

일본잎갈나무 正角材의 高溫乾燥 溫度가
內部溫度, 乾燥速度 및 乾燥缺陷에 미치는 影響*1

이준호*2 · 정희석*2

Effects of Drying Temperature on Internal
Temperature, Drying Rate and Drying Defects for
Japanese Larch in High-Temperature Drying*1

June-Ho Lee*2 · Hee-Suk Jung*2

ABSTRACT

This study was executed to test the possibility of replacement for domestic Japanese larch (*Larix leptolepis*) for hardwoods, and to acquire the information about the effects of drying temperature on internal temperature, moisture content and drying defects.

In high-temperature drying, internal temperature increased rapidly to boiling point, immediately after that point the internal temperature rising rate was reduced. In the case of drying at temperature of 125°C, internal temperature could reach at boiling point in a very short time.

Moisture content in high-temperature drying showed constant drying rate period and first period of falling rate drying together in 4 hours since experiment begun. There was no strong correlation between initial moisture content and final moisture content. Average drying rate at 115°C, 120°C and 125°C was 1.42%/hr, 1.88%/hr and 2.02%/hr, respectively; the case of drying temperature of 125°C showed most rapid drying rate.

Drying rate of 125°C was so rapid that it showed more severe shrinkage, bow, collapse, end check, and internal check development than in other drying conditions.

The result of this study showed the strong possibility of high-temperature drying for Japanese larch, and to dry Japanese larch optimally, dry bulb temperature should not exceed 120°C.

Keywords: High-temperature drying, internal temperature, moisture content, drying rate, drying defects

*1 접수: 1997년 10월 29일 Received October 29, 1997

*2 서울대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

1. 서 론

목재는 인간이 오래전부터 사용해왔고 친밀감과 따뜻한 함을 느낄 수 있는 소재로서 많이 사용하는 재료이다. 그러나 생재는 부후하기 쉽고 사용중에 휘거나 틀어지는 등 결점을 나타내어 사용에 난점이 있기 때문에 이러한 결점의 해결책으로 목재를 건조하여 사용하여 왔다. 하지만 천연건조와 관행열기건조는 건조기간이 너무 길어서 자본을 빨리 회전할 수 없는 단점이 있어서 건조시간의 단축과 경제성 향상을 제고하기 위한 새로운 건조방법으로서 고온 건조(high-temperature drying)를 시행하게 되었다.

관행열기건조법과는 달리 고온건조법은 물의 비등점 이상에서 건조하는 방법으로서 목재 내부의 수분을 수증기 확산의 형태가 아닌 유동역학적 압력(hydrodynamic pressure)에 의해 건조되기 때문에 빠른 건조를 가능케 한다. 고온건조의 장점으로는 관행열기건조에 비하여 보다 건조속도가 빠르며, 에너지 소비가 적고, 건조 후의 목재 성질에서 강도 저하 등의 악영향을 끼치지 않으면서 건조 후에는 목재가 안정되는 점 등의 우수한 건조 능력을 나타내고, 또한 고온건조는 낮고 균일한 함수율에 도달하는 데에 효과적이면서 용이한 방법이고 경제적인 면에서의 장점으로 인해 선호되는 건조 방법이 되고 있다. 그러나 방부처리재에는 적용하지 않는 것이 좋다는 특징이 있으며 내부할렬이 발생하기 쉬운 단점이 있다.

세계의 관심이 환경 보존에 많은 주목을 하게 되면서 열대활엽수의 생산과 이용이 많은 제약이 받게 되었고, 우리나라도 산림녹화에 성공한 시점에서 그동안 다량 조립되어왔던 국산 일본잎갈나무의 이용도 제고의 한 방안으로서 경제적인 장점이 많은 고온건조법에 의하여 변장 5cm의 정각재를 고온건조 3온도 조건(115℃, 120℃ 및 125℃)을 적용하여 온도가 각재의 내부온도와 함수율 변이에 미치는 영향과 이에 따른 건조결함을 조사하여 일본잎갈나무에 대한 고온건조의 적용성을 가능하고자 본 실험을 실시하였다.

Wengert(1971)는 12 수종의 활엽수를 관행열기건조와 고온건조 조건에서 건조하여 품질 저하를 비교하였다. 230°F(110℃)의 고온건조를 2일 동안 실시한 결과 관행열기건조의 경우에 비해 굽음이 증가하지 않았음을 보고하였다. 또한 열기건조에 비해 일주일 혹은 그 이상 건조기간을 단축하였다. 하지만 수낭(wet pocket)을 지닌 사시나무의 경우에는 내부할렬이 발생하였다. 고온건조시 일단 품질 저하가 발생하면 그 정도는 관행열기건조보

다 더욱 심하게 나타난다고 보고하였으며 천연건조로서 함수율 25%이하로 조절하거나 정상건조로서 함수율 20% 이하로 조절한 후 고온건조하면 좋은 성과가 있을것이라 보고하였다.

Koch(1973)은 Southern pine을 건조온도 240°F(116℃)와 건조구 온도차 80°F(27℃), 재간 풍속 1000fpm으로 건조하였을 때 두께 2, 3 및 4inch의 경우 10%의 함수율에 도달하는 데에 각각 22.4, 35.6 및 45.3시간이 소요되었음을 보고하였다.

Boone(1984)는 활엽수 12수종에 대해 230°F(110℃)에서 고온 건조를 실시하여 내부할렬이 일반적으로 나타나는 결점이었고, 그 외에도 굽음과 찌그러짐이 내부할렬, 표면할렬과 함께 나타났으며, 이러한 결점들은 용이, 수, 鑿條痕, 변색과 관련이 있음을 보고하였고, Taylor는 245°F(118℃)에서 pole을 고온건조하여 몇몇 경우에 있어서는 수분이 표면을 향해서 이동할 뿐만 아니라 중심을 향해서 이동하기도 한다고 보고하였으며, Erickson(1984) 등은 7/4 paper birch flitch를 건조온도 240°F(116℃), 습구온도 190°F(88℃)에서 함수율 7~8%까지 고온건조하였다. 표면경화는 없었으며, 심재에서만 내부할렬과 찌그러짐이 발생했다고 보고하였다. Williams와 Kininmonth(1984)는 라디아타 파인을 고온건조할 때에 고온건조의 건조조건으로 건조 온도 115℃ 혹은 그 이상과 습구 온도 70℃를 추천하면서, 120℃/80℃를 최적의 일반적 스케줄이라고 추천하였고, 또한 Maeglin과 Liu, Boone(1985)는 Yellow poplar를 고온건조 조건 200°F, 240°F, 260°F 및 290°F(93℃, 116℃, 127℃ 및 143℃)를 적용하여 고온건조 시험편 사이에 equalizing 처리와 무처리, 생재 시험편 사이에 응력이 뚜렷한 상관관계를 나타내지 않았음을 보고하였다.

Boone(1986)은 red maple을 230°F(110℃)에서 고온건조하였는데, 함수율 45%에서 고온건조를 개시하였을 때에는 건조시간을 60%, 함수율 20%에서 개시하였을 때에는 30%의 건조시간을 관행열기건조에 비해 단축시킬 수 있었다고 보고하였고, McCollum(1986)은 고온건조시 생산성이 높아졌고 관행 열기건조보다 에너지 소비가 적었다고 보고하였다. 이러한 이유로 고온건조는 수익성도 좋을 수 있다고 하였으며, Gerhard(1986)은 Southern pine을 최고온도 82℃의 관행열기건조와 1일 미만의 기간동안 116℃에서 고온건조하여 고온건조가 load duration에 미치는 영향을 평가하여 고온건조는 load duration에 특별한 영향을 미치지 않았음을 보고하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료 및 기기

2.1.1 시험편

일본잎갈나무 (*Larix leptolepis*) 원목 5개에서 변장 5cm, 길이 60cm의 정각재를 제작하였고 시험편의 수량은 각 온도에 20본씩 총 60본을 사용하였다. 실험에 사용된 시험편의 초기함수율과 생체비중 및 기초 성질은 표 1과 같다.

2.1.2. 고온건조실과 오븐

고온건조를 위해 내부 크기 117cm×65cm×47cm, 최고 온도 250℃, 건조구온도의 정도 ±0.5℃인 소형고온건조실을 이용하였고, 함수율과 비중을 측정하기 위해서는 103±1℃를 유지할 수 있는 오븐을 사용하였다.

2.1. 자동온도기록계

고온건조 중 내부 온도는 ±0.1℃의 정밀도를 지닌 12채널의 자동온도기록계에 constantan-copper 열전쌍을 연결하여 연속적으로 측정하였다.

2.1.4 기타 기기

시험편의 고온건조 중 건조속도와 최종함수율을 측정하기 위해 정밀도 2g의 직시전자천칭을, 함수율 시편과 비중 시편의 중량을 측정하는 데에는 정밀도 0.001g의 저울을 사용하였다. 시험편의 길이, 폭 및 두께 측정과 수축율의 측정을 위해 정도 0.01mm의 Mitutoyo사의 Digimatic Caliper를 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 잔적과 건조조건

잔적하기 전에 횡단면의 수분 증발을 억제하기 위하여 흰색 유성 페인트로 엔드코팅 한 후 시험편을 두께 2cm와 폭 2.5cm인 잔목을 사용하여 한 단에 4시험편씩, 5단으로 잔적하였다. 열전쌍을 삽입한 시험편은 잔적의 최하부에 위치시켜 건조가 끝날 때까지 건조실에서 꺼내지 않았다.

고온건조의 조건은 건구온도 115℃, 120℃와 125℃로, 풍속은 5m/s를 적용하였다.

2.2.2 목재 내부 온도

시험편 재질의 중간부위에서 양 방향으로 2cm 떨어진 곳에 재면으로부터 깊이 5mm, 15mm 및 25mm 지점에 직경 5mm 드릴로 구멍을 뚫은 후 열전쌍을 삽입하고, 실리콘으로 밀봉하였다. 내부온도 측정용 시험편은

Table 1. Basic properties for the specimen used.

Temperature (℃)	Ring width (mm)	Initial MC (%)	Green Sp. Gr.
115	4.05(1.19) ¹⁾	41.97(5.14)	0.52(0.05)
120	4.09(1.27)	40.61(4.43)	0.53(0.04)
125	4.23(2.13)	40.34(4.51)	0.51(0.04)

¹⁾ Round brackets refer to standard deviation.

1온도 20개의 시험편 중 2개의 시험편을 사용하였다.

2.2.3 건조중 함수율

고온건조중 매 4시간 간격으로 시험편을 꺼내어 중량을 측정하였다. 건조 개시부터 4시간까지를 건조 1단계, 4시간부터 8시간까지를 건조 2단계, 8시간부터 12시간까지를 건조 3단계, 12시간부터 16시간까지를 건조 4단계, 16시간부터 20시간까지를 건조 5단계, 20시간부터 24시간까지를 건조 6단계로 구분하여 건조속도를 구하였다. 건조가 끝난 후의 시험편을 횡단면으로부터 20cm 떨어진 부위에서 함수율 시험편을 25mm 두께로 채취하고 전건시켜 최종함수율을 구하여 건조중 함수율을 환산하였다.

2.2.4 횡단면 수축율

건조전 각재 중앙 부위에서 웅이 등의 결점 부위를 피해 인접 2재면 중 연륜 접촉각이 45~90°인 재면을 1재면, 0~45°인 재면을 2재면으로 하여 측정 기준선을 그어놓은 후 고온건조중 매 4시간마다 1재면과 2재면의 길이를 측정하여 각 재면의 두께수축율을 구하고 이들을 평균하여 횡단면 수축율을 구하였다.

2.2.5 건조결함

2.2.5.1 길이굽음

건조가 끝난 시험편을 냉각시킨 후 길이방향으로 가장 많이 휨 부분의 높이를 측정하고 길이에 대한 비율로서 길이굽음을 비교하였다.

2.2.5.2 찌그러짐

건조가 끝난 시험편의 중앙 부위에 측정 기준선을 그은 후 측정 기준선에서의 최대 두께와 최소 두께를 구하고 그 차로써 찌그러짐을 구하였다.

2.2.5.3 횡단면할렬과 내부할렬

횡단면할렬은 횡단면에 생긴 할렬의 개수와 길이를 측정하여 1단면당 평균 개수와 평균 길이를 구하였다. 내부할렬은 시험편의 중앙 부위를 거단한 후 생긴 단면에서의 할렬을 측정해 평균 길이, 폭과 빈도를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 목재 내부온도의 변이

고온건조 온도 115℃, 120℃와 125℃에서 목재 내부 부위별 온도의 변이는 그림 1~4와 같고 목재 내부온도는 비등점에 도달할 때까지 급속히 증가하다가 비등점에 이른 후 완만히 증가하였다. 고온건조중 초기와 중기에는 깊이 5mm 부위의 온도가 가장 높았고, 깊이 25mm 부위에서의 온도가 가장 낮았으나, 건조 말기에는 깊이 5mm, 15mm와 25mm 부위에서의 내부온도가 외주의 온도에 차츰 접근하면서 시험편 전부위에는 거의 균일한 온도 분포를 나타내었다.

내부 각 부위의 평균 내부온도가 비등점에 도달하는데 소요된 시간은 온도 115℃와 120℃의 경우 2시간 30분, 그리고 125℃의 경우에는 1시간 15분으로서, 125℃의 경우 매우 짧은 시간이 소요되어 급속한 건조가 예상되었다. 내부온도 증가가 둔화된 현상은 목재 내부로 전달된 열이 함유수분의 제거에 소모되기 시작한 것으로 사료된다.

Ferguson 등(1994)은 두께 40mm의 라디아타 파인을 120℃에서 고온건조한 경우 비등점까지 도달하는 데에 약 2시간 30분이 소요되었음을 보고하였고, 또한 외주 온도가 상승할 수록 비등점까지 도달 시간이 짧아짐과 건조 말기에 시험편 전체에 균일한 온도 분포를 나타낸다는 보고 내용과 본 연구의 결과는 거의 일치함을 알 수 있었다.

3.2 함수율과 건조속도

3.2.1 함수율 변화

건조온도별 함수율 감소 곡선은 그림 5와 같고, 건조 시간 4시간 경과 후의 함수율은 건조온도 115℃, 120℃와 125℃에서 각각 23.7%, 23.0% 및 21.0%로서 이미 섬유포화점 이하의 함수율을 보여 대부분의 자유수는 건조 초기에 제거되었음을 알 수 있었다. 모든 건조온도에서 함수율 10%까지 도달하는 데에 불과 12시간 밖에 소요되지 않았다. 각 온도에서 최저함수율은 125℃에서 20시간 건조한 경우(2.2%)이고, 120℃는 20시간 건조하여 3.2%, 115℃에서 24시간 건조한 경우에는 다른 온도보다 4시간 더 건조하였음에도 불구하고 3.6%로서 가장 낮았다. 건조 4시간 동안 처음에 항률건조를 거쳐 감률건조 제 1기가 나타났으나, 4시간 이후부터는 감률건조 제 2기가 나타났다. 각각의 구분은 뚜렷하지 않았는데, 이는 초기함수율이 약 40%에 불과해 섬유포화점까

지의 건조에 소요되는 시간이 2시간여 밖에 요구되지 않아, 건조의 대부분이 감률건조에 의해 이루어 졌기 때문이라고 사료된다.

함수율이 섬유포화점까지는 급속하게 감소하다가 그 이후부터는 함수율 감소율이 저하되었는데 Ferguson 등(1994)과 Pang 등(1994)도 일치하는 결과를 보고하였으며, 섬유포화점 이후에는 결합수의 제거에 보다 많은 에너지가 소모되어 자유수보다는 수분의 제거가 용이하지 못하기 때문으로 사료된다. 박 등(1987)이 초기함수율 40%인 소나무재의 고온건조에서 함수율 10%까지 약 12시간이 소요된 보고와 유사한 결과를 나타내었다.

3.2.2 건조속도

건조온도별 건조곡선은 그림 6과 같이 전건조 기간 동안 단위 시간당 평균 건조속도는 건조온도 115℃, 120℃와 125℃의 경우 각각 1.42%/hr, 1.88%/hr 및 2.02%/hr로서 125℃에서 건조한 경우에서 가장 적었다.

또한 건조 4시간 간격 건조속도는 그림 7에 나타난 바와 같이 건조온도 125℃에서 건조한 경우 건조 1단계에서 5.39%/hr로서 최대치를 나타내었고, 가장 낮은 수치는 125℃에서 건조한 경우 건조 4단계의 0.36%/hr이었다. 고온건조 조건 115℃에서는 건조속도가 완만히 감소하는 반면, 125℃에서 건조 초기에 높은 건조속도를 나타내고 건조 말기에 낮은 건조속도를 나타내었다. 이것은 온도가 높아질 수록 건조 초기에 대부분의 건조가 이루어지는 경향을 나타내어, 건조 말기에는 제거해야 할 수분의 잔량이 적기 때문으로 사료된다. 박 등(1987)은 함수율 단계별 건조속도가 초기에는 빠르고 말기에는 감소하는 추세를 보고하여 본 연구내용과 일치함을 나타내었다.

3.3 수축율

고온건조중의 횡단면 수축율의 변이는 그림 7~11에 나타난 바와 같고 고온건조 종료시 수축율은 표 2에 나타난 바와 같다. 횡단면 수축율은 건조 조건 125℃의 경우가 가장 높았고, 115℃의 경우와 120℃의 경우 간에는 비슷하였다. 건조 조건 125℃에서는 건조 초기에 수축이 크게 발생했는데 이것은 125℃에서 건조한 경우 결합수가 건조 초기에 속히 제거됨에 기인한 것으로 사료된다. 건조 종료시까지의 횡단면 수축율은 모두 고온건조 조건 125℃를 적용한 경우가 4.24%로서 가장 높은 수치를 나타내었으며, 고온건조 기간 중 수축율도 급격히 상승하는 경향을 보여 높은 온도를 적용할 수록 수축이 많이 나타났다. 115℃와 120℃의 경우 횡단면 수축율은 각각

4.09%와 3.82%였다. 함수율이 감소함에 따라 횡단면 수축율이 직선적으로 증가하는 경향을 나타내었는데, 특히 건조온도 125℃에서 높은 상관관계를 나타내었다.

McCullum(1986)은 고온건조에서 일반적으로 높은 수축율을 나타내는 것은 소재의 세포가 열화됨에 기인한 것이라고 보고하였는데, 고온을 적용할 수록 세포의 열화에 따른 찌그러짐의 발생이 커질 것을 예측할 수 있었다.

3.4. 건조결함

3.4.1 길이굽음

건조 온도별 고온건조재의 평균 길이굽음은 표 2와 같이 건조온도 115℃, 120℃ 및 125℃에서 각각 평균 0.45%, 0.48% 및 0.47%로서 건조온도에 따라 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 온도가 높아질 수록 표준편차는 커져서 고온일수록 길이굽음의 변이가 심하였는데 수분의 급속한 제거에 따른 자연스런 결과라 사료되며, 접선방향과 방사방향의 수축 이방성에 의한 것도 하나의 요인이라 생각된다. 길이굽음의 최소 수치는 고온건조 조건 115℃에서의 0.21%이고, 최대 수치는 1.43%로서 고온건조 조건 125℃에서 나타났다.

Gerhard(1986)은 전형적인 고온건조 조건 116℃에서는 굽음을 야기하는 응력이 소성 유동(plastic flow)에 의해 감소된다고 하였는데, 본 연구에서는 40% 정도에 불과한 낮은 초기함수율로 인해 급속한 건조가 이루어짐으로써 수축에 의한 소성유동에 의해 완화되지 못한 상태에서 건조가 종료되어, 고온의 조건을 적용할 수록 길이굽음이 심한 경향을 나타낸 것으로 사료된다.

3.4.2 찌그러짐

건조온도별 고온건조재의 단면별 찌그러짐은 표 2와 같이 115℃ 고온건조재의 경우 방사단면의 두께에 대한 찌그러짐의 비율이 0.58%로서 가장 낮은 수치를 나타내었고, 고온건조 조건 125℃에서의 접선단면의 1.11%가 가장 높은 수치였다. 115℃에서 방사단면의 찌그러짐이 낮

Table 2. Bow and Collapse developed during high-temperature drying

Drying temperature (°C)	Bow (%)	Collapse (%)	
		Tangential section	Radial section
115	0.45(0.12) ^{*1}	0.79(0.40)	0.58(0.39)
120	0.48(0.17)	0.97(0.37)	0.91(0.63)
125	0.47(0.26)	1.11(0.50)	0.90(0.46)

*1 Values in round brackets refer to standard deviation.

았던 것은 수축율이 낮았던 것에 기인한 것으로 추론되는데, 125℃의 접선방향 수축율과 찌그러짐에도 수축율이 높으면 찌그러짐도 커지는 경향이 나타나, 수축이 크게 발생하면 찌그러짐이 발생할 확률도 높아진다고 할 수도 있다. 또한 건조온도가 높을수록 찌그러짐이 커졌던 것은 목재 내부에 발생한 압축응력이 건조온도에 비례하여 증가하는 반면 목재의 압축강도는 일정한 것에 기인한 것으로 사료된다. 찌그러짐은 변재에서보다 심재에서 발생하기 쉬운 경향이 있어 심재율이 높은 일본잎갈나무에서 고온건조 적용시에 찌그러짐의 완전 방지는 불가능한 것으로 사료되며, 재조습처리(reconditioning)를 통해 원형(原型)으로 약간 회복하는 것이 가능하리라 여겨진다. 또한 Wengert(1971)와 Dry Kiln Operator's Manual에서는 찌그러짐을 방지하기 위해서는 천연건조로서 예비건조한 후 고온건조할 것을 추천하였는데 일본잎갈나무의 경우에도 찌그러짐 방지에 효과가 있을 것으로 사료된다.

3.4.3 횡단면할렬과 내부할렬

고온건조가 종료된 후의 횡단면에서 발생한 할렬은 대부분 춘재에만 나타나는 경향을 나타내었지만, 고온건조 조건 125℃의 경우에는 춘재와 추재에 걸쳐 대형의 할렬이 발생하는 경향을 보였다. 1단면당 발생한 할렬의 개

Table 3. End checks and internal checks developed during HTD^{*1}.

	Temperature (°C)	No. of check at end	Maximum length (mm)	Frequency (%)
End check	115	98.0(29.7) ^{*2}	7.21(4.77)	-
	120	102.8(40.6)	10.72(7.46)	-
	125	106.6(33.8)	8.67(2.77)	-
Internal check	115	-	8	5.56
	120	-	18.5	5.56
	125	-	13.9	33.33

*1 HDT: High-temperature drying, *2 Round brackets refer to standard deviation.

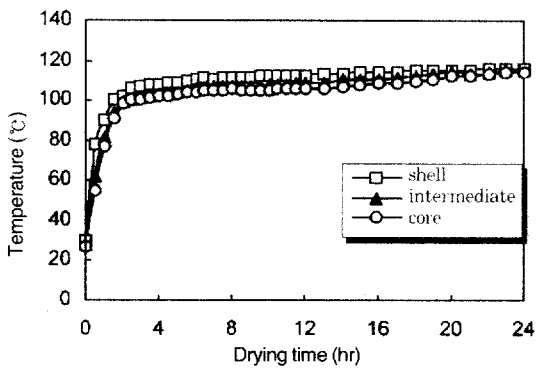


Fig. 1. Temperature of three internal positions for larch square at drying temperature of 115 °C .

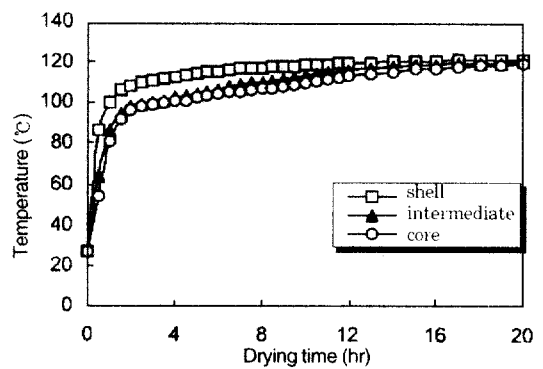


Fig. 2. Temperature of three internal positions for larch square at drying temperature of 120 °C .

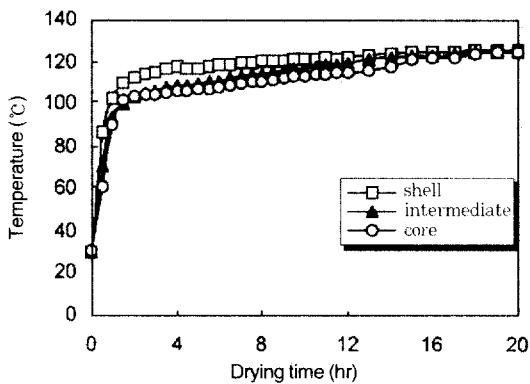


Fig. 3. Temperature of three internal positions for larch square at drying temperature of 125 °C .

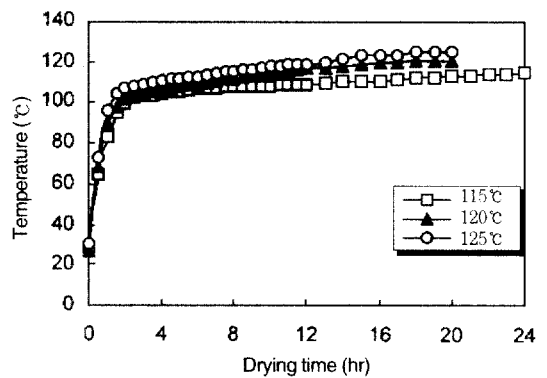


Fig. 4. Average temperature of three internal positions by drying temperature.

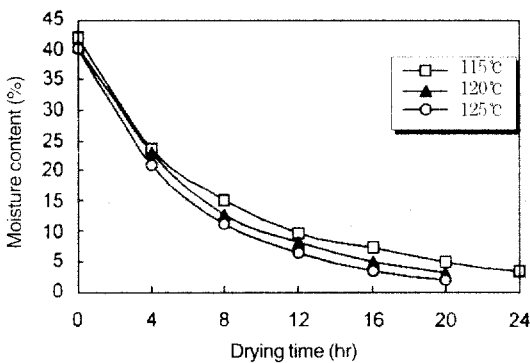


Fig. 5. The change of MC of larch during high-temperature drying.

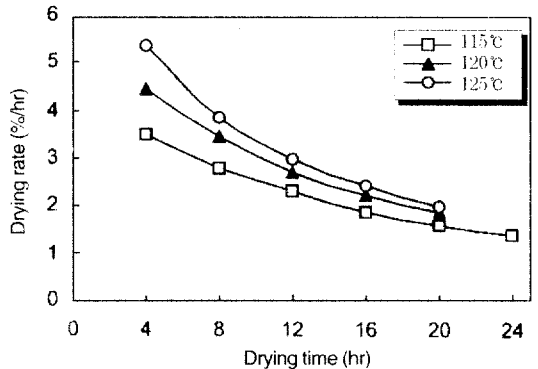


Fig. 6. Drying curves of larch square during high-temperature drying.

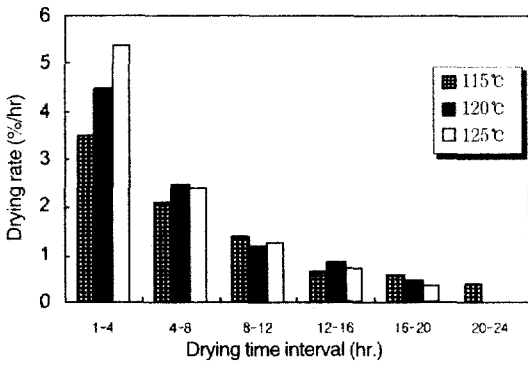


Fig. 7. Drying rate by each drying interval.

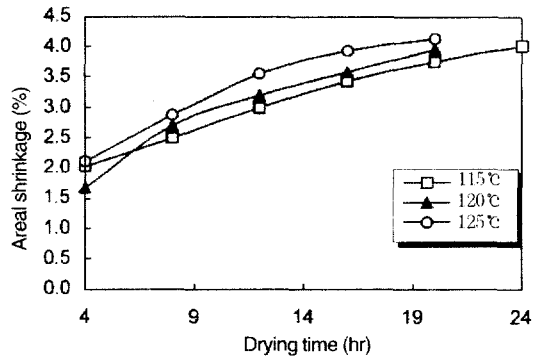


Fig. 8. The change of areal shrinkage of cross section for larch square during high temperature drying.

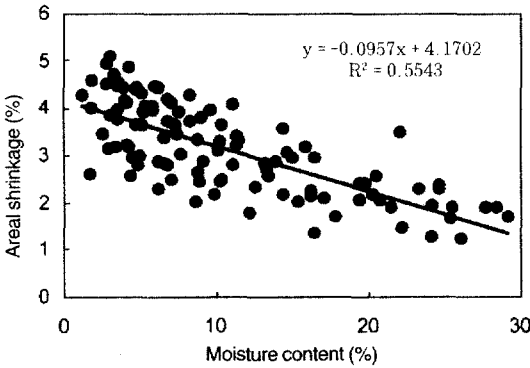


Fig. 9. Relationship between MC and areal shrinkage at drying temperature of 115°C.

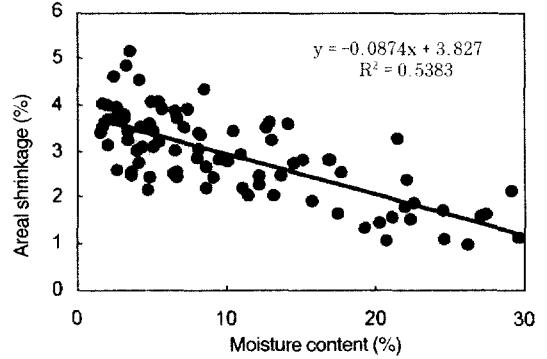


Fig. 10. Relationship between MC and areal shrinkage at drying temperature of 120°C.

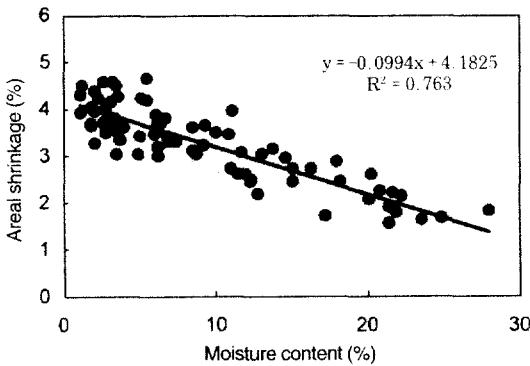


Fig. 11. Relationship between MC and areal shrinkage at drying temperature of 125°C.

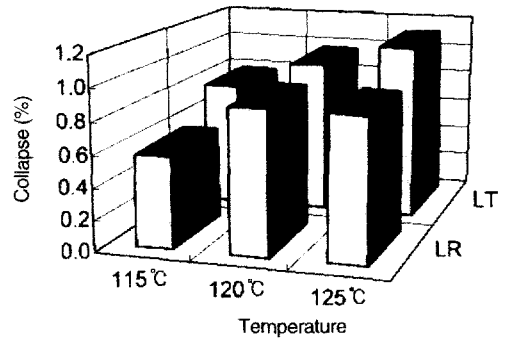


Fig. 12. Degree of collapse by temperatures and sections.

Notes : LR: Radial section, LT: Tangential section.

수는 고온건조 조건 120℃의 경우가 125℃의 경우보다 많았고 평균 최대 길이도 길었지만, 120℃의 경우에는 길이 3mm 미만의 작은 할렬이 많고 큰 할렬이 소량 나타나는 반면 125℃의 경우에는 길이 3mm 미만의 작은 할렬이 줄어드는 대신 길이 10mm 이상의 할렬이 늘어나고 발생한 할렬이 서로 연결되는 양상을 띠었다(표 3). 125℃에서 고온건조한 경우 이러한 현상이 발생하는 것은 강한 건조조건에 의해 건조 초기에 수축이 크게 발생하고 이에 따른 건조응력에 의해 발생한 할렬이 점점 커지면서 건조가 진행됨에 따른 건조응력을 완화시켰기 때문으로 추론된다.

내부할렬은 고온건조 조건 115℃에서는 시험편 중 오로지 1개의 시험편에서 내부할렬이 발견된 반면 125℃의 경우에는 6개의 시험편에서 내부할렬이 발생하여, 고온건조의 조건이 강해지면 건조는 빨리되지만 외관상으로는 발견할 수 없는 내부할렬이 많이 발생해 강도의 저하를 야기할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 결 론

두께 5cm의 국산 일본잎갈나무 정각재에 대해 3온도(115℃, 120℃ 및 125℃)를 적용한 고온건조에서 내부온도가 변이와 함수율 변이, 수축율 및 건조결함에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고온건조중 내부온도는 고온건조 조건 115℃, 120℃ 및 125℃의 모든 경우에서 비등점까지는 급속히 증가하다가 비등점을 지난 후부터 완만히 증가하는 경향을 보였다. 내부온도가 비등점까지 도달하는 시기는 고온건조 조건 115℃의 경우 2시간 30분, 120℃의 경우 2시간 30분, 125℃의 경우에는 1시간 15분이 소요되어 125℃에서 고온건조한 경우에 빠른 내부온도 상승을 보였다.
2. 고온건조중 함수율 변이는 3온도 조건 모두에서 건조 개시 4시간에 항률건조기와 감률건조 제 1기가 나타나 빠르게 함수율이 감소하였다. 가장 낮은 최종함수율은 고온건조 조건 125℃에서 나타났으며 가장 낮은 최종함수율은 고온건조조건 115℃에서 나타나 건조 온도가 상승함에 따라 건조 종료시까지의 최종함수율이 낮아지는 경향을 보였다.
3. 건조 종료시까지의 평균 건조속도는 고온건조 조건 115℃, 120℃ 및 125℃의 경우 각각 1.42%/hr, 1.88%/hr와 2.02%/hr로서 125℃에서 건조한 경우에서 가장 높은 건조 속도를 나타내었다.
4. 횡단면 수축율은 115℃, 120℃와 125℃의 경우 각

각 4.09%, 3.82%와 4.24%로서 125℃에서 고온건조한 경우에서 가장 높은 면적수축율을 나타내었다.

5. 길이굽음은 고온건조 조건 115℃에서 0.448%로서 가장 높은 수치를 보였고, 120℃와 125℃의 경우에는 0.48%와 0.47%로서 수치가 서로 비슷하였다.
6. 찌그러짐의 비율은 115℃에서 고온건조한 경우의 방사단면에서 두께에 대한 평균 비율이 0.58%로서 가장 낮았고, 125℃에서 고온건조한 경우 접선단면에서 1.11%의 수치가 최대였다.
7. 횡단면 할렬은 추체에 주로 발생하였지만 125℃에서 고온건조한 경우에는 할렬의 수가 줄어드는 대신 할렬의 크기가 증가하는 현상을 보였다. 고온건조 조건 115℃에서와 120℃에서는 내부할렬의 발생이 미미하였지만 125℃에서는 대형과 다량의 내부할렬이 발생되어 강도의 저하가 예상되었다.

이상을 종합하여 볼 때 고온건조 조건이 높을수록 건조속도는 빨라지지만 건조결함이 심해지는 경향을 보여 국산 일본잎갈나무의 적절한 고온건조 조건은 건조온도 115℃를 초과하는 것은 바람직 하지못하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. Boone, R. S. 1984. High-Temperature Kiln-Drying of 4/4 Lumber from 12 Hardwood Species. *Forest Prod. J.* 34(3): 10~18
2. Boone, R. S.. 1986. High-Temperature Kiln-Drying Red Maple Lumber Some Options. *Forest Prod. J.* 36(9): 19~25
3. Erickson, R. W., H. D. Peterson, and T. D. Larson. 1984. Obtaining Uniform Final Moisture Content in High Temperature Drying of Paper birches. *Forest Prod. J.* 34(2): 27~32
4. Gerhard, C. C. 1986. High-Temperature Drying of Southern Pine 2 by 4s: Effects on Strength and Duration in Bending. *Wood Sci. Tech.* 20: 349~360
5. Herzberg, B. L., F. W. Taylor, and H. N. Rosen. 1985. Factors Affect the Time Required to High-Temperature Dry Pine Dimension Lumber. *Forest Prod. J.* 35(7/8): 34~36
6. Koch, P. 1973. High-temperature Kilning of Southern Pine poles, Timbers, Lumber and Thick Veneer. *Proceedings of American Wood Preservers Association.* Vol. 69

7. McCollum, M. P. 1986. Effect of High-Temperature Drying on the Grade Yield and Shrinkage of Southern Pine Lumber. *Forest Prod. J.* 36(3): 53~53
8. Maeglin, R. R., J. Y. Liu, and R. S. Boone. 1985. High-Temperature Drying and Equalizing: Effects on Stress Relief in Yellow-Poplar Lumber. *Wood & Fiber Sci.* 17(2): 240~253
9. Panow, S., and M. R. Nester. 1985. Drying End Point Determination During High-Temperature Drying. *Forest Prod. J.* 35(10): 51~55
10. Price, E. W., and P. Koch. 1980. Kiln Time and Temperature Affect Shrinkage, Warp and Mechanical Properties of Southern Pine Lumber. *Forest Prod. J.* 30(8): 41~47
11. Taylor, F. 1991. Moisture Gradients in Poles Dried at High Temperatures. *Forest Prod. J.* 41(5): 36~38
12. Wengert, E. M. 1974. Maximum Initial Moisture Contents for Kiln Drying 4/4 Hardwood at High Temperature. *Forest Prod. J.* 24(8): 54~56
13. Williams, D. H., J. A. Kininmonth. 1984. High-Temperature Kiln Drying of Radiata Pine Sawn Timber. Forest Research Institute, New Zealand Forest Service. FRI Bulletin No. 73
14. 박문재, 정희석. 소나무와 리기다소나무 평소각재의 고온건조. 1987. 목재공학 15(2): 52~66