

低壓蒸氣爆碎처리가 高溫領域에서의 木材 樹脂滲出 예방에 미치는 영향*1

이 남 호*2† · 박 희 준*3 · Chengyuan Li*2 · 진 영 문*4

Effect of Low Pressure Steam Explosion Treatment on Prevention of Resin Exudation from Wood under High Temperature Surroundings*1

Nam-Ho Lee*2† · Hee-Jun Park*3 · Chengyuan Li*2 · Young-Moon Jin*4

요 약

본 과제는 Spruce재가 사우나와 같은 고온 공간용 部材로 사용되어질 때 나타나는 수지삼출의 문제점을 해결하여 그 방안을 제시코자 수행하였다.

乾式공간용 部材의 경우 적절한 열기건조가 이루어진다면 별도의 처리를 실시하지 않더라도 110°C의 수지삼출 안정선을 얻을 수 있는 것으로 확인되었으며, 고주파진공건조에 의해 수지삼출 안정선이 열기건조보다 약 20°C 정도 더 상승하였다.

濕式폭로시험에서는 저압증기폭쇄처리재의 경우 열기건조재나 고주파진공건조재 모두 수지가 전혀 삼출되지 않은 반면에, 무처리재의 경우 건조방법에 관계없이 130°C 이상의 폭로조건에서는 수지삼출의 정도가 乾式폭로시험의 경우보다 심한 것으로 나타나, 수지삼출을 예방하기 위하여 인공건조중 低함수율 상태의 건조말기에 高溫을 적용하여 건조하는 것보다는 건조전 高함수율 상태에서 過熱증기로 噴霧처리하는 것이 더 바람직한 것으로 확인되었다.

* 1 접수 2003년 7월 21일, 채택 2003년 8월 7일

본 논문은 한화종합화학(주)의 연구비 지원에 의해서 수행된 과제임

* 2 전북대학교 농업생명과학대학 (농업과학기술연구소) College of Agriculture and Life Science, Chonbuk National University (Institute of Agricultural Science & Technology), Chonju, Chonbuk 561-756, Korea

* 3 익산대학 임산공업과 Dept. of Forest Products, Iksan National College, Iksan, Chonbuk 570-752, Korea

* 4 원광대학교 생명자원과학대학 College of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, Iksan, Chonbuk 570-749, Korea

† 주저자(corresponding author) : 이남호(e-mail: enamho@chonbuk.ac.kr)

ABSTRACT

This study was carried out to find the efficient methods for preventing resin exudation from spruce board during high temperature environment service.

In the dry-air oven test, in-use temperature related to resin exudation of 110°C could be obtained by the appropriate kiln drying without any special treatment, and the in-use temperature of the radio-frequency/vacuum (RF/V)-dried boards was about 20°C higher than that of the conventional kiln-dried boards.

In the autoclave test, resin exudation was not found from any board dried in the conventional kiln and in the RF/V kiln after the low pressure steam explosion (SE) treating, while for the control resin exudations were more severe in the autoclave test above 130°C than in the dry-air oven test. It, therefore, would be suggested that resin exudation during high temperature service condition can be prevented more effectively by super-heated steaming green boards than by high-temperature drying boards with low moisture.

Keywords: resin exudation, high temperature environment service, low pressure steam explosion treating, dry-air oven test, autoclave test, conventional kiln drying, radio-frequency/vacuum drying

1. 서 론

소나무류(pine), 잎갈나무류(larch), 가문비나무류(spruce) 등의 침엽수재나 아피통(apitong) 등의 활엽수재는 수지구(resin canal)가 발달해 있기 때문에 천연건조중에는 樹脂(Resin)가 滲出되지 않았다 할지라도, 이들 재목을 대패질 가공 후 따뜻한 실내에 놓아두게 되면 수지가 심하게 삼출되는 경우가 흔하다. 심지어는 60~80°C 정도의 온도로 인공건조한 목재품에서도 직사광선에 노출되게 되면 材溫이 최고 70°C 이상이 되면서 수지가 삼출되기도 하고, 또는 난방기구 주변이나 사우나 등과 같은 高溫의 공간에서 사용되는 부재의 경우에서도 수지가 삼출되어 미관이나 실용성을 크게 저하시키는 문제가 야기되고 있다.

수지를 제거하는 방법에는 탄산소다 등의 약제로 목재중의 수지를 용출시키거나 耐壓탱크내에 목재를 잔적해 놓고서 수증기에 의한 가압공정과 진공공정 및 열풍에 의한 목재내 수분제거 공정 등을 반복하는 방법 등이 제시되어 왔다(財團法人日本住宅·木材技術センター, 1990 재인용). 그러나 이러한 방법들은 생산원가 상승이나 생산성 저하 등의 측

면에서 문제가 있는 것이 사실이다. 또한 Kanagawa (1989) 등은 두께 12 cm의 Douglas-fir 수심기둥재를 고주파진공건조한 후 온도 20~40°C, 상대습도 65~90%에서 수지삼출시험을 실시하여 수지삼출이 일어나지 않음을 확인한 바 있다. 정 등(1997)도 진공건조한 잣나무 수심재에 대해서 유사한 연구결과를 보고한 바 있으나, 고온영역 공간에서의 수지삼출 억제효과 등에 관해서는 아직 검토된 바가 없다.

수지는 크게 液狀의 정유성분(Terpene)과 상온에서는 고체인 수지酸(Rosin)으로 구성되어 있고, 고체의 수지산은 정유성분에 의해 용해되면서 유동성을 띠게 된다. 그렇기 때문에 수지산은 저온의 영역에서는 고정되어 있지만, 고온에서는 점도가 떨어지면서 재면으로 삼출되게 된다(財團法人日本住宅·木材技術センター, 1990). 그러므로 수지의 삼출을 방지하기 위해서는 목재중의 정유성분을 제거할 경우 고체의 수지산만이 목재내에 잔존하기 때문에 고온의 공간에서도 수지삼출이 억제될 수 있을 것으로 판단되나 아직 이에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

일반적으로 정유의 비점은 150~230°C이고, 물분자가 공존할 경우 100°C 이하로 떨어진다(財團法人

Table 1. Number of boards and initial MCs of specimens for the experiment

Treatments	Kiln drying		RF/V drying	
	Control	SE ^{a)}	Control	SE ^{a)}
No. of board(pcs)	25	25	25	25
Initial MC(%)	34.6	36.5	40.5	37.3

Note: ^{a)} Low pressure steam explosion

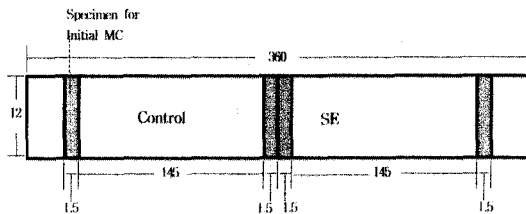


Fig. 1. Preparation of specimens for control and SS treatment (unit; cm).

日本住宅・木材技術センター, 1990). 따라서 100 °C 이상의 고온역하에서 장기간 노출될 부재의 수지삼출을 예방하기 위해서는 부재가 최종적으로 사용될 공간의 온도(利用 온도)보다 높은 온도를 지닌 수증기, 이른바 과열증기(super-heated steam)를 목재에 분무처리하여 정유성분을 제거하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

이에 본 연구에서는 저압증기폭쇄처리(low pressure steam explosion treatment: SE처리)한 두께 21 mm의 미국산 가문비나무재(spruce)를 열기건조 또는 고주파진공건조(radio-frequency/vacuum drying: RF/V drying)한 다음, 乾式과 濕式의 초고온하에 각각 暴露하여 수지삼출 정도를 조사함으로써, 저압증기폭쇄처리나 건조방법 등이 수지삼출 예방에 미치는 효과를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시수종과 공시재종

현재 사우나용 부재로 널리 사용되고 있는 미국

산 가문비나무(spruce)를 공시수종으로 선정하고, 두께 21 mm×폭 10 cm×길이 360 cm 판재 50본을 시중의 제재장에서 구입하여 Fig. 1과 같은 방법으로 길이 145 cm의 무처리재와 저압증기폭쇄처리재를 서로 엔드매치(end-match)시켜 각각 50본씩을 준비하였다. 각 처리별 50본의 시험편중 25본은 열기건조시험용으로, 그리고 나머지는 고주파진공건조시험용으로 각각 사용하였다. 한편 각 처리의 양단에서 길이 1.5 cm의 시편을 1개씩 채취하여 초기함수율(initial moisture content: Initial MC)을 조사하였으며, 각 처리별 시험편의 수량과 초기함수율은 Table 1과 같다.

2.2. 저압증기폭쇄처리

목재내 정유성분을 보다 효율적으로 제거하여 사용중의 수지삼출을 억제하고, 동시에 가문비나무와 같은 침엽수재에서 흔히 관찰되는 목재내 폐색벽공(pit aspiration)을 개열시켜 건조속도를 증진시킬 목적으로 건조 전에 저압증기폭쇄처리를(Hayashi 등 1995; Kanagawa 등 1992; 이 등 1997, 1998; Lee 등 2000) 실시하였다.

저압증기폭쇄처리는 직경 30 cm×길이 400 cm로서 최대 10 atm을 유지할 수 있는 실린더형 폭쇄처리조내에서 실시하였다. 처리재는 열기건조시험용과 고주파진공건조시험용으로 구분한 다음, 동일 건조방식용만을 1회 처리 때마다 5매씩 층적하여 동일 로드에서 처리하는 방식으로 총 25본씩을 처리하였다. 각 처리재는 스팀보일러를 이용하여 가열하였고, 처리압력은 폭쇄조내의 증기온도로 콘트롤하였으며, 처리중의 증기온도, 증기의 분무시간

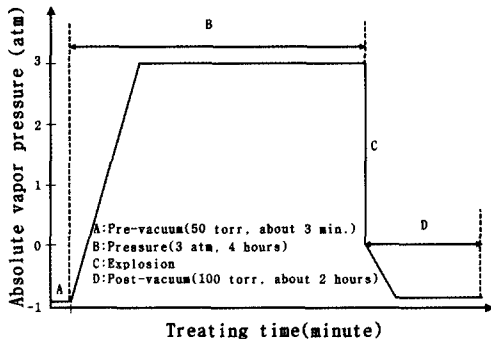


Fig. 2. Schematics of the low pressure steam explosion treating cycle.

및 폭쇄밸브의 개방회수 등은 자동컨트롤러로 제어하였다. 폭쇄처리조건은 스팀 유입 전에 진공펌프를 작동시켜 폭쇄조내 공기를 충분히 제거한 다음, 온도 134°C의 수증기(절대수증기압 약 3기압)로 4시간 동안 증자한 다음 폭쇄밸브를 순간적으로 개방하였다. 폭쇄 직후에는 목재로부터 수분과 정유를 증발제거하기 위하여 100 torr의 감압상태를 2시간 정도 유지한 다음 폭쇄조 내의 온도가 50°C까지 하강하면 저압증기폭쇄처리를 종료하였다(Fig. 2). 저압증기폭쇄처리 종료후에는 각 처리재의 무게를 평량하여 처리기간 동안의 함수율 감소 정도를 조사하였다.

2.3. 건조시험

2.3.1. 열기건조시험

열기건조시험은 내부의 크기가 길이 210 cm, 폭 100 cm, 높이 80 cm의 내부송풍형 열기건조기를 이용하여 실시하였다. 각 잔적층은 동일 처리재 5분씩 배치하여 총 10층으로 층적(open pile)하되, 무처리재와 저압증기폭쇄처리재가 交互의 잔적층을 이루도록 잔적하였다.

건조스케줄은 미국임산물연구소(Forest Products Laboratory, 1991)가 두께 1인치 sitka spruce 저급재의 열기건조스케줄로 제시한 T7-A5S를 적용하되 최습시험재 5개의 평균함수율을 기준으로 건조조건을 변경하였다.

2.3.2. 고주파진공건조시험

고주파진공건조기는 길이 274 cm×폭 102 cm×깊이 40 cm 크기의 角形으로 상부덮개가 유연한 고무시트로 이루어져 있어 건조중 내부에 잔적된 건조재의 재면에 대하여 수직방향으로 약 10,000 kgf/cm²의 압체력이 전달되도록 설계된 건조기를 사용하였다. 고주파발전기의 최대 출력은 7 kW이고, 주파수는 약 13 Mhz로 고정하였으며, 8분-ON, 2분-OFF로 작동시켰다.

무처리재와 저압증기폭쇄처리재는 중앙부의 기전전극판을 중심으로 각각 상단과 하단에 잔적하였으며, 최상단 및 최하단 잔적층에는 접지전극판을 배치하였다. 또한 건조중 材燻은 테프론 튜브(teflon tube)로 코팅한 백금촉온저항체를 하단의 저압증기폭쇄처리재에 삽입하여 콘트롤하였으며, 건조초기 55°C로 시작하여 적절한 시간간격으로 온도를 상승시켜 건조말기에는 최대 68°C까지 상승시켰다. 건조중 진공도는 약 50 torr 도를 유지시켰다.

2.3.3. 건조중함수율과 건조속도 평가

열기건조의 경우 건조중 적절한 시간간격으로 건조기의 작동을 멈추고 모든 시험편의 무게를 평량하여 건조중 함수율을 산출하고, 이 결과로부터 건조단계별 건조속도를 계산하여 각 처리별로 비교검토했다.

고주파진공건조의 경우 건조종료 후 모든 시험편의 무게를 평량하여 최종함수율과 평균건조속도만을 산출하였다.

2.3.4 건조결함 평가

건조종료후 모든 시험편의 재면과 횡단면에 나타난 표면할렬의 발생개수와 길이 등을 조사하고, 아울러 길이굽음, 너비굽음 및 측면굽음 등을 정량평가하였다.

2.4. 수지삼출 暴露 시험

건조종료 후 각 건조방법별로 무처리재와 저압증

Table 2. Evaluation of resin exudation on board surfaces during the accelerated tests in the air-dry oven and in the autoclave

Class	None	Slight	Moderate	Severe
Degree of exudation	None	Slight spots	Small tear drops	Large tear drops

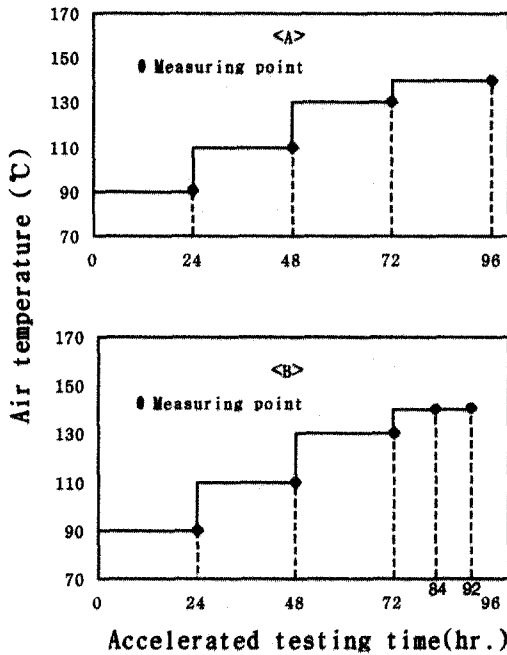


Fig. 3. The accelerated testing cycle for resin exudation from the dried-board surfaces in the dry air-oven (A) and in the autoclave (B).

기폭쇄처리재 10분씩을 추출하여 수지삼출시험용으로 사용하되, 가능한 한 부결집재 중에서 두 처리재가 엔드매치되게 채취하였던 것을 우선적으로 선정하였다. 선정된 건조재를 平削가공하여 폭과 두께를 각각 10 cm와 10 mm 로 조정한 다음, 한쪽 횡단면으로부터 12 cm 떨어진 부위에서 길이 30 cm의 시험편 2매를 채취하여 각각 乾式 및 濕式 수지삼출시험용으로 사용하였다.

2.4.1. 乾式暴露 시험

시험편을 내부용적 가로 60 cm×세로 50 cm×높

이 50 cm 크기의 송풍오-븐내에 배치한 다음, Fig. 3(A)와 같은 폭로사이클에서 수지삼출상태를 매 24시간 마다 육안으로 관측하여 Kanagawa 등(1989)이 제시한 Table 2의 기준에 의거하여 평가하였다.

2.4.2. 濕式暴露 시험

시험편을 내경 28.5 cm×깊이 70 cm 크기이고, 최대 절대수증기압 4기압을 유지할 수 있는 autoclave내에 배치한 다음, Fig. 3(B)와 같은 폭로사이클에서 수지삼출상태를 저온에서는 24시간 마다, 그리고 고온에서는 4시간 간격으로 육안평가하였다. 육안 평가의 기준은 乾式暴露시험의 경우와 동일한 기준을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건조곡선과 건조속도

3.1.1. 열기건조

Fig. 4와 Fig. 5는 무처리재와 저압증기폭쇄처리재의 열기건조중 함수율과 건조속도를 각각 건조시간의 함수로써 나타낸 것이다.

무처리재의 경우 평균 초기함수율 41.6%에서 6.6%까지 건조되는데 127시간이 소요되었고, 저압증기폭쇄처리재의 경우 동일 시간에 36.5%에서 5.1%까지 건조되어 저압증기폭쇄처리에 의한 열기건조시간 단축효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 저압증기폭쇄처리에 의해서 폐색벽공이 개열되어 투과성이 증진되었다 할지라도 시험재들의 초기함수율이 낮아 자유수의 모세관 유동량이 적었을 뿐 아니라(Lee and Luo, 2002; 이 등, 1998), 또한 시험재의 두께가 21 mm로 얇아 내부수분의 이동거

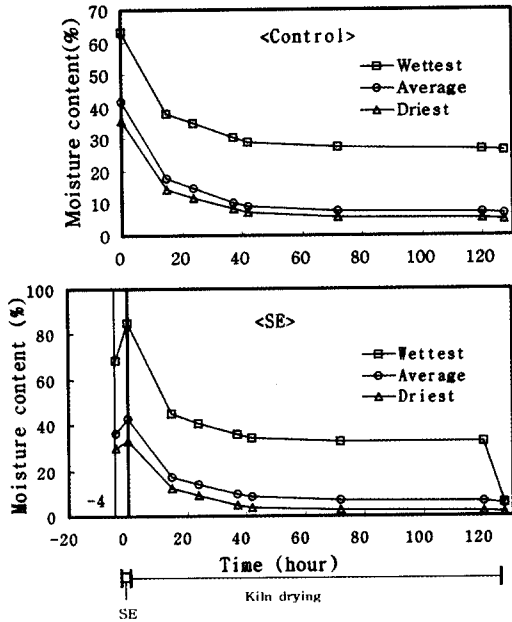


Fig. 4. Drying curves for control and SE treated board during the conventional kiln drying process.

리가 짧으므로써 처리에 의한 투과성 증진이 건조 속도 촉진에 기여할 기회가 원천적으로 적었기 때문인 것으로 생각된다.

그러나 저압증기폭쇄처리재의 경우 처리 직후 최습시험재와 최건시험재간의 함수율 차이가 크게 증가하였음에도 불구하고, 건조말기 최습함수율과 최건함수율간의 차이는 불과 4.1%로 무처리재 21.6% 보다 월등하게 낮은 값을 나타내었는데, 이것은 저압증기폭쇄처리에 의해 고풍수율재의 건조속도가 크게 촉진되므로써 얻어진 결과인 것으로 확인되었다. 이것은 무처리재와 저압증기폭쇄처리재간의 평균건조속도는 큰 차이가 없으나, 최습시험재의 건조속도는 저압증기폭쇄처리재의 경우 0.70%/시간으로 무처리재의 0.39%/시간 보다 상당히 빠른 것에서도 다시 한번 입증된다(Fig. 5). 즉 초기함수율이 높거나 두께가 두꺼운 재목의 경우 저압증기폭쇄처리에 의한 건조시간 단축효과는 분명하게 발휘될 수 있을 것으로 기대되며(Lee and Luo, 2002), 저압증기폭쇄처리는 목재의 투과성을 증진시키므

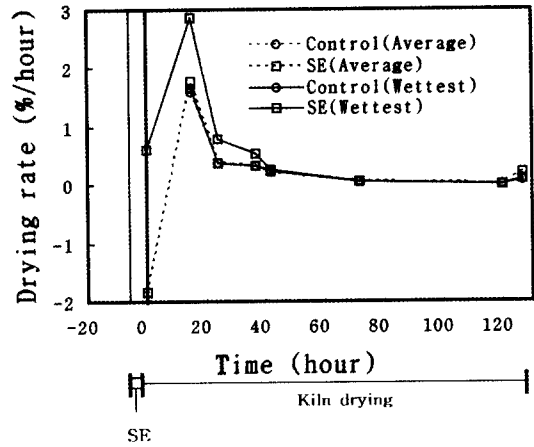


Fig. 5. Drying rate curves for control and SE treated board during the conventional kiln drying process.

로써 각 건조재간 최종함수율을 균일하게 하는 데에도 기여하였음을 알 수 있다. 침엽수재의 경우 개채간 생재함수율의 차이가 심하고, 건조시간이 짧아 최종 함수율의 불균일이 심하게 나타나는 문제점이 지적되어 이를 해결하기 위한 다양한 시도가(Jamroz, 1995) 행하여지고 있는 점을 고려해볼 때 저압증기폭쇄처리는 시사하는 바가 크다.

3.1.2. 고주파진공건조

고주파진공건조재의 처리별 최종함수율과 건조속도 등을 Table 3에 요약하여 나타내었다.

고주파진공건조의 경우 열기건조시험재와 유사한 초기함수율에서 약 2~3%까지 건조되는데 72시간 밖에 소요되지 않아 열기건조시간 대비 약 40% 정도 건조시간을 절약할 수 있었다. 이는 고주파진공건조의 경우 건조재의 표층과 내층간에 형성되는 역온도경사에 의해 내부수분의 이동속도가 증진되는 기동력이 제공되기 때문인 것으로 보고된 바 있다.(Avarmidis 등, 1994; Kanagawa, 1989)

그러나 저압증기처리재의 평균건조속도는 0.46%/시간으로 무처리재의 0.52%/시간 보다 오히려 느리게 나타났다. 이는 열기건조시험의 건조속도에서 설명한 바와 같이 초기함수율이 거의 섬유포화점

Table 3. Final MCs and drying rates of control and SE treated - board during SE treating or RF/V drying

Treatments	Drying times (hours)	MC (%)			Drying rate (%/h)		
		Green	After SE ^{a)}	Final	From green to SE ^{a)}	From SE ^{a)} to final	Average
Control	72	40.5	-	3.2	-	-	0.52
SE ^{a)}	72	37.3	34.9	2.3	0.61	0.45	0.46

Note: ^{a)} Low pressure steam explosion treating for 4 h.

Table 4. Percentages of boards contaminated by resin exudation during the accelerated test in the dry-air oven

Accelerating cycle		Control		SE ^{a)}	
Step	Time/Temperature	Kiln drying	RF/V drying	Kiln drying	RF/V drying
I	24 h/90°C	None	None	None	None
II	24 h/110°C	None	None	None	None
III	24 h/130°C	Slight: 20%	None	Slight: 20%	None
IV	24 h/140°C	Slight: 20%	Slight: 40%	Slight: 30%	Slight: 30%

Note: 1. ^{a)} Low pressure steam explosion treating for 4 h.

2. Percentages=(No. of the contaminated boards/No. of tested boards)x100%.

수준일 정도로 매우 낮았고, 건조재의 두께 또한 얇아 저압증기폭쇄처리에 의한 투과성 증진의 효과가 발휘될 수 없었기 때문인 것으로 생각된다(Lee and Luo, 2002; 이 등, 1998). 생재함수율이 높고, 두께가 두꺼울수록 저압증기폭쇄처리에 의한 건조속도 촉진 효과는 열기건조의 경우보다 훨씬 클 것으로 예측된다.

3.2. 수지삼출

3.2.1. 乾式暴露 시험

건식폭로시험시 시험재 재면에서 조사한 수지삼출의 정도를 Table 4에 요약하여 나타내었다.

처리 및 건조방법에 관계없이 110°C 이하의 폭로 조건에서는 수지가 전혀 삼출되지 않았으며, 130°C 폭로조건에서는 극히 일부의 열기건조재에서만 경미한 정도의 수지삼출이 관찰되었다. 이는 乾式사

우나용 部材의 경우 적절한 열기건조가 이루어진다면 별도의 처리를 실시하지 않더라도 110°C의 수지삼출 안정선을 얻을 수 있음을 의미한다.

한편 고주파진공건조재의 경우 저압증기폭쇄처리 여부에 관계없이 130°C의 폭로조건에서도 수지가 전혀 삼출되지 않아 수지삼출 안정선이 열기건조와 비교하여 약 20°C 정도 더 상승하였다. 이것은 분과재의 고주파진공건조시험에서 적용한 절대대기압 50 torr에 상응하는 불의 끓는점이 약 38°C로 낮은데 비하여 적용한 최고 材溫은 열기건조의 최고온도와 유사한 68°C이었기 때문에 목재내 정유성분이 열기건조의 경우보다 매우 용이하게 증발 제거될 수 있었기 때문인 것으로 생각된다.

그러나 폭로온도를 140°C로 상승시켰을 경우 고주파진공건조재에서도 저압증기폭쇄처리 유무에 관계없이 30~40%의 시험재에서 경미한 수지삼출이 발생하였다.

Table 5. Percentages of boards contaminated by resin exudation during the accelerated test in the autoclave

Step	Accelerating cycle Time/Temperature	Control		SE ⁽¹⁾	
		Kiln drying	RF/V drying	Kiln drying	RF/V drying
I	24 h/90°C	None	None	None	None
II	24 h/110°C	None	None	None	None
III	24 h/130°C	Slight: 10%	Moderate: 10% Severe: 10%	None	None
IV	12 h/140°C	Slight: 10%	Moderate: 30% Severe: 10%	None	None
V	20 h/140°C	Slight: 20% Severe: 10%	Moderate: 20% Severe: 20%	None	None

Note: 1. ⁽¹⁾ Low pressure steam explosion treating for 4 h.

2. Percentages=(No. of the contaminated boards/No. of tested boards)x100%.

3.2.2. 濕式暴露 시험

Table 5는 습식폭로시험시 시험재 재면에서 조사한 수지삼출의 정도를 요약하여 나타낸 것이다.

저압증기폭쇄처리재의 경우 열기건조재나 고주파진공건조재 모두 습식폭로사이클에서 수지가 전혀 삼출되지 않은 반면에, 무처리재의 경우 건조방법에 관계없이 130°C 이상의 폭로조건에서는 수지삼출의 정도가 건식폭로시험의 경우보다 심한 것으로 나타났다. 정유의 비점은 150~230°C 이지만 물분자가 공존할 경우 100°C 이하로 떨어지기 때문에 (財日本住宅·木材技術センター, 1990) 습식폭로조건하에서는 목재내에 잔존하는 정유성분이 固體상의 수지를 건식폭로사이클의 경우보다 더 활발하게 용해할 수 있었고, 이로 인해 저압증기폭쇄처리에 의한 수지삼출 억제효과를 보다 분명하게 확인할 수 있었던 것으로 판단된다.

이와 같은 저압증기폭쇄처리에 의한 수지삼출 억제효과는 高含水材상태하에서 134°C의 過熱증기를 장시간 照射시키므로써 정유 성분의 비점을 보다 효과적으로 저하시킬 수 있었고, 이로 말미암아 固體상 수지의 용해를 담당하는 정유성분을 목재로부터 용이하게 증발제거할 수 있었기 때문인 것으로 판단된다. 이것은 수지삼출을 예방하기 위하여 인공건조중 低함수율 상태의 건조말기에 高溫을 적용

하여 건조하는 것보다는 건조전 高함수율 상태에서 過熱증기로 照射처리하는 것이 더 바람직하다는 것을 의미한다.

3.3. 건조결함

Table 6은 건조종료 후 조사한 횡단면할렬과 재면할렬의 평균발생총길이 및 발생본수, 그리고 너비균음, 길이균음 및 측면균음의 발생정도를 나타낸 것이다.

고주파진공건조재의 경우 처리유무에 관계없이 할렬과 틀어짐 등이 전혀 발생하지 않았으며, 열기건조의 경우도 재면할렬만이 매우 경미하게 발생하여 본 시험에서 적용한 열기건조 및 고주파진공건조 조건은 가문비나무 두께 21 mm 재의 건조결함 예방에 적절한 것으로 평가된다. 다만 건조할 재목의 두께가 두꺼워 질 경우 표층과 내층간에 수분경사가 심해져 재면할렬이 발생할 소지가 있으므로 이 경우 고주파진공건조 또는 저압증기폭쇄처리 등을 실시하여 표층과 내층간의 수분경사를 완만하게 유지할 필요가 있다.

한편 저압증기폭쇄처리재의 경우 처리후 열변색에 의해 재색이 암색화되어 미관성을 떨어뜨리는 것으로 확인되었으나, 건조재의 최종 용도가 高溫

Table 6. Checks and warpage of boards dried in the conventional kiln and the RF/V kiln

Treatment	Drying	End check		Surface check		Warpage (mm)		
		Avg. total length (cm)	Defected board (pcs)	Avg. total length (cm)	Defected board (pcs)	Cup	Bow	Crook
Control	Kiln	0	0	26.4	5	0	0	0
	RF/V	0	0	0	0	0	0	0
SE ^{a)}	Kiln	0	0	21.7	4	0	0	0
	RF/V	0	0	0	0	0	0	0

Note: 1. ^{a)} Low pressure steam explosion treating for 4 h.

用 部材라면 밝은 재색의 목재도 사용중에 암색화가 진행될 것이기 때문에 큰 문제는 되지 않을 것으로 판단된다.

4. 결 론

저압증기폭쇄처리한 두께 21 mm의 미국산 가문비나무재를 열기건조 또는 고주파진공건조 한 다음, 乾式과 濕式의 초고온하에 각각 暴露하여 수지삼출 정도를 조사하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 乾式사우나용 部材의 경우 적절한 열기건조가 이루어진다면 별도의 처리를 실시하지 않더라도 110°C의 수지삼출 안정선을 얻을 수 있는 것으로 확인되었으며, 고주파진공건조에 의해 수지삼출 안정선이 열기건조보다 약 20°C 정도 더 상승하였다.

2. 濕式폭로시험에서는 저압증기폭쇄처리재의 경우 열기건조재나 고주파진공건조재 모두 수지가 전혀 삼출되지 않은 반면에, 무처리재의 경우 건조방법에 관계없이 130°C 이상의 폭로조건에서는 수지삼출의 정도가 건식폭로시험의 경우보다 심한 것으로 나타나, 수지삼출을 예방하기 위하여 인공건조 중 低함수율 상태의 건조말기에 高溫을 적용하여 건조하는 것보다는 건조전 高함수율 상태에서 過熱 증기로 照射처리하는 것이 더 바람직한 것으로 확인되었다.

3. 고주파진공건조의 경우 열기건조시험재와 유사한 초기함수율에서 약 2~3%까지 건조되는데 72

시간 밖에 소요되지 않아 열기건조시간 대비 약 40% 정도 건조시간을 절약할 수 있었다.

4. 열기건조의 경우 무처리재와 저압증기폭쇄처리재간의 평균건조속도는 큰 차이가 없으나, 최습시험재의 건조속도는 저압증기폭쇄처리재가 무처리재와 비교하여 상당히 빠른 것으로 나타났으며, 이와 같은 효과에 기인하여 저압증기폭쇄처리하는 각 건조재간 최종함수율을 균일하게 하는 데에 기여하였다.

5. 고주파진공건조재의 경우 처리유무에 관계없이 할렬과 틀어짐 등이 전혀 발생하지 않았으며, 열기건조의 경우도 재면할렬만이 매우 경미하게 발생하였으나, 저압증기폭쇄처리재의 경우 처리 후 熱변색에 의해 재색이 암색화되어 미관을 떨어뜨리는 것으로 확인되었다.

참 고 문 헌

1. Avramidis S., F. Liu, and B. J. Neilson. 1994. Radio-frequency/vacuum drying of softwoods: drying of thick western red cedar with constant electrode voltage. *Forest Products Journal* 44(1): 41~47.
2. Forest Products Laboratory. 1991. Dry kiln operator's manual. USDA Agriculture Handbook 188: pp. 164.
3. Hayashi, K. et al. 1995. Improvement of dryability of wood and its distribution by local

- steam explosion. *J. of the Society of Materials Science* 44(498): 279~283.
4. Jamroz, W. 1995. How to select the most efficient moisture sorting strategy. *Proceedings of Drying pacific Northwest Species for Quality Markets*, Bellevue, Washington, USA: 81~84.
 5. Kanagawa, Y. 1989. Resin distribution in lumber dried by vacuum drying combined with radio-frequency. *Proceedings of IUFRO Wood Drying Conference*, Seattle, USA: 158~164.
 6. Kanagawa et al. 1992. Improvement of dryability by local steam explosion for Japanese cedar. *Proceedings of 3rd IUFRO International Wood Drying Conference*, Vienna, Austria: 269~276.
 7. Lee, N. H. and K. Hayashi. 2000. Effect of end-covering and low pressure steam explosion treatment on drying rate and checking during radio-frequency/vacuum drying of Japanese cedar log cross section. *Forest Products J.* 50(2): 73~78.
 8. Lee, N. H. and J. Y. Luo. 2002. Effect of steam explosion treatments on drying rates and moisture distributions during radio-frequency/vacuum drying of larch pillar combined with a longitudinal kerf. *Journal of Wood Science* 48: 270~276.
 9. 이남호, K. Hayashi. 1997. 침엽수 원판의 투과성 증진을 위한 저압증기폭쇄처리 효과. *한국목재공학회지* 25(3): 37~42.
 10. 이남호 등. 1998. 저압증기폭쇄처리에 의한 잎갈나무 수심재의 고주파진공건조성 개선. *한국가구학회지* 9(2): 55~63.
 11. (財)日本住宅・木材技術センター. 1990. 建築用針葉樹材の乾燥に関する資料集(改訂版): 138~140.
 12. 정희석 등. 1997. 잣나무 간벌통나무와 수심재의 가열판식 진공건조 특성. *한국목재공학회지* 25(4): 51~60.