

Douglas-fir, Hemlock, Radiata pine 정각재의 고온건조 특성에 관한 연구¹

이 창 진² · 이 남 호² · 오 승 원^{2,†}

Studies on the High-Temperature Drying Characteristics of Douglas-fir, Hemlock and Radiata Pine Square Timber¹

Chang-Jin Lee² · Nam-Ho Lee² · Seung-Won Oh^{2,†}

요 약

본 연구는 두께 15 cm와 18 cm 크기 Douglas-fir, Hemlock, Radiata pine 정각재의 고온건조 특성을 평가하기 위해 수행되었다. 수종에 따른 최종함수율은 시험재의 두께에 관계없이 Radiata pine, Douglas-fir, Hemlock 순으로 Radiata pine에서 가장 낮았으며, 배할처리를 하였을 때 무처리재보다 낮은 함수율을 나타내었다. Radiata pine과 Hemlock의 경우 배할처리를 하였을 때 함수율과 뒤틀림 발생을 감소시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. Douglas-fir는 수를 포함하지 않는 정목형태로 가공될 때 건조결함의 감소가 가능하였다.

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the high-temperature drying characteristics of douglas-fir, hemlock, and radiata pine square timber with dimensions of thickness 15 cm and 18 cm. As a result, radiata pine showed the lowest final moisture content followed by douglas-fir and hemlock without reference to the timber size. Moreover, when the longitudinal kerfing is processed, the final moisture content was lower than control. The kerfing treatment was effective to decreasing the twist of radiata pine and hemlock. When douglas-fir is processed to the shape like the edge-grained timber that does not include the pith, the decrease of drying defect was possible.

Keywords : hemlock, radiata pine, douglas-fir, timber drying, longitudinal kerfing, high-temperature drying

¹ Date Received June 17, 2016, Date Accepted August 18, 2016

² 전북대학교 목재응용과학과. Department of Wood Science & Technology, Chonbuk National University, Chonju 54896, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

1. 서 론

최근 국토교통부가 발표한 통계자료에 따르면 연간 목조건축물의 건축허가 건수는 2006년부터 해마다 2,000건 이상 급격히 증가하여 2008년에 10,000건을 넘어섰으며, 이후로도 꾸준히 증가하여 2015년에는 15,000건을 넘어섰다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016). 또한 산림청이 보고한 목조주택 시공 시 용도별 목재사용 비율현황에서 2003년 24.2%였던 구조재의 비율이 2008년에는 38.2%로 증가된 반면 루바(7.2%), 사이딩(2.3%), 그리고 폴딩(3.0%)과 같은 실내마감 재료의 사용비율은 10% 이상 감소된 것으로 나타났다(Korea Forest Service, 2011). 구조재 사용 비율의 증가는 목조건물의 건축양식이 과거의 경골 목구조 방식에서 기둥-보양식에 기초한 한옥 형태로 변화되고 있다는 의미로도 해석이 가능하다.

하지만, 한옥건축에 사용되는 부재는 서구의 경골 목조주택과 비교하여 구조부재의 크기가 매우 크기 때문에 건조가공이 어려워지게 되는 문제를 가지게 된다. Jung 등(2003)은 14 cm 크기 낙엽송 정각재를 18%까지 건조하는데 32주가 소요되고, 두께가 2.5 cm 정도 밖에 증가하지 않았음에도 불구하고 건조시간은 16주가 더 소요되었음을 보고하였다. 하지만 두꺼운 대단면재를 천연건조 할 때 상당한 재면할렬이 발생되기 때문에(Lee 등, 2014) 직경 30 cm 이상인 원목을 그대로 천연건조 할 경우 약 3년 이상의 장시간이 요구된다. 그로 인해 천연건조 기간 중 청변이 발생되어 미관을 저하시킬 뿐만 아니라, 공사기간의 장기화 및 공사비 증가의 원인이 되기 때문에 이를 해결하기 위한 대안이 필요하다. 이와 더불어 국산재의 가격상승과 원자재 확보의 어려움으로 인해 국산재를 활용하였을 경우 건축비의 상승을 초래하고 있는 실정이다. 또한 산림청의 임업경영실태 조사결과 한옥 공법을 사용하는 경우에서 향후 해결해야 할 문제점으로 원자재의 안정적 확보를 선택한 비율이 19.2%인 것으로 조사되었다(Korea Forest Service, 2013). 그러므로 목조건축 시장의 활성화를 위해서는 가격이 저렴하고 원자재의 확보에

우위를 차지하고 있는 외국산재를 도입함으로써 경쟁력을 확보하기 위한 노력이 필요하다.

현재 국내에서 흔히 사용되고 있는 외국산재로는 Hemlock, Radiata pine, 미송(Douglas-fir), 러시아산 소나무 등이 있다. 이들 수종은 국산재보다 가격이 저렴하고 원자재 확보에 이점을 가지고 있어 파렛트, 토대용재, 건축가설재, 포장용재 등과 같은 다양한 산업재로 사용되고 있다. 또한, Douglas-fir의 경우 일부에서는 기둥이나 들보용으로 사용되는 사례도 있으며, Hemlock과 Radiata pine의 경우 약재주입이 용이하기 때문에 건조와 방부처리를 거친 후 옥외용 구조재로의 이용도 고려해 볼 수 있다. 하지만 외국산재를 구조용 재료로서 이용하기 위한 연구는 미흡한 실정이다. 최근 Lee 등(2016)에 의해 Douglas-fir 수심기둥재의 고온건조가 시도되긴 하였으나, Hemlock과 Radiata pine 수심기둥재와 관련된 연구는 보고된바 없다.

Douglas-fir 수심기둥재를 고온건조 한 Lee 등(2016)은 건조 후 발생된 재면할렬의 폭이 최대 10 mm까지 확장될 뿐만 아니라 한 개의 시험재에서 평균 20개 이상의 많은 재면할렬이 발생되어 Lee 등(2013)이 보고한 국산 소나무 수심기둥재와 비교하여 재면할렬이 심하게 발생되었음을 보고하였다. 국산재의 경우 큰 직경을 가지는 원목이 적기 때문에 기둥재로 사용하기 위해서는 수를 포함할 수밖에 없다. 하지만 국내에 수입되고 있는 Douglas-fir는 직경 60 cm 이상인 원목이 많기 때문에, 수를 포함하지 않은 정목형태로 가공하여 이용하는 방안도 고려해 볼 필요가 있을 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 국내에서 건축용 재료로 많이 사용되는 외국산 침엽수 3수종(Hemlock, Radiata pine, Douglas-fir)에 대하여 구조재로서의 이용가능성을 알아보기 위하여 고온건조를 실시하고, 함수율 및 건조결함과 같은 건조특성을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

공시수종은 Hemlock (*Tsuga heterophylla*), Radiata pine (*Pinus radiata*), Douglas-fir (*Pseudotsuga men-*

Table 1. Specification of testing specimens.

Species	Size (cm ³)	Treatment	Quantity (Picce)	Sample number
Douglas-fir	15 × 15 × 360	Control	3	D15-C
		Kerfing	3	D15-K
Hemlock		Control	3	H15-C
		Kerfing	3	H15-K
Radiata pine		Control	3	R15-C
		Kerfing	3	R15-K
Douglas-fir	18 × 18 × 360	Control	3	D18-C
		Kerfing	3	D18-K
Hemlock		Control	3	H18-C
		Kerfing	3	H18-K
Radiata pine		Control	3	R18-C
		Kerfing	3	R18-K

Table 2. Drying schedule

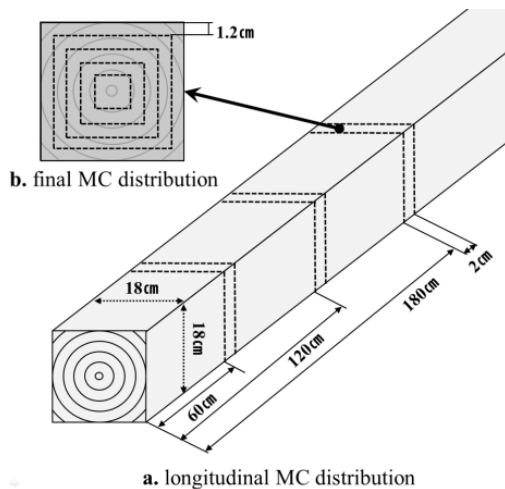
Stage	Dry bulb (°C)	Wet bulb (°C)	Processing time (hours)
Steaming	95	95	12
High temperature drying	120	90	36
Drying	90	70	144
Cooling	25	-	24
Total time			216

ziesii)로 선정하고, 횡단면 15 cm × 15 cm와 18 cm × 18 cm, 길이 360 cm 크기로 각각 6본씩 가공하였다 (Table 1). Hemlock과 Radiata pine의 경우 수(Pith)를 포함하는 수심기둥재로 제재하였으며, Douglas-fir는 수를 포함하지 않는 정목형태로 제재하였다. 그리고 각각 3본을 무작위로 선별한 후 건조 전처리로 둥근 톱을 사용하여 폭 3 mm, 횡단면 크기의 1/3 깊이로 한 면에 배할을 가공하였다. 잔적에는 두께 3 cm의 건조된 잔목을 사용하여 잔목간격 60 cm, 시험재간 간격은 3 cm로 하여 잔적하였다. 잔적상부에는 상업용으로 흔히 사용되고 있는 180 cm × 180 cm × 20 cm 크기의 콘크리트 구조물(약 1.6 ton)로 상부하중을 가하였다. 이후 Table 2에 나타난 조건으로 건조시험을 수행하였다.

건조 종료 후 모든 시험재를 대상으로 재면할렬, 뒤틀림, 그리고 건조수축률을 조사하였다. 재면할렬은 재면에 발생된 폭 2 mm 이상인 할렬의 길이와 폭을 측정하였다. 뒤틀림 측정은 양 횡단면의 네 재면 모두에서 측정하였다(1본당 8회). 배할 홈 확장률과 건조수축률은 건조 전·후 횡단면으로부터 60 cm, 120 cm, 180 cm 떨어진 위치에서 측정하였다. 건조수축률의 경우 각 위치에서 네 재면 모두 측정하였으며, 상단하중에 대하여 직각을 형성하는 단면(⊥)과 평형을 형성하는 단면(∥)을 구분하여 압제 방향에 따른 건조수축률을 비교하였다. 최종함수율의 경우, 건조 전 중량이 가장 무거웠던 시험재를 대표시험재로 선정하여 건조 후 Fig. 1-a과 같이 횡단면으로부터 60 cm, 120 cm, 180 cm 떨어진

Table 3. Initial MC and Final MC according to species, treatment, and distance from and surface

Sample number	Initial MC (%)	Final MC (%)			
		Average	Distance from end surface		
			60 cm	120 cm	180 cm
D15-C	31.0	11.7	11.1	12.2	11.7
D15-K	31.2	9.3	8.7	9.6	9.5
H15-C	71.1	12.1	12.2	12.6	11.5
H15-K	87.2	14.9	18.2	15.9	10.6
R15-C	81.5	8.6	7.9	8.9	8.8
R15-K	124.8	7.9	7.9	8.0	7.9
D18-C	38.8	18.8	19.3	19.5	17.5
D18-K	42.2	14.7	15.9	14.4	13.8
H18-C	62.8	21.4	21.5	22.5	20.2
H18-K	99.0	15.0	14.9	15.5	14.5
R18-C	64.6	15.3	16.2	16.4	13.2
R18-K	99.4	9.5	9.4	9.8	9.4

**Fig. 1.** Sawing diagram of the MC distribution.

위치에서 각각 두께 2 cm 시험편을 1매씩 채취하고, Fig. 1-b와 같이 분할하여 표층과 내층의 함수율분포를 전진법으로 조사하였다. 그리고 각각의 절단면에서 발생한 내부할렬의 수와 길이를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 최종함수율 및 분포

건조 전 조사된 초기함수율과 수종, 재종, 전처리 조건, 그리고 횡단면으로부터 거리에 따른 최종함수율은 Table 3에, 횡단면으로부터 거리에 따른 각각의 위치에서 표층으로부터 내층까지 함수율분포는 Figs. 2, 3에 나타내었다.

수종에 따른 최종함수율은 Radiata pine, Douglas-fir, Hemlock 순으로 시험재의 두께에 관계없이 Radiata pine의 함수율이 가장 낮았으며, 모든 수종에서 시험재의 두께가 감소됨에 따라 함수율도 감소되었다. 대부분의 경우에서 횡단면으로부터 거리에 따른 최종함수율 분포에 차이를 나타내지 않았으나, 오직 H15-K에서만 횡단면으로부터 거리가 증가함에 따라 함수율이 감소되었다. 또한 H15를 제외한 모든 경우에서 배할처리를 하였을 때 더 낮은 최종함수율을 나타냈다. 대단면제 고온건조 후 최종함수율 분포는 초기함수율에 의한 영향이 크며, 건조 중 발생하는 벽공폐색에도 영향을 받게 된다(Lee 등, 2013; Lee 등, 2014; Lee 등, 2016). 따라서 H15-K 시험재

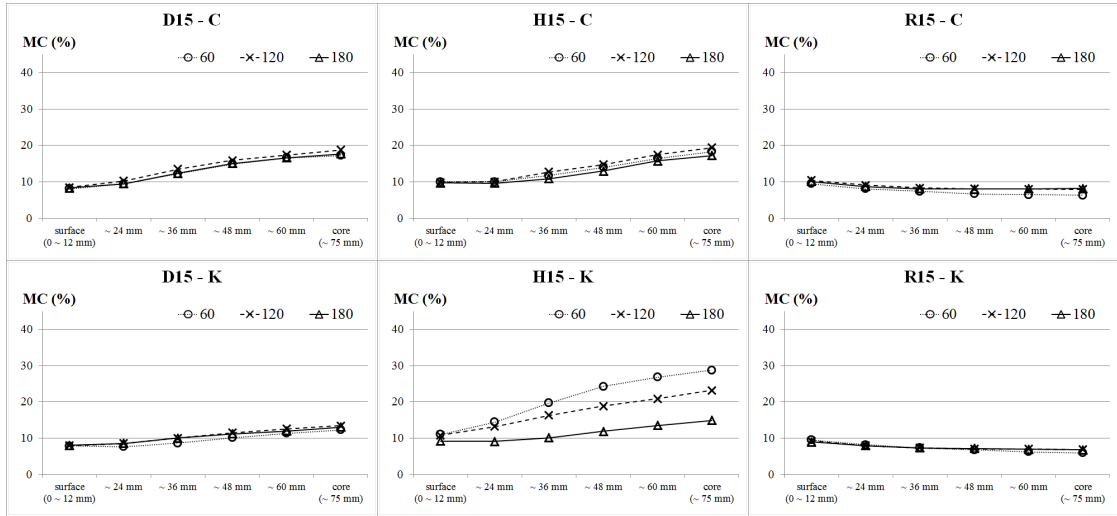


Fig. 2. Final MC distribution of thickness 15 cm square timbers according to distance from end surface and surface layer.

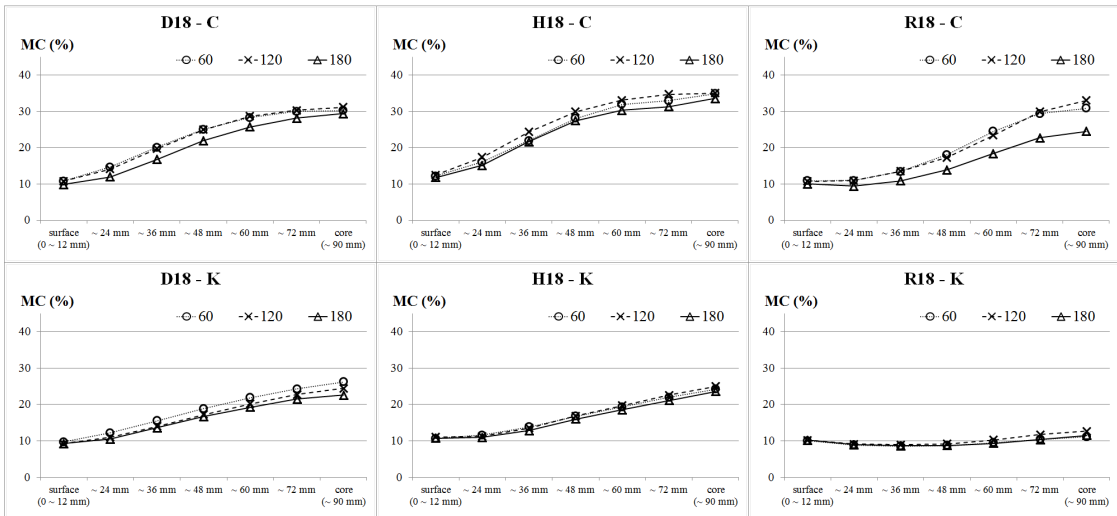


Fig. 3. Final MC distribution of thickness 18 cm square timbers according to distance from end surface and surface layer.

의 함수율변이는 초기함수율 및 길이방향 수분경사의 존재, 건조 중 벽공폐색의 발생 등과 같은 요인이 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다.

수를 포함하지 않은 정목형태로 가공된 Douglas-fir의 경우, 선행연구(Lee 등, 2016)와 비교하여 수의

존재 유무에 따른 함수율 분포에 차이는 없었으며, 시험재의 크기에 따른 중심으로부터 증발표면까지의 수분이동거리의 차이가 주는 영향이 큰 것으로 나타났다.

표층으로부터 거리에 따른 내부의 함수율 분포에

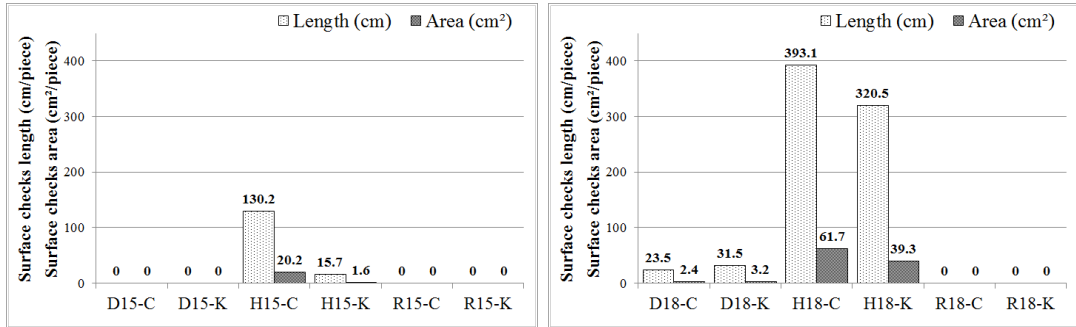


Fig. 4. Length and area of surface checks according to species and treatment condition after drying.

서는 배할처리에 의한 차이가 존재하였으며, 횡단면 15 cm 크기의 경우 약 36 mm, 횡단면 18 cm 크기의 경우 약 48 mm 깊이까지 최종함수율 분포에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이는 배할이 가공된 깊이에 미치지 못하는 수준으로 배할 깊이가 깊어짐에 따른 공기순환의 차이가 발생하고, 중심부로부터 증발표면까지의 수분이동거리의 감소와 배할에 의해 새롭게 형성된 단면과 인접한 부위의 함수율이 감소되기 때문이다(Lee 등, 2016).

Radiata pine의 경우 횡단면 18 cm 무처리 시험재를 제외한 모든 경우에서 표층의 함수율이 약 1% 정도 높게 분포하였으며, 이는 건조 종료 직후 가장 낮은 함수율을 가지는 표층이 대기에 직접적 노출되어 대기 중의 수분을 흡습하였기 때문이다. 반면, 횡단면 18 cm 크기의 무처리 시험재들의 경우 표층과 내층의 함수율이 약 20% 전·후의 차이를 나타내고 있었으나, Lee 등(2016)의 보고에서와 같이 실질률에 차이가 존재하기 때문에 내층의 함수율이 높게 분포하고 있다고 하더라도 시간이 경과함에 따라 내층의 함수율이 평형상태에 도달된 이후 건조결함과 함수율 변화에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.

따라서 횡단면 15 cm 크기 시험재들의 목표함수율을 19% 이하로 설정할 경우, 모든 수종에서 건조시간을 감소시키더라도 건조가 가능할 것이다. 목표함수율을 19% 이하로 설정할 경우, 본 연구에 적용된 스케줄이 횡단면 18 cm 크기 Douglas-fir의 건조에는 적합하나, 배할처리를 하지 않고 Hemlock을 건조할 때는 건조시간을 더 길게 적용할 필요가 있을

것으로 판단된다. Radiata pine의 경우 본 연구에서 적용한 스케줄이 상업적으로의 적용도 가능할 뿐만 아니라, 건조시간을 단축시키더라도 19% 이하의 함수율로 건조가 가능할 것으로 판단된다. 증차처리 이후 고온건조의 경우 건조가 가장 빠르게 진행되는 단계이기 때문에, 건조시간의 조절은 건조 단계에서 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3.2. 재면할렬

건조 후 수종 및 전처리 조건에 따른 재면할렬 길이와 면적을 측정된 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 횡단면 15 cm 크기 시험재들의 경우, Hemlock에서만 경미한 수준의 재면할렬이 발생되었다. Hemlock의 경우, 횡단면 15 cm 크기 시험재에서는 전처리 조건에 따른 재면할렬발생에서 비교적 확연한 차이를 나타내었다. 또한, 횡단면 18 cm 크기 Hemlock 시험재에서 가장 많은 재면할렬이 발생되었으며, 전처리 조건에 따른 차이가 존재하긴 하였으나 큰 차이를 나타내지는 않았다. 따라서 본 연구에 적용된 건조스케줄은 횡단면 15 cm 크기 Hemlock 제재목의 건조에 상업적으로 이용이 가능할 수는 있으나, 횡단면 18 cm 크기 제재목을 건조하는 데에는 검토가 필요할 것으로 판단된다.

Douglas-fir에서 발생된 재면할렬은 횡단면 18 cm 크기의 시험재에서만 발생된 것으로 조사되었으며, 전처리조건에 따른 차이를 나타내지 않았다. 수를 포함하지 않은 정목형태로 가공된 Douglas-fir에서 발

Table 4. Twist, drying shrinkage, and kerf widening rate according to species and treatment condition after drying

Sample number	Kerf widening rate (%)	Twist (mm)	Drying shrinkage (%)	
			perpendicular (⊥)	parallel (∥)
D15-C		13	3.3	2.5
D15-K	-100.0	15	2.3	2.4
H15-C		25	2.4	3.6
H15-K	-13.5	16	2.9	3.6
R15-C		23	2.1	3.0
R15-K	-100.0	17	2.6	3.2
D18-C		3	2.5	2.8
D18-K	-83.6	10	2.4	3.2
H18-C		15	1.9	3.5
H18-K	143.4	12	2.7	4.1
R18-C		33	2.5	3.0
R18-K	-72.1	23	1.8	3.2

생된 재면할렬은 선행연구와 비교하여 매우 경미한 수준이었다(Lee 등, 2016; Lee 등, 2013). 이는 대단 면재의 단면구성에 있어 수의 존재유무가 재면할렬 발생에 영향을 줄 수 있으며, 수를 포함하지 않는 정목형태로 시험재를 가공함으로써 재면할렬 발생의 감소에 기여했던 것으로 풀이된다. 하지만 수를 포함하지 않는 정목형태로 가공할 경우 배할처리가 재면할렬 발생에 미치는 영향이 적기 때문에 배할처리를 하지 않아도 될 것으로 판단된다.

Radiata pine의 경우 횡단면 크기와 전처리 조건에 관계없이 모든 시험재에서 폭 2 mm 이상의 할렬이 발생하지 않았다. Williams and Kininmonth (1984)은 Radiata pine 제재목 건조 시 최적의 고온건조 조건으로 건구 120℃, 습구 80℃을 제안하였으며, 본 연구와 비교해볼 때, 증자처리 이후 고온건조 조건이 상당히 유사하였다. 따라서 본 연구에서 제시된 스케줄은 Radiata pine의 상업적으로 이용도 가능한 수준인 것으로 판단된다. 또한 재면할렬의 발생이 건조 초기에 주로 발생된다는 점을 감안하면 건조종료 시점까지 초기 고온단계의 조건으로 유지하는 것도 가능하나, 함수율이 높은 상태에서 고온에 장시간 노출될 때 발생하게 되는 내부할렬이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

3.3. 뒤틀림, 건조수축률 및 배할 홈 확장률

건조 후 발생한 뒤틀림, 건조수축률, 그리고 배할 홈 확장률은 Table 4에 나타났다. 배할 홈 확장률의 경우 횡단면 크기가 증가함에 따라 배할 홈이 더 확장되는 것으로 나타났으며, 특히 Hemlock에서 큰 차이를 나타내었다. 또한, 횡단면 18 cm 크기 Hemlock을 제외한 모든 시험재들에서 배할 홈 확장률이 음의 값을 나타내어 배할 홈이 닫히는 경향이 있었다. 횡단면 15 cm의 경우 내층의 함수율이 비교적 높게 분포하고 있던 Hemlock이 -13.5%로 경미한 수준의 닫힘을 나타내었다. 이는 크리프의 영향으로 인해 인장세트가 발생하기 전, 내층의 함수율이 감소됨에 따라 Radiata pine과 Douglas-fir의 표층에 큰 압축응력이 형성되기 때문인 것으로 판단된다.

Hwang과 Park (2009) 그리고 Lee 등(2015)은 국산 소나무 대단면재의 경우 횡단면의 크기가 증가함에 따라 두께 및 폭 방향 수축률이 감소된다고 보고하였으나, 본 연구에 사용된 외국산 수종들의 경우 횡단면 크기가 증가함에 따른 명확한 차이가 없는 것으로 나타났다. Hemlock과 Radiata pine의 경우 상부하중에 따른 수축률은 선행연구들에서 보고된 바와 같이 하중이 가해지는 방향과 평행을 이루는 단

Table 5. Number and total length of internal checks according to species, treatment condition, and distance from end surface after drying

Sample number	Distance from end surface	piece	total length (mm)	Sample number	Distance from end surface	piece	total length (mm)
D15-C	60	1	125	D18-C	60	None	
	120	1	101		120		
	180	1	137		180		
D15-K	60	None		D18-K	60	None	
	120				120		
	180				180		
H15-C	60	1	11	H18-C	60	1	22
	120	3	35		120	None	
	180	1	24		180		
H15-K	60	8	131	H18-K	60	2	82
	120	1	20		120	None	
	180	None			180		
R15-C	60	4	231	R18-C	60	5	218
	120	1	116		120	2	30
	180	2	221		180	None	
R15-K	60	None		R18-K	60	4	130
	120				120	3	104
	180				180	2	46

면이 더 수축한 것으로 조사되었다(Lee 등, 2013; Lee 등, 2014). Douglas-fir의 경우 상부하중에 따른 수축률에 차이를 나타내지 않았으나, 정목형태를 이루고 있는 상태에서 방사방향에 하중이 가해지는 방향과 평행을 이루고 있었던 점과 접선방향과 방사방향 사이의 수축률 차이를 고려한다면, 방사 및 접선 방향 수축률에 상부하중이 영향을 미쳤던 것으로 판단된다.

뒤틀림의 경우, 최종함수율이 가장 낮았던 Radiata pine에서 가장 심하게 발생하였으며, 횡단면 크기가 증가함에 따른 명확한 차이를 나타내지는 않았다. 하지만 Douglas-fir와 Hemlock의 경우 시험재의 크기가 증가함에 따라 뒤틀림이 감소되어, 횡단면 크기에 따른 국산 소나무재의 뒤틀림 발생을 연구한 Lee 등(2015)의 보고와 일치하였다. Hemlock과 Radiata pine의 경우 배할처리에 의해 뒤틀림이 감소되는 것으로 나타났으며, 이는 Hsu and Tang (1974)

의 보고에서와 같이 배할이 건조 중 발생하는 응력을 감소시킴으로서 뒤틀림 발생에 영향을 주었기 때문인 것으로 해석된다. 반면, 뒤틀림이 가장 적게 발생된 Douglas-fir의 경우 횡단면 크기에 관계없이 배할처리한 시험재에서 뒤틀림이 증가되는 경향을 나타내었다. 수를 포함하지 않은 정목 형태로 가공된 Douglas-fir는 수피에 가까운 접선단면에 배할처리를 하였으며, 건조 후 배할 홈이 닫히거나 거의 닫혀있는 상태였다. 그로인해 판목 판재에서 흔히 나타나는 너비굽음과 같은 형태로 변형되었던 것이 배할처리한 시험재의 뒤틀림 값에 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다.

3.4. 내부할렬

건조 후 측정된 내부할렬은 Table 5에 나타내었으며, 발생된 내부할렬의 폭은 1 mm 이하였다. 고온건조

조의 경우 건조초기 발생한 재면할렬이 단면할렬로 전환되는 과정에서 일부 재면할렬들은 내부할렬로 전환되기도 한다. 하지만 그러한 형태의 내부할렬은 발견되지 않았으며, 배할처리의 영향도 확인할 수 없었다.

내부할렬이 가장 적게 발생한 수종은 Douglas-fir였으며, 횡단면크기에 따른 내부할렬 발생에 차이는 없었다. 내부할렬의 발생 유형은 Radiata pine의 경우 내부할렬이 수심을 따라 쉽게 발생되었으며 (Radiata pine 8개, Hemlock 1개), 조재와 만재의 경계면을 따라 존재하고 있던 수지낭(Radiata pine) 또는 성장과정에서 형성층의 손상에 의해 발생된 것으로 추정되는 이상조직(Hemlock)으로 인해 발생한 유향도 관찰되었다.

수축이방성을 가지는 목재는 수의 존재유무에 따라 단면의 구성이 변하기 때문에 건조 중 목재내부에 형성되는 응력에 차이가 발생될 수 있다. 또한 내부할렬의 발생은 초기함수율이 높은 상태에서 고온에 장시간 노출될 때 쉽게 발생된다(Simpson, 1991). 따라서 Douglas-fir에서 내부할렬이 가장 적게 발생되었던 것은 수를 포함하지 않는 정목형태의 단면구성과 낮은 초기함수율이 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

Douglas-fir, Hemlock, Radiata pine 대단면재의 고온건조 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수종에 따른 최종함수율은 Radiata pine, Douglas-fir, Hemlock 순으로 시험재의 두께에 관계없이 Radiata pine의 함수율이 가장 낮았으며, 배할처리를 하였을 때 최종함수율이 더 낮았다. 목표함수율을 19% 이하로 설정할 경우, 횡단면 18 cm 크기 Radiata pine과 횡단면 15 cm 크기의 모든 수종들은 건조시간의 감소가 가능하며, 건조시간의 조절은 건조 단계에서 이루어져야 할 것으로 판단된다.

- 2) Radiata pine의 경우 횡단면 크기와 전처리 조건에 관계없이 모든 시험재에서 폭 2 mm 이상의 할렬이 발생하지 않았으며, 횡단면 크기에 관계없이 Hemlock에서 가장 많은 재면할렬이 발생되었다. Douglas-fir에서 발생한 재면할렬은 매우 경미한 수준이었으며, 배할처리를 하지 않더라도 수를 포함하지 않는 정목형태로 가공함으로써 재면할렬 발생의 감소가 가능하였다.
- 3) 수축률의 경우 수종 및 횡단면 크기에 따른 차이를 확인할 수 없었으며, 하중이 가해지는 방향과 평행을 이루는 단면이 더 수축하였다.
- 4) 뒤틀림은 Radiata pine에서 가장 심하게 발생하였으며, Douglas-fir와 Hemlock의 경우 시험재의 크기가 증가함에 따라 뒤틀림이 감소되었다. Hemlock과 Radiata pine의 뒤틀림은 배할을 처리할 때 감소하는 것으로 나타났다.
- 5) 내부할렬은 횡단면 크기와 배할처리에 관계없이 모든 수종에서 발생하였으며, 수를 포함하지 않는 정목형태로 가공된 Douglas-fir에서 가장 적게 발생하였다.

사 사

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0103823)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

- Hwang, K.H., Park, B.S. 2009. Effect of cross-sectional dimension on the shrinkage property of Korean red-pine wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 37(3): 231-238.
- Hsu, N.N., Tang, R.C. 1974. Internal stresses in wood logs due to anisotropic shrinkage. *Wood Science* 7(1): 43-51.
- Jung, H.S., Lee, C.H., Kang, W., Eom, C.D. 2003. Air-drying curve and moisture content dis-

- tribution of softwood square timber. Journal of the Korean Wood Science and Technology 31(1): 27-31.
- Korea Forest Service. 2011. Forestry Business Survey.
- Korea Forest Service. 2013. Forestry Business Survey.
- Lee, C.J., Lee, N.H., Eom, C.D., Shin, I.H., Park, M.J., Park, J.S. 2013. Effect of end-coating around pith of heavy timbers of red pine and korean pine on high-temperature and low-humidity drying characteristics. Journal of the Korean Wood Science and Technology 41(3): 221-233.
- Lee, C.J., Lee, N.H., OH, S.W. 2015. Characteristics of twist occurrence according to the cross-sectional size and species on Thinning Timber dried with high-temperature and low-humidity drying. 2015 proceeding of the Korean Society of Wood Science Technology annual meeting, pp. 236-237.
- Lee, C.J., Lee, N.H., OH, S.W. 2016. Effects of the knife-incising and kerfing pretreatment on moisture content and surface check occurrence of douglas-fir heavy timber. Journal of the Korean Wood Science and Technology 44(3): 302-314.
- Lee, C.J., Lee, N.H., Park, M.J., Park, J.S., Eom, C.D. 2014. Effect of reserve air-drying of korean pine heavy timbers on high-temperature and low-humidity drying characteristics. Journal of the Korean Wood Science and Technology 42(1): 49-57.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2016. Statistics of Building Permission Commencement Works.
- Simpson W.T. 1991. Dry kiln operator's manual. Forest Products Laboratory, Madison, United States.
- Williams, D.H., Kininmonth, J.A. 1984. High-Temperature Kiln Drying of Radiata Pine Sawn Timber. New Zealand Forest Service, Forest Research Institute Bulletin No. 73, Rotorua.