

SDR(Saw-Dry-Rip) 방법을 適用한 이태리 포플라 材木의 乾燥速度와 乾燥缺陷 *1

沈 載 鉉^{*1} · 鄭 希 錫^{*2}

Drying Rate and Drying Defects of *Populus euramericana* Using the SDR(Saw-Dry-Rip) Process *1

Jae Hyeon Sim^{*2} · Hee Suk Jung^{*2}

Summary

This study was carried out to investigate the drying rate and drying defects of *Populus euramericana* using the SDR (Saw-Dry-Rip) process.

Fitches for SDR process were rough edged for compact kiln stacking, and then kiln-dried to 10 percent moisture content with dimensions in the same run, using the kiln-drying schedule (T₈-F₄) recommended by Rasmussen.

The results obtained were as follows:

1. Drying rate of dimensions was slower than that of fitches.
2. Final moisture content and moisture distribution of dimensions were lower than those of fitches.
3. Average bowing, cupping, crooking, and twisting were reduced 20 percent, 25 percent, 54.9 percent, and 13.4 percent by SDR process respectively.
4. Bowing and cupping were more severe in dimensions from the area near the pith than in those from the area near the bark, and for crooking and twisting the reverse was true.
5. Surface checking of dimensions developed less than that of fitches and end checking of dimensions was similar to that of fitches.
6. Honeycomb, thickness shrinkage, and collapse of dimensions were similar to those of fitches.
7. The degree of casehardening of dimensions was higher than that of fitches.

Key words: Saw-Dry-Rip process, drying rate, moisture distribution, bowing, cupping, crooking, twisting.

要 約

本 實驗은 이태리 포플라 (*Populus euramericana*) 플리치 (fitch) 의 SDR(Saw-Dry-Rip) 방법과 대조재로서 平小角材를 사용하여 동일한 乾燥條件에서 兩者間의 乾燥速度와 乾燥缺陷의 발생정

도를 비교코저 실시하였으며 두께 50 mm인 平小角材와 플리치에 乾燥스케줄 T₈-F₄를 적용하여 含水率 10%정도까지 熱氣乾燥하여 얻어진 結果는 다음과 같다.

1. 平小角材의 平均 乾燥速度는 0.41%/hr. 였으며 플리치의 平均 乾燥速度는 0.44%/hr. 였다.

*1. 接受 4月10日 Received April 10, 1986.

*2. 서울대학교 農科大學 College of Agriculture Seoul National University, Suwon 170, Korea.

2. 平小角材의 最終含水率は 8.0%이고 플리치의 最終含水率は 10.1%였다. 含水率分布에 있어서 平小角材의 표층, 중간층 및 내층의 平均含水率は 각각 8.8%, 10.4%, 12.6%이고 플리치의 경우는 각각 10.6%, 12.9%, 16.3%였다.

3. 플리치의 SDR 방법은 平小角材의 乾燥보다 길이굽음 20%, 너비굽음 25%, 側面굽음 54.9%, 비틀림 13.4% 감소되었다.

4. 樹皮인접부위의 平小角材의 길이굽음과 너비굽음은 樹心부위의 平小角材의 경우보다 감소되었으나 측면굽음과 비틀림은 오히려 증가되었다.

5. 平小角材의 表面割裂은 플리치의 表面割裂보다 적게 발생하였고 橫斷面割裂은 兩者간에 비슷한 경향을 보였다.

6. 平小角材와 플리치의 内部割裂, 두께 收縮率 및 찌그러짐은 서로 비슷한 경향을 나타내었다.

7. 平小角材의 表面硬化率は 19.2%로서 플리치의 表面硬化率 11.9%보다 컸었다.

1. 緒 論

木材의 乾燥缺陷은 대부분 木材内の 水分傾斜와 不均一收縮으로 인하여 나타나는 乾燥應力과 密接한 관계가 있고, 木材의 損失 및 木製品의 品質과 價値를 저하시킨다.

乾燥缺陷中 들어짐은 두가지 원인으로 나타나는 데 첫째, 林木이 生長함에 따라 주변부에 引張應力, 中央부에 壓縮應力을 나타내는 生長應力에 의하여 製材時에 들어지게 되고 또한 乾燥될 때에 附加的인 들어짐이 생긴다. 둘째, 木材의 收縮異方性, 목재 부위간 乾燥 차이로 인한 收縮率 차이, 잘못된 棧積 그리고 乾燥할 목재가 旋回木理, 不規則木理 등을 갖거나 異常材 (reaction wood)를 지닐 경우 들어진다. 들어진 材木은 加工收率이 저하되기 때문에 들어지기 쉬운 樹種은 가공하기가 어려우며 利用上 문제점이 되고 있다.

이태리 포플라는 速成短伐期樹種으로서 比重이 작고 強度가 약하며 대부분 未成熟材로 구성되어 있고 收縮異方性이 크기 때문에 乾燥時에 잘 들어지는 등 材質缺陷 때문에 單板用材와 펄프用材 등에 주로 이용되고 있으나 각종 用途에서 制限을 받고 있다.

들어지는 목재의 성질은 인위적으로 完全히 조절될 수는 없지만 다만 적절한 製材, 棧積, 乾燥方法 그리고 기계적 抑制 (mechanical restraint) 등 알맞은 方法을 적용하여 材木의 들어짐을 감소시키고 있다. 즉 적절한 製材로 製材收率의 提高와 아울러 들어짐을 감소시킬 수 있다. 특히 들어짐을 예방하기 위한 效率的 方法으로 복스잔적 (box stacking)을 실시하거나 또는 잔적 상단에 荷重을 가하거나 조임장치 (clamping device)를 사용하여 들어짐을 감소시키기 위한 기계적 抑制法을 적용하고 있다.

그러나 最近에 製材와 乾燥方法을 함께 적용하여 慣行製材와 乾燥方法과는 달리 製材·乾燥·縱切削의 새로운 方法이 개발 연구중에 있다. 즉 原木를 板目製材하여 가능한 均衡된 生長應力을 제공하고 플리치 (flitch)를 熱氣乾燥함으로써 生長應力을 乾燥末期應力과 相殺시킨다. 따라서 플리치 내부의 應力이 제거되고 最終用度에 알맞은 치수로 縱切削하면 들어짐이 감소된다는 SDR (Saw-Dry-Rip) 方法에 관심을 두게 되었다.

本 研究은 이태리 포플라材에 SDR 方法과 慣行乾燥方法을 적용하여 乾燥速度와 材木의 들어짐을 조사하여 SDR 方法의 乾燥效果를 알고서 실시하였다.

2. 研 究 史

慣行的인 들어짐 예방에 관한 연구에 있어서 Halllock (1965, 1969, 1972)^{5), 6), 7)}는 loblolly pine, lodgepole pine 및 red pine의 製材와 들어짐에 관하여 報告하였으며, Weckstein 등 (1970)²²⁾은 red pine에 前平削處理와 스프링抑制를 가하여 들어짐이 감소됨을 報告하였고, Koch (1971)¹⁰⁾은 southern pine의 高溫과 機械的抑制로 들어짐이 감소됨을 報告하였다.

Malcolm 등 (1972)¹⁵⁾은 hard maple의 製材面과 용이의 위치를 고려하여 들어짐을 調查報告하였으며, Koch (1974)¹¹⁾은 톱니모양의 알루미늄 잔목을, Wengert 등 (1974)²³⁾은 잔적상단의 5층에 금속편을 끼운 잔목을 사용하여 억제를 가한 결과 들어짐이 감소됨을 報告하였다.

또한 Flann 등 (1975)³⁾은 1인치 hard maple의 들어짐에 의한 材木의 收率에 관하여 보고하였으

며, Arganbright 등(1978)¹⁾은 ponderosa pine 에, Simpson(1982)²⁾은闊葉樹 材木에 기계적 抑制을 가한 결과 틀어짐이 감소됨을 報告하였다.

製材와 乾燥方法을 함께 적용한 SDR 方法이 材木의 틀어짐에 미치는 영향에 대해 Maeglin(1979)¹⁾은 aspen에 SDR方法을 적용한 결과 慣行熱氣乾燥方法보다 틀어짐이 감소됨을 報告하였으며, Halllock 등(1981)⁸⁾은 SDR方法에 의한 材木의 收率이 4/4 材木의 경우보다 더 많음을 報告하였다.

Maeglin 과 Boone(1981, 1983, 1983)^{14), 15), 16)}은 yellow-poplar 에 製材와 乾燥方法의 組合으로 된 4 가지 處理를 실시하여 慣行熱氣乾燥, 慣行高溫乾燥, SDR方法-慣行乾燥, SDR方法-高溫乾燥 順으로 틀어짐이 감소됨을 報告하였으며, ponderosa pine 과 yellow-poplar 에 SDR方法을 적용한 결과 yellow-poplar 에 대한 틀어짐 감소율이 더 컸음을 報告하였다.

Erickson 등(1983)²⁾은 paper birch 에 7 가지 乾燥方法을 적용한 결과 SDR方法의 效果가 가장 잘 比較說明될 수 있는 處理는 慣行熱氣乾燥와 SDR方法-慣行乾燥임을 밝혔으며, Maeglin 등(1983)¹⁷⁾은 red alder 의 SDR方法에서 live sawing 은 비틀림 감소에 비효과적이거나 側面굽음의 예방에는 효과적임을 報告하였다. 또한 Harpole(1983)⁴⁾은 SDR方法을 이용하면 原木價를 除外한 加工비용에서 경제적임을 報告하였으며, Huber 등(1984)⁹⁾은 aspen 에 SDR方法을 적용하면 質과 收率面에서 좋은 결과를 얻을 수 있음을 報告하였다.

Wengert 등(1984)²⁴⁾은 yellow-poplar 플리치의 실제적인 乾燥에서 SDR方法에 의한 틀어짐의 감소는 乾燥方法에 의한 것이 아니라 製材에 起因함을 報告하였으며, 最近에 材木의 틀어짐 감소를 위한 SDR方法에 많은 관심을 보이고 있다.

3. 材料 및 方法

3.1 供試材料

3.1.1 供試原木 및 製材

3.1.1.1 供試原木

供試原木은 서울大學校 農科大學內에 植栽된 이태리 포플라 (*Populus euramericana*) 중에서 樹幹이 通直하고 技下高가 높은 立木 4本을 選定하여 각

林木에서 直徑이 30 cm 정도 되는 部位에서 材長 90 cm로 造材하였다. 供試原木의 平均年輪幅은 6.2mm였고 造材 즉시 은분페인트로 2회 엔드코팅(end coating)을 실시하였다.

3.1.1.2 製材

모든 供試原木은 Fig.1 과 같이 髓를 중심으로 양 쪽이 對稱되게 하여 3 mm 두께의 餘積을 두어 53 mm 두께로 板目製材하였다.

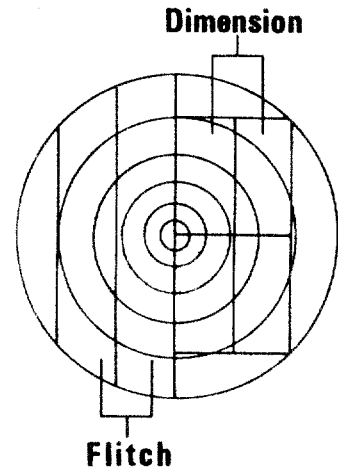


Figure 1. Method of sawing log.

한 쪽은 慣行製材에 의하여 두께 53 mm, 너비 100 mm인 平小角材로, 다른 쪽은 SDR用으로 수피를 제외한 너비가 적어도 200 mm 이상인 플리치로 製材한 後 즉시 은분페인트로 엔드코팅을 실시하였다.

3.1.2 乾燥, 比重 및 初期含水率試驗片

乾燥試驗片은 製材한 材木中에서 平小角材 16개와 플리치 8개를 선정하여 이를 두께가 50 mm 되도록 平削하였다. 比重試驗片은 각 平小角材와 플리치에서 1개씩, 初期含水率試驗片은 각 乾燥試驗片의 양단에서 1개씩 2개를 採取하였다.

比重試驗片의 크기는 두께 50 mm, 너비 100 mm, 길이 5 mm로 제작하였으며 初期含水率試驗片의 크기는 길이 25 mm로 제작하였고, 乾燥試驗片의 크기는 길이 600 mm로 절단하여 은분페인트로 엔드코팅을 실시하였다.

乾燥試驗片의 生材比重과 初期含水率은 Table 1 과 같다.

3.1.3 應力, 含水率分布 및 最終含水率 試驗片

乾燥終了後 각 플리치는 幅 中央部를 켜고 측부의 둥근모를 edging 하여 16개의 平小角材를 만들

Table 1. Green volume specific gravity and initial moisture content of drying specimens

Kind of specimen	Sp. Gr.		Initial M.C.	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation
Dimension	0.36	0.02	116.5	16.07
Flitch	0.36	0.03	125.8	30.76

있고 모든 평소각材에서 길이 25 mm의 應力試驗片, 含水率分布試驗片 및 最終含水率試驗片을 採取하였다.

3.1.4 實驗器機

3.1.4.1 乾燥室

熱氣乾燥에 사용된 乾燥室은 風速 3m/sec. 最高溫度 250°C, 乾濕球溫度 調節可能範圍 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 内部容積 117 × 65 × 47 cm인 内部送風機型 小型人工乾燥室을 사용하였다.

3.1.4.2 其他器機

1) 乾燥器 : 含水率試驗片과 比重試驗片의 乾燥는 溫度 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 를 精確하게 유지해 주는 오븐(oven)을 사용하였다.

2) 直示天秤 : 乾燥試驗片의 무게 측정은 精密度 19인 直示天秤을, 比重 및 含水率試驗片의 무게 측정은 精密度 0.019인 直示天秤을 사용하였다.

3) 버니어 캘리퍼스 : 乾燥試驗片의 두께 측정은 精密度 0.05 mm인 버니어 캘리퍼스를 사용하였다.

3.2 實驗方法

3.2.1 棧積

乾燥試驗片中 플리치는 잔적의 效率을 위해 일부 edging 하였으며 평소각材와 플리치는 두께 20 mm인 간목을 사용하여 서로 층을 달리하여 배치하였고 맨 윗층에는 같이 배치하였다. 균일한 乾燥를 위해 잔적의 후면은 건조실 벽과 밀착시키고 잔적의 측면은 양 측벽과 250 mm의 간격을 두었다.(Fig.2 參照)

3.2.2 乾燥스케줄

本試驗의 乾燥스케줄은 Rasmussen이 제시한 Table 2의 乾燥스케줄 T8 - F4를 적용하였다.

3.2.3 乾燥中 含水率과 乾燥速度

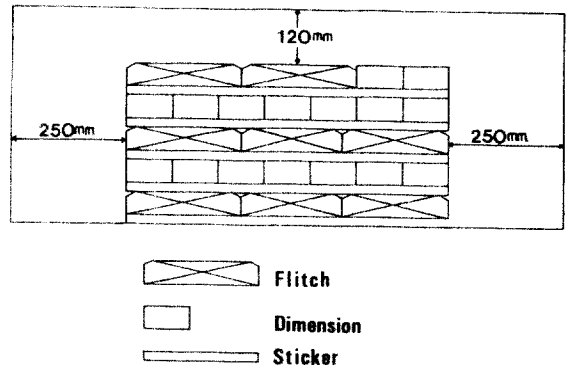


Figure 2. Piling method for drying specimens. (front view)

Table 2. Kiln-drying schedule used for drying 50 mm - thick Italy poplar dimensions and flitches

M.C.(%)	D.B.T. (°C)	W.B.T. (°C)	R.H. (%)	E.M.C. (%)
Green-70	55	51	81	14.2
70-60	55	49.5	74	12.1
60-50	55	46.5	62	9.6
50-40	55	41	43	6.7
40-35	55	33	22	4.1
35-30	55	27	19	2.3
30-25	60	32	77	12.7
25-20	65	37	78	12.6
20-15	70	42	79	12.4
15-End	80	52	82	11.9

평소각材와 플리치의 乾燥前 무게를 측정한 후 乾燥室에 잔적하고 乾燥中 平均含水率 10%에 도달할 때까지 함수율 감소 단계에 따라 적당한 시간 간격으로 무게를 측정하여 乾燥中 含水率을 계산하였고, 乾燥速度는 最終含水率로 구한 全乾무게를 적용하여 구하였다.

3.2.4 最終含水率 및 含水率分布

3.2.4.1 最終含水率

乾燥試驗片의 最終含水率은 含水率試驗片 採取 즉시 乾燥前 무게를 측정할 때 $103 \pm 2^\circ\text{C}$ 에서 恒量에 도달할 때까지 乾燥하여 全乾무게를 측정하였으며, 다음식(1)과 같이 最終含水率을 求하였다.

$$M = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

M : 最終含水率(%)
 W : 乾燥前 무게(g)
 W₀ : 全乾무게(g)

3.2.4.2 含水率分布

乾燥試驗片의 含水率分布 측정은 乾燥終了時 表層, 中間層, 內層의 含水率試驗片을 採取하여 全乾法으로 含水率을 구하였다.

3.2.5 乾燥缺陷

3.2.5.1 틀어짐

틀어짐은 種類別로 0.1mm까지 읽을 수 있는 木製의 썸기형 게이지(wedge gauge)를 사용하여 측정하였다.

- 1) 길이굽음(Bowing) : 길이굽음은 材面이 길이방향으로 된 最大처짐을 측정하였다.
- 2) 너비굽음(Cupping) : 너비굽음은 材面이 너비방향으로 된 最大처짐을 측정하였다.
- 3) 側面굽음(Crooking) : 측면굽음은 側面이 길이방향으로 된 最大처짐을 측정하였다.
- 4) 비틀림(Twisting) : 비틀림은 평면상에서 한 모서리의 最大높이를 측정하였다.

3.2.5.2 表面, 橫斷面割裂 및 内部割裂

- 1) 表面割裂과 橫斷面割裂 : 表面割裂과 橫斷面割裂은 乾燥時間 24時間마다 割裂수와 發生된 할렬중 最大길이 및 할렬의 總 길이를 측정하였다.
- 2) 内部割裂 : 乾燥終了後 절단된 橫斷面上에 發生한 内部割裂 件수를 측정하였다.

3.2.5.3 두께 收縮率, 찌그러짐 및 表面硬化

- 1) 두께 收縮率 : 두께 收縮率은 각 乾燥試驗片의 乾燥前, 平均含水率 30%, 그리고 乾燥終了時 5부위를 정하여 두께를 측정하여 구하였다.
- 2) 찌그러짐 : 찌그러짐은 乾燥된 모든 平小角材의 最大두께와 最小두께를 측정하여 그 差로서 나타내었다.

3) 表面硬化 : 表面硬化率은 應力試驗片을 Fig.3과 같이 鋸斷하고 a와 b를 측정하여 式(2)로 구하였다.

$$\text{表面硬化率(\%)} = \left(1 - \frac{b}{a}\right) \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

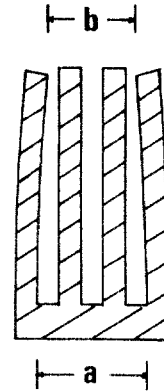


Figure 3. Method of cutting sections for casehardening test.

4. 結果 및 考察

4.1 乾燥速度와 乾燥時間

平小角材와 플리치의 含水率段階別 乾燥速度는 Table 3의 내용과 같으며, 乾燥時間에 따른 含水率 변화는 Fig.4, Fig.5와 같다.

平小角材의 含水率段階別 乾燥速度는 生材~60%에서 0.71%/hr., 含水率 60%~30%에서 0.41%/hr., 그리고 含水率 30%~10%에서 0.21%/hr.로서 平均 乾燥速度는 0.41%/hr.였다.

플리치의 경우는 生材~60%에서 0.72%/hr., 含水率 60%~30%에서 0.39%/hr., 그리고 含水率 30%~10%에서 0.21%/hr.로서 平均 乾燥速度는 0.44%/hr.였다.

平小角材와 플리치의 含水率段階別 乾燥速度를 비교해 보면 乾燥初期에는 플리치가 약간 컸으며, 乾燥末期에는 큰 차이가 없었다. 平均 乾燥速度에 있어서는 初期含水率이 높은 플리치가 약간 컸었다.

平小角材의 乾燥時間은 初期含水率 116.5%에서 最終含水率 8.0%까지 264시간 이었으며 플리치는 같은 시간에 初期含水率 125.8%에서 最終含水率 10.1%까지 乾燥되었다.

本 研究結果는 Erickson 등(1983)²⁾이 平小角材와 플리치의 慣行熱氣乾燥時에 乾燥時間이 유사함을 보인 내용과 일치하였다.

Table 3. Drying rate(%/hr.) of 50 mm-thick Italy poplar dimensions and flitches

Kind of specimen	Green ~ 60 %	60 % ~ 30 %	30 % ~ 10 %	Average
Dimension	0.71	0.41	0.21	0.41
Flitch	0.72	0.39	0.21	0.44

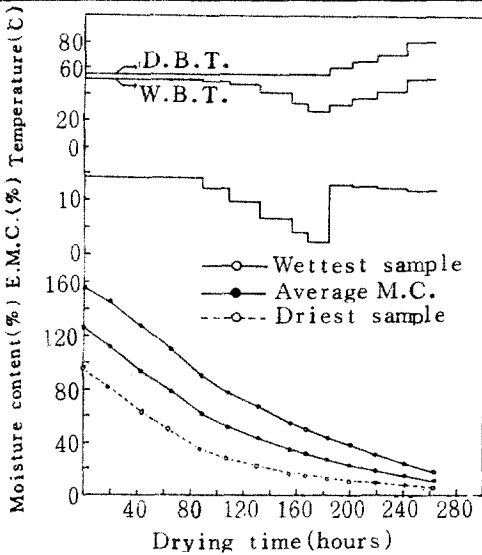


Figure 4. Kiln-drying schedule and moisture content during drying of 50mm-thick Italy poplar dimensions.

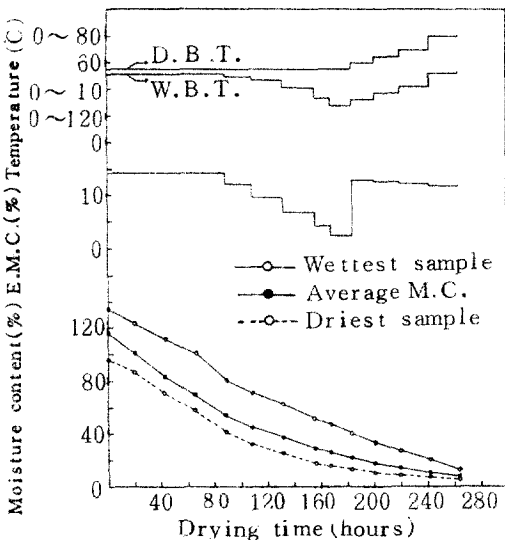


Figure 5. Kiln-drying schedule and moisture content during drying of 50 mm-thick Italy poplar flitches.

4.2 最終含水率 및 含水率分布

乾燥試驗片의 最終含水率과 乾燥終了時 표층, 중간층 및 내층의 含水率分布는 Table 4의 내용과 같다.

平小角材의 最終含水率은 平均 8.0%이고 플리치의 最終含水率은 平均 10.1%로서 플리치가 컸었다. 含水率分布에 있어서 平小角材의 표층, 중간층 및 내층의 平均含水率은 각각 8.8%, 10.4%, 12.6%이고 플리치의 경우는 각각 10.6%, 12.9%, 16.3%로서 平小角材와 플리치 모두 표면에서 내부로 갈수록 含水率이 높았다. 각 층간의 含水率 차이는 平小角材보다 플리치가 약간 컸으며 平小角材와 플리치 모두 중간층과 내층간의 含水率 차이가 표층과 중간층간의 차이보다 크게 나타났다.

플리치의 最終含水率과 含水率分布가 平小角材의 경우보다 큰 것은 플리치의 初期含水率이 平小角材의 初期含水率보다 높은 데 기인된 것으로 생각된다.

4.3 乾燥缺陷

4.3.1 틀어짐

틀어짐을 種類別로 부위에 관계없이 측정한 結果는 Table 5의 내용과 같다. 그리고 種類別로 樹皮인접부의 와 樹心부위간의 틀어짐 측정 結果는 Table 6의 내용과 같다.

1) 길이굽음

길이굽음은 平小角材와 플리치의 경우 모두 발생하였으며 平小角材의 길이굽음 平均値는 1.10mm이고 플리치의 길이굽음 平均値는 0.88 mm로서 플리치의 길이굽음은 平小角材의 경우보다 20% 감소하였다. 길이굽음의 경우 樹皮인접부위의 平小角材와 플리치는 樹心부위의 平小角材와 플리치보다 24% 감소되었다.

2) 너비굽음

平小角材는 너비굽음이 모두 발생하였으나 플리치의 경우는 10本에서 발생하여 63%의 發生率을 나타내었다.

平小角材의 너비굽음 平均値는 0.56 mm이고 플리치의 너비굽음 平均値는 0.42 mm로서 플리치의 너비굽음은 平小角材의 경우보다 25% 감소하였다. 그리고 너비굽음의 경우 樹皮인접부위의 平小角材는 樹心부위의 平小角材보다 15% 감소되었고, 또한 플리치의 경우는 23% 감소되었다.

Table 4. Final moisture content and distribution of moisture in shell, intermediate shell, and core

No.	Final moisture content		Distribution of moisture					
	Dimension	Flitch	Shell		Intermediate Shell		Core	
			Dimension	Flitch	Dimension	Flitch	Dimension	Flitch
1	8.6	18.0	9.4	14.5	11.4	21.6	12.9	35.7
2	10.2	15.8	9.7	13.1	12.7	18.8	15.7	27.2
3	6.3	7.1	7.4	8.5	7.5	9.6	7.7	10.1
4	5.8	7.1	8.6	9.3	10.1	9.1	8.6	9.9
5	12.3	9.3	10.8	10.7	16.4	13.3	25.0	15.9
6	13.4	9.7	10.9	9.4	17.7	11.1	28.3	13.9
7	7.0	6.0	7.8	7.8	8.1	7.6	9.1	8.5
8	6.7	6.3	8.7	7.7	8.7	7.9	10.0	8.7
9	7.6	12.9	9.3	12.2	10.4	16.1	11.3	22.0
10	7.2	14.2	8.8	13.5	9.1	19.9	9.8	21.0
11	6.4	5.9	8.3	8.3	8.6	7.8	9.6	8.7
12	6.1	6.4	7.9	8.7	7.4	7.9	7.9	9.5
13	10.7	11.8	9.8	13.2	14.2	15.7	18.7	17.1
14	7.7	15.7	8.9	15.1	9.8	22.6	11.2	32.9
15	6.1	8.1	7.0	8.4	6.8	8.9	7.7	9.8
16	6.0	7.0	7.3	8.8	7.7	8.5	8.3	9.1
Avg.	8.0	10.1	8.8	10.6	10.4	12.9	12.6	16.3
Std. Dev.	2.4	4.1	1.2	2.6	3.3	5.4	6.3	9.0

3) 側面굽음

平小角材의 측면굽음은 15本이 발생하여 94%의 發生率을 보였으며 플리치의 경우는 9本이 발생하여 56%의 發生率을 나타내었다.

平小角材의 측면굽음 平均値는 0.91 mm이고 플리치의 측면굽음 平均値는 0.51 mm로서 플리치의 측면굽음은 平小角材의 경우보다 54.9% 감소하였다. 그리고 측면굽음의 경우 樹心부위의 平小角材가 樹皮인접부위의 平小角材보다 33.6% 감소되었고, 또한 플리치의 경우는 59.7% 감소되었다.

4) 비틀림

平小角材는 비틀림이 모두 발생하였으나 플리치의 경우는 15本이 발생하여 94%의 發生率을 나타내었다.

平小角材의 비틀림 平均値는 2.53 mm이고 플리치의 비틀림 平均値는 2.19 mm로서 플리치의 비틀림은 平小角材의 경우보다 13.4% 감소하였다. 그리고 비틀림의 경우 樹心부위의 平小角材는 樹皮인접부위의

平小角材보다 23.5% 증가되었으며, 또한 플리치의 경우는 47.2% 감소되었다.

이와같이 플리치의 SDR方法은 平小角材의 乾燥보다 길이굽음, 너비굽음, 측면굽음 그리고 비틀림이 감소되었다. 그리고 樹皮인접부위의 平小角材가 樹心부위의 平小角材보다 길이굽음, 너비굽음은 감소되었으나 측면굽음과 비틀림은 오히려 증가되었다.

Maeglin 등(1980)¹³⁾이 小徑 闊葉樹에 SDR方法을 적용하여 길이굽음 15%, 측면굽음 67%, 비틀림 28% 감소됨을 報告한 내용과 本研究의 結果는 유사한 경향을 보였다. 또한 Maeglin 등(1983)¹³⁾이 red alder를 live sawing하여 SDR方法을 적용한 結果 측면굽음은 감소되나 비틀림 감소에는 非效果의임을 보고한 내용과 本研究의 結果는 일치하였다.

4.3.2 表面, 橫斷面割裂 및 内部割裂

4.3.2.1 表面割裂

平小角材의 表面割裂은 단지 2本 발생하였고 最

Table 5. Amount of warping occurred

No.	Dimension				Flitch			
	Bow (mm)	Cup (mm)	Crook (mm)	Twist (mm)	Bow (mm)	Cup (mm)	Crook (mm)	Twist (mm)
1	2.0	1.0	0.9	2.5	1.5	0.3	0.6	2.5
2	1.5	0.5	0.8	0.9	1.0	0.7	1.0	1.5
3	0.5	0.6	0.9	1.0	0.5	1.1	1.4	0.0
4	1.0	0.5	0.8	1.7	1.0	0.0	1.2	0.2
5	0.6	0.8	0.8	2.5	1.0	0.0	0.0	4.5
6	0.9	0.5	0.6	3.0	1.5	0.0	0.7	4.5
7	1.6	0.7	1.2	2.5	0.4	0.5	1.0	1.7
8	0.5	0.8	0.5	1.2	0.2	0.0	0.5	0.8
9	1.5	0.7	1.0	3.2	1.2	0.2	0.0	2.3
10	0.8	0.6	1.2	2.5	1.0	0.7	0.0	5.5
11	0.5	0.2	1.6	2.7	1.2	0.0	0.5	1.0
12	1.5	0.2	1.7	2.7	1.4	0.7	1.2	0.7
13	1.2	0.2	0.0	1.5	0.5	1.5	0.0	1.5
14	1.5	0.5	0.5	2.0	0.6	0.4	0.0	0.6
15	0.8	0.5	0.5	5.5	0.7	0.6	0.0	5.2
16	1.2	0.6	1.6	5.0	0.4	0.0	0.0	2.5
Avg.	1.10	0.56	0.91	2.53	0.88	0.42	0.51	2.19
Std. Dev.	0.47	0.23	0.46	1.28	0.42	0.45	0.52	1.81

大割裂은 含水率 45.1%에서 1.3cm였다.

플리치의 乾燥時間과 含水率에 따른 表面割裂의 數, 最大割裂길이 그리고 平均割裂길이는 Fig.6 과 같고 表面割裂의 發生率은 88%였으며 最大割裂은 含水率 51.0%에서 6.4cm였다.

플리치의 含水率에 따른 平均割裂길이의 變化를 보면 乾燥初期부터 발생하기 시작하여 含水率 51.0%에서 3.8cm로 最大値를 나타내었으며 纖維飽和點 이하부터 감소하기 시작하여 乾燥終了時에는 1.9cm였다. 그리고 含水率에 따른 割裂數의 變化에 있어서 乾燥初期에 많이 발생하여 含水率 51.0%에서 3.8개로 最大値를 나타냈으며 乾燥終了時에는 1.9개였다.

McMillen(1954)¹⁹⁾은 red oak 등 闊葉樹의 乾燥應力에 관한 研究에서 넓은 목의 板材는 좁은 목의 板材보다 表面의 引張變形율(tensile strain)이 더 크게 나타남을 報告한 바와같이 넓은 목의 플리치는 表面의 引張變形율이 커 表面割裂이 증가된 것으로 생각된다.

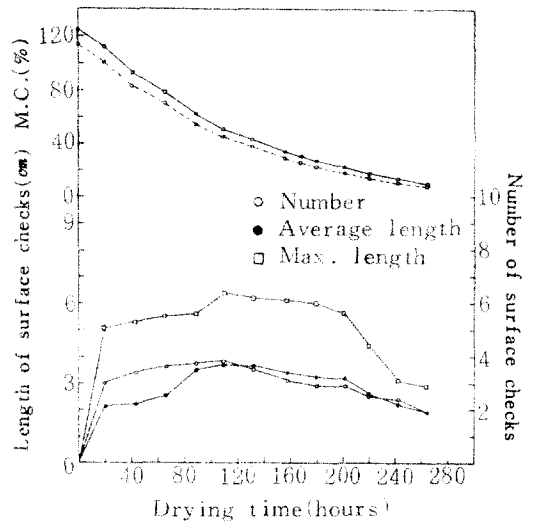


Figure 6 Moisture content and surface checks during drying of 50 mm-thick Italy poplar flitches.

4.3.2.2 橫斷面割裂

平小角材와 플리치의 乾燥時間과 含水率에 따른 橫

Table 6. Amount of warping for inner and outer wood

Kind of specimen	No.	Inner wood				Outer wood			
		Bow (mm)	Cup (mm)	Crook (mm)	Twist (mm)	Bow (mm)	Cup (mm)	Crook (mm)	Twist (mm)
Dimension	1	2.0	1.0	0.9	2.5	0.5	0.6	0.9	1.0
	2	1.5	0.5	0.8	0.9	1.0	0.5	0.8	1.7
	3	0.6	0.8	0.8	2.5	1.6	0.7	1.2	2.5
	4	0.9	0.5	0.6	3.0	0.5	0.8	0.5	1.2
	5	1.5	0.7	1.0	3.2	0.5	0.2	1.6	2.7
	6	0.8	0.6	1.2	2.5	1.5	0.2	1.7	2.7
	7	1.2	0.2	0.0	1.5	0.8	0.5	0.5	5.5
	8	1.5	0.5	0.5	2.0	1.2	0.6	1.6	5.0
	Avg. Std. Dev.	1.25 0.46	0.60 0.24	0.73 0.37	2.26 0.77	0.95 0.45	0.51 0.22	1.10 0.50	2.79 1.66
Flich	1	1.5	0.3	0.6	2.5	0.5	1.1	1.4	0.0
	2	1.0	0.7	1.0	1.5	1.0	0.0	1.2	0.2
	3	1.0	0.0	0.0	4.5	0.4	0.5	1.0	1.7
	4	1.5	0.0	0.7	4.5	0.2	0.0	0.5	0.8
	5	1.2	0.2	0.0	2.3	1.2	0.0	0.5	1.0
	6	0.4	0.7	0.0	5.5	1.4	0.7	1.2	0.7
	7	0.5	1.5	0.0	1.5	0.7	0.6	0.0	5.2
	8	0.6	0.4	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	2.5
	Avg. Std. Dev.	0.96 0.43	0.48 0.49	0.29 0.41	2.86 1.76	0.73 0.43	0.36 0.42	0.73 0.55	1.51 1.69

斷面割裂의 數, 最大割裂길이 그리고 平均割裂길이는 Fig. 7과 같다. 平小角材와 플리치 모두 乾燥 개시후 20시간 이내에 割裂이 발생하였으며 最大割裂은 平小角材의 경우 含水率 54.2%에서 4.2cm, 플리치의 경우는 含水率 51.0%에서 4.6cm였다.

含水率에 따른 平均割裂길이의 변화를 보면 平小角材의 경우 含水率 54.2%에서 2.7cm로 最大值를, 플리치의 경우는 含水率 51.0%에서 2.5cm로 最大值를 나타냈으며 乾燥終了時에는 平小角材와 플리치의 경우 모두 1.6cm였다.

含水率에 따른 割裂數의 변화에 있어서 乾燥 개시후 20時間 까지는 平小角材와 乾燥 개시후 20시간 까지는 平小角材와 플리치 사이에 큰 차이가 없이 증가하였으나 20시간부터는 플리치의 경우 급격히 증가하여 含水率 51.0%에서 11.4개로 最大值를 나타냈으며 平小角材의 경우는 含水率 54.2%에서 5.3개로 最大值를 나타내었다. 乾燥終了時에는 平小角材의 경우 2.1개였으며 플리치의 경우는 3.3개였다.

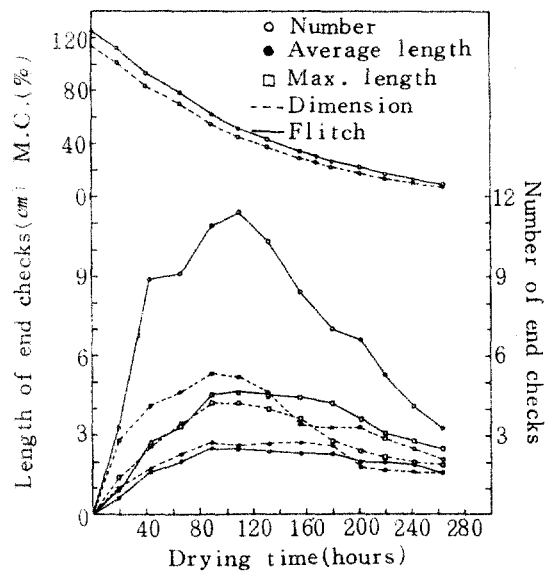


Figure 7. Moisture content and end checks during drying of 50 mm-thick Italy poplar dimensions and fitches.

Table 7. Amount of honeycomb and thickness shrinkage occurred

No.	Dimension				Fliitch			
	Honeycomb		Thickness shrinkage (%)		Honeycomb		Thickness shrinkage (%)	
	Number	Depth (cm)	Dried to 30% M.C.	Dried to 10% M.C.	Number	Depth (cm)	Dried to 30% M.C.	Dried to 10% M.C.
1	2	4.8	4.8	5.8	3	10.0	5.4	6.9
2	3	4.6	4.5	5.1	8	13.0	5.6	6.6
3	1	3.6	3.8	4.1	1	6.7	4.9	5.3
4	2	2.5	3.4	3.8	3	6.5	3.6	4.1
5	3	5.5	4.7	6.2	1	5.2	5.5	6.1
6	2	11.7	5.0	6.9	2	9.0	5.6	6.2
7	3	2.8	3.5	4.2	1	2.5	3.0	3.5
8	3	3.3	3.4	3.9	4	3.5	3.5	4.0
9	4	5.1	4.2	5.3	2	11.7	5.0	5.8
10	4	8.1	3.5	4.4	6	13.0	4.9	5.7
11	0	0.0	2.9	3.6	1	2.5	4.1	4.4
12	2	2.5	3.0	3.7	3	5.0	4.4	4.8
13	2	5.1	5.3	6.1	0	0.0	6.2	6.8
14	3	6.5	5.6	6.1	2	5.1	5.2	6.5
15	1	4.4	3.8	4.2	3	4.7	2.8	4.3
16	3	3.6	3.4	3.7	4	6.5	3.7	4.5
Avg.		4.6	4.1	4.8		6.6	4.6	5.3
Std. Dev.		2.64	0.84	1.10		3.85	1.03	1.12

이와같이 평소각材와 플리치의 橫斷面割裂에 있어서 最大割裂길이와 平均割裂길이는 비슷한 경향을 보였으며 割裂數는 평소각材와 플리치 사이의 橫斷面積을 고려하면 비슷한 경향이 나타남을 알 수 있었다.

4.3.2.3 内部割裂

모든 평소각材의 중앙부위에 内部割裂은 발생하지 않았으며 Table 7의 내용과 같이 평소각材의 끝부위에서 平均 4.6cm, 플리치의 끝부위에서 平均 6.6cm까지 나타났는데, 이는 橫斷面割裂의 延長으로 起因되었다.

4.3.3 두께 收縮率, 찌그러짐 및 表面硬化

4.3.3.1 두께 收縮率

두께 收縮率은 평소각材의 경우 平均含水率 30%일때 4.1%, 乾燥終了時 4.8%인 반면에 플리치의 경우 平均含水率 30%일때 4.6%, 乾燥終了時 5.3%로서 평소각材보다 약간 크게 나타났다.

4.3.3.2 찌그러짐

찌그러짐은 모든 평소각材에서 발생하였으며 平均値는 1.3mm이고 플리치의 경우는 平均 1.0mm로서 兩者간에 큰 차이는 없었다.

4.3.3.3 表面硬化

평소각材의 平均 表面硬化率은 19.2%, 플리치의 平均 表面硬化率은 11.9%로서 兩者가 경미한 表面硬化를 나타내었다. 그러나 SDR方法을 적용함으로써 乾燥應力이 완화되어 慣行乾燥方法보다 表面硬化率이 감소된 것으로 생각된다.

Table 8. Amount of collapse and casehardening occurred

No.	Dimension						Flich					
	Collapse			Casehardening			Collapse			Casehardening		
	Max. (mm)	Min. (mm)	Diff. (mm)	a (mm)	b (mm)	(%)	Max. (mm)	Min. (mm)	Diff. (mm)	a (mm)	b (mm)	(%)
1	47.1	46.5	0.6	34.0	28.8	15.3	47.9	47.1	0.8	36.5	35.9	1.6
2	46.5	45.8	0.7	33.4	25.7	23.1	48.1	47.6	0.5	32.8	31.1	5.2
3	48.9	46.4	2.5	34.9	30.0	14.0	47.9	47.3	0.6	34.0	28.6	15.9
4	48.5	47.5	1.0	35.3	30.0	15.0	47.5	47.2	0.3	34.8	28.0	19.5
5	47.7	45.9	1.8	32.6	26.1	19.9	45.9	44.3	1.6	33.7	24.8	26.4
6	47.5	47.0	0.5	29.1	27.5	5.5	46.4	45.5	0.9	33.5	27.8	17.0
7	49.1	47.3	1.8	34.5	27.4	20.6	47.6	47.3	0.3	35.4	31.8	10.2
8	47.7	47.2	0.5	33.9	24.1	28.9	48.3	47.7	0.6	33.6	30.4	9.5
9	48.7	46.0	2.7	34.9	24.6	29.5	48.4	47.5	0.9	31.8	30.7	3.5
10	48.8	46.6	2.2	33.4	26.0	22.2	48.0	45.8	2.2	30.7	29.2	4.9
11	49.1	47.9	1.2	35.0	30.6	12.6	48.1	46.0	1.9	33.9	30.8	9.1
12	48.2	46.4	1.8	34.7	26.6	23.3	47.7	47.1	0.6	34.9	28.9	17.2
13	47.8	47.6	0.2	34.4	27.3	20.6	46.8	46.4	0.4	32.3	25.5	21.1
14	47.2	46.4	0.8	34.2	26.7	21.9	47.6	47.1	0.5	33.8	33.6	0.6
15	48.7	47.8	0.9	34.2	28.2	17.5	48.8	45.9	2.9	33.5	27.4	18.2
16	48.3	46.9	1.4	35.8	29.5	17.6	48.7	47.8	0.9	34.6	30.8	11.0
Avg.			1.3			19.2			1.0			11.9
Std. Dev.			0.77			6.05			0.76			7.65

5. 結 論

이태리 포플라의 平小角材와 플리치를 乾燥 스케줄 T8-F4를 적용하여 含水率 10%까지 人工乾燥時 乾燥速度와 乾燥缺陷을 조사하고 兩者間의 측정 結果를 비교한 結論은 다음과 같다.

1. 平小角材의 平均 乾燥速度는 0.41%/hr였으며 플리치의 平均 乾燥速度는 0.44%/hr.로서 플리치의 乾燥速度가 빨랐다.

2. 平小角材의 最終含水率은 8.0%이고 플리치의 最終含水率은 10.1%였다. 平小角材의 含水率分布는 표층 8.8%, 중간층 10.4%, 내층 12.6%이고 플리치의 含水率分布는 표층 10.6%, 중간층 12.9%, 내층 16.3%였다.

3. 플리치의 SDR方法은 平小角材의 乾燥보다 길이굽음 20%, 너비굽음 25% 側面굽음 54.9%, 비틀림 13.4% 감소되었다.

4. 樹皮인접부위의 平小角材의 길이굽음과너비굽음은 樹心부위의 平小角材의 경우보다, 감소되었으나 측면굽음과 비틀림은 오히려 증가되었다.

5. 平小角材의 表面割裂은 단지 2本 발생하였고 含水率 45.1%에서 最大表面割裂을, 플리치는 6本 발생하였고 含水率 51.0%에서 最大表面割裂을 나타내었다. 平小角材의 表面割裂은 플리치의 表面割裂보다 적게 발생하였다.

6. 平小角材와 플리치의 最大橫斷面割裂길이 및 平均割裂길이는 비슷한 경향으로 변화하였고 平小角材의 最大割裂은 含水率 54.2%에서, 플리치의 最大割裂은 含水率 51.0%에서 발생하였다. 플리치의 橫斷面割裂 數는 平小角材의 경우보다 2배정도 많이 발생하였다.

7. 平小角材와 플리치의 内部割裂, 두께 收縮率 및 찌그러짐은 서로 비슷한 경향을 나타내었다.

8. 平小角材의 表面硬化率은 19.2%로서 플리치의 表面硬化率 11.9%보다 컸었다.

Literature Cited

1. Arganbright, D.G., J.A. Venturio, and M. Gorvad, 1978. Warp reduction in young-growth ponderosa pine studs dried by different methods with top-load restraint. *For. Prod. J.* 28(8): 47-52.
2. Erickson, R.W., T. Larson, and H.D. Petersen, 1983. Saw-Dry-Rip processing: Taking the crook out of the stud game. *Proc. Joint Meeting Western Dry Kiln Clubs and PNW Section FPRS; 1983 May 4-6; Corvallis, OR.*
3. Flann, I.B., S.M. Pnevmaticos, and J. Whittaker, 1975. Sawing pattern effect on warp loss of hard maple dimension stock. *For. Prod. J.* 25(12): 43-48.
4. Harpole, G.B., 1983. Economics of manufacturing structural lumber from hardwoods using the Saw-Dry-Rip(SDR) concept. *For. Prod. J.* 33(6): 39-42.
5. Hallock, H., 1965. Sawing to reduce warp of loblolly pine studs. *USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 51. For. Prod. Lab.*
6. _____, 1969. Sawing to reduce warp of lodgepole pine studs. *USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 102. For. Prod. Lab.*
7. _____, 1972. Sawing to reduce warp in plantation red pine studs. *USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL 164. For. Prod. Lab.*
8. _____, R.R. Maeglin, and E. H. Bulgrin, 1981. Yield comparisons between 4/4 lumber and S-D-R studs from small woods-run yellow-poplar logs. *For. Prod. J.* 31(3): 45-48.
9. Huber, H., R.R. Maeglin, and D. Bozaan, 1984. Commercial evaluation of S-D-R (Saw-Dry-Rip) — using aspen for door parts. *For. Prod. J.* 34(11/12): 35-39.
10. Koch, P., 1971. Process for straightening and drying southern pine 2 by 4's in 24 hours. *For. Prod. J.* 21(5): 17-24.
11. _____, 1974. Serrated kiln sticks and top load substantially reduce warp in southern pinestuds dried at 240°F. *For. Prod. J.* 24(11): 30-34.
12. Maeglin, R.R., 1979. Could S-D-R be the answer to the aspen oversupply problem? *Northern Logger and Timber Processor* 28(1): 24-25.
13. _____, and R.S. Boone, 1980. High quality studs from small hardwoods by the S-D-R process. *Proc. of the 23th Ann. Joint Meeting of the Midwest and Wisconsin-Michigan Wood Seasoning Associations*, pp. 36-51, December 1980.
14. _____, 1981. Manufacturing quality structural lumber from hardwoods using the Saw-Dry-Rip process. *Proc. of the 9th Ann. hardwood Symp. of the hardwood Res. Council.*: 29-45.
15. _____, 1983. Manufacture of quality yellow-poplar studs using the Saw-Dry-Rip(SDR) concept. *For. Prod. J.* 33(3): 10-18.
16. _____, 1983. An evaluation of Saw-Dry-Rip(SDR) for the manufacture of studs from small ponderosa pine logs. *USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL-435. For. Prod. Lab.*
17. _____, T.F. Layton, and W.R. Smith, 1983. S.D. R.-Red alder anyone? *Proc. Joint Meeting Western Dry Kiln Clubs and PNW Section FPRS; 1983 May 4-6; Corvallis, OR.*
18. Malcolm, F.B., and H. Hallock, 1972. Effects of three sawing methods on warp of hard maple dimension cuttings. *For. Prod. J.* 22(4): 57-60.
19. McMillen, J.M., 1954. Drying stresses in red oak and hardwoods. *Proc. 6th Ann. Meeting Western Dry Kiln Clubs, Eureka, Calif. (May 13-15).*
20. Rasmussen, E.F., 1961. Dry kiln operator's manual. *USDA Agr. Handbook No. 188.*
21. Simpson, W.T., 1982. Warp reduction in kiln-drying hardwood dimension. *For. Prod. J.* 32(5): 29-32.
22. Weckstein, S.A., and W.W. Rice, 1970. A system for controlling warp when kiln-drying plantation-grown red pine. *For. Prod. J.* 20(9):

- 70-74.
23. Wengert, E.M., and R.C. Baltes, 1974. A "pinned" sticker to reduce crook in kiln-drying lumber. For. Prod. J. 24(8): 23-24.
24. _____, B.R. Weik, J. Schroeder, and R. Brisbin, 1984. Practical drying techniques for yellow-poplar S-D-R flitches. For. Prod. J. 34(7/8): 39-44.