

急速乾燥法에 의한 은수원사시材의 人工乾燥스케줄 開發*1

李 亨 雨*2

Development of Kiln Drying Schedule of Hydrid Aspen(*Populus alba x glandulosa*) by Oven Drying Method*1

Lee, Hyoung Woo*2

Summary

A study was conducted to determine the kiln drying schedule for hydrid aspen. This kiln drying schedule was found by oven drying method and developed by pilot testing of 2.0cm, 2.5cm, 3.0cm-thick green lumber. The results of this study were as follows :

1. Kiln drying schedule developed by oven-drying method was T₁₂-E₅ for 2.5cm-thick green lumber.
2. Drying times for 2.0cm-thick green lumber(127.0 percent moisture content) to 7.3 percent moisture content, for 2.5cm-thick green lumber(95.0 percent moisture content) to 9.7 percent moisture content, and for 3.0cm-thick green lumber(118.5 percent moisture content) to 10.0 percent moisture content were 45 hours, 45 hours, and 54 hours, respectively.
3. Drying rate from 90 to 10 percent moisture content of 2.5cm-thick lumber was about 0.7 times faster than that of 2.0cm-thick lumber and about 1.1 times faster than that of 3.0cm-thick lumber.
4. End checks for 2.0cm-, 2.5cm-, and 3.0cm-thick green lumber occurred 95, 74 and 100 percent moisture content, respectively and reached maximum amount in 53, 41, and 60 percent moisture content, respectively.
5. No surface check and no honeycomb occurred.
6. Cupping and collapse slightly occurred and the quality of dry lumber was first.

1. 序 論

木材資源의 빈곤(國內材 自給率 14%)으로 인하여 여러 木材 수출국들로 부터 다량의 外材를 도입, 사용하여 왔으나 최근들어 木材 수출국들의 임산자원 감소와 아울러 임산자원 보호정책 강화로 필요한 量의 原木供給이 원활하지 못한 실정에서 국내 樹種의 高度의 利用이 요구되고 있으나 이들 樹種의 乾燥特性이 제대로 밝혀져 있지 않으며, 특히 두께별 適正 乾燥스케줄이 개발되어 있지 않아서 가공중 높은 損失과 加工品の 品質低

下는 문제점으로 대두되고 있어 국내 樹種의 利用度를 증진하기 위한 두께별 乾燥스케줄의 개발이 절실히 요구되고 있다.

本 研究에서는 국내 樹種중에서도 비교적 利用度가 낮은 은수원사시材를 대상으로 急速乾燥를 실시하여 발생하는 乾燥缺陷의 程度를 조사하여 두께 2.5cm 板材에 대한 간이 乾燥스케줄을 推定하고, 추정된 간이 乾燥스케줄을 人工乾燥室에서 두께 2.0cm, 2.5cm, 그리고 3.0cm 板材에 대한 適用試驗을 거쳐 乾燥스케줄의 適正 여부를 검토하였다.

*1. 接受 5月 8日 Received May 8, 1987.

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

2. 研究史

선진국에서는 이미 自國內 樹種에 대한 適正 乾燥스케줄개발을 위한 많은 研究가 이루어져 왔다. McMillen 등(1978)⁵⁾은 두께 2.5cm aspen(학명: *Populus tremuloides*)의 적정 건조스케줄이 T₁₂-E₇ 임을 보고하였으며, 寺澤 眞等(1983)⁸⁾은 적정 건조스케줄과 人工乾燥 所要時間의 推定方法을 제시한 바 있다.

林業試驗場(1970)²⁾에서는 사시나무外 10수종의 人工乾燥 難易性 및 乾燥日數를 조사한 결과 사시나무의 경우 初期溫度 58°C와 末氣溫度 83°C의 조건에서 所要되는 乾燥時間이 5.9日임을 보고하였다.

朴등(1975)³⁾은 물푸레나무등 4수종에서 대하여 두께 2.0cm 板材를 急速乾燥하여 두께 2.5cm 板材에 대한 人工乾燥스케줄을 推定한 바 있으며, 姜등(1984, 1985, 1986)^{9,10,11)}은 자작나무屬 4수종, 서어나무屬 3수종, 오리나무屬 4수종 및 改良 포플러 3수종의 性質을 연구하였는 바 수원포플러의 急速乾燥에 의한 추정 건조스케줄은 T₈-F₄였으며 건조시간은 88.6시간임을 보고하였다.

鄭등(1986)⁶⁾은 수입 솔로몬產 未利用 樹種의 人工乾燥스케줄 開發을 위하여 두께 2.5cm와 5.0cm 板材를 急速乾燥하여 각 두께에 대하여 추정된 인공건조스케줄을 적용한 결과 乾燥材는 1등급에 속하였음을 보고한 바 있다.

3. 材料 및 方法

3.1 材 料

3.1.1 供試原木

本 研究에서는 서둔동 소재 농대 구내에서 自生하는 은수원사시(*Populus alba* × *glandulosa*) 중에서 비교적 樹幹이 通直하고 技下高가 높은 立木(樹高 20m, 胸高 지름 30cm)을 선정하여 길이 1.5m인 供試原木 6本을 採取하였다.

3.1.2 急速乾燥試驗片과 供試板材

供試原木을 두께 2.0cm, 2.5cm 및 3.0cm, 그리고 너비 10cm로 製材하여 乾燥스케줄 推定用 急速乾燥試驗片으로는 두께 2.0cm, 너비 10cm, 길이 20cm인 널결板材 20개를 사용하였으며, 人工乾燥用 供試板材는 세 두께별로 모두 길이 60cm로 하여 15本씩 선정하여 사용하였다.

3.1.3 人工乾燥室

熱氣乾燥에 사용된 人工乾燥室은 風速 3m/sec, 乾球溫度와 濕球溫度의 精밀도 ±0.5°C인 內部送風機型 소형 건조실(길이 70cm×너비 120cm×높이 50cm)을 사용하였다.

3.1.4 供試棧木

供試棧木의 크기는 두께 1.5cm와 너비 1.0cm로 하여 棧積하였다.

3.1.5 其他機器

3.1.5.1 乾燥器: 急速乾燥 및 含水率 測定은 溫度 103±2°C로 조정되는 乾燥器를 사용하였다.

3.1.5.2 直視天秤: 含水率 試驗片과 人工乾燥試驗用板材의 무게측정에는 精밀도 0.01g인 직시천칭을 사용하였다.

3.2 方 法

3.2.1 乾燥스케줄推定試驗

3.1.1.1 試驗片의 初期含水率: 乾燥스케줄 推定用 急速乾燥試驗片의 양끝에서 길이 2.5cm인 함수율 시험편을 채취하여 全乾法으로 구한 初期含水率は 108.7%였다.

3.2.1.2 急速乾燥: 온도 100°C를 유지하는 건조기에서 함수율 1% 정도까지 건조하면서 다음事項을 조사하였다.

3.2.1.2.1 初期割裂: 乾燥時間 1~3시간 사이에 橫斷面과 材面의 最大初期割裂을 측정하여 初期割裂에 의한 損傷의 단계를 정하였다.

3.2.1.2.2 斷面變形과 內部割裂: 함수율 1% 도달시에 시험편의 중앙을 鋸斷하여 斷面變形과 內部割裂을 측정하고 이들에 의한 損傷의 단계를 정하였다.

3.2.1.2.3 乾燥스케줄 推定: 初期含水率과 初期割裂, 斷面變形 및 內部割裂에 의한 損傷의 단계등을 근거로 하여 乾燥初期와 乾燥末期의 乾球溫度, 그리고 乾濕球溫度差를 선정하고 미국 임산물 연구소에서 개발한 乾燥스케줄 作成法에 적용하여 간이 乾燥스케줄을 推定하였다.

3.2.2 乾燥스케줄 適用試驗

3.2.2.1 初期含水率 測定: 供試板材의 裁斷時 兩橫斷面에서 길이 2.5cm의 함수율 시험편을 채취하여 全乾法으로 구한 初期含水率は 두께 2.0cm

板材는 127.2%, 두께 2.5cm 板材는 95.0%, 그리고 두께 3.0cm 板材는 118.5%였다. 이러한 初期含水率을 이용하여 건전무게를 계산하고 乾燥스케줄의 함수율 단계에 적용하였다.

3.2.2.2 乾燥曲線과 初期割裂 : 人工건조실에 供試板材를 棧積하여 熱氣乾燥하면서 일정시간 간격으로 공시판재의 함수율과 初期割裂을 측정하였으며, 乾燥速度와 乾燥時間은 最終含水率로 구한 건전무게를 적용하여 구하였다.

初期橫斷面割裂과 表面割裂은 이들 割裂이 심한 斷面을 대상으로 하여 측정하였고 割裂의 단계에 따라 4등분하였으며 割裂이 발생한 本數의 百分率을 조사하였다.

3.2.2.2.1 橫斷面割裂 단계

- E₁ : 微細割裂 5개 이하 發生
- E₂ : 微細割裂 6~10개 發生
- E₃ : 微細割裂 + 스프리트 發生
- E₄ : 大割 + 스프리트 發生

3.2.2.2.2 表面割裂 단계

- S₁ : 表面割裂 2개 이하 發生
- S₂ : 表面割裂 3~4개 發生
- S₃ : 表面割裂 5~10개 發生
- S₄ : 表面割裂 11개 이상 發生

3.2.2.3 內部割裂, 너비굽음 및 찌그러짐 : 乾燥終了 후 절단된 단면상에 발생한 內部割裂의 개수와 크기 및 너비굽음의 최대높이를 측정하였으며, 板材의 最大와 最小 두께를 측정하여 그 差를 찌그러짐의 정도로 나타내었다.

3.2.2.4 乾燥스케줄 檢正 : 推定 乾燥스케줄을 適用하여 건조한 供試板材의 無缺點材面이 90% 이상일 때 適正 건조스케줄로 판정하였다.

4. 結果 및 考察

4.1 乾燥스케줄 推定

두께 2.0cm 試驗片을 急速乾燥試驗한 결과 乾燥損傷의 단계는 初期割裂, 斷面變形 및 內部割裂 모두 輕微하여 두께 2.5cm 板材에 대한 推定 乾燥스케줄 코드번호는 T₁₂-E₅이고 最終含水率 10%까지의 推定 乾燥日數는 2日이었다.

推定 乾燥스케줄의 함수율 단계별 乾燥溫度와 乾濕球溫度差는 表 1의 내용과 같다.

4.2 乾燥스케줄 適用

4.2.1 人工乾燥曲線

初期含水率에서 最終含水率까지의 乾燥時間에 따른 함수率變化를 나타내는 人工乾燥曲線은 각 두께별로 그림 1~3의 내용과 같다.

두께 2.0cm 板材의 경우 初期含水率 127.2%에서 最終含水率 7.3%까지의 乾燥時期는 45시간이었으며, 두께 2.5cm 板材는 초기함수율 95.0%에서 최종함수율 9.7%까지의 건조시간이 45시간이고 두께 3.0cm 板材는 초기함수율 118.5%에서 최종함수율 10.0%까지의 건조시간은 54시간이었다. 推定된 乾燥日數 2日과 두께 2.5cm 板材의 乾燥時間은 거의 一致하였다.

두께별 乾燥速度는 表2의 내용과 같았으며, 두께 2.5cm 板材의 건조속도를 기준으로 할 때 2.0cm 板材의 약 0.7배, 그리고 두께 3.0cm 板材의 약 1.1배에 달하였다.

Table 1. Estimated kiln-drying schedule of 2.5cm-thick hydrid aspen

Moisture content(%)	Dry bulb temperature(°C)	Wet bulb depression(°C)	Wet bulb temperature(°C)	EMC (%)	RH (%)
Green-60	70	5.5	64.5	11.9	77
60-50	70	8.0	62.0	9.7	68
50-40	70	11.0	59.0	8.0	59
40-35	70	20.0	50.0	5.2	35
35-30	70	28.0	42.0	3.3	23
30-End	75	28.0	47.0	3.4	26

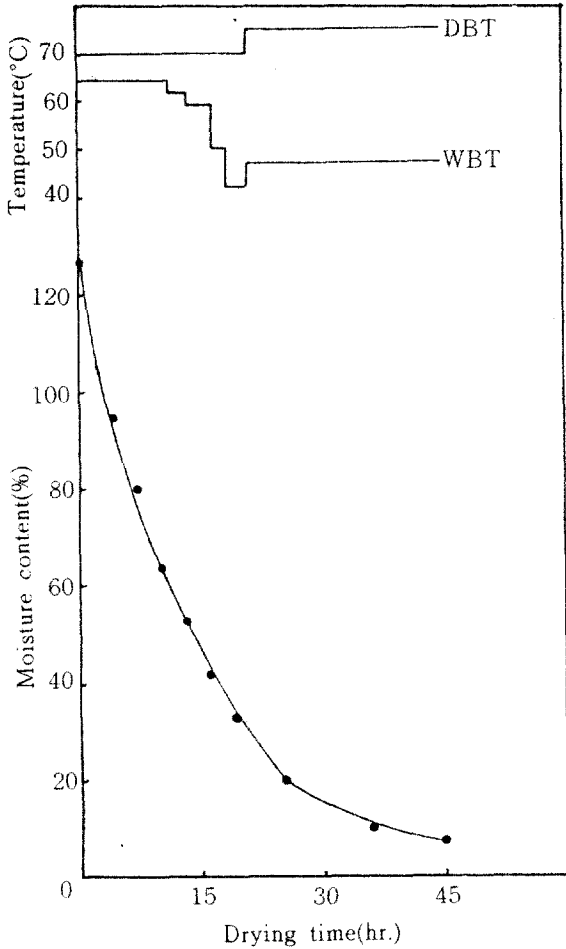


Fig. 1. Kiln drying curve of green 2.0cm-thick lumber.

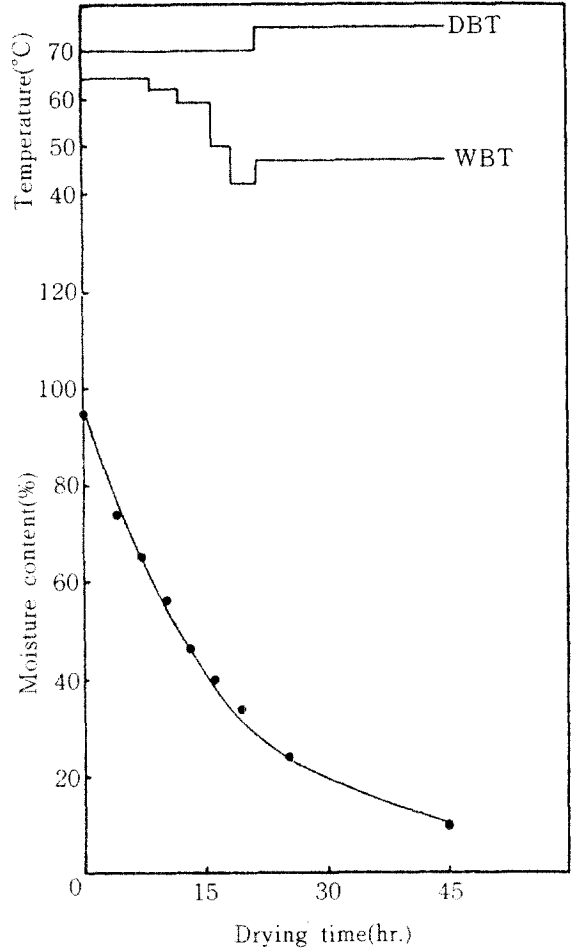


Fig. 2. Kiln drying curve of green 2.5cm-thick lumber.

4.2.2 乾燥缺陷

4.2.2.1 橫斷面割裂과 表面割裂

含水率變化에 따른 板材의 두께별 橫斷面割裂의 發生狀況은 表 3과 같으며, 두께 2.0cm 板材의 경우 含水率 95% 수준에서 일부 板材에 橫斷面割裂이 나타나기 시작하여 含水率 53% 수준에서 最大에 도달하였고 두께 2.5cm 板材의 경우에는 含水率 74% 수준에서 일부 板材에 횡단면할렬이 나타나기 시작하여 含水率 46% 수준에서는 모든 板材에 발생하였으며 含水率 41% 수준에서 최대에 도달하였다. 또한 두께 3.0cm 板材의 경우에는 100% 수준에서 일부 板材에 횡단면할렬이 나타나기 시작하여 含水率 70% 수준에서는 모든 板材에 발생하였고 含水率 60% 수준에서 최대에 도달하였다. 그리고 모든 板材는 最大橫斷面割裂이 나타난 含水率 수준 이후에는 橫斷面割裂이 점차 감소

하여 乾燥終期에는 肉眼으로 관찰할 수 없었다.

그러나 表面割裂은 全 乾燥期間에 걸쳐 모든 板材에서 발생하지 않았다.

이상과 같은 결과에 의하면 두께 2.5cm 板材에 대하여 推定된 乾燥스케줄이 두께 3.0cm 板材에 대하여도 적당함을 알 수 있었으나, 橫斷面割裂의 發生을 억제하기 위해서는 乾燥初期의 乾濕球溫度差를 약간 줄여서 보다 높은 相對濕度條件을 적용할 필요가 있다.

4.2.2.2 内部割裂, 너비굽음 및 찌그러짐

乾燥終了后 内部割裂, 너비굽음 및 찌그러짐을 조사한 결과는 表4와 같다.

内部割裂의 경우 세두께의 모든 板材에서 나타나지 않았다.

너비굽음의 경우 두께 2.0cm 板材는 1.43mm, 두께 2.5cm 板材는 0.09mm, 그리고 두께 3.0cm

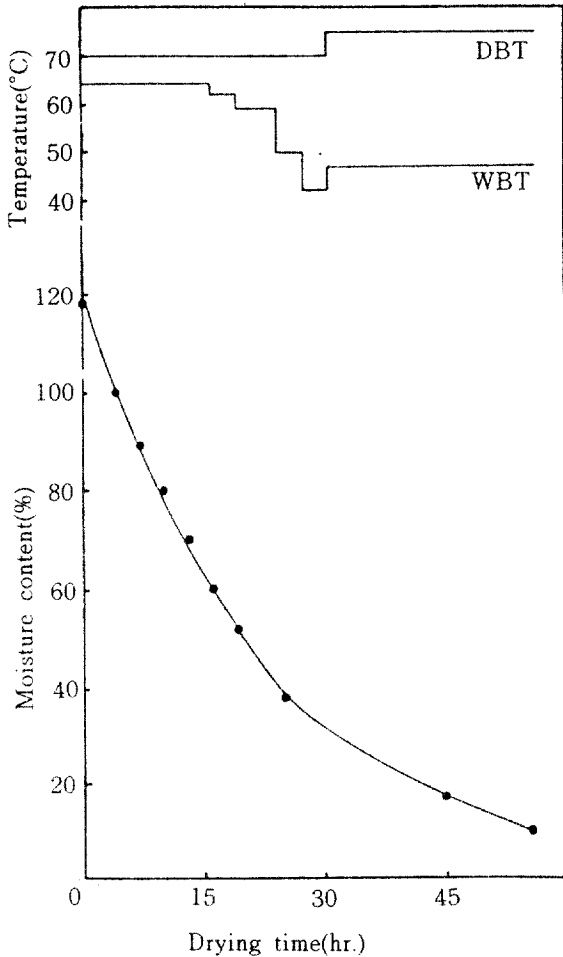


Fig. 3. Kiln drying curve of green 3.0cm-thick lumber.

Table 2. Drying rate of different thicknesses of hydrid aspen lumber.

Thickness (cm)	MC. 90 to 30%		MC. 30 to 10%		Average drying rate (%/hr.)
	Drying time (hr.)	Drying rate (%/hr.)	Drying time (hr.)	Drying rate (%/hr.)	
2.0	16.8	3.57	15.6	1.28	2.47
2.5	20.4	2.94	24.0	0.83	1.80
3.0	23.4	2.56	24.6	0.81	1.67

板材는 0.05mm를 나타내어 板材가 얇을 수록 약간 심한 너비굽음을 나타내었다.

찌그러짐의 경우 두께 2.0cm 板材는 0.03mm 두께 2.5cm 板材는 0.16mm, 그리고 두께 3.0cm 板材는 0.13mm를 나타내어 매우 輕微하였다.

그리고 모든 乾燥材의 品等은 1등급이었다.

5. 結 論

은수원사시材를 대상으로 急速乾燥法에 의해 두께 2.5cm 板材에 대한 人工乾燥스케줄을 推定하고 이 乾燥스케줄을 두께 2.0cm, 2.5cm, 그리고 3.0cm 板材에 適用試驗한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두께 2.5cm 板材의 急速乾燥法에 의한 推定 乾燥스케줄은 T₁₂-E₅였다.

2. 두께 2.0cm 板材(含水率 127.2%)의 最終含水率 7.3%까지의 乾燥時間은 45時間이고, 두께 2.5cm 板材(含水率 95.0%)의 最終含水率 9.7%까지의 乾燥時間은 45時間이었으며, 두께 3.0cm 板材(含水率 118.5%)의 最終含水率 10%까지의 乾燥時間은 54時間이었다.

3. 두께 2.5cm 板材의 乾燥速度를 기준으로 할 때 含水率 90%에서 10%까지의 乾燥速度는 두께 2.0cm 板材 경우의 약 0.7배, 그리고 두께 3.0cm 板材 경우의 약 1.1배였다.

4. 두께 2.0cm 板材의 橫斷面割裂은 含水率 95% 수준에서 나타나기 시작하여 53%수준에서 最大에 달하였고, 두께 2.5cm 板材는 含水率 74% 수준에서 나타나기 시작하여 41% 수준에서 最大에 달하였으며, 두께 3.0cm 板材는 含水率 100% 수준에서 나타나기 시작하여 60% 수준에서 最大에 달하였다.

5. 表面割裂은 全 乾燥期間에 걸쳐 모든 板材에

서 발생하지 않았으며, 乾燥終了時 内部割裂도 나타나지 않았다.

6. 乾燥終了후 너비굽음 및 찌그러짐의 발생 정도는 輕微하였으며, 모든 乾燥木材는 1등급에 속하였다.

Table 3. Open end check by current moisture content of different thicknesses of hydrid aspen lumber

Thickness (cm)		Moisture content(%)	95	81	64	53	42	33	20	7
			2.0	Percentage of board checked	13	19	44	50	50	19
		Amount of check	E ₁	E ₁	E ₁ -E ₂	E ₁ -E ₂	E ₁	E ₁	-	-
2.5		Moisture content(%)	74	65	56	46	41	34	24	10
		Percentage of board checked	38	88	88	100	100	81	44	0
		Amount of check	E ₁ -E ₂	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₂	E ₁	-
3.0		Moisture content(%)	100	89	80	70	60	52	38	17
		Percentage of board checked	20	46	87	100	100	87	80	0
		Amount of check	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₃	E ₁ -E ₂	E ₁ -E ₂	-

*No surface check occurred.

Table 4. Amount of drying defects occurred

Thickness (cm)	Collapse			Cupping (mm)
	Max. (mm)	Min. (mm)	Difference (mm)	
2.0	1.99	1.96	0.03	1.43
2.5	2.47	2.31	0.16	0.09
3.0	2.93	2.80	0.13	0.05

* No honeycomb occurred.

引用文獻

1. Rasmussen, E.F. 1961. Dry Kiln: Operator's manual. USDA For. Ser. Agri. Handbook No. 188.
2. 林業試驗場. 1970. 木材乾燥試驗. 主要試驗業績(1960-1970): 212-214.
3. 朴相珍外. 1975. 林試年報 22: 47-58.
4. Huffman, D.R. and M.Y. Cech. 1976. Kiln drying 1-inch aspen. Can. For. Ind. Aug. 1976.
5. McMillen, J.M. and E.M. Wengert. 1978. Drying eastern hardwood lumber. USDA For. Ser. Agr. Handbook No. 528: 42.

6. 鄭希錫. 1982. 木材乾燥學, 先進文化社
7. 山林廳. 1983. 山林廳 告示 第8號: 製材規格
木材保存 1(3): 19-39.
8. 寺澤 眞, 筒本卓. 1983. 木材の人工乾燥. 日本
木材加工技術協會
9. 姜善求外. 1984. 林試研報 31: 64-85.
10. 姜善求外. 1985. 林試研報 32: 88-110.
11. 姜善求外. 1986. 林試研報 33: 67-91
12. 鄭希錫, 沈載鉉. 1986. 木材工學 14(1): 45-
54.