

Golf Club Head용 감나무재의 Microwave 건조 (Ⅱ)*1

— 감나무 블록의 건조 경과와 온도 변화 —

姜 琥 陽*2

Microwave Drying of Persimmon Blocks for Golf Club Head (Ⅱ)*1

— Drying Curves and Temperature Distribution
of Persimmon Blocks —

Ho-Yang Kang *2

ABSTRACT

The presteamed or prefrozen persimmon blocks of 10cm × 10cm × 15cm were air-dried at room temperature until about 30% moisture content, and then were dried in a MW oven. During drying their internal temperatures were monitored with thermo-couple probes. The presteamed and prefrozen blocks didn't show any improvement in drying rate and moisture gradient when compared with the controls. Checks appeared on the surfaces of most presteamed blocks during air-drying. It has been clearly revealed that the maximum weight loss must be less than 2g/min during MW drying to prevent internal checking and that MW drying reduced moisture gradients inside blocks. MW dried the persimmon blocks 440 times faster than conventional kiln.

Keywords : Microwave drying, persimmon, presteaming, prefreezing

1. 서 론

진보(강, 1995)에서는 두께 30mm 감나무재의 Microwave(MW)건조 가능성을 조사하였다. 생재를 직접 MW 건조하였을 때는 거의 대부분 내부 활열이 발생하였으나 공시판재를 상온에서 기건상태(함수율 20~25%)까지 건조한 다음 MW 건조하면 건조결함 없이 깨끗한 판재를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 이용하면 지금까지 천연건조에만 의지하던 소규모 목공예 업체에서도 특별한 시설 투자없이 가정용 전자렌지 사용하여 목공예품의 적정 함수율인 8~10%까지 소재를 건조할 수 있다. MW 건조가 일반 건조보다 목재내에서 수분을 매우 빨리 제거한다는 것은 잘 알려져 있다(Harris, 1984). 그러나 증기 전처리, 냉동 전처리 등의 건조 전처리가 MW

곳한 판재를 얻을 수 있었다. 이러한 결과를 이용하면 지금까지 천연건조에만 의지하던 소규모 목공예 업체에서도 특별한 시설 투자없이 가정용 전자렌지 사용하여 목공예품의 적정 함수율인 8~10%까지 소재를 건조할 수 있다.

MW 건조가 일반 건조보다 목재내에서 수분을 매우 빨리 제거한다는 것은 잘 알려져 있다(Harris, 1984). 그러나 증기 전처리, 냉동 전처리 등의 건조 전처리가 MW

*1 접수 1995년 3월 9일 Received March 9, 1995

본 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 수행되었음

*2 충남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

건조의 건조속도에 미치는 영향에 대해서는 거의 연구된 바가 없다.

MW 건조 시 건조속도는 목재 투과성에 직접 비례하므로 증기 전처리로 목재의 투과성을 향상시킨다면 (Mackay, 1971; Simpson, 1975; Avramidis & Oliveira, 1993) 건조속도를 높일 수 있을 것이다. 한편 냉동 전처리는 건조속도 변화에 큰 영향을 미치지 못하나 건조함열과 찌그러짐을 줄이는데 효과적이라는 보고가 있으며 (Erickson, 1968; Erickson *et al*, 1971) 냉동 전처리 후 천연건조한 목재의 파괴강도가 50℃에서 건조한 것보다 비슷하거나 약간 높게 나타났다는 보고가 있다 (Stanzi-Tschegg, 1994). 전보에서 증기 전처리와 냉동 전처리가 변색을 예방하는데 효과 있음을 보고하였다.

본 연구에서는 Golf Club Head(GCH)용 감나무 ब्ल록을 MW 건조하면서 함수율 및 내부 온도 변화와 건조결함을 조사함으로써 MW 건조시 목재 내부의 물리적 변화를 이해하고 GCH의 신속하고 효과적인 건조법을 찾고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

사용된 공시수종은 국산감나무 (*Diospyros kaki* Thunb.)로 대전근교 제재소에서 벌채된지 얼마되지 않는 통나무 3本을 구입하여 그곳에서 제재하였다. 통나무의 말구 직경은 각각 36cm, 30cm, 25cm으로 제재 방법은 통나무의 髓를 피하여 통나무 당 2개의 10cm × 10cm 각재를 떼어내었다.

10cm × 10cm 각재를 길이 50cm로 잘라 실험 시작까지 5℃ 냉장고에 보관하였다. 전처리 직전에 50cm 각재에서 길이 15cm의 GCH ब्ल록을 세 개씩 잘라 각각 무처리, 증기처리, 냉동처리로 분류하였다. 전처리를 실시하는 동안 무처리재는 다시 5℃의 냉장고에 보관하였다.

생재를 MW 건조할 때 발생하는 내부함열을 줄이기 위해 전처리가 끝난 후 모든 시편은 풍속이 1m/sec 이하인 실내에서 자연건조시켰다.

2.2 증기처리와 냉동처리

증기처리재는 100℃의 autoclave에서 4시간 증기처리하였으며, 냉동처리재는 영하 30℃의 냉동고에 5일간 보관하여 냉동처리하였다. 전처리가 끝난 후 무처리재와 같이 5℃ 냉장고에 보관하였다.

2.3 내부온도측정

건조시 목재내부의 온도 변화는 열전쌍(T-type, JIS 규격)을 목재내부에 설치한 후 도선을 YOKOGAWA 6 타점 기록계에 연결하여 기록하였다. 기록계의 오차는 ± 0.1℃ 이나 본 논문작성을 위하여 기록지를 읽어 수치화하였기 때문에 본 논문에 표기된 온도의 오차는 이보다 클 수 밖에 없었다.

2.4 Microwave 건조와 열기건조

사용한 Microwave 오븐은 최대 출력 700 watt 가 정용으로 출력을 여러 가지로 조절할 수 있으나 본 연구에서는 최대 출력의 30% 정도인 200watt만을 사용하였다. 내부 받침은 회전식으로 목재가 전자파를 고르게 쏘이도록 되어 있으나 내부온도 측정을 위해 공시시편에 열전쌍을 설치하였을 때는 도선의 영김을 막기 위해 내부 받침이 회전하지 못하도록 조치하였다.

MW 건조효과를 비교하기 위해 일반 열기건조도 병행하였다. 열기건조는 온습도 조절이 가능하고 내부풍속이 1.5m/sec인 humidity chamber에서 실시하였다. 본 연구에서 사용한 열기건조 스킴줄은 아래와 같다 (USDA, 1988).

Table 1. Kiln-dry schedule for golf head block (T3-C2).

Moisture Content (%)	Temperature (℃)	
	Dry-bulb	Wet-bulb
above 40	43.5	41.0
40 - 35	43.5	40.5
35 - 30	43.5	39.5
30 - 25	49.0	41.0
25 - 20	54.5	37.5
20 - 15	60.0	32.0
15 - final	71.0	43.5

3. 결과 및 고찰

3.1 냉동 및 해동 시 목재 내부 온도 변화

가로 세로 각각 10cm, 길이 15cm GCH ब्ल록의 표층에서 25mm 지점에 열전쌍을 심어 영하 30℃ 냉동실에서 냉동 전처리하면서 목재의 온도 변화를 측정하였다 (Fig.1). 또 냉동 전처리를 마친 후 ब्ल록을 실온에 두어 해동시 목재의 온도 변화도 관찰하였다.

냉동실의 온도는 영하 30℃로 설정되어 있었으나 열전

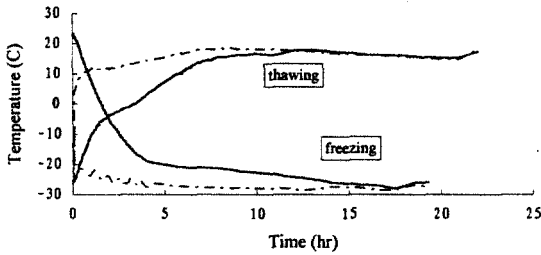


Fig. 1. The temperature curves of a 10cm × 10cm × 15cm persimmon block, monitored with a thermocouple probe implanted at 25mm below its surface during freezing in a -30°C freezer and thawing at room temperature. The dotted lines indicate the ambient temperatures.

쌍으로 측정된 냉동실의 온도는 26°C였으며 GCH 블럭 25mm 지점은 18시간 정도 지나서 이 온도에 도달하였다. 따라서 GCH 블럭의 중심까지 냉동되려면 24시간 이상 소요될 것으로 추정된다. 이후 해동 전까지 시편은 냉동실에 5일간 보관하였다. 냉동시작 이틀 후 블럭 표면에서 할렬을 발견하였는데 2~3mm 정도의 얇은 할렬이었다. 지금까지 경험으로 보아 이 할렬은 냉동처리에 의해 발생한 것이 아니라 이미 냉동처리 전에 있었던 것으로 단척 있다가 냉동에 의한 자유수 팽창으로 벌어진 것으로 보인다.

해동시 실내온도는 18°C로 GCH 블럭의 25mm 지점이 이 온도에 도달하는데 걸린 시간은 해동 시작 후 12시간이었으며, 이후 블럭의 온도는 실내온도와 같은 변화를 보였다.

3.2 MW 건조 중 GCH 블럭 내 온도 변화

MW 건조 중 GCH 블럭내의 온도 변화를 측정하기 위해 1/2 두께 지점에 길이 방향으로 균등하게 3개의 열전쌍을 설치하였으며, 내층과 표층의 온도를 비교하기 위해 블럭의 표면에도 열전쌍 하나를 설치하였다.

Fig. 2에 보이는 바와 같이 블럭의 한쪽이 중앙이나 다른 쪽보다 건조 초기부터 말기까지 계속 높은 온도를 보이고 있는데 이는 이 부근의 전기장 밀도가 높았기 때문인 것으로 사려된다. 건조 시작 후 18분쯤에 중심 열전쌍의 온도가 100°C에 도달하였으며 25분쯤에는 세 열전쌍의 온도가 모두 100°C를 나타내었다. 블럭 표면의 온도는 전 건조기간 동안 가장 낮았으나 내부의 가장 낮은 온도와 별 차이가 없었다. 21분에서 36분 사이에는 표면 열전쌍의 이상으로 표면의 온도를 측정치 못하였다. 블

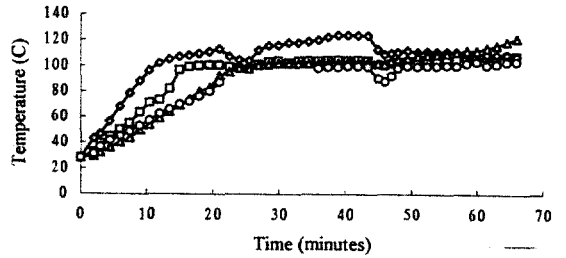


Fig. 2. The temperature curves of a persimmon block of 10cm × 10cm × 15cm, monitored with four thermo-couple probes during MW drying. Three probes were located at the half thickness of the block and the rest at its surface. Its moisture content changed from 32% to 14%. Symbols indicate the probe temperatures of center (square), right (triangle), left (diamond) and surface (circle).

럭의 초기함수율과 최종함수율은 각각 32%와 14%였다.

3.3 건조속도에 대한 전처리 효과

대표적인 전처리 별 건조곡선은 Fig. 3과 같다. 속이 빈 기호들은 블럭을 하나씩 건조한 경우이고 검은 기호들은 두 개 블럭을 동시에 건조한 경우이다. 같은 건조조건 내에서 초기 함수율 차에 따른 건조곡선 차이는 보이지만 전처리 방법에 따른 차이는 발견할 수 없었다. 이는 MW 건조는 건조속도가 매우 빠르기 때문에, 비록 전처리에 의한 건조속도 변화가 존재하더라도 이 적은 건조속도 변화를 감지하기가 어렵기 때문이라고 할 수 있다.

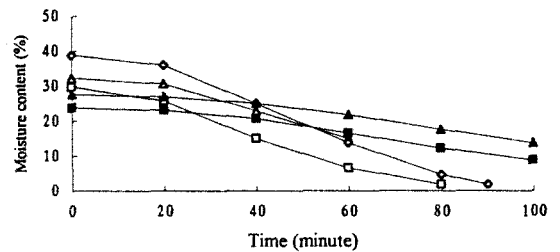


Fig. 3. The Drying curves of the pretreated blocks. It shows no significant difference of drying rate between the pretreatments. Squares, triangles and diamonds indicate the control, prefrozen and presteamed blocks, respectively. The run of 2 blocks (black) dried slower than the runs of single block (empty).

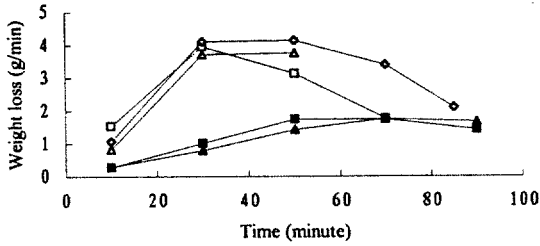


Fig. 4. The drying rate curves of the pretreated blocks. It shows no significant difference between the pretreatments. Squares, triangles and diamonds indicate the control, prefrozen and presteamed blocks, respectively. The run of 2 blocks (black) dried slower than the runs of single block (empty).

이 건조곡선을 1분당 무게변화로 나타낸 것이 Fig. 4이다. 비록 실온 건조 후에 MW 건조를 하였지만 하나씩 건조했을 때는 모든 블록에 큰 할렬이 발생하였으나 두개 블록을 동시에 건조하였을 때는 어떠한 건조 결함도 발생하지 않았다. 이는 블록 최대 분당무게변화가 전자의 경우에는 4그램(약 0.54%MC/분)까지 되었으나 후자의 경우에는 2그램(약 0.27%MC/분)이하였기 때문으로 볼 수 있다. 따라서 최대 분당무게변화를 일정한 범위내로 조절한다면 결함없이 건조할 수 있다.

3.4 건조 후 내부 수분 경사

건조 후 블록을 Fig. 5와 같이 잘라 내층과 외층의 수분경사를 조사하였다. Fig. 6과 7에 나타난 바와 같이 전

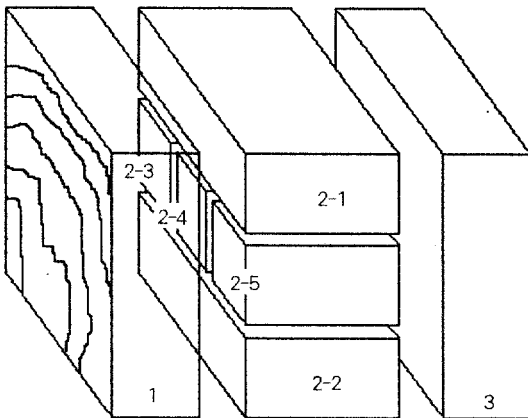


Fig. 5. A cutting diagram of the moisture gradient specimen.

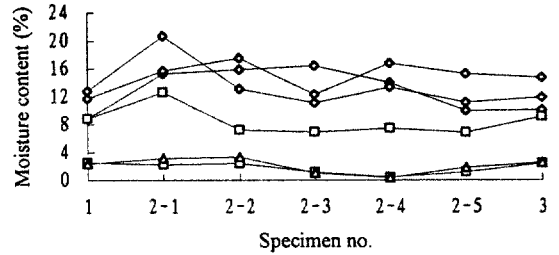


Fig. 6. The moisture gradients of the MW-dried specimens. It shows that MW drying results in relatively uniform moisture gradient within a specimen when compared with kiln drying. Symbols indicate the control (square), prefrozen (triangle) and presteamed (diamond) blocks.

처리 방법간의 수분경사 차이는 MW 건조와 열기 건조 모두에서 뚜렷이 발견되지 않았다. 그러나 열기 건조의 함수율 시편 2-4만 비교해 보면(Fig. 7) 최종 함수율이 무처리, 냉동 전처리, 증기 전처리 순으로 높음을 알 수 있다. 따라서 열기 건조에 있어서는 증기와 냉동 전처리가 최종 함수율에 어느 정도 영향을 미친다고 볼 수 있다.

MW 건조에서 정확한 건조 종료 시점을 찾는다는 것은 중요하면서 매우 어렵기 때문에 Fig. 6에 나타난 것과 같이 최종 함수율이 일정하지 않고 시편간에 큰 차이를 나타내고 있다. 그러나 열기건조에서는 시편의 최종 함수율이 거의 일정하다(Fig. 7).

MW 건조 후 시편 내부의 수분 경사는 그리 심하지 않은 것으로 보이며 특히 시편 중심(함수율 시편 2-4)의 함수율이 다른 부위보다 약간 높거나 비슷한 반면(Fig. 6), 열기건조 후의 내부 수분 경사는 심하게 나타났으며 특히

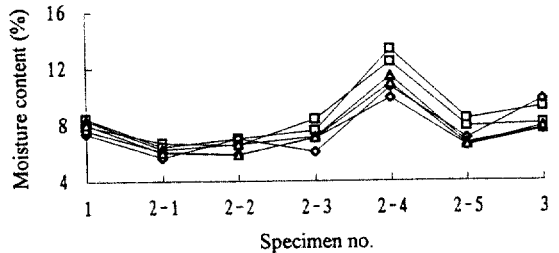


Fig. 7. The moisture gradients of the conventional kiln drying specimens. It shows that kiln drying results in high MC at the middle of the persimmon blocks. Symbols indicate the control (square), prefrozen (triangle) and presteamed (diamond) blocks.

시편의 중심(함수를 시편2-4) 함수율이 다른 부위보다 월등히 높았다(Fig.7).

따라서 건조 종료 시점을 잘 맞춘다면 MW 건조로 GCH 블럭의 내부 수분 경사를 낮출 수 있다.

3.5 건조 결합

전처리 GCH 블럭을 실온에서 함수율 30% 정도까지 건조한 다음 MW 건조하면서 건조 결합의 발생을 관찰하였다.

증기 전처리 블럭은 모두 실온 건조 중에 접선단면에 할열이 나타났다. 무처리와 냉동 전처리 블럭도 MW 건조 중 최대 분당 무게변화가 2그램을 넘었을 때는 대부분 내부 할열이 발생하였다.

열기 건조한 블럭들은 최종 함수율 8%까지 건조하는 동안 아무런 건조 결합이 발생하지 않았다. 그러나 열기 건조 시간은 MW 건조 시간에 비해 같은 함수율 변화 동안 440배나 더 길었다.

전보(강, 1995)와 마찬가지로 증기 전처리재와 냉동 전처리재의 색상은 건조 전후에 모두 깨끗하였으나 무처리재는 건조 전에 벌써 청변이 표면부터 내부까지 발생하였다.

4. 결 론

가정용 Microwave 오븐을 이용하여 가로 세로 각각 10cm, 길이 15cm Golf Club Head(GCH)용 감나무 블럭을 건조하면서 함수율 변화와 온도 변화를 측정하여, 신속하고 효과적인 건조 방법을 찾고자 하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 증기 전처리, 냉동 전처리 블럭의 MW 건조 효과를 무처리와 비교하였을 때 건조 속도, 수분 경사 등에서 차이가 발견되지 않았다.
2. 증기 전처리 블럭은 모두 실온 건조 중에 접선단면에 할열이 발생하였다. 이는 증기 전처리가 목재 강도를 떨어뜨린 때문인 것으로 사려된다.
3. MW 건조 중 최대 분당 무게변화가 2그램(약 0.27%MC/분)을 넘었을 때, 전처리 종류에 관계없이 내부 할열이 나타났다. 그러나 최대 분당 무게변화가 2그램 이하일 때는 결합이 전혀 나타나지 않았다.

4. MW 건조한 블럭의 내부 수분경사는 열기 건조한 블럭의 것보다 훨씬 낮았다.
5. 동일한 함수율 변화동안 MW 건조에 걸리는 시간은 열기 건조에 걸리는 시간의 1/440 이하였다.

참 고 문 헌

1. USDA. 1988. Dry Kiln Operator's Manual. USDA Forest Service Forest Products Laboratory, Madison, WI : 7~18
2. Avramidis, S. and L.Oliveira. 1993. Influence of presteaming on kiln-drying of thick hem-fir lumber. *Forest Prod. J.* 43(11/12) : 7~12
3. Erickson, R.W. 1968. Drying of prefrozen redwood-fundamental and applied considerations. *Forest Prod. J.* 18(6) : 49~56
4. Erickson, R.W. et al. 1971. Prefreezing alone and combined of redwood dimension. *Forest Prod. J.* 21(7) : 54~59
5. Harris, R.A. and M.A.Taras. 1984. Comparison of moisture content distribution, stress distribution, and shrinkage of red oak lumber dried by a radio-frequency/vacuum drying process and a conventional kiln. *Forest Prod. J.* 34(1) : 44~54
6. Mackay, J.F.G. 1971. Influence of steaming on water vapor diffusion in hardwoods. *Wood Sci.* 3(3) : 156~160
7. Simpson, W.T. 1975. Effect of steaming on the drying rate of several species of wood. *Wood Sci.* 7(3) : 247~255
8. Stanzl-Tschegg. 1994. Fracture energy of spruce wood after different drying procedures. *Wood & Fiber Sci.* 26(4) : 467~478
9. 강호양. 1995. Golf Club Head용 감나무재의 Microwave 건조(I) - 30mm 판재의 건조경과와 온도변화 -. *목재공학* 23(1) : 35~41