

배할 및 자상-인사이징 처리가 소나무 정각재의 고온건조 특성에 미치는 영향¹

이 창 진² · 이 남 호² · 오 승 원^{2,†}

Effects of the Knife-Incising and Longitudinal Kerfing Treatment on High-Temperature Drying Characteristics of Red Pine Square Timber¹

Chang-Jin Lee² · Nam-Ho Lee² · Seung-Won Oh^{2,†}

요 약

본 연구에서는 배할과 자상-인사이징 처리가 두께 15 cm 크기 소나무 정각재의 고온건조 특성에 미치는 영향을 확인하기 위해 수행되었다. 건조 후 최종함수율은 5.6% ~ 7.5% 범위였으며, 전처리조건에 따른 함수율분포에 차이는 없는 것으로 조사되었다. 배할의 경우 재면할렬 발생을 감소시키는 것이 가능하였으며, 뒤틀림은 약간 감소되는 경향을 나타내었다. 배할과 자상-인사이징 처리는 내부할렬과 건조 수축률에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This study was carried out to confirm the effects of the knife-incising and longitudinal kerfing treatment on high-temperature drying characteristics of red pine square timber with dimensions of thickness 15 cm. The range of final moisture content was investigated 5.6% to 7.5% after drying. The differences did not exist in the moisture content and distribution according to the pretreatment condition. In the case of longitudinal kerfing treatment, the surface check occurrence was reduced than the control. In addition, the twist had a tendency to decrease due to the longitudinal kerfing treatment. The knife-incising and longitudinal kerfing treatment were investigated to be ineffective on internal checks and drying shrinkage.

Keywords : Red pine, timber drying, knife-incising, longitudinal kerfing, drying pretreatment, high temperature drying

¹ Date Received May 3, 2016, Date Accepted July 5, 2016

² 전북대학교 목재응용과학과. Department of Wood Science & Technology, Chonbuk National University, Chonju 54896, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 오승원(e-mail: ohsw@jbnu.ac.kr)

1. 서 론

한국은 지리적으로 계절에 따른 온·습도변화가 심하다. 특히 난방을 하는 겨울철에는 실내가 매우 건조하여, 기동-보와 같은 대단면재를 제대로 건조하지 않고 시공하였을 경우 수축에 의한 심각한 문제를 야기할 수 있다. 하지만 한옥을 시공하는 현장에서는 적절히 건조되지 않은 부재를 사용하는 사례가 상당히 빈번하다.

적절히 건조되지 않은 부재를 사용할 경우 시간이 지남에 따라 마르고 뒤틀리고 갈라지는 변화가 생기게 된다. 따라서 한옥을 짓는 목수들은 부재의 변화가 적어 결구에 큰 지장이 없는 부재부터 먼저 치목하거나, 정밀성이 크게 중요하지 않는 부재와 수량이 많은 재목을 먼저 치목한다(Park, 2010). 또한 치목 후 시공까지 시간차가 발생하기 때문에 시공 시 발생될 변화를 예상하여 결구할 때 문제가 최대한 적게 발생하도록 치목하는데 어려움을 호소하기도 한다. 이러한 문제들을 해결하기 위해 한옥건축용 대단면재에 관한 연구가 수행되었다(Lee 등, 2013; Lee 등, 2014).

하지만 대단면재의 경우 목재 중심부에서 표면까지의 수분이동 거리가 길어 수분경사가 크게 형성된다. 이로 인해 건조 중 재면할렬이 심하게 발생될 뿐만 아니라 건조 후 재면에 존재하는 할렬들은 건조재의 품질을 저하시키게 된다. 또한 미성숙재와 수를 포함하기 때문에 함수율이 감소됨에 따라 수축이 일어나고 뒤틀림이 발생하게 되며, 과도한 수축과 뒤틀림이 발생할 경우 마감치수가 나오지 않게 되어 부재를 사용하지 못하게 되는 문제를 야기할 수도 있다.

Lee 등(2015)은 횡단면 크기가 증가함에 따라 뒤틀림과 건조수축률이 감소하게 되는 것은, 단면의 크기가 증가함에 따라 수분경사가 형성되고, 표층의 수축하려는 힘을 섬유포화점 이상인 내층이 억제함으로써 수축과 뒤틀림 발생에 영향을 주기 때문이라고 보고하였다. 뒤틀림과 같이 건조 중 발생하게 되는 변형은 올바른 잔적과 잔적 상단에 무거운 물체를 올려놓거나 하중을 가해주는 상부하중을 적용함으로써 감소가 가능하다(Park과 Jung, 1987). 또한, 잔적

시 재간간격을 넓게 하면 건조 중 냉각에 의한 공기의 수직이동이 용이하고 통풍이 잘되어 건조시간을 단축할 수는 있으나 적재율은 감소하기 때문에, 올바른 잔적을 위해서는 수중, 재중, 건조목정 등과 같은 요인들이 고려되어야 한다(Simpson, 1991). 따라서 대단면재를 고온건조 할 경우 건조초기에 인장세트를 빠르게 형성시키기 위해서는 잔적 내부의 공기순환이 용이하도록 잔적되어야 할 것이다.

고온건조는 표층과 인접한 내부 인접층 간의 인장세트를 빠르게 형성시킴으로서 재면할렬 감소를 유도하기 위해 증차처리 이후 모든 건조단계에서 평형 함수율 5% 이하의 낮은 습도조건을 적용하는 건조 방법이다(Lee 등, 2014; Yoshida *et al.*, 2004). 소나무와 잣나무 대단면재를 고온건조한 Lee 등(2013)은 소나무의 경우 표층과 내층에 수분경사가 존재하지 않았으며, 함수율은 10% 전후를 나타내고 있음을 보고하였으며, 국산 간벌재 4수종을 고온건조한 Lee 등(2015)은 수종과 재중에 따른 표층과 내층의 함수율 분포를 보고하였다. 또한, 증차처리 이후 적용되는 고온조건이 함수율, 재면할렬, 그리고 내부할렬에 영향을 미치며, 이후 건조단계는 최종함수율에 영향을 미치게 된다(Lee 등, 2013; Lee 등, 2014; Lee 등, 2016).

내부할렬은 고온건조 시 흔히 발생하는 결함으로 내부의 함수율이 높은 상태에서 고온에 장기간 노출하게 되면 내부응력이 증가됨에 의해 발생하게 되며, 목재내부의 함수율이 20% 정도로 감소하게 될 때 상당히 큰 내부할렬이 발생하기도 한다(Simpson, 1991; Yoshida *et al.*, 2004; Lee 등, 2013). 내부할렬 발생을 억제하기 위해서는 고온단계 이후 건구온도를 100℃ 이하로 낮추어 설정하거나, 고온건조 시간의 감소, 또는 예비건조연간조를 통해 초기함수율을 감소시킴으로서 내부할렬 발생의 감소가 가능하다(Yoshida, 2008; Yoshida *et al.*, 2004; Lee 등, 2014).

이에 본 연구에서는 한옥에 흔히 사용되는 국산 소나무를 공시수종으로 선정하고, 배할과 자상-인사 이징 처리를 하였다. 그리고 고온건조를 수행한 후 함수율, 재면할렬, 내부할렬, 수축률 및 뒤틀림을 조사하였다. 고온건조 스케줄은 Shin (2010), Lee 등

Table 1. Drying schedule of the Red pine square timbers

Step	Dry bulb (°C)	Wet bulb (°C)	Time (hours)
Steaming	95	95	12
High temperature drying	120	90	48
Drying	90	70	144
Cooling	-	-	24
Total drying time			228

(2013), 그리고 Lee 등(2015)의 연구결과에 기초하여 고온단계와 건조단계의 시간을 다르게 설정하였으며, 대단면재와 같은 건축부재의 경우 건조 후 표면경화가 발생하더라도 사용상 문제가 되지 않기 때문에 건조 후 조사항목에서 표면경화를 제외하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료 및 전처리

본 연구에서는 공시수종으로 국산 소나무(*Pinus densiflora S. et. Z*)를 선정하고, 횡단면 15 cm × 15 cm, 길이 360 cm로 가공하여 총 20본을 준비하였다. 전처리는 자상-인사이징(**Knife-incising**: 칼날 두께 2 mm, 깊이 10 mm, 인사이징 밀도는 2,200~2,500개/m²), 배할 가공(**Longitudinal kerfing**: 폭 3 mm, 두께의 1/3 깊이), 자상-인사이징과 배할 가공(**Knife-incising and Longitudinal kerfing**), 그리고 대조군(**Control**)을 포함하여 총 4가지로 분류하고, 각각 5본의 시험재를 무작위로 선정하였다.

2.2. 고온건조시험

건조시험은 최대 40 m³까지 적재가 가능한 상업용 열기건조기(Shinshiba社, SKD-90HPT)를 사용하였다. 잔적에는 3 cm 두께의 잔목을 사용하였으며, 재간 간격은 공기의 수직이동 및 잔적 내부의 공기순환이 용이하도록 3 cm로 하여 잔적하였다. 건조 스케줄은 Table 1과 같이 증자처리(Steaming), 고온건조(High Temperature drying), 건조(Drying), 냉각

(Cooling) 순으로 적용하였다.

2.3. 최종함수율 및 분포

각 재종별 처리재의 대표 시험재 1본씩 선정하여 횡단면으로부터 60 cm, 120 cm, 180 cm 떨어진 부위에서 각각 두께 2 cm 시험편을 1매씩 채취한 후, 표면으로부터 15 mm 간격으로 층을 구분하여 최종함수율과 그 분포를 전건법으로 측정하였다.

2.4. 재면할렬, 내부할렬, 비틀림 및 건조수축률 측정

건조가 종료된 모든 시험재에서 할렬 폭이 2 mm 이상인 할렬의 길이와 폭을 측정하고 후 재종과 전처리에 따른 재면할렬의 발생 길이와 면적을 산출하였다. 그리고 각 재종별 처리재의 대표 시험재 1본씩을 선정하여 횡단면으로부터 60 cm, 120 cm, 180 cm 떨어진 각각의 절단면에서 발생한 내부할렬의 길이와 개수를 조사하였다. 비틀림의 측정은 양 횡단면에서 네 재면 모두 측정(1본당 8회)하였다. 건조수축률은 건조 전·후 네 재면에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 최종함수율과 분포

건조 종료 후 측정된 함수율 및 그 분포는 전처리 조건과 횡단면으로부터의 거리에 따른 차이를 나타

Table 2. Initial MC, and final MC according to distance from end surface

Treatment	Initial MC (%)	Final MC (%)	Distance from end surface of specimen (cm)		
			60	120	180
Control	39.9	6.9	6.5	7.0	7.5
Incising	35.2	5.6	5.2	5.8	5.9
Kerfed	39.2	7.5	8.3	7.5	6.9
Incising-Kerfed	63.3	6.7	6.0	6.7	7.2

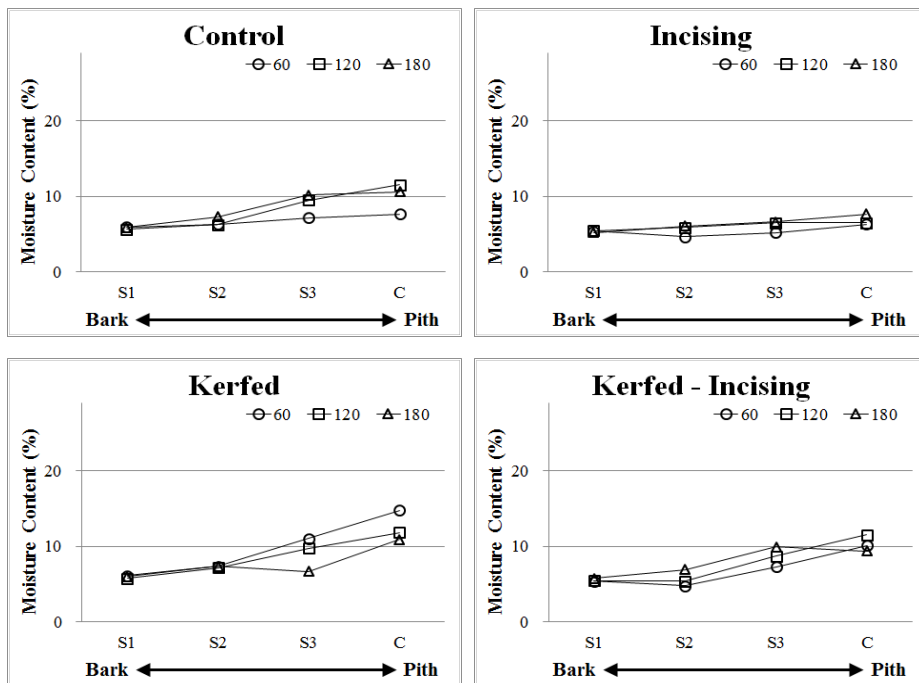


Fig. 1. Distribution of the final MC according to distance from end surface and the surface layer.

내지 않았으며, 최종함수율은 5.6% ~ 7.5%로 나타났다(Table 2). 고온건조 후 최종함수율은 초기함수율에 기인한 변이가 존재할 수 있으나(Lee 등, 2014), 본 연구에서 초기함수율에 기인한 최종함수율 변이는 확인되지 않았다.

표면으로부터 거리에 따른 표층과 내층 함수율 분포는 Fig. 1에 나타내었다. 횡단면 크기에 관계없이 모든 시험재에서 경미한 수준의 수분경사가 존재하였으나, 중심부까지도 15% 이하로 건조가 되었기 때문에 사용상의 문제는 없을 것으로 판단된다.

Lee 등(2013)은 증자처리 24시간, 고온건조 64시간, 건조 168시간, 그리고 냉각 24시간을 포함하여 총 268시간을 적용한 결과 9.2~10.8%의 최종함수율을 나타내었다. 하지만 본 연구에 사용된 시험재의 크기가 5 cm 더 작았기 때문에 고온건조 16시간, 건조 24시간 총 40시간을 감소시켜 적용하였다. 그럼에도 불구하고 최종함수율은 더 적은 값을 나타내었다. Lee 등(2016)은 단면이 큰 목재의 평균함수율을 측정하는데 있어, 단면이 증가함에 따라 동일한 깊이 라 하더라도 실질물에 차이를 나타냄으로 실질물이

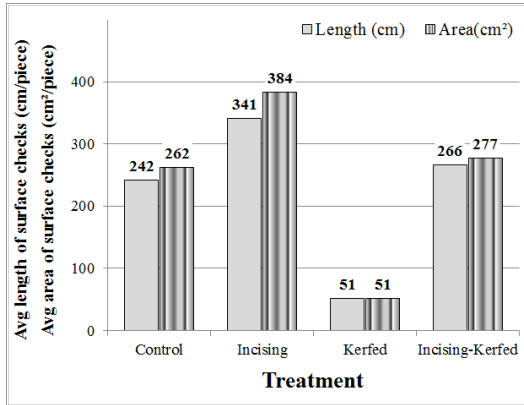


Fig. 2. Length and area of surface checks occurred on the Red pine square timbers with dimensions of thickness 15 cm after drying.

고려되어야 한다고 하였다. 이는 시험재의 평균함수율의 측정에 내층보다 외층이 차지하는 비율이 더 많기 때문에 외층의 함수율이 미치는 영향이 더 큼을 의미한다. Lee 등(2013)의 경우 연중 습도가 높은 시기에 해당하는 8월에(표층의 함수율: 9% 전후), 본 연구의 경우 상대적으로 건조한 시기에 해당하는 1월에(표층의 함수율: 6% 전후) 함수율 조사가 이루어졌으며, 표층의 함수율에서 약 3% 정도의 차이가 존재하였다. 따라서 본 연구의 최종함수율이 더 적은 값을 나타내었던 것은 계절에 따른 습도조건에 기인한 표층의 함수율 차이가 원인인 것으로 사료된다.

반면, 표층으로부터 거리에 따른 함수율분포에서 중심부의 함수율이 10% 전후의 함수율을 나타내고 있었던 것을 고려하면, 목표함수율이 18%인 경우 건조시간을 줄일 필요가 있을 것으로 판단된다. 또한, 최종함수율과 건조 말기의 건조속도는 시간에 대해 지수 함수적으로 감소되기 때문에 20~50시간 정도 건조시간을 감소시키더라도 18% 이하로 건조가 가능할 것으로 사료된다.

3.2. 재면할렬

건조 후 측정된 할렬의 대부분은 폭 2 mm의 할렬

들이었으며, Kerfed 시험재에서 가장 적게 발생된 것으로 나타났다(Fig. 2). 반면 Incising 처리한 시험재에서 가장 많은 할렬이 발생된 것을 확인할 수 있었다. 특히 Incising-kerfed 시험재는 배합을 가공하였음에도 불구하고 Control 보다도 더 많은 할렬이 발생한 것으로 나타났다. 이는 인사이징에 의해 형성된 자상으로 건조 중 표층에 발생하는 인장응력이 집중됨으로써 오히려 할렬발생을 증가시킬 뿐만 아니라 배합로 응력이 집중되는 것을 방해하게 되었던 것으로 사료된다. 따라서 자상-인사이징처리는 횡단면 15 cm 크기의 소나무 정각재의 재면할렬 발생을 억제하기 위한 전처리로 적합하지 않을 것으로 판단된다.

반면, 본 연구에 사용된 시험재의 크기가 더 작았음에도 불구하고 Control과 Kerfed 시험재 모두 Lee 등(2013)의 결과와 비교하여 더 많은 할렬이 발생된 것으로 나타났다. 재면할렬은 건조초기 표층에 형성된 인장응력이 주요 원인이며, 주로 건조 초기에 발생된다. 또한, 표층과 내층의 수분경사가 장시간 지속됨에 따라 표층에 인장응력이 작용하는 시간이 증가하게 되거나 표층의 인장응력이 더 크게 형성될 때 재면할렬 발생이 증가될 수 있다. 특히 고온건조시간이 감소함에 따라 surface drying set는 감소되기 때문에(Hermawan *et al.*, 2012), 이러한 현상을 감소시키기 위해서는 내층의 수분을 빠르게 제거해 주어야 한다. 하지만 본 연구에서는 앞서 언급한 바와 같이 Lee 등(2013)의 연구보다 건조시간이 짧았다. 재면할렬이 건조 초기에 발생된다는 점을 고려하면 건조단계의 영향은 크지 않을 것이다. 또한 목재가 가지는 재질의 불균일성이 영향을 미칠 수 있다고 하더라도 두 배 이상의 재면할렬이 더 발생되었다. 이러한 점들을 고려하면 고온건조단계의 시간을 감소시킨 것에 의한 영향이 가장 큰 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 따라서 횡단면 15 cm 크기의 소나무 정각재의 재면할렬 발생을 억제하기 위해서는 고온건조 단계의 시간을 더 길게 적용할 필요가 있을 것으로 사료된다.

Table 3. Length and number of internal check occurred on the Red pine square timbers with dimensions of thickness 15 cm after drying

Treatment	Distance from end surface of specimen (cm)					
	60		120		180	
	Length (mm)	Piece	Length (mm)	Piece	Length (mm)	Piece
Control	162	3	68	2	132	3
Incising	82	2	142	3	98	2
Kerfed	42	2	25	1	None	
Incising-Kerfed	129	4	37	1	131	4

3.3. 내부할렬

건조 후 발생된 내부할렬의 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 내부할렬은 Kerfed 시험재에서 비교적 적게 발생되긴 하였으나, Incising-kerfed 시험재는 Control과 Incising 시험재와 차이를 나타내지 않았다. Lee 등(2013)과 Yoshida *et al.* (2004)은 시험재 내부의 함수율이 감소됨에 따라 내부할렬의 발생이 증가되며, 함수율 20% 부근에서 상당히 큰 규모의 내부할렬이 발생될 수 있음을 보고하였다. 따라서 본 연구에서 시험재의 내부함수율이 전처리 조건에 관계없이 10% 전·후를 나타내고 있었던 점을 고려하면, 내부할렬 발생에 전처리 조건에 따른 영향보다 시험재의 내부함수율에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다. 또한 내부할렬이 고온건조에서 흔히 발생되기 때문에 내부할렬 발생을 감소시키기 위해서는 고온건조 시간을 더 감소시킬 필요가 있을 것으로 사료된다.

3.4. 비틀림과 수축률

건조 후 건조수축률과 뒤틀림의 측정결과는 Table 4에 나타내었다. 건조수축률은 약 3% 전·후를 나타내었으며, 건조 후 약 2.5% 전·후의 건조수축률을 보고한 Lee 등(2013)의 연구와 비교하여 건조 수축률이 약간 증가된 것으로 나타났다. Hwang과 Park (2009)은 소나무 소시험편과 대단면 시험편의 방향별 수축률 및 체적수축률 변화를 검토한 결과, 심재

Table 4. Drying shrinkage and twist of Red pine square timbers after drying

Treatment	Drying shrinkage (%)	Twist (mm)
Control	2.9	21
Incising	3.2	21
Kerfed	3.6	16
Incising-Kerfed	2.8	15

시험편의 경우 시험편의 크기가 증가할수록 수축억제효과가 현저할 뿐만 아니라, 심재가 많이 포함되고 단면이 커질수록 체적수축률도 감소한다고 보고하였다. 이는 횡단면 크기가 증가함에 따라 단면구성에 있어 방사 및 접선 방향의 구분이 불명확한 부분이 존재하기 때문이라고 하였다. 일반적으로 단면의 크기가 증가함에 따라 건조 중 수분경사가 크게 형성되며, 수분경사에 기인하여 발생된 응력은 지속시간이 증가함에 따라 건조 중 creep에 기인한 수축억제 현상을 야기할 수 있다. 따라서 선행연구와 비교하여 건조 수축률에 차이를 나타낸 것은 시험재의 크기가 작았기 때문인 것으로 사료된다.

뒤틀림의 경우 인사이징 처리에 의한 차이는 없었으나, 배할을 가공한 시험재들에서 약간 감소되는 경향을 나타내었다. 이는 배할 가공이 뒤틀림발생에 영향을 미치지 않는다고 보고한 Lee 등(2013)의 연구와 상반된 결과이다. 본래 배할은 한 단면에 생성된 흠으로 응력을 집중시킴으로서 나머지 세 단면에 형성되는 인장응력의 감소를 유도함으로써 건조 중 발

생되는 응력을 감소시키고, 통나무 건조 시 흔히 발생하는 V형 크랙을 예방하기 위해 제안된 전처리이다(Hsu and Tang, 1974). 이는 배할이 건조 중 발생하는 응력에 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 Lee 등(2013)의 결과와 비교하여 배할을 가공한 시험재들의 비틀림 발생에 차이를 나타낸 것은 수축률의 차이와 배할 가공이 영향을 주었기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결 론

횡단면 15 cm 크기의 소나무 정각재의 건조에 소요된 시간은 총 228시간이었으며, 배할과 자상인사이징 처리는 최종함수율 및 분포에 영향을 미치지 않았다. 최종함수율은 5.6% ~ 7.5%로 조사되어 건조시간을 감소시키더라도 18% 이하로 건조가 가능할 것으로 사료된다. 건조 후 조사된 할렬의 대부분은 폭 2 mm의 할렬들이었으며, 배할 처리한 시험재에서 가장 적게 발생하였다. 자상-인사이징 처리는 재면할렬 발생을 억제하기 위한 전처리로 적합하지 않으며, 재면할렬 발생을 억제하기 위해서는 고온건조 시간을 더 길게 적용할 필요가 있을 것으로 판단된다. 전처리 조건에 따른 내부할렬 발생에 차이는 없었다. 건조 수축률은 약 3% 전·후로 조사되었다. 뒤틀림의 경우 인사이징 처리에 의한 차이는 없었으나, 배할을 처리할 때 약간 감소되는 경향을 나타내었다.

사 사

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

REFERENCES

Hermawan, A., Fujimoto, N., Sakagami, H. 2012. Effects of high-temperature and low-humidity pretreatment on the drying properties of sugi

boxed-heart timber with black-colored heartwood. *Drying Technology* 30(7): 780-786.

Hwang, K.H., Park, B.S. 2009. Effect of cross-sectional dimension on the shrinkage property of Korean red-pine wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 37(3): 231-238.

Hsu, N.N., Tang, R.C. 1974. Internal stresses in wood logs due to anisotropic shrinkage. *Wood Science* 7(1): 43-51.

Lee, C.J., Lee, N.H., Eom, C.D., Shin, I.H., Park, M.J., Park, J.S. 2013. Effect of end-coating around pith of heavy timbers of red pine and korean pine on high-temperature and low-humidity drying characteristics. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 41(3): 221-233.

Lee, C.J., Lee, N.H., OH, S.W. 2016. Effects of the knife-incising and kerfing pretreatment on moisture content and surface check occurrence of douglas-fir heavy timber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 44(3): 302-314.

Lee, C.J., Lee, N.H., Kim, B.J., OH, S.W. 2015. Distribution of the final moisture content according to the timber size, wood assortment, and species on Thinning Timber dried with high-temperature and low-humidity drying. 2015 proceeding of the Korean Society of Wood Science Technology annual meeting, pp. 238-239.

Lee, C.J., Lee, N.H., OH, S.W. 2015. Characteristics of twist occurrence according to the cross-sectional size and species on Thinning Timber dried with high-temperature and low-humidity drying. 2015 proceeding of the Korean Society of Wood Science Technology annual meeting, pp. 236-237.

Lee, C.J., Lee, N.H., Park, M.J., Park, J.S., Eom, C.D. 2014. Effect of reserve air-drying of korean pine heavy timbers on high-temperature and low-humidity drying characteristics. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*

- 42(1): 49-57.
- Park, G.S. 2010. Tell the Hanok. Iljinsa Publishing Co., Seoul, Korea.
- Park, M. J., Jung, H. S. 1987. High-temperature drying of *Pinus densiflora* and *Pinus rigida* dimension lumber. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 15(2): 53-66.
- Simpson W.T. 1991. Dry kiln operator's manual. Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA.
- Shin, I.H. 2010. Effect of the pretreatment of high-temperature and low-humidity on the drying rate and the prevention of checking during methods of heavy timbers of domestic softwoods. Master's Thesis, Chonbuk National University, Korea.
- Yoshida, T. 2008. Development of high temperature drying of wood. *Wood Industry (Japan)*. 63(9): 400-405.
- Yoshida, T., Hashizume, T., Takeda, T., Tokumoto, M., Inde, A. 2004. Reduction of Surface Checks by the High-Temperature Setting Method on Kiln Drying of Sugi Boxed-Heart Timber without Back-Splitting. *Journal of The Society of Materials Science, Japan* 53(4): 364-369.