

單板의 두께가 곧은결 및 무늬결 무늬목단판의 원적외선건조 특성에 미치는 영향*1

이남호 · 최준호 · 황의도*2

Effect of Veneer Thickness on a Far-infrared Radiation Drying Characteristics of Edge-and Flat-Sliced Veneers for Decoration*1

Nam-Ho Lee · Jun-Ho Choi · Ui-Do Hwang*2

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effect of grain and veneer thickness on drying rate, required energy consumption, and drying defects such as checking, end waving, and burning during a far-infrared radiation drying process of decorative veneers of hard maple and beech.

Most of the veneers could be dried from green to in-use moisture content within 30 to 360 seconds. The drying rates were significantly affected by veneer thickness, but there was little difference between edge-and flat-sliced veneers.

The formation of checking during drying test was none or very slight. The percentages of the veneers defected by checks were higher in the flat-sliced veneers than in the edge-sliced veneers.

The maximum end wavinesses in the flat-sliced veneers were almost 1.6 to 3 times larger than that in the edge-sliced veneers.

All veneers were free from burned marks during drying test.

Keywords : decorative veneers, far-infrared radiation drying, checks, end waviness, burned mark

*1 이 논문은 1997년도 전북대학교의 지원연구비에 의하여 연구되었음.

*2 전북대학교 농과대학(농업과학기술연구소) Coll. of Agri.(Institute of Agricultural Sci. & Tech), Chonbuk Nat'l Univ., Chonju 561-756, KOREA

1. 서 론

지구상의 可用목재자원이 점점 저질화되어감에 따라 재질이 우수하고 미관성이 뛰어난 목재자원을 집약적으로 이용하고자 두께 0.2~0.6mm 정도의 매우 얇은 單板으로 가공하여 활용하는 사례가 급증하고 있다. 저질폐잔재로 제조된 각종 목질판상재료나 침엽수 합판 등의 표면에 질감과 무늬가 아름다운 활엽수재의 무늬목단판을 오버레이(overlay)하여 가구공작재나 악기용재 또는 건축내장재 등과 같이 부가가치가 높은 재료로 활용하고 있다.

무늬목단판은 두께가 얇기 때문에 건조중 수분경사에 기인한 활렬은 경미한 편이나, 틀어짐이나 끝말림(end waviness)의 발생이 용이하다. 또한 건조중 고온에 노출될 경우 熱變色에 의해 암색화(darkening)되거나 심할 경우 탄화되어 미관적 가치의 저하는 물론 단판의 접착성이 떨어지는 문제가 있다. 또한 초기건조속도가 느릴 경우 청변이나 갈변 등이 발생하기 때문에 산업현장에서는 생 무늬목단판의 표면에 포르말린을 도포하고 있으나 이는 인체의 피부를 심하게 자극하고 호흡기질환을 유도하므로 이의 사용이 적극 규제되고 있다. 따라서 무늬목단판의 효율적인 활용을 제고하기 위해서는 적정건조방법이나 단판의 형질이 건조특성에 미치는 영향 등이 검토될 필요가 있다. 특히 최근 국내외적으로 목재마루판 시장이 확대되면서 무늬목단판의 건조공정 개선에 관한 관심은 더욱 고조되고 있다.

최근 李(1997)는 미국산 호도나무(walnut)와 레드오크(red oak)의 곧은결 슬라이싱 단판(edge-sliced veneer)에 대한 원적외선건조(far-infrared radiation drying; IR drying)를 실시하여 탄화예방, 건조시간단축, 최종함수율의 균일화 등의 효과를 검토하여 그 가능성을 제시한 바 있다.

본 연구에서는 현재 우리나라에서 널리 활용되고 있는 미국산 단풍나무와 너도밤나무의 무늬목단판에 대하여 원적외선건조를 실시하면서 단판의 두께와 목리가 건조속도와 소요에너지 및 활렬, 끝말림, 탄흔 등과 같은 건조결함 발생에 미치는 영향 등을 파악코저하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 무늬목단판의 준비

미국산 단풍나무(*Acer nigrum*)와 너도밤나무(*Fagus grandifolia*)의 원목을 슬라이싱하여 얻은 곧은결 단판과 무늬결 단판을 무늬목생산업체로부터 분양받아 비닐랩에 밀봉하여 항온항습기에 보관하며 시험에 활용하였다. 각 무늬목단판의 두께는 0.12mm, 0.27mm, 0.45mm의 3두께 수준으로 구분하였고, 각 단판의 실제 두께를 직시버니어캘리퍼스로 측정하였다.

건조시험용 단판은 모두 길이(섬유방향) 60cm로 준비하였으며, 각 단판의 양단에서 길이 3cm의 단판을 채취하여 초기함수율을 구하였다. 건조시험에 사용된 단판들의 평균두께와 폭, 초기함수율 및 수량 등은 Table 1과 같다.

2.2. 원적외선건조 장치와 건조조건

원적외선 방사체는 판넬형으로서 정격전압과 정격소비전력이 각각 380V와 25 kW이고, 1枚의 유효방사면적은 60×245mm로서 상·하부에 각각 21매씩이 설치되어 있다. 상·하방사체 사이에는 무늬목단판을 고정시킬 수 있도록 설계된 클램핑장치가 부착되어 있다. 또한 ±0.5℃精度를 가진 비접촉식 적외선온도센서를 장치의 상부에 부착하여 건조중 단판의 표면온도 측정이 가능하도록 구성하였으며, 상·하부 방사체간의 거리와 클램핑장치간의 거리는 조절이 가능하도록 설계되어 있다(Figure 1).

히터와 무늬목단판간의 거리는 짧을수록 효율은 높으나 에너지분포가 불균일하게 될 염려가 있으므로 에너지분포의 결함이 없도록하기 위해서 본 시험에서는 일반적 표준거리인 75mm로 하였다(양, 1992).

각 무늬목단판의 원적외선건조조건은 원적외선방사체의 온도와 건조시간으로 콘트롤하였으며, 원적외선방사체가 설정온도에 도달한 직후에 건조시험용 무늬목단판을 방사체사이에 투입하여 일정시간 동안 건조하였다. 각 무늬목단판별 건조온도와 건조시간은 예비실험을 통하여 얻어진 자료를 근거로 건조재의 품질과 함수율 약 5%까지

Table 1. Nominal- and actual thickness, width, initial moisture content and number of veneer sheets for IR-drying test

| Species | Grain | Thickness(mm) | | Width (cm) | Initial MC (%) | Replications (sheet) |
|------------|-------|---------------|----------------|------------|------------------|----------------------|
| | | Nominal | Actual | | | |
| Hard Maple | Edge | 0.12 | 0.17 (0.01) | 21.5 | 72.3 (17.4) | 52 |
| | | 0.27 | 0.23 (0.02) | 23.5 | 66.8 (6.57) | 52 |
| | | 0.45 | 0.53 (0.02) | 25~26 | 95.6 (4.95) | 52 |
| | Flat | 0.12 | 0.16 (0.01) | 30 | 132.4 (7.3) | 49 |
| | | 0.27 | 0.31 (0.01) | 23.5 | 116.3 (12.89) | 39 |
| | | 0.45 | 0.54 (0.02) | 30 | 128.5 (3.82) | 48 |
| Beech | Edge | 0.12 | 0.15 (0.01) | 23.5 | 35.4 (8.45) | 50 |
| | | 0.27 | 0.23 (0.02) | 24 | 63.3 (5.08) | 54 |
| | | 0.45 | 0.54 (0.01) | 25 | 65.3 (4.14) | 53 |
| | Flat | 0.12 | 0.18 (0.01) | 30 | 77.3 (4.22) | 36 |
| | | 0.27 | 0.32 (0.02) | 23.5 | 65.3 (8.42) | 35 |
| | | 0.45 | 0.62 (0.02) | 30 | 64.8 (3.19) | 33 |

Note: The parentheses are standard deviations.

도달하는데 소요된 시간을 검토하여 결정하였다. 각 무늬목단판별 건조시험조건은 Table 2와 같다.

2.3. 최종함수율과 건조속도 조사

생재함수율과 건조시험용단판의 생재무게로부터 전건무게를 계산하고, 이 값과 건조종료후의 무게로부터 최종함수율을 계산하였다. 또한 건조중 감소한 함수율감소량과 건조소요시간으로부터 건조속도를 산출하였다.

2.4. 할렬, 끝말림 및 탄흔 조사

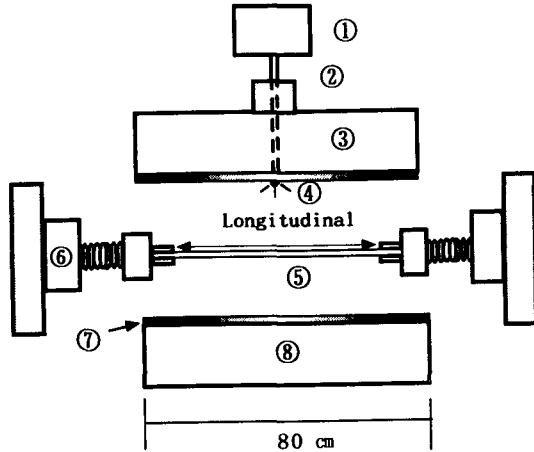
건조종료 직후 무늬목단판의 양 재면상에 나타난 할렬의 발생갯수와 발생길이 및 無損傷단판의 비율을 조사하였다.

또한 끝말림량은 건조종료후 실내에 장기간 보관하여 조습처리한후 이(1997)가 제안한 방법에 의하여 말림량측정자로 조사하였다.

탄흔은 건조종료 직후 단판의 양 재면상에 나타난 정도를 육안으로 관찰하여 없음, 경미, 보통, 심함 및 매우 심함 등 5단계로 평가하였다.

Table 2. Heating plate temperatures and heating time for IR-drying test

| Species | Grain | Nominal Thickness (mm) | Drying Condition | |
|------------|-------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | Plate Temperature (°C) | Heating Time (sec) |
| Hard Maple | Edge | 0.12 | 180 | 50 |
| | | 0.27 | 180 | 60 |
| | | 0.45 | 180 | 240 |
| | Flat | 0.12 | 180 | 120 |
| | | 0.27 | 180 | 120 |
| | | 0.45 | 180 | 360 |
| Beech | Edge | 0.12 | 180 | 30 |
| | | 0.27 | 180 | 60 |
| | | 0.45 | 180 | 240 |
| | Flat | 0.12 | 180 | 45 |
| | | 0.27 | 180 | 120 |
| | | 0.45 | 180 | 180 |



- ① Temperature recorder ② Wires
- ③ Upper hot plate (movable)
- ④ Noncontact temperature sensor
- ⑤ Veneer ⑥ Clamping device (movable)
- ⑦ Ceramics ⑧ Lower hot plate (movable)

Fig 1. Schematic diagram of the used IR-dryer for the experiment (이, 1997)

2.5. 소요전력량

적산전력량계를 설치하여 방사체를 설정온도까지 상승시키는데 소요되는 전력량과 무늬목단판을 투입한후 수분증발에 소요되는 전력량으로 구분하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 건조속도와 소요전력량

각 수종의 끈은결 단판과 무늬결 단판의 두께별 원적외선건조 소요시간과 최종함수율, 건조속도 및 소요전력량은 Table 3과 같다.

수종과 목리, 두께에 관계없이 대부분 30초~360초 이내에 생재에서 무늬목단판의 이용함수율 수준까지 건조가 가능하였으나 단풍나무 두께 0.27mm 무늬결 단판과 너도밤나무 두께 0.12mm 무늬결 단판의 경우 원적외선건조후 최종함수율이 약 20%로 다소 높게 나타나 모두 건조시간을 좀더 연장할 필요가 있었다. 반면에 너도밤나무의 두께 0.12mm 끈은결 단판의 경우 최종함수율이 1.1%로 과건되어 건조시간을 단축할 필요가 있었다.

모든 수종과 목리에서 두께 0.12mm 단판의 건조 속도는 1.05~1.33 %/sec, 두께 0.27mm 단판의 경우 0.48~0.97 %/sec, 두께 0.45mm 단판은 0.26~0.35 %/sec로 나타나 단판의 두께가 원적외선건조의 건조속도에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 이것은 원적외선은 침투력이 약하여 두께가 두꺼운 것은 열전도가 느리기 때문인 것으로 생각된다(한, 1992). 한편 끈은결 단판과 무늬결 단판간에는 뚜렷한 차이가 없었다. 너도밤나무 두께 0.27mm의 경우 끈은결 단판의 건조속도가 0.92 %/sec로 무늬결 단판의 건조속도와 비교하여 약 2배정도 더 빠른 것으로 나타났으나, 이것 또한 단판의 實두께가 무늬결 단판 보다 0.1mm정도 더 얇았던 것에 기인한 것으로 판단된다.

방사체의 온도를 설정온도인 180℃까지 초기가 열하는데 소요된 전력량은 모두 1.3 kWh이었고, 단판 1매의 함수율 1%감소당 수분증발에 소요된 비에너지는 0.001~0.041 kWh/%MC · sheet로 매우 적었다. 이(1997)는 무늬목 단판의 원적외선건조에 소요된 전력량은 열기건조의 1/5 ~ 2/5에 불과한 것으로 보고한 바 있다. 이것은 원적외선건조는 방사에 의한 열전달 방식으로 주변 공기를 가열시키지 않고 직접 단판에 에너지를 투입하므로써 주변 공기의 가열이나 가열된 공기의 배출에 따른 열손실이 없기 때문이다(안 등, 1993; 한, 1992, 1993).

너도밤나무 두께 0.12mm 끈은결 단판이나 너도밤나무 두께 0.45mm 무늬결 단판의 경우처럼

Table 3. Final moisture contents, drying times, drying rates, and the required electric powers during IR-drying test

| Species | Grain | Nominal Thickness (mm) | Initial MC (%) | Final MC (%) | Drying Time (sec) | Drying Rate (%/sec) | Required Electric Power | |
|------------|-------|------------------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | | | Initial Heating (kWh) | Specific Energy (kWh/%MC · sheet) |
| Hard Maple | Edge | 0.12 | 72.3 | 5.9 (10.40) | 50 | 1.33 | 1.3 | 0.001 |
| | | 0.27 | 66.8 | 8.5 (5.60) | 60 | 0.97 | 1.3 | 0.024 |
| | | 0.45 | 95.6 | 11.1 (2.62) | 240 | 0.35 | 1.3 | 0.019 |
| | Flat | 0.12 | 132.4 | 6.1 (2.9) | 120 | 1.05 | 1.3 | 0.012 |
| | | 0.27 | 116.3 | 20.1 (8.03) | 120 | 0.80 | 1.3 | 0.016 |
| | | 0.45 | 128.5 | 8.4 (7.77) | 360 | 0.33 | 1.3 | 0.014 |
| Beech | Edge | 0.12 | 35.4 | 1.1 (5.31) | 30 | 1.14 | 1.3 | 0.041 |
| | | 0.27 | 63.3 | 8.1 (4.44) | 60 | 0.92 | 1.3 | 0.025 |
| | | 0.45 | 65.3 | 3.5 (2.69) | 240 | 0.26 | 1.3 | 0.005 |
| | Flat | 0.12 | 77.3 | 20.6 (3.20) | 45 | 1.26 | 1.3 | 0.025 |
| | | 0.27 | 65.3 | 8.0 (8.05) | 120 | 0.48 | 1.3 | 0.026 |
| | | 0.45 | 64.8 | 11.5 (2.11) | 180 | 0.30 | 1.3 | 0.030 |

Note: The parentheses are standard deviation.

건조의 상당한 부분이 저함수율범위에서 이루어진 경우 비에너지가 상대적으로 크게 나타났다. 이는 결합수 제거에 소요되는 에너지가 클 뿐 아니라 적외선 활성물질인 수분의 양이 적었기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 원적외선건조시 過乾은 접착성 저하의 문제 뿐 아니라 소요에너지 증가에도 상당한 영향을 미치는만큼 過乾되지 않도록 특별히 주의해야 할 필요가 있다. 수종이나 목리에 따른 소요에너지의 차이는 없는 것으로 나타났다.

3. 2. 할렬과 끝말림량

Table 4는 원적외선건조중에 발생한 할렬과 끝말림량의 정도를 나타낸 것이다.

대부분의 무늬목단판에서는 할렬의 발생이 매우 경미하였거나 전혀 발생하지 않아 할렬에 의한 無損傷 단판의 비율이 71.8 ~ 100%에 이르렀으나 단풍나무의 두께 0.12mm 단판에서는 곧은결 단판과 무늬결 단판 모두 그 비율이 약 35%에 불과하였다. 두께 0.12mm와 두께 0.27mm 또는 두께

0.45mm간에 두께차는 건조응력의 차를 유발할 정도로 크지는 않지만 두께가 얇을 경우 단판의 횡인장강도의 절대값이 상대적으로 작기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 무손상 단판의 비율이 낮은 경우에도 할렬의 총평균발생 길이는 단판 1매당 2.4cm정도로 경미한 편이었다. 동일 수종 동일 두께의 경우 곧은결 단판에 비하여 무늬결 단판에서 할렬의 발생율이 높게 나타났는데, 이는 취약한 방사조직의 배열과 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉, 무늬결 단판의 경우 건조중 단판의 폭 방향으로 나타나는 인장응력이 방사조직을 파열 시키려는 방향으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

끝말림량은 곧은결 단판보다는 무늬결 단판에서 더 심하여 무늬결 단판의 최대 끝말림량은 곧은결 단판의 약 1.6 ~ 3배 정도였다. 무늬결 단판의 경우 단판의 폭방향이 접선방향인 관계로 건조중 幅수축량이 곧은결 단판보다 더 크기 때문인 것으로 생각된다. 또한 무늬결 단판의 경우 두께

Table 4. Check formation and end waviness of the IR-dried veneer sheets

| Species | Grain | Nominal Thickness (mm) | Check | | End Waviness(mm) | | |
|------------|-------|------------------------|---|------------------|------------------|------|------|
| | | | Percentage of Non-defected sheets ¹⁾ (%) | Avg. Length (cm) | Min. | Mean | Max. |
| Hard Maple | Edge | 0.12 | 34.6 | 2.4 | 0.3 | 1.9 | 4.1 |
| | | 0.27 | 98.1 | 0.09 | 0.2 | 1.4 | 3.1 |
| | | 0.45 | 100 | 0 | 0.5 | 4.2 | 7.7 |
| | Flat | 0.12 | 34.7 | 2.4 | 0.8 | 3.4 | 7.1 |
| | | 0.27 | 71.8 | 1.0 | 2.3 | 5.6 | 9.5 |
| | | 0.45 | 100 | 0 | 4.0 | 8.7 | 13.4 |
| Beech | Edge | 0.12 | 100 | 0 | 0.5 | 2.5 | 5.6 |
| | | 0.27 | 100 | 0 | 0.5 | 2.4 | 4.8 |
| | | 0.45 | 96.2 | 0.2 | 0.3 | 2.3 | 4.8 |
| | Flat | 0.12 | 88.9 | 0.9 | 1.0 | 4.4 | 8.8 |
| | | 0.27 | 82.9 | 1.2 | 2.7 | 7.1 | 12.1 |
| | | 0.45 | 97.0 | 0.1 | 2.2 | 6.5 | 10.4 |

Note:¹⁾(Number of non-defected sheets)/(Total sheets) × 100(%)

가 두꺼울수록 끝말림의 발생 정도가 심한 경향을 보였는데, 이것은 두꺼운 단판일수록 강직하여 건조중에 이미 발생한 끝말림이 다시 복원되기가 상대적으로 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 건조중 끝말림의 발생이 적었던 곧은결 단판의 경우 단판의 두께에 따른 차이가 없었다.

3.3. 炭痕

Table 5는 건조직후 각 무늬목단판의 탄흔정도를 육안으로 조사한 결과이다.

모든 무늬목단판에서 탄흔은 전혀 관찰되지 않았다. 적용한 건조조건이 방사체의 온도가 180℃로 높은 편이었음에도 불구하고 방사체와 무늬목단판이 직접 접촉하지 않는 비접촉傳熱에 의해서 에너지가 투입되기 때문에 전혀 탄흔이 나타나지 않은 것으로 생각된다(李, 1997). 따라서 무늬목단판의 원적외선건조방식은 탄흔 없이 高溫의 적용이 가능하므로써 건조시간의 단축과 단판 고유의 재색유지 및 접착성 저하 예방 등의 효과를 거둘 수 있을 것으로 기대된다.

4. 결 론

현재 우리나라에서 널리 활용되고 있는 미국산 단풍나무와 너도밤나무의 무늬목단판에 대하여 원적외선건조를 실시하면서 단판의 두께와 목리가 건조속도와 소요에너지 및 할렬, 끝말림, 탄흔 등과 같은 건조결함 발생에 미치는 영향 등을 파악하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 수종과 목리, 두께에 관계없이 대부분 30초~360초 이내에 생재에서 무늬목단판의 이용함수율 수준까지 건조가 가능하였으나, 일부 무늬목단판의 경우 건조시간을 연장 또는 단축할 필요가 있었다.
2. 원적외선건조의 건조속도는 단판의 두께에 의하여 큰 영향을 받았으나, 단판의 목리간에는 뚜렷한 차이가 없었다.
3. 단판 1매의 함수율 1%감소당 수분증발에 소요된 比에너지는 0.001~0.041 kWh/%MC.

Table 5. Burned marks on the IR-dried veneer sheets

| Species | Grain | Nominal Thickness (mm) | Burned Marks (%) ¹⁾ | | | | |
|------------|-------|------------------------|--------------------------------|--------|----------|--------|-------------|
| | | | None | Slight | Ordinary | Severe | Very Severe |
| Hard Maple | Edge | 0.12 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.27 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.45 | 100 | - | - | - | - |
| | Flat | 0.12 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.27 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.45 | 100 | - | - | - | - |
| Beech | Edge | 0.12 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.27 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.45 | 100 | - | - | - | - |
| | Flat | 0.12 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.27 | 100 | - | - | - | - |
| | | 0.45 | 100 | - | - | - | - |

Note:¹⁾ (Number of the burned sheets of veneer)/(Total veneer sheets) × 100(%)

sheet로 매우 적었으며, 건조의 상당한 부분이 저합수율범위에서 이루어진 경우 비에너지가 상대적으로 크게 나타났다

4. 대부분의 경우 할렬의 발생이 매우 경미하였거나 전혀 발생하지 않았으며, 끈은결 단판에 비하여 무늬결 단판에서 할렬의 발생율이 높게 나타났다.
5. 끝말림량은 끈은결 단판보다는 무늬결 단판에서 더 심하여 무늬결 단판의 최대 끝말림량은 끈은결 단판의 약 1.6 ~ 3배 정도였으며, 무늬결 단판의 경우 두께가 두꺼울수록 끝말림의 발생 정도가 심한 경향을 보였다.
6. 탄흔은 모든 무늬결 단판에서 전혀 관찰되지 않았다.

참 고 문 헌

1. 안영수, 서두원, 한문희, 양준환. 1993. 원적외선 가열의 효과 및 응용기술. *Energy R&D* 15(3): 107 - 119
2. 양중식. 1992. 원적외선 방사세라믹스 재료와 응용. 제2회 원적외선방사체 응용기술 심포지움요약집, 서울: 29 - 70
3. 이남호. 1997. 무늬결단판의 원적외선건조 특성. *한국목재공학회지* 25(4): 22 - 28
4. 이남호. 1999. 압축고주파진공건조에 의한 주요 활엽수 무늬결단판의 이할과 끝말림 예방 효과. *한국가구학회지* 10(2): 29 - 36
5. 최태섭. 1993. 원적외선 응용 및 이용기술. *공업진흥청 요업기술원 제3회 원적외선 방사체 응용기술 심포지움 요약집*: 127 - 144
6. 한충수. 1992. 원적외선을 이용한 응용기술. *공업진흥청 요업기술원 제2회 원적외선 방사체 응용기술 심포지움 요약집*: 87 - 115
7. 한충수. 1993. 원적외선 가열에 의한 농산물 건조효과. *공업진흥청 요업기술원 제3회 원적외선 방사체 응용기술 심포지움 요약집*: 29 - 51
8. Loehnertz, S.P. 1988. A continuous press dryer for veneer. *For. Prod. J.*38(9):61-63
9. Lutz, J.F., H.Habermann, and H.R. Panzer. 1974. Press-drying green flatsliced walnut veneer produce buckling and end waviness. *For. Prod. J.* 24(5): 29 - 35
10. Lutz. 1978. Wood veneer : Log selection, cutting, and drying. *USDA Tech. Bull. No.1577*: 70 - 86