

# 태양에너지를 이용한 유용목재의 건조<sup>\*1</sup>

정희석<sup>\*2</sup>·이형우<sup>\*3</sup>·이남호<sup>\*2</sup>·이상봉<sup>\*2</sup>

## Seasoning of Commercial Wood Using Solar Energy<sup>\*1</sup>

Hee Suk Jung<sup>\*2</sup>·Hyeong Woo Lee<sup>\*3</sup>·Nam Ho Lee<sup>\*2</sup>·Sang Bong Lee<sup>\*2</sup>

### SUMMARY

This study investigated the temperatures and relative humidities in the semi-greenhouse type solar dryer with a black rock-bed heat storage and without heat storage and outdoor temperature and relative humidity at 9 a.m. and 2 p.m.. A comparison was made of the drying rates, final moisture contents, moisture content distributions, casehardening stresses, drying defects, volumetric shrinkage of dried lumber for solar- and air-drying from the green condition of mixtures of Douglas-fir, lauan, taun, oak and sycamore 25mm- and 50 mm-thick lumber during the same period for four seasons, and heat efficiencies for solar dryer with and without the heat storage for saving of heat energy and the cost of lumber drying using the solar energy.

The results from this study were summarized as follows:

1. The mean weekly temperatures in the solar dryers were 3 to 6°C at 9 a.m. and 9 to 13°C at 2 p.m. higher than mean outdoor temperature during all the drying period.
2. The mean weekly relative humidities in the solar dryers were about 1 to 19% at 9 a.m. higher than the outdoor relative humidity, and the difference between indoor and outdoor relative humidity in the morning was greater than in the afternoon.
3. The temperatures and relative humidities in the solar dryer with and without the heat storage were nearly same.
4. The overall solar insolation during the spring months was highest and then was greater in the order of summer, autumn, and winter month.
5. The initial rate of solar drying was more rapid than that of air drying. As moisture content decreased, solar drying rate became more rapid than that of air drying. The rates of solar drying with and without heat storage were nearly same. The drying rate of Douglas-fir was fastest and then faster in the order of sycamore, lauan, taun and oak, and the faster drying rate of species, the smaller differences of drying rates between thicknesses of lumber. The drying

\*1. 接受 1988年 10月 5日 Received October 5, 1988

본 연구는 한국과학재단 학술연구비에 의하여 수행되었음.

\*2. 서울대학교 農科大学 College of Agriculture, Seoul National University, Suwon 440-744, Korea

\*3. 林業研究院 Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

rates were fastest in the summer and slowest in the winter. The rates of solar drying during the spring were more slowly in the early stage and faster in the later stage than those during the autumn.

6. The final moisture contents were above 15% for 25mm-thick air dried and about 10% for solar dried lumber, but the mean final MCs for 50mm-thick lumber were much higher than those of thin lumber. The differences of final MC between upper and lower course of pile for solar drying were greater than those of pile for air drying. The differences of moisture content between the shell and the core of air dried lumbers were greater than those of solar dried lumber, smallest in the drying during summer and greatest in the drying during winter among seasons.
7. Casehardening stresses of 25mm- and 50mm-thick dried lumber were slight, casehardening stress of solar dried lumber was severer than that of air dried lumber and was similar between solar dried lumber with and without heat storage. Casehardening stresses of lumber dried during spring were slightest and then slighter in the order of summer, autumn, and winter. Casehardening stresses of Douglas-fir, sycamore and lauan were slight, comparing with those of taun and oak.
8. Maximum initial checks of 25mm-thick lumber occurred above and below fiber saturation point and those of 50mm-thick lumber occurred in the higher moisture content than thin lumber. As the moisture content decreased, most of checks were closed and didn't show distinct difference of the degree of checks among drying methods. The degree of checks were very slight in case of Douglas-fir and lauan, and severe in case of taun and oak. The degree of checks for 50mm-thick lumber were severer than those for 25mm-thick lumber.
9. The degree of warpage showed severe in case of oak and sycamore lumber, but no warping was found in case of Douglas-fir, lauan and taun.
10. The volumetric shrinkages of taun and oak were large and medium in case of Douglas-fir, lauan and sycamore.
11. Heat efficiencies of solar dryer with heat storage were 6.9% during spring, 7.7% during summer, 12.1% during autumn and 4.1% during winter season. Heat efficiency of solar dryer with heat storage was slightly greater than that of without heat storage. As moisture content of lumber decreased, heat efficiency decreased.

**Key word:** final moisture content, semi-greenhouse type solar dryer, solar drying, heat efficiency

## 1. 서 론

임산공업의 발전과 목제품의 국내 및 해외 수출시장이 넓어짐에 따라 건조목재의 인식과 수요가 날로 높아지고 있으나, 국내 대부분의 중소 목재가공업체에서는 과도한 인공건조시설 투자비와 건조 비용때문에 인공건조설을 설치하여 운용하는 것은 쉬운 일이 아니다. 목재를 인공건조할 때에는 목재가공에 필요한 전체 에너지의 약 70%를 소모할 정도로 상당한 에너지를 필요로 하

고 천연건조를 실시할 경우 장시간이 소요될 뿐만 아니라 기건함수율 이하로 건조할 수 없는 단점이 있기 때문에 천연건조는 실내 공작재의 사용에는 적절치 못하다. 따라서 중소 목재 가공업체에서는 저렴한 시설 투자비와 건조비용, 그리고 어느정도 건조시간을 단축하면서 경제적으로 목재를 건조할 수 있는 방법이 요구되어 왔다. 선진국에서는 1950년대 부터 건조장치가 간편하고 무한한 태양에너지를 활용하여 건조시

간도 어느 정도 단축할 수 있는 태양열 건조에 대한 중요성이 더욱 부각되었고, 열대 및 아열대 지역 국가들 뿐만아니라, 카나다 등 온대지역 국가에서도 여러가지 타입의 태양열 드라이어(solar dryer)를 개발하여 사용중에 있고 많은 연구가 수행되어 왔다.

본 연구에서는 저렴한 비용으로도 태양열 건조를 할 수 있는 반온실형 태양열 드라이어(semi-greenhouse type solar dryer)를 제작하여 축열 매체의 유무에 따른 태양열 드라이어 외기의 계절별 오전과 오후의 온도와 상대습도의 건조조건을 조사하여 비교하고, 또한 미송외 4수종의 판재와 각재의 태양열건조와 천연건조시의 계절별 건조속도와 건조결함 발생등 건조특성을 조사 비교함으로서 태양열건조의 건조속도의 촉진과 건조결함의 예방효과의 정도, 그리고 축열 드라이어와 비축열 드라이어의 효율 비교 등 태양열건조의 기본적인 자료를 얻고, 또한 태양열건조와 관련된 잇점과 문제점을 파악하여 우리나라 기후조건에서 태양열건조의 실용성을 검토하면서 적절한 태양열건조 기법을 개발코자 실시하였다.

## 2. 연구사

Peck(1962)은 두께 1인치의 레드오크(red oak)상판용재의 천연건조와 태양열건조를 실시하여 건조시간과 건조비용 등을 비교하여 보고하였고, Maldonado(1962)등은 두께 1.25와 1.00인치의 마호가니(mahogany)판재의 태양열건조와 천연건조간의 건조시간과 최종함수율에 대하여 보고하였다. Troxell(1968)등은 두께 1인치의 Engelmann spruce와 lodgepole pine의 태양열건조시 최종함수율과 태양열 이용에 관하여 보고하였으며, Wengert(1971)은 태양에너지의 반사와 투과, 벽체, 천정, 마루 및 배기구를 통한 열손실 등에 관하여 보고하였다. Bois(1977)는 black cherry와 3수종의 태양열건조시간과 최종함수율에 대하여 조사 보고하였으며, Lumley(1979)등은 외부접열과 축열기능을 가진 태양열건조실에 대하여 보고하였고, Tschernitz(1979) 등은 두께 1인치의 red oak의 천연건조와 태양열건조의 곡선 및 건조결

함을 연구 보고하였다.

Chen(1981) 등은 두께 1인치의 yellow-poplar의 천연건조와 태양열건조곡선과 건조실과 실외의 온도를 조사 보고하였으며, Oliveira(1982) 등은 온실형 태양열 드라이어에서 두께 1인치의 참나무재의 태양열건조 시간과 건조결함을 비교 보고하였으며, Helmer(1982) 등은 컴퓨터 simulation model을 적용하여 태양열 드라이어와 태양열-제습드라이어의 성능을 예측,에너지 절약 및 건조복재의 품질에 대하여 보고하였고, Chen(1962) 등은 두께 1인치의 yellow-poplar 재를 4계절별 태양열건조하여 건조시간과 건조결함 등을 조사 보고하였다. Simpson(1984) 등은 열대지방에서 사용 할 수 있는 저렴한 태양열 드라이어의 디자인에 대하여 보고하였으며, Little(1984)은 목재건조에서 유류비 상승 추세에 따라 태양열의 산업적 이용은 경제적으로 유익함을 보고하였고, Helmer(1985)등은 태양열 흡수 재습 목재드라이어의 수학적 모델을 개발하고 yellow-poplar재를 계절별로 태양열건조비용에 대하여 보고한 바 있다.

## 3. 재료 및 방법

### 3.1 재료

#### 3.1.1. 공시수종

공시수종은 도입재인 미송(Douglas-fir), 라왕(lauan) 및 타운(taun), 그리고 국산재인 참나무와 벼름나무 등 5수종을 공시하였다.

#### 3.1.2. 공시목재의 크기

공시목재의 두께는 25mm인 판재와 50mm인 각재로 구분하고, 공시판재와 각재의 너비는 10cm, 길이는 110cm로 제작하였다. 수종별 판재와 각재의 공시편의 수량은 비축열태양열건조시험, 축열태양열건조시험 및 천연건조시험의 3건조방법과 4계절용으로 구분하여 모두 1200 본(5수종×2두께×3건조방법×4계절×10본)을 공시하였다.

#### 3.1.3. 공시목재의 초기함수율

5수종 판재와 각재의 비축열 태양열건조, 축열 태양열건조 및 천연건조방법의 3 건조방법과 봄, 여름, 가을 및 겨울 4계절용으로 사용한 공시목

재의 잔적의 중간 높이를 기준한 상단부와 하단부로 구분하여 양 끝에서 길이 2.5cm인 합수율시편을 채취하여 전전법으로 구한 태양열전조 잔적 상단부와 하단부의 평균 초기합수율 그리고 천연건조용 판재의 평균 초기합수율은 다음 표 1-1~1-2와 같다.

표 1-1. 공식판재의 초기합수율 (%)

수종	계절	비축열태양열전조			축열태양열전조			천연전조
		상단부	하단부	평균	상단부	하단부	평균	
마송	봄	35.0	32.9	33.2± 2.8	33.1	45.0	43.0± 8.7	39.7± 9.9
	여름	29.1	30.2	29.5± 1.3	30.1	30.9	30.5± 1.0	29.7 1.7
	가을	40.8	43.7	42.4± 8.3	40.0	42.4	40.7± 8.2	35.0± 3.7
	겨울	84.7	67.7	85.3±28.2	68.4	97.3	68.4±10.0	83.3±21.9
라왕	봄	48.6	45.0	47.2± 3.3	45.4	48.0	46.7± 4.0	45.7± 3.1
	여름	40.9	42.6	41.4± 3.0	43.3	39.8	42.3± 4.0	35.6± 6.2
	가을	67.9	54.3	61.1±10.9	77.2	57.4	67.3±12.7	75.4± 8.2
	겨울	48.7	50.8	49.8± 3.9	49.5	49.3	49.4± 3.9	53.4± 4.8
타운	봄	42.3	49.1	45.7± 5.5	42.4	45.6	44.4± 3.6	42.5± 3.9
	여름	38.9	54.5	46.3± 9.4	38.4	51.4	44.9± 9.9	44.1± 5.9
	가을	48.5	47.1	48.5±11.1	46.8	47.4	47.2± 9.5	54.8± 6.4
	겨울	64.3	64.2	64.3± 5.1	67.2	66.4	66.8± 4.7	57.3± 5.7
참나무	봄	67.8	69.4	67.8± 4.8	72.5	70.0	71.3± 5.9	68.5± 4.1
	여름	63.6	62.0	62.8± 3.8	62.8	61.2	62.0± 2.7	65.7± 4.1
	가을	61.4	63.2	62.3± 3.6	62.3	65.1	63.7± 3.8	60.2± 1.9
	겨울	66.6	72.5	69.6± 9.4	73.5	70.1	71.8±10.9	70.2± 9.9
버즘나무	봄	39.4	48.6	37.1± 9.3	58.1	62.7	61.0± 6.9	50.4± 5.5
	여름	35.2	39.5	39.5± 8.6	38.0	37.7	37.7± 2.3	50.8± 6.5
	가을	62.5	76.9	69.7±10.6	74.2	58.5	74.7± 7.6	71.3±13.5
	겨울	71.1	68.9	70.0± 5.8	66.7	61.2	64.0± 7.1	62.5± 9.0

## 3.1.4. 판재와 각재의 잔적

태양열전조에서 판재와 각재의 길이 방향은 동서로 향하도록 하고, 두께 2cm, 폭 3cm의 잔목을 104cm 간격으로 수직이 되도록 배치하였고, 잔적 한 층의 공시편의 수는 5본으로서, 20층까지 박스척(box-pile)하였다.

표 1-2. 공시각재의 초기함수율 (%)

수종	비축열태양열건조				축열태양열건조			천연건조
	계절	상단부	하단부	평균	상단부	하단부	평균	
미송	봄	38.5	40.1	39.3± 8.6	33.4	30.4	31.9± 2.5	42.8± 9.8
	여름	33.0	33.7	32.5± 2.3	40.4	32.6	36.4± 7.5	35.0± 4.9
	가을	59.4	53.2	64.6±17.4	56.6	50.1	66.1±16.9	32.8± 6.1
	겨울	47.6	83.9	63.1±21.1	47.1	39.3	44.1±17.8	68.8±28.3
라왕	봄	48.9	48.0	48.5± 1.3	49.0	49.2	49.1± 1.7	50.1± 3.1
	여름	47.3	30.7	39.2±13.0	44.3	33.6	37.4±12.1	35.3±10.8
	가을	73.6	60.6	74.2± 1.5	73.4	50.6	73.3± 1.6	72.8± 2.4
	겨울	60.2	57.8	59.0± 5.5	55.5	55.1	55.3± 5.7	55.6± 6.3
타운	봄	45.3	46.8	46.1± 3.7	47.8	42.0	49.9± 5.9	53.5±11.5
	여름	40.9	53.2	46.7± 8.7	40.6	53.5	46.2± 9.2	45.6±10.1
	가을	60.7	55.8	58.2± 5.8	58.7	50.9	54.8± 7.0	55.2± 4.3
	겨울	70.8	74.4	72.6± 7.4	72.5	72.3	72.4± 3.0	67.0± 9.2
참나무	봄	74.5	73.2	76.5± 9.1	75.8	74.5	75.1± 6.6	75.1±13.1
	여름	74.2	61.4	66.0±11.8	81.8	64.5	71.7±17.2	74.5±16.9
	가을	67.8	66.3	67.1± 9.7	67.9	57.1	62.5± 7.5	61.0± 7.4
	겨울	77.4	75.1	76.3± 9.1	71.7	68.9	70.3± 6.7	70.2± 6.6
벼즘나무	봄	39.5	51.4	43.9± 7.2	58.5	46.8	54.1±10.2	49.9± 8.9
	여름	43.9	63.0	47.1± 8.0	49.2	68.2	51.8± 7.0	43.8± 7.7
	가을	51.7	71.9	53.3±15.8	52.9	55.3	52.0±12.5	45.8± 8.7
	겨울	67.9	70.8	69.4±11.6	63.5	65.7	64.6±13.1	63.5± 9.2

천연건조시험의 경우는 재간 간격이 1cm가 되도록 잔적하였다. 그리고 각 수종의 판재와 각재는 잔적내 골고루 배치하였다.

태양열건조와 천연건조시험에서 잔적기간은 봄철 87.3.3-6.1, 여름철 87.6.2-8.24, 가을철

87.9.3-11.25, 겨울철 87.12.1-88.2.29 였다.

### 3.2 방법

#### 3.2.1. 반 온실형 태양열 드라이어

3.2.1.1 드라이어의 크기와 종류 : 평균 위도

가 북위 $37^{\circ}$ 인 우리나라에서 최대의 일사량을 얻기 위하여 드라이어 북쪽 벽은 높이 212cm, 남쪽 벽은 높이 121cm로 하여 지붕은  $37^{\circ}$ 로 경사지게 하였고, 골격은 횡단면  $6\text{cm} \times 5\text{cm}$  규격의 철제를 사용하였다. 동쪽과 서쪽 벽에는 높이와 폭이 121cm인 출입문을 두었고, 한 드라이어 마루의 크기는  $121 \times 121\text{cm}$ 로 하였다. 드라이어는 비축열과 축열 태양열 드라이어로 구분하였으나 축열체의 적용 여부만 차이가 있었는데 축열 태양열 드라이어는 마루 바닥에 검은 돌을 10cm 높이로 쌓았다. 비축열 태양열 드라이어의 구조는 다음 그림 1과 같다.

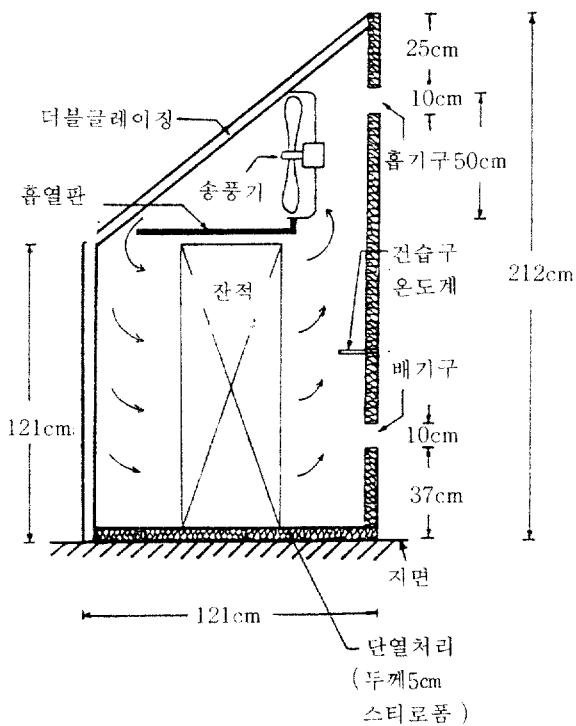


그림 1. 비축열 반온실형 태양열 드라이어의 측면도

3.2.1.2. 흑색 페인팅 : 드라이어의 지붕과 남쪽 벽을 제외한 모든 표면은 수증기의 침해를 막기 위하여 은분페인트로 2회 도포한 후 태양열의 효과적인 흡수를 위하여 무광택의 검은색 페인트로 2회 도포하여 태양열을 흡수하도록 하였다.

3.2.1.3. 단열재 : 드라이어의 가천장과 남쪽 벽에는 두께 0.1mm의 폴리에스터필름 (polyester film)을 이중으로 하여 5cm의 공기층

을 둔 더블글레이징(double glazing)을 하였다.

드라이어의 벽과 마루를 통한 열 손실을 줄이기 위하여 동, 서 및 북쪽 벽은 두께 6mm 합판으로 이중벽을 설치하고, 그 사이에 두께 50mm의 스티로폼(styrofoam)을 넣었으며, 마루 바닥 윗면에 두께 18mm 합판과 마루바닥 하부와 지면 사이에 두께 50mm의 스티로폼을 넣어서 단열하였다.

3.2.1.4. 송풍기 : 한 드라이어 내부에 원활한 공기순환을 위하여 날개 지름이 50cm(0.2마력)인 송풍기 1대를 드라이어 상부 북쪽 벽과 30cm 간격을 두어 설치하였고, 또한 고른 공기순환을 위하여 남쪽 벽과 잔적사이에 검은색 플라스틱망을 설치하였다.

3.2.1.5. 흡·배기구 : 드라이어 내부의 습윤 공기의 배기와 건조한 외부 공기의 유입을 위하여 북쪽 벽 상단부로부터 25cm와 하단부로부터 37cm 떨어진 곳에 크기 10cm×10cm의 흡기구와 배기구를 1개씩 설치하였다.

### 3.2.2. 천연건조장

천연건조장은 태양열 드라이어에 인접한 곳에 기초 높이 45cm로 하고 건조장의 길이 90cm, 너비 100cm로 하여 유리지붕을 한 옥외 천연건조장을 사용하였다.

### 3.2.3. 온도, 상대습도 및 일사량

비축열과 축열 태양열 드라이어 내부의 온도와 상대습도는 건습구온도계를 드라이어 내부 북쪽 벽 배기구 상단에 설치하여 오전 9시와 오후 2시에 측정하였으며, 외기의 온도, 상대습도 및 일사량은 중앙기상대 수원측후소에서 측정한 기상자료를 이용하였다.

### 3.2.4. 건조곡선

비축열 및 축열 태양열건조와 천연건조의 건조곡선은 일주일 간격으로 잔적 중앙부 이상의 상단부에 잔적된 판재와 각재의 무게를 측정하여 구하였다.

### 3.2.5. 최종함수율, 함수율분포 및 건조용력

건조 종료시에 판재와 각재 중앙부에서 최종함수율, 함수율분포 및 건조용력용 시편을 채취하여 최종함수율과 함수율분포는 전건법에 의해 측정하였고, 건조용력은 프롱법(prong test)에 의해 측정하였다.

### 3.2.6. 건조결함

비축열 및 축열 태양열건조와 천연건조중에 판재와 각재의 횡단면할렬과 표면할렬을 일주일 간격으로 측정하였다. 길이굽음, 너비굽음, 측면굽음 및 비틀림 등의 틀어짐, 내부할렬, 찌그러짐 및 수축율은 건조종료시에 측정하였다. 찌그러짐의 정도는 판재와 각재의 최대와 최소 두께를 측정하여 그 차이로 나타내었고, 수축율은 건조 전과 건조 후의 두께와 너비를 측정하여 두께와 폭의 수축율을 구한 값을 합하여 용적수축율로 나타내었다.

### 3.2.7. 태양열 드라이어의 열효율

비축열과 축열 태양열 드라이어의 열효율은 다음 식 (1)을 이용하여 구하였다.

$$\eta_t = \frac{\Delta H_v \cdot W_r + W_t \cdot C_w (T_k - T_a)}{A \cdot I_t} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$\eta_t$  : 태양열 드라이어의 열효율 (%)

$\Delta H_v$  : 기화열 (J/g)

$W_r$  : 증발수분의 무게 (g)

$W_t$  : 함수목재의 무게 (g)

$C_w$  : 함수목재의 비열 (J/g°C)

$I_t$  : 일일 수평면 일사량 ( $J/m^2$ )

$T_k$  : 드라이어의 내부온도 (°C)

$T_a$  : 외기의 온도 (°C)

A : 접열면적 ( $m^2$ )

9°C였다.

봄철 오후의 경우 월별 평균 온도는 외기의 경우 3, 4 및 5월은 각각 8.6°C, 14.2°C, 및 20.9°C이며, 봄철 평균 온도는 15.1°C였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 온도는 각각 3월은 19.5°C와 21.6°C, 4월은 25.5°C와 27.6°C, 5월은 33.9°C와 36.2°C이며, 봄철 평균 온도는 각각 26.9°C와 29.1°C였다.

여름철 오전의 월별 평균 온도는 외기의 경우 6, 7 및 8월은 각각 20.1°C, 22.4°C 및 23.0°C이며, 여름철 평균 온도는 21.8°C였다. 그러나 비축열태양열 드라이어와 축열태양열 드라이어의 온도는 각각 6월은 23.0°C와 22.8°C, 7월은 25.2°C와 25.3°C, 8월은 26.3°C와 25.8°C이며, 여름철 평균 온도는 각각 24.8°C와 24.6°C였다.

여름철 오후의 월별 평균 온도는 외기의 경우 6, 7 및 8월은 각각 25.5°C, 26.0°C 및 27.1°C이며, 여름철의 평균 온도는 26.2°C였다. 그러나 비축열과 축열태양열 드라이어의 온도는 각각 6월은 34.2°C와 34.6°C, 7월은 33.8°C와 33.6°C, 8월은 36.4°C와 37.1°C이며, 여름철 평균 온도는 각각 34.8°C와 35.1°C였다.

가을철 오전의 월별 평균 온도는 외기의 경우 9, 10 및 11월은 각각 17.7°C, 12.3°C 및 6.4°C이며, 가을철 평균 온도는 12.1°C였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 온도는 각각 9월은 19.3°C와 19.8°C, 10월은 15.4°C와 16.0°C, 11

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1. 온도, 상대습도 및 일사량

#### 4.1.1. 건조온도

봄, 여름, 가을 및 겨울기간중 오전(9시)과 오후(2시)에 측정한 외기, 비축열 및 축열 태양열 드라이어의 주별 평균 건조온도의 변화는 다음 그림 2~9와 같다.

봄철 오전의 월별 평균 온도는 외기의 경우 3, 4 및 5월은 각각 3.3°C, 8.2°C 및 14.9°C이며, 봄철 평균온도는 9.2°C였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 온도는 각각 3월은 모두 8.9°C, 4월은 13.2°C와 13.7°C, 5월은 17.9°C와 18.0°C이며, 봄철 평균 온도는 각각 13.7°C와 13.

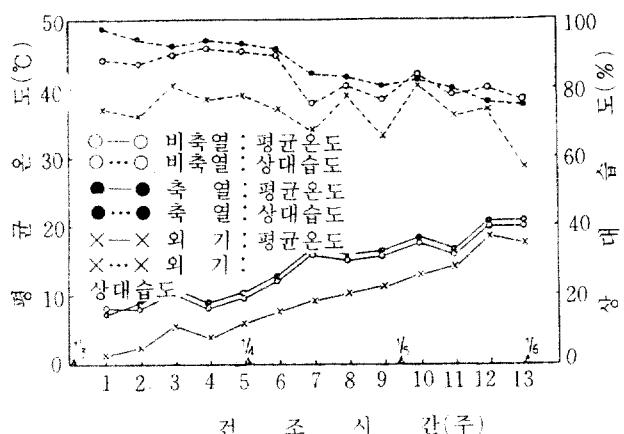


그림 2. 봄철 오전 (09:00) 비축열 및 축열 드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

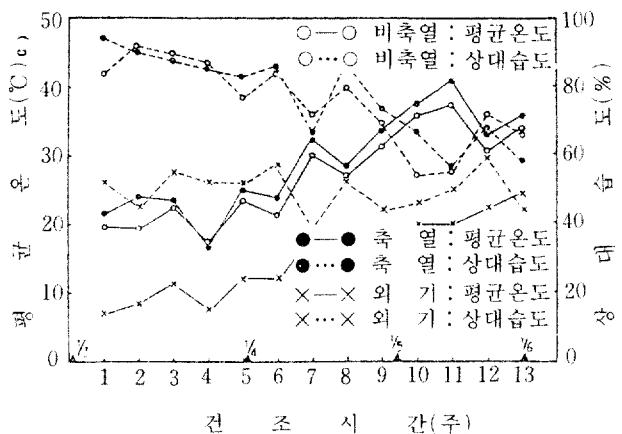


그림 3. 봄철 오후 (14:00) 비축열 및 축열  
드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

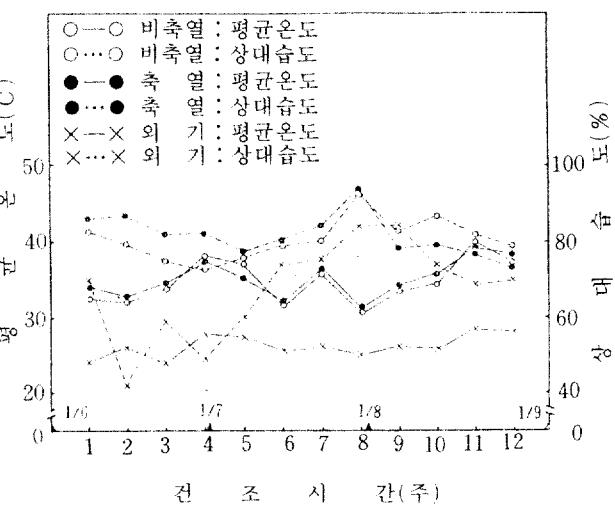


그림 5. 여름철 오후 (14:00) 비축열 및 축열  
드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

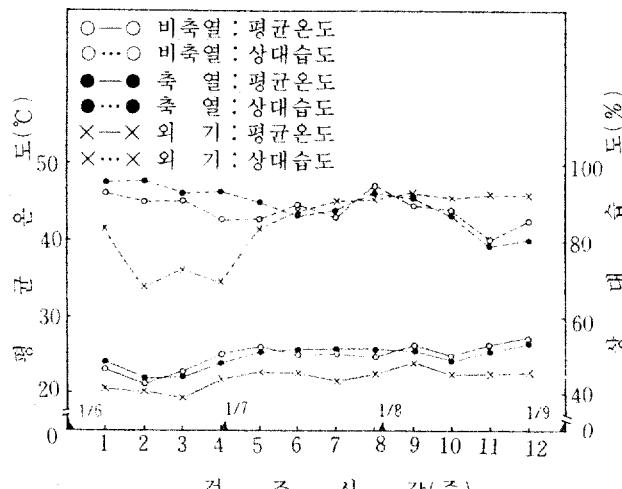


그림 4. 여름철 오전 (09:00) 비축열 및 축열  
드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

월은 10.1°C와 10.3°C이며 가을철 평균 온도는 각각 14.9°C와 15.4°C였다.

가을철 오후의 월별 평균 온도는 외기의 경우 9, 10 및 11월은 각각 23.7°C, 20.1°C 및 13.6°C이며, 가을철 평균 온도는 19.2°C였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 온도는 각각 9월은 32.9°C와 32.1°C, 10월은 32.5°C와 31.7°C, 11월은 23.0°C와 23.4°C이며, 가을철 평균 온도는 각각 29.8°C와 29.1°C였다.

겨울철 오전의 월별 평균 온도는 외기의 경우 12, 1 및 2월은 각각 -2.9°C, -4.8°C 및 -4.1°C

이며, 겨울철 평균 온도는 -3.7°C였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 온도는 각각 12월은 1.0°C와 1.7°C, 1월은 -1.5°C와 -0.4°C, 2월은 -1.0°C와 0.6°C이며, 겨울철 평균 온도는 각각 -0.2°C와 0.7°C였다.

겨울철 오후의 월별 평균 온도는 외기의 경우 12, 1 및 2월은 각각 5.3°C, 2.1°C 및 3.5°C이며, 겨울철 평균 온도는 3.5°C였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 온도는 각각 12월은 15.5°C와 14.5°C, 1월은 13.9°C와 13.5°C, 2월은 14.8°C와 16.4°C이며, 겨울철 평균 온도는 각각 14.8°C와 14.9°C였다.

연중 월별 오전 9시의 온도는 외기의 경우 겨울철 모든 달은 영하의 온도를 나타내었고, 1월의 온도는 -4.8°C로서 가장 낮았으며, 8월의 온도는 23°C로서 가장 높았고, 8월 이후부터 1월까지 온도는 계속 감소하였다. 태양열 드라이어의 온도는 외기의 온도보다 3~6°C 정도 높았으나, 월별 온도의 변화 추세는 외기의 온도변화 추세와 유사하였다. 비축열과 축열 태양열 드라이어의 온도는 서로 비슷하였고, 태양열 드라이어의 온도는 1월과 2월에서 영하의 온도를 나타내면서 가장 낮았으며, 8월이 가장 높았다.

연중 월별 오후 2시의 온도에서 외기와 태양열 드라이어의 온도는 외기의 경우 1월의 온도는 2.

1°C로서 가장 낮았고, 8월의 온도는 27.1°C로서 가장 높았다. 태양열 드라이어의 온도는 외기의 온도보다 9~13°C 정도 높았다. 봄철 축열태양열 드라이어의 온도는 비축열태양열 드라이어의 온도 보다 약간 높았으나, 여름, 가을 및 겨울철에는 비슷하였다. 외기의 온도보다 태양열 드라이어의 온도상승은 일반 천연건조보다 태양열건조에서 건조속도의 촉진 효과를 기대할 수 있다.

#### 4.1.2. 상대습도

봄, 여름, 가을 및 겨울기간중 오전(9시)과 오후(2시)에 측정한 외기와 비축열태양열 드라이어 및 축열태양열 드라이어의 주별 평균 상대습도의 변화는 그림 2~9와 같다.

봄철 오전의 월별 평균 상대습도는 외기의 경우 3, 4 및 5월 각각 76%, 75% 및 70%이며, 봄철 평균 상대습도는 73%이었다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 상대습도는 각각 3월은 89%와 95%, 4월은 85%와 88%, 5월은 80%와 79%이며, 봄철 평균 상대습도는 각각 84%와 87%이었다.

봄철 오후의 월별 평균 상대습도는 외기의 경우 3, 4 및 5월은 각각 51%, 50% 및 62%이며, 봄철 평균 상대습도는 50%였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 상대습도는 각각 3월은 88%와 90%, 4월은 79%와 81%, 5월은 63%와 65%이며, 봄철 평균 상대습도는 각각 76%와 77%였다.

여름철 오전의 월별 평균 상대습도는 외기의 경우 6, 7 및 8월은 73%, 88% 및 92%이며, 여름철 평균 상대습도는 84%였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 상대습도는 각각 6월은 89%와 94%, 7월은 89%와 90%, 8월은 86%와 84%이며, 여름철 평균 상대습도는 각각 88%와 89%였다.

여름철 오후의 월별 평균 상대습도는 외기의 경우 6, 7 및 8월은 각각 55%, 73% 및 74%이며, 여름철의 평균 상대습도는 67%였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 상대습도는 각각 6월은 78%와 85%, 7월은 82%와 84%, 8월은 83%와 77%이며, 여름철 평균 상대습도는 각각 81%와 82%였다.

가을철 오전의 월별 평균 상대습도는 외기의 경우 9, 10, 및 11월은 79%, 82% 및 80%이며, 가을철 평균 상대습도는 80%였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 상대습도는 각각 9월은 96%와 93%, 10월은 86%와 87%, 11월은 89%와 86%이며, 가을철 평균 상대습도는 각각 90%와 89%였다.

가을철 오후의 월별 평균 상대습도는 외기의 경우 9, 10 및 11월은 각각 52%, 46% 및 51%이며, 가을철 평균 상대습도는 50%였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 상대습도는 각각 9월은 90%와 93%, 10월은 72%와 90%, 11월은 76%와 73%이며, 가을철 평균 상대습도는 각각 79%와 82%였다.

겨울철 오전의 월별 상대습도는 외기의 경우 12, 1 및 2월은 각각 80%, 73% 및 71%이며, 겨울철 평균 상대습도는 74%였다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 상대습도는 각각 12월은 92%와 89%, 1월은 86%와 84%, 2월은 모두 82%이며, 겨울철 평균 상대습도는 각각 87%와 85%였다.

겨울철 오후의 월별 상대습도는 외기의 경우 12, 1 및 2월은 각각 49%, 44% 및 42%이며, 겨울철 평균 상대습도는 45%로 매우 낮았다. 그러나 비축열과 축열 태양열 드라이어의 월별 평균 상대습도는 각각 12월은 90%와 86%, 1월은

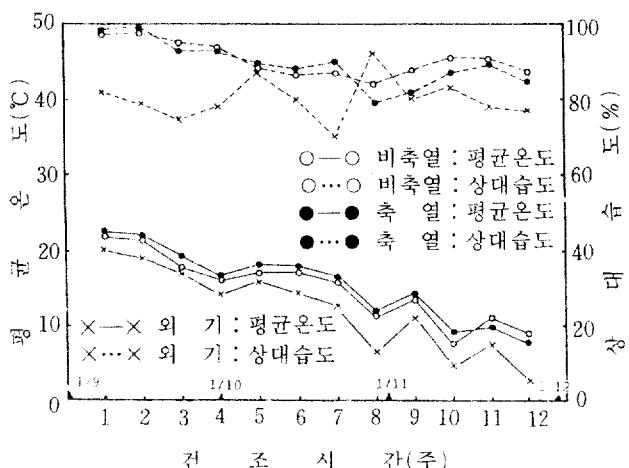


그림 6. 가을철 오전 (09:00) 비축열 및 축열 드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

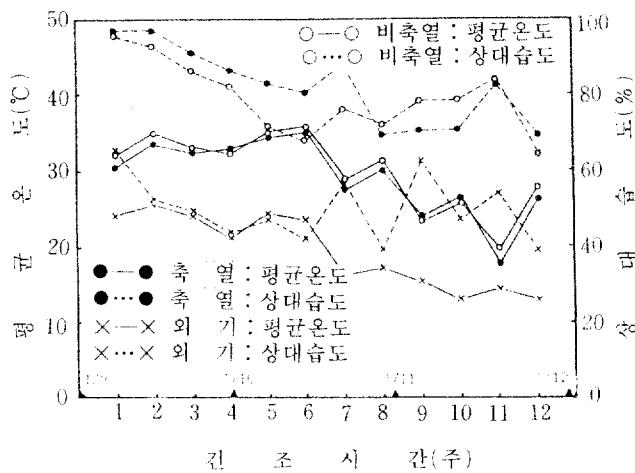


그림 7. 가을철 오후 (14:00) 비축열 및 축열 드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

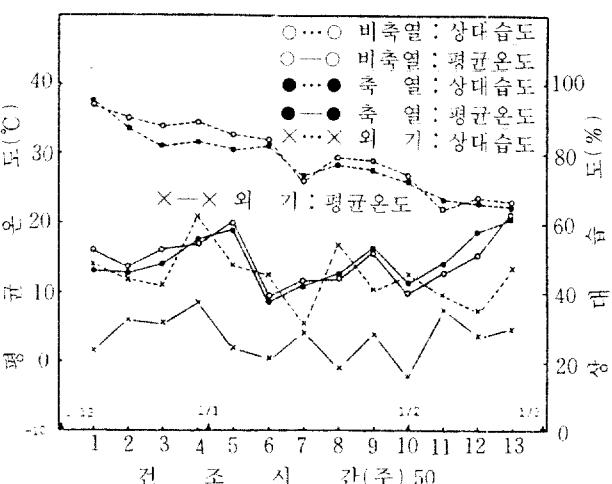


그림 9. 겨울철 오후 (14:00) 비축열 및 축열 드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

타내었고, 7월이 가장 적었다.

태양열 드라이어와 외기의 상대습도의 차이는 하루중에서도 오전이 오후보다 커으며 계절중에서는 겨울철이 가장 커고 다음은 가을철, 봄철 및 여름철 순위였다. 비축열태양열 드라이어와 축열태양열 드라이어의 상대습도는 비슷하였으며, 태양열 드라이어의 상대습도는 외기의 상대습도보다 높기 때문에 일반 천연건조보다 건조속도가 느릴 수 있으나, 목재의 초기 건조결합의 예방 효과를 기대할 수 있었다.

#### 4.1.3. 일사량

수원지방의 계절, 월 및 주별 평균 일사량은 표2와 같고, 일사량은 봄철이 가장 커으며 다음은 여름, 가을 및 겨울 순위였다.

### 4.2. 건조곡선

#### 4.2.1. 미송 판재와 각재의 건조곡선

미송의 4계절과 건조방법별 판재와 각재의 건조곡선은 그림 10과 같이 봄철 13주간 판재의 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 43.9%에서 최종함수율 15.7%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 35.0%와 33.1%에서 최종함수율 7.2%와 8.7%까지 건조되었다.

여름철 6주간 판재의 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 29.1%에서 최종함수율 16.2%

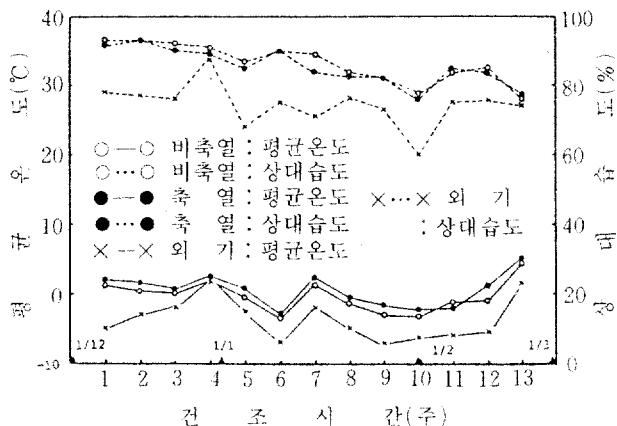


그림 8. 겨울철 오전 (09:00) 비축열 및 축열 드라이어와 외기의 평균온도와 상대습도

79%와 77%, 2월은 68%이며, 겨울철 평균 상대습도는 각각 79%와 77%였다.

연중 월별 오전9시의 상대습도는 외기의 경우 5월이 70%로서 가장 낮았고, 8월이 92%로서 가장 높았다. 연중 월별 오후2시의 외기의 상대습도는 2월이 42%로서 가장 낮고, 8월이 74%로서 가장 높았으며, 오전 9시의 경우보다 낮았다. 외기의 경우 겨울철이 매우 낮은 상대습도를 나타내었고, 가을철은 비교적 낮은 상대습도를 나타내었으며, 여름철은 가장 높았다. 모든 달에서 태양열 드라이어의 상대습도는 외기의 상대습도보다 1~19%정도 높았다. 태양열 드라이어와 외기의 상대습도 차이를 보면 3월이 가장 큰 차이를 나

표 2. 수원지방의 계절, 월 및 주별 평균 일사량

계 절	월	일 사 량 (MJ/m <sup>2</sup> )				
		제 1 주	제 2 주	제 3 주	제 4 주	평 균
봄	3	111.68	133.67	112.12	104.39	115.47
	4	130.93	94.31	119.45	121.46	116.54
	5	117.95	122.32	103.15	73.71	107.40
여 름	6	101.48	114.25	121.49	124.81	115.51
	7	113.89	74.42	85.15	41.51	78.74
	8	61.03	83.78	99.39	90.77	83.74
가 을	9	84.94	98.54	101.89	89.59	93.74
	10	91.04	85.35	62.69	79.70	79.70
	11	41.14	65.45	43.33	63.28	53.30
겨 울	12	61.20	49.09	51.26	37.75	49.82
	1	56.45	51.77	51.69	71.55	57.86
	2	69.87	70.52	58.80	70.87	75.01

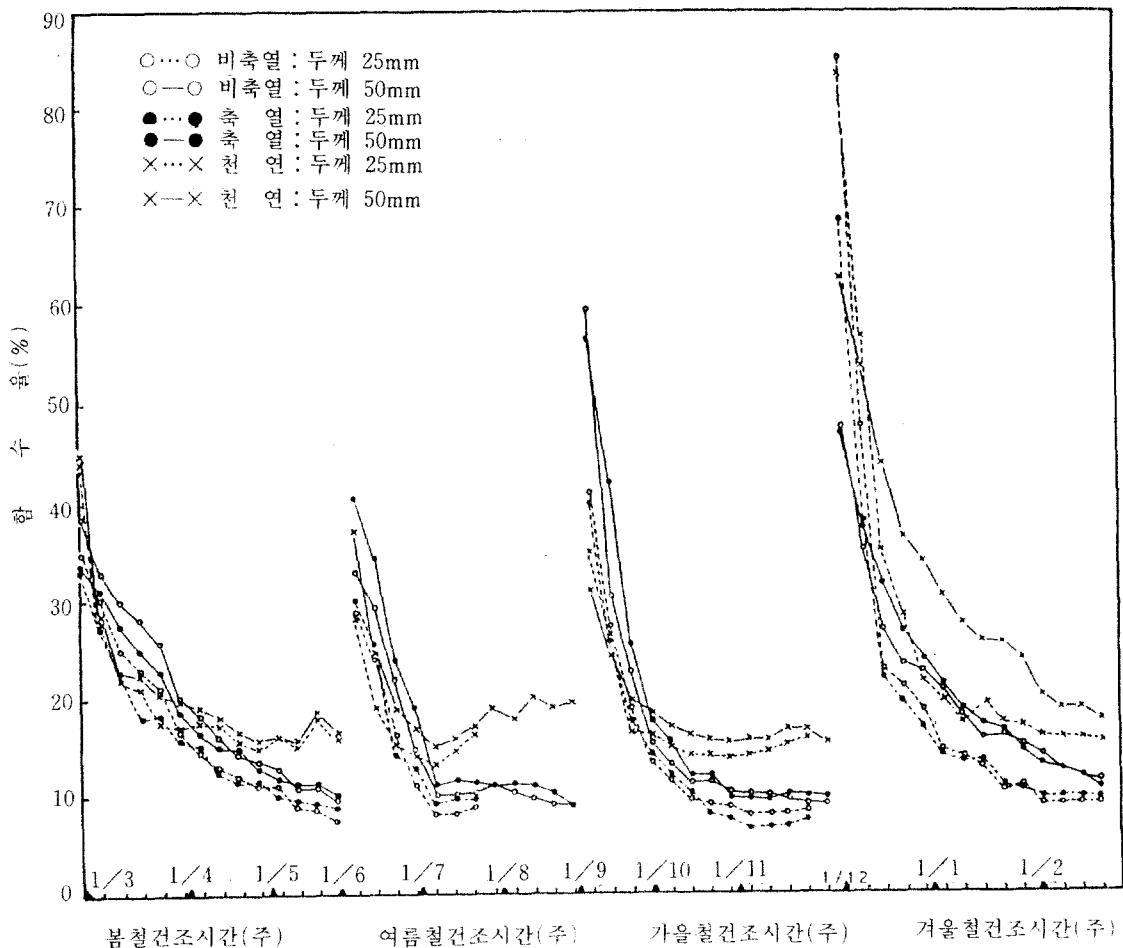


그림 10. 미송의 4계절, 건조 방법 및 목재두께별 건조 곡선

까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 29.2%와 30.1%에서 최종함수율 8.8%와 9.6%까지 전조되었다.

가을철 11주간 판재의 전조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 35.0%에서 최종함수율 15.7%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열 건조는 각각 초기함수율 40.8%와 40.0%에서 최종함수율 8.2%와 7.2%까지 전조되었다.

겨울철 13주간 판재의 전조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 83.4%에서 최종함수율 15.0%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 84.7%와 68.4%에서 최종함수율 9.0%와 8.7%까지 전조되었다.

그리고 각재의 전조속도는 13주간 춘기 전조에서 천연건조의 경우 초기함수율 44.5%에서 최종함수율 15.4%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 38.5%와 33.4%에서 최종함수율 9.3%와 9.6%까지 전조되었다.

12주간 하기 전조에서 천연건조의 경우 초기함수율 37.1%에서 최종함수율 19.6%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 33.0%와 40.4%부터 최종함수율 8.7%와 8.6%까지 전조되었다.

12주간 추기 전조에서 천연건조의 경우 초기함수율 30.9%에서 최종함수율 15.1%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 59.4%와 56.6%에서 최종함수율 9.1%와 9.6%까지 전조되었다.

13주간 동기 전조에서 천연건조의 경우 초기함수율 65.0%에서 최종함수율 17.5%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 47.6%와 47.1%에서 최종함수율 11.3%와 11.2%까지 전조되었다. 미송판재의 천연건조와 태양열건조속도는 전조초기에 서로 비슷하였으나 하기 및 추기 전조중 함수율이 각각 17%정도, 그리고 동기전조중 함수율 35%정도 부터는 전조가 진행될수록 태양열 전조속도가 천연건조속도 보다 더욱 빨라졌으며, 비축열 태양열건조속도와 축열 태양열건조속도 간에는 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 전조 계절별 전조속도는 하기 전조가 가장 커고, 다음은 추기, 춘기 및 동기

전조 순위였다. 천연건조속도는 춘기와 추기 전조중 함수율 10%, 하기 전조중 함수율 15% 이하부터 뚜렷하게 자연되기 시작하였으나, 태양열건조속도는 춘기, 하기 및 추기 전조중 함수율 10%, 그리고 동기 전조중 함수율 12% 이하부터 뚜렷하게 자연되었다.

그리고 미송각재의 전조방법별 및 전조계절별 전조속도는 전조초기와 중기 이후부터는 판재의 경우와 비슷한 경향을 나타내었다. 다만 각재의 태양열건조속도가 천연건조속도보다 빨라지는 함수율은 춘기, 하기, 추기 및 동기 전조중 함수율이 각각 23%, 25%, 21% 및 45%로서 판재의 함수율보다 높았다. 천연건조속도는 춘기, 하기, 추기 및 동기 전조중 함수율이 각각 23%, 18%, 21% 및 26% 이하부터 자연되기 시작하였으나, 태양열건조속도는 춘기, 하기, 추기 및 동기 전조의 함수율이 각각 17%, 11%, 12% 및 18% 이하부터 자연되기 시작하였다.

#### 4.2.2. 라왕 판재와 각재의 전조곡선

라왕의 4계절과 전조방법별 판재와 각재의 전조곡선은 그림 11과같이, 봄철 13주간 판재의 전조방법별 전조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 46.1%에서 13.8%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 48.6%, 45.4%에서 7.5%와 7.0%까지 전조되었다.

여름철 6주간 판재의 전조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 30.4%에서 최종함수율 16.7%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열 전조는 각각 초기함수율 40.9%와 43.3%에서 최종함수율 9.6%와 8.9%까지 전조되었다.

가을철 13주간 판재의 전조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 52.9%에서 최종함수율 16.1%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 48.7%와 49.5%에서 최종함수율 9.6%와 8.7%까지 전조되었다.

겨울철 13주간 판재의 전조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 52.9%에서 최종함수율 16.1%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 48.7%와 49.5%에서 최종함수율 9.6%와 8.7%까지 전조되었다.

그리고 각재의 전조속도는 13주간 춘기 전조에

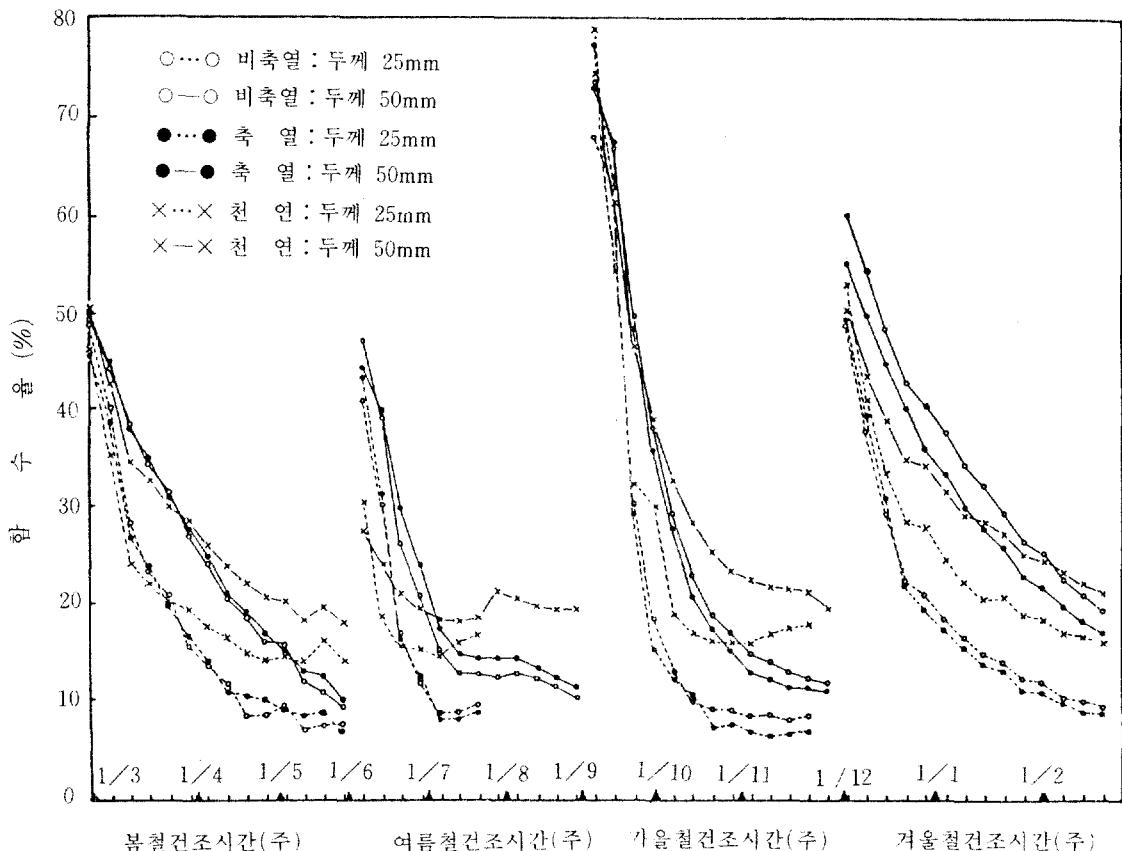


그림 11. 라왕의 4계절, 건조 방법 및 재두께별 건조 곡선

서 천연건조의 경우 초기함수율 50.0%에서 최종 함수율 17.8%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 48.9%와 49.0%에서 최종함수율 9.5%와 9.9%까지 건조되었다.

12주간 하기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 27.7%에서 최종함수율 19.9%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 47.3%와 44.3%부터 최종함수율 10.1%와 10.5%까지 건조되었다.

12주간 초기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 74.1%에서 최종함수율 19.4%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조의 경우 초기함수율 73.6%와 73.4%부터 최종함수율 11.8%와 10.9%까지 건조되었다.

13주간 동기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 50.3%에서 최종함수율 21.0%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기

함수율 60.2%와 55.5%에서 최종함수율 19.6%와 16.9%까지 건조되었다.

라왕 판재의 천연건조와 태양열건조속도는 건조초기에 서로 비슷하였으나, 건조가 진행됨에 따라 태양열건조가 천연건조보다 빨랐다. 즉 태양열건조속도는 춘기, 하기, 추기 및 동기 건조 중 함수율이 각각 24%, 18%, 20% 및 34% 정도 이후부터 천연건조속도보다 빨라졌다. 천연건조 속도는 춘기와 하기 건조중 함수율 20%정도 이후부터 뚜렷하게 자연되기 시작하였으나, 태양열건조속도는 춘기와 추기 건조중 함수율 10%, 하기 건조중 함수율 8%, 동기 건조중 함수율 22% 이후부터는 뚜렷하게 자연되었다. 비축열 태양열건조와 축열 태양열건조간에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

그리고 라왕 각재의 건조방법 및 계절별 건조 속도는 건조초기에서 판재의 경우와 비슷한 경향

을 나타내었다. 다만 태양열전조속도가 천연전조속도보다 빨라지는 함수율은 춘기, 하기, 추기 및 동기 전조중 함수율이 각각 28%, 27%, 38% 및 35% 이후부터이고, 판재의 함수율보다 높았다. 천연전조속도는 춘기, 하기, 추기 및 동기 전조중 함수율이 각각 18%, 18%, 23% 및 30% 이하부터 뚜렷하게 감소하였으나, 태양열전조속도는 춘기, 하기, 추기 및 동기 전조중 함수율이 각각 12%, 14%, 14% 및 22%부터 크게 감소하였다.

#### 4.2.3. 타운 판재와 각재의 전조곡선

타운의 4계절과 건조방법별 판재와 각재의 전조곡선은 그림 12와 같이, 봄철 13주간 판재의 전조방법별 전조속도는 천연전조의 경우 초기함수율 43.9%에서 최종함수율 15.1%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열전조는 각각 초기함수율 42.3%와 42.4%에서 최종함수율 7.8%와 8.1%까지 전조되었다.

여름철 6주간 판재의 전조속도는 천연전조의 경우 초기함수율 49.3%에서 최종함수율 20.5%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열전조는 각각 초기함수율 38.9%와 40.6%에서 최종함수율 11.7%와 11.8%까지 전조되었다.

가을철 11주간 판재의 전조속도는 천연전조의 경우 초기함수율 53.1%에서 최종함수율 17.4%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열전조의 경우 각각 초기함수율 48.5%와 46.8%에서 최종함수율 8.7%와 8.1%까지 전조되었다.

겨울철 13주간 판재의 전조속도는 천연전조의 경우 초기함수율 59.5%에서 최종함수율 16.4%까지 전조되었으나, 비축열과 축열 태양열전조는 각각 초기함수율 64.3%와 67.2%에서 최종함수율 9.9%와 9.6%까지 전조되었다.

그리고 각재의 전조속도는 13주간 춘기 진조에서 천연전조의 경우 초기함수율 66.7%에서 최종함수율 20.9%까지 전조되었으나, 비축열과 축열

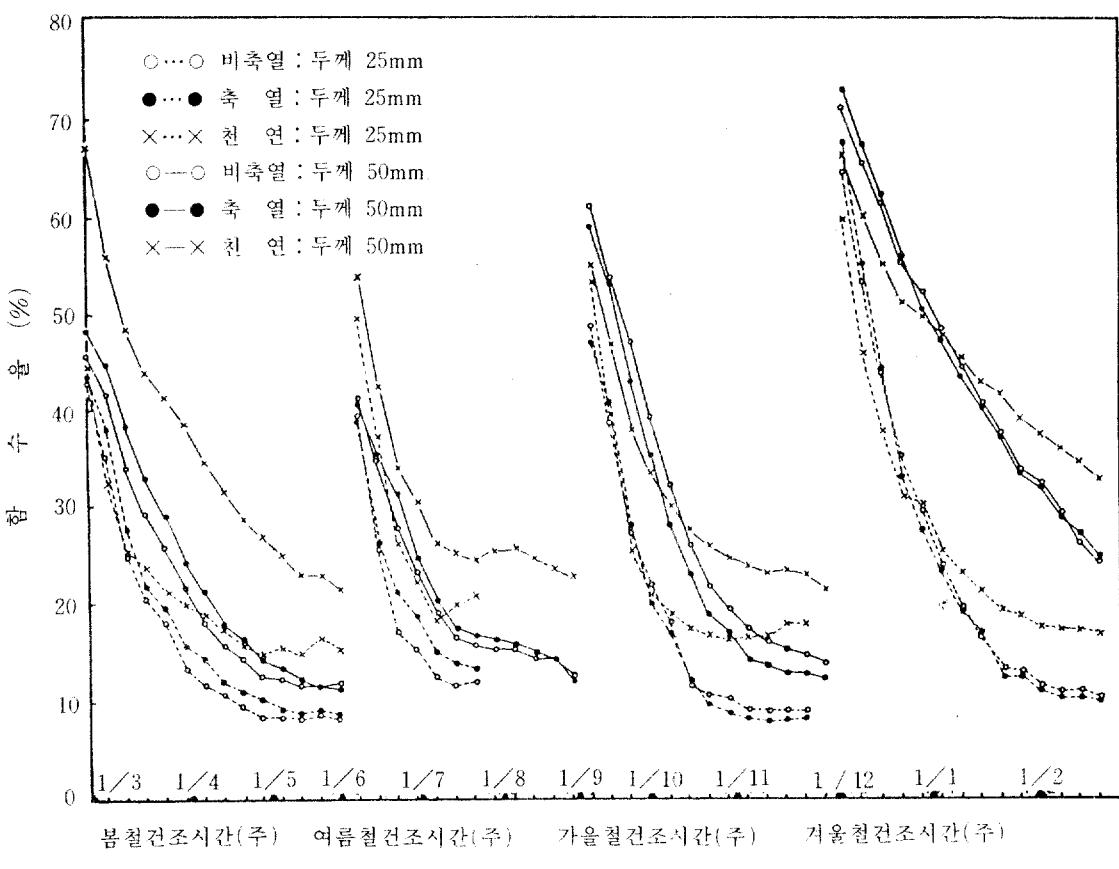


그림 12. 타운의 4계절, 건조 방법 및 목재두께별 전조 곡선

태양열건조는 각각 초기함수율 45.3%와 47.8%에서 최종함수율 11.4%와 11.0%까지 건조되었다.

12주간 각재의 하기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 53.4%에서 최종함수율 22.4%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 40.9%와 40.6%에서 최종함수율 12.2%와 11.8%까지 건조되었다.

12주간 각재의 추기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 54.8%에서 최종함수율 21.1%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 60.7%와 58.7%에서 최종함수율 13.6%와 11.9%까지 건조되었다.

13주간 각재의 동기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 66.1%에서 최종함수율 32.6%까지 건조되었으나, 비축열 및 축열 태양열건조는 초기함수율 70.8%와 72.5%에서 최종함수율 23.7%와 24.2%까지 건조되었다.

타운 판재의 천연건조와 태양열건조속도는 건조초기에 서로 비슷하였으나, 건조가 진행됨에 따라 태양열건조속도는 천연건조속도보다 커졌다. 즉 태양열건조속도는 춘기, 하기, 추기 및 동기 건조중 함수율이 각각 25%, 18%, 20% 및 26%정도 이후부터 크게 지연되기 시작하였으나, 태양열건조속도는 봄, 여름, 가을 및 겨울 계절별 함수율이 각각 12%, 16%, 12% 및 13% 이후부터 지연되기 시작하였다. 비축열 태양열 건조와 축열 태양열건조간에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

그리고 타운 각재의 건조방법 및 계절별 건조속도는 건조초기에 판재의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있으나, 다만 태양열건조속도가 천연건조속도보다 커지는 함수율은 춘기, 하기, 추기 및 동기 건조중 함수율이 각각 44%, 33%, 37%, 및 50% 이후부터 였다. 봄, 여름, 가을 및 겨울 계절별 천연건조속도가 지연되기 시작하는 함수율은 각각 23%, 26%, 23% 및 20% 이하부터이고, 봄, 여름 및 가을철 태양열 건조의 경우는 각각 12%, 15% 및 15%였다.

#### 4.2.4. 참나무 판재와 각재의 건조곡선

참나무의 4계절과 건조방법별 판재와 각재의

건조곡선은 그림 13과 같이 봄철 13주간 판재의 건조방법별 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 64.5%에서 최종함수율 15.8%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 67.8%와 72.5%에서 최종함수율 9.4%와 8.1%까지 건조되었다.

여름철 6주간 판재의 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 65.0%에서 최종함수율 19.8%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 63.6%와 62.8%에서 최종함수율 10.8%와 11.0%까지 건조되었다.

가을철 11주간 판재의 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 61.8%에서 최종함수율 18.8%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 61.4%와 62.3%에서 최종함수율 8.0%와 8.5%까지 건조되었다.

겨울철 13주간 판재의 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 70.6%에서 최종함수율 21.2%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 66.6%와 73.5%에서 최종함수율 13.4%와 10.6%까지 건조되었다.

그리고 각재의 건조속도는 13주간 춘기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 63.2%에서 최종함수율 21.7%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 74.5%와 75.8%에서 15.1%와 13.1%까지 건조되었다.

12주간 하기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 70.5%에서 최종함수율 29.2%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 74.2%와 81.8%에서 최종함수율 11.9%와 16.0%까지 건조되었다.

12주간 추기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 60.6%에서 최종함수율 26.7%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 67.8%와 67.9%에서 최종함수율 14.5%와 12.6%까지 건조되었다.

13주간 동기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 69.9%에서 최종함수율 31.2%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 77.4%와 71.7%에서 최종함수율 25.2%와 19.8%까지 건조되었다.

참나무 판재의 천연건조와 태양열건조속도는 건조초기에 서로 비슷하였으나 건조가 진행됨에 따라 태양열건조속도는 커졌다.

태양열건조는 봄, 여름, 가을 및 겨울 계절별 건조중 합수율이 각각 34%, 28%, 36% 및 42% 정도 이하부터 천연건조속도보다 커졌다. 천연 건조속도는 봄, 여름 및 가을 계절별 건조중 합수율이 각각 17%, 20% 및 19% 이후부터 뚜렷하게 감소하기 시작하였으나, 태양열건조속도는 봄, 여름 및 가을 계절별 건조중 합수율이 10% 전후에서 자연되기 시작하였다. 비축열 태양열 건조와 축열 태양열건조간에는 건조속도의 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다.

그리고 참나무 각재의 건조방법 및 건조계절별 건조속도는 건조 초기에 판재의 경우와 유사한

경향을 타나내고 있으나, 다만 태양열건조속도가 천연건조속도보다 커지는 봄, 여름, 가을 및 겨울 계절별 건조중 합수율은 각각 51%, 46%, 37% 및 42% 이후부터이고 봄, 여름 및 가을 계절별 천연건조 속도가 자연되기 시작하는 합수율은 각각 23%, 32% 및 28% 이후부터 태양열건조의 경우는 12% 정도 이후부터이다.

#### 4.2.5. 벼줄나무 판재와 각재의 건조곡선

벼줄나무의 4계절과 건조방법별 판재와 각재의 건조곡선은 그림 14와 같이 봄철 13주간 판재의 건조방법별 건조속도는 천연건조의 경우 초기 합수율 16.0%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 39.4%와 58.1%에서 최종함수율 6.3%와 9.8%까지 건조되었다.

여름철 6주간 판재의 건조속도는 천연건조의

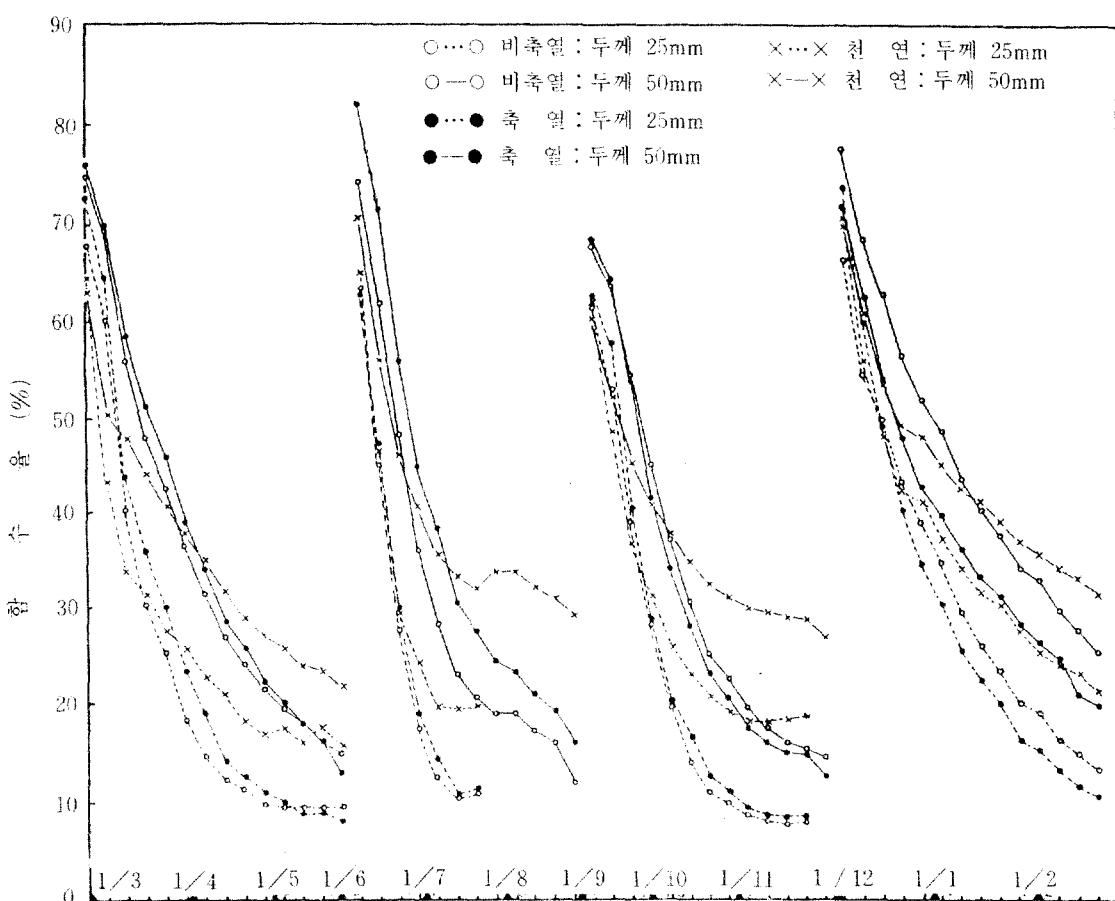


그림 13. 참나무의 4계절, 건조 방법 및 재두께별 건조 곡선

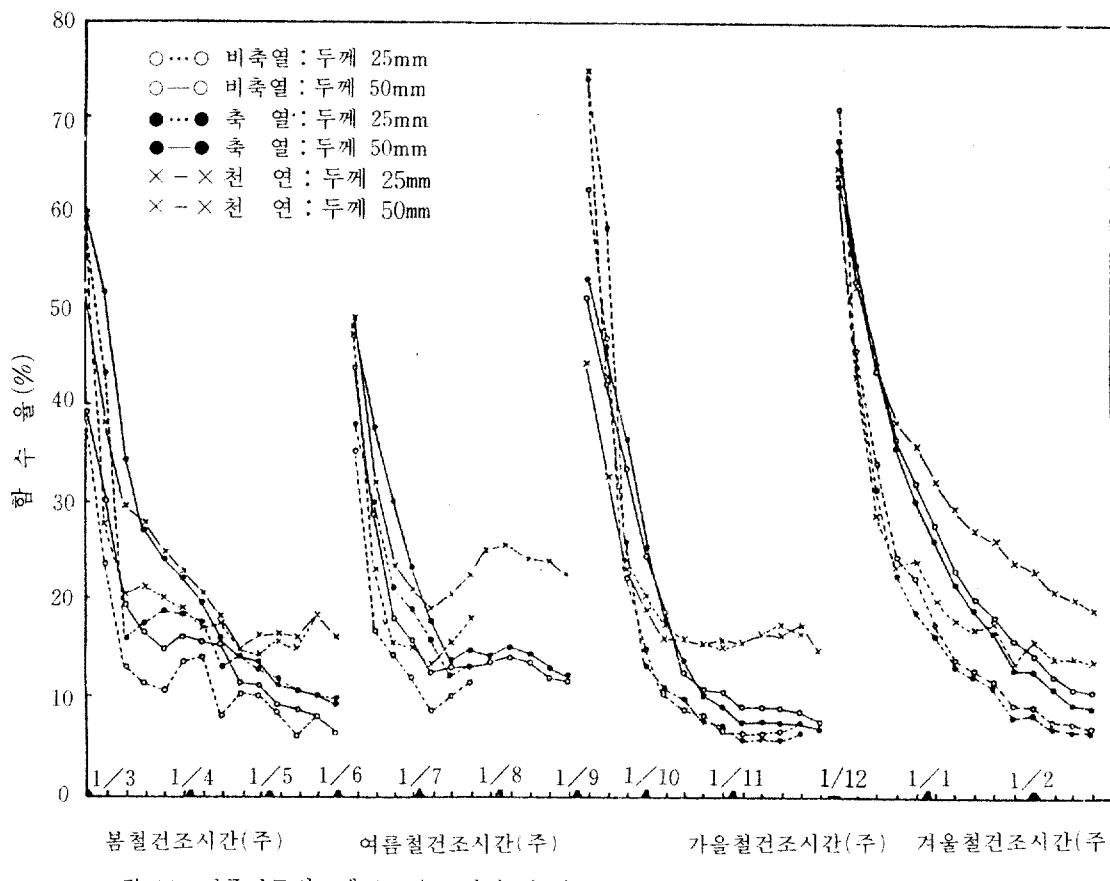


그림 14. 벼름나무의 4계절, 건조 방법 및 재두께별 건조 곡선

경우 초기함수율 48.9%에서 최종함수율 17.9%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 35.2%와 38.0%에서 최종함수율 11.5%와 13.0%까지 건조되었다.

가을철 11주간 판재의 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 74.5%에서 최종함수율 16.6%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 62.5%와 74.2%에서 최종함수율 7.2%와 6.6%까지 건조되었다.

겨울철 13주간 판재의 건조속도는 천연건조의 경우 초기함수율 63.8%에서 최종함수율 13.8%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 71.1%와 66.7%에서 최종함수율 7.0%와 6.3%까지 건조되었다.

그리고 각재의 건조속도는 13주간 춘기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 51.5%에서 최종함수율 16.2%까지 건조되었으나, 비축열과 축열

태양열건조는 각각 초기함수율 39.5%와 58.5%에서 최종함수율 6.5%와 9.3%까지 건조되었다.

12주간 하기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 47.7%에서 최종함수율 26.8%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 43.9%와 49.2%에서 최종함수율 11.5%와 11.7%까지 건조되었다.

12주간 추기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 44.6%에서 최종함수율 14.8%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 51.7%와 52.9%에서 최종함수율 7.5%와 7.0%까지 건조되었다.

13주간 동기 건조에서 천연건조의 경우 초기함수율 64.4%에서 최종함수율 19.1%까지 건조되었으나, 비축열과 축열 태양열건조는 각각 초기함수율 67.9%와 63.5%에서 최종함수율 10.4%와 9.0%까지 건조되었다. 벼름나무 판재의 천연

건조와 태양열건조속도는 건조초기에 서로 비슷하였으나, 건조가 진행됨에 따라 태양열건조속도는 천연건조보다 커졌다. 즉 태양열건조속도는 봄, 여름, 가을 및 겨울 계절별 건조중 함수율이 각각 21%, 15%, 22% 및 24% 이후부터 천연건조 속도보다 커졌다. 천연건조속도는 봄, 여름, 가을 및 겨울 계절별 건조중 함수율이 각각 17%, 15%, 15% 및 17% 이후부터 크게 지연되기 시작하였고, 태양열건조속도의 경우는 계절별 건조중 함수율이 각각 15%, 12%, 8% 및 8% 이후부터 지연되었다. 비축열과 축열 태양열건조 간에는 건조속도의 뚜렷한 차이가 없었다.

그리고 벼증나무 각재의 건조방법 및 계절별 건조속도는 건조초기의 판재의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있으나, 다만 태양열 건조속도가 천연건조속도보다 커지는 봄, 여름, 가을 및 겨울 계절별 함수율은 각각 30%, 23%, 22% 및 45% 이후부터이다. 그리고 천연건조속도는 봄, 여름, 가을 계절별 건조중 함수율이 각각 15% 및 16% 이후부터 뚜렷하게 지연되기 시작하였으나, 태양열건조속도의 경우는 9%, 12% 및 8% 이후부터 지연되기 시작하였다.

#### 4.2.6. 수종, 계절 및 건조방법별 건조곡선의 비교

공시 5수종의 판재와 각재의 4계절별 천연건조 속도와 태양열건조속도는 외기조건에 좌우되는 천연건조속도와 유관하였으며, 건조곡선과 관련된 그림10~14에서 알 수 있는 바와 같이 태양열 건조속도는 천연건조속도와 비교해볼 때 건조개시 첫째주일 동안에 느렸으나, 둘째주일부터 섬유포화점 부근까지 비슷하였고, 섬유포화점 이후부터 건조가 진행될수록 더욱 빨라졌다. 이와 같은 결과는 태양열건조개시 첫주일 동안에 태양열 드라이어의 고온에 의한 건조촉진으로 인하여 야기되는 심한 건조결함을 예방하기 위하여 흡, 배기구를 밀폐하여 드라이어의 상대습도 상승에 기인된 것이다. 둘째주일 이후부터 태양열 드라이어 내부상대습도는 목재 수분이 다양 증발되고 환기의 제약으로 인하여 외기의 상대습도보다 높아졌기 때문에 섬유포화점에 이르는 동안 건조가 지연되었다.

그러나 섬유포화점 이후부터 태양열 드라이어의 고온과 건조중기 이후 증발 수분의 감소로 인하여 상대습도가 저하되어 건조의 촉진효과가 커졌다. Oliveira(1982)의 온도가 상승할수록 수분의 확산계수가 커지고 상대습도가 저하되어 목재의 수분경사가 커져 수분이동이 잘 되며 건조가 촉진된다는 보고와 일치 하였다. 비축열 태양열건조속도와 축열 태양열건조속도간에는 뚜렷한 차이가 없었으며, 초기함수율이 큰 수종과 목재일수록 초기 건조 속도는 큰 편이었다.

계절별 건조속도는 고온인 하기 건조가 가장 커졌고, 저온인 동기 건조가 가장 적었다. 춘기 건조는 초기 건조보다 계절초기에 저온으로 인하여 건조가 느렸으나, 계절 말기에 고온으로 인하여 빨라졌다. 수종별 건조속도는 미송이 가장 커졌고, 다음은 벼증나무, 라왕, 타운 및 참나무 순위였으며, 건조속도가 큰 수종일수록 판재와 각재간의 건조속도의 차이가 감소 하였다.

### 4.3 최종함수율, 함수율분포 및 건조응력

#### 4.3.1. 최종함수율

미송외 4수종 판재와 각재의 4계절별 천연건조와 태양열건조의 잔적위치별 및 평균 최종함수율은 표3-1~3-2와 같다.

판재의 천연건조의 경우는 벼증나무의 동기 건조를 제외한 모든 수종과 건조계절에서 최종함수율이 15% 이상으로서 매우 높았다. 그러나 판재의 태양열건조의 경우 잔적 상단부는 잔적 하단부보다 더 많이 건조되었는데, 잔적 상단부의 최종함수율은 참나무, 타운 및 벼증나무의 하기 건조를 제외한 모든 수종과 건조계절에서 10% 미만까지 건조되었다. 잔적 하단부는 벼증나무의 춘기 비축열과 축열태양열건조, 타운의 초기 비축열 태양열건조를 제외한 모든 수종과 건조계절에서 최종함수율이 10% 이상으로서 잔적위치에, 따라 상당한 차이를 나타내었다.

건조계절별 판재의 평균 최종함수율은 춘기 건조와 초기 건조에서 참나무를 제외한 다른 수종은 10% 전후까지 건조되었으며, 하기 건조의 최종함수율은 약간 높은 편이었고, 동기 건조의 최

표3-1. 공시판재의 최종 합수율(%)

수종	계절	비축열태양열건조			축열태양열건조			천연건조
		상단부	하단부	평균	상단부	하단부	평균	
미송	봄	7.2	13.0	10.8± 2.9	8.7	13.0	10.9± 2.3	15.4± 0.4
	여름	8.8	12.6	10.9± 2.3	9.6	15.4	12.5± 3.3	16.5± 0.6
	가을	8.2	11.7	10.0± 2.2	7.2	11.8	9.3± 2.8	16.0± 0.7
	겨울	9.9	14.5	11.8± 3.1	8.7	13.0	10.6± 2.7	15.5± 0.4
라왕	봄	7.5	13.6	10.6± 3.1	7.0	15.2	11.1± 4.5	15.9± 3.7
	여름	9.6	14.3	12.0± 2.7	8.9	18.4	12.8± 4.5	17.2± 0.8
	가을	8.4	12.5	10.5± 2.4	7.1	10.6	8.5± 2.3	18.1± 1.5
	겨울	9.6	15.0	12.3± 3.1	8.7	13.7	11.2± 3.0	16.2± 1.0
타운	봄	7.8	12.4	10.7± 2.4	8.1	14.1	12.0± 4.6	15.3± 0.6
	여름	11.7	16.8	14.2± 2.9	12.9	20.8	16.7± 4.4	19.8± 1.1
	가을	8.7	9.8	9.3± 3.2	8.1	11.5	9.9± 2.4	17.6± 0.5
	겨울	9.9	17.0	13.5± 4.3	9.6	16.1	12.8± 4.2	16.4± 0.3
참나무	봄	9.4	12.5	11.0± 2.0	8.1	12.7	10.4± 2.5	16.1± 0.8
	여름	10.8	17.9	14.4± 4.2	11.0	20.6	15.8± 5.5	19.5± 1.3
	가을	8.0	16.1	12.1± 4.3	8.5	13.9	11.2± 3.3	18.8± 1.5
	겨울	13.4	22.8	18.0± 6.5	10.6	23.3	17.0± 8.5	21.7± 4.0
벼름나무	봄	6.3	5.9	6.3± 1.5	9.8	9.2	9.4± 0.7	15.7± 0.5
	여름	11.5	11.5	12.2± 0.8	13.0	13.0	16.3± 3.8	19.9± 0.7
	가을	7.2	11.6	9.4± 3.0	6.6	11.3	8.9± 2.7	16.6± 2.1
	겨울	7.0	12.1	9.6± 3.3	6.3	10.7	8.5± 3.0	14.1± 0.5

종합수율이 가장 높았다. 수종별 판재의 최종합수율은 벼름나무가 가장 낮았고, 다음은 미송, 라왕, 타운 및 참나무 순위였다.

각재의 천연건조의 최종합수율은 모든 수종과 건조계절에서 15% 이상으로서 매우 높은 편이었

다. 각재의 동기 태양열건조와 천연건조의 최종합수율은 높았고, 특히 참나무와 타운의 경우는 매우 높았다. 각재의 태양열건조의 잔적 상단부의 최종합수율은 낮았으나, 하단부의 최종합수율은 비교적 높았다. 잔적 상단부와 하단부의 최

표3-2. 공식각재의 최종 함수율(%)

수종	계절	비축열태양열건조			축열태양열건조			천연건조
		상단부	하단부	평균	상단부	하단부	평균	
미송	봄	9.3	14.3	11.8± 2.6	9.6	13.4	11.5± 2.4	15.5± 0.4
	여름	8.7	12.9	10.8± 2.2	8.6	12.2	10.4± 1.9	19.0± 1.0
	가을	9.1	12.7	10.9± 2.4	9.6	12.1	10.5± 2.1	15.6± 0.6
	겨울	11.3	20.2	15.1± 5.0	11.2	14.6	12.5± 2.1	17.9± 1.4
라왕	봄	9.5	17.9	13.7± 4.3	9.9	20.3	15.1± 5.4	20.7± 1.7
	여름	10.1	13.3	11.7± 2.3	10.5	13.5	12.0± 1.6	20.7± 1.1
	가을	11.8	18.1	15.0± 3.7	10.9	15.9	13.4± 3.1	19.9± 0.8
	겨울	19.6	28.1	23.5± 5.4	16.9	24.1	20.5± 5.8	25.0± 4.7
타운	봄	11.4	19.1	15.2± 4.0	11.0	16.3	13.7± 3.0	19.9± 1.4
	여름	12.2	14.6	13.4± 1.8	11.8	14.6	13.2± 2.1	21.6± 1.8
	가을	13.6	20.4	17.0± 4.1	11.9	14.9	13.4± 2.5	21.5± 1.4
	겨울	23.7	37.0	27.4± 6.6	24.2	34.3	27.0± 5.4	31.1± 3.3
참나무	봄	15.1	22.2	18.7± 4.3	13.1	24.1	18.6± 6.1	23.3± 4.9
	여름	11.9	16.4	14.1± 2.8	16.0	17.6	16.8± 4.3	29.1± 4.2
	가을	14.5	22.9	18.7± 5.1	12.6	22.3	17.5± 6.6	26.0± 1.5
	겨울	25.2	39.2	25.4± 6.9	19.8	30.3	23.1± 5.4	29.8± 4.2
벼름나무	봄	6.5	6.7	6.6± 0.3	9.3	11.0	9.9± 1.8	16.0± 1.0
	여름	11.5	14.3	12.9± 1.6	11.7	14.8	13.2± 1.8	24.9± 3.4
	가을	7.5	13.1	10.8± 2.7	7.0	11.5	8.3± 3.4	17.5± 7.8
	겨울	10.4	19.0	14.7± 5.7	9.0	18.5	13.8± 7.7	18.3± 2.0

종합수율의 차이는 수종별로 보면, 미송, 라왕 및 벼름나무의 경우는 적었으나, 타운과 참나무의 경우는 컸었다. 건조계절에서 보면 봄철과 여름철은 적었고, 가을철과 겨울철은 컸었다. 잔적 상단부와 하단부의 최종함수율의 차이는 드라이

어의 환기량 제한과 계절별 기후조건, 특히 계절 말기의 서온 또는 고습에 기인된 것으로 생각된다. 비축열 태양열건조와 축열 태양열건조간의 최종함수율은 대체로 비슷하였으나, 초기함수율의 크기의 영향을 받았다.

태양열건조의 잔적 상단부와 하단부의 평균 최종함수율은 천연건조의 최종함수율보다 적었으나, 수종과 계절에 따라 상당한 차이가 나타났다.

태양열건조와 천연건조간의 최종함수율의 차이는 미송 각재가 적었으나 참나무 각재는 큰 편

표4-1. 공시판재의 함수율(%) 분포

이었다.

#### 4.3.2. 함수율분포

미송의 4수종의 판재와 각재의 4계절별 태양열건조와 천연건조재의 표층과 내층의 함수율분포는 다음 표4-1~4-2와 같다.

판재의 함수율분포를 보면 일반적으로 내층의

수종	계절	비축열태양열건조		축열태양열건조		천연건조	
		표층	내층	표층	내층	표층	내층
미송	봄	12.1	13.3	12.4	13.4	16.0	17.5
	여름	11.3	11.5	13.1	13.7	17.0	16.1
	가을	9.9	10.4	9.7	10.3	16.1	17.2
	겨울	11.5	13.0	10.4	12.1	14.7	16.7
라왕	봄	14.2	15.4	13.6	15.7	16.0	16.8
	여름	11.7	10.6	13.4	14.3	17.2	17.6
	가을	9.3	10.2	9.5	9.9	17.8	18.2
	겨울	11.8	14.4	11.5	13.0	15.4	17.9
타운	봄	11.6	12.6	10.7	11.0	14.1	14.8
	여름	13.4	14.1	16.5	16.6	18.8	19.6
	가을	10.3	10.8	9.8	10.7	17.5	18.6
	겨울	12.5	14.9	11.8	14.4	15.8	17.1
참나무	봄	12.5	13.0	13.1	13.2	15.5	16.5
	여름	15.0	16.9	16.0	19.5	19.8	22.0
	가을	11.2	13.6	10.8	12.7	18.0	20.2
	겨울	15.4	23.6	14.0	22.2	18.2	27.6
벼름나무	봄	11.5	13.3	13.4	15.1	16.8	19.0
	여름	11.4	10.8	15.6	14.3	19.3	18.9
	가을	9.5	9.9	9.3	9.9	15.8	16.2
	겨울	9.0	9.9	8.3	8.8	13.5	14.7

표4-2. 공시각재의 함수율(%)

수종	계절	비축열태양열전조		축열태양열전조		천연전조	
		표 총	내 총	표 총	내 총	표 총	내 총
미송	봄	13.0	14.1	13.3	14.2	16.7	17.3
	여름	12.5	10.7	13.1	12.0	21.9	17.8
	가을	10.7	12.0	10.2	12.5	15.6	16.7
	겨울	14.7	18.6	11.9	15.0	17.2	20.8
라왕	봄	14.0	14.7	12.9	14.2	16.6	17.5
	여름	14.1	12.7	14.0	14.0	22.6	21.6
	가을	15.5	19.3	12.6	16.5	19.2	23.2
	겨울	20.2	34.3	18.2	28.8	21.3	39.0
타운	봄	13.0	13.7	12.7	14.4	18.7	20.6
	여름	13.7	13.9	13.3	14.8	22.2	23.3
	가을	15.6	21.0	13.0	17.0	20.3	24.5
	겨울	22.7	44.4	23.9	47.4	26.0	55.1
잡나무	봄	17.6	21.6	17.7	22.1	22.5	30.2
	여름	18.2	15.1	20.0	19.2	30.4	30.7
	가을	16.7	26.9	15.6	25.7	22.4	37.5
	겨울	26.1	36.5	20.1	31.3	25.6	39.5
버즘나무	봄	13.6	13.2	14.3	13.8	16.2	17.1
	여름	10.9	10.8	11.1	10.9	24.6	20.0
	가을	11.2	12.0	8.8	10.6	15.3	16.9
	겨울	13.9	16.1	13.5	17.5	16.7	20.6

함수율이 외층의 함수율보다 높았는데 특히 천연전조재가 태양열전조재보다 높았다.

표총과 내총의 함수율차이를 전조계절별로 살펴보면 춘기 전조와 추기 전조에서 적었고, 동기 전조에서 컸었다. 그러나 하기 전조에서는 다른

계절의 전조에서 보다 표총과 내총의 함수율차이가 적었고, 버즘나무와 라왕 판재의 일부는 표총의 함수율이 내총보다 더 높은 경우도 나타났다. 이와 같은 결과는 여름철 초기에 고온에서 저함수율까지 신속히 전조된 이후 일기 변화 즉 상대습

표 5. 공시판재와 각재의 표면경화율 (%)

수종	계절	판재			각재		
		비축열 태양열전조	축 태양열전조	천연전조	비축열 태양열전조	축 태양열전조	
미 송	봄	9	10	-3	3	3	-2
	여름	14	17	0	7	7	-4
	가을	16	24	-13	10	8	-1
	겨울	43	29	16	15	7	7
라 왕	봄	12	3	3	4	7	-2
	여름	15	12	4	8	8	-1
	가을	25	33	-7	7	5	-3
	겨울	12	9	5	-2	2	-8
타 운	봄	23	16	8	10	15	4
	여름	21	20	9	9	5	2
	가을	31	23	-10	13	24	-4
	겨울	37	10	8	0	2	-1
참나무	봄	21	15	13	6	7	6
	여름	17	19	7	11	9	-3
	가을	21	37	-2	10	22	-15
	겨울	17	18	12	4	3	-4
벼름나무	봄	2	2	0	1	5	1
	여름	11	8	0	8	2	1
	가을	8	13	-20	13	8	2
	겨울	30	52	15	6	5	-2

도 증가에 따른 흡습에 의해 표층의 함수율이 높아진 것으로 생각된다.

각재의 함수율분포도 판재의 경우와 비슷한 경향을 나타내고 있었으나, 각재의 표층과 내층의

함수율이 판재의 부위별 함수율보다 컸었다.

#### 4.3.3. 표면경화

미송외 4수종의 건조계절과 건조방법별 판재와 각재의 표면경화율은 다음 표 5와 같이 대부

분 경미한 표면경화와 역표면경화를 나타내고 있었다.

건조계절별 판재와 각재의 태양열건조재의 표면경화는 춘기 건조가 가장 적었고, 다음은 하기 건조 및 동기 건조 순위였다. 이와 같은 결과는 춘기 건조의 경우 초봄에는 저온과 고습조건에서 서서히 건조되고, 늦봄에 가서 기온이 상승하고 상대습도가 낮기 때문에 저함수율까지 건조되면서 수분경사가 완화된 데 기인된 것이고, 하기와 추기 건조의 경우는 건조초기에 고온의 영향으로 건조속도가 촉진되면서 수분경사가 크게 나타났으나 계절 말기에 걸어 들면서 여름의 고습과 가을의 저온에 의해 수분경사가 다소 감소되면서 건조응력이 완화되어 나타난 결과이며, 동기 건조의 경우는 계절의 저온으로 인하여 건조속도가 느리고, 표층과 내층간의 함수율의 차이가 큼으로 인하여 비교적 큰 건조응력이 나타난데 기인된 것으로 생각된다.

건조방법별에서 있어서 건조응력은 비축열과 축열 태양열건조간에는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았으나 태양열건조재는 천연건조재보다 비교적 큰 건조응력을 나타내었다. 천연건조는 태양열건조보다 건조초기에 빨리 건조되고 건조중기 이후부터는 느리게 건조되면서 태양열건조재보다 수분경사가 적었고, 또한 건조계절기간에서 보면 천연건조재는 태양열건조재보다 서서히 건조되어 함수율이 높기 때문에 건조응력이 적거나 또는 역표면경화를 나타낸 것으로 생각된다.

수종과 목재 두께별로 보면 표면경화는 건조속도가 비교적 빠른 미송, 벼줄나무 및 라왕의 경우는 적었고, 타운과 참나무의 경우는 컸다. 이와 같은 결과는 건조속도가 빠른 수종은 내부수분의 외부로의 이동이 용이하여 수분경사가 적은 반면 건조관련 수종은 내부수분의 이동이 느려서 표층과 내층의 함수율 차이가 심하기 때문에 건조응력이 크게 나타난 것으로 생각된다. 또한 각재의 건조응력은 판재보다 적었는데 각재는 건조말기에 비교적 높은 함수율에서 건조되면서 건조응력이 전환되는 과정에서 나타난 결과로 여겨진다.

#### 4.4. 건조결합

##### 4.4.1. 판재와 각재의 할렬

미송와 4수종의 판재와 각재의 건조계절과 건조방법별 건조중 발생한 최대 횡단면 할렬장과 표면 할렬장 그리고 최대할렬발생시의 함수율은 다음 표6-1~6-2와 같다.

미송 판재의 횡단면 할렬은 일부 계절에서 발생하였으나 그 정도는 경미하였고, 표면 할렬은 전 건조계절에서 발생하였다. 라왕판재의 경우는 주로 동기 건조에서 발생하였다. 타운과 참나무 판재의 할렬은 대부분의 건조계절에서 발생하였다. 벼줄나무의 할렬은 여름철에는 발생치 아니하였고, 다른 건조계절에서도 발생정도는 경미하였다.

판재의 최대할렬 발생 시기는 건조개시 첫주내지 둘째주에서 발생하였고, 판재의 최대할렬의 발생 함수율은 미송, 라왕 및 벼줄나무의 판재는 섬유포화점 이하이고, 타운 판재는 섬유포화점 부근이며, 참나무는 섬유포화점 이상에서 발생하였다. 판재의 할렬은 건조가 진행됨에 따라 차차 오무리져서 건조말기에 이르러서는 미송과 라왕은 폐쇄되었고, 타운, 참나무 및 벼줄나무도 거의 폐쇄되거나 미세할렬을 나타내었다.

각재의 횡단면 할렬과 표면할렬은 건조계절과 건조방법별로 발생추세는 비슷하였으나 할렬장의 크기는 판재의 것보다 커졌다. 각재의 최대할렬 발생시기는 대체로 건조개시 둘째주와 세째주 사이에서 나타났고, 각재의 최대할렬 발생시의 함수율은 판재의 경우보다 높았다. 각재도 건조됨에 따라 할렬이 오무리지고 건조말기에는 판재의 수종별 추세와 비슷하였으나 할렬의 정도가 심하였다.

모든 수종의 두께, 건조계절 및 건조방법에서 내부할렬은 나타나지 않았다.

##### 4.4.2. 판재와 각재의 틀어짐과 찌그러짐

미송과 라왕 판재와 각재는 건조계절과 건조방법별로 어느 경우에도 틀어짐이 발생하지 않았다. 타운 판재는 초기 건조에서 경미한 길이굽음, 측면굽음, 비틀림이 나타났으나, 각재의 경우는 어느 경우에서도 틀어짐이 나타나지 않았다.

표6-1. 공시판재의 최대 횡단면 할렬장과 표면 할렬장(mm) 및 합수율(%)

수종	계절	비축열태 양열건조		축열태 양열건조		천연건조	
		횡단면 할렬장	표면 할렬장	횡단면 할렬장	표면 할렬장	횡단면 할렬장	표면 할렬장
미송	봄	3(30.2)	12(30.2)	1(22.7)	1(17.9)	—	18(20.9)
	여름	—	62(16.3)	—	22(8.9)	9(19.1)	214(19.1)
	가을	—	22(19.1)	—	8(14.1)	2(13.8)	14(13.8)
	겨울	4(22.7)	114(22.7)	6(21.7)	44(21.7)	11(21.7)	86(21.7)
라왕	봄	—	—	—	—	12(30.4)	—
	여름	—	—	—	—	—	—
	가을	—	—	—	—	—	—
	겨울	18(20.9)	140(18.6)	12(22.1)	16(15.4)	27(24.4)	—
타운	봄	26(24.2)	63(34.7)	13(21.2)	48(18.9)	11(24.6)	—
	여름	26(25.2)	114(16.8)	26(25.9)	146(20.7)	11(36.7)	80(36.7)
	가을	13(37.3)	38(26.8)	6(27.7)	34(40.3)	—	—
	겨울	2(29.0)	—	8(32.4)	34(27.1)	18(25.1)	40(25.1)
참나무	봄	—	31(30.3)	22(35.8)	22(43.7)	2(31.3)	100(31.3)
	여름	1(44.5)	18(27.4)	11(29.8)	32(29.8)	14(46.7)	249(46.7)
	가을	28(27.9)	48(27.9)	17(20.3)	51(28.3)	19(25.9)	118(25.9)
	겨울	30(34.5)	192(23.5)	45(40.4)	302(34.4)	57(37.0)	88(37.0)
버즘나무	봄	5(12.8)	88(12.8)	—	8(15.8)	6(21.2)	—
	여름	—	—	—	—	—	—
	가을	2(8.7)	8(10.6)	6(13.2)	54(10.9)	4(23.2)	14(19.0)
	겨울	5(45.7)	22(22.5)	—	—	12(19.9)	66(19.9)

주 : ( ) 합수율

다. 그러나 참나무와 버즘나무의 판재와 각재는 건조계절과 건조방법에 있어서 경우에 따라 길이 굽음, 측면굽음, 너비굽음 및 비틀림이 나타났으며 참나무가 가장 심하게 나타났다. 모든 건조

방법의 경우에서 판재는 각재보다 틀어짐이 심하였다.

그리고 모든 수종의 판재와 각재의 건조계절 및 건조방법에서 찌그러짐은 나타나지 않았다.

#### 4.4.3. 판재와 각재의 용적수축율

표6-2. 공식각재의 최대 횡단면 할렬장과 표면 할렬장(mm) 및 합수율(%)

수종	계절	비축열태양열건조		축열태양열건조		천연건조	
		횡단면 할렬장	표면 할렬장	횡단면 할렬장	표면 할렬장	횡단면 할렬장	표면 할렬장
미송	봄	—	15(30.0)	3(27.4)	10(31.1)	9(22.5)	60(22.5)
	여름	—	—	5(24.0)	30(11.1)	5(18.7)	111(23.9)
	가을	6(30.5)	116(13.2)	11(25.5)	26(25.5)	32(19.3)	20(15.9)
	겨울	39(20.5)	80(23.5)	33(21.1)	158(18.5)	34(30.4)	150(23.8)
라왕	봄	3(44.8)	—	20(44.5)	—	2(32.5)	—
	여름	—	—	16(39.9)	—	—	—
	가을	—	—	—	—	—	—
	겨울	44(37.8)	62(26.4)	74(40.2)	—	76(31.5)	40(25.1)
타운	봄	42(28.7)	87(28.7)	50(32.4)	86(32.4)	36(40.7)	6(43.4)
	여름	57(27.4)	306(23.1)	60(24.2)	158(20.1)	50(41.9)	32(25.8)
	가을	26(38.7)	128(31.7)	34(42.4)	146(27.5)	35(37.5)	258(37.5)
	겨울	38(48.1)	—	60(42.9)	14(61.6)	52(47.1)	20(54.8)
참나무	봄	13(47.9)	294(47.9)	51(51.2)	290(51.2)	23(40.6)	214(40.6)
	여름	19(35.9)	52(35.9)	13(38.3)	38(38.3)	43(45.9)	221(35.5)
	가을	57(30.4)	66(30.4)	38(28.1)	176(33.9)	43(34.8)	158(34.8)
	겨울	50(40.2)	298(48.4)	48(35.9)	144(39.6)	42(44.9)	110(42.5)
벼름나무	봄	39(30.1)	142(16.6)	33(34.2)	—	12(27.3)	52(29.4)
	여름	26(28.8)	26(18.1)	24(29.9)	66(37.0)	34(32.1)	35(32.1)
	가을	32(24.5)	370(18.6)	22(13.7)	174(13.7)	22(23.9)	90(16.6)
	겨울	58(23.2)	90(23.2)	42(26.3)	98(26.3)	40(32.3)	150(32.3)

주( ) : 합수율

미송외 4수종의 건조계절과 건조방법별 관재와 각재의 건조종료시의 용적수축율은 다음 표7과 같다.

수종과 목재두께, 건조계절 및 건조방법에 따라 최종합수율이 상이함으로 동일수종과 두께인 경우 최종합수율이 낮을수록 용적수축율이 커졌다.

다. 비중이 큰 참나무와 타운의 판재와 각재의 용적수축율은 컸었다.

#### 4.5 태양열 드라이어의 열효율

계절별 비축열 태양열건조와 축열 태양열건조

의 열효율은 그림 15와 같다. 어느 계절에서나 건조 첫째 주간의 열효율은 둘째 주간의 열효율 보다 약간 적었고, 둘째 주 이후부터 열효율은 건조가 진행됨에따라 감소추세를 나타내고 있고, 주간의 기후조건에따른 건조속도와 밀접한

표 7. 공시판재와 각재의 용적수축율 (%)

수종	계절	판 재			각 재		
		비 축 열 태양열건조	축 열 태양열건조	천연건조	비 축 열 태양열건조	축 열 태양열건조	천연건조
미송	봄	8.6	8.2	5.8	8.8	9.3	7.0
	여름	6.4	5.9	4.0	5.2	5.5	2.6
	가을	9.8	9.9	6.6	6.5	7.3	3.8
	겨울	8.4	9.8	6.2	4.8	5.1	3.9
라왕	봄	11.2	11.3	8.6	13.8	14.6	10.7
	여름	6.9	6.2	4.9	5.9	5.2	3.8
	가을	10.0	9.4	6.6	7.6	9.9	5.2
	겨울	6.7	7.4	4.4	2.8	2.7	2.6
타운	봄	12.5	11.3	9.5	7.0	7.4	4.7
	여름	9.4	8.4	5.5	8.8	8.3	2.4
	가을	14.2	11.8	10.2	11.0	11.2	7.7
	겨울	7.4	7.5	5.9	3.2	4.7	3.2
참나무	봄	6.5	6.6	4.9	7.3	7.0	6.3
	여름	8.9	8.7	6.6	8.8	8.3	0.5
	가을	13.6	10.7	8.8	7.4	8.7	4.2
	겨울	8.6	10.6	8.0	6.4	5.9	6.3
비줄나무	봄	11.4	10.7	10.3	11.4	11.1	7.1
	여름	6.7	5.2	4.3	6.4	6.0	3.0
	가을	9.7	11.9	7.5	10.3	10.0	6.8
	겨울	9.4	10.3	6.4	7.2	7.8	5.2

관계가 있었다. 즉 드라이어의 온도가 하강하면 건조속도가 작았던 주간의 열효율은 감소하였고, 드라이어의 온도가 상승하면 건조속도가 커었던 주간의 열효율은 증가하였다. 계절별 비축열과 축열 태양열 드라이어의 평균 열효율은 각각 봄철의 경우 모두 6.9%이고 여름철의 경우 7.1%와 7.7%이며, 가을철의 경우 12.0%와 12.

1%이고 겨울철의 경우 4.3%와 4.1%로서 축열 태양열건조가 비축열 태양열건조보다 약간 큰 경향을 나타내었고, 가을철이 가장 커으며 겨울철이 가장 적었다. 가을철의 열효율이 비교적 크게 나타난 결과는 가을철 공시목재의 초기함수율이 다른 계절용 목재의 경우보다 높은데 기인된 것으로 여겨진다.

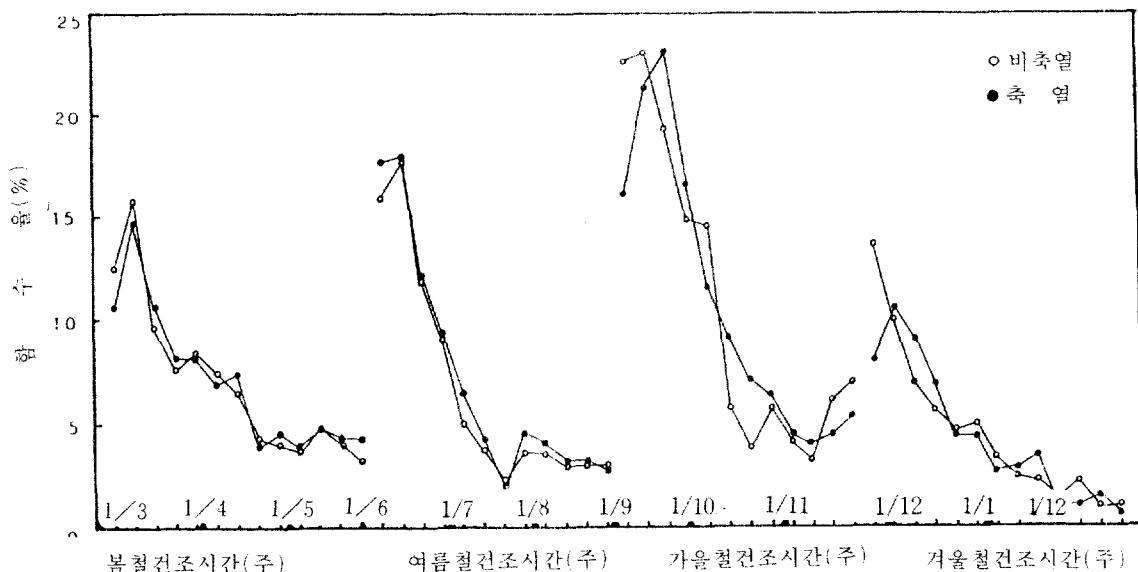


그림 15. 계절별 비축열과 축열 태양열 드라이어의 열효율

## 5. 결 론

태양열을 이용한 목재건조 에너지절약과 목재의 건조비용 절감 및 우리나라에서 태양열건조의 실용성 여부를 알기 위하여 미송, 라왕, 타운, 참나무 및 벼름나무의 두께 25mm인 판재와 50mm인 각재를 공시하여 4계절별로 비축열 태양열건조, 축열 태양열건조 및 천연건조하면서 태양드라이어의 오전과 오후의 온도와 상대습도, 건조속도, 최종함수율, 함수율분포, 건조용력, 할렬과 틀어짐 등의 건조결함, 용적 수축율 및 태양열 드라이어의 열효율 등을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 태양열 드라이어의 연중 주별 평균 온도는 외기의 온도보다 오전에는 3~6°C 정도 높았고, 오후에는 9~13°C 정도 높았다.

- 태양열 드라이어의 연중 주별 평균 상대습도는 외기의 상대습도보다 오전에는 1~19% 정도 높았고, 태양열 드라이어와 외기의 상대습도의 차이는 오전이 오후보다 더 커다.
- 비축열 태양열 드라이어와 축열 태양열 드라이어의 온도와 상대습도는 서로 비슷하였다.
- 일사량은 봄철이 가장 커고, 다음은 여름, 가을 및 겨울 순위였다.
- 태양열건조속도는 천연건조와 비교하여 건조초기에는 비슷하였으나 건조가 진행할수록 촉진되었다. 비축열 태양열건조와 축열태양열건조의 건조속도는 비슷하였다. 수종별 건조속도는 미송이 가장 커고, 다음은 벼름나무, 라왕, 타운 및 참나무 순위였으며 건조속도가 큰 수종일수록 판재와 각재간 건조속도

의 차이는 감소하였다. 건조계절별 건조속도는 하기 건조가 가장 컸고, 동기 건조가 가장 느렸으며, 춘기 건조는 초기 건조보다 계절 초기에는 건조가 느렸으나 계절 말기에는 빨랐다.

6. 계절별 천연건조 판재의 최종함수율은 15% 이상이었으나, 태양열 건조 판재의 최종함수율은 10% 정도까지 건조되었다. 그러나 각재의 최종함수율은 상당히 높았다. 태양열건조는 잔적 상단부와 하단부간의 최종함수율의 차이가 천연건조의 경우보다 컸었다. 천연건조재의 표층과 내층의 함수율의 차이는 태양열건조재보다 컸었고, 건조 계절별로는 하기 건조가 가장 적었고, 동기 건조가 가장 컸었다.
7. 판재와 각재의 표면경화는 경미하였으나, 태양열건조재의 표면경화는 천연건조재보다 컸었으며 비축열과 축열 태양열건조간에는 서로 비슷하였다. 건조 계절별 표면경화는 춘기 건조가 가장 적었고, 다음은 하기 건조, 추기 건조 및 동기 건조 순위였다. 수종별 표면경화는 미송, 버즘나무 및 라왕은 적었고, 타운과 참나무는 컸었다.
8. 판재의 최대 초기할렬이 발생하는 함수율은 섬유포화점 전후이나, 각재는 판재보다 높았으며 건조가 진행함에 따라 대부분의 할렬은 폐쇄되었고, 건조방법간에는 뚜렷한 차이가 없었다. 수종별 초기할렬은 미송과 라왕은 매우 경미하였고, 타운과 참나무는 심하였으며, 각재의 초기할렬은 판재보다 더 심하였다.
9. 미송, 라왕 및 타운 판재와 각재는 틀어짐이 거의 발생하지 않았으나 참나무와 버즘나무의 경우는 심한 편이었다.
10. 타운과 참나무의 판재와 각재의 용적 수축율은 큰 편이고, 미송, 라왕 및 버즘나무는 보통이었다.
11. 계절별 축열 드라이어의 열효율은 춘기 건조 6.9%, 하기 건조 7.7%, 추기 건조 12.1%, 동기 건조 4.1%로서 비축열 태양열 건조보다 약간 컸었으며, 태양열 드라이어의 열효율

은 건조가 진행될수록 감소하였다.

## 참고 문헌

1. Bois, P.L. 1977. Construction and operation a small solar-heated lumber dryer. Forest Prod. Utilization Tech. Note No. 7. USDA-Forest Serv., Madison, Wis: 12.
2. Chen, P.Y.S. 1981. Design and tests of a 500 BF solar kiln. Forest Prod. J. 31(3): 33-38.
3. Chen, P.Y.S., W.A. Helmer, H.N. Rosen, and D.J. Barton. 1982. Experimental solar-dehumidifier kiln for drying lumber. Forest Prod. J. 32(9): 35-41.
4. Helmer, W.A., P.Y.S. Chen, and M.B. Vaidya, 1982. A computer model to simulate solar and solar-dehumidification lumber drying. J. of Solar Energy Engineering Vol. 104, 182-286.
5. Helmer, W.A. and P.Y.S. Chen. 1985. Computer simulation of a new method to dry lumber using solar energy and adsorption refrigeration. Wood and Fiber Science. 17 (4): 464-476.
6. Little, R.L. 1984. Industrial use of solar heat in lumber drying. Forest Prod. J. 34 (9): 22-26.
7. Lumley, T.G., and E.C. Choong. 1979. Technical and economic characteristics of two solar kiln designs. Forest Prod. J. 29(7): 49-56.
8. Maldonado, E.D. and E.C. Peck. 1962. Drying by solar radiation in Puerto Rico. Forest Prod. J. 12 (10): 487-488.
9. Oliveira, L.C. C. Skaar, and E.M. Wengert. 1982. Solar and air lumber drying winter in Virginia. Forest Prod. J. 32(1): 37-44.
10. Peck, E.C. 1962. Drying 4/4 red oak by solar heat. Forest Prod. J. 12(3): 103-107.
11. Simpson, W.T. and J.L. Tschnitz. 1984.

- Solar dry kiln for tropical latitudes. Forest Prod. J. 34(5): 25-34.
12. Troxell, H.E. and L.A. Mueller. 1968. Solar lumber drying in the central Rocky mountain region. Forest Prod. J. 18(1): 19-24.
13. Tschenitz, J.L. and W.T. Simpson. 1979. Solar-heated, forced-air lumber dryer for tropical latitudes. Solar Energy Vol. 22: 563-566.
14. Wengert, E.M. 1971. Improvement in solar dryer kiln design. USDA. For. Serv. Res. Note FPL-0212: 10.