

발간등록번호

11-1543000-000796-01

수입 집성재의 검역 안전성 확보를 위한 집성소재의 적정 열처리 기술 및 열처리 여부 판단 기술 개발에 관한 연구

Development of optimal heat sterilization process of laminae and techniques to judge heat sterilization for securing quarantine safety of import laminated wood

고려대학교

농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “수입 집성재의 검역 안전성 확보를 위한 집성소재의 적정 열처리 기술 및 열처리 여부 판단 기술 개발에 관한 연구”과제의 보고서로 제출합니다.

2015년 1월 17일

주관연구기관명 : 고려대학교

주관연구책임자 : 김 규 혁

세부연구책임자 : 김 규 혁

세부연구책임자 : 조 기 중

참 여 기 업 : (주)다우통상

요 약 문

I. 제 목

수입 집성재의 검역 안전성 확보를 위한 집성소재의 적정 열처리 기술 및 열처리 여부 판단 기술 개발에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

농림축산검역본부는 최근 수입 오동나무 집성재의 임의추출 조사 과정에서 규제해충인 하늘소와 나무좀이 검출됨에 따라 고시 제2011-48호를 개정하여 오동나무 집성재를 가공품 품목에서 제외하였다(개정고시 제2012-6호). 이는 집성소재의 건조공정에서 열처리가 미흡하여 집성소재를 기 가해하고 있던 해충의 구제가 불가능하였거나 집성소재의 열처리는 제대로 되었지만 열처리 후 집성소재의 보관 및 최종 집성재 생산 후 보관 또는 운송과정에서 재감염 되었기 때문으로 판단된다. 뿐만 아니라 농림축산검역본부 검역통계에 따르면 실제로 2000년도부터 2012년 사이에 수입 집성재의 임의추출조사 결과, 오동나무 외의 수종을 집성소재로 사용한 말레이시아, 인도네시아, 중국, 일본으로부터 수입된 집성재 중 총 33건의 소독 및 폐기 처리 집성재가 발생하였다는 점을 감안할 때, 집성소재 적정 열처리 기술 및 열처리 실시 여부 판단 기술 개발은 수입 목재 및 목제품이 규제해충의 국내 이동 매개체가 되는 일을 막을 수 있는 것은 물론 전 세계적으로 목재 및 목제품의 수출입에 있어 검역 안전성을 확보하는 일이라 할 수 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 수입 집성재 생산업체의 생산 공정 현지 실사

- 2000년부터 2012년 사이 수입 집성재 소독 및 폐기 건수 상위 3개국인 말레이시아, 인도네시아, 중국과 현재까지 규제해충에 감염된 집성재의 수입이 보고된 바 없는 네덜란드를 조사대상 국가로 선정
- 집성재의 규제해충 구제 및 재감염과 관련된 집성소재 열처리 방법, 열처리 후 집성소재의 보관 방법, 집성소재의 finger jointing 및 edge gluing시 열적용 유무, 집성재 포장 방법 조사

2. 현지 실사 결과에 의한 집성재 생산 공정의 검역 안전성 평가

- 각 생산 공정 단계별로 기 가해된 규제해충의 구제 여부 및 재감염 가능성 판별

- ◆ 집성소재의 원료인 원목 또는 제재목 상태에서 기 가해된 규제해충은 집성소재의 적절한 열처리(집성소재의 중심부 온도를 56℃에서 30분 이상 유지할 수 있는 열처리)에 의해 구제 가능
- ◆ 최종 집성접착 전 보관중인 열처리 집성소재를 규제해충이 가해할 수 있는데, 이는 집성소재의 접착시 적용된 열(고온 압착, 고주파 접착)에 의해 구제 가능
- ◆ 최종 집성재를 규제해충이 가해할 수 있는데, 이는 집성재의 적절한 포장에 의해 규제해충의 재감염 예방 가능

3. 집성소재 적정 열처리 조건 구명

- 확보 가능한 수종(낙엽송, 삼나무, 소나무, 오동나무, 잣나무, dark red meranti)을 대상으로 집성소재 두께와 적용 온도 조합 별로 중심부 온도를 56℃까지 상승시키는데 소요되는 시간 결정

4. 집성소재 열처리 실시 여부 판단 기술 개발

- 열처리에 의한 재색 및 습윤성 변화 분석을 통한 집성소재 열처리 판단 기술 개발

IV. 연구개발결과

1. 수입 집성재 생산업체의 생산 공정 현지 실사 및 현지 실사 결과에 의한 집성재 생산 공정의 검역 안전성 평가

가. 말레이시아

- ◆ 실사 대상 업체 전부 집성소재의 열기건조를 실시하였는데, 한 개 업체의 열기건조 조건은 낮은 건구온도로 인해 기 가해된 규제해충의 구제 불가능
- ◆ 실사 대상 업체 전부 집성소재를 열적용 없이 상온 접착하는 관계로 건조 집성재가 보관 중 규제해충에 재감염될 경우 구제 불가능
- ◆ 집성소재의 적절한 열기건조를 실시하는 업체의 경우에도 건조 집성소재의 보관 및 최종 집성재의 포장 상태가 불량하여 규제해충의 재감염 가능

나. 인도네시아

- ◆ 실사 대상 업체 전부 적절한 집성소재의 열기건조를 통해 기 가해된 규제해충의 구제 가능
- ◆ 실사 대상 업체 전부 집성소재를 열적용 없이 상온 접착하는 관계로 건조 집성재가 보관 중 규제해충에 재감염될 경우 구제 불가능
- ◆ 집성소재의 적절한 열기건조를 실시하는 업체의 경우에도 건조 집성소재의 보관 및 최종 집성재의 포장 상태가 불량하여 규제해충의 재감염 가능

다. 중국

- ◆ 오동나무 집성소재는 100% 천연건조를 실시하고, 또한 타 수종 집성소재의 경우에도 부적절한 열기건조를 실시하는 관계로 기 가해된 규제해충의 구제 불가능
- ◆ 실사 대상 세 업체는 집성소재를 열적용 없이 상온 접착하는 관계로 건조 집성재가 보관 중 규제해충에 재감염될 경우 구제 불가능하고, 한 업체는 열 압착(두께 30mm 집성소재의 경우, 50-60℃에서 6분간 압착)을 실시하고 있으나 적용 온도와 시간을 고려할 때 역시 건조 집성재가 보관 중 규제해충에 재감염될 경우 구제 불가능
- ◆ 집성소재의 적절한 열기건조를 실시하는 업체의 경우에도 건조 집성소재의 보관 및 최종 집성재의 포장 상태가 불량하여 규제해충의 재감염 가능

라. 네덜란드

- ◆ 집성재의 최종 사용 목적에 따라 알맞은 인증을 획득하여 지속적인 품질 관리 실시
- ◆ 실사 대상 업체 전부 집성소재의 적절한 열기건조를 실시하고 있고, 또한 건조된 집성소재를 비닐로 완벽 밀봉하여 실내 창고에 별도로 보관하기 때문에 집성소재를 기 가해하고 있는 규제해충의 구제가 가능하고, 또한 건조 집성소재의 보관 중 규제해충의 재감염 불가능
- ◆ 집성소재의 접착은 고주파접착을 이용하는 관계로 만일 건조 집성소재의 보관 중 규제해충이 재감염되어도 구제 가능
- ◆ 최종 집성재는 개별적으로 라벨링한 후 여러 겹의 비닐로 포장하여 규제해충의 재감염에 노출될 가능성 완전 배제

2. 집성소재의 적정 열처리 조건 구명

확보 가능한 수종(낙엽송, 삼나무, 소나무, 오동나무, 잣나무, dark red meranti)을 대상으로 열처리 시 식물위생조치를 위한 국제기준(ISPM)에 제시된 적정 열처리 조건(집성소재 중심부 온도가 56℃에 도달한 후 30분간 유지)을 충족할 수 있는 열처리 시간을 집성소재의 두께와 적용 온도별로 구명

3. 집성소재 열처리 실시 여부 판단 기술 개발

열처리에 의해 재색 및 표면 습윤성 변화는 관찰되었으나 적용된 열처리 온도가 높지 않은 관계로 그 변화 정도가 천연재료인 목재 자체 변이에 따른 변화와 구분이 불가능하였는데, 이는 충분한 목재 시험편 확보를 통해 극복할 수 있기 때문에 집성소재 열처리 실시 여부 판단 기술 개발에 대한 추가적인 연구 필요

V. 연구성과 및 성과활용 계획

수입 집성재 생산업체의 현지실사를 통해 수입 집성재의 규제해충 검출 원인을 파악하였고, 그 결과를 종합하여 수입 집성재의 검역안전성을 위한 후속 조치로 수입 집성재 생산업체에 제시할 수 있다.

SUMMARY

(영문 요약문)

I. Subject of Research

Development of optimal heat sterilization process of laminae and techniques to judge heat sterilization for securing quarantine safety of import laminated wood

II. Purpose and Necessity of Research

Animal and Plant Quarantine Agency in Korea revised notification No. 2011-48 to No. 2012-6 for the exception of Paulownia glue-laminated boards from the list of processed wood products, because pests such as long-horned beetles and wood borers had been detected from imported Paulownia glue-laminated board. Insufficient heat treatment of laminae, improper storage of dried laminae before gluing, or poor packing of final glue-laminated board might be the reason for insect infestation of imported boards. Besides, among the imported glue-laminated boards from 2000 to 2012. 33 boards from Malaysia, Indonesia, China and Japan were fumigated or discarded. Therefore, understanding of insect infestation related problems during manufacturing processes, finding of optimal heat treatment conditions and development of detection techniques of heat treated laminae are necessary to secure quarantine safety.

III. Contents and Range of Research

1. Actual inspection of production process (heat treatment of laminae, manufacturing of glue-laminated board, packing and storage) in foreign glue-laminated board manufacturers

- Selection of foreign glue-laminated board manufacturers in Malaysia, Indonesia and China chosen as the top three countries in poor quarantine safety and Netherland chosen as a good model country

- Investigation of producing process including laminae species, dimensions, moisture content, heat treatment temperature (dry bulb and wet bulb temperatures), heat treatment time, storage, gluing method of laminated wood and packing methods
2. Assessment of production process of foreign glue-laminated board manufacturers for quarantine safety
- Diagnosis of producing process that might be infested by insects
 - ♦ Heat treatment (core temperature of 56 °C for a minimum of 30 minutes)
 - : disinfest the laminae infected by pests
 - ♦ High frequency adhesion and hot pressing process
 - : disinfest the laminae infected by pests during storage before gluing
 - ♦ Packing
 - : prevent insect infestation of glue-laminated boards
3. Optimal heat treatment of laminae
- Determination of optimal heat treatment conditions of six laminar species (Abies, Cedar, Dark red meranti, Larix, Paulownia and Pinus) to get rid of pests
4. Development of detection techniques of heat treated laminae
- Analysis of changes on color and wettability after heat treatment of laminae

IV. Results of Research

1. Investigation of production process and feasibility in foreign glue-laminated board manufacturers
- a. Malaysia
- ♦ Among the four factories, proper heat treatment was performed in three of the manufacturers, but heat treatment schedule in another was not suitable for the

regulation to secure quarantine safety.

- ♦ All manufacturers used room-temperature setting adhesives, and it is impossible to exterminate pests.
- ♦ Packing and storage of laminae after heat treatment were improper to prevent insect infestation of glue-laminated boards.

b. Indonesia

- ♦ All manufacturers performed proper heat treatment.
- ♦ All manufacturers used room-temperature setting adhesives, and it is impossible to exterminate pests.
- ♦ Packing and storage of laminae after heat treatment were improper to prevent insect infestation of glue-laminated boards.

c. China

- ♦ It was hard to sustentation in core temperature of 56 °C for a minimum of 30 minutes in all species of laminae because of poor heat treatment and air drying.
- ♦ Paulownia was dried only in the air.
- ♦ Laminae after drying were stored in the simple shed or outside with vinyl covering.
- ♦ Among four companies, three manufacturers produced handmade glue-laminated board without hot gluing process, thus it is impossible to exterminate vermin.
- ♦ Packing and storage of laminae after heat treatment were improper to prevent insect infestation of glue-laminated boards.

d. The Netherlands

- ♦ glue-laminated board obtained certification in accordance with purpose from the public facilities.
- ♦ Laminae was heat treated under their own condition, and then it was sealed and

kept in storage.

- ♦ glue-laminated board was produced by high frequency adhesion, so pests could destruct during the process.
- ♦ The final glue-laminated board was individually packed with multiple layers of vinyl to prevent the pests after the labeling.
- ♦ Netherland has never been a problem in the course of the quarantine inspection, and it is a model country in terms of quarantine safety of glue-laminated board.

2. Determination of optimal heat treatment of laminae

The appropriate heat treatment conditions of major laminar species (Abies, Cedar, Dark red meranti, Larix, Paulownia and Pinus) were determined and they achieved the regulation from the international standard for phytosanitary measures (ISPM).

3. Development of detection techniques of heat treated laminae

The changes on wood color and wettability after heat treatment by the optimal conditions were investigated and further research is needed to apply in the detection of heat treated laminae.

V. Plan for application of the research

The results indicated the problems which allowed to be infected by pests, thus this report will act as a guideline to foreign glue-laminated board manufacturers.

CONTENTS

(영 문 목 차)

Chapter 1. Summary of Research	14
Section 1. Necessity of the Research	14
Section 2. Purpose of the Research	18
Section 3. Content and Range of the Research	18
Chapter 2. Status of Internal and External Techniques	21
Chapter 3. Contents and Results of Research	23
Section 1. Investigation of glue-laminated board production process of foreign companies and its quarantine safety	23
1. Investigation on glue-laminated board production process of export businesses	23
2. Assessment of foreign companies for quarantine safety	70
Section 2. Development of detection techniques for heat treatment of laminae	72
1. Characteristic of glue-laminated board treated by local heat treatment schedule (I)– color change	72
2. Characteristic of glue-laminated board treated by local heat treatment schedule (II)– wettability	76
Section 3. Development of optimal heat sterilization process for quarantine safety ...	78
1. Optimal heat treatment method of laminae	78
2. Changes of temperature in center of laminae	79

3. Characteristics of glue-laminated board treated by optimal heat sterilization process	102
Section 4. Proposal of appropriate requirements for certification of foreign company	109
4. Achievement of aims and contribution	111
Section 1. Rate of the Achievement	111
Section 2. Rate of the Contribution	112
5. Application of the research	113
Section 1. Plan for using the Research	113
Section 2. Need for further research	113
6. Informations of foreign science and technology	114
7. References	115

목 차

제 1 장	연구개발과제의 개요	14
제 1 절	연구개발의 필요성	14
제 2 절	연구개발의 목적	18
제 3 절	연구개발의 내용 및 범위	18
제 2 장	국내의 기술개발 현황	21
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과	23
제 1 절	수입 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정 조사 및 검역안전성 평가	23
1.	수입 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정 조사	23
2.	수입 집성재 생산업체의 검역안전성 평가	7
제 2 절	집성소재 열처리 실시여부 판단 기술	72
1.	현지 집성소재 열처리 조건에 의한 집성소재의 특성 변화(I)-표면 재색	72
2.	현지 집성소재 열처리 조건에 의한 집성소재의 특성 변화(II)-습윤성	76
제 3 절	집성소재 최적열처리조건 구명	78
1.	집성소재 최적열처리조건 탐색 방법	78
2.	집성소재 중심부의 온도 변화	79
3.	최적 열처리 조건에서 열처리를 실시한 집성소재의 특성	102
제 4 절	검역 안전성 측면에서 타당한 수입 집성재 생산업체 인증요건 제안	109
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	111
제 1 절	목표 달성도	111
제 2 절	관련분야에서의 기여도	112

제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획	113
제 1 절	활용계획	113
제 2 절	추가연구의 필요성	113
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	114
제 7 장	참고문헌	115

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 필요성

집성재는 제재목(집성소재)을 길이, 폭, 두께방향으로 접착하여 생산하는 목제품으로 건축용, 가구용 등에 광범위하게 이용되어 국내 소비가 지속적으로 증가하고 있다. 현재 국내에서 사용되는 집성재는 국내에서 생산되는 일부 물량을 제외하고는 대부분 중국, 말레이시아, 인도네시아, 브라질, 터키 등 10여개 국가에서 수입되고 있다.

일반적으로 목재 및 목제품은 충류의 영양원 혹은 서식처로 이용되기 때문에 수출입 과정에서 국가 간 규제해충(알, 유충, 번데기)의 이동 매개체가 될 수 있다(Wang, 2010). 따라서 목재 및 목제품은 수출입시 반드시 적절한 소독처리를 실시하여 규제해충을 구제해야한다. 식물위생 조치를 위한 국제기준(International Standards for Phytosanitary Measures; ISPM) 「국제교역 상품의 목재포장 제한을 위한 지침(Guidelines for regulating wood packaging material in international trade)」에 따르면 목재 포장재는 중심부 온도가 56℃에 도달한 시점부터 30분 이상 열처리를 실시하거나, Table 1-1의 조건에 충족하게 메틸브로마이드(methyl bromide; MB) 훈증처리를 실시하도록 규정하고 있다. 국내의 경우 이와 유사하게 수입 목재 및 목제품을 반입하기 위해서는 식물방역법(법률 제11690호), 같은 법 시행령(대통령령 제24455호) 및 같은 법 시행규칙(농림축산식품부령 제1호)에 따른 검역과정이 필요하며 이에 따라 농림축산검역본부 고시 제2013-123호 「수입식물의 검역요령」 및 고시 제2013-105호 「식물별 서류·현장검역방법과 실험실정밀검역방법」에 의거한 검역과정과 고시 제2013-126호 「수출입식물검역소독처리규정」에 의거한 소독처리(열처리 또는 MB 훈증처리)를 실시해야한다. 이 때 열처리는 국가식물검역기관에 등록된 시설에서 목재에 고온을 적용하여 목재 중심부 온도를 56℃ 이상에서 30분 이상 유지하는 소독처리법이며, MB 훈증처리는 소독방법, 수종, 온도 등에 따라 적정농도의 MB를 처리하는 소독처리법이다(Table 1-2).

Table 1-1. Minimum concentration-time product (CT) over 24 hours for wood packaging material fumigated with methyl bromide (ISPM Pub. No. 15)*

Temperature	CT (g·h/m ³) over 24 h	Minimum final concentration (g/m ³) after 24 h
21°C or above	650	24
16°C or above	800	28
10°C or above	900	32

*The CT product utilized for methyl bromide treatment in this standard is the sum of the product of the concentration (g/m³) and time (h) over the duration of the treatment

Table 1-2. 수출입식물검역소독처리 규정 중 목재류 및 죽재류의 메틸브로마이드 훈증소독 (농림축산검역본부 고시 제2013-126호)

소독구분	수종	온도(°C)	소독처리시간별 약량(g/m ³)	
			24시간	48시간
본선훈증	나왕재	10이상	25	-
		10미만 5이상	32	-
		5미만	45	32
	나왕재 이외	10이상	33	-
		10미만 5이상	49	-
		5미만	73	49
천막훈증	나왕재	15이상	33	-
		15미만 5이상	49	-
		5미만	73	49
	나왕재 이외	15이상	33	-
		15미만 5이상	49	-
		5미만	-	73

하지만 집성재는 2012년 1월 13일 농림수산물검역검사본부 고시 제2012-6호 「가공품 품목의 예」(현 농림축산검역본부 고시 제2013-49호)가 시행되기 이전까지 고시 제2011-48호 별표 제3항의 ‘열처리 또는 화학 처리과정을 거쳐 만든 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 것’에 포함되어 파티클보드, 합판 등 판상제품과 더불어 가공품목(병해충이 서식 또는 잠복할 수 없을 정도로 가공한 제품으로 식물검역대상품목에 해당되지 아니하는 품목)으로 분류되었기 때문에 수입 시 매진 현장검역을 실시하지 않고 임의추출 조사 및 서류검역으로 이를 대체하였다. 그러나 최근 수입 오동나무 집성재의 임의추출 조사 과정에서 규제해충인 하늘소와 나무좀이 검출됨에 따라 농림축산검역본부는 고시 제2011-48호를 개정하여 오동나무 집성재를 가공품 품목에서 제외하였다(개정고시 제2012-6호). 농림축산검역본부는 상기 오동나무 집성재에서 규제해충이 발견된 원인을 집성소재의 건조공정에서 열처리가 미흡했거나 집성재의 운송 및 보관 중 재감염 되었기 때문으로 판단하여 오동나무 집성재를 가공품목에서 제외시켰으나, 오동나무 집성재 수입업체는 오동나무 집성재의 제조 과정에서 집성소재의 적절한 열처리를 수행하였으며 오동나무 집성재만 가공품 품목에서 제외된 새로운 개정은 부당하다고 주장하고 있다. 그럼에도 불구하고 2011년 5월부터 2012년 7월 사이에 중국으로부터 수입된 오동나무 집성재의 검역과정에서 지속적으로 규제해충인 가루나무좀류(*Lyctus sinensis*), 바구미류(*Curculionidae* sp.), 별가슴호랑하늘소(*Xylotrechus grayii*), 갈색머리대장(*Cryptolestes ferrugineus*), 곡식밀빠진벌레(*Carpophilus dimidiatus*)가 검출되었으며 현재까지 수입 집성재의 열처리 실시 여부를 판단할 과학적 근거가 부족하여 수입업체와 검역기관 사이에 분쟁이 지속되고 있다.

오동나무 집성재에서 규제해충이 발견되는 원인은 일차적으로 집성재 생산 공정 중 집성소재 건조과정에서 열기건조(열처리) 대신 천연건조를 적용하였기 때문일 가능성이 높다. 오동나무는 천연건조가 용이하고 건조결함(할랄 및 뒤틀림 등)이 적은 수종으로 알려져 있는데(Olson et al., 1989; Tari and Madhoushi, 2013), 국내에서 주로 수입하는 오동나무 집성재의 두께가 15mm 전후인 점을 감안하면 건조비용 절감을 위해 열기건조 대신 천연건조를 적용하였을 가능성이 다분하다. 천연건조가 아닌 열기건조를 실시하였다 하더라도 집성소재 중심부 온도가 56℃ 이상에서 30분 이상 유지되기에 불충분한 열기건조 스케줄을 적용하였을 가능성 또한 배제할 수 없다. 일반적으로 목재 비중이 열전도율과 비례함을 고려할 때 저 비중 수종인 오동나무는 열전도율이 불량하여 중심부 온도가 56℃에 도달하기 위해 타 수종에 비하여 오랜 시간이 소요된다. 그러나 집성소재 비중에 따른 적정 열처리 시간이 구명된바 없기 때문에 오동나무 집성소재에 타 수종과 동일한 열처리 조건이 적용되었다면 미흡한 열처리가 적용되었을 가능성이 높다. 적절한 열처리가 실시되었다 하더라도 집성재 생산 공정에서 규제해충의 재감염이 가능하다. 집성재를 가해하는 규제해충은 목재함수율 6~8%의 건조한 목재도 가해할 수 있

는 건재 가해충류이기 때문에 집성소재의 열처리 후에도 집성소재를 충분히 가해할 수 있다. 따라서 집성소재의 열처리 후 집성재 생산 과정과 집성재 제조 후 포장(packing) 과정에서 규제해충의 감염 가능성을 간과할 수 없다.

집성재의 규제해충 검출은 비단 오동나무 집성재의 문제만은 아니다. 농림축산검역본부 검역통계에 따르면 실제로 2000년도부터 2012년 사이에 수입 집성재 임의추출조사 결과, 오동나무 외의 수종을 집성소재로 사용한 말레이시아, 인도네시아, 중국, 일본으로부터 수입된 집성재 중 총 33건의 소독 및 폐기 처리 집성재가 발생하였다(Figure 1-1). 이와 같은 규제해충 검출은 오동나무 집성재와 마찬가지로 다음의 세 가지 원인, 즉 ¹⁾집성소재의 천연건조 혹은 미흡한 열기건조로 인한 목재 내 기 서식 해충의 구제 불가능, ²⁾집성소재 열처리 후 집성재 생산 전까지 보관 과정에서의 규제해충 재감염, ³⁾집성재 제조 후 불량한 포장 및 보관으로 인한 규제해충 재감염 때문으로 추측할 수 있다. 수입 집성재 규제해충 검출 원인을 정확하게 파악하고 검역 안전성을 확보하기 위해서는 일차적으로 상기 가정을 토대로 수입 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정(집성소재 열처리 및 보관, 집성재 가공, 집성재 포장 및 보관)을 점검하여 어떤 단계가 검역 안전성 측면에서 불량한지 판단하고 그에 따른 검역 안전성 확보 방안을 마련해야 한다.

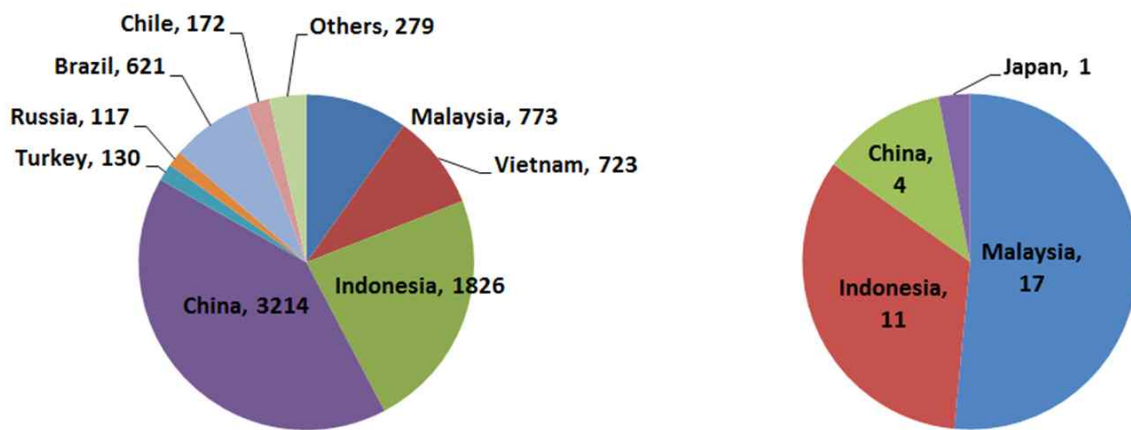


Figure 1-1. The number of cases of quarantine (left) and fumigation or disposal (right) of imported laminated board in Korea for the period 2000-2012

제 2 절 연구개발의 목적

본 연구는 국내로 수입되는 집성재의 검역 안전성 확보와 검역 안전성 충족 여부를 객관적으로 판단할 수 있는 근거 마련하기 위해 다음의 연구가 수행되었다(Figure 1-2).

- 집성재 생산 공정 중 검역 안전성 측면에서 문제가 되는 공정(집성소재 열처리 공정, 집성접착 전 열처리 집성소재의 보관 공정, 집성재 생산 공정, 생산된 집성재의 최종 포장 공정)을 주요 집성재 수입국가의 집성재 생산업체에 대한 현지 실사
- 현지 실사 결과를 바탕으로 실제 실험을 통해 검역 안전성 확보를 위한 적정 집성재 생산 공정 제시
- 검역현장에서 집성재의 적정 열처리 실시 여부 판단 기술 개발

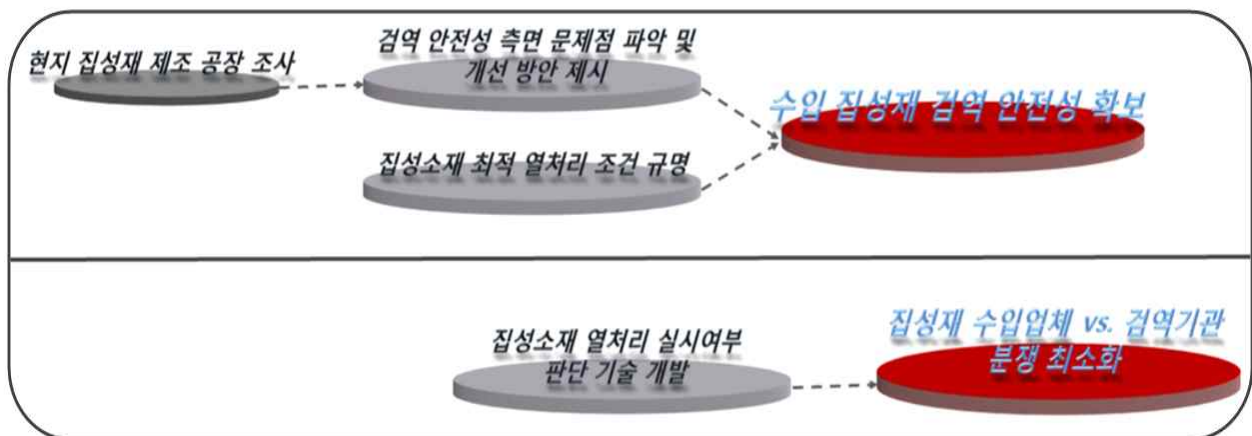


Figure 1-2. Main contents and purposes of this research

제 3 절 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 목적에 따른 연구 추진체계와 그에 해당하는 내용은 다음과 같이 기술할 수 있다 (Figure 1-3).

1. 수입 집성재 생산업체의 공정 조사

- 검역 안전성 측면에서 문제가 되는 집성재 수출 국가(중국, 말레이시아, 인도네시아)와 검역 안전성 측면의 우수 국가(네덜란드)의 집성재 생산업체들을 방문하여 집성재 생산 공정 조사
 - 업체별(4개국 12개소)로 주로 사용하는 집성소재의 수종, 치수, 열처리 시 목재 함수율 조사
 - 열처리를 실시할 경우, 열처리 온도 및 시간, 집성소재 적층방법 조사
 - 집성소재 열처리 후 집성재 제조까지 소요되는 기간 및 열처리 집성소재의 보관 방법 점검
 - 집성재 생산을 위한 finger jointing 및 edge gluing시 열 적용 여부 조사
 - 집성재 제조 후 포장 방법 점검
 - 생산업체 내 건재가해충류 서식 여부 확인
 - 검역 안전성 측면에서 타당한 집성재 생산업체 인증요건 제안

2. 현지 집성재 생산 공정의 검역 안전성 측면 타당성 구명

- 현지 집성재 생산업체에서 적용하는 열처리 조건이 규제해충 구제 조건(집성소재 중심부 온도 56℃, 30분 이상유지)의 충족 여부 확인
 - 현지 실사를 통해 확인된 열처리 조건이 집성소재의 중심부 온도를 56℃에서 30분 이상 유지시킬 수 있는지 여부를 집성소재 수종, 치수, 열처리 시 함수율 별로 조사

3. 집성소재 최적 열처리 조건 구명

- 현지 생산업체의 집성소재 열처리 조건이 부적합한 경우, 규제해충 구제에 적합한 열처리 조건 구명
- 열처리 조건이 규제해충 구제에 적합한 경우, 집성소재의 수종, 치수, 함수율 별로 열처리 시간을 단축할 수 있는 최적 열처리 조건 탐색
 - 현지 생산업체에서 적용하는 열처리 온도 조건에서 집성소재의 수종(최소 5종 이상), 치수, 함수율 별로 규제해충 구제에 적합한 열처리 시간 탐색
 - 집성재의 역학적 성질 감소 없이 열처리 시간을 최소화할 수 있는 온도 조건 탐색

4. 집성소재 열처리 실시 여부 판단 기술 개발

- 집성소재 열처리 실시 여부를 객관적, 정량적으로 판단할 수 있는 기술을 개발하여 검역 과정에서 검역기관과 수입업체 사이의 분쟁을 최소화함
 - 열처리에 의한 집성소재 표면의 재색, 습윤성 변화 측정
 - 열처리 조건(온도 및 시간) 변화와 상기 표면특성 변화간의 관계식에 의거하여 열처리 실시 여부 판단 기술 개발

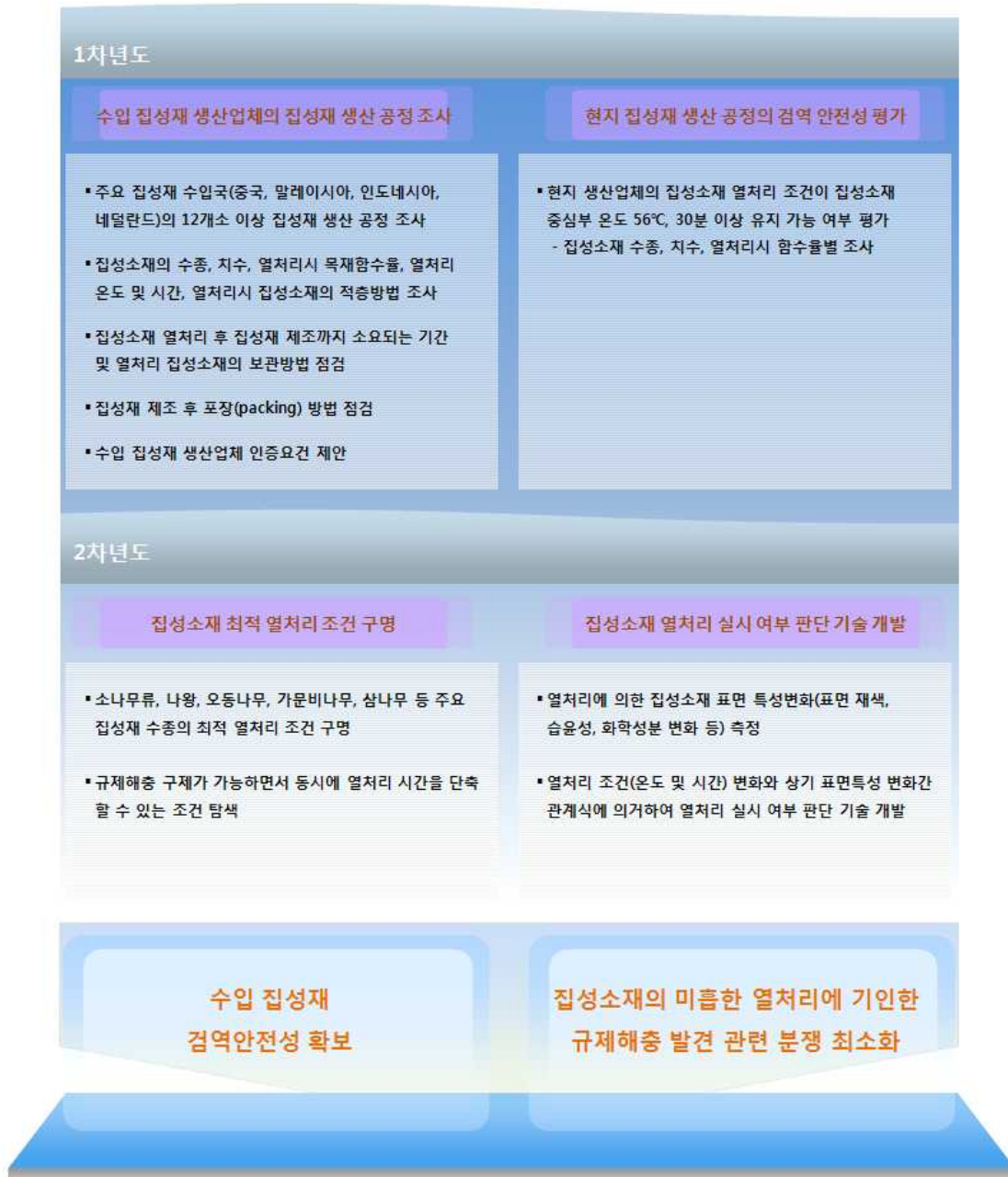


Figure 1-3. Research development system

제 2 장 국내외 기술개발 현황

농림축산검역본부 검역통계에 따르면 2008년부터 현재까지 약 1만 여건, 50만 입방의 집성재가 검역되었으며, 그 중 30여건, 1,800 입방의 집성재가 소독 처리되었고, 2건, 15 입방의 집성재가 폐기되었으며, 말레이시아, 인도네시아, 중국에서 수입된 집성재에서 여러 차례에 걸쳐 규제해충이 검출되었다. 이에 따라 검역당국에서는 문제가 되고 있는 수입 집성재의 검역을 강화하였고, 일부 수입업체에서는 이를 부당한 조치라고 주장하고 있어 검역기관과 수입업체간의 갈등이 고조되고 있다. 이를 해결하기 위해서는 수입된 집성재가 ISPM에서 제시하는 국제기준에 부합하는지 여부를 판단할 수 있는 과학적인 근거 자료가 필요하나 검역상의 문제가 발생하기 전까지는 이와 관련된 기술개발이 전무하였다. 본 연구는 국내로 수입되는 집성재의 검역과 관련된 연구주제이므로 국외 현황과 무관하기 때문에 국내에서 처음 시행되었다.

[국내 관련분야 환경변화]

2013년 3월 기존 농림수산식품부의 수산 업무 및 식품안전 업무가 타 부처로 이관되어 농림축산식품부로 명칭이 변경되고 농림수산검역검사본부가 농림축산검역본부로 명칭이 변경되었다. 그에 따라 식물방역법(법률 제11690호), 동법 시행령(대통령령 제24455호) 및 동법 시행규칙(농림축산식품부령 제1호)이 개정되었으며, 수입 목재 및 목제품의 검역과 관련된 농림축산검역본부 고시가 다음과 같이 개정·고시되었다.

- 농림축산검역본부 고시 제2013-45호 수입금지식물 해당여부 적용기준 및 선별기준(개정 전 농림수산검역검사본부 고시 제2012-7호)
- 농림축산검역본부 고시 제2013-49호 가공품 품목의 예(개정 전 농림수산검역검사본부 고시 제2012-83호)
- 농림축산검역본부 고시 제2013-95호 수입금지식물 중 캐나다산 소나무속(Pinus spp.) 및 잎갈나무속(Larix spp.) 제재목의 수입금지 제외기준(개정 전 농림수산검역검사본부 고시 제2012-138호)
- 농림축산검역본부 고시 제2013-105호 식물별 서류·현장검역방법과 실험실정밀검역방법(개정 전 농림수산검역검사본부 고시 제2012-169호)
- 농림축산검역본부 고시 제2013-114호 수출입화물 목재포장재 검역요령(개정 전 농림수산검역검사본부 고시 제2012-171호)

- 농림축산검역본부 고시 제2013-122호 수입금지식물 중 미국산 양벚 생과실, 소나무속 및 잎 갈나무속 제재목, 호두, 플로리다주산 오렌지(탠저린 포함)와 자몽 생과실 및 캘리포니아주 산 석류 생과실의 수입금지 제외기준(개정 전 농림수산물검역검사본부 고시 제2012-31호, 농림축산검역본부 고시 제2013-59호)
- 농림축산검역본부 고시 제2013-123호 수입식물의 검역요령(개정 전 농림수산물검역검사본부 고시 제2012-82호, 농림축산검역본부 고시 제2013-48호)

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 수입 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정 조사 및 검역 안전성 평가

1. 수입 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정 조사

가. 조사대상 국가 및 업체 선정

농림축산검역본부 검역통계에 기초하여 2000년부터 2012년 사이 수입 집성재 소독 및 폐기 건수 상위 3개국인 말레이시아, 인도네시아, 중국을 조사대상 국가로 선정하였으며(Figure 1-1), 농림축산검역본부 식물검역과로부터 각 국가별 국내 수출용 집성재 생산업체 목록을 일차적으로 확보하였다.

말레이시아 실사 대상 집성재 생산업체 최종선정을 위해 말레이시아 현지기관인 Institute of Tropical Forestry and Forest Products(INTROP), Malaysian Timber Industry Board (MTIB), Sarawak Timber Industry Development Corporation(STIDC)의 협조로 농림축산검역본부 식물검역과로부터 제공받은 업체 목록 중 방문 가능한 업체 목록을 확인하고, INTROP, MTIB, STIDC에서 추가로 제시한 업체를 목록에 첨가하였다. 최종적으로 말레이시아의 지리적 위치를 고려하여 말레이반도 및 보르네오 섬 북부에 위치한 업체 각 2개소를 실사 대상 업체로 선정하였다(Figure 3-1).

인도네시아 실사 대상 업체 선정은 인도네시아 현지기관인 Forestry Research and Development Agency(FORDA)의 협조 하에 상기와 동일한 방법으로 실사 대상 집성재 생산업체를 선정한 결과, 자바 섬 중앙에 위치한 업체 4개소를 최종 선정하였다(Figure 3-2). 참고로 보르네오 섬 남부(칼리만탄)에 위치한 인도네시아 집성재 생산업체는 보르네오 섬 북부의 말레이시아 집성재 생산업체와 사용 수종 및 공정이 유사하거나 동일 계열 업체(모회사 또는 자회사)이기 때문에 선정에서 제외되었으며, 수마트라 섬에는 현재 집성재 생산업체가 없었다.

중국의 경우 국내로 수출하는 집성재 생산업체가 밀집한 산둥성에서 오동나무 집성재 생산업체가 다수 분포하는 차오현(Cao County)에 위치한 업체 4개소를 선정하였으며(Figure 3-3), 업체와 직접 개별 접촉하여 사전 승인 후 방문하여 실사를 실시하였다.

그리고 검역 안전성 측면에서 타당한 집성재 생산 공정의 사례를 검토하기 위해 현재까지 규제해충에 감염된 집성재의 수입이 보고된 바 없는 네덜란드를 조사대상 국가로 추가하였다. 네덜란드 수입 집성재의 국내 유통업자 및 네덜란드 Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality와 SHR Timber Research의 협조로 네덜란드 집성재 생산업체 2개소를 선정하였다(Figure 3-4).

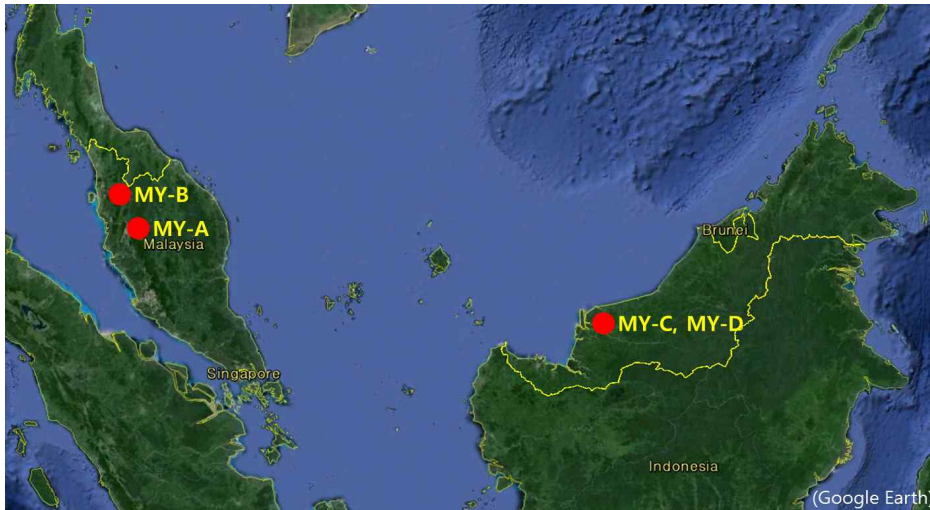


Figure 3-1. Location of selected companies for fact-finding survey on manufacturing processes of laminated board in Malaysia



Figure 3-2. Location of selected companies for fact-finding survey on manufacturing processes of laminated board in Indonesia



Figure 3-3. Location of selected companies for fact-finding survey on manufacturing processes of laminated board in China



Figure 3-4. Location of selected companies for fact-finding survey on manufacturing processes of laminated board in Netherlands

나. 조사목록 선정

일차적으로 대상 업체의 규모 및 집성재 생산 현황을 파악하기 위해 업체 위치, 주요 생산 품목, 연간 생산량 및 매출, 주요 수출국 등의 업체 기본정보를 조사목록으로 선정하였다. 또한 각 업체별로 집성재의 원료로 사용되는 집성소재의 수종(species), 치수(dimension), 건조 전후의 함수율 등을 조사목록에 포함시켰다.

다음으로 Figure 3-5에 보여주는 일반적인 집성재 생산 공정을 고려하여 검역 안전성 측면에서 문제 가능성이 있는 세부공정과 관련된 항목들을 조사목록에 포함하였다. 제재목(집성소재)을 길이, 폭, 두께방향으로 접착하여 생산하는 집성재는 접착제의 접착력 저하 및 최종 제품의 수축에 의한 뒤틀림을 방지하기 위해 접착공정 전 반드시 집성소재의 건조(목재함수율 15% 이하)를 실시한다. 이 때 일반적으로 열기건조가 적용되나 일부 수종, 예를 들어 오동나무의 경우 천연건조를 실시할 가능성이 있기 때문에 열기건조 또는 천연건조 후 별도의 열처리 실시 여부를 조사하였다. 열기건조를 실시하는 업체의 경우 적용하는 열기건조 스케줄이 집성소재 중심부 온도를 56℃ 이상에서 30분 이상 유지시킬 수 있는지를 확인하기 위해 집성소재 내부 온도 변화에 영향을 줄 수 있는 주요 인자[건조온도(건구온도 및 습구온도), 건조시간, 집성소재 적층방법]를 조사하였다. 또한 집성소재 열기건조 후 집성재 생산까지 소요되는 기간과 건조 집성소재 보관 방법을 조사하여 집성소재의 보관 중 규제해충의 재감염 가능성을 평가하였다. 집성재 생산 시 집성소재 접착 방법(접착 시 열의 적용 유무)을 조사하였으며, 최종 생산된 집성재의 포장(packaging) 방법을 조사하였다.

상기 조사목록을 조사지(questionnaire)로 문서화하여 집성재 생산업체 실사 시 지참하였으며, 조사 즉시 조사 결과를 현장에서 기록하여 검역 안전성 측면의 타당성 여부 판단 근거로 활용하였다(Figure 3-6).

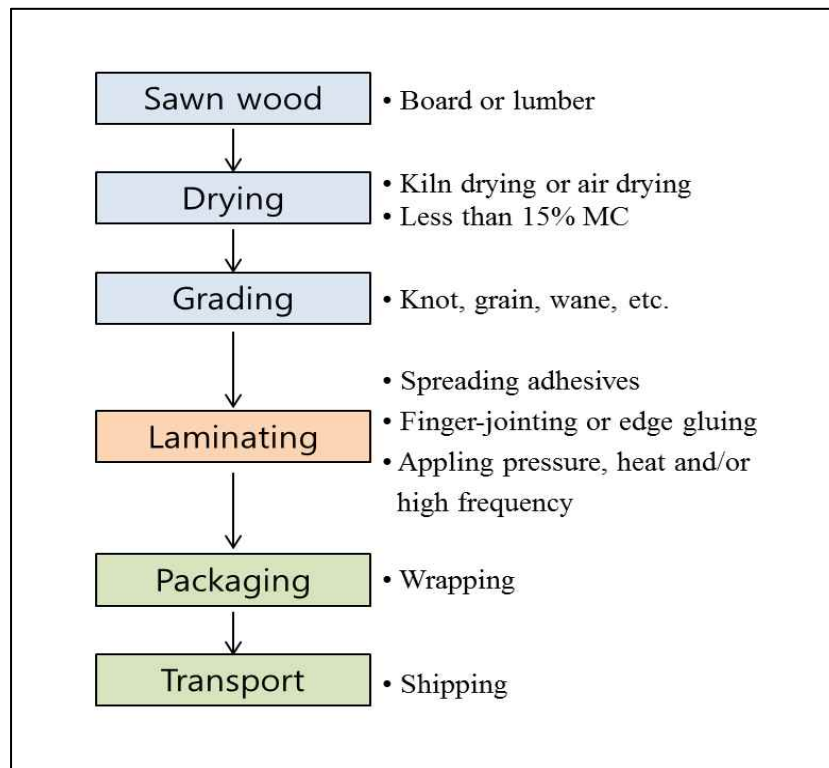


Figure 3-5. Manufacturing processes of laminated board

Questionnaire for fact-finding survey

Date: _____

Respondent: _____

1. Basic information of company

Name	
Year established	
Address (location)	
Website	http://
Business type	Manufacturer
Number of employees	(e.g.) 80
Main products	(e.g.) Laminated board, flooring, sawn wood, etc.
Annual productions of glue laminated board	(e.g.) 10,000 m ³
Total annual sales volume of glue laminated board	(e.g.) 1,000,000 USD
Export percentage of glue laminated board	(e.g.) 65%-70%
Main markets	(e.g.) Korea, North America, Oceania, Western Europe, etc.

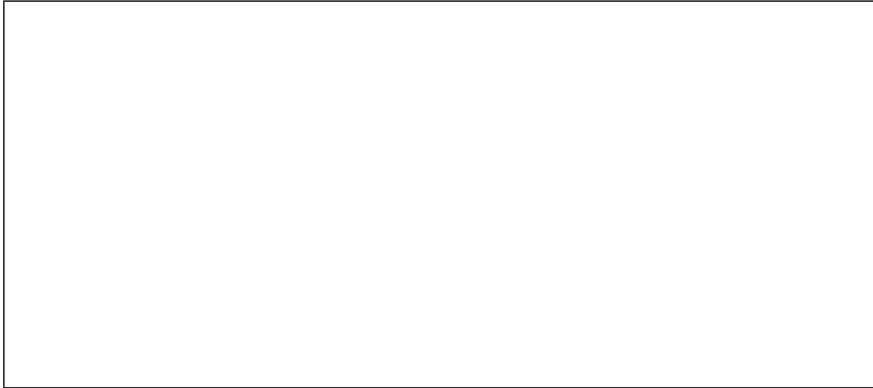
Figure 3-6. Questionnaire for fact-finding survey used in this study

2. Check list for manufacturing processes

Wood species used	(e.g.) Rubberwood
Dimension of laminae	(e.g.) 30 by 40 by 900 mm (length)
Moisture contents of laminae	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Initial moisture content: (e.g.) 80.0% ▪ Moisture content after drying: (e.g.) 12.0 %
Drying methods for laminae	Kiln drying or air drying
Kiln size	(e.g.) 1,000 board feet or 200m ³
Type of energy source used to generate the heat	Steam, hot air (direct fire), electricity, hot water or hot oil
Air circulation in the kin	Yes or no
Kiln drying schedule applied	<ul style="list-style-type: none"> ▪ If moisture content-controlled schedule is used, please explain your drying schedule in detail. - See below example 1 ▪ If time-controlled schedule is used, please explain your drying schedule in detail. - See below example 2 ▪ If company's own developed schedule is used, please explain your drying schedule in detail.
Stacking methods	Solid-piled laminae or stickered laminae
Storage of dried lamina before glue lamination	Storage place: Indoor or outdoor
	Storage period: (e.g.) 7 days
	Covering during storage: Yes or no
	Covering materials:
Packing of glue laminated boards	Packing just after manufacturing: Yes or no
	Packing methods and materials: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Inner packing - (e.g.) inside pallet is wrapped with 0.2mm plastic bag ▪ Outer packing - (e.g.) pallets are covered with plywood and then wrapped by strapping band

Figure 3-6. Continued

3. Remark



[Example 1] Example of moisture content-controlled schedule

Step	Moisture content	Temperature		Equilibrium moisture content	Relative humidity
		Dry-bulb	Wet-bulb		
	<i>pct</i>	----- °F -----		----- <i>pct</i> -----	
1	Above 50	120	113	14.4	80
2	50 to 40	120	110	12.1	72
3	40 to 35	120	105	9.6	60
4	35 to 30	120	95	6.5	40
5	30 to 25	130	90	4.0	22
6	25 to 20	140	90	2.9	15
7	20 to 15	150	100	3.2	18
8	15 to Final	180	130	3.5	26

[Example 2] Example of time-controlled schedule

Step	Time	Temperature		Equilibrium moisture content	Relative humidity
		Dry-bulb	Wet-bulb		
	<i>pct</i>	----- °F -----		----- <i>pct</i> -----	
1	0 to 12	130	125	16.2	86
2	12 to 36	135	130	16.4	87
3	36 to a4	140	135	16.2	87
4	84 to 132	145	135	12.1	76
5	132 to 180	150	135	9.5	66
6	180 to 228	155	135	8.0	58
7	228 to 276	160	135	6.8	51
8	276 to 324 or until dry	170	135	5.1	39

Figure 3-6. Continued

다. 집성재 생산 공정 실사

Figure 3-6의 조사지(questionnaire)에 기초하여 업체 관계자(예: Director, General Manager, Sales Manager 등) 및 현지 조력자(Staffs from INTROP, FORDA, MTIB, STIDC 등)의 참석 하에 질의응답을 실시하였다. 일차적으로 질의응답을 진행한 후 실제 집성재 생산 공정을 확인하였으며, 필요에 따라 각 공정별 실무자에게 추가 조사를 실시하였다(Figure 3-7).



Figure 3-7. Fact-finding survey on selected company

(1) 말레이시아 집성재 생산업체

말레이시아 집성재 생산업체 4개소 실사를 통해 조사한 업체 기본정보와 업체에서 집성재 생산 시 사용하는 집성소재 정보를 Table 3에 제시하였다. 조사 대상 업체명은 업체의 간접홍보 또는 조사 결과 노출에 따른 업체의 불이익을 피하기 위해 각각 MY-A, MY-B, MY-C, MY-D로 표기하였다.

기본 정보

말레이반도 Perak Darul Ridzuan 지역에 위치한 MY-A 업체는 몰당재를 주로 취급하며 제재목과 집성재 또한 생산하였다(Table 3-1). MY-A 업체의 주요 수출국은 한국, 유럽, 호주 등이고, 그 밖에 말레이시아 현지에서 사용되는 목재 및 목제품도 취급하였다. 집성재 생산 시 사용하는 수종은 국내에서 나왕(lauan)으로 통용되는 meranti(dark red meranti, light red meranti)로 18~40mm 두께 집성재를 구매자의 요구에 따라 폭과 길이를 조절하여 생산하였다.

Table 3-1. Summary of general information of selected companies in Malaysia and information of wood species used for laminae with its dimension

Company	MY-A	MY-B	MY-C	MY-D
Basic Information				
Location	Perak Darul Ridzuan	Kedah Darul Aman	Sibu, Sarawak	Sibu, Sarawak
Main products	moulding (60%), sawn timber (20%), laminated board (10%), local products (10%)	flooring (50%), laminated board (40%), sawn timber (10%), charcoal	laminated board, flooring, sawn timber	laminated board, flooring, sawn timber, moulding
Main markets	Korea, Europe, Australia, local	Korea (laminated board), China (flooring), local (sawn timber)	Korea	Australia (60%), Korea (20%), Japan (20%), China
Laminae Information				
Wood species used for laminated board	Dark red meranti, Light red meranti	<u>Mixed tropical hardwoods</u> Merpauh, Sepetir, Perah, Kempas, Keranji, Kembang, Semangkok	<u>Mixed tropical hardwoods</u> Ubah (~53%), Geronggang (~17%), Others (Asam, Benuang, Durian, Empenit, Kapur, Medang, Meranti, Penyauk, Terentang)	Kapur, Selunsur
Dimension of laminae	thickness: 18-40 mm	thickness: 25 - 60 mm	thickness: 18-40 mm	thickness: 15-28 mm width: 60, 75, 80 mm length < 3.6 m

MY-B 업체는 말레이반도 Kedah Darul Aman 지역에 위치하고 있으며, 마루재와 집성재를 주로 생산하였다(Table 3-1). MY-B 업체에서 생산된 마루재는 전량 중국으로 수출하였으며, 집성재의 경우 전량 국내로 수출하였다. 말레이시아 현지에서 사용되는 제재목 또한 일부 생산하였으며, 목재 가공 과정에서 발생한 목질계 부산물(목분 등)은 숯으로 재가공하여 판매하였다. MY-B 업체는 말레이시아 현지에서 생산된 다양한 종류의 열대산 활엽수재(Merpauh, Sepetir, Perah, Kempas, Keranji, Kembang, Semangkok)를 혼합하여 사용하였으며, 25~60mm 두께의 집성재를 생산하였다.

보르네오 섬 북부 사라왁 주(Sarawak) Sibul 지역에 위치한 MY-C 업체는 집성재, 마루재, 제재목을 생산하며, 생산된 제품은 주로 한국으로 수출하였다(Table 3-1). 집성재 생산 시 MY-B 업체와 마찬가지로 말레이시아 현지에서 생산된 다양한 종류의 열대산 활엽수재를 혼합하여 사용하였으며, 집성재 원료 수종은 Ubah 53%, Geronggang 17%, 그 밖에 소량의 기타 수종(Asam, Benuang, Durian, Empenit, Kapur, Medang, Meranti, Penyauk, Terentang)으로 구성되었다. MY-C 업체에서 생산되는 집성재의 치수는 두께 18~40mm를 기본으로 구매자의 요구에 따라 폭과 길이를 조절하여 생산·판매하였다.

MY-C 업체와 인접하게 위치한 MY-D 업체는 집성재, 마루재, 제재목, 몰딩재를 생산하였다(Table 3-1). 생산 물량의 절반 이상은 호주로 수출하고, 한국과 일본으로도 각각 약 20%씩 수출하였다. 그 밖에 경우에 따라 소량의 생산제품을 중국으로 수출하였다. MY-D 업체에서는 Kapur로 제작한 집성재와 Selunsur로 제작한 집성재를 생산하였으며, 두께 15~18mm, 폭 60, 75, 80mm, 길이 3.6m 이하 치수를 생산하였다.

집성소재의 열기건조

말레이시아 집성재 생산업체별 집성소재 건조방법은 4개소 공히 열기건조를 적용하였으며, 열기건조 스케줄은 업체별로 상이하였다(Table 3-2).

MY-A 업체는 자체 보유하고 있는 총 20개의 열기건조실에서 집성소재의 열기건조를 실시하였으며, 목재 가공공정에서 발생한 부산물을 연료로 사용하였다(Table 3-2, Figure 3-8). 집성소재인 meranti 열기건조를 위해 Malaysian Timber Industry Board(MTIB)와 Forest Research Institute Malaysia(FRIM)가 제시한 말레이시아 활엽수 열기건조 스케줄 중 Schedule F(Table 3-3)를 적용하였다.

Table 3-2. Summary of drying conditions for laminae in selected companies in Malaysia

Company	MY-A	MY-B	MY-C	MY-D
Drying methods	kiln drying	kiln drying	kiln drying	kiln drying
No. of kilns	20	27	6	8
Kiln drying schedule	schedule F suggested by MTIB and FRIM*	company's own developed schedule	company's own developed schedule	company's own developed schedule
Max. temperature	76.5°C	160°C	60-65°C	50°C
Drying period	6-7 days	17-43 days	1-3.5 weeks	20-45 days
MC of laminae	before KD: Green after KD: 10-12%	before KD: Green after KD: 10-12%	before KD: 60% after KD: 10-15%	before KD: 45% after KD: 8-10%

*In Kiln-drying characteristics of some Malaysian timbers. 2001. Timber Trade Leaflet No. 42. Issued by the Ministry of Primary Industries and jointly published by the Malaysian Timber Industry Board and Forest Research Institute Malaysia (see **Table 5**)

건조스케줄 F는 최종 건구온도가 76.5℃이고 최종 함수율 10~12%까지 건조시키는데 약 6~7일이 소요되는 스케줄로 미국 임산물 연구소의 연구보고서(General Technical Report FPL-GTR-190)의 열기건조 온도변화에 따른 목재수종 별 중심부 온도변화 결과를 고려할 때 MY-A 업체의 열기건조 스케줄은 집성소재 중심부 온도 56℃, 30분 이상 유지에 충분할 것으로 사료된다. 따라서 MY-A 업체의 집성소재 열기건조 공정은 집성소재 내에 기 존재하는 규제해충의 구제에 적합하여 검역안전성 측면에서 문제가 없을 것으로 판단되었다.



Figure 3-8. Kiln drying system for laminae in MY-A

Table 3-3. Kiln drying schedule F suggested by Malaysian Timber Industry Board (MTIB) and Forest Research Institute Malaysia (FRIM)*

% MC	Temp. (Dry-bulb)		Temp. (Wet-bulb)		% RH (Approx.)
	°F	°C	°F	°C	
Green	120	48.5	111	44	75
60	120	48.5	109	43	70
40	125	51.5	109	43	60
30	130	54.5	109	43	50
25	140	60.0	115	46	45
20	155	68.0	124	51	40
15	170	76.5	136	58	40

*Moisture content-controlled schedule; Approximate drying time for 25 mm thick timber of dark red meranti and light red meranti are 7 days and 6 days, respectively.

다양한 수종의 집성소재를 혼합하여 집성재를 생산하는 MY-B 업체는 수종에 관계없이 목재함수율 10~12%로 건조하기 위해 자체 개발한 열기건조 스케줄을 적용하였다(Table 3-2, Figure 3-9). 자체 보유하고 있는 27개의 열기건조실에서 초기온도 160℃를 3일간 적용하고, 그 후 150℃에서 집성소재의 두께별로 상이하게 약 14~40일간 건조를 실시하였다(두께 50mm 집성소재: 약 25일, 두께 70mm 집성소재: 약 1개월). 이와 같이 상당한 고온에서 장기간 열처리를 실시하는 MY-B 업체의 열기건조 공정도 역시 검역안전성 측면에서 문제가 없을 것으로 사료된다.



Figure 3-9. Kiln drying system for laminae in MY-B



Figure 3-10. Kiln drying system for laminae in MY-C

MY-C 업체는 자체 보유하고 있는 6개의 열기건조실에서 집성소재를 함수율 10~15%까지 열기건조를 실시하였으며, 집성소재의 두께별로 상이한 온도를 적용하여 약 1~3주간 열기건조를 실시하였다(Table 3-2, Figure 3-10). 두께 60mm 집성소재의 경우 초기온도 48℃, 최대온도 60℃, 최종온도 45℃, 두께 35mm 집성소재의 경우 초기온도 50℃, 최대온도 65℃, 최종온도 45℃, 두께 25mm 집성소재의 경우 초기온도 55℃, 최대온도 60℃, 최종온도 45℃를 적용하였다. 이 때 최대온도(60~65℃)에서 유지되는 기간은 약 3일로 확인되었다. MY-C 업체에서 두

께 60mm 집성소재의 열기건조에 적용하는 최대온도 60℃는 집성소재 표면으로부터 중심부까지의 온도경사의 발생 시 집성소재 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 비교적 긴 시간이 요구될 수 있다. 물론 최대 온도에서 유지되는 기간이 3일임을 감안하면 집성소재 중심부 온도가 56℃에서 30분 이상 유지되기에 충분할 것으로 판단되지만, MY-C 업체의 주 사용 수종인 Ubah에 대한 열기건조 정보가 부족하여 Ubah의 열전도 특성을 확인할 수 없기 때문에 본 연구에서는 MY-C 업체에서 적용하는 열기건조 스케줄의 검역 안전성 측면 타당성을 실험적으로 별도 평가하였다(“라. Ubah, Sengon, 오동나무의 적정 열처리 조건 탐색” 참조).

Kapur과 Selunsur를 집성소재용 수종으로 사용하는 MY-D 업체는 고온에 의한 집성소재의 건조결함(할렬)을 방지하기 위해 최대온도 50℃에서 장기간(예: 집성소재 두께 25mm: 20~30일, 집성소재 두께 50mm: 45일) 집성소재의 열기건조를 실시하였다(Table 3-2, Figure 3-11). 상기 조건 하에서의 열기건조는 집성소재 중심부 온도가 56℃에 도달하기 불충분하여 MY-D 업체의 경우 검역 안전성 확보를 위해 열기건조 공정의 수정이 필요하다.



Figure 3-11. Kiln drying system for laminae in MY-D

열기건조 후 집성소재의 보관

적절한 열기건조를 통해 집성소재의 함수율 15% 이하로 건조되고 집성소재 내부에 서식하던 규제해충이 모두 사멸되었다 하더라도 건조 가해충류는 건조된 목재를 가해할 수 있기 때문에 열기건조 후 보관중인 집성소재의 규제해충 재감염 가능성을 배제할 수 없다. 하지만 일부 말레이시아 집성재 생산업체(MY-A, MY-C)의 경우 집성소재의 열기건조 후 별도 포장 없이 해충 접근이 용이한 사방이 개방된 shed에 집성소재를 장기간 보관하였다(Table 3-4, Figure 3-12). MY-A 업체는 집성소재의 열기건조 후 강우가 차단되는 shed에 집성소재를 1주~1개월간 보관하는데, 보관기간이 길어질 경우 집성소재 함수율 조절을 위해 건구온도 50℃, 습구온도 40℃ 조건에서 재 건조를 실시하였다.

Table 3-4. Storage of dried laminae in Malaysian companies

Company	MY-A	MY-B	MY-C	MY-D
Storage place	shed	kiln	shed	indoor
Storage period	1 week - 1 month	< 1 day	1 month	1-2 weeks

하지만 상기 재 건조 조건은 집성소재 내부온도를 56℃까지 상승시킬 수 없기 때문에 집성소재의 열기건조 후 보관과정에서 감염된 해충의 구제는 불가능하다. MY-C 업체 또한 별도의 포장 없이 단순 shed에서 집성소재를 1개월간 보관하는데 Figure 3-12c를 통해 알 수 있듯이 MY-C 업체가 해충의 서식이 용이한 산지에 위치하고 있기 때문에 해충의 재감염 가능성이 높을 것으로 사료된다. 반면 MY-B 업체와 MY-D 업체는 별도의 포장은 없으나 열기건조실 내부에서 1일간, 혹은 실내 창고에서 1~2주간 보관하기 때문에 해충 재감염 가능성이 낮을 것으로 판단된다.

집성재 생산 공정

Table 3-5은 말레이시아 집성재 생산업체 4개소의 집성재 생산 공정을 보여준다. 조사된 4개소 모두 집성소재 길이방향으로 finger jointing을 실시한 후 edge gluing을 실시하여 집성재를 생산하였으며, 사용되는 수지는 업체별로 상이하였다. MY-A 업체와 MY-B 업체는 요소수지와 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate)를 혼합한 수지를 집성소재 접착에 사용하였으며, MY-C 업체와 MY-D 업체는 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate)와 폴리우레탄(polyurethane)을 혼합한 수지를 집성소재 접착에 사용하였다. 상기 업체 4개소에서 사용하는 수지 모두 별도의 고온 적용이 필요 없는 상온경화형 수지이기 때문에 집성소재의 접착은 상온에서 실시되었으며, 수지 도포 후 단순압착으로 집성제를 생산하였다(Figures 3-13~16). 앞서 언급하였듯이 열기건조 후 보관중인 집성소재가 해충에 의해 재 감염되었을 경우 집성소재의 접착과정에서 고온이 적용된다면 구제가 가능하다. 하지만 본 연구를 통해 조사된 말레이시아 집성재 생산업체 4개소는 모두 집성소재의 접착과정에서 별도의 고온 적용이 없었기 때문에 열기건조 후 보관 중인 집성소재를 해충이 가해했을 때는 구제가 불가능하다.



Figure 3-12. Storage of dried laminae in MY-A (a), MY-B (b), MY-C (c) and MY-D (d)

Table 3-5. Manufacturing processes of laminated board in companies in Malaysia

Company	MY-A	MY-B	MY-C	MY-D
Type of Laminated board	finger jointing & edge gluing	finger jointing & edge gluing	finger jointing & Edge gluing	finger jointing & edge gluing
Glue used	urea & PVAC	urea & PVAC	PVAC & PU	PVAC & PU
Heating application	no	no	no	no



Figure 3-13. Manufacturing process of laminated board in MY-A



Figure 3-14. Laminae prepared for manufacturing of laminated board (a, for export to European countries; b, for export to Korea)

MY-A 업체의 실사 과정에서 집성소재가 동일한 수종(dark red meranti)임에도 불구하고 유럽 수출용과 국내 수출용 집성재의 색상이 상이함이 관찰되었다(Figure 3-14). 이는 dark red meranti의 심재와 변재 색상차이에 기인하며, 심재로 구성된 집성소재만을 사용하는 유럽 수출용 집성재의 집성소재(Figure 3-14a)와 달리 국내 수출용 집성재의 집성소재(Figure 3-14b, 3-14c)는 심재와 변재가 혼합되어 있었다. 견재 가해충류의 목재 가해 목적은 변재에 존재하는 유세포 내 저장물질인 전분을 영양원으로 이용하기 위함인데 전량 심재로만 구성된 유럽 수출용과 달리 변재가 혼합된 국내 수출용 집성소재는 집성소재 열처리 후 집성재 생산까지 보관 과정 혹은 집성재 생산 후 보관 과정에서 견재 가해충류의 가해가 우려된다. MY-A 업체뿐만 아니라 MY-B 업체 또한 집성소재 전체가 변재로만 이루어진 경우가 관찰되었으며, MY-C 업체와 MY-D 업체 모두 심재와 변재가 혼합된 집성소재가 사용되고 있음이 확인되었다(Figure 3-16c, 3-16f).



Figure 3-15. Manufacturing process of laminated board in MY-B

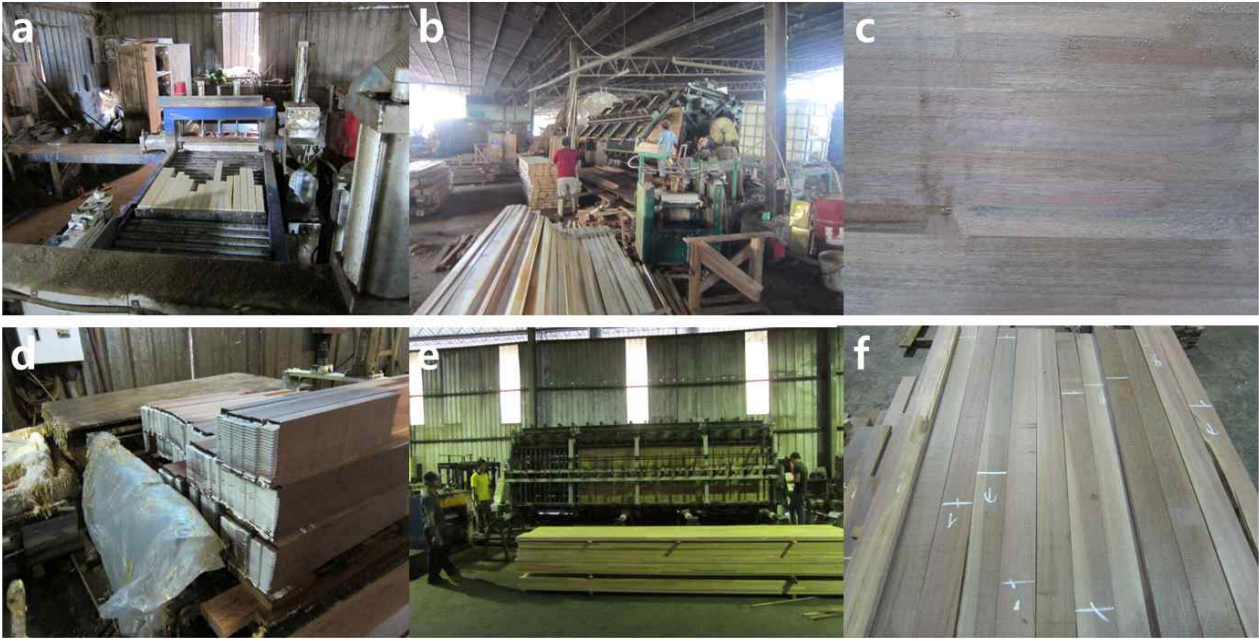


Figure 3-16. Manufacturing process of laminated board in MY-C (a, b and c) and MY-D (d, e and f)

집성재 포장

말레이시아 조사대상 업체 4개소 모두 집성재 생산 직후 포장을 실시하였다(Table 3-6). MY-A 업체의 경우 최종 생산된 집성재를 얇은 비닐로 포장하여 플라스틱 및 철재 밴드를 이용하여 고정하였다(Figure 3-17). 최종 포장된 제품은 업체 내에 1일 이내로 보관 후 출고되어 육상 및 해상 운송과정을 통해 국내로 수입된다. 하지만 현재 업체 내 보관 중인 포장이 완료된 국내 수출용 제품의 불량한 포장상태가 곳곳에서 관찰되었다. 얇은 비닐 포장 후 비닐 끝부분의 밀봉을 위해 사용된 접착용 셀로판테이프의 밀봉이 완벽하지 않아 개봉된 부분이 쉽게 관찰되었으며(Figure 3-18), 이와 같은 포장상태는 보관 및 육상 운송과정에서 해충 감염에 노출될 가능성이 높음을 의미한다. 뿐만 아니라 출고 대기 중인 최종 제품에서 해충의 가해흔적인 탈출공(exit hole)과 목분(frass)이 관찰되었는데(Figure 3-19), 이는 집성소재의 열기건조 후 보관 중 해충이 집성소재 표면에 산란하여 유충이 번식하고 유충이 목재를 가해하며 성충으로 성장한 후 목재를 뚫고 나오면서 발생한 흔적으로 판단된다. 반면 MY-A 업체 내에 출고 대기 중인 유럽 수출용 집성재 최종 제품은 국내 수출용 제품과 확연히 대비되게 완벽 밀봉된 상태로 보관되어 있었다(Figure 3-20). 업체관계자에 의하면 최종 포장 방법은 전적으로 구매자의 판단에 의해 결정되는 사항으로 Figure 3-20과 같이 완벽 밀봉한 상태로 포장하기 위해서는 추가 비용이 발생된다고 한다. 농림축산검역본부 고시 제2013-49호 「가공품 품목의 예」 제2조 5항에서는 “밀봉포장”을 병해충이 다시 침입할 수 없도록 포장된 상태로 정의하고

있다. 고시에 의하면 집성재의 경우 밀봉포장과 관계없이 가공품에 해당되나, 일부 품목(예: 식물체를 분말 또는 전분 상태로 가공한 상태)은 밀봉포장을 실시할 것으로 규정되어 있다. 본 연구를 통해 집성재의 포장 상태 또한 수입 집성재의 검역 안전성에 영향을 미칠 가능성이 높음이 확인되었기 때문에 집성재의 경우에도 가공품으로 인정받기 위해서는 밀봉포장을 실시하도록 규정하는 조치가 필요하다.

MY-B 업체 또한 MY-A 업체와 유사하게 최종 생산된 집성재를 얇은 비닐 및 플라스틱 밴드를 이용하여 포장하였다(Table 3-6, Figure 3-21). 비록 실제 해충의 감염이 육안으로 확인되지는 않았지만 MY-B 업체 최종 제품의 포장이 MY-B 업체처럼 일부 개봉된 상태로 노출되어 있음이 확인되었다. 말레이시아 집성재 생산업체에서 집성재의 최종 포장 후 육상 및 해상운송을 통해 국내에 도달하는데 소요되는 기간이 약 11~12일임을 고려할 때 포장비닐의 개봉 부위를 통해 해충이 가해할 시간적 여유가 충분하다고 사료된다. MY-C 업체는 두꺼운 비닐 포장재를 사용하였으나, 완벽한 밀봉이 이루어지지 않아 업체 내에서 보관하는 1~2주 사이 혹은 국내로 운송되는 기간 동안 해충의 감염 가능성이 높을 것으로 사료된다(Figure 3-22). 반면 MY-D 업체는 최종 제품을 업체 내 보관하는 기간은 길지만(2주~2달) 두꺼운 비닐 포장재를 사용하여 완벽한 밀봉을 실시하고 있었기 때문에 검역 안전성 측면에서 비교적 우수한 업체로 판단된다(Figure 3-23).

Table 3-6. Packaging of laminated board and its storage in companies in Malaysia

Company	MY-A	MY-B	MY-C	MY-D
Packing just after manufacturing	yes	yes	yes	yes
Packing materials	plastic thin film, wood strip, plastic and steel banding	plastic thin film, wood strip, plastic banding	plastic thick film, wood strip, plastic banding	plastic thick film, wood strip, plastic banding
Storage period	< 1 day	< 1 day	1-2 weeks	2 weeks - 2 months
Remark	opened in parts, insect's exit hole and frass	opened in parts	opened in parts	



Figure 3-17. Packaging of laminated board in MY-A



Figure 3-18. Example of imperfect packaging of laminated board in MY-A



Figure 3-19. Exit hole and frass by insect on surface of packed laminated board in MY-A



Figure 3-20. Example of packaging of laminated board for export to European countries in MY-A



Figure 3-21. Packaging of laminated board in MY-B



Figure 3-22. Packaging of laminated board in MY-C



Figure 3-23. Packaging of laminated board in MY-D

(2) 인도네시아 집성재 생산업체

인도네시아 집성재 생산업체 4개소 실사를 통해 조사한 업체 기본정보와 업체에서 집성재 생산 시 사용하는 집성소재 정보를 Table 3-7에 제시하였다. 조사 대상 업체명은 업체의 간접 홍보 또는 조사 결과 노출에 따른 업체의 불이익을 피하기 위해 각각 ID-A, ID-B, ID-C, ID-D로 표기하였다.

기본 정보

인도네시아 자바 섬 중부 Semarang, Wonosobo, Temanggung에 위치한 업체 4개소는 자바 섬 산지의 Sengon(albasia wood)을 이용하여 주로 bare core 및 blockboard를 생산하였다 (Table 3-7). 참고로 blockboard는 집성소재를 길이방향으로 단순 접착시킨 후 edge gluing을 실시하여 생산한 판재인 bare core 측면과 양쪽 표면에 집성소재를 finger jointing을 통해 길이방향으로 접착한 strip과 얇은 목재 단판을 접착하여 만든 일종의 판상제품이다. ID-A 업체는 blockboard의 주재료 중 bare core를 생산하여 중국과 대만의 blockboard 생산 공장으로 수출하며, ID-B 업체는 blockboard의 주재료인 bare core와 얇은 목재단판을 생산하여 중국과 대만으로 수출한다. 현재 ID-B 업체는 한국의 수입업체와 접촉하여 국내 수출을 준비하고 있다고 한다. ID-C 업체는 bare core와 얇은 목재단판 뿐만 아니라 업체 내에서 blockboard를 직접 생산하며 국내로는 blockboard만을 수출하고 있다. ID-D 업체의 주 생산품목 또한 유럽, 아시아, 미국으로 수출하는 bare core이며, 일부 생산된 집성재를 국내로 수출하고 있다. 조사된 업체에서 생산되는 bare core의 두께는 13mm이며, bare core의 상단 및 하단에 얇은 단판을 접착한 blockboard의 두께는 15mm, 18mm로 조사되었다. ID-D 업체에서 생산되는 집성재의 치수는 두께 40~80mm를 기본으로 구매자의 요구에 따라 폭과 길이를 조절하여 판매하였다.

말레이시아의 집성재 생산업체와 유사하게 대규모 인공림에서 재배한 다양한 종류의 열대산 활엽수재를 이용하여 집성재를 생산하는 인도네시아 보르네오 섬(Kalimantan)의 업체들과 달리 자바 섬에 위치한 업체는 기타 농작물과 마찬가지로 가정에서 소규모로 재배된 Sengon을 구입하여 주로 집성소재의 원료로 사용하였다. 속성수인 Sengon은 수령 5~7년 이후부터 집성소재 용도로 사용이 가능하며 일반적으로 5~15년 동안 가정에서 재배된 Sengon은 벌채하여 중간 유통업체에 판매된다. 중간유통업체는 각 가정으로부터 구입한 Sengon을 판재로 제재하여 각 업체에 판매한다. 그 후 각 업체는 Sengon을 가공하여 최종 제품을 생산하는데, 조사대상 업체 중 ID-D 업체를 제외한 업체 3개소는 말레이시아 집성재 생산업체에 비해 생산 공정의 자동화가 미비하여 생산량에 비해 많은 인력이 투입되었다.

Table 3-7. Summary of general information of selected companies in Indonesia and information of wood species used for laminae with its dimension

Company	ID-A	ID-B	ID-C	ID-D
Basic Information				
Location	Semarang	Wonosobo	Wonosobo	Temanggung
Main products	bare core	veneer (50%), bare core (50%)	bare core (70%), blockboard (30%)	bare core (90%), laminated board (10%)
Main markets	China, Taiwan	China, Taiwan, (Korea)	Asia, China, Korea (blockboard)	Europe, Asia, USA, Korea (laminated board)
Laminae Information				
Wood species used for laminated board	Sengon (albasia wood)	Sengon (albasia wood)	Sengon (albasia wood)	Sengon (albasia wood)
Dimension of laminae	thickness: 13 mm	thickness: 13 mm	thickness: 15, 18 mm	thickness: 40-80 mm

집성소재의 열기건조

중간 유통업체를 거쳐 각 업체에 집하된 Sengon은 집성소재로 제재된 후 각 업체에 자체 보유하고 있는 열기건조실에서 건조되었다(Table 3-8, Figure 3-24). ID-A 업체는 중간 유통업체를 통해 구입한 집성소재를 야외에 야적하여 일정기간 보관하였는데 야외 보관 중 함수율 약 20% 전후까지 천연건조 되었다. 야외에서 함수율 20% 전후까지 건조된 집성소재는 ID-A 업체에서 보유중인 총 10개의 열기건조실에서 별도의 스케줄 없이 단순히 최대온도 90℃에서 추가로 건조되었다. 최대온도를 90℃로 설정하여도 열원으로부터 열기건조실 내부로 열이 전달되는 과정에서 발생하는 열 손실로 인해 열기건조실 내부의 실제온도는 60℃로 유지되었다. 집성소재의 건조과정 동안 함수율을 측정하면서 함수율이 목표함수율인 6%에 도달하면 건조를 종료하였으며, 약 9일의 기간이 소요되었다. ID-B 업체는 4개의 열기건조실에서 자체 개발한 열기건조 스케줄에 따라 함수율 60%의 집성소재를 함수율 8~10%까지 건조시켰으며, 초기 온도 30℃부터 60℃, 90℃, 120℃로 단계별로 온도를 상승시켜 총 4~5일간 열기건조를 실시하였다. ID-B 업체 또한 ID-A 업체와 마찬가지로 열원에서 열기건조실로 열이 전달되는 과정에서 발생하는 열 손실로 열기건조실의 최대온도는 70℃이었다. ID-C 업체와 ID-D 업체 또한 열원 온도 120℃를 적용하여 각각 5~9일간 또는 4~5일간 집성소재의 열기건조를 실시하였으며, 열 손실에 의해 열기건조실 내부의 최대온도는 각각 70℃, 80~100℃가 적용되었다. 인도네시아 집성재 생산업체에서 사용하는 Sengon의 경우 현재까지 열기건조 특성이 완벽히 밝혀지지 않았고 ID-A 업체에서 Sengon의 열기건조에 적용하는 최대온도가 60℃임을 고려하여 인도네시아 집성재 생산업체에서 실시하는 열기건조 스케줄의 검역 안전성 측면의 타당성은 별도의 실험을 통해 평가되었다(“라. Ubah, Sengon, 오동나무의 적정 열처리 조건 탐색” 참조).



Figure 3-24. Kiln drying system for laminae in ID-A

Table 3-8. Summary of drying conditions for laminae in selected companies in Indonesia

Company	ID-A	ID-B	ID-C	ID-D
Drying methods	kiln drying	kiln drying	kiln drying	kiln drying
No. of kilns	10	4	18	23
Kiln drying schedule	Just at max. temperature with monitoring of MC	company's own developed schedule	Just at max. temperature with monitoring of MC	Just at max. temperature with monitoring of MC
Max. temperature	90°C (actual: 60°C)	120°C (actual: 70°C)	120°C (actual: 70°C)	120°C (actual: 80-100°C)
Drying period	9 days	4-5 days	5-9 days	4-5 days
MC of laminae	before KD: 22% after KD: 6%	before KD: 60% after KD: 8-10%	before KD: 40-60% after KD: < 10%	before KD: 20-25% after KD: 4-5%

열기건조 후 집성소재의 보관

본 연구의 조사 대상 업체 4개소 모두 열기건조가 종료된 집성소재를 단순히 강우만이 차단되는 shed에 보관하였으며, 집성소재의 보관기간은 말레이시아 업체들에 비해 길지 않았다 (Table 3-9, Figure 3-25). 인도네시아 집성재 생산업체 중 ID-D 업체를 제외한 3개소는 모두 해충의 서식이 용이한 산지에 위치하고 있으며, 실제 해충의 서식이 육안으로 관찰되지 않더라도 업체 내 보관중인 Sengon 제재목에서 해충 가해흔적(탈출공 및 공도)이 쉽게 관찰되는 것을 고려하면 열기건조가 종료된 집성소재의 보관과정 중에 해충이 접근할 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다. 특히 ID-B 업체의 경우 최종 집성재 제품에서 무수히 많은 해충의 공도가 발견되었으며, 이를 보완하기 위해 목분과 점토 혼합물을 이용하여 공도를 메우는 작업을 실시하였다. 보관중인 제재목과 최종 집성재 제품에서 관찰되는 상당량의 해충 가해흔적을 고려할 때 Sengon은 내충성이 낮은 수종으로 사료되며, 따라서 열기건조 이후의 부주의한 보관과정은 검역 안전성 측면에서 반드시 수정되어야 할 공정으로 판단된다.

Table 3-9. Storage of dried laminae in companies in Indonesia

Company	ID-A	ID-B	ID-C	ID-D
Storage place	shed	shed	shed	shed
Storage period	8 days	1 week	1 day	3 days



Figure 3-25. Storage of dried laminae in ID-B (left) and ID-C (right)

집성재 생산 공정

앞서 언급하였듯이 ID-A 업체, ID-B 업체, ID-C 업체는 blockboard 및 blockboard의 주재료인 bare core를 생산하며, 요소수지와 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate)를 혼합한 수지 혹은 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate)를 단독으로 사용하여 집성소재를 접착하였다 (Table 3-10, Figure 3-26). ID-D 업체는 집성재 접착 시 집성소재의 길이방향 finger jointing에 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate), edge gluing에 요소수지를 사용하였다. 집성재 접착 과정 중 별도의 열이나 고주파(high frequency) 적용 없이 수작업에 의한 수지 도포와 단순압착에 의해 제품을 생산하기 때문에 집성소재의 열기건조 조건이 미흡하여 소재 내부에 기 서식하던 해충을 구제하지 못하였거나, 열기건조 후 보관중인 집성소재가 해충에 재감염 되었을 때 집성재 생산 과정에서 추가적인 구제효과는 기대할 수 없다.

Table 3-10. Manufacturing process of laminated board in companies in Indonesia

Company	ID-A	ID-B	ID-C	ID-D
Type of Laminated board	finger jointing (side) & edge gluing	finger jointing (side) & edge gluing	finger jointing (side) & edge gluing	finger jointing & edge gluing
Glue used	urea & PVAC	urea	urea & PVAC	PVAC for finger jointing, urea for edge gluing
Heating application	no	no	no	no



Figure 3-26. Manufacturing process of laminated board in ID-A (left) and ID-B (right)

집성재 포장

집성재 생산 후 ID-A 업체는 집성재를 1일간 shed에 보관 후 포장을 실시하였으며, 그 외 ID-B 업체, ID-C 업체, ID-D 업체는 집성재 생산 직후 포장하였다(Table 3-11). 집성재 생산 직후 포장을 실시하지 않고 보관하는 경우 그만큼 해충에 대한 노출이 증가됨을 의미하며, 따라서 검역 안전성 측면에서 집성재는 생산 직후 포장하는 것이 바람직하다. 인도네시아 집성재 생산업체의 현지 조사 시 한국 수출용 제품의 재고는 없었으며 타 국가 수출용 제품의 포장상태는 비교적 양호하였다(Figure 3-27). 하지만 ID-A 업체와 ID-B 업체에서 최종 제품의 포장용도로 사용하는 얇은 비닐은 주변 충격에 의한 파손이 용이하기 때문에 ID-C 업체와 ID-D 업체와 같은 두꺼운 비닐 사용이 바람직하다고 사료된다.. 4개소 업체 모두 낮은 생산성으로 인해 운송용 컨테이너 1개를 가득 채울 수 있는 물량을 생산하는데 긴 시간이 소요되어 초기 생산된 집성재는 최대 2~3주간 업체 내 shed에 보관된다. 따라서 4개소 공히 최종 집성재 제품의 보관 과정 중 해충에 재감염 되지 않기 위한 확실한 밀봉포장이 요구된다.

Table 3-11. Packaging of laminated board and its storage in companies in Indonesia

Company	ID-A	ID-B	ID-C	ID-D
Packing just after manufacturing	no (conditioning for 1 day under shed)	yes	yes	yes
Packing materials	plastic thin film, wood strip, plastic banding	plastic thin film, wood strip, plastic banding	plastic thick film, wood strip, plastic banding	plastic thick film, wood strip, plastic banding
Storage period	21 days	2-3 weeks	2-3 weeks	2-3 weeks



Figure 3-27. Packaging of laminated board in ID-A (a), ID-B (b) and ID-C (c)

(3) 중국 집성재 생산업체

중국 집성재 생산업체 4개소 실사를 통해 조사한 업체 기본정보와 업체에서 집성재 생산 시 사용하는 집성소재 정보를 Table 3-12에 제시하였다. 조사 대상 업체명은 업체의 간접홍보 또는 조사 결과 노출에 따른 업체의 불이익을 피하기 위해 각각 CN-A, CN-B, CN-C, CN-D로 표기하였다.

기본 정보

중국 산둥성(Shandong Province) 차오현(Cao County)에 위치한 집성재 생산업체 4개소 실사 결과를 Table 3-12에 제시하였다. 중국 산둥성 차오현은 중국 내에서 목재산업이 가장 발달한 지역 중 하나로 약 5,000여개의 목재업체가 밀집해있다. 인근 산시성(Shanxi Province)에서 생산되는 오동나무를 비롯하여 중국 전역에서 생산된 다양한 종류의 목재 및 중국 이외의 국가에서 수입된 목재가 차오현으로 운송되어 가공되며, 연간 약 2,000,000m³의 오동나무, 약 1,000,000m³의 포플러 제품을 한국을 포함한 다양한 국가로 수출된다.

본 연구의 실사 대상 업체 중 CN-A 업체는 집성재, 마루재, 제재목을 생산하는 업체로 한국과 일본이 주 수출 대상국이다(Table 3-12). 일본으로부터 원목 및 제재목 상태로 수입하는 편백나무와 삼나무를 이용하여 집성재를 생산하며, 두께 13mm, 폭 1,220mm, 길이 2,440mm 치수의 제품을 제작하여 필요에 따라 폭과 길이를 가공하여 수출한다.

CN-B 업체는 CN-A 업체의 계열사로 산시성으로부터 운송된 오동나무를 이용한 집성재와 소나무류를 재료로 한 가구를 생산하며(Table 3-12), CN-B 업체에서 생산되는 집성재는 CN-A 업체를 통해 전량 한국으로 수출된다.

Table 3-12. Summary of general information of selected companies in China and information of wood species used for laminae with its dimension

Company	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D
Basic Information				
Location	Cao county, Shandong	Cao county, Shandong	Cao county, Shandong	Cao county, Shandong
Main products	laminated board, flooring, sawn timber	laminated board, furniture	laminated board	laminated board
Main markets	Korea, Japan	Korea	Asia, Europe, Japan, Korea	Europe, USA, Mexico, Korea
Laminae Information				
Wood species used for laminated board	Hinoki, Cedar (imported from Japan)	Paulownia, Pine (for furniture)	Paulownia, Poplar, Spruce Chinese fir, Chinese pine	Paulownia, Poplar
Dimension of laminae	thickness: 13 mm width: 1,220 mm length: 2,440 mm	customer's request	thickness: 15, 18 mm	thickness: 5-40 mm

중국 전역으로부터 운송된 오동나무, 포플러, 가문비나무, 잣나무(Chinese fir), 소나무(Chinese pine)를 이용하여 집성재를 생산하는 CN-C 업체는 한국과 일본을 포함하는 아시아 및 유럽이 주요 수출국이다(Table 3-12). 업체 자체적으로 집성재를 생산하기도 하지만 소규모 업체에서 생산된 집성재를 구입하여 단순 치수가공 및 포장만 실시하여 수출하기도 한다.

CN-D 업체는 자체적으로 집성재를 생산하지 않고 약 20~30여개의 소규모 업체에서 가내 수공업 형태로 생산된 오동나무 및 포플러 집성재를 구입하여 단순 치수가공 및 포장 후 미국, 멕시코, 유럽, 한국 등지로 수출한다(Table 3-12).

집성소재의 열기건조

일본으로부터 수입한 편백나무와 삼나무를 이용하여 집성재를 제작하는 CN-A 업체는 원목 상태로 구입되는 목재에 한하여 열기건조를 실시하는데, 실사 당시 업체에 보유중인 열기건조기는 작동되고 있지 않았다(Table 3-13, Figure 3-28). 반면 건조된 관재상태로 구입되는 목재는 별도의 열기건조를 실시하지 않았는데 집성재 생산 전까지 강우에 관계없이 약 2주간 야외에서 보관되어 해충에 대한 노출이 우려되었다.



Figure 3-28. Kiln drying system for log (left) and storage of dried board (right) in CN-A

Table 3-13. Summary of drying conditions for laminae in selected companies in China

Company	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D
Drying methods	kiln drying (log only)	air drying	<ul style="list-style-type: none"> • kiln drying except for Paulownia (< 80 mm) • air drying for Paulownia (< 80 mm) 	<ul style="list-style-type: none"> • kiln drying - Poplar • air drying - Paulownia
No. of kilns	2	0	0 (subcontract)	0 (subcontract)
Kiln drying schedule	just at max. temperature with monitoring of MC			
Max. temperature	70-80°C		70-80°C	70-80°C (Poplar)
Drying period	14 days	-summer: 2-3 months -winter: 4 months	<ul style="list-style-type: none"> • kiln drying: 1 week • air drying (Paulownia) -summer: 2-3 months -winter: 4 months 	<ul style="list-style-type: none"> • kiln drying (Poplar) : 2-5 days • air drying (Paulownia) -summer: 2-3 months -winter: 4 months
MC of laminae	before KD: Green after KD: < 12%			Poplar - before KD: 20% after KD: 12%

집성소재용 수종으로 오동나무를 사용하는 CN-B 업체는 집성소재의 건조 시 열기건조를 실시하지 않고 야외에서 천연건조를 실시하였다(Table 3-13). Figure 3-29에서 확인할 수 있듯이 업체 내부 및 외부의 공터에 야적하여 건조하였는데, 상대적으로 기온이 높은 여름철의 경우 2~3개월, 기온이 낮은 겨울철의 경우 4개월 간 천연건조를 실시하였다. 집성재를 가공품으로 규정한 농림축산검역본부 고시 제2013-49호에 의하면 집성재는 열처리 또는 화학 처리과정을 거쳐 만든 목제품에 해당되는데 CN-B 업체와 같이 단순 천연건조를 실시하는 오동나무는 집성소재의 접착 과정에서 별도의 열이 적용되지 않는다면 가공품에 포함될 수 없다. 집성재를 가공품으로 규정하고 있는 현행 고시에는 오동나무 집성재는 제외된다고 명시되어있으나, 실제 CN-B 업체와 같이 열기건조를 실시하지 않는 경우는 열처리 또는 화학 처리과정을 거쳐 만든 목제품에 포함되지 않기 때문에 고시 본문 내용에 오동나무 집성재는 제외됨을 명시할 필요 없이 가공품에서 제외됨이 마땅하다. 오동나무뿐만 아니라 열기건조(열처리)를 실시하지 않은 집성소재를 이용하여 제작한 집성재와 불충분한 열기건조(집성소재 중심부 온도 56℃, 30분 이상 유지 미달)를 실시한 집성소재를 이용하여 제작한 집성재는 현행 고시에 따라 가공품에 포함될 수 없기 때문에 반드시 검역과정을 거쳐 수입되어야 한다.

오동나무 집성재를 생산하는 CN-C 업체와 CN-D 업체 또한 일부 예외(CN-C 업체: 두께 8mm 이상)를 제외하고 천연건조를 실시하였으며(Table 3-13, Figures 3-30, 3-31), 업체 관계자에 의하면 중국에서 생산되는 오동나무 집성재의 99% 이상 천연건조를 실시한다고 한다. 따라서 오동나무로 제작된 집성재를 비롯한 다양한 목제품은 해충이 서식하고 있을 가능성이 매우 높으며 국내로 수입될 시 반드시 철저한 검역과정이 필요하다. 반면 CN-C 업체는 두께 8mm 이상의 오동나무 및 기타 수종에 대해서는 외주를 통해 열기건조를 실시하며, CN-D 업체 또한 외주를 통해 포플러의 열기건조를 실시하였다.



Figure 3-29. Air drying of Paulownia in CN-B



Figure 3-30. Log of Paulownia (a), sawing of log (b) and air drying of boards (c) in CN-C



Figure 3-31. Subcontractor of CN-D (left) and air drying of Paulownia in the Subcontractor (right)

열기건조 후 집성소재의 보관

천연건조를 실시한 오동나무 이외에도 열기건조를 실시한 수종(hinoki, cedar, poplar, spruce, Chinese fir, Chinese pine)은 집성재 생산 전까지 shed 혹은 야외에 보관되었다 (Table 3-14, Figure 3-32). 업체 내 shed에 충분한 공간이 확보된다면 목재는 강우가 차단되는 shed에 보관되었지만, shed 공간이 부족할 시 야외에 목재를 보관하며 강우 시 비닐 덮개를 덮어 강우를 차단하였다. 건조된 목재는 집성재 구매 수요가 발생하여 집성재 생산 공정에 투입되기 전까지 별도의 기한 없이 shed 및 야외에서 보관되었는데, 이러한 상황은 보관 중 규제해충의 감염 가능성을 야기할 수 있다. 식물방역법 시행규칙의 별표 1 수입 금지 식물에 의하면 일부 예외[소독 처리된 캐나다산 소나무속 제재목(농림축산검역본부 고시 제2013-95), 미국산 소나무속 제재목(고시 제 2013-122호)]를 제외하고 소나무속 식물의 목재류는 금지 병해충의 유입 가능성 때문에 수입이 금지되고 있다. 하지만 가공품에 해당하는 소나무 집성재는 별도의 검역과정 없이 수입이 가능한데 열처리 여부에 관계없이 병해충의 재감염 우려가 높은 상태로 보관되는 소나무류(예: Chinese pine)로 제작된 집성재가 국내로 수입될 경우 다양한 종류의 병해충이 동시에 유입될 가능성이 높다. 소나무류 뿐만 아니라 타 수종 또한 해충의 접근이 용이하여 검역 안전성 측면에서 매우 불량한 상태로 보관됨을 고려할 때 중국으로부터 수입되는 집성재의 검역 안전성 확보를 위해 반드시 목재 보관 방법의 개선이 필요하다고 판단된다.

Table 3-14. Storage of dried laminae in companies in China

Company	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D
Storage place	shed or outside	shed or outside	shed or outside	shed or outside
Storage period	2 weeks			



Figure 3-32. Storage of dried laminae in CN-A (left) and CN-B (right)

집성재 생산 공정

집성소재의 접착 시 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate) 수지를 도포하고 50~60℃의 열을 적용하여 압착하는 CN-A 업체를 제외하고, CN-B 업체, CN-C 업체, CN-D 업체(납품 업체)에서는 수작업으로 집성재를 생산하였다(Table 3-15, Figures 3-33~36). CN-A 업체의 경우 집성재 생산 시 열압을 적용한다 하여도 해충이 구제되기에 부족한 시간(예: 두께 30mm 기준 6분)이며, 그 밖의 3개소에서는 열적용이 전무하기 때문에 집성재 생산 과정에서 기 감염된 해충의 구제는 불가능하다. 특히 수작업의 특성 상 제품 생산성이 낮아 일정 수준의 물량을 제작하는데 장기간이 소요되어 업체 내 제품을 보관하는 기간이 길어지는데, 밀폐된 실내창고가 아닌 단순 shed에서 보관되는 경우가 대부분이기 때문에 해충의 가해가 용이하다.

Table 3-15. Manufacturing process of laminated board in companies in China

Company	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D
Type of Laminated board	edge gluing	edge gluing	finger jointing & edge gluing	edge gluing
Glue used	PVAC	PVAC	PVAC	PVAC
Heating application	yes e.g., at 50-60℃ for 6 min (30mm thickness)	no	no	no



Figure 3-33. Manufacturing process of laminated board in CN-A



Figure 3-34. Manufacturing process of laminated board in CN-B



Figure 3-35. Manufacturing process of laminated board in CN-C (left) and bleaching of laminated board with hydrogen peroxide



Figure 3-36. Manufacturing process of laminated board in subcontractor of CN-D (a), storage of laminated board from the subcontractor in CN-D (b), and planing of laminated board in CN-D (c)

집성재 포장

집성재 생산 직후 포장을 실시하는 CN-A 업체와 CN-B 업체와 달리 CN-C 업체와 CN-D 업체는 생산된 집성재를 별도의 포장 없이 보관하며, 수요의 발생 시 포장하여 수출한다(Table 3-16). 중국 집성재 생산업체에서 사용하는 포장 재료는 얇은 비닐로 파손에 대한 우려가 높으며, 실제 CN-C 업체에서 보관중인 최종 집성재의 포장은 파손되어 일부 개봉되어 있었다(Figure 3-37).

전반적으로 현지실사를 통해 확인된 중국 집성재 생산업체의 집성재 생산 전 과정은 검역 안전성 측면에서 매우 불량하였으며, 원료 수중에 관계없이 별도의 검역이 요구되지 않는 가공품으로 분류되어 수입되기에 부적합하다고 평가된다. 따라서 본 연구를 통해 제시된 검역 안전성 측면에서 타당한 집성재 생산 공정에 의거하여 공정 전반의 수정이 필요하며, 공정 수정 후 일정기간 모니터링을 실시하여 검역 안전성 확보가 이루어져야할 것으로 사료된다.

Table 3-16. Packaging of laminated board and its storage in companies in China

Company	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D
Packing just after manufacturing	yes	yes	no	no
Packing materials	plastic thin film, wood strip, plastic banding	plastic thin film, wood strip, plastic banding	plastic thin film, wood strip, plastic banding	plastic thin film, wood strip, plastic banding
Storage period	< 5 days	< 6 days	< 2 weeks	
Remark			opened in parts	



Figure 3-37. Packaging of laminated board in CN-A (a), CN-C (b) and CN-D (c)

(4) 네덜란드 집성재 생산업체

검역 안전성 측면에서 문제가 되는 말레이시아, 인도네시아, 중국 집성재 생산업체의 비교 대상 업체로 수입 집성재의 규제해충 감염이 보고된 바 없는 네덜란드의 집성재 생산업체 2개소(NL-A, NL-B)를 선정하여 집성재 생산 공정을 현지 실사하였다. 본 실사는 검역 안전성 측면에서 문제가 되는 국가의 집성재 생산 공정과 검역 안전성 측면의 우수국가인 네덜란드의 집성재 생산 공정의 차이점을 조사하여 검역 안전성 측면에서 문제가 되는 국가의 집성재 생산 공정의 수정 및 보완점을 명확하게 제시하는 것에 초점을 맞춰 진행되었다.

네덜란드 Winshoten 지역에 위치한 NL-A 업체는 스칸디나비아 반도의 스웨덴, 노르웨이, 핀란드 등과 러시아, 독일로부터 수입한 Scandinavian pine과 spruce 제재목을 이용하여 집성재를 생산하는 업체로 현재 한국으로 집성재를 수출하는 유일한 네덜란드 집성재 생산업체이다. 자동화된 생산 공정을 통해 불과 60여명의 인원으로 연간 약 500,000m³의 집성재를 생산하며, 한국뿐만 아니라 유럽 전 지역 및 북아메리카로 생산제품을 수출한다. 가구 및 내장재, 개인용 DIY 제품부터 Lebensmittel- und Futtermittel- gesetzbuch(LFGB)의 승인을 받은 음식물(예: 치즈) 보관을 위한 선반 등의 제품까지 생산하며, 집성재 생산 과정의 단계별로 지속적인 품질관리는 물론 Forest Stewardship Council(FSC), Programme for the Endorsement of Forest Certification(PEFC) 인증을 통한 친환경, 고품질 제품을 생산한다. 네덜란드 Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality에 의하면 NL-A 업체에서 해충감염으로 인한 불량집성재 제품이 발견된 바 없고 현재까지 한국으로 수입된 집성재의 검역과정에서도 해충감염이 확인된 적 없음을 고려할 때 NL-A 업체는 검역 안전성 측면에서도 매우 우수한 업체로 평가된다.

네덜란드 Helmond 지역에 위치한 NL-B 업체는 스칸디나비아 반도 국가들로부터 다양한 종류의 침엽수 및 활엽수를 수입하여 집성재를 생산하는 업체로 생산된 제품은 유럽 전역에 수출되었다. NL-B 업체 또한 NL-A 업체와 마찬가지로 네덜란드 Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality에서 해충 감염으로 인한 불량품이 전무한 것으로 확인되었으며, KOMO 인증 및 FSC 인증을 획득하여 친환경, 고품질 제품을 생산하였다.



Figure 3-39. Example of storage for dried laminae in NL-A

NL-A 업체는 2개의 열기건조실에서 자체 개발한 열기건조 스케줄에 의해 집성소재의 열기 건조를 실시하며, 초기온도 40℃에서 열기건조를 시작하여 함수율 12% 이하에 도달할 때까지 최고 65℃ 또는 70℃ 까지 온도를 상승시킨다. 열기건조가 종료된 집성소재는 비닐로 밀봉하여 집성재 생산 전까지 실내 창고에서 약 2~3주간 보관된다(Figure 3-39). NL-B 업체는 열기건조가 실시된 제재목을 구입하여 집성재 생산에 사용하며, 구입하는 제재목은 완벽히 밀봉된 상태로 운송되어 집성재 생산 전까지 실내 창고에 보관되기 때문에 해충에 의한 재감염의 우려가 없다. NL-A 업체는 단일 strip의 집성소재를 길이 방향 접착 없이 폭 방향으로 edge gluing을 실시하여 접착하는데, 이때 폴리비닐아세테이트(polyvinyl acetate) 수지와 고주파 접착(high frequency gluing)이 적용된다. 제작된 집성재는 모두 개별적으로 생산일자가 포함된 labeling이 실시되어 품질이 관리된다. NL-B 업체는 폴리비닐아세테이트 수지를 이용하여 집성소재 길이방향으로 finger jointing 후 edge gluing을 실시하며, 접착 과정에 일부 고주파가 적용된다(Figure 3-40). 집성재 생산 직후 집성재는 용도에 따라 각 개별 집성재가 별도 혹은 동시에 여러 겹의 비닐로 포장되는데(Figure 3-41), 상기 두 업체는 집성재 생산 전 공정에서 집성재가 해충에 노출될 가능성이 매우 적어 검역 안전성 측면에서 안전할 것으로 판단된다.



Figure 3-40. High frequency gluing process of laminated board in NL-A (a and b) and labeling of manufacturing information of laminated board (c)



Figure 3-41. Packaging of laminated board and its storage in NL-A

라. Ubah, Sengon, 오동나무의 적정 열처리 조건 탐색

(1) 공시 수종

집성재 생산 공정 실사를 통해 확보한 업체별 열기건조 정보 중 집성소재의 중심부 온도 56℃, 30분 이상 유지 여부가 불확실하여 실험적 평가가 필요하다고 판단된 Ubah와 Sengon, 그리고 집성소재 건조 시 천연건조를 적용하는 오동나무를 공시 수종으로 선정하였다.

(2) 시편 준비

각 업체에서 사용하는 집성소재와 동일 횡단면 치수의 Ubah (45 × 50mm), Sengon(50 × 90mm), 오동나무(60 × 90mm) 각재를 필요량 준비하여 수축방향으로의 열전달이 방사 및 접선방향으로의 열전달 보다 빠르지 않도록 300mm의 길이로 제재하였다. 준비된 시험편은 열처리 전 기건상태에 도달할 때까지 실내에서 건조되었으며, 최종 기건함수율은 Ubah 6.5%, Sengon 6.5%, Paulownia 7.2%, 비중은 Ubah 0.93, Sengon 0.27, 오동나무 0.26로 확인되었다.

(3) 시편 열처리 및 온도변화 측정

목공용 전동드릴을 이용하여 준비된 시험편의 중심부로 직경 1mm 구멍을 뚫은 후 데이터 로거(data logger)에 연결된 직경 1mm 열전대(thermocouple)를 삽입하였다(Figure 3-42). 열전대가 삽입된 구멍을 통한 외부 열기 유입을 방지하기 위해 구멍 입구를 폴리우레탄폼(polyurethane foam)을 이용하여 차단하였다. 수종별로 총 3반복의 시험편을 각각 60℃, 65℃, 70℃로 설정된 실험실 규모의 convection oven에 위치시킨 후 10초 간격으로 시험편 중심부 온도변화를 모니터링 하였다.

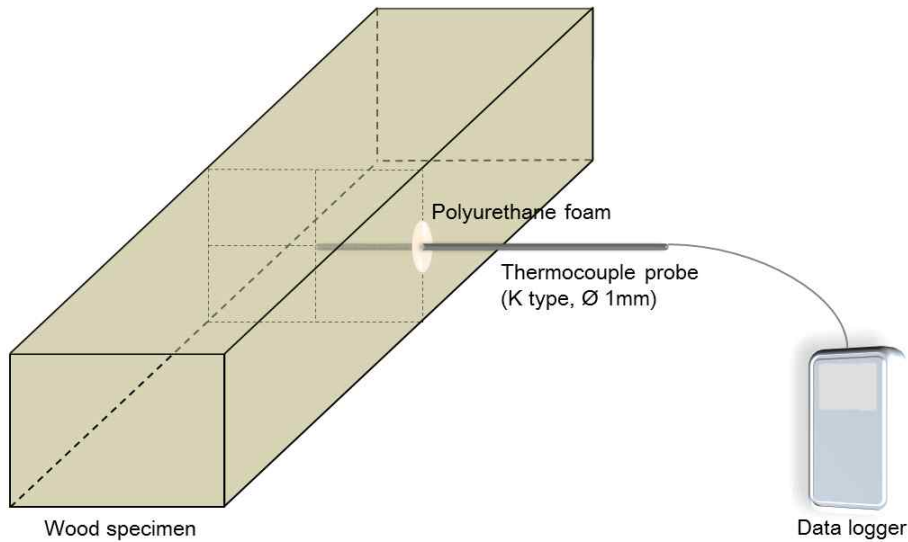


Figure 3-22. Measurement of temperature change at the core of wood specimen by thermocouple probe with data logger

(4) 결과 및 고찰

Ubah, Sengon, 오동나무의 중심부 온도는 60℃, 65℃, 70℃로 설정된 convection oven 내에서 서서히 증가되다가 단시간 이내에 최고 온도에 도달하였으며, 적용된 온도가 높을수록 중심부 온도의 증가 속도가 빠르고 최고 온도에 도달하는 시간이 단축되었다(Figure 3-43). 시험편 중심부 온도가 56℃에 도달하는 시간은 Sengon, Ubah, 오동나무 순으로 빨랐으며, 60℃에서 열처리 시 Sengon 81분, Ubah 112분, Paulownia 179분, 65℃에서 열처리 시 Sengon 57분, Ubah 74분, Paulownia 78분, 70℃에서 열처리 시 Sengon 45분, Ubah 56분, Paulownia 57분이 경과하였을 때 시험편 중심부 온도가 56℃에 도달하였다(Figure 3-44). 현지 집성재 생산업체의 집성소재 열기건조 소요 기간을 고려할 때 Ubah를 집성소재의 원료로 사용하는 MY-D 업체와 Sengon을 집성소재 원료로 사용하는 인도네시아 업체 4개소의 열기건조 공정은 검역 안전성 측면에서 타당할 것으로 판단된다. 반면 오동나무의 천연건조를 실시하는 CN-B 업체, CN-C 업체, CN-D 업체는 건조비용 절감을 위해 천연건조를 실시한다하더라도 검역 안전성 확보를 위해서는 반드시 상기 제시된 온도 및 기간(예: 60℃ 최소 209분 이상, 65℃ 최소 108분 이상, 70℃ 최소 87분 이상)을 고려한 열처리를 실시해야 할 것으로 사료된다.

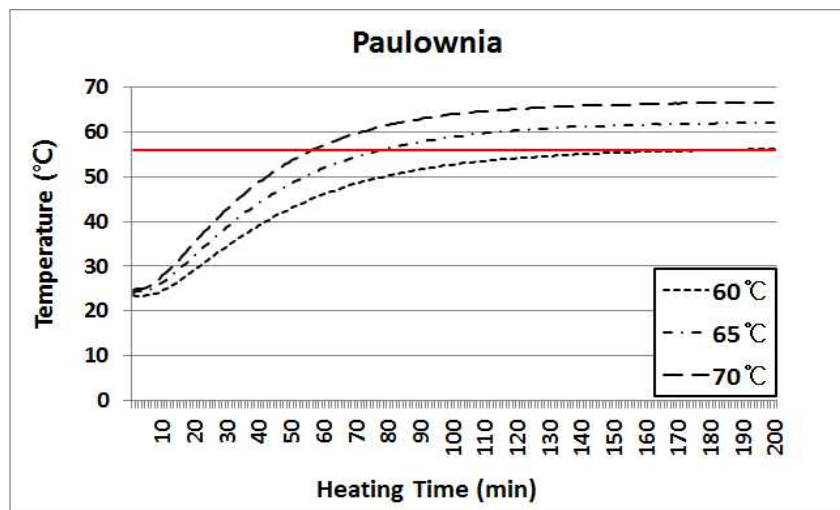
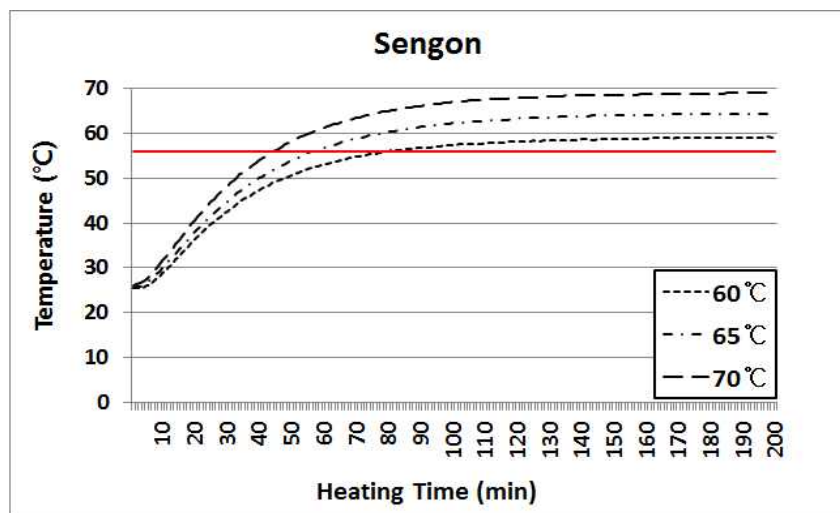
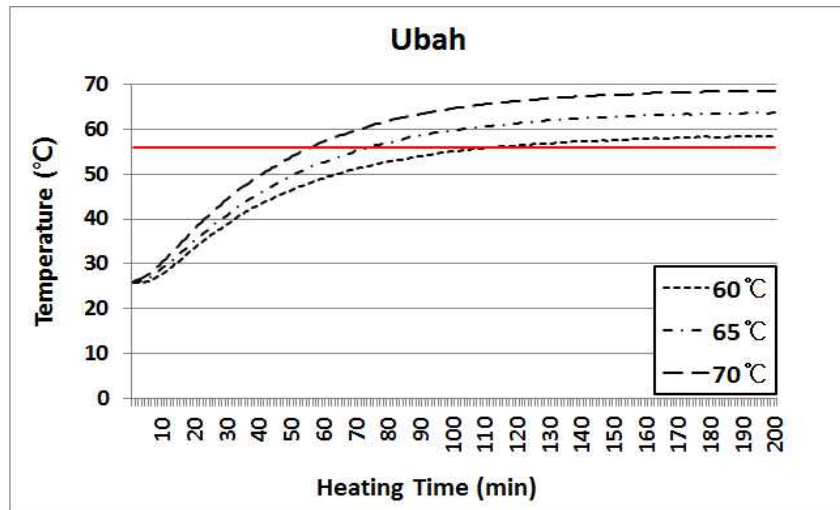


Figure 3-43. Temperature change at the core of wood specimen by heat treatment with 60, 65 and 70°C

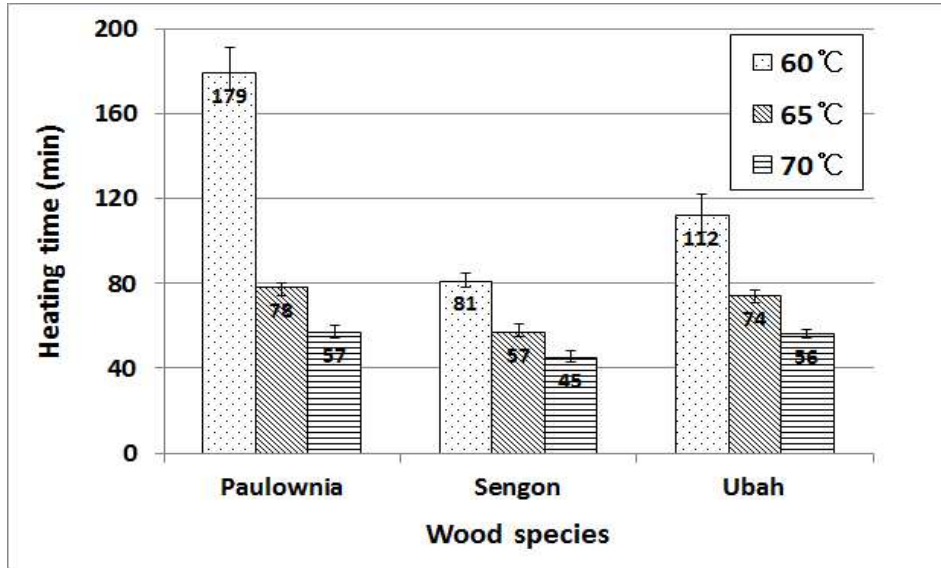


Figure 3-44. Heating time required to reach at 56°C at the core of wood specimen by heat treatment with 60, 65 and 70°C

2. 수입 집성재 생산업체의 검역안전성 평가

Table 3-17는 현지 실사를 통해 조사된 말레이시아, 인도네시아, 중국, 네덜란드 집성재 생산업체 14개소의 집성재 생산 공정에 대한 검역 안전성 측면 타당성 평가 결과를 요약하여 나타낸다. 말레이시아와 인도네시아의 경우 MY-D 업체 1개소를 제외한 업체에서 모두 적절한 집성소재의 열기건조를 실시하였다. MY-D 업체 또한 현행 열기건조 스케줄을 일부 수정한다면 검역 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 대다수 업체가 열기건조 후 집성소재의 보관 과정과 집성재 생산 후 포장 및 보관 과정이 검역 안전성 측면에서 미흡하였으며, 이에 대한 보완이 요구된다. 중국 집성재 생산업체의 대부분은 집성재 생산 전 과정에서 검역 안전성 측면에서 불량한 실태가 확인되었으며, 따라서 중국으로부터 수입되는 집성재가 가공품으로 포함되어 검역대상에서 제외되기 위해서는 집성재 생산 공정의 대폭 수정이 요구된다. 예상한 바와 같이 검역 안전성 측면의 우수국가인 네덜란드의 집성재 생산업체는 모든 공정에서 해충 감염에 대한 안전성이 우수한 관리가 이루어지고 있음이 확인되었다.

Table 3-17. Summary of result of fact-finding survey on companies in Malaysia, Indonesia, China and Netherlands

Company	Drying condition	Storage of dried laminae	Packing and storage of laminated board
MY-A	good	poor	very poor
MY-B	good	good	poor
MY-C	good	poor	poor
MY-D	poor	good	good
ID-A	good	poor	poor
ID-B	good	poor	poor
ID-C	good	poor	good
ID-D	good	poor	good
CN-A	very poor	very poor	poor
CN-B	very poor	very poor	poor
CN-C	very poor	very poor	very poor
CN-D	very poor	very poor	very poor
NL-A	good	good	good
NL-A	good	good	good

제 2 절 집성소재 열처리 실시여부 판단 기술

1. 현지 집성소재 열처리 조건에 의한 집성소재의 특성 변화(I) - 표면 재색

가. 시험용 목재 준비

집성재 생산 공정의 현지 실사를 통해 확인한 국가별 주요 사용 수종의 목재 시편을 해당국 가로부터 확보하였다. 검역 안전성 측면에서 가장 문제가 되고 있는 중국 집성재 업체의 사용 수종 중 낙엽송, 소나무, 오동나무, 잣나무 목재 시편은 중국 현지에서 확보하였으나 삼나무는 목재 시편 확보를 위한 현지 출장 당시 확보가 불가능하여 제주산 삼나무로 대체하였다. 말레이시아와 인도네시아에서는 원목을 포함하여 가공하지 않은 제재목의 수출이 금지되어 목재 시편의 확보에 어려움을 겪었으나 현지 연구자의 도움으로 말레이시아로부터 dark red meranti 시편을 연구용으로 제공받았다.

나. 열처리

수축방향으로 열전도율과 방사 또는 접선방향으로 열전도율 차이를 감안하여 준비된 목재 시편으로부터 폭과 두께가 25mm이고 길이가 300mm인 열처이용 시험편을 제작하여 기건 상태에 도달할 때까지 실내에서 건조하였다. 시험편의 열처리 온도는 현지 실사 결과시 파악한 해당 국가에서 사용하고 있는 열기건조 스케줄을 참고하여 정하였다. 낙엽송, 소나무, 삼나무, 오동나무, 잣나무 시험편의 열처리는 열기건조를 실시하고 있다는 중국의 CN-A, CN-C, CN-D업체에서 사용하고 있는 열기건조 온도(70~80℃)의 평균온도 75℃에서 3일, 5일, 7일간 실시하였다.

반면에 집성소재의 원료 수종이 meranti인 말레이시아 MY-A 업체에서 사용하는 열기건조 스케줄 Schedule F(건조 중 목재 함수율이 20%에 도달하면 건구온도를 68℃로 상승시키고, 다시 함수율이 15%에 도달하면 건구온도를 76.5℃로 상승시켜 최종적으로 함수율이 10~12%까지 건조)에서 건조 중 집성소재가 68℃에 얼마간 노출되고, 또한 76.5℃에 얼마간 노출되는지는 실제 건조실험을 통해 확인해야 하지만 말레이시아 현지 공장에서 상기 건조 스케줄 적용 시 총 건조 소요시간이 6~7일인 점과 건조시간과 목재 함수율의 관계를 나타내는 일반적인 목재의 건조곡선을 고려할 때, 함수율 20%에서 최종 10~12% 도달 시간은 3일 정도 소요되리라 예상되기 때문에 열처리 시간을 중국 업체 사용수종의 열처리와 동일하게 온도 75℃에서 3

일, 5일, 7일로 설정하였다.

다. 열처리 목재의 재색 측정

열처리 스케줄에 따라 열처리를 실시한 목재들의 표면 재색은 색차계(Konika minolta, CR-400)를 이용하여 시편의 전체길이의 1/4지점마다 측정하고 평균하였다. 색도를 나타내는 값은 CIE 기준의 L^* , a^* , b^* 값을 측정하였는데, 명도를 나타내는 L^* 값은 0에서 100까지 증가할수록 검은색에서 흰색으로의 밝기가 밝아짐을 나타내며, 적색도를 나타내는 a^* 는 녹색에서 빨강으로의 변화, 황색도를 나타내는 b^* 값은 파랑에서 노랑으로의 변화를 의미한다.

라. 현지 집성소재 열처리 조건에 의한 집성소재의 표면 재색 변화

열처리 전 공시 수종의 L^* , a^* , b^* 값은 낙엽송은 69.59~71.36, 8.55~10.10, 24.76~24.99, 소나무는 81.31~82.37, 3.69~4.19, 23.94~24.81, 삼나무는 63.87~66.97, 9.51~10.74, 21.85~22.77, 오동나무는 68.68~74.20, 4.29~5.43, 16.87~18.42, 잣나무는 76.15~78.49, 3.89~4.90, 20.01~21.14, dark red meranti는 40.86~43.48, 11.32~12.42, 17.49~17.74로 나타났다(Table 3-18).

현지에서 실시하는 열처리 조건을 기반으로 열처리 후에 낙엽송 색도 변화를 살펴보면, 3일, 5일, 7일간의 열처리 전후의 명도 차이(ΔL^*)는 각각 1.07, 1.62, 3.52로 나타나 열처리 시간에 따라 감소하므로 재색의 밝기가 어두워지고, 적색도 차이(Δa^*)는 -0.04, -0.06, -1.26, 황색도 차이(Δb^*)는 -0.89, -1.37, -2.93로 나타나 열처리 시간에 따라 적색도와 황색도는 증가하는 것으로 나타났다. 소나무는 3일, 5일, 7일간의 열처리 전후 ΔL^* 가 각각 1.69, 2.08, 2.47, Δa^* 는 -0.35, -0.68, -0.94, Δb^* 는 -2.88, -2.97, -2.99로 나타나 열처리 시간에 따른 색도 변화의 경향이 낙엽송과 동일하게 나타났다. 삼나무는 열처리 전후 색도 변화에 있어 dark red meranti와 동일한 결과를 보여주었는데, 삼나무는 ΔL^* 가 0.30, 1.12, 1.31, Δa^* 는 0.31, 0.35, 0.39, Δb^* 는 0.24, 0.51, 0.64로, dark red meranti는 ΔL^* 가 1.43, 2.35, 2.40, Δa^* 는 1.58, 2.46, 2.69, Δb^* 는 1.23, 2.06, 2.23으로 열에 노출되는 시간이 증가할수록 명도, 적색도, 황색도 모두 감소하며 재색이 다소 어두워지는 경향을 보여주었다. 마지막으로, 오동나무와 잣나무류는 열처리 후 명도와 적색도가 감소하는 반면 황색도가 증가하였으며, 오동나무는 ΔL^* 가 0.05, 0.17, 0.35, Δa^* 는 0.28, 0.39, 0.46, Δb^* 는 -0.07, -0.40, -0.48, 잣나무는 ΔL^* 가 0.39, 0.56, 0.77, Δa^* 는 0.02, 0.04, 0.18, Δb^* 는 -0.52, -0.58, -0.68의 값이 측정되었다.

열처리에 의한 목재의 재색 변화와 관련하여 다양한 연구들이 보고되어왔으며, beech와 silver birch는 열처리에 따른 목재 재색 변화에 있어 열처리 온도, 처리하는 목재의 두께, 상대 습도가 주로 영향한다고 보고한 바 있다(Stenudd, 2004). 그 중에서도 열처리 온도는 목재 재

색 변화와의 상관성이 매우 우수하게 나타났으며(Tarvainen et al., 2001, Viitaniemi et al., 1997), 열처리 온도 못지않게 열처리 시간도 밀접하게 영향한다고 보고하였다(Zaman et al., 2000). 하지만 동일 수종이라도 재색이 임목의 생장 과정, 임목의 건전 상태, 유전적 요인 등에 의해 상이한 관계로 실제로 집성소재의 건조에 사용하는 열처리 조건을 적용할 때 관찰되는 색도 차이는 앞서 설명한 동일 수종의 목재 내에서 나타날 수 있는 색도 차이와 크게 다르지 않으리라 사료된다. 이와 같이 목재 시험편 내에서 나타날 수 있는 차이는 시험편을 채취하고 자 하는 목재의 동일한 부위에서 무결점 시험편으로 제작하면 극복할 수 있으나, 본 연구의 경우 조사 대상인 해당국가로부터 획득한 목재 제재목의 양이 충분하지 않았기 때문에 다음과 같은 연구 결과가 도출되었다고 볼 수 있다. 또한 열처리가 다소 낮은 온도에서 실시되고 있기 때문에 아무리 장시간 처리를 한다고 할지라도 재색에 크게 영향을 미치지 않는 점을 확인할 수 있다. 일반적으로 열처리에 의해 재색 변화가 육안으로 감지할 수 있을 정도로 크게 나타나는 경우는 그 온도가 현재 집성소재의 처리온도보다 많이 높았으며(Matsuo et al., 2010; Shin et al. 2010), 처리온도가 비슷한 수준의 경우에는 본 연구의 결과와 유사한 색도 변화가 소폭 감지되었다(Tarvainen et al., 2001). 따라서 현재 집성재 건조시 적용되는 온도에 의한 목재의 색도 변화는 업소간의 열처리 시간에 따라 특정 경향성에 대해서는 논할 수는 있지만 열처리 전후의 차이가 크지 않고 재색을 영향하는 인자가 많기 때문에 열처리에 따른 재색 변화를 열처리 여부를 판단할 수 있는 절대적인 척도로 사용하기는 어려울 것으로 사료된다.

Table 3-18. Color measurement of different wood species after heat treatment

Wood species		3-day			5-day			7-day		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
Larch	control ^a	70.97 ± 2.32	9.00 ± 1.34	24.99 ± 0.86	68.58 ± 1.77	10.10 ± 0.36	24.99 ± 0.40	71.36 ± 1.62	8.55 ± 1.45	24.76 ± 1.67
	heat treatment	69.91 ± 2.47	9.04 ± 1.51	25.88 ± 0.83	66.19 ± 3.89	10.67 ± 1.55	26.98 ± 1.79	67.84 ± 3.22	9.81 ± 2.45	27.69 ± 2.62
Cedar	control	63.87 ± 1.51	9.51 ± 0.82	22.21 ± 1.39	65.99 ± 5.61	10.74 ± 0.91	21.85 ± 1.23	66.97 ± 5.04	10.50 ± 1.44	22.77 ± 1.30
	heat treatment	64.11 ± 1.84	9.21 ± 0.92	21.96 ± 1.27	64.87 ± 5.27	10.40 ± 0.99	21.33 ± 0.75	65.66 ± 4.94	10.11 ± 1.32	22.13 ± 1.32
Pine	control	81.31 ± 1.77	4.16 ± 1.19	24.61 ± 1.94	82.37 ± 1.55	3.69 ± 0.73	23.94 ± 1.46	82.17 ± 1.97	4.19 ± 1.00	24.81 ± 1.72
	heat treatment	79.63 ± 2.24	4.51 ± 1.45	27.49 ± 3.13	80.69 ± 1.93	4.37 ± 0.85	26.91 ± 2.22	79.70 ± 2.37	5.13 ± 1.36	27.80 ± 2.25
Paulownia	control	72.50 ± 1.62	5.43 ± 0.88	18.42 ± 1.53	74.20 ± 2.80	4.81 ± 0.47	17.38 ± 0.88	69.04 ± 1.93	4.29 ± 0.90	16.87 ± 0.94
	heat treatment	72.55 ± 1.54	5.15 ± 0.79	18.49 ± 1.27	74.04 ± 2.71	4.42 ± 0.40	17.78 ± 0.89	68.68 ± 2.00	3.83 ± 0.83	17.35 ± 0.82
Abies	control	78.49 ± 2.28	4.56 ± 1.19	20.01 ± 1.12	77.11 ± 2.87	3.89 ± 0.51	20.29 ± 1.34	76.15 ± 1.73	4.90 ± 1.07	21.14 ± 2.11
	heat treatment	78.10 ± 2.88	4.55 ± 1.21	20.53 ± 1.60	76.55 ± 3.23	3.85 ± 0.57	20.87 ± 1.16	75.37 ± 2.30	4.72 ± 0.99	21.82 ± 2.11
Dark red meranti	control	40.86 ± 2.27	12.10 ± 1.85	17.48 ± 2.36	43.48 ± 5.15	11.32 ± 2.83	17.57 ± 3.22	42.36 ± 2.76	12.42 ± 1.54	17.74 ± 2.32
	heat treatment	39.43 ± 2.39	10.52 ± 1.81	16.25 ± 2.27	41.13 ± 5.72	8.85 ± 2.70	15.51 ± 2.75	39.96 ± 2.54	9.73 ± 1.55	15.51 ± 2.20

^aThe value from non-treated wood surface

2. 현지 집성소재 열처리 조건에 의한 집성소재의 특성 변화(II) - 습윤성

가. 열처리 목재의 습윤성 변화 평가 방법

본 장 2절 1.에서 열처리된 목재 시험편의 열처리에 따른 습윤성 변화를 평가하기 위해 시험편의 표면에서 정적법(sessile drop method)에 의거하여 접촉각 및 표면장력 측정기(Phoenix, Korea)로 접촉각을 측정하였다. 목재 시험편의 1/4지점마다 microsyringe를 사용하여 증력의 영향을 무시할 정도의 $4\mu\text{l}$ 증류수를 시험편 위로 주사(injection)하였으며, 액적이 주사되어 평형에 달하는 즉시 목재 표면과 물방울의 접촉각을 영상시스템을 이용하여 포착하였다. 획득한 영상은 목재 표면과 물방울 사이의 경계를 확인 및 재설정하여 오차의 범위를 줄이고 재현성을 높이는 과정을 거쳐 최종적으로 접촉각을 결정하였다.

나. 열처리 목재의 흡습성 변화

목재의 흡습성의 변화는 목재 표면에서 물방울 접촉각을 이용하여 확인할 수 있는데, 접촉각이란 액체 방울이 고체의 표면과 이루는 각을 일컫는다(Figure 3-45). 이는 액체와 고체의 표면장력의 관계에 따라 상이하게 나타나는데, 액체가 고체의 표면장력보다 작을 때에는 접촉각이 0° 이 되며 고체의 표면장력보다 크면 점차 증가한다. 다시 말하면, 고체의 표면에서 액체의 접촉각이 작을수록 고체에 흡수되어 표면을 적시며, 반대로 접촉각이 클수록 액체가 고체 표면에서 흡수되지 않고 표면을 적시지 않는 것으로 볼 수 있다.

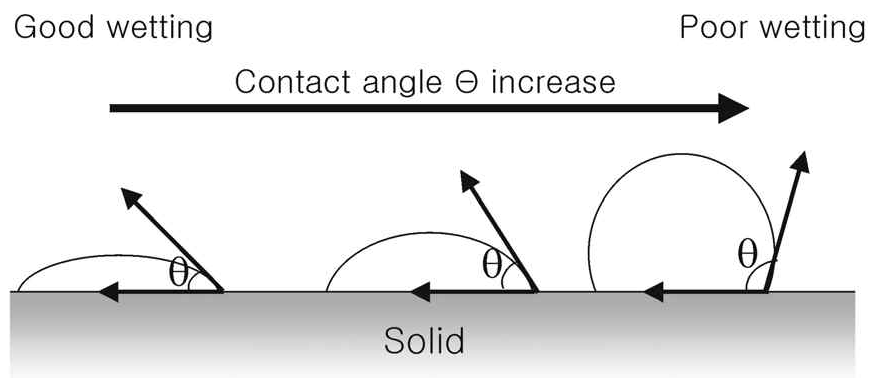


Figure 3-45. Contact angle and wettability (Joo et al. 2005)

열처리 실시 전후 시험편 표면을 대상으로 접촉각을 측정된 결과는 Table 3-19에 보여준다. 모든 공시 수종에서 열처리 시간이 증가할수록 열처리 전후에 나타나는 접촉각의 차이가 증가하는 것으로 나타났다. 낙엽송은 3일, 5일, 7일의 열처리 후에 각각 열처리 전의 접촉각에 대하여 1.68°, 5.31°, 7.53°의 차이를 나타내었고, 소나무는 8.54°, 9.02°, 12.25°, 삼나무는 3.55°, 4.23°, 4.83°, 오동나무 0.90°, 3.26°, 4.27°, 젓나무 4.94°, 5.76°, 8.53°, dark red meranti 2.98°, 5.82°, 6.38°의 차이를 보여주었다. 공시 수종 중에서 소나무는 열처리에 의해 가장 높은 접촉각의 차이를 보여주며, 그 다음으로 젓나무, 낙엽송, dark red meranti, 삼나무, 오동나무 순으로 나타났다. 일반적으로 열처리를 실시하지 않은 목재는 친수성이기 때문에 목재 표면은 물방울 접촉각이 상대적으로 낮은 상태이다. 열처리를 실시한 목재는 구성물질의 변화에 따라 친수성에서 소수성으로 변화하여 물방울 접촉각이 증가하게 되며, 이는 기 보고된 연구들을 통해서 확인된 바 있다(Hakkou et al., 2003; Pétrissans et al. 2003). 그러나 접촉각은 측정하고자 하는 고체의 표면 상태에 따라 상당한 영향을 받는데, 집성소재인 목재는 타 재료와는 다르게 이방성 물질이기 때문에 측정값에 영향을 미치는 다양한 요인이 있어 오차의 범위가 크다. 특히 목재 표면의 평활도가 목재의 단면에 따라 상이할 뿐 아니라 동일 단면에서도 절삭 공정 차이에 따라 다르기 때문에 접촉각에 차이가 크게 나타난다. 집성소재의 건조에 적용되는 온도가 재색 변화에서 설명한 것처럼 목재의 표면 화학성분을 변화시키기에는 다소 낮은 온도인 관계로 습윤성에도 크게 영향하지 않았다. 소나무류와 같이 접촉각의 차이가 큰 경우를 제외하고 그 차이가 크지 않을 경우는 재색 변화와 마찬가지로 경향에 대한 논의는 가능하지만 이를 이용하여 열처리 여부를 판단하기는 어려울 것으로 사료된다. 따라서 현재 업체에서 적용하고 있는 열처리 온도로 최적 열처리 조건을 구명하여 검역안정성을 위해 확보해야 하는 열처리 조건에 대한 정보를 제시함으로써 열처리가 미흡했던 집성재 제조 업체에서 올바른 열처리를 실시할 수 있도록 인도할 수 있을 것이다.

Table 3-19. Differences of measured contact angle (°) before and after heat treatment

Wood species	3-day	5-day	7-day
	Average	Average	Average
Larch	1.68	5.31	7.53
Cedar	3.55	4.23	4.83
Pine	8.54	9.02	12.25
Paulownia	0.90	3.26	4.27
Abies	4.94	5.76	8.53
Dark red meranti	2.98	5.82	6.38

제 3 절 집성소재 최적열처리조건 구명

1. 집성소재 최적열처리조건 탐색 방법

가. 시험편 준비

제 2절에서 사용한 공시수종의 시험편(폭 80mm, 두께 120mm, 길이 400mm)을 필요량 제조하여 기건 상태에 도달할 때까지 실내에서 건조하였다. 열처리 전 낙엽송은 11.8~13.4%, 삼나무는 12.9~16.8%, 소나무는 12.1~15.0%, 오동나무는 10.7~16.2%, 전나무는 10.9~14.2%의 기건함수율을 나타낸 반면, dark red meranti는 기건상태에서 상당기간이 지난 후에도 목재의 건조가 어려워 34.2~46.1%의 함수율을 나타냈다.

나. 시험편 열처리 및 온도변화 측정

하나의 시험편 내 총 10개의 온도 측정위치가 선정되었다(Figure 3-46). 이는 2cm, 3cm, 4cm, 6cm, 7cm 두께의 집성재를 제작할 때, 열처리를 통한 중심부 온도를 예측하기 위한 것으로 시험편의 위, 아래의 양쪽 단면으로부터 깊이별 5개의 중심부 지점(1cm, 1.5cm, 2cm, 3cm, 3.5cm)을 측정하여 전동 드릴로 시험편의 옆면에서 두께의 중심부까지 직경 1mm 구멍을 뚫었다. 데이터 로거(data logger)에 연결된 직경 1mm 열전대(thermocouple)를 각각의 구멍에 삽입하고, 열전대가 삽입된 구멍으로 외부 열기의 유입을 막기 위해 열전대 삽입 후 앞선 1절에서 실시했던바와 동일한 방식으로 폴리우레탄폼(polyurethane foam)을 이용하여 차단하였다. 수종별로 시험편은 총 3반복을 준비하였으며, 각각 60℃, 70℃, 80℃, 90℃, 100℃의 조건에서 열처리가 실시되는 동안 10초 간격으로 시험편 중심부 온도변화를 모니터링 하였다. 단, 중국에서 획득한 낙엽송의 경우 현지 사정에 의해 시험편의 폭이 40mm로 제한되어 있어 2cm, 3cm, 4cm 두께의 집성재 제작만을 고려하여 3개의 중심부 지점(1cm, 1.5cm, 2cm)을 측정위치로 선정하고 동일한 방법으로 온도변화 측정을 실시하였다.

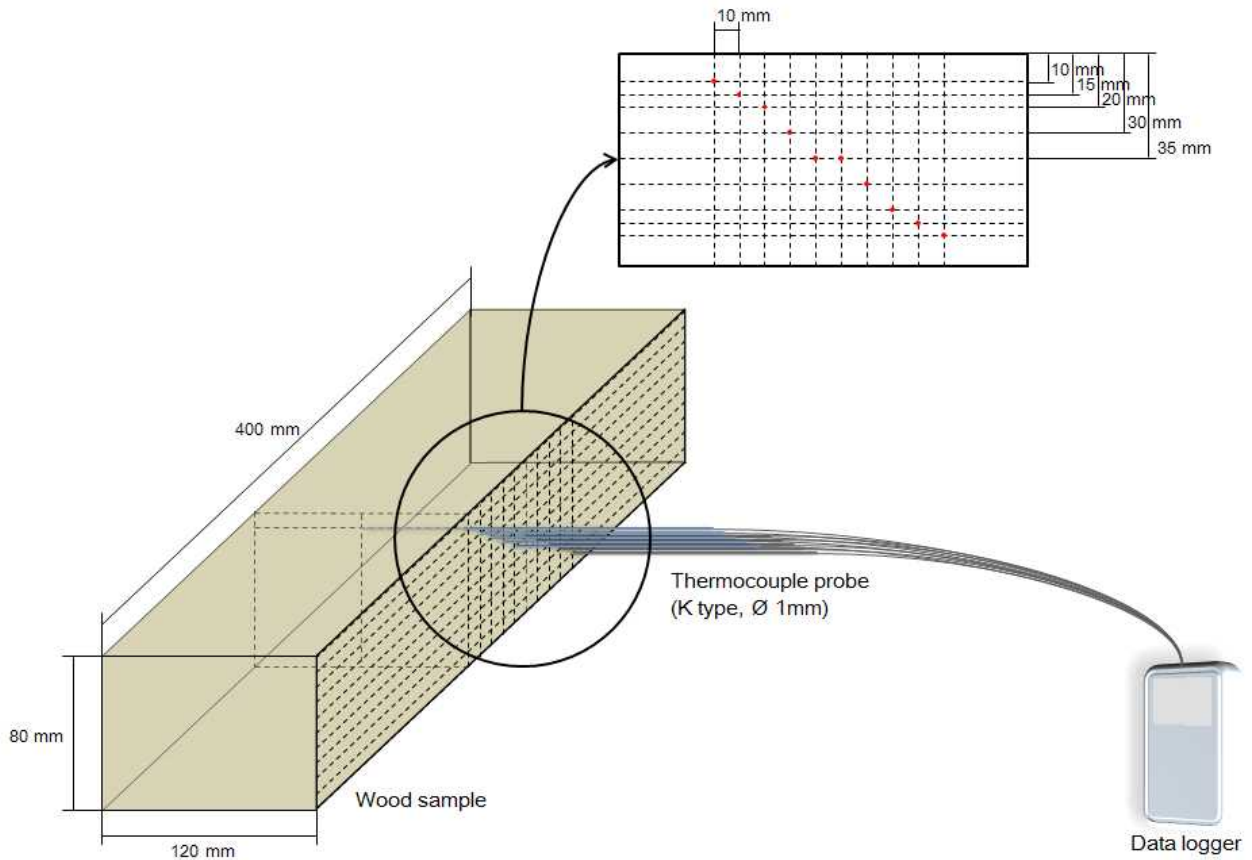


Figure 3-46. Measurement of temperature change at the different core of wood specimen by thermocouple probe with data logger

2. 집성소재 중심부의 온도 변화

가. 낙엽송의 최적 열처리 조건

집성소재의 중심부 온도가 56℃에 도달하기까지 걸리는 시간을 집성소재 두께별로 측정하였다(Figure 3-47). 낙엽송의 최적 열처리 시간은 60℃~100℃까지 10℃ 간격으로 열처리를 실시하여 목재 내 중심부 온도가 56℃ 도달하는데 소요되는 시간에 30분을 더한 시간으로 결정하였다(Table 3-20). 열처리 온도 중 가장 낮은 온도인 60℃에서는 2cm 두께의 집성소재 처리 시 1시간 40분이 소요되는 반면, 온도가 증가함에 따라 처리 시간이 크게 단축되어 100℃에서는 54분 만에 검역안전성 측면에서 요구되는 열처리가 가능하였다. 집성소재의 두께가 증가할수록 열처리 시간 역시 증가하는 점을 확인할 수 있는데 이는 온도별로 도출된 시간 차이에 비해 적게 나타났으며, 2cm와 4cm 두께의 집성소재를 비교하면 약 6분의 차이만을 보여주었다.

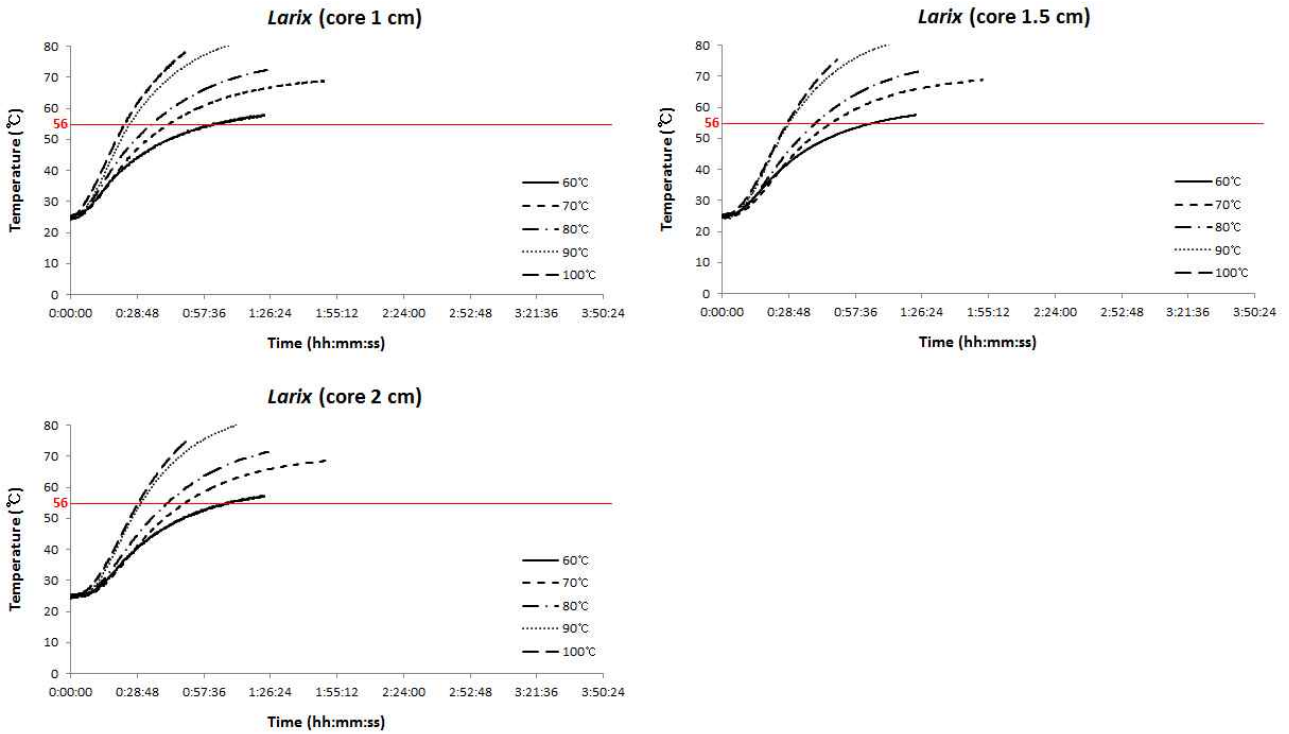


Figure 3-47. Time for core temperature of Larix laminae to reach 56°C

Table 3-20. Optimal heating times for Larix at various heating temperatures

Heat treatment temperature	Heat treatment time (hh:mm:ss)				
	laminar thickness 2 cm	laminar thickness 3 cm	laminar thickness 4 cm	laminar thickness 6 cm	laminar thickness 7 cm
60°C	1:40:00	1:41:20	1:43:10	-	-
70°C	1:14:50	1:19:20	1:21:30	-	-
80°C	1:06:40	1:12:00	1:13:20	-	-
90°C	0:56:30	1:00:00	1:01:20	-	-
100°C	0:54:00	0:59:00	1:00:10	-	-

각각의 온도에서 목재의 중심부가 56°C가 되는 시점까지의 시간을 열처리를 실시한 온도별 또는 집성소재의 두께별로 회귀분석을 실시하였다(Figure 3-48, Figure 3-47). 그 결과 집성소재 두께에 따른 열처리 조건 중 중심부 56°C가 되는 시간과의 관계가 거듭제곱 관계로 결정계수(coefficient of determination; R^2)가 0.98~0.99로 상관성이 매우 높게 나타났으며, 온도에 따른 회귀분석에서도 로그 관계로 결정계수가 0.94~0.98의 높은 값을 보여주었다.

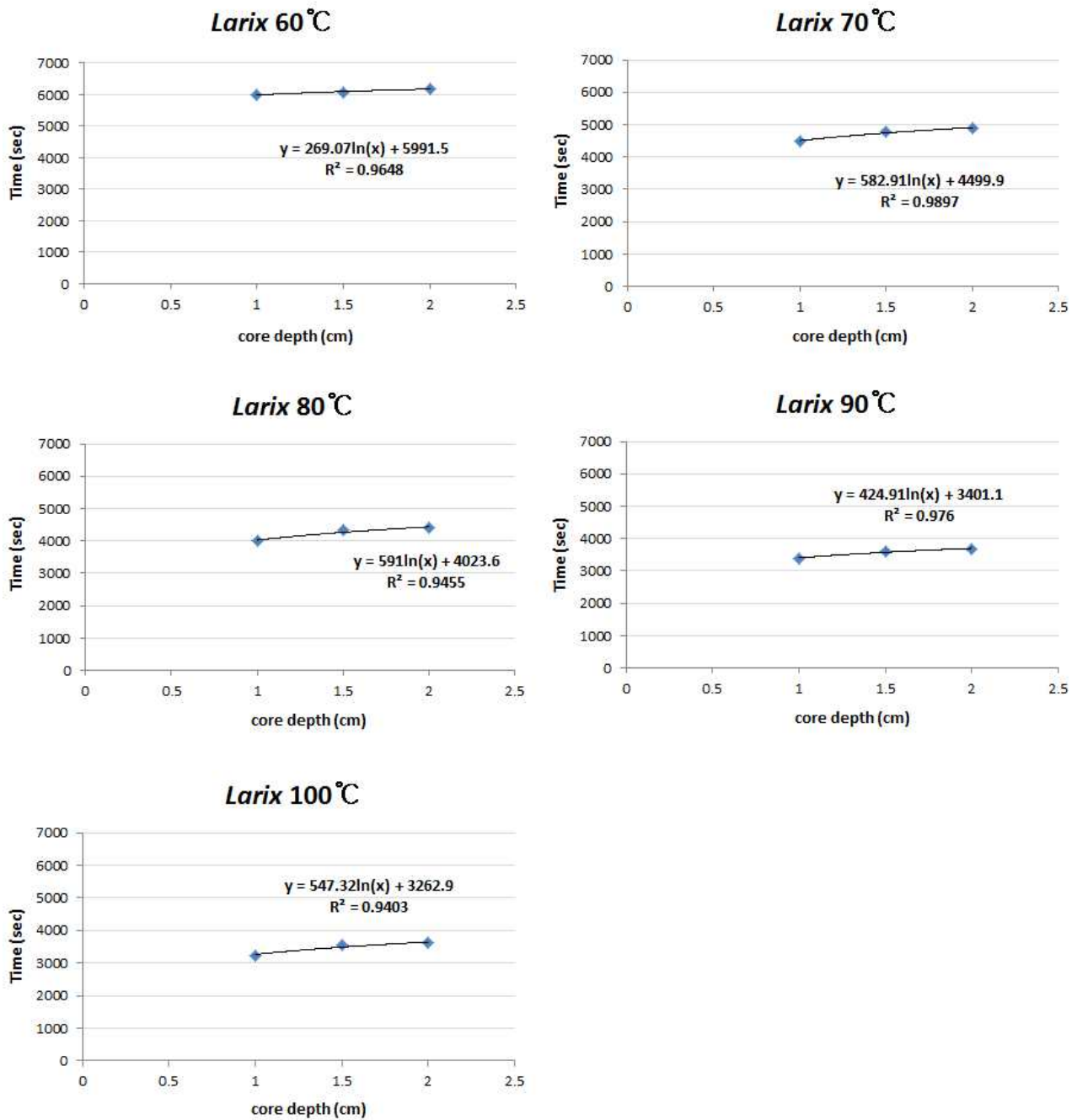


Figure 3-48. Regression analyses of Larix by heating temperatures

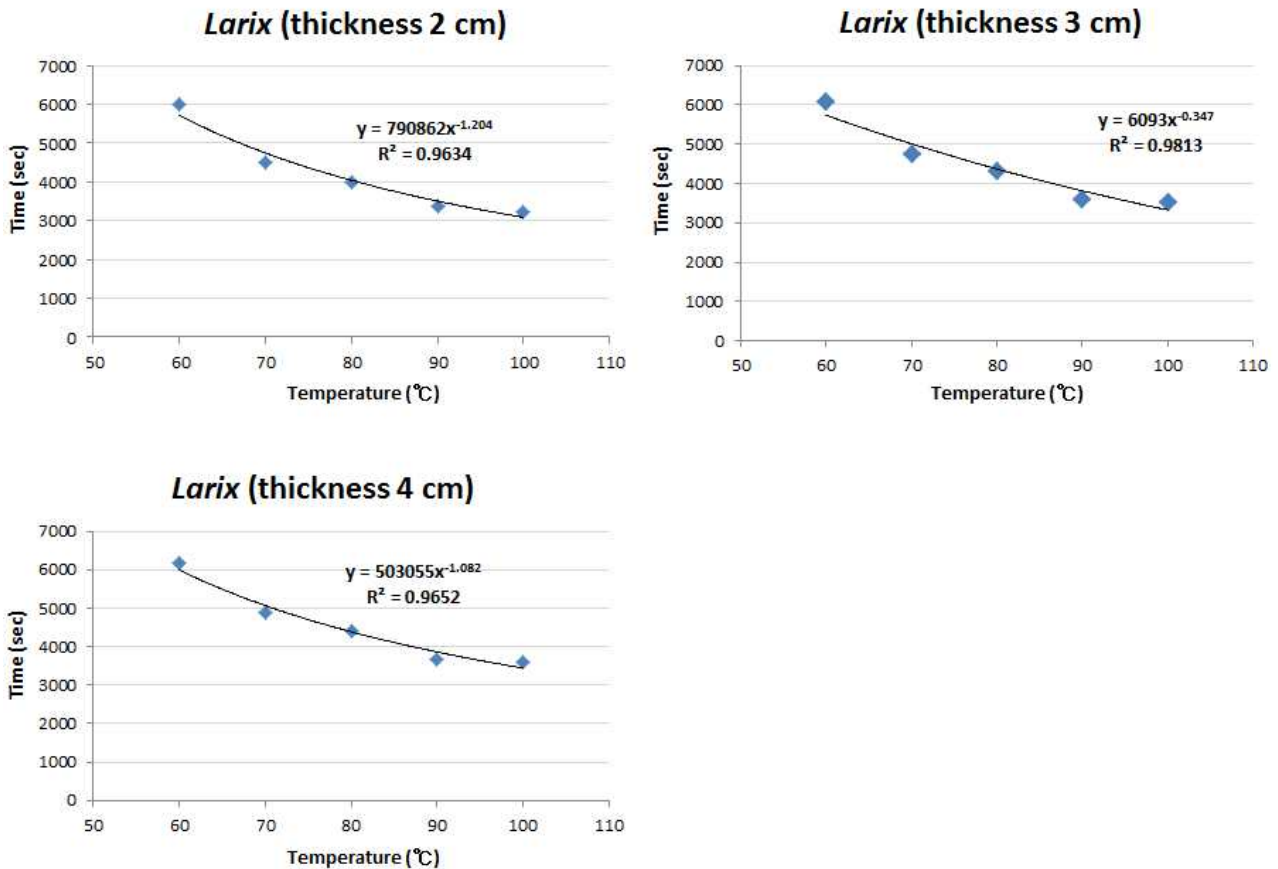


Figure 3-49. Regression analyses of Larix by laminae thicknesses

나. 삼나무의 최적 열처리 조건

집성소재의 중심부 온도가 56°C에 도달하기까지 걸리는 시간을 집성소재 두께별로 측정하였다(Figure 3-50). 삼나무의 최적 열처리 조건은 60°C~100°C까지 10°C간격으로 열처리를 실시하여 목재 내 중심부 온도가 56°C 도달하는데 소요되는 시간에 30분을 더한 시간으로 결정하였다(Table 3-21). 열처리 온도 중 가장 낮은 온도인 60°C에서는 2cm 두께의 집성소재 처리 시 2시간 37분 20초가 소요되는 반면, 집성소재의 두께가 증가할수록 점차 증가하여 7cm 두께의 집성소재 처리 시는 3시간 22분 50초가 소요되었다. 70°C에서 2cm 두께의 집성소재 처리 시간은 60°C에 비해 상당히 단축되어 1시간 24분 30초로 나타났는데, 온도 증가에 따라 처리시간은 점차 단축되어 100°C에서는 낙엽송류와 마찬가지로 54분 40초만에 검역안전성 측면에서 권장하는 열처리에 부합할 수 있는 것으로 나타났다. 7cm의 집성소재도 100°C에서는 1시간 26분 20초면 중심부 온도가 56°C인 상태로 30분 이상 유지될 수 있었다.

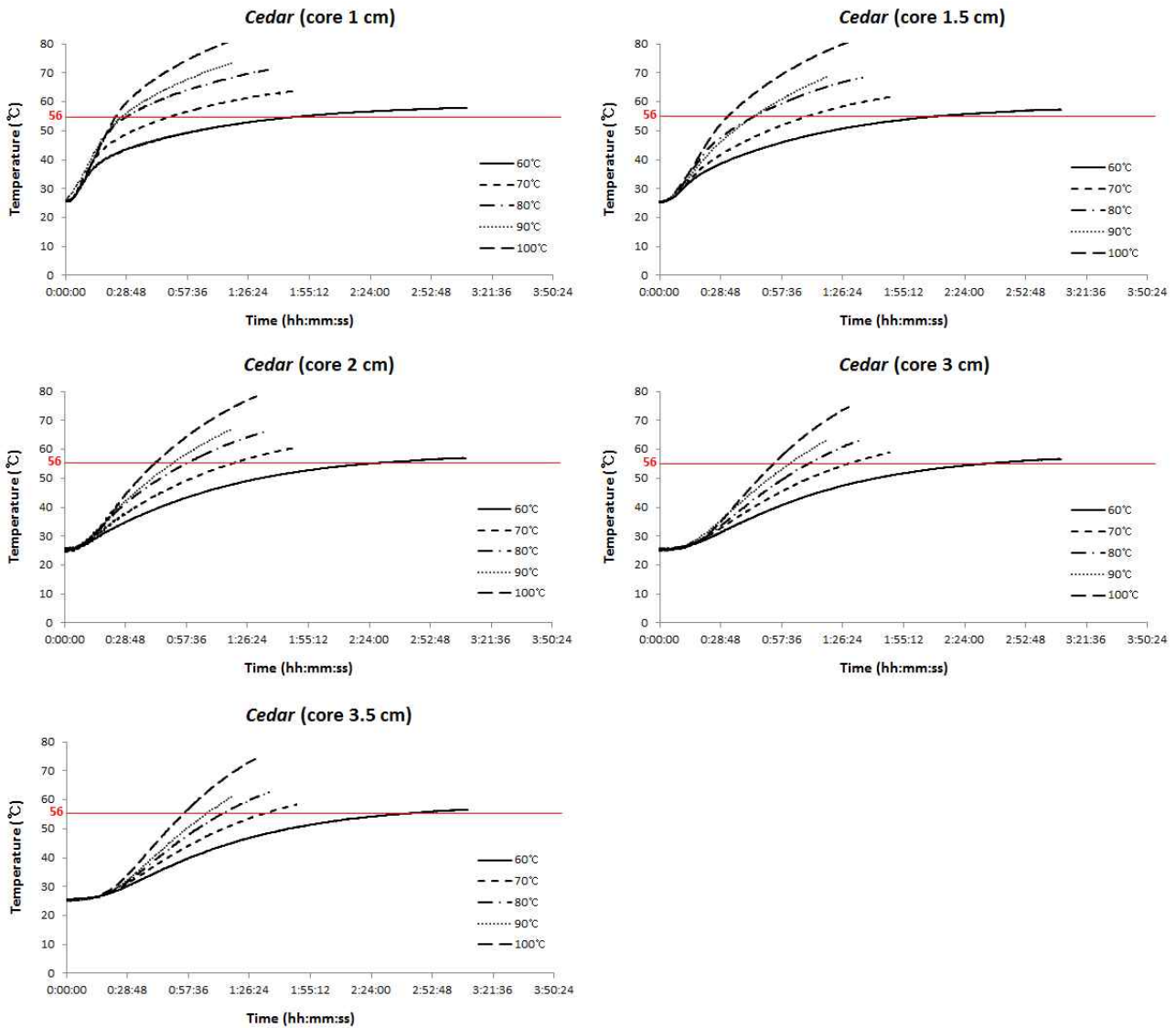


Figure 3-50. Time for core temperature of Cedar laminae to reach 56°C

Table 3-21. Optimal heating times of Cedar at various heating temperatures

Heat treatment temperature	Heat treatment time (hh:mm:ss)				
	laminar thickness 2 cm	laminar thickness 3 cm	laminar thickness 4 cm	laminar thickness 6 cm	laminar thickness 7 cm
60°C	2:37:20	2:59:30	3:11:50	3:20:50	3:22:50
70°C	1:24:30	1:44:10	1:53:00	2:03:00	2:06:30
80°C	1:01:20	1:17:20	1:29:50	1:42:30	1:45:30
90°C	0:58:20	1:16:20	1:22:30	1:33:00	1:37:30
100°C	0:54:40	1:03:30	1:13:50	1:25:00	1:26:20

열처리 목재 내부 온도가 56°C에 도달하는데 소요되는 시간과 열처리 온도와의 관계는 로그 함수 관계($R^2=0.95\sim0.99$), 그리고 처리시간과 집성소재 두께와의 관계는 해 거듭제곱 관계($R^2=0.95\sim0.98$)로 나타났다(Figure 3-51, Figure 3-52). 특히 열처리 온도가 높아질수록 처리 시간이 단축되었으며, 열처리 온도의 차이에 따라 시간의 차이가 거의 비례하게 나타났다.

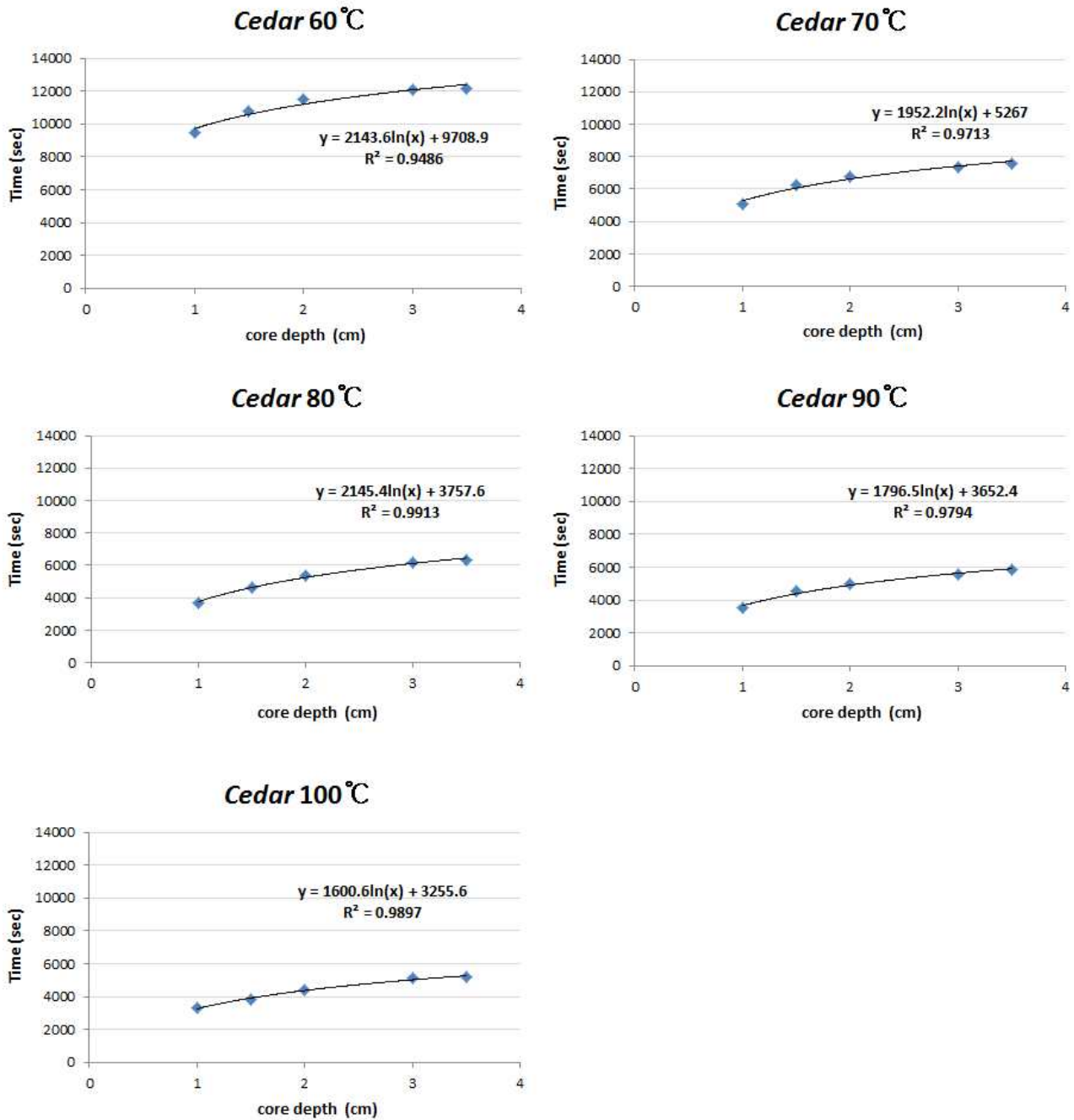


Figure 3-51. Regression analyses of Cedar by heating temperatures

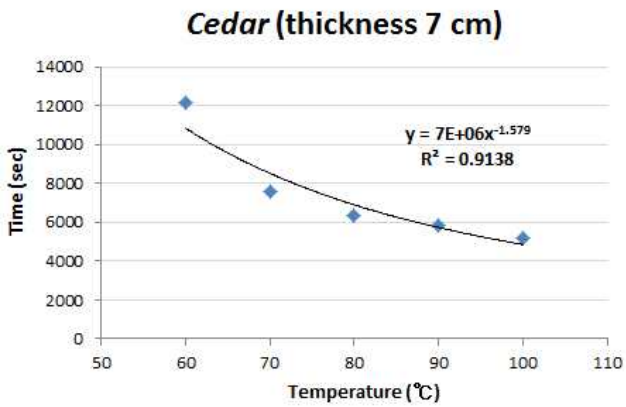
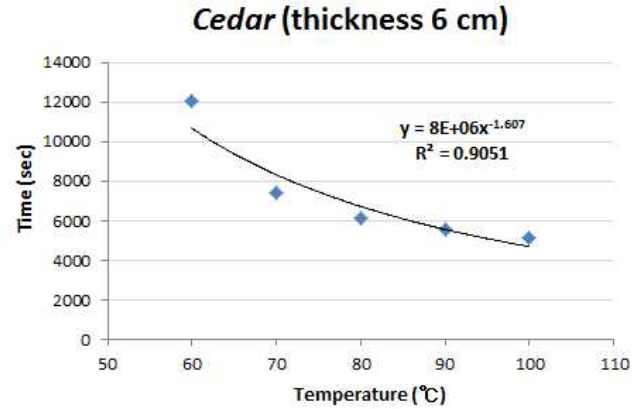
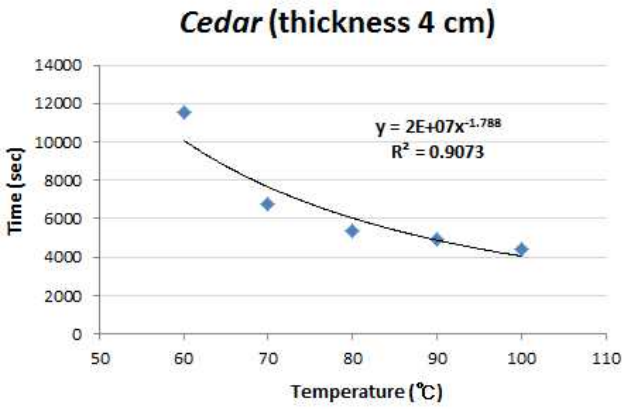
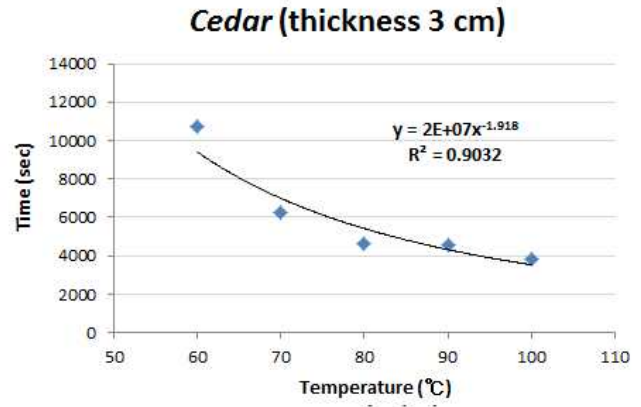
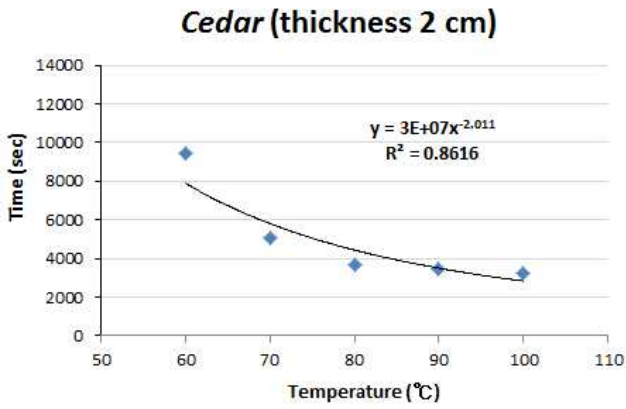


Figure 3-52. Regression analyses of Cedar by laminae thicknesses

다. 소나무의 최적 열처리 조건

소나무 두께별 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간은 Figure 3-53에 나타나있다. 열처리 온도가 높아질수록 처리 시간이 단축되었으며, 집성소재의 두께가 얇을수록 내부의 온도 변화가 빠르게 일어나고 두께가 두꺼워질수록 온도 변화가 느리게 나타났다. 두께 6cm와 7cm의 집성소재는 열처리 온도가 90℃와 100℃일 때 중심부 온도가 56℃가 될 때까지 걸리는 시간에 큰 차이를 보이지 않았다.

소나무의 온도별 최적 열처리 조건을 도출하기 위해 10℃간격으로 60℃~100℃까지 열처리를 실시하여 목재 내 중심부 온도가 56℃ 도달한 뒤 30분간 유지되는 처리 시간을 도출하였다 (Table 3-22). 열처리 온도 중 가장 낮은 온도인 60℃에서는 집성소재 두께가 2cm일 때 3시간 10분 10초의 열처리가 필요한 것으로 나타났고, 집성소재의 두께가 증가할수록 열처리 시간도 함께 증가하여 7cm의 집성소재 처리 시 3시간 45분 40초 소요되는 것으로 확인되었다. 70℃에서 2cm 두께의 집성소재 처리 시간은 60℃에 비해 약 1시간이 단축된 2시간 02분 20초로 도출되었으며, 처리 온도가 60℃에서 70℃로 증가하였을 때 처리 시간이 가장 크게 줄어들었다. 이 밖에 온도가 증가함에 따라 처리 시간은 단축되어 100℃에서는 2cm 두께 집성소재를 처리할 경우 1시간 3분 30초, 7cm 두께 집성재를 처리할 경우 1시간 48분 20초가 소요되는 것으로 나타났다. 이 결과들은 검역안전성 측면에서 권장하는 열처리에 부합할 수 있는 것으로 구명된 시간 이상의 처리에는 문제가 없으나 최소 본 결과에서 도출된 시간만큼 처리해야 검역안전성을 확보할 수 있다. 소나무의 열처리에 있어서 열처리 목재 내부의 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간과 집성소재의 두께와의 관계는 회귀분석을 통해 거듭제곱 관계($R^2=0.90\sim 0.97$), 처리시간과 열처리 온도와의 관계는 로그 관계($R^2=0.92\sim 0.99$)로 나타났다(Figure 3-54, Figure 3-55).

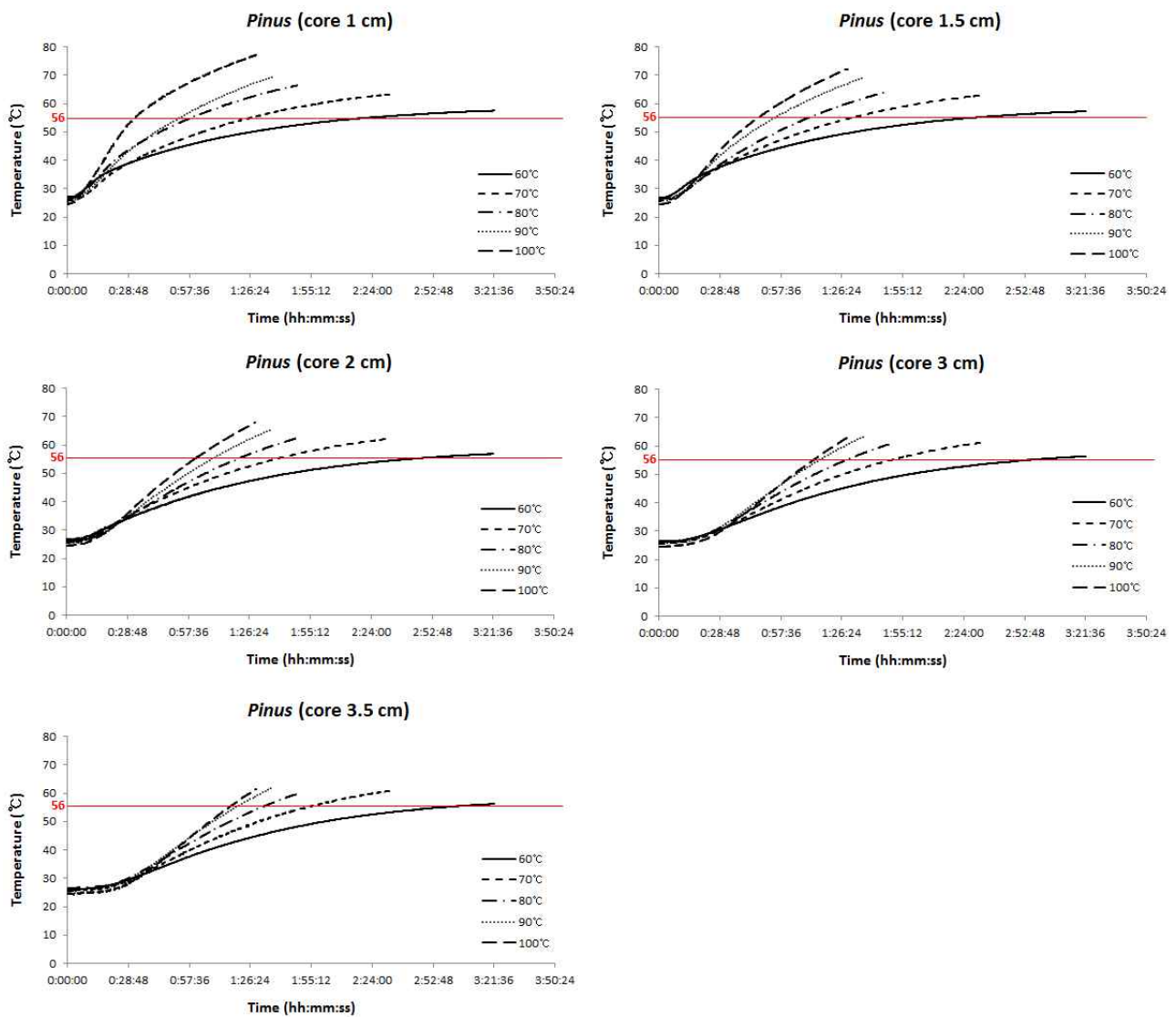


Figure 3-53. Time for core temperature of Pinus laminae to reach 56°C

Table 3-22. Optimal heating times of Pinus at various heating temperatures

Heat treatment temperature	Heat treatment time (hh:mm:ss)				
	laminar thickness 2 cm	laminar thickness 3 cm	laminar thickness 4 cm	laminar thickness 6 cm	laminar thickness 7 cm
60°C	3:10:10	3:16:50	3:29:20	3:42:30	3:45:40
70°C	2:02:20	2:06:10	2:14:00	2:24:50	2:28:10
80°C	1:31:50	1:44:00	1:53:50	2:01:30	2:04:40
90°C	1:26:20	1:27:00	1:40:40	1:47:50	1:51:40
100°C	1:03:30	1:18:50	1:32:20	1:44:40	1:48:20

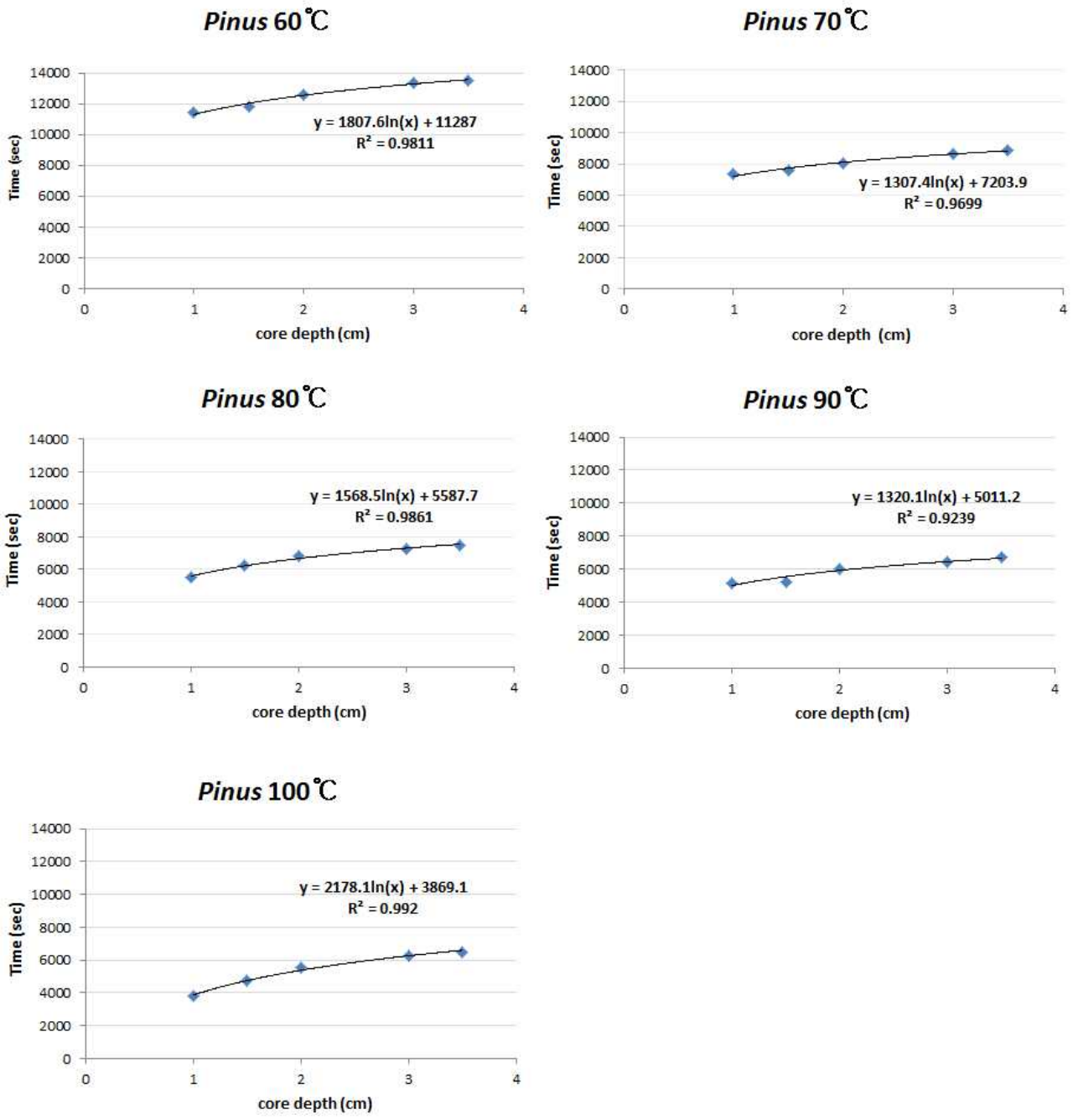


Figure 3-54. Regression analyses of Pinus by temperatures

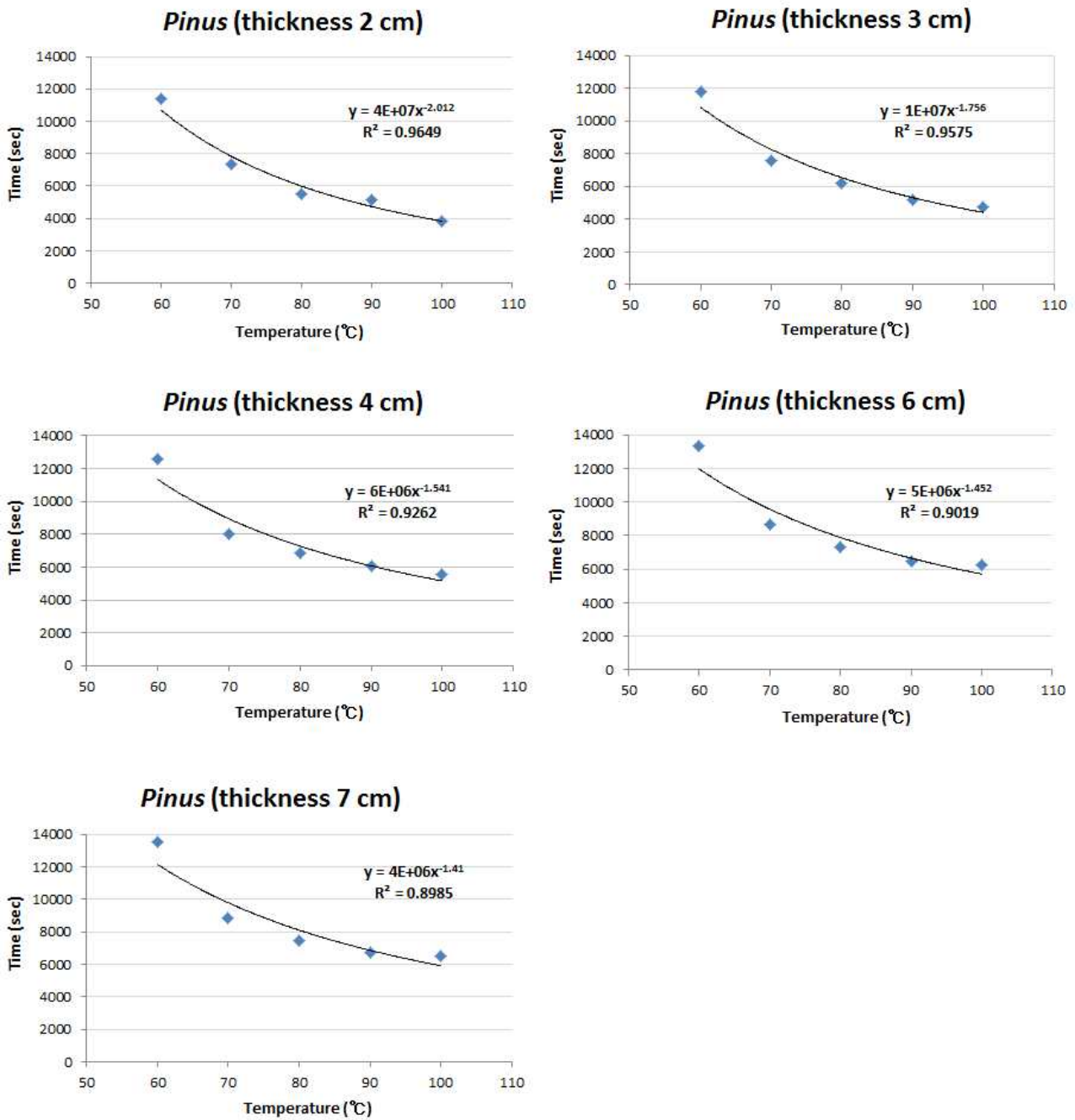


Figure 3-55. Regression analyses of Pinus by laminae thicknesses

라. 오동나무의 최적 열처리 조건

오동나무의 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간을 시편의 두께별로 나누어 측정하였다(Figure 3-56). 온도별 최적 열처리 조건을 도출하기 위해 60℃~100℃까지 열처리를 실시하여 목재 내 중심부 온도가 56℃ 도달한 뒤 30분간 유지되는 처리 시간을 도출하였다(Table 3-23). 열처리 온도 중 가장 낮은 온도인 60℃에서는 집성소재 두께가 2cm일 때 2시간 07분 40초의 열처리가 필요한 것으로 나타났고, 집성소재의 두께가 증가할수록 열처리 시간도 함께 증가하여 7cm의 집성소재 처리 시 2시간 47분 50초가 소요되는 것으로 확인되었다. 온도가 증가함에 따라 처리 시간도 단축되어 100℃에서는 2cm 두께 집성소재를 처리할 경우 55분 20초, 7cm 두께 집성재를 처리할 경우 1시간 23분 10초 처리해야 검역안전성 측면에서 권장하는 열처리에 부합할 수 있는 것으로 나타났다. 열처리 목재 내부의 온도가 점차 증가하여 56℃에 도달하는데 걸리는 시간과 집성소재의 두께와의 관계는 회귀분석을 통해 거듭제곱 관계($R^2=0.94\sim0.96$), 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간과 열처리 온도와의 관계는 로그 관계($R^2=0.97\sim0.99$)로 나타났다. 특히 열처리 온도가 높아질수록 처리 시간이 비례적으로 짧아졌다(Figure 3-56, Figure 3-57).

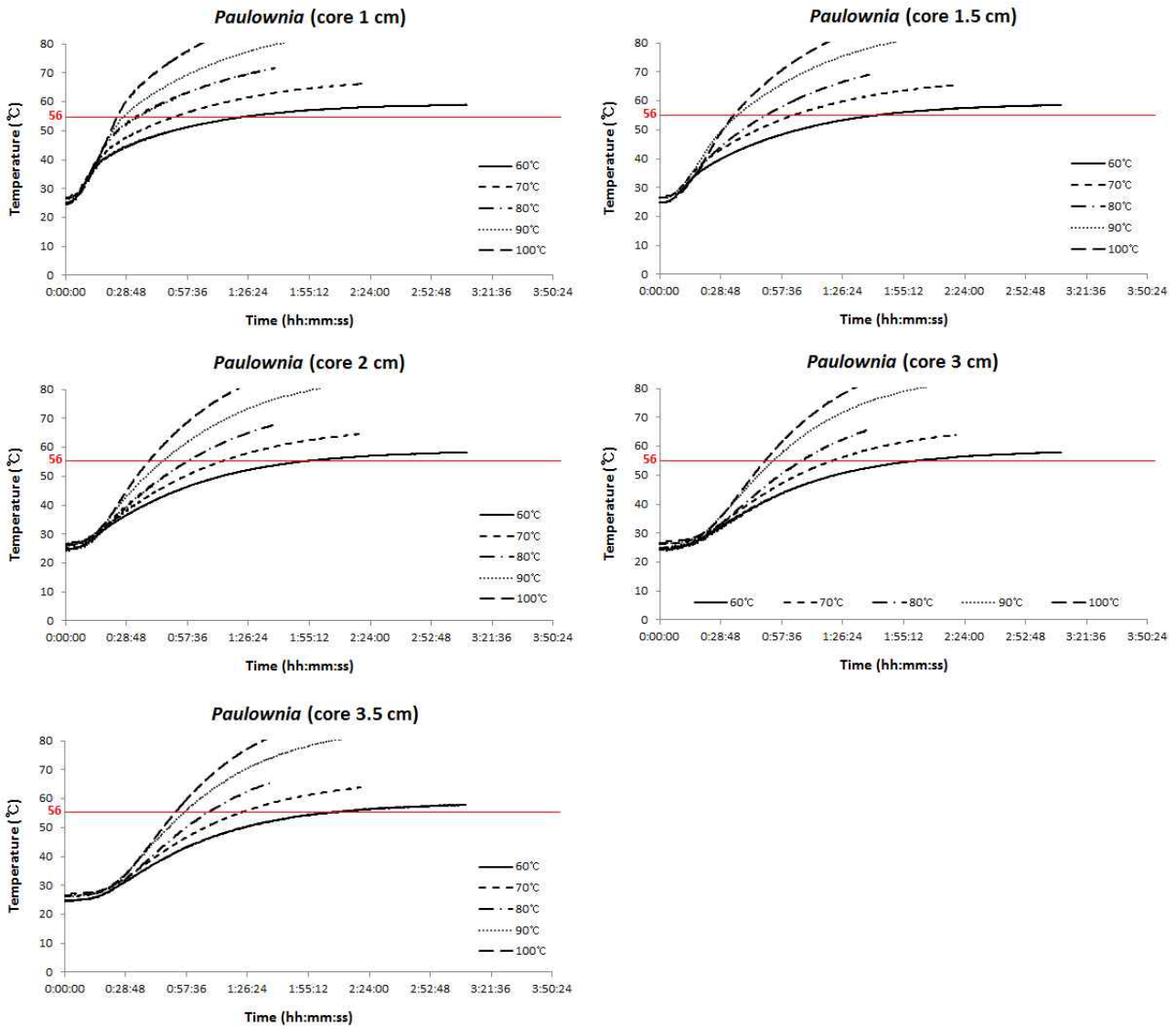


Figure 3-56. Time for core temperature of Paulownia laminae to reach 56°C

Table 3-23. Optimal heating times of Paulownia at various heating temperatures

Heat treatment temperature	Heat treatment time (hh:mm:ss)				
	laminar thickness 2 cm	laminar thickness 3 cm	laminar thickness 4 cm	laminar thickness 6 cm	laminar thickness 7 cm
60°C	2:07:40	2:23:20	2:34:10	2:45:00	2:47:50
70°C	1:26:00	1:37:00	1:47:00	1:55:00	1:56:20
80°C	1:07:10	1:22:20	1:29:20	1:39:00	1:39:20
90°C	0:58:50	1:08:10	1:17:10	1:24:50	1:27:30
100°C	0:55:20	1:06:00	1:10:10	1:20:50	1:23:10

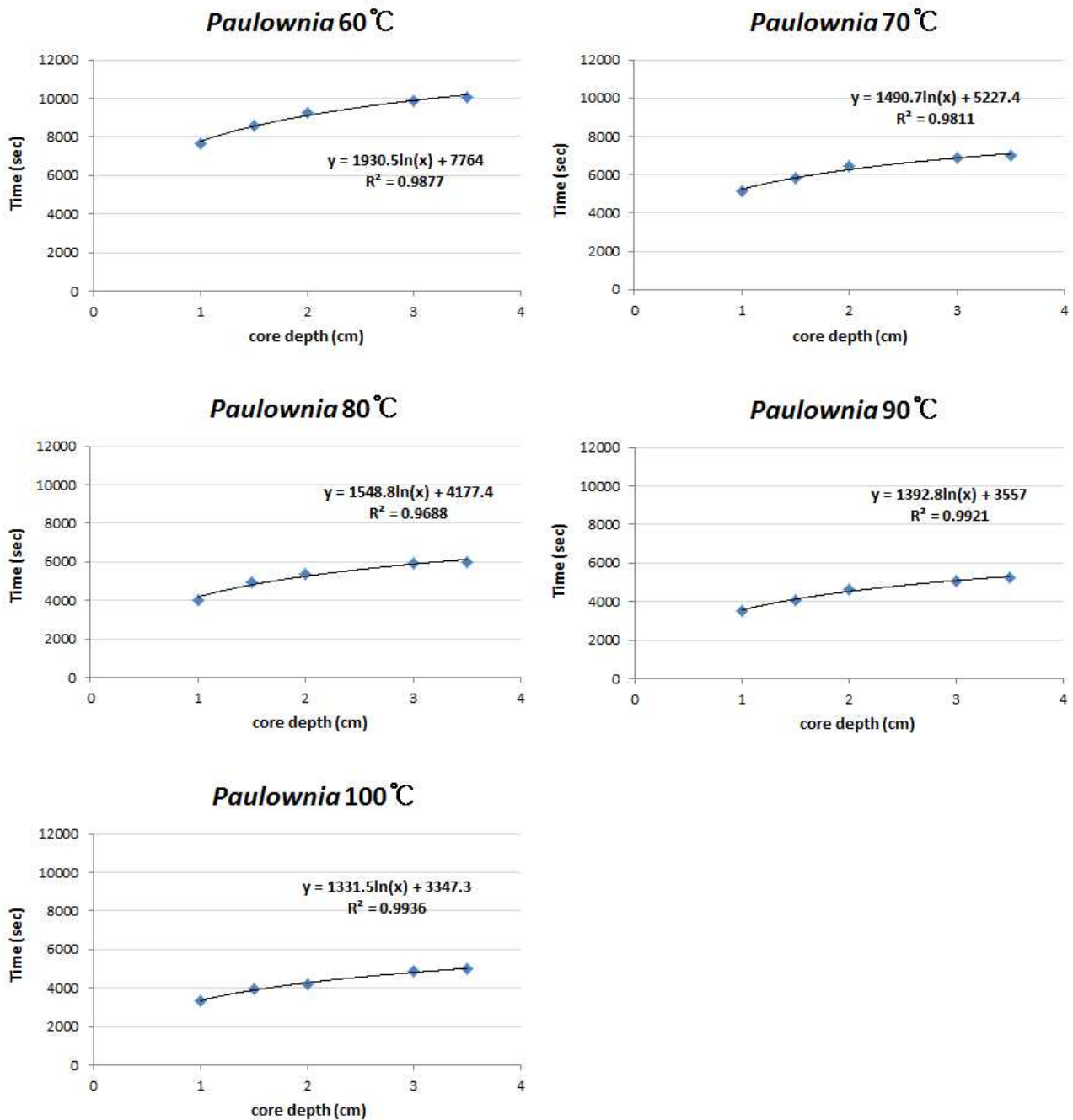


Figure 3-57. Regression analyses of Paulownia by temperatures

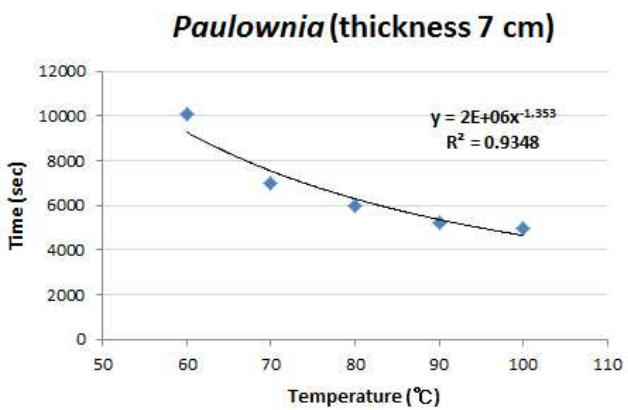
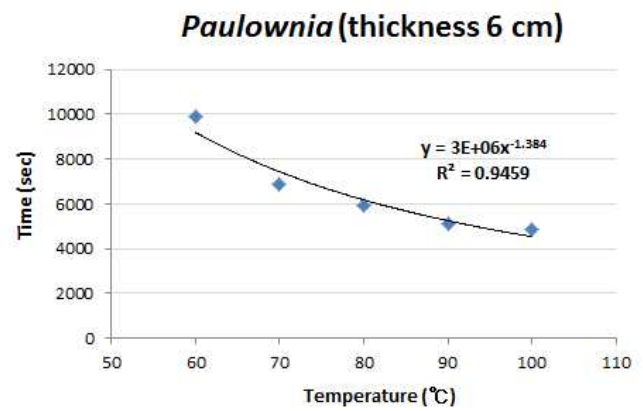
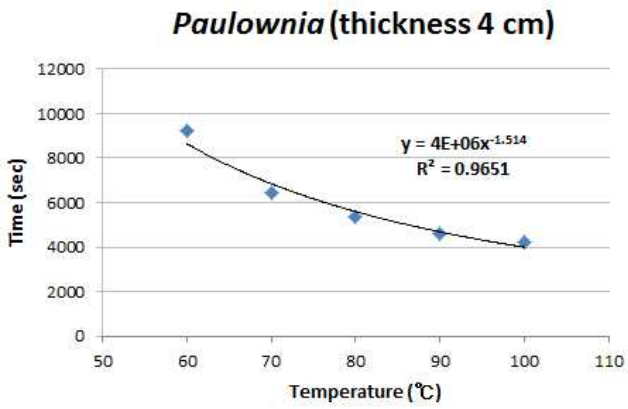
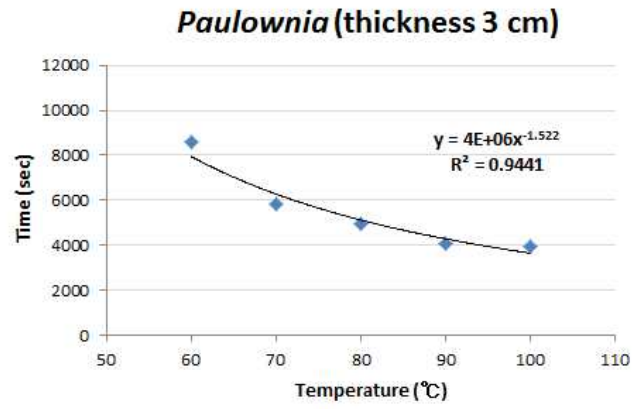
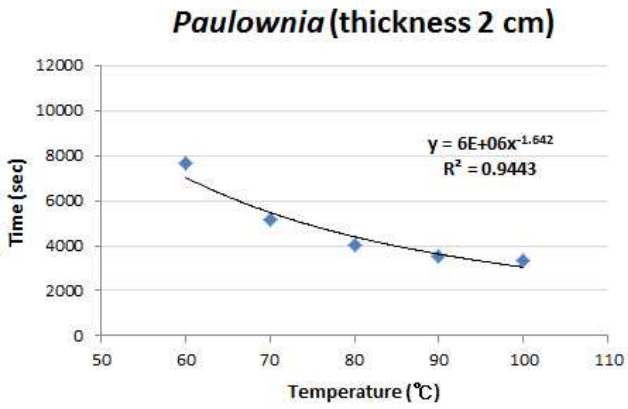


Figure 3-58. Regression analyses of Paulownia by laminae thicknesses

마. 전나무의 최적 열처리 조건

전나무의 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간을 시편의 두께별로 나누어 측정하였다(Figure 3-59). 열처리 목재 내부의 온도가 점차 증가하여 56℃에 도달하는데 걸리는 시간과 집성소재의 두께와의 관계는 회귀분석을 통해 거듭제곱 관계($R^2=0.99$), 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간과 열처리 온도와의 관계는 로그 관계($R^2=0.96\sim 0.99$)로 나타났다(Figure 3-60, Figure 3-61). 특히 열처리 온도가 높아질수록 처리 시간이 단축된 점은 다른 수종들과 동일한 경향을 보여주지만, 70℃에서 열처리를 실시한 4cm 두께의 집성소재 시편은 최적 열처리 조건 결과에 있어서 열처리에 영향을 줄 수 있는 용이와 같은 결점을 다수 보유하고 있어 조건의 값에 오차의 폭이 넓게 나타났다.

온도별 최적 열처리 조건을 도출하기 위해 60℃~100℃까지 열처리를 실시하여 목재 내 중심부 온도가 56℃ 도달한 뒤 30분간 유지된 처리 시간을 도출하였다(Table 3-24). 열처리 온도 중 가장 낮은 온도인 60℃에서는 집성소재 두께가 2cm일 때 3시간 4분의 열처리가 필요한 것으로 나타났고, 집성소재의 두께가 증가할수록 열처리 시간도 함께 증가하여 7cm의 집성소재 처리 시 3시간 41분 40초를 소요해야 하는 것으로 확인되었다. 70℃에서 2cm 두께의 집성소재 처리 시간은 60℃에 비해 약 1시간이 단축된 시간인 1시간 49분 40초로 도출되었으며, 처리 온도가 60℃에서 70℃로 증가하였을 때 처리 시간이 가장 크게 줄어들었다. 이 밖에 온도가 증가함에 따라 처리 시간은 단축되어 100℃에서는 2cm 두께 집성소재를 처리할 경우 59분 10초, 7cm 집성재를 처리할 경우 1시간 34분 40초를 처리해야 하는 것으로 나타났다.

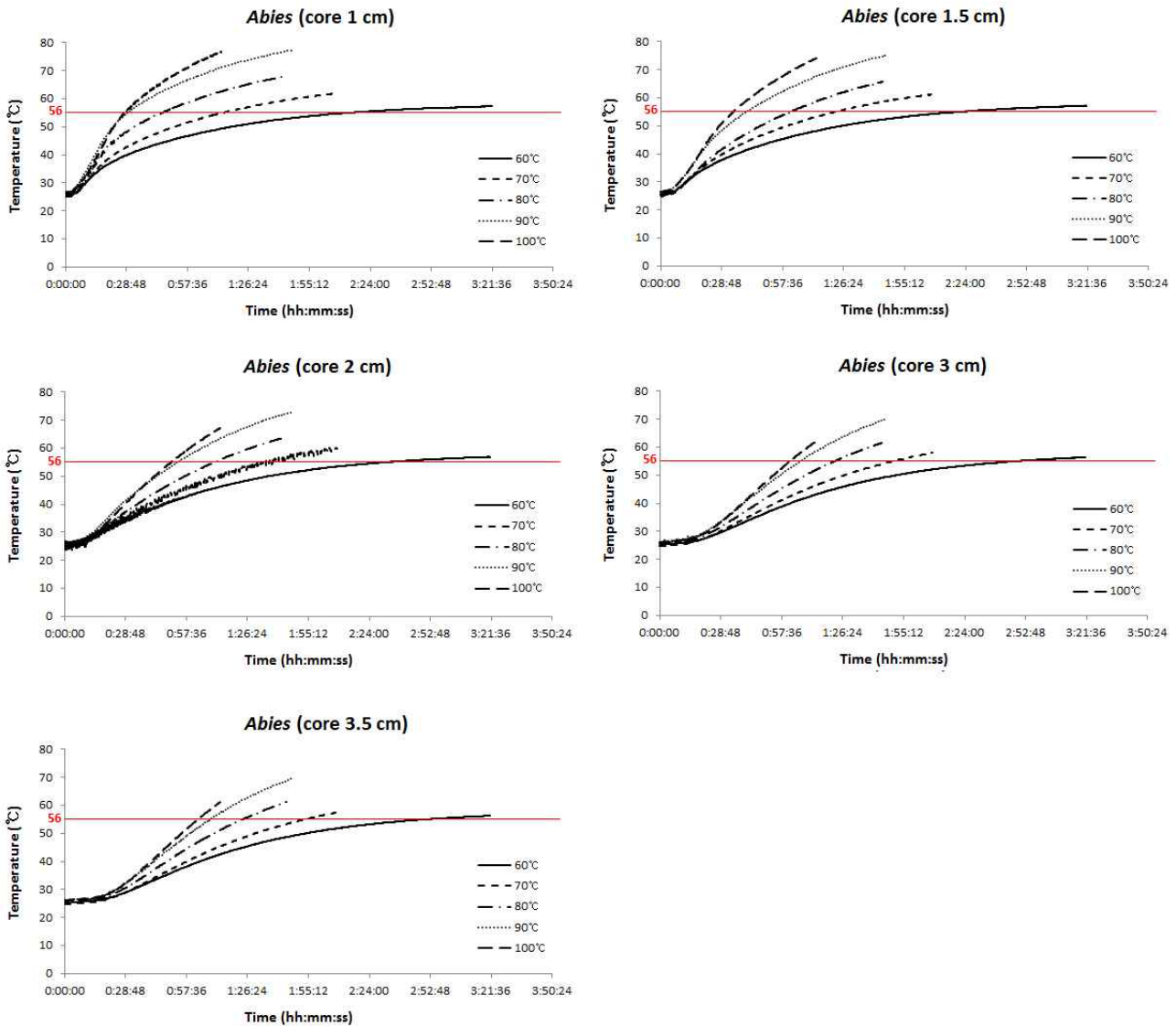


Figure 3-59. Time for core temperature of Abies laminae to reach 56°C

Table 3-24. Optimal heating times of Abies at various heating temperatures

Heat treatment temperature	Heat treatment time (hh:mm:ss)				
	laminar thickness 2 cm	laminar thickness 3 cm	laminar thickness 4 cm	laminar thickness 6 cm	laminar thickness 7 cm
60°C	3:04:00	3:10:50	3:23:10	3:38:50	3:41:40
70°C	1:49:40	1:57:50	2:15:10	2:25:20	2:29:00
80°C	1:18:30	1:34:10	1:43:40	1:55:30	1:57:00
90°C	1:01:00	1:12:30	1:25:30	1:38:20	1:40:40
100°C	0:59:10	1:05:40	1:22:00	1:33:10	1:34:40

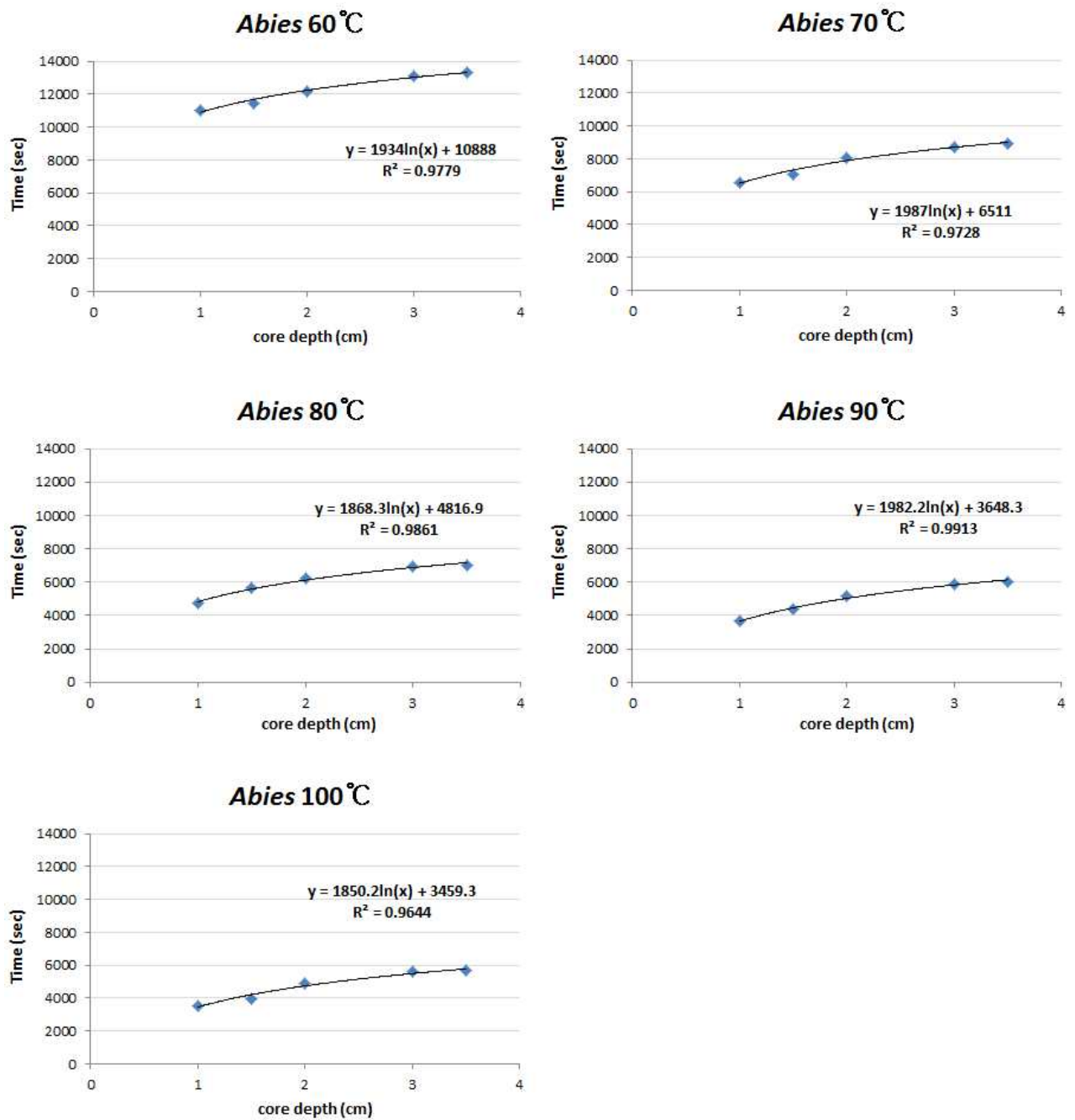


Figure 3-60. Regression analyses of *Abies* by temperatures

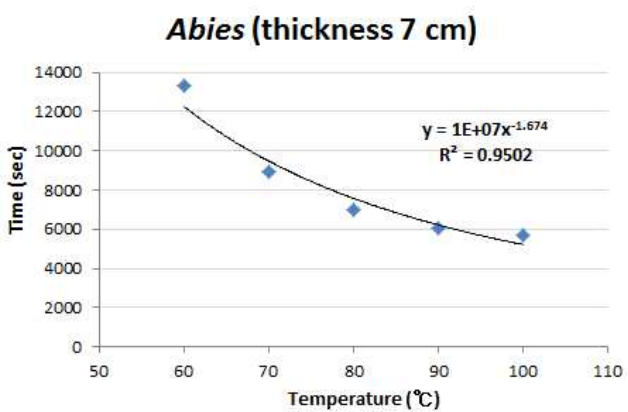
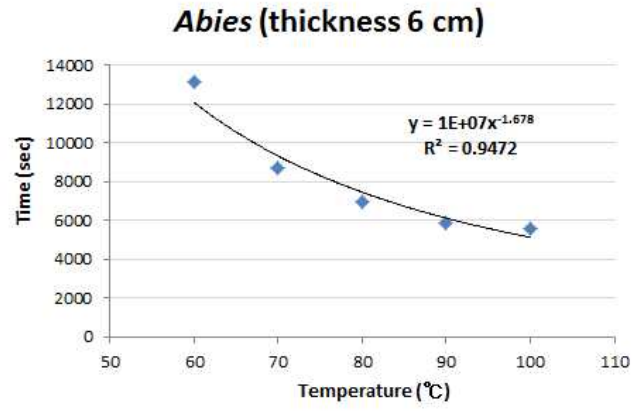
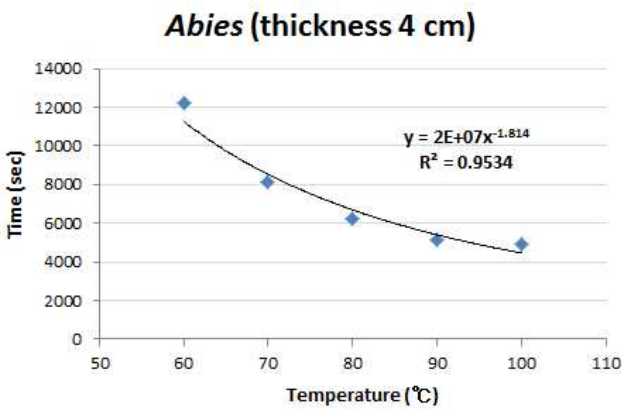
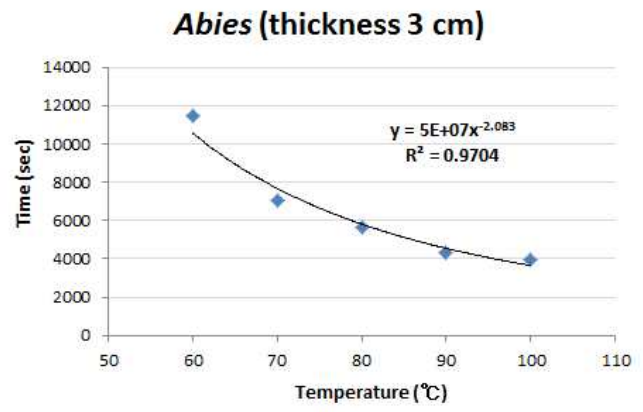
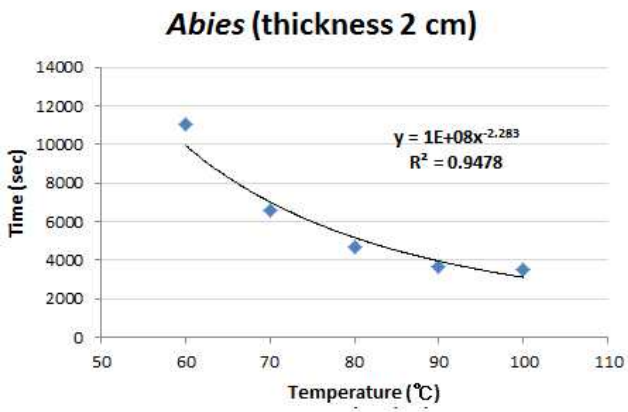


Figure 3-61. Regression analyses of Abies by laminae thicknesses

바. Dark red meranti의 최적 열처리 조건

Dark red meranti의 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간을 시편의 두께별로 나누어 측정하였다(Figure 3-62). 열처리 목재 내부의 온도가 점차 증가하여 56℃에 도달하는데 걸리는 시간과 집성소재의 두께와의 관계는 회귀분석을 통해 거듭제곱 관계($R^2=0.99$), 중심부 온도가 56℃에 도달하는데 걸리는 시간과 열처리 온도와의 관계는 로그 관계($R^2=0.94\sim 0.99$)로 나타났다. 앞선 결과들과 동일하게 온도 증가에 따라 비례적으로 시간이 줄어드는 경향을 보여주었다(Figure 3-63, Figure 3-64).

온도별 최적 열처리 조건을 도출하기 위해 60℃~100℃까지 열처리를 실시하여 목재 내 중심부 온도가 56℃ 도달한 뒤 30분간 유지된 처리 시간을 도출하였다(Table 3-25). 열처리 온도 중 가장 낮은 온도인 60℃에서는 집성소재 두께가 2cm일 때 5시간 25분 40초의 열처리가 필요한 것으로 나타났고, 집성소재의 두께가 증가할수록 열처리 시간도 함께 증가하여 7cm의 집성소재 처리 시 6시간 12분 50초를 소요해야 하는 것으로 확인되었다. 70℃에서 2cm 두께의 집성소재 처리 시간은 60℃에 비해 약 2시간이 단축된 시간인 3시간 7분 30초로 도출되었으며, 처리 온도가 60℃에서 70℃로 증가하였을 때 처리 시간이 가장 크게 줄어들었다. 이 밖에 온도가 증가함에 따라 처리 시간은 단축되어 100℃에서는 두께 2cm 집성소재를 처리할 경우 1시간 30분, 7cm 집성재를 처리할 경우 2시간 25분 20초를 처리해야 하는 것으로 나타났다.

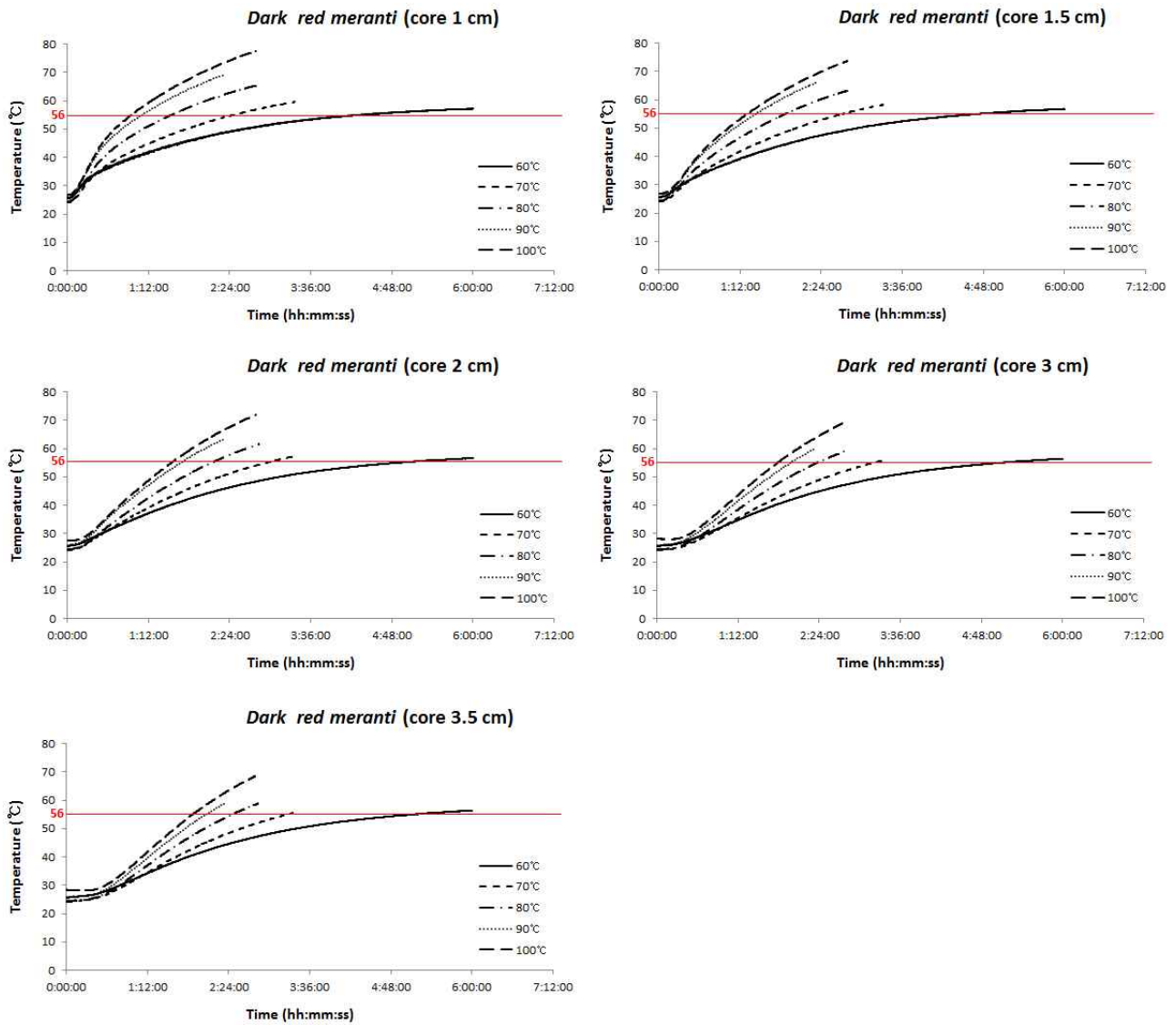


Figure 3-62. Time for core temperature of dark red meranti laminae to reach 56°C

Table 3-25. Optimal heating times of dark red meranti at various heating temperatures

Heat treatment temperature	Heat treatment time (hh:mm:ss)				
	laminar thickness 2 cm	laminar thickness 3 cm	laminar thickness 4 cm	laminar thickness 6 cm	laminar thickness 7 cm
60°C	5:25:40	5:50:20	6:01:10	6:10:20	6:12:50
70°C	3:07:30	3:22:40	3:36:20	3:52:20	3:55:50
80°C	2:07:50	2:27:30	2:43:30	2:57:50	3:02:50
90°C	1:40:00	1:59:40	2:14:30	2:32:40	2:37:50
100°C	1:30:00	1:51:50	2:06:00	2:20:20	2:25:20

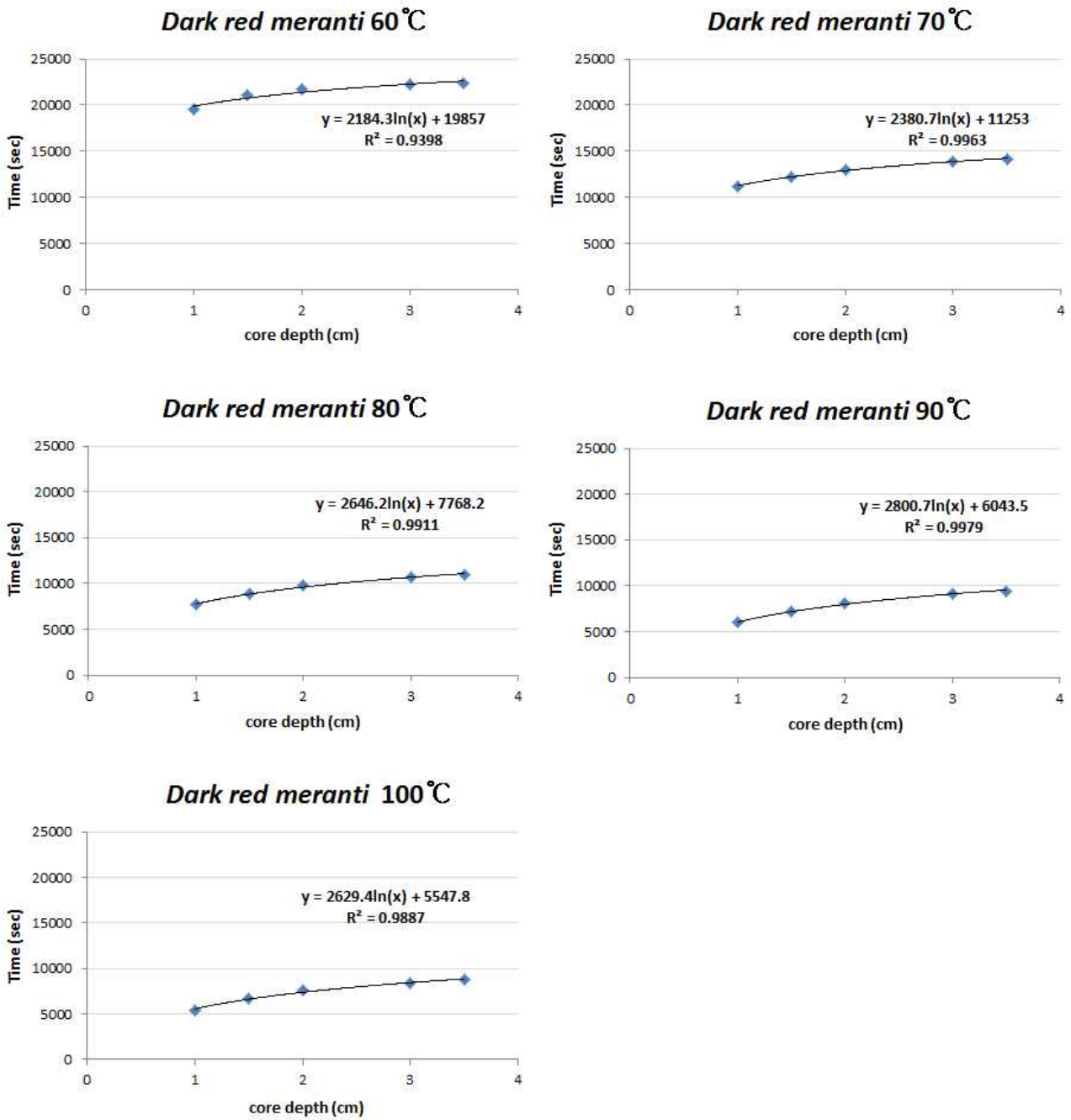


Figure 3-63. Regression analyses of Dark red meranti by temperatures

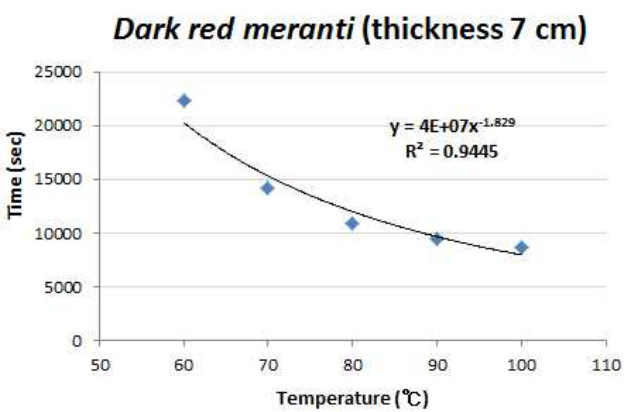
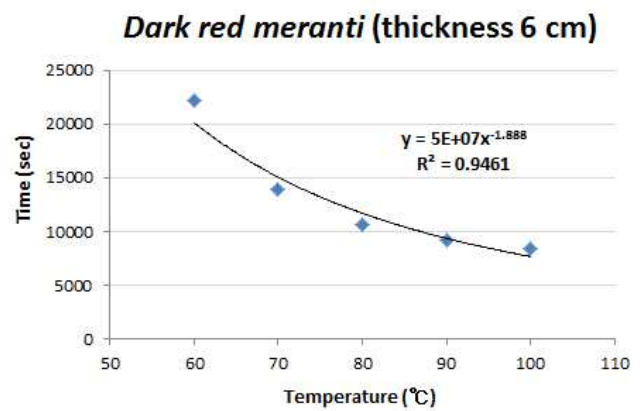
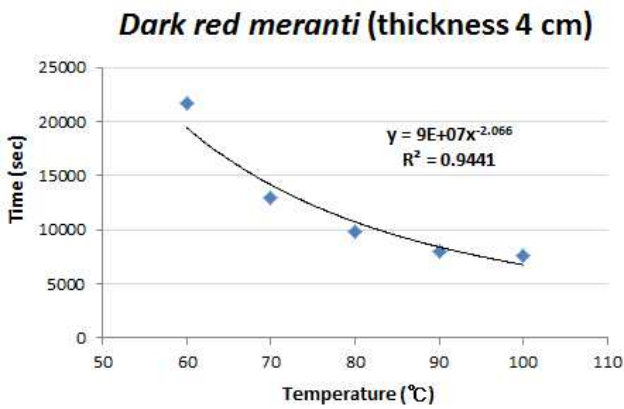
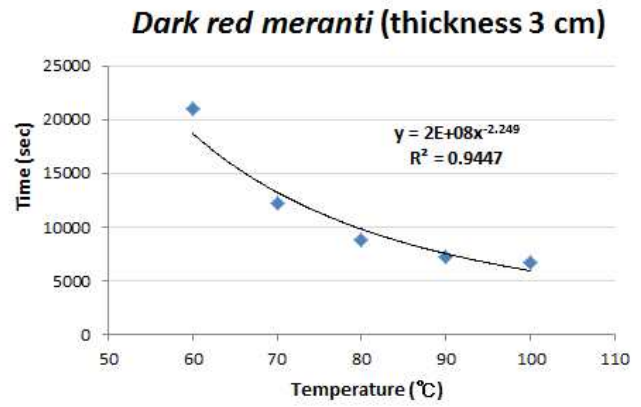
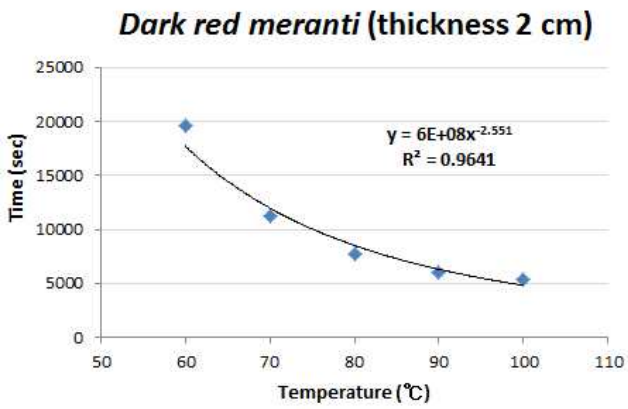


Figure 3-64. Regression analyses of Dark red meranti by laminar thicknesses

동일한 열처리 온도 조건에서 총 6개의 공시 수종의 최적 열처리 조건이 서로 다르게 도출되었다. 이 점은 수종마다 지닌 열적 성질이 상이하기 때문에 나타난 결과라고 볼 수 있다. 목재가 가진 열적 성질 중 열전달은 목재 내부로 열을 전달하는 것과 관련되어 있으며, 이는 수종의 비중, 함수율, 목리방향의 영향을 받는다. 본 실험에서는 실험을 위해 함수율을 조절하였으며, 목리방향에 경우 방사와 접선 방향에 따라서는 큰 차이가 없어 수종에 따른 비중 차이가 목재 중심부까지 열전달을 차이를 영향했을 것으로 추정할 수 있다. 하지만 실제로 열처리를 통해 열이 내부로 신속하게 전달되었다고 할지라도 목재 내부의 온도를 상승시켜야 하기 때문에 비열의 개념으로 생각해보면, 비중이 큰 수종일수록 목재의 온도를 상승시키는데 많은 에너지가 요구될 것이고 하나의 처리 온도 내에서 동일한 열에너지를 받으면 처리 시간이 더 많이 필요한 것으로 생각할 수 있다. 따라서 본 연구에서처럼 수종의 비중에 따라 요구되는 열처리 시간이 다양하게 분포하며, 이 밖의 시편의 상태에 따라 열전도율이나 비열에 영향하는 다양한 결점 등이 존재하거나 목재의 수종 간, 동일 수종 내 개체 간, 임목 내 부위 간에 나타나는 변이에 따라 최적 조건이 조금 상이하게 나타날 수도 있다. 이러한 점을 고려할 때, 본 실험을 통해 결과로 도출된 최적 열처리 시간을 엄수하거나 그 이상의 시간동안 열처리를 실시해야만 검역안전성 측면에서 우수한 처리라고 할 수 있다.

3. 최적 열처리 조건에서 열처리를 실시한 집성소재의 특성

공시 수종의 열처리는 제 3절 “집성소재 최적열처리조건 구명”에서 실시된 집성소재의 두께와 열처리 온도에 따른 최적 열처리 조건으로 실시하였으며, 표면 재색을 측정하는 방법은 제 2절 “1. 현지 집성소재 열처리 조건에 의한 집성소재의 특성 변화(I) - 표면 재색”에서 사용한 방법, 습윤성 평가는 제 2절 “2. 현지 집성소재 열처리 조건에 의한 집성소재의 특성 변화(I) - 습윤성 변화”에서 사용한 방법과 동일하게 실시하였다.

앞서 구명된 다양한 열처리 온도에서 집성소재 두께별로 최적 열처리 조건을 이용하여 열처리를 실시한 시험편의 색도와 접촉각 측정 결과를 Table 3-26~Table 3-37에 수종별로 나타내었다. 본 연구에 이용한 모든 공시 수종에서 동일한 두께의 집성소재를 서로 다른 온도에서 열처리를 하였다고 할지라도 명도, 적색도, 백색도의 차이가 크게 나타나지 않았으며, 접촉각에서도 경향은 동일하게 나타났다. 이는 현재 생산업체에서 사용하는 열처리 조건보다 다양한 열처리 온도가 적용되었음에도 불구하고 온도 증가에 따라 구명된 처리 시간이 단축되었기 때문에 목재의 특성을 크게 변화시키지 않은 것이다. 따라서 온도에 따른 처리에서 나타나는 색도의 변화는 동일 수종 내에서 발견할 수 있는 정도의 차이가 나타났으며, 접촉각도 같은 현상을

나타내었다. 이는 앞서 구명된 최적 열처리 조건이 집성소재의 두께에 따라 효율적인 열처리를 도모할 수 있을 뿐 아니라 고온인 100℃에서 열처리를 실시하여도 집성소재 표면에 나타나는 색상변화나 집성소재가 가진 습윤성과 같은 특성변화 없이 검역안전성을 확보할 수 있다는 점에서 매우 효율적일 것으로 생각된다.

Table 3-26. Color measurement of Larix after heat treatment

Thickness of laminae	Heating temperature	<i>L*</i>	<i>a*</i>	<i>b*</i>
2 cm	control ^a	73.67 ± 1.50	7.08 ± 0.83	23.96 ± 0.62
	60℃	71.98 ± 0.65	9.21 ± 0.34	25.04 ± 0.61
	70℃	72.62 ± 3.15	8.50 ± 1.26	25.07 ± 0.25
	80℃	77.46 ± 1.82	6.01 ± 0.73	22.14 ± 1.21
	90℃	72.55 ± 2.97	8.28 ± 0.97	23.32 ± 0.93
	100℃	70.48 ± 2.36	10.01 ± 1.22	24.12 ± 1.48
3 cm	60℃	72.88 ± 3.21	8.37 ± 1.87	24.13 ± 0.74
	70℃	71.19 ± 1.78	9.83 ± 1.18	24.62 ± 1.33
	80℃	73.71 ± 1.45	9.22 ± 1.73	24.77 ± 1.85
	90℃	74.35 ± 1.41	7.29 ± 0.48	24.24 ± 0.97
	100℃	73.88 ± 2.63	8.30 ± 1.17	22.42 ± 0.53
4 cm	60℃	72.07 ± 1.64	9.54 ± 1.19	25.20 ± 1.29
	70℃	74.91 ± 3.39	7.51 ± 1.74	24.51 ± 1.47
	80℃	72.53 ± 3.15	8.70 ± 1.06	24.26 ± 0.30
	90℃	74.06 ± 1.88	8.08 ± 0.99	23.86 ± 0.36
	100℃	70.78 ± 1.98	10.10 ± 0.81	24.29 ± 0.92

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-27. Contact angle (°) of Larix after heat treatment

Heat treatment temperature	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
control ^a	68.20 ± 3.98	69.38 ± 5.09	67.29 ± 1.62	70.62 ± 2.07	77.04 ± 3.88
2 cm-thick laminae	69.04 ± 2.80	70.35 ± 3.14	67.39 ± 1.28	73.26 ± 1.53	78.17 ± 1.41
3 cm-thick laminae	70.38 ± 3.11	72.58 ± 0.87	72.90 ± 2.19	74.54 ± 1.28	78.98 ± 4.46
4 cm-thick laminae	74.04 ± 1.78	75.84 ± 3.78	76.24 ± 0.45	81.27 ± 0.99	79.12 ± 1.22

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-28. Color measurement of Cedar after heat treatment

Thickness of laminae	Heating temperature	L^*	a^*	b^*
2 cm	control ^a	66.01 ± 2.70	9.74 ± 0.62	22.91 ± 0.56
	60°C	66.96 ± 1.52	9.53 ± 1.00	22.25 ± 0.93
	70°C	62.88 ± 3.62	10.91 ± 0.52	19.83 ± 1.00
	80°C	67.10 ± 1.87	10.66 ± 0.88	20.52 ± 0.77
	90°C	65.62 ± 3.08	10.94 ± 1.29	21.35 ± 1.14
	100°C	70.57 ± 2.17	10.39 ± 0.67	21.02 ± 0.65
3 cm	60°C	66.96 ± 2.33	10.65 ± 0.89	22.10 ± 0.86
	70°C	66.02 ± 2.44	11.20 ± 0.93	21.08 ± 0.72
	80°C	65.45 ± 3.84	9.93 ± 1.82	20.26 ± 0.91
	90°C	66.20 ± 3.65	10.88 ± 0.52	21.07 ± 0.43
	100°C	66.26 ± 3.05	10.48 ± 0.93	20.79 ± 1.03
4 cm	60°C	67.17 ± 2.27	10.40 ± 0.39	22.32 ± 0.63
	70°C	67.79 ± 4.25	9.32 ± 0.66	21.06 ± 1.31
	80°C	68.23 ± 4.06	10.63 ± 1.23	20.80 ± 0.66
	90°C	65.19 ± 1.22	10.82 ± 0.74	20.90 ± 0.98
	100°C	68.49 ± 2.19	9.95 ± 1.07	20.91 ± 0.91
6 cm	60°C	67.98 ± 0.97	10.41 ± 0.42	22.40 ± 0.48
	70°C	64.50 ± 3.98	10.26 ± 1.25	20.04 ± 1.72
	80°C	66.45 ± 3.21	10.00 ± 1.61	20.58 ± 1.16
	90°C	67.90 ± 2.69	10.29 ± 0.79	20.87 ± 0.90
	100°C	67.10 ± 4.67	10.16 ± 0.54	21.87 ± 0.81
7 cm	60°C	67.91 ± 4.71	9.72 ± 0.66	21.96 ± 0.81
	70°C	68.52 ± 2.70	10.72 ± 0.90	21.30 ± 0.44
	80°C	66.81 ± 2.55	10.15 ± 1.05	20.18 ± 0.87
	90°C	66.42 ± 4.55	10.68 ± 1.14	21.07 ± 0.44
	100°C	72.71 ± 4.49	8.83 ± 0.54	21.42 ± 1.87

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-29. Contact angle (°) of Cedar after heat treatment

Heat treatment temperature	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
control ^a	91.70 ± 6.29	66.03 ± 5.42	72.93 ± 0.97	81.54 ± 2.94	80.97 ± 1.23
2 cm-thick laminae	86.88 ± 2.40	68.77 ± 2.95	73.21 ± 1.45	83.37 ± 4.48	81.71 ± 7.74
3 cm-thick laminae	89.69 ± 4.54	72.90 ± 2.97	74.26 ± 0.89	83.42 ± 2.21	81.49 ± 2.84
4 cm-thick laminae	102.82 ± 2.61	74.01 ± 4.10	75.71 ± 3.93	83.05 ± 6.04	80.60 ± 1.27
6 cm-thick laminae	103.34 ± 4.71	74.19 ± 2.73	76.93 ± 3.15	83.28 ± 3.06	82.72 ± 5.82
7 cm-thick laminae	113.28 ± 5.73	70.05 ± 5.46	77.06 ± 2.90	84.28 ± 3.67	82.71 ± 7.06

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-30. Color measurement of Pinus after heat treatment

Thickness of laminae	Heating temperature	L^*	a^*	b^*
	control ^a	81.69 ± 2.14	3.44 ± 1.29	24.18 ± 0.90
2 cm	60 °C	84.15 ± 1.24	2.64 ± 0.45	23.62 ± 1.26
	70 °C	82.79 ± 1.61	3.97 ± 0.91	23.79 ± 1.05
	80 °C	84.02 ± 1.18	3.96 ± 0.62	22.00 ± 1.53
	90 °C	84.23 ± 2.00	2.92 ± 0.91	23.38 ± 0.58
	100 °C	80.85 ± 3.08	3.44 ± 1.29	24.29 ± 1.02
3 cm	60 °C	83.93 ± 1.44	2.59 ± 1.40	23.04 ± 2.15
	70 °C	84.68 ± 1.30	2.68 ± 0.70	23.00 ± 1.20
	80 °C	83.90 ± 0.73	3.14 ± 0.56	22.43 ± 0.79
	90 °C	84.32 ± 1.45	3.12 ± 0.90	22.96 ± 1.25
	100 °C	84.75 ± 0.89	2.44 ± 0.46	23.03 ± 0.31
4 cm	60 °C	85.33 ± 0.42	2.19 ± 0.36	23.04 ± 0.67
	70 °C	83.85 ± 1.84	3.25 ± 0.93	23.54 ± 1.96
	80 °C	84.09 ± 1.46	3.25 ± 0.84	23.50 ± 1.04
	90 °C	83.69 ± 1.28	2.82 ± 0.66	23.91 ± 1.03
	100 °C	83.53 ± 1.86	2.48 ± 0.75	23.96 ± 1.22
6 cm	60 °C	84.60 ± 1.09	2.66 ± 0.85	23.17 ± 0.91
	70 °C	83.61 ± 2.12	3.08 ± 0.88	23.58 ± 1.22
	80 °C	83.38 ± 1.00	3.36 ± 0.76	23.98 ± 1.43
	90 °C	83.96 ± 2.13	2.86 ± 1.39	24.03 ± 1.57
	100 °C	81.78 ± 3.72	2.92 ± 0.64	24.24 ± 1.30
7 cm	60 °C	85.39 ± 0.58	2.19 ± 0.62	22.67 ± 0.99
	70 °C	83.34 ± 2.07	2.59 ± 0.44	23.09 ± 0.93
	80 °C	83.91 ± 2.11	2.71 ± 1.02	23.52 ± 1.49
	90 °C	84.65 ± 2.88	3.03 ± 1.39	23.03 ± 2.26
	100 °C	83.49 ± 2.75	2.66 ± 0.64	23.63 ± 1.52

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-31. Measured contact angle (°) of Pinus after heat treatment

Heat treatment temperature	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
control ^a	65.26 ± 4.25	66.10 ± 3.16	72.05 ± 0.80	68.05 ± 3.33	48.53 ± 5.07
2 cm-thick laminae	68.10 ± 9.29	66.44 ± 8.18	75.36 ± 2.65	69.26 ± 6.51	50.57 ± 10.83
3 cm-thick laminae	68.18 ± 6.99	66.18 ± 3.34	79.87 ± 0.99	69.66 ± 6.28	52.78 ± 8.12
4 cm-thick laminae	69.72 ± 7.76	65.82 ± 4.65	75.29 ± 2.65	73.12 ± 8.70	52.95 ± 8.24
6 cm-thick laminae	66.31 ± 7.28	62.95 ± 9.03	76.76 ± 7.08	74.58 ± 3.40	56.03 ± 10.81
7 cm-thick laminae	66.77 ± 4.26	68.74 ± 7.54	76.04 ± 3.75	70.86 ± 5.18	54.63 ± 10.60

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-32. Color measurement of Paulownia after heat treatment

Thickness of laminae	Heating temperature	L^*	a^*	b^*
	control ^a	74.56 ± 2.30	3.65 ± 0.23	17.27 ± 1.05
2 cm	60 °C	77.76 ± 2.16	3.43 ± 0.88	17.32 ± 0.88
	70 °C	75.59 ± 1.84	4.41 ± 0.48	16.74 ± 0.62
	80 °C	74.47 ± 2.77	4.78 ± 1.26	18.24 ± 1.81
	90 °C	73.96 ± 2.31	5.03 ± 0.96	16.42 ± 2.05
	100 °C	77.45 ± 2.45	3.64 ± 0.81	17.34 ± 1.65
3 cm	60 °C	75.36 ± 1.83	4.48 ± 0.38	17.62 ± 0.81
	70 °C	75.00 ± 2.41	4.18 ± 1.22	16.81 ± 0.66
	80 °C	75.24 ± 2.22	4.36 ± 0.98	18.35 ± 1.38
	90 °C	77.34 ± 1.44	3.76 ± 0.54	18.96 ± 0.82
	100 °C	75.73 ± 1.11	3.92 ± 0.51	17.46 ± 1.11
4 cm	60 °C	74.63 ± 2.31	4.69 ± 0.95	18.35 ± 1.82
	70 °C	73.49 ± 3.12	1.98 ± 0.89	17.89 ± 1.90
	80 °C	75.16 ± 2.19	4.47 ± 0.66	17.78 ± 1.00
	90 °C	75.51 ± 1.31	4.26 ± 0.59	17.78 ± 0.83
	100 °C	74.67 ± 2.74	4.63 ± 0.81	17.93 ± 1.07
6 cm	60 °C	75.71 ± 1.94	3.88 ± 0.92	18.38 ± 0.98
	70 °C	76.13 ± 3.58	4.12 ± 1.31	17.92 ± 0.74
	80 °C	78.01 ± 1.37	3.43 ± 0.56	17.59 ± 0.69
	90 °C	74.47 ± 3.80	4.11 ± 1.10	16.78 ± 1.34
	100 °C	75.47 ± 3.29	4.05 ± 1.05	17.59 ± 1.23
7 cm	60 °C	75.60 ± 3.01	4.05 ± 0.78	17.62 ± 0.79
	70 °C	75.33 ± 1.42	4.11 ± 0.45	17.73 ± 1.19
	80 °C	74.54 ± 1.68	4.84 ± 0.76	18.14 ± 1.30
	90 °C	75.12 ± 2.38	4.29 ± 0.80	18.16 ± 0.86
	100 °C	73.04 ± 2.09	4.94 ± 1.05	18.17 ± 1.35

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-33. Measured contact angle(°) of Paulownia after heat treatment

Heat treatment temperature	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
control ^a	49.47 ± 5.50	46.53 ± 9.76	54.95 ± 9.73	44.79 ± 7.34	43.30 ± 4.03
2 cm-thick laminae	49.77 ± 6.98	46.74 ± 3.92	56.61 ± 8.60	52.59 ± 8.00	43.69 ± 4.01
3 cm-thick laminae	47.51 ± 2.56	45.97 ± 3.29	56.50 ± 9.71	45.73 ± 3.34	42.30 ± 6.24
4 cm-thick laminae	49.11 ± 3.66	45.91 ± 7.12	50.93 ± 3.77	41.81 ± 3.32	41.07 ± 7.87
6 cm-thick laminae	49.45 ± 4.57	50.53 ± 5.02	43.97 ± 6.40	45.81 ± 3.77	42.20 ± 4.60
7 cm-thick laminae	49.43 ± 3.62	51.52 ± 6.30	45.71 ± 3.56	47.21 ± 6.86	48.48 ± 4.01

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-34. Color measurement of *Abies* after heat treatment

Thickness of laminae	Heating temperature	L^*	a^*	b^*
	control ^a	75.67 ± 0.76	5.57 ± 0.31	19.65 ± 1.19
2 cm	60°C	82.46 ± 2.65	3.05 ± 0.62	19.50 ± 0.50
	70°C	79.97 ± 1.15	3.66 ± 0.39	20.03 ± 2.07
	80°C	79.24 ± 0.81	3.97 ± 0.75	17.92 ± 1.54
	90°C	78.72 ± 2.18	4.20 ± 0.86	19.06 ± 2.14
	100°C	81.91 ± 3.22	3.20 ± 1.02	20.03 ± 1.61
3 cm	60°C	78.28 ± 3.94	4.57 ± 1.22	21.38 ± 1.07
	70°C	80.29 ± 2.59	3.98 ± 1.17	18.96 ± 1.72
	80°C	78.92 ± 1.82	4.15 ± 0.69	19.13 ± 1.54
	90°C	80.19 ± 3.96	3.76 ± 1.22	19.03 ± 1.60
	100°C	80.61 ± 2.17	3.93 ± 1.05	19.18 ± 1.27
4 cm	60°C	77.31 ± 1.45	4.75 ± 0.42	20.22 ± 1.66
	70°C	79.04 ± 2.54	4.44 ± 1.25	18.52 ± 0.99
	80°C	82.83 ± 0.80	3.24 ± 0.44	18.24 ± 0.32
	90°C	81.21 ± 3.68	3.81 ± 1.41	18.60 ± 2.09
	100°C	74.34 ± 2.69	5.81 ± 0.70	18.09 ± 1.34
6 cm	60°C	78.17 ± 2.47	4.56 ± 0.98	19.76 ± 1.37
	70°C	80.27 ± 3.23	4.22 ± 1.35	18.09 ± 0.74
	80°C	84.44 ± 1.22	2.65 ± 0.36	17.80 ± 0.71
	90°C	79.01 ± 3.55	4.47 ± 1.34	18.34 ± 0.93
	100°C	75.82 ± 1.36	4.77 ± 1.00	17.99 ± 1.18
7 cm	60°C	82.97 ± 0.64	2.94 ± 0.22	19.47 ± 0.60
	70°C	80.81 ± 2.20	3.77 ± 0.56	19.74 ± 1.41
	80°C	77.90 ± 2.39	4.73 ± 1.03	19.34 ± 1.98
	90°C	79.55 ± 1.90	3.85 ± 0.69	19.57 ± 1.78
	100°C	76.75 ± 5.54	5.06 ± 1.00	18.86 ± 0.74

^aThe value from non-treated wood surface

Table 37. Measured contact angle (°) of *Abies* after heat treatment

Heat treatment temperature	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
control ^a	89.08 ± 7.58	67.42 ± 5.75	59.25 ± 5.96	64.86 ± 2.91	53.32 ± 7.24
2 cm-thick laminae	89.37 ± 5.25	70.09 ± 4.67	59.77 ± 2.73	67.70 ± 0.71	57.79 ± 2.00
3 cm-thick laminae	86.05 ± 2.22	72.97 ± 8.68	63.23 ± 8.81	60.74 ± 3.05	59.12 ± 8.34
4 cm-thick laminae	95.71 ± 2.51	62.27 ± 5.03	63.85 ± 4.32	50.91 ± 3.61	59.02 ± 1.74
6 cm-thick laminae	85.49 ± 5.69	65.37 ± 6.99	67.18 ± 4.67	57.99 ± 4.96	51.24 ± 1.66
7 cm-thick laminae	94.72 ± 1.70	64.91 ± 2.65	70.69 ± 7.92	59.28 ± 4.47	55.93 ± 2.22

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-36. Color measurement of dark red meranti after heat treatment

Thickness of laminae	Heating temperature	L^*	a^*	b^*
2 cm	control ^a	42.06 ± 2.36	13.85 ± 1.12	20.64 ± 2.85
	60°C	43.52 ± 3.22	13.96 ± 0.96	20.82 ± 1.86
	70°C	40.10 ± 2.41	10.81 ± 2.47	14.31 ± 2.11
	80°C	41.85 ± 1.98	11.84 ± 1.40	15.14 ± 1.20
	90°C	41.13 ± 2.03	12.13 ± 2.07	15.75 ± 1.59
	100°C	40.72 ± 2.90	12.26 ± 1.76	15.98 ± 2.02
3 cm	60°C	41.10 ± 1.21	13.12 ± 1.06	19.43 ± 1.45
	70°C	43.86 ± 1.55	12.02 ± 0.63	15.37 ± 1.36
	80°C	40.84 ± 2.93	10.25 ± 1.41	14.18 ± 0.76
	90°C	42.86 ± 1.61	12.05 ± 1.18	15.27 ± 1.30
	100°C	42.41 ± 4.36	10.60 ± 1.95	14.65 ± 1.26
4 cm	60°C	42.86 ± 2.80	13.41 ± 1.31	20.57 ± 1.88
	70°C	42.31 ± 1.94	11.44 ± 1.34	14.90 ± 1.45
	80°C	38.49 ± 2.59	10.28 ± 1.00	13.28 ± 1.22
	90°C	43.78 ± 3.88	10.41 ± 0.53	14.63 ± 0.97
	100°C	39.45 ± 3.87	13.31 ± 0.73	16.79 ± 1.43
6 cm	60°C	41.57 ± 2.41	13.66 ± 1.56	19.37 ± 1.78
	70°C	41.73 ± 1.01	11.05 ± 1.24	14.67 ± 1.01
	80°C	40.51 ± 2.36	12.94 ± 0.68	15.86 ± 0.95
	90°C	40.27 ± 2.22	10.98 ± 1.53	14.04 ± 1.83
	100°C	43.98 ± 2.90	11.88 ± 1.15	15.77 ± 2.31
7 cm	60°C	42.76 ± 1.96	13.03 ± 1.61	19.65 ± 2.45
	70°C	41.89 ± 2.43	12.09 ± 1.45	15.14 ± 1.65
	80°C	41.53 ± 2.39	11.18 ± 0.83	14.63 ± 1.23
	90°C	39.36 ± 2.72	11.01 ± 1.44	14.59 ± 0.90
	100°C	41.52 ± 4.20	11.73 ± 1.15	13.83 ± 1.00

^aThe value from non-treated wood surface

Table 3-37. Measured contact angle(°) of dark red meranti after heat treatment

Heat treatment temperature	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C
control ^a	103.95 ± 8.81	78.19 ± 3.49	72.66 ± 4.25	80.89 ± 6.11	81.42 ± 2.28
2 cm-thick laminae	105.08 ± 2.98	78.64 ± 0.93	74.63 ± 2.60	80.45 ± 0.97	82.24 ± 4.61
3 cm-thick laminae	108.69 ± 4.86	78.73 ± 2.41	76.79 ± 2.04	81.35 ± 2.82	81.73 ± 0.60
4 cm-thick laminae	108.54 ± 9.56	79.61 ± 0.74	76.42 ± 3.67	80.62 ± 3.06	79.00 ± 1.04
6 cm-thick laminae	108.59 ± 5.98	80.70 ± 1.45	79.75 ± 6.25	86.16 ± 0.63	80.22 ± 0.70
7 cm-thick laminae	109.60 ± 4.95	80.92 ± 1.34	84.25 ± 3.08	87.94 ± 6.71	81.16 ± 1.70

^aThe value from non-treated wood surface

제 4 절 검역 안전성 측면에서 타당한 수입 집성재 생산업체 인증요건 제안

본 연구를 통해 조사된 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정 실태와 최적 열처리 조건 구명 및 열처리 후 나타나는 목재 특성 변화 결과를 토대로 농림축산검역본부 식물검역과 정책담당자, 농림축산검역본부 식물검역기술개발센터 연구원과 분기별로 진행한 자문회의 결과에 기초하여 수입 집성재의 검역 안정성 확보를 위한 수입 집성재 생산업체 인증요건을 다음과 같이 제안한다.

- 집성소재 열기건조(열처리) 시 집성소재 중심부 온도 56℃에서 30분 이상 유지될 수 있는 조건을 만족할 것
 - 불충분한 열기건조를 실시할 경우 목재 내 기 서식 중인 해충의 구제가 불가능함
예) MY-D(최대온도 50℃) ⇒ 현재 실시 중인 열기건조 스케줄을 수정하여 집성소재 중심부 온도가 56℃에 도달하여 30분 이상 유지될 수 있는 단계 추가 필요
 - 천연건조를 실시한 집성소재를 사용하는 오동나무 집성재는 가공품에서 제외시키는 것이 타당함
 - 만일 오동나무 집성재를 가공품에 포함시키려면 집성소재의 천연건조 후 본 연구를 통해 제시된 열처리 조건에 부합하게 열처리를 실시하여야 함
- 집성소재 건조 후 집성재 제조 전까지 집성소재는 밀봉하여 밀폐된 장소에 보관할 것
 - 조사된 말레이시아, 인도네시아, 중국 집성재 생산업체 모두 집성소재 건조 후 별도의 포장을 실시하지 않음
 - 사방이 개방된 shed(예: MY-A, MY-C, ID-A, ID-B) 혹은 야외(예: CN-A, CN-C, CN-D)에서 열기건조된 집성소재를 장기간 보관할 경우 집성소재 열기건조 시 해충이 구제되었다 하더라도 재감염의 우려가 높음
- 집성재 제조 직후 여러 겹 밀봉포장을 실시하고 포장의 파손 및 개봉에 주의할 것
 - 집성재 제조 직후 포장을 실시하지 않는 경우(예: ID-A, CN-C, CN-D) 해충의 감염이 우려됨
 - 얇은 비닐 포장은 파손이 용이하며(예: MY-A, MY-B, ID-A, ID-B, CN-A, CN-B,

CN-C, CN-D), 실제 파손이 관찰되거나(예: MY-A, MY-B, MY-C, CN-C), 해충 감염 흔적(탈출공 및 목분)이 발견됨(예: MY-A)

- 집성재 제조업체에 검역안전성 확보를 위해 최적 열처리 조건을 제시할 것

- 집성소재의 열기건조(열처리)가 미흡한 경우(예: MY-D)와 그 밖에 모든 집성재 생산업체에 집성소재의 효율적인 열기건조(열처리)를 도모하기 위해서 본 연구에서 도출된 최적 열처리 조건을 참고용으로 제시할 수 있음

제조과정 중 적절한 열기건조(열처리)를 거친 집성재는 기존 집성소재에 서식하는 규제해충의 구제가 가능하기 때문에 현행 농림축산검역본부 고시 제2013-49호에서와 같이 가공품에 포함되는 것이 바람직하다. 하지만 미흡한 열기건조 혹은 천연건조를 거친 집성소재를 사용하여 생산된 집성재는 현행 고시에 의해서도 가공품에 포함될 수 없으며, 적절한 열기건조를 실시하지 않아 반복적으로 규제해충이 발견되는 수입업체에 대해서는 적극적인 수입제재 조치가 필요하다. 집성재의 제조과정 중 적절한 열기건조가 수행되었다고 하더라도 타 가공품과 마찬가지로 건조된 집성소재의 보관 및 집성재 제작 방법, 최종 집성재 생산품의 포장과 보관에서 부적절한 조치로 인해 해충의 재감염이 우려되기 때문에 본 연구를 통해 제시된 타당한 집성재 제조공정(집성소재 열기건조 후 보관, 열을 이용한 집성재 제조, 최종 집성재의 제품 포장 및 보관)을 수입 집성재 생산업체 적용할 것을 권고하고 수용하지 않을 시 적극 제재한다면 수입 집성재의 검역 안전성이 확보될 수 있을 것으로 사료된다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에서의 기여도

제 1 절 목표 달성도

1. 1차년도 연구개발 목표 및 수행 내용(2012. 12. 18 ~ 2013. 12. 17)

구분 (연도)	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2012)	수입 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정 조사	100	<ul style="list-style-type: none"> • 수입 집성재 소독 및 폐기 건수 상위 3개국(중국, 말레이시아, 인도네시아)과 검역 안전성 측면의 우수 국가(네덜란드)의 집성재 생산업체 총 14개소의 집성재 생산업체 방문 및 집성재 생산 공정 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 각 생산업체별로 주로 사용하는 집성소재 수종, 치수, 열처리 시 목재함수율 조사 - 집성소재 열처리(열기건조) 실시 여부 조사 - 집성소재 열처리를 실시할 경우 열처리 온도(건구온도 및 습구온도), 열처리 시간, 열처리 시 집성소재 적층방법 조사 - 집성소재 열처리 후 집성재 제조까지 소요되는 시간 및 열처리 집성소재의 보관 방법 조사 - 집성재 제조 후 포장 방법 조사 - 보관중인 집성재의 규제해충 감염여부 조사
	현지 집성소재 열처리 조건의 검역 안전성 측면 타당성 평가	100	<ul style="list-style-type: none"> • 집성재 생산업체에서 조사한 집성소재 수종에 대해 현지 집성재 생산업체에서 적용 중인 열처리 조건으로 처리 시 집성소재 중심부 온도가 56℃로 상승 후 30분 이상 유지 여부의 실험적 평가
	검역 안전성 측면에서 타당한 집성재 생산업체 인증요건 제안	100	<ul style="list-style-type: none"> • 검역 안전성 측면에서 타당한 집성소재 열처리 공정, 집성소재 보관 방법, 최종 집성재 포장 방법이 포함된 집성재 생산업체 인증요건 제안

2. 2차년도 연구개발 목표 및 수행 내용(2013. 12. 18 ~ 2014. 12. 17)

구분 (연도)	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
2차 년도 (2013)	집성소재 최적 열기건조(열처리) 조건 구명	100	<ul style="list-style-type: none"> • 현지 생산업체의 집성소재 열처리 조건이 부적합한 경우, 규제해충 구제에 적합한 열처리 조건 구명 • 열처리 조건이 규제해충 구제에 적합한 경우, 집성소재의 수종, 치수별로 열처리 시간을 단축할 수 있는 최적 열처리 조건 탐색 <ul style="list-style-type: none"> - 현지 생산업체에서 사용하는 주요 집성소재 수종(최소 5종 이상)과 집성소재 치수별로 다양한 열처리 온도에 따라 규제해충 구제에 적합한 열처리 시간 탐색 - 집성재의 역학적 성질 감소 없이 열처리 시간을 최소화할 수 있는 온도 조건 제시
	집성소재 열처리 실시 여부 판단 기술 개발	100	<ul style="list-style-type: none"> • 열처리에 의한 집성소재 표면 색상과 습윤성 변화 구명

제 2 절 관련분야에서의 기여도

본 연구를 통해 조사된 수입 집성재 생산업체의 집성재 생산 공정과 연구를 통해 개발된 집성소재 최적 열처리 조건은 집성재의 수입과 관련하여 기존에 문제시 되었던 주요 국가와 집성재 생산업체로부터 검역안전성을 확보를 위한 지침서를 제시할 수 있는 근거자료로 활용될 수 있을 것이다. 농림축산검역본부 검역통계에 따르면 실제로 2000년도부터 2012년 사이에 수입 집성재 임의추출조사 결과, 오동나무 외의 수종을 집성소재로 사용한 말레이시아, 인도네시아, 중국, 일본으로부터 수입된 집성재 중 총 33건의 소독 및 폐기 처리 집성재가 발생하였다는 점을 감안할 때, 본 연구의 결과는 목재 및 목제품이 규제해충의 이동 매개체가 되는 일을 막을 수 있는 것은 물론 전 세계적으로 목재 및 목제품의 수출입에 있어 검역 안전성을 확보할 수 있어 검역 비용을 절감할 수 있는 중요한 자료가 되리라 본다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 활용계획

본 연구는 제품 생산 목적이 아니라 수입 집성재 검역과 관련된 기술 개발이 목적이기 때문에 산업화와 무관하나, 연구를 통해 조사된 내용이 실제 검역과정에 적용된다면 정부의 검역 예산을 절감할 수 있으며 아래와 같이 활용이 가능하다.

1. 기술적 측면

국내 주요 수입 집성재 수종에 대한 적정 열처리 기술 개발

2. 경제·산업적 측면

가. 규제해충의 재감염으로부터 안전할 수 있는 집성재 생산 공정을 수입 집성재 생산업체 중 현장 검역 시 문제가 되었던 업체들에게 제공함으로써 검역안전성을 확보하여 현장 검역 시 소모되는 검역비용 절감

나. 집성소재 수종별로 요구되는 최소 열처리 시간은 현지 가공공정 상의 열처리 비용 절감

다. 검역기준에 대한 대외 신뢰도 제고

(1) 현지 실태조사 및 실험연구를 병행하여 획득한 객관적이고 과학적인 근거를 통해 집성재 수입과 관련된 검역기준의 신빙성이 확보될 것으로 판단

(2) 검역기준에 대한 집성재 수입업체 및 소비자 신뢰도 제고

제 2 절 추가연구의 필요성

본 연구의 목표 중 열처리 실시 여부 판단 기술을 개발의 경우, 해당국가로부터 연구에 필요한 충분한 양의 목재 시험편 확보가 어려워 이를 판단하기 위한 목재의 재색 변화와 습윤성 변화 정도가 천연재료인 목재 자체 변이에 따른 변화와 구분이 불가능한 것으로 나타났다. 따라서 객관적인 기준 마련을 위한 추가 연구가 필요하다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

본 연구는 국내 검역과 관련된 연구로 검역 시 발생하는 문제점을 극복하기 위해 집성소재의 열처리 여부를 판단할 수 있는 방법을 고안하고자 실시하였으며, 해외에서는 이와 같은 기술이 요구되지 않아 관련 과학기술에 대한 정보가 부족하다.

개발기술명	관련기술 최고보유국	현재 기술수준		기술개발 목표수준	비고
		우리나라	연구신청팀		
집성소재 열처리 기술	미국	50	50	100	
열처리 실시 여부 판단 기술	보유국 없음	0	0	100	검역을 위한 열처리는 반드시 실시해야 하는 과정인 관계로 열처리 여부를 판단하는 기술은 개발된 적이 없음

대상국가	국내, 국외(미국, 일본, 유럽)
특허 DB	특허정보원 DB(www.kipris.or.kr)
검색기간	최근 5년간
검색범위	제목 및 초록

개발기술명	집성소재 열처리 기술	열처리 실시 여부 판단 기술
Keyword	wood*heat*sterilization	wood*heat*treatment
검색건수	5	60
유효논문건수	3	19
핵심논문 및 관련성	논문명	Evaluation of heat treatment schedules for emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae)
	학술지명	Journal of economic entomology
	저자	Myers S.W., Fraser I., Mastro V.C.
	게재년도	2009
	관련성 (%)	40%
	유사점	목재 가해해충 구제를 위한 목재 열처리 조건 구명
	차이점	대상 해충 및 목재 수종
		Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment
		Bioresource technology
		Brito, J.O., Silva, F.G., Leao, M.M., Almeida, G.
		2008
		20%
		열처리에 의한 목재 화학성분 변화 분석
		열처리 온도 범위, 목재 수종 및 측정 대상 인자

제 7 장 참고문헌

- 농림축산검역본부 고시 제2013-45호 수입금지식물 해당여부 적용기준 및 선별기준
- 농림축산검역본부 고시 제2013-49호 가공품 품목의 예
- 농림축산검역본부 고시 제2013-95호 수입금지식물 중 캐나다산 소나무속(*Pinus* spp.) alc 잎갈 나무속(*Larix* spp.) 제재목의 수입금지 제외기준
- 농림축산검역본부 고시 제2013-105호 식물별 서류·현장검역방법과 실험실정밀검역방법
- 농림축산검역본부 고시 제2013-114호 수출입화물 목재포장재 검역요령
- 농림축산검역본부 고시 제2013-122호 수입금지식물 중 미국산 양벚 생과실, 소나무속 및 잎갈 나무속 제재목, 호두, 플로리다주산 오렌지(텐저린 포함)와 자몽 생과실 및 캘리포니아주산 석류 생과실의 수입금지 제외기준
- 농림축산검역본부 고시 제2013-123호 수입식물의 검역요령
- 농림축산검역본부 고시 제2013-126호 수출입식물검역소독처리규정
- 신랑호, 한태형, 권진현. 2010. 국내산 활엽수 열처리재의 색상 변화에 따른 목재의 특성과 생 활용품 활용방안에 관한 연구. 한국가구학회지 21(1): 62-71
- Grewal GS. 2001. Kiln-drying characteristics of some Malaysian timbers. Timber Trade Leaflet No. 42. Issued by the Ministry of Primary Industries and jointly published by the Malaysian Timber Industry Board and Forest Research Institute Malaysia
- Hakkou M, Pétrissans M, El Bakali I, Gérardin P, Zoulalian A. 2003. Evolution of wood hydrophobic properties during heat treatment. In: Abstracts of the first European conference on wood modification. Ghent. Belgium.
- International Standards for Phytosanitary Measures (ISPM). 2009. Regulation of Wood Packaging Material in International Trade. ISPM No. 15
- Joo H-S, Lim D-H, Park Y-J, Kim H-J. 2005. Relationship of PSA performance and contact angle. Journal of Adhesion and Interface 6(1): 19-26

- Matsuo M, Yokoyama M, Umemura K, Gril J, Tano K, Kawai S. 2010. Color changes in wood during heating: kinetic analysis by applying a time-temperature superposition method. *Applied physics A, Materials Sciences & Proceeding* 99(1): 47-52
- Olson JR, Fackler FC, Stringer JW. 1989. Quality of air-dried Paulownia lumber. *Forest products journal* 39(7/8): 75-80
- Pétrissans M, Philippe G, El Bakali I, Serraj M. 2003. Wettability of heat treated wood. *Holzforschung* 57: 301-307
- Stenudd S. 2004. Color response in silver birch during kiln-drying. *Forest Products Journal* 54: 31-36
- Tari SMM, Madhoushi M. 2013. Establishing a kiln drying schedule for Paulownia fortunei lumber with thickness of 5 cm. *World of Sciences Journal* 2013-April-Special Issue: 25-38
- Tarvainen V, Saranpaa P, Repola J. 2001 Disoloration of Norway spruce and Scots pine timber during drying. *Proceedings of 7th International IUFRO Wood Drying Conference* July 9-13. Tsukuba. Japan. pp. 294-299
- Viitaneimi P, Jämsä S, Viitanen H. 1997. Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. United States Patent No. 5678324 (US005678324)
- Wang X. 2010. Heat sterilization of wood. in *Wood handbook Chapter 20. General Technical Report Forest Products Laboratory (FPL)-GTR-190*
- Zaman A, Alén R, Kotilainen R. 2000. Thermal behavior of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and silver birch (*Betula pendula*) at AT 200-230°C. *Wood and Fiber Science* 32: 138-143

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 수출전략기술사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 수출 전략기술사업사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.