

# Golf Club Head용 감나무재의 Microwave 건조 (I)\*1

## - 30mm 판재의 건조경과와 온도변화 -

姜 琥 陽\*2

# Microwave Drying of Persimmon Lumbers for Golf Club Head (I)\*1

## - Drying Curves and Temperature Distribution of 30mm Thick Lumbers -

Ho-Yang Kang\*2

### ABSTRACT

Persimmon boards of 30mm thick were dried, their temperatures were monitored during drying with 490 and 200watt microwave, and the drying efficacy and problems were investigated. The effects of pretreatments such as presteaming and prefreezing were also examined. The persimmon green lumbers of 80% moisture content were dried to 10% for only 50-60 and 110 minutes with 49watt and 200watt microwave, respectively. Severe internal checks were, however, found in all boards. The presteamed boards collapsed on their surfaces earlier than the controls. It may attribute to the high temperature inside boards during microwave drying and the decrease of their internal tensile strength caused by the presteaming treatment. To increase the internal tensile strength of the pretreated boards and to reduce their internal checks, they were air-dried at room temperature. The air-dried boards could be dried to 10% moisture content clearly and free from defects with 200watt microwave. The heating efficiency were also calculated with the maximum weight loss per minute of 490watt and 200watt.

### 1. 緒 論

Microwave(이하 MW) 건조는 일반 열기건조와는 달리 주위 공기를 통하지 않고 목재에 직접 열에너지를 전달하기 때문에 짧은 시간내 목재온도를 상승시킬 수 있으므로 에너지 효율이 높으며, 함수율이 높은 부분에 에너지가 많이 흡수되므로 선택적 건조가 가능하며, 표층의 급속한 건조가 일어나지 않으

로 표면경화를 예방할 수 있다<sup>1)</sup>. 특히 MW건조는 목재내부부터 건조가 진행되기 때문에 두꺼운 목재에 효과가 크며 잔적이 불필요하다. 이러한 장점에 반해 압력차에 의해 내부수분이 증기상태로 이동하므로 투과율이 낮은 수종에는 적용하기 어려우며 목재 온도가 급속히 상승하므로 탈 우려가 있다.

이러한 문제점 때문에 북미지역에서는 MW보다 낮은 고주파대(radio frequency)를 사용한 건조로

\*1 接受 1994年 10月 21日 Received October, 21, 1994

本 論文은 1993年度 韓國學術振興財團의 公募課題 研究費에 依하여 研究되었음.

\*2 忠南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

가 개발되어 상업적으로 운용되고 있으나 가열원리는 MW건조와 같다<sup>2)</sup>.

국산 감나무(*Diospyros kaki* Thunb.)는 Golf Club Head(이하 GCH)용으로 호평을 받아 한동안 많은 양이 해외에 수출되었으나, 신소재의 개발로 수요가 감소하고 있는 추세이다. GCH 가공시 건조가 가장 어려운 과정으로 지금까지는 감나무 블럭을 증기처리 후 장기간 저온열기건조하는 방식을 주로 사용하여 왔으나, 건조결합이 많이 발생할 뿐만 아니라 장기간 저장으로 인하여 변색되기 쉽다. 따라서 건조결합이 적으며 단기간에 건조할 수 있는 건조방식이 필요하게 되었다.

이러한 목적에는 고주파 건조가 가장 적당한 방법이며, 실제로 국내 일부 업체에서는 GCH용 블럭을 고주파 건조기로 건조하여 생산하고 있으나, 이 고주파 건조에서 발생하는 결합의 종류, 건조수율, 문제점 등에 대해 아직 발표된 바가 없다.

본 연구에서는 고주파 건조기 대신에 MW오븐으로 감나무 판재를 건조하면서 건조경과와 건조결합을 조사하고, 목재내 온도분포를 측정하여 MW건조효과를 조사하였다.

## 2. 研究 史

목재건조에 MW를 사용하기 시작한 것은 1930년대 부터이다. MW건조에 사용되는 주파수대는 915 Mcps(mega cycle per second)와 2,450Mcps의 두 개인데 파장은 각각 0.328미터와 0.122미터이다. MW건조 장치는 식품건조에 많이 이용되는데 MW를 발생시키는 발진장치, 발생된 MW를 유도하는 도파관, 물체에 MW가 조사되는 건조실로 구성되어 있다.

MW에 의해 물질이 데워지는 원리에 대하여서는 몇가지 이론이 있으나, 그 중 보편적인 것은 "MW 전기장내의 극성물질은 심하게 진동하여 마찰열을 발생한다"는 이론이다. 물분자는 극성물질이기 때문에 전기장내에 놓이면 회전하여 전기장 방향으로 일정하게 배열한다. 만일 전기장 방향이 반대로 바뀌면 물분자는 180도 회전하여 새로운 전기장 방향으로 배열하게 된다. 이렇게 물분자가 회전하는 동안 주위의 분자들과 부딪히게 되어 에너지를 잃고 열을 발생한다. 흡수된 에너지에 대한 잃은 에너지의 비를 유전손실(loss factor)라 한다.

Voss<sup>3,4)</sup>는 일반적으로 MW건조는 표면열열이나 표면경화를 일으키지 않는다고 발표하였으며, Resch<sup>5)</sup>는 pencil cedar로 된 연필판을 포수상태에서 함유율 10%까지 70분 내지 100분 내에 MW로 건조하였다고 보고하였다.

Avramidis 와 Zwick<sup>2)</sup>는 칩엽수 3수종을 상업용 대형 진공-MW건조기로 건조하여 경제성을 분석한 결과 충분한 경제성이 있으며 특히 두께 8cm 이상인 목재의 건조에는 효과가 더 크다고 발표하였다.

McAlister와 Resch<sup>6)</sup>는 MW와 100℃의 고온열기를 동시에 목재에 쬐여 고온열기만으로 건조할 때보다 건조속도를 두배나 향상시켰으며 통상의 열기건조 보다는 30배를 향상시켰다고 발표하였다. 고온열기만 사용하였을 때에는 2시간이 지나도 판재의 내부온도가 겨우 73℃에 지나지 않았으나, MW를 사용했을 때에는 30분만에 내부온도가 끓는 점에 도달하였다.

일반적으로 MW건조 판재와 고온열기건조 판재의 함유율 분포는 상당히 다르다<sup>2)</sup>. MW건조 판재는 표층의 함유율이 내층보다 높으며 양단면의 함유율이 중앙보다 높다. 그러나, 고온열기건조 판재는 내층의 함유율이 표층보다 높으며 중앙의 함유율이 양단면보다 높다. 이처럼 MW건조는 목재의 내층부터 건조하기 때문에 내부용적이 거의 발생하지 않는다고 알려져 있다.

## 3. 材料 및 方法

### 3.1 공시재료

공시수종은 국산감나무(*Diospyros kaki* Thunb.)로 정하여 대전근교 제재소에서 별채된지 2주되는 3尺 통나무 3본을 구입하여 그곳에서 제재하였다. 통나무의 말구직경은 각각 36cm, 30cm, 25cm였다. 제재 방법은 통나무의髓를 피하여 통나무 당 2개의 10cm×10cm 각재를 떼어낸 후 나머지는 모두 두께 3cm 판재로 켜다. 본 연구에서는 두께 3cm 판재만 사용하였다.

공시판재와 각재를 실험실로 운반한 후 판재는 폭 10cm×길이 40cm로, 각재는 길이 50cm로 잘라 5℃의 냉장고에 보관하였다. 전처리 직전에 판재는 무처리재, 증기처리재, 냉동처리재의 3그룹으로 구분하여 전처리를 실시하였으며, 전처리를 실시하는 동안 무처리재는 다시 5℃의 냉장고에 보관하였다.

### 3.2 증기처리와 냉동처리

증기처리재는 100℃의 autoclave에서 4시간 처리하였으며 냉동처리재는 영하 30℃의 냉동고에 5일간 보관하여 처리하였다. 전처리가 끝난 후 무처리재와 같이 5℃도 냉장고에 보관하였다.

### 3.3 내부온도측정

건조시 목재내부의 온도변화는 열전쌍(T-type, JIS

규격)을 목재내부에 꽂은 후 도선을 YOKOGAWA 6 타점 기록계에 연결, 기록하였다. 기록계의 오차는  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  이나 본 논문작성을 위하여 기록지를 읽어 수치화하였기 때문에 본 논문에 표기된 온도의 오차는 이보다 클 수 밖에 없었다.

### 3.4 MW건조

사용한 MW오븐은 주파수 2,450Mcps, 최대 출력 700watt 가정용으로 medium은 전체의 70%인 490watt, low는 전체의 30% 정도인 200watt의 출력을 나타내는 것이다. 내부받침은 회전식으로 피 건조체에 전자파가 고르게 쏘이도록 되어 있으나, 내부 온도 측정을 위해 공시시편에 열전쌍을 설치하였을 때는 도선의 영침을 막기위해 내부 받침이 회전하지 못하도록 조치하였다.

## 4. 結果 및 考察

### 4.1 생재비중

침지법을 이용하여 구한 감나무재의 생재비중(건조무게/생재부피 기준)은 Table 1과 같다.

시편은 처리재별로 10개씩 사용하였다. 생재비중의 평균을 비교하면 증기처리가 무처리와 냉동처리보다 약간 작음을 알 수 있다. 이는 증기처리로 인해 목재내 추출물이 빠져나간 때문으로 설명할 수 있으나 이 경우에는 통계적으로 유의성이 인정되지 않았다. 평균 생재함수율은  $95 \pm 10\%$  였다.

### 4.2 생재의 MW건조

무처리, 냉동처리, 증기처리한 30mm 판재를 490watt와 200watt의 두가지 MW출력으로 건조한 결과를 Fig. 1~3에 나타냈다. 공시판재는 하나씩 건조하였다.

Fig. 1과 같이 함수율 80%에서 10%까지 건조하는데 200watt는 약 110분이 걸린 데 반해, 490watt는 절반인 50~60분이 걸렸다. 건조경과를 살펴보면 건조초기 가열기간과 초기이후 항온건조기간으로 뚜렷이 구분이 되는데 490watt에서는 가열기간이 10분 정도인데 반해 200watt에서는 20분이 소요되었

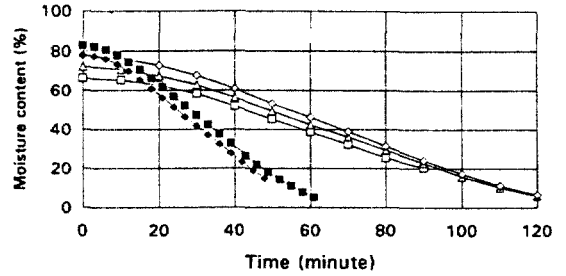


Fig. 1. Drying curves of 30mm thick persimmon boards dried with 200(filled) or 490(black) watt microwave. Squares, triangles and diamonds indicate the control, prefrozen and presteamed boards, respectively.

다. 항온건조기간에는 함수율이 거의 직선적으로 감소하였다.

건조경과를 좀더 자세히 보기 위해 분당무게 변화로 표시하였다(Fig. 2). 최대 무게변화점에 도달하는데 걸리는 시간은 490watt가 20분, 200watt가 40분이었으며 얼마동안 최대 분당무게변화가 지속되다가 490watt가 40분, 200watt는 90분부터 분당 무게변화가 줄기 시작하였다.

Fig. 2에 나타난 바와 같이 전처리에 의한 건조속도 차이는 보이지 않았으나, 전처리에 의한 초기함수율 차이는 건조말기까지 그대로 유지되었다.

490watt와 200watt 모두 건조중간에 내부활열에 의한 것으로 추측되는 표층함몰이 있었으며, 건조 후 내부를 절단하여 관찰한 결과 심한 찌그러짐과 내

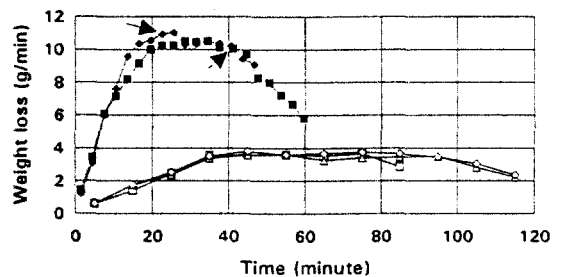


Fig. 2. The weight loss per minute vs. the drying time of the boards dried with 200(filled) or 490(black) watt microwave. The arrows indicate the time when collapse starts to appear on the surfaces. Squares, triangles and diamonds indicate the control, prefrozen and pres teamed boards, respectively

Table 1. Average specific gravities of pretreated persimmon lumbers.

	Specific gravity (od. wt./green vol. basis)		
	Control	Freezing	Steaming
Average	0.576	0.572	0.564
Standard deviation	$\pm 0.017$	$\pm 0.010$	$\pm 0.040$

부할열이 있었다. Fig. 2와 3에는 490watt에서 표층 함몰이 처음 발견된 지점을 화살표로 표시하였다. 표층함몰이 처음 발견된 시간은 무처리는 건조시작 후 40분, 증기처리는 건조시작 후 20분으로 차이를 보였다(Fig. 2). 이를 함수율로 표시하면 Fig. 3과 같이 증기처리는 함수율 50%, 무처리는 함수율 30%에서 표층함몰이 처음 발견되었다. 이와 같은 차이는 증기 처리가 목재의 횡인장강도를 저하시킨 때문으로 설명할 수 있다. 증기처리에 의해 횡인장강도가 낮아졌기 때문에 높은 함수율에서도 내층건조에 의해 발생하는 횡인장응력을 목재가 견디지 못하여 할열이 발생한 것으로 보인다.

### 4.3 기건판재의 MW건조

490watt 와 200watt 모두 건조중간에 내부할열이 발생한 것은 내부의 높은 함수율과 온도(100℃ 이상)로 인해 횡인장강도가 낮아졌기 때문이다. 높은 함수율과 온도에서 목재는 낮은 횡인장강도를 보이는데 본 실험과 같이 생재를 MW로 건조할 때는 이 두 가지가 모두 높을 수 밖에 없으므로 약간의 횡인장력만 발생해도 할열이 발생할 가능성이 높다. 그러므로 MW건조시 함수율이나 온도 중 어느 하나만이라도 낮춘다면 내부할열을 줄일 수 있을 것이다.

이를 입증하기 위해 30mm 전처리 판재를 20℃, 65%RH 강제송풍 항온항습실에서 2달 동안 기건시킨 후 MW로 건조하였다. 2개월의 기건 후 판재의 함수율을 고주파 수분계로 측정하였더니 20-24%를 나타냈으며 아무 결함도 없었다.

이 기건판재를 200watt MW로 건조하였더니 함

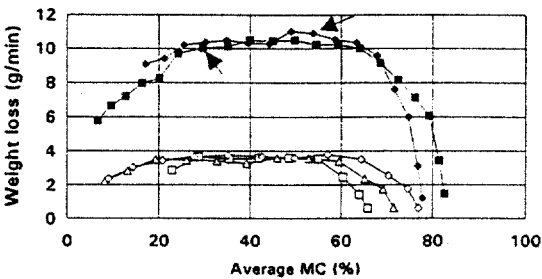


Fig. 3. The weight loss per minute vs. the average moisture content of the boards dried with 200(filled) or 490(black) watt microwave. The arrows indicate the time when collapse starts to appear on the surfaces. Squares, triangles and diamonds indicate the control, prefrozen and presteamed boards, respectively.

수율 10%에 도달하는데 60분이 걸렸다. 이 생재를 200watt MW로 건조하였을 때(Fig. 1) 생재 함수율 70~80%에서 10%까지 건조되는데 110분 걸린 것과 비교하면 매우 느린 속도로 건조되었음을 알 수 있다. 그러나, 이 경우 건조결함이 전혀 없었으며 색상도 매우 깨끗하였다.

Fig. 4에 기건판재의 분당 무게변화를 생재판재의 것과 비교하였다(생재판재 그래프는 Fig. 2의 200 watt와 같은 것임.) 기건판재의 분당무게변화는 전체건조시간을 통하여 평균 0.5g/분으로 생재건조시 최대 분당무게변화 3.64g/분의 1/7밖에 되지 않았다. 기건판재 건조시에는 판재를 하나씩 건조한 것이 아니고 세개를 한꺼번에 건조하였으므로 각 판재의 분당무게변화를 합하면 최대치 1.7g/분을 얻을 수 있다. 그러나 이 값도 생재 최대분당무게 변화의 1/2에도 못 미친다.

### 4.4 온도변화

Fig. 5는 길이 40cm 냉동 공시판재의 세 지점에 열전쌍을 심어 200watt MW로 건조하면서 시간에 따른 온도변화를 기록한 것이다. 판재를 4등분하여 중앙과 좌우에 하나씩 깊이 약 15mm 지점에 심었다. 그림 아래부분에 있는 10분당 무게변화는 온도 변화 공시판재의 무게를 재어 구한 것이 아니고 비슷한 냉동 공시판재를 같은 조건에서 다시 건조하여 값을 얻었다. 온도변화 공시판재의 초기 함수율은 65%으로 34%까지 건조하였으며 무게변화측정 공시판재의 초기함수율은 72%으로 6%까지 건조하였다.

100℃에 가장 빨리 도달한 것은 중앙부위이며 왼쪽부위가 오른쪽보다 늦게 100℃에 도달하였다. 왼쪽과 오른쪽의 차이는 MW오븐내 전자파 흐름이 고르지 않기 때문인 것으로 보인다. 왼쪽부위가 40분만에 가장 늦게 100℃에 도달한 후 판재 전체가 건조종료까지 이 온도를 유지하였다. 온도 그래프 중간, 중간에 움푹 들어간 부분들은 판재를 꺼내어 무게를 잰 지점으로 마지막 무게를 잰 후 온도가 급격히 상승하기 시작하였기 때문에 건조를 마쳤다. 무게 측정후 온도가 급상승되는 원인은 아직 밝혀지지 않았으나, 본 연구중 이러한 현상이 자주 관찰되었다.

Fig. 5는 공시판재의 온도변화와 무게변화를 비교하기 위한 것으로 두 그래프가 매우 비슷한 형태를 보이고 있다. 내부온도와 무게변화 모두 40분만에 최고점에 도달하였으며 그 후에도 내부온도와 무게변화 모두 굴곡이 없다가 95분에 이르러 내부온도는 급상승하기 시작하였으며 무게변화는 감소하기 시작하였다. 따라서 공시판재의 온도를 측정함으로써 건조 속도를 예측할 수 있음을 보여주고 있다.

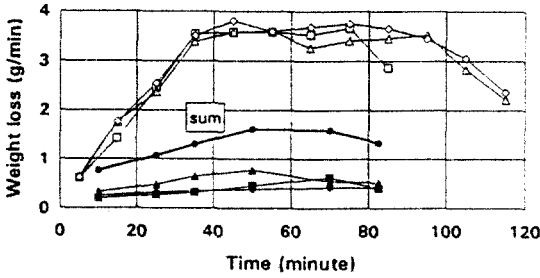


Fig. 4. Comparison of the weight loss per minute of air-dried boards with that of green boards. Both are dried with 200 watt microwave. Squares, triangles and diamonds indicate the control, prefrozen and presteamed boards, respectively.

#### 4.5 가열효율

MW건조시 목재에 흡수되어 목재가열에 사용된 전자파양은 아래 식[1]에 의해 구할 수 있다<sup>7)</sup>. 흡수된 전자파양이 많으면 많을수록 가열효율이 높아지는데 이 양은 식[1]과 같이 주파수, 전기장 세기, 목재의 유전손실계수에 직접 비례한다.

$$P = 5.56 f E^2 \epsilon'' 10^{-10} \dots\dots\dots [1]$$

- P : 목재내 전자파 밀도 (kW/m<sup>3</sup>)
- f : 주파수 (Hz)
- E : 전기장 세기 (V/m)
- $\epsilon''$  : 목재의 유전손실계수

본 실험의 경우 주파수와 전기장 세기는 일정하기

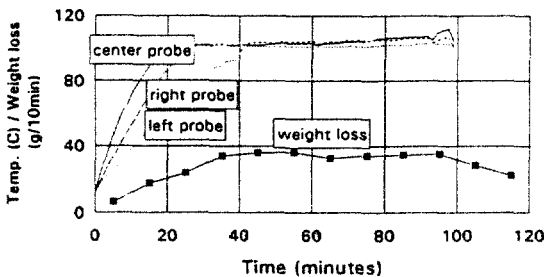


Fig. 5. Temperatures of a 30mm thick board, monitored at three equal-spaced locations along the length and its weight loss per 10 minute. The thermo-couple temperature sensors were implanted at 15mm below the surface.

때문에 목재의 유전손실계수에 의해 가열효율이 결정된다. 이 목재의 유전손실계수는 함수율에 비례하므로 함수율이 떨어질수록 흡수된 전자파양도 줄어들게 되며 따라서 건조효율이 감소하게 된다<sup>6)</sup>. 건조효율은 다음의 식[2]를 사용하여 구할 수 있다<sup>9)</sup>.

$$\eta = 1.16 \times \frac{Q}{W} \dots\dots\dots [2]$$

$$Q = \Delta wt \times Qv \times (60 \text{ 분/시}) \dots\dots\dots [3]$$

- $\eta$  : 가열효율
- Q : 1시간당 필요한 열량 (kcal/h)
- W : microwave 소요전력 (w)
- $\Delta wt$  : 최대분당무게변화 (g/min)
- $\Delta wt(490) = 10.43 \text{ g/min}$
- $\Delta wt(200) = 3.64 \text{ g/min}$
- Qv : 증발열 (= 540 X 10<sup>-3</sup> kcal/g)

식[2]와 [3]을 이용하여 Fig. 2의 490watt와 200watt의 최대분당무게변화 값으로 가열효율을 구한 결과,  $\eta_{490}=0.80$ ,  $\eta_{200}=0.64$ 를 얻었다. 따라서 목재 건조시 MW 출력이 클수록 높은 가열효율을 얻을 수 있음이 밝혀졌으나, 출력 증가만큼 가열효율이 증가하지 않았다.

#### 4.6 열기건조

MW건조와 열기건조의 건조속도를 비교하였다. 열기건조는 Dry Kiln Schedules for Commercial Woods<sup>10)</sup>의 건조스케줄 T6-C3로 소형 Humidity Chamber에서 실시하였으며, MW건조는 200watt로 실시하였다. 공시판재는 열기건조와 MW건조 모두 기건상태로 초기 함수율이 19~20%였기 때문에 열기건조시 기건재의 건조방법대로 그 함수율에 맞는 건조조건을 사용하였다.

최종함수율 10%에 도달하는 데 200watt MW건조는 60분정도 걸렸으나 열기건조는 60시간 걸렸다 (Fig. 6). 두 종류의 공시판재들 모두 건조상태는 매우 깨끗하였으며 두 가지 건조방법 모두 전처리 방법간의 건조속도 차이를 나타내지 않았다.

따라서 섬유포화점 이하의 기건재나 가공재의 신속한 건조에 MW건조가 효과적임을 알 수 있다.

#### 4.7 고찰

건조속도만을 고려할 때 MW건조는 재래의 어떤 건조방법보다 목재를 빨리 건조시킨다는 것이 밝혀졌다. 그러나, 적당한 건조종료시점을 초과하여 건조하면 내충이 과건조되거나 탄화된다. 따라서 MW건조

에 있어서 가장 어려운 점은 적당한 건조종료시점을 찾는 것이다. 본 연구에 사용한 감나무의 경우 지금까지 찾아낸 적당한 건조종료시점은 분당무게변화가 감소하기 시작하는 지점으로 이때 생재는 함수율이 30%정도가 되며(Fig. 3), 기건재는 함수율이 10~12%가 되었다. 만일 생재를 계속하여 MW건조하면 심한 내부할열이 발생한다. 따라서 생재는 2단계로 건조하는 것이 바람직할 것 같다. 즉 생재에서 함수율 30%까지 MW건조한 후 충분히 실온으로 냉각하여 기건재를 만든 후 다시 건조를 실시하는 방법이다.

위와 같은 예는 무처리와 냉동처리재의 경우이고 증기처리재는 앞에서 설명한 바와 같이 증기처리에 의해 목재의 횡인장강도가 떨어지기 때문에 MW건조를 위해서는 좋은 전처리방법이 아님이 밝혀졌다. 이 같은 증기처리에 의한 횡인장강도 저하와 내부할열이 모든 수종에서 감나무와 같이 나타나는지에 대해서는 좀더 광범위한 연구가 필요하다.

본 논문의 범위를 벗어나지만 공시판재의 색상을 비교하였더니 증기처리와 냉동처리재의 색상은 건조전후 모두 깨끗하였으나, 무처리재는 건조전에 벌써 창변이 표면부터 내부까지 나타났다. 다른 공시판재의 전처리 기간동안 무처리공시판재는 5°C의 냉장고에 보관하였으며 다른 공시판재도 전처리후 모두 같은 냉장고에 보관하였다. 따라서 결과만을 볼 때 증기처리와 냉동처리가 변색예방에 효과있음을 알 수 있다.

## 5. 結 論

가정용 MW오븐을 이용하여 MW건조시 건조경과와 건조결함을 조사하고, 목재내 온도분포를 측정하여 Golf Club Head로 쓰이는 감나무재의 MW건조

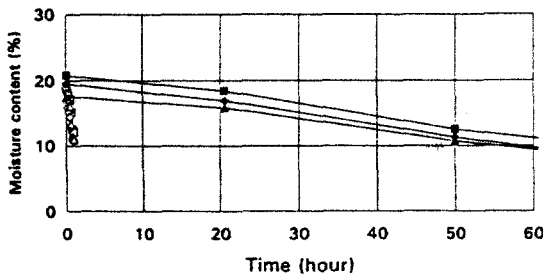


Fig. 6. Comparison of the drying curves of the boards dried with 200watt microwave (filled) with those of the kiln-dried (black). Squares, triangles and diamonds indicate the control, prefrozen and presteamed boards, respectively.

가능성과 효과를 조사하였다.

함수율 80%인 생재를 microwave로 함수율 10%까지 건조하는데, 490watt는 50~60분, 200watt는 약 110분이 걸렸으며, 최대건조속도는 각각 10.43 g/min, 3.64g/min으로 재래 열기건조보다 매우 빨랐으나 모두 건조 후 내부할열이 심하게 발생하였다.

내부할열의 증표인 표층함몰이 발견된 시간은 전처리에 따라 달랐는데 490watt건조에서 조사한 결과에 의하면, 무처리와 증기처리는 각각 건조시작 40분과 20분만에 표층함몰이 나타났다. 이를 함수율로 표시하면 증기처리는 함수율 50%, 무처리인 함수율 30%에서 표층함몰이 처음 발견되었다.

이러한 전처리간 차이는 건조시 높은 목재내 온도와 증기처리에 의한 목재의 횡인장강도 저하에 의한 것으로 사려되며 따라서 공시판재를 기건 후 200watt로 건조하였다니 결합없는 깨끗한 판재를 얻을 수 있었다.

생재판재내부에 열전쌍을 꽂아 온도변화를 측정하였더니 200watt에서 40분만에 내부온도가 100°C에 도달하였으며 95분까지 판재전체가 이 온도를 유지하다가 갑자기 상승하기 시작하였다. 이러한 온도 변화 형태는 건조속도변화와 같았다.

490watt와 200watt의 최대분당 무게변화 값으로 가열효율을 구하여  $\eta_{490}=0.80$ ,  $\eta_{200}=0.64$ 를 얻었다. MW 출력이 클수록 높은 가열효율을 얻을 수 있음이 밝혀졌으나, 출력증가만큼 가열효율이 증가하지 않았다.

## 參 考 文 獻

1. Resch, H. 1968. Microwave for the drying of wood products. *Holz als Roh- und Werkstoff* 26(9):317~324
2. Avramidis, S. and R. L. Zwick. 1992. Exploratory radio-frequency/vacuum drying of three B.C. coastal softwoods. *Forest Prod J.* 42 (7/8):12~24
3. Voss, W.A.G. 1966. Factors affecting the operation of high power microwave heating systems for lumber processing. *IEEE Trans. IEA* 2(3):234~243
4. Voss, W.A.G. and A.E. Supplee. 1968. Applications, materials field, forest products. *Microwave Power Engineering*, Vol. II. E. C. Okress (ed.), Academic Press, New York, N.Y.
5. Resch, H. 1967. Drying of incense cedar-

- pencil slats by microwave power. *J. Microwave Power* 2(2):45~49
6. McAlister, W. R. and H. Resch. 1971. Drying 1-inch ponderosa pine lumber with a combination of microwave power and hot air. *FPJ* 2(3):26~34
  7. Liu, Fang et al. 1994. Drying thick Western hemlock in a laboratory radio-frequency/vacuum dryer with constant and variable electrode voltage. *Forest Prod. J.* 44(6):71~75.
  8. Kollmann, Franz F.P. and Wilfred A. Cote. 1984. Principle of Wood Science and Technology. Springer-Verlag, Berlin, Germany : 470
  9. 한국식품개발연구원. 1988. 건조의 이론과 실제. *Proceedings of Workshop* 11 : 29~30.
  10. Boon, R. Sidney et al. 1993. Dry Kiln Schedules for Commercial Woods - Temperate and Tropical-. Forest Products Society, Wisconsin, USA