

은사시나무 판재의 열기건조, 고온건조, 마이크로파-진공 건조*1

姜 琥 陽*2†

Drying Boards of *Populus alba* × *P. glandulosa* in Conventional, High-Temperature and Microwave-Vacuum Kilns*1

Ho-Yang Kang*2†

요 약

국내에 많이 조림되어 있는 은사시나무(*Populus alba* × *P. glandulosa*)의 효율적인 건조를 위해 기본적인 물리적 성질을 조사하였다. 캠퍼스에서 벌채한 원목을 32 mm 판목 판재로 체재하여 관행열기건조(저온건조), 고온건조, 마이크로파-진공(MW/V)건조의 3가지 방식으로 건조하여 건조속도, 건조결합, 길이방향 수분경사, 색상 등을 비교하였다. 평균생재비중(전건무게-생재부피 기준)은 0.349 ± 0.074 였으며, 심재의 생재함수율은 200% 내외, 변재는 100%내외로 심재 함수율이 더 높았다. 생재에서 전건까지의 수축율은 방사방향과 접선방향이 각각 2.4%와 7.3%였으며 심·변재간 차이는 없었다. 생재에서 함수율 10%까지 건조시간은 컨디셔닝시간을 제외하고 저온건조는 65시간, 고온건조는 35시간, MW/V건조는 22시간이었으며, 건조목 표면을 색차계로 조사한 결과 MW/V건조 판재의 색상이 가장 밝고 깨끗하였다.

ABSTRACT

Flat-sawn 32 mm-thick boards of *Populus alba* × *P. glandulosa*, one of major plantation species in this country, were dried in conventional, high-temperature and microwave-vacuum (MW/V) kilns. The average green specific gravity of the specimens used in this study was 0.349 ± 0.074 . Their average green moisture contents of heartwoods and sapwoods were around 200% and 100%, respectively. From green to oven-dry they shrunk 2.4 and 7.3% in radial and tangential directions, respectively, and there was no

* 1 접수 2001년 5월 11일, 채택 2002년 9월 26일

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

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

discrepancy between heartwoods and sapwoods. It took 65, 35 and 22 hours to dry from green to 10% moisture content in conventional, high-temperature and MW/V kilns, respectively. A colorimetry study showed that the surface color of the specimens dried in a MW/V kiln was clearer and lighter than those in other kilns.

Keywords: *Populus alba* × *P. glandulosa*, microwave-vacuum, conventional, high-temperature

1. 서 론

은사시나무(*Populus alba* × *P. glandulosa*)는 수 원사시나무와 은백양 사이에 생긴 잡종으로 은수원사 시라고도 불리며 생장이 왕성하여 산림녹화수종으로 선정되어 전국적으로 많이 조림되었다. 그러나 은사 시나무의 물리적 성질에 대한 연구는 별로 발표된 것이 없어 비슷한 특성을 나타내는 포플러에 대한 연구 결과로 유추해 볼 때, 한 수목 내 또는 수목간 변이가 심하며 인장이상재, 수낭(wet pocket), 유령목 등의 결함인자를 가지고 있다고 알려져 있다 (Vansteenkiste 등, 1997). 초음파법으로 측정된 퀘백지역 포플라 의 동탄성계수는 수 부위가 제일 낮고, 점차 높아지다가 직경의 1/3지점에서 최대치를 나타냈다가 수피 로 갈수록 낮아졌다는 보고가 있으며 (Hernandez 등, 1998), 부피와 접선방향 수축율은 수에서 수피로 갈수록 증가하며 수피 부근에서는 일정하다는 연구결 과가 있다 (Koubaa 등, 1998).

은사시나무는 1960년 이후 조림수종으로 전국에 많이 식재되어 지금은 제법 굵게 자라있으나 대규모 로 조림되어 있지 않기 때문에 수집에 어려움이 많다. 이같이 임목생산비용이 많이 든다는 단점 이외에 목 재의 저 비중과 낮은 강도 때문에 이용을 기피해왔다. 그러나 최근 세계시장의 목재공급부족과 가격상승으 로 점차 경쟁력을 가질 수 있게 되었다. 은사시나무 생재는 높은 함수율과 매우 낮은 강도를 보이니 건조 목은 소나무와 비슷한 정도의 강도를 가지고 있다. 건조 목 색상이 회고 가공성이 좋기 때문에 mock-up 시 장에서는 라민 대용으로 이용되고 있다.

지금까지 국내에서 은사시나무 이용에 관한 연구로 목재-고분자 복합체 재질의 비교 연구가 수행되었으 며(박 등, 1985), 급속건조법으로 인공건조스케줄이

개발되었으며(이, 1987), 또 목질자원의 식량화를 위 해 은사시나무의 당화 및 사료화에 대한 연구(김 등, 1986; 강 등, 1989, 1990)와 후라보노이드 성분 추출 연구가 진행되었다(함 등, 1995).

포플라, 사시나무, 은사시나무 등의 사시나무 속은 활엽수 중에 유일하게 고온건조할 수 있는 수종으로 (Vansteenkiste, 1997) 이들은 생재함수율이 높지만 투과성이 좋아 급속건조가 가능한 것으로 알려져 있 다.

본 연구에서는 은사시나무 3 cm 두께 판재를 관행 열기건조(저온건조), 고온건조, 마이크로웨이브-진 공(MW/V)건조의 3가지 방식으로 건조하여 건조속 도, 건조결합, 길이방향 수분경사, 건조 후 색상 등을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시판재

충남대학교 교정에서 자란 약 20년생 은사시나무 20여 그루를 벌채하여 인근 제재소에서 두께 3 cm(실 질 두께 3.2 cm) 판목 판재로 컷다. 판재 폭은 13~ 27cm 였으며, 길이는 원목에 따라 90~180 cm로 다 양하였다. 저온건조와 고온건조는 동일한 건조기를 사용하였는데 건조기 길이에 맞추어 판재길이를 78 cm로 절단하였다. 마이크로웨이브-진공(MW/V) 건조기는 판재 길이 130 cm까지 건조가 가능하였으 므로 이보다 긴 판재만 길이를 절단하였으며 나머지는 그대로 건조하였다. 저온건조는 한번에 21개 판재 를, 고온건조는 19개 판재, 그리고 MW/V건조는 8개 판재를 건조하였다.

Table 1. Conventional-kiln drying schedule for 32 mm thick boards of *Populus alba* × *P. glandulosa*

Moisture content (%)	Temperature (°C)	
	Dry-bulb	Wet-bulb
Above 60	71.0	60.0
60~50	71.0	54.5
50~40	71.0	49.0
40~30	71.0	43.5
30~25	76.5	49.0
25~20	76.5	49.0
20~15	82.0	54.5
15 to Final	82.0	54.5

2.2. 생재함수율, 생재비중, 수축율 측정

생재함수율은 저온건조 판재의 양단에서 각각 1개씩 폭 2.5 cm의 시편 42개를 떼어내어 103±2°C 오븐에서 전건하여 계산하였다. 생재비중(전건무게-생재부피 기준)은 생재함수율 시편을 사용하여 침지법으로 생재부피를 측정하여 계산하였다.

수축율 측정을 위해 생재함수율 시편과 별도로 가로, 세로 각각 3 cm, 두께 1 cm의 정목시편을 심재와 변재 각각 11개와 13개 만들었다. 생재의 방사방향, 접선방향 길이를 측정한 후 실온에서 3일, 50°C 오븐에서 2일 건조한 다음 103±2°C에서 전건시켰다. 전건 후 방사방향, 접선방향 길이를 측정하여 수축율을 계산하였다.

2.3. 저온건조

온도, 습도, 풍속의 조절이 가능한 건조기를 사용하였다. 별도로 부착된 보일러(최대 5기압)에서 생성된 가열증기로 가습하였다. 건조기내 잔적 공간은 가로와 세로가 각각 80 cm, 높이가 70 cm이며 재간풍속은 10 m/s까지 가능하나 6 m/s로 설정하였다. 초기에는 6시간, 후기에는 12시간마다 모든 판재의 무게를 0.1 g 정도의 디지털 저울로 측정하였다. 건조를 마친 후에는 각 판재마다 3개의 함수율시편을 떼어 전건무게와 함수율을 계산하였다. 건조스케줄은 USDA의 포플러(aspen) 건조스케줄인 T12-E7 (Boone 등,

1993)을 적용하였다(Table 1).

2.4. 고온건조

저온건조와 동일한 건조로에서 실시하였으며 건조스케줄은 USDA의 포플러 고온건조 스케줄을 변용하여 가열기간없이 단일 스케줄 (104.5°C 건구온도, 94°C 습구온도)를 적용하였다. 6시간마다 모든 판재의 무게를 0.1 g 정도의 디지털 저울로 측정하였다. 건조를 마친 후에는 저온건조와 마찬가지로 각 판재에서 3개의 함수율시편을 채취하여 전건무게와 함수율을 계산하였다. 건조 중에는 잔적 위에 콘크리트 블록으로 하중을 가하여 판재의 틀어짐을 예방하였다.

2.5. MW/V건조

본 연구에 사용된 목재용 MW진공건조기(강, 1999)는 Cavity 내부크기가 폭 580 mm, 높이 580 mm, 길이 1360 mm이며 cavity 상부에 1.5 kW, 2450 MHz 마그네트론 3개가 설치되어 있다. 건조 중 목재의 무게변화를 감지하기 위해 잔적 하부에 100 kg 저울을 설치하여 잔적 무게가 컴퓨터에 자동으로 기록되도록 하였다. Cavity 내부가 진공이기 때문에 발생하는 오차는 건조 후에 보정하였다.

또 목재 시편에 T-type 열전쌍 6개를 설치하여 건조 중 목재내부의 온도를 감지할 뿐만 아니라 컴퓨터에 자동으로 기록되도록 하였다. 건조 중 cavity의 압

력은 진공압력 400 mmHg와 600 mmHg 사이를 유지하였다. 진공압력이 600 mmHg에 도달하면 진공펌프 가동이 중단되고 목재에서 수분이 증발하여 내부 진공압력이 400 mmHg까지 높아지면 다시 가동하게 하므로 썬 진공펌프가 공회전하지 않도록 하였다.

MW진공건조기는 온도스케줄과 시간스케줄 두 가지를 사용할 수 있도록 설계되었는데 본 실험에서는 한 단계의 온도스케줄을 사용하였다. 즉 건조과정 내 목재온도를 65-70°C를 유지하도록 프로그램하였다. 건조 후 모든 판재를 6-8개로 잘라 전건시켰다(함수율 시편의 길이는 약 15-20 cm). 이렇게 건조하므로 썬 판재길이에 따른 수분경사를 알 수 있었다.

2.6. 건조목 색상 비교

목재의 색상은 건조온도에 따라 변하는데, 본 연구에 사용된 세 가지 건조방법은 재가기 건조온도가 다르므로 건조 후 재색이 다르게 나타난다. 이를 비교하기 위해 건조방법별로 8개 시편을 임의로 선택하여 한쪽 면을 2-3 mm 정도 대패시킬 나뭇, 색차계 HUNTER Lab JX777을 이용하여 백색도(L*), 적색도(a*), 황색도(b*)를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생재함수율, 생재비중, 수축율 측정

저온건조 판재에서 태어난 42개 생재함수율 시편으로 측정된 평균 생재함수율은 75.9±20%로 문헌(정, 1990)에서 제시한 값, 86±13%과 일치해 보이나 경험에 의하면 실제 생재함수율은 이보다 훨씬 높은 것으로 생각되었다. 사용된 함수율 시편은 판재의 마구리 부분이기 때문에 상당히 건조되어 있던 것으로 생각된다. 따라서 가지고 있던 판재 중 덜 건조된 부분에서 심재와 변재 시편 각각 3개씩 떼어 추가로 측정된 결과, 심재 함수율은 240.6%, 209.4%, 229.3% 였으며 변재 함수율은 94.6%, 80.9%, 108.1% 였다. 일반적으로 은사시나무의 심재에는 포플러와 마찬가지로 수낭(water pocket)이 있어 높은 함수율을 나타내

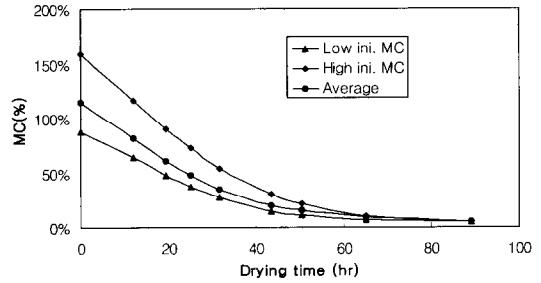


Fig. 1. Drying curves of 32 mm thick boards of *Populus alba* × *P. glandulosa* dried in a conventional kiln.

는 것으로 생각된다(Vansteenkiste 등, 1997). 42개 시편의 평균생재비중(건건무게-생재부피 기준)은 0.349±0.074 였다.

방사방향 수축율은 심재와 변재 공히 2.4±0.3%를 나타냈으며, 접선방향 수축율은 심재는 7.2±0.3%, 변재는 7.3±0.4%를 나타내므로 썬 심·변재간 차이가 거의 없었다.

3.2. 저온건조

저온건조로 초기함수율 115%를 9%까지 떨어뜨리는데 65시간이 걸렸다(Fig. 1). 건조 후에 모든 판재에서 절단한 함수율 시편에서 판재간 또는 판재 내 길이방향 함수율 차이를 발견할 수 없었다. 이는 은사시나무의 투과성이 매우 좋아 건조 중 수분이동이 원활하다는 것을 의미한다. 내부할열, 찌그러짐 등은 전혀 나타나지 않았으며, 건조 초기에 마구리할열이 일부 나타났으나 내부침투깊이가 5 cm를 넘지 않았다. 컨디셔닝처리 전 프롱테스트한 결과 모든 시편에서 표면경화가 나타났다. 따라서 건조 후 컨디셔닝처리가 꼭 필요함을 알 수 있었다. 모든 건조결과는 매우 만족스러웠다.

3.3. 고온건조

고온건조로 초기함수율 108%를 8%로 떨어뜨리는데 35시간 걸렸다(Fig. 2). 건조 후 모든 판재에서 절

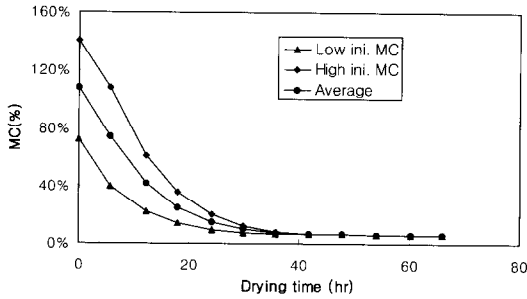


Fig. 2. Drying curves of 32 mm thick boards of *Populus alba* × *P. glandulosa* dried in a high temperature kiln.

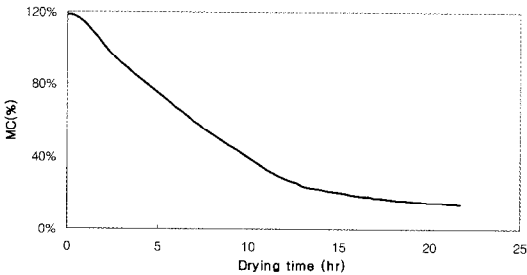


Fig. 3. A average drying curve of 32 mm thick boards of *Populus alba* × *P. glandulosa* dried in a MW/V dryer.

단한 함수율 시편을 비교한 결과 저온건조와 마찬가지로 판재간 또는 판재 내 길이방향 함수율 차이가 거의 없었다. 내부할열, 찌그러짐이 없었으며, 잔적 위에 콘크리트 블록으로 하중을 가했으므로 너비굽음(cupping)도 적었다. 단지 결함으로는 마구리할열이 건조초기에 수를 중심으로 발생하였는데 내부침투깊이가 5 cm를 넘지 않았다. 저온건조와 마찬가지로 건조말기에 컨디셔닝처리를 하지 않고 건조를 마침으로 프롱테스트 결과 모든 시편에서 표면경화가 나타났다.

3.4. MW/V건조

MW/V건조는 초기함수율 118.6%에서 최종함수율 13.8%까지 건조하는데 22시간이 걸렸다 (Fig 3). 건조 후 전체 8개 시편의 평균함수율은 13.8%이나 좌측 하단의 58.9% 판재를 제외하면 평균함수율이 6.4%

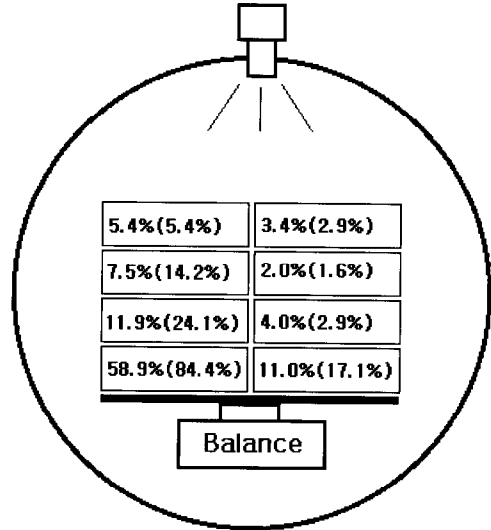


Fig. 4. Average moisture contents of 32 mm thick boards of *Populus alba* × *P. glandulosa* dried in a MW/V kiln. In parentheses are the differences between the maximum and minimum MCs within boards.

밖에 되지 않았다(Fig 4). 마이크로파는 투과깊이가 한정되어 있기 때문에 비중이 낮은 목재라 할지라도 깊은 곳까지 도달하지 못한다. 본 실험 결과와 지금까지 경험으로 볼 때, 생재를 건조할 경우 10 cm 이상으로 쌓는 것은 바람직하지 못하다. 본 실험에서는 잔적 높이가 12 cm이고 시편들의 평균생재함수율이 120%에 달해 건조초기에 제일 하단 판재에는 마이크로파가 거의 도달하지 못한 것으로 보인다.

Fig. 4의 괄호 속에 판재 내 최대-최소 함수율차를 표기하였는데 이 값이 10% 이상인 판재는 길이방향 수분경사가 존재하는 것으로 볼 수 있다. 모든 판재의 중앙 함수율이 가장 낮았으며 반면 마구리가 가장 높았다. MW/V 건조는 판재 내 또는 판재간 수분경사가 존재하는 것이 큰 단점인데, 이는 MW/V 후에 열풍 건조를 병행하여 이퀄라이징(equalizing)과 컨디셔닝(conditioning)처리를 해주므로써 해결할 수 있을 것으로 생각되나 본 연구에서는 타 건조방법과 동일한 조건을 부여하기 위해 건조 후 처리를 실시하지 않았다.

건조기간 동안 마그네트론의 동작하는 시간을 기록

Table 2. Comparison of lightness, redness and yellowness of *Populus alba* × *P. glandulosa* boards dried by three methods

Drying methods	L*(Lightness)	a*(Redness)	b*(Yellowness)
Low temp.	77.55±2.61	4.10±1.12	14.23±3.42
High temp.	67.87±3.01	5.87±0.66	17.73±0.37
MW/V	80.63±2.56	2.13±0.43	16.09±1.09

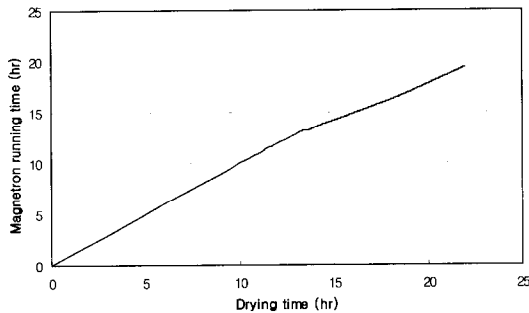


Fig. 5. Plot of cumulative magnetron running time vs. drying time.

하였다. Fig. 5에 보이는 바와 같이 건조시간과 마그네트론 동작시간이 거의 직선적으로 변화하였다. 이는 건조기간 내 마그네트론이 거의 쉬지 않고 가동하였다는 것을 의미한다. 건조속도는 시간당 4.83% MC였으며, 감소된 무게는 시간당 837.9 g였다.

3.5. 건조목 색상 비교

각 건조방법별 색차계 결과는 Table 2와 같다. L*(백색도)는 MW/V건조 > 저온건조 > 고온건조 순이고 a*(적색도)는 고온건조 > 저온건조 > MW/V건조 순으로 나타났다. 이 결과는 건조 중 목재의 색상변화는 상대습도, 목재두께 등의 타 조건보다 건조온도에 제일 크게 영향받는다라는 최근 연구결과(Tarvainen 등, 2001; Stenudd, 2001)를 뒷받침해 준다. Tarvainen 등(2001)은 Norway spruce과 Scots pine 건조실험 결과 건조온도 90와 110°C에서 L*(백색도)값이 현저히 떨어짐을 발견하였다. 또 목재를 낮은 온도에서 건조하면 색상변화를 줄일 수 있다는 연구결과(Kreber과 Haslett, 1977)도 있다. 본 연구에서 MW/V건조목

의 색상변화가 가장 적은 것으로 밝혀졌는데 이는 3가지 건조방법 중 가장 낮은 70°C이하에서 건조하였기 때문으로 볼 수 있다. 그러나 건조온도가 낮더라도 건조시간은 제일 짧았다.

4. 결 론

국내에 많이 조립되어 있는 은사시나무의 건조특성을 알기 위해 32 mm 판목 판재를 관행열기건조(저온건조), 고온건조, MW/V건조의 3가지 방식으로 건조하여 건조속도, 건조결함, 수분경사, 색상 등을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평균생재비중(전건무게-생재부피 기준)은 0.349 ± 0.074이고 심재의 생재함수율은 200%내외, 변재는 100% 내외였다.
2. 방사방향 수축율은 심재와 변재 모두 2.4%이며, 접선방향 수축율은 심재는 7.2%, 변재는 7.3%로 차이가 거의 없었다.
3. 생재를 함수율 10% 이하로 떨어뜨리는데 저온건조는 65시간, 고온건조는 35시간 MW/V건조는 22시간 걸렸다.
4. 3가지 건조방법 모두 짧은 마구리할열 이외의 건조결함은 없었으며 저온건조와 고온건조는 판재간 함수율차와 판재 내 길이방향 수분경사가 거의 없었으나 MW/V건조는 모두 존재하였다. 따라서 MW/V건조 후에는 반드시 이퀄라이징처리가 필요하다고 판단되었다.
5. 건조목 색상을 비교한 결과, 백색도는 MW/V건조 > 저온건조 > 고온건조 순이고 적색도는 고온건조 > 저온건조 > MW/V건조 순으로 높았다. 따라서 MW/V건조목의 색상이 가장 밝고 깨끗하였다.

참 고 문 헌

1. Boone, R. Siney, C. J. Kozlik, P. J. Bois, and E. M. Wengert. 1993. Dry Kiln Schedules for Commercial Wood. Forest Products Society, Madison, WI.
2. Hernandez, Roger E., A. Koubaa, M. Beaudoin, and Y. Fortin. 1998. Selected Mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. Wood and Fiber Science 30: 138~147.
3. Koubaa, Ahmed, R. E. Hernandez, and M. Beaudoin. 1998. Shrinkage of fast-growing hybrid poplar clones. Forest Products Journal 48(4): 82~87.
4. Kreber, B. and Haslett, A. N. 1997. A study of some factors promoting kiln brown stain in radiata pine. Holz als Roh und Werkstoff 55: 215~220.
5. Stenudd, S. Colour changes in birch, and beech during kiln drying. Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9-13, 2001, Tsukuba, Japan: 300~305.
6. Tarvainen, V., P. Saranpaa, and J. Repola. Discoloration of Norway spruce and Scots pine timber during drying. Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference July 9~13, 2001, Tsukuba, Japan: 294~299.
7. Vansteenkiste, D., M. Stevens, and J. Van-Acker. 1997. High temperature drying of fresh sawn poplar wood in an experimental convective dryer. Holz als Roh und Werkstoff 55(5): 307~314.
8. 강진하, 백기현, 위흡. 1990. 화학적 처리에 의한 현사시나무의 조사료화 연구(1)-Autohydrolysis. 목재공학 18(1): 15~23.
9. 강진하, 백기현. 1989. 열해섬 및 폭쇄처리에 의한 현사시나무의 粗사료화 연구. 목재공학 17(4): 57~69.
10. 김윤수, 방주완, 정기철, 명규호, 김윤식. 1986. 미생물에 의한 목질자원의 당화 및 사료화에 관한 연구(1) Alkaline peroxide에 의한 현사시나무의 효소가수분해를 위한 탈리그닌화의 적정조건. 목재공학 14(3): 23~29.
11. 강호양. 1999. 목재용 Microwave 진공 건조기 및 응용 기술 개발. 농림기술개발과제 보고서. 농림부.
12. 박상범, 안원영. 1985. 현사시나무로 제조된 열압축복재와 목재고분자 복합체 재질의 비교연구. 목재공학 13(2): 14~34.
13. 이형우. 1987. 급속건조법에 의한 은수원사시나무의 인공건조스케줄 개발. 목재공학 15(2): 113~119.
14. 정희석. 1990. 목재건조학 30p. 선진문화사, 서울.
15. 함연호, 배영수. 1995. 현사시나무의 후라보노이드 추출 성분. 목재공학 23(2): 94~99.