

# 집성재 제조용 중국산 층재 수종의 적정 열처리 시간 평가<sup>1</sup>

김민지<sup>2</sup> · 신현경<sup>3</sup> · 김규혁<sup>2,†</sup>

## Estimation of Heat Sterilization Time of Chinese Laminae Species Used in The Production of Glue-laminated Board<sup>1</sup>

Min-Ji Kim<sup>2</sup> · Hyun-Kyeong Shin<sup>3</sup> · Gyu-Hyeok Kim<sup>2,†</sup>

### 요약

본 연구는 70~100℃ 온도 범위에서 기건 오동나무, 소나무류, 잣나무류, 낙엽송류 층재의 건열처리시 중심부 온도를 56℃로 상승시킨 후 30분간 유지하는데 소요되는 열처리 시간을 평가하고, 열처리 온도 및 층재 두께와 열처리 시간과의 관계를 구명하기 위해 수행되었다. 열처리 시간은 소나무류 ≥ 전나무류 > 오동나무 > 낙엽송류 순으로 수종간에 상이하게 나타났다. 일부 수종에서 통계학적으로는 유의성 있는 열처리 시간의 차이가 존재하지만 그 차이가 실제적 측면에서 큰 의미가 없기 때문에 공시수종을 혼합하여 열처리 해도 무방하리라 사료된다. 열처리 시간은 열처리 온도와 거듭제곱 관계로 온도가 상승할수록 크게 단축되었다. 또한 열처리 시간은 층재 두께에 비례하여 직선상으로 증가하였다. 열처리 온도 및 층재 두께와 열처리 시간의 상관성이 매우 우수하여 본 연구에서 도출된 관계 함수를 이용하면 다양한 열처리 온도와 층재 두께에서의 열처리 시간 예측이 가능하였다. 본 연구의 결과는 중국산 집성재 수입을 통한 규제해충의 국내 유입을 차단하기 위한 기건 층재의 열처리를 위한 지침으로 사용할 수 있으리라 사료된다.

### ABSTRACT

This study explored the effects of heating temperature and laminae thicknesses on the time required to heat the center of air-dried *Paulownia tomentosa*, *Pinus* sp., *Abies* sp., and *Larix* sp. laminae to 56℃, which is a minimum core temperature of wood packaging materials defined by ISPM 15 standard, and maintain for 30 minutes in dry heat treatment schedule. Heating times were different among wood species and were *Pinus* sp. ≥ *Abies* sp. > *Paulownia tomentosa* > *Larix* sp. in decreasing order. The differences in heating times of some species were significantly different statistically, but were not different enough in practical terms to warrant heating four species separately. Heating times decreased as heating temperature increased and followed approximately power-function relationship.

<sup>1</sup> Date Received July 20, 2016, Date Accepted September 4, 2016

<sup>2</sup> 고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부. Division of Environmental Science and Ecological Engineering, College of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

<sup>3</sup> 국립산림과학원 임산공학부 재료공학과. Division of Wood Engineering, Department of Forest Products, National Institute of Forest Science, Seoul 02455, Republic of Korea

<sup>†</sup> 교신저자(Corresponding author): 김규혁(e-mail: lovewood@korea.ac.kr)

Also, heating times increased linearly with increasing laminae thickness. These relationships make it possible to calculate intermediate heating times relative to experimentally observed heating times. The results of this study will serve as a guideline for heat sterilization of Chinese laminae species to meet heat treatment requirements for protection against invasive pests.

**Keywords :** glue-laminated board, heat sterilization, Chinese laminae species, heating times

## 1. 서 론

수입 집성재의 소독 및 폐기건수 상위 3개국 생산 업체에 대한 현장실사 결과, 말레이시아나 인도네시아 업체와 달리 중국 업체에서는 층재 대부분을 천연 건조하고 있었다(Kim 등, 2016). 이러한 결과로부터 2012년 오동나무 집성재를 가공품목에서 제외한 농림수산검역검사본부(현 농림축산검역본부)의 고시 개정은 합당한 조치였음을 알 수 있었고, 또한 오동나무 외 타 수종 집성재 수입도 규제해충(이하 해충이라 칭함)의 유입경로가 될 수 있음을 확인하였다. 중국 업체 관계자들에 의하면 층재를 열기 건조 하지 않는 이유는 업체들이 건조실 시설을 위한 투자를 꺼리기 때문이라고 한다. 그렇기 때문에 중국의 영세 업체들에게 무조건 건조실을 설치하여 층재를 열기 건조 하라는 것은 무리라고 판단된다. 중국 업체들이 열기 건조 대안으로 사용할 수 있는 방법으로 천연 건조로 층재 함수율을 조정한 후 단시간 건열처리(이하 열처리라 칭함)를 실시하여 층재 내에 잠복해있는 해충을 구제하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이 방법은 열기 건조에 비해 시설 투자 및 에너지 비용 측면에서 경제적이면서도 층재 내 해충 구제효과는 열기 건조와 동등한 방법이라 할 수 있다. 따라서 중국산 집성재 수입에 따른 해충의 국내 유입을 차단하기 위해서는 천연 건조 층재의 적정 열처리 시간(중심부 온도를 56℃로 상승시킨 후 30분간 유지하는데 소요되는 시간)<sup>2)</sup>을 구명하여 생산업체에 사용을 적극 권고할 필요가 있다.

2) 식물위생조치를 위한 국제기준(ISPM) No.15 「국제 교역에서의 목재포장재의 규제에 관한 지침」(Food and Agriculture Organization, 2009)에 제시된 적정 열처리 시간.

본 연구는 중국산 오동나무(*Paulownia tomentosa*), 소나무류(*Pinus* sp.), 젓나무류(*Abies* sp.), 낙엽송류(*Larix* sp.) 층재의 적정 열처리 시간을 제시하고, 열처리 온도와 층재 두께가 열처리 시간에 미치는 영향을 구명하기 위해 수행되었다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시수종

중국 산둥성 차오(Cao)현의 집성재 생산업체에서 사용하는 수종인 오동나무, 소나무, 가문비나무 제재목을 구입하여 한국임업진흥원에 수종식별을 의뢰하였다. 식별 결과, 현지에서 가문비나무로 구입한 것은 젓나무류(*Abies* sp.)였고, 소나무로 구입한 일부는 낙엽송류(*Larix* sp.)였다. 결과적으로 본 연구에서는 오동나무(*Paulownia tomentosa*), 소나무류(*Pinus* sp.), 젓나무류, 낙엽송류 네 수종을 공시수종으로 사용하였다.

### 2.2. 목재 시험편 준비

중국의 비가공 목재 수출 금지 조치 때문에 공식적인 경로를 통한 제재목 확보가 불가능하여 중국 업체에서 집성재 생산에 사용하는 모든 두께의 층재 시험편을 필요량만큼 준비할 수 없었다. 따라서 현재 농림축산검역본부 고시 제 2013-49호(Animal and Plant Quarantine Agency, 2013)에서 가공품목으로 인정되는 집성재 최대 두께가 40 mm인 점을 고려하여 두께 40 mm 시험편(폭 120 mm, 길이 400 mm)을 수종별로 3개씩 준비하였다. 모든 시험편은 기건 상태에 도달할 때까지 실내에서 건조하였으며, 열처

**Table 1.** Experimental heating times to heat *Paulownia tomentosa*, *Pinus* sp., *Abies* sp. and *Larix* sp. to a center temperature of 56°C and to maintain for a minimum 30 minutes in various heating temperatures.<sup>1</sup>

Heating temperature (°C)	Thickness of laminae (mm)	Heating times by wood species (HH : MM : SS)			
		<i>Paulownia tomentosa</i>	<i>Pinus</i> sp.	<i>Abies</i> sp.	<i>Larix</i> sp.
70	20	1 : 26 : 00 (10 : 00) B	2 : 00 : 24 (11 : 55) A	1 : 49 : 40 (08 : 39) A	1 : 14 : 50 (04 : 27) C
	30	1 : 37 : 00 (08 : 02) B	2 : 06 : 10 (15 : 37) A	1 : 57 : 50 (10 : 32) A	1 : 19 : 20 (03 : 37) C
	40	1 : 47 : 00 (07 : 18) B	2 : 14 : 00 (11 : 10) A	2 : 15 : 10 (11 : 36) A	1 : 21 : 30 (02 : 49) C
80	20	1 : 07 : 10 (05 : 08) B	1 : 31 : 50 (18 : 29) A	1 : 18 : 30 (10 : 44) AB	1 : 06 : 40 (03 : 21) B
	30	1 : 22 : 20 (06 : 26) C	1 : 44 : 00 (07 : 18) A	1 : 34 : 10 (09 : 40) B	1 : 12 : 00 (01 : 40) D
	40	1 : 29 : 20 (04 : 35) C	1 : 53 : 50 (07 : 18) A	1 : 43 : 40 (05 : 30) B	1 : 13 : 20 (01 : 51) D
90	20	0 : 58 : 50 (07 : 45) B	1 : 19 : 28 (23 : 11) A	1 : 05 : 40 (13 : 17) AB	0 : 56 : 30 (05 : 17) B
	30	1 : 04 : 35 (03 : 12) B	1 : 27 : 10 (11 : 21) A	1 : 08 : 17 (06 : 06) B	1 : 01 : 10 (03 : 54) B
	40	1 : 15 : 06 (03 : 12) C	1 : 42 : 23 (08 : 31) A	1 : 27 : 55 (12 : 38) B	1 : 02 : 52 (03 : 43) D
100	20	0 : 54 : 02 (00 : 59) B	1 : 08 : 47 (06 : 49) A	0 : 59 : 10 (05 : 30) A	0 : 54 : 00 (03 : 27) A
	30	1 : 06 : 00 (03 : 26) B	1 : 18 : 50 (10 : 16) A	1 : 05 : 45 (05 : 32) B	0 : 59 : 00 (03 : 48) B
	40	1 : 10 : 10 (02 : 36) C	1 : 32 : 20 (06 : 30) A	1 : 22 : 00 (05 : 27) B	1 : 00 : 10 (03 : 58) D

<sup>1</sup> Values represent means of 6 heating time measurements, and values in parentheses represent one standard deviation. Means within a row followed by the same letter are not significantly different at the 99 percent significance level according to the Duncan's multiple range test.

리 직전 오동나무, 소나무류, 젓나무류, 낙엽송류 시험편의 평균 함수율은 각각 14.0%, 13.8%, 13.3%, 12.7%였다.

### 2.3. 시험편 열처리 및 열처리 중 중심부 온도 측정

시험편의 열처리는 열풍순환식 건조기(convection oven)를 이용하여 70, 80, 90, 100°C에서 실시하였다. Fig. 1에 보여주는 바와 같이 시험편의 양 방향으로 깊이(10 mm, 15 mm, 20 mm)별 온도를 측정함으로써 두께 20 mm, 30 mm, 40 mm 층재의 중심부 온도 측정을 대신하였다. 온도는 자료수집장치(data logger)에 연결된 열전대(thermocouple)를 필요한 위치에 삽입하여 10초 간격으로 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

적용된 열처리 온도와 층재 두께의 조합별로 오동나무, 소나무류, 젓나무류, 낙엽송류의 열처리 시간을 Table 1에 보여준다. 예상했던 바와 같이 열처리 시간이 수종간에 상이하았는데, 소나무류 ≥ 젓나무류 > 오동나무 > 낙엽송류 순으로 열처리 시간이 길었다. 이러한 열처리 시간의 차이는 수종간 열전도율이 상이하기 때문에 나타난 결과라고 볼 수 있다. 층재 표층에서 중심부로 열전도율은 목재의 횡단방향 열전도율로 밀도, 함수율, 추출물 함량의 영향을 받는다(Kellogg, 1981). 공시수종이 추출물 함량이 높지 않은 온대산 수종인 점과 사용된 시험편의 함수율이 공시수종간에 차이가 없다는 점을 고려하면 수종간 밀도 차이가 본 연구의 수종간 열처리 시간 차이를 영향했을 것으로 추정할 수 있다. 평균 기건밀도가 낙엽송류(0.55) > 소나무류(0.48) > 젓나무류

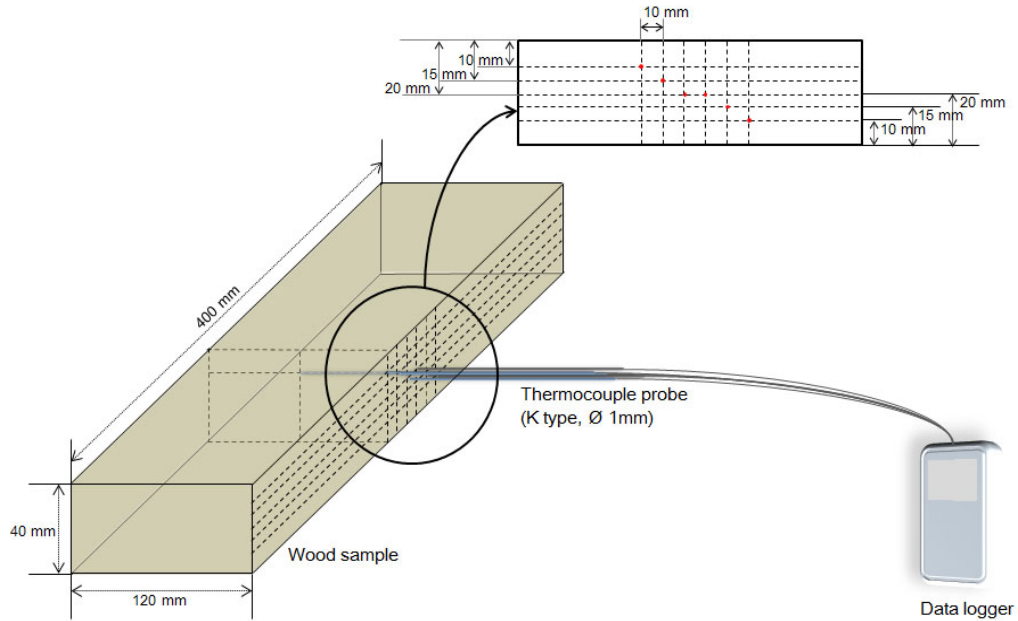


Fig. 1. Measurement of temperature at the different depths of wood specimen by thermocouple probe with data logger.

(0.34) > 오동나무(0.28) 순으로 높기 때문에 열처리 시간은 오동나무 > 잣나무류 > 소나무류 > 낙엽송류 순으로 길어야 하는데 낙엽송류를 제외하고는 일치하지 않았다. 수종의 밀도가 증가할수록 열처리 시간이 짧아져야 하는데 그렇지 못한 이유는 동일 수종에서도 임목 개체간, 그리고 동일 임목에서도 부위간 밀도와 추출물 함량의 자연적 변이가 존재하기 때문이라 사료된다. 열전도율 외에 수종간 열처리 시간 차이를 영향하는 인자로 생각해 볼 수 있는 것이 열전도율을 비열과 밀도의 곱으로 나눈 값인 목재의 열확산계수이다. 앞서 수종간 열처리 시간 차이를 설명하기 위해 언급된 열전도율과 밀도를 배제하면 수종의 비열이 작을수록 열확산계수가 증가하면서 열처리 시간이 감소될 것이다. 비열은 목재 인자인 함수율 영향을 받는데(Kellogg, 1981), 본 연구에서 사용된 시험편의 함수율이 수종간에 차이가 없기 때문에 수종간 열확산계수 차이로 열처리 시간 차이를 설명할 수 없다고 사료된다. 그리고 당연한 결과이지만 동일 두께에서는 열처리 온도가 높을수록 열 전

달 추진력인 표면과 중심부간 온도경사가 커지면서 열전도율이 증가하기 때문에 열처리 시간이 단축되었고, 또한 동일 열처리 온도에서는 두께가 얇을수록 열전달 거리가 짧아지면서 열처리 시간이 단축되었다. 참고로 본 연구에서 측정된 건열처리에 의한 열처리 시간은 수분 증발에 의한 목재표면의 냉각효과 차이 때문에 열기건조(습열처리)에 의한 시간보다는 길다. 이는 열기건조에 비해 건습구 온도차가 큰 건열처리에서는 목재 표면으로부터 수분 증발이 많아지면서 목재 표면이 냉각되면 목재 표면과 중심부간 온도경사가 작아지면서 중심부로 열 전달이 느려지기 때문이다(Simpson, 2002).

복합 수종을 층재로 사용하는 집성재 생산업체에서는 수종간 열처리 시간이 크게 차이 나지 않을 경우에는 대상 수종을 혼합하여 열처리를 실시할 수 있다. 본 연구에서 사용된 공시수종의 혼합 열처리 가능 여부를 파악하기 위해 Duncan의 다중검정법을 이용하여 열처리 시간의 수종간 비교를 실시하였다 (Table 1). 수종간 혼합 처리 가능 여부는 다음과 같

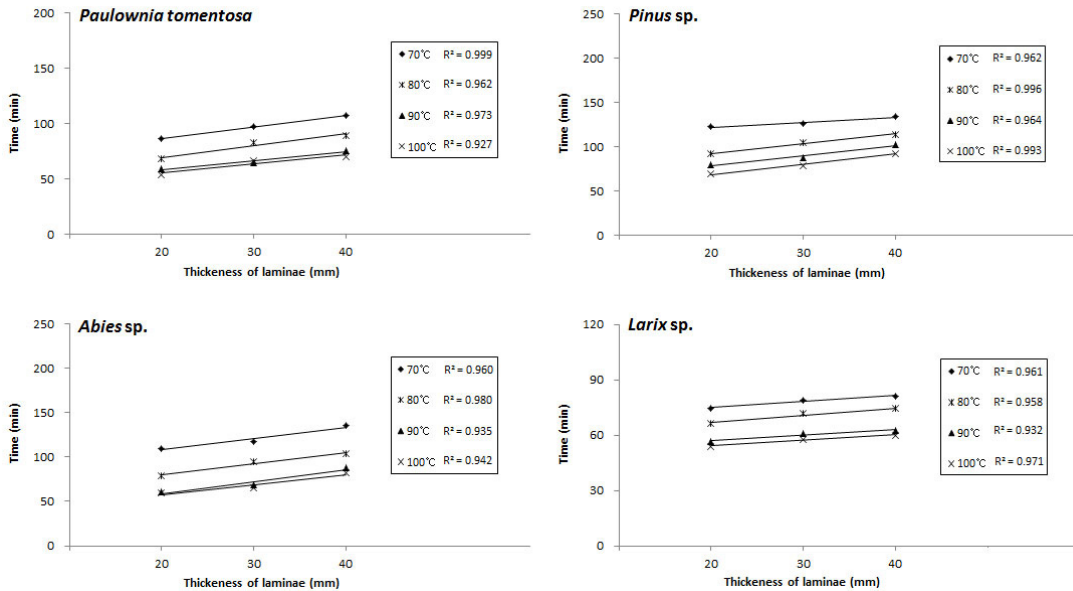


Fig. 3. Relation between heating time and thickness of laminae.

이 열처리 온도와 층재 두께의 영향을 받는 것으로 나타났다. 열처리 온도 70°C에서는 층재 두께에 관계없이 소나무류와 잣나무류의 혼합 열처리는 가능하였으나 이들 수종과 오동나무 및 낙엽송류의 혼합 열처리는 불가능한 것으로 나타났다. 열처리 온도 80°C 이상에서는 층재 두께에 따라 혼합 열처리 가능 여부가 상이하게 나타나 두께가 두꺼울 때는 수종간 혼합 열처리가 불가능하고 얇을 때는 가능한 것으로 나타났다. 열처리 온도 80°C에서 두께 30 mm와 40 mm 층재와 열처리 온도 90°C와 100°C에서 두께 40 mm 층재는 네 수종간 혼합 열처리가 불가능하였다. 그러나 열처리 온도 80°C에서 두께 20 mm 층재와 90°C와 100°C에서 두께 20 mm 및 30 mm 층재의 경우에는 잣나무, 오동나무, 낙엽송류 세 수종의 혼합처리가 가능한 것으로 나타났다. 그러나 이처럼 일부 수종에서 통계학적으로는 유의성 있는 열처리 시간의 차이가 존재하지만 열처리 시간이 가장 긴 소나무류와 열처리 시간이 가장 짧은 낙엽송류의 시간 차이가 최대 52분 30초(40 mm 층재의 70°C 열처리 시)로 1시간 이내였다. 이러한 열처리

시간의 차이는 생산현장의 실제적 측면에서 큰 의미가 없기 때문에 수종간에 혼합 열처리를 해도 무방하리라 사료된다.

층재에 기 서식하고 있는 해충을 구제하기 위해서는 일단 기건함수율까지 천연 건조된 층재를 Table 1에 보여주는 시간만큼 열처리를 실시해야 한다. 그러나 천연 건조 정도에 따라 열처리 직전 층재의 함수율이 본 연구에서 사용한 시험편의 함수율과 상이할 수 있고, 층재의 보관 장소 및 계절에 따라 층재 자체의 초기 온도가 상이할 수 있고, 또한 동일 수종의 층재라도 원목 산지와 동일 원목에서도 층재의 채취 부위에 따라 밀도와 추출물 함량이 상이할 수 있으므로 실제 현장에서는 확실한 검역 안전성 확보를 위해 본 연구 결과 얻어진 열처리 시간보다 조금은 길게 열처리를 실시할 필요가 있다고 사료된다.

회귀분석 결과, 열처리 온도 및 층재 두께와 열처리 시간과의 관계를 각각 다음의 식 (1)과 (2)에 보여주는 거듭제곱 및 직선 관계로 나타낼 수 있었다. Fig. 2와 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 모든 수종에서 열처리 온도와 열처리 시간, 그리고 층재 두께와 열처리

집성재 제조용 중국산 층재 수종의 적정 열처리 시간 평가

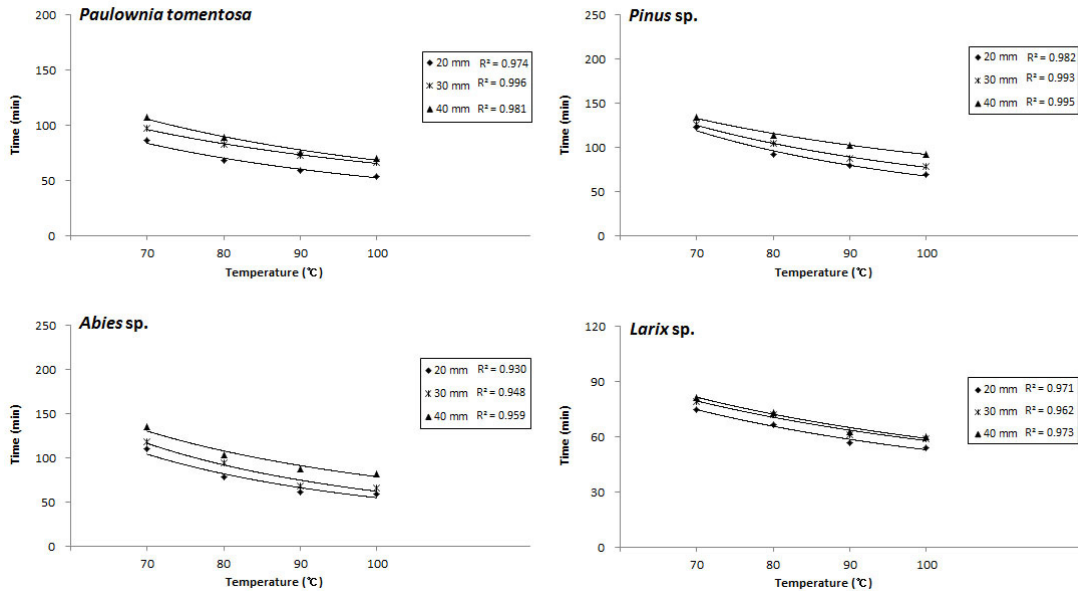


Fig. 2. Relation between heating time and heating temperature.

리 시간 간의 상관성이 매우 우수하여 상기 식 (1)과 (2)를 이용하여 본 연구에서 측정되지 않은 열처리 온도와 층재 두께에 대한 열처리 시간 예측이 가능하였다.

$$\text{Heating time} = A \times (\text{heating temperature})^B \quad (B > 0)$$

..... (1)

$$\text{Heating time} = A \times (\text{thickness of laminae}) + B$$

..... (2)

#### 4. 결 론

중국산 층재 수종의 적정 열처리 시간을 평가하기 위해 수행된 본 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. 열처리 시간은 소나무류 ≥ 잣나무류 > 오동나무 > 낙엽송류 순으로 나타났으며, 수종간 혼합 열처리 가능 여부는 열처리 온도와 층재 두께에 따라 상이하였다. 70°C에서는 층재 두께에 관계없이 소나무류와 잣나무류의 혼합 열처리는 가능하였으나 이들과 오동나무 및 낙엽송류와 혼합

열처리는 불가능한 것으로 나타났다. 80°C 이상에서는 층재 두께에 따라 혼합 열처리 가능 여부가 상이하여 두께가 두꺼울 때는 수종간 혼합 열처리가 불가능하나 얇을 때는 가능한 것으로 나타났다. 열처리 온도 및 층재 두께와 열처리 시간의 관계는 각각 거듭제곱과 직선 관계로 양자간의 상관성이 매우 우수하여 본 연구에서 측정되지 않은 열처리 온도 및 층재 두께에서의 열처리 시간 예측이 가능하였다.

#### 사 사

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림수산식품기술기획평가원의 수출전략기술개발사업의 지원을 받아 연구되었음(312063-2).

#### REFERENCES

Animal and Plant Quarantine Agency. 2013. Examples of processed products. Notification No. 2013-49.

- Food and Agriculture Organization (FAO). 2009. International Standards for Phytosanitary Measures: Revision of ISPM No. 15, Regulation of Wood Packaging Material in International Trade. Publication No. 15. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Kellogg, R. M. 1981. Physical properties of wood. In: Wood: Its structure and Properties (F. F. Wangaard Eds.). Volume 1. Clark C. Heritage Memorial Series on Wood. The Pennsylvania State University. University Park, PA. pp. 205-206.
- Kim, M.-J., Shin, H.-K., Choi, Y.-S., Sabiha Salim, Kim, G.-H. 2016. Investigation on the cause of interception of regulated pest from imported glue-laminated boards through in-situ inspection of their manufacturing processes. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 44(5): 617-621.
- Simpson, W. T. 2002. Effect of wet bulb depression on heat sterilization time of slash pine lumber. Research Paper FPL-RP-604. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI. 6p.