

# 소경 굴참나무 횡절 원판의 강제송풍천연건조<sup>1</sup>

이 준 우<sup>2</sup> · 강 춘 원<sup>3</sup> · 박 로 원<sup>4</sup> · 강 호 양<sup>4,†</sup>

## Forced Air-drying of Cross-cut Disks from Small-diameter Logs of *Quercus variabilis*<sup>1</sup>

Joonwoo Lee<sup>2</sup> · Chun-Won Kang<sup>3</sup> · Ro-Won Park<sup>4</sup> · Ho-Yang Kang<sup>4,†</sup>

### 요 약

소경 참나무 횡절목을 열처리하여 브로치 등 악세사리용 소재로 개발하였다. 그러나 국산참나무는 난건조수종으로 특히 횡절 원판을 건조결함없이 건조하기 어렵다. 소경 굴참나무(*Quercus variabilis*)에서 얻은 원판(섬유방향 길이 7 mm)을 여름과 가을에 강제송풍천연건조하면서 여러 조건에 따른 건조수율을 조사하였다. 같은 조건에서 가을에 건조한 시편의 최종 평균함수율이 여름에 건조한 시편의 평균함수율보다 낮았다. 두 계절 모두 큰 직경의 시편은 풍속에 따른 차이를 보이지 않았으나 작은 직경의 시편은 풍속이 높았을 때 최종 평균함수율이 약간 낮았다. 두 계절 모두 직경이 큰 시편의 할렬 발생빈도가 직경이 작은 시편보다 높았는데 가을에는 2배 정도인데 반해 여름에는 4배가 넘었다. 여름에 낮은 풍속에서 건조한 큰 직경 시편의 할렬 발생빈도가 높은 이유는 여름의 높은 습도와 낮은 풍속으로 반복적인 수분 응축과 증발이 일어났기 때문으로 설명할 수 있다.

### ABSTRACT

Cross-cut disks from small diameter oak logs were thermally modified and developed to make accessories such as a brooch. However it is known that domestic oaks are refractory and it is hard to dry their cross-cut disks without any drying defects. The cross-cut disks of *Quercus variabilis* (7 mm long in the longitudinal direction) were forced to dry in air at two different air velocities in summer and fall season, and their drying yields were investigated. Under the same condition, the average final moisture contents (MCs) of the specimens dried in the fall were lower than those dried in the summer. The average final MCs of the small diameter specimens dried at higher air velocity were slightly lower than those at lower air velocity while those of the large diameter specimen were not influenced by the air velocity. The number of the large diameter specimens with cross checkings was higher than that of the small diameter

<sup>1</sup> Date Received September 9, 2014, Date Accepted October 14, 2014

<sup>2</sup> 충남대학교 산림환경자원학과. Department of Environment & Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>3</sup> 전북대학교 주거환경학과. Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

<sup>4</sup> 충남대학교 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author) : 강호양(e-mail: hykang@cnu.ac.kr)

specimen. This discrepancy between two different diameters was twice in the fall, while it was more than four times in the summer. The large diameter specimens dried at low air velocity in Summer were cross-checked most, which was attributed to repeated water condensation and evaporation due to high humidity and low air velocity.

**Keywords:** *Quercus variabilis*, small diameter log, cross-cut disk, forced air-drying, air velocity, equilibrium moisture content, drying checking, detached bark

## 1. 서 론

참나무(*Quercus*)는 이용적인 측면에서 크게 백참나무와 적참나무로 나뉘는데 이 둘은 분류학적인 차이 뿐만 아니라 이용적인 면에서도 큰 차이를 나타낸다(Wengert 1990). 이용적인 차이는 건조성에 기인한다(Chavosch-Akbari 2010). 백참나무는 재색이 희기 때문에 적참나무보다 더 선호되나 도관이 타이로시스로 채워져 있어 수분의 이동을 방해하기 때문에 건조가 어렵다(Wengert 1990).

신갈나무, 졸참나무, 굴참나무, 상수리나무, 갈참나무 등 국내 참나무(*Quercus*)는 모두 백참나무로 단단하고 목리가 아름다움에도 불구하고 건조가 어렵기 때문에 전통가구나 전승공예품 등 고급품으로 이용되지 못하였다(Kang 2004). 참나무 건조에 대해서 유럽과 미국에서 오래 전부터 연구하여 왔기 때문에 효율적인 건조방법이 이미 개발되어 있다(Chavosch-Akbari 2010; Sandoval-Torres *et al.* 2012). 그러나 국내 참나무는 입목상태에서 유럽이나 미국과 달리 잘 관리되지 못하였다. 대부분 맹아 번식되었기 때문에 박테리아 등에 감염되어 얼룩, 충해 등의 결함을 가지고 있다. 얼룩진 목재는 최근 국내에서 개발된 열처리기술(Kang 2008)로 재색을 균일하게 변화시킬 수 있으나, 결함에 의한 건조할열은 방지하기 어렵다(Kang and Kim 2004; Muehlbacher *et al.* 2009.). 참나무재의 건조결함은 건조 초기 횡단면 할렬부터 진행된다. 고급 활엽수재의 횡단면 할렬을 방지하기 위해 여러 가지 방법이 연구되었다. 왁스에밀존과 여러 가지 고분자 화합물을 이용한 엔드코팅(end-coating)이 효과 있다는 연구가 있다(Rice *et al.* 1988; Linares-Hernandez and Wengert 1997).



**Fig. 1.** Two brooches made of heat-treated oak disks.

본 연구에서는 직경 100 mm 이하의 참나무 소경재를 6 내지 7 mm 길이로 횡절하여 만든 소형원판(이하 ‘원판’)을 장식재로 개발하고자 하였다(Fig. 1). 함수율 12% 정도까지 천연건조된 원판을 온도 160℃ 이상에서 열처리하여 재색을 변화시켰다(Korea Patent 10-2012-0073040). 그러나 원판은 목재의 이방성 때문에 천연건조 하더라도 쪼개짐이 많이 발생한다. 원판은 넓은 횡단면을 통한 수분증발이 급속히 일어나기 때문이다. 원판의 건조속도를 늦추기 위해 원판 횡단면에 합판을 부착하여 표면증발을 억제하는 기술이 개발되었으나 표면에 곰팡이가 발생하는 단점이 있었다(Hart and Gilmore 1985; Kang and Kim 2004).

일반적인 천연건조는 풍속을 일정하게 조절할 수 없기 때문에 송풍기를 사용한 강제송풍방식을 사용하는 것이 품질관리에 좋다. 그러나 풍속에 따라 급속한 건조가 일어나면 결함이 발생할 수 있기 때문에 적절한 건조속도를 유지하는 풍속을 찾는 것이 필요하다. 그러나 송풍기를 사용할 경우 아주 낮은 풍속을 유지하기 어렵다. 본 연구에서는 잔적 외부 바람이 통하는 망으로 덮어 잔적 풍속을 낮추는 방

**Table 1.** Maximum and minimum diameters and initial moisture contents of the oak specimens used for experiments

Drying season	Diameter (mm)		Number of specimens	Initial moisture content (%)	
	Minimum	Maximum		Minimum	Maximum
Summer	50	60	46	24.2	36.6
	60	70	54		
	70	80	73	28.5	41.8
	80	90	27		
Fall	50	60	37	25.4	38.4
	60	70	63		
	70	80	72	29.5	42.6
	80	90	28		

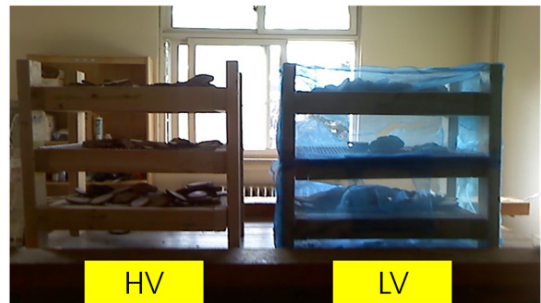
법을 적용하였다. 낮은 풍속과 높은 풍속의 강제송풍 천연건조법을 적용하여 소경 참나무재 원판을 건조하여 그 효과를 조사하였다. 원판건조를 여름과 가을에 2차례 실시하여 계절에 따른 효과도 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

7월 초 대전 근처에서 최근 벌채한 직경 100 mm 이하의 굴참나무(*Quercus variabilis*) 소경 원목 여러 토막을 구입하였다. 원목을 수피가 붙은 채 섬유방향으로 7 mm씩 횡절기로 절단하여 원판을 만들었다. 원판의 직경은 수피를 제외하고 제일 긴 길이로 정하였다. 직경 70 mm를 중심으로 70 mm 미만(SD, Small Diameter)과 70 mm 이상(LD, Large Diameter)으로 구분하여 각각 200개의 원판을 공시시편으로 선택하였다. 공시시편 중에는 직경이 50 mm 미만은 없었으며 최대 직경은 82 mm이었다. 공시시편의 직경분포와 최대 최소 초기함수율을 Table 1에 나타냈다.

이렇게 만들어진 공시시편은 여름 실험을 위해 사용되었으며, 동시에 같은 방법을 반복하여 가을 실험용을 만들었다. 가을 실험용은 기밀이 잘되는 비닐주머니에 담아 5℃에 맞추어진 냉장고에 보관하였다. 여름 강제송풍천연건조는 7월 31일부터 9월 3일까지



**Fig. 2.** Two stacking shelves for air-drying oak disks.

35일간, 가을 강제송풍천연건조는 9월 22일부터 10월 26일까지 35일간 실시하였다.

### 2.2. 강제송풍천연건조

공시시편의 강제송풍천연건조를 위해 선반(가로 800 mm, 세로 400 mm, 높이 600 mm)을 자체 제작하였는데 공시시편의 고른 건조를 위해 선반 각 층의 밑면을 공기가 잘 통하는 철망으로 만들었다. 동일한 규격의 선반 2개를 만들어 각각에 100개씩의 공시시편을 펼쳐 놓았다. 두 개 선반 중 하나는 공시시편의 건조속도를 낮추기 위해 망으로 선반의 윗면과 4개의 옆면을 가렸다(Fig. 2). 망은 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 모기장을 사용하였다. 다른 선반은 공기가 직접 공시시편 표면에 닿도록 노출시켰다.

망을 설치하지 않은 선반 위로는 바람이 빠르게 지나가고, 망을 설치한 선반 위로는 바람이 저항을 받아 상대적으로 천천히 지나가기 때문에 망이 없는 선반의 시편을 HV (High Velocity), 망을 설치한 선반의 시편을 LV (Low velocity)로 표기하였다.

모든 문과 창문을 실험기간 내내 열어 놓아 실외 공기가 실내로 원활하게 유통될 수 있도록 하였으며 강제송풍을 위해 선풍기를 가동하였다. 고른 건조를 위해 선풍기를 회전시켰다. 양쪽 선반에서 그룹별로 5개의 함수율 시편을 무작위로 선정하여 건조기간동안 수시로 중량을 측정하였다.

### 2.3. 함수율 계산

35일간의 건조를 마친 후 함수율 시편을  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$  오븐에 넣고 전건시킨 후 전건중량을 측정하여 건조시간에 따른 함수율을 식 [1]을 이용하여 계산하였다.

$$M = \frac{W - W_{od}}{W_{od}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $M$  = 함수율(%),  $W$  = 시편의 중량(g),  $W_{od}$  = 시편의 전건중량(g)

### 2.4. 횡단면 할렬과 수피 분리 여부 조사

건조를 마치고 육안으로 전체 시편 중 횡단면 할렬이 발생한 시편의 수와 횡단면 할렬은 발생하지 않았지만 수피만 목질과 분리된 시편의 수를 조사하였다. 수율은 전체 시편 수에 대한 할렬을 포함한 시편 수를 백분율로 계산하였다.

### 2.5. 일평균 평형함수율 계산과 선반풍속 측정

대한민국 기상청 홈페이지(<http://www.kma.go.kr/>)에서 대전지역의 일평균 온도와 상대습도 데이터를 구하였다. 이 두 값을 평형함수율 그래프(Brunner-

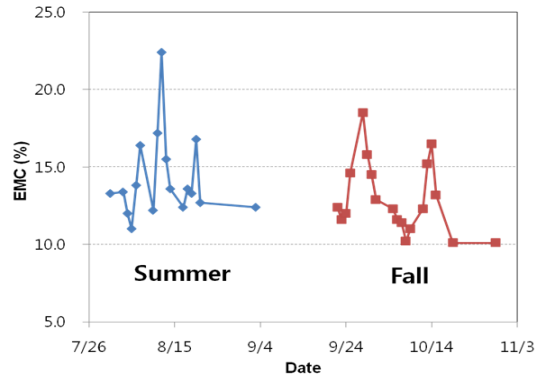


Fig. 3. Average daily equilibrium moisture contents calculated from the climate data in Daejeon, Korea.

Hildebrand, 1987)에 적용하여 일평균 평형함수율을 구하였다.

선반 내 공시시편 위를 지나가는 바람의 풍속을 열선풍속계(Model V-01-A, I. Denshi co., Tokyo, Japan)를 이용하여 열 지점을 측정하여 평균값을 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 선반풍속

열선풍속계로 열 지점을 측정하여 평균한 선반 내 풍속은 망이 없는 선반이  $2.1 \pm 0.4$  m/s, 망을 설치한 선반이  $1.3 \pm 0.3$  m/s로 0.9 m/s의 차이를 보였다.

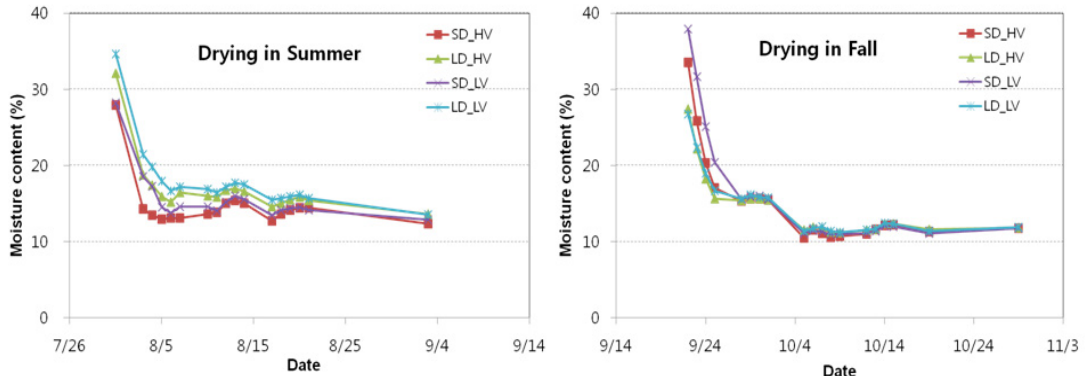
### 3.2. 일평균 평형함수율

실험 기간 내 일평균 평형함수율 변화는 Fig. 3과 같다. 그 기간 동안 전체 평균 평형함수율은 여름이 14.2%, 가을이 13.1%로 1.1% 차이 밖에 나지 않았다. 그러나 여름의 일평균 평형함수율 곡선은 짧은 시간에 변동이 심하나 가을의 일평균 평형함수율 곡선은 비교적 단순하며 평균적으로 낮은 값을 나타내고 있다.

**Table 2.** Average final moisture contents of the various oak specimens forced air-dried

Drying season	Moisture content (%)			
	SD_HV	LD_HV	SD_LV	LD_LV
Summer	12.3 ± 0.4*	13.6 ± 0.8	12.9 ± 0.3	13.5 ± 0.5
Fall	11.6 ± 0.3	12.0 ± 0.1	12.0 ± 0.3	12.0 ± 0.1

\* Sample standard deviation



**Fig. 4.** Drying curves of the oak specimens forced air-dried during the summer and fall, 2009.

### 3.3. 건조곡선

여름과 가을 함수율 시편들의 평균함수율곡선은 Fig. 4와 같다. 여름에는 건조 중간까지 처리방법 간 어느 정도 평균함수율 차이를 나타내지만, 평균 초기 함수율 차가 있음에도 불구하고 가을에는 초기를 제외하고는 거의 동일한 평균함수율을 나타내고 있다. 여름보다 가을에 시편이 더 균일하게 건조된다고 볼 수 있다. 여름은 대부분의 건조기간에서 큰 직경 시편의 평균함수율이 작은 직경 시편 보다 낮은 수준을 유지하였다. 이는 작은 직경 시편의 평균 초기함수율이 큰 직경 시편보다 낮은 때문으로 보인다. 직경과 상관없이 시편 모두 동일한 조건에서 채취하였는데 평균 초기함수율이 차이를 나타내는 이유는 밝혀내지 못했다.

35일간 강제송풍천연건조한 후 최종함수율은 Table 2와 같다. 여름이든 가을이든 큰 직경 시편의 평균함수율이 작은 직경 시편의 평균함수율보다 높았다. 어떤 직경의 시편이든 같은 조건에서 가을에

건조한 시편의 최종 평균함수율이 여름에 건조한 시편의 평균함수율보다 낮았다. 여름의 큰 직경 시편의 최종 평균함수율은 13.6%와 13.5%로 풍속에 따른 차이를 보이지 않았으나 작은 직경 시편의 최종 평균함수율 12.3%와 12.9%로 풍속이 높았을 때 약간 낮았다. 이러한 경향은 가을 시편에서도 마찬가지였다. 이는 작은 직경의 시편은 표면적이 상대적으로 작기 때문에 풍속의 영향을 더 받는 것으로 보인다.

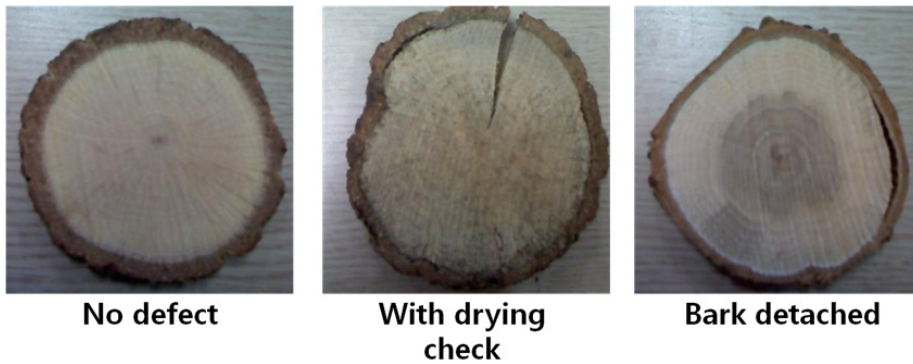
### 3.4. 건조결함 조사

육안으로 조사한 대표적인 강제송풍천연건조된 시편의 그림은 아래 Fig. 5와 같다. 무결함 시편, 할렬 시편, 무할렬 수피분리 시편으로 구분하였다.

전체 시편 수, 할렬 시편 수, 건조 수율 그리고 수피분리 시편 수는 Table 3에 나타냈다. 여기서 각 처리별 시편의 수가 100개이므로 할렬 시편 수를 백분율로 나타내면 건조 수율이 된다. 여름과 가을에 건조한 각각 400개 시편 중에 할렬 시편의 수는 64개

**Table 3.** Drying yields of forced air-dried oak specimens

Drying season	Specimen	Total number of specimens	Number of specimens with checks	Drying yield (%)	Number of specimens with detached barks
Summer	SD_HV	100	3	97	23
	LD_HV	100	17	83	7
	SD_LV	100	8	92	29
	LD_LV	100	36	64	4
	Total	400	64		63
Fall	SD_HV	100	9	91	0
	LD_HV	100	20	80	0
	SD_LV	100	9	91	0
	LD_LV	100	14	86	0
	Total	400	52		0



**Fig. 5.** Photos of three typical forced air-dried oak specimens.

와 52개로 여름이 더 많다. 그러나 여름에 낮은 풍속으로 건조된 큰 직경(LD\_LV) 시편의 할렬 시편 수 36개를 제외하면 동일 풍속, 동일 직경일 때 가을에 건조한 시편에서 할렬이 더 많이 발생하였다. 여름과 가을 모두 큰 직경 시편의 할렬 시편 수가 작은 직경 시편보다 높았다. 이는 시편의 직경이 클수록 건조응력이 더 많이 발생하기 때문으로 설명할 수 있다. 그러나 두 직경 시편 간 차이는 가을에는 2배 정도인데 반해 여름에는 4배가 넘었다. 즉 풍속이 같은 조건일 때 여름에 큰 직경과 작은 직경 시편의 수율이 현저하게 차이 났다. 이는 여름의 평형함수율 변동이 크기 때문으로 설명할 수 있다(Fig. 3). 평형함수율

변동에 따라 건조응력이 생기는데 큰 직경 시편이 작은 직경 시편보다 더 큰 건조응력이 생긴다.

풍속에 따른 할렬 시편 수는 계절과 직경에 따라 달리 나타났다. 가을에는 작은 직경 시편들은 풍속에 무관하였으나, 큰 직경 시편들은 풍속이 높을 때 더 높았다. 일반적으로 풍속이 빠르면 건조 속도가 빨라지고 이에 의해 높은 건조응력이 발생하여 할렬이 발생하기 쉽다고 할 수 있다. 그러나 이에 반해 여름에는 동일한 직경에서 풍속이 낮을수록 할렬 발생빈도가 높았다. 이 원인은 ‘수분 응축’이라고 할 수 있다. 습도가 높은 여름에는 기온이 떨어지는 밤에 공기 속 수분이 응축하여 목재 표면에 흡수되었다가

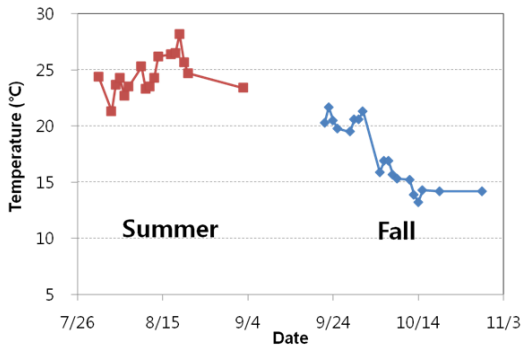


Fig. 6. Daily average temperatures during Summer and Fall, 2009.

낮에 증발하는 과정이 반복되는데 낮은 풍속의 선반은 망으로 덮여있기 때문에 수분이 더 많이 갇혀있다고 볼 수 있다. 이 같은 응축효과는 직경이 큰 시편에서 더 크게 나타난다고 볼 수 있다. 따라서 여름에는 습한 공기가 시편 주위에 머물지 않도록 적당한 풍속의 바람이 부는 것이 할렬을 방지할 것으로 생각된다.

수피가 목질에서 분리되지 않은 원판은 친환경 천연 장신구 재료로 사용될 수 있기 때문에 수피분리를 방지하여 건조하는 것이 중요하다. 수피분리 시편의 수는 여름은 총 400개 중 63개이나, 가을은 시편 400개 중에는 하나도 없었다. Table 1에서 보듯이 시편의 최종 평균함수율은 가을 시편이 여름 시편보다 낮음에도 불구하고 수피의 분리가 전혀 없었다. 이러한 차이는 여름의 심한 평형함수율 변동과 높은 온도에 기인한다고 볼 수 있다. 두 계절의 평균 평형함수율은 큰 차이가 없으나 여름에는 일간 평형함수율 변동이 심하며(Fig. 3), 여름과 가을의 평균온도는 각각 24.6°C와 17.4°C로 차이가 크다(Fig. 6). 목재는 온도가 높아지면 강도가 약해지는데 함수율이 높을수록 더 심하게 나타난다. 여름에 시편들이 수축팽창을 반복하면서 낮아진 강도 때문에 수피의 분리가 일어난다고 설명할 수 있다. 특이한 것은 여름 시편 중에 작은 직경 시편이 큰 직경 시편보다 수피가 분리된 시편의 수가 더 많다는 것이다. 이 원인의 일부는 큰 직경 시편 중에는 할렬 시편이 많기 때문으로

해석할 수 있다.

전체적인 수율 측면에서 보면, 수피분리가 문제되지 않는다면 여름에 높은 풍속으로 건조하면 높은 수율(83-94%)을 얻을 수 있으나, 수피가 분리되지 않게 하려면 가을에 건조하는 것이 좋다고 할 수 있다. 가을에는 풍속이 수율에 큰 영향을 미치지 않았다.

## 4. 결 론

직경 100 mm 이하의 소경 굴참나무(*Quercus variabilis*) 원목을 잘라 만든 원판(섬유방향 길이 7 mm)을 여름과 가을에 강제송풍천연건조하여 건조 계절과 송풍속도, 시편의 직경에 따른 함수율 변화 및 건조수율을 조사하였다.

1. 같은 조건에서 가을에 건조한 시편의 최종 평균 함수율이 여름에 건조한 시편의 평균함수율보다 낮았다. 두 계절 모두 큰 직경의 시편은 풍속에 따른 차이를 보이지 않았으나 작은 직경의 시편은 풍속이 높았을 때 최종 평균함수율이 약간 낮았다.
2. 두 계절 모두 직경이 큰 시편의 할렬 발생빈도가 직경이 작은 시편보다 높았는데 가을에는 2배정도인데 반해 여름에는 4배가 넘었다.
3. 계절별 400개 시편 중에 할렬 시편의 수는 여름이 64개, 가을이 52개로 여름이 더 많다. 그러나 LD\_LV시편을 제외하면 같은 조건일 때 할렬 시편의 수는 가을에 더 많았다. 이는 가을의 건조속도가 더 높았기 때문이라고 할 수 있다.
4. 여름 LD\_LV시편의 할렬 발생빈도가 36개로 가장 높았다. 이는 여름의 높은 습도와 낮은 풍속으로 반복적인 수분 응축과 증발이 일어났기 때문으로 설명할 수 있다. 따라서 여름에는 낮은 풍속을 피하는 것이 유리하다고 할 수 있다.
5. 수피분리 시편의 수는 여름 시편 400개 중 63개나 되었으나, 가을 시편 400개 중에는 하나도 없었다. 따라서 수피가 분리되지 않은 소경 굴참나무 원판을 얻기 위해서는 가을에 건조하는 것이 좋다.

## 사 사

본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호 : S211414L010310)’의 지원에 의해서 이루어진 것입니다.

## REFERENCES

- Brunner-Hilderbrand. 1987. Brunner-Hilderbrand Manual, Dipl. Ing. R. Brunner GmbH, Hansastrasse 30, 3003 Ronnenberg 3, Hannover, German: p. 33.
- Chavosch-Akbari, M. 2010. Modifying Kiln Drying Schedule for 50 mm thick Boland Mazoo OAK (*Quercus Castnefolia* C.A.M). 11th International IUFRO Wood Drying Conference, January 18-22, 2010 in Skellefte, Sweden.
- Hart, C.A., Gilmore, R.C. 1985. An air-drying technique to control surface checking in refractory hardwoods. *Forest Products Journal* 35(10): 43-50.
- Kang, H.-Y., Kim, S.-W. 2004. Air- and kiln- drying the boards and disks of *Quercus variabilis*. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 32(1): 52-58.
- Kang, Ho-Yang. 2004. Physical properties of domestic *Quercus variabilis* and *Quercus serrata* - Comparison of green specific gravities and fiber lengths. *Journal of Korea Furniture Society* 15(1): 1-7.
- Kang, H.-Y. 2008. Development of Color Changing Technology for Domestic Softwood. *Journal of Korea Furniture Society* 19(3): 156-162.
- Korea Patent 10-2012-0073040. 2014. Manufacturing Method for Carbonized Wood. Korea
- Linares-Hernandez, A., Wengert, E.M. 1997. End coating logs to prevent stain and checking. *Forest Products Journal* 47(4): 65-70.
- Muehlbacher, J., Taylor, A., Young, T. 2009. Relative moisture content of sorted red oak lumber while air-drying. *Forest Products Journal* 59(5): 61-62.
- Rice, R.W., Wengert, E.M., Schroeder, J.G. 1988. The potential for check reduction using surface coatings. *Forest Products Journal* 38(10): 17-23.
- Sandoval-Torres, S., Jomaa, W., Marc, F., Puiggali, J. 2012. Colour alteration and chemistry changes in oak wood (*Quercus pedunculata* Ehrh) during plain vacuum drying. *Wood Science and Technology* 46(1-3): 177-191.
- Wenert, E.M. 1990. Drying Oak Lumber. Department of Forestry, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin.