

최 중  
연구보고서

국산 소경제 및 폐잔재를 이용한 Com-Ply  
제조와 경제성 분석

Com-Ply manufacture using domestic  
thinning logs and waste wood, and  
economic analysis

연구기관  
영남대학교  
(경북대학교, 국민대학교)

농림부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국산 소경재 및 폐잔재를 이용한 Com-Ply 제조와 경제성 분석”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2003년 8월 7일

주관연구기관명 : 영남대학교

총괄연구책임자 : 오 용 성

연구 조 원 : 곽 준 혁

협동연구기관명 : 경북대학교

협동연구책임자 : 최 관

연구 원 : 한 상 열

협동연구기관명 : 국민대학교

협동연구책임자 : 차 재 경

연구 조 원 : 천 준 호

연구 조 원 : 임 장 혁

연구 조 원 : 정 형 배

# 요 약 문

## I. 제 목

국산 소경재 및 폐잔재를 이용한 Com-Ply 제조와 경제성 분석

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

건축과 가구제작 등 목재 가공품에 대량으로 사용되는 파티클보드, 합판 등은 그 원료가 되는 중·대경원목 등 양질의 목재자원의 고갈로 인해 원목의 확보가 점차 어려워지고 가격이 등귀하게 됨에 따라 간벌 소경재, 폐목재 등의 목재자원을 이용할 수 있는 시도가 시급한 실정이다. 또 산림의 지속 가능한 경영에 대한 국제적 움직임은 해외 목재자원에 의존율이 매우 큰 국내의 목재수급에도 커다란 영향을 미치는 바, 해외 산림자원국의 원목생산 및 수출금지과 자국생산 목가공재의 수출 전략화 정책에 대비한 새로운 목재수급 대책이 요구되고 있다.

이런 시대적 상황을 인식한 여러 연구소와 연구가들은 간벌 소경재 및 목재폐기물의 재활용에 대한 많은 연구를 기울이고 있다. 그러나 이들 주제는 대부분의 목재의 화학적 방법에 의한 목질계 자원의 이용에 연구되고 있으며, 목질보드제품의 원료로의 이용은 빈약한 실정이다. 그러므로 본 연구팀은 국산 간벌 소경재 및 폐잔재를 원료로 하는 Com-Ply를 제조하고 성능을 평가하고자 본 연구를 시도하였다.

## III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 국산 간벌 소경재, 폐목재로부터 Com-Ply를 제조하였으며, 그 주요 개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

1. 접착제 제조 및 국산재로 제조된 Com-Ply와 합판의 성능평가
  - 가. 국산 간벌재 및 폐잔재로 파티클보드의 제조 및 성능 평가
  - 나. 국산재로부터 합판의 제조 및 성능평가
  - 다. 국산재로부터 Com-Ply 제조 및 성능평가
  
2. 국산재로 제조된 Com-ply와 합판의 기계적 평가
  - 가. 파티클보드의 성능평가
  - 나. 합판의 성능평가
  - 다. Comply의 성능평가
  - 라. 국산 간벌 소경재의 성능평가
  
3. 국산 소경재 및 폐잔재 등을 이용한 Com-Ply 제조와 경제성 분석
  - 가. 국내 목재·목제품 생산현황
  - 나. 폐목재 발생량 및 추정
  - 다. Com-Ply의 경제성 분석
  - 라. Com-Ply 잠재 수요자 조사분석

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

본 연구과제를 통해 국산 간벌 소경재 및 폐목재를 목질보드산업의 원료로서 이용 가능성을 연구하였다. 국산 간벌 소경재 및 폐목재로 제조된 목질보드의 성능은 한국표준협회의 파티클보드 및 합판에서 규정하는 최소 요구치 이상을 보여주는 우수한 결과였다.

국내의 목재시장은 목재자원수급에 해외 의존도가 매우 높다. 반면에 국내의 산림은 지속적인 간벌작업을 요하고 있는 시점이다. 이런 간벌작업에서 발생하는 간벌 소경재를 적절히 이용하여 목질보드산업의 원료로 사용할 수 있다. 21세기에는 전

세계적으로 산림의 지속 가능한 경영을 좀더 요구하고 있는 실정이다. 또 지속 가능한 산림에서 생산된 목제품만이 상품화 될 수 있는 시대적 배경에 있다. 이런 국제적 움직임은 해외 목재자원에 의존율이 큰 국내의 목재 수급에 새로운 대책이 요구되고 있다. 따라서 본 연구의 결과는 이런 주변 상황을 고려해 볼 때, 의미가 큰 연구라고 판단된다.

국산 간벌 소경재 및 폐잔재를 원료로 하는 Com-Ply의 경제적 분석을 생산공정을 중심으로 한 생산원가 비교·분석을 실시하였다. 그 결과 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 일반합판 (콘크리트 패널)의 국내 생산원가는 8,679원으로 분석되었으며, 국외 생산원가는 7,510원으로 분석되었다. 국내 합판 생산공장 설비를 기준으로 Com-Ply 공정을 설정하여 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 Com-Ply 생산원가를 분석한 결과 7,455원으로 분석되었다. 따라서 국내 간벌 소경재 및 폐잔재를 이용한 Com-Ply는 합판 대체재로서 경제성이 있는 것으로 나타났다.

국내 간벌 소경재 및 폐잔재를 이용한 Com-Ply는 합판대체재로서 경제성이 있는 것으로 나타났으나, 수요자 조사 분석에서는 낮은 인지도와 함께 생산·구매의향이 예상한 것보다 높게 나타나지 않았다. 따라서 앞으로 Com-Ply의 실용화를 위해서는 제품화에 대한 홍보 및 인지도를 강화시켜야 하며, 동시에 임업의 진흥과 환경친화적이고 지속가능한 사회의 구축이라는 측면에서 Com-Ply에 대한 생산과 소비 촉진을 위한 정부의 적절한 지원대책이 강구되어야 한다.

## Summary

### I. Title of Research Project

Com-Ply manufacture using domestic thinning log and waste wood, and economic analysis

### II. Target of Project

The target of this research project was to evaluate the performance Com-Ply made from domestic thinning logs and waste wood as raw material.

### III. Results and application of the project

**Adhesive synthesis, and performance evaluation of Com-Ply and plywood from domestic logs**

Thinning logs, which are *Pinus rigida* Miller, *Pinus densiflora* Siebol et Zuccarini, *Larix leptolepis* Gordon, and *Quercus acutissima* Carruthers, and waste wood were used as raw material for particleboard (PB). PBs were manufactured with synthesized urea-formaldehyde (UF) resin at 6 percent resin solids level, oven-dry particle weight basis, and cured at 5 minutes hot-press time (162°C). The PBs were tested for physical strength and dimensional stability properties by KS F 3104 procedures. PB test results showed that the PB's physical/mechanical properties indicated that thinning logs and waste wood are suitable raw materials for PB.

A UF resin was formulated in the laboratory for plywood manufacture. The UF resin was mixed with extender, filler, and  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . The mixture was used to bond three softwood plywood types under  $120^\circ\text{C}$ , 1379 kPa, and 4 minutes hot-pressing conditions. The plywood panels were tested after a 3-hour soak in  $60^\circ\text{C}$  water aging method and dry shear strength test of KS F 3101. Plywood shear strength and wood failure exceeded the interior plywood standards.

Five types of Com-Plys were made from domestic species and waste wood using UF resin. The Com-Plys were tested for physical strength and dimensional stability properties by KS F 3104 procedures. Com-Plys test results showed that the Com-Plys showed good physical/mechanical properties.

### **Evaluation of mechanical properties for Com-Ply and plywood manufactured from domestic thinning logs**

Particleboard (PB) manufactured by four domestic species of pitch pine (*Pinus rigida* Mill.), Japanese red pine (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc), Japanese larch (*Larix leptolepis* Gordon), and sawtooth oak (*Quercus acutissima* Carr.) was carried out for flexure, linear expansion (LE), wood screw withdrawal, and nail push-through tests.

MOE and LE values of PB made from the domestic species were satisfied the ANSI requirement for grade M-1. LE of PB was increased with increasing the PB density. Wood screw withdrawal loads are strongly dependent on the direction of wood screw positions. The average load values for the wood screw withdrawal in edge are higher in high density PB manufactured by sawtooth oak, Japanese larch and pitch pine than those in face. However, the average wood screw withdrawal loads of low density PB by Japanese red pine in edge are

lower than those in face. The average load values for nail push-through are strongly dependent on the predrilled hole diameters. The loads for nail push-through are increased with decreasing the predrilled hole diameters. However, the nail withdrawal load increased with increasing the predrilled hole diameters.

Flexural, LE, and nail push-through and withdrawal tests were also carried out for 3-ply plywood made from domestic small diameter logs of pitch pine, Japanese red pine, Japanese larch, and sawtooth oak to evaluate the flexural properties, the LE, and the nail push-through and withdrawal loads of plywood.

Regression equation relating MOR to stress wave-MOE was established for all plywood, and useful correlation between flexural MOE and stress wave MOE was found. The ratio of LE coefficients between parallel direction to face grain and perpendicular direction to face grains for plywood was increased with increase of plywood density. The loads for nail push-through are increased with decreasing the predrilled hole diameters. However, the nail withdrawal load increased with increasing the predrilled hole diameters.

LE, and wood screw withdrawal tests were carried out for commercial-PB and Com-Ply to evaluate the (LE), and the wood screw withdrawal loads of plywood. Com-Ply manufactured by commercial PB core and veneers (for face and back) made from domestic small diameter logs of pitch pine, Japanese red pine, and Japanese larch.

LEs of Com-Ply manufactured from thinning logs were lower than those of commercial PB. And the average wood screw withdrawal loads for Com-Ply manufactured from thinning logs was 14.8% higher than that of commercial PB.

Static bending, LE, and wood screw withdrawal tests were carried out on



small clear wood from various domestic small diameter logs of pitch pine, Japanese red pine, sawtooth oak, and Japanese larch to evaluate the flexural properties, LE, and the wood screw withdrawal loads.

MOR and MOE values of small clear specimen were depended on the species. The highest density of sawtooth oak shows the highest values of MOR and MOE. However, the lowest density of Japanese larch shows the lowest values of MOR. It was also shown that flexural properties could be predicted by stress wave MOE, since the correlations between stress wave MOE and flexural properties were relatively good. The LE of tangential direction are around two times greater than that of radial direction. And the high density species shows the higher values of LE than that of low density species. Wood screw withdrawal loads are strongly dependent on the direction of wood screw positions. The average load values for the wood screw withdrawal both in cross section and longitudinal section are higher in high specific gravity (SG) wood of sawtooth oak than those in low SG wood of Japanese red pine and pitch pine. The average ratio of wood screw withdrawal loads on side-grain and end-grain are higher in the high SG wood than that in the low SG of wood. Good correlations were obtained between wood screw withdrawal load and SG.

### **Com-Ply economic analysis, and potential supply feasibility analysis of raw materials**

The large size timber which is used as the raw material for plywood has been depleting and the price of these resources has been increasing. Therefore, the development of new type of panel which is able to replace the plywood is crucial. The Com-Ply which can be made of small size timber and waste wooden

material is considered as one of the most prominent substitute for plywood. In this study economic analyses for Com-Ply was done focusing on the manufacturing cost and compared with those of plywood. The manufacturing cost for domestic plywood (910 × 1,820 × 12 mm) is analysed as 8,679 won, foreign plywood as 7,510 won and com-ply as 7,455 won, respectively. This result confirms the economic feasibility of Com-Ply.

#### **IV. Suggestions**

It is analyzed that the manufacturing of Com-Ply using domestic small size timber and waste wooden material has economic feasibility. However, the result of consumer survey shows that the consumer's knowledge of and willingness to buy this product are comparatively low. To promote the manufacturing and consuming of this product, information about this product must be given to the public. Also, some proper policy measure must be introduced in terms of promotion of forestry and establishment of environmentally sustainable society.

# Contents

Chapter 1. Outline of project .....	15
Chapter 2. Status of technology in domestic and abroad .....	17
Chapter 3. Content and results .....	19
Section 1. Adhesive synthesis, and performance evaluation of Com-Ply and plywood from domestic logs .....	19
1. Introduction .....	19
2. Particleboard from domestic thinning logs and waste wood, and performance evaluation .....	20
3. Plywood from domestic and performance evaluation .....	26
4. Com-Ply from domestic logs and performance evaluation .....	32
5. Result .....	38
Section 2. Mechanical evaluation of Com-Ply and plywood from domestic logs .....	40
1. Introduction .....	40
2. Performance evaluation of particleboard .....	41
3. Performance evaluation of plywood .....	57
4. Performance evaluation of Com-Ply .....	69
5. Performance evaluation of domestic thinning logs .....	76
Section 3. Com-Ply manufacture using domestic small diameter logs and waste wood, and economic analysis .....	91
1. Introduction .....	91
2. Study range and method .....	97
3. Production of domestic wood products .....	98
4. Waste wood generation and estimation .....	124

5. Economic analysis of Com-Ply .....	135
6. Potential consumer survey analysis of Com-Ply .....	152
7. Result .....	156
Chapter 4 Contribution to related industry .....	161
Chapter 5 Application .....	163
Chapter 6 Technical information from abroad during the research .....	164
Chapter 7 Literature cited .....	165

# 목 차

제 출 문 .....	1
요 약 문 .....	2
I. 제 목 .....	2
II. 연구개발의 목적 및 필요성 .....	2
III. 연구개발 내용 및 범위 .....	2
IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의 .....	3
Summary .....	5
Contents .....	10
목 차 .....	12
제 1 장 연구개발과제의 개요 .....	15
제 2 장 국내외 기술개발 현황 .....	17
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 .....	19
제 1 절 접착제 제조 및 국산재로 제조된 Com-Ply와 합판의 성능평가 .....	19
1. 서설 .....	19
2. 국산 간벌재 및 폐잔재로 파티클보드의 제조 및 성능평가 .....	20
가. 재료 및 방법 .....	20
나. 결과 및 고찰 .....	22
3. 국산재로부터 합판의 제조 및 성능평가 .....	26
가. 재료 및 방법 .....	26
나. 결과 및 고찰 .....	29
4. 국산재로부터 Com-Ply 제조 및 성능평가 .....	32
가. 재료 및 방법 .....	32
나. 결과 및 고찰 .....	35
5. 결론 .....	38

제 2 절	국산재로 제조된 Com-Ply와 합판의 기계적 평가	40
1.	서설	40
2.	파티클보드의 성능평가	41
가.	재료 및 방법	41
나.	결과 및 고찰	47
다.	결론	56
3.	합판의 성능평가	57
가.	재료 및 방법	57
나.	결과 및 고찰	61
다.	결론	68
4.	Com-Ply의 성능평가	69
가.	재료 및 방법	69
나.	결과 및 고찰	72
다.	결론	75
5.	국산 간벌 소경재의 성능평가	76
가.	재료 및 방법	76
나.	결과 및 고찰	80
다.	결론	86
제 3 절	국산 소경재 및 폐잔재를 이용한 Com-Ply 제조와 경제성 분석	91
1.	서설	91
2.	연구범위 및 방법	97
3.	국내 목재·목제품 생산현황	98
4.	폐목재 발생량 및 추정	124
5.	Com-Ply 의 경제성 분석	135
6.	Com-Ply 잠재 수요자 조사 분석	152
7.	결론	156
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도	161
제 5 장	연구개발결과의 활용계획	163

제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 .....	164
제 7 장	참고문헌 .....	165

## 제 1 장 연구개발과제의 개요

1992년 리우데자네이로 환경 및 개발에 관한 협정에서 전체 산림의 관리, 보존, 그리고 지속적 개발에 관한 전 세계적인 합의로 모든 목재소비회원국들은 산림의 지속 가능한 경영을 선도해 나갈 것을 선언하였다 (산림청 1994). 이런 국제적 움직임은 해외 목재자원에 의존율이 매우 큰 국내의 목재수급에도 커다란 영향을 미치는 바, 해외 산림자원국의 원목생산 및 수출금지과 자국생산 목가공재의 수출 전략화 정책에 대비한 새로운 목재수급 대책이 요구되고 있다.

1997년 임업연구원의 보고에 의하면 (임업연구원 1997), 우리나라에서 이용되고 있는 모든 목제품에 대한 소요원목을 환산한 총 원목소요량은 계속 증가 추세로서 1995년에는 총 33,677천  $m^3$  이었으며, 이 중 순수원목은 29.2% (국내재 4.3%, 수입재 24.9%)이며 나머지는 제재, 펄프, 기타 가공재의 형태로 수급되고 있다. 국산 원목의 공급은 1995년에 1,435천  $m^3$ 이었으며, 이 중 침엽수가 82.7%, 활엽수가 17.3%이었다. 수종별로는 소나무류가 63.7%로 가장 많았고 다음으로 낙엽송이 15.1%이었다. 목재 자원 수급상황에 변동이 심하고 해외 의존도가 높은 국내목재시장에 국내목재시장의 안정적 목재수급 및 목재산업의 경쟁력제고 방안이 고려되어야 한다.

이런 상황에서 국산 침엽수재의 이용에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다. 국산 재 생산기술 산업화 기술개발, 국산 간벌재 및 만곡재를 이용한 욕실가구 및 목재타일제조기술개발이 농특과제로 채택되어 이미 연구되어 왔고, 또한 최근에 산림청, 임업연구원, 목재산업계가 공동으로 국산 침엽수재를 이용한 합판개발이 수행되어 왔다. 그러나 양질의 원목 공급의 감소로 인해 중간층은 planer shavings (대팻밥), 파티클로부터 파티클보드를, 두 개의 표면층은 단판으로 구성되어 합판과 비교하여 성능은 유사하고 경제성은 우수한 Com-Ply와 같은 합판대체용 목질패널제품개발에는 연구가 빈약한 실정이다.

한편, 기존 국내에서 사용하는 접착제로 제조되어 유통되는 목질패널제품은 소비



자가 사용도중에 목질패널로부터 포름알데히드가 규정이상으로 방산되어 보건·환경적인 면에서 뿐만아니라 목질패널제품의 강도적 성능을 유지하기 위해 과도한 량의 접착제 첨가로 경제성면에서도 문제가 있다 (노정관, 김종인 1999). 특히 이런 포름알데히드의 방산량은 목질패널제품을 내장재 등의 구조재로 사용할 때, 문제는 더욱 심각하여 이미 미국등 선진국에서는 1980년대 중반 이후 규정에 맞는 제품을 유통시키고 있다 (오용성 1998).

그러므로 본 연구의 목표는 국산재 접착에 적합한 최적의 접착제 formulation으로 합판과 같이 두 개의 표면층은 단판을 이용하지만 중간층은 국산 간벌 소경재, 폐잔재 등 미이용 목재도 사용이 가능한 파티클로부터 제조된 파티클보드로 구성된 Com-Ply를 제조하는 것으로 그 주요내용은 다음과 같다.

1) 국산 소경간벌재, 폐목재 파티클로부터 파티클보드 제조를 위해 요소수지 접착제의 합성 및 분석을 수행하고, 파티클보드를 제조하여 성능을 평가하고, Com-Ply 제조의 주원료인 국내 소경 간벌목 및 폐잔재와 같은 미이용목재의 정확한 사용 가능량을 파악한다.

2) 국산재로 합판을 제조하기 위한 접착제의 합성 및 분석하고, 제조된 합판의 접착력과 기계적인 성능을 평가한다.

3) 국산 소경간벌재 폐목재로부터 Com-Ply의 제조 및 성능을 평가한다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

침엽수재를 이용한 합판의 제조는 이미 1900년대 초에 시작되어 현재 미국의 경우 침엽수 합판은 구조용 목질패널시장에서 점유율이 절정에 이른 제품이다. 국내의 합판산업은 열대산 활엽수를 이용하여 합판을 생산하여 왔으나, 최근에 국내에서 국산 침엽수재를 이용한 합판의 생산은 임업연구원과 목재산업계의 주목이 되고 왔고, 국산 소경간벌재, 폐목재를 이용한 목질보드의 생산은 21세기의 지구환경 변화와 함께 지속 가능한 산림경영을 위해 꼭 필요하다. 현재 폐목재 발생량은 국내의 연간 목재사용량의 40% 정도의 수준으로 국내의 목재자급율을 고려해 볼 때, 목질보드산업에서의 이런 폐목재가 사용되고 있지만, 재활용은 더 많이 장려되어야 한다.

미국에서 요소수지 접착제를 사용하여 파티클보드를 제조하는데 사용되는 요소수지 접착제의 첨가량은 전건목재를 기준으로 중간층이 6%이고, 표면층은 파티클의 크기 때문에 8%를 첨가하고 있다. 이런 수준의 요소수지 접착제 첨가량으로 미국 ANSI 파티클보드 규정에서 요구하는 포름알데히드 방산량 및 파티클보드의 기계적인 성능을 보유하고 있다 (Sellers 1995).

국내에서도 요소수지에 멜라민으로 변형된 요소-멜라민수지를 합성하여 파티클보드를 제조하고, 실험실에서 합성한 요소수지로 제조된 파티클보드와 성능을 비교·평가를 하였다. 평가된 결과는 멜라민 첨가의 효과로 물에 대한 치수안정화에는 요소-멜라민수지 접착제로 제조된 파티클보드가 요소수지 접착제로 제조된 파티클보드보다 낮았고, 파티클보드의 다른 기계적인 성능에는 차이가 없었다 (Oh 1999).

1980년대 초 북미에서 Oriented strandboard (OSB) 산업이 시작된 후, OSB는 합판과 비교되는 성능을 보유하고 또 합판과 비교하여 제조 원가에서의 장점 때문에 최근의 구조용 목질패널의 시장 점유율은 계속 증가 추세이다. OSB제조에 사용하는 원료로 여러 수종이 사용 가능하지만, southern pine과 aspen 등이 주로 많이 사용되고 있다. OSB는 합판 대체용으로 구조용 패널시장에서 유통되어 왔고, 현재 국내

에서도 매년 많은 양이 수입되어 유통되고 있어 앞으로 국내에서 이런 제품의 제조 기술의 확보가 필요하다.

요소수지, 요소-멜라민수지로 파티클보드의 제조에 대한 연구결과들이 국외학회지에 보고 되었다. 목질패널산업의 선진국인 미국에서 Com-Ply는 합판, 파티클보드, flakeboard 및 OSB등의 목질패널의 제조공학기술과 목재접착기술이 복합적으로 결합되어 얻어진 제품이다 (Maloney et al. 1980). 따라서 제조공학기술 또한 복합적으로 고려되어야 된다. 예를 들면 합판을 접착하기 위한 접착제 formulation, 파티클보드를 접착하기 위한 접착제 formulation 등의 독립된 기술을 복합적으로 사용해야 얻어지는 제품이다.

따라서 본 연구에서는 국내 최초로 국산 소경간벌재, 폐목재를 이용해 Com-Ply를 제조하여 성능을 비교해 국산 소경간벌재, 폐목재의 이용 및 Com-Ply 산업화에 기여하고자 한다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 제 1 절 접착제 제조 및 국산재로 제조된

#### Com-Ply와 합판의 성능평가

##### 1. 서설

2000년 유엔식량농업기구 (FAO)는 전 세계적으로 파티클보드, 화이버보드, oriented strandboard (OSB)와 단판으로 제조된 보드 등과 같은 목질보드 제품의 생산과 소비는 171백만 m<sup>3</sup>으로 보고하였다 (FAO 2002). 1996년부터 2010년까지 목질 보드의 전체적인 성장은 20%로 기대되고 있으며, 매년 성장률은 1.3%가 될 것으로 기대된다 (Youngquist & Hamilton 2000). 국내에서 파티클보드와 마루판의 시장 규모는 매년 큰 폭으로 증가되고 있으며, 수입량 또한 매년 급격히 증대되고 있다.

목질보드제품은 원료를 중·대경목은 물론이고 소경목, 폐목재 등으로 제조가 가능하고 제조된 제품은 건축 내·외장재로 많이 사용될 수 있다는 장점 때문에 21세기에 산림의 지속 가능 경영을 목표로하는 환경에 매우 적합한 제품이다. 국내에서 목질보드제조에 가장 많이 사용하는 요소수지 접착제는 값이 저렴하다는 장점이 있는 반면에, 요소수지로 접착된 목질보드로부터 소비자가 사용 중에 포름알데히드 가스가 방출된다는 단점이 있다. 그러나 1980년대 중반부터 목질보드 선진국에서는 이런 단점을 보완한 요소수지 접착제로 목질보드제품을 제조하고 있기 때문에 인체에 무해한 목질보드제품을 소비자에게 제공하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국산 간벌 소경재, 폐목재와 유리포름알데히드량이 매우 낮은 수준의 요소수지 접착제를 실험실에서 합성하여 파티클보드, 합판 및 Com-Ply를 제조하고 성능을 비교 평가하기 위한 것이다.

## 2. 국산 간벌재 및 폐잔재로 파티클보드의 제조 및 성능 평가

### 가. 재료 및 방법

#### 1) 목재파티클

본 연구에서 파티클보드 제조를 위한 목재파티클의 수종은 소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 상수리 등이고, 간벌소경재로서 파티클보드 제조의 중간층 크기인 12~3.5 mesh 사이에서 건조·선별하였다. 사용한 국산 간벌 소경재의 평균 수령은 18~23 년이고, 크기는 14 cm 정도이고, pH는 4.5~5.4 이다 (Table 1.1). 또 2000년 수도권 지역에서 발생되어 수거된 폐잔재 (recycled wood)를 파티클보드 제조의 중간층용 크기로 선별하여 사용하였다. 선별된 폐목재파티클에는 플라스틱조각, 페인트조각, 종이조각, 스테플 등등 여러 이물질이 함유되어 있었고, 이런 이물질을 제거하지 않고 함유된 상태로 파티클보드 제조에 사용하였다.

Table 1.1. The characteristics of domestic thinning logs used in this study.

Species	Age	Diameter	pH
	(year)	(cm)	
<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et Zucc.	20	14.0	4.5
<i>Pinus rigida</i> Miller	21	14.0	4.7
<i>Larix leptolepis</i> Gordon	18	14.2	4.9
<i>Quercus acutissima</i> Carruthers	23	14.1	5.4

#### 2) 요소수지 접착제 합성 및 분석

국산 목재파티클을 접착하기 위한 요소수지는 현재 북미에서 전형적으로 내장용 파티클보드 제조에 사용하고 있는 요소수지와 유사하게 요소수지 고형분량은 50%를 목표로 합성하였다. 요소수지는 반응을 조절하기 위한 최적의 조건을 측정하기 위해 4-L 유리 반응기에서 합성하였다. 일반적인 요소수지의 합성과정은 Oh (1999)에 의

해 수행된 방법과 유사했다.

실험실에서 합성한 요소수지는 일반적으로 잘 알려진 접착제 표준분석방법에 의해 비 휘발성분, pH, 비중 및 유리포름알데히드 등의 성질을 분석하였다. 또 합성한 요소수지에 대한  $^{13}\text{C}$  NMR spectra를 측정하기 위해 Bruker 회사의 ARX300 NMR spectrometer를 이용하였다. 요소수지 접착제는  $\text{D}_2\text{O}$ 에 용해시켰다.

### 3) 파티클보드 제조

국산 간벌 소경재의 목재파티클과 폐목재파티클 및 실험실에서 합성한 파티클보드 접착용 요소수지를 이용하여  $25 \times 25 \times 0.6$  cm 크기의 실험실 파티클보드를 제조하였다. 실험실에서 제조한 파티클보드의 제조과정은 Oh (1999)에 의해 서술한 방법과 유사하다. 요소수지 접착제는 목재파티클의 전건무게에 대해 6%의 수지고형분량을 첨가하였고, 왁스는 1%를 첨가하였다. 왁스와 요소수지 접착제가 첨가된 목재파티클은 밀도가  $737 \text{ kg/m}^3$ 인 파티클보드를 제조하기 위해 무게 측정하였다. 열압시간 5분, 열압온도  $162^\circ\text{C}$ 에서 Table 1.2와 같이 5종류의 파티클보드를 5반복씩 총 25개의 파티클보드를 제조하였다.

Table 1.2. Particleboard (PB) types made from domestic thinning logs.

PB types	Species
A	<i>Pinus densiflora</i> Siebol et Zuccarini
B	<i>Pinus rigida</i> Miller
C	<i>Larix leptolepis</i> Gordon
D	<i>Quercus acutissima</i> Carruthers
E	Recycled wood

#### 4) 파티클보드의 성능평가

실험실에서 제조한 파티클보드를 사용하여 밀도, 박리강도, 휨과괴계수, 두께팽창률, 물흡수율 등의 치수안정화 등을 KS F 3104와 ASTM D 1037방법에 의해 수행하였다. 모든 시편의 성능은 일정한 온도와 상대습도로 조절된 항온항습실에서 평형흡수율에 도달된 후, 측정하였다.

#### 나. 결과 및 고찰

##### 1) 요소수지 접착제의 성질

파티클보드 접착을 위해 실험실에서 합성한 요소수지를 접착제 표준분석방법에 의해 성질 분석한 결과는 Table 1.3과 같다.

Table 1.3. Properties of urea-formaldehyde resin synthesized.

Properties	Unit	amount
Solids content	%	51.0
Specific gravity	--	1.2
pH	--	7.0
Final F/U	mole ratio	1.15

F/U : Formaldehyde/urea

포름알데히드와 요소의 몰비가 1.15로 합성된 요소수지의 고형분량은 51.0%로서 목표한 수지 고형분량 50%와 유사했고, 비중은 1.2였고, pH는 7.0이었다. 이런 요소수지의 성질은 파티클보드 접착용으로 적합하다는 것을 보여준다.

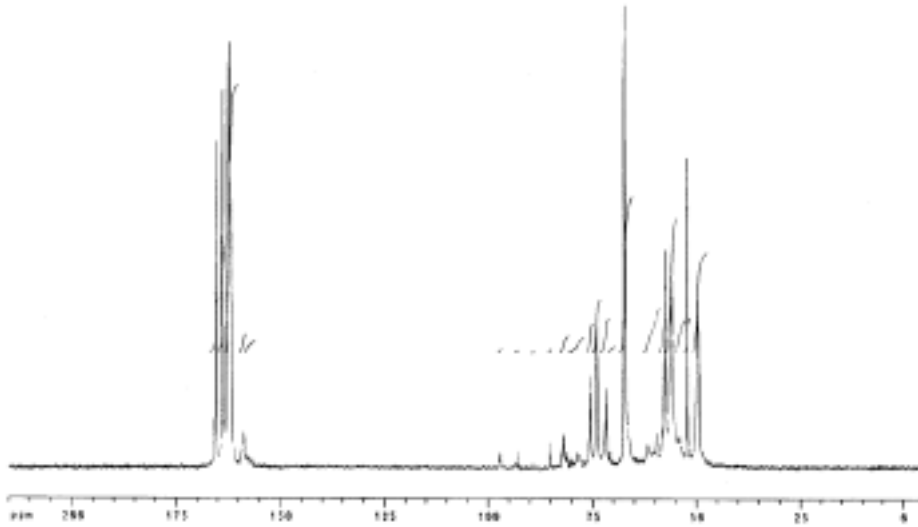


Figure 1.1.  $^{13}\text{C}$  NMR spectra of urea-formaldehyde resin synthesized in this study.

Figure 1.1은 요소수지의  $^{13}\text{C}$  NMR spectra로서 84.5 ppm에서 유리포름알데히드가 약하게 흔적으로 나타나고 있다. 이런 유리포름알데히드가 약하게 나타나고 있는 것은 본 연구에서 합성한 요소수지로 제조된 목질보드의 포름알데히드 방출량도 낮다는 것을 보여주는 것이다. 또 Urea, monomethylol urea, dimethylol urea가 160~165 ppm 사이에서 매우 강하게 나타나고 있다. 49 ppm에서 methylene (-NH-CH<sub>2</sub>-NH-)이 나타났다. 전체적인 요소수지의  $^{13}\text{C}$  NMR spectra는 Pizzi (1994)에 의해 보고된 낮은 수준의 유리포름알데히드를 함유한 요소수지이다.

## 2) 파티클보드의 성능평가

파티클보드의 밀도, 박리강도 및 두께팽창율과 물흡수율 등의 치수안정화 시험에 대한 결과는 Table 1.4와 같다. 제조된 파티클보드의 밀도는 목표한 밀도 737 kg/m<sup>3</sup>보다 낮은 702~710 kg/m<sup>3</sup>의 분포범위를 보여줬다. 측정된 박리강도의 분포범위는



743~967 kPa으로 이런 박리강도의 분포범위는 제조된 파티클보드가 본 연구에서 사용한 열압조건에서 적절히 제조되었다는 것을 보여준다. 휨과괴계수의 분포범위는 11.1~15.2 MPa이었다.

24-h 두께팽창률 및 24-h 물흡수율의 분포범위는 각각 26.8~46.4%와 29.8~65.9%이었다. 이런 치수안정화의 결과로부터 낙엽송으로 제조된 파티클보드의 24-h 두께팽창률과 24-h 물흡수율은 다른 수종으로 제조된 파티클보드와 비교해서 가장 낮은 수치를 보여준다. 또 예상했던 바와 같이 폐목재파티클로 제조된 파티클보드의 성능도 좋은 결과를 보여줬다.

Table 1.4. Test result of internal bond strength and dimensional stability for particleboard made from domestic thinning logs.

PB types	Panel density	Internal bond	MOR	Thickness swell		Water absorption	
				2-h	24-h	2-h	24-h
	(kg/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(MPa)	----- (%) -----			
Type 8.0	500~800	150	8.0	--	--	--	--
A	710	920	14.6	12.7	40.2	12.0	64.0
B	702	795	12.5	12.9	43.9	10.9	65.9
C	710	885	11.9	8.6	26.8	7.4	29.8
D	710	967	15.2	9.2	28.5	10.3	42.8
E	704	743	11.1	13.2	46.4	9.4	50.6

PB (type 8.0) = KS F 3104 Particleboard type 8.0.

Internal bond values represent an average of 15 test specimens.

Thickness swell and water absorption values represent an average of 2 test specimens.

본 연구에서 제조한 5종류의 파티클보드에 대해 측정된 박리강도, 휨강도와 치수 안정화 수치는 KS F 3104 파티클보드 type 8.0에서 규정하는 최소 요구치 ( $0.15 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sim 150 \text{ kPa}$ )을 만족시키고 있다. 또 American National Standard ANSI A208.1에서 규정하는 type M-1의 최소 요구치 역시 만족시키는 좋은 결과이다.

본 연구에서 수행한 국산 간벌 소경재로부터 제조된 파티클보드의 성능평가에 대한 내용은 2003년 미국 Forest Products Journal 53(1):67~69에 게재되어 발간되었고, 폐목재파티클로 제조한 파티클보드의 성능은 2002년 한국목재공학 30(4):23~26에 게재 발간되었다.



Figure 1.2. Particleboard made from thinning logs in this study.

### 3. 국산재로부터 합판의 제조 및 성능평가

#### 가. 재료 및 방법

##### 1) 국산재 단판

소나무, 리기다소나무, 낙엽송의 3종류 국산재로부터 합판제조에 사용하기 위한 단판은 상업용 합판제조공장에서 제조하였다. Figure 1.3은 본 연구에서 사용한 3종류 국산재로부터 단판을 재단하고 있는 모습을 보여준다. 합판제조에 사용한 3종류 국산재로부터 얻어진 단판의 평균두께는 2 mm이었고, 크기는 300 × 300 mm이었다.

##### 2) 요소수지 접착제 합성 및 분석

국산 침엽수 단판을 접착하기 위한 요소수지 접착제를 실험실에서 합성하고, 수지 접착제의 성질을 표준분석 방법에 의해 분석하였다. 일반적인 요소수지의 합성과 정과 분석과정은 Oh (1999)에 의해 수행된 방법과 유사했다.





Figure 1.3 Logs and veneer used in this study.

### 3) 접착제 혼합과정

합판접착용 요소수지 접착제 혼합과정은 Sellers (1985)에 의해 기술된 과정에 준하여 수행하였다. 접착제 혼합과정은 실험실에서 합성한 요소수지에 증량제, 충전제 (CoCob<sup>®</sup>), 경화촉매제 (NH<sub>4</sub>Cl), H<sub>2</sub>O를 혼합하는 과정이다 (Table 1.6).

Table 1.6. Plywood adhesive mix ingredients.

Mix ingredients	Amount (%)
UF resin	39
NH <sub>4</sub> Cl	4
Extender	16
CoCob <sup>®</sup>	3
H <sub>2</sub> O	38

#### 4) 합판의 제조

3종류 국산재 단판의 함수율은 합판을 제조할 당시에 4~6%이었고, 합성한 요소수지 접착제 혼합물을 이용하여 3매 합판을 제조하였다. 실험실에서 제조한 합판의 제조과정은 Oh & Sellers (1999)에 의해 서술한 방법과 유사하다. 제조한 합판의 두께는 6.2 mm 두께이고, 300 × 300 mm 크기였다. 171 g/m<sup>2</sup>의 요소수지 접착제 혼합물을 단판 한쪽 면에 도포하였다. 열압온도와 열압시간은 각각 120°C와 4분이었고, 냉압과 열압력은 각각 1034 kPa과 1379 kPa이었다. 3종류의 수종에 대해 5반복씩 총 15개의 합판을 제조하였다.



Figure 1.4 Tension shear strength specimens used in this study.

#### 5) 합판의 성능평가

300 × 300 mm 크기로 제조된 합판으로부터 합판의 인장 전단 접착력시험을 KS F 3101에 의해 수행하였다. 제조한 각각의 합판으로부터 10개의 인장 전단 접착력 시험편을 절단하였고, 이 중에서 5개의 인장 전단 접착력 시험편은 KS F 3101의 준내수 인장 전단 접착력 시험과 비내수 인장 전단 접착력 시험으로 성능을 비교하였다.

준내수 인장 전단 접착력 시험은 시험편을 60°C 온수에 3시간 담근 후, 상온의 물 속에 담그어 식인 후, 젖은 상태로 접착력을 시험하는 것이고, 비내수 인장 전단 접착력 시험은 시험편을 일반 상태 그대로 접착력을 시험하는 것이다. KS F 3101 보통합판에서 요구하는 인장 전단 접착력 및 목과율 최소기준은 각각 0.6 N/mm<sup>2</sup>와 50% 이상이다.

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 합판접착용 요소수지의 성질

실험실에서 합성한 합판접착용 요소수지 접착제의 성질을 표준방법에 의해 분석하였고, 그 결과는 Table 1.7과 같다. 포름알데히드와 요소의 몰비가 1.15로 실험실에서 합성한 요소수지의 고형분량은 50%, 비중은 1.19, 그리고 pH는 7.6이었다. 또 유리포름알데히드 (free formaldehyde)량은 0.58%로서 매우 낮은 수준을 보여준다. 이런 요소수지의 성질은 합판 접착용으로 적합하다. 또 유리포름알데히드량이 낮다는 것은 이런 요소수지로 접착된 목질보드의 포름알데히드 방출량은 낮다는 것을 지적해 주는 것이다.

Table 1.7. Characterization of urea-formaldehyde resin synthesized in this study.

Properties	Unit	Amount
Solids content	%	50
Specific gravity	--	1.19
pH	--	7.6
Free formaldehyde	%	0.58
Final F/U	mole ratio	1.15

F/U : Formaldehyde/urea

## 2) 합판의 인장전단 접착력 성능 평가

### 2.1 준내수 인장전단 접착력 시험

KS F3101에 의한 준내수 인장전단 접착력 시험에 대한 결과는 Table 1.8과 같다. 국산 침엽수 3수종의 인장 전단접착력의 분포범위는 808~870 kPa (8.2~8.5 kgf/cm<sup>2</sup>)이다. 목과율의 분포범위는 76~84%이다. 접착력 시험에서 얻어진 결과는 KS F 3101에서 요구하는 인장 전단접착력 0.6 N/mm<sup>2</sup> (0.6 kgf/cm<sup>2</sup>)와 목과율 50%를 초과하는 좋은 결과를 보여준다.

Table 1.8. Plywood test results after 3-hour boil aging method.

Species	Shear strength		Wood failure	
	(kPa)	(%)	-- (%)	--
<i>Pinus rigida</i>	870	(29.8)	76	(7.8)
<i>Pinus densiflora</i>	834	(21.8)	83	(1.1)
<i>Larix leptolepis</i>	808	(20.7)	84	(1.3)

The values represent an average of 5 panels (5 specimens per panel).

The values in parenthesis are coefficient of variations.

### 2.2 비내수 인장전단 접착력 시험

KS F3101에 의한 비내수 인장전단 접착력 시험에 대한 결과는 Table 1.9와 같다. 국산 침엽수 3수종의 인장 전단접착력의 분포범위는 753~1443 kPa (7.6~14.7 kgf/cm<sup>2</sup>)이다. 목과율의 분포범위는 73~89%이다. 접착력 시험에서 얻어진 결과는 KS F 3101에서 요구하는 인장 전단접착력 0.6 N/mm<sup>2</sup> (0.6 kgf/cm<sup>2</sup>)와 평균 목과율 50%를 초과하고 있다.

Table 1.9. Dry tension shear test results.

Species	Shear strength		Wood failure	
	(kPa)	(%)	-- (%)	--
<i>Pinus rigida</i>	987	(19.7)	73	(5.7)
<i>Pinus densiflora</i>	1443	(28.1)	83	(2.8)
<i>Larix leptolepis</i>	753	(34.6)	89	(1.7)

The values represent an average of 5 panels (5 specimens per panel).

The values in parenthesis are coefficient of variations.



Figure 1.5. Specimens after tension shear test.

본 연구에서 국산재와 요소수지 접착제 혼합물로 제조된 합판의 성능 평가로 얻어진 좋은 결과는 학회에 논문투고하여 게재를 위해 심사 중에 있다.



#### 4. 국산재로부터 Com-Ply 제조 및 성능평가

##### 가. 재료 및 방법

##### 1) 요소수지의 합성 및 성질분석

Com-Ply 접착을 위한 요소수지는 본 연구의 1년차와 2년차에 파티클보드와 합판제조를 위해 합성한 요소수지와 유사하게 합성하였고, 실험실에서 합성한 요소수지는 접착제 표준분석 방법에 의해 분석한 후, 1년차와 2년차에 합성하여 분석한 요소수지와 비교하였다.

##### 2) Com-Ply의 제조

Com-Ply 제조를 위한 단판과 파티클보드의 원료는 1년차와 2년차에서 사용한 원료 (파티클, 단판)와 동일한 원료를 사용하였다. 본 연구에서 제조한 Com-Ply는 Table 1.10과 Figure 1.6과 같이 두 개의 표면층은 2 mm 단판이고, 중간층은 4 mm 파티클보드로 구성되어 있다. 총 5종류의 Com-Ply를 제조하였고, 중간층과 표면층은 소나무, 리기다소나무, 낙엽송, 상수리 등의 파티클로 제조된 파티클보드와 단판으로 구성하였고, 중간층이 폐목재 파티클보드의 경우 표면층은 낙엽송 단판을 사용하여 Com-Ply를 제조하였다 (Table 1.10).

Table 1.10. Com-Ply types manufactured in this study.

Com-Ply types	Wood species		
	Veneer	PB	Veneer
소나무	소나무	소나무	소나무
리기다	리기다	리기다	리기다
낙엽송	낙엽송	낙엽송	낙엽송
폐목재	낙엽송	폐목재	낙엽송
상수리	상수리	상수리	상수리

PB : particleboard.

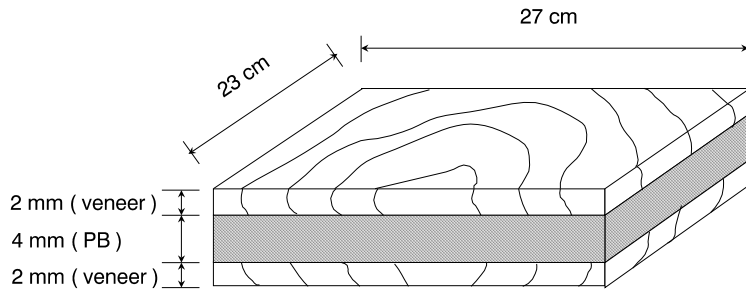


Figure 1.6. Schematic drawing of Com-Ply made in this study.

#### 가) 두께 4 mm 파티클보드의 제조

Com-Ply 중간층용 두께 4 mm 파티클보드는 1년차에 사용한 국산 간벌 소경재 파티클과 동일한 파티클을 사용하여 26 × 23 cm 크기로 제조하였다. 두께 4 mm 파티클보드의 제조과정은 1년차에 수행한 파티클보드제조 과정에서 서술한 방법과 동일하다. 요소수지 접착제는 목재파티클의 전건무게에 대해 6%의 요소수지 고형분량을 첨가하였고, 왁스는 1%를 첨가하였다. 왁스와 요소수지 접착제가 첨가된 목재파티클은 밀도가 737 kg/m<sup>3</sup>인 파티클보드를 제조하기 위해 무게 측정하였다. 열압시간 4분, 열압온도 162°C에서 5종류의 파티클보드를 6반복씩 총 30개의 파티클보드를 제조하였다.

#### 나) 단판과 두께 4 mm 파티클보드의 접착

Com-Ply제조를 위한 표면층 (단판)과 중간층 (두께 4 mm 파티클보드)의 접착을 위해 요소수지 접착제 혼합과정은 2년차에 합판접착과정에서 수행한 방법과 동일하다 (Table 1.6).

합성한 요소수지 접착제 혼합물을 이용하여 Com-Ply를 제조하였다. 제조한 Com-Ply의 두께는 8 mm 이고, 크기는 250 × 210 mm 이었다. 171 g/m<sup>2</sup>의 요소수

지 접착제 혼합물을 단판 한쪽 면에 도포하였다. 열압온도와 열압시간은 각각 120°C와 4분이었고, 냉압과 열압력은 각각 1034 kPa과 1379 kPa이었다. 5종류의 Com-Ply에 대해 6반복씩 총 30개의 Com-Ply를 제조하였다. Figure 1.7은 제조한 Com-Ply의 5종류를 보여준다.



Figure 1.7 Com-Ply made in this study.

### 3) Com-Ply의 성능평가

실험실에서 제조한 Com-Ply의 밀도, 박리강도, 휨탄성계수, 휨과괴계수, 두께팽창률, 물흡수율 등의 치수안정화 등을 KS F 3104와 ASTM D 1037방법에 의해 수행하였다. 모든 시편의 성능은 일정한 온도와 상대습도로 조절된 항온항습실에서 평형흡수율에 도달된 후, 측정하였다.

## 나. 결과 및 고찰

### 1) Com-Ply 접착용 요소수지 접착제의 성질

Com-Ply 접착을 위해 실험실에서 합성한 요소수지를 접착제 표준분석방법에 의해 성질을 분석한 결과는 본 연구의 1년차와 2년차에 합성한 파티클보드 및 합판 제조용 요소수지의 성질과 비교한 결과와 유사하였다.

### 2) Com-Ply의 성능평가

제조된 5종류 Com-Ply의 밀도, 박리강도, 휨강도 및 두께팽창율과 물흡수율 등의 치수안정화 시험에 대한 결과는 Table 1.11과 같다. 제조된 Com-Ply의 밀도는 630~750 kg/m<sup>3</sup>의 분포범위를 보여줬다. 상수리로 제조된 Com-Ply의 밀도가 가장 높았고, 폐목재로 제조된 Com-Ply의 밀도가 가장 낮았다. 측정된 박리강도의 분포범위는 548~941 kPa으로 이런 박리강도의 분포범위는 Com-Ply가 본 연구에서 사용한 열압조건에서 적절히 제조되었다는 것을 보여준다. 휨탄성계수의 분포범위는 4734~10064 MPa이었고, 휨과괴계수의 분포범위는 51.7~76.5 MPa이었다. 폐목재로 제조된 Com-Ply의 휨탄성계수는 다른 수종으로 제조된 Com-Ply와 비교해 가장 낮게 나타났다.

24-h 두께팽창률 및 24-h 물흡수율의 분포범위는 각각 9.8~28.0%와 22.2~76.0%이었다. 이런 치수안정화의 결과로부터 낙엽송으로 제조된 Com-Ply의 24-h 두께팽창률과 24-h 물흡수율은 다른 수종으로 제조된 Com-Ply와 비교해서 가장 낮은 수치를 보여준다. 또 중간층이 폐목재파티클보드과 표면층이 낙엽송으로 제조된 Com-Ply의 치수안정화 성능은 낙엽송으로 제조된 Com-Ply의 치수안정화 성능과 유사한 좋은 결과를 보여줬다.

Table 1.11. Test results of Com-Ply made in this study.

Com-Ply type	Density (kg/m <sup>3</sup> )	IB (kPa)	MOE -- (MPa) --	MOR	Thickness swell		Water absorption	
					2-h	24-h	2-h	24-h
					----- (%) -----			
소나무	680	655	5659	51.7	6.4	24.2	17.8	42.2
리기다	674	548	8718	65.2	6.6	28.0	36.1	76.0
낙엽송	639	941	5650	53.0	2.3	9.8	8.0	22.2
폐목재	630	904	4734	55.4	1.6	10.2	9.1	24.4
상수리	750	904	10064	76.5	8.2	26.9	14.8	39.8

IB (internal bond) values represent an average of 24 test specimens.

MOE (modulus of elasticity) and MOR (modulus of rupture) values represent an average of 3 test specimens.

Values of thickness swell and water absorption represent an average of 3 test specimens.

Figure 1.8은 박리강도를 측정한 후, 파열된 시편의 모습이다. 본 연구에서 수행한 모든 시편의 박리강도를 측정 후, 파열된 시편의 모습은 표면층에서 보다는 중간층에서 90%이상 파열되고 있는 모습을 보여줬다. 이런 박리강도의 파열 모습은 열압시간 4분과 열압온도에서 Com-Ply가 적절하게 접착되었다는 것을 지적해준다.

Figure 1.9는 휨강도 측정 후, 파열된 시편의 모습이다. 파열된 휨강도 시편의 모습들은 표면층, 단판에서의 파열 모습이 춘재와 추재의 경계영역을 따라서 파열되고 있는 것을 알 수 있다.

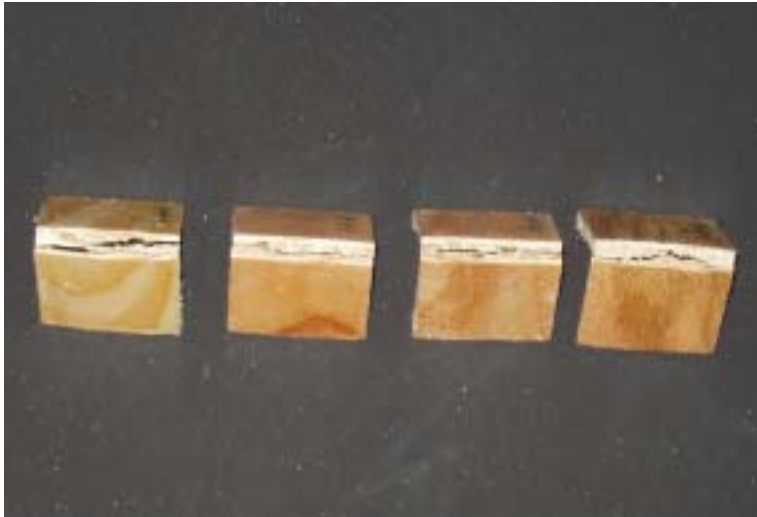


Figure 1.8. specimens failures after internal bond test.



Figure 1.9. Specimens failures after static bending test.

## 5. 결론

국산 간벌소경재로부터 파티클보드, 합판과 Com-Ply를 제조하여 성능을 KS F 3101와 KS F 3104에 의해 비교 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국산 간벌소경재와 폐목재로부터 제조된 파티클보드의 성능은 KS F 3104 파티클 보드의 type 8.0형의 최소 기준을 만족시켰다.
- 2) 국산재 단판과 요소수지 접착제혼합물로 제조된 합판의 성능은 KS F 3101 합판에서 요구하는 인장전단접착력과 목파율보다 높았다.
- 3) 국산재로 제조된 5종류 Com-Ply의 성능은 제조된 5종류에 대해 모두 우수한 성질을 보여줬다.

## 참 고 문 헌

1. 한국표준협회. 2002. KS F 3101 보통합판. 서울.
2. 한국표준협회. 2002. KS F 3104 파티클보드. 서울.
3. ANSI. 1994. ANSI A208.1-1999 Wood Particleboard. American National Standard Institute, New York.
4. ASTM. 1998. Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. ASTM D 1037-96. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
5. Oh, Y-S., and T. Sellers, Jr. 1999. Korean filler raw materials for plywood adhesives. Forest Prod. J. 49(3):61-64.
6. Oh. Yong-Sung. 1999. Evaluation of melamine-modified urea-formaldehyde resin binders for particleboard. Forest prod. J. 49(11/12):31-34.

7. Pizzi, A. 1994. Urea-formaldehyde adhesives. *Advanced Wood Adhesives Technology*. Marcel Dekker, New York. p. 19-66.
8. Sellers 1985. *Plwood and Adhesive Technology*. Marcel Dekker, N.Y. 661 pp.



## 제 2 절 국산재로 제조된 Com-Ply와 합판의 기계적 평가

### 1. 서 설

2001년 산림청 보고에 의하면, 일반 목재의 공급량은 1991년 35만 8천 m<sup>3</sup>, 1995년 51만 1천 m<sup>3</sup>, 2000년 92만 8천 m<sup>3</sup>으로 증가하였고, 현재도 크게 증가하고 있다. 또한 국내의 단위면적 (ha)당 임목 축적량은 1991년 39.79 m<sup>3</sup>에서 1994년 45.82 m<sup>3</sup>, 1997년에는 52.91 m<sup>3</sup>으로 크게 증가하고 있다 (산림청, 2001). 따라서 낙엽송, 소나무, 리기다소나무 및 상수리나무 등 많은 이용가치를 지니고 있는 우리나라의 대표적인 주요 조림수종에 대한 합리적이고 효율적인 용도 개발이 매우 시급하며, 국산재의 더 나은 이용을 위하여 많은 연구가 필요하다.

대경재의 감소 및 환경적 압력은 구조용 목재 시장에서 속성수 및 간벌 소경재의 이용에 대한 관심을 증가시켰으며, 미이용 간벌 소경재가 구조재의 대체 자원으로 잠재력을 가지고 있다. 하지만 새로운 시장에서 요구되는 특성이 알려져 있지 않다면 이용이 매우 어렵게 될 것이다. 특히 최근 국내에서 주택 및 가구 등에 목재 및 목질 재료의 급속한 사용 증가와 임목 축적량의 증가에도 불구하고, 국산재 이용이 활발하지 못하다. 국산재의 이용이 활발하지 못한 중요한 이유 중 하나는 물리적 · 기계적 특성에 대한 자료 부족에 있는 것으로 여겨진다. 특히 국내에서 생산되는 이들 간벌 소경재는 속성수로서 자연림에서 자란 성숙재와 매우 다른 특성들을 가지고 있다. 이들 속성수는 미숙재를 많이 포함하고 있고, 재질이 열등한 미숙재로 인해 국산재의 이용을 기피하는 원인이 되고 있다. 성숙재와 비교하여 성장 초기에 형성된 짧은 세포와 얇은 세포벽은 목재의 밀도를 낮게 하고, 그에 따른 물리적 · 기계적 특성을 낮게 한다. 특히, 미숙재가 많이 포함된 간벌재는 제재목 및 간벌재로 만든 파티클보드, 합판 등의 특성에도 영향을 미친다. 많은 양의 파티클보드는 마루판의 밀판, 가구 제작 및 부엌의 싱크대 제조 등에 사용되고 있다. 합판은 또한 최근에 마루판, 벽널, 콘크리트 거푸집, 문짝, 팔레트 등 구조용으로 다양하게 사용되고 있을 뿐 아니라, 가구 제작 등에도 사용되고 있다. 또한 파티클보드는 필요한 특성을 가진 다양한 밀도 및 크기로 제작할 수 있다. 따라서 파티클보드는 가구등을 제작하기 위해 원료의 특성에 따라 다양한 성질을 가진 Com-Ply로 알려진 파티클보드를 core로 국

산 간벌 소경재로 만든 단판으로 overlay한 물질로 만들어 사용할 수 있다. 건축 및 가구 등에 파티클보드, 합판 및 Com-Ply 등의 수요가 계속 증가하고 있으나 국산 소경재로 제조된 파티클보드, 합판 및 Com-Ply 등의 물리적·기계적 성질에 대한 이해가 부족할 뿐만 아니라 설계 과정에서 재료 선택 및 사용에 필요한 물리적·기계적 특성에 의해 거의 이루어지지 않고 있다. 특히 국내에서 많이 생산되는 간벌 소경재가 마루판, 팔레트, 가구 등 다양한 잠재적인 용도로 적절하게 사용되기 위해서는 치수안정성을 포함한 물리적·기계적 특성에 대한 자료가 필요하다. 따라서 국내 간벌 소경재의 합리적 이용과 새로운 용도의 개발로 고부가가치를 창출하기 위해 간벌 소경재에 대한 물리적·기계적인 특성을 확립하는 것이 무엇보다 시급한 과제이고 중요한 연구 분야이다.

국산 원목으로 만든 목제품을 기피하는 또 다른 중요한 이유 중 하나는 결합부의 강도에 대한 자료 부족이다. 특히 상당히 많은 양의 파티클보드 및 합판 등이 가구 제작 및 부엌의 싱크대 제조 등에 광범위하게 사용되고 있으나, 나사못 유지력 등 결합부에 대한 자료가 매우 부족하다. 합리적인 가구설계 등을 위해서는 파티클보드, 합판 및 Com-Ply의 나사못 유지력 등 결합부에 대한 정보가 요구된다. 특히 파티클보드 등이 구조용으로 기계적 물리적 특성이 충분하지만 파티클보드 및 합판 등의 결합부가 또한 적당한 강도를 지니는 조건을 또한 만족해야 한다.

새로운 시장은 경제적인 측면에서 파티클보드, 합판 및 Com-Ply에 대한 더 정확하고 신뢰가 있는 물리적·기계적 성질을 예측하는 것이 필요하다. 특히 국내에서 생산되는 간벌 소경재로 만든 파티클보드, 합판 및 Com-Ply 등이 가구 등 다양한 용도로 적절하게 사용되기 위해서는 물리적·기계적 특성에 대한 자료가 필요하다. 따라서 본 연구는 국산 간벌 소경재를 사용하여 만든 파티클보드, 합판 및 국산재로 만든 단판으로 제작한 Com-Ply의 물리적·기계적 성질과 결합부 특성을 구명하기 위해 휨강도, 선폽창 및 결합부에 대한 실험을 실시하였다.

## 2. 파티클보드의 성능평가

### 가. 재료 및 방법

## 1) 시편 제작

본 연구를 위해 파티클보드를 제조하기 위해 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc), 리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.), 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon.) 및 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carr.)를 경기도 지역에 있는 제재소로부터 선별하여 구입하였다. 모든 파티클보드 시편은 국산 인공림에서 재배한 원목을 사용하여 두께가 6 mm 이고 30 x 30 cm 로 실험실에서 제조하였다.

## 2) 휨강도

수종별로 20개의 파티클보드 시편들을 200 x 50 x 6 mm 크기로 잘랐다. 그런 다음 각 시편은 직사각형이 되도록 연마포지로 연마하였다. 시편의 최종 치수가 200 x 50 x 6 mm 로 만든 모든 시편은 무게와 치수를 측정하였다. 모든 시편들은 일정한 무게에 도달할 때까지 상대습도 65% 및 온도 21°C인 항온항습기에 처리하였다.

### 가) 응력과 실험

모든 시편의 휨강도와 휨탄성계수를 구하기 위한 휨강도 실험 전에 미국 Metrigard 사의 응력과 실험기 (stress wave timer)를 사용하여 시편의 길이에 대한 응력과 통과시간을 측정하였다. 트랜스듀서는 일정한 압력을 사용하여 시편의 양끝에 크램프로 고정하였고, 응력과 통과시간은  $10^{-6}$ 초까지 측정하여 응력과 속도를 계산하였다. 응력과 탄성계수는 아래 식에 의해 계산하였다.

$$\text{MOEs} = \rho v^2 / g$$

MOEs = 응력과 탄성계수 ( $\text{kgf/cm}^2$ )  
 $\rho$  = 파티클보드의 밀도 ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $v$  = 응력과 속도 (m/s)  
 $g$  = 중력가속도 ( $9.806\text{m/s}^2$ )

## 나) 휨강도 실험

응력과 실험을 마친 다음 각 시편에 휨강도 실험을 실시하였다. 휨강도 실험은 응력과 실험으로부터 구한 탄성계수를 이용하여 각 시편의 휨 탄성계수를 예측하기 위해 표준 실험방법 (ASTM D 1037, 1995)에 의해 수행되었다. 모든 시편은 Hounsfield 사의 만능재료시험기에 의해 하중속도 3 mm/min로 시편의 중앙에 집중 하중이 가해졌고, 모든 하중과 변형량은 컴퓨터에 자동 기록되었다.

## 3) 선펡창

선펡창 실험은 실험실에서 두께 6 mm로 제조한 파티클보드를 사용하였다. 선펡창은 폭 70 mm, 길이 150 mm인 파티클보드의 시편에 대해 측정했다. 각 파티클보드로부터 두 개의 시험편을 만들었다. 하나는 각 파티클보드의 길이를 따라 잘랐고, 다른 하나는 첫 번째 시편과 직각 방향으로 잘랐다. 각각의 수종으로 만든 파티클보드로부터 6개의 시편을 만들었으며, 총 24개의 시편이 선펡창 실험에 사용되었다. 각 시편은 버니어 캘리퍼를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였다. 시편의 길이를 측정하기 위해 평평한 테이블에 시편 번호가 새겨진 표면을 위로하고 항상 같은 방향과 같은 측정 위치에서 측정했다. 모든 시편은 먼저 온도 21°C, 상대습도 50%인 항온 항습기에서 무게가 일정하게 될 때까지 매일 길이와 무게를 측정하였다. 상대습도 50%에서 일정한 무게에 도달한 다음 항온 항습기의 상대습도를 80%로 증가시켜 상대습도 50%일 때와 같은 방법으로 측정하였다. 상대습도 50%에서 80%로의 증가에 따른 최대 선펡창은 상대습도 50%일 때의 길이를 기초로 하여 상대습도 80%일 때 팽창한 길이 비를 %로 계산하였다.

Table 2.1. Description of physical characteristics for linear expansion tests.

Species	Moisture content (%)			Initial density (g/cm <sup>3</sup> )
	Initial MC	RH 50%	RH 80%	
<i>Pinus rigida</i>	5.45 (0.19*)	6.26 (0.11*)	12.73 (0.13*)	0.64 (0.034*)
<i>Pinus densiflora</i>	5.37 (0.18)	6.36 (0.18)	12.59 (0.16)	0.64 (0.030)
<i>Larix leptolepis</i>	5.48 (0.21)	6.43 (0.26)	12.83 (0.25)	0.65 (0.036)
<i>Quercus acutissima</i>	5.22 (0.17)	5.96 (0.13)	12.35 (0.21)	0.71 (0.017)

\*Standard Deviation

#### 4) 나사못 유지력

나사못 유지력 실험을 위해 실험 시편들은 실험실에서 제조된 파티클보드로부터 나사못 실험에 요구되는 두께로 조정하기 위해 두께 13 mm로 제작된 파티클보드를 두장 겹쳐 26 mm 두께로 만들었다.

나사못 유지력 실험은 파티클보드의 결합부에 일반적으로 사용되는 길이가 25 mm인 No. 10 나사못을 측면과 표면에 수직으로 박아 실시하였다. 이들 실험실에서 제작된 폭 70 mm, 길이 140 mm인 파티클보드 시편에서 나사못의 위치는 각 시편의 모서리에 두 개의 선을 그어 만나는 점을 중심선으로 하여 측면과 표면에 표시한 다음 천공을 하였다. 표면의 나사못 뽑기 실험을 위해 나사못은 직경이 3.2 mm인 구멍을 미리 천공하였다. 측면의 나사못을 위해서는 또한 나사못을 박을 때 나사못 주위의 분할을 방지하기 위해 구멍을 미리 천공하였다. 나사못은 나삿니가 모두 감추어질 때까지 약 17 mm 정도 박아 실험을 실시했다. 표 2.2는 또한 실험에 사용된 나사못의 특성을 나타내고 있다. 실험은 나사못을 박은 즉시 실시하였다. 시편을 고정하는 결합 철물은 만능 재료기의 아래에 위치한 플레이트에 고정하였다. 고정된

결합 철물의 위쪽에 만들어진 가늘고 긴 홈을 통하여 파티클보드의 표면 및 측면 위로 나온 나사못은 Hounsfield 사의 만능 재료 시험기 위쪽에 위치한 플레이트에 고정된 고정물에 고정하여 하중을 가했다. 하중은 만능재료 시험기의 두 플레이트가 서로 다른 방향으로 떨어지게 함으로 가해졌다 (그림 2.1). 하중속도는 위쪽에 위치한 플레이트의 이동 속도 1.5 mm/min으로 실시하였다.

모든 나사못 뽑기 실험을 마친 시편들로부터 함수율과 비중을 측정하였다. 각 시편에 대한 비중과 함수율은 표준 실험방법 (ASTM D 143, 1995)에 의해 실시하였다.

Table 2.2. Description of wood screw characteristics

Characteristic		Description	
Wood screw	Shank diameter	4.67mm (0.014mm)	
	Length	25.52mm (0.35mm)	
	Penetration	17.22mm (0.49mm)	
Particleboard	density (g/cm <sup>3</sup> )	<i>Pinus rigida</i>	0.68 (0.03)
		<i>Pinus densiflora</i>	0.60 (0.02)
		<i>Larix leptolepis</i>	0.70 (0.01)
		<i>Quercus acutissima</i>	0.71 (0.01)

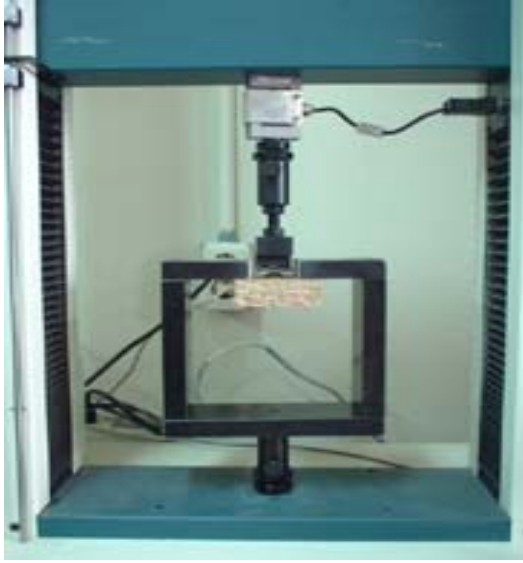


Figure 2.1. Testing arrangements for wood screw withdrawal test.

#### 5) 못박기 및 못뽑기

못박기 실험과 못뽑기 실험은 두께 6 mm로 실험실에서 제조된 파티클보드를 사용하였다. 파티클보드의 밀도는 소나무와 리기다소나무가  $0.64 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 낮았으며, 낙엽송이  $0.65 \text{ g/cm}^3$ 였고, 상수리나무가  $0.69 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 높았다. 표 2.3은 실험에 사용된 시편의 밀도 및 두께를 보여주고 있다. 실험을 위해 직경이 1.5 mm와 2 mm인 구멍을 두께를 관통하여 각각 미리 천공하였으며, 또한 구멍을 천공하지 않고 못을 직접 박았다. 시편의 크기는 70 x 150 mm였고, 사용된 못의 몸통 직경의 평균은 2.6 mm였고, 길이는 51.5 mm였다.

못박기 실험은 시편을 만능 재료시험기의 중앙에 위치한 고정 플레이트의 위쪽에 위치하게 했다. 못의 끝은 고정물의 중앙에 위치한 opening을 향해 아래로 향하게 했다. 본 실험을 위해 고안한 drill chuck은 못 머리의 중앙을 향하게 하였다. 하중은 Hounsfield 사의 만능재료 시험기의 두 플레이트가 중앙을 향하게 함으로 가해졌고, 하중속도는 위쪽에 위치한 플레이트의 이동 속도가 분당 1.5 mm로 하였다.

못박기를 끝낸 모든 시편들은 못뽑기 실험을 하중속도 1.5 mm/min으로 실시하였다. 시편은 만능 재료시험기의 아래에 위치한 결합 철물에 고정하였다. 결합 철물의 위쪽에 만들어진 가늘고 긴 홈을 통하여 시편의 표면 위로 나온 못은 시험기 위쪽에 위치한 플레이트에 고정하여 하중을 가했다. 하중은 만능재료 시험기의 두 플레이트가 서로 다른 방향으로 떨어지게 함으로 가해졌다. 실험을 모두 마친 시편들의 밀도와 함수율을 측정하였다.

Table 2.3. Description of particleboard characteristics.

Species	Moisture Content (%)	Thickness (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Pinus rigida</i>	9.6	6.19	0.64
<i>Pinus densiflora</i>	9.9	6.41	0.64
<i>Larix leptolepis</i>	9.0	6.05	0.65
<i>Quercus acutissima</i>	9.0	6.10	0.69

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 휨 성질

서로 다른 4 수종으로 제조된 파티클보드의 밀도와 함수율은 표 2.4와 같다. 상수리나무로 제조한 파티클보드의 함수율이 다른 수종으로 제조한 파티클보드보다 낮은 밀도를 나타냈다. 파티클보드의 평균 밀도는 리기다소나무 0.71, 소나무 0.70 및 상수리가 0.71 g/cm<sup>3</sup> 이었다. 하지만 상수리나무로 제조한 파티클보드는 밀도가 가장 큰 0.72 g/cm<sup>3</sup>이었다.



Table 2.4. Summary of moisture content and density

Species	MC (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Pinus rigida</i>	9.1 (0.35)	0.71 (0.017)
<i>Pinus densiflora</i>	9.0 (0.37)	0.70 (0.018)
<i>Larix leptolepis</i>	9.2 (0.22)	0.71 (0.020)
<i>Quercus acutissima</i>	8.0 (0.22)	0.72 (0.028)
Overall	8.8 (0.56)	0.71 (0.023)

응력과 실험 및 휨강도 실험에 의한 탄성계수들의 평균은 표 2.5에 요약했다. 응력과 탄성계수 값들은 휨탄성계수 값들보다 큰 값들을 보였다. 표 2.5에서 괄호 안에 표시된 각 실험 값들에 대한 표준편차들은 탄성계수 값들의 변이를 나타낸다. 소나무로 제조한 파티클보드가 가장 작은 표준편차를 보였다. 이는 제조에 사용된 다른 수종의 파티클과 비교하여 소나무의 파티클의 성질이 더 균일함을 의미한다.

Table 2.5. Summary of MOE (static and stress wave)

Species	Stress wave velocity (m/s)	MOE (x 10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )	
		Stress wave	static
<i>Pinus rigida.</i>	1662.2 (37.1)	20.0 (1.25)	17.6 (1.45)
<i>Pinus densiflora</i>	1671.3 (29.7)	19.8 (1.09)	18.1 (1.33)
<i>Larix leptolepis</i>	1674.5 (48.2)	20.5 (1.63)	19.4 (2.17)
<i>Quercus acutissima</i>	1547.4 (50.5)	17.7 (1.71)	16.7 (2.53)
Overall	1638.8 (67.5)	19.5 (1.77)	17.9 (2.13)

응력과 속도에 따른 휨탄성계수를 예측하기 위한 식을 확립하기 위해 선형회귀분석,  $Y = A(\text{stress wave velocity}) + B$ ,을 실시하였다. 그 결과들에 따른 상관 계수 값들은 표 2.6과 같이 요약했다. 각 수종에 대한 응력과 속도와 휨 특성 사이에 상관관계는 매우 낮았다. 이는 응력과 속도의 범위가 매우 좁기 때문으로 판단된다. 모두 수종을 혼합하여 같이 사용했을 때 휨탄성계수에 대한 상관 계수 ( $R^2$ )의 값은 0.52이었다. 이들 값들은 Wu의 실험 결과 (1998)보다 약간 작은 값을 나타냈다. 하지만 Wu의 연구는 더 넓은 범위의 응력과 속도 범위에 기초하였다. 휨탄성계수에 대한 응력과 속도의 영향은 또한 그림 2.2에서 보여주고 있다. 그림은 응력과 속도가 증가하면 휨탄성계수가 증가하는 것을 분명하게 보여주고 있다.

Table 2.6. Results of linear regression analysis relating static MOE to stress wave velocity and stress wave MOE.

Predictor (X)	Regression eqn: $Y = AX + B$			
	Y	A	B	$R^2$
Stress wave velocity (m/s)	static MOE	0.023	-19.29	0.52
Stress wave MOE ( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	( $\times 10^3$ kgf/cm <sup>2</sup> )	0.68	7.23	0.68

응력과 탄성계수에 따른 휨 성질을 예측하기 위한 식을 확립하기 위해 선형회귀분석을 또한 실시하였다. 모든 수종을 혼합하여 사용했을 때 상관계수 값은 0.68을 보였다. 응력과 탄성계수와 휨탄성계수 사이에 관계는 또한 그림 2.3에서 보여주고 있다. 휨 탄성계수가 응력과 탄성계수와 매우 높은 상관 관계를 나타내고 있다.

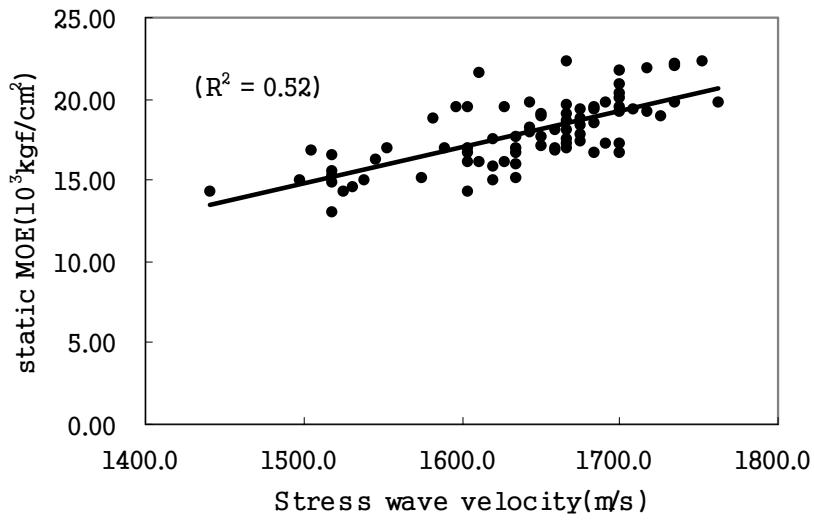


Figure 2.2. Relationship between stress wave velocity and static MOE

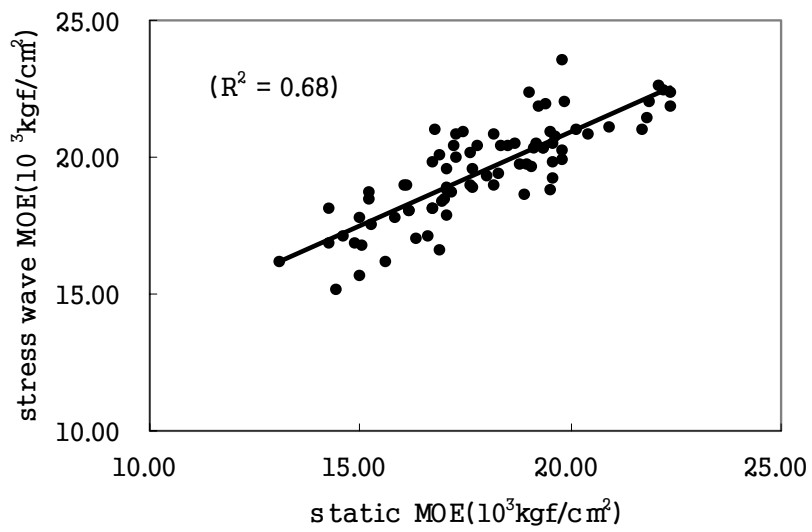


Figure 2.3. Relationship between stress wave MOE and static MOE

## 2) 선팽창

국산 간벌재로 제조한 파티클보드의 선팽창 및 선팽창 계수를 표 2.7에 요약하였다. 국산 리기다소나무, 소나무, 낙엽송 및 상수리나무 간벌 소경재로 만든 모든 파티클보드의 선팽창은 ANSI (1999) 규정을 만족시키고 있다. 하지만 상수리나무로 제조한 파티클보드는 다른 수종으로 제조한 파티클보드들보다 더 큰 선팽창을 나타내고 있다. 이 결과는 목재의 선팽창이 목재 밀도 증가에 따라 커지기 때문으로 파티클보드를 제조하는데 사용된 수종에 따른 파티클의 팽창 자체가 제조된 파티클보드의 선팽창에 영향하고 있음을 나타낸다.

Table 2.7. Moisture content changes and maximum linear expansion for various particleboard.

Species	DMC <sup>a</sup> (%)	Maximum Linear expansion (%)
	RH: 50% to 80%	
<i>Pinus rigida</i>	6.46 (0.11 <sup>**</sup> )	0.288 (0.032 <sup>**</sup> )
<i>Pinus densiflora</i>	6.23 (0.07)	0.302 (0.054)
<i>Larix leptolepis</i>	6.39 (0.10)	0.277 (0.020)
<i>Quercus acutissima</i>	6.39 (0.12)	0.336 (0.022)

<sup>a</sup> DMC was defined as the difference between the MCs at a given RH.

<sup>\*\*</sup> Standard Deviation

## 3) 나사못 유지력

리기다소나무, 소나무, 낙엽송 및 상수리나무로 제조된 파티클보드의 함수율과 비중은 표 2.8과 같다. 밀도가 낮은 파티클보드가 더 큰 함수율을 보이고 있다. 파티클보드에 대한 나사못 실험 결과는 표 2.9과 그림 2.4에 요약하였다. 다양한 두께의 파

티클보드에 대한 나사못 뽑기 하중을 비교하기 위해 결과들은 단위 두께당 하중의 크기로 나타냈다. 이는 나사못 최대 뽑기 하중을 박힌 길이로 나눈 다음, cm당 최대 뽑기 하중으로 나타냈다.

Table 2.8. Average specific gravities and moisture contents for PB and solid wood used for manufacturing the PB.

Species	MC (%)	SG
<i>Pinus rigida</i>	9.94 (0.38)	0.62 (0.02)
<i>Pinus densiflora</i>	9.64 (0.45)	0.55 (0.02)
<i>Larix leptolepis</i>	9.04 (0.47)	0.64 (0.01)
<i>Quercus acutissima</i>	9.02 (0.32)	0.65 (0.01)

표 2.9는 나사못 방향에 따른 최대 나사못 뽑기 하중을 나타내고 있다. 나사못 뽑기 하중은 방향에 따라 다르게 나타났다. 리기다소나무, 낙엽송 및 상수리나무로 제조된 파티클보드의 경우 최대 나사못 뽑기 하중은 측면이 표면보다 더 큰 값을 나타냈다. 하지만 소나무로 제조된 밀도가 낮은 파티클보드의 경우 반대로 표면이 측면보다 더 높은 최대 나사못 뽑기 하중을 나타냈으나 그 값은 매우 작은 편이다. 파티클보드의 측면에서의 나사못 뽑기 하중은 표면의 나사못뽑기 하중의 70- 80%를 일반적으로 요구하고 있다. 이는 5/8인치 두께의 파티클보드에 Eckelman (1975) 등의 실험으로부터 얻어진 결과이다. 이러한 결과들은 나사못이 사용된 파티클보드의 중층 (core)의 밀도가 낮았기 때문인 것으로 판단된다. 본 연구는 두께 13 mm로 제조된 파티클보드 시편을 겹쳐 사용했기 때문에 밀도가 높은 리기다소나무, 낙엽송 및 상수리나무로 제조된 파티클보드의 경우 두장을 겹쳐 만든 나사못 뽑기 시편 중층의 높은 밀도 때문인 것으로 판단되고, 소나무로 제조된 낮은 밀도의 파티클보드의 경

우 중층의 밀도가 낮아 나사못 뽑기 하중에 서로 다르게 영향했기 때문일 것이다. 표면에서의 나사못 최대 뽑기 하중의 평균은 밀도가  $0.60 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 낮은 소나무로 만든 파티클보드의  $55.8 \text{ kgf/cm}$ 에서 밀도가  $0.71 \text{ g/cm}^3$ 로 가장 큰 상수리나무로 제조된 파티클보드의  $77.98 \text{ kgf/cm}$  범위였으며, 변이계수는 3.6 - 10.4% 범위로 낮았다. Wilkinson 등 (1970)의 제재목에 대한 나사못 뽑기 하중 및 표준 편차와 비교하여 볼 때, 이와 같이 낮게 나타난 변이 계수는 국산 소경재로 제조된 파티클보드의 밀도 변이가 작았기 때문인 것으로 여겨지므로 파티클보드의 밀도를 일정하게 제조했을 때 나사못 뽑기 하중이 매우 균일하게 나타날 것으로 여겨진다. 측면에서 나사못 최대 뽑기 하중의 평균은 가장 낮은 밀도로 제조된 소나무의 파티클보드가 가장 작은  $36.62 \text{ kgf/cm}$ 를, 그리고 가장 높은 밀도로 제조된 상수리나무의 파티클보드가 가장 큰  $91.36 \text{ kgf/cm}$ 를 보여 주고 있다. 이 또한 나사못 실험에 사용된 소나무로 제조된 파티클보드의 밀도가 다른 수종으로 제조된 파티클보드보다 작았기 때문으로 판단되며, 아울러 파티클보드를 제조할 때 낮은 압체 압력의 사용으로 표층의 밀도와 내부 결합도가 작아지게 되었기 때문인 것으로 판단된다. 그림 2.4는 나사못의 최대 뽑기 하중이 소나무로 제조된 낮은 밀도의 파티클보드를 제외하고는 수종에 의한 영향을 매우 적게 받고 있음을 보여주고 있다. 특히 밀도의 크기가 비슷하게 제조된 낙엽송과 상수리나무 파티클보드의 경우 최대 뽑기 강도가 매우 유사한 것으로 보여졌다. 리기다소나무 파티클보드의 경우 상수리나무와 낙엽송의 것들에 비해 나사못 뽑기의 평균 하중이 작고 표준 편차의 변이도 크게 나타났는데, 이는 파티클보드의 밀도 및 함수율의 변이 및 압축도가 나사못 유지력에 영향을 미쳤기 때문으로 판단된다.

Table 2.9. Summary of wood screw withdrawal loads.

Species	Wood Screw withdrawal load (kgf/cm)	
	Face	Edge
<i>Pinus rigida</i>	64.70 (5.38)	73.48 (11.88)
<i>Pinus densiflora</i>	55.80 (5.83)	36.62 (7.68)
<i>Larix leptolepis</i>	75.33 (2.73)	89.60 (8.09)
<i>Quercus acutissima</i>	77.98 (5.26)	91.36 (7.53)

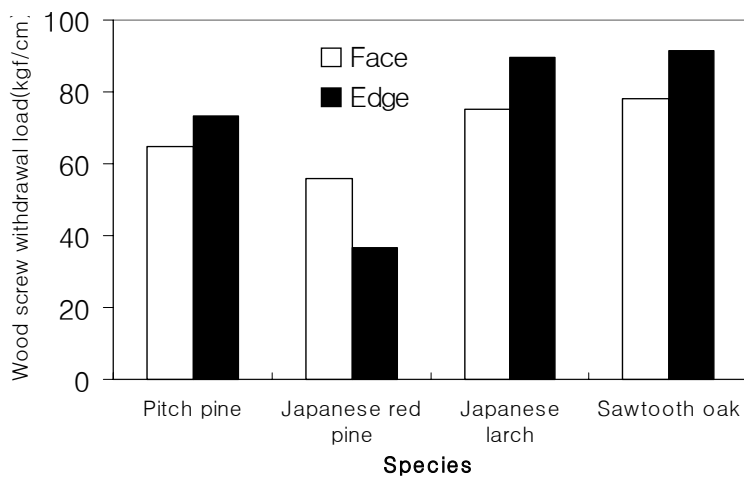


Figure 2.4. Wood screw test results.

그림 2.5는 파티클보드 표면의 나사못 뽑기 실험에서 발견된 일반적인 파괴 모습을 보여 주고 있다. 모든 시편에서 나사못의 길이를 따라 나삿니 주위에서 파괴가 일어나는 경향을 보여 주고 있다. 측면에서 파괴될 때 두께 13 mm 파티클보드의 중층의 밀도가 낮아 작은 전단력에 의해서도 나사못 주위의 목질이 뽑히는 전단 파괴 모습이 종종 관찰되었다. 이는 측면에서의 나사못 뽑기 하중이 파티클보드의 전단력과 관계가 있다는 것을 나타낸다.

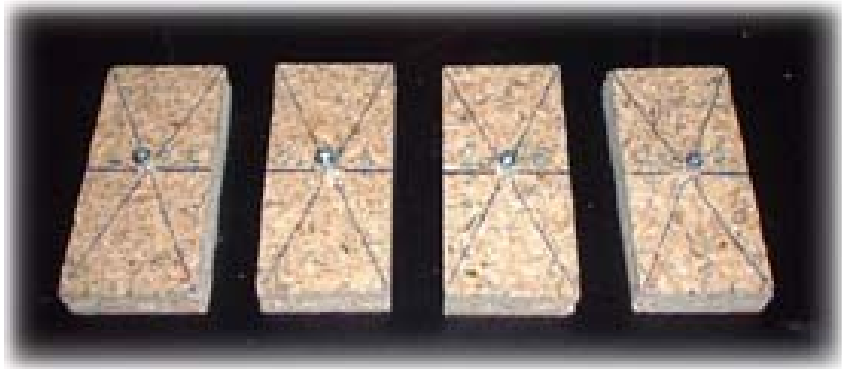


Figure 2.5. Wood screw withdrawal failures.

#### 4) 못뽑기 저항

두께를 통한 최대 못박기 실험과 못뽑기 실험 결과는 그림 2.6과 같다. 못박기 하중은 천공한 구멍의 직경에 따라 차이를 보이고 있다. 천공 직경이 증가하면 못박기 하중은 감소하였으며, 못뽑기 하중은 증가하였다. 못박기 하중의 전체 평균은 미리 천공을 하지 않은 경우에는 24.5 kgf였고, 미리 천공을 한 경우에는 1.5 mm일 때 22.7 kgf와 2 mm로 천공을 했을 때 17.6 kgf를 나타냈다. 못뽑기 하중의 전체 평균 값은 미리 천공을 하지 않은 경우 각각 4.0 kgf였지만 1.5 mm로 천공을 한 경우는 미리 천공을 하지 경우보다 약간 큰 5.2 kgf를 각각 나타냈다. 또한 2.0 mm일 때 6.6 kgf를 보였다. 못박기와 못뽑기 하중은 수종간에는 뚜렷한 차이를 발견하지 못했다. 이는 파티클보드의 밀도와 관계가 있기 때문으로 판단된다.



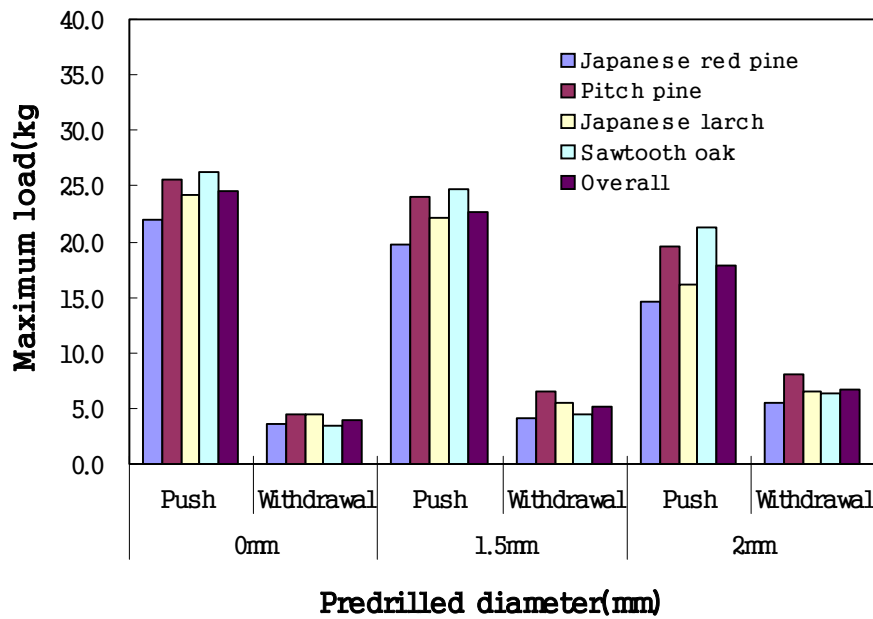


Figure 2.6. Maximum loads for nail push and pull through thickness with different predrilled diameter.

#### 다. 결론

국산 간벌 소경재로 제조한 파티클보드의 물리적 · 기계적 성질에 대한 실험 결과는 다음과 같다.

##### 1) 휨특성

파티클보드의 탄성계수와 휨강도는 제조한 수종에 따라 달랐다. 밀도가 작은 리기다소나무, 소나무 및 낙엽송으로 제조한 파티클보드의 휨강도와 휨탄성계수는 ANSI 규정 M-1 등급을 만족하고 있지만 밀도가 큰 상수리나무로 만든 파티클보드는 ANSI 규정보다 약간 작은 값을 보였다. 응력과 속도와 응력과 탄성계수는 파티클보드의 휨탄성계수와 휨강도를 예측하는 데 유용하게 이용될 수 있음을 보였다.

## 2) 선펡창

선펡창 실험 결과는 국산 간벌재로 제조한 파티클보드의 선펡창은 모두 ANSI (1999) 규정을 만족시켰고, 또한 제조한 파티클보드의 밀도가 증가하면 파티클보드의 선펡창은 증가하였다.

## 3) 나사못 유지력

국내사못 뽑기 실험 결과로부터 파티클보드의 밀도를  $0.70 \text{ g/cm}^3$  이상 일정하게 제조했을 때 표면과 측면에서 최대 나사못 뽑기 하중은 파티클의 수종에 따른 영향은 없었고, 파티클보드의 밀도에 영향을 받았다. 상수리나무, 낙엽송 및 리기다소나무로 제조된 밀도가 높은 파티클보드의 최대 나사못 유지력은 표면보다 측면에서 더 크게 나타났다.

## 4) 못박기와 못뽑기

모든 수종에서 천공을 하지 않은 경우에 못박기 하중이 가장 크게 요구되고, 천공의 직경 크기가 증가할수록 요구되는 하중의 크기는 감소하였다. 못뽑기 하중은 천공 직경의 크기가 증가할수록 증가하였다.

## 3. 합판의 성능평가

### 가. 재료 및 방법

#### 1) 공시재료

경기도에 소재하고 있는 제재소들에서 구입한 리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.), 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc), 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon.) 및 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carr.)의 간벌 소경재로부터 절삭된 로우터리 단판을 이용하여 3매 합판을 실험실에서 제조하였다.

## 2) 합판의 휨性質

시편은 표판의 목리방향이 시편의 길이 방향이 되도록 30 x 340 mm로 잘랐다. 모든 시편들은 실험 전에 상대습도 65%, 온도 21°C의 항온항습기에서 무게가 항량에 도달할 때까지 조습하였다. 모든 시편들의 무게와 치수를 측정하여 밀도를 계산하였다.

### 가) 응력과 실험

휨강도와 휨탄성계수를 구하기 위한 휨강도 실험 전에 미국 Metrigard 사의 응력과 실험기 (stress wave timer)를 사용하여 시편의 길이에 대한 응력과 통과시간을 측정하였다. 트랜스듀서는 일정한 압력을 사용하여 시편의 양끝에 크램프로 고정하였고, 응력과 통과시간은 10<sup>-6</sup>초까지 측정하여 응력과 속도를 계산하였다. 응력과 탄성계수는 아래 식에 의해 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{MOEs} &= \rho v^2 / g \\ \text{MOEs} &= \text{응력과 탄성계수 (kgf/cm}^2\text{)} \\ \rho &= \text{합판 밀도 (g/cm}^3\text{)} \\ v &= \text{응력과 속도 (m/s)} \\ g &= \text{중력가속도 (9.806m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

### 나) 휨강도 실험

응력과 실험을 마친 다음 각 시편에 휨강도 실험을 실시하였다. 휨강도 실험은 응력과 실험으로부터 구한 탄성계수를 이용하여 각 시편의 휨강도와 휨 탄성계수를 예측하기 위해 실시하였다. 휨강도 시험은 표준 실험방법 (ASTM D 3043, 1995)에 의해 수행되었다. 모든 시편은 Hounsfield 사의 만능재료시험기에 의해 파괴될 때까지 하중속도 3 mm/min로 시편의 중앙에 집중하중이 가해졌고, 모든 하중과 변형량은 컴퓨터로 자동 기록되었다. 휨강도 실험을 수행한 후, 시편의 함수율을 측정하였다.

### 3) 線膨脹 실험

선팽창은 상수리나무 합판을 제외한 리기다소나무, 소나무 및 낙엽송 합판으로부터 150 x 70 mm 크기의 시편을 사용하여 측정하였다. 각 합판으로부터 두 종류의 시편을 각 3개씩 만들었다. 하나는 합판의 표판 목리 방향에 평행방향으로 잘랐고, 다른 하나는 표판의 목리 방향과 직각 방향으로 잘랐다.

모든 시편은 먼저 온도 21°C, 상대습도 50%인 향온 항습기에서 시편의 무게가 항량에 도달할 때까지 길이와 무게를 측정하였다. 상대습도 50%에서 시편의 무게가 항량에 도달한 다음 향온 항습기의 상대습도를 80%로 증가시켜 상대습도 50%일 때와 같은 방법으로 측정하였다. 각 시편의 길이는 버니어 캘리퍼스를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였다. 시편의 길이를 측정하기 위해 평평한 테이블에 시편 번호가 새겨진 표면을 위로하고 항상 같은 위치에서 측정했다. 상대습도 50%에서 80%로 증가에 따른 팽창율은 상대습도 50%일 때 길이를 기초로 하여 상대습도 80%일 때 팽창한 길이 비율을 %로 계산하였으며, 선팽창은 다음과 같이 계산했다.

$$LE (\%) = \frac{L_L - L_O}{L_O} \times 100$$

LE : 선팽창 (%)

L<sub>L</sub> : 상대습도 80%에서의 길이 (mm)

L<sub>O</sub> : 상대습도 50%에서의 길이 (mm)

각 시편의 함수율 변화는 상대습도 50%일 때 함수율로부터 상대습도 80%일 때 함수율의 변화로 다음과 같이 계산하였다.

$$DMC(\%) = MC_H - MC_O$$

DMC : 함수율 차 (%)

MC<sub>H</sub> : 상대습도 80%에서 함수율 (%)

MC<sub>O</sub> : 상대습도 50%에서 함수율 (%)

선팽창 계수 (linear expansion coefficient)는 함수율 1% 변화 당 길이 변화로 선

팽창과 함수율 차의 비로 계산하였다.

선팽창에 대한 실험을 마친 다음 각 상대습도에서 함수율을 측정하기 위해 모든 시편들은 온도가 103°C인 건조기에서 전건시켜 무게를 측정하였다.

#### 4) 못박기 및 뽑기 실험

못박기 실험을 위해 사용된 실험 시편들은 두께 6 mm로 실험실에서 제작된 3매 합판을 사용했다. 못박기 하중은 함수율에 영향을 받기 때문에 모든 시편은 상대습도 65%와 온도 21°C인 항온 항습기에서 일정한 무게와 함수율에 도달하도록 조습하였다. 본 실험은 크기가 7.5 x 15 cm인 시편에 사용된 못의 몸통 직경의 평균은 2.6 mm였고, 길이는 51.5 mm였다. 못박기 실험을 위해 직경이 1.5 mm와 2 mm인 구멍을 두께를 관통하여 각각 미리 천공하였으며, 또한 구멍을 미리 천공하지 않고 못을 직접 박았다.

못박기 실험 (그림 3.1)은 시편을 만능 재료시험기의 중앙에 위치한 고정 프레임의 위쪽에 위치하게 했다. 못의 끝은 고정물의 중앙에 위치한 opening을 향해 아래로 향하게 했다. 본 실험을 위해 고안한 drill chuck은 못 머리의 중앙을 향하게 하였다. 하중은 만능재료 시험기의 두 플레이트가 중앙을 향하게 함으로 가해졌다. 하중속도는 위쪽에 위치한 플레이트의 이동 속도가 분당 1.5 mm로 하였다.

못박기를 끝낸 모든 시편들은 못뽑기 실험을 하중속도 1.5 mm/min으로 실시하였다. 실험을 모두 마친 모든 시편들로부터 함수율과 밀도를 측정하였다. 각 시편에 대한 밀도와 함수율을 측정하기 위해 체적과 무게를 각 시편으로부터 측정한 다음, 모든 시편은 온도가 104°C인 전기 오븐에 넣어 일정한 무게에 도달시켜 전건무게를 측정하였다.

Table 3. 1. Description of plywood characteristics.

Species	Moisture Content (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Pinus rigida</i>	9.8	0.62
<i>Pinus densiflora</i>	9.7	0.61
<i>Larix leptolepis</i>	9.2	0.50



Figure 3.1. Testing arrangement for nail push through the thickness of specimen.

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 합판의 휨性質

표 3.2는 휨강도 시편들의 함수율과 밀도에 대한 평균과 표준 편차를 보여주고 있다. 상수리나무 합판의 밀도는 0.75 g/cm<sup>3</sup>으로 가장 컸고, 낙엽송 합판이 0.54 g/cm<sup>3</sup>로 가장 낮았다.

Table 3.2. Summary of moisture content (MC) and density of plywood for bending test specimen.

Species	MC (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Pinus rigida</i>	9.0 (0.24)	0.63 (0.04)
<i>Pinus densiflora</i>	10.9 (0.36)	0.58 (0.02)
<i>Larix leptolepis</i>	9.6 (0.45)	0.54 (0.05)
<i>Quercus acutissima</i>	10.0 (0.28)	0.75 (0.03)

표 3.3은 표판의 목리가 스펠 길이와 평행일 때의 합판의 휨 성질을 보여주고 있다. 상수리나무 합판을 제외하고는 응력과 탄성계수는 휨탄성계수보다 약간 크게 나타났다. 합판의 휨강도는 수종에 의해 영향을 받고 있는데 이는 합판의 밀도 때문인 것으로 판단된다. 밀도가 가장 큰 상수리나무가 가장 큰 휨강도인 659.0 kgf/cm<sup>2</sup>와 휨탄성계수인 93.7 x 10<sup>3</sup> kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냈다. 이는 상수리나무 합판이 다른 수종의 합판보다 더 큰 하중을 지지할 수 있고 처짐이 덜 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 그 다음으로 밀도가 큰 리기다소나무 합판은 휨강도 490.5 kgf/cm<sup>2</sup>를 보여주고 있다. 밀도가 작은 소나무와 낙엽송 합판은 가장 작은 휨강도를 나타내고, 그 값은 각각 358.0과 387.3 kgf/cm<sup>2</sup>를 나타냈다.

Table 3.3. Summary of flexural properties of plywood strips tested with face grain orientation parallel to span.

Species	Stress wave velocity (m/s)	MOE (x10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )		MOR (kgf/cm <sup>2</sup> )
		Stress wave	static bending	
<i>Pinus rigida</i>	3077.4 (260.7)	61.7 (11.8)	54.0 (12.5)	490.5(72.6)
<i>Pinus densiflora</i>	3268.5 (248.8)	63.5 (9.9)	54.3 (14.1)	358.0(102.1)
<i>Larix leptolepis</i>	3578.3 (215.9)	71.4 (14.0)	60.9 (17.1)	387.2(84.0)
<i>Quercus acutissima</i>	3473.9 (99.2)	91.8 (6.9)	93.7 (16.5)	659.0(125.0)

휨탄성계수와 휨강도를 예측하기 위해 응력과 속도를 이용한 선회귀 분석 결과, 양자 사이에 상관은 그리 우수하지 못했다. 이는 합판의 밀도가 휨성질과 응력과 전달 속도에 미치는 영향이 다르기 때문이라 사료된다. 즉, 휨강도와 휨탄성계수 값이 합판의 밀도에 크게 영향을 받았으나 밀도가 증가한다고 응력과 속도는 증가하지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 밀도가 가장 작은 낙엽송 합판의 응력과 속도는 가장 큰 값을 나타내고 있으며, 밀도가 두 번째로 큰 리기다소나무 합판이 가장 작은 값을 나타냈다. 휨 특성과 합판의 밀도간의 상관 계수는 낮은 값을 나타냈는데, 이는 합판의 밀도 범위가 좁기 때문이라 판단된다. 따라서 모든 수종의 밀도를 하나로 묶었을 때 밀도가 휨탄성계수 및 휨강도 간의 상관계수는 각각 0.50과 0.66이었는데, 이는 밀도에 의해 휨탄성계수와 휨강도에 50% 및 66%를 예측할 수 있음을 가리킨다 (표 3.4).

Table 3.4. Results of linear regression analyses relating static MOE and MOR to density and stress wave MOE.

Predictor (X)	Regression eqn: $Y = AX + B$			
	Y	A	B	$R^2$
Density	static MOE ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )	187.2	-51.4	0.50
MOE from stress wave test ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )		1.23	-23.1	0.80
Density	MOR	1742.1	-446.1	0.66
MOE from stress wave test ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )		5.96	43.8	0.40
MOE from static bending test ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )		5.37	121.3	0.61

응력과 탄성계수를 이용한 휨탄성계수 및 휨강도를 예측의 예측 결과, 각 수종의 휨탄성계수 및 휨강도는 응력과 탄성계수간의 상관계수는 낮았으나, 모든 수종을 하



나로 묶었을 때 응력과 탄성계수와 휨탄성계수 및 휨강도 간의 상관계수는 각각 0.80과 0.40을 보였다 (그림 3.2와 그림 3.3). 그림 3.4는 휨강도와 휨탄성계수 간에 관계를 보여주고 있는데, 양자간에 비교적 높은 상관관계를 보여주고 있다.

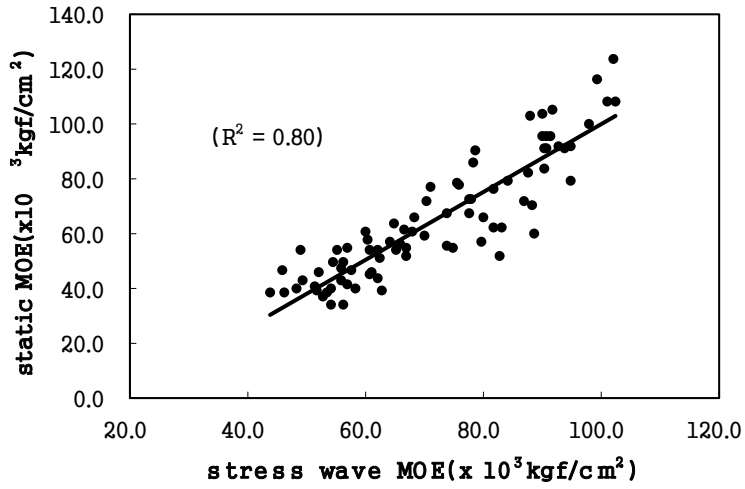


Figure 3.2. Relationship between stress wave MOE and static MOE

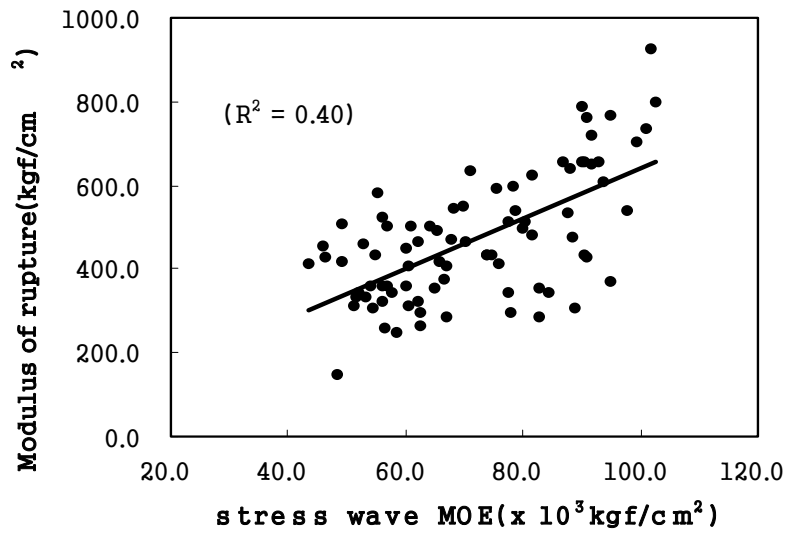


Figure 3.3. Relationships between stress wave MOE and MOR

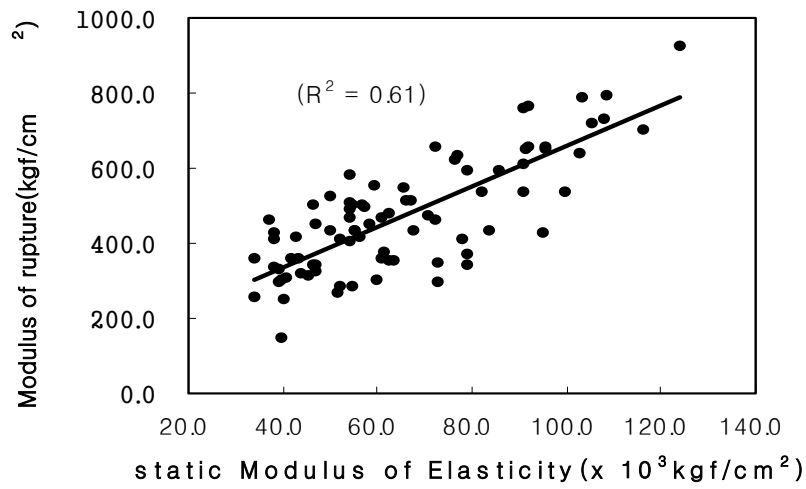


Figure 3.4. Relationships between static MOE and MOR.

## 2) 線膨脹

표 3.5에 나타난 바와 같이 표판의 목리 방향에서 선팽창계수가 목리 직각방향의 선팽창계수보다 작게 나타났다. 리기다소나무, 소나무 및 낙엽송 합판의 선팽창 계수의 평균은 표판의 목리 평행방향에서 0.028로부터 0.032 (%/%)를 나타냈고, 직각방향에서는 0.049로부터 0.052 (%/%)를 나타냈다. 이는 합판에서 섬유 방향이 시편의 길이 방향으로 배열된 단판의 두께가 시편 길이의 직각 방향으로 배열된 단판의 두께보다 크기 때문에 합판의 팽창이 소재의 작은 섬유방향 팽창에 가깝게 되었고, 그 직각방향에서 더 크게 팽창했기 때문으로 판단된다. 표판의 목리 방향의 선팽창 계수와 직각방향의 선팽창 계수간의 비는 2이하로 합판의 밀도가 작은 낙엽송과 소나무가 1.63이었고, 합판의 밀도가 큰 리기다소나무가 1.75를 나타냈다. 이 결과는 합판의 표판 목리에 평행 방향의 선팽창계수가 밀도가 커질수록 작아진데 연유한 것으로 본 연구의 3매 합판을 제조하는데 사용된 수종에 따른 단판의 팽창 자체가 제조된 합판의 선팽창에 영향하고 있음을 나타낸다.

Table 3.5. Summary of moisture content, density and linear expansion coefficients for plywood.

Species	Moisture content (%)		Density (gr/cm <sup>3</sup> )	Linear expansion coefficient (%/%)		R/P
	50% RH	80% RH		parallel to the face grain (P)	perpendicular to the face grain (R)	
<i>Pinus rigida</i>	8.09	14.44	0.61	0.028	0.049	1.75
<i>Pinus densiflora</i>	8.08	13.83	0.59	0.032	0.052	1.63
<i>Larix leptolepis</i>	8.25	13.44	0.50	0.031	0.050	1.63

### 3) 못박기 및 못뽑기

두께를 통한 최대 못박기 실험과 못뽑기 실험 결과는 그림 3.5와 같다. 못박기 하중은 제조된 합판의 수종과 천공한 구멍의 직경에 따라 차이를 보이고 있다. 밀도가 큰 합판은 밀도가 작은 합판보다 더 큰 못박기 및 못뽑기 하중을 나타내고 있다. 밀도가 작은 낙엽송의 못박기 하중의 평균은 미리 천공을 하지 않은 경우에는 28.4 kgf였고, 미리 천공을 한 경우에는 1.5 mm로 천공시 28.5 kgf와 2 mm로 천공을 했을 경우 20.5 kgf를 나타냈고, 리기다소나무와 소나무의 못박기 하중의 평균값은 미리 천공을 하지 않은 경우 각각 38.1과 30.2 kgf였지만 1.5 mm로 천공을 한 경우에는 미리 천공을 하지 경우보다 약간 작은 35.5와 29.9 kgf를 각각 나타냈다. 또한 2.0 mm로 천공했을 때 각각 30.3과 20.9 kgf를 보였다.

못뽑기 하중은 또한 제조된 합판의 수종과 천공한 구멍의 직경에 따라 차이를 보이고 있다. 못뽑기 하중은 천공을 하지 않은 경우 거의 차이를 보이지 않고 있다. 천공을 한 경우에는 밀도가 큰 리기다소나무가 가장 큰 값을 보이고 있으며 소나무와 낙엽송 순서로 작은 값을 나타내고 있다. 낙엽송의 못뽑기 하중의 평균은 미리 천공을 하지 않은 경우에는 10.0 kgf였고, 미리 천공을 한 경우에는 1.5 mm로 천공했을 때 천공하지 않은 경우와 같은 10.0 kgf를 나타냈지만 2 mm로 천공을 했을 경우 11.3 kgf를 나타냈다. 리기다소나무와 소나무의 못뽑기 하중의 평균값은 미리 천공을 하지 않은 경우 각각 9.7과 9.9 kgf였고, 1.5 mm로 천공을 한 경우에는 미리 천공을 하지 경우보다 약간 큰 12.5와 10.3 kgf를 각각 나타냈다. 또한 2.0 mm로 천공했을 때 19.3과 12.7 kgf로 큰 값을 보였다.

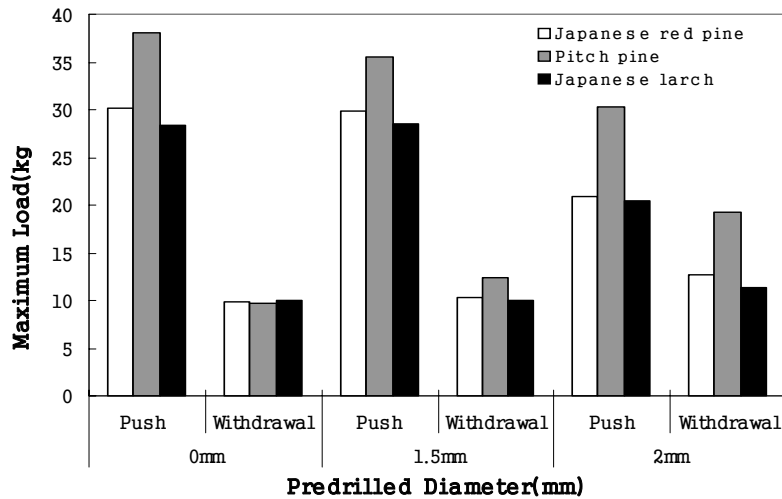


Figure 3.5. Maximum loads for nail push through thickness and withdrawal test.

#### 다. 결론

리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.), 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon.) 및 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carr.)의 국산 간벌 소경재로 제조된 3매 합판에 대한 물리적·기계적 성질에 대한 실험 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

##### 1) 휨강도

합판의 휨탄성계수와 응력과 탄성계수간에 매우 높은 상관성이 존재하였으며, 휨강도와 휨탄성계수 사이에도 비교적 높은 상관성이 있었다.

##### 2) 선팽창

국산 소경재로 제조한 합판의 선팽창 계수는 밀도에 따라 표판의 목리방향과 목

리 직각방향의 비가 달랐으며, 밀도가 큰 합판의 선펡창계수 비는 밀도가 작은 합판의 선펡창계수 비보다 크게 나타났다.

### 3) 못박기 및 못뽑기

모든 수종에서 천공을 하지 않은 경우에 못박기 하중이 가장 크게 요구되고, 천공의 직경 크기가 증가할수록 요구되는 하중의 크기는 감소하였다. 못뽑기 하중은 천공 직경의 크기가 증가할수록 증가하였음을 보여주고, 특히 리기다소나무의 경우 더 크게 증가하는 것을 보여주고 있다.

## 4. Com-Ply의 성능평가

### 가. 재료 및 방법

#### 1) Com-Ply 제작

본 연구를 위해 서로 다른 3 수종을 선별하였다. 선별된 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc), 리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.) 및 낙엽송 (*Larix ieptolepis* Gordon.)들은 경기도에 소재하고 있는 제재소로부터 구입하여 로우터리 단판을 제작하였다. 또한 시중에서 유통되고 있는 국내에서 제조된 파티클보드는 3개회사 제품으로 회사별로 3장씩 구입하였다. 구입된 파티클보드를 40 x 40 cm로 절단하여 국산 간벌재로 제조된 단판을 이용하여 Com-Ply를 실험실에서 제작하였다.

#### 2) 선펡창

선펡창 실험을 위해 시중에서 판매되고 있는 파티클보드와 파티클보드에 양 표면을 국산 원목으로 제작된 단판으로 사용하여 제작한 Com-Ply를 사용하였다. 실험에 사용된 파티클보드 시편의 밀도는 0.68 g/cm<sup>3</sup>였고, 소나무와 낙엽송 단판으로 제조한 Com-Ply가 0.65 g/cm<sup>3</sup>였으며, 리기다소나무 단판으로 제조한 것이 0.66 g/cm<sup>3</sup>로 약간 높았다. 표 4.1은 실험에 사용된 시편의 밀도에 대한 평균과 표준 편차 및 상대

습도 50%와 상대습도 80%에서의 평균 함수율과 표준편차를 보여주고 있다.

선팽창은 폭 70 mm, 길이 150 mm인 파티클보드의 시편에 대해 측정했다. 각각의 파티클보드와 Com-Ply로부터 두 개의 시험편을 만들었다. 하나는 각 파티클보드와 Com-Ply의 길이를 따라 잘랐고, 다른 하나는 첫 번째 시편과 직각 방향으로 잘랐다. 각각의 파티클보드들은 자로 절단선들을 그린 다음 이동식 톱을 사용하여 선을 따라 잘랐다. 모든 시편들은 자른 다음 연마포지로 직각사각형이 되도록 연마하였다. 회사별로 구입한 상업용 파티클보드로부터 6개의 시편을 만들었고, 회사별로 파티클보드에 수종별 국산 간벌 소경재 단판으로 만든 Com-Ply로부터 18개를 만들어, 총 72개의 시편이 선팽창 실험에 사용되었다. 각 시편은 버니어 캘리퍼를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였다. 시편의 길이를 측정하기 위해 평평한 테이블에 시편 번호가 새겨진 표면을 위로하고 항상 같은 방향과 같은 측정 위치에서 측정했다. 모든 시편은 먼저 온도 21°C, 상대습도 50%인 항온 항습기에서 무게가 일정하게 될 때까지 매일 길이와 무게를 측정하였다. 상대습도 50%에서 일정한 무게에 도달한 다음 항온 항습기의 상대습도를 80%로 증가시켜 상대습도 50%일 때와 같은 방법으로 측정하였다. 상대습도 50%에서 80%로의 증가에 따른 최대 선팽창은 상대습도 50%일 때의 길이를 기초로 하여 상대습도 80%일 때 팽창한 길이 비를 %로 계산하였다.

Table 4.1. Physical characteristics for commercial PB and Com-Ply.

Characteristics	Moisture content (%)		density (g/cm <sup>3</sup> )
	RH 50%	RH 80%	
commercial PB	8.05 (0.70*)	11.20 (0.89*)	0.68 (0.043*)
Japanese red pine-PB	8.07 (0.98)	11.74 (1.04)	0.65 (0.023)
Japanese larch-PB	7.31 (0.70)	11.03 (0.77)	0.65 (0.028)
Pitch pine-PB	8.00 (0.55)	11.85 (0.68)	0.66 (0.036)

\* Standard Deviation

### 3) 나사못 유지력

나사못 유지력 실험은 상업용 파티클보드에 국산 간벌재의 단판으로 제조한 Com-Ply와 상업용 파티클보드를 사용하였다. 상업용 파티클보드 시편의 밀도는 0.68 g/cm<sup>3</sup>였고, 소나무 단판으로 만든 Com-Ply밀도는 0.64 g/cm<sup>3</sup>로 가장 낮았으며, 리기다소나무와 낙엽송 단판으로 만든 Com-ply가 0.65 g/cm<sup>3</sup>였다. 표 4.2는 실험에 사용된 시편의 밀도에 대한 평균과 표준 편차를 보여주고 있다. 나사못 유지력 실험은 파티클보드의 결합부에 일반적으로 사용되는 길이가 25 mm인 No. 10 나사못을 표면에 수직으로 박아 실시하였다. 이들 실험실에서 제작된 폭 70 mm, 길이 140 mm인 파티클보드 시편에서 나사못의 위치는 각 시편의 모서리에 두 개의 선을 그어 만나는 점을 중심선으로 하여 표면에 표시한 다음 천공을 하였다. 표면의 나사못 뽑기 실험을 위해 나사못을 박을 때 나사못 주위의 분할을 방지하기 위해 직경이 3.2 mm인 구멍을 미리 천공하였다. 나사못은 나삿니가 모두 감추어질 때까지 약 15 mm 정도 박아 실험을 실시했다. 표 4.1은 또한 실험에 사용된 나사못의 특성을 나타내고 있다. 실험은 나사못을 박은 즉시 실시하였다. 시편을 고정하는 결합 철물은 만능 재료기의 아래에 위치한 플레이트에 고정하였다. 고정된 결합 철물의 위쪽에 만들어진



가늘고 긴 홈을 통하여 파티클보드의 표면 및 측면 위로 나온 나사못은 Hounsfield사의 만능 재료 시험기 위쪽에 위치한 플레이트에 고정된 고정물에 고정하여 하중을 가했다. 하중은 만능재료 시험기의 두 플레이트가 서로 다른 방향으로 떨어지게 함으로 가해졌다. 하중속도는 위쪽에 위치한 플레이트의 이동 속도 1.5 mm/min으로 실시하였다.

모든 나사못 뽑기 실험을 마친 시편들로부터 함수율과 비중을 측정하였다. 각 시편에 대한 비중과 함수율은 표준 실험방법 (ASTM D 143, 1995)에 의해 실시하였다.

Table 4.2. Description of wood screw, commercial PB and Com-Ply characteristics.

Characteristics		Description	
Wood screw	Shank diameter	4.57mm (0.11mm)	
	Length	24.90mm (0.39mm)	
	Penetration	14.46mm (0.56mm)	
commercial PB	density (g/cm <sup>3</sup> )	0.68 (0.044)	
Com-Ply	density (g/cm <sup>3</sup> )	<i>Pinus rigida</i>	0.65 (0.036)
		<i>Pinus densiflora</i>	0.64 (0.021)
		<i>Larix leptolepis</i>	0.65 (0.028)

## 나. 결과 및 고찰

### 1) Com-Ply의 선펡창

상업용 파티클보드와 상업용 파티클보드 core에 국내에서 생산되는 단판으로 제조한 Com-Ply의 함수율 차와 최대 선펡창을 표 4.3에 요약하였다. 상업용 파티클보드와 국산 리기다소나무, 소나무 및 낙엽송 단판으로 만든 모든 Com-Ply의 선펡창은 상업용 파티클보드의 선펡창보다 작은 값을 보였다. 이 결과는 국산재로 제조한

단판이 선형팽창에 영향하고 있음을 나타낸다. 하지만 낙엽송 단판으로 제조한 Com-Ply가 다른 수종으로 제조한 Com-Ply보다 약간 더 큰 선팽창을 나뉘고, 리기다소나무 단판으로 만든 Com-Ply가 가장 작은 값을 나타내었다.

Table 4.3. Summary of moisture content changes and maximum linear expansion for commercial PB and Com-Ply.

Characteristics	DMC <sup>a</sup> (%)	Maximum Linear expansion (%)
	RH: 50% to 80%	
commercial PB	3.15 (0.27 <sup>**</sup> )	0.111 (0.040 <sup>**</sup> )
Japanese red pine-PB	3.67 (0.18)	0.109 (0.062)
Japanese larch-PB	3.72 (0.21)	0.110 (0.052)
Pitch pine-PB	3.86 (0.33)	0.102 (0.032)

<sup>a</sup> DMC was defined as the difference between the MCs at a given relative humidities.

<sup>\*\*</sup> Standard Deviation

## 2) 나사못 유지력

나사못 유지력 실험에 사용된 리기다소나무, 소나무 및 낙엽송 단판을 사용하여 제조된 Com-Ply와 상업용 파티클보드의 함수율은 표 4.4와 같다. 상업용 파티클보드와 국산 수종의 단판으로 제조한 Com-Ply에 대한 나사못 실험 결과는 또한 표 4.4에 요약하였다.

표 4.4는 나사못이 박힌 단위 길이당 최대 나사못 뽑기 하중을 나타내고 있다. 표 면에서 나사못 최대 뽑기 하중의 평균은 상업용 파티클보드가 53.2 kgf/cm로 가장 작았다. Com-Ply 전체에 대한 나사못 뽑기 하중의 평균은 61.1 kgf/cm로 상업용 파티클보드 보다 14.8%가 더 컸다. 이는 Com-Ply 제조에 사용된 단판이 나사못 뽑기

하중에 영향했음을 의미한다. 상업용 파티클보드에 국산 소경재 단판으로 제조한 Com-Ply의 나사못 뽑기 하중은 리기다소나무 단판으로 제조한 것이 64.0 kgf/cm로 가장 큰 값을 보였다. 리기다소나무와 낙엽송 단판으로 제조한 Com-Ply는 큰 차이가 없었으나, Com-Ply의 밀도가 약간 큰 낙엽송이 60.2 kgf/cm였고, 약간 작은 밀도를 가진 소나무 단판으로 만든 Com-Ply가 59.2 kgf/cm를 보였다. 최대 나사못 뽑기 하중에 대한 변이 계수는 상업용 파티클보드가 11.2%였다. 하지만 나사못 뽑기 하중이 가장 큰 리기다소나무 단판으로 만든 Com-Ply의 최대 나사못뽑기 하중에 대한 변이 계수는 17.5%로 높았다. 다른 수종의 단판으로 제조한 Com-Ply의 경우, 낙엽송은 12.4%를 보였으나, 소나무가 가장 작은 변이 계수인 7.7%를 보여 Core로 사용된 상업용 파티클보드의 변이 계수보다 작은 값을 나타냈다. 이와 같이 낮게 나타난 변이 계수는 국산 소경재로 제조된 단판의 작은 밀도 변이 때문인 것으로 여겨지므로 Com-Ply를 만들 때 밀도가 균일한 단판을 사용했을 때 표면에서 나사못 뽑기 하중이 매우 균일하게 나타날 것으로 여겨진다.

Table 4.4. Summary of wood screw withdrawal loads for commercial PB and Com-Ply.

Characteristics		MC	Wood screw withdrawal load (kgf/cm)
Commercial PB		7.5 (0.43)	53.2 (5.97)
Com-Ply	<i>Pinus rigida</i>	7.5 (0.27)	64.0 (11.17)
	<i>Pinus densiflora</i>	7.4 (0.51)	59.2 (4.53)
	<i>Larix leptolepis</i>	7.1 (0.44)	60.2 (7.46)
	Overall	7.4 (0.45)	61.1 (8.30)

그림 4.1은 Com-Ply 표면의 나사못 뽑기 실험에서 발견된 일반적인 파괴 모습을 보여 주고 있다. 모든 시편에서 나사못의 길이를 따라 나삿니 주위에서 파괴가 일어

나는 경향을 보여 주고 있다. 특히 Com-Ply의 표면 단판에서 나사못 주위의 단판 목리를 따라 파괴되는 모습이 관찰되었다.



Figure 4.1. Wood screw withdrawal failures for Com-Ply specimen.

#### 다. 결론

국산 리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.), 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) 및 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon.)의 간벌 소경재 단판과 상업용 파티클보드를 Core로 제조한 Com-Ply에 대한 실험 결과로부터 다음과 같았다.

##### 1) 선펡창

간벌 소경재 단판으로 제조한 Com-Ply는 상업용 파티클보드보다 모든 수종에서 적은 선펡창을 보였다.

##### 2) 나사못 유지력

국산 간벌재로 만든 단판으로 제조한 Com-Ply는 상업용 파티클보드보다 나사못

유지력이 모든 수종에서 증가하였으며, 전체 평균이 14.8% 증가하였다.

## 5. 국산 간벌 소경재의 성능평가

### 가. 재료 및 방법

#### 1) 휨강도

휨강도 실험을 위해 경기도에 위치한 제재소에서 직경이 작은 소형 원목을 구입하였다. 사용된 수종들은 국내에 많이 조림된 리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.), 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon.) 및 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carr.)의 간벌 소경재를 선택했다. 모든 시편들은 용이 등 결합이 포함되지 않게 하여 폭 15 mm, 두께 15 mm, 길이 400 mm로 제작하였다. 제작된 시편들은 상대습도 65%와 온도 21°C인 항온항습기에서 일정한 무게에 도달하도록 처리하였다.

#### 가) 응력과 실험

휨강도 실험 전에 미국 Metrigard 사의 응력과 시험기 (stress wave timer)를 사용하여 시편의 길이에 대한 응력과 통과 시간을 측정하였다. 트랜스듀서는 일정한 압력으로 시편의 양끝에 위치한 크램프에 의해 고정하였다. 응력과 통과 시간은 10-6초까지 측정하여 응력과 속도를 계산하는데 사용하였다. 응력과 탄성계수는 아래 식에 의해 계산하였다.

$$MOEs = \frac{\rho v^2}{g}$$

$$MOEs = \text{응력과 탄성계수 (kgf/cm}^2\text{)}$$

$$\rho = \text{목재의 밀도 (g/cm}^3\text{)}$$

$$v = \text{응력과 속도 (m/s)}$$

$$g = \text{중력가속도 (9.806m/s}^2\text{)}$$

## 나) 휨강도 실험

휨강도 실험은 응력과 탄성계수와 비교하기 위해 응력과 실험을 마친 모든 시편에 실시하였다. 휨강도 실험은 표준 실험 방법 (ASTM D 143, 1995)에 의해 수행되었다. 휨강도 실험은 Hounsfield 사의 만능재료실험기를 사용하여 시편의 중앙에 하중속도 2.5 mm/min로 파괴될 때까지 하중을 가하였다. 하중과 변형량은 계속하여 컴퓨터로 기록하여 휨강도 실험에 의한 탄성계수와 휨강도 계산에 사용했다. 휨강도 실험을 마친 후, 함수율과 비중을 측정하였다.

## 2) 선펡창

국산 소경 간벌재에 대한 선펡창 실험에 사용된 시편의 비중은 소나무가 0.51로 가장 낮았고, 낙엽송은 0.62였으며, 상수리나무가 0.78로 가장 높았다.

선펡창은 두께가 10 mm이고, 횡단면이 45 x 45 mm인 시편을 사용하여 측정하였다. 각 시편은 연륜이 곧고 웅이가 없는 것을 선별하여 방사방향으로 폭이 45 mm가 되도록 하고, 접선방향으로 다른 폭이 45 mm로 제재하여 평활하게 조정된 다음 두께는 종방향으로 10 mm가 되도록 횡단면을 따라 둥근톱으로 잘랐다. 모든 시편들은 자른 다음 연마포지로 정사각형이 되도록 연마하였다. 각 시편은 버니어 캘리퍼를 사용하여 0.01 mm까지 측정하였다. 시편은 시편 번호가 새겨진 표면을 위로하고 항상 같은 방향과 위치에서 접선방향과 방사방향의 길이를 측정했다. 모든 시편은 먼저 온도 21°C, 상대습도 50%인 항온 항습기에서 무게가 항량에 도달할 때까지 매일 길이와 무게를 측정하였다. 상대습도 50%에서 일정한 무게에 도달한 다음 항온 항습기의 상대습도를 80%로 증가시켜 상대습도 50%일 때와 같은 방법으로 측정하였다. 상대습도 50%에서 80%로의 증가에 따른 팽창 계수는 상대습도 50%일 때의 길이를 기초로 하여 상대습도 80%일 때 팽창한 길이 비율을 %로 계산하였으며, 최대 선펡창은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{MLE (\%)} = \frac{L_L - L_0}{L_0} \times 100$$

MLE: 최대 선펡창 (%)

$L_L$  : 상대습도 80%에서 길이 (mm)

$L_0$  : 상대습도 50%에서 길이 (mm)

선팽창계수 (linear expansion coefficient)는 함수율 1%당 길이 변화로 선팽창과 함수율 차의 비율로 계산하였다. 각 시편의 함수율 차는 상대습도 50%와 상대습도 80%일 때 함수율의 차이를 이용하여 계산하였다.

### 3) 나사못 유지력

나사못 뽑기 실험은 경기도에 소재하고 있는 제재소에서 선별하여 구입한 간벌 소경재인 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.) 및 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carr.)를 사용하였다. 모든 시편은 옹이 등 다른 결함이 포함되지 않게 하여 50 x 50 x 100 mm로 제작하였다. 그런 다음 온도가 21°C이고 상대습도가 65%인 항온항습기에서 일정한 무게에 도달하도록 처리하였다. 처리된 시편의 함수율 평균은 각각 소나무 11.9%, 리기다 소나무 12.2% 및 상수리나무 12.8%였다. 표 5.1은 각 수종의 밀도로 소나무 0.54 g/cm<sup>3</sup>, 리기다소나무 0.55 g/cm<sup>3</sup> 및 상수리나무 0.81 g/cm<sup>3</sup>을 보여 주고 있다.

나사못 유지력 실험은 표준시험 방법 (ASTM D 1761, 1995b)에 따라 실시하였다. 모든 나사못은 일반적으로 사용하는 길이가 25 mm인 No. 10을 사용하였다. 나사못은 실험전에 각 표면에 직각으로 미리 뚫은 직경이 3.2 mm인 구멍을 통하여 17 mm 깊이로 박았다. 각 시편당 총 6번의 나사못 뽑기 실험을 실시하였다. 4번은 방사면과 접선면에 나사못을 박아 실시하였고 두 번은 횡단면에 대해 실시하였다. 각 수종별로 12개의 나사못 뽑기 시편을 사용하여 총 216개의 나사못에 대한 실험을 실시하였다. 표 5.1은 또한 실험에 사용된 나사못의 특성을 나타내고 있다. 실험은 나사못을 박은 즉시 실시하였다. 시편을 고정하는 결합 철물은 만능 재료 시험기의 아래에 위치한 플레이트에 고정하였다. 고정된 결합 철물의 위쪽에 만들어진 가늘고 긴 홈을 통하여 파티클보드의 표면 및 측면 위로 나온 나사못은 Hounsfield 사의 만능 재료 시험기 위쪽에 위치한 플레이트에 고정된 고정물에 고정하여 하중을 가했

다. 하중은 만능재료 시험기의 두 플레이트가 서로 다른 방향으로 떨어지게 함으로 가해졌다 (그림 5.1). 하중속도는 위쪽에 위치한 플레이트의 이동 속도 2 mm/min으로 실시하였다.

Table 5.1. Summary of test details for wood screw withdrawal test

Characteristics		Description	
Wood screw	Shank diameter	4.70mm (0.05mm*)	
	Length	25.06mm (0.24mm*)	
	Penetration	15.41mm (0.48mm*)	
Wood	density (g/cm <sup>3</sup> )	<i>Pinus densiflora</i>	0.54 (0.02*)
		<i>Pinus rigida</i>	0.55 (0.03*)
		<i>Quercus acutissima</i>	0.81 (0.02*)

\* Standard deviation

모든 나사못 뽑기 실험을 마친 시편들로부터 함수율과 비중을 측정하였다. 각 시편에 대한 비중과 함수율은 표준 실험방법 (ASTM D 143, 1995)에 의해 실시하였다. 체적과 무게를 각 시편으로부터 측정된 다음 모든 시편은 온도가 104°C인 전기 오븐에 넣어 일정한 무게에 도달시킨 다음 전건 무게를 측정하였다.





Figure 5.1. Testing arrangement for wood screw withdrawal test.

## 나. 결과 및 고찰

### 1) 휨 성질

Table 5.2는 실험에 사용된 시편들의 비중 및 함수율에 대한 평균과 표준 편차를 보여주고 있다. 함수율의 평균은 10.9%에서 11.2%였다. 비중은 낙엽송과 소나무가 각각 0.44와 0.48로 가장 낮았고, 리기다소나무는 0.56였으며, 상수리나무가 0.71로 가장 높았다. 심 등 (1975)은 40년 이상 된 천연림에서 자란 소나무와 인공림에서 자란 리기다소나무의 경우 비중이 각각 0.53과 0.54로 리기다소나무는 약간 적게 나타났으나 소나무의 경우 크게 나타났다. 이는 심 등이 서있는 나무의 밑 부분으로부터 5.45 m이상에서 채취하여 사용한 시편의 채취 위치와 관계가 있는 것으로 판단된다.

Table 5.2. Moisture contents and specific gravity for specimens from small diameter log.

Species	Moisture Content (%)	Specific Gravity
<i>Pinus rigida</i>	10.9 (0.53*)	0.56 (0.03*)
<i>Pinus densiflora</i>	11.2 (0.24)	0.48 (0.04)
<i>Larix leptolepis</i>	11.0 (0.22)	0.44 (0.03)
<i>Quercus acutissima</i>	10.9 (0.21)	0.71 (0.04)

\* Standard Deviation

휨강도 실험 및 응력과 실험에 의한 결과들은 표 5.3에 요약하였다. 응력과 실험으로부터 구한 탄성계수와 휨강도 실험으로 구한 탄성계수는 매우 유사한 값을 보여주고 있다. 두 실험으로부터 구한 탄성계수는 리기다소나무가 가장 작은 값을 보여주고 있으며, 낙엽송, 소나무 및 상수리나무 순으로 크게 나타났다. 표 5.3에서 괄호 안에 있는 각 실험 결과들에 대한 표준편차는 탄성계수의 변이성을 보여준다. 상수리나무와 소나무는 응력과 탄성계수가 휨탄성계수보다 적은 값을 보여주고 있고, 표준편차 또한 적은 값을 나타내고 있다. 이는 낙엽송이나 리기다소나무보다 소나무나 상수리나무가 더 작은 탄성계수의 변이를 나타낸 것으로, 이는 시편 내에서 밀도가 더 균일하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 무결점재에 대한 휨강도의 평균과 표준편차는 표 5.3에서 보여주고 있다. 표 5.3에서 보여주는 것과 같이 휨강도는 수종에 의해 영향을 받고 있는데 이는 비중 때문인 것으로 판단된다. 본 연구에 사용된 수종 중에 가장 비중이 큰 상수리나무가 가장 큰 휨강도인 1243.8 kgf/cm<sup>2</sup>와 휨탄성계수인 148.6 x 10<sup>3</sup> kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냈다. 이는 상수리나무가 다른 수종보다 더 큰 하중을 지지하고 덜 처짐이 발생시킨다는 것을 의미한다. 그 다음으로 밀도가 큰 리기다소나무는 휨강도 941.5 kgf/cm<sup>2</sup>를 보여주고 있다. 밀도가 작은 소나무와 낙엽송은 가장 작은 휨강도를 나타냈고, 그 값은 각각 865.5와 773.1 kgf/cm<sup>2</sup>를 보였다. 심 등

의 연구 결과 (1975)는 리기다소나무가 본 연구 결과보다 약간 작은 910 kgf/cm<sup>2</sup>을 나타냈지만, 소나무는 975 kgf/cm<sup>2</sup>으로 큰 값을 보여주고 있다. 이미 전술한 바와 같이 이는 본 연구에 사용된 시편과의 비중 차이가 원인인 것으로 판단된다.

Table 5.3. Summary of Modulus of Elasticity and Static bending strength.

Species	Modulus of Elasticity (10 <sup>3</sup> kgf/cm <sup>2</sup> )		Modulus of rupture (kgf/cm <sup>2</sup> )
	Stress wave	Static bending	
<i>Pinus rigida</i>	93.9 (15.1*)	90.5 (12.6*)	941.5 (103.7*)
<i>Pinus densiflora</i>	107.7 (15.0)	112.0 (17.5)	865.5 (100.6)
<i>Larix leptolepis</i>	103.7 (21.9)	102.0 (22.7)	773.1 (84.7)
<i>Quercus acutissima</i>	143.2 (14.6)	148.6 (17.8)	1243.8 (95.4)

\* Standard deviation

탄성계수를 이용하여 휨강도를 예측하기 위해 선형회귀분석을 실시하였다. 각 수종의 휨강도는 휨탄성계수 및 응력과 탄성계수 사이에 매우 낮은 상관을 보였다. 이는 탄성계수의 좁은 범위가 원인으로 판단된다. 모든 수종의 휨탄성계수 및 응력과 탄성계수를 사용했을 때 휨강도와 사이에 상관계수는 각각 0.64과 0.62를 보였다. 이는 탄성계수가 각각 휨강도에 각각 64% 및 62% 관계있음을 가리킨다. 휨강도와 휨탄성계수를 예측하기 위해 회귀분석으로 얻어진 결과들은 Table 5.4에 요약하였다. 휨탄성계수와 응력과 탄성계수 사이에 관계는 또한 그림 5.2에서 매우 높은 상관관계를 보여주고 있다.

Table 5.4. Results of linear regression analyses relating static MOE and MOR to stress wave velocity and stress wave MOE.

Predictor(X)	Regression eqn: $Y = AX + B$			
	Y	A	B	$R^2$
Stress wave MOE ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )	static MOE ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )	1.09	-8.45	0.94
stress wave MOE ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )	MOR ( $\text{kgf/cm}^2$ )	6.42	223.6	0.62
static MOE ( $\times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$ )		5.81	286.14	0.64

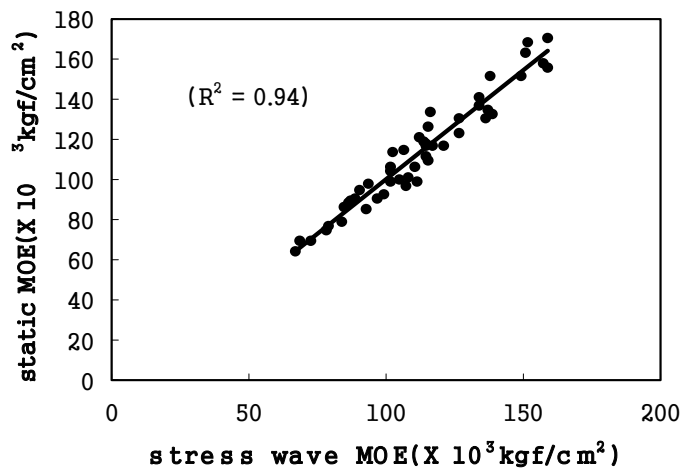


Figure 5.2. Relationship between stress wave MOE and static MOE.

### 3) 선펡창

시편의 함수율, 전건비중 및 선펡창 계수는 표 5.5에 요약하였다. 선펡창 계수는 함수율의 변이에 따른 효과를 제거하기 위해 함수율 1% 변화당 선펡창의 변화로 나타냈다. 국산 낙엽송, 소나무 및 상수리나무의 간벌 소경재로 만든 모든 시편의 접

선방향에서 선팽창계수는 0.30 (%/%)에서 0.45 (%/%)를 나타냈다. 방사방향의 선팽창계수는 0.15에서 0.23 (%/%)로 접선방향의 선형팽창계수보다 작게 나타났다. 비중이 큰 수종이 비중이 작은 수종보다 크게 나타났다.

표 5.5는 또한 접선방향 선팽창계수와 방사방향의 선팽창계수에 대한 비를 보여주고 있다. 선팽창계수의 비는 목재의 치수안정성에 대한 정보를 제공하며, 낮은 비는 치수안정성이 중요하게 요구되는 용도에 매우 중요하다. 또한 적당한 방사방향과 접선방향의 선팽창계수의 차이는 목재의 건조를 쉽게 한다. 이 비율이 큰 것은 치수안정성이 크게 중요하지 않은 용도인 팔레트 등에 적합하게 이용할 수 있다. 소나무와 상수리나무의 방사방향과 접선방향의 선팽창계수의 비는 2.0을 나타냈지만, 낙엽송은 약간 큰 2.07을 나타내었다.

Table 5.5. Summary of moisture content, density and linear expansion coefficients.

Species	Moisture content (%)		Specific Gravity	Linear expansion coefficient (%/%)		
	RH 50%	RH 80%		Tangential direction(T)	Radial direction(R)	T/R
<i>Larix leptolepis</i>	9.13	14.18	0.62	0.33	0.16	2.07
<i>Pinus densiflora</i>	7.42	13.11	0.51	0.30	0.15	2.00
<i>Quercus acutissima</i>	6.43	12.10	0.78	0.45	0.23	2.00

#### 4) 나사못 유지력

간벌 소경재에 대한 나사못 뽑기 실험 결과는 표 5.6과 같다. 표 5.6은 시편의 함수율 및 비중 평균과 나사못이 박힌 면에 대한 최대 뽑기 하중 평균을 보여주고 있다. 나사못 최대 뽑기 하중은 박힌 길이로 나눈 다음, cm당 최대 뽑기 하중으로 나타냈다.

Table 5.6. Physical properties of testing specimen and wood screw withdrawal loads.

Species	Physical properties		Wood screw withdrawal load (kgf/cm)		
	MC (%)	SG	Side-grain (S)	End-grain (E)	Ratio S/E
<i>Pinus densiflora</i>	11.88 (0.28*)	0.48 (0.02)	104.02 (5.34)	86.45 (5.43)	1.20
<i>Pinus rigida</i>	12.23 (0.29)	0.49 (0.03)	115.74 (9.63)	95.52 (8.70)	1.21
<i>Quercus acutissima</i>	12.81 (0.65)	0.71 (0.02)	199.03 (10.14)	150.88 (8.81)	1.32

\*Standard deviation

방사면과 접선면에서 나사못 뽑기 하중은 평균하여 측면에서 뽑기 하중으로 나타났다. 나사못 뽑기 하중은 횡단면과 측면에서의 나사못 뽑기 하중은 큰 차이를 보였고, 또한 수종에 따라 큰 차이를 보였다. 비중이 큰 수종이 비중이 작은 수종보다 매우 큰 나사못 뽑기 하중을 보였다. 소나무의 나사못 뽑기 하중은 측면에서 104.12 kgf/cm였고 횡단면에서 86.45 kgf/cm를 보였다. 하지만 리기다소나무와 상수리나무는 측면에서 각각 115.74와 199.03 kgf/cm, 횡단면에서 각각 95.52와 150.88 kgf/cm의 나사못 뽑기 하중을 보였다. 표 5.6은 횡단면 (E)와 측면 (S) 사이에 나사못 뽑기 하중 차이들을 나타내고 있다. 측면과 횡단면 사이에 차는 밀도가 큰 목재에서 밀도가 작은 목재에서 보다 컸다. 상수리나무의 나사못 뽑기 하중비 (S/E)가 소나무와 리기다소나무보다 더 큰 값을 나타냈다. 소나무와 리기다소나무의 측면에서 나사못 뽑기 하중은 횡단면에서 뽑기 하중보다 1.20 and 1.21배 크게 나타냈지만, 상수리나무는 1.32배였다. 모든 수종에 대한 횡단면과 측면에서 나사못 뽑기 하중비는 1.26이었다. 이는 Wood Handbook (FPL, 1987)의 1.33보다 약간 작은 값이다.

## 다. 결 론

국산 리기다소나무 (*Pinus rigida* Mill.), 소나무 (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.), 낙엽송 (*Larix leptolepis* Gordon.) 및 상수리나무 (*Quercus acutissima* Carr.)의 간벌 소경재에 대한 성능 실험 결과는 다음과 같다.

### 1) 휨강도

휨강도와 탄성계수는 수종에 따라 차이를 나타냈으며, 밀도가 큰 수종이 더 큰 휨강도와 탄성계수를 보였다. 매우 큰 상관관계가 휨 탄성계수와 응력과 탄성계수 사이에 나타났으며, 또한 휨강도와 탄성계수들 사이에 좋은 상관관계를 보였다.

### 2) 선펡창

접선방향에서의 선펡창계수는 방사방향에서 선펡창 계수보다 거의 2배 이상을 나타냈다. 또한 비중이 큰 수종이 비중이 작은 수종보다 큰 선펡창계수를 보였다.

### 3) 나사못 뽑기

소나무, 낙엽송 및 상수리나무에 대한 나사못 뽑기 하중 실험결과에서 높은 밀도 상수리나무는 낮은 밀도의 소나무와 낙엽송의 나사못 뽑기 하중 보다 크게 나타났다. 또한 높은 밀도의 수종이 낮은 밀도의 수종보다 측면과 횡단면의 나사못 뽑기 하중이 큰 값을 보였다.

## 참고문헌

- 1) 산림청. 2001. 임업통계연보. 제 31호.
- 2) 서진석, 박종영, 조재명. 1988. 침엽수재의 원목형질과 단판결합이 단판 및 합판제조 수율에 미치는 영향. 목재공학 16(4): 40-47.
- 3) 심중섭, 조재명, 강선구, 안정모, 이찬호, 조남석, 정희석. 1975. 소나무속의 성질. 임업시험장 연구보고 제 22호: 71-84.
- 4) 차재경. 1996. 국산 소경재를 이용한 집성재 개발을 위한 응력과 연구(II). 목재공학 24(4): 7-14.
- 5) American National Standard Institute. 1999. A208.1-1999. Particleboard. National Particleboard Association, Gaithersburg, MD.
- 6) American Society for Testing and Materials. 1995. Standard test method of small clear specimen of wood. ASTM D 143. ASTM, Philadelphia. PA.
- 7) American Society for Testing and Materials. 1995. Standard methods of testing mechanical fasteners in wood. ASTM D 1761. ASTM, Philadelphia, PA.
- 8) American Society of Testing Materials. 1995. Standard methods of evaluating the properties of wood base fiber and particleboard panels. ASTM D 1037. Philadelphia, PA.
- 9) American Society for Testing and Materials. 1995. Standards methods of testing plywood in flexure. ASTM D 3043. Philadelphia, PA.
- 10) American Plywood Association. 1983. Plywood design specification. Tacoma, Washington.
- 11) Biblis, E.J. and W.C. Lee 1984. Properties of sheathing-grade plywood made from sweetgum and southern pine. Wood and fiber 16(1): 86-92.
- 12) Biblis, E.J., S.T. Hsu and Y.M. Chiu. 1972. Comparison of certain structural



properties among 3-ply, 4-ply and 5-ply, 1/2-inch southern pine plywood sheathing. *Wood and fiber* 4(1): 13-19.

13) Cassens, D.L. J.P. Bradtmueller and F. Picado. 1994. Variation in selected properties of industrial grade particleboard. *Forest Products J.* 44(10): 50-56.

14) Dean, M.A. and J.H. Kaiserlik. 1984. Nondestructive screening of hardwood specialty blanks. *Forest Products J.* 34(3): 51-56.

15) Eckelman, C.A. 1975. Screw-holding performance in hardwoods and particleboard. *Forest Products J.* 25(6): 30-35.

16) Forest Products Laboratory. 1987. *Wood Handbook. Wood as an engineering material.* USDA Agri. Handbook. 72. USDA Forest Service, Washington, DC.

17) Gupta, R. and M. Vatovec. 1996. Evaluation of Dahurian larch in mechanical connections. *Forest Products J.* 46(9): 89-93.

18) Hiziroglu, S. and O. Suchsland. 1993. Linear expansion and surface stability of particleboard. *Forest Products J.* 43(4): 31-34.

19) Lajak, Z.I.B.H.A. and C.A. Eckelman. 1993. Edge and face withdrawal strength of large screws in particleboard and medium density fiberboard. *Forest Products J.* 43(4): 25-30.

20) Lee, W.C. and E.J. Biblis. 1979. Effect of moisture on flexural properties of clear southern pine plywood. *Forest Products J.* 29(11): 43-49.

21) Lee, W.C. and E.J. Biblis. 1976. Hygroscopic properties and shrinkage of southern yellow pine plywood. *Wood and fiber* 8(3): 152-158.

22) McLain, T.E. 1997. Design axial withdrawal strength from wood: I. Wood screws and lag screw. *Forest Products Journal* 47(5):77-84.

23) McNatt, J.D., R.W. Wellwood and L. Bach. 1990. Relationship small-specimen and large panel bending tests on structural wood based panels. *Forest products J.*

40(9): 10-16.

24) McNatt, J.D. 1984. Static bending properties of structural wood-based panels: large- panel versus small-specimen tests. *Forest Products J.* 34(4): 50-54.

25) McNatt, J.D., R.D. Wellwood and L. Bach. 1990. Relationships between small specimen and large panel bending test on structural wood based panels. *Forest Products J.* 40(9): 10-19.

26) National Design Specification for Wood Construction. 1991. National Forest and Paper Association, Washington DC.

27) Ross, R.J. and R.F. Pellerin. 1988. NDE of wood-based composites with longitudinal stress waves. *Forest Products J.* 38(5): 39-45.

28) Roos, K. D., J.E. Shottafer and R.K. Shepard. 1990. The relationship between selected mechanical properties and age in quaking aspen. *Forest Products J.* 40(7): 54-56.

29) Serrano, J.R. and D. Cassens. 1998. Dimensional stability of red oak panels produced from small diameter logs. *Forest Products J.* 48(7/8): 71-74.

30) Smulski, S.J. 1991. Relationship of stress wave- and static bending determined properties of four north eastern hardwoods. *Wood and fiber* 23(1): 44-57.

31) Suchsland, O.. 1972. Linear hygroscopic expansion of selected commercial particleboard. *Forest Products J.* 22(11): 28-32.

32) Suchsland, O. and H. Xu. 1989. On the measurement of linear expansion of particleboard and medium density fiberboard. *Forest Products J.* 39(6): 39-42.

33) Vogt, J.J. 1986. Longitudinal stress wave as predictors of internal bond strength. *Proceedings of the 20th International Particleboard/Composites Materials Symposium.* WSU, Pullman, WA.

34) Watkinson, P.J. and L.N.V. Gosligu. 1990. Effect of humidity on physical and

mechanical properties of New Zealand wood composites. *Forest Products J.* 40(7/8): 15-20.

35) Whittington, J.A. and C.S. Walters. 1969. Withdrawal loads for screws in soft maple and particle board. *Forest Products J.* 19(3): 39-42.

36) Wu, Q. 1998. Influence of moisture on stress wave properties of wood based panels. *Proceeding of 11th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood.* Madison, WI. 19-24.

37) Xu, H. and O. Suchsland. 1998. Influence of out of plane orientation of particles on linear expansion of particleboard: A simulation study. *Forest Products J.* 48(6): 85-87.

38) Xu, W. 2000. Influence of percent alignment and shelling ratio on linear expansion of oriented strandboard: A model investigation. *Forest Products J.* 50(7/8): 88-93.

39) Xu, W. and O. Suchsland. 1997. Linear expansion of wood composites: A model. *Wood and fiber* 29(3): 272- 281.

# 제 3 절 국산 소경재 및 폐잔재 등을 이용한 Com-Ply 제조와 경제성 분석

## 1. 서 설

### 가. 연구배경 및 목적

우리나라는 국토의 65%가 산림이지만 대부분이 III영급 이하의 유령림이기 때문에 목재사용량의 대부분을 수입에 의존하고 있으며 자원보유국의 자국내 목재가공업 육성을 위한 원목수출 제한 및 환경과 무역의 연계 움직임으로 세계적 목재공급 여건은 날로 어려워지고 있다.

한편 국내의 산림 여건상 육림작업의 확대에 의한 간벌소경재의 생산이 증가 할 것으로 예상되는 바 이런 국내 간벌재를 적극적으로 이용함으로써 간벌재의 임내 방치로 인한 임지폐목재의 양을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 임산물의 부가가치를 증대 시켜 농산촌의 소득증대는 물론 간벌작업을 원활히 수행할 수 있을 것으로 예상된다.

특히, 기술의 진전과 고도 정보사회화로 과거 목재의 채취·이용산업으로 인식되었던 목재산업은 기술집약형 제조산업으로 그 이미지의 변화를 추구하여 변화하는 사회에 적응하고자 노력을 하고 있다. 최근 우리나라 목질재료공업의 추세는 1980년대에 합판공업의 내수진환, 1990년대의 보드공업의 급성장으로 요약할 수 있으며, 세계의 목재자원현황과 목재원료의 수급추세 및 기술개발현황 등을 고려할 때, 2000년대에는 우리나라에도 목재산업의 주류가 합판에서 재구성 판상재료의 전개가 예상된다 (박종영, 1993).

2001년 현재 우리나라 목재패널산업의 생산동향을 살펴보면 합판생산량은 736,111 m<sup>3</sup>, 파티클보드 (PB)가 723,665 m<sup>3</sup>, 중밀도섬유판 (MDF)가 1,019,220 m<sup>3</sup>인데, 이는 1991년에 비해 합판은 398,248 m<sup>3</sup>이 감소한 반면, 파티클보드와 중밀도섬유판은 각각 568,560 m<sup>3</sup>, 777,276 m<sup>3</sup>으로 급격히 증가하고 있는 추세를 보이고 있다.

이러한 국내·외적 여건을 고려할 때 지금까지 무분별하게 폐기된 폐목재와 미이용 간벌소경재를 이용하여 앞으로의 목재패널산업의 수요추세에 대응할 수 있는 판

상재료로서 새로운 대체재의 개발이 필요하다.

폐목재란 광의적으로 ①원목 또는 목제품을 가공 처리하는 과정에서 발생하는 폐목재 (임지폐목재, 산업가공폐목재) 또는 잔재, ②목제품 사용 후 용도 폐기시 발생하는 폐목재 (생활폐목재, 유통폐목재, 건설폐목재) 또는 고재로 정의할 수 있다 (임업연구원, 2000).

임업연구원에 따르면 연간 목재사용량의 약 40%에 달하는 폐목재를 수집하여 재활용을 촉진할 경우 수요업체의 원자재비용을 줄이고 연간 8천7백만 달러의 외화를 절약할 수 있으며, 국내 목재수급의 안정을 기할 수 있을 것이라 하였다.

또한 연간 총 폐목재 발생량 ('97)은 11,011천 m<sup>3</sup>으로 이중 건설폐목재가 5,752천 m<sup>3</sup>로 52%, 산업가공폐목재가 3,533천 m<sup>3</sup>로 32%, 임지폐목재 911천 m<sup>3</sup>로 8%, 물류유통폐목재 624천 m<sup>3</sup>로 6%, 생활폐목재가 190천 m<sup>3</sup>로 2%를 차지하는 것으로 조사 보고하였다.

따라서 미이용 간벌재와 폐목재의 재활용이 임업과 목재산업의 최대 관심분야로 대두되고 있는 오늘날 미이용 간벌재와 폐목재의 재활용에 적합한 신제품의 개발이 필요하며 무엇보다도 지금까지 건축과 가구제작 등 목재 가공품에 대량으로 사용하여 온 합판은 그 원료가 되는 대경원목의 고갈로 합판용 원목의 확보가 점차 어려워지고 그 가격이 등귀하게 됨에 따라 합판의 용도를 대체할 수 있는 새로운 목질 판상재료의 개발이 시급한 실정이다.

지금까지 연구된 대체재는 chipboard, wafer-board, oriented strand-board (OSB) 등이 연구개발 되어 사용되어 왔으나, 이들은 기계적 성질에서 합판에 비해 떨어져 이를 개선하기 위한 연구가 국내외에서 이루어지고 있다 (이필우, 1990).

이에 대한 한 방편으로 본 연구에서는 국내 간벌소경재를 이용하여 파티클보드를 제조하여 이들 양면에 단·합판을 적층시킨 Com-Ply의 경제성 분석을 통해 미이용 간벌재의 보다 효율적 이용 가능성을 검토하고자 한다. Com-Ply는 심판에 파티클보드를 구성하고 표판과 이면판에 단판이나 얇은 합판을 적층한 판상재료 이의 장점은 고강도의 재료를 얻을 수 있고, 저질재 및 폐목재를 원료로 쓸 수 있으며, 수종선택의 폭이 넓은 재료를 경제적으로 쓸 수 있어 대체효과가 클 것으로 판단된다 (이필우, 1990).

따라서 간벌후 임내에 그대로 방치되어온 미이용 간벌재로부터 얻을 수 있는 파티클을 원료로 Com-Ply를 제조한다면 효율적으로 간벌재를 이용할 수 있을 뿐만 아니라 한정된 산림자원의 활용도를 높여 자원의 재활용으로 임업과 목재산업의 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

본 연구에서는 미이용 간벌재를 이용 Com-Ply를 제조하였을 때 기계적 및 물리적 성질이 합판의 용도와 거의 같이 사용할 수 있다고 가정하여 그 경제성을 분석하는 것이 연구의 주목적이다. 또한, 합판 대체재로서 심판에 미이용 간벌재로 제조한 파티클보드를, 표판과 이면판에 단판이나 합판을 적층한 Com-Ply의 개발 가능성에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

건축과 가구제작 등 목재 가공품에 대량으로 사용하여 온 합판은 그 원료가 되는 대경원목의 고갈로 합판용 원목의 확보가 점차 어려워지고 그 가격이 등귀하게 됨에 따라 합판의 용도를 대체할 수 있는 새로운 목질 판상재료의 개발이 시급한 실정이다.

이에 따라 목재의 효율적인 이용에 관한 연구의 한 방편으로 Com-Ply에 관한 연구가 국내외의 많은 학자들에 의해 진행되고 있는데 이에 대해 간략히 살펴보면 다음과 같다.

먼저 외국의 경우 Chow (1972)는 파티클보드의 표면에 walnut 단판을 접착시킨 복합재를 제조하여 휨하중 하에서의 탄성계수와 전단변형에 관하여 연구한 결과 복합재의 휨과괴계수가 최고 소재의 85%에 이르렀다고 보고한 바 있으며, Hse (1975)는 표판에 southern pine 단판을 접착시킨 복합재를 제조하여 표판에 접착한 단판의 두께가 증가할수록 휨과괴계수와 휨탄성계수가 증가하였음을 보고한 바 있다.

Kelly와 Pearson (1977)은 섬유판의 표판에 southern pine 단판을 접착한 후 물리적 및 기계적 성질을 조사하였는데 이러한 복합재는 비교적 적은 하중을 받는 가구 요소에 적용 가능하다고 보고한 바 있다.

국내의 Com-Ply에 관한 연구로는 이필우 (1990)가 심판용 재료로 비중이 서로 다른 파티클보드를 구성하고 표면판 재료로는 단판 또는 합판을 구성한 Com-Ply를 제조하여 물리적 및 기계적 성질을 조사하였다. 그 결과 표판의 단판 또는 합판의 두께가 증가할수록 그리고 심판 파티클보드의 비중이 증가할수록 휨하중 하에서의

강도적 성질이 향상되었음을 보고한 바 있다. 그리고 가구구조용 목질 복합재의 개발을 위해 심판에 비중을 달리한 파티클보드를 구성하고 양 표면판과 측면판에 단판과 합판을 접착한 목질 복합재를 제조하고 휨하중 하에서의 강도적 성질을 측정하고 결과, 휨파괴계수와 휨탄성계수가 파티클보드에 비해 매우 향상되었음을 보고하여 각종 가구류의 구조용 재료로서 사용 가능성을 시사한 바 있다 (이필우, 1995).

Com-Ply생산에 대한 경제성 분석은 1974~1986에 걸쳐 수행된 미 남동부 산림연습림에서 수행한 Com-Ply 프로젝트의 일환으로 Koenigshof (1979)의 'Economic feasibility of manufacturing Com-Ply panels in the south'가 있다. 이 보고서에 의하면 동일품목의 Com-ply를 심판인 파티클보드와 표판과 이면판의 가압이 한 생산라인에서 이루어지는 공장 (Case I)과 두 라인에서 이루어지는 공장 (Case II)의 투자기간 (1975~1985)을 가정 투자비용, 생산비 그리고 내부투자수익율 (IRR)을 비교 분석한 결과 Case II가 Case I 보다 더 경제성이 있는 것으로 나타났다.

특히, Case II의 경우 1975년의 패널과 목재가격을 이용하여 당시의 패널가격이 1972~1976년의 평균패널가격보다 12%낮음에도 불구하고 내부투자수익율이 21.56%로 나타나 Com-Ply패널이 경제적으로 타당성이 있다고 분석하였다.

Silvis와 Koenigshof (1981)는 southern pine을 이용하는 Central Georgia 지역의 공장을 대상으로 마루판과 지붕널 제품의 합판, Com-Ply, 그리고 OSB공장에 대한 경제적 타당성을 분석하였다.

분석결과, 소규모의 합판공장, 대규모 Com-Ply 공장 그리고 소규모의 OSB공장에서 각각의 생산비용은 합판이 가장 높았고 Com-Ply가 가장 낮게 나타났다. 또한 대규모공장의 경우에는 합판, Com-Ply, OSB 순으로 나타났다. 특히, Com-Ply 패널을 이용하거나 판매하는 건설업자, 목재도매상 등의 의견을 수렴하여 Com-Ply가 합판과 같은 가격으로 거래될 경우 합판공장을 Com-Ply 공장으로 전환하여 Com-Ply를 생산하는 것이 가장 수익성이 있고 그 다음으로 대규모의 신규 Com-Ply 공장을 건설하는 것이 될 것이라 분석하였다.

## 나. 연구분석과정

본 연구목적인 “국산소재 및 폐잔재 등을 이용한 Com-Ply 제조와 경제성 분석”의 연구과정은 다음과 같다.

2에서는 Com-Ply 제조와 관련된 경제성 분석을 수행하기에 앞서 연구범위 및 방법을 정리한다. 여기서는 Com-Ply와 같은 신제품의 경제성 분석에 관한 방법론들을 정리하고, 연구의 한계 및 제약사항들을 고려하여 최적의 분석방법을 강구한다.

3에서는 Com-Ply 제조의 공급원료인 국산재와 목제품의 생산현황 및 공급잠재량을 파악한다. 이를 위하여 국내 목재 및 목제품의 생산 및 생산현황을 시계열자료로 정리하고 이들 제품에 대한 공급량을 계량경제적 접근방법으로 예측하였다. 특히, Com-Ply의 대체재로 설정되는 합판시장에 대하여 집중적으로 분석한다.

4에서는 목제품 및 임지폐잔재, 생활 폐잔재 등 폐목재의 발생원에 따라 현재까지의 발생량을 문헌조사하고, 추정된 목재생산량에 따른 폐목재 발생량을 추정하여, 앞으로 Com-Ply 생산에 따른 폐목재 원료의 잠재 공급량을 조명하였다.

5에서는 Com-Ply와 대체재인 합판과의 경제성 비교분석을 통하여, 국산 Com-Ply 생산의 경제적 타당성을 파악한다. 여기서는 Com-Ply의 연구개발 동향분석과 목질 판상재의 시장분석을 수행한 후 실험실에서 Com-Ply를 직접 제조하여 용도 및 강도 등 물리·기계적 성질과 조수입은 동일규격의 합판과 동일하고 노무비, 경비 그리고 간접비는 생산조사공장과 동일하다는 가정 하에 합판과 Com-Ply의 생산원가 비교를 통한 경제성 분석을 실시하였다.

6에서는 신제품인 Com-Ply가 시장에 출시될 경우 수요자 조사분석을 실시하였다. 여기서는 현재까지 국산 Com-Ply 제품이 시장에 출시되지 않았으므로, 현단계의 구매자로 분류될 수 있는 합판 및 판상재 중간 도·소매업체와 합판, PB, MDF 생산업체를 대상으로 설문조사를 실시하여, Com-Ply의 생산 및 구매의향을 조사한



다.

마지막으로 7에서는 지금까지 논의된 Com-Ply 생산기반 조건과 시장분석, 그리고 경제성 분석 결과를 토대로 Com-Ply의 경제적 타당성과 생산 및 구매의 효율성을 높이기 위한 방안을 제시한다.

이러한 연구분석과정을 그림으로 정리하면 그림 (3-1)과 같다.

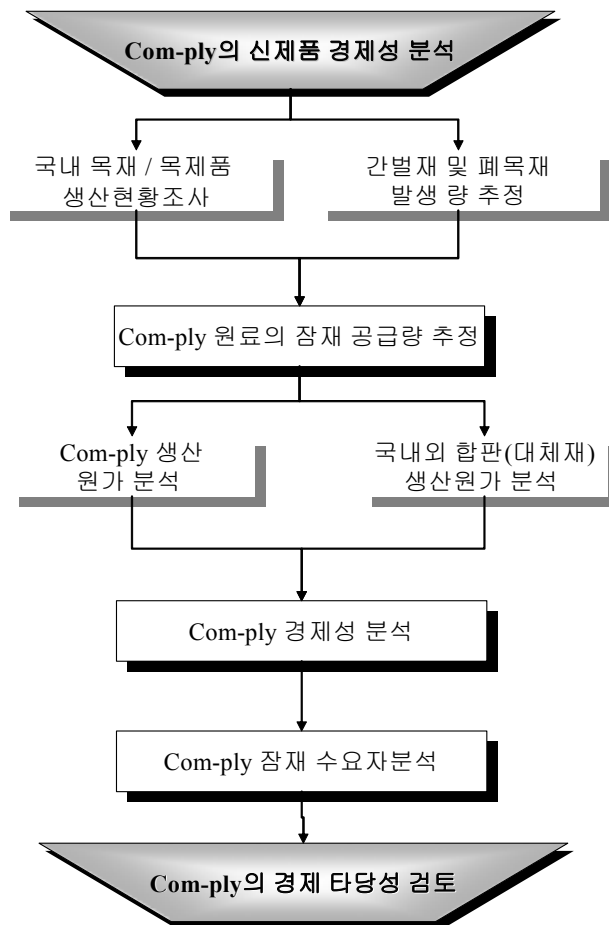


그림 3-1. 연구분석 과정

## 2. 연구범위 및 방법

본 연구의 범위는 합판 대체재로서 Com-Ply생산의 경제성 분석을 대상으로 한다. Com-Ply는 현재 제품이 아직 국내시장에 제조·공급되고 있지 않는 신제품이다. 따라서 본 연구에서는 ‘신제품의 전주기 경제성 분석모델’을 이용하여 경제성 분석을 하였다.

신제품의 전주기 경제성 분석 모델은 연구자가 연구 대상을 구상할 때부터 목표 제품에 대한 소비자의 지불의향을 조사하는데 까지 5단계의 경제성 분석방법을 제시하는 데 이를 살펴보면 다음과 같다.

**I 단계**는 타당성 분석을 위주로 한 **예비-비용/편익 분석 단계**로서 연구하고자 하는 대상제품을 설정한 후 이에 대한 연구개발 동향분석, 연구개발 대상제품의 잠재시장 동향조사, 대체재 시장분석 등을 수행하는 경제성 분석 단계이다. **II 단계**는 공정설계 및 모의실험을 수행하는 **산업 공학적 비용/편익분석 단계**로서 공정 flow를 설정한 후 각 공정별 투입 요소와 산출 결과를 도출한 뒤 도출된 산출 결과를 대체재 가치와 비교하여 경제성이 있는지를 분석하여 만약 경제성이 없을 경우에 새로운 공정혁신을 제안할 수 있는 경제성 분석 단계이다. **III 단계**는 **재무분석 단계**로서 유통구조와 생산자 이윤을 감안한 제품단가의 산정을 통해 기업 차원에서의 투자손익분석을 수행하게 되는데 여기에서는 전통적 비용/편익분석방법으로 편익/비용분석법, 순현재가치법 (Net Present Value Method), 내부수익률 (Internal Rate of Return) 등의 방법이 이용되며 이를 통해 잠재가격의 추정, 할인율, 감응도 분석 등을 수행하게 된다. **IV 단계**는 **경제적 분석 단계**로서 연구개발제품의 국가적 효용가치 및 파급효과를 다루는 사회 및 환경영향평가의 단계이다. **V 단계**는 **소비자행태 분석 단계**로서 최종소비자의 목표제품에 대한 소비자 지불의도가격을 조사하는 단계로서 본 단계는 최종 소비자의 신상품에 대한 지불의사가 결정된다는 점에서 사업의 성패를 결정짓는 매우 중요한 연구분야로서 신상품의 수요예측기법들은 주로 이 분야의 수요를 충족시키기 위해 개발된 방법들이라 할 수 있다 (현병환·이상기·조찬형, 1997).

본 연구에서는 Com-Ply 생산이 아직 이루어지고 있지 않기 때문에 **I 단계의 타당성 분석 (Feasibility Study)**을 위주로 한 **예비 Cost/Benefit Analysis** 단계를 중심으로 하는 경제성을 분석하였다.

I 단계는 예비-비용/편익 단계로서 연구하고자 하는 대상제품을 설정한 후 이에 대한 연구개발 동향분석, 연구개발 대상제품의 잠재시장 동향조사, 대체재 시장분석 등을 수행하는 경제성 분석 단계이다. 그러나 연구의 한계상 본 연구에서는 Com-Ply의 연구개발 동향분석과 목질 판상재의 시장분석을 수행한 후 실험실에서 Com-Ply를 직접 제조하여 용도 및 강도 등 기타 물리적 기계적 성질과 조수입은 동일규격의 합판과 동일하고 노무비, 경비 그리고 간접비는 생산조사공장과 동일하다는 가정 하에 합판과 Com-Ply의 생산원가 비교를 통한 경제성 분석에 한정한다.

이를 위해 본 연구에서는 지금까지 Com-Ply에 관련된 문헌조사와 현지 생산공장 방문 면담조사 등의 방법을 통하여 Com-Ply의 경제성 분석을 수행한다. 한편, Com-Ply의 원료가 되는 폐목재와 간벌재 (임지폐목재)의 발생량 추정과 목재패널산업의 시장분석은 주로 문헌조사를 통하여 수행하였으며, 합판의 생산원가 분석과 수요자 분석은 생산조사공장과 합판 등 판상재 중간 도·소매업체의 현지방문을 통하여 관련 전문가를 대상으로 면접조사를 통하여 수행하였다.

### **3. 국내 목재·목제품 생산현황**

본 절에서는 Com-Ply의 경제성 분석을 위한 기초자료를 구축하기 위하여 국내 목재와 목제품의 생산 및 공급 현황을 계량적으로 파악하고, 본 연구목적인 국산재를 이용한 Com-Ply 생산 가능성을 타진하기 위한 국내재 공급량을 예측한다.

국내 목재 및 목제품 생산현황 및 생산공급량 예측은 과거 시계열 자료를 구축하여 계량경제적 방법을 통하여 예측하였다.

#### **가. 목재 및 목제품 생산현황**

## 1) 목재

우리나라의 총 목재수급현황을 살펴보면 표 (3-1)과 같이 1980년 7,750천 m<sup>3</sup>, 1990년 10,063천 m<sup>3</sup>, 2000년 10,143천 m<sup>3</sup>이 공급되어 연간 약 1.5% 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이 가운데 국산재 원목공급량은 1980년 1,008천 m<sup>3</sup>, 1990년 1,138천 m<sup>3</sup>, 2000년 1,592천 m<sup>3</sup>이 공급되어 목재 자급율 (폐재 제외)은 2000년 현재 19%에 이르고 있다.

장기적인 목재 공급전망은 80년대 중반부터 90년대까지는 소폭으로 증가하고 있으나, 98년 IMF 구제금융시기를 제외하고 90년대 초반부터 현재까지 일정한 공급이 이루어지고 있는 것으로 보인다. 한편, 전체 목재 공급량에서 국산 원목과 폐재의 공급량은 대체적으로 일정한 추이를 보이고 있으며 공급량이 매우 낮아, 목재공급량은 수입재의 변화추이와 유사한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

한편, 국산재 공급량을 보다 명확히 파악하기 위하여, 국산원목과 폐재 공급량의 시계열 변화추이를 그림 (3-2)에 나타내었다. 장기적인 측면에서 국내 원목공급량의 변화추이는 1998년과 1999년 IMF 구제금융으로 인한 공급량이 다소 증가하였지만 전반적으로 일정한 변화추이를 보이고 있다. 폐재의 공급량은 80년대에는 원목공급량에 비하여 낮은 수준을 유지하다 90년대 중반부터 공급량이 증가하는 경향을 보이고 있다.

표 3-1. 목재공급현황

(단위 : 1,000m<sup>3</sup>)

년도	합 계	원목공급량			폐 재	자급율 (%)
		계	국산재	수입재		
1980	7,750	7,149	1,008	6,141	601	13
1981	7,265	6,688	1,130	5,558	577	16
1982	7,417	6,772	1,157	5,615	645	16
1983	8,302	7,625	1,101	6,524	677	13
1984	7,472	6,891	1,118	5,773	581	15
1985	7,321	6,766	1,188	5,578	555	16
1986	7,582	7,014	1,242	5,772	568	16
1987	8,532	7,850	1,388	6,462	682	17
1988	9,325	8,565	1,246	7,319	760	15
1989	9,570	9,014	1,227	7,787	556	14
1990	10,063	9,423	1,138	8,285	640	12
1991	11,007	10,147	1,286	8,861	860	13
1992	10,136	9,182	1,123	8,059	954	12
1993	9,757	8,832	1,184	7,648	925	13
1994	10,096	8,883	1,173	7,710	1213	13
1995	10,810	9,284	1,055	8,229	1526	11
1996	10,929	9,225	1,195	8,030	1,704	13
1997	11,051	9,328	1,062	8,266	1,723	11
1998	6,983	5,798	1,428	4,370	1,185	25
1999	9,899	8,317	1,694	6,623	1,582	20
2000	10,143	8,327	1,592	6,735	1,816	19
2001	10,741	8,836	1,533	7,303	1,905	17

자료) 임업통계연보(2002)

주) 자급율은 폐재를 제외한 비율임.

단위 : 1,000 m<sup>3</sup>

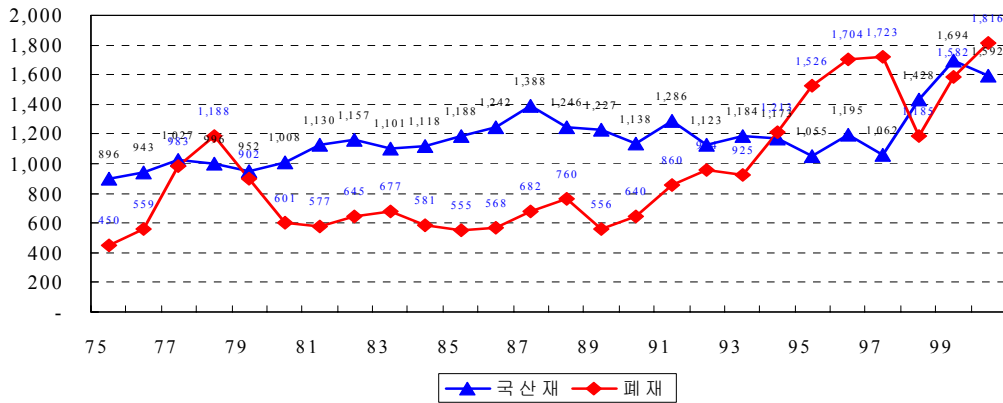


그림 3-2. 국산재와 폐재 공급현황

국산재 공급현황을 보다 구체적으로 파악하기 위하여 국내재 입목별채허가 생산량을 살펴보면 표 (3-2)와 같다. 총 입목별채 허가량은 1980년 1,216천 m<sup>3</sup>, 1990년 1,076천 m<sup>3</sup>, 2000년 1,180천 m<sup>3</sup>이 허가되어 전반적으로 일정한 수준을 유지하고 있으나, 주벌과 간벌의 경우에는 1990년 309천 m<sup>3</sup>과 191천 m<sup>3</sup>에서 2000년 382천 m<sup>3</sup>과 256천 m<sup>3</sup>이 허가되어 연평균 2.4%와 3.4% 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 기타벌채의 경우에는 1990년 439천 m<sup>3</sup>에서 2000년 114천 m<sup>3</sup>이 허가되어 연평균 7.4% 감소하는 경향을 보이고 있다.

표 3-2. 국내재 입목벌채허가 생산량 현황

(단위:m<sup>3</sup>)

년도	합 계	영림계획벌채	허가벌채	비지정벌채	피해목	기타벌채
1977	1,326,946	1,062,172	153,316	49,148	-	2,721
1978	1,349,054	1,048,412	183,556	49,686	-	4,403
1979	1,363,819	1,001,481	198,168	84,148	-	3,697
1980	1,216,534	941,362	167,359	47,251	-	6,545
1981	1,243,507	935,293	198,819	47,045	-	6,990
1982	1,235,243	949,062	178,506	47,709	-	4,739
1983	1,204,777	908,525	204,612	33,257	-	6,234
년도	합 계	주 별	간 별	수종갱신	피해목	기타벌채
1984	1,029,147	895,678	133,469	-	-	
1985	1,066,834	931,418	135,416	-	-	
1986	1,104,793	964,967	139,826	-	-	
1987	1,122,885	960,616	162,269	-	-	
1988	1,193,706	446,332	175,283	262,827	-	309,264
1989	1,169,092	409,979	217,738	178,095	-	363,280
1990	1,076,676	309,452	191,120	136,931	-	439,173
1991	888,606	205,958	149,782	158,805	-	329,061
1992	795,938	190,440	109,096	170,766	-	325,636
1993	903,357	269,202	141,566	160,465	-	332,124
1994	895,606	206,386	144,063	141,063	-	403,194
1995	886,807	176,207	205,273	123,722	-	381,605
1996	985,886	168,321	242,946	150,474	-	424,145
1997	1,037,123	212,068	266,848	174,599	-	383,608
1998	1,032,019	261,403	225,382	208,517	-	336,717
1999	1,203,270	404,369	242,987	297,512	-	258,402
2000	1,180,771	382,888	256,115	301,638	126,012	114,118
2001	1,267,336	463,376	237,071	394,936	59,618	112,365

자료) 임업통계연보

주) 1984년 이전과 이후 국내재 입목벌채 허가 생산량 구분이 변경되었음.

국내재 입목벌채허가 생산량의 장기적 추이는 주벌의 경우 80년대 후반에 급격히 감소하여 일정한 수준을 유지하다 1996년부터 소폭 증가하는 경향을 보이고 있으며, 간벌의 경우에는 전반적으로 일정한 수준을 유지하는 것으로 보인다.

국내재 입목벌채허가 생산량이 전체 축적량에서 차지하는 비중을 파악한 결과는 표 (3-3)과 같다. 1990년 총축적 248,426천  $m^3$ 에서 총벌채허가량은 0.43%를 차지하고 있으며, 이중 주벌이 0.12%, 간벌 0.08%, 수종갱신 0.06%, 기타벌채가 0.18%를 차지하고 있었으며, 2000년에는 총축적 407,575천  $m^3$ 에서 총벌채허가량은 0.29%로, 주벌 0.09%, 간벌 0.06%, 수종갱신 0.07%, 기타벌채가 0.03%를 차지하고 있어, 연간 벌채허가량이 0.03% 감소하고 있는 것으로 나타났다.

총축적 대비 총벌채 허가량은 1984년부터 1992년까지 점차적으로 감소하다 이후 일정한 경향을 보이고 있으며, 이러한 변화추이는 주벌의 변화 추이와 대체적으로 일치하는 것으로 보인다. 이외 간벌, 수종갱신, 기타벌채의 경우에는 전반적으로 일정한 수준을 유지하는 것으로 보인다.



표 3-3. 총축적에서의 국내재 입목별채허가 생산량 비율

년도	전체축적 (1,000 m <sup>3</sup> )	주 벌 (%)	간 벌 (%)	수종갱신 (%)	피해목 (%)	기타벌채 (%)	합 계 (%)
1984	171,946	0.52	0.08	-	-	-	0.60
1985	179,380	0.52	0.08	-	-	-	0.59
1986	192,931	0.50	0.07	-	-	-	0.57
1987	200,801	0.48	0.08	-	-	-	0.56
1988	216,359	0.21	0.08	0.12	-	0.14	0.55
1989	233,969	0.18	0.09	0.08	-	0.16	0.50
1990	248,426	0.12	0.08	0.06	-	0.18	0.43
1991	257,297	0.08	0.06	0.06	-	0.13	0.35
1992	272,386	0.07	0.04	0.06	-	0.12	0.29
1993	283,829	0.09	0.05	0.06	-	0.12	0.32
1994	295,806	0.07	0.05	0.05	-	0.14	0.30
1995	308,825	0.06	0.07	0.04	-	0.12	0.29
1996	323,780	0.05	0.08	0.05	-	0.13	0.30
1997	340,824	0.06	0.08	0.05	-	0.11	0.30
1998	363,560	0.07	0.06	0.06	-	0.09	0.28
1999	387,758	0.10	0.06	0.08	-	0.07	0.31
2000	407,575	0.09	0.06	0.07	0.03	0.03	0.29
2001	428,346	0.10	0.05	0.09	0.01	0.02	0.29
평 균		0.19	0.07	0.06	0.03	0.12	0.40

자료) 임업통계연보

## 2) 목제품

우리나라의 목제품의 생산·공급은 크게 합판, 하드보드 (HD), 파티클보드 (PB), 중밀도섬유판 (MDF)을 중심으로 검토하였다. 목제품 산업은 1960년대 정부의 수출 특화 산업 지정이후 1970년대 초반까지 꾸준히 성장하여 왔으나 합판산업은 1970년

대 중반 이후 원목수출국의 국내목재가공산업의 보호를 위한 수출규제강화, 원목가격의 상승, 국내 인건비 및 원화 상승, 관세인하로 인한 수입품의 확대에 따른 국제경쟁력의 상실로 사양화 되게 되었다. 이에 따라 80년대 이후 국내 목재 패널산업은 재구성 판상재 (PB, MDF, HB)를 중심으로 관련산업 (가구 등)의 성장 및 용도개발에 힘입어 그 수요가 확대되어 왔다. 품목별 생산량과 국내공급량을 살펴보면 표 (3-4)와 같다.

합판의 경우 1975년에는 1,808천  $m^3$ 이 국내에서 생산되어 이 가운데 500천  $m^3$ 이 국내에 공급되고 1,300천  $m^3$ 이 수출되어 총생산량의 약 72%가 수출되던 것이, 1980년에는 1,574천  $m^3$ 이 국내에서 생산되어 이 가운데 667천  $m^3$ 이 국내에 공급되고 총생산량의 약 58%인 907천  $m^3$ 이 수출되어 점차 수출이 감소하다, 1990년에는 총생산량 1,123천  $m^3$ 에서 1,011천  $m^3$ 이 국내에 공급되고 112천  $m^3$ 이 수출되어 총생산량의 약 10%가 수출되어 수출비율이 급감하였다. 2000년에는 총생산량 747천  $m^3$ 에서 618천  $m^3$ 이 국내에 공급되고 129  $m^3$ 이 수출되어 총생산량의 약 17%가 수출되고 있다.

하드보드의 경우 1980년에는 14천  $m^3$ 이 국내에서 생산되어 이 가운데 11천  $m^3$ 이 국내에 공급되다, 1990년에는 53천  $m^3$ 이 국내에서 생산되어 전량이 국내에 공급되고, 2000년에는 총생산량 13천  $m^3$ 에서 12천  $m^3$ 이 국내에 공급되고 있다.

파티클보드의 경우 1980년에는 39천  $m^3$ 이 국내에서 생산되어 이 가운데 18천  $m^3$ 이 국내에 공급되던 것이, 1990년에는 165천  $m^3$ 이 국내에서 생산되어 전량이 국내에 공급되고, 2000년에는 총생산량 722천  $m^3$ 에서 718천  $m^3$ 이 국내에 공급되고 있다.

한편, 전체 목제품에서 합판 생산량이 차지하는 비중은 1975년 총 생산량 (1,863천  $m^3$ )의 약 97%를 차지하던 것이, 1980년 총 생산량 (1,657천  $m^3$ )의 약 95%, 1990년 총 생산량 (1,456천  $m^3$ )의 약 84%, 2000년 총 생산량 (2,413천  $m^3$ )의 약 31%로 급감하고 있다. 이러한 이유는 목제품 가운데 합판이 차지하는 비중이 1970년대 우리나라 수출을 주도한 합판의 경우 원목수출국의 수출규제강화, 원목가격의 상승, 국내 인건비 및 원화 상승, 관세인하로 인한 수입품의 확대 등으로 신장세가 둔화된 것이 그 이유라 하겠다.

표 3-4. 목제품 생산 및 공급 현황

(단위:m<sup>3</sup>)

년도	합관		하드보드		파티클보드		중밀도섬유판	
	생산량	국내 공급량	생산량	국내 공급량	생산량	국내 공급량	생산량	국내 공급량
1975	1,808,621	500,557	16,358	7,770	38,888	18,111	-	-
1976	2,104,995	522,091	19,470	8,764	39,496	17,821	-	-
1977	2,286,542	641,337	19,500	5,812	56,672	25,965	-	-
1978	2,556,980	908,809	18,725	13,868	45,396	26,569	-	-
1979	2,335,696	975,671	18,127	18,127	43,069	19,595	-	-
1980	1,574,930	667,645	14,069	11,399	67,569	47,933	-	-
1981	1,599,017	580,818	7,610	7,449	104,594	94,329	-	-
1982	1,422,878	765,638	10,765	10,765	54,445	54,173	-	-
1983	1,490,984	1,075,793	11,647	11,647	65,775	67,505	-	-
1984	1,324,376	1,055,338	9,640	9,640	85,253	81,173	-	-
1985	1,227,213	1,024,151	13,766	13,766	55,050	53,885	-	-
1986	1,109,909	989,310	14,458	14,458	105,134	104,838	11,158	11,158
1987	1,177,407	1,021,778	21,107	21,107	114,634	114,634	42,695	42,695
1988	1,267,275	1,075,979	20,271	20,271	170,857	170,857	61,362	61,362
1989	1,179,733	1,050,380	24,844	24,844	164,318	164,318	84,888	84,888
1990	1,123,625	1,011,179	53,717	53,717	165,103	165,103	113,163	113,163
1991	1,134,360	970,647	50,885	50,885	155,095	155,095	241,944	241,944
1992	947,553	886,553	48,216	48,216	275,727	275,727	305,809	305,809
1993	897,903	779,227	138,218	125,870	435,212	414,242	268,442	268,442
1994	886,008	833,977	21,445	20,791	524,025	550,757	484,190	442,344
1995	974,237	787,077	23,970	24,079	548,195	547,180	590,087	542,904
1996	895,979	859,259	24,283	23,702	659,417	641,396	719,741	630,730
1997	1,014,054	927,066	21,840	19,987	720,735	747,793	728,184	688,690
1998	640,967	502,951	12,718	12,450	507,157	505,543	570,613	506,541
1999	733,680	580,285	12,657	12,657	672,469	657,776	831,254	745,074
2000	747,248	618,783	12,811	11,609	722,426	717,981	931,127	783,181
2001	736,112	674,889	9,669	9,660	723,655	723,655	1,019,220	941,553

자료) 임업통계연보

목제품 국내 생산량에서는 합판의 경우 1978년을 기점으로 1980년까지 생산량이 급감하면서 이후 소폭의 감소추세를 유지하고 있다. 한편, 파티클보드와 중밀도섬유판의 경우에는 1990년대 이전까지는 생산량이 미미하였으나, 이후 생산량이 급격히 증가하여 현재에는 중밀도섬유판의 경우에는 합판생산량을 초과하고 있으며, 파티클보드의 경우에도 합판생산량과 생산규모의 차이를 보이지 않고 있다.

파티클보드와 중밀도섬유판 제품의 생산량의 증가 경향은 합판 대체재로 수요가 증가함에 따라 원목가공과정에서 발생하는 폐잔재 활용과 가구시장의 다양화, 고급화에 힘입어 지속적인 용도 개발의 결과라 할 수 있다.

목제품의 국내공급현황은 합판의 경우 1981년을 기점으로 국내공급량이 급증하면서 이후 소폭의 감소추세를 유지하고 있다. 파티클보드와 중밀도섬유판의 경우에는 1990년대 이후 생산량이 급격히 증가하여 현재에는 중밀도섬유판과 파티클보드의 공급량이 합판을 초과하고 있다.

## 나. 목재 및 목제품 잠재공급량 예측

### 1) 국산재 잠재 공급량

우리나라는 국토의 65%가 산림이지만 대부분이 III영급 이하의 유령림이기 때문에 목재사용량의 대부분을 수입에 의존하고 있으며 목재자원보유국의 자국내 목재가 공산업 육성을 위한 원목수출 제한 및 환경과 무역의 연계 움직임으로 세계적 목재 공급여건은 날로 어려워지고 있다. 한편, 국내의 산림 여건상 육림작업의 확대에 의한 간벌소경제의 생산과 향후 대경제 생산임령인 V, VI 영급의 장령림이 증가할 것으로 예상되는 바, 이런 국내 간벌재 및 주벌재를 적극적으로 이용함으로써 임산물의 부가가치를 증대시켜 농산촌의 소득증대를 이룰 수 있을 것이다. 이러한 측면에서 본 연구는 국산재의 잠재 공급량을 과거의 영급별 임목현황을 기초로 하여 앞으로의 국내재 공급량을 예측하고자 한다.

### 가) 영급별 임목축적량의 변화

영급별 입목 축적량의 변화는 산림청에서 조사한 1981년 이전 자료와 이후 자료의 변화가 매우 심하여 1981년 이후 자료만을 살펴보았으며, 연도별 영급별 축적량은 표 (3-5)와 같다. 먼저, II영급이상 총입목축적량은 1981년 146,093천 m<sup>3</sup>, 1990년 245,753천 m<sup>3</sup>, 2000년 407,575천 m<sup>3</sup>으로 매년 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다.

연간 축적량의 증가율을 살펴보면 그림 (3-3)과 같이 매년 4.1%에서 8.9%까지 증가한 추이를 볼 수 있으며, 연간축적 증가량은 80년대 말에 6.5%에서 8.9%로 높은 추세를 보이다 현재에는 약 5%대의 증가율을 보이고 있다.

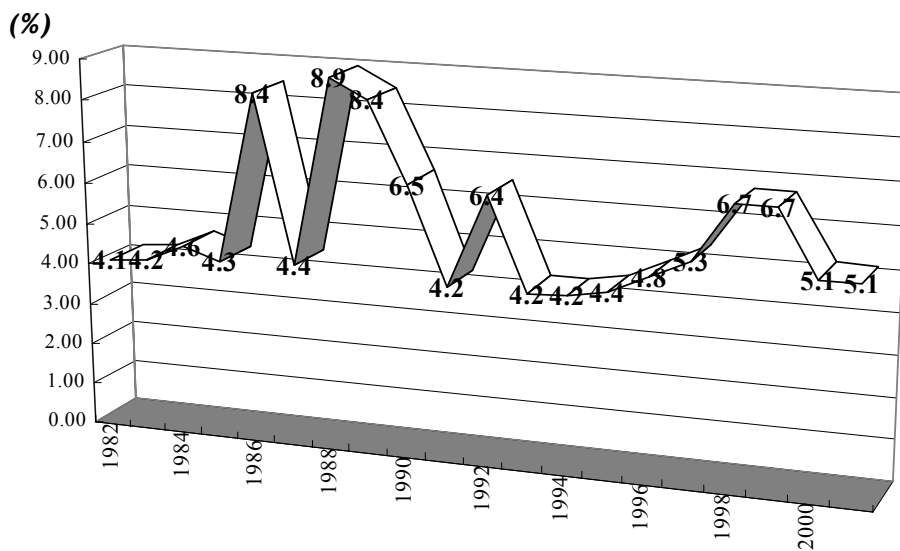


그림 3-3. 연간 축적량의 증가율

표 3-5. 영급별 입목축적량

(단위:m<sup>3</sup>)

년도	계	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ
1981	146,093,287	71,063,275	28,117,814	31,896,950	10,647,345	4,367,903
1982	152,062,732	74,785,879	29,319,543	32,609,278	10,899,790	4,448,242
1983	158,407,223	78,750,585	30,626,194	33,317,195	11,183,540	4,529,709
1984	165,671,223	83,010,134	32,189,335	34,287,161	11,533,875	4,650,718
1985	172,779,629	87,389,884	33,650,733	35,173,132	11,834,285	4,731,595
1986	187,273,303	98,306,594	36,490,104	36,471,652	11,694,238	4,310,715
1987	195,429,674	102,593,436	39,324,042	37,355,096	11,789,238	4,367,862
1988	212,818,250	108,019,036	48,776,783	38,591,665	12,669,284	4,761,482
1989	230,724,889	114,389,150	57,728,704	40,820,882	12,989,232	4,796,921
1990	245,752,933	103,099,016	80,700,910	42,956,546	14,003,445	4,993,016
1991	255,978,414	89,166,206	101,885,142	45,209,757	14,520,088	5,197,221
1992	272,386,544	90,462,415	112,697,449	46,409,421	17,191,723	5,625,536
1993	283,829,270	95,359,243	117,466,547	47,701,603	17,569,731	5,732,146
1994	295,806,056	100,509,940	122,460,626	49,033,967	17,958,621	5,842,902
1995	308,825,576	106,157,458	127,677,176	50,620,898	18,430,947	5,939,097
1996	323,780,332	105,989,394	131,145,375	53,302,409	24,187,312	9,155,842
1997	340,824,225	92,638,306	135,072,928	61,167,964	37,868,941	14,076,086
1998	363,560,555	74,504,631	148,914,503	78,511,492	46,419,609	15,210,320
1999	387,758,222	65,993,061	156,110,936	97,604,706	50,587,010	17,462,509
2000	407,575,822	62,885,906	154,884,006	118,696,840	52,435,784	18,673,286
2001	428,346,859	59,581,811	156,322,716	136,601,552	55,016,842	20,823,938

주) 1980년 이전까지의 영급별 축적량이 이후와 차이가 많이 나타나 분석자료에서는 1981년 이후 자료를 적용하였음.

한편, 영급별 축적량의 변화를 살펴보면, 그림 (3-4)와 같이 II영급의 경우 1981년 71,063천 m<sup>3</sup>, 1990년 103,099천 m<sup>3</sup>, 2000년 62,885천 m<sup>3</sup>으로 80년대에는 증가하다 90년대 이후 감소하는 추세이다. III영급의 경우에는 1981년 28,117천 m<sup>3</sup>, 1990년 80,700천 m<sup>3</sup>, 2000년 154,884천 m<sup>3</sup>으로 매년 일정수준으로 증가하다 1980년대 말을 기점으로 증가폭이 급격히 높아지고 있다. IV영급의 경우에는 1981년 31,896천 m<sup>3</sup>, 1990년 42,956천 m<sup>3</sup>, 2000년 118,696천 m<sup>3</sup>, V영급의 경우에는 1981년 10,647천 m<sup>3</sup>, 1990년 14,003천 m<sup>3</sup>, 2000년 52,435천 m<sup>3</sup>, VI영급의 경우에는 1981년 4,367천 m<sup>3</sup>, 1990년 4,993천 m<sup>3</sup>, 2000년 18,673천 m<sup>3</sup>으로 매년 증가하다 1990년대 중반을 기점으로 증가폭이 급격히 높아지고 있는 경향이다.

다음으로 II영급 이상의 총축적량에서 해당 영급의 차지하는 축적비율의 추이를 살펴보면 그림 (3-5)와 같다. II영급의 경우 1981년 전체축적에서 48.6%, 1990년 42.0%, 2000년 15.4%로 점차 감소하는 추세이며, III영급의 경우 1981년 19.2%, 1990년 32.8%, 2000년 38.0%로 점차 증가 추세이다. IV영급의 경우 1981년 21.8%, 1990년 7.5%, 2000년 29.1%, V영급의 경우 1981년 7.3%, 1990년 5.7%, 2000년 12.9%, VI영급의 경우 1981년 3.0%, 1990년 2.0%, 2000년 4.6%로 점차 증가 추세이다.

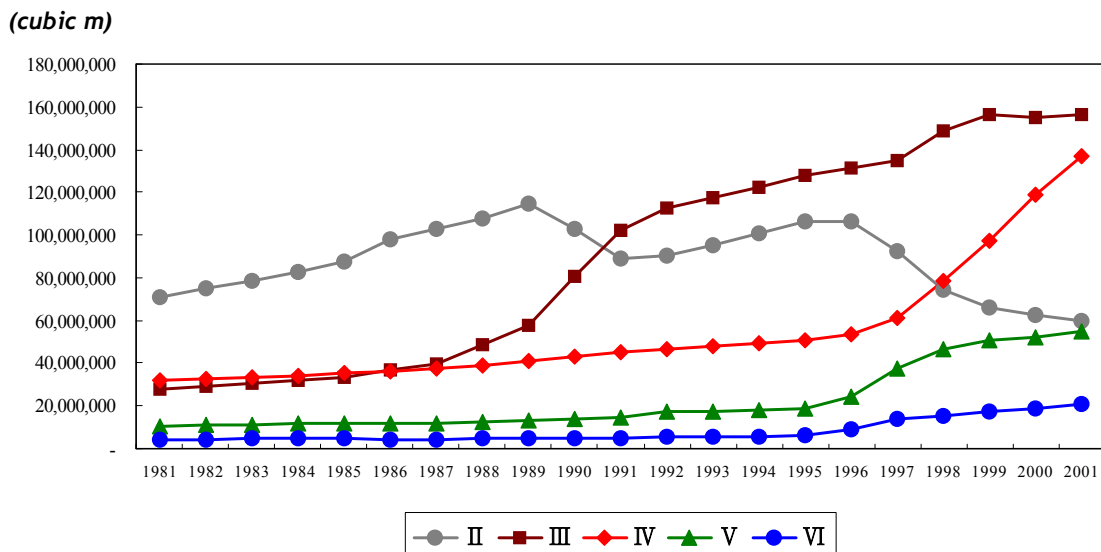


그림 3-4. 영급별 입목축적량

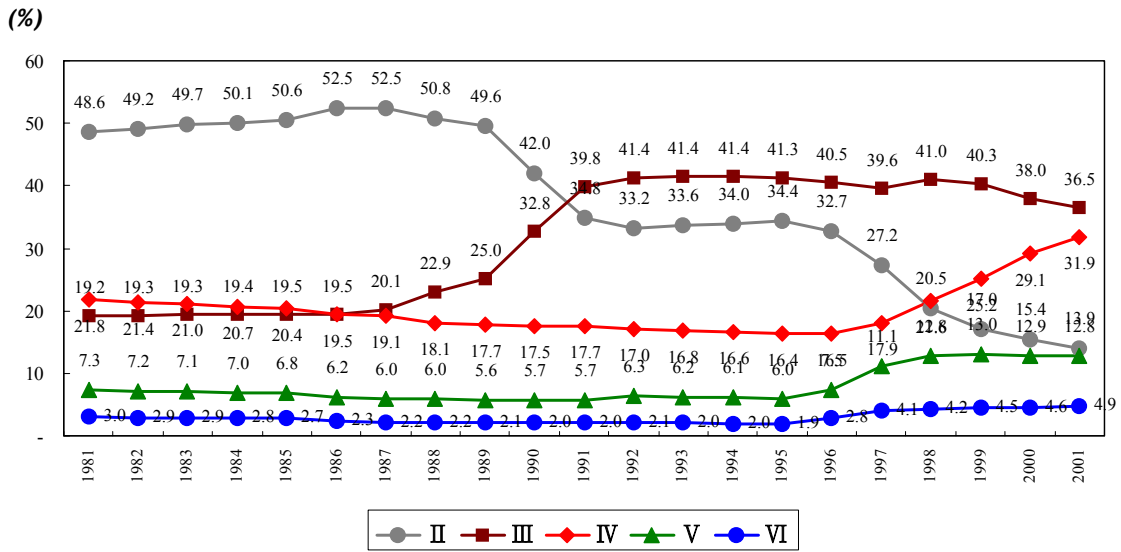


그림 3-6. 총축적량에서 영급별 입목축적량의 점유비율

나) 영급별간 입목축적량의 변화 추이

다음으로는 지난 20년간 각 영급별간 입목 축적량의 변화를 파악하기 위하여 연도별 영급별간 순차적인 관계를 그림으로 표현해 보았다. 즉, VI영급과 V영급, V영급과 IV영급, IV영급과 III영급, 그리고 마지막으로 III영급과 II영급간의 연도별 관계를 그림 (3-6)에서 그림 (3-9)까지 살펴보았다.

그림에서와 같이 III영급과 II영급의 관계를 제외하고 각각의 순차적인 영급간의 관계가 VI영급과 V영급간의 변화는 년도가 증가함에 따라 두 영급의 축적량이 증가하는 변화를 볼 수 있으며, 그림에서와 같이 두 영급의 관계는 V영급 축적량이 증가하면서 동시에 VI영급의 축적량이 선형적 (linear)으로 증가한 것으로 보여 진다.1)

한편, III영급과 II영급간의 변화는 그림 (3-9)와 같이 년도가 증가함에 따라 두 영급의 축적량의 변화는 정형화 된 일정한 관계를 가지지 않는 것으로 나타나 두 영급간의 관계식은 도출이 불가능한 것으로 보인다.

1) 선형관계는 VI영급의 i년도 축적량을 종속변수  $y_i$ , V영급의 i년도 축적량을 독립변수  $x_i$ 로 두면, 이들 두 영급간의 관계식은  $y_i = \alpha + \beta x_i$ 의 관계식이 성립한다. 여기서,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 주어진 자료를 이용한 회귀분석 (regression)에 의하여 추정되는 모수(parameter)이다.



VI 영급 (cubic m)

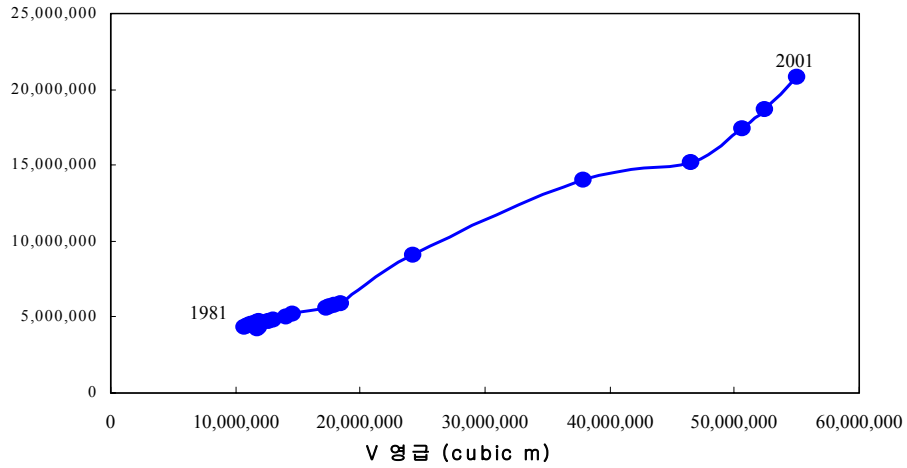


그림 3-5. 연도별 VI영급과 V영급의 입목축적량 변화

V 영급 (cubic m)

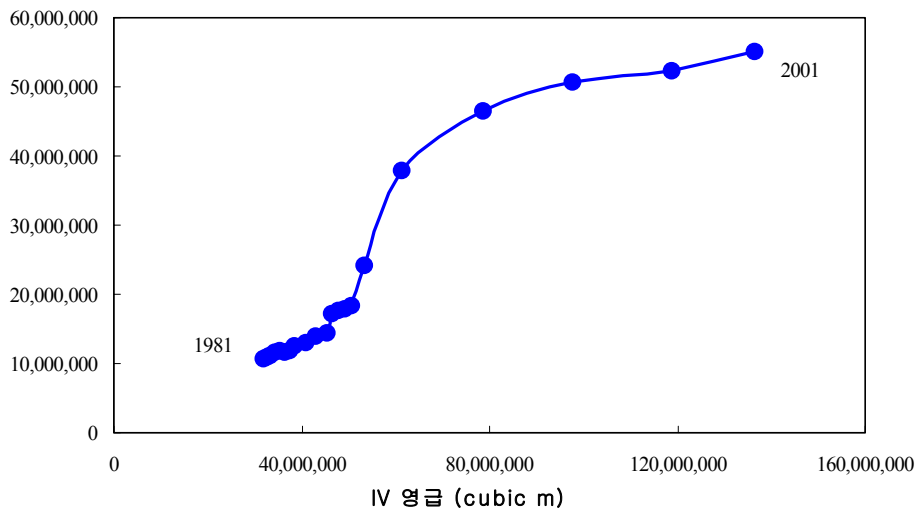


그림 3-7. 연도별 V영급과 IV영급의 입목축적량 변화

IV 영급 (cubic m)

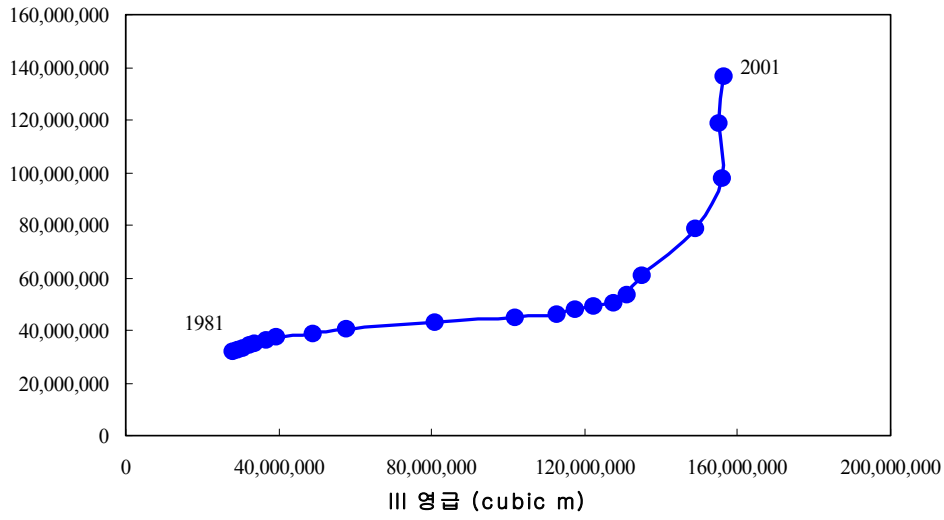


그림 3-8. 연도별 IV영급과 III영급의 입목축적량 변화

III 영급 (cubic m)

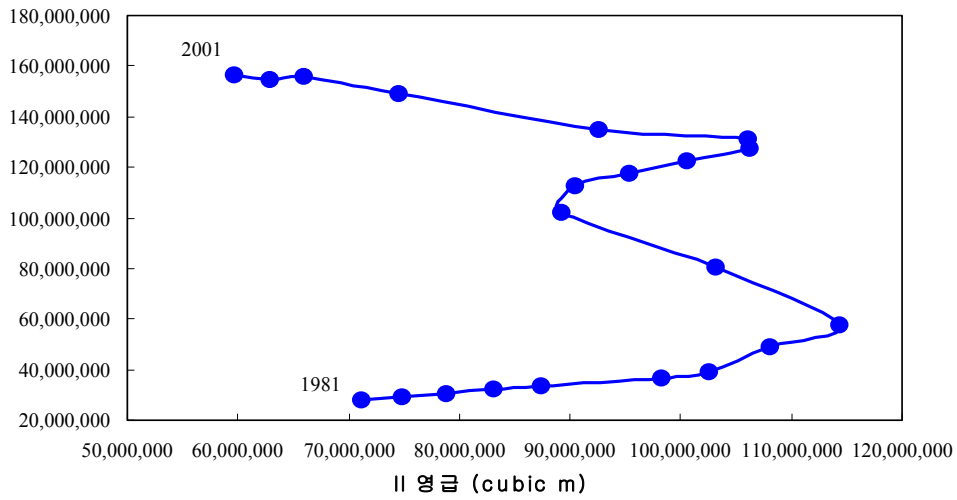


그림 3-9. 연도별 III영급과 II영급의 입목축적량 변화

#### 다) 영급별간 입목축적량의 추정함수

앞에서 설명된 영급간의 관계식을 도출하기 위하여 본 연구에서는 회귀분석 (regression)의 최소자승법 (OLS, ordinary least squares)을 이용하여 상위영급의  $i$ 년도 축적량을 종속변수  $y_i$ 로 하고 하위영급의  $i$ 년도 축적량을 독립변수  $x_i$ 로 하여, 선형함수 뿐 만 아니라 비선형 (non-linear) 함수까지를 포함하여 적용하였으며, 모형의 결정계수 ( $R^2$ )가 가장 높은 모형을 최종 선택하였다. 즉, 두 영급간의 관계식에서 종속변수 혹은 독립변수에 대수변환 (logarithmic transformation)을 통하여 자연로그 (ln)로 변환 한 다음 변환값을 적용하여 회귀분석을 실시하여 선형가능함수 (linearizable function)로 변환하였다.

회귀분석 결과 최적 적합모형은 모두 선형함수로 추정되었으며, 그 결과는 표 (3-6)과 같다. 추정결과 VI영급 축적량은 V영급의 0.357배, V영급 축적량은 IV영급의 0.431배, IV영급 축적량은 III영급의 약 0.574배로 나타났다. 이는 상위영급의 축적량이 하위축적의 축적량에 비하여 영급이 증가할수록 축적량이 감소하는 경향을 보이고 있음을 알려 주고 있다.

표 3-6. 영급별 입목축적량의 회귀분석 결과

영 급	추정모형	t-값	R <sup>2</sup>	F-값
VI영급과 V영급	VI = .357 · V	74.58**	.996	5,563.48**
V영급과 IV영급	V = .431 · IV	22.46**	.962	504.81**
IV영급과 III영급	IV = .574 · III	13.68**	.903	187.21**

주) \*\*1%에서 유의성 있음.

#### 라) 영급별 입목축적량의 예측

다음으로 1981년 이후 축적된 영급별 산림축적량의 자료를 이용하여 영급별로

2010년까지의 변화추이를 예측하였다. 추정방법은 해당 영급의 현재시점의 입목축적  $y(t)$ 는 전년도 입목축적  $y(t-1)$ 과 해당년도의 기간인  $r(t)$ 의 함수로 가정하여 최우법 (maximum likelihood)에 적용하여 예측하였다. 여기서  $r(t)$ 는 1981년을 1로 하고 해마다 연도수가 증가함에 따라 1씩 증가하는 자연수를 적용하였다. 추정함수의 결과는 표 (3-7)과 같고, 이를 이용하여 2010년까지 예측한 결과는 표 (3-8)과 같다.

표 3-7. 영급별 입목축적량의 회귀분석 결과

영급	추정식	대수우도 (Log likelihood)	아카이케 정보량 (AIC)
VI	$y(t)=1,600,140.5+812,051.2 \times x(t)^{**}+r(t)$ $r(t)=.9258 \times r(t-1)^{**}+u(t)$	-325.96	657.92
V	$y(t)=347,248.0+2,208,171.1 \times x(t)^{**}+r(t)$ $r(t)=.9166 \times r(t-1)^{**}+u(t)$	-346.01	698.0
IV	$y(t)=16,264,828.0+5,127,287.1 \times x(t)^{**}+r(t)$ $r(t)=.9421 \times r(t-1)^{**}+u(t)$	-361.41	728.83
III	$y(t)=15,280,369.9+6,838,054.8 \times x(t)^{**}+r(t)$ $r(t)=.8460 \times r(t-1)^{**}+u(t)$	-358.48	722.97
II	$y(t)=84416727.6-557084.2 \times x(t)+r(t)$ $r(t)=.8948 \times r(t-1)^{**}+u(t)$	-363.68	733.37

주) \*\*t-검정결과 1%에서 유의성 있음.

2005년 VI영급의 축적량은 23,496천  $m^3$  (17,230천  $m^3$ ~29,761천  $m^3$ )으로 추정되었다. 2010년에는 IV영급은 177,493천  $m^3$  (123,319천  $m^3$ ~231,667천  $m^3$ )으로 추정되었다.

표 3-8. 영급별 입목축적량 예측

(단위 : m<sup>3</sup>)

영급	년도	예측축적량 y(t)	95% 신뢰구간		표준오차 (SE)
			하한값	상한값	
VI	2002	21,474,933	18,441,324	24,508,542	1,443,942
	2003	22,137,877	17,799,280	26,476,474	2,065,092
	2004	22,811,885	17,441,122	28,182,648	2,556,384
	2005	23,496,134	17,230,878	29,761,390	2,982,146
	2006	24,189,866	17,116,232	31,263,500	3,366,919
	2007	24,892,376	17,070,385	32,714,368	3,723,123
	2008	25,603,014	17,077,355	34,128,674	4,058,056
	2009	26,321,176	17,126,639	35,515,714	4,376,430
	2010	27,046,305	17,210,847	36,881,763	4,681,496
	V	2002	56,794,005	48,877,423	64,710,587
2003		58,607,078	47,313,829	69,900,328	5,375,378
2004		60,453,069	46,506,458	74,399,681	6,638,329
2005		62,329,235	46,096,160	78,562,310	7,726,643
2006		64,233,063	45,943,842	82,522,284	8,705,331
2007		66,162,246	45,977,752	86,346,741	9,607,446
2008		68,114,674	46,154,794	90,074,555	10,452,497
2009		70,088,409	46,446,441	93,730,377	11,253,139
2010		72,081,677	46,832,493	97,330,860	12,018,144
IV		2002	140,996,793	124,740,789	157,252,796
	2003	145,434,351	122,088,626	168,780,075	11,112,132
	2004	149,911,779	120,898,468	178,925,090	13,809,799
	2005	154,426,775	120,455,678	188,397,871	16,169,613
	2006	158,977,164	120,488,319	197,466,009	18,319,977
	2007	163,560,902	120,858,871	206,262,933	20,325,376
	2008	168,176,061	121,486,474	214,865,648	22,223,379
	2009	172,820,825	122,318,776	223,322,873	24,038,040
	2010	177,493,481	123,319,502	231,667,460	25,785,811

(계속)

영급	년도	예측축적량 y(t)	95% 신뢰구간		표준오차 (SE)
			하한값	상한값	
Ⅲ	2002	163,554,431	148,856,475	178,252,386	6,995,955
	2003	170,725,535	150,252,465	191,198,605	9,744,802
	2004	177,845,362	153,103,053	202,587,670	11,776,881
	2005	184,921,805	156,683,516	213,160,093	13,440,903
	2006	191,961,545	160,710,107	223,212,983	14,875,106
	2007	198,970,232	165,036,882	232,903,582	16,151,646
	2008	205,952,648	169,577,407	242,327,888	17,313,941
	2009	212,912,837	174,275,788	251,549,885	18,390,520
	2010	219,854,221	179,093,634	260,614,809	19,401,285
	Ⅱ	2002	60,406,558	41,864,095	78,949,022
2003		61,085,947	34,811,226	87,360,667	12,506,281
2004		61,635,267	29,387,702	93,882,831	15,349,244
2005		62,068,201	24,748,497	99,387,905	17,763,488
2006		62,396,992	20,573,011	104,220,972	19,907,441
2007		62,632,595	16,701,157	108,564,032	21,862,514
2008		62,784,812	13,040,798	112,528,827	23,677,230
2009		62,862,417	9,533,995	116,190,838	25,383,341
2010		62,873,256	6,142,020	119,604,491	27,003,018

#### 마) 국내재 공급량 예측

앞의 표 (3-8)에서 추정된 영급별 축적 추정함수를 이용하여 2002년부터 2010년까지 축적을 계산한 결과는 표 (3-9)와 같다. 축적량은 2002년 443,227천 m<sup>3</sup>, 2005년 487,242천 m<sup>3</sup>, 그리고 2010년에는 559,349천 m<sup>3</sup>으로 추정되었다.

앞으로 국내재 공급량을 예측하기 위하여 과거 1984년부터 2000년까지의 입목별 채량을 총축적량의 국내재 입목별채 허가생산량 비율자료를 기초로 총축적량에서 연간 각각 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6% 별채할 경우를 시나리오로 하여 2010년까지의 국내재 공급량을 계산하였다.<sup>2)</sup>

2) 1984년부터 2000년까지의 국내재의 총축적 대비 입목별채허가생산량은 연평균 0.4%로 나타났으며, 주

표 3-9. 연도별 영급별 예측 입목축적량

(단위: 천m<sup>3</sup>)

년도	VI	V	IV	III	II	합 계
2002	21,475	56,794	140,997	163,554	60,407	443,227
2003	22,138	58,607	145,434	170,726	61,086	457,991
2004	22,812	60,453	149,912	177,845	61,635	472,657
2005	23,496	62,329	154,427	184,922	62,068	487,242
2006	24,190	64,233	158,977	191,962	62,397	501,759
2007	24,892	66,162	163,561	198,970	62,633	516,218
2008	25,603	68,115	168,176	205,953	62,785	530,631
2009	26,321	70,088	172,821	212,913	62,862	545,006
2010	27,046	72,082	177,493	219,854	62,873	559,349

그 결과, 표 (3-10)과 같이 총축적량에서 연간 0.3%를 벌채할 경우, 2002년 1,330천 m<sup>3</sup>, 2005년 1,462천 m<sup>3</sup>, 그리고 2010년에는 1,678천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었다. 연간 0.4%를 벌채할 경우에는 2002년 1,773천 m<sup>3</sup>, 2005년 1,949천 m<sup>3</sup>, 그리고 2010년에는 2,237천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었다. 연간 0.5%를 벌채할 경우에는 2002년 2,216천 m<sup>3</sup>, 2005년 2,436천 m<sup>3</sup>, 그리고 2010년에는 2,797천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었다. 마지막으로 연간 0.6%를 벌채할 경우에는 2002년 2,659천 m<sup>3</sup>, 2005년 2,923천 m<sup>3</sup>, 그리고 2010년에는 3,356천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었다.

벌의 총축적 대비 입목벌채허가생산량은 연평균 0.19%, 간벌 0.07%, 수종갱신 0.06%, 기타벌채 0.12%로 나타났다. 따라서 2010년까지의 국내재 공급량을 예측하기 위하여, 총축적 대비 입목벌채허가생산량은 연평균 0.4%를 기준으로, 0.3%, 0.5%, 0.6%를 각각 제시하였다.

표 3-10. 총축적량 대비 벌채률에 따른 연도별 국내재 공급량 예측

(단위: 천m<sup>3</sup>)

년 도	총축적량 대비 벌채비율			
	0.3% 벌채시	0.4% 벌채시	0.5% 벌채시	0.6% 벌채시
2002	1,330	1,773	2,216	2,659
2003	1,374	1,832	2,290	2,748
2004	1,418	1,891	2,363	2,836
2005	1,462	1,949	2,436	2,923
2006	1,505	2,007	2,509	3,011
2007	1,549	2,065	2,581	3,097
2008	1,592	2,123	2,653	3,184
2009	1,635	2,180	2,725	3,270
2010	1,678	2,237	2,797	3,356

한편, 국내재 입목벌채허가생산량을 총축적에 기초한 비율자료 외에 연간축적증가량을 기준으로 검토하기 위하여 1984년부터 2000년까지의 연속적증가량과 연벌채허가량을 검토하여 연속적증가량에 따른 벌채율을 표 (3-11)과 같이 계산하였다. 그 결과, 1985년 벌채율이 15.0%로 가장 높게 나타났으며, 1998년 벌채율이 4.5%로 가장 낮게 나타났다.

따라서 앞으로 국내재 공급량을 예측하기 위하여 표 (3-12)와 같이 연속적증가량을 기준으로 벌채율을 각각 6%, 8%, 10%, 12%, 14%로 가정하여 2002년부터 2010년까지의 국내 목재공급량을 예측하였다. 그 결과 벌채율을 6%를 가정할 경우 2002년 892천 m<sup>3</sup>, 2005년 875천 m<sup>3</sup>, 2010년에는 860천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었으며, 벌채율을 8%를 가정할 경우 2002년 1,190천 m<sup>3</sup>, 2005년 1,166천 m<sup>3</sup>, 2010년에는 1,147천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었다. 벌채율을 10%를 가정할 경우 2002년 1,487천 m<sup>3</sup>, 2005년 1,458천 m<sup>3</sup>, 2010년에는 1,434천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었으며, 벌채율을 12%를 가정할 경우 2002년 1,785천 m<sup>3</sup>, 2005년 1,750천 m<sup>3</sup>, 2010년에는 1,721천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었으며, 벌채율을 14%를 가정할 경우 2002년



2,083천 m<sup>3</sup>, 2005년 2,041천 m<sup>3</sup>, 2010년에는 2,008천 m<sup>3</sup>이 공급될 것으로 추정되었다.

표 3-11. 연속적증가율 대비 입목별채율

(단위: 천m<sup>3</sup>)

년도	축적량 (y <sub>t</sub> )	연간 축적증가량 (y <sub>t</sub> -y <sub>t-1</sub> )	벌채허가량 (C <sub>t</sub> )	벌채율(%) C <sub>t</sub> /y <sub>t</sub> -y <sub>t-1</sub>
1984	165,671	7,264	1,029	14.2
1985	172,779	7,108	1,066	15.0
1986	187,273	14,493	1,104	7.6
1987	195,429	8,156	1,122	13.8
1988	212,818	17,388	1,193	6.9
1989	230,724	17,906	1,169	6.5
1990	245,752	15,028	1,076	7.2
1991	255,978	10,225	888	8.7
1992	272,386	16,408	795	4.9
1993	283,829	11,442	903	7.9
1994	295,806	11,976	895	7.5
1995	308,825	13,019	886	6.8
1996	323,780	14,954	985	6.6
1997	340,824	17,043	1,037	6.1
1998	363,560	22,736	1,032	4.5
1999	387,758	24,197	1,203	5.0
2000	407,575	19,817	1,180	6.0

표 3-12. 연속적증가율 대비 입목벌채율에 따른 국내목재 공급량 예측

(단위: 천m<sup>3</sup>)

년도	축적량	연간축적 증가량	연속적증가율 대비 벌채율(%)에 따른 목재 공급량				
			6%	8%	10%	12%	14%
2002	443,226	14,879	892	1,190	1,487	1,785	2,083
2003	457,990	14,764	885	1,181	1,476	1,771	2,066
2004	472,657	14,666	879	1,173	1,466	1,759	2,053
2005	487,242	14,584	875	1,166	1,458	1,750	2,041
2006	501,758	14,516	870	1,161	1,451	1,741	2,032
2007	516,218	14,459	867	1,156	1,445	1,735	2,024
2008	530,631	14,412	864	1,153	1,441	1,729	2,017
2009	545,005	14,374	862	1,149	1,437	1,724	2,012
2010	559,348	14,343	860	1,147	1,434	1,721	2,008

## 2) 목재 판상재의 생산량 추정

본 연구에서는 1975년~2001년까지의 합판, 하드보드, 파티클보드의 생산량과 1986~2001년까지의 중밀도 섬유판의 생산량을 시계열에 의하여 그 추세를 관찰하고 2001년부터 2010년까지의 생산량을 다음과 같이 예측하였다.

추정방법은 현재시점의 생산량  $y(t)$ 는 전년도 생산량  $y(t-1)$ 과 해당년도의 기간인  $r(t)$ 의 함수로 가정하여 자기회귀 (auto-regression)모형을 적용하였으며 최우법 (maximum likelihood)에 의하여 예측하였다. 여기서  $r(t)$ 는 1975년을 1로 하고 해마다 연도수가 증가함에 따라 1씩 증가하는 자연수를 적용하였다. 추정함수의 결과는 표 (3-13)과 같고, 이를 이용하여 2010년까지 예측한 결과는 그림 (3-10)과 같다.

표 3-13. 목재 판상재 생산량 회귀분석 결과

목제품	추정식	대수우도 (Log likelihood)	아카이케 정보량 (AIC)
합판 (Ply)	$y(t)=2,055,251-53,913.5 \times x(t)^{**}+r(t)$ $r(t)=.6043 \times r(t-1)^{**}+u(t)$	-365.86	737.73
파티클보드 (PB)	$y(t)=-96,206+27,906.2 \times x(t)^{**}+r(t)$ $r(t)=.7841 \times r(t-1)^{**}+u(t)$	-339.12	684.25
중밀도섬유판 (MDF)	$y(t)=-911,802+69,323.3 \times x(t)^{**}+r(t)$ $r(t)=.1939 \times r(t-1)+u(t)$	-363.68	733.37

주) \*\*t-검정결과 1%에서 유의성 있음.

합판은 해가 거듭될수록 생산량의 증가가 낮아져 2010년의 생산량은 115,831 m<sup>3</sup>으로 추정되었고, 파티클보드와 중밀도 섬유판은 합판과는 정반대의 경향을 보였다. 즉, 파티클보드는 1975년의 생산량이 38,888 m<sup>3</sup>에 불과하였으나 그 후 생산량이 급격히 증가하였고 2010년의 생산량은 915,861 m<sup>3</sup>로 추정되었다. 중밀도섬유판 역시 처음 생산되기 시작한 1986년의 생산량은 11,158 m<sup>3</sup>에 불과하였으나 그 후 파티클과 마찬가지로 생산이 꾸준히 증가하였으며 2010년의 생산량은 1,583,839 m<sup>3</sup>으로 추정되었다.

표 3-14. 목재 판상재 생산량 추정

(단위: m<sup>3</sup>)

년도	합판	파티클보드	중밀도섬유판
2001	736,112	723,655	1,019,220
2002	628,182	737,231	1,040,750
2003	541,624	753,900	1,100,805
2004	467,981	772,994	1,168,331
2005	402,144	793,991	1,237,306
2006	341,024	816,479	1,306,562
2007	282,755	840,136	1,375,872
2008	226,210	864,710	1,445,193
2009	170,705	890,004	1,514,516
2010	115,831	915,861	1,583,839

합판, 파티클보드, 중밀도섬유판의 생산량 추정결과를 그림으로 나타내면 그림 (3-9)와 같다.

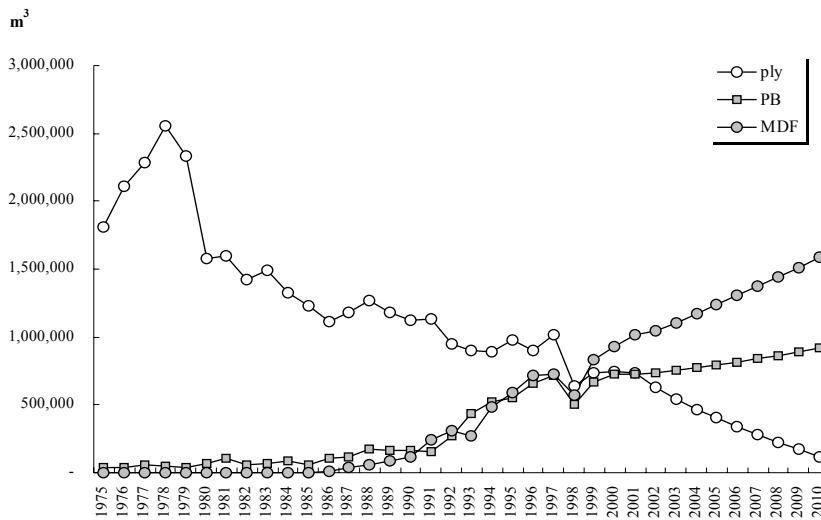


그림 3-10. 목재 판상재의 생산량 예측

#### 4. 폐목재 발생량 및 추정

생활수준의 향상에 따라 목재의 사용량은 매년 증가하고 있으며, 이에 따른 폐목재의 발생량과 이용량도 계속적으로 증가하고 있다. 산림청 (2000) 통계에 의하면 우리나라의 목재수요량은 '92년 9,182천 m<sup>3</sup>에서 '97년 9,328천 m<sup>3</sup>으로 점차 증가하다가 '98년에는 IMF 외환위기로 인하여 5,798천 m<sup>3</sup>으로 공급량이 급격히 급감하였다. 그러나 폐목재의 이용은 '92년 954천 m<sup>3</sup>인 것이 '98년에는 1,185천 m<sup>3</sup>으로 6년간 1.24배 증가하여 목재공급량의 증가폭보다 매우 큰 상승세로 이용률이 증가되고 있다 (산림청 임업통계연보, 2000). 일반적으로 폐목재는 산림에서 생육하고 있는 나무가 성숙기에 도달하여 벌채되어지고 벌채된 나무는 다시 1·2차 가공되어 목재용도에 따라 소비되고 폐기되는 목재를 의미한다.

현재 폐목재의 구분은 표 (3-15)과 같이 크게 2가지로 대별 할 수 있는데, 첫째는 발생원과 이에 따른 폐목재의 형태에 따라 구분할 수 있으며 (임업연구원, 2000), 두 번째는 폐목재를 폐기물로 간주하여 발생원을 가정과 사업장으로 구분하여 정리할 수 있다 (환경부, 2000).

##### 가. 총폐목재 발생량

폐목재 발생량에 대한 일차적인 통계자료가 구비되어 있지 않은 관계로 임업연구원에서 연구한 '폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안 (2000)'에 수록된 내용을 재인용하면 다음과 같다 (표 3-16).

우리나라의 연간 총 폐목재 발생량 ('97)은 11,011천 m<sup>3</sup>으로 이는 우리나라 1년 총목재 사용량의 40%수준이다. 폐목재 발생량 중 건설폐목재가 5,752천 m<sup>3</sup>로 52%, 산업가공폐목재가 3,533천 m<sup>3</sup>로 32%, 임지폐목재 911천 m<sup>3</sup>로 8%, 물류유통폐목재 624천 m<sup>3</sup>로 6%, 생활폐목재가 190천 m<sup>3</sup>로 2%를 차지한다.

표 3-15. 발생원과 수집체계에 따른 폐목재의 구분

구분	폐목재의 종류	세부사항
발생원별에 의한 분류	목재산업가공 폐목재	목재 또는 목재제품제조업 (가구제조업), 펄프제조업, 수입목재 소매업에서 발생하는 목재편, 톱밥, bark (나무껍질류) 등의 폐목재
	건축/건설 폐목재	건설신축현장으로부터 발생하는 폐목재 토목공사장 등으로부터 발생하는 디딤대, 형틀, 단재 등의 폐목재 건물해체현장으로부터 발생하는 폐목재 및 해체건물내에 방치되어 있는 건구·가구 등의 폐목재
	생활가구 폐목재	가구 등의 시·군·구에서 수집하는 대형폐기물 중의 폐목재
	물류/통신/전력 폐목재	공장, 창고, 수송, 전력, 통신기관 등으로부터 발생하는 포장재, 파레트, 철도침목, 전주 등의 폐목재
	임지내 폐목재	임업지에서 발생하는 폐목재
폐기물에 의한 분류	생활계 폐목재	일반 가정에서 폐기되는 생활폐목재와 사업장의 생활계 폐기물과 관련된 사업장 생활계 폐목재
	사업장 배출시설계 폐목재	사업장에서 발생하는 일반폐기물 가운데 발생하는 폐목재
	건설폐목재	건설폐기물 가운데 발생하는 폐목재

표 3-16. 발생원별 폐목재 발생량 및 재활용 실적

(단위: 천 m<sup>3</sup>)

발생원별	구분	합계	재활용							폐기		
			소계	재이용	원료				연료	소계	소각	매립
					계	재생 보드	톱밥	기타				
총계	물량	11,011	4,778	137	2,562	1,337	766	459	2,079	6,233	3,628	2,605
	%	100	43.4	1.2	23.3	12.1	7.0	4.2	18.9	56.6	32.9	23.7
임지폐목재	물량	911	551	-	446	-	199	247	105	360	-	360
	%	100	60.5	-	49.0	-	21.8	27.1	11.5	39.5	-	39.5
산업가공 폐목재	물량	3,533	3,533	-	1,837	1,060	565	212	1,696	-	-	-
	%	100	100	-	52.0	30.0	16.0	6.0	48.0	-	-	-
건설폐목재	물량	5,752	250	-	115	115	-	-	135	5,502	3,405	2,097
	%	100	4.3	-	2.0	2.0	-	-	2.3	95.7	59.2	36.5
생활폐목재	물량	190	23	7	15	15	-	-	1	167	19	148
	%	100	12.1	3.7	7.9	7.9	-	-	0.5	87.9	10.0	77.9
물류폐목재	물량	624	421	130	148	146	2	-	142	204	204	-
	%	100	67.4	20.8	23.8	23.4	0.4	-	22.8	32.6	32.6	-

(자료) 임업연구원, 2000. 폐목재 수집체계 개선 및 재활용 추진방안.

### 1) 발생원별 폐목재 발생량 및 재활용 실태

#### 가) 임지폐목재

임지폐목재는 총발생량 911천 m<sup>3</sup> 중 60%가 재활용 되었는데, 재활용 용도 및 사용량을 보면 톱밥용으로 199천 m<sup>3</sup> (22%), 조경수, 해태목, 인삼 등의 지주목으로 247천 m<sup>3</sup> (27%), 장작 등의 연료로 105천 m<sup>3</sup> (12%)를 사용하였다. 또한 임지상태에서 자연폐기되는 양도 360천 m<sup>3</sup>로 40%를 차지하고 있었다. 표고재배 후에 폐기되는 폐골목발생은 88천 m<sup>3</sup>로 89%가 재활용되었고 발생량의 11%인 10천 m<sup>3</sup>가 임지상태에

서 자연 폐기되고 있었다. 폐골목의 재활용 용도 및 사용량을 보면 톱밥용으로 50천 m<sup>3</sup> (57%), 화목용으로 28천 m<sup>3</sup> (32%)가 사용되었다.

#### 나) 산업가공폐목재

1·2차 산업가공폐목재는 총발생량 3,533천 m<sup>3</sup>로 100% 재활용되었다. 재활용 용도로는 원료 (52%), 연료 (48%)가 비슷한 비율로 이용되었다. 재활용원료의 사용비율은 보드류용 30%, 축사깔개용 16% 등이었다. 구체적으로 보면 1차 가공 (제재, 합판, 칩, 보드류, 펄프공장)과정에서 발생하는 폐목재는 보드류용 (38%), 자체 연료용 (36%), 축사용 (20%)으로 재활용되었다. 2차 가공 (가구, 악기, 건구재공장)과정에서 발생하는 폐목재는 전체 발생량의 97%가 자체연료로 재활용되고 있는 것으로 조사되었다.

#### 다) 건설폐목재

건설폐목재는 발생량 (5,752천 m<sup>3</sup>)의 96%가 매립·소각되고 있고 불과 4%가 재생보드나 연료로 재활용되는 것으로 조사되었다.

#### 라) 생활폐목재

생활폐목재의 발생량은 전체 폐목재 발생량의 1.8%인 190천 m<sup>3</sup>이고 이중 12%만이 재활용되고 있으며 대부분의 생활폐목재는 매립, 소각되고 있는 것으로 나타났다.

#### 마) 물류유통폐목재

물류유통폐목재의 발생량은 624천 m<sup>3</sup>이고 이중 67.4%가 재활용되고 있는데 구체적으로 보면 재 이용이 20.8%, 원료가 23.8% 연료로서 22.8% 재활용되고 있으며 나머지 32.6%가 소각 처리되는 것으로 나타났다.



발생원별 폐목재 발생량 및 재활용 실태를 정리하면 다음의 표 (3-17)과 같다.

표 3-17. 발생원별 폐목재 발생량 및 재활용 실태

(단위 : 천m<sup>3</sup>, %)

발생원 별	구분	합계	재활용							폐기		
			소계	재이용	원료				연료	소계	소각	매립
					계	재생 보드	톱밥	기타				
총 계	물량	11,011	4,788	137	2,562	1,337	766	459	2,079	6,233	3,628	2,605
	비율	100	43.4	1.2	23.3	12.1	7.0	4.2	18.9	56.6	32.9	23.7
임 지 폐잔재	물량	911	551	-	446	-	199	247	105	360	-	360
	비율	100	60.5	-	49.0	-	21.8	27.1	11.5	39.5	-	39.5
산업 가공 폐목재	물량	3,533	3,533	-	1,837	1,060	565	212	1,696	-	-	-
	비율	100	100	-	52.0	30.0	16.0	6.0	48.0	-	-	-
건 설 폐목재	물량	5,752	250	-	115	115	-	-	135	5,502	3,405	2,097
	비율	100	4.3	-	2.0	2.0	-	-	2.3	95.7	59.2	36.5
생 활 폐목재	물량	190	23	7	15	15	-	-	1	167	19	148
	비율	100	12.1	3.7	7.9	7.9	-	-	0.5	87.9	10.0	77.9
물 류 폐목재	물량	624	421	130	148	146	2	-	142	204	204	-
	비율	100	67.4	20.8	23.8	23.4	0.4	-	22.8	32.6	32.6	-

(자료) 임업연구원

#### 나. 환경부의 발생원별 총폐목재 발생량

임업연구원에서 분석한 폐목재 발생량은 폐목재의 발생원별 발생가능량을 총량으로 추정한 것으로 현재 실제로 수집되고 있는 폐목재의 발생량과는 많은 차이가 있

다. 현재의 폐목재 발생은 가정과 공장 혹은 건설공사장과 같은 사업장에서 발생하는 폐목재를 **생활폐목재**와 **사업장·건설폐목재**로 구분하고, 지자체 공공처리시설이나 사업장 자가처리시설, 폐기물처리업소에 의하여 재활용, 소각 또는 매립된다.

이러한 과정을 그림으로 도식하면 그림 (3-11)과 같다.

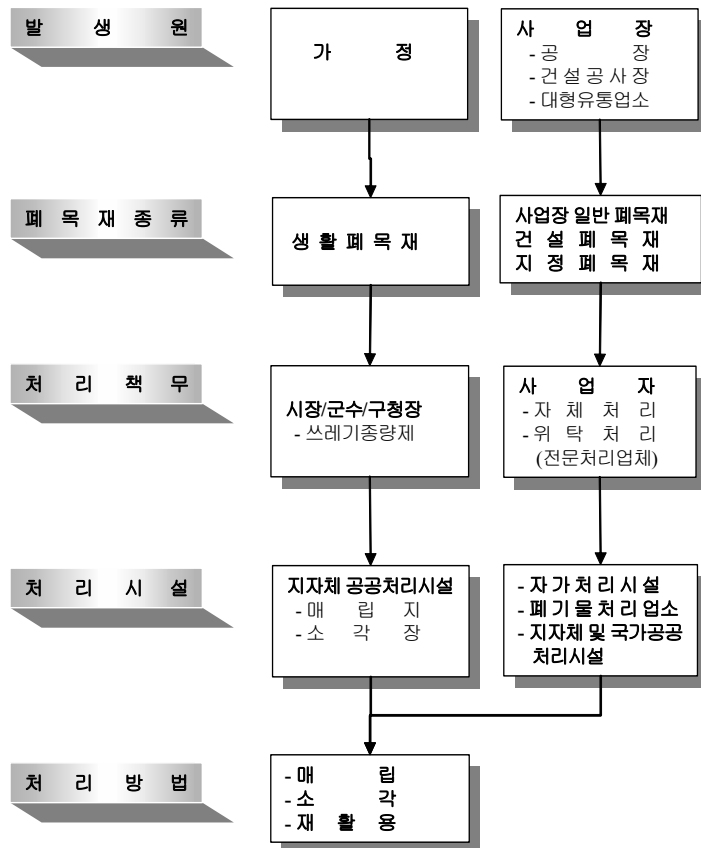


그림 3-11. 폐목재 발생원 및 처리과정

환경부 (2002)의 전국 폐기물발생처리현황 자료를 살펴보면 2001년 일일 폐목재 발생량은 3049.3 (톤/일)으로 나타났다 (표 3-18).

표 3-18. 2001년도 지역별 연간 폐목재 발생 및 처리현황

(단위: 톤/일)

지역	발생 및 처리량		생활계 폐목재	사업장생활계 폐목재	건설폐목재
합계	발생량		2,121.4	278.9	649.4
	처리방법	매 립	1,108.8	153.1	53.4
		소 각	977.8	106.6	267.6
		재활용	34.8	19.2	328.4
서울	발생량		482.3	43.8	.3
	처리방법	매 립	304.2	38.5	-
		소 각	178.1	5.3	-
재활용		-	-	.3	
부산	발생량		77.5	39.1	10.7
	처리방법	매 립	23.8	28.2	0.0
		소 각	53.7	10.9	2.9
재활용		-	-	7.8	
대구	발생량		162.5	22.0	41.1
	처리방법	매 립	90.5	21.6	37.6
		소 각	72.0	.4	1.6
재활용		-	-	1.9	
인천	발생량		34.8	13.2	75.6
	처리방법	매 립	21.0	3.7	7.7
		소 각	13.8	7.8	49.5
재활용		-	1.7	18.4	
광주	발생량		77.9	27.2	1.2
	처리방법	매 립	34.4	25.4	-
		소 각	43.5	1.8	1.2
재활용		-	-	-	
대전	발생량		60.4	5.8	3.8
	처리방법	매 립	31.8	.6	-
		소 각	28.6	5.2	.3
재활용		-	-	3.5	
울산	발생량		144.7	.8	74.1
	처리방법	매 립	60.2	-	-
		소 각	84.5	.8	7.7
재활용		-	-	66.4	
경기	발생량		409.9	55.6	99.6
	처리방법	매 립	90.9	12.9	1.0
		소 각	297.1	34.3	67.3
재활용		21.9	8.4	31.3	

(계속)

지역	발생 및 처리량		생활계 폐목재	사업장생활계 폐목재	건설폐목재
강원	발생량		58.5	14.0	2.1
	처리방법	매립	39.1	8.7	-
		소각 재활용	14.4 5.0	5.2 .1	2.0 .1
충북	발생량		90.7	12.9	39.0
	처리방법	매립	75	.8	-
		소각 재활용	14.6 1.1	10.1 2.0	24.1 14.9
충남	발생량		78.6	11.7	24.9
	처리방법	매립	38.2	1.2	1.0
		소각 재활용	37.5 2.9	10.3 .2	14.2 9.7
전북	발생량		53.6	5.1	108.9
	처리방법	매립	48.1	1.5	.5
		소각 재활용	5.5 -	1.7 1.9	59.8 48.6
전남	발생량		87.2	2.5	23.8
	처리방법	매립	64.4	1.2	3.4
		소각 재활용	21.9 .9	1.1 .2	1.5 18.9
경북	발생량		153.5	9.5	57.0
	처리방법	매립	124.6	1.9	-
		소각 재활용	26.1 2.8	6.5 1.1	6.9 50.1
경남	발생량		126.7	11.2	87.3
	처리방법	매립	44.5	4.1	2.2
		소각 재활용	82.0 .2	4.7 2.4	28.6 56.5
제주	발생량		22.2	4.5	-
	처리방법	매립	17.7	2.8	-
		소각 재활용	4.5 -	.5 1.2	- -

자료) 환경부(2002). '2001전국 폐기물 발생 및 처리현황.

#### 다. 임지폐목재 발생량 추정

임지폐목재 발생량 추정은 우선 2001년도 산림청 임업통계연보의 임목벌채 허가 실적에서 벌채종별 비율을 구하여 여기에 임업통계연보의 국내재 공급실적에 적용하여 용도별로 벌채량을 산출하였다 (임업연구원, 2000).

임지폐목재 발생량은 산출된 벌채량에 아래와 같이 조재율을 적용하여 산출하였는데 조재율은 주벌, 수종갱신, 기타를 벌기령 40년생 기준으로 0.85, 간벌은 20년생을 기준으로 0.6을 적용하였다 (임업연구원, 1997).

$$\text{임지폐목재 발생량} = (1 - \text{조재율}) \times \text{원목량}$$

2000년 현재 임지폐목재의 총발생량은 334천 m<sup>3</sup>으로 나타났고 벌채종별로 살펴보면 간벌에 의한 폐목재가 가장 많이 발생하고 주벌, 수종갱신, 기타 순으로 나타났다. 임지폐목재의 이러한 발생량은 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 Com-Ply용 심판인 파티클보드를 약 15,000천매를 생산할 수 있는 양으로 추정된다 (표 3-19).

그리고 임지폐목재 발생량을 임상별로 살펴본 결과, 침엽수가 249천 m<sup>3</sup>, 활엽수가 76천 m<sup>3</sup>으로 침엽수가 활엽수보다 약 3배 이상 더 많이 발생하는 것으로 나타나 침엽수 간벌재에 대한 활용을 적극적으로 모색해야 하는 것으로 분석되었다 (표 3-20).

표 3-19. 연도별 · 별채종별 임지폐목재 발생량

(단위: 천m³)

연도	구분		주 별		간 별		수 종 갱 신		기 타		합 계	
	공급 실적	비율 (%)	발생량	비율 (%)	발생량	비율 (%)	발생량	비율 (%)	발생량	비율 (%)	발생량	
1992	1,123	24	41	14	63	21	35	41	69	100	208	
1993	1,184	30	53	16	76	18	32	37	66	100	227	
1994	1,173	23	41	16	75	16	28	45	79	100	223	
1995	1,055	20	32	23	97	14	59	43	68	100	256	
1996	1,196	17	30	25	120	15	27	43	77	100	254	
1997	1,062	20	32	26	110	17	27	37	59	100	228	
1998	1,428	25	54	22	126	20	43	33	71	100	294	
1999	1,694	34	86	20	136	25	64	21	50	100	336	
2000	1,592	36	86	24	153	29	69	11	26	100	334	

(자료) 임업통계연보

표 3-20. 임상별 임지폐목재 발생량

(단위 : 천m³)

작업종	1999				2000			
	침엽수		활엽수		침엽수		활엽수	
	벌채허가 허가	발생량	벌채허가 실적	발생량	벌채허가 실적	발생량	벌채허가 실적	발생량
주별	210	44	194	41	210	42	174	35
간별	217	122	26	15	226	122	29	16
수종갱신	198	42	100	21	232	47	82	17
기타	193	41	65	14	187	38	40	8
합계	818	249	385	91	855	249	325	76

(자료) 임업경제동향

다음은 제3절 3의 표 (3-10)의 총축적량 대비 벌채비율에 의한 국내재 공급 예측량을 이용하여, 임지폐목재 발생량을 추정하였다. 임지폐목재 발생량 추정은 총축적량 대비 벌채비율에 따른 2010년까지의 목재생산량×(1-조재율)로 계산하였으며, 이때 조재율은 간벌을 기준으로 한 조재율 0.6을 기준으로 추정하였다.

추정결과는 표 (3-21)과 같다. 총축적량 대비 벌채비율을 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%를 각각 적용할 경우, 2005년의 임지폐목재 발생량은 각각 585천 m<sup>3</sup>, 780천 m<sup>3</sup>, 974천 m<sup>3</sup>, 1,169천 m<sup>3</sup>으로 추정되었으며, 2010년의 경우에는 671천 m<sup>3</sup>, 895천 m<sup>3</sup>, 1,119천 m<sup>3</sup>, 1,342천 m<sup>3</sup>으로 증가할 것으로 추정되었다.

표 3-21. 총축적 대비 벌채비율에 의한 임지폐목재 발생량

(단위: 천m<sup>3</sup>)

년 도	총축적량 대비 벌채비율에 의한 임지폐목재 발생량 <sup>주)</sup>			
	0.3% 벌채시	0.4% 벌채시	0.5% 벌채시	0.6% 벌채시
2002	532	709	886	1,064
2003	550	733	916	1,099
2004	567	756	945	1,134
2005	585	780	974	1,169
2006	602	803	1,004	1,204
2007	620	826	1,032	1,239
2008	637	849	1,061	1,274
2009	654	872	1,090	1,308
2010	671	895	1,119	1,342

다음은 총축적 이외에 연간축적량 대비 벌채비율에 의한 국내재 공급 예측량 (표 3-12)의 결과를 이용하여 임지폐목재 발생량을 추정하였으며, 그 결과는 표 (3-22)와 같다. 임지폐목재 발생량 추정은 목재생산량×(1-조재율)로 계산하였으며, 조재율은 간벌을 기준으로 한 조재율 0.6을 기준으로 추정하였다.

연간축적증가량 대비 벌채비율을 6%, 8%, 10%, 12%, 14%를 각각 적용할 경우, 2005년의 임지폐목재 발생량은 각각 350천 m<sup>3</sup>, 466천 m<sup>3</sup>, 583천 m<sup>3</sup>, 700천 m<sup>3</sup>, 816천

m<sup>3</sup>으로 추정되었으며, 2010년의 경우에는 344천 m<sup>3</sup>, 459천 m<sup>3</sup>, 574천 m<sup>3</sup>, 688천 m<sup>3</sup>, 803천 m<sup>3</sup>으로 증가할 것으로 추정되었다.

표 3-22. 연속적증가량 대비 벌채율에 의한 임지폐목재 발생량

(단위: 천m<sup>3</sup>)

년도	연속적증가량 대비 벌채율(%)에 따른 목재 공급량 <sup>주)</sup>				
	6%	8%	10%	12%	14%
2002	357	476	595	714	833
2003	354	472	590	708	826
2004	352	469	586	704	821
2005	350	466	583	700	816
2006	348	464	580	696	813
2007	347	462	578	694	810
2008	346	461	576	692	807
2009	345	460	575	690	805
2010	344	459	574	688	803

주) 제3절 3의 표 (3-12)의 연속적 증가량 대비 벌채율에 의한 국내재 공급 예측량을 이용하였으며, 폐목재 발생량은 간벌을 기준으로 조재율 0.6을 기준으로 추정하였음.

폐목재 발생량 = [1-조재율(0.6)] × 국내재 공급예측량

## 5. Com-Ply의 경제성 분석

Com-Ply의 경제성을 분석하기에 앞서 경제성분석에 관한 이론적 고찰을 한 후 본 연구에서 다루게 될 신제품 개발과정의 경제성 분석모델인 신제품의 전주기 경제성 분석모델을 단계별로 살펴보고 신제품의 전주기 경제성 분석모델의 I 단계를 중심으로 합판과 Com-Ply의 생산원가를 비교 분석하여 Com-Ply의 경제성분석을 하기로 한다.



## 가. 경제성분석에 관한 이론적 고찰

### 1) 경제성분석의 정의

경제성 분석이라고 하는 것은 비용·편익분석을 의미하며 공공투자사업의 효율성 평가에 널리 활용되어지고 있는 기법으로서, 계획되어진 투자사업에 있어서 서로 다른 시점에서 발생하는 비용과 편익의 흐름을 동일한 시점에서 비교·분석하여 효율성을 달성하기 위해 고려된 여러 대안 중에서 가장 우수한 대안을 선택하는 것을 목적으로 한다. 경제성 분석기법으로는 비용·편익분석법이 주축을 이루며 구체적인 평가기법으로는 순현재가, 편익-비용비율, 내부수익율, 원가분석 등이 있다.

### 2) 분석방법

#### 가) 순현재가

순현재가 (net present value; NPV)의 기준은 투자사업에서 나오는 순수익의 흐름을 현재가치로 환산하여 이를 합산하는 것이다. 이것은 투자사업의 실시로 늘어난 편익의 증가 분을 의미한다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$NPV = \frac{B_0 - C_0}{(1+r)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$B_t$  : t 차년도에 발생한 수익

$C_t$  : t 차년도에 발생한 비용

$r$  : 할인율

이때 각 연도에서의 B (편익)-C (비용)을 NB (net benefit)로 표현할 경우 NPV는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$NPV = \frac{NB_0}{(1+r)^0} + \frac{NB_1}{(1+r)^1} + \frac{NB_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{NB_t}{(1+r)^t} = \sum_{i=0}^T \frac{NB_i}{(1+r)^i} \quad (2)$$

투자사업의 증가로부터 그 사업의 순수익 증가가 있으면 NPV가 0보다 크게 나

타나고, 만일 순수익의 감소가 있다면 NPV가 0보다 작게 나타나는데 NPV가 0보다 클 경우 일단 해당 사업은 경제성이 있다 할 수 있다.

그러나 NPV로만 여러 개의 투자사업간의 경제성을 비교할 때에는 문제가 발생한다. 왜냐하면 서로 성격과 투자규모가 서로 다른 사업간의 경우 투자사업의 규모가 큰 사업일수록 당연히 NPV가 크게 나타나도록 되어 있기 때문이다. NPV가 지닌 또 하나의 문제점은 투자시장이 불완전한 현실에 어떤 할인율을 선택하여 적용할 것인가 하는 점이다. 적용할인율의 크기에 따라 NPV의 값이 크게 변동 할 수 있기 때문이다. 따라서 투자규모에 따른 사업의 적정성을 판단하기 위해서는 NPV 뿐만 아니라 B/C비율, 그리고 내부수익율과 같은 여러 가지 평가 기준들을 동시에 고려하여야 한다.

#### 나) 편익-비용비율

투자의 규모가 큰 사업이 유리하게 나타나는 NPV의 문제점을 피하고 투자규모가 다른 여러 가지 사업을 객관적인 입장에서 비교하기 위한 방법인 B/C비율은 수익의 흐름과 비용의 흐름을 현재가치로 환산하여 나눈 것으로 다음과 같이 나타난다.

$$\frac{B}{C} \text{ ratio} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3)$$

만일 B/C비율이 1이라면 수익과 비용이 똑같아 순수익의 증가분이 0이라는 것을 의미하며, 1보다 크다면 순수익의 증가가 있다는 것을 의미한다. 따라서 사업간의 투자순위를 결정한다면 B/C비율이 큰 순서로 시작하면 된다. 그러나 B/C비율의 경우 NPV와 마찬가지로 어떤 할인율을 적용할 것인가가 문제가 된다.

## 다) 내부수익율

투자의 내부수익율 (IRR)이란 아래의 식과 같이 수익 흐름의 현재가치에서 비용 흐름에 대한 현재가치를 뺀 것이 0이 되도록 하는 할인율  $r$ 을 의미한다.

$$0 = \frac{B_0 - C_0}{(1+r)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (4)$$

즉 수익 흐름의 현재가치와 비용 흐름의 현재가치를 같이 해주는 할인율( $r$ )을 말하는데 이는 케인즈의 투자의 한계효율 또는 사업투자의 예상수익율을 의미한다. 또한  $B/C=1$ 이 되도록 하는 할인율을 의미하며 NPV로 평가할 때  $NPV=0$ 인 할인율을 의미한다.

만약 해당 투자사업의 내부수익율  $r$ 이 시장이자율인  $I$ 보다 크면 투자사업의 가치가 있으며  $r$ 이 시장이자율  $I$ 보다 작으면 투자사업의 가치가 없다고 판단할 수 있다.

## 라) 원가분석

원가분석은 비교 형식으로 하는 일이 많으므로, 넓은 뜻의 원가분석은 원가비교와 동의어로 해석되기도 한다. 원가분석을 실적원가를 분석하는 것이라 한다면, 실적원가는 실제원가계산의 결과에서 얻어지므로 실제원가계산의 순서에 대응하여 형식적으로는 요소별, 부문별 및 제품별 분석으로 나눌 수 있다.

절대액의 비교분석 방법으로는 기간비교와 상호비교가 있으며, 상대액의 비교분석 방법으로는 제품원가의 구성비율분석, 요소원가·부문원가·제품원가의 지수분석, 요소원가와 조업도의 상관분석 등을 들 수 있다. 제품원가의 구성비율분석이란 제품원가를 구성하는 재료비·노무비·경비 등의 구성비율을 산출하는 것을 의미한다. 요소원가·부문원가·제품원가의 지수분석이란 각 원가의 어떤 기간의 금액을 100으로 하고, 그 후의 기간의 금액을 백분율로 표현한 것으로, 경향을 파악하는 것이 목적이다. 또한 요소원가와 조업도의 상관분석이란 몇 기간의 실적원가로부터 고정비나 변동률을 산출하는 것을 의미한다.

## 나. 신제품의 전주기 경제성 분석 모델

신제품의 전주기 경제성 분석 모델은 연구자가 연구 대상을 구상할 때부터 목표 제품에 대한 소비자의 지불의향을 조사하는데 까지 5단계의 경제성 분석방법을 제시하는 데 이를 살펴보면 다음과 같다 (현병환 등, 1997).

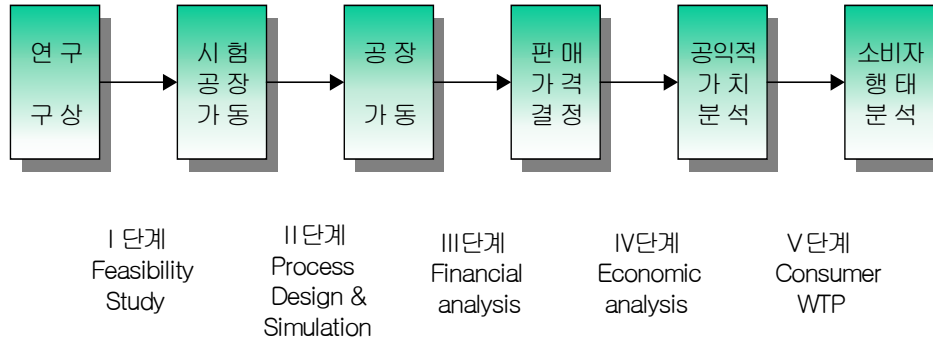


그림 3-12. 신제품의 전주기 경제성 분석 모델

### 1) I 단계

타당성분석 (Feasibility Study)을 위주로 한 Pre-Cost/Benefit Analysis 단계로서 연구하고자 하는 대상제품을 설정한 후 이에 대한 연구개발 동향분석, 연구개발 대상제품의 잠재시장 동향조사, 대체재 시장분석 등을 수행하는 경제성 분석 단계이다

### 2) II 단계

공정설계 및 모의실험 (Process Design and Simulation)을 수행하는 산업공학적 비용/편익분석 (CAD이용 Cost/Benefit Analysis) 단계로서 공정 flow를 설정한 후 각 공정별 투입 요소와 산출 결과를 도출한 뒤 도출된 산출 결과를 대체재 가치와 비교하여 경제성이 있는지를 분석하며 만약 경제성이 없으면 새로운 공정혁신을 제안할 수 있는 경제성 분석 단계이다.

### 3) III단계

재무분석 (Financial Analysis) 단계로서 유통구조와 생산자 이윤을 감안한 제품 단가의 산정을 통해 기업 차원에서의 투자손익분석을 수행하게 되는데 여기에서는 전통적 비용/편익분석방법으로 편익/비용분석법 (Benefit/Cost Analysis), 순현재가치법 (Net Present Value Method), 내부수익률 (Internal Rate of Return) 등의 방법이 이용되며 이를 통해 잠재가격 (Shadow Pricing)의 추정, 할인율 (Discount Rate), 감응도분석 (Sensitivity Analysis)등의 분석을 수행하게 된다.

### 4) IV단계

경제적 분석 (Economic Analysis) 단계로서 연구개발제품의 국가적 효용가치 및 파급효과를 다루는 사회 및 환경영향평가 (Social and Environmental Analysis)의 단계이다.

### 5) V단계

소비자행태분석 (Consumer Behavior Analysis) 단계로서 최종소비자의 목표제품에 대한 소비자 지불의도가격 (Consumer Willingness to Pay)을 조사하는 단계로서 본 단계는 최종 소비자의 신상품에 대한 지불의사가 결정된다는 점에서 사업의 성패를 결정짓는 매우 중요한 연구분야로서 신상품의 수요예측기법들은 주로 이 분야의 수요를 충족시키기 위해 개발된 방법들이라 할 수 있다.

#### 다. Com-Ply의 경제성분석

본 연구에서는 Com-Ply생산이 아직 이루어지고 있지 않기 때문에 두 곳 (국내, 국외)의 조사생산공장의 합관생산원가를 비교한 후 Com-Ply의 생산공정을 설정 두 공정의 흐름도를 중심으로 합관과 Com-Ply의 생산원가를 비교 분석하여 Com-Ply의 경제성을 분석하였다.

## 1) 합판의 생산원가분석

### 가) 합판의 생산공정

합판의 생산공정을 대략적으로 살펴보면 그림 (3-11)에서 보는 바와 같다<sup>3)</sup>. 그림에서 보는 바와 같이 완제품의 합판이 생산되기 위해서는 여러 공정을 거치게 된다. 먼저 합판의 원료가 되는 원목이 운반되어 박피되는 데 이때 박피된 수피는 연료로 쓰인다. 박피된 원목은 단판을 만들기 위한 공정을 거치는 데 단판의 절삭에는 주로 Rotary lathe을 이용 원목이나 flitch를 회전 또는 원운동시켜 절삭한다. 절삭된 단판은 건조과정을 거친 후 접착제를 도부한 후 합판의 사양에 따라 적층한 후 압체시켜 접착제가 굳도록 해줌으로서 접착이 완료되는데 접착제의 종류에 따라 합판을 완전내수성합판 (페놀수지접착제, 리소시놀수지접착제, 멜라민수지접착제 등), 고도내수성합판 (요소수지접착제), 보통내수성합판 (카제인접착제, 대두접착제, 증량요소수지접착제 등)으로 분류한다.

압체에 의해 접착이 완료된 합판은 Trimming 그리고 표면연삭공정을 거쳐 일정한 크기로 재단이 되어 검사, 포장의 단계를 거쳐 최종 반출되게 된다.

---

3) Robert E. silvis, JR. and Gerald A. Koenigshof 1981. comparative economic feasibility of manufacturing plywood, com-ply, and oriented strandboard. wsu. No.15th.

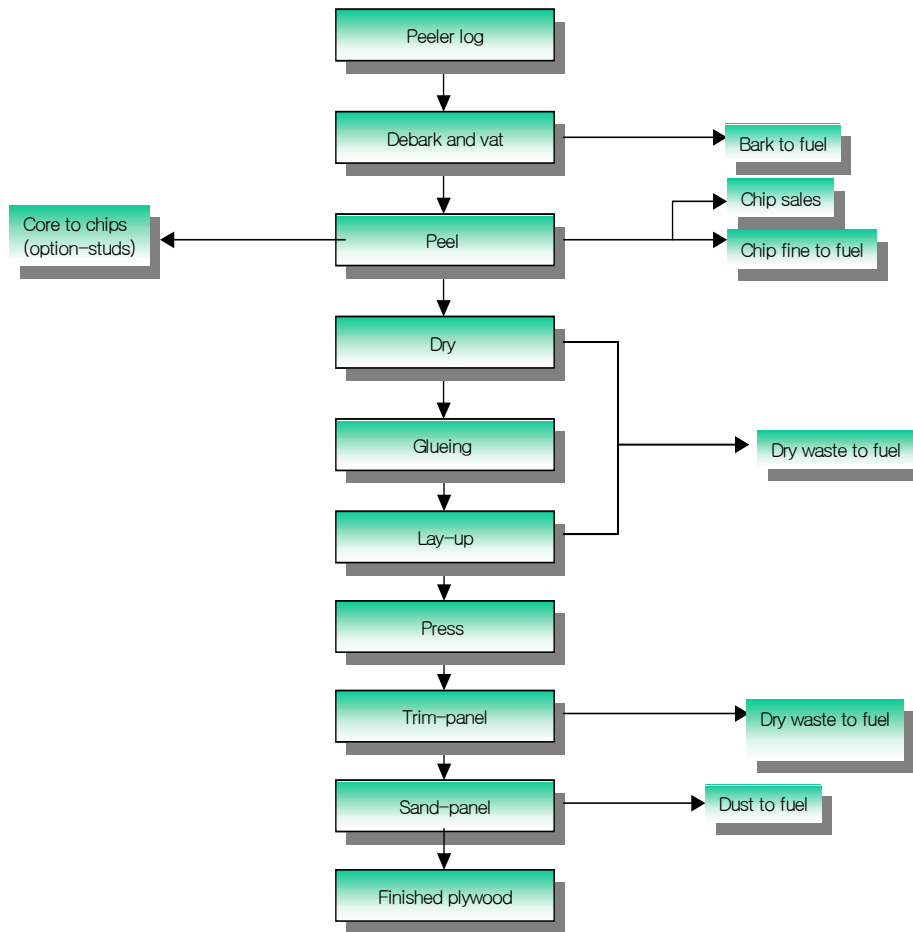


그림 3-13. 합판의 생산공정

#### 나) 합판의 생산원가 분석

규격이 910 × 1,820 × 12mm인 일반합판 (콘크리트 판넬)의 경우 조사생산공장 중 2공장 (국내, 국외)에서의 생산과정에서 소요된 생산비와 경영비 그리고 조수입을 조사하였다.

생산공정에서 소요되는 비용항목으로는 직접원가에는 원료비, 재료비, 노무비, 경비 등이 포함되고 간접비에는 기계의 감가상각비와 보험료 등이 포함된다.

A, B사의 합판생산원가는 아래의 표 (3-23)과 같다.

표 3-23. A, B사의 일반합판의 생산원가

(단위 : 원)

구분	규격 (910mm×1,820mm×12mm)	
	A사(국내)	B사(국외)
원료비	4,370	3,204
접착제	589	482
노무비	571	723
경비	1,036	807
간접비	2,113	2,293
합계	8,679	7,510

#### 다) 합판의 항목별 생산원가 분석

합판의 생산원가는 직접원가와 간접비로 구성되는 데 직접원가에는 원재료비 (원목가격), 보조재료비 (접착제), 노무비, 제조경비 (연료비, 전력비 등)가 있고 간접비에는 감가상각비, 보험료 등이 포함된다.

##### ○ 원재료비

합판 생산 조사공장에서의 합판 생산은 국내 (A사)의 경우 원목을 수입하여 합판을 생산하고 있었으며, 국외 (B사)의 경우 구매원목 또는 자체 생산한 원목으로 합판을 생산 하였던 데 생산원가에서 가장 큰 비중을 차지한다. A사의 경우에는 4,370원, B사의 경우에는 3,204원으로 조사되었다.

##### ○ 보조재료비 (접착제)

합판을 적층할 때 소요되는 접착제 등의 비용으로 적층하는 합판 매수량에 따라 비용에 차이가 난다. 생산 조사공장에서의 보조재료비는 A, B사가 각각 589원, 482원으로 조사되었다.



○ 노무비

생산의 전 과정이 완전자동화 되어 생산하고 있으나 생산관리 부분 등에 인력이 필요한 바 이에 소요되는 인건비를 말한다. 생산 조사공장에서의 노무비는 A, B사가 각각 571원, 723원으로 조사되었다.

○ 경비

조사 생산공장에서 합판생산의 제조경비 (전력비, 연료비 등)는 A, B사가 각각 1,036원, 807원으로 조사되었다.

○ 간접비

간접비는 합판 생산에 소요되는 직접원가를 제외한 비용으로 기계의 감가상각비, 노무자의 보험료 등이 포함되는 데 조사 생산공장에서의 간접비는 A, B사가 각각 2,113원, 2,293원으로 조사되었다.

○ 조수입

규격이 910 × 1,820 × 12mm, 일반합판의 판매단가는 9,000원으로 조사되었다.

조사 생산공장 (A, B사)에서의 합판 (910 × 1,820 × 12mm) 생산원가의 각 항목별 비율은 그림 9, 10과 같다. A사는 원료비가 50%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 간접비가 24%, 제조경비가 12%, 노무비 7%, 재료비 7%, 순으로 나타났다.

B사의 경우에도 원료비가 42%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 간접비가 31%, 제조경비가 11%, 노무비 10%, 재료비 6%, 순으로 나타났다. 이러한 결과는 합판 생산의 원료가 되는 목재의 가격에 따라 합판 생산비용에 차이가 있는 것이라 할 수 있다.

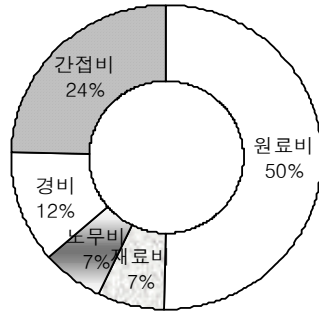


그림 3-14. A사 합판 (910mm×1,220mm×12mm)의 항목별 구성비

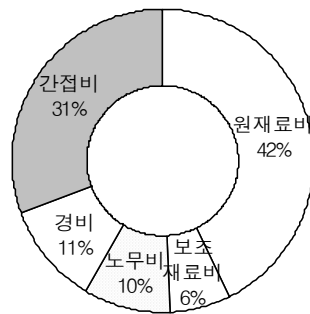


그림 3-15. B사 합판 (910mm×1,220mm×12mm)의 항목별 구성비

## 2) Com-Ply의 생산원가 분석

### 가) Com-Ply의 생산공정

Com-Ply의 생산공정을 대략적으로 살펴보면 다음의 그림 (3-24)부터 그림 (3-26)과 같이 나타낼 수 있다 (Silvis and Koenigshof, 1981). 즉, Com-Ply는 단판

생산, 심판생산 그리고 생산한 단판과 심판을 접합하여 완제품의 Com-Ply가 생산된다.

합판생산공정과의 차이는 합판생산공정에는 없는 심판생산 공정이 새로이 추가된다는 것이다. 또한 아래의 Com-Ply 생산공정은 원재료의 여러 형태와 생산과정에서 발생하는 부산물들의 여러 사용용도를 나타낸다.

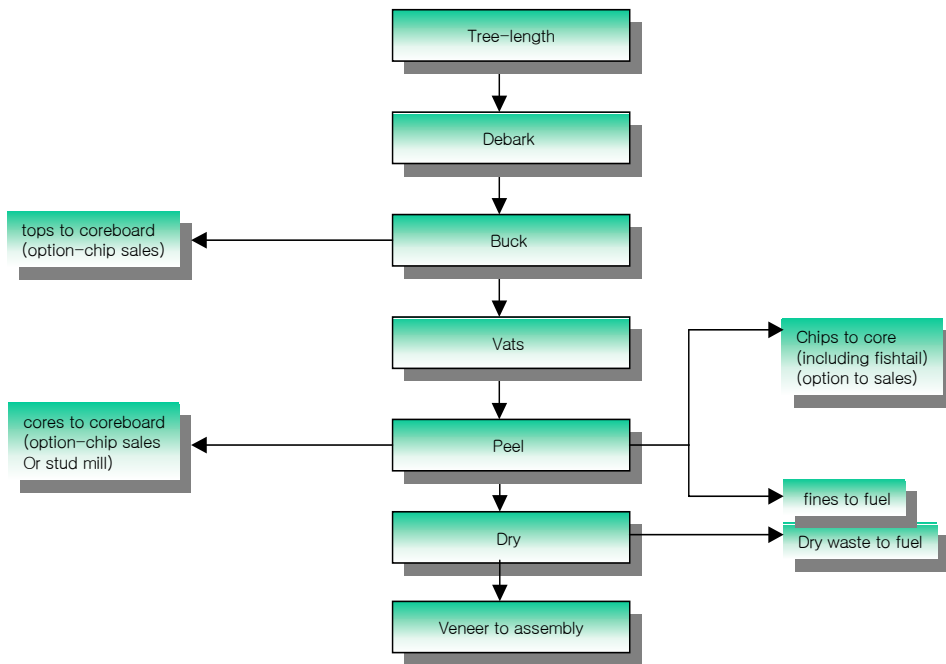


그림 3-16. Com-Ply의 단판 생산공정

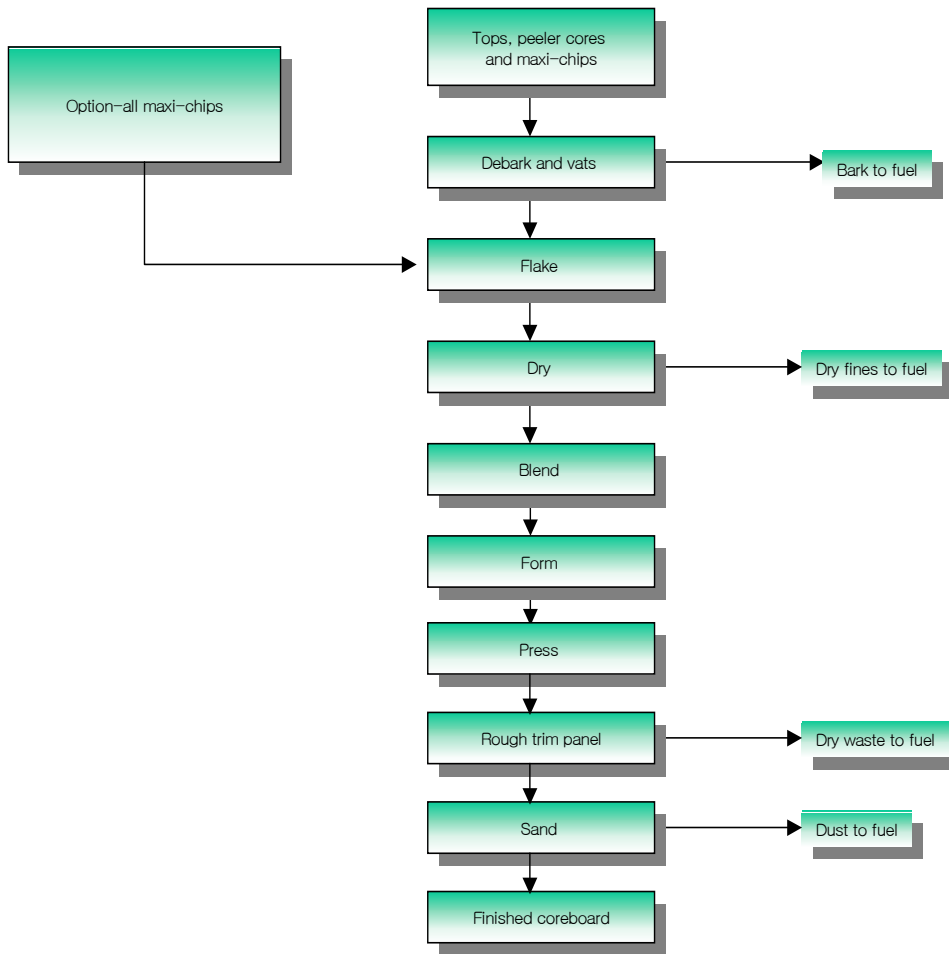


그림 3-17. Com-Ply의 심판 생산공정

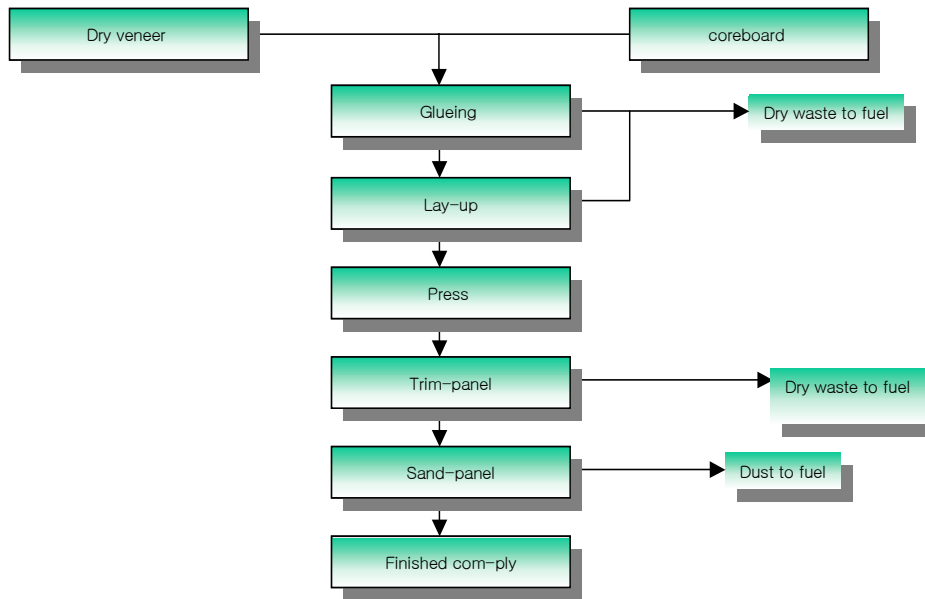


그림 3-18. 단판과 심판의 접착을 통한 Com-Ply 생산공정

#### 나) Com-Ply의 생산원가 분석

본 연구에서는 합판 대체재로서 Com-Ply 생산의 경제성을 분석하는 것이 목적이므로 앞에서 분석한 910 × 1,820 × 12 mm 합판 (5매)과 같은 규격의 Com-Ply 생산원가를 분석하였다.

그러나 Com-Ply 생산이 아직 국내에서 이루어지지 않기 때문에 연구의 한계상 용도 및 강도등 기타 물리적 기계적 성질과 조수입은 동일규격의 합판과 동일하고 노무비, 경비 그리고 간접비는 생산조사공장과 동일하다고 가정 하에 Com-Ply 심판용 보드를 chip, 요소수지, 왁스의 양을 각각 약 88%, 11%, 1% 사용하여 규격이 길이 23.69 cm, 폭 23.39 cm, 두께 6.2 mm로 하여 체적 0.000034 m<sup>3</sup>인 파티클보드를 실험실에서 제조하였다.

Com-Ply란 심판에 파티클보드를 구성하고 표판과 이면판에 단판이나 얇은 합판을 적층한 판상재이므로 합판과 동일한 두 개 단판의 중앙에 이렇게 제조한 파티클보드를 접합하여 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 것으로 환산하여 Com-Ply의 생산원가를 분석하였다. 따라서 두께 12 mm인 Com-Ply가 되기 위해서는 2.4 mm 단판의 양

면 사이에 두께가 7.2 mm인 심판용 파티클보드를 접합함으로써 두께가 12 mm인 Com-Ply가 된다. 이때 접착제의 두께는 무시하였다. 910 × 1,820 × 12 mm인 Com-Ply 생산원가는 다음의 표 (3-24)와 같다.

표 3-24. Com-Ply의 생산원가

(단위 : 원)

구 분	Com-ply	
	생 산 원 가	비 율(%)
원료비	(2,638)1,748 + 890	35
요소수지	729	10
왁스	74	1
접착제	294	4
노무비	571	8
경비	1,036	14
간접비	2,113	28
합계	7,455	100

#### 다) Com-Ply의 항목별 생산원가 분석

##### ○ 원료비 (단판 + 목재칩)

- 단판 : 합판과는 달리 Com-Ply는 단판 및 파티클보드용 칩이 원료로 쓰이는데 단판은 합판과 동일한 원료 (수입원목)를 사용한다는 가정하에 계산한 결과 1,748원으로 분석되었다.
- 목재칩 : 파티클보드의 원료로 사용량은 파티클 전건무게의 약 88% 정도 사용한다. 본 연구에서는 미 이용 간벌재를 사용하여 제조한 칩을 사용하였는데 kg당 120원으로 조사되어 890원으로 분석되었다.

따라서 규격이 910 × 1,820 × 12mm인 Com-Ply의 원료비는 2,230원으로 분석되었다.

##### ○ 요소수지

파티클을 접착하는 것으로 사용량은 파티클 전건무게의 약 11% 정도 사용한다.

요소수지의 가격은 파티클보드에서 가장 비용이 큰 항목으로 조사결과 kg당 750 원으로 거래되는 것으로 조사되어 요소수지의 가격은 729원으로 분석되었다.

○ 왁스

내수제로서 30~40%의 고품분의 파라핀, 왁스, 에멀션을 주로 사용하고 사용량은 파티클 전건무게의 약 1.0% 정도 사용한다. 본 연구의 분석결과 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 Com-Ply를 생산하는 데 소요된 비용은 약 70원으로 분석되었다.

○ 접착제

접착제는 합판을 접착할 때 사용하는 것과 동일한 것을 사용한다는 가정 하에 분석한 결과 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 Com-Ply를 생산하는 데 사용한 접착제 가격은 294원으로 분석되었다.

○ 조수입

조수입은 앞에서 분석한 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 합판과 동일하다는 가정 하에 9,000원으로 하였다.

조사 분석한 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 Com-Ply 생산원가의 각 항목별 비율은 그림 14와 같다. 원료비가 34%로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 간접비가 28%, 제조경비가 14%, 요소수지 10%, 노무비 8%, 접착제 4%, 왁스 1% 순으로 나타났다.

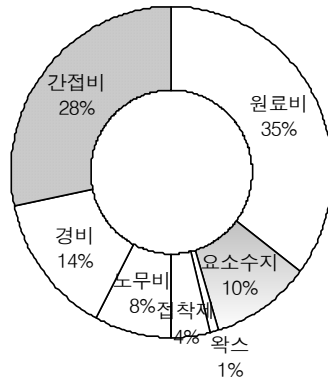


그림 3-19. Com-Ply (910mm×1,220mm×12mm)의 항목별 구성비

### 3) Com-Ply의 경제성 분석

본 연구에서는 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 합판과 Com-Ply의 생산원가를 비교하여 Com-Ply의 경제성을 분석한 결과는 다음의 표 (3-25)와 같다.



표 3-25. 합판과 Com-Ply의 생산원가

(단위 : 원)

구분	합 판		Com-Ply
	국내(A사)	국외(B사)	
원료비	4,370	3,204	(2,638)1,748 + 890
요소수지	-	-	729
왁스	-	-	74
접착제	589	482	294
노무비	571	723	571
경비	1,036	807	1,036
간접비	2,113	2,293	2,113
합계	8,679	7,510	7,455

세부적 비용을 보면 노무비, 경비, 불량보상비 및 간접비가 동일하다는 가정 하에서 국내합판과 Com-Ply의 원료비와 접착제의 경우 국내합판이 4,370원, 589원으로 나타났고 Com-Ply가 2,638원, 294원으로 나타나 합판이 Com-Ply에 비해 약 두배 정도 높은 것으로 분석되었고, 합판 생산에는 사용되지 않는 요소수지나 왁스 등의 비용이 Com-Ply 생산에는 포함된다.

이러한 제 비용을 포함한 합판과 Com-Ply의 총생산비용은 각각 8,679원, 7,455원으로 나타나 생산원가 만을 비교해 보았을 때 Com-Ply가 합판에 비해 경제적으로 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

## 6. Com-Ply 잠재 수요자 조사 분석

일반적으로 수요자분석은 주로 소비자행태조사 (consumer behavior analysis)로 최종소비자의 목표제품에 대한 소비자 지불의도가격 (willingness to pay: WTP)을 조사하는 단계로서 최종 소비자가 신상품에 대한 지불의사를 결정하는 분석단계이다.

그러나 본 연구의 목표제품인 Com-Ply에 대한 소비자 인식이 전무하고, 현재까지 시장에서 제조되지 않고 있으므로 지불의사가격을 파악하는 일반적인 소비자행태

조사가 불가능하다.

따라서 본 연구에서 수요자 조사분석은 5에서 검토되었던 목표제품의 제조원가와 현재 시장에서 유통되고 있는 대체재의 생산원가를 비교하여 잠재 수요자의 구매의향을 파악하는 것으로 한정하였다. 따라서 현재 Com-Ply가 시장에서 생산되고 있지 않는 현실을 감안하여 잠재 수요자는 크게 2집단으로 구분하여 조사분석을 실시하였다.

첫 번째 조사집단은 합판, PB, MDF 등 목재 판상재를 생산하고 제조업체를 중심으로 Com-Ply 제품에 대한 인지여부와 5에서 검토된 생산원가 경제성 분석을 기초로, 앞으로 Com-Ply의 생산의향을 설문조사를 통하여 살펴보았다.

두 번째 조사집단은 Com-Ply가 생산된다는 것을 가정하여, 이를 구매하고자 하는 실수요자인 합판, PB, MDF 중간 도·소매업체들의 구매의향을 설문조사를 통하여 살펴보았다.

#### 가. 설문내용 및 조사규모

설문조사에서는 대부분의 제조업체와 구매업체에서 Com-Ply에 대하여 인지하지 못하고 있었으므로, 5에서 검토되었던 Com-Ply 제조공정에 대한 자세한 정보제공과 함께, Com-Ply와 합판과의 생산원가를 비교·제시하였다.

##### 합판규격 910mm×1,820mm×12mm 기준 생산단가

- ▷ 일반합판(콘크리트 판넬) 국내 생산원가 : 8,679원
- ▷ 일반합판(콘크리트 판넬) 국외 생산원가 : 7,510원
- ▷ Com-ply 생산원가 : 7,455원

또한, 본 연구목적이 현재 방치되고 있는 국산소재 및 폐잔재의 활용을 위한 대안으로 Com-Ply 국산제조를 상정하고 있으므로, 연구목적 내용을 피조사자에게 인지시키고 설문조사를 실시하였다.

설문 피조사자의 선정은 합판, PB, MDF 생산업체의 생산제품 결정라인에 있는

27개 생산업체 담당자와 20명의 중간 도·소매업체의 대표를 선정하여 표 (3-26)과 같이 총 47개 업체를 대상으로 조사하였다.

**표 3-26. 수요자 유형 및 조사규모**

구 분	조사규모(개)	조사업체
생산업체	27	한국합판 및 보드협회 회원업체 (3) 합판, PB, MDF, 마루판 생산업체 (24)
중간도·소매상	20	합판, PB, MDF, 마루판 도·소매업체
합 계	47	

#### 나. 수요자 설문조사 결과

목재 판상재를 생산하는 27개 생산업체와 중간 도·소매업체 20개소를 대상으로 실시한 설문조사 결과는 표 (3-27)과 같다.

##### 1) 생산업체에 대한 설문조사 결과

생산업체의 경우에는 생산제품 종류는 ‘합판’이 21개업체 (58.3%), ‘MDF’가 9개업체 (25.0%), ‘PB’가 4개업체 (11.1%), ‘마루판’이 2개업체 (5.6%) 순으로 나타나, 품목으로는 합판이 가장 높게 나타났다.

제품 생산에서 가장 중요한 고려사항으로는 ‘품질 및 성능’이라고 응답한 업체가 15개업체 (55.6%)로 가장 높았으며, 다음이 ‘소비자 선호’가 7개업체 (25.9%), ‘가격’이 5개업체 (18.5%)로 나타나, 생산제품의 선정에서 품질이 가장 높게 나타났다.

다음으로 Com-Ply에 대한 업체의 인지여부를 묻는 질문에서 사전에 알고 있다고 응답한 업체는 1개업체 (3.7%)로 나타나, 일반 목재판상재 생산업체에서는 Com-Ply에 대하여는 전혀 모르고 있는 것으로 나타났다.

마지막으로, Com-Ply와 합판과의 생산원가를 비교·제시하고 난 후, 생산의향을 묻는 질문에서는 ‘의향이 있다’고 응답한 업체는 11개업체 (40.8%)로 나타난 반면, ‘의향이 없다’고 응답한 업체가 16개업체 (59.2%)로 나타나, 생산의향이 없는 업체가 다소 높게 나타났다.

생산의향이 없다고 응답한 업체의 경우 이유로는 기존시설을 활용할 수 있는가에 대한 의문과 신제품에 대한 시장의 위험(risk)을 고려하여 판로개척과 관련하여 수요가 많으면 생산 및 구입하겠다는 의견이 대부분이었다. 또한 신제품이 출시되더라도 기존 합판 등과 같은 대체재와의 경쟁력이 없을 것으로 판단하고 있었다.

## 2) 중간 도·소매상 설문조사 결과

중간 도·소매상 설문조사의 경우에는 판매제품 종류는 ‘합판’이 19개업체 (79.2%), ‘PB’와 ‘MDF’가 각각 2개업체 (8.3%), ‘마루판’이 1개업체 (4.2%) 순으로 나타나, 품목으로는 합판이 가장 높게 나타났다.

제품 생산에서 가장 중요한 고려사항으로는 ‘품질 및 성능’이라고 응답한 업체가 11개업체 (55.0%)로 가장 높았으며, 다음이 ‘가격’이 7개업체 (35.0%), ‘소비자 선호도’가 2개업체 (10.0%)로 나타나, 생산제품의 선정에서 품질이 가장 높게 나타났다. 여기서 소비자 선호도의 구체적인 내용은 제품 브랜드의 인지도라고 응답하였다.

다음으로 Com-Ply에 대한 중간 도·소매상 설문조사의 인지여부를 묻는 질문에서 사전에 알고 있다고 응답한 업체는 2개업체 (10.0%)로 나타나, Com-Ply에 대하여 모르고 있는 업체가 90%로 나타났다.

마지막으로, Com-Ply와 합판과의 생산원가를 비교·제시하고 난 후, 구매의향을 묻는 질문에서는 ‘의향이 있다’고 응답한 업체는 7개업체 (35.0%)로 나타난 반면, ‘의향이 없다’고 응답한 업체가 13개업체 (65.0%)로 나타나, 구매의향이 없는 업체가 다소 높게 나타났다.

구매의향이 없다고 응답한 업체의 경우 이유로는 Com-Ply가 가격적인 측면에서 경쟁력이 있음에도 불구하고, 가격측면에서 중국산 합판이 현재 Com-Ply 보다도 더욱 경쟁력이 있다고 응답해 가격경쟁력만으로는 구매에 다소 부정적인 의견을 보이

고 있었다. 이 이외에도 판로가 확실히 구축된다면 구입을 하겠다는 의견이 대부분이었다. 또한 성능이나 품질 면에 대한 확신이 없으므로 구입을 보류하겠다는 응답이었다.

표 3-27. 수요자 조사 규모

조사내용	구분	생산업체 (N=27)		중간도·소매상 (N=20)	
		N	%	N	%
생산 및 구매 제품 <sup>a)</sup>	합관	21	58.3	19	79.2
	PB	4	11.1	2	8.3
	MDF	9	25.0	2	8.3
	마루판	2	5.6	1	4.2
	계	36	100.0	24	100.0
생산 및 구매시 최우선 고려사항	가격	5	18.5	7	35.0
	품질 및 성능	15	55.6	11	55.0
	소비자선호	7	25.9	2	10.0
	계	27	100.0	20	100.0
Com-Ply 사전인지여부	알고 있었음	1	3.7	2	10.0
	모르고 있었음	26	96.3	18	90.0
	계	27	100.0	20	100.0
생산 및 구매 의향	의향 있음	11	40.8	7	35.0
	의향 없음	16	59.2	13	65.0
	계	27	100.0	20	100.0

<sup>a)</sup> 복수응답 가능

## 7. 결 론

우리나라는 국토의 65%가 산림이지만 대부분이 III영급 이하의 유통림이기 때문에 목재사용량의 대부분을 수입에 의존하고 있으며 자원보유국의 자국내 목재가공산업 육성을 위한 원목수출 제한 및 환경과 무역의 연계 움직임으로 세계적 목재공급 여건은 날로 어려워지고 있다.

따라서 지금까지 건축과 가구제작 등 목재 가공품에 대량으로 사용하여 온 합판은 그 원료가 되는 대경원목의 고갈로 합판용 원목의 확보가 점차 어려워지고 그 가격이 등귀하게 됨에 따라 합판의 용도를 대체할 수 있는 새로운 목질 판상재료의 개발이 시급한 실정이다.

이러한 국내외적 여건을 고려하여 본 연구에서는 합판대체재로서 효율적으로 간벌재를 이용할 수 있을 뿐만 아니라 한정된 산림자원의 활용도를 높여 자원의 재활용으로 임업과 목재산업의 발전에 크게 기여할 것으로 기대되는 Com-Ply의 경제적 가치평가를 위하여 수행하였으며, 분석의 방법은 “신제품의 전주기 경제성 분석모델” 중에서 I 단계의 타당성 분석 단계를 위주로 한 예비-비용/편익 분석을 중심으로 수행하였다.

이를 위하여 Com-Ply의 연구개발 동향, 목재패널산업의 시장분석 등이 수행되었으며 경제학적 분석기법으로는 생산공정을 중심으로 한 생산원가를 비교 분석하였다.

연구결과에 의하면 앞으로의 목재패널산업의 시장은 합판보다는 파티클보드나 중밀도섬유판의 생산량이 크게 증가할 것으로 분석되어 감소하는 합판을 대체할 만한 합판 대체재의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

조사 생산공장의 생산원가는 다음과 같이 분석되었다.

규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 일반합판 (콘크리트 판넬)의 국내 생산원가는 8,679원으로 분석되었으며, 국외 생산원가는 7,510원으로 분석되었다. 이러한 결과는 원재료인 원목가격의 차이에 따른 것으로 국내보다 국외가 합판의 원료가 되는 원목을 확보하기가 용이하여 경제적으로 타당성이 있는 것으로 분석되었다.

국내 합판 생산공장 설비를 기준으로 Com-Ply 공정을 설정하여 규격이 910 × 1,820 × 12 mm인 Com-Ply 생산원가를 분석한 결과 7,455원으로 분석되었다.

따라서 본 연구의 결과 Com-Ply 생산이 합판에 비해 경제적으로 가치가 있는 것으로 분석되어 합판 대체재로서 국내 간벌소경재를 이용하여 Com-Ply를 생산하는 방안을 연구할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

그리고 합판 대체재로서 폐목재 및 간벌 소경재를 이용하여 파티클보드를 제조 이들 양면에 단판을 적층한 Com-Ply를 개발한다면 폐목재의 재활용을 통한 환경을

보호할 수 있고 또한 간벌재의 이용으로 육림작업을 촉진시켜 임가 소득 향상에도 도움이 될 것이라 판단된다.

그러나 목재 판상재를 생산하는 27개 생산업체와 중간 도·소매업체 20개소를 대상으로 실시한 수요자 설문조사를 실시한 결과, Com-Ply에 대한 인지도는 생산업체의 경우 3.7%, 중간 도·소매상의 경우에는 10%정도만이 인지하고 있어, 제품화되기 위한 전단계로 Com-Ply에 대한 인지도를 향상시키고 제조 필요성에 대한 홍보를 강화해야 할 것으로 보인다.

또한 Com-Ply와 합판과의 생산원가를 비교·제시하고 난 후, 생산 및 구매의향 생산의향은 40.8%, 구매의향은 35.0%로 나타나 가격경쟁력이 높음에도 불구하고 생산 및 구매의향은 예상한 바와 같이 높게 나타나지 않았다.

생산의향이 없다고 응답한 업체의 경우 이유로는 기존시설을 활용할 수 있는가에 대한 의문과 신제품에 대한 시장의 위험 (risk)을 고려하여 판로개척과 관련하여 수요가 많으면 생산하겠다는 의견이 대부분이었다.

구매의향이 없다고 응답한 업체의 경우 Com-Ply가 가격적인 측면에서 경쟁력이 있음에도 불구하고, 중국산 합판이 현재 Com-Ply 보다도 가격경쟁력이 있다고 응답해 가격경쟁력만으로는 구매로 바로 연결될 수 없음을 보여준다. 이 이외에도 판로가 확실히 구축된다면 구입을 하겠다는 의견이 대부분이었다. 또한 성능이나 품질면에 대한 확신이 없음으로 구입을 보류하겠다는 응답이었다.

따라서 Com-Ply의 생산 및 구매의향을 확보하기 위해서는 제품화에 대한 홍보 및 인지도를 강화시켜야 하며, 품질에 대한 경쟁력도 강화되어야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Koenigshof, Gerald A. 1979. Economic feasibility of manufacturing Com-ply panel in the south. Res. Pap. SE-201. com-ply rep. 17. Asheville, NC : U.S. department of agriculture, forest service, southeastern forest experiment station and washington, DC : U.S. department of housing and urban development. 28pp.
2. Robert E. silvis, JR. and Gerald A. Koenigshof 1981. comparative economic feasibility of manufacturing plywood, Com-ply, and oriented strandboard. wsu. No.15th.
3. Robert H. McAlister. 1989. 3. The research and development of Com-ply lumber : general technical report se-53 U. S. department of agriculture, forest service, southeastern station.
4. 박명도 1992. 국내 목질판상재 산업의 현황과 전망. 목재공학 20(3):79-88.
5. 박영기 1992. 한국 목질보드산업의 원자재 수급현황과 대책. 목재공학 20(3):7-10.
6. 박종영 2001. 1 일본의 목질폐기물 재자원화 추진상황(Ⅱ). 월간 임업정보 제117호.
7. 박종영 2001. 3 일본의 목질폐기물 재자원화 추진상황(Ⅲ). 월간 임업정보 제 119호.
8. 박종영. 2000. 12. 일본의 목질폐기물 재자원화 추진상황(Ⅰ). 월간 임업정보 제116호.
9. 박종영. 2000. 8. 폐목질자원을 이용한 고성능 분체복합보드 개발(Ⅰ). 월간임업정보 제112호.
10. 산림청. 2001. 임업통계요람.



11. 이광춘 1997. 경제성분석에 의한 사무소건물의 건축규모결정에 관한 연구.  
서울대학교 석사학위논문.
12. 이춘택 1993. 소경재의 이용방안. 목재공학 21(1):65-73.
13. 이필우 1990. 삭편판과 단판 또는 합판을 구성 접착한 콤폴라이 복합재 관한 연구. 목재공학 18(4):86-101.
14. 이필우 1995. 합판대용 박판상 복합재 제조에 관한 연구(I) - 복합재 제조의 최적조건에 관하여. 목재공학 23(2):55-69.
15. 이필우 1995. 합판대용 박판상 복합재 제조에 관한 연구(II) - 최적제조조건을 적용한 구성형태별 박판상 복합재 개발. 목재공학 23(4):74-84.
16. 임업연구원. 2000. 임업경제동향.
17. 임업연구원. 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안.
18. 정주상 · 박희준 · 이필우. 1993. 파티클보드 제조공정의 최적화 모델개발에 관한 연구. 한국 임학회지. 82(4):396-405.
19. 한국목재신문. www. woodkorea. co. kr.
20. 현병환. 신제품의 전주기 경제성분석 방법. www. bioins. com.
21. 현병환 · 이상기 · 조찬형. 1997.6. 연구개발제품의 경제성분석 연구 - 히루딘을 중심으로. 농업과학연구. 24(1).
22. 환경부. 2002. 전국 폐기물 발생 및 처리현황.

## 제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

본 과제에서 달성하고자한 목표는 국산 소경간벌재, 폐목재를 이용하여 목질보드를 제조할 수 있는가, 제조한다면 성능 면에서 어느 정도 인가의 해답을 구하는 것이다. 이미 20세기 말부터 전 세계적으로 목질보드 제품에 사용되는 원료는 중·대경재 보다는 소경재, 폐목재 또한 1년생 스트로 계통의 원료가 많이 사용되고 있다.

국내에서는 목재자원수급에 해외 의존도가 매우 높다. 반면에 국내의 산림은 지속적인 간벌작업을 요하고 있다. 이런 간벌작업에서 발생하는 소경간벌재는 유통상의 취약점 때문에 목재가공산업에 적절히 이용되지 못하고 산림에 그대로 방치되어 버려지는 경우가 많다. 21세기에는 전 세계적으로 산림의 지속 가능한 경영을 좀더 요구하고 있는 실정이다. 이런 국제적 움직임은 해외 목재자원에 의존율이 큰 국내의 목재 수급에 새로운 대책이 요구되고 있다.

2000년 임업연구원 보고에 의하면, 국내의 폐목재 발생량은 국내 연간 총 목재사용량과 비교해 볼 때, 40% 정도로 많은 수준이다 (임업연구원 2000). 현재 국내의 파티클보드를 생산하고 있는 회사들에서 폐목재를 많이 사용하고 있는 실정이지만, 폐목재의 재활용율을 고려해 볼 때, 앞으로 목질보드생산에서 폐목재의 이용은 더욱 장려되어야 한다.

요소수지 접착제는 가격이 저렴하고 접착제의 경화 후에는 접착제 층이 무색으로 내장재용 목질보드의 생산에 적합하여 전 세계적으로 많이 사용되고 있다. 북미에서 요소수지 접착제를 사용하여 파티클보드를 제조하는데 사용되는 접착제의 첨가량은 전건목재를 기준으로 중간층이 6%이고, 표면층이 8%로서 이런 수준의 요소수지 접착제 첨가량으로 생산된 파티클보드의 경우, 북미의 파티클보드 규정에서 요구하는 포름알데히드 방산량 및 파티클보드의 기계적인 성능을 보유하고 있다고 보고되고 있다.

본 연구에 수행된 실험실에서 합성한 요소수지 접착제와 국산 간벌소경재, 폐목재를 이용한 파티클보드, 합판 및 Com-Ply제조 및 성능평가의 결과는 제조된 모든 목질보드가 우수한 성질을 보였고, KS F 3104 파티클보드와 KS F 3101 보통합판의 최소요구의 기준이상의 성능을 나타내 목질보드제품의 원료로서 이용이 적합했다. 또한 본 연구에서 합성한 요소수지 접착제의 유리포름알데히드량은 매우 낮은 수준이었고 접착 성능 또한 우수하였다.

본 연구과제를 통해 얻어진 결과는 국내의 임산공학 분야의 학문발전에도 크게 기여하여, 미국 Forest Products Journal 학회지에 1편이 인쇄되었고, 국내 목재공학 및 임학회 학회지에 2편이 인쇄되었으며, 현재 2편의 논문이 심사 중에 있다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

본 연구과제를 통하여 국산 간벌소경재, 폐목재로부터 파티클보드를 제조하여 좋은 성능 평가 결과로 국산간벌재 및 폐목재를 적극 활용할 수 있다. 또한 국산재를 이용한 Com-Ply의 용도는 인간의 자연지향적인 감성을 충족시킬 수 있는 소재로서 가구재, 건축용 내·외장재등 다양하게 쓰일 수 있다. 앞으로 국내의 산림에서는 간벌작업이 지속적으로 필요하고 간벌소경재는 용도개발이 필요하며, 국내의 폐목재의 재활용율은 더욱 증대되어야 한다. 따라서 이들 간벌소경재, 폐목재의 이용 방안으로 기대된다.

## 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

21세기에 파티클보드, 화이버보드, 합판 등의 목질보드제품의 이용은 큰 폭으로 증대될 것으로 예상되고 있고, 이들 제품은 인간생활에 필요한 내·외장재로서 친환경적인 소재로 이용되고 있다. 목질보드제조에 사용되는 원료로는 목재 이외에 접착제이다. 최근에는 목질보드제조에 목재 이외에 1년생 스트로 등을 사용하여 제조하고 있으며, 접착제로는 페놀수지, 요소수지, 이소시아네이트 접착제 등이 사용되고 있다.

1980년대 북미에는 OSB산업이 시작된 이래로 유럽, 남미, 아시아 등에서 OSB가 제조되고 있으며, OSB에 사용되는 원료로는 중·대경재는 물론이고, 간벌소경재와 저급목재도 이용 가능하며, 접착제로는 페놀수지와 이소시아네이트 접착제가 주로 사용되고 있다. 앞으로 OSB는 생산량이 더욱 증대될 것으로 기대되고 있다.

이와 같이, 전 세계적으로 목질보드산업은 대체 원료와 그 원료에 적합한 접착제의 개발을 수행하고 있다. 따라서 본 연구에서도 국산재, 폐목재를 접착하기에 적절한 요소수지 접착제를 합성하여 우수한 성능의 목질보드 제품을 제조하였다.

## 제 7 장 참고문헌

1. Maloney, T. M., J. W. Talbott, E. M. Huffaker, J. B. Saunders and M. T. Lentz. 1980. Dimensional stability of com-ply and other composition board panels. In: Proceeding of International Washington State University Particleboard Symposium No. 15. Washington State University, Pullman, WA. p. 21-46.
2. Oh, Y. -S. 1999. Evaluation of melamine-modified urea-formaldehyde resin binders for particleboard. Forest Products Journal 49(11/12):31-34.
3. Sellers, T. Jr. 1995. Comparing Japanese and American glued wood adhesives. Adhesive age 37(6):36-39.
4. 노정관, 김종인. 1999. 국내유통 목질접착패널의 포름알데히드 방산량. 임업연구원. 산림과학논문집 60:66-73.
5. 산림청. 1994. '94 국제열대목재협정. 서울. 산림청.
6. 오용성. 1998. 요소수지로 접착된 파티클보드의 포름알데히드 방산량과 성능평가. 목재공학 26(4):92-97.
7. 임업연구원. 1997. 1997년도 한국의 목재수급실태. 서울. 임업연구원.
8. 임업연구원. 2000. 폐목재의 수집체계 개선 및 재활용 촉진방안. 연구자료 제159호. 서울. 274 pp.