

국산 소나무재 건조스케줄 개량에 관한 연구*1

이형우*2† · 김경용*2

Improvement of Drying Schedule for Domestic Red Pine Lumber*1

Hyoung-Woo Lee*2† · Kyung-Yong Kim*2

요 약

두께 50 mm 국산 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) 판재의 건조스케줄 개량을 위해 일반 열기 건조스케줄, 시간 기준 건조스케줄, 연속 온도상승 건조스케줄, 그리고 습구온도 조절 건조스케줄을 적용하여 최종습수를 15% 정도까지 건조한 후 각각의 건조스케줄 적용에 의한 건조특성을 비교분석하였다. 두께 50 mm 국산 소나무의 일반 열기 건조스케줄 적용실험 결과 건조속도는 0.53%/hr, 시간 기준 건조스케줄 적용에 의한 건조속도는 0.9%/hr, 그리고 연속 온도상승 건조스케줄 적용에 의한 건조속도는 2.29%/hr였으며, 습구온도 조절 건조스케줄 적용에 의한 건조속도는 1.52%/hr였다.

ABSTRACT

This experiment was carried out for the improvement of drying schedules for 50 mm-thick Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) lumber. Drying rates were analyzed comparatively after drying to 15% of final moisture content through the applications of conventional kiln drying schedule, time schedule, continuously rising temperature schedule, and drying rate schedule. As results drying rate of 50 mm-thick red pine lumber was 0.53%/hr with conventional kiln drying schedule, 0.9%/hr with time schedule, 2.29%/hr with continuously rising temperature schedule, and 1.52%/hr with drying rate schedule, respectively.

* 1 접수 2005년 4월 29일, 채택 2005년 8월 3일

이 연구는 2005년도 한국학술진흥재단 지방연구중심대학육성사업(전남대학교 전통재료와 첨단공법을 융합한 바이오하우징 개발연구단)의 지원에 의한 것입니다.

* 2 전남대학교 농업생명과학대학 농업과학기술연구소: Inst. of Agric. Sci. and Tech., Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 이형우(e-mail: hwlee@chonnam.ac.kr)

Keywords: drying schedule, time schedule, continuously rising temperature schedule, drying rate schedule, *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.

1. 서 론

목재의 건조는 목재가공과정 중 목제품의 부가가치를 높이기 위한 가장 기본적인 공정이다. 예로부터 전수되어온 건조방법인 천연건조는 시설이나 에너지비용이 거의 들지 않지만 오랜 시간이 소요되고 기후변동이나 약천후에 의한 건조결합이 발생하는 등 심각한 단점이 있다. 특히, 건조결합에 의한 손실액은 총 건조비용 중 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 일례로 참나무의 천연건조에 의한 건조결합 손실액은 총 건조비용의 13%를 차지한다. 그러나 열기건조를 실시할 경우 이를 2% 이하로 낮출 수 있고 건조시간도 상당히 절감할 수 있으며, 최근 들어 생재와 건조재간의 가격차가 점차 확대되고 있어 열기건조의 필요성이 크게 증대되고 있다. 또한, 급격히 증가되고 있는 목조주택, 조경시설물 및 목재문화재용 건축재료의 제작에 있어서도 건조공정을 필수적으로 포함시키는 분위기가 빠르게 고조되고 있다.

Dedrick (1968)은 두께 50 mm, 폭 200 mm인 hemlock을 일반 열기 건조스케줄을 이용하여 건조한 결과 함수율 63.3%에서 13.7%까지 약 120시간이 소요되어 건조속도는 0.41%/hr이었다. Salamon 등 (1970)은 Western White Spruce를 대상으로 건조초기에는 높은 풍속(4.57 m/s)과 일반 열기건조 스케줄을 적용하였고, 목재의 섬유포화점 이하에서는 최종 함수율 12%까지 낮은 풍속(2.03 m/s)과 110°C의 고온을 유지하는 복합적인 건조스케줄을 적용함으로써 약 47%의 건조시간 단축효과를 발생시켰다. Nassif (1979)가 최초로 시도한 연속 변화형 건조스케줄(CVS: Continuously varying schedule)이 연속 온도 상승 건조스케줄과 다른 점으로는 건조 중 목재의 함수율단계에 따라 건구와 습구 온도 모두 상승률을 달리한다는 것이다. 그는 호주산 Eucalyptus에 속하는 두 수종을 대상으로 한 연속 온도상승 건조스케줄 적용실험에서 서로 다른 온도상승 조건으로 실험한 결과 건조초기에는 낮고 섬유포화점 이하에서는 높은

온도상승률을 적용하는 것이 바람직하다는 결론을 얻었다. 이(1994)는 연속 온도상승 건조스케줄 적용이 가능한 목재건조 자동화 시스템을 개발하기도 하였다. 한편, Shida와 Nara (1988)는 건조속도를 기준으로 하되 건구온도는 일정 수준에 고정하고 습구온도 즉, 상대습도만을 조절하여 안전한 건조속도를 유지하도록 하는 건조스케줄(DRS : Drying rate schedule)을 제시한 바 있다.

본 연구에서는 전자동 제재목 소형 건조시스템을 이용하여 국내에서 유통되고 있는 국산 침엽수 중에서 소나무를 선택하여 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 미국 임산물연구소(Forest Products Laboratory)의 목재 열기건조스케줄을 기본으로 다양한 건조스케줄을 적용한 후 목재 건조시간의 단축과 품질향상을 위한 변화된 개념의 건조스케줄을 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

공시수종은 국산 소나무(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)이며, 제재목의 크기, 초기함수율, 규격 및 적용 건조스케줄 형식은 Table 1과 같이 설계하였고, 건조스케줄 개발 실험용 제재목의 치수는 실험실용 규격으로 두께 50 mm, 폭 100 mm, 길이 600 mm의 시편을 사용하였으며, 실제 산업용 시편으로는 우리 전통가옥의 마루판 용도로 사용되는 두께 50 mm, 폭 270 mm, 길이 1800 mm의 국산 소나무 시편을 사용하였다(Table 1).

2.2. 전자동 열기건조 시스템

국내 D社에서 제작한 실험실용 전자동 열기건조 시스템(Model: Wood Dryer DN-90)과 산업용 전자동 소형 목재건조 시스템(Model: WD-2500)은 공기가열

Table 1. Sizes and initial moisture contents of lumber used

Species	Test group	Schedule	Size (mm)	Initial MC (%)
Japanese red pine	Lab. size	Conventional kiln drying schedule	50×100×600	101.4
		Time schedule	50×100×600	63.8
		Continuously rising temperature schedule	50×100×600	138.7
	Industry size	Drying rate schedule	50×270×1800	150.4

을 위한 전기히터, 건조기내부의 상대습도를 조절하기 위한 증기분사방식의 가습기와 내부공기를 순환시키기 위한 송풍기(blower)로 구성되어 있다. 허용최고온도는 각각 200°C와 120°C이며, 조절가능한 상대습도 범위는 5~99%이다. 건조실 내부규격은 각각 W490 × H290 × L630 mm (약 0.09 m³)과 W1000 × H1000 × L2450 mm (약 2.4 m³)이다.

2.3. 적용 건조스케줄과 건조재 품질 검사

본 실험에서 적용된 건조스케줄은 먼저 일반 열기 건조스케줄로서 미국 임산물연구소의 건조스케줄 중 T₈F₄를 적용하였고(Table 2), 시간 기준 건조스케줄(Time schedule)은 10시간 단위로 건구온도와 습구온도를 조절하였다(Table 3). 그리고 일반 열기 건조스케줄과 시간 기준 건조스케줄을 적용한 건조실험 결과를 기본으로 하여 국산 소나무재의 연속 온도상승 건조스케줄(CRT; Continuously rising temperature schedule)을 개발, 적용하였다. 즉, 건구온도의 경우 초기함수율로부터 함수율 25%까지는 55°C를 유지하였으며, 함수율 25% 미만에서는 시간당 0.6°C씩 온도를 상승시켰으며, 최고온도는 90°C를 넘지 않도록 하였다. 그리고 상대습도의 경우에는 최초 80.5%로부터 출발하여 초기함수율부터 함수율 40%까지는 시간당 0.5%씩 낮추었으며 함수율 40%~25% 구간에서는 55.5%로 유지한 다음 함수율 25% 미만에서는 다시 시간당 0.5%씩 낮추어 최저 상대습도가 22%가 되도록 하였다(Table 4).

마지막으로 전자동 소형 목재건조 시스템을 이용하여 우리 전통 가옥의 마루판용으로 사용되는 50 × 270 × 1800 mm 규격의 국산 소나무를 대상으로 습구온도 조절 건조스케줄(DRS; Drying rate schedule)

Table 2. Conventional kiln drying schedule for 50 mm-thick Japanese red pine lumber (FPL schedule code T₈F₄)

Moisture content (%)	Dry bulb temperature (°C)	Wet bulb temperature (°C)	Relative humidity (%)
Green~70	55	51.1	80.5
70~60	55	49.4	73.3
60~50	55	46.7	62.3
50~40	55	44.0	52.5
40~35	55	41.0	42.5
35~30	55	38.0	34.2
30~25	60	40.0	30.0
25~20	65	45.0	32.5
20~15	70	50.0	35.0
15~End	80	52.0	24.0

Table 3. Time schedule for 50 mm-thick Japanese red pine lumber

Time (hr)	Dry bulb temperature (°C)	Wet bulb temperature (°C)
0~10	74	67
10~20	76	68
20~30	78	68
30~End	82	68

적용실험을 실행하였다(Table 5).

건조 종료후 건조재의 품질조사를 위하여 틀어짐과 할렬 및 프롱테스트를 통한 표면경화율과 함수율 분포 등을 실시하였다.

2.4. 잔적

전자동 소형 목재건조 시스템(WD-2500)을 이용한 건조실험은 자체 제작한 두께 20 mm 스테인리스 강

Table 4. Continuously rising temperature schedule for 50 mm-thick Japanese red pine lumber

Moisture content (%)	Dry bulb temperature(T) (°C)	Relative humidity(RH) (°C)
Green~40	55	$\Delta RH = -0.5\%/hr$ from 80.5%
40~25	55	55.5%
25~End	$\Delta T = 0.6^\circ C/hr$ to Max. 90°C	$\Delta RH = -0.5\%/hr$ to Min. 22%

Table 5. Drying rate schedule for 50 mm-thick Japanese red pine lumber

Moisture content (%)	Dry bulb temperature (°C)	Wet bulb temperature (°C)
Green~100	80	73
100~50	80	63
50~25	80	63
25~15	80	58
15~End	Cooling	Cooling

철 재질의 천공잔목(perforated sticker)을 이용하여 건조대상 시편을 잔적하였다. 그리고 목재를 잔적한 후 자체 제작한 압착장치를 이용하여 벨트압착에 의한 상부의 하중이 균일하게 분포되도록 하였다. 그리고 잔적된 목재에 토크렌치(torque wrench)를 이용, 300 kgf·cm의 토크(torque)로 압착하여 건조 중의 뒤틀림현상을 방지하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건조스케줄 적용결과

일반 열기 건조스케줄을 적용한 건조실험에서는 건조 후 목재의 목표함수율을 10%로 기준할 때 두께 50 mm 국산 소나무의 건조시간은 총 233시간이 소요되었다(Fig. 1). 시간 기준 건조스케줄을 적용하여 건조실험을 한 결과 초기함수율 63.8%에서 목표함수율인 10%까지 소요된 시간은 총 74시간이었다(Fig. 2).

한편, 국산 소나무재의 건조에 연속 온도상승 건조스케줄을 적용하였을 때 건조실험 결과 시편의 목표함수율인 10%에 도달하기까지 소요된 건조시간은 65시간으로 크게 단축되었다(Fig. 3). 그러나 습구온도 조절 건조스케줄 적용 실험 결과 초기함수율 150.4%

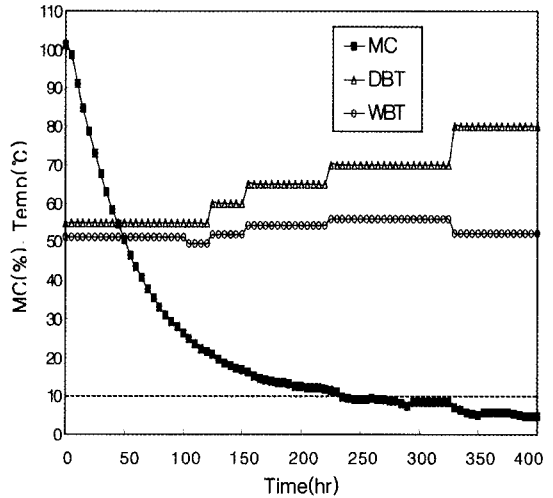


Fig. 1. Drying curves of 50 mm-thick Japanese red pine lumber dried with conventional kiln drying schedule.

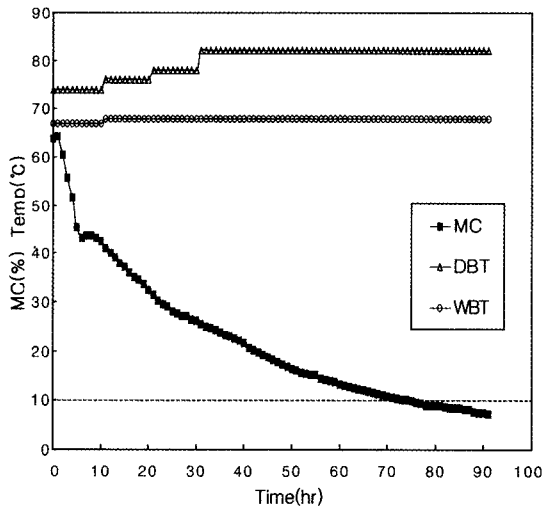


Fig. 2. Drying curves of 50 mm-thick Japanese red pine lumber dried with time schedule.

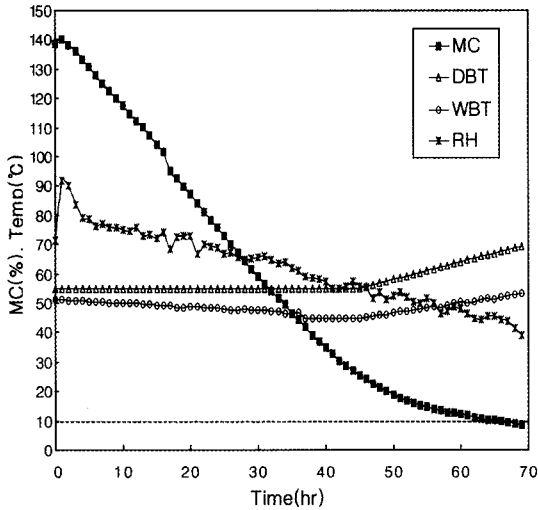


Fig. 3. Drying curves of 50 mm-thick Japanese red pine lumber dried with continuously rising temperature schedule.

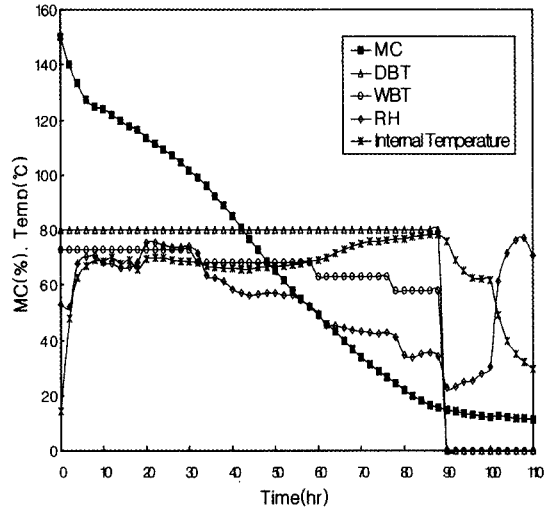


Fig. 4. Drying curves of 50 mm-thick Japanese red pine lumber dried with drying rate schedule.

Table 6. Drying rates of 50 mm-thick Japanese red pine lumber

Schedule	Drying rate (%/hr)					Total (%/hr)
	Green~100	100~40	40~25	25~15	15~End	
Conventional kiln drying	0.33	0.97	0.39	0.34	0.04	0.53
Time	-	1.98	0.75	0.45	0.2	0.90
Continuously rising temperature	2.40	2.70	2.14	1.10	0.42	2.29
Drying rate	1.60	1.70	1.36	0.83	0.17	1.52

에서 최종함수율 11.5%까지 총 110시간이 소요되었다(Fig. 4).

3.2. 건조속도와 건조재 품질

국산 소나무 두께 50 mm의 일반 열기 건조스케줄의 평균 건조속도는 0.53%/hr, 시간 기준 건조스케줄(TS) 적용실험에서는 0.9%/hr였다. 그리고 연속 온도상승 건조스케줄 적용실험의 경우는 2.29%/hr였고, 습구온도 조절 건조스케줄(DRS)의 건조속도는 1.52%/hr였다(Table 6).

연속 온도상승 건조스케줄의 적용실험에서 가장 빠른 건조속도를 얻을 수 있었던 것은 기존 일반 열기

건조스케줄의 함수율 단계를 세분하여 지속적으로 온도를 상승시키므로 결과적으로 일정 시간동안 보다는 많은 열량을 투입하였기 때문으로 사료된다. 그러나 건조재의 품질 검사 결과 약간의 내부할열이 발생되었고 그 외 건조스케줄 적용 건조재에서는 발견되지 않아 비교적 과도한 건조속도가 적용된 것으로 판단된다.

습구온도 조절 건조스케줄에서는 전체 건조기간동안 건구온도를 80°C로 유지하므로써 피건조재에 지속적으로 충분한 열량을 공급하므로 일반 열기 건조스케줄에 비하여 약 3배에 달하는 건조속도를 얻을 수 있었다. 또한, 건조초기에는 건조속도 지연을 통한 건조결합 발생 억제를 위하여 높은 상대습도를 유지

하고, 건조가 진행될수록 상대습도 수준을 단계적으로 낮추므로써 비교적 건조제의 품질을 안전하게 유지할 수 있었던 것으로 생각된다. 따라서 초기함수율 100%인 국산 소나무재를 함수율 10%까지 건조하는 경우 약 60시간 내에 완료할 수 있을 것으로 예상된다.

한편, 틀어짐의 경우 비틀림, 너비굽음, 측면굽음 및 길이굽음의 평균은 각각 11.5 mm, 1.2 mm, 1.2 mm 및 1.0 mm였으며, 적용된 스케줄에 따른 차이는 거의 없었다. 따라서 틀어짐 발생량을 줄이기 위해서는 벨트를 이용한 압제압력을 보다 높여야 할 것으로 사료된다. 표면경화율은 평균 12% 였으며, 함수율 분포는 평균 내외부 함수율 차가 1.2%였다.

4. 결 론

국내 침엽수 중에서 두께 50 mm 국산 소나무에 연속 온도상승 건조스케줄을 적용한 결과 2.29%/hr로서 건조속도가 가장 빨랐다. 그러나 모든 스케줄 적용 실험에서 표면할렬은 발생하지 않았지만 연속 온도상승 스케줄 적용 건조제에서는 약간의 내부할렬을 발견할 수 있었다. 한편, 습구온도 조절 건조스케줄을 적용한 결과 건조속도가 평균 1.52%/hr로서 산업현장에서 적용할 만큼 충분히 빠른 속도였으며, 할렬 발생이 없고 건조제의 품질이 양호한 수준이었다. 따라

서 두께 50 mm 국산 소나무 건조의 경우는 신속한 건조와 우수한 품질의 달성을 위해서 습구온도 조절 건조스케줄을 보다 개선하여 적용하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Detrick, D. S. 1968. Kiln drying process. U. S. Patent 3: 404~464.
2. 이형우. 1994. 목재건조의 자동화에 관한 연구1-연속온도상승스케줄을 이용한 목재건조장치 자동화. 목재공학 22(1): 12~19.
3. Nassif, N. M. 1979. An approach to the drying of Eucalyptus Laevopinea and Eucalyptus Agglomerata using CRT. Forestry Commission of N. S. W.
4. Salamon, M. and McIntyre. S. 1970. Combination schedule improves drying of Western white spruce lumber. *Forest Products Journal*. 20(7): 41~42.
5. Shida, S. and N. Nara. 1988. A computer-controlled system for operating kiln drying III. Performance of the "full-auto system" controlled by the continuous changing drying schedules on the basis of a moisture content measured by a moisture sensor consisted of a load cell. *Hokkaido Forest Res. Ins.* 2(2): 10~20.