수축률, 증량증가율(Weight Gain : W.G.), 벌킹 효과(Bulking Effect : B.E.)를 계산하였다.

2.2.4 역학적 성질 측정

실내에서 장기간 조습된 시료를 한국산업규격(KS F 2206, 2208, 2209, 2211)의 규정에 따라 휨강도, 종압축강도, 전단강도를 측정하였다. 사용된 강도측정기는 United Calibration社의 UTM(United Testing Mechine : Model STM-20)으로 측정하였다. 하중속도는 10mm/min이었다. 또한 역학적 성질의 변이를 최소화하기 위하여 횡단면상의 연륜수, 기건밀도, 함수율을 측정하였다.

2.2.5 SEM에 의한 관찰

PEG처리된 방사·접선방향 수축률 시편의 횡단면을 활주식 마이크로톰으로 포삭하였다. 제작된 시편은 SEM용 시료대에 도전성 접착제로 접착시킨 후 ion sputter coater(SEM auto coating unit E 5200)를 사용하여 18mA에서 약 3분간 Au 증착하였다.

SEM관찰은 Au 증착된 시편을 강원대학교 공동실습관에 설치된 주사전자현미경(Jeol, Model JMS- 5410)으로 20kV의 가속전압하에서 실시하였다.

2.2.6 X선회절법을 이용한 목재내의 PEG분포 분석

목재내의 PEG 분포를 분석하기 위해 각 수종별로 PEG 처리재를 1mm(R), 10mm(T),

20mm(L)의 치수로 제작하여 X선 회절실험에 이용하였다. X선 회절장치는 RIGAKU社의 DMAX 2100V를 사용하였고, X선은 Ni filter로 단색화한 CuK α 선($\lambda=0.1542\text{nm}$)를 사용하였으며, 조작조건은 40kV, 40mA였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PEG처리재의 치수안정성 평가

3.1.1 수축율

본 실험에 사용된 공시수종 모두 PEG 처리에 의해 수축률이 크게 감소하였다. 또한 PEG 농도가 증가할수록 수축률이 감소하여 30% 수용액으로 PEG처리한 경우가 수축률이 가장 작았다.

침엽수재의 경우 PEG처리에 의해 잣나무가 수축률이 가장 작았고, 소나무, 일본잎갈나무 순으로 나타났다. 활엽수재는 은사시나무가 수축률이 가장 작았고, 오동나무, 층층나무, 물박달나무, 산벚나무, 물푸레나무, 신갈나무, 굴참나무 순으로 나타났다.

침엽수재와 활엽수재를 비교해 보면 침엽수재가 활엽수재에 비해 PEG처리에 의해 수축률이 크게 감소하였고, 활엽수재 중에서 산공재 수종들이 환공재 수종보다 수축률이 더 작았다. PEG 분자량은 침, 활엽수재의 수축률에 거의 영향을 주지 않았지만, 처리온도가 높을수록 수축률은 감소하였으며, 활엽수재가 침엽수재보다 영향을 크게 받았다.

3.1.2 중량증가율

공시수종 모두 PEG 농도가 증가할수록 중량은 증가하였다. 침엽수재는 활엽수재 보다 다소 높은 중량 증가율을 보여 주었고, 활엽수재 중에서 산공재가 환공재 보다 다소 높은 중량 증가율을 보여 주었다. 중량 증가율은 침엽수재의 경우 잣나무가 가장 높게 나타났고, 소나무, 일본잎갈나무 순으로 나타났다. 활엽수재는 은사시나무가 가장 높은 중량증가율을 보여주었고, 오동나무, 물박달나무, 층층나무, 산벚나무, 물푸레나무, 신갈나무, 굴참나무 순으로 나타났다. 이렇게 침엽수재가 활엽수재보다 중량 증가율이 높은 것은 목재의 조직구조와 관련하여 설명할 수 있을 것으로 생각된다. 일반적으로 침엽수재는 수분통도 기능을 하는 가도관과 가도관상호간을 연결시켜주는 유연벽공이 목재조직내로 PEG 침투를 용이하게 한다. 그러나 활엽수재는 도관내에 타이로시스의 존재 및 가도관에 비해 내강이 좁은 목섬유와 기밀성이 큰 유세포의 존재에 의해 목재에 PEG 침투를 어렵게 하여 산공재 보다 중량증가율이 낮은 것으로 생각된다.

처리온도에 있어서 PEG 4000의 30% 수용액으로 70℃에서 처리하였을 때 침엽수재의 일본잎갈나무는 중량이 증가하였지만, 소나무와 잣나무는 중량이 감소하였다. 그러나 활엽수재는 오동나무, 층층나무, 물박달나무의 경우 각 분자량의 30% 수용액으로 70℃에서 처리하였을 때 중량이 다소 증가하였다. 처리온도에 의한 중량증가율은 활엽수재가 침엽수재보다 더 높게 나타났다.

그러나 PEG 분자량은 중량 증가율에 거의 영향을 주지 않았다.

3.1.3 벌킹효과

벌킹효과는 침, 활엽수재 모든 수종에서 PEG농도 증가에 따라 증가하였고, 각 분자량의 30% 수용액으로 처리할 때 가장 높은 벌킹효과를 보여 주었다. 또한 침엽수재가 활엽수재보다 벌킹효과가 높았고, 활엽수재 중에서 산공재가 환공재 보다 벌킹효과가 높았다. 침엽수재의 경우 잣나무가 가장 높은 벌킹효과를 나타냈고, 소나무, 일본잎갈나무 순이었다. 활엽수재는 은사시나무가 가장 높았고, 오동나무, 물박달나무, 층층나무, 산벚나무, 신갈나무, 굴참나무, 물푸레나무 순으로 나타났다.

전체적으로 분자량이 커질수록 벌킹효과는 대체로 감소하였다. 그러나 처리온도가 높을수록 벌킹효과도 높아지는 경향이 있었는데, 활엽수재가 침엽수재보다 더 높게 나타났다.

3.2 강도적 특성

3.2.1 휨 강도

각 수종의 휨특성을 측정한 결과, 공시재의 기건밀도는 침엽수재의 경우 PEG 처리재가 무처리재에 보다 밀도가 높았다. 활엽수재의 경우 산벚나무, 은사시나무는 PEG처리재가 미처리재에 비해 밀도가 높게 나타났지만, 그 외 수종에서는 PEG처리재와 미처리재 사이에 밀도 차이가 없었다. 함수율은 침엽수재 11.3±0.3~13.6±0.6%, 활엽수재 12.7±0.3~16.6±0.2%의 범위였다.

PEG처리재와 무처리재 사이의 MOR에 대한 유의성을 검토한 결과, 소나무, 신갈나무, 굴참나무에서는 유의성이 없었지만, 잣나무, 일본잎갈나무, 물박달나무, 산벚나무, 은사시나무는 유의성이 있는 것으로 나타나 PEG처리에 의해 휨강도가 저하된 것으로 나타났다.

일반적으로 목재의 탄성계수는 비중과 정의 상관을 보여준다. 그러나 본 실험결과 PEG처리에 의한 밀도증가는 탄성계수에 거의 영향을 주지 않는 것으로 생각되었다.

3.2.2종압축 강도

각 수종에 대한 종압축특성을 측정한 결과, 공시재의 기건밀도는 침엽수재의 경우 PEG처리재가 무처리재에 비해 밀도가 높게 나타났다. 활엽수재는 신갈나무, 산벚나무, 은사시나무는 PEG처리재의 밀도가 높게 나타났지만, 굴참나무와 물박달나무는 PEG처리 후 밀도변화가 거의 없었다. 함수율은 침엽수재 11.1±0.4~13.5±0.8%, 활엽수재 11.0±0.1~15.6±0.2%의 범위였다.

PEG처리재와 무처리재 사이에 MOR에 대한 유의성을 검토한 결과, 굴참나무를 제외한 수종에서 유의성이 있는 것으로 나타나 PEG처리에 의해 종압축강도는 저하되는 것으로 나타났다.

종압축 탄성계수는 소나무, 산벚나무, 은사시나무는 PEG처리재와 무처리재 사이에 차이가 있었지만, 그 외 수종에는 차이가 없었다.

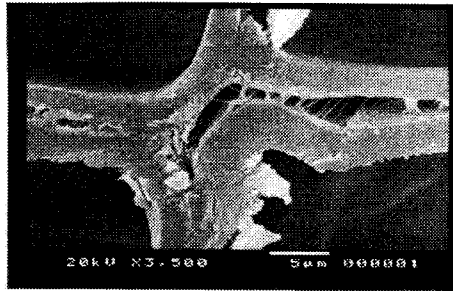
3.2.3 전단강도

각 수종에 대한 전단강도를 측정한 결과, 공시재의 기건밀도는 침엽수재의 경우 PEG 처리재가 무처리재에 보다 밀도가 높게 나타났다. 활엽수재는 굴참나무재의 LR의 경우를 제외한 다른 수종들에서는 PEG 처리재의 밀도가 높게 나타났다. 함수율은 침엽수재 10.1±1.0~14.0±0.6%, 활엽수재 10.2±0.3~14.9±0.5 %의 범위였다.

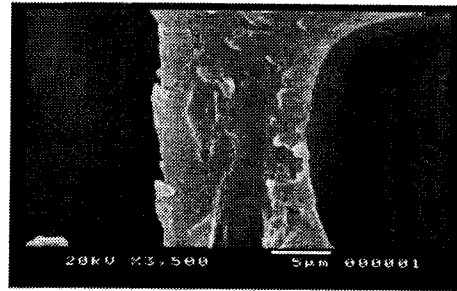
PEG처리재와 무처리재 사이에 유의성을 검토한 결과, LR의 경우 잣나무, 산벚나무, 물박달나무, LT의 경우 신갈나무, 굴참나무를 제외한 다른 수종들에서는 유의성이 있는 것으로 나타나 PEG처리에 의해 전단강도가 저하된 것을 알 수 있다.

3.3.3 SEM에 의한 PEG처리재의 조직구조 관찰

Fig. 1, 2는 주사전자현미경으로 PEG 처리재와 미처리재를 관찰한 결과이다. PEG처리에 의해 가도판이나 도판, 목섬유, 유세포는 PEG에 침투로 세포벽이 팽윤되었고, 형태도 거의 변화하지 않았지만, 미처리재는 수축이 많이 일어나, 세포와 세포사이가 벌어졌고, 세포벽도 얇아졌으며, 세포의 형태도 크게 찌그러졌다.

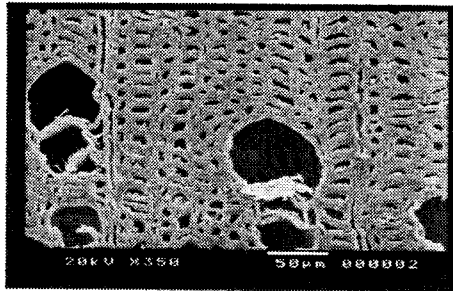


(A) Untreated

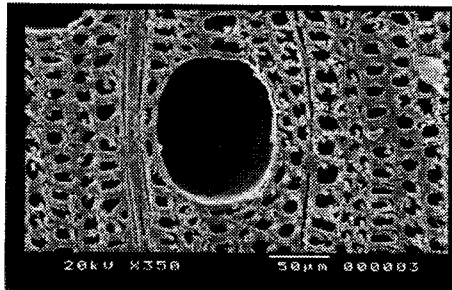


(B) Treated

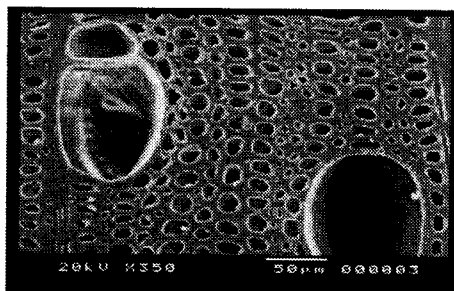
Fig. 1. Scanning electron micrographs of the cell wall of tracheid in *Pinus koraiensis* wood with 30% aqueous solution of PEG 1000



(A) Untreated



(B) Wood treated with 30% aqueous solution of PEG 1000 at room temperature



(C) Wood treated with 30% aqueous solution of PEG 1000 at 70°C

Fig. 2. Scanning electron micrographs of *Betula davurica* wood

3.4 X선회절법을 이용한 목재내의 PEG분포 해석

Fig. 3은 PEG의 X선회절 강도 곡선을 나타낸 것이다. $2\theta = 19^\circ$ 와 23° 부근에서 강한 PEG 결정의 피크를 보여주고 있다. PEG 처리재의 X선회절 강도 곡선에서 잣나무, 일본잎갈나무(Fig. 4), 오동나무, 층층나무, 은사시나무(Fig. 5)는 전형적인 목재 셀룰로오스 적도선의

결정면 피크 이외에 $2\theta=19^\circ$ 에서 PEG 결정의 피크를 나타내고 있다. 이것은 이들 수종 내부에 PEG가 침적되면서 PEG 분자가 결정화되어 강한 X선회절강도 피크를 나타내는 것으로 생각된다.

그러나 신갈나무, 물푸레나무(Fig. 6), 물박달나무, 산벚나무는 목재 셀룰로오스 결정이외 PEG결정유래의 피크는 나타나 있지 않다. 이것은 PEG처리재의 중량증가율로 설명이 가능할 것으로 생각된다. 즉 상온에서 PEG 1000 30%의 수용액으로 처리한 경우 중량증가율이 잣나무 52%, 일본잎갈나무 36%, 신갈나무 13%, 물푸레나무 17%, 층층나무 28%, 오동나무 40%, 산벚나무 26%, 물박달나무 20%, 은사시나무 57%로 나타났다. 이렇게 볼 때 PEG 함침율이 28%를 기준으로 해서 그 이상의 중량증가율을 보여준 수종은 PEG분자간에 결정화할 수 있는 가능성이 높지만, 그 이하의 낮은 중량증가율을 보여준 수종은 소량의 PEG가 목재내에서 결정화되기 어렵기 때문으로 생각된다.

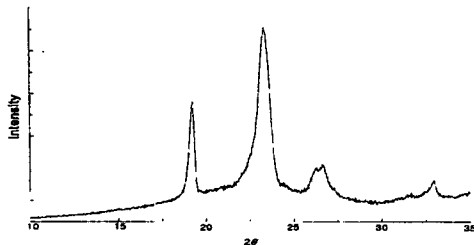


Fig. 3. An equatorial X-ray diffractogram of a PEG crystal

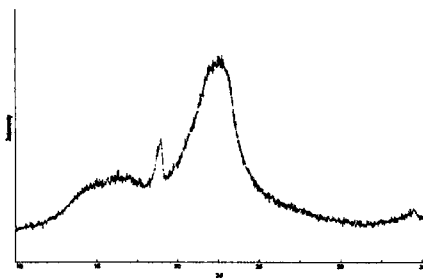


Fig. 4. Equatorial X-ray diffractogram of *Larix kaempferi* wood treated with 30% aqueous solution of PEG 1000 at room temperature

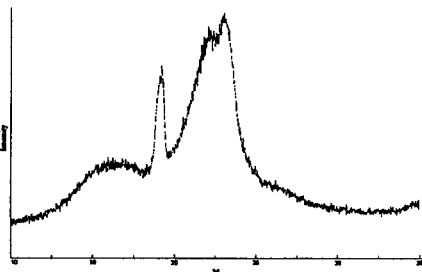


Fig. 5. Equatorial X-ray diffractogram of *Populus tomentiglandulosa* wood treated with 30% aqueous solution of PEG 1000 at room temperature

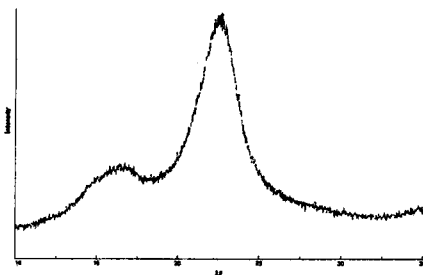


Fig. 6. Equatorial X-ray diffractogram of *Fraxinus rhynchophylla* wood treated with 30% aqueous solution of PEG 1000 at room temperature

4. 결론

본 연구에서는 국내산 소경재의 보다 효율적인 이용을 위하여 치수안정성 증대 방안을 모색하고자 다양한 조건으로 PEG처리한 침, 활엽수종의 특성을 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 치수안정성은 전체적으로 PEG 농도의 증가에 따라 좋게 나타났다. 또한 침엽수재가 활엽수재보다 치수안정효과가 우수하였고, 활엽수 중에서는 산공재가 환공재보다 치수안정효과가 높았다

2. PEG처리재의 휨강도, 전단강도, 종압축강도는 미처리재 보다 다소 저하되었고, 다른 수종에 비해 치수안정효과가 낮은 신갈나무와 굴참나무는 강도적 차이가 거의 없었다.
3. 주사전자현미경으로 PEG 처리재와 미처리재를 관찰한 결과, PEG처리에 의해 가도관이 나 도관, 목섬유, 유세포는 PEG에 침투로 세포벽이 팽윤되었고, 형태도 거의 변화하지 않았지만, 미처리재는 수축이 많이 일어나, 세포와 세포사이가 벌어졌고, 세포벽도 얇아졌으며, 세포의 형태도 크게 찌그러졌다.
4. X선회절법에 의해서 잣나무, 일본잎갈나무, 오동나무, 층층나무, 은사시나무는 전형적인 목재 셀룰로오스 적도선의 결정면 피크 이외에 $2\theta=19^\circ$ 에서 PEG 결정의 피크를 나타내고 있지만, 신갈나무, 물푸레나무, 물박달나무, 산벚나무는 목재 셀룰로오스 결정이의 PEG결정유래의 피크는 나타나 있지 않다.

이상의 실험결과에서 국내산 소경재의 치수안정성은 처리농도, 수종, 밀도 및 조직구조의 차이에 크게 영향을 받는 것으로 생각되었다.

5. 참고문헌

1. 산림청. 2000. 임업통계연보 : 46~297.
- 2.鈴木正治, 徳田迪夫 編. 1993. 木質資源材料. 海青社 : 9~24.
3. 日本木材學會編. 1993. 木材の科學と利用技術Ⅲ-ズ-パーウッド-. 日本木材學會:1~5.
4. 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.
5. Stamm A., J. 1959. Effect of polyethylene glycol on the dimensional stability of wood. Forest Products Journal 9(10) : 375~381.
6. Tarkow H., W. C. Feist, C. F. Southerland. 1966. Interaction of wood with polymeric materials, Penetration versus molecular size. Forest Products Journal. 16(10) : 61~65.
7. 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.
8. Wallström, L. and K. A. H. Lindberg. 1995. Wood surface stabilization with Polyethylene glycol. Wood science and technology 29 : 2~9.
9. 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.
10. 권구중, 김남훈. 2002. PEG처리에 의한 국내산 주요 소경재의 치수안정화에 관한 연구. 목재공학 30(1) : 40~47.
11. 권구중, 권성민, 김남훈. 2002. PEG處理による木材の寸法安定性評價 - 散孔材と環孔材の比較. 第52回 日本木材學會大會要旨集 : 588
12. 권구중, 김남훈. 2001. PEG(Polyethylene glycol)처리재의 역학적 특성. 한국가구학회지 12(2) : 19~27.
13. 권구중, 김남훈. 2001. PEG 처리에 의한 목재의 치수안정화 기구 해명. '2001년도 한국임산에너지학회 학술연구발표회 : 28~30.
14. 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). -バルキング效果. 木材學會誌 45(6) : 434~440.