

충남 홍성지역에서 자란 비목나무(*Lindera erythrocarpa*)의 열기건조스케줄 개발¹

강 춘 원² · 강 호 양^{3,†}

Development of a Kiln Dry Schedule for *Lindera erythrocarpa* Grown in Hongsung, Chungnam Province, Korea¹

Chun-Won Kang² · Ho-Yang Kang^{3,†}

요 약

비목나무는 줄기가 곧고 직경이 40 cm까지 자라지만 아직 미사용되고 있다. 잘 알려지지 않은 수종을 이용하려면 먼저 그 수종의 열기건조스케줄을 찾아야 한다. 비목나무의 열기건조스케줄을 테라자와의 오븐급속건조법으로 추정하였으며, 열기건조 실험을 통해 검증하였다. 비목나무의 평균 생재함수율과 평균 생재비중은 각각 72.3%과 0.53이다. 테라자와의 오븐급속건조법을 사용하여 얻은 25 mm 두께 비목나무의 가장 안전한 건조조건은 초기건조온도 50℃, 초기건습구온도차 4℃, 말기건조온도 75℃이다. 이러한 조건에 맞는 미입산물연구소 스케줄은 T5-D4이다. 추정 열기건조스케줄 T5-D4와 새로운 개량 열기건조스케줄 T8-C5로 25 mm 판재를 건조한 결과, 모두 불가피하게 발생한 수심제 터짐 이외에는 내부할렬과 틀어짐이 전혀 발생하지 않았다.

ABSTRACT

Lindera erythrocarpa is a less utilized species in Korea although that it has straight stem and it grows up to 40 cm in diameter. A proper kiln-dry schedule is required in advance to utilize an unknown species. Terazwa's quick oven-dry method was used to find it and which was confirmed by drying 25 mm thick boards in a kiln. The average green moisture content and the average green specific gravity of *Lindera erythrocarpa* are 72.3% and 0.53, respectively. Prospective kiln-drying conditions obtained by Terazwa's quick oven-dry method are a initial dry-bulb temperature of 50℃, a initial wet-bulb depression of 4℃ and a final dry-bulb temperature of 75℃, which are in a good agreement with USDA FPL kiln-dry schedule of T5-D4. 25 mm thick boards dried in a kiln with T5-D4 kiln-dry schedule did not have any severe drying defects such as honeycombing and warping. A severer kiln-dry schedule of T8-C5 was developed and applied to another kiln-drying run to confirm it.

¹ Date Received September 14, 2017, Date Accepted October 12, 2017

² 전북대학교 주거환경학과. Department of Housing Environmental Design, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

³ 충남대학교 환경소재공학과. Department of Bio-based Materials, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea

† 교신저자(Corresponding author): 강호양(e-mail: hykang@cnu.ac.kr, ORCID: 0000-0002-0544-0721)

Keywords : *Lindera erythrocarpa* Makino, USDA FPL kiln-dry schedule, Terazawa's quick oven-dry method, water displacement method

1. 서 론

비목(樺木)나무는 녹나무과(Lauraceae) 식물로 일본 혼슈이남, 중국 남부 및 중부, 충청남북도 이남과 경기도 서해안에 분포하는 낙엽소교목이다(FES, 1973; Chang 등, 2012). 개화기는 4월 중순에서 5월 중순이며 결실기는 8월말에서 10월 중순이다. 경북대학교 김종원 교수가 2013년에 출간한 한국식물생태보감1 (Kim, 2013)에 비목나무에 대해 자세히 설명하였다.

비목나무는 비교적 곧게 자라고 직경도 40 cm까지 크기 때문에 재목으로 사용될 수 있는 유용수종이지만, 충남 홍성지역에서는 지장목으로 취급되어 버려지고 있다. 지금까지 목재이용분야에서 비목나무에 대한 연구가 진행된 바가 없다. 미이용수종을 목재로 이용하기 위해서는 제일 먼저 효율적으로 건조하여야 한다. 본 연구는 비목나무이용의 첫 단계인 건조기술을 개발하기 위해 수행되었다. 비목나무의 건조에 필요한 물성을 측정하고 일본에서 개발된 테라자와의 건조스케줄추정법(Lee 등, 2000; Jung 등, 2008)을 이용하여 열기건조 스케줄을 개발함으로써 재목으로 이용가능성을 조사하였다. 또 비목의 가지는 곧기 때문에 선반가공으로 고급목재편을 만들 수 있다. 가지목은 직경이 작아 쉽게 건조되므로 80℃ 오븐에서 건조하면서 함수율 변화를 측정하고 건조 결함을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시 재료

공시목재는 충청남도 홍성지역에서 자라는 비목나무(*Lindera erythrocarpa* Makino)를 사용하였다. 홍성산림조합에서 직경 13-15 cm, 길이 40 cm인 원목 5개와 직경 3.5-6.0 cm, 길이 40 cm인 가지목 20개를 구하였다. 원목에서 측정된 나이테는 25-30개였

다. 여러 겹의 두꺼운 비닐로 싸서 운반하였기 때문에 건조스케줄 추정실험 때까지 생재상태를 유지하고 있었다.

피톱을 이용하여 각 원목에서 2개의 폭 10 cm, 두께 2.5 cm, 길이 40 cm 공시판재를 떼어냈다. 그중 2개는 열기건조스케줄 추정을 위해 나머지 8개는 추정된 열기건조스케줄의 타당성 검정을 위해 사용하였다.

2.2. 생재함수율과 생재비중

2개의 열기건조스케줄 추정용 판재의 중간을 잘라 한쪽은 오븐급속건조실험을 위해 비닐주머니에 넣어 밀봉하고 남은 판재에서 가로 세로 높이가 각각 25 mm인 함수율시편 10개를 만들었다. 생재상태인 이들의 중량을 0.01 g 정도의 디지털 저울로 잰 후, 생재부피는 침지법으로 측정하였다. 이후 모든 함수율시편을 103 ± 2℃ 오븐에서 건조하여 전건중량을 얻었다. 생재함수율과 생재비중은 각각 식 [1]과 [2]로 구하였다.

$$M_g = \frac{W_g - W_{od}}{W_{od}} \times 100\% \dots\dots\dots [1]$$

여기서 M_g = 생재함수율(%), W_g = 생재중량(g), W_{od} = 전건중량(g)

$$S_g = \frac{W_{od}}{\rho_{water} V_g} \dots\dots\dots [2]$$

여기서 S_g = 생재비중, W_{od} = 전건중량(g), V_g = 생재부피(cm³), ρ_{water} = 4℃ 물의 밀도(1 g/cm³)

전건중량을 측정된 후에 용융온도 55℃의 파라핀 왁스를 녹여 함수율시편을 완전히 도포하였다. 파라핀 왁스가 굳기 전에 함수율시편 표면을 깨끗한 천으

로 닦아내어 덩어리가 생기지 않도록 하였다. 전부피 수축율은 식 [3]으로 구하였다.

$$\alpha_v = \frac{V_g - V_{od}}{V_g} \times 100\% \dots\dots\dots [3]$$

여기서 α_v = 전부피수축율(%), V_g = 생재부피 (cm³), V_{od} = 전건부피(cm³)

2.3. 테라자와식 건조스케줄 추정법

2.3.1. 찌그러짐 측정

비닐주머니에 넣어두었던 2개의 오븐급속건조 시편의 생재상태 치수(가로, 세로, 높이)와 중량을 캘리퍼스와 디지털저울로 측정하였다. 103 ± 2℃ 오븐에 넣고 건조하면서 중량을 일정 시간마다 측정하였다. 이때 마구리 할렬, 표면할렬 등 건조초기 결함의 발생 여부와 형태를 관찰하였다.

시편이 전건된 후에는 중량을 재고, 마구리 단면의 변형량을 Fig. 1과 같이 측정하여 변형량(A-B)을 구하였다. 이 변형량은 찌그러짐(collapse)의 발생가능성과 정도를 유추하는데 사용될 수 있다. 그 후에 모든 시편의 중량을 절단하여 내부할렬의 발생여부를 조사하였다.

2.3.2. 열기건조시간의 추정

테라자와의 건조스케줄추정법(정, 2008)에 의한 열기건조시간 추정은 다음과 같이 한다. 오븐급속건조의 함수율경과 그래프를 이용하여 시편 함수율이 1% 될 때까지의 오븐건조시간을 추정한다. 이 값과 건조초기 건조구온도차 값을 사용하면 각각의 열기건조시간을 열기건조추정시간 그래프(정, 2008 321pp)에서 찾을 수 있다. 양자의 평균치가 바로 시험한 목재의 25 mm 두께 생재에서 함수율 10%까지의 추정 열기건조시간이 된다.

2.3.3. 열기건조스케줄의 작성

오븐급속건조를 실시하여 측정된 초기할렬, 마구리단면의 변형, 내부할렬의 형태를 이용하여 초기온

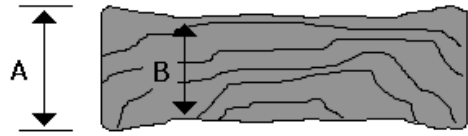


Fig. 1. Measuring cross-sectional deformation of a board.

도와 말기온도 그리고 초기 건조구온도차를 찾았다. 이 값들과 초기함수율 그리고 건조에 적당한 습도조건을 가정하여 미국임산물연구소의 건조스케줄을 추정하였다.

2.4. 열기건조스케줄의 검정

추정 열기건조스케줄 검정에 사용된 건조기는 전기식 열기건조기로 잔적공간은 폭 1000 mm, 깊이 800 mm, 높이 700 mm였다. 최대재간 풍속은 8 m/sec이며, 최대압력 5기압의 보일러가 별도로 부착되어 가슴에 사용되었다. 건조 중에는 풍속 4 m/sec를 유지하였다. 건조 중에는 잔적의 중간에 설치한 시험재의 중량을 주기적으로 측정하였다.

모든 시험 판재는 실험이 끝난 후 양끝의 마구리에서 3 cm씩 절단하여, 육안으로 마구리할렬의 진행 여부를 판단하였다. 판재 중앙에서 2.5 cm 폭의 함수율 시험재를 떼어내어 시험 판재의 최종함수율을 추정하였으며 떼어낸 함수율 시험재로 내부할렬 여부를 판단하였다. 시험재 함수율은 함수율 시편의 평균으로 추정하였다.

2.5. 가지목 건조

가지목은 80℃ 오븐에서 수피를 벗기지 않은 채 건조하였다. 오븐은 가슴장치가 없기 때문에 습도를 조절하지 않았다. 건조 전 가지목의 중량을 정도 0.01 g의 디지털저울로 잰 다음 오븐에 넣고 80℃까지 상승시켰다. 오븐 온도를 80℃로 유지하면서 주기적으로 가지목의 중량을 측정하였다. 가지목의 예상함수율이 10%에 도달할 때 건조를 마치고 오븐에서 꺼내어 중량을 측정한 다음 각 가지목의 중앙에



Fig. 2. A diagram of end checks of *Lindera erythrocarpa* specimen at the early stage of oven drying.

서 25 mm 길이의 함수율시편을 떼어냈다. 즉시 정도 0.01 g의 디지털저울로 함수율시편들의 중량을 측정하고 103 ± 2℃ 오븐에 넣어 전건시켰다. 전건 후에 중량을 측정하여 가지목의 함수율을 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 생재함수율 및 생재비중

10개의 함수율시편으로 구한 생재함수율은 72.3 ± 1.6%이다. 이 함수율시편을 이용하여 식 [2]의 생재비중을 구하였다. 치수법과 침지법의 두 가지 방법으로 생재부피를 구하여 평균 생재비중을 계산한 결과 전자는 0.527 ± 0.006, 후자는 0.538 ± 0.006이 나왔다. 따라서 비목나무의 평균 생재비중 0.53이라고 할 수 있다.

3.2. 테라자와식 건조스케줄 추정법

3.2.1. 초기할렬의 형태

오븐급속건조를 시작한 후 4시간이 경과했을 때 마구리 할렬이 가장 심하게 나타났다. 이때 나타난 마구리 할렬의 형태는 Fig. 2와 같다. 마구리면에 잔 할렬이 있었으며 판목면을 따라 짧은 분할(split)이 생겼다. 이는 테라자와의 초기할렬단계로 보면 No. 2에 해당한다.

3.2.2. 마구리단면의 변형과 내부할렬

오븐급속건조를 마친 후 위 Fig. 1의 방식으로 측정된 마구리단면의 평균변형량은 0.54 ± 0.22 mm로



Fig. 3. A photo of internal checks in *Lindera erythrocarpa* specimen at the end of oven drying.

1.0 mm 이하였다. 이는 테라자와의 변형단계로 보면 No. 2에 해당한다. 이것으로만 보면 건조시 찌그러짐 발생 가능성이 높지 않다고 할 수 있다.

마구리단면의 변형율을 측정된 후 시편의 중앙을 등근톱으로 절단하여 내부할렬을 조사하였다(Fig. 3). 5-9개의 세할이 발견되었으므로 테라자와의 내부할렬단계로는 No. 3에 해당한다.

3.2.3. 건조스케줄의 조제

위에서 얻은 초기할렬의 형태, 마구리단면의 변형률, 내부할렬 형태를 테라자와의 건조스케줄추정법(정, 2008)에 적용시키면 가장 안전한 건조조건은 초기건조온도는 50℃, 초기건습구온도차는 4℃, 말기건조온도는 75℃이다. 이러한 조건에 맞는 미임산물연구소 스케줄의 온도조건은 T5이다.

습도조건은 다음과 같이 구하였다. 미임산물연구소 스케줄은 생재함수율의 2/3까지 건조되는 동안 첫 단계 습구스케줄을 적용하도록 되어 있다. 생재함수율(72.3%)의 2/3는 48.2%이므로 생재에서 50%까지 첫 단계 습구스케줄을 적용하는 초기함수율조건 D를 선택하였다. 마지막으로 급속오븐건조법으로 구한 초기건습구온도차는 4℃이므로 건습구온도표에 의해 4번이 된다. 따라서 모두 종합하여 비목나무 25 mm 두께 판재의 건조스케줄은 T5-D4가 된다(Table 1)(Boone 등, 1994).

3.2.4. 열기건조시간의 추정

오븐급속건조 경과를 반로그 그래프에 나타내면 Fig. 3과 같다. 그래프에서 얻은 함수율(Y)과 건조시간(X)의 지수회귀식은 식 [4]와 같다.

Table 1. Kiln-drying schedule for 25 mm thick *Lindera erythrocarpa* (T5-D4)

MC (%)	Temperature (°C)		
	Dry-bulb	Wet-bulb	Wet-bulb depression
> 50	50.0	46.0	4.0
50-40	50.0	44.5	5.5
40-35	50.0	41.5	8.5
35-30	50.0	36.0	14.0
30-25	55.0	33.0	22.0
25-20	60.0	32.0	28.0
20-15	65.0	37.0	28.0
15-final	70.0	42.0	28.0

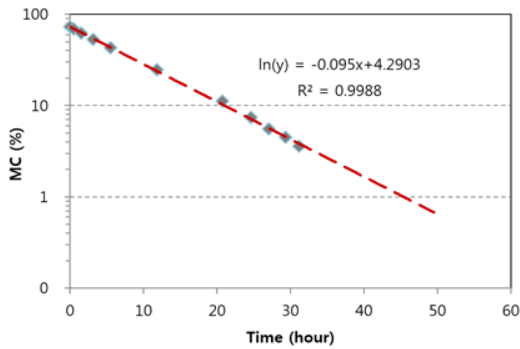


Fig. 4. A semi-log drying graph of 25 mm thick *Lindera erythrocarpa* specimen dried in an oven.

$$\ln Y = -0.095X + 4.2903 \dots\dots\dots [4]$$

위 식 [4]를 이용하여 구한 함수율 1%까지의 건조 시간은 45.2시간이다.

오븐급속건조실험으로 구한 초기건습구온도차는 4°C였으므로 테라자와의 건조시간추정 그래프(정등, 2008 321pp)에 나타난 추정 열기건조시간은 6일이 된다. 한편 함수율 1%까지의 건조시간을 이용한 추정열기건조시간은 12일이 된다. 따라서 이들의 평균은 9.0일이 된다. 이 값은 비목나무 25 mm 두께 생재에서 함수율 10%까지의 추정 열기건조시간이 된다.

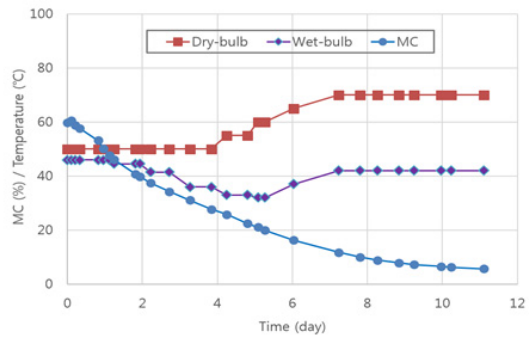


Fig. 5. Plots of MC, dry-bulb temperature and wet-bulb temperature for drying 25 mm thick *Lindera erythrocarpa* boards using Tesaza kiln drying schedule.

3.3. 추정 열기건조스케줄의 검정

두께 25 mm 비목나무 판재를 위에서 구한 추정 열기건조스케줄로 건조한 결과는 Fig. 5와 같다. 판재 4개의 초기 평균함수율은 59.8%이고 11일간 건조하였을 때 최종함수율은 5.7%였다. 함수율 10%에 도달한 시간은 7.8일로 테라자와의 추정열기건조시간 9.0일보다 약간 짧았다.

최종 건조 후 마구리할렬은 모든 판재에서 3 cm 이상 발전하지 않았으나 수를 포함하고 있는 판재에서는 수심재터짐이 발견되었다. 수심은 유명목 부위로 판재에서 가장 약한 부분이기 때문에 건조 중 터짐을 막을 방법이 없다. 소경목은 수심을 포함하지

Table 2. Developed kiln-drying schedule for 25 mm thick *Lindera erythrocarpa* (T8-C5)

MC (%)	Temperature (°C)		
	Dry-bulb	Wet-bulb	Wet-bulb depression
> 40	55.0	49.5	5.5
40-35	55.0	47.0	8.0
35-30	55.0	44.0	11.0
30-25	60.0	40.0	20.0
25-20	65.0	37.0	28.0
20-15	70.0	42.0	28.0
15-final	80.0	52.0	28.0

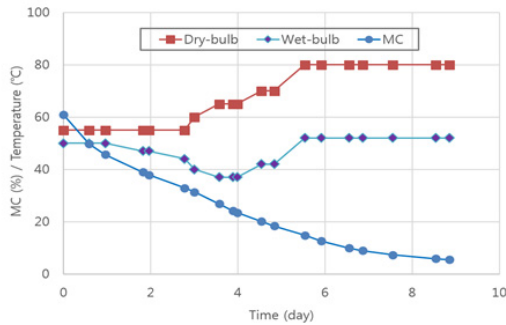


Fig. 6. Plots of MC, dry-bulb temperature and wet-bulb temperature for drying 25 mm thick *Lindera erythrocarpa* boards using a developed kiln drying schedule.

않고 판재를 만들기 어렵다. 내부할렬과 틀어짐의 발생을 알기 위해 판재 중앙에서 2.5 cm 시편을 떼어 육안으로 관찰하였으나 발견하지 못하였다.

3.4. 개량 열기건조스케줄

추정 열기건조스케줄(T5-D4)로 두께 25 mm 비목나무 판재를 내부할렬과 틀어짐 등 건조결함없이 건조하였으므로 건조시간을 줄일 수 있는 개량 열기건조스케줄을 찾았다. 온도스케줄은 추정 열기건조스케줄보다 초기건조온도가 5°C 높은 T8를 선택하였다. 추정 열기건조스케줄 검정에 사용한 판재의 초기 평균함수율이 59.8%으로 2/3지점은 39.9%이므로 생재에서 40%까지 첫 단계 습구스케줄습도스케줄을

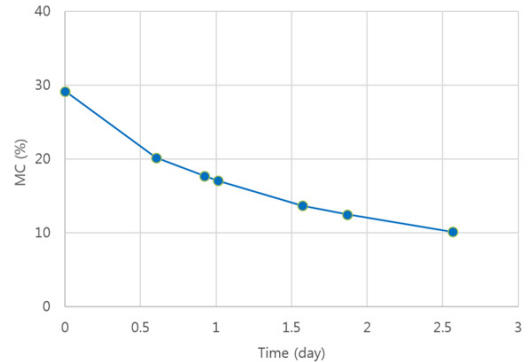


Fig. 7. Drying curve of *Lindera erythrocarpa* branches oven dried at 80°C.

적용하는 초기함수율조건 C를 선택하였다. 건조구온 도차는 4번보다 한 단계 위인 5번을 적용하여 T8-C5로 정하였다(Table 2).

이 개량 열기건조스케줄 건조한 결과는 Fig. 6과 같다. 판재 4개의 초기 평균함수율은 60.9%이고 8.9일간 건조하였을 때 최종함수율은 5.6%였다. 함수율 10%에 도달한 시간은 6.6일로 추정 열기건조스케줄보다 1.2일 빨랐으며 테라자와의 추정열기건조시간보다 2.4일 짧았다. 판재의 중간을 절단하여 관찰한 결과, 내부할렬과 틀어짐이 전혀 발생하지 않았다.

3.5. 가지목 건조

80°C에서 건조한 가지목 20개의 평균 건조그래프는 Fig. 7과 같다. 초기함수율 29.2%에서 10.1%까지

건조되는데 2.6일 걸렸다. 가지목은 유령목이고 생재함수율이 성숙목보다 낮다. 중간을 절단하여 관찰한 결과, 내부할렬이 전혀 발생하지 않았다.

4. 결 론

목재자원이 부족한 현실에 있어서 미사용 수종의 용도개발은 매우 중요한 과제이다. 비목나무는 줄기가 곧고 직경이 40 cm까지 자라지만 아직 미사용되고 있다. 비목나무의 열기건조스케줄을 테라자와의 오븐급속건조법으로 추정하였으며, 열기건조 실험을 통해 검증함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 비목나무의 평균 생재함수율과 평균 생재비중은 각각 72.3%와 0.53이다.
2. 테라자와의 오븐급속건조법을 사용하여 얻은 25 mm 두께 비목나무의 가장 안전한 건조조건은 초기건조온도 50℃, 초기건습구온도차 4℃, 말기건조온도 75℃이다. 이러한 조건에 맞는 미임산물연구소 스케줄은 T5-D4이다.
3. 추정 열기건조스케줄 T5-D4와 새로운 개량 열기건조스케줄 T8-C5로 25 mm 판재를 건조한 결과, 모두 불가피하게 발생한 수심재터짐 이외에는 할렬과 틀어짐이 전혀 발생하지 않았다.

사 사

본 연구는 산림청 ‘임업기술연구개발사업(과제번호: 2014068D10-1719-AA03)’의 지원에 의해서 이루어진 것입니다.

REFERENCES

- Boone, R., Kozlik, C., Bois, P., Wengert, E. 1993. Dry Kiln Schedule for Commercial Wood. Forest Products Society, Madison, USA.
- Chang, J., Kim, H., Kim, H. 2012. A Field Guide To Korean Woody Plants. DESIGNPOST, Gyeonggi-Do, Korea.
- FES. 1973. Illustrated Woody Plants of Korea. Forest Experiment Station, Seoul, Korea.
- Jung H., Kang, H., Park, J., Lee, N., Lee, H., Kang, C., Yeo, H. 2008. A New Introduction to Wood Drying. Seoul National University Press, Seoul, Korea.
- Kim, J. Treasure of Korean Plant Ecology I. Nature and Ecology, Seoul, Korea.
- Lee, K., Kang, H., Jung, S., Jung, D. 2000. Development of Kiln-Dry Schedules for *Pinus rigida*×*taeda* and *Liriodendron tulipifera*. Journal of the Korea Furniture Society 11(1): 69-74.