

PEG 흡입처리에 의한 Rigida 소나무의 건조균열방지에 관한 연구

유 효 선 · 정 세 회

전북대학교 기계공학부

A Study on Crack-Prevention of Pinus Rigida during Drying by Suction Treatment of Polyethylene Glycogen

Hyo-Sun Yu and Se-Hi Chung

School of Mechanical Engin., Chonbuk National University, Chonju, Korea

초 록 목재의 건조 균열방지를 위한 진공흡입기술의 새로운 목재처리방법에 대해 연구를 수행하였다. 목재의 건조균열 방지를 위해 사용된 polyethylene glycogen(PEG) 처리재들은 PEG-1540, PEG-2000, PEG-4000, PEG-10000 이었으며, 진공펌프의 감압정도는 85kPa과 39kPa 이었다. 시험결과, 진공흡입처리에 의한 PEG액의 흡입은 방사단면에 걸쳐 고르게 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 또한 PEG의 분자량이 증가할수록 단위시간당 PEG의 흡입량과 처리전·후의 함수율의 차이 Δ M.C는 PEG-2000을 변곡점으로 하여 감소하였다. 그리고 리기다 소나무의 건조균열 방지를 위한 약제 흡입처리에 있어 최적의 PEG 분자량과 농도 그리고 감압력의 조건은 각각 PEG-2000과 30%(wt.) 그리고 85kPa임을 알 수 있었다.

Abstract The new treatment method for crack-prevention of wood during drying by means of vacuum suction technique was studied. The polyethylene glycogens(PEG) adopted for crack-prevention are PEG-1540, PEG-2000, PEG-4000 and PEG-10000 and the decompression levels by the vacuum pump are 85kPa and 39kPa. It is observed that the suction of PEG solution is impartially accomplished through the entire radial section by the vacuum suction treatment. As the molecular weight of PEG is increased, the suction quantity per unit time and the difference of moisture content(M.C) between before suction treatment and after, Δ M.C are decreased with a point of inflection at PEG-2000. And it can be found that for drying crack-prevention the optimum condition of PEG suction treatment is PEG-2000(wt. 30%) at 85kPa.

1. 서 론

목재의 건조균열(drying crack)은 자연 또는 인공건조시에 함유된 수분증발의 불균형으로 인하여 발생하는 것으로, 목가공품의 품질과 생산성을 저하시키는 원인이 되고 있다^{1,2}. 특히 내부에 존재하는 균열은 절삭가공 단계에서 제품의 가공표면에 나타남으로서 더욱 큰 문제점으로 되고 있다. 그럼에도 불구하고 생산현장에서 이용되고 있는 건조 방식은 재래적인 자연건조 방식을 탈피하지 못하고 또 그 기술수준도 가내공업 수준을 벗어나지 못하고 있어 산림자원의 신소재화의 요구와 더불어 건조과정에서의 균열방지 기술의 개발은 시급을 요하는 과제로 되고 있다. 또한 이러한 요구는 목공예품에 사용되는 주 원료인 활엽수 원목의 점차적인 고갈 현상으로 원료구입을 수입에 의존하고 있는 현실점에서 더욱 증대되고 있다.

그러므로 이를 해결하는 방법의 하나로 우리주변에서 손쉽게 구할 수 있는 잡목을 원목으로 사용할 필요성이 대두되고 있으며, 그러기 위해서는 이러한 목재를 원료로 사용할 수 있도록 목재의 건조균열을 방지할 전처리후 건조기술의 개발이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 국내에서 다량 생산되지만 현재로서는 그 이용가치가 적은 침엽수종인 리기다 소나무(pinus rigida)를 대상^{3,4}으로 목재의 재질향상과 건조균열의 방지를 위해 새로이 시도된 폴리에틸렌 글리코젠(polyethylene glycogen : PEG)의 진공흡입(vacuum suction) 시험결과에 대해 기술하고자 한다.

2. 시험장치와 실험방법

진공흡입 시험장치는 직경 30cm의 용기, 컵 모양의 흡입 뿔기, PEG액, 진공 데시케이터(desiccator) 그리고 100kPa(76cmHg)까지 감압시킬수 있는 진공펌프(vacuum pump)로 구성되어 있다. Fig. 1에 진공흡입 시험장치의 개략도를 나타내었다. 사용된 흡입제는 수용성 수지로서 분자량이 다른 PEG-1540, PEG-2000, PEG-4000, PEG-10000을 사용하였다. 이때 PEG액의 온도는 60℃로 그리고 농도는 10~40%(wt.)수용액으로 하였으며, 목재의 가도관(tracheid)에 PEG의 침투를 확인하기 위해 적색염료를 첨가 사용하였다. 흡입시험에서 감압력은 85kPa과 39kPa로 하였으며, 목재의 건조는 50℃의 건조노를 이용하였다. 또한 PEG의 진공흡입 시험후 가도관내의 PEG

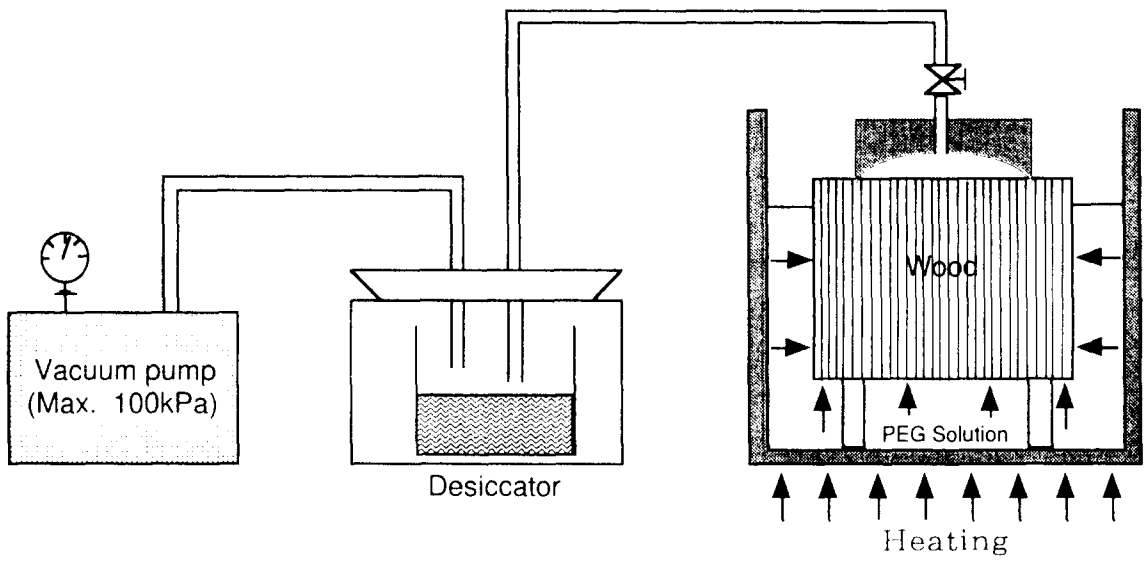


Fig. 1. Schematic diagram of vacuum suction apparatus

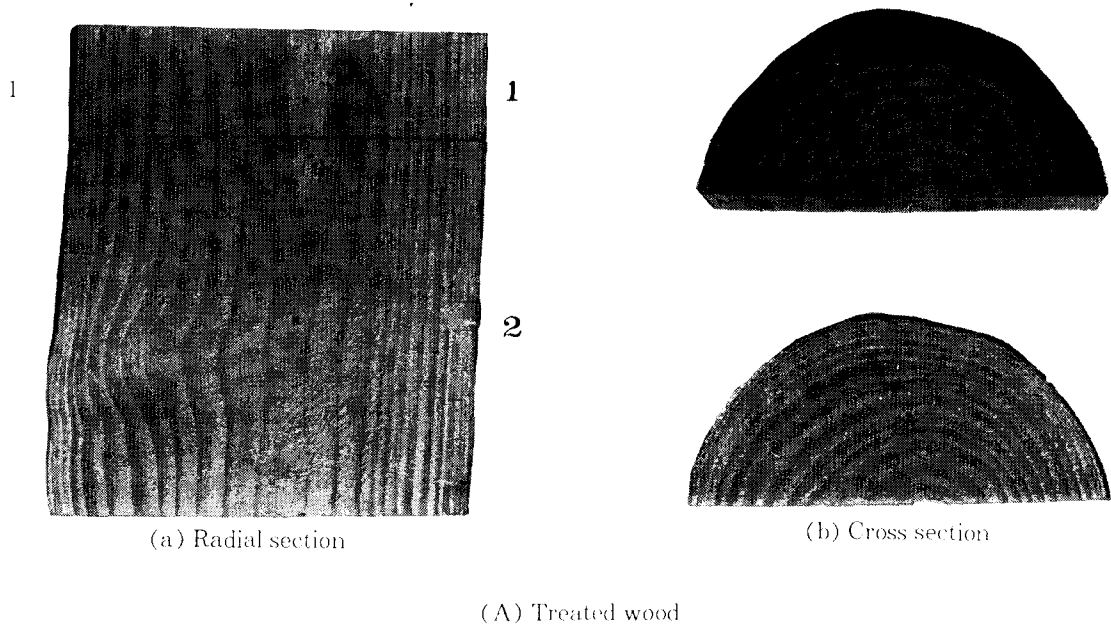


Fig. 2. Photographs of radial and cross section for wood treated PEG-4000(30%)

Table. 1. The suction treatment conditions and the test results with molecular weight of PEG

| Test No. | Before treatment | | PEG No. (concentration) | Treatment condition | | | After treatment | | After drying moisture (%) | Crack behavior |
|----------|------------------|--------------|-------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------|--------------|---------------------------|----------------|
| | weight (g) | moisture (%) | | suction quantity(cc) | treatment time(hr.) | decompression(kPa) | weight (g) | moisture (%) | | |
| N-1 | 464 | 29.4 | 1540(30%) | 5000 | 1.5 | 85 | 512 | 45.5 | 4.5 | crack |
| N-2 | 590 | 28.9 | 4000(30%) | 5000 | 5.4 | 85 | 635 | 37.0 | 5.1 | micro crack |
| N-4 | 562 | 33.4 | 2000(30%) | 5000 | 5.0 | 85 | 592 | 42.0 | 5.7 | No crack |
| N-5 | 554 | 33.0 | 10000(30%) | 5000 | 8.7 | 85 | 600 | 37.0 | 6.1 | crack |
| N-6 | 510 | 32.2 | 2000(30%) | 5000 | 5.6 | 85 | 562 | 41.4 | 5.6 | No crack |
| N-7 | 388 | 36.5 | 4000(30%) | 5000 | 7.0 | 85 | 438 | 41.8 | 6.6 | No crack |
| N-12 | 1342 | 34.2 | 2000(30%) | 5000 | 2.1 | 85 | 1408 | 41.4 | 6.1 | micro crack |

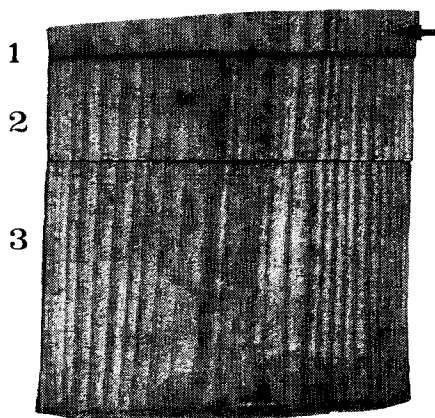
의 존재를 확인하고자, 처리된 소나무의 횡단면을 gold 코팅하여 전자현미경(scanning electron microscope : SEM) 관찰을 행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

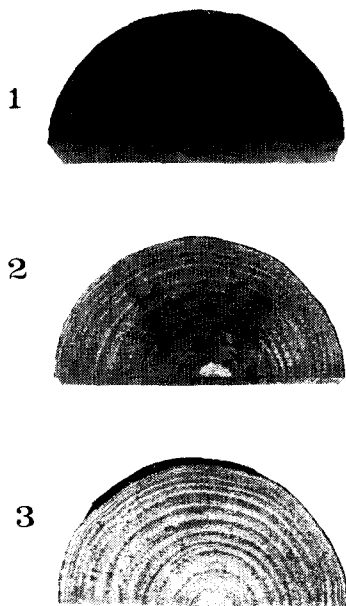
(1) PEG의 흡입과 건조균열 거동

Fig. 2의 (A)는 먼저 리기다 소나무의 가도관내에 PEG의 흡입을 관찰하고자 적색 염료를 섞은 PEG-4000(30%) 수용액을 85kPa의 감압력으로 5.4hrs.동안 진공흡입한 처리재의 경우로 사진 (a)는 축방향(longitudinal direction)으로 절단한 다음 방사단면(radial section)을, 사진 (b)는 횡단면(cross section)을 관찰한 사진이다. 비교를 위해 사진(B)의 무처리재도 함께 나타내었다. 먼저 사진(A-a)의 경우를 보면, 가도관에 따른 PEG의 흡입을 절단면에 걸쳐 뚜렷이 관찰할 수 있다. 그리고 사진(A-b)로부터 표면과 내부에 있어 PEG의 흡입이 고르게 이루어졌음을 확인할 수 있다. 본 실험에서는 PEG의 확인을 위해 사용한 염료는 적색이지만, 사진에서 PEG의 흡입은 흑색의 명암으로 대신 확인할 수 있다. 즉, 흑색의 경우가 PEG의 흡입이 양호한 경우이며, 백색의 경우는 PEG의 흡입이 불량한 상태이다. 그러나 50℃ 건조로 내에서 건조시킨 결과 처리재는 링 체계의 외측부위에서 미세균열이 관찰된 반면, 무처리재는 횡단면의 반경방향으로 거시적인 균열이 관찰되었다. Fig. 3은 흡입처리를 행하지 않고 상온에서 분자량이 적은 PEG-1540(30%)의 용액내에서 48hrs.동안 침적시킨 시험재의 경우로, 시험재의 외측 표면부에만 PEG가 침투되고 내부에는 침투되지 않았음을 침적처리한 시험재를 3등분으로 절단한 후 관찰한 사진(B)로부터 명확히 알 수 있다. 주목할만한 내용은 화살표로 표시된 상단부의 경우를 보면, 건조후 시험재의 수축은 표면의 반대측 부위인 PEG의 침투가 적은 면에서 이루어졌음을 알 수 있다. 이러한 결과는 건조시 가도관에 침투된 PEG에 의한 수축에 대한 저항성을 확인할 수 있는 중요한 결과라 사료된다. 이 경우에도 50℃ 건조로 내에서 건조후 미세균열이 관찰되었다.

다음은 PEG의 분자량에 따른 PEG의 흡입과 건조균열



(a) Deposited wood



(b) Cross section of deposited wood

Fig. 3. Photographs of radial and cross section for wood deposited in PEG-1540(30%) solution

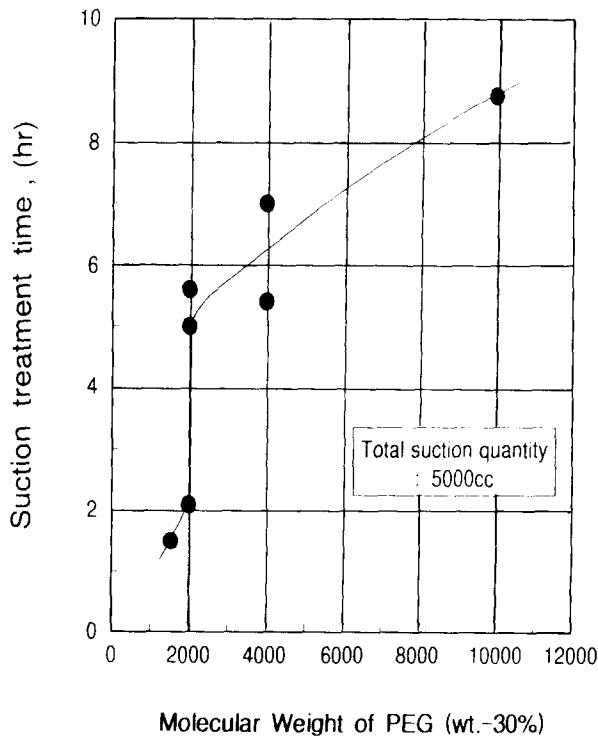


Fig. 4. Suction treatment time with various PEG solutions

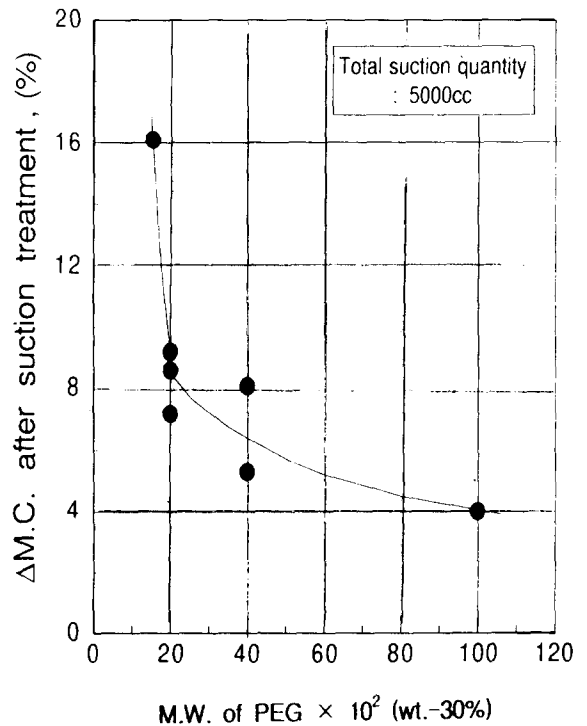


Fig. 6. ΔM.C. distributions with various PEG solutions after suction treatment

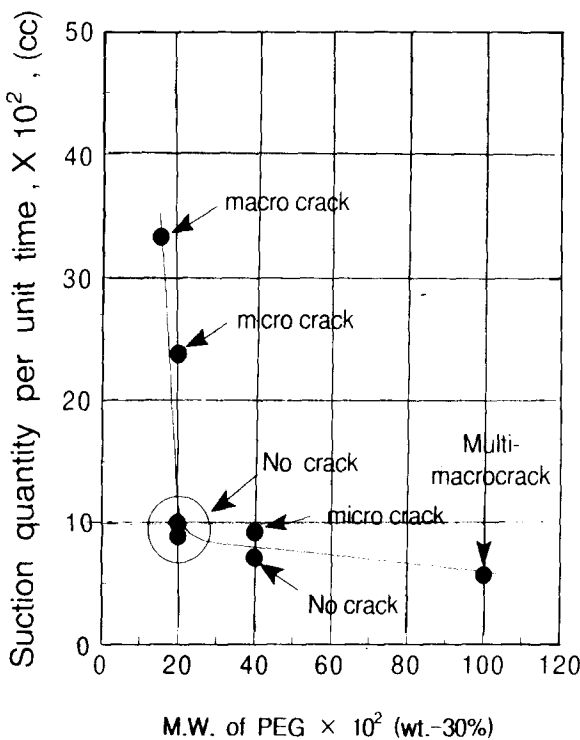


Fig. 5. Suction quantity per unit time with various PEG solutions and crack behaviors

거동에 대해 좀 더 자세하게 알아보기로 한다. 이에 대한 각 시험조건 및 시험결과를 Table 1에 나타내었다. 먼저

총 흡입량이 5000cc일때 PEG액(30%)의 종류에 따른 흡입처리시간(suction treatment time)에 대한 결과는 Fig. 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 PEG-1540에서 PEG-10000으로 갈수록, 총 흡입시간은 급 상승함을 알 수 있다. 이러한 시험결과로부터 단위시간(1hr.)당 리기다 소나무에 흡입된 PEG의 량과 건조후 균열발생 거동을 조사하면 그 결과는 Fig.5와 같다. 즉 PEG의 분자량이 증가할수록 단위시간당 목재에 흡입되는 PEG 량은 급감함을 알 수 있다. 이 같은 PEG흡입에 대해 건조후의 균열발생 거동을 보면, PEG-1540과 PEG-10000의 경우에는 횡단면의 반경방향으로 거시적인 균열거동을 보인 반면, PEG-2000과 PEG-4000의 경우는 균열이 발생되지 않거나, 미시균열이 발생되었다. 이때 미시균열이 발생된 경우, 균열발생 부위는 두 경우 모두 쐐기의 외측부분으로 시험재의 직경에 맞는 쐐기를 이용한다면 균열의 발생을 방지할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 PEG액의 분자량에 따른 건조균열 발생 거동을 정리하면, PEG-2000과 PEG-4000이 양호한 흡입 PEG액임을 알 수 있으나, 일정량의 PEG의 흡입 소요시간을 고려하면 PEG-2000의 경우가 최적조건임을 알 수 있다. Fig.4와 Fig.5의 그림에서 주목할만한 사실은 이러한 최적 흡입액인 PEG-2000의 위치가 두 선도의 변곡점에 존재한다는 사실이다.

Fig. 6은 여러종류의 PEG액에 따른 건조균열거동이 처리전·후의 함수률(moisture content : M.C.)의 차인 ΔM.C와 어떠한 관계가 있는지 알아본 결과이다. 그림에서

Table. 2. The suction treatment conditions and the test results with PEG concentration

| Test No. | Before treatment | | Treatment condition | | | | After treatment | | After drying | Crack behavior |
|----------|------------------|--------------|-------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| | weight (g) | moisture (%) | PEG No. (concentration) | suction quantity(cc) | treatment time(hr). | decompression(kPa) | weight (g) | moisture (%) | moisture (%) | |
| N-8 | 980 | 37.1 | 2000(40%) | 5000 | 8.0 | 85 | 1052 | 36.5 | 6.5 | No crack |
| N-10 | 988 | 36.5 | 2000(20%) | 5000 | 0.6 | 85 | 1066 | 39.0 | 5.2 | crack |
| N-14 | 1488 | 34.0 | 2000(10%) | 5000 | 0.3 | 85 | 1564 | 39.2 | 5.7 | multi crack |
| N-15 | 1520 | 35.0 | 2000(30%) | 5000 | 1.0 | 39 | 1580 | 38.5 | 6.5 | multi crack |

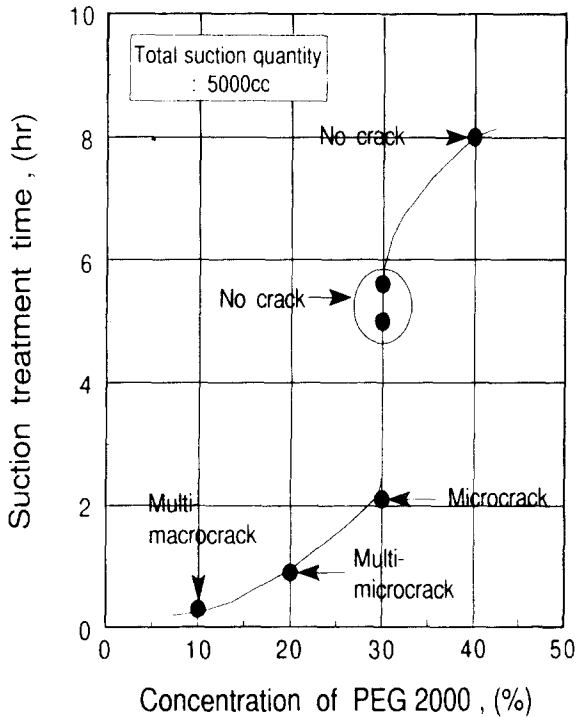


Fig. 7. Effects of PEG-2000 concentration on suction treatment time and crack behaviors.

알 수 있듯이 분자량이 가장 적은 PEG-1540의 경우가 가장 큰 함수률의 차이를 보인 반면, 분자량이 가장 큰 PEG-10000의 경우는 가장 적은 함수률의 차이를 보이고 있어, PEG의 분자량이 증가함에 따라 ΔM.C는 감소함을 알 수 있다. 즉, PEG의 분자량은 목재의 흡입처리 전·후의 함수률에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 특이할만한 사실은 선도상의 변곡점이 최적의 흡입 PEG액인 PEG-2000에 위치하여, PEG-2000의 수용성 치수안정제는 건조균열발생의 유, 무에 큰 영향을 줄 수 있는 처리제로서 사료된다.

(2) PEG의 농도와 흡입력에 따른 건조균열 거동

Table 2는 PEG-2000의 흡입액의 농도(wt.)에 따른 진공흡입 시험결과를 나타낸 결과로서 감압 85kPa로서 농도 30%의 경우는 Table 1과 같으므로 생략하였다. 이러한 PEG-2000의 수용성 수지에 있어 농도에 따른 PEG의 흡입량에 대한 시험결과를 종합하면 Fig. 7과 같다. 그림에서

보는 바와 같이 PEG의 농도가 증가함에 따라 5000cc의 흡입량에 대한 처리시간은 증가함을 알 수 있다. 여기서 10% 및 20%의 농도에서는 균열이 발생된 반면, 농도 30%의 경우에는 두 경우에는 균열이 발생되지 않고, 한 경우에는 미세균열이 발생되었는데, 균열이 발생된 경우는 작은 직경의 썰기를 이용한 N-12의 경우로, 결국 30%의 경우는 No-crack으로 정리할 수 있다. 한편, 40% 농도의 경우는 균열발생이 이루어지지 않았지만, 처리시간이 긴 단점이 있다. 또한, 흡입력에 따른 영향을 알아보기 위해 39kPa의 감압력으로 처리한 N-15재의 경우를 보면, 횡단면상에서 반경방향으로 상당히 많은 거시적인 균열이 발생하여, 건조균열 발생거동에 있어 뚜렷한 감압력의 영향도 관찰할 수 있었다.

따라서 지금까지 살펴본 흡입시험결과를 종합적으로 고찰해 볼때, 한국산 리기다 소나무의 경우, 건조균열을 방지하기 위한 최적의 PEG 분자량과 농도 그리고 감압력의 조건은 각각 PEG-2000과 30%(wt.)농도 그리고 감압이 85kPa임을 알 수 있다.

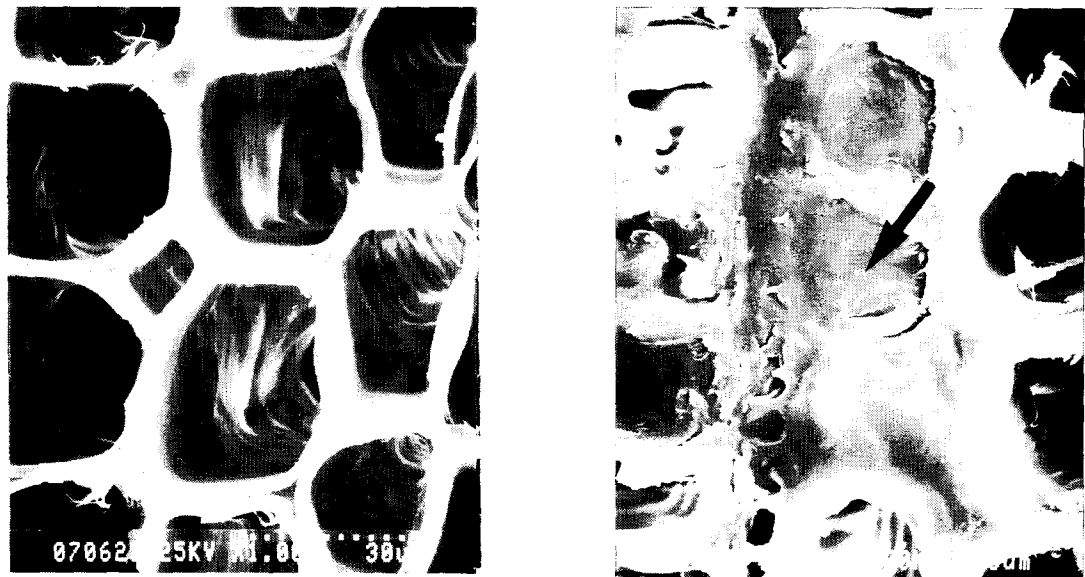
(3) PEG 처리재의 SEM관찰

Fig. 8은 진공흡입 시험에서 건조시 균열발생을 보이지 않은 PEG-2000(30%)의 경우, 가도관내의 PEG의 흡입을 확인하고자 무처리재와 처리재의 횡단면을 SEM 관찰한 결과이다. 사진에서 알 수 있듯이 PEG 처리재에서는 무처리재에서 발견할 수 없는 가도관내의 PEG의 존재를 명확하게 관찰 할 수 있다. 이와 같이 흡입된 PEG가 목재 건조시 국부적인 수축현상에 의한 균열발생 거동을 억제시키는 역할을 하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

리기다 소나무(pinus rigida)를 대상으로 목재의 재질향상과 건조균열의 방지를 위해 새로이 시도된 PEG의 약제 흡입시험결과는 다음과 같다.

1. 상온의 PEG액에 48hrs. 동안 침적시킨 경우 PEG액은 시험재의 외측 표면부에만 침투된 반면, 5hrs. 동안의 진공흡입법에 의한 PEG액의 흡입은 방사단면에 걸쳐 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 또한 가도관 내의 PEG의 흡입을 SEM 관찰에 의해 뚜렷이 확인할 수 있었다.
2. 건조시 목재의 수축은 PEG의 침투가 적은 표면에서



(c) x 1000

(A) No-impregnation wood

(B) Impregnation wood

Fig. 8. SEM micrographs($\times 1000$) of no-treatment wood and wood treated to PEG-2000(30%)

이루어져, 가도관내에 침투된 PEG는 목재건조시 수축에 대한 저항성을 목재 조직에 부여함을 알 수 있었다.

3. PEG의 분자량이 증가할수록 단위시간당 PEG의 흡입량과 처리전·후의 함수율의 차인 M.C는 PEG-2000을 변곡점으로 하여 감소하였다.

4. 리기다 소나무의 건조균열 방지를 위한 약제 흡입처리에 있어 최적의 PEG 분자량과 농도 그리고 감압력의 조건은 각각 PEG-2000과 30%(wt.) 그리고 85kPa임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 정희석, 목재건조학, 선진문화사, 서울, pp. 83 (1994)
2. F.P.L, Wood engineering Hand-book, 2nd ed., Prentice hall (1990)
3. 조재명, 목재조직 및 목재이학-소나무속의 재질에 관한 시험, pp. 96 (1975)
4. 박문재, 정희석, 목재공학, 15(2), pp. 53 (1987)
5. 高橋秀明, 日本非破壊検査協會, 6(23) (1993)