

## 굴참나무 판재와 원판의 천연건조와 열기건조\*<sup>1</sup>

강 호 양<sup>†</sup> · 김 수 원\*<sup>2</sup>

### Air- and Kiln-Drying the Boards and Disks of *Quercus variabilis*\*<sup>1</sup>

Ho-Yang Kang<sup>†</sup> · Su-Won Kim\*<sup>2</sup>

#### 요 약

참나무는 소나무와 함께 우리나라의 대표적 수종이나 아름다운 목리에도 불구하고 건조가 어려워 다양하게 사용되지 못하였다. 본 연구를 통해 굴참나무 판재와 원판의 효율적 건조방법을 찾고자 노력하였다. 먼저 마구리 도포제 효과를 조사한 결과 4가지 마구리 도포제 중 PVAc 접착제를 두껍게 도포한 것이 가장 좋은 효과를 나타냈다. 천연건조속도는 1.2%MC/일로 미농무성(USDA)의 안전건조속도(safe drying rate) 1-3%MC/일을 초과하지 않았다. 본 연구에 사용된 USDA의 참나무 열기건조 스케줄은 천연건조된 국산굴참나무재를 내부 할열없이 함수율 8%까지 건조하는데 효과적이었다. pallet형 잔목을 사용하여 참나무 원판의 V-크랙을 막고자 하였으나 성공하지 못했다. 그러나 일반 잔목 건조에 비해 V-크랙의 갈라진 면이 깨끗했으며 다른 할열은 거의 발생하지 않았다.

#### ABSTRACT

Oak is one of major species in this country as well as pine, but has been less utilized because of its refractory properties. The purpose of this study is to develop an effective method for drying the boards and disks of *Quercus variabilis*. Among four end-coaters used in this study thick coating with polyvinyl acetate chrolide glue (PVAc) was proved as the most effective. The average air-drying rate of boards was 1.2%MC/day, which did not exceed the safe drying rate recommended by United States Department of Agriculture (USDA). The kiln drying schedule used in this study gave a good result in drying the air-dried boards to 8%MC without any internal checks. An attempt to prevent oak disks from V-cracking during air-drying using special pallet-type stickers was not successful.

\*<sup>1</sup> 접수 2003년 1월 15일, 채택 2003년 5월 13일

이 논문은 농림부 농림기술개발사업의 연구개발 결과임

\*<sup>2</sup> 충남대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea.

† 주저자(corresponding author) : 강호양(e-mail: hykang@cnu.ac.kr)

**Keywords:** *Quercus grosseserrata*, disk drying, pallet-type sticker, end-coater

## 1. 서 론

참나무(*Quercus*)는 한반도에 넓게 자생하여 우리나라 역사와 함께 오래 이용되어 온 수종이다. 그러나 건조성과 가공성이 떨어져 좋은 목리와 재색을 가지고 있는 고급 수종임에도 불구하고 건조성과 가공성이 좋은 소나무에 밀려 활잡목으로 취급되어 제 가치를 인정받지 못하였다.

참나무 건조에 대해서 유럽과 미국에서 오래 전부터 연구하여 왔기 때문에 효율적인 건조방법이 이미 개발되어 있다(Wengert, 1990). 그러나 국내 참나무는 유럽이나 미국산과 달리 잘 관리되지 못한 상태에서 급하게 성장하였기 때문에 재질이 치밀하지 못하고 아직 소경목일 뿐만 아니라 대부분이 맹아 번식되어 변색, 충해 등의 결함을 가지고 있다. 따라서 건조결합이 매우 쉽게 발생한다.

국산참나무 건조에 대한 연구는 1980년대 본격적으로 시작되었다. 이와 정(1990)은 국산 물참나무(*Quercus grosseserrata*)판재에 미국 USDA 건조스케줄을 적용하여 함수율스케줄 T4-C2는 25 mm 판재에 적합하며 이보다 두꺼운 판재에는 T3-B1이 적당한 결론을 내렸다. 국산참나무재의 건조결합을 줄이고 건조속도를 향상시키기 위한 방법으로 전평삭처리(한과 정, 1986)와 증기전처리(강, 1992) 등을 적용하였는데 전평삭처리의 효과는 분명하였으나, 증기전처리는 목재강도를 저하시키므로 할열이 쉽게 발생하는 단점이 있었다. 홍과 정(1986) 국산 상수리나무(*Quercus acutissima*) 8 mm와 16 mm 판재를 심재와 변재로 구분하여 열기건조하여 심재가 변재보다 표면할열, 마구리할열, 틀어짐 등 건조결합이 더 많이 발생한다고 보고하였다.

참나무재의 건조결합은 건조 초기 마구리 할열로부터 진행된다. 고급 활엽수재의 마구리할열을 방지하기 위해 여러가지 방법이 연구되었다. Linares-Hernandez와 Wengert(1997)는 red oak, hard maple, red pine 통나무에 왁스에밀존으로 end-coating하여 여름에 12 주 동안 야적한 후에 마구리할열과 청변을 조사하였

더니 hard maple의 경우 end-coating한 것은 4인치, 무처리는 13인치 깊이까지 청변이 일어났으며 쪼개짐 길이는 마구리로부터 각각 1인치와 4인치를 나타냈다고 보고하였다. red oak의 경우 end-coating된 통나무는 쪼개짐이 없었으나 무처리는 6인치까지 쪼개졌다.

Rice 등(1988)은 red oak의 표면할열을 방지하고자 6가지 고분자물질을 적용한 결과, polyvinyl acetate (PVA)가 사용이 편리하고 어느 정도 표면할열을 방지해 준다고 결론지었다. 또 Rice(1995)는 시중에서 판매되고 있는 5종의 목재용 왁스계 마구리제(end-coater)와 1종의 타르계물질의 수분투과성을 조사한 결과 모두 마구리제로 훌륭하였으며 상품간 차이는 없었다고 하였다.

본 연구는 국산참나무의 효율적 이용 연구의 일환으로 30 mm 두께 판재와 공예소재로 이용될 수 있는 원판의 적정 건조방법을 찾고자 수행되었다. 마구리할열을 예방하기 위해 여러 가지 마구리 도포제(end-coater)의 효과를 비교하였으며 원판 표면의 급속한 건조를 막기 위해 pallet형 잔목을 사용하여 건조효과를 조사하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료

대전 근처에서 최근 벌채한 굴참나무 원목 여러 토막을 구입·제재하여 실험장소로 가지고 왔다. 원목의 직경은 28 cm 내외로 작았으므로 정목제재가 불가능하여 모두 두께 30 mm의 판목으로 제재하였다. 판재 길이는 열기건조로 크기를 감안하여 900 mm로, 판재 폭은 수피만 제거하고 얻을 수 있는 최대 폭으로 잘랐다. 따라서 판재 폭은 150~300 mm로 다양하였다. 공시판재는 모두 110개였다. 공시원판은 공시원목을 섬유방향으로 50 mm 씩 절단하여 40개를 만들었다.

## 2.2. 마구리 도포제 종류

마구리 도포제의 마구리 할열 예방 효과를 조사하기 위해 공시판재 마구리를 다음 4가지 방법으로 도포하였다: 1) 시중에서 오폭본드라고 부르는 polyvinyl acetate chloride emulsion (PVAc) 접착제를 판재 표면에 손으로 두껍게 입힘(PVA), 2) 마구리에 PVAc 접착제를 얇게 도포한 위에 알루미늄호일을 마구리 크기로 잘라 붙임(FOL), 3) 에나멜페인트와 은분을 1:1로 섞어 붓으로 3회 도포 (ENL), 4) 용점 56℃ 파라핀왁스를 녹여 마구리에 도포(PWX).

PVAc 접착제는 열가소성으로 경화되면 투명하기 때문에 현장에서 마구리 도포제로 유용하게 쓰여왔다. 그러나 이 접착제의 경화막을 수분이 투과할 가능성이 있기 때문에 두 번째 방법에는 알루미늄호일을 붙였다. 한편 마구리 도포제로 알루미늄 페인트를 사용하기도 하는데 인근에서 구할 수 없어 에나멜페인트에 은분을 섞어 만들었다. 위 4가지 방법과 무처리를 포함하여 처리당 22개 시편을 만들었다.

## 2.3. 마구리할열과 표면할열 측정

마구리할열의 대부분은 건조초기에 발생하므로 천연 건조를 마친 후 마구리할열의 길이를 측정하였다. 판재의 양 마구리 중 보다 심하게 갈라진 마구리를 골라 섬유방향 길이 30 mm 시편 2개를 떼었다. 처음 떼어낸 시편은 한 판재 내에서 건조가 가장 빨리 일어나는 부분이므로 이를 폐기하고 두 번째 시편만 사용하였다. 두 번째 시편의 무게를 측정 후  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  오븐에서 전건시켜 또 무게를 측정하여 함수율을 계산하였다. 전건된 시편의 마구리 쪽을 섬유방향 길이 4 mm 떼어 할열시편 (Fig. 1의 4 mm 시편)을 만들었다. 할열시편을 만들 때 부러지거나 만든 후 힘을 약간 가했을 때 부러지면 마구리할열 길이가 30 mm 이상으로, 그렇지 않은 경우 30 mm 이하로 판정하였다.

판재당 표면할열 수는 위의 30 mm 마구리 시편을 전건하기 전에 육안으로 헤아렸는데 표면할열과 마구리할열을 구분하는 것과 닫힌 표면할열을 찾아내는 것이 어려웠다.

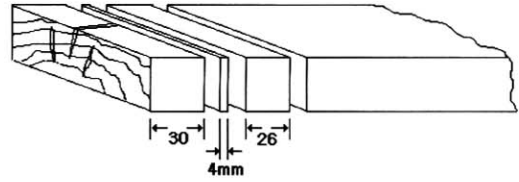


Fig. 1. A diagram of making an end-check test specimen.

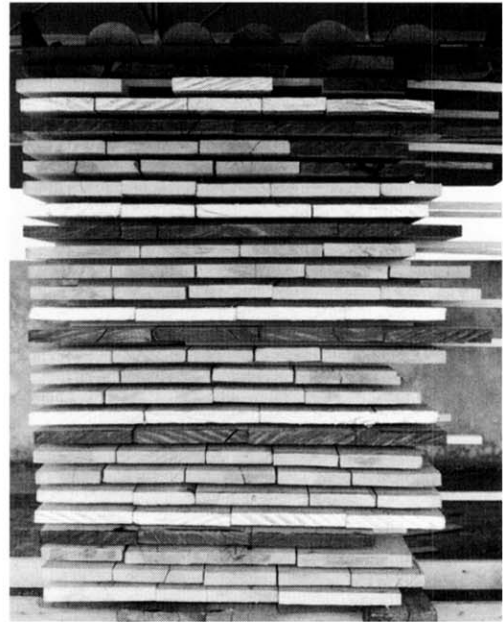


Fig. 2. A photo of an oak stack in roof air-dryer.

### 2.2.3. 천연 건조

건물 옥상에 천막으로 지붕을 만들고 그 속에 잔적을 설치하였다 (Fig. 2). 목재에 직사광선이 직접 닿지 않았으나 벽체가 없어 바람에 노출되었다. 천연 건조기간은 2002년 3월 8일부터 5월 24일까지 66일 동안이었다. 시험판재의 무게를 1주일에 한번 측정하여 건조경과를 조사하였다.

### 2.2.4. 열기 건조

사용된 건조기는 잔적 공간이 가로와 세로가 각각 80 cm, 높이가 70 cm이며, 온도, 습도, 풍속의 조절

Table 1. USDA drying schedule (T2-C1 Modified) for lowland white oak

MC(%)	Temperatruer (°C)			EMC(%)
	Dry bulb	Wet bulb	Wet bulb depression	
>37	37.8	36.1	1.7	18.5
~32	37.8	35.6	2.2	17.2
~30	37.8	34.4	3.3	14.8
~25	43.3	37.8	5.6	12.3
~20	48.9	35.0	13.9	6.8
~15	54.4	32.2	22.2	4.0
~11	65.6	40.6	25.0	3.0
<11	71.1	46.1	25.0	4.0

이 가능하였다. 별도로 부착된 5기압 용량 보일러에서 생성된 가열증기로 가습하도록 만들어졌다. 재간 풍속은 1.9 m/s로 설정하였다. 하루에 한번씩 시험판재의 무게를 정도 0.1 g의 디지털 저울로 측정하였다. 건조를 마친 후에는 각 시험판재에서 1인치 폭의 함수율 시편 3개를 떼어 전건한 후 판재의 전건무게와 함수율을 계산하였다.

USDA 건조스케줄 T2-C1 modified (Wengert, 1990)를 적용하였다. 이 건조스케줄은 국산참나무와 같이 속성으로 자란 저지대 참나무(lowland oaks)에 적합한 스케줄로 비교적 순한 것이다.

### 2.2.5. 원판 건조

참나무는 건조관란 수종으로 특히 원판을 할열없이 건조하기 매우 어렵다. 본 실험에서는 미국특허 4,194,298호(March 25, 1980)인 pallet형 잔목(Hart와 Gilmore, 1985)을 사용하여 두께 50 mm 참나무 원판을 건조하였다. pallet형 잔목은 3 mm 두께 합판 사이에 20 mm 두께 각재를 넣어 접착하여 만들었다(Fig. 3). 이 잔목을 사용하여 잔적하면 원판 상하 횡단면의 수분은 합판을 투과하여야만 증발되기 때문에 건조속도가 매우 느려진다. 한편 건조속도가 느려 곰팡이가 번식하기 쉬우므로 방미제를 도포하였다. 비교를 위해 3개 원판은 pallet형 잔목이 아닌 일반 잔목으로 잔적하였다.

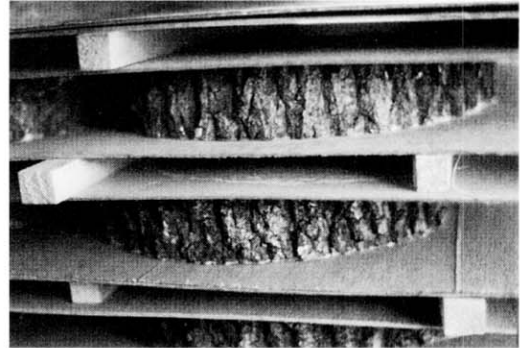


Fig. 3. A photo of oak disks stacked with pallet-type stickers made of 3mm thick plywoods.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 마구리 도포제 효과

천연건조 후 측정된 마구리 도포제 공시판재의 마구리할열 시편 함수율은 무처리가 제일 낮았으며 그 다음이 PVA, PWX, FOL, ENL 로 공시판재의 평균 폭과 같은 순이었다(Table 2). 이는 마구리 도포제 종류와 무관하게 판재 폭이 넓을수록 건조가 느리게 진행되었음을 의미한다. 판목제재된 판재는 폭이 넓을수록 정목면이 늘어나기 때문에 건조속도가 떨어지

Table 2. Efficacy of the end coaters used in this study on preventing the ends and surfaces of oak boards from checking

End coater	Average board width (mm)	Average MC (%) of board ends	Average number of surface checks per aboard	Number of boards with end checks longer than 30 mm
Control	195±26*	16.8±2.4	40±5.0	4
PVA	203±46	19.6±3.5	43±5.1	4
ENL	260±30	23.0±2.2	3.0±3.7	10
FOL	234±45	21.4±3.4	7.0±7.2	13
PWX	223±53	20.8±3.9	4.9±4.5	9

\* Sample standard deviation

는 것은 당연하다. (정목판재의 건조속도가 판목판재보다 느리다.) 그러나 마구리에서는 수분이동이 섬유방향으로 일어나기 때문에 판재 폭과 무관하게 마구리 도포 방법에 따라 건조속도가 달라질 것으로 예상했다. 실험결과로 유추해 볼 때 참나무는 타이로시스로 도관이 막혀있어 마구리에서도 섬유방향보다 섬유직각방향으로 수분이 확산에 의해 이동하므로 판재 폭에 따라 건조속도가 달라졌다고 설명할 수 있다. 본 실험은 판재 폭 효과를 배제할 수 있도록 실험설계되지 못했기 때문에 이런 결과가 나타난 것으로 판단되었다.

30 mm 이상 마구리할열이 발생한 판재 수는 처리당 19개 판재 중에(22개 중 3개는 천연건조 속도 측정용으로 남겨둠) FOL이 13개로 가장 많고, 그 다음 ENL이 10개, PWX가 9개였다. 무처리가 PVA와 마찬가지로 4개뿐이라는 사실은 직접 설명하기 어렵다. 무처리 판재의 평균 폭이 195 mm로 다른 처리재보다 좁았기 때문에 마구리할열이 적게 발생하였다고 볼 수도 있으나 좀 더 명확한 해석을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

따라서 무처리를 제외하면 PVA가 마구리 할열을 예방하는데 가장 효과가 크다고 볼 수 있다. 좋은 마구리 도포제는 수분증발을 막을 뿐만 아니라 건조에 의해 발생하는 인장응력을 어느 정도 감쇄시켜줄 수 있는 인장강도를 가지고 있어야 할 것으로 생각된다. 마구리할열과 마찬가지로 판재당 표면할열 수도 FOL이 평균 7개로 가장 많아 FOL의 표면할열 예방 효과가 매우 낮음을 알 수 있었다(Table 2). 그 외 다른 처리재의 판재당 표면할열 수는 3-5개로 처리간 큰 차

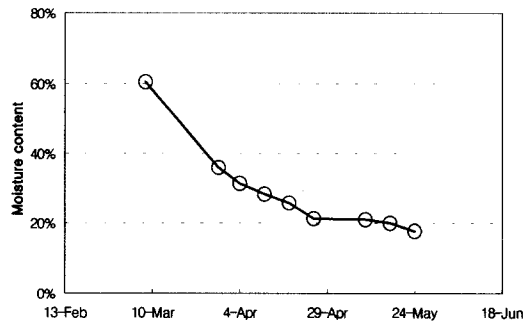


Fig. 4. Drying curve of the 30 mm thick *Quercus variabilis* boards air-dried under shed.

이를 나타내지 않았다.

### 3.2. 천연건조

Fig. 4은 2002년 3월 8일부터 5월 24일까지 77일간 실시한 천연건조그래프이다. 4월 25일부터 5월 10일까지는 비가 많이 와 거의 건조되지 못하였다. 건조초기 건조속도는 1.2%MC/일로 lowland oak의 안전건조속도(safe drying rate) 1-3%MC/일(Wengert, 1990)을 초과하지 않았다. 그럼에도 불구하고 표면할열이 많이 발생하였는데 대부분 수가 포함되거나 수부근 유령목이 많이 포함된 판재에서 발생하였다. 공시목의 직경이 작아 어쩔 수 없이 수를 포함한 판목재를 할 수밖에 없었다. 이러한 표면할열은 피할 수 없는 것으로 여겨지는데 이것이 내부할열로 진행되지 않도록 하는 것이 중요하다.

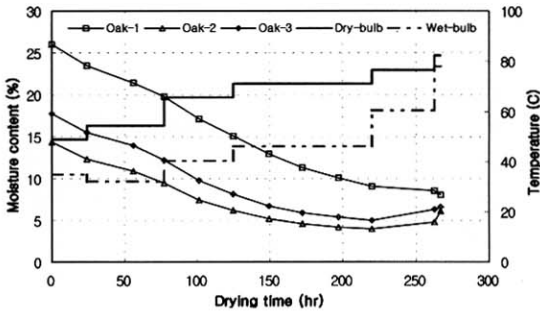


Fig. 5. Plots of the moisture contents of three oak boards, dry-bulb and wet-bulb temperatures during kiln drying.

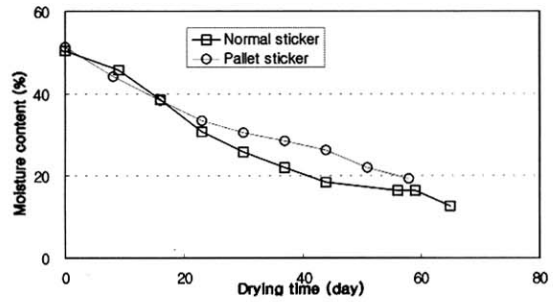


Fig. 7. Drying curves of the 50mm thick oak disks stacked with normal and plywood pallet stickers.

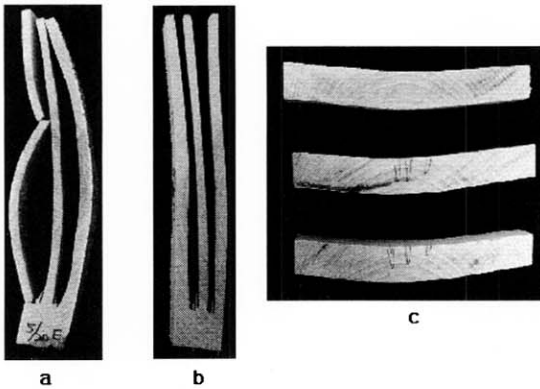


Fig. 6. Photos of the prongs made before(a) and after(b) conditioning treatment. It shows that internal drying stress was well released by conditioning treatment. On the cross sections are some closed surface checks, but not an internal check (c).

### 3.3. 열기건조

함수율 20% 내외까지 천연건조된 굴참나무 판재를 열기건조한 건조경과 그래프는 Fig. 5와 같다. 한꺼번에 15개 판재를 건조하였지만, 그중 3개의 무게만 측정하였다. 최대 일일건조속도는 0.11%MC로 매우 낮았다. 최건 판재 함수율이 5%가 되었을 때 건구온도 82.2°C, 습구온도 77.8°C 조건에서 이퀘라이징을 시작하였으며 최건 판재 함수율이 8%에 도달했을 때

중단하고 컨디셔닝을 실시하였다. 그래프에 나타난 이퀘라이징과 컨디셔닝 시간은 각각 42.4와 4.2시간이었다.

컨디셔닝 전후에 실시한 프롱테스트는 판재의 건조응력이 잘 제거되었음을 보여주고 있다(Fig. 6의 a와 b). 또한 판재를 3 cm 간격으로 절단하여 내부를 살펴본 결과 표면할열이 내부로 진행되지 않았음을 알 수 있었다(Fig. 6c). 따라서 본 연구에 사용된 열기건조 스케줄은 국산 굴참나무재 건조에 적합하거나 약간 느린 건조스케줄이라고 볼 수 있다. 좀더 빠른 건조스케줄을 위해 추가적인 연구가 필요하다.

### 3.4. 원판건조

참나무 원판을 pallet형 잔목과 일반 잔목으로 쌓았을 때 천연건조 속도를 비교한 결과는 Fig. 7과 같다. pallet에 의해 원판 횡단면에서의 수분 증발이 지연될 것으로 여겨졌으나 그림에 보이는 바와 같이 건조속도에는 별 차이를 나타내지 않았다.

pallet형 잔목과 일반 잔목의 처음 한 달간 평균 건조속도는 각각 0.77와 0.94%MC/일로 lowland white oak의 권장 건조속도 2%MC/일보다 많이 느렸으나 V-크랙을 막지 못하였다. 발생한 할열의 모양은 건조방법에 따라 달랐다. pallet형 잔목 건조의 V-크랙은 반듯한 V형태로 톱으로 자른 듯 매끈하였으며 다른 할열이 없었으나(Fig. 8-a), 일반 잔목 건조의 V-크랙은 매끈하지 않았으며, 몇 개의 작은 할열과 수부위 윤할을 동반하였다(Fig. 8-b).

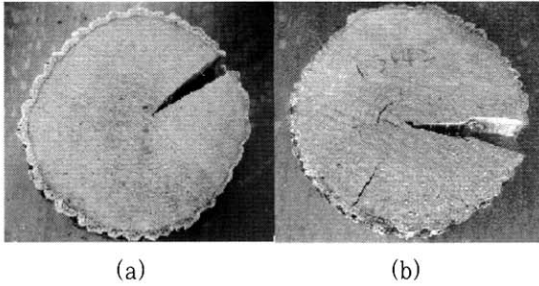


Fig. 8. Photo of the air-dried oak disks of 50 mm thickness stacked with normal(a) and plywood pallet(b) stickers.

pallet형 잔목 건조의 경우 횡단면 수분증발이 지연되기 때문에 건조응력이 천천히 쌓였다가 응력이 원목의 약한 부분으로 집중되어 V-크랙이 일순간에 발생한 것으로 보인다. 어떤 방법을 사용하던 참나무 원판의 V-크랙은 막을 수 없지만 pallet형 잔목을 사용한 원판은 매끈한 V-크랙이외에 다른 할열이 발생하지 않아 이를 이용하거나 보완하면 좋은 목공예재료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 4. 결 론

굴참나무 30 mm 판재와 50 mm 원판의 적정 건조 방법을 찾고자 수행한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다

1. 본 연구에 사용된 4가지 마구리 도포제 중 PVA가 판재의 마구리 할열을 예방하는데 가장 좋은 효과를 나타냈다.
2. 천연건조 후 측정된 판재의 마구리 함수율은 마구리 도포제 종류와 상관없이 판재 폭이 넓을수록 높게 나타났다. 즉 판재 폭이 건조속도에 영향함을 알 수 있다.
3. 3월부터 5월까지 대전지역에서 지붕있는 천연건조장에서 건조한 초기 건조속도는 1.2%MC/일로 USDA의 안전건조속도(safe drying rate) 1-3%MC/

일을 초과하지 않았다.

4. 본 연구에 사용된 USDA의 참나무 열기건조 스케줄은 천연건조된 국산굴참나무 건조에 효과적이었다. 내부할열이 없었으며 이쿼라이징과 컨디셔닝 처리 후 건조응력이 충분히 제거되었다.

5. pallet형 잔목 건조로도 참나무 원판의 V-크랙을 막을 수 없었으나 일반 잔목 건조에 비해 V-크랙의 갈라진 면이 깨끗했으며 다른 할열은 거의 발생하지 않았다.

#### 참 고 문 헌

1. Wengert, Eugene M. 1990. Drying Oak Lumber. Department of Forestry, University of Wisconsin-Madison, Wisconsin.
2. Linares-Hernandez, A. and E. M. Wengert. 1997. End coating logs to prevent stain and checking. Forest Products Journal 47(4): 65~70.
3. Rice, R. W. 1995. Transport coefficients for six log and lumber end coatings. Forest Products Journal 45(5): 64~68.
4. Rice, R. W., E. M. Wengert, and J. G. Schroeder. 1988. The potential for check reduction using surface coatings. Forest Products Journal 38(10): 17~23.
5. Hart, C. A. and R. C. Gilmore. 1985. An air-drying technique to control surface checking in refractory hardwoods. Forest Products Journal 35(10): 43~50.
6. 이상정, 정희석. 1990. 물참나무 판재두께와 건조스케줄별 건조 속도, 응력과 결함에 관한 연구. 목재공학 18(1): 39~51.
7. 한규성, 정희석. 1986. 前平削처리가 물참나무의 건조속도와 건조결함에 미치는 영향. 목재공학 14(4): 29.
8. 강호양. 1992. 증기전처리에 의한 국내 참나무재의 성질 변화에 관한 연구. 목재공학 20(2): 73.
9. 홍봉표, 정희석. 1986. 상수리나무 심재와 변재의 건조 특성에 관한 연구. 목재공학 14(6): 20~29.