

# 國產 主要 針葉樹種의 複合集成材開發 및 휨加工性 分析(I)\*<sup>1</sup>

— 소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 蒸煮에 의한 素材휨加工 —

소원택 \*<sup>2</sup>, 임기표 \*<sup>2</sup>

## Development of Compound Laminated Wood and Analysis of Bending Processing Properties with Major Softwoods Grown in Korea (I) \*<sup>1</sup>

— Solid wood-bending of *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis* by steaming —

Won Tek So \*<sup>2</sup>, Kie Pyo Lim \*<sup>2</sup>

### SUMMARY

The proportion of imported wood has been now over 80% of raw materials needed in the wood industry, and therefore, many of studies on the substitution of domestic wood for imported wood and on the increasing the utilization rate of domestic species have been attempted and considered as very important projects to solve. But these trials were practically restricted by several disadvantages of domestic species, such as a small diameter, variety of species, and irregularity of wood physical or chemical characteristics, etc.

From a this point of view, this study was carried out to investigate solid wood bending properties of sample trees and then to develop their end-uses. The species of sample trees were *Pinus densiflora* S. et Z., *Pinus rigida* Mill., and *Larix leptolepis* Gord., which have large growing stocks but *Pinus rigida* and *Larix leptolepis* have not been used well because of their poor qualities.

The results obtained were as follows:

1. The optimum conditions for solid wood bending processing of *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis* are showed in Table 6.
2. The minimum solid-bending radii of *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis* were 260mm, 240mm, and 300mm, respectively in steaming treatment.

### 1. 緒 論

국내 목재산업에서 이용되고 있는 原料목재공급량의 80% 이상을 점유하고 있는 수입외재의 의

\*1. 接受 4月 24日 Received April 24, 1989.

이 論文은 1985년도 韓國科學財團 研究支援費에 의해 研究되었음.

\*2. 全南大學校 農科大學 College of Agriculture, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea.

존도를 줄이기 위해 오래전부터 가능한한 국산재로 대체 이용하는 문제가 심각하게 논의되고 있으나 국산재의 原木직경이 작고 樹種이 다양하며 재질 또한 일정하지 않아 현실적인 이용상 많은 제약 받고 있는 실정이다. 더우기 우리나라의 造林樹種중 리기다소나무와 낙엽송은 장기간 造林獎勵樹種으로 선정되어 전국적으로 식재되어 왔기 때문에 原木 및 간벌 소경재의 생산이 매년 증가되고 있는데 비하여 그 用途는 대부분 건축용 架設材로 사용되는 정도였으나 근래에 개발된 낙엽송마루판의 생산이 낙엽송 原木價格의 상승안정에 크게 기여하는 것으로 볼 때 국산재의 유효 이용을 위한 適正用途와 適正加工기술의 개발이 매우 시급함은 재론의 여지가 없다 하겠다.

이러한 관점에서 본 研究는 수십년간 국가정책적 造林樹種으로서 이미 충분한 供給量를 확보하고 있으나 품질이 불량하여 외면당하고 있는 리기다소나무와 낙엽송 및 전통적 한국 天然樹種인 소나무의 用途개발을 목적으로 集成材로서의 이용가능성을 조사하고 특히 素材 및 集成翳加工에 대한 特性을 구명하였는 바 일차적으로 供試樹種의 素材翳加工特性에 대한 結果를 발표하고자 한다.

목재의 翳加工에 관한 研究로서 최초의 곡목제조는 1810년 獨逸人 Melchior Finker에 의하여 이루어졌으며 그후 이 분야의 뚜렷한 진전이 없었으나 引張帶鐵을 사용하여 翳加工하는 方法이 Michael Thonet에 의해서 1839년 처음 시도된 이후부터 많은 研究가 진행되기 시작하였다.<sup>16)</sup>

그중 Stevens와 Turner(1948)<sup>10)</sup>의 研究가 중요한 것으로 목재의 翳加工시 翳의 바깥측에 引張應力과 내측에 壓縮應力이 생기며 濕潤熱處理에 의하여 壓縮성은 현저하게 증가하나 신장성은 불과 1.5-2.0% 증가한다는 등의 이론적인 기초가 어느정도 확립되었다고 할 수 있다.

Yamamoto등(1952)<sup>15)</sup>은 소나무와 삼나무의 두께와 曲率半徑 한계간의 관계식을 發表하였고 Joregensen(1965, 1966)<sup>2), 3)</sup>은 곡목가공용 부재의 翳加工시 適正含水率을 열판가압의 경우 12-

15%가 적당하나 일반翳틀을 사용할 때는 다소 높은 15-20%가 바람직하다 하였으며 또한 蒸煮處理할 때 상압 또는 저압으로 軟化하는 것이 중요하고 高壓蒸氣處理는 목재수분의 확산손실로 乾燥상태가 되어 오히려 翳加工性이 떨어진다고 주장하였다.

Jorgensen(1968)<sup>4)</sup>은 hickory재의 蒸煮時 含水率은 12-20%의 범위가 翳加工에 적당하고 蒸煮時間은 25mm두께에 대하여 20-40분이면 충분하며 많은 목재들이 66°C(150°F)이상에서도 曲率이 안정되지만 hickory재는 표면활렬을 막기위하여 49°C(120°F)이하로 調濕乾燥하는 것이 오히려 안전하다고 發表하였다. 또한 Lemoine와 Koch(1971)<sup>5)</sup>은 southern pine을 시험한 結果 두께의 12배까지의 曲率半徑으로 翳加工이 가능한 것을 발견하였고 柁目木理, 속성수, 저비중재의 翳加工性이 良好하였으며 이러한 일련의 試驗으로부터 翳加工상태를 10등급으로 분류하여 發表하였다.

## 2. 材料 및 方法

### 2.1. 供試材料

#### 2.1.1. 供試木

본 研究에서 사용한 供試木은 전남 곡성산 소나무 (*Pinus densiflora*, S.et.Z.), 전남 담양산 리기다소나무 (*Pinus rigida*, Mill.), 및 경북 금릉산 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gord)을 供試樹種으로 하여 각기 수간이 통직하고 생장이 良好한 原木을 선정하였으며, 供試木의 形質은 Table 1과 같다.

#### 2.1.2. 試片의 준비

試片을 채취하기 위하여 선정된 供試木을 2cm와 3cm간격으로 板目제제한 후 2개월 이상 기건시킨 다음 蒸煮處理용 翳加工材와 集成接着試驗用材에 대해서는 항온항습기를 이용하여 각각 含水率 15+1% 및 12+1%로 調濕處理하였다. 調濕

Table 1. Characteristics of sample trees

Species	Age (yr.)	Number (pcs)	Dia.4* (cm)	Sapwood (%)	Eccentricity (%)
<i>Pinus densiflora</i>	59	4	39	80	7.6
	54-65		35-42	76-83	5.4-10.3
<i>Pinus rigida</i>	17	20	12	96	6.9
	14-25		9-18	93-98	0.0-17.3
<i>Larix leptolepis</i>	48	8	30	27	7.1
	44-51		27-34	22-31	3.0-11.9

Note: \* Diameter on the top end.

된 試片으로부터 集成接着用 試片은 두께 10mm, 폭 40mm 및 길이 300mm, 翳加工用 試片은 두께와 폭이 15mm, 길이 350mm의 크기로 포삭加工해서 供試材를 준비하였다.

## 2.2. 器機 및 裝置

### 2.2.1. 軟化處理裝置

軟化處理는 蒸煮를 실시하였는데 사용된 處理槽는 가로 400mm, 세로 450mm, 높이 500mm의 스텐레스강철제로서 전기히터로 가열시켜 사용하였다. 蒸煮處理時에는 덮개를 씌워서 증기를 집결시켰으며 덮개로부터 응축된 물방울이 試片에 떨어져 含水率이 부분적으로 높아지는 현상을 방지하기 위하여 處理槽 내부에 경사판을 설치하여 응축수가 경사판을 따라서 측벽으로 떨어지도록 설계하였다.

### 2.2.2. 翳加工裝置

軟化處理된 試片은 여러가지 曲率半徑으로 翳 수 있도록 간단한 手加工裝置를 고안제작하였는데 그 치수 및 형상은 Fig. 1과 같다.

翳加工用裝置는 작업대 위에 6조를 설치하였으며 翳형틀(form)의 曲率半徑은 100mm까지는 10mm 간격, 400mm까지는 20mm 간격, 800mm까지는 50mm 간격으로 준비하였다. 형틀은 두께 22mm 라왕합판을 사용하여 소폭목공피톱으로 커서 만들고 軟

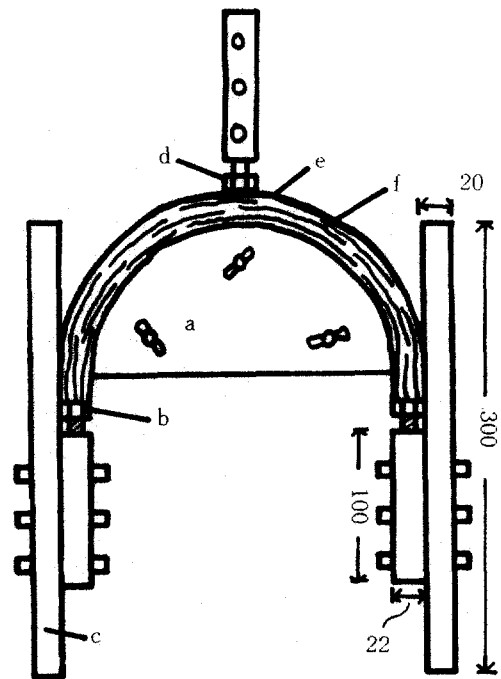


Fig. 1. Apparatus for hand bending. (unit: mm)  
a: form, b: end stop, c: reversed lever, d: side press, e: tension strap, f: specimen

化處理材로부터 수분을 흡수하여 팽윤되는 것을 방지하기 위하여 집촉곡면에 에폭시수지를 도포하여 防水處理하였다.

翳加工時 處理材의 引張破壞을 피하기 위하여 두께 1.2mm의 스텐레스강철제 引張帶鐵을 표면에 설치하였으며 대철의 중앙부 측면에 역시 나사식

side press를 설치하여 處理材에 適當量의 측면압을 가해주므로써 翳加工時 精確한 曲率半徑을 갖게 하고 또한 處理材가 형틀로부터 이탈되지 않도록 하였다. 翳加工時 end stop부분이 뒤로 젖혀지는 현상은 充分한 길이의 reversed lever로 방지하고 여기에 보조 lever를 끼워서 翳加工에 요하는 힘을 減少시켰으며 翳加工后 處理材의 곡형이 后處理에 의하여 안정될 때 까지 turn buckle 또는 철사를 사용하여 고정시켰다.

### 2.3 試驗方法

#### 2.3.1. 목재의 物理的 性質

供試樹種의 기본적인 物理的 性質에 대하여 平均年輪幅, 生材含水率, 비중 및 收縮率 등을 KS 규격에 따라 測定하였다.

#### 2.3.2. 試片의 軟化處理

試片의 軟化는 蒸煮處理를 실시하였으며 물이 끓을 때까지 가열한 후 處理槽에 甙개를 씌워서 증기를 충분히 집결시킨 다음 試片을 넣어서 포화 가열 증기를 이용 軟化하였으며 이 때의 蒸煮溫度는 99-100℃를 나타냈고 증기압은 미약한 압력을 다소 감지할 수 있을 정도의 대기압수준이었다.

處理槽의 수량이 적고 甙개 開放時間이 길수록 蒸煮溫度 回復時間이 연장되므로 본 研究에 適用된 蒸煮處理時 수량은 30 liter를 유지하고 甙개 개방 時間을 가능한 단축하여 蒸煮溫度減少를 最少化하였으며 蒸煮處理에 사용된 基本 軟化條件은 Table 2와 같다.

Table 2. Basic conditions of softening in steaming treatment.

Species	Specimen	M.C. (%)	Annual ring placement	Softening temp. (°C)	Softening time (min.)
<i>Pinus densiflora</i>	Sapwood	15+1	Flat-grain	100	30
<i>Pinus rigida</i>	Sapwood	15+1	Flat-grain	100	30
<i>Larix leptolepis</i>	Heartwood	15+1	Flat-grain	100	30

#### 2.3.3. 曲率半徑의 測定

試片을 軟化處理한 다음 翳加工裝置를 사용하여 각 曲率半徑으로 翳加工을 실시하였다. 豫備 試驗에서 얻어진 基本曲率半徑 300mm에서 1차 翳加工을 행한 후 이 曲率半徑에서 損傷이 생기면 순차적으로 보다 큰 曲率半徑으로 翳加工하고 損傷이 생기지 않으면 보다 작은 半徑으로 翳加工을 進行하였다.

그 結果 가장 적합하다고 판단되는 曲率半徑 및 그 전후의 曲率半徑에 대하여 5회 翳加工을 실시하고 얻어진 結果를 분석하여 翳加工 가능한 最小曲率半徑을 구하였다.

#### 2.3.4. 翳加工性的 評價

試片의 翳加工性 評價는 加工后의 표면상태를 관찰해서 일본 林業試驗場(1977)<sup>14)</sup>의 評價기준을 보완한 A급 (壓縮側, 引張側 모두 전혀 損傷이 없는 것), B급 (壓縮側에 약간의 압제가 보이지만 연삭에 의하여 제거될 수 있는 것), C급 (일단 휘 수는 있으나 壓縮破壞가 심한 것) 및 D급 (절손 또는 引張破壞가 심한 것)의 4단계로 구분하고 각 曲率半徑에 대해서 5본의 시편을 사용하여 A, B 급이 3개 이상일 때 翳加工 가능으로 判定하였다.

## 3. 結果 및 考察

### 3.1. 목재의 物理的 性質

供試木으로 사용된 소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 物理的 性質을 구명하고자 平均年輪幅,

Table 3. Physical properties of *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis*

Species	Width of annual ring(mm)	Specimen	M.C. in green (%)	Sp.Gr at 12%	Shrinkage (%)*		
					Rad.	Tang.	Long.
<i>Pinus densiflora</i>	0.332	Sapwood	109	0.498	4.12	7.80	0.265
		Heartwood	104	0.523			
<i>Pinus rigida</i>	0.343	Sapwood	70	0.616	4.95	7.63	0.334
		Heartwood	110	0.557			
<i>Larix leptolepis</i>	0.316	Sapwood	120	0.545			
		Heartwood	107	0.620	3.90	7.71	0.266

Note: \*Shrinkage from green to oven dry.

Table 4. Effect of sapwood and heartwood on solid wood bending of *pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis* in steaming treatment

Species	Specimen	R.O.C. tested (mm)	No. of specimens graded in bending				Bending possibility	Minimum R.O.C. (mm)
			A	B	C	D		
<i>Pinus densiflora</i>	Sapwood	320	3	2			PS	300
		300	2	2	1		PS	
		280		2	3		IS	
	Heartwood	320	1	3	1		PS	320
		300	1	1	3		IS	
		280		2	3		IS	
<i>Pinus rigida</i>	Sapwood	300	3	1	1		PS	280
		280	2	2	1		PS	
		260	1	1	3		IS	
	Heartwood	260	4	1			PS	240
		240	2	1	2		PS	
		220	1	1	2	1	IS	
<i>Larix leptolepis</i>	Sapwood	360	1	3	1		PS	340
		340	2	1	2		PS	
		320		2	2	1	IS	
	Heartwood	340	4	1			PS	320
		320	3	1	1		PS	
		320	1	1	3		IS	

Note: R.O.C.: Radius of curvature

A: without bending failure

B: with minor compressive failure - negligible for practical use - in the concave side

C: with remarkable compressive failure

D: with breakage or tension failure

PS: possible, IS: impossible

生材含水率, 比重, 收縮率 등을 測定하였으며 그 결과를 종합한 평균치는 Table 3과 같다.

### 3.2. 목재의 素材翳加工性

#### 3.2.1. 변. 심재

소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 蒸煮處理時 변. 심재가 목재의 翳加工성에 미치는 影響을 조사한 結果는 Table 4와 같다.

소나무의 경우 蒸煮處理時 변재는 曲率半徑 320mm에서 翳加工이 거의 완벽하였고 300mm에서는 C급 壓縮破壞가 1개 있었으나 翳加工이 가능하였으며 280mm에서는 壓縮破壞가 심하여 翳加工이 불능으로 판정되므로서 이때의 最小 曲率半徑은 280mm으로 결정되었다. 마찬가지로 심재는 320mm에서 翳加工이 가능하였으나 300mm이하에서는 불능으로 판정되어 最小曲率半徑은 320mm로 결정되므로서 변재의 翳加工성이 심재보다 다소 良好하였다.

So, W.T.(1985)<sup>9)</sup>의 研究에서 蒸煮翳加工時는 소나무의 변. 심재간 차이가 없으나 자비翳加工時는 변재의 翳加工성이 심재보다 良好하였다고 發表한 내용과 대비되며 千葉大學(1961)<sup>17)</sup>에서 제시한 곡목용재의 선택조건으로 引張強度가 크고 유연성이 좋은 변재가 심재보다 적합하다는 研究結果와 一致된다고 할 수 있다.

그러나 리기다소나무는 蒸煮處理時 변재와 심재의 最小曲率半徑이 각각 280mm, 260mm로서 심재의 翳加工성이 오히려 良好하였고 낙엽송의 경우도 심재의 最小曲率半徑이 320mm로서 변재의 340mm보다 작게 나타났다. 따라서 전술한 千葉大學(1961)<sup>17)</sup>의 내용이나 Stevens, W.C.와 Turner, N. (1970)<sup>12)</sup>이 제안한 곡목용으로는 편심생장재나 심재부근의 목재는 피하는 것이 안전하다는 사실들은 곡목이용의 주樹種인 활엽수에 근거한 것으로 본 研究에서 試驗한 針葉樹種에는 適用되지 않는 즉 樹種에 따른 特性으로 해석되어야 할 것으로 생각된다.

특히 리기다소나무는 수령이 어리고 직경이 작

아서 심재용 試片의 대부분이 수심의 일부를 포함하고 있었으나 수심부위의 유연성이 매우 우수하여 翳加工이 용이한 특징을 보여주기도 하였다.

#### 3.2.2. 年輪角度

翳加工면에 대한 年輪의 角度를 0°(板目材), 45°(追徑目材) 및 90°(柎目材)의 3가지로 구분하여 소나무와 리기다소나무의 변재, 낙엽송의 심재에 대한 翳加工성에 미치는 影響을 조사한 結果는 Table 5와 같다.

소나무는 蒸煮翳加工時 年輪角度 0°에서 最小 曲率半徑 300mm, 45°에서 320mm, 90°에서 280mm로 追徑目材의 翳加工성이 가장 불량하고 柎目材가 가장 良好하였다. 이는 板木材와 柎目材는 翳加工력의 작용방향에 대하여 年輪구조가 平行 또는 수직으로 배열을 하고 있으므로 加工時의 변형이 均일하게 進行되지만 追徑目材는 경사진 배열을 이루고 있어서 비중이 상이한 棼棼材사이에 剪斷應力이 발생하게 되고 이것이 기존의 壓縮應力과 함께 세포막의 破壞를 촉진하는 尙重要인인으로 작용한 때문이라고 생각된다.

Peck, E.C. (1948)<sup>6)</sup>는 翳加工면에 대한 年輪方向의 影響이 극심한 曲率에서는 實제적으로 중요하지만 비교적 완만한 曲率에서는 그다지 문제되지 않고 年輪이 翳加工면에 平行 또는 수직되게 절삭하는 것이 경사진 木理를 갖는 것보다 棼손이 적다고 지적한 보고는 본 研究의 結果와 一致하였다.

한편 3樹種 공히 柎目材의 翳加工이 비교적 良好하게 나타났는데 軟化처리재의 翳加工時 板目材는 강도가 약한 棼棼材부위가 쉽게 棼그러지면서 전체적인 내면의 壓縮破壞를 유도하는데 비하여 柎目材는 강한 棼棼材부위가 翳應力을 흡수하여 壓縮破壞의 발생을 지연시키는 것이 관찰되었으며 southern pine을 사용한 Lemoine, T.J. (1971)<sup>5)</sup>의 研究에서도 柎目木理를 갖는 목재가 板目材보다 더 작은 曲率半徑으로 翳加工가능하였다고 發表한 바 있다.

Table 5. Effect of annual ring placement to bent plane on solid wood bending of *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis* in steaming treatment

Species	Annual ring placement (°)	R.O.C. tested (mm)	No. of specimens graded in bending				Bending possibility	Minimum R.O.C. (mm)
			A	B	C	d		
<i>Pinus densiflora</i>	0	320	3	2			PS	300
		300	2	2	1		PS	
		280		2	3		IS	
	45	320	2	2	1		PS	320
		280	1	1	3		IS	
		260	1		4		IS	
	90	300	1	3	1		PS	280
		280	2	2	1		PS	
		260	1	1	3		IS	
<i>Pinus rigida</i>	0	300	3	1	1		PS	280
		280	2	2	1		PS	
		260	1	1	3		IS	
	45	300	4	1			PS	280
		280	3	1	1		PS	
		260	1	1	2	1	IS	
	90	280	2	2	1		PS	260
		260	2	1	2		PS	
		240	1	1	3		IS	
<i>Larix leptolepis</i>	0	340	4	1			PS	320
		320	3	1	1		PS	
		300	1	1	3		IS	
	45	360	1	2	2		PS	360
		340	1		4		IS	
		320		2	3		IS	
	90	320	2	2	1		PS	300
		300		3	2		PS	
		280		1	4		IS	

Note: R.O.C. (Radius of curvature)

### 3.2.3. 軟化處理時間

소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 處理時間이 靱加工性에 미치는 影響을 구명하고자 軟化하지 않은 無處理에서 120분까지 5개 번이를 주어 蒸煮靱加工을 실시해서 얻어진 結果를 Fig.2에 표시하였다.

소나무의 蒸煮靱加工時 無處理材의 靱加工 가능한 最小曲率半徑이 600mm이었으나 蒸煮時間 15분만에 最小值 280mm에 이르게 되어 軟化處理의 影響

이 매우 크게 작용함을 알 수 있었으며 30분 이상 연장 軟化해도 軟化效果의 부가적인 增大는 얻을 수 없었다.

리기다소나무도 소나무와 마찬가지로 蒸煮時間 15분에서 최대의 可塑化效果가 인정되었으며 낙엽송은 軟化時間 30분에서 최대의 可塑化效果가 나타나므로서 他樹種보다 軟化에 소요되는 時間이 길었는데 일반적으로 비중이 클수록 軟化速度가 느리고 낙엽송의 비중이 他樹種보다 다소 높

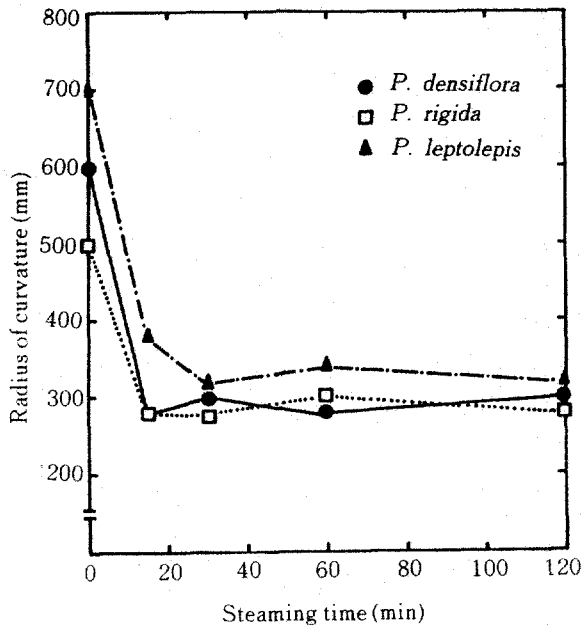


Fig. 2. Relation between steaming time and minimum radius of curvature.

은 점은 있으나 그 차이가 매우 적은 것으로 볼 때 비중만의 문제 이외에 樹種 固有의 軟化特性 등이 복합적으로 작용한 때문이라고 사료된다. 계속해서 낙엽송의 軟化時間 30분 이상에서 曲率변화가 없었는데 長時間 處理에 의한 過度軟化는 蒸煮翳加工에서는 보이지 않았다.

이는 Saito, Y. 등 (1951)<sup>7)</sup>이 너도밤나무 10x10 mm재를 1시간 이상 자비했을 때 벌써 과도한 軟化가 나타났으나 蒸煮處理時는 軟化과도현상 이거의 일어나기 어렵다고한 研究內容과 一致하고 있다.

따라서 供試樹種에 대한 適正軟化處理時間은 소나무와 리기다소나무는 15분 이상, 낙엽송은 30분 이상으로 생각되며 지나친 軟化는 과도한 軟化의 위험이 있으므로 가능한 軟化時間을 단축시키는 것이 에너지 절약상으로도 유리하다고 판단된다. 이를 목재의 단위두께당 時間으로 환산하면 각각 1.0분/mm과 2.0분/mm인데 軟化處理時間에 관한 研究로서 Saito, Y. 등(1951)<sup>7)</sup>은 너도밤나무 10x10mm재의 軟化處理가 蒸煮에서 15분 이상이 적당하고 Jorgensen, R.N.(1968)<sup>4)</sup>은 含水率 12-20% 두께 25mm의 hickory재를 蒸煮하는데 20

-40분이 소요되며 Peck, E.C. (1968)<sup>6)</sup>는 white oak 25x25mm의 含水率 15%재는 60분간의 蒸煮時間이 필요하나 25%재는 20분으로 충분하다고 보고한 바 있다. 또한 Stevens, W.C.와 Turner, N. (1970)<sup>13)</sup>은 100℃ 자비에 재두께 25mm당 45분이 적당하고 Hoadley, R.B.(1980)<sup>1)</sup>는 기건재 25mm당 1時間 蒸煮와 생재 25mm당 30분간 자비를 제안하였는데 研究자와 樹種 및 軟化方法별을 약간의 차이를 보이고 있으나 본 研究의 結果가 대체로 이들이 제시한 軟化處理時間 범위에 포함된다고 할 수 있다.

#### 3.2.4. 木材含水率

軟化處理 이전의 木材含水率을 5%에서 30%까지 5단계로 구분하여 소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 蒸煮翳加工性을 조사한 結果는 Fig. 3과 같다.

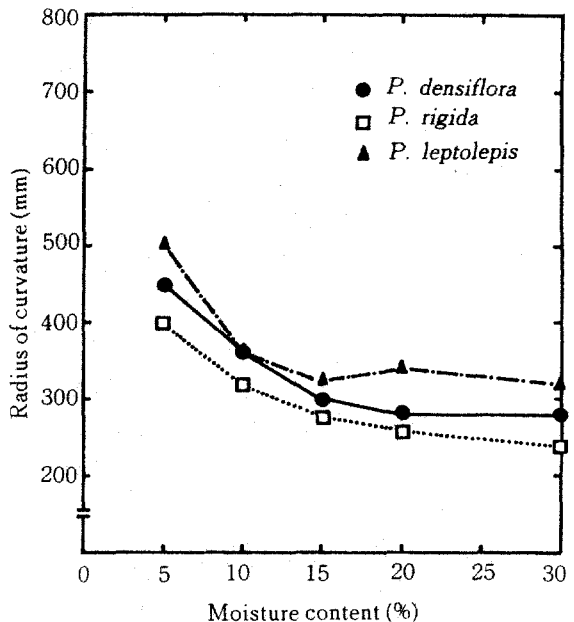


Fig. 3. Relation between moisture content of lamina and minimum radius of curvature

소나무의 蒸煮翳加工時 最小曲率半徑은 含水率 5%일 때의 450mm에서 含水率이 증가함에 따라 현저하게 減少하여 30%일 때는 280mm까지 翳加工이 가능하므로 목재의 含水率이 翳加工性에



미치는 影響이 매우 크게 나타났으며 리기다소나무와 낙엽송도 마찬가지로 含水率 5%일 때 각각 曲率半徑 400mm와 500mm에서 30%일 때 240mm와 320mm로 減少하여 동일한 경향을 나타냈다.

소나무는 含水率 20%에서 曲率半徑의 最小值 280mm에 이르고 섬유포화점에서도 280mm를 유지하였으며 낙엽송 또한 含水率 15%일 때 曲率半徑의 最小치 320mm에서 30%일 때도 같은 曲率을 나타낸 것으로 볼 때 기건含水率 이상의 생재含水率에서 良好한 靱加工性이 인정되며 특히 리기다소나무는 含水율이 증가할수록 曲率半徑이 減少하여 섬유포화점인 30%에서 가장 작은 曲率인 240mm를 나타내므로써 생재의 蒸氣靱加工이 유리함을 보여주었다.

So, W.T.(1985)<sup>9)</sup>의 研究에서 상수리나무가 含水率 30%이상에서 曲率半徑이 증가하는 경향을 보이고 있는 데 이는 상수리나무같이 100mm이하의 극심한 曲率로 될 때는 壓縮면의 應力 및 변형이 매우 커서 수축되지 않은 자유수를 다량 함유하고 있는 생재로서는 목재가 破壞되지 않고 이를 흡수하기 어렵기 때문이라고 해석하고 있으나 본 研究는 針葉樹種과 같이 완만한 曲率로 될 때는 생재가 기건재보다 유연하므로 靱加工時 심하지 않은 壓縮면의 應力과 변형을 보다 균일하게 흡수할 수 있다고 생각한다.

이에 대한 기존 研究를 보면 Jorgensen, R.N.(1965)<sup>2)</sup>이 생재는 세포내에 많은 자유수를 함유하고 있으므로 靱加工時 외력에 대하여 기계적으로 壓縮되지 않은 性質을 가진 이 수분이 壓縮面 세포막의 壓縮變形을 제한하여 결국 세포막이 과열되고 이것이 표면으로 발전하여 壓縮破壞현상을 나타낸다고 하였으며 Peck, E.C. (1968)<sup>6)</sup>와 Wangaard, F.F. (1952)<sup>14)</sup>도 생재는 높은 수압으로 압력을 일으키기 쉽고 Stevens, W.C.와 Turner, N. (1970)<sup>13)</sup>역시 elm, sweetchestnut 및 oak와 같은 樹種을 생재상태에서 작은 半徑으로 휘면 과다한 수분의 압력작용으로 세포막이 破壞되는 경향을 보인다고 發表한 바 있다.

본 研究의 供試樹種은 공히 섬유포화점에서 가장 良好한 靱加工性을 나타낸 것으로 볼 때 蒸氣靱加工을 실시하기 위하여 목재를 乾燥시킬 필요는 없으며 오히려 지나친 기건재는 생재에 가압되도록 含水率을 높여주는 것이 바람직하다고 판단된다. 그러나 千葉大學(1961)<sup>13)</sup>에서 高含水率재는 乾燥에 요하는 時間이 오래 걸리므로 약 20%의 天然乾燥材가 적당하다고 하였으며 Wanraard, F.F. (1952)<sup>14)</sup>는 靱加工時 목재를 가열하여 壓縮性있게 하는 데 필요한 含水率로 25-30%를 제안하였다.

지금까지 靱加工에 대한 몇가지 相關인자의 影響을 조사해서 얻어진 最適조건은 Table 6과 같이 종합되며 이들 조건을 適用하여 소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 蒸氣靱加工을 실시한 結果는 Table 7과 같다. 다만 리기다소나무의 경우 심재의 靱加工性이 변재보다 良好하게 나타났으나 供試原木의 심재율이 4%에 불과하여 심재試片의 대부분이 수심을 포함하고 있으며 수심의 재질은 취약하고 매우 불규칙하기 때문에 정상적인 심재 靱加工性의 대표치로 인정하기 어렵고 다량의 심재試片 제조가 불가능하므로 변재를 기준해서 靱加工試驗을 실시하였다.

樹種간 靱加工性은 리기다소나무가 曲率半徑 220mm까지 靱加工性을 가지고 있으며 낙엽송은 300mm로서 가장 열등한 靱加工性을 나타냈으나 樹種間 靱加工性의 차이는 심하지 않았다. 3樹種 공히 引張破壞는 발생하지 않고 壓縮破壞만 발생하였으며 낙엽송은 특히 壓縮性이 불량하여 경미한 壓縮破壞보다는 심한 壓縮破壞가 발생하는 경향이 보였다.

한편 피곡목재의 두께(t)와 最小曲率半徑(r)의 비(r/t)는 樹種, 재질 및 軟化方法등에 따라 달라지나 蒸氣處理時의 대략적인 기준은 引張帶鐵을 사용할 경우 활엽수에서  $r/t \geq 10$ , 침엽수에서  $r/t \geq 15$ 로 밝혀져 있는데 본 研究의 蒸氣靱加工時 소나무  $r/t \geq 17.3$ , 리기다소나무  $r/t \geq 16.0$  및 낙엽송  $r/t \geq 20.0$ 으로서 3樹種 모두 이들 기준보다

Table 6. Optimum conditions tested for solid wood bending of *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis*

Contents	<i>Pinus densiflora</i>	<i>Pinus rigida</i>	<i>Larix leptolepis</i>
Specimen	Sapwood	Sapwood	Heartwood
Annual ring placement	Edge grain	Edge grain	Edge grain
M.C. (%)	30	30	30
Softening temp. (°C)	100	100	100
Softening time (min.)	15	15	30

Table 7. Solid wood bending of *Pinus densiflora*, *Pinus rigida*, and *Larix leptolepis* at optimum conditions by steaming

Species	R.O.C. tested (mm)	No. of specimens graded in bending				Bending possibility	Minimum R.O.C. (mm)
		A	B	C	d		
<i>Pinus densiflora</i>	280	2	2	1		PS	260
	260	1	3	1		PS	
	240	1	1	3		IS	
<i>Pinus rigida</i>	260	3	1	1		PS	240
	240	2	1	2		PS	
	220	1	1	3		IS	
<i>Larix leptolepis</i>	320	3		2		PS	300
	300	2		3		PS	
	280	1	1	3		IS	

Note: R.O.C. (Radius of curvature)

輻加工性이 열등하게 나타났다.

Schuerch, C. (1964)<sup>8)</sup>가 지적한 침엽수와 같이 저밀도 樹種은 고밀도 수종보다 壓縮破壞가 쉽게 발생한다고 한 것처럼 供試樹種이 비교적 큰 曲率半徑에서도 압력이 발생하여 輻작업이 진행됨에 따라 壓縮破壞로 발전되는 경향을 나타냈다. 이와같이 壓縮破壞가 심한 樹種은 내면에 壓縮性이 우수한 樹種의 라미나를 접착하여 輻작업을 용이하게 한 후 마무리공정에서 切削 제거하는 方法이 Stevens, W.C.와 Turner, N. (1950)<sup>11)</sup>에 의하여 시

도된 바 있는데 접착성이 좋은 耐熱接着劑를 사용하면 침엽樹種의 曲率限界를 감소시키는 데 도움이 되리라고 생각한다.

#### 4. 摘 要

본 研究는 장기간 造林獎勵樹種으로서 전국에 식재되어 이미 충분한 공급량을 확보하고 있으나 품질이 불량해서 외면당하고 있는 리기다소나무 및 낙엽송과 우리나라 天然自生樹種이며 임목축적량이 많은 소나무를 供試木으로 선정하여 曲木

加工分野에서 널리 이용되고 있는 蒸煮法에 의한 素材翳加工性を 조사하였다.

이 때 사용된 翳加工試片의 일반크기는 두께와 폭 15mm, 길이 350mm로 제작하였으며 試片의 含水率은 15+1%로 調濕된 氣乾試片을 사용하였다.

본 研究에서 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 변재와 심재별 最小曲率半徑은 각각 소나무 300-260mm 및 320-260mm, 리기다소나무 280-240mm 및 240-220mm, 낙엽송 340-300mm 및 320-300mm로서 소나무는 변재, 리기다소나무와 낙엽송은 심재의 翳加工성이 다소 良好하였다.

(2) 板目材, 追板目材 및 柱目材別 最小曲率半徑은 각각 소나무 300-260mm, 320-260mm 및 280-240mm, 리기다소나무 280-240mm, 280-240mm 및 260-220mm, 낙엽송 320-300mm, 360-340mm 및 300-320mm로서 대체로 柱目材의 翳加工성이 가장 良好하였다.

(3) 翳加工을 위한 소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 最小軟化處理時間은 蒸煮處理時 각각 15분, 15분 및 30분 이었다.

(4) 翳加工을 위한 適正含水率은 3樹種 모두 纖維飽和點인 30%에서 최대 翳加工성을 나타냈으며 그 이상 乾燥시켜도 翳加工성의 向上은 얻을 수 없었다.

(5) 본 試驗에서 얻은 最適조건(Table 6)으로 翳加工을 실시한 結果 소나무, 리기다소나무 및 낙엽송의 最小曲率半徑은 蒸煮處理時 각각 260mm, 240mm 및 300mm이었다.

### 參 考 文 獻

- Hoadley, R.B. 1980. Understanding wood. A craftsmen's guide to wood. A craftsman's guide to wood technology. The Taunton Press: 193-201.
- Jorgensen, R.N. 1965. Furniture wood bending. Part I. An inquiry into the theory and practice of bending wood. Furniture Design & Manufacturing. 37(12): 60, 62.
- Jorgensen, R.N. 1966. Furniture wood bending. Part II. An inquiry into the theory and practice of bending wood. Furniture Design & Manufacturing. 38(1): 67-68.
- Jorgensen, R.N. 1968. Steam bending of hickory. Hickory Task Force Report. N. 11: 1-12.
- Lemoine, T.J., and Koch, P. 1971. Steam bending properties of southern pine. Forest Prod. J. 21(4): 34-42.
- Peck, E.C. 1968. Bending solid wood to form. Agr. Handbook 125. USDA Forest Ser.: 1-37.
- Saito, Y., Kitahara, K., and Ishii, K. 1951. Experimental study of the wood bending. Wood Industry. 6(1): 12-17.
- Schuerch, C. 1964. Principles and potential-wood plasticization. Forest Prod. J. 14(9): 377-381.
- So, W.T. 1985. Effects of boiling, steaming, and chemical treatment on solid wood bending of *Quercus acutissima* Carr. and *Pinus densiflora* S.et.Z. Wood Sci. & Tech. 13(1): 19-62.
- Stevens, W.C. and Turner, N. 1948. Solid and laminated wood bending. Forest Prod. Res. Lab., Dep. Sci. & Ind. Res.: 1-71.
- Stevens, W.C. and Turner, N. 1950. A method of improving the steam bending properties of certain timbers. Wood(London) 15: 79-84.
- Stevens, W.C. and Turner, N. 1970. Wood bending handbook. Forest Prod. Lab. 110pp.
- Wangaard, F.F. 1952. The steam-bending of beech. Beech utilization series No. USDA Forest Serv. Northeastern Technical Committee on the Utilization of Beech in Cooperation with Northeastern Forest Exp. Sta.:

- 1-24.
14. Working group on utilization of tropical woods. 1977. Properties of some Papua New Guinea woods relating with manufacturing process V. Bull. Gov. For. Exp. Sta. No. 295: 175-220.
15. 山本晴之, 阿部精彌, 炭本照行, 近藤龍平. 1952. 木林의 曲半徑의 限界實驗. 木材工業 7(5): 24—225.
16. 小島班司. 1948. 曲木工業의 沿革. 木材工業 3(10): 16-19.
17. 千葉大學工學部 建築科 木林工藝學 教室編. 1961. 木材加工, 室內計劃便覽. 産業圖書(株): 638—644.