

중심부분 엔드코팅처리가 국산 소나무와 잣나무 중목구조부재의 고온저습건조 특성에 미치는 영향*1

이창진*2 · 이남호*2† · 엄창득*3 · 신익현*2 · 박문재*3 · 박주생*3

Effect of End-coating Around Pith of Heavy Timbers of Red Pine and Korean Pine on High-temperature and Low-humidity Drying Characteristics*1

Chang-Jin Lee*2 · Nam-Ho Lee*2† · Chang-Deuk Eom*3 · Ik-Hyun Shin*2 ·
Moon-Jae Park*3 · Joo-saeng Park*3

요 약

본 연구에서는 중심부분 엔드코팅처리가 소나무와 잣나무 중목구조부재의 고온저습건조에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다. 건조에 소요된 시간은 총 268시간 이었으며, 최종함수율은 소나무의 경우 정각기둥재와 원주기둥재 모두 9.2~10.8%, 잣나무 정각기둥재 15.0~22.0%, 원주기둥재 12.8~20.4% 범위로 조사되었다. 소나무재의 경우 함수율 분포가 균일한 반면, 잣나무재는 부분적으로 고함수율 부위가 존재하였다. 재면할렬은 잣나무가 더 많이 발생되었으며, 부분엔드코팅처리는 재면할렬 예방에 큰 효과가 없는 것으로 조사되었다. 내부할렬은 두 수종 모두에서 발생되었다. 표면경화율은 소나무재 3.7~9.1%, 잣나무재 20.9~35.8%로 경미한 크기의 잔류응력이 존재하였다.

ABSTRACT

This study was performed to identify the effect of end-coating around pith of heavy timbers of Red pine and Korean pine on high temperature and low humidity drying characteristics. Total

*1 접수 2013년 1월 28일, 채택 2013년 5월 23일

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

*3 국립산림과학원 녹색자원이용부 탄소순환재료과. Division of Wood Engineering, Department of Forest Resources Utilization, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 교신저자(corresponding author) : 이남호(e-mail: enamho@jbnu.ac.kr)

drying times were 268 hours, and ranges of final moisture content was investigated that Red Pine 9.2% to 10.8% MC for square and round timber, in case of Korean Pine 15.0% to 22.0% MC for square timber, 12.8% to 20.4% MC for round timber. Moisture content distribution of Red Pine was a uniform, but part of high moisture content was found in Korean Pine. In case of Korean pine, the surface checks were occurred more severe than in case of Red pine, and end-coating treatment were investigated to be ineffective on surface check. The internal checks were only formed on the two timbers. The value of the case hardenings was investigated that the ranges 3.7% to 9.1% for Red pine. In case of Korean pine, on the other hand, the case hardenings presence a few as 20.9% to 35.8%.

Keywords: High-temperature and low-umidity pretreatment (HTLH), High temperature drying (HD), final moisture contents, heavy timber, internal check, case hardening

1. 서 론

국내 목조주택열풍으로 말미암아 근래에 중목구조 부재에 대한 수요가 날로 늘어나고 있다. 2008년 통계청의 조사에 따르면 목조주택 시공 시 사용되는 루바, 사이딩, 몰딩, 데크재의 사용은 감소하고 구조재의 사용비율이 2003년 24.2%에서 38.2%로 증가된 것으로 조사되었다. 기둥-보와 같은 구조재로서 매우 선호되는 수종은 침엽수재로 국내에서 주로 생산되는 침엽수 수종은 소나무, 잣나무, 낙엽송이 있다.

그러나 중목구조부재는 미성숙재와 수, 그리고 수분이동거리가 길어 수분경사가 형성되어 횡단면 내의 수축 이방성에 따른 재면할렬의 발생이 쉽다. 중요한 것은 건조에 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 중심부의 함수율을 19% 이하까지 건조하기가 쉽지 않다. 이러한 문제들은 미관을 감소시킬 뿐만 아니라 내구성과 단열성의 감소를 유발하여 한옥의 건축비용을 상승시키는 원인이 되기 때문에, 건조성능의 개선과 수축에 의한 결함발생을 예방할 수 있는 처리와 건조방법의 모색이 시급하다.

재면할렬을 억제하기 위해 건조초기에 증자처리 이후 고온저습처리를 실시하여 표면에 인장세트를 형성시키는 기술이 개발되어왔다(吉田 등 2000; 豆田과 藤本 2001). 고온건조는 목재내부의 함수율이 높은 상태에서 고온으로 장시간 건조가 진행되기 때문에 내부할렬이 발생된다는 단점이 있으나, 吉田(2003,

2008)와 吉田 등(2004)은 고온저습처리 후 건조온도를 100℃ 이하로 낮춘다면 내부할렬의 발생을 억제할 수 있다고 보고하였다. 이러한 건조스케줄은 주로 횡단면의 변장이 10~14 cm 크기의 삼나무와 낙엽송 정각재를 대상으로 개발되어왔다.

현재 국내에서 중목구조부재 건조에 대한 연구는 정 등(2004)과 이 등(2007, 2008, 2011)이 고주파진공 건조에 관한 연구를 수행하였으며, 최근에 고온저습처리를 적용한 연구가 수행되었다(Lee *et al.*, 2010, 2011; 엄 등 2012). Lee 등(2010)은 삼나무 수심기둥재를 고온저습처리 후 고주파진공건조를 진행한 결과 150시간 만에 생재로부터 함수율 15%까지 건조가 가능하였으며, 고주파진공건조를 하는 동안 내부할렬을 방지하기 위해서는 섬유포화점 이하로 고온저습처리를 수행할 것을 제안하였다. 또한 배합가공에 의한 재면할렬의 감소효과에 대해서도 보고하였다.

신(2010)은 낙엽송 중목구조부재를 고온저습천처리 후 고온건조하여 이용함수율까지 건조가 가능하였고, 고온저습천처리는 건조방법과 재종에 관계없이 재면할렬 예방에 효과적이었으며, 배합재에 있어서 그 효과가 매우 탁월하다고 보고하였다. 소나무재의 경우에서도 고온저습천처리에 의한 재면할렬 예방효과가 우수하였으나, 수분경사가 존재하여 건조시간의 연장이 필요하다고 하였다. 또한 잣나무재의 변재부분을 엔드코팅처리 후 고온저습천처리를 진행하는 고온 건조 방법은 건조속도촉진과 재면할렬 발생에 바람직하

지 않은 방법으로 평가하고, 배할가공처리 후 고온저습처리를 진행하는 방법이 효과적일 것이라 하였다.

Lee 등(2010)은 방사방향과 접선방향의 수축이방성에 의한 결합발생을 억제하기 위하여 잔적을 할 때 배할재는 배할의 깊이방향과 압력이 가해지는 방향을 평행하게 배열하였고, 그 결과 배할가공에 의한 재면할렬 발생의 감소효과를 확인하였다고 보고하였다.

심재율이 큰 낙엽송과 삼나무는 고온저습처리 중 표층의 변재부위와 인접한 내부인접층의 심재부위 간에 수분경사가 심하게 형성되기 때문에 표층의 인장응력에 의해 재면에 미세한 할렬들이 발생된다. 그리고 건조중기 이후에는 건조응력이 역전되어 표층에 이에 상응한 크기의 압축응력이 형성되어 고온저습처리 중에 발생하였던 미세한 재면할렬이 닫히게 됨으로서 재면할렬 억제효과가 탁월하다(Lee et al., 2010; 小田 등 2004; 吉田 등 2004). 그러나 국산 소나무와 잣나무는 횡단면의 외주부위와 내부인접층이 모두 변재로 구성되어있어 표층과 내부인접층간에 인장세트가 빠르게 형성되지 않아 건조초기 표층에 발생한 인장응력이 건조의 진행에 따라 장기간 계속되기 때문에 단면할렬의 발생이 어렵다. 이로 말미암아 소나무, 잣나무와 같은 변재수종들은 낙엽송이나 삼나무 등 심재수종들과 비교하여 고온저습처리에 의한 재면할렬 예방효과가 크지 않다(신 2010).

이에 본 연구는 심재율이 낮은 소나무와 잣나무 중목구조부재의 횡단면의 외주부와 인접한 부위를 통한 수분증발을 억제함으로써 심재수종들과 같은 효과를 기대하며 횡단면 외주부 15 mm 범위를 제외한 모든 부위에 엔드코팅처리를 실시하고, 코팅처리가 이들 중목구조부재의 고온저습건조에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 시험재

본 연구에서는 국산 소나무(*Pinus densiflora* S. et. Z)와 잣나무(*Pinus koraiensis*)를 공시수종으로 선정하여, 소나무재의 경우 정각기둥재는 횡단면 20 cm × 20 cm,

길이 360 cm, 원주기둥재는 직경 20 cm, 길이 360 cm의 시험재를 각각 20본씩 준비하였다. 또한 잣나무재의 경우는 정각기둥재 횡단면 21 cm × 21 cm, 길이 360 cm, 그리고 원주기둥재는 직경 20 cm, 길이 360 cm의 시험재를 각각 20본씩 준비하였다(Table 1).

2.2. 배할가공 및 부분엔드코팅 처리

건조 전 둥근톱을 사용하여 폭 4 mm, 깊이 6 cm로 배할을 가공하였으며, 부분엔드코팅은 횡단면의 외주부 15 mm를 제외한 중심부위에 에폭시 페인트를 사용하여 Fig. 1과 같이 코팅처리를 하였다.

2.3. 고온저습건조시험

고온저습건조시험은 120°C 이상 온도 상승이 가능하며, 최대 36m³까지 적재가 가능한 고온열기건조기(Shinshiba社, SKD-90HPT)를 이용하였다. 펌의 최대속도 12.6 m/s 이며, 풍향은 57분 가동 3분 정지의 간격으로 정회전과 역회전이 전환된다. 잔적에는 횡단면 3 cm × 3 cm, 길이 100 cm 크기의 건조된 잔목을 사용하여 시험재간 간격을 3 cm로 하여 잔적하였다. 잔적이 끝난 후 180 cm × 180 cm × 20 cm 크기의 콘크리트 구조물 4개를 사용하여 상단하중을 가하였다.

건조스케줄은 이 등(2010)이 제시한 고온저습처리 스케줄에 기반을 두고, 소나무와 잣나무 중목구조부재에 맞도록 변화를 주었다. 증자처리는 변재함수율이 높고 중심까지의 거리가 길어 중심까지 온도가 상승할 수 있도록 24시간을 적용하였다. 고온저습건조 조건은 변재율이 큰 소나무와 잣나무 표면에 인장세트를 부여하기 위해 건구 120°C, 습구 88°C로 하였으며, 처리시간은 64시간 적용하였다. 고온저습건조 이후 스케줄은 건구온도를 100°C 이상으로 설정할 경우 건조속도는 증진될 수 있는 반면, 내부할렬이나 열화에 의한 강도저하 등의 문제가 발생할 수 있기 때문에 건구 90°C, 습구 68°C로 설정하였다. 시험에 적용된 건조 단계별 건조조건과 건조시간은 Table 2와 같다.

Table 1. The quantity and initial moisture content of specimen for each treatment

Species	Timber type (size)	Treatment		Quantity (piece)	Initial MC (%)
Red Pine	Square (20 × 20 × 360 cm)	Non-kerfed	Control	5	55.7
			End-coating	5	59.1
		Kerfed	Control	5	57.5
			End-coating	5	36.7
	Round (20 × 360 cm)	Non-kerfed	Control	4	44.0
			End-coating	4	78.0
		Kerfed	Control	6	66.6
			End-coating	6	88.0
Sub total				40	-
Korean Pine	Square (21 × 21 × 360 cm)	Non-kerfed	Control	5	51.1
			End-coating	5	51.7
		Kerfed	Control	5	70.3
			End-coating	5	58.5
	Round (20 × 360 cm)	Non-kerfed	Control	6	42.9
			End-coating	4	54.8
		Kerfed	Control	4	72.8
			End-coating	6	70.1
Sub total				40	-
Total quantity				80	-

2.4. 최종함수율과 분포 조사

각 재종별 처리재의 대표 시험재 1본씩 선정하여 횡단면으로부터 60, 120, 180 cm 떨어진 부위에서 각각 두께 2 cm 시험편을 1매씩 채취한 후 정각기둥재는 Fig. 2와 같이 36개로 분할하고, 원주기둥재는 표면으로부터 폭 7 mm 간격으로 층을 구분하여 총 11층으로 분할하여 최종함수율과 그 분포를 전건법으로 조사하였다.

2.5. 재면할렬 및 배할흠 확장을 조사

부분엔드코팅 처리효과를 확인하기 위하여 건조가 종료된 모든 시험재에서 할렬폭이 2 mm 이상인 할렬의 길이와 폭을 측정된 후 재종과 전처리에 따른 재면할렬의 발생 길이와 면적을 산출하였다. 그리고 횡단면으로부터 180 cm 떨어진 부위에서 배할흠의 건조 전·후 변화를 조사하였다.

2.6. 표면경화율 및 내부할렬 조사

각 재종별 처리재의 대표 시험재 1본씩을 선정하여 횡단면으로부터 60, 120, 180 cm 떨어진 부위에서 각각 두께 2 cm 시험편 1매씩을 채취하여 표면경화율을 측정하고, 각각의 절단면 부위에서 발생한 내부할렬을 조사하였다.

2.7. 비틀림과 건조수축을 조사

비틀림의 측정은 건조종료 후 모든 정각기둥재에 대해서만 조사하였다. 정각기둥재의 경우 양 횡단면에서 네 재면 모두 측정(1본당 8회)하되, 상단하중에 대하여 직각을 형성하는 단면(Ⅰ)과 평형을 형성하는 단면(Ⅱ)을 구분하여 압축방향에 따른 비틀림의 발생 정도를 비교하였다.

건조수축율은 건조 전과 후에 동일한 위치에서 측

Table 2. Drying schedule of Red Pine and Korean Pine

Stage	Processing time (hours)	Dry bulb (°C)	Wet bulb (°C)
Steaming	12	95	95
HT-LH	64	120	88
HD	168	90	68
Cooling	24	-	-
Total time	268		

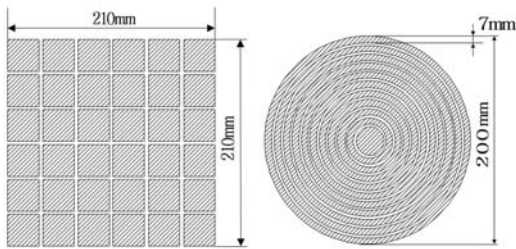


Fig. 2. Sawing diagram of the specimens to survey a distribution of final moisture content.

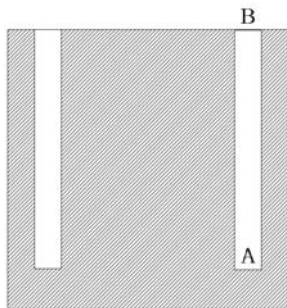


Fig. 3. Sawing diagram of the case hardening for wood assortment after the drying test.

정이 이루어질 수 있도록 하기 위하여 측정부위를 표시하였다. 정각기둥재는 횡단면으로부터 180 cm 위치의 네 재면에서 버니어캘리퍼스로 측정하였으며, 비틀림과 동일하게 상단하중에 대하여 직각을 형성하는 단면(⊥)과 평형을 형성하는 단면(∥)을 구분하여 압제방향에 따른 건조수축율을 비교하였다. 원주기둥재는 횡단면으로부터 180 cm 떨어진 부위에서 파이테이프(π Tape)로 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 최종함수율과 분포

건조 종료 시 측정부위별 최종함수율은 소나무재의 경우 재종, 배합 처리, 엔드코팅처리, 횡단면으로 부터의 거리에 관계없이 평균 9.2~10.8% 범위를 나타내었으며, 함수율의 분포에 있어서도 모든 부위가 14% 이하를 나타내었다(Figs. 4, 6).

잣나무재의 경우 소나무재보다 비교적 높은 최종함수율과 불균일한 함수율분포를 나타내었다(Figs. 5, 7). 평균 최종함수율은 정각기둥재 15.0~22.0%, 원주기둥재 12.8~20.4% 범위로 조사되었으며, 엔드코팅처리재의 함수율이 비교적 높게 나타났다. 함수율의 분포에서 내부함수율이 20% 이상인 부위가 광범위하게 분포하고 있는 것으로 조사되었으며, 심지어 함수율 100% 이상인 부위도 존재하였다.

김(1995)은 잣나무의 생재함수율은 변재 170.6%, 심재 59.5%로 약 110%의 차이를 나타낸다고 보고하였으나, 본 연구에서는 건조 후 심재함수율이 100% 이상인 부위가 존재하였다. Taylor (1991)는 원주기둥재를 고온건조할 때 몇몇 경우에 있어서는 수분이 표면을 향해서 이동할 뿐만 아니라 중심을 향해서 이동하기도 한다는 보고로 미루어보면, 잣나무재의 경우 건조 중 심·변재간의 큰 생재함수율 차이로 인하여 변재의 수분이 중심으로 이동한 것으로도 추측이 가능하다. 또한 잣나무는 수로 갈수록 벽공의 분포가 감소하는 특징이 있어(김 1995) 건조 시 표층과 내층의 수분경사가 심할 것으로 예상되며, 침엽수에서 벽공과 수지구는 주요한 수분이동통로이지만 건조가 진행됨에 따라 벽공 주변에 추출물이 쌓이거나 벽공구

Treatment		Distance from end surface of specimen (cm)																	
		60						120						180					
Non-kerfed	Control	8.7	8.9	9.0	9.5	9.2	9.4	9.7	9.3	8.4	9.8	10.2	4.5	8.5	8.5	9.2	9.1	8.8	9.3
		8.7	10.0	10.3	11.4	10.5	9.2	9.5	10.0	11.8	10.3	10.1	8.2	8.1	10.4	12.1	11.7	9.5	9.1
		8.7	10.7	11.6	12.1	11.2	9.6	9.6	10.0	13.0	13.1	11.8	8.1	8.6	11.2	12.7	13.3	9.7	9.6
		8.8	10.0	10.8	11.7	10.5	9.4	10.2	11.2	12.7	13.5	12.6	9.7	8.0	10.7	12.2	12.5	10.5	9.2
		8.8	8.8	9.1	9.8	9.4	9.5	10.0	10.6	11.4	11.4	10.6	9.0	8.3	9.0	10.6	10.7	9.9	9.1
		9.4	9.4	9.5	9.6	9.4	9.8	10.0	9.5	9.7	9.4	9.1	9.4	8.8	8.6	8.9	8.9	9.0	9.2
	End-coating	10.1	9.6	9.9	9.7	9.6	10.4	9.4	9.4	9.3	9.0	8.8	9.4	9.0	8.9	9.5	9.4	9.3	9.9
		9.3	10.6	11.2	10.3	9.2	9.8	9.4	11.1	11.1	10.6	9.0	9.5	8.6	9.4	10.3	9.8	9.1	9.4
		9.7	10.9	11.8	10.9	9.5	9.8	9.7	11.6	11.6	11.9	10.4	9.4	8.8	10.7	11.5	11.0	9.3	9.8
		9.2	10.2	11.4	11.4	10.0	9.6	9.3	11.5	12.5	12.3	10.8	9.5	8.8	10.7	11.4	11.0	9.1	9.4
		9.7	10.1	11.2	9.9	9.1	9.5	9.1	10.0	11.2	10.9	9.8	9.6	8.7	9.8	11.0	10.3	9.1	10.8
		9.8	9.2	9.2	9.4	9.5	10.3	10.0	9.5	9.7	9.9	9.3	10.3	9.1	8.9	9.2	9.1	9.0	9.9
Kerfed	Control	10.3	9.6	9.5	9.4	9.0	9.0	9.7	9.2	9.0	8.9	8.8	8.7	9.7	9.4	9.5	9.6	9.3	9.5
		9.5	9.1	10.3	10.2	9.4	8.9	9.6	9.4	10.1	9.7	8.9	8.2	9.1	9.8	11.3	11.0	9.5	9.2
		9.3	10.0	11.0	10.6	9.0	8.8	9.8	11.6	12.4	11.0	5.5	8.0	9.3	11.0	12.5	12.3	10.6	9.2
		9.0	9.4	10.4	9.3	8.3	8.9	9.7	11.7	12.7	10.4	8.2	7.8	9.1	10.0	10.6	11.1	10.0	9.0
		9.0	9.2	9.2	9.3	8.5	8.5	9.3	10.1	10.8	9.3	8.5	7.9	8.4	8.3	8.0	8.4	8.5	8.5
		9.1	8.3	8.6	8.6	8.7	9.1	9.6	8.8	8.9	8.8	8.4	8.4	8.4	8.2	8.0	8.1	8.0	8.2
	End-coating	10.1	9.5	9.6	9.5	9.9	10.8	10.2	8.4	8.8	8.9	9.0	10.0	10.8	9.4	9.1	9.5	9.2	10.3
		9.2	10.7	9.7	11.4	8.7	9.6	9.1	8.6	8.2	8.2	8.3	9.3	9.3	8.7	9.2	9.3	9.0	8.8
		9.2	11.2	10.4	11.4	9.0	9.3	9.0	9.0	9.2	9.0	9.4	9.4	8.9	8.9	9.6	9.6	9.2	8.9
		8.9	9.4	9.0	9.3	8.8	9.3	9.2	9.4	10.2	10.1	9.8	9.5	9.1	9.0	8.7	8.6	8.6	8.7
		8.7	7.4	7.7	7.3	7.9	9.3	9.1	8.7	9.3	9.8	9.2	9.4	9.4	8.3	8.1	7.8	8.2	8.7
		9.2	8.0	8.2	8.0	8.8	10.1	11.0	9.4	9.3	9.1	9.3	10.6	10.1	8.9	9.1	9.1	9.1	9.6

Fig. 4. Longitudinal MC distribution of the square timber after HTLH-HD of Red Pine.

가 폐쇄되어 수분이동을 방해하게 된다.

잣나무재에서 가공처리에 따른 최종함수율의 분포에서도 유의성을 나타내지 않은 것은 심·변재율과 이에 따른 초기함수율의 변이가 원인으로 사료되며, 보다 명확한 규명을 위해서는 후속연구가 필요할 것으로 보인다.

잣나무 정각기동재 무배할의 경우 무처리재와 코팅처리재의 초기함수율이 매우 유사하게 조사되었고, 배할재의 경우 무처리재의 초기함수율이 10% 이상

높게 조사되었다. 하지만 최종함수율은 무배할 무처리 15.3%, 코팅처리 19.8%, 배할 무처리 18.5%, 배할 코팅처리 23.5%로 코팅처리재의 함수율이 더 높은 것으로 조사되었다. 횡단면으로부터의 거리에 따른 최종함수율의 차이는 확인할 수 없었다.

중심부분 엔드코팅처리가 국산 소나무와 잣나무 중목구조부재의 고온저습건조 특성에 미치는 영향

Treatment		Distance from end surface of specimen (cm)																	
		60						120						180					
Non-kerfed	Control	7.7	9.8	10.8	8.8	7.1	5.6	6.4	8.6	10.3	10.5	9.6	7.4	6.1	8.6	10.2	9.8	8.6	8.0
		11.0	19.8	25.7	19.9	11.9	6.8	8.1	16.0	21.8	22.6	16.1	8.5	8.9	19.0	23.4	21.1	14.8	8.5
		10.5	13.9	30.8	35.4	17.9	7.8	8.9	21.9	27.5	43.0	22.3	10.1	9.7	24.8	33.1	30.3	20.5	8.9
		7.6	14.1	49.4	61.2	20.6	8.8	9.1	21.2	27.5	28.5	22.4	10.2	10.2	22.3	28.9	29.6	22.4	10.7
		8.4	17.3	24.9	24.4	14.9	7.5	8.4	15.7	20.6	21.1	16.1	7.6	8.8	16.4	21.5	21.8	15.4	7.6
		7.3	10.4	11.0	10.8	7.3	5.3	6.1	9.2	9.5	9.2	7.8	6.0	8.7	9.4	10.1	9.3	7.7	6.1
	End-coating	7.6	12.5	15.4	13.7	11.7	7.5	8.4	10.8	8.7	8.9	9.2	7.0	6.6	7.0	10.4	8.1	8.9	4.3
		10.7	23.8	28.6	27.6	16.9	11.3	14.9	23.9	25.0	22.7	21.0	12.2	8.5	18.1	23.0	24.9	21.2	9.1
		10.7	25.3	36.9	46.0	33.5	11.6	13.2	27.2	31.9	32.2	28.3	15.8	12.0	23.8	27.1	36.4	35.0	13.3
		10.2	24.4	35.3	36.8	25.8	11.7	13.1	30.8	44.4	40.9	29.6	14.6	10.8	23.5	29.0	53.4	33.4	10.4
		11.9	22.5	27.6	41.1	24.4	11.2	13.5	35.3	32.2	32.4	25.1	12.3	11.9	25.9	33.0	57.4	43.3	14.3
		9.1	12.7	13.6	14.6	16.4	7.9	7.9	12.5	12.9	16.2	13.0	8.2	9.1	12.8	13.7	16.3	13.4	7.5
Kerfed	Control	6.4	11.4	15.0	14.9	9.6	5.1	5.2	6.5	6.3	6.4	6.0	4.3	4.3	5.3	5.7	5.4	5.0	4.7
		10.1	22.3	30.4	28.9	17.0	6.1	8.9	15.2	11.6	11.7	14.2	7.5	6.8	10.9	9.3	10.3	10.4	6.2
		11.8	34.2	57.4	28.4	12.8	5.6	14.9	25.0	24.7	24.3	23.3	12.0	11.6	21.5	24.4	26.3	23.0	10.4
		11.8	94.9	105.2	30.0	11.6	6.7	17.1	28.3	32.1	29.7	25.5	12.1	13.8	26.2	34.8	35.7	30.3	13.2
		8.5	23.0	48.4	35.0	17.1	8.1	13.6	24.6	66.5	51.6	21.2	8.5	11.2	20.5	44.5	38.8	23.7	10.6
		5.7	9.7	14.4	14.3	10.9	5.5	7.7	12.0	21.1	17.5	10.6	5.6	6.8	9.8	16.6	16.0	11.4	7.1
	End-coating	8.8	11.8	11.9	10.6	8.3	5.9	7.8	16.7	22.0	14.3	8.5	5.3	5.3	6.5	6.1	6.3	7.1	6.1
		17.5	25.5	26.9	21.7	12.9	6.8	13.7	72.5	72.5	27.2	16.1	7.3	8.5	14.4	12.4	15.2	16.3	8.6
		48.8	85.0	40.8	23.3	9.8	5.5	24.0	122.1	75.8	31.4	13.7	6.3	11.3	24.6	39.0	43.9	34.9	10.8
		29.2	43.9	40.7	25.5	10.8	5.8	18.8	89.5	45.8	37.5	16.1	6.4	12.6	51.6	111.3	44.6	47.1	16.4
		18.2	31.7	31.6	24.9	15.6	7.4	13.8	27.4	35.7	29.5	18.2	7.6	11.3	54.5	74.0	38.4	26.8	11.9
		7.4	12.5	13.5	10.9	10.0	6.0	7.0	12.8	13.5	14.8	11.0	6.3	7.2	14.4	19.9	11.7	8.6	7.1


 : Region of above 20% MC on the each cross section

Fig. 5. Longitudinal MC distribution of the square timber after HTLH-HD of Korean Pine.

3.2. 재면할렬 및 배할흙 확장율

소나무재에서 발생한 대부분의 재면할렬은 단한할렬로 전환되어 폭 2 mm 이상의 할렬의 발생은 매우

경미한 수준이었다. 건조 후 발생한 재면할렬의 길이는 정각기둥재 무배할의 경우 무처리 116 cm, 코팅처리 42 cm, 배할가공의 경우 코팅처리에서만 17 cm, 원주 기둥재는 무배할 코팅처리에서만 104 cm로 조사되었

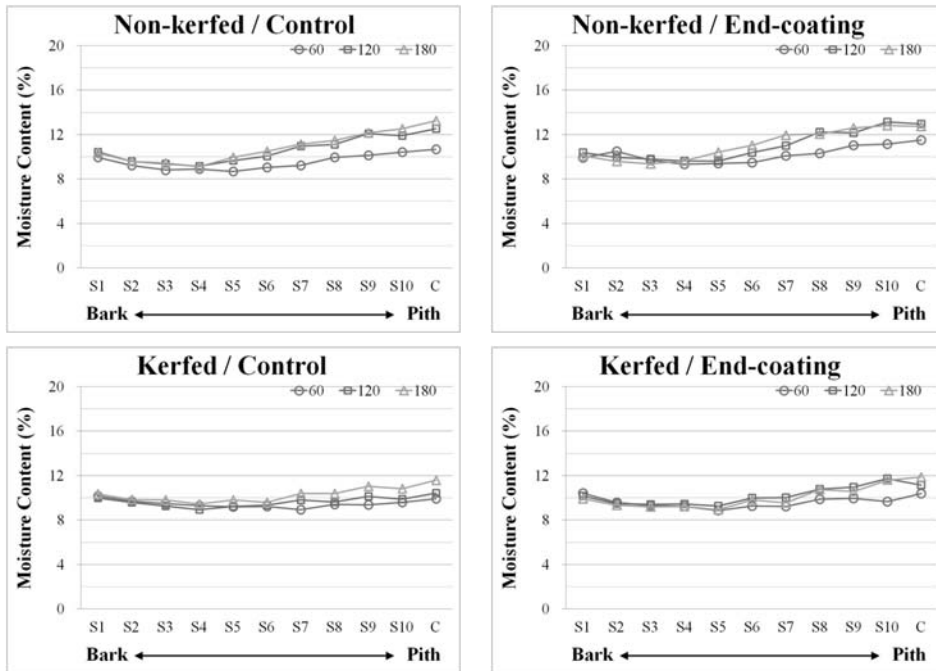


Fig. 6. Longitudinal MC distribution of the round timber after HTLH-HD of Red Pine.

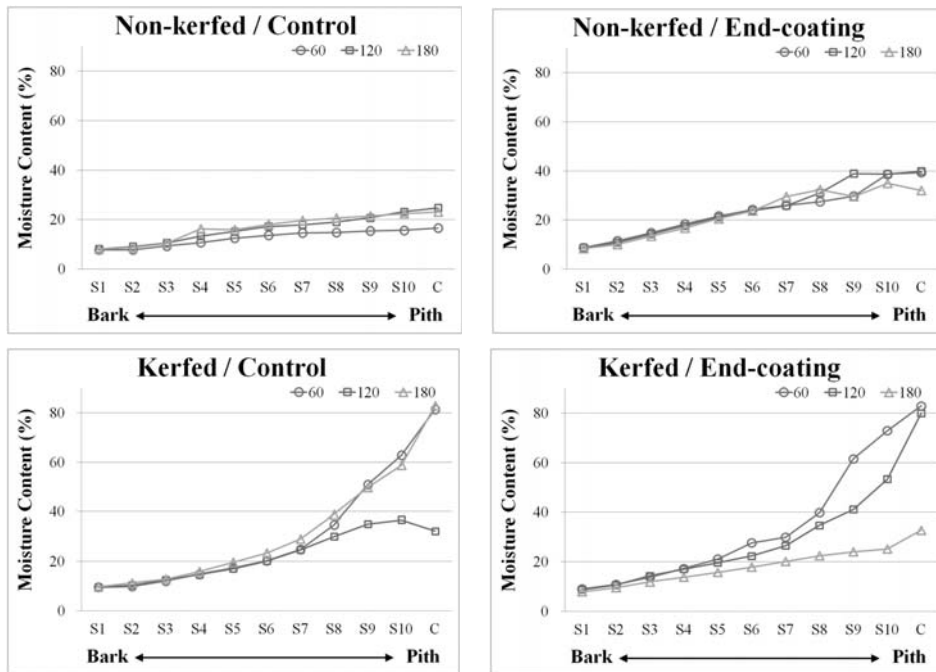


Fig. 7. Longitudinal MC distribution of the round timber after HTLH-HD of Korean Pine.

중심부분 엔드코팅처리가 국산 소나무와 잣나무 중목구조부재의 고온저습건조 특성에 미치는 영향

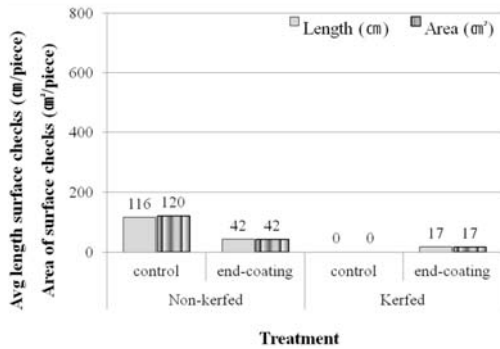


Fig. 8. Extent of surface checking on the square timber after HTLH-HD of Red Pine.

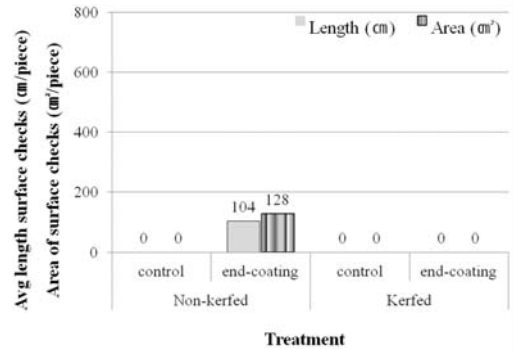


Fig. 9. Extent of surface checking on the round after HTLH-HD of Red Pine.

Table 3. Kerfed expansion rate for each species and treatment

Species	Timber type	Treatment	Expansion rate (%)
Red Pine	Square	Control	97.7
		End-coating	141.3
	Round	Control	84.4
		End-coating	122.7
Korean Pine	Square	Control	115.6
		End-coating	121.9
	Round	Control	91.3
		End-coating	64.0

으며, 배합가공에 의한 재면할렬의 감소를 확인할 수 있었다(Fig. 8, Fig. 9). 무처리재와 코팅처리재의 배합률 확장은 각각 정각기등재 97.7%와 141.3%, 원주기등재 84.4%와 122.7%로 조사되어 코팅처리를 한 시험재들에서 30% 이상 더 확장된 것을 확인할 수 있었다(Table 3).

잣나무재에서 발생한 재면할렬은 Figs. 10, 11에 나타내었으며, 총 할렬발생 길이는 정각기등재 249~539 cm, 원주기등재 182~460 cm 범위로 소나무재와 비교하여 상당히 많은 할렬이 발생된 것을 확인할 수 있었다. 정각기등재에는 배합가공과 엔드코팅처리에 의한 재면할렬 발생의 유의성을 찾아볼 수 없었으며, 원주기등재에서는 무배합재가 약 2배가량 할렬이 더 발생된 것으로 조사되어 배합가공에 의한 재면할렬의 감소를 확인할 수 있었다. 잣나무 원주기등재의 건조에서 재면할렬의 발생을 감소시키기 위해서는 배합 가공이

반듯이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

중목구조부재의 건조에 있어 재면할렬의 발생은 섬유포화점 이하의 함수상태에서 수축이 진행되면서 수분경사로인한 표층의 인장응력의 발생이 주요원인이다. 고온저습건조는 표층과 내층의 인장세트를 형성시켜 발생한 재면할렬을 단면할렬로 전환시켜 최종적으로는 결함발생을 감소시키는데 목적이 있다.

하지만 정각기등재의 경우 내부에 함수율 20% 이상인 부위가 상당히 넓게 분포하고 있었으며, 원주기등재는 배합가공을 한 시험재의 내부함수율이 훨씬 더 높게 분포하고 있었다. 따라서 내부의 함수율이 20% 이하로 건조가 진행이 된다면 압축응력이 작용하여, 발생한 재면할렬의 일부는 단면할렬로 전환될 것으로 사료된다.

吉田 등(2004)은 재면할렬이 많고 적음을 숫자로 판단하는 것은 어렵지만, 천연 건조에서 발생하는 할

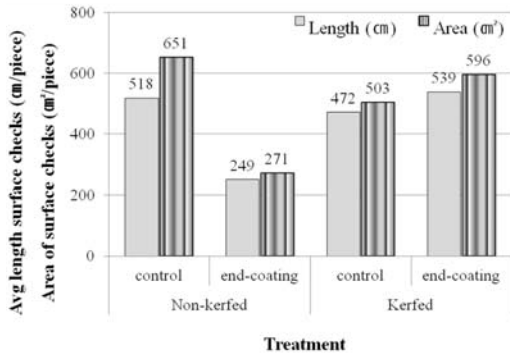


Fig. 10. Extent of surface checking on the square timber after HTLH-HD of Korean Pine.

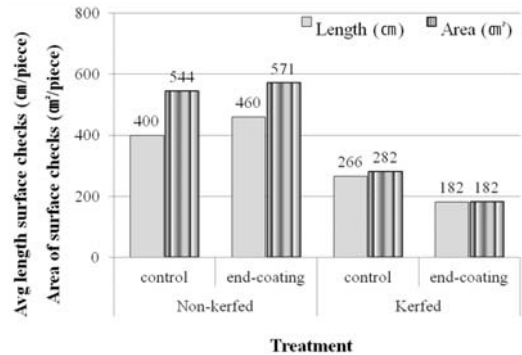


Fig. 11. Extent of surface checking on the round after HTLH-HD of Korean Pine.

렬의 길이가 기둥재 1본당 네 재면의 할렬길이 총 합이 대부분 3,000 mm 이상이기 때문에, 그 절반인 1,500 mm 이하의 범위를 기준으로 고온저습처리에 의한 재면할렬의 억제효과를 비교하였다고 보고하였다.

이 기준으로 본다면, 소나무재의 경우 부분엔드코팅에 관계없이 고온저습건조를 통한 할렬발생의 억제 효과가 있는 것으로 해석할 수 있다. 하지만 잣나무재는 모든 시험재에서 기준보다 높은 수치를 나타내었으며, 부분엔드코팅처리에 의한 차이도 확인할 수 없었다. 따라서 잣나무재의 경우 별도의 건조 스케줄과 전처리방법의 모색이 필요한 것으로 판단된다.

3.3. 내부할렬 및 표면경화율

내부할렬의 발생 원인은 내부의 함수율이 섬유포화점 이하로 감소되고 수축이 시작되면서 목재 내부에 인장응력이 발생하기 때문이며, 주로 목재내부의 함수율이 높은 상태에서 고온으로 장시간 건조할 때 발생한다. 본 연구에서는 부재의 단면크기를 고려하여 고온저습처리 64시간을 적용하였으나, 상대적으로 처리시간이 너무 길었던 것이 원인이 되어 두 수종 모두에서 내부할렬이 발생된 것으로 사료된다.

본 연구에서 내부할렬의 발생에 배합가공과 엔드코팅처리에 의한 영향은 없는 것으로 조사되었다. 소나무에서 발생한 내부할렬의 합은 정각기둥재 32개, 원주기둥재 19개, 잣나무 정각기둥재 15개, 원주기둥재 12개로 두 수종모두 정각기둥재에서 더 발생된 것으

로 나타났다(Tables 4, 5). 또한 잣나무재의 내부할렬이 소나무재보다 비교적 적게 발생된 것은 내부함수율이 높아 수축에 의한 인장응력의 발생이 적었기 때문으로 사료된다. 이는 함수율이 낮을수록 내부할렬이 증가하며, 함수율 20%정도가 되면 상당히 큰 내부할렬이 발생하기도 한다고 보고한 吉田 등(2004)의 내용과 일치한다.

표면경화율은 Table 6에 나타내었으며, 조사결과 소나무재의 경우 3.7~9.1%로 매우 경미한 수준이었으며, 잣나무재는 20.9~35.8%로 약간의 잔류응력이 존재하였다. 이는 최종함수율이 15% 이상을 가지게 되면 표면경화는 증가할 것이라고 보고한 이 등(2010)의 내용과 일치하였다.

3.4. 비틀림과 수축율

고온저습건조 후 소나무와 잣나무 정각기둥재의 비틀림과 수축율은 Table 7에 나타내었다. 상단하중의 적용에 기인한 비틀림의 억제효과는朴과鄭(1987), Price 등(1981)에 의해 확인된 바가 있어 본 연구에서는 상단하중 적용을 통한 압축방향에 따른 비틀림의 차이를 확인하고자 하였다. 그러나 ⊥단면과 ∥단면 사이의 차이는 없는 것으로 조사되었다.

소나무재와 잣나무재 모두에서 상단하중의 적용으로 인한 수축율의 차이를 확인할 수 있었다. 정각기둥재의 경우 상단하중이 가해지는 방향과 평행한 단면을 형성한 ∥단면이 ⊥단면보다(소나무 0.7%, 잣나무 0.8%) 더

Table 4. Occurring the extent of internal check for each treatment of Red Pine

Timber type	Treatment		Distance from end surface of specimen (cm)					
			60		120		180	
			Length (mm)	Piece	Length (mm)	Piece	Length (mm)	Piece
Square	Non-kerfed	Control	55	1	212	3	137	3
		End-coating	180	3	96	3	154	3
	Kerfed	Control			None		152	3
		End-coating	157	4	194	5	105	4
Round	Non-kerfed	Control	69	1	191	3	116	3
		End-coating			None		147	2
	Kerfed	Control	134	3	None		101	1
		End-coating	91	1	52	2	103	3

Table 5. Occurring the extent of internal check for each treatment of Korean Pine

Timber type	Treatment		Distance from end surface of specimen (cm)					
			60		120		180	
			Length (mm)	Piece	Length(mm)	Piece	Length (mm)	Piece
Square	Non-kerfed	Control	136	4	76	2	57	1
		End-coating	23	1	None		54	1
	Kerfed	Control			None		130	5
		End-coating			None		79	1
Round	Non-kerfed	Control	54	1	176	2	47	1
		End-coating	None		65	1	99	2
	Kerfed	Control	None		20	1	None	
		End-coating	None		42	3	36	1

Table 6. Case hardening for treatment after the HTLH-HD drying test

Species	Treatment		Distance from end surface of specimen (cm)			Average (%)
			60	120	180	
Red Pine	Non-kerfed	Control	6.0	2.6	2.6	3.7
		End-coating	2.5	11.8	3.8	6.0
	Kerfed	Control	2.1	13.4	11.8	9.1
		End-coating	3.8	3.7	8.2	5.2
Korean Pine	Non-kerfed	Control	22.6	22.5	17.7	20.9
		End-coating	21.1	25.5	23.9	23.5
	Kerfed	Control	31.0	36.4	40.1	35.8
		End-coating	29.5	17.7	27.2	24.8

수축하였다. 원주기둥재는 단면의 구성에 따른 수축의 이방성으로 인해 건조 후 측정부위의 횡단면이 정원으

로 이루어져있다고 보기는 어려우므로 원주재의 수축률의 분석에는 신중을 기할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Table 7. Twist and drying shrinkage for each treatment

Species	Treatment	Drying shrinkage (%)			Twist (mm)		
		Square		Round	Square		
		⊥ [*]	∥ ^{**}		⊥	∥	
Red Pine	Non-kerfed	Control	24	3.0	31	22	20
		End-coating	23	2.8	4.2	17	17
	Kerfed	Control	22	3.2	2.4	20	20
		End-coating	23	2.9	2.6	22	22
Korean Pine	Non-kerfed	Control	1.0	1.5	1.1	7	7
		End-coating	1.3	1.4	0.7	4	5
	Kerfed	Control	0.3	1.5	0.8	7	7
		End-coating	0.6	2.1	1.0	9	10

* Surface of perpendicular to pressure

** Surface of Parallel to pressure

4. 결 론

1) 건조 종료 시 측정부위별 최종함수율은 소나무재의 경우 9.2~10.8%, 잣나무 정각기둥재 15.0~22.0%, 원주기둥재 12.8%~20.4% 범위로 각각 나타났다.

2) 소나무재의 재면할렬 발생은 매우 경미하였으며, 배합가공에 의한 재면할렬의 감소를 확인할 수 있었다. 배합홈 확장율의 경우 엔드코팅처리를 한 시험재들이 30% 이상 더 확장된 것으로 확인되었다. 잣나무재는 소나무재보다 많은 재면할렬이 발생되었으며, 소나무재와 잣나무재에서 발생한 재면할렬은 부분엔드코팅처리에 의한 효과가 없는 것으로 조사되었다.

3) 부분엔드코팅처리와 배합가공은 내부할렬의 발생과 관계가 없는 것으로 조사되었다. 내부할렬은 두 수종 모두 정각기둥재에서 더 발생되었으며, 함수율이 낮은 소나무재에서 더 많이 발생하였다.

4) 표면경화율은 소나무재의 경우 3.7~9.1%로 잔류응력이 거의 존재하지 않았으며, 잣나무재의 경우는 20.9~35.8%로 경미한 수준이었다.

5) 상단하중의 적용에 의한 수축율은 소나무 0.7%, 잣나무 0.8%로 ∥ 단면이 ⊥ 단면보다 더 수축하였으나, 비틀림의 차이는 없는 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

- Boone, R. S. 1984. High-Temperature Kiln-Drying of 4/4 Lumber from 12 Hardwood Species. *Forest Prod. J.* 34(3): 10~18.
- Erickson, R. W., H. D. Peterson, and T. D. Larson. 1984. Obtaining Uniform Final Moisture Content in High Temperature Drying of Paper birches *Forest Prod. J.* 34(2): 27~32.
- Taylor, F. 1991. Moisture Gradients in Poles Dried at High Temperatures. *Forest Prod. J.* 41(5): 36~38.
- Wengert, E. M. 1974. Maximum Initial Moisture Contents for Kiln Drying 4/4 Hardwood at High Temperature. *Forest Prod. J.* 24(8): 54~56.
- 김병로. 1995. 잣나무 수간내 재질변동에 관한 연구(I)-심재와 변재의 생재함수율과 수축율 차이. *목재공학* 23(1): 28~34.
- 豆田俊治, 藤本登留. 2001. スギ心持ち材の高湿蒸気処理による表面割れ抑制効果について. *日林九支研論文集* 54: 195~196.
- 小田久人, 蛭原啓文, 迫田忠芳, 藤本登留, 村瀬安英 (2004) 宮崎縣産スギ心持ち柱材の高湿低湿乾燥における乾燥性. *木材工業* 59: 255~259.
- 박문재, 정희석. 1987. 소나무와 리기다소나무 平小角材의 高湿乾燥. *목재공학* 15(2): 53~66.
- 신익현. 2010. 국산 침엽수 중목구조부재의 건조방법별 고온저습전처리 효과. 석사학위논문.

10. 吉田孝久. 2003. スギ材の乾燥 上. スギ構造材の乾燥法—特に高温セット法という高温乾燥について. 林業技術 73(6): 14~20.
11. 吉田孝久. 2008. 木材の高温乾燥研究の変遷—高温高湿スケジュールから高温低湿スケジュールへ—. 木材工業 63: 400~405.
12. 吉田孝久, 橋爪丈夫, 藤本登留. 2000. カラマツ及びスギ心持ち正角材の高温乾燥特性—高温低湿乾燥條件が乾燥特性に及ぼす影響—. 木材工業 55: 357~362.
13. 吉田孝久, 橋爪丈夫, 徳本守彦, 武田孝志, 印出 晃. 2004. スギ心持ち無背割り柱材の高温乾燥における高温セット法の割れ防止効果について. 長野縣林總セ研報 18: 125~139.
14. 임창득, 이상준, 김광모, 이창진, 이남호, 박문재. 2012. 잣나무 대단면재 건조에 대한 연구. 목재공학 학술발표논문집: 42~43.
15. Nam-Ho Lee, Chengyuan Li, Xue-Feng Zhao, Moon-Jae Park. 2010. Effect of pretreatment with high temperature and low humidity on drying time and prevention of checking during radio-frequency/vacuum drying of Japanese cedar pillar. Journal of Wood Science 56: 19~24.
16. 이남호, 이창진, 황권환, 신익현, 박문재, 박주생, 임창득. 2011. 국산 소나무와 잣나무 중목구조부재의 고온저습전처리 고온건조 특성 연구. 국립산림과학원.
17. 이남호, Zhao Xue Feng, Xie Dan, 박문재, 박정환, 박주생, 이도식, 여환명. 2007. 낙엽송 수심대단면재의 압축고주파진공건조 특성. 목재공학 학술발표논문집: 35~36.
18. Nam Ho Lee, Xue Feng Zhao, Ik Hyun Shin, Moon Jae Park, and Jung Hwan Park, Joo Saeng Park. 2011. Characteristics of the Radio-Frequency/Vacuum Drying of Heavy Timbers for Post and Beam of Korean Style Housings Part I: For Japanese Larch round Logs with 150mm and 210mm in diameter and 2500mm in Length. Mokchae Konghak 39(2): 125~131.
19. Nam Ho Lee, Xue Feng Zhao, Ik Hyun Shin, Moon Jae Park, Jung Hwan Park, and Joo Saeng Park. 2011. Characteristics of the Radio-Frequency/Vacuum Drying of Heavy Timbers for Post and Beam of Korean Style Housings Part 2: For Korean red pine heavy timbers with 250 × 250 mm, 300 × 300 mm in cross section and 300 mm in diameter, and 3,600 mm in Length. Mokchae Konghak 39(2): 132~139.
20. 이남호, Zhao Xue Feng, 신익현, 박문재, 박정환, 박주생, 이도식, 김광모. 2008. 소나무 중목 구조부재의 고주파진공건조 특성. 목재공학 학술발표논문집: 25~26.
21. 이준호, 정희석. 1997. 일본잎갈나무 정각재의 고온건조 온도가 내부온도, 건조 속도 및 건조결함에 미치는 영향. 목재공학 25(4): 99~107.
22. 정희석, 임창득, 소범준. 2004. 미송 대단면재의 가열법에 따른 진공건조 특성. 목재공학 32(4): 18~26.