

낙엽송과 잣나무재의 推定乾燥스케줄

박 종 수¹⁾ · 김 수 창²⁾

The Estimated Drying Schedules of *Larix leptolepis* and *Pinus koraiensis*

Jong - Su Park¹⁾, Su - Chang Kim²⁾

要 約

낙엽송과 잣나무의 판재두께별 乾燥特性을 파악코져 100°C에서 急速乾燥를 실시하여 건조중 含水率과 乾燥經過, 乾燥速度, 初期割裂, collapse, 内部割裂등의 乾燥缺陷을 조사하여 推定乾燥스케줄을 작성한 결과는 다음과 같다.

乾燥時間別 乾燥中 含水率은 판재두께가 얇을수록 급속한 곡선적 減少를 나타내었고 含水率 20%에서 낙엽송의 乾燥速度는 잣나무재보다 크고, 판재두께가 두꺼울수록 적었다. 推定乾燥스케줄을 작성한 결과 낙엽송은 잣나무재에 비해 乾燥條件을 완화하게 해야 하고 판재 두께가 두꺼운 5cm, 6cm에서는 乾燥初期의 條件을 가장 완화하게 해야 함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This study was carried out to estimate drying schedules of *Larix leptolepis* and *Pinus koraiensis* by oven-drying at 100°C which aimed to elucidate the characteristics such as current moisture content, drying process, initial check, collapse, internal check and drying rate during drying following each board thickness (2, 3, 4, 5, 6cm), the results were summarized as follows:

Current moisture content of each board showed a rapid drying curve with the decrease of board thickness. At 20% moisture content, the drying rate of *Larix leptolepis* was higher than that of *Pinus koraiensis* and the drying rate of boards was lower with the increase of board thickness. From the estimated drying schedules, the initial conditions of drying of *Larix leptolepis* had to be milder than those of *Pinus koraiensis* and the boards thickness of 5cm, 6cm had to be most mild conditions.

Key words : Drying schedules, Initial check, Internal check, Collapse

1) 강원대학교 대학원 임산가공학과 Dept. of Wood Science & Technology, Graduate School, Kangwon National University

2) 강원대학교 임과대학 임산가공학과 Dept. of Wood Science & Technology, College of Forestry, Kangwon National University

I. 緒 論

목재는 수종에 따라 조직과 물성이 서로 다르므로 건조특성도 달라진다. 건조특성은 건조속도와 건조결함의 발생 등을 나타내며 건조스케줄은 목재의 건조특성에 따라 정해진다. 목재는 수종에 따라 건조하기 쉬운재, 건조하기 어려운재, 할렬이 발생하기 쉬운재, 휨이 일어나기 쉬운재 등 각각의 특성을 지니고 있으므로 수종 및 두께에 따라 건조시 적절한 건조스케줄을 선정하여야 한다.

乾燥스케줄의 원형은 미국임산물 연구소 Tor-geson¹⁰⁾이 제창한 含水率 變化에 입각한 건조스케줄과 독일의 Keylwerth⁹⁾의 건조경사에 입각한 건조스케줄등이 主流를 이루고 있으나 전자가 널리 사용되고 있다.

乾燥스케줄 작성에 관한 研究는 Torgeson¹⁰⁾이 건조가 어려운 참나무류를 열기건조시에 乾燥缺陷을 최소화하는 溫度와 濕度에 관해 보고한 바 있으며, Rasmussen⁸⁾은 미국 임산물 연구소의 研究 結果와 다른 학자의 研究 結果를 종합하여 미국산 주요 수종의 두께별 乾燥스케줄을 보고 하였다. 또한, McMillen⁶⁾은 미국 동부산 활엽수재의 乾燥스케줄을 보고 하였다.

乾燥스케줄의 難點을 타게코져 寺澤²⁾은 일본 목재의 일정한 크기의 시험재를 100°C의 全乾用 乾燥器에 넣어 急速 乾燥法과 그리고 건조

초기에 割裂의 難易를 판단코져 조각칼로 섬유와 직각방향으로 절삭하여 절삭편의 곡률 반경의 크기에 따라 乾燥 初期條件을 부여하는 목재 건조스케줄의 간이 결정법에 대해 보고한 바 있다.

우리나라에서는 朴¹⁾과 丁⁴⁾이 감나무등 樹種의 활엽수재를 100°C 急速 乾燥法을 적용하여 割裂의 정도와 乾燥時間을 측정하여 개략적인 연구특성을 보고한 바 있다. 따라서, 본 연구에서는 高溫 100°C에서 急速乾燥法으로 침엽수재인 낙엽송과 잣나무재에 대하여 건조특성을 조사하고 두께별 推定乾燥스케줄을 作成하고자 본 연구를 실시하였다.

II. 材料 및 方法

1. 供試樹種

본 研究를 실시하기 위하여 採取된 供試樹種은 본 대학교 연습림(강원도 춘천시 동산면 봉명2리 2林班 나小班)에서 生育狀態가 良好한 낙엽송(*Larix leptolepis*)과 잣나무(*Pinus koraiensis*)를 1주씩 選定하여 採取하였으며 林地의 地形은 약 60°의 경사를 이루고 있으며 해발은 400m 정도이다. 供試樹種의 개요는 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of examined materials

Scientific name	D. B. H(cm)	Tree age	Locality
<i>Larix leptolepis</i>	25.1	16	Bongmyung Chuncheon Kangweon-Do
<i>Pinus koraiensis</i>	30	35	Bongmyung Chuncheon Kangweon-Do

2. 供試片 製作

각 수종별로 흉고직경 25.1cm(낙엽송), 30cm(잣나무), 재장 1m인 통직한 原木을 推定乾燥

스케줄의 研究를 위한 供試片 가로(20cm)×세로(10cm)×두께(2, 3, 4, 5, 6cm)로 10개씩 製作하였다.

3. 實驗方法

1) 乾燥方法

100±5°C로 조정된 恒溫乾燥器內에서 最終含水率이 약 1%에 도달 예정시간까지 급속건조를 실시하였다.

2) 乾燥經過

① 乾燥中含水率과 最終含水率

乾燥中 含水率은 供試片의 初期含水率과 供試片의 乾燥前 生재무게로부터 供試片의 全乾무게를 계산한 다음, 건조중 무게는 건조시간을 1시간 간격으로 5회, 2시간 간격으로 3회, 4시간, 8시간, 16시간 간격으로 각 2회씩 측정하였고, 乾燥時間이 긴 것은 32시간 건조를 하여 供試片의 건조중 含水率을 계산하였다. 그리고 最終含水率은 건조가 끝났을 때에 供試片의 최종무게를 측정하여 全乾法으로 구하였다.

② 乾燥速度

乾燥速度는 두께 2, 3, 4, 5, 6cm의 판재를 대상으로 하여 Turkia(1968)가 제시한 방법을 채용하여 아래식으로 구하였다.

$$r = (dg/dt) \times (1/W_o)$$

r : 乾燥速度 (H₂O (g) / W_o (g) · hr)

g : 除去된 水分量 (g)

t : 乾燥時間 (hr)

W_o : 供試片의 全乾무게 (g)

3) 乾燥缺陷

① 初期割裂

이들 割裂은 건조시간 1, 2, 4, 8, 16시간 간격으로 측정하였고, 측정한 면은 양 橫斷面과 材面중에서 割裂이 가장 심한 면을 選別, 割裂의 수량을 측정하여, Fig. 1에 의해서 初期割裂의 段階를 定하였다.

② 内部割裂

供試片의 무게변화가 거의 없는 最終含水率 1%에 到達하면 측정용 시편을 切斷하여 두 橫斷面에서 内部割裂이 가장 심한 단면을 택하여 内部割裂의 수량과 길이를 조사하였고, Fig. 2에 의해서 内部割裂의 단계를 定하였다.

③ Collapse

Collapse(찌그러짐)는 最終含水率이 1%에 달되었을때 절단된 供試片을 Fig. 3에 나타난

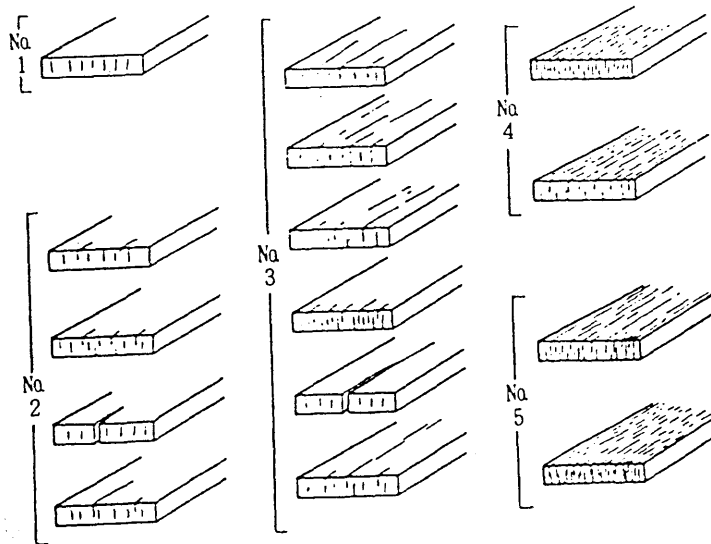


Fig. 1. The steps of initial check.

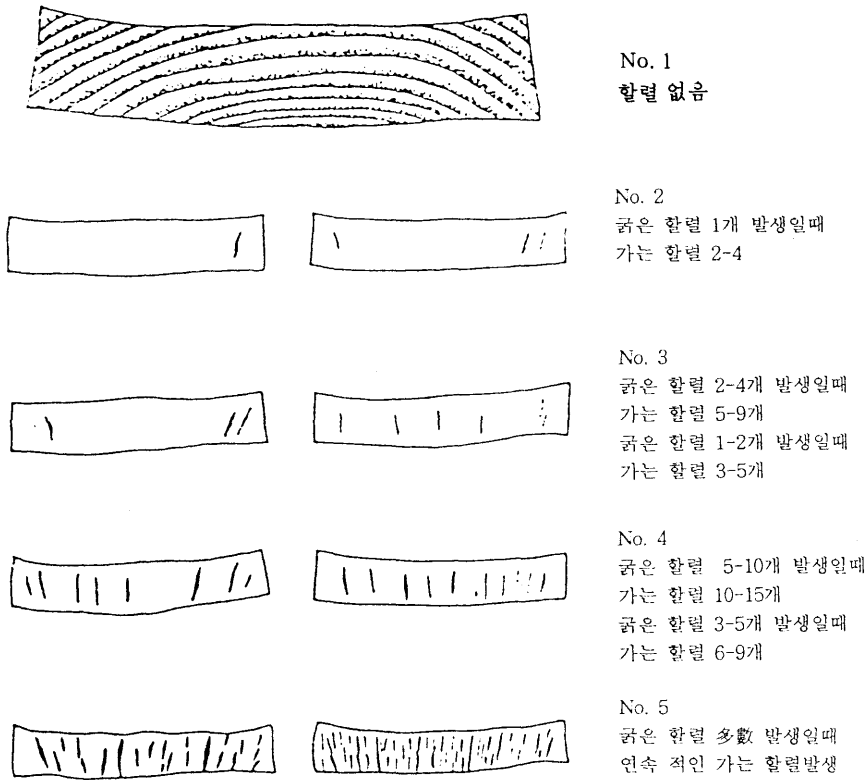


Fig. 2. The steps of internal check.

바와 같이 切斷面에 板斷面의 각의 두께가 A 각에서 1cm 정도 들어간 판재의 두께감소가 가장 큰 곳의 두께 B를 측정, Table 2에 의하여 단면의 collapse 단계를 決定하였다.

Table 2. The steps of collapse

Step of collapse	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
A-B(mm)	0~0.4	0.5~0.9	1.0~1.9	2.0~3.4	3.5~

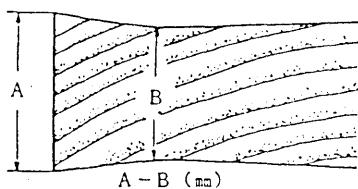


Fig. 3. The measurement of collapse for section.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 含水率과 乾燥速度

1) 含水率

낙엽송과 잣나무재의 初期含水率과 最終含水率 약 1%에 이르는데 요하는 乾燥時間 그리고 乾燥時間別에 따른 乾燥中 含水率 變化는 Fig. 4-1, 2와 같다. 初期含水率은 두 樹種과 판재 두께별로 相異하였다. 모든 판재의 平均含水率은 낙엽송 84%, 잣나무 104%이며 동일 樹種內에서도 판재두께에 따라 初期含水率은 약간의 차이를 나타내고 있다.

乾燥中 含水率은 건조시간 경과에 따라 급속히 減少하고 있으며, 특히 판재의 두께가 얇을수록 含水率의 減少는 보다 급속히 變化하고

있었다. 낙엽송과 잣나무재의 初期含水率에서 最終含水率 약 1%까지 건조소요시간은 판재두께가 두꺼울수록, 초기함수율이 높을수록 그리고 건조중 함수율의 변화가 느린 수종일수록 길었다.

2) 乾燥速度

낙엽송과 잣나무재의 두께별 乾燥速度는 Fig. 5-1, 2와 같이 두께 4cm, 5cm, 6cm에서는

乾燥初期에 恒率乾燥를 나타내고 있으나, 두께 2cm, 3cm에서는 乾燥初期부터 減率乾燥를 나타내었다. 두 수종간의 乾燥速度를 含水率 20%에서 비교하면 乾燥速度는 낙엽송 4.4%/hr, 잣나무 2.5%/hr 였다. 따라서 잣나무재의 건조속도가 낙엽송재에 비해 적으므로 건조소요시간이 길었으며 또한 판재의 두께가 두꺼울수록 건조속도가 적어짐을 알 수 있었다.

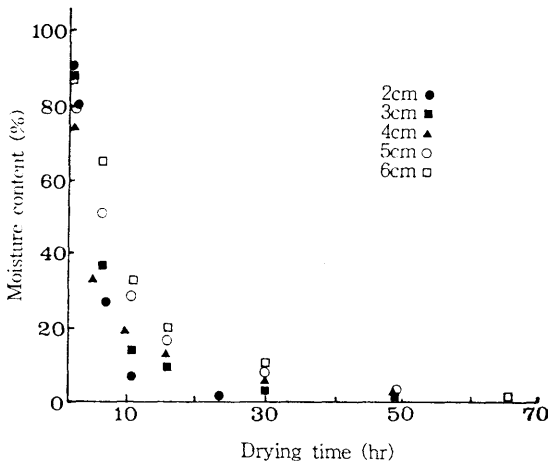


Fig. 4-1. Drying curve by 100°C oven-drying of *Larix leptolepis*.

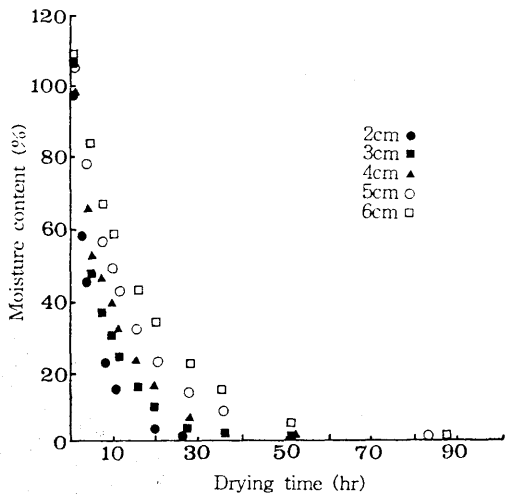


Fig. 4-2. Drying curve by 100°C oven-drying of *Pinus koraiensis*.

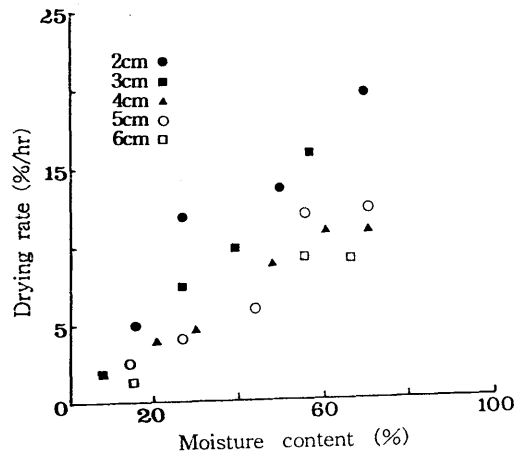


Fig. 5-1. Drying rate of each thickness at different moisture content of *Larix leptolepis*.

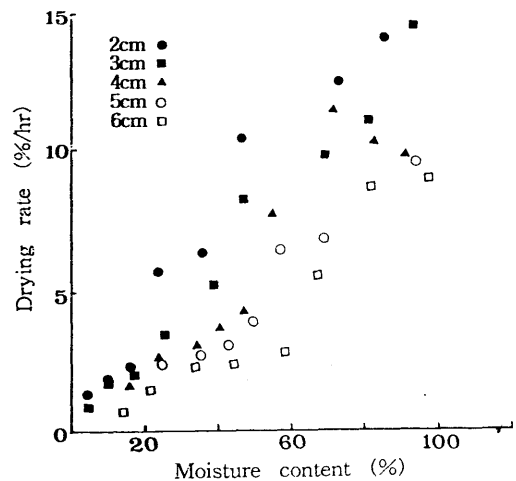


Fig. 5-2. Drying rate of each thickness at different moisture content of *Pinus koraiensis*.

2. 乾燥缺陷

lapse 및 内部割裂에 대하여 구한 結果는 Table 4와 같다.

본 實驗結果 乾燥初期의 割裂, 斷面의 col

Table 4. Drying defects of examined materials

Species	Thickness (cm)	Drying defects		
		Initial check	Collapse	Internal check
Larix leptolepis	2 (A)	No. 4	No. 3	No. 1
	(B)	No. 4	No. 1	No. 1
(A)	3 (A)	No. 4	No. 3	No. 1
	(B)	No. 4	No. 1	No. 1
	4 (A)	No. 4	No. 3	No. 1
	(B)	No. 4	No. 1	No. 1
Pinus koraiensis	5 (A)	No. 5	No. 4	No. 1
	(B)	No. 4	No. 1	No. 1
(B)	6 (A)	No. 5	No. 5	No. 1
	(B)	No. 5	No. 1	No. 2

1) 初期割裂

낙엽송과 잣나무재의 乾燥時間別 初期割裂 (Initial Check)의 發生量과 最大量의 發生시기는 Fig. 6-1, 2와 같다. 두 수종간의 初期割裂의 發生量과 最大量의 發生時期는 많은 차이를 나타내고 있었다. 즉, 초기할렬의 발생량은 잣나무보다 낙엽송이 심하게 나타났으며 초기할렬의 최대발생량은 낙엽송이 잣나무에 비해 짧은 건조시간내에 나타났다. 또한, 동일 樹種内에서도 판재두께사이에는 판재가 두꺼울수록 초기할렬의 발생량은 많았고, 최대발생량도 장기간 건조한 다음에 나타나는 傾向을 알 수 있었다.

2) 内部割裂

낙엽송과 잣나무재의 두께별 内部割裂(In-

ternal Check)은 Table 4와 같이 잣나무재의 두께 5cm, 6cm 판재를 제외하고는 No. 1으로 거의 内部割裂이 발생하지 않았다.

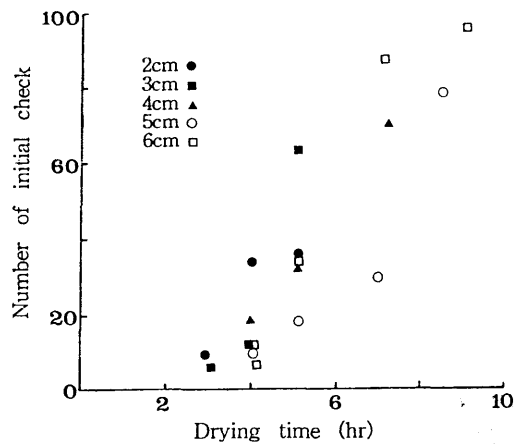


Fig. 6-1. Number of initial check of each thickness at different drying time of Larix leptolepis.

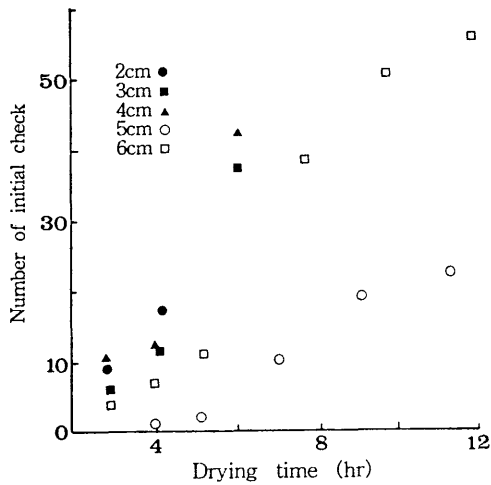


Fig. 6-2. Number of initial check of each thickness at different drying time of *Pinus koraiensis*.

3) Collapse

두 수종간에 발생한 collapse는 Table 4와 같이 낙엽송이 평균 No. 4, 잣나무는 No. 1이었다. 또한, 동일 수종내에서의 판재두께 사이에도 잣나무는 두께에 관계없이 collapse는 거의 발생하지 않았고, 낙엽송은 판재의 두께가 두꺼울수록 collapse가 크게 발생함을 알 수 있었다.

3. 두께별 推定乾燥스케줄

낙엽송의 두께별 推定乾燥스케줄을 작성하기 위하여 Table 4의 결과를 Table 5에 적용시켜 각각의 乾燥缺陷에 대한 건조초기의 두께별 乾燥溫度와 乾濕球溫度差 및 末期溫度를 구하였다.

그 결과 두 수종의 두께별 初期溫度, 乾濕球溫度差 및 末期溫度는 Table 6-1, 6-2와 같다.

위에서 구하여진 乾燥 初期溫度와 末期溫度 조건을 다음 Table 7에 적용시켜 각각의 含水率에 있어서 온도를 구한 다음에 건조초기의 乾濕球 온도차를 Table 8의 스케줄에 대하여 初期含水率을 고려하여 각 두께별 含水率에 있어서 乾濕球 溫度差를 구하였다. 그리고 Table

9-1, 9-2와 같이 推定乾燥스케줄을 작성하였다.

구해진 추정건조스케줄은 낙엽송은 판재두께 2cm T₆-D₂, 3cm T₆-D₂, 4cm T₆-C₂, 5cm T₄-D₂, 6cm T₃-D₂이고 잣나무는 판재두께 2cm T₆-D₂, 3cm T₆-E₂, 4cm T₆-C₂, 5cm T₆-E₂, 6cm T₄-E₂이다.

따라서 판재두께가 두꺼운 5cm, 6cm에서는 건조초기의 조건을 가장 완화하게 해야함을 알 수 있었다.

III. 結 論

낙엽송과 잣나무의 판재두께별 乾燥特性을 파악코저 100°C에서 急速乾燥를 실시하여 건조중 含水率과 乾燥經過, 乾燥速度, 初期割裂, collapse, 内部割裂등의 乾燥缺陷을 조사하여 推定乾燥스케줄을 작성한 결과는 다음과 같다.

1. 乾燥時間別 乾燥中 含水率은 판재두께가 얇을수록 급속한 곡선적 減少를 나타내었다.
2. 含水率 20%에서 낙엽송의 乾燥速度는 잣나무재보다 크고, 판재두께가 두꺼울수록 적었다.
3. 잣나무재에 비해 낙엽송의 初期割裂의 발생시기는 빨리 나타나고 심하였다.
4. 初期割裂의 발생량은 판재두께가 두꺼울수록 심하였고 늦게 발생하는 傾向이 있었다.
5. 内部割裂은 거의 발생하지 않았다.
6. Collapse의 발생량은 낙엽송이 크고, 두꺼운 판재일수록 collapse 발생량이 많았다.
7. 推定乾燥스케줄을 작성한 결과 낙엽송은 잣나무재에 비해 乾燥條件을 완화하게 해야 하고 판재 두께가 두꺼운 5cm, 6cm에서는 乾燥初期의 條件을 가장 완화하게 해야 함을 알 수 있었다.

Table 5. Drying condition by the steps of defects(unit : °C)

Drying defect	Drying condition	Steps of defects				
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Initial check	Temp. of first condition	70	60	65	50	45
	Wet bulb depression	7.0	5.0	3.0	2.0	2.0
	Temp. of last drying	95	90	80	80	80
Collapse	Temp. of first condition	70	60	55	50	45
	Wet bulb depression	4.0	5.0	4.0	3.0	2.5
	Temp. of last condition	95	80	80	75	70
Internal check	Temp. of first condition	70	55	50	50	45
	Wet bulb depression	7.0	5.0	4.0	3.0	2.5
	Temp. of last condition	95	80	75	70	70

Table 6-1. Estimated drying conditions of *Larix leptolepis*

	Temp. of first Drying					Wet bulb depression					Temp. of last Drying				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Initial check	50	50	50	45	45	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	80	80	80	80	80
Collapse	55	55	55	50	45	4.0	4.0	4.0	3.0	2.5	80	80	80	75	70
Internal check	70	70	70	70	70	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	95	95	95	95	95
Estimated drying condition	50	50	50	45	45	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	80	80	80	75	70

A : 2cm B : 3cm C : 4cm D : 5cm E : 6cm

Table 6-2. Estimated drying conditions of *Pinus koraiensis*

	Temp. of first Drying					Wet bulb depression					Temp. of last Drying				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Initial check	50	50	50	45	45	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	80	80	80	80	80
Collapse	70	70	70	70	70	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5	95	95	95	95	95
Internal check	70	70	55	55	55	7.0	7.0	7.0	5.0	5.0	95	95	95	80	80
Estimated drying condition	50	50	50	50	45	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	80	80	80	80	80

A : 2cm B : 3cm C : 4cm D : 5cm E : 6cm

Table 9-1. The estimated schedule of each thickness of *Larix leptolepis*

Moisture content (%)	Temperature (°C)					Wet-bulb depression				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
87~50	50	50		45	45	2.0	2.0		2.0	2.0
76~40			50					2.0		
50~40	50	50		45	45	3.0	3.0		3.0	3.0
40~35	50	50	50	45	45	4.5	4.5	3.0	4.5	4.5
35~30	50	50	50	45	45	8.0	8.0	4.5	8.0	8.0
35~25					50					11
30~25	55	55	55	50		11	11	8.0	11	
25~20	60	60	60	55	55	14	14	11	14	14
20~15	65	65	65	60	60	17	17	14	17	17
15~終末	80	80	80	75	70	28	28	28	28	28

A : 2cm B : 3cm C : 4cm D : 5cm E : 6cm

Table 9-2. The estimated schedule of each thickness of *Pinus koraiensis*

Moisture content (%)	Temperature (°C)					Wet-bulb depression				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
120~60		50		50	45		2.0		2.0	2.0
60~50		50		50	45	3.0		3.0	3.0	
100~50	50		50			2.0		2.0		
50~40	50	50	50	50	45	3.0	4.5	3.0	4.5	4.5
40~35	50	50	50	50	45	4.5	8.0	4.5	8.0	8.0
35~30	50	50	50	50	45	8.0	11	8.0	11	11
30~25	55	55	55	55	50	11	14	11	14	14
25~20	60	60	60	60	55	14	17	14	17	17
20~15	65	65	65	65	60	17	20	17	20	20
15~終末	80	80	80	70	70	28	28	28	28	28

A : 2cm B : 3cm C : 4cm D : 5cm E : 6cm

參 考 文 獻

1. 박상진, 이용대, 조재명, 정병재. 1975. 특용합엽수재의 인공건조 schedule(I) 입업시험장연구보고. 22 : 47-58
2. 寺澤眞. 1965. 목재공업 Vol. 20(5)
3. 林業試驗場. 1968. 試驗研究報告書. pp. 981~1014
4. 정병재, 이은철, 오광인, 김종영. 1973. 수출용 목재가공품의 품질개선에 관한 연구
5. Keywerth, R. 1951. Holz Roh-Werkstoff. 9(7)
6. McMillen, J.M. and Wengert, E.M. 1978. U.S.D.A. Forest Serv. Agri. Handbook No. 528
7. McMillen, J.M. 1968. Accelerated kiln-drying of presurfaced 1 inch northern red oak. U.S.D.A. Forest service, Forest prod. Lab. Note 122
8. Rasmussen, E.F. 1961. Dry Kiln. U.S. D.A. Forest Serv. Agri. Hand book No. 188
9. Simpson, W.T. 1976. Steaming northern red oak to reduce kiln-drying time. Forest Prod. J26(10) : 35 - 36
10. Torgeson, O.W. 1951. What precaution will minimize seasoning defects in kiln of green oak lumber. U.S. Dept. Agr. Forest Serv. R.D. 176 : 9-11.