

리기테다소나무와 백합나무(yellow poplar)의 열기건조스케줄 개발

이관영 · 강호양*¹ · 정성호 · 정두진*²

Development of Kiln-Dry Schedules for
Pinus rigida × *taeda* and *Liriodendron tulipifera*

Kwan-Young Lee, Ho-Yang Kang*¹, Sung-Ho Jung
and Doo-Jin Jung*²

ABSTRACT

Pinus rigida × *taeda* and *Liriodendron tulipifera* have been planted in this country for about 20 years. They are known as a relatively fast-grown and useful species. The physical properties such as green moisture contents, specific gravities and dimensional shrinkages were examined with natively grown timbers. The kiln-dry schedules were developed with 30mm thick boards by using an oven-fast-drying method. In both species the green MC's of sapwoods were higher than those of heartwoods, but their discrepancies were small. The green specific gravities of *Pinus rigida* × *taeda* and *Liriodendron tulipifera* were 0.48 and 0.41~0.42, respectively. The developed kiln-dry schedules were proven to minimize drying defects for the boards of 30mm thickness and various width.

keywords: *Pinus rigida* × *taeda*, *Liriodendron tulipifera*, kiln-dry schedule, oven-fast-drying method,

*¹ 충남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Dae-Jeon 305-764, Korea

*² 임업연구원 임산공학부 For. Prod. Div., Forestry Research Institute, Seoul 130-012, Korea

1. 서 론

우리나라는 목재자원의 부족으로 인하여 목재 수요량의 90%이상을 수입하여 사용하고 있다. 이러한 목재들은 사용장소의 평형함수율까지 반드시 건조하여 하는데, 그렇지 않으면 가공 중 목재가 터지거나 뒤틀리는 등 여러 형태의 건조결함이 발생함으로써 손실을 초래할 뿐만 아니라, 최종 제품의 품질이 저하되므로 생산비 상승요인이 되기도 한다.

특히, 성능이 우수한 목재건조실에서도 목재 건조의 성패는 건조실 조작기술뿐만 아니라 적정 건조스케줄의 적용여부에 달려있다. 우리나라의 목재업체는 선진국에 비해 목재 건조 역사가 짧아 기술축적이 미흡한 것이 사실이며, 산업체의 건조기술교류도 잘 이루어지지 않고 있을 뿐만 아니라 활용 가능한 연구자료의 부족으로 건조기술자의 경험에 의존하고 있는 실정이다. 목재자원 면에서 양질의 목재는 차츰 고갈되어 가고 있으므로 저급 목재나 현재 국내에 조림되어 있는 미이용수종을 사용하도록 노력하여야 한다.

리기테다 소나무(*Pinus rigida* × *taeda*)와 백합나무(*Liriodendron tulipifera*)는 국내에 많이 조림되어 있으나 아직 충분히 이용되지 못하고 있다. 리기테다는 리기다소나무와 테다소나무의 교잡으로 병충해에 강하고 성장이 빠르다. 백합나무는 미국에서 도입한 수종으로 미국남부에 많이 조림되어 있으며 미국에서는 가구용재, 무늬목 등에 사용되고 있다 (Osborn, et al., 1992). 국내토질에서도 비교적 성장이 빠른 것으로 알려져 가로수로 사용될 뿐만 아니라 산림청에서 유용수종으로 조림을 장려하고 있다.

이 두 수종의 효율적 이용을 위해 현재 임업연구원에서 물리적 특성규명에 관한 연구가 수행 중에 있으며 (박병수 외, 2000) 본 논문도 이 연구의 일부이다.

본 논문에서는 위에 언급한 두 수종의 건조와 관련된 성질, 즉 생재비중, 방향별 수축율 등의 물리적 성질을 조사하였으며, 오븐급속건조법을 이용하여 추정 건조스케줄을 찾고 건조결과를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

2.1.1 공시판재

리기테다 소나무 원목은 충청남도 산림환경연구원 시험림에서 백합나무 원목은 경기도 화성군 임목육종부 어천시험림에서 벌채하였다. 벌채된 원목은 즉시 임업연구원으로 운반되어 그곳에서 판목체재 하였다. 공시판재는 모두 30mm두께였으며 폭은 150~250mm로 다양하였다.

2.1.2 오븐급속건조 및 물리적 성질 시험

마디, 웅이, 할렐등의 결함이 없는 생재상태의 판목판재를 사용하여 급속건조시험과 물리적 성질조사 시험을 같은 판목에서 절취하였다. 寺澤의 오븐급속건조법(정, 1990)을 위한 공시시험은 원래 두께 20mm, 폭 100mm, 길이 200mm의 판목판재이어야 하나, 이보다 큰 규격을 사용하더라도 적정건조조건을 추정하는데 별다른 지장이 없다는 판단으로 공시시험의 치수를 조정하지 않고 그대로 사용하였다 (표 1). 두께와 폭이 두껍고 넓은 수록 건조시간이 오래 걸리고 결함이 더 많이 발생하기 때문에 더 안전한 건조조건을 찾을 수 있기 때문이다.

초기함수율과 생재비중 시험의 규격은 가로, 세로, 두께 각각 30mm였으며, 수축율 시험의 규격은 섬유방향 길이 10mm, 방사방향과 접선방향 길이 각각 30mm 였다..

Table 1. Dimensions of the fast-dried specimens at 100℃

Species	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)
rigitaeda pine	380	210	30
yellow poplar	390	210	30

2.1.3 추정건조스케줄 공시판재

오븐급속건조시험을 통해 얻어진 추정건조스케줄을 검증하기 위해 사용한 공시판재의 규격은 길이 940mm, 폭 210mm, 두께 30mm로 가능한한 실대재에 가깝도록 하였다. 마구리 할열을 예방하기 위해 초산비닐수지에밀전 접착제로 end-coating하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1 물리적 성질 조사

본 실험에서는 여러 가지 목재의 물리적 성질 중 생재함수율, 세방향 수축율 그리고 생재비중이다. 수축율은 시편에 방사방향, 접선방향을 표기하여 오븐건조 전후에 같은 자리의 치수를 측정하여 구하였다.

생재비중은 전건무게-생재부피를 기준으로 구하였다. 생재부피는 침지법으로 비이커의 무게를 달아 측정하였다.

2.2.2 오븐급속건조시험

寺澤이 제시한 오븐급속건조법(정, 1990)을 사용하여 건조손상을 조사하였다. 생재 시험재를 100℃ 오븐에 넣고 급속건조를 실시하면서 횡단면 및 표면할열이 최대로 형성되는 상태를 관찰하였으며 건조완료된 시험재의 증양을 절단하여 단면변형을 측정하여 판정기준에 따라 구분하였다.

2.2.3 건조시간추정

건조시간은 다음과 같이 산출하였다. 건조재의 무게가 변하지 않는 최종무게를 전건무게로 하여 건조 중 측정된 무게로 함수율을 산출한 후 건조시간과 함수율의 편대수 건조곡선을 그렸다. 건조곡선에서 건조초기를 제외한 중기이후 변화를 직선으로 보고 건조개시부터 함수율 1%가 될 때까지의 시간을 구하여 이를 함수율 1%까지의 건조소요시간으로 하였다.

2.2.4 건조스케줄의 조제

건조스케줄은 미국인산물연구소의 온도스케줄과 초기함수율 구분기준, 활엽수재의 온도스케줄, 침엽수재의 온도스케줄을 적용하였다 (FPL,

1988). 급속건조시험에서 얻은 추정건조 스케줄의 초기온도 및 말기온도로써 건구온도를 구분하고 공시재의 생재함수율로써 초기함수율을 구분하며, 초기건습구 온도차로서 온도스케줄을 구분하였다.

건조조건 중 첫 번째의 변화는 건습구 온도차이므로 스케줄 조합표에 건습구 온도차의 단계번호를 기록하되 건구온도는 조절 시험재의 평균함수율이 30%까지는 변화하지 않으므로 온도단계번호는 필요한 만큼 반복해서 적었다.

온도 스케줄 번호는 건습구온도차에 의해 온도 단계에 따라 적용하되 활엽수재의 온도스케줄에서 6단계 이상이 될 때는 마지막 단계의 건습구온도차를 반복 적용하였다.

이상과 같이 건조스케줄을 조제한 후 각 함수율 단계별로 건습구 온도차를 조절하면서 단위시간당 건조속도 및 건조결함을 측정하고 이에 의해 건조스케줄 적용시험을 실시하였다. 추정건조스케줄은 적용시험 결과 중 건조결함이 발생되지 않고 가장 건조시간이 짧은 스케줄로 결정하였다.

2.2.5 추정건조스케줄 시험 건조기

추정건조스케줄 시험에 사용된 건조기는 전기식 열기건조기로 잔적공간은 폭 1000mm, 깊이 800mm, 높이 700mm였다. 최대재간풍속은 8m/sec이며, 가습장치로는 최대압력 5기압인 보일러가 별도로 부착되어 가습시 증기를 분무시키도록 되어있다.

2.2.5. 내부할열조사

모든 시험재는 실험 후 3 또는 5cm 길이로 횡절하여 육안으로 내부할열 유무를 판별하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물리적 성질

표2는 리기테다 소나무와 백합나무의 심재와 변재의 생재함수율, 수축율, 생재비중을 보여주고 있다. 수축율은 두 수종 모두 접선방향이 방사방향의 두배에 가깝다. 또, 두 수종 모두 생재함수율

Table 2. Green moisture contents, shrinkages and specific gravities based on green volume and oven-dry weight of rigitaeda pine and yellow poplar specimens.

Species	Green MC (%)	Shrinkage(%)			S _g	
		Longitudinal	Radial	Tangential		
rigitaeda pine	heartwood	93.7±5.4*	0.1±0.1	5.5±0.2	9.0±0.3	0.479±0.004
	sapwood	104.9±8.2	0.2±0.1	4.5±0.4	8.3±0.3	0.476±0.004
yellow poplar	heartwood	70.0±4.4	0.1±0.1	5.0±0.2	9.1±0.2	0.406±0.003
	sapwood	97.6±4.8	0.1±0.1	4.5±0.2	8.7±0.3	0.422±0.017

* sample standard deviation

은 변재가 심재보다 높은 값을 나타내고 있으나 그 차이는 적었다.

리기테다 소나무는 심변재간 생재비중 차이를 나타내지 않았으나 백합나무는 변재의 생재비중이 심재보다 크게 나타났다.

3.2. 추정스케줄의 조제

3.2.1 리기테다 소나무

100℃ 오븐 급속건조시험에서 건조초기 마구리에 잔 할렬이 많이 나타났으나 건조 후 시험편을 한쪽 마구리부터 3cm 간격으로 절단한 결과 이 할렬들이 표면 또는 내부할렬로 진행되지 않았으며 할렬은 주로 변재 부위에서 발생하였음이 밝혀졌다. 따라서 초기최대할렬은 1단계로 판정되었다. 또, 공시재가 충분히 건조된 후에 시편을 오븐에

서 꺼내 중량을 절단하여 단면변형과 내부할렬을 조사하였다. 찌그러짐이 거의 일어나지 않아 단면 변형은 1단계로 판정되었으며, 내부할렬이 전혀 보이지 않으므로 내부할렬도 1단계로 판정되었으며 추정건조시간은 49.2시간이었다. 이러한 건조 조건을 가지고 미국임산물 연구소의 침엽수 건조 스케줄에 적용하여 표3과 같이 T12-D7의 추정 건조스케줄을 얻었다.

표3의 추정건조스케줄을 적용하여 실제 건조를 실시한 결과 함수율10%에 도달하는데 약 49 시간이 걸렸다 (그림 1). 건조가 끝난 뒤 한쪽 마구리에만 약간의 할렬이 보였으나, 공시판재를 5cm 간격으로 절단해본 결과 내부할렬은 보이지 않았으나 약간의 틀어짐이 있었다. 소나무 판재의 틀어짐은 일반적인 현상으로 잔적을 할 때 같은 두께

Table 3. Estimated kiln-dry schedule for 30mm thick rigitaeda pine boards (T12-D7).

Drying steps	MC (%)	Temperature (℃)		
		Dry-bulb	Wet-bulb	Wet-bulb
1	Green ~ 50	70	59	11
2	50 ~ 40	70	56	14
3	40 ~ 35	70	53	17
4	35 ~ 30	70	50	20
5	30 ~ 25	75	55	20
6	25 ~ 20	75	55	20
7	20 ~ 15	80	60	20
8	15 ~end	80	52	28

의 잔목을 사용하여 균일하게 쌓고 잔적 상부에 하중을 가해주면 예방할 수 있다. 그러나, 본 연구에 사용된 열기건조로는 소형으로 상부에 하중을 쌓을 공간이 없었다.

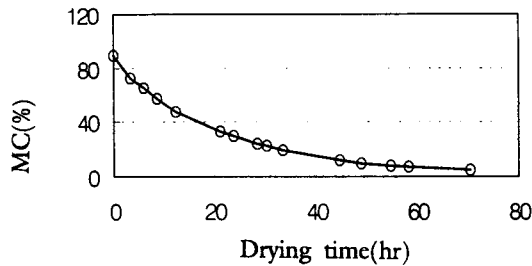


Fig 1. A drying curve of rigitaeda pine boards with 30mm thickness and various width using a drying schedule of T12 - D7.

3.2.2 백합나무

10℃ 오븐 급속건조실험에서 백합나무도 건조 초기 마구리에 잔 할렬이 많이 나타났으나 건조 후 3 cm 길이의 내부할렬 시편을 조사하였더니 내부할렬이 발견되지 않았다. 리기테다 소나무와 마찬가지로 할렬은 주로 변재 부위에서 발생하였으며, 초기최대할렬은 1단계로 판정되었다. 공시재

가 충분히 건조되었다고 생각되었을 때 시편을 오븐에서 꺼내 중앙을 절단하여 단면변형과 내부할렬을 조사하였으나, 찌그러짐이 없었으므로 단면변형은 1단계로 판정되었으며, 내부할렬이 전혀 보이지 않으므로 내부할렬도 1단계로 판정되었으며, 추정건조시간은 55.5시간이었다. 판정된 내용에 따라 미국임산물 연구소의 활엽수 건조스케줄을 적용하여 표4와 같이 T14 - D7의 추정건조스케줄을 얻을 수 있었다.

표4의 추정건조스케줄을 적용하여 건조를 실시한 결과 함수율 10%에 도달하는데 약 48시간이 걸렸다 (그림2). 또, 건조가 끝난 후 시편을 살펴본 결과 한쪽 마구리 약간의 할렬이 있었으나, 내부할렬과 단면변형은 없었으며 약간의 너비 굽음이 있었다. 이는 공시목이 소경목이었기 때문에 나타난 것으로 판재 양면의 수축을 차이가 클 때 나타난다. 건조를 실시하려고 판재의 두께가 균일하지 못하여 잔적의 잘못이 생긴 것이었다. 잔목을 균일하게 쌓고 잔적 상부에 하중을 가해주면 어느정도 예방할 수 있다.

USDA에서 권장하는 백합나무의 건조스케줄 (Boone et al., 1933)은 T11-D4 로 본 연구에서 찾은 T14-D7 보다 느린 스케줄이다. USDA 권장 건조스케줄로 건조하였을 때도 마찬가지로 내부할렬과 단면변형은 없었으며 약간의 너비 굽음이 있었다.

Table 4. Kiln-dry schedule for 30mm thick yellow poplar boards (T14-D7).

Drying step	MC (%)	Temperature (℃)		
		Dry-bulb	Wet-bulb	Wet-bulb depression
1	Green ~ 50	70	59	17
2	50 ~ 40	70	53	22
3	40 ~ 35	70	48	28
4	35 ~ 30	80	52	28
5	30 ~ 25	90	62	28
6	25 ~ 20	90	67	28
7	20 ~ 15	95	67	28
8	15 ~	95	11	28

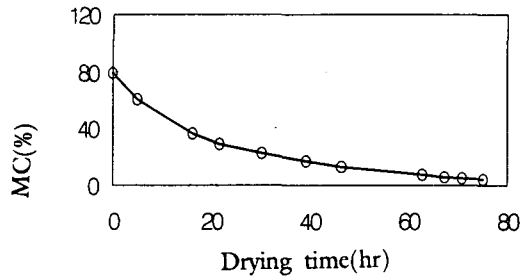


Fig 2. A drying curve of yellow poplar boards with 30mm thickness and various width using a drying schedule of T14-D7.

4. 결 론

리기테다 소나무(*Pinus rigida* × *taeda*)와 백합나무 (*Liriodendron tulipifera*)의 목재건조와 관련된 생재비중, 목재 삼방향의 수축을 등 물리적 성질을 조사하고, 오븐급속건조법으로 이들 수종의 30mm 두께 판재의 건조특성과 추정건조스케줄을 찾고, 건조스케줄을 검증하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 리기테다 소나무와 백합나무 모두 심재와 변재의 생재함수율은 적지만 분명한 차이를 보였다.
2. 리기테다 소나무의 평균 생재비중은 심변재 모두 0.48이었으며 백합나무는 심재는 0.41, 변재는 0.42였다.
3. 寺澤의 오븐급속건조법은 추정건조스케줄을 찾는 데 유용하였으며, 개발된 추정건조스케줄로 30mm 두께 판재를 건조한 결과 두 수종 모두 건조결함없이 건조할 수 있었다.

5. 참 고 문 헌

1. Boone, R.S. et al. 1933. Dry Kiln Schedules for Commercial Woods. Forest Products Society, Madison.
2. FPL. 1988. Dry Kiln Operator's Manual. Hardwood Research Council, Memphis, Tennessee.
3. Osborn, L. C.Gatchell and C.Hassler. 1992. West virginia yellow-poplar lumber defect database. USDA Northeastern Forest Experiment station Research Paper NE-660.
4. 박병수, 정두진, 정성호, 홍인표. 2000. 백합나무의 심재특성. 2000년 목재공학회 정기총회 및 학술발표회 (4월 21-22일), 임업연구원:21-25.
5. 鄭希錫. 1990. 木材乾燥學. 先進文化社, 서울: 239-243.